

泌乳牛へのバイオエタノール残さ給与が乳生産性と栄養代謝に及ぼす影響

生田健太郎*・山口悦司*・片岡 敏*

要 約

バイオエタノール残さ(DDGS)給与が乳生産性や栄養代謝状態等に及ぼす影響を検討するため、泌乳牛10頭(初産4頭, 2産以上6頭)を供試し、乾物中16.3%(1頭1日当たり原物約4kg)のDDGSを給与する試験区と給与しない対照区を設け、一期14日間のクロスオーバー法で飼養試験を行なったところ、以下の結果が得られた。

体重、乾物摂取量及び乳成分率は両区間に差はなかった。日平均乳量は試験区が多い傾向を示し、4%脂肪補正乳量は対照区に30.9kg/日に対し、試験区32.4kg/日と有意に($P<0.05$)多かった。

第一胃液pHは朝の飼料給与直前に試験区が有意に($P<0.05$)高かった。第一胃液アンモニア態窒素濃度も朝の飼料給与直前に試験区が有意に($P<0.01$)高かった。総揮発性脂肪酸(VFA)濃度は朝の飼料給与直前及び給与後2時間とも試験区が有意に($P<0.05$)低かった。VFA中の酢酸比率は朝の飼料給与2時間後に試験区が有意に($P<0.01$)低く、酪酸比率は朝の飼料給与後2時間に試験区が有意に($P<0.01$)高かった。

第一胃内原虫総数は朝の飼料給与直前及び給与2時間後とも試験区が有意に($P<0.05$)多かった。

血液成分では尿素窒素のみ試験区が有意($P<0.01$)に高かった。

以上より、DDGSの給与は第一胃発酵とは異なる経路で乳量を増加させることが示唆された。

Influence of Dried Distillers Grains with Solubles on Milk Production and Nutritional Status in Dairy Cows

Kentarou IKUTA, Etuji YAMAGUCHI, and Bin KATAOKA

Summary

This experiment was performed to evaluate influence of feeding dried distillers grains with soluble (DDGS) on milk production and nutritional status of dairy cows. Four primiparous and 6 multiparous cows were randomly assigned to one of 2 diets: a total mixedration (TMR) containing 16.3% DDGS in dry matter (approximately 4 kg per cow daily) (group T) and control, 0% DDGS (group C) in a crossover design. Each period of the crossover lasted for 14 days. Rumen fluid was sampled just before and 2 hours after the morning feeding.

The following results were obtained :

There was no significant difference in body weight, dry matter intake and milk composition between groups. Average daily milk production tended to be greater for group T than for group C and 4% fat-corrected milk was significantly greater ($P<0.05$) for group T than for group C (group T, 32.4 kg/d vs. group C, 30.9 kg/d).

Ruminal pH ($P<0.05$) and ammonia-N concentration ($P<0.01$) before feeding were significantly higher for group T than for group C. Ruminal concentrations of the total volatile fatty acids (VFA) before and after feeding were significantly lower ($P<0.05$) for group T than group C. The proportion of the molar acetic acid concentration

in the rumen VFA content after feeding was significantly lower ($P<0.01$) for group T than group C. The proportion of the molar butyric acid concentration in the rumen VFA content after feeding was significantly higher ($P<0.05$) for group T than group C.

Ruminal protozoa counts in group T significantly increased ($P<0.05$) before and after feeding compared with group C.

Plasma urea-N concentration was significantly higher ($P<0.01$) for group T than group C.

These results suggested that feeding a TMR containing 16.3% dried distillers grains with soluble (dry matter basis) increases milk production via different mechanisms from ruminal fermentation.

キーワード：乳牛，DDGS，乳生産性，第一胃液性状

緒 言

米国でトウモロコシからのバイオエタノール生産に伴って大量に産出される残さ（Distillers dried grain with soluble: DDGS）がわが国へも輸入されるようになり、高騰する穀類の代替濃厚飼料としての活用が期待されている。すでに米国では多くの研究結果に基づき、有効利用のためのユーザーズガイド⁹⁾が公表されている。

しかし、わが国ではこれまで国内における給与実績はほとんどないため、飼料メーカーによる配合飼料へのDDGS混合割合は数%程度にとどまっている。そこで、DDGSのさらなる活用を図るため、給与割合を乾物中15%以上に高めた場合の乳生産性や第一胃液性状に対する影響を検討した。

表1．試験開始時における供試牛の状況

	初産牛	経産牛
頭 数	4	6
分娩後日数	91 ± 27	171 ± 78
乳 量 (kg/日)	31.1 ± 2.0	34.5 ± 7.3
体 重 (kg)	546 ± 43	633 ± 52

材料及び方法

1 供試牛，処理区分及び実施期間

供試牛

試験にはホルスタイン種雌牛10頭（初産4頭，2産以上6頭）を供試した。これらの供試開始時点における分娩後日数，乳量及び体重を示した（表1）。

処理区分

当所が慣行的に給与している完全混合飼料（TMR）の対照区に対し，綿実，コーングルテンミール及びソイプラスなどとの置換により，DDGSを乾物中16.3%給与する試験区の2区を設定した。

(3) 実施期間

馴致期間9日間をとった後，試験を2008年5月から7月にかけて，一期14日間（予備期11日，本試験期3日）のクロスオーバー法で実施した。本試験期に乳汁，第一胃液及び血液の採材を行った。

2 供試飼料

DDGSミックス

現段階ではDDGSは単体で流通していないため，DDGS80%，大豆粕16%，圧片大麦4%の原物割合で混合した配合飼料（DDGSミックス）を発注し，試験区のTMRへ混合した。DDGSミックスの分析に基

表2．DDGSミックス¹⁾の飼料成分

乾物 原物中%	粗蛋白質	粗脂肪	NFE ²⁾	粗繊維 乾物中%	粗灰分	カルシウム	リン	ADF ³⁾	NDF ⁴⁾	TDN ⁵⁾
88.41	32.44	10.5	43.86	7.93	5.27	0.33	0.83	13.22	41.66	75.46

1) 原物混合割合（DDGS：80%，大豆粕：16%，皮付圧片大麦：4%）

2) NFE：可溶性無窒素物

3) ADF：酸性デタージェント繊維

4) NDF：中性デタージェント繊維

5) TDN：可消化養分総量（日本標準飼料成分表（2001）の消化率を基に算出）

表3. 供試TMRの飼料構成と養分含量

飼料名	対照区	試験区
飼料構成(乾物中%)		
混播サイレージ ¹⁾	10.9	10.8
ビートパルプ	11.8	11.8
圧片トウモロコシ	27.0	25.4
DDGS		16.3
皮付圧片大麦	6.0	0.8
大豆粕	9.7	5.0
綿実	2.1	
アルファルファ乾草	13.0	12.9
クレイン乾草	8.2	8.2
トールフェスク乾草	8.0	8.0
コーングルテンミール	0.8	
ソイプラス ²⁾	1.6	
プレミックスミネラル ³⁾	0.9	0.9
養分含量 ⁴⁾ (乾物以外は乾物中%)		
乾物	57.9	58.2
粗蛋白質(CP)	15.8	16.2
粗脂肪(EE)	3.1	4.2
中性デタージェント繊維(NDF)	36.1	38.8
非繊維性炭水化物(NFC)	35.3	30.5
可消化養分総量(TDN) ⁵⁾	73.9	72.4

- 1) デントコーン：ソルガム = 6 : 4
- 2) 加熱大豆粕 (TDN=88.2%, CP=48.6%, CPバイパス率=61.8%)
- 3) 炭酸カルシウム：第二リン酸カルシウム：並塩：重曹 = 2 : 2 : 1 : 1 : 1
- 4) 計算値

づく養分含量を示す(表2)。

供試飼料の構成及び成分

供試TMRの飼料構成と養分含量を示す(表3)。

試験区は対照区と養分含量が等しくなるように綿実、コーングルテンミール及びソイプラスをDDGSで置換した。

3 飼養管理状況

コンフォート型繋ぎ牛舎にて供試牛を飼養した。9時と16時に飼料を給与し、8時と16時30分から搾乳を開始した。

各供試牛には馴致期の体重、乳量及び乳脂率より求めた日本飼養標準⁶⁾の養分要求量が充足するようにTMR給与量を決定し、その40%を朝、60%を夕方にそれぞれ給与した。

4 調査項目と測定方法

飼養成績

1) 飼料摂取状況と体重

給与量と残飼量を朝夕の給与ごとに計量した。100 18時間の熱風乾燥により残飼の乾物率を測定した。これらの記録と養分含量の分析値により乾物摂取量、日本飼養標準⁶⁾の養分要求量に対する充足率をME、TDN及びCPについて算出した。

供試開始時と終了時の体重を牛衡器で計測した。

2) 産乳成績

乳量をミルクメーター(STRU-TEST)で朝夕の搾乳ごとに計測・記録した。

分析用乳汁を本試験期2日間の搾乳ごとに採取し、一般乳成分を多成分赤外線分析装置(コンビフォスTMFC, ジャパン Foss, 東京)にて分析した。分析は近畿生乳販売連合会生乳検査所に依頼した。各成分率を朝夕の乳量比によって加重平均により算出した。

第一胃液性状

第一胃液を発酵がピークに達する朝の飼料給与後2時間(飼料給与後)と前回の飼料給与から最も時間が経過した朝の飼料給与直前(飼料給与前)に、経口式胃汁採取器(ルミナー：富士平工業, 東京)を用いて採取した。採取後、直ちにガラス電極法(pHメーターF-8L型：堀場製作所, 京都)にてpHを測定した。

二重ガーゼで濾過した胃液を凍結保存し、水蒸気蒸留法によってアンモニア態窒素濃度を測定した。

揮発性脂肪酸(VFA)については、濾過胃液2.5mlを24%メタリン酸0.5mlと混和、18時間室温放置し、冷却遠心(4℃, 3000回転/分, 30分間)によって得られた上清液を凍結保存し、融解後、水系0.45µmのディスクフィルター(GLクロマトディスク25A: ジーエルサイエンス, 東京)で濾過し、ガスクロマトグラフ(HITACHI-163型: 日立製作所, 東京)で測定した。

血液成分

採血を本試験期1日目の朝の飼料給与4時間後に頸静脈よりプレイン及びフッ化ナトリウム加真空採血管を用いて行った。採血後直ちに、フッ化ナトリウム加血液についてはヘマトクリット値を計測し、冷却遠心(4℃, 3000回転/分, 5分間)により血漿を分離して、乾式血液自動分析装置(ドライケム3030: 富士写真フィルム, 東京)にて血糖を測定した。血清分離剤加血液については37℃で10分間静置後、冷却遠心(4℃, 3000回転/分, 15分間)により血清を分離し、総蛋を屈折法、アルブミン、尿素態窒素、総コレステロール、

カルシウム，アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ（AST）及び グルタミントランスペプチターゼを乾式血液自動分析装置（ドライケム3030：富士写真フィルム，東京）にて当日中に測定した．

5 統計処理

データの統計処理はSASのGLMプロシジャーを用い，次のモデルで行った⁸⁾．

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + e_{1+} + j + k + e_2$$

表4．体重、乾物摂取量および乳生産性

項目	(単位)	対照区	試験区	標準誤差	有意水準 ¹⁾
体重	(kg)	602.3	596.5	2.70	ns
乾物摂取量	(kg/日)	21.5	21.4	0.45	ns
日平均乳量	(kg/日)	30.9	32.4	0.47	0.066
4% 脂肪補正乳量 ²⁾	(kg/日)	28.3	30.3	0.45	0.013
乳脂率	(%)	3.53	3.69	0.14	ns
乳蛋白質率	(%)	2.99	3.09	0.08	ns
乳糖率	(%)	4.37	4.52	0.10	ns
無脂固形分率	(%)	8.36	8.61	0.17	ns

1) ns：有意差なし

2) 乳成分測定時の乳量で算出

表5．第一胃液性状

項目	(単位)	対照区	試験区	標準誤差	有意水準 ¹⁾
pH					
飼料給与前 ²⁾		6.84	6.90	0.017	0.030
飼料給与後 ³⁾		6.63	6.57	0.049	ns
アンモニア態窒素濃度	(mg/dℓ)				
飼料給与前		8.65	12.03	0.489	0.001
飼料給与後		7.80	9.06	0.706	ns
総VFA ⁴⁾ 濃度	(mmol/dℓ)				
飼料給与前		7.97	7.09	0.192	0.011
飼料給与後		9.85	8.88	0.289	0.044
酢酸比率	(%)				
飼料給与前		66.2	67.3	0.511	ns
飼料給与後		62.1	59.8	0.476	0.008
プロピオン酸比率	(%)				
飼料給与前		18.9	17.3	0.734	ns
飼料給与後		21.8	21.4	0.627	ns
酪酸比率	(%)				
飼料給与前		12.0	12.3	0.319	ns
飼料給与後		13.2	15.6	0.622	0.026
A/P比 ⁵⁾					
飼料給与前		3.58	3.88	0.155	ns
飼料給与後		2.89	2.80	0.090	ns

1) ns：有意差なし

2) 朝の飼料給与直前

3) 朝の飼料給与から2時間後

4) Volatil fatty acid (揮発性脂肪酸)

5) 酢酸：プロピオン酸比

Y_{ijk} : 測定値

μ : 総平均

α_i : 群 i の効果

j : 飼料 j の効果

k : 試験期 k の効果

e_1, e_2 : 1 次誤差及び 2 次誤差

また、飼料効果は 2 次誤差を用いた F 検定により、危険率 5% 未満の場合に有意差があるものとし、5% 以上 10% 未満の場合に傾向があるものとした。

結 果

1 飼養成績

体重、乾物摂取量、乳量及び乳成分率を示す(表 4)。

体重、乾物摂取量及び各乳成分率は両区間に差はなかった。日平均乳量は試験区が多い傾向 ($P < 0.10$) を示し、4% 脂肪補正乳量は対照区の 30.9kg/日に対し、試験区が 32.4kg/日と有意 ($P < 0.05$) に多かった。

2 第一胃液性状

第一胃液性状を示す(表 5)。

pH は飼料給与前に試験区が有意 ($P < 0.05$) 高かった。アンモニア態窒素濃度は飼料給与前に試験区が有意 ($P < 0.01$) 高かった。

総 VFA 濃度は飼料給与前、後とも試験区が有意 ($P < 0.05$) 低かった。VFA 中の酢酸比率は飼料給与後に試験区が有意 ($P < 0.01$) 低く、逆に酪酸比率は有意 ($P < 0.05$) 高かった。プロピオン酸比率と A/P 比では飼料給与前、後とも両区間に差はなかった。

3 第一胃内原虫数

第一胃内原虫総数と種類別内訳を示す(表 6)。

原虫総数は飼料給与前、後とも試験区が有意 ($P < 0.05$) 多かった。種類別内訳では両区間に差はなかった。

表 6 . 第一胃内原虫数

項 目	(単位)	対照区	試験区	標準誤差	有意水準 ¹⁾
原虫総数	(万匹 / ml)				
飼料給与前 ²⁾		28.5	45.3	3.68	0.012
飼料給与後 ³⁾		13.3	19.1	1.56	0.030
Isotricha	(%)				
飼料給与前		1.43	0.95	0.234	ns
飼料給与後		1.37	1.45	0.307	ns
Dasytricha	(%)				
飼料給与前		2.04	1.73	0.560	ns
飼料給与後		1.25	3.27	0.817	ns
Entodinium 属	(%)				
飼料給与前		94.8	95.6	0.73	ns
飼料給与後		95.6	93.2	0.96	ns
Diplodinium 属	(%)				
飼料給与前		0.18	0.15	0.155	ns
飼料給与後		0.36	0.02	0.207	ns
Epidinium 属	(%)				
飼料給与前		1.02	1.21	0.259	ns
飼料給与後		1.34	1.48	0.436	ns
Ophryoscolex 属	(%)				
飼料給与前		0.54	0.38	0.101	ns
飼料給与後		0.10	0.57	0.252	ns

1) ns : 有意差なし

2) 朝の飼料給与直前

3) 朝の飼料給与から 2 時間後

表7. 血液成分

項目	(単位)	対照区	試験区	標準誤差	有意水準 ¹⁾
ヘマトクリット	(%)	26.0	26.0	0.30	ns
総蛋白質	(g/dℓ)	7.56	7.51	0.06	ns
アルブミン	(g/dℓ)	3.72	3.74	0.02	ns
尿素窒素	(mg/dℓ)	10.8	15.3	0.62	0.0008
血糖	(mg/dℓ)	58.2	55.8	1.65	ns
総コレステロール	(mg/dℓ)	220.3	220.5	1.97	ns
カルシウム	(mg/dℓ)	10.1	10.0	0.13	ns
無機リン	(mg/dℓ)	5.46	6.35	0.42	ns
AST ²⁾	(mg/dℓ)	79.0	79.5	0.71	ns
GGT ³⁾	(mg/dℓ)	41.8	41.2	0.70	ns

1) ns: 有意差なし

2) AST: アスパラギン酸トランスフェラーゼ

3) GGT: グルタミールトランスペプチダーゼ

4 血液成分

血液成分を示す(表7)。

尿素窒素のみ試験区が有意($P < 0.01$)に高かった。

考 察

DDGSの飼料特性として、蒸留過程においてトウモロコシデンプンのほとんどがエタノールに変換されるため、その残さであるDDGSはルーメン非分解率の高い蛋白源であり、脂肪と高消化性繊維をトウモロコシの3倍程度含むエネルギー源でもあるとされている⁹⁾。このような飼料特性を考慮し、本試験では対照区の構成飼料のうち、脂肪分の多い綿実、ルーメン非分解率の高い蛋白源であるコーングルテンミールとソイプラスを乾物中16.3%のDDGSと置換し、試験区の飼料を調製した。

本試験では乾物摂取量は対照区と試験区で差がなかったが、DDGSの給与割合が20~30%で最大になるとされているので^{1,9)}、本試験の16.3%よりさらに高いレベルにすると差が出た可能性がある。また、乳量は給与割合が30%までは対照区に比べ同等か、多くなると報告^{1,2,4,7,9)}されているので、本試験の結果は既報と概ね一致した。

乳成分に関しては本試験と同様に影響がなかったとする報告¹⁾と乳脂率や乳蛋白質率が低下したとする報告^{2,4)}があるが、低下した場合も乳量の増加によって乳脂量や乳蛋白質量は多くなるとしている。

ユーズガイド⁹⁾では乳生産性に対する影響を総合的に評価し、DDGSの給与割合が20%までは問題なく給与可能であるが、30%以上給与した場合やウェット形状での給与によって乾物摂取量の低下や乳蛋白質率の低下などを指摘している。また、乳量増加効果については

DDGSの消化率が高いほか、生産性を高める何らかの未知化合物の存在も可能性として指摘している。

第一胃液性状に関してDDGSを20%給与したKleinschmitらの報告²⁾と本試験の結果とはDDGS給与区で総VAF濃度が低く、酪酸比率が高かったと言う点では一致した。しかし、Kleinschmitらはアンモニア態窒素濃度は低かったとしており、この点では一致しなかった。その原因はCP含量を揃えるためにKleinschmitらは第一胃分解性の高い蛋白源である大豆粕の給与割合を13.6%から2.9%へと大幅に減じたためと考えられた。また、泌乳初期牛にDDGSを48%給与したPalmquistらの報告⁶⁾では酢酸比率が高く、プロピオン酸比率が低かったとしており、本試験の結果とは一致しなかった。この場合はエネルギー含量を揃えるために穀類の一部と大豆粕をDDGSで置換した結果、繊維分が高まった可能性が考えられる。このようにDDGS給与による第一胃液性状への影響は給与割合のみならず、養分含量調整のために置換する飼料の種類とその割合によって変わってくるものと考えられた。

ルーメン微生物体蛋白質合成量に関してKleinschmitら²⁾は差はなかったと報告している。この点について本試験では調査していないが、第一胃内原虫が種類の構成比率に関わりなく、総数において試験区が有意に多かったことから、DDGSは少なくとも原虫類の増殖には有効に利用されていると考えられた。

血液成分では尿素窒素のみ試験区が有意($P < 0.01$)に高かったが、これは飼料構成上試験区の方がCPに対するNFCの割合が低かったためと考えられた。一方、乳中尿素窒素についてKleinschmitら²⁾はDDGS給与区

が低かったと報告していることから、これらについても DDGS 給与の影響と言うよりも飼料構成によって結果が変わってくると考えられた。

さらに、本試験とほぼ同一の DDGS 給与割合である 15% で、粗飼料源による影響を検討した報告³⁾ではコーンサイレージよりもアルファルファ乾草の方が乳生産量が多く、飼料効率が改善されるとしており、DDGS の利用にあたっては給与割合や置換する飼料だけではなく、組み合わせる飼料とその構成によっても生産性への影響は変わってくるものと考えられた。

引用文献

- Janicek, B. N., P. J. Konono, A. M. Gehman, and P. H. Doane (2008): The effect of feeding dried distillers grains plus solubles on milk production and excretion of urinary purine derivatives : J. Dairy Sci. 91, 3544-3553
- Kleinschmit, D. H., D. J. Schingoethe, K. F. Kalscheur and A. R. Hippen (2007): Evaluation of various sources of corn dried distillers grains plus solubles for lactating dairy cattle : J. Dairy Sci. 89, 4784-4794
- Kleinschmit D. H., D. J. Schingoethe, A. R. Hippen and K. F. Kalscheur (2007): Dried distillers grains plus solubles with corn silage or alfalfa hay as the primary forage source in dairy cow diets : J. Dairy Sci. 90, 5587-5599
- Leonardi C., S. Bertics and L. E. Armentano (2005): Effect of increasing and oil from distillers grains or corn oil on lactation performance : J. Dairy Sci. 88, 2820-2827
- 農林水産省農林水産技術会議事務局編 (1999) : 日本飼養標準 乳牛 (中央畜産会)
- Palmquist D. L. and H. R. Conrad (1982): Utilization of distillers dried grains plus solubles by dairy cows in early lactation : J. Dairy Sci. 65, 1729-1736
- Powers W. J., H. H. Van Horn, B. Harris Jr., and C. J. Wilcox (1995): Effects of variables sources of distillers dried grains plus solubles on milk yield and composition : J. Dairy Sci. 78, 388-396
- SAS® User's Guide: Statistics, Version 6, edition 4 (1989): SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- U. S. Grains Council (2007): Use of DDGS in dairy diets: DDGS user handbook : <http://www.grains.org/page.ww?section=DDGS+User+Handbook&name=DDGS+User+Handbook>