

飼料用米破砕機の開発と肥育牛への イネソフトグレインサイレージの給与

小川 増 弘（(財) 日本農業研究所）

重田 一人（(独) 農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業総合研究センター）

目 次

1. はじめに
 2. 飼料用米の利用に関する研究の動向
 3. 飼料用米破砕機の開発と市販化
 - 1) 目的
 - 2) 方法
 - (1) 破砕機構について
 - (2) 実験方法
 - 3) 結果と考察
 - (1) 玄米の破砕実験
 - (2) 粳を供試した実験結果
 - (3) 所要動力と処理能率について
 4. 肥育牛へのイネSGSの給与試験
 - 1) 目的
 - 2) 方法
 - 3) 結果と考察
 - (1) イネSGSの発酵品質
 - (2) イネSGSの嗜好性
 - (3) イネSGSの第一胃内分解率
 - (4) 肥育成績
 5. 謝 辞
- 引用文献
用語の解説

1. はじめに

不耕作の水田について水田機能を活かした有効活用と輸入依存の大きい穀実飼料の国内生産拡充の期待から、水田における飼料用イネの生産と利用に対する関心が大きくなっている。イネを飼料に利用する場合は、籾部分と茎葉部分を完熟前に同時に収穫して発酵させてから給与する稲発酵粗飼料（ホールクロップ）と籾の部分だけを給与する飼料用米に区分される。前者については過去10年余の集中的な取り組みによって作付面積は拡大し2010年度には1万haを超える水田で作付られた。一方、後者については、戸別所得保障モデル対策の開始等により2009年度に4,129ha作付けられたのに対して2010年度には14,883haとなり作付面積は飛躍的に増加した。飼料用米については、さらに籾殻を含めた籾米として利用するか、籾殻を剥離した玄米として利用するかに分けられる。籾米については完熟後に収穫して乾燥してから利用する場合と完熟前に収穫して未乾燥のまま保存し発酵させたソフトグレインサイレージ（以下、イネSGS）を利用する場合がある。このように飼料用イネと言っても、給与する家畜の種類や利用目的などによっていくつかの選択肢がある。本稿では、破碎機の開発と飼料用米を用いた性能について述べるとともに、発酵品質や給与試験についてはイネSGSを用いて試験を実施した。試験の構成と担当機関及び氏名は以下の通りである。

1. 飼料用米破碎機の開発と市販化

（独）農業・食品産業技術総合研究機構

中央農業総合研究センター（畜産草地研究所） 重田一人

2. 肥育牛へのソフトグレインサイレージの給与試験

（財）日本農業研究所

小川増弘

なお、肥育牛の給与試験等の管理作業は、（財）日本農業研究所実験農場宮下好広、吉澤哲、井出豊松及び岩崎敬が担当した。

2. 飼料用米の利用に関する研究の動向

飼料用米の研究は古くから行われ、米の生産調整とともにその飼料利用につ

いて多くの研究が実施され知見が蓄積された（吉田 2011）。その中には、本稿で取り上げたイネSGSについて、調製法とウシへの利用に関しても研究されていたことが紹介されている。例えばイネSGSをウシに給与する場合は破碎によって消化率が改善することや肥育牛においては肥育成績からみた配合飼料との代替性などの成果を明らかにしている。一方、飼料用米の生産費を大幅に低減することは重要な課題であり、破碎処理についてもより低コストの機械開発およびその破碎効果について家畜による評価が必要である。

国産飼料拡大のための技術開発を目指した農林水産省のプロジェクト研究「粗飼料多給による日本型家畜飼養技術の開発（略称：エサプロ）」が2006年度に開始されたが、飼料米生産・利用のための技術開発が必要となったことから、エサプロの中に新たな柱立てを行って、飼料用米の技術開発について「飼料米品種の選定と省力多収生産技術の開発」が2008年度から実施された。その中で、特に「ソフトグレインサイレージ品質向上のための調製技術の開発」および「調製法の違いによる肉用牛嗜好性及び利用特性の解明」が課題として取り上げられた。前者では、収穫された籾や玄米を安定して処理でき、必要な破碎を高速に処理可能な飼料用米破碎機の開発を目的とした。後者では、破碎等の処理をしたイネSGSを肥育牛に給与しその嗜好性を解明することを目的として試験を実施した。これらの研究課題は、2008～09年度の2年間に実施された。

3. 飼料用米破碎機の開発と市販化

1) 目的

飼料用米には籾及び玄米の2通りの給与形態がある。籾は子実が難消化性の堅い籾殻で覆われており、さらに玄米表皮も消化されにくいため、これらをそのまま給与すると未消化のまま排泄される率が高く栄養価の損失となる(中村ら 2005)。特に、豚は飼料が消化管を通過する速度が早いので、籾のままでの給与は不適で、玄米の場合でも十分破碎しておく必要があるとされる(農研機構 2009)。

一方、ウシでは、籾殻に反芻動物に必要な繊維性飼料としての効果が期待できるので、籾の給与が適しているが、籾殻の剥離や中の玄米部分の破碎は必要

である。このため、何らかの加工処理が必要と考えられる。なお、採卵鶏は砂嚢を有するため粗のまま給与しても消化可能であるが、生後しばらくは破碎して給与する必要がある。

トウモロコシ等の濃厚飼料も消化を良くするため従来から破碎が行われており、コーンクラッシャーや高温高圧蒸気圧パン機等が利用されていた。特に、後者で飼料用米を処理すると高温でデンプンが α 化するので消化は良くなるが、処理費用がかかり、導入には非常に高額であるため大型施設向きであり、国内での飼料用米生産の現状には即していない。また、消費エネルギーが大きいのも問題である。飼料用米の破碎とその利用の取り組みは開始されてからまだ日が浅いため、飼料用米に適し、低コストで破碎作業を簡易に行える破碎装置の開発が求められていた。そこで、飼料用米をウシや豚へ給与した際の未消化粗の低減及び破碎作業の省力化をねらいとした簡易な破碎機を開発した。

2) 方法

(1) 破碎機構について

破碎機構は、既報(重田ら 2009)と同様の、2つのロールを有するダブルロールミル方式を採用した。破碎を生成物の粒度別に分類すると、おおよその目安として表1のような分け方がされる。これらのうち、粗砕や中砕は主として鉱石や産業廃棄物等を対象とし、通常穀粒の破碎で用いられるのは粒度10mm以下の「粉碎」、「微粉碎」等である。破碎前後の粒子径の比である粉碎比 Cr は、粉碎前後の粒子径をそれぞれ、 x_f [mm]、 x_p [mm]とすると、

$$Cr = x_f / x_p \quad (1)$$

で表される。粉碎比は、破碎方式によって4程度までの粗粉碎を行うものから、1,000以上の粉碎比が得られるものまで幅が広い。

飼料用米に必要な破碎程度は畜種によって異なるため、それぞれに必要な十分な程度を把握するには破碎程度を変えて実際に給与することが必要である。これについては別途検討することとし、本報における破碎機構の設計では、ひとまず一般的に求められている破碎程度が得られることとした。飼料用米の給与においては、粗殻は消化されないため剥離できれば十分であり、玄米部分の破碎が求められるため、粉碎比は玄米の粒径をもとに考えれば良い。飼料用米の

表1 破碎の粒度別呼称

呼称	粒度範囲
粗碎	100 mm<
中碎	10 mm~100 mm
粉碎	125 μ m~10 mm
微粉碎	10 μ m~125 μ m
超微粉碎	<10 μ m

利用場面では、養豚において求められる破碎程度が最も細かい傾向が見られ、いくつかの養豚経営では粒子径 2 mm以下で十分とされている。供試した飼料用米品種「モミロマン」の玄米の平均長は5.9mmであった。そこで、玄米の粒径を便宜上 6 mmとし、破碎後の粒子径を 2 mmとすれば、 $x_f = 6$ mm、 $x_p = 2$ mm となり、(1)より $Cr = 3$ となる。

一般的にロールミルの粉碎比は1 ~ 100であるため、飼料用米に求められる粉碎比を得ることは可能と考えられる。さらに水分や粘着の影響を受けにくく、構造が簡単なため比較的 low コストで開発が可能であり、飼料用米への適応性は高いと考えられる。ロールミルのロールの表面形状は、用途によって凹凸のない平坦な平型に加え、波型、鬼歯型等いくつかの種類が存在する。本研究で用いたロールの表面形状は、図 1 のようにV字型の溝を有し、この溝が噛み合うようにして互いに逆方向に回転することによって、溝の間を通過する材料を圧縮・せん断破碎する仕組みである(重田ら 2008)。図 2 に試作機の外観、表 2 に諸元を示す。

上部に材料投入のためのホップ、直下に試料破碎のためのロールを配置した。さらに、ロール駆動のためのエンジンや破碎された材料を排出するスクルーコンベヤ等からなる。2つの破碎ロールの回転数には10%の周速度差率を設けるのが、せん断力による破碎効果の発揮とともに所要動力低減の面でも有利である(重田ら 2008)。ここでは、選択できる歯車の組み合わせ及び設計上の制限等により、10%に近い12.5%の周速度差率とした。溝の間を通過する刃に対しては、図 3 のようにロール間の圧縮力に伴うせん断力と、ロール間の周速度差によるせん断力が互いに交わる方向に作用するため、溝の間を通過する材

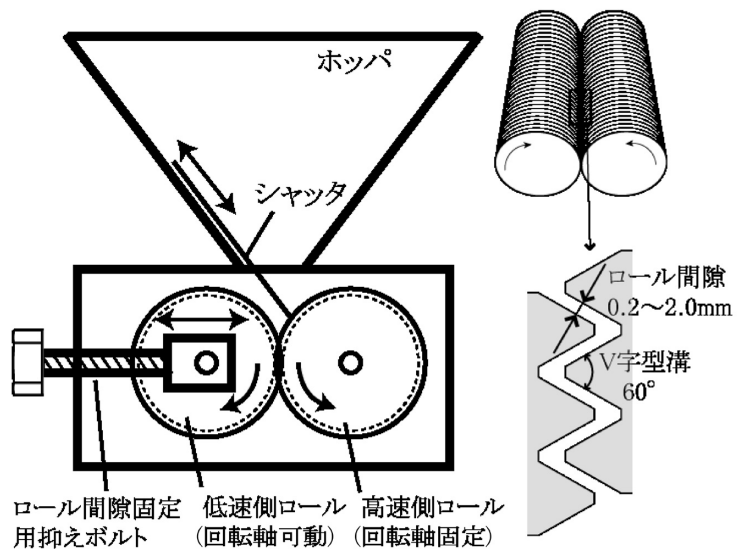


図1 試作飼料用米破碎機の模式図

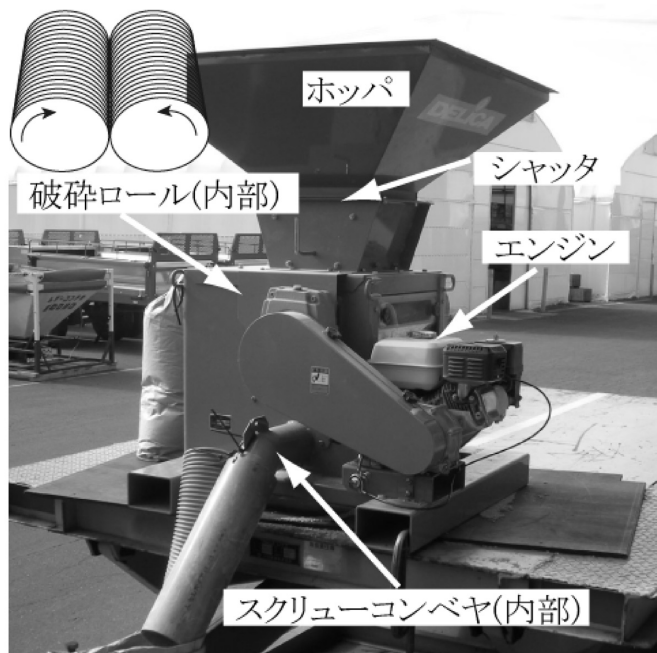


図2 試作機の外観

表2 試作機の諸元

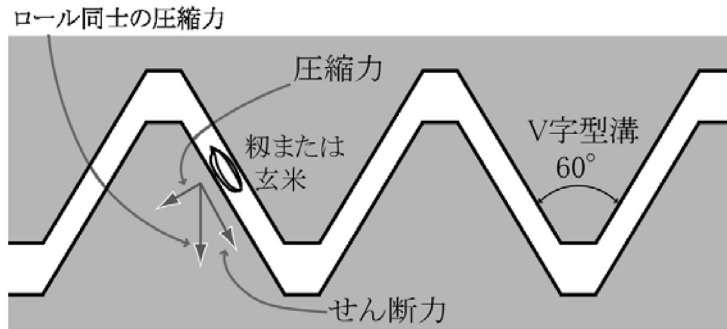
全長、全幅、全高 [mm]	1010×1080×1200
質量 [kg]	250
ホッパー容量[l]	120
動力源	4kWガソリンエンジン
破碎方式	ダブルロールミル
ロール有効長・直径[mm]	360・160
ロール回転数[rpm]	64, 56
ロール間隙 [mm]	0.2～1.5
周速度差率[%]	12.5
排出方式	スクリーコンベア

料をより効率的に破碎する効果が見込まれる。V字型溝の角度、ピッチ、山の高さ等は、既報(重田ら 2009)によった。破碎程度の調整は、2つのロール間隙を0.2mmから1.5mm程度まで0.1mmおきにストップのついたロール間隙調整レバー(図4)の操作で行うようにした。

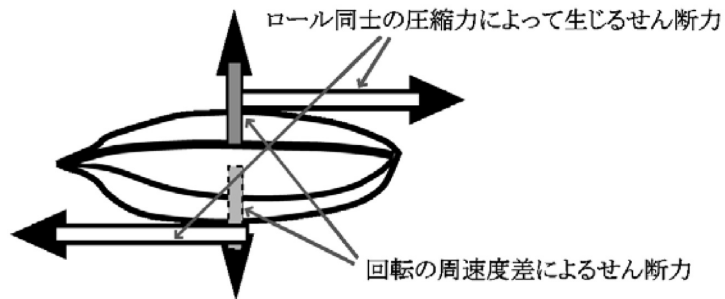
(2) 実験方法

供試試料には、飼料用米の玄米及び粳を用いた。玄米として、2008年産「モミロマン」(水分15%)を、粳として2009年産「モミロマン」、「べこあおば」及び「夢あおば」(同約15%)を用いた。さらに、粳では完熟または黄熟期のものを収穫直後に破碎して密封貯蔵するSGSとしての利用を想定し、「モミロマン」の完熟期のもの(水分19.7%)に加え、黄熟期(同29.2%)と糊熟期(同38.2%)のものを供試した。水分の測定は、50gのサンプルを用いて105℃、24時間乾燥で行った。

ロール間隙の設定は、玄米では予備的に破碎して決定した。すなわち、最大の粉碎比が得られるロール間隙0.2mmでは大半の試料が2mm以下となったが、間隙を増加させるに従って粗くなり、0.5mmでは2分割程度のもも見られた。そこで、玄米を供試した実験におけるロール間隙は、0.2mmから0.5mmまで0.1mmおきの4段階に設定した。粳は玄米より粒径が大きいいため間隙は大きくする必要があり、粳殻自体は外穎と内穎が分離して剥離するか、せいぜい穎が



(a) ロールによって籾に作用するせん断力



(b) 籾に作用する2通りのせん断力

図3 玄米または籾に作用するせん断力

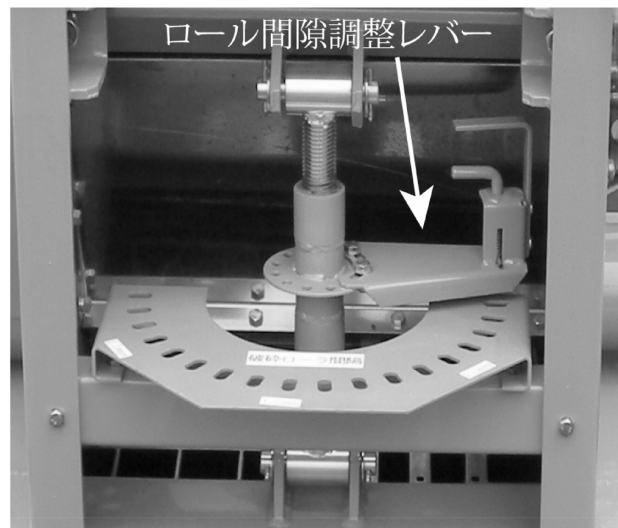


図4 ロール間隙調整レバー

縦に分割される程度であるため、ロール間隙のわずかな違いに対する破碎程度の差が玄米ほど明瞭でないことが予想された。そこで、粳を供試した実験ではロール間隙は0.5mmと1.1mmの2段階とした。シャッタは実験を通して常時全開で使用した。

ロール回転数は、所要動力と処理能率の測定を除いて、塔載エンジンのスロットルを全開した定格回転数（エンジンの最高出力が得られる回転数）で使用し、無負荷状態では86rpm及び75rpmであった。ホッパに20kgの試料を投入後にロールを回転させて破碎を開始し、30s経過後排出される試料をサンプリングした。破碎された試料の粒径分布は、ふるい分け法により行った。ふるい目開きの選定に当たっては、事前にJIS標準ふるい1.4mmから3.35mmまでを用いてロール間隙0.2mm～0.5mmで破碎した玄米をふるい分けして決定した。すなわち、2mmを通過したものは粉碎比3以上となったものであり、この割合が多かった。2mm及び2.36mm以上のものは、粉碎比3に至っていないものであり、2.8mm以上のものは2分割程度か、傷や割れを受けただけのものが多く、これらは全体としては多くはないが存在した。よって、2mm～2.8mmの割合と2.8mm以上の割合によって破碎程度が判定できると考えられ、実験に用いるふるいの目開きは2mmと2.8mmとした。これらのふるいを用い、電磁式ふるい振とう器（振幅1mm、加速度 9.8m/s^2 ）で1min振とうして3区分したサンプルの質量割合で表示した。粒径分布の測定は5反復行なった。所要動力と処理能率の計測では、無負荷状態と、水分15%の「モミロマン」の粳を供試し、スロットル全開と回転数を約18%低下した減速状態とで行った。ロール間隙は0.5mm及び1.1mmとした。所要動力はエンジンの軸トルクと回転数から求め、処理能率は10s間の処理量を3回反復して計測した。

3) 結果と考察

(1) 玄米の破碎実験

ロール間隙0.5mmで破碎した玄米の外観は図5上の通りであり、大部分の子実が破碎作用を受けて細かくなった。

破碎後の粒径分布を図6に示す。ロール間隙0.2mmでは2mm以下の割合が92%と微粒化し、ロール間隙が大きくなるにつれて2mm以下の割合はやや減少

する傾向となったが、間隙0.5mmでも81%であった。2～2.8mmの割合は、間隙0.2mmでは7%と少なく、間隙0.3mm以上では10%前後となり、2.8mm以上の割合は、間隙0.2mmでは1%であったが、間隙0.5mmでは7%とやや粗くなった。玄米では、ロール間隙0.5mmで実用上十分な破碎程度と思われる。

(2) 粳を供試した実験結果

粳では図5下のように大部分の粳殻が剥離し、子実は玄米単体と同様に破碎

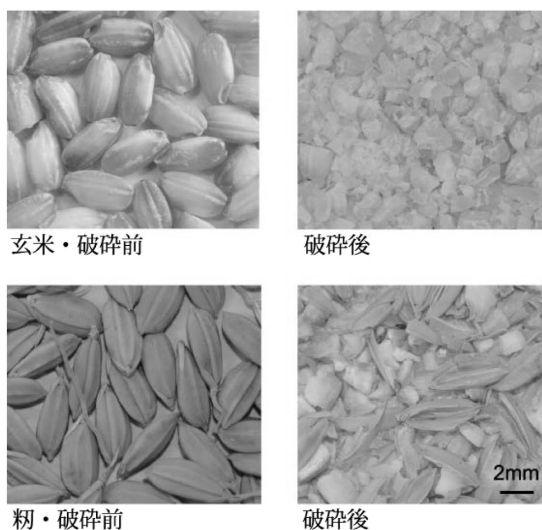


図5 破碎された玄米及び粳の外観

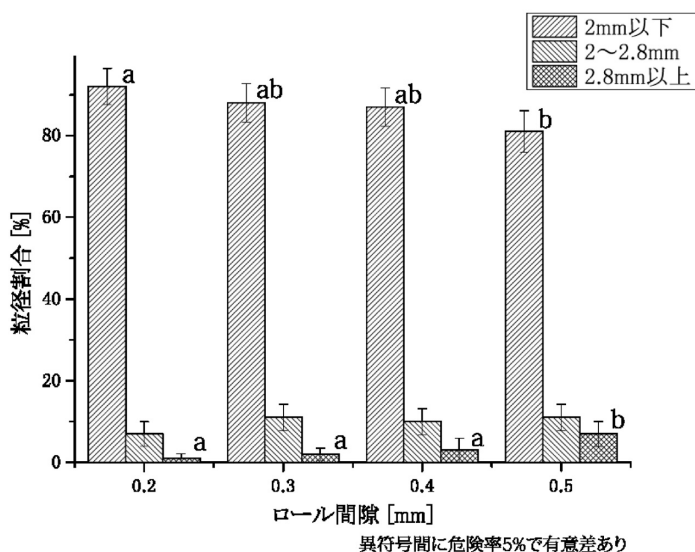


図6 破碎玄米の粒径分布

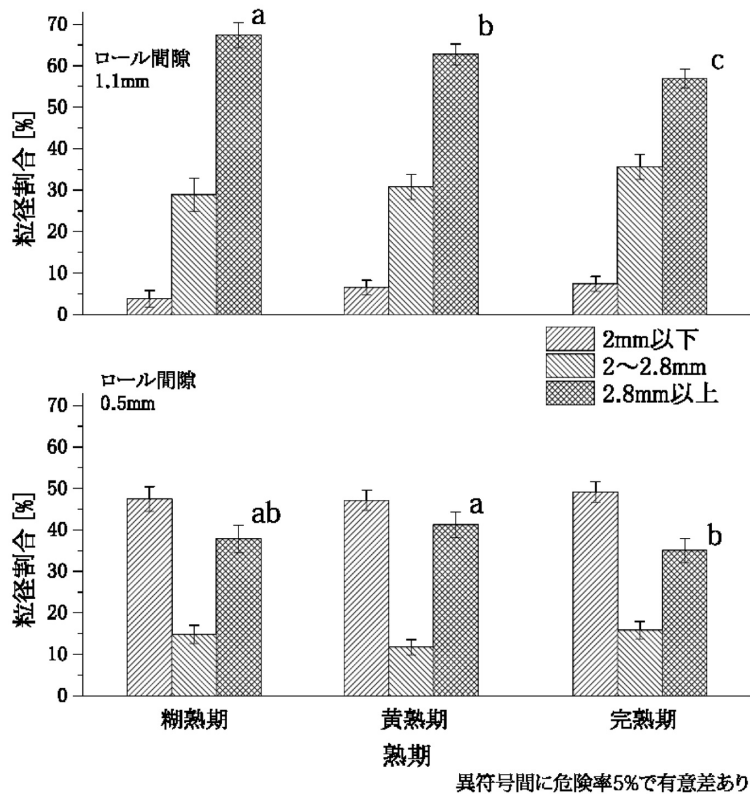


図7 熟期の異なる破碎粕の粒径分布

を受けた。剥離した粕殻の多くは外穎と内穎とに分離し、その一部はさらに縦方向に分離した。

粕を供試した破碎実験でのローラー間隙及び熟期の違いによる粒径分布を図7に示す。まず、ローラー間隙の違いの影響を完熟期についてみると、2.8mm以上の粒径割合がローラー間隙1.1mmでは57%であったものが間隙0.5mmでは35%に低下し、2mm以下の粒径割合は7.4%から49%へ大幅に増加するなど、ローラー間隙0.5mmでは1.1mmに比べて有意に微粒化した。この傾向は黄熟期や糊熟期でも同様であった。なお、2.8mm以上の粒径割合が35%~67%あったことについては、粕殻の多くは外穎と内穎に分離した程度であることに加えて、破碎された子実が粕殻に付着し、これらが2.8mm以上の粒径割合を占めたと考えられる。

次に、熟期の違いによる影響は、ローラー間隙1.1mmでは糊熟期と黄熟期及び黄熟期と完熟期との間で、ローラー間隙0.5mmでは黄熟期と完熟期との間で、熟

期の遅い方が2.8mm以上の粒径割合が有意に低くなった。熟期が早いほど破碎程度が劣ったのは、完熟期より子実及び籾殻の水分が高く、ロールによる圧縮やせん断作用に対して弾性変形しやすいためと考えられる。ただし、SGSとして籾を密封貯蔵する場合は、籾殻が剥離する程度で十分に良発酵するため(矢内 2005)、黄熟期や糊熟期のものが完熟期のものより破碎程度が若干劣ることは問題ないと考えられる。なお、ウシへの給与においては、ロール間隙1.1mmで未消化籾の割合は実用上問題ない程度に低減すると予想される。

次に、「モミロマン」、「べこあおば」及び「夢あおば」3品種の籾をロール間隙0.5mmで破碎した粒径割合を図8に示す。さらに、供試した各品種の籾の平均長さ(L)、幅(W)、厚さ(D)を示した。籾粒の最小粒径は厚さとなるため、ロール間隙が同じ場合、厚さが大きいものほど破碎されやすくなると考えられる。いずれの品種も、未破碎籾では粒径2mm以下の割合はゼロであった。

全般的な傾向として、子実の大半が2mm以下に微粒化し、その一部が籾殻に付着したため、多くの粒子が2mm以下と2.8mm以上に2分化した。ただし、「モミロマン」では2~2.8mmの破碎粒が存在した。この理由としては、「モミロマン」は子実中に乳白が多いため崩れやすく、崩壊した胚乳等で籾殻に付着し

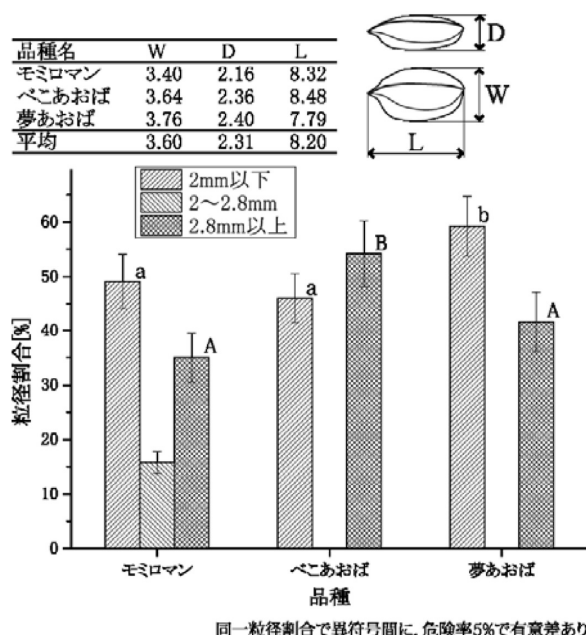


図8 品種の違いによる破碎籾の粒径の違い

ないものがあつたためと考えられる。

2mm以下の粒径割合は「夢あおば」が59.2%と3品種の中で最も多く、有意な差が見られた。これは、「夢あおば」の厚さが2.40mmと、他の2品種よりやや大きかったためと考えられる。2.8mm以上の割合は、「べこあおば」が他の2品種より多くなる傾向であつた。

(3) 所要動力と処理能率について

所要動力と処理能率を図9に示す。データは3回の測定値の平均である。ロール間隙1.1mm、スロットル全開で破碎時のロール回転数は高速側64rpm及び低速側56rpm、処理能率は525kg/hであつた。減速状態ではロール回転数は高速側52rpm及び低速側46rpmで、所要動力は5.3%低下したが、処理能率も4.3%の低下となり、ロール回転数を定格回転数より減じることによる所要動力節減効果は小さかつた。ロール間隙0.5mmでは、処理能率は1.1mmの時の33～40%となつたが、所要動力は13～15%増加する傾向となつた。ロール間隙を変えたことによつてもロール回転数は同一であつたため、間隙を狭くすることで破碎作用が高まり、所要トルクが増大したと考えられる。

処理能率は、ロール間隙0.5mmでは210kg/h、ロール間隙1.1mmでは525kg/hとなつた。平坦なロールで間隙1.1mmでは、理論的に490kg/h程度となるが、本機ではロール表面のV字型の溝によつてロールの実効長が約2倍となつたため、

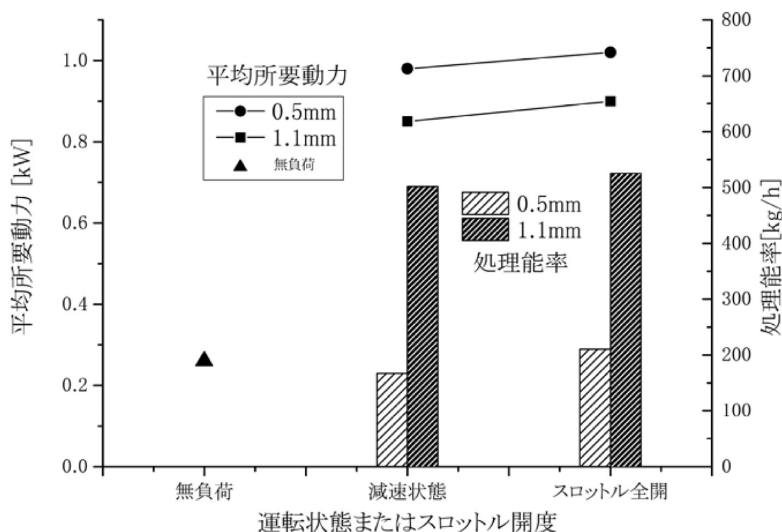


図9 所要動力と処理能率

理論値を上回ったと考えられる。

経済性評価のためのコストについて、1,000頭程度を飼養する中規模養豚経営に飼料用米を導入した場合を例に試算した。飼料用米の濃厚飼料中の代替率を一般的に行われている30%とすると、飼料用米を年100 t程度以上の利用が想定される。飼料用米破砕機の耐用年数を8年とし、処理費用を燃料または電気代のみとすれば、年間償却分を合わせてkg当たりの処理費用は1.67円となる。一方、典型的な飼料工場の高圧蒸気圧せん機による処理費用はkg当たり約10円であり、約1/6となる。さらに、後者では工場との間の運搬経費もかかることから、飼料用米破砕機利用はより経済的である。

なお、本機は2009年9月に市販化された(株式会社デリカ)。また、農林水産省主催第2回フード・アクション・ニッポンアワード2010研究開発・新技術部門の優秀賞を受賞した。

4. 肥育牛へのイネSGSの給与試験

1) 目的

イネSGSについて肥育牛における嗜好性を明らかにする。特に、より実証的な観点からイネSGSの破砕処理が発酵品質や嗜好性に及ぼす影響を解明し肥育牛の枝肉成績についても検討した。すなわち、破砕処理して密封貯蔵したイネSGSについて、実験農場で飼養している黒毛和種の肥育牛(前期牛、中期牛及び後期牛)を供試して、破砕処理がイネSGSの嗜好性へ及ぼす影響を明らかにしようとした。

2) 方法

供試した飼料米は、コンバインで収穫した籾米を重田らが開発した飼料用米破砕機(重田 2009)によって直ちに破砕した(図10)。破砕した籾米は内袋付のフレコンバッグに密封貯蔵した。破砕はロール隙間を0.9～1.0mmとした破砕程度が弱い区(弱区)とロール隙間を0.3～0.5mmとした破砕程度が強い区(強区)とした。飼料用米の給与試験では、飼料用米の給与に当たっては給与飼料全体の粗蛋白質含量を補正するために大豆粕を添加した。なお、供試したイネSGSは中央農業総合研究センター谷和原圃場で栽培し収穫されたものである。



図10 粉の破碎作業

(中央農業総合研究センター谷和原圃場)

(1) 肥育前期牛におけるイネSGSの嗜好性

黒毛和種の肥育前期牛（12～15カ月齢）2～3頭を同一房で飼養した3群7頭を供試し、配合飼料の20%を飼料米で代替して給与した。品種と破碎処理の組み合わせは「べこあおば」は弱区、「奥羽316号」は弱区及び強区で、これら3種類のイネSGSを含む飼料を各群へ給与し、採食量を調査した。

(2) 肥育中期牛におけるイネSGSの嗜好性

黒毛和種の肥育中期牛（17～18カ月齢）2頭を1群として同一房で飼養した3群6頭を供試した。配合飼料の一部（20及び25%）をイネSGSに代替して給与して採食量を調査した。供試品種は「タカナリ」と「モミロマン」であり、破碎処理は全て弱区とした。

(3) 肥育後期牛におけるイネSGSの嗜好性

黒毛和種の肥育後期牛（24～28カ月齢）2頭を1群として同一房で飼養した4群8頭を供試した。配合飼料に対するイネSGSの代替率は30%（給与開始月齢が25カ月齢）及び25%（給与開始月齢が24カ月齢）として採食量を調査した。供試品種は「べこあおば」、「夢あおば」、「タカナリ」、「モミロマン」であり、破碎処理は弱区及び強区の2段階とした。給与試験は実験農場内の肥育牛舎で実施した（図11）。



図11 肥育牛を供試したSGSの給与試験

(4) 肥育牛の肥育成績

実験農場で生産・飼養され2009年度と2010年度に出荷した肥育牛の内、イネSGSを給与した肥育牛17頭（去勢6頭、メス11頭）及びイネSGSを全く給与せず概ね実験農場の慣行法で飼養した27頭（去勢14頭、メス13頭）について得られた枝肉成績を検討に供した。

3) 結果と考察

(1) イネSGSの発酵品質

2008及び2009年度の2年間に調製した18点のイネSGSの乾物率は平均値が78.0%であり、データの範囲は63.3～81.3%であった。pHは平均値が6.12であり、データの範囲は3.98～6.96であった。イネSGSは稲発酵粗飼料と比較して乾物率が高いことからpHは全体に高く、有機酸含量や $\text{NH}_3\text{-N}$ (アンモニア態窒素)は低かった。イネSGSの乾物率とpHには高い正の相関が認められた(相関係数： $r=0.86^{**}$ 、回帰式： $y=0.177x-7.71$ (y : pH、 x : 乾物率)) (図12)。飼料用米の乾物率が60～70%であればpHは4程度に低下するが、それ以上の乾物率ではpHの低下は小さく発酵は微弱であった。

イネSGSは、その収穫時期によって乾物率は変動し、収穫前の天候によって

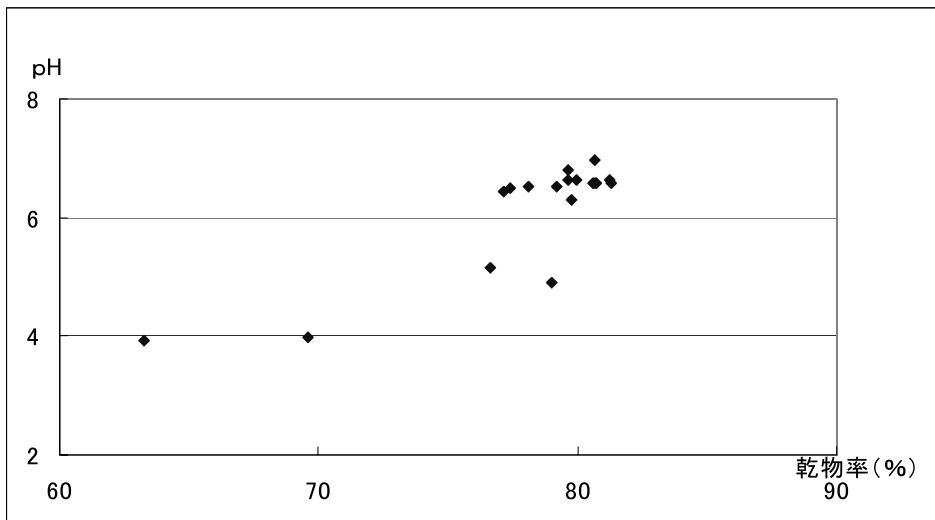


図12 イネSGSの乾物率とpHの分布

相関係数 $r=0.86$ 、回帰式： $y=0.177x-7.71$ (y ; pH、 x : 乾物率)

も影響を受けるが、稲発酵粗飼料と比較すると乾物率が著しく高いことにその特徴がある。乾物率が高いために発酵は概して微弱である。乾物率が発酵に大きく影響することについては上垣らが指摘している（上垣 2010）通りであるが、発酵を促進させてpHをある程度まで低下させるためには、適期の収穫や加水して乾物率を下げる等が必要であろう。また、pHが高いイネSGSについても微弱ながら発酵臭は確認されていることは変敗の可能性があることを意味しており、その貯蔵にあたって密封を厳守すべきである。

(2) イネSGSの嗜好性

今回供試した肥育牛に共通して言えることであるが、飼料会社の肥育牛専用配合飼料を稲わらと合わせて給与されていた。給与試験においては、その一部をイネSGSで代替して、それらの採食量を比較し嗜好性を調査した。

配合飼料は原料の区分とその割合が明示されている。例えば、今回使用した配合飼料について、穀類の区分では原材料名は大麥、とうもろこし、マイロ、小麦であり、配合飼料に占める穀類全体の配合割合は51%となっている。しかし、個々の原材料の配合割合は明示されていない。そのため、本試験における代替率はよく表現されるような、「トウモロコシの〇〇%を代替」ではなく、「配合飼料の〇〇%を代替」ということになる。これは配合飼料を利用している多

くの生産現場に共通して実態に即した表現と思われる。

①肥育前期牛について

供試したイネSGS（品種あるいは系統；「べこあおば」、「奥羽316号」）の乾物率は77.5～79.4%であった。pHは6.4～6.6、有機酸含量は低く、NH₃-Nについては0.03～0.04g/FMkgと極めて低い含量で発酵は微弱であった。しかし、発酵臭は認められた。

肥育前期牛へ給与した飼料は配合飼料が4.93～5.11kg、イネSGSが約1.4kg、稲わらが1.2～1.3kg（いずれも乾物量）であり若齢では乾草を給与した時期もあった。残飼量は0.33～0.48kgであり、残飼の多くは稲わらで占められていたが、月齢が進んだ牛群（13～15カ月齢）では1頭当たりの配合飼料等の給与量が多くなったこともあって、残飼には稲わらだけではなくイネSGSや配合飼料が含まれていた。糞中に排泄された未消化粗は乾燥糞100g中に平均9.2g（乾物）含まれ、破碎処理の比較では弱区が強区よりもやや多い傾向が認められた（有意差なし）（表3）。

表3 肥育前期牛におけるイネSGSの給与量、採食量及び未消化粗量

区 分		給 与 量 (乾物kg)					残飼量	採食量	未消化粗量*
品種・系統	破碎処理	配合飼料	イネSGS	イナワラ	乾草	合 計	(乾物kg)	(乾物kg)	
べこあおば	弱 区	5.11	1.41	1.19	0.29	8.00	0.40	7.60	10.50
奥羽316号	弱 区	4.93	1.38	1.31	0.00	7.62	0.33	7.29	9.44
奥羽316号	強 区	5.05	1.36	1.23	0.29	7.93	0.48	7.45	7.57

※未消化粗量：乾物g/乾燥糞100g

乾燥粗について補足的に実施した給与試験において、12及び13カ月齢の肥育牛に配合飼料4.7～4.9kg、乾燥粗1.3kg、稲わら1.3kg（1頭当たり乾物量）を給与した結果、給与した飼料はほとんど摂取され、残飼には稲わらがわずかに認められたに過ぎなかった（図表は省略）。

粗米の破碎に使用した飼料用米破碎機は粗米や玄米を簡易に破碎でき、破

砕程度を可変できるようになっている。ここで、破碎程度が「弱」とはロール隙間0.9～1.0mmで、「べこあおば」、「夢あおば」、「タカナリ」、「モミロマン」の4品種における破碎後の粗米の形状は粉状と傷のついた粗米の合計が48～75%、破碎程度が「強」とはロール隙間ロール隙間0.3～0.5mmで、上記と同様の4品種における破碎後の粗米の形状は粉状と傷のついた粗米の合計が80～92%であった。

「べこあおば」及び「奥羽316号」を供試した肥育前期牛における給与試験では配合飼料の20%代替（TDNとして、以下同様）では残飼量は少なく、データを図示していないが乾燥粗米においても同様の結果が得られていることから、破碎程度が「強」と「弱」に嗜好性には大きな差異は認められなかった言えよう。しかし、乾燥糞100g中の未消化排泄粗は強区でやや少ない傾向があったことは、消化管におけるイネSGS消化について破碎程度がある程度の影響を示唆するものであろう。

②肥育中期牛について

供試したイネSGSの乾物率は「タカナリ」と「モミロマン」がそれぞれ、69.6、63.3%、pHは3.98、3.91、乳酸は1.15、1.14%、NH₃-N含量は0.49、0.48g/FMkgで供試したイネSGSは乾物率が低かったことから今回の一連の給与試験で供試したイネSGSの中ではpHが低いなど発酵が最も進んでいた。

イネSGSの内、「タカナリ」（破碎程度は弱）の代替率15、20及び25%、「モミロマン」（破碎程度は弱）の代替率20%を比較した結果、「タカナリ」代替率25%で濃厚飼料（イネSGS+配合飼料）の採食量がやや低い傾向がみられ、代替率20%での品種比較では、「モミロマン」の方が可消化養分総量（TDN）の採食量が多い傾向がみられた（いずれも有意差なし）。各区ともに、給与試験開始時点で給与していた配合飼料と稲わらの合計TDN量と比較して試験中に採食したTDN量は85～95%となりやや低かったことから、採食量を向上させるためには破碎程度をさらに強くすることや配合飼料とイネSGSをよく混合することなどの対処が必要と思われた（表4）。また、糞中の未消化粗の多くは傷が付いていない粗米であったが、36～46%は粗殻の剥離を含めて傷の付いた粗米であった。なお、TDN採食量の計算に用いた供試飼料のTDN含量は日本標準飼料成分表（（独）農業技術研究機構 2001）によった。

表4 肥育中期牛における採食量の比較

処理区分		採食量 (乾物kg)			TDN採食量 (kg)
品 種	代替率 (%)	濃厚飼料	稲わら	合計	
タカナリ	15	7.27	0.60	7.87	6.00
	20	7.11	0.56	7.67	5.99
	25	6.72	0.62	7.34	5.65
モミロマン	20	7.40	0.72	8.11	6.29

③肥育後期牛について

「べこあおば」、「夢あおば」、「タカナリ」及び「モミロマン」の4品種のイネSGSについて、破碎の程度を強及び弱の2段階とし、配合飼料に対するイネSGSのTDN代替率30%の給与試験を実施した。さらに、「モミロマン」、「夢あおば」の2品種について、破碎の程度を強及び弱の2段階で代替率25%の給与試験を実施した。なお、供試したイネSGSは4品種を平均すると乾物率は80.6%、pHは6.67、乳酸は0.08%と低含量でありNH₃-N含量は0.02g/FMkgと極めて低かった。

代替率30%区4品種の平均採食量は弱区が8.03kg、強区が7.97kgであり破碎の程度によって採食量には大きな差異はみられなかった。代替率25%区では、2品種の平均で、弱区が8.0kg、強区が7.95kgであり、代替率30%区と同様に破碎処理によって大きな差異は認められなかった。TDN採食量は代替率30%区が6.2kg、25%区が6.8kgであり、各試験開始時点でのTDN給与量に対する比率は、88～89%であった(表5)。このことから、代替率が30%あるいは25%において、給与した飼料の採食量を高めるためには、破碎程度をさらに強くすること

表5 肥育後期牛における採食量の比較

処理区分		採食量 (乾物kg)			TDN採食量 (kg)
代替率 (%)	破碎強度	濃厚飼料	稲わら	合計	
25	弱	7.27	0.73	8.00	6.80
	強	7.23	0.72	7.95	6.78
30	弱	7.29	0.74	8.03	6.24
	強	7.25	0.72	7.97	6.20

代替率25%区の供試品種：モミロマン、夢あおば 供試牛：24カ月齢

代替率30%区の供試品種：モミロマン、夢あおば、べこあおば、タカナリ

供試牛：25カ月齢

や配合飼料とイネSGSをよく混合する、あるいは、発酵によって籾殻の膨軟化を期待してイネSGS調製時に加水処理を実施すること等が考えられる。籾米の粉碎に当たって籾殻をよく混合することの重要性を示唆する文献もあることから（内山 1984）給与に当たっては配合飼料とイネSGSを良く混合することが必要であろう。

（3）イネSGSの第一胃内分解率

イネ系統「奥羽316号」のイネSGSについて第一胃内分解率を調査した結果、破碎の程度が「弱」および「強」では、易分解性区分が、それぞれ2.6%および8.4%、難分解性区分がそれぞれ36.5%および44.8%、それらを加算した分解性区分はそれぞれ39.1%、53.0%であり（図13）、有効分解率（ED）はそれぞれ19.4%および30.5%であった（データは畜産草地研究所 宮地慎氏による）。宮地は飼料米の第一胃内のデンプンの有効分解率はトウモロコシよりも高いことを明らかにしている（宮地2010）。また、飼料用米の乾物及びデンプンの第一胃内分解率は処理方法に影響され2mm粉碎処理米が高く、挽き割り処理米、無処理米の順であったと報告している。今回の2段階の破碎処理においても分解速度には差異がみられた。破碎処理は未消化子実排泄割合の低下による消化率の改善が期待される（原悟志 2010）。一方で分解速度の低下は第一胃内正常の安定化に寄与することが期待される。

（4）肥育成績

2009年度及び2010年度に市場へ出荷した肥育牛について、肥育前期～後期のいずれかの段階（一部は重複して供試）でイネSGSを給与した17頭（去勢6頭、雌11頭）及びイネSGSを給与しなかった、いわば概ね実験農場の慣行法で肥育した27頭（去勢14頭、雌13頭）について肥育成績を表6に、枝肉評価を表7にそれぞれ性別ごとに表示した。イネSGSを給与した肥育牛の月齢は平均30.0カ月齢、出荷時の生体重及び生時～出荷時までの日増体量（DG）は去勢牛とメスがそれぞれ722、697kg及び0.76、0.74、枝肉重量はそれぞれ467、450kgであった（表6）。牛肉脂肪交雑基準（BMS）はそれぞれ6.8、6.4であった。肉色を示す牛肉色基準（BCS）や脂肪色を示す牛脂肪色基準（BFS）には、特段の問題はなかった。これらの成績は、2009年度及び2010年度に出荷したイネSGSを給与

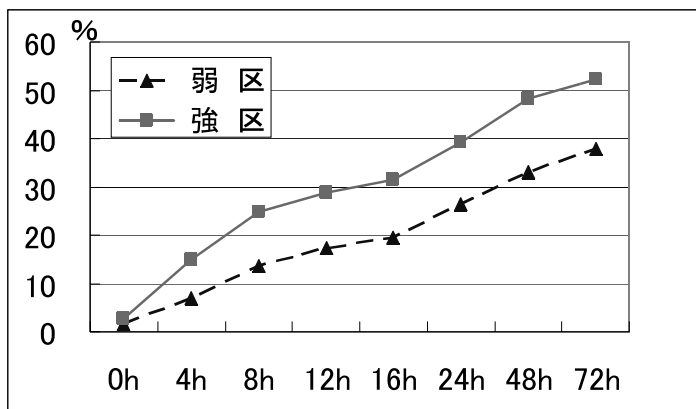


図13 イネSGSの第一胃内分解速度

供試したイネ系統；奥羽316号

していない肥育牛27頭と比較して大きな差異はみられなかった。

今回、一連の給与試験に供した肥育牛の肥育成績については、供試牛の系統が異なっていること、給与したSGSが異なっていること、給与した肥育の時期が異なっていること、さらに給与期間の日数や給与飼料の代替率も異なっていることを考慮する必要があるものの、それらの肥育成績が同年度に肥育し出荷した概ね当農場の慣行法で飼養した肥育牛の肥育成績と大きな差異は認められ

表6 イネのSGS給与肥育牛の肥育成績

区分	性別	頭数 (頭)	出荷月齢 (月)	出荷体重 (kg)	DG (kg/日)	枝肉重 (kg)
イネGSG 給与	去勢 メス	6 11	30.2 29.8	722 697	0.76 0.74	467 450
平均			30.0	706	0.74	456
イネGSG 無給与	去勢 メス	14 13	29.7 30.2	762 719	0.81 0.75	485 456
平均			29.9	741	0.78	471
黒毛和種 枝肉情報※	去勢 メス		— —	— —	— —	468 409

イネSGS給与区：肥育期間中にイネSGSを給与した肥育牛の成績

無給与区：2009年度出荷牛の内、イネSGSを給与しなかった肥育牛の成績

黒毛和種枝肉情報※：

(独)家畜改良センター、(社)全国肉用牛振興基金協会資料による

表5も同様

DGは生時～出荷時の全期間の値 ((出荷時体重－生時体重) / 出荷日齢)

なかったことが示された。また、(独)家畜改良センターと(社)全国肉用牛振興基金協会が発表した18万頭を超える和牛((社)日本食肉格付協会により格付された和牛の43.8%を占める)の枝肉成績の取りまとめと比較してもその成績は遜色がないものであり、BMS値の平均値は去勢、メスともにそれらを1ポイント以上上回っていたことは特記すべきことと思われる。

表7 イネGSG給与肥育牛の枝肉評価

処理区	性別	ロース芯面積(cm)	バラ厚(cm)	皮下脂肪厚(cm)	歩留基準値	BMS	BCS	しまり	きめ
イネGSG 給与	去勢 雌	57.7 55.5	8.1 7.5	3.3 3.4	73.5 72.9	6.8 6.4	3.8 3.9	4.0 3.9	4.3 3.9
平均		56.2	7.7	3.4	73.1	6.5	3.9	3.9	4.1
イネGSG 無給与	去勢 雌	56.2 56.0	7.8 8.2	2.3 2.6	73.8 74.1	5.9 6.8	3.9 3.8	3.9 4.2	3.9 4.4
平均		56.1	8.0	2.5	74.0	6.3	3.8	4.0	4.1
黒毛和種 枝肉情報	去勢 雌	55.1 53.0	7.7 7.3	2.4 2.8	73.7 73.5	5.7 5.2	3.8 4.1	3.8 3.5	4.0 3.7

5 謝 辞

供試した飼料用米は中央農業総合研究センター谷和原水田圃場で生産されたものである。飼料用米の栽培試験を行い、生産した飼料米を提供して頂いた石川哲也主任研究員に謝意を表す。また、SGSの発酵品質に関するデータを提供していただいた畜産草地研究所蔡義民上席研究員(現国際農林水産業研究センター)に謝意を表す。

本稿におけるデータは農林水産省委託研究「粗飼料多給による日本型家畜飼養技術の開発」の5系「飼料米品種の選定と省力多収生産技術の開発」において得られたものである。

引用文献

- ・吉田宣夫(2010). 飼料用米の研究と普及の状況について 日本畜産学会報 81(4), 489-493
- ・中村弥・阿部正彦・小林寛(2005). 乳用牛へのイネソフトグレインサイレージの給与技術. 福島県畜産試験場研究報告. 13, 23-26.
- ・農研機構(2009). 飼料用米の生産と給与技術マニュアル.
- ・重田一人・青木仁弥・平林哲・松尾守展・喜田環樹(2009). 飼料用米破碎装置の開発. 農業機械学会誌. 71(6), 129-131.
- ・重田一人・喜田環樹・松尾守展(2008). 飼料イネ粗の消化性を向上させる効率的調製技術. 農業機械学会誌. 70(2), 136-142.
- ・矢内清恭(2005). イネソフトグレインサイレージの収穫調製技術. 福島県畜産試験場研究報告. 13, 27-31.
- ・重田一人・喜田環樹・松尾守展・小川増弘(2009). 家畜が粳米や玄米を消化しやすくするための飼料用米破碎機. 研究成果情報, 共通基盤・作業技術等, 技術・普及.
- ・上垣隆一・重田一人・小川増弘・小林寿美・遠野雅徳・蔡義民(2010). 飼料用米の調製貯蔵時の処理がソフトグレインサイレージの発酵品質に及ぼす要因の解析. 日本畜産学会報. 81(3):353-362.
- ・(独) 農業技術研究機構(2001). 日本標準飼料成分表(2001年版). 68-71.
- ・内山正二・川畑孟・田崎道弘・立山昌一・湯ノ口幸一(1984) もみ米の飼料化に関する研究 I 黒毛和種去勢牛肥育における圧片もみ米の飼料価値について. 鹿児島県畜産試験場研究報告. 16 1-13.
- ・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 日本畜産学会誌. 56(1) 13-19
- ・原悟志(2010). サイレージ調製時の破碎およびアルカリ処理がウシにおけるモミ米ソフトグレインサイレージの消化性に及ぼす効果 日本畜産会報. 81(2) 153-159.
- ・(独) 家畜改良センター、(社)全国肉用牛振興基金協会(2009) 枝肉成績取りまとめ(平成20年度). 7.

用語の解説

・ダブルロールミール方式

互いに逆方向に回転する2ロール間を通過する材料を圧砕する方式。ロール表面は平らなものだけでなくさまざまな形状のものがあり、2ロールの外径や回転数も同一とは限らない。

・せん断力

物体内部のある面の平行方向にすべらせるように作用する力のこと。せん断力の作用

している物体には平行四辺形状に変形し、せん断ひずみが生じる。

・ **第一胃内分解率**

試料をナイロンバッグに入れ、カニューレから第一胃内に挿入して培養後の乾物などの消失割合から分解率を測定する。分解率は即時分解性画分や遅分解性画分とその分解速度を指数関数式に当てはめて求められる。

