

# セルラーゼと乳酸菌の併用添加が サイレージの乾物回収率と発酵品質に及ぼす影響

艾尼瓦爾艾山・安宅一夫・檜崎 昇・野 英二

Effects of a Cellulase and an Inoculant and Their Combination on Dry Matter Recovery and Fermentation of Grass Silage  
Aniwaru AISAN, Kazuo ATAKU, Noboru NARASAKI and Eiji NO

## Summary

We prepared silage using early blooming and full blooming alfalfa, and early heading and full heading timothy with the addition of the following substances: cellulase (0.01%) from *Acremonium* (AC), lactic acid bacteria (LC), AC and LC, formic acid (0.5% for alfalfa and 0.3% for timothy); plus a control (no additives).

The addition of AC and AC+LC promoted the fermentation process of the silage. Especially notable was the addition of a combination of both AC and LC which had a synergistic effect on the fermentation process. However, the dry matter recovery could not be improved from the addition of both AC and LC. On the other hand, the addition of formic acid suppressed fermentation, but greatly improved the dry matter recovery rate.

キーワード：乾物回収率，サイレージ，セルラーゼ，発酵品質，乳酸菌。

Key words: Cellulase, Dry matter recovery, Fermentation characteristics, Inoculant.

## 緒言

前報<sup>1)</sup>において、サイレージ調製時に *Acremonium* 由来の新規セルラーゼを添加すると発酵品質は改善されるが、必ずしも好ましい方向ばかりでなく、酢酸の生成を伴う好ましくない発酵も促進され、さらに、セルラーゼを過剰に添加すると乾物回収率が低下することを認めた。一方、ATAKUら<sup>2)</sup>は従来のセルラーゼと乳酸菌を併用

添加するとサイレージの発酵品質改善に相乗効果があることを報告している。そこで、今回は新規セルラーゼと乳酸菌の併用添加がサイレージの乾物回収率および発酵品質に及ぼす相乗効果を検討するとともに、その効果をギ酸添加の効果と比較した。

## 材料および方法

材料には酪農学園大学附属農場で栽培されたアルファルファ（ユーバ）1番草の開花初期（適刈り）、開花盛期（遅刈り）とチモシー（ホクセン）1番草の出穂初期（適刈り）、出穂盛期（遅刈り）を用いた。材料草は、1994年6月21日（適刈り）と7月4日（遅刈り）に刈り取り、無干状態でサイレージを調製した。材料草の成分は表1に示した。材料草は1cmの長さに切断し、所定の添加物とよく混合し、1ℓの実験サイロに2反復して詰め込んだ。添加処理は新鮮材料に対して、無添加、乳酸菌製品 (*Lactobacillus casei*, LC; 雪印種苗株式会社) 0.002%添加、*Acremonium*由来のセルラーゼ (AC; 明治製菓株式会社) 0.01%添加、LC+ACおよびギ酸添加 (アルファルファに対して0.5%、チモシーに対して0.3%) とした。サイロは室温 (18.7~26.8℃) で50日間放置した後開封し、サイレージの発酵品質と乾物回収率を調べた。

表1. 材料草の成分

	水分 (%)	粗蛋白質 WSC NDF		
		( %DM)		
アルファルファ 適刈り	79.7	16.5	8.0	49.4
	遅刈り	72.5	13.5	9.3
チモシー 適刈り	79.5	8.4	8.4	68.0
	遅刈り	72.7	7.5	9.0

WSC: 可溶性炭水化物  
NDF: 中性デタージェント繊維

結果

アルファルファ適刈りと遅刈りサイレージの発酵品質をそれぞれ表2と表3に示した。

アルファルファ適刈りサイレージでは無添加に比べ、LCとACの単独添加により有意な乳酸含量の増加とpHの低下が見られ (P<0.05)、さらに、LCとACを併用添加するとその効果が著しく高まった。酢酸含量はLCとACの単独添加で無添加より有意に増加したが (P<0.05)、LC単独添加やLCとACの併用添加ではAC単独添加より有意に低かった (P<0.05)。酪酸含量はLC、ACおよびギ酸の添加によりほとんど無くなった。また、ギ酸添加ではpHの低下は十分であったが、すべての酸の生成が著しく抑制された。フリーク評点は、LCとACの単独添加によって有意に高くなり (P<0.05)、両者を併用するとさらに高くなった。NH<sub>3</sub>-N比率は、LCあるいはACの添加、そして両者の併用によってさらに低下する傾向があり、ギ酸添加により有意に低くなった (P<0.05)。乾物回収率は、LC添加では無添加と差はなかったが、AC添加により有意に低下し、ACとLCを

併用添加するとACとLCをそれぞれ単独で添加した場合の中間の値になり、ギ酸添加が最も高い値を示した。

アルファルファの遅刈りサイレージでは、LC添加は無添加と大きな差はなかったが、AC添加およびACとLCの併用添加によって、乳酸含量の増加、酪酸含量の減少およびpH、NH<sub>3</sub>-N比率の低下、そしてフリーク評点の向上が見られた。しかし、ACとLCの併用添加によるこれらの相乗効果は適刈りサイレージのように顕著ではなかった。一方、ギ酸添加では、適刈りと同様に酸の生成が強く抑えられ、NH<sub>3</sub>-N比率が低く、乾物回収率が最も高かった。

チモシー適刈りと遅刈りサイレージの発酵品質をそれぞれ表4と表5に示した。

チモシー適刈りサイレージでは、LCあるいはACの単独添加により、乳酸含量の増加、酪酸含量の減少およびpH、NH<sub>3</sub>-N比率の低下が見られ、フリーク評点と乾物回収率が有意に高くなった (P<0.05)。しかし、これらに対するLCとACの併用添加の相乗効果は乳酸含量が有意に増加した以外には見られなかった。

チモシー遅刈りサイレージでは、適刈りの場合に比べ

表2. アルファルファ適刈りサイレージの発酵品質

	水分 (%)	pH	乳酸	酢酸	酪酸	総酸	フリーク 評点	NH <sub>3</sub> -N*	乾物回収率 (%)
			————— (%)						
無添加	80.8 <sup>ABab</sup>	4.79 <sup>bc</sup>	0.96 <sup>Bb</sup>	0.28 <sup>ABb</sup>	0.47 <sup>B</sup>	1.73 <sup>Bb</sup>	34 <sup>B</sup>	13.2 <sup>bc</sup>	93.2 <sup>ABbc</sup>
LC	80.9 <sup>ABab</sup>	4.34 <sup>ABb</sup>	2.11 <sup>Cd</sup>	0.42 <sup>Bc</sup>	0.02 <sup>A</sup>	2.61 <sup>Bc</sup>	79 <sup>C</sup>	10.3 <sup>ABb</sup>	93.2 <sup>ABbc</sup>
AC	82.6 <sup>Bc</sup>	4.18 <sup>Ab</sup>	1.66 <sup>Cc</sup>	0.91 <sup>Cd</sup>	0 <sup>A</sup>	2.63 <sup>Bc</sup>	75 <sup>C</sup>	10.2 <sup>ABb</sup>	84.7 <sup>Aa</sup>
LC+AC	82.1 <sup>Bbc</sup>	3.90 <sup>Aa</sup>	3.27 <sup>De</sup>	0.44 <sup>Bc</sup>	0.01 <sup>A</sup>	3.73 <sup>Cd</sup>	100 <sup>D</sup>	8.7 <sup>ABab</sup>	87.1 <sup>Aab</sup>
ギ酸	79.8 <sup>Aa</sup>	4.47 <sup>ABbc</sup>	0.18 <sup>Aa</sup>	0.13 <sup>Aa</sup>	0.07 <sup>A</sup>	0.44 <sup>Aa</sup>	18 <sup>A</sup>	3.8 <sup>Aa</sup>	99.2 <sup>Bc</sup>
SE	0.25	0.072	0.077	0.02	0.045	0.131	1.1	1.02	1.29

LC: 乳酸菌製品 (*Lactobacillus casei*)、AC: *Acremonium*由来のセルラーゼ

\*: 全窒素に対する割合 (%), SE: 平均値の標準誤差

ABCD: P<0.01, abcde: P<0.05

表3. アルファルファ遅刈りサイレージの発酵品質

	水分 (%)	pH	乳酸	酢酸	酪酸	総酸	フリーク 評点	NH <sub>3</sub> -N*	乾物回収率 (%)
			————— (%)						
無添加	76.2 <sup>b</sup>	5.89 <sup>bc</sup>	0.42 <sup>Aa</sup>	0.17	0.86	1.77 <sup>Bb</sup>	11 <sup>Aa</sup>	19.4 <sup>B</sup>	85.0 <sup>a</sup>
LC	76.7 <sup>b</sup>	5.33 <sup>ABbc</sup>	0.67 <sup>Aa</sup>	0.39	0.67	2.00 <sup>Bbc</sup>	18 <sup>Aa</sup>	18.7 <sup>B</sup>	83.3 <sup>a</sup>
AC	75.9 <sup>ab</sup>	4.23 <sup>ABb</sup>	1.81 <sup>ABb</sup>	0.44	0.02	2.33 <sup>Bc</sup>	80 <sup>ABb</sup>	5.5 <sup>A</sup>	87.3 <sup>ab</sup>
LC+AC	75.8 <sup>ab</sup>	4.03 <sup>Aa</sup>	2.67 <sup>Bb</sup>	0.46	0.01	3.20 <sup>Cd</sup>	99 <sup>Bb</sup>	5.6 <sup>A</sup>	87.9 <sup>ab</sup>
ギ酸	74.5 <sup>a</sup>	4.39 <sup>ABb</sup>	0.23 <sup>Aa</sup>	0.23	0.01	0.51 <sup>Aa</sup>	22 <sup>ABa</sup>	1.9 <sup>A</sup>	92.9 <sup>b</sup>
SE	0.33	0.215	0.191	0.112	0.169	0.086	9.2	0.95	1.30

LC: 乳酸菌製品 (*Lactobacillus casei*)、AC: *Acremonium*由来のセルラーゼ

\*: 全窒素に対する割合 (%), SE: 平均値の標準誤差

ABC: P<0.01, abcd: P<0.05

表4. チモシー適刈りサイレージの発酵品質

	水分 (%)	pH	酸類 (%)				フリーク 評点	NH <sub>3</sub> -N*	乾物回収率 (%)
			乳酸	酢酸	酪酸	総酸			
無添加	82.6 <sup>Bc</sup>	5.14 <sup>D</sup>	0.32 <sup>Aa</sup>	0.37 <sup>B</sup>	0.70 <sup>B</sup>	1.92 <sup>ABb</sup>	5 <sup>Aa</sup>	25.2 <sup>B</sup>	83.0 <sup>Aa</sup>
LC	81.3 <sup>ABb</sup>	3.88 <sup>A</sup>	1.63 <sup>ABb</sup>	0.13 <sup>A</sup>	0.06 <sup>A</sup>	1.90 <sup>ABb</sup>	78 <sup>ABbc</sup>	6.4 <sup>A</sup>	90.7 <sup>ABbc</sup>
AC	82.1 <sup>ABbc</sup>	3.49 <sup>A</sup>	2.52 <sup>BCbc</sup>	0.19 <sup>A</sup>	0 <sup>A</sup>	2.74 <sup>BCbc</sup>	100 <sup>Bc</sup>	5.5 <sup>A</sup>	87.0 <sup>ABbc</sup>
LC+AC	82.4 <sup>ABbc</sup>	3.44 <sup>A</sup>	3.37 <sup>Cc</sup>	0.20 <sup>A</sup>	0.01 <sup>A</sup>	3.61 <sup>Cc</sup>	100 <sup>Bc</sup>	4.4 <sup>A</sup>	85.6 <sup>ABbc</sup>
ギ酸	80.8 <sup>Aa</sup>	4.74 <sup>B</sup>	0.28 <sup>Aa</sup>	0.14 <sup>A</sup>	0.13 <sup>A</sup>	0.58 <sup>Aa</sup>	26 <sup>ABbc</sup>	4.4 <sup>A</sup>	92.7 <sup>Bc</sup>
SE	0.20	0.081	0.171	0.020	0.035	0.165	9.8	0.92	0.97

LC: 乳酸菌製品 (*Lactobacillus casei*)、AC: *Acremonium*由来のセルラーゼ

\*: 全窒素に対する割合 (%), SE: 平均値の標準誤差

ABC: P<0.01, abc: P<0.05

表5. チモシー遅刈りサイレージの発酵品質

	水分 (%)	pH	酸類 (%)				フリーク 評点	NH <sub>3</sub> -N*	乾物回収率 (%)
			乳酸	酢酸	酪酸	総酸			
無添加	74.3 <sup>ABb</sup>	5.35 <sup>C</sup>	0.49 <sup>A</sup>	0.11 <sup>A</sup>	0	0.78 <sup>Ab</sup>	40 <sup>A</sup>	12.1 <sup>Bd</sup>	92.6 <sup>ABb</sup>
LC	75.1 <sup>Bb</sup>	4.22 <sup>B</sup>	1.35 <sup>BC</sup>	0.32 <sup>B</sup>	0.04	1.78 <sup>Bc</sup>	67 <sup>Bb</sup>	8.7 <sup>Bc</sup>	90.2 <sup>Aa</sup>
AC	75.2 <sup>Bb</sup>	4.11 <sup>B</sup>	1.06 <sup>B</sup>	0.58 <sup>C</sup>	0	1.66 <sup>Bc</sup>	77 <sup>Bb</sup>	5.1 <sup>Ab</sup>	90.1 <sup>Aa</sup>
LC+AC	74.8 <sup>ABb</sup>	3.57 <sup>A</sup>	2.28 <sup>D</sup>	0.14 <sup>A</sup>	0	2.45 <sup>Cd</sup>	90 <sup>B</sup>	4.2 <sup>Ab</sup>	91.8 <sup>ABb</sup>
ギ酸	73.0 <sup>Aa</sup>	4.16 <sup>B</sup>	0.26 <sup>A</sup>	0.06 <sup>A</sup>	0	0.33 <sup>Aa</sup>	87 <sup>B</sup>	1.5 <sup>Aa</sup>	98.7 <sup>Bb</sup>
SE	0.24	0.025	0.053	0.019	0	0.058	8.28	0.42	0.85

LC: 乳酸菌製品 (*Lactobacillus casei*)、AC: *Acremonium*由来のセルラーゼ

\*: 全窒素に対する割合 (%), SE: 平均値の標準誤差

ABCD: P<0.01, abcd: P<0.05

て顕著ではなかったが、LCあるいはACの単独添加により発酵品質が向上し、さらに、両者の併用によるその相乗効果が認められた。乾物回収率は、LCとACのそれぞれ単独あるいは併用によって変化しなかったが、ギ酸添加によって有意に高くなった (P<0.05)。

### 考察

前報<sup>1)</sup>において、チモシーあるいはアルファルファに対して、ACを0.005~0.012%添加すると乳酸含量が増加し、pHの低下および酪酸含量の減少が見られ、品質が改善されることを報告した。今回、刈り取り時期の異なるアルファルファとチモシーに対してACを0.01%添加すると、すべて良質のサイレージが生産され、前報の効果が確認できた。一方、LCの添加はアルファルファの適刈りサイレージとチモシーの適刈りおよび遅刈りサイレージの品質改善に対して効果があったが、アルファルファの遅刈りに対しては効果がなかった。これに対し、ACとLCを併用添加すると、すべて良質のサイレージができ、チモシー早刈りの場合を除いて相乗効果が認められた。前報において、ACの添加によって乾物回収率が

低下することを認めたが、LCとACを併用することによって、これを低減させることはできなかった。本実験において、LCあるいはACの添加は発酵を促進するのに対し、ギ酸は発酵を抑制し、乾物回収率を向上するのに最も効果があることが確かめられた。なお、本実験では、水分含量の定量は乾燥法で行った。このため発酵が促進されたACおよびLC添加サイレージの水分含量はギ酸添加のそれより高くなる傾向があった。したがって、今後は、より正確な水分定量法を用いて乾物回収率を検討する必要があると考える。

### 引用文献

- 1) 艾尼瓦爾艾山・安宅一夫・檜崎 昇・野 英二 (1995) 北海道草地研究会報 29, 55-57
- 2) ATAKU, K., L. E. CHASE, T. KANEKO, N. WATANABE and M. VIRKK (1991) *Proceedings of Conference on Forage Conservation towards 2000*, 317-318.

### 摘 要

開花初期と開花盛期のアルファルファおよび出穂初期と出穂盛期のチモシーを用いて、無添加、新規セルラーゼ (AC) 0.01% 添加、乳酸菌 (LC) 添加、AC+LC 添加およびギ酸添加 (アルファルファには0.5%、チモシーには0.3%) のサイレージを調製した。

ACあるいはAC+LCの添加によって、サイレージの発酵が活発になり、特にACとLCの併用による相乗効果が認められた。しかし、ACとLCの併用添加によって乾物回収率を改善できなかった。一方、ギ酸添加によって発酵が抑制され、乾物回収率が著しく高くなった。

(1995年4月14日受理)