

# 野幌層丘陵地における飼料作物生産量の実測と それに基づく土地面積当り乳生産に関する研究

野 英 二

## Study of Milk Productivity per Land Area on the Basis of Measurement of Forage Production on the Rolling Hills of the Nopporo Horizon

Eiji No  
(June 2005)

### 目 次

#### 第I章 緒 言

#### 第II章 実験方法

1. 土壌の分析法
2. 植物体の分析法
3. 実験圃場の土壌条件
4. 実験期間中の気象条件
5. 調査農場の経営概況

#### 第III章 飼料作物の乾物および栄養収量

1. 実験法
2. 実験結果
  - (1) 飼料作物の乾物収量
  - (2) 飼料作物中の栄養成分含有率と収量
  - (3) 飼料作物中のミネラル含量
3. 考察
4. 要 約

#### 第IV章 飼料作物のサイレージ利用に関する検討

1. 実験法
2. 実験結果
  - (1) サイレージの回収率と発酵品質
  - (2) 牧草搾汁発酵液の添加効果
    - 1) 搾汁発酵液中の微生物相
    - 2) 希釈搾汁発酵液の添加効果
    - 3) ロールラップサイレージに対する搾汁発酵液の添加効果

- 4) サイロ開封後の好気的変敗に対する搾汁発酵液の効果

#### 3. 考 察

#### 4. 要 約

#### 第V章 乳牛に対するサイレージのルーメン内消化特性と採食性に関する研究

1. 実験法
2. 結 果
  - (1) サイレージのルーメン内消化特性
  - (2) サイレージの採食性
  - (3) サイレージを主体にした TMR の採食量
3. 考 察
4. 要 約

#### 第VI章 土地面積当りの乳生産性の検討

1. 実験法
2. 結 果
  - (1) 飼料作物の土地面積当りの乳生産
  - (2) 乳生産量に基づいた栽培飼料作物の作付けモデル
3. 考 察
4. 要 約

#### 第VII章 総合考察

#### 第VIII章 摘 要

#### 謝 辞

#### 引用文献

#### Summary

### 第I章 緒 言

日本の食料自給率は先進国の中で最低の40%以下である。また、国内における酪農が年間約2千万トンに達する輸入飼料の穀物依存型になってから久しい。この輸入飼料の量は国内の唯一の自給食料である米生産量の2倍以上にも達する<sup>73)</sup>。従って、国内

の食料は海外に大幅に依存していて、食糧の輸入にあたって、かつての大豆禁輸やオイルショックのような事態になれば国民生存の存亡にかかわる大事件となろう。

国民の主要な食糧生産の場でもある酪農を中心とする畜産業を取り巻く環境においても、ここ数年間非常に厳しい状態となってきた。牛の海綿状脳症

(BSE) 問題とこれに関わる畜産業界の不幸事は国民の不信感の増大を招いた。また、鳥インフルエンザ、あるいは口蹄疫など国際的に家畜の感染症が流行した。特に英国で最初に発生した BSE<sup>78)</sup> は、他の感染症病害のような防疫体制の整備だけではおさまらなかった。すなわち、生産物の人に対する感染の危険性が存在するばかりでなく、それまでの乳牛や家畜の極めて有効な蛋白質とカルシウムの供給源であった畜産廃棄物である肉骨粉の使用を不可能とした。このため生産から消費全体にわたって存在していた有効な物質循環の体系を破棄し、畜産界にとって貴重な良質飼料の確保が困難になったのみならず肉骨粉の未利用から生じる膨大な畜産廃棄物はその処理法を巡って新しい深刻な問題をわれわれに突きつける結果となった。

また、酪農や畜産で排出される糞尿等の処理は 2004 年 11 月より施行された「家畜排せつ物の管理と適正化及び利用の促進に関する法律」によって、これまで大半の酪農家が実施していた無蓋による雨ざらしは許されず、適切な処理場の建設が義務付けられることになった。このように、現在の酪農を取り巻く環境は内憂外患の状態にある。

従来、北海道における酪農は土地を基盤とした経営を特徴としてきた。しかし、それらに変化の様相が見られる。すなわち、酪農家戸数は毎年減少し続け、2000 年には 1 万戸を下回るまでに至った。その一方で一戸当りの飼養頭数は直線的な増加傾向を示すようになった<sup>74)</sup>。また、一頭当りの産乳量も増加の一途を辿り、そのために濃厚飼料の多給に傾き、飼料効果は漸減の傾向をより強くしてきた<sup>74)</sup>。すなわち、より濃厚飼料多給型の飼料給与構造を強めていて、これは人も牛も海外依存型の危険な状態に傾斜している。

一方、飼料作物の牧草とトウモロコシの栽培面積は、1980 年頃から約 60 万 ha で推移しているが、トウモロコシの面積はピーク時 (1980 年) の 70% まで減少してきている<sup>75)</sup>。トウモロコシのエネルギー価は、牧草に比べ高いが、栽培面積の減少は、乳生産に対する濃厚飼料の依存度を一層高める結果となりつつある。

本来、酪農は土地を基盤とした物質循環、つまり「土-草-牛」のサイクルの中で発達してきた。酪農学園創立者の黒澤西蔵が提唱した「循環農法」はこの概念に通じるものである。従来、乳生産に対する評価は、乳牛個体の乳生産量に偏重しており、個体乳量の増加を追求してきた。しかし、土地を基盤とした酪農における乳生産の評価は、土地単位当りの

牛乳生産量で評価することが重要である。また、酪農場における物質循環は、土地への環境負荷を高めないことが肝要である。一戸当りの飼養頭数の増加は、牛糞尿の土地へ過剰な還元が懸念される。デンマークにおいては、土地単位当りの家畜飼養頭数や糞尿などの施用量が規制されている<sup>53)</sup>。我が国においても、近い将来、糞尿の散布量や散布方法、飼養頭数を規制するようなことがより強化される可能性も考えられる。つまり、循環農法の円滑な遂行には土地単位当りの飼料作物生産量に見合った頭数の飼養が基本であり、このことが乳生産性の評価を決定するといえよう。

飼料作物の生産量は、気候、肥培管理、土壌の環境条件の違いなどにより変動する。とりわけ、生産量は土壌条件の違いによる変動が大きい。ため、生産性の低い土壌は、土壌改良が必要である。

酪農学園の所在地である野幌層は中後期更新世の海成層であるといわれている<sup>26,86)</sup>。また、酪農学園の農地についても近年土壌調査が行われ、その土壌区分図が作成された<sup>7)</sup>。これから、野幌層の酪農学園の土壌は 9 つの土壌に区分され、低位段丘は湿性黄色土と普通黒ボク土を主体とするが、高位段丘は普通灰色台地と湿性黄色土を主体として硬い土壌であることが明らかにされている。すなわち、黒ボク土以外は透水性が悪く、硬い土がかなりの部分を占めている。このような条件の中で飼料作物の生産が行われている。また、最近では有機質肥料の供給源として、過去の堆肥からメタン発酵後の液状スラリーが使用されている。

飼料作物の調製利用法は、サイレージが主体をなしている。サイレージは栄養収量が高い時に短期間で収穫することが可能で、安定した通年飼料給与が比較的容易である。また、乳牛個体乳量の高位生産生産農家における粗飼料給与構造は、サイレージ給与が主流である。しかし、サイレージの発酵品質は、乳生産、乳牛の健康に影響を与える。また、バンカーサイロのような大型サイロでの発酵品質の低下は深刻な問題に陥りやすい。牧草は、成分組成の観点から、サイレージ用材料草としてはトウモロコシより不適なものである。良質サイレージの調製法の技術に、サイレージ添加剤の利用がある。最近では、乳酸菌製剤に替わるものとして、簡単で安価に調製することの出来る、いわゆる搾汁発酵液の添加剤としての効果が期待されている。搾汁発酵液の原理はアルファルファ生草に付着している乳酸菌群を培養することである。自家農場で調製したものを利用することは、少なからず酪農場内における物質循環に貢

献するものである。

以上のような酪農経営の中であって、酪農の本来の姿であった循環型の物質収支をいかに確立するか今もっとも求められていることである。そこでこの本研究は、土地区分の違いによる飼料生産性の差異と特徴、年次間の変動、ならびに土地面積当りの乳生産性の解明を目的とし、野幌層丘陵地に存在する酪農学園大学・短期大学部附属農場（本学農場）において4年間にわたって調査研究してきたものである。以下、その結果を報告する。

## 第II章 実験方法

この章では全体に共通する実験（分析）法について記する。

### 1. 土壌の分析法

#### (1) 土壌の全分析法

##### 1) 全分析

ケイ素 (Si), アルミニウム (Al), 鉄 (Fe), カルシウム (Ca), マグネシウム (Mg), カリウム (K), チタン (Ti), マンガン (Mn), 銅 (Cu), 亜鉛 (Zn) の前処理はアルカリ溶融法<sup>82)</sup>, ナトリウム (Na) はフッ化水素法<sup>91)</sup> によった。

##### a. アルカリ溶融法

土壌化学成分の全含有率の定量は、フッ酸法、硝酸-過塩素酸法などがあるが、いずれも正確なデータを得ることが困難である。そこで古くから岩石などの分析に用いられてきたアルカリ溶融法で行った。

本報では Al, Mg, Ca, Ti, モリブデン (Mo), ケイ酸の全含有率の定量を行った。前処理は土壌試料 1.0 g に無水炭酸ナトリウム 5 g をよく混合し、白金ルツボに入れた。それを 950~970°C のマッフル炉で溶解し、冷却後これを蒸発皿に移しとり、1:1 (塩酸:蒸留水) の塩酸を 50 ml 加えて溶解し、さらにホットプレート上で乾固した。これに 1:5 の塩酸を 50 ml 加えて約 15 分間加熱し、No.5 B のろ紙で 100 ml のメスフラスコにろ過し、ろ紙を十分洗浄しケイ酸を分離後 100 ml に定容して各元素の定量に用いた。ろ紙上のケイ酸はよく洗浄後、磁製ルツボに入れ、700°C のマッフル炉で約 2 時間かけて灰化し、冷却後秤量してケイ酸含有率を求めた。

##### b. フッ化水素による前処理

Na, K の全分析はフッ化水素酸分解法によって行った。土壌試料は風乾した後 2 mm の篩を通し、これをさらに乳鉢で粉碎し、16 メッシュの篩を通して分析に供した。土壌試料 0.2 g を 100 ml 容のテフロン製ビーカーに秤とり、これにフッ化水素 10 ml

と過塩素酸 1 ml を加え、200~250°C で乾固する直前まで加熱した。さらに過塩素酸を 10 滴、6 N 塩酸を 10 ml, 水を 20 ml 加えて No.5 B のろ紙で 100 ml のメスフラスコにろ過し、100 ml に定容して定量に用いた。

##### 2) 腐植

腐植の定量はクロム酸酸化法<sup>11)</sup> によった。

##### 3) 0.1 M 塩酸可溶銅および亜鉛 (0.1 M HCl-Cu, Zn)

土壌 10 g に 50 ml の 0.1 M HCl を加え、1 時間振とう後ろ過し、元素の定量に用いた。

##### 4) 元素の定量法

Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Mn, Cu, Zn の定量は原子吸光度法によった。吸収波長は 300 nm 以下の元素の定量に当ってはバックグラウンド補正のため、D2 ランプを用いた。全 Si の定量は重量法によった。

##### (2) 土壌の化学分析法

##### 1) pH の測定

風乾土壌 10 g と蒸留水 25 ml の割合とし懸濁液の pH をガラス電極法で測定した。

##### 2) 交換性陽イオン

風乾土壌 2 g を 100 ml 容ポリ瓶に採取し、1 M 酢酸アンモニウム液 40 ml を加えて、30 分振とう後、No.5 C のろ紙でろ過した。抽出液中の K, Mg, Ca を原子吸光度計で測定した。

##### 3) 有効態リン

抽出液: 水 9.98 l に硫酸アンモニウム 30 g を加えて溶解し、20 ml の 1 N 硫酸を加える。  
発色液:

a. モリブデン硫酸液: モリブデン酸アンモニウム 4 g を 100 ml の熱水に溶解する。冷却したモリブデン酸アンモニウム溶液 100 ml を 5 N 硫酸 400 ml と混合する。

b. 酒石酸アンチモニルカリウム液: 酒石酸アンチモニルカリウム 1.7 g を水 1000 ml に溶解する。

c. アスコルビン酸液: アスコルビン酸 1.7 g を水 100 ml に溶解する。

d. 発色液の調整: モリブデン硫酸液 130 ml にアスコルビン酸液 60 ml を加え攪拌する。さらに酒石酸アンチモニルカリウム液 10 ml を加え、よく攪拌する。

操作: 風乾土壌 1.0 g と抽出液 200 ml を 250 ml 容のポリ瓶に入れ、30 分振とう後、ろ過する。ろ液 5 ml を試験管にとり、水 5

ml, 発色液 2 ml を加え攪拌する。15 分間静置後, 710 nm の波長で吸光度を測定した。

## 2. 植物体の分析法

### (1) 無機分析法

N, Ca, P, Mg, K 含量を測定した。

風乾試料 0.2 g を硝酸-過塩素酸による湿式灰化後, 20 ml にメスアップした。これを適当濃度に希釈して分析に供した。

N はケルダール蒸留法にて定量した。また, Ca, Mg, K は原子吸光光度にて定量し, P は吸光光度法(バナドモリブデン酸法)によって定量した。

### (2) 有機分析法

植物体(飼料作物, 粗飼料)は, 60°C で通風乾燥後, カッティングミルで 1 mm 以下に粉碎し, 乾物(水分)含量, 粗蛋白質含量, 中性デタージェント繊維(NDF)含量, 酸性デタージェント繊維(ADF)含量, 可溶性炭水化物(WSC)含量を測定した。水分含量は 135°C 2 時間乾燥法で測定した。粗蛋白質含量はケルダール法, 可溶性炭水化物含量はアンスロン法<sup>52)</sup>, NDF と ADF 含量は畜産試験場の方法<sup>71)</sup>で測定した。

### (3) サイレージの発酵品質

サイレージの発酵品質は, 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)を測定した。各項目の測定には, サイレージ水抽出液(サイレージ約 100~40 g に水を加えて 500 ml にメスアップし, 冷蔵庫内で一昼夜静置後, 激しく振とうし, No.5 A のろ紙で濾過したもの)を用いた。pH はガラス電極 pH メータ, 乳酸と揮発性脂肪酸はガスクロマトグラフィー, 揮発性塩基態窒素は水蒸気蒸留法で測定した。乳酸はマロン酸を, VFA はカプロン酸を内部標準として用いた。ガスクロマトグラフィーの運転条件を以下に示す。サイレージ品質評価法の V-スコアは, VFA 含量と VBN 比との値より算出した<sup>24)</sup>。

ガスクロマトグラフィー運転条件

#### ・VFA の分析

器種: 柳本 GS G 3810

検出器: FID

カラムオープン温度: 140°C

ガラスカラム: 長さ; 2.0 m, 内径; 3.0 mm

カラム充填剤: KOCL-3000 T 3%

MESH; 60~80,

SUPPORT; GreensorbT

キャリアガス: N<sub>2</sub>

インジェクション温度: 220°C

#### ・乳酸の分析

器種: SIMADZU GC-14 B

検出器: FID

カラムオープン温度: 185°C

ガラスカラム: 長さ; 1.6 m, 内径; 3.2 mm

カラム充填剤: Polyethylenglycol 6000  
10%

MESH; 60~80,

SUPPORT; Shimalite TPA

キャリアガス: N<sub>2</sub>

インジェクション温度: 230°C

## 3. 実験圃場の土壌条件

実験に用いた圃場は以下のとおりである。

実験に供した酪農学園大学附属農場(北海道江別市文京台緑町)は野幌丘陵地の北側に位置し, ここは今から約 40 万年前に隆起した標高 60 メートルの高位段丘, 数万年前に隆起した低位段丘とその両者の移行斜面からなる。高位段丘(標高約 50~60 m)は黄色土と灰色台地が主体をなり, 移行斜面(標高約 45~50 m)は腐植質の黄色土である。また低位段丘(標高約 45 m 以下)は黄色土と水で移動し二次堆積したと思われる黒ボク土からなる。地質的に古い段丘である高位段丘は土壌の硬度が高く, 排水不良で, かつ干ばつにもなりやすい。

土壌の分類を図 II-1 (天野・水野 2002) と表 II-1 に示す。また, 各々の土壌断面結果を表 II-2a~d に示す。

実験に供した圃場の主要調査地点土壌の全含有率分析結果を表 II-3 に示した。表 II-4 には, 同じ土壌の化学的特性を示した。また, 2000, 2002 および 2003 年の飼料作物収穫後に採取した(11 月上旬)各圃場の作土(表層から約 30 cm まで)の交換性ミネラル含量, 有効態 P 含量および Ca/Mg 比・Mg/K 比を表 II-5 と表 II-6 に示した。

本実験での土地区分は, 地形および圃場管理の面から低地平坦地(低位段丘), 高地平坦地(高位段丘)およびその中間斜面地(移行斜面)とした。

## 4. 実験期間中の気象条件

実験期間中(2000~2003 年)の気象データは, 本学の気象観測システムで計測したものである。各年の 4 月から 11 月までの気温, 降水量, 日照時間の推移を図 II-2 に示した。また, 日平均気温, 積算降

水量，積算日照時間を図II-3に示した。

2000年は，6月下旬から9月下旬までの気温は高く推移し，平均気温は4年間で最も高かった。しかし，4，5および9月の降水量が多く，総降水量は最も多かった。2001年は6月までの降水量が少く干ばつ気味に経過した。特に4月と6月が少く経過した。2002年は，総降水量が少なかったが，気温および日照時間は平均的な値であった。2003年の気温は，6月下旬から比較的lowく推移した。

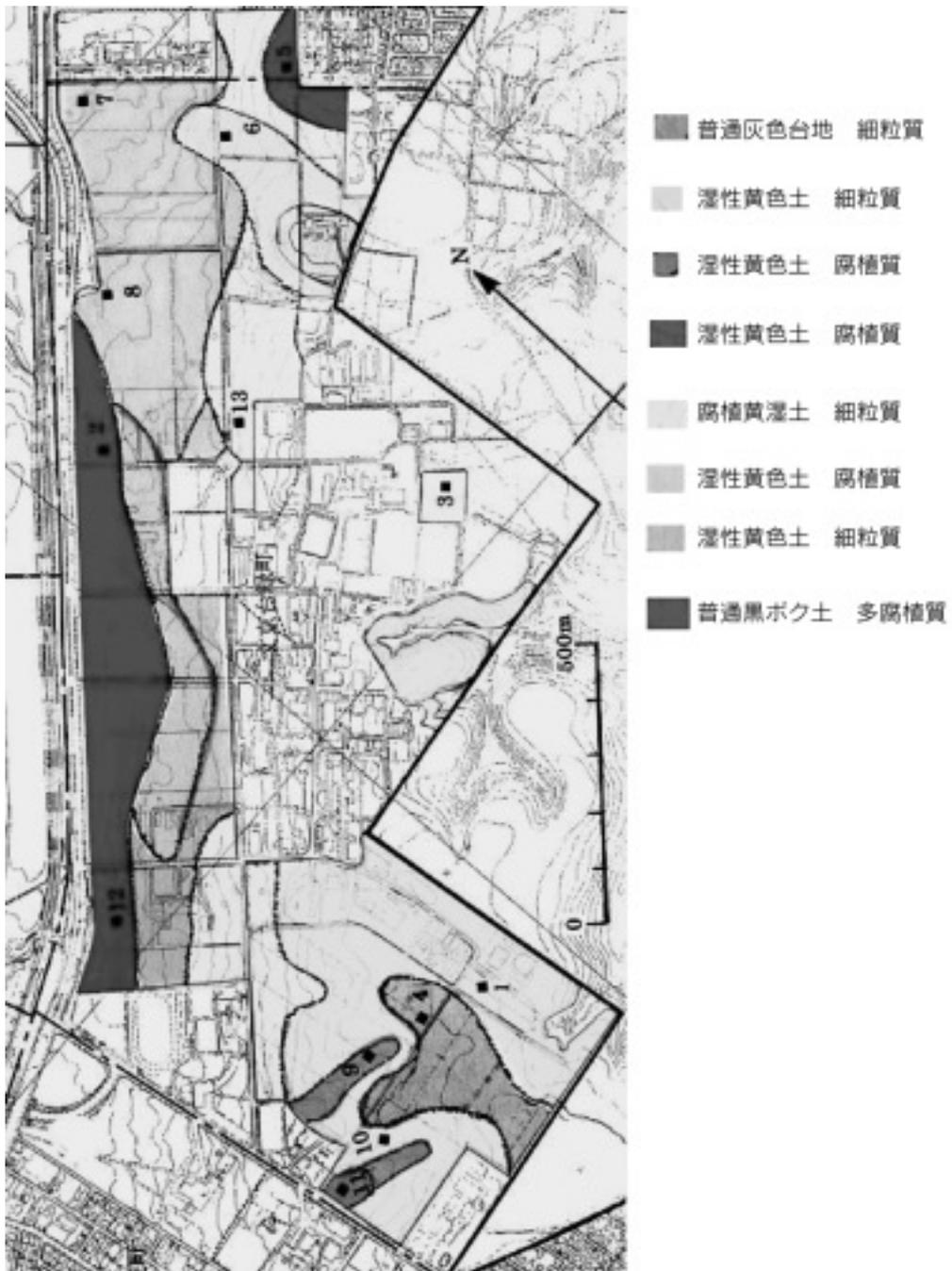
#### 5. 調査農場の経営概況

調査農場の経営概況は表II-7に示した。

調査農場は，乳牛飼養の酪農専業の経営形態で運営されている。圃場は，35区(0.7~2.0 ha/区)に

区分されており，そこでチモシーとアルファルファを主体とした牧草(37~40 ha)およびトウモロコシ(10~12 ha)を栽培している。牧草は主にロールラップとバンカーサイロ，トウモロコシは全てバンカーサイロを用いてサイレージ調製をした。また，チモシーは2ないし3番草，アルファルファは3番草までの刈取りを行った。

糞尿は，糞尿混合のスラリーを嫌気発酵(メタン発酵)させ，発酵生成物のメタンガスを発電等に利用している。発酵後の糞尿スラリーは一般に消化液と称し，全量を飼料作物栽培圃場に散布した。牧草地へは，4月下旬，各番草刈取り後に散布した。トウモロコシ圃場へは，秋耕時に散布した。



図II-1 試験圃場の土壤区分 (天野・水野 2002 より引用)

表II-1 地形, 土壌統および堆積・母材

No.*	地形区分	土壌群	土壌亜群	土壌統群	Soil Taxonomy	FAO/Unesco	堆積・母材
1	高位段丘	黄色土	湿性黄色土	細粒質	Aquic Haplohumults	Gleyic Alisols	野幌層
2	低位段丘	黒ボク土	普通黒ボク土	多腐植質	Typic Durudans	Gleyic Andosols	Ta-a, En-a
3	高位段丘	黄色土	腐植質黄色土	細粒質	Typic Haplohumults	Humic Alisols	Ta-a+En-a
4	高位段丘	灰色台地土	普通灰色台地土	細粒質 (湿性)	Typic Epiaquults	Dystric Gleysols	野幌層
5	高位段丘	黒ボク土	普通黒ボク土	腐植質	Typic Durudans	Gleyic Andosols	Ta-a, En-a
6	高位段丘	黄色土	湿性黄色土	細粒質	Aquic Haplohumults	Gleyic Alisols	野幌層
7	低位段丘	黄色土	湿性黄色土	細粒質, 腐植質	Aquic Haplohumults	Gleyic Alisols	野幌層
8	低位段丘	黄色土	湿性黄色土	細粒質, 腐植質	Aquic Haplohumults	Gleyic Alisols	野幌層
9	高位段丘	黄色土	湿性黄色土	腐植質	Aquic Haplohumults	Gleyic Alisols	野幌層
10	高位段丘	黄色土	湿性黄色土	細粒質	Aquic Haplohumults	Gleyic Alisols	野幌層
11	低位段丘	造成土	台地造成土			Urbic Anthrosols	人工
12	低位段丘	黒ボク土	普通黒ボク土	多腐植質	Typic Durudans	Gleyic Andosols	Ta-a+En-a
13	移行斜面	黄色土	腐植質黄色土	細粒質	Typic Haplohumults	Humic Alisols	Ta-a+En-a

No. : 図 I - 1 の図中番号地点に相当

表II-2a 土壤断面

No.	層名	層厚cm	腐植	土性	礫	土色	硬度	構造 (mm)	孔げき	可塑性	透水性	斑紋・結核	生物活動	備考
1	Ap1	0	富む	L	なし	7.5Y3/2	23	粒状3-6	管孔中 針穴多	中	良		多	Ta-a混入
	Ap2	17	富む	L	なし	7.5Y3/2	27	角柱状50-70 粒状3-6	管孔中 針穴多	中	良		やや多	Ta-a混入
	Bwg	30		LiC		10YR6/6	24	粒状5-10 角柱50-70	内孔げき小 外孔げき中	多	やや良	マンガン班中 鉄班中	小	
	C1g	41		LiC		10YR6/2	31	角柱70-120	針孔中	多				G班あり
	C2g	51		LiC										
2	Ap	0	す富む	L	なし	7.5YR2/2	26	立方状, 粒状3-5	外孔げき多 内孔きわ多	小	良	なし	多	Ta-a混入 En-a流水攪乱
	AB	20	含む	LiC	なし	7.5YR3/4	23	立方状, 粒状3-7	上に同じ	や大	良	なし	多	
	Bw1	35	なし	LiC	なし	10YR4/6	23	立方10-15 板状20-40	外孔中 内孔多	や大	良	腐植皮膜多	中	
	Bw2	60	なし	CL	なし	7.5YR4/6	21	角柱状70	上に同じ	中	良	腐植皮膜中	中	
		70	なし	LiC	なし	10YR4/6	21	柱状70	外孔中	や大	良	なし	なし	
		85												
3	Ap1	0	す富む	CL		10YR2/1	7	小粒状3-5	針状多	小	良		多	Ta-a混
	Ap2	20	す富む	CL		10YR2/1	20	小粒状3-7	針状多	小	良		や小	Ta-a混
	Bw	35	含む	LiC		10YR4.5/6	26	角柱20-50 粒状5-12	管孔中 針状中	や大	良	腐植皮膜	や小	G班 くさび型侵入
	2Cg1	50		CL		10YR4/4	28	角柱状100	針状小	中	不良	Mn, Fe班	無	G班
	2Cg2	75		CL		10YR4/6	25	角柱状100	針状小	中	き不良	Mn, Fe班	無	
		85												
4	Ap1	0	富む	CL		10YR3/4	6	屑状小粒2-10	内孔, 針孔 外孔中	中	良	なし	多	
	Ap2	22	富む	CL		10YR3/4	19	角柱状50 小粒状5-10	管孔中	中	良	なし	中	
	Btg	31		LiC		2.5Y6.5/3	26	角柱状20-50	針孔小 管孔小	や大	や不良	Fe班中	小	粘土被膜あり
	C1g	46		LiC		2.5Y6.5/3	23	角柱状40-70	針孔小	大	不良	Fe, G班	極小	粘土被膜あり 植物根あり
	C2g	62		HC		2.5Y6.5/3	25	角柱状40-70	針孔極小	大	不良	Fe, G班	なし	粘土被膜あり
	C3g	75		LiC		2.5Y6.5/3	26	板状10-20	針孔極小	大	不良	Fe, Mn, G班	なし	
5	Ap	0	富む	L		7.5YR3/2	25	小粒状3-5	針孔多 管孔多	小	良		極多	Ta-a+En-a
	AB	25	含む	CL		8.25YR4/4	23	粒状5-10	針孔多 管孔多	中	良	なし	か多	En-a
	Bw	44		L		7.5YR4/5	18	小粒状2-5	針孔多 管孔中	小	良	なし	中	En-a
	C	65		S	含む	10YR5/7	25	単粒状		なし	良	なし	なし	火山砂
		105												

層名：Ap；耕起されている，w；風化をうけている，g；水の作用をうけている，  
や：「やや」の略，G：グライ班の略，す：「すこぶる」の略。

表II-2b 土壤断面

No.	層名	層厚cm	腐植	土性	礫	土色	硬度	構造 (mm)	孔げき	可塑性	透水性	斑紋・結核	生物活動	備考
6	Ap	0	富む	LiC		10YR3/2	31	粒状4-10	内孔中外孔中, 針孔中	や大	や不良		中	
	B1g	24		LiC		10YR5/6	30	角柱50-70 板状50-100	針孔小	や大	不良	Mn, Fe班中 Fe被膜	なし 外孔のみ	グライ班 10Y6/1
	C1g	43		LiC		10YR5/4	32	壁状一部亀裂	針孔極小	や大	不良	上に同じ	なし 外孔のみ	班鉄 7.5YR5/8
		68												
7	Ap1	0	富む	CL		10YR2/2	28	粒状3-10 角柱20-50	針孔中	中	良		や多	野幌層
	Ap2	15	含む	CL		10YR2/2	27	角柱20-70	針孔中	中	良		や多	
	B1g	30		LiC		10YR7/4	28	角柱状30-60	管孔小	大	不良		小	生物亀裂のみ
	B2g	58		LiC		5Y7/1	25	板状	極小	大	極不良	Mn小 Fe小	なし	グライ班 10Y6.5/1
		80												
8	Ap1	0	す富む	L		7.5YR2/2	27	小粒状2-5	針, 細孔多 管孔多	中	良		多	
	Ap2	15	す富む	L		7.5YR2/2	25	小粒状2-5	上に同じ	中	良		多	
	Btg	26		LiC		10YR6/3	26	角柱状30-70	針孔小 管孔小	大	や不良	Mn中, Fe中	小 外孔のみ	粘度被膜あり
	Cg	57		LiC		10YR6/3	26	角柱状30-70	針孔小	大	不良	Mn班中 Fe班中	なし	グライ班あり
9	Ap1	0	富む	CL		7.5YR3/2	31	角柱状30-50 小粒状3-7	針孔多 管孔多	中	良		多	Ta-a混
	Ap2	24		CL		7.5YR3/2	27	上に同じ	上に同じ	中	良		中	
	2A	32	す富む	LiC		7.5YR1.7/1	30	角柱30-50	針孔小	中	や良		中	
	2Cg	39		L	円礫	10YR6/3.5	31	角柱30-70	針孔小	小	不良	Fe中	外孔のみ	擬層あり
	3Cg	68		LiC		10YR4.5/6	29	角柱50-100	針孔小	や大	不良	Mn, Fe班中	なし	G班, 粘度被膜
10	Ap1	0	富む	CL		10YR3/3	21	粒状3-5	内孔, 針孔 管孔, 外孔	中	良		多	
	Ap2	25	富む	CI		10YR3/3	31			中	良		多	
	Btg	34		LiC		10YR6/4	28	角状50-100	針孔小	大	不良	Fe, Mn班あり	小	粘土被膜あり
	Cg	50		CL		10YR4/6	31	板状20-40			不良	G班	なし	
11	Ap1	0	富む	CL		7.5YR4/3	27	粒状4-7	針孔中	中	良		多	造成土
	Ap2	20	富む	CL		7.5YR4/3	27	粒状4-7	針, 管孔多	中	良		多	
		30		LiC		10YR5/4	34	角柱50-150	土塊50 針孔小	大	中	なし	小	人工盛り土
		50		LiC(褐) CL(黒)		10YR6/6 7.5YR2/2	24 27	土塊集合体	針孔小	や大	中	なし	小	
		80												
		95			CL		10YR4/2	26			や大	や不良		なし

層名：Ap；耕起されている，w；風化をうけている，g；水の作用をうけている，  
や：「やや」の略，G：グライ班の略，す：「すこぶる」の略。

表II-2c 土壤断面

No.	層名	層厚cm	腐植	土性	礫	土色	硬度	構造 (mm)	孔げき	可塑性	透水性	斑紋・結核	生物活動	備考
12	Ap1	0	富む	CL		10YR3/1	17	粒状3-7	針孔多	中	良	なし	多	Ta-a, En-a 水で移動
	Ap2	10	す富む	CL		10YR3/1	29	粒状3-7	針孔多	中	良	なし	多	
	A	29	含む	LiC		9.5YR3/4	29	粒状3-7	針, 管孔多	中	良	なし	多	
	AB	35	含む	LiC										
	Bw	45	含む	LiC		10YR4/6	29	上に同じ	上に同じ	中	良	なし	中	
	Cg	80			CL		10YR5/6	26	粒状4-10	上に同じ	や大	良	なし	や小
	Cg	90			CL		7.5YR5/4	28	角柱50-70		や大	や不良	Fe, Mn班	なし
13	Ap1	0	富む	L	円礫あり	7.5YR3/3	21	粒状3-5	針, 管孔多	小	良		多	
	Ap2	17	富む	L	同じ	上に同じ	26	粒状5-10 柱状50-100	針孔多 管状中	小	良		中	
	2A	42	す富む	CL	円礫あり	7.5YR2/3	25	粒状3-10	針, 管孔多	小	良		や多	
	2AB	53	含む	CL		7.5YR4/3	24	上に同じ	上に同じ	中	良		や多	
	2Bt	62			CL		10YR5/6	25	角柱30-50	管孔中 針孔小	中	良	あり	や多
	2Cg	70			CL		10YR4.5/3	28	角柱30-50	管孔小 針孔小	中	Fe, Mn小	グライ班あり	なし

層名：Ap：耕起されている，w：風化をうけている，g：水の作用をうけている，  
や：「やや」の略，G：グライ班の略，す：「すこぶる」の略。

表II-3 土壤の全分析 (%)

地点No.	層名	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub>	腐植	H <sub>2</sub> O(±)	Total
1. 黄色土	Ap1	55.4	18.2	6.1	2.1	1.8	1.2	1.1	2.2	0.1	9.4	3.2	100.9
	Ap2	54.7	18.6	6.4	1.8	1.8	1.1	1.1	1.8	0.1	8.5	3.8	99.8
	Bwg	56.5	21.0	7.0	1.1	1.7	1.1	1.3	1.8	0.1	2.3	3.6	97.6
	C1g	56.8	20.3	6.8	1.0	1.7	1.2	1.6	1.8	0.1	1.1	3.9	96.3
4. 灰色台地土	Ap1	62.5	17.9	5.5	1.5	1.1	1.3	1.2	1.1	0.1	5.6	3.1	101.0
	Ap2	61.8	18.4	5.2	0.6	0.8	1.3	2.1	1.6	0.1	5.3	3.1	100.3
	Btg	64.2	23.3	4.8	0.6	0.8	1.4	1.5	1.2	0.0	1.1	2.7	101.5
	C1g	61.8	22.5	4.7	0.6	0.9	1.3	1.1	1.4	0.0	0.6	5.1	100.1
12. 黒ボク土	Ap	52.9	15.4	6.1	1.1	1.7	1.3	1.1	1.7	0.2	10.7	3.9	96.1
	A	51.8	15.2	6.9	1.2	1.5	1.3	0.6	1.6	0.2	4.5	5.2	89.9
	AB	51.9	17.9	7.0	0.4	1.6	1.2	0.9	2.1	0.2	3.2	5.2	91.6
	Bw	52.4	20.0	6.6	0.4	1.5	1.3	0.8	1.9	0.1	2.8	6.3	94.1

地点No.	層名	微量重金属 (mg kg <sup>-1</sup> )			
		Mn	Cu	Zn	Pb
1. 黄色土	Ap1	759	22.2	72.0	69
	Ap2	749	21.8	60.7	72
	Bwg	676	21.0	58.1	72
	C1g	695	21.0	60.6	57
4. 灰色台地土	Ap1	735	17.7	63.4	63
	Ap2	655	16.9	62.2	56
	Btg	131	16.4	46.6	66
	C1g	92	19.2	56.3	69
12. 黒ボク土	Ap	1446	23.0	91.9	54
	A	1065	23.8	91.0	71
	AB	1089	30.0	94.7	73
	Bw	886	30.2	89.7	72

表II-4 土壌の一般化学性

地点No	層位	pH	交換性陽イオン (cg kg <sup>-1</sup> )			CEC cmol (+) kg <sup>-1</sup>	塩基飽和度 (%)	Mg/K比 当量比	Ca/Mg比 当量比	リン酸吸 収係数
		H <sub>2</sub> O	K	Mg	Ca					
1	Ap1	6.1	6.9	6.2	150	13.5	61.4	2.9	14.4	1080
	Ap2	6.3	3.6	4.3	107	16.0	37.3	4.0	15.0	942
	Bwg	6.0	2.5	6.6	57	16.3	23.1	6.1	5.3	940
	C1g	5.6	2.6	20.8	47	17.7	25.4	24.4	1.4	910
3	Ap1	5.8	36.6	16.3	177	19.5	57.5	1.4	6.6	1200
	Ap2	6.0	32.4	13.9	180	20.7	53.4	1.4	7.9	1235
	Bw	5.3	34.3	11.4	46	16.0	26.3	1.1	2.4	960
	2C1g	4.8	51.8	16.8	89	18.0	40.8	1.0	3.2	865
4	Ap1	5.8	29.7	12.1	81	22.0	27.2	1.4	3.7	587
	Ap2	6.0	31.1	11.9	75	15.0	37.4	1.2	3.9	598
	Btg	5.0	85.2	34.0	134	22.0	54.0	1.3	2.4	629
	C1g	4.7	8.2	28.0	54	31.0	17.2	10.9	1.2	868
5	Ap	5.6	3.1	5.7	77	16.0	28.3	5.9	8.2	1142
	AB	5.4	4.1	1.1	39	12.7	18.1	0.9	21.7	1260
	Bw	4.8	2.8	1.0	17	10.0	11.2	1.1	10.6	1108
	C	4.8	5.1	3.4	28	19.0	10.5	2.1	5.0	587
7	Ap1	5.6	4.8	7.7	113	18.3	36.7	5.3	9.0	805
	Ap2	5.8	3.9	6.5	119	15.5	43.1	5.3	11.2	812
	C1g	5.3	6.4	39.2	179	21.3	59.8	20.2	2.8	819
8	Ap1	5.5	12.2	26.9	302	19.5	91.4	7.1	6.8	1080
	Ap2	5.6	40.5	16.9	261	23.3	67.0	1.3	9.3	1080
	Btg	5.7	8.1	19.4	229	17.0	79.6	7.6	7.2	942
9	Ap1	5.5	8.3	16.0	193	21.0	54.2	6.3	7.3	1245
10	Ap1+2	6.1	17.1	22.2	291	15.7	108.5	4.2	8.0	605
	Btg	6.4	11.2	20.7	133	13.2	68.0	5.9	3.9	850
	Cg	6.4	6.8	38.4	92	13.5	61.6	18.5	1.5	598
11	Ap1	5.8	27.1	28.4	156	15.0	73.7	3.4	3.3	843
12	Ap1	5.9	27.4	27.1	244	22.8	67.4	3.2	5.5	1108
	A	5.6	71.8	26.1	117	19.3	52.1	1.2	2.7	1075
	AB	5.4	78.0	23.6	94	16.5	53.9	1.0	2.4	1245
	Bw	5.4	97.9	23.1	93	18.0	51.9	0.8	2.4	1539
13	Ap1+2	5.8	12.1	13.1	273	15.0	101.9	3.5	12.6	1030

地点No: 図I-1の番号に相当

表II-5 土壤中の交換性 Ca・Mg・K 含量 (mg/100g)

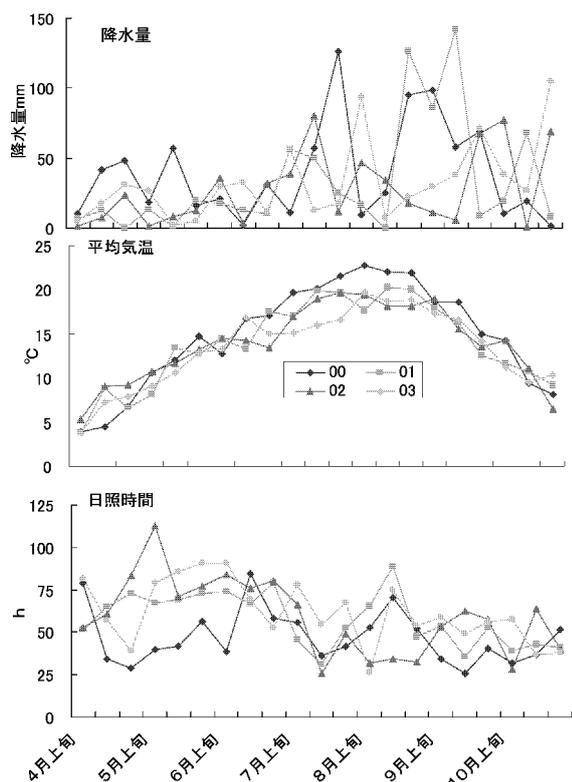
圃場	Ca			Mg			K		
	00	02	03	00	02	03	00	02	03
低位01	226	174	220	22.2	22.1	19.5	49.2	51.8	47.0
03	227	182	237	23.1	18.5	20.2	23.3	5.4	17.2
05	247	182	234	20.2	21.6	17.4	11.7	15.8	8.1
06	287	195	257	20.1	23.3	19.6	23.1	32.2	19.1
07	233	199	223	17.2	20.0	15.6	14.9	23.7	11.2
08		233	271		13.8	13.6		16.8	21.0
09	260	181	229	14.5	14.5	12.8	7.2	13.4	13.0
22	353	247	360	13.3	15.3	12.9	42.2	26.2	10.7
23	227	161	218	11.6	12.3	12.7	7.3	6.0	4.9
24	330	269	285	11.5	11.9	14.5	5.9	4.9	20.3
25	275	196	232	13.6	15.8	15.4	17.5	12.2	22.7
26	256	209	266	19.9	22.2	16.7	31.9	37.8	27.5
27	302	211	290	17.4	15.5	19.2	33.5	15.2	20.4
28	293	192	275	13.3	15.3	15.2	20.3	13.1	13.2
29	295	200	280	16.3	16.5	14.8	39.5	31.2	29.0
36	319	232	298	17.9	21.6	18.5	40.0	40.0	26.9
37	250	191	261	12.8	15.7	12.6	15.7	18.1	12.6
38	187	160	180	15.0	14.1	15.1	4.0	2.0	4.5
斜面10	203	124	172	14.0	14.8	14.2	17.4	8.2	16.5
11	156	116	165	18.7	14.9	16.7	30.5	32.6	28.1
12	162	131	148	16.1	20.3	13.8	23.3	30.7	18.1
13	189	133	175	15.0	15.9	17.0	23.9	15.8	18.8
14	137	158	160	18.0	20.1	16.7	26.6	50.2	24.2
31	237	182	210	9.9	9.4	15.7	7.7	4.0	13.1
32	198	162	236	11.2	15.0	15.6	14.5	15.6	10.2
33	164	106	136	17.3	15.4	15.4	15.6	17.2	13.8
34	204	152	174	15.1	14.9	11.9	12.2	9.8	12.1
35	152	132	160	12.2	23.7	18.1	14.0	9.9	5.4
高位15	156	142	181	30.2	31.3	26.0	28.5	28.2	22.9
16	164	133	196	25.4	23.7	23.6	31.5	28.2	33.0
17	184	125	173	19.4	19.6	20.4	28.6	24.7	21.9
18	250	170	240	18.9	19.2	14.4	50.5	42.2	36.8
19	245	183	248	22.4	22.0	21.3	62.1	57.2	48.7
20	153	121	201	24.0	26.5	28.9	53.4	42.6	42.4

表II-6 土壌中の有効態PおよびCa/Mg, Mg/K

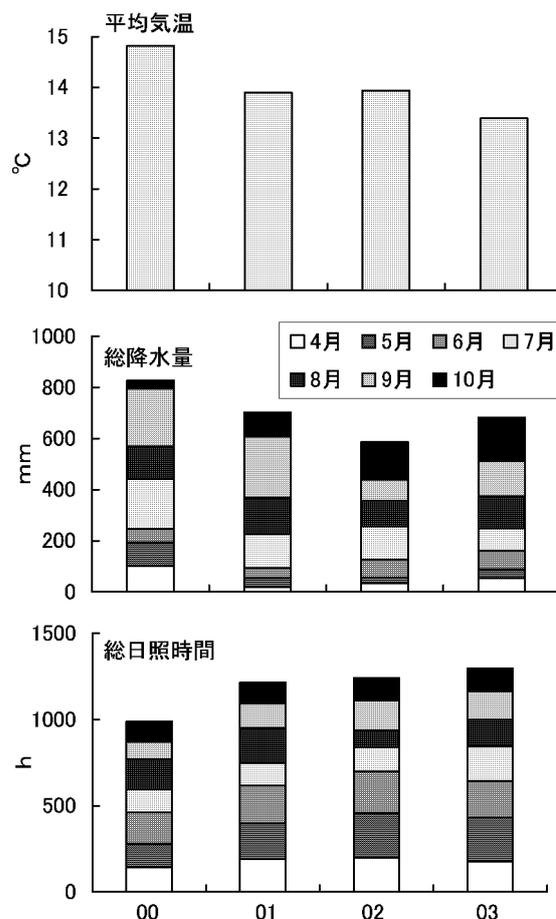
圃場	有効態P (mg/100g)			Ca/Mg (当量比)			Mg/K (当量比)		
	00	02	03	00	02	03	00	02	03
低位01	5.9	5.5	5.3	6.2	4.8	6.8	0.7	0.7	0.7
03	5.0	3.1	5.1	6.0	6.0	7.1	1.6	5.5	1.9
05	6.3	4.3	5.1	7.4	5.1	8.2	2.8	2.2	3.5
06	8.8	9.6	10.0	8.7	5.1	8.0	1.4	1.2	1.6
07	7.5	7.4	6.5	8.2	6.0	8.7	1.9	1.4	2.2
08		7.7	6.6		10.2	12.1		1.3	1.0
09	7.1	5.5	3.9	10.9	7.6	10.8	3.2	1.7	1.6
22	5.1	4.6	4.7	16.1	9.8	16.9	0.5	0.9	1.9
23	7.7	3.8	6.2	11.9	7.9	10.4	2.5	3.3	4.2
24	4.8	6.1	4.8	17.3	13.7	12.0	3.1	3.9	1.1
25	6.3	5.8	8.8	12.3	7.6	9.1	1.2	2.1	1.1
26	10.2	7.2	9.4	7.8	5.7	9.6	1.0	0.9	1.0
27	7.1	5.8	6.5	10.5	8.3	9.2	0.8	1.6	1.5
28	5.9	4.8	5.7	13.3	7.6	11.0	1.1	1.9	1.8
29	8.4	7.5	5.9	11.0	7.3	11.4	0.7	0.9	0.8
36	7.6	9.7	7.4	10.8	6.5	9.8	0.7	0.9	1.1
37	6.8	5.9	5.9	11.8	7.4	12.6	1.3	1.4	1.6
38	5.7	4.8	6.4	7.6	6.9	7.2	6.0	11.2	5.4
斜面10	4.5	4.4	5.7	8.8	5.1	7.3	1.3	2.9	1.4
11	2.3	4.7	5.3	5.1	4.7	6.0	1.0	0.7	1.0
12	4.8	5.6	3.2	6.1	3.9	6.5	1.1	1.1	1.2
13	4.0	3.2	3.0	7.6	5.1	6.2	1.0	1.6	1.5
14	3.1	7.9	3.4	4.6	4.8	5.8	1.1	0.6	1.1
31	8.2	7.9	8.5	14.5	11.8	8.1	2.1	3.7	1.9
32	7.6	6.5	7.7	10.7	6.6	9.2	1.2	1.5	2.5
33	6.2	4.1	5.1	5.7	4.2	5.3	1.8	1.4	1.8
34	6.1	4.1	3.9	8.2	6.2	8.9	2.0	2.4	1.6
35	7.6	1.9	3.8	7.6	3.4	5.4	1.4	3.9	5.4
高位15	4.2	4.4	4.2	3.1	2.7	4.2	1.7	1.8	1.8
16	4.1	3.1	4.0	3.9	3.4	5.1	1.3	1.4	1.1
17	6.9	5.9	5.7	5.7	3.9	5.1	1.1	1.3	1.5
18	5.6	4.0	4.9	8.0	5.4	10.1	0.6	0.7	0.6
19	4.5	3.6	6.1	6.6	5.1	7.1	0.6	0.6	0.7
20	4.5	3.8	6.5	3.9	2.8	4.2	0.7	1.0	1.1

表II-7 調査農場の経営概況

	00年	01年	02年	03年
総面積 (ha)	55.4	55.7	54.8	54.2
牧草	42.2	40.4	43.0	38.2
チモシー	22.5	22.5	26.3	26.8
アルファルファ	16.9	15.1	11.7	5.2
新播草	2.8	2.8	5.0	4.7
放牧地				1.5
トウモロコシ	11.5	13.6	10.1	14.3
その他	1.7	1.7	1.7	1.7
経産牛頭数 (頭)	69.4	73.3	74.3	66.8
産乳量 (t/年)	590	644	707	624
経産牛一頭当り乳量 (kg/年)	8506	8777	9508	9378
飼料効果	2.4	2.5	2.5	2.5



図II-2 気温、降水量、日照時間の推移



図II-3 日平均気温、積算降水量、積算日照時間

### 第三章 飼料作物の乾物および栄養収量

第三章では飼料作物の収穫量を圃場ごとに全量実測し、土地区分別(高位段丘, 低位段丘, 移行斜面)および年次間の収量変動を検討する。

#### 1. 実験法

##### (1) 圃場の管理

作物の栽培は、チモシーおよびアルファルファ主体の混播牧草とサイレージ用トウモロコシである。圃場への施肥要素量は表III-1と表III-2に示した。牧草地への施肥は化成肥料と消化液を4月中旬～下旬, 各番草収穫後および10月下旬～11月上旬に施用した。トウモロコシ畑へは前年秋耕時に消化液, 播種時に化成肥料を施肥した。トウモロコシの播種は、畦幅75cm, 株間20cmに真空播種機で行った。また、牧草1番草およびトウモロコシの収穫日は、それぞれ表III-3と表III-4のとおりであった。

##### (1) 生産量の計測法

2000～2003年度の新播草地を除く全圃場の飼料

作物生産量を全量計測した。収穫量は圃場からの搬出量として求めた。つまり、バンカーサイロへの詰め込み量, ロールベール重量および乾草搬入量を計測した。重量計測には、車輛重量計(車輛重量検出部RWP-6 MA, 車輛重量指示計RWP-611a: 共和電業製)と牛体重計(AG 500-03)を用いた。

##### (2) 分析用サンプルの採取

成分分析用の試料は、バンカーサイロに埋蔵したトウモロコシと牧草はバンカーサイロへの詰め込み時に圃場ごとに採取した。牧草ロールベールはラッピング直前に、ロールベール用サンプラーを用いて(トラクタに装着した直径10cmのステンレスパイプをベールの側面から挿し込み、パイプ内試料を採取する), 乾草はサイレージサンプリング用のコアサンプラー<sup>56)</sup>を用いて採取した。

##### (3) 分析項目

- 1) 乾物含量と収量
- 2) 粗蛋白質(CP)含量と収量

## 3) 可消化養分収量 (TDN) 含量と収量

酸性デタージェント繊維 (ADF) 含量から次式の推定式を用いて算出した。

牧草 :  $TDN\% = 87.57 - 0.737 \times ADF\%$

トウモロコシ :  $TDN\% = 89.89 - 0.753 \times ADF\%$

4) 飼料作物中の Ca, K, Mg, P 含量 (2002, 2003 年度)

## 2. 実験結果

## (1) 飼料作物の乾物収量

## 1) 牧草

表Ⅲ-3には2000~2003年の4年間における各圃場の乾物 (DM) 生産量を示した。また、チモシーとアルファルファの土地区分別に各年次の DM 収量を図Ⅲ-1, 4年間の土地区分別平均 DM 収量を図Ⅲ-2 および草種別年間総収量を図Ⅲ-3に示した。チモシーの収穫量は、2000年と2001年における高位段丘が最低の値を示した。しかし、圃場間の変動が大きく、有意な差はなかった。アルファルファは低位段丘と移行斜面の栽培であり、2001年の移行斜面で収量は低かったが、両者間に有意差は認められなかった。

チモシーの4年間平均の高位段丘における DM 収量は、低位段丘および移行斜面より低かったが有意なものではなかった。また、アルファルファにも土地区分間に差異はなかった。

年間総 DM 収量は、チモシーは 826~906 kg/10a, アルファルファは 873~997 kg/10a の範囲で変動幅が大きかった。しかし、年次間に有意差はなかった。

## 2) トウモロコシ

各圃場の DM 収量を表Ⅲ-4に示した。また、土地区分別に各年次の DM 収量を図Ⅲ-4, 4年間の土地区分別平均 DM 収量を図Ⅲ-5 および各年次総平均収量を図Ⅲ-6に示した。

トウモロコシの収量は、いずれの年も低位段丘が高く、高位段丘が低く推移した。また、4年間平均の土地区分別 DM 収量は、低位段丘、移行斜面、高位段丘の順に高かった。また、低位段丘は高位段丘に比べ有意に高かった ( $P < 0.05$ )。

年次別平均では、1,029~1,662 kg/10a の範囲であり、年次間に大きな差異が認められた。つまり、2000年が最も低く、2002年が有意に最も高かった ( $P < 0.05$ )。

トウモロコシ栽培は3~4年の連作であった。そこで、各年次の平均収量に対する各圃場の生産割合を連作年毎に平均したものを図Ⅲ-7に示した。低位段丘の DM 収量は連作栽培の経過に伴い低下した。

一方、高位段丘は作付け初年時の収量が最も低く、2年目で増加し、3年目で再び低くなった。これらの変化は有意ではなかったが、連作の平均は3年目から低下傾向を示し、4年目で有意に低下した ( $P < 0.05$ )。

## (2) 飼料作物中の栄養成分含有率と収量

## 1) 牧草

牧草の圃場毎の TDN と CP 含量を表Ⅲ-5に示した。

チモシーの年度別 TDN 含量と収量を図Ⅲ-8, CP 含量と収量を図Ⅲ-9に示した。

チモシーの4年間における総平均 TDN 含量は 59.5%であった。土地区分別の TDN 含量は、高位段丘が低い傾向にあった ( $P < 0.05$ )。特に2001年は低位段丘および移行斜面より約5%低かった。2000年と2001年の低位段丘および移行斜面の TDN 含量はやや低かった。TDN 収量は DM 収量と同様の結果であった。つまり、2000年と2001年においては高位段丘の収量が最低の値を示した。また、2002年の低位段丘と移行斜面の収量は少ない傾向にあった。

4年間の CP 含量の平均値は 11.6%であった。年次間と土地区分間で多少の差異が見られた。特に、2001年の低位段丘と移行斜面の CP 含量は低かった。4年間の平均 CP 収量は 100 kg/10a であった。年次間において、2000年が高く、2003年が最も低かった。特に、2000年の低位段丘と移行斜面の CP 収量が最も高かった。このように CP 含量および CP 収量に年次、土地区分間に変動が見られたが、いずれも有意な差ではなかった。

アルファルファの年度別 TDN 含量と収量を図Ⅲ-10, CP 含量と収量を図Ⅲ-11に示した。

アルファルファの4年間平均 TDN 含量は 59.2%であった。2001年の低位段丘の TDN 含量はやや低かった。しかし、年次および土地区分間の平均は概ね近似した値であった。TDN 収量は2000年と2001年が低く、また、移行斜面の収量が低かった。しかし、年次および土地区分別間に有意差はなかった。

平均 CP 含量は 15.8%であった。土地区分間には差異が認められなかった。しかし、年次平均では、2002年以降低下する傾向にあった ( $P < 0.05$ )。CP 収量は2002年を除く各年の移行斜面の収量が低く、圃場間の差が大きかった。しかし、これは有意な差ではなかった。

チモシーとアルファルファの4年間の土地区分別平均 TDN および CP 含量と収量は、それぞれ図

Ⅲ-12 と図Ⅲ-13 に示した。

チモシーの TDN 含量は高位段丘が有意に低かった ( $P < 0.05$ ) が、収量には有意差はなかった。CP 含量および収量は各段丘とも近似した値であった。アルファルファの TDN および CP の含量と収量には、土地区分間に有意な差は認められなかった。

チモシーとアルファルファを比較すると、TDN 含量には差はなかったが、収量はアルファルファの方が 50 kg/10a ほど多かった。また、アルファルファはチモシーよりも CP 含量で 4.5%、収量で 50 kg/10a 高かった。

## 2) トウモロコシ

トウモロコシの圃場毎の TDN および CP 含量を表Ⅲ-6 に示した。トウモロコシの年次別の TDN 含量と収量を図Ⅲ-14 に示した。また、土地区分別 TDN 含量と収量を図Ⅲ-15 に示した。

4 年間の平均 TDN 含量は、68.8%であった。また、2001 年の TDN 含量は有意に低かった ( $P < 0.05$ )。TDN 収量は年次により大きな差が認められた。2000 年が最も少なく、2002 年が最も多かった ( $P < 0.05$ )。その差は、400 kg/10a であった。

4 年間の土地区分別 TDN 含量には、全く差はなかった。しかし、TDN 収量は、低位段丘と高位段丘との間に有意差が認められた ( $P < 0.05$ )。その差は、240 kg/10a であった。

年次別 CP 含量と収量を図Ⅲ-16、土地区分別 CP 含量と収量を図Ⅲ-17 に示した。

4 年間の平均 CP 含量は 7.2%であり、各年の平均は 7.0~8.0%の範囲であった。2001 年が最も高く、2000 と 2003 年は有意に低かった ( $P < 0.05$ )。CP 収量は、DM および TDN 収量と同様に、2000 年が最低で、2002 年が最も多かった ( $P < 0.01$ )。

低位段丘の CP 含量は高位段丘よりも高く ( $P < 0.05$ )、CP 収量は移行斜面および高位段丘よりも顕著に高かった ( $P < 0.01$ )。

栽培年の平均値に対する各圃場の TDN と CP の含量および収量割合を連作年別に図Ⅲ-18 に示した。4 年目の圃場は移行斜面のみであった。

TDN 含量には連作年の影響はなかった。TDN 収量では、低位段丘は連作により低下し、3 年目で平均以下になった。また、4 年目は有意に低かった ( $P < 0.05$ )。

一方、CP 含量と収量は、連作が進むにつれ低下し、3 年目を以降は有意に低下した ( $P < 0.01$ )。

## (3) 飼料作物中のミネラル含量

圃場毎の牧草およびトウモロコシのミネラル含量

を表Ⅲ-7 および表Ⅲ-8 に示した。土地区分別牧草のミネラル含量を図Ⅲ-19、トウモロコシを図Ⅲ-20 に示した。なお、K、P、Ca および Mg 含量は 2002 年と 2003 年の 2 年間のデータである。

チモシーおよびアルファルファにおける全てのミネラル含量において、土地区分間に差は認められなかった。しかし、K 含量は、2003 年が有意に低かった ( $P < 0.05$ )。また、アルファルファの 2003 年の Mg 含量は、2002 年よりも有意に低かった ( $P < 0.05$ )。

トウモロコシの P と Mg 含量は、年次および土地区分間に差は見られなかった。一方、低位段丘の Ca は、高位段丘よりも有意に高かった ( $P < 0.05$ )。また、2003 年の K 含量は、2002 年よりも顕著に低かった ( $P < 0.05$ )。

ちなみに、トウモロコシと牧草の栄養成分およびミネラル含量は、日本飼料成分表 (2001) のものより、概して低い傾向にあった。

## 3. 考 察

4 年間の飼料作物の全収量からの単位面積当りの乾物 (DM) 収量は、チモシーが 884 kg/10a、アルファルファが 924 kg/10a であった。また、トウモロコシは 1,358.7 kg/10a であった。チモシーの DM 収量は、道央道南のもの<sup>87)</sup>と比較すると、約 90 kg/10a 低い値である。また、2003 年のトウモロコシ DM 収量について、同年の石狩支庁の収量<sup>72)</sup>に比べ、約 120 kg/10a の減収になると試算した。本試験での収穫量は、圃場損失量が含まないことを考慮すると、調査農場全体における圃場の飼料作物生産力は低いものではないと思われる。

4 年間におけるチモシーの DM 収量は、2000 年と 2001 年の高位段丘の収量は少なかった。また、高位段丘は低位段丘および移行斜面より約 50 kg/10a 少なかった。しかし、圃場間差異が大きく、これらの差は有意でなかった。また、アルファルファにおいても土地区分間および年次間に有意差は認められなかった。

トウモロコシの年平均 DM 収量は、1,030 (2000 年)~1,660 (2002 年) kg/10a の範囲であり、年次間に有意な差異が示された。2000 年は、4 月から 10 月までの降水量が多く、また、日照時間が最も少なかったことから、トウモロコシの生育に対して気象環境が悪かったために DM 収量は最も低かったと思われる。また、収穫直前の降水による圃場状態の悪化と強風による倒伏が収穫時期の遅れも収量減収の大きな原因となった。

土地区分別の 4 年の平均収量は、低位段丘、移

行斜面、高位段丘の順で高かった。低位段丘と高位段丘の収量差は約 340 kg/10a であり、土地区分間差異が大きかった。このことは、トウモロコシの栽培は、土壌特性に強く影響されることを示唆するものであろう。

本学附属農場の主たる土壌である湿性黄色土は、保水性、排水性が不良な土壌であり、そこでの収量は降水量などの気象条件に影響されやすいものである。低位段丘には黒ボク土が混在しており、このことが低位段丘の多収量の要因であること推察される。

調査農場でのトウモロコシ栽培は、同一圃場の栽培年数（連作）は最大で4年であった。同一圃場での連作年ごとの平均収量は、栽培年数の経過に伴って減少した。とりわけ、栽培3年目からの低下が顕著であった。土地区分別では、低位段丘は連作による収量の減収が顕著であり、毎年約10%程度の減収量であった。一方、高位段丘の収量は、3年連作のうち、1年目が最も低く、2年目が最も多かった。このことは、トウモロコシ栽培に対し、土壌特性が影響していることも予想される。牧草地からトウモロコシ畑への転換1年目の土壌は、作物栽培に対する土壌環境としては物理的に不良なものである。つまり、前作の草地土壌の表層土は非常に固い状態にあり、トウモロコシ播種前の耕起、整地作業後の土壌は十分に細砕されず、大小の土塊が目立つ状態にある。これがトウモロコシ種子の発芽低下、その後の生育抑制の原因になると思われる。2年目では不良な状態が緩和されるためにトウモロコシは増収するものと考えられる<sup>89)</sup>。

牧草とトウモロコシ収量を比較すると、トウモロコシは牧草に比べ、気象条件、圃場環境（土壌の特性）に大きく影響され、DM収量の変動が大きくなることが示唆された。しかし、トウモロコシのDM収量は、牧草よりも確実に多かった。

牧草のTDNとCP含量に対する土壌間差異は明らかではなかった。年次別においては、アルファルファのCP含量は2000年度が最も高く、それ以降低下の傾向にあった。これは、アルファルファの草地におけるアルファルファ占有率の低下が大きな要因

であると思われる。近年、多くの草地において、雑草の侵入が目立ってきた。そのため、アルファルファ草地から収穫された作物中の雑草割合が高くなり、蛋白質含量の低下を引き起こすと推察される<sup>32,33)</sup>。

飼料作物のミネラル含量には、土地区分間に差異が認められなかった。しかし、2003年のK含量は、2002年より低かった。とりわけ、トウモロコシでの減少が著しかった。トウモロコシ畑へのK施用は、消化液と化成肥料から供給されており、その量は十分量であることから原因については不明である。ちなみに、低位段丘で栽培されたトウモロコシにNとK欠乏と思われる症状が観察された。

これらのことから、消化液の活用法を含め肥培管理について、総合的な検討を要する課題であろう。

#### 4. 要 約

本学農場の圃場における飼料作物生産量について土地区分別（高位段丘、低位段丘および移行斜面）および年次間での差異を検討した。その要約は以下のとおりである。

1) 牧草のDM収量は、土地区分別および年次間に差異が認められなかった。

2) トウモロコシのDM収量は、年次、土地区分に有意差が認められた。年次の差異は、気象条件の違いによるものであった。土地区分別DM収量では、低位段丘が高位段丘に比べ有意に高かった。

3) トウモロコシの連作によるDM収量の低下が見られた。

4) チモシーのTDNおよびCP含量は、土地区分、年次による差異は認められなかった。アルファルファのCP含量は年次の経過に伴って低下傾向にあった。

5) トウモロコシのCP含量は年次および土地区分間に差異が認められた。

以上から、牧草は土地区分および年次間に差はなく、比較的安定した収穫量であった。一方、トウモロコシは年次、土地区分に差が認められ、気象さらに土壌特性に影響されることが示唆された。また、トウモロコシのDM収量は、牧草に比べ確実に多いことが示された。

表III-1 牧草圃場への施肥量

年	肥料	要素量 (kg/10a)					
		N	P	K	Mg	Ca	
TY	00	化成肥料		9.0	11.5	1.5	
		尿					
	01	化成肥料	2.4	5.6	3.2	0.8	0.0
		消化液	10.2	3.0	15.4	2.1	2.7
		合計	12.6	8.6	18.6	2.9	2.7
	02	化成肥料	0.0	3.6	0.0	3.0	0.0
		消化液	14.3	4.2	21.5	2.9	3.8
		合計	14.3	7.8	21.5	5.9	3.9
	03	化成肥料	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0
消化液		14.3	4.2	21.5	2.9	3.8	
合計		14.3	4.2	21.5	3.9	3.9	
AL	00	化成肥料	2.4	11.0	14.7	2.6	2.0
	01	化成肥料	0.0	11.0	4.0	4.0	10.5
		消化液	10.2	3.0	15.4	2.1	2.7
		合計	10.2	14.0	19.4	6.1	13.2
	02	化成肥料	0.0	8.8	3.2	6.2	0.0
		消化液	10.2	3.0	15.4	2.1	2.7
		合計	10.2	11.8	18.6	8.3	2.7
	03	化成肥料	0.0	11.2	4.0	4.6	0.0
		消化液	8.2	2.4	12.3	1.6	2.2
		合計	8.2	13.6	16.3	6.2	2.2

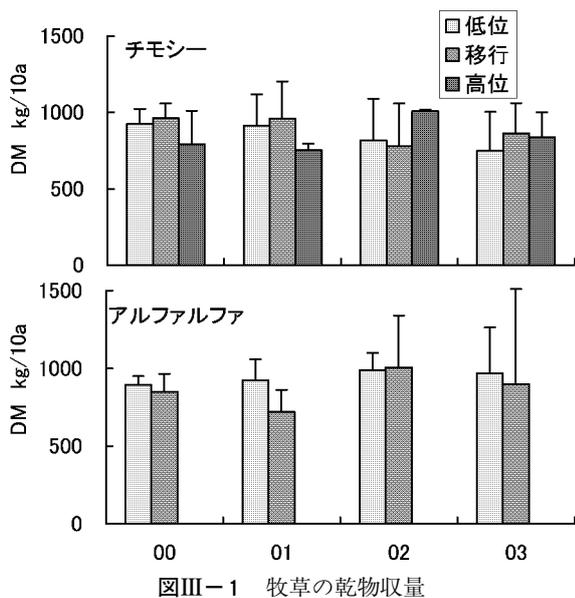
TY：チモシー，AL：アルファルファ

表III-2 トウモロコシ圃場への施肥量

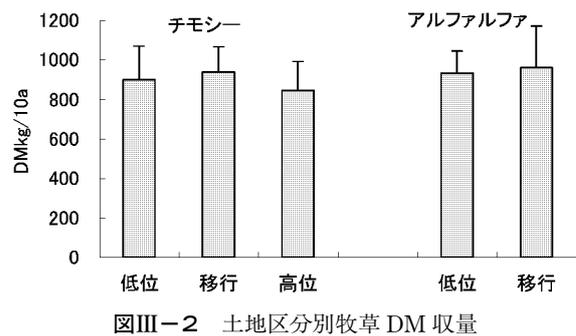
年	肥料	要素量 (kg/10a)				
		N	P	K	Mg	Ca
00	化成肥料	10.0	14.0	4.9	4.2	25.0
	堆肥	約4t/10a				
01	化成肥料	6.0	12.0	4.2	3.6	25.0
	消化液	14.3	4.2	21.5	2.9	3.8
	合計	20.3	16.2	25.7	6.5	28.8
02	化成肥料	6.0	12.0	4.2	6.2	0.0
	消化液	16.3	4.8	24.6	3.3	4.3
	合計	22.2	16.8	28.6	9.5	4.3
03	化成肥料	5.0	10.0	3.5	3.0	0.0
	消化液	14.3	4.2	21.5	2.9	3.8
	合計	19.3	14.2	25.0	5.9	3.8

表III-3 牧草圃場の概要とDM収量

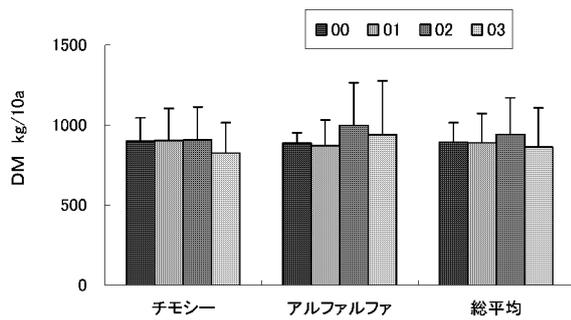
土地 区分	草種	圃場 No	面積 ha	播種年	刈取開始日 (1番草)				DM収量 (kg/10a)			
					00	01	02	03	00	01	02	03
低位	TY	01	0.91	97	6/19	6/14	6/24	6/23	960.1	1065.4	1048.6	1035.9
	TY	03	1.17	01			6/24				576.0	
	TY	04	0.60	94	6/19	6/22			806.7	1003.1		
	TY	05	1.11	01			6/24	6/23			524.5	831.8
	TY	25	1.97	95	7/4	6/26	6/4		971.6	1107.1	1147.3	
	TY	27	1.80	90	6/21	6/7	6/4		999.4	927.4	755.3	
	TY	29	0.82	97	7/4				1054.6			
	TY	37	1.46	95	7/4	6/5	6/4	6/9	894.6	835.0	510.7	556.2
	TY	38	0.75	92	6/11	6/7	5/27	6/3	793.9	547.5	626.5	654.1
斜面	TY	10	1.62	95	6/19	6/25	6/12	6/23	1020.1	1133.4	967.8	1038.4
	TY	12	1.73	95	6/18	6/22	6/5	6/17	987.5	1191.9	1126.6	974.2
	TY	32	2.24	02				6/16				976.4
	TY	33	0.40	93	6/11	6/7	5/28	6/3	1021.6	834.1	975.2	560.5
	TY	34,35	3.44	92	6/11	6/5	6/4	6/3	818.4	679.1	797.8	776.9
高位	TY	15,16	2.24	91	6/11			6/23	945.5	782.5	1015.6	790.0
	TY	17	1.05	95	6/18		6/8		1012.4			1020.6
	TY	18,19	3.90	97, 99	6/12	6/4	6/9	6/16	650.9		1001.6	
	TY	20	0.74	91, 01	6/12	6/14		6/22	565.0	724.9		703.7
低位	AL	03	1.17	91	6/12	6/14			900.9	780.9		
	AL	05	1.11	91	6/12	6/14			801.5	779.3		
	AL	06	2.44	94	6/13				874.7			
	AL	07	1.91	92	6/13				951.8			
	AL	08,09	3.43	93	6/19	6/17			871.8	1125.0		
	AL	24	0.99	94	7/4	6/26	6/17	6/23	967.3	885.2	863.7	624.3
	AL	26	1.90	01			6/19	6/10			1115.3	1128.6
	AL	28	1.99	98	7/4	6/18	6/17		904.4	969.9	944.3	
	AL	29,36	3.36	00		6/18	5/28	6/9		1004.5	1037.1	1149.1
斜面	AL	13	1.63	97	6/19	6/17	6/5		931.7	820.6	812.3	
	AL	14	1.80	01			6/5	6/16			1392.2	1332.4
	AL	31	1.74	97	6/21	6/17	6/17	6/30	771.4	619.8	815.5	470.1



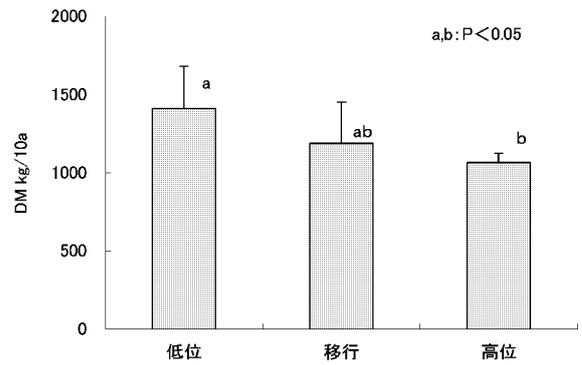
図III-1 牧草の乾物収量



図III-2 土地区分別牧草DM収量



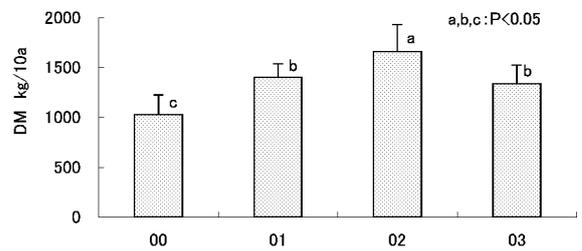
図III-3 牧草の年間総DM収量



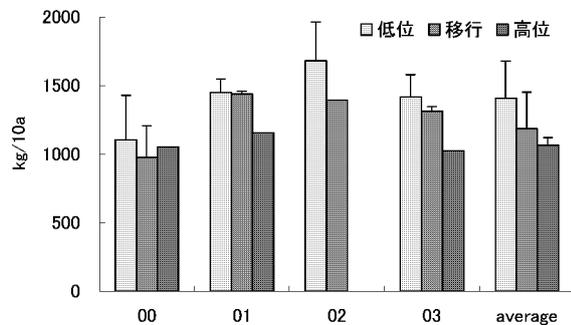
図III-5 土地区別のトウモロコシDM収量

表III-4 トウモロコシ圃場の概要とDM収量

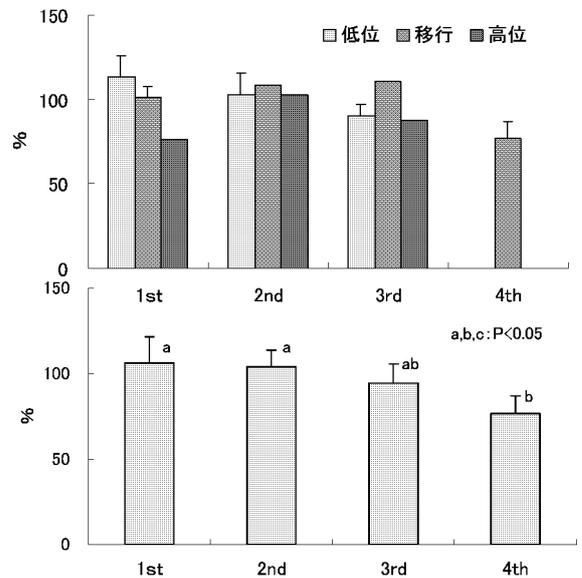
年	土地区分	圃場No	面積ha	播種日	収穫日	DM収量(kg/10a)
00	低位	22	1.43	5/23	9/28	1334.8
		26	1.90	5/22	10/7	880.5
	斜面	11	1.99	5/25	9/30	1114.4
		14	1.80	5/23	9/29	712.0
	高位	32	2.24	5/26	10/6	1111.4
01	低位	06	2.44	5/15	9/25	1439.2
		07	1.91	5/15	9/26	1357.0
		22	1.43	5/14	9/28	1554.2
	斜面	11	1.99	5/16	10/3	1455.3
		32	2.24	5/14	10/1	1421.9
02	低位	06	2.44	5/15	10/10	1474.7
		07	1.91	5/9	10/16	1569.9
		08,09	3.43	5/10	10/9	2001.8
	斜面	11	1.99	5/14	10/15	1394.3
	03	低位	03	1.17	5/16	10/16
07			1.91	5/12	10/8	1270.2
08,09			3.43	5/13	10/10	1456.1
斜面		28	1.99	5/16	10/15	1315.1
		34	2.00	5/19	10/14	1338.4
高位	15,16	1.51	5/19	10/10	1024.0	



図III-6 トウモロコシの年次別DM収量



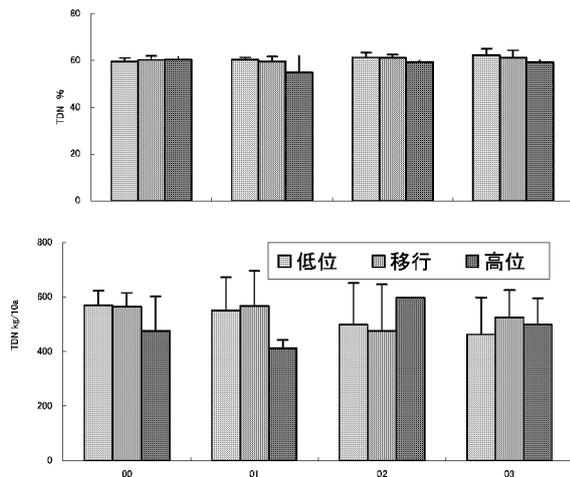
図III-4 トウモロコシのDM収量



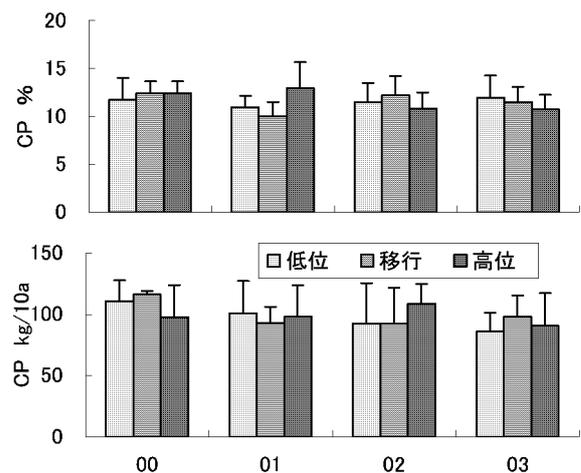
図III-7 年次平均収量に対する連作年毎の生産割合

表III-5 牧草の TDN および CP 含量

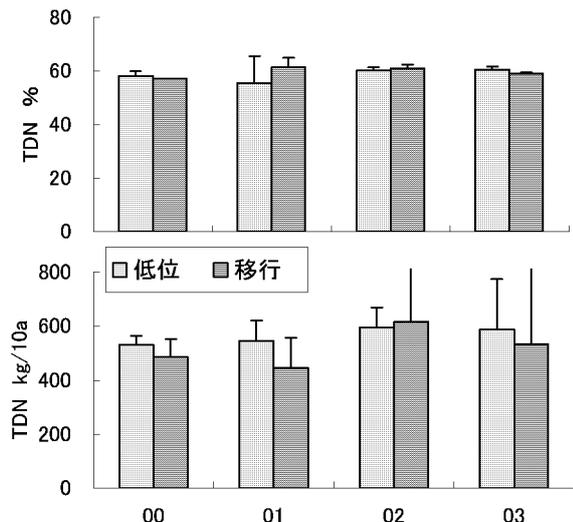
土地 区分	草種	圃場 No	TDN (DM中%)				CP (DM中%)			
			00	01	02	03	00	01	02	03
低位	TY	01	59.0	61.5	59.3	59.4	11.3	12.6	8.1	9.4
	TY	03			61.0				8.8	
	TY	04	61.4	59.5			15.2	9.3		
	TY	05			62.3	61.4			7.9	10.4
	TY	25	57.8	59.2	60.0		9.9	10.5	12.6	
	TY	27	58.2	60.2	60.7		9.4	11.4	13.2	
	TY	29	61.0				12.6			
	TY	37		60.6	61.9	63.3		11.9	11.4	12.4
	TY	38		61.2	64.6	64.4		10.2	12.1	14.0
斜面	TY	10	58.5	58.6	59.4	58.0	11.4	9.2	9.7	9.2
	TY	12	59.8	57.7	61.1	60.0	12.1	8.8	13.3	12.0
	TY	32				59.2				10.9
	TY	33		59.4	61.7	64.2		9.7	11.4	12.5
	TY	34,35	62.1	62.5	62.6	64.7	13.8	12.2	14.3	13.1
高位	TY	15,16	59.0	49.9	58.8	58.5	10.7	14.9	9.6	9.0
	TY	17	60.1			59.7	13.2			11.9
	TY	18,19	60.4		59.7		12.2		12.0	
	TY	20	61.9	59.8		59.8	13.5	11.0		11.3
低位	AL	03	61.0	64.2			17.3	17.1	8.8	
	AL	05	61.1	62.9			17.3	18.2	7.9	10.4
	AL	06	58.7				16.9			
	AL	07	59.5				18.0			
	AL	08,09	58.6	40.5			17.2	17.2		
	AL	24	58.6	58.8	59.3	59.3	17.6	16.0	14.6	14.2
	AL	26			60.1	61.7			14.4	13.2
	AL	28	55.1	61.6	59.5		16.6	17.5	17.2	
	AL	29,36		61.1	61.9	60.3		15.6	14.8	15.1
斜面	AL	13	57.1	63.9	62.1		16.7	18.2	17.5	
	AL	14			61.4	59.3			14.7	12.7
	AL	31	56.9	59.0	59.5	58.8	16.3	14.8	14.6	12.8



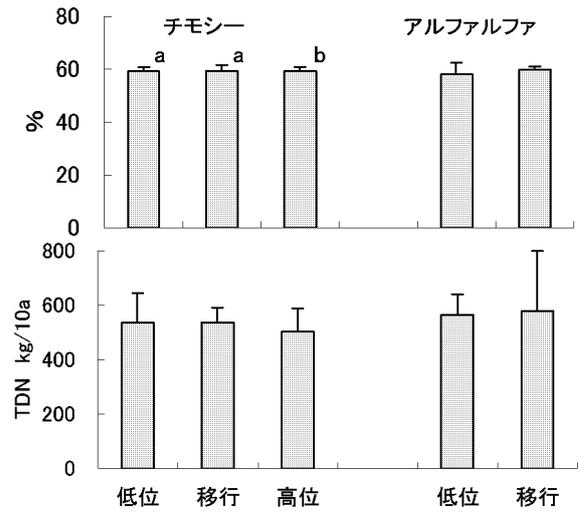
図III-8 チモシーの TDN 含量と収量



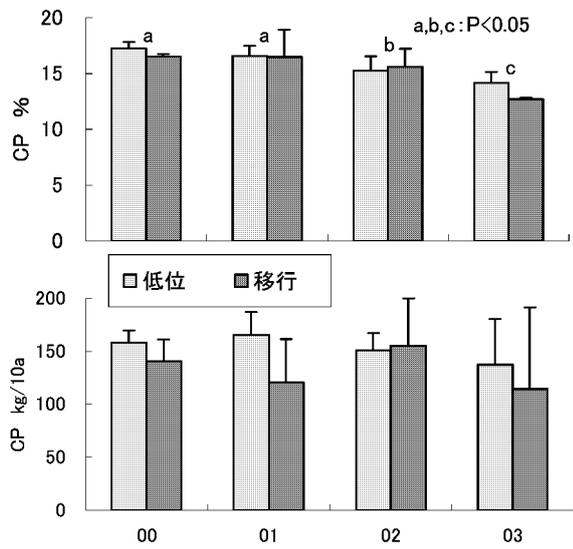
図III-9 チモシーの CP 含量と収量



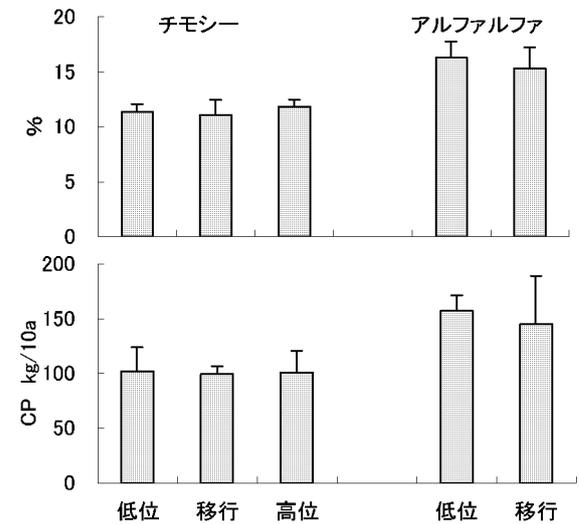
図III-10 アルファルファのTDN含量と収量



図III-12 牧草の土地区別TDN含量と収量



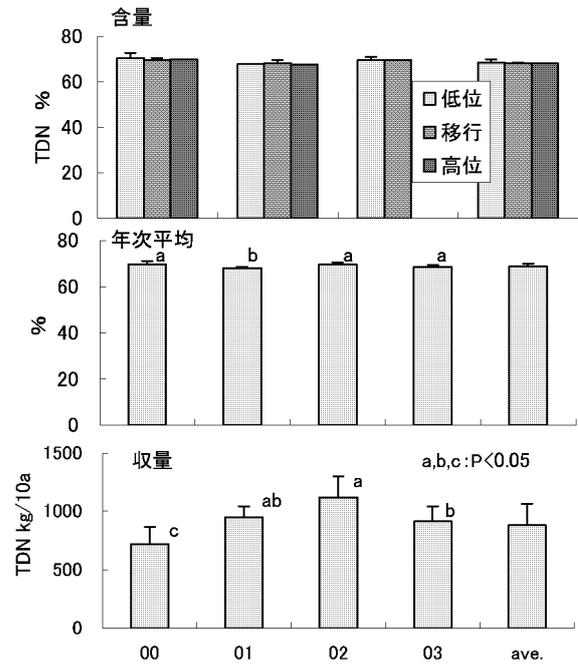
図III-11 アルファルファのCP含量と収量



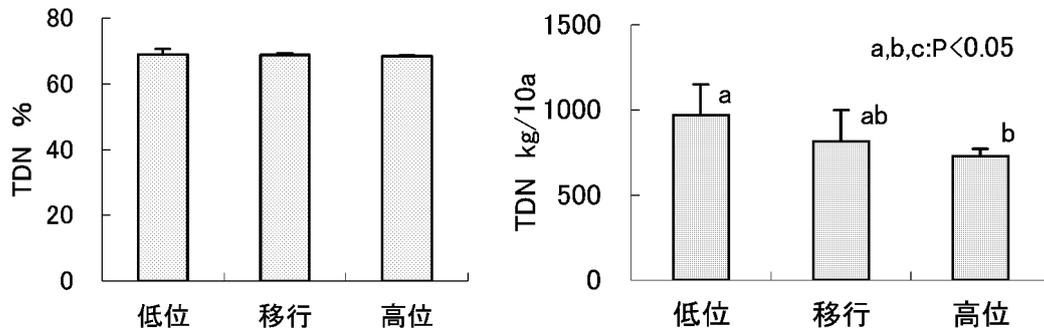
図III-13 牧草の段丘別CP含量と収量

表III-6 トウモロコシのTDN・CP含量

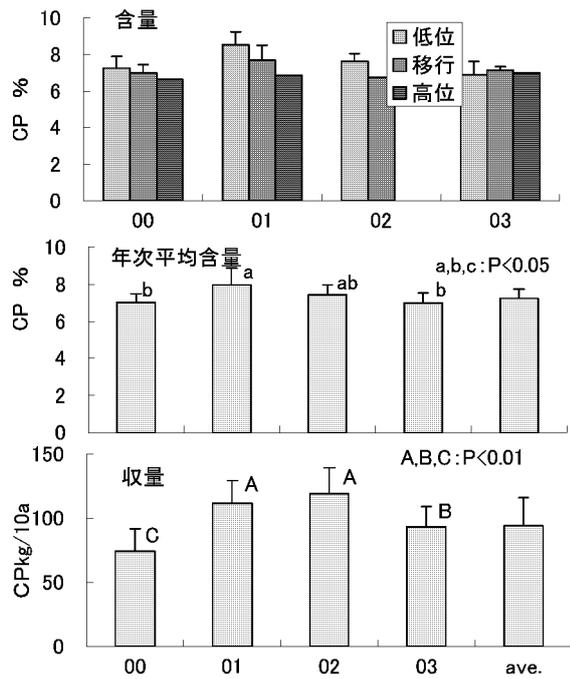
年	土地区分	圃場	TDN	CP
			(%DM)	
00	低位	22	68.6	7.7
		26	72.1	6.8
	斜面	11	69.6	6.9
		14	68.7	6.6
	高位	32	70.5	7.5
01	低位	06	67.6	8.7
		07	67.6	9.2
02	斜面	22	68.1	7.8
		11	69.3	7.1
	高位	32	67.4	8.3
		19,20	67.6	6.9
	03	低位	06	69.1
07			71.1	7.9
斜面		08,09	68.7	7.1
		11	69.7	6.8
03		低位	03	69.6
	07		69.8	5.8
	斜面	08,09	67.7	7.4
		28	67.1	7.4
	高位	15,16	68.2	7.0



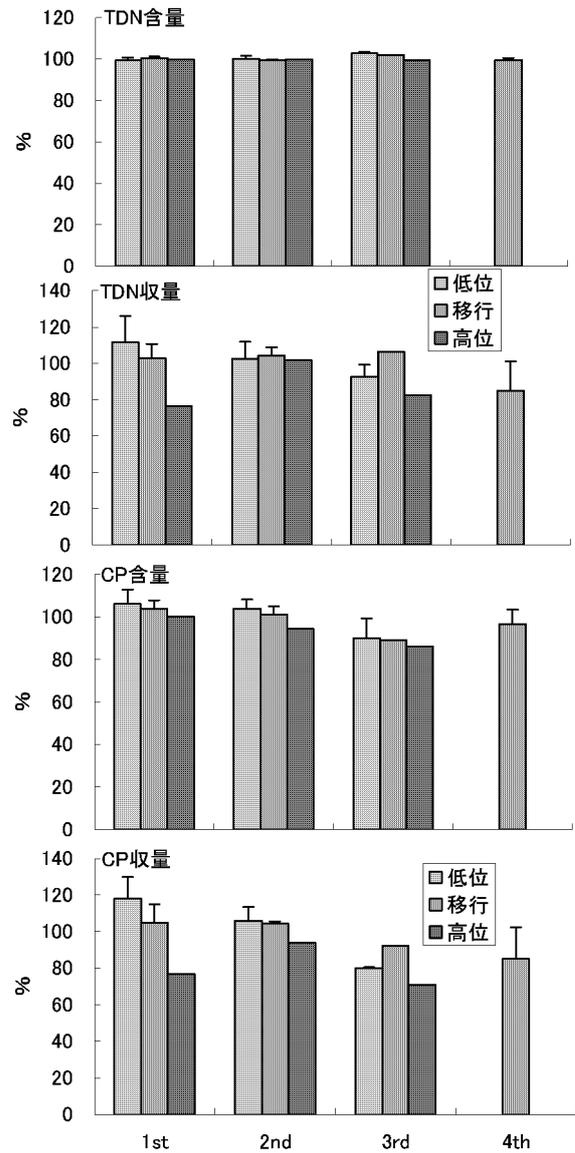
図III-14 トウモロコシの年次別 TDN 含量と収量



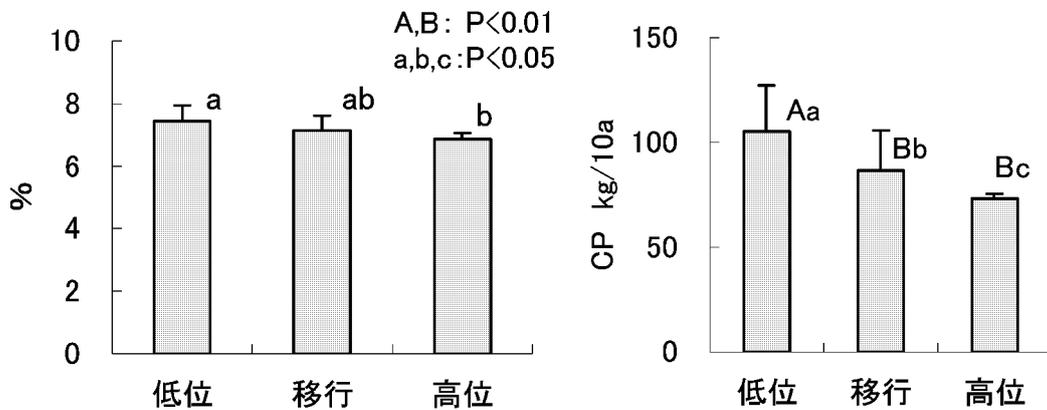
図III-15 トウモロコシの土地区分別TDN含量と収量



図III-16 トウモロコシの年次別 CP 含量と収量



図III-18 トウモロコシの TDN・CP 含量および収量の年次平均値



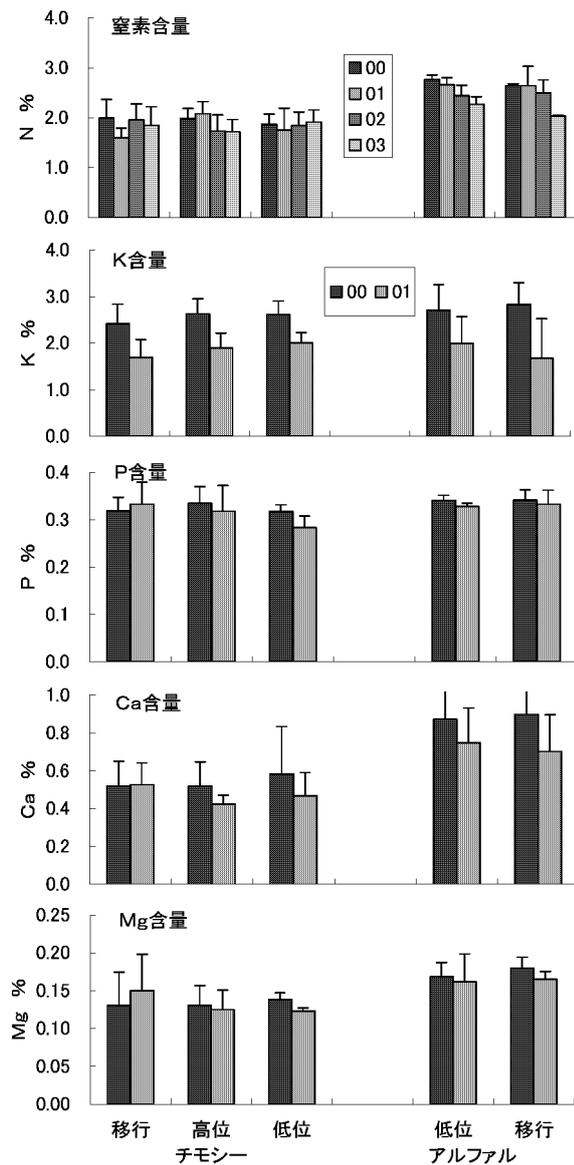
図III-17 トウモロコシの土地区別 CP 含量と収量

表III-7 牧草のミネラル含量

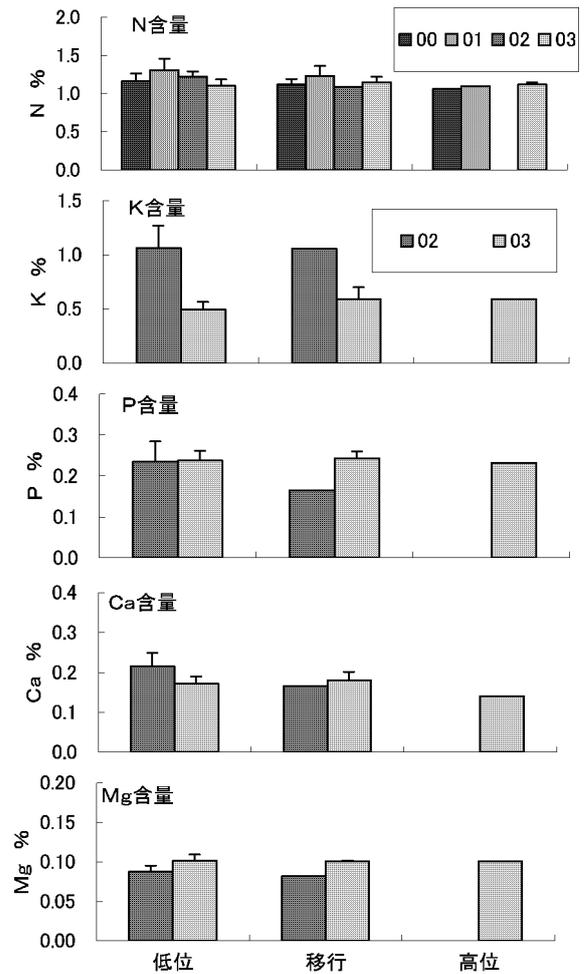
土地 区分	草種	圃場 No	Ca		P		Mg		K	
			02	03	02	03	02	03	02	03
低位	TY	01	0.31	0.40	0.27	0.29	0.09	0.10	1.87	1.62
	TY	03	0.56		0.32		0.15		2.37	
	TY	05	0.46	0.52	0.32	0.35	0.14	0.14	2.31	1.74
	TY	25	0.60		0.33		0.12		2.66	
	TY	27	0.61		0.34		0.16		2.84	
	TY	37	0.48	0.61	0.32	0.34	0.10	0.15	2.63	2.11
	TY	38	0.60	0.57	0.33	0.38	0.19	0.20	2.09	1.35
斜面	TY	10	0.47	0.39	0.28	0.24	0.12	0.11	2.15	1.31
	TY	12	0.50	0.48	0.34	0.30	0.12	0.13	2.71	2.02
	TY	32		0.36		0.30		0.09		2.06
	TY	33	0.40	0.45	0.36	0.36	0.12	0.14	2.86	2.08
	TY	34,35	0.70	0.43	0.36	0.38	0.17	0.16	2.80	1.97
高位	TY	15,16	0.40	0.38	0.31	0.27	0.13	0.12	2.41	1.80
	TY	17		0.61		0.31		0.13		2.23
	TY	18,19	0.76		0.33		0.14		2.82	
	TY	20		0.42		0.27		0.12		1.99
低位	AL	24	0.85	0.95	0.34	0.33	0.19	0.20	2.19	1.36
	AL	26	0.75	0.60	0.33	0.32	0.15	0.14	2.88	2.16
	AL	28	1.10		0.35		0.18		2.34	
	AL	29,36	0.79	0.69	0.35	0.34	0.15	0.14	3.41	2.47
斜面	AL	13	1.13		0.33		0.20		3.06	
	AL	14	0.65	0.56	0.37	0.35	0.18	0.16	3.13	2.27
	AL	31	0.91	0.84	0.33	0.31	0.17	0.17	2.28	1.07

表III-8 トウモロコシのミネラル含量

年	土地区分	圃場	Ca	P	Mg	K
			(%DM)			
02	低位	06	0.18	0.19	0.09	1.24
		07	0.25	0.29	0.10	1.11
		08,09	0.21	0.22	0.08	0.84
	斜面	11	0.17	0.16	0.08	1.06
03	低位	03	0.16	0.23	0.10	0.44
		07	0.17	0.26	0.11	0.50
		08,09	0.16	0.21	0.09	0.45
	斜面	28	0.20	0.25	0.11	0.59
		13	0.17	0.26	0.10	0.67
		34	0.20	0.23	0.10	0.52
		高位	15,16	0.14	0.23	0.10



図III-19 牧草のミネラル含量



図III-20 トウモロコシのミネラル含量

#### 第四章 飼料作物のサイレージ利用に関する検討

この章では生産された飼料作物のサイレージ化に際し、サイレージのDM回収率の実態と品質向上に対する新技術によるサイレージ調製法について検討した。

##### 1. 実験法

##### (1) 実用規模サイロにおけるサイレージのDM回収率

##### 1) 調査方法

バンカーサイロのDM回収率は、サイロへの材料草(牧草, トウモロコシ)詰込み量と給与量の全量計測から求めた。詰込み材料草量の計測は、トラクター牽引のフォーレージワゴンあるいはダンプト

ラックごと車両重量計に載せて計測した。給与量は計量器を装着したTMRミキサーワゴン(KNIGHT 3030 TR)で計測した。ロールサイレージは、ストレッチフィルムのラッピング直前と給与(開封)直前に牛体重計(AG 500-03)を用いて計測した。

牧草のバンカーサイレージは2001~2003年に延べ7基、トウモロコシは2000~2003年に11基のバンカーサイロと2基のチューブバッグサイロで調製した。ロールラップサイレージは2000~2003年に調製した296個について調査した。

##### 2) 分析項目

- ①DM回収率
- ②サイレージの発酵品質

## (2) 搾汁発酵液添加による新技術の品質改善効果

## 1) 搾汁液発酵液の調製法

①アルファルファ生草 100 g に水 500 ml を加えミキサーで磨砕攪拌し、2重ガーゼで濾過した搾汁液に濃度が2%になるようにグルコースを添加し、30℃で48時間嫌気発酵させた。

## ②希釈搾汁発酵液の調製

搾汁液を発酵した液(PFJ)、搾汁液を20倍希釈して発酵した液(20GJ)、PFJを20倍希釈して発酵した液(20PFJ)および20GJを20倍希釈して発酵した液(20×20PFJ)を調製した。また、市販の乳酸菌製剤(*L.case*)を添加用に調整した液(LAB)、LABを20倍に希釈して発酵させたものをさらに20倍に希釈して発酵した液(20×20LAB)を調製した。各発酵液はいずれもグルコースを2%添加した後、2日間30℃で嫌氣的発酵して調製した。

## 2) 微生物叢の検索

一般細菌、総乳酸菌、乳酸桿菌、グラム陰性菌、酵母およびカビは混積平板法<sup>29)</sup>、クロストリジアはフィルムパウチ法<sup>30)</sup>で計測した。その概要は以下のとおりである。

## ①一般細菌数

普通寒天培地の成分濃度を40%に減少させ、乳酸菌などの発育を遅延する変法普通寒天(肉エキス0.2%、ペプトン0.2%、粉末寒天1.5%、pH7.2)を用い、32℃で48時間培養し形成集落数から求めた。

## ②総乳酸菌数

BCP加プレートカウント培地を用い、混積平板を作成し、32℃で3日間培養後、形成集落の周縁が黄色のものを乳酸菌とした。

## ③乳酸桿菌数

Acetate Agar 基礎培地に、別に滅菌した4mol酢酸緩衝液(pH5.3)を培地100mlに対し6ml加えて混積平板を作成し、32℃で4日間培養し計測した。

## ④酵母、カビ孢子数

ポテトデキストロース寒天(栄研)を用い、混積平板を行う直前の溶解した基礎培地に10%酒石酸を加え、pHを3.6~3.7に調製し、28℃で3日間培養し計測した。

## ⑤グラム陰性菌

CVT寒天(栄研)を用い、28℃で48時間培養し計測した。

## ⑥クロストリジア

生理的食塩水で希釈した試料を70℃で20分間

加熱処理し、非芽胞形成菌を死滅させたのち、クロストリジアの芽胞をクロストリジア測定培地(日水製薬)を用い、パウチ法で測定した。なお、培地は、35℃で24時間培養し、黒変した集落をクロストリジアと判断した。

## 3) サイレージ調製法

サイレージの材料草には、無予乾および予乾のアルファルファとチモシー1番草を用い、無添加、PFJ、20GJ、20PFJ、20×20PFJ、LABおよび20×20LAB添加サイレージを調製した。サイロには2%ポリ容器を用い、2ヶ月間貯蔵した。搾汁発酵液はいずれも新鮮材料に対して0.2%、乳酸菌製剤液は0.1%添加した。

## 4) 調査項目

- ①材料草とサイレージの主な成分
- ②サイレージの発酵品質
- ③搾汁発酵液の微生物相

## (3) ロールラップサイレージに関する実験

## 1) サイレージ調製

材料草にはアルファルファ1番草を用いた。サイレージは無添加、アルファルファ搾汁発酵液添加、乳酸菌製剤添加、酵素(セルラーゼ)製剤添加の4処理を2反復で調製した。刈り取り後、いずれも1~2日予乾し水分含量を高水分(H)、中水分(M)、低水分(L)の3水準にした。ロールベールサイレージは、直径120cm、高さ110cmの大きさに梱包し、白色のストレッチフィルムを用いてラッピングし、4~5ヶ月間屋外で貯蔵した。

## 2) 添加量と添加法

添加量の添加設定量と実際に添加した量は以下のとおりである。

	添加剤の添加割合			
	規定量	高水分	中水分	低水分
搾汁発酵液(g/kg)	2.0	2.0	0.9	1.5
乳酸菌製剤(g/t)	4.0	4.4	4.4	6.0
酵素(g/t)	50	50	60	50

今回用いた乳酸菌製剤および酵素製剤は規定に基づき水で希釈して用いた。添加剤は、ベール直前に噴霧器でウィンドローに噴霧して添加した。

## 3) 調査項目

- ①搾汁発酵液の微生物相
- ②サイレージの発酵品質
- ③材料草、サイレージの主な成分

#### (4) 開封後の好気的変敗の実験

##### 1) サイレージ調製

材料草に無子乾のアルファルファ 2 番草（水分約 75%）を用い、①無添加、②アルファルファ搾汁発酵液、③乳酸菌製剤、④酵素（セルラーゼ）製剤添加サイレージを調製した。サイロには、ビニールバック内装の 500 ℓ 容ポリ容器を用い、3 ヶ月間貯蔵した。

##### 2) 好気的変敗の調査法

サイロ開封後直ちに約 10 ℓ 容発泡スチロール容器にサイレージ約 3000 g 入れ、平均 23℃ の恒温室に 14 日間放置し、サイレージの変化を調査した。

##### 3) 調査項目

###### ①サイレージの温度変化

サイロ開封後のサイレージ温度は熱電対センサー温度計（U-ROGGER；ユニパルス株式会社製）を用いて、1 時間間隔で測定した。

###### ②サイレージの発酵品質

サイロ開封時、開封後 1, 2, 4, 7, 10 および 14 日目のサイレージの発酵品質を分析した。

## 2. 実験結果

### (1) サイレージの回収率と発酵品質

バンカーサイロで調製した牧草サイレージの水分含量と DM 回収率を図 IV-1 に示した。なお、図には開封したサイロ順に示した。

牧草サイレージの DM 回収率の平均は 80% であった。しかし、サイロ間差が大きく、90~53% の範囲であった。2002 年 D と 2003 年 E サイロの回収率は低く、特に、後者は 53% と極端に低かった。また、2003 年 E サイロのサイレージ水分含量は 73% と高かった。

牧草サイレージの発酵品質の様相を図 IV-2 に示した。

回収率が低かった 2002 年 D と 2003 年 E サイロのサイレージ発酵品質は、VBN 比が高く、V-スコアは 40 点以下であり、劣質なものであった。

トウモロコシサイレージの水分含量と DM 回収率を図 IV-3 に示した。

トウモロコシサイレージの DM 回収率は、平均で 80% であった。しかし、牧草サイレージの場合と同様に、サイロ間の変動が大きかった。つまり、バンカーサイロでは 98~61%、チューブバッグでは 92~46% の範囲であった。サイレージの水分含量は、2000 年に調製したものは 62~67% と低く、2001 年度のものは 73~74% と高かった。

トウモロコシサイレージの発酵品質の様相を図

IV-4 に示した。

サイロ間におけるサイレージ発酵品質の差異は大きくなかった。しかし、2000 年のサイレージの VBN 比は高く、V-スコアは低い傾向にあった。なお、図示した発酵品質は、給与したサイレージのものである。従って、品質が悪く、給与に問題があると判断して廃棄したものはサンプリングしていないので、実際の発酵品質はこれらよりも悪いものも含まれる。

ロールラップサイレージの水分含量と回収率、pH および VBN 比の関係を図 IV-5 に示した。

回収率は水分含量に影響されず、いずれも高く、平均 98.8% であった。水分含量と発酵品質との関係では、水分含量が高くなるにつれ、pH は低く、VBN 比は高くなる傾向にあった。

ロールペール重量と水分含量との関係を番草別に図 IV-6 に示した。

ロールペールの水分含量(Y)は、ロールペール重量を独立変数(X)とした場合、以下のような回帰式で得られた。

$$1 \text{ 番草；水分含量(Y)\%} = 0.1291 \times \text{ロール重量(X)} - 14.552$$

$$2 \text{ 番草；水分含量(Y)\%} = 0.0794 \times \text{ロール重量(X)} + 6.5109$$

$$3 \text{ 番草；水分含量(Y)\%} = 0.0853 \times \text{ロール重量(X)} + 0.0419$$

$$\text{全番草；水分含量(Y)\%} = 0.0838 \times \text{ロール重量(X)} + 4.0748$$

上記式から、ロールペールの水分含量が 50% とした場合、1 番草の重量は 500 kg、2 番草は 550 kg、3 番草は 600 kg となる。

### (2) 牧草搾汁発酵液の添加効果

#### 1) 搾汁発酵液中の微生物相

搾汁発酵液の微生物相を表 IV-1 に示した。

97 年 3 番草で調製した搾汁発酵液は、一般細菌、グラム陰性菌、酵母およびカビ数が多く、総乳酸菌と乳酸桿菌数は低かった。一方、それ以外の総乳酸菌数は、 $10^6 \sim 10^8$  cfu/ml の範囲にあった。また、乳酸桿菌も多かった。

#### 2) 希釈搾汁発酵液の添加効果

各希釈搾汁発酵液および乳酸菌製剤の微生物相を表 IV-2 に示した。全ての搾汁発酵液の総乳酸菌数は、 $10^6 \sim 10^7$  cfu/ml であった。しかし、希釈調製した LAB(20×20) 製剤には検出されなかった。また、20×20 PFJ と 20×20 LAB の好気性細菌数は他のものより多かった。

アルファルファとチモシーサイレージの発酵品質を表Ⅳ-4に示した。

アルファルファ無予乾ではPFJ, 20GJ, 20PFJ添加区で乳酸含量の増加とpHの低下が認められた。酢酸含量はいずれも低い値であった。酪酸含量はpHの低かったPFJ, 20GJ, 20PFJ添加区が他ものに比べて有意に低く( $P<0.01$ )、それ以外の添加サイレージは無添加区と差がなかった。全窒素に対するアンモニア態窒素の割合(VBN比)についてもPFJ, 20GJ, 20PFJ添加区が有意に低く( $P<0.01$ )、V-スコアは有意に高かった( $P<0.01$ )。他の添加サイレージのVBN比とV-スコアは無添加区と差がなかった。予乾サイレージのpHはLAB区が最も低かった( $P<0.01$ )。乳酸含量は無予乾サイレージで低い傾向にあったが、処理間に有意な差は認められなかった。酢酸含量はPFJ, 20GJ添加区が高かった( $P<0.01$ )。酪酸含量は無添加, 20×20LAB添加区が高かった。VBN比は、LAB区が有意に低く( $P<0.01$ )、他は無添加区と差がなかった。V-スコアはLAB区が最も高く、無添加および20×20LAB添加区が有意に低かった( $P<0.01$ )。

チモシー無予乾サイレージの発酵品質は、アルファルファと同様の傾向であった。つまり、PFJ, 20GJおよび20PFJ添加区は、極めて良好な発酵品質であった。一方、予乾サイレージは、無添加と20×20LABの乳酸含量は低く( $P<0.01$ )、pHは高かった( $P<0.01$ )が、V-スコアはいずれも高かった。

サイレージの化学組成とDM回収率を表Ⅳ-5に示した。

アルファルファとチモシー無予乾の無添加, 20×20PFJ, LABおよび20×20LAB添加区のNDFとADF含量は、PFJ, 20GJ, 20PFJ添加区より有意に高く、DM回収率は低かった( $P<0.01$ )。また、予乾サイレージのNDF含量はLAB区が低かったが、処理間の差は無予乾サイレージより小さかった。DM回収率は有意な差を示したが、いずれも高い値であった。

### 3) ロールラップサイレージに対する搾汁発酵液の添加効果

搾汁発酵液の微生物相と菌数を表Ⅳ-6に示した。

各材料草に用いた搾汁発酵液の総乳酸菌数は $10^7$ ~ $10^8$ cfu/mlであった。また、一般細菌、グラム陰性細菌、酵母およびカビ数は、 $10^2$ cfu/ml以下であった。

材料草の主な成分を表Ⅳ-7に示した。

材料草の水分含量は、高水分72.7、中水分51.8、

低水分47.6%であった。WSC含量は、概ね9%であった。

サイレージの発酵品質を表Ⅶ-8に示した。

高水分サイレージのpHは、無添加サイレージが5.6で、いずれの添加サイレージより有意に高かった( $P<0.01$ )。一方、乳酸含量は無添加サイレージが添加サイレージより有意に低くかった( $P<0.01$ )。酢酸含量は搾汁発酵液サイレージが1.06%で最も高かった。酪酸含量は、無添加サイレージが1.61%で最も高く、搾汁発酵液サイレージとの間に1%水準、乳酸菌およびセルラーゼ製剤サイレージとの間に5%水準で有意差が認められた。VBN比はいずれも高く、中でも無添加サイレージが28.6%でいずれの添加サイレージより有意に高かった( $P<0.01$ )。総酸含量は、いずれのサイレージも高かった。V-スコアはいずれも低くかったが、特に無添加サイレージが極めて低くかった。

中水分サイレージのpHは高水分と同じ傾向で、無添加サイレージがいずれの添加サイレージより有意に高かった( $P<0.01$ )。乳酸含量も高水分と同じ傾向で、無添加サイレージが0.35%で、いずれの添加サイレージより有意に低くかった( $P<0.01$ )。酢酸含量は、搾汁発酵液サイレージが0.80%で最も高く、特に乳酸菌およびセルラーゼ製剤サイレージとの間に1%水準、無添加サイレージとの間に5%水準で有意差が認められた。酪酸含量、VBN比は、高水分より低くかったが、VBN比が搾汁発酵液サイレージで他のサイレージよりやや高かった。総酸含量は、無添加サイレージがいずれの添加サイレージより低かった。V-スコアは、いずれのサイレージも高水分より高かった。

低水分サイレージのpHは、添加処理サイレージで高水分、中水分のものに比べてやや高かったが、無添加サイレージより低い傾向になった。乳酸含量は、無添加サイレージが0.13%でいずれの添加サイレージより有意に低かった( $P<0.01$ )。酢酸、酪酸含量は、いずれも処理間に差は見られなかった。総酸含量は、無添加サイレージが0.55%でいずれの添加サイレージより有意に低くかった( $P<0.01$ )。VBN比は高水分より低くかったが、搾汁発酵液サイレージで他のサイレージよりやや高くなった。V-スコアは、中水分と同様にいずれのサイレージよりも高かった。

サイレージの成分と原物の回収率を表Ⅳ-9に示した。

水分以外の成分では、高水分のNDFとADF含量で処理間に差が見られた。酵素のNDFは他のサ

イレージに比べ有意に低かった。また、ADFにおいても、これが最も低かった。中水分と低水分には有意差が認められなかった。

#### 4) サイロ開封後の好気的変敗に対する搾汁発酵液の効果

開封時のサイレージ品質を表Ⅳ-10に示した。

無添加サイレージは、pH、酪酸含量およびVBN比が高く、最も劣質なものとなった。添加処理サイレージのこれらは低い傾向にあり、発酵品質の改善効果が見られた。特に酵素製剤は低く、サイレージの品質改善効果が顕著であった。搾汁液は、発酵品質の改善効果は見られたが、良質なものではなかった。

サイレージの開封時から14日目までの温度変化を図Ⅳ-7に示した。

1日目までのサイレージ温度が約10℃から20℃に急激に上昇したのは、外で調製したサイレージが室温になじむために時間を要したためである。無添加は7日目から急激に上昇し、室温より高く推移した。また、9日目に29℃のピークに達した。その後、徐々に低下し12日目以降再び上昇した。他のものは常に室温より低く推移したが、搾汁液が12日目頃から上昇する徴候が見られた。乳酸菌製剤および酵素製剤はほとんど変化なく推移した。

pH、VBN比、各サイレージの有機酸含量の推移を図Ⅳ-8a、bに示した。

無添加のpHは開封時から高く推移し、さらに7日目以降に上昇し始めた。特に、10日目はpH 7.5、14日目は8.4と高い値を示した。また、7日目以降にカビの発生も認められた。その他のサイレージは開封時とほぼ同じ値で推移した。

VBN比は、無添加が10日目以降から徐々に高くなる傾向を示した。また、温度、pHも10日目頃に上昇しており、これらとVBN比の高くなる時期がほぼ一致していた。その他のサイレージには大きな変化が見られなかった。

無添加サイレージの総酸含量は7日目まで殆ど変化がなく推移した。しかし、4日目以降において乳酸含量の低下と酪酸含量の増加が見られた。また、7日目から10日目以降に酪酸含量が0.8から0.2%、酪酸含量が1.67から0.97%へと急減した。

搾汁発酵液は、開封時から14日目までの総酸と酪酸にあまり変化がなかった。4日目以降に乳酸の低下と酪酸が増加し、10日目にカビの発生が認められた。

乳酸菌製剤の総酸含量は、7日目までほぼ変化なく推移した。10日目に乳酸の低下と酪酸の増加が認

められた。酪酸含量に変化はなかった。乳酸の減少、酪酸の増加の変化は搾汁発酵液のものと同じ様な傾向にあった。また、14日目にカビの発生が認められた。

酵素製剤において、開封時から14日目までの有機酸含量には、変化なくほぼ安定して推移した。0から1日目の乳酸含量に多少の変動はあるものの、全体を通して比較的安定して推移した。また、酪酸は14日間を通して殆ど認められなかった。

### 3. 考 察

#### (1) サイレージのDM回収率と発酵品質

近年の乳牛への飼料給与体系は、サイレージ主体である<sup>8)</sup>。その調製サイロの型式の主流は、塔型(タワー)サイロ、バンカーサイロおよび簡易サイロのロールサイレージであり、乳牛の多頭飼育に伴い大型のバンカーサイロの利用が増加している。サイロが大型になるに従い、詰込み時間の長期化、外気との広い接触表面積、詰込密度の低下などから発酵品質に悪影響を及ぼすことが懸念される。また、取出し面の大きさから、給与期間の長期化による発酵品質の変敗も懸念される。サイレージの不良な発酵品質は、サイレージの回収率(詰込み量に対する給与量の割合)を低下させる。従って、大型サイロは、そのサイレージの発酵品質に関して大きなリスクを有しており、乳牛の飼養管理への影響は大きい。

サイレージ調製に伴うDM損失の原因は、飼料作物の圃場での収穫、サイレージ発酵中、サイロ開封後の乳牛への給与過程での損失に大別される<sup>36)</sup>。サイロへの飼料作物(原料草)詰込後から給与までの主なDM損失は、材料草の呼吸、排汁、発酵、好気的変敗およびサイロからの取り出しの過程で生じる。その損失割合は、種々の要因で変化し、その範囲は概ね7~40%範囲である<sup>47)</sup>。

また、劣質サイレージは、乳牛の嗜好性が悪く、摂取量が低下するため乳生産の低下を引き起こす。さらに、乳牛への健康障害の原因にもなりかねない。良質サイレージ調製の基本原理は、サイレージ発酵に対して不良な微生物を制御することである。つまり、好気性の微生物の増殖を抑制すること、さらに有害な嫌気性菌による変敗を抑制することである。これは、サイレージの嫌気性の保持、低水分化、サイレージの酸性化(pH 4.2以下)で達成できる<sup>5)</sup>。

本調査でのDM回収率の測定は、従来の一部サンプリング法と異なり、詰込全量に対する給与全量を測定したものであり、これに基づいて考察する。

4年間の調査を見ると、牧草のDM回収率の低

かった（高DM損失率）バンカーサイレージの発酵品質は劣質なものであった。とりわけ、2002年Dサイロと2003年Eサイロは、極めて劣質で廃棄量が多くなった。このことがDM回収率を一層低下させた原因である。サイレージの発酵品質低下の原因としては、原料草の水分含量が考えられる。一般に牧草サイレージは予乾することで不良細菌である酪酸菌を制御することが基本である。その水分含量は60~70%とされている<sup>55)</sup>。2003年Dサイレージの水分含量は73.0%の高水分であり、品質低下の原因であったと推察される。

一方、2002年のサイレージは両サイロの水分含量は65%であったにもかかわらず、発酵状態は良くなかった。特に、Dサイロの発酵品質は極めて劣質であり、DM回収率も低かった。その原因は、詰込みに時間には5日間を要し、貯蔵期間は285日さらに給与時期は夏季間に集中したことが考えられる。さらに、材料草の水分含量が65%と低かったことから、サイロ内が好氣的環境になりやすく、開封後の好氣的変敗を助長したと思われる。

次に、トウモロコシは、糖含量が高く、一般的に良質サイレージの調製が容易な材料である。従って、通常の場合、サイレージ発酵過程のDM損失は少ないものである。しかし、本調査においては、DM回収率は低いものが多かった。しかし、2001年には全てのサイレージDM回収率は80%以下であった。これは、原料の水分含量が高かったことが原因である。原料の水分含量が70%以上になると排汁が流失し、水分含量が高くなるほど損失量が増加することが知られている<sup>18,50)</sup>。2001年の原料の水分含量は約75%であり、多くの排汁も観察された。一方、2000年の原料の水分含量は65%と低く、排汁での損失はほとんど観察されなかった。しかし、BサイレージのDM回収率はCおよびAサイロのものより低かった。これは、貯蔵期間中にネズミがサイロシートを破損したため、長期間にわたりサイロ内に空気が侵入し、好氣的変敗が進行したことにある。2002年Cサイロおよび2003年チューブバッグサイロも同様の被害に遭遇し、DM回収率は極めて低かった。また、貯蔵期間が長くなるほど品質の劣化の危険度が高まるため、DM回収率の低下防止にはネズミ防除などのサイロの保守管理が極めて重要である。

ロールラップサイレージの平均回収率はバンカーサイレージに比べ格段に高く、98%以上であった。ロールサイレージ調製の基本原則は、水分含量の調整にある。ラップサイレージの場合は、一般的に60%以下といわれている<sup>37,38)</sup>。しかし、本調査では、

水分含量60%のサイレージでは、VBN比が高く、不良発酵の様相を呈するものが見られた。水分含量が50%以下のものでは、ほぼ満足するものであった。従って、ラップサイレージ調製の水分含量の基準は50%にすべきであろう。ラップサイレージは1年間の長期貯蔵中に品質劣化の危険性がある。しかし、越冬したラップサイレージの品質には変化がなく、また、フィルム被覆を多くすることで品質劣化が防止できることが認められている<sup>60,68)</sup>。ロールペールサイレージは酪農場内における物質循環の面から、飼料調製法としては効率的な技術であるといえる。

乳牛への飼料給与で最も重要なことは、給与量の把握である。一般農家では、正確に給与量を測定することは難しい。ロールペールは水分含量にばらつきがあり、適正な飼料給与が設計しづらい欠点がある<sup>41)</sup>。そこで、ロールペール重量と水分含量の相関を求めた結果、有意な回帰式が得られた。最近酪農場現場においても水分測定が可能になった<sup>39,70)</sup>。従って、水分含量を測定することで、ロールサイレージ重量が予測できるものであり、飼料設計に対し有効に活用できると思われる。

以上から、回収率を高めるためには、良質サイレージ調製の基本原則の保守と貯蔵中のサイレージ品質管理の徹底が極めて重要であることが明らかになった。

## (2) 牧草搾汁発酵液の添加効果

良質サイレージ調製の手段として、乳酸発酵を促進させることが上げられる。乳酸発酵は原料に付着している乳酸菌と十分な糖（可溶性炭水化物WSC）が必要である<sup>5)</sup>。しかし、原料に付着している乳酸菌数は少ないこともある<sup>42,84)</sup>ことから、サイレージ添加剤として、乳酸菌製剤が広く使用されている。乳酸菌製剤の効果は、材料の糖含量などに影響されやすく、また、改善効果を示さないものもある<sup>6,59)</sup>。

Ohshima *et al.*<sup>76,77)</sup>は、牧草の汁液（搾汁液）を嫌氣的発酵させた搾汁発酵液添加がサイレージの品質改善に効果があることを認めた。さらに、搾汁発酵液は乳酸菌製剤に匹敵する効果をも認められている<sup>9,64)</sup>。これは牧草表面に付着している乳酸菌群が増殖され、乳酸発酵のスターターとしての有効性を示すものである。多年にわたり調製した搾汁発酵液の乳酸菌数から、サイレージ用添加剤としての有用性が推察される（表IV-1）。

搾汁発酵液の作成は極めて容易であるが、実用規模での添加剤としての利用には省力的な多量生産が望まれる。その方法として、搾汁液あるいは搾汁発

酵液を希釈して調製することが考えられる<sup>63)</sup>。そこで本実験では、搾汁発酵液の生産を実用化レベルに近づけるため、希釈して調製した搾汁発酵液がアルファルファサイレージの発酵品質に及ぼす影響について検討した。

本実験に用いた無予乾の材料草は高水分、低WSC含量であり、サイレージ用材料草としては適切なものではなかった。その結果、無添加の発酵品質は、乳酸が認められず、酪酸含量およびVBN比が高かった。また、Vスコアは低く、極めて低品質であった。

乳酸発酵を促進し、不良微生物を抑制するためには、材料1g当り $10^5$ 個以上の乳酸菌が必要であり、乳酸菌製剤を添加剤として利用する場合は材料1g当り $10^5 \sim 10^6$ の菌数になるように添加することが必要である<sup>5)</sup>。搾汁発酵液の添加された乳酸菌数(材料草1g当り)は、PFJ、20GJおよび20PFJがほぼ $10^5$ 個、20×20PFJが $10^4$ 個であった。この添加菌数がサイレージの発酵品質に影響したものと判断できる。つまり、基準量が添加されたPFJ、20GJおよび20PFJ添加区の発酵品質は顕著に改善されたが、20×20PFJには効果が示されなかった。

LABの乳酸菌添加量はPFJより多かったにもかかわらず、発酵品質は低質であった。サイレージ発酵における主となる乳酸菌は桿菌であるが、球菌は発酵初期において好気性菌抑制の先駆的役割をなす重要な菌である<sup>28)</sup>。つまり、LABに含まれる乳酸菌は*L.casei*単種であり、緑汁発酵液は複数の乳酸菌群を含んでいるが予測され、サイレージ発酵に影響したことが推察される。

予乾、20×20PFJ、LABおよび20×20LAB添加について検討した結果、発酵品質は無予乾のものより品質が良好であった。とりわけ20×20PFJとLAB添加は顕著に品質が改善された。このことから、20倍希釈で十分な効果が得られること、材料草の予乾による有害嫌気性菌の抑制と乳酸菌添加による相乗効果が顕著に示されることがわかった。さらに、予乾草に対する乳酸菌の添加は、単種あるいは一般に認められている基準量よりやや少ない場合でも効果的であることが示唆された。

サイレージの発酵品質と成分組成およびDM回収率の関係では、低品質のものほど繊維成分割合が高くなり、DM回収率が低くなる傾向が示された。このことは、高品質サイレージは乳牛に対する有効エネルギーのロスが少ないことを再確認されたものと判断できる。

以上から、緑汁液あるいは発酵液を20倍に希釈発

酵した緑汁発酵液は、サイレージの発酵品質を顕著に改善し、その効果は乳酸菌製剤以上であった。しかし、希釈発酵した液をさらに希釈発酵したものは、その添加効果が低下することを示した。また、今回の実験では、希釈発酵を重ねることにより乳酸菌が優先的に維持されることが期待されたが、20PFJや20×20PFJのように希釈発酵を繰り返すことにより、緑汁発酵液中の好気性細菌が増加する傾向にあった。さらに、20×20LABは乳酸菌が検出されず、好気性細菌が顕著に増加したことから、嫌氣的発酵の時間、温度、グルコースの添加量などが影響していることも予想され、今後、発酵液の調製条件の検討が必要と思われる。

### (3) ロールラップサイレージに対する搾汁発酵液の添加効果

ロールサイレージの調製の基本は、水分を60~40%に調整することが最も重要である。特にラップサイレージにおいては、排汁が困難なため、水分が高いと品質の劣化は免れない。しかし、状況によっては、高水分で調製せざるを得ないことがある。この場合、サイレージ添加剤の使用が考えられる。最近では、サイレージ添加剤として、乳酸菌製剤および酵素(セルラーゼ)製剤が広く利用されている。牧草搾汁発酵液の添加は、サイレージの発酵品質の改善に対しての乳酸菌製剤に匹敵する好結果が得られている<sup>61,62)</sup>。そこで、本実験では、アルファルファの搾汁発酵液の添加が水分含量を異にするアルファルファロールラップサイレージの発酵品質に及ぼす影響について乳酸菌製剤および酵素製剤と比較検討した。

高水分材料の水分含量は72.7%であり、ロールサイレージ調製の基本原則の水分含量よりかなり高かった。そのため、対照区の発酵品質は酪酸含量とVBN比は極めて高く、不良発酵の様相を顕著に呈した。これに対し、搾汁発酵液と乳酸菌製剤を0.2%添加した区は、搾汁発酵液の総乳酸菌数は $2.0 \times 10^8$  cfu/gであった。その結果、添加した乳酸菌数は材料草1g当り $4.0 \times 10^5$ 個で、乳酸発酵を促進し、良質なサイレージ発酵が進行し、品質が改善された。

乳酸菌は糖を利用して乳酸を生産するため、マメ科牧草など糖含量が少ない材料を用いた場合、乳酸生成に持続性がなく、十分にpHが低下しないこともある。従って、糖含量が低い材料を用いる場合、糖を併用して添加する必要がある。また、酵素製剤は糖添加と同じ目的でサイレージに添加される。すなわち、糖含量の低い材料に添加することにより、

酵素製剤の酵素は材料に含まれるセルロースを分解して糖含量を高めることで、サイレージ発酵を促進させる<sup>66,48)</sup>。以上のことから乳酸菌製剤は、酵素製剤との併用添加が一般的である。本実験に供した材料草のWSC含量は、良質サイレージ調製の基準値である10%よりやや低い程度であったにもかかわらず、搾汁発酵液および乳酸菌製剤単独での添加においても、改善効果が示されたことは、セルラーゼの効果も相乗的であったものと思われる。

中水分および低水分無添加サイレージは、高水分サイレージより格段に品質が改善された。これは、低水分化による発酵抑制効果の現れである。しかし、搾汁発酵液と乳酸菌製剤添加サイレージは、低水分にもかかわらず、乳酸発酵が優先したサイレージ発酵の様相を呈した。

以上から、搾汁発酵液、乳酸菌製剤および酵素製剤は材料草の水分含量に関わらず、特有の添加効果を示した。とりわけ、高水分材料草では、搾汁発酵液と乳酸菌製剤が品質を顕著に改善した。また、酵素製剤は、そのみの添加でも水分含量に関わらずロールサイレージに効果があることが示唆された。

#### (4) サイロ開封後の好気的変敗に対する搾汁発酵液の効果

アルファルファは、高蛋白質含量で、かつ低糖含量であるため、サイレージの調製が難しい。とくに高水分含量の場合は、良質サイレージの調製は極めて困難である。

本実験で用いた材料草は、高蛋白質で低WSC含量であり、また、高水分であったため、無添加サイレージは劣質なものとなった。一方、アルファルファ搾汁発酵液添加の品質改善効果は小さかったが、全ての添加剤において発酵品質の改善効果が見られた。

サイロ開封後、サイレージは空気に接触すると発酵し、変敗することがある。この現象は好気的変敗といい、変敗までの期間をバンクライフと呼称されている。好気的変敗は、サイレージが空気との接触による好気性微生物の増殖が原因である。これらに関与する代表的な微生物は、酵母とカビである。従来、良質サイレージはバンクライフが短いとされていた。しかし、良質サイレージ調製の基本は不良な微生物を制御することであり、真の良質サイレージは、発酵品質が良好で、かつ、バンクライフが長いものといえる。

無添加サイレージの温度は、7日目から上昇を始め、9日目にピークとなり、その後徐々に低下した。また、再び12日目以降にサイレージの温度が上昇す

る傾向が見られた。これに呼応するように、pHとVBN比の上昇と有機酸含量の減少が認められた。これは、典型的な好気的変敗の様相であり、前半の温度上昇は酵母、後半はカビによるものと推察される<sup>7)</sup>。

乳酸菌の添加は、サイレージ発酵の品質改善に効果があるが、好気的変敗抑制に対しても効果が期待される。本実験において、乳酸菌製剤添加サイレージは、無添加に比べ顕著に発酵品質を改善した。また、開封後の温度は、変動が少なく、安定して推移した。発酵品質においても乳酸の斬減と酢酸含量の微増傾向が認められた。しかし、それ以外には、大きな変化は認められなかった。このことから、搾汁発酵液の添加は発酵品質の改善と好気的変敗抑制に一定の効果があるものと考えられる。

以上から、供試した添加剤はサイレージの発酵品質を改善し、好気的変敗を抑制することが示唆された。その効果は、酵素製剤、乳酸菌製剤、搾汁発酵液の順であった。特に、酵素製剤は、発酵品質の改善と好気的変敗の抑制効果が顕著に見られた。また、搾汁発酵液は他の添加剤に比べて開封時のpHが高く、その効果は劣るものであった。このことから、好気的変敗は、開封時の発酵品質が大きく影響するものと推察された。

#### 4. 要 約

サイレージのDM回収率と品質に対する搾汁発酵液の効果について検討した。その結果は以下のとおりである。

1) バンカーサイロによるDM回収率の低い牧草サイレージは劣質な発酵品質であった。トウモロコシサイレージのDM回収率低下の原因は好気的変敗であった。今回の実験からサイレージの回収率を向上するには、発酵品質を改善することと、開封後の品質管理が重要であることがわかった。

2) ロールラップサイレージの回収率は極めて高かった。

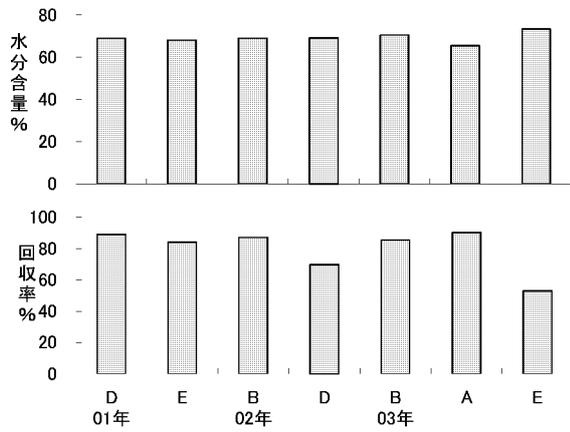
3) ロールサイレージ重量と水分含量との間に有意な回帰式が得られた。

4) 搾汁発酵液の総乳酸菌数は $10^6 \sim 10^8$ cfu/mlであり、添加剤としての効果が認められた。

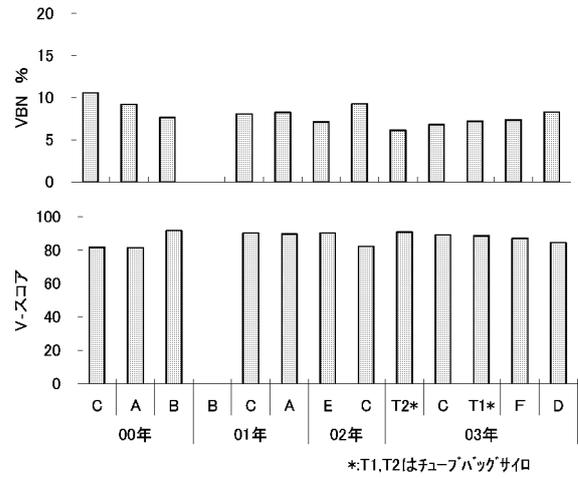
5) 20倍に希釈調製した搾汁発酵液は、無予乾アルファルファサイレージの発酵品質の改善に効果を示した。

6) 搾汁発酵液は高水分アルファルファサイレージの品質を顕著に改善した。

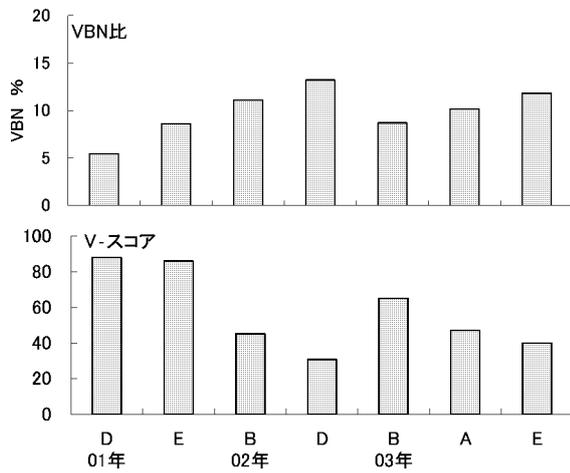
7) 好気的変敗抑制に搾汁発酵液添加は一定の効果があった。



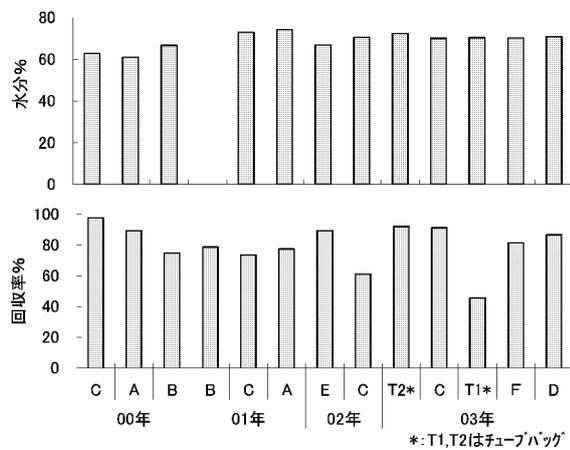
図IV-1 牧草バンカーサイレージの水分含量とDM回収率



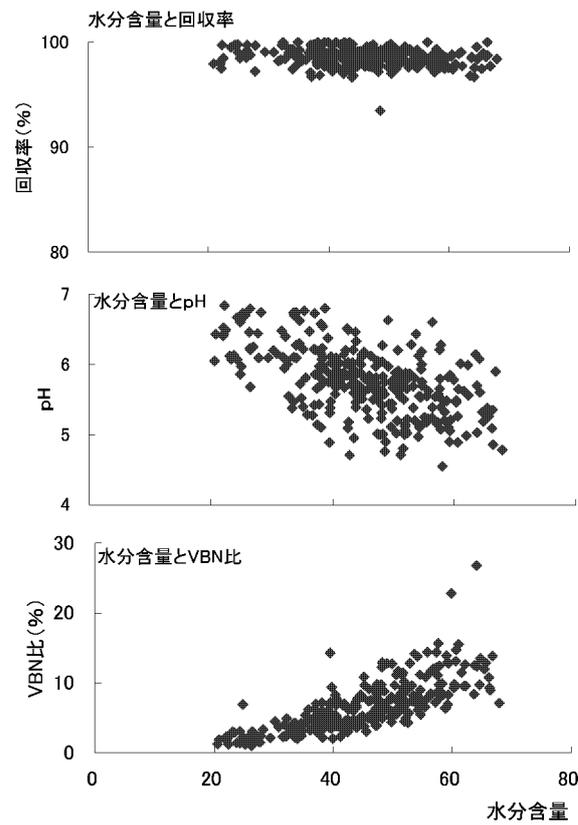
図IV-4 トウモロコシバンカーサイレージのVBN比とV-スコア  
\*:T1,T2はチューブバッグサイロ



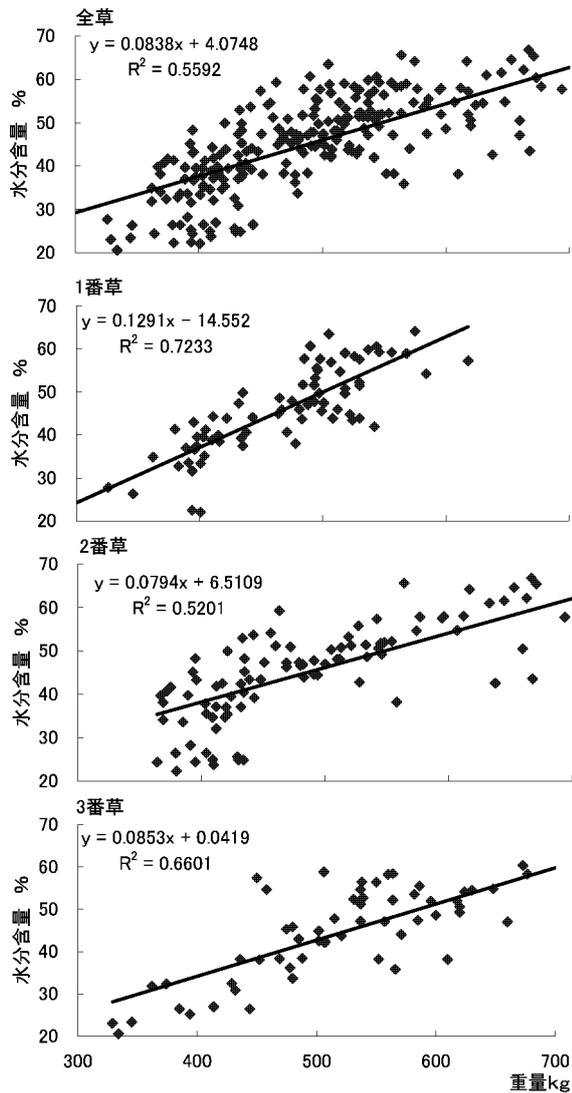
図IV-2 牧草バンカーサイレージの発酵品質



図IV-3 トウモロコシバンカーサイレージの水分含量とDM回収率  
\*:T1,T2はチューブバッグ



図IV-5 ロールサイレージの水分含量と回収率, pH, VBN比の関係



図IV-6 ロール重量と水分含量の関係

表IV-1 搾汁発酵液の微生物相 (cfu/g)

年	番草	一般細菌	総乳酸菌	乳酸桿菌	グラム陰性細菌	クロストリジア	酵母	カビ
96年	1st	$2.1 \times 10^3$	$3.6 \times 10^7$	$1.4 \times 10^7$	$1.0 \times 10^2$		$4.0 \times 10$	<10
	2nd	<10	$4.1 \times 10^7$	$3.0 \times 10^7$	<10		<10	<10
	3rd	<10	$3.5 \times 10^7$	$3.3 \times 10^5$	<10		<10	<10
97年	1st	<10 <sup>2</sup>	$2.0 \times 10^8$	$8.0 \times 10^4$	<10 <sup>2</sup>		$3.0 \times 10$	<10
	1st	<10 <sup>2</sup>	$1.1 \times 10^7$	$7.3 \times 10^6$	$1.1 \times 10$		<10	<10
	1st	<10 <sup>2</sup>	$3.0 \times 10^7$	$1.5 \times 10^7$	<10 <sup>2</sup>		<10	<10
	1st	<10 <sup>2</sup>	$2.0 \times 10^7$	$7.6 \times 10^4$	$2.0 \times 10$		<10	<10
	1st	<10 <sup>2</sup>	$5.0 \times 10^6$	$2.7 \times 10^5$	$1.0 \times 10^2$		<10	<10
	2nd	$1.0 \times 10$	$3.9 \times 10^8$	$2.7 \times 10^8$	<10		<10	<10
	3rd	$2.4 \times 10^6$	$5.0 \times 10^5$	<10	$8.3 \times 10^5$	<10	$1.0 \times 10^3$	$1.0 \times 10^3$
98年	3rd	$1.0 \times 10^2$	$1.1 \times 10^8$	$3.0 \times 10^7$	$4.0 \times 10^2$	<10	<10	$7.0 \times 10$
	3rd	$5.8 \times 10^4$	$4.2 \times 10^7$	$1.0 \times 10^3$	$4.0 \times 10^2$	<10	<10	<10
99年	1st	$8.0 \times 10$	$1.8 \times 10^7$	$1.4 \times 10^7$	0	0	0	0
	2nd	$6.4 \times 10^3$	$1.1 \times 10^6$	$1.9 \times 10^6$	$2.3 \times 10^3$	$2.0 \times 10$	$3.0 \times 10^2$	$2.0 \times 10$
	3rd	$2.4 \times 10^6$	$1.1 \times 10^7$	$1.0 \times 10^7$	0	0	0	0

表IV-2 希釈搾汁発酵液の微生物相 (cfu/g)

	一般細菌	総乳酸菌	乳酸桿菌	グラム陰性菌	クロストリジヤ	酵母	カビ
PFJ	2.4×10 <sup>2</sup>	2.9×10 <sup>7</sup>	1.6×10 <sup>7</sup>	0	0	0	0
20GJ	0	5.0×10 <sup>7</sup>	0	0	0	0	0
20PFJ	1.0×10 <sup>3</sup>	6.2×10 <sup>7</sup>	3.7×10 <sup>7</sup>	0	0	0	0
20×20PFJ	4.1×10 <sup>6</sup>	5.0×10 <sup>6</sup>	1.8×10 <sup>5</sup>	0	0	0	0
LAB	10	7.8×10 <sup>7</sup>	9.5×10 <sup>7</sup>	0	0	0	10 <sup>2</sup>
20×20LAB	1.9×10 <sup>6</sup>	0	0	0	0	4.0×10	0

表IV-3 材料草の主な成分含量

		水分 (%)	CP	NDF	ADF	WSC
		(DM%)				
アルファルファ	無予乾	79.2	17.6	46.6	36.2	6.7
	予乾	64.9	19.6	44.1	35.0	6.8
チモシー	無予乾	79.5	12.1	65.7	38.9	6.9
	予乾	56.3	11.6	68.2	39.7	6.3

表IV-4 希釈搾汁発酵液の添加がサイレージの発酵品質に及ぼす影響

		pH	乳酸	酢酸	酪酸	総酸	VBN比 (%)	V-スコア
		(FM%)						
アルファルファ								
無予乾	無添加	5.64 <sup>A</sup>	0.00 <sup>B</sup>	0.46 <sup>a</sup>	0.56 <sup>A</sup>	1.07 <sup>b</sup>	29.4 <sup>A</sup>	8.0 <sup>B</sup>
	PFJ	4.66 <sup>BC</sup>	0.99 <sup>Ab</sup>	0.46	0.01 <sup>B</sup>	1.46 <sup>a</sup>	10.8 <sup>Bc</sup>	83.7 <sup>Ab</sup>
	20GJ	4.73 <sup>B</sup>	1.11 <sup>A</sup>	0.46 <sup>a</sup>	0.00 <sup>B</sup>	1.57 <sup>Aa</sup>	10.6 <sup>B</sup>	84.6 <sup>Ab</sup>
	20PFJ	4.56 <sup>C</sup>	1.35 <sup>Aa</sup>	0.37	0.00 <sup>B</sup>	1.71 <sup>Aa</sup>	7.02 <sup>Bd</sup>	94.7 <sup>Aa</sup>
	20×20PFJ	5.71 <sup>A</sup>	0.00 <sup>B</sup>	0.18 <sup>b</sup>	0.58 <sup>A</sup>	0.80 <sup>Bb</sup>	30.8 <sup>Aa</sup>	9.5 <sup>B</sup>
	LAB	5.73 <sup>A</sup>	0.00 <sup>B</sup>	0.44	0.61 <sup>A</sup>	1.08 <sup>b</sup>	28.2 <sup>A</sup>	8.2 <sup>B</sup>
	20×20LAB	5.73 <sup>A</sup>	0.00 <sup>B</sup>	0.42	0.53 <sup>A</sup>	1.01 <sup>Bb</sup>	26.4 <sup>Ab</sup>	8.3 <sup>B</sup>
	予乾	無添加	4.79 <sup>ABa</sup>	1.58	0.49 <sup>BCc</sup>	0.07 <sup>B</sup>	2.13 <sup>B</sup>	8.23 <sup>ABa</sup>
PFJ		4.72 <sup>Bb</sup>	1.40	0.74 <sup>ABb</sup>	0.00 <sup>C</sup>	2.15 <sup>B</sup>	8.59 <sup>A</sup>	88.7 <sup>ABbc</sup>
20GJ		4.81 <sup>ABa</sup>	2.30	1.00 <sup>Aa</sup>	0.01 <sup>C</sup>	3.32 <sup>B</sup>	8.60 <sup>A</sup>	85.2 <sup>Bc</sup>
20PFJ		4.56 <sup>C</sup>	2.05	0.40 <sup>C</sup>	0.01 <sup>C</sup>	2.47 <sup>B</sup>	6.76 <sup>Bb</sup>	93.3 <sup>ABab</sup>
20×20PFJ		4.60 <sup>C</sup>	2.13	0.58 <sup>BC</sup>	0.00 <sup>C</sup>	2.72 <sup>B</sup>	7.64 <sup>AB</sup>	91.1 <sup>ABb</sup>
LAB		4.44 <sup>D</sup>	1.75	0.38 <sup>BC</sup>	0.02 <sup>C</sup>	8.74 <sup>A</sup>	4.11 <sup>C</sup>	96.8 <sup>Aa</sup>
20×20LAB		4.85 <sup>A</sup>	1.61	0.57 <sup>BC</sup>	0.12 <sup>A</sup>	9.48 <sup>A</sup>	7.90 <sup>AB</sup>	48.0 <sup>C</sup>
チモシー								
無予乾	無添加	5.49 <sup>A</sup>	0.00 <sup>B</sup>	0.21 <sup>ABb</sup>	0.56 <sup>Aa</sup>	0.83 <sup>B</sup>	34.8 <sup>A</sup>	10.0 <sup>Bb</sup>
	PFJ	4.34 <sup>BCb</sup>	1.19 <sup>A</sup>	0.22 <sup>Aa</sup>	0.00 <sup>B</sup>	1.42 <sup>A</sup>	9.2 <sup>C</sup>	91.5 <sup>A</sup>
	20GJ	4.23 <sup>C</sup>	1.16 <sup>A</sup>	0.15 <sup>BC</sup>	0.02 <sup>B</sup>	1.33 <sup>A</sup>	8.9 <sup>Cc</sup>	90.5 <sup>A</sup>
	20PFJ	4.28 <sup>C</sup>	1.25 <sup>A</sup>	0.11 <sup>Cdc</sup>	0.03 <sup>B</sup>	1.40 <sup>A</sup>	7.4 <sup>Cc</sup>	92.7 <sup>A</sup>
	20×20PFJ	4.74 <sup>Ba</sup>	0.28 <sup>B</sup>	0.07 <sup>Dd</sup>	0.46 <sup>Ab</sup>	0.83 <sup>B</sup>	19.3 <sup>BCb</sup>	27.3 <sup>B</sup>
	LAB	5.28 <sup>A</sup>	0.16 <sup>B</sup>	0.08 <sup>Dd</sup>	0.53 <sup>A</sup>	0.77 <sup>B</sup>	14.1 <sup>c</sup>	33.6 <sup>Ba</sup>
	20×20LAB	5.52 <sup>A</sup>	0.00 <sup>B</sup>	0.25 <sup>Aa</sup>	0.49 <sup>A</sup>	0.83 <sup>B</sup>	30.5 <sup>ABa</sup>	9.6 <sup>Bb</sup>
	予乾	無添加	5.72 <sup>A</sup>	0.43 <sup>B</sup>	0.05 <sup>DEd</sup>	0.00	0.49 <sup>B</sup>	9.0 <sup>A</sup>
PFJ		4.27 <sup>BCb</sup>	1.80 <sup>A</sup>	0.23 <sup>A</sup>	0.00	2.03 <sup>A</sup>	7.0 <sup>B</sup>	95.8
20GJ		4.35 <sup>BCb</sup>	2.10 <sup>Aa</sup>	0.16 <sup>Ba</sup>	0.01	2.27 <sup>Aa</sup>	6.4 <sup>BCb</sup>	96.3
20PFJ		4.63 <sup>Ba</sup>	1.75 <sup>A</sup>	0.09 <sup>Cdc</sup>	0.09	1.93 <sup>A</sup>	6.9 <sup>B</sup>	89.3 <sup>b</sup>
20×20PFJ		4.33 <sup>BCb</sup>	1.45 <sup>Aa</sup>	0.12 <sup>BCb</sup>	0.05	1.63 <sup>Ab</sup>	4.9 <sup>Cdd</sup>	95.5
LAB		4.18 <sup>C</sup>	1.97 <sup>Aa</sup>	0.33 <sup>E</sup>	0.00	2.01 <sup>A</sup>	4.3 <sup>D</sup>	100.0 <sup>a</sup>
20×20LAB		5.49 <sup>A</sup>	0.41 <sup>B</sup>	0.05 <sup>DEd</sup>	0.00	0.46 <sup>B</sup>	7.8 <sup>ABa</sup>	94.4

A, B, C, D, E : P&lt;0.01, a, b, c, d : P&lt;0.05

表IV-5 希釈搾汁発酵液の添加がサイレージの主な成分とDM回収率におよぼす影響

		水分 (%)	CP ————	NDF (DM%)	ADF ————	回収率 (%)
アルファルファ						
無予乾	無添加	83.3 <sup>Aa</sup>	16.4 <sup>Cc</sup>	55.5 <sup>A</sup>	45.4 <sup>A</sup>	97.6 <sup>Bb</sup>
	PFJ	81.1 <sup>C</sup>	19.7 <sup>A</sup>	47.5 <sup>D</sup>	37.6 <sup>C</sup>	99.2 <sup>A</sup>
	20GJ	80.9 <sup>C</sup>	19.3 <sup>A</sup>	46.5 <sup>D</sup>	37.8 <sup>C</sup>	99.1 <sup>A</sup>
	20PFJ	80.8 <sup>C</sup>	19.8 <sup>A</sup>	47.0 <sup>D</sup>	37.4 <sup>C</sup>	99.3 <sup>A</sup>
	20×20PFJ	82.9 <sup>ABb</sup>	17.9 <sup>Ba</sup>	52.9 <sup>B</sup>	42.0 <sup>Bb</sup>	98.0 <sup>Ba</sup>
	LAB	82.7 <sup>Bc</sup>	17.5 <sup>BCb</sup>	53.5 <sup>B</sup>	43.2 <sup>Ba</sup>	97.8 <sup>B</sup>
	20×20LAB	83.2 <sup>ABab</sup>	18.1 <sup>B</sup>	53.8 <sup>BC</sup>	43.8 <sup>Ba</sup>	97.6 <sup>Bb</sup>
予乾	無添加	67.0	19.8 <sup>Bb</sup>	46.8 <sup>bc</sup>	38.9	98.8 <sup>B</sup>
	PFJ	67.5	20.0 <sup>A</sup>	47.1 <sup>abc</sup>	38.4	98.8 <sup>B</sup>
	20GJ	67.2	19.7 <sup>Bb</sup>	47.8 <sup>ab</sup>	39.3 <sup>a</sup>	98.8 <sup>B</sup>
	20PFJ	67.4	20.1 <sup>b</sup>	46.5 <sup>c</sup>	37.7 <sup>Bb</sup>	99.3 <sup>Aa</sup>
	20×20PFJ	67.2	20.4 <sup>Aa</sup>	46.2 <sup>bc</sup>	37.3 <sup>Bb</sup>	99.2 <sup>Ab</sup>
	LAB	66.8	20.2 <sup>A</sup>	45.9 <sup>Bb</sup>	37.8 <sup>b</sup>	99.2 <sup>A</sup>
	20×20LAB	67.1	19.3 <sup>Bc</sup>	48.3 <sup>Aa</sup>	40.1 <sup>Aa</sup>	98.8 <sup>B</sup>
チモシー						
無予乾	無添加	80.6	10.7 <sup>Bb</sup>	69.4 <sup>Aa</sup>	45.4 <sup>Aab</sup>	98.2 <sup>BCb</sup>
	PFJ	81.0	13.0 <sup>A</sup>	64.1 <sup>Bc</sup>	40.8 <sup>Bd</sup>	99.5 <sup>A</sup>
	20GJ	80.0	12.6 <sup>a</sup>	64.9 <sup>bc</sup>	41.1 <sup>Bd</sup>	99.4 <sup>A</sup>
	20PFJ	80.3	12.7 <sup>a</sup>	64.4 <sup>Bc</sup>	41.0 <sup>Bd</sup>	99.5 <sup>A</sup>
	20×20PFJ	79.8	12.0	68.0	43.2 <sup>C</sup>	98.7 <sup>Ba</sup>
	LAB	81.4	11.8	69.3 <sup>Aa</sup>	43.9 <sup>abc</sup>	98.7 <sup>Ba</sup>
	20×20LAB	81.4	11.1 <sup>Bb</sup>	68.0 <sup>ab</sup>	45.6 <sup>Aa</sup>	98.0 <sup>C</sup>
予乾	無添加	60.1	11.8	69.5 <sup>A</sup>	43.4 <sup>Aa</sup>	93.3 <sup>b</sup>
	PFJ	57.9	12.3 <sup>a</sup>	67.1 <sup>Bbc</sup>	41.3 <sup>Bc</sup>	99.2 <sup>a</sup>
	20GJ	59.9	11.9 <sup>1</sup>	69.0 <sup>ABa</sup>	42.7 <sup>ABab</sup>	98.9
	20PFJ	59.2	11.2 <sup>Bb</sup>	67.0 <sup>bc</sup>	42.0 <sup>bc</sup>	98.7
	20×20PFJ	57.8	12.1 <sup>a</sup>	66.3 <sup>Cc</sup>	41.1 <sup>Cc</sup>	99.2 <sup>a</sup>
	LAB	58.3	12.5 <sup>A</sup>	67.2 <sup>Bbc</sup>	41.4 <sup>Bc</sup>	99.2 <sup>a</sup>
	20×20LAB	58.9	12.2 <sup>a</sup>	68.2 <sup>ABCa</sup>	42.4 <sup>b</sup>	98.6

A, B, C : P&lt;0.01, a, b, c : P&lt;0.05

表IV-6 搾汁発酵液の微生物相  
(ロールラップサイレージ) (cfu/g)

	高水分	中水分	低水分
一般細菌数	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
乳酸菌総数	2.0×10 <sup>8</sup>	1.1×10 <sup>7</sup>	3.0×10 <sup>7</sup>
乳酸桿菌数	8.0×10 <sup>4</sup>	7.3×10 <sup>6</sup>	1.5×10 <sup>7</sup>
グラム陰性細菌数	<10 <sup>2</sup>	1.1×10	<10 <sup>2</sup>
酵母数	<10	<10	<10
カビ数	3.0×10	<10	<10

表IV-7 材料草の主な組成  
(ロールラップサイレージ)

	水分 (%)	CP ————	NDF (DM中%)	ADF ————	WSC ————
高水分	72.7	17.3	47.6	38.4	8.4
中水分	51.8	16.7	47.6	38.2	9.2
低水分	47.6	17.6	50.8	39.5	9.0

表IV-8 ロールラップサイレージの発酵品質

	pH	乳酸	酢酸	酪酸	総酸	VBN比	V-スコア
		(原物中%)				(%)	
高水分							
無添加	5.6 <sup>A</sup>	0.56 <sup>Bb</sup>	0.90	1.51 <sup>Aa</sup>	2.97	28.6 <sup>A</sup>	6 <sup>b</sup>
搾汁発酵液	4.6 <sup>B</sup>	1.90 <sup>a</sup>	1.06 <sup>a</sup>	0.10 <sup>B</sup>	3.06	16.4 <sup>B</sup>	50 <sup>a</sup>
乳酸菌製剤	4.5 <sup>B</sup>	2.18 <sup>A</sup>	0.94	0.27 <sup>b</sup>	3.40	15.2 <sup>B</sup>	42 <sup>a</sup>
酵素製剤	4.4 <sup>B</sup>	2.00 <sup>a</sup>	0.67 <sup>b</sup>	0.61 <sup>b</sup>	3.28	12.8 <sup>B</sup>	21 <sup>a</sup>
中水分							
無添加	5.4 <sup>A</sup>	0.35 <sup>Bb</sup>	0.92 <sup>b</sup>	0.04	0.88 <sup>Bb</sup>	7.0	91
搾汁発酵液	4.7 <sup>Ba</sup>	2.09 <sup>a</sup>	0.80 <sup>a</sup>	0.02	2.90 <sup>A</sup>	8.7 <sup>a</sup>	87
乳酸菌製剤	4.5 <sup>B</sup>	2.37 <sup>A</sup>	0.37 <sup>b</sup>	0.03	2.77 <sup>A</sup>	7.1	92
酵素製剤	4.5 <sup>Bb</sup>	1.79 <sup>a</sup>	0.38 <sup>b</sup>	0.02	2.20 <sup>a</sup>	5.7 <sup>b</sup>	96
低水分							
無添加	5.7 <sup>a</sup>	0.13 <sup>C</sup>	0.39	0.04	0.55 <sup>B</sup>	7.5	91
搾汁発酵液	5.4	1.34 <sup>B</sup>	0.53	0.02	1.89 <sup>A</sup>	8.1 <sup>a</sup>	90
乳酸菌製剤	4.8 <sup>b</sup>	1.7 <sup>A</sup>	0.31	0.01	2.02 <sup>A</sup>	6.4	96
酵素製剤	4.8 <sup>b</sup>	1.69 <sup>A</sup>	0.41	0.04	2.14 <sup>A</sup>	6.0 <sup>b</sup>	94

A, B : P&lt;0.01, a, b : P&lt;0.05

表IV-9 ロールラップサイレージの成分, 原物回収率

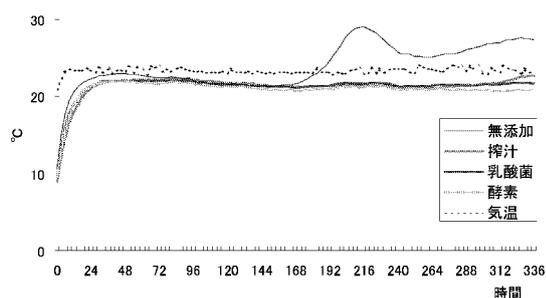
	水分	CP	NDF	ADF	回収率
	(%)	(DM中%)			(%)
高水分					
無添加	75.3	18.1	49.3 <sup>A</sup>	40.4	97.1
搾汁発酵液	75.4	17.4	49.5 <sup>A</sup>	41.3 <sup>a</sup>	97.7
乳酸菌製剤	74.5	17.8	47.5 <sup>a</sup>	39.5	98.0
酵素製剤	72.6	18.0	45.1 <sup>Bb</sup>	37.9 <sup>b</sup>	97.7
中水分					
無添加	49.7 <sup>B</sup>	16.8	49.6	39.4	99.0
搾汁発酵液	53.5 <sup>Aa</sup>	16.8	50.8	40.3	99.4
乳酸菌製剤	52.4 <sup>A</sup>	16.7	50	39.6	98.7
酵素製剤	52.6 <sup>b</sup>	16.4	50.4	40.3	98.8
低水分					
無添加	44.7 <sup>b</sup>	16.9	49.4	39.0	99.5
搾汁発酵液	47.7 <sup>a</sup>	16.7	50.4	40.0	99.5
乳酸菌製剤	48.5 <sup>a</sup>	17.0	50.7	40.5	99.7
酵素製剤	46.3	16.6	48.9	38.5	99.7

A, B : P&lt;0.01, a, b, c : P&lt;0.05

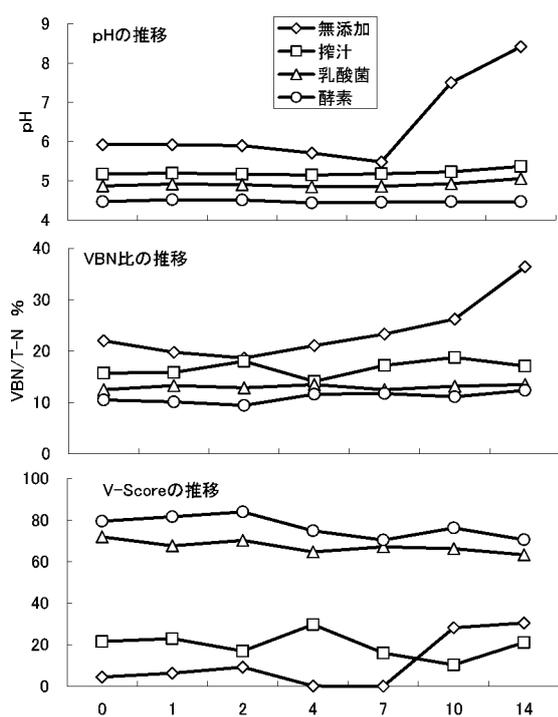
表IV-10 サイレージの発酵品質 (好気的変敗の実験)

	pH	乳酸	酢酸	酪酸	総酸	VBN比	V-スコア
		(%FM)				(%)	
無添加	6.00 <sup>A</sup>	0.62 <sup>Cb</sup>	0.69	1.13 <sup>A</sup>	2.44	21.1 <sup>A</sup>	7.4 <sup>Bb</sup>
搾汁発酵液	5.05 <sup>B</sup>	1.17 <sup>Bca</sup>	0.99	0.37 <sup>Ba</sup>	2.53	15.9 <sup>Ba</sup>	38.8 <sup>Ba</sup>
乳酸菌製剤	4.83 <sup>Bca</sup>	1.49 <sup>B</sup>	1.10	0.01 <sup>Bb</sup>	2.60	12.3 <sup>Bcb</sup>	73.1 <sup>A</sup>
酵素製剤	4.48 <sup>Cb</sup>	1.82 <sup>A</sup>	0.84	0 <sup>Bb</sup>	2.67	10.8 <sup>C</sup>	80.3 <sup>A</sup>

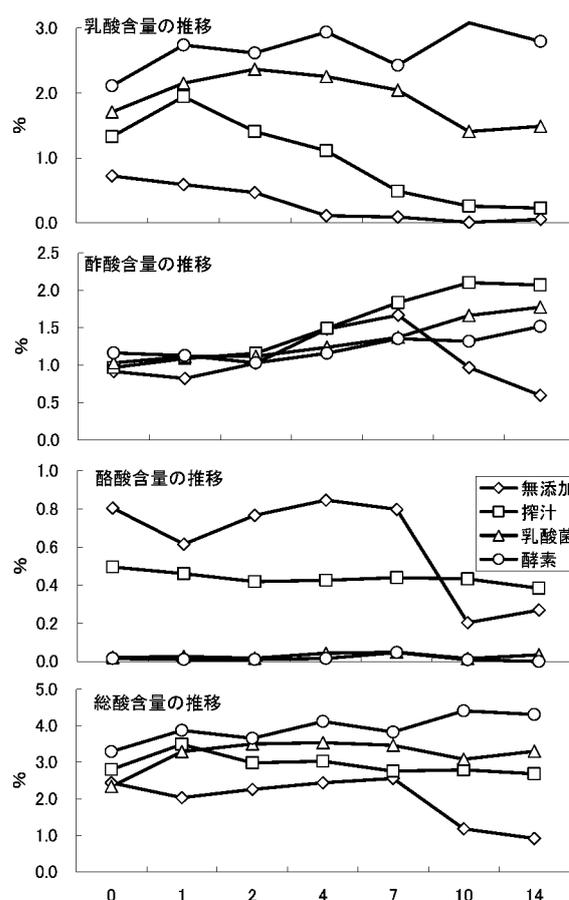
A, B, C : P&lt;0.01, a, b, c : P&lt;0.05



図IV-7 開封後のサイレージ温度の推移



図IV-8a 開封後のサイレージ発酵品質の推移



図IV-8b 開封後のサイレージ発酵品質の推移

## 第V章 乳牛に対するサイレージのルーメン内消化特性と採食性に関する研究

この章ではサイレージを飼料評価する目的で、ルーメン内におけるサイレージの消化性と採食性について検討した。

### 1. 実験法

#### (1) サイレージのルーメン内消化特性

ルーメンフィステルを装着した泌乳牛(泌乳中期)を用い、サイレージのルーメン内消化の実験を行った。

##### 1) 供試サイレージ

供試サイレージは、無予乾、予乾アルファルファの2, 3番草を用い、無添加、搾汁発酵液添加、乳酸菌製剤添加、酵素(セルラーゼ)製剤添加、搾汁発酵液と酵素製剤併用添加、乳酸菌製剤と酵素製剤

併用添加およびギ酸添加サイレージを2リットル容器に2反復で調製した。サイレージは、60°Cで風乾後2mm以下に粉碎し、分析に用いた。

##### 2) ナイロンバッグ法

ルーメン内におけるサイレージの消化率の分析は、ナイロンバッグ法を用いて行った。ナイロンバッグは、45 $\mu$ メッシュで12×8cmの大きさで、吊下用紐は46cmであった。ナイロンバッグには風乾サイレージを5~7g入れ、ルーメンフィステルより、ルーメン内に挿入した。ルーメン内に挿入したバッグは、6および24時間後に取り出し、バッグごと水で十分洗浄した後、60°C12時間乾燥してから分析に供した。

##### 3) 分析項目

DM, CP, NDF およびエネルギーの消失率を求めた。エネルギーはボンブカロリメーターで測定した。

## (2) サイレージの採食性

## 1) 供試サイレージ

材料草にはアルファルファ 2 番草を用い、無添加、アルファルファ搾汁発酵液、乳酸菌製剤、酵素製剤添加のサイレージを調製した。供試サイレージは、本報の第 IV 章におけるサイロ開封後の好気的変敗の実験で用いたサイレージと同一のものである。その発酵品質は図 IV-10 のとおりである。

## 2) 乳牛の採食試験

供試牛にはホルスタイン種乳牛 4 頭(泌乳牛 3 頭、乾乳牛 1 頭)を用い、飼い慣らし予備期 5 日、本試期 4 日を 1 期として、4×4 ラテン方格法で給与試験を実施した。給与飼料は、1 日 2 回に分けて、配合飼料、アルファルファペレット、ビートパルプ、トウモロコシサイレージを搾乳 60 分前に、供試牧草サイレージは搾乳後に不断給与した。サイレージの摂取量は、給与 15, 30, 60, 120 分後および次回給与 60 分前に採食量を計量した。

## (3) サイレージを主体にした混合飼料 (TMR) の採食量

## 1) 供試牛

供試牛には酪農学園大学附属農場飼養の高泌乳牛群(H 群)、低泌乳牛群(L 群)、自動搾乳牛群(AMS 群)を用いた。それぞれの頭数、平均体重、平均乳量は以下のようなものである。

供試牛群の概要

	頭数 (頭)	平均体重 (kg/頭)	日平均乳量 (kg/頭)
高泌乳牛群	28~39	633	29.5
低泌乳牛群	10~11	541	19.4
AMS牛群	20~24	697	36.3

## 2) 調査期間

調査は、2002 年 5 月 1 日から 9 月 28 日までの間に原則として 2 日連続で計 15 回 (7 月 25 日の回は 1 日) 行った。調査期間中の本学における気温は、日平均 8.8~19.3℃ (日中最高気温; 最高時で 27.9℃・日中最低気温; 最低時で 1.6℃) であった。

## 3) 供試 TMR

TMR は、H 群および低泌乳・自動搾乳牛群 (L・AMS 群) の 2 種類を調製した。構成飼料は、ベールデストリビュータで粗く切断したアルファルファロールベールサイレージ (ARS)、バンカーサイロで調製したトウモロコシサイレージ (CS) および牧草サイレージ (GS)、配合飼料、ビートパルプ、大豆粕、

綿実、ミネラルサプリメントであった。CS は 7 月、GS は 9 月に別のサイロのものに切り替わった。

TMR の給与は本農場の慣行に従い、1 日 1 回、午前 10 時に給与した。なお、自動搾乳牛群には、搾乳時に個別別に配合飼料を給与した。

## 4) DM 摂取量 (DMI) の測定

AS, CS, GS のサイレージのサンプルはサイロの取り出し直後 (TMR 混合直前) にそれぞれ採取した。TMR のサンプリングは、給与直後および翌朝飼槽に残ったものを採取した。

DMI は、重量計を装着した TMR ミキサー (リールアーギーミキサー, KNIGHT) のによる給与量から牛体重計で測定した残飼量を差し引いて求めた。なお、乳成分組成は調査日に近い乳検データを参考にした。

## 5) 分析項目

- ① TMR およびサイレージの一般成分
- ② TMR およびサイレージの発酵品質

## 2. 結 果

## (1) サイレージのルーメン内消化特性

サイレージの V-スコア、VBN 比および主な成分を表 V-1 に示した。

全てのギ酸添加サイレージは、VBN 比が低く、さらに V-スコアが高く、高品質であった。

2 番草の無予乾草の搾汁発酵液、乳酸菌製剤および酵素製剤添加は無添加サイレージと同程度の発酵品質であった。また、酵素製剤との併用で品質が若干改善された。予乾サイレージでは、予乾の低水分化により発酵品質が向上した。特に搾汁発酵液、乳酸菌製剤および酵素併用添加は VBN 比の低下が認められた。3 番草のサイレージは、2 番草のものと同様の傾向にあった。また、ギ酸添加サイレージを除き、無予乾および予乾ともに 2 番草より品質が低質であった。搾汁発酵液添加サイレージの発酵品質は、乳酸菌添加サイレージのものよりやや良好であった。

CP 含量は 2 番草で処理間にばらつきがみられたが、3 番草においては差が認められなかった。NDF は両番草において搾汁発酵液と酵素製剤併用区が他の処理に比べ低かった。エネルギーは処理間における差はみられなかった。番草間においては CP およびエネルギーは 3 番草が高く、NDF は 2 番草の方が高かった。

サイレージのルーメン内消化率を表 V-2 に示した。

2 番草の DM 消化率は搾汁併用区が他の処理に

比べ高かった。また2番草予乾の乳酸菌製剤が低かった。番草間では2番草より3番草の方が24時間において全処理で高かった。

CPのルーメン内消化率は両番草の6時間において無予乾より予乾の方が全処理で低かった。ギ酸は両番草の6時間において最も低かったが、24時間では差はなかった。そのため6時間から24時間までの間の可消化量は高くなった。番草間では、3番草よりも2番草の方が高かった。また、無予乾の方が高い傾向にあり、それは6時間の方が顕著であった。

NDFのルーメン内消化率は、2番草において搾汁発酵液と酵素併用区が6時間の予乾、24時間の無予乾で高かった。3番草の乳酸菌製剤とギ酸は予乾で低かった。また、無予乾に比べ、予乾の方が高い傾向にあった。

エネルギーのルーメン内消化率は、2番草において搾汁発酵液と酵素併用が他の処理に比べ高かった。また、乳酸菌製剤は予乾サイレージの方が低かった。3番草のギ酸は、6時間の予乾サイレージの方が高かった。搾汁発酵液は両番草の24時間で他の処理に比べ低かった。また、3番草の方が2番草より高い傾向にあり、無予乾の方が高い傾向にあった。

## (2) サイレージの採食性

無添加サイレージは、pHが高く、酪酸含量、VBN比が高く、低品質のものであった。一方、添加サイレージは、無添加に比べ、乳酸含量が高く、酪酸含量とVBN比が有意に低かった ( $P<0.01$ )。原物回収率は、搾汁発酵液添加サイレージが最も高かった。

サイレージの主な成分を表V-3に示した。

水分、CP含量は処理間に大きな差は見られなかった。しかし、酵素製剤のNDFとADF含量は無添加に対し有意に低かった ( $P<0.01$ ,  $P<0.05$ )。

サイレージのDMIを表V-4、飼料摂取量の概況を表V-5に示した。

サイレージ給与後60分までの無添加サイレージのDMIは、最も少なかった。また、120分後での搾汁発酵液および酵素製剤添加サイレージの摂取量は、無添加に比べ有意に多かった ( $P<0.05$ )。総DMIは無添加が最も少なかったが、採食速度(総DMIに対する摂取割合)には、各処理間に大きな差は見られなかった。

一日当りの総DMIに対するサイレージDMIの割合は、無添加が44%と最も低かった。他の3処理間には大きな差は認められなかった。体重に対するサイレージDMIと飼料の総DMIの割合は、サイレージDMIと同様な傾向が見られた。さらに日本

飼養標準<sup>73)</sup>におけるDM要求量に対する総DMIの充足率は、いずれも10%以上多く、中でも搾汁発酵液と酵素製剤が高かった。

## (3) サイレージを主体にしたTMRの採食量

TMRの原料の主な成分を表V-6、原料サイレージの発酵品質を表V-7に示した。CSおよびGSは調査期間中にサイロが切り替わったので、2本のサイロをそれぞれ表示した。CSは、サイロ切り替わりによる主な成分と発酵品質の変化は殆どなかった。GSはサイロ切り替わりにより、繊維成分は高く、CP含量は低くなった。また、発酵品質はやや低かった。

TMRのDMIと泌乳量を図V-1、DM充足率を図V-2に示した。AMS群のDMIは個体別に給与した配合飼料を加算して示した。平均DMIは、H群が20.6 (19.3~21.9)、L群が16.8 (14.1~18.6)、AMS群が24.6 (23.4~25.6) kg/日であり、特にL群において変動が大きかった。また、その充足率は、それぞれ96.3、99.1、102.1%であった。CSのサイロは7月、GSのサイロは9月に切り替わったが、サイロの切り替わりによるDMIへの影響は見られなかった。

TMRと残飼のCPおよびNDF含量をそれぞれ図V-3と図V-4に示した。DM含量は残飼ではTMRに比べ若干減少し、CP含量も減少した。また、NDF含量は残飼においてTMRに比べ増加した。

TMRと残飼の発酵品質を図V-5a~dに示した。残飼のVBN比は給与時のTMRに対して全体的に増加し、給与後に品質が悪化する傾向が見られた。しかし、VFA含量に関しては、残飼においての増加傾向は見られずV-スコアにおいても必ずしも点数は低くならなかった。

給与量に対する残飼割合を図V-6に示した。給与量に対する残飼のDM割合は概して低く、H群が8.8 (1.7~19.0)、L群が11.9 (4.4~21.5)、AMS群4.6 (1.6~12.3)%であった。

DMIとTMR成分および気温・湿度との相関を表V-8に示した。H群では、DMIとTMRのVBN比との間に負の相関関係 ( $P<0.05$ )が見られ、TMRのVBN比が高くなるとDMIは低下する傾向にあった。L群においては、DMIと残飼のVFA含量との間に負の相関関係 ( $P<0.05$ )が見られた。R群ではDMIとTMRおよび残飼の水分、TMRのV-スコアおよび気温との間に負の相関 ( $P<0.05$ )、DMIとTMRのVFA含量、TMR中のロールサイレージ割合との間に正の相関 ( $P<0.05$ )が見られ

た。AMS 群では、TMR の水分含量が増えると DMI は低下し、発酵品質への影響もあるものと思われた。また、TMR 中のロールサイレージ割合が増えると DMI は増加した。

### 3. 考 察

#### (1) サイレージのルーメン内消化特性

サイレージ中の VBN 含量が高いことは、ルーメン内分解性蛋白質に包含される可溶性蛋白質の割合が高いことを意味する。つまり、VBN 比が高く発酵品質が劣質なものは、可溶性蛋白質が高くなり、CP のルーメン内分解速度が速くなる。本実験においてもこの傾向が示された。ギ酸添加サイレージは、他のものに比べ VBN 比が極めて低く、6 時間目の CP 消失率は低かった。また、全ての予乾サイレージは、無予乾に比べ 6 時間目の CP 消失率が低かった。このことは、予乾によってサイレージの発酵品質の改善と同時に、酪酸菌による蛋白質分解が低下したためと考えられる。

繊維分解酵素は、材料草の繊維部分を分解し、糖 (WSC) 含量を高め、サイレージの乳酸発酵を促進することを狙いとしている。また、乳酸菌との併用でその効果が高まるとしている。本実験においても、搾汁発酵液との併用でサイレージ発酵品質の改善効果が認められた。しかし、酵素製剤は、材料草の高消化性繊維 (Oa) を分解することで、低消化性繊維の割合が高まることが懸念される<sup>45,67,88)</sup>。今回の実験では、2 番草無予乾の酵素単独あるいは併用添加サイレージの NDF 6 時間の消失率は無添加より低い傾向にあったが、それ以外は一定の傾向は認められなかった。酵素が添加されたサイレージと無添加の NDF 含量には、同程度あるいは僅かの低下が見られたに過ぎなかった。また、サイレージ中の NDF 含量が高いものは、6 時間目の消失率が高い傾向にあったが、24 時間目では酵素添加で高くなるものもあった。

エネルギーの消失率と発酵品質との関係を見ると、搾汁発酵液と酵素併用サイレージおよびギ酸添加サイレージのエネルギー消失率は、無添加のものに比べ高い傾向にあった。特に、6 時間目が顕著であった。このことは、エネルギーのルーメン内消化はサイレージの発酵品質に影響されることを示唆するものである。

#### (2) サイレージの発酵品質と採食性の関係

今回用いたサイレージ材料草は、高水分、低糖含量であり、サイレージ材料草としては決して好まし

いものではなかった。無添加サイレージは、材料草が高水分、高蛋白質、低糖含量であったため、不良な発酵品質であった。各添加剤はサイレージ発酵の品質改善に効果があった。搾汁発酵液添加処理は、乳酸菌製剤よりも効果は低かった。しかし、材料草の水分含量と WSC 含量は、無添加のものより悪条件であることを考慮すると、効果はより高いものと判断できる。

酵素製剤添加サイレージの繊維 (NDF, ADF) 含量は、無添加より有意に低かった。酵素 (セルラーゼ) 製剤は、材料草の高消化性繊維区分をサイレージ発酵中に分解するため、繊維さらに有機物の消化率を低下させることが懸念される<sup>48)</sup>。

サイレージの発酵品質と採食量の関係については、①高水分あるいはダイレクトカットサイレージは摂取量の低下が起こる、②酢酸及び酪酸含量が増加するにつれて採食量は減少する、③サイレージ中の乳酸含量が高い場合は採食量が低下する場合がある、④不良発酵により生成されたアミン類などのある種の窒素化合物 (VBN) は採食量を抑制する、などがあげられる<sup>17)</sup>。つまり、サイレージ摂取量は VFA と VBN 含量に影響され、VFA 含量と VBN 比からサイレージの品質を評価する V スコアの点数から推察できる。

本実験において、サイレージの採食性は発酵品質に影響されることが認められた。不良発酵の様相を呈した無添加サイレージの採食量は顕著に少なく、アンモニア態窒素含量や酪酸含量が DMI を低下させる一要因であることが示唆された。しかし、搾汁発酵液添加サイレージの発酵品質は乳酸菌製剤添加より不良であったが、摂取量は多かった。これは、搾汁発酵液添加サイレージの発酵品質にサイロ間に大きな差が生じたためであった。

採食速度において、サイレージ給与 60 分後における無添加の採食量は、各添加サイレージに比べ少なく、120 分後では、搾汁発酵液および酵素製剤添加に比べ有意に少なかった ( $P < 0.05$ )。このことから、嗜好性に対しても添加剤の添加効果が認められた。

以上から、無添加は極めて不良な発酵様相を呈し、採食量が抑制された。アルファルファ搾汁発酵液、乳酸菌製剤および酵素製剤の添加は、サイレージの発酵品質を改善し、摂取量に対しても改善効果が期待できることが示唆された。

#### (3) サイレージを主体にした TMR の採食量と品質の関係

乳牛のサイレージ摂取量はその品質に影響され、

それを原料とした TMR についても採食量への影響が懸念される。また、TMR の給与回数が少ないときには、給餌中における品質低下が懸念される。そこで今回は、1 日 1 回給与でのサイレージを主体とした TMR の採食量について、サイレージの発酵品質との関連を調査検討した。

乳牛の粗飼料は、サイレージの調製、利用が主流である。また、飼料給与体系は、栄養バランスがとれ、選択採食がしにくい TMR の利用が増加している。飼料の DMI は、給与飼料の設計および乳牛の泌乳能力を最大発揮するうえで最も影響を与える重要な要因である。飼料摂取量は多くの要因によって影響される。その要因は、体重、乳量、乳期などの乳牛の生理的要因と飼料の種類、成分組成、物理性などの飼料的要因に大別できる。特に粗飼料は、成分組成の変動が大きいこと、飼料摂取量に大きく影響する。サイレージを主体とした TMR の DMI は、原料サイレージの採食性に最も大きく左右される。本実験のサイレージ給与割合は、H 群が 58.9 (52.0~64.0)%, L・AMS 群が 63.8 (68.7~58.6)%であった。

本実験における DMI 充足率は、H 群が 87.0~103.8%, L 群が 79.0~105.4%, AMS 群が 94.9~109.5%の範囲であった。また、それぞれの平均は、96.3, 99.1, 102.1%であり、H 群では他の群に比べて低めの傾向にあった。

サイレージの DMI は、高水分ほど低い傾向にある。これは、水分含量とともにサイレージの発酵産物の影響が大きいことが推察される。給与飼料全体の DM 含量が 45%以下に低下するにつれて DMI の低下は有意になると考えられている。また、残飼量および給与量は、自由採食量を規制する因子であることが認められている。自由採食量が家畜の生理的な規制に基づいた自由な採食行動によって決定されるには、ある程度の残飼量があることが必要と考えられ、その残飼量は 10~15%になるように調製する方法がよいと指摘されている<sup>19)</sup>。

本実験での TMR の DM 含量は、平均で H 群が 41.5%, L・AMS 群が 40.2%と低かった。また、H 群と AMS 群の残飼量は自由採食量の基準である 10%を下回っており、採食量が給与量に規制を受けている可能性が考えられた。また、TMR の残飼の CP 含量は、給与時の TMR より低く、また、NDF 含量は高かったことから、乳牛による選択採食が行われた可能性が考えられる。

DMI に影響を及ぼす重要な要因の一つに気温がある。気温の影響による DMI の低下は、数日後に生

産性の低下や疾病などの深刻な状態となって現れる。特に気温の高い地域では深刻な問題である。北海道の夏の気候は、真夏日日数は少なく、1 日の最低気温が 25℃以上にはほとんどならない。また、真夏日になっても夜間には乳牛の高温臨界温度（乳牛ではおよそ 24~26℃）を下回る時間帯があり、日最高気温と日最低気温との差も比較的大きい。本研究における調査期間中には最低気温が 25℃以上の真夏日は見られず、日平均気温は 8.8~19.3℃であった。また、気温はサイレージのバンクライフに影響をおよぼすことが認められている。本調査のようにサイレージを主体とした TMR が 1 日 1 回給与の場合、TMR 飼料の変敗が懸念される。

TMR と残飼における品質について、残飼の VBN 比は、TMR の給与時のものより全体的に増加し、給与後に品質が悪化する傾向が見られた。VFA 含量に関しては、残飼においての増加傾向が見られず V スコアは大きな変化は認められなかった。調査期間中における気温は、品質への影響は大きくはなかったといえる。

以上から、サイレージを主体とした TMR の 1 日 1 回給与では、TMR の VBN 含量が高くなり、給餌中に品質低下の兆候が見られたが、採食量に大きく影響を与えるほどではなかった。しかし、DMI と発酵品質の相関関係（表 V-8）に示されたように、TMR の VBN 比、酪酸および総 VFA に負の相関が認められたことから、TMR の採食性に関しては、サイレージ品質向上が要求されるものである。

#### 4. 要 約

(1) ルーメンフィステルを装着した泌乳牛を用いて、ナイロンバッグ法でサイレージのルーメン内消失率を検討した。その結果の要約は以下のとおりである。

1) ルーメン内 DM 消失率では無添加が低く、添加処理サイレージが高かった。

2) ルーメン内粗蛋白質の消失率は、6 時間で 80~85%の消失率が認められた。

3) NDF と ADF のルーメン内消失率では、2 番草の 24 時間を除いていずれも無添加より添加サイレージが高かった。特に併用と搾汁発酵液添加で顕著であった。

4) 番草間における、DM と NDF および ADF のルーメン内消失率は 1, 2, 3 番草の順で高くなる傾向にあり、粗蛋白質では 3 番草が最も低くなった。

以上のことから、サイレージの発酵品質は添加剤

の改善による効果が示された。しかし、ルーメン内消失率については、良質なサイレージの消化率が高かった。また、搾汁発酵液の添加効果は高く、乳酸菌と同様の効果が期待できると思われた。

(2) 無添加、搾汁発酵液、乳酸菌製剤、酵素（セルラーゼ）製剤添加のサイレージの発酵品質と採食性について比較検討した。その結果、無添加サイレージは極めて不良な発酵様相を呈し、採食量を抑制した。搾汁発酵液、乳酸菌製剤および酵素製剤の添加剤はサイレージの発酵品質を改善し、採食量を向上させた。

(3) サイレージを主体とした TMR の採食量とサイレージの発酵品質との関連を調査検討した。結果は以下の通りである。

1) DMI の平均は、H 群：20.6 (19.3~21.9),

L 群：16.8 (14.1~18.6), AMS 群：19.5 (18.5~20.4) kg/日で、特に L 群において変動が大きかった。

2) 残飼の CP 含量は給与 TMR に比べ減少し、NDF と ADF 含量は増加した。このことから、TMR の選択採食が予測された。

3) 残飼の VBN 比は全体的に増加し、給与後に品質が若干低下する傾向が見られた。

4) 給与量に対する残飼の DM 割合は概ね 20% 以下で、一般的に選択採食可能と言われる量を下回った。

6) 牛群によっては、DMI と TMR あるいは残飼の発酵品質との間に負の相関 ( $P < 0.05$ ) が見られた。

以上より、TMR は給与後に品質が若干低下する傾向にあり、牛群によっては DMI にも影響を与えていることが示唆された。

表 V-1 サイレージの V-スコアと成分 (ルーメン内消失率)

		V-スコア	VBN比 (%)	DM (%)	CP (DM%)	NDF	GE (kcal/g)	
2 nd	無予乾	材料草		21.0	17.9	48.4		
		無添加	75.9 <sup>CD</sup>	12.9 <sup>Ba</sup>	20.2	18.2	47.5	4.53
		搾汁液	77.8 <sup>CD</sup>	12.5 <sup>Ba</sup>	19.9	19.3	46.9	4.59
		乳酸菌	71.3 <sup>E</sup>	14.3 <sup>A</sup>	19.4	19.7	46.6	4.67
		搾+酵素	83.0 <sup>Ba</sup>	11.1 <sup>Cc</sup>	19.6	19.5	43.8	4.58
		菌+酵素	80.4 <sup>BCb</sup>	11.9 <sup>BCb</sup>	19.8	18.9	45.8	4.61
		酵素	77.8 <sup>C</sup>	12.4 <sup>B</sup>	19.6	20.4	45.3	4.59
		ギ酸	99.9 <sup>A</sup>	4.8 <sup>B</sup>	20.7	18.6	45.7	4.57
	予乾	材料草			36.7	17.3	48.6	
		無添加	90.7 <sup>D</sup>	20.8 <sup>A</sup>	35.4	18.4	46.9	4.54
		搾汁液	94.7 <sup>C</sup>	18.4 <sup>ABa</sup>	35.5	19.3	46.4	4.49
		乳酸菌	94.8 <sup>C</sup>	19.2 <sup>A</sup>	35.2	17.7	47.4	4.51
		搾+酵素	95.2 <sup>C</sup>	15.1 <sup>Bb</sup>	35.5	18.3	45.3	4.57
		菌+酵素	97.0 <sup>B</sup>	20.1 <sup>A</sup>	35.6	18.9	46.0	4.53
		酵素	90.0 <sup>D</sup>	19.2 <sup>A</sup>	35.4	18.3	45.8	4.52
		ギ酸	99.3 <sup>A</sup>	4.4 <sup>C</sup>	36.3	18.5	46.2	4.54
3 rd	無予乾	材料草		21.7	19.8	43.5		
		無添加	41.0 <sup>Cb</sup>	8.2 <sup>A</sup>	20.4	20.3	43.9	4.67
		搾汁液	49.5 <sup>Ca</sup>	6.7 <sup>B</sup>	20.2	20.3	44.3	4.68
		乳酸菌	42.8 <sup>C</sup>	6.3 <sup>BCa</sup>	20.6	20.3	43.7	4.69
		搾+酵素	63.7 <sup>B</sup>	6.3 <sup>BC</sup>	20.2	20.6	42.6	4.68
		菌+酵素	41.2 <sup>Cb</sup>	5.9 <sup>Cb</sup>	19.5	19.9	43.9	4.67
		酵素	46.1 <sup>C</sup>	8.7 <sup>A</sup>	20.2	20.1	43.2	4.68
		ギ酸	99.6 <sup>A</sup>	2.2 <sup>D</sup>	21.1	20.1	42.1	4.60
	予乾	材料草			35.1	20.2	44.7	
		無添加	67.1 <sup>D</sup>	14.9 <sup>A</sup>	33.3	20.1	44.7	4.63
		搾汁液	75.3 <sup>B</sup>	12.7 <sup>C</sup>	34.0	20.0	45.2	4.61
		乳酸菌	66.4 <sup>D</sup>	15.1 <sup>A</sup>	33.4	20.5	48.2	4.63
		搾+酵素	75.1 <sup>B</sup>	12.7 <sup>C</sup>	32.9	20.4	44.7	4.62
		菌+酵素	72.3 <sup>BC</sup>	13.5 <sup>Bb</sup>	34.2	20.6	46.5	4.60
		酵素	70.8 <sup>C</sup>	13.9 <sup>Ba</sup>	34.1	20.0	46.5	4.62
		ギ酸	99.6 <sup>A</sup>	4.6 <sup>D</sup>	35.6	19.9	46.7	4.56

A, B, C, D :  $P < 0.01$ , a, b, c, d :  $P < 0.05$

表V-2 ルーメン内におけるサイレージの消化率 (%)

			DM		CP		NDF		エネルギー	
			6時間	24時間	6時間	24時間	6時間	24時間	6時間	24時間
2nd	無予乾	無添加	50.7	62.4 <sup>B</sup>	86.9	91.8	11.1 <sup>Aa</sup>	26.4	48.5	60.0 <sup>Bbc</sup>
		搾汁液	48.3 <sup>c</sup>	62.5	87.3	92.1	7.0 <sup>bc</sup>	25.7	49.8	60.5 <sup>Bbc</sup>
		乳酸菌	49.1 <sup>bcd</sup>	63.4 <sup>bc</sup>	86.0	92.0	5.5 <sup>BCcd</sup>	25.8	49.0	62.2 <sup>ab</sup>
		搾+酵素	52.4 <sup>a</sup>	66.2 <sup>Aa</sup>	87.2	92.2	8.3 <sup>ab</sup>	29.2 <sup>a</sup>	50.9	64.2 <sup>A</sup>
		菌+酵素	51.3 <sup>abc</sup>	61.8 <sup>Bc</sup>	87.7 <sup>a</sup>	92.2	8.2 <sup>ab</sup>	22.4 <sup>b</sup>	49.8	59.9 <sup>Bc</sup>
		酵素	47.6 <sup>d</sup>	63.7 <sup>bc</sup>	86.5	92.4	3.6 <sup>Cd</sup>	25.7	49.1	61.9
		ギ酸	51.8 <sup>ab</sup>	64.9 <sup>ab</sup>	84.81 <sup>b</sup>	92.2	9.8 <sup>ABab</sup>	28.5 <sup>a</sup>	50.2	63.0 <sup>a</sup>
	予乾	無添加	49.5 <sup>BCb</sup>	64.2 <sup>A</sup>	84.2	92.4	9.6	28.4	48.3 <sup>b</sup>	62.4 <sup>ABa</sup>
		搾汁液	50.6	62.9 <sup>b</sup>	83.5	91.7	8.3	25.5 <sup>b</sup>	48.5 <sup>b</sup>	60.5 <sup>BCb</sup>
		乳酸菌	47.8 <sup>Bc</sup>	61.7 <sup>Bc</sup>	83.1 <sup>b</sup>	91.6	9.7	25.1 <sup>b</sup>	46.4 <sup>B</sup>	59.7 <sup>Cc</sup>
		搾+酵素	53.9 <sup>Aa</sup>	64.7 <sup>Aa</sup>	85.6 <sup>a</sup>	92.2	12.7	27.2	52.4 <sup>Aa</sup>	63.5 <sup>ABab</sup>
		菌+酵素	49.9 <sup>bc</sup>	64.0 <sup>ab</sup>	84.4	92.6	8.5	27.2	47.7 <sup>b</sup>	62.1 <sup>ab</sup>
		酵素	51.2 <sup>ab</sup>	64.1 <sup>ab</sup>	83.6	91.5	10.0	27.0	48.7 <sup>b</sup>	62.0
		ギ酸	50.3 <sup>bc</sup>	65.0 <sup>Aa</sup>	82.3 <sup>b</sup>	92.1	8.7	29.4 <sup>a</sup>	48.6 <sup>b</sup>	63.0 <sup>ABa</sup>
3rd	無予乾	無添加	48.4 <sup>b</sup>	65.5	82.6 <sup>Bc</sup>	91.8	6.0 <sup>b</sup>	28.9	47.7 <sup>Bd</sup>	65.0
		搾汁液	50.4 <sup>a</sup>	63.1	83.6 <sup>ABb</sup>	90.4 <sup>b</sup>	8.9 <sup>Aa</sup>	25.0	50.0	62.1
		乳酸菌	49.5	66.4	84.7 <sup>ABab</sup>	91.9 <sup>a</sup>	7.4 <sup>ab</sup>	29.9	52.0 <sup>Aa</sup>	65.1
		搾+酵素	50.6 <sup>Aa</sup>	66.4	85.7 <sup>Ab</sup>	91.9 <sup>a</sup>	5.8 <sup>b</sup>	27.9	50.4 <sup>ab</sup>	65.2
		菌+酵素	51.0 <sup>a</sup>	66.1	83.4 <sup>AB</sup>	91.8	8.9 <sup>Aa</sup>	29.5	49.2 <sup>bc</sup>	64.5
		酵素	50.4 <sup>a</sup>	66.2	83.8 <sup>ABb</sup>	91.7	6.8 <sup>ab</sup>	28.6	50.6 <sup>ab</sup>	64.9
		ギ酸	50.6 <sup>Aa</sup>	65.7	76.5 <sup>C</sup>	92.2 <sup>a</sup>	4.2 <sup>Bc</sup>	25.4	48.3 <sup>Bcd</sup>	64.1
	予乾	無添加	49.8	64.7	79.6 <sup>A</sup>	90.4	7.9 <sup>Bb</sup>	27.7 <sup>Bc</sup>	48.8 <sup>bc</sup>	63.4
		搾汁液	49.2	64.3 <sup>b</sup>	79.2 <sup>A</sup>	90.6	8.7 <sup>bc</sup>	27.8 <sup>Bc</sup>	47.7 <sup>Bd</sup>	62.9
		乳酸菌	48.4	66.6	78.1 <sup>A</sup>	91.0	14.9 <sup>Aa</sup>	36.7 <sup>Aa</sup>	47.2 <sup>B</sup>	64.9
		搾+酵素	48.0	65.8	77.9 <sup>A</sup>	91.2	7.2 <sup>Bc</sup>	29.8 <sup>bc</sup>	47.5 <sup>B</sup>	64.4
		菌+酵素	49.5	65.4	79.5 <sup>A</sup>	90.4	12.2 <sup>ab</sup>	32.3	49.3 <sup>b</sup>	63.5
		酵素	47.7	66.0	78.0 <sup>A</sup>	91.3	8.8 <sup>bc</sup>	32.8 <sup>ab</sup>	46.6 <sup>Bc</sup>	64.2
		ギ酸	50.5	67.4 <sup>a</sup>	75.0 <sup>B</sup>	90.4	13.3 <sup>a</sup>	35.8 <sup>Aa</sup>	51.9 <sup>Aa</sup>	64.8

A, B, C : P&lt;0.01, a, b, c, d : P&lt;0.05

表V-3 サイレージの成分 (サイレージの採食性)

	水分 (%)	CP	NDF (DM%)	ADF
無添加	76.0 <sup>b</sup>	20.1	48.3 <sup>A</sup>	39.4 <sup>a</sup>
搾汁	77.2	20.4	46.7	38.2
乳酸菌	77.1	20.6	46.6	38.0
酵素	77.3 <sup>a</sup>	21.1	45.6 <sup>B</sup>	37.6 <sup>b</sup>

A, B : P&lt;0.01, a, b : P&lt;0.05

表V-4 サイレージのDM摂取量 (kg/日)

	無添加	搾汁	乳酸菌	酵素
15分後	2.3 ( 24.5)	2.6 ( 23.2)	2.6 ( 25.0)	2.7 ( 24.8)
30分後	3.6 ( 38.3)	4.1 ( 37.3)	4.0 ( 39.0)	4.2 ( 38.4)
60分後	4.8 ( 51.5)	5.6 ( 50.7)	5.4 ( 52.2)	6.0 ( 55.0)
120分後	5.0 <sup>b</sup> ( 53.2)	6.2 <sup>a</sup> ( 56.2)	6.1 ( 58.6)	6.2 <sup>a</sup> ( 57.4)
総摂取量	9.4 (100.0)	11.0 (100.0)	10.3 (100.0)	10.9 (100.0)

( ) : 総摂取量に対する割合 (%)

a, b : P&lt;0.05

表V-5 飼料摂取の概況

	無添加	搾汁	酸菌	酵素
サイレージDMI (kg)	9.4	11.0	10.3	10.9
サイレージDMI/総DMI (%)	44.0	47.9	46.5	47.7
サイレージDMI/体重 (%)	1.26	1.47	1.38	1.46
総DMI/体重 (%)	2.86	3.07	2.98	3.05
乾物充足率 (%)	114.7	123.3	119.0	122.9

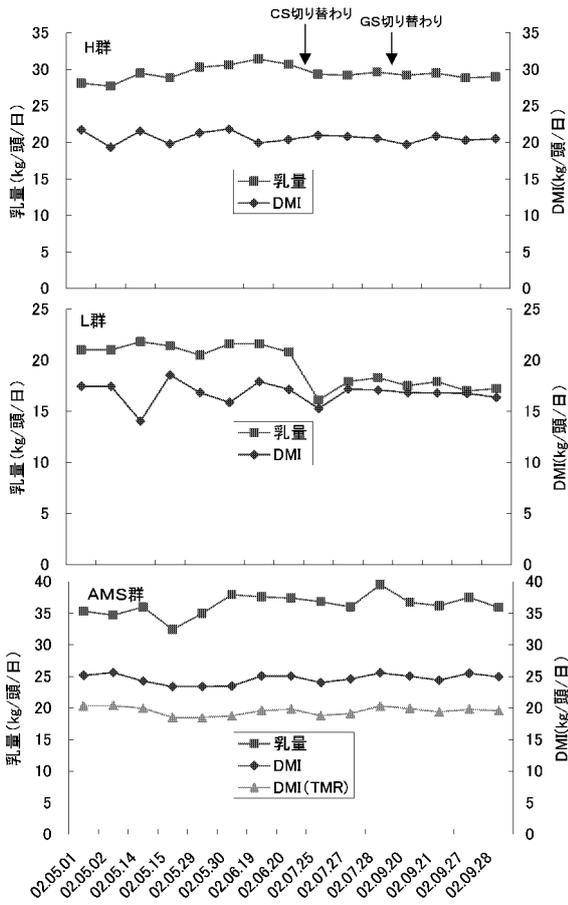
表V-6 TMR 給与飼料の一般成分

	DM (%)	NDF ——	ADF (%DM)	CP ——
TMRの原料				
ロールベールサイレージ	48.9	48.1	39.1	18.7
コーンサイレージ	サイロ I (~9月)	27.1	45.4	8.8
	サイロ II (9月~)	25.9	47.7	9.1
グラスサイレージ	サイロ I (~7月)	31.6	49.0	16.3
	サイロ II (7月~)	30.0	58.9	13.8
大豆粕	88.3	14.7	8.9	54.4
綿実	91.8	38.3	44.8	33.6
ビートパルプ	89.7	63.4	22.7	10.9
配合飼料 (ルミバランス16)	86.1	16.1	9.2	19.9
粉碎飼料 (TM7)	87.6	13.9	7.0	19.8
TMR				
高泌乳牛群	41.5	37.9	26.1	16.6
低泌乳・AMS牛群	40.2	40.1	27.8	16.1

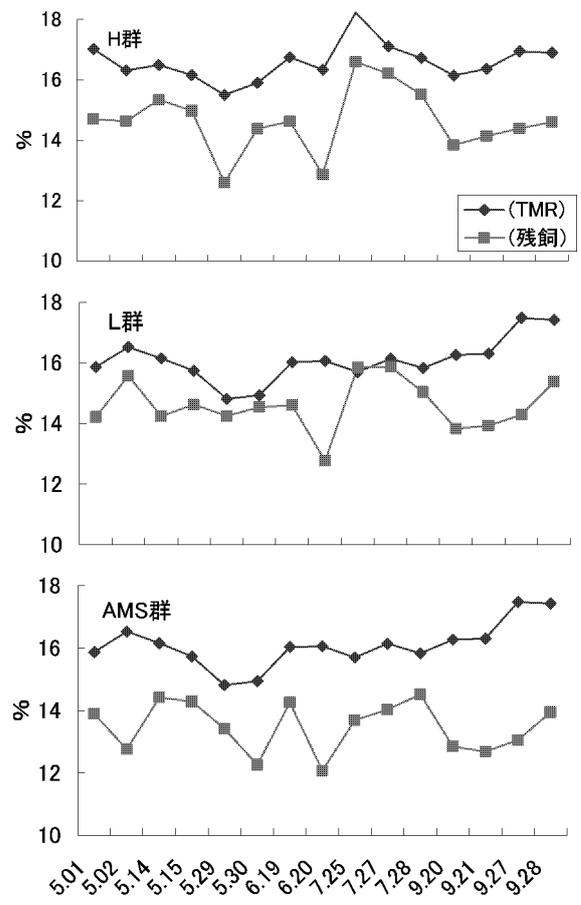
表V-7 サイレージおよび TMR の発酵品質

	pH	C <sub>2</sub> +C <sub>3</sub> —— (%FM)	C <sub>4</sub> + ——	VBN比 (%)	V-スコア
サイレージ					
ロールベールサイレージ	5.52	0.38	0.32	8.0	75
コーンサイレージ	サイロ I (~9月)	4.30	1.20	0.30	64
	サイロ II (9月~)	4.40	1.00	0.30	66
グラスサイレージ	サイロ I (~7月)	4.50	0.70	0.20	72
	サイロ II (7月~)	4.70	0.70	0.80	64
TMR					
高泌乳牛群	5.06	0.77	0.38	4.0	73
低泌乳・AMS牛群	5.03	0.76	0.44	4.6	69

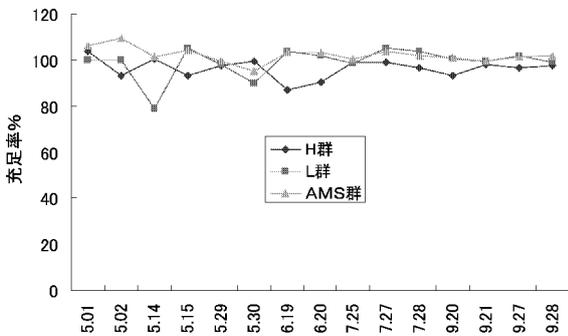
\* C<sub>2</sub>+C<sub>3</sub>: 酢酸+プロピオン酸C<sub>4</sub>+: 酪酸以上のVFA



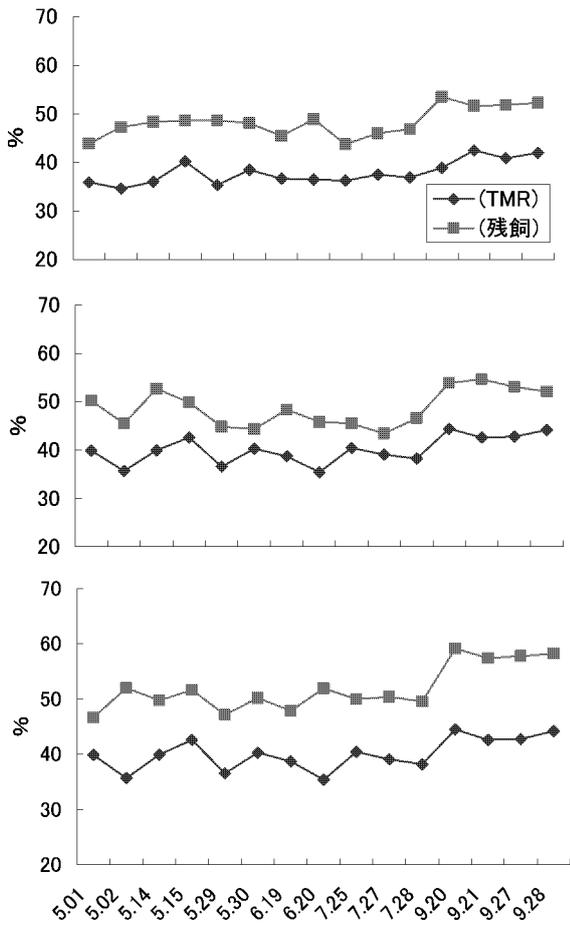
図V-1 TMRのDMIと泌乳量



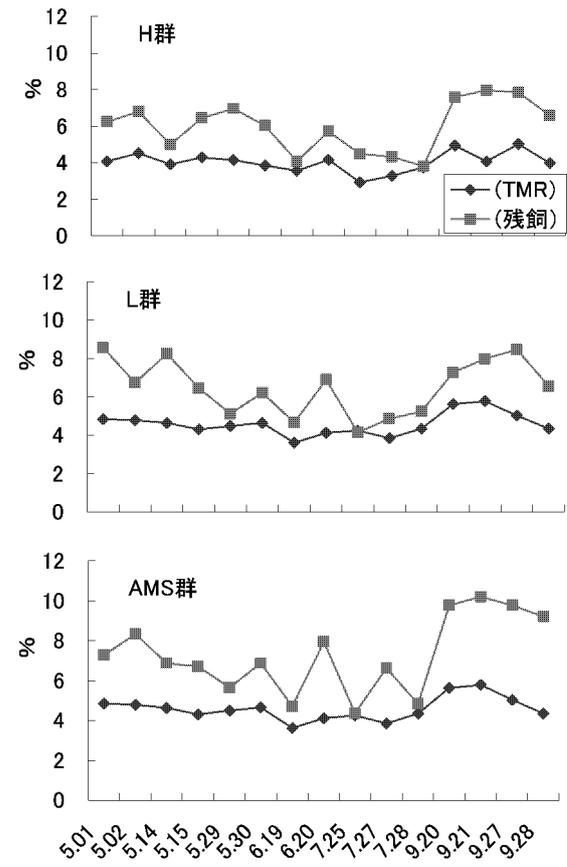
図V-3 TMRと残飼におけるCP含量の変化



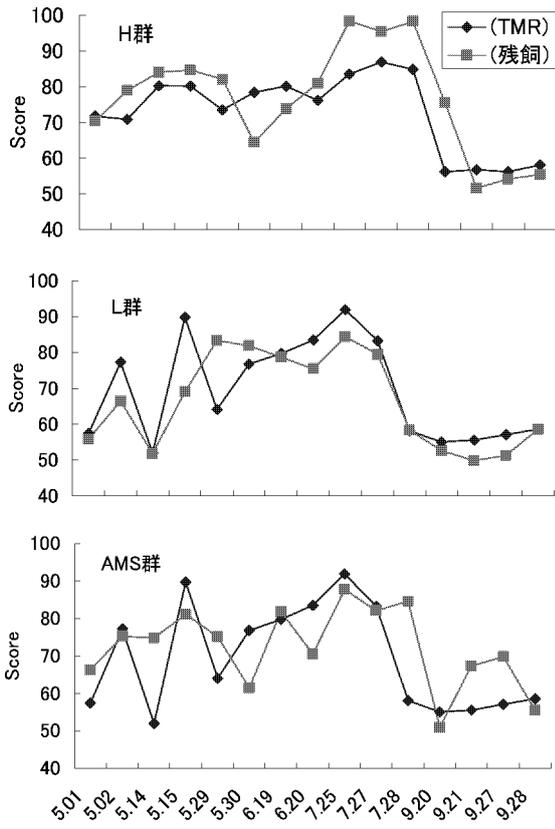
図V-2 TMR 給与のDM充足率



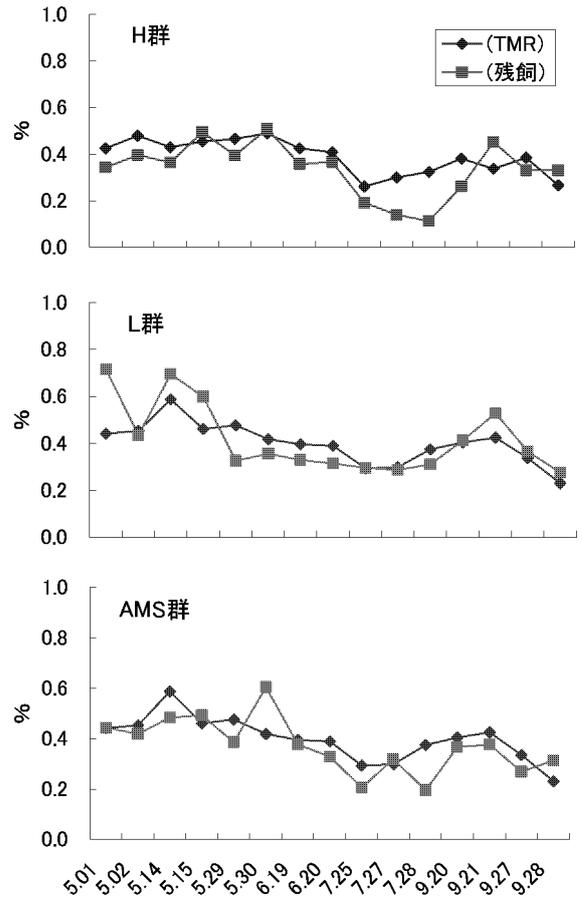
図V-4 TMRと残飼におけるNDF含量の変化



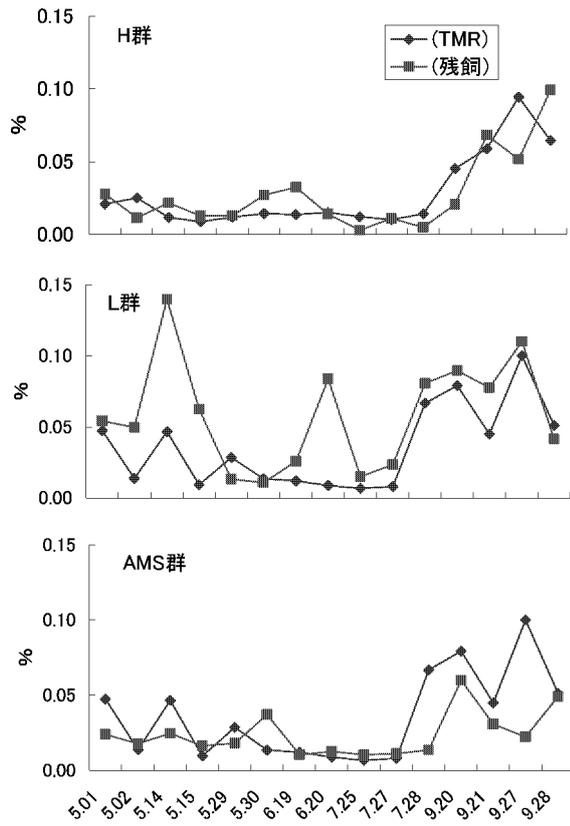
図V-5a TMRと残飼における発酵品質 (VBN比)



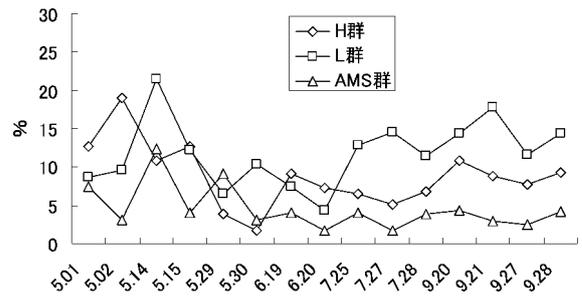
図V-5b TMRと残飼における発酵品質(V-スコア)



図V-5c TMRと残飼における発酵品質(C2+C3)



図V-5d TMRと残飼における発酵品質 (C4)



図V-6 給与量に対する残飼割合 (DM%)

表V-8 DM 摂取量との相関関係

		H群	L群	AMS群	total
泌乳量		0.20	0.16	0.25	0.89**
気温		0.04	-0.13	0.41*	-0.06
湿度		0.02	-0.27	-0.26	-0.07
水分	(TMR)	0.16	-0.05	-0.46*	-0.11
	(残飼)	0.15	-0.17	-0.52*	0.00
NDF%	(TMR)	-0.11	-0.11	-0.13	-0.16
	(残飼)	-0.29	-0.11	0.12	0.19
ADF%	(TMR)	-0.14	0.01	-0.04	-0.13
	(残飼)	-0.28	-0.14	0.26	0.04
CP%	(TMR)	0.04	0.02	0.51*	0.17
	(残飼)	0.07	-0.07	0.03	-0.03*
pH	(TMR)	-0.18	-0.15	0.26	0.01
	(残飼)	-0.04	-0.22	0.22	0.04
VCN	(TMR)	-0.41*	-0.15	0.26	-0.17
	(残飼)	-0.16	-0.11	0.31	0.09
C4+	(TMR)	-0.22	-0.14	0.49*	-0.03
	(残飼)	0.03	-0.24	0.13	-0.49
C <sub>2</sub> +C <sub>3</sub>	(TMR)	0.01	-0.13	0.10	-0.03**
	(残飼)	0.06	-0.06	-0.16	-0.21
VFA	(TMR)	-0.13	-0.35	0.44	-0.04*
	(残飼)	0.17	-0.06*	-0.15	-0.33*
V-Score	(TMR)	0.23	0.29	-0.52*	0.05**
	(残飼)	-0.04	0.09	-0.22	0.23
RS/TMR		-0.07	-0.03	0.47	-0.08*
CS/TMR		0.25	0.08	-0.21	0.02*
GS/TMR		-0.24	-0.07	0.03	-0.15

\*\* : P&lt;0.01, \* : P&lt;0.05

## 第VI章 土地面積当りの乳生産性の検討

本章では、飼料作物の土地単位面積当りの乳生産性を検討した。また、飼料給与例から効率的な飼料作物の作付けモデルを試算した。

### 1. 実験法

#### (1) 飼料作物の土地単位当りの乳生産

牧草およびトウモロコシのCPおよびTDN収量から土地面積当りの可能乳生産量を求めた。また、飼料作物の生産量当りの生産費を求めた。これらは以下の条件で算出した。

①CPおよびTDN収量：第II章のデータを用いた。

②飼料作物生産費：作物生産とサイレージ調製に関わる消耗資材および作業機稼動に要した燃料とした。消耗資材は、種子、肥料、農薬、サイロ資材（ストレッチフィルム、サイロシート）である。消費軽油量はトラクターおよび自走式ハーベスタのアワメータから算出した。

③乳生産に要する養分量：日本飼養標準<sup>73)</sup>の産乳に要する養分量を用いた。この場合、乳脂率は4.0%とし、牛乳1kg生産のCPおよびTDN要求量は、それぞれ74g, 0.33kgとした。

(2) 乳生産に基づいた作物栽培に対する作付けモデル

牧草およびトウモロコシの生産量を基に、乳生産レベルや飼料給与条件の変化に応じた効率的な作物作付けモデルを検討した。

①CPおよびTDN収量：第II章のデータを用いた。

②泌乳牛の養分要求量：日本飼養標準<sup>73)</sup>の産乳に要する養分量を用いた。泌乳牛の条件は体重650kg, 乳脂率4.0%である。乳量水準は、1日当り乳量32.8, 29.5, 26.2, 23.0および19.7kgの305日日間乳量とした。この乳量は、それぞれ10,000, 9,000, 8,000, 7,000および6,000kg/305日に相当するものである。

- ③飼料給与条件：粗濃比，トウモロコシと牧草サイレージおよび配合飼料の給与比率。なお，給与配合飼料は TDN 含量 75%（原物中）のものとした。
- ④可能乳生産量は CP 量あるいは TDN 全収量が全て乳生産に利用されるものとして算出した。

## 2. 結 果

### (1) 飼料作物の土地面積当りの乳生産

土地面積当りの年次別可能乳生産量を図 VI-1 に示した。チモシーの TDN 収量から換算した 10a 当りの乳量は，1,400~1,580 kg の範囲で，平均 1,555 kg であった。アルファルファはこれよりも多く，4 年間の平均は 1,710 kg であった。トウモロコシは 2,190~3,400 kg/10a の範囲で変動し，4 年間の平均は 2,670 kg であった。

CP 収量からの換算乳量は，いずれの作物においても年次間差異が認められ，4 年間の平均ではアルファルファ，チモシー，トウモロコシの順に低かった。

土地区分別の乳生産量を図 VI-2 に示した。牧草の TDN 換算の乳量は，チモシーの高位段丘がやや低かったが，低位段丘と移行斜面の間に差異はなかった。CP の換算乳量は，アルファルファは移行斜面で低かった。しかし，チモシーでは段丘間に差異は見られなかった。トウモロコシの TDN および CP 換算の乳量は，低位段丘，移行斜面，高位段丘の順に低かった。

トウモロコシの連作年次ごとの乳量を図 VI-3 に示した。TDN および CP 換算乳量は，連作年の経過に伴い低下する傾向にあった。特に 3 年目の低下が顕著であった。

単位面積および DM 収量当りの生産費を図 VI-4 に示した。単位面積当りの生産費は，トウモロコシが牧草よりも高かった。しかし，トウモロコシと牧草の DM 収量当りでは，ほぼ同額であった。

CP および TDN 収量当りの生産費を図 VI-5 に示した。トウモロコシの CP 生産費は年次間差異が大きかった。牧草の生産費は年次間差異が小さく，また，トウモロコシよりも低かった。一方，トウモロコシの TDN 収量に対する生産費は，牧草よりも 4 円/kg 低かった。

### (2) 乳生産量に基づいた栽培飼料作物の作付けモデル

泌乳レベルに応じたトウモロコシとチモシーの作付け例を表 VI-1 に示した。乳牛一頭当りに要する

面積は飼料作物収量から算出した。作物の収量は，トウモロコシは 4 年間の総平均値，チモシーは低位段丘と移行斜面の平均値を用いた。泌乳量 32.8 kg の場合，TDN および CP 給与量が充足するには，粗濃比 55:45，牧草サイレージとトウモロコシサイレージの DM 給与比率が 2:1 で，配合飼料の CP 含量は 18.5%（原物中）となり，必要面積は 36a/頭となる。さらに，粗濃比が 60:40，牧草とトウモロコシサイレージの給与比率が 3:2 では，必要面積は 39a，乳生産費は 18.4 円/kg となる。乳量の低下に伴い，粗濃比は高く，配合飼料の CP 含量は低いものとなる。また，栽培面積は概ね 40a であった。

トウモロコシとアルファルファの作付け例を表 VI-2 に示した。乳量 32.8 kg/日の場合は，粗濃比が 60:40 あるいは 65:35 において CP および TDN 給与は充足した。また，必要面積は 35~38a であり，アルファルファとトウモロコシの作付け比率はほぼ 1:1 であった。乳量の減少に伴い配合飼料の CP 含量は低く，アルファルファの栽培比率は高くなった。

チモシーの段丘別およびサイレージ回収率の違いによる一頭当りの作付け面積を表 VI-3 に示した。チモシーの収量が少ない高位段丘は，低位段丘と移行斜面の栽培面積よりも一頭当り約 2a 多く要した。また，サイレージの回収率が低下するにつれ，栽培面積は多くなった。サイレージ回収率 80% の場合は約 10a 多く要することになった。

トウモロコシの土地区分別およびサイレージ回収率の違いによる一頭当りの作付け面積を表 VI-4 に示した。なお，牧草の収量はチモシーの平均値を用いた。乳量が多いほどトウモロコシの給与量が多くなり，トウモロコシの栽培面積は段丘間で差が生じた。高位段丘の一頭当りの栽培面積は低位段丘より約 4a 多く必要となった。また，その差は，サイレージの回収率の低下に伴い大きくなった。

## 3. 考 察

トウモロコシの TDN 収量から換算した 10 a 当りの可能乳生産量は，牧草より 1,000 kg 程多く，2,667 kg であった。これは，十勝支庁の可能乳生産量よりも多いものであった<sup>21)</sup>。トウモロコシの土地面積当りの乳生産性は，格段に高いことが明白であった。しかし，この値は給与 TDN が乳生産に 100% 利用されるものとして試算したものであり，実際には維持に要する養分量を減じる必要がある。また，トウモロコシは，成分特性から，一般に牧草との併用給与がなされる。そこで，土地面積当りの乳

生産性を論ずるには、牧草との併用給与ならびに一乳期における乳量を考慮して検討する必要がある。

高泌乳牛(305日間乳量10,000~9,000kg)の給与飼料の粗濃比が60:40ないし65:35の場合、トウモロコシとアルファルファのDM給与比率が2:3ないし3:2の給与メニューが良好であった。この時の一乳期一頭当りに必要とする作物栽培面積は36~39aとなる。これは1ha当り2.7~2.5頭に相当するものであった。また、乳量水準が低いほど、チモシーとの組み合わせでの適正給与メニューは、粗濃比が高くなる傾向にあった。

トウモロコシサイレージと牧草との併用給与試験が多くなされている。その中でも、トウモロコシの併用給与はDM摂取量が多くなり、トウモロコシサイレージの給与比率の増加に伴いDM摂取量は増加することが認められている<sup>12,25)</sup>。また、アルファルファサイレージとの併用給与はチモシーとの併給よりもDM摂取量、DCPとTDN摂取量および乳量が多かったことも示されている<sup>13)</sup>。これらのことから、本研究における飼料給与メニューの試算結果は適正に評価されると思われる。

高乳量生産にはトウモロコシとアルファルファサイレージの併給が望ましい。しかし、現状は糞尿スラリー(消化液)の処理状況からアルファルファの栽培面積が減少し、栽培作物はチモシーとトウモロコシが主体になっている。作物の収量は段丘間に差異があり、また、サイレージ給与量は生産量の約80%であったことが確認されている。

これらをふまえて単位面積当りの乳生産、飼養可能頭数を検討してみる。一乳期乳量が10,000あるいは9,000kgの場合、粗濃比が60:40の時、牧草サイレージとトウモロコシサイレージのDM給与比率は3:2ないし2:3となる。トウモロコシサイレージの回収率が80%場合、乳量10,000kg生産に対する必要面積は高位段丘が51.6a、低位段丘が

44.6aである。これは、ha面積当りそれぞれ1.94、2.24頭の飼養頭数に換算され、乳量は19,400、22,400kg/haとなる。チモシーでのha当りの飼養頭数は、高位段丘が1.95、低位段丘が2.0頭であり、乳量はそれぞれ19,500、20,300kgである。

乳量水準が低くなる程、濃厚飼料の依存度は低く、また、牧草サイレージ主体とした給与体系になる。しかし、粗飼料給与割合を高め、個体乳量水準を高く維持するには、トウモロコシサイレージの利用が有効である。また、作物生産量の向上とサイレージの回収率の改善が望まれる。

#### 4. 要 約

飼料作物の生産量から土地単位面積当りの乳生産性を検討した。また、飼料給与例から効率的な飼料作物の作付けを試算した。その結果は以下のとおりである。

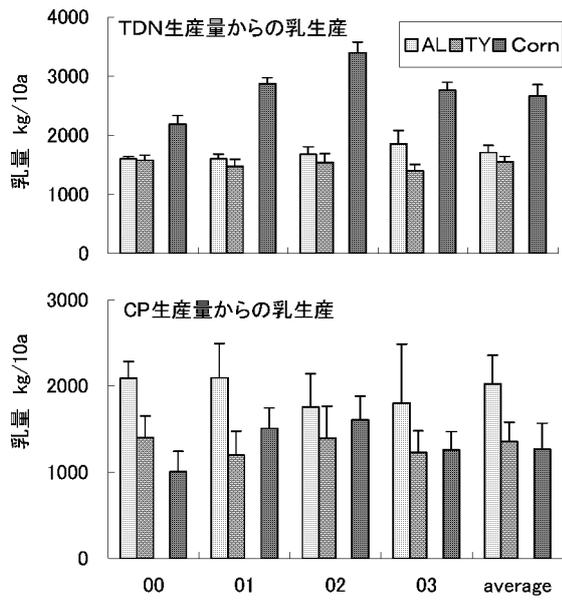
1) TDN収量から換算したトウモロコシの可能乳生産量は、牧草よりも900~1,100kg/10a多かった。

2) トウモロコシのTDNおよびCP換算の乳量は、低位段丘、移行斜面、高位段丘の順に低かった。また、連作年の経過に伴い低下する傾向にあった。

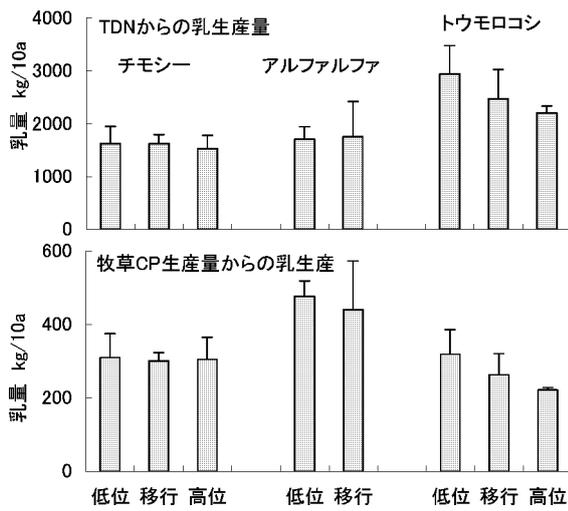
3) 土地面積当りの生産費は、トウモロコシが牧草よりも高かった。DM収量当りではほぼ同額であった。牧草のCP生産費はトウモロコシよりも低かった。一方、TDN収量に対する生産費は、トウモロコシが低かった。

4) 高位乳生産には、トウモロコシとアルファルファの併用給与が有効であった。

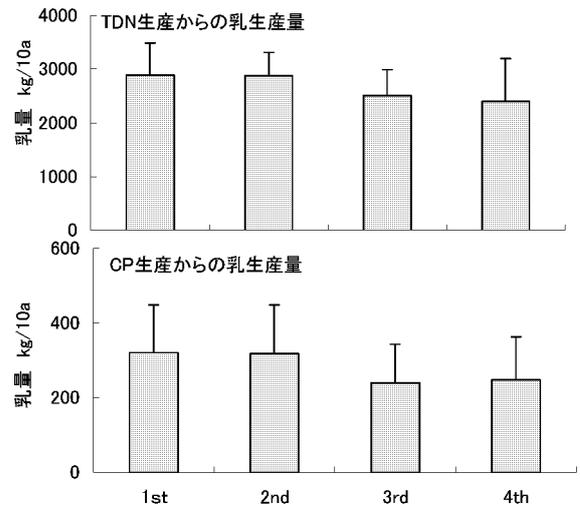
5) トウモロコシとチモシーサイレージのDM給与比率が3:2の場合、粗濃比が60:40の飼料給与体系の基において、ha当り2頭の飼養で、乳量20,000kg/haが可能であることが示された。



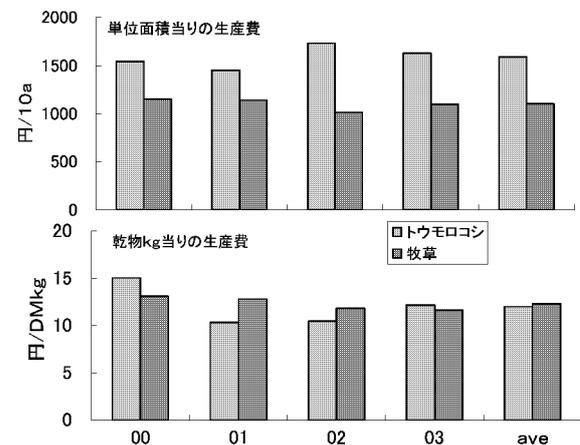
図VI-1 単位面積当りの年次別可能乳生産量



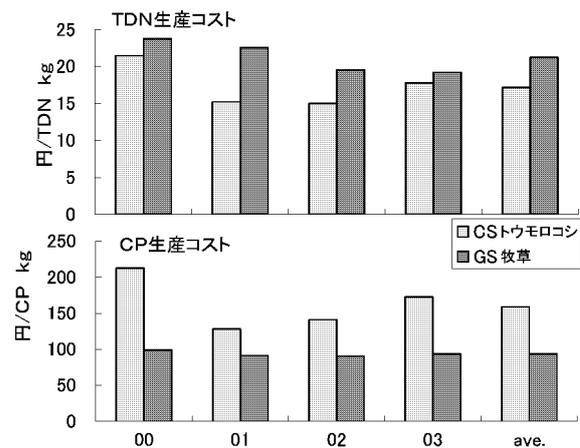
図VI-2 牧草土地区分別の乳生産量



図VI-3 トウモロコシの連作年次別の乳生産量



図VI-4 単位面積および乾物収量当りの生産費



図VI-5 CPおよびTDN収量当りの生産費

表VI-1 給与飼料メニューからのトウモロコシとチモシーの作付け例

乳量 (kg/年)	10,000		9,000		8,000		7,000		6,000	
	55 : 45	60 : 40	60 : 40	60 : 40	60 : 40	65 : 35	65 : 35	70 : 30	70 : 30	70 : 30
粗濃比										
DM給与 GS	33	36	48	36	48	52	65	56	70	56
比 (%) CS	22	24	12	24	12	13	0	14	0	14
Conc.	45	40	40	40	40	35	35	30	30	30
TDN充足率%	101.3	99.7	100.2	101.8	102.5	100.8	101.4	101.5	102.4	104.4
Conc CP% (原物)	18.5	19.1	17.3	19.0	17.1	17.5	15.2	17.8	14.7	17.4
CP充足率 %	101.5	99.6	100.2	102.3	102.9	100.9	101.5	101.8	102.4	105.3
必要面積 (10a/頭)	3.6	3.9	4.0	3.7	3.7	4.0	4.0	4.1	4.0	3.8
チモシー	2.5	2.7	3.4	2.6	3.2	3.4	4.0	3.5	4.0	3.2
トウモロコシ	1.1	1.2	0.6	1.1	0.5	0.6	0.0	0.6	0.0	0.5
生産費 円/kg	19.6	18.4	19.2	19.2	20.3	18.9	20.2	18.6	20.2	20.1

GS：牧草サイレージ、CS：トウモロコシサイレージ、Conc. 配合飼料

表VI-2 給与飼料メニューからのトウモロコシとアルファルファの作付け例

乳量 (kg/年)	10,000		9,000		8,000		7,000		6,000	
	60 : 40	65 : 35	65 : 35	65 : 35	65 : 35	70 : 30	70 : 30	70 : 30	70 : 30	70 : 30
粗濃比										
DM給与 GS	24	26	39	26	39	42	70	56	70	56
比 (%) CS	36	39	26	39	26	28	0	14	0	14
Conc.	40	35	35	35	35	30	30	30	30	30
TDN充足率%	101.4	100.0	100.4	102.1	102.8	101.2	99.9	101.8	102.8	104.8
Conc CP% (原物)	18.3	19.0	15.2	18.8	14.8	14.8	5.8	9.8	4.4	8.7
CP充足率 %	101.7	100.0	100.5	102.7	102.8	101.2	100.0	101.2	100.9	102.9
必要面積 (10a/頭)	3.5	3.8	3.8	3.6	3.6	3.9	4.0	3.8	3.7	3.5
アルファルファ	1.7	1.8	2.6	1.7	2.4	2.6	4.0	3.2	3.7	3.0
トウモロコシ	1.8	2.0	1.2	1.9	1.2	1.3	0.0	0.6	0.0	0.5
生産費 円/kg	18.3	17.0	17.9	17.8	17.8	16.5	19.9	19.8	21.9	21.8

GS：牧草サイレージ、CS：トウモロコシサイレージ、Conc. 配合飼料

表VI-3 チモシーの段丘別収量およびサイレージ回収率別必要面積 (10 a/頭)

乳量 (kg/年)	10,000		9,000		8,000		7,000		6,000	
	55 : 45	60 : 40	60 : 40	60 : 40	60 : 40	65 : 35	65 : 35	70 : 30	70 : 30	70 : 30
粗濃比										
DM給与 GS	33	36	48	36	48	52	65	56	70	56
比 (%) CS	22	24	12	24	12	13	0	14	0	14
Conc.	45	40	40	40	40	35	35	30	30	30
回収率 段丘										
100% 低位・移行	3.61	3.94	3.98	3.70	3.72	4.03	4.02	4.05	4.01	3.75
100% 高位	3.77	4.11	4.20	3.86	3.93	4.25	4.28	4.27	4.27	3.96
90% 低位・移行	4.01	4.38	4.42	4.11	4.13	4.48	4.47	4.50	4.46	4.17
90% 高位	4.19	4.57	4.66	4.29	4.36	4.73	4.76	4.75	4.74	4.40
80% 低位・移行	4.51	4.92	4.97	4.63	4.65	5.04	5.03	5.06	5.01	4.69
80% 高位	4.71	5.14	5.25	4.83	4.91	5.32	5.35	5.34	5.34	4.95
70% 低位・移行	5.16	5.63	5.68	5.29	5.32	5.76	5.75	5.79	5.73	5.36
70% 高位	5.39	5.88	5.99	5.52	5.61	6.08	6.12	6.10	6.10	5.65

GS：牧草サイレージ、CS：トウモロコシサイレージ、Conc. 配合飼料

回収率：サイレージ乾物回収率

表VI-4 トウモロコシの段丘別収量およびサイレージ回収率別必要面積 (10 a/頭)

乳量 (kg/年)	10,000		9,000		8,000		7,000		6,000	
	60:40	60:40	60:40	65:35	65:35	70:30	65:35	70:30	65:35	70:30
粗濃比										
DM給与GS	36	24	36	39	52	42	65	56	65	70
比 (%) CS	24	36	24	26	13	28	0	14	0	0
Con.	40	40	40	35	35	30	35	30	35	30
回収率 段丘										
100% 低位	3.90	3.57	3.66	3.97	4.03	4.00	4.05	4.05	3.75	4.04
移行	4.12	3.89	3.87	4.19	4.13	4.22	4.05	4.15	3.75	4.04
高位	4.27	4.13	4.01	4.35	4.20	4.38	4.05	4.23	3.75	4.04
90% 低位	4.33	3.96	4.07	4.41	4.47	4.44	4.50	4.50	4.17	4.49
移行	4.57	4.32	4.30	4.65	4.59	4.69	4.50	4.61	4.17	4.49
高位	4.75	4.59	4.46	4.83	4.67	4.87	4.50	4.69	4.17	4.49
80% 低位	4.87	4.46	4.58	4.96	5.03	5.00	5.06	5.06	4.69	5.05
移行	5.14	4.86	4.83	5.23	5.16	5.27	5.06	5.19	4.69	5.05
高位	5.34	5.16	5.02	5.43	5.26	5.47	5.06	5.28	4.69	5.05
70% 低位	5.57	5.09	5.23	5.67	5.75	5.71	5.79	5.78	5.36	5.77
移行	5.88	5.56	5.52	5.98	5.90	6.03	5.79	5.93	5.36	5.77
高位	6.10	5.90	5.73	6.21	6.01	6.26	5.79	6.04	5.36	5.77

GS: 牧草サイレージ, CS: トウモロコシサイレージ, Conc. 配合飼料  
回収率: サイレージ乾物回収率

## 第七章 総合考察

北海道における酪農は土地を基盤とした経営を特徴としてきた。しかし、飼料給与構造は、自給飼料給与率の低下傾向が見られる。酪農家一戸当りの飼養頭数は直線的な増加傾向を示し<sup>74)</sup>、また、一頭当りの産乳量も増加の一途を辿ってきた。そのために濃厚飼料の多給に傾き、飼料効果は漸減の傾向をより強くしてきた<sup>83)</sup>。すなわち、より濃厚飼料多給型の飼料給与構造を強めている。また、飼料作物の栽培面積は、1980年頃から約60万haで推移しているが、エネルギー価の高いトウモロコシの栽培面積は減少傾向にある<sup>75)</sup>。このことは、乳生産に対する濃厚飼料の依存度を一層高めることになっている。一戸当りの飼養頭数の増加や濃厚飼料依存型の給与構造は、牛糞尿が過剰に土地へ還元され、家畜糞尿に関する諸問題を招いている<sup>23)</sup>。以上のような酪農経営の中にあって、酪農の本来の姿である循環型の物質収支をいかに確立するか今もっとも求められている。

従来、乳生産に対する評価は、乳牛個体当り乳生産量に偏重しており、個体乳量の増加を追求してきた。しかし、土地を基盤とした酪農における乳生産の評価は、物質循環の中で、土地単位面積当りの牛乳生産量で評価することが重要である。生産乳量はそこから生産される飼料作物の可食可能量によって決定される。飼料作物の生産量は、気候、肥培管理などの栽培環境条件に影響されるが、土地の種類や

その特性にも大きく影響を受ける。しかし、一酪農場における飼料作物の生産量から乳牛への給与量まで詳細な実測調査はほとんどない。そこで、本学農場において粗飼料生産の実測に基づいた土地面積当りの乳生産性を検討した。

野幌層に属する酪農学園の土壌は、天野と水野<sup>1)</sup>によって土壌区分図が作成されている。それによると、土壌は9つの土壌に区分し、本研究での土地区分における低位段丘は湿性黄色土と普通黒ボク土を主体とし、移行斜面は腐植質の黄色土としている。また、高位段丘は普通灰色台地と湿性黄色土を主体として硬い土壌であることが明らかにされている。すなわち、黒ボク土以外は透水性が悪く、粘土質の硬い土壌である。特に、高位段丘は土壌硬度が高く、排水不良で、かつ干ばつになりやすい土壌特性を持っている。また、松中<sup>44)</sup>は野幌土の三相分布について固相率が高く(42.4%)、液相割合が低い(2.5%)土壌であること示している。さらに、草地の目安は、固相率が40%、気相率10%以上であると述べている。

大崎ら<sup>79,80)</sup>は重粘土壌におけるイネ科牧草の収量に関して、極端な土壌ち密度は固相率の増加と空気孔隙量の減少に伴って酸素が不足する。その結果、窒素欠乏現象を引き起こし、収量は低下すると考察している。さらに、土壌のち密性は根系を表層に集中させる。そのため、集約多収栽培では、水分の蒸発散の増大、下層からの水分供給の不足が起こり、

特に重粘土では干ばつの影響を受けやすいとしている。

本農場における調査結果を見ると、高位段丘におけるチモシーのDM収量は有意ではなかったが、低位段丘や移行斜面より少なかった。また、2001年においては、6月までの降水量は少なく、1番草の収量は特に少なかった。このことは、大崎らの報告と軌を一にした現象である。また、トウモロコシは低位段丘、移行斜面および高位段丘の順に少なかった。この傾向は、牧草より顕著であり、トウモロコシは、土壤特性や気象の影響を大きく受けることを示唆するものである。

牧草と輪作したトウモロコシの収量は転換初年目よりも2年目以降で増収傾向を示すことが多い<sup>89)</sup>。その原因として、①草地時の地力に乏しい下層土が耕起により表層に移り、2年目は反転された牧草根塊が分解して肥効を示すようになったものが表層に移動する、②草地跡では牧草の根塊や土壤硬度の影響で、整地や施肥播種作業が不完全になるためである。本調査においては連作年数の経過に伴いDM収量は減少傾向にあったが、高位段丘は2年目に収量が増加した。これは、上記の2番目の理由によるところが最大の要因であると推察される。

以上のように、高位段丘のDM収量が低位段丘より少なかったのは土壤区分の違いによる影響が大きいことが推察される。本学農場で飼料作物の生産性を高めるには、土壤の物理的改善が重要であろう。堆肥や緑肥は土壤の三相分布を改善し、アルファルファなどのマメ科牧草の栽培は土壤構造の改善に効果がある<sup>27)</sup>。しかし、本学の糞尿処理法は、2000年から堆肥処理からスラリーの嫌気発酵処理に移行した。従って、圃場への糞尿還元は発酵処理液（消化液）である。消化液の成分組成は水分含量が94.1%、有機物が1.7%である。また、窒素含量が高い(0.36%)ため、これまではアルファルファ栽培面積を減少してきた。このことから、消化液を透水性の悪い粘土質土壤に施用しての物理的改善効果の検証が課題である。今後、土壤改善や草地植生の側面から糞尿処理システムの検討が必要であろう。

土壤硬化の原因に土壤中のナトリウムが関与していることも考えられる。ナトリウムの高い土壤は、カルシウム土壤と異なり、通常不十分な物理的条件にある。団粒構造は破壊され、孔隙は細かい物質で満たされ、透水係数と水の浸透は最小となる<sup>16)</sup>。また、このような土壤は乾燥時にクラフト状の土壤表層を形成する原因となる<sup>50)</sup>。表Ⅲ-3にも示したとおり、高位段丘の黄色土や灰色台地土の全Na<sub>2</sub>O含

有率は表土において全K<sub>2</sub>O含有率とほぼ同じで、下層土では透水性のよい黒ボク土と異なり、むしろ全Na<sub>2</sub>Oの方がより高い値を示す。モル比で見た場合は表土においてもナトリウムの方がカリウムより1.5倍も高い値となる。このように野幌層の土壤は明らかにナトリウム優勢土壤である。

農業に適した土壤は化学的にすぐれた土壤だけではない。物理的に優れた土壤条件も化学的特性に勝とも劣らないくらい重要である。野幌層における農業は長い間この物理的に劣悪な土壤に悩まされてきた。この問題を無視してここでの農業は成立しないと考えられる。

そこでここで酪農を継続するにはいかにすべきか考察する。まず、第1にあげられる改良法は堆きゅう肥などの施用によって土壤の膨軟化を図ることである。ついで、下層土の物理的改良である。パンブレーカーなどによる心土破碎と透水性の改善があげられる。以上のような物理性改善のほかに、化学的改良も必要と考えられる。すなわち、土壤を団粒構造に換えるために、石灰の施用によって石灰土壤(カルシウムコロイド)にするための努力が必要である。酪農である以上、家畜糞尿によるナトリウムの施用はさけることができない。そこでこれを土壤に施用するだけでなく、収奪循環の条件を調えることである。

現在、重金属汚染等の土壤改良法としてphyto-remediationの研究が盛んになってきた<sup>35)</sup>。重金属などの高集積植物によって土壤を治療、修復しようという試みである。この方法は多量元素にも応用が可能ではないだろうか。なぜなら植物によるナトリウムの吸収は非常に大きな変位があるからである<sup>21)</sup>。牧草においても、ナトリウムの吸収量は種によって大きく異なることが明らかにされている<sup>34)</sup>。すなわち、チモシーに比べて、アルファルファのナトリウム吸収量はかなり多いことが明らかになっている。アルファルファは本来塩類集積地帯の多い乾燥地帯を起源地<sup>22)</sup>にしているので当然の結果であろう。

北海道には多くの排水不良な段丘があるが、このような土壤では酪農地帯も多く、多量のナトリウムを含む家畜糞尿の農地還元を必要としている。そこでこのような土壤では物理的改良のほかに、phyto-remediationのような新しい考え形を導入することも今後の酪農には必要と考えられる。

近年の我が国の飼料給与体系はサイレージ主体が多くなり、その品質の良否は、乳生産や乳牛の健康に影響を与えている。特に、バンカーサイロのような大型サイロでの品質劣化は、家畜の疾病増加、乳量

の減少を招き、深刻な状況を引き起こすことが懸念される。サイレージ調製の基本は、好気性微生物の増殖の抑制と有害嫌気性菌（酪酸菌）の活動を制御することである。それには、サイロの嫌気性保持（密封）、酸性化（低 pH）および原料草の低水分化（予乾）により達成できる<sup>64)</sup>。牧草サイレージの調製の基本原則として、材料草の水分含量を 60~70%に予乾することであり<sup>55)</sup>、これにより、有害な嫌気性菌の活動が抑制される。

本調査において、バンカーサイロで調製した牧草サイレージの回収率（詰込み量に対する給与量の割合）は平均 80%であった。しかし、サイロ間差異が大きく 50%程度まで極端に低かったものもあった。これらは、発酵品質が低質で、不良（酪酸）発酵による発酵ロスと劣質化サイレージの廃棄量が増加したためである。低品質サイレージの水分含量は 73%以上と高い傾向にあり、原料草の水分を適正に調整することが牧草サイレージの基本であることが再確認された。

サイレージ発酵品質の改善を目的とした添加剤として、生物系の乳酸菌製剤製剤が広く利用されている。また、これと酵素（セルラーゼ）製剤との併用添加に関する試験がなされ、発酵品質の改善効果を認めている<sup>2,3,4,85)</sup>。しかし、乳酸菌製剤の添加は、発酵品質を改善しない場合があることも認められている<sup>59,43,40,42)</sup>。

Ohshima *et al.*<sup>76,77)</sup> は乳酸菌製剤に代わるものとして、牧草表面に付着している乳酸菌群を培養したいわゆる搾汁発酵液はサイレージ発酵の品質改善に効果があることを認めた。本研究においても数年にわたって調製した搾汁発酵液の乳酸菌数は  $10^6 \sim 10^8$  cfu/ml の範囲で安定的に調製され、添加剤としての有効性が期待できるものであった。搾汁発酵液の作成は極めて容易であるが、実用規模での添加剤としての利用には省力的な多量生産が望まれる。その方法として、搾汁液あるいは搾汁発酵液を希釈して調製することが考えられる。本実験では、希釈して調製した搾汁液はサイレージの発酵品質を改善することが認められた。このことから、市販の乳酸菌製剤に代わる添加剤として実用的であることが確認された。

トウモロコシは良質なサイレージが調製し易い原料である。しかし、バンカーサイロにおけるサイレージの DM 回収率は低く、平均 80%であった。原料の水分含量が約 70%以上になると排汁による DM の損失が発生し、水分含量が高くなるほど損失量は増加することが認められている<sup>46)</sup>。2000 年に調製した

サイレージの原料の水分含量は 65%であり、回収率は比較的高かった。しかし、2001 年の全サイロの回収率は 80%以下であった。その原料の水分含量は 75%であり、多量の排汁が確認された。また、埋蔵期間が長く、開封後の給与速度が遅いサイロほど回収率は低かった。これは、貯蔵中にネズミの侵入を受けサイロカバーが破損し、好気的変敗による廃棄量が増加したためである。好気的変敗は酵母、カビおよび好気性細菌が関与し、VBN 含量が高くなり、乳牛に給与することが不可能になる。さらに、カビのなかには毒素（カビ毒；マイコトキシン）を産生する場合もあり、深刻な状況に陥ることが懸念される<sup>51,7,10,90)</sup>。従って、サイレージ DM 損失の改善には、サイレージ調製の基本技術の徹底と開封後のサイレージの適正な品質管理技術の検討が必要である。

乾草とサイレージを比較した場合、どちらが乳生産に対して期待できるかは、古くからのテーマであった。Nelson and Satter<sup>57)</sup> は、アルファルファの刈取時期と調製法が乳生産に及ぼす影響について実験を行っている。その結果、サイレージは乾草に比べて DM 摂取量、実乳量、FCM および乳成分率が高いことを認めた。乾草では、刈り遅れによって乳脂率が高くなったが、DM 摂取量と乳量は減少する傾向がみられた。一方、サイレージでは、刈り遅れの場合でも DM 摂取量、乳量および乳脂率に差が認められなかった。したがって、サイレージは乳牛の粗飼料として乾草よりも優れており、特に高泌乳牛に対しては、より効果的であると判断できる。

また、Erdman<sup>17)</sup> は、多くの研究データからサイレージの品質が摂取量に与える影響について考察し、高水分サイレージの採食量が低い原因は、水分よりもサイレージの発酵産物が関与していることを指摘している。本実験においても無添加アルファルファサイレージは、搾汁発酵液、乳酸菌製剤および酵素製剤添加サイレージよりも DM 摂取量が少なかった。このことから無添加サイレージは酪酸含量や VBN 比が高く、これらの成分が摂取量を抑制したものとされた。

サイレージを主体とした給与はじめにおける TMR の摂取量と発酵品質との関係を見ると、TMR の VBN 比、酪酸含量および総 VFA に負の相関が認められた。しかし、放置した後は品質低下の兆候が見られたが、摂取量に影響を与えるほどではなかった。つまり、TMR の採食性についてはサイレージの品質向上が求められるものである。

サイレージ用トウモロコシは、牧草に比べてサイレージ調製が容易であり、また、嗜好性が高く、乳

牛の重要な基幹飼料として有用な飼料である。トウモロコシサイレージは、粗飼料としては高エネルギーの優良な粗飼料といえるが、蛋白質含量が低く、繊維成分含量も比較的少ないなどの栄養的特徴を有している。そのため、トウモロコシサイレージは過食による影響が危惧され、一般に牧草との併用給与がなされる。野ら<sup>58)</sup>は、トウモロコシサイレージの多給は DM 摂取量、乳量および乳成分に影響しないことを認めている。また、牧草との併給試験では、トウモロコシサイレージの給与比率が高まるほど DM 摂取量、TDN 摂取量および乳量は顕著に増加し、トウモロコシサイレージ主体の飼料給与は乳成分が向上する傾向も認められている<sup>12,13,14,15,54)</sup>。さらに、良質発酵の低水分牧草サイレージとトウモロコシサイレージを DM 比 100:0、50:50 および 0:100 の割合で給与した場合、併用給与が最も多かったことも認められている<sup>25)</sup>。

飼料の要求量が多い高泌乳牛や泌乳前期においては、粗飼料間の嗜好性を解消し、飼料摂取量を高めるには牧草とトウモロコシサイレージを粗飼料にする TMR は有効な給与方法の一つである。トウモロコシサイレージが主体の粗飼料と濃厚飼料の割合比率および CP 含量が泌乳前期の乳牛に及ぼす影響についての試験によると、粗濃比は 65:35 から 50:50、TDN 含量は 71~74% 程度が適当であり、CP 含量は 16% が良好であったとしている<sup>15)</sup>。

これらのことから、トウモロコシと牧草サイレージの併用給与は、土地面積当りの乳生産効率を高める有効な給与方法と考える。

本農場の調査結果から、飼料作物生産量を乳生産量に換算してみると、TDN 生産量からのトウモロコシの換算乳量は ha 当り 26,670 kg であった。一方、牧草はこれより低く、チモシーは 15,550 kg、アルファルファは 17,100 kg であった。また、トウモロコシと牧草の DM 収量当りの生産費用は収量の違いによって大きく変動したが、両者は概ね同額であった。これは、北海道農林水産統計年報<sup>72)</sup>による自給飼料生産費用(労働費、固定財費を除く材料費)に比べ約 10 円程度低いものと試算された。

大下ら<sup>81)</sup>は、泌乳最盛期にトウモロコシサイレージを多給した場合、乳生産に要する生産コストは若干高くなるが、土地面積当りの乳生産効率は向上し、高収益が期待できるとしている。本研究においても、同様の傾向が示された。つまり、一乳期(305 日搾乳、乾乳 60 日)の乳量生産に要する土地面積を試算した結果、トウモロコシとアルファルファサイレージの併用給与はチモシーに比べ、粗濃比を高く維持し、

必要面積および乳生産コストの低減が可能であった。また、高位乳生産ほどトウモロコシと牧草の併用給与は効率的であることが示された。

飼料作物の生産量は圃場間に差異が認められたことを考慮し、段丘別の乳生産性を試算した。牧草生産量の低かった高位段丘は乳量レベルに関わりなく、低位段丘よりも一頭当り約 2a が多く必要であった。一方、トウモロコシの生産性は圃場間差異が大きかったため、トウモロコシサイレージの給与量が多い高泌乳ほど面積は多く要することになった。高位段丘と低位段丘の差異を改善するには長期的視点に基づく土壌改良が必要であり、そのための手段を早急に講ずる必要がある。サイレージの回収率(収穫量に対する給与量の割合)の低下は必要面積が顕著に増加することが示唆された。すなわち、DM 回収率が 90% の場合は、一頭当り平均必要面積は乳量にかかわらず 45a 前後であるが、回収率が 70% に低下すると 58a 前後と、およそ 13a の差が生じている。すなわち、回収率が悪い場合は 100 頭規模の場合、13 ha の面積を余分に確保しなければならないことになる。このように単位面積当りの乳生産効率を高めるには、サイレージの品質を改善し、回収率を高めることが極めて重要である。

## 第 VIII 章 摘 要

酪農は土地を基盤とした物質循環、つまり「土—草—牛」のサイクルの中で発達してきた。しかし、乳生産に対する評価は、乳牛個体の乳生産量に偏重しており、濃厚飼料に依存した給与体系に変化してきた。このような酪農経営の中にあって、酪農の本来の姿であった循環型の物質収支をいかに確立するか今もっとも求められていることである。そこで本研究は、飼料生産から給与量までを実測し、土地区分間の生産性の差異、年次間の変動、ならびに土地面積当りの乳生産性の解明を目的とし、野幌層丘陵地に存在する酪農学園大学・短期大学部附属農場において調査研究した。その結果、以下のような結論が得られた。

### 1. 飼料作物生産量の土地区分別および年次間変動

酪農学園大学・短期大学部附属農場の圃場を高位段丘、低位段丘および移行斜面に区分し、飼料作物生産量を実測した。

牧草の DM 収量は、土地区分および年次間に差は見られなかった。

トウモロコシの DM 収量は、土地区分および年次

間に有意な差異が認められた。つまり、低位段丘のDM収量は高位段丘よりも高く ( $P < 0.05$ )、2002年は最も高く、2000年は最も低かった ( $P < 0.05$ )。また、連作によるDM収量の低下傾向が見られ、特に、連作4年目は有意に低かった ( $P < 0.05$ )。

チモシーのTDN含量は高位段丘が低く、アルファルファのCP含量は2002および2003年が低くなる傾向にあった ( $P < 0.05$ )。

トウモロコシのTDNおよびCP含量は年次間に差異が認められたが、土地区分間差異はなかった。

以上から、トウモロコシのDMと栄養生産量は年次、土地区分での変動が大きかった。また、DM収量は常に牧草よりも高かった。

## 2. サイレージの品質改善

バンカーサイロおよびロールラップで調製したサイレージの全給与量を実測し、DM回収率と発酵品質の関係を検討した。また、サイレージの品質改善に対する新技術、搾汁発酵液の効果について検討した。

バンカーサイロの平均DM回収率は80%であった。DM回収率が低かったものは、牧草サイレージは劣質な発酵品質、トウモロコシでは好気的変敗が原因であった。ロールラップサイレージの回収率は極めて高かった。また、ロールサイレージ重量と水分含量との間に回帰式が得られた。

搾汁発酵液の総乳酸菌数は  $10^6 \sim 10^8$  cfu/ml であり、添加剤としての効果が確認された。20倍に希釈調製した搾汁発酵液は、無予乾アルファルファサイレージの発酵品質の改善に効果を示した。

## 3. サイレージの発酵品質とルーメン内消化特性

ルーメンフィステルを装着した泌乳牛を用いて、搾汁発酵液、乳酸菌酵素製剤添加サイレージのルーメン内消失率を検討した。

ルーメン内DM消失率では無添加が低く、添加処理サイレージが高かった。CPは、6時間目で80~85%の消失率であった。NDFとADFのルーメン内消失率では、2番草の24時間を除いていずれも無添加より添加サイレージが高かった。特に併用と搾汁発酵液添加で顕著であった。以上のことから、ルーメン内消失率は添加サイレージに限らず、良質なものは消化率が高かった。また、搾汁発酵液の添加効果は高く、乳酸菌と同様の効果が期待できると思われた。

## 4. サイレージおよびの混合飼料(TMR)の採食量

無添加、搾汁発酵液、乳酸菌製剤、酵素(セルラーゼ)製剤添加のサイレージの発酵品質と採食性およびサイレージを主体としたTMRの採食量とサイレージの発酵品質との関連を比較検討した。

無添加サイレージは極めて不良な発酵様相を呈し、採食量が抑制された。搾汁発酵液、乳酸菌製剤および酵素製剤の添加剤はサイレージの発酵品質を改善し、採食量を向上させた。

TMRの平均DMIは、牛群により変動が大きかった。しかし、DMIは日本飼養標準に対してほぼ充足していた。残飼のCP含量は給与TMRに比べ減少し、NDFとADF含量は増加した。VBN比は全体的に増加し、給与後に品質が悪化する傾向が見られた。牛群によっては、DMIとTMRあるいは残飼の発酵品質との間に負の相関 ( $P < 0.05$ ) が見られた。以上より、TMRは給与後に品質が劣化する傾向にあり、牛群によってはDMIにも影響を与えていることが懸念された。

## 5. 土地面積当りの乳生産の試算

飼料作物の生産量から土地単位当りの乳生産性を検討した。また、飼料給与例から効率的な飼料作物の作付面積を試算した。

TDN収量から換算したトウモロコシの可能乳生産量は、牧草よりも約1,000 kg/10a多かった。また、TDNおよびCP換算の乳量は、低位段丘、移行斜面、高位段丘の順に低下した。さらに、栽培年数の経過に伴い低下する傾向にあった。単位面積当りの生産費は、トウモロコシが牧草よりも高かった。しかし、DM収量当りではほぼ同額であった。牧草のCP生産費はトウモロコシよりも低かった。一方、TDN生産費は、トウモロコシが低かった。

トウモロコシとチモシーサイレージのDM給与比率が3:2の場合、粗濃比が60:40の飼料給与体系では、ha当り2頭の飼養で乳量20,000 kg/haが可能であり、高位乳生産をめざすにはトウモロコシとアルファルファの併用給与が有効であることが明らかになった。

本研究から、土地面積当りの乳生産効率を決定する大きな要因は、飼料作物の生産量とサイレージのDM回収率であることが解明された。従って、低位生産土壌の改良と適切な肥培管理システムの構築およびサイレージ発酵品質の向上と好気的変敗の防止対策が今後の課題である。

## 謝 辞

本論文をまとめるにあたり、一連の実験から論文作成まで特段のご指導とご助言を賜った安宅一夫博士（酪農学園大学 教授）に深甚なる謝意を表す。論文作成とミネラル分析について特段のご指導をいただいた水野直治博士（酪農学園大学大学院 客員教授）に心より感謝申し上げる。名久井忠博士（酪農学園大学短期大学部 教授）、岡本全弘博士（酪農学園大学 教授）には終始有益なご指導とご校閲を頂き謹んで感謝申し上げます。

本研究の多くの実験を遂行するにあたり、泉賢一先生（酪農学園大学 講師）、小坂進一博士（酪農学園大学 教授）、菊池政則博士（酪農学園大学 教授）、天野洋司先生（元 農業環境技術研究所 研究室長）ならびに酪農学園大学附属農場職員一同には、多大なご協力をいただき感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、大谷俊昭先生（酪農学園大学 学長）、植崎昇先生（酪農学園大学 名誉教授）、菊池直哉博士（酪農学園大学 教授、附属農場長）、故遊佐孝五博士（前 酪農学園大学理事長）さらに歴代の酪農学園大学附属農場長の西埜進博士、横山節磨先生、原田勇博士、井上錦次先生、故高橋清志博士、堀内一男博士には、研究活動に特段のご配慮、ご鞭撻をいただき心より感謝申し上げます。

本論文の発表に際してご指導を賜った塩見徳夫博士（酪農学園大学 教授）、松中照夫博士（酪農学園大学 教授）に心より感謝申し上げます。

本研究の実験、調査にあたり、酪農学園大学の多くの卒業生の皆様にご協力いただき厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) 天野洋司・水野直治. 2002. 酪農学園の自然(土壌篇) — 野幌層の誕生と学園の土壌 —. p. 23-41. 酪農学園大学. 江別.
- 2) 艾尼瓦尔艾山・安宅一夫・植崎昇・野英二. 1995. 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. 北草研報, 29: 58-61.
- 3) 艾尼瓦尔艾山・安宅一夫・植崎昇・野英二. 1997. 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. 酪農学園大学紀要, 22(1): 129-138.
- 4) 艾尼瓦尔艾山・安宅一夫・植崎昇・野英二. 1997 a. *Acromonium* 由来セルラーゼの添加が牧草サイレージの蛋白質分解性に及ぼす影響. 北草研報, 31: 33-37.
- 5) 安宅一夫 (高野信雄・安宅一夫監修). 1986 a. サイレージバイブル (第3章サイレージ発酵の制御技術). p. 47-51. 酪農学園短期大学酪農学校. 江別.
- 6) 安宅一夫 (高野信雄・安宅一夫監修). 1986 b. サイレージバイブル (第7章サイレージ添加物). p. 83-90. 酪農学園短期大学酪農学校. 江別.
- 7) 安宅一夫 (高野信雄・安宅一夫監修). 1986 c. サイレージバイブル (第4章サイレージの二次発酵とその防止対策). p. 77-80. 酪農学園出版部. 江別.
- 8) 安宅一夫. 1993. 高泌乳、高成分乳のためのサイレージ技術. 90年代の酪農技術. p. 117-126. 酪農学園大学エクステンションセンター. 江別.
- 9) 安宅一夫, 野 英二. 1998. 地域特性に基づく添加物処理による品質改善に関する研究 (研究課題番号 07306013) 平成7~9年度科研費補助研究成果報告書, p. 133-152.
- 10) 安宅一夫. 2003. カビの発生メカニズムとサイレージのカビ毒. p. 27-29. 酪農ジャーナル9月号. 酪農学園大学エクステンションセンター. 江別.
- 11) 東 俊雄. 1986. 土壌標準分析・測定法. p. 86-94. 博友社. 東京.
- 12) 坂東 健・出岡謙太郎・岡本全弘・曾根章夫. 1988. チモシー乾草とトウモロコシサイレージの採食比率が飼料摂取量および乳生産に及ぼす影響. 新得畜試研究報告, 16: 1-7.
- 13) 坂東 健・出岡謙太郎. 1990. トウモロコシサイレージ主体飼養におけるマメ科牧草サイレージの併給が乳牛の飼料摂取量と乳生産に及ぼす影響. 新得畜試研究報告, 17: 13-19.
- 14) 坂東 健・出岡謙太郎. 1990. トウモロコシサイレージ主体飼養における牧草サイレージの併給が乳牛の飼料摂取量と乳生産に及ぼす影響. 新得畜試研究報告, 17: 7-12.
- 15) 坂東 健・出岡謙太郎・原 悟志・森 清一・南橋 昭. 1991. トウモロコシサイレージ主体混合飼料における粗飼料と濃厚飼料の比率並びに粗蛋白質含量が高泌乳牛の泌乳前期における飼料摂取量と乳生産に及ぼす影響. 新得畜試研究報告, 18: 47-58.
- 16) Brady, N.C. and R.R. Weil. 1996. *The Nature and Properties of Soils*. p. 316. Prentice Hall. Upper Saddle River (NJ).

- 17) Erdman, R. (安宅一夫・増子孝義 翻訳監修). 1994. サイレージプロダクション 21. 飼料摂取量に影響を与えるサイレージ発酵特性. p. 246-255. デーリィ・ジャパン. 東京.
- 18) Gordon, C.H. 1967. Storage loss in silage as affected by moisture content and structure. *J. Dairy. Sci.*, 50: 397-403.
- 19) 早坂貴代史・田鎖直澄・山岸規昭. 1990. 混合飼料給与量が泌乳牛の採食に及ぼす影響. *日畜会報*, 61(12): 1070-1076.
- 20) 北海道農政部. 2002. 北海道施肥ガイド. p. 212-213.
- 21) Houba, V.J.G. and J.Uittenbogaard. 1994. Chemical composition of various plant species., p. 1-226. Wageningen Agricultural University, Wageningen.
- 22) 星川清親. 2002. 栽培植物の起原と伝播. p. 290-291. 二宮書店. 東京.
- 23) 市川 治・發地喜久治・松中照夫 (市川 治・中原准一・干場信司編著). 2000. 21世紀へのマニュアル・テクノロジー (第1章 家畜ふん尿問題の発現形態). *酪農ジャーナル臨時増刊号*. p. 14-46. 酪農学園大学エクステンションセンター. 江別.
- 24) 自給飼料品質評価研究会編. 1994. 粗飼料の品質評価ガイドブック. p. 79-87. 日本草地協会. 東京.
- 25) 影山 智・岡本明治・中西雅昭・吉田則人・中川健作・池滝 孝. 1992. 泌乳牛に対する牧草サイレージとトウモロコシサイレージとの組み合わせ給与. *北草研報*, 26: 128-131.
- 26) 加藤 信・勝井義雄・北川芳男・松井 愈. 1990. 日本の地質1. 北海道地方. p. 242. 共立出版株式会社. 東京.
- 27) 川口桂三郎 (川口桂三郎・熊田恭一・青峰重範・古坂澄石・佐々木清一・高井康雄・山根一郎・船引真吾 共著). 1972. 土壌学 VII土壌の物理性. p. 91-108. 朝倉書店. 東京.
- 28) 菊地政則 (高野信雄・安宅一夫 監修). 1986. サイレージバイブル (第2章 サイレージ発酵と微生物). p. 25-37. 酪農学園短期大学酪農学校. 江別.
- 29) 菊地政則・安宅一夫・小坂進一・野 英二. 1996. ふん尿発酵産物の飼料的利用 2. サイレージ発酵過程の微生物叢の動態に及ぼす各種添加物の影響. *酪農学園大学紀要*, 20(2): 367-372.
- 30) 小久保彌太郎. 1987. 食品衛生検査におけるク  
ロストリジア測定用培地. *メディヤサークル*, 32(11): 473-479.
- 31) 近藤誠二 (松中照夫 編著). 2004. 牧草・トウモロコシの生産量から乳生産を考える (第3章 牧草・トウモロコシからの栄養収量はどれくらいか 第1節 トウモロコシの栄養収量—北海道の例). p. 121-139. 酪農総合研究所. 札幌.
- 32) 小坂進一. 1998. アルファルファを中心とした混播草地の生産性および草地構成に関する研究. *北草研報*, 32: 1-8.
- 33) 小坂進一・野 英二. 2001. 江別市近郊酪農場における草地の状態診断. *酪農学園大学紀要*, 26: 45-49.
- 34) 小坂進一 2004: アルファルファ混播草地の生産性および構成牧草のミネラル組成に関する研究. *酪農学園大学紀要*, 28: 167-215.
- 35) Ma, L. Q., K.M. Komar, C. Tu, W. Zhang, Y. Cai and E.D. Kennelley. 2001. A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature*, 409: 579.
- 36) 萬田富治 (高野信雄・安宅一夫 監修). 1984. サイレージの理論と実際 (第8章サイレージの飼料特性). p. 140-145. 酪農学園短期大学酪農学校. 江別.
- 37) 萬田富治 (高野信雄・安宅一夫 監修). 1986. サイレージバイブル (第5章 ロールペールサイレージの調製技術). p. 67-73. 酪農学園短期大学酪農学校. 江別.
- 38) 萬田富治. 1994. ロールペールサイレージシステムの基本と実際. p. 36-37. 酪農総合研究所. 札幌.
- 39) 増子義孝. 1996. 現場でサイレージを科学的に評価しよう (デーリィ・ジャパン 1996年4月号付録). p. 7-10. デーリィ・ジャパン社. 東京.
- 40) 増子孝義・藤田 希・円井更織・嶋田秀庸. 1997. ギ酸, 乳酸菌製剤および乳酸菌製剤と酵素剤の混合物の添加が予乾グラスサイレージの発酵品質に及ぼす影響. *日草誌*, 43(3): 278-187.
- 41) 増子孝義 (内田仙二 編集). 1999 a. サイレージ科学の進歩 (3.1.(8)ロールペールサイレージ). p. 126-130. デーリィ・ジャパン社. 東京.
- 42) 増子孝義・藤田 希・円井更織・嶋田秀庸. 1999 b. ギ酸, 乳酸菌製剤および乳酸菌製剤と酵素剤の混合物の添加が無予乾グラスサイレージの発酵品質に及ぼす影響. *日草誌*, 44(4): 347-355.
- 43) Masuoka, 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.) silage. 日草誌, 42 (1): 13-19.
- 44) 松中照夫(松中照夫 編著). 2003. 酪農家のための土づくり講座(基礎講座-土のはなし). p. 23-26. 酪農学園大学エクステンションセンター. 江別.
- 45) 松岡 栄・ Lourdes Noemi BRANDA・藤田裕. 1997. 乳酸菌・セルラーゼ添加サイレージの貯蔵中における構造化炭水化物の分解とその in vitro 消化率に及ぼす影響. 日畜会報, 68: 661-667.
- 46) Mayne, C.S. and Gordon, F.J. 1986. The effect of harvesting systems on nutrient losses durring silage making. Grass and Forage Science, 41: 341-351.
- 47) McDonald, P., A.R. Henderson and S.J.E. Heron. 1991a. The biochemistry of silage (Chapter 8 Losses during ensilage) Second edition. p. 237-249. Chalcombe Publications. Aberystwyth.
- 48) McDonald, P., A.R. Henderson and S.J.E. Heron. 1991b. The biochemistry of silage (Chapter 7 Silage Additives) Second edition, p. 194-196. Chalcombe Publications. Aberystwyth.
- 49) Miller, R.W. and R.L. Donahue. 1995. Soils, Ed. JU Miller, p. 323-325. Prentice Hall, Englewood Cliffs (NJ).
- 50) Miller, W.J. and C.M. Clifton. 1965. Relation of dry matter Content in Ensiled Material and Other Factors to Nutrient Losses by Seepage. J. Dairy Sci., 48: 917-923.
- 51) 宮川栄一. 2003. カビの発生メカニズムとサイレージのカビ毒. p. 24-26. 酪農ジャーナル9月号. 酪農学園大学エクステンションセンター. 江別.
- 52) 森本宏監修. 1971. 動物栄養試験法. p. 422-424. 養賢堂. 東京.
- 53) 中原准一(市川 治・中原准一・干場信司 編著). 2000. 21世紀へのマニュアル・テクノロジー(第5章 主要国の畜産ふん尿規制と対策 デンマーク). 酪農ジャーナル臨時増刊号. p. 198-215. 酪農学園大学エクステンションセンター. 江別.
- 54) 中辻浩喜・原 悟志・黒澤弘道・森 清一・小倉紀美. 1991. 泌乳牛のトウモロコシサイレージ主体飼養時における繊維質摂取不足と乳脂率の関係. 新得畜試研究報告, 18: 73-77.
- 55) 名久井忠(高野信雄・安宅一夫 監修). 1986. サイレージバイブル(第4章 サイレージの調製技術). p. 55-64. 酪農学園出版部. 江別.
- 56) 名久井忠・野中和久・木下友子. 1997. バンカーサイロの簡易密度測定法の検討. 日草誌, 43(別号): 282-283.
- 57) Nelson, W.F. and L. D. Satter. 1990. Effect of stage of maturity and method of preservation of alfalfa on production by lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 73: 1800-1812.
- 58) 野 英二・安宅一夫・榎崎 昇・井上初郎・佐々木健二・佐々木康雄・菅生和幸・名波雅秀・三河一志・牛島 功. 1982. 乳牛に対するトウモロコシサイレージの多給が飼料摂取量ならびに乳量・乳質に及ぼす影響. 北草研報, 16: 104-106.
- 59) 野 英二・種田三郎・井上錦次. 1991. 牧草サイレージの発酵品質に対する乳酸菌製剤の添加効果. 日草誌, 37(別号): 213-214.
- 60) 野 英二・片桐めぐみ・義平大樹・安宅一夫. 1996. ロールラップサイレージの発酵品質と成分の経日的変化. 日草誌, 42(別号): 278-279.
- 61) 野 英二・大井幹記・安宅一夫・菊地政則. 1997. ロールラップサイレージ調製におけるアルファルファ搾汁発酵液の添加効果. 日草誌, 43(別号): 238-239.
- 62) 野 英二・安宅一夫・松井康有. 1998. 水分含量の異なるロールベールサイレージに対する緑汁発酵液、乳酸菌製剤およびセルラーゼ製剤の添加効果. 日草誌, 44(別号): 252-253.
- 63) 野 英二・泉 賢一・永井志奈・小田恵美子. 2001. 希釈して調製した緑汁発酵液添加がアルファルファサイレージの発酵品質におよぼす影響. 酪農学園大学紀要, 25(2): 293-297.
- 64) 野 英二(共著). 2004. サイレージ より高品質なサイレージ, より乳牛が喰い込むサイレージ(作り方の基本を外すな). p. 53-58. デーリィ・ジャパン社. 東京.
- 65) 野 英二・高橋良恵・泉 賢一. 2004. 生物系添加剤がサイレージの発酵品質および温度変化に及ぼす影響. 日草誌, 50(別号): 210-211.
- 66) No, E., Y. Harasawa, K. Ataku, N. Narasaki and T. Sueyosi. 1985. Effect of cellulase preparation on fermentation of silage. Pro-

- ceedings of the 15<sup>th</sup> International Grassland Congress, 937-938.
- 67) 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.
- 68) 野中和久・名久井忠・大下友子. 1999. フィルム被覆層数および水分含量がチモシー低水分ラップサイレージの品質・貯蔵性に及ぼす影響. 日草誌, 45(3): 270-277.
- 69) 農業技術研究機構編. 2002. 日本標準飼料成分表(2001年版). 中央畜産会. 東京.
- 70) 農業技術研究機構編. 2002 a. 日本標準飼料成分表(2001年版). p.10. 中央畜産会. 東京.
- 71) 農林水産省畜産試験場. 1981. 新しい飼料分析法とその応用. 畜産試験場 No. 56-1 資料, p. 14-26.
- 72) 農林水産省北海道統計・情報事務所. 2003. 北海道農林水産統計年報(農業統計市町村別偏).
- 73) 農林水産省農林水産技術会議事務局. 1999. 日本飼養標準 乳牛(1999年版). 中央畜産会. 東京.
- 74) 酪農経済通信社. 2004. 畜産統計.
- 75) 農林水産省統計部. 2004. 作物統計.
- 76) Ohshima, M., Y. Ohshima, E. Kimura and H. Yokota. 1997a. Fermentation quality of alfalfa and Italian ryegrass silages treated with previously fermented juices prepared from both the herbages. Anim. Sci. Technol., 68: 41-44.
- 77) Ohshima, M., E. Kimura and H. Yokota. 1997b. A method of making good quality silage from direct cut alfalfa by spraying previously fermented juice. Anim. Sci. Technol., 66: 129-137.
- 78) 小野寺節・百溪英一・吉野知男. 1989. 牛の海綿状脳症(Bovine spongiform encephalopathy; BSE)の最近の情報と概説. 日本獣医師会雑誌, 42: 303-305.
- 79) 大崎玄佐雄・奥村純一・関口久雄. 1973. 根圏土壌の理化学性が牧草生育に及ぼす影響 第1報 土壌ち密度と牧草生育との関係. 道立農試集報, 27: 77-88.
- 80) 大崎玄佐雄・奥村純一・関口久雄. 1975. 根圏土壌の理化学性が牧草生育に及ぼす影響 第2報 鉬質土壌における牧草根の発達分布. 道立農試集報, 32: 35-44.
- 81) 大下友子・大塚博志・西野 一・鷹取雅仁・高山英紀・五十嵐弘昭・野中和久・名久井忠. 1999. トウモロコシサイレージの多給が泌乳最盛期の乳牛の採食量, 泌乳量および圃場収益性に及ぼす影響. 日草誌, 45(1): 59-66.
- 82) Purvis, E. R. and N. K. Peterson. 1956. Methods of soil and plant analyses for molybdenum. Soil Sci., 81: 223-228.
- 83) 酪農経済通信社. 2004. 酪農経済年鑑.
- 84) 蔡 又民・大桃定洋・熊井清雄. 1994. 飼料作物・牧草に付着する乳酸菌の分布とその乳酸発酵特性. 日草誌, 39: 420-428.
- 85) 庄 益芬・安宅一夫・野 英二. 1999. 乳酸菌およびセルラーゼ添加アルファルファサイレージの発酵品質, 細胞壁成分および in vitro 乾物消化率に及ぼす貯蔵温度の影響. 日草誌, 45(2): 181-186.
- 86) 高橋功二・岡 孝雄・嵯峨山積・岸 宏光. 1981. 北海道地盤地図説明書・野幌. p. 8. 道立地下資源調査所. 札幌.
- 87) 竹田芳彦. 2004. 持続的な草地生産 北海道における草地生産の現状と草地更新. 日草誌, 50(1): 75-82.
- 88) 寺田文典・村岡 誠. 1997. セルラーゼの添加がギニアグラスサイレージの品質および栄養価に及ぼす効果. 日草誌, 43(別号): 246-247.
- 89) 戸澤英男. 1981. トウモロコシの栽培技術. p. 93-95. 農山漁村文化協会. 東京.
- 90) Whitlow, L. W. (安宅一夫・増子孝義 翻訳監修). 1994. サイレージプロダクション 22. サイレージのマイコトキシン(カビ毒)汚染乳牛群での低乳量と疾病の原因. p. 256-267. デーリイ・ジャパン. 東京.
- 91) 山崎慎一. 1986. 土壌標準分析・測定法(フッ化水素酸分解法). p. 171-174. 博友社. 東京.

### Summary

Dairy farming has developed in a material cycle based on land "soil-forage-cow-soil." However, evaluation of milk productivity has placed too much emphasis on milk production of individual dairy cows, and the feeding system has been shifted to that depending on concentrate. Above all, for dairy farming management practices like this, the establishment of a material balance based on recycling - the original form of

dairy farming practice - is sought. In this study, research and surveys were conducted accordingly over several years at the Research Farm of Rakuno Gakuen University located on the rolling hills of the Nopporo horizon. The goal was to clarify differences in productivity by soil type, year-to-year changes and milk productivity per land area using measurements from feed production to feeding amounts. The following conclusions were obtained from the results of the study:

### 1. Differences in forage crop productivity and nutrient productivity by soil type

Forage crop productivity was surveyed on the high terrace, the low terrace and the slope at the Rakuno Gakuen University Research Farm. In addition, year-to-year variations were analyzed.

- 1) The dry matter (DM) yield of timothy was lowest on the high terrace. It is thought that this was due to by precipitation, as the water-holding capacity and drainage of the soil were poor. There was no appreciable difference in DM yield between the low terrace and the slope.
- 2) Differences in the DM yield of corn by year and terrace level were observed. The year-to-year differences were caused by relatively low precipitation after sowing and wind and rain damage before harvesting. In terms of terrace level, DM yield in descending order was high terrace, slope and low terrace. A decrease in DM yield due to continuous cropping was observed in corn grown on the low terrace. Due to inadequate soil preparation in the first year of planting, DM yield on the high terrace, where soil is relatively hard, was lower than that of the second year of continuous cropping.
- 3) No significant differences in the total digestible nutrients (TDN) and crude protein (CP) contents of forage crops by terrace level and year were observed. Accordingly, these yields were heavily influence by DM yield.
- 4) The exchangeable K and Mg levels were high, and available P was low in the soil of the high terrace. Ca/Mg and Mg/K (equivalent ratio) were also low.

Accordingly, it was suggested that forage crop productivity was low on the high terrace and subjected to the effect of precipitation judging from the physical characteristics of the soil on the high terrace. This trend was more apparent in corn.

### 2. Discussion on the use of forage crop silage

Silage DM recovery, new technology for improving quality, and effects of previously fermented juice were examined.

- 1) The average DM recovery for bunker silos was 80%. The causes for some of the low DM recovery were poor fermentation quality of grass silage and aerobic deterioration of corn.
- 2) The recovery rate of roll wrapped silage was remarkably high. Also, a regression equation was found between roll silage weight and water content.
- 3) The total lactic acid bacteria count of previously fermented juice was  $10^6 \sim 10^8$  cfu/ml; thus its effectiveness as an additive was confirmed.
- 4) The effect of improving fermentation quality of unwilted alfalfa silage with 20-times diluted previously fermented juice was demonstrated.
- 5) There was a certain effect of previously fermented juice on the suppression of aerobic deterioration; however, this effect was minor.

### 3. Rumen digestion characteristics of dairy cows fed with silage

Lactating cows with rumen fistulas were used to examine rumen digestibility of silage both previously fermented juice as well as that treated with bacterial inoculants/enzymes.

- 1) The rumen DM digestibility of untreated silage was low, while that of treated silage was high. CP digestibility was between 80 and 85% six hours later. Rumen digestibilities of neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) in treated silage were both higher than those of untreated silage,

with the exception of the second grass group over 24 hours. This was apparent especially in silage treated with combined additives and previously fermented juice.

- 2) There was a tendency that rumen DM, NDF and ADF digestibilities in descending order was the first, second and third grass groups. With respect to CP, it was lowest in the third grass group.

Based on these results, rumen digestibility of quality feed, not limited to treated silage, was high. The effect of adding previously fermented juice was great, and it was expected to have a similar effect as lactic acid bacteria.

#### 4. Silage intake

Fermentation quality and intake of untreated, previously fermented juice-treated, bacterial inoculant-treated, and enzyme (cellulase)-treated silage were compared and examined.

- 1) Untreated silage resulted in poor fermentation, and intake was suppressed.
- 2) Additives of previously fermented juice, bacterial inoculant and enzyme improved fermentation quality and increased intake.

#### 5. Total mixed ration (TMR) intake

The relationship between intake of silage-based TMR and fermentation quality of silage was surveyed and analyzed.

- 1) Roughage used in TMR was corn prepared in bunker silos, pasture silage, and alfalfa roll bale silage. The average percentage of roughage in TMR was 59% for H group and 64% for L and AMS groups.
- 2) The average dry matter intake (DMI) was 20.6 (19.3-21.9) kg/day for H group, 16.8 (14.1-18.6) kg/day for L group and 19.5 (18.5-20.4) kg/day for AMS group. Variation in intake in L group was especially large.
- 3) The CP content in residue decreased compared with that in TMR fed, while NDF and ADF contents increased. Volatile basic nitrogen (VBN) ratio increased in general and quality tended to deteriorate after feeding.
- 4) There was a negative correlation ( $P < 0.05$ ) between DMI and fermentation quality of TMR or residue. Considering the above results, it was feared that quality of forage tended to deteriorate after feeding TMR, and this adversely affected DMI in some cattle groups.

#### 6. Estimation of milk productivity per land area

Based on forage crop productivity, milk productivity per land area was found. In addition, effective planted area of forage crops was calculated using feeding examples.

- 1) Possible milk production from corn was calculated based on TDN yield, which was higher than that from pasture by 900-1,100kg/10a. Milk production in terms of TDN and CP in the descending order was the low terrace, the slope and the high terrace. It tended to decrease as the period of cultivation increased.
- 2) The production cost for corn per unit area was higher than that for grass; however, the cost per DM yield was almost the same with both. The TDN production cost, on the other hand, was lower for corn.
- 3) It was indicated that when the ratio of corn and timothy silage DM fed was 3: 2, milk production of 20,000 kg/ha was possible, in which two dairy cows/ha were raised, based on a feeding system with a roughage-concentrate ratio of 60: 40.
- 4) For achieving a high milk production, combined feeding of corn and alfalfa was effective.

This study suggested that a major factor for determining efficiency in milk production per land area was forage crop production and silage DM recovery. For this reason, the improvement of low production soil, the establishment of a manuring management system, the improvement in fermentation quality of silage, and preventive measures against aerobic deterioration are required.