

# 高糖分 WCS 用稲品種向け添加剤「畜草 2 号」の開発

農研機構 畜産研究部門 飼養管理技術研究領域

遠野雅徳

## 1. はじめに

わが国の畜産における輸入飼料への依存度は極めて高い。実に、エネルギーベースで7割以上の飼料が輸入されていることから、不安定な国際飼料相場や市場供給量に影響を受けやすく、生産現場における安定的・経済的・持続的な国産自給飼料の確保が課題となっている。飼料自給率向上と遊休水田利用を目指す「水田利用型酪農」のコンセプトにおいて、稲発酵粗飼料（稲 WCS）や飼料用米サイレージの利用拡大は、我が国の風土・環境の強みを活かしつつ、生産者の経営強化に貢献するものである。

近年、高糖分・高消化性飼料用稲品種（たちすずか、たちあやか及びつきすずか）が育成され、西日本のみならず関東や東北地方にも更なる普及が期待されている。耐倒伏性・極短穂型・高糖分・高消化性・高嗜好性・高収量・刈り遅れによる品質低下を生じにくい等の優れた特長により（Matsushita et al., 2011; 河野 2011; 河野ら 2014; 画期的 WCS 用稲「たちすずか」の特性を活かした低コスト微細断収穫調製・給与マニュアル）、耕種農家と畜産農家両サイドからのニーズが高まっている。（一社）日本草地畜産種子協会による H29 年播種用の飼料用稲種子予約販売量（生産計画の3分の2数量）によれば、たちすずか（38.0 トン）は夢あおば（58.0 トン）に継ぐ第2位の販売予定量である

（<http://souchi.lin.gr.jp/seed/8.php>）。H29 年より、たちあやか（14.0 トン）の提供が同協会より始まることから、高糖分・高消化性飼料用稲品種の著しい普及の加速が見て取れる。

高糖分・高消化性飼料用稲品種や新たな栽培・収穫技術を最大限活用した後、得られた生産物のエネルギー・栄養価を維持・保存する重要工程が「発酵」である。新たな特性を有する高糖分・高消化性飼料用稲品種には、従来の飼料用稲品種とは異なる新たな発酵戦術が必要であると考えられる。本稿では、高糖分・高消化性飼料用稲 WCS の発酵や開封後の品質維持・向上において、強力なツールとなる新規乳酸菌 IWT192 株を紹介する。稲 WCS が家畜に給与され高消化される、まさにその瞬間にまで貢献することが期待できる本乳酸菌株の重要性を提案し、次世代の飼料用稲に新たな乳酸菌を添加する利点を述べたい。

## 2. 乳酸菌添加剤は発酵飼料調製技術の1つの要素

飼料調製作業における最重要ミッションは、得られた飼料生産物のエネルギー・栄養価を可能な限り損失させずに、家畜のエネルギーや栄養素として活かすことである（McDonald et al., 1991; Bolsen et al., 1996; Schroeder 2004; Muck 2010）。端的に言えば、グルコース等の糖분을乳酸・酢酸等の有機酸に変換してエネルギーを維持し、腐敗によるタンパク質等の栄養素の損失を防ぐことである。サイレージ調製は、1)収穫時期、2)水分、3)糖分、4)細断、5)密封貯蔵、6)発酵促進、7)開封後の品質制御、の各要素の最適

化を担う技術の総和により成立するものと言える。近年、これらに加えて、草地（圃場）植生維持や適切な施肥作業がなされない場合に、サイレージ品質が悪化することが明らかとなってきた（北村, 2016）。本知見は、耕畜連携による良質な堆肥等の散布や良好な圃場環境の重要性がサイレージ発酵品質にまで波及することを示唆するものである。

以上のことから、圃場管理や収穫適期を見極める生産者の技術・手腕・経験の重要性は勿論のこと、高糖分・高消化性飼料用稲 WCS 調製に対応する画期的な微細断収穫・調製技術や（高橋 2016）、以下に紹介する新規乳酸菌 IWT192 株による乳酸菌添加技術等の組み合わせの中で、高糖分・高消化性飼料用稲品種の特長を最大限に活かすサイレージ調製が大切であると考えられる。

### 3. 「高糖分飼料作物」にこそ添加剤が必要ではないかというコンセプト

～中長期貯蔵後のサイレージ開封直後に、最終的な pH 低下が認められればそれでよいのか？～

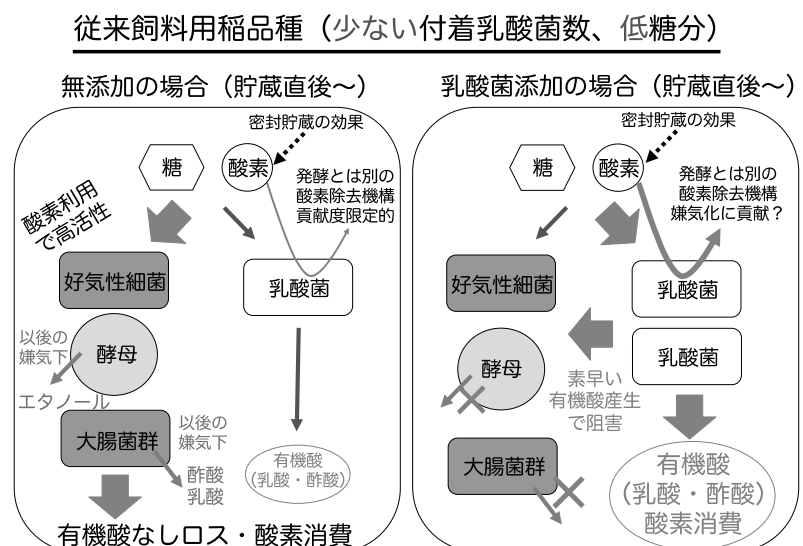
#### 3-1. 従来飼料用稲品種に付着する乳酸菌数は少なく糖含量も少ない

一般的に糖含量の少ない従来の飼料用稲品種は、上述のサイレージ調製の各要素の最適化はもとより、良質な乳酸発酵を迅速に誘導するために乳酸菌添加剤が必要であるとされている（蔡ら 2003; Tohno et al., 2012）。これは、飼料用稲に本来付着する乳酸菌数が、好気性細菌、大腸菌群および酵母等よりも少なく、本来少ない糖の利用競争において圧倒的に乳酸菌に不利であることが根拠となっている（蔡ら 2003）。

前項において、糖分を有機酸に変換することによりエネルギーを維持することがサイレージ調製の 1 つのポイントであることを述べたが、サイレージ環境の速やかな嫌気化や低 pH 化が極めて重要となる。人間の技術で十分な細断・密封を実施した場合においても、僅かな植物片間の空気層の酸素により、微生物学的な絶対嫌気条件を作り出すことは容易ではない。

仮に乳酸菌無添加で調製した場合、最終的な嫌気化に主に貢献するのは、数で優位である好気性細菌、大腸菌群および酵母等であり、糖分を有機酸に変換しない好氣的代謝により爆発的に増殖する。速やかな嫌気条件が達成されなかった場合、本影響は深刻となり、有機酸が産生されずに糖分だけが単に消失していくことによるエネルギー損失は計り知れない（図 1）。

嫌気状態が達成された後、少数の乳酸菌が利用できる糖分は枯渇しつつある状態であり、十分な乳酸



や酢酸産生が達成されず、緩慢な発酵プロセスとなる。この時、pH6.5-6.0 程度の期間が長引いた場合、植物由来プロテアーゼ活性が維持されてしまい、サイレージ中のタンパク質の損失に繋がる (Elferink et al., 2000; Schroeder 2004)。大腸菌群も pH4.5 程度まで生存可能な細菌もいることから、緩やかな低 pH 化において生存・増殖有利となり (Driehuis and Elferink 2000)、死滅した後も菌数増加してしまった死菌体由来のリポ多糖 (エンドトキシン) の過剰量摂取リスクを指摘する報告もある (Muck 2010)。大腸菌群の細菌の中には、嫌気条件下で主に酢酸や少量の乳酸産生を行うものも存在するが、産生量は乳酸菌には及ばず、結果的に十分な pH 低下が認められない稲 WCS となると考えられる。所謂、酢酸型サイレージの評価が乏しい真の原因は、この大腸菌等を起源とする酢酸生産メカニズムによるものと想定されており、酢酸以外の何らかの物質が原因となっていると考えられている (Muck 2010)。このことは、絶対ヘテロ発酵形式を示し、乳酸に加えて酢酸を生産する *Lactobacillus buchneri*<sup>ラクトバチルス ブフネリ</sup> ベースの乳酸菌添加剤において、嗜好性に負の影響を及ぼさないこと (Kleinschmit and Kung 2006; Muck 2010)、乾物当たり 5% 程度の極端な酢酸添加飼料の給与試験においても、1 日当たりの飼料摂取量や生産性に負の影響がないこと (Daniel et al, 2013) から明らかとされている。さらに、大腸菌群のリスクは、タンパク質を分解して栄養価の損失に関与することであり、分解物のアンモニアは、サイレージ中の pH を上昇させる要素となりうる (Elferink et al., 2000)。嫌気条件下における緩やかな低 pH 化は、一般に酪酸菌と呼ばれるクロストリジアの生存・増殖にも有利となり、サイレージ中のタンパク質分解や酪酸産生に繋がる (Muck 2010)。

仮に、無添加処理による中長期貯蔵により、最終的な pH の低下が見られた場合でも、その発酵過程のスピードが迅速であったかどうかの検証は、エネルギーや栄養素の維持の観点から重要であると考えられる。

一方、乳酸菌添加処理を実施した場合、貯蔵初期の酸素存在下においても、菌数で他の微生物と同等レベルとなる乳酸菌は、糖분을競合的に利用して有機酸に変換することにより、速やかなサイレージの低 pH 化を誘導する。この時、特徴的な酸素消去メカニズムにより (山本 2010)、乳酸菌は上述の好氣的代謝を行う微生物が利用する酸素も競合的に消費できると期待される。この効果は、まさに速やかな嫌気化を達成しつつ低 pH 化にも貢献するものであり、酸素存在下で糖분을消失するだけの好氣的代謝を抑制することができると考えられる。

以上のことを要約すると、「数の少ない乳酸菌を添加して補うことにより、好気性細菌、大腸菌群および酵母等によるエネルギーロスを伴う嫌気化を抑制し、発酵による有機酸生成を通して迅速な低 pH 化に貢献する」ということになる。従来の飼料用稲品種は、一般的に酪酸発酵型になりやすい傾向もあるが、これら諸問題の解決・緩和手段として「畜草 1 号」や「畜草 1 号プラス」が開発されている (稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル第 6 版)。

### 3-2. 高糖分・高消化性飼料用稲品種に付着する乳酸菌数も少なく好氣的変敗リスクが高い

高糖分・高消化性飼料用稲品種も、従来品種と同様に本来付着する乳酸菌数は少ない。茎葉における高糖分の特長から、発酵に利用される糖分は比較的担保されていると考えられるが、乳酸菌無添加の場

合、少数の付着乳酸菌だけが選択的・優先的に高糖分の恩恵を受けられるとは考えられず、密封保存後の僅かな酸素存在下における好気性細菌、大腸菌群および酵母等による好氣的代謝リスクは、上述の従来品種と同様であると考えられる。それでも、トウモロコシ等と同様に高糖分であるために、貯蔵直後から嫌気条件の確立する時期において、少数の乳酸菌が徐々に増加し、発酵により有機酸を産生して低 pH 化を緩やかに誘導する確率が高いと考えられる (図 2)。

しかしながら、従来品種の場合でも述べた通り、緩慢な発酵プロセスによる望ましくない微生物の繁殖や、エネルギー・栄養素の損失リスクは残っている。

嫌気条件に移行し、緩やかながらも低 pH 環境が確立しつつある間、一般的に高糖分飼料作物において認められる乳酸主体型サイレージにおける最大の微生物リスクは、好氣的変敗を誘導する酵母の増加である。酵母は、有機酸系添加剤による初発 pH の低下時や高糖分飼料作物の発酵飼料中において著しく菌数・活性が高まるとされる (Elferink et al., 2000)。発酵過程においても糖分が残存しているために、酵母は好氣的代謝からアルコール発酵へと生き残り戦術を切り替え、嫌気条件下でも活性を維持する。また、強酸性条件下 (pH3.5 等) においても生存・増殖可能である性質から考えても (Muck 2010)、単純な「嫌気化」や「乳酸による低 pH 化」では制御不能である。

一般に、低 pH 環境においては、乳酸菌等の細菌の活性は低下する。発酵の進展による低 pH 環境が確立した場合、他の細菌の活性が低下しているために、酵母にとっては比較的有利な状況となる。そして、高い菌数を維持した状態でサイレージ開封の時を迎えることとなる。開封・密封トラブル後に酸素が利用できるようになると、糖分を消費する好氣的代謝や、乳酸を消費する代謝によりエネルギーを獲得する (Muck 2010)。開封後の糖分や乳酸の消失は、高糖分・高消化性飼料用稲 WCS の特長とも言える高エネルギーの損失に繋がり、pH 上昇に伴う他の望ましくないカビ等の微生物の繁殖も誘導する。

生産者が好氣的変敗を感知する前に、家畜に給与を行うことも取り組むべき重要な施策と考えられるが、著しい発熱は好氣的変敗の結果として最終感知できるものであり、開封直後から酵母によるエネルギー損失に繋がる代謝活動は着々と進行すると考えられる。高糖分・高消化性飼料用稲 WCS をフレッシュ TMR や発酵 TMR として二次利用する場合にも、調製・給与までに酸素暴露時間が生じ、TMR への酵母の移行も懸念される。さらに、好氣的変敗を誘導する酵母の多量摂取は、ルーメン内の NDF 消化率の悪化に繋がることが報告されており (Santos et al., 2015)、高消化性の特長にも悪影響を与えるリスク要因となると危惧されることから、新規乳酸菌添加剤の開発による根本的な問題解決の必要性が考

## 高糖分飼料用稲品種 (少ない付着乳酸菌数、高糖分)

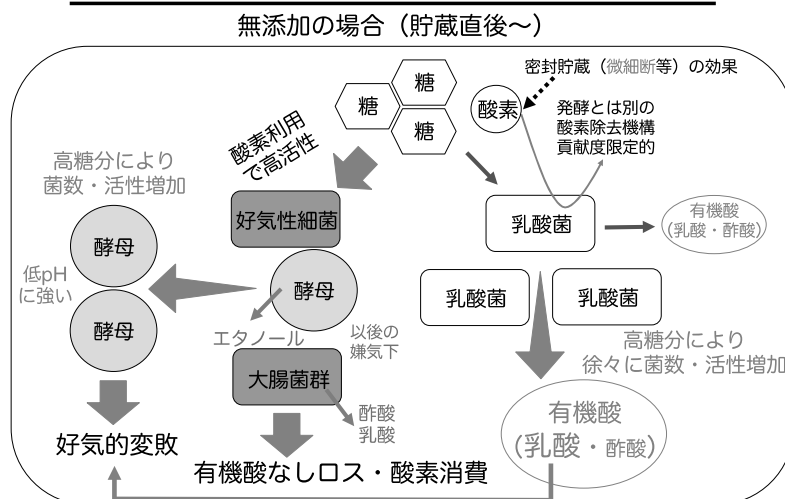


図 2. 飼料用稲に付着する各種微生物の代謝・発酵・酸素消費機構から想定される貯蔵直後の稲 WCS の微生物活動。

～高糖分・高消化性飼料用稲 WCS の乳酸菌無添加調製の場合～

られた。

#### 4. 「畜草 2 号」の目指したゴール～低温増殖能と好気的変敗制御能～

高糖分・高消化性飼料用稲 WCS の優れた特長が、家畜に給与され高消化される、まさにその瞬間まで維持されるためにも、上述の迅速な発酵促進や好気的変敗の制御が必要不可欠である。また、高糖分・高消化性飼料用稲品種である「たちすずか」は、出穂期が極晩生であり、晩秋の比較的気温の低下した時期に収穫・調製し、初冬に発酵ステップを進展せざるを得ないケースもある。

以上の問題の解決に繋がる好気的変敗制御能と低温増殖能をダブルで併せ持つ乳酸菌として、寒冷地において製造された国産自給粗飼料主体

の TMR 抽出液を 4℃条件下で培養した培地より、*Lactobacillus buchneri* IWT192 株を分離・選抜した (図 3)。4℃条件下における本乳酸菌株の培養試験を行った結果、同種異株である *Lactobacillus buchneri* JCM 1115<sup>T</sup> 基準株やサイロ SP 株 (旧市販製品サイロ SP 使用株) には認められない低温増殖能を見出した (図 4)。本増殖能は *Lactobacillus plantarum* FG1 株 (畜草 1 号株) においても認められなかった。以上のことから、IWT192 株の低温増殖能は、*Lactobacillus buchneri* 基準株や各種従来市販品使用株には認められない特徴的なものであることが明らかとなった。

IWT192 株の培養により、本菌種の特徴である五炭糖や六炭糖からの乳酸及び酢酸の生成を認めた (データ未公表)。疎水的性質の強い酢酸は、低 pH 条件下では非解離型 ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) となり、1 秒間に 1 万分子以上が微生物の細胞膜を透過する。細胞内は中性 pH に維持されているため、細胞内流入した酢酸は解離型

( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) となる。この時、遊離した水素イオン ( $\text{H}^+$ ) による細胞内 pH 低下により、微生物の成育阻害が誘導される (松下 2012)。乳酸は低 pH 条件下では既に解離型であるため、酢酸のような生育阻害効果は得られないものの、IWT192 株の発酵による有機酸産物には酢酸が含まれることから、高い好気的変敗制御能が期待された。

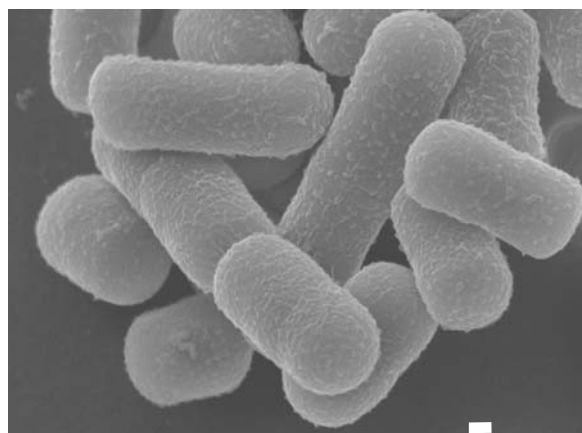


図 3. 新規乳酸菌 IWT 192 株の走査型電子顕微鏡写真。スケールバーは 100 nm を示す。

*Lactobacillus buchneri*

IWT192 株を分離・選抜した (図

*Lactobacillus buchneri*

3)。4℃条件下における本乳酸菌株の培養試験を行った結果、同種異株である *Lactobacillus buchneri* JCM 1115<sup>T</sup> 基準株やサイロ SP 株 (旧市販製品サイロ SP 使用株) には認められない低温増殖能を見出した (図 4)。本増殖能は *Lactobacillus plantarum* FG1 株 (畜草 1 号株) においても認められなかった。以上のことから、IWT192 株の低温増殖能は、*Lactobacillus buchneri* 基準株や各種従来市販品使用株には認められない特徴的なものであることが明らかとなった。

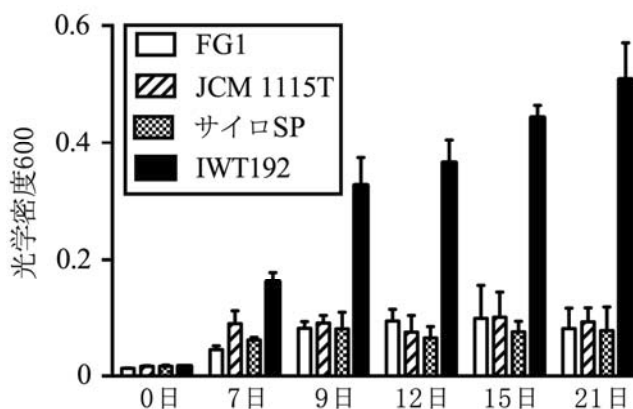


図 4. *Lactobacillus plantarum* FG1 株 (畜草 1 号株)、*Lactobacillus buchneri* JCM 1115<sup>T</sup> 株 (基準株)、サイロ SP 株 (旧市販製品サイロ SP 使用株) 及び IWT192 株の 4℃条件下の de Man, Rogosa and Sharpe 培地における増殖。すべての菌株を 4℃で 7、9、12、15 及び 21 日間培養した。光学密度 600 を測定することにより菌体の増殖を評価した。

さらに、<sup>ラクトバチルス ブフネリ</sup>*Lactobacillus buchneri* JCM 1115<sup>T</sup> 基準株、サイロ SP 株、IWT192 株の比較ゲノム解析の結果、JCM 1115<sup>T</sup> 基準株やサイロ SP 株のゲノム上には認められない特徴的なオルソログ遺伝子（同一祖先遺伝子）が数多く存在することが明らかとなった（データ未公表）。以上の事実は、<sup>ラクトバチルス ブフネリ</sup>*Lactobacillus buchneri* 同種内であっても、異なる菌株レベルで極めて高い多様性が存在することを示唆するものであり、IWT192 株でのみ認められる低温増殖能や好気的変敗制御能等の有益表現型を司る特有遺伝子の存在が期待された。

## 5. 「高糖分・高消化性飼料用稲 WCS」「同 WCS を二次活用したフレッシュ TMR」「飼料用米サイレージ」調製への「畜草 2 号」の活用

高糖分・高消化性飼料用稲の代表格である「たちすずか」WCS への IWT192 株添加調製により、無添加調製よりも 1) 冬場の発酵スピードの改善効果、2) 春以降のカビ発生・廃棄率の低減効果が顕著に認められた（河野 2016）。以上の事実は、IWT192 株の上述の有益機能により、極晩生の「たちすずか」WCS をカビの発生を低減しつつ良質に調製し、通年給与することが可能であることを意味する。また、「たちすずか」WCS の優れた特長を活用し、和牛肥育牛用としてβ-カロテン含量を低下させた冬場の WCS 調製・給与技術（画期的 WCS 用稲「たちすずか」の特性を活かした低コスト微細断収穫調製・給与マニュアル）の基盤ともなるものである。

前項において、高糖分・高消化性飼料用稲 WCS における開封・密封トラブル後の高い好気的変敗リスクを指摘したが、従来品種よりも極短穂系品種において、開封後の好気的変敗発生程度（早い発熱開始時間や高い発熱温度）が深刻であるとの生産現場の声が実際に多く認められた（河野 2016）。IWT192 株添加により、ロールベールサイロのみならずバンカーサイロにおいても開封後の顕著な品温上昇が抑制され、酵母数低減等の高い好気的変敗制御能が実証された（河野 2016）。また、関東地域で栽培・調製された「たちすずか」「つきすずか」WCS についても、同様の品質改善効果が認められた（データ未掲載）。以上の効果は、小規模農家等におけるロールベール開封後の健全で良好な発酵飼料消費に貢献するものであり、高糖分・高エネルギーの特長を発酵後にも堅持するものである。また、好気的変敗の原因となる一部の酵母による NDF 消化率の悪化例が報告されていることから（Santos et al., 2015）、好気的変敗を感知する前に給与完了する大規模農家等においても、高消化性の「たちすずか」WCS の消化率悪化を回避するコンセプトにおいて、酵母数を低減できる IWT192 株に着目する意義は大きいと考えられる。まさに、IWT192 株の有効利用により、生産農家の規模の大小や好気的変敗の感知の有無を問わず、家畜に給与され高消化される局面まで高糖分・高消化性飼料用稲 WCS の特長を最大限に活かせることが期待できる。

さらに驚くべきことに、IWT192 株を添加した「たちすずか」WCS ロールベールをフレッシュ TMR として二次活用した場合にも、高い好気的変敗制御効果は維持され、フレッシュ TMR の品温上昇を顕著に抑制することが明らかとなった（河野 2016）。本結果は、大規模化や高齢化が進行している現在の養牛農家をサポートする TMR センターにおいて、IWT192 株添加高糖分・高消化性飼料用稲 WCS の更なる有効活用を期待できる成果である。

IWT192 株の低温増殖能や好気的変敗制御能の有用性は、冬期貯蔵期間を含む飼料用米サイレージ調製・貯蔵試験においても認められている。飼料用米「べこごのみ」粳米を既報の最適な飼料用米サイレージ調製条件（加水・破碎・乳酸菌添加等）（井上ら 2012; Inoue et al., 2013a; 2013b）に従って、実規模フレコンバックにてサイレージ調製した。貯蔵後に開封し、開封後の IWT192 株の好気的変敗制御能を検討した結果、IWT192 株添加区では、開封直後から開封後 8 日目までのすべて調査期間において良好な発酵品質を示しただけでなく（データ未掲載）、開封後の品温上昇を抑制することが明らかとなった（図 5）。IWT192 株を用いた好気的変敗防止技術により、飼料用米サイレージ開封後の安定性が向上するため、給与期間中の変敗抑制による飼料廃棄率・エネルギーロス低減に貢献できる。また、一度に梱包貯蔵する量を増加できることによる貯蔵コスト削減にも寄与できると考えられる。

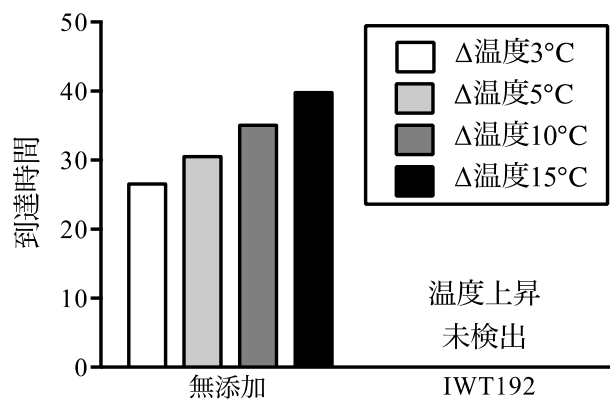


図 5. 飼料用米サイレージ開封後の各 Δ 温度上昇に至るまでの到達時間。開封直後から開封後 8 日まで品温を計測した。Δ 温度（サイレージ温度－環境温度（約 21°C））。

## 6. おわりに

IWT192 株は高い生存活性を維持した粉末状の製剤として最適化され、雪印種苗株式会社より「畜草 2 号」として実用化・市販化されている。また、従来の「畜草 1 号プラス」も主に従来品種向けとして有効活用が可能である。畜草 1 号株が主に行うと考えられるホモ発酵形式も、IWT192 株が行うヘテロ発酵形式も、飼料材料を発酵飼料に調製した際の理論上のエネルギー維持率はほぼ 100% である (Kung L Jr., 1998)。稲 WCS に有用な各種乳酸菌添加剤を活用して、迅速に嫌気化と低 pH 化を促進することにより、良質で高いエネルギー・栄養価が保存されたサイレージ調製が可能であると思われる。

微生物株の生存活性維持の観点において、培養液や培養物の「生」の状態での微生物株を長期保存（流通）させることは極めて困難である。また、単一微生物を純粋培養することは、高い技術力・設備力・経験値が求められ、1905 年にノーベル賞を受賞したドイツの細菌学者ロベルト・コッホから脈々と続く技術の集大成とも言える。微生物株を高い生存活性を維持した状態で安定的に長期保存（流通）させるために、乾燥保存法や凍結保存法（-80°C 以下）が一般的に用いられている。農業生産現場を考慮した場合、直射日光や高温多湿を避けるだけで比較的簡単に保管・使用可能な粉末サイレージ用添加剤は、製造上高い培養・乾燥技術やコストが必要不可欠なものの、ユーザーにおいて高度な微生物培養技術や設備力・労働力を確保する必要がなく、生産農家の規模の大小を問わず誰でも比較的簡便に活用できると考えられる。

「水田利用型酪農」の核心とも言える稲 WCS や飼料用米サイレージ等の国産自給飼料の更なる利用促進に向けて、「畜草 2 号」が発揮する稲 WCS 開封前後の優れた品質維持・向上効果により、多くの生

産現場において良質な国産自給飼料の確保や経営体強化に繋がることが期待される。

## 7. 謝辞

本稿で紹介した研究内容は、農研機構畜産研究部門、広島県立総合技術研究所畜産技術センター（主に河野幸雄氏および福馬敬紘氏）および雪印種苗株式会社（主に北村亨氏および本間満氏）との共同研究により得られた。乳酸菌の収集・分離は、増田隆晴上席専門研究員（岩手県農業研究センター）の協力を得て行った。関東地域における「たちすずか」「つきすずか」WCSの調製・評価は、篠原正明氏（埼玉県本庄農林振興センター）、大宅秀史氏および渡辺喜正氏（埼玉県農業技術研究センター）の協力を得て行った。IWT192株を含む乳酸菌のゲノム解析は、谷澤靖洋氏および有田正規教授（国立遺伝学研究所）の協力を得て行った。IWT192株の電子顕微鏡解析は、小林勝氏（農研機構動物衛生研究部門）の協力を得て行った。飼料用米サイレージ調製試験は、井上秀彦氏、川出哲生氏および宮地慎氏（農研機構畜産研究部門）と共同で実施された。畜草2号の応用研究に関する助言を野中和久氏（農研機構畜産研究部門）並びに浦川修司氏（農研機構 [現山形大学農学部附属やまがたフィールドセンター教授]）より頂いた。ここに深甚なる感謝の意を表す。本研究の一部は、農研機構運営費交付金およびJSPS科研費により実施された。

## 引用文献

- Matsushita K. et al., (2011) 'Tachisuzuka', a new rice cultivar with high straw yield and high sugar content for whole-crop silage use. *Breeding Sci.*, 61: 86-92
- 河野幸雄, (2011) 極短穂性飼料イネ品種「たちすずか」と摘穂処理した普通品種イネの類似性. *日草誌*, 57 別: 105
- 河野幸雄ら, (2014) 飼料イネ品種「たちすずか」によるホールクロップサイレージの栄養価と第一胃内分解性. *日草誌*, 60 (2): 91-96
- 画期的 WCS 用稲「たちすずか」の特性を活かした低コスト微細断収穫調製・給与マニュアル.  
[http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/pamphlet/tech-pamph/index.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/index.html)
- McDonald P. et al., (1991) *The biochemistry of silage*, Second edition, Chalcombe Publications, Bucks, pp340.
- Bolsen K.K. et al., (1996) Silage fermentation and silage additives - Review -. *Asian Australas. J. Anim. Sci.*, 9(5): 483-494
- Schroeder J.W., (2004) *Silage Fermentation and Preservation*, NDSU EXTENSION SERVICE, AS-1254,  
<https://www.ag.ndsu.edu/pubs/ansci/dairy/as1254.pdf>
- Muck R.E., (2010) Silage microbiology and its control through additives. *R. Bras. Zootec.*, 39: 183-191
- 北村亨, (2016) 良質な牧草サイレージを調製するために～草地管理から収穫・調製まで～. *牧草と園芸*, 64(2):19-23
- 高橋仁康, (2016) 高糖分 WCS 用稲品種向け微細断収穫・調製体系, 平成 28 年度自給飼料研究会「飼料畑



- 及び水田の高度利用による自給飼料生産」講演要旨
- 蔡ら, (2003) 飼料イネサイレージ調製への乳酸菌 (*Lactobacillus plantarum* 畜草 1 号) の利用. 日草誌, 49(5):447-485
- Tohno M. et al., (2012) Strain-dependent effects of inoculation of *Lactobacillus plantarum* subsp. *plantarum* on fermentation quality of paddy rice (*Oryza sativa* L. subsp. *japonica*) silage. FEMS Microbiol. Lett., 337(2): 112-119.
- Elferink S.J.W.H.O., et al., (2000) Silage fermentation processes and their manipulation. FAO Plant Production and Protection Paper, 161: 17-30
- Driehuis F. and Elferink S.J.W.H.O., (2000) The impact of the quality of silage on animal health and food safety: A review, Veterinary Quarterly, 22: 212-216
- Kleinschmit D.H. and Kung L. Jr., (2006) A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. J. Dairy Sci., 89(10): 4005-4013
- Daniel J.L., et al., (2013) Performance of dairy cows fed high levels of acetic acid or ethanol. J. Dairy Sci., 96(1): 398-406
- 山本裕司, (2010) 乳酸菌の酸素ストレス応答. 乳酸菌とビフィズス菌のサイエンス, 京都大学学術出版社, p213-217
- 稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル第 6 版. [http://souchi.lin.gr.jp/skill/pdf/manual\\_vol6.pdf](http://souchi.lin.gr.jp/skill/pdf/manual_vol6.pdf)
- Santos M.C. et al., (2015) Effects of a spoilage yeast from silage on *in vitro* ruminal fermentation. J. Dairy Sci., 98(4): 2603-2610
- 松下一信, (2012) 好気呼吸による「発酵」を行う酢酸菌. 生物工学, 90(6): 340-343
- 河野幸雄, (2016) 「畜草 2 号」の添加効果の実証と今後の展望, 平成 28 年度自給飼料研究会「飼料畑及び水田の高度利用による自給飼料生産」講演要旨
- 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) : 153-165.
- Inoue H. et al., (2013a) Effects of moisture control, addition of glucose, inoculation of lactic acid bacteria and crushing process on the fermentation quality of rice grain silage. Grassl. Sci., 59: 63-72
- Inoue H. et al., (2013b) Farm-scale method for producing high-quality rice grain silage. Grassl. Sci., 59: 226-229
- Kung L. Jr., (1998) A Review on Silage Additives and Enzymes. In Proceedings 59th Minneapolis Nutrition Conference, Minneapolis, MN (pp. 121-135).

平成28年度 自給飼料利用研究会 資料

編集・発行 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門  
企画管理部 那須企画管理室 企画連携チーム  
Tel. 0287-37-7005 Fax. 0287-36-6629  
〒329-2793 栃木県那須塩原市千本松 768 番地

発行日 平成28年12月5日  
印刷所 株式会社 近代工房 Tel. 0287-29-2223

本資料より転載・複製する場合は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構の許可を得て下さい。