

3 飼料用米の加工・調製と化学成分

(1)加工法

- 牛や豚では、飼料用米の消化性を最大化するためには、加工が必要である。
- 飼料用米の加工法には破砕処理や蒸気圧ぺん処理等がある。
- 飼料用米破砕機として、破砕構造が異なるいくつかの破砕機が実用化されている。また、米麦共同乾燥施設等に導入されている籾殻処理装置も、飼料用米の破砕機として活用できる。

籾米は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いため、未処理のまま給与すると畜種によっては消化性が低く栄養価の損失となる。採卵鶏や肉用鶏などの家禽では砂嚢を有するため未処理の籾米のままでも給与が可能である。一方、牛や豚では籾米・玄米とも給与可能であるが、消化性を最大化するためには、蒸気圧ぺんや破砕のような加工処理が必要である。

飼料用米の破砕処理および貯蔵方法としては、成熟期に収穫した籾を乾燥処理して貯蔵し、給与時に破砕する方法と、水分が30%以下の籾米を破砕、水分調整、乳酸菌添加後に密封してサイレージとして貯蔵する方法がある。破砕処理には小型で取り回しが容易な破砕機を活用する方法と米麦共同乾燥施設等に導入されている籾殻処理装置を活用する方法がある。その他には、飼料工場に導入されている処理装置も活用できる。

①飼料用米を対象として開発された破砕機械

ア V溝型飼料用米破砕機(DHC-4000M)

本機は(独)農研機構と株式会社デリカによって開発された破砕機で(図3-1)、V溝型ツインローラによるせん断力で飼料用米を破砕する構造の破砕機である。本機はローラーの間隙を調整することで破砕粒度を替えることができる。動力はエンジン仕様とモータ仕様(3相200V)の2タイプがあるが、倉庫内で破砕処理を行う場合が多く、モータ仕様が多く普及している。

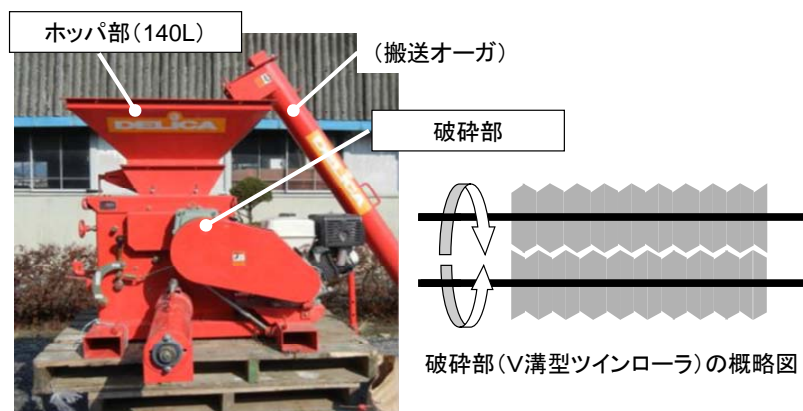


図3-1 飼料用米破砕機(DHC-4000M)と破砕部の概略図

モータ仕様(8.1kW) 全長:1710mm、全幅:1130mm、全高:1200mm、機体質量:550kg
エンジン仕様(7.5kW) 全長:1710mm、全幅:1290mm、全高:1200mm、機体質量:520kg

イ インペラ式糲摺り機をベースとした飼料用米破碎機(SH-2)と飼料用米脱皮破碎機(SDH-35)

インペラ式糲摺り機をベースとした2機種 of 破碎機のうち、一つは、インペラ式糲摺り機の脱皮部(脱皮ファン)を改良し、2連の破碎ファンで飼料用米を破碎する構造の機械である(図3-2左:SH-2)。もう一つは、最初に脱皮ファンで籾殻をはずし、その後に連結した破碎ファンで飼料用米を破碎する構造の機械である(図3-2右:SDH-35)。SH-2は破碎された玄米部分に籾殻も含まれるが、SDH-35は籾米を搬入すると、玄米が破碎され、籾殻は分離されて排出される。



図3-2 飼料用米破碎機(SH-2:左)と飼料用米脱皮機(SDH-35:右)の本体と破碎部

写真提供:株式会社大竹製作所

ウ ライスカウンター

本機は岐阜県の酪農家(臼井氏)が開発した機械である。本機の破碎機構は24枚のフリーハンマーを高速に回転させることによって、乾燥籾米を細かく破碎することができる(図3-3)。破碎機本体は非常にコンパクトであり、籾殻も細かく破碎できるが、処理能力はあまり高くない。

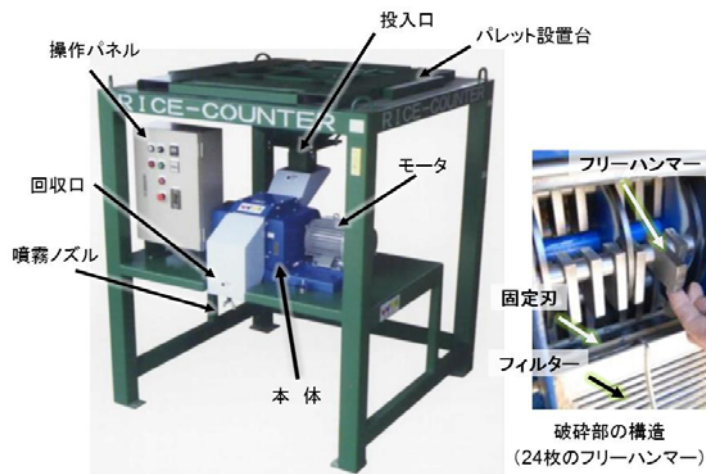


図3-3 ライスカウンターの概要(RCⅢ)と破碎部

写真提供:ウスイプロジェクト、(株)農文協 松久氏

エ その他の破砕機

その他、飼料用米挽割り機(クラッシュマスター)が実用化されている(株式会社サタケ)。本機は従来のゴムロール式粃摺り機のゴム製ロールを主軸ロールに横溝、副軸ロールに縦溝を刻んだ鉄製ロールに替えることで、玄米を挽割り加工する構造である。

現在、実用化されている主な飼料用米破砕機の主要諸元を表3-1に示す。

表3-1 主な飼料用米破砕機の主要諸元

		飼料用米破砕機 DHC-4000M	飼料用米破砕機 SH-2	飼料用米脱皮破砕機 SDH-35	ライスカウンター RC-Ⅲ
機 体 寸 法	全 長(mm)	1,710	2,100	2,830	1,480
	全 幅(mm)	1,320	860	850	1,480
	全 高(mm)	1,140	1,410	1,720	1,770
機体質量(kg)		550	155	155	430
主 電 源		三相200V	三相200V	三相200V	三相200V
モータ(kW)		7.5	3.7	3.7	3.75
破砕機構		V溝型ツインローラ	2連の破砕ファン	脱皮ファン+破砕ファン	フリーハンマー
処理能力(kg/h)		約1,200 ¹⁾	約1,000 ¹⁾	約800 ¹⁾	300~600 ²⁾
2mmメッシュ通過割合(%)		65	63	82	未測定
価 格 ³⁾		189万円	65.1万円	98.7万円	209万円

1)は含水率20%程度の生粃を破砕した時の安定作業時の実測値、2)はカタログ値。

3)はメーカー希望小売価格で平成25年9月現在の税込価格。

②既存の施設型粃殻処理機の活用

粃殻処理装置は粃殻を圧縮・破砕することで吸水性を高め、牛舎の敷料や堆肥化処理における副資材として用いるために米麦共同乾燥施設(ライスセンター(RC)、カントリーエレベータ(CE))や堆肥センターに導入されている機械である。粃殻用処理機械はそのまま、あるいは一部の改良によって飼料用米の破砕機として活用できる。そのような施設型装置の一つがプレスパンダ(粃殻膨軟処理装置)である(図3-4)。本機は特に改良することなく、1軸のスクリー刃によって、粃殻や飼料用米を圧縮・破砕することができ、粃殻処理用として全国で約700台が導入されている。

ダブルプレス(粃殻膨潤処理装置)も飼料用米の破砕用に活用できる(図3-5)。本機は粃殻処理用にプレスパンダの後継機として開発されたものであり、プレスパンダよりも所要動力は小さく、刃の摩耗も少ないのが特徴である。飼料用米の破砕に用いる場合、プレスパンダよりも破砕程度や処理能力が低い場合、破砕スクリー駆動モータを大きくするなどの改良を行えば、破砕精度の向上や、時間当たり処理能力の向上(約3t/h)を図ることができる。

なお、粃殻処理装置を活用する場合、玄米の破砕はできない。また、投入する生粃の水分含量が低い場合(22%未満程度)には、破砕機本体で一次加水する等の工夫が必要である。

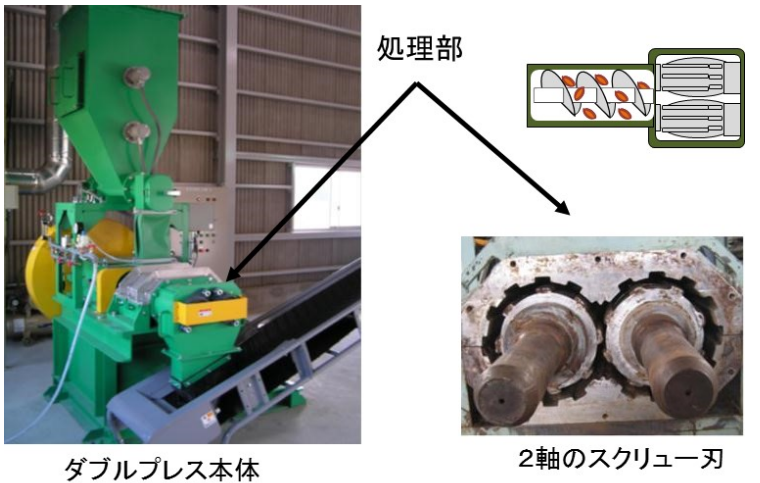
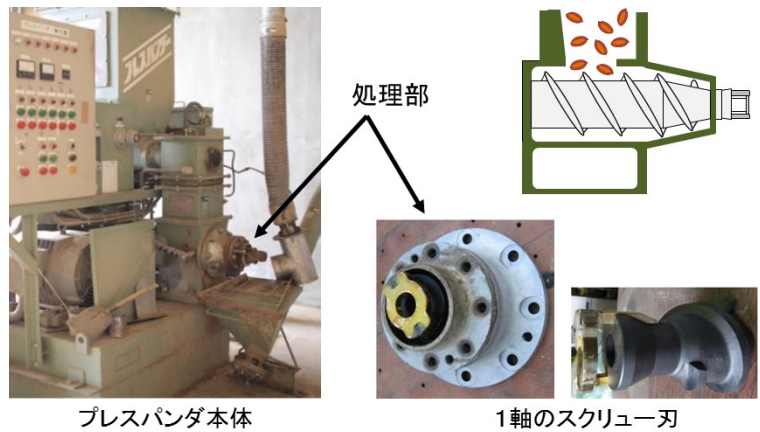


図3-5 ダブルプレス(粳殻膨潤処理装置)本体と2軸スクリーウ刃の処理部の構造

粳殻処理装置は、玄米や水分含量 22%以下まで乾燥した粳米は破碎できないことから、これらの装置は、粳米サイレージ調製の前処理に利用される((2) 粳米のサイレージ調製技術の項を参照)。

粳殻処理装置を基本機械とした粳米サイレージ調製を行うための作業フローは図3-6のようになる。原料粳米は、直接、破碎機のホッパへ投入することもできるが、連続して粳米の破碎処理を行うためには、バケットエレベータ等のホッパ部で原料粳米を一時貯留し、適時、破碎機へ投入することが望ましい。破碎した粳米はベルトコンベアで貯蔵容器(ポリエチレン製内袋を入れたフレコンバッグ)まで搬送し詰め込むが、このとき、乳酸菌製剤を溶かした水を用いて水分含量が 30%程度になるように加水する。フレコンバッグが満量になったら、掃除機等で吸引脱気し、内袋をしっかりと密封する。フレコンバッグは移動式フレコン支持枠等を用いて、次のフレコンと入れ替え作業を容易にしておくと、破碎機を止めずに連続的に作業を行うことができる。

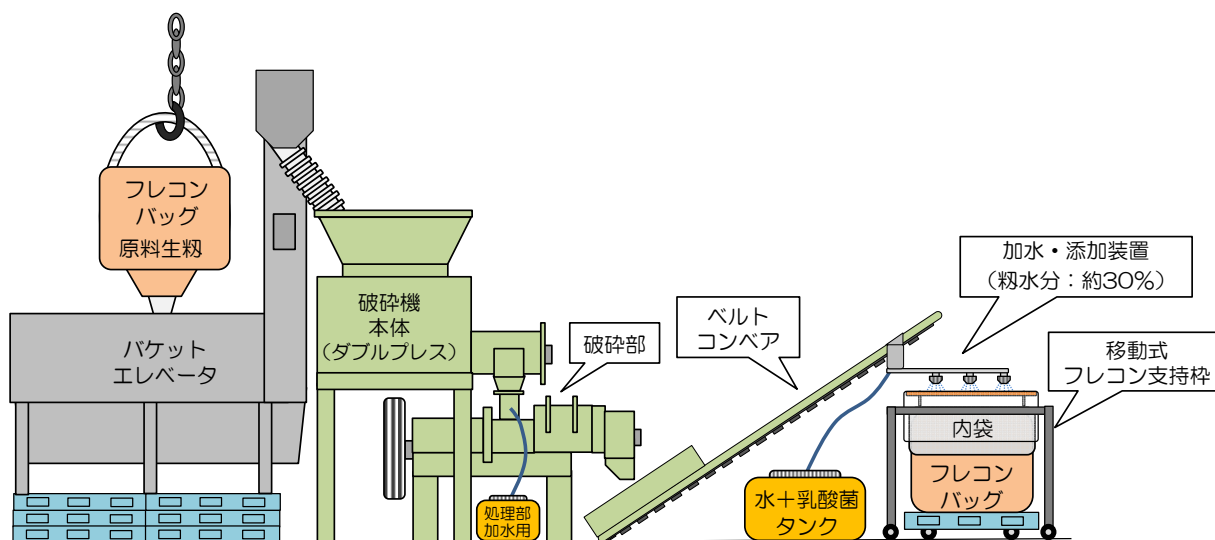


図3-6 粃殻処理装置を活用した飼料用米の破碎と粃米サイレージ調製の作業フロー図

注)原料粃米の水分含量が低い場合には、破碎部で一時的加水する必要がある。

③飼料用米の破碎に利用できる飼料工場に導入されている処理機械

押麦製造用の加工工場や飼料工場に導入されている圧ぺん処理装置は、飼料用米の圧ぺん処理も行なうことができる。蒸気で加水・加熱することによって、デンプンを α 化してから圧ぺんする処理装置もある。その他、飼料工場の粉碎機とペレット成形機を用いて、飼料用米をペレット化することもできる。ペレット化した飼料用米は圧ぺんとウモロコシ等と混合して、フレックペレット飼料として利用する研究が進められている。

(2) 粃米サイレージの調製技術

➤ 高品質サイレージを調製するためには破碎、水分調整(目標水分含量:約 30%)、乳酸菌添加、完全密封が重要である。

①粃米サイレージとは

粃米サイレージは粃を収穫した後にサイレージに調製したものである。これまでは糊熟期～黄熟期の水分含量が比較的高い時期に収穫した軟らかい粃米をサイレージに調製することが多かった(いわゆる「ソフトグレインサイレージ(SGS)」)。しかし、近年では成熟期に収穫した粃米をサイレージ化する技術が確立され、これが主流になりつつあることから、本項では主に成熟期の粃米(水分含量約 25%)をサイレージ調製する方法について記載する。

②農薬の使用について

前述のように、粃米サイレージは粃殻を含めて給与することになるので、原則として、栽培時には出穂以降の農薬散布は控える。詳しくは11-(2)項を参照する。

③成熟期収穫粳米のサイレージ調製方法

ア 破碎処理

(ア)加水処理によるサイロ内の水分のばらつき

成熟期に収穫した粳米は水分含量が25%前後まで低下しているため、サイレージ発酵を進めるためには水分が30%程度になるまで加水する必要がある。このとき、破碎処理を行わないと、加水しても粳米はほとんど吸水しないことから、加えた水がサイロ底部に溜まり、サイロ内の水分にばらつきが生じて、均一なサイレージ発酵にならず品質の低下を招く。そのため、サイレージ調製時には破碎処理が必須といえる。

(イ)破碎処理による消化性の向上効果

未破碎の粳では糞中への未消化子実排泄率が高く消化性が悪いいため、給与の面においても破碎処理が必須であり、破碎処理を行うことによって、飼料価値を高めることができる。

イ 成熟期収穫の粳米サイレージの各調製処理における発酵品質

成熟期に収穫した粳米(品種「モミロマン」)を破碎し、処理方法を変えて小規模サイレージ発酵試験法(パウチサイレージ)にて調製した60日間貯蔵後のサイレージ発酵品質を図3-7に示す。

成熟期に収穫した粳米は水分含量25%以下となるが、この水分域では乳酸含量が増加せず、pHが十分低下しないため、加水処理は必須である。また、水だけを加えて良質サイレージの目安となるpH4.1以下にするには、水分含量50%程度までの加水が必要である。一方、水に乳酸菌を溶いて加水すると、乳酸発酵が大きく進み水分含量28%程度でpHは4.1以下となる。

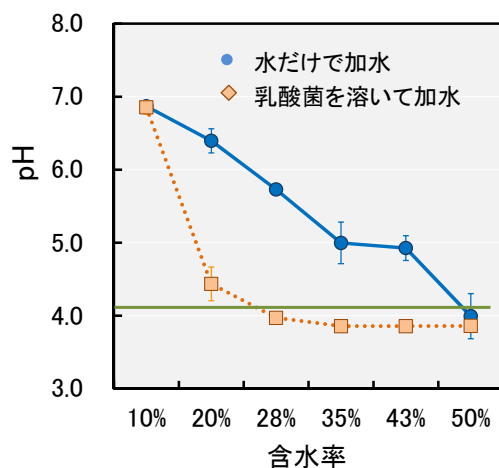


図3-7 粳米サイレージ調製方法と発酵品質

注)良質サイレージのpHの目安は4.1以下。

加水量を多くして水分含量が高くとすると、重量が増えるためハンドリング性が悪くなるとともに、栄養分を含む廃汁が漏出し栄養分の損失にもなる。乳酸菌の添加は加水量を大きく抑えることができる。加水量の目安は調整後の含水率で30%である。

以上、水分調整(調整後の含水率30%)、破碎処理、乳酸菌添加の3つを組み合わせることが粳米サイレージ調製において最適な処理である。

④ 粃殻処理装置を活用した実用規模粃米サイレージ調製の取り組み

山形県内では既存施設に導入されている粃殻膨軟処理装置(3-1)を参照)を活用した粃米サイレージ調製の取組が行われている(写真3-1)。既存の施設型装置を活用した粃米サイレージ調製の成功のポイントは、生産する側(耕種農家)と利用する側(畜産農家)の事前のマッチング、飼料用米収穫や破碎機の競合を回避するための日程調整など、地域全体を通じた連携と調整を図ることである。また、粃米サイレージが定着化するためには、サイレージ品質の安定化と調製コストの低減が不可欠である。特にコスト削減にあたっては、施設の状況に応じた原料粃の荷受け-投入-破碎-加水(乳酸菌添加)-サイロ詰め-搬出までのレイアウトを検討し、作業動線等を工夫して、効率的な作業を行うことが必要である。



写真3-1 膨軟化粃米サイレージ。

粃殻膨軟処理装置を活用した粃米サイレージ調製の取組については、以下のマニュアルを参照のこと。

「既存施設を活用した粃米サイレージ調製技術マニュアル<第2版>」

http://www.naro.affrc.go.jp/nilgs/project/jiky_pro/044768.html

⑤ 粃米サイレージ調製作業体系と低コスト運用条件

粃米サイレージの調製コストをどこまで低減できるかを明らかにするため、3-1(1)加工法の項の図3-6の作業フローの破碎機を飼料用米専用破碎機(破碎能率700 kg/h)に置き換えた場合の調製コスト試算を行った。算定条件は、作業人員2人体制、1日当たり8時間作業、30日間の調製作業を想定し、粃米処理量168 tとした。変動費、固定費を算出した結果、原料1kg当たりの調製コスト調製コストは14.1円となった(表3-2)。一方、上記④のように粃殻膨軟処理装置を粃米の破碎機として汎用利用する場合、破碎機本体が高額となるが、破碎能率が2t/hと高くなる。そのため、上記の一日当たり8時間、30日間作業において、最大で原料粃米480tの調製が可能となり、この時の調製コストは10.4円/kgとなる。

表3-2 飼料用米破碎機を用いて調製した場合の原料1kg当たりの調製コスト

内容		調製コスト (円/kg)
変動費	労働費	フォークリフト作業員 2.0 普通作業員 1.6
	資材費	内袋、フレコン、乳酸菌 5.2
	光熱水、燃料費	電気、水道料、フォークリフト燃料 0.2
	雑費	材料費等 0.9
固定費	減価償却費	破碎機、ベルトコンベア等 2.5
	修理・整備費	各機械類の取得金額の5% 0.9
	車庫費	0.3
	資本利子・租税公課・保険料	0.6
合計		14.1

・1日当たり作業時間を8時間、処理量168t(水分22%)、完成フレコン1袋当たり重量400kg、破碎機能率0.7t/hとした。
 ・減価償却費：全ての作業機は耐用年数7年とした。

表3-2の変動費、固定費を元に、調製コストと粃米処理量の関係をシミュレーションした結果を図3-8に示した。算定条件は、飼料用米専用破碎機または粃殻膨軟処理装置を使用し、作業人員二人

とした。粳米処理量が多くなるほど作業機の固定費が低減していき、全体の調製コストも安価となる。米麦共同乾燥施設等への乾燥調製委託料金を原料粳米1kg 当たり 25 円/kg とすると、1 シーズン当たり飼料用米専用破砕機利用で原料粳米を原物で 54t 以上、粳殻膨軟処理装置利用で原物 98 t 以上の処理ができれば乾燥調製委託料金よりも 1kg 当たりの調製コストが下回る。

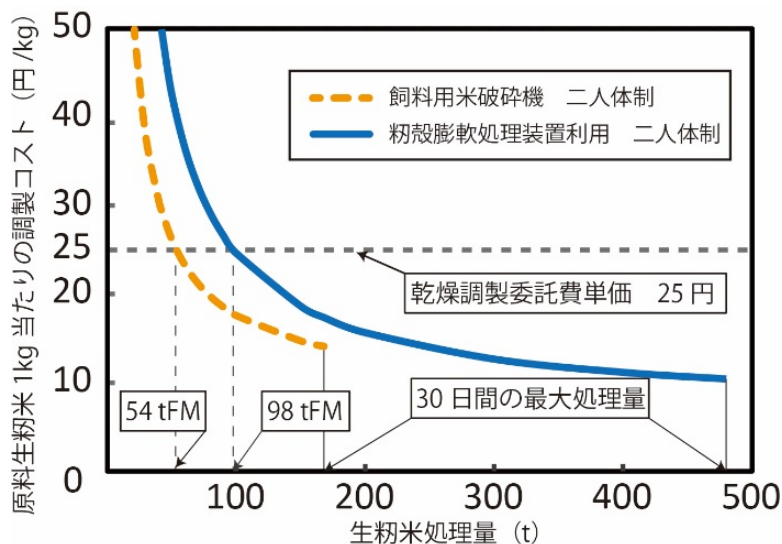


図3-8 粳米処理量と調製コストの関係

(注: 図中の「FM」は Fresh Matter(原物)の略。「98tFM」は「原物 98t」の意味。)

(3) 化学成分組成

- 粳米の CP 含量は約 7%、デンプン含量は約 66%であり、CP 含量はトウモロコシや小麦より低く、デンプン含量は同等である。
- 玄米の CP 含量は約 7%、デンプン含量は約 79%であり、デンプン含量はトウモロコシや小麦よりやや高い。

飼料用米の化学成分組成を表3-3に示した。なお、消化性や TDN 含量は家畜の種類により値が異なるため、ここでは一般的な成分組成を示すに留め、詳細は各家畜への給与の項で述べる。

粳米の粗タンパク質(CP)含量は約 7%、デンプン含量は約 66%である。これら成分を他の穀類と比較すると、CP 含量はトウモロコシや小麦より低く、デンプン含量は同等である。

玄米は、粳殻が外れているため、粳米と比較して繊維成分(粗繊維、ADFom および NDFom)含量が顕著に低く、その他の成分含量は相対的に高い。また、主要成分である可溶無窒素物(NFE)およびデンプン含量は、それぞれ約 88%および 79%とトウモロコシより高く、デンプン質飼料としてトウモロコシの代替利用が可能と考えられる。

飼料用粳米を加工した際の化学成分組成を表3-4に示した。各処理を施しても CP やデンプン含量は変動しないことが伺える。一方、繊維含量は蒸気圧ペーン処理を施すと他の処理よりも若干低下する。

これは、処理の過程でもみ殻の一部が剥離したことが一因と考えられる。

表3-3 飼料用米の化学成分組成

種類	データの 収集元	化学成分組成(乾物中%)							
		有機物	粗タンパク質	粗脂肪	NFE ¹⁾	粗繊維	ADFom ¹⁾	NDFom ¹⁾	デンプン
飼料用粳米 ²⁾	全国	95.9	6.8	2.0	78.3	9.4	12.6	18.5	66.3
飼料用玄米 ³⁾	全国	98.6	7.4	2.4	87.6	1.2	1.5	4.0	78.7
トウモロコシ ⁴⁾	米国	98.6	8.7	4.0	84.4	1.5	2.9	13.2	70.5
エンバク ⁴⁾	北海道	96.8	11.5	3.5	69.3	12.5	16.0	31.8	40.8
小麦 ⁴⁾	北海道	98.1	12.0	1.5	82.5	2.1	3.5	13.3	65.7
粳米	成分表 ⁵⁾	93.7	7.5	2.5	73.7	10.0	— ⁶⁾	—	—
玄米	成分表	98.4	8.8	3.2	85.6	0.8	—	—	—
トウモロコシ	成分表	98.6	8.8	4.4	83.4	2.0	3.6	12.5	—
エンバク	成分表	97.0	11.0	5.6	68.8	11.6	15.1	33.0	—
小麦	成分表	98.1	13.7	2.0	79.7	2.7	3.8	11.5	—

1) NFE: 可溶無窒素物、ADFom: 酸性デタージェント繊維、NDFom: 中性デタージェント繊維。

2) 飼料用粳米は多収性品種13品種「いわいだわら」「タカナリ」「ふくひびき」「べこあおば」「べこごのみ」「北陸193号」「ホシアオバ」「まきみずほ」「ミズホチカラ」「モグモグあおば」「もちだわら」「モミロマン」「夢あおば」、のべ27点を分析した平均値。

3) 飼料用玄米は多収性品種12品種「いわいだわら」「クサノホシ」「タカナリ」「はえぬき」「ふくひびき」「べこあおば」「べこごのみ」「ホシアオバ」「北陸193号」「もちだわら」「モミロマン」「夢あおば」、のべ23点を分析した平均値。

4) 上段のトウモロコシ、エンバク、小麦の成分値は、宮地らの論文(宮地ら(2010)日草誌56(1):13-19)より抜粋。

5) 成分表の値は、日本標準飼料成分表2009年度版より抜粋。

6) 「—」はデータ無し。

表3-4 飼料用粳米の加工処理別化学成分組成

品種	加工法	化学成分組成(乾物中%)						
		有機物	粗タンパク質	粗脂肪	粗繊維	ADFom ¹⁾	NDFom ¹⁾	デンプン
ホシアオバ	無処理	95.3	7.1	1.9	8.2	11.4	18.3	63.6
	蒸気圧ぺん	95.7	7.1	2.0	6.4	9.6	16.8	66.7
	破碎(5mm)	95.6	7.1	1.9	7.6	11.1	18.3	66.0
	発芽処理	97.0	6.1	2.5	8.8	12.4	18.1	65.6

1) ADFom: 酸性デタージェント繊維、NDFom: 中性デタージェント繊維。

宮地ら(2010)

(参考資料)

- 1) (独)農研機構編(2010)日本標準飼料成分表(2009年版)
- 2) 宮地慎ら(2010)品種および加工法の異なる飼料米の第一内分解特性. 日草誌 56(1):13-19
- 3) 井上秀彦ら(2012)完熟期収穫の飼料用米の調製処理がサイレージ発酵特性におよぼす影響. 日草誌, 58(3), 53-165.
- 4) Inoue et al.(2013) Effects of moisture control, addition of glucose, inoculation of lactic acid bacteria and crushing process on the fermentation quality of rice grain silage. Grassland Science 59, 63-72.
- 5) 井上秀彦ら(2016)粳米サイレージ調製作業システムの構築およびコストシミュレーション 農業食料工学会誌 78, 86-94.
- 6) 山形県農業総合研究センター畜産試験場、他(2012)既存施設を活用した粳米サイレージ調製技術マニュアル. http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/nilgs/044857.html

飼料用米の生産・給与技術マニュアル〈2016年度版〉

平成29年3月

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

お問い合わせ先

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

〒305-0901 茨城県つくば市観音台 3-1-1

<https://www.naro.affrc.go.jp/inquiry/index.html>

編集協力

農林水産省 農林水産技術会議事務局 研究統括官（食料戦略、除染）室

〒100-8950 東京都千代田区霞ヶ関 1-2-1