### **读**野

# 高糖分・高消化性イネホールクロップサイレージ 調製に対応する乳酸菌「畜草2号」の紹介



#### 1. はじめに

「今までのイネホールクロップサイレージ (WCS)とは違う」。耕種・畜産農家ともに導入ニーズの高い「たちすずか」「たちあやか」に対して、生産現場における好印象が急速に広がっています。これらの高糖分・高消化性飼料用イネ品種に対する科学的理解や現場事例が蓄積されるにつれて、新たな乳酸菌製剤の開発の必要性が高まりました。新しいイネWCSには新しい乳酸菌が必要ではないか。高糖分・高消化性飼料用イネ品種の有する高い飼料ポテンシャルを調製から給与の局面まで最大限に発揮・維持させるためには、どのような乳酸菌製剤がベストなのか。膨大な乳酸菌コレクションからコンセプトにあった乳酸菌株を地道に選抜することにより、「高草2号」(図1)が開発されました。

## 2.「畜草2号」乳酸菌の特徴と期待される効果

高糖分・高消化性飼料用イネ品種を活用した高品質イネWCS調製に向けて、①晩生・極晩生の特性を示す本イネ品種は、晩秋から初冬の気温低下時に収穫調製せざるを得なくなる場合が多い、②トウモロコシサイレージと同様に「高糖分」発酵飼料に分

類されるために、適切な処置を施さない場合の開封 前後のカビや酵母による好気的変敗(二次発酵とも 呼ばれる現象)の被害リスクが高い、という2つの ポイントに着目しました。このことから、高糖分・ 高消化性イネWCSに最適な乳酸菌のスペックとし て、①低温環境下における増殖・発酵能や、②好気 的変敗抑制能に優れる菌株が求められました。

我々の共同研究チームは、以上のコンセプトに合致する低温増殖能と好気的変敗抑制能を併せ持つ乳酸菌として、 $Lactobacillus\ buchneri$ (ラクトバチルスプフネリ)畜草 2 号株を選抜しました。 4 ℃条件下における畜草 2 号株の培養試験を行った結果、同種異株であるJCM 1115 基準株やサイロSP株(トウモロコシサイレージ向け旧市販製品サイロSP使用株)には認められない低温増殖能を見出しました(図2)。本増殖能は  $Lactobacillus\ plantarum$ (ラクトバチルスプランタラム)畜草 1 号株においては認められませんでした。また、畜草 2 号株の培養

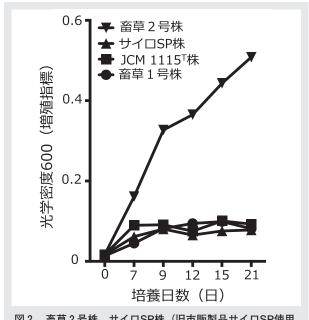


図2 畜草2号株、サイロSP株(旧市販製品サイロSP使用株)、JCM 1115<sup>1</sup>株(基準株)及び畜草1号株の4℃条件下の乳酸桿菌用培地における増殖。畜草2号株のみが低温環境下において経時的に増殖している。

により、五炭糖や六炭糖からの乳酸及び酢酸の生成 が認められ、微生物の成育阻害活性に優れる酢酸等 による高い好気的変敗抑制能が期待されました。

その後の詳細な解析により、畜草 2 号株は、4~45℃、pH3.5~8.0及び~6.5%塩化ナトリウム添加条件下で増殖可能であることが認められ、各種サイレージ発酵条件への適応を期待できる幅広い培養条件下で生育可能であると同時に、既知の同種異株とは異なる生理・生化学的性状とゲノム特徴を有するユニークな乳酸菌株であることが示されました「1〕。

5℃貯蔵条件下の小規模サイレージ発酵試験において、複数の乳酸菌株による「たちすずか」イネWCSの発酵促進効果を検討した結果、調製後3ヶ月目までに畜草2号株添加区のみがpH値4.06まで低下し、乳酸や酢酸の生成量も20℃で貯蔵したイネWCSと同等の水準になることが報告されました[2]。また、実規模レベルによる試験においても、「畜草2号」の効果は実証されています。無添加及びサイロSP株添加「たちすずか」イネWCSでは、開封後の品温が上昇し、乳酸や酢酸などの有機酸含量も減少して好気的変敗が認められたのに対して、「畜草2号」添加区では開封後の品温上昇や有機酸量減少は認められず、「畜草2号」の好気的変敗に対する優れた抑制効果が見出されました[3]。

### 3. 「畜草 2 号」による高品質イネWCS調製事例

2016年9月1日に発売された「畜草2号」は、全国各地の生産現場で広く普及が進みつつあります。 以下に「たちすずか」を中心とした「畜草2号」添加イネWCSの調製事例の一部を紹介します。

### 1) 広島県立総合技術研究所畜産技術センターおよび広島県内集落法人(庄原市)による「たちすずか」 イネWCS調製事例

「たちすずか」は倒伏しにくい上に、刈り遅れても発酵品質が安定しやすい傾向があります。従って、作業分散を図りつつ、晩秋から初冬にかけて作業コンディションが最適な日に収穫調製しやすいため、耕種農家側に大きなメリットがあります。一方、極晩生であることから、朝晩の気温低下が著しくなる晩秋収穫時に、発酵不良によるカビの発生が認められる場合があります。「たちすずか」導入の先進地である広島県では、冬期収穫(11月末から12

月)のロールベールサイレージにおいて、カビによる開封前の好気的変敗の発生が最も深刻化しました。

本問題解決に取り組むため、晩秋に「畜草2号」を添加して「たちすずか」イネWCSを調製し、冬期貯蔵を経て開封調査を行いました。「畜草2号」添加区では、無添加区と比較して、乳酸及び酢酸生成量が促進されており、より一層のpH低下が認められました(図3)。まさに低温に強い「畜草2号」の発酵促進効果が発揮されたと言えます。本発酵促進効果により、無添加区におけるカビの発生率は1ロールベール当り平均4%台であったのに対して、「畜草2号」添加区のカビ発生率は平均1%未満に改善し、カビ未発生のケースが大半を占めるまでになりました。

培養法による目では見えないレベルのカビや酵母



図3 「たちすずか」イネWCSのPHおよび有機酸含量。 試験年次:2014年。2013年10月調製。2014年4月開封。 「畜草2号」添加区は、無添加区に比べて、乳酸及び 酢酸含量が高くなり、pHの低下傾向が認められる。



図4 「たちすずか」イネWCSの微生物菌数。 試験年次:2015年。2014年10月調製。2015年4月開封。 無添加区では、カビや酵母が検出された一方で、「畜草2号」添加区ではこれらの微生物の増殖が未検出レ ベルに抑制されている。

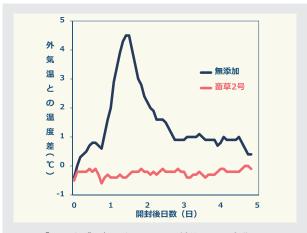


図5 「たちすずか」イネWCSの開封後の品温変化。 試験年次:2014年。無添加区では開封直後に品温が急 激に上昇し、変敗ロスが発生する。一方、「畜草2号」 添加区では品温上昇が認められない。

の生菌数を分析した結果でも、「畜草2号」の添加効果が確認されました(図4)。無添加区では、原物1グラム当りカビが1万個以上、酵母が百万個以上検出されました。この無添加区のイネWCSは、カビ様の微生物体が目視で確認できず、pH値が充分に低下し官能評価で品質良好と判断されてもおかしくないようなサンプルでした。このことからも、ロールベール内における耐酸性のカビや酵母の高い生存力がうかがえます。一方、「畜草2号」添加区では、カビや酵母が未検出レベルまで増殖抑制されていたことから、低pH化を誘導する発酵促進作用に加えて、酢酸等の抗菌性作用のダブル効果が発揮されていると考えられます。

この目に見えないレベルのカビや酵母まで顕著に増殖抑制することが、開封後の発熱を伴う好気的変敗を制御することにも繋がります。図5で示す通り、無添加区では、開封直後からサイレージ品温が上昇する場合がありますが、これは目に見えにくい酵母やカビがサイレージ中の乳酸や残存糖を消費する際に熱を発することが原因です。従って、単に発熱するだけでなく、乳酸や残存糖などのエネルギー源や栄養源が給与前に消失してしまい、膨大なエネルギーや栄養ロスとなることを意味します。驚くべきことに、「畜草2号」添加により、外気温約25℃条件下で5日間も開封後の発熱発生が抑制され、給与時までサイレージ品質が保たれることが明らかとなりました。

### 2) 大分県内イネWCS生産法人 (宇佐市) による 「たちすずか」イネWCS調製事例

大分県内のあるコントラクターでは、耐倒伏性や



図 6 開封後約2週間、外気温約22℃の条件下で好気的放置 した「たちすずか」イネWCSの外観。開封直後の黄 金色を維持しており、異臭・変敗は認められない。大 分県内イネWCS生産法人による調製。

高嗜好性を重要視する観点から「たちすずか」を中心とした飼料用稲を大規模に作付けし、高い調製技術力で地域の畜産農家や近隣のTMRセンターにイネWCSを供給しています。フォーレージハーベスタと細断型ロールベーラによる収穫調製体系において、「畜草2号」を添加した「たちすずか」イネWCSを調製し、寒さの厳しい2月下旬に発酵品質を評価しました。開封直後の発酵品質は、pH値4.07、乳酸および酢酸含量はそれぞれ0.92%原物、0.44%原物であり、極めて良好な発酵品質でした。望ましくないカビ、酵母、大腸菌の生菌数は未検出レベルである一方、原物1グラム当り100億個レベルもの乳酸菌が認められ、冬期貯蔵中の本ロールベールサイレージ中に数多くの乳酸菌が存在していることが明らかとなりました。

本事例における「たちすずか」イネWCSの好気的な品質安定性を評価するために、開封後に外気温約22℃条件下で好気的に密封せずに放置しました。その結果、約2週間もの長期間にわたり、発熱を検出せずに調査を終了できました。調査終了時点での発酵品質を評価した結果、pH値3.92、乳酸および酢酸含量はそれぞれ1.38%原物、0.55%原物となり、開封後に酸素に暴露されたにもかかわらず、高品質を維持していることが明らかとなりました。好気的放置したイネWCSは開封直後の黄金色を維持しており、カビ様の微生物体の発生も認められませんでした(図6)。

### 3) 栃木県内イネWCS生産法人(さくら市)による「たちすずか」イネWCS調製事例

栃木県内でイネWCS普及の創生期より活動する

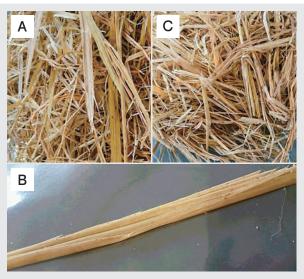


図7 フレール型専用収穫機により調製された「たちすずか」イネWCS。(A) 開封直後の外観。(B) 茎葉部の拡大写真。中空構造が押しつぶされ、気密性高く貯蔵されている様子。(C) 開封後約1週間、外気温約25℃条件下で好気的放置後の外観。異臭・変敗はなく開封直後の外観から大きな変化はない。栃木県内イネWCS生産法人による調製。

実績豊富なあるコントラクターでは、給与サイドの ニーズを充分に配慮して、これまでに食用品種から 高糖分・高消化性飼料用イネ品種の活用に大きく方 針転換をしました。「たちすずか」イネWCSの供給 により、地域の酪農家や和牛繁殖農家において高い 評価を得ています。本コントラクターにおいても、 イネWCSの更なる高品質調製による差別化を図る ために、低温期における発酵緩慢の課題を解決する 手段として、「畜草2号」を導入したWCSの周年調 製・利用に取り組んでいます。本コントラクターで フレール型専用収穫機により調製される「たちすず か」イネWCSの特徴として、不消化籾米の少ない「た ちすずか」であるものの、WCS中に籾米粒がほと んど認められず、細断長が若干長い状況でした(図 7A)。また、茎葉部が"叩かれて"、"押しつぶさ れた"状態となっており(図7B)、茎内部の中空 構造に残存しがちな空気が排除され、比較的気密度 の高いWCS調製がなされていると考えられました。

春以前の 3 月に、「畜草 2 号」を添加調製した「たちすずか」イネWCSの開封調査を行った結果、開封直後のpHは3.96まで低下しており、極めて良好な発酵品質を示しました。カビ、酵母、大腸菌の生菌数は未検出レベルである一方、原物 1 グラム当り 100 億個レベルもの乳酸菌が認められ、発酵促進に寄与したことが考えられました。驚くべきことに、開封後の 1 週間、外気温約25  $\mathbb C$  の条件下で好気的放置した時のpH値は3.88であり、発熱も認められま

せんでした。WCSの外観は開封直後の黄金色と変わらず、カビなどの発生のない極めて良好な状況でした(図7C)。1週間放置後の微生物生菌数は、カビ、酵母、大腸菌とも未検出レベルを維持しており、乳酸菌数は原物1グラム当り10億個の高レベルを維持していました。

#### 4) 埼玉県農業技術研究センター、埼玉県本庄農林 振興センター、埼玉県内イネWCS生産法人(美里 町) による「たちすずか」イネWCS調製事例

埼玉県では、これまでイネWCS調製に精力的に取り組む事例が数多く、高い栽培・調製技術を背景に、イネWCS調製に関わる技術革新に多大な貢献をしている屈指の地域の1つと言えます。この埼玉県において、近年、縞葉枯病抵抗性の新品種である「つきすずか」普及を見据えて、高糖分・高消化性飼料用イネ品種にシフトしたイネWCS生産・調製体系の更なる発展が期待されています。「畜草2号」の開発段階であった2014年10月に、コンバイン型専用収穫機を用いた「たちすずか」イネWCS調製に「畜草2号」を供試する実証試験を行いました。本試験は、発酵緩慢となりがちな冬季の野外貯蔵を経て、翌年の9月末までの約1年間貯蔵し、変敗リスクが一層高まる夏季を含めた品質安定性の評価を行いました。

約1年間貯蔵後のロールベールの外観は、貯蔵当初と比べると長期の時の流れを感じるほどフィルムにしなやかさが欠け始めており、過酷な春夏秋冬の環境変化を経た貯蔵経緯が示唆されるものでした(図8)。開封後の「畜草2号」添加サンプルのpH



図8 約1年間野外貯蔵後の「畜草2号」添加「たちすずか」 イネWCSロールベル外観イメージ。厳しい野外の環 境変化を経た様子がうかがえるが、ロールベール内部 の品質は良好であった。2014年10月から2015年9月ま で貯蔵。



図 9 約 1 年間野外貯蔵後の「畜草 2 号」添加「たちすずか」 イネWCSの開封後の好気的変敗抑制。(A)「畜草 2 号」添加区の外観。開封時の良好な状態を維持。(B) 市販乳酸菌A対照区の外観。異臭や変色が発生。カビ 様の微生物体の発生有。サンプルを開封後約 5 週間、 外気温約25℃条件下で好気的放置した。

は4.15であり、高レベルの乳酸と酢酸含量が認められ、「畜草2号」を活用した高品質な「たちすずか」イネWCSの通年貯蔵・利用が可能であることが明らかとなりました。注目すべき点として、約1年間の貯蔵後にもかかわらず、望ましくないカビ、酵母、大腸菌の生菌数は未検出レベルであり、これらの微生物の増殖が認められた対照の市販乳酸菌A添加区にはない抗菌作用の発現が認められました。さらに、畜草2号添加区では、市販乳酸菌A添加区に比べて、約100倍多い乳酸菌数が認められ(畜草2号添加区:原物1グラム当り100万個レベル)、「畜草2号」添加区には高い生存性を示す乳酸菌が数多く存在していることがわかりました。

開封後の「畜草2号」添加サンプルを外気温約25℃の条件下で好気的放置した結果、約5週間経過しても明確な発熱は認められず、サイレージ外観も開封時の良好な状態を維持していました(図9A)。一方、市販乳酸菌A添加区では、開封後約24

時間以内に急激な発熱上昇ピークを伴う好気的変敗 の発生が認められる場合があり、変敗による明確な 変色やカビ様の微生物体の大発生が認められました (図9B)。

### 5) 栃木県内イネWCS生産法人 (那須町) による 「たちすがた」 イネWCS調製事例

「たちすがた」は長稈で茎葉重の多い従来の茎葉タイプの飼料用イネ品種であり、高糖分・高消化性飼料用イネ品種のグループには属しません。近年は、収穫時期における天候不良や作業圃場面積の拡大などにより、従来品種であっても収穫適期から刈り遅れ気味となり、晩秋などの朝晩の気温低下が著しくなる時期にやむを得ず収穫調製がずれ込んでしまうケースがあります。この様なケースでは、低温環境下における増殖・発酵能に優れる「畜草2号」が有効な場合があります。

栃木県北部で地域の飼料供給に重要な役割を果たしているあるコントラクターにおいて、徐々に気温が低下しつつある10月に、汎用型収穫機を活用して「たちすがた」に「畜草2号」を添加して収穫調製しました。寒さの厳しい翌年1月中旬に、雪を被った状態で野外保管されていたロールベールサイレージ(図10)を開封し、発酵品質を調査しました。その結果、pH値は既に3.99まで低下し、Vスコア値も99点の高評価のイネWCSが調製されていました。本pH値は、本地域のイネWCSの品質高度化のために実施された十数点のイネWCSの品質高度化のために実施された十数点のイネWCSの地域内比較調査において、最も低いものでした。本WCSをTMRとして給与した酪農家の評価も高く、嗜好性にも優れているとの聞き取り調査結果が得られました。



図10 「畜草2号」添加「たちすがた」イネWCSの冬季の野 外貯蔵中のイメージ。冬季中にもかかわらず、「畜草 2号」添加により、充分なpH低下が認められた。栃 木県内イネWCS生産法人による調製。

#### 4. おわりに

本稿では、「畜草2号 | 乳酸菌の特徴に加えて、 ロールベール貯蔵体系における「たちすずか」など の「畜草2号」添加高品質イネWCSの調製事例を 紹介しました。「畜草2号」により、イネWCSの高 品質調製のみならず、畜産農家における通年利用や 開封後の安定利用が加速することが期待できます。 本稿では紹介できませんでしたが、「畜草2号」と 汎用型微細断飼料収穫機を活用した高品質・低コス トなバンカーサイロ貯蔵体系[4,5]や「畜草2号」 添加イネWCSを二次活用したフレッシュTMR変敗 抑制技術[5]など、「畜草2号」の関連波及技術も 創成・提案されています。高糖分・高消化性飼料用 イネ品種の様々な特長に加えて、本稿で紹介した高 糖分イネWCSと「畜草2号」の融合技術のメリッ トを通して、新たなステージに突入しつつある水田 利用型の粗飼料生産の可能性を感じていただければ 幸いです。

#### 5. 謝辞

本稿で紹介した研究内容の一部は、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および雪印種苗株式会社との共同研究により得られました。また、現地調査やサンプリングなどにご協力をくださった大分県農林水産研究指導センター、栃木県畜産酪農研究センター、埼玉県農業技

術研究センター、埼玉県本庄農林振興センターおよび那須農業振興事務所の担当者や各地域の生産者の 方々に深く御礼を申し上げます。

#### 引用文献

- [1]遠野ら、新規サイレージ添加用乳酸菌 IWT192株(畜草2号株)の分離とその特徴 評価、日本草地学会誌、第63巻別、69、 2017.
- [2]河野ら、低温条件下で発酵促進効果を示すサイレージ用乳酸菌IWT192株(畜草2号株)の選抜、日本畜産学会第122回大会講演要旨、129、2017.
- [3]福馬ら、極短穂型飼料イネ「たちすずか」ホールクロップサイレージ(WCS)の好気的変敗に対する畜草2号の添加効果、日本畜産学会第122回大会講演要旨、130、2017.
- [4] 農研機構近畿中国四国農業研究センター画期 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)、2016.
- [5]河野ら、「畜草2号」の添加効果と今後の展望、平成28年度自給飼料利用研究会資料、 65-69、2016.