

総 説

地域を中心とする新規飼料の開発と実用化の可能性を探る

高橋 敏能*

山形大学農学部食料生命環境学科 安全農産物生産学コース畜産学分野
山形県鶴岡市若葉町 1-23 〒 997-8555

2012年12月10日受付, 2013年1月28日受理

はじめに

近年、飼料価格の高騰が畜産経営を圧迫しているが、地球環境を保全しながら、安全・安心な畜産物を生産するために地域の新規飼料開発の基礎研究から実用規模での普及が加速している。一部の食品副産物等の未利用資源は家畜用飼料として既に実用化されているものもあるが、本総説では、近年当研究室で行ってきた地域未利用資源を中心とする新規飼料に関する研究と実用化の可能性について、主としてサイレージに調製したときの発酵品質、採食性および消化性についてトピック的に紹介する。

1. 稲発酵粗飼料（以下稲WCS）と飼料用米

飼料用稲の作付け面積の推移を図1に示した。そのうち、稲WCSは過去10年間、飼料用米はここ数年間の

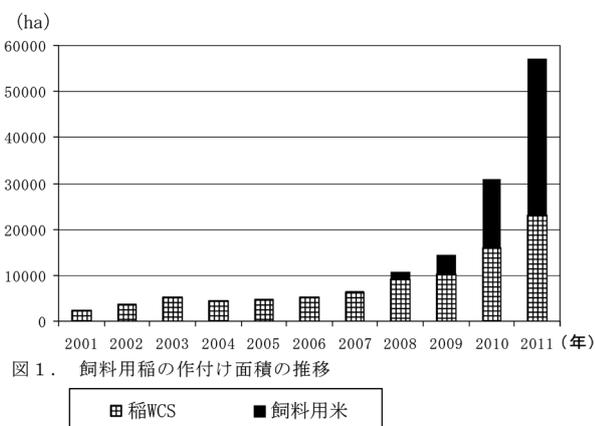


図1. 飼料用稲の作付け面積の推移

* 連絡者：高橋 敏能 (たかはし としよし)
(山形大学農学部食料生命環境学科)
〒 997-8555 山形県鶴岡市若葉町 1-23
Tel. 0235-28-2827 Fax. 0235-28-2827
E-mail: ttoshi@tds1.tr.yamagata-u.ac.jp

栽培面積が急増しており、それらの栽培面積は2011年度には5万ヘクタールを突破した(農林水産省, 2012)。特に、従来の作業体系で栽培出来て汎用性が優れている飼料用米の栽培面積の拡大が著しい。現在では新規飼料というより、我が国で自給可能である重要な飼料資源と言えよう。米の消費量が減少する中、今後も栽培面積の急増が予想されるが、国からの補助金の維持と飼料としての販売価格とのバランスおよび給与した場合の付加価値の追求が問題になろう。本研究室では、各種添加物利用による稲WCSの発酵品質の改善、品質の保持、未消化物の排泄低減化、および飼料用米をエクストルーダ(EX:高温高压)処理した場合の飼料価値の向上に関する研究、特に採食性と消化性の検討を中心に行った。

農林水産省委託プロジェクト「粗飼料多給による日本型家畜飼養技術の開発」(略称:えさプロ)に参加した研究成果として、黄熟期と完熟期に収穫した稲に各種添加物(乳酸菌(畜草1号,雪印種苗(株),北海道),アミノ酸発酵副産液,付着乳酸菌事前培養液)を利用して10ヶ月間貯蔵した結果、完熟期にアミノ酸発酵副産液を添加すると品質保持効果が認められたこと、これらの添加物を複合利用しても品質の改善を増幅しないことを明らかにした(高橋ら,2008)。また、黄熟期と過熟期に収穫した稲にパイナップル廃シロップと乳酸菌を利用すると発酵品質を改善し、特に、過熟期に添加すると翌年の暑熱期を経過させて長期保存しても乳酸含量が高く維持されるなど品質の保持効果が認められた(表1;高橋ら,2012)。さらに、表2に示したように過熟期のβ-カロテン含量は黄熟期より著しく低下した。α-トコフェロール含量は黄熟期より低下するが、添加剤を利用すると、これを抑えることができた(高橋ら,2012)。これらのことから、乳酸発酵を促進するなど品質を保持する添加材の利用は過熟期に高い効果があると同時に、過

表1. 長期保存した稲WCSの発酵品質

	黄熟期		過熟期		SEM	熟期	添加	熟期×添加
	無添加	添加	無添加	添加				
水分 (%)	66.8 ^a	63.7 ^b	51.9 ^c	53.9 ^c	0.6	**		**
pH	4.29 ^b	4.20 ^b	5.93 ^a	4.21 ^b	0.05	**	**	**
乳酸 (新鮮物%)	0.79 ^a	0.69 ^a	0.04 ^b	0.63 ^b	0.03	**	**	**
酢酸 (新鮮物%)	0.39 ^b	0.58 ^a	0.17 ^c	0.61 ^a	0.02	**	**	**
プロピオン酸 (新鮮物%)	0.01 ^a	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00	**		**
酪酸 (新鮮物%)	0.28 ^a	0.05 ^b	0.01 ^b	0.00 ^b	0.01	**	**	**
VBN/T-N (%)	8.04 ^a	7.90 ^{ab}	2.66 ^c	4.25 ^{bc}	0.67	**		
フリーク評点	32 ^{bc}	42 ^b	16 ^c	65 ^a	4		**	**
V-スコア	74 ^c	87 ^b	99 ^a	97 ^a	2	**	*	*

VBN/TN: 全窒素に対する揮発性塩基態窒素の割合,

黄熟期: 2008年9月12日調製, 過熟期: 2008年10月20日調製,

無添加: 添加なし, 添加: 乳酸菌 (畜草1号, 5ppm) ・パイナップル廃シロップ (4%添加),

*: P<0.05, **: P<0.01, ^{a, b, c}異符号間に有意差 (P<0.05),

SEM: Standard error of means.

表2. 長期保存した稲WCSのβ-カロテンおよびα-トコフェロール含量 (mg/kg (乾物))

	β-カロテン	α-トコフェロール
黄熟期・無添加	53.3	84.3
添加	41.1	294.4
過熟期・無添加	5.7	80.5
添加	6.1	150.3

黄熟期: 2008年9月12日調製, 過熟期: 2008年10月20日調製.

無添加: 添加なし, 添加: 乳酸菌 (畜草1号, 5ppm) ・パイナップル廃シロップ (4%添加).

はえぬき (粳米)

ヒメノモチ (糯米)

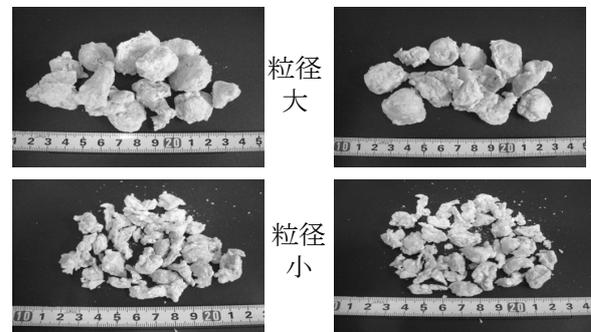


図2. EX処理した籾

表3. EX各処理した籾給与によるウシにおける消化率と栄養価

	乾物	CP ¹⁾	EE ²⁾	NFE ³⁾	CF ⁴⁾	ADF ⁵⁾	NDF ⁶⁾	DCP ⁷⁾	TDN ⁸⁾
									(乾物%)
無処理はえぬき	56.8 ^b	72.1	64.9	65.0 ^b	52.6 ^B	46.8 ^B	48.6 ^B	8.9	63.2 ^b
EX処理はえぬき	72.9 ^a	76.3	75.8	83.4 ^a	59.9 ^{AB}	56.5 ^A	59.1 ^A	9.3	77.0 ^a
無処理ヒメノモチ	61.9 ^b	74.1	67.6	70.4 ^b	55.8 ^{AB}	52.1 ^{AB}	53.3 ^{AB}	9.1	67.5 ^b
EX処理ヒメノモチ	73.8 ^a	77.1	75.6	84.1 ^a	60.5 ^A	57.5 ^A	59.1 ^A	9.4	77.7 ^a
SEM ⁹⁾	1.7	1.2	2.6	2.0	1.8	1.9	2.0	0.2	1.5
粳・糯性	NS ¹⁰⁾	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
処理	**	*	**	**	**	**	**	*	**
粳・糯性×処理	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

¹⁾粗タンパク質, ²⁾粗脂肪, ³⁾可溶無窒素物, ⁴⁾粗繊維, ⁵⁾酸性デタージェント繊維, ⁶⁾中性デタージェント繊維, ⁷⁾可消化粗タンパク質, ⁸⁾可消化養分総量, ⁹⁾Standard error of means, ¹⁰⁾Not significant.

異符号間に有意差 (^{A, B}: P<0.05, ^{a, b}: P<0.01), *: P<0.05, **: P<0.01.

熟期に調製した稲WCSを肉牛に給与すると鮮度保持効果がある高品質牛肉を生産する潜在力を持っていることを示した。また、稲WCSをウシに給与すると未消化粉の排泄が問題になるが、発芽処理とアミノ酸発酵副産液添加 (房ら, 2006) や粉に傷を付けるフレール型収穫機械 (Fangら, 2011) で減少することを示した。

飼料用米の飼料価値の改善に関する研究では粳米と糯米の粉を飼料全体の30% (乾物割合) 配合してウシに給与すると40%以上の未消化粉が糞に排泄される (早坂ら, 2010)。しかし、粉をEX処理 (図2) すると粉の形ではなく不定形の形になり、大小異なった大きさの粒度になるが、粳米 (はえぬき) と糯米 (ヒメノモチ)

ともウシに給与すると糞中に未消化物は観察されず、可消化養分総量が10%以上改善されることが分かった(表3:早坂ら, 2010)。

一昨年度から開始された農林水産省委託プロジェクト「国産飼料プロ」の研究成果として、肉豚を供試しカフェテリア・オミット法によるEX処理した玄米とトウモロコシを粗粉碎(2mm以上58%以上)または微粉碎(2mm未満69%以上)して実施した嗜好試験の結果、EX処理して粗粉碎した玄米の平均採食比率が77%と最も高かった(図3:小川ら, 2012)。このことは、一般に群飼で肥育されるときに要求される肉豚の斉一性を高めるためにウェットフィーダー法で肥育すると採食速度が速くなる(高橋ら, 1993)ことから、玄米のEX処理は肉豚間の採食の競争を抑制出来るため肥育の回転率を上げて生産性を高めることが期待される。

飼料用米利用の先駆事例として山形県酒田市の平田牧場の取り組みを紹介する。平田牧場の飼料用米の作付けは、1997年の0.5haからスタートし(三上, 2003)、2000年度に飼料用米から大豆へのシフトが加速して栽培面積は減少したが、2006年から鰻登りに上昇し、昨年度は1,300haを突破した。その間県内に限らず北海道から関東までの道県から飼料用米を集荷している。現在、

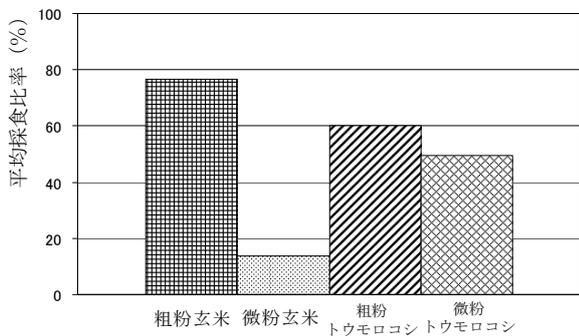


図3. 肉豚における粒度の異なるEX粉碎処理飼料の嗜好性

20万頭に10%配合して肥育し、「こめ育ち豚」として全国的に注目されている(新田, 2009)。今後、一層栽培面積の拡大が予想されるが、優良事例として今後の動向に注目したい。

2. 飲料残渣飼料

近年、自動販売機による飲料の普及により茶系飲料残渣やコーヒー抽出残渣を家畜用飼料とする民間企業が多くなった。本研究室では、緑茶殻、ウーロン茶殻、紅茶殻およびコーヒー粕を反芻家畜用飼料として有効利用する研究を実施してきた。これらの飲料残渣は一般に嗜好性が劣ることが知られているが、コーヒー粕と緑茶殻の飼料としての有効性についての知見を得たので紹介する。

乾燥コーヒー粕は、5%(乾物)程度の配合が限度とされていた(鈴木ら, 2003)が、サイレージにすると飼料の嗜好性が著しく改善されることを示した。また、サイレージにした場合、嗜好性が改善される要因を化学的要因(生コーヒー粕にサイレージと同じ濃度の有機酸とアンモニアを添加する。)と物理的要因(コーヒー粕サイレージを水で洗浄し、コーヒー粕サイレージと同じ水分含量にする。)から検討した結果、嗜好性の改善には

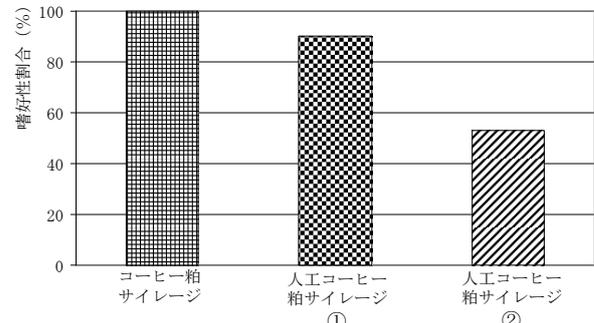


図4. 二者択一法によるコーヒー粕サイレージ嗜好性向上の要因試験

- ①生コーヒー粕にコーヒー粕サイレージと同濃度の有機酸とアンモニア添加(化学的要因)
- ②コーヒー粕サイレージから有機酸とアンモニアを洗浄し、水分を生コーヒー粕に戻す(物理的要因)

表4. 体脂肪脂肪酸組成の比較(炭素数18(%))

部位	区	C18:0	C18:1	t11C18:1	c9 t 11C18:2	C18:2	C18:3
腎周囲	対照区	19.8	45.9	3.2 ^b	0.2	2.1 ^b	0.1
	試験区	17.3	43.5	4.3 ^a	0.4	3.7 ^a	0.3
バラ筋肉間	対照区	9.3	50.3	2.4	0.3 ^B	2.2	0.2
	試験区	7.5	49.7	2.7	0.6 ^A	3.4	0.6
胸最長筋	対照区	9.1	48.4	2.0 ^b	0.5	4.9	0.4
	試験区	8.0	44.3	2.8 ^a	0.6	4.9	0.4

試験区:混合コーヒー粕15%(乾物)配合飼料, 対照区:慣行飼料, t11C18:1:バクセン酸, c9 t 11C18:2:共役リノール酸.

異符号間に有意差 (^{a,b}: P<0.05, ^{A,B}: P<0.10) .

化学的要因が強いことが分かった (図4)。このことは、サイレージにする前のコーヒー粕の持つ“^{えぐみ}酸味”をサイレージにすることによって軽減することよりも、ウシはサイレージの有機酸とアンモニア臭を好むことを示唆すると思われた。また、配合飼料と稲ワラを慣行飼料とし、コーヒー粕とビール粕を等量 (原物) 混合した混合コーヒー粕サイレージ 15% (乾物) を配合し、これを肥育牛に給与したときの枝肉体脂肪の C18 の脂肪酸組成を表4に示した。コーヒー粕には粗脂肪含量が 16% (乾物) 以上含まれ、脂肪酸中のリノール酸含量も 42% と多い (鈴木, 2003) ことから第一胃内で水素添加されて、共役リノール酸 (c9t11C18:2) とバクセン酸 (t11C18:1) が体脂肪中に多く出現したと考えられた。今後、コーヒー粕の持つカフェインの畜産物への抗酸化作用やクロロゲン酸の持つストレス緩和作用などの検討が必要であると思われる。

緑茶殻を発酵 TMR (Total Mixed Ration: 完全混合飼料) に調製するときの配合割合 (乾物) は、嗜好性と栄養価の面から 10 ~ 20% 程度に抑えることが望ましい (徐ら, 2004) と報告されているが、須藤ら (2007) は、緑茶殻を 10 ~ 30% (乾物) 配合して発酵 TMR に調製するとき水分が低いほど乳酸含量が高くなり、水分含量を 55% 程度に調製することが望ましいことを示した。また、牧草 (リードカナリーグラス) を対照粗飼料、試験粗飼料として緑茶殻を 10% の配合割合 (乾物) に調整した発酵 TMR をヒツジに給与すると、可消化粗タン

パク質と窒素出納量が増加し、可消化乾物量当たりの呼吸からのメタン放出量を 20% 程度低下させた (須藤ら, 未発表データ)。この原因に緑茶殻にはリードカナリーグラスより 2 倍のタンニン含量が含まれており、タンニンは第一胃内のメタン菌の活性を抑制するためメタン生成量が減少すると推察した。

3. 地域特産物からの副産物

— 枝豆茎葉と枝莢の反芻家畜の飼料化 —

庄内地域のブランド食品としてビールを飲むときの“つまみ”として全国的に知られているダダチャ豆があるが、それらの残渣である茎葉および枝莢を飼料化する研究を進めてきた。枝豆茎葉残渣は、タンパク質供給源の飼料として有用であるが、大量に収穫した場合の保存方法が課題であると思われる。そこで、枝豆茎葉残さサイレージの調製に地域資源である山形県鶴岡市内の菓子工場から排出される廃シロップを 4% 添加したところ、乳酸発酵を促進し、酪酸発酵を抑えることが示された (松田ら, 2010)。また、アルファルファハイキューブを対照飼料にしてヒツジにおける消化試験を実施した結果、枝豆茎葉残渣サイレージの粗脂肪含量と粗脂肪消化率が高かったため、枝豆茎葉残渣の可消化養分総量がアルファルファハイキューブより高くなった (表5)。良質サイレージ中に多く含まれている乳酸は不揮発酸であり、粗脂肪成分としてジエチルエーテルに溶解して多くな

表5. 枝豆茎葉残渣サイレージの消化率と栄養価

飼料	乾物	CP [§]	EE [§]	NFE [§]	CF [§]	ADF [§]	NDF [§]	DCP [§] TDN [§]	
								(乾物%)	
アルファルファハイキューブ	60.1 ^a	76.2 ^a	53.6 ^c	72.4	46.8 ^a	49.3	46.1	12.4 ^a	57.1 ^c
無添加枝豆茎葉残渣サイレージ	56.7 ^b	71.8 ^b	65.5 ^b	72.6	36.2 ^b	36.4	38.6	10.9 ^b	60.3 ^b
廃シロップ添加枝豆茎葉残渣サイレージ	60.1 ^a	74.8 ^a	76.7 ^a	67.9	36.7 ^b	41.3	41.3	11.9 ^a	61.8 ^a

§表3参照, ^{a, b, c} 異符号間に有意差 (P<0.05)。

表6. 各種添加物利用による枝豆莢サイレージの発酵品質

処理	水分 (%)	pH	乳酸	酢酸	酪酸	VBN/TN (%)	フリーク評点 (点)	V-スコア
無添加	79.5	4.2 ^{ab}	1.79 ^{bc}	0.28	0.06 ^{bc}	2.8 ^{bc}	82 ^a	95 ^a
グルコース2%添加	79.3	3.9 ^{bc}	2.20 ^{bc}	0.23	0.17 ^{ab}	2.9 ^{bc}	69 ^a	86 ^{ab}
乳酸菌製剤0.002%添加	80.3	4.4 ^a	1.48 ^c	0.34	0.36 ^a	3.6 ^a	41 ^b	71 ^b
発酵乳酸菌4%添加	77.1	3.5 ^c	3.00 ^a	0.21	0.01 ^c	1.5 ^d	100 ^a	99 ^a
糖蜜4%添加	76.4	4.0 ^{ab}	2.56 ^{ab}	0.30	0.03 ^c	2.7 ^c	91 ^a	97 ^a

VBN/TN: 全窒素に対する揮発性塩基態窒素の割合, ^{a, b, c, d} 異符号間に有意差 (P<0.05)。

乳酸菌製剤: アクレモコンクスプレー (雪印種苗 (株), 北海道), 発酵乳酸菌: 乳酸含量80%, CSM (株), 東京, 糖蜜: 飼料用粉末糖蜜。

り、糞中内因性粗脂肪と飼料中粗脂肪含量の関係で粗脂肪含量が高いほどみかけの消化率が高くなったと思われる。

また、各種添加物を利用して枝豆茹莢サイレージを調製した場合、乳酸菌製剤や乳酸発酵物質を添加すると良質のサイレージを調製することが出来たが、無添加でも発酵品質が良好であることが分かった（表6；三上ら，2011）。このことは、枝莢に残っている可溶性炭水化物含量を多く含んでいる豆があるため乳酸発酵を促進したと考えられた。

今後実用規模での課題として、これらの副産物の収穫（収集）方法と大量の調製方法、および乳牛や育成牛など大型家畜への利用と安定した品質の確保が上げられるだろう。また、後述の発酵 TMR の素材として利用することも有効であると思われるので、現場レベルでの早急な検討が必要である。

4. 木質系等飼料

山形県は、サクランボ、リンゴ、ブドウ、西洋ナシ、和ナシ、カキなどの果樹が多く生産されており、これらの樹木から排出される剪定枝は毎年5万トンにも及ぶことが試算されている（Takahashiら，2011）。本研究室では果樹剪定枝をチップ化して反芻家畜用飼料にする研究を7～8年続けてきた。主な研究成果として、カキ剪定枝は稲ワラより飼料の嗜好性は劣るが、尿素を添加してアンモニア臭がするようになると嗜好性が改善された

表7. ウシにおける二者択一法によるカキ剪定枝チップの嗜好性

飼料	嗜好性	
	順位	割合 (%)
稲ワラ (対照粗飼料)	1	100
尿素2.0%添加チップ	2	75
セルラーゼ0.75%添加チップ	3	35
無添加チップ	4	29

添加割合：乾物%.

（表7）。ナイロンバッグ法による消失率は稲ワラより低いですが、index法による in vivo の消化率は差ほど変わらない例があった（Takahashiら，2011）。同じ木質系粗飼料として食品副産物になるマイタケ栽培後の廃菌床の粗タンパク質消失率は稲ワラより著しく高いこと、尿素添加で栄養価がさらに高まることが示された（表8）。マイタケ栽培後の廃菌床にはプロテアーゼ活性が特異的に高くなる（寺下ら，1997）ことが確認されており、本実験でもこの酵素の存在により粗タンパク質消失率が高くなったと思われる。また、尿素処理して長期に貯蔵するとウレアーゼにより尿素はアンモニアに分解される。このアンモニアがヘミセルロースやリグニンの一部を可溶化する（西野，2004）ため乾物と中性デタージェント繊維の消化率が高くなったと判断される。廃菌床の粗飼料としての粗剛性は稲ワラより乏しいため廃菌床をウシに給与した場合、RVI（粗飼料価指数）が27分/kg（乾物）と稲ワラより著しく低くなる（平元ら，2012）ためアシドーシスになるリスクが高くなる不安がある。従って、肉牛などの濃厚飼料多給条件下で廃菌床を給与するときは、稲ワラと併用して利用するなどの工夫が必要であると思われる。

里山の樹葉を含む低木等の飼料は、基本的には乳牛と肉牛の放牧育成に有効と思われるが、これら低木等の飼料としての基礎的な知見を得た。特に、クズは原産地の中国や日本以上に北アメリカの南部で想像以上の繁茂・拡散をとげ、小麦澱粉や玉蜀黍澱粉などの工業澱粉に対して雑澱粉または特殊澱粉と称され、手工業的に僅かに生産され製菓および料理などの特殊用途向きとして賞賛されている、一方、クズの若葉は食用にもなるが茎と共に刈りとして家畜の飼料になっている（前田，1967）。各種低木等のヤギを供試した樹葉の嗜好性のうち、ヤマクワとクズ（生草）は良好であることを示した（森田ら，印刷中）。また、稲ワラを対照粗飼料としてクズ、オオバクロモジ、ユキツバキ等をチップ化して

表8. ウシにおける尿素添加廃菌床のナイロンバッグ法による成分消失率

飼料	24時間培養			48時間培養		
	乾物	粗タンパク質	NDF	乾物	粗タンパク質	NDF
	(%)			(%)		
稲ワラ	41.6 ^a	37.5 ^c	35.2 ^a	50.9 ^a	51.1 ^d	45.8 ^a
尿素0%添加廃菌床	26.1 ^b	72.0 ^b	14.6 ^b	30.4 ^c	72.2 ^c	18.6 ^c
尿素5%添加廃菌床	31.1 ^b	81.9 ^a	22.4 ^b	35.2 ^{bc}	81.8 ^b	27.0 ^b
尿素10%添加廃菌床	32.6 ^{ab}	84.1 ^a	21.5 ^b	36.9 ^b	84.3 ^a	26.5 ^b

NDF：中性デタージェント繊維，尿素の添加割合：乾物%。 ^{a, b, c, d}異符号間に有意差 (P<0.05)。

表9. ウシにおける二者択一法による低木等チップの嗜好性

飼料	嗜好性	
	順位	割合(%)
稲ワラ (対照粗飼料)	1	100
ユキツバキ	2	85
クズ	3	73
オオバクロモジ	4	63

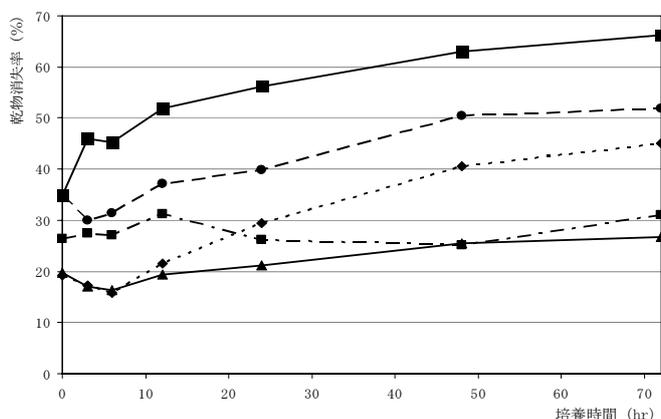


図5. 低木等のナイロンバッグ法による乾物消失率の変化

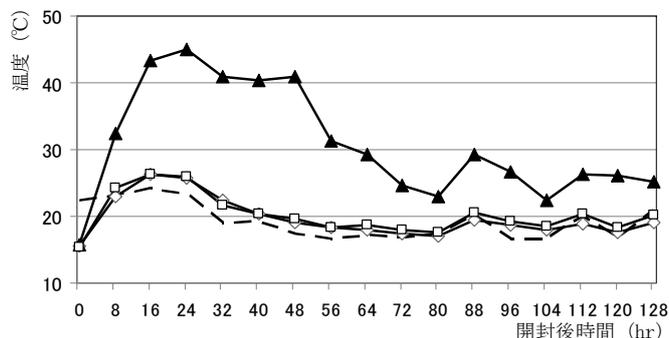


図6. 開封後の発酵TMRの温度の変化

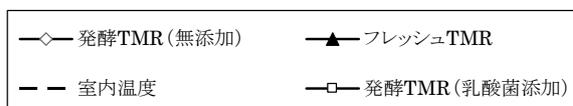


表10. フレッシュTMRと発酵TMRのエネルギー摂取量とメタン放出量

	フレッシュTMR	発酵TMR
エネルギー摂取量		
k J	19559	19810
k J/kg ^{0.75} (BW)	1038	1045
メタン放出量		
L/日	39.8 ^a	29.8 ^b
L/kg (DMI)	39.9 ^a	30.0 ^b
L/kg (DDM)	60.9 ^a	43.6 ^b
L/kg ^{0.75} (BW)	2.1 ^a	1.6 ^b

BW : 体重, DMI : 乾物摂取量, DDM : 可消化乾物量.

^{a,b} 異符号間に有意差 (P<0.01) .

乾燥した樹木の嗜好性 (稲ワラを 100% とした) は 63 ~ 85% の嗜好性を示した (表 9)。また、ナイロンバッグ法による乾物消失率の推移を図 5 に示したが、オオバクロモジとユキツバキは稲ワラより低く培養後消失率の上昇はなかったが、クズとエゾユズリハは稲ワラより消失率が高く推移し、特に、クズの消失率は稲ワラより著しく高く推移し、培養 72 時間後の消失率は 65% 以上にも達した。豆科のクズは里山でも沿道に多く繁殖するため、比較的収穫し易く、サイレージまたはアルファルファのようにヘイキューブとしての調製法が確立されれば大量に利用可能な粗飼料として注目される潜在力を持っていると思われた。

5. 発酵 TMR

近年、乾燥しなくても保存可能である地域未利用資源を利用した発酵 TMR の飼料利用が普及している。この飼料は、豆腐粕、ビール粕、茶殻などの比較的粗タンパク質や粗脂肪などの有用成分と水分が多い食品副産物を乾燥処理などしないで、そのまま混合して発酵させる TMR として利用できる利点がある。また、夏季の高温時でも開封後の好気的変敗が起りにくい優位な点があり、今後ウシを中心とした家畜飼料として一層普及していく潜在力を持っていると思われる。図 6 に夏季に水分含量 45% に調整したフレッシュ TMR を対照にして無添加と乳酸菌 (畜草 1 号) を添加した発酵 TMR の開封後の温度変化を示した (内田ら, 2011)。その結果、フレッシュ TMR は開封 24 時間まで急激に温度が上昇したが、発酵 TMR は、乳酸菌添加の有無に関わらず開封後 128 時間までは室内温度と同様の温度で安定していた。発酵 TMR は開封後の好気的変敗が進み難いことが知られているが、その原因については明らかにされていない。現在、当研究室では種々の条件 (水分、有機酸、密度、素材数、貯蔵期間など) を変えて発酵 TMR を調製し、好気的変敗抑制のメカニズムを検討中である。また、Cao ら (2010) は未利用資源を利用して調製したイネ発酵 TMR と同じ素材を用いたフレッシュ TMR をヒツジに給与した。その結果、発酵 TMR を給与すると消化率を向上させて地球温室効果ガスであるメタンの放出量が単位乾物消化量当たり 40% まで低下する効果を示した。(表 10)。この現象は、発酵 TMR 中の乳酸がプロピオン酸に代謝されるときに水素を取り込むことによって生じたものと推察さ

れた（曹ら，2009；Caoら，2012）。

最後に山形県朝日町で放牧される肉豚に発酵 TMR を給与した東北大学との共同研究の事例を紹介する（2011 年度実施）。この放牧豚における試験では，地域飼料資源（玄米，米ぬか，トウモロコシ，屑大豆，リンゴ粕）を中心として調製した発酵 TMR を給与した。その結果，調製した発酵 TMR は肥育試験（6 月 8 日～10 月 17 日）終了まで安定した発酵品質を保ち，特に，夏季の暑熱時での開封後の好気的変敗の問題は全くなかったようであり，上記の発酵 TMR の開封後の品質の安定性を現場レベルで裏付けていた。体脂肪（背脂肪内層）の脂肪酸組成を発酵 TMR または配合飼料を放牧の条件で給与した肥育試験区，および配合飼料を舎内肥育の豚に給与した試験区の 3 区で比較してみると，発酵 TMR 区でリノール酸と多価不飽和脂肪酸割合が高くなりステアリン酸と飽和脂肪酸割合が低くなった（國井ら，2012）。発酵 TMR 給与で不飽和脂肪酸割合が高くなる理由には素材として供試した米ヌカの影響が考えられるが，放牧によって運動することにより消費される脂肪が多く全体として体脂肪の量が少なくなるが多価不飽和脂肪酸割合が高かった。食肉を評価する場合，食味の評価試験が有効であると思われる。多価不飽和脂肪酸割合が高かったことが，消費者型官能評価法（家畜改良センター，2005）による豚肉の味の官能試験において 90% が「柔らかかった」と評価した原因と思われた。また，豚の体脂肪にはスカトールなどの不快な臭い物質が含まれている（西岡ら，2011）が，豚を放牧して配合飼料を給与すると飼料中のトリプトファンをスカトールに代謝する Clostridium 属菌を減少させる（戸澤ら，2012）ことから，飼料の種類に係わらず放牧により体脂肪中のスカトール含量を低下させたため豚肉の脂を 55% が「さっぱりしていた」と評価した（図 7）と思われた。

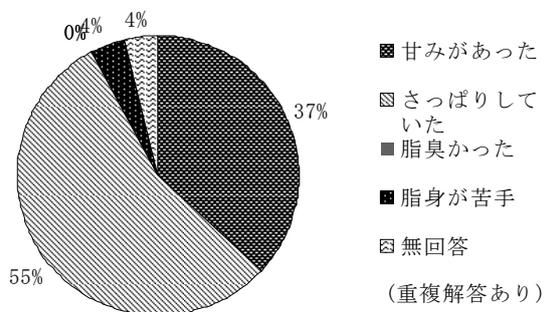


図7. 発酵 TMR を給与して放牧した肉豚の脂肪の評価

おわりに

ここ 10 余年の畜産学関連の学会での飼料・飼養部門の研究内容をみると一変したと感じている。即ち，それ以前の基礎研究中心の課題から応用研究，取り分け飼料稲の飼料化，食品副産物や農場廃棄物からの新しい飼料開発に関係する研究課題が著しく増加しているようである。トウモロコシなどの穀物飼料を諸外国に頼っている我が国の飼料の現状から今後もこの研究開発はしばらくの間，否，永遠の課題かも知れない。ここに紹介した事例は，未開発な飼料資源の一部に過ぎないし，まだまだ眠っている多くの資源があると思われる。今後，この部門で試験研究を行う学生や研究者に少しでも参考になれば，有り難いところである。

新規飼料として成立する基礎的な条件は，採食性，消化性，保存性，無毒性を明らかにすることに加えて畜産物への高付加価値の追求かと思われるが，近年動物福祉の観点から家畜へのストレス緩和効果の追求も注目されており，今後この側面からのアプローチも必要だろう。

最後に試験研究の発展だけに停まらず東北の畜産業が真に発展することを願って止まない。

謝 辞

本総説を纏めるに当たり，山形大学の萱場猛夫前教授，吉田宜夫教授および堀口健一教授からは研究面で貴重なご助言を賜った。また，多くのデータを本学動物生産学研究室専攻学生の研究成果から抜粋して掲載させていただいた。

ここに記して深甚の謝意を申し上げる。

引用文献

- 房 家琛，堀口健一，高橋敏能，後藤正和，田中 治. アミノ酸副産液添加および発芽処理した粕給与が牛における飼料の消化率および糞排泄率に及ぼす影響. 日草誌，52：170-175. 2006.
- Cao Y, Takahashi T, Horiguchi K, Yoshida N, Cai Y. Methane emission from sheep fed fermented or non-fermented total mixed ration containing whole-crop rice and rice bran. Anim. Feed Sci. Technol., 157: 72-78. 2010.
- Cao Y, Takahashi T, Horiguchi K, Yoshida N, Zhou D. In vitro ruminal dry matter digestibility and methane production of fermented total mixed ration containing whole-crop rice and rice bran. Grassl. Sci., 58: 133-139. 2012.
- Fang J, Matsuzaki M, Suzuki H, Xu C, Cai Y, Horiguchi

- K, Tanakashi T. Fermentation quality, digestibility and unhulled rice excretion of forage paddy rice silage prepared by different harvester types. *Grassl. Sci.*, 57: 23-27. 2011.
- 早坂浩平, 小田島広美, 田川伸一, 堀口健一, 吉田宣夫, 高橋敏能. エクストルーダおよび高温高压処理した粳米と糯米の反芻家畜における消化率の向上. 日畜学会第112回大会講演要旨, p39. 2010.
- 平元沙恵子, 荒木正人, 堀口健一, 吉田宣夫, 高橋敏能. 尿素を添加したマイタケ廃菌床発酵 TMR の反芻家畜用飼料としての開発. 日畜学会 115 回大会講演要旨, p113. 2012.
- 徐 春城, 蔡 義民, 喜田環樹, 松尾守展, 河本英憲, 村井勝. 緑茶飲料残さ TMR サイレージの調製, 発酵品質および栄養価. 日草誌, 50 : 40-46. 2004.
- 家畜改良センター. 食肉の官能評価ガイドライン. 35-37. 日本食肉消費総合センター. 東京. 2005.
- 國井将永, 阿部 直, 戸澤あきつ, 佐藤衆介, 堀口健一, 吉田宣夫, 高橋敏能. 未利用資源を利用した発酵 TMR 給与による動物福祉型放牧養豚の開発. 日畜学会 115 回大会講演要旨, p114. 2012.
- 前田清一. 葛粉について. 澱粉工業学会誌, 15 : 18-25. 1967.
- 松田朗海, 堀口健一, 高橋敏能, 吉田宣夫. コンテナサイロを用いて調製した枝豆茎葉残渣サイレージの発酵品質と栄養価. 東畜会報, 60(2) : 28. 2010.
- 三上慶裕, 堀口健一, 佐伯真魚, 吉田宣夫, 高橋敏能. 枝豆茹莢残渣サイレージの発酵品質および第一胃内消化性の各種添加物による改善効果. 東畜会報, 61(2) : 21. 2011.
- 三上豊治. 山形県庄内地域における飼料米の取り組み. 東北草研誌, 16 : 15-18. 2003.
- 森田昌孝, 吉田宣夫, 小山浩正, 堀口健一, 高橋敏能. ヤギにおける林地内低木樹葉の嗜好性. 山形大学紀要 (農学), 2013. (印刷中)
- 西野直樹. 動物の飼料. (唐澤 豊 編) 134-137. 文永堂. 東京. 2004.
- 西岡輝美, 石塚 讓, 因野要一, 入江正和. 豚脂肪中のスカトール含量と官能評価への影響. 日畜会報, 82 : 147-153. 2011.
- 新田嘉七. 飼料用米の栽培・利用 ~山形県庄内の取り組みから~. (小沢 互・吉田宣夫 編) 66-76. 創森社. 東京. 2009.
- 農林水産省. 平成 24 年度 飼料をめぐる情勢. 農林水産省, 東京. 2012. http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/1_siryu/pdf/megru_1207.pdf [2012 年 10 月 29 日参照]
- 小川源太, 田川伸一, 堀口健一, 齋藤常幸, 高橋敏能, 吉田宣夫. ブタにおけるエクストルーダ・粉碎処理玄米の嗜好性および消化性の検討. 日畜学会 115 回大会講演要旨, p115. 2012.
- 曹 陽, 堀口健一, 高橋敏能. 食品残渣と乳酸菌の利用が飼料イネ TMR サイレージの発酵品質改善ならびに in vitro による乾物消失率およびメタンと揮発性脂肪酸生成に及ぼす影響. 日草誌, 55 : 1-8. 2009.
- 須藤 立, 堀口健一, 高橋敏能, 豊川好司. 緑茶飲料残さの配合割合と水分含量が TMR サイレージの発酵品質と in situ 消失率に及ぼす影響. 日草誌, 53 : 127-132. 2007.
- 鈴木 剛. 食品工場から排出されるコーヒー抽出残渣の飼料化に関する研究. 博士論文 (岩手大学), 2003.
- 鈴木 剛, 堀口健一, 高橋敏能, 萱場猛夫. ヒツジにおける乾燥コーヒー抽出残渣が飼料の嗜好性, 消化率, 第一胃内性状および反芻時間に及ぼす影響. 日畜会報, 74 : 195-202. 2003.
- 高橋敏能, 小林 満, 萱場猛夫, 今田哲雄. 肉豚における wet feeding 法が肥育成績と体脂肪性状に及ぼす影響. 山形大学紀要 (農学), 11 : 707-716. 1993.
- 高橋敏能, 吉田和希, 堀口健一, 萱場猛夫. 各種混合添加物利用による異なる収穫時期の稲発酵粗飼料の品質保持効果. 日畜学会第 109 回大会講演要旨, p17. 2008.
- Takahashi T, Horiguchi K, Yoshida N, Cao Y. Effect of cellulase and urea addition on in situ degradability and preference for pruned persimmon branch chips in cattle. *Grassl. Sci.*, 57: 179-183. 2011.
- 高橋敏能, 松浦弘幸, 佐藤裕子, 堀口健一, 吉田宣夫. 収穫時期が異なる稲への乳酸菌と廃シロップ添加が稲 WCS の発酵品質と肉牛における消化率, およびビタミン類に及ぼす影響. 山形大学紀要 (農学), 16 : 109-116. 2012.
- 寺下隆夫, 山田陽子, 吉川賢太郎, 獅山慈孝. マイタケ菌床栽培後の廃培地における加水分解酵素の活性. 近畿大農紀要, 30 : 33-40. 1997.
- 戸澤あきつ, 高橋敏能, 佐藤衆介. 肥育豚の腸内環境からみた放牧飼育の福祉性評価. 日本家畜管理学会・応用動物行動学会, 48(1) : 23. 2012.
- 内田 豪, 堀口健一, 吉田宣夫, 高橋敏能. 夏季と冬季に調製した発酵 TMR の品質の改善と二次発酵に関する検討. 東畜会報, 61(2) : 23. 2011.