

サイレージの発酵品質と細胞壁成分に及ぼす添加物と 牧草の刈取時期の効果およびその交互作用

艾尼瓦尔 艾山¹⁾・安宅 一夫²⁾・植崎 昇²⁾・野 英 二³⁾

Effects of Additives, Maturity of Grass and Their Interaction on Fermentation Quality and Cell Wall Constituents of Grass Silage

Aniwaru AISAN¹⁾, Kazuo ATAKU²⁾, Noboru NARASAKI²⁾ and Eiji NO³⁾
(June 1997)

緒 言

サイレージの発酵を好ましい方向に制御するために、多くの添加物が研究されている。サイレージ添加物は、乳酸菌、糖、セルラーゼなど乳酸発酵を促進して、不良発酵を抑えるタイプとギ酸など直接不良発酵を抑えるタイプに分類される¹⁾。ギ酸は、サイレージのpHを急速に低下させ、腸内細菌や酪酸菌の繁殖を抑制し、サイレージの品質を改善することはよく知られている。しかし、ギ酸添加は酵母の増殖を抑えることができず二次発酵を起こしやすい。また、ギ酸は収穫機やサイロを腐蝕させたり、直接人体にふれると危険であるという欠点をもっている²⁾。現在、世界で最も普及している添加物は乳酸菌である。しかし、原料草に糖が不足している場合、乳酸菌の単独添加の効果は期待できない³⁾。そこで、糖含量の少ない原料草に対して、セルラーゼを主体とする細胞壁分解酵素の利用が注目されている^{10,15,18)}。最近日本において開発された *Acremonium cellulolyticus* Y 94 由来のセルラーゼ（以下 AC と呼ぶ）のサイレージ添加物としての利用が検討され始めている。AC は従来のセルラーゼ (*Trichoderma* 属菌由来¹²⁾ や *Aspergillus* 属菌由来²¹⁾ のセルラーゼ) より細胞壁成分の分解力が強く、また、ヘクチナーゼ活性も高く、サイレージ添加物としての効果が期待されている^{6,24)}。また、セルラーゼと乳酸菌の併用添加によって、より良質なサイレージが調製されることが報告されている^{10,12)}。

前報において⁸⁾、AC がサイレージの乾物回収率および発酵品質に及ぼす影響を検討し、AC を添加す

るとサイレージの品質が改善されるが、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を低下させることを認めた。一方、サイレージの発酵に及ぼす添加物の効果は草種やその刈取時期によって異なると考えられるが、それらの相互関係を詳しく調べた報告は見当たらない。

そこで、刈取時期の異なるアルファルファおよびチモシーに乳酸菌、セルラーゼ、乳酸菌とセルラーゼおよびギ酸を添加してサイレージを調製し、セルラーゼの単独添加と乳酸菌との併用添加、さらにそれとギ酸添加の効果を比較するとともに添加物の効果を草種および刈取時期との関連で検討した。

材料および方法

1. サイレージの調製

材料草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（適期刈り）と開花盛期（遅刈り）およびチモシー（ホクセン）1 番草の出穂初期（適期刈り）と出穂摘期（遅刈り）を用いた。材料草は、1994 年 6 月 21 日（適期刈り）と 7 月 4 日（遅刈り）に刈り取り、予乾せずにサイレージを調製した。実験設計は二元配置とした。牧草に対する 10 a 当たりの窒素、リン酸、カリ、苦土の施肥量は、本学農場の慣行により、アルファルファではそれぞれ 0, 18, 23, 3 kg、チモシーでは、5, 25, 15, 4 kg であった。

材料草の成分は Table 1 に示した。材料草は 1 cm の長さに切断し、アルファルファ 600 g およびチモ

¹⁾ 新疆農業大学牧畜系 (中国新疆烏魯木齊市 830052)
Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang, China 830052.
²⁾ 酪農学科
Department of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069, Japan
³⁾ 附属農場
Research Farm, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069, Japan

Table 1 Chemical composition of ensiled forage.

		Moisture	WSC	NDF	ADF	Hemicellulose
		(%)			(%DM)	
Alfalfa	Early blooming	79.7	8.0	49.4	41.9	7.5
	Full blooming	72.5	9.3	52.2	41.9	10.4
Timothy	Early heading	79.5	8.4	68.0	37.5	30.5
	Full heading	72.7	9.0	70.0	40.1	29.9

WSC: Water soluble carbohydrate, NDF: Neutral detergent fiber.
ADF: Acid detergent fiber.

シー500 g に対し、セルラーゼは純水 5 ml に溶かしたものをスプレーを用いて添加（無添加には同量の純水を添加）した後材料草とよく混合し、1 ℓ の実験用サイロに 2 反復して詰め、密封した。添加処理は新鮮材料に対して、無添加、乳酸菌製剤 (*Lactobacillus casei*, LC；雪印種苗株式会社) 0.002% 添加、*Acremonium cellulolyticus* Y-94 由来の製剤 (AC；明治製菓株式会社) 0.01% 添加、乳酸菌と酵素製剤の併用 (LC+AC) およびギ酸（1 級試薬）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。供試 AC の酵素活性は、アビセラゼ 810 U/g, CMC アーゼ 27,000 U/g, β グルコシダーゼ 870 U/g, キシラナーゼ 15,900 U/g, ペクチナーゼ 180 U/g（メーカー表示値）であった。サイロは室温（18.7~26.8℃）で 50 日間放置した後開封し、分析に供した。

2. 分析および測定方法

材料草とサイレージは 60℃ で 24 時間乾燥し、ウイレー式粉碎機で 1 mm 以下に粉碎したものを分析試料とした。水分と粗蛋白質は常法¹³⁾、可溶性炭水化物は Anthrone 比色法¹³⁾、NDF と ADF は Van Soest らの方法¹³⁾ によって定量した。サイレージの発酵品質は新鮮物の水抽出液を用いて、pH はガラス電極 pH メーターにより測定し、NH₃-N は水蒸気蒸溜法、有機酸はガスクロマトグラフィ（機種：島津 GC-14 A 型、検出器：FID、ガラム：1.6 m ガラス製、昇温：120-190℃、5℃/分、充填剤：PEG6000）により定量した¹³⁾。乾物回収率、WSC 消失率、細胞壁成分消失率および呼吸・発酵損失率は、それぞれ埋蔵時の重量に対する開封時の重量から算出した。なお、呼吸・発酵損失は、呼吸と発酵過程で生じるガスによる損失とした。統計処理は、二元配置の分散分析により、草種、添加物の効果およびその交互作用について分析した²⁶⁾。

結 果

1. サイレージの発酵特性

アルファルファの適期刈りと遅刈りサイレージの発酵品質を Table 2 に示した。

アルファルファ適期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 の低下がみられ（ $P<0.05$ ），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 AC と LC 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。NH₃-N 比率は、LC あるいは AC の添加、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（ $P<0.05$ ）に低下し、AC と LC を併用すると AC と LC をそれぞれ単独で添加した場合の中間値になり、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 添加は無添加とサイレージ発酵特性に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, NH₃-N 比率の低下、フリーク評点の向上がみられた。しかし、AC と LC の併用添加によるこれらの相乗効果は適期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、適期刈りと同様に酸の生成が強く抑えられ、NH₃-N 比率が低く、乾物回収率が最も高かった。

Table 2 Fermentative quality of alfalfa silage.

Additives pH		Acids(% of fresh silage)				Flieg's mark	NH ₃ -N ¹⁾	DM recovery	Gas loss
		Lactic	Acetic	Butyric	Total				
Early blooming									
Control	4.79 ^{Bc}	0.96 ^{Bb}	0.28 ^{ABb}	0.47 ^B	1.73 ^{Bb}	34 ^B	13.2 ^{Bc}	93.2 ^{ABbc}	5.8 ^b
LC ²⁾	4.34 ^{ABb}	2.11 ^{Cd}	0.42 ^{Bc}	0.02 ^A	2.61 ^{Bc}	79 ^C	10.3 ^{ABb}	93.2 ^{ABbc}	3.7 ^{ab}
AC ³⁾	4.18 ^{Aab}	1.66 ^{Cc}	0.91 ^{Cd}	0.00 ^A	2.63 ^{Bc}	75 ^C	10.2 ^{ABb}	84.7 ^{Aa}	5.0 ^b
LC + AC	3.90 ^{Aa}	3.27 ^{De}	0.44 ^{Bc}	0.01 ^A	3.73 ^{Cd}	100 ^D	8.7 ^{ABab}	87.1 ^{Aab}	2.9 ^{ab}
FA ⁴⁾	4.47 ^{ABbc}	0.18 ^{Aa}	0.13 ^{Aa}	0.07 ^A	0.44 ^{Aa}	18 ^A	3.8 ^{Aa}	99.2 ^{Bc}	1.5 ^a
SE ⁵⁾	0.072	0.077	0.02	0.045	0.131	1.1	1.02	1.29	0.56
Full blooming									
Control	5.89 ^{Bc}	0.42 ^{Aa}	0.17	0.86	1.77 ^{Bb}	11 ^{Aa}	19.4 ^B	85.0 ^a	7.2 ^{Bb}
LC	5.33 ^{ABbc}	0.67 ^{Aa}	0.39	0.67	2.00 ^{Bbc}	18 ^{Aa}	18.7 ^B	83.3 ^a	6.5 ^{Bb}
AC	4.23 ^{ABb}	1.81 ^{ABb}	0.44	0.02	2.33 ^{Bc}	80 ^{ABb}	5.5 ^A	87.3 ^{ab}	2.1 ^{ABa}
LC + AC	4.03 ^{Aa}	2.67 ^{Bb}	0.46	0.01	3.20 ^{Cd}	99 ^{Bb}	5.6 ^A	87.9 ^{ab}	1.9 ^{ABa}
FA	4.39 ^{ABb}	0.23 ^{Aa}	0.23	0.01	0.51 ^{Aa}	22 ^{ABa}	1.9 ^A	92.9 ^b	0.2 ^{Aa}
SE	0.215	0.191	0.112	0.169	0.086	9.2	0.95	1.30	0.68

1) % of total nitrogen, 2) Lactic acid bacteria, 3) *Acremonium* cellulase, 4) Formic acid, 5) Standard error. A B C D: P<0.01, a b c d e: P<0.05.

Table 3 Fermentative quality of timothy silages.

Additives pH		Acids(% of fresh silage)				Flieg's mark	NH ₃ -N ¹⁾	DM recovery	Gas loss
		Lactic	Acetic	Butyric	Total				
Early heading									
Control	5.14 ^B	0.32 ^{Aa}	0.37 ^B	0.70 ^B	1.92 ^{ABb}	5 ^{Aa}	25.2 ^B	83.0 ^{Aa}	10.8 ^{Bc}
LC ²⁾	3.88 ^A	1.63 ^{ABb}	0.13 ^A	0.06 ^A	1.90 ^{ABb}	78 ^{ABbc}	6.4 ^A	90.7 ^{ABbc}	3.1 ^{Aab}
AC ³⁾	3.49 ^A	2.52 ^{BCbc}	0.19 ^A	0.00 ^A	2.74 ^{BCbc}	100 ^{Bc}	5.5 ^A	87.0 ^{ABab}	2.4 ^{Aab}
LC+ AC	3.44 ^A	3.37 ^{Cc}	0.20 ^A	0.01 ^A	3.61 ^{Cc}	100 ^{Bc}	4.4 ^A	85.6 ^{ABab}	1.7 ^{Aa}
FA ⁴⁾	4.74 ^B	0.28 ^{Aa}	0.14 ^A	0.13 ^A	0.58 ^{Aa}	26 ^{ABab}	4.4 ^A	92.7 ^{Bc}	4.8 ^{Ab}
SE ⁵⁾	0.081	0.171	0.020	0.035	0.165	9.8	0.92	0.97	0.44
Full heading									
Control	5.35 ^C	0.49 ^A	0.11 ^A	0.00	0.78 ^{Ab}	40 ^a	12.1 ^{Bd}	92.6 ^{ABa}	5.2 ^E
LC	4.22 ^B	1.35 ^{BC}	0.32 ^B	0.04	1.78 ^{Bc}	67 ^{ab}	8.7 ^{Bc}	90.2 ^{Aa}	3.3 ^D
AC	4.11 ^B	1.06 ^B	0.58 ^C	0.00	1.66 ^{Bc}	77 ^{ab}	5.1 ^{Ab}	90.1 ^{Aa}	2.6 ^C
LC+ AC	3.57 ^A	2.28 ^D	0.14 ^A	0.00	2.45 ^{Cd}	90 ^b	4.2 ^{Ab}	91.8 ^{ABa}	1.2 ^B
FA	4.16 ^B	0.26 ^A	0.06 ^A	0.00	0.33 ^{Aa}	87 ^b	1.5 ^{Aa}	98.7 ^{Bb}	0.2 ^A
SE	0.025	0.053	0.019	0.00	0.058	8.3	0.42	0.85	0.07

1), 2), 3), 4), 5) Same as in Table 2, A B C D E: P<0.01, a b c d: P<0.05.

チモシー適期刈りと遅刈りサイレージの発酵品質を Table 3 に示した。

チモシー適期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、NH₃-N 比率の低下がみられ、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 AC と LC 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はみられなかった。

チモシー遅刈りサイレージでは、適期刈りに比べ

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、両者の併用による相乗効果が認められた。乾物回収率は、LC と AC のそれぞれ単独添加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 (P<0.05) に高くなった。

サイレージ発酵特性の分散分析結果を Table 4 に示した。

草種は、水分、pH、酢酸、酪酸、総酸、フリーク評点、NH₃-N 比率 (P<0.01) および乾物回収率

Table 4 Analysis of variance for fermentative quality of silage.

Variance											
Factor	f	Moisture (%)	pH	Acids(% of fresh silage)				Flieg's mark	NH ₃ -N ¹⁾	DM recovery (%)	Gas loss (%)
				Lactic	Acetic	Butyric	Total				
Material(A)	1	1.18**	1.19**	0.02	0.26**	0.15**	1.03**	1,782.23**	39.22**	7.48*	0.24
Maturity(B)	1	405.90**	0.84**	2.57**	0.01	0.00	2.58**	60.03	9.11*	1.25	13.42**
A × B	1	9.27**	0.22*	0.01	0.05*	0.34**	0.59**	1,625.63**	36.54**	205.75**	8.64**
Additives(C)	4	4.61**	2.79**	8.91**	0.17**	0.36**	8.44**	7,591.35**	248.00**	96.52**	41.15**
A × C	4	0.12	0.20**	0.06	0.04**	0.06*	0.07	560.35**	24.65**	5.43**	5.16**
B × C	4	0.98**	0.34**	0.32**	0.02	0.07*	0.17**	1,257.15**	25.86**	23.63**	5.50**
A × B × C	4	0.86**	0.17**	0.59**	0.09**	0.12**	0.20**	837.00**	45.94**	21.55**	7.36**
Error	20	0.13	0.03	0.04	0.01	0.02	0.03	125.43	1.48	2.50	0.19

1) % of total nitrogen. * P<0.05, ** P<0.01.

($P<0.05$)に有意な効果を示した。刈取時期の影響は、水分、pH、乳酸、総酸、呼吸・発酵損失 ($P<0.01$) および $\text{NH}_3\text{-N}$ 比率 ($P<0.05$) において有意であり、草種と刈取時期の交互作用は、乳酸を除いて、pH と酪酸 ($P<0.05$) および他のすべての項目 ($P<0.01$) に有意であった。添加物の影響は、すべての項目 ($P<0.01$) において有意であり、草種と添加物の交互作用は、水分、乳酸、総酸を除いて他のすべての項目 ($P<0.01$) において、刈り取り時期と添加物の交互作用は、酪酸を除いて、酪酸 ($P<0.05$) および他のすべての項目 ($P<0.01$) において、また、草種、刈り取り時期および添加物の交互作用は、すべての項目 ($P<0.01$) においてそれぞれ有意であった。

2. WSC および細胞壁構成成分

アルファルファおよびチモシーサイレージのWSC含量、細胞壁成分含量およびそれらの消失率をそれぞれ Table 5 と Table 6 に示した。

アルファルファ適期刈りサイレージでは、NDF とヘミセルロース含量は各処理間に有意差はなかった。WSC 含量は、添加物を加えることにより、無添加に比べ、全体的に増加したが、ギ酸添加では最高値となり、他の処理との間に有意差 ($P<0.01$) がみられた。ADF 含量は、LC の単独添加および LC+AC 添加と他の処理間に有意差 ($P<0.05$) がみられた。WSC 消失率は、ギ酸添加と他の処理の間に有意差 ($P<0.01$) がみられた。NDF 消失率と ADF 消失率は、AC の単独添加と LC+AC 添加において他の処理より有意 ($P<0.01$) に増加した。ヘミセルロース消失率は無添加の-2.9%に対し、LC、AC、LC+AC 添加によって高くなったが、ギ酸添加では低く(-19.7%)なり、他の処理との間に有意差($P<0.05$) がみられた。

アルファルファ遅刈りサイレージでは、WSC 含

量は、無添加に比べ、AC 添加によって有意 ($P<0.05$) に増加し、ギ酸添加は他の処理よりさらに ($P<0.01$) 高い値であった。NDF 含量は、無添加に比べ、LC 添加では増加し、他の処理では減少し、LC 添加と AC 添加および LC+AC 添加との間に有意差 ($P<0.05$) がみられた。ADF 含量は、無添加に比べ、LC 添加は他の処理より有意 ($P<0.05$) に低下した。ヘミセルロース含量は、適期刈りと同様に、各処理間に有意差はみられなかった。WSC 消失率は、添加物によって低下し、無添加と AC 添加 ($P<0.05$) およびギ酸添加 ($P<0.01$) との間にそれぞれ有意差がみられた。NDF 消失率および ADF 消失率は各処理間に有意差はなかった。ヘミセルロース消失率は、無添加に比べ、ギ酸添加では有意に ($P<0.01$) 低下した。

チモシー適期刈りサイレージでは、WSC 含量は、無添加に比べ、各添加区とも増加する傾向がみられたが、無添加と LC+AC 添加 ($P<0.05$) およびギ酸添加 ($P<0.01$) との間に、また、LC+AC 添加とギ酸添加 ($P<0.05$) との間にそれぞれ有意差がみられた。NDF 含量は、AC 添加および LC+AC 添加は他の処理より有意 ($P<0.01$) に低下した。ADF 含量は、AC 添加と LC+AC 添加 ($P<0.01$) およびギ酸添加 ($P<0.05$) との間に、また、LC 添加と AC 添加、LC+AC 添加およびギ酸添加 ($P<0.5$) との間にそれぞれ有意差がみられた。ヘミセルロース含量は、無添加に比べ、AC 添加では低下し、ギ酸添加では増加したが、この両区間のみ有意差 ($P<0.05$) がみられた。WSC 消失率は、ギ酸添加で最低値となり、ギ酸添加と LC+AC 添加 ($P<0.05$) および他の処理 ($P<0.01$) との間にそれぞれ有意差がみられた。NDF 消失率は、各処理間に有意差はなかった。ADF 消失率は、無添加に比べ、AC 添加は有意に ($P<0.05$) 増加し、LC+AC 添加ではさら

Table 5 Chemical composition of alfalfa silage.

Additives	Moisture	Losses(%)							
		WSC	NDF	ADF	Hemi-cellulose	WSC	NDF	ADF	Hemi-cellulose
		(%DM)							
Early blooming									
Control	80.8 ^{ABab}	1.8 ^A	50.6	42.4 ^{ab}	8.3	80.1 ^B	4.5 ^A	5.8 ^A	−2.9 ^{ab}
LC	80.9 ^{ABab}	2.1 ^A	50.0	43.3 ^b	6.7	77.3 ^B	5.6 ^A	3.6 ^A	17.0 ^b
AC	82.6 ^{Bc}	2.1 ^A	48.6	41.0 ^{ab}	7.7	78.4 ^B	16.6 ^B	17.2 ^B	13.2 ^b
LC+AC	82.1 ^{Bbc}	3.0 ^A	47.2	40.1 ^a	7.1	68.6 ^B	16.8 ^B	16.7 ^B	17.3 ^b
FA	79.8 ^{Aa}	7.8 ^B	49.6	40.5 ^{ab}	9.1	7.4 ^A	0.5 ^A	4.1 ^A	−19.7 ^a
SE	0.25	0.48	0.69	0.49	0.50	6.26	1.18	1.28	5.81
Full blooming									
Control	76.2 ^{ab}	1.4 ^{Aa}	57.5 ^{ab}	47.7 ^b	9.8	87.2 ^{Bc}	6.4	3.1	19.6 ^{Bb}
LC	76.7 ^b	1.5 ^{Aa}	58.1 ^b	47.8 ^b	10.3	86.7 ^{Bc}	7.4	5.0	17.3 ^{ABb}
AC	75.9 ^{ab}	3.4 ^{Ab}	53.0 ^a	43.5 ^a	9.5	67.8 ^{Bb}	11.4	9.3	20.0 ^{Bb}
LC+AC	75.8 ^{ab}	2.8 ^{Ab}	52.7 ^a	43.2 ^a	9.4	73.3 ^{Bbc}	11.5	9.3	20.1 ^{Bb}
FA	74.5 ^a	8.2 ^{Bc}	53.3 ^{ab}	43.1 ^a	10.3	19.0 ^{Aa}	5.1	4.4	7.9 ^{Aa}
SE	0.33	0.31	0.89	0.70	0.23	1.80	1.38	1.55	1.18

WSC: Water soluble carbohydrate, NDF: Neutral detergent fiber, ADF: Acid detergent fiber,
A B: P<0.01, a b c: P<0.05.

Table 6 Chemical composition of timothy silage.

Additives	Moisture (%)	Losses(%)							
		WSC	NDF	ADF	Hemi-cellulose	WSC	NDF	ADF	Hemi-cellulose
		(%DM)							
Early heading									
Control	82.6 ^{Bc}	1.9 ^{Aa}	68.0 ^B	44.1 ^{Cd}	23.9 ^{ab}	81.7 ^{Bb}	17.0	2.4 ^{ABa}	81.7 ^{ab}
LC	81.3 ^{ABab}	3.1 ^{Aab}	65.2 ^B	41.2 ^{BCcd}	23.9 ^{ab}	66.7 ^{Bb}	13.0	0.2 ^{Aa}	83.8 ^b
AC	82.1 ^{ABbc}	3.4 ^{Aab}	59.1 ^A	37.0 ^{ABab}	22.1 ^a	64.8 ^{Bb}	24.4	14.2 ^{BCb}	82.2 ^{ab}
LC+AC	82.4 ^{ABbc}	4.5 ^{ABb}	58.4 ^A	35.2 ^{Aa}	23.1 ^{ab}	54.3 ^{ABb}	26.5	19.5 ^{Cb}	83.7 ^b
FA	80.8 ^{Aa}	7.7 ^{Bc}	65.7 ^B	39.5 ^{ABcb}	26.1 ^b	14.5 ^{Aa}	10.4	2.2 ^{ABa}	77.6 ^a
SE	0.20	0.41	0.67	0.55	0.59	5.00	7.92	1.61	1.07
Full heading									
Control	74.3 ^{ABab}	1.7 ^A	72.2 ^{Cc}	44.7 ^{Cc}	27.6 ^B	82.6 ^D	4.4 ^{Aa}	−3.2 ^{Aa}	77.3 ^{ABb}
LC	75.1 ^{Bb}	1.7 ^A	71.8 ^{Cc}	44.5 ^{BCbc}	27.3 ^B	83.2 ^D	7.4 ^{ABa}	0.0 ^{ABab}	76.8 ^{ABb}
AC	75.2 ^{Bb}	6.3 ^C	65.7 ^{Aa}	40.8 ^{Aa}	24.9 ^A	37.5 ^B	15.5 ^{Cb}	8.4 ^{Bc}	78.6 ^{Bb}
LC+AC	74.8 ^{ABb}	3.4 ^B	66.2 ^{ABa}	41.5 ^{Aa}	24.7 ^A	65.6 ^C	13.1 ^{BCb}	5.0 ^{ABbc}	78.4 ^{Bb}
FA	73.0 ^{Aa}	8.6 ^D	68.7 ^{Bb}	42.0 ^{ABa}	26.7 ^B	6.5 ^A	3.1 ^{Aa}	−3.3 ^{Aa}	74.3 ^{Aa}
SE	0.24	0.17	0.31	0.30	0.20	1.75	0.76	1.01	0.37

WSC: Water soluble carbohydrate, NDF: Neutral detergent fiber, ADF: Acid detergent fiber,
A B C D: P<0.01, a b c d: P<0.05.

に (P<0.01) 増加した。LC 添加と AC 添加および LC+AC 添加との間、また、ギ酸添加と LC+AC 添加との間にそれぞれ有意差 (P<0.01) がみられた。ヘミセルロース消失率は、ギ酸添加と LC 添加および AC 添加との間のみ有意差 (P<0.05) がみられた。
チモシー遅刈りサイレージでは、WSC 含量は、無

添加に比べ、LC 添加以外の処理では有意 (P<0.01) に増加し、また、それら各処理間にも有意差 (P<0.01) がみられた。NDF 含量は、無添加に比べ、LC 添加と他の処理 (P<0.05) の間、AC 添加とギ酸添加 (P<0.01) の間、また、LC+AC 添加とギ酸添加 (P<0.05) との間にそれぞれ有意差がみられた。ADF 含量は、無添加に比べ、LC 添加以

外の処理では有意に ($P<0.01$) 低下し, LC 添加とギ酸添加との間に有意差 ($P<0.05$) がみられた。WSC 消失率は, LC 添加の他の処理は有意 ($P<0.01$) に低下し, また, それらの間にも有意差 ($P<0.01$) がみられた。NDF 消失率は, 無添加に比べ, ギ酸添加のみ低下し, その他の処理では増加したが, 無添加と AC 添加の間および LC+AC 添加 ($P<0.01$) の間, また, LC 添加と LC+AC 添加 ($P<0.05$) との間にそれぞれ有意差がみられた。ADF 消失率は, 無添加に比べ, AC 添加は有意 ($P<0.01$) に増加し, また, LC 添加と AC 添加との間に有意差 ($P<0.05$) がみられた。ヘミセルロース消失率は, 無添加に比べ, ギ酸添加により有意に ($P<0.05$) 減少し, また, LC 添加とギ酸添加 ($P<0.05$) の間, AC 添加および LC+AC 添加と ギ酸添加 ($P<0.01$) との間にそれぞれ有意差がみられた。

サイレージの WSC 含量, 細胞壁成分およびそれらの消失率の分散分析結果は Table 7 に示した。

草種の影響はすべての項目 ($P<0.01$) に対して有意であり, 刈取時期は, WSC 含量と WSC 消失率を除いて, ヘミセルロース消失率 ($P<0.05$) および他の全ての項目 ($P<0.01$) に対し有意な影響があった。草種と刈取時期の交互作用は, ADF 消失率 ($P<0.05$) および水分, NDF 消失率, ヘミセルロース消失率 ($P<0.01$) において有意であり, 添加物は, すべての項目 ($P<0.01$) に有意な影響があった。草種と添加物の交互作用は, 水分, NDF 消失率, ADF 消失率を除いて, WSC 消失率 ($P<0.05$) および他の全ての項目に ($P<0.01$) おいてそれぞれ有意であった。

アルファルファおよびチモシーサイレージの発酵品質と化学成分との間の相関係数をそれぞれ Table 8 と Table 9 に示した。

アルファルファサイレージでは, WSC 含量と総酸 ($P<0.05$) および $\text{NH}_3\text{-N}$ 比率 ($P<0.01$) との間, NDF 含量と水分 ($P<0.01$) との間, ヘミセルロース含量と水分 ($P<0.01$) との間, 乾物回収率と WSC 含量, NDF 消失率 ($P<0.05$) およびヘミセルロース消失率 ($P<0.01$) との間にそれぞれ負の相関が, また, WSC 含量と乾物回収率 ($P<0.05$) との間, NDF 含量と pH ($P<0.01$) および酪酸 ($P<0.05$) との間, ADF 含量と pH, 酪酸 ($P<0.01$) および $\text{NH}_3\text{-N}$ 比率 ($P<0.05$) との間, WSC 消失率と総酸および $\text{NH}_3\text{-N}$ 比率 ($P<0.05$) との間, NDF 含量と乳酸, フリーク評点 ($P<0.05$), 酢酸および総酸 ($P<0.01$) との間, ADF 含量と乳酸, 総酸, フリーク評点 ($P<0.05$) および酪酸 ($P<0.01$) との間にそれぞれ正の相関が認められた。

チモシーサイレージでは, NDF 含量と水分, 乳酸, 総酸 ($P<0.05$) との間, ADF 含量と乳酸 ($P<0.05$) との間, ヘミセルロース含量と水分, 乳酸 ($P<0.05$) および総酸 ($P<0.01$) との間, 乾物回収率と NDF 含量, ヘミセルロース消失率 ($P<0.01$), ADF 消失率と pH ($P<0.05$) との間にそれぞれ負の相関が, また, ヘミセルロース含量と乾物回収率 ($P<0.05$), NDF 含量, ADF 含量と pH ($P<0.05$) との間, NDF 消失率と水分, 乳酸 ($P<0.05$) および総酸 ($P<0.01$) との間, ヘミセルロース消失率と水分 ($P<0.01$) および総酸 ($P<0.05$) との間にそれぞれ正の相関が得られた。

考 察

サイレージの発酵品質は, 本実験の無添加では, いずれの草種と刈取時期においても著しく品質の悪いものであったが, 乳酸菌, セルラーゼおよびギ酸の添加によってサイレージの品質はいずれも改善さ

Table 7 Analysis of variance for chemical composition of silage.

Factor	f	Moisture (%)	WSC	NDF	ADF	Hemi-cellulose	Losses(%)			
							WSC	NDF	ADF	Hemi-cellulose
Material(A)	1	1.18**	6.62**	1.964.06**	49.00**	2.633.48**	778.37**	241.77**	109.23**	46.884.15**
Maturity(B)	1	405.90**	0.30	321.89**	118.03**	50.09**	24.79	248.30**	228.29**	133.15*
A × B	1	9.27**	0.05	0.01	0.29	0.19	80.68	207.39**	23.47*	695.72**
Additives(C)	4	4.61**	51.67**	57.76**	37.20**	5.91**	6.441.80**	250.33**	260.42**	301.91**
A × C	4	0.12	1.22**	7.92**	3.22**	1.72**	135.79*	2.00	6.72	137.00**
B × C	4	0.98**	3.06**	4.52**	1.44	1.80**	299.66**	22.81**	37.64**	89.04**
A × B × C	4	0.86**	0.54	2.53	4.40**	0.71	78.38	8.64*	6.48	63.10*
Error	20	0.13	0.26	0.91	0.56	0.34	38.90	3.01	3.82	18.21

WSC: Water soluble carbohydrate, NDF: Neutral detergent fiber.
ADF: Acid detergent fiber, * $P<0.05$, ** $P<0.01$.

Table 8 Simple correlations between variables of alfalfa silage.

	Moisture (%)	pH	Acids(% of fresh silage)				Flieg's mark	DM recovery (%)	NH ₃ -N ^{a)}
			Lactic	Acetic	Butyric	Total			
WSC	-.2573	-.3101	-.4005	-.4183	-.4687	-.6799*	-.2833	.6809*	-.7754**
NDF	-.7775**	.7888**	-.5106	-.3657	.7386*	-.2817	-.5698	-.4254	.5291
ADF	-.6159	.8308**	-.3951	-.2777	.7973**	-.1228	-.4860	-.5014	.6988*
Hemicellulose	-.8796**	.4878	-.6272	-.4378	.4153	-.5501	-.6020	-.1449	.0354
Losses (%)	WSC	.1609	.3019	.4083	.4340	.4573	.6882*	.2976	-.7429*
	NDF	.2857	-.4592	.7526*	.7962**	-.3233	.8136**	.7457*	-.6950*
	ADF	.5109	-.6046	.6813*	.7833**	-.4670	.6708*	.6980*	-.4368
	Hemicellulose	-.2648	.0315	.5282	.4240	-.0896	.6862*	.4796	-.8124**

WSC: Water soluble carbohydrate, NDF: Neutral detergent fiber, ADF: Acid detergent fiber.
a) % of total nitrogen. *P<0.05, **P<0.01.

Table 9 Simple correlations between variables of timothy silage.

	Moisture (%)	pH	Acids(% of fresh silage)				Flieg's mark	DM recovery (%)	NH ₃ -N ^{a)}
			Lactic	Acetic	Butyric	Total			
WSC	-.1741	-.1560	-.2459	-.1041	-.2754	-.4164	.1915	.5698	-.6103
NDF	-.6683*	.7070*	-.7448*	.0143	.1534	-.7125*	-.5351	.4433	.3351
ADF	-.5468	.7039*	-.7065*	.1064	.3297	-.5909	-.5787	.2578	.5186
Hemicellulose	-.7520*	.5874	-.6609*	-.1419	-.1798	-.7763**	-.3517	.6689*	-.0383
Losses (%)	WSC	.1597	.1317	.2703	.1604	.2689	.4488	-.1663	-.5931
	NDF	.7477*	-.5510	.7488*	.2771	.1268	.8737**	.3254	-.7863**
	ADF	.5386	-.6490*	.8147**	.2530	-.1434	.8415**	.5017	-.6054
	Hemicellulose	.8439**	-.3610	.6180	.1102	.2455	.7642*	.1417	-.7748**

WSC: Water soluble carbohydrate, NDF: Neutral detergent fiber, ADF: Acid detergent fiber.
a) % of total nitrogen. *P<0.05, **P<0.01.

れた。乳酸菌添加について、Muck ら¹⁶⁾ は乳酸菌製剤を添加（接種）したアルファルファ、寒地型イネ科牧草およびトウモロコシサイレージの約3分の2が発酵改善に成功していないとしている。本実験において、乳酸菌の効果をpH、有機酸組成およびNH₃-N比率で総合的に評価すると、アルファルファの遅刈りに対しては効果なかったが、アルファルファの適期刈りとチモシーの適期刈りおよび遅刈りサイレージの発酵品質改善に効果が認められた。友田ら²⁴⁾ は、*Acremonium* 由来のセルラーゼ(AC)を乳酸菌と併用した場合にはACの単独添加と比較して、乳酸含量は約4倍に増加して、乳酸/総酸値は約87%となったとしている。本実験では、刈取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、すべて良質なサイレージができた。ACと乳酸菌を併用添加すると、さらに（チモシー適期刈りの場合を除いて）相乗効果が認められた。AC添加とLC+AC添加を比較すると、アルファルファの適期刈りでは、乳酸、酢酸、総酸およ

びフリーク評点(P<0.01)、遅刈りでは、総酸(P<0.01)において有意な差がみられた。チモシーでは、適期刈りの全ての項目では有意差はなかったが、遅刈りでは、酪酸、NH₃-N比率および乾物回収率以外の全ての項目において有意差(P<0.01)がみられた。pHだけからみると、両草種の適期刈りでは有意差はなかったが、遅刈りではいずれも有意差がみられた。以上の結果はAC添加とLC+AC添加は両草種の適期刈りでは効果が類似するが、遅刈りでは、LC+AC添加の方がAC添加より優れていることが示唆された。本実験のギ酸添加では、いずれの草種あるいは刈取時期においても、酸の生成が強く抑制され、pHが低い、良質なサイレージができた。これは、Ataku et al⁷⁾ のアルファルファの2番草での結果と類似している。分散分析の結果では、添加物、草種、刈取時期および添加物の交互作用は、発酵品質のすべての項目(P<0.01)に対して有意であった。これは本実験の結果は草種、刈取時期および添加物によって異なったことを示した。

細胞壁成分およびそれらの消失率において、草種の影響では、原料草のWSC含量は両草種ともほぼ同様であり、NDFとヘミセルロース含量は、チモシーがアルファルファより高く、ADF含量はその逆であったのに対し、サイレージでは、各添加物によるWSC含量の変化は両草種とも同様であり、原料草に比べ、NDFとADF含量はアルファルファの遅刈りでは全体的に増加したが、チモシーでは無添加とLC添加ではわずかに増加し、他の処理では減少した。ヘミセルロース含量は、アルファルファでは各処理とも原料草とほぼ同様であったのに対し、チモシーでは、適期刈りでは4~7%、遅刈りでは2~5%減少し、その程度はAC添加で最も著しかった。アルファルファとチモシーにおける大きな違いはヘミセルロース消失率であった。すなわち、ヘミセルロース消失率は、いずれの時期においてもチモシー(74.3~83.8%)が、アルファルファ(-19.7~20.1%)より著しく高かった。また、全体的に、アルファルファサイレージは、原料草と同様に遅刈りが適期刈りより高いが、チモシーでは、原料草では適期刈りと遅刈りがほぼ同様であったのに対し、サイレージでは、適期刈りの方が遅刈りより3~5%高い値となった。分散分析結果でも、ヘミセルロース消失率に対する草種、刈取時期、添加物およびそれらの交互作用は全て有意であった。Morrison¹⁴⁾による、ペレニアルライグラスとアルファルファでの実験報告では、ヘミセルロースは、イネ科牧草の方がマメ科牧草より分解されやすかったと報告し、これはアラビノース含量など細胞壁構造の差異によるとしている。イネ科牧草はマメ科牧草よりはるかに多くのアラビノースを含有していることは知られている¹⁵⁾。

刈取時期の影響では、Gonzalez-yanez et al¹¹⁾とVan Vuuren et al²⁵⁾らは、酵素処理サイレージには残存糖類が多く、NDFおよびADF含量が低い、その減少の程度は酵素の添加量、作物の成熟期およびそのDM含量により異なるとしている。成熟期が進み、乾物含量が多くなるにしたがって酵素の効果は低下するとしている。本実験では、両草種とも添加物に関わらず、NDF、ADF、ヘミセルロース含量、WSC消失率(両草種のAC添加とチモシーのギ酸添加を除く)は遅刈りが適期刈りより高かったが、NDF、ADF消失率は、チモシーの全ての処理とアルファルファのAC添加とLC+AC添加では適期刈りが遅刈りより高いが、アルファルファのLC添加とギ酸添加ではその逆であった。ヘミセルロース消失率は、チモシーでは適期刈りが遅刈りより高いが、

アルファルファではその逆であった。分散分析の結果では、刈取時期は、WSC含量とWSC消失率を除いて、ヘミセルロース消失率($P<0.05$)および他の全ての項目($P<0.01$)において有意であった。

添加物の影響では、本実験では、草種および刈取時期に関わらず、LC添加区の全ての項目(チモシー適期刈りの水分を除く)は無添加と有意差はなかった。これはStokes et al²²⁾の結果と類似している。セルラーゼを添加するとサイレージのNDF、ADFおよびヘミセルロース含量は減少すると報告されている^{2,6,9,11,18,22,25)}。また、Bayorbor et al⁹⁾は酵素処理による細胞壁由来の糖は完全に有機酸に資化されないため、無添加より残糖が多量に存在したと報告している。本実験でも、無添加に比べ、AC添加とLC+AC添加のNDF、ADF含量およびWSC消失率(アルファルファの適期刈りを除く)は減少し、WSC含量、NDF、ADFおよびヘミセルロース消失率は増加した。原料草に比べても、AC添加とLC+AC添加のNDF、ADFおよびヘミセルロース含量は減少した。これは上記の報告とほぼ一致した。AC添加とLC+AC添加を比較すると、チモシーの遅刈りサイレージのWSC含量とWSC消失率だけに有意差がみられたが、その他の項目では有意差はみられなかった。Stokes²³⁾もマメ科とイネ科牧草の混播の二番草にセルラーゼと乳酸菌の混合添加およびそれらの単独添加実験でも、混合添加サイレージの発酵品質は改善されたが、細胞壁成分に対する効果はセルラーゼの単独添加とあまり変わらなかったことを報告している。本実験のギ酸添加では、いずれの草種と刈取時期においても残存可溶性糖(WSC)含量が他の処理より著しく高かった。これは、ギ酸がサイレージの発酵を強く抑制したためと考えた。Masuko et al¹⁷⁾もギ酸添加サイレージではWSC含量が高かったと報告している。分散分析の結果において、添加物の効果は全ての項目に対して有意であった。これは細胞壁成分およびそれらの消失率は添加物の添加によって著しく異なることを示している。

本実験において、AC添加とLC+AC添加によってサイレージの細胞壁成分が著しく減少すること、また、サイレージの発酵品質は細胞壁成分およびそれらの消失率と強く関係することが確認できた。しかし、AC添加とLC+AC添加との間に化学成分およびそれらの消失率の差は大きくなかったが、発酵品質には相乗効果がみられた。その原因に対してさらに検討する必要があると考えた。

要 約

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前期のチモシーを用いて、材料草は1994年6月21日（適期刈り）と7月4日（遅刈り）に刈り取り、無添加、*Acremonium cellulolyticus* Y-94由来のセルラーゼ（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。

乳酸菌添加によって、アルファルファの適期刈りとチモシーの適期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認められたが、細胞壁成分含量には無添加と有意差はなかった。ACを0.01%添加すると、すべて良質なサイレージができ、ACとLCを併用添加すると、さらに相乗効果が認められた。無添加に比べ、AC添加とLC+AC添加のWSC含量、NDF、ADFおよびヘミセルロース消失率は増加し、NDF、ADF含量およびWSC消失率は減少した。原料草に比べても、AC添加とLC+AC添加のNDF、ADFおよびヘミセルロース含量は減少した。ヘミセルロース消失率は、いずれの時期においてもチモシーの方がアルファルファより著しく高かった。AC添加とLC+AC添加を比較すると、チモシー遅刈りサイレージのWSC含量とWSC消失率のみに有意差がみられた。ギ酸添加は、いずれの草種あるいは刈取時期においても、酸の生成が強く抑制され、良質なサイレージができ、残存可溶性糖（WSC）含量が他の処理より著しく高かった。

引用文献

- 1) 安宅一夫, 1986. サイレージバイブル, pp.77-90. 酪農学園出版部.
- 2) 安宅一夫, 金田勝, 桧崎昇, 1990. サイレージの品質と繊維含量に及ぼすセルラーゼ添加の影響（セルラーゼ少量添加の効果）, 日草誌 36（別号）: 212-213.
- 3) Ataku, K., L.E. Chase, T. Kaneko, N. Watanabe and M. Virkki, 1991. Proceedings of conference on forage conservation towards 2000, 317-318.
- 4) 安宅一夫, 上篠守広, 桧崎昇, 1992. サイレージ品質に及ぼす乳酸菌と *Acremonium* セルラーゼ添加による相乗効果, 日草誌（別号）: 48: 251-252.
- 5) 安宅一夫, 1993. 90年代の酪農技術, pp.117-126. 酪農学園大学エクステンションセンター.
- 6) Ataku, K., E. No and N. Narasaki, 1993. Effects of the addition of cellulase derived from *Acremonium cellulolyticus* on silage fermentation. pp.95-96. Silage Research 1993.
- 7) Ataku, K., L.E. Chase and M. Virkki, 1995. Effect of addition of formic acid and Ensimax on fermentation of alfalfa silage. J. Dairy Sci., 78 (Supplement 1): 356.
- 8) 艾尼瓦尔艾山, 安宅一夫, 桧崎昇, 野英二, 1995. *Acremonium* 由来のセルラーゼの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, 北草研報; 29: 55-57.
- 9) Bayorbor, T.B., S. Kumai, R. Fukumi and I. Hattori, 1993. Effects of *Acremonium cellulase* and lactic acid bacteria inoculant on the fermentation quality and digestibility of guineagrass silages. J. Japan. Grassl. Sci., 39: 317-325.
- 10) Bolsen, K.K, 1993. The basic principles of silage-with emphasis on fermentation and additives. Konzervace Objemnych Krmiv., 51-58.
- 11) Gonzalez-yanez, M., R. McGinn, D.H. Anderson, A.R. Henderson and P. Phillips, 1990. The effect of biological additives on the composition and nutritive value of silage. Animal Production., 50: 586.
- 12) Henderson, A.R., P. McDonald and David Anderson, 1982. The effect of a cellulase preparation derived from trichoderma viride on the chemical changes during the ensilage of grass, lucerne and clover. J. Sci. Food Agric., 33: 16-20.
- 13) 森本宏（監修）, 1971. 家畜栄養実験法. 養賢堂. 東京.
- 14) Morrison, I.M., 1988. Influence of some chemical and biological additives on the fibre fraction of lucerne on ensilage in laboratory silos. J. Agr. Sci., 111: 35-39.
- 15) McDonald, P., A.R. Henderson and S.J.E. Heron, 1991. The Biochemistry of Silage (second edition). Chalcombe Publication.
- 16) Muck, R.E., 1993. Silage production (From seed to Animal). pp.124-136. NRAES-67.
- 17) Masuko, T., I. Kodama and N. Ohta, 1996. Effects of addition of formic acid or mixture of bacterial inoculant and enzyme on ferment-

- tation of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.), timothy (*Phleum pratense* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) silages. Grassl. Sci. 42: 133-139.
- 18) No, E., Y. Harasawa, K. Ataku, N. Narasaki and T. Sueyoshi, 1985. Effect of cellulase preparation on fermentation of silage. Proc. XV International Grassland Congr., 937-938.
- 19) 名久井忠, 野中和久, 原慎一郎, 1994. セルラーゼ添加が寒地型牧草サイレージの発酵品質, 消化率及び採食量に及ぼす影響, 日草誌; 40 (別号): 193-194.
- 20) 野中和久, 名久井忠, 原慎一郎, 1995. セルラーゼ添加が水分含量の異なるアルファルファ 2 番草サイレージの発酵品質と消化性に及ぼす影響, 北畜会報; 37: 24-27.
- 21) R.P. Tengerdy, Z.G. Weinberg, G. Szakacs, M. Wu, J.C. Linden, L.L. Henk, and D.E. Johnson, 1991. Ensiling alfalfa with additives of lactic acid bacteria and enzymes. J. Sci. Food Agric., 55: 215-228.
- 22) Stokes, M.R and J. Chen, 1994. Effects of an enzyme-inoculant mixture on the course of fermentation of corn silage. J. Dairy Sci., 77: 3401-3409.
- 23) Stokes, M.R, 1992. Effects of an enzyme mixture, an inoculant, and their interaction on silage fermentation and dairy production. J. Dairy Sci., 75: 764-773.
- 24) 友田裕代, 大桃定洋, 田中治, 北本宏子, 浜谷徹, 河野敏明, 丹野裕, 1996. *Acremonium cellulolyticus* Y-94 由来のセルラーゼの添加がアルファルファサイレージの発酵品質に及ぼす影響. Grassl. Sci., 42 (2): 155-158.
- 25) Van Vuuren, A.M., K. Bergsma, F. Krol-Kramer and J.A. Cvan Beers, 1989. Effects of addition of cell wall degrading enzymes on the chemical composition and the in sacco degradation of grass silage. Grass and Forage Sci. 44: 223-230.
- 26) 吉田実, 1975. 畜産を中心とする実験計画法. pp.68-162. 養賢堂. 東京.

Summary

Early blooming and full blooming alfalfa (*Medicago sativa* L.), and early heading and full heading timothy (*Phleum pratense* L.) were ensiled with additives of the following substances: cellulase (0.01%) from *Acremonium* (AC), lactic acid bacteria (LC), a combination of AC and LC (LC+AC) and formic acid (0.5% for alfalfa and 0.3% for timothy), and without additives (control).

The addition of lactic acid bacteria had a beneficial effect on the fermentation quality in early blooming alfalfa, early heading and full heading timothy, but showed no significant synergistic effect on chemical composition. The fermentation quality of all the silages improved with the addition of 0.01% AC. This quality was further improved by a combination of both AC and LC, and a good synergistic effect on the fermentation. In both cases, the addition of AC and LC+AC caused an increase in water-soluble carbohydrate (WSC) content, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and hemicellulose loss. The NDF, ADF and hemicellulose content of the silage decreased with the addition of AC and LC+AC, compared with that of the ensiled material. Hemicellulose losses of timothy silages were higher than that of the silages of alfalfa at all maturities. The additions of AC and LC+AC showed significant effects on WSC content and WSC loss in full heading timothy silages. The addition of formic acid suppressed the fermentation and resulted in the highest WSC remaining among the experimental silages.