

サイレージの発酵品質を 更に向上させよう

愛媛大学農学部

教授 熊井清雄

はじめに

大家畜の粗飼料給源がホールクロープサイレージやロールベールサイレージなどが中心となった今日、高品質サイレージの調製が極めて重要となっている。

その調製原理は、材料草の可溶性炭水化物(WSC)を乳酸菌等の微生物の増殖によって乳酸等の有機酸を生成させ、pHを4.0前後に下げて長期保蔵することにつきる。一般に材料草のWSC含量は8%前後が必要とされ、10%以上あれば、ほぼ例外なく高品質サイレージができあがる。ところが、天候や作業の都合で若刈りしたり、WSC含量の低い草種、例えばアルファルファなどの場合、そのままでは乳酸発酵が不十分で、低品質サイレージとなる場合が多い。このような場合、予乾したり、ビートパルプ、糖蜜等を材料草に加える糖添加法や、強制的に酸度を高めるために蟻酸等を添加する加酸法が普及していた。

一方、急速な酵素化学の進歩により、植物細胞壁の主体であるセルロース、ヘミセルロースを単糖にまで加水分解するセルラーゼ剤の添加によって高品質サイレージを調製できるようになった。

ところで、これまでの研究から飼料作物に付着する、いわゆる自然乳酸菌、とくに乳酸桿菌はサイレージ発酵を円滑に進めるには菌数が不足することが分ってきた。菌数が不足すると、材料草のWSCが十分あっても雑菌が増殖して低品質サイレージとなってしまうことが多い。

筆者らは、これまで乳酸桿菌やセルラーゼを添加して高品質サイレージを調製する研究を進めてきたので、ここに成果の一部を略述する。

1 自然乳酸菌の生態と 乳酸桿菌添加の必要性

サイレージ発酵の主役は乳酸菌であり、この乳酸菌は形態によって、乳酸球菌と乳酸桿菌とに分類される。好気性の乳酸球菌はサイロ詰込み当初の条件下で活発に増殖しながら、乳酸を生成してpHを下げ、一般細菌等の増殖を抑えながら、乳酸桿菌の活動しやすい環境づくりをする。詰込み後1~3日経過して嫌気度が進むと、乳酸球菌から嫌気条件を好む乳酸桿菌へと菌相が遷移し、乳酸桿菌が発酵の中心的役割を担い、サイレージ発酵が加速的に進行する。

このような観点から、筆者らの愛媛県下の飼料作物・牧草256点に付着する自然乳酸菌数について、検討した研究結果を紹介すると、草体1gから検出された乳酸桿菌数は0~10³cfuが全体の84%を占め、全試料の24%からは乳酸桿菌が認められなかった。この結果は農林省畜産試験場の圃場で行った森地・大山(1972年)のデータとほぼ一致していた。

一方、草体上の乳酸球菌は乳酸桿菌より10~100倍多く生息しており、かつ全試料から検出された。また、自然乳酸菌は夏に最も多く生息し、冬には著減した。

環境との関係については、人家の密集地や畜産農家の多い地帯、いわゆる人畜生活圏に乳酸菌数が多く、低標高地が高標高地より、放牧地が採草地よりそれぞれ多く生息していた。また、飼料作物・牧草の種類や生育ステージによっても菌数は著しく変動し、夏作飼料作物は冬作飼料作物より、生殖生長期は栄養生長期よりそれぞれ多いことを

表1 乳酸菌添加がサイレージの発酵品質に及ぼす影響

区 別	水分	pH	有機酸(新鮮物%)			L(+) 乳酸 (%) 総乳酸	フリーク 評点
			酢酸	乳酸	総酸		
イタリアンライグラス 対照区	82.4	4.1	1.09	2.82	3.91	38	88
サイレージ 乳酸菌区	81.8	3.8	0.66	3.59	4.25	43	100
絹糸抽出期 対照区	83.4	4.4	0.91	1.36	2.28	25	70
トウモロコシサイレージ 乳酸菌区	83.4	3.8	0.54	1.92	2.46	35	100

備考：乳酸菌区はLactobacillus rhamnosus(スノーラクトLの乳酸菌)を1.0×10⁵cfu/g添加した。

明らかにした。

ところで、サイレージ発酵を円滑に進めるには、乳酸桿菌数は材料草1g当たり10⁵cfuレベルか、それ以上が必要であるとされている。これまで述べてきたように、自然乳酸桿菌は草体上に常在するとは結論できないことや、材料草の自然乳酸桿菌数は、10⁵cfu以下が大多数であることを考えると、高品質サイレージを確実に調製するには、優良乳酸桿菌の添加が必要と考えられる。

2 乳酸添加による 高品質サイレージの調製

前述したように、草体上の自然乳酸桿菌が不足することを指摘した。そこで、若刈りしたトウモロコシ(絹糸抽出期)とイタリアンライグラスを供試して、乳酸桿菌の添加効果を検討した結果を表1に示した。

この結果、乳酸桿菌添加によってサイレージのpHは低下し、高水分の材料草からも確実に高品質サイレージができあがった。乳酸菌剤に用いられる乳酸菌としてはLactobacillus rhamnosus, L. plantarumなどの桿菌が通常用いられている。

ところで、乳酸は2種の光学異性体、すなわちL(+)¹乳酸とD(-)²乳酸からなっており、前者は家畜にとって易代謝性であるに対し、後者は難代謝性とされている。困ったことには、サイレージ中の乳酸はD(-)乳酸の比率が高いことである。この理由としては、自然乳酸菌はD(-)およびD¹乳酸を生成する乳酸菌が優占しているからである。L. rhamnosusの生成乳酸は家畜に利用されるL(+)¹乳酸のみを産生するので、表1のようにL(+)¹乳酸の比率を高める効果があり、かつ、ホモ

型発酵を行う点でも優れた菌である。

近年、暖地においてもロールベールサイレージの急速な普及に伴って、高温適応性や低水分適応性を有し、乳酸発酵力の強い乳酸菌の検索が必要視され、Lactobacillus属のみならず、Pediococcus属を中心とした乳酸球菌を含めた菌の再検討や、乳酸桿菌と乳酸球菌とを混用することも、今後必要となってくるであろう。

3 セルラーゼ添加が細胞壁の 分解による糖の溶出に及ぼす影響

セルラーゼを添加すると糖添加法と同様、高品質サイレージができる理由について少し触れてみよう。飼料作物・牧草の乾物中、植物細胞壁すなわち中性デタージェント繊維(NDF)は55~75%を占めている。NDFの主成分はセルロース、ヘミセルロースおよびリグニンからなっている。セルラーゼは、セルロース分子中のβ-1,4グルコシド結合を加水分解する酵素群の総称で、CMCアーゼ(エンドグルカナーゼ)と、アビセルラーゼ(セロビオヒドロアーゼ)がセルロース分子を加水分解してセロオリゴ糖を生成する。このセロオリゴ糖をβ-Dグルコシダーゼがさらにグルコースにまで加水分解する結果、糖添加法と同様にサイレージの発酵品質を顕著に改善することになる。

セルラーゼ酵素剤としては、従来、木材腐朽菌の一種(Trichoderma viride)を培養して得られた、メイセルラーゼ(MC)が世界的に著名であったが、近年土壌微生物の一種、Acremonium cellulyticus由来のアクレモニウムセルラーゼ(AC)が開発され、極めて強力なセルラーゼ作用を持っていることが分かった。この両酵素剤はセルラーゼの他に、ヘミセルロースを分解して5炭糖を生成するヘミセルラーゼを含み、ACはヘミセルラーゼ活性がとくに高い。

図1は酢酸緩衝液に微量のセルラーゼ剤を加えた後、稲わらNDFを恒温で振とうさせた場合に溶出したWSCを調べた結果である。この結果から、ACはMCよりWSCの溶出速度が大であり、ACとMCとを各半量を混合した区では、ACと

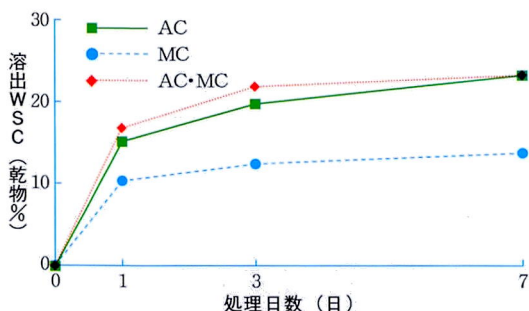


図1 NDFの分解によるWSCの溶出に及ぼすセルラーゼの影響

同等か、それを上回る相乗効果が認められた。

4 セルラーゼを添加した稲わらロールペールサイレージの発酵品質と飼料価値

コンバイン収穫に伴って排出される生稲わらは、わが国で生産される飼料作物・牧草の収穫量に匹敵する膨大なバイオマス資源であり、これをサイレージ化して利用することが必要である。この生稲わらはWSC含量が低いが、中水分状態でセルラーゼを添加すれば、高品質のロールペールサイレージが調製できるものと考えた。

そこで、生稲わら(乾物40%, WSC4.8%)に乳酸菌剤を所定量添加した後、セルラーゼ剤を材料1 tに対して200 g, AC区+MC区はAC100 gとMC100 gを混合して水に溶かして噴霧後、1個の大きさが30~35kgのロールペールサイレージを調製した。これを2か月後に開封して品質調査と、綿羊による消化試験を実施した。得られた結果の概要を表2に示した。

セルラーゼ剤の添加によってサイレージの発酵

表2 セルラーゼ添加水稲ロールペールサイレージの発酵品質と飼料価値

区別	対照区	AC	MC	AC+MC	
pH	6.63	6.16	6.48	5.30	
乳酸(乾物%)	2.0	3.0	2.9	3.1	
VBN(TN%)	1.5	1.4	1.1	0.7	
成分(%)	繊維	36.0	34.1	34.9	34.1
	NFE	40.7	42.9	42.1	43.2
消化率(%)	粗繊維	52.2	58.3	57.1	58.5
	NFE	41.4	47.1	44.3	47.6
可消化養分(%)	DCP	2.0	2.4	2.2	2.3
	TDN	39.6	44.8	42.9	45.2

AC: アクレモニウムセルラーゼ、M: メイセルラーゼ

表3 乳酸菌とセルラーゼの添加がイタリアンライグラスサイレージの発酵品質に及ぼす影響

区別	pH	有機酸(新鮮物%)				VBN(%)
		酢酸	酪酸	乳酸	総酸	
対照区	4.24	0.1	0.7	1.5	2.3	13.1
乳酸菌区	3.72	0.3	0.2	3.2	3.7	13.3
セルラーゼ区	3.52	0.2	0.1	4.2	4.5	10.1
乳酸菌・セルラーゼ併用区	3.47	0.2	0.2	5.3	5.7	11.0

品質が向上し、消化性の改善等によって可消化養分含量も高まった。セルラーゼ剤間の比較ではAC+MC, AC>MCの関係が認められ、ACとMCの混合添加による相乗効果が認められた。なお、これまで行った筆者らのAC添加の試験の結果では、材料草に対して0.005%以上の微量添加で、サイレージの発酵品質を確実に高めたが、飼料価値を高めるには0.01~0.02%に添加量を増やすことが必要であった。

5 優良乳酸桿菌とセルラーゼ剤の併用による高品質サイレージの調製

これまで述べてきたように、サイレージ発酵には、発酵基質のWSCと、それを使って乳酸発酵を進める乳酸菌とが必要不可欠で、車の両輪にたとえることができる。そこで乳酸菌剤とセルラーゼとを単独、または混用した場合の効果を表3に示した。

材料草はイタリアンライグラス(乾物21.5%, WSC22.4%, 自然乳酸菌数 1.1×10^3 cfu)を用い、処理は対照区他に、雪印種苗(株)の乳酸菌(L. rhamnosus)を 1.0×10^5 cfuした乳酸菌区、ACを材料草に対して0.01%添加したセルラーゼ区、および両者を併用した乳酸菌・セルラーゼ区を設けてサイレージを調製した。

表3の試験結果から明らかなように、サイレージの発酵品質に対する乳酸桿菌の添加効果は勿論、WSC含量の高い材料草でもセルラーゼ剤の効果があつた点や、両者を混用することによって更に効果が確実になつた点である。

以上、述べてきたように材料草の状況のみで、必要に応じて乳酸菌剤や、セルラーゼ剤を添加して、サイレージの発酵品質を更に高めることが大切である