

## 搾乳牛に給与した場合のケールジュース粕サイレージの 機能性飼料としての付加価値の検討

稲垣 祝、小池正充\*

### 要約

青汁を目的として生産されるケールには、脂溶性ビタミンやその前駆物質が多く含有されており、このケールの搾り粕を用いたサイレージの機能性成分濃度の測定、血中および乳中の機能性成分の移行調査、繁殖性への影響調査により、ケールジュース粕サイレージの機能性飼料としての付加価値の検討を行った。その結果、ケールジュース粕サイレージにも $\alpha$ -トコフェロール、 $\beta$ -カロテンが多く残存していた。サイレージ給与により血中および乳中へ $\alpha$ -トコフェロールは高く移行しており、繁殖性に好影響を与える傾向が認められ、副産物の有効利用のみならず、高付加価値のある牛乳・乳製品の開発の可能性が示唆された。

キーワード：乳牛、ケールジュース粕サイレージ、ビタミン

### 緒言

全国的に飼料費の低減、国内自給率の向上等を目指したエコフィードの利用が推進されており、当センターにおいては、ケールジュースの搾り粕を用いたサイレージの開発に成功し<sup>1)2)</sup>、県内の酪農家において利用の拡大を図っている。

この原料であるケールには脂溶性ビタミンやその前駆物質が多く含有されており、ケールジュース粕サイレージにもこれら機能性成分が残存していることが予想され、機能性飼料としての付加価値について検討する必要がある。

これらビタミンやその前駆物質は、抗発癌作用、免疫賦活作用などが報告されている<sup>3)</sup>ほか、動物の分野では繁殖性改善に有効<sup>4)5)</sup>と考えられている。

牛乳の成分はその飼料の影響を強く受けることから、飼料中の機能性成分を乳中へ移行させることが出来れば、高付加価値のある乳・乳製品の開発に発展する可能性を秘めており、低迷を続けている県産牛乳の消費拡大にも期待が持てる。

また一方で、近年酪農家の繁殖成績は個体乳量の増加に伴い、悪化の傾向に歯止めがかからない状況が続いており、これら機能性成分が牛の繁殖性改善に効果が認められれば、酪農家の経済的損失の軽減に貢献できるとともに、安価なケールジュース粕サイレージの

利用拡大による酪農家のコスト低減も見込まれる。

そのため、飼料中機能性成分濃度の測定、飼料給与による血中および乳中の機能性成分の移行調査、繁殖性への影響調査により、ケールジュース粕サイレージの機能性飼料としての付加価値の検討を行い、当サイレージの更なる利用促進を図ることを目的として本試験に取り組むこととした。

### 材料及び方法

#### 試験1

ケールジュース粕サイレージ中の機能性成分含有量の季節変動を調べるため、夏作および冬作をフレコンバックで調製したサイレージより試料を採取した。

また、保存条件による変動を調査するため、夏作の飼料について、白色、黒色フレコンバックの2種類を用意し、フレコンバックの外縁部および中心部より試料を採取し、機能性成分含有量の日照（紫外線）による影響について調査した。なお、飼料中の $\alpha$ -トコフェロール、 $\beta$ -カロテンおよびレチノールについては家畜病性鑑定所へ測定依頼した。

#### 試験2

供試牛には、ホルスタイン種雌牛4頭（平均産歴2.5産、平均産後日数146日、平均体重625kg）を用い、給与試験は2×2のクロスオーバー法により行った。

給与飼料は、試験区をスーダン乾草：配合飼料：コーンサイレージ：ケールジュース粕サイレージ=6：12：24：8（原物、kg/日）とした。対照区はケールジュース粕サイレージ8kgに対して、アルファルファヘイキューブ1.9kg、フスマ0.8kg（いずれも原物）で代替した。

採材は、飼料への1週間の馴致の後、連続した5日間の乳汁および血液を採取した。

乳汁については、乳量、乳蛋白、乳脂肪、乳糖、全固形分(TS)、無脂固形分(SNF)および乳中の尿素について赤外線自動分析装置（ミルコスキャン FT120、(株)フォス・ジャパン）を用いて測定した。なお、乳成分は朝夕2回の試料の乳量による加重平均値を1日の値として用いた。血液成分は、採血後直ちに定法による遠心分離の後得られた血漿について、カルシウム(Ca)、グルコース(Glu)、血中尿素窒素(BUN)およびアスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(AST)について生化学自動分析装置（富士ドライケム 4000V、(株)富士フィルム）を用いて測定した。

なお、乳中・血中機能性成分（ $\alpha$ -トコフェロール、 $\beta$ -カロテンおよびレチノール）の測定は家畜病性鑑定所へ依頼した。また、統計処理は、平均値の差の検定（t検定）を用いて解析した。

### 試験3

供試牛は、ホルスタイン種雌牛4頭（平均産歴4.3産、平均体重629kg）を用い、給与試験は一元配置法により行った。

給与飼料は、試験区をスーダン乾草：配合飼料：イタリアンサイレージ：ケールジュース粕サイレージ=6：12：16：8（原物kg/日）とした。対照区は、ケールジュース粕サイレージ8kgに対して、アルファルファ乾草1.6kg、フスマ0.8kg（いずれも原物）で代替した。

採材、調査および検査は、産後20日から飼料への10日間の馴致の後、試験中60日間の週に1回直腸検査あるいは超音波検査を実施し、2週に1回1日の乾物摂取率、

飲水量を調査するとともに乳汁および血液を採取した。繁殖性については、直腸検査等により、子宮・卵巣動態を観察し、発情の有無を確認した。乾物摂取率については、1日2回の給餌前に残飼重量を測定した。飲水量については、一般的な水道メーターである接線流羽根単箱乾式水道メーターにより測定した。乳汁については、乳量、乳蛋白、乳脂肪、乳糖、TS、SNFおよび乳中の尿素について赤外線自動分析装置（ミルコスキャン FT120、(株)フォス・ジャパン）を用いて測定した。血液成分のうちヘマトクリット(Ht)値は、採血後直ちに得られたヘパリン加血液をHt用遠沈管を用いて、また定法による遠心分離の後得られた血清については、Glu、Tcho、BUN、CaおよびASTについて生化学自動分析装置（富士ドライケム 4000V、(株)富士フィルム）を用いて測定した。

また、統計処理は、平均値の差の検定（t検定）を用いて解析した。

## 結果

### 試験1

表1にケールジュース粕サイレージ中のビタミン含量を示した。表の下に参考として当センターで分析したコーン・ソルゴーサイレージの同成分含量について記した。 $\alpha$ -トコフェロールおよび $\beta$ -カロテンは、コーン・ソルゴーサイレージよりケールジュース粕サイレージに（ $\beta$ -カロテン夏作白袋外縁部を除く）、ま

表1 ケール粕サイレージ中のビタミン含量

		$\alpha$ -トコフェロール (mg/kg)	$\beta$ -カロテン (mg/kg)	レチノール (IU/dl)
夏作	外縁部	152.3	115.2	-
(黒袋)	中心部	148.8	100.5	-
夏作	外縁部	106.7	50.7	-
(白袋)	中心部	168.1	121.2	-
冬作	外縁部	108.9	71.7	-
(黒袋)	中心部	101.3	71.5	-

参考:コーン・ソルゴーサイレージ 200~38.1 25.8~58.3

—:検出限界以下

た、冬作黒袋より夏作黒袋飼料に、また、夏作白袋外

縁部より夏作黒袋外縁部飼料に豊富に含まれていた。

さらに夏作白袋で調製したものでは、外縁部が中心部よりも $\alpha$ -トコフェロールで約40%、 $\beta$ -カロテンでは約60%減少していた。レチノールはいずれも検出限界以下であった。

#### 試験2

乳量を含めた乳成分の結果を表2に、血液成分の結果を表3に、また血中および乳中の機能性成分濃度の結果を表4にそれぞれ示した。

乳成分については、尿素で試験区が対照区に対し有意に減少した( $P < 0.01$ )。乳量、乳蛋白、乳脂肪、乳糖、TSおよびSNFで有意な差は見られなかった。

血液成分については、BUN および ASTで試験区が対照区より有意に低い値となった(BUN: $P < 0.05$ 、AST: $P < 0.01$ )が、CaおよびGluで有意な差は見られなかった。

機能性成分については、乳中 $\alpha$ -トコフェロールで試験区が対照区より有意に高い値となった( $P < 0.01$ )。血中 $\alpha$ -トコフェロールも試験区が高い値であったが、有意な差は見られなかった。レチノール、 $\beta$ -カロテンは特に差を認めなかった。

#### 試験3

繁殖成績は表5に、採食・飲水状況は表6に、乳量を含めた乳成分は表7に、血液成分は表8にそれぞれ示した。

繁殖成績については、産後初回発情日数で試験区41.0日、対照区39.5日と差がなく、その後の発情周期は試験区で23.8日周期であり、対照区で28.0日であったが、両区に有意な差は見られなかった。

採食・飲水状況については、乾物摂取率で、両区とも約94%と良好であり、飲水量についても差はな

表2 乳成分

	試験区		対照区	
	値	誤差	値	誤差
乳量(kg)	31.3	± 0.27	30.9	± 0.38
乳蛋白(%)	3.5	± 0.02	3.4	± 0.03
乳脂肪(%)	3.6	± 0.12	3.7	± 0.08
乳糖(%)	4.9	± 0.06	4.8	± 0.05
TS(%)	12.6	± 0.10	12.6	± 0.08
SNF(%)	9.2	± 0.06	9.1	± 0.05
尿素( $\times 10^{-2}$ %)	3.2	± 0.09 <sup>A</sup>	3.5	± 0.05 <sup>B</sup>

表3 血液成分

	試験区		対照区	
	値	誤差	値	誤差
Ca (mg/dl)	102	± 0.11	102	± 0.11
Glu (mg/dl)	62.6	± 0.88	62.7	± 1.69
BUN (mg/dl)	12.6	± 0.31 <sup>a</sup>	13.4	± 0.15 <sup>b</sup>
AST (U/l)	76.8	± 1.71 <sup>A</sup>	86.9	± 1.99 <sup>B</sup>

※:異符号間に有意差あり(大文字 $P < 0.01$ 、小文字 $P < 0.05$ )

表4 機能性成分

	試験区		対照区	
	値	誤差	値	誤差
血中				
レチノール(IU/dl)	163.3	± 5.52	157.3	± 4.05
$\alpha$ -トコフェロール( $\mu$ g/dl)	1337.4	± 116.50	1215.2	± 99.37
$\beta$ -カロテン( $\mu$ g/dl)	704.1	± 56.09	715.9	± 49.58
乳中				
レチノール(IU/dl)	23.8	± 1.05	24.1	± 1.17
$\alpha$ -トコフェロール( $\mu$ g/dl)	136.6	± 6.06 <sup>A</sup>	116.0	± 3.50 <sup>B</sup>
$\beta$ -カロテン( $\mu$ g/dl)	5.4	± 0.29	5.0	± 0.29

※:異符号間に有意差あり( $P < 0.01$ )

表5 繁殖成績

	試験区		対照区	
	値	誤差	値	誤差
産後初回発情日数(日)	41.0		39.5	
発情周期日数(日)	23.8	± 4.99	28.0	± 1.63

った。

乳成分については、乳量、乳脂肪および乳糖に差は見られなかったが、試験区が対照区より有意な乳蛋白

質、TS、SNF の増加 (P<0.01) および尿素の減少 (P<0.05) が見られた。

血液成分については、Ht、Glu、Tcho、BUN、Ca およびAST いずれも有意な差は見られなかった。

### 考察

一般的に給与されているコーン・ソルゴーサイレージよりケールジュース粕サイレージには $\alpha$ -トコフェロール、 $\beta$ -カロテンが多く含まれていた。原料であるケールは脂溶性ビタミンやその前駆物質を多く含有しており、ケールジュース粕サイレージにも予想どおり、多く残存していた。特に、冬作よりも夏作で豊富に含まれ、試験1の表1の結果から保存には遮光を目的とした黒袋での調製が望ましいことが明らかとなった。

牛乳成分は、給与飼料の影響を強く受けることから、試験2では、 $\alpha$ -トコフェロール、 $\beta$ -カロテンを豊富に含有しているケールジュース粕サイレージの給与により血中、乳中への程度移行するか調査した。その結果、試験区では対照区よりも、 $\alpha$ -トコフェロールは乳中へ有意に多く移行していた。血中へも $\alpha$ -トコフェロールは多く移行していたが、レチノール、 $\beta$ -カロテンは移行量が少なかった。これは、ビタミンA類は、紫外線等で分解されやすいことが影響していると推察される。試験区の乳中 $\alpha$ -トコフェロールの値は136.6 $\mu$ g/dl、対照区は116.0 $\mu$ g/dlであり、一般的な生乳(ホルスタイン種)中の値は約103.2 $\mu$ g/dl(0.1mg/100gと表記)とされている<sup>4)</sup>。とらえ方によっては、高濃度移行しているとはいえないが、有意差が認められたので、付加価値の高い牛乳・乳製品の開発に発展する可能性はあると考える。

$\alpha$ -トコフェロールは牛の繁殖性改善に寄与する<sup>5)6)</sup>とされており、 $\alpha$ -トコフェロールを豊富に含むケールジュース粕サイレージ給与による、繁殖性に与える影響について調査した。産後初回発情日数に差はなく、発情周期日数は、試験区で経産牛の正常周期(18~24日)とされる<sup>7)</sup>23.8日と正常周期範囲内であったが、対照区の28.0日と差はなかった。試験期間外のため、今回結果には示していないが、産後受胎するまでの日数である空胎日数も試験区112日、対照区150日

表6 採食・飲水状況

	試験区		対照区	
乾物摂取率(%)	94 ±	6.01	93.9 ±	3.88
飲水量(L)	102.9 ±	21.25	106.3 ±	28.29

表7 乳成分

	試験区		対照区	
乳量(kg)	27.8 ±	2.67	30.2 ±	4.81
乳蛋白(%)	3.1 ±	0.15 <sup>A</sup>	2.7 ±	0.12 <sup>B</sup>
乳脂肪(%)	3.9 ±	0.47	3.6 ±	0.70
乳糖(%)	4.5 ±	0.12	4.4 ±	0.15
TS(%)	12.4 ±	0.51 <sup>A</sup>	11.7 ±	0.72 <sup>B</sup>
SNF(%)	8.6 ±	0.20 <sup>A</sup>	8.1 ±	0.15 <sup>B</sup>
尿素( $\times 10^{-2}$ %)	3.5 ±	0.37 <sup>a</sup>	3.8 ±	0.22 <sup>b</sup>

※:異符号間に有意差あり(大文字P<0.01、小文字P<0.05)

表8 血液成分

	試験区		対照区	
Ht(%)	28.9 ±	1.25	27.2 ±	1.72
Glu(mg/dl)	56.1 ±	2.70	59.2 ±	3.13
Tcho(mg/dl)	172.3 ±	33.29	203.3 ±	39.11
BUN(mg/dl)	15.5 ±	2.04	13.8 ±	0.89
Ca(mg/dl)	9.6 ±	0.57	9.2 ±	0.25
AST(U/l)	70.5 ±	6.37	79.2 ±	18.08

と試験区のほうが短く、ケールジュース粕サイレージ給与により、繁殖性改善効果が示唆された。

乳成分は、試験2の表2では個体差の影響が少ない2 $\times$ 2のクロスオーバー法で実施し、対照区より試験区の尿素が有意に低かった。試験3の表7では乳蛋白、TS、SNF および尿素で有意差があったが、一元配置法で実施したことから、個体差の影響が大きいと考えた。

血液成分は、試験2の表3では、対照区より試験区のBUN、ASTが有意に低かった。試験3の表8では差がなかった。試験2の有意差は、設定給与飼料中の粗蛋白質が対照区より試験区で低かったことが、影響したと考える。両試験の血液成分は、AST(若干高かった)以外は正常範囲内<sup>8)</sup>であり、乳牛の健康に影響はないと考える。

採食・飲水状況に差はなく、ケールジュース粕サイレージの嗜好性には、全く問題がなかった。

以上のことから、ケールジュース粕サイレージは、泌乳中の乳牛飼料として十分利用可能である。サイレージ中に豊富に含まれている $\alpha$ -トコフェロールは、血中及び乳中に多く移行しており、副産物の有効利用のみならず、高付加価値のある牛乳・乳製品開発、並びに繁殖性改善の可能性が示唆された。

#### 参考文献

- 1) 家木一、村上恭彦、佐伯拓三、柘井和恵：ケールジュース粕サイレージの飼料特性と反芻家畜への給与の影響、愛媛県畜産試験場研究報告、第20号、1-5、2003
- 2) 家木一：乳牛用飼料としてのケールジュース粕の特性と利用性に関する研究、栄養生理研究会報、51(1)、51-65、2007
- 3) 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構：日本標準飼料成分表、2009年版、258、社団法人中央畜産会、東京都千代田区、2009
- 4) 文部科学省：日本食品標準成分表2010、文部科学省 科学技術・学術審議会・資源調査分科会、第2章13、2010
- 5) 今村友美、高橋志乃、大内智恵子、境谷友希ら：ビタミンE摂取量が母体の健康状態と胎児の発育に及ぼす影響について～実験動物を用いての検討～、武庫川女子大紀要（自然科学）、56、89-94、2008
- 6) 宇田三男、佐藤義信、浅野鉄太郎、矢口長彦ら：乳牛の繁殖に対する $\beta$ -カロテン、ビタミンA、ビタミンEの投与効果、畜産の研究、第43巻第8号、947-952、1989
- 7) 社団法人日本家畜人工授精師協会：家畜人工授精講習会テキスト、平成22年改訂版、177-178、社団法人日本家畜人工授精師協会、東京都江東区、2010
- 8) 前田吉光、小岩政照：主要症状を基礎にした牛の臨床、新版、740-741、デーリィマン社、札幌市中央区、2002