

「DDGS（トウモロコシ蒸留粕）の給与が
夏季高温環境下の泌乳牛に及ぼす影響評価」

結果報告

平成20年11月30日



独立行政法人
農業・食品産業技術総合研究機構
九州沖縄農業研究センター
暖地温暖化研究チーム
田中正仁

「エタノール発酵残渣（DDGS）の給与が 夏季高温環境下の泌乳牛に及ぼす影響評価」 結果報告

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
九州沖縄農業研究センター
暖地温暖化研究チーム
チーム長 田中 正仁

I. 目的

燃料用エタノール産業の副産物として考えられていたDDGS（Corn Distillers Dried Grains with Solubles）は、家畜の飼料原料として用いられてきた経緯がある。しかし、最近では副産物としてではなく飼料として着目され一定の品質管理の下に家畜の飼料として生産されるようになってきている。さらに、含有タンパク濃度が高いなどの飼料成分特性や発酵生成物を多く含有することから、家畜への給与現場で新規飼料として注目されている。

わが国においてもこれまで限定的に使用されてきたが、急速に使用量が拡大する傾向にあり特に2007年から2008年にかけては、その輸入量が約2倍になっている。しかしながら、DDGSの飼料特性について、給与試験から得られた情報は少ない。とくに、泌乳牛への給与例は少ないため、国内において乳牛および生乳に対する影響評価についての情報は乏しく、十分にDDGSが活用されるにいたっていない。そこで、本試験では、泌乳牛に対してDDGSを混合したTMRを給与し、特に夏季高温環境下における嗜好性を含めた乾物摂取量および血液性状、泌乳成績と脂肪酸組成に対する影響について検討した。

II. 材料及び方法

1. 試験実施場所

九州沖縄農業研究センター（熊本県合志市）内試験乳牛舎

2. 試験担当者

九州沖縄農業研究センター 暖地温暖化研究チーム長 田中正仁

3. 試験期間

2008年7月1日から2008年8月27日

うち、DDGS給与期間：2008年7月14日から2008年8月13日

4. 供試動物

ホルスタイン種（年齢、産次、分娩後日数は試験区で 4.3 ± 1.6 、 2.3 ± 1.2 、 128 ± 19.1 、対照区で 4.2 ± 1.5 、 1.7 ± 0.6 、 117.3 ± 38.2 ）を各区3頭ずつ供試した。

5. 供試飼料

① 供試DDGS

アメリカ合衆国ポエット社産のダコタゴールド（商品名）を使用した。ポエット社提供の飼料成分を表1に示した。

表1. DDGS（ダコタゴールド）の飼料成分値

乾物率	90.3
粗蛋白質率	29.8
粗脂肪率	11.5
粗繊維率	6.9
ADF%	9.0
NDF%	26.5
Ash%	5.0

% www.dakotagold.com より

② 基礎飼料

試験飼料の給与前後は、当センター産のとうもろこしサイレージとイタリアンライグラスサイレージ、加熱圧片トウモロコシ、脱脂大豆粕フレーク等を用い、約TDN=70.0、CP=13.7、NDF=35.0、ADF=21.0%に設計したTMRを飽食とした。

③ 試験飼料

可消化養分総量（TDN）と粗タンパク質（CP）が同等となるように試験飼料を表2のとおり調製し、給与した。

また、鈹塩は自由摂取とした。

表 2. 試験飼料の配合と飼料成分設定値

	乾物比	
	DDGS区	対照区
コーンサイレージ	35.0	35.0
イタリアンライグラスサイレージ	17.0	17.0
DDGS	20.0	-
圧片コーン	18.0	20.0
脱脂大豆粕	5.0	18.0
配合	3.0	8.5
DM	49.0	48.9
TDN	72.2	72.3
CP	14.4	14.5
NDF	37.0	34.0
ADF	20.0	19.9

6. 試験設計

試験牛及び対照牛は、期間中同一条件で飼養し、図1の通りの処理及び採材を行った。

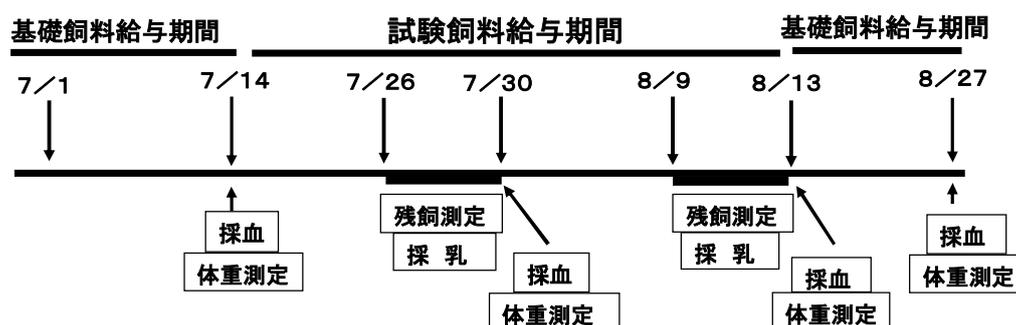


図 1. DDGS 給与試験の概要

7. 飼養管理

① 飼育牛舎

7月1日から7月13日まで、および8月15日から8月27日までは、日中は、牛舎内に繋ぎ飼いとし、細霧・送風および屋根に散水を行った。夜間はパドックに放飼とした。

7月13日から8月14日までは屋根材にスレートを使用したスタンション式繋ぎ牛舎に終日繋ぎ飼いとした。

日中は、細霧・送風および牛舎屋根に散水を行った。夜間は送風のみを行った。牛舎内の温度・湿度は図2および表3の通りである。搾乳は8：30と18：00

の2回搾乳とした。

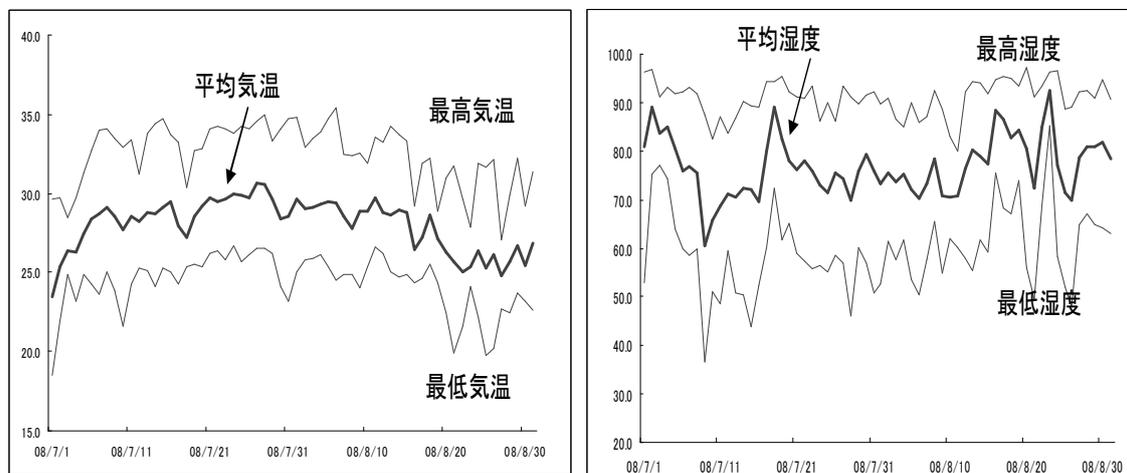


図2. 試験期間中の牛舎内温湿度の変化

表3. 試験期間中の温湿度

	日平均気温	日平均湿度	最高気温	最低気温	最高湿度	最低湿度
給与開始前(7/1-7/13)	27.5	75.7	31.9	23.6	90.3	59.1
給与期間(7/14-8/13)	29.1	75.1	33.7	25.4	89.9	57.1
給与後(8/14-8/27)	26.5	80.4	30.8	23.0	93.2	63.8

② 給餌

7月1日から7月13日まで、および8月15日から8月27日までは基礎飼料を9:00と18:00に給与し、飽食とした。

7月13日から8月14日までは、試験飼料を9:00, 15:00, 18:00に給与し、飽食とした。

③ 給水

市販のウォーターカップによる水道浄水の自由飲水とした。

8. 測定項目と分析方法

① 飼料の成分分析

供試したDDGSの乾物率、粗灰分および粗脂肪について定法に従って分析した。

②試験牛舎内の温湿度および直腸温度の測定

30分おきに自動測定できるデータロガーを設置し期間を通して連続的に測定した。また、各個体の直腸温度は、試験期間中毎日、朝搾乳直後に動物用体温計を直腸に挿入して測定した。

③飼料摂取量の測定

試験飼料給与開始後13日目から17日目までと27日目から31日目までの各5日間について午前9時から翌日の午前8時半までのTMR飼料摂取量および乾物摂取量を測定した。

④体重測定

試験飼料給与開始直前、給与開始後17日目、31日目および給与終了後14日目の体重を朝搾乳後に測定した。

⑤乳量・乳成分の測定

泌乳量は試験期間中毎朝夕搾乳ごとにミルクメーターによって計測した。乳成分は試験飼料給与開始直前、給与開始後17日目、31日目および給与終了後14日目の生乳1日分について、乳脂肪、乳タンパク質、乳糖率および乳中尿素態窒素（MUN）濃度と体細胞数を測定した。また、試験飼料給与開始30日目の対照区とDDGS区の生乳について乳中脂肪酸組成を分析した。

⑥血液成分の測定

試験飼料給与開始直前、給与開始後17日目、31日目および給与終了後14日目の朝搾乳後頸静脈から採血し、すみやかに血球成分（赤血球数、白血球数、血色素濃度、ヘマトクリット値）を測定した後、血漿を分離し直ちに、タンパク質濃度、アルブミン濃度、スルフヒドリル（SH）基濃度、チオバルビツール反応物（TBARS）濃度、ビタミンC濃度、γ-グルタミルトランスペプチダーゼ（GGT）活性、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ（GOT）活性、グルコース（GLU）濃度、血漿中尿素態窒素（BUN）濃度、カルシウム（Ca）濃度とリン（P）濃度を測定した。

9. 統計処理

試験飼料給与前と給与後17日目や31日目、および給与終了後14日目の各数値、DDGS区と対照区の間および試験飼料給与開始前との間で student's t-test を行い、 $p < 0.05$ をもって統計的有意差有りとした。

Ⅲ 結果及び考察

1. 体重と直腸温度

供試牛の体重は、試験開始前においてDDGS区と対照区に差は認められず、その後も期間中に両区で有意な差は認められなかった。また、各区で期間中において平均値としては変動があったものの有意な差はなく推移した（表4）。

表4. 試験供試牛の体重変動

	DDGS区	対照区
給与前	622.8±116.6	621.0±99.6
給与後17日目	618.8±101.4	614.6±97.2
給与後31日目	635.0±102.9	622.1±100.9
給与終了後14日目	643.5±128.7	632.8±101.1

各3頭

期間中の環境温度は、泌乳牛の泌乳成績に影響を及ぼす日平均気温23℃を越えており、特に試験飼料給与期間においては29.1℃であった。これに伴い、供試牛の直腸温度は平熱である38.3-38.5℃を上回って推移した（表5）。DDGS区では直腸温度の平均値において対照区よりも低く推移したが両区間に統計的有意差は認められなかった。DDGSを乾物で20%含むTMR給与の約1ヶ月間の給与において夏季高温環境下の泌乳牛の体重や直腸温度に影響を及ぼさないと考えられる。

表 5. 試験供試牛の直腸温度の変動

	DDGS 区	対照区
給与開始前(7/1-7/13)	39.0±0.44	39.2±0.52
給与後1-17日目まで	38.8±0.36	39.2±0.56
給与後18-31日目まで	38.8±0.38	39.1±0.56
給与後(8/14-8/27)	38.6±0.50	39.0±0.53

各 3 頭

2. 飼料摂取量

使用したDDGSの乾物率は90.0%、乾物あたりの粗脂肪率は10.8%、粗灰分は5.0%であり、表1に示した製造元の分析値とほぼ一致していた。

試験飼料給与期間中の両区の乾物摂取量は表6の通りであり、統計的な有意差は認められなかった。すなわち、DDGSを混合したTMRの嗜好性は、対照区のそれとほぼ同等と考えることができる。

表 6. 乾物摂取量に及ぼすDDGS-TMRの影響

	13-17日目	27-31日目
DDGS区	23.5±2.2	23.7±2.3
対照区	22.2±1.9	21.9±3.2

N=3 kg/day

3. 血液成分

白血球数は試験開始時よりDDGS区が高い傾向にあり、期間を通してこの傾向は続いたが、有意な差は認められなかった。また、試験飼料給与後31日目のDDGS区で白血球数が多くなったが有意な変化ではなかった。赤血球数は対照区において給

与前と比較して、給与終了後に有意に高くなったが、その間も含めて一貫した変動は示さなかった。全期間を通してDDGS区と対照区に差は見られなかった。ヘモグロビン濃度は終始DDGS区で高い傾向にあり、試験飼料給与後17日目には対照区と比較して有意に高かった。また、全体的に期間の経過とともに高くなる傾向が見られた。ヘマトクリット値には期間を通して両区に顕著な変動は見られなかった(表7)。試験期間中の全体的変化から見て、高温環境下においてDDGSを含むTMRの泌乳牛への給与は血球成分及びヘモグロビン濃度やヘマトクリット値にはほとんど影響を及ぼさないことが示唆された。

表7. 血球成分等に及ぼすDDGS給与の影響

		白血球数 ($10^2/ml$)	赤血球数 ($10^4/ml$)	ヘモグロビン (g/dl)	ヘマトクリット (%)
給与前	DDGS区	108.3±25.7	550.7±75.3	8.5±0.1	25.9±1.2
	対照区	94.3±35.7	518.7±25.0	8.1±0.6	24.5±1.7
給与17日目	DDGS区	107.3±28.2	560.3±67.6	8.8±0.2	26.3±0.9
	対照区	89.0±28.5	540.7±36.2	8.1±0.5#	25.0±2.2
給与31日目	DDGS区	146.0±36.4	585.7±52.3	9.2±0.2	27.6±0.1
	対照区	84.7±39.9	553.7±63.4	8.3±1.1	25.2±3.7
給与後14日目	DDGS区	120.0±45.1	587.0±61.7	9.1±0.4*	27.9±1.3
	対照区	96.7±37.8	600.3±42.1*	8.8±1.0	27.4±0.4

*: 給与前との差 # : 区間差, p<0.05

GGT活性は当初より対照区で有意に高く、期間中概ねこの傾向が続いた。また、GOT活性は、当初よりDDGS区で高くこの傾向は一貫していた。しかし、両酵素活性とも標準値を大きく逸脱する値ではなく、DDGS給与の影響については明らかではなかった(表8)。血漿GLU濃度は大きな変動を示さなかったが、平均値において対照区とDDGS区の差は、給与前が1.3mg/dl、給与17日目が2.0、給与31日目が6.7と拡大する傾向にあり、給与後14日目では5.6mg/dlであった。このことは、乳牛の栄養状態と関係

があるかもしれない。また、BUNについては、給与17日目のDDGS区で有意に高かったものの両区の間で顕著な差は見られなかった。期間を通して血漿中Caは減少傾向にあり、P濃度は増加傾向にあったが両区の間で差は見られなかった（表8）。表8に示した項目についてDDGS給与による統計処理上の顕著な影響は認められなかった。

表8. 血漿成分に及ぼすDDGS給与の影響— (1)

		GGT (u/L)	GOT (u/L)	GLU (mg/dl)	BUN (mg/L)	Ca (mg/dl)	P (mg/dM)
給与前	DDGS区	34.3±5.9	72.3±12.1	69.7±7.5	12.2±3.9	12.7±0.6	3.9±1.7
	対照区	46.7±0.6#	59.0±6.2#	68.3±1.5	9.6±1.0	12.5±0.5	3.8±0.3
給与17日目	DDGS区	37.0±5.2	78.3±15.3	70.3±5.1	10.9±0.9	12.4±0.4	5.0±1.8
	対照区	47.0±1.7#	57.3±2.3#	68.3±2.9	8.8±0.2#	12.3±0.4	4.7±1.2
給与31日目	DDGS区	38.3±7.8	75.3±21.4	76.7±8.6	10.8±1.7	12.3±0.8	4.8±1.1
	対照区	43.7±6.1	60.7±4.0	70.0±4.0	9.7±0.9	11.5±0.9*	4.6±0.7
給与後14日目	DDGS区	32.7±2.5	73.5±13.1	68.3±2.5	8.0±1.6*	11.5±0.3*	4.7±0.4
	対照区	45.3±2.5#	60.7±4.9	62.7±3.8#	9.1±0.7	11.7±0.4*	5.1±1.6

*給与前との差 #: 区間差, p<0.05

血漿タンパク質濃度は、経過とともに給与前と比較して両区で増加していった。しかし、アルブミン濃度は、給与前では両区で差が認められなかったが、給与後はDDGS区のみで給与前と比較して高く推移し、給与後も対照区と比較して高かった（表9）。

表9. 血漿成分に及ぼすDDGS給与の影響－(2)

		タンパク質 (mg/ml)	アルブミン (mg/ml)	S H基 (mM)	ビタミンC (mg/L)	T B A R S (nM)
給与前	DDGS区	80.6±3.1	29.8±0.4	411.2±9.7	5.0±1.5	60.7±10.9
	対照区	81.1±2.7	29.6±1.3	409.2±22.0	4.5±1.4	50.9±8.1
給与17日目	DDGS区	85.2±3.9	32.5±1.4*	446.8±19.8*	4.9±1.2	57.2±6.2
	対照区	84.6±0.5*	29.6±3.8	427.7±31.6	4.5±1.0	72.6±8.5#
給与31日目	DDGS区	88.3±4.3*	33.9±2.5*	454.8±27.2*	4.6±1.9	68.3±15.8
	対照区	84.1±0.9*	32.3±1.4	429.7±26.2	4.3±0.5	58.8±21.4
給与後14日目	DDGS区	86.6±13.6	33.9±1.0*	431.4±10.8*	5.2±1.1	61.2±3.6
	対照区	85.3±1.8*	33.5±3.3	450.4±34.9*	5.3±1.0	51.1±11.8

*:給与前との差 #: 区間差, p<0.05

同様に血漿中の還元性成分であるS H基濃度も試験飼料給与中にDDGS区で給与前と比較して高く推移した。ビタミンC濃度においては期間中および両区において顕著な変動は認められなかった。過酸化脂質の指標として測定したT B A R S濃度は試験期間中一定傾向を示す変動は見られなかった。

血漿タンパク質濃度、アルブミン濃度、S H基濃度はいずれも正常範囲を逸脱する値ではなかったが、DDGS区で高く推移した。このことは、泌乳牛の栄養状態や酸化ストレス状態と何らかの関係があるかもしれない。今後、試験において夏季高温環境に伴う低栄養や過度の酸化ストレス状態を設定することができれば、DDGS給与の効果が明らかになるかもしれない。

4. 泌乳量と乳成分

泌乳量は期間中両区で顕著な変化は見られなかった(表10)。しかし、その平均値は試験飼料給与期間においてDDGS区では給与前よりも高く推移したが、対照区では給与前と同様か低い値で推移した。乳脂率は両区で顕著な変化は認められなかった。しかし、乳タンパク質率は、DDGS給与期間中対照区と比較して有意に低くなり、乳糖率は逆に高かった。今回の試験では、体細胞数については変動幅と個体差が大きく一定の傾向や有意差は認められなかった。MUNの変動については、BUNと同様の傾向を示したが、B

UNよりも個体差が小さかった。試験飼料給与によりDDGS区で給与前よりも有意に減少し、給与後14日目においても低かった。しかし、対照区との間には差が認められなかった。

表10. 泌乳成績に及ぼすDDGS給与の影響(1)

	泌乳量 (kg/day)	乳脂肪 (%)	乳タンパク質 (%)	乳糖 (%)	体細胞数 (10 ⁴ /ml)	MUN (mg/L)
給与前						
DDGS区	35.4±7.7	3.2±0.3	2.7±0.0	4.6±0.1	11.5±16.1	14.2±1.3
対照区	33.3±4.7	3.5±0.7	2.9±0.1#	4.6±0.1	8.5±4.6	13.1±0.7
給与17日目						
DDGS区	39.2±7.6	3.3±0.2	2.8±0.1	4.7±0.1	15.9±20.9	12.2±0.6*
対照区	33.2±4.5	3.6±0.6	3.1±0.2#	4.5±0.1#	17.8±12.2	13.1±1.3
給与31日目						
DDGS区	37.8±6.3	3.5±0.3	2.8±0.1	4.7±0.1	16.2±18.5	11.8±0.8*
対照区	31.5±4.5	3.8±0.6	3.2±0.2#	4.5±0.1#	13.4±7.1	12.4±1.0
給与後14日目						
DDGS区	36.5±6.0	3.3±0.4	3.0±0.0*	4.7±0.1	18.5±25.5	9.2±0.9*
対照区	31.6±3.7	3.2±0.2	3.0±0.1	4.5±0.1#	9.5±8.3	10.3±0.8*

乳量は、前5日間の平均値と標準偏差 *:給与前との差 # : 区間差,p<0.05

表11. 泌乳成績に及ぼすDDGS給与の影響(2)

	乳脂肪 (kg/day)	乳タンパク質 (kg/day)	乳糖 (kg/day)
給与前			
DDGS区	1.20±0.24	1.03±0.26	1.73±0.45
対照区	1.21±0.12	1.03±0.18	1.60±0.28
給与17日目			
DDGS区	1.35±0.25	1.12±0.19	1.90±0.38
対照区	1.19±0.12	1.02±0.15	1.51±0.30
給与31日目			
DDGS区	1.35±0.34	1.10±0.18	1.80±0.34
対照区	1.15±0.11	0.97±0.11	1.37±0.21#
給与後14日目			
DDGS区	1.22±0.17	1.13±0.27	1.75±0.45
対照区	1.22±0.08	1.08±0.05	1.51±0.23

*:給与前との差 # : 区間差,p<0.05

また、各乳成分の分泌量について表 1 1 に示した。乳脂肪及び乳タンパク質分泌量については、DDGS 給与による影響は観察されなかったが、乳糖分泌量は給与開始 3 1 日目で対照区と比較して有意に高い数値となった。DDGS は脂肪含量が乾物で 10%以上と高く、脂肪酸組成では特に多価不飽和脂肪酸（1 8 : 2、リノール酸）を多く含む。このような脂肪の多給は、ルーメン微生物の活動を抑制すると考えられ、ルーメンでのタンパク質分解能の低下や微生物タンパク質の減少が起こるとされている。DDGS 区では TMR 飼料の乾物あたりの推定粗脂肪含量は 4.6%になり、乳タンパク質率の低下や MUN の減少は、DDGS 区の高脂肪含量によるルーメン微生物への影響によるものかもしれない。また、乳糖率及びその分泌量の低下についての原因は明らかでない。

5. 乳脂肪の脂肪酸組成

DDGS に含まれる脂肪酸の組成は、表 1 2 の通りではぼコーン油の脂肪酸組成（日本食品分析表）に近かった。この脂肪酸の多量摂取が生乳の脂肪酸組成に及ぼす影響について、表 1 2 に示した。これは試験飼料を 3 0 日間給与したときの成績である。対照区と比較して、C 1 7 以下の脂肪酸割合が減少し、C 1 8 以上の脂肪酸の割合が増加する傾向にあった。とくに、パルミチン酸割合の減少とオレイン酸割合の増加が特徴的であった。

表 1 2. 生乳の脂肪酸組成 (%) に及ぼす DDGS 給与の影響

		DDGS区		対照区		DDGS
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
酪酸	4:0	4.37	0.72	3.67	0.55	—
カプロン酸	6:0	2.57	0.40	2.43	0.51	—
カプリル酸	8:0	1.37	0.15	1.40	0.30	—
カプリン酸	10:0	2.73	0.29	3.03	0.55	—
	10:1	0.33	0.06	0.40	0.10	—
ラウリン酸	12:0	2.93	0.12	3.57	0.71	—
ミリスチン酸	14:0	10.50	0.40	11.43	0.74	—
	14:1	0.90	0.35	1.27	0.06	—
	anteiso-15:0	0.47	0.06	0.50	0.00	—
	15:0	0.87	0.06	1.30	0.61	—
	iso-16:0	0.20	0.00	0.25	0.07	—
パルミチン酸	16:0	24.90	1.39	30.80	4.79	14.8
パルミトレイン酸	16:1	1.03	0.15	1.33	0.23	0.1
	anteiso-17:0	0.40	0.00	0.40	0.00	—
	17:0	0.53	0.06	0.70	0.17	—
	17:1	0.17	0.06	0.27	0.12	—
ステアリン酸	18:0	10.93	1.39	8.80	0.82	2.1
オレイン酸	18:1	25.67	1.70	21.20	5.26	27.3
リノール酸	18:2(n-6)	3.50	0.53	2.63	1.12	5.3
リノレン酸	18:3(n-3)	0.27	0.06	0.27	0.06	1.5
アラキジン酸	20:0	0.17	0.06	0.10	0.00	0.4
	20:1	0.23	0.06	0.20	0.00	0.3

各 3 頭

IV まとめ

アメリカ産 DDGS を乾物あたり 20% 含む泌乳牛用 TMR (TDN=72.2-72.3%、C/P=14.4-14.5%) を夏季高温期間に約 1 月間給与した場合、

1. 乾物摂取量および体重、直腸温度において、給与前および対照区との間に有意な差は認められなかった。
2. 対照区との間に直腸温度に関して統計的有意差を認めなかった。
3. 血球成分において給与前後の両区において顕著な差は認められなかった。
4. 測定した血漿成分について、DDGS 区と対照区の間有意差が認められるものも散見されたが、全体を通して一定の傾向で変動している項目は確認されなかった。
5. 泌乳量には対照区と比較して顕著な差が認められなかったが、乳タンパク質が有意に低下し、乳糖率が有意に増加した。また、各成分の生産量については乳糖におい

て有意な増加が観察された。

6. 生乳中の脂肪酸組成は、対照区との間に有意な差は認められなかったが、パルミチン酸が低下しリノール酸が増加する傾向を示し、DDGSの脂肪酸組成の影響を受けていることが示唆された。
7. よって、乾物あたり 20%、つまり濃厚飼料の半分近く DDGS を給与しても、前述のとおり 泌乳量および、乳成分の生産量に及ぼす負の影響は少なく、泌乳牛の健康面にも問題はなかった。従って、アメリカ産 DDGS（ダコタゴールド）は、価格的に有利であれば乾物あたり 20%（濃厚飼料中 40%以上）までの高レベルでの給与が可能な飼料原料であると考えられた。

V 謝辞

このたび、国内での情報が限られているアメリカ産 DDGS の泌乳牛に対する給与試験の機会を与えて頂いたアメリカ穀物協会日本事務所の関係各位ならびに、DDGS を提供していただいた日本農産工業の関係者に深く感謝する。