

옥수수주정박(DDGS)의 사료적 가치

백 인 기 교수
중앙대학교
미국곡물협회 자문위원



1. 증류 부산물의 영양성분의 비교

연료용 에탄올은 습식 및 건식 가공공정에 의해 생산되지만 미국에서는 주로 건식 가공공정에 의해 생산된다. 에탄올 발효에는 옥수수가 주로 사용되는데 이는 옥수수가 다른 원료에 비해 발효가능 전분함량이 많기 때문이다. 일부 에탄올 생산공장에서는 공장의 지리적 위치, 옥수수와 비교한 비용 및 이용성에 따라 수수, 보리, 밀 또는 수수와 혼합한 옥수수를 사용하기도 한다.

건식 에탄올 생산공정에서 생산되는 부산물의 종류는 다양하지만 DDGS가 가장 중요한 부산물로 젖소, 소, 돼지, 가금 그리고 어류양식 사료원료로 국제적으로 널리 거래되고 있다. 미국의 근대식 에탄올 생산공장에서 제조된 고

품질 DDGS의 영양적 가치는 NRC에서 출간된 각 축종의 영양소 요구량에 수록된 영양성분 함양보다 높다 - 돼지 NRC(1998), 가금 NRC(1994) 젖소 NRC(2001) 그리고 육우 NRC(1996).

습식 가공공정에서는 옥수수 글루텐 피드, 옥수수 글루텐 밀 그리고 옥수수 배아박이 생산된다. 양조업에서도 또한 DDGS를 생산(DDGS총생산량의 1% 미만 생산)하는데 대부분 어두운 색깔을 띠고, 영양소 함량의 변이가 심하며 근대식 연료용 에탄올 생산공장에서 생산되는 DDGS보다 가소화 영양소 함량이 낮다. 맥주공장에서는 맥주박이 나오는데 발효를 위해 말토스와 텍스트린을 제공하기 위해 사용된 곡류와 보리맥아의 잔유물이 함유되어 있다. 맥주박은 섬유소함량이 18~19%로 높아

표 1. 양질의 옥수수DDGS와 NRC (1998)의 DDGS, 옥수수 글루텐 피드, 옥수수 글루텐 밀 그리고 맥주粕의 영양소 함유량 비교
(증건물 기준)

	양질의 옥수수 DDGS	DDGS NRC (1998)	옥수수 글루텐 피드 NRC (1998)	옥수수 글루텐 밀 NRC (1998)	맥주粕 NRC (1998)
Dry Matter, %	89	93	90	90	92
Crude Protein, %	27.2	27.7	21.5	60.2	26.5
Crude Fat, %	9.5	8.4	3.0	2.9	7.3
ADF, %	14.0	16.3	10.7	4.6	21.9
NDF, %	38.8	34.6	33.3	8.7	48.7
DE, kcal/kg	3953	3200	2990	4225	2100
ME, kcal/kg	3580	2820	2605	3830	1960
Arginine, %	1.06	1.13	1.04	1.93	1.53
Histidine, %	0.68	0.69	0.67	1.28	0.53
Isoleucine, %	1.01	1.03	0.66	2.48	1.02
Leucine, %	3.18	2.57	1.96	10.19	2.08
Lysine, %	0.74	0.62	0.63	1.02	1.08
Methionine, %	0.49	0.50	0.35	1.43	0.45
Cystine, %	0.52	0.52	0.46	1.09	0.49
Phenylalanine, %	1.32	1.34	0.76	3.84	1.22
Threonine, %	1.01	0.94	0.74	2.08	0.95
Tryptophan, %	0.21	0.25	0.07	0.31	0.26
Valine, %	1.34	1.30	1.01	2.79	1.26
Calcium, %	0.05	0.20	0.22	0.05	0.32
Chlorine, %	no data	0.08	0.22	0.06	0.15
Magnesium, %	0.13	0.19	0.33	0.08	0.16
Phosphorus, %	0.79	0.77	0.83	0.44	0.56
Avail. Phosphorus, %	0.71	0.59	0.49	0.07	0.19
Potassium, %	0.84	0.84	0.98	0.18	0.08
Sodium, %	0.22	0.20	0.15	0.02	0.26
Sulfur, %	0.44	0.30	0.22	0.43	0.31
Copper, mg/kg	6	57	48	26	21
Iron, mg/kg	121	257	460	282	250
Manganese, mg/kg	13	24	24	4	38
Selenium, mg/kg	no data	0.39	0.27	1.00	0.70
Zinc, mg/kg	75	80	70	33	62
Beta carotene, mg/kg	no data	3.5	1.0	--	0.2
Vitamin E, mg/kg	no data	no data	8.5	6.7	--
Niacin, mg/kg*	no data	75	66	55	43
Pantothenic acid, mg/kg	no data	14.0	17.0	3.5	8.0
Riboflavin, mg/kg	no data	8.6	2.4	2.2	1.4
Vitamin B12, mg/kg	no data	0.0	0.0	0.0	0.0
Biotin, mg/kg	no data	0.78	0.14	0.15	0.24
Choline, mg/kg	no data	2637	1518	330	1723
Folic acid, mg/kg	no data	0.90	0.28	0.13	7.10
Thiamin, mg/kg	no data	2.9	2.0	0.3	0.6
Vitamin B6, mg/kg	no data	8.0	13.0	6.9	0.7

일부가축사료에는 사용상 제약요인이 된다. 건식 또는 습식 에탄올 가공공정이나 양조용 에탄올 가공공정에서 생산되는 부산물들은 영양적으로 서로 다르며 축종에 따라 경제적 가치가 다르다.

표1은 양질의 옥수수DDGS의 영양소함량과 돼지 NRC표준사양(NRC, 1998)에서 발표된 DDGS, 옥수수 글루텐 피드, 옥수수글루텐 밀 그리고 주정박의 영양소함량을 비교한 것이다.

양질의 옥수수DDGS를 옥수수 글루텐피드, 옥수수 글루텐밀 그리고 맥주박과 비교하였을 때 주된 영양적 강점은 지방함량과 가용 인의 함량이 높은 것이다. 양질의 옥수수DDGS의 가소화에너지(DE)와 대사에너지(ME)값은 옥수수 글루텐 피드나 맥주박 보다 상당히 높지만, 옥수수 글루텐 밀 보다는 낮다. 옥수수 DDGS의 아미노산 함량은 옥수수 글루텐 밀 보다는 낮지만, 옥수수 글루텐 피드나 맥주박과는 비슷하다.

2. 고단백질 DDGS와 새로운 형태의 에탄올 부산물

몇몇 에탄올 제조회사와 연구기관들은 에탄올의 수율을 높이고 에탄올 건식 가공공정의 부산물을 바꾸는 여러가지 방법을 개발하고 있다. 가장 널리 검토되고 있는 방법으로는 DDGS의 단백질 함량을 증가시키기 위하여 효소를 이용하거나, 발효전에 우선 배아나 옥수수피를 제거하고, DDGS생산전에 인(P)을 제거하는 방법 들이다. 앞으로 에탄올 제조업이

계속 확장되면서 여러가지 새롭고 개량된 DDGS제품과 건식공정의 부산물들이 생산될 것으로 기대된다. 새롭게 생산되는 제품들은 각각 영양적 특성을 가지고 있으므로 각 축종 별 사료에 사용 시 특성에 맞게 적절히 평가하여 사용해야 할 것이다.

3. DDGS의 영양소함량과 소화율 변이에 영향을 미치는 요인들

가축영양 전문가들은 구입하여 사용할 사료 성분의 일관성과 예측가능성을 중요하게 생각한다. DDGS의 영양소함량은 DDGS공급원에 따라 변이가 있으며(표 2) 동일공급자의 제품이라도 제조시기에 따라 변한다 (Spiehs 등, 2002).

DDGS공급원에 따를 변이를 극복하기 위하여 일부 사료회사에서는 공급원 별로 특성을 파악하여 구매 결정시 선별의 기준으로 삼는다.

DDGS의 영양소함량의 변이에 영향을 미치는 가장 중요한 3가지 요인:

- 에탄올 공장으로 배달된 옥수수의 영양소함량의 변이
- DDGS의 두가지 구성 성분(고형물과 solubles)의 배합비율 변이 그리고
- 건조시간과 온도의 차이

4. 옥수수의 영양소 함유량의 변화

DDGS의 영양소 함량 변이의 대부분은 옥수

표 2. 미국의 32개 DDGS 공급원(www.ddgs.umn.edu)에서 제품의 주요 영양소(100% 건물기준)의 평균과 범위

영양소	평균 (CV)	범위
Crude protein, %	30.9 (4.7)	28.7 – 32.9
Crude fat, %	10.7 (16.4)	8.8 – 12.4
Crude fiber, %	7.2 (18.0)	5.4 – 10.4
Ash, %	6.0 (26.6)	3.0 – 9.8
Calculated ME (swine), kcal/kg	3810 (3.5)	3504 – 4048
Lysine, %	0.90 (11.4)	0.61 – 1.06
Arginine, %	1.31 (7.4)	1.01 – 1.48
Tryptophan, %	0.24 (13.7)	0.18 – 0.28
Methionine, %	0.65 (8.4)	0.54 – 0.76
Phosphorus, %	0.75 (19.4)	0.42 – 0.99

표 3. 옥수수 영양소 함량(88% 건물기준)의 전체 평균, 최소값, 그리고 최대값

영양소	평균	최소값	최대값
Crude protein, %	8.6	7.8	10.0
Lysine, %	0.26	0.22	0.32
Calcium, %	0.01	0.01	0.01
Phosphorus, %	0.28	0.24	0.34
Selenium, parts per million (ppm)	0.12	0.10	0.16
Vitamin E, IU/lb	3.9	1.9	5.8

수 품종과 옥수수 재배지의 지리적인 위치에 따른 일반적인 변이 때문이다. Reese와 Lewis(1989)의 발표에 의하면 1987년 Nebraska에서 재배된 옥수수의 영양소 함량은 조단백 7.8~10.0%, lysine 0.22~0.32, 그리고 인 0.24~0.34% 이었다 (표 3).

건식가공 공정에서 옥수수 알갱이의 전분은 에탄올 생산을 위해 제거되고 DDGS를 비롯한 부산물들의 영양소는 농축되므로 옥수수 영양 소함량의 변이는 DDGS에서 더욱 현저한 차 이를 나타내게 된다.

5. 발효후 잔여 고형물에 첨가하는 농축여액 첨가량의 변이

DDGS는 건식 에탄올 생산공정에서 두개 라인의 중간재 즉 발효후 잔여고형물(grains)과 농축여액(condensed distiller's solubles)을 혼합하여 생산한다. 미국사료관리위원회(AAFCO)의 공식규정에 의하면 DDGS는 에탄올을 증류, 분리한 후 얻어지는 증류여액 중 고형물의 75% 이상을 젖은 고형물(wet cake)에 첨가하도록 되어있다. 에탄올 공장에 따라서 농축여액의 첨가량은 75%에서 100%

표 4. Distiller's grains와 Distiller's solubles의 영양소 함량과 변이 (100% 건물)

Grains	평균	최소값	최대값
Dry Matter, %	34.3	33.7	34.9
Crude Protein, %	33.8	31.3	36.0
Crude Fat, %	7.7	2.1	10.1
Crude Fiber, %	9.1	8.2	9.9
Ash, %	3.0	2.6	3.3
Calcium, %	0.04	0.03	0.05
Phosphorus, %	0.56	0.44	0.69
Solubles	평균	최소값	최대값
Dry Matter, %	27.7	23.7	30.5
Crude Protein, %	19.5	17.9	20.8
Crude Fat, %	17.4	14.4	20.1
Crude Fiber, %	1.4	1.1	1.8
Ash, %	8.4	7.8	9.1
Calcium, %	0.09	0.06	0.12
Phosphorus, %	1.3	1.2	1.4

Source: Knott 등 (2004)

까지 다양할 것이다. 각 공장에서 생산되는 고형물과 여액의 성분에 차이(표4)가 있고 혼합비율에도 차이가 있기 때문에 DDGS의 영양소 함량에는 변이가 생기게 된다.

Noll 등(2006)은 solubles의 첨가량을 달리 했을 때 DDGS의 영양소 함량과 소화율에 미치는 영향을 조사하였다. Grains에 첨가할 수 있는 solubles의 최대량을 기준으로 0, 30, 60 그리고 100%를 첨가하였다. 이는 연속배합공정에서 분당 0, 12, 25 그리고 42 gallons의 solubles를 grains에 첨가하는 것에 해당하였다. Grains에 solubles의 첨가량이 감소하면 건조기의 온도도 감소하였다. DDGS 샘플은 색, 입자도, 수분, 조지방, 조단백, 조섬유, 회분, 인, lysine, methionine, cystine 그리고

threonine을 분석했다. 가소화 아미노산은 맹장질제 수탉으로 측정하였고 진정대사에너지(TMEn)는 어린 칠면조로 측정하였다.

입자도는 solubles의 첨가수준이 높아질수록 증가하고 변이도 크졌다. 표5에서 보는 바와 같이 solubles의 첨가량이 증가할수록 DDGS의 색깔은 어두워지고 (L^* 감소) 황색은 감소(b^* 감소)하였다. Solubles의 첨가량이 증가할수록 조지방, 회분, TMEn(가금), Mg, Na, P, K, Cl 그리고 S의 함량은 증가하지만 조단백과 아미노산함량 그리고 소화율에는 영향이 거의 없었다.

6. Lysine 소화율: 건조시간과 온도

표5. DDGS생산공정에서 grains에 solubles의 첨가량이 색, 영양소 함량, 진정대사에너지(기금) 그리고 아미노산 소화율에 미치는 영향(100% 건물 기준)

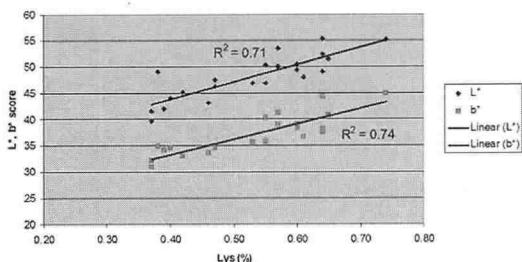
Measurement	0 gal/min	12 gal/min	25 gal/min	42 gal/min	피어슨 상관계수	P 값
Color L*	59.4	56.8	52.5	46.1	- 0.98	0.0001
Color a*	8.0	8.4	9.3	8.8	0.62	0.03
Color b*	43.3	42.1	40.4	35.6	- 0.92	0.0001
수분, %	9.52	9.75	10.74	13.83	0.93	0.06
조지방, %	7.97	9.14	9.22	10.53	0.96	0.04
조단백질, %	31.96	32.65	32.46	31.98	0.03	NS
조섬유, %	9.17	7.76	10.08	6.50	- 0.51	NS
회분, %	2.58	3.58	3.72	4.62	0.97	0.03
Lysine, %	1.04	1.05	1.09	1.04	0.02	NS
Methionine, %	0.63	0.64	0.59	0.62	- 0.13	NS
Cystine, %	0.61	0.61	0.53	0.62	0.16	NS
Threonine, %	1.20	1.22	1.20	1.20	- 0.18	NS
Phosphorus, %	0.53	0.66	0.77	0.91	0.99	0.002
TMEn, kcal/kg	2712	2897	3002	3743	0.94	0.06
Lys 소화율, %	78.2	76.0	69.7	75.0	- 0.90	NS
Met 소화율, %	90.9	88.6	86.3	87.3	- 0.92	NS
Cys 소화율, %	87.2	87.6	80.7	80.3	- 0.95	NS
Thr 소화율, %	85.9	83.2	80.5	77.3	- 0.99	0.02
Arg 소화율, %	92.1	90.7	86.7	88.5	- 0.99	0.07

밝은 색을 띠는DDGS의 진정lysine소화율은 가금의 경우가 59~83%(Ergul 등,2003), 돼지의 경우는 44~63% (Stein 등,2005) 이었다. 최근South Dakota 주립대학, Minnesota 대학 그리고 Degussa의 돼지 영양 연구원들이 실시한 공동연구의 미발표 연구결과에 따르면 34개의 DDGS 셈플들의 lysine함량의 범위가 0.52~1.13%이고 lysine의 표준 진정회장소화율의 범위는 17.7~74.4%로 변이가 심하였다. DDGS샘플간에 아미노산 소화율의 변이가 심하고 돼지에서 DDGS 의 아미노산 소화율에 대한 보다 정확한 정보가 필요하므로

Minnesota 대학에서는 DDGS를 돼지 사료 배합비에 포함하기 전에 아미노산소화율을 예측 할 수 있는 몇가지 in vitro 방법의 정확성에 대한 평가를 하고 있다.

밝은 색깔의 DDGS샘플간에 lysine의 소화율이 매우 다른데 이는 DDGS 제조과정에서 건조 시간과 온도의 차이 때문인 것으로 보인다. 건조기 온도의 범위는 에탄올 공장에 따라 260°F에서 1150°F로 차이가 심하다

가열 량과 가열 시간은 lysine의 소화율과 상관관계가 크기 때문에(그림1), 밝은 색깔의 DDGS간에도 lysine의 소화율에 상당한 차이

그림 1. 가소화 라이신함량(%)과 색도(L^* , b^*)의 회귀

L^* = 밝은 색 (0 = 검은 색; 100 = 하얀 색),
 b^* 의 값은 클수록 황색도가 높음.

가 있다는 사실은 놀랍지 않다.

어떤 건식 에탄올 제조공장은 에탄올과 DDGS제조에 있어 수정된 공정을 사용하기도 한다. 예를 들면, 발효를 촉진시키기 위해 어떤 공장에서는 발효과정에서 효소를 적게 쓰고 대신 가열을 위한 증자기(cooker)를 쓰고 어떤 공장은 효소를 더 많이 사용하는 대신 증자기를 사용하지 않는다. 이론적으로는 열 사용량이 적을수록 DDGS의 아미노산의 소화율은 개선되겠지만 이러한 공정이 최종 영양소의 성분과 소화율에 미치는 영향에 대해서는 연구가 수행되지 않았다.

동물사료에서 DDGS의 가치가 낮게 또는 높게 평가되는 위험을 감소시키기 위하여 DDGS 사용자는 공급원 별로 제품의 영양성분에 대한 정확한 정보와 철저한 품질관리 프로그램을 통해 품질을 식별할 수 있어야 한다. 한편 공급자인 에탄올 생산회사는 DDGS 와 부산물들에 대한 분석자료 database를 구축하여 제품의 품질과 균일성에 대한 확신을 심어주어야 할 것이다. 돼지와 가금에서 DDGS의 아미노산 소

화율을 추정하기 위하여 정확하고, 빠르고, 경제적인 *in vitro* 측정방법의 확립과 개발이 필요하다.

7. DDGS 영양소 함량과 소화율의 평가

동물사료에 DDGS를 사용하는데 있어서 가장 큰 과제는 아마도 정확한 영양소 함량과 소화율을 아는 것이다.

→ 라이신 소화율을 평가하는데 있어서 더 정확한 *in vitro* 방법이 개발될 때 까지는 Minolta나 Hunterlab spectrophotometer로 색도를 측정하는 것이 가장 신뢰성이 높다.

→ DDGS의 단백질과 아미노산의 소화율측정에 산성세제불용성 질소(ADIN)를 사용하는 것은 열 손상을 입은 조사료를 평가할 때 보다 정확하지 못하다.

→ Novus International, Inc.에서 개발한 효소분석법인IDEA와 펩신/판크레아틴 효소와 반응활성lysine 방법과 같은 효소분석법들은 조단백과 아미노산의 소화율을 예측하는 유용한 *in vitro* 방법이지만 정확도를 높이기위하며 더 개선할 필요가 있다.

→ NIRS를 사용하여 DDGS의 아미노산과 에너지 측정을 위한 계측(calibration)을 할 수 있지만 계측방법에 따라 계측의 질이 차이날 수 있다. 전반적인 계측의 질은 쓸 만하지만 다른 사료원료로부터 얻어진것에 비해서는 질이 낮은 편이다. 5