

飼料用米の肉牛への給与技術

農研機構 畜産草地研究所

家畜飼養技術研究領域

樋口 幹人

1. はじめに

2005 年度に僅か 45ha であった飼料用米の作付面積は、2011 年度には 33,939ha となり、玄米換算で 18.3 万 t の飼料用米が生産された(農林水産省畜産振興課調べ)。これは重量的には飼料用トウモロコシの輸入量 1,053 万t(2011 年度、財務省統計)の僅か 1.7%に過ぎないが、仮に飼料用米の全生産量を黒毛和種肥育用に振り向け、慣行肥育で必要とされる 1 頭当たりおよそ 5t の濃厚飼料の 10%、0.5t を飼料用米で代替すれば、全国で 82 万 2700 頭(2011 年度、農林水産統計)飼養されている黒毛和種肥育牛の約 45%に飼料用米を給与可能な量である。

しかしながら家禽や肉豚と比較して、肉用牛への飼料用米給与は未だ広く普及しているとは言い難い。その理由として、既存配合飼料と比較して調製および給与に手間がかかること、手間がかかる割に飼料用米給与のメリットが明確でないこと、そして飼料用米給与により食欲不振の発生が懸念されること等が挙げられる。それでも近年肉牛生産現場での飼料用米給与事例が徐々に増えてきており、試験研究機関でも着実に知見が蓄積しつつある。

本稿ではこれまでの知見を踏まえ、飼料用米の特性、飼料用米の給与形態、飼料用米給与の効果および問題点、そして試験研究の現状を概説する。なお、「肉用牛」と言った場合、肥育牛以外にも繁殖雌牛および育成子牛が想定されるが、本稿では主に肥育牛を対象に述べる。また本稿では、肥育用濃厚飼料中の飼料用米の比率が原物で 20%以上のものを「飼料用米多給」、40%以上のものを「飼料用米超多給」と各々定義する。

2. 飼料用米の特性

(1) 飼料成分と栄養価

肉用牛へ給与する飼料用米は、粳米または玄米での利用が主である。粳米は概ね玄米 8 割:粳殻 2 割と言われており、2kgの粳米はすなわち 1.6kgの玄米+0.4kgの粳殻に相当する。表 1 で主な穀実類と玄米および粳米との栄養成分を比較した。玄米はデンプンや糖類など可溶性無窒素物(NFE)の割合がトウモロコシとほぼ同等でありデンプン供給源と見なせる一方、粗タンパク含量もまたトウモロコシと同等である。一方粳米をみると、玄米に粳殻が加わるため粗繊維含量が高く、また粳殻にケイ酸が多く含まれるため粗灰分含量も他より多めである。一方粳米は相対的に粗タンパクやデンプンの比率が玄米より低い。このため、玄米は専ら濃厚飼料源と位置づけられる一方、粳米は濃厚飼料源(玄米)と粗飼料源(粳殻)の混合物と見なすことができ、玄米と粳米とは飼料特性上大きな違いがある。なお表 1 に数値は示したが、精白米での利用は精米の手間や経費、あるいはぬかを除去することによる粗脂肪の脱落等を考慮すると現実的ではない。

表 1. 主要穀実の栄養成分

飼料名	水分	粗タンパク質 (CP)	粗脂肪 (EE)	可溶性無窒素物 (NFE)	粗繊維 (CF)	粗灰分 (CA)
(単位)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
トウモロコシ	14.5	7.6	3.8	71.3	1.7	1.2
大麦	11.5	10.6	2.1	69.0	4.4	2.3
大豆	11.3	36.7	18.6	22.8	5.7	4.9
粳米	13.7	6.5	2.2	63.6	8.6	5.4
玄米	14.8	7.5	2.7	72.9	0.7	1.4
精白米	13.9	6.8	0.5	78.2	0.2	0.4

中央畜産会「日本標準飼料成分表(2009)」より抜粋。

表 2 に、日本標準飼料成分表(2009)から抜粋した、牛における穀実の利用性を示す。これによると、玄米は NFE や粗タンパクの消化率がトウモロコシとほぼ同等、粗繊維の消化率はトウモロコシ以上の値である。一方粳米は、粳殻の難消化性の影響により玄米と比較して消化率は全体的に低下し、可消化養分総量(TDN)も同様に低下する。但し玄米の表皮もまた消化性が低く、粳米、玄米とも破碎や圧ぺん等の処理を施さないと、牛による実際の消化性は表2の値よりも著しく低下する。これについては後述する。

表 2. 牛における主要穀実の利用性

飼料名	消化率				栄養価	
	粗タンパク質 (CP)	粗脂肪 (EE)	可溶性無窒素物 (NFE)	粗繊維 (CF)	可消化養分総量 (TDN)	可消化エネルギー (DE)
(単位)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(Mcal/kg)
トウモロコシ	73	87	93	50	80.0	3.5
大麦	72	82	89	32	74.4	3.3
大豆	89	88	82	50	91.0	4.0
粳米	58	71	92	15	67.1	3.0
玄米	70	84	96	70	80.9	3.6
精白米	72	92	95	60	80.3	3.5

中央畜産会「日本標準飼料成分表(2009)」より抜粋。

玄米に含まれる脂肪酸は、トウモロコシと比較してオレイン酸など一価不飽和脂肪酸の比率が高い一方、リノール酸やリノレン酸など多価不飽和脂肪酸比率はトウモロコシより低い(表3)。しかし玄米はトウモロコシよりも総脂肪酸含量が低く(表4)、オレイン酸の原物当たりの含量は両者でさほど違いはない。一方、リノール酸やリノレン酸の原物当たり含量については、玄米はトウモロコシや小麦よりも少ない(表5)。飼料用米給与により牛脂肪組織中の不飽和脂肪酸比率、とりわけオレイン酸比率が向上するとの報告が多く見られるが、反芻動物である牛では、飼料中の脂肪酸組成が脂肪組織中の脂肪酸組成に直接反映されないと考えられる。これについても後述する。

黒毛和種の肥育では、肥育期を前期、中期および後期に分けた場合、特に肥育中期のビタミン A 制御が脂肪細胞の増殖や分化を促進し、脂肪交雑を形成させるために重要とされている。ビタミン A の前駆体である β-カロテンについて、玄米にはほとんど β-カロテンが含まれず、粳米でも黄熟期以降であればその含量は非常に低い(表6)。よって飼料用米給与でもビタミン A コントロールは十分可能と考えられるが、その一方で、飼料用米多給により血中の β-カロテンが過度に低下する場合があることも示されている。これについても後述する。

表 3. 主要穀実および穀実油の脂肪酸組成

品名	脂肪1g当たり脂肪酸(mg)			総脂肪酸100g当たり脂肪酸(g)								
	飽和	一価不飽和	多価不飽和	飽和				一価不飽和			多価不飽和	
				ミリスチン酸	パルミチン酸	ステアリン酸	アラキジン酸	パルミトレイン酸	オレイン酸	イコセン酸	リノール酸	リノレン酸
				C14:0	C16:0	C18:0	C20:0	C16:1	C18:1	C20:1	C18:2	C18:3
大豆	144	193	539	0.1	11.8	4.2	0.3	0.1	21.7	0.2	52.8	8.7
トウモロコシ	202	214	448	tr	20.1	2.5	0.4	0.2	23.1	0.3	50.9	2.1
大麦	277	95	434	0.5	31.5	1.5	0.4	tr	10.0	0.6	50.5	3.2
小麦	181	114	495	0.2	21.1	1.1	0.1	tr	13.8	0.6	58.5	4.1
玄米	229	304	332	0.8	22.1	2.0	0.6	0.3	34.2	0.5	36.9	1.4
精白米	318	232	345	1.5	30.4	2.5	0.4	0.2	25.2	0.4	37.1	1.4
大豆油	149	221	558	0.1	10.6	4.3	0.4	0.1	23.5	0.2	53.5	6.6
トウモロコシ油	130	280	516	0.0	11.3	2.0	0.4	0.1	29.8	0.3	54.9	0.8
米ぬか油	188	398	333	0.3	16.9	1.9	0.7	0.2	42.6	0.6	35.0	1.3

tr: 極微量(<0.1g)

五訂日本食品成分表による。トウモロコシは別頁・脂肪酸成分表からの推定値。

表 4. 主要穀実の原物当たり総脂質・脂肪酸量

品名	原物100g当たり成分量(g)					
	水分	脂質	脂肪酸総量	飽和脂肪酸	一価不飽和脂肪酸	多価不飽和脂肪酸
大豆	11.7	21.7	19.03	3.13	4.19	11.71
トウモロコシ	14.5	5.0	4.32	1.01	1.07	2.24
大麦	14	2.1	1.70	0.58	0.20	0.91
小麦	12.5	3.1	2.45	0.58	0.35	1.53
玄米	15.5	2.7	2.34	0.62	0.82	0.90
精白米	15.5	0.9	0.81	0.29	0.21	0.31

五訂日本食品成分表より抜粋。

表 5. 主要穀実の原物当たり各脂肪酸量

品名	原物100g当たり脂肪酸(mg)								
	飽和				一価不飽和			多価不飽和	
	ミリスチン酸	パルミチン酸	ステアリン酸	アラキジン酸	パルミトレイン酸	オレイン酸	イコセン酸	リノール酸	リノレン酸
	C14:0	C16:0	C18:0	C20:0	C16:1	C18:1	C20:1	C18:2	C18:3
大豆	12	2200	790	50	19	4100	35	10000	1700
トウモロコシ	3	870	110	18	7	1000	11	2200	91
大麦	8	530	25	2	1	170	10	860	54
小麦	5	520	27	3	1	340	15	1400	100
玄米	18	520	47	13	6	800	11	860	33
精白米	12	250	20	4	2	200	3	300	11

五訂日本食品成分表より抜粋。

(2) 飼料用米の加工処理と消化性

先にも触れたが、粳米、玄米とも丸粒のままでは牛での消化性が非常に悪いいため、加工処理が必須である。主な加工形態として、専用機による粗挽きあるいは粉碎、飼料工場での蒸気圧ペーンが挙げられるが、その他にも、粳米乾燥の手間を省くため未乾燥粳米を粗挽きまたは粉碎処理後にサイレージ化する方法(ソフトグレインサイレージ:SGS)や、カントリーエレベータに設置されている粳穀処理用のプレスパンダーを流用して粳米を「膨軟化」処理し、サイレージ化する方法も開発されている。なお加工方法の詳細については本稿の主題ではないため割愛する。

加工処理により飼料用米の牛での消化性は著しく向上する。蒸気圧ぺんや膨軟化処理ではデンプンの α 化が進むことも消化性向上に寄与する。丸のままの乾燥粳、あるいは加工処理を施さない粳米のサイレージを第一胃内に投入した場合、投入後 48 時間経過しても 5%程度しか消失しなかった一方、粉碎粳米では投入後 12 時間で 70%が消失した(丸山 2008)。また、粉碎トウ

表 6. 飼料作物中の β -カロテン含量

飼料名 (単位)	範囲 mg/乾物kg	平均	飼料名 (単位)	範囲 mg/乾物kg	平均
牧草			乾草		
1 番草若刈り	200-320(目安)		チモシー	3-20	9
1 番草出穂後	120-200(目安)		アルファルファ	6-59	22
飼料稲			圧扁トウモロコシ	1-13	5
出穂期	95-178	144	粳米		
乳熟期	33-181	94	出穂期		33
黄熟期	5-95	28	黄熟期		8
完熟期	5-53	15	完熟期		4
稲WCS予乾なし					
乳熟期	7-92	36			
糊熟期	2-100	51			
黄熟期	10-144	32			

粳米のデータは農研機構・飼料用米の生産・給与技術マニュアル2010年度版、p.103を改変。
それ以外は、日本標準飼料成分表(2009年版)から抜粋。

モロコシは投入後 16 時間時点での第一胃内消失率が 50%程度であるのに対し、粉碎粳米は投入後 16 時間で 80~90%が消失し、トウモロコシより格段に消失速度が早い(宮地ら、2009)。飼料用米 SGS についても、未破碎では第一胃内の乾物消失率が投入後 48 時間でもわずか 4.3%であったのに対し、1.0mm 粉碎では 38.8%、0.2mm 粉碎では 80.4%の消失率であった(渡邊ら、2012)。粳米、玄米とも未加工のままだと消化性は非常に悪い一方、粉碎や圧ぺんなどの加工処理を施すとその消化性の高さはトウモロコシ以上であり、この点が飼料用米の最たる特性と言える。但し、この非常に高い消化性は、肥育時に飼料用米を給与する際に発生するトラブルの原因の一つとも考えられる。これについては後に触れる。

3. 肥育牛への給与

(1) 給与形態

飼料用米の給与形態としては、粉碎あるいは圧ぺんしたもので、配合飼料全体の一定割合を置き換える方法、トウモロコシあるいは大麦の代替として配合飼料に混合する方法、粳米 SGS、あるいは膨軟化粳米 SGS であれば、配合飼料の代替としてそのまま給与する他、TMR の原料として用いる方法等が挙げられる。飼料用米が玄米なのか粳米なのかによって、その利用目的は異なる。先述の通り、玄米は専ら濃厚飼料源と見なされる一方、粳米は粳穀部分が粗飼料源、子実(玄米)部分が濃厚飼料源と位置づけられる。粳米での利用は、粳摺りの手間が省ける利点があり、また粳穀には稲わらの代替として反芻胃を物理的に刺激する役割が期待される(佐藤・小林、2007)。但し粳米を多給する場合は飼料全体の TDN が不足しないような注意が必要である。

(2) 飼料用米給与の効果

肉用牛への飼料用米給与については、①牛筋肉内脂肪の不飽和脂肪酸比率、特にオレイン酸比率が向上し、脂肪融点を低下させる効果、ならびに、②牛肉脂肪の白色度を向上させる効果が期待されている。但し①についてはメカニズムがよく分かっていない。

脂肪の基本構造は 1 分子のグリセロールに 3 分子の脂肪酸がアシル結合したものである。脂肪酸は飽和脂肪酸(SFA)と不飽和脂肪酸(UFA)に大別され、不飽和脂肪酸は分子内に二重結合を 1 個有する

一価不飽和脂肪酸(MUFA)および二重結合を 2 個以上有する多価不飽和脂肪酸(PUFA)に区別される。SFA は融点が高く、SFA を多く含む脂肪は硬くなる。一方、UFA は融点が低く、UFA を多く含む脂肪は軟らかくなる。そのため不飽和度の向上は牛肉脂肪の口溶けの良さにつながるとされている。加えて PUFA には n-6 系脂肪酸および n-3 系脂肪酸があり、人の健康にとって好ましい n-6/n-3 比は 4 以下といわれている。動物体内の脂肪酸の供給源としては、体内で生合成されるものと食物として摂取されるものがある。また体組織にはステアロイル Co-A 不飽和化酵素(SCD)等 SFA を不飽和化する酵素が存在し、融点が高い SFA を不飽和化して融点を下げることにより体温下で脂肪を液状に保ち、主に脂質二重層からなる細胞膜の流動性を高めていると言われている。体内での生合成では、まずパルミチン酸やステアリン酸等の SFA が生成し、SCD 等によりパルミトリン酸やオレイン酸などの MUFA に変化する。

飼料用米給与で牛肉脂肪中のオレイン酸比率が向上したという研究報告は多い(高橋ら、2003; 高平ら、2004; 三上ら、2011 など、表7)。実際の生産現場でも、「飼料用米給与で脂肪の質が変わった」という話が聞かれ、脂肪の質の向上を目指して新たに飼料用米給与を始める肥育事業者もある。一方で、飼料用米給与区でもオレイン酸比率は対照区と差がなかったという報告もあり(野村ら、2012; 全畜連、2012 など)。飼料用米給与により必ずしも牛肉脂肪のオレイン酸比率が向上するとは限らないようである。一方リノール酸や α -リノレン酸等 PUFA については、飼料用米給与により筋肉間脂肪中の比率が低下する傾向があるが、n-6/n-3 比も飼料用米により低下(望ましい方向)する(全畜連、2012、表8)。PUFA 比率はと畜月の影響も受け、例えば秋から冬にと畜した牛肉の α -リノレン酸比率は春のそれより有意に高かったと報告されている(全畜連、2012)。

表 7. 給与配合飼料の25%をうるち米またはもち米で代替した場合の筋肉内脂肪酸組成の変化(三上ら、2012)

脂肪酸	単位	対照区 n=4	うるち米区 n=4	もち米区 n=4
パルミチン酸 C16:0	%	25.9±1.4a	23.6±1.3b	23.0±0.6b
パルミトリン酸 C16:1	%	7.2±1.2	7.1±0.1	6.3±0.8
ステアリン酸 C18:0	%	7.0±0.7	6.3±0.5	6.8±0.8
オレイン酸 C18:1	%	52.2±3.4b	56.0±1.0ab	57.0±1.3a
リノール酸 C18:2	%	2.9±0.7	2.9±0.8	3.5±1.0
不飽和/飽和 US/S		1.80±0.16b	2.10±0.17a	2.12±0.11a

1) 枝肉切断面の僧帽筋中の脂肪酸組成

2) 平均値±標準偏差。異符号間に5%水準で有意差あり。

表 8. 飼料用米給与によるロース芯周囲の筋間脂肪の脂肪酸への影響(全畜連、2012 を改変)

脂肪酸	単位	0%給与区	15%給与区	30%給与区
リノール酸	%	2.166±0.109	1.997±0.121	1.925±0.136
α -リノレン酸	%	0.132±0.010	0.131±0.011	0.108±0.013
n-3系脂肪酸	%	0.255±0.011	0.282±0.013	0.252±0.014
n-6系脂肪酸	%	2.260±0.112	2.082±0.125	2.016±0.140
n-6/n-3比		9.035a	7.511b	8.221ab

最小自乗平均値(±標準誤差)。異符号間に5%水準で有意差あり。

反芻胃を持つ牛では飼料中の脂肪酸組成と下部消化管で吸収される際の脂肪酸組成とは大きく異なる。牛が飼料から摂取するオレイン酸やリノール酸などの UFA は、多くが第一胃内微生物により水素添加、つまり飽和化され、最終的にはステアリン酸などの SFA になり、下部消化管から吸収される(表9)。但しオレイン酸の一部は第一胃での水素添加を免れ、またリノール酸の一部から水素添加により新たにオレイン酸が生成し、いずれも下部消化管から体組織に移行する(表9)。

表 9. 飼料に含まれる脂肪酸の水素添加(飽和化)および消化吸収

項目		飽和						一価不飽和		多価不飽和		総量
		ラウリン酸 C12:0	ミリスチン酸 C14:0	ペンタデカン酸 C15:0	パルミチン酸 C16:0	マーガリン酸 C17:0	ステアリン酸 C18:0	パルミトリン酸 C16:1	オレイン酸 C18:1	リノール酸 C18:2	リノレン酸 C18:3	
経口摂取量 (組成)	g/日 %	0.17 0.1	0.40 0.2	0.22 0.1	35.0 17.2	0.56 0.3	6.30 3.1	0.51 0.3	52.0 25.6	103.0 50.7	5.7 2.8	203
十二指腸通過量 (組成)	g/日 %	1.6 0.7	4.9 2.2	2.4 1.1	46.0 21.1	3.2 1.5	123.0 56.4	1.3 0.6	21.2 9.7	13.6 6.2	1.7 0.8	218
回腸通過量 (組成)	g/日 %	0.36 1.2	0.56 1.8	0.18 0.6	4.6 14.8	0.36 1.2	18.0 58.1	0.12 0.4	2.5 8.1	2.6 8.4	0.54 1.7	31
糞中排泄量 (組成)	g/日 %	0.30 1.0	1.02 3.5	0.58 2.0	4.9 16.9	1.24 4.3	18.0 62.1	0.24 0.8	1.50 5.2	1.20 4.1	0.31 1.1	29
小腸での脂肪酸 消失率	%	77.3	88.3	92.5	89.9	88.5	86.0	92.2	88.7	81.3	66.3	86.4
第一胃でのC18不飽和脂肪酸水素添加率										74.5%		

Montgomery et al. (2008) J.Anim.Sci.より抜粋。5頭のホルスタイン去勢牛に、乾物換算で約5.5kgの配合飼料を給与した結果。

一方、ほ乳動物はオレイン酸をさらに不飽和化してリノール酸やリノレン酸等の PUFA を合成する酵素を持たず、体内で PUFA を合成できない。このため、飼料に由来し、かつ第一胃での水素添加を受けずに下部消化管に移行・吸収される PUFA が筋肉の脂肪酸組成に大きく影響すると考えられる。先述したように、玄米とトウモロコシではオレイン酸含量に差はない一方、リノール酸やリノレン酸は玄米の方がトウモロコシより少ない。このため、飼料用米多給により飼料由来の PUFA 摂取量が減少する結果、筋肉脂肪中の PUFA 比率も低下することが考えられる。但し、脂肪供給源は飼料用米やトウモロコシだけではなく、大豆など他の飼料源からも相当量の脂肪を摂取するため、筋肉中の脂肪酸組成に飼料用米由来の脂肪がどれだけ直接的に影響するのかわからない。間接的な影響として、飼料用米給与により第一胃内 pH が低い状態が継続すると、摂取飼料中の UFA に水素添加する微生物が減少し、第一胃内容物の脂肪酸の不飽和度が高いまま下部消化管に移行するため、腸管から吸収される不飽和脂肪酸量が高まるのが考えられる。但しこれは検証されておらず仮説の域を出ない。一方暑熱環境下では第一胃での水素添加能力が低下するといわれており、季節により筋肉の PUFA 比率が異なる理由の一つと考えられている(全畜連、2012)。さらに牛では SCD 遺伝子にアミノ酸残基の置換を伴う変異が存在し、変異により SCD の酵素活性が異なることが示唆されている(Taniguchi et al., 2004)。これは個体や血統により牛肉脂肪酸の不飽和度が異なる一因と考えられる。このように牛肉脂肪の脂肪酸組成には種々の要因が関係しており、本当に飼料用米給与により筋肉脂肪の不飽和度向上が見込めるのであれば、その詳しいメカニズムを解明することが課題である。

豚や肉用鶏では飼料用米給与により、脂肪色が白く、赤味・黄色味が薄くなることが報告されている(飼料用米の生産・給与技術マニュアル、2010; 小松ら、2011)。肉牛では研究例が乏しいが、生産現場では飼料用米多給により牛肉脂肪も豚・鶏と同様に白くなるのが観察されている。牧草多給により肉用

牛の体脂肪が黄色化する原因は、主に牧草に含まれる β -カロテン等のカロテノイドであるが、配合飼料中のトウモロコシ子実にも少量ながら β -カロテンが含まれる。トウモロコシ子実にはまた、赤橙色～黄色のカロテノイドであるルテインおよびその異性体であるゼアキサンチンも存在し、これらも脂肪色に影響する。先に述べた通り、玄米にはカロテノイドはほとんど含まれず、粳米でも完熟期であればその含量は低い。飼料用米による配合飼料の代替で飼料中のトウモロコシ比率が低下することに伴い、飼料中の総カロテノイド含量が低レベルになり、脂肪色の白色度が増すと考えられる。脂肪が白く見た目が美しい牛肉ができるという見方の一方、現在の取引基準では脂肪色は淡いクリーム色が最も良いとされており、あまりに白過ぎる脂肪は却って評価を下げるという見方もある。さらに、脂肪組織中に蓄積している β -カロテンは、生体の必要に応じて肝臓や小腸粘膜でビタミンAとなり、血流により各組織に運ばれるが、脂肪色が白いということは即ち脂肪組織中のビタミンA供給源が枯渇していることを意味している。飼料用米多給では血中のビタミンAが急速に低下することが報告されており(野村ら、2011、図 1)、ビタミンA欠乏症に注意が必要である。

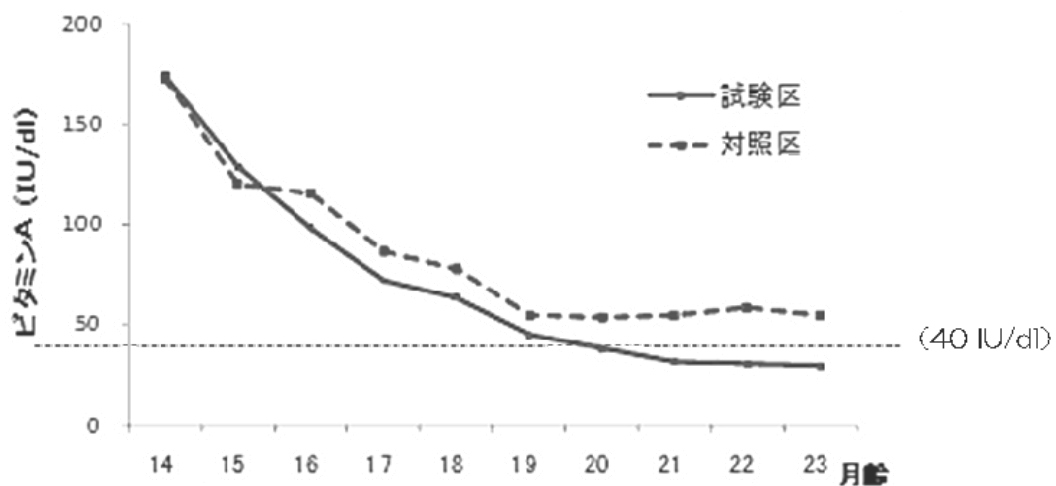


図 1. 配合飼料の 60%を破碎玄米で代替した黒毛和種肥育牛の血中ビタミン A 濃度の推移 (野村ら、2011)

※ビタミンA濃度が40IU/dlを下回ると、ビタミンA欠乏症が懸念される。

飼料中に抗酸化能を有するビタミンEを添加すると、その抗酸化性により肉色素であるミオグロビンのメト化が遅延するため、展示中の肉の色調保持に有効である(三津本ら、1995)。一方で飼料用稲の茎葉部分にもビタミンEの一種 α -トコフェロールが含まれ、稲ホールクroppサイレージ給与により牛肉の抗酸化性が高まることが示されている(山田ら、2012)。この試験では全肥育期間を通して1日1頭当たり230mg程度の α -トコフェロールが試験牛に摂取されている。さて、玄米の米ぬかにも200mg/kg程度の α -トコフェロールが含まれるが、玄米に占める米ぬかの比率を10%と仮定すると、玄米1kg当たりわずか20mgであり、この数値だけ見ると飼料用米給与のみでは牛肉の抗酸化能向上効果は小さいと思われる。但し米ぬかには α -トコフェロールよりも抗酸化活性が高いトコリエノールも多く含まれるため、飼料用米給与による牛肉への抗酸化活性付与の可能性について今後検討が必要である。

(3) 飼料用米給与の問題点

試験研究機関や生産現場で飼料用米給与に伴い見られた問題としては、何と云っても飼料用米給与により肥育牛が食欲不振に陥り、枝肉重量が伸びず枝肉の成績が上がらない例が挙げられる。

食欲不振については、肥育前期から飼料用米を給与した場合、特に肥育中期から後期にかけて観察される事が多く、粳米、玄米のどちらの給与でも見られている。これについても様々な原因が考えられる。

先にも触れたが、適量の籾殻は消化管を刺激する粗飼料源としての効果が認められるが、籾殻自体はあまり嗜好性が高いとは言えず、粳米多給の場合籾殻が増え過ぎて却って嗜好性を低下させることが考えられる。次に、粉碎粳米を多給した際、玄米部分と比較して籾殻部分の消化率が非常に低く、また籾殻の大きさやノゲを持つ形状からか、籾殻だけが第二胃や第三胃に滞留したという例があり、これも食欲不振の一因となり得る。

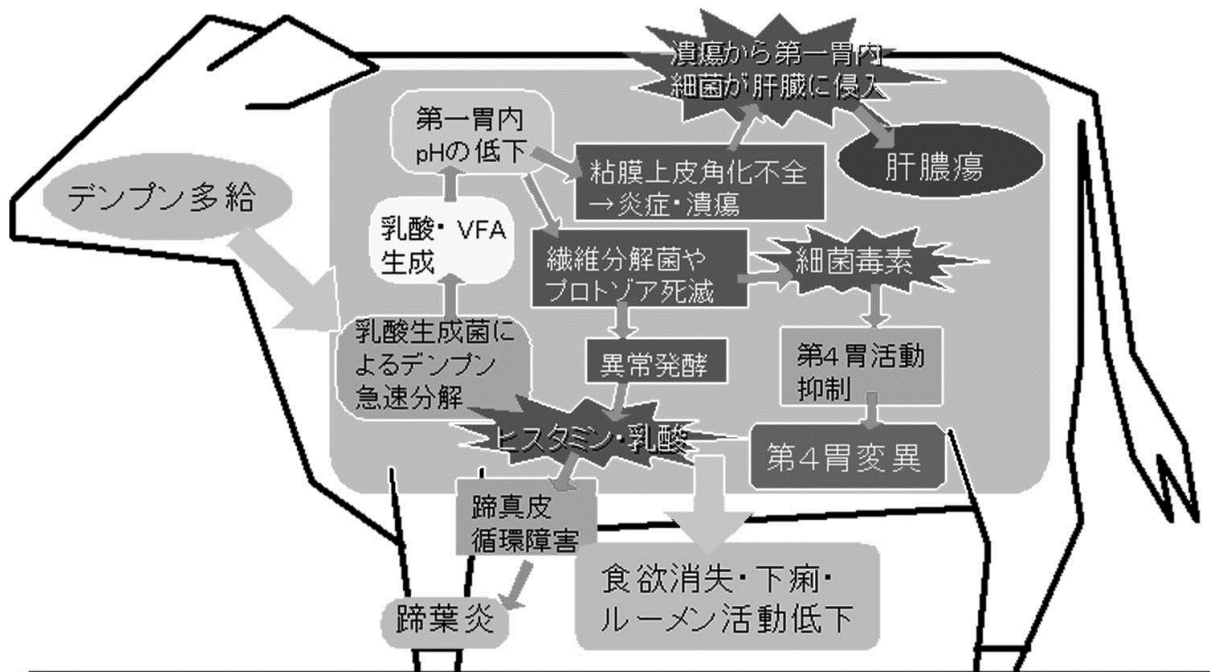


図 2. ルーメンアシドーシスおよび関連疾病の模式図

そして粳米、玄米に関わらず、消化性の高いデンプンを多く含む飼料用米給与により、第一胃内で急速に多量の乳酸やVFAが発生して第一胃内pHが極度に低下し、ルーメンアシドーシスが生じる可能性が指摘されている(図 2)。これを懸念して生産現場では飼料用米の給与量を少なめにする例も多い。試験研究の段階では、飼料用米多給により明らかなルーメンアシドーシスを起こしたという報告は少ない。しかし、と畜解体時に第一胃から第三胃にかけて炎症が観察された例が少なからず報告されていることから、そのような個体では飼料用米の恒常的摂取により潜在的なルーメンアシドーシス状態が持続していたことが考えられる。一方、第一胃内 pH が正常値なのにも関わらず、飼料用米給与により尿の pH が低下する例があり、この場合何らかの理由で代謝性アシドーシスを生じていることが考えられる。

先にも触れたが、飼料用米多給では摂取飼料のβ-カロテン含量が少なく、結果的に血中ビタミンA濃度が極度に低下する例が報告されており、これが食欲不振の原因になっている可能性も排除できない。ビタミンAは粘膜上皮細胞形成に重要な役割を果たしており、ビタミンA欠乏に玄米多給による粗繊維不

足なども加わって第一胃への物理的刺激が不十分となり、粘膜上皮角化不全を生じることも考えられる。

ルーメンアシドーシス予防策として一般に言われているのは、粗繊維を十分給与し第一胃内環境の安定化を促すことであり、玄米の様に粗繊維が少なくデンプン含量が高い飼料を多給する場合、例えば最初に粗飼料を給与してから飼料用米混合飼料を給与するなどの配慮が必要である。また、一般に肥育中・後期は肥育用飼料中の粗タンパク含量は 11%前後と低めに設定されるが、配合飼料のかかりの比率を飼料用米で代替する場合一層の粗タンパク不足が考えられ、第一胃環境を安定させアシドーシスを防止する観点からも、大豆粕などの粗タンパク源を補給することも必要と思われる。

肥育中期の飼料用米給与による体調不良を回避し、かつ牛肉脂肪の質も向上させたい、という観点から、肥育後期の 4～6 ヶ月間のみ飼料用米を給与するという生産現場事例も見られる。脂肪不飽和度の向上に効果があったという報告の一方で、配合飼料の 10%程度しか飼料用米を給与していないにも関わらず牛が体調不良を起こした例もある。原因の一つに不十分な馴致が挙げられ、あらゆる飼料資源に共通して言えることではあるが、いきなり飼料用米を多給するのではなく、十分時間をかけて少しずつ飼料用米に馴致していくことが重要と思われる。全畜連(2012)の飼料用米給与肥育試験では、6 週間という長い馴致期間を設けて徐々に飼料を切り替え、配合飼料の 15%あるいは 30%を飼料用米に代替しても特に体調不良を示す個体は見られなかった。

4. 試験研究の現状

(1) 配合飼料代替給与試験

肉牛への飼料用米給与に関する過去の試験研究では、市販配合飼料の一定割合を飼料用米で代替給与しているものが多く、飼料用米を含む配合飼料を独自に調製している例は少ない。黒毛和種肥育牛では、肥育全期間、市販飼料の 25%を粉碎玄米で代替しても慣行肥育と成績に差が見られなかった(三上ら、2012)、また出荷前 6 ヶ月間、配合飼料の TDN 換算 25%(原物 24%程度)を圧ぺん粳米で代替した場合、粳米の嗜好性がやや劣る傾向が見られたが、枝肉成績には影響しなかった(富永・矢内、2010)。また、配合飼料原料中の圧ぺん大麦の 24%を圧ぺん粳米で代替しても問題無く肥育可能であった(鈴木、2010)。同じく黒毛和種を用い、トウモロコシ含有率 60%の濃厚飼料について、トウモロコシの半量(濃厚飼料全体では 30%)を圧ぺん粳米あるいは粉碎粳米で代替しても、対照区と同等の発育が見られた(丸山、2008)。鈴木ら(2011)は、黒毛和種の全肥育期間(12～27 ヶ月齢)、配合飼料の TDN 換算で 25%あるいは 35%を圧ぺん粳米で代替給与し、両区間で飼料摂取量や増体に違いはないものの、25%区の方が 35%区よりも格付けに優れ、肥育牛への圧ぺん粳給与は 25%が適当であると報告している。一方、肥育後期に濃厚飼料の 1/3 を粳米 SGS で代替しても対照区と同等の増体および肉質が得られ(土井ら、2012)、同じく肥育後期に配合飼料の TDN 換算 30%(原物 33%程度)相当の粉碎粳米を混合しても増体・肉質とも対照区と同等であった(中武ら、2011、表 10)。これらの結果から、肥育用配合飼料の原物当たり 25%程度を玄米で代替、あるいは 30%程度を粳米で代替しても十分肥育可能であることが示唆される。なお、米はデンプンを構成するアミロースとアミロペクチンとの比率によりもち米とうるち米に大別されるが、肥育試験ではもち米とうるち米のどちらも同等の給与効果が得られている(三上ら、2012)。

飼料用米による代替率が 30%を超えると、飼料摂取量の低下を示す個体が見られ、40%を超えると体

調不良発生頻度が高くなるようである。この問題を解決し飼料用米の利用をさらに拡大するため、各研究機関で肉用牛への飼料用米多給試験が実施されている。このうち平成 22 年度から開始した農林水産省委託プロジェクト「自給飼料を基盤とした国産畜産物の高付加価値化技術の開発(略称:国産飼料プロ)」では、市販肥育用配合飼料に含まれるトウモロコシの比率が概ね 40%であることから、「配合飼料中のトウモロコシを完全に飼料用米で代替、さらにはそれを超える、配合飼料代替率 40%以上の肥育技術を開発する」ことを目標に、独法や公立研究機関による研究が進められている。

黒毛和種を用いた飼料用米超多給試験では、特に肥育中期以降に食欲不振・増体低下を示す個体が見られる。その対策として、生後 8 ヶ月から馴致を始め、肥育前・中期に大豆粕を十分補給することで、濃厚飼料原物当たり 40%を圧ぺん粃米で代替しても対照区と同等の発育が得られた(齊藤、2012)。粉碎粃米を原物で 50%含む配合飼料で黒毛和種肥育した場合、肉質は慣行肥育と同等だが、飼料摂取量が低下し増体が小さかった(大田ら、2011)という報告の一方で、配合飼料の 60%を粉碎玄米で代替しても、対照区と遜色なく肥育可能であるという報告もされている(野村ら、2012、表 11)。

表. 10 肥育後期に濃厚飼料の TDN 換算 30%を粉碎粃米で代替した黒毛和種の肥育成績
(中武ら、2011 から抜粋)

項目	(単位)	飼料用米区		対照区	
		n=3		n=3	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
肥育開始時体重	kg	304.0	11.7	302.6	15.2
肥育終了時体重	kg	763.3	29.1	771.3	20.2
全期間DG	kg/日	0.82	0.04	0.84	0.06
出荷時月齢	月	28		28	
濃厚飼料摂取量(全期間)	原物kg	4198.1	104.7	4207.2	235.9
粗飼料摂取量(全期間)	原物kg	704.8	77.5	777.2	95.4
と畜前重量	kg	732.6	26.8	739.3	23.8
枝肉重量	kg	479.8	23.2	484.2	24.1
胸最長筋面積	cm ²	65.0	9.5	68.6	10.7
バラの厚さ	cm	8.5	0.7	8.4	0.3
皮下脂肪の厚さ	cm	3.1	0.8	3.5	0.4
歩留基準値	%	74.7	2.0	74.8	1.1
BMS No.		7.0	1.7	7.0	1.0
BCS No.		3.3	0.5	3.0	0.0
BFS No.		3.0	0.0	3.0	0.0

(2) 飼料用米発酵 TMR 給与試験

飼料用米あるいは飼料用米 SGS を混合した発酵 TMR については、乳牛に比べ肉牛では給与試験があまり行われていない。「国産飼料プロ」では、富山県が破碎玄米と地域飼料資源である稲ワラ、米ヌカおよび麦ワラ等を組み合わせた発酵 TMR による肥育試験を実施中の他、北海道では地域飼料資源であるトウモロコシサイレージと粉碎玄米を組み合わせた TMR を給与する肥育試験に着手している。九州地方で多く生産されるカンショ焼酎の製造副産物であるカンショ焼酎粕濃縮液と丸粒玄米等を用いて発酵 TMR を調製し、黒毛和種の肥育終期の 5 ヶ月間、配合飼料の 60%を発酵 TMR で代替給与したところ肉質も良好であり(神谷ら、2010)、規模を拡大して現地実証試験が行われている。

表11. 肥育中後期に濃厚飼料の60%を粉碎玄米で代替給与した黒毛和種の枝肉成績(野村ら、2011)

項目	単位	対照区 n=5	試験区 n=5
等級(歩留-肉質)			
A-5	頭	1	0
A-4	頭	2	3
A-3	頭	2	2
歩留			
枝肉重量	kg	452.1 ± 32.3	443.6 ± 19.1
胸最長筋面積	cm ²	60.0 ± 6.8	54.0 ± 6.2
ばらの厚さ	cm	7.4 ± 0.4	7.3 ± 0.3
皮下脂肪の厚さ	cm	2.7 ± 0.3	2.6 ± 0.6
歩留基準値		74.1 ± 0.5	73.4 ± 1.0
肉質			
BMS No.		5.8 ± 1.7	5.2 ± 1.2
脂肪交雑等級		4.0 ± 0.6	3.6 ± 0.5
BCS No.(※)		4.0 ± 0.0	3.6 ± 0.5
光沢		4.0 ± 0.6	4.4 ± 0.8
等級		4.0 ± 0.6	4.4 ± 0.8
締まり		4.2 ± 1.0	4.0 ± 0.9
きめ		4.2 ± 0.7	3.8 ± 0.4
等級		4.0 ± 0.9	3.6 ± 0.5
BFS No.		3.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0
脂肪光沢と質		5.0 ± 0.0	4.8 ± 0.4
等級		5.0 ± 0.0	4.8 ± 0.4

26ヵ月齢で出荷。(※)傾向あり(p<0.1)

(3) 繁殖雌牛および子牛への飼料用米給与試験

黒毛和種子牛では、育成配合飼料の35%を圧ぺん粳米で代替しても飼養可能であるが、粗タンパクが不足するため大豆粕などの併給が必要である(鈴木ら、2011)。また、6ヵ月齢の黒毛和種育成牛に、配合飼料原物の40%をSGSあるいは膨軟化米SGSで代替しても、対照区と比較して発育に差は見られず、下痢の発症もなかった(酒出ら、2011)。育成期では粗タンパクを十分補給することにより配合飼料の40%程度を粳米で代替しても問題なく給与できると考えられる。

黒毛和種の繁殖雌牛に対する飼料用米給与についての知見は乏しく、最近になって、雌牛に分娩2週後から受胎確認までの期間、濃厚飼料の乾物当たり10%を粉碎粳米で代替給与した試験結果が報告された。分娩後60日時点でヘモグロビン、ヘマトクリット値、総蛋白およびクレアチニン値は飼料用米給与区で対照区より有意に低く、また給与区は分娩60日ないし120日時点ではアルブミンが対照区より有意に低かった。これは主に飼料の粗タンパク水準が飼料用米給与区で低かったことに由来する。空胎期間に両者で差は認められず、繁殖雌牛に飼料用米を給与することは十分可能と思われる(武田ら、2011)。

5. おわりに

反芻胃を持つ牛にとって、デンプン消化性が非常に高い飼料用米はとてデリケートな飼料資源であり、給与に細心の注意が必要である。それでも肥育期に飼料用米を利用する生産現場事例確実に増えつつあり、年間1,500tもの飼料用米を利用する大規模事業体も出現している。試験研究では配合飼料

の 25 ないし 30%程度を飼料用米で置き換えることが可能であることが示されているが、現時点では、体調不良を懸念して配合飼料への飼料用米添加(代替)率は 10%以下に留まっている例が多い。その中で、島根県のJAいずもでは島根県畜産技術センターでの成果に基づき、粉碎粳米で配合飼料の 20%以上を代替し、かつ 10 ヶ月以上給与した黒毛和種肥育牛を「まい米牛」ブランドで 2011 年 12 月から出荷し始めたことは注目に値する。幸いなことに、どの生産現場事例でも飼料用米を給与した肥育牛に対する消費者の評価は「脂の口溶けが良い」、「脂にうまみがある」、「あっさりしている」など概ね良好であり、飼料用米給与肥育を PR する上で好材料である。

飼料用米利用を一層促進するためには、高い飼料用米配合率でも肥育農家が安心して給与できる飼料設計および飼養技術が肝心である。飼料用米給与肥育では、筋肉内に脂肪交雑が発達するとされる肥育中期に体調不良が生じる事例が多く、飼養管理でいかに肥育中期以降をうまく乗り切るかが鍵になる。現在は試験研究機関でも、濃厚飼料の一部を飼料用米で代替給与している例が多いが、今後の普及のためには飼料用米を高い割合(少なくとも 20%以上)で含む肥育用飼料を改めて設計する必要がある、飼料会社の協力が重要と考えられる。飼料用米給与により牛肉脂肪の不飽和度が向上する例は多く報告されているが、そのメカニズムは完全には明らかになっていないため、この点についてさらに研究が必要である。

そして現在、肉用牛での飼料用米給与試験は黒毛和種が中心であるが、今後はホルスタイン去勢牛や黒毛×ホルスタイン交雑種等の他品種における飼料用米給与試験も積極的に行われ、肉牛生産現場での飼料用米利用が一層拡大し、飼料自給率向上につながることに期待したい。

6. 参考文献

- 1) Montgomery SP, Drouillard JS, Nagaraja TG, Titgemeyer EC and Sindt JJ (2008) : Effects of supplemental fat source on nutrient digestion and ruminal fermentation in steers. *Journal of Animal Science* 86, 640-650.
- 2) Taniguchi M, Utsugi T, Oyama K, Mannen H, Kobayashi M, Tanabe Y, Ogino A, Tsuji S (2004) : Genotype of stearoyl-coA desaturase is associated with fatty acid composition in Japanese Black cattle. *Mammalian Genome* 15, 142-148.
- 3) 大田哲也、丸山 新、坂口慎一 (2011) : 飼料用米多給による黒毛和種去勢牛肥育技術と枝肉成績 平成 22 年度関東東海北陸農業研究成果情報(岐阜県畜産研究所).
- 4) 神谷充、服部育男、常石英作、上村昌志、日高明生、永濱誠一、中村好徳、佐藤健次 (2010) : 黒毛和種肥育牛の仕上げ期における玄米と食品残さの発酵 TMR 給与が飼養成績、血漿中成分、枝肉成績および肉質に及ぼす影響 *日本畜産学会報* 81(4), 481-488.
- 5) 小松恵、力丸宗弘、石塚条次 (2009) : 飼料用米給与が比内地鶏の発育と肉質に及ぼす影響 *東北農業研究* 62, 71-72.
- 6) 齊藤陽介 (2012) : 黒毛和種肥育牛の生後 9 から 18 ヶ月齢の肥育前中期において、圧ぺん飼料米で配合飼料の一部を代替できる *宮城県畜産試験場成果報告会* 2012.3.8
- 7) 酒出淳一、植村鉄矢、佐藤寛子、渡邊潤、関屋万里生 (2011) : 黒毛和種育成期における飼料用米

ソフトグレインサイレージ給与技術の開発 東北農業研究 64,71-72.

- 8) 佐藤智之、小林直樹 (2007):黒毛和種去勢牛に対する粃穀給与の影響 福井県畜産試験場研究報告 20,22-26.
- 9) 鈴木庄一 (2010):黒毛和種の肥育期における圧ぺんモミの濃厚飼料代替効果 平成 21 年度福島県農業総合センター研究成果(参考成果-2).
- 10) 鈴木庄一、荻野隆明、伊藤等、大崎次郎 (2011):黒毛和種の育成及び肥育牛への飼料用米給与技術 東北農業研究 64,75-76.
- 11) 全畜連 (2012):国産の飼料米を使用した肉用牛の生産が肉質に及ぼす影響等に関する報告書.
- 12) 高橋正樹、粕谷健一郎、山科一樹、四ツ島賢二、中島宗雄、佐野正記 (2003):玄米給与が黒毛和種去勢牛の肥育成績に及ぼす影響 北信越畜産学会報 86,47-49.
- 13) 高平寧子、高橋 正樹、粕谷健一郎、四ツ島賢二、清水雅代 (2004):イネソフトグレインサイレージ給与が黒毛和種去勢牛の肥育成績に及ぼす影響 北信越畜産学会報 88,35-38.
- 14) 武田賢治、大田哲也、浅井英樹、向島幸司、坂口慎一 (2011):黒毛和種繁殖雌牛に於ける飼料用粃米給与試験 岐阜県畜産研究所研究報告 11,5-8.
- 15) 土井真也、北川貴志、山田隆史、安藤和登 (2012):完熟期粃米サイレージの調製と和牛肥育後期での利用 平成 23 年度近畿中国四国農業研究成果情報(滋賀県畜産技術センター).
- 16) 中武好美、鍋倉弘良 (2011):飼料用米が黒毛和種肥育牛に及ぼす影響 宮崎県畜産試験場研究報告 23,9-12.
- 17) (独)農業・食品産業技術総合研究機構 (2010):飼料用米の生産・給与マニュアル 2010 年度版 pp.130-135,140-141.
- 18) 野村賢治、小林崇之、竹内隆泰、近藤守人(2011):肥育中後期に濃厚飼料の 6 割を飼料用玄米で代替給与した黒毛和種肥育牛への影響 福井県畜産試験場研究報告 24,9-15.
- 19) 丸山 新 (2008):飼料用米給与による生産物への影響評価(高付加価値化と差別化に向けて) グラス&シード 23,pp.23-30.
- 20) 三上豊治、野川 真、阿部 巖、庄司則章 (2012):黒毛和種肥育牛への飼料用米給与が発育および肉質に及ぼす影響 山形県農業研究報告 4, 49-56.
- 21) 三津本充、小沢忍、三橋忠由、河野幸雄、原田武典、藤田浩三、小出和之 (1995):黒毛和種去勢牛への屠殺前 4 週間のビタミン E 投与による展示中の牛肉色と脂質の安定化、日畜会報、66(11), 962-966.
- 22) 宮地慎、野中和久、松山裕城、細田謙次、小林良次 (2010):品種および加工法の異なる飼料米の第一胃内分解特性 日本草地学会誌 53(2),13-19.
- 23) 山田知哉、樋口幹人、中西直人 (2012):稲発酵粗飼料を用いた発酵 TMR 給与が黒毛和種去勢牛の肥育成績ならびに牛肉の抗酸化能に及ぼす影響 肉用牛研究会報 92,4-9.
- 24) 渡邊潤、佐藤寛子、加藤真姫子、酒出純一、植村鉄矢 (2012):完熟期収穫粃米サイレージの破碎処理が第一胃内消化性に与える影響 秋田県農林水産技術センター畜産試験場研究報告 26,1-6.