

トウモロコシサイレージにおける乳酸菌の役割と二次発酵抑制資材のご紹介

はじめに

トウモロコシは飼料作物の中で栄養価や収量性の優れた作物であり、北海道の一部（栽培限界地帯）を除く全国で利用されている作物で、その殆どはサイレージとして給与されています。トウモロコシはサイレージ発酵しやすい作物ですが、発酵品質改善のために多くのサイレージ用乳酸菌が市販されています。乳酸菌であれば、どれも同じだと思われがちですが、使われている乳酸菌の種類によって目的が異なります。今回は、サイレージ用乳酸菌の種類と目的に応じた使い分け、トウモロコシサイレージで問題となりやすい二次発酵の抑制資材についてご紹介します。

1. サイレージに利用されている乳酸菌の種類

現在、日本国内で流通しているサイレージ用添加物は、大きく分けて3つのグループに分類できます（表1）。第1グループは乳酸発酵を促進するタイプで、乳酸菌や乳酸菌のエサとなる糖分、植物の繊維を分解して糖分を供給する繊維分解酵素などが含まれます。乳酸菌によりサイレージ中で多くの乳酸を生成させて、サイレージのpHを下げて酸性にすることで腐敗に関わる雑菌を抑えます。

第2グループは不良発酵を抑制するタイプで、ギ酸のような強酸を直接添加することで、サイレージを酸性にして雑菌を抑えます。第3グループはサイロを開封した後、空気が入ることによって起こる二次発酵（好气的変敗）を抑制するタイプで、酵母に対する抗菌作用のある酢酸を出す乳酸菌やプロピオン酸などが含まれます。表2に第1グループと第3グループで利用されている乳酸菌の種類を整理しました。

一口に乳酸菌といっても様々な環境に多種多様な乳酸菌が存在します。ヨーグルトやチーズなど乳製品の発酵に関わるもの、人や動物の腸内に存在するもの、漬物など植物の発酵に関わるものなど用途や

環境に応じて適した乳酸菌の種類は異なります。第1グループの乳酸菌は、とにかくサイレージのpHを下げるのが目的なので、求められる特性としては次のようなことが挙げられます。①ホモ型発酵を行い、糖から乳酸を最大限に生産する。ヘテロ型は糖から乳酸以外の物質も作るため、pHが下がりにくく、炭酸ガスも出すことから養分ロスもある（図1）。②耐酸性があり、pH4.0までできるだけ早く低下させる。③牧草・飼料作物に含まれている糖分（ブドウ糖、果糖、ショ糖など）を発酵するこ

表1 日本で流通しているサイレージ添加物の種類

分類	種類
発酵促進タイプ	乳酸菌
	繊維分解酵素
	でんぷん分解酵素
	糖類
発酵抑制タイプ	ギ酸
二次発酵抑制タイプ	乳酸菌
	プロピオン酸

表2 日本で流通しているサイレージ用乳酸菌の種類

分類	菌種
発酵促進タイプ	ラクトバチルス・プランタラム
	ラクトバチルス・ラムノーサス
	ラクトバチルス・カゼイ
	ラクトバチルス・バラカゼイ
	ラクトコッカス・ラクティス
	エンテロコッカス・フェシウム
	ペディオコッカス・アシディラクティシ
	ペディオコッカス・ペントサセウス
	二次発酵抑制タイプ
	ラクトバチルス・プレビス

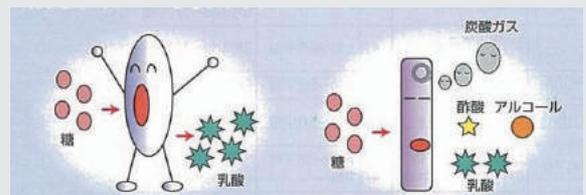


図1 乳酸菌のホモ型発酵とヘテロ型発酵
ホモ型発酵 糖から効率よく乳酸を生成する。
ヘテロ型発酵 糖から乳酸以外の物質も生成し、炭酸ガスも出すことから養分ロスになる。

図1 乳酸菌のホモ型発酵とヘテロ型発酵

とができる。④生育温度範囲が広い（日本は南北に長く、気温の季節変動が大きい）。⑤低水分含量の材料にも生育することができる（ロールラップサイレージは水分が低い場合がある）。

第3グループの乳酸菌は、雑菌の中でも酵母やカビを抑えて二次発酵を抑えることを目的としているため、酵母・カビに抗菌作用のある酢酸を出すという特長がある一方で、ヘテロ型発酵であるという短所もあります。

2. 乳酸発酵促進タイプ乳酸菌の効果

トウモロコシは他の飼料作物に比べて乳酸発酵しやすい材料なので、無添加でもpHが低下し、良好な発酵品質になる場合が多いのですが、乳酸菌を添加する意味はないのでしょうか？ トウモロコシサイレージの栄養価に着目した大学での研究成果¹⁾を一部抜粋してご紹介します。弊社の旧製品（スノーラクトLアクレモ）で実施した試験ですが、サイレージの発酵品質は、無添加、アクレモ添加とも大きな差はなく、どちらも良質でした（表3）。しかしサイレージの化学成分やヒツジを使った消化試験では、アクレモ添加サイレージの方が粗蛋白質、粗脂肪、NFE（可溶無窒素物：デンプン、単少糖など）含量や消化率が高く、栄養価（TDN）は無添加に比べて、改善される傾向を示しました（図2）。

サイレージはpHを低下させることで雑菌の増殖を抑えることができます。実際に測定はしていませんが、おそらくアクレモ添加サイレージはpHが速やかに低下して雑菌の増殖を抑えたのに対して、無添加サイレージはゆっくりpHが低下したために、低下するまでの間は雑菌が活動して、タンパク質、脂肪、デンプンなどを消費して栄養価のロスに繋

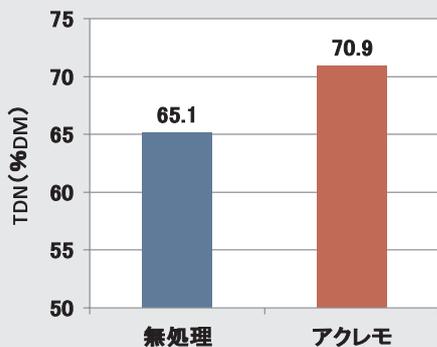


図2 トウモロコシサイレージのTDN (王ら、2009年)

がったものと思われます（図3）。

2012年から弊社のサイレージ用乳酸菌はサイマスター（ラクトコッカス・ラクティス、ラクトバチルス・パラカゼイ）という商品になっていますが、従来の乳酸菌に比べて、発酵初期段階の増殖に優れた乳酸菌を組み合わせているので、同様の効果が期待できるものと思われます（詳細は牧草と園芸、2012年3月号をご覧ください）。サイレージの嗜好性、食いつ込み、栄養価の改善を重視する場合は、乳酸発酵促進タイプの乳酸菌（サイマスター）をお勧め致します。

3. 二次発酵抑制タイプ乳酸菌の効果

表4は飼料作物に付着している微生物数を調査したものです²⁾、トウモロコシやソルガムなどには多くの酵母や糸状菌（カビ）が付着しています。これらの多くはサイレージのpHを下げることで減少するのですが、一部の酵母は酸性条件に強く、pHが下がっても生き残り、開封後に空気が侵入することで一気に増殖してサイレージを変敗させます（図4）。これがサイレージの二次発酵です。従って、乳酸発酵促進タイプの乳酸菌でpHを下げるだけでは十分に原因となる酵母を抑制できないのです。

サイレージで発生する有機酸のうち、酢酸や酪酸は酵母やカビに対する抗菌作用があるので、発酵品質が悪くなる（酢酸や酪酸含量が多くなる）と二次発酵しにくくなります。一方、乳酸主体の良質なサイレージは抗菌作用のある酢酸や酪酸が少ないために二次発酵しやすくなります。従って牧草サイレージに比べて発酵品質が良くなりやすいトウモロコシ

表3 トウモロコシサイレージの発酵品質 (王ら、2009年)

	無処理	アクレモ
pH	3.88	3.93
Vスコア	96.7	92.5

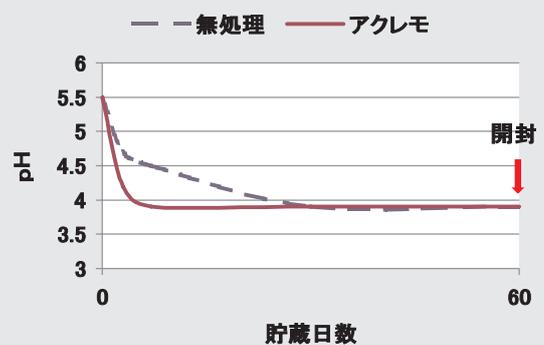


図3 トウモロコシサイレージのpH低下のイメージ図

表4 数種の材料植物¹⁾に付着している微生物数²⁾

草種	乳酸菌		好気性細菌	酵母・糸状菌
	球菌	桿菌		
トウモロコシ	7.8×10^4	4.4×10^3	3.2×10^7	8.9×10^5
ソルガム	5.1×10^4	4.1×10^3	5.6×10^6	3.5×10^5
アルファルファ	6.5×10^3	3.5×10^2	3.3×10^6	9.5×10^4
アカローバ	7.1×10^3	6.1×10^2	1.4×10^6	2.2×10^5
イタリアンライグラス	2.3×10^2	6.3×10^2	2.5×10^5	5.4×10^4
エンバク	4.3×10^2	4.1×10	8.3×10^5	6.3×10^4
ギニアグラス	2.6×10^3	3.6×10	1.2×10^6	9.9×10^4

¹⁾ 茎部。 ²⁾ cfu/g新鮮物。 (蔡ら、1994年)

サイレージは、二次発酵しやすい材料だと言えます。

この二次発酵を防ぐために、岡山大学で分離・選抜したラクトバチルス・ブクネリNK01株からサイロSPが開発されました。この菌は、乳酸を酢酸に変換することができる乳酸菌で、結果的にサイレージ中の酢酸含量が増加することから(図5)、この抗菌作用で開封後の酵母の増殖が抑えられ、二次発酵によるサイレージの発熱も遅くなります(図6)。

一方、このタイプの乳酸菌は図1で説明したヘテロ型乳酸菌なので、pHを下げる能力は弱く、ホモ型乳酸菌に比べて養分ロスがあるという短所があるので、酪酸発酵しやすい牧草は、注意が必要です。また酢酸はお酢の成分なので、酢酸含量が高くなりすぎるとサイレージが酸っぱくなることから、若干嗜好性が悪くなるという点もあります。それでも例年、トウモロコシサイレージの二次発酵でお困りの方には、このサイロSPが最適になります。

4. 二次発酵抑制資材の紹介

サイレージの二次発酵は、サイロを開封した後、空気が侵入することによって起こるので、空気と直接触れるサイレージの取り出し面が最も二次発酵しやすくなります。この開封後のサイレージ取り出し

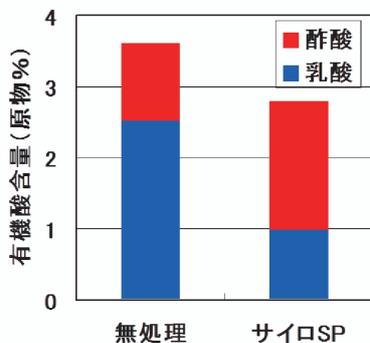


図5 トウモロコシサイレージの有機酸組成 (貯蔵期間：6ヶ月、2010年弊社調べ)



図4 二次発酵の発生と酵母の関係

面に使用する資材として、更に「サイロ消防団」と「サイロ見張番」という商品を販売しています。

サイロ消防団は、プロピオン酸カルシウムを溶かした液状の商品です。プロピオン酸には酵母やカビに対する抗菌作用があるので、バンカーやスタックサイロの取り出し面1㎡あたりサイロ消防団を200mlの割合で噴霧することで、二次発酵の進行を遅らせる効果があります。バンカーサイロのトウモロコシサイレージにサイロ消防団を処理して、3日後の酵母菌数を調査したところ、無処理に比べて菌数は1/30でした(図7)。また、スタックサイロのチモシーサイレージでも調査したところ、処理から2日後に写真左側の無処理には中段に白いカビが点在していましたが、右側のサイロ消防団処理にはカビは発生していませんでした(写真1)。

サイロ見張番は、カラシ油の香気成分(アリルイソチオシアネート)の抗菌作用を活用した商品です。中にカラシ油成分を浸み込ませたビーズが入った分包になっていて、この分包から放出されるカラシ油ガスによって、酵母・カビの増殖を抑制し、二次発酵を遅らせることができます。サイレージ取り出し面1㎡あたりサイロ見張番を2個の割合で配置し、ガスを充満させるためにシートをかけます。塔型、地下、半地下タイプのサイロで使いやすい商品になります。

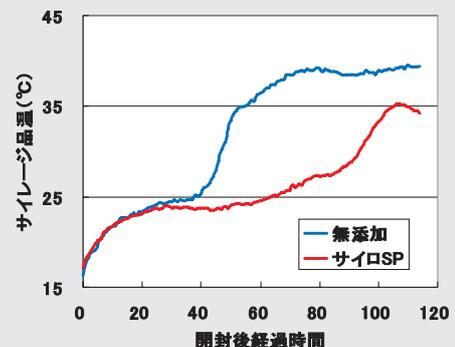


図6 トウモロコシサイレージ開封後の品温 (貯蔵期間：6ヶ月、2010年弊社調べ)

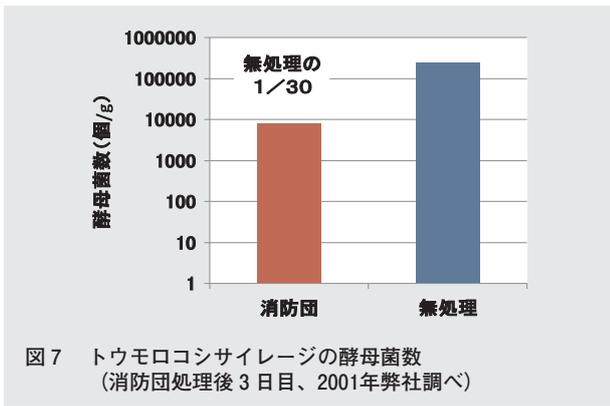


図7 トウモロコシサイレーズの酵母菌数 (消防団処理後3日目、2001年弊社調べ)

タワーサイロのトウモロコシサイレーズ (試験期間8~9月) で効果を検討してみました。サイレーズ取り出し直後の取り出し面が、1日空気にさらされることで二次発酵が進み、無処理区はpH3.7からpH4.4まで上昇して明らかに変敗していますが、サイロ見張番処理によってpHの上昇が抑えられ、変敗が抑制されていました (図8)。このサイロ見張番の特徴を利用して、TMR飼料の発熱抑制を検討しました。TMR飼料はミキサーにより混合するので、空気が入り込んで発熱しやすくなりますが、サイロ見張番を処理することで、発熱が抑制されます (図9)。実際にTMRセンターから農家に供給するTMR飼料にサイロ見張番を処理して、給与するまでの変敗を抑えている事例もあります (写真2)。

このように、弊社では特にトウモロコシサイレーズで問題となる二次発酵対策として、サイロSP、サイロ消防団、サイロ見張番という3種類の商品を用意しています。二次発酵に悩まされている方々は、是非お試し下さい。近年、穀物価格の高騰により配合飼料の価格が上がり、自給飼料が見直されています。特にトウモロコシは栄養価や収量性に優れた作物ですが、作ったものをロスなく牛に給与するのは簡単ではありません。今回ご紹介した各々の乳酸菌や資材が、皆様のお役に立てれば幸いです。



写真1 スタックサイロでの試験の様子 (2002年当社調べ)

参考文献

- 1) 王ら (2009) 日本草地学会誌、54巻4号、P311-316
- 2) 増子孝義 (1999) サイレーズ科学の進歩、デーリィ・ジャパン社、P89-90

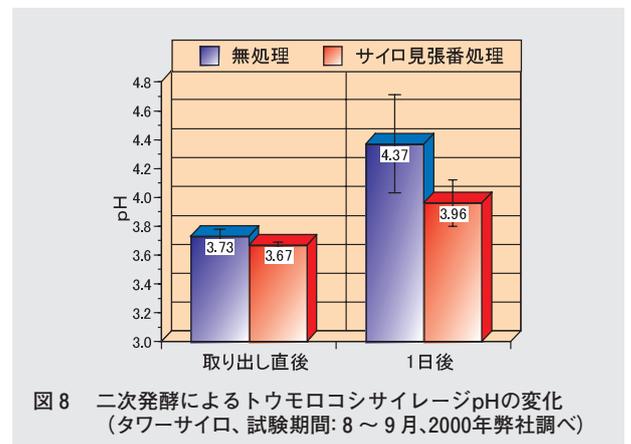


図8 二次発酵によるトウモロコシサイレーズpHの変化 (タワーサイロ、試験期間: 8~9月、2000年弊社調べ)

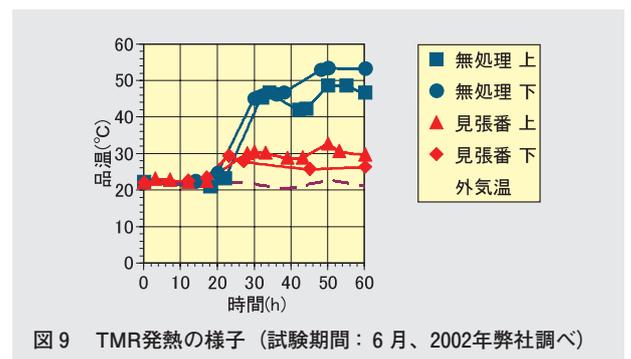


図9 TMR発熱の様子 (試験期間: 6月、2002年弊社調べ)



写真2 TMRセンターから配送されたTMRへのサイロ見張番使用事例