

乾燥ホエーの添加がコーンサイレージの発酵品質，めん羊の採食性 およびルーメン内の分解性に及ぼす影響

柴 山 草 太¹⁾・泉 賢 一²⁾・森 本 健 太²⁾
野 英 二²⁾・名久井 忠²⁾

The effects of the addition of dry whey powder on the fermentation quality of
corn silage, its intake by sheep, and its degradation in the rumen of sheep

Souta SHIBAYAMA¹⁾, Kenichi IZUMI²⁾, Kenta MORIMOTO²⁾, Eiji NO²⁾ and Tadashi NAKUI²⁾
(June 2005)

緒 言

ホエーは乳製品製造過程から産出される食品副産物であり，一部は養豚，養鶏，育成子牛などの飼料として利用されているが⁵⁾，残りの大部分は産業廃棄物として処分されている。現在事業系の一般廃棄物に分類される食品副産物は，日本全体で約 600 万 t と予測されている¹⁾。その 99.7% が埋め立て，あるいは化石燃料を用いて燃焼処分されている¹⁾。このため，埋め立てによる生ゴミの環境負荷や炭酸ガスの発生による温暖化への負の影響などが問題となっている。この問題に関連して，平成 12 年「食品循環資源の再利用などの促進に関する法律」(食品リサイクル法) が成立した。食品副産物の「発生の抑制」，「再生利用」そして「減量」が，この法律の骨子である。食品リサイクル法の観点からも，ホエーの新たな利用方法を模索することが必要である。

乾燥ホエーは 1 kg が液状ホエー 13~14 kg の養分に相当し，粗蛋白質を 12~13%，乳糖を 70% 程度含んでいる⁵⁾。乳酸菌は糖をエネルギー源として活動し乳酸発酵するので，乾燥ホエーをサイレージの添加剤として調製時に混合することで発酵品質が改善されと考えられる。また，サイレージの発酵品質が改善されることにより，好气的変敗の防止，採食量の増加あるいは嗜好性の向上が期待できる⁴⁾。

そこで，本試験では乾燥ホエーを添加したコーンサイレージを調製し，発酵品質および開封後の発熱温度変化を無添加サイレージあるいは尿素添加サイレージと比較することで，サイレージ添加剤としての乾燥ホエーの効果を評価した。同時に，めん羊の

採食性，ルーメン内分解率についても調査し，乾燥ホエーの利用価値を検討した。

材料および方法

サイレージ調製方法

本学附属農場で生産したコーン (ゴールドデント 95 およびニューデント 95) を黄熟期に収穫し材料とした。材料コーンを 500 L のサイロ 4 個に詰め込み，これらを風雨に当たらないように屋内で 34 日間貯蔵した (平均重量: 346 kg)。サイロは，無添加のものを二つ，調製時に乾燥ホエー (乳清パウダー，雪印乳業株式会社) を材料生重の 5 % になるように添加したものを 1 つ，同様に尿素 (家庭園芸用窒素 46%，片倉チッソカリ株式会社) を 1 % 添加したものを 1 つ調製した。処理は 4 処理で，無添加サイレージの 1 つを無添加区，乾燥ホエー添加サイレージをホエー添加区，尿素添加サイレージを尿素添加区とし，もう一方の無添加サイレージについてはホエー給与区とし，給与直前に給与量の 5 % の乾燥ホエーをサイレージと混合して与えた。

供試動物および試験設計

本学で飼養しているルーメンカニユーレ装着去勢めん羊 3 頭を用いた (平均体重 57.3 kg)。めん羊は代謝ケージに繋ぎ，飼料を 1 日 1 回給与した。給与飼料はコーンサイレージのみとし，残飼量が給与量の 20% となるように給与し，自由採食させた。めん羊は，試験開始 8 日前からコーンサイレージに馴致させた後，1 期 11 日間の試験を 4 期おこなった。1 期は採食量測定期 6 日間とルーメン内分解率測定期

¹⁾ 酪農学園大学酪農学部

Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

²⁾ 酪農学園大学附属農場

Research Farm, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

5 日間から成り、試験順序はホエー添加区、無添加区、ホエー給与区、尿素添加区とした。採食量測定期の後半 3 日間では採食速度も計測した。採食速度は給与後 30 分、1 時間、3 時間、6 時間、12 時間および 24 時間に飼槽を取り外し計量することにより算出した。ルーメン内分解率はナイロンバック法により調査した。給与飼料および残飼のサンプルは毎日採取した。採取したサンプルは 11 日分をプールし分析に供した。

一般分析方法

材料コーンおよび各サイレージは 60℃で 48 時間送風乾燥後 1 mm 以下に粉碎し、乾物 (DM)、粗蛋白質 (CP)、中性デタージェント繊維 (NDF)、酸性デタージェント繊維 (ADF)、粗脂肪 (C. Fat)、粗灰分 (C. Ash)、非繊維性炭水化物 (NFC) について分析した。NFC は DM から NDF、CP、C. Fat、C. Ash を差し引いて算出した。各成分の分析方法は粗飼料の品質評価ガイドブック²⁾にしたがった。なお、NDF 含量を分析する際に耐熱性アミラーゼ (ALPHA-AMYLASE HEAT STABLE, ANKOM Technology, NY) を 1 サンプルにつき 500 μ l 添加した。

サイレージの発酵品質に関する項目として pH、乳酸含量、揮発性脂肪酸 (VFA) 含量、全窒素に対する揮発性塩基態窒素の割合 (VBN 比) および V-スコアを測定した。乳酸含量は無添加サイレージ、ホエー添加サイレージおよび尿素添加サイレージについて粗飼料の品質評価ガイドブック⁶⁾にのっとり分析した。VFA 含量はガスクロマトグラフィーにより分析した。VBN は水蒸気蒸留法により定量した。V-スコアは粗飼料の品質評価ガイドブック³⁾にのっとり、80 点以上を良、60~80 点を可、60 点以下を不良とした。

サイロ開封後の温度測定

サイロ開封後の好気的変敗の程度を調べるために温度測定を行った。開封直後のサイレージを 5 L 容発泡スチロールに移し変え、空気を含むように混合して、27℃に設定した恒温室に保管した。温度変化は自記温度記録計を用い、1 時間間隔で 11 日間測定した。

ルーメン内分解率の測定

ナイロンバックに目開き 2 mm 以下のメッシュを通過するように粉碎した各サイレージの風乾飼料 5~18 g を詰めてルーメン内分解率の測定を行った。ルーメン内培養時間は 0 時間、6 時間、12 時間、24 時間とした。培養 0 時間は、サンプルを詰めたナイロンバッグを約 12 時間水中に浸漬させ余分な水分を搾り取ったものとした。その他の培養時間についても、ルーメンへの挿入前に 0 時間と同様に水に浸漬した。ルーメンから取り出したサンプルは直ちに流水で洗浄し、60℃、48 時間で通風乾燥した。風乾後は 105℃、4 時間乾燥し乾物重量を測定した。

結 果

材料およびサイレージの化学組成を表 1 に示した。乾燥ホエーの CP 含量は 13.2%、NFC 含量は 76.3%であった。材料コーンの DM 含量は 27.9%、CP 含量は 5.9%、NFC 含量は 37.8%であった。サイレージの CP 含量は、尿素添加区が最も高い値を示し、次いでホエー添加区およびホエー給与区 (サイレージ+ホエー) が高く、無添加区およびホエー給与区 (サイレージのみ) は低い値を示した。NDF 含量は、ホエー給与区 (サイレージ+ホエー) が最も低い値を示した。NFC 含量はホエー給与区 (サイレージ+ホエー) が最も高く、尿素添加区が低い値を示した。

表 1 材料およびサイレージの化学組成

	乾燥ホエー	材料コーン	無添加区	ホエー添加区 ¹⁾	ホエー給与区 ²⁾		尿素添加区 ³⁾
					サイレージのみ	サイレージ+ホエー	
乾物 (%)	90.2	27.9	27.7	28.9	27.6	30.7	28.2
	—(%DM)—						
粗蛋白質	13.2	5.9	5.5	6.7	6.0	6.7	14.4
中性デタージェント繊維	0.7	49.1	47.9	47.0	46.6	44.1	47.6
酸性デタージェント繊維	0.3	25.2	26.0	25.2	26.3	22.7	26.7
粗脂肪	0.3	2.3	2.8	2.9	2.2	2.9	2.3
粗灰分	9.6	4.9	4.8	3.7	4.7	5.8	4.6
非繊維性炭水化物	76.3	37.8	39.3	36.9	40.5	41.0	26.7

1) 材料コーンの重量に対し乾燥ホエー 5 %を添加し、サイレージ調製したもの。

2) 無添加サイレージに乾燥ホエー 5 %を混合したものを「サイレージ+ホエー」とし、混合していないものを「サイレージのみ」とした。

3) 材料コーンの重量に対し尿素 1 %を添加し、サイレージ調製したもの。

表2にサイレージの発酵品質を示した。pHは4処理とも大きな違いはなかった。総酸中の酪酸含量は、ホエー添加区で1.2%と最も高い値を示した。酪酸含量は無添加サイレージであった無添加区とホエー給与区が0.1%以上の値を示し、ホエー添加区と尿素添加区は0に近い値となった。

全窒素に占める VBN の割合が高かったのは尿素添加区の9.5%、ついでホエー添加区の5.5%であり、無添加区、ホエー給与区（サイレージのみ）は低い値を示した。V-スコアは無添加区の「可」の評価を除き、他の処理は「良」の評価であった。

サイロ開封後の発熱温度変化を図1に示した。無添加区、ホエー給与区（サイレージのみ）は調査開始から14時間後で室温を超え、20時間後には40℃へと急上昇し7日目までゆっくりと上昇した。ホエー添加区は、調査開始から40時間後まで室温を超

えることはなく、室温を超えても4日目まで40℃を上回ることにはなかった。その後、9日目から、10日目にかけて最高温度の55.2℃となった。尿素添加区は調査開始から24時間後に室温を超えた。その後28時間で40℃を超え4日目には4処理中最高の57.5℃に達した。

一日あたりの成分別採食量を表3に示した。DM採食量はホエー添加区が1298.9 g/日で、その他の3処理より多くなる傾向を示した。CP採食量は尿素添加区が他の3処理より多い値となり、無添加区が最も少なかった。NDF採食量は、DM採食量と同様の傾向を示した。

図2にめん羊の採食速度を示した。ホエー添加区の0-30 minの採食速度は1660.0 g/hで他の処理よりも速い傾向を示し、次いでホエー給与区、尿素添加区、無添加区の順となった。30 min-1 hでも、依

表2 サイレージの発酵品質

	無添加区	ホエー添加区*	ホエー給与区 (サイレージのみ)*	尿素添加区*
pH	4.00	4.03	3.98	4.09
乳酸 (%)	1.80	2.30	—	2.10
酪酸 (%)	0.80	1.20	1.00	0.90
プロピオン酸 (%)	0.02	0.01	0.02	0.01
酪酸 (%)	0.24	0.05	0.12	0.03
VBN ¹⁾ /全窒素 (%)	3.60	5.50	3.90	9.50
V-スコア ²⁾	75.8	87.4	84.2	82.6

1) VBN：揮発性塩基態窒素（アンモニアなど）

2) V-スコア：サイレージの品質評価点

※表1の脚注参照

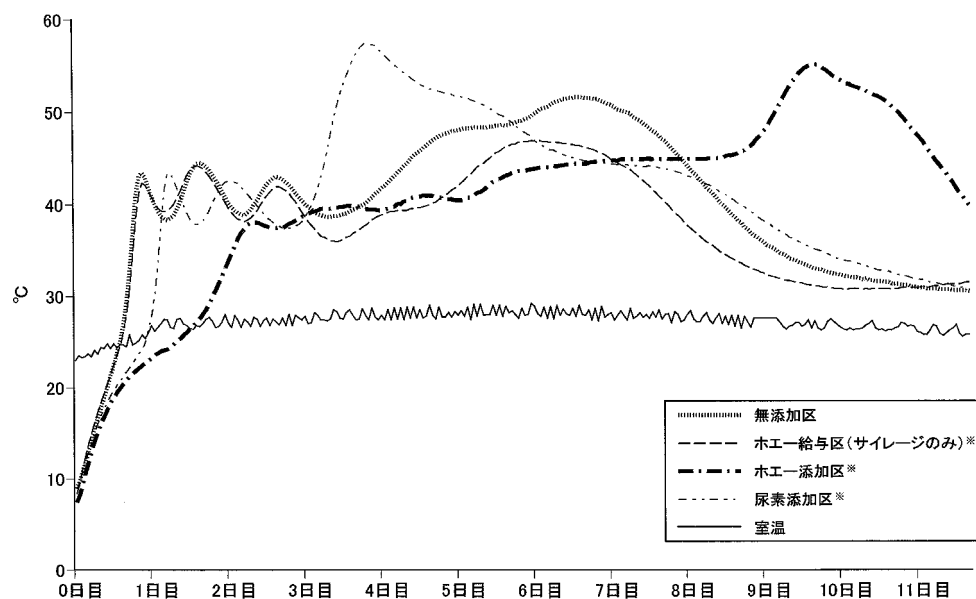


図1 開封後のサイレージ温度変化の推移

※表1の脚注参照

表 3 1日あたりの栄養採食量

	無添加区	ホエー添加区*	ホエー給与区 (サイレージ+ホエー)*	尿素添加区*
乾物採食量 (g/日)	1067.3	1298.9	1054.0	1062.2
粗蛋白質採食量 (g/日)	54.1	77.9	64.7	165.7
中性デタージェント繊維採食量 (g/日)	500.7	596.4	471.1	464.5

※表1の脚注参照

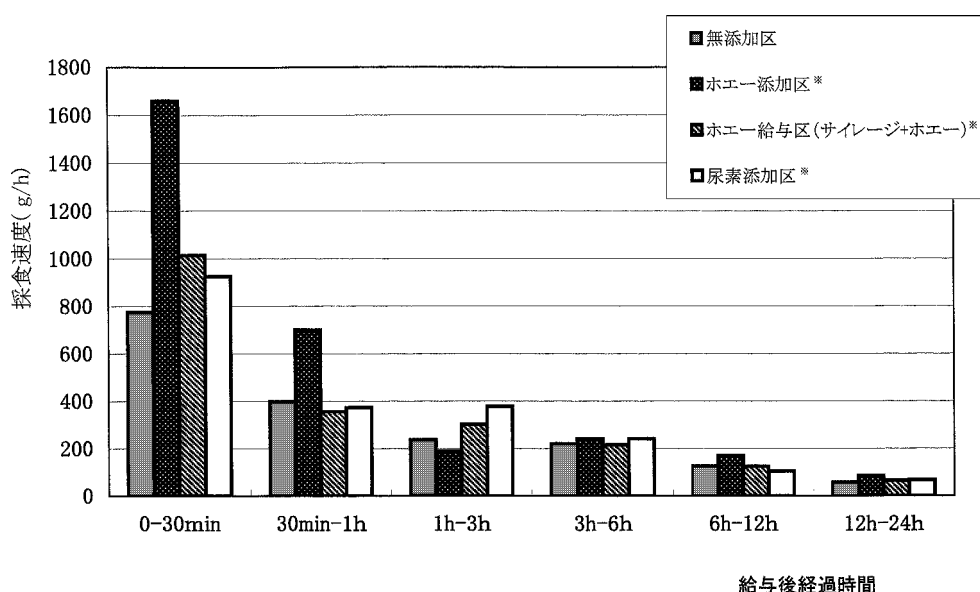


図 2 各サイレージの原物採食速度の推移

※表1の脚注参照

然としてホエー添加区が最も速かった。1-3 h では尿素添加区の採食速度が最も速く、ホエー添加区は最も遅かった。3 h 以降は4 処理とも変わらない速度だった。

図3にルーメン内乾物分解率を示した。0 時間ではホエー給与区(サイレージ+ホエー)、無添加区が高い値を示し、ホエー添加区、尿素添加区が低い値となった。しかし、6 時間経過時にはホエー給与区(サイレージ+ホエー)は最も高い分解率であったが、尿素添加区とホエー添加区が無添加区を上回った。その後、この順序は24 時間まで入れ替わることはなかった。

考 察

サイレージ発酵品質

良質なサイレージの条件は、乳酸を多量に含み pH が低く、発酵品質を低下させる酢酸、プロピオン酸および酪酸などの VFA 含量が低く、採食量減少につながる VBN 含量が低いものである⁵⁾。これらの条件の中でもとりわけ乳酸発酵が重要である。乳酸菌の増殖が促進されると、乳酸が生成されて有害細

菌、好気的微生物の活動を抑制し VBN の生成を抑制するので良質なサイレージとなる³⁾。乳酸菌は糖をエネルギー源とするので乳酸発酵を促進するためには、材料中の糖含量を高めることが重要である。表1で示した乾燥ホエーの NFC 含量は76.3%で、一般的な値(NFC 含量70%)よりも高かった⁵⁾。乾燥ホエーの NFC は大部分が乳糖であるため、ホエー添加区の発酵品質が改善されたのは乳酸菌のエネルギー源を添加したことによって乳酸発酵が促進されたからであると考えられた。表1よりホエー添加区とホエー給与区(サイレージ+ホエー)で NFC 含量を比較すると、乾燥ホエーを同量ずつ加えたにもかかわらずホエー添加区の方が4%低い値を示した。この差は、サイロ内で乳酸菌が乳糖を消費したためであると推察される。

図1よりホエー添加区は他の3 処理と比べ開封後の発熱抑制効果が高いことが示された。発熱の原因となるのは、サイレージ自体に生存・付着している微生物が残存している糖や有機酸などをエネルギー源として増殖し、これらの物質を酸化して熱を発生させるためである⁴⁾。一方、ホエー添加区のように乳

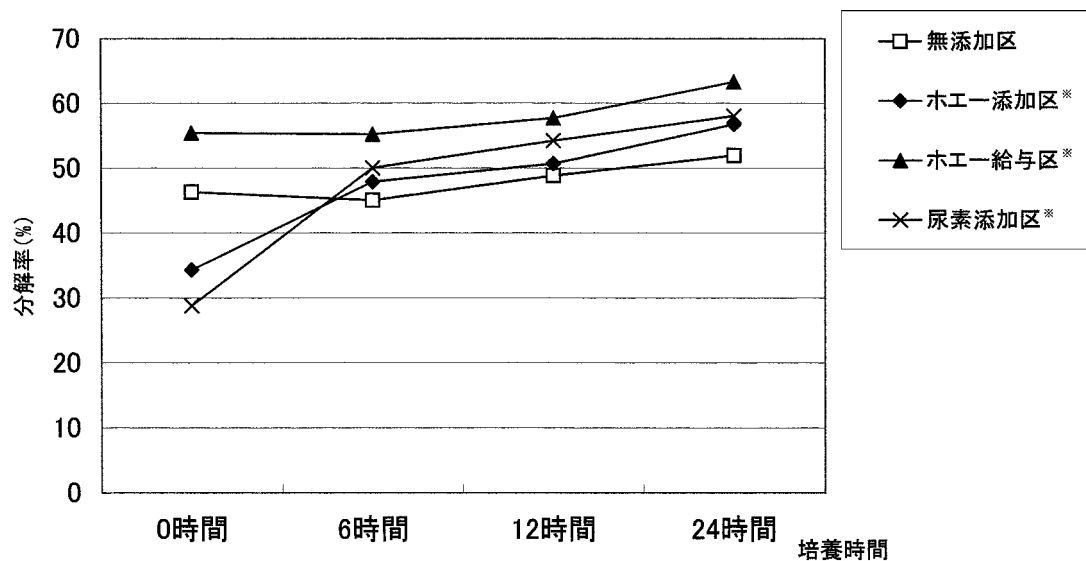


図3 ルーメン内乾物分解率の推移

※表1の脚注参照

酸発酵が活発になると貯蔵初期に pH が急激に低下するので、サイロ内で好気的変敗に関与する微生物がほとんど存在しない状態になる。このことがサイロ開封後の発熱抑制に貢献していたものと推測した。

採食量と嗜好性

表3から乾物採食量はホエー添加区が高くなる傾向を示した。この理由の一つに嗜好性が関与していたと思われる。採食速度が速かったことや、発酵品質が改善されたことから判断して、嗜好性が改善されたものと推察した。また、ホエー添加区は好気的変敗の抑制効果が高く給与からの時間が経過してもサイレージの品質が劣化しなかったことも、嗜好性の改善に貢献していると考えられる。

一方、ホエー給与区(サイレージ+ホエー)の CP 採食量は無添加区よりも多くなる傾向を示し、また 0-30 min の採食速度もホエー添加区に次いで速い値となった。このことから、乾燥ホエーをコーンサイレージの補助飼料として用いることも嗜好性や栄養の改善の点から効果的であると考えられた。

ルーメン内の分解性

飼料のルーメン内分解率を高めるためには、ルーメン内の環境を整え、ルーメン微生物を活性化させることが必要である。ルーメン微生物の十分な活躍の場を設定するには、飼料中の蛋白質と炭水化物のバランスが重要であり、蛋白質不足では微生物の活動が不活発になると考えられている⁷⁾。つまり、デン

プンを多量に含んでいるが低蛋白質飼料であるコーンサイレージでは、ルーメン内分解率が低くなるはずである。ルーメン内 DM 分解率は、飼料中の CP 含量の高い尿素添加区が最も高くなると考えられたが、ホエー給与区(サイレージ+ホエー)が最も高い値となった。乾燥ホエーを直接給与したことで、低蛋白質飼料であるコーンサイレージの栄養価が改善されたことが、この結果に関係しているのかもしれない。一方、ホエー添加区の分解率はホエー給与区よりも低い傾向にあったが、尿素添加区と同程度の値であったため、サイレージ添加剤として使用してもルーメン内分解率向上に寄与すると考えられた。

以上のことから、乾燥ホエーをサイレージ調製時に混合することで、乳酸発酵を促進し発酵品質が向上すると考えられた。その結果、好気的変敗を防止し、嗜好性の向上にも結びつくと推察される。さらに、ホエーの栄養価が高いためコーンサイレージと併給することで、ルーメン内分解率の向上にも寄与すると思われる。したがって、乾燥ホエーは、サイレージの添加剤や補助飼料として十分に利用可能であろう。

本試験で使用したホエーは乾燥された粉末であるため、乳飲料や菓子などの食用に用いることができて価格も高い。ホエーは本来液状で生成され、この状態では産業廃棄物として扱われる。したがって、今後、飼料としての利用を促進するためには、液状時の保存方法や輸送方法などの課題を解決しなければ

ならない。

要 約

乾燥ホエーのサイレーシ添加剤としての効果を調べるために、コーンサイレーシ用いて、発酵品質、めん羊の採食量、採食速度およびルーメン内分解率を調査した。無添加区、ホエー5%添加区、尿素1%添加区ならびに給与直前に無添加サイレーシとホエーを混合したホエー5%給与区の4処理を設けた。ルーメンカニューレ装着去勢めん羊3頭を代謝ケージにつなぎ、飼料を1日1回給与して試験を実施した。ホエー5%添加区は乳酸含量とVスコアが最も高かった。サイレーシ開封後の温度変化については、ホエー5%添加区が最も発熱抑制効果があった。乾物採食量および採食速度は、ホエー5%添加区が高い値を示した。ルーメン内乾物分解率はホエー5%給与区が最も高く、次いでホエー5%添加区と尿素1%添加区が同程度となり無添加区が最も低かった。以上のことから、乾燥ホエーは、サイレーシの添加剤や補助飼料として十分に利用可能であると考えられた。

Summary

It was studied to evaluate the effect of corn silage with and without dry whey powder additive on its fermentation quality, intake by sheep and degradation in the rumen of sheep. We compared control corn silage, whey added to corn at 5% weight on fresh matter basis, urea added to corn at 1% weight, and whey supplemented by control corn silage at 5% weight at feeding. The test was carried by using 3 sheep (live weights: 57.3 kg), each fitted with a rumen cannula. They were maintained in individual metabolic cages, and were fed corn silage ad libitum once a day. Degradation in the rumen was investigated by the nylon bag technique. Fermentation quality of silage was found to be better in whey added to corn at 5% than in other treatments; V-SCORE was also the highest in whey added to corn at 5%. Temperature transition after opening the silo was the slowest in whey added to corn at 5% than in other treatments. Both dry matter intake and intake rate were the highest in the case of whey added to corn at 5%. The degradability of dry matter in the rumen decreased in the following order: whey supplemented by control corn silage at 5% weight at feeding, urea added to corn at 1%, whey added to corn at 5% and control corn silage, but no great difference was observed between urea added to corn at 1% and whey added to corn at 5%. The present results clearly show that dry whey powder is an effective additive to corn silage.

参 考 文 献

- 1) 阿部 亮. 2004. 食品廃棄物の飼料利用. 畜産の研究, 58: 233-237.
- 2) 藤田泰仁. 2002. 改訂粗飼料の品質評価ガイドブック, 自給飼料品質評価研究会編. p 5. 社団法人日本草地畜産種子協会. 東京.
- 3) 柁木茂彦. 2002. 改訂粗飼料の品質評価ガイドブック, 自給飼料品質評価研究会編. 91-93. 社団法人日本草地畜産種子協会. 東京.
- 4) 増子孝義. 1999. サイレーシの発酵. サイレーシ化学の進歩 (内田仙二編集). 95-107. テーリィ・ジャパン社. 東京.
- 5) 森本 宏. 1985. 飼料学 (森本 宏・吉田 実・大山嘉信共著). 第1版. 218-219. 養賢堂. 東京.
- 6) 蔡義民. 2002. 改訂粗飼料の品質評価ガイドブック, 自給飼料品質評価研究会編. p 36. 社団法人日本草地畜産種子協会. 東京.
- 7) 田先威和夫監修. 1996. 新編畜産大事典, 第1版. p 171. 養賢堂. 東京.