



미국곡물협회
한국사무소



정밀 DDGS 영양

DDGS 사용자 핸드북 제4판 2020

정밀 DDGS 영양

DDGS 사용자 핸드북 제4판 2020

TABLE OF CONTENTS

1		발간사
2		머리말
3		CHAPTER 1 정밀동물영양과 지속적 세계 식량 공급을 위한 미국산 DDGS의 역할
6		CHAPTER 2 DDGS의 가격과 경제적 가치의 괴리
10		CHAPTER 3 건식분쇄 방법에 의한 에탄올, 주정 옥수수유, 옥수수부산물 생산
21		CHAPTER 4 주정 옥수수유의 화학적 조성과 돼지와 가금에서의 열량가
30		CHAPTER 5 에탄올 생산 신기술과 고단백 옥수수가공 부산물의 영양성분
41		CHAPTER 6 저지방 옥수수 DDGS의 영양성분과 변이
58		CHAPTER 7 DDGS의 취급과 저장에 관련한 물리 화학적 특성
71		CHAPTER 8 DDGS의 색깔은 DDGS의 품질과 영양가의 믿을 만한 지표가 아니다
83		CHAPTER 9 DDGS의 사료안전
93		CHAPTER 10 DDGS내 유황의 이점과 문제점
100		CHAPTER 11 육우 사료 내 지방 저감 DDGS
131		CHAPTER 12 젖소 사료 내 지방 저감 DDGS
159		CHAPTER 13 육계와 산란계 사료 내 지방 저감 DDGS
195		CHAPTER 14 가금류의 DDGS 사료 Pelleting
211		CHAPTER 15 오리과 거위 사료에 있어서 DDGS
217		CHAPTER 16 돼지 사료 내 지방 저감 DDGS
263		CHAPTER 17 DDGS함유 돼지 사료의 pelleting
279		CHAPTER 18 가금과 돼지의 DDGS 사료에 효소사용
299		CHAPTER 19 DDGS 가치평가가 사료배합비 작성에 미치는 영향
311		CHAPTER 20 환경 보존에 있어서 DDGS의 역할
332		CHAPTER 21 DDGS의 가격과 물류에 영향을 주는 요소
342		CHAPTER 22 DDGS에 관해 자주 묻는 질문들
348		CHAPTER 23 미국 내 DDGS 공급업체들
349		CHAPTER 24 용어 해설
356		CHAPTER 25 Website Links
357		CHAPTER 26 주요 참조 기사와 문헌들

발 간 사

2004년 미국산 DDGS가 한국 축산 사료시장에 소개된 이래, 매년 이용하는 사료기업이 늘고 축종별 사료배합 비율이 증가하여 2019년에는 약 115만 톤이 고품질 영양사료 원료로 사용되었고, 옥수수, 대두박, 사료용 밀과 함께 4대 주요 배합사료 원료로 자리를 잡았습니다. 미국산 DDGS 시장이 이렇게 빠르게 성장할 수 있었던 배경에는 2014년 이래 지속적으로 발병하는 조류독감, 2018년 아프리카 돼지열병의 발병에도 위기를 극복하고 성장세를 이어온 한국 축산사료업계의 강한 회복력과 지속적인 기술혁신에 따른 것이라고 믿습니다.

그간 미국곡물협회는 사료업계 관계자와 수입 유통하는 바이어들의 미국산 DDGS에 대한 효율적인 사용과 이해를 위해 3차례에 걸쳐 DDGS 핸드북을 발간한 바 있습니다. 그러나 미국 에탄올업계의 지속적인 기술 발전에 따라 생산되는 제품에도 많은 변화가 있었고, 효율적인 사용을 위한 많은 연구들도 진행됨에 따라 현재의 제품과 기술에 맞게 새로운 기술적인 가이드를 제시할 필요성이 있어 DDGS 핸드북 4판을 발간하게 되었습니다.

이 핸드북이 축산사료업계가 미국산 DDGS를 효율적으로 사용하는 데 도움이 되기를 바라며, 앞으로도 한국 사료산업이 지속적으로 성장하고 발전하기를 기원합니다. 그리고 이전의 핸드북보다 훨씬 분량과 취급범위가 확대된 영문 원본을 해박한 전문 지식으로 읽기 쉽게 번역해 주신 중앙대학교 명예교수님이신 백 인기 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 편집과 교정에 도움을 준 미국곡물협회 이 영진 부장의 수고에도 감사의 뜻을 전합니다.

2020년 4월

미국곡물협회 한국사무소

대표 | **김 학 수**

머리말

미국곡물협회 (U.S. Grains Council)가 “정밀 DDGS 영양”이란 제목으로 DDGS 사용자 핸드북 4판을 발간하게 된 것을 기쁘게 생각합니다. 제 1판은 2007년 (10장, 142페이지), 2판은 2009년 (16장, 234페이지) 그리고 3판은 2012년 (35장, 390페이지)에 출판되었습니다. 지난 5년 동안 미국 옥수수 DDGS (Distillers Dried Grains with Solubles)의 생산과 영양성분에는 많은 변화가 있었습니다. 특히 미국의 에탄올 생산공장의 90% 이상이 가공공정에서 옥수수유의 일부를 미리 추출하여 지방 저감 DDGS를 생산하는 공정을 도입하고 있습니다. 이러한 신공법으로 생산되는 DDGS는 재래 DDGS와 비교하여 영양 성분에 있어 상당한 차이가 있으므로 열량, 영양소 소화율 그리고 각종 동물에 있어서 사료적 가치에 대한 의문점들이 발생하고 있습니다. 아울러 지난 5년 동안 미국과 세계 각지의 과학자들은 가축 사양에 DDGS를 사용하면서 영양적 가치를 향상하고 사용상의 제한점들을 극복하기 위한 혁신적인 연구를 시행해 왔습니다.

미국곡물협회의 DDGS 사용자 핸드북 4판은 2010년 이후 발간된 1,500편 이상의 논문으로부터 상세하고 깊이 있는 영양적 고찰과 새로 발견된 자료들을 정리하여 제공해 주고 있습니다. 전 세계의 동물 영양학자들과 생산자들은 정밀사양프로그램에 더 많은 관심을 가지고 열량과 영양소 이용률을 향상함으로써 고품질의 안전하고 영양적인 식품을 생산하는 동시에 환경적으로 지속 가능한 동물 식품생산 시스템을 개선하고 있습니다. 옥수수 DDGS는 독특한 사료원료로 모든 동물사료에 우수하고 풍부한 그리고 경제적인 열량, 단백질과 인의 공급원일 뿐만 아니라 동물의 건강과 환경 보존에 도움을 주는 여러 가지 추가적인 가치들을 가지고 있습니다. 이 DDGS 핸드북은 미국 옥수수 DDGS와 부산물의 생산, 판매, 구매 그리고 동물사료 생산에 종사하는 모든 이들이 사용할 수 있도록 만들어진 것입니다.

미국곡물협회의 DDGS사용자 핸드북 4판과 그 전 판들의 저자는 미네소타대학교 (St. Paul) 동물과학부 동물영양학 교수인 Dr. Gerald (Jerry) Shurson 입니다. Dr. Shurson은 모든 동물사료에 있어서 DDGS의 영양 가치와 적정사용 방법에 대한 전문가로 세계적으로 널리 알려져 있습니다. 그는 지난 20년 동안 DDGS에 관한 연구를 활발히 수행해 왔고 다른 많은 DDGS 연구자들과 공동연구를 수행하였으며 1998년부터 미국곡물협회의 기술고문으로 DDGS의 해외수출시장에 대한 자문을 하고 있습니다.

그리고 돼지와 가금 사양시험에 관해서 발표된 자료들에 대한 meta-analyses를 수행해준 미네소타대학교의 Post-Doctoral Fellows인 Dr. Zhikai Zeng과 Dr. Jae-Cheol Jang의 노고에 감사드립니다. 또한 “DDGS의 가격과 물류에 영향을 주는 요소” 장을 집필하는 데 소중한 도움을 주신 CHS, Inc.의 Mr. Steve Markham, Mr. Sean Broderick 그리고 Mr. Sam Erwin에게 감사드립니다.

CHAPTER 1

정밀동물영양과 지속적 세계 식량공급을 위한 미국산 DDGS의 역할



오늘날 세계는 엄청난 도전에 직면하고 있다. 이중 가장 큰 도전 중의 하나는 점증하는 세계인구에게 영양이 있고 안전하며 경제적인 식품을 충분히 공급하는 동시에 자연자원을 보존하고 환경피해를 최소화하기 위한 새로운 방안과 기술을 개발하고 적용하는 것이다. 세계 식량 수요는 2050년까지 60%가 증가할 것으로 예측된다. 이는 세계 중산층 소비자들의 육류, 우유, 계란의 수요를 증가시킬 것이다 (Alexandrato와 Bruinsma, 2012). 다행히 10년 이내에 가축 생산이 증가하여 농업생산의 50%를 차지할 것으로 예상된다 (FAO, 2008). 하지만 이러한 수요를 충족시키기

위해서는 식품 생산에 종사하는 모든 사람이 식량 생산량과 효율을 높일 수 있는 새로운 기술을 개발하고 적용해야 할 것이다. 그동안 많은 구조적 변화와 새로운 동물영양과 생산의 혁신이 일어났고 이 혁신들이 세계적으로 가축 생산 시스템에 적용되었다. 새로운 “정밀동물영양” 혁신은 식량 안보, 식품안전, 환경 보존이라는 도전에 대응하여 가속적으로 진전되고 있다. “정밀동물영양”의 목적은 사료에 들어 있는 열량과 영양소들이 고품질 동물성 식품으로의 전환효율을 높이는 것이다.

전 세계의 사료 산업은 세계인구의 식량을 공급하는 데 중요한 역할을 하고 있으며, 세계 130개국에서 연간 10억 톤의 사료를 생산하고 있다 (ITIF, 2016). 동물 사료의 주원료는 옥수수, 수수, 밀, 보리와 같은 곡류인데 사람의 식품으로는 부적합하지만, 동물 사료에 귀중한 열량과 필수 영양소들을 공급해 주는 다양한 농산 및 식품 산업의 부산물들이 사료원료로 사용된다. 따라서 이러한 영양자원을 고품질 동물 식품을 생산하는 데 사용함으로써 사료 산업은 경제적 가치의 유출을 막고, 식량 안보를 고양하고, 환경피해를 최소화하며 영양소의 재활용에 결정적인 역할을 한다.

인류의 식량 공급과 관련하여 농업 분야에서 전개되고 있는 논쟁 중의 하나는 “식량 대 연료 논쟁”이다. 이 논쟁은 곡물과 유실 (oilseed) 일부를 사료나 식량으로 사용하는 대신 바이오연료를 생산하는 것이다. 현재 세계 곡물 생산량의 6%가 에탄올 생산에 사용되고 있으며 (Popp 등, 2016), 건식분쇄 에탄올 생산공장에서 사용되는 옥수수의 33%는 부산물로 회수되어 동물사료에 사용된다. 따라서 에탄올 생산

을 위한 옥수수의 사용량이 증가하고 있지만, 옥수수의 비전분 성 부분들은 옥수수의 약 3배의 농도로 농축된 사료원료로 재생되어 동물사료 제조 시 상당한 양의 옥수수와 대두박을 대체하는 데 사용된다.

세계의 바이오연료 산업에서 생산되는 52백만톤의 부산물은 동물사료로 이용되며 이중 약 85%가 에탄올 산업에서 생산된다 (Popp 등, 2016). 미국 에탄올 산업은 최대의 옥수수 가공부산물 생산분야로 연간 생산량이 약 38백만톤이다. 이 생산량은 미국의 대두박 생산량과 비슷하며 미국과 세계 30여 개국에서 사용되고 있다. DDGS는 지난 20년간 세계 각국에서 사용하고 있는 사료원료들 가운데 가장 연구가 많이 된 사료원료이다. 연구의 범위는 열량과 영양소 이용율의 향상과 DDGS의 적정사용을 위한 이점과 한계규명 뿐만 아니라 독특한 영양약리적 기능 (nutraceutical properties)과 환경에 미치는 영향으로 이에 대한 관심이 증가하고 있다.

DDGS는 열량, 단백질, 인의 함유량이 많기 때문에 사료원료로 사용하는 값비싼 전통 열량(옥수수), 단백질(대두박)과 인 (mono- 또는 dicalcium phosphate) 공급원을 일부 대체할 수 있다는 매력 있다. 제대로 설계된 사료 배합표에 DDGS를 사용하면 동물의 생산성, 건강, 그리고 생산품의 품질이 향상된다. 이러한 결과는 DDGS가 세계 동물사료 생산에서 가장 인기 있는 원료인 이유이다. 현재 미국 DDGS는 생산과 공급량이 많기 때문에 수출물량이 증가하고 있다. 수요가 증가하고 있는 주된 이유는 사용자들이 다른 원료에 비해 상당한 비용을 절감할 수 있기 때문이다. 미산 DDGS는 미국 내에서 수십 년 동안 가축 사료로 사용되어 왔지만, 아직도 세계의 많은 가축 영양전문가, 사료 회사, 가축 사육가들에게는 비교적 친숙하지 않은 원료이다. 새로운 원료가 세계시장에 나오면 겪게 되는 바와 같이 동물사료에 DDGS 사용의 영양적 이점, 한계점, 경제적 이점 등에 관한 많은 기술적 질문이 쏟아진다. 경험이 많은 사용자들도 저지방 DDGS (7~9% 조지방)와 전통적인 고지방 DDGS (10% 이상 조지방)의 열량 함량과 사양 가치에 대해 많은 질문을 한다. USGC의 DDGS사용자 핸드북 4차 개정판 '정밀 DDGS 영양'은 영양전문가, 원료구매자, 사료제조업자, 가축 사육가들에게 DDGS를 사용한 정밀 가축 사양프로그램의 개발과 관련된 최신 과학정보를 제공하기 위하여 제작되었다.

미국곡물협회는 DDGS에 관한 영양적 정보를 요약하여 제시하고 이를 현재와 미래의 잠재적 구매자들이 영양적 특성, 최대사용 권장 수준, 그리고 이점과 한계점을 이해하는 데 도움을 주고자 한



다. 다른 원료들과 마찬가지로 DDGS 사용자는 배합표를 작성하고 사양권장 프로그램을 개발할 때 자격이 있는 영양전문가의 도움과 자문을 받아야 한다. 미국곡물협회는 급여에 사용되는 특정원료의 영양성분에 대한 통제 권한이 없으며 미국곡물협회는 권장프로그램이 특정 동물이나 축 군에 적합한지에 대해 보증하지 않는다. 미국곡물협회는 DDGS의 사용 권장에 따라 유발될 수 있는 어떠한 문제점들에 대하여 협회나 임직원이 법적 책임을 지지 않는다. 따라서 이 책의 독자는 이러한 제한성을 인지하고 여기에서 제시된 정보들에 의해 유발될 수 있는 어떠한 법적 책임도 묻지 않을 것에 동의한다.

추가 정보가 필요한 경우 연락할 주소.

U.S. Grains Council

전화: 202-789-0789, E-mail: grains@grains.org, Web주소: www.grains.org.

참고문헌

Alexandratos, N., and J. Bruinsma. 2012. World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision. ESA Working Paper No. 12-03, June, Agriculture Development Economic Division, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). 2008. The Global Livestock Sector – A Growth Engine, Rome, Italy
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai554e/ai554c00.pdf>

International Feed Industry Federation. 2016. The Global Feed Industry. Wiehl, Germany <http://www.if.org/pages/t/The+global+feed+industry>

Popp, J., M. Harangi-Rakos, Z. Gabnai, P. Balogh, G. Antal, and A. Bai. 2016. Review: Biofuels and their co-products as livestock feed: Global economic and environmental implications. *Molecules* 21:285. Doi:10.3390/molecules21030285

CHAPTER 2

DDGS의 가격과 경제적 가치의 괴리

DDGS의 경제적 가치를 최대화하고 DDGS를 사용하여 정밀영양 사양 프로그램을 구현하기 위해서는 가치 결정 방법에 있어 사고의 전환이 요구된다. 사료원료의 경제적 가치 최대화를 위한 가장 큰 도전은 국제상품시장에서 구매가격 결정을 위해 적용하는 영양소 분석법과 사료에서 실제 경제적 가치를 측정하는 방법의 차이를 구체적으로 이해하는 것이다. 열량, 아미노산, 인은 동물 사료에서 가장 비싼 세 가지 성분이다. 현재



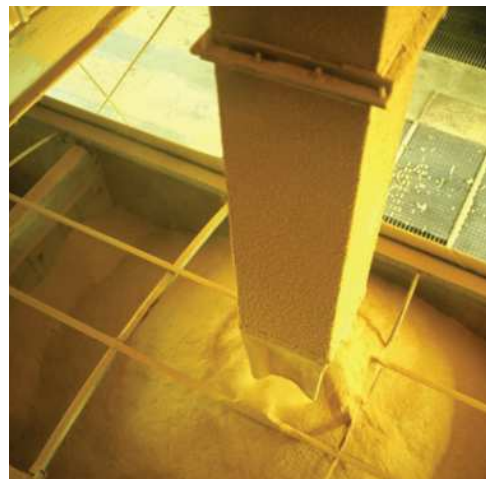
사료원료 시장에서는 구매가격이 단백질과 조지방 함량의 최소 보증치를 기준으로 한다. DDGS와 같은 일부 원료들은 구매가격이 단백질과 조지방의 합인 소위 “Profat”에 기준을 둔다. 사료원료에 대한 검사는 일상적으로 조단백질, 조지방, 조섬유, 수분, 회분 그리고 가용무질소물 (NFE)과 같은 조성분을 분석하는데 이 분석 방법은 1865년에 독일의 Weende Experiment Station에서 Henneberg와 Stohmann에 의해 처음 확립된 후 지금까지 사용되고 있다. 하지만 사료원료의 상이한 화학적 특성을 규명하는 이 분석 시스템은 오늘날 동물사료의 배합표 작성에는 매우 부적합하다. 왜냐하면 각기 다른 축종들에 이용되는 열량과 아미노산, 인 그리고 여타 필수영양소의 함량과 소화율에 대한 정보가 없기 때문이다. 실제로 옥수수과 DDGS의 조단백질 함량은 lysine 함량과 상관계수가 매우 낮다 (Cromwell et al., 1999). 더욱이 Fiene 등에 의하면 일부 아미노산들 (isoleucine, leucine, methionine, threonine, valine)은 방정식을 사용하여 단백질, 조지방, 조섬유 함량으로 비교적 정확하게 예측할 수 있으나 다른 아미노산들 (arginine, cystine, lysine, tryptophan)은 예측의 정확도가 매우 낮았다. 따라서 조성분 분석은 비교적 간단하고 비용이 저렴하나 동물영양학자들은 동물사료 배합비를 작성할 때 조단백질이나 조지방을 중시하지 않는데, 이는 원료의 가용열량과 가소화 아미노산을 제대로 알려주지 못하기 때문이다.

지난 수십 년 동안 사료원료의 영양적 가치를 정확하게 평가할 방법들이 많이 개발되었다. 오늘날 동물 사료 배합비 작성은 대사 에너지 (ME)나 정미 에너지 (NE) 그리고 가소화 단백질과 아미노산을 기본으로 사용한다.

또한 돼지나 가금사료를 배합할 때는 가소화 또는 생체가용 인 함량을 기준으로 한다. 최소가 또는 최적가 배합표 작성은 사료원료의 ME 또는 NE, 가소화 아미노산 그리고 가소화 또는 가용 인의 값을 사용하며 이들 값비싼 원료들의 사용 상한선 및 하한선을 부여한다. 그러므로 DDGS의 구매가격을 결정하는 분석 방법은 영양전문가가 사료의 배합비를 작성하고 경제적 가치를 평가하는 평가 방법과는 괴리가 있다. 이러한 평가 방법상의 괴리는 동물사료에 있어서 대부분의 경우에 DDGS의 진정한 가치를 저평가하게 된다. 결과적으로 DDGS는 동물 배합사료에 기여하는 경제적 실 가치에 비해 낮은 가격에 거래되는 경우가 많다.

표 1에서 보는 바와 같이 DDGS 제품의 영양가와 경제적 가치를 일반적인 구매 방법인 “Profat”으로 평가할 경우 DDGS 제품 A가 다섯 개의 DDGS 제품 중 가장 높은 경제적 가치가 있는 것으로 평가되는데 이는 조단백질과 조지방의 함량을 합친 값이 37.1%로 가장 높기 때문이다. 더욱이 대부분의 구매자는 DDGS 제품 B (31.4% Profat)와 제품 C (32.4% Profat)의 영양가가 낮다고 생각하고 구매가격을 할인하려고 할 것이다. 그러나 표 2에서 보다시피 육성돈 사료에서 제품 C의 경제적 가치 (\$279/톤)가 가장 높았고 다음으로 제품 A (\$266/톤) 그리고 제품 C (\$252/톤)였다. DDGS 제품 D와 E는 Profat함량이 두 번째 (35.54%)와 세 번째 (34.4%)로 높았지만 다섯 가지 제품들 중 실제 경제적 가치가 가장 낮았다. 이러한 결과들은 DDGS 구매 시 가격 결정에 Profat의 사용이 불합리하다는 것을 보여주는 실례이다. 요즘은 돼지와 가금 사료에 사용하는 DDGS의 ME와 아미노산의 표준회장가소화 (SID)값을 예측하는 공식이 개발되어 있다 (13장 및 16장 참조).

DDGS 제품 C는 다섯 개 제품 중 NE 함량이 두 번째로 높고 SID methionine, threonine 그리고 tryptophan 함량이 가장 높았기 때문에 이들의 중요한 영양적 가치를 합하여 경제적 가치가 가장 높았다. 더욱이 이번 경우의 경제성 비교에서 보면 최대와 최소의 차이가 \$60/톤이었다. 이 차이는 DDGS 구매자가 제품의 구매 시 경제적 가치를 평가하기 위하여 열량과 가소화 단백질 함량 예측방정식과 같은 최신기법을 사용하면 최선의 결과를 얻을 수 있다는 것을 보여준다. 이를 위하여 구매 시 구매하고자 하는 DDGS 제품의 실험실 분석치를 요구하고 이를 바탕으로 돼지와 가금류에서의 ME와 SID 함량을 예측할 수 있는 방정식을 영양전문가와 상의하고 경쟁원료의 시가를 사용하여 DDGS 제품의 잠정가격 (shadow price)을 산출한다.



이 비교에 있어 또 다른 중요한 점은 잠정가격 산출 당시의 DDGS의 시장가격은 \$182/톤이었다. 비교 시점에서 DDGS 제품들의 경제적 잠정가격은 구매시가에 비해 \$37에서 \$97/톤이 높았다. 이러한 결과는 국제 사료원료시장에서 DDGS가 가장 잠재적 가치가 높다는 것을 시사한다. 사실 돼지 사료에서 미산 DDGS의 시가와 경제적인 잠정가치와의 차이는 경쟁원료들의 시가에 따라 최대 \$100/톤의 괴리가 발생할 수 있다. 또한 양돈사료에서 DDGS 제품 간에도 경제적인 가치가 \$90까지 차이가 날 수 있다.

표 1. 다섯가지 시판 미산 옥수수 DDGS 제품의 화학조성분

	A	B	C	D	E
건물, %	89.2	89.0	88.9	92.8	88.7
조단백질, %	29.6	25.7	26.6	27.5	25.7
조지방, %	7.5	5.7	5.8	8.0	8.7
Profat, %	37.1	31.4	32.4	35.5	34.4
조섬유, %	6.9	6.7	6.7	7.2	7.1
조회분 %	4.5	5.2	4.3	4.9	4.8

Source: Dr. Rob Musser, Nutriquest, Mason City, IA.

표 2. 육성-비육돈 사료에서 다섯가지 시판 미산 옥수수 DDGS 제품의 열량, 표준회장가소화 (SID) 아미노산, 가용 인의 함량¹

	A	B	C	D	E
ME, kcal/kg	3,237	3,073	3,180	3,182	3,001
NE kcal/kg	2,302	2,190	2,278	2,256	2,141
SID Lysine, %	0.58	0.65	0.63	0.60	0.45
SID Methionine, %	0.48	0.49	0.58	0.46	0.42
SID Threonine, %	0.79	0.80	0.86	0.76	0.62
SID Tryptophan, %	0.16	0.16	0.17	0.16	0.14
가용 인, %	0.60	0.69	0.65	0.70	0.66
경제적 가치 ² , \$/톤	266	252	279	240	219

¹ ME, NE, and SID amino acid content were determined using prediction equations based on chemical composition and were developed specifically for DDGS.

² Economic value was determined using "shadow pricing" in least-cost formulation software using the following ingredient prices (DDGS = \$182/ton, Corn = \$138/ton, Soybean meal = \$343/ton)

Source: Dr. Rob Musser, Nutriquest, Mason City, IA.

반추 가축, 가금, 양어 사료에서도 유사한 DDGS의 경제적 차이가 발생하는데 젓소와 육우 사료에서 가장 차이가 크게 발생한다. 결과적으로, DDGS 제품 간에는 이처럼 현저한 경제적 가치차이가 존재하므로 동물사료에 DDGS를 사용하는 경우 사료 제조 비용을 줄이고 이윤 창출을 최대화할 기회가 생긴다는 점을 시사한다. 이러한 기회를 잘 포착하기 위해서는 DDGS 제품의 정확한 ME, NE, 가소화 단백질과 아미노산, 가소화 인 값을 사료배합비 작성에 반영하여야 한다.

결론

세계적으로 사료 시장에서는 사료원료의 가격을 결정하는데 조단백질과 조지방 값을 기준으로 계속 사용하고 있는데 이는 동물사료에 있어서 DDGS의 경제적 가치를 충분히 반영하지 못한다. 실제로 DDGS는 대부분 사료원료보다 열량, 아미노산, 인의 함량이 높아서 이의 경제적 가치를 정확하게 결정하는 것이 어려운 경우가 많은데 이는 DDGS의 가격이 옥수수과 대두박 시장의 가격경쟁 때문에 결정되기 때문이다. 따라서 DDGS는 축종, 사육단계, 사료 내 사용수준 그리고 시장 상황에 따라 통상 \$40에서 \$100/톤 저평가되어 있다. 새로 개발된 열량과 가소화 아미노산 예측방정식을 사용하여 더욱 정확한 자료를 산출하고 영양전문가나 배합비 작성자가 이를 사용하여 여러 배합표에서 DDGS의 잠재가치를 산출할 수 있다. 이러한 과정을 통하여 구매자는 부정확한 조단백질과 조지방에 의존하지 말고 DDGS의 가격과 경제적 가치의 괴리를 제거하여 DDGS 제품의 경제적인 가치를 최대한 이용하여 제품의 변이에 대처하고 열량공급의 과부족을 방지하여야 할 것이다.

참고문헌

Cromwell, G.L., C.C. Calvert, T.R. Cline, J.D. Crenshaw, T.D. Crenshaw, R.A. Easter, R.C. Ewan, C.R. Hamilton, G.M. Hill, A.J. Lewis, D.C. Mahan, E.R. Miller, J.L. Nelssen, J.E. Pettigrew, L.F. Tribble, T.L. Veum, and J.T. Yen. 1999. Variability among sources and laboratories in nutrient analyses of corn and soybean meal. J. Anim. Sci. 77:3262-3273.

Fiene, S.P., T.W. York, and C. Shasteen. 2006. Correlation of DDGS IDEA™ digestibility assay for poultry with cockerel true amino acid digestibility. In: Proc. 4th Mid-Atlantic Nutrition Conference, University of Maryland, College Park, MD. pp. 82-89.

CHAPTER 3

건식분쇄 방법에 따른 에탄올, 주정 옥수수유, 옥수수부산물의 생산

서론

미국은 바이오연료 제품(에탄올과 바이오디젤)에 있어서 세계선진국이다. 바이오연료는 높은 농업생산성과 연계산업의 발달 그리고 화석연료의 사용과 온실가스 발생을 저감시키고자 하는 정부 정책의 결정체이다. 미국에서 에탄올 생산량은 지난 10년 동안 계속 증가하고 있으며 2017년도 생산량은 1억 4천만 톤의 옥수수를 사용하여 590억 리터가 넘게 생산한 것으로 예측된다(그림 1. Renewable Fuels Association, 2017). 약 90%의 에탄올은 29개 주에서 214개의 건식분쇄 에탄올공장에서 생산된다(그림 2. RFA, 2017).

그 결과 2017년에는 약 36.5백만 톤의 주정 부산물(그림 3. RFA, 2017)과 1.5백만 톤의 주정 옥수수유가 생산되었다(그림 4. RFA, 2017). 오늘날 습식 에탄올생산공장은 10%에 불과하며 비교적 소량의 옥수수 가공부산물 즉 3.6백만 톤의 옥글루텐피드와 705천 톤의 옥수수글루텐을 생산한다(그림 5. RFA, 2017). 36.5백만 톤의 주정 부산물 중 약 11백만 톤이 수출되고(그림 6. RFA, 2017), 70%는 미국 내에서 육우, 젖소, 돼지와 가금사료로 사용된다(그림 7. RFA, 2017). 2004년부터 돼지와 가금사료에 DDGS의 사용량이 증가하고 있지만(그림 8. RFA, 2017) 미국 내의 액상 및 건조 옥수수 가공부산물의 45%는 육우가 소비하고 다음으로 젖소(31%), 돼지(15%) 그리고 가금(8%) 순이다.

2005년경부터 몇몇 에탄올생산공장에서 증류여액(thin stillage)에서 옥수수기름을 일부 추출하여 저지방 DDGS를 만들기 시작했다. 이 생산방법은 투자자본이 적고 운영경비가 비교적 저렴하므로 투자자본의 회수가 빠르고 옥수수유의 판매에 따른 추가적인 수입이 발생한다. 현재 주정 옥수수유의 51%가 주로 돼지와 가금사료에 사용되고 45%는 바이오디젤 생산에 사용되며 나머지 4%는 다른 산업적 용도로 사용된다(그림 9. RFA, 2017). 2017년 현재 바이오디젤 옥수수유의 수출은 별로 이루어지지 않고 있으나 우수하고 경제적인 열량 공급원이므로 수출시장에서 고열량 사료원료로 진지하게 고려하여야 할 것이다. 세계적으로 바이오디젤의 생산원료로 사용되는 사료 자원은 채종유, 대두유 그리고 야자유인데(IEA, 2015) 동물지방과 재생 식용유의 사용도 근래에 증가하는 추세이다(Licht, 2013). 대두유는 현재 미국 내 바이오디젤 생산에 있어 가장 저렴한 원료인데 앞으로 식용 소비에 사용되는 식용유와의 경쟁을 최소화하고 바이오디젤의 생산가를 낮추기 위해 정부가 보조금을 주고 개발하고 있는 대체원료 중 하나가 주정 옥수수유이다. 옥수수유의 트리아실글리세롤(triacylglycerol)은 디젤기관에서 석유를

일부 대체할 수 있다. 이를 위해 우선 에스테르 교환반응 (transesterification) 과정을 거쳐야 하는데 이는 지방산을 글리세롤에스테르 (glycerol esters)에서 아실에스테르 (acyl esters) (예: methyl, ethyl)로 전환하는 화학 공정이다. 이 전환 공정이 필요한 이유는 triacylglycerol은 점도가 높아 디젤엔진의 실린더 속에서 기화가 잘 안 되어 불완전 연소, 연료 침착, 엔진마모, 오작동의 문제가 발생하기 때문이다 (Ziejewski et al., 1986a,b; Goering et al., 1987).

이 장은 에탄올생산, 옥수수유 추출과 DDGS의 생산 원리를 설명함으로써 미국 에탄올 산업에서 생산되는 옥수수가공 부산물들의 영양적 특성과 사양 가치를 이해하는 데 도움을 주기 위한 것이다.

그림 1. 미국의 연료 에탄올 생산추이

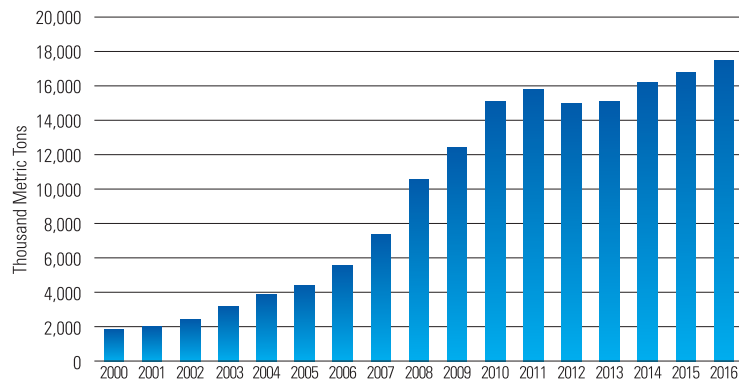


그림 2. 에탄올 생산기술형태

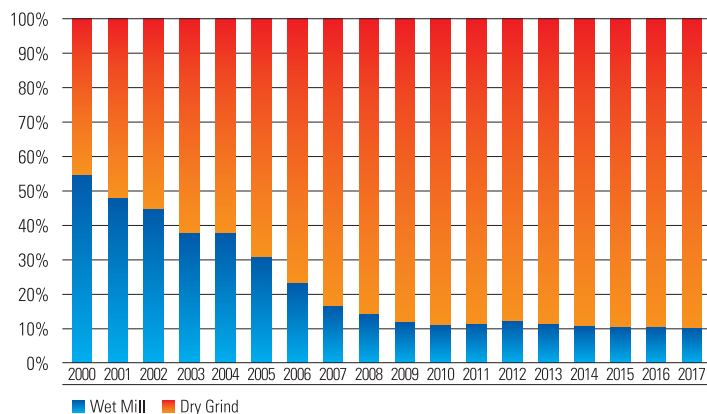


그림 3. 미국의 주정곡물제품 생산추이

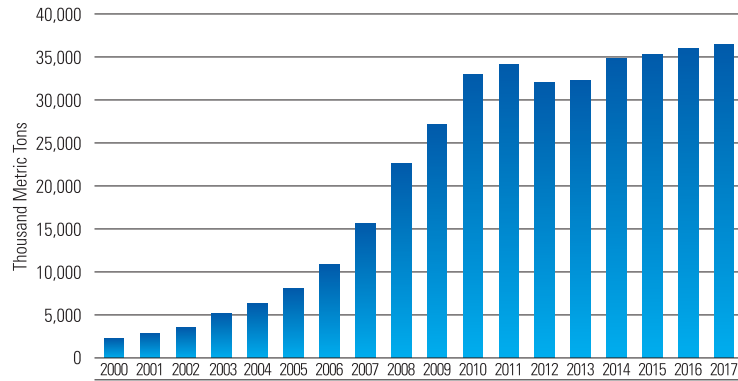


그림 4. 미국의 주정 옥수수유 생산추이

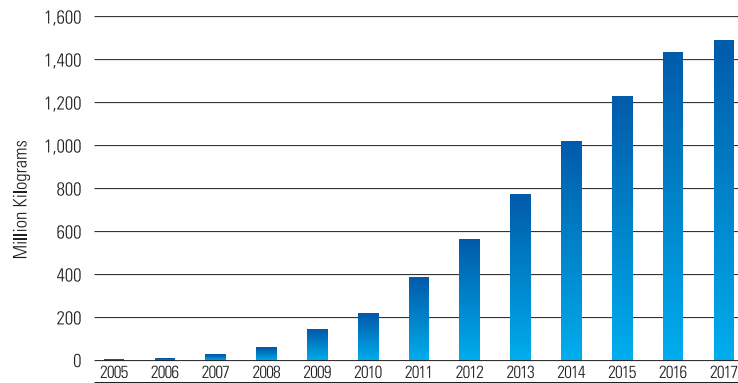


그림 5. 미국의 연료 에탄올생산 부산물 생산추이

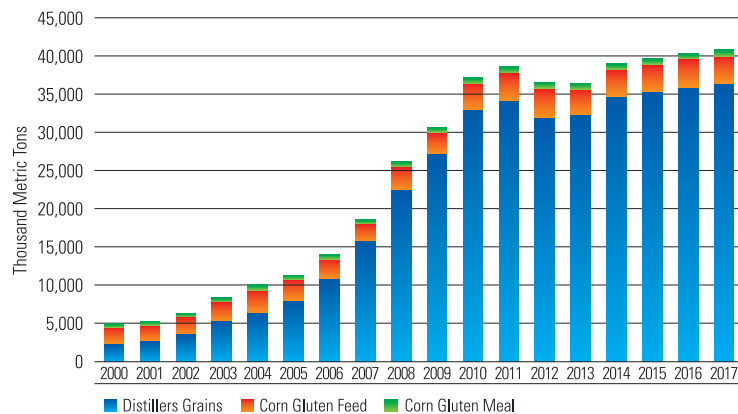


그림 6. 미국의 주정곡물제품 수출

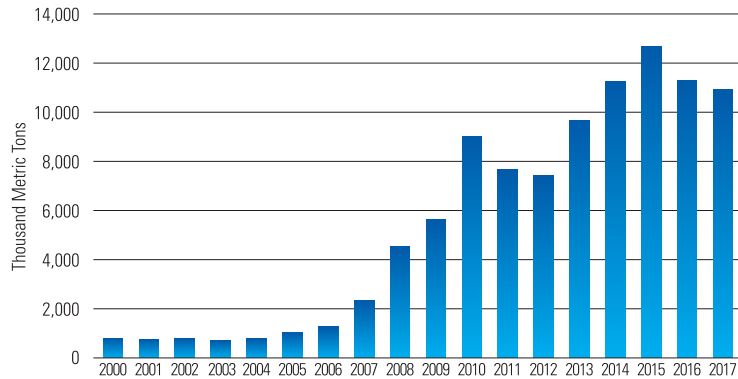


그림 7. 미국의 주정곡물제품의 수출과 국내소비

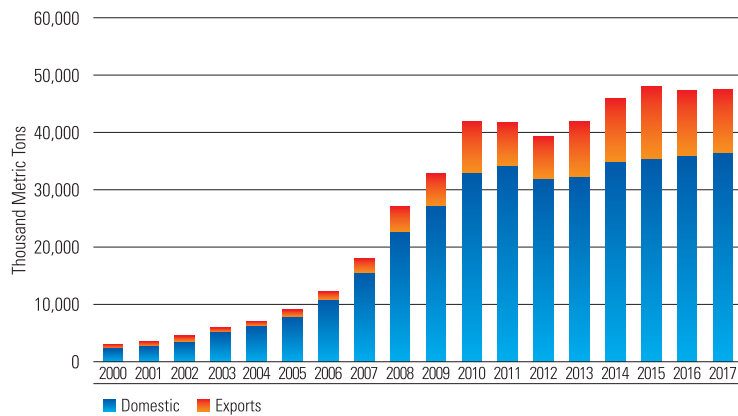


그림 8. 미국 주정곡물제품의 축종별 소비

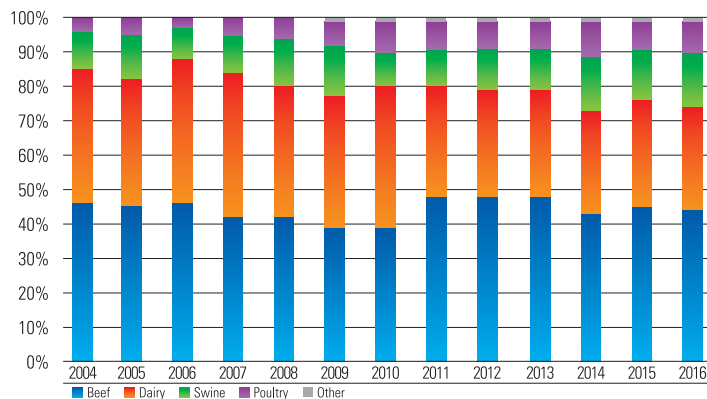
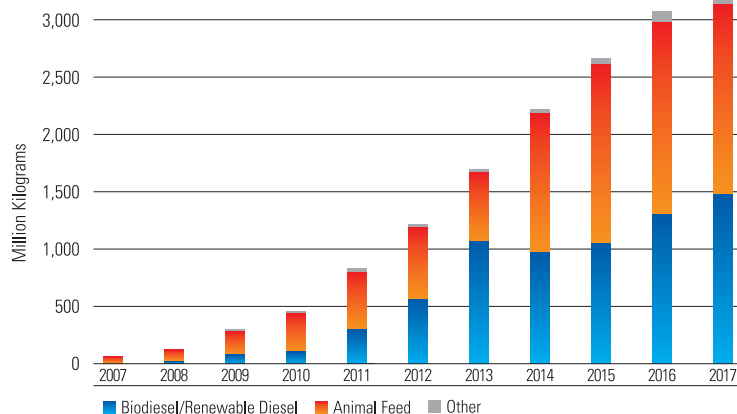


그림 9. 미국의 주정 옥수수유 사용



전분을 에탄올로 전환

미국에서는 옥수수가 에탄올생산을 위한 주된 전분 (포도당) 공급원이다. 사탕수수를 제외하면 옥수수가 다른 원료들보다 에탄올 발효 수율이 가장 높다 (표 1). 최근에는 옥수수 섬유와 다른 섬유질 원료들을 에탄올 생산을 위한 포도당으로 전환하는 기술들이 개발되었다. 포도당이 에탄올로 전환되는 에너지효율은 51.4%이고 나머지 48.6%가 탄산가스로 전환된다. 건물 상태 전분의 에탄올 생산효율은 56.7%이다. 에탄올 생산을 위해 사용되는 원료들의 조성분이 주정 부산물들의 영양성분을 결정한다.

표 1. 여러가지 원료들의 전분함량과 에탄올 수율 (Saskatchewan Agriculture and Food, 1993)

사료	수분 (%)	전분 (%)	에탄올 생산량 (L/MT)
전분	-	100.0	720
사탕수수	-	-	654
보리	9.7	67.1	399
옥수수	13.8	71.8	408
귀리	10.9	44.7	262
밀	10.9	63.8	375

건식분쇄 에탄올 생산

곡물 입자 크기 감소

그림 10에서 보는 바와 같이 건식분쇄 에탄올 생산기술의 최초단계는 해머 밀로 옥수수 입자 크기를 작게 만드는 것이다. 해머 밀은 고속으로 회전하는 해머 팁으로 옥수수 알갱이를 분쇄한다. 분쇄 옥수수의 입도는 회전자의 크기, 해머 팁의 속도, 해머의 수, 스크린의 구멍 크기에 의해 결정된다 (Dupin et al., 1997). 해머 밀의 스크린 구멍은 보통 3~5mm이다. 곡물의 입자도는 에탄올 수율에 영향을 주므로 (Kelsall 와 Lyons, 1999), 에탄올 생산자는 수율을 최대화하기 위해서는 분쇄도를 높인다. 표 2에서 보는 바와 같이 8mm 스크린 대신 5mm를 사용하면 0.2 겔런 (0.85 liter)의 에탄올을 추가로 생산할 수 있다.

그림 10. 에탄올과 부산물의 건식분쇄 생산공정

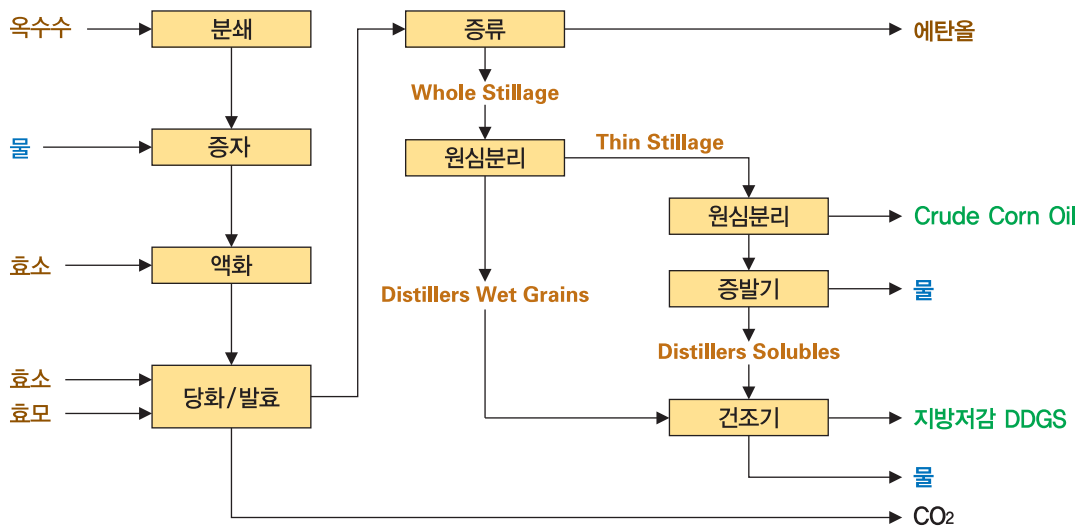


표 2. 옥수수 분쇄 입도에 따른 에탄올 생산수율의 차이 (Kelsall과 Lyons, 1999).

입도크기	에탄올 수율 (gallons/bushel)
옥수수 분쇄 입도, 5 mm 스크린	2.65
옥수수 분쇄 입도, 8 mm 스크린	2.45

증자 (cooking)와 당화

분쇄된 옥수수에 물과 재순환되는 증류여액을 더하게 되는데 이는 수용성 단백질과 당 그리고 전분과 결합하지 않은 지질을 걸러내기 위한 조절제로 작용한다 (Chen 등, 1999). 슬러리 혼합물은 증자 (cooking)시킨 후 탄수화물 분해효소를 첨가하여 전분이 포도당으로 가수분해 되도록 하고 연이어 주정효모 (*Saccharomyces cerevisiae*)가 포도당이 에탄올로 전환되도록 한다. 처리 과정 중 온도는 일반적으로 프리믹스 탱크 안은 40~60℃이며 증자온도는 90~165℃이고 액화 온도는 60℃이다 (Kelsall과 Lyons, 1999). 전분의 호화 (gelatinization)는 50~70℃에서 일어난다. 전분의 완전한 호화는 전분의 포도당 전환과정에서 매우 중요하다 (Lin과 Tanaka, 2003). 호화 과정 중에 전분 입자 속에 있는 거의 모든 아밀로오스가 용출되며 (Han과 Hamaker, 2001), 팽창된 입자와 용출된 아밀로오스로 형성된 겔 (gel)로 인하여 점도가 증가한다 (Hermansson과 Kidman, 1995).

전분 중합체의 완전한 가수분해를 위해서는 여러 가지 효소가 필요하다. 전분업계에서 가장 널리 사용되는 효소는 아밀라아제 (amylase)로 내열성 효소이다 (Sarikaya 등, 2000). 알파-아밀라아제 (alpha-amylases)나 글루코아밀라아제 (glucoamylase)가 여기에 속한다 (Poonam과 Dalel, 1995). 효소들은 전분이 호화된 후 가수분해가 즉시 일어날 수 있도록 내열성이어야 한다. 효소는 에탄올 생산비용의 10~20%를 차지한다 (Gregg 등, 1998).

에탄올 생산 공장들은 배치 (batch) 증자 시스템을 사용하거나 연속 증자시스템을 사용한다 (Kelsall과 Lyons, 1999). 배치 증자 시스템에서는 정확한 양의 옥수수가루와 정확한 양의 수분 및 재순환 물은 증류여액을 혼합한다. 반면에 연속 증자 시스템에서는 옥수수가루와 수분 및 재순환 물은 증류여액이 프리믹스 탱크에 연속적으로 투입된다. 프리믹스 탱크의 온도는 젤라틴화에 필요한 온도 이하에서 유지되며 혼합물은 제트증자기 (jet cooker)를 통하여 계속 분사된다. 증자기의 온도는 120℃로 설정되며 혼합물은 증자기를 거친 후 수직 탱크 상부로 들어간다. 수직 탱크 하부로 이동하는 데 약 20분이 소요되고 이후 액화를 위해 80~90℃의 플래시 챔버 (flash chamber)를 통과하게 된다. 이때 액화를 위해 내열성 아밀라아제를 곡류의 0.05~0.08% 무게비율로 첨가한다. 액화를 위해 플래시 챔버에 머무는 시간은 약 30분이고 제조과정의 pH는 6.0~6.5 범위에서 유지된다. 배치 시스템은 연속 시스템과 비교하여 효소 사용량이 적고 에너지효율이 높다. 배치 시스템의 주요 단점은 생산성 또는 시간당 원료 처리량이 적은 것이다.

발효

발효는 효모가 당을 알코올로 발효시키는 과정이다. 가장 흔하게 사용되는 주정 효모는 *Saccharomyces cerevisiae* (Pretorius, 2000) 인데, 이는 발효물 내 에탄올 농도를 18%까지 높일 수 있는 발효 능력을 갖추고 있기 때문이다. *Saccharomyces*는 또한 사람이 소비하는 식품 첨가물로 안전하다고 인정되는 안전식품 (GRAS)로 분류되어 있다 (Lin과 Tanaka, 2006). 대표적인 발효 공정에서는 약 95%의 당이 에탄올과 이산화탄소로 변환되며, 1%는 효모의 세포성분으로 그리고 4%는 글리세롤과 같은 다른 물질로 변환된다 (Boulton 등, 1996). 효모는 에탄올 생산에서 생산비의 약 10%를 차지한다 (Wingren 등, 2003).

예비발효는 발효를 위한 효모 세포의 수를 요구량만큼 증식시키는 과정이며 이 과정에서 ml당 300~500백만 개 효모 세포를 만들기 위해 10~12시간 동안 휘젓는다. 발효는 약 33℃ (Thomas 등, 1996), pH 4.0 (Neish와 Blackwood, 1951)에서 48~72시간 동안 (Ingledew, 1998) 진행된다. 에탄올과 더불어 이산화탄소가 생산되는데 이는 포집되거나 대기 중으로 방출된다.

정상적인 효모증식 조절은 효율적인 에탄올 제조과정의 핵심 요인이다. 효모의 활성은 온도와 발효 시스템에 따라 크게 좌우된다. Torija 등 (2003)에 의하면 효모의 증식과 발효를 위한 최적 온도는 각각 28℃와 32℃이다. 높은 온도 (35℃ 이상)에서 *S. cerevisiae*의 발효효율은 낮기 (Banat 등, 1998) 때문에 발효 시스템에 냉각 장치가 필요하다.

에탄올공장의 발효조 관리에 있어서 가장 중요한 과제는 다른 미생물로부터의 오염을 예방하는 것이다. 미생물의 오염은 에탄올 생산량과 에탄올공장의 생산성을 저하시킨다 (Barbour와 Priest, 1988). 가장 흔한 미생물 오염원은 *lactobacilli*와 야생효모이다. 이러한 미생물들은 *S. cerevisiae*와 영양소 (미량 광물질, 비타민, 포도당, 유리 아미노 질소) 섭취경쟁을 벌이며 이들이 생산하는 초산이나 젖산과 같은 최종생산물들은 발효를 억제한다. *Dekkera/Brettanomyces* 야생 효모는 알코올 연료 생산에서 걱정거리가 되고 있다 (Abbott과 Ingledew, 2005). 연료용 에탄올 생산공장에서는 젖산 박테리아의 오염을 줄이기 위해 항생물질을 사용하고 있다 (Narendranath와 Power, 2005).

에탄올의 종류

발효 후 에탄올은 수직의 증류기에 수집된다. 발효조로부터 수집된 에탄올은 물이 섞여 있어 분자 여과체 (molecular sieve) 시스템을 통해 수분이 제거된 후 순수 에탄올이 생산된다.

옥수수유 추출

미국에서 90% 이상의 에탄올 생산공장에서는 DDGS 생산에서 미리 오일을 추출하기 위하여 다양한 추출 방법을 사용하고 있다. 현재 옥수수유를 추출하지 않고 있는 공장에서는 추가적인 옥수수유를 추출하기 위해 개발되는 신기술을 도입할 전망이고 현재 옥수수유를 추출하고 있는 공장도 추가적인 추출을 위해 새로운 기술을 도입할 전망이다. 정제 전의 옥수수유는 DDGS 생산 과정 중에 생기는 묽은 증류여액 (thin stillage)으로부터 지방을 추출하여 제조한다 (CEPA, 2011). 묽은 증류여액은 발효, 증류 후 건조 과정 전에 생긴다. 기존의 에탄올생산공장에서는 공장의 열효율을 높이고 옥수수 톤당 연료 생산성을 높이기 위해 옥수수유 추출장치를 추가하여야 한다. 기존 에탄올 생산공장에 옥수수유 추출장치를 설치하면 에탄올 생산량에 지장이 없이 바이오디젤연료 생산을 촉진한다.

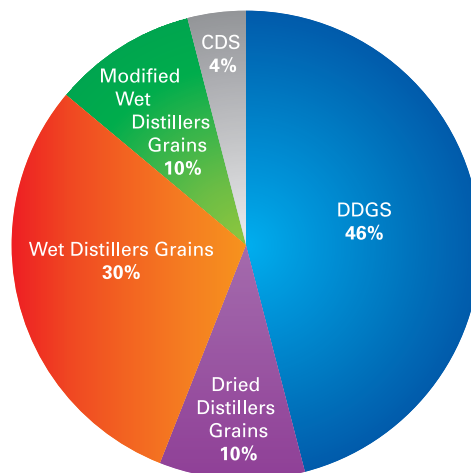
에탄올 생산공장에서는 여러 가지의 옥수수유 추출기술을 이용할 수 있다. 상업적으로 여러 가지 등록 기술의 공정이 에탄올 증류 후에 증류여액으로부터 옥수수유 추출에 사용된다. 대부분은 전 증류여액의 원심분리 과정을 거쳐 생기는 증류여액으로부터 옥수수유를 추출한다 (CEPA, 2011). 증류여액은 옥수수 지방의 약 30%를 함유하고 있으며 부분적으로 농축된 묽은 증류여액은 가열 처리한 다음 2차 원심분리를 통하여 옥수수유를 추출한다. 열교환 장치는 증기를 사용하여 증류여액의 온도를 올려줌으로써 추출을 촉진한다. 기름이 추출된 후 증류여액의 열에너지는 열교환 장치에 회수되어 투입되는 증류여액을 가열하는 데 사용된다. 일반적으로 이 과정은 여러 가지의 경사 분리기 (decanter)를 사용하여 원심분리하고 그리고 가열하여 이 부산물 내 지방의 30에서 70%를 물리적으로 분리한다. 이러한 방법으로 생산되는 모든 주정 옥수수유는 식용으로는 적합하지 않다. 습식 가공공정에서는 옥수수 배아유를 생산할 때 용매 (hexane) 추출법을 사용하여 식용에 적합한 고품질의 옥수수유를 생산한다 (Moreau, 2005). Hexane 추출법은 매우 효율적이라 DDGS의 옥수수 지방의 90%를 추출한다. 그러나 hexane 장비 설치를 위한 투자 비용이 높아 에탄올 산업에서는 제한적으로 채택되고 있다. 현재는 DDGS로부터 옥수수유를 분리하는데 한 곳 (Novita, Brookings, SD)이 hexane 추출 방법을 사용하고 있다. 이 시설에서는 사료용 옥수수유와 저지방 (3.5% 조지방) DDGS를 생산하고 있다.

옥수수유를 추출하지 않으면 에탄올 3.8 liter 당 2.4 kg의 DDGS가 생산된다 (CEPA, 2011). 그러나 옥수수유를 추출하면 DDGS 수율은 에탄올 리터당 0.06kg, 즉 9.4% 줄어든다. 옥수수유의 추출은 DDGS의 영양성분에 영향을 주게 되는데 특히 조지방함량의 저하로 인하여 열량과 단백질 함량에 영향을 준다. 저지방 DDGS의 급여가 각종 동물에게 미치는 영향에 관해서는 11, 12, 13, 15, 16장을 참고하기 바란다.

건식 공정의 부산물 생산

에탄올의 증류 후에 남게 되는 물과 고형물의 혼합물이 whole stillage인데 주로 물과 섬유소, 단백질 그리고 지방으로 구성되어있다. 이 whole stillage를 원심분리하면 거친 고형물 (coarse solid)과 묽은 증류여액 (thin stillage)으로 분리된다. Thin stillage는 옥수수유를 추출하기 위해 추가적인 원심분리 과정을 거친다. 그 후 수분을 추가로 제거하기 위하여 증발 장치를 거친 후 건물 약 30%의 condensed distillers soluble (CDS, syrup)이 만들어진다. CDS는 인근의 축우농장에 판매하거나 고형물과 혼합한 후 건조해 dried distillers grain with soluble (DDGS)를 만든다. Wet cake로 불리는 고형물은 건물 함량이 35%인데 건조하지 않고 축우농장에 판매할 수도 있고 건조해서 dried distillers grain (DDG)를 생산하거나 CDS와 혼합하여 건물 약 88%의 DDGS를 생산한다. 그림 11은 건식분쇄 에탄올공장에서 생산되는 부산물 생산 비율을 보여준다.

그림 11. 건식분쇄 에탄올공장에서 생산되는 부산물 생산비율 (RFA, 2017)



참고문헌

Abbott, D.A., and W.M. Ingledew. 2005. The importance of aeration strategy in fuel alcohol fermentations contaminated with Dekkera/Brettanomyces yeasts. Appl. Biochem. Biotechnol. 69:16-21.

Banat, I.M., P. Nigam, D. Singh, R. Merchant, and A.P. McHale. 1998. Ethanol production at elevated temperatures and alcohol concentrations: A review; Part-I Yeast In General. World J. Microbiol. Biotechnol. 14:809-821.

Barbour, E.A., and F.G. Priest. 1988. Some effects of

Lactobacillus contamination in scotch whisky fermentations. J. Inst. Brew. 94:89-92.

Boulton, B., V.L. Singleton, L.F. Bisson, and R.E. Kunkee. 1996. Yeast and biochemistry of ethanol fermentation. In: Principles and Practices of Winemaking, Boulton B, Singleton V.L., Bisson L.F., Kunkee R.E. (eds). Chapman and Hall. New York, pp. 139-172.

California Environmental Protection Agency. 2012. California- Modified GREET Pathway for the Production of

Biodiesel from Corn Oil at Dry Mill Ethanol Plants. Stationary Source Division, Release Date: November 3, 2011, Version 2.0. 40 pp.

Chen, J.J., S. Lu, and C.Y. Lii. 1999. Effect of milling on physicochemical characteristics of waxy rice in Taiwan. *Cereal Chemistry* 76:796-799.

Dupin, I.V.S., B.M. McKinnon, C. Ryan, M. Boulay, A.J. Markides, P.J. Graham, P. Fang, I. Boloni, E. Haque, and C.K. Spillman. 1997. Comparison of energy efficiency between roller mill and a hammer mill. *Appl. Engineering in Agric.* 13:631-635.

Goering, C.E., M.D. Schrock, K.R. Kaufman, M.A. Hanna, F.D. Harris, and S.J. Marley. 1987. Evaluation of vegetable oil fuels in engines. *Proc. Int'l. Winter Meeting of ASAE*, Paper No. 87-1586. St. Joseph, MO.

Gregg, D.J., A. Boussaid, and J.N. Saddler. 1998. Techno-economic evaluations of a generic wood-to-ethanol process: effect of increased cellulose yields and enzyme recycle. *Bioresour. Technol.* 63:7-12.

Han, X.Z., and B.R. Hamaker. 2001. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. *J. Cereal Sci.* 34:279-284.

Hermansson, A.M., and S. Kidry matteran. 1995. Starch - A phase-separated biopolymer system. In: S.E. Harding, S.E. Hill and J.R. Mitchell, Editors, *Biopolymer Mixtures*, Nottingham University Press, UK. pp. 225-245.

International Energy Agency (IEA). 2015. *World Energy Outlook 2015*. Paris, 200 pp.

Ingledew, W.M. 1998. Alcohol production by *Saccharomyces cerevisiae*: A yeast primer. Chapter 5 In: *The alcohol textbook*. 3rd ed. K.A. Jacques, T.P. Lyons and D.R. Kelsall Ed. Nottingham University Press. Nottingham, UK.

Kelsall, D.R., and T.P. Lyons. 1999. Grain dry milling and cooking for alcohol production: designing for 23 percent ethanol and maximum yield. Chapter 2. In: *The alcohol textbook*. 3rd ed. K.A. Jacques, T.P. Lyons and D.R. Kelsall Ed. Nottingham University Press. Nottingham, UK.

Licht, F.O. 2013. *World Ethanol and Biofuels Report*, London, Agra Inf.

Lin, Y., and S. Tanaka. 2006. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 69: 627-642.

Moreau, R.A. 2005. Corn oil in edible oil and fat products. In: *Baileys Industrial Oil and Fat Products*, Vol. 2: *Edible Oil and Fat Products: Edible Oils*, ed. F. Shahidi, pp. 149-172. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Narendranath, N.V., and R. Power. 2005. Relationship between pH and medium dissolved solids in terms of growth and metabolism of *Lactobacilli* and *Saccharomyces cerevisiae* during ethanol production. *Appl. Environ. Microbiol.* 71: 2239-2243.

Neish, A.C., and A.C. Blackwood. 1951. Dissimilation of glucose by yeast at poised hydrogen ion concentrations. *Can. J. Technol.* 29:123-129.

Poonam, N. and S. Dalel. 1995. Enzyme and microbial systems involved in starch processing. *Enzyme Microb. Technol.* 17:770-778.

Pretorius, I.S. 2000. Tailoring wine yeast for the new millennium: Novel approaches to the ancient art of winemaking. *Yeast* 16:675-729.

Renewable Fuels Association. 2017. *Annual Industry Outlook*. <http://www.ethanolrfa.org/pages/annual-industry-outlook>

Sarikaya, E., T. Higassa, M. Adachi, and B. Mikami. 2000. Comparison of degradation abilities of α - and β -amylases on raw starch granules. *Proc. Biochem.* 35:711-715.

Saskatchewan Agriculture and Food. 1993. *Establishing an Ethanol Business*.

Thomas, K.C., S.H. Hynes, and W.M. Ingledew. 1996. Practical and theoretical considerations in the production of high concentrations of alcohol by fermentation. *Proc. Biochem.* 31:321-331.

Torija, M.J., N. Rozès, M. Poblet, J.M. Guillamón, and A. Mas. 2003. Effects of fermentation temperature on the strain population of *Saccharomyces cerevisiae*. *International J. Food Microbiol.* 80: 47-53.

Wingren, A.M., Galbe, and G. Zacchi. 2003. Techno-Economic Evaluation of Producing Ethanol from Softwood: Comparison of SSF and SHF and Identification of Bottlenecks. *Biotechnol. Prog.* 19:1109-1117.

Ziejewski, M., H. Goettler, and G.L. Pratt. 1986a. Comparative analysis of the long-term performance of a diesel engine on vegetable oil-based alterantive fuels. *SAE Technical Paper Series*, No. 860301. Warrendale, PA.

Ziejewski, M., H. Goettler, and G.L. Pratt. 1986b. Influence of vegetable oil based alternative fuels on residue deposits and components wear in a diesel engine. *SAE Technical Paper Series*, No. 860302. Warrendale, PA.

CHAPTER 4

주정 옥수수유의 화학적 조성 및 돼지와 가금에서의 열량가

서론

주정 옥수수유 (DCO)는 ME 함량이 높고 다른 사료용 지방이나 기름보다 상대적으로 가격이 저렴하므로 돼지와 가금류에 고품질의 영양원으로 사용된다. DCO의 시기는 미국유지시장의 yellow grease와 밀접하게 연관되어 있지만 DCO는 yellow grease보다 ME 함량이 월등히 높으며 대두유의 ME 함량과 비등하다. 미국의 일부 돼지와 가금산업에서는 식물성 위주 사료 (식물유 포함)로 사육하여 특수 소비층 고객의 요구를 충족시키는 시장전략을 시도하고 있다. 특히 2013년에 미국에서 돼지 유행성설사 (PED)가 창궐하여 많은 수의사와 영양전문가들이 동물성 (특히 돼지) 사료원료 (choice white grease, 육분, 혈장 등)를 쓰지 않고 식물성 원료 (옥수수, 대두박, DDGS, DCO 등)를 사용함으로써 이 바이러스나 다른 병원균으로 오염된 사료원료의 혼입으로 인한 질병의 확산 위험을 감소시키고자 하였다. 그러나 DCO는 자돈이나 육성 초기사료에만 사용하는데 사료에 DCO를 많이 쓰면 돼지 지방의 경도가 감소하기 때문이다. 도체 지방경도가 감소하면 돼지고기 복부를 베이컨으로 가공할 때 수율이 감소하며 일본 수출시장에서 돈육품질에 대한 선호도가 감소한다. 하지만 안전식품 (GRAS)으로 인정되는 사료첨가제 (Lipinate™, Nutriquest, Mason City, IA)를 사용하면 미국에서 DDGS나 DCO를 많이 사용하여도 돈육지방경도 감소를 효과적으로 방지할 수 있다.

DCO의 생산량이 증가하고 높은 ME 함량과 가격경쟁력으로 인해 DCO의 동물사료 사용에 대한 공식적 정의가 Association of American Feed Control Officials (2017)에 의해 내려지고 승인되었다.

“ 33.10 사료용 Distillers Oil은 곡물이나 혼합 곡물을 효모로 발효시킨 다음 증류에 의하여 에틸 알콜을 제거한 후 에탄올 산업에서 사용하는 기계적 또는 용매추출법에 따라 생산된다. 이것은 주로 지방산의 glyceride esters 로 되어 있으며 유리지방산이나 지방으로부터 온 다른 물질이 첨가되어서는 안된다. 이것은 총지방산 함량 85% 이상, 불검화물 2.5% 이하, 불용성 이물질 1% 이하를 함유해야 하며 최대 유리지방산과 수분의 함량이 보증되어야 한다. 만약 항산화제가 첨가되었다면 “보존제로 사용됨”이라는 문구와 함께 통상 사용되는 이름과 같이 표시되어야 한다. 만약 제품의 이름이 원료의 이름 즉, “옥수수, 수수, 보리, 호밀”을 언급한다면 이에 상응하도록 주된 곡류의 이름을 제일 앞에 붙여야 한다. ” (Proposed 2015, Adopted 2016 rev. 1)

2016년에 공식적으로 채택된 이 정의는 필수보증분석을 명시하고 있다. 이는 용매추출 옥수수유와 대부분의 에탄올생산공장에서 사용하는 원심분리방법에 따라 생산되는 옥수수유에 모두 적용된다. 비록 현재는 저지방 DDGS의 생산량이 미미하지만 AAFCO에서는 이 새로운 제품에 대하여 아래와 같이 잠정적 정의를 마련하고 있다.

“T27.9 _용매추출된 Deoiled Corn Distillers Dried Grains with Solubles은 옥수수 DDGS로 부터 용매로 기름을 추출한 후 생산되는 지방함량이 3% 이하 (급여상태 기준)인 제품을 말한다. 이것은 단백질 공급을 위한 것이다. 성분보증표에는 최소 조단백질함량과 최대 유허함량이 표시되어야 한다. 배합사료의 원료표시란에는 “용매추출”이란 단어를 사용하지 않아도 된다.” (Proposed 2015)

주정 옥수수유 (DCO)의 화학적 조성

정제된 옥수수유와 비교한 DCO의 특징은 DCO의 유리지방산 함량이 2%에서 18%까지 높다는 것이다 (표 1). 과거의 시험에서 여러 가지 사료 지방을 평가한 결과 돼지와 가금의 ME는 유리지방산의 함량이 높아질수록 낮아졌다. 그래서 DE (돼지)와 AMEn (가금)의 예측방정식이 개발되었다 (Wiseman 등, 1998). 옥수수유가 다른 유지에 비해 특이한 점은 oleic (9c-18:1; 총지방의 28~30%)과 linoleic (18:2n-6; 총지방의 53~55 %)과 같은 불포화지방산과 그 중 다중불포화지방산 (PUFA)의 함량이 높다는 것이다. 식물성 지방은 동물성 지방보다 PUFA의 함량이 높으므로 ME 함량이 높다 (Kerr et al., 2015). 따라서 DCO는 사료용 지방들 중에 ME 함량이 가장 높은 편이지만 과산화에 취약하다 (Kerr et al., 2015; Shurson et al., 2015; Hanson et al., 2015). 과산화된 지방을 돼지나 육계에 급여할 경우 성장률, 사료섭취량 그리고 사료 효율이 저하되었으며 (Hung et al., 2017), 과산화가 많이 된 옥수수유를 급여 시 자돈의 에너지 이용율과 항산화 상태가 저하되었다 (Hanson et al., 2016). 그렇지만 DCO에 항산화제를 첨가하면 저장기간 동안 고온과 습한 환경에서도 과산화를 방지하는데 효과적이다 (Hanson et al., 2015). DCO의 과산화 정도 (과산화가, nrisidine값, hexanal)는 정제 옥수수유에 비해 다소 높으나 Hanson 등 (2016)이 성장률 저하가 관찰된 자돈 시험 때 사용한 과산화옥수수유 보다는 훨씬 낮다.

표 1. 정제 옥수수유와 DCO의 화학조성과 과산화도 측정 (Kerr 등, 2016)

측정항목	정제 옥수수유	DCO (4.9 % FFA)	DCO (12.8 % FFA)	DCO (13.9 % FFA)
수분, %	0.02	1.40	2.19	1.19
불용성 물질, %	0.78	0.40	1.08	0.97
불검화물, %	0.73	0.11	0.67	0.09
조지방 %	99.68	99.62	98.96	99.63
유리지방산, %	0.04	4.9	12.8	13.9

표 1. 정제 옥수수유와 DCO의 화학조성과 과산화도 측정 (Kerr 등, 2016)

지방산, 총지방 중 %	정제 옥수수유	DCO (4.9 % FFA) ¹	DCO (12.8 % FFA)	DCO (13.9 % FFA)
Palmitic (16:0)	11.39	13.20	11.87	13.20
Palmitoleic (9c-16:1)	0.10	0.11	0.11	0.11
Margaric (17:0)	0.07	0.07	0.07	0.07
Stearic (18:0)	1.83	1.97	1.95	1.97
Oleic (9c-18:1)	29.90	28.26	28.92	28.26
Linoleic (18:2n-6)	54.57	53.11	54.91	53.11
Linolenic (18:3n-3)	0.97	1.32	1.23	1.32
Nonadecanoic (19:0)	ND ²	0.65	0.65	0.65
Arachidic (20:0)	0.40	0.39	0.39	0.39
Gonodic (20:1n-9)	0.25	0.24	0.24	0.24
Behenoic (22:0)	0.13	0.13	0.12	0.13
Lignoceric (24:0)	0.17	0.19	0.18	0.19
다른 지방산	0.21	0.41	ND	0.41
과산화도 측정				
Peroxide value, MEq/kg	1.9	2.9	3.3	2.0
Anisidine value ³	17.6	80.9	70.3	73.3
Hexanal, µg/g	2.3	4.4	3.9	4.9

¹ FFA = free fatty acids

² ND = not detected

³ There are no units for anisidine value

표 2에서는 두 개의 DCO 제품과 다른 일반 사료 지방들 (choice white grease, 야자유, 대두유)의 화학적 조성과 과산화 지수들을 비교하였다. 돼지 지방으로 만든 choice white grease는 주로 oleic 산 (9c-18:1), palmitic 산 (16:0) 그리고 stearic 산 (18:0)으로 구성되어 있으므로 DCO와 비교하여 포화지방산 공급원으로 간주된다. 일반적으로 포화 동물성 지방은 불포화 식물유와 비교하면 ME 값이 낮다. Choice white grease는 포화지방산 함량이 높으므로 DCO에 비해 과산화가 덜 일어난다. 하지만 지방 정제과정 동안 장시간의 가열처리로 DCO와 비슷한 수준의 과산화물이 생성될 수 있다 (표 2). 야자유 지방산의 주성분은 palmitic산 (16:1)과 oleic산 (9c-18:1)이고 linoleic산의 함량은 9.8%로 DCO의 linoleic 함량 56%보다 훨씬 낮다. 결과적으로 야자유는 유지안정지수 (oil stability index; OSI)에서 보는 바와 같이 DCO, choice white grease 그리고 대두유와 비교하면 과산화에 저항하는 능력이 훨씬 높다 (표 2). 반면에 대두유의 지방산 조성은 DCO와 유사하고 높은 수준의 linoleic산 (53%)과 보통수준의

oleic산 (23%)과 palmitic산 (11%)을 함유하고 있다. 하지만 DCO와는 달리 대두유는 linolenic 산 (18:3n-3) 함량이 높는데 이는 linolenic 산이 화학구조상의 linoleic산 보다 이중 결합이 많아 이론적으로 과산화에 약하다. 놀랍게도, 표 2에서 보여주는 대두유는 DCO, choice white grease, 야자유보다 anisidine 값과 2,4 decadienal 값으로 측정한 과산화 반응 산물 aldehyde 값이 낮았다. DCO가 choice white grease, 야자유 그리고 대두유와 비교하여 또 다른 두 가지 화학성분인 total tocopherol (626~730 mg/kg)과 xanthophylls (92~175 mg/kg)의 함량이 높다는 것이다 (표 2). 대두유 만이 DCO 보다 total tocopherol 함량이 높았지만 대두유에는 xanthophylls이 없었다. Tocopherols와 carotenoids (xanthophylls)는 강력한 항산화제인데 부산물 생산공정에서 발생하는 가열환경하에서 과 산화를 방지하는 데 도움을 줄 것이다. 더욱이 DDGS에 남아있는 DCO내의 항산화 물질들이 자돈들에게 과산화된 DDGS를 급여 시 겪게 될 스트레스를 최소화하는 데 도움을 주는 것으로 생각한다 (Song 등, 2013). DCO의 xanthophylls 함량이 높은 것은 육계와 산란계에서는 추가적인 이점으로 계육상피 와 난황의 착색을 위해 인공착색제의 일부를 대체할 수 있다.

표 2. Distillers corn oil (DCO), choice white grease (CWG), 야자유 (palm oil; PO)와 대두유 (SO)의 화학적 조성과 과산화도 측정 (Lindblom 등, 2017)

측정항목	DCO (4.5 % FFA)	DCO (10 % FFA) ¹	CWG	PO	SO
수분, %	0.68	0.54	0.24	0.02	0.02
불용성물질, %	0.18	0.04	0.22	0.02	0.02
불검화물, %	1.53	1.86	0.63	0.21	0.33
조지방, %	98.7	98.2	98.3	98.6	98.5
유리지방산, %	4.5	10.0	13.4	0.07	0.04
지방산, 총 지방의 %					
Capric (10:0)	ND ²	ND	0.07	ND	ND
Lauric (12:0)	ND	ND	ND	0.22	ND
Myristic (14:0)	ND	ND	1.28	0.99	ND
Pentadecanoic (15:0)	ND	ND	ND	0.04	ND
Palmitic (16:0)	12.86	12.88	23.25	43.41	10.74
Palmitoleic (9c-16:1)	0.10	0.10	2.44	0.15	0.08
Margaric (17:0)	ND	ND	0.33	0.10	0.09
Stearic (18:0)	1.76	1.73	12.54	4.38	4.20
Oleic (9c-18:1)	26.95	26.56	41.38	39.90	23.08
Linoleic (18:2n-6)	55.88	56.50	16.52	9.85	53.19

표 2. Distillers corn oil (DCO), choice white grease (CWG), 야자유 (palm oil; PO)와 대두유 (SO)의 화학적 조성과 과산화도 측정 (Lindblom 등, 2017)

지방산, 총지방의 %	DCO (4.5 % FFA)	DCO (10 % FFA) ¹	CWG	PO	SO
Linolenic (18:3n-3)	1.26	1.26	0.55	0.22	7.28
Nonadecanoic (19:0)	0.10	ND	ND	ND	0.31
Arachidic (20:0)	0.39	0.38	0.19	0.37	0.33
Gadoleic (20:1)	0.28	0.25	0.80	0.14	0.20
Eicosadienoic (20:2)	ND	ND	0.74	ND	ND
Homo-γ linoleic (20:3)	ND	ND	0.11	ND	ND
Arachidonic (20:4)	ND	ND	0.30	ND	ND
Behenoic (22:0)	0.12	0.14	ND	0.07	0.35
Docosatrinoic (22:3)	ND	ND	0.14	ND	ND
Docosatetraenoic (22:4)	0.12	ND	ND	ND	ND
Docosapentaenoic (22:5)	0.18	0.19	ND	ND	ND
Other fatty acids	ND	ND	ND	0.15	0.16
Free glycerin %	0.85	0.53	0.58	0.74	0.31
Total tocopherols, mg/kg	730	626	253	67	1,083
Alpha	51	62	50	67	77
Beta	15	15	< 10	< 10	< 10
Delta	29	15	< 10	< 10	< 10
Gamma	635	534	203	< 10	817
Xanthophylls, mg/kg	92	175	< 1	< 1	< 1
과산화도 측정					
Peroxide value, MEq/kg	1.4	0.4	0.4	1.2	1.6
Anisidine value ³	30.76	21.47	23.26	11.22	5.87
2,4-decadienal, mg/kg	26.4	ND	17.6	ND	6.2
Hexanal, μg/g	ND	ND	14.7	ND	ND
OSI ⁴ at 110°C, h	5.15	10.75	4.15	30.05	6.35
Oxidized fatty acids %	1.6	0.9	2.2	1.2	1.4
Polar compounds %	9.38	9.55	20.53	7.40	3.46
TBA ^{3,5} value	0.04	0.03	0.03	0.01	0.06

¹ FFA = free fatty acids, 유리지방산

³ Anisidine value와 TBA value는 단위가 없음.

⁴ OSI = oil stability index

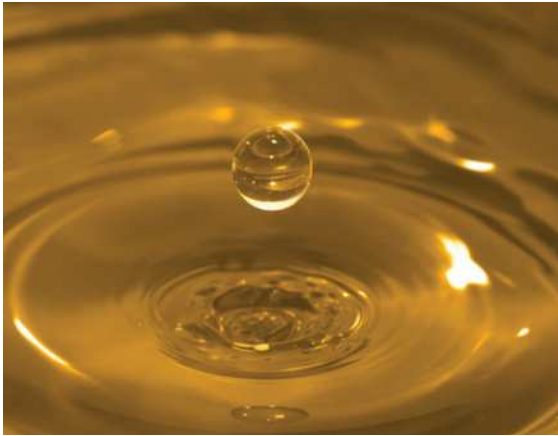
⁵ TBA = thiobarbituric acid

돼지에서 주정 옥수수유 (DCO) 실측 및 예측 가소화 및 대사열량

돼지에 있어서 DCO의 DE와 ME를 측정하기 위하여 두 개의 시험을 시행하였다. 첫 번째 시험에서 Kerr 등 (2016)은 정제 옥수수유 (0.04% 유리지방산, FFA), 세 가지의 시판 중인 DCO (4.9~13.9% FFA) 그리고 인위적으로 FFA 함량을 93.8%까지 높인 DCO를 가지고 DE와 ME의 함량을 측정하고 FFA가 DCO의 ME 함량에 미치는 영향을 비교 시험하였다. 표 3에서 보는 바와 같이 DCO제품들은 ME 함량이 8,036~8,828 kcal/kg이었는데 4.9% FFA DCO의 ME 함량은 정제 옥수수유와 유사한 ME를 가지고 있었다. 정제유 (8,741 kcal/kg), 4.9% FFA DCO (8,691 kcal/kg) 그리고 13.9% FFA DCO (8,397 kcal/kg)의 ME 값은 NRC (2012)가 옥수수유의 ME 값으로 발표한 8,570 kcal/kg과 유사하다. 놀랍게도 93.8% FFA DCO는 GE 함량은 가장 낮았으나 DE와 ME 함량은 모든 옥수수유 중에서 가장 높았다. ME 함량이 가장 낮은 12.8% FFA DCO를 제외하면 FFA는 DCO의 DE나 ME 함량에 유의한 부정적인 영향은 없었다.

후속 연구에서 Lindblom 등 (2017)은 두 DCO제품 (4.5와 10% FFA)의 DE와 ME를 측정하고 시판 choice white grease, 야자유 그리고 대두유와 비교하였다 (표 4). 두 DCO 제품의 ME (7,921와 7,955 kcal/kg)는 Kerr 등 (2016)이 발표한 세 가지 중 두 제품의 ME (8,397과 8,691 kcal/kg)보다 상당히 낮았다. DCO의 ME에 관한 두 시험의 결과가 왜 이런 차이가 있는지 불분명하지만 DCO의 FFA 함량이 돼지에서 ME에 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 놀라운 것은 Choice white grease의 ME 함량 (8,535 kcal/kg)이 두 DCO 제품들의 ME 함량보다 높았고 NRC (2012) 값 8,124 kcal/kg보다 높았다. 통상 불포화 지방 공급원들이 포화지방 공급원들보다 지방함량이 높다는 것은 널리 알려져 있다 (NRC, 2012). 그러나 미국에서 육성 비육돈 사료에 DDGS의 사용수준이 높으므로 이들 돼지에게서 나온 choice white grease가 불포화지방산이 많은 쪽으로 변화가 일어났을 가능성이 있다. 이러한 예상의 근거로 choice white grease의 linoleic산 함량 (16%)이 NRC (2012)의 발표치 (11.6%)보다 높다는 사실이다. 또한 palmitic산의 함량 (23%)은 NRC (2012)가 발표한 함량 (26%)보다 다소 낮았다. 더욱이 Lindblom 등 (2017)이 발표한 대두유의 ME는 9,408 kcal/kg으로 NRC (2012)가 발표한 8,574kcal/kg보다 상당히 높았다. 이러한 결과들은 사료에 지방제품들을 사용할 때 참고자료에 있는 고정값을 사용하면 ME 값을 과소 혹은 과대평가할 위험이 있다는 것을 시사한다.

Kerr 등 (2016)은 DCO 제품의 DE를 예측하기 위해 Wisemann 등 (1998)이 개발한 예측방정식이 FFA의 함량이 다른 DCO의 DE 함량을 역동적이고 정확하게 예측하는데 적용할 수 있는지 평가하였다 (표 3).



Wiseman 등 (1998)의 방정식은 FFA 함량, 불포화지방산과 포화지방산 비율 그리고 돼지의 나이를 입력시켜 DE 함량을 예측한다. 유감스럽게도 이 방정식을 적용한 결과를 보면 정제옥수수유, 12.8%와 13.9% FFA DCO의 DE는 과대평가하고 4.9% FFA DCO는 근접하였으며 실험적으로 만든 고FFA DCO의 DE는 지나치게 과소평가 (1,146 kcal/kg) 하였다. 이러한 결과는 Wiseman 등 (1998)의 방정식을 사용하면 돼지에서 DCO의 DE 함

량을 정확하고 정밀하게 예측할 수 없으므로 DCO에 사용할 수 있는 새로운 예측방정식 개발의 필요성이 대두된다.

육계에서 주정 옥수수유 (DCO)의 실제 및 예측 ME 함량

가금류에서 DCO의 AMEn 함량 측정을 위해 한 번의 시험이 수행되었다. Kerr 등 (2016)은 정제 옥수수유 (0.04% FFA), 돼지시험에서 사용한 세 개의 시판 DCO (4.9~13.9% FFA) 그리고 인공적으로 FFA 함량을 높인 (93.8%) 옥수수유의 AMEn 함량을 측정하였다. 표 5에서 보는 바와 같이 AMEn 함량은 DCO 제품들 (7,694~8,036 kcal/kg) 간에 유의한 차이가 없었고 정제옥수수유의 AMEn 값 (8,072 kcal/kg)과도 유의한 차이가 없었다. 그러나 이들 값은 NRC (1994)가 발표한 정제옥수수유의 AMEn 값 (9,639~10,811kcal/kg) 보다 월등히 낮았다. 흥미로운 것은 돼지시험 때와는 달리 93.8% FFA DCO의 AMEn 값 (6,276 kcal/kg)은 다른 DCO 제품들의 값보다 유의하게 낮았다. 고FFA DCO를 급여 시 돼지와 육계에서 다른 반응이 일어나는 이유에 대해서는 확실히 알 수 없다. 그러나 이러한 결과는 유지의 FFA가 증가하면 육계에서 AMEn이 감소한다는 종전의 보고들과 일치한다.

돼지에서의 비교시험과 유사하게 Kerr 등 (2016)은 육계에서 DCO의 AMEn 함량을 예측하는데 Wiseman 등 (1998)이 개발한 예측방정식의 정확성을 평가하였다. 특히 FFA 함량이 다른 여러 DCO의 AMEn 예측평가에 적용했을 때 적합성을 검토하였다 (표 5). Wiseman 등 (1998)의 예측방정식은 FFA 함량, 불포화지방산 대 포화지방산 비율, 닭의 나이를 입력하여 육계에서 유지의 AMEn 값을 예측한다. 유감스럽게도 이 방정식은 모든 옥수수유의 AMEn 함량을 379~659 kcal/kg 과대평가하였다. 이러한 결과는 Wiseman 등 (1998)의 방정식을 사용하면 육계에서 DCO의 AMEn 함량을 과대평가하게 되므로 육계에서 DCO의 평가에 사용할 수 있는 새로운 AMEn 예측방정식 개발의 필요성이 대두된다.

표 3. 자돈에서 DCO의 실제 및 예측 DE와 ME 함량 (Kerr 등, 2016)

측정항목	정제 옥수수유	DCO (4.9% FFA) ¹	DCO (12.8% FFA)	DCO (13.9% FFA)	DCO (93.8% FFA)
GE, kcal/kg	9,423	9,395	9,263	9,374	9,156
DE, Kcal/kg	8,814 ^a	8,828 ^a	8,036 ^b	8,465 ^{ab}	8,921 ^a
ME, kcal/kg	8,741 ^a	8,691 ^a	7,976 ^b	8,397 ^{ab}	8,794 ^a
EE ² digestibility %	93.2	94.0	91.7	95.0	92.7
UFA:SFA ³	6.13	5.00	5.61	5.00	4.81
Predicted DE ⁴ , kcal/kg	8,972	8,848	8,794	8,741	7,775
Difference between actual vs. predicted DE, kcal/kg	- 158	- 20	- 758	- 276	+ 1,146

^{a,b} Means with different superscripts within rows are different (P < 0.05).

¹ FFA = free fatty acids

² EE = ether extract

³ UFA = unsaturated fatty acids, SFA = saturated fatty acids

⁴ Equations based on young pigs (DE) obtained from Wiseman 등 (1998).

표 4. 자돈에서 distillers corn oil (DCO), choice white grease (CWG), 야자유 (PO), 대두유 (SO)의 열량함량과 ether extract (EE) 소화율 (Lindblom 등, 2017)

측정항목	DCO (4.5% FFA)	DCO (10% FFA) ¹	CWG	PO	SO
GE, kcal/kg	9,392	9,395	9,365	9,419	9,419
DE, Kcal/kg	8,001 ^b	8,052 ^b	8,531 ^b	8,293 ^b	9,388 ^a
ME, kcal/kg	7,921 ^b	7,955 ^b	8,535 ^b	8,350 ^b	9,408 ^a
EE ² digestibility % ³	84.6 ^b	85.6 ^a	85.5 ^a	84.4 ^b	85.1 ^{ab}

^{a,b} Means with different superscripts within rows are different (P < 0.05).

¹ FFA = free fatty acids

² EE = ether extract

표 5. 육계에 있어서 DCO의 실제 및 예측 AMEn 함량 (Kerr 등, 2016)

측정항목	정제 옥수수유	DCO (4.9% FFA ¹)	DCO (12.8% FFA)	DCO (13.9% FFA)	DCO (93.8% FFA)
GE, kcal/kg	9,423	9,395	9,263	9,374	9,156
AME _n ² , kcal/kg	8,072 ^a	7,936 ^a	8,036 ^a	7,694 ^a	6,276 ^b
EE ³ digestibility %	91.6 ^a	89.8 ^a	89.0 ^a	88.4 ^a	83.0 ^b
UFA:SFA ⁴	6.13	5.00	5.61	5.00	4.81
Predicted AME _n ⁵ , kcal/kg	8,680	8,484	8,415	8,329	6,935
Difference between actual vs. predicted AME _n , kcal/kg	- 608	- 548	- 379	- 635	- 659

¹ FFA = free fatty acids

² AME_n = nitrogen-corrected apparent ME

³ EE = ether extract

⁴ UFA = unsaturated fatty acids, SFA = saturated fatty acids

⁵ Equations based on the average of young and old broilers (apparent ME) obtained from Wiseman 등 (1998)과 adjusted to AME_n for broilers based on Lopez and Leeson (2007, 2008) and King 등 (2013).

참고문헌

AAFCO. 2017. Association of American Feed Control Officials - Official Publication. Champaign, IL.

Hanson, A.R., P.E. Urriola, L. Wang, L.J. Johnston, C. Chen, and G.C. Shurson. 2016. Dietary peroxidized maize oil affects the growth performance and antioxidant status of nursery pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 216:251-261.

Hanson, A.R., P.E. Urriola, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2015. Impact of synthetic antioxidants on lipid peroxidation of distiller's dried grains with solubles and distiller's corn oil under high temperature and humidity conditions. *J. Anim. Sci.* 93:4070-4078.

Hung, Y.T., A.R. Hanson, G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: A meta-analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:47-58.

Kerr, B.J., W.A. Dozier III, and G.C. Shurson. 2016. Lipid digestibility and energy content of distillers' corn oil in swine and poultry. *J. Anim. Sci.* 94:2900-2908.

Kerr, B.J., and G.C. Shurson. 2016. Determination of ether extract digestibility and energy content of specialty lipids with different fatty acid and free fatty acid content, the effect of lecithin, for nursery pigs. *The Professional Anim. Scientist* 33:127-134.

Kerr, B.J., T.A. Kellner, and G.C. Shurson. 2015. Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:30.

King, E.J., F.H. de Witt, H.J. van der merwe, A. Hugo, and M.D. Fair. 2013. The effect of lipid saturation on nutrient digestibility of layer diets. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 43:S131-S134.

Lindblom, S.C., W.A. Dozier III, G.C. Shurson, and B.J. Kerr. 2017. Digestibility of energy and lipids and oxidative stress in nursery pigs fed commercially available lipids. *J. Anim. Sci.* 95:239-247.

Lopez, G., and S. Leeson. 2007. Relevance of nitrogen correction for assessment of metabolizable energy with broilers to forty-nine days of age. *Poult. Sci.* 86:1696-1704.

Lopez, G., and S. Leeson. 2008. Assessment of the nitrogen correction factor in evaluating metabolizable energy of corn and soybean meal in diets for broilers. *Poult. Sci.* 87:298-306.

Shurson, G.C., B.J. Kerr, and A.R. Hanson. 2015. Evaluating the quality of feed fats and oils and their effects on pig growth performance. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:10.

Song, R., C. Chen, L. Wang, L.J. Johnston, B.J. Kerr, T.E. Weber, and G.C. Shurson. 2013. High sulfur content in corn dried distillers grains with solubles protects against oxidized lipids by increasing sulfur-containing antioxidants in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 91:2715-2728.

Wiseman, J., J. Powles, and F. Salvador. 1998. Comparison between pigs and poultry in the prediction of dietary energy value of fats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 71:1-9.

CHAPTER 5

에탄올 생산 신기술과 고단백 옥수수 가공 부산물의 영양성분

서론

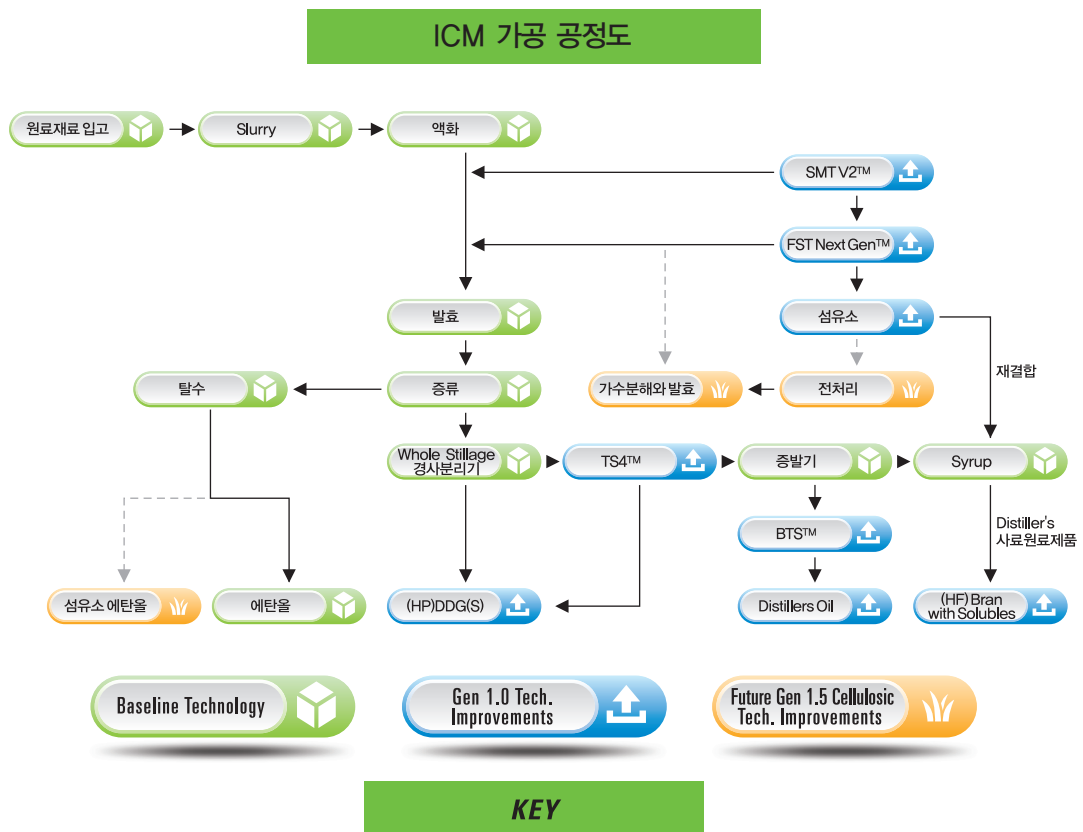
미국의 에탄올 산업은 지속해서 진화하고 있어 건식분쇄 에탄올 공장은 바이오 정유공장으로 에탄올 생산 효율 증대뿐만 아니라 국내와 수출시장에 다양한 고부가 옥수수 가공 부산물들을 생산하고 있다. 에탄올 생산수율을 늘리고 새로운 부산물들을 만들기 위해 전단계 분획기술 적용을 몇 번 시도했으나 이 기술은 에탄올과 부산물들의 생산효율을 최적화하는 데 어려움이 있어 더 이상은 사용하지 않는다. 그러나 2005년부터는 대부분의 건식분쇄 에탄올 공장에서는 가공 후반부에 묶은 증류여액 (thin stillage)으로부터 오일을 추출하는 새로운 기술을 사용한다. 이 공정과 DCO의 화학적 성분, 열량가에 관해서는 4장에서 기술하였다.

오늘날 이 새로운 기술을 적용하는 건식분쇄 에탄올 생산공장들의 관심 초점은 1) 섬유소 에탄올 생산을 위한 옥수수 섬유의 분리, 2) 옥수수유 추출 효율 향상 방법, 그리고 3) 고단백 (40% 이상) 옥수수 가공 부산물들의 생산이다.

ICM, Inc. (www.icminc.com/products)의 신공정 개념

네 개의 신공정이 (그림 1) ICM, Inc.에 의해 개발되었다. 이 신공정은 기존의 건식분쇄 에탄올 공장에 추가로 설치하여 에탄올과 옥수수유 생산수율을 향상하고, 고단백 DDG (HP-DDG)를 생산한다.

그림 1. 건식분쇄 에탄올공장의 에탄올과 부산물 생산공정도; ICM Selective Milling Technology (SMT), Fiber Separation Technology (FST), Thin Stillage Separation System (TS4) 그리고 Grain Fiber to Cellulosic Ethanol Technology (Gen 1.5)



Selective Milling Technology™ (SMT)

이 공정은 새로 설계되어 상표등록이 된 가공설비로 에탄올 생산량을 3%까지, 옥수수유 추출을 25%까지 향상하고 에너지 사용량을 약 40% 절감하며 건식분쇄 에탄올 공장의 운영효율을 향상시킨다. SMT 공정을 기존의 건식분쇄 에탄올과 부산물 생산공정에 적용하면 에탄올 회를 위한 전분량과 옥수수유의 추출량이 증가하고, 더 많은 섬유소가 회수되어 ICM의 또 다른 공정인 Fiber Separation Technology™ (FST)와 ICM에 활용된다. 현재 세계 여러 나라 26개 에탄올 공장에서 SMT공정을 사용하고 있다.

Fiber Separation Technology™ (FST)

Fiber Separation Technology™ (FST)는 SMT 후속 과정으로 옥수수 전분이 에탄올로 발효되기 전에 섬유소를 제거하도록 설계되었다. 발효 전에 섬유소를 제거함으로써 발효기 내의 발효 전분의 농도를 농축시킬 수 있어 발효수율을 증가시킬 수 있다. 결과적으로 FST를 설치한 에탄올 공장은 에탄올 생산 능력이 15% 높아지고, 옥수수유 추출이 30%까지 증가하는 반면 천연가스사용량이 감소하여 고섬유 또는 고단백 (40%) 부산물을 생산할 수 있다.

Thin Stillage Separation System™ (TS4)

ICM TS4 기술은 발효 후 stillage를 분리하여 고품질의 단백질, solubles와 옥수수유를 생산할 수 있는 몇 가지 디자인이 있다. 이 시스템은 건조기와 증류기의 용량을 높이고, 원심분리와 증류기의 용량을 늘려 생산량을 증가시키며, 에너지와 물 사용량을 절감하여 공장의 운영 효율을 높인다.

Generation 1.5–Grain Fiber to Cellulosic Ethanol Technology™ (Gen 1.5)

ICM SMT와 FST 기술에 추가하여 Gen 1.5를 사용하면 에탄올 공장에서 옥수수로 부터 7~10%의 추가적인 에탄올을 생산하고, 옥수수유 추출량을 20%까지 높일 수 있다. 이 시스템을 사용하면 현행 정부의 cellulosic 에탄올 생산장려제도에 따라 생산공장이 갤런당 3불까지의 추가적인 가치를 얻도록 지원받고 있다. 옥수수 섬유는 부피가 많은 다른 작물 잔류물보다 취급이 용이하여 섬유소 에탄올생산을 위한 투자비용이 낮고 이 방법으로 고단백 (40%) DDGS가 생산된다.

New Fluid Quip, LLC Process Technologies (<http://fqptech.com/proven-technologies>)

Fluid Quip LLC (그림 1)에서 네개의 신공정이 개발되었는데 기존의 건식분쇄 에탄올 공장에 설치하면 에탄올과 옥수수유의 수율을 높이고 고단백 DDGS를 생산할 수 있다.

Selective Grind Technology (SGT™)

SGT 시스템은 액체와 고체를 분리하는 과정을 포함하므로 원하는 옥수수 입자를 분쇄할 수 있으며 다른 입자는 건식분쇄 공정에서 우회할 수 있도록 한다. 이 공정은 최대 에탄올 및 옥수수 오일 수율을 얻기 위해 입자 크기를 최적화하여 에탄올 생산수율 (최대 3.5 %)과 옥수수유 생산수율을 증가 시키며, DDGS의 전분 함량을 줄이고 건식 분쇄 에탄올 공장의 에너지 비용을 절감시킨다.

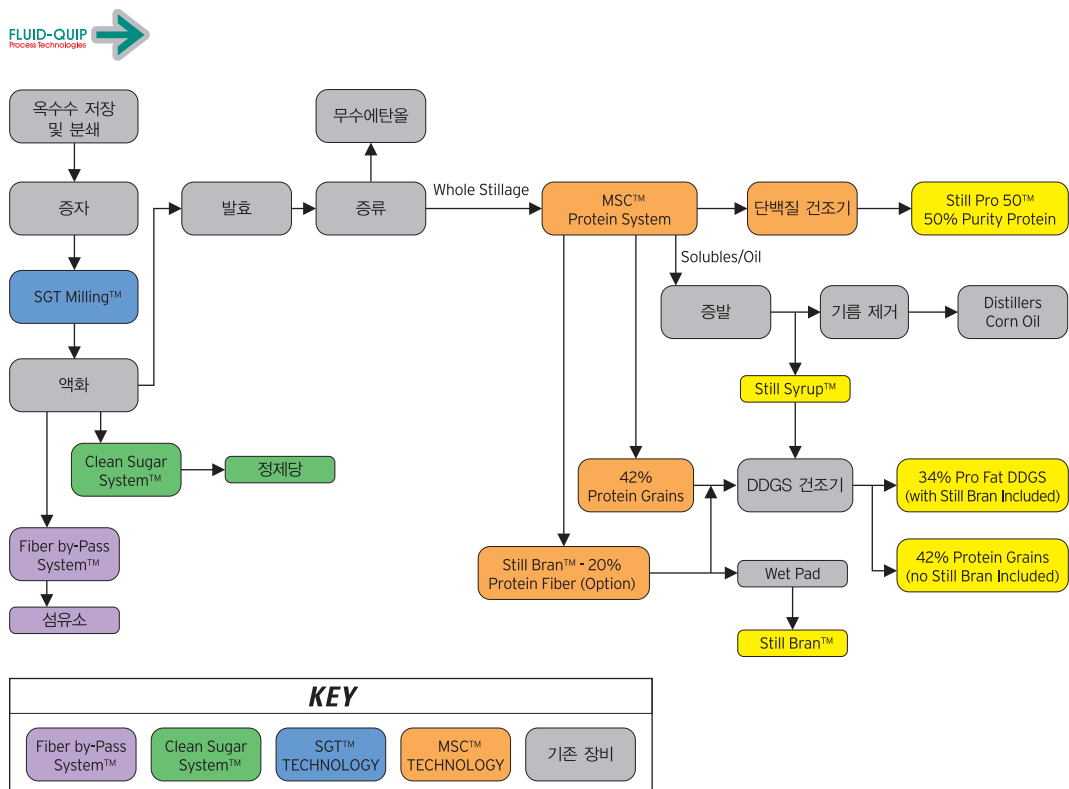
Maximized Stillage Co-Products™ (MSC)

Fluid Quip's MSC 공정은 건식분쇄 에탄올 공장에서 전 증류폐액 (whole stillage)으로부터 다양한 산물 라인을 분리하기 위하여 설계되었다. MSC는 Still Pro 50™ 생산하는데 50% 순도 단백질로 발효를 마친 효모와 옥수수 글루텐 밀로 되어있다. 이 시스템을 사용하면 역류하는 고형물이나 불순물들을 제거함으로써 옥수수유의 수율을 30%까지 그리고 에탄올 수율을 10%까지 향상해 건식 에탄올 공장의 생산 효율을 향상시킨다. MSC™ 단백질 기술 시스템은 다양한 양의 Still Pro 50™ 생산할 수 있도록 조절할 수 있으며 동시에 수출시장에서 필요로 하는 잔여 에탄올의 통상적인 영양기준을 충족시킬 수 있다.

Clean Sugar Technology (CST™)

CST™ 시스템은 습식 옥수수가공 공정에서 생산되는 설탕과 동등한 품질의 설탕을 생산한다. CST™ 는 산업적 설탕 생산뿐 아니라 고품질의 옥수수유와 고순도 단백질과 같은 귀중한 동물사료 원료들을 생산한다.

그림 2. Still Pro 50™ 생산에서 thin stillage로부터 단백질을 분리하는데 사용되는 Fluid Quip Process Technologies (FQPT)의 공정도



Rayeman Compression Dryer System (www.rayemanelements.com)의 개념

Raymen Compression Dryer는 대부분의 에탄올 공장에서 사용하는 재래식 드럼 건조기와 비교하면 독특하다. 건조기에 액상 DDGS가 들어가면 두 개의 특허를 받은 특수 설계된 전기가열 스크루가 곡물로부터 수분을 짜내기 위하여 맞물려 돌아가면서 압착을 한다. 이렇게 되면 곡물의 마찰과 압착으로 인하여 회전 스크루로부터 열이 발생하고 공정의 여러 발화점 (flash point)에서 곡물의 수분이 증발한다. 이 공정을 사용하면 부산물 건조과정에 사용되는 에너지를 재활용하며, 부산물이 탄화되는 것을 방지하며, 탄소배출량을 줄이고 재래식 건조기보다 투자와 운영비를 줄인다.

새로운 고단백 옥수수 가공 부산물들의 영양소 함량

새로운 고단백 옥수수가공 부산물을 구매하거나 사용할 때 기억해야 할 가장 중요한 점은 영양성분과 열량가가 독특하고 제품 간의 변이가 심하다는 것이다. 더군다나 이들 새로운 부산물들은 다른 제품들과 구별하기 위하여 독특한 이름이 붙어 있다. 따라서 주의가 필요하고 여러 동물에 대한 각 부산물의 영양 가치를 비교할 때 단백질이나 영양성분을 일반화하는 것을 피해야 한다.

여러 가지 새로운 기술을 사용하는 에탄올 공장에서는 아직 공정의 최적화 작업이 진행 중이기 때문에 Still Pro 50™를 제외하고는 신 고단백 옥수수가공 부산물에 대한 영양성분 자료가 제한적이다. 따라서 사료원료 구매자는 제품의 생산자와 판매자에게 연락하여 최신의 영양정보를 확보하는 것이 바람직하다.

표 1에서 보는 바와 같이 현재 IMC 기술을 사용하여 생산된 고단백 증류 곡물 (HP-DDG)은 과거에 생산된 HP-DDG (NRC, 2012)에 비해 조단백질의 함량이 낮고, 조지방과 인의 함량이 높으며, 아미노산의 조성이 달랐다. 육성돈과 육계에 ICM HP-DDG의 ME 함량을 측정하기 위한 연구가 진행 중인데 과거에 생산된 HP-DDG의 돼지에서의 ME 함량을 참작하면 중지방 (7~9% 조지방) DDG와 비교하여 돼지와 가금에서의 ME 함량이 높을 것으로 예상된다. 과거에 시행된 각종 동물의 사료에 HP-DDG사용을 평가하는 시험결과를 새로운 ICM HP-DDG에 적용하는 것은 이들의 영양적 특성이 다르기 때문에 어렵다는 것을 이해해야 한다.

FST Fiber+Syrup은 Brazil의 한 옥수수 에탄올 공장에서 사용한 지가 얼마 되지 않기 때문에 영양성분에 대한 자료는 거의 없다. 이 제품은 고단백질 제품과 비교하면 조단백질 함량 (25.8%)이 낮으나 전통적인 DDGS와 비교하면 조단백, 조지방, NDF 그리고 아미노산의 함량은 비슷하다. 더욱이 인의 함량은 1.34%로 모든 2차 산물들 가운데 FST Fiber+Syrup이 가장 높았다 (표 1). 이는 돼지와 가금에서 (만약 DDGS와 같이 소화율과 생체 이용률이 높다면) 사료에 무기인산염의 첨가량을 감소시킴으로써 상당

한 비용절감이 가능하다. 돼지와 육계에서 이 옥수수가공 부산물들의 ME, 표준회장가소화 아미노산 그리고 표준전장관이용 또는 가용인의 함량에 대하여 시험이 진행 중이다.

Purestream 40은 HP-DDG와 Still Pro 50™에 비해 조단백질 함량 (42%)은 낮지만, lysine, methionine, arginine, leucine 그리고 isoleucine 함량이 HP-DDG보다 높다. 더군다나 최근 측정된 돼지에서의 ME함량은 Purestream 40이 Still Pro 50™, 중지방 DDGS 그리고 대두박보다 높다.

Still Pro 50™는 모든 새로운 옥수수가공 부산물 중에서 가장 널리 연구되었지만 쓸 수 있는 자료는 아직 제한적이다. 이 제품은 모든 고단백제품 중에서 가장 조단백질 함량이 높아 대두박에 필적한다. 그 결과 Still Pro 50™의 아미노산 함량은 다른 고단백 부산물들보다 높으나 arginine, isoleucine, lysine, phenylalanine 그리고 tryptophan 함량은 대두박 보다 낮다. Still Pro 50™의 돼지에서의 ME 함량은 중지방 DDGS보다 약간 낮으나 대두박 보다는 약 100kcal/kg 높다. Still Pro 50™의 인 함량은 Purestream 40과 비슷하며 DDGS, 대두박 그리고 HP-DDG보다 높았다.

이 모든 새로운 옥수수가공 부산물들은 다른 곡류나 대두박에 비해 칼슘과 나트륨 함량이 낮고 인의 함량이 비교적 높았다. HP-DDG와 Still Pro 50™의 유황함량은 전통적인 DDGS에 비해 높은데 이 때문에 이 제품은 반추 가축 사료에 20% 이내로 사용토록 제한하고 있다.

새로운 옥수수가공 부산물들은 모든 축종에 있어서 열량, 가소화 단백질, 가소화 인의 훌륭한 공급원으로 사용될 수 있으나 비교적 높은 leucine, isoleucine과 valine 함량을 가진 DDGS와 고단백제품은 대두박의 사용량을 높이기 위해 높은 양의 합성 lysine, thereonine와 tryphophan을 사용한 경우 돼지, 가금류와 양어사료 배합비를 제한할 수 있다. Lysine에 비해 leucine의 함량이 과다할 경우 isoleucine과 valine의 이용이 방해받으며 돼지의 사료섭취량과 성장률 저하를 초래할 수 있다. 이러한 현상이 가금이나 어류에도 나타나는지는 확실하지 않다. 고단백 옥수수가공 부산물들을 30% 이상 고수준으로 사용할 때 합성 isoleucine과 valine을 첨가하면 어떤 효과가 나타날지는 현재 시험 중이다.

표 1. 신 고단백 옥수수 가공 2차 산물들의 영양성분 (건물기준)

측정항목	HP-DDG (ICM) ¹	HP-DDG (NRC, 2012)	FST Fiber+Syrup (ICM) ²	Purestream 40 ³	Still Pro ^{TM4}	중지방 DDGS (NRC, 2012)	대두박 (NRC, 2012)
수분 %	8.8	8.8	10.0	10.7	6.8	10.7	10.0
조단백질, %	44.2	49.7	25.8	42.1	53.4	30.6	53.0
조지방, %	8.6	3.9	7.8	9.4	5.8	10.0	1.69
NDF %	36.0	36.9	32.9	34.8	39.5	34.1	9.1
ADF %	17.5	22.6	9.3	15.8	20.0	13.5	5.9
ME, kcal/kg	ND ⁵	4,092	ND	4,275	3,766	3,801	3,660
Arg %	1.80 (72-79)	1.78 (85)	1.29	2.10 (87)	2.41 (81)	1.38 (81)	3.83 (94)
Cys %	1.02 (69-74)	0.90 (78)	0.72	0.91 (75)	1.75 (73)	0.49 (73)	0.78 (84)
His %	1.16 (66-72)	1.17 (79)	0.60	1.15 (82)	1.44 (80)	0.83 (78)	1.42 (90)
Ile %	1.52 (68-75)	2.01 (80)	0.57	1.62 (82)	2.12 (75)	1.19 (76)	2.38 (89)
Ile:Lys	1.13	1.50	0.66	1.05	0.98	1.18	0.72
Leu %	4.95 (81-84)	6.78 (86)	1.27	5.14 (89)	6.68 (85)	3.64 (84)	4.02 (88)
Leu:Lys	3.69	5.06	1.46	3.36	3.08	3.60	1.22
Lys %	1.34 (47-56)	1.34 (69)	0.87	1.53 (76)	2.17 (61)	1.01 (61)	3.29 (89)
Met %	0.80 (79-83)	1.02 (86)	0.53	0.88 (87)	0.95 (84)	0.64 (82)	0.73 (90)
Phe %	2.29 (77-80)	2.65 (84)	0.63	2.32 (86)	2.67 (81)	1.53 (81)	2.67 (88)
Thr %	1.90 (60-67)	1.74 (75)	0.80	1.66 (75)	2.57 (70)	1.11 (71)	2.07 (85)
Trp %	0.38	0.26 (82)	0.30	0.31 (80)	0.40 (81)	0.22 (71)	0.73 (91)
Val %	2.19 (69-75)	2.32 (78)	0.93	2.15 (81)	2.73 (74)	1.56 (75)	2.48 (87)
Val:Lys	1.63	1.73	1.07	1.40	1.26	1.54	0.75
Ash %	3.0	2.6	7.3	2.8	3.9	4.5	7.0
Ca %	0.01	0.02	0.08	0.03	0.03	0.09	0.37
P %	0.80	0.39	1.34	0.91	1.00	0.67	0.79
S %	0.86	0.82	0.66	0.48	0.51	0.54	0.44
Na %	0.07	0.07	0.54	0.12	0.06	0.34	0.09

¹ Data from HP-DDG sources used in recent swine feeding trials conducted at the University of Minnesota. Values in parentheses are standardized ileal digestibility (swine) determined by Rho et al. (2017).

² Data from FS Bioenergia (Brazil)

³ Data from Purestream 40 used in a recent feeding trial conducted at the University of Minnesota

⁴ Data from United Wisconsin Grain Processors and CHS, Inc. for A+ Pro

Front-end Fractionation으로부터 생산된 HP-DDG 급여 시 가축 생산성 시험 결과 요약

전단계 분획 (front-end fractionation) 가공법에 의해 생산된 HP-DDG의 영양가와 사양가치를 평가하기 위하여 여러 개의 시험이 시행되었다 (표 2). 대부분의 시험은 돼지와 젖소 시험이었고 어류 (무지개 송어), 육계, 산란계 사양시험이 몇 개 있었으나 육우에 HP-DDG를 급여한 시험은 없었다. ICM 공정을 이용한 HP-DDG와 관련된 유일한 시험은 Rao 등 (2017)에 의해 실시되었다. 신 ICM HP-DDG는 이전의 전단계 분획 HP-DDG 제품과 열량과 영양성분에 차이가 있으므로 이전에 발표된 자료로 가축의 반응을 평가할 때는 주의를 해야한다.

A+ Pro (StillPro 50)의 영양가를 평가하는 연구결과의 요약

A+ Pro의 특징 중의 하나는 HP-DDG, Purestream 40 그리고 DDGS와 비교하여 상당히 많은 양의 불활성 효모를 가지고 있는 점이다. 이전의 평가에 의하면 A+ Pro는 29%로 DDGS의 10%보다 높은 불활성 효모를 함유하고 있다. 따라서 이 효모는 이들 부산물에 상당한 양의 단백질과 아미노산을 높이고 가축의 건강증진에 도움이 되는 효모세포막으로부터 나오는 유익한 물질들 (mannans, β -glucans과 nucleotides)을 높이는데 기여하며 가축의 건강증진에 도움이 되는 것으로 알려져 있다 (Shurson, 2017). A+ Pro의 mannan 함량은 약 3%이고 β -glucans함량은 약 8.8~8.4% 였다 (Shurson, 2017). 따라서 상기 제품은 양질의 열량, 가소화 아미노산 그리고 인의 공급원이면서 가축의 건강에도 도움이 될 것이다. A+ Pro의 아미노산 (돼지와 가금류) 그리고 단백질 (반추 가축)의 소화율에 관한 기존자료는 표 3과 4에 보여주고 있다. Still Pro 50™의 아미노산 함량과 기타 주요 영양소의 함량은 표 1을 참고하기 바란다. A+ Pro를 급여한 돼지, 가금류와 반추가축의 육성평가를 위한 사양 실험은 수행되지 않았다.

결론

몇 개의 새로운 고단백 옥수수가공 부산물들이 생산되어 국내와 수출시장에서 사용되고 있다. 이전 시험들 자료에 의하면 이들 제품이 전통적인 DDGS에 비하여 단백질과 아미노산 함량이 상당히 높으나 아미노산 이용률과 ME 함량에는 제품 간에 변이가 있다. 이 제품들을 돼지, 가금, 어류 그리고 반추 가축에 급여할 때 사료 내 최대사용량과 생산성에서의 이점을 규명하기 위해 지속적인 연구가 필요하다.

표 2. Front-end fractionation 공정으로 생산된 HP-DDG를 함유한 사료를 급여 시 영양가와 가축의 생산성에 대한 연구발표자료 요약

동물품종	참고자료
양식어류	Overland et al. (2013)
육우	None
젖소	Kelzer et al. (2007); Mjoun et al. (2009); Christen et al. (2010); Maxin et al. (2013a, b); Swanepoel et al. (2014)
육계	Batal (2007); Kim et al. (2008); Applegate et al. (2009); Rochelle et al. (2011);
산란계	Batal (2007); Kim et al. (2008); Tangendjaja and Wina (2011)
돼지	Widry matterer et al. (2007); Widry matterer et al. (2008); Gutierrez et al. (2009a,b); Anderson et al. (2012); Kim et al. (2009); Jacela et al. (2010); Seabolt et al. (2010); a and Ragland (2012); Petersen et al. (2014); Rojo et al. (2016); Rho et al. (2017)

표 3. Still Pro 50™의 돼지와 가금에 대한 ME와 아미노산 소화율

영양성분	돼지	가금
ME, kcal/kg (건물기준)	3,766	3,542 (TMEn)
아미노산의 표준회장소화율 (돼지)과 진정회장소화율 (가금), %		
Arginine	81	94
Histidine	80	90
Isoleucine	75	90
Leucine	85	94
Lysine	61	81
Methionine + cystine	79	88
Phenylalanine	81	92
Threonine	70	87
Tryptophan	81	90
Valine	74	88

¹ Data were obtained from unpublished University of Illinois experiments.

표 4. Still Pro 50™의 단백질의 반추위 및 장소화율

측정항목	풍건물기준 %
용해성 단백질	28.7
반추 분해성 단백질	26.1
반추 비분해성 단백질	73.9
장소화 단백질	63.8
장소화 단백질, % 비분해성 단백질	86.4
총장관 소화 단백질	89.9
장 비소화 단백질	10.1

참고문헌

Adeola, O., and D. Ragland. 2012. Ileal digestibility of amino acids in coproducts of corn processing into ethanol for pigs. *J. Anim. Sci.* 90:86-88.

Anderson, P.V., B. J. Kerr, T. E. Weber, C. Z. Ziemer, and G. C. Shurson. 2012. Determination and prediction of energy from chemical analysis of corn co-products fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1242-1254.

Applegate, T.J., C. Troche, Z. Jiang, and T. Johnson. 2009. The nutritional value of high-protein corn distillers dried grains for broiler chickens and its effect on nutrient excretion. *Poult. Sci.* 88:354-359.

Batal, A. 2007. Nutrient digestibility of high protein corn distillers dried grains with solubles, dehydrated corn germ and bran. 2007 ADSA/ASAS/AMPA/PSA Joint Ann. Mtg., San Antonio, TX. July 8-12. Abstract M206.

Christen, K.A., D.J. Schingoethe, K.F. Kalscheur, A.R. Hippen, K.K. Karges, and M.L. Gibson. 2010. Response of lactating dairy cows to high protein distiller's grains or three other protein supplements. *J. Dairy Sci.* 93:2095-2104.

Gutierrez, N.A., D.Y. Kil, and H.H. Stein. 2009a. Net energy of distiller's dried grains with solubles and high protein distiller's dried grains fed to growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 87(Suppl. 2):

Gutierrez, N.A., D.Y. Kil, B.G. Kim, and H.H. Stein. 2009b. Effects of distiller's dried grains with solubles and high protein distiller's dried grains on growth performance and organ weights of growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 87 (Suppl. 3):

Jacela, J.Y., H.L. Frobose, J.M. DeRouchey, M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.L. Nelssen. 2010. Amino acid digestibility and energy concentration of high-protein corn dried distiller's grains and high-protein sorghum dried distiller's grains with solubles for swine. *J. Anim. Sci.* 88:3617-3623.

Kelzer, J.M., P.J. Kononoff, K. Karges, and M.L. Gibson. 2007. Evaluation of protein fractionation and ruminal and intestinal digestibility of corn milling co-products. Dakota Gold Research Association. <http://www.dakotagold.org/research/dairy.asp> downloaded June 24, 2008.

Kim, B.G., G.I. Petersen, R.B. Hinson, G.L. Allee, and H.H. Stein. 2009. Amino acid digestibility and energy concentration in a novel source of high-protein distiller's dried grains and their effects on growth performance of pigs. *J. Anim. Sci.* 87:4013-4021.

Kim, E.J., C. Martinez Amezcua, P.L. Utterback, and C.M. Parsons. 2008. Phosphorus bioavailability, true metabolizable energy and amino acid digestibilities of high protein corn distillers dried grains and dehydrated corn germ. *Poult. Sci.* 87:700-705.

Maxin, G., D.R. Ouellet, and H. Lapierre. 2013. Ruminal degradability of dry matter, crude protein, amino acids in soybean meal, canola meal, corn and wheat dried distiller's grains. *J. Dairy Sci.* 96:5151-5160.

Maxin, G., D.R. Ouellet, and H. Lapierre. 2013. Effect of substitution of soybean meal by canola meal or distiller's grains in dairy rations on amino acid and glucose availability. *J. Dairy Sci.* 96:7806-7817.

Mjoun, K., K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, and D. J. Schingoethe. 2009. In situ ruminal degradability and intestinal digestibility of protein in soybean and dried distiller's grains with solubles products. *J. Anim. Sci.* 87(E-Suppl. 2): 84.

Overland, M., A. Krogdahl, G. Shurson, A. Skrede, and V. Denstadli. 2013. Evaluation of distiller's dried grains with solubles (DDGS) and high protein distiller's dried grains (HPDDG) in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquacult.* 416-417:201-208.

Petersen, G.I., Y.Liu, and H.H. Stein. 2014. Coefficient of standardized ileal digestibility of amino acids in corn, soybean meal, corn gluten meal, high-protein distillers dried grains and field peas fed to weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 188:145-149.

Rochelle, S.J., B.J. Kerr, and W.A. Dozier III. 2011. Energy determination of corn co-products fed to broiler chicks from 15 to 24 days of age, and use of composition analysis to predict nitrogen-corrected apparent metabolizable energy. *Poult. Sci.* 90:1999-2007.

Rho, Y., C. Zhu, E. Kiarie, and C.F.M. de Lange. 2017. Standardized ileal digestible amino acids and digestible energy contents in high-protein distiller's dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 2017.95 doi:10.2527/jas2017.1553

Rojo, A., M. Ellis, E.B. Gaspar, A.M. Gaines, B.A. Peterson, F.K. McKeith, and J. Killefer. 2016. Effects of dietary inclusion level of distillers dried grains with solubles (DDGS) and high-protein distillers dried grains (HP-DDG) on the growth performance and carcass characteristics of wean-to-finish pigs. *J. Anim. Sci* abstract doi: 10.2527/ msasas2016-187 p. 88

Seabolt, B.S., E. van Heugten, S.W. Kim, K.D. Ang-van Heugten, and E. Roura. 2010. Feed preferences and performance of nursery pigs fed diets containing various inclusion amounts and qualities of distiller's co-products and flavor. *J. Anim. Sci.* 88:3725-3738.

Shurson, G.C. 2017. Review: Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses and quantification methods. *Anim. Feed Sci. Technol.* (in press).

Swanepoel, N., P.H. Robinson, and L.J. Erasmus. 2014. Determining the optimal ratio of canola meal and high protein dried distiller's grain protein in diets of high producing Holstein dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 189:41-53.

Tangendjaja, B., and E. Wina. 2011. Feeding value of low and high protein dried distiller's grains and corn gluten meal for layer. *Media Peternakan* p. 133- 139. <http://medpet.jouranl.ipb.ac.id/> Doi:10.5398/medpet.2011.34.2.133

Widry matterer, M.R., L.M. McGinnis, and H.H. Stein. 2007. Energy, phosphorus and amino acid digestibility of high-protein distiller's dried grains and corn germ fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:2994-3003.

Widry matterer, L.M. McGinnis, D.M. Wulf, and H.H. Stein. 2008. Effects of feeding distiller's dried grains with solubles, high protein distiller's dried grains and corn germ to growing-finishing pigs on pig performance, carcass quality and the palatability of pork. *J. Anim. Sci.* 86:1819-1831.

CHAPTER 6

저지방 옥수수 DDGS의 영양성분과 변이

서론

정밀동물영양을 실시하기 위해 가장 중요한 조건의 하나는 사료원료의 열량과 영양성분 그리고 소화율을 정확하게 측정하는 것이다. 사료원료의 정확한 영양가평가는 동물의 영양소 요구량에 비해 공급이 과하거나 부족할 수 있는 리스크를 최소화한다. 또한 정밀영양가는 동물사료의 배합비를 작성할 때 흔히 원료의 목표 영양가에 부여하는 “safety margin (안전한계)”을 최소화하기 때문에 사료원료의 경제적 가치를 최대화하는 데 필수적이다. 더욱이 만약 영양전문가가 배합사료 제조에서 사료원료의 열량과 가소화 영양가에 대한 확신이 있다면 비용 절감을 위해 DDGS와 같이 가격경쟁력이 있는 원료의 사용수준을 높이는 데 자신이 생길 것이다.

영양소 함량의 변이는 모든 사료원료에서 발생한다. DDGS 구매자와 영양전문가들이 흔히 제기하는 문제점은 다른 원료들에 비해 영양소 변이가 너무 크다는 것이다. DDGS 제품 간에 열량과 영양소 함량 그리고 소화율의 변이에 대하여 잘 기술되어 있지만 지금 미국 에탄올 산업은 DDGS 제조과정 중에 지방 일부를 미리 추출하기 때문에 다른 사료원료에 비해 영양소 변이가 더 이상 많지 않다. 실제로 Tahir 등 (2012)이 근래에 실시한 사료원료 분석자료 조사에 따르면 조단백질의 변이계수 (CV)는 DDGS가 5.4%로 다른 원료들의 CV (옥수수 8.7%, 밀 19.1%)보다 낮았다 (표 1). 더욱이 NDF와 인 함량의 변이는 DDGS가 옥수수, 대두박, 밀 그리고 캐놀라박 보다 적었다. 그러나 예상한 대로 조지방함량의 변이는 비교원료들 중에 DDGS가 가장 큰데 이는 근래에 대부분의 에탄올 공장들이 DDGS 제조 공정에서 옥수수유를 추출하는 양에 차이가 있기 때문이다. 조지방함량의 변이가 심한 이유 중의 하나는 DDGS의 평균 조지방함량 (11.6%)이 여기서 비교하는 다른 원료들의 조지방함량 (0.8~3.2%)에 비해 훨씬 높기 때문이다. Tahir 등 (2012)에 의한 이 비교의 또 다른 핵심점은 사료원료의 영양소 함량이 시간이 지남에 따라 변하고 오래전에 발표된 문헌에 있는 고정된 자료는 널리 사용되는 사료원료들의 영양소 함량을 과소 또는 과대 평가할 수 있다는 것이다. DDGS의 경우 에탄올공장이 에탄올 생산수율을 증가시키고, 옥수수유 추출량을 높이며, 단백질과 아미노산 함량을 높이기 위해 새로운 공정들을 채택하므로 영양성분이 지속적으로 변하기 때문에 이러한 점들이 더욱 중요하다. 따라서 이 장에서는 DDGS의 영양성분에 관한 최신 자료들을 요약하여 제시하고 영양전문가들이 DDGS를 함유한 동물사료의 배합비를 작성할 때 이 자료들을 사용할 것을 강력히 권장한다.

표 1. 가금사료에 많이 사용하는 원료들의 영양소 함량 및 변이와 NRC (1994)

항목	옥수수	대두박	DDGS	밀	캐놀라
샘플 수	133	114	89	22	21
조단백질, %	7.8	52.5	29.1	12.7	41.4
CV, %	8.7	3.0	5.4	19.1	2.9
% of NRC	82	97	99	98	101
조지방, %	2.9	0.8	11.6	1.2	3.2
CV %	23.9	82.1	11.2	55.0	27.6
% of NRC	69	72	119	43	79
NDF %	11.0	16.8	42.4	13.4	35.8
CV %	18.3	22.9	9.0	16.4	11.0
인, %	0.32	0.84	0.96	0.42	0.58
CV %	28.7	7.2	6.5	15.0	43.0
% of NRC	103	121	124	121	80
피틴태 인, %	0.19	0.40	0.26	0.25	0.70
CV %	13.4	5.6	27.2	13.9	4.7
% of NRC	83	162	72	-	74
회분, %	1.2	6.8	4.8	1.8	7.9
CV %	10.9	4.6	13.9	14.9	9.0

DDGS 제품들의 변이를 제어하기 위해서 일부 사료제조업자들은 그들의 영양 스펙과 품질기준을 설정하여 이에 맞는 제품을 찾아내고 이러한 제품을 구분관리 공급할 수 있는 생산자와 직거래 한다. 어떤 사료제조회사는 선호하는 공급자 일람표를 작성하고 제삼 판매자를 통한 DDGS 구매시의 변이가 최소화될 수 있도록 한다. 가장 바람직한 방법은 최근 개발되고 검정된 ME와 가소화 아미노산 예측방정식을 이용하는 것이다. 이 방법은 DDGS 제품의 화학 성분을 가지고 제품의 정확한 진정영양가를 평가하는 것이다 (보다 자세한 사항은 이 책의 13장과 16장에 있는 돼지와 가금용 예측방정식 참조).

미국 옥수수 DDGS 제품의 영양소 함량과 변이

몇몇 연구가 여러 기간에 걸친 옥수수 DDGS의 영양성분에 대한 자료를 축적하였다 (Olukosi와 Adebisi, 2013; Pedersen 등, 2014; Stein 등, 2016, Zeng 등, 2017). 그러나 사료배합비 작성에 적용할 자료를 찾을 때는 주의를 요하는데, 미국 에탄올산업은 2005년경부터 부분적 옥수수유 추출을 시작했고 오늘날에는 널리 확대되고 있어 5~9%의 조지방을 가진 DDGS가 대부분이다. 지방함량 감소는 DDGS의 조지방함량의 변이를 증가시킬 뿐만 아니라 다른 영양소의 프로필도 변화시킨다. 비록 많은 영양전문가와 DDGS 구매자들이 DDGS 내 조지방의 함량이 감소하면 조단백질과 아미노산의 함량이 증가할 것으로 예상하지만 이것이 항상 옳은 것은 아니다. DDGS의 조지방함량이 감소하면 모든 화학성분이 비례적으로 증가하지 않는 경우가 많이 있다. 저지방 DDGS의 열량과 영양소 함량의 변화에 관한 연구를 실시하기 전에 양돈 NRC (2012) 위원회는 DDGS 내 조지방함량의 감소는 돼지에서 DE, ME, NE 함량을 감소시키고 다른 영양소들의 농도를 증가시키는 것으로 가정하였다. 연이은 여러 개의 시험에서 명확히 밝혀진 것은 돼지 (Kerr 등, 2013: 2015)나 가금 (Meloche 등, 2013)에서 조지방함량만 가지고 DE, ME 그리고 NE의 예측기준으로 삼기에는 매우 충분하지 않다는 것이다. 이와 관련한 상세한 자료는 이 핸드북 13장과 16장에 수록되어 있다. 이러한 결과로 NRC (2012)는 DDGS의 열량과 영양소 프로필을 조지방함량에 따라 구분하여 예측치를 발표하였다. 유감스럽게도 발표된 중지방 DDGS (6~9% 조지방 자료 13개 이하)와 저지방 DDGS (조지방 4% 이하 자료 2개 이하) 자료의 수는 제한적이다. 따라서 이렇게 발표된 수치는 미국 에탄올산업에서 생산되는 대부분의 저지방 (5~9% 조지방) DDGS의 영양소 함량 변이를 정확하게 반영하지 못한다.

NRC (2012)와 유사하게 Stein 등 (2016)은 옥수수 DDGS의 영양소 프로필을 지방 4% 이하 (샘플 수 3개 이하), 지방 5~9% (15개 이하), 지방 9% 이상 (100개 이하)로 구분하여 제시하였으나 이 자료도 또한 조지방 함량이 10% 이하인 제한된 DDGS 샘플로 주로 실시한 것이다. DDGS의 조지방함량과 돼지와 가금의 ME 간에는 상관관계가 미약하기 때문에 예측방정식이 개발되고 검증되었다 (13장과 16장 참조). 조지방 함량이 다른 여러 가지의 DDGS 제품들의 실제에너지 함량을 보다 정확하게 평가하기 위해 이 ME 예측 방정식 사용을 적극적으로 권장한다.

옥수수 DDGS의 영양소 구성에 대한 다른 연구조사자료가 Olukosi와 Adebisi (2013)에 의해 발표되었는데 2004년에서 2011년도 사이에 발표된 463개의 샘플에 대한 44개 조사자료들을 분석한 것이다 (표 2). 대부분의 샘플은 미국산이며 1997에서 2010년 사이에 수집한 것이기 때문에 오늘날 생산되고 있는 저지방 DDGS의 성분을 적절히 반영한다고 볼 수 없다. 그러나 이들 분석자료는 그동안 시간의 변화에 따른 DDGS 영양성분의 변화를 보여주며 조단백질 함량으로부터 아미노산 함량을 추정하는 예측방정식을 개발하는 데 유용하다. 유감스럽게도 이 예측방정식의 정확도는 실제로 사용하기에는 적합지 못하다.

표 2. 1997년부터 2010년 사이에 수집한 옥수수 DDGS의 화학적 조성의 변이 (Olukosi와 Adebiji, 2013)

분석항목	평균	최소	최대	표준편차	변이계수, %
조단백질, %	27.9	23.3	34.7	2.4	8.5
조섬유, %	7.4	6.2	11.3	1.1	15.1
NDF, %	36.6	27.7	51.0	5.8	15.7
ADF, %	13.6	8.6	18.5	3.3	24.2
Ether extract, %	10.8	3.2	17.7	2.4	22.0
회분, %	4.5	3.1	5.9	0.6	13.6
칼슘, %	0.04	0.02	0.08	0.02	53.5
인, %	0.80	0.69	0.98	0.07	8.8

Pedersen 등 (2014) 은 미국 내 21개 에탄올공장에서 수집한 72개의 옥수수 DDGS 샘플을 분석하기 위하여 근적외선 반사율 분광 분석법 (NIRS)을 사용하였다. 제품의 성분 중 가장 큰 변이 (CV %)를 보인 성분은 전분 (45%), 총당분 (19%), ether extract (에테르 추출물 = 조지방; 17%) 그리고 산 분해 ether extract (13%)인데 이들은 조단백질, NDF 그리고 ADF 함량의 변이보다 크다 (표 3). 이 연구자들은 DDGS의 각 영양성분 값들의 표준편차는 영양 프로필의 기대변이의 신뢰구간을 설정하는데 유용하다고 보고하였다.

미국 내 주된 에탄올과 DDGS 생산자 중의 하나로 27개의 에탄올공장을 소유하고 운영하는 POET은 다른 DDGS와 비교할 때 지방함량이 가장 낮은 (5.4% 조지방) DDGS를 생산한다. 최근 (2014년부터 2016년 사이)에 실시한 POET DDGS의 영양성분과 변이에 대한 조사 (Herrick와 Breitling, 2016)에 의하면 $89.2 \pm 1.13\%$ 건물 기준으로 조단백질 $30.7 \pm 1.57\%$, 조지방 $5.36 \pm 0.96\%$, 조섬유 $8.31 \pm 0.82\%$, NDF $27.8 \pm 3.27\%$, ADF $10.6 \pm 1.76\%$ 그리고 유황 $0.92 \pm 0.13\%$ 이었다.

미국 옥수수 DDGS의 영양소 함량 변이에 영향을 주는 요소들

부분적 옥수수유 추출 이외에도 많은 요인들이 DDGS의 영양소 함량 변이에 영향을 준다. Olentine (1986)은 주정 부산물의 영양성분 변이에 기여하는 원료물질의 변수와 가공 과정상의 요인들을 열거하였다 (표 4). 옥수수 DDGS의 영양소 함량의 변이는 많은 부분이 옥수수 품종 간의 통상적인 변이와 생산지역의 지리적 차이에 기인하는 것으로 보인다.

표 3. Near infrared reflectance spectroscopy (NIR)에 의한 옥수수 DDGS 성분의 변이 (건물 기준; Pedersen 등, 2014)

분석항목	평균	범위	표준편차	변이계수, %
수분, %	8.7	6.5 - 12.4	0.8	10
조단백질, %	31.4	27.1 - 36.4	2.1	7
조섬유, %	7.7	6.4 - 9.5	0.6	7
NDF %	35.1	30.2 - 39.7	2.4	7
ADF %	10.1	8.9 - 11.9	0.6	6
전분, %	6.0	2.9 - 13.9	2.7	45
총당분, %	9.0	5.4 - 12.6	1.7	19
Ether extract, %	9.1	6.5 - 11.8	1.5	17
산 분해 ether extract, %	11.1	8.4 - 13.5	1.4	13
Ash %	7.1	5.4 - 9.0	0.7	9

옥수수의 성분조성은 유전적 품종개량, 토양 시비율 (soil fertilization rate), 경작기간 동안의 기후 상황 등에 의해 변화되어 왔다. 표 5에서 보는 바와 같이 옥수수의 조지방, 조단백, NDF, ADF, 돼지 DE, 가금 TME와 AME 함량은 돼지 NRC (2012)와 가금류 NRC (1994)보다 높았다 (Smith 등, 2015). 따라서 옥수수의 열량과 영양분 조성의 차이는 옥수수 DDGS 제품 간의 영양소 변이에 직접적인 영향을 미친다. 더욱이 만약 영양전문가가 가금과 돼지 사료의 배합비 작성 시 옥수수의 열량가를 NRC (1994와 2012)에 수록된 자료를 사용한다면 옥수수의 실제 열량가를 저평가하게 되며 동물사료 영양분 중에서 가장 비싼 것이 열량이기 때문에 상당한 경제적인 문제를 초래하게 된다.

DDGS를 생산하기 위하여 농축 distillers solubles을 곡물잔류물과 혼합하는 비율은 공장마다 차이가 있다. 이 두 재료 간의 영양성분에는 상당한 차이가 있으므로 곡물잔류물과 solubles의 혼합비율이 DDGS의 마지막 영양성분에 상당한 영향을 미치는 것으로 이해가 된다. Noll et al. (2006)은 wet grains에 다양한 수준 (0, 30, 60 및 100 %)의 solubles을 첨가하여 생산한 옥수수 DDGS 배치의 영양 성분 및 소화성을 평가하였는데, 이는 분당 0, 12, 25 및 42 갤런의 시료를 첨가하는 것에 해당한다. Solubles의 첨가량이 증가하면 DDGS의 색깔은 더 검어지고 (L^* 감소) 황색이 감소 (b^* 감소)하였다. Solubles의 첨가량이 증가하면 조지방, 회분, TME_n (가금), 마그네슘, 나트륨, 인, 칼륨, 염소, 유황 함량이 증가하지만, 조단백질, 아미노산 함량 그리고 소화율에 미치는 영향은 미미하였다.

표 4. Distillers 부산물의 영양성분에 영향을 주는 요인들 (Olentine, 1986)

원료물질들	가공요인들
곡물의 종류	분쇄과정
곡물의 품종	분쇄도
곡물의 품질	지속시간
토양의 상태	증자 (cooking)
비료	물의 양
기후	pre-malt 양
생산과 수확방법	온도와 시간
곡물 배합비	연속 또는 batch 발효
	냉각시간
	변환 (conversion)
	맥아의 형태, 양과 품질
	곰팡이 amylase
	시간과 온도
	변환곡물의 희석
	부피와 bushel 이나 grain bill 당 gallon
	곡물의 품질과 양
	발효
	효모의 품질과 양
	온도와 시간
	냉각과 교반
	산도와 생산제어
	증류
	형태: 진공 또는 대기, 연속 또는 batch
	직접 또는 간접가열
	증류 중 용량의 변화
	가공
	스크린 형태: 고정, 회전, 진동
	원심분리기 사용
	압착기 형태
	증발기
	온도
	수
	건조기
	시간
	온도
	형태
	잔류 grain과 혼합하는 시럽의 양

사료원료의 영양소 분석은 실험실 간에 변이가 있다는 것을 염두에 두어야 하는데 이는 잘 알려진 사실이다 (Cromwell 등, 1999). 표 6에서 보는 바와 같이 한 개의 DDGS 제품을 네 개의 실험실에 보내어 같은 분석 방법으로 분석하여 그 결과를 비교하였다. 이 네 실험실 간에는 건물 (92.4~96.2%), 조지방 (9.4~13.0%), NDF (26.8~40.5%)의 분석 결과에 차이가 있었다.

모든 실험실의 분석 절차에는 결과에 차이를 유발하는 고유한 분석 변이가 있으며 또한 기술진의 실수, 샘플 채취 오류, 유효기간이 지난 시약 사용, 부정확한 계기보정, 분석 장비의 정비 등이 이러한 결과의 차이를 발생하게 하는 요인들이다.

표 5. 옥수수의 열량과 영양성분 그리고 돼지 DE, NRC (2012)와 가금 AME와 TME, NRC (1994; 건물기준, 샘플 수 83개, Smith 등, 2015)와 비교

측정항목	돼지NRC (2012)	Smith 등 (2015)				
		평균	범위	차이	표준편차	변이계수, %
건물, %	88.3	86.6	83.7 - 88.9	5.2	1.2	1.4
조단백질, %	9.3	9.5	7.9 - 12.3	4.4	0.98	10.3
조지방, %	3.9	5.6	3.1 - 10.8	7.7	1.96	35.1
조섬유, %	2.2	1.7	0.93 - 3.7	2.8	0.42	27.8
NDF %	10.3	10.7	6.7 - 15.4	8.7	2.14	20.0
ADF %	3.3	4.5	1.9 - 8.0	6.1	1.80	39.6
전분, %	70.8	68.5	58.3 - 74.2	15.9	3.4	4.9
가용성 탄수화물, %	-	72.8	63.6 - 79.9	16.3	3.7	5.1
회분, %	1.5	1.4	0.87 - 2.4	1.5	0.28	20.5
GE, kcal/kg	4,454	4,576	4,409 - 4,841	432	101	2.2
DE, kcal/kg (돼지)	3,907	4,105	3,904 - 4,344	440	100	2.4
AMEn, kcal/kg	3,764	4,006	3,865 - 4,269	404	94	2.3
TMEn, kcal/kg	3,898	4,086	3,955 - 4,272	317	80	2.0

표 6. 동일한 DDGS 샘플을 네 개의 실험실에서 분석한 영양소 함량의 비교

	Lab 1	Lab 2	Lab 3	Lab 4
건물, %	96.2	95.1	92.4	95.1
조단백질, %	29.6	30.3	30.2	29.3
조지방, %	9.4	13.0	11.1	11.9
NDF %	32.2	26.8	40.5	27.8
회분, %	4.2	5.0	4.4	4.3

DDGS의 필수아미노산 조성의 변이

다른 영양성분과 같이 DDGS의 아미노산의 함량에도 상당한 변이가 있다. Olukosi와 Abebiyi (2013)는 1997년에서 2010년 사이에 발표된 논문들의 아미노산 자료를 평균, 최소, 최대농도 그리고 표준편차 및 변이계수와 함께 요약하였다 (표 7). Fiene 등 (2006)이 전에 발표한 바와 같이 이 연구자들도 단백질 함량과 Arg (상관계수 $r = 0.44$), Ile ($r = 0.26$), Lys ($r = 0.22$) 그리고 Trp ($r = 0.33$)의 상관계수는 낮았고 유의한 상관관계는 없었다. 이는 옥수수 DDGS의 조단백질은 이들 아미노산 농도의 지표로 적합하지 않은 것을 의미하며 예측방정식도 아직 개발되지 않았다. 비록 다른 필수 아미노산들의 경우는 조단백질과 유의한 상관관계 ($r = 0.68, 0.49, 0.73, 0.81, 0.59, 0.61$; 각 His, Leu, Met, Phe, Thr, Val과의 상관관계)가 있었으나 일반적으로 낮고 예측방정식으로부터 도출된 자료는 낮은 R^2 값 ($0.23 \sim 0.66$)을 보여주었다. 이러한 결과는 DDGS의 조단백질 함량은 아미노산 함량의 예측치로 사용하기에는 부족하며 정확한 평가를 위해서는 아미노산을 직접 측정하는 것이 필요하다.

최근에 Zeng 등은 2006에서 2015년 사이에 수행된 연구 결과로 발표한 22개의 논문과 석사 논문의 자료를 요약하였다 (표 8). 이 자료들은 Olukosi와 Adebiyi (2013)가 발표한 자료보다 요즘 DDGS의 화학 성분과 변이를 더욱 잘 반영하고 있다.

표 7. 1977부터 2010년 사이 옥수수 DDGS 제품들의 필수아미노산 조성의 변이 (Olukosi와 Adebisi, 2013)

	평균	최저	최고	표준편차	변이계수, %
Arg %	1.22	1.06	1.46	0.098	8.0
Cys %	1.73	1.49	1.97	0.057	11.1
His %	0.74	0.65	0.91	0.070	9.4
Ile %	1.07	0.96	1.25	0.072	6.7
Leu %	3.21	2.89	3.62	0.210	6.6
Lys %	0.90	0.62	1.11	0.118	13.1
Met %	0.52	0.44	0.72	0.063	12.0
Phe %	1.29	1.09	1.51	0.123	9.6
Thr %	1.03	0.93	1.16	0.067	6.5
Trp %	0.22	0.16	0.26	0.022	10.3
Val %	1.42	1.30	1.61	0.095	6.7

DDGS 섬유소의 비전분성 다당류 (NSP) 조성

돼지, 가금류 그리고 어류의 사료에 DDGS를 사용 시 열량과 영양소 소화율을 향상시키기 위해 시판 효소 제품을 선택할 때 DDGS 섬유소의 비전분성 다당류 (NSP) 조성을 아는 것이 중요하다. Pedersen 등 (2014)은 47개 옥수수, 11개 밀 DDGS 샘플의 NSP를 분석하였는데 옥수수 DDGS 성분의 25%에서 34%가 NSP였으며 NSP의 대부분은 불용성이었다 (표 9). 이는 옥수수 DDGS의 섬유소가 돼지, 가금류 그리고 어류의 소장에서의 소화 제한적이며 위장관 하부에서의 발효도 제한적임을 시사한다. 옥수수 DDGS의 영양소 함량 중 5%에서 9%가 섬유소이며, 비셀룰로스 다당류의 주된 성분은 xylose (7.7%)와 arabinoxyle (12.3%)로 이들은 주로 불용성이다. 옥수수 DDGS의 mannose 함량은 1.7%인데 이는 옥수수에 들어 있는 양보다 훨씬 높다. 이는 DDGS에 들어 있는 잔류효모의 세포벽에 들어 있는 높은 mannan 함량 때문일 것이다. 옥수수 DDGS는 arabinose (6.2%)와 요산 (uronic acid; 1.6%)의 함량이 밀 DDGS (각 5.7%와 0.8%) 보다 높았기 때문에 비교적 높은 arabinose 대 xylose, uronic acid 대 xylose 비율을 보여주었다. 이러한 사실은 옥수수 DDGS는 밀 DDGS에 비해 조섬유소 (heteroxylan)의 구조가 좀 더 복잡하고 변이가 있기 때문에 외부 첨가 효소로 분해하기가 좀 더 어렵다는 것을 말해준다. 그러나 비소화성 Klason lignin 함량은 밀 DDGS에서 옥수수 DDGS보다 높았다. Klason lignin은 화학적 구성이 잘 밝혀져 있지 않은데 진정 lignin 외에 단백질 (Maillard 산물), 잔여 지방과 왁스, cutin이 포함된 것으로 보인다. 이러한 결과들은 치환된 xylan들과 용해성 NSP들의 농도가 DDGS 생산과정 중 옥수수 알곡의 본래 구조로부터 변한다는 것을 시사한다.

표 8. 2006년부터 2015년 사이 옥수수 DDGS의 화학적 조성분과 필수아미노산 함량의 변이 (88% 건물 기준; Zeng 등, 2017)

성분	평균	변이계수, %
조단백질, %	27.1	8.7
조섬유, %	8.2	26.2
NDF, %	34.1	13.4
ADF, %	11.5	21.2
Ether extract, %	8.8	36.3
회분, %	4.1	24.9
필수아미노산		
Arginine, %	1.15	11.8
Histidine, %	0.74	14.2
Isoleucine, %	0.99	11.8
Leucine, %	3.16	13.7
Lysine, %	0.80	17.9
Methionine, %	0.54	15.1
Phenylalanine, %	1.32	12.3
Threonine, %	1.01	15.5
Tryptophan, %	0.20	16.3
Valine, %	1.35	11.1

표 9. 옥수수 DDGS (47개)와 밀 DDGS (11개) 샘플의 영양소와 비전분성 다당류 (NSP)성분의 평균 함량(%)과 변이 (건물; Pedersen 등, 2014)

	옥수수 DDGS				밀 DDGS			
	평	범위	SD	CV %	평	범위	SD	CV %
수분	8.7	6.5 - 12.4	0.8	10	7.6	6.8 - 8.7	2.0	2
조단백질	31.4	27.1 - 36.4	2.1	7	33.4	30.3 - 37.9	2.8	9
Ether extract	9.1	6.5 - 11.8	1.5	17	5.2	4.4 - 6.5	0.8	16
산분해 ether extract	11.1	8.4 - 13.5	1.4	13	7.3	6.5 - 8.8	0.8	11
NDF	35.1	30.2 - 39.7	2.4	7	30.6	27.3 - 34.2	2.6	8
ADF	10.1	8.9 - 11.9	0.6	6	10.5	9.5 - 12.2	0.8	7
조섬유	7.7	6.4 - 9.5	0.6	7	6.7	5.5 - 8.8	0.9	14
전분	6.0	2.9 - 13.9	2.7	45	4.0	<1.0 - 8.8	4.2	103
총 당류	9.0	5.4 - 12.6	1.7	19	9.8	4.6 - 12.4	2.2	23
회분	7.1	5.4 - 9.0	0.7	9	9.1	8.1 - 10.0	0.4	5
총 NSP	28.3	25.0 - 33.7	2.0	9	26.2	24.2 - 29.1	0.9	4
용해성 NSP	3.1	1.6 - 6.5	0.8	47	6.7	5.3 - 8.0	0.1	2
셀룰로스	6.7	5.2 - 9.1	0.8	16	5.0	3.5 - 6.7	1.6	32
비 셀룰로스성 다당류								
총 xylose	7.7	6.7 - 10.0	0.7	10	8.6	7.0 - 9.3	0.7	8
용해성 xylose	0.6	0.1 - 1.6	0.3	62	2.3	1.5 - 3.2	0.5	22
총 arabinose	6.2	5.6 - 7.2	0.4	7	5.7	5.1 - 6.2	0.0	0
용해성 arabinose	0.7	0.2 - 1.5	0.3	45	1.7	1.2 - 2.2	0.3	15
총 당류	2.8	2.1 - 4.4	0.4	13	3.3	2.7 - 3.7	0.1	5
용해성 포도당	0.3	0.0 - 1.6	0.4	190	1.1	0.1 - 2.1	1.0	89
총 mannose	1.7	1.2 - 2.0	0.2	12	1.6	1.3 - 1.8	0.2	13
용해성 mannose	0.6	0.4 - 0.9	0.1	19	0.7	0.4 - 0.8	0.1	18
총 galactose	1.5	1.3 - 2.1	0.2	11	1.1	1.0 - 1.2	0.1	11
용해성 galactose	0.3	0.2 - 0.5	0.1	29	0.6	0.4 - 0.7	0.1	18
총 uronic acids	1.6	1.4 - 2.0	0.1	8	0.8	0.7 - 0.9	0.1	12
용해성 uronic acids	0.5	0.3 - 0.6	0.1	11	0.3	0.2 - 0.4	0.0	15
Klason lignin	2.5	1.5 - 4.7	0.7	26	6.6	4.4 - 9.3	2.1	32
Arabinose: Xylose	0.80	0.71 - 0.85	0.0	5	0.66	0.62 - 0.70	0.01	9
Uronic acid: Xylose	0.20	0.16 - 0.23	0.0	8	0.09	0.08 - 0.11	0.0	21

옥수수 DDGS 내 지방의 지방산 조성과 과산화 지표

DDGS의 지방산 조성은 ME와 NE 값에 기여하고, 젖소에서 유지방농도의 잠재적 영향 및 육성비율돈에서 돈지경도에 미치는 영향과 생산, 수송, 보관 중에 발생하는 지방 과산화 민감성 등 여러가지 요인으로 중요하다. 표 10에서 보는 바와 같이 DDGS 옥수수유의 주된 지방산 성분은 linoleic 산 (54%), oleic 산 (26%), palmitic 산 (14%)인데, 이중 linoleic과 oleic 산은 불포화지방산으로 고에너지 함량에는 기여하지만 DDGS 지방의 과산화를 촉진하게 하는 단점이 있다. 고지방 DDGS (10% 이상 조지방)와 저지방 DDGS (10% 이하 조지방) 간에는 지방산 프로필의 차이가 뚜렷하지 않았다. DDGS 옥수수유에는 eicosapentaenoic acid (EPA) 농도는 측정되지 않았지만 약간의 docosahexaenoic acid (DHA)는 측정되었다. 이 지방산은 생리적으로 중요한 omega-3 지방산으로 신경, 망막 그리고 면역기능에 중요하다. 고지방과 저지방 DDGS 간에는 지방 과산화 지표 (유리지방산 함량, thiobarbituric acid와 peroxide value)의 평균값에 미미한 차이가 있었으나 이 측정치 들에는 변이가 심했다.

옥수수 DDGS 샘플의 지방 과산화 분석을 좀 더 자세하게 살피기 위해 Song과 Shurson (2013)은 31개 DDGS 제품의 샘플에서 옥수수유를 채취하여 분석하고 이를 옥수수 표준샘플과 비교하였다 (표 11). Minolta L* 및 b*와 과산화가 (peroxide value)의 상관관계는 각각 -0.63과 -0.57이었고 thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)의 상관관계 ($r =$ 각각 -0.73과 -0.67)는 이보다 높았다. DDGS에 있어서 색도 측정치와 과산화도 측정치 간에 유의한 부의 상관관계가 있으므로 색깔은 DDGS 지방의 과산화도를 측정하는데 일반적인 지표로 유용하다. 지방 과산화 과정에서 중합반응이 일어나는 동안 갈색의 산화 중합체가 생산된다 (Buttkus, 1975; Khayat와 Schwall, 1983). 하지만 Song 등 (2013)은 가장 과산화된 DDGS (유황 함량 0.95%) 30%를 배합한 사료로 사양시험을 실시한 결과 이 유자돈의 성장률에는 아무런 부의 영향을 관찰할 수 없었다. 성장률에 아무런 반응이 나타나지 않은 것은 DDGS 급여에 따른 함황 황산화 물질의 증가에 기인한 것으로 보이며 성장률감소 예방을 위한 비타민 E의 추가급여는 필요하지 않았다. 이유자돈에게 심하게 과산화된 DDGS를 급여 시 앞의 실험과 유사한 결과가 관찰되었다 (Hanson 등, 2015). 이와 같은 결과는 DDGS에 상당한 지방 과산화가 일어나도 이유자돈의 성장률과 건강에 부정적인 영향이 일어나지 않는다는 것을 시사한다. DDGS에서 발견되는 비교적 높은 수준의 자연 항산화제가 돼지에서 DDGS 내 과산화 지방의 잠재적인 부의 효과를 극복하기에 충분하다고 추론하는 것이 가능하다.

표 10. 조지방 함량이 다른 DDGS 제품들의 지방산 조성과 지방 과산화 정도 (Kerr 등, 2013)

	DDGS 제품의 평균 (>10 % 조지방)	범위	DDGS 제품의 평균 (<10 % 조지방)	범위
샘플 수	8		7	
Ether extract %	11.2	10.1 -13.2	8.0	4.9 -10.0
지방산, 전체지방의 %				
Myristic, 14:0	0.07	0.06 - 0.08	0.04	ND - 0.08
Palmitic, 16:0	14.2	13.6 - 15.4	14.2	14.0 - 14.6
Palmitoleic, 16:1	0.14	0.12 - 0.16	0.12	ND - 0.15
Stearic, 18:0	2.2	2.0 - 2.6	2.2	2.1 - 2.3
Oleic, 18:1	26.0	24.8 - 27.3	26.2	25.2 - 27.2
Linoleic, 18:2	54.0	51.9 - 55.0	53.9	53.4 - 54.5
Linolenic, 18:3	1.6	1.4 - 1.8	1.6	1.6 - 1.8
Arachidonic, 20:4	ND	ND	ND	ND
Eicosapentaenoic, 20:5	ND	ND	ND	ND
Docosapentaenoic, 22:5	ND	ND	ND	ND
Docosahexaenoic, 22:6	0.18	0.15 - 0.27	0.21	0.16 - 0.26
지방 과산화				
유리지방산, %	1.7	1.1 - 2.4	1.1	0.6 - 1.7
Thiobarbituric acid absorbance	7.8	5.7 - 11.8	10.6	5.3 - 17.1
Peroxide value, mEq/kg	5.4	0.2 - 19.0	7.7	0.6 - 17.5

표 11. 옥수수 DDGS로 부터 추출한 기름의 지방 과산화도 측정과 DDGS 색깔 (Song과 Shurson, 2013)

	옥수수	DDGS				
		평균	중앙값	최소	최대	CV %
과산화가, mEq/kg oil	3.1	13.9	11.7	4.2	84.1	97.5
TBARS, ng MDA equivalents/mg oil	0.2	1.9	1.7	1.0	5.2	43.6
Color						
L*	83.9	54.1	54.9	45.2	58.1	4.6
a*	2.6	10.9	10.8	9.3	12.4	7.2
b*	20.0	37.3	37.5	26.6	42.7	8.8

DDGS의 자연 항산화제와 Phytochemical 성분

사료원료의 주된 역할은 동물의 영양소 요구량을 충족시키기 위하여 충분한 양의 열량과 가소화 영양소를 공급하는 것이나 어떤 원료는 영양소 뿐만 아니라 추가로 생리적 이익을 주는 물질들을 포함하고 있다. 이러한 물질들은 “기능성” 또는 nutraceutical (nutrition과 pharmaceutical의 합성어) 기능을 가진 것으로 알려져 있다. 옥수수에는 비타민 E를 포함해서 ferulic산과 carotenoids와 같은 건강에 도움을 주는 여러 가지의 생리활성 물질이 들어있다. 이러한 물질들은 다른 물질들과 함께 DDGS의 항산화 능력과 건강에 도움을 주는 것으로 사료된다.

DDGS의 식물 화학물질 함량과 항산화 능력에 관한 자료는 제한적이다. 하지만 DDGS 사료를 돼지, 가금류 그리고 어류에게 급여 시 장 건강과 면역반응에서 보여주는 유익한 효과를 이해하기 위해서는 식물 화학물질을 정량하는 것이 중요하다. 초기의 결과는 DDGS가 상당한 양의 여러 가지 항산화물질을 함유하고 있다는 증거를 제시하고 있는데 이들은 DDGS 내 과산화 지방을 동물에게 급여 시 야기되는 산화스트레스를 방지하는 것으로 보인다. DDGS 내 식물 화학물질들과 자연 항산화물질을 정량화 하는 최초의 시험은 Winkler-Moser와 Breyer (2011)에 의해 시도되었다. 이 연구자들은 POET로부터 DDGS 샘플을 수집하여 DDGS로부터 추출한 지방에 들어 있는 지방산 프로필, tocopherols, tocotrienols, carotenoids, oxidative stability index (OSI) 그리고 phytosterols를 정량하기 위해 집중적인 분석을 실시하였다 (표 12). 지방에 들어있는 tocopherols는 주된 항산화제 (Kamal-Eldin, 2006) 인데 산화 조건하에서 과산화를 최소화 시키기 위해 중요하다. Tocotrienols 역시 항산화제 역할을 하는데 (Schroeder 등, 2006), 혈액 콜레스테롤 감소, 항암 그리고 신경계보호에 도움을 주는 것으로 (Sen 등, 2000) 알려져 있다. 옥수수유 내의 주된 carotenoids는 lutein과 zeaxanthin인데 이들은 사람의 노화성 황반변성과 백내장을 방지하는 것으로 알려져 있다 (Zhao 등, 2006). Beta-carotene과 beta-cryptoxanthin은 비타민 A의 전구물질인데 (Bendich와 Olson, 1989), 모든 carotenoids는 사료 내 비타민 A를 공급하는 외에도 항산화제 역할, 면역반응 향상 그리고 특정 암 예방 등 건강에 도움을 주는 것으로 알려져 있다 (Bendich와 Olson, 1989; Rao와 Rao, 2007). Phytosterols는 혈액 콜레스테롤을 감소시키고 위장관 하부로부터 콜레스테롤의 재흡수를 막기 때문에 기능성 식품의 중요 성분이다 (Gylling와 Miettinen, 2005). Steryl ferulates는 phytosterol의 콜레스테롤 감소 기능을 보조해 주며 (Rong 등, 1997) 항산화 기능을 가지고 있다 (Nystrom 등, 2005). 최근의 연구에서 Shim 등 16개의 DDGS 샘플에서 항산화 능력과 tocopherol, tocotrienol, xanthophylls 그리고 ferulic acid의 함량과 변이를 측정하고 이 값을 옥수수 샘플과 비교하였다 (표 13). 이 시험의 결과 DDGS 제품들 간에는 조사한 물질들의 농도에 상당한 차이가 있었는데 DDGS는 옥수수에 들어 있는 농도의 두 세 배가 들어 있었다.

표 12. DDGS에서 추출한 지방 내 지방산 프로파일, 자연 항산화물질, 산화 안정성, 그리고 phytosterols (Winkler-Moser와 Breyer, 2011)

분석항목	농도
유리지방산, % oleic acid	10.5 + 0.18
지방산, 지방의 %	
16:0	12.9
16:1	0.1
18:0	1.8
18:1	28.1
18:2	55.5
20:0	0.3
18:3	1.2
20:1	0.0
계산 옥도가 (요오드가)	123.1
총, µg/g	1,104
Alpha-tocopherol, µg/g	296
Gamma-tocopherol, µg/g	761
Delta-tocopherol, µg/g	48
총 tocotrienols, µg/g	1,762
Alpha-tocotrienol, µg/g	472
Gamma-tocotrienol, µg/g	1,210
Delta-tocotrienol, µg/g	80
총 carotenoids, µg/g	75
Lutein, µg/g	47
Zeaxanthin, µg/g	24
Beta-cryptoxanthin	3.3
Beta-carotene, µg/g	0.9
OSI, hours at 110°C	6.62
총 phytosterols, mg/g	21.7
Campesterol, mg/g	2.97
Campestanol, mg/g	1.35
Stigmasterol, mg/g	1.10
Sitosterol, mg/g	10.3
Sitostanol, mg/g	3.72
Avenasterol, mg/g	0.93
Cycloartenol, mg/g	0.71
24-Methylene cycloartanol, mg/g	0.30
Citrostadienol, mg/g	0.31
Steryl ferulates, mg/g	3.42

표 13. 옥수수과 비교한 16개 DDGS 제품의 항산화 능력, tocopherols, tocotrienols, xanthophylls 그리고 ferulic acid 함량 (건물 기준) (Shurson, 2017)

	옥수수	DDGS		
		평균	최소	최대
항산화력, mmol tocopherol equiv./kg	8.1	38.07 + 93.9	29.0	65.2
Tocopherols 와 tocotrienols, mg/kg				
α -tocopherol	3.2	10.8 + 4.5	4.1	19.7
α -tocotrienol	2.4	9.3 + 2.2	5.4	12.8
γ -tocopherol	32.7	69.0 + 8.6	52.7	81.4
γ -tocotrienol	8.6	14.0 + 2.9	7.6	17.5
δ -tocopherol	10.1	18.2 + 3.6	10.0	24.3
Total tocopherols	57.0	121.3 + 16.9	90.8	141.2
Xanthophylls, μ g/g				
Lutein	385	627 + 218	447	1,343
Zeaxanthin	63	95 + 50	ND	243
총 xanthophylls	448	697 + 257	447	1,586
Ferulic acid, mg/g				
Free ferulic acid	0.01	0.042 + 0.016	0.018	0.087
총 ferulic acid	2.50	7.455 + 0.675	6.774	9.511

참고문헌

Bendich, A., and J.A. Olson. 1989. Biological actions of carotenoids. *FASEB J.* 3:1927-1932.

Buttkus, H.A. 1975. Fluorescent lipid autoxidation products. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 23:823-825.

Cromwell, G.L., C.C. Calvert, T.R. Cline, J.D. Crenshaw, R.A. Easter, R.C. Ewan, C.R. Hamilton, G.M. Hill, A.J. Lewis, D.C. Mahan, E.R. Miller, J.L. Nelssen, J.E. Pettigrew, L.F. Tribble, T.L. Veum, and J.T. Yen. 1999. Variability among sources and laboratories in nutrient analyses of corn and soybean meal. 77:3262-3273.

Fiene, S.P., T.W. York, and C. Shasteen. 2006. Correlation of DDGS IDEA™ digestibility assay for poultry with cockerel true amino acid digestibility. Pp. 82-89 In: *Proc. 4th Mid- Atlantic Nutrition Conference*. University of Maryland, College Park, MD.

Gylling, H., and T.A. Miettinen. 2005. The effect of plant stanol- and sterol-enriched foods on lipid metabolism, serum lipids and coronary heart disease. *Ann. Clin. Biochem.* 42:254-263.

Hanson, A.R., L. Wang, L.J. Johnston, S.K. Baidoo, J. L. Torrison, C. Chen, and G.C. Shurson. 2015. Effects of feeding peroxidized dried distillers grains with solubles to sows and progeny on growth performance and metabolic oxidative status of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 93:135-146.

Herrick, K.J., and B.J. Breitling. 2016. Nutrient variability of distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* abstract doi: 10.2527/msasas2016-342 p. 160-161.

Kamal-Eldin, A. 2006. Effect of fatty acids and tocopherols on the oxidative stability of vegetable oils. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 58:1051-1061.

- Kerr, B.J., W.A. Dozier, III, and G.C. Shurson. 2013. Effects of reduced-oil corn distillers dried grains with solubles composition on digestible and metabolizable energy value and prediction in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:3231-3243.
- Kerr, B.J., N.K. Gabler, and G.C. Shurson. 2015. Compositional effects of corn distillers dried grains with solubles with variable oil content on digestible, metabolizable, and net energy values in growing pigs. *Prof. Anim. Scientist* 31:485-496.
- Khayat, A., and D. Schwall. 1983. Lipid oxidation in seafood. *Food technol.* 37:130-140.
- Meloche, K.J., B.J. Kerr, G.C. Shurson, and W.A. Dozier. III. 2013. Apparent metabolizable energy and prediction equations for reduced-oil corn distillers dried grains with solubles in broiler chicks from 10 to 18 days of age. *Poult. Sci.* 92:3176-3183.
- National Research Council. 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. 11th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Noll, S., C. Parsons, and B. Walters. 2006. What's new since September 2005 in feeding distillers co-products to poultry. *Proc. 67th Minnesota Nutrition Conference & University of Minnesota Research Update Session: Livestock Production in the New Millennium*. pp. 149-154.
- Nyström, L., Mäkinen, A.-M. Lampi, and V. Piironen. 2005. Antioxidant activity of steryl ferulate extracts from rye and wheat bran. *J. Agric. Food Chem.* 53:2503-2510.
- Olentine, C. 1986. Ingredient profile: Distillers feeds. *Proc. Distillers Feed Conf.* 41:13-24.
- Olukosi, O.A., and A.O. Adebisi. 2013. Chemical composition and prediction of amino acid content of maize- and wheat-Distillers' Dried Grains with Soluble. *Anim. Feed Sci. Technol.* 185:182-189.
- Pedersen, M.B., S. Dalsgaard, K.E. Bach Knudsen, S. Yu, and H.N. Lærke. 2014. Compositional profile and variation of distillers dried grains with solubles from various origins with focus on non-starch polysaccharides. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197:130-141.
- Rao, A.V., and L.G. Rao. 2007. Carotenoids and human health. *Pharmacol. Res.* 55:207-216.
- Rong, N., L.M. Ausman, and R.J. Nicolosi. 1997. Oryzanol decreases cholesterol absorption and aortic fatty streaks in hamsters. *Lipids* 32:303-309.
- Schroeder, M.T., E.M. Becker, and L.H. Skibsted. 2006. Molecular mechanisms of antioxidant synergism of tocotrienols and carotenoids in palm oil. *J. Agric. Food Chem.* 54:3445-3453.
- Sen, C.K., S. Khann, and S. Roy. 2000. Tocotrienols in health and disease: The other half of the natural vitamin E family. *Mol. Aspects med.* 28:692-798.
- Shurson, G.C. 2017. The role of biofuels coproducts in feeding the world sustainably. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 5:229-254.
- Smith, B., A. Hassen, M. Hinds, D. Rice, D. Jones, T. Sauber, C. Iiams, D. Sevenich, R. Allen, F. Owens, J. McNaughton, and C. Parsons. 2015. Predicting the digestible energy of corn determined with growing swine from nutrient composition and cross-species measurements. *J. Anim. Sci.* 93:1025-1038.
- Song, R. and G.C. Shurson. 2013. Evaluation of lipid peroxidation level in corn dried distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 91:4383-4388.
- Song, R., C. Chen, L. Wang, L.J. Johnston, B.J. Kerr, T.E. Weber, and G.C. Shurson. 2013. High sulfure content in corn dried distillers grains with solubles (DDGS) protects against oxidized lipids in DDGS by increasing sulfur-containing antioxidants in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 91:2715-2728.
- Stein, H.H., L.V. Lagos, and G.A. Casas. 2016. Nutritional value of feed ingredients of plant origin fed to pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 218:33-69.
- Tahir, M., M.Y. Shim, N.E. Ward, C. Smith, E. Foster, A.C. Guney, and G.M. Pesti. 2012. Phytate and other nutrient components of feed ingredients for poultry. *Poult. Sci.* 91:928-935.
- Winkler-Moser, J.K., and L. Breyer. 2011. Composition and oxidative stability of crude oil extracts of corn germ and distillers grains. *Industrial Crops and Prod.* 33:572-578.
- Zeng, Z.K., G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Prediction of the concentration of standardized ileal digestible amino acids and safety margins among sources of distillers dried grains with solubles for growing pigs: A meta-analysis approach. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 231:150-159.
- Zhao, D.Y., P. Bhosal, and P.S. Bernstein. 2006. Carotenoids and ocular health. *Curr. Top. Nutr. Res.* 4:53-68.

CHAPTER 7

DDGS의 취급과 저장에 관련한 물리 화학적 특성

서론

다른 사료원료와 비교하여 DDGS는 저장과 취급에 영향을 주는 독특한 물리적, 화학적 특성을 가지고 있다. 가축, 가금류 그리고 양어 사료에 DDGS를 사용할 때 원료의 취급, 운송, 보관, 제조 등 여러 단계에서 문제점들이 있는데 특히 화물열차, 컨테이너나 벌크 선박에서 하역의 어려움이 있고, 전통적인 사료이송기나 저장 빈을 사용한 DDGS의 운반과 저장상의 어려움, 펠릿 품질과 생산성 저하 문제(14장과 17장 참조) 그리고 원하는 영양 스펙에 못 미치는 배합사료 제조위험을 피하기 위한 영양소 변이관리 문제 등이다(16장 참조). 사료원료의 적절한 보관은 영양가 보존과 부패방지를 위하여 필수적이다. 사료원료의 최초의 상태가 저장 중 품질의 보존에 가장 중요한데 이는 수분함량, 상대습도와 온도에 의해 영향을 받는다(Mills, 1989). 사료원료 내 수분은 시간이 지나면서 입자의 내부와 입자 사이의 공기와 궁극적으로 평형을 이루는데 상황에 따라 곰팡이나 다른 유해 미생물이 성장하게할 수 있다(Mills, 1989). 곡물의 최대 허용수분 농도는 곡물의 종류와 저장 기간에 따라 다르다(Mills, 1989). 곡물의 최대 허용 상대습도는 원하지 않는 곰팡이(70% 이하), 박테리아(90% 이하), 곤충(60% 이하)의 발생을 막기 위해 설정되어 있다(Mills, 1989). 수분과 상대습도는 저장환경의 온도와 상호작용을 한다는 점을 이해하는 것이 중요하다. 곡물과 사료원료를 저장 빈에 투입할 때 이들의 온도가 높을 경우 통풍을 시키면 수개월 동안 품질을 유지할 수 있다. 온도와 수분은 곡물이나 원료들의 효소와 생리적 활동력을 좌우하는데, 저장물의 온도 차이는 수분의 이동으로 인해 곰팡이 성장 위험도를 증가시킨다(Mills, 1989). 유감스럽게도, 장기간 여러 가지 기후 조건 하에서 DDGS의 품질을 유지하고 변질을 방지할 수 있는 최적의 저장 환경 조건은 아직 연구되지 않았다. 일반적으로 적당한 온도와 습도 하에서 저장한다면 DDGS의 수분 함량이 12% 이하로 건조하는 것이 적절하다고 본다.

저장 빈 (storage bin)의 공간 할당

일반 사료공장에서는 새로운 사료원료를 처음 사용할 때는 적당한 저장공간을 확보하거나 증축해야 한다. 사료공장에서 개방빈이나 사용하지 않았던 저장공간을 새 원료의 저장에 할당하는 경우는 흔치 않다. 간단한 해결책으로는 현재 쓰고 있는 원료의 사용을 중단하고 그 저장 빈을 새로운 원료에 할당하면 되지만 이것은 사료 제조공정에 장애를 받지 않고는 하기 어렵다(Behnke, 2007). 만약 빈 용량, hopper 배치 그리고 screw 디자인이 새 원료에 맞지 않는다면 새로운 방법을 택해야 한다(Behnke,

2007). 저장 빈에 사료원료를 배정할 때 가장 중요한 것은 해당 원료가 사료 제조에 사용되는 배합비를 결정하는 것이 중요한데 이는 일간 및 월간 사용량과 사용 빈도를 계산하는 데 필수적이다 (Behnke, 2007). 아마도 두 번째 가장 중요한 것은 원료의 벌크 밀도, 유량특성과 같은 물리적 특성을 고려하는 것이다.

DDGS의 bridging, caking 그리고 flowability (흘러내림, 유동성)

DDGS를 취급하는 데 있어서 가장 문제가 되는 점은 철도화물 차량과 벌크 선박으로부터 하역 시 가교성 (bridging), 응결성 (caking) 그리고 유량성 (flowability) 불량인 문제이다. Flowability에 대한 정의는 “이웃하는 입자들 가운데서나 컨테이너 벽 표면을 따라 움직이는 입자덩어리의 상대적 이동”이다 (Pelig, 1977). 유감스럽게도 일부 DDGS 제품은 flowability와 취급상의 문제점들로 인해 (Bhadra 등, 2008) 철도화물 수송 차량에 일반적인 사용이 어렵기 때문에 벌크 선박과 컨테이너를 위한 특수 설계된 하역 장비가 개발되었다. 또한 사료공장에서도 벌크 저장 컨테이너에서 발생하는 bridging문제로 가축과 가금류 사료에서의 사용에 제한요인이 된다 (Bhadra 등, 2008).

여러 가지 요인들이 벌크 원료의 흐름에 영향을 주는데 (Pelig, 1977) 어느 한 가지의 측정만으로 flowability를 적절히 설명할 수 없다. 그러나 DDGS의 수분함량과 환경의 상대습도가 bridging, caking 그리고 flowability의 주된 요인으로 지목되고 있으며 이 이외에도 입도, 건조 전 grains에 첨가하는 농축 solubles의 첨가수준, 건조기 온도, 건조기 출구에서의 수분함량 그리고 기타 요인들도 이 문제에 영향을 준다 (Ganesan et al., 2008 a, b, c). DDGS의 수분함량은 장기간 저장 하는 동안 곰팡이 발생을 저해하기 위하여 10%에서 12%를 유지하는 것이 보통이다. 그러나 DDGS는 흡습성이 있기 때문에 장기간 저장하는 동안에 습한 환경에 노출되면 수분함량이 점차 증가한다 (Ganesan 등, 2007). DDGS의 흡습성은 수송과 저장 동안 bridging, caking을 유발하고 flowability를 감소시킨다 (Rosentrater, 2007).

에탄올공장에는 DDGS를 수용할 충분한 공간이 없기 때문에, 때로는 건조기 출구에서 수분 평형이 이루어지기도 전에 수 시간 만에 수송설비에 실리게 된다. 이렇게 되면 트럭, 화물열차, 컨테이너 안에서 고체로 단단하게 굳어져 하역을 어렵게 만든다. 그렇지만 뜨끈한 DDGS를 식혀서 상차 전에 수분이 평형을 이루게 되면 flowability는 크게 향상된다. 대부분의 에탄올공장에서는 상차전에 최소 24시간의 숙성기간 또는 수분 평형 시간을 가짐으로써 bridging과 caking 발생으로 인한 하역 시 철도차량에서의 피해와 손실을 예방한다. 이상적으로는, DDGS를 5일에서 7일간 정치하면 완전한 수분 평형이 이루어져 냉각 시 생성되었던 액체 bridge가 깨어지고 취급상의 어려움이 최소화될 것이다 (Behnke, 2007). 유감스럽게도 대부분의 에탄올공장에서는 연속공정 동안 2~3일 간의 저장 능력뿐이기 때문에 충분한 수분 평형 기간인 5일에서 7일동안 저장할 수 없다.

벌크 고형물 주위의 상대습도와 수분함량과의 평형관계는 등온흡착곡선 (sorption isotherms)에 의해 영향을 받는다. 등온흡착곡선은 특정 습도에서 그리고 특정 온도에서의 수분 함량을 가리킨다. 따라서 저장환경의 상대습도가 증가하면 수착 (sorption)이 증가하고 입자 간의 액체 bridges가 형성되게 된다 (Mathlouthi와 Roge, 2003). 수분의 흡착 (adsorption)은 물질 표면의 안과 밖에 물이 붙어 있는 것을 말하고 탈착 (desorption)은 표면으로부터 물을 방출하는 것을 말하는데 습한 환경 조건 하에서는 복합적이고, 사료원료 내의 탄수화물, 당, 단백질, 섬유소 그리고 광물질 함량에 의해 영향을 받는다 (Chen, 2000). DDGS에서 이 관계를 이해하는 것은 수송과 저장 동안 DDGS의 bridging과 caking을 유발하는 수분함량과 상대습도를 결정하는 데 중요하다.

Kingsly와 Ileleji (2009)는 상대습도가 60%에 도달할 때 DDGS에서 액체 bridge가 형성되는 것을 보여 주었다. 상대습도 80%에서 DDGS는 최대 수분 포화에 도달했고 상대습도 100%에서는 수분 흡착에 의해 생성되었던 액체 bridge가 굳어지고 습도가 감소하면 고형의 bridge가 형성되었다. 이러한 결과는 수송과 저장 기간 동안 상대습도의 증가는 DDGS 입자 간에 불가역적 bridging 발생을 피할 수 없으며 입자의 응집 (clumping), caking 그리고 flowability의 감소를 유발하게 됨을 시사한다.

일부 에탄올공장에서는 DDGS를 펠릿화 함으로써 벌크의 밀도와 flowability를 향상시키고자 하였다. 캔자스주립대학교의 연구자들은 여러 가지 conditioning 온도, 펠릿 die 규격이 펠릿 생산 용이성, DDGS의 물리적 성격과 flowability 특성에 미치는 영향을 평가하였는데 어떠한 pelleting 조건에서도 DDGS의 flowability를 향상시켰다 (Behnke, 2007). 그러나 이러한 시도는 미국 에탄올산업에서는 여러 가지 이유로 실행되지 않았다. 첫 번째 이유로는 추가설치 비용이다. 보일러, 펠릿 기계의 구매 및 설치비용, 인력훈련과 인건비 그리고 추가 설치공간이 필요하다. 다음으로 DDGS 고객들은 pelleting과 정에서 결착제의 혼입과 pelleting 과정에서 발생하는 열로 인한 영양소와 아미노산의 저하에 대해 우려하고, 사료공장에서 사료 배합에 투여하기 전 펠릿을 재분쇄 해야하기 때문에 비용증가로 구매를 주저한다.

DDGS지방의 함량이 flowability에 미치는 영향

전통적인 고지방 (Rosentrater, 2006), 지방 저감 (Ganesan 등, 2009) 그리고 저지방 (Saunders와 Rosentrater, 2007) DDGS의 물리적 특성에 대하여 평가하였는데 Ganesan 등 (2009)은 지방 저감 DDGS는 전통적인 고지방 DDGS에 비해 flowability가 개선되었지만 두 가지 타입 모두 들러붙는 (cohesive) 성질을 가지고 있는 것으로 분류되는데, 이는 DDGS가 지방함량과 관계없이 저장 기간이 길면 bridging과 caking에 취약하다는 것을 시사한다. 이 연구자들은 DDGS의 flowability는 오일함량보다 화학적 조성 and 입자 표면의 형태 (거칠기, 크기, 모양)에 의해 더 큰 영향을 받는다는 것을 시사하였다.

앞에서 언급한 바와 같이 완전 수분 평형을 위한 저장 시간의 연장이나 DDGS pelleting은 취급이나 flowability를 개선하기 위해 현재 선택할 수 있는 방안이 되지 못하여 몇 가지 새로운 장비가 개발되어 열차나 컨테이너로부터 하역을 촉진하는 데 사용되고 있다, 예를 들면 열차 위에 설치된 고정장치에서 강철 창이 나와 굳어진 덩어리를 하역 전에 분쇄한다. 이 방법들이 하역 시간을 단축하지만, 이 또한 인건비와 기계사용비를 발생시킨다. 많은 사료 회사들은 DDGS 취급에 따르는 flowability 문제를 피하기 위하여 DDGS 저장 빈이나 사일로 대신에 flat 창고 저장을 택한다. flat 창고 저장의 주된 장점은 flowability의 문제점을 충분히 해결하고 사일로를 건축하는 것보다 단기적 투자 비용이 적다는 것이다. 그러나 flat 창고 저장은 집중적인 노동력이 필요하고, 화물 운반을 위해 적재하는 장비 (front-end loading equipment)가 필요하며, 저장시설 내의 다른 원료와의 오염의 위험이 있고, 감량이 증가할 수 있다.

DDGS의 flowability 개선을 위한 첨가제의 효과

DDGS의 flowability 개선을 위해 유동성 개선제를 첨가하는 시험이 몇 번 시도되었는데 Ganesan 등 (2008a)은 실험실에서 수분함량과 농축 distillers solubles의 첨가량을 달리한 DDGS에 탄산칼슘 (calcium carbonate)의 첨가효과를 평가하였는데 flowability에는 효과가 없었다. Johnston 등 (2009)은 건물 X-7 (2.5 kg/metric ton; Delst, Inc. Temecula, CA), 2% calcium carbonate (ILC Resources, Inc., Des Moines, IA), 또는 1.25% clinoptilolite zeolite (St. Cloud Mining Co., Winston, NM)를 수분 9% 또는 12%의 DDGS에 첨가한 후 flowability를 평가하였다. 에탄올공장에서 DDGS와 유동성 개선제를 섞은 후 트럭에 상차하여 250 km를 주행한 다음 60시간을 정차했다가 다시 250 km를 주행하여 에탄올공장으로 돌아와서 하차 시 flowability를 측정하였다. 2개월 기간 중 각 4일의 평균온도는 12.9°C에서 27.8°C였고 외기 상대습도는 34%에서 67%였다. 여기에 사용된 DDGS의 평균 입자크기는 584 μm 에서 668 μm 였다. 각각의 트럭 DDGS가 하역되는 동안의 유속은 zeolite (558 kg/min) 첨가구가 건물 X-7 (441 kg/min) 첨가구보다 높았으나 이들은 대조구 (무첨가구; 509 kg/min)와 calcium carbonate (512 kg/min) 첨가구와 유의한 차이가 없었다. 한편 flowability score (1 = free flowing, 10 = badly bridged)는 DDGS에 zeolite첨가한 구 (4.0)가 대조구 (6.0), 건물 X-7구 (6.5) 그리고 calcium carbonate 첨가구 (5.5) DDGS보다 향상되었다. 상차 시 수분함량이 가장 중요한 DDGS flowability의 예측변수인데 (변이의 70%를 설명), 9% 이상에서 1%가 증가함에 따라 하역속도는 100 kg/min씩 감소한다. Ganesan 등 (2008b)은 DDGS의 수분이 증가하면 flowability가 감소한다는 유사결과를 발표하였다. Ganesan 등 (2008b)은 또한 DDGS의 Hunter b* score (yellowness of color)가 증가하면 flowability가 증가하였으나 이는 유동성 (flowability rate) 변이의 4%에 지나지 않는다고 하였다. 이러한 결과는 DDGS의 유동성을 향상시키는 가장 효과적인 방법은 DDGS 수분함량을 9% 이하로 건조시키는 것이며 건물 X-7, calcium carbonate와 zeolite의 첨가는 트럭에서 DDGS의 하역 시 유의한 이점이 없었다.

벌크 밀도가 DDGS의 운송 중량과 입자 분리에 미치는 영향

화물열차와 컨테이너에 상차 시 DDGS의 벌크 밀도를 일정하게 유지하는 것이 판매자나 구매자에게는 중요한데 이는 열차나 컨테이너에 연속적으로 상차할 때 일정한 운송 중량을 유지함으로써 수송비를 최소화할 수 있기 때문이다 (Ileleji와 Rosentrater, 2008). DDGS 제품 간에는 벌크 밀도에 차이가 있는데 보고된 바에 의하면 391 kg/m^3 에서 496 kg/m^3 (Rosentrater, 2006)와 490 kg/m^3 에서 590 kg/m^3 (Bhadra et al., 2009) 이다. Clementson과 Ileleji (2010)는 상차 시 관측되는 벌크 밀도의 차이는 입자 분리에 기인하는 것으로 보고 있다. DDGS는 다양한 크기의 입자도, 밀도 그리고 옥수수 알곡의 구조성 분에서 보이는 형태적 특징을 가진 입자로 된 알갱이 형태의 벌크 고형물이기 때문에 이런 현상이 발생한다. 입자 분리 현상은 DDGS의 취급과 중력 하차 시 발생한다 (Ileleji 등, 2007; Clementson 등, 2009). Clementson와 Ileleji (2010)는 에탄올공장에서 열차에 상, 하차 시를 시뮬레이션하기 위하여 hopper에 채울 때와 비울 때 DDGS의 벌크 비중의 변이를 평가하기 위한 시험을 실시하였다. 그 결과 벌크 비중은 DDGS를 채울 때와 비울 때 벌크 비중에 변이가 있었는데 이는 주로 입자 분리에 기인하였다. 이 연구에서 DDGS를 hopper에 채웠을 때 미세하고, 작고, 밀도가 높은 입자는 hopper의 중심에 밀집하고 입자가 크고, 거칠고, 밀도가 낮은 입자는 hopper의 벽 쪽으로 밀집하였다. 이러한 현상은 DDGS를 옮겨 실을 때 벌크 밀도의 변이를 야기할 뿐 아니라 영양소 분석을 위한 DDGS 샘플을 채취할 때도 유의해야 하는데 샘플 채취 위치에 따라 입자도에 차이가 있으므로 분석 결과에 영향을 줄 수 있다 (Clementson 등, 2009).

저장 빈 디자인과 입도가 DDGS 사료의 Flowability에 미치는 영향

사료저장 빈 디자인의 효과

DDGS의 flowability는 상차, 수송, 저장 및 사료 제조 상의 문제만 아니라 양돈농장에서 가루 사료로 DDGS 사료를 급여 시 문제가 발생한다. 부적절한 사료의 흐름은 급여기로의 사료운송이 느려지고 급여기에 bridge 현상이 발생하며 급여가 중단되는 상황이 발생할 수 있다. 이로 인해 스트레스와 장 건강 문제가 발생하고 돼지의 성장률이 저하된다 (Hilbrands 등, 2016). 이 문제는 돼지 사료에 DDGS 배합량을 30% 이상 사용하면 경제적인 이점이 있는 상황에서 큰 관심사이다. 특히 미국에서는 돼지의 사료 전환율 향상을 위해 작은 입자의 가루 사료를 급여하는 것이 흔한 일이다. 저장 빈 디자인은 DDGS를 함유한 사료의 flowability 문제 해결을 위해 상당한 의미와 가능성을 제시한다. Hilbrands 등 (2016)은 세 개의 시판 사료저장 빈 제품을 사용하여 사료의 흐름을 평가하기 위한 실험을 실시하였다. 세 개의 빈 디자인은 1) 아연 도금한 철판으로 옆면이 매끄럽고, 땀질 자국이 없고, 60도 경사의 둥근 방출 원뿔이 있는 빈 (Steel60), 2) 아연도금한 골진 철판으로 67도 경사의 둥근 방출 원뿔이 있는 빈 (Steel67), 그리고 3) 백색의 polyethylene으로 60도의 둥근 방출 원뿔이 있는 빈 (Poly60) 이었다. 빈의 형태는 방출

원뿔의 경사각이 다르고 빈의 재질이 다르도록 선택하였다. 이 실험에서 사용된 사료는 옥수수 55%, 대두박 3%, DDGS 40% 그리고 미네랄과 비타민 2% 이었다. 이 실험사료는 평균 입도가 736 microns 에서 1,015 microns 사이로 분쇄하였다. 이 실험은 여름과 가을에 각 한차례씩 실시하였는데 여름 기온은 16.6℃와 30.9℃ 사이였으며 상대습도는 39.4%에서 100 %이었다. 가을 실험기간 동안의 기온은 2.9℃에서 23.7℃ 사이였고 상대습도는 23.3%에서 92.7%이었다. 사료 방출 속도는 Steel60 bins보다 Poly60 bins이 빨랐으며 Steel67 bins는 중간이었다 (표 1). 하지만 방출속도가 가장 느린 Steel60 bins은 방출되는 동안 방출을 지속하기 위해 망치로 두드리는 횟수가 가장 적게 필요했다는 점은 흥미롭다. 표 2에서 보는 바와 같이 진동기를 장착한 빈은 진동기를 장착하지 않은 빈에 비하여 사료의 흘러내리는 속도가 증가하였으며 Poly60 bins에 장착했을 때가 강철 빈들보다 효과가 더 있었다. 하지만 처음 실험과 달리 사료의 흘러내림을 지속시키는데 필요한 두드림 수는 여섯 개 처리 구간 (3x2)에 유의한 차이가 없었다. 이러한 결과는 DDGS를 40% 함유한 가루 사료를 방출하는 동안 사료 빈의 디자인이 흘러내리는 속도에 영향을 준다는 것을 시사한다. Poly60 bin이 강철 빈 디자인들 보다 사료의 흐름과 방출 속도가 높았으며 진동기 장착이 모든 빈에서 사료의 흐름을 증가시켰다.

표 1. 빈 디자인과 상층부 공간의 온도와 상대습도가 사료의 flowability에 미치는 영향 (Hilbrands 등, 2016)¹

실험 1			
측정항목	Steel60	Poly60	Steel67
평균온도, °C	23.6	22.9	22.6
평균습도, %	55.3	54.7	53.9
사료의 흐름, kg/min	603 ^a	737 ^b	663 ^{ab}
필요한 두드림수 ²	3.8 ^a	7.5 ^b	6.0 ^b
Flowability score ³	3.7 ^a	4.9 ^b	4.2 ^{ab}

¹ Means with different superscript letters are different (P < 0.05)

² Number of taps on the side of the bin required during discharge.

³ Subjective score assigned to flowability (1 = free flowing, 10 = completely bridged)

표 2. 빈 디자인, 진동기 장착, 상층부 공간의 온도와 습도가 사료 flowability에 미치는 영향 (Hilbrands 등, 2016)¹

실험 2

측정항목	Steel60		Poly60		Steel67	
	무진동기	진동기	무진동기	진동기	무진동기	진동기
평균온도, °C	20.1	20.4	19.6	19.5	19.0	18.8
평균습도, %	58.3	65.0	65.0	61.3	61.1	63.8
사료의 흐름, kg/min	827 ^a	827 ^a	831 ^a	970 ^b	807 ^a	880 ^a
필요한 두드림수 ²	2.1	2.0	5.2	2.5	3.2	2.0
Flowability score ³	2.3	2.6	4.2	2.9	3.7	2.3

¹ Means with different superscript letters are different (P less than 0.05).

² Number of taps on the side of the bin required during discharge.

³ Subjective score assigned to flowability (1 = free flowing, 10 = completely bridged)

입자도의 영향

DDGS의 입자는 제품 간에 크기의 차이가 심한데 평균 660 μm 이고 표준편차는 440 μm 이다 (Liu, 2008). DDGS의 입자크기는 유동성 (Ganesan 등, 2008a,b,c)에 영향을 줄 뿐 아니라 ME 함량과 영양소 이용률에도 영향을 준다 (Mendoza 등, 2010). DDGS의 입자도가 옥성돈에서 ME와 영양소 이용률에 미치는 영향을 더 깊이 연구하기 위해 Liu 등 (2012)은 DDGS를 세 개의 크기 (818 μm = 거친, 594 μm = 중간 그리고 308 μm = 미세한)로 분쇄하여 ME와 영양소 이용률을 측정하였다. 이 시험에서는 DDGS를 30% 배합된 사료의 유동성도 검토하였다. 예상한 바와 같이 DDGS의 ME 함량은 입자도가 감소하면 증가하였는데 평균입자도 (818~308 μm)가 25 μm 감소할 때마다 건물 기준으로 13.5kcal/kg의 ME가 증가하였다. 그러나 DDGS의 입자도는 질소나 인의 소화율에는 영향이 없었다. 유동성에 있어서 DDGS 30% 사료는 옥수수-대두박 사료보다 감소하였으며 미세한 DDGS를 함유한 사료가 유동성이 가장 낮았다 (정지각 측정으로 결정). 이 사료들의 유동성을 정지각을 측정기준으로 결정하였을 때 대조구와 30% DDGS 배합사료 간에는 유의한 차이가 없었으며 DDGS의 입자도가 다른 사료 간에도 유의한 차이가 없었다.

DDGS 저장 기간 동안 곰팡이의 성장과 곰팡이독소의 발생위험

유독성 곰팡이는 곡물이 경작지에서 생육 중 또는 수확 후 저장 기간 동안에 발생할 수 있다 (Suleiman 등, 2013). 따라서 곰팡이들은 야외 곰팡이와 저장 곰팡이로 분류한다 (Barney 등, 1995). 야외 곰팡이는 수분함량 22~33%, 상대습도 80% 이상 그리고 기온 10~35°C에서 옥수수 알곡을 감염시키고 곰팡

이 독소를 생산할 수 있다 (Williams와 MacDonald, 1983; Montross 등, 1999). 대부분의 야외 곰팡이는 저장 기간 동안 살아남지 못하나 일부 종은 저장 중 조건이 맞으면 계속 자랄 수 있다 (Sanchis 등, 1982). 저장 곰팡이는 야외 곰팡이로부터 유래되었는데 수확 전에 옥수수 알곡을 감염시킨 곰팡이와 같은 종류이다 (Reed 등, 2007). 표 3에서 보는 바와 같이 저장 곰팡이는 상대습도가 70% 이상 그리고 옥수수 알곡의 수분 함량 12% 이상을 요구한다 (Montross 등, 1999). 수확 후에 *Fusarium* spp., *Rhizopus* spp. 그리고 *Tilletia* spp.와 같은 추가적인 곰팡이 종이 유입될 수 있다 (Williams와 MacDonald, 1983; Barney 등, 1995). DDGS는 옥수수 알곡으로 생산하기 때문에 같은 종류의 곰팡이나 독소가 들어 있을 수 있다는 것은 당연하다. 그러나 DDGS의 특이한 물리 화학적 특성으로 인해 옥수수 알곡에 적용된 이 상대습도와 수분함량이 DDGS의 곰팡이오염에도 적용되는지는 알려져 있지 않다. 사실 수확 전후 그리고 가공공정에서 일어나는 옥수수 알곡의 물리적 변화는 곰팡이 포자가 더 용이하게 침입할 수 있게 해주며 (Dharmaputra 등, 1994), 파쇄 옥수수와 이물질은 저장 곰팡이의 성장을 촉진한다 (Sone, 2001).

DDGS 제품의 지방 과산화

돼지와 육계에 과산화 지방 급여영향

옥수수 DDGS는 세계적으로 동물사료에 사용되는 일반 원료 중 지방함량이 가장 많은 사료원료이다. 지방 과산화는 열, 산소, 수분, 전이 금속 (예; Cu, Fe)에 의해 일어나는 복합 연쇄 화학반응으로 유리가 독성이 있는 알데하이드와 다른 물질로 바뀐다 (Shurson 등, 2015). DDGS에 들어 있는 옥수수는 주로 다중 불포화지방산으로 되어 있고 특히 많이 들어 있는 linoleic acid (C18:2, 58%)는 과산화에 매우 취약하다 (Frankel 등, 1984). 지방이 비교적 높은 온도에서 가열되면 aldehydes, carbonyls 그리고 ketones와 같은 많은 양의 2차 지방 과산화 반응물질이 생성된다 (Esterbauer 등, 1991). DDGS를 생산하기 위한 건조기의 온도는 500°C에 이르며 이는 지방 과산화를 촉진시킨다. DDGS 생산 에탄올공장에서는 모든 친산화 조건들 (열, 산소, 수분, 전이 금속)이 존재하고 있으며 이후에도 DDGS는 수송, 저장, 사료공장에서 배합사료의 제조 시 추가로 이런 조건에 노출된다. 따라서 DDGS가 생산된 후 수송이나 장기간 저장 중 일어나는 과산화의 정도에 관해 관심을 가지게 된다.

돼지와 육계에 과산화 지방을 급여 시 성장률이 감소하고 산화 스트레스가 증가하는 것으로 알려져 있다. Hung 등 (2017)은 29개의 돼지 및 가금류실험 자료를 메타 분석 (meta-analysis) 한 결과 일당 증체량 (5%), 일당 사료 섭취량 (3%), gain:feed (2%) 그리고 혈장 vitamin E (52%)가 감소하고 TBARS (thiobarbituric acid reactive substances; 120%)가 증가하였다. 근래에 Kerr 등 (2015)과 Shurson 등 (2015)이 돼지와 가금에 과산화 지방을 급여 시 나타나는 생리적 효과에 대한 개요와 과산화 지방의 측정과 그 결과의 문제에 대해 제시하였다.

표 3. 온도 25°C~27°C 사이에서 곡물에 저장 곰팡이의 성장에 필요한 상대습도와 수분함량 (Montross 등, 1999)

곰팡이 종	상대습도, %	수분함량, %
<i>Aspergillus halophilicus</i>	68	12 - 14
<i>Aspergillus restrictus</i>	70	13 - 15
<i>Aspergillus glaucus</i>	73	13 - 15
<i>Aspergillus candidus</i>	80	14 - 16
<i>Aspergillus ochraeus</i>	80	14 - 16
<i>Aspergillus flavus</i>	82	15 - 18
<i>Aspergillus parssiticus</i>	82	15 - 18
<i>Penicillium spp</i>	80 - 90	15 - 18

DDGS 제품에서 지방 과산화 지표에 대한 조사

Song과 Shurson (2013)은 미국 9개 주 에탄올공장에서 31개 DDGS 샘플을 수집하여 지방 과산화도를 측정하고 이들 값을 옥수수 알곡 표준샘플과 비교평가 하였다 (표 4). 과산화가와 TBARS (thiobarbituric acid reactive substances)는 사료 산업에서 지방 과산화도를 측정하기 위하여 오랫동안 사용해 왔다. 그러나 이 과산화도 측정 표지들은 다른 과산화도 측정 방법들과 마찬가지로 몇 가지 한계점을 가지고 있기 때문에 항상 진정지방 과산화도를 반영하지는 않는다 (Hung 등, 2017; Shurson 등, 2015). 현재 사료원료의 지방 과산화도를 측정하는 표준이나 가이드라인은 없다. 하지만 Wang 등 (2016)은 4-hydroxynonenal과 선별된 알데하이드와의 비율이 식물성 유지에서 과산화도를 평가하는 데 더 나은 방법이라고 제시하였다. 유감스럽게도 이 분석 방법은 일반 실험실에서는 잘 쓰이지 않고 있다.

과산화가 (Peroxide value; PV)는 과산화 과정의 초기 단계에 일어나는 과산화도를 측정하는 데 사용되어 왔다. DDGS 샘플의 PV는 최소 4.2에서 최대 84.1 meq/kg 지방으로 변이가 매우 심하다 (CV = 97.5%). TBARS 값은 지방의 과산화 과정에서 대부분의 알데하이드가 생산되는 전파단계에서 지방 과산화도를 평가하는 방법으로 사용되어 왔다. DDGS 제품 간 TBARS 값은 PV에 비해 변이 (CV = 43.6%)가 적었고 1.0 ~ 5.2 ng MDA equiv./mg 지방이었다. PV나 TBARS 값은 DDGS 샘플에서 옥수수 표준 샘플에 비해 높았는데 이는 DDGS 생산에서 열처리 과정을 거치기 때문에 충분히 예측되는 사항이다. 비색계 측정치와 비교하면 L*과 PV ($r = -0.63$) 그리고 b*와 PV ($r = -0.57$)는 중등의 부의 상관관계가 있었고 L*과 TBARS ($r = -0.73$) 그리고 b*와 TBARS ($r = -0.67$) 사이에는 약간 높은 부의 상관관계가 있었다. 이 결과에 의하면 DDGS의 색깔이 어둡고 황색이 적을수록 과산화도가 높을 것으로 예측된다.

하지만 후속 연구에서 가장 많이 과산화된 DDGS를 급여 시 이유부터 출하까지 (Song 등, 2014) 그리고 모돈과 포유기간 동안의 자돈 사양 (Hanson 등, 2016)에서 성장률에 부정적 영향이 없었다. 이 실험에서 성장률에서 부정적 영향이 나타나지 않은 것은 DDGS 내 높은 함량의 자연 항산화제들 (tocopherols, ferulic acid, lutein, zeaxanthin; Shurson, 2017)과 유황의 내생 항산화제로의 전환에 기인한 것으로 사료된다.

표 4. 옥수수 31개 샘플로부터 추출한 지방의 과산화 지표와 DDGS의 색 요약 (Song과 Shurson, 2013)

DDGS						
측정항목	옥수수	평균	중위	최소	최대	CV %
과산화가 (PV), meq/kg oil	3.1	13.9	11.7	4.2	84.1	97.5
TBARS ¹ , ng MDA equiv./mg oil	0.2	1.9	1.7	1.0	5.2	43.6
색						
L ^{*2}	83.9	54.1	54.9	45.2	58.1	4.6
a ^{*3}	2.6	10.9	10.8	9.3	12.4	7.2
b ^{*4}	20.0	37.3	37.5	26.6	42.7	8.8

¹ TBARS = thiobarbituric acid reactive substances

² L^{*} = a greater value indicates a lighter color.

³ a^{*} = a greater positive value indicates a more reddish color.

⁴ b^{*} = a greater positive value indicates a more yellowish color.

DDGS의 지방 과산화 방지를 위한 시판 항산화제의 효과

사료 지방의 과산화를 최소화하기 위하여 시판되고 있는 합성 항산화제가 사용된다 (Valenzuela 등, 2002; Chen 등, 2014). 가장 널리 사용되는 합성 항산화제는 t-butyl-4-hydroxyanisole (BHA), 2,6-di-t-butylhydroxytoluene (BHT), t-butylhydroquinone (TBHQ), ethoxyquin 그리고 2,6-di-ter-butyl-4-hydroxymethyl-phenol (Guo, 등, 2006)이다. 고지방 (13% 조지방) DDGS와 저지방 (5% 조지방) DDGS에 합성 항산화제의 첨가 효과를 평가하는 단 하나의 시험이 실시되었다 (Hanson 등, 2015b). 이 두 DDGS 샘플에 항산화제 무첨가 대조구, 1,000 mg/kg TBHQ (Rendox; Kemin Industries, Des Moines, IA) 그리고 1,500 mg/kg ethoxyquin과 TBHQ (Santoquin; Novus International, St. Louis, MO)를 처리하였다. 샘플은 38℃ 온도에 상대습도 90%로 통제된 환경에서 28일간 보관하고 0, 14 그리고 28일 차에 샘플을 채취하여 지방 과산화도를 측정하였다. 이 연구 결과 28일 저장 기간 동안 지방 과산화가 유의하게 일어나고 증가하였으며 고지방 DDGS에서 저지방 DDGS에서보다 지방 과산화가 유의하게 많이 일어났다 (표 5). 하지만 Rendox나 Santoquin을 고지방 또는 저지방 DDGS에 첨가했을 때 과산화도를 약 50% 저감시켰다. 따라서 28일간 덩고 습한 환경에서

DDGS를 저장할 경우 Rendox나 Santoquin을 첨가하면 DDGS의 지방 과산화를 저감시킬수 있음을 보여준다. 또한 28일간 저장 기간 동안 DDGS의 수분함량은 10.2%에서 21.4%로 증가하였고 샘플에 상당량의 곰팡이가 발생하였다.

표 5. DDGS의 지방함량, 항산화제, 그리고 샘플 채취일이 기온 38°C, 상대습도 90%에 저장한 DDGS의 지방 과산화에 미치는 상호 효과 (Hanson 등, 2015)

항목	고지방 DDGS			저지방 DDGS		
	대조구	Rendox	Santoquin	대조구	Rendox	Santoquin
과산화가 (PV), mEq/kg oil						
14일	7.1 ^a	3.1 ^{bc}	3.6 ^b	4.5 ^d	2.7 ^c	2.8 ^c
28일	31.4 ^a	13.9 ^{bc}	15.4 ^b	20.5 ^d	11.7 ^{bc}	13.6 ^{bc}
TBARS ¹ , mg MDA ² Eq/kg oil						
14일	5.1 ^a	2.9 ^{cd}	2.4 ^d	3.8 ^{bc}	2.4 ^d	2.3 ^d
28일	21.1 ^a	9.5 ^b	9.0 ^b	14.3 ^d	11.0 ^{bc}	10.1 ^{bc}
p-Anisidine value ³						
14일	3.9 ^a	1.0 ^b	1.0 ^b	3.8 ^a	0.7 ^b	1.0 ^b
28일	9.1 ^a	3.4 ^{bc}	2.9 ^{bc}	9.5 ^a	5.0 ^b	4.3 ^b

a,b,c,d Means within a row with different superscripts are different (P less than 0.05).

¹ TBARS = thiobarbituric acid reactive substance

² MDA = malondialdehyde

³ p-anisidine value has no units

참고문헌

Barney, R.J., B.D. Price, J.D. Sedlacek, and M. Siddiqui. 1995. Fungal species composition and abundance on stored corn as influenced by several management practices and maize weevil (Coleoptera curculionidae). *Crop Protection* 14:159-164.

Behnke, K.C. 2007. Feed manufacturing considerations for using DDGS in poultry and livestock diets. *Proc. 5th Mid-Atlantic Nutrition Conference*, N.G. Zimmerman, ed., University of Maryland, College Park, MD. p. 77-81.

Bhadra, R., K. Muthukumarappan, and K.A. Rosentrater. 2009. Flowability properties of commercial distillers dried grains with solubles (DDGS). *Cereal Chem.* 86:170-180.

Bhadra, R., K.A. Rosentrater, and K. Muthukumarappan. 2008. Understanding and modeling flowability of DDGS. ASABE Paper No. 083808. St. Joseph, MI. ASABE.

Chen, X., Y. Zhang, Y. Zu, L. Yang, Q. Lu, and W. Wang. 2014. Antioxidant effects of rosemary extracts on sunflower oil compared with synthetic antioxidants. *Int. J. Food Sci. Technol.* 49:385-391.

Chen, C. 2000. Factors which affect equilibrium relative humidity of agricultural products. *Trans. ASABE* 43:673-683.

Clementson, C.L., and K.E. Ileleji. 2010. Variability of bulk density of distillers dried grains with solubles (DDGS) during gravity-drive discharge. *Bioresource technol.* 101:5459-5468.

Clementson, C.L., K.E. Ileleji, and R.L. Strohshine. 2009. Particle segregation within a pile of bulk density of distillers dried grains with solubles (DDGS) and variability in nutrient content. *Cereal Chem.* 86:267-273.

Dharmaputra, O.S., H.K. Purwadaria, H. Susilo, and S.

- Ambarwati. 1994. The effects of drying and shelling on fusarium spp. infection and fusarium toxins production in maize. Grain drying in Asia: Proc. Int'l Conf. at FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand, October 17-20, 1995. P. 275-281.
- Esterbauer, H., R.J. Schaur, and H. Zollner. 1991. Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malonaldehyde and related aldehydes. *Free Radic. Biol. Med.* 11:81-128.
- Frankel, E.N., L.M. Smith, C.L. Hamblin, R.K. Creveling, and A.J. Clifford. 1984. Occurrence of cyclic fatty acid isomers in frying fats used for fast foods. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 61:87-90.
- Ganesan, V., K.A. Rosentrater, and K. Muthukumarappan. 2009. Physical and flow properties of regular and reduced fat distillers dried grains with solubles (DDGS). *Food Bioprocess. Technol.* 2:156-166.
- Ganesan, V., K. Muthukumarappan, and K.A. Rosentrater. 2008a. Effect of flow agent addition on the physical properties of DDGS with varying moisture content and soluble levels. *Trans. ASABE* 51:591-601.
- Ganesan, V., K. Muthukumarappan, and K.A. Rosentrater. 2008b. Effect of soluble and moisture content on the physical and chemical properties of DDGS. *Cereal Chem.* 85:464-470.
- Ganesan, V., K. Muthukumarappan, and K.A. Rosentrater. 2008c. Flow properties of DDGS with varying soluble and moisture contents using jenike shear testing. *Powder Tech.* doi:10.1016/j.powtec.2008.02.003.
- Ganesan, V., K.A. Rosentrater, and K. Muthukumarappan. 2007. Dynamic water adsorption characteristics of distillers dried grains with solubles (DDGS). *Cereal Chem.* 84:548-555.
- Guo, L., M.-Y. Xie, A.-P. Yan, Y.-Q. Wan, and Y.M. Wu. 2006. Simultaneous determination of five synthetic antioxidants in edible vegetable oil by GC-MS. *Anal. Bioanal. Chem.* 386:1881-1881.
- Hanson, A.R., P.E. Urriola, L. Wang, L.J. Johnston, C. Chen, and G.C. Shurson. 2016. Dietary peroxidized maize oil affects the growth performance and antioxidant status of nursery pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 216:251-261.
- Hanson, A.R., L. Wang, L.J. Johnston, S.K. Baidoo, J. L. Torrison, C. Chen, and G.C. Shurson. 2015a. Effects of feeding peroxidized dried distillers grains with solubles to sows and progeny on growth performance and metabolic oxidative status of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 93:135-146.
- Hanson, A.R., P.E. Urriola, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2015b. Impact of synthetic antioxidants on lipid peroxidation of distiller's dried grains with solubles and distiller's corn oil under high temperature and humidity conditions. *J. Anim. Sci.* 93:4070-4078.
- Hilbrands, A.M., K.A. Rosentrater, G.C. Shurson, and L.J. Johnston. 2016. Influence of storage bin design and feed characteristics on flowability of pig diets containing maize distillers dried grains with solubles. *Appl. Engineering in Agri.* 32:273-280.
- Hung, Y.T., A.R. Hanson, G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: A meta-analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:47-58.
- Ileleji, K.E., and K.A. Rosentrater. 2008. On the physical properties of dried distillers grains with solubles (DDGS). ASAE Paper No. 084576. ASAE, St. Joseph, MI.
- Ileleji, K.E., K.S. Prakash, R.L. Strohshine, and C.L. Clementson. 2007. An investigation of particle segregation in corn processed dried distillers grains with solubles (DDGS) induced by three handling scenarios. *Bulk Solids Powder Sci. Technol.* 2:84-94.
- Johnston, L.J., J. Goihl, and G.C. Shurson. 2009. Selected additives did not improve flowability of DDGS in commercial systems. *Appl. Engineering in Agri.* 25:75-82.
- Kerr, B.J., T.A. Kellner, and G.C. Shurson. 2015. Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:30.
- Kingsly, A.R.P., and K.E. Ileleji. 2009. Influence of relative humidity on corn distillers dried grain with solubles (DDGS) flowability. ASABE Paper No. 095799. St. Joseph, MI. 11 pp.
- Liu, P., L.W.O. Souza, S.K. Baidoo, and G.C. Shurson. 2012. Impact of distillers dried grains with solubles particle size on nutrient digestibility, DE and ME content, and flowability in diets for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:4925-4932.
- Liu, K. 2008. Particle size distribution of distillers dried grains with solubles (DDGS) and relationships to compositional and color properties. *Bioresource Technol.* 99:8421-8428.
- Mathlouthi, M., and B. Roge. 2003. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. *Food Chem.* 82:61-71.
- Mendoza, O.F., M. Ellis, A.M. Gaines, M. Kocher, T. Sauber, and D. Jones. 2010. Effect of particle size of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) on digestible and metabolizable energy content for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88(E-Suppl. 3):92 (Abstr.)
- Mills, J.T. 1989. Spoilage and heating of stored agricultural products: prevention, detection and control. Canadian Government Publishing Centre, Ottawa, Canada, Agriculture

and Agri-Food Canada Publication 1823E, 98 pp.

Montross, J.E., M.D. Montross, and F.W. Bakker-Arkema. 1999. Part 1.4 Grain storage. F.W. Bakker-Arkema, D.P. Amirante, M. Ruiz-Altisent, and C.J. Studry matteran, eds. In: CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. IV. Agro-Processing Engineering. St. Joseph, MI, p. 46-59.

Peleg, G. 1977. Flowability of food powders and methods for its evaluation - A review. *J. Food Process Eng.* 1:303-328.

Reed, D., S. Doyungan, B. Iorger, and A. Getchel. 2007. Response of storage molds to different initial moisture contents of maize (corn) stored at 25°C, and effect on respiration rate and nutrient composition. *J. Stored Products Res.* 43:443-458.

Rosentrater, K.A., 2007. Ethanol processing coproducts - A review of some current constraints and potential directions. *Int. Sugar J.* 109:1-12.

Rosentrater, K.A. 2006. Some physical properties of distillers dried grains with solubles (DDGS). *Appl. Eng. Agri.* 22:589-595.

Sanchis, V., I. Vinas, M. Jimenez, M.A. Calvo, and E. Hernandez. 1982. Mycotoxin-producing fungi isolated from bin-stored corn. *Mycopathologia* 80:89-93.

Saunders, J., and K.A. Rosentrater. 2007. Physical properties of low oil distillers dried grains with solubles (DDGS). ASABE Paper No. 076062. St. Joseph, MI. ASABE.

Shurson, G.C., B.J. Kerr, and A.R. Hanson. 2015. Evaluating the quality of feed fats and oils and their effects on pig growth performance. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:10.

Shurson, G.C. 2017. The role of biofuels co-products in feeding the world sustainably. *Ann. Rev. Anim. Biosciences* 5:229-254.

Sone, J. 2001. Mold growth in maize storage as affected by compound factors: Difference levels of maize weevils, broken corn and foreign materials, and moisture contents. *J. Asia-Pacific Entomology* 4:17-21.

Song, R., and G.C. Shurson. 2013. Evaluation of lipid peroxidation level in corn dried distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 91:4383-4388.

Song, R., C. Chen, L.J. Johnston, B.J. Kerr, T.E. Weber, and G.C. Shurson. 2014. Effects of feeding diets containing highly peroxidized distillers dried grains with solubles and increasing vitamin E levels to wean-finish pigs on growth performance, carcass characteristics, and pork fat composition. *J. Anim. Sci.* 92:198-210.

Song, R., C. Chen, L. Wang, L.J. Johnston, B.J. Kerr, T.E. Weber, and G.C. Shurson. 2013. High sulfur content in corn dried distillers grains with solubles protects against oxidized lipids by increasing sulfur-containing antioxidants in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 91:2715-2728.

Suleiman, R.A., K.A. Rosentrater, and C.J. Bern. 2013. Effects of deterioration parameters on storage of maize. ASABE Paper No. 131593351. St. Joseph, MI, ASABE. 52 pp.

Valenzuela, A., J. Sanhueza, and S. Nieto. 2002. Effect of synthetic antioxidants on cholesterol stability during the thermal-induced oxidation of a polyunsaturated vegetable oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 79:325-328.

Wang, L., A.S. Csallany, B.J. Kerr, G.C. Shurson, and C. Chen. 2016. Kinetics of forming aldehydes in frying oils and their distribution in french fries revealed by LC-MS-based chemometrics. *J. Agric. Food Chem.* 64:3881-3889.

Williams, R.J., and D. MacDonald. 1983. Grains molds in the tropics: Problems and importance. *Ann. Rev. Phytopathology* 21:153-178.

CHAPTER 8

DDGS색깔은 DDGS품질과 영양가의 믿을 만한 지표가 아니다

DDGS 색깔이 품질 이슈인 이유는?

옥수수 (예; U.S. #2)나 다른 U.S. 곡물처럼 DDGS는 등급제도가 규정된 품질표준이 없다. 그 결과 세계적으로 미국 DDGS의 구매자나 판매자 사이에는 오해가 일어날 수 있다. 품질표준이 없는 상황 하에서는 가격책정, 계약체결, 기대충족 등에 문제가 생길 수 있다. 지난 10년 동안 업계, 정부 그리고 학계의 전문가들은 이 문제를 토의하고 DDGS의 품질표준 제정에 대한 시도가 있었다. 그러나 정해진 품질표준의 필요성에 대한 합의의 불발로 인해 이러한 시도는 실패하였다. 아마도 DDGS 제품 간의 품질과 가치의 차이에 대한 식별능력과 투명성의 증대에 대한 두려움 때문이 아닌가 생각된다. 대부분의 미국 DDGS 판매자는 수분과 조섬유 함량의 최대치와 지방과 단백질의 최소치 보증에 초점을 두는 것을 선호한다. 그러나 미국 DDGS의 영양소 함량과 품질의 변이 때문에 많은 국제 DDGS 구매자들은 부산물들을 구매하는데 있어서 그들의 기대치를 보장받기 위하여 특수항목에 대한 더 많은 보증을 요구한다.

DDGS의 색깔은 수출시장에서 일부 구매자들에게는 중요한 품질요인으로 간주되고 있는데 이는 DDGS 제품의 품질과 가치의 차이를 평가하는 수단으로 사용되고있다. 과거에는 DDGS 판매자와 구매자들은 DDGS 제품들의 색깔을 구별하기 위하여 다섯 색깔의 scoring card (그림 1)을 사용하여 주관적으로 색깔을 평가하는 방법을 사용하였다. 이 DDGS 색깔 score card는 오늘도 시장에서 사용되고 있지만 다수의 판매자는 더 이상 사용하지 않고 있다. 왜냐하면 이 방법은 너무 주관적이고 DDGS의 실제 color score에 대한 해석상의 차이 때문에 구매자와 잦은 분쟁이 발생하기 때문이다. 그 결과 미국의 공



그림 1. DDGS color score card의 예

급자와 해외 특히 아시아 국가들의 구매자 사이의 계약에서는 색깔의 양적인 측정치 (즉 L^* - lightness or darkness of color)의 최소 보장 값을 포함한다. DDGS 색깔 명도의 차이를 표시하기 위해 현재 일부 구매자가 요구하는 최소 보증 값은 Hunter $L^* > 50$ 이다. 색깔에 관계없이 미국 DDGS의 수출량이 증가하고 있지만, 일부 시장에서는 밝은 색깔의 DDGS (즉 $L^* > 50$)를 요구하고 있기 때문에 DDGS 수출시장에서 $L^* > 50$ 보증제품을 제공할 수 있다면 상당한 가격 프리미엄을 기대할 수 있다.

결과적으로 수요자의 색깔 요구사항에 맞는 DDGS를 공급해 줄 수 없는 경우 미국 공급자는 DDGS의 색깔을 품질의 지표로 사용하는데 대하여 회의를 가지고 실망하게 된다. 따라서 이 장에서는 DDGS의 품질에 대한 정의와 시장에서 품질의 지표로 사용하는 색깔의 역할 그리고 다른 품질 특성의 변이에 대한 설명과 DDGS의 가치를 평가하는데 사용할 수 있는 방법들에 대하여 서술한다.

품질에 대한 정의는?

품질에 대한 정의는 다양하다. 품질이란 필수 특성 또는 우수성, 우월성, 뛰어난을 표현하는 고유의 특성으로 정의된다 (<http://www.merriam-webster.com/dictionary/quality>).

비즈니스 측면에서 (<http://www.businessdictionary.com/definition/quality.html>) 품질은 일반적인 우수성의 척도 또는 결점, 부족 그리고 큰 변이가 없는 상태라고 정의한다. ISO 8402-1986 standard는 품질을 “서술하고 시한된 필요성에 대한 만족을 줄 수 있는 제품이나 서비스의 특징과 특성의 총화”라고 정의하였다. 제조업에서 품질의 정의는 특수고객이나 사용자의 요구를 만족시키는 제품의 균일성을 유지하기 위하여 측정할 수 있고 검정할 수 있는 표준을 지속적으로 지키는 것을 의미한다. 품질은 객관적으로는 측정할 수 있는 기준을 사용하여 결정할 수 있으며, 주관적으로는 관측하고 추정할 수 있지만 측정할 수 없는 특징을 가지고 있다. 결과적으로 품질은 일반적인 용어로 물질의 바람직한 특성을 일컬으며 대상이 되는 사람이 달라지면 다른 물질을 의미할 수 있다.

사료원료와 사료에서 품질은 어떻게 결정되는가?

사료제조업자와 동물생산업자는 사료원료와 사료의 품질을 평가하기 위하여 물리적, 화학적 그리고 생물학적 검사를 포함한 여러 가지의 정량 정성분석을 사용한다. 사료의 물리적인 평가는 정성적으로 원료와 사료의 성질의 변화를 규명하기 위하여 사용한다. 일반적으로 평가하는 물리적 특성은 색깔, 입도, 부피밀도, 균일성, 냄새, 맛, 촉감과 소리가 포함된다. 물리적 평가를 통하여 색출하여야 할 가장 흔한 물리적 오염물질들은 잡곡, 잡초 씨, 겨, 모래이다.

화학적 검사는 정량적이며 영양소 함량과 오염물질에 대한 정확한 예측을 하게 한다. 상업실험실을 이용하여 사료원료의 조성분을 분석하는 것이 품질평가의 일반적인 절차이다. 이 분석에서 실시하는 대표적인 분석항목은 수분, 조단백질, 조지방, 조섬유 그리고 회분이다. 원료 스펙(영양소 함량)은 사료제조 품질관리 프로그램에 필수적이며, 구매계약서 작성, 품질평가와 사료 배합비 작성에 기초가 된다. 이 영양소 스펙은 배달된 원료가 기대치에 부응해야 할 표준이 되며 때로는 잠재적인 오염 물질(예: 곰팡이 독소, dioxin)에 관한 사항도 포함한다.

사료나 사료원료가 혼입되어 오염되었거나 불량품일 가능성이 있을 때 사료 현미경 검사도 이용된다. 이 검사에서는 사료원료 샘플을 현미경하에서 저배율 (8x~50x)이나 고배율 (100x~500x)에서 모양, 색깔, 입자도, 연도, 경도, 질감을 검사한다.

사료원료의 생물학적 검사도 실시하는데, 이는 대부분 동물과 실험실 연구시설이 있는 대학이나 대규모 사료회사로 한정된다. 여기서는 동물과 특수 훈련된 인원을 사용하여 여러 동물의 소화나 대사 시험을 실시한다. 이 방법은 시간이 걸리고, 비용이 많이 들기 때문에 사료공장의 일반 품질관리 프로그램에는 일상적으로 이용할 수 없다. 그러나 이 방법은 모든 다른 방법에 비해 사료원료의 품질과 사양가치를 평가하는 가장 확실한 방법이다.

이와 같이 품질이란 일반적인 용어로 물질의 바람직한 특성을 지칭하는 것으로 다른 사람에게는 다른 것을 의미할 수 있다. 어떤 사람에게는 DDGS 품질은 동물의 건강이나 생산성에 위해가 될 수 있는 곰팡이독소나 다른 바람직하지 않은 항영양인자를 가지고 있지 않는 것을 의미할 수 있다. 다른 사람에게는 영양소 함량과 소화율의 일관성을 의미할 수 있다. 이러한 정의에 따라 색상은 어떤 시장에서는 DDGS 품질로 사용되거나 사용될 수도 있다.

색깔은 왜 측정하는가?

색깔은 수십 년간 사료원료의 영양적 품질의 주관적인 지표로 사용되었다. 유리아미노산 특히 lysine은 환원당과 결합하여 Maillard 반응을 일으키며 동물 체내에서는 불용성이 된다. Louis Camille Maillard는 1912년에 당과 아미노산 간의 화학적 반응에 대한 증거를 처음으로 발견하고 이를 발표하였다. Maillard 반응은 당과 아미노산 그리고 복합탄수화물과 아마이드가 열처리될 때 일어나는 일련의 화학반응이다. 이 반응들은 중 또는 고단백 사료원료가 생산 및 건조과정에서 과열 처리될 때 일어나며 색깔이 어두워지고 (browning) 탄 맛과 냄새가 난다. 건식분쇄 에탄올공장장에서 사용하는 건조기의 온도는 127~621℃이다. DDGS에서 Maillard 반응의 영양적 중요성은 반추 가축 (Klopfenstein과 Britton, 1987)과 돼지와 가금 (Cromwell 등, 1993)에서 보여주었는데 DDGS의 단백질 품질 저하와 직결된다 (Cromwell 등, 1993; Fastinger과 Mahan 2006; Stein 등, 2006). Maillard 반응은 건조유청, 혈분 그리고 대두박과 같은 다른 일반 원료에서도 일어난다. 이 원료들의 색깔이 어두워지면 과열 처리가 일어났고 단백질 품질이 저하되었다는 것을 시사한다. 따라서 사료원료 구매자나 생산자들은 사료원료의 단백질 품질과 소화율을 평가하는데 일반적인 지표로 색깔을 쓰도록 훈련을 받았다,

또한 색깔은 곡물의 성숙도, 저장상태, 독소의 유무, 모래에 의한 오염 그리고 살충제나 항곰팡이제의 사용여부를 짐작케 하는데, 맑지 않고 칙칙해 보이면 바람직하지 않다. 수수는 오렌지에서 적색 색조를

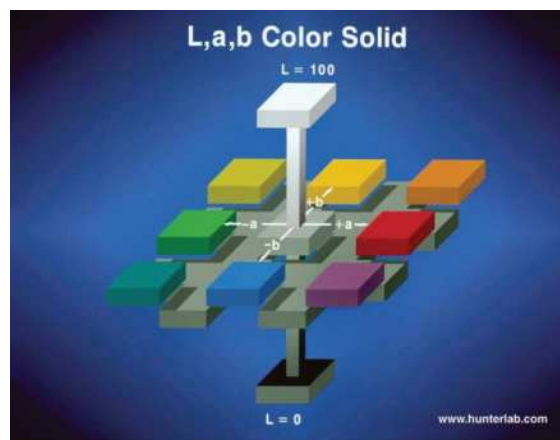
피면 탄닌 함량이 높다. 갈색이나 어두운 색깔을 띠는 곡물이나 곡물가공부산물은 과열 처리를 했거나 부적절한 저장으로 인해 변질되어 영양가를 감소시킨다. 흑색의 어분은 어유의 산패를 시사한다.

색깔 측정방법

Hunter와 Minolta 색채계는 막대사탕, 과자 그리고 빵과 같이 열처리 가공한 물질의 영양적 물리적 특성의 지표 측정을 위해 인체식품 산업에서 다년간 사용해 왔다. 이 식품들은 색깔이 중요한 고려 요소인데 때로는 식품의 색깔이 소비자의 기호도를 좌우할 때도 있다. 색깔은 오스트리아 빈에 있는 Commission Internationale d'Eclairage [Lightness or L^* (0 dark, 100 lighter), a^* (redness-greenness) and b^* (yellowness-blueness); 그림 2] 에서 정의한 세 가지 색깔의 특성에 의해 측정된다. 사료원료 특히 DDGS의 색채계 측정은 사료산업에서 중 또는 고단백질 원료의 열처리 피해의 정도를 평가하기 위하여 널리 사용하게 되었다. Minolta 색채계는 Hunter Lab 색채계에 비해 color score가 낮다는 것을 아는 것이 중요하다.

Urriola 등 (2013)은 샘플의 Minolta 측정치는 Hunter 측정치 보다 대체적으로 L^* 측정치가 2.9단위 낮고 b^* 측정치는 1.7단위 낮은 것을 보여주었다. 그러나 color score로 메긴 샘플의 순위는 두 방법이 모두 동일 하였다. 따라서 만약 color score가 DDGS 제품의 판매에서 기준이 된다면 결과에 대한 오해를 없애기 위하여 사용되는 측정 방법 (예; Hunter 또는 Minolta)을 명시하는 것이 필수적이다.

그림 2. Hunter Lab color 측정 scale



일부 수출시장에서 색깔이 왜 중요한가?

국제 경제속에서 살고 일할 때 세계 다른 지역의 문화가 사물을 어떻게 인지하는지, 사고방식의 상징적 특성 그리고 선택한 행동을 하는 근거를 이해하는 것이 필수적이다. 예를 들어 web site (http://webdesign.about.com/od/colorcharts/1/bl_colorculture.htm)에서는 다른 문화에서 다른 색깔이 무엇을 의미하는지를 설명하고 있다. 중국 문화에서는 황색이 가장 아름답고 대지에 해당하며 모든 것의 중심이라 간주한다 (http://en.wikipedia.org/wiki/Color_in_Chinese_culture). 황색은 갈색보다 상위에 있고 중화와 행운의 상징이다. 황색은 중국황실의 색이며 고대중국의 전설적인 다섯 황제 상징색이다. 왕궁의 색깔이고 회랑과 사원에도 황색을 사용하고 황제의 의복도 황색이었다. 황색은 불교에서 세상근심으로부터의 자유를 상징하며 높게 평가받고 있다.

터군다나 아시아 국가들에서는 난황색이 짙은 황색의 계란을 좋아하고 계육의 피부도 황색인 것을 좋아한다. 반면에 미국은 난황색이나 외피색깔이 옅은 색깔이 전형적이다. 따라서 황색이나 금색이 갈색에 비해 높게 평가 받는 것이 “황금색”의 DDGS가 아시아 여러 곳에서 선호되는 이유 중의 하나일 것이다.

DDGS의 색깔과 영양가와는 관계가 있는가?

DDGS 제품 간의 색깔 변이

미산 옥수수 DDGS 제품 간에는 상당한 색깔의 차이가 있다 (그림 3). DDGS 제품 간에 색깔의 범위 (L^* , a^* 그리고 b^*), 또는 열처리 정도 그리고 영양가와 물리적 특성의 차이 간의 상관관계를 평가하기 위하여 15개의 시험을 실시하였다. 이 시험의 주요 결과를 표 1에 요약하였다. 두 개의 연구 (Urriola 등, 2013; Song and Shurson, 2013)를 제외한 다른 모든 연구들은 매우 제한된 수 (2~9개)의 샘플로 시험하였다. 그러나 제한된 샘플 수로 실시한 시험이지만 Rosentrater (2006), Pahm 등 (2009) 그리고 Kingsly 등 (2010)에 의한 시험 이외에는 분석 샘플 간에는 L^* color scores에 상당한 차이가 있었다. Cromwell 등 (1993)과 Urriola 등 (2013)의 시험에서는 주정공장에서 생산된 DDGS 샘플도 포함되었



그림 3. 미국 옥수수 DDGS 간의 색깔 차이

기 때문에 매우 낮은 L^* 값 (검은 샘플)이 설명되지만 연료 에탄올공장에서만 생산된 DDGS만 가지고 시험한 Fastinger과 Mahan (2006) 그리고 Bhadra 등 (2007)에 의하여 보고된 낮은 L^* 값은 설명이 되지 않는다.

표 1. DDGS의 색깔 (또는 열처리 정도)이 영양적 물리적 특성에 미치는 영향에 대한 연구 결과의 요약

참고	# DDGS 제품	L* range	a* range	b* range	주요 발견사항
Cromwell 등 (1993)	9	28.9-53.2	ND	12.4-24.1	육계의 체중, 사료효율에 있어 DDGS의 L*과 lysine수준, 그리고 L*과 b* 사이에 유의한 상관관계. 돼지에서도 유사한 효과. DDGS의 ADIN은 닭의 증체량과 사료효율과 고도의 상관관계가 있음.
Whitney 등 (2001)	2	ND; Light and Dark	ND	ND	돼지에 있어서 밝은 색 DDGS의 lysine 외관상 회장소화율 (AID)은 47.4 % 였지만 어두운 색깔의 DDGS lysine의 AID는 0% 였다.
Ergul 등 (2003)	4	41.8-53.8	ND	32.9-42.8	가금에 있어서 L*과 b* 그리고 가소화 lysine사이에 유의한 상관관계.
Roberson 등 (2005)	2	ND; Light and Dark	ND	ND	밝은 색깔의 제품은 29.8 mg/kg xanthophyll, 어두운 색깔의 제품은 3.5 mg/kg xanthophylls 함유.
Rosentrater (2006)	6	40.0-49.8	8.0-9.8	18.2-23.5	L*, a*와 b*는 여러 개의 물리적 성질이 상관관계가 있음.
Batal과 Dale (2006)	6	47.9-62.9	4.1-7.6	8.8-28.4	가소화 Lys, Thr, Arg, His, Trp과 L*와 b* 값 사이에는 유의한 상관관계가 있으나 a* 값과는 상관관계가 없음.
Fastinger와 Mahan (2006)	5	28.0-55.1	6.7-9.0	15.8-41.9	높은 L*과 b* color 값을 가진 DDGS는 돼지에 있어서 외관상 및 표준회장가소화 (SID) 아미노산함량이 어두운 색깔의 DDGS보다 높았다.
Urriola (2013)	34	36.5-62.5	8.0-12.0	21.3-47.0	돼지에서 가소화 단백질과 아미노산은 Minolta 또는 Hunter color score와의 상관관계가 매우 낮았다 (R2 =0.30). L*와 표준 회장소화 (SID) lysine과의 상관관계는 샘플에서 L*가 <50 때가 (R2 =0.48) >50일 때 (R2 =0.03) 보다 크다.
Bhadra 등 (2007)	3	36.6-50.2	5.2-10.8	12.5-23.4	a*와 b* color 수치는 수분활동과 상관관계가 높았으며 저장과 가공에 중요한 열 특성과는 중간의 상관관계가 있었다.
Martinez, Amezcua 그리고 Parsons (2007)	ND	ND; heat process-sed light colored DDGS sample	ND	ND	가금에서 DDGS의 인 생체 이용률은 열처리에 따라 유의하게 증가하였지만 아미노산 특히 lysine의 소화율은 크게 감소하였다.
Ganesan 등 (2008)	ND	40.8-54.1	12.4-18.7	57.6-73.3	DDGS 제조시 grains에 첨가하는 solubles의 첨가량이 증가하면 L*값이 감소하고 a*값이 증가한다. 이는 수분과의 상호작용으로 DDGS의 색깔에 영향을 준다.
Liu (2008)	6	44.9-59.6	8.3-11.4	31.0-46.4	대부분의 DDGS 샘플에서 입자도가 증가하면 L*와 b*값이 감소하고 a*값이 약간 증가하였다.
Pahm (2009)	7	49.3-56.4	10.4-14.5	36.7-43.9	가금에서 L*과 SID lysine 간의 상관관계는 낮았으나 (0.29), 생체이용 lysine과는 매우 높았다 (0.90).
Kingsly 등 (2010)	1	49.0-53.4	8.8-11.3	24.7-26.5	농축 condensed solubles (CDS)의 수준이 감소하면 L*값이 증가하고 a*값이 감소하였다.
Song 등 (2013)	31	45.2-58.1	9.3-12.4	26.6-42.4	지방산화 측정치 (TBARS와 PV)와 L*와 b*값 간에는 유의한 상관 관계가 있었다. DDGS TBARS는 옥수수보다 5~25x 높았다.

ND = not measured

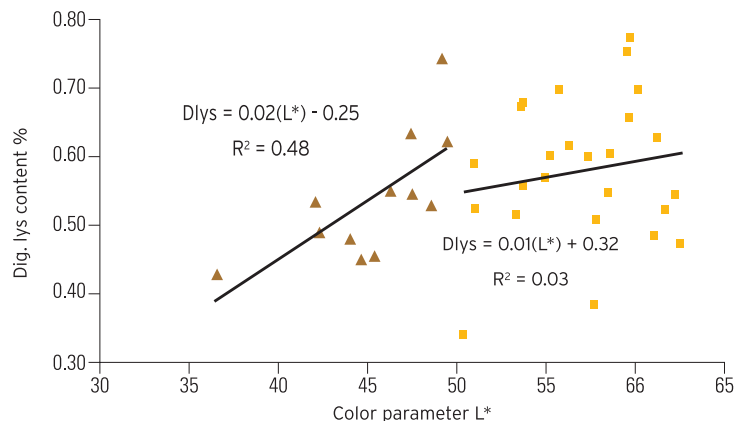
DDGS에서 lysine소화율은 색깔과 관계가 있는가?

Evans와 Butts (1948)의 연구는 사료원료의 과열 처리는 아미노산과 단백질을 섬유소와 같은 다른 물질과 결합하게 하여 단위동물 (가금, 돼지, 물고기 등)에서 아미노산 특히 lysine의 소화율을 감소시키는 것을 처음으로 보여주었다. 그 결과로 15개의 연구 중 7개가 색깔을 과도한 열 처리와 DDGS에서의 아미노산 소화율의 감소 지표로 사용하는 것이 주목적이었다 (표 1). DDGS 색깔, lysine 함량 그리고 동물의 생산성과의 관계에 대한 첫번째 증거는 Cromwell 등 (1933)에 의해 발표되었다. Lysine 함량은 가장 밝은 색의 DDGS에서 가장 높았으며, 중간 색깔에서 가운데, 그리고 가장 어두운 색깔의 DDGS에서 가장 낮았다. 또한 육계에서 Hunter L*과 증체량, 사료효율 사이에 유의한 상관관계가 있었다. Color score가 유사한 DDGS 제품을 돼지 사료에 사용하여 급여하였을 때 닭시험에서 보여준 생산성과 유사하였다. Ergul 등 (2003)과 Batal과 Dale (2006)이 추가적으로 수행한 가금류시험에서 넓은 범위의 L*와 b*값을 가진 DDGS를 평가한 결과 lysine과 아미노산의 소화율은 L*와 b*값과 유의한 상관관계가 있다는 사실을 밝힘으로써 Cromwell 등 (1993)의 연구결과를 확인하였다. 하지만 최근의 Pahn 등 (2009)의 연구 결과에 의하면 "황금색"으로 분류되고 L*값의 범위가 좁은 (49~56) 7개의 DDGS 샘플을 평가하였을 때, 가금에서 L*값이 lysine의 소화율에 영향을 미치지 않았다. 그러나 이 제품들 간에 lysine의 생체 이용률에는 유의한 차이가 있었다. 유사한 추가적인 양돈시험 (Whitney 등, 2001; Fastinger와 Mahan, 2006)에서 L*값이 높은 DDGS 제품은 L*값이 낮은 (어두운 색깔) DDGS 제품보다 아미노산 소화율이 높았다. 그러나 Urriola 등 (2013)은 L*값이 광범위 (37~63)한 많은 수의 DDGS 샘플 (n=34)을 사용하여 시험한 결과 돼지의 가소화 단백질과 아미노산은 Minolta나 Hunter color scores로 예측하기가 어렵다 ($R^2 < 0.30$)는 것을 최초로 보여주었다. 샘플의 L*값과 가소화 lysine과의 상관관계는 L*값이 50미만일 때가 50이상일 때 보다 상관관계가 더 컸다 (그림 4). 하지만 DDGS의 L*값이 50이하일 때도 L*와 돼지에서의 가소화 lysine과의 상관관계는 크지 않았는데 ($R^2=0.48$), 이는 색깔이 DDGS 제품의 가소화 lysine함량을 정확히 예측하는데 사용할 수 없다는 것을 시사한다. 이 시험의 이러한 결과들은 L*값이 50미만인 경우 a*가 아니라 L*와 b*를 lysine 소화율의 일반적인 지표로 사용할 수 있음을 나타낸다. 그러나 L*값이 50이상인 경우는 그렇지 않다.

DDGS 건조온도와 인 이용률과의 관계

비록 DDGS의 건조시간 동안 과도한 열처리 (저 L*값과 어두운 색깔)는 가금에서 lysine과 다른 아미노산의 소화율을 저하시킨다는 증거가 지속적으로 나오고 있지만 인의 생체 이용률은 증가하는 것으로 보인다. Martinez-Amezcu와 Parsons (2007)은 밝은 색깔의 DDGS에 지속적으로 열을 가할 때 인의 생체 이용률이 증가하지만 아미노산의 소화율은 크게 감소하는 것을 관찰하였다. 이는 DDGS를 과도하게 열처리 했을 때 인의 이용률이 증가함으로써 영양가를 높이는 최초 사례의 증거이다.

그림 4. 돼지에서의 옥수수 DDGS의 밝은 색깔 (L*)과 가소화 lysine 함량과의 관계 (Urriola 등, 2013)



DDGS 색깔과 Xanthophyll 함량과의 관계

DDGS 내 xanthophyll 함량을 측정하는 몇몇 연구가 수행되었다. Xanthophylls은 옥수수과 옥수수 가공 부산물에 함유된 황색/오렌지색의 자연색소이다. 이는 많은 나라들 특히 아시아에서 난황의 색깔과 육계의 표피를 황금색으로 만드는데 필요한 귀중한 성분이다. 합성 xanthophyll 색소는 (가끔 금잔화 꽃으로부터 추출) 매우 비싸지만 아시아 국가들은 가금사료에 주색소 공급원으로 사용한다. 따라서 옥수수 글루텐밀과 같은 옥수수 가공부산물이나 DDGS를 가금사료에 첨가하면 값비싼 합성 착색제를 어느정도 대체할 수 있고 고객이 원하는 난황이나 표피의 색깔기준을 충족시키면서 사료가격을 낮출 수 있다. DDGS 내 xanthophyll값은 10.6 mg/kg과 34.0 mg/kg 사이이다 (Sauvant와 Tran, 2004). Roberson 등 (2005)은 색깔의 측정을 위하여 Minolta 나 Hunter 색채계를 사용하지 않았지만 어두운 색깔의 DDGS는 3.5 mg/kg xanthophyll을 함유하고 밝은 황금색의 DDGS는 29.8 mg/kg xanthophyll을 함유하고 있었다. DDGS를 과열 처리하면 xanthophyll을 산화시켜 결과적으로 이의 함량을 감소시키는 것으로 보인다. 따라서 밝은 색깔의 DDGS는 어두운 색깔의 DDGS보다 xanthophyll 함량이 많을 것으로 예상된다.

DDGS의 색깔과 지방 산화와의 관계

옥수수 DDGS의 지방 과산화도를 평가하기위한 시험이 몇 개 수행되었다. DDGS는 5~13%의 옥수수유를 함유하고 있으며 옥수수유는 지방산화에 취약한 다량의 다중불포화지방산 (특히 linoleic acid)을 함유하고 있다. 에탄올공장에서는 건조온도가 85℃에서 600℃이다. 건조공정 동안에 건조시간과 온도를 증가시키면 지방의 과산화를 촉진시킨다. 과산화지방을 함유한 사료를 돼지와 육계에 급여 시 건강과 성장에 부정적인 영향을 미친다 (L' Estrange 등, 1967; Dibner 등, 1996; DeRouchey 등, 2004; Hung 등, 2017). Harrell 등 (2010)은 과산화 옥수수유나 DDGS를 포유 자돈에게 급여 시 과산화가 일

어나지 않은 신선한 옥수수유를 급여한 자돈보다 성장률이 감소되었다. Song과 Shurson (2013) 은 31 개 옥수수 DDGS 샘플의 지방 과산화도를 측정하기 위해 일반 실험실 방법인 thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)와 과산화가 (peroxide value; PV)를 측정하였다. 그 결과 TBARS의 범위는 1.0~5.2 ng MDA equivalents/mg oil이었으며, PV의 범위는 4.2~84.1 meq/kg oil이었다. DDGS 샘플 중 가장 높은 TBARS와 PV 값을 가진 것은 옥수수 대조구에 비해 각각 25 배와 27배가 높았다. 또한 이 발표자들은 DDGS의 L*와 b*값은 지방 과산화도와 유의한 부의 상관관계를 가지고 있다고 보고하였다. 이러한 결과들은 어둡고 덜 노란 DDGS는 밝은 색깔의 DDGS에 비하여 과산화물의 농도가 높을 것이라는 것을 시사한다.

DDGS의 색깔과 물리적 특성 간에는 관계가 있는가?

DDGS의 색깔과 저장이나 사료의 추가가공에 영향을 줄 수 있는 물리적 특성 사이의 관계를 이해하기 위하여 다섯 개의 시험을 실시하였다 (표 1). Rosentrater (2006)는 L*, a* 그리고 b*가 DDGS가 가진 여러 개의 물리적 특성 (수분, 수분 활성도, 전도성, 저항률, 벌크 비중 그리고 유동성)과 상관관계가 있다고 처음으로 보고하였다. Bhadra 등 (2007)은 이러한 사실들을 확인하였으며 a*와 b*가 물의 활동성과 높은 상관관계를 가지고 있으며 DDGS의 열성 (thermal property)과는 중등의 상관관계를 가지고 있어 색깔은 사료 저장과 추가가공 특성을 평가하는데 지표가 될 수 있다는 점을 시사한다.

에탄올공장에서는 DDGS를 생산하기 위해 다양한 양의 농축 distillers solubles가 거친 곡물 잔류물 (coarse grains fraction)에 첨가된다. DDGS를 생산하기 위해 첨가하는 solubles와 coarse grains은 이들의 영양소 함량이 현격하게 차이 나기 때문에 이들의 혼합비율은 DDGS의 영양소 성분에 영향을 준다. Coarse grains 잔류물은 농축 solubles부분에 비해 건물 함량 (33.8 vs. 19.5%), 조단백질 (33.8 vs. 19.5%) 그리고 조섬유 (9.1 vs. 1.4 %)의 함량이 높은 반면, 조지방 (7.7 vs. 17.4%), 회분 (3.0 vs. 8.4%) 그리고 인 (0.6 vs. 1.3 %)의 함량이 낮다. 따라서 농축 solubles를 coarse grains에 첨가하는 비율이 높아지면 DDGS 내의 조지방, 회분 그리고 인의 함량이 높아지고 조단백질과 조섬유의 함량이 감소한다.

Noll 등 (2006)은 wet grains에 다양한 수준의 solubles를 첨가하여 생산된 옥수수 DDGS의 영양소 성분과 소화율을 평가하였다. DDGS 샘플은 grains에 첨가할 수 있는 solubles의 최대 첨가량의 0, 30, 60 그리고 100%를 첨가하여 제조하였다. 이는 grains부분에 syrup을 분당 0, 12, 25 그리고 42 갤런을 첨가하는 것과 같다. 건조기의 온도는 grains에 solubles의 첨가수준이 감소할수록 감소하였다. Grains에 solubles의 첨가수준이 증가할수록 입자도가 증가하고 변이가 심해졌다. Solubles의 첨가수준이 증가할수록 DDGS의 색깔이 어두워지고 (L* 감소) 황색이 감소 (b* 감소)하였다 (표 2). Solubles의 첨가량이 증가하면 지방, 회분, TMEn (가금), Mg, Na, P, K, Cl, S 함량이 증가하고 조단백질과 아미노산 그

리고 소화율에는 큰 영향이 없었다. Ganesan 등 (2008)과 Kingsly 등 (2010)에 의하면 농축distillers solubles가 coarse grains에 첨가되는 양이 증가하면 L*값이 감소하고 a*값이 증가한다. 따라서 DDGS의 L*값과 a*값은 DDGS 샘플 내의 영양성분 변이의 일반적인 지표가 될 수 있다.

미네소타대학교의 연구에 의하면 DDGS 제품 간에는 입자크기에 상당한 변이 (256~1,217 μ m)가 있는데 DDGS의 입자도는 돼지의 DE와 ME 함량에 영향을 줄 수 있다 (Liu 등, 2012). Liu (2008)에 의하면 대부분의 DDGS 샘플은 DDGS의 입자도가 커지면 L*와 b*값이 감소하고 a*값이 약간 상승하였다.

표 2. Grains에 solubles 의 첨가 수준이 DDGS의 색깔의 특성에 미치는 영향

Color (CIE Scale)	0 gal/min	12 gal/min	25 gal/min	42 gal/min	Pearson Correlation	P Value
L*	59.4	56.8	52.5	46.1	- 0.98	0.0001
a*	8.0	8.4	9.3	8.8	0.62	0.03
b*	43.3	42.1	40.4	35.6	- 0.92	0.0001

Noll 등 (2006).

색깔은 DDGS 품질의 최적 지표인가?

아니다. 앞에서 언급한 바와 같이 DDGS의 색깔에 영향을 주는 요소들은 다양하다. 이들 중 일부는 DDGS의 영양적 가치에 긍정적인 효과가 있는 반면 어떤 것들은 부정적인 효과가 있다. DDGS의 “품질”을 논할 때 여러 가지의 기준이 있다는 것을 명심해야 한다. 색깔은 DDGS의 여러 가지 영양성분과 물리적특성 사이에 상호관련이 있다. 많은 영양전문가들은 어두운 색깔의 DDGS가 lysine 소화율이 낮다는 의미라고 생각하지만 lysine 소화율과 관련하여 광범위한 L*값 (36~64)이 분포하기 때문에 색깔은 정확한 예측치가 못된다. 또한 L*이 높은 DDGS 제품은 xanthophyll 함량이 높고 지방 과산화가 낮을 것으로 예측한다. 반면에 어두운 색깔의 DDGS 제품은 밝은 색깔의 DDGS 제품보다 일부 영양소의 함량이 높다. 예를 들어 DDGS를 생산할 때 solubles를 coarse grains에 첨가하는 비율이 높아지면 DDGS 내의 열량, 조지방 그리고 광물질의 함량이 증가하고 조단백질과 아미노산의 함량과 소화율에는 큰 영향이 없었다. 더욱이 어두운 색깔의 샘플들은 가금류에서 인의 생체 이용률이 높았다. DDGS의 입자도, 수분함량 그리고 다른 물리적 특성도 색깔과 연관성이 있지만 사료제조와 영양적 측면에서 이들 상관관계의 가치를 평가하는 것이 쉽지 않다. 따라서 DDGS의 품질을 평가하는데 색깔을 지표로 삼는 것은 권장되지 않는다.

DDGS의 품질은 어떻게 평가되어야 하는가?

대부분의 DDGS 사용자들은 고품질의 DDGS 제품은 열량 함량, 영양소 함량 그리고 소화율이 높고 곰팡이 독소와 같은 항영양인자들이 없어야 한다고 생각한다. 열량, 단백질 (아미노산) 그리고 인은 동물 사료 영양 중 가장 값비싼 세가지 성분이다. 그러므로 여러 가지 DDGS 제품들 중에 함유된 ME, 가소화 아미노산, 가소화 또는 가용 인의 함량을 정확히 측정할 수 있는 방법이 사용되어야 한다. 이를 위하여, 돼지와 가금류에서 정확한 ME와 가소화 아미노산 예측방정식이 개발되었고, 검증되고 발표되었다. 이 예측방정식에 대한 자세한 내용은 이 책의 13장과 16 장을 참고하기 바란다. 유감스럽게도 돼지와 가금에서의 가소화 또는 가용 인에 대한 예측방정식이 아직 개발되지 못했으며, 반추 가축에서 DDGS의 NE, 반추위 분해 및 비분해 단백질의 평가를 위한 예측방정식도 개발되지 않았다.

참고문헌

- Bhadra, R., K. Muthukumarappan, and K.A. Rosentrater. 2007. Characterization of chemical and physical properties of distillers dried grain with solubles (DDGS) for value-added uses. An ASABE Meeting Presentation, Paper Number: 077009, 2007 ASABE Annual International Meeting, Minneapolis, Minnesota, 17 - 20 June 2007.
- Batal, A.B. and N.M. Dale. 2006. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with solubles. J. Appl. Poult. Res. 15:89-93.
- Cromwell, G.L., K.L. Herkelman, and T.S. Stahly. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. J. Anim. Sci. 71:679-686.
- DeRouchey, J.M., J.D. Hancock, R.H. Hines, C.A. Maloney, D.J. Lee, H. Cao, D.W. Dean, and J.S. Park. 2004. Effects of rancidity and free fatty acids in choice white grease on growth performance and nutrient digestibility in weanling pigs. J. Anim. Sci. 82:2937-2944.
- Dibner, J. J., C.A. Atwell, M.L. Kitchell, W.D. Shermer, and F.J. Ivey. 1996. Feeding of oxidized fats to broilers and swine: effects on enterocyte turnover, hepatocyte proliferation and the gut associated lymphoid tissue. Animal Feed Science Technology 62:1-13.
- Ergul, T., C. Martinez-Amezcu, C. Parsons, B. Walters, J. Brannon and S.L. Noll. 2003. Amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles. Presented at the 2003 Poultry Science Association Mtg., Madison, WI, July 2003. Available: www.ddgs.umn.edu/info-poultry.html. Accessed: January, 2011.
- Evans, R.J., and H.A. Butts. 1948. Studies on the heat inactivation of lysine in soy bean oil meal. J. Biol. Chem. 175:15-20.
- Fastinger, N.D. and D.C. Mahan. Determination of the ileal AA and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using grower-finisher pigs. J. Anim. Sci. 84:1722-1728.
- Ganesan, V., K. Muthukumarappan, and K.A. Rosentrater. 2008. Effect of moisture content and soluble level in physical, chemical, and flow properties of distillers dried grains with soluble (DDGS). Cereal Chem. 85:464-740.
- Harrell, R.J., J. Zhao, G. Rexnik, D. Macaraeg, T. Wineman, and J. Richards. 2010. Application of a blend of dietary antioxidants in nursery pigs fed either fresh or oxidized corn oil or DDGS. J. Anim. Sci. 88(E-Suppl. 3): 97-98 (Abstr.).
- http://en.wikipedia.org/wiki/Color_in_Chinese_culture
- <http://hubpages.com/hub/The-significance-of-the-colors-red-gold-in-Chinese-culture>
- <http://v-ast.com/services.htm>
- http://webdesign.about.com/od/colorcharts/l/bl_colorculture.htm
- <http://www.gipsa.usda.gov/GIPSA/webapp?area=home&subject=lr&topic=hb>
- Hung, Y.T., A.R. Hanson, G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and

swine: A meta-analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:47-58.

Kingsly, A.R.P., K.E. Ileleji, C.L. Clementson, A.Garcia, D.E. Maier, R.L. Strohshine, and Scott Radcliff. 2010. The effect of process variables during drying on the physical and chemical characteristics of corn dried distillers grains with solubles (DDGS) – Plant scale experiments. *Bioresource Technology* 101:193–199.

Klopfenstein, T. and R. Britton. 1987. Heat damage. Real or Artifact. In: *Dist.Feed Conf. Proceedings.* 42:84-86.

L'Estrange J.L., K.J. Carpenter, C.H. Lea, and L.J. Parr. 1967. Nutritional effects of autoxidized fats in animal diets. 4. Performance of young pigs on diets containing meat meals of high peroxide value. *Br. J. Nutr.* 20:377-392.

Liu, P., L.W.O. Souza, S.K. Baidoo, and G.C. Shurson. 2012. Impact of distillers dried grains with solubles particle size on nutrient digestibility, DE and ME content, and flowability in diets for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:4925-4932.

Liu, K. 2008. Particle size distribution of distillers dried grains with solubles (DDGS) and relationships to compositional and color properties. *Bioresource Tech.* 99:8421-8428.

Martinez-Amezcu, C. and C.M. Parsons. 2007. Effect of increased heat processing and particle size on phosphorus bioavailability in corn distillers dried grains with solubles. *Poultry Science* 86:331-337.

Noll, S., C. Parsons, and B. Walters. 2006. What's new since September 2005 in feeding distillers co-products to poultry. Proceedings from the 67th Minnesota Nutrition Conference & University of Minnesota Research Update Session: Livestock Production in the New Millenium, St. Paul, MN. pp. 149-154.

Pahm, A.A., C.S. Scherer, J.E. Pettigrew, D.H. Baker, C.M. Parsons, and H.H. Stein. 2009. Standardized amino acid digestibility in cecectomized roosters and lysine bioavailability in chicks fed distillers dried grains with solubles. *Poult. Sci.* 88:571-578.

Roberson, K.D., J.L. Kalbfleisch, W. Pan and R.A. Charbeneau, 2005. Effect of corn distiller's dried grains with solubles at various levels on performance of laying hens and yolk color. *Intl J. Poultry Sci.* 4(2):44-51.

Rosentrater, K.A. 2006. Some physical properties of distillers dried grains with soluble (DDGS). *App. Eng. Agric.* 22:589-595.

Sauvant, D. and G. Tran. 2004. Corn Distillers. Page 118 In: *Tables of composition and nutritional value of feed materials.* D. Sauvant, J.M. Perez, and G. Tran, ed. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands.

Song, R., and G.C. Shurson. 2013. Evaluation of lipid peroxidation level in corn dried distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 91:4383-4388.

Stein H.H., M.L. Gibson, C. Pedersen, and M.G. Boersma. 2006. AA and energy digestibility in 10 samples of distillers dried grain with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84: 853-860.

Urriola, P.E., L.J. Johnston, H.H. Stein, and G.C. Shurson. 2013. Prediction of the concentration of standardized ileal digestible amino acids in distillers dried grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 91:4389-4396.

Whitney, M.H., M.J. Spiehs, G.C. Shurson, and S.K. Baidoo. 2001. Apparent ileal amino acid digestibility of corn distiller's dried grains with solubles. Available: [http://www.ddgs.umn.edu/articles-swine/2002-Spiehs-percent20Apparent percent20ileal percent20amino.pdf](http://www.ddgs.umn.edu/articles-swine/2002-Spiehs-percent20Apparent%20ileal%20percent20amino.pdf) Accessed Jan. 7, 2011.

CHAPTER 9

DDGS의 사료안전성

서론

사료안전은 세상의 식품안전 시스템에 중요한 영향을 미친다. 왜냐하면 동물의 건강과 생산성에 직접적인 영향을 줄 뿐 아니라 사람을 위한 동물성 식품의 안전에도 영향을 미치기 때문이다. 사료의 오염은 전체 식품계에 영향을 미치며 수백만 달러의 경제적 손실과 비용을 초래한다. 더구나 소비자에게 두려움과 공포를 일으키고, 소비가능한 식품의 양을 감소시키고, 식품계에 대한 소비자의 신뢰를 저하시킨다. 질병, 사망 그리고 잠재적인 미래의 건강위험도 발생할 수 있다. 따라서 사료안전은 식품안전과 직결되어 있으며 “사료는 식품이다”라는 개념을 일깨워 준다.

우리는 세계각국에서 사료원료와 식품을 수입하고 수출하면서 세계 경제속에서 살고 일한다. 그러나 사료와 식품의 안전표준과 규정은 나라마다 크게 다르다. 사료와 사료원료는 바람직하지 않은 미생물학적, 물리적, 화학적 위해로부터 오염될 가능성이 있다. 세계적 공급의 상호연결성이 증가하므로 한곳에서 사료 오염이 발생하면 동물과 식품에 광범위한 영향을 미치게 된다. 그러므로 사료와 식품의 국제적 영업, 생산, 분배의 증가가 지속되면 원치 않는 사료의 오염이 발생할 가능성이 높아진다 (Liu, 2011). 실제로 일부 사료원료의 원산지에 대한 투명성의 요구가 증가하고 있기 때문에 국제 사료시장에서 곡물과 가공부산물들의 식물학적, 지리적 원산지를 구분하고 증명하기 위한 분석기법이 개발되었다 (Tres 등, 2014; Tena 등, 2015).

사료원료 공급자, 구매자 그리고 사료제조업자는 지역정부 규제기관의 규정을 준수해야 하며 모든 관점에서 사료와 식품체인 의 지속적인 품질과 안전성 향상을 위한 프로그램을 개발하고 수행하여야 한다. 세계적으로 150개가 넘는 국가에서 진취적인 많은 사료회사와 동물생산업자들이 ISO (International Organization for Standardization) 표준을 실시하여 궁극적으로 보다 표준화된 제품을 효율적이고 안전하게 생산하여 고객에게 제공한다. ISO표준을 실시하는 회사에서는 표준을 서류화하고 내부감사를 통해 규정준수를 확인하고 공인을 얻기 위해 외부감사를 통해 규정준수를 확인 받는다. 또한 진취적인 사료회사는 위해요소 중점관리 (HACCP; Hazard Analysis and Critical Control Point) 시스템을 실시하는데 이는 사료나 식품공급체인에서 제조, 저장, 분배의 모든 단계에서 일어날 수 있는 사료나 식품의 오염을 방지하지 위하여 설계되었다. HACCP계획 수립과 실행단계에는 일곱가지 원칙이 있다.

1. 위해분석 실시
2. 결정적 통제지점 확보
3. 잠정적 위해를 통제하기 위한 제조공정상의 하한과 상한 설정
4. 결정적 한계 설정
5. 감시절차와 교정행동 설정
6. 기록관리 절차 설정
7. 확인 절차 설립

사료안전성 관리 시스템은 ISO 9001과 HACCP 원칙을 결합하여 품질을 관리하고 식품유래 병원균, 신종의 병원균의 발생 위험을 감소시키고, 위험을 통제하여 brand 제품을 보호함으로써 사료공장내의 지속적인 개선을 이룰 수 있도록 설계되어야 한다.

사료와 식품안전 시스템의 감시와 실행은 여러 나라에서 지속적으로 향상되고 있다. 실제로 미국에서는 근래에 소비자에게 식품안전관련 위험발생을 최소화하기 위하여 더 철저한 사료안전 규제 (DDGS 생산 포함)를 도입하고 있다. 2012년 1월에 미국에서 Food Safety Modernization Act가 법으로 확정되었는데 이는 약 70년만에 미국의 Food and Drug Administration (FDA)의 식품과 사료안전규정에 대한 중요한 행정권의 개정과 확장이 이루어진 것이다 (Brew and Toeniskoetter, 2012). 비록 미국의 사료생산시설 (에탄올공장 포함)은 2002년부터 FDA에 등록하도록 되어 있지만 이 새로운 법은 식품과 사료의 안전성을 이유로 시설의 등록을 폐지할 수 있는 권한을 FDA에 부여하고 있다. 이 법은 또한 현재의 법에 따른 등록 없이는 주 간에 식품이나 사료의 이동을 금지하고 있다. 그 결과 FDA는 식품 및 사료안전 규정에 상당한 위반이 있을 경우 판매의 금지나 강제적 회수를 명령할 수 있다. 이 새로운 법의 시행을 위해서 에탄올공장은 생산제품들에 대한 HACCP 계획을 수립하고 실행해야 한다. 이법에 의하면 사료생산업자들이 알고 있거나 가능성이 있는 위해요인들을 분석하고 확인하여 예방조치를 취하며, 이 과정을 추적 관찰하고 작동이 잘 되지 않으면 교정작업을 시행하고, 전체 시스템이 효과적으로 운행되는지 주기적으로 확인 해야 한다. 이 사료안전생산 절차는 서면으로 기록을 남겨야 하며, 에탄올공장은 준수사항에 대해 FDA의 검사를 받는다. 이 새로운 법의 발효는 미국 DDGS가 세계에서 가장 엄격한 사료안전 요구사항을 만족시킨다는 더 큰 확신과 신뢰를 제공해 준다.

새로운 규정과 Food Safety Modernization Act에 대한 준수에 더하여 일부 미국 에탄올공장에서는 세계 여러 나라와 시장에서 부산물들의 엄격한 안전표준을 만족시키기 위하여 GMP (Good Manufacturing Practices)를 실시한다. GMP+ 사료인증제는 1992년에 네덜란드의 사료산업에서 사료 원료의 오염과 관련된 일련의 사건들에 대한 반응으로 처음 개발되었다. 오늘날 GMP+ Feed Certification은 수많은 국제적 이해당사자와 협동하여 GMP+ International에 의해 운영되는 국제적

인 프로그램으로 확대되었다. 2013년에 GMP+ 프로그램이 GMP+ 사료안전성 보증제와 GMP+ 사료 책임보증제가 포함되도록 더 확대되었다. 에탄올공장에서 GMP+ 안전성 보증제의 실시는 사료공급 체인의 모든 부분에서 사료안전의 확인을 위한 표준을 준수함으로써 진취적인 사료와 동물생산 계열화 회사에 DDGS를 "판매할 수 있는 면허"처럼 필요해지고 있다. 더욱이 세계적으로 동물사료 산업을 좀 더 책임 있는 자세로 운용하도록 요청받고 있는데, 이는 사료원료를 취득함에 있어 인간 식품에 대한 경쟁 (예; 대두박, 어분)과 환경에 부정적인 영향을 최소화하도록 노력하는 것이다.

다행스럽게도 미산 DDGS는 유해미생물, 물리적 그리고 화학적 오염물에 대한 위험성이 매우 낮다. 옥수수과 옥수수 가공 부산물에는 피테이트 인 (phytate phosphorus) 이외에는 항영양인자가 없다. 이 피테이트 인은 타 곡류와 이의 가공부산물에도 다양한 양이 함유되어 있다. 하지만 상업적인 피타아제 (phytase)가 널리 공급되어 단위동물의 곡물 기본사료에서 이를 사용하여 비용효과적으로 피테이트 인을 가수분해하고 인의 소화력을 향상하는 것으로 알려져 있다.

이 장에서는 여러 가축에게 DDGS를 급여 시 고려되어야 할 DDGS 내의 미생물학적, 화학적, 물리적 잠재 위해요소와 사료안전에 관한 요약의 제시하는데 초점을 둔다. 주된 잠재적 오염물질은 유해 미생물, 곰팡이 독소, 잔류 항생제 그리고 유허이다. 독자는 10장 (DDGS 내 유허의 이점과 우려점)을 참조 바란다.

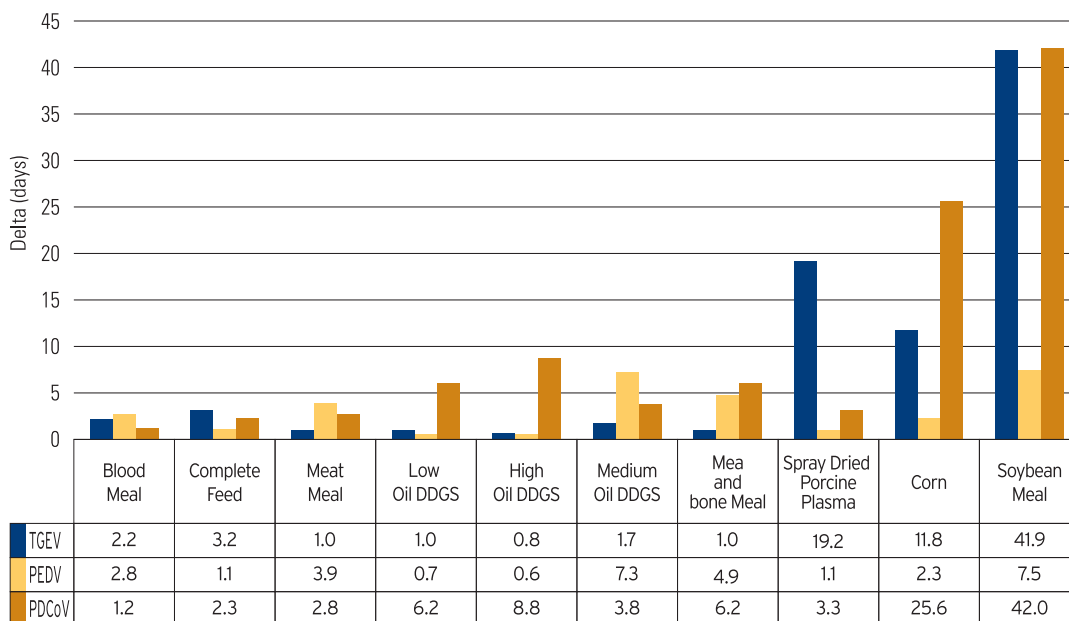
잠정적인 미생물 위해요소들

사료와 사료원료에 corona virus 오염

Corona viruses (전염성 위장염 바이러스 - TGEV; 돼지 delta corona virus - PDCoV; 돼지 유허성 설사병 바이러스 - PEDV)는 전세계 양돈산업에 치명적인 위해를 끼쳤다. 이 바이러스는 분변으로 배설되며, 오염된 장비나 사람과 기타 매개체를 통하여 전파되고, 심한 설사에 치사율이 높으며, 성장을 저하와 이윤손실을 야기한다. PEDV는 2013년 미국의 돼지 사망율에 치명적인 영향을 미쳤는데 전염의 주요 위험인자는 사료와 사료 원료임이 밝혀졌다. 그 결과 사료와 사료원료 속에 corona virus의 생존 여부와 사료를 통한 돼지감염을 최소화하기 위한 잠재적 경감전략 연구가 수행되었다. Dee 등 (2015)은 사료 내 PEDV의 생존은 원료의 종류에 따라 다르며 대두박에서 가장 오래 생존하였고, formaldehyde 함유 액체를 처리하였을 때 모든 원료에서 바이러스의 불활성화가 일어났음을 보고하였다. 유사한 연구에서 Trudeau 등 (2017)은 유지 함량이 다른 DDGS를 포함하여 여러 가지 사료원료에서 PEDV, TGEV 그리고 PDCoV의 생존율을 평가하였다 (그림 1). 다른 원료들에 비해 대두박에서 PEDV, TGEV와 PDCoV 모두 가장 오래 생존하였다. 흥미로운 것은 저지방과 고지방 DDGS 샘플에서는 (각각 TGEV가 1.0일과 0.8일, PEDV가 0.7일과 0.6일) 중지방 DDGS 샘플에 (TGEV가 1.7일,

PEDV가 7.3일) 비해 TGEV와 PEDV 바이러스의 생존일이 매우 낮았다. 반면에 PDCoV는 저지방과 고지방 DDGS 샘플에서 중지방 DDGS, 혈분, 배합사료, 육분 그리고 분무 건조혈장에 비해 오래 생존하였다. 모든 바이러스의 생존시간은 DDGS 샘플들이 대두박보다 훨씬 짧았고, DDGS 내 TGEV와 PDCoV의 생존시간은 옥수수에 비해 훨씬 짧았다. 이 결과들은 대두박이 DDGS나 다른 일반 원료들에 비해 사료를 통한 corona 바이러스의 감염에 훨씬 큰 위해 요인임을 시사한다. 유감스럽게도 다른 병원균들(예를 들면 조류독감 바이러스)도 사료원료를 통해 감염되는지 또 수송과 저장 기간 동안 사료원료 내에 생존하는지에 대한 연구는 아직 수행되지 않았다.

그림 1. Corona virus (전염성 위장염 – TGEV, 돼지 유행성 설사병 – PEDV, porcine delta corona virus – PDCoV) 의 사료와 사료원료내 생존 (Trudeau 등, 2017)



사료와 사료원료내 Salmonella 감염

DDGS의 잠재적 Salmonella 감염 통제에 관한 자료나 정부규정이 없다. 인체의 Salmonella 발병을 감소시키기 위해 동물사료에 무 Salmonella 표준을 강제하는 것에 대한 가능성과 효율에 대해 장기적인 과학적 논의가 진행되었다 (Davies 등, 2004). 동물사료의 Salmonella 감염 억제가 식품을 통한 살모넬라 감염증에 미치는 영향에 대해서는 평가하기 어렵다. 시판사료에 대한 규제도입의 잠재적 이익을 감소시키거나 제거하는 요인들은 다음과 같다:

- 통상적인 농장의 자가 사료배합
- 사료가공과정 중 불완전한 소독
- 사료공장에서 사료가공 후 오염
- 사료의 수송이나 농장내 저장 중 오염
- 사료이외에 다양한 Salmonella 오염원
- 농장을 떠난 후 가축의 계류장에서 감염될 높은 위험성
- 수확 후 Salmonella 감염원들

DDGS 사료 급여 시 Salmonella, Escherichia coli O157:H7와 Clostridium perfringens 감염의 잠재적 위험성

동물의 위장관은 자연적으로 E. coli O157:H7과 Salmonella를 함유하고 있는데, 이 균들은 식품유래 병원균으로 분변을 통하여 방출되어 식품에 잠재적인 오염원이 되고 소비자에게 질병을 유발케 한다. 한 연구팀 (Jacob 등, 2008a,b,c)에 의해 일련의 연구가 수행되었는데 이 연구에서 DDGS를 급여한 육우에서 불규칙적이지만 낮은 수준의 E. coli O157:H7A의 감염이 관찰되었다. 다른 연구 (Peterson 등, 2007; Nagaraja 등, 2008)에서는 육우에서 E. coli의 감염이 관찰되었지만 DDGS의 배합수준이 높은 사양군에서는 병원균 감염이 영향을 받지 않았다. 더욱이 DDGS 급여나 건식압착 옥수수 급여군 사이에는 E. coli O157:H7 이나 Salmonella 유행에 상호 연관이 없었다 (Jacob 등, 2009). 이러한 결과들은 DDGS를 축우에게 급여 시 E. coli O157:H7 이나 Salmonella 방출이 증대될 위험성이 낮다는 것을 시사한다. 이후 육성 비육돈으로 실시한 시험에서 DDGS 급여 시 Salmonella typhimurium의 군집형성이나 감수성에 영향이 없음을 보여 주었다 (Rostagno 등, 2013). Loar 등 (2010)은 DDGS의 급여는 육계의 맹장 내용물 내의 Clostridium perfringens와 Escherichia coli 수에 영향을 주지 않는다고 보고하였다. 이러한 연구 결과들은 육우, 돼지 그리고 육계에 DDGS 급여 시 식품유래 병원균들을 육류제품으로 오염시킬 위험성은 있다고 하더라도 최소 수준이라는 것을 시사한다.

곰팡이 독소

DDGS의 사료안전 위해요인 중 가장 지대한 관심은 잠재적인 곰팡이독소 오염문제일 것이다. 곰팡이독소는 작물 생장기간 동안과 저장 기간 동안 특수한 환경조건 하에서 곰팡이에 의해 생성된다. 식품안전의 관점에서 발암 물질인 aflatoxin 만을 미국 FDA에서 규제하고 있다. 하지만 만약 사료원료가 여러 가지 곰팡이독소를 다량으로 함유하고 있다면 영양소 이용에 악영향을 주고, 면역기능 저하 및 여러 가지 생리적인 부작용 때문에 동물의 건강과 생산성을 저하시킨다. 일반적으로 돼지와 가금은 반추 가축에 비해 곰팡이독소에 더 취약하며 어린 동물은 나이든 동물보다 더 민감하다. 곰팡이독소는 특수 곰팡이 종에서 생성되지만 사료원료내 곰팡이 수를 계측하는 것은 의미 없는 일인데 이러한 곰팡이 수의 검사는 곰팡이독소의 유무와 농도에 대하여 아무런 정보를 제공해 주지 못하기 때문이다. 옥수수와 기타

곡류 및 DDGS에 들어 있는 곰팡이독소의 오염도와 농도는 국가 별로 다르다 (Biomin, 2014). 연구에 따르면 미산 DDGS는 중국산 DDGS보다 곰팡이독소의 오염율이나 농도가 훨씬 낮았다 (Biomin, 2014; Guan 등, 2011; Li 등, 2014). 미산 DDGS의 곰팡이독소 오염에 대한 두개의 시험 (Zhang 등, 2009; Khatibi 등, 2014)에 따르면 DDGS 내 여러 가지 곰팡이독소의 농도는 기존의 기준치보다 비교적 낮았다. Zhang 등 (2009)은 2006 에서 2008년 사이에 미국의 20개 에탄올공장에서부터 235개 그리고 23개 수출 컨테이너로부터 23개의 DDGS 샘플을 수거하여 분석한 결과 다음과 같이 보고하였다.

1. 모든 DDGS 샘플은 미국 FDA에서 동물사료에 사용하기 위해 제시한 aflatoxin과 deoxynivalenol (DON) 농도의 상한선 기준을 넘지 않았다.
2. 모든 DDGS 샘플에서 푸모니신 (fumonisins) 함량은 젖소, 육우, 돼지, 가금과 양어사료에서의 사용 지침을 초과하지 않았으나 푸모니신 (fumonisins) 에 가장 민감한 말과 토끼사료에서는 10%의 샘플에서 허용농도를 초과하였다.
3. 모든 샘플에서 T-2 독소는 검출되지 않았으며, 대부분의 샘플에서 검출할 만한 농도의 zearalenone 을 함유하지 않았다.
4. DDGS수출용 컨테이너의 사용은 곰팡이독소의 생산을 증가시키지 않았다.

보다 최근에 Khatibi 등 (2014)은 미국의 12개주 78개 에탄올공장으로 부터 141개의 DDGS 샘플을 수거하여 여러 가지 tricothecenes의 존재 여부와 농도를 측정하였다. 2011년에 미국에서 생산된 옥수수는 성장기간 동안 나쁜 기후조건 때문에 *Fusarium* spp. 곰팡이가 비정상적으로 널리 퍼졌다. 이 극단적인 경우에 69%의 샘플에서는 DON이 발견되지 않았으나, 5%의 샘플에서 돼지에서의 FDA권장수준을 초과하였고 19% 샘플에서는 제랄레논 (zealalenone)이 검출되었다. 이 연구들의 결과는 곰팡이독소가 옥수수 DDGS에 존재하지만 미국산 DDGS는 중국산 DDGS에 비해 오염도나 농도가 훨씬 낮다. 따라서 만약 사료내 총 곰팡이독소의 오염도와 농도가 권장수준 농도를 초과하는 위험을 최소화 할 만큼 낮다면 지리적 원산지와 옥수수의 특정 경작연도의 곰팡이독소 오염도에 따라 높은 배합비의 DDGS 사용이 가능하다.

잠재적 화학적 위해요소

잔류 항생제

에탄올과 부산물들을 생산하기 위하여 전분을 발효하는 동안 세균의 감염을 제어하기 위하여 발효기에 몇 가지 부류의 항생제가 소량 투입된다. 미국의 FDA에서는 에탄올 생산에 항생제의 사용을 용인하고 있는데 주로 사용되는 항생제는 virginiamycin으로 많은 전문가들이 검토하고 사용하기에 안전 (Generally Recognized as Safe; GRAS)하다고 인정하였다. 성장촉진 목적으로 사용하는 항생제는 미국과 E.U.에서 더 이상 용인되지 않고 있으며 세계 다른 국가들에서도 축산식품의 생산에 항생제의 사용이 퇴조하고 있다. 항생제 사용과 관련하여 주된 관심사는 고기와 우유와 계란에서의 잔류와 동물과 인체에 항생제 내성을 유발할 잠재적 위험성이다. 미국 FDA에서는 DDGS 내 몇 가지 항생제 잔류물들의 분포와 농도를 multi-residue detection method (de Alwis와 Heller, 2010; Kaklamanos 등, 2013)를 사용하여 조사하였는데 그 결과는 발표되지 않았다. 분석방법의 선택이 매우 중요한데 왜냐하면 어떤 항생제 잔류물 (예, virginiamycin)은 생체분석에 의해서만 정확히 정량될 수 있기 때문이다.

미국의 43개 에탄올공장에서 분기별로 수집한 159개의 distillers 부산물에서 항생제 잔류물의 분포와 농도를 측정하기 위해 단 한개의 연구가 수행되었다 (Paulus-Compart 등, 2013). 실험결과 13%의 샘플에서 소량의 항생제 잔류물 (<1.12 mg/kg)이 측정되었다. 선별된 감시 세균을 사용하여 샘플 추출물의 생물학적 활성을 검사했을 때 단 한개의 샘플 (이 샘플에서는 항생제 잔류물이 발견되지 않았음) 만 *Escherichia coli*의 성장을 억제하였으나 *Listeria monocytogenes*의 성장은 억제하지 않았다. 따라서 DDGS에서 항생제 잔류물을 발견할 가능성이 매우 낮으며, 발견되더라도 잔류 생물학적 활성이 매우 낮을 것으로 판단된다. 이 연구가 수행된 이후 에탄올공장에서는 항생제 사용이 유의하게 감소하였는데 이는 위생상태의 개선과 발효 중 세균감염을 제어하기 위한 비항생제성 첨가제가 개발되어 보급되었기 때문일 것이다. 실제로 일부 에탄올공장에서는 무항생제 DDGS를 생산하고 있다.

Dioxins

DDGS의 dioxin 오염에 대한 연구는 수행된 바 없으며 규제도 없다. Dioxin은 210개가 넘는 여러 화합물을 대표하는 화학물질군이며 주위 환경에 널리 분포되어 있다. 이중 17개 만이 유독 물질이며 의도적으로 생산되지는 않는다. 따라서 이들은 간단히 금지시킬 수 있는 것이 아니다. Dioxin은 화학반응의 부산물로 생성되며 물에는 불용성이고 지방에는 녹는다. Dioxin은 생분해 되지 않으며 식품체인내에 축적된다. Dioxin의 최대허용치는 감귤 펄프 (citrus pulp)와 kaolinitic 점토에는 규정이 있으며, 어유와 어분은 dioxin에 오염되는 가장 일반적인 사료원료이다. 동물지방은 낮은 수준이지만 dioxin을 함유하고 있으며, 곡물과 곡물 씨, 우유 부산물 그리고 육골분은 드물게 dioxin에 오염된다.

유전자 변형 (GM) 옥수수

미국과 달리, 여러 국가에서는 유전자 변형 (GM) 작물의 안전성에 대해 관심을 가지고 일부 GMO 곡물이나 그 부산물에 대해 법적으로 생산과 수입을 금지하거나 제한하고 있다. 이러한 제한은 식량공급의 안전을 위한 동물사료의 공급이 여러 나라에서 제한되는 상황인데도 지속적으로 논쟁의 대상이 되고있다. 2015년 미국의 옥수수 파종 면적의 92%가 GM 품종을 파종하였다 (USDA- NASS, 2015). 따라서 대부분의 미국 옥수수 DDGS는 GM 옥수수로부터 생산된 것이다.

19개의 작물 (옥수수와 대두 포함)의 165 GM 품종이 미국에서 허가되었고 (James, 2013), 미국 FDA가 이 모두에 대해 충분한 안전성 검사를 실시하였다. 지난 20년 동안 미국 FDA와 일본의 규제당국이 평가한 모든 GM 작물은 재래종과 비교했을 때 동일한 안전성을 보여 주었다 (Herman과 Price, 2013). 더욱이 Codex Alimentarius Commission (www.codexalimentarius.org)에 의해 개발되어 국제적으로 승인된 지침을 GMO 안전성 평가에 사용하고 있다.

GMO 작물이 안전하다는 과학적인 증거는 상당히 많이 축적되어 있다. Biotechnology Information 위원회는 “Food and Drug Administration (FDA)이 biotech 식품과 곡물이 비biotech 식품에 비해 안전성에 차이가 없다고 결정하였다”는 의견을 발표하였다. American Medical Association, American Dietetic Association 그리고 U.S. National Academy of Sciences도 biotech 제품이 사람과 동물이 섭취하기에 안전하다고 선언하였다. 또한 1996년에 미국시장에 도입된 이후 biotech식품을 먹고 사람이나 동물에서 탈이 난 사례는 없었다. Biotech식품이나 곡물이 안전하다고 결론 지은 다른 국제기관들은 United Nations Food and Agriculture Organization, the World Health Organization, the International Council for Science, the French Food Agency 그리고 the British Medical Association이다. The European Food Safety Authority (EFSA)도 다수의 biotech 품종이 사람과 동물이 섭취하기에 안전하다고 보고하였다. GM 곡물의 식품계에서의 안전성에 대한 자세한 분석 자료와의 링크는 다음과 같다:

Position of the American Dietetic Association: Agricultural and Food Biotechnology
<http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0002-8223/PIIS0002822305021097.pdf>

World Health Organization: Modern food biotechnology, human health and development: an evidence-based study http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/biotech_en.pdf

United Nations: Effects on human health and the environment
<http://www.fao.org/newsroom/en/news/2004/41714/index.html>

National Academy of Sciences: Safety of Genetically Engineered Foods
http://books.nap.edu/catalog/10977.html?onpi_newsdoc07272004

식품을 생산하는 동물은 GM 작물과 그 부산물의 70~90%를 15년 이상 동안 소비하고 있다 (Flachowsky 등, 2012). 근래의 한 종합적인 조사에 의하면 (van Eenennaam와 Young, 2014) GM 곡물과 그 부산물을 먹은 천억이 넘는 동물에 대한 자료를 분석한 결과 동물의 건강과 생산성에 부작용이 발생했다는 증거는 아무데도 없었다. 유감스럽게도, 이러한 부작용에 대한 증거가 없는데도 불구하고 일부 국가들은 동물사료에 미국산 옥수수 및 DDGS의 사용과 수입을 금지하기 위해 수입제한과 무역장벽을 설치하고 있다.

잠재적 물리적 위해요소

물리적 오염물질의 위해 가능성은 아주 적다. 곡물과 사료원료에서 가장 흔하게 발생하는 물리적 오염물질은 돌, 금속조각, 유리, 나무, 플라스틱 등이다. 물리적 위해는 식품에서 "단단하거나 날카로움" 또는 "목이 막히는" 위해로 분류된다. 농업생산과 적재시설은 흔히 자갈이나 돌을 다루기 때문에 사료원료 적재 시 부주의로 오염시킬 수 있다. 이송기나 적재장비 중 금속과 금속이 맞닿는 부위에서 간혹 금속조각이 떨어져 나와 이것이 곡물이나 사료원료 수송 컨테이너나 화물선박에서 발견되는 경우가 있다. 저장물질을 유리나 플라스틱 컨테이너에 담는 시설인 경우 이들 파편이 사료원료를 오염시킬 수 있다. 이러한 물리적 위해는 흔한 일이 아니지만 사료원료를 생산하고, 적재하고 수송하기 위해 사용하는 시설과 공정으로부터 발생할 수 있다.

참고문헌

Biomin. 2014. Mycotoxins: Science and solutions. Biomin magazine, April, 2014.

Brew, S. and S. Toeniskoetter. 2012. FDA Has No Jurisdiction Here – Or Does It? Ethanol Producer Magazine, April, 2012, p. 20.

Davies, P.R., H.S. Hurd, J.A. Funk, P.J. Fedorka-Cray, and F.T. Jones. 2004. Review: The role of contaminated feed in the epidemiology and control of Salmonella enteric in pork production. Foodborne Pathogens and Disease 1:202-215.

de Alwis, H., and D.N. Heller. 2010. Multiclass, multiresidue method for the detection of antibiotic residues in distillers grains by liquid chromatography and ion trap tandem mass spectrometry. J. Chromatogr. A 1217:3076-3084.

Dee, S. C. Neill, T. Clement, A. Singrey, J. Christopher-Hennings, and E. Nelson. 2015. An evaluation of porcine epidemic diarrhea virus survival in individual feed ingredients in the presence or absence of a liquid antimicrobial. Porcine Health Mgmt. 1:9.

Flachowsky, G., H. Schafft, and U. Meyer. 2012. Animal feeding studies for nutritional and safety assessments of feeds from genetically modified plants: A review. J. Verbraucherschutz Lebensmittelsicherh. 7:179-194.

Guan, S., M. Gong, Y.L. Yin, R.L. Huang, Z. Ruan, T. Zhao, and M-Y. Xie. 2011. Occurrence of mycotoxins in feeds and feed ingredients in China. J. Food Ag. Env. 9:163-167.

Herman, R.A., and W.D. Price. 2013. Unintended compositional changes in genetically modified (GM) crops: 20 years of research. J. Agric. Food Chem. 61:11695-11701.

Jacob, M.E., J.T. Fox, J.S. Drouillard, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2009. Evaluation of feeding dried distillers grains with solubles and dry-rolled corn and the fecal prevalence of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella spp. in cattle. Foodborne Pathogens and Disease 6:145-153.

Jacob, M.E., J.T. Fox, J.S. Drouillard, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja TG. 2008a. Effects of dried distillers' grain on fecal prevalence and growth of Escherichia coli O157 in batch

culture fermentations from cattle. *Appl. Environ. Microbiol.* 74:38-43.

Jacob, M.E., G.L. Parsons, M.K. Shelor, J.T. Fox, J.S. Drouillard, D.U. Thomson, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2008b. Feeding supplemental dried distillers grain increases fecal shedding of *Escherichia coli* O157 in experimentally inoculated calves. *Zoonoses Public Health* 55:125-132.

Jacob, M.E., J.T. Fox, S.K. Narayanan, J.S. Drouillard, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2008c. Effects of feeding wet corn distillers grains with solubles with or without monensin and tylosin on the prevalence and antimicrobial susceptibilities of fecal food-borne pathogenic and commensal bacteria in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 86:1182-1190.

James, C. 2013. Global status of commercialized biotech/ GM crops. The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA) brief no. 46. ISAAA, Ithaca, NY.

Kaklamanos, G., U. Vincent, and C. von Holst. 2013. Multi-residue method for the detection of veterinary drugs in distillers grains by liquid chromatography-Orbitrap high resolution mass spectrometry. *Chromatography A* <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2013.10.079>.

Khatibi, P.A., N.J. McMaster, R. Musser, and D.G. Schmale III. 2014. Survey of mycotoxins in corn distillers' dried grains with solubles from seventy-eight ethanol plants in twelve states in the U.S. in 2011. *Toxins* 6:1155-1168.

Li, X., L. Zhao, L.Y. Fan, Y. Jia, L. Sun, S. Ma, C. Ji, Q. Ma, and J. Zhang. 2014. Occurrence of mycotoxins in feed ingredients and complete feeds obtained from the Beijing region of China. *J. Anim. Sci. Biotech.* 5:37-45.

Liu, K. 2011. Chemical composition of distillers grains, a review. *J. Agric. Food Chem.* 59:1508-1526.

Loar, R.E., J.S. Moritz, J.R. Donaldson, and A. Corzo. 2010. Effects of feeding distillers dried grains with solubles to broilers from 0 to 28 days posthatch on broiler performance, feed manufacturing efficiency, and selected intestinal characteristics. *Poult. Sci.* 89:2242-2250.

Nagaraja, T.G., J. Drouillard, D. Renter, and S. Narayanan. 2008. Distillers grains and food-borne pathogens in cattle Interaction and intervention. *KLA News & Market Report Vol.* 33, No. 35.

Paulus Compart, D.M., A.M. Carlson, G.I. Crawford, R.C. Fink, F. Diez-Gonzalez, A. Dicostanzo, and G.C. Shurson. 2013. Presence and biological activity of antibiotics used in fuel ethanol and corn co-product production. *J. Anim. Sci.* 91:2395-2404.

Peterson, R.E., T.J. Klopfenstein, R.A. Moxley, G.E. Erickson, S. Hinckley, G. Bretschneider, E.M. Berberov, D. Rogan, and D.R. Smith. 2007. Effect of a vaccine product containing type III secreted proteins on the probability of *E. coli* O157:H7 fecal shedding and mucosal colonization in feedlot cattle. *J. Food Protection* 70:2568-2577.

Rostagno M.H., B.T. Richert, L.V.C. Girao, G.M. Preis, L.J. Lara, A.F. Amaral, A.D.B. Melo, and A. Jones. 2013. Do dried distillers grains with solubles affect the occurrence of *Salmonella enterica* colonization in pigs? *J. Anim. Sci.* 91(E-Suppl. 2):699.

Tena, N., A. Boix, and C. von Holst. 2015. Identification of botanical and geographical origin of distillers dried grains with solubles by near infrared microscopy. *Food Control* 54:103-110.

Tres, A., S.P. Heenan, and S. van Ruth. 2014. Authentication of dried distilled grains with solubles (DDGS) by fatty acid and volatile profiling. *LWT – Food Sci. Tech.* 59:215-221.

Trudeau, M.P., H. Verma, F. Sampedro, P.E. Urriola, G.C. Shurson, and S.M. Goyal. 2017. Environmental persistence of porcine coronaviruses in feed and feed ingredients. *PLoS ONE* 12:e0178094. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178094>.

USDA National Agricultural Statistics Service. 2015. Acreage. USDA. <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/Acre/Acre-06-30-2015.pdf> (Accessed November 3, 2017)

van Eenennaam, A.L., and A.E. Young. 2014. Prevalence and impacts of genetically engineered feedstuffs on livestock populations. *J. Anim. Sci.* 92:4255-4278.

Zhang, Y., J. Caupert, P.M. Imerman, J.L. Richard, and G.C. Shurson. 2009. The occurrence and concentration of mycotoxins in U.S. distillers dried grains with solubles. *J. Agric. Food Chem.* 57:9828-9837.

CHAPTER 10

DDGS 내 유허의 이점과 문제점

서론

유허 (S)은 동물에게 필수 광물질이며, 체내에서 많은 중요한 생리적 기능을 수행한다. DDGS의 평균 유허농도는 0.65~0.70%이지만 어떤 샘플의 경우는 1%를 상회 (표 1)하기도 하는데 반추가축 사료에서는 사용량을 제한해야 한다. 황산은 일반적으로 건식 분쇄 에탄올 생산 공정 중에 첨가되어 최적의 효모 번식 및 발효를 위해 pH를 원하는 수준으로 유지하여 전분을 에탄올로 효율적으로 전환시킨다. 또한 유허은 다른 산에 비해 가격이 저렴하여 세제로도 사용된다. AAFCO Official Publication 2004, p 386에 의할 것 같으면 황산은 U.S. Code of Federal Regulation (21 CFR 582)에 의해 일반적으로 안전하다고 인식되는 (GRAS) 물질로 승인이 난 식품첨가제 (21 CFR 573)이다. 더욱이 옥수수는 약 0.12%의 유허을 가지고 있으며 옥수수로 에탄올과 DDGS를 생산하는 과정에서 다른 성분들과 같이 3배수로 농축된다. 효모는 3.9g/kg의 유허을 가지고 있으며 발효하는 동안 자연적으로 황산염을 생산한다. DDGS 제품에는 유허의 함량에 상당한 변이가 있으므로 lot나 batch간의 변이를 추적 관찰하고 급여하는 사료의 유허함량을 측정하는 것이 중요하다. 유허함량의 변이를 알게 되면 영양전문가나 배합비 작성자가 배합비 작성시 변이를 고려하여 충분한 안전범위를 가지고 작업을 할 수 있게 된다.

반추가축 사료에 유허이 과다하게 함유되어 있으면 신경계에 문제가 발생한다. 반추가축 사료와 음용수에 유허이 다량 (사료건물당 > 0.40%) 함유되어 있으면 회백뇌연화증 (polioencephalomalacia; PEM)이 발생할 수 있다. PEM은 축우, 양, 염소의 대뇌피질 부위의 괴사에 의해 발생한다. 반추동물이 유허을 섭취하면 반추미생물에 의해 환원되어 황화수소가 된다. 황화수소는 독성이 있고 반추위에 축적되면 독성의 원인이 되는 것으로 생각된다. 반추동물은 섭취하는 사료가 조사료위주에서 곡물위주사료로 갑자기 변경될 때 PEM에 더 쉽게 노출된다. 이것은 thiaminase를 생산하는 반추위 미생물 개체군의 급격한 변화를 일으켜 thiamine의 결핍증을 초래한다. 유허은 이런 상태를 유발하는 thiaminase의 생산에 중요한 역할과 상호작용을 하는 것으로 보이나 그 기작에 대해서는 잘 알려지지 않았다. 또한 과다한 사료내 유허은 구리의 흡수와 대사를 방해한다. 그 결과 유허 수준이 높은 사료를 장기간 먹이면 사료내 구리함량도 높여야 한다 (Boyles, 2007). 이러한 현상은 단위동물 (돼지, 가금, 어류)에서는 일어나지 않는다.

반추 가축과는 달리, 유허함량이 높은 DDGS를 돼지에게 먹이면 대사스트레스를 막아주는 이점이 있

다. 최근의 미네소타대학 (Song 등, 2013)의 연구에 따르면 유황함량이 많은 옥수수 DDGS를 급여하면 포유 자돈에서 함유황 황산화제의 증가로 인해 DDGS의 과산화지방화를 방지할 수 있다.

DDGS 급여 시 반추가축 사료 내 유황의 관리

비육우 NRC (1996)는 feedlot 사료의 유황의 최대 허용수준은 0.40% (건물기준)라고 하였다. Vanness 등 (2009)이 요약한 네브라스카대학교의 옥수수 가공부산물 사양실험보고에 의하면 6~8% 조사료를 함유하고 있는 사료에 유황함량이 0.4%에서 0.56% 이상으로 증가할 때 PEM 발생율이 증가하였다 (표 2). 고유황 사료 (> 0.5%)로 유효조섬유 함량이 낮고 (<4%) 발효용이 전분 함량이 높은 (>30%) 경우 PEM 발생가능성이 가장 높았다 (Drewnoski 등, 2011). 예를 들면, Vanness 등 (2009)은 0.47% 유황이 함유된 DDGS 사료를 먹는 축우의 경우 조사료의 급여가 없을 때는 PEM 발생율이 48%였으나, 유사한 유황수준이지만 6~8%의 조사료를 급여 받은 축군은 PEM 발생율이 1% 이하였다. 네브라스카대학교와 아이오와주립대학교에서 실시한 연구에 의하면 사료에 조사료 함량이 6~8% 이상일 경우는 유황중독이 발생할 확률이 낮아진다고 하였다 (Drewnoski 등 2011).

표 1. DDGS 내 유황 함량 (% , 건물기준)을 측정된 연구의 요약 (Kim 등, 2012)

참고	샘플 수	평균	SD	최소	최대
Kim 등, 2012	35	0.65	0.19	0.33	1.04
Kerr 등, 2008	19	0.69	0.23	0.38	1.35
Shurson, 2009	49	0.69	0.26	0.31	1.93

표 2. Nebraska 대학에서 실시한 옥수수 가공부산물 사양시험에서 PEM의 발생 (Vanness 등, 2009)

PEM 발생율	사료내 유황 함량	PEM 발생건수/총두수
0.14 %	0.40 ~ 0.46 %	3 of 2147
0.35 %	~ 0.56 %	3 of 566
0.56 %	> 0.56 %	6 of 99

만약 사료에 건물기준으로 15%의 조사료를 함유하고 있다면 총 사료 중 유황의 농도를 0.5%까지 높일 수 있는데 이는 PEM의 발생 우려없이 사료내 DDGS의 함량을 10~15%까지 높일 수 있는 수준이다. 사료내 조사료의 함량이 증가하면, 반추위내 pH가 저하되지 않기 때문에 황화수소 발생여건이 형성되지 않아 위 내 황화수소의 농도가 증가하지 않을 것이다. 섭취사료의 변이 최소화, 사료급여 빈도증가 및

ionophores 사용과 같은 산과다증 위험을 최소화하는 사양관리 전략은 또한 PEM의 발생 위험도를 줄일 수 있다.

표 3에서는 음용수내 황산염 수준이 낮다고 가정하고, 옥수수과 옥수수 사일리지 (silage)로 된 육우사료에 황산염 수준이 다른 DDGS를 첨가 시 최종 사료내 황산염 수준을 보여주고 있다. 이 자료에서 보면 높은 첨가수준 (건물섭취기준 40%)에서 높은 유황 함유 DDGS (>0.8%)는 최종 사료내 유황의 수준이 PEM 유발가능 최대 한도인 0.40%를 상회한다. 표 4에서 보면 사료공장내 변이가 10%라고 가정하고, 여러가지 DDGS의 총합량과 유황합량에서 사료내 유황합량의 잠정적 범위를 보여준다. 따라서 DDGS를 축우에게 급여 시 사료내 배합 수준과 다른 사료원료와 음용수 내 유황합량도 염두에 두어 총 섭취 유황 수준이 0.4%를 초과하지 않도록 해야 한다.

사료 내 유황합량에 더하여 어떤 지역은 음용수 또한 유황섭취의 중요한 요인이 될 수 있다. 만약 음용수 내 유황합량을 모른다면 즉시 황산염 수준을 검사하여 DDGS와 다른 원료의 사용수준을 결정할 때 고려해야 할 것이다. 축우의 음용수량은 기온에 영향을 받기 때문에 지역에 따라 다르다. 표 5에서는 여러 기온 하에서 황산염의 농도가 다른 음용수를 통해 섭취하는 추가적 유황 섭취량을 보여준다.

표 3. DDGS의 유황 함량과 사료내 사용수준 (건물기준)이 옥수수-옥수수 사일리지 기초 육우사료의 총 유황합량에 미치는 영향 (Boyles, 2007)

DDGS 포함수준, %, 건물기준	0.60% 유황 DDGS	0.80% 유황 DDGS	1.0% 유황 DDGS
20	0.21	0.25	0.29
30	0.27	0.33	0.37
40	0.33	0.41	0.49

표 4. 전형적 공장 내 DDGS 유황 (S) 변이와 DDGS 사용수준에 따른 사료내 S1의 범위 (건물기준; Drewnoski 등, 2011)

DDGS 내 예상 유황 농도	사료 S with 30% DDGS, %	사료 S with 40% DDGS, %	사료 S with 50% DDGS, %	사료 S with 60% DDGS, %
0.6	0.32-0.34	0.36-0.38	0.40-0.43	0.44-0.48
0.7	0.35-0.37	0.40-0.43	0.45-0.49	0.50-0.54
0.8	0.38-0.40	0.44-0.47	0.50-0.54	0.56-0.61
0.9	0.41-0.44	0.48-0.52	0.55-0.60	0.62-0.67
1.0	0.44-0.47	0.52-0.56	0.60-0.65	0.69-0.74

¹¹Assumes no sulfur obtained from drinking water and a maximum of 10 percent variation of DDGS sulfur content.

표 5. 여러 가지 기온과 수중 황산염 농도에서 음수를 통한 추가적 유황 섭취량 (%)
(Drewnoski 등, 2011)

수중 황산염, ppm	5°C	21°C	32°C
200	0.02	0.03	0.05
400	0.04	0.05	0.10
600	0.06	0.08	0.14
800	0.09	0.11	0.19
1000	0.11	0.13	0.24

¹ Percentage of S to add to the ration to determine total dietary S intake.

Feedlot 육우는 유황 함량이 높은 음수와 유황농도가 높은 사료를 급여 시 비육후기 사료 급여 초기 30 일 간 유황중독에 가장 민감한 것으로 보인다. 고농후사료, 고유황 사료 급여에 따른 이러한 유황 중독에 대한 감수성의 증가는 황산염 환원 세균의 증가와 반추위 pH의 감소에 따른 위 내 황화수소의 극적인 증가에 기인하는 것으로 보여진다. 반추위 내 황산염 환원 미생물은 젖산균을 사용하여 유황을 황화물로 전환시킨다. 비육후기 사료 급여 초기에 이용가능한 젖산균이 많기 때문에 미생물 대사가 증가하고 황화수소의 생산이 더 활발할 것으로 예상된다. 그러나 비육후기 사료 급여 후기에는 황화수소의 농도가 감소하는데 이는 젖산균을 사용하는 세균이 자리를 잡고 황산염 환원 세균과 경쟁하기 때문이다. 그러므로 높은 DDGS 배합사료의 급여를 반추 미생물이 고농후사료에 적응할 수 있도록 약 30일 간 늦추면 PEM의 발생 위험을 감소시킬 수 있을 것이다.

돼지에 고유황 함유 DDGS 급여

축우에 있어서 사료내 유황의 최대 허용수준에 대해서는 이미 잘 설정되어 있지만, 단위동물에 있어서는 정해진 바가 없다. 유황은 동물의 여러 생리작용에서 필수 성분이고 아미노산, 단백질, 효소, 미량 영양소에 결합 되어있다 (Atmaca, 2004). 그러나 고유황 함유 사료나 고유황 함유 DDGS 사료를 돼지에 급여 했을 때 건강과 성장물에 미치는 영향에 대해서는 최근까지 알려진 바가 별로 없다. Kerr 등 (2011)은 사료내 무기 황산의 함량이 성장률, 장내 염증, 분변 성분 그리고 황산염 환원균의 생성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 실험을 실시하였다. 이 연구의 결과 돼지는 비교적 높은 농도의 사료내 유황 함량을 성장률 저해없이 견딜 수 있었으나, 고유황 함유 사료 급여 시 장내 염증 매개물질과 장내 세균의 변화가 관찰 되었다. Kim 등 (2012)은 DDGS를 함유한 고유황 사료를 급여 시 이유 및 육성-비육돈에서 사료 기호도와 성장물에 미치는 역효과가 있는지 검토하기 위하여 네 개의 시험을 실시하였다. 이 네 개의 시험 결과에 의하여 저자들이 내린 결론은 이유 및 육성-비육돈에게 옥수수, 대두박 그리고 DDGS 사료를 급여 했을 때 사료 내 유황 농도는 사료의 기호도, 사료섭취량, 성장물에 역효과가 없었

다. 후속 시험에서 Kim 등 (2012)은 유황함량이 0.38%인 20% DDGS 배합사료를 이유 및 육성-비육돈에게 급여하였을 때 사료의 기호성, 사료섭취량과 성장률에 미치는 역효과는 없었다. Kim 등 (2014)이 수행한 또 다른 추가시험에서 고유황 함유 DDGS를 30% 급여하였을 때 육성-비육돈에서 성장률에 아무 영향이 없었고 도체 특성이나 조직 유황 농도에 영향을 주지 않았다.

실제는 DDGS 내 높은 유황 함량은 고도로 과산화된 DDGS를 급여 시 발생할 수 있는 부작용을 상쇄할 수 있는 유익한 효과를 보여준다. 지방의 과산화 피해는 돼지의 건강과 성장률에 부정적인 영향을 미친다 (Miller와 Brzezinska-Slebozinska, 1993; Pfalzgraf 등, 1995; Hung 등, 2017). 지방 과산화는 옥수수 DDGS 생산과정에서 발생한다. Song과 Shurson (2013)은 옥수수 DDGS 샘플 31개로부터 추출한 옥수수유를 분석하였는데 DDGS유의 과산화도는 옥수수에서 추출한 오일의 20~25배 였다. 옥수수유에는 다중불포화지방산 (PUFA), 그중 특히 linoleic 산이 많이 들어 있는데 이는 지방의 과산화에 매우 민감하다 (Shurson 등, 2015). 그러므로 돼지에게 산화된 지방을 함유한 DDGS를 급여 시 현재 급여하고 있는 것 보다 더 높은 수준의 항산화제 (예: 비타민 E)를 첨가해 주는 것이 필요할 것이다. 예를 들면 돼지에게 DDGS나 산화된 옥수수유를 급여 시 항산화제를 추가로 첨가해 주면 성장률이 향상되었다 (Harrell 등, 2010). 하지만 다른 연구결과에 의하면 사료의 산화 스트레스 하에서 항산화제의 첨가가 성장률에 아무런 영향을 미치지 못했다 (Wang 등, 1997b; Anjum 등, 2002; Fernández-Dueñas, 2009). 이전 시험 (Song과 Shurson, 2013)에서 식별된 가장 과산화된 DDGS를 포유 자돈에게 급여하면 성장률에 악영향을 미치는지를 보기 위하여 Song 등 (2013)은 옥수수-대두박 사료나 30%의 과산화된 DDGS (PV=84.1 mEq./kg oil; TBARS=5.2 ng MDA/kg oil; 0.95% 유황)을 함유한 사료에 세 가지 수준의 비타민 E (무첨가, 11 IU/kg, 또는 110 IU/kg)를 첨가하여 시험을 실시하였다. DDGS 사료에 비타민 E 무첨가나 11 IU/kg를 함유한 처리구에서 옥수수-대두박 대조구 사료를 먹인 구보다 혈청 α -tocopherol 농도가 높았다. 더욱이 DDGS 사료를 먹인 돼지에서 혈청 중 함유량 아미노산 (met와 taurine) 함량이 대조구 사료를 먹인 돼지에서 보다 높았다. 간 glutathione 농도 역시 DDGS 사료를 먹인 돼지에서 대조구 사료를 급여한 돼지에서 보다 높았고 glutathione peroxidase 효소 활동도 증가하였다. 이 결과들을 보면 증가된 함량 항산화제들 (met, taurine, glutathione)이 고도로 과산화된 DDGS를 돼지에게 급여 시 산화 스트레스로부터 돼지를 보호하는 것으로 보이며, 고유황 그리고 고도로 과산화된 DDGS를 급여 시 돼지를 산화 스트레스로부터 보호하기 위하여 높은 수준의 비타민 E를 첨가할 필요는 없는것으로 사료된다.

고도로 과산화된 DDGS를 모돈과 그들의 포유 자돈에게 급여했을 때 그 영향을 평가하기 위하여 Hanson 등 (2015) 은 분만과 비유기간 동안 옥수수-대두박 대조구 사료와 40% DDGS 분만사료와 20% DDGS 비유사료를 모돈에게 급여하였다. 이유 시 이 한배 새끼들에게 0% 또는 30% 배합비의 과산화된 DDGS (PV = 84.1 mEq./kg oil; TBARS= 5.2 ng MDA/kg oil; 0.95% 유황)에 NRC (2012) 권

장수준의 다섯 배의 비타민 E를 첨가하여 급여하였다. DDGS 사료를 급여한 모돈으로부터 생산된 자돈들은 대조구 사료를 급여한 모돈으로부터 생산된 자돈들에 비해 이유 전, 후기간 동안 혈청 비타민 E의 농도가 낮았다. 포유기간 동안 DDGS를 급여한 돼지들은 대조구 사료를 급여한 돼지들보다 일당사료섭취량은 높았으나, 증체량은 처리구 간에 차이가 없었다. 더욱이 포유기간 동안 30% 배합비의 과산화 DDGS 사료를 급여한 돼지는 혈청 비타민 E의 함량이 증가하였으나, 혈청 TBARS나 glutathione peroxidase에는 영향이 없었다. 이 시험에서 가장 흥미로운 발견은 혈청 함유량 아미노산의 함량이 대조구를 급여한 돼지보다 40~50% 높았다는 것인데 이는 DDGS 사료를 급여한 돼지는 함유량 아미노산의 섭취가 많았기 때문으로 보인다. 따라서 함유량 아미노산의 항산화 성질은 과산화 DDGS 사료 급여로 인한 성장률 저하와 산화상태에 미치는 잠재적 부정적 영향을 극복하기에 충분하며, 비타민 E가 남아 비타민 E의 추가급여가 필요 없다.

요약하면 DDGS나 무기 유황으로부터 온 0.38%의 유황을 함유한 사료를 돼지에게 급여 시 성장률, 도체 특성 그리고 조직의 유황농도에 부정적인 영향이 없었다. 더욱이 높은 수준의 유황 (0.95%)을 가진 DDGS를 이유자돈 사료에 30% 첨가할 경우 유황 아미노산에 의해 공급되는 항산화 보호가 증가하였다.

결론

조사료 섭취량을 늘리고, 섭취사료의 변이를 줄이고, 반추위 내 pH를 안정화시키는 사양전략은 고 유황 사료를 반추가축에게 급여 시 유황중독의 위험성을 감소시킨다. 고농축후기 사료를 급여한 지 30일 후에 15%의 조사료를 후기사료와 함께 급여하면 유황 함량이 0.5%까지 함유된 사료를 급여하여도 유황중독 발생위험을 막을 수 있다. 사료공장이나 feedlot에 입고 시 여러 lots나 batches에서 오는 DDGS의 유황함량의 변이를 측정함으로써 반추가축 사료의 배합비를 작성할 때 적절한 안전범위를 결정할 수 있다. 음용수내의 황산염 함량과 섭취량은 feedlot 축우의 총 유황 섭취량을 관리할 때 고려되어야 한다. 반면에 고도로 산화된 지방과 높은 수준의 유황 (0.95%)을 함유한 30% DDGS 사료를 돼지에게 급여 시 유황 함유 항산화제가 증가하였으며, 어린 돼지에서 대사 산화 스트레스를 방지할 수 있었다. DDGS나 무기태 유황 공급원으로부터 온 0.38%의 유황을 함유한 사료를 돼지에게 급여 시 성장률, 도체 특성 그리고 조직 내 유황 농도에 부정적인 영향이 없었다.

참고문헌

- Anjum, M.I., M.Z. Alam and I.H. Mirga. 2002. Effect of nonoxidized and oxidized soybean oil supplemented with two levels of antioxidant on broiler performance. *Asian- Aust. J. Anim. Sci.* 15:713-720.
- Atmaca, G. 2004. Antioxidant effects of sulfur-containing amino acids. *Yonsei Med. J.* 45: 776-788.
- Boyles, S. 2007. Distillers Grains with Solubles. OSU Extension Beef Team, BEEF Cattle Letter 551.
- Drewnoski, M., S. Hansen, D. Loy, and S. Hoyer. 2011. How much distillers grains can I include in my feedlot diet? Iowa Beef Center, Iowa State University Extension, IBC 46. 3 pp.
- Fernández-Dueñas, D.M. 2009. Impact of oxidized corn oil and synthetic antioxidant on swine performance, antioxidant status of tissues, pork quality and shelf life evaluation. Ph.D. dissertation thesis, Urbana, IL.
- Hanson, A.R., L. Wang, L.J. Johnston, S.K. Baidoo, J. L. Torrison, C. Chen, and G.C. Shurson. 2015. Effects of feeding peroxidized dried distillers grains with solubles to sows and progeny on growth performance and metabolic oxidative status of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 93:135-146.
- Harrell, R. J., J. Zhao, G. Reznik, D. Macaraeg, T. Wineman, and J. Richards. 2010. Application of a blend of dietary antioxidants in nursery pigs fed either fresh or oxidized corn oil of DDGS. *J. Anim. Sci.* 88 (Suppl. 3): 97 (Abstr).
- Hung, Y.T., A.R. Hanson, G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: A meta-analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:47-58.
- Kerr, B.J., T.E. Weber, C.J. Ziemer, C. Spence, M.A. Cotta, and T.R. Whitehead. 2011. Effect of dietary inorganic sulfur level on growth performance, fecal composition, and measures of inflammation and sulfate-reducing bacteria in the intestine of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 89:426-437.
- Kerr, B.J., C.J. Ziemer, T.E. Weber, S.L. Trabue, B.L. Bearson, G.C. Shurson, and M.H. Whitney. 2008. Comparative sulfur analysis using thermal combustion or inductively coupled plasma methodology and mineral composition of common livestock feedstuffs. *J. Anim. Sci.* 86:2377-2384.
- Kim, B.G., D.Y. Kil, D.C. Mahan, G.M. Hill, and H.H. Stein. 2014. Effects of dietary sulfur and distillers dried grains with solubles on carcass characteristics, loin quality, and tissue concentrations of sulfur, selenium and copper in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 92:4486-4493.
- Kim, B.G., Y. Zhang, and H.H. Stein. 2012. Sulfur concentration in diets containing corn, soybean meal and distillers dried grains with solubles does not affect feed preference or growth performance of weanling or growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:272-281.
- Miller, J.K. and E. Brzezinska-Slebodzinska. 1993. Oxidative stress, antioxidants and animal function. *J. Dairy Sci.* 76:2812-2823.
- National Research Council. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7th revised edition. National Academy Press, Washington, D.C.
- Pfalzgraf, A., M. Frigg, and H. Steinhart. 1995. α -Tocopherol contents and lipid oxidation in pork muscle and adipose tissue during frozen storage. *J. Agric. Food Chem.* 43:1339-1342.
- Shurson, G.C, B.J. Kerr, and A.R. Hanson. 2015. Evaluating the quality of feed fats and oils and their effects on pig growth performance. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:10.
- Shurson, G.C. 2009. Nutrient profiles: Current U.S. data www.ddgs.umn.edu
- Song, R. and G.C. Shurson. 2013. Evaluation of lipid peroxidation level in corn dried distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 91:4383-4388.
- Song, R., C. Chen, L. Wang, L.J. Johnston, B.J. Kerr, T.E. Weber, and G.C. Shurson. 2013. High-sulfur content in corn dried distillers grains with solubles protects against oxidized lipids by increasing sulfur-containing antioxidants in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 91:2715-2728.
- Vanness, S.J., T.J. Klopfenstein, G.E. Erickson, and K.K. Karges. 2009. Sulfur in Distillers Grains. Nebraska Beef Report, University of Nebraska-Lincoln, p. 79-80.
- Wang, S. Y., W. Bottje, P. Maynard, J. Dibner, and W. Shermer. 1997b. Effect of santonin and oxidized fat on liver and intestinal glutathione in broilers. *Poult. Sci.* 76:961-967.

CHAPTER 11

육우 사료 내 지방 저감 DDGS

서론

미국 육우 산업은 수십 년 동안 습식 또는 건식 옥수수 주정 제품들의 주 고객층이었다. 2017년에 미국 육우산업은 주정 제품의 국내 소비량의 44%를 차지하는 최대 소비처다. 그 결과 옥수수 주정 제품의 육우에 대한 사양 가치에 대해 상당히 많은 연구가 수행되었다. 특히 비육 말기 feedlot 육우의 사료에 사용량이 가장 많기 때문에 이 단계에서의 적정사용량에 대한 연구가 집중되었다. 지난 10여 년간 여러 편의 우수한 연구 결과 요약과 급여 권장 수준에 대하여 논문이 발표되었다 (Erickson 등, 2005; Tjardes와 Wright, 2002; Loy 등, 2005a; Loy 등, 2005b, Klopfenstein 등 (2008). 2010년 이후에만 140개의 연구가 수행되었는데 그 연구 결과를 요약하여 이 장에 수록하였다.

열량, 영양소 성분 그리고 육우에서 옥수수 주정 제품의 소화율

옥수수 DDGS는 육우 사료에 고열량, 중 단백 사료 원료로 사용된다. DDGS 영양성분의 평균과 범위에 대해서는 이 핸드북의 4장에 자세히 요약되어 있다. 미국에서는 육우의 비육 후기 사료에 옥수수를 대체하여 사료의 40%까지 DDGS를 성공적으로 사용하고 있다. 그러나 DDGS를 주 열량 급원으로 사료의 30% 이상을 사용하면, 비육 후기 feedlot 육우에게는 필요 이상의 단백질과 인을 공급하게 된다.

열량

DDGS의 주된 탄수화물은 중성세제 섬유소 (NDF)이다. DDGS에 들어 있는 NDF는 옥수수 알곡의 외피 (bran)에서 얻어지는데 이는 69%의 NDF를 함유하고 있으며 소화율이 87%로 높고 소화가 빨리 (6.2%/시간) 진행된다 (DeHaan 등, 1983). DDGS에 들어 있는 섬유소는 소화율이 높고 빨리 발효되기 때문에 feedlot 후기사료에 고열량과 단백질 공급원으로 자주 사용된다.

DDGS에 들어 있는 옥수수유 또한 열량 함량이 높아 추가 열량 공급원이다. Vander Pol 등 (2007)은 옥수수기름의 소화율은 70%라고 하였다. 하지만 지방산의 섭취가 증가하면 지방산의 소화율이 감소하므로 (Plascencia 등, 2003), DDGS의 사료 내 배합비율이 30% 이상일 때 DDGS의 사양 가치가 감소하는 이유를 설명해 주는 것으로 사료된다.

최초의 시험에서 육우에서 옥수수 DDGS의 NEgain은 건식압착 옥수수의 NE 값보다 21% 높았다 (Ham 등, 1994). 후속의 Tjardes and Wright (2002)의 연구에서 옥수수 DDGS는 2.16~2.21 Mcal/kg NEm과 1.50~1.54 Mcal/kg NEg 를 함유하고 있다고 시사하였다. 사실 많은 반추 영양학자들은 후기 feedlot 육우에게 옥수수 알곡 대신에 옥수수 DDGS 급여를 선호한다. 왜냐하면 옥수수 DDGS가 옥수수 알곡보다 열량 함량이 18~30% 높으며 전분 함량이 적고 쉽게 발효되는 섬유소의 함량 때문에 사료 내 사용량이 많을 경우 건식압착 옥수수에 비해 반추위산증 (rumen acidosis)의 발생 위험이 낮기 때문이다 (Ahern 등, 2011).

유감스럽게도 육우에 대한 지방 저감 DDGS 열량 함량에 대한 자료는 제한되어 있다. Bremer (2014)는 지방 저감 (7.2% 조지방)과 고지방 (12.0% 조지방)의 액상 DDGS를 육성 송아지에게 건물섭취량의 20% 또는 40%를 급여하여 열량을 측정하였는데 지방 저감 또는 고지방의 젖은 DDGS 사이에는 열량 함량에 차이가 없었다. 이들 두 DDGS의 열량 함량은 옥수수 알곡 열량 함량의 약 124%이었다. 하지만 이들 DDGS 제품들을 후기 육우에게 급여하였을 때 지방 저감 DDGS는 고지방 DDGS에 비해 사양 가치가 89% 정도였다. 그러나 지방 저감의 액상 DDGS는 사료 내 함유 수준의 증가에 따라 사료 효율 (gain:feed;G/F)이 개선되었다.

DDGS는 산성증 (acidosis)을 감소시킨다

DDGS 배합 사료를 급여할 때 곡류가 많은 사료로 사양하는 feedlot 축우에서 산성증 발생 위험을 감소시킨다. 옥수수 알곡은 발효가 빠른 전분을 다량 함유하고 있기 때문에 곡류가 많은 사료를 급여 받는 후기 축우에게는 만성 산성증이 자주 문제가 된다. 그러나 DDGS의 전분 함량 (2~5%)은 매우 낮은 반면에 조섬유, 단백질과 지방의 함량이 비교적 높아 DDGS를 건물 기준으로 사료에 20% 이상 배합할 경우 사료 내 조사료 함량을 감소시킬 수 있다. 더구나 DDGS는 단백질 함량이 높아 이를 20%이상 함유한 사료에는 품질이 낮은 조사료를 효과적으로 사용할 수 있다 (Klopfenstein 등, 2008).

Protein

옥수수 DDGS는 단백질 함량이 비교적 높아 (27~30%) 오랫동안 feedlot 가축 사료에 단백질 보충제로 사용되어 왔다 (Klopfenstein 등, 2008). 옥수수 DDGS 단백질의 대부분은 zein인데 반추위 우회 (rumen escape value)가 높아 (Little 등, 1968), 약 40%의 zein 만이 반추위에서 분해된다 (McDonald, 1954). 비록 DDGS 제품 간에는 반추위 우회 단백질의 함량에 상당한 변이가 있지만 (Aines 등, 1987), DDGS 단백질은 대두박 단백질에 비해 1.8배의 가치가 있는 것으로 본다.

옥수수 DDGS는 반추위 비분해 단백질 (RUP) 함량이 높다. 산세제불용질소 (ADIN)는 DDGS의 단백질 피해 정도를 측정하는 데 사용될 수 있다. 실험실에서 ADIN값이 결정되면 단백질 계수 6.25를 곱하여

반추위 비분해 단백질 함량을 계산할 수 있고 실제 단백질 함량과 비교하면 단백질 피해 정도를 알 수 있다. DDGS의 반추위 비분해 단백질 (RUP) 비율은 60~70%로 대두박의 30%와 비교된다. 하지만 Erickson 등 (2005)은 DDGS의 높은 우회 단백질가는 건조와 수분함량 때문이라기 보다는 단백질 고유의 특성 때문으로 보이며, 또한 단백질효율 (kg gain/kg 보충 단백질)은 DDGS 내 ADIN 함량이 증가하면 변동이 없거나 증가하기 때문에 DDGS의 높은 우회단백질가는 ADIN에 의해 영향을 받지 않는 것으로 보인다.

육우에서 DDGS의 RUP 단백질 함량을 측정하기 위하여 소수의 시험이 실시되었다. Castillo-Lopez (2013)가 측정한 RUP는 조단백질 함량의 약 63%이었다. DDGS의 급여는 체장 세균 단백질 공급을 감소하는 경향이 있었지만, 체장 원생동물 단백질에는 영향이 없었고 소량의 효모 단백질을 공급하였다.

Li et 등 (2012)은 밀, 옥수수, 밀 DDGS, 고지방 (11.5% 조지방) 옥수수 DDGS 그리고 지방 저감 DDGS를 자연상태 (in situ)와 시험관 (in vitro)에서 조단백질과 아미노산 분해율을 비교 측정하였다. 측정 결과 이들의 단백질 진정 소화율은 각각 98.5, 96.5, 94.3, 93.5 그리고 88.9% 이었다. 이 연구자들은 DDGS의 조단백 분해율은 옥수수 알곡에 비해 낮았으며, 지방 저감 옥수수 DDGS가 고지방 DDGS보다 낮았지만, 밀 DDGS와 옥수수 DDGS 간에는 유의한 차이가 없다고 결론지었다. 필수아미노산의 반추위 분해율은 밀 DDGS가 가장 높았고, 다음으로 고지방 DDGS 그리고 지방 저감 DDGS였다. 비록 RUP 내의 단백질 품질과 필수아미노산 함량은 본래의 곡류보다 약간 낮았지만, 이들 모두는 우수한 RUP 공급원이었다. 후속 시험에서, Li 등 (2013)은 밀 DDGS와 지방 저감 (4.5% 조지방) 옥수수 DDGS를 육성기 육우에게 급여하였을 때 같은 단백 기준 (isonitrogenous basis)으로 급여한 캐놀라나 고지방 DDGS 처리구들 보다 소장에 더 많은 단백질과 아미노산을 공급하였다고 보고하였다.

요소 (urea)

축우 사료에 신속한 발효가 일어나는 탄수화물이 많고 (옥수수과 같이) 사료 내 조단백질의 주 공급원이 옥수수라면 분해성 단백질 섭취의 부족이 일어날 수 있다. Ceconi 등 (2015)은 두 개의 실험을 실시하였는데 요소를 첨가하고 분해 단백질 섭취를 증가시킬 때 feedlot 축우의 성장률, 도체 특성, 반추위 발효, 총소화율 그리고 purine-to-creatinine 지수에 미치는 영향을 측정하였다. 실험 결과 건조압착 옥수수와 20%의 DDGS를 배합한 고수분 옥수수 사료들은 분해성 단백질의 제한 때문에 반추위의 발효, 사료 소화율 그리고 성장률 향상을 위하여 요소 첨가의 필요성을 보여 주었다.

인 (phosphorus)

옥수수 DDGS는 칼슘 함량은 낮지만 인 (P)과 유황 (S)의 함량은 비교적 높다. 급여 수준에 따라서는, distillers grains를 사료에 첨가하면 종전에 급여하던 광물질 보충제에서 인을 제외해도 된다. DDGS의

급여 수준이 높으면 feedlot 육우 사료에는 요구량에 비해 높은 인이 함유되어 있다. 결과적으로 과도한 인은 분으로 배설되기 때문에 원치 않는 환경오염 방지를 위해 분뇨 관리계획을 수립할 때 이 점을 고려해야 한다. DDGS의 낮은 칼슘 함량 때문에 칼슘 첨가제(즉 분쇄 석회석이나 알팔파)를 첨가하여 Ca:P의 비율을 1.2~7:1 사이를 유지하여 축우의 생산성 저하와 요로결석을 피해야 한다(Tjardes와 Wright, 2002).

Geisert 등 (2010)은 인의 소화율과 배설을 조사하기 위해 제 1인산 칼슘을 첨가한 낮은 인 (0.12 % P), 중간 인 (0.27 % P) 및 높은 인 (0.42 % P)을 제공하는 주정 곡분 (brewers grits), 건조 압착한 옥수수과 DDGS 30% 배합사료들을 급여했다. 이 연구 결과 30% DDGS를 사료에 첨가하면 사료 내 인의 함량과 섭취량이 높아지고 약 50%의 소화율을 보여주었다 (표 1). 그러나 DDGS 내 가소화 인의 함량은 후기 육우의 인 요구량을 초과하여 총인 섭취량의 약 54%가 배설되었다. 후기 육우의 인 요구량은 전형적인 미국 육우의 feedlot 사료 내 인의 함량 (0.30~0.50%)이나 NRC (2001) 예측치 보다 낮다. 그러므로 전형적인 옥수수 기초 사료나 DDGS 기초 사료는 추가적인 인의 보충이 필요 없다. 이는 이 시기에 최대 성장률을 위한 인의 요구량이 건물의 0.17% 이하이기 때문이다. Feedlot 가축 사료에 사용하는 광물질 첨가제로부터 공급되는 과도한 인을 제거함으로써 분을 통한 인의 배설량을 감소시켜 환경오염을 최소화할 수 있을 것이다.

표 1. 거세우에서 사료 내 인의 공급원과 공급량이 인의 섭취량, 외관상 소화율 그리고 배설량 (Geisert 등 2010)

	Low P	Medium P	High P	건조 압착 옥수수	DDGS
사료 중 P, %	0.12	0.27	0.42	0.30	0.36
건물섭취량, kg/day	8.86	10.54	9.76	9.57	9.48
건물 소화율, %	71.9	69.6	72.5	75.7	68.5
P 섭취량, g/day	11.0 ^a	28.0 ^b	41.3 ^d	28.9 ^b	34.0 ^c
외관상 P 소화율, %	11.3 ^a	48.9 ^b	39.0 ^b	58.6 ^b	51.5 ^b
분 중 P 배설량, g/day	9.3 ^a	14.2 ^a	26.0 ^b	12.1 ^a	15.9 ^a
뇨 중 P 배설량, g/day	0.4 ^a	2.2 ^b	1.9 ^b	2.0 ^b	2.3 ^b
총P 배설량, g/day	9.7 ^a	16.3 ^{ab}	27.9 ^c	14.0 ^{ab}	18.2 ^b
총P 배설량 중 뇨를 통한 배설량, %	3.5	14.2	9.9	14.3	12.4

^{a,b,c,d} Means within row without the same superscript are different (P less than 0.10).

사료 내 DDGS 함량이 높아지면 분 내 질소와 인의 배설량이 증가한다

DDGS를 열량공급원으로 하여 사료에 15~20% 사용하면 단백질과 인의 공급이 과하게 된다. 과다한 단백질은 아미노산의 산화가 진행되어 열량을 공급하고 요소가 배설된다. Vander Pol 등 (2005)은 후기단계의 축우에게 건물 기준으로 10~20%의 DDGS를 급여하면 요소 첨가 효과가 없고 질소 재순환이 일어난다고 보았다. 그러나 Erickson 등 (2005)은 DDGS의 함량이 20% 이하인 사료를 배합할 때는 분해성 단백질 섭취량은 NRC (2001) 기준을 따라야 한다고 하였다. 과량의 인을 함유한 feedlot 축우 사료를 급여할 경우 Ca:P의 비율을 적절히 유지한다면 생산성이나 도체 특성에 부정적인 영향이 나타나지 않았다.

유황 (Sulfur)

DDGS에 함유된 높은 수준의 유황은 feedlot 육우에게는 우려할 점이다 (Lonergan 등 2001). 10장에서는 반추동물의 유황 섭취 관리에 대한 세부적인 사항들을 서술하고 있다. 에탄올공장에서는 에탄올과 DDGS 생산 공정에서 pH의 조절을 위하여 황산을 사용한다. 그 결과 DDGS는 유황의 함량이 0.6~1.0%로 높고 변이가 크다. 적당한 양의 유황은 반추 미생물이 필요로 하는 것이지만 사료 내 과다한 유황은 회백뇌연화증 (polioencephalomalacia)를 유발하고, 건물섭취량, 일당 증체량 (ADG) 그리고 간의 구리 수준을 감소시킨다. Felix 등 (2012a)은 DDGS를 반추동물 사료에 30% 이상 배합하고 육우의 건물섭취량, 반추위 pH 그리고 조섬유 섭취량이 감소한다고 하였다. 반추위 내 pH를 6.35로 높이면 건물섭취량이 증가하고 영양소의 반추위 내 소화율이 향상되었다 (Leventini 등 1990). 그러므로 높은 배합비의 DDGS 사료에 알칼리성 보충제를 첨가하면 pH를 증가시키는 데 효과적이고 영양소의 반추위 내 소화율을 향상시키는데 효과적이었다. 그리고 DDGS를 함유한 고유황 사료에 thiamine, 구리, NaOH 그리고 CaO의 첨가효과에 대한 시험이 여러 개 수행되었다.

Neville 등 (2012)은 20, 40 또는 60% DDGS 사료의 급여와 옥수수 가공 방법 (고수분 옥수수 대 건조 압착 옥수수)이 성장률과 polioencephalomalacia 발생률 그리고 feedlot 거세우에서 황화수소의 농도에 미치는 영향을 평가하였다. 사료에는 0.6~0.9%의 유황을 함유하였으며 thiamine을 일당 150mg/animal를 첨가하였다. 도체 조정 최종 중량은 사료 내 DDGS의 함량이 증가할수록 직선적으로 감소하였으나, 도체 조정 사료 효율 (gain:feed)은 영향을 받지 않았다. DDGS 수준이 증가하면 온도체 중과 등지방은 감소하였고 도체 수율등급은 감소하였다. 사료 내 DDGS의 함량이 증가할수록 황화수소가스는 증가하였는데 polioencephalomalacia 발생은 발견되지 않았다. 옥수수 가공 방법은 성장률, polioencephalomalacia 발생, 반추위 내 황화수소 가스 농도에 영향을 주지 않았다. 이러한 결과들은 Neville 등 (2010)과 Schauer 등 (2008)에 의한 보고와 같이 농축 사료를 급여하는 양이나 거세우에게 DDGS를 통한 유황의 급여가 최대 허용 수준을 초과하여 급여할 수 있다는 것을 보여주었다. NRC (2005)의 유황 최대 허용 수준은 재평가의 필요성이 있다고 사료된다.

DDGS 기반사료에 구리의 첨가가 반추위 내 황화수소의 발생을 감소시키고 높은 수준의 고유황 함유 DDGS 급여 시 유황 중독을 예방하는 데 효과적일 수 있다. 반추위 내에서는 구리와 유황이 만나서 황화구리를 형성하여 침전하게 되면 동물에서 구리와 유황의 이용률이 감소한다 (McDowell, 2003). 육우 사료에 구리의 최대허용 수준은 사료 건물 kg당 100mg이라고 보고되었다 (McDowell, 2003). 그러므로 Felix 등 (2012a)은 60% DDGS 사료에 0, 100 또는 200mg 구리/kg 사료 (건물)를 첨가하고 육성 육우 암소와 거세우에서 성장률, 도체 특징 그리고 반추위 내 유황 대사에 미치는 영향을 평가하였다. 실험 결과, 구리의 첨가는 60% DDGS 사료를 섭취하는 축우의 사료 효율을 향상시켰지만, ADG나 도체 특성에는 영향이 없었으며 육우의 구리 최대 허용 상한 수준의 2배를 첨가하여도 반추위 유황 대사에는 별 영향을 미치지 못했다.

반추위 pH가 내려가면 섬유소 발효가 저해되는데, DDGS는 섬유소 함량이 비교적 높고 pH가 비교적 낮기 때문에 반추위 pH와 섬유소 소화율을 증가시키기 위하여 알칼리 처리나 첨가제 사용 효과를 측정하기 위한 몇 개의 시험이 수행되었다. Felix 등 (2012b)은 2% NaOH로 처리한 DDGS를 25~60% 배합한 사료를 급여한 축우에서는 NaOH를 처리하지 않은 DDGS 사료를 급여한 축우와 비교했을 때 NDF의 시험관 소화율이 증가하였다. DDGS를 2% NaOH로 처리하면 반추위 pH를 증가시키고 황화수소의 농도를 감소시켜 polioencephalomalacia의 발생위험을 감소시키고, NaOH의 첨가는 DDGS의 황산으로 인한 산도를 중화시키는 데 효과적이었다. 그러나 반추 사료에 Na의 과다는 사료 섭취량을 감소시키고 (Croom 등 1982), 성장률 증진을 위해서 DDGS 기반사료의 산성 효과를 감소시키는 적정 알칼리 처리 수준에 대하여 정해진 바가 없다. 그러므로 Frietas 등 (2016)은 feedlot 거세우의 성장률, 도체 특성 그리고 사료 섭취 양상을 향상시키기 위하여 50% DDGS 사료에 NaOH의 적정 첨가 수준을 결정하기 위한 시험을 실시하였다. 그러나 이 시험에서 사용한 DDGS의 pH가 5.5로 낮았기 때문에 DDGS에 1.5%의 NaOH를 첨가했을 때 성장률이나 도체 특성에 대한 효과가 없었다.

DDGS를 30% 이상 배합한 사료에 산화칼슘을 첨가 시 사양가와 성장률이 증가하였는데 이는 급여 전에 DDGS를 알칼리 처리하면 영양소 소화율을 향상시키기 때문이다 (Felix 등, 2012b). Schroeder 등 (2014)은 50% DDGS 사료에 산화칼슘의 첨가가 성장률, 도체 특성, 사료 소화율, 사료 섭취 양상 그리고 섭식 회수에 미치는 영향을 측정하기 위한 시험을 실시하였다. 이 시험에서 산화칼슘을 첨가한 DDGS 사료를 거세우에게 급여 시 건물 섭취량이 감소했으나, ADG에는 영향이 없어 결과적으로 산화칼슘 무처리 대조군에 비해 사료 효율 (gain:feed)이 향상되었다. 산화칼슘을 첨가한 DDGS 사료를 급여 받은 거세우들은 섭식 회수는 비슷하였지만, 회당 사료 섭취량은 산화칼슘 무첨가 대조군에 비해 적었다. 산화칼슘을 첨가한 DDGS 사료를 급여한 군은 사료 효율이 증가했지만, 건물이나 NDF 소화율에는 영향이 없었다. 반면에 Nuñez 등 (2014)은 60% DDGS 사료에 산화칼슘을 첨가하여 feedlot 거세우에게 급여하였을 때 반추위 발효, 사료 소화율, 성장률 그리고 도체 특성에 미치는 영향을 검토하였

다. 이 연구 결과에 의하면 산화칼슘을 1.6%까지 첨가하면 성장률, 섬유소 소화율, 휘발성 지방산 생산, 아미노산 이용, 대사산-염기 균형 그리고 도체율을 향상시키는 데 효과적이었고 반추위 pH 변이는 최소화되었다. 만약 사료와 음용수를 통하여 건물 기준으로 0.4%의 유황을 섭취하면 축우에서 polioencephalomalacia가 발생한다. 더욱이 유황은 구리의 흡수와 대사를 방해하고 molybdenum이 있으면 길항작용이 심해진다. 따라서 목초와 음수에 유황이 많은 지역에서는 DDGS의 사용 수준을 감소시켜야 한다 (Tjardes and Wright, 2002). Drewnoski 등 (2014)은 유황 함량이 높은 DDGS를 많이 사용한 0.4%의 총유황 함유 사료를 급여할 때 조사료로부터 7~8%의 NDF를 급여하면 축우의 유황 중독 위험을 최소화할 수 있다고 시사하였다. 표 2는 후기 feedlot 가축에서 유황 중독과 polioencephalomalacia의 발생 위험을 피하기 위해 사료에 다양한 유황 함량의 DDGS 최대 사용량을 결정하는데 지표로 사용할 수 있다.

비육 후기 축우에게 DDGS 급여

육우에게 액상 DGS (wet distillers grains with solubles)와 DDGS의 급여는 모든 축종 중에서 가장 광범위하게 연구된 분야이다. 많은 예 중의 하나로, Buckner 등 (2007)은 비육 후기 거세우에게 DDGS의 급여 수준을 높일 때 성장률과 도체 특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 시험을 실시하였다 (표 3). 이 연구의 결과에 의하면 DDGS 급여 수준을 증가시키면 건물 섭취량, 12번 갈비 지방 깊이, 등심 근육 면적과 상강도 (marbling score)에는 영향이 없었으나 ADG, 온도체중은 곡선 반응을 보였고 사료 효율도 곡선 반응의 경향이 있었다. 더욱이 DDGS의 사양 가치는 옥수수보다 컸지만 사용수준이 증가하면 감소하였다 (표 3). Klopfenstein 등 (2008)은 Buckner 등 (2007)의 자료와 더불어 네 개의 다른 실험 결과를 메타분석 (meta-analysis) 한 결과도 DDGS의 급여 수준을 점증시킬 때 일당중체량은 곡선 반응을 보였지만, 사료 효율은 3차적 반응 (cubic response)을 보여주었다. 메타분석의 결과 비육 후기 축우에서 최대 ADG은 사료 내 DDGS의 함량이 20~30%일 때였으며, 최대 사료 효율은 10~20%일 때였다.

DDGS를 다량으로 함유한 (40%까지) 사료를 비육 후기 육우에게 급여 시 이점이 관찰된 또 다른 실험이 Swanson 등 (2014)에 의해 실시되었다. 이 실험에서는 거친 옥수수나 분말 옥수수에 20% 또는 40% DDGS를 함유한 사료를 한살배기 거세우에게 급여하고 성장률과 도체 특성을 조사하였다. 최종 체중과 ADG는 DDGS 배합 수준이나 옥수수 입자도에 의해 영향을 받지 않았으나, DDGS 함량 수준이 높아지면 건물 섭취량은 감소하고 사료 효율 (gain:feed)은 증가하였다 (표 4). 도체특징은 DDGS 함유 수준이나 건식압착 옥수수 입자도에 의해 영향을 받지 않았다. 이러한 결과는 DDGS를 40%까지 비육 후기 육우에게 급여하면 도체 품질에 영향 없이 ADG나 사료 효율을 향상시킬 수 있다는 것을 보여준다.

표 2. DDGS의 변이를 10%로 가정하였을 때 옥수수 기초 육우 비육 후기 사료 내 유황의 범위 (Drewnoski 등, 2014)

DDGS 유황, %	DDGS 함유율, %				
	20	30	40	40	50
	사료 내 유황, %				
0.3	0.16 - 0.17	0.18 - 0.18	0.20 - 0.21	0.22 - 0.23	0.23 - 0.25
0.4	0.18 - 0.19	0.21 - 0.22	0.24 - 0.25	0.27 - 0.29	0.29 - 0.32
0.5	0.20 - 0.21	0.24 - 0.27	0.28 - 0.30	0.32 - 0.34	0.35 - 0.38
0.6	0.22 - 0.24	0.26 - 0.30	0.32 - 0.34	0.37 - 0.40	0.41 - 0.45
0.7	0.24 - 0.26	0.28 - 0.33	0.36 - 0.39	0.42 - 0.45	0.47 - 0.51
0.8	0.26 - 0.28	0.33 - 0.35	0.40 - 0.43	0.52 - 0.56	0.53 - 0.58
0.9	0.28 - 0.30	0.36 - 0.38	0.44 - 0.47	0.52 - 0.56	0.59 - 0.65
1.0	0.30 - 0.32	0.39 - 0.41	0.48 - 0.52	0.57 - 0.62	0.65 - 0.71

¹ Assumes no sulfur is obtained from drinking water and that other diet ingredients contain 0.13 percent sulfur.

표 3. 사료 내 DDGS 사용 수준을 증가시킬 때 비육 후기 거세 육우의 성장률과 도체 특성 (Buckner 등, 2007)

측정항목	0% DDGS	10% DDGS	20% DDGS	30% DDGS	40% DDGS
건물섭취량, kg/day	9.25	9.47	9.52	9.71	9.47
일당 평균 증체량 (ADG), kg	1.50	1.61	1.68	1.62	1.59
Gain:Feed	0.162	0.171	0.177	0.168	0.168
사양 가치 ¹	100	156	146	112	109
온도체중, kg	351	362	370	364	359
12갈비 지방, cm	1.42	1.37	1.50	1.40	1.47
등심근육면적, cm ²	80.0	80.6	82.6	81.3	81.3
상강도 ²	533	537	559	527	525

¹ Value relative to corn calculated by difference in Gain:Feed divided by DDGS dietary inclusion rate.

² Marbling score of 400 = slight0, 500 = small0

Klopfenstein 등 (2008)에 의해 실시된 meta-analysis 이후 다수 (n=28)의 연구가 수행되었으며 이 연구의 결과를 표 5에 요약하였다. 유감스럽게도 대부분의 연구에서 DDGS 제품의 조지방 함량이 보고되지 않았고 일부 샘플에서 조지방 자료가 있는 경우는 요약에서 표시하였다. Frietas 등 (2017), Engle 등 (2016), Rodenhuis 등 (2016), Nunezê 등 (2015), Gigax 등 (2011) 그리고 Leupp 등 (2009)은 지방 저감

액상 DGS (WDGS)나 DDGS를 비육 후기 육우에게 급여한 시험에 대해 보고하였다. Gigax 등 (2011)의 연구에 의하면 건식압착 그리고 고수분 옥수수 사료와 지방 저감 (6.7%) 또는 고지방 (12.9%)을 함유한 건물 35%의 WDGS 사료를 비육 후기 거세우에게 비교 급여하였다. 옥수수나 지방 저감 WDGS 사료를 급여한 거세우와 비교했을 때 고지방 WDGS를 급여한 축우는 ADG, 최종체중 그리고 온도체중이 증가했으나, 지방 저감 WDGS를 급여한 축우는 옥수수 대조구를 급여한 축우와 건물섭취량, ADF 그리고 사료 효율에 차이가 없었다. 이러한 결과는 35% 건물 WDGS를 급여한 비육 후기 육우에 있어서 성장률이나 도체 특성에 있어서 건식압착과 고수분 옥수수 사료와 비교했을 때 거의 유사한 결과를 보여주었다.

표 4. 미세 또는 건식 압착 옥수수와 20% 또는 40% DDGS 함유 사료 급여가 비육 후기 육우에서 성장률과 도체 특성에 미치는 영향 (Swanson 등, 2014)

측정항목	건식 압착 옥수수 가공			
	Coarse (2.68 mm)		Fine (1.46 mm)	
	20% DDGS	40% DDGS	20% DDGS	40% DDGS
개시체중, kg	345	345	343	345
종료체중, kg	606	607	600	603
일당증체량 (ADG), kg/day	2.06	2.05	2.01	2.03
건물 섭취량, kg/day ¹	12.1	11.0	11.6	11.0
건물 섭취량, 체중의 % /day ¹	2.55	2.31	2.47	2.31
사료 효율 (Gain:Feed ¹)	0.169	0.185	0.169	0.178
온도체중, kg	361	369	360	360
12th 갈비지방 두께, cm	1.06	1.37	1.27	1.28
등심근육 면적, cm ²	82.2	82.0	81.3	83.3
상강도 (Marbling score ²)	543	538	533	530

¹ Effect of DDGS inclusion rate (P less than 0.001)

² Marbling score = 500 for modest and 600 for moderate marbling

근래의 연구들은 사료 내 DDGS의 배합 수준이 매우 높은 것 (50~70%)은 흥미로운 일인데 사료 배합 비 작성과 급여 상황에 따라 일부 보고는 성장률과 도체 특성이 좋았다고 하였다. 더욱이 여러 연구에서 DDGS 20~25% 함유 사료를 대조구로 삼았는데, 이는 영양전문가들 사이에 feedlot 축우에게 25% DDGS 사료는 성장률이나 도체 특성상 무난한 결과를 얻는다는 높은 수준의 신뢰를 보여주는 것이라고 사료된다. 그러므로 이와 유사하거나 비교적 높은 수준의 DDGS 사료를 다른 나라에서도 사용하는 것이 무리는 아니라고 생각된다.

표 5. 여러 형태의 DDGS 사료 급여에 따른 비육 후기 육우에서의 성장률과 도체 특성 반응에 관하여 2009년 이후 발표된 28개 연구의 요약

육성단계, 개시	DDGS 함유; 조지방 함량	사양 조건	성장 반응	도체 반응	참고
비육 후기 육우					
거세우, 211~261 kg	50%; 8.8 조지방	20% 옥수수 사일리지, 20% 건식압착 옥수수, 그리고 50% DDGS with 0, 0.5, 1.0, 또는 1.5% NaOH	NaOH 첨가는 종료 체중, ADG 그리고 gain:feed에 영향이 없음	NaOH 수준은 온도체중 (HCW), 등심 근육 (LM) 면적, 도체율, 등지방 두께, 상강도 (marbling score)에 영향이 없음	Frietas 등, 2017
거세우, 310 kg	26%, 육성 비육 사료; 5.8 또는 9.6% 조지방	육성 사료: 19% 건초, 22% 옥수수 사일리지, 30% 옥수수나 보리, 3% 첨가제; 후기사료: 20% 옥수수 사일리지, 51% 옥수수나 보리, 3% 첨가제	ADG, 건물섭취량 (DMI), Gain:Feed에 영향이 없음	도체율, HCW, 등급 (yield grade; YG), LM 면적, marbling score, 등지방 (backfat)에 차이가 없음	Engle 등, 2016
거세우, 436 kg	20, 40, 또는 60% DDGS; 10% 조단백 자료 없음; 4~5 % (저) 또는 7~9% (중) 조지방	건식압착 옥수수를 대체하기 위하여 여러 수준의 DDGS 사용, 300mg ferric Fe/kg from ferric ammonium citrate (FAC), 0.28, 0.41, 0.56% S 함유	DDGS가 증가되면 종료 체중은 직선적으로 감소, 60% DDGS 급여 시 FAC 첨가하면 종료 체중 증가하는 경향, DMI는 곡선적 반응, 60% DDGS는 DMI 감소	사료 내 DDGS 증가는 HCW와 LM 면적 증가, 20와 40% DDGS 구는 FAC 첨가 시 상강도 개선	Pogge 등, 2016
거세우, 428 kg	자료 없음; 4~5 % (저) 또는 7~9% (중) 조지방	저 또는 중 DDGS를 함유한 옥수수나 보리 사료	DDGS 지방함량은 종료 체중에 영향이 없고 ADG와 사료 효율은 보리 기초 사료가 큼	DDGS 지방함량이나 곡류 타입은 도체 특성에 영향이 없음	Rodenhuis 등, 2016
첫째 해-거세우, 396 kg 둘째 해-거세우, 436 kg	25%; 조지방 함량 보고 없음	75% 옥수수 사일리지와 25% 옥글루텐피드, 또는 25% DDGS, 또는 10% 대두박과 15% 분쇄 옥수수 함유 육성우 사료를 사용하여 2년간 연구, tall fescue 초지에 30일간 방목, 100일간의 후기 동안에도 육성기와 같은 사료로 사양	DDGS 사료 급여 거세우는 옥수수-대두박 사료 급여구보다 ADG와 Gain:Feed이 큼	옥글루텐피드를 급여한 구의 거세우는 LM 면적과 상강도가 컸으나 다른 구에서는 사료에 따른 차이는 없었다. DDGS 사료를 먹은 거세우의 스테이크는 부드러움	Stelzleni 등, 2016
거세우, 428 kg	20%; 조지방 함량 보고 없음	0, 0.4, 또는 0.6% 요소를 12% 고수분 옥수수, 20% DDGS, 10% ryegrass 건초와 건식압착 옥수수 사료	0.6% 요소사료는 도체 조정 ADG와 Gain:Feed을 증가, 종료체중과 DMI은 유사	도체 특성은 처리 간에 유사	Ceconi 등, 2015

표 5. 여러 형태의 DDGS 사료 급여에 따른 비육 후기 육우에서의 성장률과 도체 특성 반응에 관하여 2009년 이후 발표된 28개 연구의 요약

육성단계, 개시	DDGS 함유; 조지방 함량	사양 조건	성장 반응	도체 반응	참고
거세우와 미산우, 351 kg	0 또는 60% DDGS; 6.9% 조지방	옥수수 기초사료를 126일간 급여 후 60% DDGS를 70일간 급여, 이후 옥수수 기초사료를 126일간 급여	처음 70일간은 옥수수 기초사료구의 ADG, DMI, 그리고 Gain:Feed이 증가하였으나 71일부터 126일 사이에는 DDGS 급여구 증가 전체 사양 기간 중의 성적은 비슷함	–	Nuñez 등, 2015
거세우, 450 kg	0, 20, 30%; 조지방 함량 보고 없음	보리와 보리사일리지 사료에서 DDGS를 점증시키며 보리 대체	DDGS 20% 사용시 성장률에 영향이 없었으나 30% DDGS에서는 gain:feed 감소	20% DDGS 급여 시 도체 특성에 영향이 없었으나 30% DDGS에서는 유익 지방산 증가	He 등, 2014
거세우, 287 kg	매일 체중(BW)의 0%, 0.5%, 또는 1% DDGS; 11.1% 조지방	84일 사양시험 기간 동안 거세우는 중질의 화본과와 두과 건조 무제한 급여, DDGS 점증량 급여	DDGS 급여 시 ADG와 Gain:Feed은 곡선 반응, 1% DDGS 급여 시 Gain:Feed가 낮음	DDGS 사용량이 증가하면 LM 면적, 등지방 두께, 둔부 지방 두께 증가	Islas 등, 2014
거세우, 359 kg	32% DDGS와 7% CDS (condensed distillers solubles); 조지방 함량 보고 없음	84일간 사양시험. Bromegrass 건조로부터 3.5에서 11.4%의 NDF 함유한 6개의 시험 사료, DGS와 CDS로부터 0.46% S 공급	NDF 수준은 종료 체중, ADG, 그리고 Gain:Feed에 영향이 없었으나 DMI 직선적 증가	–	Morine 등, 2014
거세우, 355 kg	60%; 조지방 함량 보고 없음	60% DDGS, 20% 옥수수 사일리지, 13~14% 분쇄 옥수수, 4% 첨가제, 그리고 0~2.5% CaO	CaO 증가는 ADG와 Gain:Feed를 직선적으로 증가시켰으나 DMI는 직선적으로 감소	1.6% CaO 까지는 도체율이 직선적으로 증가했으나 다른 도체 특성에는 영향이 없음	Nuñez 등, 2014
거세우, 368 kg	0, 16.7, 33.3, 50% wet (WDGS) or DDGS (건물기준); 조지방 함량 보고 없음	10% 세절 alfalfa/grass haylage와 여러 수준의 WDGS 또는 DDGS로 옥수수 대체	WDGS와 DDGS의 함유 수준은 종료 체중과 BW, ADG에 영향이 없고 간 농양 지수는 DDGS 수준이 증가하면 직선적으로 감소	도체율, HCW, marbling score, 정육율, 정육 색깔에 미치는 사료의 영향은 없었음	Salim 등, 2014
거세우, 336 kg	50% DDGS나 modified wet DGS (MWDGS); 조지방 함량 보고 없음	DDGS나 MWDGS가 alfalfa hay와 corn husklage를 대체, 1.2% CaO를 첨가 또는 무첨가	CaO 처리 DDGS는 무처리군에 비해 DMI를 감소시키나 ADG에는 영향이 없었고 Gain:Feed (G/F)를 개선	–	Schroeder 등, 2014

표 5. 여러 형태의 DDGS 사료 급여에 따른 비육 후기 육우에서의 성장률과 도체 특성 반응에 관하여 2009년 이후 발표된 28개 연구의 요약

육성단계, 개시	DDGS 함유; 조지방 함량	사양 조건	성장 반응	도체 반응	참고
거세우, 345 kg	20 또는 40%; 조지방 함량 보고 없음	粗 혹은 細 압착 옥수수 그리고 20% 또는 40% DDGS 함유 사료	옥수수 가공이나 DDGS는 종료 체중과 ADG에 영향이 없었고, DDGS가 증가하면 DMI는 감소하고 G/F는 증가	DDGS 함유량 증가는 도체 특성이나 품질에 영향이 없었다	Swanson 등, 2014
거세우, 268 kg	1% BW; 조지방 함량 보고 없음	동면 tall grass pasture에서 121일 간 겨울 방목; 1 kg/day 면실박 첨가, 체중 1%의 옥수수-대두박 또는 대두겨와 박 또는 DDGS	옥수수-대두박 급여구가 대두겨와 박 급여구 또는 DDGS 급여구 보다 ADG가 높았다	열량 첨가는 장간막 지방과 등급을 높였으나 12th 갈비 지방 두께와 marbling score에는 영향이 없었다	Sharman 등, 2013
거세우, 335 kg	0, 25, 40, 70% 건물 MWDGS; 10.4% 조지방	15% 옥수수 사일리지와 여러 수준의 MWDGS 사료로 옥수수와 대두박	MWDGS 함유율은 ADG나 종료 체중에 영향이 없었다; 0%나 70% MWDGS 급여는 DMI를 감소시켰으나 G/F은 70% MWDGS 급여 시 가장 높았다	70% MWDGS구의 거세우는 rib eye 면적이 작고 MWDGS의 급여 수준이 증가하면 품질 등급이 저하되었다	Veracini 등, 2013
겨울 밀 방목장으로 부터 온 거세우, 363-403 kg	35%; 12.2% 조지방	두 개 그룹의 거세우로 2년간 연구; 증기 플레이크 옥수수, 요소, 면실박을 대체하여 DDGS 사료 급여	중체에는 차이가 없었지만 건조압착 옥수수 구는 대조구와 DDGS 사료 급여구 보다 G/F 향상	LM 면적, YG, 상강울에는 차이가 없었지만 증기플레이크 옥수수 급여는 도체율, 12th 갈비 지방 두께, 도체 지방을 증가시킴	Buttrey 등, 2012
거세 송아지, 297 kg	22.5% 밀 DDGS나 옥수수 DDGS; 조지방 함량 보고 없음	건조압착 보리 (71%), 5% 보리 사일리지, 그리고 2%첨가제, 그리고 밀 또는 옥수수 DDGS	옥수수 DDGS는 밀 DDGS에 비해 ADG, G/F 증가; ADG와 DMI는 옥수수DDGS구가 대조구에 비해 컸음	옥수수 DDGS구는 대조구에 비해 YG 1등급이 적고 YG 2와 3등급이 많았다	Hallewell 등, 2012
거세우, 336 kg	20, 40, 또는 60%; 조지방 함량 보고 없음	5% alfalfa hay와 10% 옥수수 사일리지 사료에 20, 40, 또는 60% DDGS와 건조압착 옥수수나 고수분 옥수수	PEM발생보고 없음; DDGS 함량 증가로 도체 조정 종료 체중과 ADG는 곡선적으로 감소, G/F는 영향을 받지 않음; 옥수수 가공 방법은 성장률에 영향을 미치지 않음	사료 내 DDGS의 함량이 증가하면 HCW, 지방 깊이, YG 감소	Neville 등, 2012
거세우, 252 kg	65 %; 조지방 함량 보고 없음	65% DDGS 또는 옥수수를 제한 급여하여 육성 비육 기간 동안 예상 증체량을 0.9 또는 1.4 kg BW/day 로 설정	육성기 동안 옥수수 급여구가 전체 ADG, DMI, G / F 가 높았으나 비육기에서는 DDGS 급여구와 차이가 없었다.	육성기에 DDGS구에서 ADG를 높이도록 사양하면 상강도가 증가하고 옥수수구에서 ADG를 높이도록 사양하면 상강도가 감소	Felix 등, 2011

표 5. 여러 형태의 DDGS 사료 급여에 따른 비육 후기 육우에서의 성장률과 도체 특성 반응에 관하여 2009년 이후 발표된 28개 연구의 요약

육성단계, 개시	DDGS 함유; 조지방 함량	사양 조건	성장 반응	도체 반응	참고
거세우, 403 kg	0 또는 35% WDGS; 6.7 또는 12.9% 조지방	10 % 수수 사일리지와 함께 85% 건식압착 그리고 고수분 옥수수 함유한 대조구 사료 그리고 옥수수와 요소를 대체하기 위한 35% 지방 저감 또는 고지방 WDGS 첨가	지방 저감 WDGS나 옥수수 사료에 비해 고지방 WDGS 급여 시 ADG와 종료 체중이 증가; 지방 저감 WDGS구와 옥수수구는 DMI, ADG, G/F에 차이가 없음	고지방 WDGS 사료급여구는 옥수수나 지방 저감 WDGS 구 보다 HCW 증가하였으나, 다른 도체 특성들에는 영향이 없었다.	Gigax 등, 2011
거세우, 306 kg	24.5% 조지방 함량 보고 없음	육성우 사료는 75% 옥수수 사일리지와 25% DDGS, 옥글루텐 피드, 또는 대두박을 함유하고 있으며 84일간 급여, 같은 단백질 보충제를 후기에도 100일간 급여	-	보충제들은 도체율과 품질에는 영향을 미치지 않았으나 DDGS나 옥글루텐피드를 급여한 구의 스테이크는 대두박 급여구의 것 보다 연했다.	Segers 등, 2011
한 살배기 거세우, 406 kg	30%; 12.0% 조지방	중 수준 S(0.42%)나 고수준 S(0.65%, H ₂ SO ₄ 첨가)의 DDGS를 30% 함유한 증기플레이크 옥수수나 건조압착 옥수수 사료	고유황 사료는 DMI와 ADG를 감소시켰지만 G/F에는 영향이 없었다	고유황 사료는 HCW와 YG를 감소시켰지만 도체율, 간 농양, 12hr-갈비지방 두께, LM 면적 또는 품질 등급에는 영향을	Uwituze 등, 2011
거세우, 349 kg	20 또는 40% WDGS; 조지방 함량 보고 없음	DDGS 또는 WDGS가 전체 대두박과 일부 분쇄 옥수수 대체	-	WDGS나 DDGS 급여는 도체 지방 두께, YG를 증가시키고 대조구에 비해 YG 1과 2등급 비율, 그리고 간 고기 내 α -tocopherol 함량을 감소시켰다; WDGS와 DDGS 급여는 고기 내 conjugated linoleic acid 함량에 영향이 없었으나 PUFA 함량을 증가시켰다.	Koger 등, 2010
미산우, 353 kg	0 또는 25%; 10.1% 조지방	Diets contained 증기플레이크 옥수수와 11% 옥수수 사일리지에 25% DDGS 유, 무 사료 또는 증기플레이크 옥수수와 6% alfalfa hay에 25% DDGS 유, 무 사료	DDGS 급여는 ADG, DMI, G/F에 영향이 없었고 간 농양 발생율은 DDGS가 사료에 함유되지 않았을 때 높았다	HCW, 도체율, 지방 두께, 도체 품질, YG는 처리 간에 차이가 없었다	Uwituze 등, 2010

표 5. 여러 형태의 DDGS 사료 급여에 따른 비육 후기 육우에서의 성장률과 도체 특성 반응에 관하여 2009년 이후 발표된 28개 연구의 요약

육성단계, 개시	DDGS 함유; 조지방 함량	사양 조건	성장 반응	도체 반응	참고
거세우, 257 kg	육성우 사료에 0, 10.5, 또는 17.5%; 비육 후기 사료에 0, 11.4, 또는 18.3%; 조지방 함량 보고 없음	건식압착 옥수수를 대체하여 여러 수준의 DDGS를 함유한 사료를 육성기에 84일 그리고 비육 후기에 112일간 급여	육성기에 DDGS 사료 급여 시 개시와 종료 체중에는 차이가 없었지만 DMI가 감소하고 ADG와 G/F가 증가하였다; 비육 후기에는 DDGS 사료가 DMI를 감소시키고 G/F를 증가시키는 경향이 있으나 DDGS 첨가 수준 사이에는 차이가 없었다	DDGS 급여는 상강도와 YG를 증가시키나, rib eye 면적을 감소시키는 경향이 있음; DDGS 함량이 높은 사료는 등지방 두께를 높임	Eun, J.-S, 등, 2009
거세우, 443 kg	25 또는 50%; 13.9% 조지방	25 또는 50% DDGS를 함유한 옥수수 기초 사료, 12 % 옥글루텐 피드를 함유한 25% DDGS 사료, 또는 2.4 또는 2.8% 대두유 첨가	25%DDGS 사료를 급여한 거세우는 50% DDGS 사료 급여구 보다 ADG와 G/F이 컸다	25% DDGS 사료 급여 거세우는 HCW, marbling scores, 품질 등급이 높았으나, 도체율, 12th-갈비 지방 두께, LM 면적, YG, 전단력 또는 고기 과산화에는 처리 간에 차이가 없었다	Gunn 등, 2009
거세우, 296 kg	30%; 9.7% 조지방	육성 비육우 사료는 0 또는 30% DDGS 조합 함유	육성 비육기간 동안 DMI, ADG, G/F에서 DDGS 급여로 인한 차이는 없었다.	DDGS 함유율은 LM 면적, 12th-갈비 지방 두께, YG, marbling, 그리고 육질의 연도에는 차이가 없었으나 30% DDGS를 후기 내내 먹인 거세우의 스테이크는 육즙이 많고 풍미가 있었다.	Leupp 등, 2009

¹ Abbreviations used: ADG = average daily gain, BW = body weight, DMI = dry matter intake, Gain:Feed = gain to feed ratio, HCW = hot carcass weight, LM = loin muscle, YG = yield grade

육성우나 송아지에게 DDGS 급여

옥수수 DDGS 급여에 관한 시험은 주로 비육 후기 육우에 대하여 많이 실시하였고 다른 연령의 축우에서는 그보다 적은 수의 시험이 수행되었다. 하지만 축우에게 저품질 조사료가 주 사료일 때는 DDGS가 열량과 단백질을 효과적으로 보충하는 우수한 보충 사료원이다. 인의 함량이 낮은 조사료를 급여할 시 DDGS를 추가로 급여하면 DDGS 내의 인이 상당히 유용할 것이다. 다섯 개의 육성우 (grower 또는 stocker cattle)에게 DDGS를 60%까지 사용한 사료를 급여하는 시험이 수행되었고 (표 6). 전체적으로 DDGS 사료 급여는 성장률과 도체 특성에 영향이 없거나 개선효과가 있었다.

표 6. 여러 형태의 DDGS 사료 급여에 따른 육우 육성우에서의 성장률과 도체 특성 반응에 관하여 2009년 이후 발표된 5개 연구의 요약

육성단계, 개시	DDGS 함유; 조지방 함량	사양 조건	성장 반응	도체 반응	참고
육성우					
첫 해-거세우, 305 kg 둘째 해-거세우와 미산우, 301 kg	25%; 10.9% 조지방	2년간 시험; 옥수수 사일리지 기초 사료 (75% 건물)에 25% 옥글루텐피드, 25% DDGS, 또는 25% 대두박과 분쇄 통옥수수(ear corn)	DDGS와 옥수수-대두 박사료 급여 거세우는 ADG가 높고, DMI가 적었다. G/F은 DDGS 급여구가 가장 높았고, 증체당 비용은 DDGS 급여 거세우에서 가장 낮았다.	초음파를 사용한 예측 도체 특성 검사에서 급여 처리 간에 차이 없음	Segers 등, 2013
거세우, 198에서 208 kg	건식압착 옥수수 또는 DDGS를 체중의 5% 보충; 11.6% 조지방	2년간 시험; 겨울 밀 초지 방목 거세우에게 건식압착 옥수수 또는 DDGS 보충 유무	DGS 보충구는 무첨가 구나 건조압착 옥수수 구 보다 ADG가 8% 증가하였다	—	Buttrey 등, 2012
거세우와 미산우, 238 kg	60% 조지방 함량 보고 없음	10% long stem grass 건초, 15% 대두피 펠릿, 그리고 15% 보충제를 함유한 60% DDGS 사료에 건물 kg당 0, 100, 또는 200 mg Cu 첨가	구리 첨가는 ADG에 영향이 없었으나 G/F는 구리 첨가에 따라 직선적으로 증가	구리 첨가는 HCW, LM 면적, YG, 등지방 또는 상강도에 영향이 없었음	Felix 등, 2012a
거세우, 277 kg	60% 조지방 함량 보고 없음	0 또는 10% haylage, 0 또는 33 mg monensin/kg diet, 그리고 60% DDGS, 10% 옥수수 사일리지, 15% 보충제, 그리고 5 또는 15% 옥수수	10% haylage 사료에서 ADG 증가, monensin 첨가로 추가적으로 증가, haylage 첨가로 DMI와 G/F는 감소	—	Felix 와 Loerch, 2011
Holstein 수소, 246 kg	0, 0.8, 또는 1.6 kg/day DDGS; 조지방 함량 보고 없음	옥수수 사일리지는 무제한 급여; 1.1 kg 대두박, 1.5 kg 채종박, 1.6 kg DDGS, 또는 일당 0.8 kg 채종박과 0.8 kg DDGS	DDGS구는 DDGS+ 채종박구에 비해 ADG가 낮았지만 다른 처리구들과는 차이가 없었다	종료 체중, 도체율, 내부 지방에는 영향이 없었다	Meyer 등, 2010

¹ Abbreviations used: ADG = average daily gain, BW = body weight, DMI = dry matter intake, Gain:Feed = gain to feed ratio, HCW = hot carcass weight, LM = loin muscle, YG = yield grade

육우 송아지에게 DDGS 급여

세 개의 시험에서 육우 송아지 사료에 DDGS를 60%까지 사용한 결과 (표 7) 전체적으로 DDGS를 급여하면 성장률이 증가하고 도체 특성이 향상되었다.

표 7. 여러 형태의 DDGS 사료 급여에 따른 송아지에서의 성장률과 도체 특성 반응에 관하여 2009년 이후 발표된 3개 연구의 요약

육성단계, 개시	DDGS 함유; 조지방 함량	사양 조건	성장 반응	도체 반응	참고
송아지					
미산우와 거세우, 156 kg	11에서 34%: 조지방 함량 보고 없음	네 개의 옥수수 대체사료: 고 또는 저 단백질 고지방 사료, 그리고 고 또는 저단백질 저지방 사료	고단백 사료는 ADG 증가, 그리고 옥수수를 먹은 송아지는 DMI는 감소하였으나 DDGS 사료와 비교했을 때 G/F 증가	고지방 사료는 도체 12th 갈비 지방과 상강도를 증가시키고 고단백 사료는 상강도 감소, HCW, LM 면적, 또는 YG에는 차이가 없었음	Segers 등, 2014
Holstein 거세우, 112 kg	0, 10, 20, 또는 30%: 조지방 함량 보고 없음	증가플레이크 옥수수를 대체하기 위해 점증하는 수준의 DDGS를 함유한 사료를 305일간 급여	DDGS의 수준이 증가 하면 ADG는 직선적으로 증가하고 G/F은 처음 126일 동안은 곡선적으로 반응하고 마지막 179 일간과 전체 기간 동안에는 성장률에 영향이 없었다	20% DDGS를 급여 시 HCW가 가장 컸으나 도체특징에 있어서 DDGS 함유 수준 간에 다른 영향은 관찰되지 않았다	Carrasco 등, 2013
조기아유 거세우, 200 kg	0, 30, 또는 60% DDGS: 조지방 함량은 9.8%	0, 30, 또는 60% DDGS를 함유한 20% 옥수수 사일리지를 99일간 급여하고 그 후는 도축 시까지 일반사료 급여	DDGS 함유 수준은 육성 기간 중 ADG, DMI, 또는 Gain:Feed에 영향이 없었고 후기단계에서도 성장률에 이월되는 영향은 없었다	도체율, HCW, 지방두께는 DDGS 함유 수준에 곡선적으로 반응 하였고, 상강도에는 영향이 없었으나 근육 내 지방과 피하지방 비율은 30에서 60% DDGS를 급여 시 증가 하였으며 0에서 30% DDGS 급여 시 감소하였다	Schoonmaker 등, 2013

¹ Abbreviations used: ADG = average daily gain, BW = body weight, DMI = dry matter intake, Gain:Feed = gain to feed ratio, HCW = hot carcass weight, LM = loin muscle, YG = yield grade

초지방목 육우에게 DDGS 급여

세 개의 추가적인 시험에서는 초지에 방목하는 축우에게 DDGS를 보충 급여했을 때 성장과 도체에 미치는 영향을 검토한 결과 (표 8) 일반적으로 DDGS 보충 급여는 성장률과 도체 특성을 개선하였다.

우육 품질

일반적으로, 전형적인 양의 DDGS 배합 사료 (건물 30%까지)를 급여 시 우육 도체율이나 품질에 영향을 주지 않으며 고기의 풍미나 식감에도 영향을 주지 않는다 (Erickson 등, 2005). WDGS나 DDGS를

표 8. 여러 형태의 DDGS 사료 급여에 따른 방목우 에서의 성장률과 도체 특성 반응에 관하여 2009년 이후 발표된 3개 연구의 요약

육성단계, 개시	DDGS 함유; 조지방 함량	사양 조건	성장 반응	도체 반응	참고
방목우					
거세우, 204 kg	0, 0.25, 또는 0.5% BW; 13.3% 조지방	2년간 연구; 북부 멕시코 관목의 사막 방목지에서 거세우에게 하루 세 번씩 점증량의 DDGS 보충 사료 급여	DDGS 급여량이 증가하면 종료 체중, ADG, 그리고 보충제 전환 효율이 증가	—	Murillo 등, 2016
거세우, 첫째 해 = 206 kg 둘째 해 = 230 kg	0, 0.2, 0.4, 또는 0.6% BW; 12.1% 조지방	2년간 연구; 목초 성장 기간 동안 자연 초지에서 56~58일간 방목; 0, 0.2, 0.4, 또는 0.6% BW의 점증량 DDGS보충	DDGS 보충량이 증가함에 따라 ADG가 직선적으로 증가	—	Martinez-Perez 등, 2013
한 살배기 거세우, 321 kg	방목 기간 동안 1% BW; 후기 동안 40%; 조지방 함량 보고 없음	Brome grass 목초지에서 저유황 (DDGS에서 0.34% S) 또는 고유황 (DDGS와 NaSO ₄ 로부터 0.47% S) 보충; 후기사료는 48% 옥수수, 40% DDGS, 8% 절단 건초	목초지 방목 기간 동안 사료 내 유황은 ADG에 영향이 없었다; 잇따른 후기동안 사료 내 유황의 증가는 ADG를 감소시켰으나 DMI와 G/F에는 영향이 없었다	후기동안 고유황 사료 급여는 HCW를 감소시켰으나 도체 지방, LM 면적, YG, 상강도에는 영향이 없었다	Richter 등, 2012

¹ Abbreviations used: ADG = average daily gain, BW = body weight, DMI = dry matter intake, Gain:Feed = gain to feed ratio, HCW = hot carcass weight, LM = loin muscle, YG = yield grade

급여한 축우의 고기 품질과 식감 평가에 대한 연구가 증가하고 있는데 그 결과는 DDGS 배합비가 높은 사료를 급여한 축우의 고기는 식육 특징에 아무런 부정적인 영향이 없었다.

Roeber 등 (2005)은 Holstein 거세우에 WDGS나 DDGS를 50%까지 급여한 두 개의 시험을 실시하여 strip loin 부위의 색깔, 유연성 그리고 식감을 평가하였다. 유연성, 풍미와 육즙에서 차이가 없었다. 이와 유사하게 Jenschke 등 (2006)은 50% 까지 WDGS (건물 기준)를 함유한 사료를 섭취한 비육 후기 육우로부터 생산된 스테이크는 유연성, 결합조직의 함량, 육즙이나 이취에서도 유사하였다. 실제로 0 또는 10% WDGS를 급여한 축우의 스테이크는 30과 50% WDGS를 섭취한 축우의 스테이크에 비해 이취가 있을 가능성이 높았다. Gordon 등 (2002)은 0, 15, 30, 45, 60 또는 75% DDGS를 함유한 사료를 153일 후기시험을 실시하는 동안 후기 미산우에게 급여하였는데 DDGS 급여 수준이 높아질수록 스테이크의 유연성이 작지만, 직선적으로 증가하였다.

Koger 등 (2010)은 Angus 교잡종 거세우에게 20 또는 40% WDGS 또는 DDGS를 함유한 사료를 대두

박과 일부 분쇄 옥수수를 대체하여 급여하였다. DDGS를 섭취한 거세우는 건식압착 옥수수, 대두박과 알팔파 건초로 된 대조구에 비해 도체 지방 두께가 두껍고 수율등급 (yield grade: YG)이 향상되었다. DDGS를 섭취한 거세우의 등심육 (loin muscle)은 WDGS를 섭취한 거세우의 등심육보다 pH 값이 높았다. DDGS를 급여한 거세우의 간 고기는 대조구를 급여한 경우보다 α -tocopherol 함량이 높았다. 그러나 40% DDGS구 거세우의 간 고기는 20% DDGS 거세우의 것보다 판매처 2일째 TBARS (thiobarbituric acid reactive substances)가 높아 지방 과산화가 많이 일어난 것으로 보인다. 이 연구자들은 DDGS를 급여한 거세우는 외부지방의 과도한 축적을 방지하기 위해 보통보다 빨리 출하하는 것이 필요하다고 생각한다. 그러나 소매 기간 중 간 고기의 어두운 색깔의 발생과 육질의 연도에 있어서는 유, 불리의 영향이 없었다. 하지만 DG (distillers grains)를 섭취한 육우의 고기는 PUFA가 증가하여 산패에 더 취약할 수 있다.

Leupp 등 (2009)은 0 또는 30% DDGS를 거세우의 육성기와 비육 후기에 급여하였을 때 성장률에 차이가 없었다고 하였다. 상강도 (marbling score)와 유연성 (tenderness)은 사료에 의해 영향을 받지 않았으나 후기동안 DDGS를 급여 받은 거세우로부터 생산된 스테이크는 육즙이 많고 풍미가 있었다. 이 자료들은 육성기와 비육 후기에서 DDGS를 건물로 30%까지 사용하여 건식압착 옥수수를 일부 대체하면 생산성, 도체 특성, 식감에 악영향이 없음을 시사한다. 그러나 30% DDGS를 급여하면 스테이크의 색깔에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

이와 유사하게 Segers 등 (2011)은 이유에서 도축까지 대두박을 단백질 보충원으로 사용했을 때와 비교하여 25% DDGS 함유 사료나 옥수수 글루텐피드를 함유한 사료를 급여했을 때 가장 긴 방형근 (longissimus lumborum) 스테이크의 조성과 연도는 영향을 받지 않음을 보여주었다. 그러나 Leupp 등 (2009)이 관찰한 스테이크의 색깔에 미치는 영향과 유사하게, 이 연구에서 훈련된 panelists들도 색깔의 차이를 감지했다. 그러나 전체적인 색깔은 사료 처리구 간, 스테이크 간에 유사하였다. Koger 등 (2010)의 연구와는 달리, 처리구 간에 TBARS 농도에는 차이가 없었다. 그러나 DDGS를 급여 받은 거세우로부터 온 스테이크는 식육 판매대에서 9일 후 변색이 더 많이 일어났으며, PUFA 함량이 더 많았다. DDGS를 급여 받은 축우의 신선육 제품은 지방 산화가 더 많이 일어나고, 유통기한이 더 짧다는 것을 시사한다. 이 연구 결과들은 또한 육우 사료에서 DDGS와 옥수수 글루텐피드는 대두박과 옥수수의 일부를 대체하면 육질을 유지하면서 이유부터 도축까지 급여할 수 있다는 것을 시사한다.

Aldai 등 (2010a,b)은 밀 DDGS와 옥수수 DDGS를 feedlot 축우에게 급여했을 때 육질에 미치는 영향을 비교하였는데 밀 DDGS는 육질에 부정적인 영향이 없었다. 한편 옥수수 DDGS는 보리를 급여한 대조구에 비해 육질의 유연성과 기호도가 증가하는 것과 같은 약간의 긍정적인 효과가 있었다.

DDGS 급여가 E. coli O157:H7 배설에 미치는 영향

2007년, 미국에서 간 쇠고기 내 E. coli O157:H7의 오염이 증가한 이유에 대하여 그 원인을 규명하고 이해하는 데 관심이 집중되었다. 이 시기에 에탄올 생산과 DG (distillers grains)의 생산이 기하급수적으로 늘었기 때문에 DG의 급여가 이 문제의 원인일 가능성에 대해 관심을 가지게 되었다. 그 결과 DGS의 급여와 쇠고기 내 E. coli O157:H7의 증가가 연관이 있는지를 밝히기 위한 연구가 시작되었다. 그러나 육우에게 DGS 급여가 E. coli O157:H7 배설에 미치는 영향에 대하여 꾸준한 결과가 나타나지 않았다. E. coli O157:H7 배설에는 DDGS의 급여 수준이나 옥수수 가공형태와 같은 다른 요인들도 영향을 미칠 수 있는 것으로 보인다. 현재는 DDGS의 급여 수준이 간 쇠고기의 E. coli O157:H7 오염원일 것이라는 가정에 대해 과학적인 증거가 없다.

육우 암소에 DDGS 급여

DDGS의 다른 잠재적인 용도로는 갓난송아지 포유모우를 위한 이유기 보충사료, 방목우를 위한 보충제, 육성 송아지, 임신육우 또는 성장중인 미산우를 위한 품질이 낮은 사료 및 작물 잔류물의 보충제로 급여할 수 있다. 그러나 육성 비육우에서와는 달리 육우 암소에서 DDGS 급여에 대한 연구는 많지 않다. Loy 등 (2005a)은 육우 암소사료에 DDGS를 사용한 결과에 대하여 최초의 요약을 발표하였다. DDGS를 가장 잘 적용할 수 있는 경우는 1) 옥글루텐피드나 대두박을 대체할 단백질 보충원이 필요할 때 (특히 저품질 조사료 급여 시), 2) 옥글루텐피드나 대두피를 대체하여 저전분, 고섬유소 열량 공급원이 필요할 때, 3) 보충 지방이 필요할 때이다.

보충 단백질 공급원으로서의 DDGS

이전의 연구에서 Colorado의 겨울 초지에 방목하는 육우 암소에게 단백질 0.18kg/day를 공급하기 위해 DDGS를 보충 급여하였을 때 알팔파 건초나 cull navy beans 대비 양호하였다 (Smith 등, 1999). Shike 등 (2004)은 비유 중인 Simmental 암소에게 분쇄 알팔파 건초의 보충제로 옥글루텐피드나 DDGS를 급여한 효과를 비교하였을 때 DDGS 급여구가 옥글루텐피드 급여구에 비해 체중 증가는 많았지만 비유량이 적었다. 그러나 DDGS 급여구와 옥글루텐피드 급여구 간에는 송아지 체중과 번식 회귀 능력에는 차이가 없었다. 연이은 연구에서 Loy 등 (2005a)은 비유 Angus와 송아지 포유 중인 Simmental 암소에게 DDGS나 옥글루텐피드를 보충한 분쇄옥수수줄기 TMR사료를 제한 급여하면 DDGS 급여구나 옥글루텐 급여구 간에 유생산량과 송아지 체중에 차이가 없었다고 보고하였다.

열량 보충제로써 DDGS

저품질 조사료 급여 시 옥수수 DDGS는 효과적인 열량 보충제이다. Summer와 Trenkle (1998)는 DDGS와 옥글루텐피드는 옥수수 stover (잎과 줄기) 사료급여에서는 옥수수에 비해 우수한 보충제였

으나 고품질 알팔파 사료급여에서는 그렇지 않다고 하였다. 옥수수 stover는 단백질, 열량과 광물질 함량이 낮지만 미국의 주요 옥수수 재배주에서는 손쉽게 구할 수 있고 값이 싸다. 옥수수 stover와 같은 저품질 조사료를 상태가 좋은 임신우에게 급여 시 임신기간의 후기 (마지막 3분기) 동안 하루에 1.4에서 2.3 kg의 DDGS를 급여하면 임신우의 요구량을 충족시키기에 충분한 단백질과 열량을 공급한다 (Loy and Miller, 2002).

Radunz 등 (2010)은 임신 후기에 임신우 사료의 열량 공급원으로써 목건초, 옥수수 또는 DDGS가 분만 전후의 성능에 미치는 영향을 평가하였다. 이 열량 공급원들을 1일 요구량 또는 요구량 이상으로 급여했을 때 분만 전후 모우의 성능에 나쁜 영향은 없었으며, 분만 전 사료의 열량공급원으로써 DDGS의 공급은 임신 기간 중 일당 사료비를 절감하였다. 사료열량 공급원은 열량분배에 영향을 미치고, 혈장 대사물의 변화에 영향을 주어 임신후기에 DDGS나 옥수수를 급여한 구가 목건초를 급여한 구보다 송아지의 분만 체중이 무거웠다.

지방보충제로 DDGS

임신율이 적정수준보다 낮은 (<90%) 모우군에 보충지방을 급여하면 번식률이 향상된다. Loy와 Miller (2002)는 옥수수유와 비슷한 지방산을 가진 보충제 (DDGS에서 발견됨)를 급여하면 임신율이 향상된다고 시사하였다. 또한 이들은 단백질 과/또는 열량의 보충이 필요한 사양 조건에서 지방의 보충이 가장 유익하다고 하였다. Engle 등 (2008)은 초산우 임신 후기사료에서 대두피와 비교하여 DDGS의 급여가 동물과 번식능력에 미치는 영향을 평가하였다. 지방과 반추위 비분해 단백질 공급원으로 DDGS를 함유한 분만 전 사료는 잘 관리된 초산우의 임신율을 향상시켰다. Shike 등 (2009)은 제한급여 사료에 옥수수 부산물들의 첨가가 모우의 성적, 비유, 영양소 생산과 번식에 미치는 영향을 평가하였다. DDGS를 급여한 모우는 체중감소가 16kg적었으나 우유생산도 일당 0.9kg 적었다. 이러한 결과로 송아지의 ADG가 옥글루텐피드를 급여한 구보다 적은 경향이 있었다. 그러나 두 번째 실험에서는 일당 2.3kg 분쇄 옥수수 줄기에 영양소 요구량에 맞추어 동열량의 글루텐피드 (7.7kg/day)나 DDGS (7.2kg/day)를 급여하였다. 이 실험 결과는 DDGS 급여 모우는 옥글루텐피드 급여구보다 체중손실이 많은 경향이 있었으나 유생산이나 송아지의 ADG에는 차이가 없었다. 더욱이 두 실험에서 모두 번식능력에는 차이가 없었는데 이는 DDGS나 옥글루텐피드는 제한 급여 사료에 75%까지 사용할 수 있으며, 옥글루텐피드에 비해 지방함량이 높은 DDGS의 급여는 번식률을 향상시키지 않았다.

임신육우에 DDGS 보충제를 급여한 사양시험을 평가한 13개의 논문을 표 9에 요약하였다. 임신우에 대한 네 개의 추가적인 실험 결과는 표 10에 요약하였다. 일반적으로, DDGS 보충제를 급여하면 경산우나 미산우의 번식능력 그리고 후대의 성장, 도체나 번식 능력에 영향이 없거나 향상시켰다.

표 9. 여러 형태의 DDGS 사료 급여에 따른 육우 암소의 번식능력과 후대의 성장, 도체 그리고 번식 반응에 관하여 2009년 이후 발표된 13개 연구의 요약

번식 단계	DDGS 함유율과 조지방	사양 조건	번식능력 반응	후대성장, 도체, 또는 번식 반응	참고
임신우					
가을 분만 다산우, 623 kg	0, 2.2, 또는 8.6 kg/day 70% DDGS 와 30% 대두피 보충; 조지방 함량 보고 없음	2년 연구; 내생 물질에 오염된 fescue/red clover 목초지에 방목 하는 암소에게 증증량 의 DDGS를 분만 전 103일부터 분만 후 2일까지 급여	-	후대암소의 이유, 번식, 임신, AI 수태율, 임신 율, 송아지 분만율에 영향이 없었음; 송아지 분만 체중, 無助産 %, 유생산, 73일령	Shoup 등, 2017
다산우	0, 2.5, 또는 4.7 kg DDGS/day; 조지방 함량 보고 없음	비유 초기에 동열량 사일리지 TMR에 DDGS 첨가 또는 무첨가	DDGS 첨가량 증가는 유지방과 요소함량을 증가. 2.5 kg DDGS 급여는 유당함량 증가; 종시체중, ADG, 성적 성숙연령, 수태율에는 후대암소에서 차이가 없었음.	-	Taylor 등, 2017
초산과 2산 암소, 520 kg	체중의 0 또는 0.35% DDGS를 매 일, 3일, 또는 6일에 한 번씩 급여; 조지방 함량 보고 없음	옥수수 잔여물 방목 축군에게 DDGS 보충 유무	매일이나 3일에 한번씩 보충 군에서는 ADG가 증가, 몸컨디션 지수 (BCS)는 매일 급여 군이 높음.	-	Gross 등, 2016
다산우, 674 kg	체중 0.3%의 DDGS 를 임신 마지막 3분 기와 분만 후 8주간 에 급여; 조지방 함량 보고 없음.	임신 후기 10주간 옥수수 stover (잎과 줄기)와 사일리지에 DDGS 보충 급여 유무	DDGS 급여구는 난산 에는 영향이 없었으나 혈당이 높아 분만 송아지 체중이 높고 이유체중이 무거움; DDGS 급여는 자궁 혈액을 증가시켰으나 estradiol과 progesterone 농도를 감소시켰다.	-	Kennedy 등, 2016a,b,c
다산우, 653 kg	0 또는 6.9 kg/day DDGS; 조지방 함량 보고 없음	분만 후 129일 동안 어미 소와 송아지에게 DDGS나 대두박 보충 급여; 호맥 건초와 DDGS 또는 옥수수 사일리지, 호맥건초와 대두박	유생산에는 영향이 없었으나 우유 내 요소 질소가 증가, DDGS 급여로 유단백 감소; DDGS 급여로 시율이 증가했으나 임신율에 는 영향이 없음	DDGS 급여 구에서 ADG와 송아지 체중이 증가	Shee 등, 2016

표 9. 여러 형태의 DDGS 사료 급여에 따른 육우 암소의 번식능력과 후대의 성장, 도체 그리고 번식 반응에 관하여 2009년 이후 발표된 13개 연구의 요약

번식 단계	DDGS 함유율과 조지방	사양 조건	번식능력 반응	후대성장, 도체, 또는 번식 반응	참고
봄철 송아지 분만 다산 우, 657 kg	19 또는 39% WDGS (건물 기준); 조지방 함량 보고 없음	귀리 사일리지, 옥수수 사일리지, 그리고 단백질 공급원으로 WDGS 급여; 요구량 또는 요구량의 129%를 분만 전부터 분만 시까지 78일 급여	모우 BW, BCS, 유생산, 이후 번식, 또는 후대의 이유 전 성장률에 사료의 효과가 없음	후대의 성장과 도체 상강도에는 영향이 없었으나 고단백 보충제의 급여는 12th 갈비 지방 두께와 YG 증가	Wilson 등, 2016a
봄철 송아지 출산 다산 우, 688 kg	분만 후 사료에 0 또는 7% DDGS, 그리고 일반 후대 feedlot 사료에 45% DDGS나 WDGS 사용	분쇄 건조와 DDGS 또는 옥수수 겨와 옥수수 줄기를 함유하고 있는 TDN 요구량의 100% 또는 125%를 함유한 사료를 분만 전 83일에서 분만 시까지 급여; 분만 후에는 일반사료 급여; 후대에게는 도축 시까지 45% WDGS를 함유한 일반사료 급여	모우 BW, BCS, 그리고 송아지 생시체중은 고열량 사료 급여 시 무거웠으나, 무조력 출산율, 분만일, 유생산, 연이은 출산율에는 사료처리 간에 차이가 없음	송아지 이유체중, 개시 및 feedlot 종료체중, ADG, Gain:Feed, 또는 발병율에는 모우의 사료처리에 따른 차이가 없었음	Wilson 등, 2016b
가을철 출산 다산우, 632 kg; 186 일령에 거세 송아지 이유	보충제는 70% DDGS, 30%대두피 함유; 이유 거세우에게 8.7% 조지방의 WDGS급여	내생 물질에 감염된 tall fescue/red clover 조지에 방목; 무보충제, 저 (2.2kg/cow/day) 또는 고 (8.6kg/cow/day) 보충제 급여	보충제의 다량 급여구의 모우는 출산 전, 출산 후, 그리고 중부 후 BW가 무거웠다. 그러나 보충제의 급여가 송아지 생시체중, 사망률, 조산율에는 영향을 미치지 않았다. 분만 전 보충 사료 급여는 시 임신율을 증가시키는 경향이 있었다. 조기이유와 보충제 급여는 모우의 BW, BCS, 그리고 번식력을 향상시켰다.	저 보충제 사료를 급여한 모우로부터 출산한 이유 거세우는 보충제 무급여 모우로부터 출산한 송아지에 비해 이유 시 체중이 무거웠으나, 모우의 출산 후 보충제 수준을 기준으로 할 때 송아지의 생산성에는 차이가 거의 없었다.	Shoup 등, 2015
봄철 출산 성숙 모우, 678 kg	DDGS 조지방 함량 보고 없음	분쇄 건조 (12 kg/day)나 60% 분쇄 옥수수 줄기, 24% DDGS, 16% 옥수수 겨 (10.4kg/day) 함유한 사료를 분만 전 88일 부터 분만 시까지 제한급여; 분만하 사료는 22% 분쇄 건조, 22% 분쇄 옥수수 기, 33% DDGS, 24% 옥수수 겨 함유; 후대들은 젖은 옥글루텐피드, 고수분 옥수수, 옥수수 husklage (cob, 잎, 줄기), 그리고 보충제를 함유하고 있는 일반 feedlot 사료 급여	분만 전 DDGS 사료를 급여 시 모우의 BCS가 크고, BW와 송아지 생시 체중이 무거웠으나, 무조력 출산, 임신율, 그리고 유생산량에는 차이가 없었다.	Feedlot 사양기간 동안 후대의 종료 체중, ADG, DM, Gain:Feed, 사망율, 발병율, HCW, LM 면적, 등지방, marbling score, 그리고 YG에는 차이가 없었다.	Wilson 등, 2015a

표 9. 여러 형태의 DDGS 사료 급여에 따른 육우 암소의 번식능력과 후대의 성장, 도체 그리고 번식 반응에 관하여 2009년 이후 발표된 13개 연구의 요약

번식 단계	DDGS 함유율과 조지방	사양 조건	번식능력 반응	후대성장, 도체, 또는 번식 반응	참고
가을철 출산 성모우, 603 kg	출산까지 0 또는 21 kg DDGS/cow/day; feedlot기간동안 43% DDGS; 조지방 함량 7%	분만 전 65일 간 tall fescue 초지에서 DDGS 첨가 또는 무첨가로 방목, 이 후 보충제 없이 다른 초지로 이동; 후대 거세 송아지는 43% DDGS함유 일반 feedlot 사료 급여	DDGS를 급여한 모우는 BW와 BCS가 컸다. 그러나, 송아지 출산일, 유생산, AI 임신, 또는 임신율에는 차이가 없었다; 송아지 출산 또는 이유체중, 이유 전 ADG는 차이가 없었다	후대 거세우의 개시 체중, 종료 체중, 사료급여일수, ADG, DMI, Gain:Feed, 발병율, HCW, LM 면적, marbling score, YG에는 차이가 없었다	Wilson 등, 2015b
성모우, 606 kg	4.1 kg/head/day; 조지방 함량 보고 없음	임신 167일부터 출산 1 주일 전까지 급여사료 는 보충제 없이 옥초 무제한 급여, 또는 5.3 kg/day의 옥수수 또는 4.1 kg/day DDGS 와 2.1 kg/day hay 와 1 kg/day 보충제	DDGS 급여 모우는 BW가 증가했으나 BCS는 건초만 급여하 거나 옥수수 첨가제에 비해 차이가 없었다; 송아지 출산 체중은 DDGS 급여에 의해 증 가하였으나 난산, 임신 율, 유생산, 유성분에는 영향이 없었다	-	Radunz 등, 2010

대체 미산우

대체 미산우에 DDGS를 급여한 시험은 드물다. 그러나 비육 후기 육우에 대한 수많은 시험 결과를 참고 하면, DDGS는 육성 대체 미산우들에게 훌륭한 우회 단백질이나 열량공급원이 될 것이다. MacDonald 와 Klopfenstein (2004)의 연구에 의하면 brome grass 초장의 대체미산우에게 0, 0.45, 0.90, 1.36 또는 1.81 kg의 DDGS/day를 급여한 결과, 매 0.45 kg DDGS를 급여할 때 마다 조사료 섭취량은 0.78 kg/day 감소하였으며 ADG는 27 g/day 증가하였다.

Loy 등 (2003)은 조사료를 많이 섭취하는 육성 교잡 미산우에게 DDGS를 매일 또는 주당 3번 급여할 때 사양 가치를 평가하였다. 미산우에게는 목건초 (8.7% 조단백질)를 무제한 급여하고 DDGS 또는 건식압착 옥수수를 급여하였다. 보충제는 두 수준에서 매일 또는 일주에 세 번 동일한 분량을 급여하였다. 보충제를 매일 급여한 미산우는 건초 섭취량이 많고 ADG가 높았지만, 보충제를 주당 세 번 급여한 구보다 사료 효율이 낮았다. 그러나 낮거나 높은 수준의 보충 DDGS 급여구는 건식압착 옥수수 급여구에 비해 ADG와 사료 효율이 높았다 (표 11). 이 연구 결과에 의하면 DDGS의 정미 열량 (NE)은 옥수수보다 27% 높았다.

표 10. 여러 형태의 DDGS 사료 급여에 따른 육우 미산우의 번식능력과 후대의 성장, 도체, 번식 반응에 관하여 2009년 이후 발표된 4개 연구의 요약

번식 단계	DDGS 함유율과 조지방	사양 조건	번식능력 반응	후대성장, 도체, 또는 번식 반응	참고
임신 초산우					
한 살배기 미산우	0.83 kg/day; 조지방 함량 보고 없음	모우는 임신 192일부터 출산 후 118일까지 옥수수 사일리지 TMR이나 DDGS를 보충한 옥수수 잔여물을 급여하였다; 후대 미산우는 이유까지 DDGS를 초이 (creep feed)로 무제한 급여하였으며 이 후 옥수수 사일리지, 목초 haylage, 옥수수 stover, 대두피 그리고 대두박을 이유부터 시까지 급여	DDGS 보충제를 급여한 모우로부터 출생한 후대 미산우는 이유부터 중부까지 BW와 체격지수가 컸으나, 자궁크기, 여포수, 성성숙 연령은 모우의 사료에 의해 영향을 받지 않았다; 모우가 DDGS를 급여 받을 때 성 성숙기의 BW와 AI 임신율이 높았고 난산율에는 영향이 없었다.	-	Gunn 등, 2015
초산우, 450 kg	1.2 kg 분쇄 생대두와 0.4kg 옥수수 또는 1.65 kg DDGS; 11.5% 조지방	3년 연구; 분만 142 일 동안 목건초에 보충제 무급여, 또는 DDGS나 옥수수 글루텐을 함유한 동질소, 동열량의 보충제 급여.	보충제 무급여 초산우는 DMI와 증체량이 적었다. 보충제는 ADG를 증가시켰지만 송아지 출산 연령과 연이은 임신율은 유사하였다.	송아지 이유체중과 종료체중은 모우사료에 의해 영향을 받지 않았고 ADG와 HCW도 유사하였다. 낮은 수준의 보충제를 급여 받은 모우로부터 출생한 송아지는 12th 갈비 지방과 육질의 연도가 가장 낮았다.	Summers 등, 2015a,b
두 살배기 미산우, 199 kg	2.8~3.1 kg/head/day; 12% 조지방	늦게 수확한 Sandhills 초장의 건초를 무제한 섭취하고 생대두 또는 DDGS 보충제를 이유부터 중부까지 급여	DDGS 보충제 급여는 1차년에 ADG를 증가시켰지만 2년 차에는 차이가 없었다; 1, 2년 차에 여포 크기와 여포 호르몬, 그리고 임신율에 차이가 없었다; 육성사료들 사이에는 송아지 생산에 차이가 없었다.	-	Martin 등, 2010
늦은 임신 초산우		2년 연구; 목초 건초 4 kg/head/day를 DDGS 2.8~3.1 kg/head/day 또는 3.2~3.5 kg/head/day 대두피를 보충하여 임신부터 분만까지 150일 간 급여	DDGS 급여 시 BW가 증가하였지만 BCS 변화, 순산, 송아지 활력, 생시체중, 또는 ADG에 보충제의 영향은 없었다; DDGS 급여우는 임신율이 높았지만 임신 분산이나 발정 사이클에는 영향을 받지 않았다.	-	Engle 등, 2008

¹ Abbreviations used: ADG = average daily gain, AI = artificial insemination, BCS = body condition score, BW = body weight, DMI = dry matter intake, Gain:Feed = gain to feed ratio, HCW = hot carcass weight, LM = loin muscle, YG = yield grade

표 11. 자연 목건초와 저 또는 고 수준 보충에서 옥수수나 DDGS를 급여한 육성 미산우의 성장률 (Loy 등, 2003).

		저 (체중의 0.21%)	고 (체중의 0.81%)
ADG, kg/day	옥수수	0.37	0.71
	DDGS	0.45	0.86
건물섭취량/ADG	옥수수	15.9	9.8
	DDGS	12.8	8.0

후속 시험에서 Loy 등 (2004)은 캐놀라 장작 미산우에게 보충제 무첨가, 또는 DDGS를 매일 또는 격일로 공급, 또는 건식압착 옥수수를 매일 또는 격일로 공급하였다. 예상한 바와 같이 건초 섭취량은 보충제를 급여 받은 구에 비해 보충제 무첨가 구가 많았다. 그러나 DDGS 또는 옥수수를 급여 받은 구 간에는 차이가 없었고 DDGS를 급여 받은 미산우에서 옥수수를 급여 받은 미산우에서 보다 반추위 내 섬유소의 소화율이 높았다.

Loy 등 (2008)은 보충제 종류, 농도 그리고 급여빈도가 사료 섭취량과 성장률에 미치는 영향을 측정하여 육성 미산우에서 높은 조사료급여 시 DDGS의 열량가를 예측하였다. 이 연구 결과 DDGS나 건식압착 옥수수를 주당 3회 공급 시와 매일 급여시에 비해 조사료의 섭취량과 증체량이 감소하였다. 그러나 DDGS 급여는 건식압착 옥수수 급여보다 증체량과 G/F를 향상시켰다. 이들은 육성 미산우에 있어서 목건초에 보충제로 급여할 경우 DDGS는 옥수수에 비해 118에서 130%의 TDN을 가진다고 하였다.

Stalker 등 (2004)은 두 개의 실험을 실시하여 DDGS를 조사료 기반 사료에 열량공급원으로 급여하였을 때 보충 분해 단백질 요구량의 효과를 평가하였다. 사료는 분해 단백질은 부족하게 (<100 g/day) 배합되었지만 대사 단백질은 초과량이 포함되었다. 이 실험의 결과는 DDGS가 조사료 기반 사료에 열량공급원으로 사용될 때는 분해 단백질 요구량을 충족시키기 위해 요소를 첨가할 필요가 없다는 것을 보여주었다.

Morris 등 (2005)은 개체별로 급여하는 미산우에게 고품질 또는 저품질 조사료에 0, 0.68, 1.36, 2.04 또는 2.72 kg/day의 DDGS를 급여하였을 때 DDGS 섭취량이 증가하면 조사료 섭취량은 감소하고 ADG는 증가하였다. 이러한 결과는 조사료의 이용이 제한을 받을 때 DDGS는 증체를 위하여 효과적인 조사료 보충제가 될 수 있다는 것을 시사한다.

Islas와 Soto-Navarro (2011)는 DDGS 배합이 작은 곡물 초지에 방목하는 육우 미산우의 조사료 섭취와 소화에 미치는 영향을 평가하였는데 DDGS를 체중의 0.6%까지 보충하였을 때 지방 섭취량과 지방과 NDF의 소화율이 증가하고 섭취량, 소화율 그리고 반추위 발효 특성에 역효과는 없었다. 이러한 결과에 기초하여, DDGS는 작은 곡물 초지에 방목하는 축우에 있어서 조사료 섭취량이나 소화율에는 부작용이 없이 지방 섭취를 증가시키는 데 성공적으로 사용될 수 있을 것이다.

결론

옥수수 DDGS는 육우의 모든 생산단계에서 우수한 열량과 단백질 공급원이다. 이것은 열량공급원으로 효과적으로 사용할 수 있으며 비육 후기 사료에 건물섭취량의 40%까지 급여하면 우수한 성장률, 도체와 육질을 얻을 수 있다. 그러나 높은 수준의 DDGS 급여는 단백질과 인의 섭취량이 요구량에 비해 과다하기 때문에 분을 통한 배설량이 증가하게 된다. 따라서 가축이 유황 함량이 높은 조사료와 물을 마시는 경우는 유황중독의 위험성을 방지하기 위해 DDGS 급여량을 조정해야 한다. 비육 후기에 고 DDGS 사료 급여 시 육류색깔에 약간의 영향이 있을 수 있고, 감각적 특성을 향상시킬 수 있으나, PUFA의 함량을 높이기 때문에 소매점의 진열대에 장기간 보관될 경우 유통기간을 감소시킬 수 있을 것이다.

DDGS의 급여가 육우에 있어서 E. coli O157:H7의 배설에 미치는 영향에 관해서는 일정한 경향이 없다. DDGS의 급여 수준과 옥수수 가공 형태 (건식압착 옥수수, 고수분 옥수수, 증기 플레이크 옥수수)가 E. coli O157:H7 배설 반응에 영향을 줄 수 있다. 현재 DDGS 급여 수준이 간 쇠고기 내 E. coli O157:H7 오염의 원인이라고 판단할 만한 아무런 과학적 증거가 없다.

육우 암소와 미산우에게 DDGS를 보충해 주면 번식과 비육에 만족스러운 결과를 보이며 후대의 성장, 도체 그리고 번식능력에도 최소한의 영향을 미친다. 육우 암소에게 DDGS의 급여가 가장 적합한 경우는 1) 옥글루텐피드나 대두박을 대체할 단백질 보충원이 필요할 때 (특히 저품질 조사료 급여 시), 2) 옥글루텐피드나 대두피를 대체하여 저전분, 고섬유소 열량 공급원이 필요할 때, 3) 보충 지방이 필요할 때이다.

육성 미산우에게 조사료 기반 사료에 DDGS를 열량 공급원으로 보충할 경우 분해 단백질 섭취 요구량을 만족시키기 위해 요소를 첨가해야 할 필요는 없다. 조사료 공급에 제한을 받는 상황에서는 성장률 증가를 위해 DDGS가 효과적인 조사료 보충제가 될 수 있으며, DDGS는 육성 미산우에서 건식압착 옥수수에 비해 TDN값이 18~30% 더 높다.

참고문헌

- Ahern, N.A., B.L. Nuttleman, C.D. Buckner, T.J. Klopfenstein, and G.E. Erickson. 2011. Use of dry-rolled corn, dry or wet distillers grains plus solubles as an energy source in high-forage diets for growing cattle. *Nebraska Beef Cattle Report*, p. 20-21.
- Aines, G., T. Klopfenstein, and R. Stock. 1987. Distillers Grains. MP51, Nebraska Agric. Res. Div., Lincoln.
- Aldai, N., M.E.R. Dugan, J.L. Aalhus, T.A. McAllister, L.J. Walter, and J.J. McKinnon. 2010a. Differences in the trans-18:1 profile of the backfat of feedlot steers fed wheat or corn based dried distillers' grains. *Anim. Feed Sci. Technol.* 157:168-172.
- Aldai, N., J.L. Aalhus, M.E.R. Dugan, W.M. Robertson, T.A. McAllister, L.J. Walter, J.J. McKinnon. 2010b. Comparison of wheat- versus corn-based dried distillers' grains with soluble on meat quality of feedlot cattle. *Meat Sci.* 84:569-577.
- Bremer, M.L. 2014. Energy value of de-oiled distillers grains plus solubles in beef cattle diets. Master's thesis, University of Nebraska-Lincoln. 117 pp.
- Buckner, C.D., T.L. Mader, G.E. Erickson, S.L. Colgan, K. Karges, and M.L. Gibson. 2007. Optimum levels of dry distillers grains with soluble for finishing beef steers. *Nebraska Beef Rep.* 35-38.
- Buttrey, E.K., F.T. McCollum, III, K.H. Jenkins, J.M. Patterson, B.E. Clark, M.K. Luebke, T.E. Lawrence, and J.C. MacDonald. 2012. Use of dried distillers grains throughout a beef production system: Effects on stocker and finishing performance, carcass characteristics, and fatty acid composition of beef. *J. Anim. Sci.* 90:2381-2393.
- Carrasco, R., A.A. Arrizon, A. Plascencia, N.G. Torrentera, and R.A. Zinn. 2013. Comparative feeding value of distillers dried grains plus solubles as a partial replacement for steam-flaked corn in diets for calf-fed Holstein steers: Characteristics of digestion, growth performance, and dietary energetics. *J. Anim. Sci.* 91:1801-1810.
- Castillo-Lopez, E., T.L. Klopfenstein, S.C. Fernando, and P.J. Kononoff. 2013. In vivo determination of rumen undegradable protein of dried distillers grains with solubles and evaluation of duodenal microbial crude protein flow. *J. Anim. Sci.* 91:924-934.
- Ceconi, I., M.J. Ruiz-Moreno, N. DiLorenzo, A. DiCostanzo, and G.I. Crawford. 2015. Effect of urea inclusion in diets containing corn dried distillers grains on feedlot cattle performance, carcass characteristics, ruminal fermentation, total tract digestibility, and purine derivatives-to-creatinine index. *J. Anim. Sci.* 93:357-369.
- Croom, W.J., Jr., R.W. Harvey, A.C. Linnerud, and M. Frotschel. 1982. High level of sodium hydroxide in in beef cattle diets. *Can J. Anim. Sci.* 62:217-227.
- DeHaan, K., T. Klopfenstein, R. Stock, S. Abrams, and R. Britton. 1983. Wet distiller's co-products for growing ruminants. *Nebraska Beef Rep.* MP 43:33-35.
- Drewnoski, M.E., D.J. Pogge, and S.L. Hansen. 2014. High-sulfur in beef cattle diets: A review. *J. Anim. Sci.* 92:3763-3780.
- Drewnoski, M.E., C.J. Brasche, and S.L. Hansen. 2014. Short communication: effects of dietary sulfur source on rumen pH and hydrogen sulfide gas concentration. *Livest. Sci.* 165:66-69.
- Engle, C.L., V.L. Anderson, and K.C. Swanson. 2016. Influence of two fat levels of dry distillers grains in diets with corn or barley on growing and finishing feedlot and carcass performance of steers. *J. Anim. Sci.* 94(Suppl. 2):173 (Abstr.).
- Erickson, G.E., T.J. Klopfenstein, D.C. Adams, and R.J. Rasby. 2005. Utilization of corn co-products in the beef industry. - A joint project of the Nebraska Corn Board and the University of Nebraska-Lincoln, Institute of Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research Division, Cooperative Extension Division. www.nebraskacorn.org
- Eun, J.-S., D.R. ZoBell, and R.D. Wiedmreier. 2009. Influence of replacing barley grain with corn-based dried distillers grains with solubles on production and carcass characteristics of growing and finishing beef steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 152:72-80.
- Felix, T.L., W.P. Weiss, F.L. Fluharty, and S.C. Loerch. 2012a. Effects of copper supplementation on feedlot performance, carcass characteristics and rumen sulfur metabolism of growing cattle fed diets containing 60 percent dried distillers grains. *J. Anim. Sci.* 90:2710-2716.
- Felix, T.L., T.A. Murphy, and S.C. Loerch. 2012b. Effects of dietary inclusion and NaOH treatment of dried distillers grains with solubles on ruminal metabolism of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 90:4951-4961.
- Felix, T.L., and S.C. Loerch. 2011. Effects of haylage and monensin supplementation on performance, carcass characteristics and ruminal metabolism of feedlot cattle fed diets containing 60 percent dried distillers grains. *J. Anim. Sci.* 89:2614-2623.
- Geisert, B.G., G.E. Erickson, T.J. Klopfenstein, C.N. Macken, M.K. Luebke, and J.C. MacDonald. 2010. Phosphorus requirement and excretion of finishing beef cattle fed

different concentrations of phosphorus. *J. Anim. Sci.* 88:2393-2402.

Gigax, J.A., B.L. Nuttleman, W.A. Griffn, G.E. Erickson, and T.J. Klopfenstein. 2011. Performance and carcass characteristics of finishing steers fed low-fat and normal-fat wet distillers grains. *Nebraska beef Cattle Report* p. 44-45.

Gordon, C.M., J.S. Drouillard, R.K. Phebus, K.A. Hachmeister, M.E. Dikeman, J.J. Higgins, and A.L. Reicks. 2002. The effect of Dakota Gold Brand dried distiller's grains with solubles of varying levels on sensory and color characteristics of ribeye steaks. *Cattleman's Day 2002, Report of Progress 890*, Kansas State University. pp. 72-74.

Gross, S.M., B.W. Neville, F.A. Brummer, and M. Undi. 2016. Frequency of feeding distillers dry grain with solubles as a supplement to beef cows grazing corn residue. *J. Anim. Sci.* 94(E-Suppl. 5):290 (Abstr.)

Gunn, P.J., J.P. Schoonmaker, R.P. Lemenager, and G.A. Bridges. 2015. Feeding distiller's grains as an energy source to gestating and lactating beef heifers: Impact on female progeny growth, puberty attainment and reproductive processes. *J. Anim. Sci.* 93:746-757.

Gunn, P.J., A.D. Weaver, R.P. Lemenager, D.E. Gerrard, M.C. Claeys, and S.L. Lake. 2009. Effects of dietary fat and crude protein on feedlot performance, carcass characteristics and meat quality in finishing steers fed differing levels of dried distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 87:2882-2890.

Hallewell, J., T.A. McAllister, J. Thomas, C.W. Booker, S. Hannon, G.K. Jim, L.O. Burciaga-Robles, M.L. May, R.E. Peterson, C. Flaig, E.M. Hussey, and K. Stanford. 2012. Effects of wheat or corn distillers dried grains with solubles on feedlot performance, fecal shedding and persistence of *Escherichia coli* O157:H7. *J. Anim. Sci.* 90:2802-2810.

Ham, G.A., R.A. Stock, T.J. Klopfenstein, E.M. Larson, D.H. Shain, and R.P. Huffman. 1994. Wet corn distillers co-products compared with dried distillers grains with soluble as a source of protein and energy for ruminants. *J. Anim. Sci.* 72:3246.

He, M.L., L. Xu, W.Z. Yang, D. Gibb, and T.A. McAllister. 2014. Effect of low-oil corn dried distillers grains with solubles on growth performance, carcass traits and beef fatty acid profile of feedlot cattle. *Can J. Anim. Sci.* 94:343-347.

Islas, A., T.C. Gilbery, R.S. Goulart, C.R. Dahlen, M.L. Bauer, and K.C. Swanson. 2014. Influence of supplementation with corn dried distillers grains plus solubles to growing calves fed medium-quality hay on growth performance and feeding behavior. *J. Anim. Sci.* 92:705-711.

Islas, A., and S.A. Soto-Navarro. 2011. Effect of supplementation of dried distillers grains with solubles on

forage intake and characteristics of digestion of beef heifers grazing small-grain pasture. *J. Anim. Sci.* 89:1229-1237.

Jenschke, B.E., J.M. James, K.J. Vander Pol, C.R. Calkins, and T.J. Klopfenstein. 2006. Wet distiller's grains plus solubles do not increase liver-like off-flavors in cooked beef. *Nebraska Beef Report*, University of Nebraska- Lincoln, pp. 115-117.

Kennedy, V.C., M.L. Bauer, K.C. Swanson, and K.A. Vonnahme. 2016. Supplementation of corn dried distillers grains plus solubles to gestating beef cows fed low-quality forage: I. Altered intake behavior, body condition and reproduction. *J. Anim. Sci.* 94:240-247.

Kennedy, V.C., B.R. Mordhorst, J.J. Gaspers, M.L. Bauer, K.C. Swanson, C.O. Lemley, and K.A. Vonnahme. 2016. Supplementation of corn dried distillers' grains plus solubles to gestating beef cows fed low-quality forage: II. Impacts on uterine blood flow, circulating estradiol-17 α and progesterone and hepatic steroid metabolizing enzyme activity. *J. Anim. Sci.* 94:4619-4628.

Kennedy, V.C., J.J. Gaspers, B. Mordhorst, G.L. Stokka, M.L. Bauer, K.C. Swanson, and K.A. Vonnahme. 2016. Supplementation of corn-dried distiller's grains plus solubles to gestating beef cows fed low quality forage: neonatal calf performance. *J. Anim. Sci.* 94(E-Suppl. 5):558 (Abstr.)

Klopfenstein, T.J., G.E. Erickson, and V.R. Bremer. 2008. Board-invited review: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.* 86:1223-1231.

Koger, T.J., D.M. Wulf, A.D. Weaver, C.L. Wright, K.E. Tjardes, K.S. Mateo, T.E. Engle, R.J. Maddock, and A.J. Smart. 2010. Influence of feeding various quantities of wet and dry distillers grains to finishing steers on carcass characteristics, meat quality, retail-case life of ground beef and fatty acid profile of longissimus muscle. *J. Anim. Sci.* 88:3399-3408.

Leupp, J.L., G.P. Lardy, M.L. Bauer, K.K. Karges, M.L. Gibson, J.S. Caton, and R.J. Maddock. 2009. Effects of distillers dried grains with soluble on growing and finishing steer intake, performance, carcass characteristics and steak color and sensory attributes. *J. Anim. Sci.* 87:4118-4124.

Leventini, M.W., C.W. Hunt, R.E. Ruffler, and D.G. Casebolt. 1990. Effect of dietary level of barley-based supplements and ruminal buffer on digestion and growth of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 68:4334-4340.

Li, C., K.A. Beauchemin, and W.Z. Yang. 2013. Effects of supplemental canola meal and various types of distillers grains on ruminal degradability, duodenal flow and intestinal digestibility of protein and amino acids in backgrounded heifers. *J. Anim. Sci.* 91:5399-5409.

Li, C., J.Q. Li, W.Z. Yang, and K.A. Beauchemin. 2012. Ruminal and intestinal amino acid digestion of distiller's grain vary

with grain source and milling process. *Anim. Feed Sci. Technol.* 175:121-130.

Little, C.O., G.E. Mitchell Jr., and G.D. Potter. 1968. Nitrogen in the abomasums of wethers fed different protein sources. *J. Anim. Sci.* 27:1722-1726.

Loneragan, G.H., J.J. Wagner, D.H. Gould, F.B. Garry, and M.A. Toren. 2001. Effects of water sulfate concentration on performance, water intake and carcass characteristics of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 79:2941-2948.

Loy, T.W., T.J. Klopfenstein, G.E. Erickson, C.N. Macken, and J.C. MacDonald. 2008. Effect of supplemental energy source and frequency on growing calf performance. *J. Anim. Sci.* 86:3504-3510.

Loy D.D., D.R. Strohbehn, and R.E. Martin. 2005a. Ethanol co-products for cattle: Distillers grains for beef cows. IBC 26. Iowa Beef Center, Iowa State University.

Loy, D.D., D.R. Strohbehn, and R.E. Martin. 2005b. Ethanol co-products for cattle: Factors affecting the economics of corn co-products in cattle feeds. IBC 28. Iowa Beef Center, Iowa State University.

Loy, T.W., J.C. MacDonald, T.J. Klopfenstein, and G.E. Erickson. 2004. Effect of distiller's grains or corn supplementation frequency on forage intake and digestibility. *Nebraska Beef Cattle Report MP 80-A:22-24.*

Loy, T.W., T.J. Klopfenstein, G.E. Erickson, and C.N. Macken. 2003. Value of dry distiller's grains in high fiber diets and effect on supplementation frequency. *Nebraska Beef Cattle Report MP 80-A:8.*

Loy, D. and W. Miller. 2002. Ethanol co-products for cattle - The process and products. Iowa Beef Center. Iowa State University IBC-18.

MacDonald, J.C. and T.J. Klopfenstein. 2004. Dried distiller's grains as a grazed forage supplement. *Nebraska Beef Cattle Report MP 80-A:22-24.*

Martin, J.L., D.M. Larson, H.L. Stroh, A.S. Cupp, and R.N. Funston. 2010. Effects of dietary crude protein sources on hormone and follicle characteristics in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 88:937-942.

Martínez-Pérez, M.F., D. Calderón-Mendoza, A. Islas, A.M. Encinas, F. Loya-Olguín, and S.A. Soto-Navarro. 2013. Effect of corn dry distillers grains plus solubles supplementation level on performance and digestion characteristics of steers grazing native range during forage growing season. *J. Anim. Sci.* 91:1350-1361.

McDonald, I.W. 1954. The extent of conversion of feed protein to microbial protein in the rumen of sheep. *Biochem.*

J. 56:120-125.

McDowell, L.R. 2003. *Minerals in Animal and Human Nutrition*, 2nd edition, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

Meyer, U., A. Schwabe, S. Dänicke, and G. Flachowsky. 2010. Effects of by-products from biofuel production on the performance of growing fattening bulls. *Anim. Feed Sci. Technol.* 161:132-139.

Morine, S.J., M.E. Drewnoski, and S.L. Hansen. 2014. Increasing dietary neutral detergent fiber concentration decreases ruminal hydrogen sulfide concentrations in steers fed high-sulfur diets based on ethanol coproducts. *J. Anim. Sci.* 92:3035-3041.

Morris, S.E., T.J. Klopfenstein, D.C. Adams, G.E. Erickson, and K.J. Vander Pol. 2005. The effects of dried distiller's grains on heifers consuming low- or high-quality forages. *Nebraska Beef Report MP 83-A:18-20.*

Murillo, M., E. Herrera, O. Ruiz, O. Reyes, F.O. Carrete, and H. Gutierrez. 2016. Effect of supplemental corn dried distillers grains with solubles fed to beef steers grazing native rangeland during the forage dormant season. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 29:666-673.

Neville, B.W., G.P. Lardy, K.K. Karges, S.R. Eckermann, P.T. Berg, and C.S. Schauer. 2012. Interaction of corn processing and distillers dried grains with soluble on health and performance of steers. *J. Anim. Sci.* 90:560-567.

Neville, B.W., C.S. Schauer, K. Karges, M.L. Gibson, M.M. Thompson, L.A. Kirschten, N.W. Dyer, P.T. Berg, and G.P. Lardy. 2010. Effect of thiamine supplementation on animal health, feedlot performance, carcass characteristics, and ruminal hydrogen sulfide concentrations in lambs fed diets based on 60 percent DDGS. *J. Anim. Sci.* 88:2444-2455.

Núñez, A.J.C., T.L. Felix, S.C. Loerch, and J.P. Schoonmaker. 2015. Short communication: Effect of dried distillers grains with solubles or corn in growing cattle diets, followed by a corn-based finishing diet, on performance of feedlot cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 207:267-273.

Núñez, A.J.C., T.L. Felix, R.P. Lemenager, and J.P. Schoonmaker. 2014. Effect of calcium oxide inclusion in beef feedlot diets containing 60 percent dried distillers grains with solubles on ruminal fermentation, diet digestibility, performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 92:3954-3965.

NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, 7th ed. National Academy Press, Washington, DC.

NRC. 2005. *Mineral tolerances of animals*, 2nd ed. Natl. Acad. Press, Washington, D.C.

- Plascencia, A., G. D. Mendoza, C. Vásquez, and R. A. Zinn. 2003. Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81:2653-2659.
- Pogge, D.J., M.E. Drewnoski, D. Snider, W.K. Rumbeiha, and S.L. Hansen. 2016. Effect of ferric ammonium citrate in feedlot diets with varying dried distillers grains inclusion on ruminal hydrogen sulfide concentrations and steer growth. *J. Anim. Sci.* 94:3894-3901.
- Radunz, A.E., F.L. Fluharty, M.L. Day, H.N. Zerby, and S.C. Loerch. 2010. Prepartum dietary energy source fed to beef cows: I. Effects on pre- and postpartum cow performance. *J. Anim. Sci.* 88:2717-2728.
- Richter, E.L., M.E. Drewnoski, and S.L. Hansen. 2012. Effects of increased dietary sulfur on beef steer mineral status, performance, and meat fatty acid composition. 90:3945-3953.
- Rodenhuis, M.A., F.E. Keomanivong, J.J. Gaspers, T.C. Gilbery, S.R. Underdahl, M.L. Bauer, V.L. Anderson, C.L. Engle, and K.C. Swanson. 2016. The influence of grain source and dried corn distiller's grains plus solubles oil concentration on finishing cattle performance and feeding behavior. *J. Anim. Sci.* 94(Suppl. 2):170 (Abstr.)
- Roeber, D.L., R.K. Gill, and A. DiCostanzo. 2005. Meat quality responses to feeding distiller's grains to finishing Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 83:2455-2460.
- Salim, H., K.M. Wood, P.L. McEwen, G. Vandervoort, S.P. Miller, I.B. Mandell, J.P. Cant, K.C. Swanson. 2014. Influence of feeding increasing level of dry or modified wet corn distillers grains plus solubles in whole corn grain-based finishing diets on growth performance, carcass traits and feeding behavior in finishing cattle. *Livest. Sci.* 161:53-59.
- Schauer, C.S., M.M. Stramm, T.D. Maddock, and P.B. Berg. 2008. Feeding 60 percent lamb finishing rations as dried distillers grains with solubles results in acceptable performance and carcass quality. *Sheep and Goat Res. J.* 23:15-19.
- Schoonmaker, J.P., M.C. Claeys, and R.P. Lemenager. 2013. Effect of increasing distillers grains inclusion on performance and carcass characteristics of early-weaned steers. *J. Anim. Sci.* 91:1784-1790.
- Schroeder, A.R., M. Iakiviak, and T.L. Felix. 2014. Effects of feeding dry or modified wet distillers grains with solubles with or without supplemental calcium oxide on ruminal metabolism and microbial enzymatic activity of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 92:3997-4004.
- Schroeder, A.R., M.J. Duckworth, D.W. Shike, J.P. Schoonmaker, and T.L. Felix. 2014. Effects of calcium oxide treatment of dry and modified wet corn distillers grains plus solubles on growth performance, carcass characteristics and apparent digestibility of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 92:4661-4668.
- Segers, J.R., D.B. Faulkner, K.M. Retallick, and D.W. Shike. 2014. Effects of protein and fat concentration in coproduct-based growing calf diets on performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 92:5603-5611.
- Segers, J.R., A.M. Stelzleni, T.D. Pringle, M.A. Froetschel, C.L. Ross, and R.L. Stewart, Jr. 2013. Use of corn gluten feed and dried distillers grains plus solubles as a replacement for soybean meal and corn for supplementation in a corn silage-based stocker system. *J. Anim. Sci.* 91:950-956.
- Segers, J.R., R.L. Stewart, Jr., C.A. Lents, T.D. Pringle, M.A. Froetschel, B.K. Lowe, R.O. McKeith, and A.M. Stelzleni. 2011. Effect of long-term corn by-product feeding on beef quality, strip loin fatty acid profiles, and shelf life. *J. Anim. Sci.* 89:3792-3802.
- Sharman, E.D., P.A. Lancaster, C.R. Krehbiel, G.G. Hilton, D.R. Stein, U. DeSilva, and G.W. Horn. 2013. Effects of starch- vs. fiber-based energy supplements during winter grazing on partitioning of fat among depots and adipose tissue gene expression in growing cattle and final carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 91:2264-2277.
- Shee, C.N., R.P. Lemenager, and J.P. Schoonmaker. 2016. Feeding dried distillers grains with solubles to lactating beef cows: impact of excess protein and fat on cow performance, milk production and pre-weaning progeny growth. *Animal* 10:1, pp. 55-63.
- Shike, D.W., D.B. Faulkner, and J.M. Dahlquist. 2004. Influence of limit-fed dry corn gluten feed and distiller's dried grains with solubles on performance, lactation and reproduction of beef cows. *J. Anim. Sci.* 82 (Suppl. 2):96.
- Shike, D.W., D.B. Faulkner, D.F. Parrett, and W.J. Sexten. 2009. Influences of corn co-products in limit-fed rations on cow performance, lactation, nutrient output and subsequent reproduction. *Professional Animal Scientist.* 25:132-138.
- Shoup, L.M., F.A. Ireland, and D.W. Shike. 2017. Effects of dam prepartum supplemental level on performance and reproduction of heifer progeny. *Italian J. Anim. Sci.* 16:75-81.
- Shoup, L.M., A.C. Kloth, T.B. Wilson, D. González-Peña, F.A. Ireland, S. Rodriguez-Zas, T.L. Felix, and D.W. Shike. 2015. Prepartum supplement level and age at weaning: I. Effects on pre- and postpartum beef cow performance and calf performance through weaning. *J. Anim. Sci.* 93:4926-4935.
- Smith, C.D., J.C. Whitlier, D.N. Schutz, and D. Conch. 1999. Comparison of alfalfa hay and distiller's dried grains with solubles alone and in combination with cull beans as protein

sources for beef cows grazing native winter range. Beef Program Report. Colorado State Clin.

Stalker, L.A., T.J. Klopfenstein, D.C. Adams, and G.E. Erickson. 2004. Urea inclusion in forage-based diets containing dried distiller's grains. Nebraska Beef Cattle Report MP 80-A:20-21.

Stelzleni, A.M., J.R. Segers, and R.L. Stewart Jr. 2016. Long-term use of corn coproducts as a sources of protein in beef finishing diets and the effects on carcass characteristics and round muscle quality. *J. Anim. Sci.* 94:1227-1237.

Summer, P., and A. Trenkle. 1998. Effects of supplementing high- or low-quality forages with corn or corn processing co-products upon digestibility of dry matter and energy by steers. Iowa State University Beef Research Report ASL-R1540.

Summers, A.F., T.L. Meyer, and R.N. Funston. 2015a. Impact of supplemental protein source offered to primiparous heifers during gestation on I. Average daily gain, feed intake, calf birth body weight and rebreeding in pregnant beef heifers. *J. Anim. Sci.* 93:1865-1870.

Summers, A.F., A.D. Blair, and R.N. Funston. 2015b. Impact of supplemental protein source offered to primiparous heifers during gestation on II greater than Progeny performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 93:1871-1880.

Swanson, K.C., A. Islas, Z.E. Carlson, R.S. Goulart, T.C. Gilbery, and M.L. Bauer. 2014. Influence of dry-rolled corn processing and increasing dried corn distillers grains plus solubles inclusion for finishing cattle on growth performance and feeding behavior. *J. Anim. Sci.* 92:2531-2537.

Taylor, E.G., R.P. Lemenager, and K.R. Stewart. 2017. Effects of using distiller's dried grains with solubles in postpartum diets of beef cows on heifer offspring reproductive performance. *J. Anim. Sci.* 95(Suppl. 2): 165 (Abstr.)

Tjardes, J. and C. Wright. 2002. Feeding corn distiller's co-products to beef cattle. SDSU Extension Extra. ExEx 2036, Dept. of Animal and Range Sciences. pp.1-5.

Uwituze, S., G.L. Parsons, C.J. Schneider, K.K. Karges, M.L. Gibson, L.C. Hollis, J.J. Higgins, and J.S. Drouillard. 2011. Evaluation of sulfur content of dried distillers grains with solubles in finishing diets based on steam-flaked corn or dry-rolled corn. *J. Anim. Sci.* 89:2582-2591.

Uwituze, A., G.L. Parsons, M.K. Shelor, B.E. Depenbusch, K.K. Karges, M.L. Gibson, C.D. Reinhardt, J.J. Higgins, and J.S. Drouillard. 2010. Evaluation of dried distillers grains and roughage source in steam-flaked corn finishing diets. *J. Anim. Sci.* 88:258-274.

Vander Pol, K.J., M.K. Luebke, G.I. Crawford, G.E. Erickson, and T.J. Klopfenstein. 2007. Digestibility, rumen metabolism and site of digestion for finishing diets containing wet distillers grains or corn oil. Nebraska Beef Cattle Report. MP88-A:51-53.

Vander Pol, K.J., G.E. Erickson, and T.J. Klopfenstein. 2005. Degradable intake protein in finishing diets containing dried distiller's grains. *J. Anim. Sci.* 83(Suppl. 2):62.

Veracini, J.L., P.M. Walker, M.J. Faulkner, R.E. Hall, R.L. Atkinson, and B.R. Wiegand. 2013. Effects of high-fat, modified-wet, corn distiller's grains plus solubles on beef steer performance and carcass characteristics. *Livest. Sci.* 157:151-161.

Wilson, T.B., N.M. Long, D.B. Faulkner, and D.W. Shike. 2016a. Influence of excessive dietary protein intake during late gestation on drylot beef cow performance and progeny growth, carcass characteristics and plasma glucose and insulin concentrations. *J. Anim. Sci.* 94:2035-2046.

Wilson, T.B., D.B. Faulkner, and D.W. Shike. 2016b. Influence of prepartum dietary energy on beef cow performance and calf growth and carcass traits. *Livest. Sci.* 184:21-27.

Wilson, T.B., D.B. Faulkner, and D.W. Shike. 2015a. Influence of late gestation drylot rations differing in protein degradability and fat content on beef cow and subsequent calf performance. *J. Anim. Sci.* 93:5819-5828.

Wilson, T.B., A.R. Schroeder, F.A. Ireland, D.B. Faulkner, and D.W. Shike. 2015b. Effects of late gestation distillers grains supplementation on fall-calving beef cow performance and steer calf growth and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 93:4843-4851.

CHAPTER 12

젖소 사료에 지방 저감 DDGS

서론

옥수수 DDGS는 착유우 사료 원료로 우수하며 현재 미국에서 생산되는 38백만 톤의 DDGS 부산물들의 약 30%가 젖소에 의해 소비된다. Distillers grains (DG)는 착유우뿐만 아니라 건유우와 대체우에서도 열량, 쉽게 발효되는 조섬유, 단백질과 광물질의 탁월한 공급원이다. 젖소에게 옥수수 DDGS를 급여 시 이점, 제한점 그리고 사양에서의 활용에 대하여 여러 개의 훌륭한 문헌조사들이 발표되었다 (Schingoethe 등, 2009; Kalscheur 등, 2012a,b; 그리고 Kalscheur, 2013). 많은 연구 결과에 따르면 TMR에 20% DDGS를 배합하는 것이 최대 우유생산과 적정 우유성분을 달성하기 위한 적정수준이면서 (Schingoethe et al., 2009), 분을 통한 과잉 인의 배설을 최소화하는 수준이기도 하다 (Schmit 등, 2009). TMR에 20% 이상의 DDGS를 배합 시 우려되는 사항은 DDGS에 들어 있는 지방에 PUFA 함량이 높기 때문에 유지방이 감소될 가능성이 있다는 점이다. 반추위 내 불포화 지방 부하는 DDGS가 유지방 저하를 초래하는 요소로 간주되지만, 유지방 저하와 관련하여서는 다른 사항들도 연관이 있다 (Kalscheur, 2013). 유지방 저하와 관련된 다른 요인들로는 영양소 조성, 여러 원료들로부터 적절한 유효조섬유의 결핍, 발효가능 탄수화물의 증가 등이다. 실제로 Kalscheur (2005)는 DDGS 배합 사료가 유지방 함량을 감소시키는 경우는 사료 내 조사료 함량이 50% 이하이거나 조사료로부터 NDF의 공급이 22% 이하일 경우라고 하였다. 따라서 고 DDGS (> 20%) 사료 급여 시 조사료로부터 최소한 22%의 NDF를 공급할 것을 권장한다. 더욱이 오늘날 생산되는 대부분의 DDGS는 전통적인 고지방 DDGS (>10% 조지방) 보다 지방 함량이 낮기 (5~9%) 때문에 DDGS 지방이 반추위 미생물 환경에 미치는 영향이 적어 유지방 저하의 위험성을 감소시킨다. 그러므로 DDGS 사용에 있어서 이러한 점들을 고려하여 사료 배합비 작성에 유의한다면, 유지방 저하의 발생을 방지할 수 있을 것이다.

젖소를 위한 DDGS의 영양성분

젖소를 위한 DDGS의 영양적 이점

젖소 사료에 다른 단백질 원료들과 비교하여 옥수수 DDGS의 영양적 이점이 여러 가지 있다 (Yildiz와 Todorov, 2014).

1. 비교적 높은 단백질 함량 (26~38%)
 2. 높은 열량 함량 (2.03 Mcal/kg NEL)
 3. 높은 우회단백질 함량 (조단백질의 55%)
 4. 저전분 함량은 고열량 사료가 반추위산증을 유발할 위험성을 감소시킨다.
 5. 건조 효모를 함유하고 있어 비타민을 제공하고, 기호성을 증진시키며, 조섬유 소화율을 높이고, 미생물 단백질 합성을 증진한다.
 6. 소화율이 높은 NDF는 열량 함량을 증가시키고 반추위 미생물 활동을 활발하게 한다.
 7. Methionine 함량이 높기 때문에 methionine 함량이 낮은 사료 원료들과 배합할 수 있는 기회를 준다.
 8. 비교적 높은 농도의 인 (0.7~0.9%)은 저렴하고 가용성이다.
 9. 항영양인자를 가지고 있지 않다.
 10. 비교적 lysine 함량이 낮지만 유생산성에 있어서 대두박이나 채종박과 유사하며, 낮은 lysine 함량은 lysine:methionine 비율을 유단백질 함량에 영향을 미치지 않는 권장 수준인 3:1을 가능케 한다.
- 착유우의 사료 원료로 옥수수 DDGS를 사용함으로써 얻을 수 있는 영양적 이점들로 인하여, 미국의 낙농산업에서는 열량과 단백질 공급원으로 인기가 높고 널리 사용되고 있다.

열량

반추 가축에 있어서 지방 저감 DDGS의 열량 함량과 영양소 소화율에 대하여 제한된 수의 연구가 이루어졌다. 그러나 가용한 발표된 정보를 이용하여 Schingoethe 등 (2009)은 옥수수 DDGS의 평균 열량가는 2.25 Mcal NE_L/kg 건물로 이는 옥수수의 1.97 Mcal NE_L/kg 건물 (NRC 2001) 보다 10% 높다고 보고하였다. 이는 옥수수 DDGS가 지방함량 (5~12%)이 비교적 높고 소화율이 섬유소 함량 (38% NDF)의 비율이 높기 때문이다. DDGS 섬유소는 lignin 함량이 낮기 때문에 소화율 (62~72%; Birkelo 등, 2004; vander Pol 등, 2009)을 높인다. Nuez-Ortín와 Yu (2011)는 NRC 화학 요약과 생물학적 접근을

통하여 에탄올 생산에서 나오는 새로운 부산물들의 젖소에서의 열량가를 추적하였는데 그 추정치를 표 1에서 보여주고 있다. 이 접근 방법에 의하면 밀 DDGS보다 진정 가소화단백질과 비섬유소 탄수화물의 함량은 낮았지만, 옥수수 DDGS의 가소화 지방산과 NDF가 밀 DDGS보다 높았다. 그 결과로 유지 수준의 3배 (3x maintenance)의 열량 공급 때 NE_L 은 Schingoethe 등 (2009)이 보고한 건물기준 2.3 Mcal/kg과 유사하였다. 최근에 Foth 등 (2015)은 착유우에서 지방 저감 DDGS (조지방 6.2%)의 열량가는 1x maintenance에서 3.82 Mcal DE/kg (건물), 1x maintenance에서 3.41 Mcal ME/kg (건물) 그리고 3x maintenance에서 2.03 Mcal NE_L /kg (건물)이라고 보고하였다. 이 추정치들은 Schingoethe 등 (2009)의 10% 이상 고지방 DDGS의 수치보다 낮았지만 NRC (2001)가 발표한 NE_L 값과는 유사하였다. 요약하면 이 제한된 시험들의 결과들은 고지방 DDGS의 3x maintenance NE_L 은 2.25~2.30 Mcal/kg (건물)이고, 고지방 저감 DDGS는 약 2.0 Mcal/kg (건물)이었다.

DDGS의 지방함량과 지방산 조성

착유우 사료에 옥수수 DDGS를 사용함에 있어 주된 관심사의 하나는 높은 지방함량과 유지방 감소의 원인인 불포화 지방산의 함량이다. 여러 낙농 전문가들 (Owens, 2009a)과 낙농업자들 (NASS, 2007)에 대한 설문조사에서 DDGS의 높은 지방함량은 중요한 관심사이며 착유우 사료에 DDGS를 사용하지 않는것이 주원인이라는 결과가 나왔다.

그렇지만 24개 실험의 메타분석에 의하면 Kalscheur (2005)는 DDGS 함유 사료가 유지방 함량을 감소시키는 경우는 사료 내 조사료 함량이 50% 이하이거나 조사료로부터 얻는 NDF가 22% 이하일 경우라고 하였다. 더욱이 오늘날 생산되는 대부분의 DDGS는 전통적인 고지방 DDGS (> 10% 조지방) 보다 지방 함량이 낮기 (5~9%) 때문에 DDGS 지방이 반추위 미생물 환경에 미치는 영향이 적어 유지방 저하의 위험성을 감소시킨다.

Diaz-Royón 등 (2012)은 여러 연구의 결과로부터 도출한 옥수수 DDGS의 지방산 조성을 요약하여 표 2에 보여주고 있다. DDGS로부터 추출한 옥수수유에서 가장 풍부한 지방산은 linoleic (C18:2)과 oleic (C18:1) 산이며, 이는 DDGS에 함유된 총지방산의 74%에 달한다. 그렇지만 이 요약에서 보면 지방산 조성은 DDGS의 공급처, 실험실 그리고 분석방법에 따라 상당한 변이가 있다.

표 1. 생체시험을 통한 밀과 옥수수 DDGS의 진정가소화 영양소 (true digestible nutrient)의 함량과 열량가의 비교 (건물기준; Nuez-Ortín과 Yu, 2011)

측정치	밀 DDGS	옥수수 DDGS
True digestible 조단백질 %	33.5	22.7
True digestible 비섬유성 탄수화물 %	23.6	6.4
True digestible 지방산 %	3.7	15.1
True digestible NDF %	17.3	33.9
열량 함량 예측치		
DE _{3X} , kcal/kg 건물 (젖소)	3,470	3,791
ME _{3X} , kcal/kg 건물 (젖소)	3,069	3,439
NEL _{3X} , kcal/kg 건물 (젖소)	1,979	2,299
NE _m , kcal/kg 건물 (육우)	2,110	2,340
NE _g , kcal/kg 건물 (육우)	1,439	1,630

표 2. 옥수수 DDGS의 지방산 조성에 대한 조사보고서의 요약 (총지방산의 %)
(Díaz-Royón 등, 2012)

지방	Tang 등 (2011)	Ranathunga 등 (2010)	Nyoka (2010)	Owens (2009b)	Martínez- Amezcu a 등 (2004)	Anderson 등 (2006)	평균
C12:0	0.02	ND	ND	0.01	0.04	0.78	0.21
C14:0	0.07	0.42	3.95	0.38	0.09	2.45	1.23
C16:0	16.7	14.7	16.9	12.5	12.8	15.5	14.9
C16:1	0.16	0.13	2.46	0.11	0.18	ND	0.61
C18:0	2.62	1.99	2.82	1.68	2.03	2.38	2.25
C18:1	23.1	26.9	21.4	38.2	23.2	17.0	25.0
C18:2	53.7	50.7	40.2	40.3	56.3	52.5	49.0
C18:3	0.45	1.60	1.44	1.05	1.48	4.79	1.80
C20:0	1.99	0.39	0.55	0.26	0.39	1.45	0.84
C20:1	0.29	0.22	3.46	0.14	0.27	ND	0.88
C20:2	ND	0.03	0.13	0.03	0.05	ND	0.06

DDGS의 반추위 분해 단백질과 비분해 가소화 단백질

Yildiz와 Todorov (2014)는 옥수수 DDGS의 반추위 분해 단백질 (RDP)와 비분해 단백질의 소장소화율 (dRUP)에 관해 연구된 논문들을 표 3에 요약하였다. 옥수수 DDGS 단백질의 반추위 소화율과 소장소화율은 변이가 큰데 이는 아마도 에탄올공장에서 DDGS를 생산할 때 적용하는 건조온도의 차이에 기인하는 것으로 보인다. 돼지와 가금에서 사용하는 DDGS에서도 아미노산, 특히 lysine 소화율에서도 유사한 변이가 목격되었다. 하여간 옥수수 DDGS 단백질의 반추위 분해율이 비교적 낮는데 이는 반추 가축 사료에서는 유리한 점이다. 옥수수 DDGS는 dRUP의 좋은 공급원인데 조단백의 47~64% 범위이다. 더욱이 대부분의 아미노산 소장 소화율은 93%로 대두박에서보다 약간 낮지만, lysine은 8%로 대두박의 97% 소화율과 비교된다. 하지만 Schingoethe 등 (2009)과 Mjoun 등 (2010c)이 발표한 자료에 의하면 옥수수 DDGS의 아미노산 농도, 특히 lysine (조단백질의 3.15%)과 소장 소화율은 NRC (2001) 보고 보다는 높았다.

표 3. 젖소에서 DDGS의 반추위 분해 단백질과 반추위 비분해 단백질의 소장 소화율 (Yildiz와 Todorov, 2014)

반추위 분해 단백질 (RDP)	반추위 비분해 단백질의 소화율	참고
46.0	-	Firkins 등, 1984
63.3	50.5	Carvalho 등, 2005
48.7	88.8	MacDonald 등, 2007
57.0	86.2	Kononoff 등, 2007
22.0 - 36.5	-	Kleinschmit 등, 2007a
47.0 - 64.0	-	Schingoethe 등, 2009
38.0	64.0	Cao 등, 2009
-	92.4	Mjoun 등, 2010c
43.7 - 66.9	91.9 - 92.1	Kelzer 등, 2010
45.0	-	Schingoethe 등, 2009
69.3	-	Oba 등, 2010

아미노산 소화율

고능력 비유우는 일당 단백질 요구량이 높고 유생산과 유단백질 합성을 위한 아미노산의 공급이 충분하고 십이지장으로 들어가는 아미노산의 균형이 잘 맞아야 한다. 비유우에게 급여하는 사료 단백질 수준이 증가하면 유단백질 농도가 약간 증가하는 것으로 알려져 있다. 한가지 원료로 최적 우유 생산 요구량을 충족시키고 우유 아미노산 프로필에 맞는 이상적인 균형의 필수아미노산을 가진 반추위 비분해 단백질을 충분히 공급할 수는 없다. 그러므로 통상적으로 이용할 수 있는 원료를 가지고 유생산을 위한

필수아미노산의 요구량을 충족시킬 수 있는 비유우 사료를 배합하는 것은 쉽지 않다. DDGS를 함유한 비유우 사료에 반추위 보호단백질 (rumen-protected protein)을 사용하는 데에 대해 최근에 관심이 높아졌다. DDGS와 같이 옥수수 유래 단백질은 아미노산 프로파일은 우유의 아미노산 프로파일과 맞지 않는 데 특히 lysine 함량이 낮다. 현재의 대사 모델을 사용하여 사료의 대사 단백질의 균형을 잡는 것은 어렵다. 이는 사료 원료의 변이, 작유우의 유전적 차이, 환경의 차이와 이들의 상관 관계로 인해 장 흡수 아미노산의 정확한 예측이 어렵기 때문이다. 그럼에도 DDGS를 함유한 젖소 사료에 반추위 보호 lysine을 첨가할 때 우유 생산량과 유성분에 미치는 효과를 평가하기 위한 몇 개의 시험이 수행되었다.

Boucher 등 (2009)은 반추위 비분해 단백질과 소장 불소화 부분의 함량이 일정하지 알아보기 위하여 5개 DDGS 제품의 반추위 비분해 단백질의 장내 아미노산 소화율을 측정하였다. 시험 결과에 의하면 DDGS 단백질은 반추위 비분해 단백질과 소장 불소화 단백질 부분이 일정하지 않았다. 따라서 이 실험에서 DDGS는 장에서는 소화가 되지 않지만 반추위에서 부분적으로 분해되는 단백질 분획과 반추위에서 배양후 장에서 소화될 수 있는 단백질 분획을 함유한다.

Swanepoel 등 (2010a)은 반추위 보호 lysine (rumen-protected lysine)의 반추위 우회능력을 추정하고 고능력우에서 사료 섭취량, 소화율, 유생산량 그리고 유성분에 미치는 효과를 측정하였다. 반추위 보호 lysine 첨가사료는 건물 섭취량, 유생산 또는 진정 단백질과 유당 수율에는 효과가 없었으나, 유지방 농도와 수율은 감소하였다. 반추위 보호 lysine 급여 시 lysine을 제외한 대부분의 혈장 아미노산 농도는 감소하였다. 이는 사료에 lysine이 우선적인 아미노산을 제한하여 반추위 보호 lysine을 보충하면 다른 아미노산들의 흡수와 이용이 향상되었다는 것을 시사한다. 하지만 반추위 보호 lysine 급여는 우유 단백질 합성에 영향이 없었으며 혈장 3-methylhistidine의 농도가 감소하였는데, 이는 근육단백질의 합성이 증가하거나 분해가 감소했다는 것을 의미한다. 비록 lysine이 근육단백질 교체와 열량대사에 영향을 미쳐 섭취량, 아미노산 대사와 흡수 그리고 유생산에 차이를 보여주지만, 이 연구자들은 반추위 보호 lysine의 첨가를 권장하지 않는데 이는 장 흡수 lysine 요구량을 평가하는 데 부정확한 예측으로 인해 부정적인 결과가 나올 수 있기 때문이다.

후속 연구에서, Swanepoel 등 (2010b)은 낙농사료에 장 전달 단백질의 아미노산 프로파일을 평가하기 위하여 세 가지 대사예측 모델을 비교하였고 일반 반추위 보호 아미노산의 프리믹스를 개발하고 첨가하기 위해 영양소 프로파일에 충분한 일관성이 있는지를 밝혔다. 비록 이 연구자들은 일반 상용 사료 가운데 영양소 프로파일이 충분히 일관성이 있어 낙농사료의 균형을 위해 반추위 보호 아미노산 복합체를 사용할 것을 지지하지만, 어느 예측 모델이 옳은지 결정하는 것은 불가능하다고 하였다.

Robinson 등 (2011)은 lysine 결핍 사료에서 반추위 보호 lysine의 반추위 우회정도를 예측하였다. 그리

고 고능력우의 건물 섭취량, 유생산 그리고 혈장 아미노산 프로필에 미치는 영향을 평가하였다. 중능력우에서 반추위 보호 lysine의 급여는 혈장 lysine 농도를 증가시켰는데 이는 lysine 요구량을 초과하는 것으로 반추위 보호 lysine의 첨가가 불필요하다는 것을 말해준다. 이 연구팀은 이전 연구에 준하여, 체단백질 교체가 아미노산 활용의 최우선 순위이며 다음이 유성분 합성임을 시사하였다.

Li 등 (2012)은 밀과 옥수수 알곡과 밀과 옥수수 DDGS의 생체 조단백질 반추위 분해율, 반추위 미분해 단백질 (RUP)의 아미노산 프로필 그리고 시험관 아미노산 장 소화율을 결정하는 시험을 실시하였다. DDGS의 조단백질 반추위 분해율은 해당 곡물의 분해율보다 낮았으나, 밀 DDGS와 옥수수 DDGS 간에는 차이가 없었다. 필수아미노산의 반추위 분해율은 옥수수 DDGS에 비해 밀 DDGS가 높았고, RUP의 아미노산 프로필은 곡물의 종류와 DDGS의 종류에 따라 달랐다. 총아미노산 그리고 필수아미노산의 장 소화율은 개별 아미노산과 사료 원료 간에 변이가 심했으나 밀과 옥수수 DDGS간에는 유의한 차이가 없었다. 이러한 결과들은 곡물과 DDGS 종류간에 아미노산 가용성의 변이가 많다는 것을 시사한다.

Paz 등 (2013)은 0, 10 또는 20% DDGS 사료에 반추위 보호 lysine (60g/day)을 첨가하여 유생산, 유성분 그리고 혈장아미노산의 농도에 미치는 영향을 검토하였다. 10 또는 20% DDGS 사료를 급여한 젖소는 무첨가 대조구 사료를 급여한 젖소와 비교하여 건물섭취량 산유량이 비슷하였다. 20% DDGS 사료 배합구의 소는 무첨가 대조구나 10% DDGS 사료구의 소들보다 유단백 농도와 수율이 컸으나 다른 유성분은 유사하였다.

DDGS 사료에 반추위 보호 lysine의 첨가는 유생산이나 유성분에 영향이 없었다. DDGS 사료 급여구들은 DDGS 무첨가 대조구에 비해 혈장 arginine, histidine 그리고 valine 농도는 낮았으나 leucine과 methionine의 농도는 높았다. 비록 사료 내 DDGS 배합수준이 증가하면 혈장 lysine의 농도가 감소하였으나, 반추위 보호 lysine 첨가 시 혈장의 다른 아미노산들의 농도가 감소하지 않았으므로 lysine이 제한아미노산이 아니란 것을 시사한다. 후속 시험에서 Paz와 Kononoff (2014)는 15 또는 30% 지방 저감 DDGS를 함유한 동질소, 동열량의 사료에 반추위 보호 lysine을 첨가하여 비유반응과 아미노산 이용률에 미치는 영향을 평가하였다. 사료 내 지방 저감 DDGS의 함유 수준은 건물 섭취량, 유생산 또는 유지방과 유당 농도에 영향을 미치지 않았으나, 30% 지방 저감 DDGS를 배합한 사료를 급여 시 유단백질 함량이 감소하였다. 하지만 30% 지방 저감 DDGS 사료에 반추위 보호 lysine을 첨가 시 15% DDGS 사료를 급여한 구 보다 아미노산 추출 효율이 높았고, 유단백질 농도가 높은 경향이 있었다. 이러한 관측은 30% DDGS 사료에는 lysine 함량이 불충분하다는 것을 시사하지만 사료 처리구들 간에 유단백질 수율에는 차이가 없었다. 이들 연구자들은 사용된 반추위 보호 lysine은 기대했던 것보다 대사 lysine의 공급이 적었다고 추측되며 이 사료들에서 가장 제한되는 세 가지 아미노산은 lysine, arginine 그리고 phenylalanine임을 시사하였다. 이 결과들은 비유우 사료에 반추위 보호 아미노산을 첨가하면 부족한

아미노산을 보충하는 데 유용하겠지만, 이 아미노산들의 생체이용률에 대한 정확한 정보가 필요하다.

Mjoun 등 (2010a)은 용매추출 대두박, 압착 (expeller) 대두박, 압출 (extruded) 대두박, 고지방 DDGS, 지방 저감 DDGS, 고단백 DDG, 변성 WDGS의 단백질과 아미노산의 반추위 분해율과 장 소화율을 결정하기 위해 생체 및 시험관 시험을 실시하였다. 옥수수 DDGS 관련 제품들의 아미노산 장 소화율은 92% 이상으로 대두박 제품들 보다 약간 낮았으나 lysine 소화율은 평균 84.6%로 대두박 제품들의 97.3%에 비해 낮았다. 이 연구의 결과는 비유우 사료에서 아미노산 이용률은 옥수수 DDGS 관련 제품들과 대두박 제품들이 유사하다는 것이다.

Mjoun 등 (2010b)은 비유 초기의 젖소에게 DDGS 0% 사료, 22% 고지방 DDGS 사료, 또는 20% 지방 저감 DDGS 사료를 급여 시 유생산 반응과 아미노산 이용률을 평가하였다. 사료들은 조단백질, 지방, NDF 그리고 NE 함량이 비슷하도록 배합되었다. 체중, 체중 변화와 몸컨디션지수는 처리구 간에 비슷하였으나, 대조구사료 급여구는 DDGS 사료 급여구에 비해 몸컨디션 지수가 증가하는 경향이 있었다 (표 4). 건물 섭취량, 단백질 섭취와 NE에는 차이가 없었다. 모든 소들은 비유 35~120일 기간 동안 열량 균형은 양 (positive)이었지만, 대조구사료 급여군에서 열량 균형이 더 높고 DDGS 사료 급여군 보다 총열량 저장량이 많고 열량 효율이 낮았다. 이 결과들은 대조구사료를 급여한 소들은 유생산과 유성분 합성에 앞서 체 열량 저장에 우선적으로 열량 분배를 한다는 것을 시사한다. 유생산, 유지방, 유당 함량은 사료 처리 간에 차이가 없었으나, DDGS 사료를 급여한 소들은 유단백질 함량과 수율이 높았다. 더욱이 DDGS 사료를 급여한 소들은 사료 효율이 더 높은 경향이 있었고, 질소 효율이 높았다. 아미노산 이용률은 유생산 절정기에 (비유 후 9주) 측정하였으며, 유선의 lysine 추출 효율은 대조구의 소 (65%)에 비해 DDGS 사료를 급여한 구의 소 (76%)에서 높았으나, 유선의 lysine 흡수량은 2.56 g/kg milk로 사료 처리 간에 유사하였다. 더욱이 methionine의 유선흡수는 DDGS 사료 급여소에서 증가하는 경향이 있었다. 외관상 lysine 결핍에도 불구하고 DDGS 사료 급여구의 유단백질 농도가 증가하였다. 이러한 결과들은 고지방과 지방 저감 DDGS는 사료에 20% 사용 시 열량과 대사아미노산의 좋은 공급원이며, lysine 함량과 이용률은 일당 유생산량이 40kg인 비유우에서 유생산이나 유단백질 합성을 제한하지 않는다는 것을 강력하게 시사한다.

또한 Mjoun 등 (2010c)은 대두박을 대체하여 0, 10, 20 또는 30% 조지방 (3.5% 조지방) DDGS를 함유한 사료를 비유 중기 젖소에게 급여하여 유생산, 유성분과 아미노산 이용률을 평가하였다. 사료에 DDGS를 증가시키면 건물섭취량, 유생산에는 영향이 없었고, 유지방 함량은 직선적으로 증가하였으며 유지방 수율도 증가하는 경향이 있었다. DDGS 함량 증가는 유단백질 수율에는 영향이 없었으나 유단백질 함량은 곡선적으로 증가하였다. 사료 내 DDGS의 함량을 증가시켰을 때 유생산 효율은 증가하였지만 질소 이용효율은 영향을 받지 않았다. 유선으로부터 lysine의 추출은 직선적으로 증가하였고,

methionine의 추출은 직선적으로 감소하였다. 이 연구의 결과는 저지방 DDGS를 30% 함유한 사료를 급여 시 대두박 기초 대조구사료를 급여한 젖소와 비교하였을 때 유생산 능력과 영양소 효율이 유사하다는 것을 보여주었다.

Pereira 등 (2015)은 대두박을 대체하여 반추위 보호 lysine과 methionine을 첨가한 DDGS 사료를 급여했을 때 비유후기우의 비유능력에 미치는 영향을 검토하였다. 결과를 보면 유생산량이 21에서 27 kg milk/day 인 비유후기우에서 저단백 옥수수 사일리지와 호맥 사일리지 사료에 배합된 대두박을 대체하여 DDGS 사료에 반추위 보호 lysine과 methionine을 첨가하면 유생산과 유조성을 유지하는 데 효과적이었다.

표 4. 고지방 또는 지방 저감 DDGS를 비유 초기 젖소에게 급여 시 비유성능, 열량과 아미노산 이용률 그리고 유성분 (Mjoun 등, 2010a)

측정	대조	22% 고지방 DDGS	20% 지방 저감 DDGS
젖소의 체중과 컨디션			
개시체중, kg	693	682	660
종료체중, kg	734	722	704
체중변화, kg/day	0.47	0.47	0.53
몸컨디션 지수 ¹	3.43	3.32	3.34
몸컨디션 지수변화/day	0.14	0.02	0.00
건물, 단백질, 열량 섭취			
건물 섭취, kg/day	24.8	24.7	24.6
단백질 섭취, kg/day	4.3	4.3	4.3
NE _L , Mcal/day ²	41.3	40.1	40.3
NE _M , Mcal/day ³	11.0	11.0	11.0
NE _L , Mcal/day ⁴	26.4	26.5	27.4
열량 균형, Mcal/day ⁵	4.39	1.98	1.98
총열량 저장 ⁶	20.7	20.0	20.1
열량효율 ⁷	63.1	66.9	68.1
유생산과 효율			
유생산, kg/day	39.2	38.9	39.8
열량보정 유생산 ⁸	38.0	37.8	39.5
지방보정 유생산 ⁹	35.7	35.3	37.1
사료 효율 ¹⁰	1.50	1.57	1.61
질소 효율 ¹¹	24.5	26.9	26.5

표 4. 고지방 또는 지방 저감 DDGS를 비유 초기 젖소에게 급여 시 비유성능, 열량과 아미노산 이용률 그리고 유성분 (Mjoun 등, 2010a)

측정	대조	22% 고지방 DDGS	20% 지방 저감 DDGS
필수아미노산의 유선 흡수, g/kg milk ¹²			
Histidine	0.80	0.91	0.98
Isoleucine	2.07	2.40	2.45
Leucine	3.09	4.03	4.38
Lysine	2.52	2.49	2.68
Methionine	0.58	0.83	0.81
Phenylalanine	1.14	1.39	1.58
Threonine	1.18	1.19	1.30
Tryptophan	0.14	0.64	0.50
Valine	2.35	2.87	2.87
유성분			
지방, %	3.63	3.24	3.57
지방, kg/day	1.33	1.34	1.40
단백질, %	2.82	2.88	2.89
단백질, kg/day	1.07	1.15	1.14
유당, %	4.90	4.99	4.96
유당, kg/day	1.94	1.94	1.96
총고형물, %	12.3	12.0	12.4
총고형물, kg/day	4.73	4.70	4.90
유 요소질소, mg/dL	11.8	10.9	10.1
체세포 지수 ¹³	3.38	3.91	3.83

¹ Body condition score: 1 = emaciated to 5 = obese

² NE_L = Net energy intake (NE_L , Mcal/kg $\times$ dry matter intake, kg/day)

³ NE_M = net energy for maintenance = Body weight^{0.75} $\times$ 0.08; NRC (2001)

⁴ NE_N - net energy required for lactation = [milk yield, kg $\times$ (0.029 $\times$ milk fat %) + (0.0563 $\times$ milk protein %) + (0.0395 $\times$ lactose %); NRC (2001)]

⁵ Energy balance = $NE_L - (NE_M + NE_N)$

⁶ Total energy reserves = (proportion empty body fat $\times$ 9.4) + (proportion empty body protein $\times$ 5.55); NRC (2001)

⁷ Energy efficiency = $NE_L / NE_N \times 100$

⁸ Energy-corrected milk = [0.327 $\times$ milk yield, kg] + [12.95 $\times$ fat yield, kg] + [7.2 $\times$ protein yield, kg]

⁹ Fat-correct milk = [0.4 $\times$ milk yield, kg] + [15 $\times$ fat yield, kg]

¹⁰ Feed efficiency = (energy-corrected milk/dry matter intake) $\times$ 100

¹¹ Nitrogen efficiency = (milk nitrogen, kg/day)/(nitrogen intake, kg/day) $\times$ 100

¹² Mammary uptake = arterio-venous difference $\times$ mammary plasma flow

¹³ Somatic cell score = log somatic cell count

인

인은 동물영양에서 가장 중요하고 비싼 광물질 중의 하나이면서, 또한 집약적인 동물 사육 환경하에서는 환경오염의 주된 오염 물질로 간주되고 있는데 이는 인 함량이 높은 사료를 과다하게 급여 시 높은 농도의 인이 분을 통하여 배설되기 때문이다 (Humer와 Zebeli, 2015). Schmit 등 (2009)은 적당한 수준의 DDGS (10%)를 비유우 사료에 사용하면 인의 배설량이 유의하게 증가하지 않았지만, 건유우나 미산우 사료에 첨가 시는 식물이 이용할 수 있는 인의 양이 증가하고 이 축분이 초원에 살포되면 작물의 인 요구량을 초과하게 된다.

DDGS 내 인의 함량은 0.65~0.95%로 높는데, 반추 사료에서는 이용률이 높다 (Mjoun et al., 2008). 고능력우의 경우는 사료에 인의 첨가가 필요하기 때문에 DDGS의 첨가로 값비싼 무기인을 일부 대체할 수 있다. 그러므로 분으로 과다한 인의 배출을 최소화하기 위하여 낙농사료를 배합할 때는 소의 인 요구량 (NRC, 2001)에 맞추어 배합하여야 한다.

고지방 DDGS를 급여 시 산유능력과 유성분에 미치는 영향에 대한 초기 연구의 요약

Schingoethe 등 (2009)은 낙농사료에서 고지방 DDGS의 사양 가치를 평가한 많은 연구들을 요약하였다. 옥수수 DDGS는 좋은 조단백질 공급원 (>30% 조단백질, 건물기준)으로 반추위 비분해 단백질 함량 (조단백질의 약 55%)이 높다. 옥수수 DDGS는 우수한 열량 공급원 (NEL은 약 2.25 Mcal/kg, 건물)으로 중등의 지방함량 (5~12%, 건물기준)과 가소화 용이 섬유소 (약 39% NDF)를 함유한다. 비유능력은 WDGS 급여 시나 DDGS 급여 시나 일반적으로 비슷하지만, 어떤 연구에서는 WDGS가 약간의 이점이 있다고 하였다. 옥수수 DDGS는 농후사료나 조사료를 일부 대체하는 데 사용되지만 일반적으로 농후사료의 대체제로 사용된다. 이는 비유우 사료에서 조사료를 대체하기 위하여 DDGS를 사용할 경우에는 유지방 저하를 막기 위해 충분한 양의 유효 조섬유가 필요하기 때문이다. 비유우 사료는 영양소 균형을 맞추면 DDGS를 건물기준으로 20~30% 사용할 수 있다. 실제로 여러 연구에서 DDGS를 30% 사용한 사료를 급여 시 일반 사료 원료로 배합한 사료를 급여할 때와 비교하여 유사하거나 유생산이 증가하였다. 비록 비유우 사료에서 DDGS를 30% (건물기준) 이상 사용할 수 있지만 장 포만 때문에 건물 섭취량과 유생산이 제한을 받을 수 있다. DDGS의 조섬유는 옥수수와 같은 고 전분 사료의 대체재로 인식되고 산성증의 위험을 최소화하지만 완전히 제거하지는 않는다.

Kalscheur (2005)는 비유우에서 WDGS나 DDGS를 비교한 23개 연구의 96개 처리 비교를 메타분석 (meta-analysis)하였다. 이 연구들은 1982년에서 2005년 사이에 수행되었는데 고지방 DDGS의 사양 가치를 평가하였다. 지방 저감 DDGS를 포함한 근래에 수행된 연구의 요약은 이 장의 뒷부분에서 논의 하겠다. 비유능력에 대한 습식 및 건조 증류 옥수수의 배합비율의 영향을 평가하기 위해 사양급여 수준

을 건물기준으로 0, 4~10, 10~20, 20~30, 30% 이상으로 분류하였다. 증류곡물의 형태 (습식 또는 건조)도 분석에서 반응을 구분하기 위해 사용되었다.

건물섭취량 (DMI)은 사료에 함유 수준과 급여 증류곡물의 형태에 의해 영향을 받았다 (표 5). 비유우에 있어서 DDGS 급여 수준이 증가하면 DMI가 증가하는데 20~30% 수준에서 가장 크게 증가하였다. 실제로 이 소들은 DDGS 무첨가 대조구의 소들보다 0.7kg (건물기준) 더 많이 섭취하였다. DDGS 30% 이상 급여구의 소들은 대조구와 섭취량이 유사하였다. DDGS 20~30% 함유 사료의 DMI가 증가하는 한편 WDGS 함유 사료의 경우는 낮은 첨가 수준 (4~10%와 10~20%)에서 DMI가 가장 높았다. WDGS의 함유 수준이 20% 이상이 될 경우 DMI가 감소하였으며, 30% 이상이 될 경우에는 대조구에 비해 DMI가 2.3 kg/day 적었고 4~10% WDGS 급여구보다 5.1 kg/day 감소하였다. 이 연구 결과들에 의하면 옥수수 DDGS가 기호성이 매우 좋기 때문에 낙농사료에 건물로 20%까지 급여 시 DMI가 촉진되었다. 더 높은 급여 수준에서는 사료 섭취량이 감소하였는데 이는 아마도 높은 지방함량 때문일 것이며, WDGS의 경우는 수분함량이 높기 때문일 것으로 사료된다. 유생산량은 건 (dry) 또는 습 (wet) 형태에 영향을 받지 않았으나 낙농우 사료에서 증류곡물의 증가에 따른 반응은 곡선적이었다 (표 5). 증류곡물을 4~30% 급여 받는 소들은 유생산량이 유사했지만 무첨가 대조구 사료급여구 보다는 약 0.4kg/day 많이 생산하였다. 증류곡물을 30% 이상 급여한 소들은 유생산이 감소하는 경향이 있었는데, 무첨가 대조구에 비해 약 0.8kg/day 적게 생산하였다. WDGS의 경우 20% 이상 급여 시 유생산이 감소하였는데 이는 DMI 감소로 인한 것으로 보인다.

표 5. 건 또는 습 옥수수 DG의 급여 수준 증가에 따른 젖소의 건물섭취량 (DMI)과 유생산 (Kalscheur, 2005)

사료 내 함유 수준 (건물기준)	건물 섭취량, kg/day			유생산, kg/day		
	건	습	전체	건	습	전체
0%	23.5 ^c	20.9 ^b	22.2 ^b	33.2	31.4	33.0
4 – 10%	23.6 ^{bc}	23.7 ^a	23.7 ^a	33.5	34.0	33.4
10 – 20%	23.9 ^{ab}	22.9 ^{ab}	23.4 ^{ab}	33.3	34.1	33.2
20 – 30%	24.2 ^a	21.3 ^{ab}	22.8 ^{ab}	33.6	31.6	33.5
> 30%	23.3 ^{bc}	18.6 ^c	20.9 ^c	32.2	31.6	32.2
SEM	0.8	1.3	0.8	1.5	2.6	1.4

^{a,b,c} Values within a column followed by a different superscript letter differ (P less than 0.05).

No superscript within a column indicates that there was no significant difference between distiller's grains dietary inclusion level.

유지방 함량은 증류곡물이 건조하나 습하나에 따라 변이가 있지만, 사료에 함유 수준이나 수분함량에 의한 영향은 없었다 (표 6).

광범위한 자료 요약에서 관찰된 유지방 조성에 대한 반응은 고수준 증류곡물 배합 사료의 급여가 유지방을 감소시킨다는 관점을 지지하지 않는다. 여러 가지 요인들이 유지방 저하에 관여하는데, 조사료로부터 충분한 섬유소를 공급하여 반추위 기능을 적절히 유지함으로써 이를 예방할 수 있다. 증류곡물은 28~44%의 NDF를 함유하고 있는데 미세하게 가공되기 때문에 반추위에서 빨리 소화가 된다. 결과적으로 증류곡물의 섬유소는 반추위의 유효섬유로 간주할 수 없기 때문에 조사료의 섬유소와 같이 고려될 수는 없다. 더욱이 증류곡물의 지방함량이 높기 때문에 반추기능에 영향을 미쳐 유지방 감소를 초래하는 것으로 생각되지만, 사료 내 여러 가지 요인들의 조합이 반추기능에 작용하여 유지방함량의 저하를 유발하는 것으로 보인다.

우유 단백질 함량은 0~30% 증류곡물을 함유한 사료 급여에 따른 차이가 없었고 증류곡물의 건습상태에 따라 유단백질 성분에 변화가 없었다 (표 6). 그러나 증류곡물을 30% 이상 함유한 사료를 급여 시는 대조구에 비해 유단백질의 함량이 0.13% 감소하였다. 고함유 수준에서 증류곡물은 사료 내 모든 다른 단백질 공급원료를 대체하기 때문에 장 하부 단백질소화율, lysine 농도 저하 그리고 아미노산 프로파일 불균형이 유단백질 농도를 감소시키는 요인으로 작용했을 것이다. 하지만 유단백질 저하에 대한 보고는 1980년대와 1990년대 실시한 연구에 의한 것으로 현재 생산되고 있는 DDGS의 영양성분과 소화율과는 차이가 있다. 최근에 실시된 연구 결과는 유단백질 저하 효과를 보여주지 않았다. Lysine은 열에 매우 민감하여 DDGS를 생산하는 에탄올공장에서 생산과 건조과정에서 가해지는 열처리 때문에 나쁜 영향을 받는다. 그러나 이들 시험이 수행된 후 에탄올공장에서는 생산과 건조기술이 극적으로 개선되어, DDGS의 lysine과 아미노산의 소화율이 향상되었다.

표 6. 옥수수 WDGS와 DDGS의 급여 수준을 증가시킨 사료를 급여한 젖소 우유의 유지방과 유단백질 농도 (Kalscheur, 2005)

DG 함유 수준 (건물 기준)	유지방, %	유단백질, %
0%	3.39	2.95 ^a
4 – 10%	3.43	2.96 ^a
10.1 – 20%	3.41	2.94 ^a
20.1 – 30%	3.33	2.97 ^a
> 30%	3.47	2.82 ^b
SEM	0.08	0.07

^{a,b} Values within a column followed by a different superscript letter differ (P less than 0.05).

No superscript within a column indicates that there was no significant difference between distiller's grains dietary inclusion level.

고지방과 지방 저감 DDGS의 급여가 유생산 능력, 유조성, 반추위 발효와 영양소 소화율에 미치는 영향을 평가하는 최근의 연구

최근에 실시된 다수의 연구는 고지방 또는 지방 저감 DDGS를 30%까지 착유우에게 급여 시 유생산과 유성분에 미치는 여러 가지 이점을 보여주었으며, 이러한 반응을 지지하는 메탄가스 방출량 저감과 관련된 반추위 발효 그리고 영양소 소화율 반응을 보여주고 있다. 비유우에게 옥수수 DDGS를 급여하는 효과에 대하여 이해하는 것이 중요한데 특히 반추위 발효와 영양소 이용률은 메탄가스 방출, 분 성분 및 영양소 배출 그리고 유지방 함량의 저하 위험성 등을 이해하는 데 중요하다.

Benchaa 등 (2013)은 비유우 사료에서 옥수수와 대두박을 대체하여 고지방 DDGS를 0, 10, 20 또는 30% 사용했을 때 메탄가스 발생, 반추위 발효 특성, 외관상 전 장관 소화율, 질소 균형과 유생산에 미치는 영향을 평가하였다. 사료 내 DDGS 함량의 증가는 DMI와 유생산량을 증가시키지만, 건물의 외관상 총장관 소화율과 총열량 (GE)을 감소시켰다 (표 7). 반추위 내 acetate 함량의 감소로 acetate:propionate 비율이 직선적으로 감소하고, DDGS 함량의 증가로 메탄의 생산은 감소하였다. 메탄가스 생산의 감소는 DDGS에 의해 공급되는 지방함량의 증가에 기인되며 이는 반추위 섬유소 분해, acetate:propionate 비율 그리고 원생동물의 수에 영향을 미친다. DDGS 함량이 증가하면 질소 이용효율도 증가하는데, 분을 통한 질소 배설도 증가한다.

이 연구의 결과들은 비유우에게 DDGS를 급여하면 DMI와 유생산량을 증가시키면서 메탄가스 발생을 감소시키는 데 효과적임을 시사한다.

표 7. 비유우 사료에 지방 저감 DDGS의 점증 첨가가 유생산성, 반추위 pH, 반추위 휘발성 지방산과 암모니아 생산, 영양소의 외관상 총장관 소화율과 분 배설량 (Benchaa 등, 2013)

측정	0% DDGS	10% DDGS	20% DDGS	30% DDGS
개시 체중, kg	700	701	697	698
종료 체중, kg	710	714	724	730
증체량, kg/day	0.29	0.35	0.76	0.95
건물섭취량 (DMI), kg/day	24.2	24.6	24.4	25.3

표 7. 비유우 사료에 지방 저감 DDGS의 점증 첨가가 유생산성, 반추위 pH, 반추위 휘발성 지방산과 암모니아 생산, 영양소의 외관상 총장관 소화율과 분 배설량 (Benchaar 등, 2013)

측정	0% DDGS	10% DDGS	20% DDGS	30% DDGS
유생산, 효율, 그리고 성분				
유생산량, kg/day	32.6	35.1	35.8	36.6
열량보정 유생산량, kg/day ¹	35.3	37.8	37.3	37.1
4%지방보정 유생산량, kg/day ²	32.1	34.5	34.1	33.7
유량/DMI	1.40	1.44	1.44	1.45
열량보정 유생산량/DMI	1.51	1.55	1.50	1.46
지방보정 유생산량/DMI	1.37	1.42	1.37	1.33
유지방, %	3.93	3.91	3.69	3.47
유지방 수율, kg/day	1.27	1.36	1.32	1.27
유단백질, %	3.49	3.41	3.31	3.31
유단백질 수율, kg/day	1.13	1.19	1.18	1.20
유당, %	4.60	4.63	4.59	4.58
유당 수율, kg/day	1.50	1.62	1.65	1.68
유요산질소, mg/dL	11.1	10.0	9.9	10.6
체세포 수 ($\times 10^3$ /mL)	75	82	133	89
반추위 pH				
최저	5.92	5.92	5.98	5.97
최대	6.56	6.59	6.64	6.55
평균	6.21	6.21	6.27	6.22
원생동물($\times 10^5$ /mL)	5.12	5.28	5.42	4.48
휘발성 지방산				
총, mM	99.3	96.1	93.6	91.1
Acetate, mol/100 mol	63.4	62.7	61.8	60.1
Propionate, mol/100 mol	21.8	22.1	22.3	23.1
Isobutyrate, mol/100 mol	0.8	0.8	0.7	0.7
Butyrate, mol/100 mol	11.5	12.0	12.8	13.7
Isovalerate, mol/100 mol	1.4	1.2	1.2	1.1
Valerate, mol/100 mol	1.2	1.2	1.2	1.3
Acetate:Propionate	63.4	62.7	61.8	60.1
Ammonia, mg/dL	8.4	7.5	6.7	6.1

표 7. 비유우 사료에 지방 저감 DDGS의 점증 첨가가 유생산성, 반추위 pH, 반추위 휘발성 지방산과 암모니아 생산, 영양소의 외관상 총장관 소화율과 분 배설량 (Benchaar 등, 2013)

측정	0% DDGS	10% DDGS	20% DDGS	30% DDGS
메탄 생성				
g/day	495	490	477	475
g/kg DMI	0.6	20.1	19.7	18.9
총열량섭취의 %	6.09	5.80	5.61	5.23
가소화 열량섭취의 %	8.75	8.39	8.17	7.74
g/kg 우유	15.6	14.2	13.6	13.2
g/kg 지방보정 우유	15.7	14.3	14.3	14.4
g/kg 열량보정 우유	14.3	13.1	13.0	13.0
g/kg 유지방	396	363	372	390
g/kg 유단배질	446	415	411	400
영양소 섭취, 영양소의 외관상 전 장기 소화율, 그리고 질소균형				
DMI, kg/day	23.4	24.4	24.8	25.2
DM 소화율, %	70.7	70.2	69.6	68.1
유기물 섭취량, kg/day	21.7	22.7	22.9	23.3
유기물 소화율, %	72.5	71.9	71.1	69.8
총열량 (GE) 섭취량, Mcal/day	104	111	115	119
GE 소화율, %	69.6	69.2	68.7	67.6
NDF 섭취량, kg/day	7.5	8.2	9.0	9.5
NDF 소화율, %	56.0	56.9	57.4	54.8
ADF 섭취량, kg/day	5.1	5.3	5.7	5.9
ADF 소화율, %	60.6	60.4	60.3	60.6
조단백질 섭취량, kg/day	3.8	4.0	4.1	4.3
조단백질 소화율, %	67.3	68.3	68.4	69.2
전분 섭취량, kg/day	4.3	3.9	3.4	2.8
전분 소화율, %	94.7	95.4	96.2	98.8
지방 섭취량, kg/day	0.9	1.2	1.5	1.8
지방 소화율, %	53.0	53.8	57.4	59.4
질소 섭취량, g/day	606	642	655	682
분 중 질소 배설량, g/day	198	204	207	211
분 중 질소 배설량/질소 섭취량, %	32.7	31.7	31.6	30.8

표 7. 비유우 사료에 지방 저감 DDGS의 점증 첨가가 유생산성, 반추위 pH, 반추위 휘발성 지방산과 암모니아 생산, 영양소의 외관상 총장관 소화율과 분 배설량 (Benchaar 등, 2013)

측정	0% DDGS	10% DDGS	20% DDGS	30% DDGS
메탄 생성				
총질소 배설량/질소 섭취량, %	66.4	64.4	64.3	63.5
우유 질소, g/day	177	187	185	189
우유 질소/질소 섭취량, %	29.4	29.1	28.2	27.7
질소 축적량, g/day	33	42	51	60
질소 축적량/질소 섭취량, %	5.3	6.5	7.6	8.9
생산적 질소, g/day	204	229	236	248
생산적 질소/질소 섭취량, %	34.6	35.6	35.7	36.5

^{a,b} Energy-corrected milk = 0.327 x milk yield (kg/day) + 12.95 x milk fat yield (kg/day) + 7.2 x protein yield (kg/day)

² 4 percent fat-corrected milk = 0.4 x milk yield (kg/day) + 15 x milk fat yield (kg/day)

Castillo-Lopez (2014)는 비유우에게 지방 저감 DDGS를 점증하는 수준 (0~30%)에서 급여하였을 때 유생산성, 반추위 발효, 미생물 질소의 장내 흐름 그리고 총장관 영양소 이용률에 미치는 영향을 측정하였다. 지방 저감 DDGS 함량의 증가는 유생산과 유지방함량에 영향이 없었으나 유단백질 함량을 증가시키는 경향이 있었다 (표 8). 반추위 pH는 지방 저감 DDGS의 사용 수준이 증가하면 감소하였는데, 이는 TMR 입도가 작아지면 소는 침을 분비하기 위한 저작 (되새김질)에 시간을 적게 소비하기 때문에 결과적으로 반추위 pH 완충작용이 덜 일어나기 때문일 것이다. 미생물 질소의 흐름과 마찬가지로 총반추위 지방산과 암모니아 농도는 DDGS 급여 수준에 의해 영향을 받지 않았다. 건물, 유기물, NDF 그리고 비섬유성 탄수화물의 소화율은 DDGS의 함유 수준이 증가함에 따라 증가하는 경향이 있었다. 이 연구의 결과들에 의하면 30%의 지방 저감 DDGS의 급여는 우수한 유생산성과 유성분 생성을 달성할 수 있으며, 반추위 휘발성 지방산 함량과 미생물 질소 공급에 영향을 주지 않고 영양소들의 외관상 총장관 소화율을 증가시키는 경향이 있었다.

표 8. 비유우 사료에 지방 저감 (reduced-oil; RO) DDGS의 점증 첨가가 유생산성, 반추위 pH, 반추위 휘발성 지방산과 암모니아 생산, 영양소의 외관상 총장관 소화율과 분 배설량 (Castillo-Lopez, 2014)

측정	0% RO-DDGS	10% RO-DDGS	20% RO-DDGS	30% RO-DDGS
체중, kg	687	688	693	697
몸컨디션 지수	3.06	3.10	3.14	3.18
건물섭취량 (DMI), kg/day	25.0	23.8	25.9	27.9

표 8. 비유우 사료에 지방 저감 (reduced-oil; RO) DDGS의 점증 첨가가 유생산성, 반추위 pH, 반추위 휘발성 지방산과 암모니아 생산, 영양소의 외관상 총장관 소화율과 분 배설량 (Castillo-Lopez, 2014)

측정	0% RO-DDGS	10% RO-DDGS	20% RO-DDGS	30% RO-DDGS
유생산과 조성				
유생산, kg/day	34.4	33.2	34.5	34.2
유지방, %	3.59	3.74	3.64	3.67
유지방 수율, kg/day	1.24	1.23	1.25	1.26
유단백질, %	3.08	3.18	3.15	3.19
유단백질 수율, kg/day	1.06	1.04	1.07	1.09
유당, %	4.80	4.70	4.73	4.73
유당 수율, kg/day	1.66	1.58	1.62	1.63
유 요소 질소, mg/dL	16.24	15.54	16.23	15.94
반추위 pH				
최소	6.08	6.17	6.06	6.03
최대	6.95	8.88	6.83	6.77
평균	6.53	6.49	6.38	6.35
시간 < 6.5, minutes/day	546	834	941	1,040
면적 < 6.5, pH x minutes/day	126	158	357	334
시간 < 6.3, minutes/day	279	382	936	946
면적 < 6.3, pH x minutes/day	45	47	180	169
휘발성 지방산				
총, mM	136	135	139	131
Acetate, mol/100 mol	63.4	63.4	60.8	60.0
Propionate, mol/100 mol	22.1	22.0	25.0	26.1
Isobutyrate, mol/100 mol	0.8	0.8	0.7	0.7
Butyrate, mol/100 mol	11.2	11.2	10.6	10.7
Isovalerate, mol/100 mol	0.6	0.6	0.6	0.6
Valerate, mol/100 mol	1.8	1.9	2.1	2.2
Acetate:Propionate	2.98	2.94	2.52	2.39
Ammonia, mg/dL	19.0	18.8	19.3	17.6

표 8. 비유우 사료에 지방 저감 (reduced-oil; RO) DDGS의 점증 첨가가 유생산성, 반추위 pH, 반추위 휘발성 지방산과 암모니아 생산, 영양소의 외관상 총장관 소화율과 분 배설량 (Castillo-Lopez, 2014)

측정	0% RO-DDGS	10% RO-DDGS	20% RO-DDGS	30% RO-DDGS
영양소 섭취, 영양소의 외관상 전 장기 소화율, 그리고 분 배설				
건물 소화율, %	65.5	65.4	73.0	73.4
분 건물, kg/day	6.94	7.20	5.65	5.61
유기물 섭취량, kg/day	19.6	19.9	20.0	19.3
유기물 소화율, %	67.7	67.7	74.9	75.2
비 섬유소 탄수화물 섭취량, kg/day	7.8	7.6	7.4	6.7
비 섬유소 탄수화물 소화율, %	89.7	90.1	92.6	92.7
NDF 섭취량, kg/day	7.0	7.5	7.8	7.9
NDF 소화율, %	44.0	43.2	57.0	58.0
질소 섭취량, kg/day	0.63	0.63	0.63	0.62
질소 소화율, %	64.3	67.7	74.7	76.9
분 질소, kg/day	0.20	0.20	0.15	0.15
인 섭취량, g/day	73	86	96	109
인 소화율, %	28.1	35.0	50.2	50.5
분 인, g/day	46	54	53	53

Ramirez-Ramirez 등 (2016)은 30% 지방 저감 DDGS에 반추위 불활성 지방을 0 또는 1.9% 첨가한 사료와 30% 고지방 (12.0% 조지방) DDGS 배합사료의 급여가 반추위 발효, 비유능력과 유지방 조성에 미치는 영향을 비교하였다 (표 9). 건물섭취량 (DMI)과 유생산량은 고지방과 지방 저감 DDGS구에서 증가하였다. DMI의 증가는 조사료의 일부를 대체하여 DDGS를 사용한 사료의 세립자 (<1.18mm)가 1.8배 많기 때문인 것으로 보인다. 결과적으로 acetate 농도를 감소시키기 위해 DDGS 사료를 급여 시 반추위 액의 휘발성 지방산의 조성이 변했다. 유지방 함량과 유생산량은 고지방 DDGS 급여군에서 감소하였으나, 30% 지방 저감 DDGS 사료구는 대조구에 비해 차이가 없었다. 반추위의 주된 세균종은 Bacteroidetes (54%) 와 Firmicutes (43%) 였는데 사료처리에 따라 일부 균종의 점유도에 변화가 일어나는 경향이 있었다. DDGS 사료 급여로 PUFA의 섭취량이 증가하고 DDGS 무첨가 대조구에 비해 반추위 pH가 저하되었다. 이는 DDGS의 반추위 발효율이 높고 반추 과정에서 저장 시간이 줄면서 침의 분비 감소로 일어나는 결과일 것이다. 발효에 있어서 이와 같은 변화로 인해 세균의 수소화에 변화가 일어나고 CLA (conjugated linoleic acid)가 형성되는데 CLA 이성체들은 유지방 합성을 억제하는 것으로 알려져 있다. 비록 trans-10, cis-12 CLA가 유지방 합성 저해물로 알려져 있지만, 이들은 고지방

DDGS 사료를 급여한 몇몇 소의 우유에서 발견되었고 다른 사료군들의 우유에서는 발견되지 않았다. 우유내 trans-10 oleic 산 (18:1)의 농도와 수율은 대조구에 비해 고지방 DDGS 급여구에서 3배 이상 높았지만 지방 저감 DDGS 첨가구는 대조구와 유의한 차이가 없었다. 따라서 지방 저감 DDGS 사료급여는 반추위에서 유지방 저하와 관련이 되는 trans-10 18:1의 반추위 공급과 생산을 감소시키는 것으로 보여진다. 지방 저감 DDGS 사료의 급여군은 고지방 DDGS 사료 급여군과 유사한 반추위 pH를 보여주었지만 유지방 농도와 수율의 감소는 없었다. 이는 결국 지방 저감 DDGS는 재래 고지방 DDGS에 비해 지방함량이 낮기 때문일 것이다. 이 연구의 결과들은 고지방 또는 지방 저감 DDGS 사료 급여가 조사료 NDF의 부족에도 불구하고 DMI를 증가시키고 우수한 유생산과 유지방함량을 보여준다. 비록 trans-10, cis-12 CLA가 유지방 생산 저하에 관련이 있지만 지방 저감 DDGS 급여군에서는 발견되지 않았다. 그러므로 지방 저감 DDGS 30% 사료를 급여할 때 유지방 저하 위험은 감소된다. Whelen 등 (2017)은 다년생 ryegrass 초지에 방목하는 착유후기소에게 대두피, DDGS, 야자박의 부산물 혼합물 (동량으로 혼합하여 11.6% 또는 31% 급여)을 급여하여 사료의 보리와 대두박을 대체하는 시험을 하였다. 이 시험의 결과는 ryegrass 초지에 방목하는 젖소의 사료에서 대두피, DDGS 그리고 야자박이 보리와 대두박을 대체할 수 있으며 유생산량, 소화율 그리고 대사측정 항목들에는 영향이 없었다.

표 9. 착유우에게 30% 지방 저감 (reduced-oil; RO) DDGS (6.6% 조지방) 함유, 불활성지방 (RIF) 첨가 유, 무, 또는 30% 재래 고지방 (high-oil; HO) DDGS (12% 조지방) 함유 TMR사료의 급여가 비유능력, 유성분, 반추위 발효, 영양소의 외관상 총장기관 소화율에 미치는 영향 (Ramirez-Ramirez 등, 2016)

측정	0% DDGS	30% HO-DDGS	30% RO-DDGS	30% RO-DDGS+RIF
체중, kg	607 ^b	619 ^a	616 ^a	619 ^a
몸컨디션 지수	3.1	3.2	3.1	3.2
건물섭취량 (DMI), kg/day	21.6 ^b	25.8 ^a	26.1 ^a	26.1 ^a
유생산과 조성				
유생산, kg/day	32.2 ^b	33.8 ^a	33.8 ^a	34.0 ^a
3.5% 지방보정유 ¹	33.2 ^b	32.8 ^b	34.3 ^{ab}	35.0 ^a
유지방 %	3.69 ^a	3.27 ^b	3.65 ^a	3.70 ^a
유지방 수율, kg/day	1.18 ^a	1.11 ^b	1.22 ^a	1.25 ^a
총지방산 수율 yield, g/day	1,103 ^a	1,036 ^b	1,137 ^a	1,166 ^a
총불포화 지방산, g/day	314 ^c	400 ^a	365 ^b	398 ^a
총다중불포화 지방산 (PUFA), g/day	49	79	77	78
총포화지방산, g/day	787 ^a	636 ^b	765 ^a	766 ^a

표 9. 착유우에게 30% 지방 저감 (reduced-oil; RO) DDGS (6.6% 조지방) 함유, 불활성지방 (RIF) 첨가 유, 무, 또는 30% 재래 고지방 (high-oil; HO) DDGS (12% 조지방) 함유 TMR사료의 급여가 비유능력, 유성분, 반추위 발효, 영양소의 외관상 총장기관 소화율에 미치는 영향 (Ramirez-Ramirez 등, 2016)

측정	0% DDGS	30% HO-DDGS	30% RO-DDGS	30% RO-DDGS+RIF
유생산과 조성				
18:1 trans-10	5.6 ^b	18.9 ^a	6.4 ^b	7.6 ^b
18:2 cis-9, trans-11	4.8 ^d	13.7 ^a	9.1 ^c	11.0 ^b
18:2 trans-10, cis-12	-	0.05	-	-
유단백질 %	3.07 ^c	3.22 ^a	3.21 ^a	3.12 ^b
우유 단백질 수율, kg/day	1.00 ^b	1.10 ^a	1.07 ^a	1.06 ^a
우유 요소질소, mg/dL	15.3 ^b	15.2 ^b	16.4 ^a	15.9 ^a
반추위 발효				
pH	6.17 ^a	5.80 ^b	5.78 ^b	6.02 ^{ab}
총휘발성 지방산, mM	116	121	127	119
Acetate, mol/100 mol	67.3 ^a	60.9 ^c	61.4 ^{bc}	63.2 ^b
Propionate, mol/100 mol	18.2 ^c	23.6 ^a	23.1 ^a	20.7 ^b
Isobutyrate, mol/100 mol	0.85	0.66	0.69	0.76
Butyrate, mol/100 mol	11.6	12.5	12.3	12.8
Isovalerate, mol/100 mol	0.56	0.56	0.51	0.62
Valerate, mol/100 mol	1.62 ^b	1.84 ^{ab}	2.00 ^a	1.91 ^a
Acetate:Propionate	3.74 ^a	2.64 ^c	2.68 ^{bc}	3.05 ^b
Ammonia, mg/dL	25.6	28.5	27.4	26.5
외관상 총소화기관 영양소 이용률				
건물 소화율, %	50.6 ^c	58.0 ^b	67.1 ^a	59.1 ^b
유기물 소화율, %	52.6 ^c	59.9 ^b	69.3 ^a	60.9 ^b
NDF 소화율, %	32.5 ^c	43.8 ^{ab}	53.0 ^a	43.2 ^b
질소 소화율, %	53.2 ^c	63.8 ^b	72.6 ^a	64.4 ^b

¹ 3.5 percent fat-corrected milk = (milk fat, kg x 16.216) + (milk yield, kg x 0.4324)

소비자의 만족과 우유 소비의 건강상 이점

여러 개의 연구에서 비유우에게 DDGS의 급여는 우유 내 불포화 지방산 함량을 증가시키는데 이는 우유의 과산화와 이취발생의 원인이 될 수 있다. 그래서 Testroet 등 (2015)은 비유우에 0, 10, 또는 25% DDGS 사료의 급여가 우유의 화학적 조성과 풍미에 미치는 영향을 측정하였다. 우유 내 과산화물과 유리 지방산의 함량은 낮았으며 대부분이 검출한계 이하였다. 이 연구의 결과는 DDGS의 급여가 비록 유성분의 변화를 초래했지만, 우유의 이취발생에는 무관하였다. 최근에 와서, 우유 내 건강에 좋은 물질을 증가시킴으로써 인체의 건강을 향상시키는 것에 대한 관심이 매우 높아졌다. 그들 중 하나는 cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid (CLA)인데 이 물질은 암과 동맥경화증의 위험을 감소시키고 면역력을 높이는 것으로 알려졌다. 그 결과 사료 처방을 통해 우유 내 CLA의 함량을 높이려는 연구가 여러 번 시도되었다. Anderson 등 (2006)과 Sasikala-Appukuttan 등 (2008)은 10~20% DDGS를 함유한 사료가 우유 내 CLA 함량을 증가시키고 DMI나 유생산과 유지방 함량에는 영향이 없었다고 보고하였다. 최근에 Kurokawa 등 (2013)은 0, 10 또는 20% DDGS를 함유하고 NDF 함량이 높은 (46%) 사료를 비유우에게 급여하였을 때 DDGS 사료 급여는 유생산량을 증가시키고 우유내 CLA 함량을 대폭 증가시킨 것으로 확인했다. 그러므로 비유우에게 DDGS 사료를 급여하면 우유 섭취로 인해 건강 증진에 추가적인 이점을 제공한다는 것을 보여준다.

젖소 미산우에게 DDGS 급여

젖소에 대한 DDGS 급여 연구는 대부분이 성숙한 비유우에게 집중되어 있고 미산우의 성장률과 장기간 번식 및 비유성능에 대한 연구는 제한적이다. 비록 이전의 연구에서 DDGS 급여는 육우 미산우의 번식능을 향상시킨다고 보고되었지만 (Martin 등, 2007; Engle 등, 2008), 최근까지 젖소 미산우에 대한 연구는 제한적이다. Anderson 등 (2015a,b)은 젖소 미산우에게 높은 수준의 지방 저감 DDGS (22%)와 재래 고지방 DDGS (34%) 함유 사료를 급여 시 ADG (0.96 kg/day)와 영양소의 외관상 총장관 소화율이 높았다. 더욱이 Anderson 등 (2015b)은 높은 수준의 DDGS를 함유한 사료를 급여 시 leptin, IGF-1 그리고 insulin의 혈장농도를 기준으로 볼 때 열량 균형이 유지되었으나, 고지방 DDGS 사료를 급여하였을 때는 지방 저감 DDGS 사료를 급여했을 때 보다 혈장 콜레스테롤과 지방산 농도가 높았다. 이들 혈장 지방들의 증가는 번식능을 향상시킬 것이다 (Talavera 등, 1985; Thomas 등, 1997; Funston, 2004). 이 반응들을 좀 더 평가하기 위하여 Anderson 등 (2015c)은 옥수수과 대두박 기초의 대조구 사료, 22% 지방 저감 DDGS 사료 또는 34% 고지방 DDGS 사료를 33주의 성숙숙 전 미산우에게 송아지 분만 시까지 24주 간 급여하고 이어서 분만 후 4개월 동안 급여하여 번식능, 체형 측정치, 유생산 능력 그리고 유성분을 검토하였다. 종부일령, 인공수정 회수, 임신과 출산일령에는 차이가 없었다 (표 10). 고지방 DDGS 사료를 급여한 미산우는 대조구나 지방 저감 DDGS 사료를 급여한 미산우에 비해 키 (withers height)가 작고 체장이 짧았다. 지방 저감 DDGS 사료를 급여한 미산우는 다른 사료 급여구들

보다 유생산량이 많았고, 유단백질, 유지방함량과 수율은 다른 처리구들과 유사하였다. 이 결과들은 성숙 전 미산우에게 옥수수과 대두박을 대체하기 위하여 고지방 또는 지방 저감 DDGS 함유 사료를 급여하였을 때 번식능과 비유능력을 유지하거나 향상시켰다. 더구나 DDGS에 함유된 지방은 옥수수의 전분을 효과적으로 대체할 수 있으며 이후 축우의 성능에 악영향이 없었다.

표 10. 22% 지방 저감 DDGS와 34% 고지방 DDGS를 함유한 사료를 분만 전 24주 그리고 분만 후 4개월 동안 급여한 젖소 미산우의 번식능, 체형 측정치, 비유능력과 유성분 (Anderson 등, 2015c)

측정	0% DDGS	22% 지방 저감 DDGS	34% 고지방 DDGS
최초 종부일령, days	394	400	398
인공수정 회수	2.11	2.89	1.78
임신일령, days	455	483	444
첫 출산 일령, days	733	764	728
체형 측정, 분만 전 3주			
체중, kg	681	678	638
견고 (withers height), cm	144 ^a	144 ^a	140 ^b
엉덩이 높이 (hip height), cm	147	147	144
가슴둘레, cm	206	206	203
체장, cm	145 ^a	144 ^a	140 ^b
몸컨디션 지수	3.4	3.4	3.4
체형 측정, 분만 시			
체중, kg	634	621	590
몸컨디션 지수	3.3	3.1	3.2
송아지 체중, kg	40.8	41.6	41.6
난산 회수	1	2	2
성공적인 전환 수	9	9	9
착유개시일령, days	732	764	728
유생산량, kg/day	33.0 ^b	36.4 ^a	34.7 ^{ab}
열량보정 우유 ¹ , kg/day	34.4	37.9	35.1
유단백질, %	2.94	3.01	3.03
유단백질 수율, kg/day	0.98	1.08	1.03
유지방, %	3.98	3.94	3.86
유지방 수율, kg/day	1.28	1.41	1.28
체세포 수, × 10 ³ /mL	53.4	124.4	299.6

^{a,b} Means within row with different superscripts are different (P less than 0.05)

¹ Energy-corrected milk = (0.327 × kg milk) + (12.95 × kg milk fat) + (7.2 × kg milk protein)

추가적인 연구에서 육성 낙농 미산우에게 고지방 또는 지방 저감 DDGS 함유 사료를 급여했을 때 지속적인 이점을 보여주었다. Suarez-Mena (2015)는 조사료와 농후사료의 비율을 달리하고 (50 : 50 또는 75 : 25) DDGS의 함유비율을 달리 하였을 때 (0, 7, 14 또는 21%) 정밀사양 낙농 미산우의 소화율과 반추위 발효에 미치는 영향을 평가하였다. 14% DDGS를 함유한 사료를 급여 시 건물, 유기물, ADF 그리고 NDF의 외관상 소화율이 가장 높았으나, 사료 내 DDGS 함유 수준이 높아 질수록 질소 축적율은 감소하였다. 사료 내 DDGS 수준이 증가하면 acetate의 몰 (Molar) 농도가 감소하는 경향이 있었고, propionate의 농도는 증가하였다. 사료 내 DDGS 수준이 증가되면 반추위 원생동물 수가 감소하였다. 이상의 결과를 보면 조사료:농후사료의 비율이 다른 사료를 공급받는 젖소 미산우에게 14% DDGS를 함유한 사료를 급여 시 영양소 이용률과 반추위 발효를 향상시켰다.

Manthey와 Anderson (2016)은 낙농 미산우에게 목건초는 무제한 급여하고 DDGS나 옥수수-대두박 농축사료를 체중의 0.8%를 급여했을 때 DMI와 성장률을 평가하였다. DMI, 체중, ADG와 사료 효율 (G/F)은 사료처리간에 유사하였고, 엉덩이 높이 (hip height), 가슴둘레, 엉덩이 폭 그리고 몸컨디션 지수에도 유의한 차이가 없었다. 이 연구 결과들에 의하면 체중의 0.8% DDGS와 무제한 건초를 섭취한 미산우는 동량의 옥수수-대두박 농축사료와 무제한 건초 섭취군과 비교했을 때 성장률이나 골격성장에 있어서 유사하였다. 후속 연구에서, Manthey 등 (2016)은 50%까지 점증하는 양의 DDGS를 함유한 사료를 제한 급여 하였을 때 몸컨디션 지수의 증가 없이 체격을 유지하면서 사료 효율과 건물과 조단백질의 외관상 총장관 소화율이 향상되었다.

Manthey와 Anderson (2017)은 두개의 추가적인 시험을 실시하였는데 성성숙 전 낙농 미산우에게 조사료:농축사료의 비율을 달리한 DDGS 함유 사료를 제한 급여 (실험 1) 하였고, 무제한 목건초를 급여하면서 DDGS를 급여 (실험 2) 했을 때 성장률, 반추위 발효, 영양소 소화율, 대사 프로파일, 성성숙 개시와 연이는 성능에 미치는 영향을 평가하였다. 실험 1에서는, Holstein 미산우에게 30% (체중의 2.65%), 40% (체중의 2.50%) 또는 50% (체중의 2.35%)의 DDGS와 나머지는 건초와 미네랄 믹스를 급여하였다. 두 번째 실험에서는 옥수수-대두박 또는 DDGS 농축사료를 체중의 0.8%를 급여하고 목건초는 무제한 급여하였다. 실험결과에 의하면 제한 급여에서 건초의 50%를 대체하여 사용할 수 있으며, 건초를 무제한 공급할 때는 옥수수-대두박 사료를 대체할 수 있다. 이때 성장률은 만족스러웠고, 대사 프로파일에 약간의 변화가 있지만 영양소 소화율은 향상되었다.

Manthey 등 (2017)은 제한 급여하는 낙농 미산우 사료에서 조사료를 대체하여 DDG (30, 40 또는 50%)를 급여할 때 대사 프로파일과 성성숙 개시에 미치는 효과를 평가하였다. 혈장 포도당, 인슐린, IGF-1, leptin 그리고 지방은 처리 간에 유사하였으나, 사료 내 DDGS의 수준이 증가하면 총지방산과 PUFA가 증가하였다. 성성숙기의 미산우 연령과 체중은 처리 간에 차이가 없었다. 이 결과에서 보면 DDGS의

함량을 50%까지 증가시켜도 체지방조직에 과도한 축적없이 체 열량 상태를 유지하였으며 성숙숙 나이와 체중에는 부정적 영향이 없었다. 마지막으로 Rodriguez-Hernandez (2017)는 낙농 미산우에서 DDGS나 다른 유박 (oilseed meals)들과 비교하여 carinata meal에 들어 있는 glucosinolates 종류와 함량이 사료의 기호성과 섭취량에 영향을 주는지 알아보기 위하여 시험을 수행하였다. 미산우들은 DDGS 함유 사료를 가장 선호하였으며, 다음으로 아마박, camilina meal 그리고 캐놀라 박이었으며 carinata meal의 기호성이 가장 낮았다.

결론

옥수수 DDGS는 비유 젖소에게 훌륭한 열량, 단백질 그리고 인의 공급원이다. 수많은 연구 결과에 의하면 DDGS는 비유우 사료에 20%까지 사용했을 때 DMI, 유생산과 우유 지방과 단백질의 감소가 없었다. 만약 사료배합을 적절히 한다면, DDGS를 20~30% 사용하여도 DDGS 무첨가 사료에 비해 유생산량이 같거나 더 많으며 유지방 함량의 감소도 일어나지 않는다. 또한 육성 낙농 대체우사료에는 DDGS를 30~50%를 첨가하여도 성장률, 번식능 그리고 이후 비유능력에 이상이 없었다. Kalscheur 등 (2012b)은 여러 생산단계에서 젖소와 송아지 사료에 DDGS 함유 권장량을 설정하고 DDGS 사료를 배합할 때 고려해야할 중요 성분에 대하여 설명하고 있다 (표 11).

표 11. 젖소 사료에 DDGS 최대 사용 권장량 (Kalscheur 등, 2012b)

측정	DDGS %	사료배합에서 중요 영양소
이유전 송아지	25	Lysine, 섬유소, 조지방
육성 미산우	30	조지방/열량, 유황
건유우	15	조지방/열량, 유황, Ca/P
비유우	20	총지방/PUFA, 유효조섬유, 유황, Ca/P, RUP, lysine

참고문헌

Anderson, J.L., K.F. Kalscheur, A.D. Garcia, and D.J. Schingoethe. 2015a. Feeding fat from distiller's dried grains with solubles to dairy heifers: I. Effects on growth performance and total-tract digestibility of nutrient. J. Dairy Sci. 98:5699-5708.

Anderson, J.L., K.F. Kalscheur, A.D. Garcia, and D.J. Schingoethe. 2015b. Feeding fat from distiller's dried grains with solubles to dairy heifers: II. Effects on metabolic profile. J. Dairy Sci. 98:5709-5919.

Anderson, J.L., K.F. Kalscheur, A.D. Garcia, and D.J.

Schingoethe. 2015c. Short communication: Feeding fat from distiller's dried grains with solubles to dairy heifers: III. Effects on posttrial reproductive and lactation performance. J. Dairy Sci. 98:5720-5725.

Anderson, J.L., D.J. Schingoethe, K.F. Kalscheur, and A.R. Hippen. 2006. Evaluation of dried and wet distiller's grain included at two concentration in the diets of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 89:3133-3142.

Benchaar, C., F. Hassanat, R. Gervais, P.Y. Chouinard, Julien, H.V. Petit, and D.I. Masse. 2013. Effects of increasing amounts

- of corn dried distiller's grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance and milk production. *J. Dairy Sci.* 96:2413-2427.
- Birkelo, C.P., M.J. Brouk, and D.J. Schingoethe. 2004. The energy content of wet corn distillers grains for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:1815-1819.
- Boucher, S.E., S. Calsamiglia, C.M. Parsons, H.H. Stein, M.D. Stern, P.S. Erickson, P.L. Utterback, and C.G. Schwab. 2009. Intestinal digestibility of amino acids in rumen-undegraded protein estimated using a precision-fed cecectomized rooster bioassay: II Distillers dried grains with solubles and fish meal. *J. Dairy Sci.* 92:6056-6067.
- Cao, Z.J., J.L. Anderson, and K.F. Kalscheur. 2009. Ruminal degradation and intestinal digestibility of dried or wet distillers grains with increasing concentrations of condensed distillers solubles. *J. Anim. Sci.* 87:3013-3019.
- Carvalho, L.P.F., D.S.P. Melo, C.R.M. Pereira, M.A.M. Rodrigues, A.R.J. Cabrita, and A.J.M. Finseca. 2005. Chemical composition, in vivo digestibility, N degradability and enzymatic intestinal digestibility of five protein supplements. *Anim. Feed Sci. Technol.* 119:171-178.
- Castillo-Lopez, E., H.A. Ramirez-Ramirez, T.J. Klopfenstein, Hostetler, K. Karges, S.C. Fernando, and P.J. Kononoff. 2014. Ration formulations containing reduced-fat dried distillers grains with solubles and their effect on lactation performance, rumen fermentation and intestinal flow of microbial nitrogen in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 97:1578-1593.
- Diaz-Royón, F., A. Garcia, and K.A. Rosentrater. 2012. Composition of fat in distillers grains. *Agricultural and Biosystems Engineering Publications*, 391. http://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_pubs/391.
- Engel, C.L., H.H. Patterson, and G.A. Perry. 2008. Effect of dried corn distillers grains plus soluble compared with soybean hulls, in late gestation heifer diets, on animal and reproductive performance. *J. Anim. Sci.* 86:1697-1708.
- Firkins, J.L., L.L. Berger, G.C. Fahey, Jr., and N.R. Merchen. 1984. Ruminal nitrogen degradability and escape of wet and dry distillers grains and wet and dry corn gluten feeds. *J. Dairy Sci.* 67:1936-1944.
- Foth, A.J., T. Brown-Brandt, K.J. Hanford, P.S. Miller, G. Garcia Gome, and P.J. Kononoff. 2015. Energy content of reduced-fat dried distillers grains with solubles for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:7142-7152.
- Funston, R.N. 2004. Fat supplementation and reproduction in beef females. *J. Anim. Sci.* 82(E Suppl.):E154-E161.
- Humer, E., and Q. Zebeli. 2015. Phytate in feed ingredients and potentials for improving the utilization of phosphorus in ruminant nutrition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 209:1-15.
- Kalscheur, K.F. 2013. Use of low-fat DDGS in diets for lactating dairy cattle. *Proceedings 34th Western Nutrition Conference - Processing, Performance & Profit*, September 24-26, 2013, Saskatoon, SK, p. 139-145.
- Kalscheur, K.F., A.D. Garcia, D.J. Schingoethe, F. Diaz-Royón, and A.R. Hippen. 2012a. Feeding biofuels co-products to dairy cattle. In: *Biofuel Co-products as Livestock Feed - Opportunities and Challenges*. H.P.S. Makkar, ed. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/016/i3009e/i3009e00.htm> pp 115-153.
- Kalscheur, K.F., A.R. Hippen, and A.D. Garcia. 2012b. Feeding distillers grains products to dairy cattle. In: *Distillers Grains: Production, Properties and Utilization*, K. Liu and K.A. Rosentrater, eds. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 265-295.
- Kalscheur, K.F. 2005. Impact of feeding distillers grains on milk fat, protein and yield. *Proc. Distillers Grains Technology Council, 9th Annual Symposium*, Louisville, KY.
- Kelzer, J.M., P.J. Kononoff, L.O. Tedeschi, T.C. Jenkins, K. Karges, and M.L. Gibson. 2010. Evaluation of protein fractionation and ruminal and intestinal digestibility of corn milling co-products. *J. Dairy Sci.* 93:2803-2815.
- Kleinschmit, D.H., J.L. Anderson, D.J. Schingoethe, K.F. Kalscheur and A.R. Hippen. 2007a. Ruminal and intestinal degradability of distillers grains plus solubles varies by source. *J. Dairy Sci.* 90:2909-2918.
- Kononoff, P.J., S.K. Ivan and T.J. Klopfenstein. 2007. Estimation of the proportion of feed protein digested in the small intestine of cattle consuming wet corn gluten. *J. Dairy Sci.* 90:2377-2385.
- Kurokawa, Y., H. Shibata, S. Tateno, S. Kanada, K. Takaura, S. Ishida and H. Itabashi. 2013. Rumen fermentation, milk production and conjugated linoleic acid in the milk of cows fed high fiber diets added with dried distillers grains with solubles. *Anim. Sci. J.* 84:106-112.
- Li, C., J.Q. Li, W.Z. Yang and K.A. Beauchemin. 2012. Ruminal and intestinal amino acid digestion of distiller's grain vary with grain source and milling process. *Anim. Feed Sci. Technol.* 175:121-130.
- MacDonald, J.C. T.J. Klopfenstein, G.E. Erickson and W.A. Griffn. 2007. Effect of dried distillers grains and equivalent degradable intake protein or ether extract on performance and forage intake of heifers grazing smooth bromegrass pastures. *J. Anim. Sci.* 85:2614-2624.
- Manthey, A.K., and J.L. Anderson. 2017. Feeding peripubertal dairy heifers diets high in distiller's grains with varying

forage-to-concentrate ratios. *J. Dairy Sci.* 100(Suppl. 1):183 (Abstr.)

Manthey, A.K., J.L. Anderson, G.A. Perry and D.H. Keisler. 2017. Feeding distillers dried grains in replacement of forage in limit-fed dairy heifer rations: Effects on metabolic profile and onset of puberty. *J. Dairy Sci.* 100:2591-2602.

Manthey, A.K., J.L. Anderson and G.A. Perry. 2016. Feeding distillers dried grains in replacement of forage in limit-fed dairy heifer rations: Effects on growth performance, rumen fermentation and total-tract digestibility of nutrients. *J. Dairy Sci.* 99:7206-7215.

Manthey, A.K., and J.L. Anderson. 2016. Growth performance of dairy heifers limit-fed distillers dried grains with ad libitum forage. *J. Dairy Sci.* 99(E-Suppl. 1):680-681 (Abstr.)

Martin, J.L., A.S. Cupp, R.J. Rasby, Z.C. Hall and R.N. Funston. 2007. Utilization of dried distillers grains for developing beef heifers. *J. Anim. Sci.* 85:2298-2303.

Martinez-Amezcu, V., C.M. Parson and S.L. Noll. 2004. Content and relative bioavailability of phosphorus in distillers dried grains with solubles in chicks. *Poult. Sci.* 83:971-976.

Mjoun, K., K.F. Kalscheur, A.R. Hippen and D.J. Schingoethe. 2010a. Rumen degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in soybean and corn distillers grains products. *J. Dairy Sci.* 93:4144-4154.

Mjoun, K., K.F. Kalscheur, A.R. Hippen and D.J. Schingoethe. 2010b. Performance and amino acid utilization of early lactation dairy cows fed regular or reduced-fat dried distillers grains with solubles. *J. Dairy Sci.* 93:3176-3191.

Mjoun, K., K.F. Kalscheur, A.R. Hippen, D.J. Schingoethe, and D.E. Little. 2010c. Lactation performance and amino acid utilization of cows fed increasing amounts of reduced-fat dried distillers gains with solubles. *J. Dairy Sci.* 93:288-303.

Mjoun, K., K.F. Kalscheur, A.R. Hippen and D.J. Schingoethe. 2008. Ruminant phosphorus disappearance from corn and soybean feedstuffs. *J. Dairy Sci.* 91:3938-3946.

NASS (National Agricultural Statistics Service). 2007. Ethanol Co-Products Used for Livestock Feed. U.S. Agricultural Statistics Board, U.S. Department of Agriculture.

NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Rev. Ed. National Academy of Science, Washington, DC.

Nuez-Ortín, W.G., and P. Yu. 2011. Using the NRC chemical summary and biological approaches to predict energy values of new co-product from bioethanol production for dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 170:165-170.

Nyoka, R. 2010. Fat and rumen undegradable protein for

grazing cows: Effect on composition of milk and quality of cheese. Master's thesis, South Dakota State University, Brookings.

Oba, M.G.B., T.D. Penner, T.D. Whyte and T.D. Wierenga. 2010. Effects of feeding triticale dried distillers grains plus solubles as a nitrogen source on productivity of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93:2044-2052.

Owens, F. 2009a. Nutrition & Health: Dairy. Cattle nutritionists. Feedstuffs, p.22-25.

Owens, T.M. 2009b. Risk of milk fat depression for dairy cows fed high moisture corn and distillers grains in diets containing monensin. Ph.D. Thesis, South Dakota state University, Brookings.

Paz, H.A., and P.J. Kononoff. 2014. Lactation responses and amino acid utilization of dairy cows fed low-fat distillers dried grains with solubles with or without rumen-protected lysine supplementation. *J. Dairy Sci.* 97:6519-6530.

Paz, H.A., M.J. de Veth, R.S. Ordway and P.J. Kononoff. 2013. Evaluation of rumen-protected lysine supplementation to lactating dairy cows consuming increasing amounts of distillers dried grains with solubles. *J. Dairy Sci.* 96:7210-7222.

Pereira, A.B.D., L.K. Zeringue, C. Leonardi, B.F. Jenny, C.C. Williams, M.E. McCormick and V.R. Moreira. 2015. Short communication: Substituting dry distillers grains with solubles and rumen-protected amino acids for soybean meal in late-lactation cows' diets based on corn silage or ryegrass silage. *J. Dairy Sci.* 98:8121-8127.

Ramirez-Ramirez, H.A., K.J. Harvatine and P.J. Kononoff. 2016a. Short communication: Forage particle size and fat intake affect rumen passage, the fatty acid profile of milk and milk fat production in dairy cows consuming dried distillers grains with solubles. *J. Dairy Sci.* 99:392-398.

Ramirez-Ramirez, H.A., E. Castillo Lopez, C.J.R. Jenkins, N.D. Aluthge, C. Anderson, S.C. Fernando, K.J. Harvatine and P.J. Kononoff. 2016b. Reduced-fat dried distillers grains with solubles reduces the risk for milk fat depression and supports milk production and ruminal fermentation in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99:1912-1928.

Ranathunga, S.D. K.F. Kalscheur, A.R. Hippen and D.J. Schingoethe. 2010. Replacement of starch from corn with nonforage fiber from distillers grains and soyhulls in diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93:1086-1097.

Robinson, P.H., N. Swanepoel, I. Shinzato and S.O. Juchem. 2011. Productive responses of lactating dairy cattle to supplementing high levels of ruminally protected lysine using a rumen protection technology. *Anim. Feed Sci. Technol.* 168:30-41.

- Rodriguez-Hernandez, K., J.L. Anderson and M.A. Berhow. 2017. Preference of carinata meal compared with other oilseed meals and distiller's dried grains by dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 100(Suppl. 1):178 (Abstr.).
- Sasikala-Appukuttan, A.K., A.R. Hippen, K.F. Kalscheur, K. Karges, M.L. Gibson. 2008. The Feeding Value of Corn Distillers Solubles for Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 91:279-287.
- Schingoethe, D.J., K.F. Kalscheur, A.R. Hippen and A.R. Garcia. 2009. The use of distillers products in dairy cattle diets. *J. Dairy Sci.* 92:5802-5813.
- Schmit, T.M., R.N. Boisvert, D. Enahoro and L.E. Chase. 2009. Optimal dairy farm adjustments to increase utilization of corn distillers dried grains with solubles. *J. Dairy Sci.* 92:6105-6115.
- Suarez-Mena, F.X., G.J. Lascano, D.E. Rico and A.J. Heinrichs. 2015. Effect of forage level and replacing canola meal with dry distillers grains with solubles in precision-fed heifer diets: Digestibility and rumen fermentation. *J. Dairy Sci.* 98:8054-8065.
- Swanepoel, N., P.H. Robinson and L.J. Erasmus. 2010a. Amino acid needs of lactating dairy cows: Impact of feeding lysine in a ruminally protected form on productivity of lactating dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 157:79-94.
- Swanepoel, N., P.H. Robinson and L.J. Erasmus. 2010b. Amino acid needs of lactating dairy cows: Predicting limiting amino acids in contemporary rations fed to high producing dairy cattle in California using metabolic models. *Anim. Feed Sci. Technol.* 161:103-120.
- Talavera, F., C.S. Park and G.L. Williams. 1985. Relationships among dietary lipid intake, serum cholesterol and ovarian function in Holstein heifers. *J. Anim. Sci.* 60:1045-1051.
- Tang, S.C., I. Zulkifli, M. Ebrahimi, A.R. Alimon, A.F. Soleimani and K. Filer. 2011. Effects of feeding different levels of corn dried distillers grains with solubles on growth performance, carcass yield and meat fatty acid composition in broiler chickens. *Intl. J. Anim. Vet. Adv.* 3:205-211.
- Testroet, E.D., G. Li, D.C. Beitz and S. Clark. 2015. Feeding dried distillers grains with solubles affects composition but not oxidative stability of milk. *J. Dairy Sci.* 98:2908-2919.
- Thomas, M.G., B. Bao and G.L. Williams. 1997. Dietary fats varying in their fatty acid composition differentially influence follicular growth in cows fed isoenergetic diets. *J. Anim. Sci.* 75:2512-2519.
- Vander Pol, K.J., M.K. Luebke, G.I. Crawford, G.E. Erickson and T.J. Klopfenstein. 2009. Performance and digestibility characteristics of finishing diets containing distillers grains, composites of corn processing coproducts or supplemental corn oil. *J. Anim. Sci.* 87:639-652.
- Whelan, S.J., W. Carey, T.M. Boland, M.B., Lynch, A.K. Kelly, G. Rajauria and K.M. Pierce. 2017. The effect of by-product inclusion level on milk production, nutrient digestibility and excretion and rumen fermentation parameters in lactating dairy cows offered a pasture-based diet. *J. Dairy Sci.* 100:1055-1062.
- Yildiz, E., and N. Todorov. 2014. The comparison of the main protein sources for dairy cows. A review. *Bulgarian J. Agricult. Sci.* 20:428-446.

CHAPTER 13

육계와 산란계 사료에서 지방저감 DDGS

서론

옥수수 DDGS는 육계와 산란계 사료에서 사용할 수 있는 훌륭한 사료 원료다. 육계와 산란계 사료를 배합할 때 DDGS의 권장 열량과 영양가는 여러 논문에서 발표되었다 (Waldroup 등, 2007; Choi 등, 2008; Swiatkiewicz과 Korelski, 2008; Bregendahl, 2008; Salim 등, 2010; El-Hack 등, 2015). 그러나 이들 대부분은 고지방 (> 10% 조지방) DDGS에 대한 것이고 지방 저감 (<10% 조지방) DDGS에 대한 것은 아니다. 다행히 최근에 지방함량이 다른 여러 가지 DDGS의 질소보정 외관상 대사열량 (AMEn)과 가소화 아미노산 함량에 대한 연구가 활발히 수행되었다. 근래에 수행된 이러한 연구 결과들을 요약하여 본 장에 수록하였다. 열량과 영양소 조성자료 그리고 사용된 예측 방정식은 가장 최근의 것이고 미산 옥수수 DDGS를 대표하는 것이기 때문에 육계와 산란계 사료에 DDGS를 사용할 경우 정밀영양 배합표 작성을 위하여 이를 사용하여야 한다.

옥수수 DDGS는 옥수수에 들어 있는 열량의 약 85%를 함유하고 있으며 적당한 수준의 가소화 아미노산과 높은 수준의 가용 인을 함유하고 있다. 산란계와 육계 사료는 열량과 아미노산의 배합을 조정하면 DDGS를 최소 10% 사용할 수 있다. 10년전에 수행된 문헌 조사에 의하면 (Swiatkiewicz와 Korelski, 2008) DDGS는 가금사료에 사용이 적합하며 육계 초기사료에 5~8%, 중기와 후기사료 그리고 산란계 사료에 12~15%를 사용할 수 있다고 결론 지었다. 그러나 이러한 결론은 사료 배합에서 가소화 아미노산이 아닌 총아미노산에 기준한 것이므로 보수적인 권장 수준이다. 근래의 연구 (Shim 등, 2011; Loar 등, 2010; Masa'deh 등, 2011)에 의하면 배합표 작성 시 정확한 열량과 가소화 아미노산 값을 사용한다면 가금사료에 DDGS를 더 높은 수준 (예; > 20%)에서 사용할 수 있음을 보여주었다.

가금에서 지방 저감 DDGS의 열량과 가소화 영양소 함량

가금사료에서 가장 비싼 성분은 열량이고 다음으로 아미노산인이다. 그러므로 가금에게 DDGS를 급여 시 정확한 AMEn, 가소화 아미노산 그리고 가소화 또는 가용 인의 값을 정하는 것이 중요한데, 생산성이나 고기와 계란의 품질에 영향을 주지 않고 사료의 가격을 최소화하면서 DDGS의 사용수준을 최대화하는 데 필요하다. AMEn, 가소화 아미노산 그리고 가용 인의 함량은 DDGS 제품 간에 변이가 심하다는 것은 잘 알려져 있다. 세계에서 잘 알려진 가금 계열화 회사들은 배합표 작성 시 정밀영양 시스템을

도입하여 AMEn 또는 진정 대사열량 (TME), 표준 회장 가소화 (SID) 아미노산 그리고 표준 총소화관 또는 가용 인을 사용한다. DDGS 제품들의 영양분 조성은 변이가 심하기 때문에 AMEn과 가소화 아미노산 그리고 인의 값은 오래된 참고자료를 사용하지 말고 역동적인 평가치를 사용해야 한다. 이 장에서는 예측 방정식을 사용하여 AMEn, SID 아미노산 그리고 가용 인의 함량을 결정하는 첨단 기법을 제공한다. 여러 가지 미산 옥수수 DDGS를 평가하기 위하여 최소가 배합비 작성에 사용하는 경제적 그리고 영양적 가치를 결정할 때 이러한 접근 방식을 시도해야 한다. 이 예측 방정식들은 사료배합에 있어서 중요한 변수들의 정확한 값을 제공함으로써 DDGS의 사료 내 함유 수준을 높여 사료원가를 내리는 동시에 육계의 성장률과 도체품질 그리고 산란계의 산란율과 계란의 품질을 유지할 수 있도록 한다.

DDGS의 최대 사용수준과 최소가 배합비 작성에서 최대 구입가격을 결정하는 데 필요한 것과 같이, 사료 원료의 정확한 영양가의 평가는 경제적 가치를 평가하는 데 필수적이다. Tahir와 Pesti (2012b)는 사료 원료에 대한 가장 정확한 가소화 아미노산의 데이터베이스를 활용한다면 전세계 가금산업은 1억 6천만 달러를 절약할 수 있다고 예측하였다. 사료배합 소프트웨어에서 선형 프로그래밍은 영양 요구에 충족시키는 것과 관련된 성분의 제한 (최소 및 최대 함유율)을 설정함으로써 사료비용을 최소화하기 위한 최적의 사료 성분 배합을 결정하기 위해 널리 사용되어 왔다. 더욱이 대부분의 상업적 컴퓨터 software는 배합표 작성에 어떤 원료가 포함되기 위한 최고가격을 결정하는 민감도 분석 또는 기회가격 결정 (shadow pricing)을 할 수 있다. 이러한 과정을 통해, 여러 배합표에 사용될 원료의 가격과 사용 수준을 기초로 사료 원료 사용 곡선을 개발할 수 있다.

외관상 대사열량 (AMEn) 함량과 예측

가금류 NRC (1994)에 의하면 DDGS는 건물기준으로 AMEn은 2,667 kcal/kg이고 TME 함량은 3,330 kcal/kg이다. 그러나 이 추정치들은 20년도 전에 에탄올공장에서 생산된 재래의 고지방 (>10% 조지방) DDGS에 대한 것이다. 오늘날 지방 저감 DDGS의 성분은 과거 NRC (1994) 열량과 영양소 조성값을 개발하기 위하여 사용된 자료들과는 상당한 차이가 있다. 근래에 세계의 시험이 수행되었는데 조지방 함량이 다른 DDGS 제품들의 AMEn을 측정하였다 (표 1).

첫 번째, Rochell 등 (2011)이 발표한 DDGS의 평균 AMEn값은 2,678 kcal/kg 건물이었고, 이는 NRC (1994) 수치와 비슷하였다. 그러나 Rochell 등 (2011)의 연구는 조지방 함량이 10% 미만인 DDGS 제품은 한 개뿐이었고 이제품의 AMEn 함량이 가장 낮았다 (표 1). 전통적인 고지방 DDGS의 AMEn 범위는 2,593~3,098 kcal/kg 건물인데 이는 지방함량이 비슷한 DDGS 제품 간에 505 kcal/kg 건물의 차이를 보여주고 있다. 비록 이 시험에서 여섯 개의 DDGS 제품을 평가했지만, AMEn 함량은 총열량 (GE), 조지방, 조단백질, 전분, 회분 그리고 ADF와는 상관관계가 없었으나 총사료 섬유소 (TDF; $r = -0.77$)와 중성세제섬유소 (NDF; $r = -0.83$) 함량과는 음의 상관관계가 있었다.

후속 두번째 시험에서 Meloche 등 (2013)은 15개 DDGS 제품을 평가하였는데 이 중 6개는 조지방 함량이 10% 이하였다. 이 DDGS 제품들의 평균 AMEn가는 2,309 kcal/kg (건물)이었는데 이 값은 NRC (1994) 값 보다 358 kcal/kg (건물) 적었다 (표 1). 더욱이 15개 DDGS 제품들 간에 AMEn값의 차이는 955 kcal/kg (건물)으로 Rochell 등 (2011)이 보고한 값보다 컸다. AMEn값의 변이는 1,869~2,824 kcal/kg (건물)이었는데 GE ($r = 0.69$) 함량과는 양의 상관관계를 가지고 TDF ($r = -0.56$), NDF ($r = -0.52$), ADF ($r = -0.52$) 함량과는 음의 상관관계를 가졌지만 조지방, 조단백질, 전분, 또는 회분 함량과는 상관관계가 없었다. 이들 상관관계의 유무는 Rochell 등 (2011)의 보고와 유사하며 DDGS의 조섬유 함량이 조지방 함량보다는 AMEn과 더 연관이 있다는 것을 시사한다. 더욱이 이들 자료는 DDGS 내의 조지방 함량의 감소로 인해 조단백질과 조섬유 함량이 증가하리라는 예단을 할 수 없다. 왜냐하면 이들은 서로 상관관계가 없기 때문이다. 이 두가지 시험결과들을 종합해 보면 DDGS 내 조지방 함량은 AMEn함량의 예측지수로는 매우 부족하다.

세 번째 시험에서, Meloche 등 (2014)은 DDGS의 평균 AMEn값은 2,764 kcal/kg (건물)이었는데 이는 육계의 NRC (1994) 값보다 97 kcal/kg (건물)이 더 많다고 보고하였다 (표 1). 이들 세 연구로부터 나온 자료들을 종합하면, 조지방함량이 다른 DDGS 제품들의 AMEn값은 1,869~3,634 kcal/kg (건물)이었다. DDGS 제품들의 AMEn값이 이와 같이 변이가 심하기 때문에 책에서 발표된 수치는 실제 사료 배합비 작성에 사용할 만한 신뢰성이 없기 때문에 보다 적극적인 접근방법이 필요하다. 따라서 Meloche 등 (2013)은 DDGS의 화학 조성분을 이용하여 최적합 (best-fit) AMEn 예측 방정식을 개발하였다:

$$\text{AMEn kcal/kg 건물} = -12,282 + (2.60 \times \text{GE kcal/kg 건물}) - (40.67 \times \% \text{TDF 건물}) + (89.75 \times \% \text{조단백질 건물}) + (125.80 \times \% \text{전분 건물}), R^2 = 0.86$$

비록 이 방정식은 DDGS 제품의 AMEn의 함량을 예측하는 데 정확도가 높지만 ($R^2 = 0.86$), GE, TDF 그리고 전분 함량은 일반 사료공장 실험실에서는 잘 분석하지 않는다. 그러므로 이 연구자들은 TDF를 사용하는 대신에 NDF를 사용하여 AMEn을 예측하는 공식을 개발하였다:

$$\text{AMEn kcal/kg 건물} = -14,322 + (2.69 \times \text{GE kcal/kg 건물}) + (117.08 \times \% \text{조단백질 건물}) + (149.41 \times \% \text{전분 건물}) - (18.30 \times \% \text{NDF 건물}), R^2 = 0.88$$

이 방정식은 처음의 방정식에 비해 정확도 ($R^2 = 0.88$)가 약간 개선되었으나, 아직도 일반 사료공장 실험실에서는 하지 않는 GE와 전분의 분석을 요구하고 있다.

그러므로 Meloche 등 (2014)은 조지방 함량이 건물기준으로 5.0~14.2%인 15개의 추가적인 DDGS 샘플들의 AMEn을 측정하여 Rochell 등 (2011)과 Meloche 등 (2013)의 AMEn 예측 방정식의 적정성을 검증하는 데 사용하였다. 비록 일반 사료공장 실험실에서 GE와 TDN 값을 분석하기가 어렵지만 가장 높은 R^2 (0.92) 값을 가진 최적 방정식은 아래와 같다:

$$\text{AMEn kcal/kg 건물} = 2,655 - (18.29 \times \% \text{ NDF}) + (44.14 \times \% \text{ Ether Extract}) + (0.21 \times \text{GE, kcal/kg}) - (10.91 \times \% \text{ TDF}) - (91.08 \times \% \text{ Ash}), R^2 = 0.92, \text{ 예상 정확도 } 321 \text{ kcal/kg}$$

하지만 일반 사료공장 실험실에서 분석하는 화학성분만 사용할 수 있다면, 하기의 방정식을 이용할 수 있으나 결정계수 R^2 (0.70)가 낮고 이번의 방정식 보다는 정확성 (+457 kcal/kg)이 낮다:

$$\text{AMEn kcal/kg 건물} = 3,673 - (121.35 \times \% \text{ Crude Fiber}) + (55.29 \times \% \text{ Ether Extract}) - (121.08 \times \% \text{ Ash})$$

가금의 정밀영양 프로그램에서 DDGS의 AMEn을 역동적으로 예측하기 위한 방정식을 사용하는 방법 이외에 Zao 등 (2014)은 수탉에서 여러 사료 원료들의 ME 함량을 예측하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 소화 시스템을 개발하여 현재 중국의 사료산업에서 사용되고 있다. 이 방법은 26개의 사료 원료 중 옥수수 DDGS를 포함한 17개 원료의 AME와 TME의 정확한 예측치를 제공하였다.

표 1. 조지방 함량이 다른 여러 가지 DDGS의 총열량 (GE), AMEn, 그리고 화학 성분 (건물기준) (Rochell 등, 2011; Meloche 등, 2013; 그리고 Meloche 등, 2014)

Rochell 등 (2011)

DDGS source	GE, kcal/kg	AMEn, kcal/kg	조지방 %	조단백질 %	TDF %	NDF %	ADF %	전분 %	화분 %
4	5,547	3,098	11.7	29.5	35.9	33.4	8.6	4.9	5.4
1	5,434	2,685	10.2	31.9	35.7	40.1	14.4	6.2	4.5
5	5,375	2,593	10.9	29.7	38.1	40.1	10.6	3.5	4.4
3	5,314	2,628	11.5	29.6	30.3	34.6	11.3	7.9	4.2
6	5,174	2,903	11.5	26.5	32.7	27.7	9.8	3.3	4.5
2	5,076	2,146	3.2	34.7	37.2	51.0	15.8	3.0	5.2

Meloche 등 (2013)

DDGS source	GE, kcal/kg	AMEn, kcal/kg	조지방 %	조단백질 %	TDF %	NDF %	ADF %	전분 %	회분 %
15	5,167	2,687	13.2	30.6	32.4	34.0	9.9	1.3	5.3
14	5,130	2,824	11.8	32.1	33.5	38.9	13.3	1.1	4.9
12	5,077	2,074	11.3	27.7	37.8	44.0	14.0	1.8	4.4
11	5,075	2,418	11.1	29.7	33.9	36.5	12.1	3.9	4.3
9	5,066	2,273	10.8	29.7	35.3	38.6	13.9	1.6	4.6
10	5,043	2,012	10.8	31.0	35.7	38.9	12.9	0.9	4.9
3	5,022	2,487	6.3	28.9	28.5	27.0	8.2	3.3	5.2
13	5,008	2,032	11.5	26.5	32.7	27.7	9.8	3.3	4.5
2	4,990	2,551	4.2	27.9	30.5	27.3	7.7	3.7	4.8
5	4,963	2,401	9.6	30.1	30.8	33.3	10.5	3.4	4.9
6	4,963	2,526	9.7	29.8	31.3	28.8	10.3	2.8	5.0
7	4,948	2,309	10.0	32.3	33.9	35.9	13.7	1.0	5.3
8	4,938	2,068	10.1	30.3	33.9	38.2	12.5	2.2	5.0
4	4,897	2,103	8.6	32.9	32.5	35.7	13.4	0.8	5.1
1	4,678	1,869	3.2	34.7	37.2	51.0	15.8	3.0	5.2

Meloche 등 (2014)

1	5,254	3,634	13.3	29.7	31.5	38.3	11.5	2.5	4.8
10	5,254	3,120	14.3	33.0	26.5	32.8	12.1	4.0	4.6
6	5,194	2,535	11.4	29.8	32.1	27.8	8.6	4.7	5.5
15	5,154	3,137	11.6	30.7	33.6	33.0	8.2	6.7	5.0
8	5,148	2,640	8.2	34.1	30.5	37.1	13.2	4.0	5.1
2	5,139	2,553	10.4	32.0	31.6	38.5	12.1	2.3	4.7
11	5,098	3,111	12.0	28.4	28.1	38.1	10.7	10.0	4.6
3	5,061	2,869	9.1	31.6	31.1	39.6	11.6	3.8	5.4
14	5,052	2,644	8.8	28.5	36.6	37.1	9.7	5.9	5.4
4	5,009	2,781	8.0	30.6	32.4	31.0	8.9	4.9	5.6
5	4,978	2,523	7.0	32.2	32.8	31.1	8.6	4.4	5.5
9	4,951	2,461	10.7	32.7	29.2	43.8	14.8	8.1	4.7
13	4,934	1,975	6.1	30.3	31.4	32.9	9.2	4.9	5.4
12	4,884	2,581	5.9	32.3	31.7	34.6	9.4	6.0	5.6
7	4,841	2,903	5.0	34.2	29.3	31.4	8.8	5.6	5.6

가소화 아미노산 함량과 예측

사료 원료의 정확한 총아미노산 그리고 가소화 아미노산 데이터베이스를 선택하는 것은 닭의 성능과 사료 원료의 경제적 가치를 최적화하는 데 필수적이다. 가금류 NRC (1994)는 오랫동안 널리 사용되어 왔지만 대부분 원료들, 특히 DDGS의 열량, 영양소 함량 그리고 소화율은 지난 20여년 동안 상당히 변하였다. 그러므로 여기에 수록된 사료 원료들의 열량가와 영양가들은 그대로 사용하기에는 너무 오래 되고 부정확하다.

원료의 가소화 아미노산에 기준하여 사료를 배합하면 총아미노산을 기준으로 할 때 보다 육계에서 성장률, 사료 섭취량 그리고 도체조성이 향상되었다 (Rostagno 등, 1995; Fernandez 등, 1995). 비록 많은 가금영양학자들은 수탉을 사용하여 얻은 아미노산 소화율은 여러 품종의 조류 (즉, 육계, 산란계, 오리 그리고 칠면조)에서 비슷하다고 가정하나 Tahir와 Pesti (2012a)는 이 가정이 틀리다는 것을 보여주었다. 이 연구자들은 수탉을 사용하여 측정한 20개 원료의 가소화 아미노산의 값은 육계를 사용하여 측정했을 때보다 6~14% 높았다고 하였다.

Ajinomoto Heartland (Chicago, IL)와 Evonik Degussa (Hanau-Wolfgang, Germany)은 가금에 사용되는 사료 원료들의 가소화 아미노산에 대한 데이터베이스를 개발하였다. 그러나 이 데이터베이스들의 차이점은 Ajinomoto의 자료는 수탉으로부터 얻었고 Evonik은 육계로부터 얻었다는 점이다. 그 결과 DDGS의 가소화 lysine (0.60 vs. 0.56 %), methionine (0.47 vs. 0.44%), 총합유황 아미노산 (TSAA; 1.07 vs. 1.00%) 그리고 threonine (0.72 vs. 0.71%) 함량은 Ajinomoto의 데이터베이스가 Evonik 것보다 높았다. 가금류에서 아미노산 소화율을 결정하는 데 수탉과 육계의 생체분석 결과를 널리 사용하고 있지만 이들 방법에 의해 결정된 소화율을 나이와 유전적인 차이가 있는 조류의 성장률 측정에 적용할 때 아직 그 정확성을 보장할 수 없다 (Tahir and Pesti, 2012b). 육계, 칠면조 그리고 산란계 사료에서 DDGS의 경제적 가치를 더 잘 이해하기 위하여, Tahir와 Pesti (2012b)는 보통 사료회사의 사료 배합비 작성에 Ajinomoto와 Evonik의 가소화 아미노산 데이터베이스를 사용하여 비교하였다 (표 2).

표 2의 비교로부터 얻을 수 있는 몇 가지 주요 교훈이 있다.

1. 2009년부터의 사료 원료 평균가격을 사용하면 육계, 칠면조 그리고 산란계 사료의 배합비 작성시 DDGS사용의 기회가격 (shadow price)은 구매가격보다 \$65~\$139/MT 높았다. 이는 가금류 사료에서 DDGS가 시장 구매가격보다 훨씬 높은 경제적 가치를 가지고 있다는 것을 말해준다.
2. DDGS의 기회가격은 칠면조 후기와 산란전 사료를 제외하면 Evonik 아미노산 소화율 데이터베이스

를 사용했을 때 Ajinomoto 데이터베이스를 사용했을 때 보다 높았다 (\$0.2~\$6.4/MT). 이러한 차이는 Evonic 데이터베이스의 DDGS 가소화 아미노산 값이 낮기 때문일 것이며 기회가격에 기준하여 구매를 결정할 때 정확한 아미노산 소화율을 선택하는 것이 중요하다는 것을 말해준다.

3. DDGS의 가치는 저가의 사료 (예; 칠면조 후기사료)에 비해 고가의 사료 (예; 칠면조 초기사료)에서 반드시 높지는 않다.

4. DDGS의 가치는 가금의 품종과 나이에 따라 다른데, 산란전 사료에서 가장 높았고 칠면조 초기사료에서 가장 낮았다. DDGS의 경제적 가치는 육계와 칠면조에서 전기사료보다 후기사료에서 더 높았다.

5. DDGS의 값이 \$221.40~\$226.70/MT 사이에서 Evonic 자료를 사용할 경우 육계 초기사료에 7~17% DDGS를 사용하지만 Ajinomoto 자료를 사용하면 \$221.40/MT 이상에서는 DDGS를 사용하지 않거나 사용량을 줄일 것이다. 가금사료에 DDGS의 가치를 평가하고 이를 사용할 때 정확한 아미노산 소화율을 사용하는 것이 중요하다는 것이 다시 한번 강조된다.

6. 경제적인 측면에서 보면 DDGS의 가격이 \$211.10~\$191.20/MT일 때 육계초기사료 내 사용수준은 20~24%로 더 높일 수 있다. 이는 다른 경쟁원료들 가격에 비하여 DDGS의 가격이 상대적으로 저렴해 진다면 DDGS의 사용량이 더 증대될 수 있음을 시사한다.

7. 육계후기에서는 육계초기 보다 사료 내 가소화 아미노산의 요구량이 낮다. 결과적으로 데이터베이스 간에 사료의 가소화 아미노산 농도 차이는 가소화 아미노산의 농도가 높은 사료에서 보다 가소화 아미노산의 농도가 낮은 사료에서 그 중요성이 낮다. 이는 결국 기회가격과 사료 내 DDGS의 사용수준의 차이로 나타난다.

많은 영양전문가들은 DDGS의 지방함량이 감소하면 조단백질과 아미노산의 함량이 증가한다고 가정한다. 표 3에서 보는 바와 같이 이러한 성분의 변화는 지방함량이 다양한 DDGS 제품들에서 일정한 경향이 나타나지 않기 때문에 앞에서의 가정은 합당하지 않다. 예를 들어 DDGS의 조지방 함량이 감소하면 총 lysine과 threonine의 함량이 증가하지만, tryptophan의 함량은 감소하고 5.4% 지방의 DDGS는 10.5% 지방의 DDGS와 methionine의 함량이 같았다 (표 3).

지방 저감 DDGS는 10.5% 지방 DDGS와 비교했을 때 lysine, methionine, threonine 그리고 tryptophan의 아미노산의 외관상 회장 소화율 (AID)이 낮았다. 이러한 결과는 가금에 있어서 일부 아미노산의 소화율은 DDGS의 지방함량에 의해 영향을 받는다는 것을 의미한다 (Dozier 등, 2015). 그러

나 총합량과 소화율의 종합적인 변화를 고려할 때, 이 세 가지 DDGS 제품 간에 AID lysine, threonine 함량, 작지만 일관성이 없는 가소화 tryptophan 함량 그리고 변동이 심한 가소화 methionine 함량에는 차이가 없었다. 이 결과들을 보면 지방 저감 DDGS는 고지방 DDGS와 비교했을 때 몇 아미노산의 소화율이 감소했지만 가소화 아미노산의 함량에 큰 차이가 없었다. 그렇지만 변이가 있는 아미노산과 조지방을 함유한 DDGS의 가소화 아미노산 함량을 역동적으로 측정할 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

표 2. 산업체의 육계, 칠면조 그리고 산란계 사료의 배합표 작성에서 DDGS의 시장가격과 기회가격 (shadow price)의 비교 (Tahir와 Peski, 2012b)

		육계초기사료 (Ross)		육계후기사료 (Cobb)		칠면조 초기사료 (Nicholas)		칠면조 후기사료 (British UnitedTurkey Mailes)		Leghorn 산란전사료 (ISA North America)		Leghorn 피크사료 (Hy-Line)	
원료	\$/톤	Ajin.	Evo.	Ajin.	Evo.	Ajin.	Evo.	Ajin.	Evo.	Ajin.	Evo.	Ajin.	Evo.
옥수수	170	58.41	56.17	71.96	71.20	39.48	36.42	81.22	81.17	59.40	59.16	56.08	54.40
대두박	396	36.37	38.23	21.92	22.54	49.85	52.39	14.80	14.80	20.69	21.25	27.98	29.41
Wheat middlings	265	-	-	-	-	-	-	-	-	13.88	13.55	-	-
가금지방	487	2.00	2.33	2.70	2.78	5.57	6.03	1.00	1.00	-	-	4.04	4.29
L-lysine	1,666	0.17	0.19	0.18	0.19	0.33	0.35	0.18	0.19	-	-	-	-
DL-methionine	3,721	0.30	0.32	0.19	0.22	0.37	0.40	0.18	0.20	0.15	0.15	0.18	0.21
L-threonine	2,485	0.06	0.08	-	-	0.07	0.09	-	-	-	-	-	-
Limestone	45	0.65	0.65	0.68	0.68	0.73	0.73	0.61	0.61	3.90	3.90	9.08	9.08
탈불인산염	646	1.70	1.68	2.09	2.08	3.34	3.32	1.41	1.41	1.67	1.66	2.26	2.25
소금과 비타민 프리믹스	-	0.36	0.36	0.33	0.33	0.27	0.27	0.67	0.67	0.32	0.32	0.37	0.37
총사료, \$/톤		283.5	290.3	249.7	252.6	338.1	347.4	224.6	225.7	241.7	242.8	255.2	260.2
DDGS 시장가, \$/톤	154												
DDGS 기회가, \$/톤		221.4	226.7	240.6	240.8	219.9	225.2	236.3	227.6	293.5	291.5	233.8	240.2
DDGS 시장가와 기회가의 차이, \$/톤		67.4	72.7	86.6	86.8	65.9	71.2	82.3	73.6	139.5	137.5	79.8	86.2

Ajin.= Ajinomoto, Evo.= Evonik

표 3. 지방함량이 다른 DDGS 제품들의 총, 외관상 회장소화율 (AID) 그리고 외관상 회장 가소화 아미노산 (AIDAA) 함량 (Dozier 등, 2015)

영양소, %	10.5% 지방 DDGS			7.9% 지방 DDGS			5.4% 지방 DDGS		
	Total	AID	AID AA	Total	AID	AID AA	Total	AID	AID AA
수분	9.3	-	-	10.6	-	-	10.3	-	-
조단백질	27.9	-	-	27.6	-	-	29.2	-	-
Arginine	1.25	79.9	1.00	1.35	77.6	1.05	1.32	76.2	1.00
Cysteine	0.55	68.4	0.37	0.57	62.9	0.36	0.52	62.0	0.32
Histidine	0.76	75.0	0.57	0.78	71.2	0.56	0.81	72.1	0.58
Isoleucine	1.05	73.3	0.77	1.05	69.8	0.73	1.13	70.2	0.79
Leucine	3.40	83.5	2.84	3.27	80.1	2.62	3.54	80.3	2.84
Lysine	0.81	55.2	0.45	0.87	51.0	0.44	0.89	50.4	0.45
Methionine	0.55	79.1	0.43	0.64	77.8	0.50	0.54	72.2	0.39
Phenylalanine	1.43	79.9	1.15	1.41	76.7	1.09	1.53	76.8	1.18
Threonine	1.08	61.2	0.66	1.11	56.6	0.63	1.16	56.3	0.65
Tryptophan	0.29	76.7	0.15	0.22	73.3	0.16	0.20	70.8	0.14
Valine	1.43	73.3	1.05	1.45	69.9	1.01	1.52	70.1	1.07

Adedokun 등 (2015)은 육계 (21일령, Ross 708)와 산란계 (30주령, Hy-Line W36)에서 5개의 DDGS 제품의 아미노산 표준회장소화율 (SID)을 측정하였다. 다섯 개 DDGS 제품은 8.25~9.79%의 조지방을 함유하고 있었고 건물과 조단백질의 AID와 아미노산 SID의 변이를 측정하였다 (표 4). 지방함량이 비슷한 DDGS 제품이라도 건물과 조단백질과 필수아미노산의 소화율에는 상당한 차이가 있었으며, 산란계에서 아미노산의 SID는 평균 9.9% 차이가 있었다. 예상했던 바와 같이 SID lysine 계수는 변이가 가장 심하고 (41.3~56.5%), 다음으로 cysteine (56.8~69.0%), methionine (67.9~78.6%) 그리고 valine (55.8~66.5%)이었다. 육계에서 DDGS 제품의 아미노산 SID의 변이는 평균 7.1%로 산란계에서 보다 적었다. 산란계에서와 같이 육계에서도 가장 큰 SID 변이를 보인 아미노산은 lysine (49.9~ 63.3%)이며, 다음이 isoleucine (67.8~76.8%), valine (68.5~75.9%), threonine (61.7~69.0%) 그리고 methionine (77.7~85.0%) 이었다. 육계에서 lysine과 methionine의 SID는 산란계보다 각각 8.2와 7.4% 포인트가 높았다. 이 결과들은 산란계사료에 DDGS를 사용할 때는 육계와는 다른 아미노산 소화율 계수를 사용해야 한다는 것과, 가금에서 DDGS를 사용할 때는 아미노산 SID를 역동적으로 예측할 수 있는 정확한 방법이 필요하다는 것을 시사한다. 더욱이 이 예측치들은 산란계에서 DDGS에 대해 최초로 발표된 SID 값으로 정밀영양 산란계사료를 배합 시 이 값을 사용해야한다.

DDGS 제품들 간에는 가소화 아미노산 함량의 변이가 매우 심하고, 가소화 아미노산을 역동적으로 예측할 수 있는 방법의 필요성 때문에 Zou 등 (2017)은 19개 논문으로부터 추출한 86개의 관측치를 기초로 메타분석을 실시하여 가금에서 옥수수과 밀 DDGS의 아미노산 SID의 예측방정식을 개발하고자 하였다. 이 연구에서 발표된 옥수수 DDGS의 전체 평균 화학성분과 변이 계수는 표 5에 보여주고 있다. 예상대로 옥수수 DDGS 제품들은 화학성분의 변이가 심했는데 견실한 예측방정식 개발의 중요성을 보여준다. DDGS 제품들 간에 변이가 가장 심한 것은 lysine 함량이었다. SID가 가장 높은 것은 leucine (85.0%)과 tryptophan (84.5 %)이었고, 가장 낮은 것은 lysine (62.7 %)이었다 (표 6). 옥수수 DDGS의 SID 아미노산 함량의 평균, 범위, 변이 계수는 표 7에서 보여주고 있다.

표 4. 다섯개의 옥수수 DDGS 제품의 건물과 조단백질의 외관상 회장 소화율 (AID) 및 아미노산 표준회장소화율 (SID) 계수 (%)의 범위 (Adedokun 등, 2015)

영양, %	산란계	육계
건물	40.8 - 50.5	42.2 - 51.1
조단백질	59.6 - 68.3	72.2 - 78.2
Arginine	66.0 - 74.7	76.0 - 82.6
Cysteine	56.8 - 69.0	71.6 - 76.5
Histidine	63.7 - 70.5	70.4 - 75.8
Isoleucine	59.6 - 68.5	67.8 - 76.8
Leucine	72.1 - 80.3	81.8 - 86.0
Lysine	41.3 - 56.5	49.9 - 63.3
Methionine	67.9 - 78.6	77.7 - 85.0
Phenylalanine	71.4 - 78.0	77.2 - 82.5
Threonine	52.8 - 63.8	61.7 - 69.0
Valine	55.8 - 66.5	68.5 - 75.9

표 5. 19개의 논문에서 발표된 옥수수 DDGS의 화학적 조성 (%)과 이를 사용한 표준회장 소화 (SID) 아미노산 함량 (88% 건물)의 예측 (Zhu 등, 2017)

변수	n	평균	CV ¹ %
조단백질	59	27.16	11.1
회분	8	4.66	9.3
지방	24	10.24	27.8
조섬유	7	8.10	41.0
NDF	38	35.66	12.1
ADF	20	9.92	19.4
필수아미노산			
Arginine	75	1.18	16.5
Cysteine	72	0.50	12.4
Histidine	67	0.70	12.1
Isoleucine	75	1.00	15.9
Leucine	75	3.13	11.5
Lysine	75	0.79	19.9
Methionine	75	0.50	15.8
Phenylalanine	67	1.28	12.5
Threonine	75	1.00	11.2
Tryptophan	51	0.20	19.4
Valine	75	1.33	12.4

¹ Coefficient of variation

표 6. 옥수수 DDGS의 표준회장소화율 (SID, %)의 평균, 범위와 변이계수 (Zhu 등, 2017)

변수	n	평균	최소	최대	CV ¹ %
Arginine	75	81.5	53.0	92.6	9.7
Cysteine	67	74.3	49.0	91.9	14.3
Histidine	67	76.3	47.0	89.4	11.4
Isoleucine	75	77.0	52.0	89.4	11.1
Leucine	75	85.0	64.3	93.7	7.3
Lysine	75	62.7	31.3	84.8	19.0
Methionine	75	82.9	53.2	98.4	10.0
Phenylalanine	67	81.6	58.3	91.0	8.3
Threonine	75	70.9	39.2	89.7	12.8
Tryptophan	22	84.5	60.2	92.2	10.7
Valine	75	75.9	48.8	90.6	11.5

¹ Coefficient of variation

표 7. 옥수수 DDGS의 표준회장 소화 (SID) 아미노산 함량의 평균, 범위와 변이계수 (Zhu 등, 2017)

변수	n	평균	최소	최대	CV ¹ %
Arginine	75	0.96	0.47	1.48	21.1
Cysteine	67	0.37	0.22	0.69	22.0
Histidine	67	0.54	0.29	0.83	19.2
Isoleucine	75	0.77	0.49	1.38	23.1
Leucine	75	2.67	1.90	4.24	15.4
Lysine	75	0.51	0.16	0.84	31.6
Methionine	75	0.42	0.22	0.71	21.7
Phenylalanine	67	1.05	0.70	1.63	17.9
Threonine	75	0.71	0.36	1.10	20.1
Tryptophan	22	0.18	0.08	0.26	26.8
Valine	75	1.02	0.60	1.64	20.6

¹ Coefficient of variation

총아미노산 함량은 표준아미노산 함량 예측 방정식에 포함되는 유일한 화학성분이자 (표 8) 가장 예측할 수 있는 변수이면서 변수의 대부분을 차지한다. 개발된 예측방정식은 평균제곱근편차 (RMSE; root mean square error)가 작고 (0.01~0.36), 결정계수 (R^2)가 큰데, 이는 수치변이의 84~99%를 설명한다. 예측 모델 평가는 linear bias와 mean bias를 대표하는 기울기 (slope)와 절편 (intercept)이 모든 아미노산에서 0과 1에서 별로 차이가 없는 것을 보여주었는데, 이는 방정식이 가금에서 DDGS의 SID 아미노산을 예측하는 데 신뢰도가 매우 높다는 것을 시사한다 (표 9). 가금에서 사료 원료의 아미노산 소화율을 결정하기 위하여 가장 흔히 쓰는 두 가지 방법은 3주령 병아리로 표준 회장 아미노산 소화율 생체시험을 하는 것이고 다른 하나는 맹장절제 수탉으로 정밀급여하는 것이다. 하지만 이들 방법을 통해 얻어진 아미노산 소화율 예측치는 차이가 있어 일부 영양전문가는 한쪽 방법에서 얻어진 자료를 다른 방법에서 얻어진 것 보다 선호한다. 따라서 육계 병아리 분석 시험 자료와 정밀 급여 맹장절제 수탉의 시험분석 자료로 예측 방정식을 개발했다 (표 10).

표 8. 가금에서 화학성분으로부터 DDGS의 표준회장가소화 아미노산 함량을 예측하는 방정식 (Zhu 등, 2017)

아미노산, %	방정식 ¹	R ²	RMSE	Prediction Error	Prediction Bias
Arginine	$y = -0.20 + 0.96x$	0.95	0.13	0.19	0.31
Cysteine	$y = -0.07 + 0.88x$	0.87	0.09	0.09	0.29
Histidine	$y = -0.17 + 1.00x$	0.91	0.08	0.10	0.46
Isoleucine	$y = -0.01 + 0.77x$	0.94	0.12	0.20	0.55
Leucine	$y = -0.60 + 1.04x$	0.93	0.36	1.48	2.57
Lysine	$y = -0.22 + 0.91x$	0.87	0.16	0.25	0.25
Methionine	$y = -0.12 + 1.05x$	0.90	0.08	0.06	0.08
Phenylalanine	$y = -0.15 + 0.93x$	0.99	0.06	0.22	> 0.001
Threonine	$y = -0.17 + 0.88x$	0.84	0.24	0.23	0.73
Tryptophan	$y = -0.03 + 1.00x$	0.99	0.01	> 0.001	0.01
Valine	$y = -0.19 + 0.90x$	0.93	0.15	0.40	0.82

¹ y is the predicted standardized ileal digestible amino acid content and x is the total concentration of the amino acid in DDGS.

표 9. 가금에서 화학성분으로 부터 DDGS의 표준화장 가소화 아미노산 함량을 산출한 예측치와 관측치의 비교 (Zhu 등, 2017)

아미노산, %	관측치 평균	예측치 평균	절편	표준오차	P value
Arginine	0.97	0.97	0.01	0.02	0.75
Cysteine	0.38	0.37	0.00	0.02	0.98
Histidine	0.54	0.53	0.01	0.02	0.59
Isoleucine	0.79	0.79	0.02	0.02	0.50
Leucine	2.58	2.55	0.06	0.08	0.46
Lysine	0.50	0.50	0.01	0.02	0.69
Methionine	0.42	0.42	0.01	0.01	0.54
Phenylalanine	1.09	1.08	0.03	0.03	0.35
Threonine	0.71	0.71	0.01	0.03	0.84
Tryptophan	0.18	0.18	0.00	0.00	0.30
Valine	1.03	1.02	0.03	0.04	0.45

표 10. 육계 병아리 시험과 맹장 절제 수탈을 사용하여 화학성분으로부터 DDGS의 표준화장가소화 아미노산 함량을 예측하는 방정식 (Zhu 등, 2017)

아미노산	병아리 분석			수탈 분석		
	방정식 ¹	R ²		방정식 ¹	R ²	RMSE
Arginine	$y = -0.16 + 0.89x$	0.90	0.15	$y = -0.09 + 0.95x$	0.99	0.03
Cysteine	$y = -0.05 + 0.82x$	0.79	0.10	$y = -0.08 + 0.98x$	0.97	0.02
Histidine	$y = -0.24 + 1.06x$	0.88	0.08	$y = -0.08 + 0.95x$	0.99	0.04
Isoleucine	$y = -0.03 + 0.71x$	0.90	0.13	$y = -0.11 + 0.95x$	0.99	0.04
Leucine	$y = -0.79 + 1.08x$	0.87	0.37	$y = -0.12 + 0.94x$	0.98	0.09
Lysine	$y = -0.24 + 0.90x$	0.73	0.21	$y = -0.20 + 0.97x$	0.99	0.05
Methionine	$y = -0.16 + 1.12x$	0.81	0.10	$y = -0.05 + 0.97x$	0.99	0.01
Phenylalanine	$y = -0.19 + 0.95x$	0.76	0.27	$y = -0.13 + 0.98x$	0.98	0.03
Threonine	$y = -0.14 + 0.82x$	0.82	0.13	$y = -0.15 + 0.94x$	0.99	0.04
Tryptophan	$y = -0.08 + 1.13x$	0.99	0.01	$y = -0.01 + 0.92x$	0.98	0.01
Valine	$y = -0.17 + 0.86x$	0.86	0.16	$y = -0.13 + 0.92x$	0.98	0.06

¹ y is the predicted standardized ileal digestible amino acid content and x is the total concentration of the amino acid in DDGS.

마지막으로, 많은 일반 사료공장에서는 근적외선 반사분광기 (NIRS)를 사용하여 신속하고 경제적으로 여러 가지 원료의 영양성분 자료를 얻을 수 있어 배합표 작성에 필요한 영양소 성분 데이터베이스를 바로 갱신할 수 있다. 여러 가지 NIRS 장비에 적용할 수 있도록 DDGS의 총아미노산 그리고 가소화 아미노산의 측정을 위한 calibration이 개발되었다. Soto 등 (2013)에 의한 최근의 시험에서는 사료 원료의 아미노산과 열량 함량을 결정할 때 육계사료 배합표 작성에서 다른 전략을 평가하였다. 이 연구자들은 문헌에 발표된 총아미노산과 가소화 아미노산 그리고 ME 값을 NIRS로 측정한 값을 배합비 작성에 적용하여 육계의 성장률과 도체성분을 비교하였다. 이 연구의 결과 Foss NIRS를 사용하여 옥수수, 대두박 그리고 DDGS의 가소화 아미노산과 ME 함량을 측정하여 이 자료들을 사료배합에 적용하였을 때, 발표된 영양성분표로부터 얻은 총 아미노산가를 사용했을 때 보다 증체율과 사료요구율이 개선되었다.

가용과 가소화 인

다른 곡류와 곡류부산물들에 비해 DDGS는 가금류에게 최대의 가소화 그리고 가용 인의 공급원이다. Tahir 등 (2012)은 옥수수, 대두박, 제빵부산물, 밀, 캐놀라 박, wheat middling, 과말분과 옥수수 DDGS 등 다양한 원료 샘플들 중에서 옥수수 DDGS가 phytate 함량이 가장 낮고 non-phytate 함량이 가장 높다고 하였다. 89개의 DDGS 샘플의 총인의 평균함량은 0.96% 이고 phytate의 평균 함량 (건물 기준)은 0.26%이었다. 이들 값은 각각 NRC (1994) 값의 124%와 72%이었다. 이것은 DDGS 값으로 NRC (1994) 값을 이용하면, 결과적으로 총인의 함량과 가용인은 과소평가하고 phytate인은 과대평가한다는 것을 나타낸다. 이 연구자들은 비록 DDGS의 phytate P 함량이 Ca 함량과 양 (positive)의 상관관계를 가지고 있지만, NDF, ADF 그리고 조지방함량과는 음 (negative)의 상관관계를 가지고 있어, DDGS의 조성분 분석치를 가지고 phytate 함량을 예측하기 위해 개발한 최적 회귀모델 (best fit regression model)의 예측능력 ($R^2=0.37$)은 높지 않았다. 그 결과 가금류에 있어서 DDGS의 가소화 또는 가용 인 함량을 정확하게 예측할 수 있는 방정식은 개발되지 않고 있다.

Mutucumarana 등 (2014)에 의한 연구에 의하면 옥수수 DDGS의 진정 가소화 인의 함량은 0.59%인데 이는 총인의 73%에 해당한다 (표 11). 그렇지만 Mutucumarana (2014)에 의해 평가된 모든 사료들은 Ca와 P의 함량이 부족하였기 때문에 인의 이용률을 과대평가한 것으로 보인다. 왜냐하면 사료의 Ca함량이 요구량 이하일 때는 phytate 인의 이용률이 증가하며 (Mohammed 등, 1991; Tamin과 Angel, 2003), 인이 충분한 사료에 비해 인이 부족한 사료를 급여할 때는 장내 phytase의 활성이 유의하게 증가하기 때문이다 (Davis 등, 1970). 표 11에서 보여주는 바에 의하면 non-phytate P를 원료의 가소화 P를 평가하는 데 사용하는 것은 정확한 방법이 아니다. 왜냐하면 모든 원료 내 가소화 인의 함량은 non-phytate P의 함량보다 높았기 때문에 닭들이 non-phytate P의 일부를 사용할 수 있다는 것을 시사한다.

표 11. 밀, 수수, 대두박, 그리고 옥수수 DDGS의 인 함량과 소화율 (Mutucumarana 등, 2014)

측정, %	밀	수수	대두박	옥수수 DDGS
총 P ¹	0.32 (0.37)	0.24 (0.30)	0.65 (0.62)	0.82 (0.72)
Phytate P	0.21	0.18	0.43	0.38
Non-phytate P ¹	0.11 (0.13)	0.06	0.22 (0.22)	0.44 (0.39)
진정 가소화 인	0.15	0.08	0.52	0.59
총인의 %				
Phytate P	66	77	67	47
Non-phytate P	35	23	33	53
진정 가소화 인	46	33	80	73

¹ Values in parentheses are from NRC (1994)

닭들이 phytate P를 사용하는 능력은 사료 내 Ca, P, 비타민 D, 조섬유 그리고 원료 성분구조 속의 phytate의 위치와 용해도, 사료가공 그리고 닭의 연령에 따라 변한다 (Ravidran 등, 1995; Angel 등, 2002). Martinez-Amezcuca 등 (2006)은 DDGS 내의 인의 이용률을 높이기 위해 육계사료에 OptiPhos[®] phytase와 구연산 첨가효과를 평가하기 위한 세 개의 실험을 실시하였다. 한 개의 실험에서 닭 성장 기율기비율 분석법 (slope-ratio chick growth)과 경골회분 분석을 통해 결정한 DDGS 내 인의 생체이용률은 67%이었다. 다른 실험에서는 phytase와 구연산의 첨가는 DDGS로부터 0.04~0.07% 더 많은 인을 방출하였다. 이는 OptiPhos[®] phytase와 구연산은 가금에서 DDGS 내 인의 이용률을 증가 시키기 위하여 사용될 수 있음을 시사한다. Phytase와 구연산의 첨가는 DDGS 내 인의 생체이용률을 62%에서 72%로 증가시켰다.

Wamsley 등 (2013)은 그들이 평가한 DDGS 인의 이용률은 66~68%이라고 보고하였는데 이는 Martinez-Amezcuca 등 (2006)이 보고한 값과 유사하다. 그러므로 가금에서 인의 소화율과 이용률을 정확하게 추정하는 방법이 개발될 때까지는 닭에서 DDGS 내 총인의 약 66%가 이용된다고 보는 것이 합리적이다.

육계에 지방 저감 DDGS 급여

성장률과 도체 특성

2010년 이후 육계사료에 DDGS 사용수준이 성장률에 미치는 영향을 평가하기 위하여 17개의 연구가 수행되었는데 그 실험들의 전체 결과를 표 12에 요약하였다. 이 17개 시험 중 6개는 육계에게 지방 저감 DDGS를 다양한 수준에서 급여하는 효과를 평가하는 것이었다.

표 12. 사료 내 DDGS의 여러 가지 함유 수준이 육계의 생산성에 미치는 반응에 대한 연구 결과들의 요약

DDGS 함유율	사양기간	DDGS지방함량	생산성효과	참고
0, 8, 16, 18, 24, 30% 0, 18, 16, 24%	후기 I - 28~42 d 후기 II - 43~56 d	7.4%	후기동안 24% DDGS 사료 급여 시 ADG, 사료 섭취량, 그리고 사료전환율 (FCR)에는 영향이 없었음	Kim 등, 2016
0, 2.7, 5.4, 8.1% 0, 2, 4, 6 %	초기 - 0~28 d 후기 - 29~42 d	보고없음	대두박 20% 대체 (4~ 5.4% DDGS) 시 증체가 향상되고 사료비 감소	Gacche 등, 2016
0, 6, 12%	초기 - 0~10 d 중기 - 1~21 d 후기 - 22~42 d	6.5%와 5.4%	DDGS의 지방함량과 사료 내 함유량에 관계없이 전체 ADG, ADFI 그리고 Gain:Feed에 영향이 없음.	Cortes-Cuevas, 2015
0, 5, 10%	0~35 d	10.5%	35일령까지 10% DDGS 함유 사료를 급여 시 ADG, ADFI, 그리고 G/F에 영향이 없음.	Hassan과 Al Aqil, 2015
0, 15%	초기 - 0~21 d 중기 - 22~42 d	보고없음	15% DDGS 급여 시 ADG, 평균일당 사료 섭취량 (ADFI), 그리고 F/G가 21일령과 42일령에 차이가 없음.	Min 등, 2015
0, 5, 10, 15%	초기 - 0~21 d	8.2%	15% DDGS 사료 급여는 0과 5% DDGS 사료와 비교하여 7일과 14일령에 ADG 감소, 그리고 0과 10% DDGS 사료와 비교하여 21일령에 감소, 사료전환율 (FCR)은 15% DDGS 사료 급여 시 타 급여구에 비해 14일령에는 감소하였지만 21일 령에는 차이가 없었음.	Campasino 등, 2015
5, 7, 9% 또는 8, 10, 12%	초기 - 0~13 d 중기 - 14~26 d 후기 - 27~33 d	10.5, 7.8, 5.4%	DDGS의 조지방 함량은 성장률에 영향이 없음. DDGS 5, 7, 그리고 9% 첨가는 8, 10, 12% 첨가구에 비해 ADG, 사료 섭취량을 증가시키고, 그리고 FCR을 향상시켰다.	Dozier와 Hess, 2015
0 또는 12% - 초기 0 또는 18% - 후기	초기 - 0~21 d 후기 - 21~ 42d	11.0%	동열량, 동질소로 초기사료에 12% DDGS, 후기사료에 18% DDGS 급여 시 ADG, ADFI, 그리고 G/F에 영향이 없음.	Swiatkiewicz 등, 2014
10% 20% 20%	초기 - 0~17 d 중기 - 17~35 d 후기 - 35~49 d	11%, 4%	육계 초기 및 중기사료에서 고 또는 저지방 DDGS는 ADG, ADFI, 그리고 G/F에 영향이 없었음. ADFI는 저지방 DDGS 급여 시 전기간 높았으나, ADG와 G/F에는 차이가 없음	Kubas와 Firman, 2014
7%	초기 - 1~ 21 d 후기 - 22~48 d	보고없음	사료 원료의 NRC (1994) 값 보다 NIRS 측정 AA 함량을 사용하였을 때 BW gain (체중증가)가 향상되었다. 총AA 대신에 NIRS 측정 가소화 AA를 사용했을 때를 21일령에서 사료전환율이 향상되었음.	Soto 등, 2013
0, 10, 20%	초기 - 0 to 18 d	12.5%, 7.5%, 6.7%	DDGS 지방함량에 관계없이 20% DDGS 사료 급여 시 BW, 사료 섭취량, 사료전환율에 영향이 없음.	Guney 등, 2013

표 12. 사료 내 DDGS의 여러 가지 함유 수준이 육계의 생산성에 미치는 반응에 대한 연구 결과들의 요약

DDGS 함유율	사양기간	DDGS지방함량	생산성효과	참고
0, 10, 20%	초기 - 7 to 21 d	보고없음	DDGS 함량 증가는 7~14일령에 ADG를 직선적으로 감소시켰으나, 이기간 동안 ADFI와 G/F에는 차이가 없었음. 15~21d에는 ADFI가 곡선적인 반응을 보였으나, ADG와 G/F에는 차이가 없음.	Perez 등, 2011
0, 10, 20%	초기 - 0~21 d 후기 - 22~42 d	보고없음	DDGS 급여는 1~21d에 ADFI를 증가시켰지만 ADG와 사료전환율(FC)을 감소시켰다. 그리고 22~42d 에는 ADFI, ADG, FC를 감소시켰다. 10% DDGS vs 20% DDGS는 1~21d에는 성장률에 영향이 없었으나 22~42d 에서는 ADG와 FC를 개선시켰다.	Liu et 등, 2011
0, 8% 0. 7.5, 15, 22.5, 30%	초기 - 0~14 d 중기 - 14~28 d	보고없음	초기사료에 8% DDGS를, 그리고 후기사료에 7.5~15% DDGS 급여 시 무난한 성장률을 보여주었다.	Loar 등, 2010
0, 5, 10%	0~42 d	12.6%	전체 ADG, ADFI, FC에 영향이 없음. Extrusion 은 옥수수 DDGS의 AA 소화율을 증가시킴.	Oryschak 등, 2010
0, 10, 20, 30, 40, 50%	초기 - 0~14 d 중기 - 14~35 d 후기 - 35~49 d	보고없음	육계에서 가소화 아미노산 기준으로 배합 시 49일령 까지는 DDGS를 20%까지 사용해도 성장률에 지장이 거의 없음. DDGS를 30% 이상 사용 시는 성장률이 감소함.	Wang 등, 2008
0, 15, 30 %	초기 - 0~14 d 중기 - 15~35 d 후기 - 36~42 d	9.4%	사료를 가소화 AA를 기준으로 배합했을 때 15% DDGS 사료를 계속 급여하거나 0과 15% DDGS 사료를 교차로 급여했을 때 ADG, ADFI, G/F에 영향이 없었다. 30% DDGS 급여 시는 ADG와 ADFI를 감소시킴.	Wang 등, 2007

Loar 등 (2010)은 0 또는 8% DDGS를 초기사료 (0~14d) 그리고 0, 7.5, 15, 22.5 또는 30% DDGS를 중기사료 (14~28d)에 첨가하는 효과를 평가하였다. 사료요구율 (feed conversion; FC)과 치사율은 사료 내 DDGS의 배합 수준에 의해 영향을 받지 않았지만, 성장률은 DDGS를 15% 이상 급여 시 감소하였다. 한편 Shim 등 (2011)은 첨가 열량원으로 가금류 지방을 사용하여 동열량으로 그리고 합성 아미노산을 사용하여 가소화 아미노산 기준으로 배합한 0, 8, 16와 24%의 DDGS 사료를 급여하였다. 대조구에 비해 8% DDGS를 급여한 닭이 마지막 초기단계 (18일령)에서 증체량이 향상되었으며, 42일령에는 DDGS 처리구들 간에 증체량이나 사료효율에 차이가 없었다. 육계의 지방조직, 가슴살 수율 그리고 도체품질은 24%까지 DDGS를 급여한 구들 사이에 차이가 없었다. 이러한 결과는 가소화 아미노산 기준으로 육계사료를 배합할 경우 DDGS를 24%까지 사용하여도 성장률과 도체나 육질에 영향이 없음을 보여준다.

Guney 등 (2013)은 지방함량이 다른 DDGS를 0, 10 또는 20% 배합한 육계초기와 중기사료를 급여하였다. 일령이 0~18일 일때 증체량, 사료 섭취량 그리고 사료전환율에는 부정적 영향이 없었다 (표 13). 실제로 지방함량이 가장 낮은 DDGS를 사용한 10% DDGS구에서는 사료이용율이 향상되었다.

Kim 등 (2016)은 지방 저감 (7.4% 조지방) DDGS를 30%까지 배합한 사료를 급여하였을 때 28~42일령 육계후기 (후기 1: 표 14)와 43~56일령 (표 15) 육계의 성장률과 도체조성에 미치는 영향을 조사하였다. 육계후기 1단계에서는 성장률 감소를 보인 30% DDGS 배합 사료를 제외한 나머지 DDGS 배합수준 간에는 증체량, 사료 섭취량, 사료전환율에 차이가 없었다. 그러나 도체중이나 도체지방, fillet, tender와 총가슴살의 무게는 DDGS 처리수준 간에 차이가 없었다. 마찬가지로 후기 2단계에도, Kim 등 (2016)은 지방 저감 DDGS를 24%까지 급여한 구에서는 성장률이나 도체조성에 차이가 없었다. 그러므로 지방 저감 DDGS는 육계 초기와 중기사료에 20%까지 급여할 수 있으며, 후기사료에는 24%까지 사용하여도 성장률이나 도체 특성에 영향을 주지 않는다는 연구 결과들이 증가하고 있다. 그러나 사료배합 시 지방 저감 DDGS의 정확한 AME와 가수화 단백질질을 사용하여야 만족할 수 있는 성장률과 도체조성을 얻을 수 있을 것이다.

표 13. 지방함량이 다른 DDGS 0, 10, 또는 20%를 사료에 첨가 시 0~18일령 육계의 성장률에 미치는 영향 (Guney 등, 2013)

	대조	12.5% 조지방 DDGS		7.5% 조지방 DDGS		6.7% 조지방 DDGS	
사료 내 함유 수준	0%	10%	20%	10%	20%	10%	20%
18일령 체중, g	596	666	615	607	615	650	598
0~18일 간 사료 섭취량, g/brid/day	53.6	56.0	56.8	54.2	55.9	53.3	56.7
Gain:Feed	1.61	1.51	1.66	1.61	1.63	1.47	1.70

^{a,b,c} Means with different superscripts within row are different (P less than 0.05).

표 14. 지방 7.4% DDGS를 증가시키면서 육계후기 1기 사료에 첨가 시 성장률과 도체조성에 미치는 영향 (Kim 등, 2016)

후기 1, 28~42 일령	사료 내 DDGS 함유율					
	0%	6%	12%	18%	24%	30%
증체량, kg	1.60 ^a	1.64 ^a	1.57 ^a	1.56 ^a	1.56 ^a	1.42 ^b
사료 섭취량, kg	3.01	3.06	3.05	2.97	2.98	3.00
Gain:Feed	1.84 ^b	1.87 ^b	1.90 ^b	1.89 ^b	1.90 ^b	2.03 ^a
BW, 43일령, kg	2.63	2.70	2.62	2.72	2.58	2.60
도체중, kg	1.92	1.97	1.91	1.98	1.87	1.87
도체수율, %	73.5 ^a	73.2 ^{ab}	73.5 ^a	72.9 ^{abc}	72.8 ^{bc}	72.3 ^c
지방, g	27	28	28	28	25	29
Fillet, g	461	481	471	483	458	461
Tender, g	98	100	98	98	96	94
총가슴살, g	559	581	569	581	553	554

a,b,c Means with different superscripts within row are different (P less than 0.05).

표 15. 지방 7.4% DDGS를 증가시키면서 육계후기 2기 사료에 첨가 시 성장률과 도체조성에 미치는 영향 (Kim 등, 2016)

후기 2, 43~56일령	사료 내 DDGS 함유율			
	0%	8%	16%	24%
증체량, kg	1.45	1.47	1.42	1.44
사료 섭취량, kg	3.00	3.14	3.02	3.06
Gain:Feed	2.08	2.09	2.07	2.08
BW, 57일령, kg	4.61	4.67	4.60	4.66
도체중, kg	3.51	3.47	3.49	3.52
도체수율, %	75.6	75.2	75.7	76.1
지방, g	79	77	78	80
Fillet, g	976	964	972	988
Tender, g	179	178	180	182
총가슴살, g	1,155	1,142	1,152	1,170

a,b,c Means with different superscripts within row are different (P less than 0.05).

육계에서 DDGS 배합 사료의 급여효과를 더 상세하게 규명하기 위하여 19개의 논문에서 발표된 성장률에 관한 자료를 요약하는 메타분석을 실시하였다 (Martinez-Amezcu 등, 2006; Wang 등, 2007; Wang 등, 2008; Loar 등, 2010; Olukosi 등, 2010; Oryschak 등, 2010; Liu 등, 2011; Min 등, 2011; Barekatin 등, 2013a, b, c; Guney 등, 2013; Wamsley 등, 2013; Swiatkiewicz 등, 2014; Campasino 등, 2015; Cortes-Cuevas 등, 2015; Hassan과 Al Aqil, 2015; Min 등, 2015; Kim 등, 2016). 메타분석의 결과는 표 16, 17 그리고 18에서 보여준다.

DDGS 사료 급여는 70개의 관측치에서 증체량에 영향이 없고, 사료 섭취량을 3% 증가하고, 사료효율을 1.5% 개선하였다 (표 16). 실제로 관측치의 73%는 증체량에 차이가 없거나 개선시켰으며, 관측치의 85%는 사료 섭취량이 변화가 없거나 향상되었고, 사료효율은 91%에서 변화가 없거나 향상되었다 (표 17). DDGS의 급여는 후기나 전체급여기간에 비해 초기에 증체량과 사료효율이 향상되었다 (표 18). DDGS를 20% 이상 배합한 사료 급여 시 사료효율이 5.5% 직선적으로 증가하였으나 20% 이하 DDGS 배합 사료에서는 그 효과가 미미하였다. 이 결과들은 육계 초기, 중기, 후기 사료에 DDGS를 20%까지 효과적으로 사용할 수 있으며, 증체량, 사료 섭취량, 사료효율에는 영향이 최소한이었다.

표 16. 육계 사료에 DDGS 첨가가 생산성에 미치는 영향 (2010년부터 수행된 19개 연구의 요약)¹

항목	DDGS - 대조구 (expressed as %)			개시체	종료체	급여일수
	BW ² gain	사료 섭취량	Gain:Feed			
관측 수	70	70	70	67	67	70
연구 수	16	16	16	15	15	16
평균	2.7	3.0**	1.5**	345	1,812	26
최소	-23.4	-6.5	-21.2	25	302	5
최대	76.5	50.8	25.1	3,200	4,660	49

** Means differ from 0 (P less than 0.05).

¹ The inverse of pooled standard error of observations was used as a weight factor in the analysis.

² BW = body weight

표 17. 육계에서 대조구 사료와 비교하여 DDGS 사료 급여 시 생산성 반응 요약 (2010년부터 수행된 19 연구의 요약)

항목	N	사료 내 옥수수 DDGS ¹ 에 대한 반응		
		Increased	Reduced	Not changed
증체량	70	15	19	36
사료 섭취량	67	22	10	35
Gain:Feed	70	17	6	47

¹ The number of significant and non-significant results.

표 18. 옥수수 DDGS의 급여 수준과 급여기간이 육계의 생산성에 미치는 영향에 대한 연구 요약 (2010년 이후의 19개 연구 요약)¹

항목	급여기간				DDGS 함유 수준, %			
	초기	후기	합계	SE	< 10	10~20	> 20	SE
관측수	26	14	30	-	21	34	15	-
연구 수	8	3	7	-	9	14	7	-
증체 ²	0.56	-5.42	-5.57	2.70	-0.89	-2.57	-6.97	2.85
사료 섭취량	0.14	-3.31	-0.25	1.73	1.10	-1.64	-2.87	1.95
Grain:Feed ²	-0.05	1.59	4.17	1.40	-0.38	0.54	5.54	1.55

¹ The least squares means value were reported. The inverse of pooled standard errors of observations was used as a weight factor in the analysis. The starter phase was from 0-21 days and the finisher phase was from 21-42 or 49 days. If broilers were fed from 0-42 or 49 days, then growth performance for the entire period was used instead of individual phases.

² Every percentage unit (percent) increase in dietary DDGS inclusion resulted in a 0.34 percent decrease (relative percentage) in body weight gain and a 0.32 percent increase in Gain:Feed.

도체와 육질

연구자들은 육계사료에 DDGS를 첨가하면 도체와 육질에 긍정적인 반응을 보이는 것을 지속적으로 관찰해 왔다. Corzo 등 (2009)은 육계에게 0 또는 8%의 DDGS를 배합한 사료를 급여하였을 때 육색, pH, 조리손실 그리고 전단력을 관찰한 결과 차이가 없었다. 한편 육질에는 차이가 없었으나 소비자들의 받아들이는 풍미와 기호도는 대조구 육계의 고기가 약간 높았다. 그러나 소비자들은 두 처리구로부터 생산된 닭가슴살을 “적당히 좋음”으로 표현했으며, “적당”과 “매우 좋음”의 기호도는 분별할 수 없었다. 두 사료 처리구로부터 생산된 닭가슴살의 육감적인 특징은 차이를 느낄 수 없었으나 DDGS를 먹은 육계의 계육은 장기간 저장 시 과산화에 민감한 linoleic 산과 PUFA의 함량이 높았다. 전체적으로 8% DDGS 사료를 먹은 닭들은 품질의 차이가 거의없는 고품질의 가슴살과 다리살을 생산하며 품질의 차이는 미미하였다.

Schilling 등 (2010)은 0, 6, 12, 18 그리고 24% DDGS를 배합한 육계사료를 42일 간 급여했을 때, 사료 내 DDGS의 배합 수준에 관계없이 고품질의 가슴살을 얻을 수 있었다. 0~12% DDGS를 함유한 사료를 섭취한 육계의 다리살의 품질은 처리구 간에 유사하였지만, 높은 수준의 DDGS 사료를 급여한 닭의 다리살은 과산화에 더 취약하였다.

산화 스트레스와 면역 반응

여러 동물에서 DDGS가 산화스트레스를 감소시키고 면역기능과 건강을 향상시키는 화학성분을 가지고 있다는 증거가 쌓이고 있다. 옥수수 DDGS는 강력한 항산화 기능을 가지고 있다고 알려진 tocopherols, tocotrienols 그리고 xanthophylls를 함유하고 있다 (6장 참조). 더욱이 옥수수 DDGS는 10%의 잔여 효소를 가지고 있는데 효모벽에는 동물 건강에 유익하다고 알려진 특수성분들 (mannans, α -glucans 그리고 nucleotides)이 들어있다 (Shurson, 2017).

Min 등 (2015)은 면역억제 켈린지 (dexamethasone) 하에서 0 또는 15% DDGS 사료를 육계에게 6주간 급여 시 그 효과를 평가하였다. 면역억제 처리를 한 닭은 증체율과 사료요구율이 감소되었으나, DDGS 사료를 급여한 구는 성장률에 영향이 없었다. 흥미로운 것은 DDGS 사료를 급여한 21일령 육계에서 혈청 항산화력과 혈청과 간의 총 superoxide dismutase 활성을 감소시켰으나 혈청 IgA, IgG 그리고 malondialdehyde의 함량은 증가하였다. DDGS 급여 닭들은 대조구 사료 급여구에 비해 IL-4와 IL-6을 부호화 하는 mRNA가 비교적 풍부하였으며, 면역 켈린지는 glutathione peroxidase, IL-6 그리고 IL-10의 발현을 감소시켰다. 이러한 결과들은 DDGS를 면역 켈린지에 노출된 닭에게 급여할 경우 면역 켈린지에 대해 면역기능 향상의 이점이 일부 있다는 것을 시사한다.

산란계에 지방 저감 DDGS 급여

2010년 이후 총 11개의 산란계 시험이 수행되었는데 여러 가지 수준의 DDGS를 급여하여 계란 생산과 품질에 미치는 영향에 대하여 평가하였다. 이 연구들의 전체 결과는 표 19에 요약하였다. 이들 11개 연구 중 5개는 지방 저감 DDGS를 여러 수준에서 함유한 사료를 급여한 효과에 대하여 평가하였다.

산란계사료에 옥수수 DDGS 사용에 대해서도 최근 El-Hack 등 (2015)등에 의해 검토되었다. 이 연구자들은 비록 전에는 산란계사료에 10~15%의 DDGS 사용이 최대 상한선이라고 하였으나, 몇몇 연구는 열량과 가소화 lysine과 methionine 함량을 사료 배합비 작성시 적절히 조정한다면 DDGS의 사용 상한선을 올리더라도 산란생산성과 계란 품질에 영향이 없었다고 하였다. 더욱이 Masa'deh (2011)는 DDGS 30% 산란계사료를 사용하면 DDGS 무첨가 사료에 비해 1단계에서 \$31.15/톤 그리고 2단계에서 \$28.58/톤을 절약할 수 있음을 보여주었다.

옥수수 DDGS는 산란계에서 열량, 가소화 아미노산, 가용 인과 xanthophyll의 훌륭한 공급원이다. Swiatkiewicz 등 (2014a)은 DDGS를 20% 배합한 사료를 급여 시 산란계의 뼈품질 지수에 영향이 없다고 하였다. 더욱이 여러 연구에서 DDGS의 배합수준이 높아지면 옥수수 DDGS에 자연적으로 들어 있는 xanthophyll (30~56mg/kg; Trupia 등, 2016)로 인해 난황의 색도가 지속적으로 높아지는 것을 보여준다.

표 19. 여러 수준의 DDGS를 함유한 산란계 사료를 급여 시 산란 생산성과 계란품질에 대한 연구 결과의 요약

DDGS 함유율	사양기간	DDGS 조지방	생산성효과	참고
0, 10, 20%	21~26 주령	보고없음	산란율, 사료 섭취량, 난중, 닭의 체중변화에 영향이 없음. 20% DDGS 급여는 일당 암모니아 방출을 24%, 황화수소의 방출량을 58% 감소시켰다.	Wu-Haan 등, 2010
0, 5, 10, 15, 20, 25%	24~46 주령 (17) 47~76 주령 (27)	10.3%	사료 내 DDGS 수준이 사료 섭취량, 산란율, Haugh units, 비중, 그리고 전체체중증가에 영향이 없었다. DDGS함유율을 증가시키면 17의 난중이 감소하지만 27에는 영향이 없었다. 난황색도는 사료 내 DDGS 함량이 증가하면 증가하고, 분 중 질소와 인의 배설량은 감소하였다.	Masa' deh 등, 2011
0, 4, 8, 12, 16%	40~50 주령	9.7%	DDGS 사료를 급여한 닭은 사료 섭취량이 약간 적었으나, DDGS 함유 수준에 따른 산란율, 사료전환율, 계란 생산중량(egg mass), 그리고 난중의 차이는 없었다.	Tangendjaja 와 Wina, 2011
0, 17, 35, 50%	54 주령 닭에게 24 주간 급여	10.7%	DDGS 함유 사료에 적절한 가소화 아미노산을 급여하면 50% DDGS 사료를 급여하여도 산란율, 사료 섭취량, 사료전환율, 난중, 그리고 egg mass에는 영향이 없었다. DDGS 사료급여는 저장하는 동안 계란 내부품질을 향상시키고 난황색깔을 향상시켰다. Haugh unit는 50% DDGS 급여구가 가장 높았으나 난황과 알부민 %는 처리 간에 차이가 없었다.	Sun 등, 2012
10%		12.2%	산란율, 사료 섭취량, 사료 효율, 개시 및 종료 체중, 난중, egg mass, 난각 두께, 난각 파쇄력, Haugh unit, 손상 계란, 그리고 시판가능 계란에는 영향이 없었다.	Deniz 등, 2013a
0, 5, 10, 15, 20%	28~36주령	11.2%	DDGS를 15%까지 사용한 사료는 산란율, 사료 섭취량, 사료전환율, 난중, egg mass, 손상 계란, 그리고 시판계란에는 영향이 없었으나, 20% DDGS 사료는 산란 생산성, 난중과 egg mass를 감소시켰다. DDGS 함유 수준은 난각 두께, 난각 파쇄력, Haugh units에는 영향이 없었지만 난황 색깔은 증가시켰다.	Deniz 등, 2013b

표 19. 여러 수준의 DDGS를 함유한 산란계 사료를 급여 시 산란 생산성과 계란품질에 대한 연구 결과의 요약

DDGS 함유율	사양기간	DDGS 조지방	생산성효과	참고
0, 10, 20%	40~63 주령	8.3%	사료 내 DDGS 수준의 증가는 산란율, 사료 섭취량, 난중, 그리고 egg mass에는 영향이 없었으나 난황색깔, 난각의 두께와 사료전환율은 증가함.	Jiang 등, 2013
20%	20~ 33 주령	10.3, 7.3, 또는 5.2%	DDGS의 조지방함량은 산란율, 사료 섭취량, 사료전환율, 난중 또는 egg mass, 그리고 체중증가에 영향이 없었음.	Purdum 등, 2014
20%	26~39 주령 (17) 40~55 주령 (2 기)	11%	기간내와 전기간 닭의 산란율, 사료 섭취량, 사료전환율, 난중과 egg mass, 계란 내부와 난각품질에는 차이가 없었다. DDGS 사료 급여는 난황 색깔을 향상시켰다.	Świątkiewicz 등, 2014b
0, 6, 12%	69~77 주령	6.5 or 5.4%	사료 처리 간에 산란율, 사료 섭취량, 사료전환율, 난중과 egg mass는 차이가 없었다. DDGS 사료 급여는 난황 색깔을 향상시켰다. 난황 색깔을 증가시켰다.	Cortes-Cuevas 등, 2015
0, 5, 10, 20%	30~ 42 주령	9%	사료 내 DDGS수준은 산란율, 난중, egg mass, 사료 섭취량, 사료전환율, 계란비중, Haugh units 그리고 난황색깔에 영향이 없었다. 20% DDGS 사료 급여 시 다른 처리구들에 비해 체중손실이 컸다.	Hassan과 Al Aqil, 2015

산란계에 DDGS 배합 사료의 급여가 미치는 전반적인 영향에 대한 더 자세한 분석을 위하여 2010년 이후에 발표된 17개 연구논문의 자료를 이용하여 산란율과 품질특성에 대한 메타분석을 하여 그 결과를 요약하였다 (Świątkiewicz와 Koreleski, 2006; Shalash 등, 2010; Wu-Haan 등, 2010; Ghazalah 등, 2011; Masa'deh 등, 2011; Tangendjaja와 Wina, 2011; Koksall 등, 2012; Sun 등, 2012; Cho 등, 2013; Deniz 등, 2013a; Deniz 등, 2013b; Jiang 등, 2013; Świątkiewicz 등, 2013; Purdum 등, 2014; Cortes-Cuevas 등, 2015; Hassan과 Al Aqil, 2015; Trupia 등, 2016).

표 20에서 보는 바와 같이 DDGS 사료를 급여한 닭은 대조구에 비해 약 16%의 체중이 감소하였으나 사료 섭취량, 사료효율, 산란율, 난중 그리고 Haugh units는 미미한 (대조구에 비해 -0.2~2.7% 변화) 영향을 받았다. 그러나 난각두께와 난황색깔은 DDGS 사료 급여에 의해 긍정적인 영향 (각각 4.1%와 18.1% 향상)을 받았다. 이들 17개 연구의 대부분의 관찰에서 체중변화 (78%), 사료 섭취량 (78%), 사료 효율 G/F (65%), 산란율 (70%), 난중 (75%), 난각두께 (100%), 난황색깔 (98%) 그리고 Haugh units (89%)가 향상되거나 변화가 없음을 보고하였다 (표 21).

DDGS 사료를 16주 이상 급여한 닭들은 16주 이하 급여한 닭들에 비해 체중변화와 사료 섭취량은 유사 하였으나 16주 이하 급여한 닭은 사료효율이 더 높았다. ($P < 0.01$) (표 22). 급여기간의 길이는 산란율, 난각두께 그리고 난황색깔에 영향을 주지 않았지만, DDGS 사료를 16주 이하 급여한 닭의 경우 16주 이상 급여한 경우보다 난중 감소 (4%)가 약간 컸고 ($P < 0.01$), Haugh units는 약간 개선 ($P < 0.03$)되었다. 사료에 DDGS 첨가수준을 증가시키면 체중변화를 증가시키는 경향 ($P < 0.11$)이 있으며, 사료 섭취량을 개선 ($P < 0.01$)하고 사료효율을 증가 ($P < 0.01$)시켰다. 더욱이 사료 내 DDGS의 배합율을 증가시키면 산란율과 난중이 감소 ($P < 0.01$) 하였지만, Haugh units는 개선 ($P < 0.01$) 되었다. 마지막으로, 산란계사료에 DDGS 배합수준을 높이면 난황색깔을 개선하고 난각두께를 감소시키는 경향 ($P < 0.11$)이 있었다.

표 20. 산란계에서 옥수수 DDGS 사료 급여가 산란생산성에 미치는 영향들의 요약 (2010년 이후 수행된 17개 시험결과의 요약 2010)¹

항목	관측 수	연구	DDGS - 대조구 (%로 표시)		
			평균	최소	최대
체중변화	36	8	-16.0**	-100.0	183.9
ADFI	65	16	-0.2*	-11.7	6.9
Gain:Feed	51	13	2.7**	-4.0	26.1
산란율	57	15	-1.7**	-28.7	2.6
난중	69	17	-0.5**	-5.5	3.7
난각두께	32	9	4.1**	-2.8	8.3
난황색깔	41	11	18.1**	-2.3	58.2
Haugh unit	35	9	-0.1**	-2.4	6.0

** Means differ from 0 (P less than 0.05)

* Means differ from 0 (P less than 0.10).

¹ The inverse of pooled standard errors of observations were used as a weight factor.

계란 품질

표 19에서 요약한 바와 같이 DDGS 조지방 함량과 사용수준에 관하여 근래에 수행한 대다수의 연구에서 사료 내 DDGS의 배합수준이 비교적 높아도 (20% 이상) 계란의 품질에 미치는 영향은 미미하였다. Sun 등 (2012)은 옥수수 DDGS (10.7% 조지방)를 0, 17, 35 또는 50%를 배합한 동열량 사료를 54주령 백색 Leghorn 산란계에게 24주간 급여 시 계란 생산성과 계란 내부품질을 평가하였다. DDGS 50% 배합사료구에서 처음 12주 동안 산란율, 사료 섭취량, 사료이용율, 난중과 egg mass가 감소하였다 (표 23). 하지만 lysine과 methionine 함량을 증강시켜 배합비를 재조정했을 때 생산성이 저하되었던 DDGS 50% 사료구의 생산성은 크게 개선되었다.

표 21. 산란계에서 옥수수 DDGS 사료 급여가 산란생산성에 미치는 영향들의 요약
(2010년 이후 수행된 17개 시험결과의 요약 2010)¹

항목	N	사료 내 옥수수 DDGS에 대한 반응 ¹		
		증	감소	변화없음
체중변화	36	1	8	27
ADFI	65	2	14	49
Gain:Feed	51	18	2	31
산란율	57	5	17	35
난중	69	4	17	48
난각두께	32	6	0	26
난황색갈	41	33	1	7
Haugh unit	35	0	4	31

¹ The number of significant and non-significant results.

표 22. 산란계 사료 내 옥수수 DDGS의 함유수준과 급여기간의 길이가 산란생산성과 계란 품질에 미치는 영향 (2010년 이후 수행된 17개 시험결과의 요약)¹

항목	사양기간		SEM2	DDGS 함유 수준, %			SEM
	> 16 주	< 16 주		< 10	10 to 20	> 20	
관측 수	25	44		16	30	23	
연구 수	6	11		9	13	12	
BW 변화	-28.8	-25.6	17.7	-17.2	-17.5	-46.9	4.9
ADFI	0.03	1.0	0.7	-0.4	0.6	1.4	0.3
Gain:Feed	3.6	13.1	2.9	2.2	7.6	15.1	1.0
산란율	-4.3	-6.6	1.9	-2.2	-5.6	-8.4	0.8
난중	-2.3	-4.3	0.8	-1.3	-3.5	-5.0	0.3
난각두께	2.0	-0.8	2.0	1.1	1.0	-0.2	0.6
난황색갈	22.3	23.1	5.2	12.5	16.3	39.3	1.9
Haugh unit	1.5	0.1	0.6	-0.1	1.3	1.2	0.2

¹ The inverse of pooled standard errors of observations were used as a weight factor.
SEM = standard error of mean

결과적으로, 연구의 마지막 6주 동안은 산란율, 난중 그리고 사료 섭취량은 처리 간에 차이가 없었다. 사료 중 DDGS의 함유 수준이 증가하면 난황의 색깔과 Haugh units이 증가하였다. 50% DDGS 급여구는 Haugh units이 가장 높았는데 이는 DDGS 함유 수준이 낮은 사료를 급여하는 구보다 계란의 유효 유통기간이 더 길다는 것을 시사한다 (표 24). 더욱이 난각중량 %와 난각강도는 50% DDGS 구에서 가장 높았다. 이 연구자들은 DDGS 사료 내에 충분한 량의 가소화 아미노산이 함유된다면 DDGS를 50% 까지 사용하여도 산란율, 사료 섭취량, 사료 효율, 난중과 egg mass에 영향이 없다고 결론지었다.

표 23. 24주간 사양기간 동안 DDGS 함량이 증가하는 산란계사료의 급여가 산란생산성에 미치는 영향 (Sun 등, 2012)

측정	0% DDGS	17% DDGS	35% DDGS	50% DDGS
산란율, %	87 ^a	83 ^b	84 ^{a,b}	62 ^c
사료 섭취량, g/hen/day	104.4 ^a	104.2 ^a	106.0 ^a	92.2 ^b
사료 효율, g egg/kg feed	531.6 ^a	487.6 ^b	501.9 ^b	431.8 ^c
난중, g	64.7 ^a	63.3 ^{bc}	64.0 ^{ab}	62.6 ^c
Egg mass, g/hen/day	56.0 ^a	51.8 ^b	53.6 ^{ab}	39.1 ^c
체중변화, kg	0.02	0.00	0.00	0.05

^{a,b,c} Means with different superscripts within row are different (P less than 0.05).

표 24. DDGS 함량이 증가하는 산란계사료의 급여가 계란의 품질과 조성에 미치는 영향 (Sun 등, 2012)

측정	0% DDGS	17% DDGS	35% DDGS	50% DDGS
난황색 ¹	5.5 ^d	7.0 ^c	7.9 ^b	8.7 ^a
난황, %	26.5	26.8	26.8	26.5
난백, %	63.7	63.4	63.4	63.3
난각, %	9.8 ^b	9.8 ^b	9.9 ^b	10.1 ^a
Haugh unit² 저장시간, 주				
Week 0	80.5 ^b	81.8 ^b	82.3 ^b	85.3 ^a
Week 1	76.4 ^b	78.0 ^b	78.3 ^b	82.3 ^a
Week 2	73.7 ^b	75.6 ^b	76.0 ^b	79.9 ^a
Week 3	72.4 ^b	73.7 ^b	74.3 ^b	78.2 ^a
난각강도, g	3,924 ^b	3,995 ^b	3,877 ^b	4,299 ^a

^{a,b,c,d} Means with different superscripts within a row are different (P less than 0.05)

¹ Yolk color score ranges from 1 (light) to 10 (dark).

² Haugh unit equation = $100 \times \log [\text{height} - 0.01 \times 5.6745 \times (30 \times \text{weight}^{0.37} - 100) + 1.9]$

같은 연구에서 나온 계란을 사용하여, Sun 등 (2013)은 옥수수 DDGS (10.7% 조지방)를 0, 17, 35 또는 50% 배합한 동열량 사료를 산란계에게 급여 시 난황 조성에 미치는 영향을 평가하였다. 난황 지방과 단백질 함량에는 DDGS 35%까지는 처리 간에 차이가 없었으나, 50% DDGS 사료 급여구는 지방함량이 약간 증가하고 단백질 함량은 약간 감소하였다.

표 25. 10 또는 20% 고지방 (high-oil; HO) 그리고 지방 저감 (reduced-oil; RO) DDGS 사료를 급여한 산란계로부터 생산된 계란의 난황 색깔과 지방조성 (Trupia 등, 2016)

측정	대조	10% HO DDGS	20% HO DDGS	10% RO DDGS	20% RO DDGS
난황 L*	58.5 ^a	57.8 ^b	56.7 ^c	57.3 ^b	56.6 ^c
난황 a*	-4.3 ^d	-3.5 ^c	-2.2 ^a	-3.5 ^c	-2.7 ^b
지방산 조성, %					
C16:0	25.5	25.4	25.1	25.5	25.5
C16:1	2.71 ^a	2.46 ^b	2.08 ^c	2.54 ^{ab}	2.49 ^{ab}
C18:0	9.50	9.42	9.56	9.28	9.19
C18:1	45.7 ^a	43.5 ^{bc}	42.1 ^d	44.4 ^b	42.3 ^{cd}
C18:2	13.6 ^c	16.4 ^b	18.3 ^a	15.5 ^b	17.6 ^a
C18:3	0.44 ^c	0.45 ^d	0.47 ^c	0.45 ^b	0.58 ^a
C22:0	2.10	2.10	2.20	2.10	2.10
Tocopherols과 tocotrienols, µg/g oil					
α-tocopherol	173.8 ^b	183.5 ^{ab}	183.3 ^{ab}	209.9 ^{ab}	218.2 ^a
β-tocopherol	0.58 ^c	0.95 ^b	0.96 ^b	0.98 ^b	1.34 ^a
γ-tocopherol	46.0 ^d	57.2 ^{cd}	72.2 ^{ab}	67.0 ^{bc}	85.1 ^a
δ-tocopherol	1.1 ^{a,b}	1.0 ^{ab}	0.82 ^b	1.0 ^{ab}	1.2 ^a
α-tocotrienol	2.5 ^c	4.0 ^{bc}	5.8 ^a	5.1 ^{ab}	6.3 ^a
γ-tocotrienol	0.13 ^b	0.23 ^{ab}	0.34 ^a	0.26 ^a	0.32 ^a
Total tocotrienols	224.2 ^c	246.9 ^{bc}	263.4 ^{abc}	284.2 ^{ab}	312.4 ^a
Xanthophylls, µg/g oil					
Lutein	80.0 ^b	110.1 ^a	123.1 ^a	87.4 ^b	91.1 ^b
Zeaxanthin	22.4 ^c	31.7 ^{ab}	36.8 ^a	29.1 ^b	34.9 ^a
β-cryptoxanthin	Not detected	1.1 ^b	2.0 ^a	1.0 ^b	1.7 ^a
Unknown	8.6 ^d	13.6 ^{bc}	17.3 ^a	12.1 ^c	14.8 ^{ab}
Total xanthophylls	111.1 ^d	156.4 ^{ab}	179.1 ^a	129.7 ^{cd}	142.6 ^{bc}

a,b,c,d Means within rows with different superscripts are different (P less than 0.05).

계란의 수분 함량은 DDGS 배합수준에 의해 영향을 받지 않았다. 그러나 사료 내 DDGS가 증가하면 난황내 총 PUFA함량이 증가하고, 비록 50% DDGS 구의 난황내에는 처음부터 choline과 cholesterol 함량이 높았지만, 마지막 4주간 실험에서 사료처리에 따른 choline와 cholesterol의 함량에는 차이는 없었다. 예상한 바와 같이 사료 내 DDGS의 수준이 증가하면, 난황의 lutein함량이 증가하였다. 그러나 이 연구에서 흥미로운 점은 50% DDGS 사료 급여 시 난황의 omega-3 fatty acids (linolenic acid and eicosapentaenoic acid) 함량을 증가시켰는데, 이 지방산들은 인체에서 중요한 건강상의 이점을 가지고 있다고 알려져 있다.

Trupia 등 (2016)은 0, 10 또는 20% 고지방 (13.3% 조지방) 또는 지방 저감 (7.4 % 조지방) DDGS를 배합한 사료를 급여 시 산란생산성과 계란 품질에 미치는 영향을 평가하였는데, 닭의 증체량, 산란율, 사료 섭취량, 사료 효율, 난중이나 egg mass는 사료처리간에 차이가 없었다. 계란의 비중은 10% 고지방 DDGS나 20% 지방 저감 DDGS 사료구에서 약간 낮았다. 그러나 DDGS 사료를 급여한 닭들의 계란에서는 DDGS 대조구 사료 급여 닭에 비해 난황 중 tocopherols, tocotrienols 그리고 xanthophylls의 함량이 높았고 황색과 적색이 증가하였다 (표 25).

이 실험에서 급여한 고지방과 지방 저감 DDGS의 지방조성은 표 26과 같으며, DDGS의 tocopherols, tocotrienols 그리고 xanthophylls의 농도가 난황의 이들 성분에 영향을 주었음을 알 수 있다. 실은 지방감소 DDGS 사료를 급여한 닭의 계란에서는 고지방 DDGS 사료를 급여한 닭의 계란보다 tocopherol의 함량은 높았으나, xanthophyll 함량은 낮았다. DDGS의 급여는 계란의 지방산 조성을 약간 변경시켰지만, 포화:불포화 지방산의 비율은 유사하였고, 계란의 lecithin이나 cholesterol 함량에는 영향이 없었다. 이러한 결과들은 산란계 사료에 고지방이나 지방 저감 DDGS의 첨가는 난황내 여러 가지 지방 친화적 유익 성분이 증가하고 난황 품질에 부정적인 영향은 없다는 것을 시사한다.

계란에 virginiamycin 잔류 위험

에탄올과 DDGS 생산과정에서 에탄올 수율과 DDGS의 품질과 영양가치를 저하시키는 세균의 오염을 방지하기 위해 흔히 발효기에 소량의 항생제 (1~2 mg/kg)를 첨가한다. 미국 에탄올산업에서 가장 흔히 사용하는 항생제는 virginiamycin과 penicillin이다. Paulus-Compart (2013)는 DDGS에 virginiamycin과 penicillin의 잔류위험성은 매우 낮으며, 있다고 하더라도 고기, 우유, 계란에 있는 양은 너무 낮아 측정이 불가능하다. Sun 등 (2012)은 0, 17, 35 또는 50% DDGS를 함유한 네 개의 사료샘플에서 virginiamycin 잔류를 검정하기 위해 plate와 bio-autography 방법을 사용하였다. 그 결과 이들 방법의 검출한계는 0.05~0.1 mg/kg인데 모든 사료에서 검출한계인 0.1 mg/kg이하이었다. 그러나, FDA가 사료 원료와 계란에서 virginiamycin을 검출하기 위해 승인한 유일한 방법은 생물학적 검정방법이다. 그러므로 보고된 결과들의 타당성에 대해서는 확정할 수 없다. 그럼에도 불구하고 이 연구 결과

표 26. 산란계 사료에 첨가한 고지방 (13.3%)과 지방 저감 (7.4%) DDGS의 지방조성 (Trupia 등, 2016)

성분	13.3% 조지방 DDGS	7.4% 조지방 DDGS
지방산, 지방의 %		
C16:0	11.3	11.9
C16:1	0.14	0.13
C18:0	1.73	1.93
C18:1	27.0	27.4
C18:2	57.7	56.3
C18:3	1.50	1.60
기타지방, mg/kg		
α -tocopherol	20.9	20.1
β -tocopherol	0.45	0.37
γ -tocopherol	76.0	38.3
δ -tocopherol	1.4	0.9
α -tocotrienol	10.9	8.8
γ -tocotrienol	17.4	9.0
δ -tocopherol	1.40	0.3
총tocopherols과 tocotrienols	128.6	77.8
Lutein	15.7	39.3
Zeaxanthin	9.4	9.7
β -cryptoxanthin	3.3	3.4
Unknown	1.6	3.7
Total xanthophylls	29.9	56.1

들에 의하면 산란계 사료에 DDGS를 50% 사용하여도 난황에 virginiamycin의 잔류가능성은 무시할 정도라는 것을 시사한다.

환우에 미치는 DDGS의 영향

Hong 등 (2007)은 털갈이를 유도하기 위해 DDGS 사료와 무염사료 급여를 비교하고, 산란계의 난 생성, 난 품질 그리고 장기의 무게에 미치는 사료급여 환우와 절식 환우의 효과를 비교하기 위한 연구를 수행했다. 그들이 사용한 108수의 62주령 백색 Leghorn은 산란율이 80% 이상이고 평균체중이 1.08kg

이었다. 처리 사료들은 비환우 대조구, 사료급여 환우처리구 (DDGS와 무염사료) 그리고 절식환우 처리구였다. 계란 생산은 절식환우구에서 18일 후에 0%로 떨어졌고 DDGS-무염사료 급여 환우구는 17일 후에 0%로 떨어졌다. 절식구에서 6일간 산란이 중단되었다. 급여환우구에서는 12일 후에 절식환우구에서는 16일 후에 산란이 재개되었다. 난황품질을 제외하면 계란의 품질은 모든 환우처리구들에서 개선되었다. 산란계의 간, 심장 그리고 난관의 무게는 모든 환우처리구에서 감소하였다. 이러한 결과들을 보면 급여환우처리 (DDGS와 무염사료)는 절식환우를 대체할 수 있으며 환우과정에서 유발될 수 있는 동물복지에 관한 우려를 감소시킬 수 있을 것이다.

Mejia 등 (2010)은 비절식 환우 프로그램에서 DDGS를 36, 45 그리고 54 grams/day를 급여하여 비슷한 양의 옥수수를 섭취한 구와 비교한 결과 환우 후 계란 생산 (5~45주)은 DDGS 환우사료급여구가 옥수수사료 급여구보다 높다는 것을 발견하였다. 환우 후 기간동안 환우사료 처리에 따른 egg mass, 계란비중, 사료 효율 또는 사료 섭취량에서 일정한 차이를 관측하지 못했다. 이 연구자들은 비절식 환우 프로그램에 사용된 옥수수나 DDGS의 급여는 장기간, 환우 후 생산성에 있어서 옥수수-대두피 사료의 무제한 급여와 비교할 만하다고 결론지었다.

똥은 분변 (wet litter)

육계나 산란계농장에서 경영상 관심사 중의 하나는 똥은 분변 (wet litter)의 발생을 최소화하는 것이다. 똥은 분변 발생의 원인은 닭의 수분균형에 문제가 생긴 결과로 본다 (Collett, 2012). 많은 사료적 요인 들로는 과다 비전분성 다당류, 동물성 단백질, 유리 포화지방산, 항영양인자나 독성물질 등이 관여된 것으로 보인다 (Collett, 2012).

음용수와 사료 내 나트륨, 마그네슘 그리고 유황이 똥은 분변문제와 관련이 있다. 가금의 음용수 내 허용 최대 농도는 나트륨이 0.05 g/kg (Muirhead, 1995)에서 0.25 g/kg (Coetzee, 2005), 마그네슘이 0.125 g/kg (Schwartz, 1994)에서 0.25 g/kg (Coetzee, 2005), 유황이 0.06 g/kg (Keshavarz, 1987)에서 0.50 g/kg (Coetzee, 2005)이었다. 소금은 세계적으로 흔히 음용수에 오염되어 있는 물질로 소금의 첨가가 필요하다면 음용수를 통해 섭취되는 양을 고려하여 적절히 조정해야 한다. 옥수수 DDGS 내 광물질 함량에는 변이가 많으며 때론 높은 수준의 나트륨 (> 0.5%)과 유황 (> 0.6%)을 함유하고 있어 전해질 균형이 맞지 않고 DDGS 사용량이 많을 때 사료 내 소금 함량을 조절해 주지 않으면 똥은 분변의 발생원인이 될 수 있다.

결론

옥수수 DDGS는 육계와 산란계에서 적절한 성장률, 산란율 그리고 육질과 계란품질을 유지하면서 사료 가격을 줄이는 우수한 사료 원료다. 가금사료에 DDGS를 사용함에 있어서 최대의 도전은 DDGS의 열량과 가소화 영양분 함량이 제품 간에 차이가 있기 때문에 사용하는 DDGS의 정확한 AMEn과 가소화 아미노산과 가용인의 값을 평가하여 배합비 작성에 사용하는 것이다. DDGS의 조지방 함량은 AMEn과 가소화 아미노산 함량의 예측치로 사용하기에는 부적합하다. 그러기 때문에 DDGS의 화학성분을 기반으로 AMEn과 표준 회장가소화아미노산 이용률을 정확하게 예측하기 위한 예측방정식이 개발되었다. 예상했던 바와 같이 육계의 성장률과 도체성분은 발표된 연구 결과들에서 변이가 있었지만, 보고된 반응의 대부분은 일반 생산과 도체성분에 관한 조사항목에서 변이가 없거나 향상되었다. 실제로 근래에 발표된 논문들은 육계초기사료에 20% 지방 저감 DDGS를 사용하고 후기사료에 24% DDGS를 함유한 사료를 급여 시 성장률이나 도체품질은 만족할 만한 수준이었다. 마찬가지로 산란계의 계란생산과 계란품질에 대한 반응도 변이는 있지만, 발표된 대부분의 반응은 일반적인 산란생산성과 계란품질 항목에서 변화가 없거나 향상되었다고 하였다. 산란계의 정밀영양사료 배합비 작성에서 지방 저감사료의 정확한 AMEn과 가소화 아미노산 값을 사용한다면 옥수수 DDGS를 사료에 50%까지 사용하더라도 만족할 만한 산란생산성과 계란품질을 이룰 수 있다.

참고문헌

- Adedokun, S. A., P. Jaynes, R. L. Payne, and T. J. Applegate. 2015. Standardized ileal amino acid digestibility of corn, corn distillers' dried grains with solubles, wheat middlings and bakery by-products in broilers and laying hens. *Poult. Sci.* 94:2480-2487.
- Angel, R., N.M. Tamim, T.J. Applegate, A.S. Dhandu, and L.E. Ellestad. 2002. Phytic acid chemistry: Influence on phytin phosphorus availability and phytase efficacy. *J. Appl. Poult. Res.* 11:471-480.
- Barekatin, M.R., C. Antipatis, M. Choct, and P.A. Iji. 2013a. Interaction between protease and xylanase in broiler chicken diets containing sorghum distillers' dried grains with solubles. *Anim. Feed Sci. Technol.* 182:71-81.
- Barekatin, M.R., C. Antipatis, N. Rodgers, S.W. Walkden-Brown, P.A. Iji, and M. Choct. 2013b. Evaluation of high dietary inclusion of distillers dried grains with solubles and supplementation of protease and xylanase in the diets of broiler chickens under necrotic enteritis challenge. *Poult. Sci.* 92:1579-1594.
- Barekatin, M.R., M. Choct, and P.A. Iji. 2013c. Xylanase supplementation improves the nutritive value of diets containing high levels of sorghum distillers' dried grains with solubles for broiler chickens. *J. Sci. Food. Agric.* 93:1552-1559.
- Bregendahl, K. 2008. Use of Distillers Co-products in Diets Fed to Poultry. In: *Using Distillers Grains in the U.S. and International Livestock and Poultry Industries*, B.A. Babcock, D.J. Hayes, and J.D. Lawrence eds., Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center, Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University, Ames. Pp. 99-134.
- Campasino, A., M. Williams, R. Latham, C.A. Bailey, B. Brown, and J.T. Lee. 2015. Effects of increasing dried distillers' grains with solubles and non-starch polysaccharide degrading enzyme inclusion on growth performance and energy digestibility in broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 00:1-10 <http://dx.doi.org/10.3382/japr/pfv018>
- Cho, J.H., Z.F. Zhang, and I.H. Kim. 2012. Effects of canthaxanthin on egg production, egg quality and egg yolk color in laying hens. *J. Agri. Sci.* 5:269-274.
- Choi, H.S., H.L. Lee, M.H. Shin, C. Jo, S.K. Lee, and B.D. Lee. 2008. Nutritive and economic values of corn distiller's dried

grains with solubles in broiler diets. *Asian- Australasian J. Anim. Sci.* 21(3):414-419.

Coetzee, C.B. 2005. The development of water quality guidelines for poultry in southern Africa. Ph.D. thesis. Animal and Wildlife Sciences, University of Pretoria, South Africa.

Collett, S.R. 2012. Nutrition and wet litter problems in poultry. *Anim. Feed Sci. Technol.* 173:65-75.

Cortes-Cuevas, A.C., S.R. Estrada, J.A. Menocal, E.A. Gonzalez, and C.L. Coello. 2015. Effect of feeding low-oil DDGS to laying hens and broiler chickens on performance and egg yolk and skin pigmentation. *Brazilian J. Poult. Sci.* 17:247-254.

Corzo, A., M.W. Schilling, R.E. II. Loar, V. Jackson, S. Kin, and V. Radhakrishnan. 2009. The effects of feeding distillers dried grains with solubles on broiler meat quality. *Poult. Sci.* 88:432-439.

Davies, M.I., G.M. Ritcey, and I. Motzok. 1970. Intestinal phytase and alkaline phosphatase of chicks: Influence of dietary calcium, inorganic and phytate phosphorus and vitamin D₃. *Poult. Sci.* 49:1280-1286.

Deniz, G., H. Gencoglu, S.S. Gezen, I.I. Turkmen, A. Orman, and C. Kara. 2013a. Effects of feeding corn distiller's dried grains with solubles with and without enzyme cocktail supplementation to laying hens on performance, egg quality, selected manure parameters and feed cost. *Livest. Sci.* 15:174-181.

Deniz, G., S.S. Gezen, C. Kara, H. Gencoglu, Y. Meral, and E. Baser. 2013b. Evaluation of nutrient equivalency of microbial phytase in hens in late lay given maize-soybean or distiller's dried grains with solubles (DDGS) diets. *Br. Poult. Sci.* 54:494-502.

Dozier III, W.A., and J.B. Hess. 2015. Growth and meat yield responses of Hubbard _ Cobb 500 male broilers fed diets formulated with distillers dried grains with solubles varying in ether extract content and inclusion rate from 1 to 33 days of age. *J. Appl. Poult. Res.* 24:436-450.

Dozier III, W.A., K.R. Perryman, and J.B. Hess. 2015. Apparent ileal amino acid digestibility of reduced-oil distillers dried grains with solubles fed to broilers from 23 to 31 days of age. *Poult. Sci.* 94:379-383.

El-Hack, M.E.A., M. Alagawany, M.R. Farag, and K. Dhama. 2015. Use of maize distiller's dried grains with solubles (DDGS) in laying hen diets: Trends and advances. *Asian J. Anim. Vet. Advances* 10:690-707.

Fernandez, S.R., Y. Zhang, and C.M. Parsons. 1995. Dietary formulation with cottonseed meal on a total amino acid versus a digestible amino acid basis. *Poult. Sci.* 74:1168-1179.

Gacche, S.M., A.B. Kanduri, P.V. Patil, and N.Z. Gaikwad. 2016. Extent of replacement of soybean meal with distillers dried grains with solubles (DDGS) on carcass yield, dressing percentage and feed cost in broiler chickens. *Anim. Sci. Reporter* 10:109-114.

Guney, A.C., M.Y. Shim, A.B. Batal, N.M. Dale, and G.M. Pesti. 2013. Effect of feeding low-oil distillers dried grains with solubles on the performance of broilers. *Poult. Sci.* 92:2070-2076.

Hassan, S.M., and A.A. Al Aqil. 2015. Effect of adding different dietary levels of distillers dried grains with solubles (DDGS) on productive performance of broiler chicks. *Intl. J. Poult. Sci.* 14:13-18.

Hong, E.C., J.C. Na, D.C. You, H.K. Kim, W.T. Chung, H.J. Lee, I.H. Kim, and J. Hwangbo. 2007. Effects of feeding non-salt diet on the induced molting in laying hens. *Korean J. Poult. Sci.* 34:4, 279-286.

Jiang, W., L. Zhang, and A. Shan. 2013. The effect of vitamin E on laying performance and egg quality in laying hens fed corn dried distillers grains with solubles. *Poult. Sci.* 92:2956-2964.

Keshavarz, K. 1987. Proper water management for poultry. *Poult. Dig. (January)*, pp. 12-22.

Kim, E.-J., J.L. Purswell, and S.L. Branton. 2016. Effects of increasing inclusion rates of a low-fat distillers dried grains with solubles (LF-DDGS) in finishing broiler diets. *Intl. J. Poult. Sci.* 15:182-187.

Kubas, T.A., and J.D. Firman. 2014. Effects of yellow grease addition to broiler rations containing DDGS with different fat contents. *Intl. J. Poult. Sci.* 13:437-441.

Liu, N., Y.J. Ru, D.F. Tang, T.S. Xu, and G.G. Partridge. 2011. Effects of corn distillers dried grains with solubles and xylanase on growth performance and digestibility of diet components in broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 163:260-266.

Loar, R.E. II, J. S. Moritz, J.R. Donaldson, and A. Corzo. 2010. Effects of feeding distillers dried grains with soluble to broilers from 0 to 28 days posthatch on broiler performance, feed manufacturing efficiency and selected intestinal characteristics. *Poult. Sci.* 89:2242-2250.

Martinez-Amezcu, C., C.M. Parsons, and D.H. Baker. 2006. Effect of microbial phytase and citric acid on phosphorus bioavailability, apparent metabolizable energy and amino acid digestibility in distillers dried grains with solubles in chicks. *Poult. Sci.* 85:470-475.

Masa'deh, M.K. 2011. Dried distillers grain with solubles in laying hen and pullet rations. Ph.D. Thesis, Department of

- Animal Science, University of Nebraska-Lincoln.
- Masa'deh, M.K., S.E. Purdum, and K.J. Hanford. 2011. Dried distillers grains with soluble in laying hen diets. *Poult. Sci.* 90:1960-1966.
- Mejia, L., E.T. Meyer, P.L. Utterback, C.W. Utterback, C.M. Parsons, and K.W. Koelkebeck. 2010. Evaluation of limit feeding corn and distillers dried grains with soluble in non-feed-withdrawal molt programs for laying hens. *Poult. Sci.* 89:386392.
- Meloche, K.J., B.J. Kerr, N. Billor, G.C. Shurson, and W.A. Dozier III. 2014. Validation of prediction equations for apparent metabolizable energy of corn distillers dried grains with solubles in broiler chicks. *Poult. Sci.* 93:1428-1439.
- Meloche, K.J., B.J. Kerr, G.C. Shurson, and W.A. Dozier III. 2013. Apparent metabolizable energy and prediction equations for reduced-oil corn distillers dried grains with solubles in broiler chicks from 10 to 18 days of age. *Poult. Sci.* 92:3176-3183.
- Min, Y.N. L.L. Li, S.K. Liu, J. Zhang, Y.P. Gao, and F.Z. Liu. 2015. Effects of dietary distillers dried grains with solubles (DDGS) on growth performance, oxidative stress and immune function in broiler chickens. *J. Appl. Poult. Res.* 24:23-29.
- Min, Y.N., F.Z. Liu, A. Karimi, C. Coto, C. Lu, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2011. Effect of Rovabio® Max AP on performance, energy and nitrogen digestibility of diets high in distillers dried grains with solubles (DDGS) in broilers. *Int. J. Poult. Sci.* 10:796-803.
- Mohammed, A., M.J. Gibney, and T.G. Taylor. 1991. The effects of dietary levels of inorganic phosphorus, calcium and cholecalciferol on the digestibility of phytate phosphorus by the chick. *Br. J. Nutr.* 66:251-259.
- Muirhead, S. 1995. Good, clean water is critical component of poultry production. *Feedstuffs*.
- Mutucumarana, R.K., V. Ravindran, G. Ravindran, and A.J. Cowieson. 2014. Measurement of true ileal digestibility of phosphorus in some feed ingredients for broiler chickens. *J. Anim. Sci.* 92:5520-5529.
- NRC. 1994. Nutrient requirements for poultry. 9th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Olukosi, O.A., A.J. Cowieson, and O. Adeola. 2010. Broiler responses to supplementation of phytase and aDMixture of carbohydrases and protease in maize-soyabean meal diets with or without maize distiller's dried grain with solubles. *Brit. Poult. Sci.* 51: 434-443.
- Oryschak, M., D. Korver, M. Zuidhof, X. Meng, and E. Beltranena. 2010. Comparative feeding value of extruded and nonextruded wheat and corn distillers dried grains with solubles for broilers. *Poult. Sci.* 89:2183-2196.
- Paulus-Compart, D.M., A.M. Carlson, G.I. Crawford, R.C. Fink, F. Diez-Gonzalez, A. DiCostanzo, and G.C. Shurson. 2013. Presence and biological activity of antibiotics used in fuel ethanol and corn co-product production. *J. Anim. Sci.* 91:2395-2404.
- Perez, V.G., C.M. Jacobs, J. Barnes, M.C. Jenkins, M.S. Kuhlenschmidt, G.C. Fahey Jr., C.M. Parsons, and J.E. Pettigrew. 2011. Effect of corn distillers dried grains with solubles and *Eimeria acervulina* infection on growth performance and the intestinal microbiota of young chicks. *Poult. Sci.* 90:958-964.
- Purdum, S., K. Hanford, and B. Kreifels. 2014. Short-term effects of lower oil dried distillers grains with solubles in laying hen rations. 93:2592-2595.
- Ravindran, V., W.L. Bryden, and E.T. Kornegay. 1995. Phytates: Occurrence, bioavailability and implications in poultry nutrition. *Poult. Avian Biol. Rev.* 6:125-143.
- Rochelle, S.J., B.J. Kerr, and W.A. Dozier III. 2011. Energy determination of corn co-products fed to broiler chicks from 15 to 24 days of age, and use of composition analysis to predict nitrogen-corrected apparent metabolizable energy. *Poult. Sci.* 90:1999-2007.
- Rostagno, H.S., J.M.R. Pupa, and M. Pack. 1995. Diet formulation for broilers based on total versus digestible amino acids. *J. Appl. Poult. Res.* 4:293-299.
- Salim, H.M., Z.A. Kruk, and B.D. Lee. 2010. Nutritive value of corn distillers dried grains with soluble as an ingredient of poultry diets: A review. *World's Poult. Sci. J.* 66:411-432.
- Schilling, M.W. V. Battula, R.E. Loar II, V. Jackson, S. Kin, and A. Corzo. 2010. Dietary inclusion level effects of distillers dried grains with solubles on broiler meat quality. *Poult. Sci.* 89:752-760.
- Schwartz, D.L. 1994. Water quality. In: 131st American Veterinary medical Association Annual Convention, San Francisco, CA.
- Shalash, S.M.M., S. Abou El-Wafa, R.A. Hassan, Nehad A. Ramadan, Manal S. Mohamed, and Hoda E. El-Gabry. 2010. Evaluation of distillers dried grains with solubles as feed ingredient in laying hen diets. *Int. J. Poult. Sci.* 9:537-545.
- Shim, M.Y., G.M. Pesti, R.I. Bakalli, P.B. Tillman, and R.L. Payne. 2011. Evaluation of DDGS as an alternative ingredient for broiler chickens. *Poult. Sci.* 90:369-376.

- Shurson, G.C. 2017. Review article: Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses and quantification methods. *Anim. Feed Sci. Technol.* 235:60-76.
- Soto, C., E. Avila, J. Arce, F. Rosas, and D. McIntyre. 2013. Evaluation of different strategies for broiler feed formulation using near infrared reflectance spectroscopy as a source of information for determination of amino acids and metabolizable energy. *J. Appl. Poult. Res.* 22:730-737.
- Sun, H., E.J. Lee, H. Samaraweera, M. Persia, and D.U. Ahn. 2013. Effects of increasing concentration of corn distillers dried grains with solubles on the egg production and nutrient content of egg. *Poult. Sci.* 92:233-242.
- Sun, H., E.J. Lee, H. Samaraweera, M. Persia, H.S. Ragheb, and D.U. Ahn. 2012. Effects of increasing concentrations of corn distillers dried grains with solubles on the egg production and internal quality of eggs. *Poult. Sci.* 91:3236-3246.
- Świątkiewicz, S., A. Arczewska-Włosek, and D. Józefak. 2014a. Bones quality indices in laying hens fed diets with a high level of DDGS and supplemented with selected feed additives. *Czech J. Anim. Sci.* 59:61-68.
- Świątkiewicz, S., A. Arczewska-Włosek, and D. Józefak. 2014b. Feed enzymes, probiotic or chitosan can improve the nutritional efficiency of broiler chicken diets containing a high level of distillers dried grains with solubles. *Livest. Sci.* 163:110-119.
- Świątkiewicz, S., A. Arczewska-Włosek, J. Krawczyk, M. Puchała, and D. Józefak. 2013. Effects of selected feed additives on the performance of laying hens given a diet rich in maize dried distiller's grains with solubles (DDGS). *Brit. Poult. Sci.* 54:478-485.
- Świątkiewicz, S., and J. Koreleski. 2008. The use of distillers dried grains with solubles (DDGS) in poultry nutrition. *World's Poult. Sci. J.* 64:257-266.
- Swiatkiewicz, S., and J. Koreleski. 2006. Effect of maize distillers dried grains with solubles and dietary enzyme supplementation on the performance of laying hens. *J. Anim. Feed Sci.* 15:253-260.
- Tahir, M. and G.M. Pesti. 2012a. A comparison of digestible amino acid databases: Relationship between amino acid concentration and digestibility. *J. Appl. Poult. Res.* 21:1-12.
- Tahir, M., and G.M. Pesti. 2012b. Comparison of ingredient usage and formula costs in poultry feeds using different amino acid digestibility databases. *J. Appl. Poult. Res.* 21:693-705.
- Tahir, M., M.Y. Shim, N.E. Ward, C. Smith, E. Foster, A.C. Guney, and G.M. Pesti. 2012. Phytate and other nutrient components of feed ingredients for poultry. *Poult. Sci.* 91:928-935.
- Tamin, N.M., and R. Angel. 2003. Phytate phosphorus hydrolysis as influenced by dietary calcium and micro-mineral source in broiler diets. *J. Agric. Food Chem.* 51:4687-4693.
- Tangendjaja, B., and E. Wina. 2011. Feeding value of low and high protein dried distillers grains and corn gluten meal for layer. *Media Peternakan* p. 133-139. <http://medpet.jouranlipb.ac.id/> doi: 10.5398/medpet.2011.34.2.133
- Trupia, S., J.K. Winkler-Moser, A.C. Guney, R. Beckstead, and C-Y. O Chen. 2016. Nutritional quality of eggs from hens fed distillers dried grains with solubles. *Poult. Sci.* 2592-2601.
- Waldroup, P.W., Z. Wang, C. Coto, S. Serrate, and F. Yan. 2007. Development of a standardized nutrient matrix for corn distillers dried grains with solubles. *Intl. J. Poult. Sci.* 6:478-483.
- Wamsley, K.G.S., R.E. Loar II, K. Karges, and J.S. Moritz. 2013. The use of practical diets and regression analyses to determine the utilization of lysine and phosphorus in corn distillers dried grains and solubles using Cobb 500 male broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 22:279-297.
- Wang, Z., S. Cerrate, C. Coto, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2008. Evaluation of high levels of distillers dried grains with solubles (DDGS) in broiler diets. *Intl. J. Poult. Sci.* 7:990-996.
- Wang, Z., S. Cerrate, C. Coto, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2007. Effect of rapid and multiple changes in level of distillers dried grains with solubles (DDGS) in broiler diets on performance and carcass characteristics. *Intl. J. Poult. Sci.* 6:725-731.
- Wu-Haan, W., W. Powers, R. Angel, and T.L. Applegate. 2010. The use of distillers dried grains plus soluble as a feed ingredient on air emissions and performance from laying hens. *Poult. Sci.* 89:1355-1359.
- Zhao, F., L.Q. Ren, B.M. Mi, H.Z. Tan, J.T. Zhao, H. Li, H.F. Zhang, and Z.Y. Zhang. 2014. Developing a computer-controlled simulated digestion system to predict the concentration of metabolizable energy of feedstuffs for rooster. *J. Anim. Sci.* 92:1537-1547.
- Zhu, J.L., Z.K. Zeng, G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. A meta-analysis to predict the concentration of standardized ileal digestible amino acids in distillers dried grains with solubles for poultry. *Poult. Sci.* (in review)

CHAPTER 14

가금류에서 DDGS 사료 Pelleting

서론

가금류 사료에서 DDGS가 열량과 가소화 영양소의 경제적인 공급원이지만, 펠릿품질과 펠릿시설의 생산량에 대한 우려 때문에 사료 내 첨가수준을 10% 수준으로 제한하는 경우가 많다. 그 결과 사료제조업체와 양계농가들은 사료공장에서 펠릿품질과 생산효율을 맞추기 위한 DDGS 사료 배합시의 제약요인들 때문에 높은 수준의 DDGS를 배합할 경우 얻을 수 있는 경제적 이점이 감소된다.

Pelleting은 가금류 사료 제조에 쓰이는 가장 보편화된 열처리 가공방법으로 (Abdollahi et al., 2013), 사료유실량 감소, 일부 전분의 호화 (Richert와 DeRouchey, 2010; NRC, 2012)에 따른 열량과 영양소 소화율의 개선으로 사료이용율이 향상되는 이점을 제공한다. 펠릿사료의 추가적 이점은 먼지발생, 수송 중 원료입자 분리, 열처리에 따른 병원균, 가루사료에서 대립자 분리 등을 감소시키고 기호성과 별크비중 그리고 취급용이성을 향상시키는 것이다 (Abdollahi 등, 2012; NRC, 2012).

펠릿공정

Pelleting은 수분, 열 그리고 압력을 이용하여 작은 입자들을 큰 입자로 뭉치게 하는 물리적 과정이다 (Falk, 1985). 상업적 펠릿은 동물의 종류와 급여용도에 따라 다양한 직경 (0.16mm~0.75mm), 모양 (삼각형, 사각형, 원형, 원통형 등) 그리고 크기로 제조할 수 있다 (California Pellet Mill Co., 2016).

펠릿생산공정의 첫 단계는 hammer mill이나 roller mill을 사용하여 원료 (주로 곡류)의 입자사이즈를 줄이는 것이다. 일반적으로 펠릿으로 만드는 사료는 펠릿강도를 높이기 위해 평균입자도가 meal이나 가루사료보다 작다 (Wondra 등, 1995). 다음으로 원료들은 각각 계량한 다음 배합비 기준에 따라 원하는 분량만큼 배합기에 투입한 후 균일한 혼합물이 될 때까지 적당한 시간동안 혼합한다. 이렇게 한 후 혼합물은 증기처리 (steam conditioning)를 하는데 이는 적당한 열과 수분의 균형을 제공하는 데 목적이 있다 (Smallman, 1996). 증기처리는 에너지를 필요로 하고 펠릿 가공비용의 일부 원인이 되지만, 건식처리 (dry-conditioning)에 비해 펠릿 생산율과 펠릿강도 (pellet durability index; PDI)를 높인다 (Skoch 등, 1981). 컨디셔너 (conditioner) 안에서 배합가루사료에 증기를 쐬면 수분과 뜨거워진 가루사료는 pelleting chamber에 투입되면서 금속 틀 (metal die)을 통해 펠릿을 형성한다. 펠릿이 die를 빠져 나오면 냉각기로 들어가고 펠릿의 온도는 80~90℃에서 주위온도보다 8℃ 높은 온도까지 냉각되고

(Zimonja 등, 2007), 수분함량은 통풍을 통해 15~17%에서 10~12%로 내려간다 (Robinson, 1976). 냉각기에서 포집된 미세입자들은 pellet chamber에 투입되어 펠릿제조에 재사용된다. 일부 가금 사양에서는 냉각건조된 펠릿을 crumbler를 거쳐 crumbles (펠릿을 분쇄한 것)로 가공하여 사용한다.

펠릿강도, 열소비와 생산율에 영향을 주는 요소들

고품질 가금류 사료 펠릿 제조의 주된 세 가지 목표는 높은 펠릿 강도와 펠릿 생산량 그리고 에너지 비용을 최소화하는 것이다 (All About Feed, 2012). 일반적으로, 펠릿 강도가 높으면 공장에서 제조된 후 농장에서 닭이 소비할 때까지 형질이 그대로 유지된다. 그러나 펠릿 강도를 높이기 위한 어떠한 조정도 펠릿 공장의 생산량을 감소시키고 에너지 비용을 증가시킨다 (Behnke, 2006). 고품질 펠릿의 생산에 영향을 주는 요인들로는 사료의 종류, 지방의 함량, 증기 첨가제, 입도, 수분함량, 형틀 품질, 물러의 품질과 물러와 형틀과의 간격 등이다 (California Pellet Mill Co., 2016). 주된 에너지 소비와 가공 비용은 conditioning 단계의 증기생산과 feeder, conditioner, pellet mill과 냉각기 작동에 필요한 전기 (kw/h/MT)이다. 펠릿팅에 사용되는 대부분 (72%까지)의 에너지는 steam conditioning (Skoch 등, 1983)을 위한 것이고, Payne (2004)은 육계사료 펠릿팅을 위한 적당한 전기사용량은 10 kw/h/MT라고 제시하였다. 실제로 펠릿 품질과 생산량 그리고 비용을 적정화 하는 효과적인 결정 보조 시스템이 개발되었는데, 펠릿강도는 약간 감소하였다 (Thomas et al., 1997).

펠릿 형틀의 금속 성질, 구멍 디자인, 구멍 패턴과 구멍 수와 같은 특징은 펠릿 강도, 생산량 그리고 열량 소비에 영향을 준다 (Stark, 2009). 형틀의 금속 타입은 사료혼합물이 형틀을 통과할 때 마찰열 발생량과 온도상승에 영향을 준다 (Behnke, 2014). 구멍 디자인은 bore 또는 relief 형이 있으나, 가장 중요한 요인은 펠릿 형틀의 두께 (L)와 직경 (D)의 비율인데 이를 통상 L:D비율이라고 한다. L:D비율이 커지면 (더 두꺼운 형틀) 마찰과 펠릿 형틀에서의 체류시간이 길어지기 때문에 펠릿의 강도가 증가하고 대신 생산량과 에너지 소비가 증가한다 (Traylor, 1997).

물리적 펠릿 품질은 펠릿이 포장, 저장, 수송을 통해 농장의 급여기에 도착하였을 때 미세가루 발생이 최소화되는 능력을 말한다 (Cramer 등, 2003; Amerah 등, 2007). 펠릿 품질은 통상 펠릿 강도지수 (PDI) (ASAE, 1997)로 측정한다. 높은 PDI를 얻기 위한 다섯가지 결속기작이 있다. 고품교각형성, 고체 입자간에 인력, 기계적 연결결합, 흡착과 응집력 그리고 계면력과 모세관 압력이다 (Thomas와 van der Poel, 1996; Kaliyan와 Morey, 2006).

펠릿 품질과 유사하게 펠릿공장의 에너지 소비는 펠릿 형틀 직경, 형틀 속도, L:D비율 그리고 사료 원료의 수분함량과 화학조성과 같은 변수에 의해 좌우된다 (Tumuluru등, 2016). 펠릿공장의 전기사용량

은 단위생산량당 에너지단위 또는 시간당으로 계산되면 흔히 kilowatt-hours/톤 (kWh/톤) (Fahrenholz, 2012)으로 표시한다. 펠릿사로 톤당 에너지 소비량을 최소화하기 위해서는 생산성을 최대화해야 하는데 이는 형틀의 특성과 용량에 의해 영향을 받는다 (Fahrenholz, 2012). 또한 이와 관련하여 배합표와 가공공정 요인들이 PDI에 미치는 영향을 모델링하는 가능성을 조사하였다.

펠릿공장의 생산율은 PDI와 에너지 소비에 영향을 주는 또 다른 중요 요인이다. Stark (2009)가 펠릿공장의 생산량을 545 kg/hour에서 1646 kg/hour로 증가시켰을 때 펠릿공장의 생산효율은 73.3에서 112.4 kg/horse power hour로 증가되었지만 PDI는 55.4에서 30.2%로 감소하였다

혼합가루사료에 steam conditioning은 펠릿의 강도를 높이는 가장 중요한 요인으로 간주된다. 높은 conditioning 온도는 PDI를 증가시키고 기계적 마찰 감소 (Skoch 등, 1981)로 에너지 소비량을 감소시킨다 (Pfof, 1964). Conditioning 온도가 상승하면 전분호화가 감소한다 (Abdollahi 등, 2011). Conditioner paddle의 속도를 조절함 (Briggs 등, 1999) 으로서 정체시간 (열)과 PDI를 증가시킬 수 있다 (Gilpin 등, 2002). 하지만 증기압이 PDI를 개선하는 효과는 일정치가 않다.

Cutlip 등 (2008)은 증기압 증가가 PDI를 약간 증가시켰다고 한 반면, Thomas 등 (1997)은 증기압과 PDI는 확실한 관계가 없다고 하였다. 이러한 불확실한 관계는 이전의 연구에서도 관찰되었는데, 증기압력은 PDI나 생산율에 아무런 영향이 없었다 (Stevens, 1987). 결과적으로 Briggs등 (1999)은 펠릿의 높은 PDI를 달성하는 데 207~345 kilopascals의 증기압력이면 충분한 것으로 보인다고 결론지었다.

많은 사료제조업자들은 사료의 입도가 펠릿의 PDI에 상당한 영향이 있다고 생각하나 이를 증명할 확실한 연구 결과가 없다. 이론적으로 큰 입자는 펠릿 내에서 균열을 유발하여 펠릿의 분쇄가 더 쉽게 발생한다 (California Pellet Mill Co., 2016). 그러나 Stevens (1987)는 분쇄옥수수의 입자도는 생산율이나 PDI에 영향이 없었다고 하였다. 마찬가지로 Stark 등 (1994)은 사료의 입자도를 543에서 233 microns로 감소시킬 경우 PDI가 아주 약간만 증가되었다고 하였다. 마찬가지로 Reece 등 (1985)은 사료의 입자도를 670에서 1289 microns으로 증가시킬 때 PDI는 아주 약간만 감소하였다고 보고하였다.

비록 사료의 입도가 펠릿품질과 생산율에 미치는 주요인이 아니지만, 사료의 조성은 형틀의 윤활과 마모에 미치는 영향 때문에 별크비중과 함께 중요한 요인이다 (Behnke, 2006). 결과적으로 다양한 사료 원료들은 펠릿화 요인을 기준에 따라 특정화되었다 (Payne 등, 2001). 이론적으로는 원료들의 펠릿화 요인을 배합비 작성에서 제약요인으로 사용할 수 있지만 실제로는 사용이 불가능한데, 사료배합의 궁극적인 목표가 최적의 PDI를 배합비로 조절하기 보다 저렴한 비용으로 가금류의 영양요구를 충족시켜야 하기 때문이다.

가금류 사료의 전분함량은 PDI를 결정하는 데 상당한 역할을 한다. 최대의 PDI는 전분함량이 65%일 때 얻을 수 있는 반면에 전분함량이 낮고 단백질함량이 높은 사료는 펠릿품질을 감소시킨다 (Cavalcanti 와 Behnke, 2005a). 실제로 전분과 단백질 함량은 conditioning 온도보다 PDI에 미치는 영향이 더 크다 (Wood, 1987). 사료의 지방함량은 PDI를 감소시키는데 (Cavalcanti와 Behnke (2005a) 1.5%와 3% 지방의 첨가는 PDI를 각각 2%와 5%를 감소시켰다 (Stark 등, 1994). 더욱이 pelleting 전에 사료에 지방을 첨가하면 pelleting 과정에서 에너지 소비를 항상 감소시키지는 않는데 이는 사료의 화학성분 간에 많은 상호작용이 있기 때문이다 (Briggs 등, 1999). 한 예로 Cavalcanti와 Behnke (2005b)는 옥수수, 대두박 그리고 대두유 사료에 단백질 함량을 증가시켰을 때 PDI는 증가하였다. 가루사료의 수분함량은 펠릿강도와 pelleting하는 동안 에너지 소비량에 영향을 주는 또 다른 주요 요인이다. Gilpin (2002)은 가루사료의 수분함량 증가는 PDI를 증가시키고 에너지 소비를 감소시킨다고 하였다. 더욱이 pelleting 전에 5% 수분을 가루사료에 첨가할 경우 고지방 사료를 pelleting할 때 PDI를 증가시켰다 (Moritz 등, 2002).

펠릿품질 측정

펠릿의 강도는 기계적 tumbling, 진공 tumbling 그리고 tumbling box 시험, Stoke's® Tablet Hardness Tester 그리고 Holman Pellet Tester 등 여러 가지 방법을 사용하여 측정한다 (Behnke, 2001; Winowski 등, 1962). 사료산업에서 사용되는 표준 PDI 펠릿강도시험은 ASAE S269.4 (ASAE Standards, 2003)이다. 이 방법이 결정하는 PDI는 체로 친 펠릿 샘플을 tumble box에 넣고 회전시킨 후 남아있는 온전한 펠릿의 비율이라고 정의한다. 자주 쓰이지는 않지만 또 다른 방법은 TekPro (Norfolk, UK)에서 제작한 Holmen pellet testers를 사용하는 것이다. Holmen pellet testers는 펠릿을 구멍이 뚫린 피라미드 모양의 통속에 넣고 20~120초 사이의 정해진 시간동안 진동시키며 빠져나온 가루를 측정한다. ASAE S269.4 method와 Holmen pellet testers를 비교하는 두 개의 시험이 있었다. Winowski (1998)는 두 가지 방법의 시험결과는 서로 상관관계가 있다고 하였으며, Fahrenholz (2012)도 또한 상관관계가 있지만 PDI를 측정하는 데 ASAE tumble box 방법이 결과의 균일성과 반복성에 있어서 Holmen testers 보다 우수하였다. Fahrenholz (2012)는 펠릿 경도, 펠릿 밀도, 펠릿 체류시간과 최초와 최후의 수분 함량이 PDI와 상당한 관련이 있지만, 이 연관성은 약하며 PDI의 예측치로는 사용할 수 없음을 보여주었다.

DDGS의 화학적 특성

미국의 에탄올산업은 수입을 높이기 위해 새로운 가공기법을 지속적으로 도입하여 에탄올과 관련 부산물들을 생산하고 있음으로 DDGS의 화학조성도 계속 변해왔다. DDGS의 화학조성은 펠릿품질에 영향

을 주는 중요 요인이기 때문에 제품 간의 변이와 부분적 오일추출의 영향에 대해 이해하는 것이 유용하다. 전통적인 DDGS의 영양성분 (Spiehs 등, 2002; Belyea 등, 2004)은 현재 생산되고 있는 지방 저감 DDGS 보다 지방, NDF 그리고 전분의 함량이 높고 단백질의 함량이 낮다 (Kerr 등, 2013; 표 1). 그러나 이들 화학성분의 변화에 관계없이, DDGS는 다른 일반 원료들과 비교하여 전분함량이 매우 낮고, 조지방함량과 NDF의 함량이 비교적 높기 때문에 DDGS를 많이 함유한 가금류 사료를 품질이 좋은 펠릿사료로 만드는 것은 시도해 볼 만한 가치가 있다. 왜냐하면 DDGS의 화학성분들은 원하는 PDI에 부정적인 영향을 미치기 때문이다.

표 1. 부분 착유에 따른 DDGS의 영양성분의 평균, 범위, 그리고 변화의 비교 (건물기준)

영양소	옥수수 DDGS (> 10 % 지방)	옥수수 DDGS (< 10 %지방) ³
수분, %	11.1 (9.8-12.8) ¹	12.5 (10.0-14.5)
조단백질, %	30.8 (28.7-33.3) ^{1,2}	31.2 (29.8-32.9)
조지방, %	11.5 (10.2-12.6) ^{1,2}	8.0 (4.9-9.9)
NDF %	41.2 (36.7-49.1) ¹	32.8 (30.5-33.9)
전분, %	5.3 (4.7-5.9) ²	2.4 (0.8-3.4)
회분, %	5.2 (4.3 - 6.7) ^{1,2}	5.4 (4.9-6.1)

¹ Spiehs 등, (2002)

² Belyea 등, (2004)

³ Kerr 등, (2013)

California Pellet Mill Company (2016)는 여러 개의 일반 원료들을 “펠릿용이성” 특성을 기준으로 분류하였다. 주정곡물은 펠릿용이성이 낮고 펠릿 형틀의 마모도는 중간정도로 분류하였다. DDGS를 펠릿용이성이 낮은 것으로 분류한 것은 몇 가지 이유가 있다 (표 2). 첫째, DDGS는 수분함량이 비교적 낮기 때문에 품질 좋은 펠릿을 만들기 위해서는 증기이외에 수분첨가가 필요한데, 이는 사료 내 수분함량과 DDGS 배합 수준에 달려있다. 그러나 DDGS의 비교적 높은 단백질 함량은 pelleting하는 동안 플라스틱화 (가소화)하여 펠릿품질을 향상시키지만, DDGS의 지방함량이 비교적 높기 때문에 DDGS 배합 수준과 사료에 첨가하는 다른 지방의 양에 따라 펠릿품질을 감소시킨다. 반면에 DDGS의 이점은 비교적 높은 지방함량 때문에 pellet mill의 생산율을 향상시키는 것이다. 사료 원료에 들어 있는 일부 섬유소는 좋은 품질의 펠릿을 만드는 데 도움이 되는 자연적인 결합제인데, DDGS와 같은 원료에는 비교적 많은 양의 섬유소가 들어있어 펠릿으로 압착하기 어렵기 때문에 오히려 pellet 공장의 생산율을 감소시킨다. DDGS는 전분함량이 낮기 때문에 가공과정중에 일부 호화되겠지만 펠릿품질 향상에는 도움이 되지 않는다. 더욱이 DDGS는 벌크밀도가 중간정도이기 때문에 사료배합에 들어가는 다른 원료들의 밀도와 양에 따라 생산량 감소에 일조할 수 있다. DDGS의 입자도는 제품에 따라 294에서 1,078 μ m이다 (Kerr 등, 2013). 기늘거나 중간 사이즈로 분쇄된 입자들은 증기로부터의 수분흡착에 필요한 표면적이 넓기

때문에 펠릿품질을 향상시키고 큰 입자가 미세한 가루를 만드는 파괴점으로 작용하는 것을 방지할 수 있다. 더욱이 가늘거나 중간 사이즈 입도의 원료들은 펠릿 die의 활성을 증가시키고 생산율을 증가시킨다.

표 2. 사료 원료의 특성이 펠릿 품질과 펠릿제조기(pellet mill)의 생산능력에 미치는 영향 (California Pellet Mill Co., 2016)

원료특성	펠릿품질에 미치는 영향	Pellet Mill의 생산력에 미치는 영향
수분	수분 증가는 펠릿품질을 향상시킨다.	N/A
단백질	단백질 함량이 높으면 펠릿품질을 향상시킨다.	N/A
지방	2%이상의 지방함량은 펠릿품질을 저하시킨다	고지방함량은 생산율을 높인다.
섬유소	섬유소 함량이 높으면 펠릿품질 향상	섬유소 함량이 높으면 생산을 감소
전분	펠릿제조 중 높은 온도와 수분으로 호화가 이루어지지 않으면 고 전분함량은 펠릿품질 저하	N/A
벌크밀도	N/A	밀도가 높으면 생산을 증가
입자도	소 또는 중입자는 펠릿품질 향상	소 또는 중입자는 생산을 증가

가금에서 DDGS 사료 펠릿제조 (pelleting)

가금사료 pelleting의 이점과 한계

일반적으로, 육계사료를 pelleting하여 급여하면 가루사료로 급여할 때보다 성장률이 향상된다. Jafarnejad 등 (2010)이 crumble 사료와 가루사료를 비교하였을 때 crumble 사료 급여가 육계의 증체율과 사료전환율을 향상시켰다. 이전의 연구에서도 고품질 육계펠릿사료 급여 시 유사한 결과를 얻었다 (Jensen 등, 1962; Nir 등, 1994). 펠릿사료를 급여했을 때 얻는 성장률과 사료이용율의 개선은 사료 섭취량의 증가가 주원인이다 (Engberg 등, 2002; Svihus 등, 2004; Abdollahi 등, 2011). 적정사료 섭취량을 달성하기 위해서는 펠릿품질이 중요한데 온전한 펠릿이 증가 (가루부분 감소) 할수록 사료 섭취량과 체중이 증가하기 때문이다 (Lily 등, 2011). 더욱이 pelleting은 가루가 없는 100% 펠릿사료 AMEn 함량에 197 kcal/kg를 기여하는 것으로 평가되었으며, 비록 20% 만 펠릿이라도 (80% 가루) 76 kcal/kg의 AMEn를 개선하였다 (McKinney와 Teeter, 2004). 이와 유사하게 Skinner-Noble 등 (2005)은 가루사료 급여에 비해 펠릿 급여는 AMEn 함량을 151kcal/kg 증가시킨다고 하였다. 펠릿사료의 에너지 이용률개선의 일부는 가루사료 급여에 비해 열량증가 (heat increment)의 감소와 성장에 더 많은 에너지를 사용하기 때문인 것으로 본다 (Latshaw와 Moritz, 2009). 육계사료를 pelleting하면 사료낭비를 감소시키며 (Jensen, 2000), 큰 입자를 작은 입자보다 먼저 분리섭취하는 것을 막음으로써 사료의 불균형 섭취로 인한 성장률 저하를 방지할 수 있다 (Falk, 1985). 또한 펠릿사료는 가루사료보다 섭취하는

데 시간이 적게 소요되며, 사료 섭취하는 데 소요되는 단위에너지당 열량과 영양소 섭취량이 많다. (Jensen 등, 1962; Jones 등, 1995; Vilarino 등, 1996). 실제로 Nir 등 (1994)의 발표에 의하면 육계 (28~40 일령)는 가루사료에 비해 펠릿사료를 섭취하는 데 소요되는 시간이 1/3 밖에 소요되지 않아 활동성이 낮다. 그러나 적정 펠릿크기와 최대생산성을 달성하는 데 필요한 시간에 대한 연구는 제한적이다. Abdollahi와 Ravindran (2013)는 3, 5, 7mm의 펠릿사료를 육계에게 급여한 결과 펠릿길이가 증가하면 PDI와 강도를 향상시켰지만, 3mm 펠릿을 급여한 구가 사료 섭취량이 가장 많았고 증체량은 다른 처리구들과 차이가 없었다. 마지막으로 pelleting은 원료분리를 최소화하며 (Greenwood와 Beyer, 2003) 벌크밀도를 증가시켜 수송과 저장효율을 높이고 사료공장과 육계농장에서 먼지의 발생을 감소시킨다 (Abdollahi 등, 2013).

Conditioning 온도는 일반적으로 80 ~ 90℃인데, 원하는 펠릿품질을 얻으면서 동시에 salmonella와 campylobacter 같은 병원균을 감소시키기 위해 더 높은 conditioning 온도를 사용하기도 한다 (Abdollahi 등, 2013). 이렇게 하면 열량과 영양소의 이용률을 감소시키고 (Abdollahi 등, 2011), 외부효소와 합성비타민의 활력을 감소시킨다 (Abdollahi 등, 2013). 사료 내 병원균의 살균을 위한 적정 conditioning 온도는 다소 일관성이 부족한데, 80℃ (Veldry matteran 등, 1995)와 85℃ (Jones와 Richardson, 2004) 사이가 salmonella-free 사료를 제조하는 데 효과적이라고 하였다. McCapes 등 (1989)은 salmonella와 E. coli의 완전 멸균을 위하여 14.5 % 수분, 85.7℃ conditioning 온도 그리고 4.1 분간의 가열처리가 필요하다고 하였다. 사료를 pelleting하는 것은 전단 (shear), 열, 체류시간과 수분을 조합하는 것이기 때문에 사료 내 일부 단백질의 변성이 일어나 (Thomas 등, 1998) 용해율은 감소하고 소화율은 증가할 수 있다 (Voragen 등, 1995). 유감스럽게도 저수분 원료를 처리하는 데 고열을 사용하면 Maillard reactions (비효소적 갈색반응)이 일어날 수 있으며 탄수화물과 단백질 특히 lysine의 소화율이 감소하게 된다 (Pickford, 1992; Hendriks 등, 1994; Thomas 등, 1998). 그러나 Hussar와 Robblee (1962)는 pelleting하는 동안 일반적으로 사용되는 온도는 lysine 소화율에 최소한의 미미한 영향을 미친다고 하였다.

Pelleting은 효소활력을 감소시키는데 이는 외래 효소가 열처리에 취약하기 때문이다. Inborr와 Bedford (1994)는 conditioning 온도 75, 85 또는 95℃에서 30초 또는 15초간 육계사료를 pelleting 했을 때 b-glucanase 활력, 전분, 총 b-glucans 그리고 가용 b-glucans 그리고 비전분성 다당류와 육계의 생산성에 미치는 영향에 대하여 평가하였다. 전체적으로 conditioning 온도는 사료전환율과 증체에서 음의 곡선적 반응을 보였고, 효소수준은 양의 직선적 효과를 보였다. 특히 펠릿사료 내 b-glucanase 활력은 conditioning 온도 75℃에서 30초간 처리했을 때 66% 감소하였다. 이 결과들은 pelleting은 부분적으로 효소를 불활성화하며 conditioning 온도가 85℃ 이상일 때만 육계의 생산성이 영향을 받는다는 것을 시사한다 (Inborr와 Bedford, 1994).

DDGS 함유 가금류 사료의 pelleting

사료의 DDGS 함유량이 5~7% 이상일 경우에 이를 pelleting한다는 것은 하나의 도전이다. 왜냐하면 DDGS 첨가는 사료의 지방함량을 증가시키고 pelleting 과정에서 입자들의 결합에 필요한 전분의 공급이 최소화되기 때문이다 (Behnke, 2007). Shim 등 (2011)은 8% DDGS를 중기사료에 그리고 16%를 후기사료에 첨가했을 때 PDI를 감소시켰다. 그러나 이 시험에서는 DDGS 배합 수준이 증가하면 사료에 추가지방의 첨가량이 증가하였기 때문에 PDI 감소의 한 원인이 되었을 것이다.

이와는 반대로, 여러 개의 연구에서 DDGS의 함유율이 더 높은 사료를 pelleting하여도 육계의 성장률에 무리가 없었다. Wang 등 (2007a,b,c)은 DDGS 함량이 30%인 육계 펠릿사료를 급여하는 시험을 실시하였다. 비록 이 시험에서 PDI는 측정하지 않았지만 펠릿품질은 15% DDGS 사료와 대조구사료가 유사하였으나 30% DDGS 사료는 펠릿 결합제를 사용하여도 가루 발생이 많았다 (Wang 등, 2007a,b).

Min 등 (2008)은 옥수수-대두박-가금유지 기본사료에 DDGS (8.9% 조지방)를 0, 15 그리고 30% 함유 (glycerin 무첨가 또는 5% 첨가)한 동열량 사료를 펠릿화하여 육계에게 0~42일간 급여하였다. 초기사료는 2.38mm 형틀을 사용하였고 중기와 후기사료는 4.76mm 형틀을 사용하여 pelleting하였다. 가루사료의 비율 (%)은 DDGS 함유비율이 높을수록 증가하였다 (표 3). 그러나 가루비율이 증가해도 15와 30% DDGS 함유 사료를 급여한 육계의 증체율은 14일령에 향상되었고 28 또는 42일령에는 사료 내 DDGS 함유 수준의 영향이 없었다. 더욱이 육계의 사료전환율은 대조구 (1.67)와 15% DDGS구 (1.64)와는 차이가 없었으나 30% DDGS구는 사료 섭취량이 증가하고 사료이용율 (1.71)은 증가 (사료 효율 감소)하였는데 이는 아마도 가루발생률이 많은 때문인 것으로 보인다. 도체율은 30% DDGS 사료 급여에서는 감소되었지만, 가슴살 수율에는 영향이 없었다. 연이는 시험에서 Min 등 (2009)은 DDGS 함유율을 25%까지 높이면 가루발생률이 1.49에서 10.81%로 높아진다고 하였다. 한편 펠릿 결합제로 lignosulfonate를 사료에 첨가하면 펠릿품질을 향상시키고 가루발생률을 감소시켰다.

DDGS 함유 가금사료의 펠릿제조 효율을 평가하는 시험이 Loar 등 (2010)에 의해 처음으로 시행되었다. DDGS 0, 15와 30% 그리고 30% DDGS에 2% 모래 (입자크기 $450\mu\text{m}$)를 함유하고 1.90에서 3.88% 가금지방을 첨가한 사료를 직경 30.48 cm, 0.476×4.496 cm 형틀을 사용하여 pelleting하였다. 가루사료의 conditioning 온도는 82°C 그리고 globe valve에서의 증기압력은 262 kPa이었다. 표 4에서 보여주는 바와 같이 DDGS 함유량이 증가하면 가루발생이 증가하고 PDI가 감소하였으며, 30% DDGS 사료에 2% 모래첨가는 30% DDGS 사료와 비교하여 펠릿품질을 개선하지 않았다. 이러한 변화는 DDGS 배합 수준이 증가하면서 첨가 가금지방의 양도 증가하며 사료의 전분함량이 상대적으로 감소하기 때문 일 것으로 사료된다.

표 3. DDGS의 함유 수준이 육계사료의 펠릿품질에 미치는 영향 (Min 등, 2008)

사료형태	% DDGS	% 가루 ¹		
		평균	표준편차	변이계수
초기 ¹	0	1.05	0.67	63.32
	15	4.29	0.30	7.02
	30	12.04	2.40	19.90
중기 ²	0	10.53	3.02	28.66
	15	18.96	7.94	41.88
	30	26.89	3.38	12.58
후기 ³	0	12.83	6.34	49.40
	15	26.60	11.55	43.43
	30	42.64	16.68	39.11

¹ Percentage of pellets that pass through a 2 mm screen.

² Pelleted using a 2.38 mm die.

³ Pelleted using a 4.76 mm die.

표 4. 사료 내 DDGS 함유율이 펠릿품질, 생산율, 그리고 전기 에너지 사용량에 미치는 영향 (Loar 등, 2010)¹

사료형태	가루 ² %	PDI ³ %	Bulk 밀도, kg/m ³	총생산율, MT/hr	Conditioner의 상대적 전기 에너지 사용량, kwh/MT	Pellet mill의 상대적 전기 에너지 사용량, kwh/MT
0	30.8 ^c	74.4 ^a	631.8 ^a	1.211	0.659 ^{bc}	6.531 ^a
15	41.7 ^b	66.8 ^b	622.8 ^b	1.266	0.646 ^c	5.127 ^b
30	54.2 ^a	62.1 ^c	618.3 ^b	1.143	0.749 ^a	4.775 ^c
30 + 모래 ⁴	54.5 ^a	62.3 ^c	616.9 ^b	1.149	0.723 ^{ab}	5.019 ^{bc}

^{a,b,c} Means within a column not sharing a common superscript differ ($P < 0.05$).

¹ Means from four replicate batches.

² Percentage of fines present in total pelleted feeds.

³ Pellet durability index determined by ASAE standard S269.4 (ASAE, 1997).

⁴ Sand was added at two percent of the diet in expense of all ingredients.

Salmon (1985)은 육계사료에 지방 첨가량이 많아지면 펠릿품질이 감소하는 것을 보여주었다. DDGS 함유 수준이 증가하면서 벌크밀도가 감소하였는데 이는 사료에서 일부 대체한 옥수수의 밀도보다 DDGS의 밀도가 낮기 때문이다. 그러나 펠릿제조기 (pellet mill)의 생산율은 0, 15 그리고 30% DDGS 사료 간에 비슷하였다. 이 연구자들이 제시한 바에 의하면 30% DDGS 사료에서 생산율이 수치적으로 낮은 것은 사료 내 첨가 무기 인산염의 감소에 따른 것으로 사료된다. 무기 인산염은 펠릿 형틀의 내부

를 닦아주는 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 가금사료에 DDGS를 사용하면 인의 요구량을 충족시키기 위하여 필요한 무기 인의 첨가량이 감소한다. 이는 DDGS가 상당한 양의 가용인을 함유하고 있기 때문이다. Conditioner의 전기사용량은 30% DDGS 사료 제조시 가장 많았지만 pellet 공장에서는 사료 내 DDGS의 배합량이 증가하면 전기 에너지 사용량이 감소하였다. 이러한 에너지 사용량의 차이는 사료에 첨가하는 지방의 양에 따른 것으로 보이는데 사료 내 첨가지방이 증가하면 pellet 공장의 생산량이 증가하였다 (Thomas et al., 1998).

모래의 첨가가 펠릿품질과 제조효율을 높인다고 통상적으로 알려져 있는데, 이 시험에서는 어떠한 측정항목에서도 영향이 없었다. 흥미로운 것은 0 또는 8% DDGS를 배합한 초기사료 (0~14일령) crumble과 0, 7.5, 15, 22.5 또는 30%의 DDGS를 함유한 중기사료 (14~28일령) 펠릿을 급여하였을 때 14일령이나 28일령에서의 성장률에 영향이 없었다. 그러나 DDGS를 15% 이상 중기사료에 첨가했을 때는 14일에서부터 28일령 사이에 증체량과 사료 섭취량이 감소하였다.

보다 최근의 연구에 의하면, Wamsley 등 (2013)은 사료 내 DDGS 함유 수준이 증가하여도 중기까지는 펠릿품질이 영향을 받지 않았으나 펠릿 총생산율이 가장 높았던 후기에서는 10과 20% DDGS 함유 사료의 PDI가 감소하였다 (표 5). 흥미로운 것은 사료 내 DDGS 수준을 높이면 pellet 공장의 에너지 소비가 감소하는 경향이 있는데, 펠릿품질, 생산율 그리고 전기에너지사용량의 차이는 DDGS 사용에 의한 것인지 또는 보충지방의 첨가수준에 의한 것인지 명확하지 않다.

최근에 수행된 몇 개의 연구는 지방 저감 (< 10% 조지방) DDGS를 함유한 육계사료의 pelleting을 평가하였다. Dozier 등 (2015)은 5, 7, 또는 9% DDGS 사료를 급여한 육계의 성장률과 도체조성을 평가하였다. 또한 저지방 (5.4% 조지방), 중지방 (7.8% 조지방) 그리고 고지방 (10.5% 조지방) DDGS를 초기, 중기, 후기사료에 각각 8, 10, 12% 함유한 사료를 급여하였다. 지방 저감 DDGS를 사용할 때는 가금류 지방을 첨가하였다. 후기 펠릿사료 샘플을 채취하여 New Holmen Pellet tester로 PDI를 측정하였다. 비록 세 가지 종류의 DDGS를 함유한 사료들은 PDI가 변이가 있었지만 9% DDGS 함유 사료의 PDI는 고지방 (75.6%), 중지방 (70.8%) 그리고 고지방 (88.3%) DDGS에 따라 차이가 있었다. 이 연구자들은 저지방과 중지방 DDGS 사료에는 가금류 지방첨가량이 높을수록 PDI의 수치가 감소한다고 제시했고, Shim 등 (2011)에 의해 보고된 결과와 같이 DDGS 사료 배합비가 PDI 성장률 감소에 부정적인 영향을 미치지 않았다.

Kim 등 (2016)은 후기 1기 (28~42일령)와 후기 2기 (43~56일령) 사료에 지방 저감 DDGS (7.4% 조지방)의 최대함유율을 결정하기 위한 시험을 실시하였다. 후기 1기 사료에는 0, 8, 16, 18, 24 또는 30% DDGS를 함유하고 후기 2기 사료는 0, 8, 16 그리고 24% DDGS를 함유하였다. 모든 시험 사료는 85℃

conditioner 온도와 $0.476 \times 3.81\text{cm}$ 형틀을 사용하여 pelleting하였다. 이 시험에서 펠릿품질은 측정하지 않았지만, 후기 1기 사료와 후기 2기 사료에 DDGS를 24%까지 사용하여도 육계의 성장률과 도체 특성에는 차이가 없었다. 이 결과들은 비록 펠릿품질의 최적화는 이루어지지 못하더라도, 비교적 높은 수준 (24%)의 DDGS를 사용해도 성장률과 도체조성에는 문제가 없다는 것을 시사한다.

끝으로 한 시험에서 DDGS 함유 가금사료를 압출하는 효과를 평가하였다. Oryschak 등 (2010)은 0, 15 또는 30% 밀 또는 옥수수 DDGS 사료에 배합하였다. 사료들은 twin-screw extruder를 사용하여 압출하였으며 그 결과 아미노산의 외관상 소화율 (AID) 이 옥수수 DDGS는 10% 그리고 밀 DDGS는 34% 향상되었다. Lysine, threonine, valine 그리고 arginine의 AID는 15% 옥수수와 밀 DDGS 사료를 압출함으로써 각각 31, 26, 23 그리고 21% 증가하였다. 더욱이 총열량 (GE)과 조단백질의 AID는 압출하지 않은 옥수수와 밀 DDGS 사료가 비슷하였으나, 압출한 옥수수 DDGS 사료는 밀 DDGS 사료보다 AID가 높았다. 이 결과들은 옥수수와 밀 DDGS 사료는 압출을 통해 아미노산의 소화율을 향상시킬 수 있다는 것을 시사한다. 더욱이 압출은 세균오염을 제거할 수 있는 효과적인 가공방법이라는 것을 보여주고 있다 (Said, 1996).

표 5. 사료 중 DDGS 함유율이 펠릿품질, 생산율 그리고 전기 에너지 사용량에 미치는 영향 (Wamsley 등, 2013)

사료	DDGS %	첨가지방 ¹ %	가루 ² %	PDI ³ %	총생산율, MT/hr	Conditioner의 에너지 사용량, kwh/MT	Pellet mill의 에너지 사용량, kwh/MT
초기	0	1.25	12.2	86.7	0.712	0.170	6.36
	4	1.38	15.1	85.2	0.824	0.042	5.35
중기	0	1.45	11.4	78.4	0.819	0.059	5.56
	5	1.63	6.8	78.8	0.816	0.067	5.58
	10	1.81	14.6	81.2	0.789	0.043	4.93
후기	0	1.59	6.7	71.1	1.22	0.116	4.94
	10	1.96	11.2	64.3	1.20	0.144	4.87
	20	2.43	10.0	65.8	1.18	0.117	4.12

¹ Total supplemental fat added to the mixer before pelleting.

² Percentage of fines present in pelleted feeds collected at the cooler.

³ Pellet durability index determined by tumbling samples in a Pfast tumbler for 10 min at 50 rpm.

가금에서 DDGS 사료의 펠릿품질 향상을 위한 예측방정식

돼지와 가금사료의 pelleting에 관하여 PDI, 생산율 그리고 에너지 사용량에 대한 연구보고의 결과들이 일정하지 않은데, 이는 여러 가지 요인들이 상호작용을 통하여 영향을 주기 때문일 것이다. 이 상호작용의 복잡성을 적시하고 돼지와 가금사료에 DDGS를 사용하는 효과를 예측하기 위해, Fahrenholz (2012)는 DDGS 사료 펠릿의 PDI와 pelleting에 사용되는 에너지의 양을 예측하는 방정식을 개발하였다.

$$\text{PDI} = 53.90 - (0.04 \times \text{옥수수 입도, microns}) - (6.98 \times \% \text{지방}) - (1.12 \times \% \text{DDGS}) - (1.82 \times \text{생산율, kg/hr}) + (0.27 \times \text{conditioning 온도, } ^\circ\text{C}) + (0.04 \times \text{체류시간, 초}) + (1.78 \times \text{die L:D}) + (0.006 \times \text{입도} \times \text{die L:D}) - (0.23 \times \% \text{지방} \times \% \text{DDGS}) + (0.06 \times \% \text{지방} \times \text{conditioning 온도, } ^\circ\text{C}) + (0.15 \times \% \text{DDGS} \times \text{die L:D})$$

이 예측 방정식은 $R^2 = 0.92$ 이었고 PDI의 예측치와 실측치의 차이는 1.1 (약 1%의 변이) 이었다. Die L:D 비율은 PDI에 가장 큰 영향을 미쳤는데 die의 두께가 8:1 (산업현장에서 흔히 사용)에서 5.6:1로 감소하면 PDI가 10.9 units 감소하였다. Conditioning 온도를 65°C에서 85°C로 증가시키면 PDI가 7.0 units 증가하고, 사료첨가 대두유를 3%에서 1%로 감소시키면 PDI가 5.4 units 증가하였다. 분쇄옥수수의 입도가 462 μm 에서 298 μm 로 감소하면 PDI는 작지만 0.5 unit 증가하였다. 사료생산율을 1,814에서 1,360 kg/hr로 감소시키면 PDI는 단지 0.6 units 증가하여 그 영향은 미미하였다.

$$\begin{aligned} \text{kWh/톤} = & 55.93 - (0.01 \times \text{옥수수 입도, microns}) + (1.88 \times \% \text{지방}) - (0.05 \times \% \text{DDGS}) - (30.90 \times \text{생산율, kg/hr}) \\ & - (0.41 \times \text{conditioning 온도, } ^\circ\text{C}) + (0.17 \times \text{체류시간, seconds}) - (1.20 \times \text{die L:D}) \\ & + (0.02 \times \text{옥수수 입도, microns} \times \text{생산율, kg/hr}) - (0.0001 \times \text{옥수수 입도, microns} \times \text{conditioning 온도, } ^\circ\text{C}) \\ & - (1.41 \times \% \text{지방} \times \text{생산율, kg/hr}) - (0.01 \times \% \text{지방} \times \% \text{DDGS}) - (0.21 \times \% \text{DDGS} \times \text{생산율, kg/hr}) \\ & + (0.004 \times \% \text{DDGS} \times \text{conditioning 온도, } ^\circ\text{C}) + (0.22 \times \text{생산율, kg/hr} \times \text{conditioning 온도, } ^\circ\text{C}) \\ & - (0.11 \times \text{생산율, kg/hr} \times \text{체류시간, 초}) + (1.21 \times \text{생산율, 초} \times \text{die L:D}) \end{aligned}$$

이 예측방정식은 $R^2 = 0.95$ 이었고 예측치와 실측 간에는 0.3 kWh/톤 (약 3% 변이) 차이가 있었다. Conditioning 온도를 65°C에서 85°C로 증가 시 에너지 소비 (2.7 kWh/톤) 감소에 가장 큰 영향이 있었다. 한편 얇은 L:D (5.6:1) die는 에너지 사용을 1.3 kWh/톤 감소시켰다. 다른 요인들 (옥수수 입도: 462~298 microns, % 대두유 = fat: 1~3%, DDGS: 0~10 %, 생산율: 1,360~1,814 kg/hr, 또는 체류시간: 30~60 초)은 에너지 소비량에 미치는 영향은 1.0 kWh/톤 이하였다. 방정식에서 보는 바와 같이 요인들 사이에는 여러 상호작용이 존재한다. 따라서 현재의 pelleting condition이 원하는 PDI나 에너지 소비량을 만족시키지 못하는 경우에는 다른 요인들을 조절해 보는 것이 좋을 것이다.

참고문헌

- Abdollahi, M.R., and V. Ravindran. 2013. Influence of pellet length on pellet quality and performance of broiler diets. *J. Appl. Poult. Res.* 22:516-522.
- Abdollahi, M.R., V. Ravindran, and B. Svihus. 2013. Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. *Anim. Feed Sci. Technol.* 179:1-23.
- Abdollahi, M.R., V. Ravindran, T.J. Wester, G. Ravindran, and D.V. Thomas. 2012. The effect of manipulation of pellet size (diameter and length) on pellet quality and performance, apparent metabolizable energy and ileal nutrient digestibility in broilers fed maize-based diets. *Anim. Prod. Sci.*, 53:114-120.
- Abdollahi, M.R., V. Ravindran, T.J. Webster, G. Ravindran, and D.V. Thomas. 2011. Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolizable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. *Anim. Feed Sci. Technol.* 168:88-99.
- All About Feed. 2012. AllAboutFeed - The better the pellet, the better the performance <http://www.allaboutfeed.net/Nutrition/Research/2012/2/The-better-the-pellet-the-better-the-performance-AAF012746W/> (accessed 9-21-17).
- Amerah, A.M., V. Ravindran, R.G. Lentle, and D.G. Thomas. 2007. Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. *World's Poult. Sci. J.* 63:439-455.
- ASAE. 1997. S269.4. Cubes, pellet and crumbles definitions and methods for determining density durability and moisture content. St Joseph, MI.
- ASAE Standards. 2003. S269.4. Cubes, pellet, and crumbles definitions and methods for determining density durability and moisture content. St. Joseph, MI.
- Behnke, K.C. 2014. Pelleting with Today's Ingredient Challenges. Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Behnke, K.C. 2007. Feed manufacturing considerations for using DDGS in poultry and livestock diets. In: Proceedings of the 5th Mid-Atlantic Nutrition Conference, N.G. Zimmerman (Ed.), Maryland Feed Industry Council and Dept. of Animal and Avian Sciences, University of Maryland, College Park. pp. 77-81.
- Behnke, K.C. 2006. The art (science) of pelleting. Tech. Rep. Series: Feed Tech. American Soya Association, Singapore.
- Behnke, K.C. 2001. Factors influencing pellet quality. *Feed Tech.* 5:19-22.
- Belyea, R.L., K.D. Rausch, and M.E. Tumbleson. 2004. Composition of corn and distillers dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. *Bioresource Tech.* 94:293-298.
- Briggs, J.L., D.E. Maier, B.A. Watkins, and K.C. Behnke. 1999. Effect of ingredients and processing parameters on pellet quality. *Poult. Sci.* 78:1464-1471.
- California Pellet Mill Co., 2016. The Pelleting Process. [https://www.cpm.net/downloads/Animal Feed Pelleting. pdf](https://www.cpm.net/downloads/Animal%20Feed%20Pelleting.pdf) (accessed 11-11-17).
- Cavalcanti, W.B., and K.C. Behnke. 2005a. Effect of composition of feed model systems on pellet quality: A mixture experimental approach. I. *Cereal Chem.* 82:462-467.
- Cavalcanti, W.B., and K.C. Behnke. 2005b. Effect of composition of feed model systems on pellet quality: A mixture experimental approach. II. *Cereal Chem.* 82:462-467.
- Cramer, K.R., K.J. Wilson, J.S. Moritz, and R.S. Beyer. 2003. Effect of sorghum-based diets subjected to various manufacturing procedures on broiler performance. *J. Appl. Poult. Res.* 12:404-410.
- Cutlip, S.E., J.M. Hott, N.P. Buchanan, A.L. Rack, J.D. Latshaw, and J.S. Moritz. 2008. The effect of steam- conditioning practices on pellet quality and growing broiler nutritional value. *J. Appl. Poult. Res.* 17:249-261.
- Dozier III, W.A., and J.B. Hess. 2015. Growth and meat yield responses of Hubbard x Cobb 500 male broilers fed diets formulated with distillers dried grains with solubles varying in ether extract content and inclusion rate from 1 to 33 days of age. *J. Appl. Poult. Res.* 24:436-450.
- Engberg, R.M., M.S. Hedemann, and B.B. Jensen. 2002. The influence of grinding and pelleting of feed on the microbial composition and activity of the digestive tract of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 43:569-579.
- Fahrenholz, A. 2012. Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability. Ph.D. Thesis, Kansas State University, Manhattan, Kansas, 92 pages.
- Falk, D. 1985. Pelleting cost centre. In: Feed manufacturing Technology III, R.R. McElhiney (Ed.). American Feed manufacturers Association, Arlington, VA, pp. 167-190.
- Gilpin, A.S., T.J. Herrman, K.C. Behnke, and F.J. Fairchild. 2002. Feed moisture, retention time, and steam as quality and energy utilization determinants in the pelleting process.

Appl. Engineering Agricult. 18:331-340.

Greenwood, M.W., and R.S. Beyer. 2003. Effect of feed manufacturing practices on nutrient availability and feed quality. In: Proc. 30th Annula Carolina Poultry Nutrition Conference, Raleigh, NC, pp. 7-16.

Hendriks, W.H., P.J. Moughan, H. Boer, and A.F.B. van der Poel. 1994. Effects of extrusion on the dye-binding, fluorodinitrobenzene-reactive and total lysine content of soybean meal and peas. *Anim. Feed Sci. Technol.* 48:99-109.

Hussar, N., and A.R. Robblee. 1962. Effect of pelleting on the utilization of feed by the growing chicken. *Poult. Sci.* 41:1489-1493.

Inbarr, J., and M.R. Bedford. 1994. Stability of feed enzymes to steam pelleting during feed processing. *Anim. Feed Sci. Technol.* 46:179-196.

Jafarnejad, S., M. Farkhoy, M. Sadegh, and A.R. Bahonar. 2010. Effects of crumble-pellet and mash diets with different levels of dietary protein and energy on the performance of broilers at the end of the third week. *Vet. Med. Intl.* Vol 2010, Article ID 328123, 5 pages, doi:10.4061/2010/328123.

Jensen, L.S. 2000. Influence of pelleting on the nutritional needs of poultry. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 13:35-46.

Jensen, L.S., L.H. Merrill, C.V. Reddy, and J. McGinnis. 1962. Observations on eating patterns and rate of food passage of birds fed pelleted and unpelleted diets. *Poult. Sci.* 41:1414-1419.

Jones, F.T., K.E. Anderson, and P.R. Ferket. 1995. Effect of extrusion on feed characteristics and broiler chicken performance. *J. Appl. Poult. Res.* 4:300-309.

Kaliyan, N., and R.V. Morey. 2006. Factors affecting strength and durability of densified products. In: 2006 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Kerr, B.J., W.A. Dozier III, and G.C. Shurson. 2013. Effects of reduced-oil corn distillers dried grains with solubles composition on digestible and metabolizable energy value and prediction in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:3231-3243.

Kim, E.J., J.L. Purswell, and S.L. Branton. 2016. Effects of increasing inclusion rates of a low-fat distillers dried grains with solubles (LF-DDGS) in finishing broiler diets. *Int. J. Poult. Sci.* 15:182-187.

Latshaw, J.D., and J.S. Moritz. 2009. The partitioning of metabolizable energy by broiler chickens. *Poult. Sci.* 88:98-105.

Lily, K.G. S., C.K. Gehring, K.R. Beaman, P.J. Turk, M. Sperow, and J.S. Moritz. 2011. Examining relationships between pellet

quality, broiler performance and bird sex. *J. Appl. Poult. Res.* 20:231-239.

Loar II, R.E., J.S. Moritz, J.R. Donaldson, and A. Corzo. 2010. Effects of feeding distillers dried grains with solubles to broilers from 0 to 28 days posthatch on broiler performance, feed manufacturing efficiency and selected intestinal characteristics. *Poult. Sci.* 89:2242-2250.

McCapes, R.H., H.E. Ekperigin, W.J. Cameron, W.L. Ritchie, J. Slagter, V. Stangeland, and K.V. Nagaraja. 1989. Effect of a new pelleting process on the level of contamination of poultry mash by *Escherichia coli* and *Salmonella*. *Avian Diseases* 33:103-111.

McKinney, L.J., and R.G. Teeter. 2004. Predicting effective caloric value of non-nutritive factors: I. Pellet quality and II. Prediction of consequential formulation dead zones. *Poult. Sci.* 83:1165-1174.

Min, Y.N., A. Hancock, F. Yan, C. Lu, C. Coto, A. Karimi, J.H. Park, F.Z. Liu, and P.W. Waldroup. 2009. Use of combinations of canola meal and distillers dried grains with solubles in broiler starter diets. *J. Appl. Poult. Res.* 18:725-733.

Min, Y.N., F.Z. Liu, Z. Wang, C. Coto, S. Serrate, F.P. Costa, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2008. Evaluation of distillers dried grains with solubles in combination with glycerin in broiler diets. *Int. J. Poult. Sci.* 7:646-654.

Moritz, J. S., K.J. Wilson, K.R. Cramer, R.S. Beyer, L.J. McKinney, W.B. Cavalcanti, and X. Mo. 2002. Effect of formulation density, moisture and surfactant on feed manufacturing, pellet quality and broiler performance. *J. Appl. Poult. Res.* 11:155-163.

Nir, I., I. Twina, E. Grossman, and Z. Nitsan. 1994. Quantative effects of pelleting on performance, gastrointestinal tract and behavior of meat-type chickens. *Br. Poult. Sci.* 35:589-602.

NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

Oryschak, M., D. Korver, M. Zuidhof, X. Meng, and E. Beltranena. 2010. Comparative feeding value of extruded and nonextruded wheat and corn distillers dried grains with solubles for broilers. *Poult. Sci.* 89:2183-2196.

Payne, J.D., 2004. Predicting pellet quality and production efficiency. *World Grain* 3, 68-70.

Payne, R.L., T.D. Bidner, L.L. Southern, and K.W. McMillin. 2001. Dietary effects of soy isoflavones on growth and carcass traits of commercial broilers. *Poult. Sci.* 80:1201-1207.

Pfost, H.B. 1964. The effect of lignin binders, die thickness and temperature on the pelleting process. *Feedstuffs* 36:20-

54.

Pickford, J.R. 1992. Effects of processing on the stability of heat labile nutrient in animal feeds. In: Recent Advances in Animal Nutrition, P.C. Garnsworthy, W. Haresign, and D.J. A. Cole (Eds.), Butterworth Heinemann, Oxford, UK. Pp. 177-192.

Reece, F.N., B.D. Lott, and J.W. Deaton. 1985. The effects of feed form, grinding method, energy level and gender on broiler performance in a moderate (21°C) environment. *Poult. Sci.* 64:1834-1839.

Richert, B.T., and J.M. DeRouchey. 2010. Swine feed processing and manufacturing. In: D. J. Meisinger, editor, National swine nutrition guide. Pork Center of Excellence, Ames, IA. p. 245-250.

Robinson, R. 1976. Pelleting-introduction and general definitions. Feed manufacturing technology. Feed Production Council, American Feed Manufacturing Association, Inc., Chicago, Ill, 96-103.

Said, N.W. 1996. Extrusion of alternative ingredients: An environmental and nutrition solution. *J. Appl. Poult. Res.* 5:395-407.

Salmon, R.E. 1985. Effects of pelleting, added sodium bentonite and fat in a wheat-based diet on performance and carcass characteristics of small white turkey. *Anim. Feed Sci. Technol.* 12:223-232.

Shim, M.Y., G.M. Pesti, R.I. Bakalli, P.B. Tillman, and R.L. Payne. 2011. Evaluation of corn distillers grains with solubles as an alternative ingredient for broilers. *Poult. Sci.* 90:369-376.

Skinner-Noble, D.O., L.J. McKinney, and R.G. Teeter. 2005. Predicting effective caloric value of non-nutritive factors: III. Feed form affects broiler performance by modifying behavior patterns. *Poult. Sci.* 84:403-411.

Skoch, E.R., S.F. Binder, C.W. Deyoe, G.L. Allee, and K.C. Behnke. 1983. Effects of steam pelleting condition and extrusion cooking on a swine diet containing wheat middlings. *J. Anim. Sci.* 57:929-935.

Skoch, E.R., K.C. Behnke, C.W. Deyoe, and S.F. Binder. 1981. The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process. *Anim. Feed Sci. Technol.* 6:83-90.

Smallman C. 1996. Maximizing conditioning potential. *Feed Milling International* 190:16-19.

Spiels, M.J., M.H. Whitney, and G.C. Shurson. 2002. Nutrient database for distillers dried grains with solubles produced from new plants in Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.* 80:2639-2645.

Stark, C.R. 2009. Effect of die thickness and pellet mill

throughput on pellet quality. Abstract T89. Southern Poult. Sci. Soc. Meeting.

Stark, C.R., K.C. Behnke, J.D. Hancock, S.L. Traylor, and R.H. Hines. 1994. Effect of diet form and fines in pelleted diets on growth performance of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 72(Suppl 1):214.

Stevens, C.A. 1987. Starch gelatinization and the influence of particle size, steam pressure and die speed on the pelleting process. Ph.D. Thesis, Kansas State Univ., Manhattan.

Svihus, B., K.H. Kløvstad, V. Perez, O. Zimonjia, S. Sahlstrom, R.B. Schuller, W.K. Jeksrud, and E. Prestløkken. 2004. Physical and nutritional effects of pelleting broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. *Anim. Feed sci. Technol.* 117:281-293.

Thomas, M., and A.F.B van der Poel. 1996. Physical quality of pelleted animal feed 1. Criteria for pellet quality. *Anim. Feed Sci. Technol.* 61:89-112.

Thomas, M., T. van Vliet, and A.F.B van der Poel. 1998. Physical quality of pelleted animal feed: 3. Contribution of feedstuff components. *Anim. Feed sci. Technol.* 70:59-78.

Thomas, M., D.J. van Zuilichem, and A.F.B. van der Poel. 1997. Physical quality of pelleted animal feed. 2. contribution of processes and its conditions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 64:173-192.

Traylor, S.L. 1997. Effects of feed processing on diet characteristics and animal performance. Master's thesis. Kansas State Univ., Manhattan.

Tumuluru, J.S., C.C. Conner, and A.N. Hoover. 2016. Method to produce durable pellets at lower energy consumption using high moisture corn stover and a corn starch binder in a flat die pellet mill. *J. Vis. Exp.* 112:1-13.

Veldry matteran, A., H.A. Vahl, G.J. Borggreve, and D.C. Fuller, D.C. 1995. A survey of the incidence of Salmonella species and Enterobacteriaceae in poultry feeds and feed components. *Vet. Rec.* 136:169-172.

Vilarino, M., M.J. Picard, J.P. Melcion, and J.M. Faure. 1996. Behavioural adaptation of laying hens to dilution of diets under mash and pellet form. *Br. J. Poult. Sci.* 37:895-907.

Voragen, A.G.J., H. Gruppen, G.J.P. Marsman, and A.J. Mul. 1995. Effect of some manufacturing technologies on chemical, physical and nutritional properties of feed. In: Recent Advances in Animal Nutrition, P.C. Garnsworthy and D.J.A. Cole (Eds.), Feed Manufacturers Conference 1995, University of Nottingham, Nottingham University Press, pp. 93-126.

Wamsley, K.G.S., R.E. Loar II, K.Karges, and J.S. Moritz. 2013. The use of practical diets and regression analyses to determine the utilization of lysine and phosphorus in corn distillers dried grains and solubles using Cobb 500 male broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 22:279-297.

Wang, Z., S. Cerrate, C. Coto, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2007a. Effect of rapid and multiple changes in level of distillers dried grain with solubles (DDGS) in broiler diets on performance and carcass characteristics. *Int. J. Poult. Sci.* 6:725-731.

Wang, Z., S. Cerrate, C. Coto, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2007b. Use of constant or increasing levels of distillers dried grains with solubles (DDGS) in broiler diets. *Int. J. Poult. Sci.* 6:501-507.

Wang, Z., S. Cerrate, C. Coto, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2007c. Utilization of distillers dried grains with solubles (DDGS) in broiler diets using a standardized nutrient matrix. *Int. J. Poult. Sci.* 6:470-477.

Winowski, T. 1998. Examining a new concept in measuring pellet quality: Which test is best? *Feed Mgmt.* 49:23-26.

Winowski, B.Y.T., E. By, C. Stark, A. Fahrenholz, and C. Jones. 1962. Measuring the physical quality of pellets. American Soybean Association. LingoTech USA, Inc.

Wood, J.F. 1987. The functional properties of feed raw materials and their effect on the production and quality of feed pellets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 18:1-17.

Wondra, K.J., J.D. Hancock, K.C. Behnke, R.H. Hines, and C.R. Stark. 1995. Effects of particle size and pelleting on weanling pig performance and nutrient digestibility. *J. Anim. Sci.* 73:757-763.

Zimonja, O., A. Stevnebo, and B. Svihus. 2007. Nutritional value of diets for broiler chickens as affected by fat source, amylose level and diet processing. *Can. J. Anim. Sci.* 87:553-562.

CHAPTER 15

오리와 거위사료에 DDGS

서론

세계적으로 특히 아시아 국가들에서 오리와 거위의 생산은 증가하고 있다 (The Poultry Site a,b). 세계 육용오리의 생산량은 2013년에 4.4백만톤이었는데 아시아 국가들이 83.8%를 생산했다 (The Poultry Site, 2015a). 육용오리 생산에서 중국이 선두 주자 (2.9백만톤)이고 다음으로 Malaysia (129,600톤), Myanmar (107,000톤), Vietnam (102,500톤), Thailand (89,900톤), South Korea (69,400톤) 그리고 Taiwan (64,000톤)이다. 육용오리의 주품종은 Pekin, Muscovy (France) 그리고 mule ducks (푸아그라 생산을 위한 교잡종)이다. 난용오리의 주품종은 중국에서는 Jinding과 Shao ducks; 대만에서는 Tsaiya ducks; 베트남, 캄보디아와 인도네시아에서는 Khaki Campbell, Indian runner 그리고 Desi ducks이다 (Pingel, 2004). 태국에서는 난생산의 약 37%가 오리알이며, 다음으로 캄보디아 (21%), 인도네시아 (19%), 방글라데시 (16%), 중국 (15%) 그리고 필리핀 (12%) 이다 (Pingel, 2004).

세계적인 육용거위 생산량은 2013년에 2.7백만톤이었는데 (The Poultry Site, 2015b), 아시아에서 98% (2.6백만톤)를 생산했다. 육용오리와 유사하게 중국이 거위고기 생산 (2.55백만톤) 선두 주자였으며 다음으로 대만 (19,550톤)과 미얀마 (6,840톤)였다.

유감스럽게도 육용오리나 산란오리 그리고 육용거위나 산란거위에서 DDGS를 사용하는 시험은 많지 않았다. 그러나 이 장의 목적은 DDGS를 오리와 거위에게 급여하는 것에 대해 발표된 정보의 요약을 전달하는 것이다.

오리

육용오리

오리의 영양소 요구량에 대해서는 잘 정립이 되어있지 않은데 이는 여러 나라에서 사용되는 품종의 수가 많기 때문이다 (Creswell, 2012). 따라서 정확한 영양소 요구량에 대한 정보가 없는 상황에서는 적정 생산을 위한 배합표의 작성이 어렵다. 더욱이 DDGS를 포함하여 늘 사용하는 원료들의 ME가와 가소화 아미노산에 대한 정확한 정보가 없이는 오리사료를 배합한다는 것은 더욱 어렵다. Baeza (2015)는 육용오리의 영양소 요구량과 사양관리에 대한 개요를 잘 정리하였다 (표 1). Baeza는 mule duck의 초기, 중기, 후기의 단백질 요구량을 각각 23.5, 15.4 그리고 13.8% 라고 제시하였다. Baeza (2015)는 또한

2~4주령 Pekin ducks의 적정 증체와 사료전환율을 위한 AME 요구량은 약 3,000 kcal/kg인데, 사료의 열량수준이 2,700 kcal/kg 이상일 경우에는 복부지방이 증가한다고 하였다.

Wen 등 (2017)은 부화 후 21일령까지의 Pekin ducks의 열량과 lysine 요구량을 결정하였는데, 증체량을 기준으로 한 lysine요구량은 2,750과 3,050 kcal/kg AME 사료에서 각각 0.94과 0.98%라고 예측하였다. Kong과 Adeola (2010)는 White Pekin ducks에서 DDGS를 포함한 여러 원료들이 함유한 영양소들의 외관상 회장소화율을 결정하였다 (표 2). 예상했던 바와 같이 대두박은 DDGS, 옥수수 그리고 밀과 비교하여 가장 높은 질소와 외관상 아미노산 소화율을 보여주었다. 여기서, DDGS는 다른 원료들과 비교하여 가장 낮은 외관상 lysine 소화율을 보여주었는데, 이는 건조과정 중에 가해지는 높은 열처리 온도 때문인 것으로 보인다.

Creswell (2012)은 오리사료에 10에서 15%까지 옥수수 DDGS를 사용할 수 있다고 제시했는데, Kowalczyk 등 (2012)은 22~56일령 Pekin ducks에게는 DDGS를 25% 함유한 사료를 급여하여도, 성장률, 도체 또는 화학조성, pH 그리고 가슴육색에서 부정적 영향이 없었다. 이와 유사하게 Peilod 등 (2010)도 mule ducks 중기와 후기사료에 24% DDGS를 사용하여도 성장률에 부정적인 영향이 없었다.

Adamski 등 (2011)은 암수 Pekin ducks에게 22~49일 동안 0, 15, 25 그리고 30% DDGS를 첨가한 사료를 급여 시 성장률과 도체 특성에 미치는 영향을 검토하였다 (표 3). 도압 (slaughter) 시, 암수 각각 5수씩 사료처리구 별로 선택하여 subsample을 취하고 도체 특성을 평가하였다. 연구 결과 Pekin duck 사료에 DDGS를 30%까지 사용하여도 생체중, 도체수율, 가슴과 다리근육 중량, 피하지방부착 껍질무게 그리고 복부지방 무게에 영향이 없었다. 더욱이 가슴살의 pH, 색깔 그리고 cholesterol 함량에 차이가 없었으나 30% DDGS 사료 급여구는 수컷의 가슴살 지방함량이 증가하고 암컷의 가슴살 단백질 함량이 증가하였다. 이 실험의 결과는 육용오리의 사료에 DDGS를 30%까지 사용하여도 무방하다는 것을 시사한다.

표 1. 육용오리의 권장 열량과 영양소 요구량 (Baeza, 2015)

	초기 (day 1-14)	중기 (day 15-35)	후기 (day 35-49)
AME, kcal/kg	2,800-2,900	2,900-3,000	2,950-3,050
표준 회장가소화 아미노산, %			
Lysine	1.00	0.75	0.65
Methionine	0.37	0.29	0.26
Methionine + cysteine	0.70	0.55	0.49
Tryptophan	0.16	0.13	0.12
Threonine	0.62	0.48	0.44
Arginine	1.05	0.81	0.72
Isoleucine	0.65	0.50	0.45
Valine	0.77	0.59	0.51
Minerals and choline			
Calcium, %	0.70	0.65	0.60
가용 인, %	0.35	0.32	0.30
Sodium, %	0.20	0.16	0.14
Choline, mg/kg	1,800	1,500	1,250

표 2. White Pekin ducks에 있어서 DDGS, 옥수수, 대두박 그리고 밀의 외관상 건물, 질소 그리고 아미노산 소화율 (%)의 비교 (Kong과 Adeola, 2010)

	DDGS	옥수수	대두박	밀
건물	63 ^c	79 ^a	80 ^a	72 ^b
Nitrogen	77 ^b	75 ^{bc}	88 ^a	79 ^b
Arginine	84 ^{bc}	79 ^{cd}	94 ^a	78 ^b
Cystine	73 ^a	54 ^b	81 ^a	72 ^a
Histidine	81 ^b	84 ^{bc}	92 ^a	83 ^b
Isoleucine	79 ^b	75 ^b	90 ^a	81 ^b
Leucine	88 ^a	85 ^{ab}	89 ^a	82 ^{bc}
Lysine	69 ^c	78 ^b	90 ^a	77 ^b
Methionine	85 ^b	86 ^b	92 ^a	85 ^b
Phenylalanine	84 ^b	81 ^{bc}	90 ^a	84 ^b
Threonine	70 ^b	62 ^c	84 ^a	66 ^{bc}
Tryptophan	79 ^d	80 ^{cd}	93 ^a	91 ^{ab}
Valine	79 ^b	68 ^c	87 ^a	73 ^{bc}

a,b,c,d means within a row with different superscripts differ (P less than 0.01).

표 3. 사료에 DDGS 함유 수준과 성이 Pekin ducks의 증체 (22~49일령)와 도체조성에 미치는 영향 (Adamski 등, 2011)

	대조구		15% DDGS		25% DDGS		30% DDGS	
	수	암	수	암	수	암	수	암
체중, g								
Day 1	55	53	53	53	55	54	54	53
Day 21	1,017	976	1,030	1,164	1,118	1,087	1,098	1,008
Day 49	3,036	3,131	3,022	3,117	3,035	2,997	3,028	2,831
도압시 생체중, g	3,020	3,090	3,080	3,020	2,950	2,980	2,930	2,890
목을 포함한 도체중, g	2,013	1,944	2,057	1,992	1,874	1,948	1,880	1,887
도체수율, %	66.6	62.9	66.8	66.0	63.5	65.4	64.2	65.3
가슴살, g	224	256	248	234	186	206	194	199
다리근육, g	276	258	267	239	267	268	245	249
총도체근육, g	500	514	515	473	453	474	439	448
피하지방 포함 겹질, g	490	587	550	634	457	546	513	561
복부지방, g	21	28	32	39	22	26	24	24

산란오리

육용오리와 유사하게 산란오리의 영양소 요구량도 품종과 나라에 따라 잘 정립되어 있지 않다. 그러나 Baeza (2015)는 경험과 제한된 연구들의 결과를 기반으로 산란용 오리의 열량과 영양소 요구량을 제시하였다 (표 4).

미국곡물협회 (USGC)는 대만의 가축연구소 I-lan Branch의 연구를 지원했는데 연구자들은 옥수수 DDGS 함유 사료의 급여가 14~50주령 갈색 Tsaiya duck layers의 생산성과 난 품질에 미치는 영향을 평가하였다 (Huang 등, 2006). 오리들에게 임의로 급여한 네가지 처리 사료들은 0, 6, 12 또는 18% DDGS를 함유하였다. 사료들은 동열량, 동질소로 배합하였으며 2,750 kcal/kg ME와 19% 조단백질을 함유하였다. 이 연구의 결과에서는 산란용 오리사료에 DDGS를 18%까지 사용하여도 사료 섭취량, 사료전환율 그리고 난각의 품질에는 영향이 없었다. 산란용 오리에게 18% DDGS 사료를 급여 시 동절기 산란율이 증가하였고, 난중은 12% 또는 18% DDGS 사료군에서 증가하는 경향이 있었다. 난황색깔은 사료 내 DDGS 사용수준이 증가하면 향상되었는데, 이는 DDGS가 함유한 xanthophylls (자연 착색제)가 난용오리에서 잘 이용되고 있다는 것을 말해준다. 더욱이 DDGS 첨가 시 난황의 지방함량과 linoleic acid의 함량이 증가하였다. 이 결과는 난 생산과 품질에 영향 없이 난황특성을 향상시키기 위하여 산란용 오리사료에 DDGS를 18%까지 효과적으로 사용할 수 있다는 것을 시사한다.

거위

유감스럽게도 육용 또는 산란용 거위에게 DDGS를 급여한 사양시험에 대해서는 발표된 바가 없다. 따라서, 점증하고 있는 식용동물산업의 한 분야로 거위의 사료에 DDGS를 사용함으로써 경제적 그리고 영양적 가치를 얻기 위한 연구가 필요하다.

표 4. 산란오리의 열량과 영양소 권장량 (Baeza, 2015)

AME, kcal/kg	2,650
15% DDGS	
Lysine	0.80
Methionine	0.36
Methionine + cysteine	0.64
Tryptophan	0.16
Threonine	0.58
Arginine	0.96
Isoleucine	0.62
Valine	0.72
광물질과 choline	
Calcium, %	3.50
가용 인, %	0.35
Sodium, %	0.20
Choline, mg/kg	1,250

요약

제한된 발표자료에 의하면 DDGS는 육용오리사료에 30% 그리고 난용오리사료에 18%까지 사용하여도 생산성과 고기와 난 품질이 만족할 만한 결과를 얻었다. 거위에 있어서는 DDGS의 열량과 가소화 아미노산 함량 그리고 DDGS의 함유 수준에 따른 생산성에 미치는 영향에 대하여 발표된 자료가 없다. 만약 오리사료 제조에 사용하는 DDGS와 다른 원료들의 정확한 AME와 가소화 아미노산 값이 알려지고 오리 품종에 대한 열량과 아미노산 요구량이 알려진다면 DDGS의 사용수준을 높일 수 있을 것이다. 육계와 산란계에 비하여 오리와 거위는 조섬유 이용률이 높고 특히 탄수화물 분해효소와 phytase와 같은 효소제를 쓴다면, 오리와 거위사료에 더 많은 DDGS의 사용이 가능할 것이다. 오리와 거위사료에 더 많은 양의 DDGS를 사용하는 연구가 요망된다.

참고자료

- Adamski, M.P., A.M. Kowalczyk, E.T. Lukaszewicz, and M. Korzeniowska. 2011. Effect of sex and inclusion of dried distillers grains with solubles on slaughter yield and meat characteristics of Pekin ducks. *British Poultry Science* 52:742-749.
- Baéza, E. 2015. Nutritional requirements and feeding management of meat type ducks. 20th European Symposium on Poultry Nutrition, August 24-27, 2015, Prague, Czech Republic.
- Creswell, D. 2012. Feeding meat and laying ducks for maximum performance. In: *Proc. Poultry Feed Conference*, July 9-10, 2012, Bangkok, Thailand.
- Huang, J.F., M.Y. Chen, H.F. Lee, S.H. Wang, Y.H. Hu, and Y.K. Chen. 2006. Effects of Corn Distiller's Dried Grains with Soluble on the Productive Performance and Egg Quality of Brown Tsaiya Duck Layers. Personal communication with Y.K Chen agape118@so-net.net.tw.
- Kong, C., and O. Adeola. 2010. Apparent ileal digestibility of amino acids in feedstuffs for White Pekin ducks. *Poultry Science* 89:545-550.
- Kowalczyk, A, E. Lukaszewicz, M. Adamski, and J. Kuzniacka. 2012. Carcass composition and meat characteristics of Pekin ducks in relation to age at slaughter and level of maize distiller's dried grains with solubles. *J. Anim. Feed Sci.* 21:157-167.
- Peillod, C., V. Mancini, J.P. Metayer, F. Skiba, M. Laborde. 2010. Détermination du taux optimal d'incorporation de drêches de maïs dans la ration alimentaire des canards mulards mâles en phase de croissance et finition. In, 9^{èmes} Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras, 7-8/10/10, Bordeaux (France), 49-53.
- Pingel, H. 2004. Duck and geese production. *World Poultry* 20:26-28.
- The Poultry Site. 2015a. Global Poultry Trends - Asia Dominates Duck Production. September, 3, 2015 <http://www.thepoultrysite.com/articles/3506/global-poultry-trends-asia-dominates-duck-production/>
- The Poultry Site. 2015b. Global Poultry Trends - Goose Meat Trade 'Flat'. September 8, 2015. <http://www.thepoultrysite.com/articles/3507/global-poultry-trends-goose-meat-trade-flat/>
- Wen, Z.G., T.J. Rasolofomanana, J. Tang, Y. Jiang, M. Xie, P.L. Yang, and S.S. Hou. 2017. Effects of dietary energy and lysine on growth performance and carcass yields of Pekin ducks from hatch to 21 days of age. *Poultry Science* 0:1-6. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pex122>

CHAPTER 16

양돈 사료에 지방저감 DDGS

서론

옥수수 DDGS는 미국에서 모든 단계의 양돈 사료에 경제적이고 널리 보급되어 쓰이고 있는 사료원료이다. 옥수수 DDGS는 양돈 사료에서 주로 열량공급원으로 사용되고 있는데 이는 옥수수 DDGS의 ME 함량이 옥수수와 비슷하기 때문이다. 따라서 DDGS를 양돈 사료에 사용할 때는 주로 옥수수의 일부를 대체하고, 또한 대두박과 무기 인의 일부를 대체한다. 많은 연구에서 DDGS는 초기, 육성-비육돈 그리고 비육돈 사료에 30%까지 사용하고 임신돈 사료에는 50%까지 사용하여도 생산성에 부정적인 영향이 없었다. 실제로 일부 양돈 계열화 업체에서는 DDGS의 비용 절감 효과가 높기 때문에 육성-비육돈 사료에 지방저감 DDGS를 60%까지 사용하는 방안을 검토하고 있다. 하지만 이와 같은 높은 사용 수준에서 성장률과 도체 특성에 문제가 없이 사용하려면 특히 DDGS의 정확한 열량, 가소화 아미노산 그리고 가소화 인의 함량이 측정되어야 한다. 다행히도 많은 연구들이 수행되면서 지방저감 DDGS의 ME와 표준화 가소화 (SID) 아미노산 함량을 예측하는 방정식이 개발되어 영양전문가들이 정밀 양돈사양 프로그램에서 변이들을 다루는 데 도움을 주고 있다.

정확한 열량과 가소화 영양소값의 측정

대사열량 (ME)

미국의 에탄올 산업에서 널리 채택하고 있는 주정 옥수수유 추출은 비례적으로 DDGS의 생산량을 감소시키고, DDGS 제품의 ME와 영양소 함량 변이가 증가하였다. DDGS의 조지방 함량은 4~13%, NDF가 21~34% 그리고 조단백질의 함량은 24~35%이다 (Kerr et al., 2013). 그러나 지방추출 전 DDGS의 영양소 함량의 변이가 심하기 때문에 (Stein과 Shurson, 2009), 지방추출 후 다른 영양소들의 농도가 일률적으로 증가하지는 않는다.

사료원료의 영양소 조성은 열량 함량에 주된 영향을 주는데 이는 돼지에 있어서 단백질, 전분, 섬유소 그리고 지방의 소화와 이용효율이 다르기 때문이다 (Patience, 2009). 그 결과 돼지에서 지방저감 DDGS의 예측 ME는 2,858 kcal/kg에서 4,047 kcal/kg으로 변이가 심하다 (표 1). 비록 ME 함량 예측치의 변이가 심하지만 일반적으로 DDGS의 ME 가는 옥수수의 93% 이었다. 그러나 돼지에서 DDGS의

ME 함량을 예측하는 데 있어서 지방함량이 유일한 예측 지표는 아니다 (표 2). NRC (2012)는 DDGS의 평균 ME 함량은 DDGS의 지방함량이 10% 이상 (고지방)은 3,845 kcal/kg, 6~9% (중지방)는 3,801 kcal/kg 그리고 4% 이하 (저지방)는 3,476 kcal/kg이라고 적시하였다. 그러나 중지방과 저지방 DDGS의 ME 값은 소수의 발표논문에 의한 것이기 때문에 그 정확도에 대해서는 신빙성이 높지 않다.

지방저감 DDGS의 ME 함량의 변이에 영향을 주는 몇 가지 요소들이 있는 것으로 보인다. Kim 등 (2013)은 DDGS 지방의 돼지 소화율은 50% 정도라고 하였고, Kerr 등 (2013)은 지방의 외관상 총장관 소화율 (apparent total tract digestibility; ATTD)은 53~81%라고 하였다. 두 번째로, 돼지에서 DDGS의 조섬유 ATTD는 23~55% (Urriola 등, 2010)이었는데 이 또한 ME 함량의 변이에 일조한다. DDGS 제품 간에 조지방과 조섬유 소화율의 차이는 조섬유-전분-단백질 매트릭스의 공극률 차이 때문인 것으로 보이며 이는 섬유소의 발효와 탄수화물 분해효소의 효율에 영향을 준다 (Jha et al., 2015). DDGS의 입자도에는 변이가 있는데, Liu 등 (2012)은 DDGS를 작은 입자로 분쇄함으로써 ME 함량이 향상된 것을 보여주었다.

Kerr 등 (2013)이 평가한 DDGS의 건물 소화율은 66.8~77.3%로 비교적 높았는데 건물소화율과 ME 함량 간에는 뚜렷한 연관성이 없었다 (표 3). 조지방의 ATTD는 52.7~81.2%로 변이가 심했으며 역시 ME 함량과 연관성이 낮았다. DDGS 제품 중 8개의 조지방의 소화율이 50% 대였는데 이는 왜 조지방 함량이 단일 ME 예측지수로 부적합하다는 것인지를 일부 설명해 준다. DDGS에 함유된 NDF는 상당량이 열량으로 이용되는데 ATTD는 45.8~61.5% 이었다. 이 결과들은 Urriola 등 (2010)이 발표한 바와 유사하다. 질소 (조단백질)의 소화율은 76.9~84.8%로 DDGS간에 변이가 적었으나 ME 함량과의 연관성은 적었다. 과다한 질소는 열량으로 이용되지만 이는 열역학적으로 비싼 대사 과정이다. 유사하게 탄소 소화율은 비교적 높아 67.9~78.1% 였지만 ME 함량과는 뚜렷한 연관성이 없었다. 따라서 지방함량이 다른 DDGS의 ME 함량은 가소화 열량에 일조하는 여러 영양소들 (NDF, 조지방, 단백질)의 조합에 의해 결정되며, 지방함량이나 소화율에 의해서만 결정되는 것은 아니다.

표 1. 옥수수의 ME 함량과 비교한 DDGS의 ME 함량 (kcal/kg 건물) 추정치 요약 (NRC, 2012)

항목	n	DDGS의 ME 함량				DDGS : corn ¹ (%)
		평균	최소	최대	SD	
Hastad 등, 2004 ²	2	4,047	3,986	4,108	-	105.3
Hastad 등, 2004 ³	2	3,679	3,476	3,882	-	95.7
Stein 등, 2006	4	3,378	-	-	-	87.9
Pedersen 등, 2007	10	3,897	3,674	4,336	221	101.4
Stein 등, 2009	4	3,750	3,575	3,976	168	97.6
Dahlen 등, 2011	2	2,962	2,959	2,964	-	77.0
Jacela 등, 2011 ^{4,5}	1	2,858	-	-	-	74.3
Liu 등, 2012	3	3,730	3,583	3,862	140	97.0
Anderson 등, 2012	6	3,790	3,414	4,141	252	98.6
Anderson 등, 2012 ⁵	1	3,650	-	-	-	94.9
Kerr 등, 2013 ⁵	15	3,435	3,266	3,696	140	89.3
NRC, 2012, >10 % 지방	-	3,845	-	-	-	100.0
NRC, 2012, 6~9 %지방	-	3,801	-	-	-	98.9
NRC, 2012, <6 % 지방	-	3,476	-	-	-	90.4
Graham 등, 2014a ^{4,5}	1	3,365	-	-	-	87.5
Graham 등, 2014b ⁵	4	3,744	3,481	3,905	183	97.4
Adeola 등, 2014	1	3,559	-	-	-	92.6

¹ Average ME of DDGS sources as percentage of ME value of corn from NRC (2012)

² ME of DDGS determined using metabolism study. Moisture content was not reported, and values were presented on dry matter basis assuming 89.3 percent dry matter (NRC, 2012)

³ ME of DDGS determined using growth assay. Moisture content was not reported, and values were presented on dry matter basis assuming 89.3 percent dry matter (NRC, 2012)

⁴ ME was calculated using equation from Noblet and Perez (1993) based on determined DE and analyzed chemical composition

⁵ Studies involved reduced-oil (less than 10 percent) DDGS sources

표 2. 돼지에서 지방과 다른 영양소들의 함량이 다른 DDGS의 ME 함량 순위 (건물 기준; Kerr 등, 2013)

DDGS Source	ME, kcal/kg	ME/GE %	조지방, %	NDF %	조단백질, %	전분, %	회분, %
15	3,696	72.8	10.9	31.6	29.0	3.3	5.4
13	3,604	74.6	5.6	31.6	30.6	3.3	6.1
8	3,603	69.7	13.2	34.0	30.6	1.3	5.3
11	3,553	69.3	11.8	38.9	32.1	1.1	4.9
9	3,550	71.6	9.7	28.8	29.8	2.8	5.0
6	3,513	70.8	9.6	33.0	30.1	3.4	4.9
7	3,423	69.3	10.1	38.2	30.3	2.2	5.0
2	3,400	67.0	11.1	36.5	29.7	3.9	4.3
4	3,362	68.7	8.6	35.7	32.9	0.8	5.1
3	3,360	66.4	10.8	38.6	29.7	1.6	4.6
10	3,327	67.2	10.0	35.9	32.7	1.0	5.3
1	3,302	65.0	11.2	44.0	27.7	1.8	4.4
12	3,286	68.8	4.9	30.5	31.2	3.3	5.8
5	3,277	65.0	11.1	39.7	31.6	0.9	5.0
14	3,266	66.2	7.5	33.9	30.8	2.5	5.7

DDGS의 ME 값을 정확하고 정밀하게 평가하는 것이 양돈 사료의 배합비 작성과 DDGS의 영양적 그리고 경제적 가치를 최적화하는 데 중요하다. 옥수수 DDGS의 물리적 그리고 화학적 조성에 기반하여 돼지에서 DE와 ME를 예측하는 방정식을 개발하고 ME의 변이를 조절하기 위한 여러 개의 시험이 진행되었다 (Stein 등, 2006; Pedersen 등, 2007; Stein 등, 2009; Anderson 등, 2012; Kerr 등, 2013). 이 방정식들은 돼지에서 교차 검정되었다 (Urriola 등, 2014). 가장 정밀하고 (예측오차 = 144 kcal/kg) 정확한 (bias = 19 kcal/kg) DE 방정식은 다음과 같다:

$$DE = -2,161 + (1.39 \times GE) - (20.7 \times NDF) - (49.3 \times \text{조지방})$$

가장 정밀하고 (예측오차 = 149 kcal/kg) 정확한 (bias = -82 kcal/kg) ME 방정식은 위의 방정식에서 얻어진 DE 값을 사용하며 아래와 같다:

$$ME = -261 + (1.05 \times DE) - (7.89 \times \text{조단백질}) + (2.47 \times NDF) - (4.99 \times \text{조지방})$$

표 3. 돼지에서 지방과 다른 영양소들의 함량이 다른 DDGS의 ME 함량 순위 (건물 기준; Kerr 등, 2013)

DDGS Source	ME, kcal/kg	ATTD ¹ 건물	ATTD 조지방, %	ATTD NDF, %	ATTD 질소, %	ATTD 탄소, %
15	3,696	72.5	81.2	45.8	80.5	74.1
13	3,604	77.3	69.8	57.4	83.4	78.1
8	3,603	71.6	68.5	57.1	81.0	73.0
11	3,553	70.4	65.8	53.3	82.5	72.4
9	3,550	73.8	58.2	55.2	84.8	74.7
6	3,513	74.2	53.3	60.6	82.8	74.3
7	3,423	71.9	52.7	61.5	80.6	73.2
2	3,400	70.5	57.2	57.4	79.7	71.0
4	3,362	73.3	67.1	51.8	77.0	72.3
3	3,360	69.6	54.7	58.2	81.8	70.2
10	3,327	70.4	57.6	57.2	81.8	70.5
1	3,302	66.8	54.8	56.3	76.9	67.9
12	3,286	72.4	65.7	49.8	82.6	73.6
5	3,277	67.4	59.4	54.2	82.1	68.3
14	3,266	67.7	72.7	44.5	78.0	69.0

¹ ATTD; 외관상 총장관 소화율

Urriola 등 (2014)에 의해 검증된 가장 정밀하고 정확한 DE와 ME 예측 방정식을 더 평가하기 위하여, Wu 등 (2016a)은 육성-비육돈 실험을 실시하였다. 이 실험에서 예측 ME 함량이 비슷한 (각각 3,258, 3,315 그리고 3,232 kcal/kg, 건물) 6% 저지방, 10% 중지방 그리고 14% 고지방 DDGS를 40% 배합한 사료를 옥수수-대두박 대조구와 비교하여 성장률, 도체 조성 그리고 돈지방 품질을 비교하였다 (표 4). 사료들은 각 사육단계에서 유사한 농도의 표준회장 가소화 (SID) 아미노산과 표준 총장관 가소화 인을 함유하고 있었다. 이 실험의 결과에 의하면 40% DDGS를 배합한 사료를 급여한 돼지들은 사료 섭취량이 약간 감소하는데 이는 옥수수-대두박 사료에 비해 DDGS 내 섬유소의 함량이 높기 때문인 것으로 보인다. 그러나 DDGS의 조지방 함량은 변이가 있지만 예측 ME 함량은 유사하기 때문에 전체 ADG와 도체 특성에는 영향이 없었다. 저지방과 중지방 DDGS는 PUFA 함량이 낮아 이를 섭취한 돼지들은 복부 지방의 요오드가 (IV)가 감소되어 돈지방 품질을 향상시켰다. 더욱이 이 결과들은 6% 이상 지방을 함유한 DDGS의 ME 함량은 Urriola 등 (2014)에 의한 최적의 방정식을 사용하여 정확하고 정밀하게 예측할 수 있다는 것을 보여준다. 그러나 저지방 (6% 조지방) DDGS 사료를 급여한 돼지는 사료효율이 약간

감소하므로 저지방 (6% 이하 조지방) DDGS의 ME 함량을 정확하게 예측하기 위해서는 ME 예측방정식에 보완이 필요하다고 사료된다. Urriola 등 (2014)이 서술한 바와 같이 NRC (2012)에서 제시한 예측방정식은 지방저감 DDGS의 진정 ME 함량을 저평가하기 때문에 사용하지 않아야 한다.

표 4. 지방 함량이 다른 DDGS 사료 급여가 육성-비육돈의 성장률, 도체 특성 그리고 복부 지방 품질에 미치는 영향

항목	40% DDGS				SEM ²
	대조 ¹	저 ¹	중 ¹	고 ¹	
Pen 수	12	12	12	12	
체중, kg					
개시	39.24	39.52	38.95	39.58	0.90
종료	122.7 ^a	118.7 ^b	118.6 ^b	119.4 ^b	0.90
전체 ADFI, kg	2.72 ^a	2.65 ^{ab}	2.61 ^b	2.60 ^b	0.03
전체 ADG, kg	0.97 ^a	0.92 ^b	0.92 ^b	0.93 ^b	0.01
전체 사료효율(G/F)	0.368 ^a	0.356 ^b	0.365 ^a	0.367 ^a	0.003
온도체중, kg	90.97 ^a	86.69 ^b	86.80 ^b	87.24 ^b	0.88
도체 수율, %	74.2 ^a	73.0 ^b	72.9 ^b	73.0 ^b	0.20
등 지방 두께 ³ , mm	20.6	19.9	19.2	19.8	0.5
등심 근육 면적 ³ , cm ²	42.06 ^a	39.38 ^b	39.09 ^b	39.37 ^b	0.53
정육 ³ , %	51.9	51.6	51.9	51.6	0.3
복부 지방, IV ⁴	60.17 ^a	70.74 ^b	72.03 ^b	76.41 ^c	0.79

¹ CON = corn-soybean meal control diet; LOW(저) = low-oil DDGS (5.9 percent EE) diet; MED(중) = medium-oil DDGS (9.9 percent EE) diet; and HIGH(고) = high-oil DDGS (14.2 percent EE) diet

² Pooled SEM

³ Final BW was used as covariate in the statistical analysis.

⁴ IV = iodine value

^{a,b} Means with different superscripts within a row differ (P less than 0.05)

정미 열량

고섬유소 사료를 급여한 돼지의 열량 요구량을 충족시키는 데는 정미 열량 (NE) 시스템이 ME 시스템보다 정확하다 (Noblet et al., 1994). 그 결과 미국의 양돈영양 전문가들은 사료에 DDGS를 30% 이상 사용할 때 만족스러운 성장률과 도체 조성을 얻기 위한 배합표를 작성할 때 NE 시스템을 사용한다. 유감스럽게도 DDGS의 NE 함량을 결정하기 위한 시험은 제한적으로 수행되었다 (표 5).

비교도축 에너지측정법을 사용하여, Gutierrez 등 (2014)은 재래의 DDGS (13.0% 조지방)와 열처리하

지 않은 (발효 전에 효소 처리) DDGS (2.6% 조지방)의 NE 함량을 결정하였다. 재래 DDGS를 돼지에 급여 시 육성단계가 후기단계에 비해 NE 함량이 낮았다 (2,173 vs. 2,697 kcal/kg). 그러나 증자하지 않은 발효전에 효소처리한 DDGS의 NE는 육성기와 후기 간에 차이가 없었다 (각각 2,120와 2,058 kcal/kg). 증자하지 않은 DDGS의 NE가 재래 DDGS에 비해 육성기에는 차이가 없었으나 후기에는 낮은 이유는 불분명하다. 높은 지방함량의 재래 DDGS가 낮은 지방함량의 증자하지 않은 DDGS 급여 시보다 도체 지방 축적이 더 많이 일어났는데, 후기의 돼지는 육성돈에서보다 도체지방 축적을 훨씬 더 많이 하기 때문에 후기에 더 잘 축적된 것으로 보인다 (Gutierrez 등, 2014). 더욱이 DDGS의 NE 함량은 옥수수의 NE 함량보다 낮았고 (NRC, 2012), NRC (2012) NE 값보다 낮았다 (10% 이상 지방함량 DDGS는 2,669 kcal/kg, 4% 이하 지방함량 DDGS는 2,251 kcal/kg). 하지만 NRC (2012)의 NE 값은 생체시험에서 도출된 것이 아니고 배합사료를 기반으로 개발된 예측방정식으로부터 계산된 것이기 때문에 신뢰성이 떨어진다.

Kerr 등 (2015a)은 이중에너지 X-선 흡수측정법 (Dual-energy X-ray absorptiometry method)을 사용하여 6개 옥수수 DDGS의 NE 함량을 결정하였다 (표 5, 6). 비록 이들 DDGS의 지방함량은 7.0~13.3%로 차이가 있지만 NE 함량은 유의한 차이가 없었다 (2,012~2,253 kcal/kg). 6개 DDGS의 평균 NE 함량은 2,135 kcal/kg이었는데 옥수수 NE 함량 (NRC 2012)보다는 29.4% 낮고, Gutierrez 등 (2014)이 측정한 재래 DDGS (육성기와 비육기의 평균)보다는 12.3% 낮았다. 이 연구의 결과는 DDGS의 조지방 함량은 DDGS 열량 함량의 좋은 지표가 아니라는 것을 다시 한번 확인해 준다. 유감스럽게도 Kerr 등 (2015)은 평가하는 DDGS의 샘플수가 제한되어 있어 방정식 개발에 필요한 제품들 화학성분의 높은 변이가 부족하기 때문에 NE 예측방정식을 개발할 수 없었다.

다른 실험에서 Graham 등 (2014b)은 4개 DDGS의 NE 함량을 옥수수와 대두박의 NRC (2012) NE 함량을 사용하여 옥수수-대두박 대조군 사료를 급여한 돼지와 DDGS 사료를 급여한 돼지의 NE 효율 비교시험을 통해 예측하였다. 예측한 NE 값은 2,122~2,893 kcal/kg이었으며, DDGS의 조지방 (EE) 함량과 양의 상관관계가 있는 것으로 보여진다 ($NE, kcal/kg = 1,501.01 + 115.011 \times EE\%$; adjusted $R^2 = 0.86$). 최근에 Wu 등 (2016)은 지방함량이 다른 4개의 DDGS를 급여할 때 비육돈에서 NE 함량을 예측하고 성장률 반응과 NRC (2012) 요구량 모델을 이용하여 실제 NE 함량을 평가하였다. NE 평가치는 평균 2,660 kcal/kg 건물로 변이는 2,182~2,915 kcal/kg이었다. 이 평가치는 NRC (2012) 발표치 보다 상당히 높으나, Graham 등 (2014b)의 보고치와 유사하였다. Wu 등 (2016c)은 Kerr 등 (2015a)과 Wu 등 (2016c)의 결과를 이용하여 지방함량이 5.8~12.2%인 DDGS의 NE 예측 방정식을 개발하였다.

$$NE \text{ (kcal/kg 건물)} = -1130.5 + (0.727 \times \text{총열량}) + (23.86 \times \text{조지방}) - (10.83 \times \text{NDF}); (R^2 = 0.99; \text{인 함량 } < 0.01\%).$$

하지만 이 방정식을 사용하여 예측한 지방저감 DDGS의 NE에 대한 정확성에 관해서는 육성-비육돈의 사양시험을 통한 검정이 이루어지지 않았다. 발표된 모든 결과들을 요약하면 지방저감 DDGS의 가장 보수적인 NE 함량은 2,012 kcal/kg이고, 대부분의 DDGS의 경우 평균 NE 값으로 2,374 kcal/kg 건물을 사용하는 것이 적절할 것으로 보인다.

표 5. 옥수수 DDGS의 NE (kcal/kg 건물) 함량에 대한 발표 추정치들의 요약

항목	n	DDGS의 NE				DDGS: corn ¹ (%)
		평균	최소치	최대치	SD	
Gutierrez 등, 2014 ²	1	2,435	-	-	-	80.5
Gutierrez 등, 2014 ³	1	2,089	-	-	-	69.1
Graham 등, 2014b	4	2,551	2,122	2,893	318.8	84.3
Kerr 등, 2015a	6	2,135	2,012	2,253	89.2	70.6
Wu 등, 2016c	4	2,660	2,182	2,915	-	87.9
NRC, 2012, <10% 지방	-	2,384	-	-	-	78.8
NRC, 2012, <6 and <9% 지방	-	2,343	-	-	-	77.4
NRC, 2012, <6% 지방	-	2,009	-	-	-	66.4

¹ Average NE of DDGS sources as percentage of NE value of corn from NRC (2012)

² Conventional DDGS source

³ Uncooked (enzyme-treated prior to fermentation) DDGS source

표 6. 지방함량과 영양성분이 다른 DDGS의 돼지에서의 NE 함량 순위 (건물 기준; Kerr 등, 2015)

DDGS Source	ME, kcal/kg	ME, kcal/kg	ME/GE %	ME/ME %	조지방, %	NDF %	조단백질, %	전분, %	회분, %
6	2,381	3,734	44.8	59.3	11.4	31.1	32.2	4.7	5.5
5	2,326	3,893	45.9	60.4	7.0	27.8	29.8	4.4	5.5
1	2,262	3,830	42.6	58.2	13.3	38.3	29.7	2.5	4.8
2	2,249	3,723	43.0	58.9	10.4	38.5	32.0	2.3	4.7
3	2,219	3,874	42.6	55.5	9.1	39.6	31.6	3.8	5.4
4	2,129	3,716	42.3	56.7	8.0	31.0	30.6	4.9	5.6

가소화 아미노산

DDGS를 사료에 사용함에 있어서 중요한 제약조건들 중의 하나는 가소화 단백질량의 변이이다. 여러 개의 연구와 논문들은 여러 가지 DDGS 제품들의 아미노산 표준 회장소화율 (SID)을 발표하였다. 하지만 실제로 영양전문가들이 사료배합표 작성에 DDGS를 높은 수준에서 사용하기 위해서는 가소화 아미노산 함량을 역동적으로 평가할 수 있는 방법이 필요하다. 현재 사료에 DDGS를 높은 수준으로 사용함에 있어서 우려가 되고 있는 것은 원료의 변이와, 대두박에 비하여 DDGS의 가소화 아미노산의 함량과 균형이 미흡하기 때문에 성장률이 저하될 것이라는 점이다.

Olukosi와 Adebisi (2013)는 1997~2010년 사이에 발표된 옥수수 DDGS의 아미노산 조성 자료를 요약하였다 (표 7). 비록 조사한 DDGS는 지방함량이 10%가 넘지만, 이 자료들은 DDGS의 총 아미노산 함량의 고유한 변이를 이해하는 데 도움을 준다. 더욱이 이 연구자들은 조단백질 함량과 아미노산 들 중 arginine ($r = 0.44$), isoleucine ($r = 0.26$), lysine ($r = 0.22$) 그리고 tryptophan ($r = 0.33$)과의 상관관계가 낮고 유의하지 않음을 보여주었다. 이는 조단백질은 옥수수 DDGS 내 이들 아미노산 함량의 지표로 적합하지 않아 예측 방정식이 개발되지 않았음을 의미한다. 비록 다른 필수아미노산들의 함량은 조단백질 함량과 유의한 상관관계 (histidine, leucine, methionine, phenylalanine, threonine 그리고 valine의 $r = 0.68, 0.49, 0.73, 0.81, 0.59$ 그리고 0.61)가 있었지만 비교적 낮았고 예측 방정식의 결정계수 R^2 값 ($0.23 \sim 0.66$)도 낮았다. 이 결과들은 옥수수 DDGS의 조단백질 함량은 아미노산 함량의 지시제로는 적합하지 않으며, 정확한 결정을 위해서는 아미노산 함량을 직접 측정하는 것이 필요하다는 것을 확인해 주고 있다.

표 7. 1997~2010년 사이에 생산된 옥수수 DDGS의 필수 아미노산 조성의 변이 (Olukosi와 Adebisi, 2013)

	평균	최소	최대	표준편차	변이계수, %
Arginine %	1.22	1.06	1.46	0.098	8.0
Cysteine %	1.73	1.49	1.97	0.057	11.1
Histidine %	0.74	0.65	0.91	0.070	9.4
Isoleucine %	1.07	0.96	1.25	0.072	6.7
Leucine %	3.21	2.89	3.62	0.210	6.6
Lysine %	0.90	0.62	1.11	0.118	13.1
Methionine %	0.52	0.44	0.72	0.063	12.0
Phenylalanine %	1.29	1.09	1.51	0.123	9.6
Threonine %	1.03	0.93	1.16	0.067	6.5
Tryptophan %	0.22	0.16	0.26	0.022	10.3
Valine %	1.42	1.30	1.61	0.095	6.7

DDGS로부터 부분 지방 추출이 아미노산의 표준화장 소화율 (SID)과 SID 아미노산 함량에 미치는 효과를 측정하기 위하여 네 개의 시험이 수행되었다 Ren 등 (2011)은 저지방 (2.9~4.1%) DDGS는 재래의 고지방 (>10%) DDGS와 SID 아미노산 함량과 차이가 없었다. Li et 등 (2015)은 다른 condensed distillers solubles (CDS) 비율과 DDGS의 지방함량을 평가하였는데, 지방저감 DDGS는 고지방 DDGS보다 아미노산의 SID가 낮았고, 높은 CDS 비율은 고지방 DDGS에서 아미노산의 SID를 감소시키는 경향이 있었지만 지방저감 DDGS에서는 그렇지 않았다. Curry 등 (2014)은 두 개의 지방저감 (8.4와 7.9% 산 가수분해 지방; 건물 기준) DDGS들은 재래 DDGS (12.7% 산 가수분해 지방)에 비해 대부분 아미노산의 SID값이 감소하였고, 지방저감 DDGS의 낮은 아미노산 소화율은 사료에 지방을 첨가해도 극복되지 않는다고 하였다 (표 8). Gutierrez 등 (2016)에 의해 수행된 시험에서 옥수수-대두박 양돈 사료에 지방저감 DDGS의 첨가량이 증가하면 사료 lysine의 외관상 회장소화율이 감소하는 것을 발견하였다. 하지만 이 사료들에 대두유 6%를 첨가하면 lysine의 외관상 소화율을 증가시켰다. 아마도 기름 추출과정 동안 섬유소-전분-단백질 매트릭스에 상당한 변화가 일어나는 것으로 보이며, 이는 건조과정에서 열손상에 더욱 민감하여, 아미노산 소화율이 약간 감소하게 되는 것으로 보인다. 열손상을 입은 DDGS의 아미노산 소화율을 평가하기 위한 예측방정식이 개발되었는데 (Almeida 등, 2013), 그 정확도와 정밀성은 검증되지 않았다.

표 8. 돼지에서 지방함량이 다른 DDGS의 총 아미노산 함량, 표준화장 소화율 (SID) 그리고 표준화장 가소화 아미노산 함량 (SIDC) (건물 기준; Curry 등, 2014).

	11.5% 지방 DDGS			7.5% 지방 DDGS			6.9% 지방 DDGS		
	Total %	SID %	SIDC %	Total %	SID %	SIDC %	Total %	SID %	SIDC %
건물, %	90.6	-	-	89.0	-	-	87.5	-	-
AH EE ¹ , %	11.5	-	-	7.5			6.9		
조단백질, %	25.7	79.8 ^a	20.5	28.0	72.8 ^b	20.4	27.9	73.6 ^b	20.5
Arg	1.22	87.7 ^a	1.07	1.22	81.0 ^c	0.99	1.24	82.5 ^{bc}	1.02
Cys	0.62	76.0 ^a	0.47	0.62	67.8 ^c	0.42	0.63	68.8 ^{bc}	0.43
His	0.69	80.9 ^a	0.56	0.75	73.5 ^b	0.55	0.71	74.6 ^b	0.53
Ile	1.03	79.8 ^a	0.82	1.12	72.9 ^b	0.82	1.06	73.1 ^{bc}	0.77
Leu	2.79	87.7 ^a	2.45	3.17	83.4 ^{bc}	2.64	3.07	82.2 ^c	2.52
Lys	0.91	67.9 ^a	0.62	0.91	56.4 ^c	0.51	0.88	61.7 ^b	0.54
Met	0.52	88.1 ^a	0.46	0.59	84.8 ^{bc}	0.50	0.55	83.6 ^c	0.46
Phe	1.25	84.9 ^a	1.06	1.36	80.3 ^{bc}	1.09	1.35	79.8 ^c	1.08
Thr	0.97	73.4 ^a	0.71	1.02	66.9 ^c	0.68	1.02	68.2 ^{bc}	0.70
Trp	0.21	83.1 ^a	0.17	0.20	77.8 ^c	0.16	0.20	81.1 ^{ab}	0.16
Val	1.30	80.5 ^a	1.05	1.43	74.2 ^{bc}	1.06	1.33	74.6 ^{bc}	0.99

최근에 Zeng 등 (2017)은 2006~2015년에 발간된 22개의 논문과 1개의 석사논문 자료를 분석하여 요약하였다 (표 9와 10). 이 자료들은 Olukosi와 Adebisi (2013) 보다 지방저감 옥수수 DDGS들의 화학성분과 변이를 더 반영하였다. 이 연구자들은 돼지에서 지방저감 DDGS의 표준회장 가소화 아미노산 예측 방정식을 개발하기 위하여 메타분석을 실시하였다 (표 11). DDGS의 아미노산과 NDF 또는 ADF는 육성돈에서 DDGS의 SID 아미노산 함량의 좋은 지표이고, 이 예측방정식의 정확도와 정밀도는 이전에 발표된 연구들의 결과들보다 훨씬 향상된 것이다. 결과적으로 이 방정식들은 돼지에서 여러 가지 지방저감 DDGS들의 SID 아미노산 함량을 정확하게 평가하는 데 사용될 수 있다.

표 9. 2006~2015년에 돼지에게 급여한 옥수수 DDGS의 화학조성의 변이 (88% 건물 기준; Zeng 등, 2017)

영양소	평균	CV %
조단백질, %	27.1	8.7
조섬유, %	8.2	26.2
NDF %	34.1	13.4
ADF %	11.5	21.2
조지방, %	8.8	36.3
회분, %	4.1	24.9

표 10. 2006~2015년에 돼지에게 급여한 옥수수 DDGS의 총 아미노산 함량과 표준회장 소화율 (SID) 그리고 변이계수(CV, %)의 변이 (88% 건물 기준; Zeng 등, 2017)

필수아미노산	평균 총, %	CV, %	SID 계수, %	CV, %
Arginine %	1.15	11.8	0.83	6.8
Histidine %	0.74	14.2	0.78	5.5
Isoleucine %	0.99	11.8	0.76	9.2
Leucine %	3.16	13.7	0.85	4.0
Lysine %	0.80	17.9	0.62	13.5
Methionine %	0.54	15.1	0.82	7.0
Phenylalanine %	1.32	12.3	0.82	4.5
Threonine %	1.01	15.5	0.71	7.1
Tryptophan %	0.20	16.3	0.72	12.7
Valine %	1.35	11.1	0.77	5.9

표 11. 돼지에게 급여한 DDGS의 표준회장 가소화 (SID) 아미노산 함량 예측방정식 (88% 건물 기준; Zeng 등, 2017)

아미노산, g/kg	방정식	R ²
SID Arginine	$= -0.26 + (\text{Arg, g/kg} \times 0.97) - (\text{NDF, g/kg} \times 0.004)$	0.99
SID Histidine	$= -0.08 + (\text{His, g/kg} \times 0.94) - (\text{NDF, g/kg} \times 0.003)$	0.99
SID Isoleucine	$= 0.07 + (\text{Ile, g/kg} \times 0.90) - (\text{NDF, g/kg} \times 0.005)$	0.99
SID Leucine	$= 0.30 + (\text{Leu, g/kg} \times 0.90) - (\text{ADF, g/kg} \times 0.018)$	0.97
SID Lysine	$= -1.03 + (\text{Lys, g/kg} \times 0.88) - (\text{NDF, g/kg} \times 0.003)$	0.98
SID Methionine	$= -0.22 + (\text{Met, g/kg} \times 1.00) - (\text{NDF, g/kg} \times 0.002)$	0.99
SID Methionine + Cysteine	$= 0.05 + (\text{Met+Cys, g/kg} \times 0.92) - (\text{NDF, g/kg} \times 0.005)$	0.99
SID Phenylalanine	$= 0.15 + (\text{Phe, g/kg} \times 0.92) - (\text{NDF, g/kg} \times 0.004)$	0.99
SID Threonine	$= 1.30 + (\text{Thr, g/kg} \times 0.64) - (\text{ADF, g/kg} \times 0.028)$	0.99
SID Tryptophan	$= -0.17 + (\text{Trp, g/kg} \times 0.89)$	0.99
SID Valine	$= -0.49 + (\text{Val, g/kg} \times 0.87) - (\text{ADF, g/kg} \times 0.070)$	0.99

R²: 결정계수

초기의 연구는 DDGS 색깔 (L*과 b*)이 닭과 돼지에서 DDGS의 가소화 아미노산 함량을 평가하는 데 유용하다고 하였으나, 근래에 실시한 Urriola 등 (2013)의 연구에 의하면 색깔은 아미노산 소화율의 정확한 지표가 아니다. Urriola 등 (2013)은 34개의 옥수수 DDGS와 한 개의 수수 DDGS 그리고 두 개의 밀 DDGS의 아미노산의 SID를 측정하였다 (그림 1). 이 결과들에서 보면 DDGS 제품들 간에 아미노산 소화율은 상당히 많은 변이가 있는데, L* 값이 50 이하에서는 50 이상일 때보다 가소화 lysine 함량과 연관성이 더 높았으나 두 경우 모두 R² 값은 낮았다 (각 0.48과 0.03). 그러므로 색깔은 옥수수 DDGS의 가소화 아미노산 함량의 지표로 사용해서는 안된다.

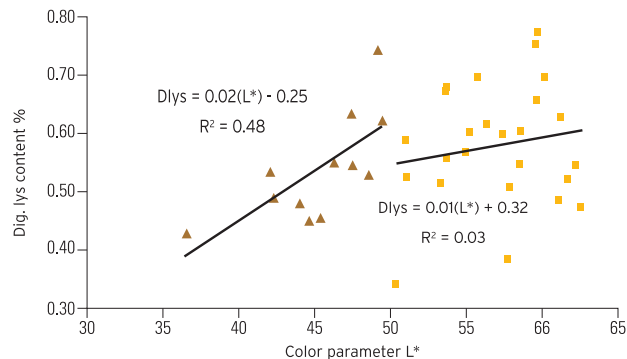


그림 1. 37개 DDGS 제품에서 색깔의 명도(L*)와 가소화 lysine 함량의 상관관계 (Urriola 등, 2013)

미네소타대학교 연구자들은 광학밀도와 전면형광법 (optical density and front face fluorescence) (Urriola 등, 2013)을 사용하여 34개의 DDGS 제품의 lysine, methionine, threonine 그리고 tryptophan의 소화율을 평가하는 방법을 개발하였다. 일부 DDGS의 아미노산 소화율이 감소한 것은 생산과 건조과정에서 열처리에 기인한 것이다. 환원당 상태의 단백질을 가벼운 열처리하면 Schiff's bases 또는 초기 Maillard 제품을 형성하며, 좀더 강한 열처리를 하면 진전된 Maillard 제품이나 melanoidins이 생성된다. 초기 Maillard 제품의 일부는 환상구조를 가지고 있는데, 이를 형광으로 탐색한다. 전면형광법은 신속한 방법으로 DDGS의 열손상을 정량할 수 있으며 아미노산의 SID를 예측하도록 교정 (calibration) 하였다 (Urriola 등, 2013). 하지만 DDGS의 SID 아미노산을 예측하는 방법으로 사용 시 그 정확성에 대해서는 검증되지 않았다.

연구에 의하면 DDGS의 아미노산들은 소화율이 떨어질 뿐만 아니라 생체이용률도 낮다 (Fontaine 등, 2007; Pahm 등, 2008). DDGS의 제조과정 중에 건조 시 열처리가 사료원료의 단백질에 몇 가지 영향을 미친다 (Meade 등 2005). 열처리는 lysine의 일부를 직접 분해할 뿐만 아니라 소화가 잘 되지 않는 lysine 부분을 증가시키거나, 흡수 후에 사용되지 않고 오줌으로 배설된다 (Rutherford, 2015). 이는 lysine이 Maillard 반응을 거치면서 영양적으로 이용이 되지 않는 물질로 변하기 때문이다. Lysine의 곁사슬 아미노 그룹과 O-methylisourea가 반응하여 homoarginine을 만드는 구아디닌반응은 변질되지 않는 lysine (reactive lysine)을 측정하는 데 사용되어 왔다. 종합하면 열처리는 소화되어 단백질 축적에 이용되어야 할 생체이용 lysine의 일부를 감소시켜 돼지의 성장률과 정육율을 감소시킨다 (Almeida 등, 2014).

DDGS의 아미노산이 열해를 입는 것은 단백질 (DDGS의 약 27%)과 당 또는 전분 (DDGS의 2~8%)의 혼합물이 열처리 동안 강력하게 결합하는 Maillard reactions에 기인한다 (Fontaine 등, 2007). 하지만 지방 (DDGS 내 5~12% 조지방)과 지방과산화물이 또한 아미노산과 결합하여 매트릭스에서 생체이용이 되지 않는 분해 산물을 생산한다 (Meade 등, 2005). 열 스트레스는 불포화 지방산 (옥수수유의 linoleic 산과 같은)의 과산화를 촉진하여 hydroperoxides, aldehydes, ketones 그리고 다른과산화물을 생산한다. Hydroperoxides (과산화수소)는 methionine, cystine 그리고 tryptophan을 산화시키고 aldehydes와 ketones는 lysine 및 histidine과 반응한다. 이전의 연구에서 보면 DDGS의 건조과정에서 옥수수유의 열처리는 과산화수소와 aldehydes를 증가시키는데, 이는 옥수수 알곡으로부터 채유한 옥수수유에서 발견되는 양의 20~25배에 달한다 (Song과 Shurson, 2013). 이 시험의 목적은 옥수수 DDGS의 지방 과산화도를 측정하는 것이다. 옥수수 DDGS의 지방함량은 변이가 있기 때문에 열처리는 Maillard products 생성에 일조할 뿐만 아니라 지방 과산화물의 생성에도 작용하기 때문에 lysine과 다른 아미노산들의 소화율을 감소시킨다.

사료원료 내 생체가용 lysine의 함량을 측정하는 Furosine 방법 (Finot, 2005), reactive 또는 guanidination 방법 (Rutherford, 2015) 그리고 다른 chemometric 방법으로 front-face fluorescence (Urriola 등, 2013)과 liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS; Wang et al., 2016) 등을 포함하는 여러 가지 방법들이 개발되었다. 이들 중 guanidination과 furosine 방법은 시간이 걸리고 비싸기 때문에 산업체에서 DDGS의 생체가용 lysine을 평가하는 데 사용하지 않아 더 이상 개발되지 않고 있다. Front-face fluorescence (FFF)는 신속한 분석 방법으로 DDGS의 생체가용 lysine 부분을 측정하는 데 유용할 것으로 기대된다. 하지만 아직 타당성이 검증되지 않았고 형광을 발하는 환상구조의 형성에만 의존하고 있다. 보다 총체적인 분석 방법으로는 LC-MS chemometrics의 사용인데, 열처리 과정 중에 생산되는 여러 가지 화학물질들을 정량할 수 있다. 사실 LC/MS와 FFF는 우유가공 결과와 품질을 결정하는 데 사용된다 (Ntakatsane 등, 2011). 가금과 양돈산업에서 DDGS의 생체가용 아미노산을 평가하기 위하여 실질적이고, 빠르고 정확하면서도 비용이 저렴한 분석 방법의 개발에 대한 연구가 필요하다.

가소화 인

인은 양돈 사료에서 세 번째로 비싼 성분으로, 다른 곡물이나 곡물 부산물들과는 달리, DDGS는 높은 수준의 총인과 가소화 인을 함유하고 있다. 그러므로 DDGS를 양돈 사료에 사용하여 가소화 인을 기준으로 배합표를 작성 시 무기 인의 사용량을 줄일 수 있어 비용이 절감된다. 또한 여러 에탄올공장에서는 DDGS 생산과정에서 phytase를 첨가하여 DDGS의 인의 가소화율을 더욱 높인다. 이 또한 DDGS 제품의 가소화 인 함량의 변이를 크게 하는 요인이다.

영양전문가들은 돼지사료 내 인의 이용에 대한 표현 방법에 있어 혼란스러울 때가 있다. 총인은 사료원료에 들어 있는 모든 인을 말하며, 곡물과 곡물 부산물에 들어있는 phytic acid (phytate)로 알려진 불소화 인도 포함한다. 따라서 총인량 기준으로 배합한다면 돼지에게 이용되는 양을 고려하지 않기 때문에 가소화 인의 함량을 과대평가할 수 있다. 생체가용인은 총인량 중 소화되고 흡수되며 생리적 기능에 이용되거나 체내에 저장되는 부분이다. 인의 생체이용률은 소화시험을 통해 경사비검증 (slope-ratio assay)로 결정하며, 이론적으로는 체조직에서 소화되고 흡수 후 이용되는 인의 양을 평가하는 것이다. 인의 생체이용률은 흔히 가용인으로 불리기도 한다. 가용인을 경사비검증으로 결정하는 것은 무기 인을 직선적으로 점증시켜 반응 (성장률 또는 골회분)의 기울기를 만들어 시험원료의 같은 반응의 직선적 기울기를 비교하는 것이다. 그러나 이 방법은 무기 인의 이용률이 100%가 아닌데 100%라고 가정하는 결함이 있고, 반응기준에 따라 평가치에 차이가 있으며 비용이 많이 든다. 그러므로 생체가용인 값을 사용할 때, 이 값은 무기 인의 생체이용률을 참고하여 평가한 것이기 때문에 진정한 생체이용률을 나타내는 것이 아니라는 것을 명심할 필요가 있다. 만약 이를 고려치 않는다면, 가용인을 기준으로 사료배합표를 작성하였을 때 실제 이용되는 인의 양을 과대평가할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근

연구에 사용되는 인의 평가방법은 외관상 총장관 소화율 (apparent total tract digestibility; ATTD)과 표준 총장관 소화율 (standardized total tract digestibility; STTD)이다. ATTD와 STTD 인의 차이점은 STTD는 기본 내생 인 손실을 보정한다는 점이며, 결과적으로 진정소화율을 평가하는 데 정확성이 더 높다. 그러므로 ATTD 인의 사용은 기본 내생 인 손실을 고려하지 않기 때문에 인의 진정 소화율을 과소평가할 수 있다. Shen 등 (2002)은 옥수수 인의 기본 내생 손실은 돼지의 일당 인 요구량의 약 26%에 달한다고 평가하였다. 따라서 내생 손실 보정 후, STTD 인의 값은 모든 사료원료에서 가산적이며 사료 내 인의 진정소화율을 가장 정확하게 평가하는 값이다 (Gonçalves 등, 2017).

NRC (2012)는 6~9% 지방함량의 DDGS 내 인의 ATTD와 STTD를 각각 60%와 65%라고 적시하였다. 최근 연구에 의하면 이 값들은 낮고 보수적이라고 보고 있다. Almeida와 Stein (2010)은 DDGS 내 인의 STTD는 72.9%라고 하였으며, 사료에 500 FTU/kg의 미생물 phytase 첨가는 옥수수과 대두박에 첨가 시와는 달리 인의 STTD (75.5 %)를 개선시키지 않았다. STTD 인에 기준하여 사료를 배합하면 돼지의 성장률을 감소시키지 않았으며, phytase의 사용, DDGS 또는 옥수수-대두박 사료에 두 가지를 함께 사용할 경우 육성돈에서 인의 배설량을 감소시켰다. 이어진 시험에서, Almeida와 Stein (2012)은 130, 430, 770 또는 1,100 FTU/kg의 미생물 phytase를 첨가 시 인의 STTD를 각각 76.9, 82.9, 82.5 그리고 83.0% 증가시키는 경향이 있었다. 이들 연구자들은 DDGS 내 인의 STTD를 예측하는 회귀방정식을 개발하였으나 결정계수 R^2 값이 0.20에 불과하여, DDGS 내 인의 STTD를 예측하는 데 적합하지 않았다.

Hanson 등 (2011)은 DDGS를 0, 10 또는 20% 함유한 사료를 가용인을 기준으로 배합했을 때의 장점을 총인을 기준으로 배합 시와 비교하여 보여주었다. 시험의 결과 사료 내 DDGS 배합수준이 증가하면, 사료 내 총인과 분 중 인의 농도가 감소하였으나 인의 배설, 축적, 또는 소화율에는 영향이 없었다. Baker 등 (2013)은 육성돈에서 DDGS 인의 STTD와 상대적 생체이용률 값을 비교 (제2 인산칼슘: dicalcium phosphate에 비해)하는 두 개의 시험을 수행하였다. 제2 인산칼슘과 DDGS의 STTD는 각각 86.1%와 55.8%이었고, DDGS는 제2 인산칼슘에 비하여 87%의 이용률을 가지고 있었다. 하지만 이 연구자들은 DDGS 인의 상대적 생체이용률은 DDGS 인의 진정이용률을 과대평가했고, 인의 STTD 값은 DDGS 인의 상대적 생체이용률을 정확하게 계산할 수 없다고 결론지었다. 따라서 적정 인 영양을 위해서는 돼지 사료에 사용되는 원료들의 인의 STTD를 결정하여 사용하는 것이 필요하다.

Rojas 등 (2013)은 DDGS 인의 STTD를 결정하였는데 미생물 phytase를 870 FTU/kg 사료를 사용하면 82.8%, 사용하지 않으면 76.5% 이었는데 이들의 차이는 유의하지 않았다. 짐작하기는 이 시험에서 phytase의 첨가가 인의 STTD 개선효과가 미미한 것은 DDGS 내 phytate 함량이 비교적 낮기 때문인 것으로 보인다.

She 등 (2015)은 지방함량이 다른 DDGS들 (고지방; 10.3%, 중지방; 9.1%, 저지방; 3.5% 조지방)을 함유한 사료에 600 FTU/kg phytase를 첨가하고 인의 STTD를 측정하였다. 인의 STTD는 고지방, 중지방 그리고 저지방 DDGS에서 각각 71.2, 70.8 그리고 71.8% 이었다. 이 결과는 DDGS의 지방함량은 DDGS 인의 STTD에 영향이 없다는 것을 보여준다.

요약하면 돼지에게 DDGS 함유 사료를 급여할 때 적정 인 영양을 정확하게 이루기 위해서는 사료를 STTD 인 기준으로 배합해야 한다는 것이다. 근래에 이루어진 연구들의 결과에 의하면 인의 STTD는 59~77%이지만 대체로 NRC (2012)가 발표한 65%보다는 높다. 유감스럽게도 돼지에서 DDGS 인의 STTD를 추정하는 적절한 예측방정식이 개발되지 못했다. 따라서 DDGS를 함유한 일반 사료배합표 작성 시 NRC (2012)에서 발표된 보수적인 인의 STTD 추정치를 사용하여야 할 것이다. DDGS 사료에 phytase 첨가로 인의 이용률을 향상시키는 효과가 미미한 것은 여러 DDGS에 phytate 함량이 비교적 낮기 때문일 것이다. 비록 DDGS 내 인의 비교 생체이용률이 제2 인산칼슘의 87%이지만 이 값은 DDGS 인의 진정 이용률을 과대평가한다.

성장률

자돈과 육성-비육돈 사료에 ME와 NE를 배합표 작성에 사용하여 고지방 그리고 지방저감 DDGS를 60%까지 첨가하는 시험을 여러 곳에서 실시하였다. 2010~2017년에 실시한 26개 시험의 논문과 한 개의 학위논문을 사용하여 이들 요인들의 전체적인 효과를 요약하기 위하여 메타분석을 실시하였다 (Asmus 등, 2014a; Benz 등, 2011; Coble 등, 2017; Cromwell 등, 2011; Davis 등, 2015; Duttlinger 등, 2012; Graham 등, 2014a,b,c; Hardry matteran, 2013; Jacela 등, 2011; Jha 등, 2013; Jones 등, 2010; Kerr 등, 2015a; Lammers 등, 2015; Lee 등, 2013; Li 등, 2012; McDonnell 등, 2011; Nemechek 등, 2015; Overholt 등, 2016a; Pompeu 등, 2013; Salyer 등, 2013; Seabolt 등, 2010; Tsai 등, 2017; Wang 등, 2012; Wu 등, 2016a; Ying 등, 2013). 표 12는 27개 시험과 106개 관찰 자료를 기반으로 자돈과 육성-비육돈에게 DDGS 사료를 급여 시 전체적인 성장률 반응 (대조구 사료 급여와 비교하여 %로 표시)을 요약한 것이다.

대조구와 비교하여 작지만 유의한 ($P < 0.05$) ADG 감소 (-2.4%)와 사료효율 (G/F) 감소 (-1.2%)가 있었으며, ADFI는 감소 (-0.7%)하는 경향 ($P < 0.10$)이 있었다. 그러나 이러한 결과에 대해서는 적절한 해석이 매우 중요하다. 첫째, 이 시험들은 사료 내 DDGS 배합량이 20% 이상이고 어떤 사료는 60%까지 배합하였다. 둘째, 비록 전체적으로 음의 반응을 보였지만, ADG에서 2.1% 라는 것은 육성-비육돈에서 일당 0.90 대 0.92kg의 차이이고 사료효율은 0.45 대 0.46의 차이이다. 이와 같이 작은 차이는 일반 양돈 농장에서는 인지하기가 어렵다. 더욱이 양돈 사료에 높은 수준 (특히 20% 이상)의 DDGS를 배합함으로

써 약간의 성장률 감소가 있다고 하더라도 얻게 되는 사료비 절감효과가 훨씬 크다. 세 번째, 여기서 보이는 약간의 생산성 저하는 영양전문가들이 배합표를 작성할 때 부정확한 ME, NE 그리고 가소화 아미노산값을 사용했기 때문일 수도 있으며, 특히 반응이 가장 저조한 시험에서 이렇게 될 가능성이 크다. 실제로 성장률 반응에 대한 106개 관측치 중 대부분의 경우는 ADG (관측수의 72%), ADFI (관측수의 63%) 그리고 사료효율 (관측수의 67%)이 대조구와 비교했을 때 차이가 없었다 (표 13).

표 12. 옥수수 DDGS의 양돈 사료에 함유수준이 성장률에 미치는 영향 (2010년 이후 27개 연구 결과의 요약)

	DDGS : 대조구 (%로 표시) ¹			개시 BW, kg	종료 BW, kg	급여일 수
	ADG	ADFI	Gain:Feed			
관측 수	106	106	106	106	106	106
연구 수	27	27	27	27	27	27
평균	-2.4**	-0.7*	-1.2**	41.5	101.6	66.4
최소	-12.3	-12.8	-17.7	6.7	17.5	20.0
최대	4.1	18.0	6.5	105.7	134.9	120

**Means differ from 0 (P less than 0.05)

*Means differ from 0 (P less than 0.10)

¹ The inverse of pooled standard errors of observations was used as a weight factor in the analysis

² BW = body weight

표 13. 옥수수 DDGS의 양돈 사료에 함유수준이 성장률에 미치는 영향 (2010년 이후 수행된 27개 연구 결과의 요약)

	N	옥수수 DDGS에 대한 반응 ¹		
		증가	감소	변화 없음
ADG	106	0	30	76
ADFI	106	10	29	67
Gain:Feed	106	7	28	71

¹ The number of significant and non-significant results

표 14에서 보여주는 바와 같이 이 연구에서 106개의 관측 중 72개는 지방저감 DDGS를 양돈 사료에 배합하여 성장률 반응을 평가하였다. 지방저감 DDGS를 급여한 돼지는 전체적으로 고지방 DDGS를 급여한 돼지의 ADG (-1.7%)와 사료효율성 (-1.3%) 감소보다 약간 많지만 아직도 적은 ADG (-2.6%)와 사료효율성 (-1.1%)의 감소를 보였다. 이와 같은 작은 차이는 실험사료를 배합할 때 지방저감 DDGS의 열량과 가소화 아미노산의 값을 부정확하게 입력한 때문이라고 사료된다. 전체적으로 이 27개 시험의 대

부분은 고지방 DDGS 급여군 (88%) 또는 저지방 급여군 (64%)의 ADG에 차이가 없었으며, ADFI (고지방 56%, 지방저감 67%) 그리고 사료효율 (고지방 62%, 지방저감 69%)도 차이가 없었다 (표 15). 비록 대부분의 연구(27개 중 22개)에서 사료배합에 NE 시스템 대신 ME 시스템을 사용했지만, NE시스템 사용 시 ME사용 시 (각각 -2.3%, -0.5% 그리고 -1.5% 감소)와 비교하여 약간 많지만 아직도 적은 ADG (-2.6%)와 ADFI (-1.8%)의 감소가 있었지만 사료효율 (-0.4%)은 적게 감소되었다 (표 16). 이와 같은 작은 차이는 실제에는 중요한 것이 아니며, 이 연구에서 사용한 DDGS의 잘 정리되지 않은 NE 값을 사용한 결과로 보인다. 다시 한번 대부분의 관측치(표 17)는 ADG (ME 71%, NE 76%), ADFI (ME 64%, NE 62%) 그리고 사료효율 (ME 59%, NE 100%)에서 차이가 없음을 보였다.

표 14. 고지방 (>10%)과 지방저감 (<10%) 옥수수 DDGS의 급여가 돼지의 성장을 반응에 미치는 영향 (2010년 이후 수행된 27개 연구 결과의 요약)¹

	DDGS : 대조구 (%로 표시)			개시 BW, kg	종료 BW, kg	급여일 수
	ADG	ADFI	Gain:Feed			
고지방 DDGS						
관측 수	34	34	34	34	34	34
연구 수	9	9	9	9	9	9
평균	-1.7**	-0.3	-1.3**	48.6	119.5	75
최소	-9.0	-7.9	-7.6	30.3	81.7	43
최대	3.2	8.2	3.7	49.7	134.9	96
지방저감 DDGS						
관측 수	72	72	72	72	72	72
연구 수	19	19	19	19	19	19
평균	-2.6**	-0.8*	-1.1**	9.4	20.2	25
최소	-12.3	-12.8	-17.7	6.7	17.5	20
최대	4.1	18.0	6.5	105.7	132.9	120

**Means differ from 0 (P less than 0.05)

*Means differ from 0 (P less than 0.10)

¹ The inverse of pooled standard errors of observations was used as a weight factors in the analysis

² BW = body weight

표 15. 돼지에게 고지방 (> 10% 조지방)과 지방저감 (< 10% 조지방) 옥수수 DDGS 함유 사료를 급여 시 성장률 반응의 비교 (2010년 이후 수행된 27개 연구 결과의 요약)

	N	옥수수 DDGS에 대한 반응 ¹		
		증가	감소	무변화
ADG	34	0	14	30
ADFI	34	9	6	19
Gain:Feed	34	1	12	21
	N	지방저감 옥수수 DDGS에 대한 반응 ¹		
		증가	감소	무변화
ADG	72	0	26	46
ADFI	72	1	23	48
Gain:Feed	72	6	16	50

¹ The number of significant and non-significant results

표 16. 옥수수 DDGS 사료를 배합하는 데 대사열량 (ME) vs. 정미 열량 (NE) 시스템의 사용이 돼지의 성장률 반응에 미치는 영향 (2010년 이후 수행된 27개 연구 결과의 요약)¹

	DDGS : 대조구 (%로 표시)			개시 BW, kg	종료 BW, kg	급여일 수
	ADG	ADFI	Gain:Feed			
ME						
관측 수	85	85	85	85	85	85
연구 수	22	22	22	22	22	22
평균	-2.3**	-0.5	-1.5**	48.6	119.5	75
최소	-12.3	-12.8	-17.7	6.7	17.5	134.9
최대	4.1	18.0	6.5	100.6	134.9	96
NE						
관측 수	21	21	21	21	21	21
연구 수	5	5	5	5	5	5
평균	-2.6**	-1.8**	-0.4	9.4	20.2	25
최소	-9.0	-7.9	-4.9	29.1	106.2	20
최대	3.2	6.9	3.5	105.7	130.0	93.0

**Means differ from 0 (P less than 0.05)

¹ The inverse of pooled standard errors of observations was used as a weight factor in the analysis

표 17. 옥수수 DDGS 사료를 배합하는 데 대사열량 (ME) vs. 정미 열량 (NE) 시스템의 사용이 돼지의 성장률 반응에 미치는 영향 (2010년 이후 수행된 27개 연구 결과의 요약)¹

	N	옥수수 DDGS의 ME 함량 사용에 대한 반응 ¹		
		증가	감소	무변화
ADG	85	0	25	60
ADFI	85	10	31	54
Gain:Feed	85	7	28	50
	N	옥수수 DDGS의 NE 함량 사용에 대한 반응 ¹		
		증가	감소	무변화
ADG	21	0	5	16
ADFI	21	0	8	13
Gain:Feed	21	0	0	21

¹ The number of significant and non-significant results

비록 성장률 반응에 대한 조사에서 육성-비육돈 (n=87)에 비해 자돈 (n=19)에 대한 관측 수는 적지만 DDGS 사료 급여 시 ADG와 사료효율의 상대적 감소가 자돈에서 더 컸다 (표 18). 그렇지만 이 관측에서 68%는 ADG에 차이가 없었으며 89%는 ADFI가 차이가 없었고, 74%는 사료효율에 차이가 없었다 (표 19). 따라서 DDGS 사료를 급여한 자돈의 성장률 감소가 컸던 것은 한 개의 연구에서 부정적인 반응을 보인 결과로 보인다. 그러므로 자돈 사료 배합 시 DDGS의 정확한 가소화 영양소 조성 자료를 사용하면, 대부분의 경우 대조구와 비교하여 성장률에 차이가 없을 것으로 예측된다.

표 18. 옥수수 DDGS 사료를 자돈 vs. 육성-비육돈에게 급여 시 성장률 반응에 미치는 영향 (2010년 이후 수행된 28개 시험 결과의 요약)¹

	돼지 나이		표준오차
	DDGS : 대조구 (%로 표시)		
	〈 35 kg BW	〉 35 kg BW	
관측 수	19	87	-
연구 수	4	24	-
ADG	-6.3**	-2.2**	1.05
ADFI	-1.8	-3.7**	1.52
Gain:Feed	-3.7**	1.4	1.28

**Means differ from 0 (P less than 0.05)

¹ The inverse of pooled standard errors of observations was used as a weight factor in the analysis

표 19. 옥수수 DDGS 사료를 자돈 vs. 육성-비육돈에게 급여 시 성장률 반응에 미치는 영향 (2010년 이후 수행된 28개 시험 결과의 요약)¹

	N	DDGS 급여 자돈의 반응 ¹		
		증가	감소	무변화
ADG	19	0	6	13
ADFI	19	0	2	17
Gain:Feed	19	0	5	14
	N	DDGS급여 육성-비육돈의 반응 ¹		
		증가	감소	무변화
ADG	87	0	24	63
ADFI	87	10	27	50
Gain:Feed	87	7	23	57

¹ The number of significant and non-significant results

미국에서는 옥수수 DDGS를 육성-비육돈 사료에 20~30% 사용하는 것이 보통이다. 그러나 DDGS를 사용하면 사료비가 많이 절약되기 때문에 일부 대형 양돈기업에서는 약간의 성장률 감소는 예상되지만 사료비 절약이 크므로 사료에 DDGS를 60%까지 사용하기 시작하였다. 최근에 사용허가가 난 사료첨가제 (Liponate™; Nutriquest, Mason City, Iowa)를 사용하면 도체지방이 연해지는 것을 방지할 수 있고, 지방저감 DDGS를 급여하되 출하 수주 전에 사용을 중지하면 DDGS를 30% 이상 사용하여도 돈지 품질을 유지할 수 있다. 반면에 DDGS 수입국의 영양전문가들은 DDGS를 성장률 감소 우려 때문에 육성-비육돈사료에 20% 이상 사용하는 것을 꺼린다. 결과적으로 DDGS 사용 수준이 낮기 때문에 상당한 사료비 절감을 실행하지 못하고 있다. 하지만 DDGS의 열량과 가소화 아미노산 예측방정식을 사용하면 정확한 ME와 SID 아미노산 함량을 예측할 수 있기 때문에 이를 사용하면 육성-비육돈 사료에 DDGS를 30%까지 사용하여도 성장률 감소를 우려하지 않아도 된다. 배합 시 돼지의 요구량을 충족시키기 위하여 합성 아미노산과 사료 지방의 첨가가 요구될 것이다. 여러 수준의 DDGS를 함유한 사료의 급여에 따른 성장률 반응의 요약을 표 20에서 보여준다. 지방저감 DDGS를 자돈과 육성-비육돈 사료에 20%까지 사용 시 ADG, ADFI 그리고 G/F가 약간 감소되는 영향이 있었다. 실제로 DDGS를 25~30% 함유한 사료를 사용했을 때 대부분의 ADG (70%), ADFI (68%) 그리고 사료효율 (62%) 반응에는 변화가 없었다. 제한된 관측 수 (n=9)지만 DDGS를 30% 이상 배합 시 반수에서는 ADG와 ADFI는 차이가 없었지만, 나머지 반수에서는 각각 2.4%와 2.8%의 감소가 있었다. 그러나 이들 차이의 영향은 작았다 (DDGS 구와 대조구의 ADG 차이; 0.9 vs 0.92kg/day)

돼지사료에 DDGS 함유수준이 30% 이상으로 높을 때 돼지의 성장률이 약간 감소하는 데는 몇 가지 이유가 있다. 첫째, DDGS는 옥수수과 대두박에 비해 섬유소 함량 (35~45%)이 높다. 섬유소는 돼지사료의 ME와 NE 함량을 감소시키며 장의 포만감 때문에 사료 섭취량을 제한한다. 그 결과 자돈과 육성초기의 돼지는 그들의 열량 요구량을 충족시킬 수 있을 만큼 충분히 고섬유소 사료를 섭취하는 것이 물리적으로 불가능하다. DDGS의 섬유소이용과 ME와 NE 함량을 향상시키기 위하여 사료에 효소를 첨가하는 연구가 근래에 가장 활발하게 진행되고 있는 분야들 중에 하나다 (18장 참조). 유감스럽게도 DDGS 사료에 시판 탄수화물 분해효소제나 단백질 분해효소제를 첨가 시 돼지에서 섬유소 소화율이나 열량 함량에 지속적인 향상 효과를 보여주지 못한다. 둘째, 배합표 작성 시 정확한 ME와 NE 값의 사용이 필수적이다. 많은 영양전문가들은 옥수수 DDGS의 열량가 (DE, ME)를 정확히 평가할 수 있는 예측 방정식 (Urriola 등, 2014)의 사용에 대해 잘 모르고 있다. 이 방정식에서 도출한 ME 값을 사용하면 사료 섭취량과 성장을 적절히 할 수 있는 적정 배합표의 작성이 가능할 것이다. 더욱이 아미노산의 표준 회장소화율 (SID)은 DDGS의 섬유소 농도에 의해 영향을 받는다 (Urriola와 Stein, 2010). 따라서 DDGS의 총 아미노산과 NDF를 기준으로 옥수수 DDGS의 SID 아미노산을 역동적으로 평가하기 위한 정확한 예측방정식을 개발하기 위하여 발표된 자료에 대한 메타분석을 실시하였다 (Zeng 등, 2017). 실제로 일부 상업적 회사들은 (예; Nutriquest, Cargill and Evonik) 영양전문가들에게 DDGS의 SID 아미노산을 평가하는 서비스를 제공하고 있다. 따라서 옥수수 DDGS의 ME, NE 그리고 SID 아미노산의 함량을 평가하기 위하여 영양전문가들은 이 장에서 서술한 예측 방정식을 사용하거나 상업적인 서비스를 이용하여야 할 것이다.

돼지사료에 높은 수준 (>30%)을 첨가 시 돼지의 성장률에 영향을 미치는 DDGS 또 다른 성분에 대해서는 연구가 덜 되었다. 옥수수 DDGS는 섬유소의 함량이 높는데, 높은 섬유소 함량은 돼지에서 threonine의 요구량을 높인다 (Zhu 등, 2005). Mathai 등 (2016)은 돼지에서 저 섬유소 사료를 급여할 때보다 대두피나 완두피를 함유한 사료를 급여할 때 lysine과의 비율로 표시되는 threonine의 요구량이 증가하는 것을 보여주었다. DDGS의 배합량이 많은 사료를 급여 시 섬유소의 구성에 따라 threonine의 내생 손실량이 증가하고 결과적으로 threonine의 요구량이 증가할 것이다 (Blank 등, 2012). Huang 등 (2017), Saqui-Salces 등 (2017a) 그리고 NRC (2012) model의 자료에 따르면, 고배합 DDGS 사료 급여 시의 예상 threonine 내생 손실량 (요구량의 %)은 7.7%로 옥수수-대두박 사료 급여 시의 3.2%보다 크다. 그 결과 DDGS 사료에서 적정 SID threonine:lysine 비율은 61%로 옥수수-대두박 사료의 59%보다 크다.

DDGS 섬유소가 threonine의 내생 손실에 미치는 역할과 더불어 DDGS는 대두박보다 leucine 함량이 3.3배 높다. leucine 함량이 isoleucine과 valine보다 각각 1.12배 그리고 1.47배 높기 때문에 돼지사료에서 대두박 함량을 줄이고 DDGS의 배합비가 높은 (>30%) 사료를 급여 시 isoleucine과 valine의 부

표 20. 옥수수 DDGS의 사료 내 함유수준이 돼지의 성장을 반응에 미치는 영향 (2010년 이후 실시된 25 개 연구¹)

	DDGS - 대조구		사료 내 옥수수 DDGS에 대한 반응		
DDGS 함유율	평균 %	N	증가	감소	무변화
< 12.5%					
ADG	-0.95	13	0	2	11
ADFI	0.15	13	0	2	11
Gain:Feed	-0.60	13	1	1	11
15 to 20%					
ADG	-0.91*	27	0	3	24
ADFI	-0.65	27	6	6	15
Gain:Feed	-0.66	27	3	7	17
25 to 30%					
ADG	-3.20**	47	0	14	33
ADFI	-0.24	47	4	11	32
Gain:Feed	-2.14**	47	1	17	29
> 30%					
ADG	-2.44**	9	0	5	4
ADFI	-2.28**	9	0	4	5
Gain:Feed	-0.18	9	0	3	6

**Means differ from 0 (P less than 0.05)

**Means differ from 0 (P less than 0.05)

*Means differ from 0 (P less than 0.10)

¹ Data from Jha et al. (2015) were omitted from the analysis because DDGS diets contained barley (16 percent), extruded full-fat flax seed and field peas (20 percent). Data from Benz et al. (2011) were omitted from analysis because DDGS diets were supplemented with peroxidized oil, which resulted approximate 20 times greater iodine value in the DDGS diets compared to the control diet

죽현상이 일어날 수 있다. 이들 세 결사슬 아미노산 들은 α -keto-acid dehydrogenase complex (BCKDC)를통해 같은 분해회로를 공유한다. 이 효소는 kinase에 의해 불활성화되고 그 활력은 leucine의 분해 산물에 의해 변화된다 (Harris 등, 2004). 따라서 과다한 leucine의 섭취는 isoleucine과 valine의 분해를 증가시킨다 (Wiltafsky 등, 2010; Gloaguen 등, 2012). 비록 Htoo 등 (2017)이 돼지에서 leucine의 공급이 과다할 때 (SID leucine:lysine이 > 160) isoleucine과 valine의 요구량을 결정하였지만, DDGS를 함유한 사료는 leucine 대 isoleucine과 valine의 비율이 다르기 때문에 이 결사슬 아미노산들의 비율을 사용하는 것은 검토되지 않았고 대규모 양돈생산 시스템에서 배합표 작성 시 평가되지 않았다. 과다한 사료 내 leucine의 주된 영향은 사료 섭취량 감소다. DDGS의 과다한 leucine 함량과 그

로 인한 isoleucine과 valine의 분해는 아미노산 요구량을 충족시키기 위한 대두박 단백질의 공급으로 완화시킬 수 있으므로 다량의 합성 lysine이나 아미노산들의 사용 (> 0.15% Lys HCl; Stein와 Shurson, 2009)을 피할 수 있다. 하지만 현재 합성 아미노산과 DDGS의 가격이 저렴하기 때문에 DDGS를 30% 이상 함유한 돼지사료에 대두박 사용량을 줄이고 합성 아미노산을 사용하는 것이 권장된다. 더욱이 사료 내 과다한 leucine이 isoleucine과 valine의 분해에 미치는 영향은 합성 isoleucine을 첨가하여 아미노산 균형을 맞추으로써 완화시킬 수 있다. DDGS 30% 이상 함유한 자돈과 육성-비육돈 사료의 결사슬 아미노산 균형에 대한 연구가 진행 중이다.

급여기 설계와 사양관리

상업적 양돈 농장에서는 장점과 단점이 있는 다양한 디자인의 급여기를 사용하고 있다. Bergstrom 등 (2012)은 재래식 건식 급여기와 습식-건식 급여기를 비교하고, 급여기의 구멍 조절이 육성돈의 성장률과 도체 특성에 미치는 영향을 평가하였다. 이 연구자들은 습식-건식 급여기를 사용하여 급여한 돼지들의 ADG, ADFI, 온도체중 그리고 도체 등 지방 두께가 높은 것을 관측하였다. 또한 이들은 습식-건식 급여기가 재래 건식 급여기보다 급여기 조정 차이에 더 민감하다는 것을 관측하였다. 이 연구의 결과를 바탕으로 연이은 시험에서 Bergstrom 등 (2014)은 DDGS를 20% 또는 60%를 배합한 육성-비육돈 사료를 습식-건식 급여기 또는 재래 건식 급여기를 사용하여 돼지의 성장률과 도체 특성을 비교 평가하였다 (표 21). 총 1,080두의 돼지를 사용한 이 시험은 한 전업 양돈 농장에서 실시되었다. 돼지들은 40개 우리에 27두씩 배치하고 습식-건식 또는 재래 건식 급여기를 설치하였다. 사료는 10% 이상의 지방을 함유한 ME가 3,420 kcal/kg인 DDGS를 사용하고 ME 기준으로 배합표를 작성하였고 Stein 등 (2006)이 발표한 DDGS의 표준 회장소화율 (SID)가를 사용하였다. 다른 원료들의 ME 값과 SID 아미노산값은 NRC (1998) 자료를 이용하였다. 성장률, ADFI 그리고 종료체중은 재래 건식 급여기를 사용한 구보다 습식-건식 급여기를 사용한 구가 더 높았으나, 사료효율은 재래 건식 급여기 사용구가 높았다. 그 결과 습식-건식 급여기를 사용한 구의 돼지는 재래 건식 급여기 사용구의 돼지보다 온도체중이 무겁고, 도체 등 지방 깊이가 깊고, 도체 무지방 정육 지수가 적고 그리고 아래턱 지방의 요오드가가 낮았다. 60% DDGS 사료의 급여는 20% DDGS 사료 급여 시보다 ADG와 사료효율을 약간 감소시키고, 종료체중을 감소시키는 경향이 있었다. 60% DDGS 사료의 급여는 온도체중과 등 지방 깊이가 적었고, 무지방 정육 지수와 턱 지방 요오드가가 높았으나, 도체 수율에는 영향이 없었다. 이상의 결과들은 급여기의 디자인이 DDGS 사료 급여 돼지의 성장률과 도체 구성에 유의한 영향을 미치며, 사료에 아주 높은 수준 (60%)의 DDGS 첨가 육성-비육돈 사료의 급여는 ADG, 사료효율 그리고 온도체중을 감소시키나, 무지방 정육 지수 (%)를 향상시켰다.

표 21. 사료 내 DDGS 함유수준과 급여기 디자인이 육성-비육돈의 성장률과 도체 특성에 미치는 영향 (Bergstrom 등, 2014)

	급여기 디자인			
	습식-건식		재래 건식	
	20% DDGS	60% DDGS	20% DDGS	60% DDGS
성장률, 0~99일				
ADG ^{1,2} , kg	0.95	0.92	0.88	0.86
ADFI ¹ , kg	2.59	2.59	2.28	2.31
Gain:Feed ^{1,2}	0.367	0.355	0.384	0.382
BW ¹ , kg	129.2	126.9	122.6	121.3
도체 특성				
온도체중 ^{1,2} , kg	96.6	93.5	90.9	89.8
도체 수율, %	74.9	75.1	74.9	75.2
등 지방 깊이 ^{1,2} , mm	19.0	18.1	16.7	16.2
등심 근육 깊이, cm	5.96	5.89	6.10	5.99
무지방 정육 지수 ^{1,2} %	49.5	50.0	50.6	50.8
턱 지방 옥도가 ^{1,2}	72.1	80.4	73.5	81.9

¹ Feeder design effect (P less than 0.05)

² Diet DDGS inclusion rate effect (P less than 0.05)

Weber 등 (2015)은 30% 또는 60% DDGS 사료를 급여기 간격을 달리하여 급여하고 돼지의 성장률을 평가하는 시험을 실시하였다 (표 22). 다양한 양의 choice white grease를 첨가하여 사료를 동열량이 되도록 배합하였고, 사용된 DDGS 공급원의 대사 가능한 에너지 함량을 Noblet and Perez (1993)의 방정식을 사용하여 추정하였다. 자돈과 육성-비육돈의 5단계 사양 프로그램을 사용하였고 3, 4, 5, 6 그리고 7단계에서 사료 내 DDGS의 함유수준은 각각 27.5, 30.0, 32.5, 32.5 그리고 26.3% 이었다. 60% DDGS 사료에서는 3, 4, 5, 6 그리고 7단계에서 DDGS 함유 비율은 각각 30.0, 59.9, 59.9, 59.9 그리고 30.0% 이었다. 급여기 간격과 DDGS 배합수준 사이에는 상호작용이 없었으며, 육성-비육기 동안 30% 또는 60% DDGS 사료를 급여한 돼지의 성장률이나 도체 특성은 급여기 간격에 의해 영향을 받지 않았다. 더욱이 30% 또는 60% DDGS 사료를 급여한 돼지의 종료체중, ADG, ADFI 그리고 사료효율에는 차이가 없었다. 하지만 30% DDGS 사료를 급여한 돼지는 60% DDGS 사료를 급여한 돼지보다 온도체중과 도체 수율이 높고 등심 깊이가 깊었다. 이 연구의 결과들을 보면 육성-비육기간동안 급여기의 간격은 30% DDGS 사료나 60% DDGS 사료 급여 돼지의 성장률이나 도체 특성에 영향이 없었으나 60% DDGS 사료 급여구에서는 30% DDGS 사료 급여구보다 도체중, 도체 수율 그리고 등심 깊이가 약간 저하되었다.

표 22. 급여기 간격을 달리하고 DDGS 함유수준을 달리한 사료를 4, 5, 그리고 6기에 급여한 육성-비육돈의 증체율과 도체 특성 (Weber 등, 2015)

	급여기 간격, cm/pig			사료 ¹	
	4.1	4.9	5.7	30% DDGS	60% DDGS
우리 당 돼지 수	31	31	31	31	31
체중, kg					
Day 0	29.9	29.8	29.8	30.3 ^a	29.3 ^b
출하	121.5	122.2	122.9	122.4	121.9
CV %					
Day 61	18.3	17.9	17.2	18.0	17.6
Day 152	11.1	11.0	9.8	10.9	10.5
ADG, kg	0.91	0.91	0.92	0.91	0.92
ADG carcass, kg	0.69	0.70	0.71	0.71	0.69
ADFI, kg	2.06	2.04	2.04	2.07	2.03
Gain:Feed ²	0.44	0.45	0.45	0.44	0.45
Gain:Feed ³	0.34	0.34	0.35	0.34	0.34
출하까지 일수	155.0	156.2	155.8	156.1	155.3
도체 특성					
우리 수	10	10	10	15	15
온도체중, kg	92.7	93.4	93.4	93.9 ^a	92.7 ^b
수율, %	75.2	75.7	75.7	76.1 ^a	75.2 ^b
등 지방 깊이, mm	12.8	12.7	12.7	12.6	
등심 깊이, mm	63.6	64.4	64.4	64.9 ^a	62.9 ^b

^{a,b} Means within a row and main effect without a common superscript are different (P less than 0.05)

¹ Diet inclusion rate of DDGS during phases 4, 5 and 6

² Gain:Feed calculated using live ADG

³ Gain:Feed calculated using carcass ADG

Myers 등 (2013)은 25~45%의 DDGS와 15~30%의 제빵부산물을 함유한 육성-비육돈 (n=1,290) 사료를 가루나 펠릿으로 만들어 재래 건식 또는 습식-건식 급여기를 사용하여 5단계 사양프로그램에서 사육하였을 때, 사료의 형태가 성장률과 도체 특성에 미치는 영향을 평가하였다 (표 23). 사료의 형태와 급여기 디자인 사이에는 ADG에 상호작용이 없었으나 펠릿 사료를 급여한 돼지의 ADG는 가루사료를 급여한 돼지보다 ADG가 높았다. 습식-건식 급여기를 사용한 돼지는 재래 건식 급여기를 사용한 돼지보다 ADG가 높았다. 건식 급여기를 사용하여 가루사료를 급여한 돼지는 펠릿 사료를 급여한 돼지보다

ADFI가 감소되었지만, 습식-건식 급여기를 사용하였을 때 두 가지 사료 형태의 ADFI는 차이가 없었다. 습식-건식 급여기를 사용했을 때 가루사료나 펠릿 사료 간에 사료효율에 차이가 없었으나 건식 급여기를 사용할 때는 가루사료에 비해 펠릿 사료 급여구의 사료효율이 낮았다. 도체 특성에 있어서는 사료 형태 × 급여기 디자인의 상호작용이 없었고, 도체 특성에서 사료 형태 간 차이가 없었지만 습식-건식 급여기를 사용하여 급여한 돼지는 건식 급여기를 사용한 돼지보다 등 지방이 많고 도체 무지방 정육의 %가 낮았다.

어떤 때는 DDGS의 가격과 공급이 변동하기 때문에 육성-비육기 동안 경제적 이득을 취하기 위하여 DDGS를 간헐적으로 사용할 때가 있다. 또한 일반 사료회사에서는 영양소 함량과 소화율에 변이가 있는 여러 가지 DDGS 제품을 사용하기 때문에 배합표를 작성할 때, 열량과 아미노산 함량과 소화율을 역동적으로 조정하지 않으면, 성장률과 도체 조성에 영향을 줄 수 있다. Hilbrands 등 (2013)은 육성-비육기 동안 DDGS 첨가와 무첨가 사료를 번갈아 급여하였을 때, 성장률과 도체 조성에 미치는 영향을 측정하기 위해 두 개의 실험을 실시하였다. 첫 번째 실험에서, 3단계 사양프로그램으로 옥수수-대두박 대조구와 20% 또는 40% DDGS 사료를 사용하여, 대조구 사료와 20% 또는 40% DDGS 사료를 계속적으로 먹이거나 대조구 사료와 20% DDGS 사료와 40% DDGS 사료를 2주마다 번갈아 급여하였다. 표 24에서 보는 바와 같이 20% DDGS 사료를 계속적으로 급여하거나 대조구 사료와 20% DDGS 사료를 2주씩 번갈아 급여하거나 성장률과 도체 특성에는 차이가 없었다. 하지만 대조구 사료와 40% DDGS 사료를 2주마다 번갈아 급여하였을 때, 다른 사료 처리구들에 비해 온도체중이 감소하였다.

표 23. DDGS 사료를 급여한 육성-비육돈에서 사료 형태와 급여기 디자인이 성장률과 도체 조성에 미치는 영향 (Myers 등, 2013)

	재래 건식 급여기		습식-건식 급여기	
	가루사료	Pellet	가루사료	Pellet
성장률, 0~91일				
ADG ^{1,2} , kg	0.84	0.85	0.89	0.91
ADFI ^{1,2} , kg	2.29 ^a	2.45 ^b	2.50 ^b	2.51 ^b
Gain:Feed ¹	0.369 ^a	0.349 ^c	0.357 ^{bc}	0.361 ^{ab}
Body weight ² , kg	123.1	124.0	127.2	128.5
Pellet 품질				
PDI	-	74.0	-	74.0
가루, %	-	36.6	-	36.6

표 23. DDGS 사료를 급여한 육성-비육돈에서 사료 형태와 급여기 디자인이 성장률과 도체 조성에 미치는 영향 (Myers 등, 2013)

	재래 건식 급여기		습식-건식 급여기	
	가루사료	Pellet	가루사료	Pellet
도체 특성				
온도체중, kg	91.7	92.7	94.1	93.8
수율, %	75.6	75.3	75.6	76.0
등 지방 깊이 ² , mm	17.3	17.2	18.8	18.3
등심 깊이, cm	6.19	6.05	5.97	5.93
도체 무지방 정육 지수 ² , %	50.4	50.4	49.7	49.9

^{a,b} Means within a row without a common superscript are different (P less than 0.05)

¹ Diet form effect (P less than 0.07)

² Feeder design effect (P less than 0.01)

표 24. 육성-비육돈에 있어서 DDGS의 첨가와 무첨가가 성장률과 도체 조성에 미치는 영향 (Hilbrands 등, 2013)

	대조구 사료 연속 급여	20% DDGS 사료	20% DDGS 사료와 대조구 사료 교차급여	40% DDGS 사료와 대조구 사료 교차급여
개시체중, kg	51.3	51.3	51.3	51.4
종료체중, kg	112.3 ^{x,y}	112.2 ^{x,y}	113.0 ^x	110.6 ^y
ADG, kg	0.87	0.87	0.88	0.85
ADFI, kg	2.70 ^{x,y}	2.75 ^x	2.71 ^{x,y}	2.63 ^y
Gain:Feed	0.323 ^{ab}	0.317 ^a	0.325 ^b	0.322 ^{ab}
온도체중, kg	83.8 ^a	83.6 ^a	84.3 ^a	81.1 ^b
도체 수율, %	74.8	74.6	74.6	73.8
10th 갈비 등 지방 깊이, mm	19.3	20.1	20.4	19.8
등심 근육 면적, cm ²	48.8	48.3	48.2	47.6
정육율, %	54.4	54.0	53.8	54.2

^{a,b} Means within a row without a common superscript differ (P less than 0.05)

^{x,y} Means within a row without a common superscript differ (P less than 0.10)

Hilbrands 등 (2013)이 실시한 두 번째 실험에서, 아미노산 SID가 낮은 것과 높은 것 두 개의 DDGS 제품을 준비하였다. 두 제품의 ME 함량은 ME 예측 방정식 (Pedersen 등, 2007)으로부터 산출하였다. 두 DDGS 제품의 SID 아미노산값은 IDEA 분석시험 (Novus International, St. Louis, MO)으로부터 얻고, 옥수수과 대두박의 ME와 SID 아미노산값은 NRC (1998) 값을 사용하였다. 모든 사료들 즉, 옥수수-대두박 대조구 (CON), 가소화 아미노산 함량이 낮은 40% DDGS 사료 (LD) 그리고 가소화 아미노산 함량이 높은 40% DDGS 사료 (HD)를 SID 아미노산 기준으로 배합하여 1기에 2주 씩, 4기 동안 급여하였다. 6개의 사료 처리구는 1) CON; CON을 계속 급여, 2) LD-CON; LD와 CON을 기별로 교체, 3) HD-CON; HD와 CON을 기별로 교체, 4) LD; LD 계속 급여, 5) HD; HD 계속 급여, 6) HD-LD; HD와 LD 기별로 교체 급여 (표 25)이었다. LD와 HD-LD 처리 돼지들은 CON에 비해 ADG와 종료체중이 감소하고, LD는 LD-CON보다 ADFI가 낮았지만, 사료효율 (G/F)은 처리구 간에 차이가 없었다. 이 결과는 배합표 작성 시 IDEA 분석시험이 SID 함량을 과대평가한 때문인 것으로 보인다. LD와 HD-LD는 온도체중, 수율, 등심 근육 면적이 다른 처리구들보다 낮았다. 그러나 DDGS의 아미노산 소화율에 상관없이 40% DDGS를 기별로 간헐적으로 사용하더라도 전체 성장률에는 불리하게 작용하지 않았다. 더욱이 도체 정육율에는 처리구 간에 차이가 없었다. 그러므로 이 두 실험의 결과는 옥수수-대두박 사료와 DDGS 사료를 매 2주마다 교체하여도 성장률과 도체 구성에 의미 있는 부정적 영향이 없다는 것을 시사한다.

표 25. SID 아미노산이 낮은 (LD) 또는 높은 (HD) 40% DDGS 사료를 계속 급여하거나 2주마다 대조구 (CON) 사료와 교체하여 급여하였을 때 육성-비육돈에서 성장률과 도체 구성에 미치는 영향 (Hilbrands 등, 2013)

	CON	LD-CON	HD-CON	LD	HD	HD-LD
개시체중, kg	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2
종료체중, kg	121.5 ^{ab}	121.6 ^{ab}	123.0 ^a	115.9 ^c	118.3 ^{bc}	117.8 ^c
ADG, kg	0.92 ^{ab}	0.92 ^{ab}	0.93 ^a	0.86 ^c	0.89 ^{bc}	0.88 ^c
ADFI, kg	2.70 ^{ab}	2.72 ^a	2.78 ^a	2.57 ^b	2.73 ^{ab}	2.68 ^{ab}
Gain:Feed	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33
정육증체/day, kg	0.395 ^{ab}	0.396 ^{ab}	0.405 ^a	0.362 ^d	0.383 ^{bc}	0.367 ^{cd}
정육증체효율	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14
온도체중, kg	93.3 ^a	92.3 ^{ab}	94.4 ^a	87.2 ^c	89.4 ^{bc}	88.5 ^c
도체 수율, %	76.2 ^a	75.8 ^{ab}	76.0 ^{ab}	74.7 ^c	75.1 ^{bc}	74.6 ^c
10th 갈비 등 지방 깊이, mm	21.3 ^a	19.9 ^{ab}	20.4 ^{ab}	18.9 ^{ab}	18.1 ^b	19.8 ^{ab}
등심근육 면적, cm ²	44.7 ^a	44.7 ^a	45.3 ^a	40.4 ^b	42.7 ^{ab}	40.6 ^b
정육율, %	51.8	52.1	52.1	51.3	52.3	50.8

a,b,c,d Means within a row without a common superscript differ (P less than 0.05)

도체 조성

옥수수 DDGS 사료의 급여가 육성-비육돈의 도체 조성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 2010년 이후 여러 개 (n=20)의 연구가 실시되었는데, 도체 수율과 정육율에 대한 전반적인 반응을 표 26과 27에 요약하였다 (Asmus 등, 2014; Coble 등, 2017; Cromwell 등, 2011; Davis 등, 2015; Duttlinger 등, 2012; Graham 등, 2014a,b,c; Hardry matteran, 2013; Jacela 등, 2011; Jha 등, 2013; Lee 등, 2013; McDonnell 등, 2011; Nemechek 등, 2015; Overholt 등, 2016; Pompeu 등, 2013; Salyer 등, 2013; Wang 등, 2012; Wu 등, 2016c; Ying 등, 2013). DDGS 사료 급여 시 가장 꾸준히 관찰되는 영향은 약간의 도체 수율 감소이다. DDGS의 섬유소 함량은 비교적 높기 때문에 위장관의 무게를 증가시켜 그 결과로 도체:생체중 비율을 감소시킨다. 이 메타분석을 통하여, 육성-비육돈 사료에 DDGS 함유 비율이 1% 증가할 때 마다 도체 수율은 0.022% (상대적 %) 감소하였다. 이러한 영향은 DDGS의 지방함량과도 관계가 있어 보이는데, 고지방 (> 10%) DDGS 사료를 급여 시는 도체 수율이 감소되었으나, 지방저감 DDGS 사료를 급여 시에는 수율에 유의한 변화가 없었다 (표 27). DDGS 사료를 배합할 때 NE 시스템을 쓰거나 ME 시스템을 쓰거나 도체 수율 감소가 비슷하였다. 그러나 고지방 DDGS 사료 대 지방저감 DDGS 사료 급여 시 그리고 ME 대 NE 시스템 사용 시, 모두 도체 무지방 정육율에는 유의한 차이가 없었다.

표 26. 육성-비육돈에서 옥수수 DDGS 사료 급여가 도체 수율과 무지방 정육율에 미치는 영향 (2010년 이후의 20개 연구¹의 요약)

항목	DDGS-대조구 (절대치 %)		개시 BW, kg	종료 BW, kg	급여일 수
	수율	무지방 정육			
관측 수	75	55	75	75	75
연구 수	20	16	20	20	20
평균	-0.87**	0.05	46.7	120.3	76.5
최소	-2.1	-1.6	23.4	86.9	20
최대	0.7	1.6	105.7	1.4.9	120

**Means differ from 0 (P less than 0.05)

¹ The inverse of pooled standard errors of observations was used as a weight factor in the analysis

표 27. 돼지에서 옥수수 DDGS의 지방함량, 그리고 ME 대 NE 시스템이 도체 수율과 도체 무지방 정육율에 미치는 영향 (2010년 이후의 20개 연구¹ 요약)

	DDGS 지방함량		SE	에너지 System		SE	P value	
	> 10%	< 10%		ME	NE		지방함량	에너지 system
관측 수	30	45		60	15			
연구 수	8	13		16	4			
수율	-0.79**	-0.42	0.17	-0.49**	-0.72**	0.16	0.034	0.139
무지방 정육	0.20	-0.16	0.23	0.24	-0.18	0.14	0.220	<0.01

**Means differ from 0 (P less than 0.05)

*Means differ from 0 (P less than 0.10)

¹ The least squares means are reported. The inverse of pooled standard errors of observations was used as a weight factor in the analysis.

² Every percentage unit increase of DDGS inclusion in growing-finishing pig diets resulted in a 0.022 percent decrease (relative percentage) in the carcass yield

돈지방 품질

육성-비육돈 옥수수-대두박 사료에 DDGS 사용량을 증가시키면 돈지의 경도가 감소한다는 것은 잘 알려져 있다 (Stein과 Shurson, 2009; Xu 등, 2010a,b; Benz 등, 2010; Graham 등, 2014a,b; Davis 등, 2015). 돈지방 경도는 대개 텍, 등 그리고 복부 지방의 불포화 지방산 대 포화지방산의 비율을 의미하는 요오드가 (IV)로 표시한다. 돼지 도체지방을 효율적으로 관리할 수 있는 여러 가지의 사양 전략이 개발되어 있다. 이 전략들로는 도축전에 사료 내 DDGS 수준을 점진적으로 감소시키는 방법 (Harris 등, 2018), 도축 3주 이전에 사료로부터 DDGS 사용을 중지하는 방법 (Jacela 등, 2009; Xu 등, 2010b; Hilbrands 등, 2013), 지방저감 DDGS를 급여하는 방법 (Dahlen 등, 2011; Wu 등, 2016a) 그리고 사료 배합표 작성 시 도체지방의 IV 예측방정식을 사용하는 방법 (Wu 등, 2016b)이 있다.

사료의 IV product (IVP) (Madsen 등, 1992; Boyd 등, 1997; Bergstrom 등, 2010; Estrada Restrepo, 2013), linoleic acid (C18:2) 섭취량 (Averette Gatlin 등, 2002; Benz 등, 2011; Kellner, 2014), 사료 내 DDGS의 함량 (Cromwell 등, 2011, Estrada Restrepo, 2011)에 기준하여 텍, 등, 복부 지방의 IV를 예측하는 회귀방정식이 다수 개발되었다. 최근에 Paulk 등 (2015)은 사료의 필수지방산 함량, 개시부터 종료 시까지 사료 급여 일 수, 종료 시 사료의 NE 함량 그리고 등 지방 깊이를 기반으로 IV 예측 방정식을 개발하였다. Wu 등 (2016)은 이들 방정식을 이용하여 등 지방 IV를 예측함에 있어 정밀성과 정확성을 비교하였는데, Paulk 등 (2015)의 방정식이 오차와 편차가 가장 적은 최적의 예측 방정식으로 나타났다 (표 28). 전체적으로 DDGS 사료 급여가 도체 저장지방의 IV를 감소시키는데 지방저감 DDGS는 지방품질의 부정적 영향을 감소시켰다. 하지만 개선의 정도는 사료 지방 섭취량에 비례적이지 않기 때문에 DDGS 지방의 소화율 차이에 의해 영향을 받는 것으로 보인다. 유념해야 할 것은 도체 저장지방

간에는 지방산 조성에 변이가 있다는 것이다. 텍 지방은 등 지방이나 복부 지방보다 IV가 높는데, 등 지방은 텍 지방이나 복부 지방보다 사료 지방 함량의 변화에 더 예민한 것으로 보인다. 발표된 도체지방 IV 예측 방정식을 사용하면, 도체 저장지방의 IV를 예측하는 데 정밀성과 정확성에 변이가 있었다. 이러한 결과들은 사료 지방의 특성과 함량에만 기준하지 않고, Paulk 등 (2015)의 방정식에서 지적인 바와 같이 사료 열량 함량, 성장률 그리고 도체 조성 항목들을 추가함으로써 도체지방 IV의 예측이 향상된 것으로 보인다. 사료 내 DDGS 배합량을 도체 축적지방 IV의 예측치로 사용하였을 때 가장 열악한 예측 결과를 얻었다. 육성-비육돈에 DDGS 사료를 급여 시 도체지방 IV 반응을 보다 예측 가능하도록 하기 위해서는 이 방정식들의 예측오차와 편향성을 크기를 감소시킬 필요가 있다.

표 28. 도체 등 지방, 텍 지방, 복부 지방 그리고 세 개의 도체지방조직의 평균 요오드가 (IV)를 평가하는 예측 방정식들의 비교 (Wu 등, 2016)

지방	방정식	R ²	예측 오차 ¹	예측 bias ²	참고
등 지방					
	$47.1 + 0.14 \times \text{IVP}^3 \text{ intake/day}$	0.86	6.43	-4.95	Madsen 등, 1992
	$52.4 + 0.315 \times \text{diet IVP}$	-	4.60	-2.15	Boyd 등, 1997
	$51.946 + 0.2715 \times \text{diet IVP}$	0.16	6.45	-5.05	Benz 등, 2011
	$35.458 + 14.324 \times \text{diet C18:2 \%}$	0.73	8.36	-1.08	Benz 등, 2011
	$64.5 + 0.432 \times \text{DDGS in diet \%}$	0.92	8.26	7.10	Cromwell 등, 2011
	$60.13 + 0.27 \times \text{diets IVP}$	0.81	5.04	3.05	Estrada Restrepo, 2013
	$70.06 + 0.29 \times \text{DDGS in diet \%}$	0.81	9.19	8.00	Estrada Restrepo, 2013
	$84.83 + (6.87 \times \text{IEFA}) - (3.90 \times \text{FEFA}) - (0.12 \times \text{Id}) - (1.30 \times \text{Fd}) - (0.11 \times \text{IEFA} \times \text{Fd}) + (0.048 \times \text{FEFA} \times \text{Id}) + (0.12 \times \text{FEFA} \times \text{Fd}) - (0.006 \times \text{FNE}) + (0.0005 \times \text{FNE} \times \text{Fd}) - (0.26 \times \text{BF})$	0.95	4.01	-0.84	Paulk 등, 2015 ⁴
텍 지방					
	$56.479 + 0.247 \times \text{diet IVP}$	0.32	4.92	-3.69	Benz 등, 2011
	$47.469 + 10.111 \times \text{diet C18:2 \%}$	0.90	5.57	-1.37	Benz 등, 2011
	$64.54 + 0.27 \times \text{diet IVP}$	0.81	6.55	5.66	Estrada Restrepo, 2013
	$72.99 + 0.24 \times \text{DDGS in diet \%}$	0.81	8.33	7.38	Estrada Restrepo, 2013
	$85.50 + (1.08 \times \text{IEFA}) + (0.87 \times \text{FEFA}) - (0.014 \times \text{Id}) - (0.05 \times \text{Fd}) + (0.038 \times \text{IEFA} \times \text{Id}) + (0.054 \times \text{FEFA} \times \text{Fd}) - (0.0066 \times \text{INE}) + (0.071 \times \text{IBW}) - (2.19 \times \text{ADFI}) - (0.29 \times \text{BF})$	0.93	4.73	-3.37	Paulk 등, 2015 ⁴

표 28. 도체 등 지방, 턱 지방, 복부 지방 그리고 세 개의 도체지방조직의 평균 요오드가 (IV)를 평가하는 예측 방정식들의 비교 (Wu 등, 2016)

지방	방정식	R ²	예측 오차 ¹	예측 bias ²	참고
복부 지방					
	$58.32 + 0.25 \times \text{diet IVP}$	0.74	3.43	1.41	Estrada Restrepo, 2013
	$67.35 + 0.26 \times \text{DDGS in diet \%}$	0.75	6.66	5.53	Estrada Restrepo, 2013
	$106.16 + (6.21 \times \text{IEFA}) - (1.50 \times \text{Fd}) - (0.11 \times \text{IEFA} \times \text{Fd}) - (0.012 \times \text{INE}) + (0.00069 \times \text{INE} \times \text{Fd}) - (0.18 \times \text{HCW}) - (0.25 \times \text{BF})$	0.94	3.27	1.73	Paulk 등, 2015 ⁴
세 개 지방조직의 평균					
	$58.103 + 0.2149 \times \text{diet IVP}$	0.93	3.93	-2.23	Kellner, 2014
	$58.566 + 0.1393 \times \text{C18:2 intake/day, g}$	0.94	6.17	-4.90	Kellner, 2014

¹ Prediction error (smaller value indicates greater precision of the equation)

² Prediction bias (smaller absolute value indicates greater accuracy of the equation; negative value indicates underestimation and positive values indicate overestimation)

³ IVP = iodine value product = dietary IV _ percent dietary lipids _ 0.10 (Madsen et al., 1992)

⁴ Abbreviations in equations are: I = initial diet, F = final diet, d = days diet is fed, EFA = essential fatty acids (C18:2 and C18:3 %), NE = net energy (kcal/kg), BW = body weight (kg), ADFI = average daily feed intake (kg), HCW = hot carcass weight (kg), BF = backfat depth (mm)

돼지정육 품질

DDGS 사료를 급여한 돼지의 정육 품질을 평가하기 위하여 여러 개의 시험이 수행되었다. Leick 등 (2010)은 0, 15, 30, 45 그리고 60% DDGS를 함유한 사료에 5 mg/kg ractopamine을 첨가 또는 무첨가하여 육성-비육돈에 급여한 후 육질을 평가하였다. DDGS의 사료 내 함유수준이 높아지면 등심 pH, 주관적 또는 객관적 색깔, 상강도 (marbling) 지방함량에는 영향이 없었으나 주관적인 상강도지수와 경도는 감소하였고 육즙 손실이 증가하였다. 더욱이 사료 내 DDGS의 함량이 증가하면 복부 중량, 길이, 두께, 경도와 L*가 감소하고 복부 요리손실이 증가하였다. 복부와 턱 지방 IV는 증가하는데, 이는 단불포화지방산 (PUFA) 함량이 감소하기 때문이다. 등심 TBARS는 0, 7 또는 14일간 저장 동안 영향을 받지 않았는데, 21일령에는 30, 45 그리고 60% DDGS를 급여한 돼지는 DDGS 무첨가한 사료와 15% 첨가한 사료 급여 시 등심의 TBARS가 증가하였다. 이러한 결과들을 보면 육성-비육돈에게 DDGS를 60%까지 배합한 사료를 급여하면 등심 품질에는 미미한 영향을 미쳤지만 복부 품질, 베이컨 가공 특성과 지방 안정성은 감소되었다.

McClelland 등 (2012)은 육성-비육돈에게 DDGS를 0, 15, 30 또는 45% 함유한 사료를 급여하였다. 실험결과 사료 내 DDGS의 수준이 증가할수록 도체지방의 PUFA 함량이 증가하는데 결과적으로 도체지

방의 IV값은 증가하고 복부 경도는 감소하였으나, 보존 처리한 복부의 절편 수율, 신선 베이컨 절편 품질, 소시지 또는 등심 chops에는 영향이 없었다.

Wang 등 (2012)은 0, 15 또는 30% DDGS를 함유한 사료에 비타민 E를 10 또는 210 IU/kg을 첨가하여 육성-비육돈에게 급여하였다. DDGS 급여는 지방조직과 근육의 포화지방산 함량을 줄이고 불포화지방산과 PUFA 함량을 증가시켰다. 비타민 E의 첨가량이 증가하면 지방조직과 근육 조직 내 α -tocopherol 함량이 증가하고, 사료 내 DDGS의 수준이 높아지면 증가하는 총 휘발성 염기 질소의 함량이 진공포장한 신선 등심에서 감소하였다. DDGS를 사료에 첨가하면 13일 저장기간 동안 돈육 등심의 TBARS가 증가하는데, 210 IU/kg vitamin E를 첨가한 DDGS 사료는 4, 7, 10 그리고 13일 저장 동안 등심에서 TBARS를 상당수준 감소시켰다. 이 자료들에 의하면 DDGS 함유 사료들은 신선 돈육 등심의 저장 유효기간에 약간의 부정적 효과가 있지만, 210 IU/kg vitamin E를 첨가하면 이런 효과를 부분적으로 방지할 수 있다.

Ying 등 (2013)은 0 또는 30% DDGS 사료를 1, 2 그리고 3기에 그리고 0 또는 20% DDGS 사료를 4기에 그리고 L-carnitine 0, 50, 또는 100 mg/kg을 육성-비육돈에게 급여하여 성장률, 도체 특성 그리고 등심과 돈지방 품질에 미치는 영향을 평가하였다. 도체 특성에 있어서 DDGS $\times$ L-carnitine 상호작용은 없었지만 L-carnitine 첨가량이 증가하면 온도체중, 도체 수율 그리고 등 지방 깊이가 증가하였다. L-carnitine급여는 등심 탈수 감량을 증가시키고 DDGS 급여는 등심 상강도를 감소시키는 경향이 있었다. 50 mg/kg L-carnitine 와 DDGS를 급여한 돼지의 등심 chops는 0 또는 100 mg/kg L-carnitine 첨가구보다 전단력 (shear force)이 감소하였다. DDGS 사료에 L-carnitine 첨가량을 증가시키면, 신선 등심 색깔 지수가 증가하였다. 텍 지방의 C18:2n-6 와 C20:2 농도는 DDGS 사료에 L-carnitine 첨가량을 높이면 감소하였으나, DDGS 무첨가구에서는 그런 반응이 없었다. 이 결과들에 의하면 50 mg/kg L-carnitine을 첨가한 DDGS 사료 급여구는 온도체중을 증가시키고 텍 지방의 linoleic acid 함량을 감소시킨다.

Overholt 등 (2016b)은 0 또는 30% DDGS 사료를 펠릿 또는 가루사료로 후기 돼지에게 급여했을 때 신선 복부특징, 지방 품질 그리고 베이컨 절편 수율을 평가하였다. 30% DDGS 사료 급여는 복부두께, flop distance 그리고 개시 복부중량을 감소시키고, DDGS 무첨가구에 비해 복부 지방 IV를 7.1units를 증가시켰다. 하지만 DDGS 사료 급여는 베이컨 절편 수율과 kg당 절편수에는 영향이 없었다. 이 결과들은 30% DDGS의 돼지사료 급여는 무첨가구에 비해 얇고 연한 복부를 만들었지만, 30% DDGS 사료를 펠릿이나 가루사료로 급여 시 상업적인 베이컨 절편 수율에는 영향이 없음을 시사하였다.

면역 거세 돼지에게 DDGS 사료 급여

웅돈의 물리적 거세는 세계 많은 나라에서 수십 년 동안 행해오고 있는데 이는 웅돈의 공격적이고 성적인 행동을 감소시키고 돈육의 옹취 발생을 방지하기 위한 것이다. 하지만 물리적 거세는 돈육의 옹취발생 방지에는 효과적이지만 사료효율이 떨어지고, 정육율이 감소하며, 이유 전 사망률이 증가한다. 더욱이, 영국과 아일랜드 그리고 호주에서는 동물복지와 관련하여 물리적 거세를 금지하고 있다. 그 결과, Zoetis (Florham Park, New Jersey)는 면역 거세 주사제를 개발하여 Improvest (U.S. and Canada), Improvac (Australia and New Zealand), Innosure 또는 Vivax라는 이름으로 63개국에서 등록하여 세계적으로 5천만두 이상의 돼지에게 10년 이상 사용해 오고 있다 (Bradford and Mellencamp, 2013). 미국의 식품의약안전국 (FDA)에서는 이 제품의 사용이 안전하고, Improvest를 처리한 돈육에 잔류물이 없기 때문에 식용으로 안전하다고 승인하였다. 더욱이 이 제품을 사용하여 면역 거세한 돈육의 수출에 제한이 없다 (Bradford and Mellencamp, 2013). 이 제품은 두 번 주사를 하는데, 웅돈의 면역체계에 시동용량을 1차 주사하고 시장 출하 3~10주 전에 2차 주사를 하면 고환의 기능을 억제하게 된다. 면역 거세는 물리적 거세에 비해 여러 가지 장점이 있는데 성장률과 사료효율을 향상시키고, 정육율을 높이고, 등 지방을 감소시키며, 특히 미국에서는 시장 출하 돼지 두당 \$10 이상의 이득을 가져온다. 따라서 근래의 연구는 면역 거세한 돼지에게 DDGS 사료의 급여가 성장률, 도체 특성 그리고 돈육과 돈지방의 품질에 미치는 영향을 평가하기 위하여 실시되었다.

Asmus 등 (2014b)은 물리적 또는 면역 거세한 돼지에게, 0% DDGS 사료, 30% DDGS 사료, 또는 30% DDGS 사료를 75일간 급여한 후 125일 (시장 출하)까지 DDGS 급여를 중지하는 세 가지 사료 급여 처리 중 한 가지를 택하도록 하였다. 면역 거세한 돼지는 물리적 거세를 한 돼지에 비해 사료 급여처리에 관계없이 도체 수율과 사료 섭취량이 감소하였으나, ADG와 사료효율이 향상되었다. 면역 거세한 돼지의 도체는 도체지방조직의 IV가 증가하나, 두 번째 Improvest 주사 후 출하까지 사양기간을 늘리면 도체의 IV가 물리적 거세돈과 비슷하였다. 거세방법과 상관없이 도축 전에 사료에서 DDGS를 빼는 것이 도체 수율에 부정적인 영향을 감소시켰으며 도체지방 경도를 향상시켰다.

Little 등 (2014)은 0 또는 30% DDGS 사료를 급여한 후기 비육돈의 복부 품질은 평가하였는데, 도축 5주 전부터 DDGS 급여를 중단했을 때 면역 거세돈 (IC)과 물리적 거세돈 (PC)의 복부 경도를 향상시켰다. 2차 주사 후 5주 또는 7주 후 도축한 돼지는, DDGS 사양프로그램에 상관없이 베이컨 아로마, 이취, 풍미 또는 짠맛에서 IC와 PC사이에 차이가 없었다. 이 결과들은 Improvest를 2차 투여한 후 5주 또는 7주 후 도축하기 전까지 사료에 30% DDGS를 급여하거나 DDGS 첨가를 중지하였을 때 면역 거세돈과 물리적 거세돈에서 베이컨 옹취 발생을 방지하는데 효과가 같다는 것을 시사한다.

이와 유사하게 Tavárez 등 (2014)은 2차 Improvest를 주사 후 도축 시까지 0 또는 30% DDGS 사료를

급여했을 때 두 시점에서 도축한 PC와 IC 거세돈의 도체 살코기 비율과 베이컨 절편 수율을 평가하였다. 도체 특성, 살코기 수율 그리고 신선 복부 특성은 DDGS 사양 전략에 의해 거의 영향을 받지 않았다. DDGS 사양 전략은 IC 거세돈의 탈골 도체 살코기 수율에 영향이 없었으나, 대조구 사료를 급여한 PC 거세돈에서는 이 살코기 수율이 감소하였다. 대조구 사료에 비해 30% DDGS 사료를 급여한 돼지에서 복부 지방 IV가 높고 PC 거세돈에 비해 무첨가 또는 30% DDGS 사료를 급여한 IC 거세돈의 베이컨 절편 수율이 감소되었지만, 도축전에 DDGS 첨가를 중단함으로써 IC 거세돈의 베이컨 절편 수율을 향상시켰다.

최근에 Harris 등 (2017a,b)과 Harris 등 (2018)은 몇 가지 옥수수 DDGS 사양 전략들의 효과와 2차 Improvest의 투여와 도축 사이의 기간이 성장률, 도체 조성, primal cutout, 정육 품질 그리고 복부와 돈지방 품질에 미치는 영향을 평가하였다. 시험 설계는 옥수수-대두박 대조구 (CON), 1~4기 사이에 DDGS 함유 비율이 점진적으로 감소 (40, 30, 20, 10%)하는 구 (GD), 1, 2, 3기에 40% DDGS 사료 급여하고 4기에 DDGS 첨가 중단구 (WD), 또는 육성-비육기 동안 40% DDGS 사료를 4기 전 기간 동안 지속적으로 급여한 구 (NCON) 등 4개 처리구를 두었다. 돼지들은 2차 Improvest를 도축 전 9주, 7주 그리고 5주 전에 투여하였다. 40% DDGS 사료를 급여한 IC 돼지는 2차 Improvest 투여시의 나이에서 고 섬유소 함량으로 인해 사료 섭취량에 제한을 받았을 것으로 보이며, 도축 전에 DDGS 첨가를 중단했을 때 (WD) 사료 섭취량이 급속히 증가하였다. 전체적으로 GD 사양 전략은 WD 사양 전략보다 ADFI, ADG 그리고 증체효율을 대조구와 비슷하게 유지하는데 약간 더 효과가 있었다. GD와 WD 사양 전략은 CON이나 NCON 사양 전략에 비해 돼지의 도체율을 향상시키고, 중간 정도의 도체 prime cut 수율과 등심 품질을 가져왔다. 2차 Improvest 투여와 도축까지의 기간을 늘리면 모든 도체 지방조직의 IV를 감소시키고 복부 두께를 늘리며, GD와 WD 사양 전략 또한 모든 도체지방조직의 IV를 감소시켰다.

DDGS의 급여가 돼지의 건강에 미치는 영향

돼지에 DDGS의 급여가 *Lawsonia intracellularis*에 감염된 돼지의 장건강에 유익한 효과가 있다는 보고 (Whitney등, 2006a,b)가 있다. 그러나 DDGS의 급여가 어떻게 돼지의 장내 미생물에 영향을 주며 감염에 대한 민감성과 병원균의 군체 형성에 어떤 영향을 주는지에 대한 정보가 거의 없어 그 작용기작에 대해서 알려지지 않았다. Tran 등 (2012)은 DDGS를 30%까지 함유한 사료를 이우자돈에게 급여하였다. 위장관내 미생물의 동질성은 증가하고 다양성과 밀도가 감소하였는데 이러한 효과는 미생물 생태계의 불안정성과 관련이 있음을 시사한다. 더욱이 DDGS의 급여는 혈청의 면역글로불린 함량에 영향을 미치지 않았다. Rostagno 등 (2013)은 DDGS를 20, 30 또는 40% 함유한 사료의 급여가 *Salmonella*에 대한 민감성, 장내 수준 그리고 배설에 미치는 영향을 평가하기 위하여 두 개의 실험을 실시하였다. 한 개의 실험에서, 돼지를 *Salmonella*에 감염시키고 DDGS가 없는 대조구 사료를 급여했을 때 30%

DDGS 배합 사료를 급여했을 때보다 Salmonella 배설빈도가 높았으나, 전체 반응은 DDGS 함유 사료의 급여는 육성-비육돈에서 Salmonella 군체 형성에 대한 민감성을 변화시키지 않았다. Saqui-Salces 등 (2017b)은 DDGS 배합 사료를 급여하면 육성돈에서 배상세포를 활성화하고 영양소 수용체와 이송체의 발현을 변경함으로써 세포분화를 조정하는 것을 보여주었다.

2013년 미국에서는 돼지유행성설사바이러스 (PEDV)로 인해 돼지사망률이 심각한 상황을 맞아 광범위한 연구를 실시하게 되었다. 사료와 사료원료에 들어있는 다른 corona viruses (transmissible gastroenteritis virus - TGEV; porcine delta corona virus - PDCoV)들과 함께 이 바이러스의 생존율과 여러 가지 사료첨가제가 이들의 생존에 미치는 영향을 조사하였다. Dee 등 (2015)은 사료 내 PEDV의 생존율은 사료원료에 따라 다른데, 대두박에서 가장 오랫동안 생존하는 것으로 보이며, formaldehyde 기반 액상처리된 모든 원료에서 바이러스를 불활성화시켰다. 이와 유사하게, Trudeau 등 (2017)은 여러 가지 사료원료에서 PEDV, TGEV 그리고 PDCoV의 생존율을 평가하였는데, DDGS를 포함한 다른 원료들과 비교하여 대두박에서 PEDV는 가장 오래 생존하고, TGEV와 PDCoV도 생존율이 높았다. 이러한 결과들은 DDGS나 다른 원료들에 비해 대두박이 corona viruses를 전염시킬 우려가 높다는 것을 시사한다.

임신과 비육사료에 DDGS의 사용

근래의 몇 개 시험은 임신돈과 비육돈에 DDGS 사료를 급여 시 번식과 자돈 성능에 미치는 영향을 평가하기 위하여 실시하였다. Song 등 (2010)은 0, 10, 20, 또는 30% DDGS 사료를 초산경력이 섞인 비육돈에게 급여하여 모돈과 자돈의 성능, 열량과 질소의 소화율, 혈장 요소질소와 유지지방과 유단백질 농도를 평가하였다. 사료 내 DDGS의 함유율은 사료의 DE, ME, 질소축적 또는 질소이용률에 영향이 없었다. DDGS 20% 사료와 30%사료 급여구는 대조구 사료 급여 돼지에 비해 이유 시 혈장 요소질소 함량이 낮았다. 사료 내 DDGS 함유수준은 모돈의 ADFI와 등 지방 변화에 영향이 없었으나 30% DDGS 사료 급여 모돈은 대조구 사료 급여 모돈보다 체중감량이 컸다. 더욱이 이유전 자돈사망률, 한배 새끼 증체량 그리고 자돈의 ADG는 사료 내 DDGS 함유율에 의해 영향을 받지 않았다. 이 연구들의 결과를 보면, 사료 내 DDGS를 30%까지 사용하여도 옥수수-대두박 대조구와 비교하여 모돈과 한배 새끼들의 성능, 사료의 DE와 ME, 질소 소화율 그리고 모유조성에 영향이 없었으며 비육모돈 사료에 DDGS를 30%까지 사용하여도 모돈과 한배 새끼들의 성능이 만족할 만하였다.

Wang 등 (2013)은 0, 20 그리고 40% DDGS 사료를 2산차와 3산차 모돈에게 분만 전 임신 후기 20일과 분만 후 비육기간 21일 동안 급여하고 모돈과 한배 새끼의 성능 그리고 초유와 모유의 성분에 미치는 영향을 평가하였다.

모돈의 평균 임신기간, 이유에서 발정재기 간격, 모돈의 ADFI, 비유에 따른 등 지방과 체중 변화는 DDGS의 사료 내 함유율에 관계없이 차이가 없었다. 더욱이 DDGS 첨가 수준이 총 자돈 출산과 생존 수, 평균 출산체중, 한배 새끼 중 이유자돈 수, 비유 중 자돈의 ADG에 영향이 없었다. 옥수수-대두박 대조구 사료를 급여한 모돈과 비교하여 DDGS 사료를 급여한 모돈의 젖은 총고형물, 단백질, 지방과 유당의 함량이 차이가 없었다. 이러한 결과들은 임신후기와 비유기간 동안에 사료 (0.87% lysine)에 5.2 g lysine/kg을 첨가하여 사료 내 대두박 전량을 대체한 40% DDGS 사료를 급여할 수 있으며, 모돈과 한배 새끼들의 성능이나 초유나 모유의 성분에는 영향이 없다는 것을 시사한다.

Li 등 (2014)은 임신기간 동안 모돈을 개별 틀 (stall) 또는 집단우리에 수용하여, 0 또는 40% DDGS 사료를 임신기간 동안 그리고 0 또는 20% DDGS 사료를 비유기간 동안에 급여하였을 때, 모돈과 한배 새끼들의 성능과 세 번의 번식 사이클 동안 모돈의 장수능력을 평가하였다. 세 번의 번식 사이클 동안 DDGS 사료 급여는 모돈의 수명에는 영향이 없었으나 DDGS를 첨가하지 않은 옥수수-대두박 대조구 사료 급여구보다 한배 새끼수가 감소하고 모돈의 생산성이 감소하였다. 하지만, 임신기간동안 집단우리에 수용한 모돈은 생산성이 저하되었는데 DDGS 사료 급여구보다 옥수수-대두박 대조구에서 더욱 뚜렷한 영향을 받았다.

Greiner 등 (2015)은 0 또는 10% DDGS 사료를 임신돈에게 그리고 0, 10, 20 또는 30% DDGS 사료를 비유기간에 급여하고 (실험 1), 0 또는 40% DDGS 사료를 임신돈에게 그리고 20, 30, 40 그리고 50% DDGS 사료를 비유돈에게 급여하여 (실험 2와 3) 모돈과 한배 새끼들의 성능을 평가하는 세 개의 사양 실험을 실시하였다. 이 실험들의 전체결과는 비유모돈에게 40%와 50% DDGS 사료를 급여 시 사료 섭취량과 한배 새끼들의 성능이 감소하였지만, 비유돈에게 DDGS를 30%까지 사용했을 때는 모돈과 한배 새끼의 성능이 용인할 만하다는 것을 시사한다.

옥수수 DDGS는 비교적 높은 함량의 불포화지방산을 함유하고 있기 때문에 DDGS를 급여한 자돈과 모돈의 비타민 E의 상태에 영향을 줄 수 있다. 따라서 Shelton 등 (2014)은 임신돈에게 40% DDGS 사료를 수정부터 임신 69일까지 급여하고, 44 또는 66 mg/kg의 DL- α -tocopheryl acetate 또는 11, 22, 33, 44 mg/kg D- α -tocopheryl acetate를 첨가하였을 때 혈장, 돈유와 돼지 체조직 내 α -tocopherol 함량을 결정하기 위하여 시험을 실시하였다. 비타민 E 첨가제는 임신70일부터 이유까지 급여하였다. 이 실험의 결과에 의하면 DL- α -tocopheryl acetate에 비하여 D- α -tocopheryl acetate의 생체이용률은 고려하는 반응기준에 따라 변하지만, 권장 능력 1.36보다는 더 높았다.

Song과 Shurson (2013)은 DDGS 내 옥수수 지방은 과산화 될 수 있는데, 모돈과 자돈 사료에 DDGS의 사용 수준이 높으면 산화 스트레스를 유발할 수 있다. L-carnitine은 세포대사에 중요하고, β -

oxidation에 의해 ATP를 생산하기 위하여 긴사슬 유리지방산의 mitochondrial transport를 조절한다. L-carnitine은 시판되고 있는데, 모든 사료에 첨가하면 번식능력과 유생산이 증가하고, 항산화력, 항염증 효능 그리고 위장관계의 다른 보호 기능을 제공한다 (Ramanau 등, 2004; Ramanau 등, 2005; Musser 등, 2005). Wei 등 (2016)은 0 또는 25% DDGS 임신돈 사료와 0 또는 40% DDGS 비유돈 사료에 0 또는 100 mg/kg L-carnitine을 임신돈 사료에 첨가하고 0 또는 200 mg/kg을 비유돈 사료에 첨가하였다. 이 시험의 결과 임신돈과 비유돈에 DDGS 사료 급여는 그들 자돈의 소장 장벽기능에 영향이 없었으나 L-carnitine 첨가구에서는 신생자돈과 이유자돈의 장벽기능을 향상시켰다. 이유자돈의 위장관 내 진정세균의 총 수는 옥수수-대두박 사료 급여구에서 L-carnitine 첨가에 의해 증가되었으나, DDGS 사료에 첨가 시는 효과가 없었다.

Li 등 (2013)은 0 또는 40% DDGS 사료를 임신기간 동안 전자 급여기가 있는 집단우리 또는 개별 stall에 정지한 모돈에게 급여 시 정형화된 (stereotypic) 공격적인 행동에 미치는 영향을 평가하였다. 집단 우리에 수용하고 40% DDGS 사료를 급여한 모돈은 싸우는 시간이 길었고, 싸우는 회수가 증가하는 경향이 있었으며, 혼합 시 옥수수-대두박 대조구 사료 급여 시보다 침의 cortisol 수준 (스트레스의 지표)이 높았다. 그러나 개별 임신돈 stall에 수용하고 40% DDGS 사료를 급여한 모돈은 DDGS가 없는 대조구 사료 급여구보다 휴식에 더 많은 시간을 보내고, 정형화된 행동에 시간을 덜 소비하며, 침의 cortisol 농도가 낮았다 (스트레스가 적음). 이 결과들은 40% DDGS 사료 급여는 모돈을 집단우리에 수용 시는 복지가 감소되지만, 개별 stall에 수용 시는 모돈의 복지가 향상되었다.

결론

지난 몇 해 동안 수행된 방대한 양의 연구는 영양전문가들이 옥수수 DDGS를 효율적으로 이용하는 능력을 획기적으로 향상시켰다. 적절한 성장, 번식, 도체와 돈육의 품질을 유지하면서 사료가격을 감소시키기 위하여 정밀영양 사양프로그램에서 비교적 높은 수준의 DDGS를 사용할 수 있게 되었다. 돼지에서 지방함량이 다양한 DDGS의 ME와 SID 아미노산 함량을 정확하게 예측하기 위하여 예측 방정식들이 개발되었다. 이를 사용하여 돈지방 품질을 원하는 수준으로 유지하기 위한 사료배합비 작성이 가능하다. 정확한 ME, NE 그리고 가소화 아미노산과 인의 값을 사용하여 모든 양돈 생산단계에서 DDGS 함량이 30%까지 높은 사료의 배합비를 작성할 수 있다. 실제로 미국의 현재 경향은 재래의 옥수수-대두박 사료와 같은 성장물과 도체 조성을 이루기 위하여 자돈과 육성-비유돈 사료에 30% 이상의 DDGS를 사용할 때 사료 내 가소화 threonine과 결사슬 아미노산의 함량을 조절하고 균형을 잡는 것이다. 돈지방 정도의 감소는 지방저감 DDGS를 급여함으로써 최소화할 수 있으며, 도축 3~4주 전에 DDGS 급여를 중단하거나 정확한 돈지방 품질 예측 방정식을 돈지방 품질이 문제가 되는 시장에는 DDGS의 배합 비율을 제한하는 배합비를 작성한다. 실험에서 나타난 증거들에 의하면 임신돈 사료에 곰팡이 독소

가 없는 DDGS를 50%까지 사용하여도 모돈과 한배 새끼들의 생산성에 부정적인 영향이 없으며, 그렇게 함으로써 개별 임신 stall에 수용된 모돈의 복지도 향상될 수 있을 것이다.

참고문헌

- Adeola, O., and C. Kong. 2014. Energy value of distillers dried grains with solubles and oilseed meals for pigs. *J. Anim. Sci.* 92:164-170.
- Almeida, F. N., J. K. Htoo, J. Thomson, and H. H. Stein. 2014. Effects of balancing crystalline amino acids in diets containing heat-damaged soybean meal or distillers dried grains with solubles fed to weanling pigs. *Animal* 8:1594-1602.
- Almeida, F.N., J.K. Htoo, J. Thomson, and H.H. Stein. 2013. Amino acid digestibility of heat damaged distillers dried grains with solubles fed to pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4:44.
- Almeida, F.N., and H.H. Stein. 2012. Effects of graded levels of microbial phytase on the standardized total tract digestibility of phosphorus in corn and corn coproducts fed to pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1262-1269.
- Almeida, F.N., and H.H. Stein. 2010. Performance and phosphorus balance of pigs fed diets formulated on the basis of values for standardized total tract digestibility of phosphorus. *J. Anim. Sci.* 88:2968-2977.
- Anderson, P.V., B.J. Kerr, T.E. Weber, C.J. Ziemer, and G.C. Shurson. 2012. Determination and prediction of digestible and metabolizable energy from chemical analysis of corn coproducts fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1242-1254.
- Asmus, M.D., J.M. DeRouchey, M.D. Tokach, S.S. Dritz, T.A. Houser, J.L. Nelssen, and R.D. Goodband. 2014a. Effects of lowering dietary fiber before marketing on finishing pig growth performance, carcass characteristics, carcass fat quality, and intestinal weights. *J. Anim. Sci.* 92:119-128.
- Asmus, M.D., T.A. Tavarez, M.D. Tokach, S.S. Dritz, A.L. Schroeder, J.L. Nelssen, R.D. Goodband, and J.M. DeRouchey. 2014b. The effects of immunological castration and corn dried distillers grains with solubles withdrawal on growth performance, carcass characteristics, fatty acid analysis, and iodine value of pork fat depots. *J. Anim. Sci.* 92:2116-2132.
- Averette Gatlin, L., M. T. See, J. A. Hansen, D. Sutton, and J. Odle. 2002. The effects of dietary fat sources, levels, and feeding intervals on pork fatty acid composition. *J. Anim. Sci.* 80:1606-1615.
- Baker, S.R., B.G. Kim, and H.H. Stein. 2013. Comparison of values for standardized total tract digestibility and relative bioavailability of phosphorus in dicalcium phosphate and distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:203-210.
- Benz, J. M., M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. L. Nelssen, J. M. DeRouchey, R. C. Sulabo, and R. D. Goodband. 2011. Effects of dietary iodine value product on growth performance and carcass fat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89:1419-1428.
- Benz, J. M., S. K. Linneen, M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. L. Nelssen, J. M. DeRouchey, R. D. Goodband, R. C. Sulabo, and K. J. Prusa. 2010. Effects of dried distillers grains with solubles on carcass fat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:3666-3682.
- Bergstrom, J.R., J.L. Nelssen, M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.M. DeRouchey. 2012. Effects of two feeder designs and adjustment strategies on the growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:4555-4566.
- Bergstrom, J.R., J.L. Nelssen, M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.M. DeRouchey. 2014. The effects of feeder design and dietary dried distillers' grains with solubles on the performance and carcass characteristics of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 92:3591-3597.
- Bergstrom, J. R., M. D. Tokach, J. L. Nelssen, S. S. Dritz, R. D. Goodband, J. M. DeRouchey, and T. A. Houser. 2010. Meta-analyses describing the variables that influence the backfat, belly fat, and jowl fat iodine value of pork carcasses. Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Kansas State University, Manhattan, KS.
- Blank, B., E. Schlecht, and A. Susenbeth. 2012. Effect of dietary fibre on nitrogen retention and fibre associated threonine losses in growing pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 66:86-101.
- Boyd, R. D., M. E. Johnston, K. Scheller, A. A. Sosnicki, and E. R. Wilson. 1997. Relationship between dietary fatty acid profile and body fat composition in growing pigs. Pig Improvement Company, Franklin, KY.
- Bradford, J.R., and M.A. Mellencamp. 2013. Immunological control of boar taint and aggressive behavior in male swine. *Anim. Frontiers* 3:12-19.

- Coble, K.F., J.M. DeRouchey, M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.C. Woodworth. 2017. Effects of distillers dried grains with solubles and added fat fed immediately before slaughter on growth performance and carcass characteristics of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 95:270-278.
- Cromwell, G. L., M. J. Azain, O. Adeola, S. K. Baidoo, S. D. Carter, T. D. Crenshaw, S. W. Kim, D. C. Mahan, P. S. Miller, and M. C. Shannon. 2011. Corn distillers dried grains with solubles in diets for growing-finishing pigs: A cooperative study. *J. Anim. Sci.* 89:2801-2811.
- Curry, S.M., D.M.D.L. Navarro, F.N. Almeida, J.A.S. Almeida, and H.H. Stein. 2014. Amino acid digestibility in low-fat distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 5:27.
- Dahlen, R. B. A., S. K. Baidoo, G. C. Shurson, J. E. Anderson, C. R. Dahlen, and L. J. Johnston. 2011. Assessment of energy content of low-solubles corn distillers dried grains and effects on growth performance, carcass characteristics, and pork fat quality in growing- finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89:3140-3152.
- Davis, J. M., P. E. Urriola, G. C. Shurson, S. K. Baidoo, and L. J. Johnston. 2015. Effects of adding supplemental tallow to diets containing 30 percent distillers dried grains with solubles on growth performance, carcass characteristics, and pork fat quality in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 93:266-277.
- Dee, S. C. Neill, T. Clement, A. Singrey, J. Christopher-Hennings, and E. Nelson. 2015. An evaluation of porcine epidemic diarrhea virus survival in individual feed ingredients in the presence or absence of a liquid antimicrobial. *Porcine Health Mgmt.* 1:9.
- Duttlinger, A.J., J.M. DeRouchey, M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, J.L. Nelssen, T.A. Houser, and R.C. Sulabo. 2012. Effects of increasing crude glycerol and dried distillers grains with solubles on growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:840-852.
- Estrada Restrepo, J. E. 2013. Factors associated with variation in the fatty acid composition and iodine value of carcass fat in pigs fed increasing levels of dried distillers grains with solubles. Master's thesis. Univ. of Illinois at Urbana-Champaign.
- Finot, P. A. 2005. The absorption and metabolism of modified amino acids in processed foods. *J. AOAC Int.* 88:894-903.
- Fontaine, J., U. Zimmer, P. J. Moughan, and S. M. Rutherford. 2007. Effect of heat damage in an autoclave on the reactive lysine contents of soy products and corn distillers dried grains with solubles. Use of the results to check on lysine damage in common qualities of these ingredients. *J. Agric. Food Chem.* 55:10737-10743.
- Gloaguen, M., N. Le Floch, E. Corrent, Y. Primot, and J. van Milgen. 2012. Providing a diet deficient in valine but with excess leucine results in a rapid decrease in feed intake and modifies the postprandial plasma amino acid and alpha-keto acid concentrations in pigs. *J. Anim. Sci.* 90:3135-3142.
- Gonçalves, M.A.D., S.S. Dritz, M.D. Tokach, J.M. DeRouchey, J.C. Woodworth, and R.D. Goodband. 2017. Fact sheet - Ingredient database management for swine: phosphorus. *J. Swine Health Prod.* 25:76-78.
- Graham, A.B., R.D. Goodband, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.M. DeRouchey, and S. Nitikanchana. 2014a. The effects of medium-oil dried distillers grains with solubles on growth performance, carcass traits, and nutrient digestibility in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 92:604-611.
- Graham, A. B., R. D. Goodband, M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. M. DeRouchey, S. Nitikanchana, and J. J. Updike. 2014b. The effects of low-, medium-, and high-oil distillers dried grains with solubles on growth performance, nutrient digestibility, and fat quality in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 92:3610-3623.
- Graham, A.B., R.D. Goodband, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.M. DeRouchey, and S. Nitikanchana. 2014c. The interactive effects of high-fat, high-fiber diets and ractopamine HCl on finishing pig growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality. *J. Anim. Sci.* 92:4585-4597.
- Greiner, L., C. Neill, G.L. Allee, X. Wang, J. Connor, K. Touchette, and J.L. Usry. 2015. The feeding of dried distillers' grains with solubles to lactating sows. *J. Anim. Sci.* 93:5718-5724.
- Gutierrez, N.A., N.V.L. Serão, and J.F. Patience. 2016. Effects of distillers' dried grains with solubles and soybean oil on dietary lipid, fiber, and amino acid digestibility in corn-based diets fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 94:1508-1519.
- Gutierrez, N.A., D.Y. Kil, Y. Liu, J.E. Pettigrew, and H.H. Stein. 2014. Effects of co-products from the corn-ethanol industry on body composition, retention of protein, lipids and energy, and on the net energy of diets fed to growing or finishing pigs. *J. Sci. Food Agric.* doi:10.1002/jfsa.6648, 8 pp.
- Hanson, A.R., G. Xu, M. Li, M.H. Whitney, and G.C. Shurson. 2011. Impact of dried distillers grains with solubles (DDGS) and diet formulation method on dry matter, calcium, and phosphorus retention and excretion in nursery pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 172:187-193.
- Hardy matteran, S.J. 2013. Effect of dietary distillers dried grains with solubles (DDGS) and pig removal strategy at harvest on the growth performance, carcass characteristics, and fat quality of growing-finishing pigs. Master's thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.

- Harris, E.K., M.A. Mellencamp, L.J. Johnston, R.B. Cox, and G.C. Shurson. 2018. Effectiveness of different corn dried distillers grains with solubles feeding strategies and increasing the time intervals between the second Improvest dose and slaughter of immunologically castrated pigs on belly and pork fat quality. *Meat Sci.* 135:62-73.
- Harris, E.K., M.A. Mellencamp, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2017a. Growth performance of immunologically castrated pigs slaughtered at 5, 7, or 9 weeks after the second Improvest dose and fed diets containing corn dried distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 95:806-819.
- Harris, E.K., M.A. Mellencamp, L.J. Johnston, R.B. Cox, and G.C. Shurson. 2017b. Effect of time interval between the second Improvest dose and slaughter and corn dried distillers grains with solubles feeding strategies on carcass composition, primal cutout, and pork quality of immunologically castrated pigs. *Meat Sci.* 127:13-20.
- Harris, R. A., M. Joshi, and N. H. Jeoung. 2004. Mechanisms responsible for regulation of branched- chain amino acid catabolism. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 313:391-396.
- Hastad, C. W., M. D. Tokach, J. L. Nelssen, R. D. Goodband, S. S. Dritz, J. M. DeRouchey, C. N. Groesbeck, K. R. Lawrence, N. A. Lenehan, and T. P. Keegan. 2004. Energy value of dried distillers grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 82(Suppl. 2):50. (Abstr.)
- Hilbrands, A. M., L. J. Johnston, K. M. McClelland, R. B. Cox, S. K. Baidoo, L. W. O. Souza, and G. C. Shurson. 2013. Effects of abrupt introduction and removal of high and low digestibility corn distillers dried grains with solubles from the diet on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:248-258.
- Htoo, J. K., K. Manner, and J. Zentek. 2017. Excess dietary leucine level increases the optimal dietary isoleucine-to-lysine ratio in 8- to 21-kilogram pigs. *J. Anim. Sci.* 95:195.
- Huang, Z., P.E. Urriola, and G.C. Shurson. 2017. Use of in vitro dry matter digestibility and gas production to predict apparent total tract digestibility of total dietary fiber for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 95:5474-5484.
- Jacela, J.Y., J.M. DeRouchey, S.S. Dritz, M.D. Tokach, R.D. Goodband, J.L. Nelssen, R.C. Sulabo, R.C. Thaler, L. Brandts, D.E. Little, and K.J. Prusa. 2011. Amino acid digestibility and energy content of deoiled (solvent- extracted) corn distillers dried grains with solubles for swine and effects on growth performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 89:1817-1829.
- Jacela, J. Y., J. M. Benz, S. S. Dritz, M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, and K. J. Prusa. 2009. Effect of dried distillers grains with solubles withdrawal regimens on finishing pig performance and carcass characteristics. *Swine Day. phosphorus* 181-191. Manhattan, KS.
- Jha, R., T.A. Woyengo, J. Li, M.R. Bedford, T. Vasanthan, and R.T. Zijlstra. 2015. Enzymes enhance degradation of the fiber-starch-protein matrix of distillers dried grains with solubles as revealed by a porcine in vitro fermentation model and microscopy. *J. Anim. Sci.* 93:1039-1051.
- Jha, R., J.K. Htoo, M.G. Young, E. Beltranena, and R.T. Zijlstra. 2013. Effects of increasing co-product inclusion and reducing dietary protein on growth performance, carcass characteristics, and jowl fatty acid profile of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:2178-2191.
- Jones, C.K., J.R. Bergstrom, M.D. Tokach, J.M. DeRouchey, R.D. Goodband, J.L. Nelssen, and S.S. Dritz. 2010. Efficacy of commercial enzymes in diets containing various concentrations and sources of dried distillers grains with solubles for nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2084-2091.
- Kellner, T. A. 2014. Impact of dietary fat intake on carcass iodine value and pork fat quality. Master's thesis. Iowa State University, Ames, IA.
- Kerr, B.J., N.K. Gabler, and G.C. Shurson. 2015a. Formulating diets containing corn distillers dried grains with solubles on a net energy basis: Effects on pig performance and energy and nutrient digestibility. *Prof. Anim. Scientist* 31:497-503.
- Kerr, B.J., W.A. Dozier, III, and G.C. Shurson. 2013. Effects of reduced-oil corn distillers dried grains with solubles composition on digestible and metabolizable energy value and prediction in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:3231-3243.
- Kim, B.G., D.Y. Kil, D.C. Mahan, G.M. Hill, and H.H. Stein. 2014. Effects of dietary sulfur and distillers dried grains with solubles on carcass characteristics, loin quality, and tissue concentrations of sulfur, selenium, and copper in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 92:4486-4493.
- Kim, B.G., D.Y. Kil, and H.H. Stein. 2013. In growing pigs, the true ileal and total tract digestibility of acid hydrolyzed ether extract in extracted corn oil is greater than in intact sources of corn oil or soybean oil. *J. Anim. Sci.* 91:755-763.
- Lammers, P.J., B.J. Kerr, and M.S. Honeyman. 2015. Biofuel co-products as swine feed ingredients: Combining corn distillers dried grains with solubles (DDGS) and crude glycerin. *Anim. Feed Sci. Technol.* 201:110-114.
- Lee, J.W., D.Y. Kil, B.D. Keever, J. Killefer, F.K. McKeith, R.C. Sulabo, and H.H. Stein. 2013. Carcass fat quality of pigs is not improved by adding corn germ, beef tallow, palm kernel oil, or glycerol to finishing diets containing distillers dried grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 91:2426-2437.
- Leick, C.M., C.L. Puls, M. Ellis, J. Killefer, T.R. Carr, S.M.

- Scramlin, M.B. England, A.M. Gaines, B.F. Wolter, S.N. Carr, and F.K. McKeith. 2010. Effect of distillers dried grains with solubles and ractompamine (Paylean) on quality and shelf life of fresh pork and bacon. *J. Anim. Sci.* 88:2751-2766.
- Li, G., Z. Wang, M. Lin, Z. Lu, and W. Yao. 2012. Effects of corn DDGS in combination with compound enzymes on growth performance, carcass fat quality, plasma and tissue redox homeostasis of growing-finishing pigs. *Livest. Sci.* 149:46-52.
- Li, P., X. Xu, Q. Zhang, J.D. Liu, Q.Y. Li, S. Zhang, X.K. Ma, and X.S. Piao. 2015. Effect of different inclusion level of condensed distillers solubles ratios and oil content on amino acid digestibility of corn distillers dried grains with solubles in growing pigs. *Asian Austral. J. Anim. Sci.* 28:102-110.
- Li, X., S.K. Baidoo, Y.Z. Li, G.C. Shurson, and L.J. Johnston. 2014. Interactive effects of distillers dried grains with solubles and housing system on reproductive performance and longevity of sows over three reproductive cycles. *J. Anim. Sci.* 92:1562-1573.
- Li, Y.Z., C.E. Phillips, L.H. Wang, X.L. Xie, S.K. Baidoo, G.C. Shurson, and L.J. Johnston. 2013. Effects of distiller' dried grains with solubles on behavior of sows kept in a group-housed system with electronic sow feeders or individual stalls. *Can. J. Anim. Sci.* 93:57-66.
- Little, K.L., J.M. Kyle, B.M. Bohrer, A.L. Schroeder, C.A. Fedler, K.J. Prusa, and D.D. Boler. 2014. A comparison of slice characteristics and sensory characteristics of bacon from immunologically castrated barrows with bacon from physically castrated barrows, boars, and gilts. *J. Anim. Sci.* 92:5769-5777.
- Liu, P., L. W. O. Souza, S. K. Baidoo, and G. C. Shurson. 2012. Impact of distillers dried grains with solubles particle size on nutrient digestibility, DE and ME content, and flowability in diets for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:4925-4932.
- Madsen, A., K. Jakobsen, and H. P. Mortensen. 1992. Influence of dietary fat on carcass fat quality in pigs. A review. *Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci.* 42:220-225.
- Mathai, J. K., J. K. Htoo, J. E. Thomson, K. J. Touchette, and H. H. Stein. 2016. Effects of dietary fiber on the ideal standardized ileal digestible threonine: Lysine ratio for twenty-five to fifty kilogram growing gilts. *J. Anim. Sci.* 94:4217-4230.
- McClelland, K.M., G. Rentfrow, G.L. Cromwell, M.D. Lindemann, and M.J. Azain. 2012. Effects of corn distillers dried grains with solubles on quality traits of pork. *J. Anim. Sci.* 90:4148-4156.
- McDonnell, P., C.J. O'Shea, J.J. Callan, and J.V. O'Doherty. 2011. The response of growth performance, nitrogen, and phosphorus excretion of growing-finishing pigs to diets containing incremental levels of maize dried distiller's grains with solubles. *An. Feed Sci. Tech.* 169:104-112.
- Meade, S. J., E. A. Reid, and J. A. Gerrard. 2005. The impact of processing on the nutritional quality of food proteins. *AOAC Int.* 88:904-922.
- Musser, R.E., R.D. Goodband, M.D. Tokach, K.Q. Owen, J.L. Nelssen, S.A. Blum, S.S. Dritz, and C.A. Civis. 1999. Effects of L-carnitine fed during gestation and lactation on sow and litter performance. *J. Anim. Sci.* 77:3289-3295.
- Myers, A.J., R.D. Goodband, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.M. DeRouchey, and J.L. Nelssen. 2013. The effects of diet form and feeder design on the growth performance of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:3420-3428.
- Nemecek, J.E., M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, J.M. DeRouchey, and J.C. Woodworth. 2015. Effects of diet form and type on growth performance, carcass yield, and iodine value of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 93:4486-4499.
- Noblet, J., H. Fortune, X. S. Shi, and S. Dubois. 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72:344-354.
- Noblet, J., and J. M. Pérez. 1993. Prediction of digestibility of nutrients and energy value of pig diets from chemical analysis. *J. Anim. Sci.* 71:3389-3398.
- NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th ed. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 1994. Nutrient requirements for poultry. 9th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Ntakatsane, M. P., X. Q. Yang, M. Lin, X. M. Liu, and P. Zhou. 2011. Short communication: Suitability of fluorescence spectroscopy for characterization of commercial milk of different composition and origin. *J. Dairy Sci.* 94:5375-80.
- Olukosi, O.A., and A.O. Adebisi. 2013. Chemical composition and prediction of amino acid content of maize- and wheat-distiller's dried grains with solubles. *Anim. Feed Sci. Technol.* 185:182-189.
- Overholt, M.F., J.E. Lowell, E.K. Arkfeld, I.M. Grossman, H.H. Stein, A.C. Dilger, and D.D. Boler. 2016a. Effects of pelleting diets without or with distillers' dried grains with solubles on growth performance, carcass characteristics, and gastrointestinal weights of growing-finishing barrows and gilts. *J. Anim. Sci.* 94:2172-2183.
- Overholt, M.F., J.E. Lowell, K.B. Wilson, R.J. Matulis, H.H. Stein, A.C. Dilger, and D.D. Boler. 2016b. Effects of feeding pelleted

diets without or with distillers dried grains with solubles on fresh belly characteristics, fat quality, and commercial bacon slicing yields of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 94:2198-2206.

Pahm, A. A., C. Pedersen, D. Hoehler, and H. H. Stein. 2008. Factors affecting the variability in ileal amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 86:2180-2189.

Paulk, C. B., J. R. Bergstrom, M. D. Tokach, S. S. Dritz, D. D. Burnett, E. W. Stephenson, M. A. Vaughn, J. M. DeRouche, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, and J. M. Gonzalez. 2015. Equations generated to predict iodine value of pork carcass back, belly, and jowl fat. *J. Anim. Sci.* 93:1666-1678.

Patience, J. F. 2009. Energy in swine nutrition. *Animal Industry Report*. <http://lib.dr.iastate.edu/ansair/vol655/iss1/80>. (accessed December 3, 2017).

Pedersen, C., M. G. Boersma, and H. H. Stein. 2007. Digestibility of energy and phosphorus in ten samples of distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:1168-1176.

Pompeu, D. B.R. Wiegand, H.L. Evans, J.W. Rickard, G.D. Gerlemann, R.B. Hinson, S.N. Carr, M.J. Ritter, R.D. Boyd, and G.L. Allee. 2013. Effect of corn dried distillers grains with solubles, conjugated linoleic acid, and ractopamine (Paylean) on growth performance and fat characteristics of late finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:793-803.

Ramanau, A., H. Kluge, and K. Eder. 2005. Effects of L-carnitine supplementation on milk production, litter gains and backfat thickness in sows on a low energy and protein intake during lactation. *Br. J. Nutr.* 717-721.

Ramanau, A., H. Kluge, J. Spilke, and K. Eder. 2004. Supplementation of sows with L-carnitine during pregnancy and lactation improves growth of piglets during the suckling period through increased milk production. *J. Nutr.* 134:86-92.

Ren, P., Z. Zhu, B. Dong, J. Zang, and L. Gong. 2011. Determination of energy and amino acid digestibility in growing pigs fed corn distillers' dried grains with solubles containing different lipid levels. *Arch. Anim. Nutr.* 65:303-319.

Rojas, O.J., Y. Liu, and H.H. Stein. 2013. Phosphorus digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in corn, corn coproducts, and bakery meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:5326-5335.

Rostagno, M.H., B.T. Richert, L.V.C. Girao, G.M. Preis, L.J. Lara, A.F. Amaral, A.D.B. Melo, and A. Jones. 2013. Do distillers grains with solubles affect the occurrence of *Salmonella enterica* colonization in pigs? *J. Anim. Sci.* 91(E-Suppl. 2): 699 (Abstr.).

Rutherford, S. M. 2015. Use of the guanidination reaction for

determining reactive lysine, bioavailable lysine and gut endogenous lysine. *Amino Acids* 47:1805-1815.

Salter, J.A., M.D. Tokach, J.M. DeRouche, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.L. Nelssen. 2013. Effects of standardized ileal digestible tryptophan:lysine in diets containing 30 percent dried distillers grains with solubles on finishing pig performance and carcass traits. *J. Anim. Sci.* 91:3244-3252.

Saqui-Salces, M., Z. Luo, P.E. Urriola, G.C. Shurson, and B.J. Kerr. 2017a. Effect of dietary fiber and diet particle size on nutrient digestibility and gastrointestinal secretory function in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 95:2640-2648.

Saqui-Salces, M., Z. Huang, M. Ferrandis Vila, J. Li, J.A. Mielke, P.E. Urriola, and G.C. Shurson. 2017b. Modulation of intestinal cell differentiation in growing pigs is dependent on the fiber source in the diet. *J. Anim. Sci.* 95:1179-1190.

Seabolt, B.S., E. van Heugten, S.W. Kim, K.D. Ange-van Heugten, and E. Roura. 2010. Feed preference and performance of nursery pigs fed diets containing various inclusion amounts and qualities of distillers coproducts and flavor. *J. Anim. Sci.* 88:3725-3738.

She, U., Y. Su, L. Liu, C. Huang, J. Li, P. Li, D. Li, and X. Piao. 2015. Effects of microbial phytase on coefficient of standardized total tract digestibility of phosphorus in growing pigs fed corn and corn co-products, wheat and wheat co-products and oilseed meals. *Anim. Feed Sci. Technol.* 208:132-144.

Shelton, N.W., S.S. Dritz, J.L. Nelssen, M.D. Tokach, R.D. Goodband, J.M. DeRouche, H. Yang, D.A. Hill, D. Holzgraefer, D.H. Hall, and D.C. Mahan. 2014. Effects of dietary vitamin E concentration and source on sow, milk, and pig concentrations of α -tocopherol. *J. Anim. Sci.* 92:4547-4556.

Shen, Y., M.Z. Fan, A. Ajakiye, and T. Archibold. 2002. Use of the regression analysis technique to determine the true digestible phosphorus digestibility and the endogenous phosphorus output associated with corn in growing pigs. *J. Nutr.* 132:1199-1206.

Song, M. S.K. Baidoo, G.C. Shurson, M.H. Whitney, L.J. Johnston, and D.D. Gallaher. 2010. Dietary effects of distillers dried grains with solubles on performance and milk composition of lactating sows. *J. Anim. Sci.* 88:3313-3319.

Song, R., and G. C. Shurson. 2013. Evaluation of lipid peroxidation level in corn dried distillers' grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 91:4383-4388.

Stein, H. H., and G. C. Shurson. 2009. The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87:1292-1303.

Stein, H. H., S. P. Connot, and C. Pedersen. 2009. Energy and

nutrient digestibility in four sources of distillers dried grains with solubles produced from corn grown within a narrow geographical area and fed to growing pigs. *Asian- Aust. J. Anim. Sci.* 22:1016-1025.

Stein, H. H., M. L. Gibson, C. Pedersen, and M. G. Boersma. 2006. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles by growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84:853-860.

Tavárez, M.A., B.M. Bohrer, M.D. Asmus, A.L. Schroeder, R.J. Matulis, D.D. Boler, and A.C. Dilger. 2014. Effects of immunological castration and distiller's dried grains with solubles on carcass cutability and commercial bacon slicing yields of barrows slaughtered at two time points. *J. Anim. Sci.* 92:3149-3160.

Tran, H., R. Moreno, E.E. Hinkle, J.W. Bundy, J. Walter, T.E. Burkey, and P.S. Miller. 2012. Effect of corn distillers dried grains with solubles on growth performance and health status indicators in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 90:790-801.

Trudeau, M.P., H. Verma, F. Sampedro, P.E. Urriola, G. C. Shurson, and S.M. Goyal. 2017. Environmental persistence of porcine coronaviruses in feed and feed ingredients. *PLoS ONE* 12:e0178094. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178094>.

Tsai, T., C.R. Dove, P.M. Cline, A. Owusu-Asiedu, M.C. Walsh, and M. Azain. 2017. The effect of adding xylanase or -glucanase to diets with corn distillers dried grains with solubles (CDDGS) on growth performance and nutrient digestibility in nursery pigs. *Livest. Sci.* 197:46-52.

Urriola, P. E., M. Li, B. J. Kerr, and G. C. Shurson. 2014. Evaluation of prediction equations to estimate gross, digestible, and metabolizable energy content of maize dried distillers grains with solubles (DDGS) for swine based on variable chemical composition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 198:196-202.

Urriola, P. E., L. J. Johnston, H. H. Stein, and G. C. Shurson. 2013. Prediction of the concentration of standardized ileal digestible amino acids in distillers dried grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 91:4389-4396.

Urriola, P. E., and H. H. Stein. 2010. Effects of distillers dried grains with solubles on amino acid, energy, and fiber digestibility and on hindgut fermentation of dietary fiber in a corn-soybean meal diet fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:1454-1462.

Urriola, P. E., G. C. Shurson, and H. H. Stein. 2010. Digestibility of dietary fiber in distillers coproducts fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2373-2381.

Wang, L., P.E. Urriola, Z. Luo, Z.J. Rambo, M.E. Wilson, J.L. Torrison, G.C. Shurson, and C. Chen. 2016. Metabolomics

revealed heat stress and zinc supplementation-induced changes in amino acid, lipid, and microbial metabolism. *Phys. Rep.* 4:e12676, doi:10.14814/phy2.12676.

Wang, H., L.S. Wang, B.M. Shi, and A.S. Shan. 2012. Effects of dietary corn dried distillers grains with solubles and vitamin E on growth performance, meat quality, fatty acid profiles, and pork shelf life of finishing pigs. *Livest. Sci.* 149:155-166.

Wang, L.S., B.C. Su, Z. Shi, B.M. Shi, and A.S. Shan. 2013. Dietary supplementation with maize distillers dried grains with solubles during late gestation and lactation: Effects on sow and litter performance, and on colostrum and milk composition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 179:149-153.

Weber, E.K., K.J. Stalder, and J.F. Patience. 2015. Wean- to-finish feeder space availability effects on nursery and finishing pig performance and total tract digestibility in a commercial setting when feeding dried distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 93:1905-1915.

Wei, B., S. Nie, Q. Meng, Z. Qu, A. Shan, and Z. Chen. 2016. Effects of L-carnitine and/or maize distillers dried grains with solubles in diets of gestating and lactating sows on the intestinal barrier functions of their offspring. *Br. J. Nutr.* 116:459-469.

Whitney, M.H., G.C. Shurson, and R.C. Guedes. 2006a. Effect of dietary inclusion of distillers dried grains with solubles on the ability of growing pigs to resist a *Lawsonia intracellularis* challenge. *J. Anim. Sci.* 2006. 84:1860-1869.

Whitney, M.H., G.C. Shurson, and R.C. Guedes. 2006b. Effect of including distillers dried grains with solubles in the diet, with or without antimicrobial regimen, on the ability of growing pigs to resist a *Lawsonia intracellularis* challenge. *J. Anim. Sci.* 2006. 84:1870-1879.

Wiltafsky, M. K., M. W. Pfaffl, and F. X. Roth. 2010. The effects of branched-chain amino acid interactions on growth performance, blood metabolites, enzyme kinetics and transcriptomics in weaned pigs. *Br. J. Nutr.* 103:964-76.

Wu, F., L.J. Johnston, P.E. Urriola, A.M. Hilbrands, and G.C. Shurson. 2016a. Evaluation of ME predictions and the impact of feeding maize distillers dried grains with solubles with variable oil content on growth performance, carcass composition, and pork fat quality of growing-finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 213:128-141.

Wu, F., L.J. Johnston, P.E. Urriola, and G.C. Shurson. 2016b. Pork fat quality of pigs fed distillers dried grains with solubles with variable oil content and evaluation of iodine value prediction equations. *J. Anim. Sci.* 94:1041-1052.

Wu, F., L.J. Johnston, P.E. Urriola, A.M. Hilbrands, and G.C. Shurson. 2016c. Evaluation of NE predictions and the impact of feeding maize distillers dried grains with solubles (DDGS)

with variable NE content on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 215:105-116.

Xu, G., S. K. Baidoo, L. J. Johnston, D. Bibus, J. E. Cannon, and G. C. Shurson. 2010a. Effects of feeding diets containing increasing content of corn distillers dried grains with solubles to grower-finisher pigs on growth performance, carcass composition, and pork fat quality. *J. Anim. Sci.* 88:1398-1410.

Xu, G., S. K. Baidoo, L. J. Johnston, D. Bibus, J. E. Cannon, and G. C. Shurson. 2010b. The effects of feeding diets containing corn distillers dried grains with solubles, and withdrawal period of distillers dried grains with solubles, on growth performance and pork quality in grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 88:1388-1397.

Ying, W., M.D. Tokach, J.M. DeRouchey, T.E. Houser, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.L. Nelssen. 2013. Effects of dietary L-carnitine and dried distillers grains with solubles on growth, carcass characteristics, and loin and fat quality of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:3211-3219.

Zeng, Z.K., G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Prediction of the concentration of standardized ileal digestible amino acids and safety margins among sources of distillers dried grains with solubles for growing pigs: A meta-analysis approach. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 231:150-159.

Zhu, C. L., M. Rademacher, and C. F. M. De Lange. 2005. Increasing dietary pectin level reduces utilization of digestible threonine intake, but not lysine intake, for body protein deposition in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 83:1044-1053.

CHAPTER 17

양돈용 DDGS 사료의 Pelleting

서론

미국에서 여러 해 동안 사료에 DDGS의 사용량을 높이면 (>30%) 상당한 비용 절감을 할 수 있었다. 그러나 미국 중서부의 대다수 양돈농장에서는 가루사료로 급여하고 있다. DDGS 사료를 펠릿으로 만드는 경우, 펠릿의 품질과 펠릿 기계의 생산량 때문에 사료에 DDGS의 사용량을 10%로 제한하고 있다. 그 결과 일반 사료공장과 양돈농가에서는 원하는 펠릿 품질과 생산효율을 충족시키기 위하여 DDGS의 사용량에 제한을 두기 때문에 DDGS의 사용량을 높이면 얻을 수 있는 경제적 이득이 감소하게 된다.

Pelleting은 양돈 사료 제조에 사용되는 가장 일반적인 열처리 가공방법으로 (Miller, 2012), 사료 낭비의 감소와 전분의 일부 호화에 따른 열량과 영양소들의 소화율 향상의 결과로 사료 이용율이 향상되는 이점을 제공한다 (Richert와 DeRouchey, 2010; NRC, 2012). 사료 pelleting의 추가적인 이점은 먼지감소, 수송 중 원료의 분리방지, 병원균 열처리, 가루사료 입자의 분리방지 그리고 기호성, 벌크 밀도와 취급 특성의 향상 등이 있다 (Abdollahi 등, 2012; NRC, 2012).

Pelleting 가공

Pelleting은 기계적인 가공으로 수분, 열 그리고 압력을 이용하여 작은 입자들을 큰 입자로 가공하는 것이다 (Falk, 1985). 상업적인 펠릿은 직경 (0.16 mm~0.75 mm)과, 모양 (삼각형, 사각형, 원형, 원통형 등)의 범위가 다양하고 그 크기는 동물의 종류와 급여목적에 따라 다르다 (California Pellet Mill Co., 2016).

펠릿 사료 생산의 첫 번째 단계는 hammer mill이나 roller mill을 사용하여 원료 (주로 곡물)의 크기를 감소시키는 것이다. 일반적으로 펠릿을 만들고자 하는 사료는 거칠게 으깬 meal이나 가루사료보다 입도를 작게 하여 펠릿 경도를 높인다 (Wondra 등, 1995a). 다음 단계는 각 원료의 무게를 달아 배합표에 따른 분량대로 배합기에 넣고 일정한 시간동안 배합물의 균질화를 위해 배합을 한다. 그런 다음 배합물은 열과 수분을 적당한 균형으로 공급하는 증기를 사용하여 steam-conditioning을 한다 (Smallman, 1996). 비록 steam conditioning은 에너지가 필요하고 pelleting 공정에서 비용을 유발하지만, 건식 conditioning에 비해 펠릿 생산율을 높이고 펠릿 경도지수 (PDI)를 (Skoch 등, 1981) 높인다.

Conditioner 안에서 혼합된 가루사료에 증기가 가해진 후, 습하고 뜨거운 가루사료는 pelleting chamber에 들어가서 펠릿을 만들기 위해 금속 die를 통과한다. 펠릿이 die를 통과한 후 냉각기에 들어가서 80~90℃에서 주변 환경 온도보다 8℃ 높은 온도에서 냉각시키고 (Zimonja 등, 2007), 주위 공기를 통풍시켜 수분을 15~17%에서 10~12 %로 감소시킨다 (Robinson, 1976). 냉각기에서 수집된 가루는 pelleting chamber로 순환시켜 다시 pelleting에 사용된다. 일부 양돈 사양프로그램에서는 냉각된 펠릿을 crumble (분쇄 펠릿)로 만들어 이용한다.

펠릿의 경도, 열량소비 그리고 생산율에 영향을 미치는 요인들

높은 품질의 가금류 펠릿 사료를 만드는 데 있어서 세 가지 목표는 펠릿 생산과정에서 에너지비용을 최소화하면서 펠릿 강도와 생산량을 높이는 것이다 (All About Feed, 2012). 일반적으로, 펠릿 강도를 높인다는 것은 펠릿이 제조되는 순간부터 소비되는 순간까지 훼손되지 않고 최대한 온전히 남아있게 한다는 뜻이다. 그러나 펠릿 강도를 높이는 어떠한 조치도 펠릿 제조기의 생산량을 감소시키고 에너지 비용을 증가시킨다 (Behnke, 2006). 높은 품질의 펠릿을 제조하는 데는 사료의 형태, 지방의 함량, 증기 첨가제들, 입자도, 수분함량, die 품질, roller의 품질과 roller와 die의 간격 등, 같은 여러 가지 요인들에 의해 영향을 받는다 (California Pellet Mill Co., 2016). 펠릿 가공 공정에서 에너지와 비용의 주된 소모처는 conditioning 단계에서 증기의 생산 그리고 feeders, conditioners, 펠릿 제조기와 냉각기의 운전을 위한 전기 (kw/h/톤)이다. 펠릿 제조에서 사용되는 에너지의 대부분 (72% 이상)은 증기 conditioning이고 (Skoch 등, 1983), Payne (2004)은 돼지사료를 pelleting하는데 15 kilowatt/h/톤은 합리적인 목표수준이라고 하였다. 실제로 펠릿 강도를 약간 감소시키더라도 펠릿 품질, 생산량 그리고 비용 적정화를 효과적으로 결정하는 데 도움을 주는 시스템이 개발되었다 (Thomas 등, 1997).

펠릿 형틀의 특성 즉, 금속의 성질, 구멍 디자인, 구멍 패턴 그리고 구멍 수는 펠릿 강도, 제조기 생산량, 에너지 소비량에 영향을 준다 (Stark, 2009). 가루사료가 형틀을 통과할 때 마찰이 일어나고 열이 발생하면서 온도가 올라가는데는 die의 금속 종류가 영향을 준다 (Behnke, 2014). 구멍 디자인은 직선이거나 relief형태인데, 가장 중요한 것은 구멍의 직경 (D)에 대한 die 두께 (L)의 비율인데 흔히 L 대 D 비율 또는 L:D로 표시한다. L 대 D 비율이 증가 (형틀의 두께가 두꺼움)하면, 형틀 내 마찰과 체류시간이 길어지면서 펠릿 강도가 증가한다. 그러나 펠릿 제조기의 생산량은 감소하고 에너지 소비량은 증가한다 (Traylor, 1997).

물리적인 펠릿 품질은 펠릿이 포장, 저장, 수송되어 가축농장의 급여기에 도착할 때까지 가루 발생이 최소화되는 능력을 말한다 (Cramer 등, 2003; Amerah 등, 2007). 펠릿 품질은 일반적으로 펠릿강도지수 (PDI; ASAE, 1997)로 측정된다. 높은 PDI를 달성하기 위해서는 계면력과 모세관 압력 이외에 다섯 가

지의 중요한 결합기작이 있다: 견고한 연결 교량 형성, 고품 입자 간의 인력, 기계적인 연결결합, 접착력 그리고 응집력이다 (Thomas와 van der Poel, 1996; Kaliyan과 Morey, 2006). 펠릿 품질과 유사하게 펠릿 제조기의 에너지 소비량은 펠릿 형틀 직경, 형틀 속도, L:D 그리고 사료원료의 수분함량과 화학조성과 같은 변수들에 달려있다 (Tumuluru 등, 2016). 펠릿 제조기의 전기 사용량은 일반적으로 kilowatt-hours/톤 (kWh/톤)으로 표시한다 (Fahrenholz, 2012).

펠릿 제조기의 생산율은 PDI와 에너지 소비에 영향을 주는 또 다른 중요한 요인이다. Stark (2009)는 펠릿 제조기의 생산량을 545 kg/hr에서 1646 kg/hr로 증가시켰을 때 제조기의 효율을 73.3에서 112.4 kg/horse power hour로 증가시켰으나, PDI는 55.4에서 30.2%로 직선적으로 감소하였다.

가루사료의 증기 conditioning은 펠릿의 경도를 높이는 데 가장 중요한 요인으로 간주되고 있다. Conditioning 온도가 높으면 PDI가 증가하고 기계적 마찰이 감소 (Skoch 등, 1981) 하기 때문에 에너지 소비량이 감소한다 (Pfost, 1964). Conditioning 온도가 올라가면 전분의 호화가 감소한다 (Abdollahi 등, 2011). Conditioner의 페달 속도를 조정하여 (Briggs 등, 1999) 체류시간을 증가시키고 PDI를 증가시킬 수 있다 (Gilpin 등, 2002). 그러나 PDI를 향상시키는데 증기의 압력의 영향은 일정하지 않았다. Cutlip 등 (2008)은 증기압력이 높아지면 PDI가 약간 상승한다고 보고한 반면, Thomas 등 (1997)은 증기압력과 PDI 사이에는 명확한 관계가 없다고 하였다. 이러한 불확실한 관계는 이전의 시험에서도 관찰되었는데, 증기압력이 PDI나 생산율에 영향이 없었다 (Stevens, 1987). 결과적으로 Briggs 등 (1999)은 높은 PDI를 달성하기 위한 증기압은 207–345 kilopascals이면 충분하다고 결론 지었다.

많은 사료 제조업자들은 사료의 입자도가 펠릿의 PDI에 유의한 영향을 미친다고 생각하고 있지만, 이를 지지할 만한 유력한 연구 결과가 없다. 이론적으로는 입자가 크면 펠릿에 균열을 야기시켜 더 쉽게 부서질 수 있다 (California Pellet Mill Co., 2016). 그러나 Stevens (1987)는 분쇄 옥수수의 입자도는 생산율이나 PDI에 영향이 없다고 하였다. 유사하게 Stark 등 (1994)은 입자도를 543에서 233 microns로 감소시켰을 때 PDI를 아주 약간 증가시켰다. 마찬가지로 Reece 등 (1985)은 사료의 입자도를 670에서 1289 microns로 증가시켰을 때 PDI를 아주 약간 감소시켰다. Knauer (2014)는 대두박과 DDGS를 재분쇄하여 각각 1,070 대 470 μm 와 689 대 480 μm 로 입도를 감소시키고 후기돈사료에 0 또는 30%의 DDGS를 함유했을 때 펠릿 품질에 미치는 영향을 평가하였다. 이 실험의 결과는 30% DDGS를 사료에 첨가하면, modified PDI를 9.5% 개선시켰고 대두박 재분쇄는 modified PDI를 4.7% 개선시켰지만, DDGS의 재분쇄는 수정된 PDI에 영향이 없었다. Knauer (2014)는 두 가지 입도의 DDGS (640 대 450 μm)와 두 수준의 펠릿 가루를 pelleting하여 급여한 후기돈의 성장률에 미치는 영향을 평가했는데 아무런 영향을 관찰할 수 없었다. 이 결과들은 DDGS를 재분쇄하여 입도를 감소시켜도 펠릿 품질이 향상되지 않는다는 것을 시사한다.

펠릿입자도는 원하는 펠릿 품질과 제조효율을 달성하는데 주요인이 아니지만, 사료의 성분 그리고 벨크 밀도는 형틀의 윤활과 마모에 미치는 영향 때문에 중요한 요인이다 (Behnke, 2006). 그 결과 여러 가지 사료원료들은 펠릿용이성 요인들에 의해 분류된다 (Payne 등, 2001). 이 원료들의 펠릿용이성 요인들은 이론적으로는 배합표 작성 시 제약변수로 사용할 수 있지만, 실제로는 사용하지 못하는데 이는 배합표 작성의 주된 목표가 PDI를 최적화하기보다는 저렴한 가격으로 영양소 요구량을 충족시키는 최저가 배합표를 작성하는 것이 주목적이기 때문이다.

돼지사료의 전분함량은 pelleting 후 PDI를 결정하는 데 중요한 역할을 한다. 전분함량이 65%일 때 최고의 PDI를 달성하며, 전분함량이 낮고 단백질함량이 높으면 경도가 감소하였다 (Cavalcanti and Behnke, 2005a). 실제로 conditioning 온도보다는 사료의 전분과 단백질함량이 PDI에 미치는 영향이 더 크다 (Wood, 1987). 사료의 지방함량이 증가하면 PDI가 감소하고 (Cavalcanti와 Behnke, 2005a), 1.5%와 3%의 지방을 첨가하면 PDI가 각각 2%와 5%가 감소하였다 (Stark 등, 1994). 또한 pelleting 전에 사료에 지방을 첨가하면 pelleting 과정에서 에너지 소비량을 항상 감소시키지는 않는데 이는 사료의 화학 조성분 간에 많은 상호작용이 있기 때문이다 (Briggs 등, 1999). 예를 들면 옥수수-대두박-대두유 사료에 단백질함량을 증가시키면 PDI가 증가되었다 Cavalcanti와 Behnke (2005b). 가루사료의 수분함량도 펠릿 경도와 pelleting에서 에너지 소비량에 영향을 미치는 중요한 요인이다. 가루사료의 수분함량을 높이면 PDI가 증가하고 에너지 소비량을 감소시켰다 Gilpin (2002). 더욱이 고지방 사료를 pelleting할 때 수분을 5% 첨가하면 PDI가 증가하였다 (Moritz 등, 2002).

펠릿 품질 측정

펠릿의 경도는 여러 가지 tumbling 시험을 통해 측정되는데 기계적 tumbling과 진공 tumbling 그리고 Stoke's® Tablet Hardness Tester, tumbling box test 그리고 Holman Pellet Tester (Behnke, 2001; Winowski 등, 1962)등이 있다. 사료산업에서 사용하는 표준 경도측정법은 ASAE S269.4 (ASAE Standards, 2003)이다. 이 방법은 체로 거른 샘플을 tumble box에 넣고 회전시킨 다음 남아있는 온전한 펠릿의 %라고 정의한다. 자주 쓰이지 않지만 또 다른 방법으로는 TekPro (Norfolk, UK)에서 만든 Homen pellet testers가 있다. Holmen pellet testers는 피라미드 형태의 구멍 뚫린 방에 넣고 20~120 초간 진동시킨 후 빠져나오는 가루를 측정한다. 두 개의 시험이 ASAE S269.4 method와 Holmen pellet testers를 비교하였다. Winowski (1998)는 두 방법이 상관관계가 있다고 보고하였고, Fahrenholz (2012)도 또한 두 방법 간에는 상관관계가 있었으나 ASAE tumble box method가 Holmen testers보다 PDI 측정에서 일관성과 반복성이 더 높다고 하였다. Fahrenholz (2012)는 펠릿 경도, 펠릿 밀도, 체류시간과 개시 및 종료 시의 수분함량이 PDI와 유의한 연관이 있었지만 그 연관의 정도는 미약했고 PDI의 지표로는 사용할 수 없다고 하였다.

DDGS의 화학적 특성

미국의 에탄올 산업은 에탄올과 부산물들의 생산으로부터 더 많은 수입을 올리기 위하여 새로운 가공 공정들을 채택함으로써 DDGS의 화학성분이 지속적으로 변하고 있다. DDGS의 화학조성은 펠릿 품질에 영향을 주는 중요한 요소이기 때문에 제품 간에 변이와 지방의 부분 추출이 미치는 영향에 대하여 이해하는 것이 필요하다. 전통적인 DDGS의 영양성분 (Spiehs 등, 2002; Belyea 등, 2004)은 현재 생산되고 있는 지방저감 DDGS에 비해 조지방, NDF 그리고 전분함량이 많으나 조단백질의 함량이 낮다 (Kerr 등, 2013; 표 1). 그러나 이러한 화학적 조성의 변화에 관계없이, DDGS는 다른 일반적인 사료 성분에 비해 전분이 매우 낮고 조지방 및 NDF 함량이 상대적으로 높기 때문에 DDGS 배합비율이 높은 고품질 펠릿 가공 사료를 제조하는 데 어려움이 있다. 이들 화학 성분은 원하는 PDI를 달성하는데 부정적인 영향을 미치기 때문이다.

표 1. 지방 부분 추출에 따른 DDGS의 영양성분의 평균, 범위 그리고 변화의 비교 (건물 기준)

영양소	옥수수 DDGS (> 10 % oil)	옥수수 DDGS (< 10 % oil) ³
수분, %	11.1 (9.8-12.8) ¹	12.5 (10.0-14.5)
조단백질, %	30.8 (28.7-33.3) ^{1,2}	31.2 (29.8-32.9)
조지방, %	11.5 (10.2-12.6) ^{1,2}	8.0 (4.9-9.9)
NDF %	41.2 (36.7-49.1) ¹	32.8 (30.5-33.9)
전분, %	5.3 (4.7-5.9) ²	2.4 (0.8-3.4)
회분, %	5.2 (4.3 - 6.7) ²	5.4 (4.9-6.1)

¹ Spiehs 등 (2002)

² Belyea 등 (2004)

³ Kerr 등 (2013)

California Pellet Mill Company (2016) 은 몇 가지 일반적인 사료원료들을 “펠릿용이성” 특성에 따라 분류하였다. DDGS는 펠릿용이성이 낮은 것으로 그리고 형틀의 마모성은 중간 정도로 분류되었다. DDGS가 펠릿용이성이 낮게 분류된 데는 몇 가지 이유가 있다 (표 2). 첫째, DDGS는 수분함량이 비교적 낮기 때문에 좋은 품질의 펠릿을 만들기 위해서는 펠릿 제조기에서 공급되는 증기에 더하여 추가적인 수분 첨가가 필요하다. 그러나 이는 DDGS의 함유수준과 전체사료의 수분함량에 달려있다. DDGS의 비교적 높은 단백질함량은 pelleting 과정 중에 단백질이 가소화 (plasticizing)하면서 펠릿의 품질을 높이고 DDGS의 비교적 높은 지방함량이 펠릿 품질을 저하시키지만 사료 내 DDGS의 배합수준과 사료에 사용하는 다른 지방의 첨가량에 따라 달라진다. 반면에 DDGS의 지방함량이 높음에 따른 이점은 펠릿 제조기의 생산율이 증가하는 것이다. 사료원료에 들어 있는 일부 섬유소에는 자연적인 결합제가 들어있어 펠릿 품질 향상에 도움이 되지만 DDGS와 같은 원료는 비교적 섬유소 함량이 높기 때문에 펠릿

제조기의 생산율을 감소시키는데, 이는 섬유소를 펠릿으로 압착하는 것이 어렵기 때문이다. DDGS의 전분함량은 낮고 일부가 제조과정에서 호화되는데, 이는 펠릿 품질을 향상시키는데 도움이 되지 못한다. 더욱이 DDGS는 벌크 밀도가 중간 정도인데 사료배합에 사용되는 다른 원료들의 밀도와 사용량에 따라 생산율을 감소시키는 요인이 될 수 있다. DDGS의 입자도는 294~1,078 μm 이다 (Kerr 등, 2013). 가루와 중간 입자도의 분쇄원료는 증기로부터 수분을 흡수하는데 더 많은 표면적을 제공한다. 그 결과로 화학적 변화가 더 많이 일어나서 펠릿 품질을 향상시키고 큰 입자가 펠릿의 균열점이 되는 것을 방지하여 가루 발생을 감소시킨다. 더욱이 세 (low) 또는 중 (medium) 입자도의 원료나 사료는 펠릿 die의 윤활성을 증진하므로 생산율을 증대 시킨다.

표 2. 사료원료의 특성이 펠릿 품질과 펠릿 생산량에 미치는 영향에 관한 요약 (California Pellet Mill Co., 2016)

원료특성	펠릿 품질에 미치는 영향	펠릿 제조기 생산율에 미치는 영향
수분	수분증가는 펠릿 품질 향상	N/A
단백질	단백질함량이 높으면 펠릿 품질 향상	N/A
지방	지방함량이 2% 이상이면 펠릿 품질 저하	지방함량이 높으면 생산율 증가
섬유소	섬유소함량이 높으면 펠릿 품질 향상 가능성 있음	섬유소 함량이 높으면 생산율 감소
전분	Pelleting 과정에서 높은 온도와 수분으로 호화가 안되면 펠릿 품질 감소	N/A
벌크 밀도	N/A	밀도가 높으면 생산율 증가
입자도	중 또는 세 입자는 펠릿 품질 향상	중 또는 세 입자는 생산율 증가

양돈용 DDGS 사료의 pelleting

DDGS를 첨가한 양돈 사료의 펠릿 강도를 평가하기 위하여 몇 개의 시험이 실시되었는데 그 결과는 일정하지 않다. Fahrenholz (2008)는 DDGS 첨가 수준을 증가하면 PDI가 약간 감소 (0%~90.3, 10%~88.3 그리고 20%~86.8) 하였는데 이 정도 소량의 감소는 현장에서는 큰 문제가 되지 않는다. Stender와 Honeyman (2008)이 0%와 20% DDGS를 함유한 펠릿 사료를 비교했을 때 PDI가 78.9에서 66.8로 뚜렷하게 감소되었다. 한편 Feoli (2008)가 옥수수-대두박 양돈 사료에 DDGS를 30% 사용 시 PDI는 88.5에서 93.0으로 증가하였다. Fahrenholz 등 (2008)은 97 mm × 31.75 mm의 펠릿 형틀을 사용하고, conditioning 온도를 85℃로 했을 때 DDGS 배합수준을 증가시키면, PDI와 벌크 밀도가 감소하였다. De Jong 등 (2013)은 3.18 mm × 38.1 mm 형틀을 사용하여 자돈용 옥수수-대두박 자돈 사료와 DDGS를 30% 배합한 사료를 펠릿화 하였을 때 PDI 값 (93.3~96.9), 가루사료 발생률 (1.2~8.0%) 그리

고 생산율 (1,098~1,287 kg/hr)에는 차이가 없었다. 이와 같이 연구 결과들이 일정치 않다는 것은 가공에 연관된 변수들의 상호작용이 DDGS 사용 사료들의 PDI 차이에 영향을 준다는 것을 시사한다.

이 요인들 중의 하나는 DDGS의 지방함량이다. 앞에서 논의된 바와 같이 사료와 원료의 지방함량은 펠릿 품질과 생산율에 영향을 준다. 미국의 많은 에탄올공장에서는 옥수수유를 일부 추출하기 때문에 DDGS의 지방함량은 5~13%로 변이가 있다. DDGS의 지방함량이 양돈용 DDGS 사료의 PDI에 미치는 영향을 평가하기 위하여, Yoder (2016)는 옥수수-대두박 후기양돈 사료에 15% 또는 30% DDGS를 첨가하거나, 고지방 DDGS를 15% 또는 30%를 첨가하였다. 사료는 4.0 mm × 32 mm 형틀을 사용하고 65.6℃ 또는 82.2℃의 conditioning 온도를 사용하여 pelleting하였다. 생산율은 680 kg/hr로 일정하게 유지하였다. 펠릿의 품질은 네 개의 PDI 측정기 (표준 PDI, ASABE S269.4, 2007; modified PDI using three 19-mm hex nuts; Holmen NHP 100 for 60 seconds; Holmen NHP 200 for 240 seconds)로 평가하였다. DDGS의 사료배합 수준 (15 또는 30%)과 conditioning 온도는 PDI에 영향이 없었지만 고지방 DDGS (82.8)보다 지방저감 DDGS의 PDI (88.0)가 높았다. 더욱이 펠릿 품질을 측정하는 방법에 따라 PDI는 크게 영향을 받았는데, 가장 큰 값은 표준 PDI (95%)이었고, 다음이 modified PDI (91%), Holmen NHP 100 (89%) 그리고 Holmen NHP 200 (67%)이었다. 이 연구의 결과들에 의하면 옥수수-대두박 비육돈 후기사료에 DDGS를 30% 배합하여도 비교적 높은 PDI를 달성할 수 있었으며, 지방저감 DDGS 배합사료는 고지방 DDGS 배합사료에 비해 PDI를 5% 향상시킬 수 있었다. 하지만 연구에서 발표된 PDI값들은 사용에 주의를 요하는데, 이는 사용된 PDI측정방법이 여러 가지이고 그 결과를 해석하는데 차이가 있을 수 있기 때문이다.

DDGS 사료의 pelleting이 열량과 영양소 소화율에 미치는 영향

양돈 사료의 pelleting은 전분 (Freire 등, 1991; Rojas 등, 2016), 지방 (Noblet과 van Milgen, 2004; Xing 등, 2004) 그리고 건물, 질소 그리고 총열량 (Wondra 등, 1995a)의 소화율을 향상시켰다. DDGS를 30% 함유한 자돈 사료를 펠릿화하면 가루사료의 급여와 비교하여 건물, 유기물, 총열량 그리고 단백질의 외관상 총 장기관 소화율을 향상시켰다. (Zhu 등, 2010). 최근에 Rojas 등 (2016)은 옥수수-대두박 사료와 옥수수-대두박-25% DDGS 사료를 압출과 pelleting한 효과를 평가하였다. 표 3에서 보는 바와 같이 pelleting과 압출은 총열량, 전분, 조단백질, 건물, 회분, 산분해지방 그리고 아미노산의 외관상 회장소화율을 향상시켰다. 대부분 영양소들의 소화율은 압출에서 향상이 많이 되었으며, 압출과 pelleting의 연합은 압출에서 얻은 영양소 소화율 개선 이상의 효과는 나타나지 않았다. 몇 개의 다른 연구들은 아미노산의 외관상 회장소화율은 pelleting과 압출에 의해 향상 (Muley 등, 2007; Stein과 Bohlke, 2007; Lundblad 등, 2012) 되었지만 항상 그런 결과를 얻을 수는 없다 (Herkleman 등, 1990).

표 3. 옥수수-대두박 사료에 DDGS와 옥수수피를 첨가 또는 무첨가 하였을 때 총열량, 전분, 조단백질, 건물, 유기물, 산-가수분해 지방, 그리고 아미노산의 외관상 회장소화율 (%) (Rojas 등, 2016)

영양성분	가공 형태			
	Meal	Pelleted	Extrusion	Extrusion + Pelleting
총열량	66.2 ^c	68.4 ^c	72.7 ^a	71.0 ^b
전분	96.4 ^b	97.7 ^a	98.0 ^a	98.4 ^a
조단백질	72.5 ^b	73.6 ^b	77.9 ^a	76.6 ^a
건물	63.5 ^d	65.3 ^c	69.6 ^a	67.9 ^b
회분	21.7 ^c	24.4 ^{bc}	32.4 ^a	27.4 ^b
유기물	66.2 ^c	67.9 ^b	71.9 ^a	70.4 ^a
아미노산, %				
Arg	88.3 ^b	88.6 ^b	91.6 ^a	91.1 ^a
His	83.1 ^b	84.9 ^a	85.8 ^a	85.6 ^a
Ile	78.8 ^c	81.3 ^b	84.3 ^a	83.7 ^a
Leu	82.2 ^c	84.9 ^b	87.1 ^a	86.4 ^a
Lys	78.0 ^c	79.6 ^b	81.8 ^a	80.9 ^{ab}
Met	83.3 ^c	86.5 ^b	87.7 ^a	86.7 ^{ab}
Cys	66.7	68.6	67.9 ^a	67.6
Phe	81.2 ^c	83.9 ^b	87.3 ^a	86.5 ^a
Thr	70.9 ^c	73.3 ^b	75.7 ^a	74.7 ^{ab}
Trp	78.1 ^c	80.5 ^b	83.2 ^a	83.4 ^a
Val	75.6 ^c	78.4 ^b	80.5 ^a	79.9 ^a

a,b,c,d Means within a row lacking a common superscript letter differ (P less than 0.05)

DDGS 함유 사료를 pelleting하면 ME 함량이 97 kcal/kg (건물) 향상되었고, 압출하면 108 kcal/kg (건물) 향상되었으나 압출과 pelleting의 결합은 육성돈용 가루사료를 급여한 경우보다 ME를 개선시키지 않았다 (Rojas 등, 2016; 표 4). 유사하게 옥수수-대두박 사료를 pelleting 하면 ME 함량을 81 kcal/kg (건물) 향상시켰고 압출과 pelleting 결합은 ME 함량을 89 kcal/kg 향상시켰지만, 압출 단독으로는 ME 함량을 증가시키지 않았다.

DDGS의 pelleting이 성장률에 미치는 영향

여러 개의 시험에서 돼지에게 가루사료를 급여했을 때보다 펠릿 사료를 급여했을 때, 사료 이용율이 향상되고 (Wondra 등, 1995a; Nemecek 등, 2015) 성장률이 개선되었다 (Wondra 등, 1995a; Myers 등,

표 4. 옥수수-대두박 사료와 옥수수-대두박-25% DDGS 사료를 가루 (meal)사료, 또는 pelleting (85°C), extruding (115°C), 그리고 extruding과 pelleting (EP) 연합으로 가공하여 육성돈에게 급여 시 ME의 함량 (Rojas 등, 2016)

	옥수수-대두박 사료				옥수수-대두박-25% DDGS 사료			
	Meal	Pelleted	Extruded	EP	Meal	Pelleted	Extruded	EP
ME, kcal/kg	3,868 ^d	3,949 ^{bc}	3,893 ^{cd}	3,957 ^{bc}	3,947 ^{cd}	4,044 ^{ab}	4,055 ^a	3,926 ^{cd}

2013; Nemecek 등, 2015). 펠릿 사료를 급여 시 가루사료에 비해 가끔 사료 섭취량이 감소하는데 이는 사료 유실량이 감소하고 (Skoch 등, 1983; Hancock과 Behnke, 2001), 열량 소화율이 향상되기 때문이다 (NRC, 2012). 육성-비육돈에게 15% DDGS를 함유한 사료를 가루사료로 급여했을 때보다 펠릿 사료로 급여했을 때, ADG에는 영향이 없었고 ADFI는 감소하였으며, 사료 전환율은 향상되었다. 한편 DDGS를 30% 함유한 펠릿 사료를 육성-비육돈에게 급여 시 가루사료 급여구와 비교하여 ADFI에는 영향이 없었으나 전체 성장률이 개선되는 경향이 있었고, 사료 전환율은 향상되었다 (Fry 등, 2012; Overholt 등, 2016).

DDGS 사료의 pelleting이 도체 조성과 수율에 미치는 영향

여러 개의 연구에서 펠릿 형태나 가루 형태의 사료를 급여 시 도체 특성에는 영향이 없었다 (Wondra 등, 1995a; Myers 등, 2013; Nemecek 등, 2015). 그러나 어떤 연구에서는 돼지에게 펠릿 사료를 급여 시 도체 수율이 증가하고 (Fry et 등, 2012), 등 지방과 복부 지방이 증가하였다 (Matthews 등, 2014). 최근의 연구에서 De Jong 등 (2016)이 15% DDGS를 함유한 사료를 펠릿이나 가루사료로 비교급여 하였을 때, 온도체중, 도체 수율, 등 지방 깊이, 등심 깊이 그리고 도체 정육율에 차이가 없었다. 이와는 달리 Overholt 등 (2016)은 육성-비육돈에게 펠릿 사료 급여 시 가루사료 급여구에 비해 온도체중과 10 번째 갈비 등 지방 두께는 증가하고, 도체정육율은 감소하였다. 그러나 DDGS 배합수준 (0 또는 30%)의 영향은 없었으며, 등심 근육 품질에도 영향이 없었다. 펠릿 사료의 급여는 위장관의 무게를 감소시키고 도체 수율을 증가시키지만, DDGS함유 사료의 급여는 위장관과 내용물의 무게를 증가시킴으로 도체 수율을 감소시켰다.

DDGS 사료의 pelleting이 사료 취급과 저장에 미치는 영향

DDGS 사료를 pelleting 하면 원료의 분리를 감소시키고, 저장 bin과 이송기에서 유동성 (flowability)을 향상시키며, 급여기에서 돼지가 크기가 다른 입자들을 골라내는 것을 예방한다 (Clementson 등, 2009; Ileleji 등, 2007).

DDGS 사료의 pelleting이 곰팡이 독소에 오염된 사료에 미치는 영향

Frobose 등 (2015)은 pelleting conditions (conditioning 온도 66℃와 82℃, 각 온도에서 체류시간 30초와 60초)과 20.6 mg/kg deoxynivalenol (DON)에 오염된 DDGS에 sodium metabisulfite를 첨가할 시의 효과를 평가하였다. Pelleting conditions은 DON 농도에 아무런 영향이 없었으며, DON에 오염된 DDGS에 sodium metabisulfite의 첨가량을 높이면 DON의 농도가 감소하였다. DON에 오염된 DDGS 사료에 sodium metabisulfite를 첨가하여 pelleting한 사료를 자돈에게 급여 시 ADG와 ADFI가 증가하였다. 이 결과들은 자돈 사료를 pelleting하기 전에 DON에 오염된 DDGS에 sodium metabisulfite를 첨가하면 이 곰팡이 독소가 성장물에 미치는 부정적인 영향을 감소시킬 수 있음을 시사한다.

오염된 사료의 pelleting이 PED virus의 생존에 미치는 영향

돼지 유행성설사 바이러스 (PEDV)는 2013년 미국의 양돈산업에서 어린 돼지들의 사망률을 극적으로 증가시키는 치명적인 결과를 초래하였다. 이 바이러스는 사료나 사료원료를 통하여 감염된다 (Dee 등, 2014; Schumacher 등, 2015). 하지만 PEDV는 열에 민감한 바이러스이기 때문에 양돈 사료의 pelleting 과정에서 열처리와 노출시간에 의해 사료에 의한 감염성이 줄어든다 (Pospischil 등, 2002; Nitikanchana, 2014; Thomas 등, 2015). Cochrane 등 (2017)은 conditioning과 pelleting 온도가 54.4℃ 이상이면 돼지사료 내 PEDV의 양과 감염성을 감소시키는 데 효과가 있다고 하였다. 실제로 Cochrane 등 (2017)의 연구 결과에 의하면 사료를 pelleting하면 Trudeau 등 (2016)이 보고한 PEDV 불활성화 조건 (145℃에서 10분)보다 낮은 온도에서 빠른 시간 (30초)에 불활성화되었다. 돼지사료의 pelleting이 다른 병원균들의 양과 감염성에 미치는 영향에 대해서는 알려진 바가 없으나, 사료공장에서 양돈농장으로 PEDV가 전염될 위험성을 감소시키는 데는 효과적인 전략으로 보인다.

Pelleting은 사료비를 증가시킨다

사료를 pelleting하면 비용을 증가시키지만 (Wondra 등, 1995b) pelleting으로 인한 비용의 증가는 성장률향상과 치사율감소에 따른 효과가 추가되는 비용을 능가한다면 수용할 수 있을 것이다. DDGS 수송을 위하여 pelleting하는 경우에는 비용이 발생하고 사료공장에서는 사료에 배합하기 위하여 재분쇄하는 경우 비용이 추가적으로 발생한다.

낮은 PDI와 가루 발생이 많으면 성장률을 저하시킬 수 있다

PDI가 낮은 펠릿은 가루 발생량이 많은데 이는 돼지의 성장에 부정적인 영향을 미친다. Stark 등 (1993)은 자돈과 후기단계에서 펠릿 품질이 돼지의 성장률에 미치는 영향에 대하여 평가하였다. 자돈단계에서 25% 가루를 첨가한 펠릿 사료를 급여한 구는 가루를 제거한 펠릿 사료를 급여한 구보다 사료효율이 7% 감소되었다. 후기단계에서도 사료에 가루의 양이 증가하면 사료효율이 감소하여 펠릿 사료 급

여의 장점을 감소시켰다 (Stark 등, 1993). 그러나 Knauer (2014)가 두 개 입도 (640 vs. 450 μm)의 DDGS를 함유한 펠릿 사료와 두 수준의 펠릿 가루를 급여했을 때 후기 돼지의 성장률에 영향이 없었다.

Pelleting을 위해 필요한 작은 입자는 위궤양 발생을 증가시킨다

양돈에서 위궤양 발생은 흔히 발생하는 문제로 (Grosse Liesner 등, 2009; Cappai 등, 2013) 상당한 경제적 손실을 유발한다 (Friendship, 2006). 가루사료 급여 시보다 펠릿 사료를 급여했을 때 돼지의 위에서 과각화증 (hyperkeratosis), 점막 미란 (erosion), 출혈궤양이 자주 발견되었다 (Mikkelsen 등, 2004, Canibe 등, 2005; Cappai 등, 2013; Mößeler 등, 2014; Liermann 등, 2015). 비록 그 발생 원인에 대해서는 잘 밝혀지지 않았으나, 여러 연구자들에 의하면 사료의 입자도가 한 원인으로 지적되고 있다 (Vukmirovic 등, 2017). Vukmirovic 등 (2017)은 pelleting 과정에서 입자도 감소가 더 일어나지만 지금까지 발표된 자료들을 종합하면 400 μm 이하의 입자를 29% 이하로 함유한 돼지사료는 위궤양을 유발할 위험성이 낮다고 하였다. De Jong 등 (2016)은 DDGS를 무첨가 또는 15% 첨가한 펠릿 사료를 58일간 급여 시 가루사료를 급여한 돼지에 비해 위궤양과 각질화 증상이 더 많이 발생하였다고 보고 하였다. 하지만 후기단계에서 펠릿 사료와 가루사료를 번갈아 급여하면 사료 전환율을 향상시키고 위궤양 발생을 감소시킬 수 있다고 하였다 (De Jong 등, 2016). 유사하게 Overholt 등 (2016)은 육성-비육 후기돈에게 DDGS 무첨가 또는 30% 첨가사료를 가루사료 또는 펠릿 사료로 급여하였을 때 펠릿 사료 급여구가 가루사료 급여구보다 식도 부근의 위병변 지수가 높았다. 그러나 30% DDGS 첨가는 위병변 발생에 영향이 없었다.

Pelleting은 지방 과산화를 증가시키고 비타민과 외생 효소 활성을 감소시킨다

Pelleting 과정은 열과 수분이 가해지기 때문에, 지방 과산화를 촉진시킬 수 있으며 (Shurson 등, 2015) 비타민 활성을 감소시킨다 (Pickford, 1992). Jongbloed와 Kemme (1990)가 phytase를 함유한 돼지사료를 $\geq 80^{\circ}\text{C}$ 온도에서 conditioning 하였을 때, phytase 활성이 감소하고 인의 소화율이 감소되었다. Pelleting 과정에서 여러 가지 요인들이 외생효소들의 활동에 영향을 미치겠지만, pelleting 과정에서 conditioning 온도가 증가하면 phytase의 불활성도가 증가한다 (Simons 등, 1990).

양돈용 DDGS 사료의 펠릿 품질을 향상시키기 위한 예측방정식

돼지와 가금에 관한 연구들 중 펠릿의 강도, 생산을 그리고 에너지 사용량에 관한 연구 결과들이 일정하지 않다는 것은 이들 중요한 사항들에 영향을 주는 여러 요인들 간에 상호작용이 많다는 것을 시사한다. 이들 상호작용의 복잡성을 설명하고 돼지와 가금 사료에 DDGS를 첨가하는 효과를 예측하기 위하여 Fahrenholz (2012)는 DDGS 사료의 PDI와 에너지 소비량을 예측하는 방정식을 다음과 같이 개발하였다:

$$\begin{aligned} \text{PDI} = & 53.90 - (0.04 \times \text{옥수수 입자도, microns}) - (6.98 \times \% \text{ 지방}) - (1.12 \times \% \text{ DDGS}) - (1.82 \times \\ & \text{생산율, kg/hr}) + (0.27 \times \text{conditioning 온도, } ^\circ\text{C}) + (0.04 \times \text{체류시간, seconds}) + (1.78 \times \text{die L:D}) + \\ & (0.006 \times \text{입자도} \times \text{die L:D}) - (0.23 \times \% \text{ 지방} \times \% \text{ DDGS}) + (0.06 \times \% \text{ 지방} \times \text{conditioning 온도}) \\ & + (0.15 \times \% \text{ DDGS} \times \text{die L:D}) \end{aligned}$$

이 예측 방정식은 결정계수 $R^2 = 0.92$ 를 가지며 예측치와 실측치 PDI의 차이는 1.1 (약 1%의 변이) 이었다. Die L:D ratio는 PDI에 가장 큰 영향이 있었는데, 형틀의 두께를 8:1 (산업체의 통상사용 수준)에서 5.6:1로 감소하면 PDI가 10.9 units 감소하였다. Conditioning 온도를 65°C에서 85°C로 증가하면 PDI가 7.0 units 증가하였고, 대두유 첨가량을 3%에서 1%로 감소시키면 PDI를 5.4 units 증가시켰다. 분쇄 옥수수의 입자도를 462 μm 에서 298 μm 로 감소시키면 PDI가 0.5 unit 증가하였다. 유사하게 생산율을 1,814에서 1,360 kg/hr로 감소시키면 PDI는 단지 0.6 unit 증가시켜 PDI에 미치는 영향은 미미하였다.

$$\begin{aligned} \text{kWh/톤} = & 55.93 - (0.01 \times \text{옥수수 입자도, microns}) + (1.88 \times \% \text{ 지방}) - (0.05 \times \% \text{ DDGS}) - \\ & (30.90 \times \text{생산율, kg/hr}) - (0.41 \times \text{conditioning 온도, } ^\circ\text{C}) + (0.17 \times \% \text{ 체류시간, seconds}) - (1.20 \\ & \times \text{die L:D}) + (0.02 \times \text{옥수수 입자도, microns} \times \text{생산율, kg/hr}) - (0.0001 \times \text{옥수수 입자도,} \\ & \text{microns} \times \text{conditioning 온도, } ^\circ\text{C}) - (1.41 \times \% \text{ 지방} \times \text{생산율, kg/hr}) - (0.01 \times \% \text{ 지방} \times \% \text{ DDGS}) \\ & - (0.21 \times \% \text{ DDGS} \times \text{생산율, kg/hr}) + (0.004 \times \% \text{ DDGS} \times \text{conditioning 온도, } ^\circ\text{C}) + (0.22 \times \text{생} \\ & \text{산율, kg/hr} \times \text{conditioning 온도, } ^\circ\text{C}) - (0.11 \times \text{생산율, kg/hr} \times \text{체류시간, seconds}) + (1.21 \times \text{생} \\ & \text{산율, kg/hr} \times \text{die L:D}) \end{aligned}$$

위의 에너지 소비량 예측 방정식은 $R^2 = 0.95$ 를 가지며 예측치와 실측치의 차이는 0.3 kWh/톤 (약 3% 변이)이었다. Conditioning 온도를 65°C에서 85°C로 올리면 에너지 소비량 감소에 가장 큰 (2.7 kWh/톤) 효과가 있었고 얇은 형틀 L:D (5.6:1)은 에너지 사용량을 1.3 kWh/톤 감소시켰다. 다른 요인들 (옥수수 입자도; 462~298 microns, 대두유 첨가량; 1~3%; DDGS 함유율; 0~10%, 생산율; 1,360~1,814 kg/hr, 또는 체류시간; 30~60초)의 에너지 소비량에 미치는 영향은 1.0 kWh/톤을 넘지 않았다. 이 방정식에서 보는 바와 같이 요인들 간에는 다중의 상호작용이 존재한다. 그러므로 현재의 pelleting 조건이 원하는 PDI와 열량 소비를 충족시키지 못하면, 더 좋은 결과를 얻기 위해 다른 요인들을 조정해야 한다.

참고문헌

- Abdollahi, M.R., V. Ravindran, T.J. Wester, G. Ravindran, and D.V. Thomas. 2012. The effect of manipulation of pellet size (diameter and length) on pellet quality and performance, apparent metabolisable energy and ileal nutrient digestibility in broilers fed maize-based diets. *Anim. Prod. Sci.*, 53:114-120.
- Abdollahi, M.R., V. Ravindran, T.J. Webster, G. Ravindran, and D.V. Thomas. 2011. Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. *Anim. Feed Sci. Technol.* 168:88-99.
- All About Feed. 2012. AllAboutFeed - The better the pellet, the better the performance <http://www.allaboutfeed.net/Nutrition/Research/2012/2/The-better-the-pellet-the-better-the-performance-AAF012746W/> (accessed 9-21-17).
- Amerah, A.M., V. Ravindran, R.G. Lentle, and D.G. Thomas. 2007. Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. *World's Poult. Sci. J.* 63:439-455.
- ASAE. 1997. S269.4. Cubes, pellet, and crumbles definitions and methods for determining density durability and moisture content. St Joseph, MI.
- ASAE Standards. 2003. S269.4. Cubes, pellet, and crumbles definitions and methods for determining density durability and moisture content. St. Joseph, MI.
- Behnke, K.C. 2014. Pelleting with Today's Ingredient Challenges. Kansas State University, Manhattan, KS.
- Behnke, K.C. 2006. The art (science) of pelleting. Tech. Rep. Series: Feed Tech. American Soya Association, Singapore.
- Behnke, K.C. 2001. Factors influencing pellet quality. *Feed Tech.* 5:19-22.
- Belyea, R.L., K.D. Rausch, and M.E. Tumbleson. 2004. Composition of corn and distillers dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. *Bioresource Tech.* 94:293-298.
- Briggs, J.L., D.E. Maier, B.A. Watkins, and K.C. Behnke. 1999. Effect of ingredients and processing parameters on pellet quality. *Poult. Sci.* 78:1464-1471.
- California Pellet Mill Co., 2016. The Pelleting Process. [https://www.cpm.net/downloads/Animal Feed Pelleting. pdf](https://www.cpm.net/downloads/Animal%20Feed%20Pelleting.pdf) (accessed 11-11-17).
- Canibe, N., O. Hojberg, S. Hojsgaard, and B.B. Jensen. 2005. Feed physical form and formic acid addition to the feed affect the gastrointestinal ecology and growth performance of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 83:1287-1302.
- Cappai, M.G., M. Picciau, and W. Pinna. 2013. Ulcerogenic risk assessment of diets for pigs in relation to gastric lesion prevalence. *BMC Vet. Res.* 9:36-44.
- Cavalcanti, W.B., and K.C. Behnke. 2005a. Effect of composition of feed model systems on pellet quality: a mixture experimental approach. I. *Cereal Chem.* 82:462-467.
- Cavalcanti, W.B., and K.C. Behnke. 2005b. Effect of composition of feed model systems on pellet quality: a mixture experimental approach. II. *Cereal Chem.* 82:462-467.
- Clementson, C.L., K.E. Ileleji, and R.L. Strohshine. 2009. Particle segregation within a pile of bulk density of distillers dried grains with solubles (DDGS) and variability in nutrient content. *Cereal Chem.* 86:267-273.
- Cochrane, R.A., L.L. Schumacher, S.S. Dritz, J.C. Woodworth, A.R. Huss, C.R. Stark, J.M. DeRouchey, M.D. Tokach, R.D. Goodband, J. Bia, Q. Chen, J. Zhang, P.C. Gauger, R.J. Derscheid, D.R. Magstadt, R.G. Main, and C.K. Jones. 2017. Effect of pelleting on survival of porcine epidemic diarrhea virus-contaminated feed. *J. Anim. Sci.* 95:1170-1178.
- Cramer, K.R., K.J. Wilson, J.S. Moritz, and R.S. Beyer. 2003. Effect of sorghum-based diets subjected to various manufacturing procedures on broiler performance. *J. Appl. Poult. Res.* 12:404-410.
- Cutlip, S.E., J.M. Hott, N.P. Buchanan, A.L. Rack, J.D. Latshaw, and J.S. Moritz. 2008. The effect of steam- conditioning practices on pellet quality and growing broiler nutritional value. *J. Appl. Poult. Res.* 17:249-261.
- Dee, S., T. Clement, A. Schelkopf, J. Nerem, D. Knudsen, J. Christopher-Hennings, and E. Nelson. 2014. An evaluation of contaminated complete feed as a vehicle for porcine epidemic diarrhea virus infection of naïve pigs following consumption via natural feeding behavior: Proof of concept. *BMC Vet. Res.* 10:176.
- De Jong, J.A., J.M. DeRouchey, M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, J.C. Woodworth, and M.W. Allerson. 2016. Evaluating pellet and meal feeding regimens on finishing pig performance, stomach morphology, and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 94:4781-4788.
- De Jong, J.A., J.M. DeRouchey, M.D. Tokach, and R.D. Goodband. 2013. Effects of fine-grinding corn or dried distillers grains with solubles and diet form on growth performance and caloric efficiency of 25- to 50-lb nursery pigs. *Swine Day 2013*, Kansas State University, Manhattan, KS, p. 102-109.
- Fahrenholz, A. 2012. Evaluating factors affecting pellet

durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability. Ph.D. Thesis, Kansas State University, Manhattan, KS, 92 pages.

Fahrenholz, A.C. 2008. The effects of DDGS inclusion on pellet quality and pelleting performance. Master's thesis, Kansas State University, Manhattan, KS, 56 pages.

Falk, D. 1985. Pelleting cost centre. In: Feed manufacturing Technology III, R.R. McElhiney (Ed.). American Feed manufacturers Association, Arlington, VA, pp. 167-190.

Feoli, C. 2008. Use of corn- and sorghum-based distillers dried grains with solubles in diets for nursery and finishing pigs. Ph.D. Thesis, Kansas State University, Manhattan, KS, 152 pages.

Freire, J.B., A. Aumaitre, and J. Peiniau. 1991. Effects of feeding raw and extruded peas on ileal digestibility, pancreatic enzymes and plasma glucose and insulin in early weaned pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 65:154-164.

Friendship, R.M., 2006. Gastric ulcers. In: Diseases of Swine, B.E. Straw, J.J. Zimmerman, S. D'Allaire, D.J. Taylor, and I.A. Ames (eds.). Blackwell Professional Publishing, UK, pp. 891-900.

Frobose, H.L., E.D. Fruge, M.D. Tokach, E.L. Hansen, J.M. DeRouche, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.L. Nelssen. 2015. The influence of pelleting and supplementing sodium metabisulfite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) on nursery pigs fed diets contaminated with deoxynivalenol. *Anim. Feed Sci. Technol.* 210:152-164.

Fry, R.S., W. Hu, S.B. Williams, N.D. Paton, and D.R. Cook. 2012. Diet form and by-product level affect growth performance and carcass characteristics of grow-finish pigs. *J. Anim. Sci.* 90(Suppl. 3):380 (Abstr.)

Gilpin, A.S., T.J. Herrman, K.C. Behnke, and F.J. Fairchild. 2002. Feed moisture, retention time, and steam as quality and energy utilization determinants in the pelleting process. *Appl. Engineering Agricul.* 18:331-340.

Grosse Liesner, G.V., V. Taube, S. Leonhard-Marek, A. Beineke, and J. Kamphues. 2009. Integrity of gastric mucosa in reared piglets and effects of physical form of diets (meal/pellets), pre-processing grinding (coarse/fine) and addition of lignocellulose (0/2.5 percent). *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 93:373-380.

Hancock, J.D., and K.C. Behnke. 2001. Use of ingredient and diet processing technologies (grinding, mixing, pelleting, and extruding) to produce quality feeds for pigs. In: Swine Nutrition, 2nd ed., A.J. Lewis and L.L. Southern, editors. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 480-486.

Herkelman, K.L., S.L. Rodhouse, T.L. Veum, and M.R. Ellersieck. 1990. Effect of extrusion in the ileal and fecal

digestibilities of lysine in yellow corn in diets for young pigs. *J. Anim. Sci.* 68:2414-2424.

Ileleji, K.E., K.S. Prakash, R.L. Strohshine, and C.L. Clementson. 2007. An investigation of particle segregation in corn processed dried distillers grains with solubles (DDGS) induced by three handling scenarios. *Bulk Solids Powder Sci. Technol.* 2:84-94.

Jongbloed, A.W., and P.A. Kemme. 1990. Effect of pelleting mixed feeds on phytase activity and the apparent absorbability of phosphorus and calcium in pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 28:233-242.

Kaliyan, N., and R.V. Morey. 2006. Factors affecting strength and durability of densified products. In: 2006 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Kerr, B.J., W.A. Dozier III, and G.C. Shurson. 2013. Effects of reduced-oil corn distillers dried grains with solubles composition on digestible and metabolizable energy value and prediction in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:3231- 3243.

Knauer, M. 2014. The effect of regrinding major feed ingredients to improve pellet quality, pig performance and producer profitability. *Res. Rep. Anim. Sci.*, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, p. 1-14.

Liermann, W., A. Berk, V. Böschénb, and S. Dänicke. 2015. Effects of particle size and hydro-thermal treatment of feed on performance and stomach health in fattening pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 69:455-472.

Lundblad, K.K., J.D. Hancock, K.C. Behnke, L.J. McKinney, S. Alavi, E. Prestløkken, and M. Sørensen. 2012. Ileal digestibility of crude protein, amino acids, dry matter and phosphorous in pigs fed diets steam conditioned at low and high temperature, expander conditioned or extruder processed. *Anim. Feed Sci. Technol.* 172:237-241.

Matthews, N., L. Greiner, C.R. Neill, S. Jungst, B. Fields, R.C. Johnson, and A. Sosmicki. 2014. Effect of feed form (mash vs. pellets) and ractopamine on pork fat quality. *J. Anim. Sci.* 92(Suppl. 2):148 (Abstr.).

Mikkelsen, L.L., J.N. Patrick, S.H. Mette, and B.B. Jensen. 2004. Effects of physical properties of feed on microbial ecology and survival of *Salmonella enterica* serovar typhimurium in the pig gastrointestinal tract. *Appl. Environ. Microbiol.* 70:3485-3492.

Miller, T.G. 2012. Swine feed efficiency: Influence of pelleting. Iowa Pork Industry Center Fact Sheet 12. http://lib.dr.iastate.edu/ipic_factsheets/12.

Mößeler, A., M.F. Wintermann, M.J. Beyerbach, and J. Kamphues. 2014. Effects of grinding intensity and pelleting of the diet and fed either dry or liquid and on intragastric milieu,

- gastric lesions and performance of swine. *Anim. Feed Sci. Technol.* 194:113-120.
- Moritz, J. S., K.J. Wilson, K.R. Cramer, R.S. Beyer, L.J. McKinney, W.B. Cavalcanti, and X. Mo. 2002. Effect of formulation density, moisture, and surfactant on feed manufacturing, pellet quality, and broiler performance. *J. Appl. Poult. Res.* 11:155-163.
- Muley, N.S., E. van Heugten, A.J. Moeser, K.D. Rausch, and T.A.T.G. van Kempen. 2007. Nutritional value for swine of extruded corn and corn fractions obtained after dry milling. *J. Anim. Sci.* 85:1695-1701.
- Myers, A.J., R.D. Goodband, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.M. DeRouchey, and J.L. Nelssen. 2013. The effects of diet form and feeder design on the growth performance of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:3420-3428.
- Nemecek, J.E., M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, J.M. DeRouchey, and J.C. Woodworth. 2015. Effects of diet form and type on growth performance, carcass yield, and iodine value of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 93:4486- 4499.
- Nitikanchana, S. 2014. Potential alternatives to reduce porcine epidemic diarrhea virus (PEDV) contamination in feed ingredients. [http://www.asi.k-state.edu/species/swine/research-and-extension/PEDV percent20contamination percent20in percent20feed percent20ingredients Feb percent2026.pdf](http://www.asi.k-state.edu/species/swine/research-and-extension/PEDV%20contamination%20in%20feed%20ingredients%20Feb%2026.pdf).
- Noblet, J., and J. van Milgen. 2004. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. *J. Anim. Sci.* 82(E-Suppl.):E229-E238.
- NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Overholt, M.F., J.E. Lowell, E.K. Arkfeld, I.M. Grossman, H.H. Stein, A.C. Dilger, and D.D. Boler. 2016. Effects of pelleting diets without or with distillers' dried grains with solubles on growth performance, carcass characteristics, and gastrointestinal weights of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 94:2172-2183.
- Payne, J.D., 2004. Predicting pellet quality and production efficiency. *World Grain* 3, 68-70.
- Payne, R.L., T.D. Bidner, L.L. Southern, and K.W. McMillin. 2001. Dietary effects of soy isoflavones on growth and carcass traits of commercial broilers. *Poult. Sci.* 80:1201-1207.
- Pfost, H.B. 1964. The effect of lignin binders, die thickness and temperature on the pelleting process. *Feedstuffs* 36:20-54.
- Pickford, J.R. 1992. Effects of processing on the stability of heat labile nutrients in animal feeds. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*, P.C. Garnsworthy, W. Haresign, and D.J. A. Cole (Eds.), Butterworth Heinemann, Oxford, UK. Pp. 177-192.
- Pospischil, A., A. Stuedli, and M. Kiupel. 2002. Update on porcine epidemic diarrhea. *J. Swine Health Prod.* 10:81-85.
- Reece, F.N., B.D. Lott, and J.W. Deaton. 1985. The effects of feed form, grinding method, energy level, and gender on broiler performance in a moderate (21 C) environment. *Poult. Sci.* 64:1834-1839.
- Richert, B.T., and J.M. DeRouchey. 2010. Swine feed processing and manufacturing. In: D. J. Meisinger, editor, *National swine nutrition guide*. Pork Center of Excellence, Ames, IA. p. 245-250.
- Robinson, R. 1976. Pelleting-introduction and general definitions. *Feed manufacturing technology*. Feed Production Council, American Feed Manufacturing Association, Inc., Chicago, IL, 96-103.
- Rojas, O.J., E. Vinyeta, and H.H. Stein. 2016. Effects of pelleting , extrusion , or extrusion and pelleting on energy and nutrient digestibility in diets containing different levels of fiber and fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 94:1951-1960.
- Schumacher L.L., J.C. Woodworth, C.R. Stark, C.K. Jones, R.A. Hesse, R.G. Main, J. Zhang, P.C. Gauger, S.S. Dritz, and M.D. Tokach. 2015. Determining the minimum infectious dose of porcine epidemic diarrhea virus (PEDV) in a feed matrix. *Kansas Agricult. Exp. Station Res. Rep. Vol. 1, Issue 7*. Manhattan, KS. p. 1-8.
- Shurson, G.C., B.J. Kerr, and A.R. Hanson. 2015. Evaluating the quality of feed fats and oils and their effects on pig growth performance. *J. Anim. Sci. and Biotechnol.* 6:10 pp.
- Simons, P.C.M., H.A.J. Versteegh, A.W. Jongbloed, P.A. Kemme, P. Slump, K.D. Bos, M.G.E. Wolters, R.F. Beudeker, and G.J. Verschoor. 1990. Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. *Br. J. Nutr.* 64:525-540.
- Skoch, E.R., S.F. Binder, C.W. Deyoe, G.L. Allee, and K.C. Behnke. 1983. Effects of steam pelleting condition and extrusion cooking on a swine diet containing wheat middlings. *J. Anim. Sci.* 57:929-935.
- Skoch, E.R., K.C. Behnke, C.W. Deyoe, and S.F. Binder. 1981. The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process. *Anim. Feed Sci. Technol.* 6:83-90.
- Smallman C. 1996. Maximizing conditioning potential. *Feed Milling International* 190:16-19.
- Spiehs, M.J., M.H. Whitney, and G.C. Shurson. 2002. Nutrient database for distillers dried grains with solubles produced from new plants in Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.* 80:2639-2645.

- Stark, C.R. 2009. Effect of die thickness and pellet mill throughput on pellet quality. Abstract T89. Southern Poultry Sci. Soc. Meeting.
- Stark, C.R., K.C. Behnke, J.D. Hancock, S.L. Traylor, and R.H. Hines. 1994. Effect of diet form and fines in pelleted diets on growth performance of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 72(Suppl 1):214.
- Stark, C.R., R.H. Hines, K.C. Behnke, and J.D. Hancock. 1993. Pellet quality affects growth performance of nursery and finishing pigs. In: *Swine Day Conf. Proc.*, Manhattan, KS. pages 71-74.
- Stein, H.H., and R.A. Bohlke. 2007. The effects of thermal treatment of field peas (*Pisum sativum* L.) on nutritional and energy digestibility by growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:1424-1431.
- Stender, D., and M.S. Honeyman. 2008. Feeding pelleted DDGS-based diets to finishing pigs in deep-bedded hoop barns. *J. Anim. Sci.* 86 (Supp. 3):84.
- Stevens, C.A. 1987. Starch gelatinization and the influence of particle size, steam pressure and die speed on the pelleting process. Ph.D. Thesis, Kansas State University, Manhattan, KS.
- Thomas, M., and A.F.B. van der Poel. 1996. Physical quality of pelleted animal feed 1. Criteria for pellet quality. *Anim. Feed Sci. Technol.* 61:89-112.
- Thomas, M., T. van Vliet, and A.F.B. van der Poel. 1998. Physical quality of pelleted animal feed: 3. Contribution of feedstuff components. *Anim. Feed Sci. Technol.* 70:59-78.
- Thomas, M., D.J. van Zuilichem, and A.F.B. van der Poel. 1997. Physical quality of pelleted animal feed. 2. Contribution of processes and its conditions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 64:173-192.
- Thomas, P.R., L.A. Karriker, A. Ramirez, J. Zhang, J.S. Ellingson, K.K. Crawford, J.L. Bates, K.J. Hammen, and D.J. Holtkamp. 2015. Evaluation of time and temperature sufficient to inactivate porcine epidemic diarrhea virus in swine feces on metal surfaces. *J. Swine Health Prod.* 23:84-90.
- Traylor, S.L. 1997. Effects of feed processing on diet characteristics and animal performance. Master's thesis. Kansas State University, Manhattan, KS.
- Trudeau, M.P., H. Verma, F. Sampedro, P.E. Urriola, G.C. Shurson, J. McKelvey, S.D. Pillai, and S.M. Goyal. 2016. Comparison of thermal and non-thermal processing of swine feed and the use of selected feed additives on inactivation of porcine epidemic diarrhea virus (PEDV). *PLoS One* 11(6):e0158128. doi:10.1371/journal.pone.0158128.
- Tumuluru, J.S., C.C. Conner, and A.N. Hoover. 2016. Method to produce durable pellets at lower energy consumption using high moisture corn stover and a corn starch binder in a flat die pellet mill. *J. Vis. Exp.* 112:1-13.
- Vukmirović, D., R. Čolović, S. Rakita, T. Brlek, O. Đuragić, and D. Sola-Oriol. 2017. Importance of feed structure (particle size) and feed form (mash vs. pellets) in pig nutrition. *Anim. Feed Sci. Technol.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.06.016>
- Winowski, T. 1998. Examining a new concept in measuring pellet quality: which test is best? *Feed Mgmt.* 49:23-26.
- Winowski, B.Y.T., E. By, C. Stark, A. Fahrenholz, and C. Jones. 1962. Measuring the physical quality of pellets. American Soybean Association. LingoTech USA, Inc.
- Wood, J.F. 1987. The functional properties of feed raw materials and their effect on the production and quality of feed pellets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 18:1-17.
- Wondra, K.J., J.D. Hancock, K.C. Behnke, R.H. Hines, and C.R. Stark. 1995a. Effects of particle size and pelleting on weanling pig performance and nutrient digestibility. *J. Anim. Sci.* 73:757-763.
- Wondra, K.J., J.D. Hancock, K.C. Behnke, and C.R. Stark. 1995b. Effects of mill type and particle size uniformity on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 73:2564-2573.
- Xing, J.J., E. van Heugten, D.F. Li, K.J. Touchette, J.A. Coalson, R.L. Odgaard, and J. Odle. 2004. Effects of emulsification, fat encapsulation, and pelleting on weanling pig performance and nutrient digestibility. *J. Anim. Sci.* 82:2601-2609.
- Yoder, A.D., J.W. Wilson, and C.R. Stark. 2007. Effects of Dakota Gold and high fat commodity DDGS in a complete swine diet on pellet quality. *J. Anim. Sci.* 94(E-Suppl. 5):472 (Abstr.).
- Yoder, A.D., Wilson, J.W., Stark, C.R., 2007. Effects of Dakota Gold and high fat commodity DDGS in a complete swine diet on pellet quality. *J. Anim. Sci.* 94(E-Suppl. 5): 472 (Abstr.).
- Zhu, Z., R.B. Hinson, L. Ma, D. Li, and G.L. Allee. 2010. Growth performance of nursery pigs fed 30 percent distillers dried grains with solubles (DDGS) and the effects of pelleting on performance and nutrient digestibility. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 23:792-798.
- Zimonja, O., A. Stevnebo, and B. Svihus. 2007. Nutritional value of diets for broiler chickens as affected by fat source, amylose level and diet processing. *Can. J. Anim. Sci.* 87:553-562.

CHAPTER 18

가금과 돼지에서 DDGS 사료에 효소사용

서론

동물사료 분야에서 사료효소제를 개발하고 사용하는 것은 지난 50년간 영양분야의 발전 중 가장 획기적인 것이다 (Khattak 등, 2006). 전 세계의 사료효소시장은 연간 5억 5천만 불이고 사료산업은 이를 이용하여 연간 30억불에서 50억불의 비용을 절약할 수 있다 (Adeola와 Cowieson, 2011). 사료효소시장은 대략 phytase (60%)와 nonphytase (carbohydrases와 proteases; 40%) 시장으로, 이 외생 사료효소제를 가금과 돼지사료에 사용하는 연구가 여러 해 동안 주된 영양연구 주제들 중의 하나였다 (Adeola와 Cowieson, 2011). Phytase는 가금과 돼지사료에서 무기 인 공급의 대체수단으로 널리 사용되고 있으며, phytic acid의 myoinositol 핵의 어느 인산염부터 분해하는가에 따라 3-또는 6-phytase로 분류한다 (Adeola와 Cowieson, 2011). 세계 탄수화물 분해효소 시장의 약 80%는 xylanases와 glucanases이고, 나머지가 α -amylase, β -mannanase, α -galactosidase 그리고 pectinases이다 (Adeola와 Cowieson, 2011). 이 탄수화물 분해효소의 대부분은 탄수화물 중합체를 가수분해하여 분자량이 작은 oligo- 또는 polysaccharides를 생성하지만 유리 당분을 생성하지는 않는다 (Adeola와 Cowieson, 2011).

돼지와 가금 사료에 외생 효소의 첨가가 가져가주는 여러 가지의 장점들은 다음과 같다: 소화물의 점도 감소로 인한 지방과 단백질의 소화율 향상; 사료의 ME 함량 증가; 사료 섭취량, 증체량 그리고 사료 이용율 향상; 위장관 내 미생물 수의 감소와 변경; 가금의 음용수량과 분 중 수분함량 감소; 암모니아, 질소, 인을 비롯한 배설물 양의 감소 (Khattak 등, 2006). 하지만 이러한 유익한 이점들이 제대로 효과를 발휘하기 위해서는 다음과 같은 여러 가지 요인들의 순기능이 필요하다: 특정효소와 사료 내 목표기질이 맞을 것; 곡물기반사료에 들어있는 항 영양인자들의 함량; 사용하는 효소 제품의 범위와 함량; 동물의 종류, 나이와 생산단계; 위장관내 미생물의 특징; 그리고 돼지와 가금의 생리상태 (Khattak 등, 2006). 일반적으로 가금은 돼지보다 효소 첨가에 더 잘 반응하고 어린 동물은 나이많은 동물보다 더 잘 반응한다 (Khattak 등, 2006). Phytase의 고 단위 (> 2,500 FTU/kg사료) 첨가에 대한 연구가 이루어졌는데, 돼지와 가금에 전통적인 500~1,000 FTU/kg 첨가 시보다 추가적인 성장률을 보여주었다 (Adeola와 Cowieson, 2011). 이러한 효과가 나타나는 기작은 인의 방출량이 더 커서 적정하지 않은 Ca : 가소화 P의 비율을 적정하게 회복하기 때문으로 보이며, 사료 내 잔여 phytate가 항영양인자로 작용할 가능성을 줄이고, myo-inositol을 만들어 내어 비타민과 같은 성질과 지방친화적 효과를 나타내게 하는 것이다 (Adeola와 Cowieson, 2011).

여러 가지 효소 제품들을 사용할 때 여러 동물에서 보여주는 반응과 작용기작에 대한 수많은 연구 결과들에 대한 정보가 있으며, 영양전문가들은 어떤 효소를 어떠한 조건에서 사용할 것이며 돼지와 가금류 사료에서 잠정적인 이익을 취하기 위하여 배합비 조정 전략은 어떻게 수행할 것인가를 결정해야 한다. 여러 가지 형태의 효소를 사용할 때 이점과 고려사항들에 대해 종합적으로 평가한 여러 편의 탁월한 논문들이 발표되었는데 돼지와 (Adeola와 Cowieson, 2011; de Vries 등, 2012; Kerr와 Shurson, 2013; Jha와 Berrocoso, 2015; Swiatkiewicz 등, 2015) 가금류 (Khattak 등, 2006; Adeola와 Cowieson, 2011; Slominski, 2011; de Vries 등, 2012; Ravindran, 2013; Swiatkiewicz 등, 2015; Dida, 2016)에 대하여 검토하였다. 하지만 이 검토들의 대부분은 돼지와 가금류 사료에서 광범위한 원료에 대한 효소 반응을 평가한 것으로 특별히 DDGS 배합 사료에 대한 것은 아니다. 따라서 이 검토의 목적은 DDGS 사료에서 다양한 외생 효소의 반응을 평가한 수많은 돼지 및 가금류 연구를 요약하는 것이다.

DDGS의 섬유소 특성

사료의 섬유소는 돼지와 가금 사료 중에서 아마도 이해가 가장 부족한 성분으로, 일반적으로 복잡하고 변이가 심한 식물성 사료의 성분이라고 설명하고 있다 (그림 1, NRC, 2007). 동물사료의 섬유소 성분을 특정하는데 사용하는 분석 방법은 자주 사료에서 중첩되거나 분명히 다른 탄수화물 부분을 제외한다는 사실을 주목하는 것이 중요하다. 그림 1에서 보는 바와 같이, 섬유소가 높은 사료나 사료원료에서 복합 탄수화물을 측정할 때 사용하는 일반적인 분석 방법은: 조섬유, 산성세제 섬유소 (ADF), 중성세제 섬유소 (NDF), 총사료섬유소 (TDF)의 수용성과 비수용성 부분 그리고 비전분성 다당류 (NSP)를 포함한다. 각각의 섬유소 측정방법은 복합 탄수화물의 여러 부분을 측정하지만, 그 결과는 돼지사료의 열량가와 적절히 연결되지 않는다. 따라서 섬유소의 분석치를 생리적 기능과 적절하게 연결시키는 능력이 문제 되어 왔다. 어떤 섬유소 형태는 다른 것보다 소화가 더 잘 되는데, 포유동물 효소로는 분해가 안 되더라도 장 하부에서 미생물에 의해 발효될 수 있다 (Grieshop 등, 2001). 발효가 되는 섬유소 형태를 흔히 비전분성 다당류 (NSP)라 부른다. 식물의 세포벽은 90%까지가 NSP로 되어있는데, 이중 cellulose, hemicellulose 그리고 pectins이 가장 풍부하다 (Selvendran과 Robertson, 1990). 이외에 덜 풍부한 NSP로는 fructans, glucomannans, galactomannans, mucilages, β -glucans 그리고 gums가 있다. Cellulose는 식물에서 단단하게 결합된 형태로 hemicellulose와 pectins은 당 겔사슬 당을 가지고 있어 장하부에서 소화와 발효과정에서보다 쉽게 분해된다. Lignin은 다당류가 아닌 고분자의 중합체로 기능성 식품 조성이 아닌 돼지에게 소화가 어려운 물질이다 (Grieshop 등, 2001).

DDGS 사료에 효소를 사용하여 열량 함량과 영양소 소화율을 높이기 위해서는 DDGS의 섬유소 중 NSP 부분을 알아야 한다. Pedersen 등 (2014)은 45개 옥수수과 11개 밀 DDGS의 NSP 프로필을 조사하였다. 옥수수 DDGS 샘플에서 NSP 함량은 25~34%이었으며 (표 1) 이들은 대부분 불용성이었다. 이

는 옥수수 DDGS의 섬유소 부분이 소장에서의 소화율이 제한되고 돼지, 가금 그리고 어류의 하부 위장 하부에서 발효도 제한한다는 것을 시사한다. Cellulose는 옥수수 DDGS의 5~9%를 차지하며, 가장 다량으로 존재하는 비 cellulose성 다당류는 xylose (7.7%)와 arabinoxyle (12.3~17.2%)인데 이들은 불용성이다. 옥수수 DDGS의 mannose 함량은 1.7%인데 옥수수 알곡에 포함된 양보다 훨씬 많다. 이는 DDGS에 들어있는 잔여 효모 세포의 벽에 들어 있는 mannan 함량 때문인 것으로 보인다. 옥수수 DDGS는 밀 DDGS보다 비교적 높은 양의 arabinose (6.2% 대 5.7%)와 uronic acid (1.6% 대 0.8%)를 가지고 있는데 결과적으로 arabinose 대 xylose 그리고 uronic acid 대 xylose ratios를 높인다. 이는 옥수수 DDGS의 섬유소 (heteroxylan) 구조는 밀 DDGS에 비해 더 복잡하고 변이가 심하여 외생효소에 의한 분해가 더 어렵다는 것을 시사한다. 한편 밀 DDGS에 들어있는 비소화성의 Klason lignin 함량은 옥수수 DDGS에서보다 높았다. Klason lignin에 대해서는 화학적 조성분의 정의가 잘 되어있지 않고 있는데, 아마도 진정 lignin에 더하여 단백질 (Maillard products), 잔여 지방과 왁스 그리고 cutin을 함유하는 것으로 보인다. 이 결과들은 대체된 xylan과 수용성 NSP들의 함량이 DDGS 생산과정에서 옥수수 알곡의 원래 구조로부터 변화가 일어난다는 것을 시사한다.

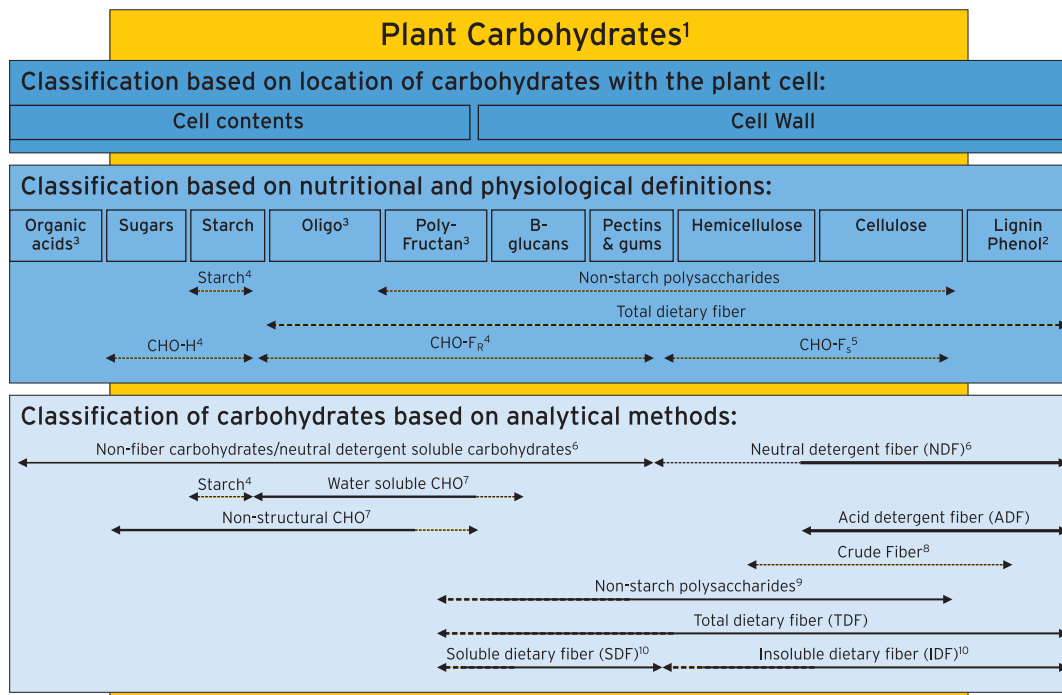


그림 1. 식물 탄수화물을 특징 짓는데 사용되는 영양적 그리고 분석적 분류 (NRC, 2007).

표 1. 47개 옥수수수와 11개 밀 DDGS의 영양소와 비전분성 다당류 (NSP) 조성분의 평균 함량과 (%)과 변이 (건물 기준; Pedersen 등, 2014)

	옥수수 DDGS				밀 DDGS			
	평균	범위	SD	CV %	평균	범위	SD	CV %
수분	8.7	6.5 - 12.4	0.8	10	7.6	6.8 - 8.7	2.0	2
조단백질	31.4	27.1 - 36.4	2.1	7	33.4	30.3 - 37.9	2.8	9
조지방	9.1	6.5 - 11.8	1.5	17	5.2	4.4 - 6.5	0.8	16
산 가수분해 지방	11.1	8.4 - 13.5	1.4	13	7.3	6.5 - 8.8	0.8	11
NDF	35.1	30.2 - 39.7	2.4	7	30.6	27.3 - 34.2	2.6	8
ADF	10.1	8.9 - 11.9	0.6	6	10.5	9.5 - 12.2	0.8	7
조섬유	7.7	6.4 - 9.5	0.6	7	6.7	5.5 - 8.8	0.9	14
전분	6.0	2.9 - 13.9	2.7	45	4.0	1.0 - 8.8	4.2	103
총당	9.0	5.4 - 12.6	1.7	19	9.8	4.6 - 12.4	2.2	23
회분	7.1	5.4 - 9.0	0.7	9	9.1	8.1 - 10.0	0.4	5
총 NSP	28.3	25.0 - 33.7	2.0	9	26.2	24.2 - 29.1	0.9	4
수용성 NSP	3.1	1.6 - 6.5	0.8	47	6.7	5.3 - 8.0	0.1	2
셀룰로즈	6.7	5.2 - 9.1	0.8	16	5.0	3.5 - 6.7	1.6	32
비 셀룰로즈성 다당류								
총 xylose	7.7	6.7 - 10.0	0.7	10	8.6	7.0 - 9.3	0.7	8
수용성 xylose	0.6	0.1 - 1.6	0.3	62	2.3	1.5 - 3.2	0.5	22
총 arabinose	6.2	5.6 - 7.2	0.4	7	5.7	5.1 - 6.2	0.0	0
수용성 arabinose	0.7	0.2 - 1.5	0.3	45	1.7	1.2 - 2.2	0.3	15
총당	2.8	2.1 - 4.4	0.4	13	3.3	2.7 - 3.7	0.1	5
수용성 당	0.3	0.0 - 1.6	0.4	190	1.1	0.1 - 2.1	1.0	89
총 mannose	1.7	1.2 - 2.0	0.2	12	1.6	1.3 - 1.8	0.2	13
수용성 mannose	0.6	0.4 - 0.9	0.1	19	0.7	0.4 - 0.8	0.1	18
총 galactose	1.5	1.3 - 2.1	0.2	11	1.1	1.0 - 1.2	0.1	11
수용성 galactose	0.3	0.2 - 0.5	0.1	29	0.6	0.4 - 0.7	0.1	18
총 uronic acids	1.6	1.4 - 2.0	0.1	8	0.8	0.7 - 0.9	0.1	12
수용성 uronic acids	0.5	0.3 - 0.6	0.1	11	0.3	0.2 - 0.4	0.0	15
Klason lignin	2.5	1.5 - 4.7	0.7	26	6.6	4.4 - 9.3	2.1	32
Arabinose:Xylose	0.80	0.71 - 0.85	0.0	5	0.66	0.62 - 0.70	0.01	9
Uronic acid:Xylose	0.20	0.16 - 0.23	0.0	8	0.09	0.08 - 0.11	0.0	21

DDGS 양돈 사료에 외생효소 첨가 효과

DDGS의 전분 함량은 3.8~11.4%이지만, 이것이 저항성 전분인지 아니면 가소화성으로 ME 함량에 일조하는지는 알려지지 않았다 (표 2). DDGS 내 식이성 섬유소의 대부분은 불용성이지만, 총 식이성 섬유소의 외관상 총장관 소화율은 23~55%로 변이가 있다. 그 결과 돼지에게 DDGS를 급여 시 DDGS 내의 섬유소는 일부 소화가 되고 발효되어 상당한 양의 열량을 공급하는 데 기여한다. 이것은 돼지에서 지방저감 DDGS의 ME 함량을 예측하기 위하여 개발된 방정식에서 섬유소 (예; NDF, TDF)의 측정이 왜 중요한 예측치의 하나가 되는지 설명해 준다 (Urriola et al., 2014).

Swiatkiewicz 등 (2015) 이 최근 수행한 리뷰에서 옥수수 DDGS 양돈 사료에 여러 가지 효소를 첨가 시 나타나는 여러 가지 반응을 표 3에서 요약하였다. 일반적으로 이 연구들의 대부분은 옥수수 DDGS 사료에 효소를 첨가 시 영양소 이용률이 개선되었지만, 이 이점은 성장을 향상으로 늘 연결되지는 않았다. 더욱이 이 리뷰에서 요약한 여러 연구들은 phytase 반응만 평가하고, carbohydrases와 proteases와의 연결 평가는 하지는 않았다. Swiatkiewicz 등 (2015)의 리뷰에서 요약한 일부 연구는 표 3에서 제외되었다. 왜냐하면 이 연구들은 밀 또는 밀-옥수수 혼합 DDGS를 비교했는데 섬유소와 영양소의 특성이 다르기 때문에 옥수수 DDGS에 효소를 첨가한 반응을 대표하지 못하기 때문이다. 더욱이 Swiatkiewicz 등 (2015)에 의한 리뷰 이후에 옥수수 DDGS 양돈 사료에 효소 첨가를 평가한 여러 편의 연구논문이 발표되었다.

표 2. 돼지에서 옥수수 DDGS의 탄수화물 함량과 식이 섬유소의 외관상 총장관 소화율 (ATTD) (Urriola 등, 2010)

항목	평균	최소값	최대값	SD
총 전분, %	7.3	3.8	11.4	1.4
수용성 전분, %	2.6	0.5	5.0	1.2
불용성 전분, %	4.7	2.0	7.6	1.5
ADF %	9.9	7.2	17.3	1.2
NDF %	25.3	20.1	32.9	4.8
불용성 총 식이섬유소, %	35.3	26.4	38.8	4.0
수용성 총 식이섬유소, %	6.0	2.36	8.54	2.1
총 식이섬유소, %	42.1	31.2	46.3	4.9
ATTD, 총 식이섬유소, %	43.7	23.4	55.0	10.2

표 3. 옥수수 DDGS 사료에 식이효소 첨가 시 돼지에서의 반응 요약 (Swiatkiewicz 등, 2015)

생산단계	DDGS %	효소	효소반응	참고
자돈	20	Phytase	인 소화율 증가와 분 중 인 배설량 감소	Xu 등, 2006a
육성-비육 후기	20	Phytase	인 소화율 증가와 분 중 인 배설량 감소	Xu 등, 2006b
임신후기와 비유돈	15	Phytase	분 중 phytate 인 배설량 감소; 모돈과 한배 새끼 생산성에 영향 없음	Hill 등, 2008
육성-비육 후기	20	Phytase	건물, 총열량, 질소 소화율 향상	Lindemann 등, 2009
육성-비육 후기	15 ~ 60	Xylanase, β -glucanase, mannanase, cellulase, protease	성장률에 영향 없음	Jacela 등, 2010
자돈	30	Xylanase, β -glucanase, mannanase	성장률에 영향 없음	Jones 등, 2010
육성-비육 후기	10 또는 15	Mannanase	성장률과 단백질 소화율 향상	Yoon 등, 2010
육성	50	Phytase	옥수수 알곡에서보다 인 소화율 향상 적음	Almeida와 Stein, 2012
후기	35~ 50	Xylanase	35% DDGS 사료에서 영양소 소화율에 영향 없고, 고 DDGS 사료에서 영양소 소화율 감소	Asmus 등, 2012
육성-비육 후기	10 또는 15	Xylanase, β -glucanase, phytase, protease, cellulose, amylase	성장률 향상 경향	Li 등, 2012
육성-비육 후기	7.5 또는 10	Xylanase, β -glucanase	체중 55kg까지 미산돈에서 영양소 소화율과 성장률 향상, 거세돈에서는 아님	Kiarie 등, 2012
자돈과 육성-비육 후기	30	Xylanases, β -glucanases, proteases, phytases 포함한 다종의 상업 제품	일부 효소는 영양소 소화율 향상이 미미하고 일정치 않으며 전 기간 돼지의 성장률에 영향이 없음	Kerr 등, 2013
육성-비육 후기	15 또는 20	Xylanase와 β -glucanase	성장률 향상, 도체 등 지방 감소, 도체 prime cut 중량 증가 경향	Swiatkiewicz 등, 2013a
육성-비육 후기	30	Xylanase와 protease	xylanase 첨가 시 돈 분 냄새 감소; protease 첨가 시 총열량 소화율 개선	O'Shea 등, 2014
육성	20	Phytase, xylanase, protease	phytate 분해 증가와, 에너지와 질소 소화율 향상	Passos와 Kim, 2014

옥수수 DDGS 양돈 사료에 여러 가지 외생 효소들의 첨가 효과를 더 포괄적이고 세부적으로 평가하기 위하여, 옥수수-대두박 사료에 phytase 첨가 또는 무첨가 시 돼지의 성장률에 미치는 영향의 전반적인 평가를 요약하는 메타분석을 실시하였다 (표 4). 옥수수-대두박 사료와 DDGS 사료의 효소 첨가에 따른 성장률 반응의 비교는 표 5에서 보여주고 있고, DDGS 사료에 여러 가지 효소를 첨가했을 때 영양소의 외관상 총관 소화율은 표 6에서 보여주고 있다. 표 7에서는 DDGS 사료에 여러 가지 효소를 첨가했을 때 섬유소 성분의 외관상 총관 소화율을 보여주고 있다. 이 분석에서는 DDGS를 함유한 옥수수-대두박 양돈 사료에 여러 가지 효소들 (carbohydrases, carbohydrases + proteases, mannanases, xylanases 그리고 phytases)의 첨가 효과를 평가하는 연구자료들을 사용하였다 (Agyekum 등, 2016; Agyekum 등, 2012; Asmus 등, 2012; Barnes 등, 2011; de Vries 등, 2014; de Vries 등, 2013; Graham 등, 2012; Jacela 등, 2010; Jakobsen 등, 2015; Jang 등, 2017; Jones 등, 2010; Kerr 등, 2013; Kiarie 등, 2016; Kiarie 등, 2012; Koo 등, 2017; Li 등, 2012; Moran 등, 2016; Ndou 등, 2015; Passos 등, 2015; Pedersen 등, 2014; Sandberg 등, 2016; Shrestha, 2012; Swiatkiewicz 등, 2013a; Tsai 등, 2017; Widyaratne 등, 2009; Woyengo 등, 2015; Yanez 등, 2011; Yoon 등, 2010).

모든 성장률 측정항목에서, phytase 첨가 또는 무첨가 시 일반 효소제들의 첨가가 ADG, ADFI 그리고 사료효율의 향상에 미치는 효과가 미미 하였다. 이는 옥수수-대두박 사료 (표 4)에서나 DDGS함유 옥수수-DDGS 사료 (표 5)에서 시판 효소제를 양돈 사료에 사용하는 비용지불의 당위성을 정당화하기에는 얻는 효과가 너무 미약하다는 것을 시사한다. 사실 옥수수-대두박사료 (15개 회사)와 DDGS 사료 (12개 회사)에 carbohydrase를 첨가했을 때 ADG와 사료효율 반응은 부정적이었다 (표 5). 그러나 옥수수-대두박 사료에서 phytase와 함께 carbohydrases, carbohydrases + proteases와 xylanases를 첨가 시 phytase 무첨가 옥수수-대두박 사료구에 비해 ADG와 사료효율은 작지만 약간씩 개선되는 것으로 보인다 (표 4). 이 반응들은 발표된 여러 연구 결과와도 유사한데, phytase와 carbohydrase를 사용하면 한 가지만 사용할 때보다 성장률과 소화율에서 반응이 더 크다는 것을 시사한다. 그러나 사료에 phytase의 첨가가 소화율과 열량에 미치는 효과는 일관성이 있었다. 일부 연구 결과는 phytase가 에너지 소화율에 영향이 없다고 한 (Adeola 등, 2004, 2006; Liao 등, 2005; Jendza 등, 2006; Beaulieu 등, 2007) 반면 일부 연구는 긍정적인 효과를 보고하였다 (Brady 등, 2002; Shelton 등, 2003; Jendza 등, 2005; Veum 등, 2006). Kerr 등의 (2010)의 결과에 의하면 phytase가 열량 소화율에 미치는 영향이 있다면 이는 비교적 소량이며 변이가 심하다는 것을 시사한다. 이와 같이 효소 첨가에 따른 성장률 개선에 대한 결과가 실망스러운 것은 건물과 총열량에 대한 긍정적인 효과가 미미하였고, 질소 (조단백질)와 조지방 소화율에 미치는 영향이 부정적인데 기인한 것으로 보인다 (표 6). 이와 같은 반응은 DDGS 사료의 여러 섬유소의 외관상 총관 소화율이 비교적 미약한 개선을 보인 것 때문에 더 확신하게 된다 (표 7).

표 4. 돼지에서 옥수수-대두박 사료에 효소 첨가구와 무첨가구의 ADG, ADFI 그리고 G/F의 변화 (% , 상대적 차이)의 비교

사료 처리	비교 수	ADG , % 변화	ADFI, % 변화	Gain:Feed,% 변화
Phytase 무첨가	43	+0.74	+0.43	+0.22
+ carbohydrases	15	-1.10	+0.52	-1.21
+ carbohydrases와 proteases	11	+2.03	+1.07	+1.00
+ mannanase	10	+2.35	-0.37	+2.74
+ xylanase	7	+0.33	+0.33	-1.56
Phytase 첨가	30	+1.83	+0.38	+1.82
+ carbohydrases	9	-0.14	+2.92	-1.70
+ carbohydrases와 proteases	6	+2.22	+1.06	+0.81
+ mannanase	1	+0.47	+0.71	-0.61
+ xylanase	14	+3.03	-1.57	+4.70

표 5. 돼지에서 옥수수-대두박 사료와 옥수수 DDGS 사료에 효소 첨가구와 무첨가 대조구의 ADG, ADFI 그리고 G/F의 변화 (%)의 비교

사료 처리	비교 수	ADG , % 변화	ADFI, % 변화	Gain:Feed,% 변화
옥수수-대두박 사료	43	+0.74	+0.43	+0.22
+ carbohydrases	15	-1.10	+0.52	-1.21
+ carbohydrases와 proteases	11	+2.03	+1.07	+1.00
+ mannanase	10	+2.35	-0.37	+2.74
+ xylanase	7	+0.33	+0.33	-1.56
DDGS	30	+1.39	+1.10	+0.58
+ carbohydrases	12	-0.74	+1.42	-1.40
+ carbohydrases와 proteases	7	+2.49	+1.92	+1.06
+ xylanase	11	+2.82	+0.24	+2.44

표 6. 옥수수 DDGS 사료에 효소를 첨가할 때 무첨가 대조구에 비해 영양소의 외관상 총장관 소화율에 미치는 절대 차이 (%) 변화의 비교

영양성분	비교 수	%, 변화
건물	15	+ 0.75
총열량	34	+ 0.53
질소	26	- 0.25
조지방	20	- 0.88
인	24	+2.15

표 7. 옥수수 DDGS 사료에 효소를 첨가할 때 무첨가 대조구에 비해 섬유소의 외관상 총장관 소화율에 미치는 절대 차이 (%) 변화의 비교

섬유소 성분	비교 수	%, 변화
ADF	19	- 0.77
NDF	24	+ 0.54
총 arabinoxylose	5	+1.84
총 NSP	5	+4.66
不可溶 NSP	5	+4.84

효소의 사용효과를 높이고, DDGS의 에너지 사용률을 높이기 위하여 섬유소 구조를 분해하는 다른 방법을 탐색하기 위해서는 섬유소의 물리적 구조를 이해하는 것이 필요하다. 곡류의 세포벽 구조는 주로 hemicellulose의 matrix에 내장된 cellulosic microfibrils의 구조와 소량의 pectins, glycoproteins 그리고 hydroxycinnamates로 되어있다. 뒤이어 2차 세포벽이 계속 발달하면서 p-coumaryl, coniferyl 그리고 sinapyl alcohols이 같이 중합반응을 일으켜 복합 lignin을 형성한다 (Santiago 등, 2013). 이 복합 lignin이 세포벽 구조에 추가되면서 섬유소에 상당한 강도와 분해에 저항하는 힘을 높여준다.

옥수수에서 가장 풍부한 hemicelluloses는 arabinoxylans로, arabinose, glucuronic acid 그리고 acetic acid로 대체된 β (1→4)-d-xylan backbone으로 되어있다. Hemicellulose는 cellulose microfibrils와 수소결합으로 엉켜 있는데 (그림 2) 이 수소결합은 세포막의 분해를 위한 접근을 어렵게 하지만 (Somerville 등, 2004), xylanases의 첨가로 섬유소의 표면으로부터 arabinoxylans를 제거하면 산과 효소의 가수분해에 강력하게 저항하는 cellulose microfibrils (crystalline structure)를 노출시킬 수 있다는 것을 또한 시사한다 (Hall 등, 2010). 실제로 밀 DDGS를 급여한 돼지에서 cellulose의 외관상 회장 소화율 (11.9%)은 다른 섬유소 성분 (37%)보다 낮으며, cellulose의 외관상 총장관 소화율 (29.0%)도 다른 섬유소 성분 (43.8%)보다 낮다 (Pedersen 등, 2015). 따라서 arabinoxylans에 내장된 cellulosic

microfibrils가 안정되어 있을수록 섬유소의 총장관 소화율이 감소하고, xylanase가 기질에 접근하는 것을 방해한다.

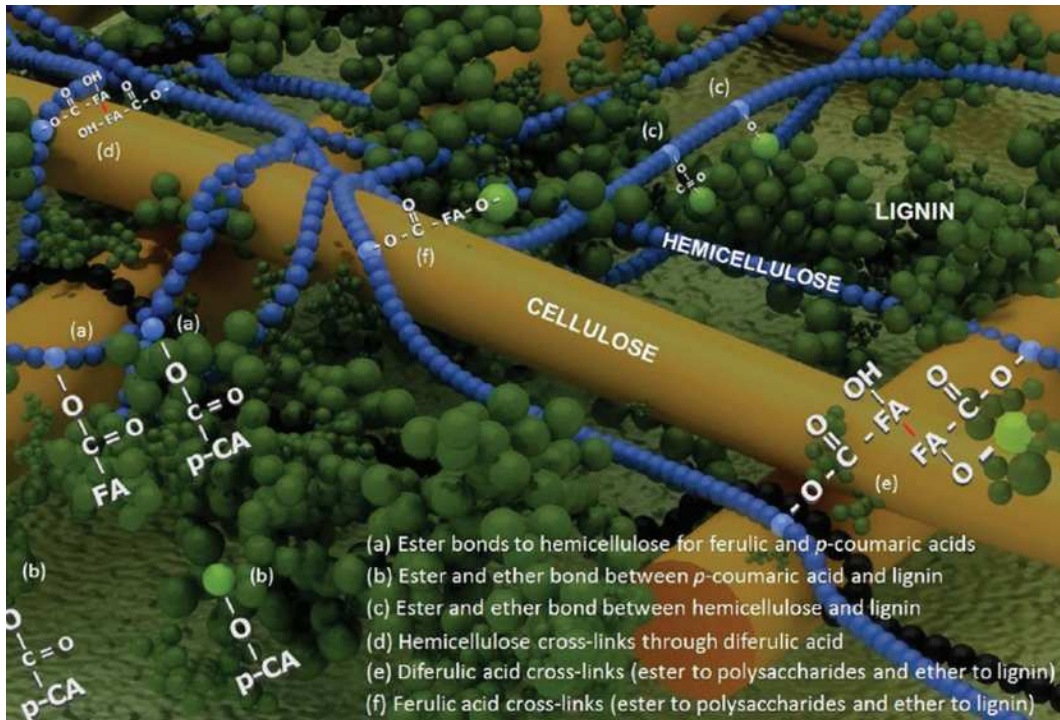


그림 2. 옥수수의 2차 세포벽 구조의 개요 (Santiago 등, 2013)

더욱이 분해과정 전후의 섬유소의 형태적 변화를 이해하면 돼지에서 DDGS 내 섬유소의 이용을 향상시킬 수 있는 방안을 규명하는 데 유용할 것이다. 여러 가지 연구 결과에 의하면 결정체 cellulose는 결정화가 덜 된 것보다 효소 가수분해에 대한 저항성이 훨씬 크다는 것을 보여주었다 (Fan 등, 1980; Zhang 과 Lynd, 2004; Hall 등, 2010). 더구나 자연섬유소원은 결정도와 결정의 크기가 열처리 과정에서 커지는 것이 관찰되었다 (Poletto 등, 2014). DDGS 생산과정에서는 건조온도가 높아 건조기에서 나갈 때 100℃가 넘는다 (Rosentrater 등, 2012). 이러한 사실은 DDGS 생산과정에서 대부분의 쉽게 분해되는 섬유소가 이미 부분적으로 분해되었기 때문에 효소나 고DDGS 함유 사료의 다른 가공기술의 효과를 제한하는 것으로 보인다. 사실 Urriola 등 (2010)의 연구에 의하면 DDGS 제품에 따라 섬유소 소화율에 차이가 있는데, 이는 에탄올 공장에서 사용하는 여러 가공조건이 다르기 때문일 것이다.

식물세포벽 구조를 변화시키는 가공방법을 사용하여 NSP의 소화율을 향상시킬 수 있지만, 일반적인 분쇄, pelleting과 같은 일반적인 사료가공 방법은 NSP 구조를 파괴하기에는 불충분하다 (de Vries 등,

2012). 산촉매를 이용한 열수 전처리는 lignocellulosic 물질을 분해하는데 효과적이지만 (Sun과 Cheng, 2002), 이 방법은 단백질을 훼손하고 산과 광물질의 함량을 증가시킨다 (van den Borne 등, 2012). 반면에 maleic acid로 가벼운 산열수 처리를 하면 DDGS의 NSP 용해도를 증가시킨다 (de Vries 등, 2013). 하지만 산 분출이 NSP의 보다 신속한 분해에 도움을 주고, 위장관에서 발효장소를 보다 근위로 이동시켰지만, DDGS 내 NSP의 35% 이상이 분해가 되지 않았다 (de Vries 등, 2014). 결과적으로 이 연구자들은 효소나 가공기술이 섬유소 구조에서 ester-linked acetyl, feroyl, 또는 coumarol groups을 타겟으로 하면 더 효과적일 것이라고 시사하였다. Arabinoxylans, 세포벽에 갇힌 단백질 그리고 lignin 같은 중합체들의 연결에는 ferulic acid, p-coumaric acid 그리고 sinapic acid가 관여되어 있다 (Ralph 등, 1995; Bunzel 등, 2004; Piber와 Koehler, 2005). Ferulic acid와 그 유도체들은 곡물 세포벽에서 가장 중요한 교차결합으로 arabinoxylans과 pectins에 붙어있다 (Bunzel, 2010). Ferulic acid의 2분자체, 3분자체 그리고 저중합체 (oligomer)는 두 개 또는 그 이상의 다당류 사슬과 교차결합하여 세포벽을 강화시키지만, 효소분해를 저지 (Grabber 등, 1998a,b) 하여 DDGS의 섬유소 소화율을 감소시킨다. 사실 Pedersen 등 (2015)은 옥수수 DDGS에는 밀이나 혼합곡류 DDGS보다 ferulic acid 2분자체와 3분자체의 함량이 5~6배가 많다고 보고하였는데, 이는 옥수수 세포벽에 있는 ferulic acid 교차결합이 발효와 DDGS 생산 중에 변경되지 않는다는 것을 시사한다.

암모니아 섬유소확장 (AFEX)은 알칼리 전처리 기술로 cellulose의 결정구조를 파괴하여 섬유소가 많은 물질에서 섬유소의 소화율을 증진시킨다 (Mosier 등, 2005; Gao 등, 2010). 반추 가축에서, AFEX처리한 조사료를 반추 접종물로 시험관에서 평가했을 때 NDF 소화율이 향상된 것으로 보고되었다 (Bals 등, 2010). 이 연구 그룹이 옥수수 DDGS를 AFEX 전처리하는 조건의 최적화 시험을 한 결과 DDGS의 cellulose 대부분은 72시간 후에 효소 가수분해로 파괴되어 190g의 포도당 건물이 방출되었다 (Bals 등, 2006). 옥수수 DDGS는 5.8%의 cellulose를 함유하고 있으며 NSP의 23.3%를 차지한다 (Jaworski 등, 2015). 만약 DDGS cellulose가 돼지의 위장관 하부에 들어가기 전에 가수분해된다면, DDGS 에너지가 242 kcal/kg DE를 기여할 수 있다 (Noblet와 van Milgen, 2004). 더 중요한 것은 cellulose에 내장되어 있는 arabinoxylans 부분이 노출되어 외생효소, 세균, 유기산 등과 분해를 위한 접촉이 더 많이 일어날 수 있다는 것이다.

가금에서 DDGS 사료에 외생효소의 첨가가 미치는 영향

가금류 사료에 사료용 효소를 첨가하면 기대할 수 있는 많은 잠재적 이점으로 소화 내용물의 점도 감소, 영양소의 소화와 흡수증진, AME 함량 증가, 사료 섭취량과 증체율 그리고 사료효율 증가, 부리 충격과 항문 막힘 감소, 위장관 크기 감소, 위장관 내 총세균 변경, 음용수량과 분 중 수분함량 감소, 배설물과 질소 및 인의 배설량 감소 그리고 암모니아 방출량 감소 등이 있다 (Khattak 등, 2006). 일반적으로 가

표 8. 가금에서 옥수수 DDGS 사료에 효소 첨가 시 일어나는 반응 요약 (Swiatkiewicz 등, 2015)

생산단계	DDGS %	효소	효소반응	참고
육계, 8-21일령	30 또는 40	Phytase	인 이용률을 향상시키지만 ME 함량과 아미노산 소화율에 대한 효과는 일정치 않음	Martinez-Amezcuca 등, 2006
육계, 1-21일령	10	Carbohydrases, protease, phytase	Phytase는 건물과 질소 소화율을 향상시켰지만 효소는 성장률에 효과가 없었다.	Olukosi 등, 2010
육계, 1-42일령	10 또는 20	Xylanase	사료 섭취량, 증체, 그리고 건물, 단백질, hemicellulose의 소화율을 향상시킴	Liu 등, 2011
육계, 18-23일령	30	Multi-enzyme: xylanase, β -glucanase, mannanase, phytase 함유	성장률과 영양소 소화율에 영향이 없음	Min 등, 2011
육계, 12-21 또는 7-21일령	7 또는 10	Multi-enzyme 1 (xylanase, amylase) Multi-enzyme 2 (xylanase, amylase, protease)	두 multi-enzymes는 ME를 향상, 그러나 Multi-enzyme 2는 methionine을 제외한 아미노산 소화율을 향상	Romero 등, 2013
육계, 1-42 days of age	12 (전기) 또는 18 (후기)	Xylanase, phytase	효소 연합은 증체율, 건물과 유기물 소화율, Ca와 P의 축적, 그리고 뼈의 특성을 향상시킴	Swiatkiewicz 등, 2014b
산란계, 26-68주령	20	Xylanase and β -glucanase	DDGS 급여가 산란 27기동안 산란율에 미치는 부정적인 영향을 일부 완화	Swiatkiewicz와 Korelski, 2006
산란계, 30-40주령	5, 10, 15 또는 20	Multi-enzyme: xylanase, β -glucanase, amylase, protease 함유	15와 20% DDGS 사료에서 산란율과 지방 소화율 개선	Shalash 등, 2010
산란계, 40-56주령	7, 15 또는 23	Multi-enzyme complex: xylanase, β -glucanase, amylase, protease 함유	7과 15% DDGS 사료에서 산란율과 사료 전환율을 개선하였으나 계란 품질, 영양소 소화율, 혈액학적 및 생화학적 혈액 특성에는 영향이 없었음	Ghazalah 등, 2011
산란계, 40-52주령	15	Phytase	산란율이나 계란 품질에는 영향이 없었음	Koksai 등, 2012
산란계, 28-36주령	5, 10, 15 또는 20	Multi-enzyme: protease, pentosanase, pectinase, cellulose, β -glucanase, amylase, phytase 함유	분 중 N과 P 함량 감소, 산란율과 계란 품질에는 영향이 없음	Deniz 등, 2013a

금류의 옥수수 DDGS 사료에 carbohydrases를 첨가하면 돼지의 DDGS 사료에서보다 더 효과적이다. Swiatkiewicz 등 (2015)의 리뷰는 가금에서 옥수수 DDGS 사료에 여러 가지 사료용 효소를 첨가 시 일어나는 반응을 종합하였는데 그 결과를 표 8에 요약하였다. 이 연구들의 대부분은 육계와 산란계에서 몇 개의 반응측정 항목에서 효소 첨가 효과가 어느 정도 나타났지만 그 결과는 일정하지 않았다.

육계와 산란계의 옥수수 DDGS 사료에 여러 가지 사료효소의 첨가 효과를 보다 포괄적이고 상세하게 검토하기 위하여 메타분석을 실시하였다. 육계에서 옥수수-대두박 사료와 DDGS 사료에 carbohydrases, carbohydrases와 proteases, proteases와 xylanases 첨가가 미치는 성장률 반응의 비교를 표 9에서 보여주고 있다. 돼지에서 보여준 반응과 유사하게 carbohydrases를 옥수수-대두박 사료와 옥수수-대두박-DDGS 사료에 첨가하였을 때 육계의 성장률이 약간 감소하였지만, proteases 또는 xylanases를 첨가했을 때 옥수수-대두박 사료 급여시와 비교하여 옥수수-대두박-DDGS 사료를 급여했을 때 성장률 향상에 더 효과적인 것으로 보인다. 효소의 가격과 사료비용에 따라, 육계 사료에 xylanases 첨가 시 보여주는 이러한 성장률 반응은 사용비용을 정당화할 수 있음을 시사한다. Protease의 반응은 비교적 크지만, 이 효과를 보여주는 연구가 제한되어 있어, 육계 사료에 시판 protease의 첨가로 유사한 반응을 얻을 수 있을 것이라는 기대는 주의를 요한다. 더욱이 DDGS를 함유한 육계 사료에 xylanase를 첨가하면 carbohydrases 또는 proteases를 단독으로 첨가하는 것보다 AME 함량과 건물소화율의 향상정도가 더 컸으나 이에 관한 자료는 제한적이다 (표 10). 두 개의 시험이 수행되었는데 육계의 DDGS 사료에 proteases를 첨가하면 단백질 소화율이 4.5% 향상되었으며, carbohydrases와 proteases를 복합적으로 사용하면 AME와 건물소화율이 향상되었다 (표 10).

Carbohydrases와 proteases 복합제, 또는 xylanases를 산란계 사료에 첨가하면, 일반적으로 증체, 사료 섭취량 그리고 사료 이용율이 개선되지만, 그 개선의 정도는 육계에서보다 적었지만 옥수수-대두박 산란계 사료보다는 컸다 (표 11). 산란계 사료에 효소를 첨가하면 산란율, 난중과 난황 색깔을 약간 개선시키지만, 계란의 Haugh units에는 부정적인 영향을 미쳤다 (표 12). 이 메타분석의 결과를 참고하여, 영양전문가들은 산란계에서 경제적으로 중요한 생산성 반응의 개선정도가 carbohydrases와 proteases 복합제, 또는 xylanases의 첨가비용을 정당화할 수 있을 정도로 충분히 큰지 결정하는 데 이 반응 결과의 요약을 사용할 수 있다.

요약하면 육계나 산란계에서 이러한 반응을 상업적 조건하에서 달성 가능성을 결정하기 위한 평가에서 carbohydrase, protease 또는 xylanase의 투입이 고려되어야 한다. 영양전문가들은 육계와 산란계의 DDGS 사료에 효소를 첨가하는 것이 현명한 판단인지 결정하기 전에 사료배합표 작성과 이 반응들을 얻기 위해 실시되었던 실험조건들에 대하여 더 자세히 알기 위하여 이 표에서 명시한 참고문헌들을 참고하길 권장한다.

표 9. 육계에서 옥수수-대두박 사료와 옥수수 DDGS 사료에 효소를 첨가할 때 무첨가 대조구와 비교한 ADG, ADFI 그리고 G/F의 변화 (%) 비교

사료 처리	비교	증체량 변화, %	사료 섭취량	Gain:Feed 변화, %
옥수수-대두박 사료	16	-1.07	-0.77	0.66
+ carbohydrases	4	-6.13	-4.82	1.41
+ carbohydrases and proteases	3	0.75	-0.64	-1.31
+ protease	1	4.34	8.14	3.64
+ xylanase	8	0.11	0.10	0.65
DDGS	33	2.73	1.18	-1.97
+ carbohydrases	7	-0.70	-1.12	-0.33
+ carbohydrases and proteases	7	1.02	-1.23	-2.16
+ protease	2	5.95	1.79	-3.89
+ xylanase	17	4.47	3.04	-2.33

References: Olukosi et al., 2010; Liu et al., 2011; Min et al., 2011; Barekatin et al., 2013a,b,c; Waititu et al., 2014; Campasino et al., 2015

표 10. 옥수수 DDGS를 함유한 육계 사료에 사료효소의 첨가가 외관상 대사열량 (AME)과 영양소의 외관상 총장관 소화율의 절대차 (%) 비교

효소	AME ¹		건물		조단백		인	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Carbohydrases	8	+0.07	0	ND	3	-0.29	0	ND
Carbohydrases and proteases	7	+4.21	4	+2.75	5	+1.20	5	-1.82
Proteases	0	ND	2	+1.00	2	+4.50	0	ND
Xylanases	6	+5.83	8	+3.63	8	+2.50	0	ND
Overall	21	+3.09	14	+3.00	18	+1.90	5	-1.82

¹ AME = apparent metabolizable energy

² ND = not determined

References: Min et al., 2009; Olukosi et al., 2010; Liu et al., 2011; Min et al., 2011; Barekatin et al., 2013a; Romero et al., 2013; Waititu et al., 2014

표 11. 산란계에서 옥수수-대두박 사료와 옥수수 DDGS 사료에 효소를 첨가할 때 무첨가 대조구와 비교한 체중 (BW), ADFI 그리고 사료 전환율 (FCR)의 변화 (%)

사료 처리	비교	BW 변화, %	ADFI 변화, %	FCR 변화, %
Corn-soybean meal	4	+0.07	+0.48	+0.51
+ carbohydrases and proteases	4	+0.07	+0.48	+0.51
DDGS	16	+3.52	+0.13	-1.86
+ carbohydrases	2	+1.70	-0.87	-2.64
+ carbohydrases and proteases	11	+4.34	+0.30	-1.61
+ xylanase	3	+1.66	+0.19	-2.26

References: Swiatkewicz et al., 2006; Shalash et al., 2010; Ghazalah et al., 2011; Bobeck et al., 2014

표 12. 옥수수 DDGS 사료에 사료효소의 첨가가 무첨가 대조구와 비교 시 산란율과 계란 품질에 미치는 절대차 (%) 비교

항목	비교 수	변화, %
Egg production	26	+1.26
Egg weight	26	+ 0.33
Egg yolk color	19	+4.94
Haugh units	12	- 0.12

References: Swiatkewicz et al., 2006; Shalash et al., 2010; Ghazalah et al., 2011; Koksai et al., 2012; Deniz et al., 2013a,b; Swiatkewicz et al., 2013; Bobeck et al., 2014

결론

식물성 사료원료를 함유한 돼지와 가금 사료에 여러 가지 사료효소를 첨가하는 연구가 여러 해 동안 실시되었다. 돼지와 육계에 있어서 성장률 반응 그리고 산란계에서는 산란율 반응은 일정하지 않았는데, 이는 분해하고 소화율을 향상시켜야 할 목표기질 (즉 비전분성 다당류, 단백질과 phytate)과 적절한 효소의 조합이 잘 이루어지지 않은 결과로 보인다. 일반적으로 돼지와 가금류에 급여하는 사료에서 phytase의 첨가는 인과 영양소의 소화율을 일정하게 향상시키지만, carbohydrases, proteases 그리고 xylanases의 효과는 일정하지 않았다. 옥수수 DDGS는 화학적 성질이 특수하여 사료효소의 유의한 분해에 저항하지만, 열량, 단백질 그리고 섬유소의 소화율에 있어서 육계가 돼지나 산란계보다 일반적으로 더 큰 반응을 보인다. 하지만 효소 첨가로 열량과 영양소 소화율이 측정할 수 있을 정도로 향상되는 것이 반드시 성장률이나 산란율을 향상시키지는 않는다. 이 메타분석의 결과는 영양전문가들이 경제적으로 중요한 생산성 반응의 향상정도가 여러 가지 종류의 사료효소를 돼지, 육계 그리고 산란계 사료에 첨가하는 비용을 정당화하기에 충분한지를 결정하는 데 이용할 수 있을 것이다. 상업적 조건하에서 이

러한 반응들을 달성할 수 있는지를 평가할 때는 carbohydrase, protease 또는 xylanase의 형태를 고려해야 한다. 영양전문가들은 돼지, 육계 그리고 산란계의 DDGS 사료에 효소를 첨가하는 것이 현명한 판단인지 결정하기 전에 사료배합표 작성과 이 반응들을 얻기 위해 실시되었던 실험조건들에 대하여 더 자세히 알기 위하여 이 장에서 인용한 참고문헌들을 참고하길 권장한다.

참고문헌

- Adeola, O., and A.J. Cowieson. 2011. BOARD-INVITED REVIEW: Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. *J. Anim. Sci.* 89:3189-3218.
- Adeola, O., O.A. Olukosi, J.A. Jendza, R.N. Dilger, and M.R. Bedford. 2006. Response of growing pigs to *Peniophora lycii*- and *Escherichia coli*-derived phytases or varying ratios of calcium to total phosphorus. *J. Anim. Sci.* 82:637-644.
- Adeola, O., J.S. Sands, P.H. Simmins, and H. Schulze. 2004. The efficacy of an *Escherichia coli*-derived phytase preparation. *J. Anim. Sci.* 82:2657-2666.
- Agyekum, A.K., A. Regassa, E. Kiarie, and C.M. Nyachoti. 2016. Nutrient digestibility, digesta volatile fatty acids, and intestinal bacterial profile in growing pigs fed a distillers dried grains with solubles containing diet supplemented with a multi-enzyme cocktail. *Anim. Feed Sci. Technol.* 212:70-80.
- Agyekum, A.K., B.A. Slominski, and C. M. Nyachoti. 2012. Organ weight, intestinal morphology, and fasting whole-body oxygen consumption in growing pigs fed diets containing distillers dried grains with solubles alone or in combination with a multienzyme supplement. *J. Anim. Sci.* 90:3032-3040.
- Almeida, F.N., and H.H. Stein. 2012. Effects of graded levels of microbial phytase on the standardized total tract digestibility of phosphorus in corn and corn co-products fed to pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1262-1269.
- Asmus, M., J.M. DeRouche, M.D. Tokach, R.D. Goodband, J.L. Nelssen, and S.S. Dritz. 2012. Effects of xylanase in high-co-product diets on nutrient digestibility in finishing pigs. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports. pp. 335-342. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7089>.
- Bals, B., H. Murnen, M. Allen, and B. Dale. 2010. Ammonia fiber expansion (afex) treatment of eleven different forages: Improvements to fiber digestibility in vitro. *Anim. Feed Sci. Technol.* 155:147-155.
- Bals, B., B. Dale, and V. Balan. 2006. Enzymatic hydrolysis of distiller's dry grain and solubles (ddgs) using ammonia fiber expansion pretreatment. *Energy & Fuels* 20:2732-2736.
- Barekatin, M.R., C. Antipatis, M. Choct, and P.A. Iji. 2013a. Interaction between protease and xylanase in broiler chicken diets containing sorghum distillers' dried grains with solubles. *Anim. Feed Sci. Technol.* 182:71-81.
- Barekatin, M.R., C. Antipatis, N. Rodgers, S.W. Walkden-Brown, P.A. Iji, and M. Choct. 2013b. Evaluation of high dietary inclusion of distillers dried grains with solubles and supplementation of protease and xylanase in the diets of broiler chickens under necrotic enteritis challenge. *Poult. Sci.* 92:1579-1594.
- Barekatin, M.R., M. Choct, and P.A. Iji. 2013c. Xylanase supplementation improves the nutritive value of diets containing high levels of sorghum distillers' dried grains with solubles for broiler chickens. *J. Sci. Food Agric.* 93:1552-1559.
- Barnes, J., J.M. DeRouche, M.D. Tokach, R.D. Goodband, J.L. Nelssen, and S.S. Dritz. 2011. Effects of xylanase in growing-finishing diets varying in dietary energy and fiber on growth performance, carcass characteristics, and nutrient digestibility. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7124>
- Beaulieu, A.D., M.R. Bedford, and J.F. Patience. 2007. Supplementing corn or corn-barley diets with an *E. coli* derived phytase decreases total and soluble phosphorus output by weanling and growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 87:353-364.
- Bobeck, E.A., N.A. Nachtrieb, A. Batal, and M.E. Persia. 2014. Effects of xylanase supplementation of corn-soybean meal-dried distiller's grain diets on performance, metabolizable energy, and body composition when fed to first-cycle laying hens. *J. Appl. Poult. Res.* 23:174-180.
- Brady, S. M., J.J. Callan, D. Cowan, M. McGrane, and J.V. O'Doherty. 2002. Effect of phytase inclusion and calcium/phosphorus ratio on the performance and nutrient retention of grower-finisher pigs fed barley/wheat/soya bean meal-based diets. *J. Sci. Food Agric.* 82:1780-1790.
- Bunzel, M. 2010. Chemistry and occurrence of hydrocinnamate oligomers. *Phytochem. Rev.* 9:47-64.

- Bunzel, M., J. Ralph, F. Lu, R.D. Hatfield, and H. Steinhart. 2004. Lignins and ferulate-coniferyl alcohol cross-coupling products in cereal grains. *J. Agric. Food Chem.* 52:6496-6502.
- Campasino A., M. Williams, R. Latham, C.A. Bailey, B. Brown, and J.T. Lee. 2015. Effects of increasing dried distillers' grains with solubles and non-starch polysaccharide degrading enzyme inclusion on growth performance and energy digestibility in broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 00:1-10.
- Deniz, G., H. Gencoglu, S.S. Gezen, I.I. Turkmen, A. Orman, and C. Kara. 2013a. Effects of feeding corn distiller's dried grains with solubles with and without enzyme cocktail supplementation to laying hens on performance, egg quality, selected manure parameters, and feed cost. *Livest. Sci.* 15:174-181.
- Deniz, G., S.S. Gezen, C. Kara, H. Gencoglu, Y. Meral, and E. Baser. 2013b. Evaluation of nutrient equivalency of microbial phytase in hens in late lay given maize-soybean or distiller's dried grains with solubles (DDGS) diets. *Br. Poult. Sci.* 54:494-502.
- de Vries, S., A.M. Pustjens, C. van Rooijen, M.A. Kabel, W.H. Hendriks, and W.J.J. Gerrits. 2014. Effects of acid extrusion on the degradability of maize distillers dried grain with solubles in pigs. *J. Anim. Sci.* 92:5496-5506.
- de Vries, S., A.M. Pustjens, M.A. Kabel, S. Salazar-Villanea, W.H. Hendriks, and W.J.J. Gerrits. 2013. Processing technologies and cell wall degrading enzymes to improve nutritional value of dried distillers grain with solubles for animal feed: an in vitro digestion study. *J. Agric. Food Chem.* 61:8821-8828.
- de Vries, S., A.M. Pustjens, H.A. Schols, W.H. Hendriks, and W.J.J. Gerrits. 2012. Improving digestive utilization of fiber-rich feedstuffs in pigs and poultry by processing and enzyme technologies: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 178:123-138.
- Dida, M.F. 2016. Review paper on enzyme supplementation in poultry ration. *Int. J. Bioorganic Chem.* 1:1-7 doi:10.11648/j.ijbc.20160101.11
- Fan, L.T., Y.H. Lee, and D.H. Beardry matterore. 1980. Mechanism of the enzymatic-hydrolysis of cellulose - effects of major structural features of cellulose on enzymatic-hydrolysis. *Biotechnol. and Bioengineer.* 22:177-199.
- Gao, D., S.P. Chundawat, C. Krishnan, V. Balan, and B.E. Dale. 2010. Mixture optimization of six core glycosyl hydrolases for maximizing saccharification of ammonia fiber expansion (afex) pretreated corn stover. *Bioresour Technol* 101: 2770-2781.
- Ghazalah, A.A., M.O. Abd-Elsamee, and E.S. Moustafa. 2011. Use of distillers dried grains with solubles (DDGS) as replacement for soybean meal in laying hen diets. *Intl. J. Poult. Sci.* 10:505-513.
- Grabber, J.H., R.D. Hatfield, and J. Ralph. 1998a. Fiferulate cross-links impede the enzymatic degradation of non-lignified maize walls. *J. Sci. Food Agric.* 77:193-200.
- Grabber, J.H., J. Ralph, and R.D. Hatfield. 1998b. Ferulate cross-links limit enzymatic degradation of synthetically lignified primary walls of maize. *J. Agric. Food Chem.* 46:2609-2614.
- Grieshop, C.M., D.E. Reece, G. C. Fahey. 2001. Nonstarch polysaccharides and oligosaccharides in swine nutrition. Pages 107-130 in: *Swine Nutrition*. 2nd eds. A.J. Lewis and L.L. Southern, eds. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Graham, A., S. Nitikanchana, J. De Jong, J.M. DeRouchey, M.D. Tokach, R.D. Goodband, J.L. Nelssen, and S.S. Dritz. 2012. The interactive effects of Easyzyme and phytase in diets containing high-fiber co-products on growth performance of nursery pigs. *Swine Day-Kansas State University*, p. 66-73.
- Hall, M., P. Bansal, J.H. Lee, M.J. Realff, and A.S. Bommarius. 2010. Cellulose crystallinity--a key predictor of the enzymatic hydrolysis rate. *FEBS J.* 277:1571-1582.
- Hill, G.M., J.E. Link, M.J. Rincker, D.L. Kirkpatrick, M.L. Gibson, and K. Karges. 2008. Utilization of distillers dried grains with solubles and phytase in sow lactation diets to meet the phosphorus requirement of the sow and reduce fecal phosphorus concentration. *J. Anim. Sci.* 86:112-118.
- Jacela, J., S. Dritz, J. DeRouchey, M. Tokach, R. Goodband, and J. Nelssen. 2010. Effects of supplemental enzymes in diets containing distillers dried grains with solubles on finishing pig growth performance. *The Professional Animal Scientist* 26:412-424.
- Jakobsen, G.V., B.B. Jensen, K.E. Bach Knudsen, and N. Canibe. 2015. Impact of fermentation and addition of non-starch polysaccharide-degrading enzymes on microbial population and on digestibility of dried distillers grains with solubles in pigs. *Livest. Sci.* 178:216-227.
- Jang, Y.D., P. Wilcock, R.D. Boyd, and M.D. Lindemann. 2017. Effect of combined xylanase and phytase on growth performance, apparent, total tract digestibility, and carcass characteristics in growing pigs fed corn-based diets containing high-fiber coproducts. *J. Anim. Sci.* 95:4005-4017.
- Jaworski, N., H.N. Lærke, K. Bach Knudsen, and H.-H. Stein. 2015. Carbohydrate composition and in vitro digestibility of dry matter and nonstarch polysaccharides in corn, sorghum, and wheat and coproducts from these grains. *J. Anim. Sci.* 93: 1103-1113.

- Jendza, J.A., R.N. Dilger, J.S. Sands, and O. Adeola. 2006. Efficacy and equivalency of an *Escherichia coli*-derived phytase for replacing inorganic phosphorus in the diets of broiler chickens and young pigs. *J. Anim. Sci.* 84:3364-3374.
- Jendza, J. A., R. N. Dilger, S. A. Adedokun, J. S. Sands, and O. Adeola. 2005. *Escherichia coli* phytase improves growth performance of starter, grower, and finisher pigs fed phosphorus-deficient diets. *J. Anim. Sci.* 83:1882-1889.
- Jha, R., and J.D. Berrocoso. 2015. Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal* 9:1441-1452.
- Jones, C.K., J.R. Bergstrom, M.D. Tokach, J.M. DeRouchey, R.D. Goodband, J.L. Nelssen, and S.S. Dritz. 2010. Efficacy of commercial enzymes in diets containing various concentrations and sources of dried distillers grains with solubles for nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2084-2091.
- Kerr, B.J., and G.C. Shurson. 2013. Strategies to improve fiber utilization in swine. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4:11.
- Kerr, B.J., T.E. Weber, and G.C. Shurson. 2013. Evaluation of commercially available enzymes, probiotics, or yeast on apparent total-tract nutrient digestion and growth in nursery and finishing pigs fed diets containing corn dried distillers grains with solubles. *Prof. Anim. Scientist* 29:508-517.
- Kerr, B. J., T.E. Weber, P.S. Miller, and L.L. Southern. 2010. Effect of phytase on apparent total tract digestibility of phosphorus in corn-soybean meal diets fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:238-247.
- Khattak, F.M., T.N. Pasha, Z. Hayat, and A. Mahmud. 2006. Enzymes in poultry nutrition. *J. Anim. Pl. Sci.* 16:1-7.
- Kiarie, E., M.C. Walsh, L.F. Romero, and S.K. Baidoo. 2016. Digestibility responses of growing pigs fed corn plus corn distiller grains or wheat plus wheat co-product-based diets without or with supplemental xylanase. *J. Anim. Sci.* 94:211-214.
- Kiarie, E., A. Owusu-Asiedu, A. Péron, P.H. Simmins, and C.M. Nyachoti. 2012. Efficacy of xylanase and -glucanase blend in mixed grains and grain co-products- based diets for fattening pigs. *Livest. Sci.* 148:129-133.
- Koksal, B.H., P. Sacakli, and A. ergun. 2012. Effects of phytase and vitamin D3 addition to diets containing distillers dried grains with solubles on performance and some egg traits in laying hens. *Intl. J. Poult. Sci.* 11:259-263.
- Koo, B., J.W. Kim, C.F.M. de Lange, M.M. Hossain, and C.M. Nyachoti. 2017. Effects of diet complexity and muticarbhydrase supplementation on growth performance, nutrient digestibility, blood profile, intestinal morphology, and fecal score in newly weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 95:4060-4071.
- Li, G., Z. Wang, M. Lin, Z. Lu, and W. Yao. 2012. Effects of corn DDGS in combination with compound enzymes on growth performance, carcass fat quality, plasma and tissue redox homeostasis of growing-finishing pigs. *Livest. Sci.* 149:46-52.
- Liao, S. F., A.K. Kies, W.C. Sauer, Y.C. Zhang, M. Cervantes, and J.M. He. 2005. Effect of phytase supplementation to a low- and a high-phytate diet for growing pigs on the digestibilities of crude protein, amino acids, and energy. *J. Anim. Sci.* 83:2130-2136.
- Lindemann, M.D., G.A. Apgar, G.L. Cromwell, P.H. Simmins, and A. Owusu-Asiedu. 2009. Supplementation with phytase and xylanase can increase energy availability in swine diets containing corn distillers dried grains with solubles (DDGS). *J. Anim. Sci.* 87(E-Suppl. 2):69 (Abstr.).
- Liu, N., Y.J. Ru, D.F. Tang, T.S. Xu, and G.G. Partridge. 2011. Effects of corn distillers dried grains with solubles and xylanase on growth performance and digestibility of diet components in broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 163:260-266.
- Martinez-Amezcu, C., C.M. Parsons, and D.H. Baker. 2006. Effect of microbial phytase and citric acid on phosphorus bioavailability, apparent metabolizable energy, and amino acid digestibility in distillers dried grains with solubles in chicks. *Poult. Sci.* 85:470-475.
- Min, Y.N., F.Z. Liu, A. Karimi, C. Coto, C. Lu, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2011. Effect of Rovabio® Max APon performance, energy and nitrogen digestibility of diets high in distillers dried grains with solubles (DDGS) in broilers. *Intl. J. Poult. Sci.* 10:796-803.
- Min, Y.N., F. Yan, F.Z. Liu, C. Coto, and P.W. Waldroup. 2009. Effect of various dietary enzymes on energy digestibility of diets high in distillers dried grains with solubles for broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 18:734-740.
- Moran, K., C.F.M. de Lange, P. Ferket, V. Fellner, P. Wilcock, and E. van Heugten. 2016. Enzyme supplementation to improve the nutritional value of fibrous feed ingredients in swine diets fed in dry or liquid form. *J. Anim. Sci.* 95:1031-1040.
- Mosier, N., C. Wyman, B. Dale, R. Elander, Y.Y. Lee, M. Holtzapple, and M. Ladisch. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresour Technol* 96: 673-686. doi:10.1016/j.biortech.2004.06.025
- NRC. 2007. Page 206 in *Nutrient Requirements of Horses*. 6th rev. ed. Natl. Acad. Press. Washington, DC.
- Noblet, J., and J. van Milgen. 2004. Energy value of pig

feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. *J. Anim. Sci.* 82 E-Suppl:E229-238.

Ndou, S.P., E. Kiarie, A.K. Agyekum, J.M. Heo, L.F. Romero, S. Arent, R. Lorentsen, and C.M. Nyachoti. 2015. Comparative efficacy of xylanases on growth performance and digestibility in growing pigs fed wheat and wheat bran- or corn and corn DDGS-based diets supplemented with phytase. *Anim. Feed Sci. Technol.* 209:230-239.

Olukosi, C.M., A.J. Cowieson, and A. Adeola. 2010. Broiler responses to supplementation of phytase and a mixture of carbohydrases and phytase in maize soybean meal diets with or without maize distillers' dried grain with solubles. *Br. Poult. Sci.* 51:434-443.

O'Shea, C.J., P.O. McAlpine, P. Solon, T. Curran, P.F. Varley, A.M. Walsh, and J.V.O. Doherty. 2014. The effect of protease and xylanase enzymes on growth performance, nutrient digestibility, and manure odour in grower-finisher pigs. *Anim. Feed sci. technol.* 189:88-97.

Passos, A.A., I. Park, P. Ferket, P., E. von Heimendahl, and S.W. Kim. 2015. Effect of dietary supplementation of xylanase on apparent ileal digestibility of nutrients, viscosity of digesta, and intestinal morphology of growing pigs fed corn and soybean meal based diet. *Anim. Nutr.* 1:36-40.

Passos, A.A., and S.W. Kim. 2014. Effects of different feed enzyme combinations on apparent total tract digestibility of dry matter, N, phytate, DE, and ME in corn-soybean meal-DDGS based diets fed to pigs. ADSA-ASAS Midwest Meeting abstract, p. 147 <https://asas.confex.com/asas/mw14/webprogram/Paper2705.html>.

Pedersen, M.B., S. Yu, S. Arent, S. Dalsgaard, K.E. Bach Knudsen, and H.N. Laerke. 2015. Xylanase increased the ileal digestibility of nonstarch polysaccharides and concentration of low molecular weight nondigestible carbohydrates in pigs fed high levels of wheat distillers dried grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 93:2885-2893.

Pedersen, M.B., S. Dalsgaard, K.E. Bach Knudsen, S. Yu, and H.N. Laerke. 2014. Compositional profile and variation of distillers dried grains with solubles from various origins with focus on non-starch polysaccharides. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197:130-141.

Piber, M., and P. Kohler. 2005. Identification of dehydro-ferulic acid tyrosine in rye and wheat: evidence for a covalent cross-link between arabinoxylans and proteins. *J. Agric. Food Chem.* 53:5276-5284.

Poletto, M., H. Júnior, and A. Zattera. 2014. Native cellulose: Structure, characterization and thermal properties. *Materials* 7:6105-6119.

Ralph, J., J.H. Grabber, and R.D. Hatfield. 1995. Lignin-

ferulate cross-links in grasses: active incorporation of ferulate polysaccharide esters into ryegrass lignins. *Carbohydr. Res.* 275:167-178.

Ravindran, V. 2013. Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities. *J. Appl. Poult. Res.* 22:628-636.

Romero, L.F., C.M. Parsons, P.L. Utterback, P.W. Plumstead, and V. Ravindran. 2013. Comparative effects of dietary carbohydrases without or with protease on the ileal digestibility of energy and amino acids and AMEn in young broilers. *Anim. Feed sci. Technol.* 181:35-44.

Rosentrater, K.A., K. Ileleji, and D.B. Johnson. 2012. Manufacturing of fuel ethanol and distillers grains - current and evolving processes. In: Liu K, Rosentrater K. A and B. Raton(eds.) Distillers grains production, properties, and utilization. phosphorus 73-102.

Sandberg, F.B., S.J. England, and M.R. Bible. 2016. Responses of growing-finishing pigs to two levels of a multi-enzyme blend (Natuzyne) as compared to pigs fed a lower energy-higher fiber, or a higher energy-lower fiber diet. *J. Anim. Sci.* doi: 10.2527/msasas2016-292

Santiago, R., J. Barros-Rios, and R.A. Malvar. 2013. Impact of cell wall composition on maize resistance to pests and diseases. *Int. J. Mol. Sci.* 14:6960-6980.

Selvendran, R.R. and J.A. Robertson. 1990. The chemistry of dietary fibre: a holistic view of the cell wall matrix. Pages 27-43 in *Dietary Fibre: Chemical and Biological Aspects*. D.A.T. Southgate, K. Waldron, I.T. Johnson, and G.R. Fenwick, eds. Royal Society of Chemistry Special Publication No 83. Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Shalash, S.M.M., S.A. El-Wafa, R.A. Hassan, N.A. Ramadan, M.S. Mohamed, and H.E. El-Gabry. 2010. Evaluation of distillers dried grains with solubles as feed ingredient in laying hen diets. *Intl. J. Poult. Sci.* 9:537-545.

Shelton, J. L., L. L. Southern, T. D. Bidner, M. A. Persica, J. Braun, B. Cousins and F. McKnight. 2003. Effect of microbial phytase on energy availability and lipid and protein deposition in growing swine. *J. Anim. Sci.* 81:2503-2062.

Shrestha, D.R. 2012. Effects of supplemented NSP- degrading enzymes on nutrient digestibility of diets containing co-products fed to grower pigs. University of Alberta, Edry matteronton, Alberta. .

Slominski, B.A. 2011. Review - Recent advance in research on enzymes in poultry diets. *Poult. Sci.* 90:2013-2023.

Somerville, C., S. Bauer, G. Brininstool, M. Facette, T. Hamann, J. Milne, E. Osborne, A. Paredez, S. Persson, T. Raab, S. Vorwerk, and H. Youngs. 2004. Toward a systems approach to understanding plant cell walls. *Science* 306:2206-2211.

- Sun, Y., and J. Cheng. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresource Technol.* 83:1-11.
- Świątkiewicz, M., A. Świątkiewicz, A. Arczewska-Włosek, and D. Jozefiak. 2015. Efficacy of feed enzymes in pig and poultry diets containing distillers dried grains with solubles: a review. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 100:15-26.
- Świątkiewicz, S., A. Arczewska-Włosek, and D. Jozefiak. 2014a. Bones quality indices in laying hens fed diets with a high level of DDGS and supplemented with selected feed additives. *Czech J. Anim. Sci.* 59:61-68.
- Świątkiewicz, S., A. Arczewska-Włosek, and D. Jozefiak. 2014b. Feed enzymes, probiotic, or chitosan can improve the nutritional efficiency of broiler chicken diets containing a high level of distillers dried grains with solubles. *Livest. Sci.* 163:110-119.
- Świątkiewicz, M., E. Hanczakowska, and A. Olszewska. 2013a. Effect of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) in diets with NSP-hydrolyzing enzymes on growth performance, carcass traits and meat quality of pigs. *Annals of Anim. Sci.* 13:313-326.
- Świątkiewicz, S., A. Arczewska-Włosek, J. Krawczyk, M. Puchala, and D. Jozefiak. 2013b. Effects of selected feed additives on the performance of laying hens given a diet rich in maize dried distiller's grains with solubles (DDGS). *Br. Poult. Sci.* 54:478-485.
- Świątkiewicz, S., and J. Korelski. 2006. Effect of maize distillers dried grains with solubles and dietary enzyme supplementation on the performance of laying hens. *J. Anim. Feed Sci.* 15:253-260.
- Tsai, T., C.R. Dove, P.M. Cline, A. Owusu-Asiedu, M.C. Walsh, and M. Azain. 2017. The effect of adding xylanase or β -glucanase to diets with corn distillers dried grains with solubles (DDGS) on growth performance and nutrient digestibility in nursery pigs. *Livest. Sci.* 197:46-52.
- Urriola, P.E., M. Li, B.J. Kerr, and G.C. Shurson. 2014. Evaluation of prediction equations to estimate gross, digestible, and metabolizable energy content of maize dried distillers grains with solubles (DDGS) for swine based on chemical composition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 198:196-202.
- Urriola, P.E., G.C. Shurson, and H.H. Stein. 2010. Digestibility of dietary fiber in distillers coproducts fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2373-2381.
- van den Borne, J.J., M.A. Kabel, M. Briens, A.F. van der Poel, and W.H. Hendriks. 2012. Effects of pretreatment of wheat bran on the quality of protein-rich residue for animal feeding on monosaccharide release for ethanol production. *Bioresource Technol.* 124:446-454.
- Veum, T. L., D.W. Dollinger, C.E. Buff, and M.R. Bedford. 2006. A genetically engineered *Escherichia coli* phytase improved nutrient utilization, growth performance, and bone strength of young swine fed diets deficient in available phosphorus. *J. Anim. Sci.* 84:1147-1158.
- Waititu, S.M., A. Rogiewicz, B.A. Slominski, G.J. Maina, J.O. Ochanda, and C.M. Nyachoti. 2014. Effect of multi-enzyme mixtures on performance and nutrient utilization in broilers fed diets containing different types of cereals and industrial by-products. *J. Poult. Sci.* 51:402-410.
- Widyaratne, G., J. Patience, and R. Zijlstra. 2009. Effect of xylanase supplementation of diets containing wheat distiller's dried grains with solubles on energy, amino acid and phosphorus digestibility and growth performance of grower-finisher pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 89:91-95.
- Woyengo, T.A., D.V. Ige, O.O. Akinremi, and C.M. Nyachoti. 2015. Performance and nutrient digestibility in growing pigs fed wheat dried distillers' grain with solubles- containing diets supplemented with phytase and multi- carbohydrase. *J. Anim. Sci.* 87:570-577.
- Xu, G., G.He, S. Baidoo, and G.C. Shurson. 2006a. Effect of feeding diets containing corn distillers dried grains with solubles (DDGS), with or without phytase, on nutrient digestibility and excretion in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 84(Suppl. 2):122 (Abstr.).
- Xu, G. M.H. Whitney, and G.C. Shurson. 2006b. Effects of feeding diets containing corn distillers dried grains with solubles (DDGS), with or without phytase, on nutrient digestibility and excretion in grow-finish pigs. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 2):123 (Abstr.).
- Yanez, J.L., E. Beltranena, M. Cervantes, and R.T. Zijlstra. 2011. Effect of phytase and xylanase supplementation or particle size on nutrient digestibility of diets containing distillers dried grains with solubles cofermented from wheat and corn in ileal-cannulated grower pigs. *J. Anim. Sci.* 89:113-123.
- Yoon, S.Y., Y.X. Ynag, P.L. Shinde, J.Y. Choi, J.S. Kim, Y.W. Kim, K. Yun, J.K. Jo, J.H. Lee, S.J. Ohh, I.K. Kwon, and B.J. Chae. 2010. Effects of mannanase and distillers dried grains with solubles on growth performance, nutrient digestibility, and carcass characteristics of grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 88:181-191.
- Zhang, Y.H., and L.R. Lynd. 2004. Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: Noncomplexed cellulase systems. *Biotechnol Bioeng* 88:797-824.

CHAPTER 19

배합표 작성 방법이 DDGS의 평가가치에 미치는 영향

서론

이 핸드북의 여러 장에서 언급했듯이, DDGS의 사료 내 사용량을 극대화하고, 사료비를 최소화하며 동물의 적정성장을 이루기 위해서 해야 할 가장 중요한 일은 DDGS의 정확한 열량과 가소화 영양소값을 사용하는 것이다. 이는 정밀동물영양 프로그램에서 필수적인데, DDGS를 비롯한 다른 원료들의 열량과 가소화 영양소의 함량을 과대평가하면 성장률이 감소하며, 특히 사료 내 DDGS의 사용 수준이 높을 때는 더욱 문제가 된다. 반면에 DDGS의 영양소 함량을 과소평가하면, 동물의 영양소 요구량에 비해 영양소를 과잉 공급하게 되고 DDGS의 경제적 가치를 과소평가하게 되며 분으로 영양소 배설이 증가하는 결과를 낳게 된다.

DDGS 정밀영양 프로그램에서 적정영양소를 공급하는 데 있어서 똑같이 중요한 또 다른 요소는 각 축종에게 적용할 수 있는 최신 사료배합표 작성 기술을 사용하는 것이다. 이 장의 목적은 영양전문가들이 사용하는 여러 가지 사료배합표 작성 방법을 요약하고, 모든 축종에서 DDGS 사료의 최적 영양과 경제적 가치를 달성할 수 있도록 권장 방법을 제시하는 것이다.

사료배합비 작성 방법

열량, 단백질(아미노산) 그리고 인은 동물사료에서 공급되는 가장 비싼 세 가지 영양소이다. 여러 가지 축종을 위한 사료배합표 작성에서 정밀영양의 개발과 사용에도 불구하고 일부 영양전문가들은 아직도 부정확하고 낡은 배합표 작성 방법을 사용하고 있다. 예를 들면 시간이 갈수록 배합표 작성 방법이 향상되어 돼지와 가금 사료의 배합표를 작성하는데 조단백질을 사용하는 대신에 지금은 이 축종들의 사료를 배합하는데 표준회장 가소화 아미노산을 사용하고 있다. 더욱이 돼지사료를 배합할 때 ME 대신에 NE를 사용하여 DDGS와 같이 섬유소 함량이 높은 원료를 함유한 사료의 진정 가용 열량가를 계산하는 더욱 정확한 방안을 제시한다. 유사하게 돼지와 가금에서 총인이나 가용인 대신에 더 정확한 표준 총장관 가소화인을 사용한다. 이러한 진전된 사료배합표 작성 방법들은 동물의 진정한 영양소 요구량을 충족시킬 수 있는 우리들의 능력을 크게 향상시켰다. 사료배합표 작성 방법은 동물의 생산성과 DDGS의 가치와 사용에 영향을 미친다. 사료배합표 작성의 목적은 동물의 일일 영양소 요구량을 충족시키면서 동시에 사료에 과잉 열량이나 영양소 함량을 최소화하여 비용과 분으로 배설되는 영양소 양을 최소화하고, 가축의 건강과 성능을 최적화하는 것이다.

사료의 사용가능 열량을 측정하는 단위로 DE는 총열량보다 더 정확하다는 것은 잘 알려져 있다. 마찬가지로 ME는 DE보다 더 정확하며, NE는 ME보다 더 나은 평가방법이다. 그러나 사료원료의 DE, ME, 또는 NE 값의 정확도와 가용성, 영양전문가의 기술 이해 수준 그리고 이 열량 시스템을 사용하는 열량 요구량에 대한 지식과 수용도에 따라 사료배합은 근본적으로 차이가 날 수 있다. 유감스럽게도 DDGS의 NE 값은 ME 값 만큼 잘 정리되지 않았으며, ME 값은 제품에 따라 큰 변이를 보인다.

조단백질은 사료나 사료원료의 질소함량을 측정하는 것으로 사료 내 아미노산의 함량, 소화율, 또는 단백질의 품질을 적절히 반영하지 못한다. 조단백질은 반추동물 사료를 배합할 때는 사용하지만 돼지, 가금 그리고 어류의 가소화 아미노산 요구량을 정확히 표현할 수 없다. 일반적으로 조단백질은 반추동물 사료에서는 유용한 수단으로 반추위 미생물은 여러 가지 형태의 질소를 미생물 단백질로 전환시켜 필요한 아미노산의 양과 균형을 이루어 반추동물의 아미노산 요구량을 충족시킨다. 하지만 반추 분해와 비분해 단백질로 구분함으로써 조단백질보다 더 정확하게 반추사료 단백질의 진정 영양가를 제공할 수 있다. 단위동물의 소화 시스템은 이러한 능력을 가지지 못하기 때문에 사료에서 가소화 단백질의 특정한 양을 필요로 한다. 돼지, 가금, 양어용 사료를 배합할 때 총아미노산 기준으로 하면 조단백질을 사용할 때보다 더 정확하지만 이 사료들을 가소화 단백질 기준으로 배합하면 더 정확하다. 이에 더하여 돼지, 가금, 양어 사료에 적절한 아미노산 균형을 이루기 위해서는 lysine 대 methionine, threonine 그리고 tryptophan의 비율을 체크하고 조정하는 것이 필요하다. 또한 아미노산 수준에 대비한 열량 (예: ME 또는 NE kcal/g 가소화 lysine)을 적절한 비율로 공급하는 것이 중요하다. DDGS 사료를 배합할 때 가소화 아미노산을 사용하면, 사료비와 분질소 배설량을 최소화하면서 단백질과 아미노산의 과잉공급 우려를 최소화할 수 있다.

유사하게 DDGS를 함유한 사료를 배합할 때 총인 기준으로 하지 않고 가소화 또는 가용인 기준으로 하여야 한다. DDGS에 가용인의 함량이 비교적 높은 것을 고려하면 무기 인의 공급, 사료비 그리고 분 질소 배설량을 상당히 감소시킬 수 있다. DDGS 사료 배합에 가소화 또는 가용인을 사용하면 DDGS에서 발견되는 높은 가소화 또는 가용인 함량을 적절히 이용할 수 있다.

DDGS의 정확한 열량과 가소화 영양가의 요약은 이 핸드북의 육우 (11장), 젖소 (12장), 가금 (13장) 그리고 돼지 (16장)의 장에서 제공하고 있다. 더욱이 돼지와 가금에서 DDGS의 ME와 가소화 아미노산을 역동적으로 평가하는 예측방정식을 해당 장에서 제공해 주고 있다. 동물의 건강과 생산성을 적정화하기 위하여 DDGS를 사용하는 사료배합표 조정을 평가하는 수많은 연구 결과를 각 해당 장에서 제공하고 있다.

영양소 변이와 배합비 작성 방법을 고려할 때 사료배합비 작성 방법이 DDGS 사용에 미치는 영향을 설

명하는 많은 예들을 보여주고 있다. 그리고 양돈 사료 배합의 여러 가지 예들을 선별하여 정밀 양돈영양의 목적을 달성하기 위한 여러 방법과 그 의의를 비교하였다. 이 상대적 비교는 각 해당 종에 독특한 배합 방식과 영양소 프로필을 사용하는 다른 축종과 가금류에도 관계된다. 그러나 다양한 축종과 가금에서 여러 생산단계의 가능한 모든 조합의 배합표 작성을 제공하는 것은 이 장에서 다루는 범위 밖이다.

열량과 가소화 아미노산의 변이가 사료 조성에 미치는 영향과 양돈 사료에 DDGS의 사용

DDGS의 ME가

DDGS의 ME 함량에 대조적인 두 개의 값을 발표된 자료에서 선별하였다 (Pedersen 등, 2007, 과 Anderson 등, 2009). 한 개의 DDGS ME 함량은 4,334 kcal/kg (건물)인 반면 다른 한 개의 ME 함량은 3,414 kcal/kg (건물)이었다. 사료배합은 표준화장 가소화 (SID) 아미노산 기준으로 하고 ME 함량을 동일수준으로 하였다 (표 1). SID 아미노산 함량은 생체시험을 통하여 특정 DDGS의 SID 아미노산 함량을 직접 측정한 자료를 근거로 하였는데, 여기서 lysine, methionine, threonine 그리고 tryptophan의 SID 소화율은 각각 63%, 82%, 71% 그리고 69%으로 평가되었다. 원하는 영양소 수준은 일당 정육 증체량 325g/day의 45kg 육성돈의 NRC (NRC 2012) 요구량을 기준으로 하였다. 저 ME DDGS 사료에서는 에너지 요구량을 맞추기 위해 옥수수를 대체하여 choice white grease를 첨가하였다.

이 두 DDGS 제품은 ME 함량의 차이가 크기 때문에 약 3.8%의 choice white grease를 첨가하여 저 ME DDGS 사료의 ME 함량이 고 ME DDGS 사료의 ME 함량과 같은 수준이 되도록 하였다. 저 ME DDGS 사료에 choice white grease를 첨가하지 않으면, 돼지의 열량 요구량을 충족시키지 못하므로 사료 섭취량이 증가하게 된다. 이렇게 되면 사료 전환율이 나빠지고 돼지는 요구량에 비해 아미노산과 인을 과잉 섭취하게 된다. 부족한 열량을 보충하기 위하여 choice white grease 대신에 여러 가지의 첨가 지방을 쓸 수 있으나, 지방종류에 상관없이 저 ME 사료에 지방을 첨가하면 총사료비가 증가할 수 있다. 이들 결과는 사용되는 DDGS의 공급원을 알아야 하고, ME의 정확한 추정가 즉 DDGS 및 다른 성분의 NE 함량을 정확하게 추정하는 것이 사료배합비에서 에너지 값을 최대화하고 사료원가를 최소화하는데 중요하다는 것을 보여준다.

DDGS의 총 그리고 가소화 lysine의 함량과 변이

앞에서 말했듯이, DDGS 제품들 간에는 총 그리고 가소화 아미노산의 함량에 변이가 있다. 급여하는 DDGS의 정확한 아미노산값을 사용한다는 것이 중요하다는 것을 보여주기 위하여, 10%의 DDGS를 함유한 세 개의 다른 사료배합표를 작성하였다 (표 2). Urriola (2005)에 의해 발표된 자료로부터 얻은 SID lysine을 사용하여 육성돈 사료 배합을 위한 DDGS 제품을 선별하였다. 총 lysine의 함량은 0.75~1.02%이었고 SID lysine은 0.47~0.67%이었다.

사료는 세 가지 DDGS를 각 10% (매우 보수적인 사료 내 함유 비율)를 사용하여 사료에서 0.66%의 SID lysine 수준을 유지하였다 (표 3). 사료 내 DDGS의 함유 수준이 증가할수록 SID 아미노산값의 중요성이 증가하는데 이는 돼지의 요구량에 비해 DDGS가 사료에서 가소화 아미노산 함량의 비중이 증대하기 때문이다. 이 결과들을 보면 사료에 DDGS 사용 수준 (10%)을 유지하고 사료에 영양소 함량을 일정하게 유지하면서 저 SID lysine DDGS 대신에 고 SID lysine DDGS를 사용할 때 대두박 함량은 감소하고 옥수수 함량은 증가하는 것을 보여준다. 따라서 옥수수, 대두박 그리고 DDGS의 상대적 가격에 따라, 고 SID DDGS를 돼지사료에 사용하면 일반적으로 배합사료의 톤당 가격을 감소시킨다.

표 1. 고 ME (4,334 kcal/kg 건물)과 저 ME (3,414 kcal/kg 건물) DDGS를 사용할 때 육성돈 사료의 배합표 작성 시 사료 구성분에 미치는 영향의 비교

원료, kg	고 ME DDGS	저 ME DDGS
옥수수	607.0	569.1
대두박	172.5	172.5
고 ME DDGS, 4,336 kcal/kg	200.0	
저 ME DDGS, 3,414 kcal/kg		200.0
Choice white grease		37.9
석회석	10.0	10.0
제2 인산칼슘	4.0	4.0
소금	3.0	3.0
비타민-광물질 프리믹스	2.0	2.0
L-lysine HCl	1.5	1.5
총계	1000.0	1000.0
영양성분	고 ME DDGS	저 ME DDGS
건물, %	87.39	84.03
조단백질, %	19.54	19.22
ME, kcal/kg	3526	3526
Lysine, %	0.83	0.83
Methionine, %	0.30	0.30
Threonine, %	0.59	0.58
Tryptophan, %	0.16	0.16
Calcium, %	0.57	0.57
총인, %	0.52	0.51
가용인, %	0.25	0.25
Ca:P	1.10	1.12

표 2. 세 가지 DDGS 내에 함유된 lysine, methionine, threonine, 그리고 tryptophan의 총 그리고 표준회장 소화를 값

영양성분	저 SID Lysine	평균 SID Lysine	고 SID Lysine
ME, kcal/kg	3,834	3,893	3,838
조단백질, %	28.00	29.10	31.90
Lysine %	0.76	0.85	1.02
Methionine %	0.50	0.52	0.58
Threonine %	1.05	1.05	1.15
Tryptophan %	0.23	0.23	0.28
SID lysine %	0.47	0.60	0.67
SID methionine %	0.43	0.50	0.53
SID threonine %	0.79	0.80	0.87
SID tryptophan %	0.17	0.20	0.20

양돈 사료에서 배합비 작성 방법이 사료의 성분과 DDGS 사용에 미치는 영향

조단백질 기준으로 배합비 작성

수십 년 전에는 미국의 양돈 사료는 조단백질 기준으로 배합되었는데, 이는 총 가소화 아미노산의 요구량이 여러 생산단계에서 잘 확립되지 않았고 사료원료의 총 가소화 아미노산 함량에 대한 자료가 없었기 때문이다. 그러나 아미노산 요구량이 결정된 이후에는 영양전문가들은 총아미노산 기준으로 배합비를 작성하게 되면서 돼지의 요구량을 더 정확하게 충족시킬 수 있었다. 이후 연구자들은 원료 내 그리고 원료제품 간에 가소화 아미노산의 함량이 변한다는 것을 보여주었다. 그후 정밀 양돈영양을 더욱 발전시키기 위하여 돼지의 가소화 아미노산 요구량과 원료들의 아미노산 함량을 결정하기 위한 수많은 연구들이 수행되었다. 오늘날 가장 정확한 양돈 사료배합비 작성 방법은 표준회장 가소화 (SID) 아미노산을 기준으로 하는 것이다. 섬유소 함량이 상대적으로 많은 사료를 급여 시 내생 아미노산의 손실이 증가하는데 SID는 이것을 고려하기 때문에 SID 아미노산 함량을 사용하는 것이 외관상회장 가소화 아미노산을 사용하는 것보다 더 정확하다. DDGS의 SID 아미노산 함량을 사용하면 돼지사료의 영양적 그리고 경제적 가치를 적정화하고 최적 생산성을 달성할 수 있을 것이다.

50kg 돼지의 조단백질 요구량 (16%)을 맞추기 위하여 DDGS 0%, 10% 그리고 20%를 함유한 사료를 배합했을 때 초래될 수 있는 잠재적 문제점을 보여주기 위하여 세 가지 사료의 배합표를 작성하였다 (표 4). 조단백질 수준을 16%로 일정하게 유지하면서 배합표를 작성했을 때, 사료에 10%의 DDGS를 사용하면 돼지의 아미노산을 비롯한 모든 영양소 요구량을 충족시킬 수 있다. 하지만 DDGS의 사용량을

표 3. DDGS의 저, 중, 그리고 고 표준화장 소화율 (SID) lysine 값을 사용하여 육성돈 사료배합비 작성

원료, kg	저 SID Lys. DDGS	평균 SID Lys. DDGS	고 SID Lys. DDGS
옥수수	708.1	713.2	715.9
대두박, 47%	172.7	167.5	164.8
DDGS	100.0	100.0	100.0
제2 인산칼슘	3.0	3.1	3.2
석회석	9.7	9.7	9.7
소금	3.0	3.0	3.0
비타민-광물질 프리믹스	2.0	2.0	2.0
L-lysine HCl, kg	1.5	1.5	1.5
총계	1,000	1,000	1,000
영양성분			
조단백질, %	17.03	16.94	17.11
ME, kcal/kg	3,416	3,422	3,416
Calcium, %	0.50	0.50	0.50
Phosphorus, %	0.45	0.45	0.45
Ca:P	1.11	1.11	1.11
소금, %	0.36	0.36	0.36
조지방, %	4.34	4.26	4.24
Lysine, %	0.90	0.90	0.91
SID lysine, %	0.66	0.66	0.66
Methionine, %	0.29	0.29	0.29
SID methionine, %	0.26	0.26	0.26
Threonine, %	0.63	0.62	0.63
SID threonine, %	0.53	0.52	0.52
Tryptophan, %	0.18	0.17	0.18
SID tryptophan, %	0.15	0.15	0.15

표 4. 0, 10, 그리고 20% DDGS를 함유한 16% 조단백질 육성돈 사료의 원료와 영양분 조성

원료, kg	0% DDGS	10% DDGS	20%t DDGS
옥수수	783.5	733.8	684.2
대두박, 47%	196.7	147.1	97.4
DDGS	0.0	100.0	200.0
제2 인산칼슘	5.1	3.6	2.0
석회석	8.2	9.0	9.9
소금	3.0	3.0	3.0
L-lysine HCl	1.5	1.5	1.5
비타민-광물질 프리믹스	2.0	2.0	2.0
총계	1000.0	1000.0	1000.0
영양소 성분			
조단백질, %	16.0	16.0	16.0
ME, kcal/kg	3,372	3,316	3,261
Lysine, %	0.92	0.82	0.72
Methionine, %	0.26	0.27	0.28
Threonine, %	0.59	0.58	0.57
Tryptophan, %	0.18	0.16	0.15
Calcium, %	0.50	0.50	0.50
Phosphorus %	0.45	0.45	0.45
Ca:P	1.11	1.11	1.11
소금, %	0.37	0.41	0.44
조지방, %	3.65	4.14	4.64

20%로 증가시키면 0.15%의 L-lysine HCl를 첨가하더라도 lysine요구량 0.75%를 맞추는 것이 불가능하다. 만약 이 배합표 작성 방법으로 만든 사료를 돼지에게 급여 시, 0%와 10% DDGS 사료의 급여와 비교하여 성장률과 사료효율이 감소할 것이다.

총아미노산 기준으로 배합표 작성

돼지사료를 총 아미노산 기준으로 배합할 경우 야기될 수 있는 문제점을 적시하기 위하여 50kg 돼지의 영양소 요구량을 충족시키기 위한 네 가지 DDGS 사료 (0%, 10%, 20% 그리고 20%에 합성아미노산 첨가)의 배합표를 총아미노산 기준으로 작성하였다 (표 5). 사료 내 DDGS의 함유수준이 20%로 증가하면 조단백질 함량도 증가하는 것을 볼 수 있다.

표 5. 0, 10, 그리고 20% DDGS를 함유하고 총 lysine 기준으로 배합한 육성돈 사료의 원료와 영양분 조성

원료, kg	0% DDGS	10% DDGS	20% DDGS	조정 20% DDGS
옥수수	796.5	757.5	635.4	610.9
대두박, 47%	183.4	123.0	147.1	170.3
DDGS	0.0	100.0	200.0	200.0
제2 인산칼슘	5.4	4.1	0.9	0.9
석회석	8.1	9.0	10.0	9.9
소금	3.0	3.0	3.0	3.0
비타민-광물질 프리믹스	2.0	2.0	2.0	2.0
L-lysine HCl	1.5	1.5	1.5	1.5
L-tryptophan	0.0	0.0	0.0	1.5
총계	1,000	1,000	1,000	1,000
영양소 조성				
조단백질, %	15.5	15.1	18.0	19.0
ME, kcal/kg	3,372	3,316	3,262	3,281
Lysine %	0.88	0.75	0.85	0.92
Methionine %	0.26	0.26	0.31	0.32
Threonine %	0.57	0.54	0.64	0.83
Tryptophan %	0.17	0.15	0.18	0.20
Calcium %	0.50	0.50	0.50	0.50
Phosphorus %	0.45	0.45	0.45	0.46
Ca:P	1.11	1.11	1.11	1.09
소금, %	0.37	0.41	0.44	0.44
조지방, %	3.66	4.16	4.60	4.57
SID lysine %	0.66	0.52	0.60	0.66
SID methionine %	0.23	0.23	0.26	0.27
SID threonine %	0.49	0.44	0.51	0.54
SID tryptophan %	0.15	0.11	0.12	0.13

표 6. 0, 10, 20, 그리고 30% DDGS를 함유하고 표준회장 소화율 (SID) lysine 기준으로 배합한 육성돈 사료의 원료와 영양분 조성

원료, kg	0% DDGS	10% DDGS	20% DDGS	30% DDGS
옥수수	795.9	746.3	672.1	586.4
대두박, 47%	184.0	134.4	109.8	96.6
DDGS	0.0	100.0	200.0	300.0
제2 인산칼슘	5.4	3.9	1.7	0.0
석회석	8.2	9.0	9.9	10.5
소금	3.0	3.0	3.0	3.0
비타민-광물질 프리믹스	2.0	2.0	2.0	2.0
L-lysine HCl	1.5	1.5	1.5	1.5
총계	1,000	1,000	1,000	1,000
영양소 조성				
조단백질, %	15.48	17.17	18.86	20.55
ME, kcal/kg	3,371	3,317	3,262	3,205
Calcium, %	0.50	0.50	0.50	0.50
Phosphorus, %	0.45	0.45	0.45	0.49
Ca:P	1.11	1.11	1.11	1.02
소금, %	0.37	0.41	0.44	0.48
조지방, %	3.66	4.54	4.58	5.04
Lysine %	0.88	0.90	0.92	0.94
SID lysine %	0.66	0.66	0.66	0.66
Methionine %	0.26	0.29	0.32	0.35
SID methionine %	0.23	0.25	0.27	0.29
Threonine %	0.57	0.63	0.68	0.74
SID threonine %	0.48	0.51	0.54	0.57
Tryptophan %	0.17	0.18	0.2	0.21
SID tryptophan %	0.15	0.14	0.13	0.12

비록 각 사료에서 총 lysine, methionine, threonine 그리고 tryptophan의 NRC 요구량을 충족시키지 못 (어떤 경우는 요구량을 초과), 아미노산의 소화율은 고려되지 않았다. 그 결과 lysine과 tryptophan의 SID 아미노산 요구량은 10% 또는 20% DDGS 사료에서 충족시키지 못했다 (표 5). 그러나 20% DDGS 사료에 합성 L-tryptophan과 대두박을 첨가 (조정 20% DDGS 사료) 하였을 때는 SID lysine과 SID tryptophan 요구량을 충족시킬 수 있었다.

표준회장 가소화 (SID) 아미노산 기준 배합비 작성

현재 미국의 양돈 사료는 SID 아미노산 기준으로 배합되고 있다. 이 배합비 작성 방법은 돼지의 영양소 요구량을 충족시키는데 정확도가 높으며, 만약 급여하는 원료들의 아미노산 소화율이 알려져 있으면 영양전문가들은 높은 수준의 DDGS (40%까지)를 돼지의 생산성에 지장 없이 사용할 수 있다. 표 6에서 보여주는 바와 같이 SID 기준으로 배합되고 DDGS를 30%까지 함유하는 모든 사료들은 50kg 돼지의 SID lysine 요구량 0.66%를 충족시키고 SID methionine, threonine 그리고 tryptophan을 비롯한 다른 영양소 요구량도 충족시킨다. 이 사료들에는 일정하게 0.15% L-lysine HCl를 첨가한 이외에는 다른 합성 아미노산을 첨가하지 않았다는 점을 유의할 필요가 있다. 만약 합성 threonine과 tryptophan을 첨가하면 DDGS를 더 높은 수준에서 사용할 수 있을 것이다. 이 결과들은 DDGS를 30%까지 사용하여 도 돼지에서 훌륭한 성장률과 도체 조성을 얻기 위해서는 가소화 아미노산의 요구량을 충족시키기 위해 SID 아미노산을 기준으로 배합표를 작성해야 한다는 것을 보여준다.

합성아미노산의 사용과 대두박 사용의 감소

현재 미국에서 사용되는 많은 육성-비육돈 DDGS 사료의 배합비에는 상당한 양의 대두박을 대체하고 사료의 NE 함량을 증가시키기 위하여 비교적 높은 수준의 합성아미노산을 사용하고 있다. 옥수수 DDGS는 대두박보다 더 많은 NE를 가지고 있으며, 가격은 전통적인 열량과 아미노산 공급원인 옥수수와 대두박보다 저렴할 때가 있다. 그러나 사료는 SID 아미노산 기준으로 배합되어야 한다. 사료에 합성 (결정체) 아미노산을 첨가하면 몇 가지 이점이 있다. 첫째, 대두박이나 다른 고단백질 원료의 사용량을 감소시킴으로써 과잉 질소 (단백질)를 저감시키고, 가소화 아미노산의 요구량을 충족시키면서 성장률을 적정화한다. 둘째, DDGS 사료 급여 시 합성아미노산의 사용은 분으로부터 질소의 배설과 암모니아 방출을 최소화하고, 대두박이 비쌀 때는 비용 절감을 이룰 수 있다. 따라서 합성 lysine, methionine, threonine 그리고 tryptophan을 합리적인 가격에서 이용하는 양이 증가하기 때문에 사료에서 아미노산의 요구량을 충족시키면서 상당한 양의 대두박 사용량을 감소시킬 수 있다.

30% DDGS 사료에서 대두박 사용량을 감소시키는 사료배합비 작성을 예시하였다 (표 7). 이 배합비 작성에서 제5 제한아미노산이 isoleucine이 부족하지 않게 대두박을 충분히 사용하는 수준에서 대두박의 사용량을 결정하였다. 사료는 45kg 돼지의 NRC 요구량 이상을 충족시키는 수준에서 SID 아미노산을

표 7. 30% DDGS와 고수준의 합성아미노산을 함유하고 대두박을 저감시킨 사료의 원료와 영양소 조성

원료, kg	대조구	대두박 저감, 30% DDGS, 그리고 합성아미노산
옥수수	738.5	653.1
대두박	238.8	20.0
DDGS	0.0	300.0
석회석	8.2	12.0
제2 인산칼슘	8.0	2.6
소금	3.0	3.0
Premix	2.0	2.0
L-Lysine	1.5	5.9
L-Threonine	0.0	0.7
DL-Methionine	0.0	0.0
L-Tryptophan	0.0	0.7
총계	1,000	1,000
영양소 조성		
조단백질, %	17.6	16.3
ME, kcal/kg	3,333	3,459
SID lysine, %	0.92	0.84
SID methionine, %	0.26	0.26
SID threonine, %	0.56	0.52
SID tryptophan, %	0.18	0.17
SID isoleucine, %	0.61	0.46
Ca, %	0.60	0.58
총 P, %	0.52	0.48
가용 P, %	0.21	0.26
Ca:P	1.15	1.20

기준으로 배합하였다. DDGS를 고수준 (20% 이상) 함유한 사료를 급여 시 유념해야 할 것은 비교적 높은 조단백질:lysine 비율 때문에 조단백질 (질소)의 공급이 과잉된다는 점이다. 만약 돼지사료에 조단백질 수준이 너무 높은 경우에는 deamination과 과잉 질소 배설에 따른 열역학적 비용 때문에 성장률이 감소할 수 있다. 따라서 DDGS 사료에 합성아미노산을 첨가하면 과잉 단백질이 감소한다. 실제로 사료 내 대두박의 사용량을 단지 2% 줄이고 돼지의 요구량을 충족시키기에 충분한 합성 아미노산을 첨가했을 때 조단백질 수준이 전통적인 옥수수-대두박 사료보다 낮았다 (표 7).

결론

DDGS로부터 최대한의 경제적 그리고 영양적 가치를 도출하기 위해서는 제품의 출처, 영양소 함량 그리고 소화율을 알아야 한다. 사용하는 DDGS의 영양소 조성, 선택한 사료배합비 작성 방법에 따라, DDGS의 상대적인 경제적 그리고 영양적 가치는 상당히 변할 수 있다. DDGS의 정확한 열량, 아미노산 그리고 인의 소화율을 사용함으로 적정 동물생산성을 유지하면서 영양소의 과잉공급을 감소할 수 있고, 영양 결핍을 피할 수 있으며 사료가격을 감소시킬 수 있다.

참고문헌

Anderson, P.V., B.J. Kerr, T.E. Weber, C.Z. Ziemer, and G.C. Shurson, 2009. Determination and prediction of energy from chemical analysis of corn co-products fed to finishing pigs. J. Anim. Sci. (submitted).

NRC. 2012. Nutrient Requirements of Swine. 10th Revised Edition, Natl. Acad. Press, Washington, DC.

Pedersen, C., M.G. Boersma, and H.H. Stein. 2007. Digestibility of energy and phosphorus in ten samples of distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 85(5):1168-1176.

Urriola, P.E. 2005. Distillers Dried Grains with Solubles digestibility, in vivo estimation and in vitro prediction. Master's thesis, University of Minnesota.

CHAPTER 20

환경 지속성에서 DDGS의 역할

서론

동물사료에서 DDGS의 사용이 영양적 그리고 경제적 이득을 주는데 대한 수많은 연구들이 수행되었지만, 대부분의 영양전문가들과 사양가들은 DDGS 급여가 가져다주는 여러 가지 환경적 이점에 대해서는 잘 알지 못하고 있다 (Shurson, 2017). 최근에 세계적인 농업의 대세는 환경 지속성에 대한 것으로, 대규모 다국적 기업들은 사료원료를 구입할 때 가격과 영양가 뿐만 아니라 동물생산 시스템에서 탄소 축적을 감소시키기 위한 환경영향을 고려한다. Kauffman (2015) 등은 영양, 가스 방출 그리고 분뇨처리를 종합적으로 관리하는 중국의 저방출 양돈농가의 특징을 서술하였다. 중국에서는 연간 40억 톤이 넘는 분뇨가 배출되며, 이는 수로와 사각지대에 부영양화와 영양과부화를 초래했다. 보다 많은 농지가 옥수수나 대두 위주의 단종생산으로 전환되었기 때문에 살충제, 제초제 그리고 비료가 수로를 오염시키고, 생물체의 다양성이 감소하고, 직간접 토지사용의 변화로 탄소흡수대가 파괴되고, 사료생산과 수송 과정의 모든 단계에서 온실가스가 방출된다. 그 결과 Kaufmann (2015)은 중국에서 지속가능한 축산을 발전시키기 위해서 다음과 같은 실천사항들을 권장하였으며 이는 전 세계적으로 적용될 수 있다.

1. 생물학적 수질정화, 토양복원 그리고 공기오염 정화비용, 분과 농업화학물질들의 유출과 오염을 포함한 생계의 손실, 온실가스방출과 연관된 비용 등 완전한 환경비용을 알아야 한다. 그리고 작물경작 토양에 영양과 유기물 공급원으로써 이용될 수 있는 분뇨의 손실에 따른 비용 그리고 화학비료 사용과 연관된 비용 등을 포함한다.
2. 돼지와 가금 사료 배합비 작성 시 표준회장 가소화 아미노산, NE 그리고 가소화 또는 가용인을 기준으로 배합하며 고능력 착유우에는 반추위 보호 아미노산을 사용함으로써 사료 내 단백질 함량을 감소시키는 방안들을 최대한 활용한다.
3. 바이오가스 생산을 위한 메탄 발효기를 사용하고 대규모 양돈농장에서는 발효 주원료로 분뇨를 사용하는 바이오가스 생산시설을 설치해야 한다.

동물생산은 전세계 온실가스 (즉, 이산화탄소, 메탄가스, 아산화질소; Steinfeld 등, 2006) 방출량의 약 18%를 차지한다. 이는 주로 가축의 체내에서 위장관 발효와 분뇨 저장에 기인한다. 여러 개의 다국적

계열화 사료, 축산 그리고 식품회사들은 축산의 탄소 족적을 최소화하는 사료원료를 선별하여 그들의 탄소족적을 감소시키는 공급망 관리전략을 실시하고 있다. 더욱이 여러 연구자들은 동물사료에서 여러 가지 원료들의 사용이 환경에 미치는 영향에 대하여 라이프사이클 평가를 시작하였다. 그러나 이들 평가의 다수는 가정, 폭과 범위가 연구간에 변이가 있고 그 영향과 해석에도 차이가 있다 (Zilberman, 2017). 사실 발표된 많은 연구는 환경평가의 경제성 분석을 포함하지 않고, 동적모델 대신에 고정모델을 사용 했으며, 사료 급여에 따른 실제 측정 방출물을 고려하지 않아 결과를 오도할 수 있다.

온실가스 방출 감소와 축산의 탄소 족적에 대한 세계적인 관심사가 증가하는 가운데, 사료의 열량과 영양효율을 향상시키는 정밀 동물사양 프로그램을 사용하는 것이 필수적이다. 이는 사료비와 생산비를 저감시킬 뿐 아니라 분뇨를 통한 영양소의 배설량을 감소시켜 폐쇄 축사에서 냄새와 가스의 발생을 감소시킨다. Lu 등 (2017) 은 이들 환경에 관한 관심사를 요약하였다. 분뇨에 들어 있는 질소, 인과 미량광물질의 농도가 토양에서 작물이 사용할 수 있는 이상으로 높으면 토양에 축적된다. 질산염은 토양에서 침출되어 수자원을 오염시키므로 가축과 가금농장에서 주요 오염물질로 간주된다. 분에서 생산되는 메탄과 아산화질소는 온실가스 생산에 일조하고, 암모니아의 증발은 작물과 산림에 해를 끼치는 산성비를 생성한다. 더욱이 인은 토양침식을 통해 지표수로 들어가 조류와 다른 수중식물의 성장을 촉진시키며, 용존 산소가 감소하여 물고기가 폐사한다. 더불어 토양에 과잉 미량광물질 (예; 구리와 아연)의 축적은 식물과 미생물의 중독위험을 증가시킨다.

Lu 등 (2017)은 분으로 배설되는 과잉 질소, 인 그리고 미량광물질을 최소화하는데 효과적인 영양전략을 제시하였다. 첫째로, 사료배합비 작성 시 동물의 단백질 또는 아미노산, 인 그리고 미량광물질의 요구량을 정확하게 충족시킨다. 사료의 조단백질 수준은 합성아미노산을 사용하거나 반추위 비분해단백질 함량이 높은 원료를 사용하면 감소시킬 수 있다. 과잉인 배설은 돼지나 가금 사료 배합 시 가용 또는 가소화 인을 기준으로 배합하거나 phytase를 첨가하면 감소시킬 수 있다. 영양소 요구량은 여러 생산 단계에 따라 변하기 때문에 사료배합비를 더 자주 조정하기 위하여 다중 기별 사양프로그램을 사용하면 과잉영양소 배설을 상당히 감소시킬 수 있다. 둘째로, 생체이용률이 높은 인과 미량광물질을 사용하고 배합비를 작성할 때 이 영양소들이 과잉되지 않도록 한다. 셋째, 사료에 효소제, probiotics, prebiotics 등과 같은 효과적인 사료첨가제들을 사용하여 사료의 영양소 이용률을 향상시킨다. 이상에서 제시한 방법들을 실행하면, 사료와 생산비를 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 환경에 잠재적으로 부정적인 영향을 최소화할 수 있다.

돼지와 가금 사료에서 합성아미노산과 phytase의 사용은 영양소의 이용효율을 증가시키는 데 효과적이고 사료비를 절감하며, 암모니아와 같은 가스의 방출과 분 중 질소와 인의 배설을 감소시킨다. Kebreab 등 (2016)은 합성아미노산과 phytase를 사용하는 효과와 이 첨가제들을 쓰지 않는 경우를 유

럽, 북아메리카와 남아메리카에서 비교하였다. 돼지와 육계 사료에 이 첨가제들을 사용하면 이 첨가제들을 사용하지 않는 사료를 급여할 때보다, 온실가스 방출량을 유럽에서는 각각 56%와 54%를, 북아메리카에서는 17%와 15% 그리고 남아메리카에서는 33%와 19%를 감축시켰다. 이는 상당한 양의 감축으로 이 비교에서 사용한 북아메리카의 양돈과 가금 사료는 각각 14.6%와 6.4%의 DDGS를 배합하고 있으며, 유럽과 남아메리카의 사료는 DDGS가 함유되어 있지 않았다. 결과적으로 동물사료에 DDGS를 사용하면 축산이 환경에 미치는 부정적인 영향을 일부 감소시킬 수 있을 것이다. 이 장에서는 DDGS의 급여가 환경에 유익한 영향을 보여주는 여러 동물 종에 대한 연구들을 요약하였다.

양어

세계적인 양어산업은 특히 아세아 국가들에서 빠른 속도로 성장하고 있다. 예를 들면, 인도네시아의 양어산업은 지난 5년 동안 매년 25%씩 성장해 왔다 (Henriksson 등, 2017a). 그 결과 환경에 미치는 영향을 감소시키고 장기적인 성장을 유지하기 위한 방법에 대하여 많은 관심을 보이고 있다. 상업적 양어 시스템에서 환경에 미치는 영향을 결정하는 주요인은 사료원료의 선택과 사용이다. 실제로 양어 시스템에서 사용되는 원료들 중에서 가장 비판을 받는 것은 어분이다. 어분은 환경에 부정적인 영향을 미치고 양어 사료에 계속적으로 널리 쓰는 데는 한계가 있다. 인도네시아에서 양어 사료에 사용하는 일반 사료원료들이 환경에 미치는 영향을 비교하기 위하여, Henriksson 등 (2017a)은 생명주기평가방법을 사용하여 지구온난화, 산성화, 부영양화, 토지점유와 담수 소요량을 기준으로 분류하였다 (표 1). 새우분은 모든 분야에서 환경에 가장 부정적인 영향을 미쳤으며, cassava는 토지점유를 제외하고는 가장 적게 영향을 미쳤고, 어유는 토지점유부분에 영향을 가장 적게 미쳤다. 옥수수과 DDGS가 환경에 미치는 영향은 원료들 중에서 대체적으로 중간 정도였다. 민감도 분석에서 경제적 배분을 추가할 때 카사바, 옥수수 가루, 생선 기름, 밀가루 및 옥수수 글루텐 사료에 대한 환경 요인 배분에 최소한의 변화가 있었지만 어분, 쌀겨, 가금류 부산물 박, DDGS, 옥수수 글루텐 사료와 새우밀은 훨씬 적은 영향을 미쳤다. 이들 부산물 사료원료의 대부분에서 영향이 감소되는 주된 이유는 사료 산업이 사용하지 않으면 폐기물 스트림이 될 이러한 부산물을 양어사료로 이용하기 때문이다.

Tilapia 양어장은 이집트에서 지난 20년 동안 20배 증가하였고, 세 번째로 큰 동물생산 분야로 어류생산의 77%를 차지한다 (El-Sayed 등, 2015; FAO, 2016). 하지만 이집트의 양어농장은 제한된 담수와 이윤창출 때문에 도전을 받고 있다. 그 결과 Worldfish는 “이집트의 양어양식분야 개발을 통한 고용과 소득증대” 사업을 실시하였다. 이 사업은 최고의 경영관리 훈련과 개량된 Nile tilapia 종을 500개 이상의 양어농장에 제공하였다. 그 결과 Henriksson 등 (2017b)은 생명주기평가를 사용하여 이집트의 어류양식산업에서 최고경영관리와 유전적 개량을 사용하여 환경적 성과를 평가하는 벤치마킹 시험을 실시하였다. 이집트는 수입 사료원료에 의존도가 높기 때문에 이 연구자들은 수입 어분, 어유, 대두박, 대두유,

구아박, 가금 부산물 밀, 채종박, 옥수수 글루텐밀, 옥수수 글루텐피드, 옥수수가루, 미강, 밀기울 그리고 DDGS를 평가하였다. 그들의 가정을 기본으로 하면, 지구온난화에 가장 큰 영향을 미치는 원료는 대두박, 밀기울, 미강 그리고 옥수수 글루텐피드였다. 그리고 원료의 kg당 기준으로 온실가스 발생에 가장 큰 영향을 주는 원료는 가금 부산물 밀, 어분, 어유, 옥수수 가루, DDGS, 옥수수 글루텐피드 그리고 옥수수 글루텐밀이었다. 옥수수와 옥수수 가공부산물들의 영향이 큰 것은 질소 시비가 과다하고 기후 조건이 적절치 못한 이집트의 농지에서 일산화이질소의 방출이 많기 때문이다.

표 1. 인도네시아의 양어산업에서 사용되는 사료원료들이 환경에 미치는 상대적 영향¹에 대한 비교 (Henriksson 등, 2017a)

원료	지구온난화 ²	부영양화 ³	산성화 ⁴	토지점유 ⁵	담수소비량 ⁶
어분	H	M	M	L	L
새우박	H*	H*	H*	H*	H*
가금 부산물 밀	H	H	H	H	M
대두박	M	L	L	M	M
옥수수 글루텐밀	H	M	H	M	M
옥수수 글루텐피드	H	M	H	M	M
DDGS	M	M	M	M	M
Cassava	L**	L**	L**	M	L**
옥수수가루	L	M	M	M	M
밀가루	M	M	M	M	M
밀기울	M	M	M	M	M
미강	L	H	L	M	H
어유	L	M	L	L*	L
대두유	L	L	L	M	M

¹ H = high; M = medium; L = low

² Global warming = greenhouse gas emissions/ton

³ Eutrophication = phosphorus and nitrogen runoff potential/ton

⁴ Acidification = sulfur dioxide and nitrogen oxide emissions/ton

⁵ Land occupation = land resources required/ton produced

⁶ Fresh water consumption = cubic meters of water required/ton produced

*Highest impact among ingredients

**Lowest impact among ingredients

육우와 젖소

DDGS에는 옥수수의 약 3배에 달하는 질소와 인을 함유하고 있기 때문에 높은 수준의 DDGS를 육우와 젖소에게 급여하면 질소와 인의 분 배설량이 증가한다. 질소와 인의 사용효율을 높이기 위해서는 질소와 인의 과잉 섭취를 줄이고, 체내 축적을 증가시키면 된다. 초장에 방목하는 축우에게 DDGS를 급여하면 DDGS는 비교적 높은 함량의 조단백질을 함유하고 있기 때문에 과잉 섭취된 질소는 오줌에서 요소로 배설되어 초장에 질소를 시비하는 결과를 초래한다. 분뇨를 적절히 관리하여 농지에 산포하면, 작물 생산에 매우 소중한 비료를 제공하게 된다. 방목하는 축우에서 배설되는 함량이 높은 노질소를 성장이 활발한 목초지에 산포하면 목초의 생산이 크게 증가한다 (Ball and Ryden, 1984).

질소와 인의 사용효율

Greenquist 등 (2011)은 smooth brome grass 초지에서 질소시비와 한 살배기 거세우에 DDGS를 급여 시 전체 시스템의 질소 이용 효율을 비교하였다. Hectare당 질소축적률은 두당 2.3kg의 DDGS를 급여한 구가 초지에 hectare 당 90kg의 질소를 시비한 구보다 30% 더 높았으며, 질소를 시비하지 않고 DDGS도 급여하지 않은 구보다는 98% 더 높았다. 질소배설량은 DDGS 급여구가 시비한 brome grass를 섭취하는 구보다 많았으며 이 두 처리구는 무시비, DDGS 무첨가 대조구보다 높았다. 동물의 질소 이용효율은 방목 처리 간에는 차이가 없었지만 방목하는 축우에게 DDGS를 급여하면 질소 시비 brome grass에 방목한 축우보다 질소 이용효율이 144% 향상되었다. 이는 DDGS 급여가 brome grass 초지 방목시스템에서 질소 이용효율을 향상시키는 것을 시사한다.

Bernier 등 (2014)은 열 중립 또는 추운 기후조건에 장기간 노출된 육우 암소에게 옥수수와 밀 DDGS를 50:50으로 혼합한 농후사료를 저질조사료에 첨가 또는 무첨가했을 때 질소와 인의 이용률을 평가하였다. DDGS 급여는 분 중 질소와 인의 함량을 증가시키고, 질소와 인의 화학적 형태는 분뇨를 작물농지에 산포할 경우 영양소 유실을 증가시킬 가능성을 가지고 있다. 그러나 이 연구의 결과는 육우 암소가 추운 환경에 노출될 경우는 열 중립 환경에 노출된 암소에 비하여 단백질과 인의 요구량과 이용이 다르다는 것을 보여주었다.

Hao 등 (2011)은 옥수수 DDGS를 함유한 축우사료에 농축 tannin의 첨가 효과와, 개방 통풍 분뇨퇴비화가 질소농도와 온실가스 방출에 미치는 영향을 평가하였다. 부숙된 분뇨의 탄소, 질소 그리고 암모니아 농도는 40% DDGS 사료에 2.5% 농축 tannin을 첨가하여 급여한 구가 DDGS만 급여한 구나 대조구 사료를 급여한 구에 비해 더 컸다. Tannin의 첨가는 부숙하는 동안 이산화탄소, 메탄 그리고 아산화질소의 방출에는 영향이 없었다. 이 결과들은 40% DDGS와 농축 tannin을 함유한 사료를 급여하면, 온실가스 방출이 증가하지 않으면서 퇴비의 비료가치를 증대시킨다는 것을 보여 주었다.

메탄 방출

식량, 섬유소 그리고 biofuel 생산을 위해 사용되는 작물농지와 초지는 세계적으로 온실가스의 약 13.5%를 방출하며, 농업활동은 아산화질소 방출량의 85%, 메탄 방출량의 50%를 차지하는데, 이들은 농업으로부터 방출되는 비탄산가스 방출량의 70%를 차지한다 (IPCC, 2007). 이산화탄소, 메탄 그리고 아산화질소의 대기 중으로의 방출은 지난 수십 년 동안 증가해 왔으며, 기후변화의 주원인으로 간주되고 있다. 이산화탄소의 방출량 증가는 주로 화석연료의 연소 때문이며, 메탄가스와 아산화질소는 주로 농업에서 생산된다 (Smith 등, 2007). 대부분의 아산화질소의 방출은 비료와 분뇨를 살포한 토양으로부터 유래되지만, 메탄가스의 대부분은 가축의 위장관에서 발효에 의해 생성된다. 그러므로 가축생산 시스템에서 메탄 방출량의 경감을 위한 사양, 수송 그리고 관리의 필요성에 대하여 상당한 관심을 모으고 있다 (Beauchemin 등, 2011).

반추동물은 메탄가스 방출에서 주된 기여자이다. Hristov 등 (2014) 은 가축사양 과정에서 가축의 위장관으로부터 생성되는 메탄가스의 방출을 경감시키기 위한 여러 가지 전략에 대해 검토하였다. 옥수수 DDGS의 급여가 메탄생성에 미치는 영향은 축종 간에 일정하지 않지만 반추가축에서의 방출은 지방저감 DDGS의 급여로 감소될 수 있는데 (Hristov 등, 2014) 이는 사료 지방함량이 메탄가스 방출에 영향을 주는 것으로 보이기 때문이다 (Hunerberg 등, 2013). Hristov 등 (2014)은 조사료의 소화율과 가스화 조사료의 섭취량을 증가시키는 것이 반추 가축에서 메탄방출을 줄이는 주된 전략 중 하나라고 권장하였다. 또한 이들은 반추가축 사료에 비교적 높은 함량의 지방을 가진 원료 (예; DDGS)를 첨가하면 메탄방출을 유의하게 감소시킬 수 있다고 하였다. 실제로 여러 개의 시험에서 육우와 젖소 사료에 DDGS를 사용하면 메탄생성이 감소하는 것을 보여주었다.

Drehmel 등 (2016)은 시험관 가스생산 기술을 사용한 측정에서 DDGS의 NDF 잔류물에서 옥수수유를 첨가하면 메탄의 생성이 감소하고, DDGS에 cellulose를 첨가하면 메탄생성이 증가하였는데 이는 반추동물에서 사료성분을 조절하여 메탄생성을 조절할 수 있다는 것을 보여준다. McGinn 등 (2009)은 방목하는 육우에게 건물에 지방 3%를 첨가하는 것에 해당하는 DDGS 30%를 사료에 첨가하여 보리를 대체하였을 때 메탄생성이 16~24% 감소하였다. 옥수수 DDGS를 feedlot 육우에 급여하면 밀 DDGS나 대조구 사료를 급여할 때보다 메탄의 생성이 감소하였다 (Hunerberg 등, 2013). 하지만 방목중인 육우에게 DDGS를 열량 급원으로 높은 수준에서 급여하게 되면, 육우는 과잉 단백질 (질소)을 섭취하게 되고 분뇨 중 질소 배설은 급격히 증가하게 된다 (Hunerberg 등, 2013).

젖소에게 DDGS를 급여하면 장의 메탄생성을 감소시키는 한편, 분뇨의 혐기발효에서 생성되는 bioenergy 생성 가능성 (메탄 생산)은 증가한다 (Masse et al., 2014). Benchaar 등 (2013)은 젖소 사료에 고지방 DDGS 0, 10, 20 또는 30%를 옥수수와 대두박을 대체하여 사용 시 장 메탄 발생과 젖소의 반

추위 발효 특징에 미치는 영향을 평가하였다. 사료 내 DDGS의 수준을 증가시키면 건물 섭취량과 유생산량이 증가하고 메탄생성이 직선적으로 감소하였다 (표 2). 메탄생성 감소는 DDGS에 의한 지방의 공급이 증가한 때문으로 이는 반추위 섬유소분해, acetate:propionate 비율 그리고 원생동물의 수에 영향을 미친다. 이 시험의 결과들은 비유 젖소에게 지방저감 DDGS를 급여하면 메탄생성 감소에 효과적이며 또한 건물 섭취와 유생산량이 증가한다는 것을 보여 준다.

표 2. 비유 젖소에게 지방저감 DDGS 급여를 증가시킬 때 건물 섭취, 유생산, 반추위 pH, 원생동물, 그리고 메탄생성에 미치는 영향 (Benchaar 등, 2013)

측정항목	0% DDGS	10% DDGS	20% DDGS	30% DDGS
건물 섭취량, kg/day	24.2	24.6	24.4	25.3
유생산, kg/day	32.6	35.1	35.8	36.6
열량보정 유생산, kg/day ¹	35.3	37.8	37.3	37.1
4% 지방보정 유생산, kg/day ²	32.1	34.5	34.1	33.7
우유/건물 섭취	1.40	1.44	1.44	1.45
열량보정 우유/건물 섭취	1.51	1.55	1.50	1.46
반추위 pH				
최저	5.92	5.92	5.98	5.97
최대	6.56	6.59	6.64	6.55
평균	6.21	6.21	6.27	6.22
원생동물 (x 10 ⁵ /mL)	5.12	5.28	5.42	4.48
메탄 생산				
g/day	495	490	477	475
g/kg 건물 섭취	0.6	20.1	19.7	18.9
총열량 섭취의 %	6.09	5.80	5.61	5.23
가소화 열량 섭취의 %	8.75	8.39	8.17	7.74
g/kg 우유	15.6	14.2	13.6	13.2
g/kg 지방보정우유	15.7	14.3	14.3	14.4
g/kg 열량보정우유	14.3	13.1	13.0	13.0
g/kg 유지방	396	363	372	390
g/kg 유단백질	446	415	411	400

¹ Energy-corrected milk = 0.327 x milk yield (kg/day) + 12.95 x milk fat yield (kg/day) + 7.2 x protein yield (kg/day)

² 4 percent fat-corrected milk = 0.4 x milk yield (kg/day) + 15 x milk fat yield (kg/day)

Judy 등 (2016)은 유생산 젖소에서 20% 지방저감 DDGS 사료에 옥수수유 1.4% 첨가 또는 무첨가 그리고 0.93% 황산칼슘의 첨가가 메탄생성에 미치는 영향에 대한 연구를 실시하였다. 지방저감 DDGS의 급여는 DDGS 무첨가 대조구에 비해 건물 섭취량과 유생산을 증가시켰다. 20% 지방저감 DDGS 사료의 급여는 DDGS 무첨가 대조구에 비해 메탄생성에 영향이 없었다. 그러나 20% DDGS 사료에 황산칼슘 첨가 시 무첨가 대조구에 비해 총 메탄생산량이 감소하였으며, 지방저감 DDGS 사료에 옥수수유 첨가 시 메탄생산량이 감소하는 경향이 있었다. 유사하게 메탄생산량을 지방보정유유 생산량 단위 또는 건물 섭취량 단위당으로 표시했을 때 황산칼슘이나 옥수수유를 지방저감 DDGS 사료에 첨가하면 무첨가 대조구에 비해 메탄생산을 감소시켰다. 이 결과들은 지방저감 DDGS 사료에 황산칼슘이나 옥수수유의 첨가가 유생산에 영향을 주지 않으면서 메탄의 생성을 감소시키는 데 유효하다는 것을 보여준다.

황화수소 방출

유황함량이 높은 사료 (>0.4%)의 급여는 반추동물에게 유독할 수 있는데, DDGS의 유황함량은 변이는 있지만 일부 제품에서 상대적으로 함량이 높다. 또한, 사료의 유황은 반추위나 분변으로부터 황화수소의 방출에 일조한다. 이것이 생산시설에 고농도로 존재할 경우 가축이나 인간의 급사의 원인이 될 수 있다. Drewnoski 등 (2014)은 42% DDGS (사료에 0.4% 유황공급) 사료, 건물로 7%의 옥수수 농축 distillers soluble (CDS) (사료에 0.19% 유황공급) 사료 그리고 21% DDGS (0.19% 유황 공급) 사료에 추가적으로 총 유황의 0.17%를 공여하도록 황산, 황산나트륨 또는 황산칼슘을 보충하여 황화수소 발생에 미치는 영향을 비교하기 위한 시험을 실시하였다. 이 연구의 결과에서는 사료 처리 간에 반추위 내 황화수소의 농도와 독성의 차이가 없다는 것을 보여 준다. 후속 연구에서, Morine et al. (2014)은 거세우에게 bromegrass 건초에서 중성 세제 섬유의 섭취를 증가시키기 위해 조사료량을 증가시키고, 0.46%의 황을 제공하는 DDGS와 CDS 사료를 급여하여 반추위 수소황화 농도에 미치는 영향을 조사했다. 이 연구의 결과에서 사료 내 조사료 NDF의 증가는 반추위 pH를 유지하여 황화수소의 농도를 줄이는데 도움을 주었다. 이와 같은 배합비 작성기법을 사용하면, 고유황사료를 급여 시 유황중독 위험을 감소시키고 황화수소의 방출을 저감시키는 데 효과적일 것이다.

에너지 사용을 위한 바이오가스 생산

Aguirre-Villegas 등 (2015)은 영양적으로 균형 잡힌 비유 젖소 사료에 다양한 양의 DDGS, 대두박 그리고 조사료를 첨가하고, 젖소와 bioenergy 생산시스템 (분변의 혐기적 발효조)을 연계하여 농지이용, NE 사용강도 그리고 온실가스 방출에 미치는 영향을 평가하였다. 젖소와 분변의 혐기적 발효조의 연계에서는, 사료 내 DDGS의 사용을 최대화하는 것이 대조구에 비해 온실가스 방출과 NE 사용강도를 최대로 감소시켰으나, 농지이용은 증가하였다. 이 결과들이 시사하는 바에 의하면 젖소농장에서 혐기성 발효조를 이용하면 NE 사용강도를 65% 그리고 온실가스 발생량을 77% 감소시킨다. 따라서 DDGS 사료를 급여하면, 혐기적 발효조를 사용하는 젖소농장에서는 에너지 사용량과 온실가스 방출량을 감소시

키는 상당히 긍정적인 효과를 얻게 된다.

가금

가금 분에는 상당한 양의 질소가 함유되어 있어, 적절히 관리되지 않으면 급수원이 질산염이나 아질산염에 오염되고, 부영양화, 암모니아 휘발 그리고 아산화질소의 방출을 야기한다. 만약 사료에 단백질이 가금류의 요구량 이상으로 함유되어 있다면, 이것은 분에서 요산으로 배설되고 분의 미생물에 의해 암모니아로 전환된다 (Pineda 등, 2008).

질소와 인의 이용효율

육계 사료에 DDGS의 사용 수준이 증가 (20%까지)하면 건물과 질소 배설량에 영향이 없었으나 사료를 가소화아미노산과 가용인을 기준으로 배합하면 인의 배설량이 감소하였다. (Deniz 등, 2013). 유사하게 Abd El-Hack와 Mahgoub (2015)이 산란계 사료에 5% 또는 10% DDGS 사료를 급여했을 때 대조구에 비해 분 중 질소 배설량이 각각 8.4%와 4.3%가 감소되었고, 5, 10, 또는 15% DDGS 사료를 급여했을 때 인의 배설량이 각각 3.3, 7.2 그리고 10.6%가 감소되었다.

Martinez-Amezcuca 등 (2006)은 DDGS의 인 이용률을 향상시키기 위하여 육계 사료에 OptiPhos[®] phytase와 구연산을 첨가할 때 그 효과를 평가하기 위하여 세 개의 시험을 실시하였다. 한 개의 실험에서는 경사비(slope-ratio) 병아리성장과 경골회분 검정을 실시하여 DDGS 인의 생체이용률을 측정한 결과 67%이었다. 다른 실험에서는, phytase와 구연산의 첨가가 DDGS로부터 0.04~0.07% 더 많은 인을 방출하였는데 이는 OptiPhos[®] phytase와 구연산 첨가 시 두 경우 다 가금류에서 DDGS 인의 이용률을 증가시킬 수 있다는 것을 시사한다. 그러므로 phytase와 구연산 첨가는 DDGS 인의 생체이용률을 62~72% 증가시키고, 가금 분으로의 인 배설량을 감소시킨다. 더욱이 Masa'deh (2011)는 사료 내 DDGS의 함량이 증가하면 인의 배설량이 직선적으로 감소하였다고 보고하였다.

암모니아와 황화수소 방출

산란계에게 20% DDGS 사료를 급여하면 옥수수-대두박 사료 급여에 비해 산란생산성과 난질에 영향 없이 암모니아를 24% 그리고 황화수소를 58% 감소시켰다 (Wu- Haan 등, 2010). 이 실험에서 관찰된 암모니아 발생 감소는 Roberts 등 (2007)과 Li 등 (2012)이 보고한 결과와 유사하다. 이러한 결과는 Li 등 (2014)이 수행한 연이은 시험에서 확인되었는데, DDGS 사료를 산란계에게 급여하면, 암모니아 발생량을 감소시키고 메탄 발생량을 증가시키지만 다른 가스 발생에는 영향이 없었다 (Li 등, 2014). Wu- Haan 등 (2010)에 의해 보고된 황화수소 배출 감소는 분변의 황화물 농도는 더 높았지만, 분변의 고형화는 보고되지 않았다. DDGS의 불소화 섬유소는 닭의 위장관 하부에서 발효되어 단쇄지방산을 생성하

고 이것이 분의 pH를 감소시킨다. pH가 낮은 분변은 암모늄염의 생산을 감소시키는데 이는 비휘발성 질소이기 때문에 공기의 질에 덜 유해한 영향을 미친다 (Babcock 등, 2008; Bregendahl 등, 2008). 그러므로 DDGS 급여는 암모니아 방출을 감소시킬 뿐 아니라 분 중 질소함량이 높기 때문에 농지에 살포할 경우 비료가치를 높인다. 16% DDGS 사료를 급여하는 800,000수 산란계 농장에서 생산되는 계분의 비료가치는 DDGS 무첨가 사료에 비해 질소 기준으로 연간 5천 불이 증가하고 4년간 인 기준으로 4만 7천 불이 증가하였다 (Regassa 등, 2008). 이 연구 결과들에 의하면 산란계와 육계에 DDGS 사료를 급여하면 분을 통한 질소와 인의 배설을 감소시키는 데 큰 영향을 미치며, 암모니아와 황화수소 방출을 감소시킨다.

돼지

DDGS를 함유한 돼지사료는 전통적인 옥수수-대두박 사료에 비해 조섬유, 조단백질 그리고 황의 함량이 높아 (Kerr 등, 2008; Zhang, 2010), 영양소 소화율과 배설량에 영향을 준다 (Kerr 등, 2003; Degen 등, 2007; Kil 등, 2010; Anderson 등, 2012). DDGS는 조섬유 함량이 비교적 높기 때문에, DDGS 급여 시 DDGS가 없는 옥수수-대두박 사료를 급여할 때와 비교하여 건물의 배설량이 증가하였다 (Almeida와 Stein, 2012). 분의 배설량이 증가하면, 필요한 분의 저장시설이 더 커야 하고 양돈시설로부터 분제거를 더 자주 해야 한다.

질소와 인 이용효율

McDonnell 등 (2011) 은 밀과 보리 기초사료에서 밀을 대체하여 0, 10, 20, 또는 30% 옥수수 DDGS를 첨가하였다. 사료는 NE와 회장 가소화아미노산, 가소화인을 기준으로 배합하였으며 육성-비육돈에서 질소와 인의 균형에 미치는 영향을 평가하였다. 예상한 바와 같이, 사료 내 DDGS 수준이 증가함에 따라 질소섭취량과 요와 총질소 배설량은 직선적으로 증가하였다 (표 3). 이는 돼지요구량에 비해 DDGS 질소의 과잉 섭취에 따른 것으로, 과잉 섭취된 아미노산은 탈아미노 반응이 증가하고 오줌을 통한 배설이 증가한다. 10%와 20% DDGS 사료 급여구에서는 질소축적이 영향을 받지 않았으나, 30% DDGS 사료 급여구에서는 질소섭취량에 비해 질소축적이 감소하였다. 돼지에게 DDGS 사료를 급여할 때 흔히 발견되는 질소 배설량 증가는 합성아미노산을 사용하여 사료의 과잉 단백질 (N) 양을 감소시키면 최소화할 수 있다. 한편 사료 내 DDGS의 수준이 증가하면 인의 섭취량이 직선적으로 증가하는데, 인의 배설이나 축적에는 영향이 없었다. 이러한 결과는 DDGS를 30%까지 함유한 사료를 급여 시 질소배설량은 증가하였으나, 사료를 가소화 아미노산과 인 기준으로 배합하였을 때는 육성-비육돈에서 인 배설량에 영향이 없었다.

Baker 등 (2013)은 육성-비육돈에서 제2 인산칼슘과 DDGS에서 인의 균형과 소화율을 비교하였다. 그 결과 DDGS 인의 표준총장관 소화율은 제2 인산칼슘보다 낮았지만 (각각 63.1%와 93.1%) 비교적 높은 편이며, 인의 분 배설량은 제2 인산칼슘보다 DDGS구에서 많았다 (표 4). 하지만 제2 인산칼슘은 가격이 비싸고 무기 인의 세계적 자원이 급격히 줄어들고 있어 양돈 사료에서 DDGS는 인의 지속적인 공급 원으로 매우 우수하다.

표 3. 밀과 보리 기초사료에 옥수수 DDGS 첨가 수준 증가가 육성-비육돈의 질소와 인 균형에 미치는 영향 (McDonnell 등, 2011)

측정항목	0% DDGS	10% DDGS	20% DDGS	30% DDGS
질소, g/day				
섭취 ¹	52.7	57.2	57.9	62.8
분 배설	7.3	6.2	7.4	8.0
요 배설 ¹	15.0	18.0	17.2	20.8
총 배설 ¹	22.3	24.2	24.6	28.7
축적	30.5	33.0	33.3	34.1
축적/섭취 ²	0.58	0.58	0.58	0.54
인, g/day				
섭취	9.7	9.6	9.1	8.9
분 배설	3.7	3.7	3.3	3.3
요 배설	0.69	0.56	0.62	0.94
총 배설	4.4	4.3	3.1	4.2
축적	5.3	5.3	5.0	4.7

¹ Linear increase to increasing dietary DDGS levels (P less than 0.01)

² Quadratic response to increasing dietary DDGS levels (P less than 0.05)

표 4. 제2 인산칼슘과 DDGS의 인 섭취, 배설 그리고 소화율의 비교 (Baker 등, 2013)

측정항목	제2 인산칼슘	DDGS
사료섭취, g/day	1,023	925
인 섭취, g/day	2.5	3.8
분 인 배설, g/day	0.3	1.6
인의 외관상총장관 소화율, %	86.1	58.5
인의 표준총장관 소화율, %	93.1	63.1

사료에 미생물 phytase를 첨가하는 것이 일반화되었는데, 이는 인의 소화율을 증가시키고, 인의 분 배 설량을 감소시키며, 사료에 무기태인의 사용량을 감소시켜 사료비를 절감한다. Almeida와 Stein (2012)은 옥수수 또는 50% DDGS 사료에 미생물 phytase의 첨가 수준을 점증 (0, 500, 1,000 또는 1,599 phytase units)시켰을 때 인의 표준총장관 소화율이 직선적으로 증가하였고 (각각 40.9, 67.5, 64.5 그리고 74.9%), DDGS의 인 소화율은 증가하는 경향 (각각 76.9, 82.9, 82.5 그리고 83.0%)이 있었다. DDGS 사료에서 phytase의 첨가는 인 소화율 향상에 있어서 옥수수에서의 반응보다 훨씬 작기 때문에 DDGS 양돈 사료에 높은 수준의 phytase를 첨가하는 비용의 지불은 당위성이 부족한 것으로 보인다.

Rojas 등 (2013)은 옥수수, DDGS 그리고 옥수수 글루텐밀에 600 FTU/kg 사료의 phytase 첨가 또는 무첨가로 육성돈에게 급여하였을 때 인의 균형과 소화율을 비교하였다. 총인 배설량은 phytase 첨가 없는 옥수수 사료를 급여 시 인 배설량이 가장 많았으나 phytase를 첨가하면 50% 감소하였다 (표 5). Phytase 첨가없이 DDGS를 급여하면 phytase 무첨가 옥수수에 비해 질소 배설량이 40% 감소되었으며, phytase 무첨가 옥수수 글루텐밀은 phytase 무첨가 옥수수에 비해 인의 배설량이 60% 감소하였다. 옥수수 사료에 phytase를 첨가하면 인의 배설량 감소에 가장 큰 효과가 있었으며, DDGS 사료에서는 효과가 거의 없었고, 옥수수 글루텐밀 사료에서는 약간의 효과가 있었다. 결과적으로 옥수수와 옥수수 글루텐밀 사료에 phytase의 첨가는 옥수수와 옥수수 글루텐밀의 표준총장관 소화율을 향상시키지만, DDGS에서는 영향이 없었다. DDGS 사료에서 phytase의 첨가에 대한 반응이 부족한 것은 건식에 탄올공장의 발효과정 중에 phytate의 분해가 일어나 인의 소화율이 이미 높아진 때문이다. 그러므로 돼지에서 DDGS 사료를 가소화 인 기준으로 배합할 때는 옥수수 기본 사료와 비교했을 때 분 중 인의 배 설량을 대폭 감소시킬 수 있다.

표 5. 미생물 phytase의 첨가 (600 phytase units/kg)가 분 중 인의 농도, 배설 그리고 옥수수, DDGS, 그리고 옥수수 글루텐밀의 소화율에 미치는 영향 (Rojas 등, 2013)

측정항목	옥수수		DDGS		옥수수 글루텐밀	
	- Phytase	+ Phytase	- Phytase	+ Phytase	- Phytase	+ Phytase
사료 섭취량, g 건물/day	481	456	463	471	475	482
P 섭취량, g/day	1.6 ^b	1.1 ^c	2.2 ^a	2.2 ^a	1.0 ^c	1.0 ^c
분 중 P, %	2.0 ^b	1.1 ^d	0.9 ^{de}	0.7 ^e	2.4 ^a	1.4 ^c
P 배설, g/day	1.0 ^a	0.5 ^c	0.6 ^{bc}	0.5 ^c	0.4 ^c	0.2 ^d
인의 외관상총장관 소화율, %	36.4 ^d	56.1 ^c	72.2 ^{ab}	78.5 ^a	70.6 ^{ab}	77.6 ^a
인의 표준총장관 소화율, %	42.5 ^d	64.1 ^c	76.5 ^b	82.8 ^{ab}	75.2 ^b	87.4 ^a

a,b,c,d,e Means with different superscripts within row are different (P less than 0.05)

고섬유소 사료를 반추동물과 단위동물에게 급여하면 메탄생성이 증가한다 (Jarret 등, 2011; Klevenhusen 등, 2011). 더욱이 DDGS 함유 사료를 급여하면 유헴합량을 증가시켜 황화수소와 다른 환원성 물질들을 증가시키고 돼지 분의 냄새를 증가시킨다 (Blanes-Vidal 등, 2009; Feilberg 등, 2010; Trabue 등, 2011). 더욱이 DDGS는 단백질:lysine 비율이 비교적 높아 사료 내 단백질과 질소의 함량이 증가하게 되고 이는 결과적으로 질소 배설량과 잠재적인 암모니아 생산을 증가시키게 된다. 암모니아와 황화수소는 돈 분의 저장 동안 생성되는 두 가지 주된 가스이다.

암모니아, 황화수소, 메탄 그리고 냄새 방출

돼지에게 DDGS의 급여가 돈 분으로부터 가스와 냄새 방출에 미치는 영향을 평가하기 위하여 몇 개의 시험이 실시되었다. Powers 등 (2009)은 0 또는 20%의 DDGS를 함유한 사료에 무기태 또는 유기태 미량광물질을 첨가한 육성-비육돈 사료를 급여 시 암모니아, 황화수소, 메탄 그리고 비메탄 탄화수소의 공기 중 방출량을 측정하였다. 유기 미량광물질 첨가는 20% DDGS 사료의 급여에 따른 황화수소의 방출량 증가를 감소시켰지만, DDGS 사료의 급여는 암모니아, 메탄 그리고 비메탄 탄화수소의 방출량을 증가시켰다. 이것은 DDGS 사료를 돼지에게 급여 시 암모니아와 탄화수소의 방출을 증가시키는 결과를 보인 유일한 시험이다. Spiehs 등 (2012)이 육성돈에게 10주 동안 20% DDGS 사료를 급여 시 옥수수-대두박 사료와 비교하여 총환원 황, 암모니아 그리고 냄새의 농도에 차이가 없었다.

Trabue 등 (2016)은 육성돈에게 35% DDGS 사료를 42일간 급여했을 때 옥수수-대두박 사료 급여와 비교하여 분의 탄소, 질소 그리고 유헴의 함량증가와 더불어 분 pH가 감소하고, 분의 crust coverage 면적과 건물 함량이 증가하였다 (표 6). 온난한 기후에서는 분의 surface crusting (분뇨 저장 시 표면이 굳는 현상)이나 기포의 발생이 더 많았는데 (van Weelden 등, 2015), 이는 고섬유질 사료의 급여 (Misselbrook 등, 2005; Lynch 등, 2007; Wood 등, 2012)와 낮은 pH (Kerr 등, 2006)와 관련이 있다. 그 결과 DDGS 사료의 급여는 분의 crusting (Wood et al. 2012)과 온도의 증가 (Blunden과 Aneja, 2008; Blunden 등, 2008; Rumsey와 Aneja, 2014) 그리고 pH 감소와 연관이 있으며 가스방출을 감소시킬 수 있다. 실제로 DDGS를 급여한 돼지의 분에서 옥수수-대두박 사료 급여구에서보다 암모니아와 황화수소의 방출량이 적었으나, 휘발성 지방산과 phenolic compounds의 농도는 더 높았다 (표 6). DDGS 사료를 급여한 구에서 돈 분의 crusting이 증가함으로써 대기로의 방출을 막는 커버로 작용하여 황화수소의 방출량을 감소시키는 것으로 보인다.

돈 분으로부터 방출되는 여러 가지 냄새와 관련된 물질에 대한 연구 결과 (Trabue 등, 2016)를 표 7에서 보여준다. 이 자료들은 돼지체중 (동물단위)과 영양소 섭취량에 대해 표준화 하였다. 옥수수-대두박 사료를 급여한 돼지는 암모니아 발생량 (질소 섭취량의 53%)과 황화수소 방출량 (유헴 섭취량의 9%)이 35% DDGS 사료를 급여한 돼지 (질소섭취량의 30%와 유헴섭취량의 2%)보다 더 컸다. 이 결과들은 다

표 6. 옥수수-대두박 사료와 35% DDGS 사료를 급여한 돼지의 분 특성과 냄새 물질의 공기 중 농도 (Trabue 등, 2016)

측정항목	옥수수-대두박 사료	35% DDGS 사료
분의 특성		
온도, °C	14.1 ^b	14.5 ^a
건물, %	3.4 ^b	6.2 ^a
Crusting, %	16.7 ^b	87.5 ^a
pH	8.42 ^a	7.61 ^b
총암모니아 질소, $\mu\text{mol/g}$	480 ^b	628 ^a
총황화물 유황, $\mu\text{mol/g}$	0.41 ^b	0.79 ^a
공기 중 냄새 물질 농도, $\mu\text{g/m}^3$		
암모니아	12,627 ^a	8,651 ^b
황화수소	189 ^a	129 ^b
Acetic acid	0.29 ^b	21.3 ^a
Propanoic acid	0.50 ^b	20.0 ^a
2-methyl propanoic acid	0.49 ^b	17.9 ^a
Butanoic acid	0.67 ^b	32.1 ^a
3-methyl butanoic acid	0.36 ^b	17.7 ^a
휘발성지방산 합계 ($\text{C}_5 - \text{C}_7$)	0.23	8.1
Phenol	33.3 ^b	54.6 ^a
4-methylphenol	12.4 ^b	24.1 ^a
4-ethylphenol	7.7 ^b	2.6 ^a
Indole	0.48	0.78
3-methylindole	1.06	0.57

^{a,b} Means with different superscripts within row are different (P less than 0.05)

른 연구 결과들과 비슷하여 DDGS 사료를 급여하면 돼지 (Li 등, 2011)와 가금 (Roberts 등, 2007; Wu-Haan 등, 2010; Li 등, 2012)에서 암모니아 방출이 감소하는데 이는 분의 pH 감소 (Roberts 등, 2007)와 분에 들어있는 탄소가 많아 (Kerr et al, 2006; Ziemer 등, 2009) 미생물 활동이 더 활발한 때문인 것으로 보인다. 그러나 35% DDGS 사료를 급여로 생산된 돈 분은 옥수수-대두박 사료 급여 시보다 휘발성 지방산과 페놀 화합물의 방출량이 더 컸지만 indole 방출량에는 차이가 없었다 (표 7). 이 차이들은 암모니아와 황화수소의 방출량과 비교하면 비교적 적었는데 총 휘발성 유기물질의 방출량은 양 사료의 총 탄소 섭취량의 1% 미만이다. 두 가지 사료를 급여한 돼지의 분으로부터 방출되는 냄새의 차이는 인

간 panalists에 의한 검사에서는 차이가 없었지만 개별 방향 물질들에 대한 화학검사에서는 옥수수-대두박 사료 급여구의 돈 분이 DDGS 사료 급여구의 돈 분보다 황화수소와 암모니아의 방출량이 높고, 휘발성 지방산과 페놀 방출량이 적었다. 돈 분 냄새 물질의 주성분 (60%)은 암모니아와 황화수소이다. 이 자료에 의하면 DDGS 사료를 급여 시 질소와 유황의 배설을 조절하는 것은 암모니아와 황화수소의 방출을 변경시키지 않는데, 이는 DDGS 사료의 유황함량이 옥수수-대두박 사료에 비해 두 배나 높기 때문이다 (Trabue와 Kerr, 2016), DDGS 사료를 급여한 돼지의 분에서 발생하는 황화수소는 옥수수-대두박 사료를 급여한 돼지에서보다 30% 적었다.

표 7. 옥수수-대두박 사료와 35% DDGS 사료 급여 돼지에서 생산되는 저장 분으로부터 발생하는 냄새 물질들 (Trabue 등, 2016)

가스방출 요인	옥수수-대두박 사료	35% DDGS 사료
암모니아, kg NH ₃ /day/animal unit	185.9 ^a	112.4 ^b
암모니아, g N/kg 섭취 N	528.7 ^a	289.3 ^b
황화수소, kg H ₂ S/day/animal unit	1.80 ^a	0.87 ^b
황화수소, g S/kg 섭취 S	90.6 ^a	22.7 ^b
총휘발성 지방산, mg VFA/day/animal unit	14.0 ^b	1,752 ^a
총 phenols, mg phenols/day/animal unit	554 ^b	960 ^a
총 indoles, mg indoles/day/animal unit	21.9	19.1
총휘발성 유기물질, g C/kg 섭취 C	0.31 ^b	0.74 ^a
인간 냄새 panel ²	772	700
황화수소 ³	576 ^a	287 ^b
암모니아 ³	40.1 ^a	27.6 ^b
총휘발성 지방산 ³	4.7 ^b	484 ^a
총 phenols ³	212 ^b	485 ^a
총 indoles ³	114	58
총냄새 활동 지수 ³	862	948

¹ Animal unit = 500 kg body weight

² Values based on dilution thresholds and chemical analysis reported in odor activity values

³ Values measured by human panels and chemical analysis normalized for live animal weight of 500 kg

^a ^b Means with different superscripts within row are different (P less than 0.05)

이산화탄소, 메탄 그리고 아산화질소는 축산과 관련하여 주된 온실가스이다. 같은 연구 (Trabue 등, 2016)에서, 탄소, 질소 그리고 유황가스의 방출량이 측정되었다 (Trabue와 Kerr, 2016). 이 연구의 결과에서는 이산화탄소, 메탄 그리고 아산화질소의 방출량은 동물단위와 섭취량을 기준으로 표시했을 때 두 사료 간에 차이가 없었다 (표 8). 그러나 앞에서도 설명했지만, DDGS 사료 급여 시 암모니아와 황화수소의 방출량은 감소하였다. 이 결과들은 옥수수-대두박 사료를 급여한 구보다 DDGS를 급여한 구의 저장 돈 분으로부터 발생하는 온실가스의 발생량이 더 크지 않다는 것을 보여준다.

표 8. 옥수수-대두박 사료와 35% DDGS 사료를 급여한 돼지의 저장 돈 분의 주요 탄소, 질소, 그리고 유황가스의 방출 (Trabue와 Kerr, 2016)

가스방출 요인	옥수수-대두박 사료	35% DDGS 사료
이산화탄소, kg CO ₂ /day/animal unit ¹	3.89	3.71
이산화탄소, g C/kg 섭취 C	285.6	252.5
메탄, kg CH ₄ /day/animal unit	18.5	21.9
메탄, g C/kg 섭취 C	5.2	5.6
암모니아, kg NH ₃ /day/animal unit	185.9 ^a	112.4 ^b
암모니아, g N/kg 섭취 N	528.7 ^a	289.3 ^b
아산화질소, kg N ₂ O/day/animal unit	7.9	7.5
아산화질소, g N/kg 섭취 N	20.7	19.0
황화수소, kg H ₂ S/day/animal unit	1.80 ^a	0.87 ^b
Hydrogen sulfide, g S/kg S consumed	90.6 ^a	22.7 ^b

¹ Animal unit = 500 kg body weight

^{a,b} Means with different superscripts within row are different (P less than 0.05)

분변 기포

2009년에, 미국의 양돈산업에서 분뇨의 거품 (기포) 발생 문제가 널리 알려지게 되었는데, 이는 혐기발효조의 분뇨 저장용량을 감소시키고, biogas의 생성을 증가시켜, 사람과 동물의 안전에 대한 관심을 끌게 되었다. 비록 DDGS 사료의 급여가 이런 현상의 일부 요인일 가능성이 있다고 하였으나 몇몇 연구에 의하면 (Luo 등, 2015; van Weelden 등, 2016), DDGS 사료 급여가 분뇨의 거품발생을 증가시킨다는 직접적인 증거는 발견되지 않았다. 이 연구 결과들에 의하면 분뇨의 거품발생특성은 사료의 입자도가 크고 섬유소함량이 높을 때 증가하는데, 이는 영양소의 소화율을 감소시키고 건물 배설량을 증가시킨다. 더욱이 Van Weelden 등 (2016)은 거칠게 분쇄된 옥수수-대두박 사료를 급여한 돼지의 분뇨는 메탄 생성량이 가장 낮았고, 옥수수-대두박-대두피 사료를 급여한 돼지의 분뇨는 메탄생산량이 가장 높았으며, 35% DDGS 사료를 급여한 돼지의 분뇨는 중간의 메탄 생성율을 보였다. 그러나 생화학적 메탄생

산 가능성은 35% DDGS 사료 급여가 옥수수-대두박 사료 또는 옥수수-대두박-대두피 사료에 비해 높았다. 이러한 사실은 양돈농가에서 분뇨로부터 에너지를 얻기 위한 바이오가스 생산시스템을 설치하면, DDGS 사료를 급여하여 얻는 분뇨가 메탄가스를 발생시킬 탄소를 더 많이 생산한다는 것을 시사한다.

전주기평가

양돈산업에서 사용하는 여러 가지 원료들이 환경에 미치는 영향에 대해 전주기평가를 실시하는데 대하여 관심이 증가하고 있다. Lammers 등 (2010)은 부분 전주기평가를 실시하였는데, 여기서는 DDGS를 포함한 Iowa 양돈 사료 배합비에 사용되는 사료원료들의 생산과 가공에 대하여 평가하고, 비태양에너지 사용과 지구온난화 가능성에 초점을 맞추었다. 유감스럽게도 이 연구에서 사료의 경제성 분석이 고려되지 않았기 때문에 결과에 오류가 생겼다. Thoma 등 (2011)의 다른 연구에 의하면 DDGS를 사용한 양돈의 전체 탄소발자국은 6% 증가하였는데, 이는 옥수수 알곡이나 대두박에 비해 에탄올과 부산물 생산과정에서 추가적인 에너지가 소비되기 때문이다.

캐나다 양돈 시스템에서 식품의 부산물과 바이오연료 공급체인이 환경에 미치는 영향에 대한 전주기평가를 실시하였다 (Mackenzie 등, 2016). 표 9에서 보여주는 바와 같이 옥수수 DDGS를 사료에 최대수준으로 사용하여 급여할 때 옥수수-대두박 대조구 사료와 비교하여 사료 kg 당 비재생 자원 사용을 71% 증가시키고, 비재생 에너지 사용을 68% 증가시켰으며, 지구온난화 가능성을 30% 증가시켰다. 그러나 옥수수 DDGS 사료는 옥수수-대두박 대조구 사료와 다른 모든 부산물 함유 사료들과 비교했을 때 산성화 가능성을 20% 감소시키고, 부영양화 가능성을 22% 감소시켰다. 환경에 미치는 영향을 도체중 kg 기준으로 표시했을 때, 그 영향은 덜 뚜렷하지만 사료 kg 당 기준으로 표시했을 때와 같은 방향으로 나타났다.

표 9. 캐나다 육성-비육돈 사료에 부산물 원료들을 최대로 사용했을 때 옥수수-대두박 대조구와 비교한 사료 kg 당 환경에 미치는 평균 영향 (Mackenzie 등, 2016)

환경요인	대조구	육분 ¹	제과부산물 ¹	옥수수 DDGS ³	말분 ⁴
재생불능 자원사용, g Sb eq.	1.90	1.81	1.82	3.25	1.57
산성화 가능성, g SO ₂ eq.	5.71	5.30	5.32	4.46	5.03
부영양화 가능성, g PO ₄ eq.	1.22	1.14	1.16	0.98	1.08
지구온난화 가능성, kg CO ₂ eq.	0.40	0.38	0.38	0.52	0.33
재생불가 에너지 사용, MJ	4.49	4.27	4.27	7.32	3.70

¹ Grower, finisher, and late finisher diets contained 5.0, 7.5, and 7.5 percent meat meal, respectively

² Grower, finisher, and late finisher diets contained 7.5, 10.0, and 10.0 percent bakery meal, respectively

³ Grower, finisher, and late finisher diets contained 30.0, 30.0, and 20.0 percent corn DDGS, respectively

⁴ Grower, finisher, and late finisher diets contained 30.0, 40.0, and 20.0 percent wheat shorts, respectively

결론

모든 식량생산 동물의 사료에 DDGS를 사용하면 환경보존을 향상시키는데 이바지할 수 있다. 이를 위하여, 동물 분뇨에 과잉 질소와 인의 배설을 최소화하는데 필요한 정밀 동물사료를 배합할 때, NE와 가소화 영양소를 사용해야한다. 비록 DDGS는 단백질 함량이 비교적 높고, lysine과 일부 아미노산들이 동물의 요구량 (돼지, 가금과 어류)에 비해 낮지만, 합성아미노산이 널리 공급되고 있고 가격경쟁력도 있어 가축영양 전문가들은 사료배합 시 모든 필수아미노산의 요구량을 충족시키면서 조단백질 함량을 감소시킬 수 있으므로 분뇨의 질소 배설량을 감소시킬 수 있다. 방목하는 반추 가축에게 DDGS를 급여하면 성장과 비유능력을 향상시키고, 이들이 배설하는 분뇨는 효과적이고 경제적인 방법으로 질소를 공급할 수 있어 목초지 풀의 성장과 수확량 향상에 도움이 된다. 옥수수 DDGS가 다른 곡류나 곡류 유래 원료들과 비교하여 독특한 장점중의 하나는 비교적 높은 총 가소화 인의 함량이다. 돼지사료와 가금 사료를 배합할 때 가소화인을 기준으로 하고 phytase를 사용하면, 분 중 인의 배설을 유의하게 감소시킬 수 있다. 여러 개의 시험에서 DDGS 사료를 급여하면 반추 가축에서 메탄가스 방출을 그리고 돼지와 가금의 분으로부터 암모니아와 황화수소의 방출을 감소시킨다. 초기의 연구는 DDGS와 다른 가공품 생산 원료들이나 부산물 원료들을 비교할 때 동물 사료가 환경에 미치는 영향을 최소화하는데 추가적인 이점이 있음을 시사한다.

참고문헌

- Abd El-Hack, M.E., and S. Mahgoub. 2015. Mitigating harmful emissions from laying hens manure and enhancing productive performance through feeding DDGS with or without *Bacillus* spp. Proceedings of the International Conference on Industrial Waste and Wastewater Treatment and Valorization, May 21-23, 2015, President Hotel, Athens, Greece.
- Aguirre-Villegas, H.A., T.H. Passos-Fonseca, D.J. Reinemann, L.E. Armentano, M.A. Wattiaux, V.E. Cabrera, J.M. Norman, and R. Larson. 2015. Green cheese: Partial life cycle assessment of greenhouse gas emissions and energy intensity of integrated dairy production and bioenergy systems. *J. Dairy Sci.* 98:1571-1592.
- Almeida, F.N., and H.H. Stein. 2012. Effects of graded levels of microbial phytase on the standardized total tract digestibility of phosphorus in corn and corn coproducts fed to pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1262-1269.
- Anderson, P.V., B.J. Kerr, T.E. Weber, C.J. Ziemer, and G.C. Shurson. 2012. Determination and prediction of energy from chemical analysis of corn co-products fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1242-1254.
- Babcock, B.A., D.J. Hayes, and J.D. Lawrence. 2008. Using Distillers Grains in the U.S. and International Livestock and Poultry Industries. Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center, Ames, IA. http://www.card.iastate.edu/books/distillers_grains/.
- Baker, S.R., B.G. Kim, and H.H. Stein. 2013. Comparison of values for standardized total tract digestibility and relative bioavailability of phosphorus in dicalcium phosphate and distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:203-210.
- Ball, P.R., and J.C. Ryden. 1984. Nitrogen relationships in intensively managed temperate grasslands. *Plant Soil* 76:23-33.
- Beauchemin, K.A., H.H. Janzen, S.M. Little, T.A. McAllister, and S.M. McGinn. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada - Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-167:663-677.
- Benchaar, C., F. Hassanat, R. Gervais, P.Y. Chouinard, C. Julien, H.V. Petit, and D.I. Masse. 2013. Effects of increasing amounts of corn dried distillers grains with solubles in dairy

cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96:2413-2427.

Bernier, J.N., M. Undi, K.H. Ominski, G. Donohoe, M. Tenuta, D. Flaten, J.C. Plaizier, and K.M. Wittenberg. 2014. Nitrogen and phosphorus utilization and excretion by beef cows fed a low quality forage diet supplemented with dried distillers grains with solubles under thermal neutral and prolonged cold conditions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 193:9-20.

Blanes-Vidal, V., M. Hasen, A. Adamsen, A. Feilberg, S. Petersen, and B. Jensen. 2009. Characterization of odor released during handling of swine slurry: Part I. Relationship between odorants and perceived odor concentration. *Atmos. Environ.* 43:2997-3005.

Blunden, J., and V. Aneja. 2008. Characterizing ammonia and hydrogen sulfide emissions from a swine waste treatment lagoon in North Carolina. *Atmos. Environ.* 42:3277-3290.

Blunden, J., V. Aneja, and P. Westerman. 2008. Measurement and analysis of ammonia and hydrogen sulfide emissions from a mechanically ventilated swine confinement building in North Carolina. *Atmos. Environ.* 42:3315-3331.

Bregendahl, K. S.A. Roberts, B. Kerr, and D. Hoehler. 2008. Ideal ratios of isoleucine, methionine, methionine plus cysteine, threonine, tryptophan and valine relative to lysine for white leghorn-type laying hens of twenty-eight to thirty-four weeks of age. *Poult. Sci.* 87:744-758.

Degen, L., V. Halas, and I. Babinsky. 2007. Effect of dietary fibre on protein and fat digestibility and its consequences on diet formulation for growing and fattening pigs: A review. *Acta Agric. Scand. Sect. A* 57:1-9.

Deniz, G., H. Gencoglu, S.S. Gezen, I.I. Turkmen, A. Orman, and C. Kara. 2013. Effects of feeding corn distiller's dried grains with solubles with and without enzyme cocktail supplementation to laying hens on performance, egg quality, selected manure parameters, and feed cost. *Livest. Sci.* 152:174-181.

Drehmel, O.R., S.C. Fernando, J.L. Gramkow, J.V. Judy, J.C. MacDonald, H.A. Paz Manzano, and P.J. Kononoff. 2016. Factors affecting methane production from ruminal fermentation of fiber isolated from dried distillers' grains and solubles. *J. Anim. Sci.* 94(E-Suppl. 5):697.

Drewnoski, M.E., C.J. Brasche, and S.L. Hansen. 2014. Effects of dietary sulfur source on rumen pH and hydrogen sulfide gas concentration. *Livest. Sci.* 165:66-69.

El-Sayed, A.-F.M., M.W. Dickson, and G.O. El-Naggar. 2015. Value chain analysis of the aquaculture feed sector in Egypt.

Aquaculture 437:92-101.

FAO. 2016. *FishStatJ*. Rome, Italy: FAO - Department of Fisheries and Aquaculture.

Feilberg, A., D. Liu, A. Adamsen, M. Hensen, and K. Jonassen. 2010. Odorant emissions from intensive pig production measured by online proton-transfer-reaction mass spectrometry. *Environ. Sci. Technol.* 44:5894-5900.

Greenquist, M.A., A.K. Schwarz, T.J. Klopfenstein, W.H. Schacht, G.E. Erickson, K.J. Vander Pol, M.K. Luebbe, K.R. Brink, and L.B. Baleseng. 2011. Effects of nitrogen fertilization and dried distillers grains supplementation: Nitrogen use efficiency. *J. Anim. Sci.* 89:1146-1152.

Hao, X., M.B. Benke, C. Li, F.J. Larney, K.A. Beauchemin, and T.A. McAllister. 2011. Nitrogen transformation and greenhouse gas emissions during composting of manure from cattle fed diets containing corn dried distillers grains with solubles and condensed tannins. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-167:539-549.

Henriksson, P.-J. G., C.V. Mohan, and M.J. Phillips. 2017a. Evaluation of different aquaculture feed ingredients in Indonesia using life cycle assessment. *IJOLCAS* 1:13-21.

Henriksson, P.-J.G., M. Dickson, A.N. Allah, D. Al-Kenawy, and M. Phillips. 2017b. Benchmarking the environmental performance of best management practice and genetic improvements in Egyptian aquaculture using life cycle assessment. *Aquaculture* 468:53-59.

Hristov, A.N., J. Oh, J.L. Firkins, J. Dijkstra, E. Kebreab, G. Waghorn, H.P.S. Makkar, A.T. Adesogan, W. Yang, C. Lee, P.J. Gerber, B. Henderson, and J.M. Tricarico. 2014. SPECIAL TOPICS - Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J. Anim. Sci.* 91:5045-5069.

Hunerberg, M., S.M. McGinn, K.A. Beauchemin, E.K. Okine, O.M. Harstad, and T.A. McAllister. 2013. Effect of dried distillers' grains with solubles on enteric methane emissions and nitrogen excretion from finishing beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 93:373-385.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm.

Jarret, G., J. Martinez, and J.Y. Dourmad. 2011. Pig feeding strategy coupled with effluent management-fresh or stored slurry, solid phase separation-on methane potential and methane conversion factors during storage. *Atmos. Environ.* 45:6204-6209.

Judy, J.V., T.M. Brown-Brandl, S.C. Fernando, and P.J.

- Kononoff. 2016. Manipulation of lactating dairy cows diets using reduced-fat distillers' grain, corn oil, and calcium sulfate to reduce methane production measured by indirect calorimetry. *J. Dairy Sci.* 99 (E-Suppl. 1): 706 (Abstr.)
- Kaufmann, T. 2015. Sustainable livestock production: Low emission farm - The innovative combination of nutrient, emission and waste management with special emphasis on Chinese pig production. *Anim. Nutr.* 1:104-112.
- Kebreab, E., A. Liedke, D. Caro, S. Deimling, M. Binder, and M. Finkbeiner. 2016. Environmental impact of using specialty feed ingredients in swine and poultry production: A life cycle assessment. *J. Anim. Sci.* 94:2664-2681.
- Kerr, B.J., C.J. Ziemer, T.E. Weber, S.L. Trabue, B.L. Bearson, G.C. Shurson, and M.H. Whitney. 2008. Total sulfur composition of common livestock feedstuffs using thermal combustion or inductively coupled plasma methodology. *J. Anim. Sci.* 86:2377-2384.
- Kerr, B.J., C.J. Ziemer, S.L. Trabue, J.D. Crouse, and T.B. Parkin. 2006. Manure composition as affected by dietary protein and cellulose concentration. *J. Anim. Sci.* 84:1584-1592.
- Kerr, B.J. 2003. Dietary manipulation to reduce environmental impact. In: R.O. Ball, ed., 9th International Symposium on Digestive Physiology in Pigs. Banff, AB, Canada. P. 139-158.
- Kil, D.Y., T.E. Sauber, D.B. Jones, and H.H. Stein. 2010. Effect of the form of dietary fat on the concentration of dietary neutral detergent fiber on ileal and total tract digestibility of fat by growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2959-2967.
- Klevenhusen, F., M. Kreuzer, and C. Soliva. 2011. Enteric and manure derived methane and nitrogen emissions as well as metabolic energy losses in cows fed balanced diets based on maize, barley, or grass hay. *Animal* 5:450-460.
- Lammers, P.J., M.D. Kenealy, J.B. Kliebenstein, J.D. Harmon, M.J. Helmers, and M.S. Honeyman. 2010. Nonsolar energy use and one-hundred-year global warming potential of low swine feedstuffs and feeding strategies. *J. Anim. Sci.* 88:1204-1212.
- Li, W., Q.F. Li, W. Powers, D. Karcher, R. Angel, and T.J. Applegate. 2014. Effects of distillers dried grains with solubles and mineral sources on gaseous emissions. *J. Appl. Poult. Res.* 23:41-50.
- Li, H., H. Xin, R. Burns, S. Roberts, S. Li, J. Kliebenstein, and K. Bregendahl. 2012. Reducing ammonia emissions from laying-hen houses through dietary manipulation. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 62:160-169.
- Li, W., W. Powers, and G. Hill. 2011. Feeding distillers dried grains with solubles and organic trace mineral sources to swine and resulting effect on gaseous emissions. *J. Anim. Sci.* 89:3286-3299.
- Lu, L., X. D. Liao, and X.D. Luo. 2017. Nutritional strategies for reducing nitrogen, phosphorus and trace mineral excretions to livestock and poultry. *J. Integrative Agric.* 16:60345-7.
- Luo, Z., P.E. Urriola, B. Hu, B.J. Kerr, and G.C. Shurson. 2015. Effect of diet composition and particle size on nutrient excretion of finishing pigs and the propensity to cause manure pit foaming. *J. Anim. Sci.* 93(Suppl. 2):165.
- Lynch, M.B., T. Sweeney, J.J. Callan, and J.V. O'Doherty. 2007. Effects on increasing the intake of dietary beta-glucans by exchanging wheat for barley on nutrient digestibility, nitrogen excretion, intestinal microflora, volatile fatty acid concentration and manure ammonia emissions in finishing pigs. *Animal* 1:812-819.
- Mackenzie, S.G., I. Leinonen, N. Ferguson, and I. Kyriazakis. 2016. Can the environmental impact of pig systems be reduced by utilizing co-products as feed? *J. Cleaner Prod.* 115:172-181.
- Martinez-Amezcu, C., C.M. Parsons, and D.H. Baker. 2006. Effect of microbial phytase and citric acid on phosphorus bioavailability, apparent metabolizable energy, and amino acid digestibility in distillers dried grains with solubles in chicks. *Poult. Sci.* 85:470-475.
- Masa'deh, M.K. 2011. Dried distillers grain with solubles in laying hen and pullet rations. Ph.D. thesis, Animal Science Department, University of Nebraska-Lincoln.
- Massé, D.I., G. Jarret, C. Benchaar, and N.M. Cata Saady. 2014. Effect of corn dried distillers grains with solubles (DDGS) in dairy cow diets on manure bioenergy production potential. *Animals* 4:82-92.
- McDonnell, P., C.J. O'Shea, J.J. Callan, and J.V. O'Doherty. 2011. The response of growth performance, nitrogen, and phosphorus excretion of growing-finishing pigs to diets containing incremental levels of maize dried distiller's grains with solubles. *Anim. Feed sci. technol.* 169:104-112.
- McGinn, S.M., Y.-H. Chung, K.A. Beauchemin, A.D. Iwaasa, and C. Grainger. 2009. Use of corn distillers dried grains to reduce enteric methane loss from beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 89:409-413.
- Misselbrook, T., S. Brookman, K. Smith, T. Cumby, A. Williams, and D. McCrory. 2005. Crusting of stored dairy slurry to abate ammonia emissions: Pilot-scale studies. *J. Environ. Qual.* 34:411-419.
- Morine, S.J., M.E. Drewnoski, and S.L. Hansen. 2014. Increasing dietary neutral detergent fiber concentration

decreases ruminal hydrogen sulfide concentrations in steers fed high-sulfur diets based on ethanol coproducts. *J. Anim. Sci.* 92:3035-3041.

Pineda, L., S. Roberts, B. Kerr, R. Kwakkel, M. Verstegen, and K. Bregendahl. 2008. Maximum dietary content of corn dried distillers grains with solubles in diets for laying hens: Effects on nitrogen balance, manure excretion, egg production, and egg quality. Iowa State University Animal Industry report 2008, A.S. Leaflet R2334. <http://www.ans.iastate.edu/report/air/>.

Regassa, T., R. Koelsch, S. Scheideler, and M. Masa'deh. 2008. Impact of feeding distillers grains on comprehensive nutrient management planning for poultry layer production systems. University of Nebraska - Lincoln Extension RP194, 6 pp.

Roberts, S., H. Xin, B. Kerr, J. Russell, and K. Bregendaahl. 2007. Effects of dietary fiber and reduced crude protein on ammonia emissions from laying hen manure. *Poult. Sci.* 86:1625-1632.

Rojas, O.J., Y. Liu, and H.H. Stein. 2013. Phosphorus digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in corn, corn coproducts, and bakery meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:5326-5335.

Rumsey, I., and V. Aneja. 2014. Measurement and modeling of hydrogen sulfide lagoon emissions from a swine concentrated animal feeding operation. *Environ. Sci. Technol.* 48:1609-1617.

Shurson, G.C. 2017. The role of biofuels coproducts in feeding the world sustainably. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 5:229-254.

Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, and O. Sirotenko. 2007. Agriculture. In: *Climate Change 2007: Mitigation*. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, and L.A. Meyer eds. Contribution III to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY.

Spiehs, M.J., M. H. Whitney, G.C. Shurson, R.E. Nicolai, J.A. Renteria-Flores, and D.B. Parker. 2012. Odor and gas emissions and nutrient excretion from pigs fed diets containing dried distillers grains with solubles. *Appl. Eng. Agric.* 28:431-437.

Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castle, M. Rosales, and C. de Haan. 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Rome: Food Agric. Organ.

Thoma, G., D. Nutter, R. Ulrich, C. Maxwell, J. Frank, and C. East. 2011. National life cycle carbon footprint study for production of U.S. swine. Final project report. National Pork

Board, Des Moines, IA. https://porkcdn.s3.amazonaws.com/sites/all/files/documents/NPB_percent20Scan_percent20Final_percent20-percent20May_percent202011.pdf

Trabue, S., B.J. Kerr, and K. Scoggin. 2016. Odor and odorous compound emissions from manure of swine fed standard and dried distillers grains with solubles supplemented diets. *J. Environ. Qual.* 45:915-923.

Trabue, S., and B. Kerr. 2016. Emissions of greenhouse gases, ammonia, and hydrogen sulfide from pigs fed standard diets and diets supplemented with dried distillers grains with solubles. *J. Environ. Qual.* 43:1176-1186.

Trabue, S.L., B. Kerr, C. Ziemer, and B. Bearson. 2011. Swine odor analyzed by both human panels and chemical techniques. *J. Environ. Qual.* 40:1510-1520.

van Weelden, M.B., D.S. Anderson, B.J. Kerr, S.L. Trabue, and L.M. Pepple. 2016. Impact of fiber source and feed particle size on swine manure properties related to spontaneous foam formation during anaerobic decomposition. *Bioresource Technol.* 202:84-92.

van Weelden, M., D.S. Anderson, S.L. Trabue, B.J. Kerr, K.A. Rosentrater, and L.M. Pepple. 2015. An evaluation of the physic-chemical and biological characteristics of foaming manure. *Trans. ASABE* 58:1299-1307.

Wood, J., R. Gordon, C. Wagner-Riddle, K. Dunfield, and A. Madani. 2012. Relationships between dairy slurry total solids, gas emissions and surface crust. *J. Environ. Qual.* 41:694-704.

Wu-Haan, W., W. Powers, R. Angel, and T.J. Applegate. 2010. The use of distillers dried grains plus solubles as a feed ingredient on air emissions and performance from laying hens. *Poult. Sci.* 89:1355-1359.

Zhang, Y. 2010. Sulfur concentration in distiller's dried grains with solubles (DDGS) and its impact on palatability and pig performance. National Pork Board. Report no. NPB-08-093, <http://old.pork.org/file library/ researchdocuments/08-093-zhang.siu.pdf>.

Zilberman, D. 2017. Indirect land use change: much ado about (almost) nothing. *GCB Bioenergy* 9:485-488.

Ziemer, C., B. Kerr, S. Trabue, H. Stein, D. Stahl, and S. Davidson. 2009. Dietary protein and cellulose effects on chemical and microbial characteristics of swine feces and stored manure. *J. Environ. Qual.* 38:2138-2146.

CHAPTER 21

DDGS의 가격과 물류에 영향을 주는 요소

서론

국제시장에서 DDGS가 경제적인 동물사료인가를 결정하는 데 가장 중요한 요소는 DDGS의 수입가격과 물류이다. 이 장에서는 미산 DDGS를 수입하는 데 있어서 현지 도착가격을 결정하는 데 영향을 주는 요소들, 장애요인 그리고 가격설정구조에 대하여 설명한다. 역사적으로 미국에서 DDGS의 주 사용자는 낙농산업과 육우산업이었다 (표 1). 그러나 2003~2004년 이후 DDGS를 양돈과 가금사료에 사용하는 이점에 대한 새로운 연구 결과들이 발표되면서 양돈산업에서 DDGS의 사용이 극적으로 상승하였고 이 보다는 적지만 가금산업에서도 사용하게 되었다. 오늘날 미국의 양돈과 가금산업은 국내 DDGS 소비량의 25%에 이르며 특히 경쟁 관계에 있는 옥수수과 대두박의 가격이 높고 공급이 순조롭지 않을 때는 이 증가추세가 계속될 것으로 보인다. 미국의 에탄올과 DDGS 생산은 2001년에서 2010년 사이에 급격히 상승했으나 그 이후는 비교적 정체된 상태다. 표 2에서 보는 바와 같이 미국의 에탄올 산업의 성장은 DDGS의 생산을 증가시키고 DDGS의 수출 비중도 변화시켰다. 미국의 가축과 가금산업에서 DDGS의 사용 가능성을 최대화하게 되면서, DDGS의 수출 비중은 증가할 것이다. 하지만 DDGS의 수출량 증가는 국제시장에서 경쟁원료들의 가격과 수송비에 의해 크게 영향을 받을 것이다.

그림 1. 2003년~2017년 사이 축종별 미국 DDGS 사용 추이 (Steve Markham, CHS Inc.)

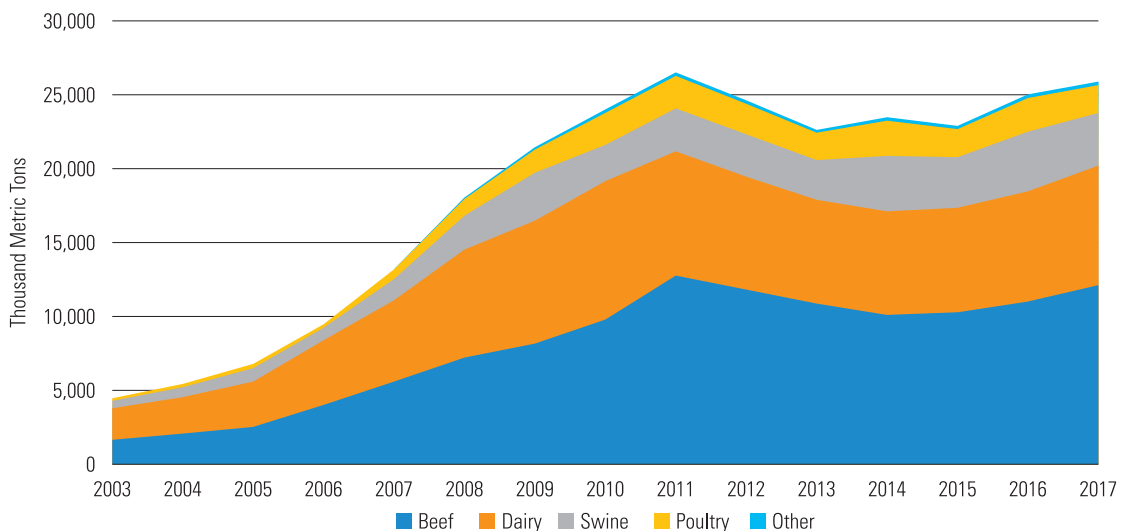
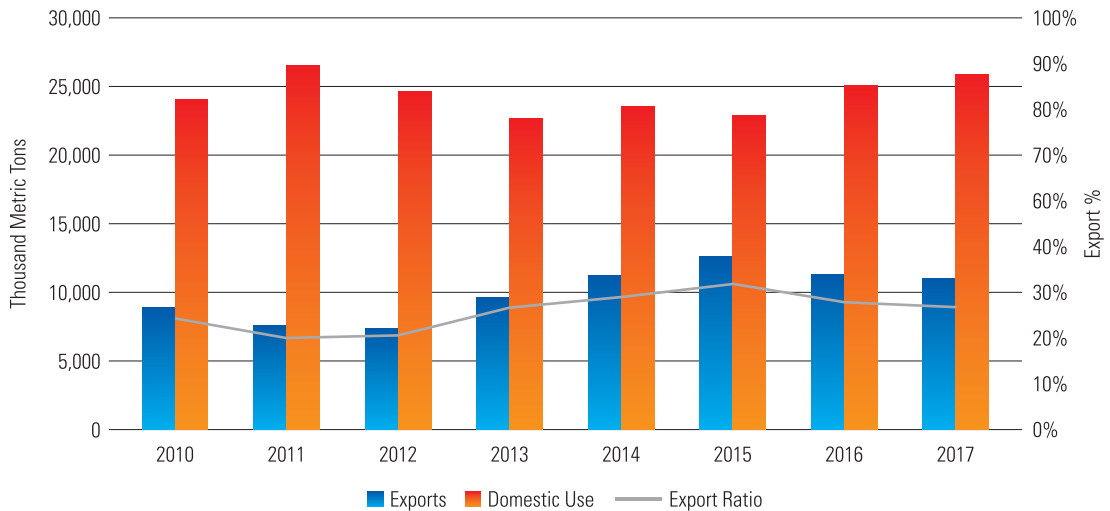


그림 2. 2010년~2017년 사이 미국 DDGS의 생산과 수출 비중 (Sean Broderick, CHS Inc.)



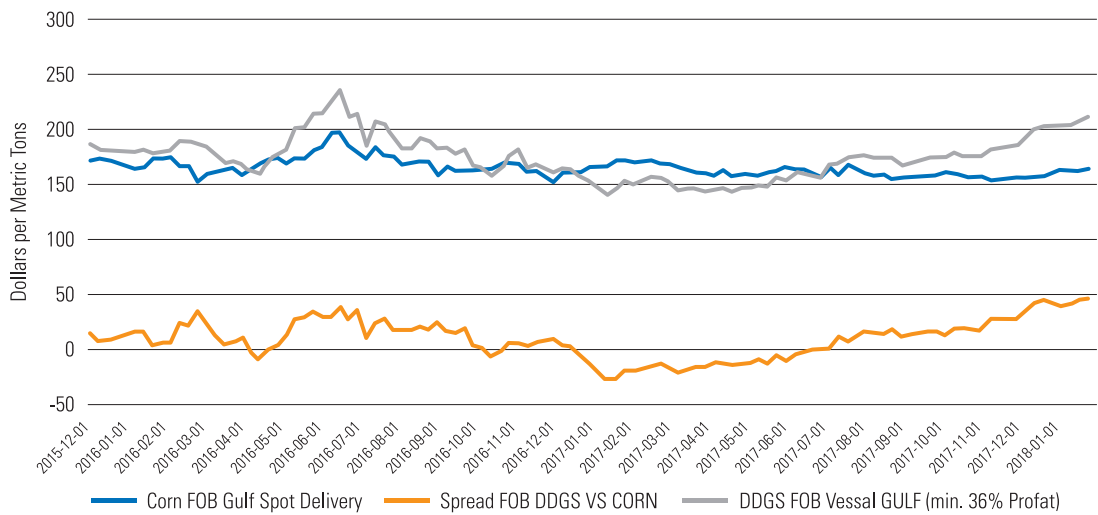
DDGS의 가격에 영향을 주는 요인들

여러 가지 요소들이 DDGS의 가격결정에 영향을 준다. 첫째, 오늘날 생산되고 있는 주정곡물제품의 최대 소비처는 미국으로 생산량의 75%를 미국의 가축과 가금이 소비하고 있다. 그 결과 2017년에 DDGS 생산량의 25%가 수출되었다. 그러나 앞으로는 DDGS의 해외 수출량은 매년 증가할 것으로 예상된다. 에탄올과 부산물 (2차 생산물) 생산자들과 DDGS 판매자들은 DDGS의 전체수요에서 수출시장이 매우 중요한 부분이라는 것을 잘 알고 있다.

DDGS는 매우 독특한 중단백질에 고열량 사료 원료이다. 이것은 동물사료에서 옥수수, 대두박 그리고 첨가 인의 일부를 대체한다. 그러므로 DDGS의 가격은 여러 가지 요인들에 의해 영향을 받는다. 즉, 옥수수와 대두박의 시장가격, 수출물량 확보 용이성, 국내 DDGS 소비의 계절성, 수송가격과 수입관세 등이다. 비록 사료 원료 거래상들은 DDGS를 단백질 원료로 간주하여 대두박과 비교하지만, 영양적으로나 경제적 가치는 옥수수와 더 가깝다. 사실 DDGS 가격은 대두박보다는 옥수수 시장과 더 가깝게 움직인다. 그림 3은 멕시코만에서 옥수수와 DDGS의 FOB 가격추이를 보여준다. 전반적으로 옥수수와 대두박 시장의 경향이 DDGS의 가격에 영향을 미치지만, 시카고 거래시장에서 옥수수와 대두박 시장의 매일 변동성이 DDGS의 매일 가격변동에 항상 연동되지는 않는다. 만약 옥수수나 대두박 가격이 DDGS 가격에 비하여 높으면, 동물사료에서 DDGS의 옥수수와 대두박 대체율이 높아져 사료에 DDGS의 사용 수준이 높아진다.

DDGS의 가격은 계절의 영향을 받는다. 대부분의 미국 내 DDGS는 축우사료에 사용되는데 축우들이 여름 동안 (5월부터 10월 사이; 그림 4) 초지에 방목되면, 농후사료 급여 축우의 수가 감소하면서 주정 곡물제품의 수요가 급격히 줄어든다. 이 시기에는 수출시장에 DDGS의 공급물량에 여유가 생기고 결과적으로 다른 계절에 비하여 DDGS의 가격이 내려간다. 여름기간 동안에는 전통적으로 상선 비용과 더불어 용선료가 낮기 때문에 이 시기에 DDGS의 경쟁력이 더 높아지게 된다.

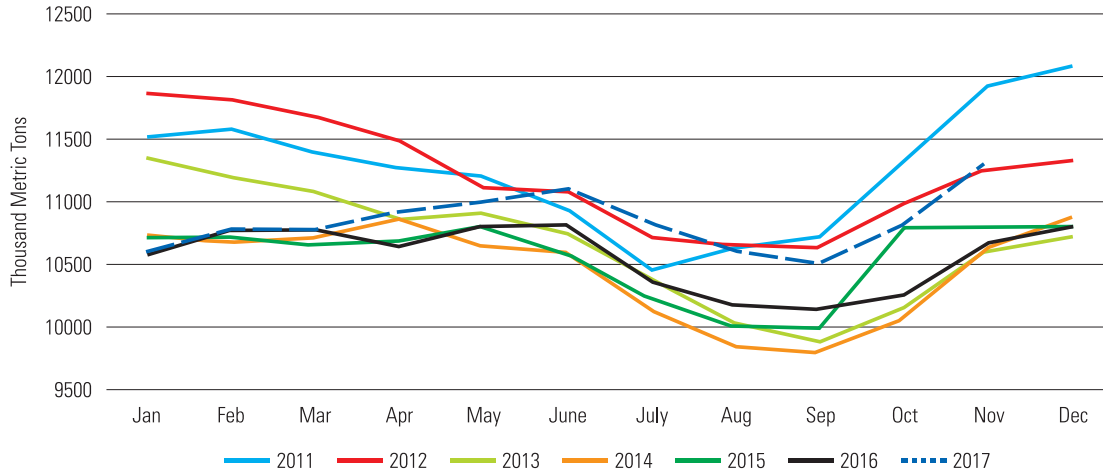
그림 3. 2015년 12월부터 2018년 1월 사이에 US Gulf에서 옥수수 대비 DDGS의 가격 (Steve Markham, CHS Inc.)



Courtesy US Grains Council

DDGS 시장에서 계절적 가격상승이 있는 동안, 옥수수와 대두박의 가격 경쟁력이 높아져 최소가 배합비 작성에서 DDGS의 사용이 감소한다. 매년 초순에는 DDGS의 수요가 증가하는데 이때가 전통적으로 공급이 줄어드는 시기라 DDGS의 가격이 1월부터 5월까지 통상적으로 높게 형성된다. 하지만 이러한 경향이 역사적인 것이지만 이 시기에 DDGS의 가격이 반드시 높은 것만은 아니다. 미국 에탄올 산업이 대량으로 DDGS를 생산하고 시장에 공급하기 때문에 구매자나 판매자 모두 늦겨울이나 봄에 DDGS의 공급이 부족할 것이라는 기대는 하지 말아야 한다. 미국의 양돈과 가금산업에서 DDGS의 사용량이 증가하고 있고, 축우와 같이 방목시기와는 연관되지 않기 때문에 DDGS 가격의 계절성은 앞으로 그 영향이 줄어들 것이다. DDGS의 미국 시장 가격 변동성을 감소시키는데 수출시장이 큰 역할을 하는데, 국내 가격이 너무 낮아지면 수출량이 증가하는 결과가 나타난다.

그림 4. 미국에서 목초지에 방목하는 축우와 곡물 농후사료를 급여하는 축우의 계절성 (Sam Erwin, CHS Inc)



DDGS 수송

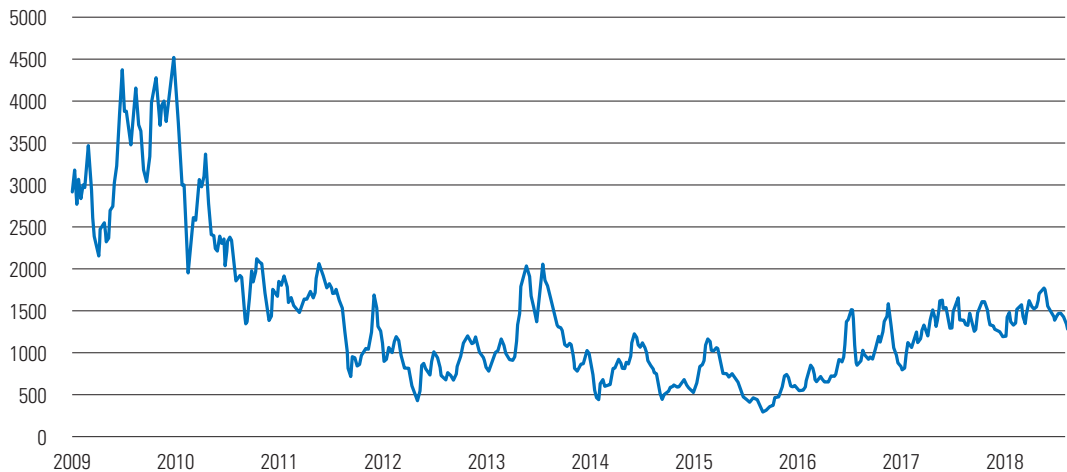
바지선과 해양선박

Baltic Exchange Panamax Index에 기준 한 해운료는 지난 10년간 극적으로 변해왔다 (그림 5). 예를 들면, 2007년 9월에는 용선료가 하루에 \$94,000이었는데 2008년 12월에는 하루에 \$3,300로 일 년이 약간 넘는 시점에 대폭 하락하였다. 이와 같이 용선료는 변동성이 매우 크기 때문에 외국 고객들이 DDGS를 구입하는데 있어서 영향을 주는 주된 요인들 중의 하나이다. 현재의 용선료는 2016년 1월의 저점에서 상당히 상승하고 있지만, 2010년 겨울에 보여준 최고가 보다는 훨씬 합리적인 가격이 형성되고 있다.



Photo Courtesy of Steve Markham, CHS Inc.

그림 5. 2009년 이후 Baltic Shipping Index



미국에서 선택할 수 있는 가장 저렴한 수송 방법 중의 하나는 바지선을 이용하여 강을 따라 DDGS를 수송한 뒤 해운 선박에 상선시키는 것이다. 바지선의 운임은 기준운임의 퍼센트로 결정하는 데 시기에 따라 변동이 있다. 장거리 운송 (예; Minnesota 주 Minneapolis에서, Louisiana 주 New Orleans까지)은 남쪽 지방에서 출발하는 단거리 수송보다 기준운임이 높고 아마도 퍼센트율이 높을 것이다. 미국은 바지선이나 예인선으로 수송할 수 있는 강의 길이가 5,000마일이나 되며, 각 강마다 기준운임과 퍼센트율이 다르다.

New Orleans (NOLA)까지 가는 바지선의 용선료는 보통 운임보험료 포함가격 (CIF)으로 결재한다. CIF 가격에 상선 비용은 포함되지 않는다. 일반적으로 DDGS는 미국 내륙에서 바지선에 선적한 뒤 해운선박이 정박할 수 있는 New Orleans 항과 그 인근으로 운송된다. 바지선에서 선박으로의 선적은 강 하류에 떠 있는 크레인이 달린 강강 중간에 설치된 화물 적재기에 의해 작업이 이루어진다. 선박의 크기는 다양하지만 가장 대표적인 선박 타입은 Handysize, Handymax 그리고 Panamax이다. Handysize 선박은 20,000~30,000 MT의 화물을 적재할 수 있으며, Handymax는 35,000~49,000 MT 그리고 Panamax는 50,000~75,000 MT를 적재한다. 한 척의 Panamax 선박은 약 37개 바지선 또는 555개 화물열차 수송량에 달하는 DDGS를 적재할 수 있다. 선박 운임 시세는 상품가격과 부과 요율과 같이 하루 단위로 변한다.

선박 운임 시세에 영향을 주는 주요 요인들:

- 시장 상황
- 필요한 선박의 타입
- 항구 수심
- 입항료
- 적재조건
- 하역조건
- 일 년 중 시기

전반적인 대양화물수송에 영향을 주는 요소들:

- 공급과 수요
- 선박의 건조와 운용에 드는 비용
- 새 선박의 건조 비용 대 노후선박 퇴역
- 계절적 수요 (예: 남북 아메리카의 곡물 수확 시기)
- 중국의 원자재 수요
- 항해 기간
- 왕복 소요 시간
- 시장심리 또는 예측

용선 계약 시 옵션:

- 항해 용선 – A 지점에서 B 지점까지의 운송
 - 비용산출의 위험도가 낮다.
- 기간 용선 – 선박의 항해기준보다 기간단위로 입차하기 때문에 좀 더 융통성이 있다.
 - 이 옵션은 잠재적으로 위험도가 높지만, 또한 잠재적 이익이 높을 수 있다.

화물이 목적지 항구에 도착하면 화물은 스쿠프가 달린 clam 버킷 또는 진공 하역기로 하역한다.

컨테이너

현재 미국은 세계 최대의 컨테이너 수입국으로 매우 독특한 상황에 있다. 미국에 입항하는 컨테이너는 주로 아세아에서 오는데 전자제품, 직물, 자동차 부품 등이 실려 오고 돌아가서 같은 소비자 물품을 싣고 다시 미국으로 온다. 해운사들은 화물을 하역한 후 돌아갈 때 빈 컨테이너로 돌아가기보다는 수입 창출을 위해 DDGS나 다른 농산물을 싣어 보낸다. 미국에서 빈 컨테이너가 가장 많은 지역은 내륙과, Illinois 주 Chicago와 Missouri 주 Kansas City이고 이어서 Tennessee 주 Memphis이다. 대표적인 컨테이너 수출과정은 다음과 같다:

1. DDGS는 트럭으로 에탄올공장에서부터 컨테이너 적재 전용시설로 이송된다. 이 시설은 대부분 빈 컨테이너 야적장 인근에 위치해 있다.
 2. 어떤 경우에는 에탄올 생산공장 현장에서 직접 컨테이너에 상차 되어, 컨테이너 적재와 관련한 제삼자의 개입을 배제함으로써 비용을 절감할 수 있다.
 3. 컨테이너에 DDGS를 적재하고 나면, 트럭으로 컨테이너 집하장으로 이동 후 적재 철도차량에 실린다.
 4. 컨테이너들은 철도로 미국 항구로 수송되어 컨테이너 전용 화물선에 적재된다. California의 Long Beach는 미국의 어떤 항구보다도 많은 컨테이너를 취급한다. Chicago에서 Long Beach까지의 수송기간은 대략 7~10일 정도이다. Long Beach에서 아세아 항구까지는 대략 16~18일 정도의 수송기간이 소요된다.
- 한정된 공급원이나 에탄올공장의 제품을 선호하는 세심한 구매자에게는 컨테이너를 이용한 수송이 적절한 옵션이다.



철도

DDGS를 멕시코와 캐나다로 수출할 때 hopper 철도차량이 이용된다. DDGS를 Mexico로 수송하는 철도차량의 수는 매년 크게 증가하고 있으며 캐나다행도 마찬가지로 매년 증가하고 있다. 철도를 통한 수출은 수출과정에서 소요되는 많은 시간과 여러 단계의 절차를 고려할 때 가장 용이한 수송 방법으로 간주된다. 에탄올공장에서 DDGS를 화물열차에 싣고 운임을 지불하면 목적지까지 수송된다. 화물열차가 일단 국경에 도착하면, 검사하고 세척을 한다. 이 과정이 끝나면 국경을 지나 최종목적지로 간다. 미국의 주요 철도 서비스는 Union Pacific (UP) 과 Burlington Northern Santa Fe (BNSF) 이다. Mexico의 주된 철도망은 Ferromex (FXE)와 중전의 TFM인 Kansas City Southern de Mexico (KCSM)이다. Canada의 주된 철도망은 Canadian National Railway (CN)와 Canadian Pacific Railway (CPR) 이다.

DDGS 수출의 도전: DDGS 수출업자의 관점

선적비용 (Loading cost)과 효율

해양선박에 선적하는데 DDGS는 옥수수에 비해 두 배의 시간이 소요된다. 엘리베이터는 사용료가 비싸기 때문에 DDGS 수송비의 주요 구성분이다. 엘리베이터에 대한 통제권이 없는 수출업자는 선박의 도착이 계획보다 지연될 경우 선적 작업이 디폴트 (default) 될 수 있다. 이러한 사태의 발생을 피하기 위해서는 DDGS 수출업자는 수송수단인 바지, 화물열차, 선적할 선박의 선주들이 계획된 시간을 잘 지키는 신용이 있어야 하고 제시간에 예정된 선박을 확보해야 한다. 시간은 비용절감의 중요한 요소이다.



컨테이너

요즘은 예전과 달리 컨테이너가 빈 채로 돌아가는 일은 매우 드물다. 그 결과 세계 경제에서 컨테이너의 확보에 어려움을 겪기도 하고 화물을 정시에 도착시키는 문제가 발생할 수도 있다. 일반적인 법칙은, 선임이 저렴하고, 신뢰성이 있으며 특히 선적 전에 샘플을 채취하고 검사를 통해 DDGS의 품질 통제가 용이해야 한다.

오늘날 많은 에탄올공장에서 컨테이너에 직접 상차한다. 고품질의 DDGS를 생산하는 우수한 공장에서도 가끔 바람직하지 않은 DDGS 제품이 생산되며, 판매자가 알지 못하는 사이에 컨테이너에 상차될 수도 있다.

컨테이너가 지정된 선박에 지정된 시간에 배달되더라도 선적 후 운임이 변경될 가능성이 있기 때문에 가끔 문제가 발생한다. 컨테이너 시장의 계절성과 변동성은 가끔 계약취소와 공급시장에서 공급여력이 없을 때 공급에 혼란을 초래할 때가 있다.

성공적인 DDGS 수입을 위한 제안

DDGS 수입업자는 공급자에 대해 잘 알고 관계를 유지하는 것이 필수적이다. 특히 수입업자는 수출회사의 물류와 수송능력에 대해 이해해야 한다. 만약 수출업자가 상선을 위한 엘리베이터가 없거나 사용 권한이 없다면 문제가 있다. 현재 미국 DDGS 수출업자들은 운송과 엘리베이터 용량에 제한을 받고 있는데, 이는 기록적인 곡물과 곡물 가공 2차 제품이 생산으로 인해 가용 엘리베이터의 수가 제한을 받고 있기 때문이다.

다수의 운송경로 (Great Lakes, 주요 강, Mexico 만, Pacific Northwest)에 시설과 운송능력을 가진 수출업자들은 세계시장에서 수출사업을 할 수 있는 능력이 높다고 할 수 있다. DDGS를 가장 낮은 운임으로 구매하기 위해서는 다양한 수송 방법과 선적 옵션 그리고 융통성을 가진 회사와 거래하는 것이 필요하다.

특정 에탄올공장의 제품을 판매하는 공급업자는 DDGS 제품에 대한 통제 권한을 가질 수 있으며 판매하는 DDGS의 품질에 관해서도 쉽게 통제할 수 있다. 에탄올공장과 직접 판매계약을 체결하지 않는 중개인이나 다른 공급업자로부터 구매할 경우 구매자는 DDGS의 품질에 대한 통제를 쉽게 할 수 없다. DDGS 판매자가 DDGS 생산공장으로 하여금 DDGS 생산 당시의 샘플을 평판이 좋은 상업적 분석시험실에 보내 그 결과를 선적 전에 구매고객에게 직접 통보하도록 하는 것도 좋은 방법이다. 화물이 목적지에 도착한 후 잠재적 문제점의 발생을 방지하기 위하여 명망 있는 제 3자 분석 실험실에서 샘플 분석을 실시하는 것에 대하여 합의하는 것이 중요하다.

곰팡이 독소 시험은 생산지에서 채취한 샘플에 대하여 실시하거나, 공급자가 DDGS의 생산에 사용하는 옥수수의 곰팡이 독소의 한계와 절차를 제공할 수 있다. 색깔 지수는 Hunter Lab 또는 Minolta color score를 사용하여 DDGS 구매자에게 제공할 수 있다. 단백질과 지방 함량보증은 거래가 체결되기 전에 항상 합의되어야 한다.

DDGS 하역 Photos Courtesy of Steve Markham, CHS Inc.



CHAPTER 22

DDGS에 관해 자주 묻는 질문들

미국 에탄올공장에서는 왜 DDGS 제조 전에 기름을 일부 추출하는가?

옥수수유에 대한 현재의 시가와 수요가 경제적으로 매우 매력적이기 때문에 미국의 에탄올공장에서는 또 다른 수입원이 생기게 된다. 미국의 바이오디젤 (biodiesel) 산업이 성장함에 따라 지방과 오일에 대한 수요가 증가하게 되고, 정제 옥수수유는 경제적으로 매력적인 지방 공급원이다. 기존의 에탄올공장에 옥수수유 추출 장비를 추가하는데 소요되는 투자 비용은 비교적 낮으며, 이 투자 비용은 일 년 이내에 쉽게 회수될 수 있다 (3장 참조).

주정 옥수수유는 동물사료용으로 수출될 수 있는가?

그렇다. 주정 옥수수유는 AAFCO에서 정의와 품질 스펙을 허가받았으며 미국의 양돈과 가금산업에서 상당한 양이 사용되고 있다. 이것은 바이오디젤 생산이나 동물 사료용으로 허가를 받았지만 식품용으로는 허가되지 않았다. 근래의 연구들은 돼지와 가금에서 정제 옥수수유의 ME와 AMEn의 함량을 측정하였는데 (4장 참조), 동물사료에 경제적이고 고열량 공급 지방으로 적합하다. 미국의 일부 판매자들은 주정 옥수수유의 판매 경험에 있으나, 판매량은 제한적이다.

DDGS 내 옥수수유 부분 추출은 사양가치에 어떤 영향을 미치는가?

옥수수유 부분 추출은 돼지와 가금에서 ME와 AMEn 함량을 항상 감소시키지는 않는다. 왜냐하면 몇몇 시험에서 일부 지방 저감 DDGS의 ME 값과 AMEn 값이 전통적인 고지방 DDGS와 비교하여 같거나 더 높았기 때문이다. 그러나 제한된 자료에 의하면 반추동물에서 지방 저감 DDGS의 열량 값은 전통적인 고지방 DDGS에 비해 낮았다. 하지만 옥수수의 에너지 값보다는 높았다. 근래의 연구에 의하면 돼지와 가금에서 지방 저감 DDGS의 아미노산 소화율은 고지방 DDGS에 비해 약간 낮았으나 개별 아미노산의 반응에는 변이가 있었다. 더욱이 지방 저감 DDGS에서 아미노산 소화율이 일반적으로 낮았지만, 총 아미노산 함량은 증가하여 결과적으로 지방 저감 DDGS와 고지방 DDGS간에 가소화 아미노산 함량의 차이는 미미하였다 (6장 참조). 지방 저감 DDGS와 고지방 DDGS 간에 인의 소화율 비교 시험은 실시되지 않았다.

지방 저감 DDGS는 전통적인 고지방 DDGS보다 열량 함량이 낮은가?

여러 연구에서 DDGS의 조지방함량은 돼지의 ME와 가금의 AMEn의 단독지표로 삼기에는 부적합하다는 것을 보여주었다 (6장 참조). 돼지와 가금에서 변이가 있는 DDGS 제품들의 ME가와 AMEn가를 화학 분석치로 정확하게 예측할 수 있는 예측방정식이 개발되고 검증되었다. 이 방정식에 의하면 조지방보다는 섬유소가 에너지 함량을 예측하는데 상관관계가 더 높았다. 젖소와 육우에서 NE를 측정하기 위해 실시한 제한된 연구에 의하면 지방 저감 DDGS는 고지방 DDGS보다 NE 함량이 약간 낮았다. 반추동물에서 지방 저감 DDGS의 NE 함량에 대한 자세한 내용은 11장과 12장을 참조하기 바란다.

지방 저감 DDGS의 평균 단백질 함량은?

근래에 실시한 종합적인 메타분석에 의하면 Zeng 등 (2017)은 옥수수 DDGS의 평균 조단백질 함량은 27% (88% 건물 기준)로 변이계수는 8.7%이었다 (6장 참조). 비록 다수의 DDGS 거래업자들과 영양전문가들은 지방 저감 DDGS를 생산하기 위해 옥수수유를 일부 추출하면 조단백질 함량이 다소 증가할 것으로 기대하지만, 제품들 간의 단백질 함량을 비교해 보면 일정한 반응을 보이지 않았다.

수출시장에 고단백 DDG가 출시되는가?

그렇다. 일부 에탄올공장에서는 새로운 기술이 도입되어 조단백질 함량이 40~50% 되는 고단백 옥수수 DDG를 생산한다 (5장 참조). 각 축종 사료에 이 새로운 고단백 옥수수 DDG의 최대 사용 수준과 급여에 따른 생산성 반응에 대한 연구는 제한적이다. 이 새로운 고단백 DDG는 여러 해 전에 전단계 분획가공법에 의해 생산된 고단백 DDG와는 열량과 영양소 특히 아미노산의 함량이 상당히 다르다는 것을 명심해야 한다. 그러므로 일부 시험에서 전단계 분획가공법에 의해 생산된 고단백 DDG의 급여가 훌륭한 생산성을 보여주었지만, 그 결과를 현재 생산되고 있는 새로운 고단백질 DDG에 직접 적용할 수는 없다.

DDGS의 색깔은 DDGS의 품질과 영양가에 대한 적절한 지표인가?

DDGS의 색깔이 매우 어두우면 단백질과 아미노산의 소화율이 저하되는 것을 볼 수 있지만, 근래의 연구는 DDGS 제품의 색깔과 아미노산의 소화율과의 상관관계는 매우 약한 것으로 보고되었다 (8장 참조). 건조온도 이외에 많은 요인들이 DDGS의 색깔에 관여하기 때문에 색깔을 영양가의 지표로 삼는 것은 부적절하다. 그러므로 구매자와 영양전문가들은 어두운 색깔의 DDGS가 밝은 색깔의 DDGS보다 영양가가 부족할 것이라고 가정해서는 안 된다.

동물사료에서 DDGS는 대두박을 대체할 수 있는가?

각개의 사료 원료들은 여러 가지 영양소의 양과 조성의 패키지이다. 가축과 가금에서 세 가지 가장 비싼 영양소는 열량, 아미노산 그리고 인이다. 원료의 상대적 가격에 따라, DDGS는 가축과 가금사료에서 열량, 아미노산 그리고 인 공급원의 일부를 대체할 수 있다. 전통적인 옥수수-대두박 사료에서 DDGS는 옥수수와 대두박의 일부를 대체할 수 있다. 그러나 다양한 열량과 단백질 공급원들이 존재할 경우에는 사료 내 대두박 함량의 감소 없이 DDGS는 다른 원료들을 대체할 수 있을 것이다.

돼지와 가금사료에서 대두박과 DDGS의 다른 점은 다음과 같다.

- 돼지와 가금에서 DDGS는 탈피 대두박보다 열량가가 높다.
- DDGS의 조단백질 함량은 평균 약 27%인데 대두박은 44~48%의 조단백질을 함유하고 있다.
- 돼지와 가금에서 옥수수-대두박 사료에 가장 제한되기 쉬운 아미노산은 lysine, methionine, threonine 그리고 tryptophan이다. 대두박은 이 필수아미노산들이 DDGS보다 상당히 높으며 소화율도 높다.
- 대두박에는 DDGS와 비슷한 양의 인이 함유되어 있으나 DDGS에 함유된 인은 대부분 돼지나 가금에서 소화되고 이용될 수 있는 화학적 형태인 반면 대두박에 함유된 인은 소화가 되지 않는 피트산(phytic acid)이다. DDGS의 영양적 장점은 영양전문가들이 돼지와 가금의 생산성은 적정수준을 유지하면서 사료에 무기 인의 첨가량을 감소시키고, 사료비용과 분을 통한 인의 배설량을 줄이는 것을 가능케 한다.

한편 다수의 연구 결과는 반추가축사료에서 DDGS가 대두박의 훌륭한 대체재임을 보여주었다.

DDGS는 곰팡이 독소를 함유하고 있는가?

DDGS를 생산하는데 사용되는 옥수수는 대부분 미국 중서부 북부지역에서 생산된다. 작물 연도에 따라 옥수수 작물에 가해지는 여러 가지 스트레스 (예; 한발, 지나친 강수, 지나친 온도와 습도)를 유발하는 이상 성장조건 하에서 다양한 곰팡이 독소들이 생산될 수 있다. 이런 비정상적인 성장조건은 대부분 주 옥수수 생산지역 중 일부 제한된 지역에서 발생한다. 만약 에탄올과 2차 가공산물 생산에 사용되는 옥수수가 곰팡이 독소에 오염되었으면 이는 가공과정에서 파괴되지 않고 DDGS에 약 3배의 농도로 농축된다. 그러므로 대부분의 미국 에탄올 생산 공장에서는 주요 곰팡이 독소들 (예; aflatoxins, deoxynivalenol, fumonisins, zearalenone)의 최대허용한계를 설정해 놓고 옥수수가 공장에 입고되기 전에 검사한다. 이러한 검사를 통해 한계를 초과하는 옥수수는 입고를 불허함으로써 DDGS의 곰팡이

독소의 농도를 한계수준 이하로 유지한다. 일반적으로 근래의 조사에 의하면 특정한 해에 미국산 옥수수는 아시아와 중남미산 옥수수에 비해 여러 가지 곰팡이 독소의 오염도가 낮다.

DDGS는 에탄올을 함유하고 있는가?

아니다. 에탄올공장의 증류 과정은 매우 철저하고 알코올은 휘발성이 강하기 때문에 잔류 알코올이 있다면 DDGS 생산과정 중 증류 단계에서 제거된다.

DDGS에 항생제가 잔류하는가?

에탄올과 옥수수 2차 가공산물을 생산하기 위한 옥수수 발효과정에서 세균감염을 통제하기 위하여 소량의 항생제를 사용한다. 가장 보편적으로 사용하는 항생제는 버지니아마이신 (virginiamycin)과 페니실린 (penicillin)이다. 연구에 따르면 이 항생제들은 권장 수준에서 사용하면, 생산공정에서 사용되는 저 pH와 고온처리 조건 하에서 완전 분해된다. Minnesota 대학에서 근래에 실시한 시험에 의하면 미국 에탄올 산업에서 수집한 DDGS 샘플들 중 12개에서만 항생제 잔류물을 검출할 수 있었지만, 검출량은 극히 소량이었다. 하지만 에탄올공장에서는 에탄올과 DDGS를 생산하기 위한 가공조건으로 인해 이들 항생제 잔류물은 생물학적 활성이 없었다. 따라서 에탄올 생산에서 항생제가 사용되어도 현재의 미국 FDA 규정하에서 동물사료에 DDGS의 사용은 안전하다.

왜 일부 DDGS에서는 유황의 함량이 높은가?

에탄올 생산을 적정화하고 고품질 DDGS를 생산하기 위해서는, 에탄올공장은 발효 중 pH를 적정화할 필요가 있다. 이를 위하여 소량의 황산이 pH 감소를 위해 사용되므로 DDGS의 유황 함량이 증가할 수 있다. DDGS 제품들의 유황 함량은 0.6~1.1%에 이른다. 최근에 수행된 연구에 의하면 고유황 함량의 사료를 돼지에게 급여 시 성장율에 부정적인 영향이 없었으며, 실제로는 돼지의 황산화 능력을 향상시켰다. 하지만 반추동물의 사료에 고유황 DDGS를 고수준에서 사용하면, 황화수소의 발생을 증가시키고 유황 중독의 위험성을 증가시켜 회백뇌연화증 (Polioencephalomalacia)이 발생할 수 있다. 더욱이 반추가축에게 고유황 사료를 급여하면 건물섭취량과 섬유소 소화율이 감소하고 성장률이 저하될 수 있다 (11장과 12장 참조). 그러므로 DDGS의 유황함량을 예의 주시하여 짚소, 옥수수, 양 그리고 염소 사료의 총 유황 함량이 권장 수준인 0.4%를 넘지 않도록 주의하는 것이 중요하다.

사료공장에서 장기간 동안 DDGS를 안전하게 저장할 수 있는가?

DDGS를 여러 가지의 저장 시간, 온도 그리고 상대습도 하에서 장기간 저장하는 데 따른 영향에 대해서는 연구가 제한적으로 수행되었다. 옥수수 DDGS는 다른 원료들과 비교하여 독특한 화학적 그리고 물리적 특성을 가지고 있는데 수분을 흡수하는 능력이 있고 지방함량이 비교적 높다. DDGS가 수분을 잘 흡수하는 능력은 물량 취급에 영향을 줄 수 있으며 수분함량이 15% 이상 되면 곰팡이와 곰팡이 독소의 생성 위험성을 높인다. DDGS 내 옥수수유는 PUFA 함량이 높아 저장기간 동안 과산화에 취약하다. 하지만 최근 연구에 의하면 높은 온도와 높은 습도하에서 저장할 때 DDGS와 주정 옥수수유의 지방 과산화를 방지하기 위해서는 시판 항생제 사용이 효과적이라고 하였다 (7장 참조).

컨테이너 안에서 DDGS의 교락 (bridging)과 고결 (caking)을 방지할 수 있는가?

옥수수 DDGS는 다른 사료 원료들에 비해 독특한 화학적 그리고 물리적 특성을 가지고 있어 유동성을 저해하는 교락 (bridge)과 고결 (cake)을 형성한다. 컨테이너로 DDGS를 수송할 때 유동성 문제를 방지하기 위하여 유동성 개선제를 사용했지만 대체적으로 효과가 없었다 (7장 참조). 하지만 수분함량을 감소시키면 유동성이 향상되고, 지방 저감 DDGS는 전통적인 고지방 DDGS에 비해 유동성이 향상되는 경향이 있었다. DDGS의 고결과 하차 시 어려움을 방지하기 위하여 에탄올공장에서 DDGS가 생산된 후 상차하기 전까지 최소한 24시간 동안 냉각과 숙성의 시간이 필수적이다.

DDGS를 돼지, 가금 그리고 양어 사료에 첨가하면 펠릿팅 (pelletting)과 압출 (extrusion)에 어떤 영향을 미치는가?

DDGS는 섬유소 함량이 높고 전분 함량이 낮아 펠릿 경도지수와 펠릿 제조기의 생산율을 감소시킨다. 그러나 펠릿 제조조건을 조정하고 결합제를 사용하면 펠릿 품질과 펠릿 제조기의 생산율을 증가시키고 에너지 사용량을 감소시킬 수 있다 (14장과 17장 참조).

가격과 비교하여 DDGS의 경제적 가치는 어떻게 결정하는가?

DDGS가 최소가 배합비 사료에 부여하는 경제적 가치와 시장가격 사이에는 괴리가 있다 (2장 참조). 이 점에는 여러 가지 이유가 있다. 첫째, 사료 원료들은 단백질과 지방의 최소보충량에 기초하여 거래된다. 그러나 사료 배합 시에는 ME나 NE 그리고 가소화 아미노산을 기준으로 한다. 비록 단백질과 지방 함량은 열량과 가소화 아미노산 함량과 연관이 있지만, 시장가격을 단백질과 지방함량을 사용하여 결정하는 것은 모든 동물사료에서 DDGS의 진정한 경제적인 이점을 과소평가하게 된다. 둘째, DDGS의

에너지와 단백질의 가치는 돼지나 가금사료에 비해 반추동물에서 가장 크기 때문에 경제적 가치 또한 반추동물에서 더 크다. 연구에 따르면 돼지사료에서 DDGS의 가치는 시장가격보다 \$60/톤까지 높다. 그러므로 여러 가지 형태의 가축과 가금의 사료에서 DDGS의 가치를 결정하는 최선의 방법은 그 제품의 완전한 영양소 프로필과 소화율 계수를 확보하는 것이다. 이를 기반으로한 구매가격을 대입하여 최소가 배합비를 작성하고 다른 경쟁원료들의 가격과 비교하여 배합비에 진입시킬 기회가격을 결정할 수 있다.

DDGS의 분석증명서에는 무엇이 포함되어야 하나?

대표적으로 DDGS는 조단백질과 조지방의 최소보증합량에 기준하여 거래된다. 그러나 많은 거래자들은 아직도 영양성분 보증으로 단백질과 지방의 합인 pro-fat을 사용한다. DDGS의 가격을 pro-fat으로 결정하면 많은 혼란이 야기되는데 이는 지방 저감 DDGS의 경우 지방합량의 감소가 비례적으로 조단백질의 증가로 이어지지 않기 때문이다. 그러므로 pro-fat 대신에 조단백질과 조지방의 최소보증합량을 사용하도록 권장한다. 그러나 많은 DDGS 고객들은 사양용도에 따라 수분, 조단백질 그리고 조지방에 더하여 곰팡이 독소와 색깔 같은 항목에 대하여 추가적인 보증을 요구한다. 이러한 추가적인 보증요청에 대해서는 구매자와 판매자 간에 협의가 필요한 부분이다. 또한 보증하거나 검사해야 할 영양소들의 분석 실험실과 분석 방법에 대하여 합의하는 것이 매우 중요하다. 왜냐하면 실험실과 실험방법은 보증성분의 검사 결과에 상당한 영향을 미치기 때문이다.

나의 요구 조건을 충족시킬 수 있는 DDGS 공급자를 어떻게 찾을 수 있나?

에탄올공장에서 에탄올과 DDGS를 생산하는데 사용되는 공정에는 변이가 있기 때문에 제품들의 영양소 함량과 소화율에는 상당한 변이가 있을 수 있다. 영양소 함량과 소화율에 이러한 변이가 있기 때문에 영양전문가들이 대표적인 영양소 값을 사용하여 배합비를 작성하는 것은 현명하지 못하다. 따라서 많은 DDGS 사용자들은 DDGS의 직접 판매자와 접촉하여 영양소 정보와 관심이 있는 특정 에탄올공장의 제품 견본을 요구하며, 그들의 품질기준에 맞는 제품을 생산하는 에탄올공장의 제품공급자 명단을 작성하고 이들로부터 공급되는 DDGS만을 사용한다.

CHAPTER 23

미국 내 DDGS 공급사 명단

현재 미국의 DDGS 공급자 명단은 www.grains.org에서 찾을 수 있습니다.
<https://grains.org/membership/member-directory/>

CHAPTER 24

용어 해설

Absorption	(동물영양에서) 소화기관으로부터 혈관이나 림프계로 영양소의 이동.
Acidosis	산성증. 반추동물에게 전분과 같이 쉽게 발효되는 탄수화물이 많은 사료를 급여 시 발생하는 바람직하지 않은 현상.
Additive	첨가제. 사료에 미량영양소나 약품을 공급할 목적으로 소량 첨가하는 원료.
ADF	Acid detergent fiber. 산성 세제 섬유소. 섬유소의 성분을 결정하기 위하여 사용하는 실험실 분석과정에서 산성 세제에 용해되지 않는 섬유소 부분.
ADG	Average daily gain. 일당 증체량. 1일 기준으로 나타내는 동물의 체중 증가량.
ADICP	Acid detergent insoluble crude protein. 산성 세제 불용단백질. 사료 원료에서 우회 또는 반추위 비분해 단백질 측정치.
Adipose	동물이나 도체에서 지방조직.
ADIN	Acid detergent insoluble nitrogen. 산성 세제 불용질소. 사료 원료에서 질소의 불용성 부분의 측정치로 ADICP를 계산할 때 사용된다.
Ad libitum	(동물사양에서) 사료와 물을 무제한으로 급여하는 사양.
Aerobic	호기성 산소공급 하에서 살아 있거나 활동하는 상태.
Aflatoxin	생육 중 또는 저장 중인 곡류에서 특수한 환경조건 하에서 생성되는 곰팡이들에 의해 생산되는 발암성 곰팡이 독소 중의 하나.
Aleurone	종자의 내배유 중 바깥쪽에 있는 단백질 부분.
Amino acids	아미노산. 질소를 함유한 유기물로 단백질 조성분이며 필수영양성분.
Amylase	전분을 maltose나 포도당으로 가수분해할 수 있는 효소.
Anaerobic	혐기성. 산소의 부재중에도 살거나 활동하는 상태.
Antibiotic	항생제. 다른 미생물을 저해하는 효과를 가진 미생물에 의해 생산되는 물질.
Anti-nutritional factors	항영양인자. 사료 원료의 영양적 가치를 저하시키는 사료 원료의 화학성분.
Antioxidant	항산화제. 지방이 산화되어 산패가 일어나는 것을 방지하는 물질.
Apparent digestibility	외관상소화율. 위장관으로부터 흡수되는 영양소의 양.
Arginine	필수아미노산 중 하나.
As fed	동물에 의해 섭취되는.
Ash	사료를 500°C-600°C에서 완전연소 후 남은 잔류물; 산화 광물질로 구성되어 있음.
Assay	사료 원료나 배합사료의 화학성분의 결정.
Availability	(영양)-동물에 의해 이용되는 영양소의 부분.

Bacteria	단순 분열에 의해 증식하는 단세포 생물. 어떤 것은 유익하고 어떤 것은 질병을 유발할 수 있음.
Balanced diet	균형사료. 동물의 필요에 따라 필수영양소 요구량을 공급해 주는 사료 원료의 조합.
Barrow	거세 수돼지.
Beta-carotene	일부 식물이나 식물성 제품에 들어 있는 비타민 A의 전구물질.
Biopsy	생체검사. 생체로부터 조직이나 다른 물질을 떼어내어 실시하는 검사.
Boar	거세하지 않은 수돼지.
Bran	곡물 종실의 피.
Brewer's grains	양조산업에서 생산되는 2차 산물.
Beer	(에탄올 생산에서) 에탄올을 함유하고 있는 발효된 죽상 물질을 일컫는 용어.
By-pass protein	우회단백질. 반추위 내에서 미생물에 의해 분해되지 않는 단백질로 소장에서 분해가 진행됨.
Calorie	1gm의 물의 온도를 14.5°C에서 15.5°C로 올리는데 소요되는 열량으로 정의되는 에너지의 단위.
Carbohydrates	탄수화물. 탄소, 수소 그리고 산소를 함유한 유기물질; 식물조직에서는 다양한 종류가 발견 되는데 여기에는 전분, 당, 셀룰로스 (cellulose), 헤미셀룰로스 (hemicellulose), 펙틴 (pectins) 그리고 검질 (gums)이 있다.
Carcinogen	발암물질.
Carotene	황색의 유기물로 비타민 A의 전구물질이다.
Cecum	맹장. 위장관의 한 부분으로 소장 하부와 대장 상부 접경에 있으며 상당한 양의 세균을 함유하고 있어 소장에서 소화되지 않는 섬유소를 분해한다.
Cellulose	포도당의 중합체로 포도당 간에 돼지와 가금에서 가수분해에 저항하는 연결고리로 이어져 있다. 그러나 축우나 양에서는 반추위 내 미생물에 의해 분해되어 열량을 발생한다.
Co-product	주 생산물에 이어 생산되는 2차 산물 (부산물)
Co-products, ethanol dry-grind	에탄올 증류 후 남는 수분과 고형물은 whole stillage (전증류폐액)로 주로 수분 섬유소, 단백질과 지방으로 구성되어 있다. 이 혼합물은 원심분리하여 액상 물질과 거친 고형물 coarse solids로 분리한다. 이 coarse solids는 wet cake (습윤 케이크)으로 불리며 약 35%의 건물을 함유하고 있다. Wet cake는 건조시키지 않은 채 지역 축우농장에 판매되거나, 건조 후 dried distillers grains (DDG)를 생산한다. 액상 물질은 thin stillage라고 불리며, 증발기를 거치며 추가적인 수분을 제거하면 condensed distillers solubles라는 2차 산물이 생성되는데 이것은 약 30%의 수분을 함유하고 있다. Condensed distillers solubles는 지역 축우농장에 판매되거나, wet cake와 혼합한 후 건조시켜 88% 건물의 distillers dried grains with solubles (DDGS)를 생산한다.
Colon	결장. 대장의 하부.
Complete feed	완전배합사료. 동물이 필요로 하는 영양소의 공급원으로 물을 제외하고 유일하게 사용하는 사료 배합물.
Condense	stillage와 같은 물질을 수분 제거에 의해 더 농축시키는 공정.

Condensed distiller's soluble	Co-products, ethanol dry grind 참조.
Corn germ meal	옥수수 배아박. 습식도정 (wet milling) 에탄올공장에서 생산되는 2차 산물로 20% 단백질, 2% 지방, 그리고 9% 섬유소를 함유하고 있으며 아미노산 균형이 양호하여 돼지와 가금사료에 유용한 사료 원료임.
Corn steep liquor	습식도정 (wet milling) 에탄올공장에서 생산되는 열량 함량이 높은 액상 2차 산물로 옥수수 글루테네피드와 혼합하여 판매되거나 또는 육우와 젖소에서 액상 단백질 급원으로 별도로 판매된다.
Crude fat	조지방. 사료나 사료 원료에서 에테르에 녹는 부분을 말하며 때로는 에테르추출물 (ether extract; EE)이라고도 한다.
Crude fiber	조섬유. 사료나 사료 원료에서 셀룰로스 (cellulose), 헤미셀룰로스 (hemicellulose), 리그닌 (lignin) 그리고 다른 복합탄수화물로 조성된 소화가 잘 되지 않는 부분.
Crude protein	조단백질. 사료나 사료 원료에서 단백질 추정치로 질소함량을 측정하고 단백질의 질소함량은 약 16%라는 가정하에 계수 6.25를 곱하여 조단백질 함량(%)을 산출한다.
Cystine	함유황 아미노산으로 돼지의 메티오닌 (methionine) 요구량의 50%까지 대체할 수 있다.
DDGS	주정박. Distillers dried grains with solubles. 건식분쇄 (dry-grind) 에탄올생산에서, wet cake와 적어도 75%의 condensed distillers solubles를 혼합한 후 수분함량이 약 10%가 되도록 건조시킨 것. Co-products, ethanol dry-grind 참조.
Deamination	아미노산에서 아미노 그룹을 제거하는 것.
Diet	연속적 기준이나 조제된 스케줄에 따라 제공되는 사료 원료의 혼합물 또는 규제된 선발.
Digestibility	동물에 의해 사료의 영양소가 소화되고 흡수되는 정도의 측정 수단.
DE	Digestible energy. 가소화 에너지(열량). 사료의 총열량에서 분에 남아있는 열량을 뺀 열량.
Digestion	소화. 위장관에서 복합영양소가 동물이 흡수할 수 있는 형태로 분해되는 공정.
DON	디옥시니발레놀 (Deoxynivalenol). 곰팡이 독소들 중 하나로 약자로는 DON 이라고하며 보미톡신 (vomitoxin)이라고도 한다. 이 독소는 사료에 오염 시 낮은 농도에서는 사료 섭취량 저하 및 사료섭취 거부 현상이 일어나며 높은 농도에서는 구토 증상을 보인다.
DL-methionine	합성 메티오닌 (methionine) 공급원.
Dressing percent	도체율 (carcass yield)로도 불리며 도체에서 내장, 다리 그리고 대부분의 경우는 머리를 제거한 후 나머지 부분의 비율.
Drug	미국 FDA의 정의에 의하면, 사람과 동물에서 질병의 진단, 치유, 완화, 치료나 예방을 위하여 사용되는 물질을 말한다.
Dry grind	옥수수 알곡 전체를 분쇄하고 그 분쇄물을 조성분의 분리 없이 발효시키는 에탄올 생산공정.
DM	Dry Matter. 건물. 건조기에서 사료의 수분을 제거한 후 남은 부분.
Duodenum	십이지장.

Endogenous	(영양에서) 효소나 호르몬과 같은 물질들로 체내에서 생산되는.
Endosperm	내배유. 배자의 발달에 필요한 영양분을 공급하는 종실의 조직.
Enzyme	효소. 동물이나 식물세포에서 생산되는 단백질로 화학반응 속도를 높이는 생물학적 촉매.
Essential amino acid	필수아미노산. 체내에서 요구량만큼 충분한 양을 합성할 수 없어 사료를 통해 공급 받아야 하는 아미노산.
Ether extract	사료와 사료 원료에 들어있는 지방의 함량을 에테르에 용해하여 추출하는 측정 방법.
Excreta	동물의 체내로부터 배설되는 물질을 말하며 주로 분과 뇨이다.
Exogenous	(영양에서) 체외로부터 오는.
Fat soluble vitamins	지용성 비타민. vitamins A, D, E 그리고 K (menadione).
Fatty acids	지방산. 지방분자의 구성분으로 지방산의 종류에 따라 탄소 사슬의 길이가 다르고 포화도가 다르다.
Feed conversion	사료 전환율. 동물의 단위 증체량 당 사료 섭취량.
Fermentation	발효. 여러 종류의 미생물에 의해 생산되는 효소에 의해 발생하는 화학적 변화.
Flowability	사료 입자들이나 곡물의 뭉치들이 중력에 의해 저장 또는 운송 컨테이너 밖으로 움직이는 능력.
Fumonisin	사료 원료 내 존재할 수 있는 특수한 곰팡이에 의해 생산되는 곰팡이 독소로 동물의 건강과 생산성을 감소시킨다.
Fractionation	에탄올 수율을 증가시키고 영양성분이 다른 여러 가지 2차 가공제품을 생산하기 위하여 옥수수 알곡을 분쇄하여 여러 가지 성분으로 분리하는 건식분쇄 에탄올공장의 가공 방법.
Gain:Feed	사료효율. 사료 단위 섭취량 당 증체량.
Gastric	동물의 위에 관한.
Gastrointestinal	영양소의 소화와 흡수에 사용되는 위와 장관에 관하여.
GE	Gross energy. 총열량. 사료나 사료 원료를 bomb calorimeter에서 태울 때 발생하는 총 연소열.
Germ	종실의 배자.
Glycerol	지방의 3탄 성분.
Ground, grinding	충격, 전단 또는 마쇄에 의해 입자도를 감소시키는 기계적 공정.
Hulls	종실의 외피.
Hydrogenation	수소화. 2중 결합을 가진 불포화 물질, 흔히 지방산에 수소를 화학적으로 첨가하기.
Hydrolysis	가수분해. 어떤 물질이 수분을 흡수하여 더 단순한 단위로 분해되는 화학적 반응.
Ileum	회장. 소장의 후미 부분.
IU	International units. 일부 비타민의 생물학적 활력을 비교하기 위하여 사용되는 임의의 계측 단위.

Insoluble fiber	불용성 섬유소. 비전분성 다당류의 일부로 동물의 장기 하부에서 발효가 쉽게 되지 않는 섬유소의 일부분.
In vitro	동물의 체외에서 시험관과 같은 인위적 환경하에서 벌어지는 일에 관한 것. In vivo는 동물의 체내에서 벌어지는 일에 관한 것을 말한다.
Iodine number	옥도가. 지방이나 지방산 100g이 흡착할 수 있는 옥도의 양 (g)을 말하며, 불포화도의 측정 단위이다.
Jejunum	공장. 소장의 중간 부분.
Kcal (kilocalorie)	1,000칼로리 (calories)에 해당하는 에너지의 단위.
Kjeldahl	사료 원료 중의 조단백질 함량을 계산하고 평가하기 위하여 질소의 함량을 측정하는 분석 방법.
Lesion	체조직의 색깔, 크기 또는 구조의 병변.
Lignin	섬유소 중에서 소화가 불가능한 무기태 성분.
Linoleic acid	필수지방산 중의 하나.
Lipid	지방.
Liquefaction	고체를 액체로 변화시키는 과정.
Macro (major) minerals	대량광물질. 동물의 요구량에 비해 대량으로 존재하거나 요구되는 광물질들 예; 칼슘 (calcium), 인 (phosphorus), 나트륨 (sodium), 칼륨 (potassium), 마그네슘 (magnesium), 황 (sulfur) 그리고 염화물 (chloride).
Maillard products	사료 원료에 상당한 열처리가 가해질 때 생성되는 난소화성 (poorly digestible) 단백질-탄수화물 그룹으로 색깔이 어두운 갈색으로 변색되며 탄 풍미와 냄새가 난다.
Mash	건식분쇄 에탄올공장에서 발효 전의 물과 옥수수가루의 혼합물.
Meal	분쇄되거나 입자도가 감소된 곡물이나 사료 원료 또는 사료.
Megacalorie	Mcal. 1,000,000칼로리 (calories) 또는 1,000킬로칼로리 (kilocalories)에 해당하는 열량 단위.
Metabolism	대사. 합성 (anabolism)과 분해(catabolism)를 포함한 몸의 생화학적 변화의 총화.
ME	Metabolizable energy. 대사에너지. 배합사료나 사료 원료의 급여 시 총열량에서 분과 요의 열량을 감한 열량.
Micro (trace) minerals	미량광물질. 동물의 요구량에 비해 미량으로 존재하거나 요구되는 광물질들. 예; 철 (iron), 구리 (copper), 아연 (zinc), 요오드 (iodine), 셀레늄 (selenium) 그리고 망간 (manganese).
Modified wet cake	부분 건조 시킨 wet distillers grains와 condensed distillers solubles와의 혼합물로 건물 함량이 약 50%인 2차 산물. Co-products, ethanol dry milling 참조.
Monogastric	단위(동물). 돼지나 가금과 같은 동물들이 가진 하나의 단순한 위.
Mycotoxicosis	곰팡이 독소 중독. 동물이 곰팡이 독소를 많이 섭취하면 발생하는 중독증.
Mycotoxins	곰팡이 독소. 특수한 기후와 환경조건 하에서 특수한 타입의 곰팡이에 의해 생성되는 독성물질.

NDF	Neutral Detergent Fiber. 중성세제 섬유소. 식물과 곡물 세포벽의 섬유소 성분을 결정하기 위하여 사용하는 실험실 분석과정에서 중성세제에 용해되지 않는 섬유소로 단위동물에게는 소화되지 않음.
NE	Net energy. 정미 열량. 대사 열량에서 열량증가를 감한 것.
NFE	Nitrogen free extract. 가공무질소물. 사료 원료에서 수분, 지방, 섬유소, 단백질 그리고 회분을 100%에서 제하면 남는 탄수화물 예측치.
NPN	Non-protein nitrogen. 비단백성질소. 용액에서 침전시킬 수 있는 단백질이 아닌 질소함유 물질들 (예; 암모니아, 요소).
Nutrient	영양소. 몸에 영양을 공급하는 화학성분.
Ochratoxin Aspergillus	곰팡이에 의해 생성되는 곰팡이 독소로 신장을 공격하며, 성장률을 감소시키고 출산 장애를 유발할 수 있다.
Oleic acid	C:18 지방산으로 이중결합을 한 개 가지고 있으며 동물성 및 식물성 지방에서 발견됨.
Oxidation	산화. 물질과 산소의 결합.
Palmitic acid	C:16의 포화지방산.
pH	물질의 산도나 알칼리도의 측정 단위; pH 7이 중성임.
Phytic acid	피트산. Phytate 또는 피틴 (phytin)을 만드는 화합물질로 자연계에서는 인 결합 물질로 곡물이나 곡물 부산물에 존재한다. 단위동물에서 소화율과 이용률이 낮다.
Phytase	단위동물에 급여하는 곡물이나 곡물 부산물에 phytic acid 형태로 존재하는 인의 소화율을 향상시키기 위하여 단위동물의 사료에 첨가하는 효소제제.
ppm	Parts per million. 사료나 사료 원료에 존재하는 물질의 농도의 단위로 mg/kg에 해당.
Premix	비타민과 미량광물질들의 혼합물로 동물사료에 첨가하면 이들의 영양소 요구량을 충족시키게 된다.
Propionic acid	반추위에서 흔히 발견되는 휘발성지방산 중의 하나.
Proximate analysis	사료나 사료 원료의 조성분을 밝히기 위한 분석 방법의 총화.
Rancid	산패. 부분적인 분해가 일어난 지방의 상태를 설명할 때 쓰이는 용어.
Ration	사료의 일정한 부분을 말하며, 일당 사료 급여량을 표시할 때 사용함.
Rumen	반추동물의 위 중 제2 위.
Ruminant	반추동물. 네 개로 구분된 위를 가지고 되새김질을 하는 유제류 포유동물.
Rumination	반추. 먹은 사료를 토해내어 액체는 삼키고 고체는 다시 씹는 행위.
RUP	Ruminally Undegradable Protein. 반추위 비분해 단백질. 때로는 우회 단백질이라 불리며, 반추위에서 반추위 미생물에 의해 분해되지 않고 소장으로 들어가는 단백질. 일반적으로, 비분해 단백질은 가열 처리된 단백질이다.
Saccharification	당화. 에탄올생산에서 물과 효소를 사용하여 전분을 가수분해하는 과정.
Saturated fat	포화지방. 2중 결합이 없는 지방산으로 구성되어 있으며 상온에서는 고체이다.

Silage	혐기성 저장조건 하에서 다습 작물의 저장과 발효로 생성되는 사료.
Soluble fiber	가용섬유소. 동물의 하부소장에서 미생물에 의해 발효되는 사료의 비전분성 다당류의 일부.
Solubles	(syrup). 건식분쇄 에탄올 생산에서 원심분리에 의해 coarse grain으로부터 분리된 stillage 부분으로 증발을 통해 30% 건물로 농축함. Co-products, ethanol dry milling. 참조.
Starch	전분. 백색의 무미, 무취의 다당류 탄수화물로 옥수수, 수수, 밀 그리고 여러 곡류에 다량 함유되어 있으며 가수분해에 의해 포도당을 생산한다.
Steeping	에탄올 생산과정 중 습식도정 (wet mill) 옥수수 가공에서 배아, 피, 글루텐 그리고 전분을 분리하기 전에 옥수수 알곡을 연화시키기 위해 일정한 온도, 시간 그리고 황산과 젖산의 농도에서 침지시키는 과정.
Stillage	Co-products, ethanol dry milling. 참조.
Stomach	위. 소화기관의 일부로 대부분의 동물에서는 화학적 소화가 시작된다.
Syrup	Condensed distillers solubles (Co-products, ethanol dry milling 참조)를 전통적으로 syrup이라 부름.
TDF	Total Dietary Fiber. 사료와 사료 원료 내 비전분성 다당류로 수용성 및 불수용성 섬유소.
TDN	Total Digestible Nutrients. 동물에서 사료의 상대적 열량가를 지칭하는 값.
Trace minerals	micro minerals 참조.
Ulcer	위 조직의 침윤 또는 분해.
Unsaturated fat	하나 또는 그 이상의 2중 결합을 가진 지방산을 1~3개 가진 지방.
Urea	질소 농도가 높은 합성물질로 때로는 반추가축 사료에서 질소공급원으로 사용된다.
VFA	Volatile fatty acids. 휘발성지방산. 프로피온산 (Propionic), 아세트 (acetic) 그리고 뷰티르산 (butyric acids)을 포함한 휘발성 지방산 단쇄지방산으로 가축의 반추위나 단위 동물의 맹장이나 공장에서 생산되며 동물에게 에너지를 공급한다.
Wet cake	Co-products, ethanol dry milling 참조.
Wet distiller's grains	건조시키면 dried distillers grain (DDG)이 된다. Co-products, ethanol dry milling 참조).
Wet milling	옥수수 알곡으로부터 여러 성분을 분리하여 고과당 옥수수 시럽, 옥수수유, 전분 그리고 섬유소를 생산하는 가공과정.
Zearalenone	제랄레논. 푸사리움 속 (Fusarium) 곰팡이에 의해 특수한 기후와 환경조건 하에서 생성되는 곰팡이 독소로 동물에서 에스트로겐 효과 (estrogenic effects)를 가지고 있고, 번식 장애를 유발할 수 있다.

CHAPTER 25

Website Links (관련기관 홈페이지)

U.S. Grains Council

<http://www.grains.org>

Distillers Grains Technology Council

<http://www.distillersgrains.org/grains/>

National Corn Growers Association (NCGA)

<http://www.ncga.com/>

Renewable Fuels Association (RFA)

<http://www.ethanolrfa.org/>

Ethanol Producer Magazine

<http://www.ethanolproducer.com>

The Online Distillery Network

<http://www.distill.com/offlinks.html>

University of Minnesota

<http://www.ddgs.umn.edu/>

United States Department of Agriculture, Foreign Agriculture Service (FAS)

<http://www.fas.usda.gov/ustrade/>

<http://www.fas.usda.gov/>

CHAPTER 26

주요 참조 기사와 문헌들

Research Reviews

일반

Cooper, G., and J.A. Weber. 2012. An outlook on world biofuel production and its implication for the animal feed industry. In: Biofuels Co-Products as Livestock Feed - Opportunities and Challenges, H.P.S. Makkar, ed.. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy. Pp. 1-12. <http://www.fao.org/docrep/016/i3009e/i3009e02.pdf>.

Liu, K., and K.A. Rosentrater. 2012. Distillers Grains - Production, Properties, and Utilization. K. Liu and K.A. Rosentrater, eds., CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL.

Shurson, G.C. 2017. The role of biofuels co-products in feeding the world sustainably. *Ann. Rev. Anim. Biosciences* 5:229-254. <http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-animal-022516-022907>.

Shurson, G.C, H.D. Tilstra, and B.J. Kerr. 2012. Impact of United States biofuels co-products on the feed industry. In: Biofuels Co-Products as Livestock Feed - Opportunities and Challenges, H.P.S. Makkar, ed.. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy. Pp. 35-60. <http://www.fao.org/docrep/016/i3009e/i3009e.pdf>.

양어

Mjoun, K., and K. Rosentrater. 2012. Co-products of the United States biofuels industry as alternative feed ingredients for aquaculture. In: Biofuels Co-Products as Livestock Feed - Opportunities and Challenges, H.P.S. Makkar, ed. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy. Pp. 403-423. <https://poet.com/resources/research/dakotagold/Aquaculture/Ethanol percent20co-products percent20in percent20aquaculture.pdf>.

Shurson, J. 2012. Maize dried distillers grains with solubles (DDGS) - A new alternative ingredient in aquaculture feeds. *World Aquaculture* 43:54-58. https://www.biofuelscoproducts.umn.edu/sites/biodieselfeed.cfans.umn.edu/files/cfans_asset_475463.pdf.

육우

Berger, L., and V. Singh. 2010. Changes and evolution of corn coproducts for beef cattle. *J. Anim. Sci.* 88:E143-E150.

Erickson, G.E., T.J. Klopfenstein, and A.K. Watson. 2012. Utilization of feed co-products from wet or dry milling for beef cattle. In: Biofuels Co-Products as Livestock Feed - Opportunities and Challenges, H.P.S. Makkar, ed.. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy. Pp. 77-100. <http://www.fao.org/docrep/016/i3009e/i3009e03.pdf>.

Klopfenstein, T.J., G.E. Erickson, and V.R. Bremer. 2008. Board-invited review: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.* 86:1223-1231. <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2007-0550>.

젖소

Kalscheur, K.F., A.D. Garcia, D.J. Schingoethe, F.D. Royón, and A.R. Hippen. 2012. Feeding biofuel co-products to dairy cattle. In: Biofuels Co-Products as Livestock Feed - Opportunities and Challenges, H.P.S. Makkar, ed.. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy. Pp. 115-154. <http://www.fao.org/docrep/016/i3009e/i3009e.pdf>.

Schingoethe, D.J., K.F. Kalscheur, A.R. Hippen, and A.D. Garcia. 2009. Invited review: The use of distillers products in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 92:5802-5813. <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030209713001.pdf>.

가금

El-Hack, M.E.A., M. Alagawany, M.R. Farag, and K. Dhama. 2015. Use of maize distiller's dried grains with solubles (DDGS) in laying hen diets: trends and advances. *Asian J. Anim. Vet. Advances* 10:690-707. <http://scialert.net/qredirect.php?doi=ajava.2015.690.707&linkid=pdf>.

Salim, H.M., Z.A. Kruk, and B.D. Lee. 2010. Nutritive value of corn distillers dried grains with solubles as an ingredient of poultry diets: A review. *World's Poult. Sci. J.* 66:411-432. http://journals.cambridge.org/download.php?file=percent2FWPSpercent2FWPS66_03percent2FS0043933910000504a.pdf&code=c0e558cffe4ff5083c2e95bce65491e.

Swiatkiewicz, S., and J. Koreleski. 2008. The use of distillers dried grains with solubles (DDGS) in poultry nutrition. *World's Poult. Sci. J.* 64:257-266. <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/7A6FEE8A775C5D22F8FF5E2D4FDC995E/S0043933908000044a.pdf/div-class-title-the-use-of-distillers-dried-grains-with-solubles-ddgs-in-poultry-nutrition-div.pdf>.

Tahir, M. and G.M. Pesti. 2012a. A comparison of digestible amino acid databases: Relationship between amino acid concentration and digestibility. *J. Appl. Poult. Res.* 21:1-12.

Tahir, M., and G.M. Pesti. 2012b. Comparison of ingredient usage and formula costs in poultry feeds using different amino acid digestibility databases. *J. Appl. Poult. Res.* 21:693-705.

돼지

Shurson, G.C., R.T. Zijlstra, B.J. Kerr, and H.H. Stein. 2012. Feeding biofuels co-products to pigs. In: *Biofuels Co-Products as Livestock Feed - Opportunities and Challenges*, H.P.S. Makkar, ed., Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy. Pp. 175-208. <http://www.fao.org/docrep/016/i3009e/i3009e.pdf>.

Stein, H.H., and G.C. Shurson. 2009. Board-invited review: The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87(4):1292-1303. <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2008-1290>.

Woyengo, T.A., E. Beltranena, and R.T. Zijlstra. 2014. Nonruminant Nutrition Symposium: Controlling feed cost by including alternative ingredients into pig diets: A review. *J. Anim. Sci.* 92:1293-1305.

곰팡이 독소

Caupert, J., Y. Zhang, P. Imerman, J.L. Richard, and G.C. Shurson. 2011. Mycotoxin Occurrence in DDGS. In: *Distillers Grains: Production, Properties, and Utilization*, CRC Press, New York, NY. p. 219-234.

Streit, E., K. Naehrer, I. Rodrigues, and G. Schatzmayr. 2013. Mycotoxin occurrence in feed and feed raw materials worldwide: long-term analysis with special focus on Europe and Asia. *J. Sci. Food Agric.* 93:2892-2899. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.6225/epdf>.

Schatzmayr, G., and E. Streit. 2013. Global occurrence of mycotoxins in the food and feed chain: facts and figures. *World Mycotoxin J.* 6:213-222. <http://www.wageningenacademic.com/doi/pdf/10.3920/WMJ2013.1572>.

옥수수 가공 2차 산물 속의 효모

Shurson, G.C. 2017. Review - Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Anim. Feed Sci. Technol.* 235:60-76. https://ac.els-cdn.com/S0377840117308398/1-s2.0-S0377840117308398-main.pdf?_tid=623b997e-f30e-11e7-96f8-00000aab0f02&acdnat=1515263056_5f92b454b31853887bea40e8213765e7.

백 인 기 | 주요경력

- 1968 | 서울대학교 농과대학 축산학사
- 1970 ~ '76 | 한국 Cargill(주) 사료공장 품질관리과장, 공장장
- 1976 | 서울대학교 대학원 가축영양학 석사
- 1980 | University of Alberta 가금영양학 박사
- 1981 ~ '82 | University of Manitoba 조교수
- 1982 ~ '84 | Surrey Co-op, BC, Canada; Senior Nutritionist of Feed Operation
- 1984 ~ 2011 | 중앙대학교 교수, 산업과학대 학장
- 1995 ~ '96 | University of British Columbia 방문교수
- 1997 ~ '99 | 한국영양사료학회 회장
- 2004 ~ '06 | 아세아-태평양 축산학회 (AAAP) 회장
- 2006 | 한국동물자원과학회 회장
- 2007 ~ '08 | 미국곡물협회 (한국) DDGS Consultant
- 현재 | 중앙대학교 명예교수
- | 한국과학기술 한림원 종신회원

정밀 DDGS 영양

DDGS 사용자 핸드북 제4판

발행처 | 미국곡물협회

우편번호 03152

서울시 종로구 종로1길 42 이마빌딩 303호

전화: 02-720-1891 팩스: 02-720-9008

www.usgrains.or.kr

디자인 | TRI

인쇄 | 대경프린팅

제작일 | 2020년 4월



U.S. GRAINS
COUNCIL

www.usgrains.or.kr
www.grains.org