

ビール粕と発泡酒粕から調製したサイレージの発酵特性

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
著者名	西野,直樹 原田,宏明 坂口,英
発行元	日本草地学会
巻/号	47巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 318-322
発行年月	2001年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



特 集

高水分粕類のサイレージ化と利用（その1）

3. ビール粕と発泡酒粕から調製したサイレージの発酵特性

西野直樹・原田宏明・坂口 英

岡山大学農学部（700-8530 岡山市津島中 1-1-1）

受付日：2001 年 5 月 21 日/受理日：2001 年 5 月 30 日

キーワード：サイレージ，TMR，発泡酒粕，ビール粕。

Silage Making and Utilization of High Moisture By-products (Part 1)

3. Ensiling Characteristics of Brewer's Grain Left after the Production of Beer and Happo-shu (Low Malt Beer)

Naoki NISHINO, Hiroaki HARADA and Ei SAKAGUCHI

Faculty of Agriculture, Okayama University, Tsushima-naka, 1-1-1, Okayama 700-8530, Japan

Key word : Brewer's grain, Low malt beer (Happo-shu), Silage, Total mixed ration.

緒 言

平成 8 年の酒税法改正を機に発泡酒の製造が本格化した
が、近年その消費は著しく増大しており、ビール類全体に占
める割合は昨年 20% を越えた。最近（平成 13 年 1 月）大手
メーカーが新たに発泡酒市場に参入したことを考えると、こ
の増大傾向は今後も継続すると予想される。

発泡酒とは、原料中（水とホップを除く）の麦芽比率が
66.7% 未満の酒のことをいう。その税率は麦芽の比率によ
って 3 段階に分けられており（表 1）、麦芽の比率が低いほど酒
税が安くなっている。発泡酒はこの酒税の違いを「低価格」
に結びつけており、国内で販売されている製品は全て麦芽の
比率が 25% 未満である（平成 13 年 3 月現在）。別の見方をす
れば、発泡酒は原料の 75% 以上が米、トウモロコシ、コウ
リヤン、馬鈴薯、澱粉等の副原料ということになる。

ビール粕や発泡酒粕は、麦芽と副原料を糖化させた後麦汁
を濾過した残渣である。国内の生産（排出）量は年間約 100
万トンであり、そのほとんどが飼料として利用されている¹⁾。
先に述べたように、ビールと発泡酒では麦芽と副原料の比率
に大きな差があるので、その製造粕の化学組成や飼料特性に
も違いがあると思われる。発泡酒粕は既に流通・利用されて
いるが、高度な利用を図るにはその特性を明らかにしておく
必要がある。

高水分の醸造粕であることから、サイレージとして貯蔵・
利用する方法が最も適している。実際、これら粕類を利用し
た TMR サイレージの製造・販売も行われている。そこで筆
者らは、ビール粕と発泡酒粕の化学成分を調べるとともに、
それらから調製したサイレージの発酵特性について検討し
た。実験は現在も継続中であるが、これまでに得られた結果
について紹介する。

材 料 と 方 法

1. 国内 3 社から排出されたビール粕と発泡酒粕の化学組成

表 1 から明らかなように、副原料の種類は非常に多い。
そのため、粕類の化学組成は製造会社による違いがあると考
えられる。また、このような製造粕類はロットによる変動が
大きいことも知られている。そこで、国内大手 3 社のビール
工場から排出されたビール粕と発泡酒粕を集めて分析を行っ
た。化学分析は既報に準じて行い⁷⁻⁹⁾、pH および有機酸（乳
酸と VFA）、乾物、タンパク質、NDF、ADF、NDIN（中性
デタージェント不溶性窒素）、ADIN（酸性デタージェント不
溶性窒素）および SC（可溶性糖類）量を測定した。SC につ
いては、脱脂試料を熱水抽出してアンスロン硫酸で比色する
方法と、80% エタノールで抽出して構成糖を HPLC 定量す
るふたつの方法で測定した。3 社のうち 1 社の粕は排出当日
に採取したが、残り 2 社の粕は凍結状態で郵送されたものを
使用した。試料の採取回数は A 社が 4 回、B 社が 3 回および
C 社が 1 回で、A 社からは生粕だけを、B 社からは生粕と脱
水粕を、C 社からは脱水粕だけを入手した。脱水粕とは、ベ
ルトプレス等で脱水搾汁した粕のことである。なお、試料の
採取は 1 ケ月以上の間隔をおいて行い、製造ロットによる化
学成分の変動の大きさを調べた。

2. サイレージ調製と動物実験

サイレージの調製は、排出当日に入手した生粕を用いて
行った。ビール粕あるいは発泡酒粕を直接あるいは数種飼料
と混合して TMR 型とした後（粕：ビートパルプ：オーツヘ
イ：フスマ：糖蜜＝5：2：1：1：1）、500 ml 容のポリ瓶に詰
め込んで 25℃ の恒温室中で保存した。詰め込み量は単独貯
蔵で 580-650 g、TMR 型貯蔵で 480-530 g であり、貯蔵期間
は 5、20 および 40 日間とした。消化試験用の TMR 型サイ

表 1. 酒税法によるビールと発泡酒の定義と税率.

麦芽比率	副原料	その他の原料	区分	税率 (円) (350 ml 缶換算)
66.7% 以上	△	×	ビール	77.7
50% 以上 66.7% 未満	○	△	発泡酒	77.7
25% 以上 50% 未満	○	△	発泡酒	53.4
25% 未満	○	△	発泡酒	36.8

○：必須，△：どちらでも可，×：不可.

副原料：米，トウモロコシ，コウリヤン，馬鈴薯，デンプン，糖類.

レージも上記と同様の組成で調製し，ポリエチレンバッグに 20 kg ずつ詰め込んで 25℃ で 40 日間以上保存した。なお，ビートパルプとオーツヘイはラセレーターで粉碎したものを使用し，すべての飼料が十分混合されるようにした。

消化試験はルーメンカニューレ装着の去勢シバヤギ 3 頭を用いて行い，TMR 型サイレージを維持量（乾物で体重の 2%）給与して消化率と窒素出納を測定した。また，ルーメン液を経時的に採取して VFA と $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度の変化も調べた。消化率，窒素出納およびルーメン液性状における有意差は，t-test により検出した。

結果および考察

1. ビール粕と発泡酒粕の化学組成と製造会社および製造ロットによる変動

化学成分の分析結果を表 2 に示した。乾物率はビール粕より発泡酒粕の方が低かったが，製造会社やロットによる違いは大きくなかった。脱水粕の乾物率は 35% 前後であり，単独貯蔵で中水分サイレージが調製可能なレベルであった。タンパク質含量は A 社の粕が 30% DM 前後，B および C 社の粕が 20% DM 前後であり，製造会社による違いが大きかったが，粕の種類あるいは脱水による差はほとんどみられなかった。NDIN の割合も製造会社による違いが大きく，A 社のものは粕の種類に関わらず全窒素の 50% 以上が NDIN だった。ビール粕と発泡酒粕の違いは小さかったが，例外的に C 社の発泡酒粕は NDIN の割合がビール粕の 1.8 倍以上だった。A 社のものは ADIN の割合も高く，発泡酒粕では平均 23% 以上の窒素が ADIN であった。

麦芽の乾燥や糖化の際に熱が加えられるため，ビール粕や発泡酒粕のタンパク質はルーメン内微生物による分解を受けにくくなっている。NDIN の割合が高くなるとルーメン内での分解速度は低下するので^{5,6)}，A 社の粕は B および C 社のものに比べてタンパク質のルーメンバイパス率が高いと推定される。一方，ADIN は不消化のタンパク質と考えられているので，A 社の粕は B および C 社のものに比べて不消化成分の割合が高いと推察される。全窒素量にも違いがあることを考慮すると，タンパク質のルーメン内分解性は製造会社による違いが大きいと考えられる。

NDF 含量は 60~70% DM であり，発泡酒粕の方が低い傾向を示した。ADF 含量はいずれも 22% DM 前後であり，製造会社およびロットによる変動は小さかった。アンスロン硫酸法で求めた SC 量は，ロットによる変動が大きいものの，

ビール粕に比べ発泡酒粕が 2 倍以上の値を示した。脱水するとその値は著しく低くなり，ビール粕と発泡酒粕の差もほとんどみられなくなった。構成糖の主体は，粕の種類あるいは製造会社に関わらずマルトースとラフィノースであり，牧草類に含まれるグルコース，フルクトースおよびスクロースはほとんど検出されなかった。HPLC で定量した糖類の合計値とアンスロン硫酸法で求めた値を比べると，前者は後者の約 60% となり，脱水したビール粕および発泡酒粕ではいずれも 2% DM 以下と算出された。多くの乳酸菌はマルトースを速やかに利用できるが，ラフィノースの資化能力はそれほど高くない³⁾。そのため，マルトースの値を発酵可能な基質量と考えると，発泡酒の生粕以外は糖含量が非常に低い値となる。アンスロン硫酸法は，フルフラール等の糖以外の物質を定量する可能性があるため，熱変性を起こした粕類の糖定量には適当でないと考えられる。

ビール粕および発泡酒粕のいずれも入手時点で発酵が進行しており，生粕では 1% DM 以上の乳酸が生成していた。この時点では VFA の生成は認められず，乳酸生成が活発な粕の中には pH が 4.0 以下まで低下しているものもあった。なお，表中には示していないが，排出日に入手できた粕については乳酸菌数も測定し（ $n=4$ ），ビール粕と発泡酒粕のいずれも 10^7 cfu/g 以上の高値であることを確認している。これらの結果から，発泡酒粕はビール粕に比べて乾物率が低く SC 量が高いが，タンパク質と ADF 含量は同程度と考えてよい。SC の主体はマルトースとラフィノースであり，製造ロットによる変動が大きいことも特徴である。

2. 単独貯蔵あるいは TMR 型サイレージの発酵特性

単独あるいは TMR 型サイレージの発酵特性を図 1 に示す。ボトルサイロの調製は 4 回行ったが，そのうち代表的な 2 例について示す。単独貯蔵の結果をみると，pH の低下は 2 例とも発泡酒粕の方が速やかであり，40 日後の pH は 3.8 程度であった。これは乳酸生成量の違いが原因と考えられ，SC が多い発泡酒粕の方が乳酸発酵が進行しやすいことが分かる（ビール粕にマルトースを添加する実験を別に行ったが，その場合は乳酸量が増して発泡酒粕と同様の pH 低下を示した）。

乾物率を約 45% としたので，TMR 型サイレージでは全体的に発酵が抑制された。しかし，ビール粕を用いた場合は 2 例とも pH が 4.0 程度まで低下したのに対し，発泡酒粕を用いた場合は pH が 4.5 程度までしか低下しない事例があった。同様の現象は他の実験でも経験しているが²⁾，この pH の不十分な低下は単独貯蔵の結果と相反するものである。サイレージ調製時の乳酸菌数は同程度であり，SC 量は発泡酒粕を用いた方が多いので，これらでは説明が困難である。一方，エタノールの生成量をみると，乳酸生成が抑制されたサイレージでは約 8% DM のエタノールが生じており，このことが pH 低下を不十分にしたと考えられた。単独貯蔵の場合も少量のエタノールが生じることがあるので，発泡酒粕を用いて TMR 型サイレージを調製するとエタノールが優占して pH が高く保持されることがあると思われる。ただし，pH が比較的高いにも関わらず $\text{NH}_3\text{-N}$ の比率は 5% 前後であり，

表 2. ビールおよび発泡酒製造に伴って生産される生粕および脱水粕の化学成分.

項目	粕の種類	生粕	脱水粕	項目	粕の種類	生粕	脱水粕
pH				NDF (%DM)			
A 社	ビール粕	4.78 (4.61-5.09)		A 社	ビール粕	70.5 (66.9-72.1)	
	発泡酒粕	4.26 (4.02-4.59)			発泡酒粕	60.0 (57.0-63.2)	
B 社	ビール粕	4.70 (3.77-5.30)	5.25 (5.13-5.46)	B 社	ビール粕	65.5 (64.4-66.8)	70.3 (69.7-71.1)
	発泡酒粕	4.90 (4.27-5.42)	4.64 (4.34-4.86)		発泡酒粕	60.1 (57.4-62.6)	68.4 (67.3-70.2)
C 社	ビール粕		4.78	C 社	ビール粕		70.8
	発泡酒粕		5.14		発泡酒粕		71.9
乳酸 (%DM)				ADF (%DM)			
A 社	ビール粕	1.24 (0.54-1.81)		A 社	ビール粕	23.1 (22.9-23.3)	
	発泡酒粕	2.22 (1.52-3.25)			発泡酒粕	21.3 (20.6-21.7)	
B 社	ビール粕	1.78 (0.77-3.58)	0.35 (0.30-0.40)	B 社	ビール粕	21.8 (20.5-22.9)	22.9 (21.6-24.2)
	発泡酒粕	1.35 (0.08-2.71)	0.86 (0.55-1.25)		発泡酒粕	20.0 (18.4-21.5)	22.4 (22.2-22.8)
C 社	ビール粕		0.65	C 社	ビール粕		22.9
	発泡酒粕		0.33		発泡酒粕		21.8
乾物率 (%)				可溶性糖類 (%DM) アンスロン硫酸法			
A 社	ビール粕	22.7 (22.1-23.3)		A 社	ビール粕	3.31 (2.18-5.04)	
	発泡酒粕	20.2 (18.0-22.1)			発泡酒粕	10.6 (8.81-15.4)	
B 社	ビール粕	24.0 (23.3-24.5)	37.5 (36.6-39.3)	B 社	ビール粕	4.67 (3.43-5.40)	2.84 (2.32-3.35)
	発泡酒粕	22.1 (21.0-22.6)	36.1 (35.8-36.6)		発泡酒粕	10.6 (8.32-13.8)	3.75 (3.30-4.21)
C 社	ビール粕		34.8	C 社	ビール粕		3.28
	発泡酒粕		34.0		発泡酒粕		2.58
タンパク質 (%DM)				マルトース (%DM)			
A 社	ビール粕	29.3 (26.5-32.5)		A 社	ビール粕	1.65 (1.08-1.95)	
	発泡酒粕	30.0 (28.6-31.0)			発泡酒粕	5.00 (2.46-8.10)	
B 社	ビール粕	21.4 (20.2-22.3)	22.3 (22.1-22.6)	B 社	ビール粕	1.46 (0.17-2.15)	0.86 (0.75-1.05)
	発泡酒粕	19.4 (19.0-20.0)	19.5 (18.4-20.1)		発泡酒粕	4.48 (3.65-5.61)	1.32 (1.22-1.43)
C 社	ビール粕		22.4	C 社	ビール粕		1.21
	発泡酒粕		22.8		発泡酒粕		0.94
NDIN (%total-N)				ラフィノース (%DM)			
A 社	ビール粕	55.4 (42.2-66.9)		A 社	ビール粕	0.25 (0.00-0.54)	
	発泡酒粕	53.4 (49.4-57.4)			発泡酒粕	1.19 (0.60-2.15)	
B 社	ビール粕	36.1 (33.0-38.0)	38.1 (37.9-38.5)	B 社	ビール粕	0.46 (0.18-0.64)	0.21 (0.19-0.24)
	発泡酒粕	31.3 (29.7-33.3)	34.2 (31.6-37.7)		発泡酒粕	1.03 (0.86-1.20)	0.36 (0.32-0.39)
C 社	ビール粕		28.2	C 社	ビール粕		0.39
	発泡酒粕		51.7		発泡酒粕		0.24
ADIN (%total-N)				可溶性糖類 (%DM) グルコース+マルトース+ラフィノース			
A 社	ビール粕	16.9 (13.0-23.0)		A 社	ビール粕	1.94 (1.14-2.48)	
	発泡酒粕	23.1 (20.3-29.5)			発泡酒粕	6.30 (3.07-10.6)	
B 社	ビール粕	8.33 (6.72-9.84)	8.69 (7.06-9.82)	B 社	ビール粕	2.02 (0.35-3.00)	1.12 (0.94-1.28)
	発泡酒粕	7.14 (6.20-7.65)	7.65 (7.06-8.21)		発泡酒粕	6.20 (5.04-8.21)	1.77 (1.58-2.10)
C 社	ビール粕		11.5	C 社	ビール粕		1.68
	発泡酒粕		13.9		発泡酒粕		1.27

サンプリングは A 社 4 回, B 社 3 回および C 社 1 回. 数値は平均値と範囲 (最大値-最小値).

ビール粕を用いたものと同様, サイレージとしては非常に低い値で酪酸も検出されなかった. なお, ビール粕を用いた TMR 型サイレージでも約 6% DM のエタノールを生じたものがあったが, このサイレージでは乳酸優占型のものと同様 pH は 4.0 付近まで低下していた.

3. TMR 型サイレージの栄養素利用率

20 kg サイズで調製した TMR 型サイレージの消化率およびヤギによる窒素出納の結果を示す (表 3). この場合も, 発泡酒粕を用いた TMR 型サイレージは pH が 4.7 前後であ

り, ビール粕を用いたサイレージの pH 4.3 に比べて高い値であった. 消化率に大きな差はなかったが, タンパク質の消化率は発泡酒粕を用いた TMR 型サイレージの方が高く, ヤギの窒素出納も有意に高い値を示した. 消化試験用のサイレージに用いた発泡酒粕はビール粕よりもタンパク質含量がかなり高く (31.0 vs 26.5% DM), 消化率や窒素出納の差は摂取窒素量の違いによるものと考えられる. そのため, 発泡酒粕の栄養価は基本的にはビール粕に匹敵するかあるいはわずかに上まわる程度と考えられる.

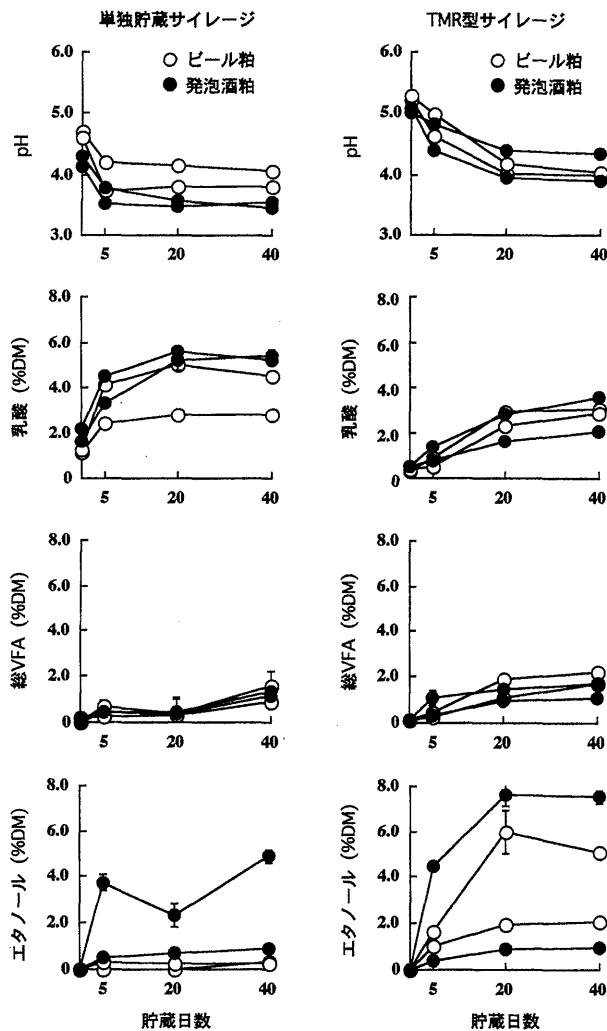


図 1. ビール粕および発泡酒粕から調製した単独貯蔵あるいは TMR 型サイレージの発酵特性。代表的な実験結果を 2 例ずつ示した。データは全て平均値と標準偏差で示している (n=3)。

ルーメン液の pH は、給与したサイレージによる違いがほとんどなかった (図 2)。しかし、VFA 濃度には違いが認められ、発泡酒粕を用いた TMR 型サイレージを給与すると、総 VFA 濃度および酢酸/プロピオン酸比が高くなった。給与飼料中の成分は、タンパク質以外には量的な違いがほとんどないため、これらの原因については現在検討中である。ただし、エタノールを給与するとルーメン内で同様の変化が起こることが報告されているので⁴⁾、この差は貯蔵中に生じたエタノールに起因しているのかもしれない。これら消化率、窒素出納およびルーメン液性状の結果から判断して、発泡酒粕の栄養価は非常に高いと思われる。

4. 今後の課題

以上のように、化学組成や消化率等からみると発泡酒粕はビール粕よりもサイレージ調製に適した原料と考えられる。実験規模や供試動物の違いはあると思われるが、潜在的栄養価が高いことは間違いない。そのため、高度利用にあたっての重要課題は発酵特性を如何に制御するかということにな

表 3. ビール粕および発泡酒粕から調製した TMR 型サイレージの消化率とヤギによる窒素出納。

項目	ビール粕	発泡酒粕	有意差
消化率 (%)			
乾物	72.3	74.5	NS
タンパク質	73.5	80.8	**
NDF	70.7	71.7	NS
ADF	68.6	66.5	NS
窒素出納 (g/kgBW ^{0.75} /day)			
摂取 N	1.02	1.53	**
糞中 N	0.27	0.33	*
尿中 N	0.46	0.52	NS
保留 N	0.29	0.68	**

シバヤギ 3 頭による平均値。*: P<0.05, **: P<0.01。

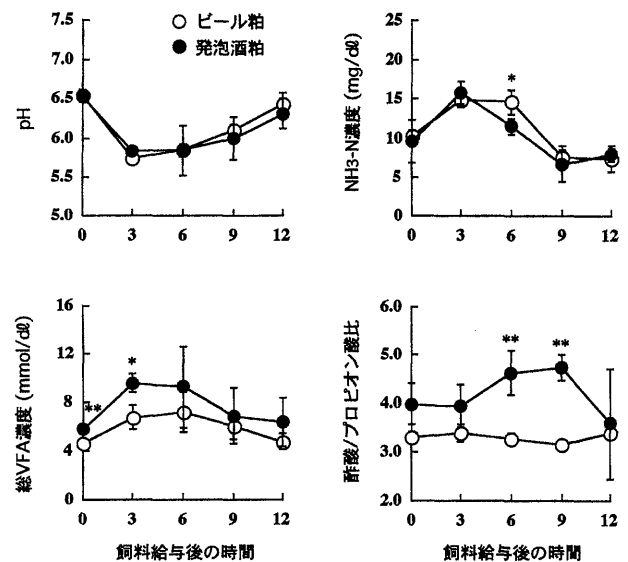


図 2. ビール粕および発泡酒粕から調製した TMR 型サイレージを給与したヤギにおけるルーメン液の pH, NH₃-N 濃度、総 VFA 濃度および酢酸/プロピオン酸比の変化。データは全て平均値と標準偏差で示しており (n=3)、アスタリスクは有意差があることを意味する (*; P<0.05, **; P<0.01)。

る。

サイレージ中のエタノールは、酵母やヘテロ型乳酸菌の増殖に伴って生じるとされている³⁾。酵母は空気が存在することにより活発に増殖するので、貯蔵初期の嫌気性の確保は特に重要である。しかし、筆者らの実験では、粕の種類が違っても TMR 型サイレージの詰め込み密度はほとんど変わらないし、ラセレーターで粉碎したので一般のサイレージより詰め込み密度は高くなっている。粕の SC 量に違いはあるが、TMR 型サイレージでは他の原料 (特に糖蜜) から SC が供給されるので、発酵基質の絶対量は十分である。従来の知見だけでは説明が難しいところもあるが、発酵特性の変動要因やその制御法については現在も検討を続けている。

貯蔵中にエタノールが生じることは相当量の乾物が損失することを意味するが、エタノールのエネルギー価が高いので

エネルギーの損失は小さいとされている³⁾。良好に貯蔵された牧草サイレージでも1% DM程度のエタノールは生じており、サイレージ中のエタノールの評価ははっきりしていない。飼料に添加して与えるとルーメン液性状が変化することは既に述べたが、採食量に対する影響はよく分かっていない。実用規模のトランスバグサイレージを調製した時に同様のエタノール優占型発酵が100%起こるとは言えないが、TMR型サイレージに特有なこの発酵特性についてその評価基準や制御方法を含めた研究を進展させる必要がある。

謝 辞

本研究の一部は、平成12年度の伊藤記念財団研究助成を得て行った。また、粕試料の入手にあたっては、永西修氏（畜産草地研究所）にご協力いただいた。ここに記して、感謝申し上げます。

引 用 文 献

- 1) 阿部 亮 (2000) 食品製造副産物利用とTMRセンター。酪農総合研究所。札幌市。pp. 1-94.
- 2) 原田宏明・西野直樹・坂口 英 (2000) ビール粕と発泡酒粕から調製したサイレージの発酵特性。デーリィジャパン9月号。pp. 19-23.
- 3) McDONALD, P., A. R. HENDERSON and S. J. E. HERON (1991) The Biochemistry of Silage (2nd Ed.). Chalcombe Publications. Bucks. pp. 81-151.
- 4) 宮崎孔志・日野常男・板橋久雄 (1989) ルーメン微生物の発酵パターンと細胞膜脂肪酸組成に及ぼすエタノールの影響。日畜会報 **60**, 776-782.
- 5) NISHINO, N., S. UCHIDA and M. OHSHIMA (1994) Ruminant degradation of alfalfa proteins as influenced by sodium hydroxide and heat treatment. *Anim. Feed Sci. Technol.* **48**, 131-141.
- 6) NISHINO, N., Y. MASAKI and S. UCHIDA (1996) Changes in nitrogenous compounds and rates of in situ N loss of soybean meal treated with sodium hydroxide or heat. *J. Agric. Food Chem.* **44**, 2667-2671.
- 7) NISHINO, N., K. MIYASE, M. OHSHIMA and H. YOKOTA (1997) Effects of extraction and reconstitution of ryegrass juice on fermentation, digestion and in situ degradation of pressed cake silage. *J. Sci. Food Agric.* **75**, 161-166.
- 8) NISHINO, N. and S. UCHIDA (1998) Effects of cell wall degrading enzymes and lactic acid bacteria on the fermentation of rhodesgrass (*Chloris gayana* Kunth.) silage stored at various ambient temperature. *Grassland Science* **44**, 199-203.
- 9) NISHINO, N., E. TOUNO and S. UCHIDA (1998) A note on the chemical changes associated with nonenzymatic browning of forages. *Grassland Science* **44**, 86-89.