ケールジュース粕の第一胃内分解特性と栄養価

家木 一・永西 修¹・中島一喜¹・村上恭彦・佐伯真魚^{1a}・川島知之¹

愛媛県畜産試験場, 西予市 797-1211

¹ 畜産草地研究所, つくば市 305-0901

(2005. 8. 8 受付, 2005. 12. 6 受理)

要 約 ケールジュースの製造過程で発生する搾り粕残渣（ケールジュース粕）について、処理の異なる3種類のケールジュース粕（生：RK, 90℃・7時間乾燥：DK, サイレージ：SK1）の第一胃内分解を *in situ* 試験で調べるとともに（試験1）、ヤギを用いてサイレージ化したケールジュース粕（SK2）の成分消化率と栄養価を測定した（試験2）。ケールジュース粕の乾物中粗タンパク質含量（CP）は、アルファルファ乾草（AH）と同等で、RKとSK1ではCPの第一胃内有効分解率（ED）は差がなかったが、DKでは中性デタージェント不溶性タンパク質が増加し、CPのEDは他の飼料よりも低い値を示した。中性デタージェント繊維のEDは、ケールジュース粕がAHよりも高い値となった。アルファルファヘイキューブを基礎飼料としてSK2の栄養価（乾物中）を推定すると、可消化養分総量が69.1%、可消化エネルギーが14.6 MJ/kg、代謝エネルギーが13.4 MJ/kg、可消化粗タンパク質が13.2%であった。また、ヤギの窒素出納を測定すると、基礎飼料単独給与に比べて、SK2を乾物中50%給与した飼料で尿中窒素排泄量の減少と体内窒素保持量の増加が認められた。これらの結果から、ケールジュース粕は反芻家畜への有用な飼料原料になると判断した。

日本畜産学会報, 77 (2) : 215-224, 2006

わが国では、食生活の多様化にともない、従来にない様々な食品製造副産物が発生している。これらの食品製造副産物を家畜用飼料として利用することは、飼料自給率の向上のみならず、飼料費の低減や環境負荷の軽減の面においても重要である。

ケール（学名：*Brassica oleracea*）は、キャベツと同じアブラナ科の植物で、キャベツと異なり結球せず、上部に密生した葉をつける。わが国では、主に葉部の搾汁液（ケールジュース）が野菜ジュース原料として用いられており、豊富な栄養素を有することから、昨今の健康志向の高まりと相まって需要が伸びている加工飲料である。ケールジュースの製造時には残渣として多量の搾り粕が産出され（愛媛県においては原物量で年間1,500tが産出）、現在そのほとんどは産業廃棄物として取り扱われ主に土壌還元資材として処理されている。

原料であるケールの飼料栄養価については海外で報告されている（Barryら1984）が、ケールジュース粕を家畜に給与した報告例は見当たらない。そこで、本研究では、無処理、加熱処理、サイレージ処理したケールジュース粕について、それぞれの反芻家畜用飼料としての特性を調べるために、第一胃フィステルを装着したホルスタイン種乾乳牛を用いて、化学成分の第一胃内分解

率を測定した。比較のため、アルファルファ乾草についても測定した（試験1）。さらに実用性を考慮して、繊維分解酵素と乳酸菌を添加してサイレージ調製したケールジュース粕について、ヤギでの成分消化率、エネルギー価および窒素蓄積効果を基礎飼料に用いたアルファルファヘイキューブと比較、検討した（試験2）。

材料および方法

1. ケールジュース粕の第一胃内分解特性（試験1）

ケールジュース粕の第一胃内分解は、第一胃フィステル装着乾乳牛2頭を用いた *in situ* 試験により調べた。供試牛にはイタリアンライグラス乾草75%、圧ペントウモロコシ20%および大豆粕5%からなる飼料（乾物中の粗タンパク質（CP）含量10%および可消化養分総量（TDN）含量77%）を1日1回維持エネルギー相当量（農林水産省農林水産技術会議事務局1999）を給与した。測定試料は、産出直後のケールジュース粕（RK）、90℃で7時間加熱乾燥したケールジュース粕（DK）、パウチ法で30日間サイレージ調製したケールジュース粕（SK1）および対照飼料としてのアルファルファ乾草（AH）の各2点とした。なお、本研究では、愛媛県内にある2カ所のケールジュース工場で産出されたケールジュース粕を供試し

現所属：^a 日本大学生物資源科学部, 藤沢市 252-8510

連絡者：家木 一（fax：0894-72-0065, e-mail：ieki-hajime@pref.ehime.jp）

たが、RK および SK1 と DK はそれぞれ別工場で産出されたものを用いた。各試料は、それぞれ凍結乾燥を行った後、2 mm 目の篩を通して粉碎したものを 5 g ずつナイロンバック (190×90 mm, 250 メッシュ) に詰め、第一胃内で培養した。培養時間は 0, 3, 6, 12, 24, 48 および 72 時間で、ナイロンバック取出し後に流水で洗浄し、60°C で 48 時間通風乾燥した。

培養後のナイロンバック中の残渣は、乾物 (DM), CP および中性デタージェント繊維 (NDF) の各含量を測定し、それぞれの消失率を算出した。第一胃内における分解パラメーターは、Φrskov と McDonald (1979) の指数式 $P=a+b \times (1-e^{-c})$ に当てはめて算出した。なお、P は培養時間 t における消失率 (%), 係数 a は急速に消失する区分 (%), b は緩やかに消失する区分 (%), c は b 区分の分解速度定数 (/h) を意味する。また、第一胃内における有効分解率 (ED) は、Φrskov と McDonald (1979) の示したモデル式 $ED=a+b \times c/(c+r)$ により算出した。r は通過速度係数であるが、本研究では維持量の 2 倍弱を家畜に給与した場合に相当する 0.05/h で計算した (Agriculture and Food Research Council 1993)。

2. 消化試験, 呼吸試験および窒素出納試験 (試験 2)

試験 2 では、ケールジュース粕の保存性を考慮して、サイレージ化したケールジュース粕 (SK2) を供試した。事前に乳牛を用いてケールジュース粕サイレージの嗜好性を調べたところ、繊維分解酵素を含む乳酸菌製剤 (乳酸菌種; *Lactobacillus rhamnosus*, 繊維分解酵素; *Trichoderma* および *Acremonium* 属菌由来, 雪印種苗, 札幌) を添加することにより嗜好性が改善されたことから (未発表), 供試サイレージについても同種の製剤を原物比で 0.2% 添加し, 100 ℓ 容 FRP 製ドラムで 60 日間調製を行った。なお, 実験 2 における SK2 の原料は, 実験 1 の RK および SK1 と同一の工場から産出されたものを用いた。

供試動物は日本在来種去勢ヤギ 4 頭 (体重 25.5~31.0 kg) で, 試験は基礎飼料としてアルファルファヘイキューブのみ給与する区 (AB 区) とアルファルファヘイキューブの乾物比 50% を SK2 で代替した試験飼料を給与する区 (AK 区) の 2 処理を設け, それぞれ TDN 維持量 (伊藤ら 1978) の 110% 相当量を 1 日 1 回給与して行った。飲水は自由とした。なお, AK 区における TDN 供給量の算出に用いた SK2 の TDN 含量は, 試験 1 の結果から, 日本標準飼料成分表 (農林水産省農林水産技術会議事務局 2001) に記載されている良質のアルファルファ乾草並み (DM 中 60%) と仮定した。

消化試験および窒素出納試験は, 予備期 7 日間, 本試験期 8 日間の全糞尿採取法で行った。また, 本試験期間中 3 日間ヤギを開放式呼吸試験装置に収容し, 尿中エネルギー損失量とメタン発生量を測定して代謝エネルギーを求めた。SK2 の成分消化率とエネルギー価は, 両試験

区の測定結果を基に, アルファルファヘイキューブと SK2 を併給しても測定値に相互作用がないと仮定して, アルファルファヘイキューブを基礎飼料とする間接法により算出した。

3. 化学分析

供試飼料と糞の一般成分および尿中窒素含量は常法 (堀井ら 1971) で, 供試飼料と糞の NDF 含量は阿部 (1988) の方法に準じて分析した。また, 試験 1 で供試した飼料のタンパク質は, 溶解性タンパク質 (Roe ら 1990), 酸性デタージェント不溶性タンパク質 (ADICP, Goering と Van Soest 1970) および中性デタージェント不溶性タンパク質 (NDICP, 前田ら 1985) をそれぞれ測定した。試験 2 で採材した飼料, 糞および尿のエネルギー含量は燃研式ボンベ熱量計 (CA-4P 型, 島津製作所, 京都) で測定した。また, 試験 2 で供試した飼料は, 湿式篩別法で Large (4,450 μm 以上), Middle (1,180 μm 以上 4,450 μm 未満), Small (300 μm 以上 1,180 μm 未満), Fine (45 μm 以上 300 μm 未満) および Soluble (45 μm 未満) に篩別し, それぞれの乾物重量比率を算出して飼料の粒度を比較した。さらに, 試験 2 で供試した SK2 の発酵品質について, 新鮮物 70 g に蒸留水 140 ml を加えてよく攪拌してから, 4°C 冷蔵庫で 12 時間放置した後, ろ紙 (No. 5A, 東洋濾紙, 東京) でろ過し, そのろ液を抽出液として, ガラス電極メーターで pH を測定した後, 水蒸気蒸留法 (蔡 2001) で揮発性塩基態窒素を定量するとともに, サイレージ抽出液の除タンパク処理を施した後, 揮発性脂肪酸含量をキャピラリー電気泳動システム (3DCE 型, Hewlett Packard 社, Colorado, U.S.A.) で, 乳酸含量を F キット (D-乳酸/L-乳酸, Roche Diagnostics 社, Mannheim, Germany) で, それぞれ測定した。

4. 統計処理

消化試験および窒素出納の結果は, 処理間の有意差を対応のある t 検定により検定した (吉田 1983)。解析結果は, $P<0.05$ を有意と判断した。

結果および考察

1. ケールジュース粕の第一胃内分解特性 (試験 1)

供試試料の DM 含量は, RK と SK1 が DK や AH に比べて低かったが, 乾物中 CP 含量は, 各ケールジュース粕と AH でほぼ同じ値であった (表 1)。タンパク質の画分では, 溶解性タンパク質は各ケールジュース粕に比べて AH で高いが, NDICP 含量は DK で高い値となった。また, NDF 含量については, NDICP と同様に DK が他の飼料よりも高い傾向を示した。これは, 加熱処理で細胞壁成分とタンパク質の結合が起こったため (Krishnamoorthy ら 1983) と考えられ, 穀類 (Malcolm と Kiesling 1993) やイタリアンライグラス (Nishino ら 1994) で加熱乾燥による同様の現象が報告されている。一方, 酸性デタージェント繊維 (ADF) 含量は各ケールジュース

Table 1. Chemical composition of ruminally incubated feeds in experiment 1

Item	Feeds ¹⁾			
	RK	DK	SK1	AH
Dry matter (%)	19.7	79.8	19.1	89.1
Organic matter (% DM)	88.0	87.4	85.7	90.6
Crude protein (% DM)	18.4	17.2	18.9	18.1
Soluble protein (% CP)	17.5	19.6	20.1	33.4
NDICP ²⁾ (% CP)	5.2	41.2	7.5	13.6
ADICP ³⁾ (% CP)	3.6	2.5	2.9	4.4
Ether extract (% DM)	2.7	3.0	4.1	1.9
Non fibrous carbohydrates (% DM)	30.4	23.1	23.4	27.9
Neutral detergent fiber (% DM)	36.5	44.1	39.3	42.7
Acid detergent fiber (% DM)	29.0	29.8	30.6	38.5
Lignin (% DM)	12.3	12.4	12.6	11.3

¹⁾ Kale juice residue (RK ; raw, DK ; dried, SK1 ; ensiled) and alfalfa hay (AH).

²⁾ Neutral detergent insoluble crude protein.

³⁾ Acid detergent insoluble crude protein.

DM : dry matter.

粕とも AH に比べて 8~9% 程度低く、リグニン含量は各ケールジュース粕と AH でほぼ等しかった。

DM, NDF および CP のナイロンバックからの消失率の経時的变化を図 1 に示した。また、第一胃内における分解パラメーター値と ED を表 2 に示した。

DM のナイロンバックからの消失率は、AH が培養初期から高く 12 時間目にはほぼ最大値に達したのに対し、ケールジュース粕では、RK と SK1 が培養 24 時間目に、DK が 48 時間目に、最大値に達した。また、ケールジュース粕の DM 分解パラメーターは、AH に比べて、a 区分で低く、b 区分で高い値となった。しかしながら、今回想定した流出速度下における RK と SK1 の ED は DK や AH よりも約 10% 高い値を示した。

NDF のナイロンバックからの消失率はケールジュース粕が AH よりも終始高く推移し、ED はケールジュース粕が AH よりも高い値を示した。供試したケールジュース粕の NDF 含量と ADF 含量の差は AH に比べて大きいことから、ケールジュース粕ではヘミセルロース割合が高いと推察されるが、Escalona ら (1999) は NDF 中のヘミセルロース含量が高いと第一胃内での NDF 分解率も高まると報告している。他方、ケールジュース粕のように破碎処理や加圧搾汁といった加工処理を受ける製造副産物では、繊維構造が脆弱となるため、第一胃内微生物による繊維消化作用を受け易くなる (永西ら 2004)。ケールジュース粕の第一胃内での繊維分解の高さは、こうした繊維構成成分の化学的要因と物理的要因の両面が影響している可能性がある。

CP のナイロンバックからの消失率は、DK が他の飼料に比べて終始低く推移し、b 区分の消失速度 c が低かつ

たことを反映して、DK の ED は他の飼料に比べて約 15% 低い値を示した。DK と同様に、強度の加熱処理を受けた圧ペン大豆 (新出ら 2000) や麦茶粕 (永西ら 2000) でも、非加熱原料に比べて CP の第一胃内 ED が低下することが報告されている。一般に、加熱処理を受けた飼料では、細胞壁成分とタンパク質が結合することにより、第一胃におけるタンパク質の分解率が低くなる (Sniffen ら 1992) が、DK のタンパク質画分をみると繊維成分とタンパク質の結合を示す NDICP が非加熱の RK や SK1 に比べて著しく増加しており、このことが CP の第一胃内分解性を低下させたと考えられる。加熱乾燥処理を受けていない RK と SK1 の第一胃内 CP 分解については、ED は AH とほぼ同じ値を示したが、分解パラメーターは AH に比べて a 区分で低く b 区分で高い傾向にあり、AH よりも第一胃内での分解速度が緩やかであった。これは、ケールジュース粕の溶解性タンパク質画分が AH よりも少ないことに起因すると推察される。

試験 1 の結果から、ケールジュース粕とアルファルファ乾草では第一胃内での分解特性が異なり、また、加熱処理の有無もケールジュース粕の CP 分解性を左右する可能性が示唆された。したがって、反芻家畜に対してアルファルファ乾草の代替にケールジュース粕を給与する場合、第一胃内分解特性の違いを考慮した飼料設計を行う必要があろう。

2. ケールジュース粕サイレージの成分消化率、エネルギー価および窒素出納 (試験 2)

SK2 および去勢ヤギに給与した基礎飼料 (AB 飼料) と試験飼料 (AK 飼料) の化学成分値を表 3 に示した。本試験の基礎飼料に用いたアルファルファヘイキューブの

Fig. 1. Dry matter, neutral detergent fiber and crude protein disappearance of kale juice residue (raw ; RK, dried at 90°C for 7hours ; DK, ensiled ; SK1) and alfalfa hay (AH) determined by nylon bag technique (means of four observations).

Table 2. Degradation characteristics of dry matter, neutral detergent fiber and crude protein of feeds in experiment 1

Item	Feeds ¹⁾			
	RK	DK	SK1	AH
Dry matter				
a (%)	15.0	13.9	19.0	31.4
b (%)	80.8	84.0	76.5	41.8
c (/h)	0.083	0.060	0.091	0.096
ED (%)	65.8	58.8	68.0	58.4
Neutral detergent fiber				
a (%)	0.0	4.1	0.9	0.4
b (%)	88.8	90.0	87.1	46.4
c (/h)	0.096	0.056	0.109	0.067
ED (%)	52.6	50.2	56.6	23.8
Crude protein				
a (%)	22.4	14.6	22.2	28.8
b (%)	76.0	84.7	74.5	60.1
c (/h)	0.078	0.046	0.100	0.112
ED (%)	68.4	54.6	71.5	70.0

Values are mean of two determined ones.

¹⁾ Kale juice residue (RK ; raw, DK ; dried, SK1 ; ensiled) and alfalfa hay (AH).

Ruminal degradation characteristics according to the equation $p=a+b(1-\exp^{-ct})$.

p : disappearance rate at time t (%).

a : soluble fraction (%).

b : degradable fraction (%).

c : rate of degradation (/h).

ED : effective degradability = $a+b \times c/(c+r)$, r=rate of passage assumed at 0.05/h.

Table 3. Chemical composition of feeds in experiment 2

Item	SK2 ¹⁾	Feeds ²⁾	
		AB	AK
Dry matter (%)	20.3	88.9	33.1
Organic matter (% DM)	89.4	89.1	89.2
Crude protein (% DM)	16.7	19.8	18.3
Ether extract (% DM)	5.4	2.0	3.7
Crude fiber (% DM)	5.2	25.2	15.2
Nitrogen free extract (% DM)	62.1	42.3	52.1
Non fibrous carbohydrates (% DM)	56.3	26.6	41.5
Neutral detergent fiber (% DM)	11.0	41.3	26.2
Gross energy (MJ/kg DM)	19.4	18.8	19.1

¹⁾ Kale juice residue silage with lactic acid bacteria plus cellulase.

²⁾ AB : alfalfa hay cubes (100%), AK : SK2 (50%) + alfalfa hay cubes (50%).
DM : dry matter.

化学成分は、日本標準飼料成分表（農林水産省農林水産技術会議事務局 2001）に記載されている値と同程度であった。DM 含量は AB 飼料に比べて AK 飼料で大幅に低かったが、乾物中の有機物および CP 含量とも両飼料区でほぼ同じであった。一方、繊維成分を表す粗繊維および NDF の含量は AK 飼料が AB 飼料に比べて低かった。さらに SK2 の NDF および非繊維性炭水化物（NFC）含量を試験 1 で用いた SK1 と比較すると、SK2 の方が NDF で約 18% 低く NFC で約 33% 高い値であった。これは、試験 2 のサイレージ調製に用いた繊維分解酵素の作用でケールジュース粕の繊維成分が分解されたことによるものである。そのため、AK 飼料の NFC 含量は AB 飼料よりも高くなった。

SK2 の発酵品質を表 4 に示した。サイレージの pH は 3.77 で、有機酸は乳酸が主体の良質サイレージであった。熱水で焙煎抽出される麦茶粕や緑茶粕のサイレージでは、乳酸菌や乳酸発酵基質である可溶性炭水化物がほとんど含まれないため、乳酸発酵を促進させる上で繊維分解酵素と乳酸菌の同時添加が必要とされている（蔡ら 2002；徐ら 2003 a）。ケールジュースの製造工程においても 95℃ で 1 分間の熱水抽出処理が施されており、繊維分解酵素や乳酸菌の添加が SK2 の発酵品質を高めたものと推察される。

湿式篩別法で比較した供試飼料の粒度分布を表 5 に示した。アルファルファヘイキューブは 40.2% が Middle 以上（1,180 μ m 以上）に篩別されたが、SK2 は 76.6% が Soluble（45 μ m 未満）に篩別された。ケールジュース粕は、製造過程で破砕・圧搾処理を受けていることに加えて、サイレージ調製で添加した繊維分解酵素の作用によりかなりの細胞壁成分が分解されており、これらの結果、SK2 の粒子サイズが微細化したと考えられる。

両飼料区での消化試験による測定値、間接法で求めた SK2 の消化率および呼吸試験によるエネルギー価の推定値を表 6 に示した。去勢ヤギは、両飼料区とも給与飼料を全量採食した。

成分消化率をみると、DM、有機物、エーテル抽出物および可溶性無窒素物では AK 区が AB 区よりも高く、CP ではほぼ同等の値を示した。しかし、繊維成分の消化率は AK 区が AB 区よりも低くなり、SK2 の粗繊維と NDF の推定消化率はそれぞれ 2.9% と 9.3% で著しく低い値となった。一般に、飼料の消化性は消化管内容物の通過速度と飼料そのものの消化速度によって決定されるが、SK2 のような粒子サイズの細かい（表 5）飼料では第一胃内での滞留時間は短くなり消化作用を受けにくい（Poppi ら 1980）。さらに、SK2 のように繊維分解酵素を添加したサイレージは、酵素の作用により消化されにくい繊維成分が残留するため繊維の消化率が低下すると指摘されている（McDonald ら 1991；徐ら 2003 b）。これらのことから、AK 区における繊維消化率の低下は、微細

Table 4. Fermentation quality of SK2¹⁾ in experiment 2

pH	3.77
Lactic acid (% FM)	3.31
Acetic acid (% FM)	0.23
Butyric acid (% FM)	nd
Propionic acid (% FM)	nd
VBN / TN ²⁾ (%)	2.40

¹⁾ Kale juice residue silage with lactic acid bacteria plus cellulase.

²⁾ Volatile basic nitrogen per total nitrogen.
FM : fresh matter, nd : not detected.

Table 5. Particle size distribution of feeds in experiment 2 (%)

Item	SK2 ¹⁾	Alfalfa hay cubes
Large (>4450 μ m)	0.1	19.5
Middle (4450–1180 μ m)	1.7	20.7
Small (1180–300 μ m)	11.7	19.2
Fine (300–45 μ m)	9.9	7.9
Soluble (<45 μ m)	76.6	32.8

¹⁾ Kale juice residue silage with lactic acid bacteria plus cellulase.

な飼料粒度による第一胃内滞留時間の短さや繊維組織の低消化性に起因していると推察される。したがって、試験 1 で供試した SK の第一胃内における NDF 分解が高かったにもかかわらず、SK2 の NDF 消化率が低くなったのも、*in vivo* での消化管内滞留時間による影響と各試験で用いたサイレージの調製時における繊維分解酵素添加の有無の違いによると考えられる。しかしながら、繊維成分の消化率が低くなったとしても、SK2 の繊維含量が低いために、後述するエネルギー価への影響は小さいものであった。

エネルギー価については、TDN、可消化エネルギー（DE）および代謝エネルギー（ME）は、AK 区が AB 区よりも高かった。間接法で求めた SK2 それ自体のエネルギー価（乾物中）はアルファルファヘイキューブよりも高く、TDN が 69.1%、DE が 14.6 MJ/kg、ME が 13.4 MJ/kg となった。DE と ME 含量については日本標準飼料成分表（農林水産省農林水産技術会議事務局 2001）に記載されているビール粕よりも高く、特に ME については穀類の大麦に近いものであった。また、SK2 のエネルギー価が TDN に比べて ME で高く評価されたのは、AK 区でメタン産生量（AK 区：0.74 MJ/kgDM、AB 区：1.07 MJ/kgDM）や後述の尿中窒素排泄量（AK 区：10.0 g/日、AB 区：12.4 g/日）が少なく、これらによるエネルギー損失

Table 6. Digestibility and nutritive values of SK2¹⁾ in experiment 2

Item	Feeds ²⁾		SK2 ³⁾
	AB	AK	
Dry matter intake (g/day)	551.8±19.6	560.3±20.9	—
Digestibility (%)			
Dry matter	60.6±0.5 ^B	65.7±0.6 ^A	70.8
Organic matter	63.3±0.5 ^B	69.3±0.5 ^A	75.3
Crude protein	72.7±1.7	72.6±1.1	72.4
Ether extract	27.4±1.4 ^B	48.3±1.2 ^A	72.4
Crude fiber	46.2±2.5 ^A	38.8±1.7 ^B	2.9
Nitrogen free extract	71.6±0.9 ^B	78.5±0.4 ^A	83.2
Neutral detergent fiber	47.6±1.6 ^A	39.6±1.0 ^B	9.3
Nutritive values			
Total digestible nutrients (% DM)	59.0±0.4 ^B	64.0±0.5 ^A	69.1
Digestible crude protein (% DM)	13.3±0.3	13.2±0.5	13.2
Digestible energy (MJ/kg DM)	11.4±0.1 ^B	13.0±0.1 ^A	14.6
Metabolizable energy (MJ/kg DM)	9.2±0.1 ^B	11.3±0.1 ^A	13.4

Values are mean±standard error (n=4).

^{A,B}; P<0.05 Different between treatment means.

¹⁾ Kale juice residue silage with lactic acid bacteria plus cellulase.

²⁾ AB : alfalfa hay cubes (100%), AK : SK2 (50%) + alfalfa hay cubes (50%).

³⁾ Estimated by subtraction methods based on the values for AB and AK.

DM ; dry matter.

が小さかったことによる。SK2 は、易発酵性炭水化物の NFC 含量が高い値を示したが、易発酵性炭水化物の補給は尿中窒素排泄量の減少（大谷ら 2001）やメタン産生量の低下（Moe と Tyrell 1980）に貢献する。また、Okine ら（1989）は消化管内容物の通過速度の上昇がメタン産生量を低下させると指摘しているが、SK2 は粒子サイズが細かく、消化管内容物の通過速度が速かったと推察される。したがって、メタン産生や尿中窒素排泄の低さによる SK2 の高 ME は、SK2 の NFC 含量の高さと粒子サイズの小ささに起因する可能性がある。

可消化粗タンパク質含量は両飼料区でほぼ同じであった。窒素出納の結果を表 7 に示した。窒素摂取量は両区ともほぼ等しく、糞中窒素排泄量も処理間に差がみられなかったが、尿中窒素排泄量は AK 区で有意に減少した。このため、体内窒素保持量は、SK2 給与によって増加した。反芻家畜における窒素の利用性は第一胃内微生物のタンパク質合成に大きく影響されるが、第一胃内における過剰なタンパク質分解は、第一胃内微生物タンパク質合成に対するアンモニアの生成が過剰となり、窒素の利用性を低下させる。Broderick（1985）はアルファルファ由来タンパク質の第一胃内での急速な分解性が窒素利用の低下を招くと指摘しているが、試験 1 において SK1 の第一胃内 CP 分解性はアルファルファ乾草よりも緩やかであったことから、試験 2 の AK 区で窒素の利用性が

Table 7. Nitrogen balance of goats in experiment 2 (g/day)

Item	Feeds ¹⁾	
	AB	AK
Intake	16.4±0.7	16.2±0.6
Fecal excretion	4.5±0.3	4.4±0.2
Urine excretion	12.4±0.5 ^A	10.0±0.4 ^B
Retention	-0.5±0.4 ^A	1.7±0.1 ^B

Values are mean±standard error (n=4).

^{A,B}; P<0.05 Different between treatment means.

¹⁾ AB : alfalfa hay cubes (100%), AK : SK2 (50%) + alfalfa hay cubes (50%).

高まったのは、ケールジュース粕サイレージ由来の CP がアルファルファヘイキューブよりも第一胃内微生物のタンパク質合成に利用しやすかったのかもしれない。一方で、エネルギー摂取量の増加あるいは易発酵性炭水化物の補給は、第一胃内微生物タンパク質の合成促進により窒素の利用効率を改善すると報告されており（Syrjala ら 1972 ; Obara ら 1991 ; Obara ら 1994 ; Sutoh ら 1996 ; 谷口ら 2003 ; Broderick 2003）、供試した SK2 がアルファルファヘイキューブよりもエネルギー価が高かったことも窒素蓄積にプラスに作用したと推察される。今

後、ケールジュース粕サイレージ給与による窒素利用改善の生体内メカニズムについて明確にしていく必要がある。

以上のことから、ケールジュース粕はアルファルファ乾草に比べて、CP 含量は同等だがその反芻胃内分解は緩やかであり、また繊維分解酵素と乳酸菌を添加して調製されたサイレージでは DE や ME 含量の高いことが示された。今後、ケールジュース粕の家畜用飼料としての利用を進めるためには、家畜の嗜好性あるいは泌乳成績や産肉性など畜産物への影響の調査などが望まれる。また、ケールジュース粕は、同一工場内では年間を通じて比較的品質の一定したものが得られると推察されるものの、産出量には季節的な変動があることから、サイレージ調製技術など保存性に関する検討も今後の重要な課題である。

なお、反芻家畜へのケールの給与による溶血性貧血の発症例が報告されている (Penny ら 1964 ; Barry と Manley 1982 ; Taljaard 1993)。これは、ケールのようなアブラナ科植物に多く含まれる *s*-メチルシステインスルフォキシド (SMCO) がルーメン微生物の作用により溶血性貧血の発症因子であるジメチルジスルフィドに変換されるためで、ヤギへの SMCO の給与限界量を体重 1 kg あたり 0.19 g と報告されている (Smith 1980)。本試験 2 で用いた供試ヤギのケールジュース粕サイレージ給与期最終日 (給与期間 15 日間) に採取した血液を用いて赤血球の浸透圧脆弱度測定 (増田 1979) による溶血性貧血の発症確認を行った結果、いずれのヤギにもその発症を認めなかった。本試験ではケールジュース粕の SMCO 含量は測定していないが、Barry と Manley (1982) による原料ケールの乾物中 SMCO 含量 0.77% を参考に、先述の Smith (1980) によるヤギへの SMCO 給与限界量 0.19 g をケールとしての給与限界量に換算すれば体重 1 kg あたり乾物として約 25 g となる。本試験 2 で供試したヤギへのケールジュース粕サイレージ給与レベルは体重 1 kg あたり乾物 10 g 程度であり、摂取レベルが限界量に達しなかったため溶血性貧血を発症しなかったと考えられるが、畜種や給与量などによっては反応が異なる可能性もあるため、適正な給与量について検討を重ねる必要がある。また、原料ケールで多く含まれるチオシアン酸塩と甲状腺機能阻害との関連も指摘されているが (星合 1984)、チオシアン酸塩がケールジュース粕にどの程度移行するのかは現時点で不明である。原料ケールとそのジュース粕、あるいはサイレージ化といった形態の違いもあるが、SMCO やチオシアン酸塩のような毒性物質が存在している可能性については留意しておかなければならない。

謝 辞

本研究で用いたケールジュース粕は、株式会社グリー

ンヒルならびにくみあい食品工業株式会社より提供していただいた。農業・生物系特定産業技術研究機構畜産草地研究所企画調整部業務第一科 C 棟班の各氏には、供試したヤギの飼養管理および試験補助をしていただいた。同研究所飼料評価研究室の花木千穂氏、岡部陽子氏には、試料分析にご協力を頂いた。農業・生物系特定産業技術研究機構動物衛生研究所安全性研究部の宮崎 茂部長には、ケールの毒性物質についてご助言を頂いた。農業・生物系特定産業技術研究機構九州・沖縄農業研究センターの鈴木知之氏には、湿式篩別法による飼料粒度の測定についてご指導を頂いた。供試したケールジュース粕サイレージの調製は、愛媛県畜産試験場飼養技術室酪農班の各氏にご協力を頂いた。また、本論文の執筆にあたっては、広島大学大学院生物圏科学研究科の谷口幸三教授にご校閲を賜った。ここに記して、感謝の意を表します。

文 献

- Agriculture and Food Research Council. 1993. *Energy and protein requirements of ruminants*. 9-11. CAB International. Wallingford, UK.
- 阿部 亮. 1988. 炭水化物成分を中心とした飼料分析法とその飼料栄養評価法への応用. 畜産試験場研究資料, 2 : 1-75.
- Barry TN, Manley TR. 1982. Nutritional evaluation of kale diets. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 99 : 1-12.
- Barry TN, Manley TR, Duncan SJ. 1984. Quantitative digestion by sheep of carbohydrates, nitrogen and S-methyl-L-cystein sulphoxide in diets of fresh kale. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 102 : 479-486.
- Broderick GA. 1985. Alfalfa silage or hay versus corn silage as the sole forage for lactating dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 68 : 3262-3271.
- Broderick GA. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 86 : 1370-1381.
- 永西 修・塚原 昇・梶川 博・寺田文典. 2000. 麦茶製造副産物の第一胃内消化特性と栄養価. 日本畜産学会報, 71 : J252-J257.
- 永西 修・吉岡 勉・中島一喜・佐伯真魚・川島知之. 2004. カボチャならびにニンジンジュース粕の反すう家畜用飼料としての特性. 日本草地学会誌, 68 : 217-222.
- Escalona B, Rocha R, Garcia J, Blas C. 1999. Ruminant nutrition and production—Characterization of in situ fiber digestion of several fibrous foods. *Animal Science*, 68 : 217-222.
- Goering HK, Van Soest PJ. 1970. Forage fiber analyses (Apparatus reagents, procedures and some applications). In : *Agricultural Handbook* No. 379. ARS USDA. Washington DC.
- 堀井 聡・倉田陽平・林弥太郎. 1971. 動物栄養試験法 (森本宏監修) 第 1 版. 280-298. 養賢堂. 東京.
- 星合和夫. 1984. 食物に含まれる有害物質の知識. 54-59. 光琳社. 京都.
- 伊藤 稔・針生程吉・田野良衛・岩崎和雄. 1978. 日本在来種成去勢山羊の維持におけるエネルギーおよび蛋白質要求量. 畜産試験場研究報告, 33 : 41-50.
- 徐 春城・蔡 義民・藤田泰仁・河本英憲・佐藤崇紀・増田信義. 2003b. 麦茶飲料残渣サイレージの調製および栄養価.

- 日本畜産学会報, 74 : 343-348.
- 徐 春城・蔡 義民・藤田泰仁・河本英憲・佐藤崇紀・増田信義. 2003 a. 乳酸菌およびアクレモニウムセルラーゼ添加緑茶飲料残渣サイレージの化学組成と栄養価. 日本畜産学会報, 74 : 355-361.
- Krishnamoorthy U, Sniffen CJ, Stern MD, Van Soest PJ. 1983. Evaluation of a mathematical model of rumen digestion and an in vitro simulation of rumen proteolysis of feedstuffs. *British Journal of Nutrition*, 50 : 555-568.
- 前田良之・増子孝義・淡谷恭蔵・杉村敬一郎. 1985. 加熱処理が粗飼料の成分変化に及ぼす影響. 日本草地学会誌, 31 : 332-338.
- Malcolm KJ, Kiesling HE. 1993. Dry matter disappearance and gelatinization of grain as influence by processing and conditioning. *Animal Feed Science and Technology*, 40 : 321-330.
- 増田敬三. 1979. 血液検査のための器材と検査方法, および検査結果の解釈において考慮すべき事項についての簡単な解説: 獣医血液学 I (其田三夫・一条 茂監修). 17-94, 医歯薬出版株式会社. 東京.
- McDonald P, Henderson AR, Heron SJE. 1991. *The biochemistry of silage*. 2nd ed. 184-249. Chalcornbe publications. Marlow.
- Moe PW, Tyrrell HF. 1980. Methane production in dairy cows. In : *Energy Metabolism*. (Mount LE ed.) 59-62. EAAP Publications. Roma.
- Nishino N, Wakita Y, Uchida S. 1994. Influence of conservation method on the fiber digestion of Italian ryegrass by goats. *Animal Science and Technology*, 65 : 709-715.
- 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 (1999 年版). 66-71. 中央畜産会. 東京.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局編. 2001. 日本標準飼料成分表 (2001 年版). 16-91. 中央畜産会. 東京.
- Obara Y, Dellow DW, Nolan JV. 1991. The influence of energy-rich supplements on nitrogen kinetics in ruminants. In : *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*. (Tsuda T, Sasaki Y, Kawashima R eds.) 515-539. Academic Press. San Diego.
- Obara Y, Fuse H, Terada F, Shibata M, Kawabata A, Sutoh M, Hodate K, Matsumoto M. 1994. Influence of sucrose supplementation on nitrogen kinetics and energy metabolism in sheep fed Lucerne hay cubes. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*, 123 : 121-127.
- Okine EK, Mathison GW, Hardin RT. 1989. Effects of changes in frequency of reticular contractions on fluid and particulate passage rates in cattle. *Journal of Animal Science*, 67 : 3388-3396.
- 大谷文博・田鎖直澄・上野孝志. 2001. 飼料への易発酵性炭水化物の添加が乳牛の糞尿窒素排泄量に及ぼす影響. 日本畜産学会報, 72 : J239-J246.
- Φrskov ER, McDonald I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*, 92 : 499-503.
- Penny RHC, David JSE, Wright I. 1964. Observations on the blood picture of cattle, sheep and rabbits fed on the kale. *The Veterinary Record*, 76 : 1053-1057.
- Poppi DP, Norton BW, Minson DJ, Hendricksen RE. 1980. The validity of critical size theory for particles leaving the rumen. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*, 94 : 275-280.
- Roe MB, Sniffen CJ, Chase LE. 1990. Techniques for measuring protein fractions in feedstuffs. Proceeding. Cornell. Nutrition. In : *Conference for feed manufactures. Department of animal and poultry and avian sciences*. 81-88. Cornell University. NY.
- 蔡 義民. 2001. サイレージの分析: 改訂粗飼料の品質評価ガイドブック (自給飼料品質評価研究会編). 36-43. 社団法人 日本草地畜産種子協会. 東京.
- 蔡 義民・藤田泰仁・佐藤崇紀・増田信義・西田武弘・小川増弘. 2002. 麦茶残渣サイレージの調製貯蔵と発酵品質. 日本畜産学会報, 73 : 283-289.
- 新出昭吾. 2000. 圧ペン大豆の加熱処理が第一胃内粗蛋白質有効分解度に及ぼす影響. 日本畜産学会報, 71 : J245-J251.
- Smith RH. 1980. Kale poisoning. The brassica anaemia factor. *The Veterinary Record*, 107 : 12-15.
- Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. : II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, 70 : 3562-3577.
- Sutoh M, Obara Y, Miyamoto S. 1996. The effect of sucrose supplementation on kinetics of nitrogen, ruminal propionate and plasma glucose in sheep. *Journal of Agricultural Science*, 126 : 99-105.
- Syrjala L. 1972. Effect of different sucrose, starch and glucose supplements on the utilization of grass silages by ruminants. *Annales Agriculturae Fenniae*, 11 : 199-276.
- Taljaard TL. 1993. Cabbage poisoning in ruminants. *Journal of the South African Veterinary*, 64 : 96-100.
- 谷口幸三・小櫃剛人・福岡敬紘. 2003. ヒツジの消化管組織における窒素化合物の net flux と飼料給与との関係. 栄養生理研究会報, 47 : 41-61.
- 吉田 実. 1983. 畜産を中心とする実験計画法. 46-67, 養賢堂. 東京.

***In Situ* Disappearance Rate and Nutritive Value of Kale Juice Residue**

Hajime IEKI, Osamu ENISHI¹, Kazuki NAKASHIMA¹, Yasuhiko MURAKAMI,
Mao SAYEKI¹ and Tomoyuki KAWASHIMA¹

Ehime Prefecture Animal Husbandry Experimental Station, Seiyō-shi 797-1211, Japan

¹ National Institute of Livestock and Grassland Science, Tsukuba-shi 305-0901, Japan

Corresponding : Hajime IEKI (fax : +81 (0) 894-72-0065, e-mail : ieki-hajime@pref.ehime.jp)

This study aimed to investigate the feasibility of utilizing kale juice residue as a feed. In experiment 1, *in situ* disappearance of three types of kale juice residue (raw : RK, dried at 90°C for 7 hours : DK, ensiled : SK1) and alfalfa hay (AH) was determined by the nylon bag technique using two rumen fistulated dry cows. The crude protein (CP) of kale juice residue was 17.2-18.9% (DM basis) which was as high as AH, but the neutral detergent insoluble crude protein content in CP of DK was higher than those of RK, SK1, and AH. The CP of RK and SK1 showed a lower disappearance rate from the bag than that of AH at the early incubation time, and the degradability was not different. On the other hand, the CP of DK compared to the other two juice residues showed a lower disappearance rate at any incubation time and lower degradability. The neutral detergent fiber of the three kale juice residues showed a higher disappearance rate than that of AH at any incubation time. In experiment 2, in order to investigate the digestibility and nutritive value of kale juice residue silage with lactic acid bacteria plus cellulase (SK2), four Japanese native goats were fed a diet consisting of SK2 and alfalfa hay cubes (1 : 1 on DM basis) or alfalfa hay cubes only. The total digestible nutrients, digestible energy and metabolizable energy (per DM) of SK2 was estimated to be 69.1%, 14.6 MJ/kg, and 13.4 MJ/kg, respectively. The nitrogen balance of the animals fed the diet containing 50% SK2 showed less urine nitrogen excretion and greater nitrogen retention than that fed alfalfa hay cubes only. These results indicate that kale juice residue has a potentially high nutritive value for ruminant feed.

Nihon Chikusan Gakkaiho, 77 (2) : 215-224, 2006

Key words : Kale juice residue, *In situ* disappearance, Digestibility, Nutritive value, Nitrogen balance