

高品質な粳米サイレージの調製と給与を目指して ～成功のためのヒント その1～

はじめに

トウモロコシ子実と同等のでんぷん含量をもつ飼料用米。飼料用米を低コストな保存形態であるサイレージとして調製し、高嗜好性・高品質な大家畜向けの粳米サイレージ(注:米SGSと呼ぶ現場も多い)として活用するためのポイントは何でしょうか。本稿では、これまでに蓄積された事例や知見から、粳米サイレージ調製の成功に向けた道筋を明らかにします。

粳米サイレージ活用の最新動向やトラブルシューティングから、“技術・作業の落とし穴”を予め議論し、不安や失敗のない粳米サイレージの“あるべき姿”を描きます。この“あるべき姿”を見据えた時、重要なヒントを2つにまで絞り込むことができます。

1. 粳米サイレージ調製時に、①破碎(未破碎米を極力低減)、②加水(目標水分30%)、③乳酸菌添加(発酵促進と変敗防止)、④充填・脱気・密封処理(嫌気環境の構築と梱包資材の破損防止)、の4点への対応を徹底し、品質向上を目指しましょう。
2. “開封時”に良質な粳米サイレージ調製を達成することに加えて、“家畜に給与する直前まで”品質悪化や栄養損失に繋がる変敗防止に努めましょう。給与する際には、粳米サイレージの特性を理解し、それぞれの飼養体系に適した飼料設計も実施しましょう。

粳米サイレージの“作り手”側が高品質な粳米サイレージを調製し、持続的に供給する上で、1点目はとても重要です。2点目は、“使い手”側が安心して高品質な飼料を給与する上で必要不可欠です。どちらかの都合やニーズが優先されても歯車は上手く回りません。“作り手”と“使い手”の双方に受け入れられる姿こそが、粳米サイレージ調製・利用の核心です。

以下本文では、上記のポイントの各論を中心に、

全2回の連載形式で議論を進めます。多くの方々に受け入れられる粳米サイレージのあるべき姿を実現し、地域の水田農業と共存共栄する畜産業の発展に貢献できれば幸いです。

1. 収穫前の飼料用米の状態も大切

粳米サイレージ調製は、乳酸菌などの微生物の力を有効利用します。従って、原料の粳米に付着している微生物の動態は、調製の成否を分ける重要なポイントと考えられます。例えば、良い乳酸菌などの数が少ない一方で、悪い雑菌の数が増えている状態であれば要注意です。

通常、一見綺麗に見える粳米にも、目には見えない大腸菌群やカビなどの望ましくない微生物が低レベルで検出されることがありますが^[1]、その後のサイレージ調製技術の中で制御可能なレベルと考えられます。一方、望ましくない微生物が高レベルで発生する恐れのある稲の主要病害に対しては、適切な防除を実施することが望まれます。

私たちの研究グループでは、カビの一種を病原菌とする稲こうじ病が多発した粳米原料を用いて粳米サイレージを調製した結果、発酵品質が優れない事案を経験しています。稲の病害とサイレージ発酵との関係については、今後詳細に追究する必要がありますが、状態の良い粳米を利用した方が良いと考えられます。

生き物である家畜が食べるお米です。また、高品質な飼料を求める畜産農家が給与利用するお米です。病害虫防除に関するポイントについては、「飼料用米の生産・給与技術マニュアル〈2016年度版〉^[2]」に記載されていますのでご参照ください。また、飼料用稲の倒伏などにより、土砂が極度に混入する恐れが高い場合にも注意が必要です。

2. 粳米サイレージ調製のポイント

図1 Aに粳米サイレージ調製作業体系の例を示しました。水田利用型畜産を実践する各畜産農家単

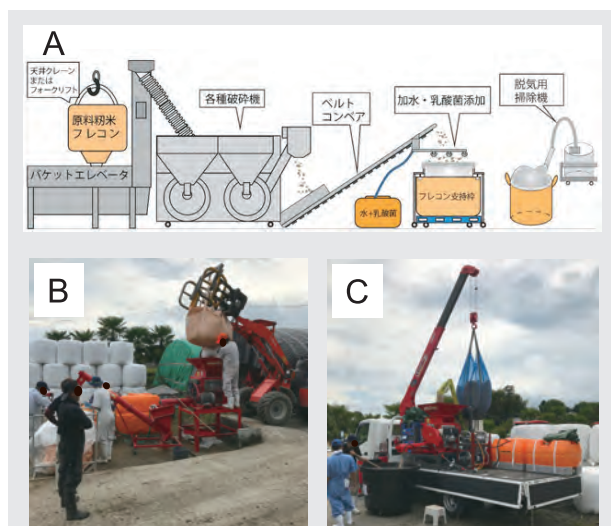


図1 稲米サイレージ調製作業体系と本技術を活用した農業現場における普及事例 (A) 調製作業体系のモデル例。①破碎②加水③乳酸菌添加④充填・脱気・密封処理を効率良く実施できるように、作業動線を考慮して機械を配置することが重要。(B) 各畜産農家単位での稲米サイレージ調製。稲米サイレージの利用による生産性や飼料費低減メリットから、調製のための設備投資を実施した和牛繁殖農家の事例。繁殖成績に悪影響なく稲米サイレージを有効利用している。(C) コントラクターを活用した稲米サイレージ調製の事例。畜産農家の庭先で出張形式でサイレージ調製する。“使い手”側の畜産農家が稲米サイレージ調製に関わる初期設備投資を必要とせずに稲米サイレージを利用できる。地域の水田や畜産農家周辺から原料の飼料用米を調達して地産地消できるケースもある。“作り手”側の1つのあり方としてコントラクター事業は重要。

位で調製作業体系を組む事例（図1B）や移動コントラクターが調製作業を引き受ける事例（図1C）もあります。作業体系を構築するに当たっては、稲米サイレージの高品質化に必要な条件ポイント（図2）を押さえて、設置場所、作業人員数および作業動線を確認し、スムーズな作業を行えるようにしましょう。

2-1. 破碎

破碎のポイントは2つです。

- ① 稲米を破碎して内部を露出させ、糖分を利用した乳酸発酵を促す。
- ② 破碎によって、家畜の消化を手助けする。

乳酸発酵における重要な“役者”は乳酸菌ですが、乳酸菌の活躍する“舞台”として適切な糖分や水分も重要です。調製時に破碎処理を行わないで加水した場合、水分は稲米にほとんど吸収されずに、サイレージ容器底部に溜まってしまいます。籾殻の構造は、外部からの容易な浸水を許さないようにできています。また、籾殻の外部に糖分はほとんどありません。内部にこそ、でんぷん等の豊富な糖分が蓄えられています。この糖分をエネルギー効率良く乳酸等に変換する技術がサイレージ貯蔵です。適切な乳



酸菌を活用した場合、サイレージ発酵による理論上のエネルギー回収率は、実に98-99%の高いレベルと言われています^[3]。

また、大家畜は堅い稲米を上手に噛み砕いて消化をすることが苦手です。未消化の稲米は糞便中にそのまま排出される恐れがあり、エネルギーロスとなります。破碎処理は**破碎機を通せば成功ではなく、未破碎米を極力低減することが大切です。**

収穫・調製時の作業効率を過度に優先せざるを得ない場合に、未破碎米が増える傾向が認められます。これは破碎機の詰まりを抑止して破碎スピードを速める必要があるからです。破碎物を手に取った時に“米粒”が目につくようであれば要注意です。また、原料の稲米の水分が高めの場合にも未破碎米が増える傾向があります。毎回同じ水分の原料を利用できるとは限らないため、原料の水分を適宜把握するなどの臨機応変な対応も有効です。

このように、未破碎米が多く混入していると、発酵品質に悪影響を及ぼすだけでなく、給与時に家畜の消化性が悪くなり、家畜が利用できるエネルギー（可消化養分総量、TDN）の低下を招く悪循環に陥ります。稲米サイレージを調製する方にとっても、給与する方にとっても望ましくありません。

飼料用米破碎機として、いくつかの機種が実用化・市販されています。また、穀物乾燥施設に設置されている籾殻膨軟化装置（プレスパンダー）なども利用されています。機種により破碎方式、能率、価格が異なるため、規模や用途に合わせた機種を選択する必要があります。詳しくは別報をご覧ください^[4]。

2-2. 加水

加水のポイントは2つです。

- ① 目標加水量の“早見表”を活用して、最終的な水分を約30%に調整する。

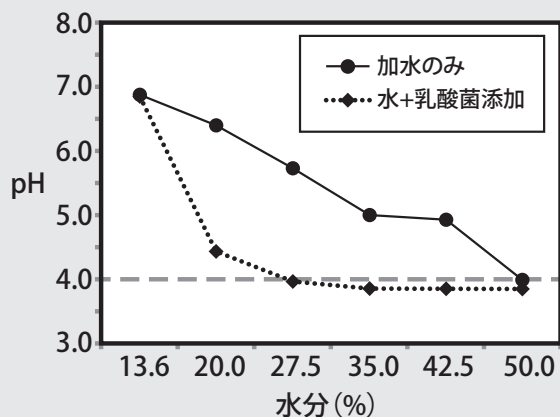


図3 調製処理を変えた破碎粉米のサイレージ発酵品質の変化（引用文献[5]の図1を改変）。水分約30%となるように加水し、乳酸菌を添加することで良質な発酵が促される。水分20%等の低水分域においては、発酵が進みにくいことにも注意が必要である。

② 偏りなく均一に加水する。

完熟期に収穫した粉米の水分は、25%以下になることもあるため、乳酸発酵を促進させるためには加水処理が必要です。図3は、粉米に破碎処理を行った後、水分、乳酸菌添加の有無を変えて実験室レベルで調製し、2ヶ月後に開封した粉米サイレージのpHの変化を示しています。水分が20%程度だとpHの低下は認められないことがわかります。一方、乳酸菌を添加し、水分27.5%以上になるように加水することで、理想的なpH4程度まで低下します^[4,5]。以上の結果から、実際の調製作業時の分かりやすい指標として、**水分約30%**を目標値と考えると良いでしょう。実規模スケールでも水分約30%程度が適切であることを確認しています^[6]。

実際の加水方法を考えてみましょう。原料粉米の水分と破碎機能率から計算して、**目標水分となるように適切な加水量を決定する**時に便利なツールが、表1のような目標加水量の“早見表”です。

まず、①破碎機の10秒当たりの破碎機能率と、②原料粉米の水分を計測します。①の能率は、破碎機から排出される破碎物を10秒間サンプリングして重量を測定します。②の水分は、市販の簡易水分測定機の利用が便利です。早見表の「列」の水分と「行」の破碎機能率の交わった点が、1分当たりの目標加水量(L/分)となります。例えば、原料粉米の水分が24%で、破碎機能率が1時間当たり1,080 kgの場合、目標加水量を1.5 L/分と決定することができます。加水量の調節方法には、流量計とバルブを組み合わせる方法やニードル弁付き流量計で調節する方法があります。

水の添加“量”に加えて、添加“方法”も大切で

表1 水分30%の粉米サイレージ調製における最適な加水量(L/分)を決定するための早見表

粉米サイレージ調製時の加水量計算表 (L/分)							
目標水分 30%		原料粉米の水分 (%)					
破碎機能率 (kg)							
		18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0
1時間当たり	10秒当たり						
720	2.0	2.1	1.7	1.4	1.0	0.7	0.3
900	2.5	2.6	2.1	1.7	1.3	0.9	0.4
1,080	3.0	3.1	2.6	2.1	1.5	1.0	0.5
1,260	3.5	3.6	3.0	2.4	1.8	1.2	0.6
1,440	4.0	4.1	3.4	2.7	2.1	1.4	0.7
1,620	4.5	4.6	3.9	3.1	2.3	1.5	0.8
1,800	5.0	5.1	4.3	3.4	2.6	1.7	0.9

す。一般的に、加水と乳酸菌液の添加（2-3を参照）は同時に行われます。原料に水や乳酸菌が添加された所とされない所が発生した場合、発酵にとってはマイナスです。乳酸菌は自由に動き回る能力がない微生物だからです。最大限の発酵能力が発揮されるように、できるだけ**均一に添加**して有効利用しましょう。水や乳酸菌液が全体的に拡がるように、散布ノズルを複数配置すると良いでしょう。

2-3. 乳酸菌添加

乳酸菌添加のポイントは1つです。

① 粉米サイレージと相性の良い乳酸菌を適量添加し、発酵を促して変敗を防止する。

図3の実験室レベルでの結果のように、加水のみでpHを4程度にするためには水分を50%まで加水する必要があります。これは、実規模スケールの調製作業では現実的ではありません。破碎処理と乳酸菌添加を行うことで乳酸発酵が促進され、加水量を抑えることができます。余分な加水は、栄養分を含む廃汁の発生や重量の増加などに繋がるため望ましくありません。

一般的に、原料の粉米に自然に付着している**乳酸菌数は他の雑菌と比べて少ない**ことがわかっています。雑菌と乳酸菌の活動は同時平行で競争的に起こりますので、数に劣る乳酸菌が必ずしも優占状況になるとは限りませんし、優占になるまでに時間がかかり、“発酵の空白期間”での変敗が心配となります。乳酸菌添加は、雑菌よりも乳酸菌の数と質をアップさせるイメージです。乳酸菌添加は迅速に乳酸発酵を促進させて、加水量を抑えることにも繋がることがわかります。

しかしながら、乳酸菌添加の有効性はどんな乳酸菌を使っても得られるとは限りません。乳酸菌は約400種類以上存在しています。それぞれ個性があり

性能が異なります。乳酸菌はどれも一緒ではありません。粃米サイレージと相性の良い乳酸菌として、現在市販されているサイレージ調製用乳酸菌「畜草2号」(図4)の利用は、有効な選択肢の1つになります。「畜草2号」は上述の“発酵促進”への貢献に加えて、“開封後の変敗防止”の付加価値も生み出します^[7]。“保存性と嗜好性に優れる”だけでなく、“開封後の賞味期限がより長い”粃米サイレージの方が、畜産農家にとって扱いやすく魅力的な飼料であるはずです(図5)。

実際の調製作業においては、加水用の貯水タンクにあらかじめ乳酸菌を溶かして添加する方法と、別途添加用の電磁ポンプを用意して添加する方法があります。粃米サイレージ調製時に、保管・持ち運びに優れる粉末状の乳酸菌を水で溶解する場合には、



図4 「畜草2号」(雪印種苗株式会社)。原料粃米10トン用希望小売価格7,000円(税別)。使用コストは約0.7円/kg原物。一般的な粃米サイレージの流通価格単価に占める「畜草2号」の使用コストは約3%。



図5 「畜草2号」を添加して調製した粃米サイレージの開封風景。東海地方で100頭以上の規模で経営する酪農家(法人)において、2017年10月にフレコンバックを利用して調製し、2018年3月に開封。開封時に粃米サイレージ天面上にカビの発生を認めず良好な発酵。育成牛や搾乳牛への給与も問題なく実施している。経営者は、地域の水田から得られる飼料用米を地域資源として活用し、水田農業の維持・発展に貢献する酪農業のあり方を目指している。

2-2で述べた目標加水量を第一優先にして、水の量を調整してください。「畜草2号」の場合には、溶解する水の絶対量よりも粃米原料10トンに対して50グラムの菌体粉末(商品1袋の含有量)が確実に添加されることを重要視します。

2-4. 充填・脱気・密封処理

脱気・密封処理では以下の3点がポイントです。

- ① 0.08ミリのポリエチレン製内袋に加えて、屋外保管では耐候性フレコンバックの利用が有効である。
- ② 脱気・密封することにより乳酸発酵の条件を整え、カビ等の発生も抑制する。
- ③ 作業条件や導入コスト次第では、フレコンラップ法や市販の密閉型簡易サイロなども有効な選択肢である。

一般的に、フレキシブルコンテナバック(フレコン)の内側にポリエチレン製内袋を装着した貯蔵容器が利用されます。市販のフレコンスタンド(四面が板状のもので、自立した状態のフレコンスタンドにフレコンバックをセットするタイプ)(図6)と移動台を用いることで、貯蔵容器の自立と移動が容易になる上、フレコンバックを支える人員も削減でき便利です。

加水や乳酸菌を添加しながら内袋へ粃米を入れた後、脱気・密封作業を行います。フレコン密封が不完全だと空気が容器内に入ってしまう、本来の発酵が弱まる可能性があります。このことで、カビや酵母が繁殖してしまうことがあるため、空気が残らな



図6 作業性の向上や作業人員の削減に役立つ自立型のフレコンスタンド

いように・再流入しないように確実に脱気・密封しましょう。フレコンバックの内袋の脱気吸引は乾湿両用の掃除機の利用が便利です。吸引ノズルを引き抜く際は、掃除機の電源を落とし吸引力が減少したところで、内袋の口を捻りながら吸引ノズルを引き抜くと空気の再流入が押さえられます。吸引後、内袋の口の捻った箇所に①ビニールテープで5 cm程度結束し（幅広のビニールテープの利用が便利で、予め一定の長さで切っておくと便利です）、②結束バンド、針金、番線あるいは空圧式クリップなどで口を閉じます。このときあまり内袋の口を捻りすぎると、捻った部分が太くなりすぎて結束バンドなどの資材が内袋をしっかりと押さえられないことがあるので注意してください。「既存の穀物用施設を活用した米粉サイレージ調製技術マニュアル〈第2版〉^[8]」にもノウハウが記載されておりますので、是非ご覧ください。脱気・密封処理は発酵調製において非常に重要な位置付けです。一連の作業効率に大きく影響を与えるポイントとなるため、事前に何回か練習することをお勧めします。

貯蔵後のフレコンバックを長期間に渡って屋外保管する場合には、紫外線などによる劣化が少ない**耐候性フレコンバック**の使用が推奨されます。また、内袋の厚さも重要です。市場で流通量の多い厚さが0.06ミリ以下の場合、作業時に穴が空きやすい上に米の鋭利な先端部で内袋の損傷を誘導する恐れがあります。逆に、0.1ミリ以上だと作業性が悪くなります。これまでの研究成果や現場事例を考慮し、**内袋の厚さは0.08ミリを推奨**しています。フレコン貯蔵の場合には、作業・貯蔵・流通時に貯蔵容器が損耗しないように注意しましょう。ネズミやカラス等の獣害対策も重要です。

充填・脱気・密封処理の負担が大幅に軽減され繰り返し利用できる市販の**密閉型簡易サイロ^[9]**や、フレコン（内袋なし）をサイレージ用ラップフィルムで梱包する**フレコンラップ法^[10]**の利用も、現場の作業性や発酵品質の向上に役に立つと考えられます。いずれも、作業人員・機械などの実施条件や導入コストを考慮して、各現場の状況にあった充填・脱気・密封処理作業を選択することが大切です。

本号では、水田利用型畜産の中核とも言える米粉サイレージの更なる利用促進に向けて、調製時における技術・作業ポイントを概説しました。実際の調製作業における疑問・不安点がある場合には、農研機構のホームページのお問い合わせフォーム

(<https://pursue.dc.affrc.go.jp/form/fm/naro001/tech>)からご相談に応じることができますので、お気軽にお問い合わせください。次号では、サイレージ調製用乳酸菌「畜草2号」の特長や効果に加えて、米粉サイレージの給与事例とその注意点についてご紹介します。

引用文献

- [1] 上垣隆一ら (2010), 飼料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.
- [2] 農研機構 (2017), 飼料用米の生産・給与技術マニュアル〈2016年版〉, http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/pub2016_or_later/files/ricm2016.pdf
- [3] Limin Kung, Jr., A review on silage additives and enzymes, <https://cpb-us-e1.wpmucdn.com/blogs.cornell.edu/dist/e/4211/files/2014/04/A-Review-of-Silage-Additives-1dj7idb.pdf>
- [4] 井上秀彦 (2017), 飼料用米のサイレージ調製方法と作業のポイント, 養牛の友, 492号 (平成29年3月号), 38-41.
- [5] H. 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.
- [6] H. Inoue *et al* (2013), Farm-scale method for producing high-quality rice grain silage, Grassland Science, 59, 226-229.
- [7] 遠野雅徳 (2016), 平成28年度自給飼料利用研究会資料, 56-64.
- [8] 農研機構 (2015), 既存の穀物用施設を活用した米粉サイレージ調製技術マニュアル〈第2版〉, http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/momimai-manual_201505.pdf
- [9] 西村慶子 (2015), 農家で調製した米粉サイレージの発酵品質, 九州農業研究発表会専門部会発表要旨集, 78, 75.
- [10] 魚住順ら (2017), フレコンラップ法を用いたSGS調製体系の実証 (1) 米粉, 日本草地学会誌, 63 (別), 61.

9月号へ続く