

# 寒地型牧草低水分ロールベールサイレージの 安定調製ならびに品質評価に関する研究

野中 和久

## 目 次

### I. 序 論

1. 本研究の背景
2. 低水分ロールベールサイレージの調製および品質評価に関わる既往の研究
  - 1) 低水分ロールベールサイレージの調製に関する研究
  - 2) フォーレージマットメーカーによる牧草の摩砕効果に関する研究
  - 3) 低水分ロールベールサイレージの品質評価に関する研究
3. 本研究の目的および構成

### II. フィルム被覆による低水分ロールベールサイレージの安定調製方法の検討

1. フィルム被覆層数および水分含量が低水分ラップサイレージの品質に及ぼす影響(実験1)
  - 1) 目 的
  - 2) 材料および方法
  - 3) 結 果
  - 4) 考 察
2. フィルム被覆層数が低水分ラップサイレージの越冬貯蔵性に及ぼす影響(実験2)
  - 1) 目 的
  - 2) 材料および方法
  - 3) 結 果
  - 4) 考 察
3. 貯蔵中のフィルム破損が低水分ラップサイレージの温度および開封後の品質に及ぼす影響(実験3)
  - 1) 目 的
  - 2) 材料および方法
  - 3) 結 果
  - 4) 考 察

4. フィルム色が低水分ラップサイレージの発酵品質および結合蛋白質含量に及ぼす影響(実験4)

- 1) 目 的
- 2) 材料および方法
- 3) 結 果
- 4) 考 察

### 5. 要 約

### III. 牧草予乾時の摩砕圧縮処理が低水分サイレージの消化性・栄養価に及ぼす影響

1. 摩砕圧縮処理が原料草の予乾速度ならびにサイレージの飼料成分に及ぼす影響(実験5)

- 1) 目 的
- 2) 材料および方法
- 3) 結 果
- 4) 考 察

2. サイレージの摩砕圧縮処理が反芻家畜の第一胃内分解性に及ぼす影響(実験6)

- 1) 目 的
- 2) 材料および方法
- 3) 結 果
- 4) 考 察

3. 摩砕圧縮処理がサイレージの消化性、エネルギー消化率および代謝率に及ぼす影響(実験7)

- 1) 目 的
- 2) 材料および方法
- 3) 結 果
- 4) 考 察

### 4. 要 約

### IV. 低水分ラップサイレージ品質評価のための試料採取方法および評価指標の検討

1. ロールベール内の試料採取位置の検討(実験8)

- 1) 目 的
- 2) 材料および方法
- 3) 結 果

- 4) 考 察
- 2. 同一ロット内からのロールベール抽出個数の検討 (実験9)
  - 1) 目 的
  - 2) 材料および方法
  - 3) 結 果
  - 4) 考 察
- 3. 低水分ラップサイレージの簡易品質判定指標の選定 (実験10)
  - 1) 目 的
  - 2) 材料および方法
  - 3) 結 果
  - 4) 考 察
- 4. 要 約
- V. 総 括
- 謝 辞
- 引用文献
- Summary

## I. 序 論

### 1. 本研究の背景

1974年、我が国に導入された当初のロールベールは、主として北海道の大規模酪農地帯を中心に、乾草調製場面で多く利用されていた。その後、1番草刈り取り時期に天候が不順で、乾草を主体とした牧草調製体系では良質粗飼料の絶対量確保が困難な地域、特に北海道道東の沿岸地帯でロールベールを利用したサイレージが注目され始めた。この技術は、北欧や英国で1970年代から研究・普及が始まり、我が国でも1977年の北海道立新得畜産試験場の試験(北海道立新得畜産試験場, 1977)を皮切りに新しいサイレージ形態として開発が始まった。ロールベールサイレージは、大型機械による一貫作業体系であり、粗飼料調製時において婦人や高齢者が過重労働から解放されること、気象変化に対応した臨機応変な作業が可能で自給飼料生産の作業ピークを解消できること、サイロ等の新たな投資が不要なことなどの効果から普及が進み、北海道においては導入後約15年でサイレージ調製の約4割を占めるに至った(萬田, 1994)。

導入当初のベール密封形態は、ビニール製円筒状袋(バッグ)で1~数個のベールを覆う方法が主流であったが、この方法ではバッグ内に残存した空気

やバッグ破損で侵入した空気によるカビの発生・発熱が大きな問題とされ、特に水分含量20~50%の低水分材料ではベール内部にまで空気が残るため、内部の温度上昇、燻炭化、発カビ(杉本, 1989)など品質劣化の危険性の大きいことが指摘されている(MONTGOMERYら, 1986; 杉本ら, 1990)。筆者ら(野中ら, 1990)が行った調査では、バッグ被覆方式を採用している酪農家41戸の89%が貯蔵中の品質劣化を認めており、その理由としてバッグ破損による空気侵入・変敗が過半数を占めていた。1987年には、ロールベールサイレージ用ストレッチフィルム包装機(ロールベールラップ)が輸入され、以降、完全密封型で省力的なロールベールラップサイレージの調製体系が確立したものの、ベールの低水分化はバッグ被覆の場合と同様に品質劣化を誘引することが危惧されることから一般化されず、依然、水分含量50~60%台の中水分域での調製が推奨されている(BEAULIEUら, 1993; 萬田, 1994; 松本ら, 1989; 杉本ら, 1990)。

一方、近年の畜産経営では家畜飼養頭数の増加による粗飼料不足が顕在化しており、その対策のひとつとしてロールベールサイレージの地域内流通が行われるようになった(近藤ら, 1998)。さらに、離農戸数の増加と農地の新規購入・貸借に伴う圃場の分散・遠隔地化により(盛田, 1998)、自給粗飼料の運搬量の増加が見込まれている。このような粗飼料流通の効率向上のためには、梱包の均一化とともに材料水分の低減による軽量化が不可欠であるが、湿度が高く、晴天の持続しない我が国の気象条件下では、調製に数日間を要する乾草に比較して予乾時間を短縮できる水分含量20~50%の低水分ロールベールラップサイレージ(以下、低水分ラップサイレージとする)が実用的に有利な形態と考える。

ところが現状において、低水分ラップサイレージは乾草調製過程での突発的な被雨回避策として位置づけられる場面が多く、サイレージの特性に基づいた安定調製に関する技術的知見は糸川ら(1995)の報告にみられる程度しかない。そのため、前述のような残存した空気による品質劣化の危険性がラッピング用ストレッチフィルム(以下、フィルムとする)被覆により克服されるかどうかの検証もなされていない。すなわち、低水分ラップサイレージに関しては、調製可能な水分域の設定、フィルムの被覆方法、貯蔵時の管理方法、開封後の品質保持およびサイレージの

飼料特性など検討すべき事項が多く残されている。

他方、アルファルファに代表されるマメ科草種においては、サイレージ調製時の脱葉による栄養価の損失が問題となる。脱葉は原料草の低水分化ならびに圃場での機械予乾作業により助長されるため、マメ科牧草主体の低水分ラップサイレージを安定的に調製するためには、脱葉をできるだけ抑制でき、かつ迅速な乾燥が行える予乾方法の開発が求められている。近年、圃場での予乾速度を向上させる目的で、刈り取り直後の牧草をローラーで摩砕圧縮してマット状にし、それを刈り株上で乾燥するフォーレージマットメカ（以下、マットメカとする）が開発された(AJIBOLA ら, 1980; KOEGEL ら, 1986; NISHIZAKI ら, 1997; ÖZTEKIN と ÖZCAN, 1997; SAVOIE ら, 1993)。この摩砕圧縮予乾法は慣行のテッグによる攪拌予乾に比較してアルファルファ葉部の保持効果が期待されている。さらに、茎部圧搾による消化性向上の可能性も指摘されており(HONG ら, 1988a; HONG ら, 1988b; PETIT ら, 1994)、特にロールベールサイレージ体系では家畜生産に対する寄与の程度の大きいことが予測されている(CHARMLEY ら, 1997)。しかしながら、マットメカは現在も各国で試作・改良段階にあり、その効果および適用範囲などについて一定の傾向が得られておらず、実用化に向けた研究蓄積が必要とされている。

低水分ラップサイレージの流通を前提とする場合、価格設定等に利用できる品質評価方法の策定が求められる。これまで、我が国の流通粗飼料は乾草が主体であり、サイレージは自家消費が中心であった。それゆえ、流通乾草の品質判定法(ROHWEDER ら, 1978; 篠田ら, 1984)は認知されているものの、流通サイレージに関しては試料採取方法や品質評価指標の選択など標準化されていない部分が多い。特にロールベールサイレージは同一圃場で生産しても、ベール間で品質の差異が見受けられること(萬田, 1994)、また、ベール内部でも成分の変動があることなどから、品質評価用の適正な試料採取は難しい。また、得られた試料を用いて品質評価を行う際には、どの成分について分析を行うかが問題となる。

通常、サイレージの品質は栄養価と発酵品質で査定される。栄養価は乾草と同様に一般飼料成分を中心とした指標で評価できるが、発酵品質はサイレージ貯蔵中に発酵がどのように進行し、貯蔵が良好であったのか不良であったのかを判断する指標である

ため(増子, 1996)、水分含量や発酵の強度の違いで品質評価への寄与の程度は異なる。既存のフリーク法(森本, 1971)に代表される発酵品質を用いた評価法(大山と白田, 1972; 高野と安宅, 1986; McDONALD と WHITTENBURY, 1973)は、主に高水分域のサイレージを対象として開発されている。これらはサイレージ中の乳酸含量、揮発性脂肪酸(VFA: Volatile fatty acid, 主に酢酸, プロピオン酸および酪酸)含量, pH および全窒素(TN: Total nitrogen)に占める揮発性塩基態窒素(VBN: Volatile basic nitrogen)の割合(VBN/TN)などを指標としているが、一般に高乳酸含量, 低 pH であれば高品質と判定される。低水分原料をサイレージ化した場合は、発酵は弱く(McDONALD ら, 1991)、乳酸がほとんど生成されず、高 pH で VFA はおもに酢酸が生成される(大山と柁木, 1968)ことから、発酵品質による評価ではサイレージ品質を過小評価する傾向がある(自給飼料品質評価研究会, 1994)。そのため、本研究で対象とする低水分ラップサイレージについては、乳酸含量に比重を置いた発酵品質の評価法がそのまま適用可能かどうかを再検討する必要がある。

以上の背景から、本研究では、北日本における寒地型牧草の基幹草種であるチモシーおよびアルファルファを供試し、まず、低水分ラップサイレージの調製水分含量と品質の関係、フィルム被覆方法およびフィルム色、貯蔵時の管理方法およびサイレージの飼料特性などを慣行の調製手法を用いて検討した。次いで、新しい調製技術であるフォーレージマットメカを用いた原料草の摩砕圧縮処理が低水分サイレージの第一胃内分解性、消化性、エネルギー含量などに及ぼす影響を検討した。最後に、流通を想定した低水分ラップサイレージの試料採取法および品質評価に必要な分析項目の選定など品質評価法に関する検討を行った。

## 2. 低水分ロールベールサイレージの調製および品質評価に関わる既往の研究

### 1) 低水分ロールベールサイレージの調製に関する研究

サイレージ調製の原理は腐敗菌である酪酸菌の生育を阻止することにある(内田, 1999)。酪酸菌は酪酸を作るとともに乳酸を分解し pH を上昇させ、アミノ酸異化によりアンモニアを生成し(HUGHES, 1971)、サイレージの栄養価を低下させる



(McDONALDら, 1991). 酪酸菌の生育抑制には2つの主要な方法がある。

第一の方法として予乾が挙げられる。酪酸菌の活発な生育には湿潤状態が必要であり、水分含量を70%以下まで下げれば活性を抑制することができる(McDONALDら, 1991)。ロールベールサイレージでは、JONSSONら(1990)が、水分含量65%であっても酪酸菌の活性を抑制するには不十分で、水分含量50%のサイレージで完全に抑制されたことを報告した。このように低水分原料草をサイレージに調製すると、乳酸発酵は抑制され、pHは高く、相対的に酢酸含量は高まるが、酪酸生成量の少ない良質サイレージができることが知られている(糸川ら, 1995; 萬田, 1985; McDONALDら, 1991; MUCKとSPECKHARD, 1984; 野中と名久井, 1995; 大山と柗木, 1968; 大山, 1970; 高野ら, 1968)。

酪酸菌の増殖を抑制する第二の方法はpHを下げることである。酪酸菌の至適pHは7.0~7.4であり、pHをこのレベル以下に下げると十分な乳酸が生成されれば、酪酸菌の生育は抑制される(McDONALDら, 1991)。pHを低下させる最も一般的な方法は乳酸発酵を促進させることであるが(McDONALDら, 1991; 内田, 1999)、前述のように乳酸発酵の微弱な低水分原料草では高・中水分原料草に匹敵するpHの低下は望めない。そこで低水分原料草に酪酸菌を添加して乳酸生成量を高める検討が行われている。高・中水分原料草に酪酸菌を添加し、発酵品質を改善する方法は古くから行われており、その効果は確認されているが(WATSONとNASH, 1960)、低水分原料草に対する添加試験は近年始められた。KUNGら(1987)およびPHILLIPら(1990)はアルファルファに、また、JONSSONら(1990)はチモシーとメドウフェスクに、それぞれ酪酸菌製剤を添加してサイレージを調製した結果、乳酸含量が高まり、pHが低下し、酪酸生成が抑制されたことを報告した。また、NELSONら(1989)は、酪酸菌製剤の添加により、乾物(DM: Dry matter)および窒素の消化率が向上することを示した。

このように、酪酸菌の添加が低水分サイレージの発酵や消化性改善に有利に働くという報告がある一方、添加効果は認められなかったという報告もある(KENTら, 1989; MIRら, 1995)。また、低水分サイレージに対する酪酸菌添加が家畜反応に及ぼす影響について、ヒツジでは、酪酸菌添加により繊維消化

率は向上するものの、乾物摂取量(DMI: Dry matter intake)は増加しないこと(PHILLIPら, 1990)、泌乳牛では、DMI、乳量、乳成分に無添加区との差がないこと(KUNGら, 1987; KENTら, 1989)、育成雄牛でも、DMIおよび日増体量について酪酸菌の添加効果は認められないこと(MIRら, 1995)などが報告されている。

以上、低水分原料草への酪酸菌添加については、サイレージの品質向上効果およびそれを給与した家畜反応に関する効果として一貫した報告がなされていない現状にある。この点についてPITT(1990)は、酪酸菌添加はサイレージのpH低下に効果的であり、特に20°C以下の環境温度下で顕著であるが、家畜生産に対する効果は、外気温が20°C以下で、かつ湿度の低い環境で調製した場合以外は見込みがなく、それゆえ夏期に収穫する2番草では効果が低いことを報告した。さらに、コスト面から酪酸菌添加サイレージは無添加サイレージに比較してDM損失を75%以上少なくするか、家畜生産性を33%以上向上させないと添加による経済的效果はないことを述べている。以上のことから、低水分原料草を用いたサイレージ調製において、酪酸菌の生育を阻止するためには、酪酸菌添加によるpHの低下よりも、予乾による牧草中水分含量の低減の方が効果的かつ安定的で、コスト的に有利であることが示唆されている。

低水分サイレージが高・中水分サイレージや乾草と同様に貯蔵粗飼料として利用可能であることは、前述のようにこれまでの研究で明らかにされている。一方で、ロールベールサイレージにおける調製時の最適水分含量は、現状では50~65%の水分域を推奨する報告が多く、50%以下の極端な低水分域は勧められていない(BEAULIEUら, 1993; 萬田, 1994; 松本ら, 1989; 杉本ら, 1990)。これは、低水分サイレージで顕在する燻炭化、カビまたは酵母の発生のような主に好気性微生物の増殖による梱包後の品質劣化が危惧されることによる。牧草を低水分、特に水分含量30~40%台で調製した場合、酸素の存在下では好気性微生物の増殖・発酵による発熱が進み、乾草では自然発火が、また密封不完全なサイレージでは燻炭化の起きる危険性が指摘されている(杉本, 1989)。MILLERら(1967)は、水分含量19~59%の乾草を調査し、水分の増加にともなうカビ発生量の増加と発熱を認めた。この発熱は、蛋白質変性(BJAR-

NASON と CARPENTER, 1970) により牧草中の結合蛋白質 (BP: Bound protein) を増加させるとともに、家畜の嗜好性ならびに消化率の低下などの原因となる (GARCIA ら, 1989; GOERING ら, 1973; GOERING, 1976; MAEDA ら, 1988, MONTGOMERY ら, 1986; YU, 1976; YU と THOMAS, 1976; YU と VEIRA, 1977). この水分域で調製した乾草あるいはサイレージの発熱の程度は梱包の大きさに異なり、コンパクトベールに比較してロールベールは特に発熱が起きやすいとされている (MONTGOMERY ら, 1986; 杉本, 1989). この理由として、ロールベールは1梱包の体積が大きいため、梱包時に内部に残存した酸素や貯蔵時の酸素侵入により内部で好気性微生物による発熱が起こると、放熱ができずに、熱が蓄積することが挙げられている (杉本, 1989). さらに、ロールベールサイレージは、空気が侵入しやすく、高 pH になりやすいため *Listeria monocytogenes* 汚染の危険性が高いことも指摘されている (FENLON ら, 1989).

これを抑制する最も効果的な方法は空気の侵入を防止することであるが、バッグ被覆のロールベールでは困難であることが示唆されている (FENLON ら, 1989; McDONALD ら, 1991). そこで近年、このような微生物による品質劣化を添加剤により抑制する試みが行われているが、これまでのところアンモニア添加以外では芳しい成果が得られていない (COLLINS ら, 1987; GROTHEER ら, 1985; HARRISON, 1985; MARLEY ら, 1976). 一方、KELLER ら (1998) がラップ被覆したロールベールのカビおよび酵母の抑制方法に関する検討を行った結果、添加剤による抑制効果よりもフィルム被覆層数を増やすことで得られる効果の方が大きいことを認めている。

以上、低水分ロールベールサイレージの好気性微生物による品質劣化抑制については、サイレージ添加剤の利用以上にフィルム被覆による空気遮断が効果的であると考えるのが現状であろう。

しかしながら、これまで単にフィルムで被覆しただけの低水分ラップサイレージの安定調製に関する報告は少なく、50~65%の水分域で慣行的に行われている重複率50%4層の被覆方法 (萬田, 1994; 萬田, 1999; 松本ら, 1989) がそのまま適用可能であるかという問題が残されている。糸川ら (1995) の試験では、低水分ラップサイレージを2層のフィルム被覆で3か月間貯蔵した結果、好気性菌による内部発熱は抑制されたが、松本ら (1989) の試験では、

3層のフィルム被覆でもベール内部にカビが発生し、発熱が起こっている。また KELLER ら (1998) は、アルファラップサイレージのフィルム被覆層数を4, 6, 8および10層として5か月間貯蔵した結果、良好な発酵を保つためには6層以上の被覆が必要であることを報告している。このように、低水分ラップサイレージのフィルム被覆層数に関しては一定の見解が得られておらず、さらなる研究蓄積が必要なものと考えられる。

被覆フィルムの色に関しては、主に黒色系および白色系のものが市販されており、一般的には黒色系フィルムが耐候性では優れているという評価が多い (萬田, 1994). しかしながら、黒色系フィルムは白色系に比較してベール表層温度が高いことも事実であり (糸川ら, 1995; 萬田, 1994), この現象が蛋白質の熱変性に関与している可能性が考えられる (GOERING ら, 1972; GOERING ら, 1973; GOERING, 1976; MONTGOMERY ら, 1986) ことから、フィルム色が貯蔵中の品質劣化に及ぼす影響についての検討も必要と考えられる。

## 2) フォーレージマットメーカーによる牧草の摩砕効果に関する研究

粗飼料調製時の栄養損失は、牧草の生育過剰、収穫後の植物の呼吸、機械的損失、被雨による損失、貯蔵時の損失などに大きく分類されており、これらを総合した損失は植物の栄養素の約20~40%と計算されている (BARRINGTON と BRUHN, 1970; SAVOIE ら, 1982). このうち、機械的損失および被雨による損失を圃場での予乾速度向上により抑制する試みが行われ、フォーレージマットメーカー (以下、マットメーカーとする) が開発された (AJIBOLA ら, 1980; KOEGEL ら, 1986; ÖZTEKIN と ÖZCAN, 1997; SAVOIE ら, 1993). マットメーカーの機構は、刈り取った牧草をマットメーカー前部のピックアップで取り込み、摩砕部のロールでひねりながら摩砕圧縮し、マット状に成形後、刈株上に敷設していくもので、摩砕による牧草表面積の増加とともにマット上面および下面の自然通風により乾燥速度を向上させるものである。近年、マットメーカー前部にモアを取付けた、刈取り・摩砕・マットメーカー一体型の機械も開発され (SAVOIE ら, 1997; SAVOIE ら, 1999), 実用化が検討されている。

欧米ではマットメーカーが開発されて以来、慣行法

としてのコンディショナによる圧折予乾方法との乾燥速度比較試験が行われている。SHINNERSら(1986)およびÖZTEKINとÖZCAN(1997)は、アルファルファの乾燥速度を調査し、マットの時間当たり乾燥速度は慣行法の1.5~3.0倍であることを報告した。また、SAVOIEら(1993)の試験におけるマットの乾燥速度は、慣行法に比較してチモシーで61%、アルファルファで137%高いことが認められた。

マットメーカーによる牧草の摩砕処理の効果については、乾燥速度の向上のみならず、茎部圧搾による埋草密度の向上や、サイレージ発酵の促進に関する検討も行われている。サイレージの埋草密度について、SHINNERSら(1988)は、摩砕したアルファルファは、細切したものと比較して埋草密度が高くなることを、また、STRAUBら(1989)は、摩砕処理がロールベールの梱包密度を20~50%上昇させることを認めている。サイレージ発酵の促進効果について、MUCKら(1989)、CHARMLEYら(1997)およびSAVOIEら(1996)は、摩砕処理は牧草の表面積を増大させ、乳酸菌に供給できる牧草の可溶性糖類を増やすため、埋蔵初期に乳酸含量が急激に増加し、pHが急速に低下することを示している。高・中水分サイレージの場合は、埋蔵時に摩砕の効果が加わることにより、乳酸菌の付着可能面積が増え、可溶性炭水化物の乳酸菌による利用が促進されることは想像に難くない。しかしながら、乳酸菌の活性が低下する低水分域のサイレージ調製で、乳酸発酵に対する摩砕の効果が発現するかどうかについては未だ研究の余地が残されている。

この他、摩砕処理は生草や乾草の分解性や消化率を高める効果のあることが示されている。HONGら(1988a)、HONGら(1988b)およびSIROHIら(1988)は、アルファルファ生草あるいは乾草の第一胃内分解率を測定し、摩砕処理によって茎部の中性デタージェント繊維(NDF: Neutral detergent fiber)分解速度および分解率が高まることを報告した。また、HONGら(1988a)はアルファルファ乾草で、PETITら(1994)はアルファルファおよびチモシー乾草で消化試験を行い、摩砕処理が消化率を向上させ、DMIを増加させることを報告した。

一方、高・中水分サイレージでは生草や乾草と異なり、摩砕処理による第一胃内分解性向上の効果は認められておらず(AGBOSSAMEYら, 2000)、消化率やDMIの向上効果も認められていない(CHARMLEY

ら, 1997; FROSTら, 1995; MERTENSとKOEGL, 1992)。また、泌乳牛にアルファルファサイレージを給与した試験では(SUWANOら, 2000)、DMI、乳量および乳成分に摩砕処理の効果は現れなかった。BRODERICKら(1999)が、141頭の泌乳牛にサイレージを給与して行った飼養試験では、4回中2回の試験で摩砕によるOM消化率の向上、乳量ならびに乳中の蛋白質および無脂固形分量の増加がみられたものの、残る2試験ではこれらに処理区間差は認められなかった。

以上、摩砕処理が粗飼料の分解性・消化性や家畜の生産性向上に及ぼす影響について、生草および乾草では効果の高いことが確認されているが、高・中水分サイレージでは一定の見解が得られておらず、低水分サイレージに関する報告はない。

我が国では、NISHIZAKIら(1997)が、マットメーカーを開発し、アルファルファの摩砕圧縮予乾法はロータリーテグダによる攪拌・反転予乾法に比較しても乾燥速度が速いことを報告している。晴天が長く持続しない我が国では、圃場での予乾時間の短縮が飼料調製上の大きな課題であり、マットメーカーによる摩砕処理はこれを解決できる可能性が大きい。そのため、上述した既知の項目について、我が国で開発されたマットメーカーによる、草種や生育時期を変えたさらなる研究の蓄積が必要であると考えられる。また、これまで検討されていない低水分サイレージに対する摩砕処理の影響について、分解性、消化性などに関する試験例の蓄積が必要である。

### 3) 低水分ロールベールサイレージの品質評価に関する研究

サイレージの品質を評価する際には、そのサイロを代表する試料をいかに得るかに留意する必要がある(農林省草地試験場, 1975)。ロールベールの試料採取方法は、直径1インチ×長さ36インチのコアサンプラーで試料をベール数カ所から抜き取る報告が多い(MARLEYら, 1976; MONTGOMERYら, 1986; RUSSELLとBUXTON, 1985; RUSSELLら, 1990)。このサンプラーは表層からベール中心部までの試料を採取可能であるが、サンプラー筒が細く採取量が少ない上、操作性が良好とはいえない。また、試料採取位置が報告ごとに異なり、品質面からの採取精度の検討がなされていない。そのため、試料採取装置の仕様を再検討するとともに、ベールを代表する試



料採取位置の特定を行う必要がある。

流通に際しては実規模圃場で生産された多数のベール（1ロット）の中から代表とすべき試料採取用ベールの選抜方法を確立する必要がある。篠田ら（1984）は、流通コンパクトベール乾草の品質調査において、1ロットのうち、なるべく多くのベールから1試料ずつ採取して、それらを一括し分析すればよいことを報告した。低水分ラップサイレージでも同様に全ベールの試料を採取できれば良いが、被覆フィルムに穴を開けて採取することになるため、この穴を介して内部に空気が侵入し、これがベールの温度上昇やカビ・酵母の発生、好气的変敗の原因となる（糸川ら、1995；杉本ら、1990）。ロット全体の品質劣化を可能な限り回避するためには、ロットを代表する試料採取用ベールの抽出個数を少なく設定しなければならない。

サイレージの品質評価には、そのサイレージの特性を適正に把握できる指標の選定が必要となる。通常、サイレージの品質は栄養価と発酵品質により査定される。栄養価評価は水分、粗蛋白質（CP: Crude protein）、粗脂肪（EE: Ether extract）、粗繊維および粗灰分を測定する一般飼料成分分析法の他、繊維成分を反芻家畜の利用に即して分画するデタージェント法（VAN SOEST ら、1991）や酵素法（阿部、1988）により行われており、これら分析体系にもとづいて消化率や可消化養分総量（TDN: Total digestible nutrient）含量、エネルギー価などが計測されている。飼料の栄養価は家畜の飼料設計や健康管理上、必須項目であり欠かすことはできない。近年では近赤外分光法（NIRS: Near infrared reflectance spectroscopy）を応用した迅速分析法が実用化されており、CP 含量、繊維成分である酸性デタージェント繊維（ADF: Acid detergent fiber）、NDF 含量、酵素分析法の細胞壁の有機物部分（OCW: Organic cell wall）、細胞壁の低消化性画分（Ob: Organic b）および細胞内容物の有機物部分（OCC: Organic cell content）含量では高い分析精度が得られている（甘利ら、1987；MARTEN ら、1984；水野ら、1988a；NORRIS ら、1976；O'KEEFFE ら、1987；SHENK ら、1981）。また、NIRS は飼料の *in vitro* および *in vivo* による可消化率・可消化量についても精度良く推定できることが報告されており（甘利ら、1989；甘利ら 1998；LIPPKE と BARTON, 1988；水野ら、1988b；REEVES ら、1991）、分析の迅速性、簡便性および精

度が要求される流通粗飼料の栄養評価について、NIRS の利用性は高まるものと考えられる。

他方、発酵品質は貯蔵中にサイレージ発酵がどのように進行したかを表し、貯蔵が良好であったのか不良であったのかを判断する指標といえる（増子、1996）。サイレージ調製の原理は酪酸発酵を阻止することであり、サイレージの飼料価値は、添加物による栄養価向上の場合を除いて、原料草の飼料価値以上になることはない。したがって、詰め込み時の原料草の飼料価値が重要であり、サイレージの発酵品質の改善はそれらを維持することにある（内田、1999）。サイレージの発酵品質を査定する代表的な方法としてフリーク法（森本、1971）が挙げられる。これはサイレージ発酵で生成された乳酸、酢酸、酪酸のモル比から評点を算出する方法で、これら3種の酸以外は定量されないため、特に、ギ酸やその他酸剤を添加したサイレージの評価は難しい。そこで高野と安宅（1986）は、フリーク法に pH および VBN/TN 比を追加した方法を開発した。また、簡便法は1950年代から作成されており、BUTLER と BAILEY（1973）は、pH、酪酸含量および VBN/TN 比を指標とした4種類の格付け基準を紹介している。さらに、McDONALD ら（1973）による pH と VBN/TN 比を指標とした方法や、北海道農業試験会議（1989）による原料草の刈り取り時期やマメ科割合などに発酵品質を組み込んだ方法が作られている。しかしながら、これらの方法は本来、高水分乳酸発酵型サイレージを対象としているため、低水分サイレージのように発酵が弱く（McDONALD ら、1991）、乳酸生成が少なく、高 pH で、VFA はおもに酢酸が生成される（MUCK と SPECKHARD, 1984；大山と柘木、1968）サイレージや、ギ酸やその他酸剤の添加により発酵が抑制されたサイレージの品質を過小評価する傾向がある。自給飼料品質評価研究会（1994）ではこの点を考慮し、飼料の変質程度を評価する観点から、発酵品質を VBN/TN 比、酢酸＋プロピオン酸含量および酪酸含量を指標として評価する基準（V-SCORE）を提案したが、極端な低水分サイレージの場合には品質を過大評価する場合があることを指摘している。

以上、低水分ラップサイレージの品質評価には発酵品質の評価が不可欠であるかどうか、また、必要な場合には既存の評価法が適用可能であるかどうか、再検討する必要があるものと考えられる。

### 3. 本研究の目的および構成

本研究は、低水分ラップサイレージの調製方法(水分含量, 予乾時の摩砕圧縮処理, フィルム被覆方法, フィルム色) および貯蔵時の管理方法が開封後の品質に及ぼす影響を検討するとともに, 流通を想定した低水分ラップサイレージの品質評価法(試料採取法および品質評価指標の選定)に関する検討を行うことで, 低水分ラップサイレージの安定的な調製と適切な品質評価に資するための知見を得ることを目的としたものである。

本研究では上記の目的を達成するため, 以下の試験を実施した。

#### 1) フィルム被覆による低水分ロールベールサイレージの安定調製方法の検討

寒地型イネ科牧草の基幹草種であるチモシーを供試し, フィルム被覆層数および水分含量が低水分ラップサイレージの品質・貯蔵性に及ぼす影響を検討するため, 水分含量とフィルム被覆層数の異なる低水分ラップサイレージを調製し, 2カ月間貯蔵中のベール温度・酸素残存量の変化, 開封後の品質およびヒツジの採食性を調査した(実験1)。次に, フィルム被覆層数の異なる低水分ラップサイレージの長期貯蔵(11カ月間)を行い, 被覆層数が積雪寒冷地での越冬貯蔵性に及ぼす影響を調査した(実験2)。また, 調製後にフィルム破損処理を行った低水分ラップサイレージを供試し, 貯蔵中のフィルム破損がベール温度および開封後の品質に及ぼす影響を調査した(実験3)。さらに, フィルム色が低水分ラップサイレージの熱変性やベール内部の水分移動による発酵むらに及ぼす影響を検討するため, 夏季高温時に貯蔵した低水分ラップサイレージのフィルム色が, 貯蔵期間中のベール表面温度の変化ならびにベール内部の水分ムラ, 発酵品質およびBP含量に及ぼす影響を調査した(実験4)。

#### 2) 牧草予乾時の摩砕圧縮処理が低水分サイレージの消化性・栄養価に及ぼす影響

新技術としてデータの蓄積が求められている牧草の摩砕圧縮処理について, 我が国で開発されたフォーレージマットメーカーを用いた調製試験を行った。本試験は, 我が国で慣行的に行われているテッダによる攪拌予乾法とフォーレージマットメーカーによる摩砕圧縮予乾法との比較試験とし, 初めに予乾

方法の違いが原料草の予乾速度ならびにサイレージの飼料成分組成に及ぼす影響について調査した(実験5)。続いて, サイレージの摩砕圧縮処理が反芻家畜の第一胃内分解性に及ぼす影響を調査するとともに(実験6), 飼料成分の消化率とエネルギーの消化率および代謝率に及ぼす影響を調査した(実験7)。

#### 3) 低水分ラップサイレージ品質評価のための試料採取方法および評価指標の検討

実用的な低水分ラップサイレージの品質評価基準の策定を目的とし, はじめに低水分ラップサイレージの分析用試料の抽出・採取方法を検討した。ここでは, 実規模のロールベールから均一に試料を採取するコアサンプラーの検討を行なうとともにベール内の試料採取位置の検討を行った(実験8)。また, 低水分ラップサイレージのロット内の品質変動から分析用ベール抽出個数を設定した。同時に, 予乾終了時の原料草を用いた低水分ラップサイレージの品質予測を試みる前段として, 圃場内の原料草の水分, CPおよびADF含量の変動を解析し, 1圃場もしくは1ベールを代表する原料草の試料が適正かつ容易に採取可能かどうかを検討した(実験9)。最後に, 低水分ラップサイレージの適正な品質評価のために必要な分析項目の選定に関する検討を行った(実験10)。

## II. フィルム被覆による低水分ロールベールサイレージの安定調製方法の検討

### 1. フィルム被覆層数および水分含量が低水分ラップサイレージの品質に及ぼす影響(実験1)

#### 1) 目的

ロールベールサイレージ調製時の原料草の水分含量は50~65%程度の中水分域が推奨されており(BEAULIEUら, 1993; 萬田, 1994; 松本ら, 1989; NICHOLSONら, 1991; 杉本ら, 1990), これまで行われたバッグ被覆の試験結果では, 水分含量20~40%台の低水分原料をロールベールにした場合, ベール内部の温度上昇による品質劣化の危険性(MONTGOMERYら, 1986; 杉本ら, 1990)や燻炭化, 発カビ(杉本, 1989)などの問題が指摘されている。この問題点を克服するため, 各種酸剤などを添加したロールベールサイレージや高水分ロールベール乾草についての報告がなされている。COLLINSら(1987)は,



高水分アルファルファ乾草（水分含量 25%）にプロピオン酸製剤を添加し、無被覆で屋内貯蔵した結果、貯蔵中の損失に処理区間差は認められないことを報告した。また、MARLEYら（1976）は、水分含量 22.5~45.0%の乾草表面にプロピオン酸の誘導体である Methylene-bis-propionate (MBP) を噴霧し、その品質を検討した結果、MBP 噴霧はカビや細菌の抑制に効果が認められたものの、DM 損失、CP 含量およびベールの温度には影響を及ぼさないことを報告した。このように、無被覆で空気に爆された状態では、防黴剤としての効果が高いプロピオン酸系添加剤であっても（高野と安宅，1986），その効果は低いことが伺える。バッグ被覆では、HARRISON（1985）が、ロールベールサイレージ（水分含量 40 および 60%）に SO<sub>2</sub> を乾物重で 1% 添加した結果、サイレージの CP 含量が上昇した他は、成分的に添加効果が認められなかったことを報告した。

このように、低水分原料に対する酸剤の添加は、飼料の品質改善効果に関して一定の効果が認められておらず、さらに、家畜に給与した際の採食性の低下やコストの上昇などの問題がある。一方、単にフィルムで被覆しただけの低水分ラップサイレージの安定調製に関する報告は少なく（糸川ら，1995；松本ら，1989），中水分域で慣行的に行われている重複率 50% 4 層の被覆方法（萬田，1994）がそのまま採用可能であるかという問題が残されている。

そこで本実験では、水分含量とフィルム被覆層数の異なる低水分ラップサイレージを供試し、2カ月の貯蔵期間中のベール温度・酸素残存量の変化、開封後の品質およびヒツジの採食性の調査から、低水分ラップサイレージの品質を低下させない調製条件を検討した。

## 2) 材料および方法

### (1) 供試材料

出穂始めのチモシー (*Phleum pratense* L.: 品種ノサップ) 1 番草を供試し、水分含量 3 水準 (50, 40 および 20%: それぞれ M 50, M 40 および M 20 と略記)、フィルム被覆層数 2 水準 (重複率 50% で 4 層および 6 層巻き: それぞれ-4 および-6 と略記) の低水分ラップサイレージを各処理 2 個ずつ調製した。梱包はカッティングロールベアラ (タカキタ社製 パワーカットロールベアラ; ベールサイズは直径 1,450 mm × 幅 1,150 mm, 設定切断長 40 mm) で

行い、フィルム被覆は市販の黒色フィルム (幅 0.5 m, 厚さ 0.25 μm) を用いた反転装置付きラッピングマシン (タカキタ社製 WM1520A 特別仕様) で行った。なお、M 40 については無被覆ベールの変敗程度を調査するため、被覆せずにビニールシートを掛けただけの区 (M 40-0) も設けた。貯蔵は縦 1 段積みで約 2 カ月間行い、その間、ベール中心部の温度を熱伝対センサで 1 時間毎に計測した。また、M 40 および M 20 のベールについては熱伝対センサと同位置に挿入したパイプに酸素計 (Bacharach, Inc. FYRITE Gas Analyzer) を接続し、貯蔵後 1 週間のベール内部の残存酸素含有率を計測した。開封後に、カビ発生程度の調査、飼料分析およびヒツジによる採食試験を行った。カビの発生程度は、ROBERTSら（1987）の相対評価法に準じた 3 段階の評価指標 (-: 視認できるカビなし, +: 若干のカビが視認できる, ++: ベールのほぼ全体がカビに覆われている) により判定した。分析用試料は、開封時にベールの 4 箇所 (Fig. 1) から表面~内側 20 cm の試料を後述する方法 (実験 8) でコアサンプラーにより採取し、得られた試料を混合した後、分析に供した。

### (2) 家畜試験

採食試験は各水分水準とも、密閉度が高く品質がより安定していると推察された 6 層被覆サイレージと、対照として同じ原料草から調製したロールベール乾草をそれぞれ細切 (切断長 20 mm) 後、去勢雄ヒツジ 4 頭 1 群に飽食量を給与して、予備期 1 週間、本期 1 週間の試験を行い、DMI および飽食量給与時の消化率を求めた。

### (3) 化学分析および統計解析

採取した試料は半量を 60°C で 48 時間通風乾燥した後、1 mm 目の篩を通して粉碎し飼料成分分析に供した。水分含量は 135°C 2 時間乾燥法 (自給飼料品質評価研究会, 1994) で定量し、新鮮物中の含有率で示した。また、CP 含量はケルダール法で (森本, 1971), NDF および ADF 含量は阿部の方法 (阿部, 1988) でそれぞれ定量し、DM 中の含有率で示した。BP 含量は ADIN として測定し (NRC, 1985), 全窒素中の含有率 (ADIN/TN 比) で示した。また、残る半量の試料はサイレージの発酵品質の分析に供した。抽出は大山の方法 (森本, 1971) に従って行い、VFA 含量はガスクロマトグラフィーで測定した。VBN は水蒸気蒸留法 (自給飼料品質評価研究会,

1994)で測定し、全窒素中の値(BVN/TN比)で示した。サイレージの発酵品質の評価はV-SCORE(自給飼料品質評価研究会, 1994)で行った。統計処理は全てSASのGeneral Linear Models Procedure(SAS出版局, 1990)を用いて行った。

### 3) 結 果

原料草の飼料成分組成をTable 1に示した。原料草のDM中CP, ADFおよびNDF含量はそれぞれ7.8~8.1%, 39.3~40.3%および67.5~69.8%で各区ともほぼ同様の値であった。また, ADIN/TN比も11.7~13.0%の範囲にあった。

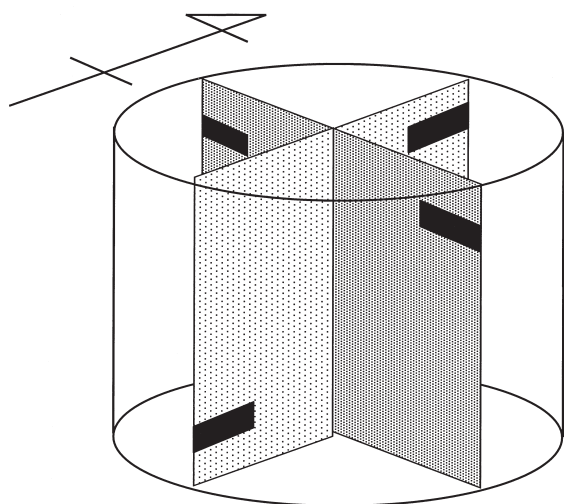


Fig. 1. Sampling sites of round bale silage.

■ : Samling sites

貯蔵中のべール中心部の温度変化をFig. 2に示した。フィルム被覆したべールは各水分水準でフィルム層の違いによる差が認められなかったため、フィルム4層巻のべールについてのみ表示した。M40-0は貯蔵直後から急激に温度が上昇し、4日目に最高温(57°C)に達した後、25日目まで50°C以上の高温が持続した。M50およびM40は常に25~30°Cで推移した。また、M20は初期の温度上昇が低下するまで約1週間を要した後、25~30°Cで推移した。

貯蔵後1週間のべール中心部の残存酸素含有率をFig. 3に示した。M40-0は酸素含有率の減少程度が小さく、貯蔵後1日で14.5%に達した後は、14%で推移した。M40-4およびM40-6は貯蔵後急速に減少し、約1日でほぼ消失した。また、M20-4およびM20-6は減少が緩やかであったが、貯蔵後2日目で

Table 1. Chemical composition of herbage before ensiling.

Item	M 50 <sup>1)</sup>	M 40	M 20
Dry matter (%)	52.7	64.1	78.5
Crude protein (DM%)	8.1	7.8	7.8
Acid detergent fiber (DM%)	39.4	39.3	40.3
Neutral detergent fiber (DM%)	67.5	68.9	69.8
ADIN/TN (%) <sup>2)</sup>	11.7	12.1	13.0

<sup>1)</sup>M 50, M 40 and M 20: 50, 40 and 20% of moisture content, respectively.

<sup>2)</sup>ADIN/TN: Acid detergent insoluble nitrogen/Total nitrogen.

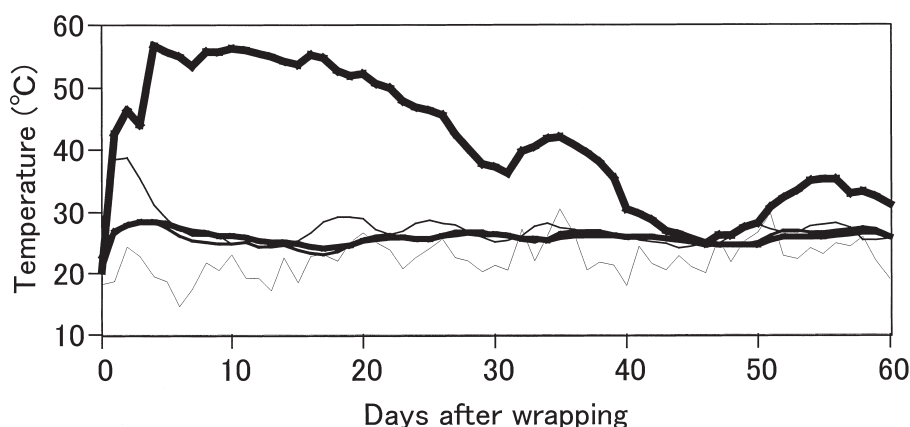


Fig. 2. Mean temperature at the center of bales with levels of initial moisture content.

— M40-0, <sup>1)</sup>— M50-4, - - M40-4, ··· M20-4, ··· Ambient

<sup>1)</sup>M50, M40 and M20: Moisture contents of 50, 40 and 20%, respectively.

-0 and -4: 0 and 4 wrapping layers, respectively.

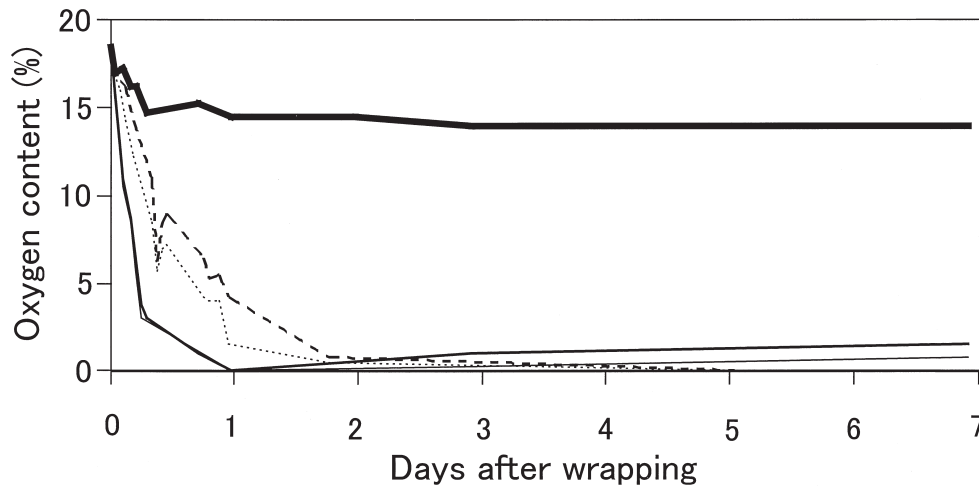


Fig. 3. Oxygen contents at the center of bales with initial moisture content of 20 or 40%.

— M40-0, <sup>1)</sup>— M40-4, — M40-6, ---- M20-4, --- M20-6

<sup>1)</sup>M40 and M20: Moisture contents of 40 and 20%, respectively.

-0, -4 and -6: 0, 4 and 6 wrapping layers, respectively.

消失した。

サイレージのDM密度、飼料成分組成および発酵品質をTable 2に示した。DM密度は150~161 kg/m<sup>3</sup>であり、全てのバールに有意差は認められなかった。フィルム被覆を行ったサイレージは、水分水準およびフィルム層の厚さにかかわらず、カビの発生は認められなかった。また、これらのCP, ADFおよびNDF含量にも差は認められなかった。発酵品質は、pHが4.5~5.7、酢酸含量が0.32~0.04%、VBN/TN比が5.7~2.1%の範囲にあり、発酵は微弱で、水分含量が低下するに従って、その傾向は顕著になった。また、V-SCOREによる評点は全て96点以上の良質サイレージであった。一方、フィルム被覆しないバール(M40-0)は、貯蔵後3日目から表面に白カビが発生し始め、開封時にはバール全体がカビで覆われ、内部は褐変した。また、被覆したバールと比較してADFおよびNDF含量が有意に高く、またADIN/TN比も29.8%と顕著に高い値を示した。M40-0の発酵品質はpHが7.3と高く、VFA生成量は少なく、発酵は微弱で、強いカビ臭が認められた。

ヒツジの採食試験結果をTable 3に示した。なお、供試した乾草は日本標準飼料成分表(1995)の同一ステージの乾草と比較するとCP含量が1.2%低く、ADFおよびNDF含量が5.1および14.7%高く品質は劣るものの、供試サイレージと同一の原料草から調製した乾草であり、同一の飼料成分組成で

あったことから比較対照として供試した。ヒツジのDMIはM40と乾草が最も高く、次いでM20, M50の順であった。また消化率は粗脂肪で処理区間に有意差が認められたものの、TDN含量は58.1~59.3%で処理区間差はなかった。

#### 4) 考 察

低水分原料草をサイレージ調製すると発酵は抑制され、相対的に酢酸含量の高いサイレージができることは知られている(McDONALDら, 1991; 野中と名久井, 1995; 大山と柁木, 1968)。本試験では、ラップフィルムで密封した場合、どの程度まで水分含量を低下できるかを解明するため、水分水準を変えて調製したラップサイレージの発酵品質と水分の関係を検討した。その結果、いずれのバールでも原料水分が50%以下の場合、サイレージの発酵が微弱で、VFAは主に酢酸が生成され、水分含量の低下に従いその含量は減少し、水分20%ではほとんど生成されないことが示された。また、不良発酵の指標とされる酪酸やVBNの生成も抑制されて、サイレージの発酵品質指標であるV-SCOREも高く、優れたサイレージ調製が可能であった。一方、フィルム被覆しない場合には、貯蔵3日目からカビや酵母が増殖し、最終的には飼料として不適になることが示された。このようにラップフィルムによってサイレージ内部の嫌気性を維持することにより、水分20~50%の低水分原料でも高品質サイレージ調製が



Table 2. Chemical composition and fermentation characteristics of silage bales.

Item <sup>1)</sup>	M 50-4 <sup>2)</sup>	M 50-6	M 40-0	M 40-4	M 40-6	M 20-4	M 20-6
No. of wrapping layers	4	6	0	4	6	4	6
Bale density (kg/m <sup>3</sup> DM)	158	155	161	161	154	150	159
Mold (-, +, ++) <sup>3)</sup>	-	-	++	-	-	-	-
Chemical composition							
Dry matter (%)	49.9 <sup>c</sup>	50.5 <sup>c</sup>	77.6 <sup>a</sup>	60.9 <sup>b</sup>	61.7 <sup>b</sup>	76.1 <sup>a</sup>	76.3 <sup>a</sup>
Crude protein (DM%)	8.8	8.7	8.8	8.4	8.3	8.2	7.8
Acid detergent fiber (DM%)	40.6 <sup>b</sup>	41.1 <sup>b</sup>	47.6 <sup>a</sup>	39.9 <sup>b</sup>	40.0 <sup>b</sup>	40.3 <sup>b</sup>	39.1 <sup>b</sup>
Neutral detergent fiber (DM%)	68.7 <sup>b</sup>	69.3 <sup>b</sup>	78.8 <sup>a</sup>	70.2 <sup>b</sup>	71.0 <sup>b</sup>	71.1 <sup>b</sup>	70.1 <sup>b</sup>
ADIN/TN (%)	10.2 <sup>b</sup>	10.9 <sup>b</sup>	29.8 <sup>a</sup>	9.8 <sup>b</sup>	12.6 <sup>b</sup>	11.1 <sup>b</sup>	11.0 <sup>b</sup>
pH	4.5 <sup>d</sup>	4.5 <sup>d</sup>	7.3 <sup>a</sup>	5.1 <sup>c</sup>	5.1 <sup>c</sup>	5.7 <sup>b</sup>	5.6 <sup>b</sup>
Volatile fatty acids (%)							
Acetate	0.32 <sup>a</sup>	0.29 <sup>ab</sup>	0.05 <sup>c</sup>	0.23 <sup>b</sup>	0.21 <sup>b</sup>	0.05 <sup>c</sup>	0.04 <sup>c</sup>
Propionate	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0
Butyrate	0.01	0	0.03	0.01	0	0	0.01
VBN/TN (%)	5.47 <sup>a</sup>	5.67 <sup>a</sup>	3.97 <sup>b</sup>	3.12 <sup>c</sup>	3.09 <sup>c</sup>	2.30 <sup>d</sup>	2.08 <sup>d</sup>
V-SCORE	96	96	-	98	99	100	99

<sup>1)</sup>ADIN/TN: Acid detergent insoluble nitrogen/Total nitrogen, VBN/TN: Volatile basic nitrogen/Total nitrogen.

<sup>2)</sup>M 50, M 40 and M 20: Moisture contents of 50, 40 and 20%, respectively.

-0, -4, and -6: 0, 4 and 6 wrapping layers respectively.

<sup>3)</sup>-: No visible mold, +: Some visible mold, ++: Mycelial mat throughout the bale.

<sup>a</sup>, <sup>b</sup>, <sup>c</sup> and <sup>d</sup>: Mean values with different superscript letters were significantly different ( $P < 0.01$ ).

可能なことが明らかになった。

次に、調製したサイレージが飼料として適当かどうかを判定するため、水分含量の異なるラップサイレージについてヒツジによるDMIを測定し、同一原料草から調製した乾草の摂取量と比較した。その結果、水分50%のサイレージは乾草に比べて劣ることが示された。この理由はサイレージの発酵品質、飼料片の消化管内通過速度 (DESWYSENら, 1987; McDONALDら, 1991)などが考えられるが、本試験からは明確に説明できない。サイレージのVFA生成量と家畜の採食性の関係について、WILKINSら (1971)は、DM中の酢酸含量が0.2~7.9%の牧草サイレージ70点を供試し、酢酸含量とヒツジの採食量の間有意な負の相関を認めた。また、HUCHINSONとWILKINS (1971)やBUCHANAN-SMITH (1990)もサイレージの酢酸含量が増加するとヒツジの嗜好性は低下するという報告を行っている。本試験では上述の報告と同様の傾向は得られたものの、酢酸含量は処理区間に有意差が認められないことから、今後、微弱な発酵に伴うサイレージ中可消化成分の分解程度やサイレージ中の香気成分と摂取量の関係を解析する必要がある。他方、水分20および40%のサイレージは乾草と同等の摂取量であることが認めら

れ、原料草が同一であれば乾草と比較して遜色ない飼料であるものと判断された。

水分40~60%に予乾した低水分原料をロールベールに梱包してバッグで貯蔵した場合、バッグ内部の残存酸素量が多く、原料草の呼吸熱や好気性微生物の増殖の影響でベール温度が上昇し、それにもなう蛋白質変性が起こりやすいとされている (MONTGOMERYら, 1986; 杉本ら, 1990)。一方、フィルム被覆の場合には2層巻きでも半年程度の短期貯蔵の場合、気密状態が保たれ内部発熱が抑制されて、燻炭防止効果が顕著であると報告されている (糸川ら, 1995)。そこで本試験では、既報よりさらに低い水分20~50%のチモシーについて2カ月間の貯蔵を行い、フィルム被覆層数とサイレージの品質の関係を検討した。その結果、出穂期刈り取り原料では強く予乾すると茎部が堅くなり、2層巻き被覆ではピンホールが多発し密封を維持することが困難であった。そこで4および6層の被覆を行ったところ顕著な発熱がみられなかった。しかし、水分が低いM20では埋蔵初期に温度上昇が認められた。BJARNASONとCARPENTER (1970)およびCOBLENTZら (1996)の報告では、高水分乾草や低水分サイレージで本試験と同様の温度上昇が認められているが、本

**Table 3.** Chemical composition, dry matter intake and apparent digestibility of silage and hay.

Item <sup>1)</sup>	M 50 <sup>2)</sup>	M 40	M 20	Hay <sup>3)</sup>
Chemical composition				
DM(%)	50.5	61.7	76.3	85.1
CP(DM%)	8.7	8.3	7.8	7.5
EE(DM%)	3.1	2.7	2.4	2.2
ADF(DM%)	41.1	40.0	39.1	39.2
NDF(DM%)	69.3	71.0	70.1	70.4
Daily DMI (g/kgBW <sup>0.75</sup> )	42.9 <sup>B</sup>	53.3 <sup>A</sup>	49.2 <sup>AB</sup>	51.4 <sup>A</sup>
Apparent digestibility (%)				
DM	60.4	59.8	60.1	59.0
OM	61.4	60.8	61.3	60.0
CP	54.1	48.7	48.3	50.3
EE	52.7 <sup>B</sup>	53.1 <sup>B</sup>	61.3 <sup>A</sup>	62.5 <sup>A</sup>
ADF	62.5	62.4	62.1	59.3
NDF	62.9	63.4	64.1	60.8
TDN (DM%)	59.3	58.8	59.3	58.1

<sup>1)</sup>DM: Dry matter, OM: Organic matter, CP: Crude protein, EE: Ether extract, ADF: Acid detergent fiber, NDF: Neutral detergent fiber, DMI: Dry matter intake, TDN: Total digestible nutrient.

<sup>2)</sup>M 50, M 40 and M 20: Moisture contents of 50, 40 and 20%, respectively.

<sup>3)</sup>Hay was made of the same herbage as that used for the silage.

<sup>A,B</sup>: Mean values with different superscript letters were significantly different ( $P < 0.01$ ).

試験の M 20 では最高温度が 39°C でその持続時間も短かったため品質への影響はなかった。M 40 および M 50 では発酵による残存酸素の消費により発熱が抑制されたと考えられる。開封時におけるサイレージの発酵品質 (V-SCORE) は水分水準の違いで若干の差異があるものの、いずれも優れており、フィルム層数の違いによる影響は認められなかった。松本ら (1989) も水分 40~70% のベールをフィルムで 4 層巻きすることで 6 カ月の貯蔵が可能と報告している。本試験の結果から、チモシーでは短期貯蔵の場合、水分 20~50% の低水分ロールベールサイレージでも 4 層以上のフィルム被覆ならば品質に影響なく気密性を保持できると考える。

## 2. フィルム被覆層数が低水分ラップサイレージの越冬貯蔵性に及ぼす影響 (実験 2)

### 1) 目的

実験 1 では、水分 20~50% の低水分ラップサイレージでも 4 層以上のフィルム被覆ならば品質に影

響なく気密性を保持できることが明らかとなった。しかしながら、越冬を含む長期貯蔵の場合には貯蔵中のフィルム劣化などにより品質が損なわれる危険性がある。そこで本実験では、フィルム被覆層数の異なる低水分ラップサイレージを 11 カ月間貯蔵し、被覆層数が積雪寒冷地での越冬貯蔵性に及ぼす影響を調査した。

### 2) 材料および方法

#### (1) 供試材料

実験 1 と同様のチモシーを水分含量 50% に予乾後、カッティングロールベールで梱包し、フィルム層 4 水準 (2, 4, 6 および反転 4 層被覆) の低水分ラップサイレージを 2 個ずつ調製した。フィルム被覆は反転装置付きラッピングマシンで行い、縦 1 段で 1997 年 6 月 13 日から 1998 年 5 月 12 日まで 11 カ月間貯蔵した。貯蔵期間中の最高気温は 31.6°C, 最低気温は -21.2°C で、積雪は 110 日、最大積雪深は 91 cm, 根雪消雪日は 1998 年 4 月 3 日であった。なお、反転 4 層のフィルム被覆はベールを重複率 50% で 2 層巻いた後、ベールの回転を逆向きにして 2 層巻く方法で、フィルムの重なり目からの雨水および融雪水の侵入を防ぐ効果を期待して行った。開封後、実験 1 と同様の方法で試料を採取した。

#### (2) 化学分析および統計解析

実験 1 と同様の方法で試料を飼料成分と VFA その他について分析し、統計解析を行った。

### 3) 結果

原料草の飼料成分組成とサイレージの DM 密度、飼料成分組成および発酵品質を **Table 4** に示した。

原料草は、DM 含量が 52.6% であり、DM 中の CP, ADF および NDF 含量はそれぞれ 10.2, 37.5 および 64.8% であった。また、ADIN/TN 比は 4.7% であった。

サイレージは、DM 密度が 129~135 kg/m<sup>3</sup> の範囲にあった。カビは 2 層巻きベールの表面に発生し、マット状の白カビが表面に散見され、中心部まで到達している部分があった。CP, ADF および NDF 含量は、全てのベールで差が認められなかった。ADIN/TN 比はフィルム層の厚さが増すにつれて低下する傾向にあったが、有意差は認められず、その値も 10% 以下であった。サイレージの発酵品質は、pH が 4.4~5.7, 酢酸含量が 0.49~0.70%, ま

Table 4. Chemical composition and fermentation characteristics of herbage and silage.

Item <sup>1)</sup>	Herbage		Silage (M 50) <sup>2)</sup>		
No. of wrapping layers		2	4	6	2+2 <sup>3)</sup>
Bale density (kg/m <sup>3</sup> DM)		132	129	135	132
Mold (-, +, ++) <sup>4)</sup>		+	-	-	-
Chemical composition					
Dry matter (%)	52.6	46.2	49.2	48.8	50.7
Crude protein (DM%)	10.2	11.3	11.0	11.0	10.7
Acid detergent fiber (DM%)	37.5	39.2	39.3	39.0	39.1
Neutral detergent fiber (DM%)	64.8	66.1	66.5	65.5	66.3
ADIN/TN (%)	4.7	6.7	5.9	5.7	5.6
pH		5.71	4.52	4.43	4.56
Volatile fatty acids (%)					
Acetate		0.70	0.49	0.57	0.63
Propionate		0.02	0.02	0	0
Butyrate		0	0.08	0.02	0.01
VBN/TN (%)		9.98	6.97	7.26	6.29
V-SCORE		-	82	87	90

<sup>1)</sup>ADIN/TN: Acid detergent insoluble nitrogen/Total nitrogen, VBN/TN: Volatile basic nitrogen/Total nitrogen.

<sup>2)</sup>M 50: Moisture contents of 50%.

<sup>3)</sup>2+2: Two layers wrapping in the usual direction followed by two layers wrapped in the reverse direction.

<sup>4)</sup>-: No visible mold, +: Some visible mold, ++: Mycelial mat throughout the bale.

た VBN/TN 比が 6.29~9.98% の範囲にあり、2 層巻きベールの pH、酢酸含量および VBN/TN 比が他のベールに比較して高い傾向にあった。2 層巻きベールはカビが発生したため、V-SCORE による採点が不可能であったが（自給飼料品質評価研究会、1994）、その他のベールはプロピオン酸および酪酸含量が 0~0.02% および 0~0.08% と低く、V-SCORE で 82~90 点の良品質サイレージであった。

#### 4) 考 察

低水分ラップサイレージを長期貯蔵した場合、たとえフィルムで被覆しても貯蔵中の品質劣化の危険性はある。この原因として、日射による表層のヒートダメージやフィルム自体の酸素透過性、粘着性の低下によるフィルム層間の通気（糸川ら：1995）および融雪水の侵入が挙げられる。そこでフィルム層数を違えたベールを越冬を含む長期貯蔵して調査した結果、2 層被覆のベールでは主にピンホールの影響と考えられるカビの発生が散見され、家畜への給与は不可能な状態であった。このため、乾草調製時の突発的な降雨を避けるため緊急避難的にラップ被覆する場合であっても、2 層巻きは推奨できない。他方、4、6 および反転 4 層被覆の場合にはいずれ

も品質に差がなく、表層の褐変が認められない高品質サイレージが調製可能であった。本実験を行った北海道は夏季の気温の日内較差が大きく、ベール表層温度は一時 50°C 以上を記録するがそれは持続せず、日没から翌朝にかけてはベール中心部温より低下する（野中と名久井、1995）。そのため表層のヒートダメージは起こらず、ADIN/TN も増加しなかったものと思われる。しかしながら、このヒートダメージに関しては夏季に高温が長時間持続する暖地では別途検討が必要であろう。フィルムの劣化については、フィルム層間の空気および水分侵入を防ぐ目的で行った反転 4 層被覆のみならず、通常の 4 層被覆でもカビの発生や品質劣化が認めらなかった。このことからチモシーの低水分ロールベールサイレージは、4 層巻き以上のフィルム被覆で気密性が保持できれば長期間の貯蔵であっても、品質劣化を防ぐことが可能であることが示された。

一方、アルファルファの場合は 4 層被覆であってもピンホールのできる危険性がある。KELLER ら（1998）は、水分 51~68% のアルファルファラップサイレージのフィルム被覆層数を 4、6、8 および 10 層として 5 か月間貯蔵した結果、良好な発酵を保つためには 6 層以上の被覆が必要であることを報告し



ている。この理由としてフィルムに空いたピンホールの影響が大きいことを挙げており、チモシーに比較して茎部の堅いアルファルファの場合には、カビや酵母の増殖を抑制するためフィルム被覆層数を増やす必要があるものと考えられた。

### 3. 貯蔵中のフィルム破損が低水分ラップサイレージの温度および開封後の品質に及ぼす影響(実験3)

#### 1) 目的

ラップサイレージでは貯蔵中に鳥獣害のようなフィルム破損が起こった場合、急速にカビや酵母の発生するおそれがある(萬田, 1994)。そこで本実験では、フィルム破損とサイレージの品質劣化程度との関係を調査するため、低水分ラップサイレージのフィルム破損部位がベールの温度および開封後の品質に及ぼす影響を調査した。

#### 2) 材料および方法

##### (1) 供試材料

実験2と同じ原料草をカッピングロールベールで梱包し、4層巻きのフィルム被覆を行った。その後、獣害を想定し、縦置き貯蔵したベールの円周面下部のフィルム表面一カ所に幅3 cm、長さ15 cmの傷を4本つけた円周面破損区、また鳥害を想定し、縦置き貯蔵したベールの天頂面に5×10 cmの範囲で直径1 cmの穴を8個開けた天頂面破損区および対照としてフィルムを破損させない区(対照区)を設け、各々2個ずつベールを調製した。貯蔵は2カ月間行い、その期間中は両破損区の破損部および対照区の中心部の温度変化を1時間毎に計測した。円周面破損区および天頂面破損区の試料は、フィルム破損部位を手で採取し混合した。対照区の試料は実験1と同様の箇所から採取し分析に供した。

##### (2) 化学分析および統計解析

実験2と同様の方法で試料を飼料成分とVFAその他について分析し、統計解析を行った。

#### 3) 結果

原料草の飼料成分組成をTable 5に示した。本実験では実験2と同様の原料草を用いたため、DM中のCP, ADF, NDF含量およびADIN/TN比は実験2の原料草と同様であったが、DM含量のみが5.2%低い値となった。

両破損区とも貯蔵約1週間後からフィルム破損部

Table 5. Chemical composition and fermentation characteristics of herbage and silage.

Item <sup>1)</sup>	Herbage		Silage (M 50) <sup>2)</sup>
			Ripped <sup>3)</sup> Control
No. of wrapping layers			4 4
Bale density (kg/m <sup>3</sup> DM)			133 146
Mold (–, +, ++) <sup>4)</sup>			++ –
Chemical composition			
Dry matter (%)	47.4	60.8	50.2
Crude protein (DM%)	10.2	14.5	11.3
Acid detergent fiber (DM%)	37.5	40.7	38.4
Neutral detergent fiber (DM%)	64.8	62.9	65.8
ADIN/TN (%)	4.9	18.5	5.3
pH			7.7 <sup>A</sup> 4.5 <sup>B</sup>
Volatile fatty acids (%)			
Acetate			0.04 0.42
Propionate			0.01 0.01
Butyrate			0.02 0
VBN/TN (%)			8.43 6.96
V-SCORE			– 92

<sup>1)</sup>ADIN/TN: Acid detergent insoluble nitrogen/Total nitrogen, VBN/TN: Volatile basic nitrogen/Total nitrogen.

<sup>2)</sup>M 50: Moisture contents of 50%.

<sup>3)</sup>Silage wrapped in film layers that had intentionally been ripped. Sample was picked from ripped point of bale.

<sup>4)</sup>–: No visible mold, +: Some visible mold, ++: Mycelial mat throughout the bale.

<sup>A,B</sup>: Mean values with different superscript letters were significantly different (P<0.01).

を中心にカビが発生し、開封時には円周面破損区はベール周囲部分(全面積の約50%)が表層から内部24~30 cmに亘りカビに覆われた。また、天頂面破損区は破損部から垂直に雨水などが侵入し、それに沿って円筒状にカビの発生が認められた(Fig. 4)。

ベール温度の経時変化をFig. 5に示した。円周面破損区は処理直後から急激に温度が上昇し、約1週間で48°Cに達した後、40°C以上で推移した。天頂面破損区の温度も円周面破損区と同様に上昇し、10日目で52°Cに達し、その後、30~55°Cの間を気温の変化と並行して変化した。対照区中心部の温度はフィルム被覆直後に若干上昇したものの常に20~30°Cで推移した。

サイレージの飼料成分組成をTable 5に示した。両破損区の破損部は、対照区に比較してDM含量が高く、CP含量は破損区および対照区がそれぞれ14.5%および11.3%、ADIN/TN比は同18.5%お

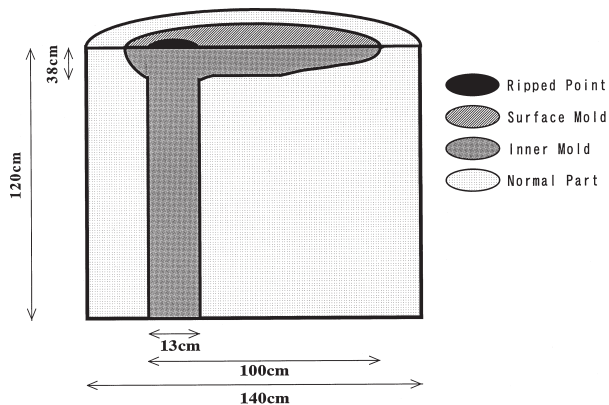


Fig. 4. Longitudinal section of a film ripped silage bale. (Ripped at the top of bale)

よび 5.3%と破損区が高かった。発酵品質は、対照区が pH 4.5, V-SCORE 92 点の良品質であったのに対し、破損区はカビの発生が顕著で、pH 7.7, V-SCORE による採点は不可能であった。

4) 考 察

フィルム破損と品質劣化の程度を調査した結果、破損部は破損直後から急激な温度上昇が認められ、約 1 週間で 48°C に達するとともにカビが視認できるまでに発生した。また、破損箇所との関連では、縦置き貯蔵した時に天頂面が破損した場合、破損部から垂直に円筒状にカビが発生するので可食部分が若干残る。一方、円周面の破損ではフィルムと牧草ベール表層間の空隙を水分や空気が移動しやすく、

大部分がカビに覆われ堆肥化することがわかった。このことから、低水分ラップサイレージの品質劣化を抑制するためには、特にベール円周面のフィルム保全が最も重要であることが示唆された。その対策として、梱包時のベール整形による凹凸の減少、フィルム被覆後の移動回数の減少、テグスや紐・防鳥ネットによる鳥獣害の回避などが挙げられる。また、フィルム破損が起こった場合には、直ちに補修を行い、ロールベールサイレージは可能な限り速やかに給与する必要のあることが示された。

4. フィルム色が低水分ラップサイレージの発酵品質および結合蛋白質含量に及ぼす影響 (実験 4)

1) 目 的

ロールベールサイレージ用ラッピングフィルムは、主に黒色系及び白色系のものが市販されており、一般的には黒色系フィルムが耐候性では優れているという評価が多い(萬田, 1994)。しかしながら、黒色系フィルムは白色系に比較してベール表層温度が高いことも事実であり(糸川ら, 1995; 萬田, 1994)、この現象が蛋白質の熱変性に関与している可能性が考えられる(GOERING ら, 1972; GOERING ら, 1973; GOERING, 1976; MONTGOMERY ら, 1986)。そこで本実験では、フィルム色が低水分ラップサイレージの蛋白質の熱変性やベール内部の水分移動による発酵ムラに及ぼす影響を検討するため、チモシーおよびアルファルファを供試し、夏季高温時に貯蔵した低

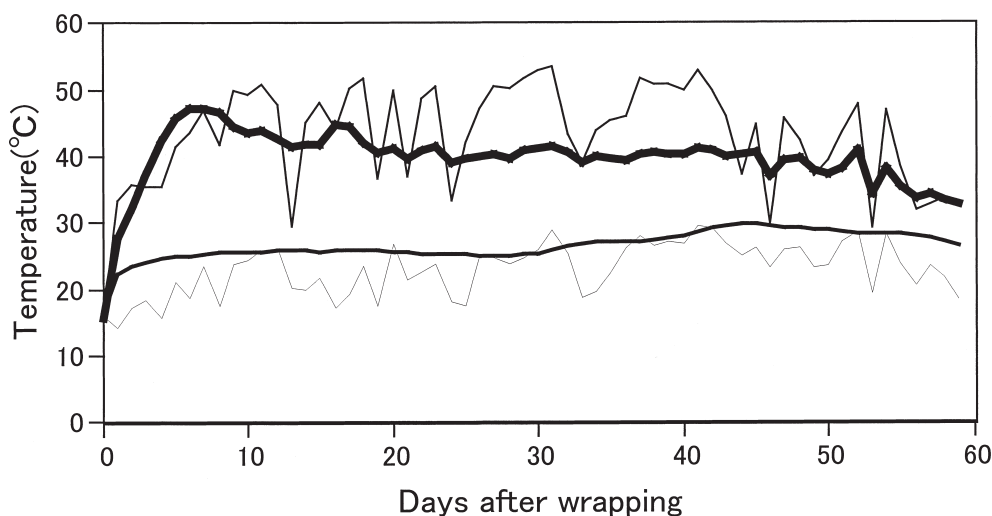


Fig. 5. Mean temperature of the film-ripped bales.

— Ripped at the lower side of the bale, — Center of the control bale,  
 — Ripped at the top of the bale, — Ambient.

水分ラップサイレージのフィルム色が、貯蔵期間中のベール表面温度の変化ならびにベール内部の水分ムラ、発酵品質およびBP含量に及ぼす影響を調査した。

## 2) 材料および方法

### (1) 供試材料

チモシー (*Phleum pratense* L.: 品種ホクオウ) およびアルファルファ (*Medicago sativa* L.: 品種5444) 1番草を早刈り(それぞれ栄養生長後期)、適期刈り(同, 出穂期および開花初期)、遅刈り(同, 開花期および開花揃い)の各生育期に収穫し、水分30~50%を目途に予乾した後、実験1で供試したカッピングロールベールで梱包し、8層被覆のラッピング処理を行った。ラッピングは各生育期とも黒色系もしくは白色系のラップフィルムで1個ずつ行い、チモシー6個、アルファルファ6個、合計12個のロールベールサイレージを調製した。これらを約1~2カ月間貯蔵した後、試料採取位置を貯蔵時の方位、上下位置を考慮してFig. 6の様を設定し、ベール1個につき21箇所から採取した。ベール表面の試料は実験1と同様の方法で表面から深さ20 cmまでを抜き取った。ベール内部の試料は、ロールベールカッターでベールを南北方向に縦に切断し、深さ20~40 cmおよび深さ40 cm~中心までの範囲を手で採取し、水分含量、pHおよびVFA含量を測定した。BP含量は、貯蔵中の温度上昇に伴い増加すると考え、最も温度が高くなると想定される日なた表層上部(Fig. 6の①)と温度が低いと想定される中心部(Fig. 6の⑧)の試料について分析した。ベール表面温度の計測は、温度計(熱伝対センサ)を黒色系あるいは白色系フィルムで被覆したベールの、直射日光の照射時間が最も長い南側の地上1 m地点のフィルム表面に設置した。また、気温はベ-

ールに隣接して設置した百葉箱内の地上1 m地点で測定した。計測場所は北海道河西郡芽室町新生(東経143°05', 北緯42°53')の北海道農業研究センター畑作研究部内圃場で、1994年7月1日~8月3日の34日間、各々1時間間隔で行った。計測期間の平均日射量は15.88 MJ/m<sup>2</sup>/日、平均日照時間は6.72時間/日であった。

### (2) 化学分析および統計解析

採取した半量の試料を60°Cで48時間通風乾燥した後、1 mm篩の粉碎機で粉碎し飼料成分分析に供した。水分含量は105°C恒量法(自給飼料品質評価研究会, 1994)で定量し、新鮮物中の含有率で示した。他の成分は実験1と同様の方法で分析した。残る半量の試料は実験1と同様にサイレージの発酵品質の分析に用いた。また、統計解析も実験1と同様に行った。

### 3) 結果

ベール温度計測期間中の最高気温は34°C、最低気温は11°Cであった。最も気温が上昇した時期の各部位の温度変化をFig. 7に示した。ロールベールの表面は気温の上昇に伴って温度が急激に上昇した。特に黒色系フィルムは白色系フィルムに比較して約10°C高く、測定期間中の最高温度は59.6°Cに達した。

サイレージの水分、BP含量、pHおよびVFA組成をTable 6に示した。水分含量は黒色系フィルムが41.5~51.9%、白色系フィルムが36.6~49.0%で、草種・生育期を問わず黒色系フィルムが高かった。BP含量はADIN/TN比で黒色系フィルムが日なた表層および中心部で平均7.2および7.8%、白色系フィルムが同8.3および8.4%であり、フィルム色および部位間差は認められなかった。また、ADIN/TN比の最大値は10.9%であった。pHは

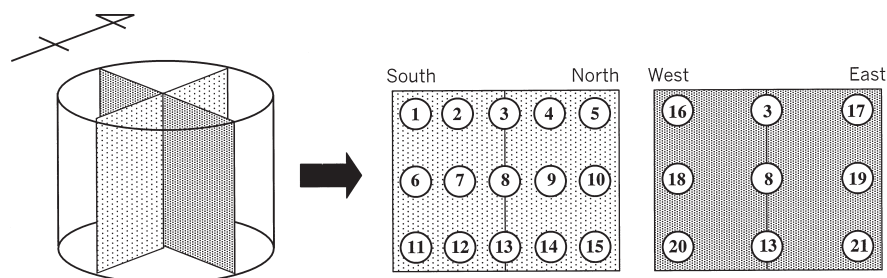


Fig. 6. Sampling sites of round bale silage.



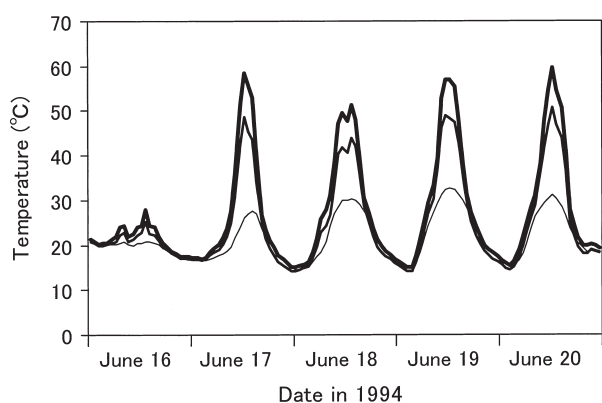


Fig. 7. Temperature at the sunny surface of silage bales.

— Black film, — White film, - - Ambient

5.0~5.8 と総じて高かったが、フィルム色間で比較すると、黒色系が高い傾向を示した。VFA は主として酢酸が検出されたが含量は少なく、プロピオン酸や酪酸は痕跡程度で、サイレージ発酵は微弱であった。

開封時のサイレージ内水分分布について、特にフィルム色間の差異が明確であったアルファルファ遅刈サイレージのものを Fig. 8 に示した。両フィルムともベール芯部には水分の上下間差が認められなかった。一方、表層部は白色系フィルムで下端が高い水分含量を示したのに対し、黒色系フィルムでは日なた上部、天頂部及び日陰下部の水分含量が高い傾向にあった。また、これは草種、生育期にかかわりなく共通に示された傾向であった。

ロールベールサイレージの水分と pH の関係を Fig. 9 に示した。両フィルムとも水分含量と pH の間には有意な負の相関が認められた。また、黒色系フィルムを用いたラップサイレージは白色系フィルムに比較して pH が高く、発酵は抑制される傾向にあった。

#### 4) 考 察

一般に、白色系フィルムはベール表層温度が黒色系フィルムより低いため、サイレージ発酵にとって望ましいと考えられている(萬田, 1999)。本試験においても、黒色系フィルムの表面温度は最高 59.6°C までに上昇し、白色系フィルムに比較して約 10°C 高い値を示した。前項で述べたように、サイレージ中の BP の増加は貯蔵中の発熱に起因し、それは低水分サイレージで顕著であるとされている。そこで開封時のロールベールサイレージ中の BP 含量を測定した結果、フィルム色や部位の違いにかかわらず、ADIN/TN 比は最大値が 10.9% と低い値であった。1990 年 5~7 月に行った生草の調査結果(野中ら, 1991) では、チモシー 1 番生草の BP 含量は、ADIN/TN 比で最大 16.5%、アルファルファ 1 番生草は同 10.6% であったことから、本試験のサイレージ中 BP 含量は生草と同等のレベルであり、蛋白質の熱変性は少なかったことが示された。この理由として、貯蔵中にフィルム表面の高温が長時間持続しなかったことが挙げられる。測定期間中(34 日間; 816 時間)に表面温度が 50°C 以上となった時間を積算すると、黒色系フィルムが 27 時間、白色系

Table 6. Moisture, bound protein, pH and VFA contents of silage.

Item	Black film		White film	
	Range	Mean	Range	Mean
Moisture (%)	41.5 - 51.9	46.1 <sup>a</sup>	36.6 - 49.0	43.9 <sup>b</sup>
Bound protein (ADIN/TN%) <sup>1)</sup>				
Sunny surface	6.5 - 8.4	7.2	7.1 - 9.9	8.3
Center core	6.3 - 9.2	7.8	6.6 - 10.9	8.4
pH	5.0 - 5.8	5.5	4.9 - 5.8	5.4
Volatile fatty acid (%)				
Acetic acid	0.03- 0.99	0.23	0.02- 1.07	0.37
Propionic acid	0	0	0	0
Butyric acid	0.00- 0.02	0.01	0.00- 0.04	0.01
Valeric acid	0.00- 0.06	0.01	0.00- 0.10	0.02
Caproic acid	0	0	0.00- 0.15	0.02

<sup>1)</sup>ADIN/TN: Acid detergent insoluble nitrogen/Total nitrogen.

<sup>a,b</sup>: Mean values with different superscript letters were significantly different (P<0.05).

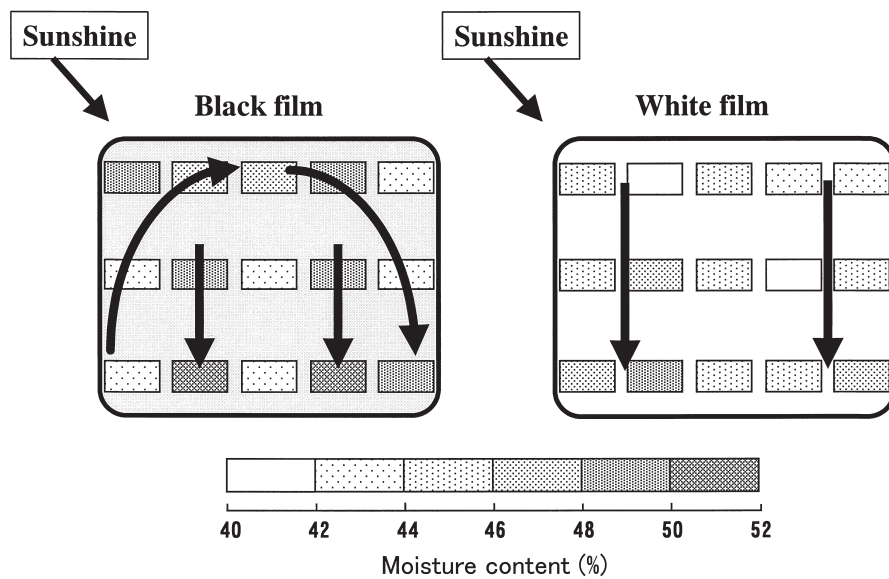


Fig. 8. Moisture distribution of round bale silage.

➡ : Moisture movement

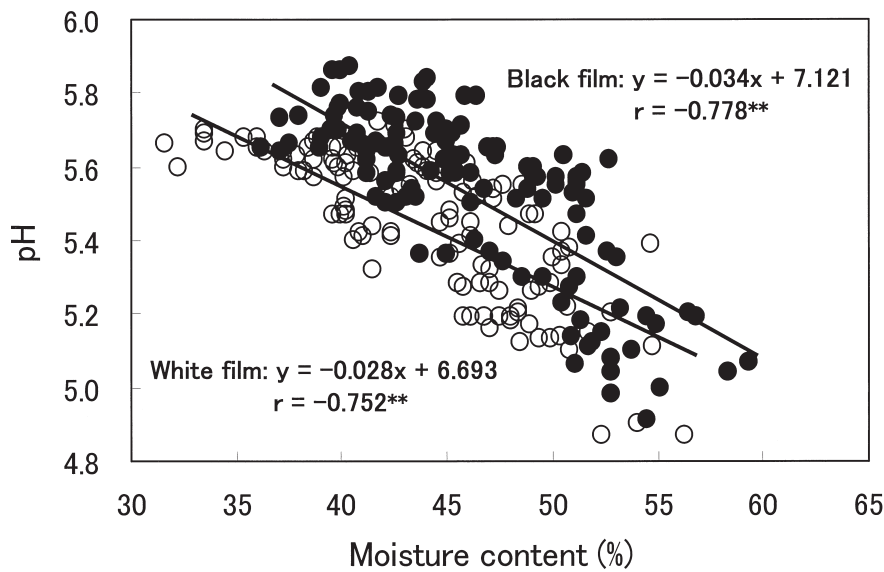


Fig. 9. Relationships between moisture content and pH of silage.

● Black film, ○ White film

フィルムが1時間であった。これは、日中は気温の上昇に伴い特に黒色系フィルムの表面は極端な高温となるが、それは持続せず、夕方から翌朝にかけては気温低下の影響により、表面温度も低下したものと推察した。

しかしながら、ベール内で温度変化が頻繁に起こった場合、水分の移動が誘起され、それが各部位の発酵に影響を及ぼす可能性は否定できない。そこで、サイレージベール内の水分含量の変動を調査し

たところ、変動係数は2.3～8.5%の範囲であった。調製作業時に測定したロールベール1個当たり原料草の水分含量は変動係数が0.9～6.8%であり、サイレージが相対的に大きい値であったことから、サイレージ貯蔵中に水分移動による分布ムラが発生したことが伺われた。また、フィルム色間で比較すると白色系フィルムは表層部の下端のみが高い水分であったのに対し、黒色系フィルムは日なた上部、天頂部および下端の日陰部分が高水分であったことか

ら、黒色系の水分移動が多く、それは温度の高い部位から低い部位へと起こっているものと推察された。このような現象が起きた場合、サイレージの発酵にも影響を及ぼす可能性がある。そこで、ベール内各部位毎の水分と pH の関係をフィルム色間で比較した結果、水分含量と pH の間には有意な負の相関が得られた他、白色系フィルムで被覆したロールベールは pH が低く、発酵は相対的に促進される傾向にあった。このことは、白色系フィルムを用いたサイレージの水分移動が黒色系フィルムに比較して小さかったため、ベール内環境が安定化し、発酵に有利に働いたものと考察した。

以上の結果、チモシーおよびアルファルファ 1 番草では、生育期を問わず白色系フィルムを用いた低水分ラップサイレージは、黒色系フィルムを用いたものに比較して外気温の変化の影響を受け難いことから、微弱ではあるがサイレージ発酵が相対的に進み、安定的な品質保持のために有利であると結論づけた。

## 5. 要 約

実験 1 では、出穂初めの時期に収穫したチモシー 1 番草を供試して、ラップフィルム被覆層数（重複率 50% で 4 および 6 層被覆）および水分含量（水分含量 20, 40 および 50%）が低水分ラップサイレージの品質、ヒツジの採食性に及ぼす影響を調査した。その結果、4 および 6 層のフィルム被覆をした低水分ラップサイレージはカビが発生せず、2 カ月間の貯蔵中に中心部温度が 25~30°C で推移した。サイレージ発酵は微弱で V-SCORE によるサイレージ評点は 96 点以上の良質サイレージが得られた。ヒツジの DMI は、水分 40% ベール = 同一原料から調製した乾草  $\geq$  水分 20% ベール > 水分 50% ベールの順であった。この結果から、水分含量 50% 以下に予乾したチモシーは 4 層以上のフィルム被覆を行うことによりラップサイレージの安定調製・貯蔵が可能で、貯蔵中にフィルムを破損しなければ乾草に匹敵する飼料が期待できることが示された。

実験 2 では、水分含量約 50% のチモシーラップサイレージを供試し、フィルム被覆層数（重複率 50% で 2, 4, 6 および反転 4 層被覆）が長期貯蔵後の品質に及ぼす影響を調査した。その結果、11 カ月間貯蔵した低水分ラップサイレージは 4 層以上のフィルム被覆で全てカビが発生せず良質で、飼料成分組

成および発酵品質はフィルム層数の違いによる差が認められなかった。しかしながら、2 層被覆ベールは表面にカビが発生し給与不能となった。

実験 3 では、チモシーラップサイレージの貯蔵中のフィルム破損がベール温度および開封後の品質に及ぼす影響を調査した。その結果、貯蔵中にフィルムを破損したベールは、破損後約 1 週間で温度が 48°C に達し、カビが視認できる程度まで発生した。特に円周面を破損したベールは大部分がカビに覆われ、一部堆肥化したことから、低水分ロールベールサイレージの品質劣化を抑制するためには、特にベール円周面のフィルム保全が最も重要であることが示唆された。

実験 4 では、チモシーおよびアルファルファを用い、黒色系あるいは白色系のストレッチフィルムで被覆したラップサイレージを供試し、フィルム色が低水分ラップサイレージの蛋白質の熱変性やベール内部の水分移動による発酵ムラに及ぼす影響を調査した。その結果、北海道で夏期に貯蔵した低水分ラップサイレージは、黒色系フィルムを用いた場合、表面の最高温度が白色系フィルムに比較して約 10°C 高く、最高温度は約 60°C に達した。しかしながら、ベール表層部の温度は日内変動が大きく高温が長時間持続しないため、BP の増加には至らなかった。また、黒色系フィルムを用いたサイレージは内部の水分ムラが大きく、発酵が抑制された。一方、白色フィルムは相対的に pH が低く、品質は安定的であることが示された。

## III. 牧草予乾時の摩砕圧縮処理が低水分サイレージの消化性・栄養価に及ぼす影響

### 1. 摩砕圧縮処理が原料草の予乾速度ならびにサイレージの飼料成分に及ぼす影響（実験 5）

#### 1) 目 的

近年、飼料調製時に圃場での予乾速度を向上させる目的で、刈り取り直後の牧草をローラーで摩砕・圧縮してマット状にし、刈り株上で乾燥するフォーレージマットメーカーが開発され (AJIBOLA ら, 1980; KOEGEL ら, 1986; ÖZTEKIN と ÖZCAN, 1997; SAVOIE ら, 1993), その乾燥速度向上効果が報告されている (ÖZTEKIN と ÖZCAN, 1997; SAVOIE ら, 1993; SHINNERS ら, 1986)。これらの報告はモーアコンディショナで刈り取り後、そのまま圃場に放置して予乾した



区と、その後マットメーカーで摩砕圧縮し予乾した区を比較したものである。我が国では、NISHIZAKIら(1997)が、機構の異なる試作機を開発し、摩砕処理したアルファルファの乾燥速度はテグダによる攪拌予乾と比較した場合でも速く、低水分ロールベールサイレージ調製に効果的であるという報告を行った。しかしながら、現在、マットメーカーは試作・改良段階にある上、我が国では牧草の摩砕圧縮効果に関する報告が少なく、実用化に向けた研究蓄積が必要とされている。

そこで、本実験ではNISHIZAKIら(1997)の開発したフォーレージマットメーカーで処理したアルファルファおよびチモシーを供試して、摩砕圧縮処理が原料草の予乾速度ならびにサイレージの飼料成分組成に及ぼす影響を、慣行のテグダによる攪拌予乾法と比較し検討した。

## 2) 材料および方法

### (1) 供試材料

開花1/10期のアルファルファ (*Medicago sativa* L.) 1番草(品種マキワカバ, Af-1stと略記)、開花期のアルファルファ2番草(品種5444, Af-2ndと略記)および開花期のチモシー (*Phleum pratense* L.) 2番草(品種ノサップ, Ty-2ndと略記)を刈取り後、フォーレージマットメーカー(NISHIZAKIら, 1997)で摩砕し予乾する区(Forage Matmaking-treatment; FM区)と、ロータリーテグダで反転・攪拌し予乾する区(Conventional Conditioning-treatment; CC区)を設け、原料草試料を採取後、目標水分含量を約50%として圃場で予乾した。なお、刈取り高さは、フォーレージマットメーカーで調製した牧草マットを刈り株上に敷設した際の株間の通気を考慮し(西崎ら, 1998)、地面から14cmの高刈りとした。CC区の攪拌回数はAf-1stが5回、Af-2ndが4回、Ty-2ndが4回であった。予乾中の平均気温、日照時間および日射量は、Af-1stがそれぞれ15.1°C, 29.1時間および74.6 MJ/m<sup>2</sup>、Af-2ndが同19.1°C, 7.0時間および46.4 MJ/m<sup>2</sup>、Ty-2ndが同19.6°C, 6.0時間および27.1 MJ/m<sup>2</sup>であった。予乾終了後、アルファルファはロールベール(タカキタ社製パワーカットロールベール; ベールサイズは直径1,450 mm×幅1,150 mm, 細切なし)で梱包し、市販の黒色フィルム(幅0.5 m, 厚さ0.25 μm)を用いたラッピングマシン(タカキタ社製

WM1520A)で6層巻きのラッピング処理を行い、約2カ月間貯蔵した。開封時には後述(実験8に記載)するコアサンプラーで1ベールにつき4箇所からサンプリング後、混合して飼料成分分析用試料を得た。チモシーは予乾終了後、試験用サイロ(200ℓ容)に設定切断長20 mmで細切・埋草し、約6カ月間貯蔵し、開封時に試料を得た。

### (2) 化学分析および統計解析

採取した試料は60°Cで48時間通風乾燥した後、1 mm篩の粉砕機で粉砕し飼料成分分析に供した。DM含量は135°C 2時間乾燥法(自給飼料品質評価研究会, 1994)で定量し、新鮮物中の含有率で示した。また、CP含量はケルダール法で(森本, 1971)、NDFおよびADF含量は阿部の方法(阿部, 1988)でそれぞれ定量し、DM中の含有率で示した。また、アルファルファについては飼料成分分析用試料以外に別途隣接した箇所から試料を採取し、葉部、茎部および雑草に分別後、葉部割合および雑草混入率を算出した。統計処理は全てSASのGeneral Linear Models Procedure(SAS出版局, 1990)を用いて行った。

## 3) 結 果

刈り取り直後およびロールベール梱包時の牧草の水分含量を Fig. 10 に、サイレージの飼料成分組成を Table 7 に示した。各草種とも圃場での予乾時間は両処理区でほぼ同等であった。予乾終了時の水分

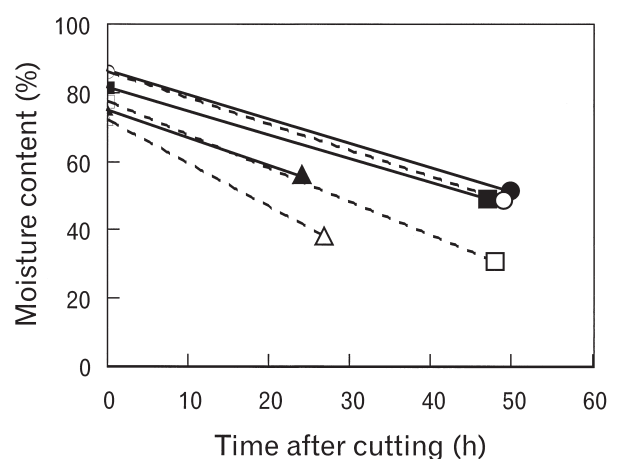


Fig. 10. Moisture content of herbage.

- Alfalfa-1st FM<sup>1)</sup>, ○ Alfalfa-1st CC,
  - Alfalfa-2nd FM, □ Alfalfa-2nd CC,
  - ▲ Timothy-2nd FM, △ Timothy-2nd CC
- <sup>1)</sup>FM: Macerated, CC: Conventionally conditioned.

Table 7. Chemical composition of silage.

Growth	Treatment <sup>1)</sup>	DM (%)	OM		EE		ADF	NDF
			CP	DM(%)	DM(%)	DM(%)		
Alfalfa-1 st	FM	48.7	86.7 <sup>b</sup>	21.7 <sup>a</sup>	5.8	31.5 <sup>b</sup>	37.5 <sup>b</sup>	
	CC	51.1	89.0 <sup>a</sup>	16.2 <sup>b</sup>	3.3	35.1 <sup>a</sup>	47.4 <sup>a</sup>	
Alfalfa-2 nd	FM	51.0 <sup>b</sup>	91.4 <sup>b</sup>	16.6	2.3 <sup>a</sup>	42.9 <sup>a</sup>	56.8	
	CC	69.5 <sup>a</sup>	92.5 <sup>a</sup>	16.1	2.1 <sup>b</sup>	40.0 <sup>b</sup>	57.5	
Timothy-2 nd	FM	44.4 <sup>b</sup>	92.5	11.4	5.1 <sup>a</sup>	38.2	63.4 <sup>b</sup>	
	CC	61.8 <sup>a</sup>	92.4	11.3	4.3 <sup>b</sup>	37.8	65.2 <sup>a</sup>	

<sup>1)</sup>FM: Macerated, CC: Conventionally conditioned.

<sup>2)</sup>DM: Dry matter, OM: Organic matter, CP: Crude protein, EE: Ether extract, ADF: Acid detergent fiber, NDF: Neutral detergent fiber.

<sup>a,b</sup>: Mean values with different superscript letters were significantly different (P<0.05).

含量は Af-1st が両処理区で同等であり、サイレージの DM 含量も FM 区 48.7%, CC 区 51.1% と同様の値を示した。一方, Af-2nd および Ty-2nd はそれぞれ CC 区の水分含量が速く低下し, 結果的に CC 区の DM 含量は FM 区より高くなった。また, Af-1st および Af-2nd の FM 区は予乾中の気象条件が異なっていたにもかかわらず, 水分の減少程度は近似していた。

予乾前の原料草ならびにサイレージの葉部割合および雑草混入率を Table 8 に示した。チモシーは予乾中の脱葉および雑草混入が認められなかったため, 葉部割合および雑草混入率はアルファルファのみを表示した。Af-1st の葉部割合は, 刈り取り直後は FM 区および CC 区でそれぞれ 57.3 および 51.8% と同等であったが, サイレージではそれぞれ 57.2 および 32.9% と CC 区が低下した。雑草混入率 (優先雑草; スズメノカタビラ *Poa annua* L.) は, 刈り取り直後には FM 区および CC 区でそれぞれ 2.6 および 1.2% と少なかったが, 予乾~梱包~被覆

~貯蔵後のサイレージでは, 同 7.0 および 35.8% と CC 区の雑草割合が増加した。これらを反映して, Af-1st サイレージの飼料成分 (Table 7) は, FM 区が CC 区に比較して CP 含量が高く, ADF および NDF 含量が低い結果となった。一方, Af-2nd の葉部割合は Af-1st と同様に FM 区 (51.9%) が CC 区 (41.3%) に比較して高かったものの, 雑草混入率 (優先雑草; アキノエノコログサ *Setaria faberi* Herrm.) は刈り取り直後からサイレージまで両区とも高く, サイレージの CP および NDF 含量に区間差は認められなかった。Ty-2nd は CC 区の NDF 含量が FM 区に比較して 1.8% 高かったものの, 有機物 (OM: Organic matter), CP および ADF 含量に処理区間差は認められなかった。

#### 4) 考 察

(1) 摩砕圧縮処理が原料草の乾燥速度に及ぼす影響

フォーレージマットメーカーで摩砕処理し予乾した

Table 8. Leaf and weed ratio of alfalfa samples.

Growth	Treatment <sup>1)</sup>	Leaf ratio <sup>2)</sup>		Weed ratio <sup>3)</sup>	
		Fresh forage	Silage	Fresh forage	Silage
Alfalfa-1 st	FM	57.3	57.2 <sup>a</sup>	2.6	7.0 <sup>b</sup>
	CC	51.8	32.9 <sup>b</sup>	1.2	35.8 <sup>a</sup>
Alfalfa-2 nd	FM	42.1	51.9 <sup>a</sup>	18.3 <sup>a</sup>	44.5
	CC	44.3	41.3 <sup>b</sup>	13.9 <sup>b</sup>	36.8

<sup>1)</sup>FM: Macerated, CC: Conventionally conditioned.

<sup>2)</sup>Leaf ratio = leaf/(leaf + stem)% of alfalfa (Dry matter basis).

<sup>3)</sup>Weed ratio = weed/(weed + alfalfa)% (Dry matter basis).

Weed: alfalfa-1 st; annual bluegrass (*Poa annua* L.), alfalfa-2 nd; foxtail grass (*Setaria faberi* Herrm.)

<sup>a,b</sup>: Mean values with different superscript letters were significantly different (P<0.05).

牧草は、モアコンディショナで圧折後そのまま放置し予乾した牧草と比較して、乾燥速度が1.5~3.0倍となることが示されている(ÖZTEKINとÖZCAN, 1997; SAVOIEら, 1993; SHINNERSら, 1986)。ところで我が国は多湿な上、牧草収穫時に晴天が持続しないため、ロールバールサイレージ調製にはモアコンディショナ単独の刈り取り・予乾方法が採られることはほとんどなく、刈り取った牧草をテッダで攪拌し予乾する方法が一般的である。そこで本試験では、我が国で開発されたマットメーカーによる摩砕予乾法(FM区)と、慣行のテッダによる攪拌予乾法(CC区)に関してその乾燥速度を比較した。その結果、雑草の混入が少ないAf-1stのFM区では、頻繁な攪拌を行ったCC区に比較して同等の速度で予乾することができた。一方、雑草割合の高いAf-2ndやイネ科牧草のTy-2ndではCC区に比較してFM区の乾燥速度が遅く、FM区サイレージのDM含量は結果的に低くなった。フォーレージマットメーカーは摩砕した牧草マットを刈り株の上に載せ、マット上面からの水分蒸散を促すとともに株間の通風を利用してマット下面の乾燥を促進する仕組みである(西崎ら, 1998)。そのためAf-2ndやTy-2ndのようにアルファルファに比較して茎部の細かい雑草や寒地型イネ科牧草が多い圃場で高刈りした場合には、刈り株がマット重量を支えきれずに倒れ、マット下部が接地し、下面の水分蒸散が行われなため、頻繁な反転・攪拌を行うテッダ予乾に比較して乾燥速度が低下するものと考えられた。

## (2) 摩砕圧縮処理がサイレージの飼料成分組成に及ぼす影響

前述のように、我が国ではロールバールサイレージ調製時に予乾時間をできる限り短縮するため、圃場における攪拌予乾が慣行的に行われているが、アルファルファではテッダによる頻繁な攪拌ならびにレーキでの集草により葉部脱落が起こり、栄養価の低下を招くおそれがある。一方、フォーレージマットメーカーによる予乾作業では、攪拌・集草作業が不要なためアルファルファの葉部脱落を減らす効果が期待できる。そこで本実験では、テッダ(CC区)あるいはフォーレージマットメーカー(FM区)で予乾したサイレージの葉部割合を比較した。その結果、サイレージの葉部割合はFM区がCC区に比較して有意に高いことが認められ、フォーレージマットメーカーによる摩砕圧縮予乾法はテッダによる攪拌予

乾法に比較してアルファルファの葉部脱落を防ぐ効果のあることが確認できた。一方、チモシーにおいては攪拌予乾しても葉部脱落は僅少であり、飼料成分にも処理区間差は認められなかった。

次に、アルファルファの雑草混入率をみると、Af-2ndでは草高の高い雑草(アキノエノコログサ等)が生育し、刈り取り時に混入したため、FMおよびCC区とも雑草割合は高かった。一方、優先雑草としてスズメノカタビラが生育したAf-1stでは、刈り取り直後の混入が3%以下と少なかったものの、サイレージ内の混入率はCC区(35.8%)がFM区(7.0%)に比較して極めて高く、サイレージの飼料成分組成はCC区が低蛋白質・高繊維含量となった。これは、刈り高14cmで刈ったため草丈がそれ以下の雑草は混入し難かったものの、攪拌予乾時にテッダのタインが刈り残した雑草を引き抜いて混入させたものと考えられる。

以上、アルファルファ予乾時のテッダによる攪拌は、葉部を脱落させるとともに、刈り残した下繁雑草を引きちぎり混入させるため、イネ科牧草に比較して高蛋白質・低繊維含量であるアルファルファの特徴を逸失させるのに対し、フォーレージマットメーカーによる摩砕は、アルファルファの葉部脱落を抑制できるため、栄養の損失が少ないことが示唆された。

## 2. サイレージの摩砕圧縮処理が反芻家畜の第一胃内分解性に及ぼす影響(実験6)

### 1) 目的

フォーレージマットメーカーによる牧草の摩砕処理は乾燥速度の向上のみならず、第一胃内分解性向上効果も期待できることが報告されている。HONGら(1988a)は、アルファルファ生草茎部のNDFの*in vitro*分解率は摩砕処理で高まることを示した。また、*in vitro*培養0および24時間目の茎部横断面を電子顕微鏡で観察し、摩砕処理によって茎のリグニン化画分(木質部)と非リグニン化画分(内部)が分離され、表面積が増え、第一胃内に生息するバクテリアのコロニーが広く分布することを報告した。SIROHIら(1988)もアルファルファ乾草で同様の試験を実施し、摩砕処理は茎部の*in vitro* NDF分解率を高めることを報告している。一方、AGBOSSAMEYら(2000)は水分含量61~71%のアルファルファサイレージあるいはアルファルファ乾草の*in sacco*



分解率を測定し、摩砕および無摩砕処理間でDM, CP および NDF 分解率に差が認められないという報告を行っている。このように、摩砕処理と分解性の関係には一定の傾向が得られていない。

そこで本実験では、アルファルファおよびチモシー低水分サイレージを供試し、摩砕処理がDM, CP および NDF の *in sacco* 分解率に及ぼす影響を調査した。

## 2) 材料および方法

### (1) 供試材料

サイレージは実験5と同様のものを供試した。すなわち、開花1/10期のアルファルファ1番草(品種マキワカバ, Af-1st と略記する), 開花期のアルファルファ2番草(品種5444, Af-2nd と略記する) および開花期のチモシー2番草(品種ノサップ, Ty-2nd と略記する)で、処理区は、刈り取り後フォーレージマットメーカーで摩砕し予乾する区(FM区)と、ロータリーテッドで反転・攪拌し予乾する区(CC区)である。アルファルファは実験5と同様に開封時にコアサンプラーで1ベールにつき4箇所から試料採取後、混合して *in sacco* 試験用試料を得た。その後、ベールを解体し設定切断長20mmで細切後、試験用サイロ(200ℓ容)に再埋蔵して供試動物の給与飼料とした。チモシーは予乾終了後、直接試験用サイロ(同上)に設定切断長20mmで細切・埋草し、約6カ月間貯蔵後、開封し、*in sacco* 試験用試料を得た。残るサイレージは、供試動物の給与飼料とした。

### (2) *in sacco* 試験

供試動物は第一胃フィステルを装着したホルスタイン乾乳牛2頭で、試験飼料はTDNで維持量(日本飼養標準 乳牛, 1999)の110%量を1日2回午前8時と午後5時に等分給与した。水およびミネラル(鈹

塩ブロック)は自由摂取とした。アルファルファ試料は茎部, 葉部, 雑草に分別し, 茎部のみを用いた。チモシー試料は茎部の分別が困難であったことから, 植物体全てを用いた。サイレージはそれぞれ60°C48時間で通風乾燥後5mm篩を通して細切(NOCER, 1988)し, ナイロンバッグ法によりDM, CP および NDF の分解率を測定した。バッグの孔径は48μmで, 試料量は3gとした。胃内培養時間は3, 6, 9, 24, 48 および 72 時間とし, 各培養時間で得られた各成分の分解率を, ØRSKOV と McDONALD (1979) の式  $p = a + b(1 - e^{-ct})$  に当てはめ, 培養時間( $t$ )=0の可溶性画分  $a$ , 実質分解性画分  $b$  および分解速度定数  $c$  を求めた。また, 第一胃内有効分解率(ED: Effective degradability)は  $ED = a + bc / (c + k)$  の式(ØRSKOV と McDONALD, 1979)で求めた。なお, 第一胃内の固層の通過速度定数  $k$  は, アルファルファは0.05/h(HRISTOV と BRODERICK, 1996; PETIT ら, 1994)を, チモシーは0.04/h(CHIQUETTE ら, 1994)を用いた。

### (3) 化学分析および統計解析

試料はバッグから取り出した後, 60°Cで48時間通風乾燥し, 飼料成分分析に供した。DM, CP および NDF 含量は実験5と同様の方法で定量した。なお, 成分含量はDM中の値で示した。統計解析は実験5と同様の方法で行った。

## 3) 結果

供試アルファルファサイレージの茎部の飼料成分組成をTable 9に示した。Af-1stはFM区がCC区に比較してCP含量が4.5%高く, ADFおよびNDF含量がそれぞれ2.1および4.5%低い値であった。また, ヘミセルロス含量もFM区がCC区よりも低かった。Af-2ndはFM区のCP含量が2.7%高く, 繊維成分に処理区間差は認められなかつ

Table 9. Chemical composition of stems of alfalfa silage.

Growth	Treatment <sup>1)</sup>	OM <sup>2)</sup>	CP	ADF		NDF	Hemicellulose
				DM(%)			
Alfalfa-1 st	FM	88.8 <sup>b</sup>	17.4 <sup>a</sup>	41.1 <sup>b</sup>	46.5 <sup>b</sup>	5.4 <sup>b</sup>	
	CC	89.4 <sup>a</sup>	12.9 <sup>b</sup>	43.2 <sup>a</sup>	51.0 <sup>a</sup>	7.9 <sup>a</sup>	
Alfalfa-2 nd	FM	92.8 <sup>b</sup>	10.8 <sup>a</sup>	58.7	68.0	9.4	
	CC	94.3 <sup>a</sup>	8.1 <sup>b</sup>	57.8	68.9	11.1	

<sup>1)</sup>FM: Macerated, CC: Conventionally conditioned.

<sup>2)</sup>OM: Organic matter, CP: Crude protein, EE: Ether extract, ADF: Acid detergent fiber, NDF: Neutral detergent fiber.

<sup>a,b</sup>: Mean values with different superscript letters were significantly different ( $P < 0.05$ ).

た。なお、植物体全てを供試した Ty-2nd については、実験 5 (Table 7) で述べた通りである。

次に、これらを用いて行った *in sacco* 試験の結果を Table 10 に示した。DM 分解率は、Af-1st および Ty-2nd で *b* 画分に処理区間差が認められたものの、最大可能分解率 ( $a+b$ ) および第一胃内有効分解率 (ED) には処理区間に有意差はなく、全草種で摩砕効果は認められなかった。CP 分解率は、Af-1st および Af-2nd のいずれにおいても CC 区に比較して、FM 区で  $a+b$  および ED が有意に高かった。特に、 $a+b$  でみると、Af-1st および Af-2nd の FM 区はそれぞれ 89.9% および 81.3%、CC 区は 87.6% および 75.1% となり、いずれも FM 区が著しく高い値を示した。一方、Ty-2nd では *b* 画分が FM 区より CC 区で高い値を示したものの、 $a+b$  および ED では処理区間差はなかった。しかしながら、FM 区および CC 区の  $a+b$  はそれぞれ 88.5% および 90.5% となり、著しく高い値を示した。NDF の  $a+b$  は全草種で、DM および CP のそれらの値と比較して低い分解率であった。草種別にみると、Af-1st および

Ty-2nd では CC 区が高く、Af-2nd では FM 区が高い相反した結果となった。

#### 4) 考 察

摩砕処理がアルファルファ茎部の分解性に及ぼす影響について、HONG ら (1988a) は、アルファルファ生草の茎部の *in vitro* NDF 分解率は摩砕処理で高まり、可消化 NDF が 95% 消失する時間は摩砕区が 34 時間、無摩砕区が 94 時間で、摩砕区の分解が速いことを示した。さらに、*in vitro* 培養 0 および 24 時間目の茎部横断面を電子顕微鏡で観察し、摩砕処理による茎部破碎でリグニン化画分と非リグニン化画分が分離され、表面積が増え、バクテリアのコロニーが広く分布することを報告した。また、SIROHI ら (1988) は、アルファルファ乾草で同様の試験を実施し、摩砕処理は茎部の *in vitro* NDF 分解率を高めることを報告した。一方、本試験で測定したアルファルファ低水分サイレージの *in sacco* 分解率は、Af-2nd では HONG ら (1988a) や SIROHI ら (1988) の報告と同様に摩砕処理が NDF 分解率を高めたが、Af-

Table 10. Rumen degradation characteristics of alfalfa and timothy silage.

Growth	Item <sup>1)</sup>	Treatment <sup>2)</sup>	Degradation characteristics <sup>3)</sup>				
			<i>a</i> (%)	<i>b</i> (%)	<i>c</i> (h)	$a+b$ (%)	ED(%)
Alfalfa-1 st	DM	FM	26.9 <sup>b</sup>	49.6 <sup>a</sup>	0.08 <sup>a</sup>	76.5	56.9
		CC	32.1 <sup>a</sup>	43.6 <sup>b</sup>	0.06 <sup>b</sup>	75.7	55.3
	CP	FM	66.4 <sup>a</sup>	23.5 <sup>b</sup>	0.06	89.9 <sup>a</sup>	79.6 <sup>a</sup>
		CC	59.6 <sup>b</sup>	28.0 <sup>a</sup>	0.07	87.6 <sup>b</sup>	76.0 <sup>b</sup>
	NDF	FM	-11.6 <sup>b</sup>	68.6 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	57.0 <sup>b</sup>	26.4 <sup>b</sup>
		CC	1.5 <sup>a</sup>	57.5 <sup>b</sup>	0.05 <sup>b</sup>	59.0 <sup>a</sup>	29.0 <sup>a</sup>
Alfalfa-2 nd	DM	FM	31.3	26.8	0.08	58.1	47.1
		CC	25.5	28.1	0.10	53.6	44.4
	CP	FM	1.6 <sup>a</sup>	79.6	0.40	81.3 <sup>a</sup>	72.3 <sup>a</sup>
		CC	-106.2 <sup>b</sup>	181.3	0.49	75.1 <sup>b</sup>	58.5 <sup>b</sup>
	NDF	FM	12.2 <sup>a</sup>	35.7	0.08	47.9 <sup>a</sup>	31.8 <sup>a</sup>
		CC	1.4 <sup>b</sup>	36.4	0.09	37.8 <sup>b</sup>	24.4 <sup>b</sup>
Timothy-2 nd	DM	FM	28.4 <sup>a</sup>	49.3 <sup>b</sup>	0.04	77.7	52.8
		CC	22.1 <sup>b</sup>	55.1 <sup>a</sup>	0.05	77.1	52.0
	CP	FM	51.2	37.3 <sup>b</sup>	0.10	88.5	77.0
		CC	48.0	42.5 <sup>a</sup>	0.07	90.5	74.2
	NDF	FM	0.0 <sup>a</sup>	72.0	0.04 <sup>b</sup>	72.0	33.9
		CC	-8.4 <sup>b</sup>	78.2	0.05 <sup>a</sup>	69.8	34.4

<sup>1)</sup>DM: Dry matter, CP: Crude protein, NDF: Neutral detergent fiber.

<sup>2)</sup>FM: Macerated, CC: Conventionally conditioned.

<sup>3)</sup>Degradation characteristics were expressed as contents in equation  $p = a + b(1 - e^{-ct})$ , *a*: soluble fraction, *b*: insoluble degradable fraction, *c*: rate of degradation, ( $a+b$ ): Maximum potential degradability, ED: effective degradability.

ED =  $a + bc / (c + k)$ , where *k* is the flow rate of solid phase in the rumen.

<sup>a,b</sup>: Mean values with different superscript letters were significantly different ( $P < 0.05$ ).

1stでは逆に摩砕処理したFM区のNDF分解率がわずかに低い結果となった。この理由として、Af-1stのFM区茎部はCC区茎部に比較してNDFや易分解性のヘミセルロース含量が低く(Table 9)、第一胃内で分解できるNDF量が相対的に低下した結果であるものと推察した。Af-1stのFM区の茎部NDF含量が低下した原因として、肉眼による観察では、CC区サイレージの茎部は髓の大部分が残存していたのに対し、FM区では髓が消失していたことから、摩砕により茎部の髓が露出し、可消化NDF画分がサイレージ発酵に利用された可能性が考えられる。他方、Af-2ndは開花期に収穫したため茎部の木質化が進み、仮に茎部の髓が露出してもNDFの多くはサイレージ発酵に利用されずに残存したものと推察される。摩砕処理は牧草の表面積を増大させ、乳酸菌に供給できる牧草の可溶性糖類を増やし、サイレージ発酵を加速すると考えられており、CHARMLEYら(1997)は高水分細切サイレージで、SAVOIEら(1996)は高水分ロールバールサイレージで埋草初期の乳酸含量が増加し、pHが急速に低下することを示している。高・中水分サイレージの場合は、埋草時に摩砕の効果が加わることにより、乳酸菌の付着可能面積が増え、可溶性炭水化物の乳酸菌による利用が促進されることは想像に難くない。しかしながら、乳酸菌の活性が低下する低水分域の原料草や、木質化の進んだ原料草の発酵に対して摩砕効果が発現するかどうかについては明らかにされていない。本試験ではサイレージ発酵に伴う物質収支に関するデータを求めていることから、関連データの蓄積が今後の課題となる。一方、アルファルファ茎部のCP分解率については、両番草とも $a+b$ およびEDにおいて、FM区がCC区を上回り、摩砕処理が第一胃内のCP分解を促進することが認められた。アルファルファ摩砕サイレージは摩砕しないものと比較して、水分の減少に伴い貯蔵中の蛋白分解が抑制され(MUCKら, 1989)、第一胃内分解性蛋白質画分(B1)(SNIFFENら, 1992)が残存することが報告されている(AGBOSSAMEYら1998;CHARMLEYら:1997)。本試験におけるアルファルファFM区茎部のCP分解率が向上した要因として、このB1が相対的に高まったことが考えられる。さらに、供試試料は低水分サイレージであった上、試料調整時に通風乾燥をしており、試料に残存しているVBNは僅少である可能性が高いことから、FM区茎部でCP分

解率が向上した2つめの要因として、摩砕時に圧縮され茎部に接着した葉部が易分解性CP含量を高めたものと推察された。

チモシーに関しては両処理区で飼料成分組成ならびにDM, CPおよびNDF分解率の差はなく、明らかな摩砕の効果は認められなかった。

### 3. 摩砕圧縮処理がサイレージの消化性, エネルギー消化率および代謝率に及ぼす影響 (実験7)

#### 1) 目的

牧草の摩砕処理と家畜の消化性の関係について、HONGら(1988b)は、摩砕および無摩砕のアルファルファ乾草をヒツジに給与した結果、ルーメン液中のpHとVFA含量には処理区間差がみられなかったものの、DMIおよびNDF消化率は摩砕区が高いことを示した。さらに、ヤギの乳生産に及ぼす影響を調査したところ、乳量に処理区間差は認められなかったが、摩砕区は乳脂率が高い傾向にあり、4%FCM乳量は増加し、乳蛋白質も有意に増加した。これは摩砕区のDMIの増加が一因であると考察している。PETITら(1994)は、摩砕処理によりアルファルファ乾草とチモシー乾草の消化率の向上効果が認められることを報告した。これは両草種とも、DMとADFの分解可能な画分が相対的に増えることに起因するものと考察している。しかしながら、高水分サイレージでは、MERTENSとKOEGL(1992)が乳牛に、FROSTら(1995)およびCHARMLEYら(1997)がヒツジにそれぞれ摩砕処理した細切サイレージと摩砕しない細切サイレージを給与した試験を行い、DMIおよび消化率に両試験区で差が認められなかったことを報告した。この理由として、細切サイレージでは、サイロ埋蔵時の細切処理が摩砕による消化性および消化管通過速度の増加効果を打ち消してしまうことを挙げている。また、中水分サイレージでは、BRODERICKら(1999)が、141頭の乳牛に29mmに細切したサイレージを供試し、4回の飼養試験を行った結果、2回の試験で摩砕によるOM消化率の向上を認めたが、残る2試験ではこれらに処理区間差がなかったことを報告した。このように、摩砕処理牧草を家畜に給与した場合の消化性向上効果については、一定の見解が得られていない現状にある。

そこで本実験では牧草の摩砕処理がサイレージの消化性, エネルギー消化率および代謝率に及ぼす影



響を検討した。

## 2) 材料および方法

### (1) 供試材料

サイレージは実験6と同様のものを供試した。アルファルファは開封時にバールを解体し設定切断長20 mmで細切後、試験用サイロ(200 ℓ容)に再埋蔵して家畜試験飼料とした。チモシーは予乾終了後、直接試験用サイロ(同上)に設定切断長20 mmで細切・埋草し、約6カ月間貯蔵後、試験飼料とした。

### (2) 消化試験

Af-2nd および Ty-2nd サイレージを供試し、コリデル種去勢雄ヒツジ(平均体重はAf-2ndが74.9 kg, Ty-2ndが58.4 kg)1区4頭の消化試験を行った。試験はそれぞれ予備期1週間、本期1週間の全糞採取法で行い、給与飼料はサイレージのみをTDN維持量(日本飼養標準 めん羊, 1996)の110%量を1日1回給与し、水およびミネラル(鈹塩ブロック)は自由摂取とした。

### (3) 呼吸試験

Af-1st サイレージを供試し、消化率、TDN含量、可消化エネルギー(DE: Digestible energy)および代謝エネルギー(ME: Metabolizable energy)含量をホールボディチャンバーで求めた。試験はFM区、CC区ともホルスタイン種乾乳牛(体重515~643 kg)2頭による反転法で、それぞれ予備期1週間、本期1週間(うちホールボディチャンバーに4日間収容)の全糞採取法で行った。給与飼料はサイレージのみとし、両区ともTDN維持量(日本飼養標準乳牛, 1999)の110%量を1日2回、午前9時と午後5時に等分給与した。なお、給与量設定に用いた

TDN含量は飼料のADFおよびCP含量より推定した値(自給飼料品質評価研究会, 1994)を用いた。水およびミネラル(鈹塩ブロック)は自由摂取とした。

### (4) 化学分析および統計解析

飼料および糞尿の試料は毎日朝の飼料給与後に採取した。試料は60°Cで48時間通風乾燥した後、1 mm篩を通して粉碎し、飼料成分分析に供した。DM, CP, ADF および NDF 含量は実験6と同様の方法で、またEE含量は常法(森本, 1971)で定量し、DM含量は新鮮物中の含有率で、他の成分はDM中の含有率で示した。呼吸試験に供試した飼料ならびに得られた糞、尿のエネルギー含量はボンブカロリメータ(島津製作所CA-4PJ)で測定し、DM 1 kg 当たりのMJで表示した。統計処理は実験6と同様に行った。

## 3) 結果

サイレージの消化率およびTDN含量をTable 11に示した。Af-1stは、各成分とも有意な処理区間差は認められず、TDN含量も両区で66%と等しく、開花前のアルファルファ(日本標準飼料成分表, 1995)と同等の栄養価であった。Af-2ndは、CP消化率がCC区で3.9%高く、EE消化率がFM区で9.5%高かったが、他の成分消化率は処理区間差がなく、TDN含量もFM区50%、CC区52%と近似していた。Ty-2ndはEE消化率以外に差は認められなかった。

Af-1stについて行った呼吸試験結果をTable 12に示した。給与飼料は、FM区がCC区に比較してCPが高く、繊維含量が低く、総エネルギー(GE:

Table 11. Apparent digestibility and total digestible nutrient content of alfalfa and timothy silage.

Growth	Treatment <sup>1)</sup>	DM <sup>2)</sup>	OM	%					TDN (DM%)
				CP	EE	ADF	NDF	TDN	
Alfalfa-1 st	FM	68.8	71.0	75.5	72.8	64.6	64.2	66.7	
	CC	69.8	71.1	72.6	69.8	64.6	66.0	66.1	
Alfalfa-2 nd	FM	52.5	53.1	65.7 <sup>b</sup>	34.0 <sup>a</sup>	44.7	45.8	49.6	
	CC	54.3	55.2	69.6 <sup>a</sup>	24.5 <sup>b</sup>	42.8	46.9	51.7	
Timothy-2 nd	FM	52.6	53.8	59.4	65.3 <sup>a</sup>	49.2	53.3	53.9	
	CC	51.7	53.0	60.1	56.7 <sup>b</sup>	47.7	52.1	52.0	

<sup>1)</sup>FM: Macerated, CC: Conventionally conditioned.

<sup>2)</sup>DM: Dry matter, OM: Organic matter, CP: Crude protein, EE: Ether extract, ADF: Acid detergent fiber, NDF: Neutral detergent fiber, TDN: Total digestible nutrient.

<sup>a,b</sup>: Mean values with different superscript letters were significantly different (P<0.05).

Table 12. Energy content of alfalfa-1st silage.

Item <sup>1)</sup>	FM <sup>2)</sup>	CC
Chemical composition		
Dry matter (%)	48.7	51.1
Organic matter (DM%)	86.7 <sup>b</sup>	89.0 <sup>a</sup>
Crude protein (DM%)	21.7 <sup>a</sup>	16.2 <sup>b</sup>
Ether extract (DM%)	5.8	3.3
Acid detergent fiber (DM%)	31.5 <sup>b</sup>	35.1 <sup>a</sup>
Neutral detergent fiber (DM%)	37.5 <sup>b</sup>	47.4 <sup>a</sup>
Body weight (kg)	596	583
Dry matter intake (kg/d)	7.6	8.6
Water intake (kg/d)	31.8	34.7
Energy content (DM basis)		
Gross energy (MJ/kg)	17.7 <sup>b</sup>	18.8 <sup>a</sup>
Digestible energy (MJ/kg)	12.2 <sup>b</sup>	13.1 <sup>a</sup>
Metabolizable energy (MJ/kg)	9.6 <sup>b</sup>	10.5 <sup>a</sup>
Apparent digestibility of GE (%)	68.9	69.7
Metabolizability of GE (%)	53.9	56.0

<sup>1)</sup>DM: Dry matter, GE: Gross energy.

<sup>2)</sup>FM: Macerated, CC: Conventionally conditioned.

<sup>a,b</sup>: Mean values with different superscript letters were significantly different ( $P < 0.05$ ).

Gross energy) 含量は低かった。GE の消化率は両区とも 69%，また、代謝率は FM 区 54%，CC 区 56% で処理区間差はなかったが、FM 区は GE 含量が低かったため、DE および ME 含量は相対的に低下した。

#### 4) 考 察

摩砕処理が消化性に及ぼす影響について、HONG ら (1988b) はアルファルファ乾草をヒツジに給与した結果、NDF 消化率は摩砕区が高いことを示した。また PETIT ら (1994) は、摩砕処理によりアルファルファ乾草とチモシー乾草の消化率向上効果が認められることを報告した。これは両草種とも、DM と ADF の分解可能な画分が相対的に増えることに起因するものと考察している。しかしながら、細切したサイレージでは消化性に関して摩砕の効果は得られないこと (CHARMLEY ら, 1997; FROST ら, 1995) や、逆に摩砕が負の効果となること (MERTENS と KOEGEL, 1992) が報告されている。本試験におけるサイレージの消化率は、Af-1st ではいずれの成分にも処理区間差がなく、TDN 含量も同じ値であった。また、Af-2nd は CP および EE 消化率に処理区間差が認められたものの、他の成分消化率および TDN 含量に処理区間の有意差はなかった。Ty-2nd も EE

消化率以外に差はなく、摩砕処理による顕著な消化性向上効果は認められなかった。さらに Af-1st の呼吸試験においても、エネルギー消化率およびエネルギー代謝率に処理区間差はなく、摩砕の効果は認められなかった。CHARMLEY ら (1997) は、細切サイレージではサイロ埋草時の細切処理が摩砕による消化性向上効果を打ち消してしまうことを挙げている。本試験においても、アルファルファサイレージは給与前に、またチモシーはサイロ埋蔵時にそれぞれ 20 mm で細切していることから、これが摩砕処理の効果打ち消したものと考えられる。そのため、今後の展開としてロールバールサイレージを細切せずに家畜に給与した消化試験あるいは呼吸試験データの蓄積が必要と考える。

#### 4. 要 約

ここでは、刈り取り後の牧草を圃場で予乾する際に、フォーレージマットメカを用いて牧草を摩砕圧縮し刈り株上で乾燥する方法が、予乾速度あるいは消化性に及ぼす影響について検討した。材料はアルファルファ 1, 2 番草 (Af-1st, Af-2nd) およびチモシー 2 番草 (Ty-2nd) で、これらをフォーレージマットメカで処理し予乾する区 (FM 区) と慣行法としてテッダで攪拌予乾する区 (CC 区) を設け、比較した。

実験 5 では、牧草の摩砕圧縮処理が圃場での原料草の予乾速度ならびにサイレージの飼料成分に及ぼす影響を調査した。圃場における牧草の乾燥速度は、Af-1st の FM 区では頻繁な攪拌を行った CC 区と同等であった。雑草混入の多かった Af-2nd やイネ科牧草の Ty-2nd では FM 区の乾燥速度が低下した。Af-1st の FM 区は CC 区に比較して葉部割合が高く、予乾中の雑草混入が少ないため高 CP 含量、低繊維含量となった。Af-2nd の葉部割合は Af-1st と同様に FM 区が高かったが、サイレージの雑草混入は両区とも約 35% と高く、飼料成分に処理区間差は認められなかった。Ty-2nd サイレージも飼料成分に顕著な処理区間差が認められなかった。

実験 6 では牧草の摩砕圧縮処理がサイレージの *in sacco* 分解率に及ぼす影響を調査した。その結果、アルファルファサイレージ茎部の *in sacco* DM 分解率には処理区間差が認められなかったものの、CP 分解率は FM 区が有意に高く、第一胃内で 70% 以上が分解されることが推察された。NDF 分解率は、

Af-1st で CC 区が高く、Af-2nd で FM 区が高い相反した結果となった。チモシーサイレージでは DM、CP および NDF 分解率に処理区間差は認められなかった。

実験 7 では摩砕圧縮処理がサイレージの消化性、エネルギー消化率および代謝率に及ぼす影響を検討した。その結果、サイレージの消化率にはアルファルファ、チモシーとも顕著な処理区間差は認められず、TDN 含量も両処理区で同等であった。Af-1st で行った呼吸試験の結果、エネルギー消化率および代謝率に処理区間差は認められなかった。これらの原因として、サイレージを給与前にそれぞれ 20 mm で細切したことが摩砕処理の効果を打ち消したものと考えられた。そのため、今後はロールベールサイレージを細切せずに家畜に給与した消化試験あるいは呼吸試験データの蓄積が必要と考えた。

#### IV. 低水分ラップサイレージ品質評価のための試料採取方法および評価指標の検討

##### 1. ロールベール内の試料採取位置の検討(実験 8)

###### 1) 目的

ロールベールラッピングシステムによるサイレージ調製技術の普及とともに、水分 30~50% 程度の低水分ラップサイレージの地域内流通が行なわれ始めており(近藤ら, 1998), 今後、流通量の増加が予想される。こうした中、価格設定などに利用できる品質評価基準の策定が求められているが、品質評価のための適正な試料採取法は未だ標準化されていない。これまでの報告にあるロールベールの試料採取法は、直径 1 インチ×長さ 36 インチのコアサンプラーをベール数カ所に差し込み引き抜く方法が多い(MARLEY ら, 1976; MONTGOMERY ら, 1986; RUSSELL と BUXTON, 1985; RUSSELL ら, 1990)。しかしながら、このサンプラーはサンプラー筒が細く採取量が少ない上、サンプラー筒が長く操作性が良好とはいえない。また、試料採取位置も報告毎に異なり品質面からの検討がなされていない。一方、農家での分析用試料採取は、素手でベール表面から試料をむしり取る方法が多く、不均一な採取量や採取部位間でのかたよりが生じ、分析値の信頼性が低いという問題がある。

そこで本実験では、実規模のロールベールから均一に試料を採取できるコアサンプラーを試作し、そ

の性能を調査するとともに、1 ベールを代表する試料を得るために最適な採取位置の検討を行った。

##### 2) 材料および方法

###### (1) 供試材料

チモシー (*Phleum pratense* L. 品種: ホクオウ) 1 番草およびアルファルファ (*Medicago sativa* L. 品種: 5444) 1 番草をそれぞれ早刈り(それぞれ栄養生長後期)、適期刈り(同, 出穂期および開花初期)、遅刈り(同, 開花期および開花揃い期)の各生育期に収穫し、水分約 30~50% を目途に予乾した後、実験 1~4 で供試したカッピングロールベール(設定切断長 40 mm) で梱包した。ラップ被覆はカビの発生等による品質低下を抑制する目的で重複率 50% 8 層巻で行ない、各生育期とも黒色系および白色系のフィルム(それぞれ幅 0.5 m, 厚さ 0.25  $\mu$ m) で 1 個ずつ、合計 12 個のロールベールサイレージを調製した。なお、調製直後のロールベールの DM 密度は平均 234.9 kg/m<sup>3</sup> であった。ベールは縦 1 段で貯蔵し、それぞれ約 1 カ月後に開封・調査した。サイレージの試料採取位置は Fig. 6 のように設定し、ベール 1 個につき 21 カ所から採取した。縦方向の採取位置はベールの天頂から 30 cm 下の部分、中央部分および底面から 30 cm 上の部分とした。ベール表面層は、電気ドリルの先端に内径 7 cm, 長さ 26 cm の鉄製の円筒(円筒先端の挿入部分には鋸刃を溶接してある)を取り付けたドリル式のコアサンプラーを試作し(Fig. 11)、表面から深さ 20 cm までを抜き取った。また、ロール内部はロールカッターで南北方向に縦に切断した後、表面からの深さが 20~40 cm および 40 cm~中心までの範囲を採取した。採取した試料はそれぞれ 60°C で 48 時間通風乾燥した後、飼料成分分析に供した。

原料草の試料採取は、予乾後のウィンドローを 50 m 毎に区画し、1 区画当たり 5 カ所で行った。その後、5 カ所の試料を混合し 1 区画分の試料とした。なお、ロールベール 1 個当たりを使用したウィンドローの長さは平均 185 m (3.7 区画) である。原料草試料は 60°C で 48 時間通風乾燥した後、飼料成分分析を行った。

###### (2) 化学分析

水分含量は 135°C 2 時間乾燥法(自給飼料品質評価研究会, 1994) で定量し、新鮮物中の含有率で示した。また、CP 含量はケルダール法で(森本, 1971),



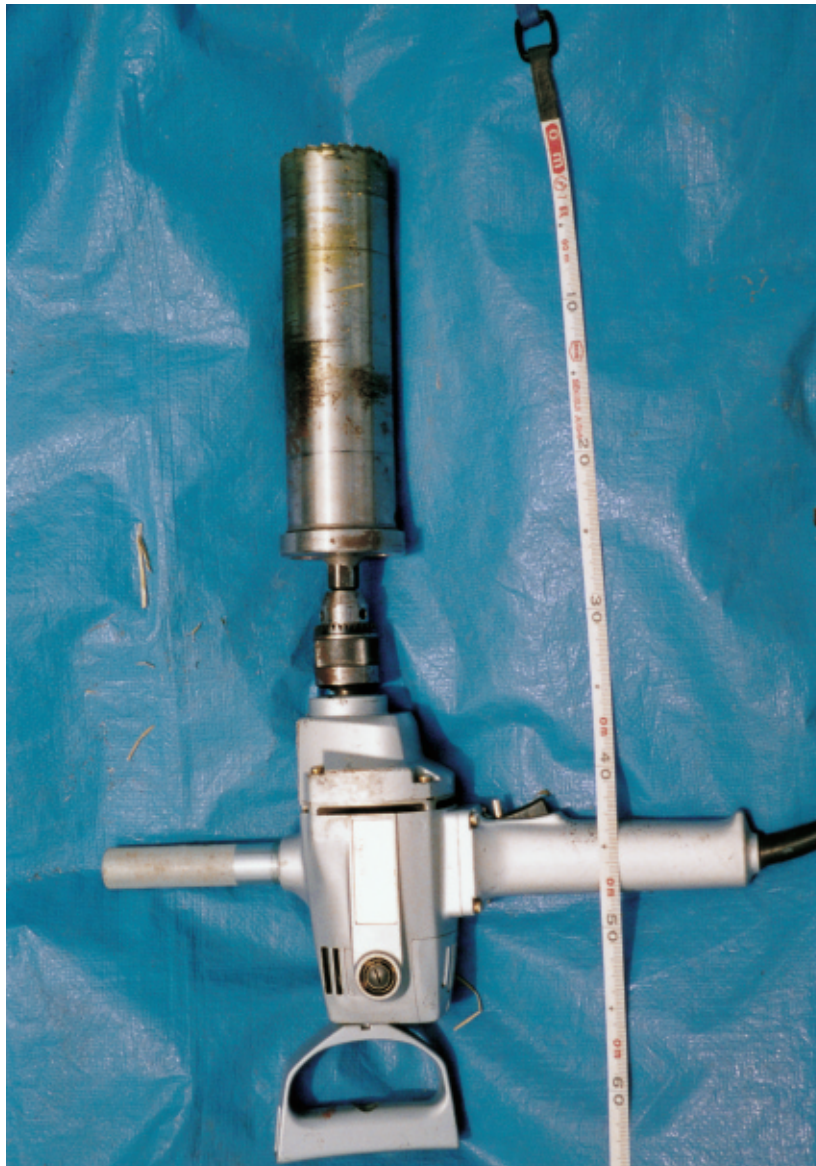


Fig. 11. Outward of core sampler (7 cm diameter, 26 cm core long).

NDF および ADF 含量は阿部の方法 (1988) でそれぞれ定量し, DM 中の含有率で示した。

### (3) 試料採取位置の選定

草種, 生育期, フィルム色および試料採取位置を因子とした分散分析および最小 2 乗平均値の差の検定により試料採取位置の選定を行なった。分散分析には以下のモデル式を用い, 計算には SAS の General Linear Models Procedure (SAS 出版局, 1990) を使用した。

モデル式;  $Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + (A*B)_{ij} + (A*C)_{ik} + (A*D)_{il} + (B*C)_{jk} + (B*D)_{jl} + (C*D)_{kl} + e_{ijkl}$

$\mu$ : 全平均,  $A_i$ : 草種<sub>i</sub> の効果,  $B_j$ : 生育期<sub>j</sub> の効果,  $C_k$ : フィルム色<sub>k</sub> の効果,  $D_l$ : 試料採取位置<sub>l</sub> の効果,  $e_{ijkl}$ : 誤差

### 3) 結 果

試作したコアサンプラーで採取できた試料 DM 量を Fig. 12 に示した。採取できた DM 量をチモシーとアルファルファで比較すると, 同じ部位から採取した場合, 草種間差は認められず, どの方向からでも等量採取できた。また, バールを縦置きした際の上端と下端にも差は認められず, DM 量で約 75~100 g を採取できた。バール中間部の試料は上端および下端に比較して密度が高かったため試料量は他の部位より約 40 g 多く採取された。

原料草の飼料成分組成を Table 13 に示した。原料草の水分含量は, チモシーが 35.7~41.9%, アル

ファルファが 42.9~51.7% であった。また, CP 含量はチモシーおよびアルファルファでそれぞれ 9.0~12.5% および 13.7~17.2%, 同様に ADF 含量は 27.6~36.8% および 33.8~37.1%, NDF 含量は 52.8~63.4% および 49.5~54.1% であった。1 個のロールバールに使用したウィンドロー内における各成分の変動係数は, 水分が 0.9~6.8%, CP が 0.9~5.3%, ADF が 0.4~4.1%, NDF が 0.8~3.2% の範囲にあった。

これらを用いて調製したサイレージの各成分含量および 1 個のロールバール内の成分変動を Table 14 に示した。ラップサイレージ内の水分, CP, ADF および NDF 含量の変動係数はそれぞれ 2.3~8.5%, 4.0~9.2%, 2.0~5.6% および 1.8~5.1% の範囲にあった。

これらサイレージ内の試料採取位置間の変動を解析するため, サイレージの水分, CP, ADF および NDF 含量について分散分析を行い, 結果を Table 15 に示した。水分, CP および NDF 含量では, 草種, 生育時期, フィルム色で有意な効果 ( $P < 0.01$ ) が認められたが, 21 カ所の試料採取位置に有意な効果はなかった。一方, ADF 含量では, 草種, 生育時期, フィルム色の他, 試料採取位置にも有意な効果 ( $P < 0.01$ ) がみられた。また, 交互作用をみると, 水分, CP, ADF および NDF 含量のいずれにおいても, 草種×生育時期および生育時期×フィルム色に有意な効果が認められた。さらに, NDF 含量では, 草種×フィルム色でも有意な効果 ( $P < 0.01$ ) が認められた。

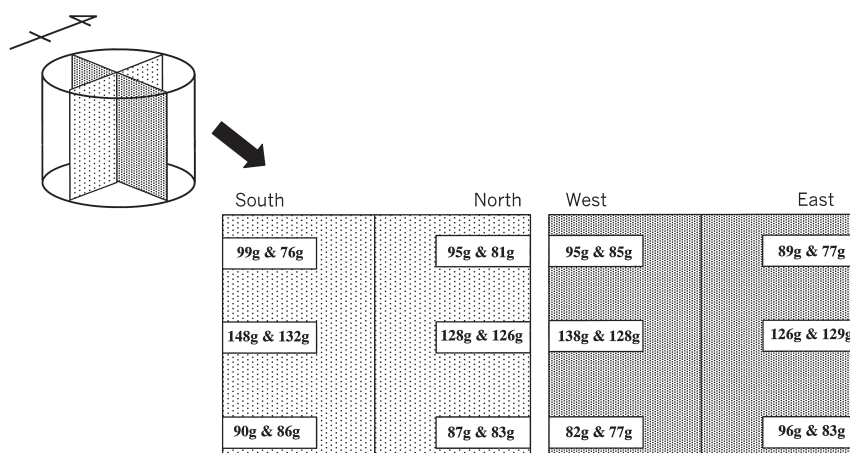


Fig. 12. Sampling sites and sample amounts of round bale silage. (Values were sample dry matter amounts (timothy & alfalfa)).

Table 13. Chemical composition<sup>1)</sup> of timothy and alfalfa herbage before ensiling.

Species Growth stage	Film color	Moisture %	CP <sup>2)</sup>		ADF DM(%)		NDF	
Timothy								
Late vegetative	Black	39.0(6.8)	12.1(4.8)	27.6(2.4)	52.8(3.2)			
	White	38.8(4.1)	12.5(5.1)	28.2(1.7)	53.6(0.8)			
Heading	Black	40.7(6.4)	10.9(3.8)	34.9(1.3)	61.8(1.6)			
	White	35.7(4.4)	9.8(3.8)	36.4(1.4)	63.4(1.3)			
Mid bloom	Black	41.9(1.8)	10.1(2.1)	34.7(1.1)	60.3(0.8)			
	White	39.8(1.6)	9.0(5.3)	36.8(1.4)	63.0(1.6)			
Alfalfa								
Late vegetative	Black	48.3(0.9)	17.2(3.3)	33.8(0.8)	49.5(1.7)			
	White	42.9(1.4)	17.1(1.0)	34.0(1.7)	50.1(1.6)			
Early bloom	Black	51.7(1.6)	15.2(0.9)	35.3(0.7)	50.8(1.9)			
	White	48.3(3.5)	14.7(2.9)	37.0(3.1)	53.3(1.7)			
Full bloom	Black	47.7(6.5)	14.0(1.2)	37.1(4.1)	54.1(1.0)			
	White	48.3(1.4)	13.7(0.9)	36.8(0.4)	53.8(2.2)			

<sup>1)</sup>Mean value and coefficient of variation of the windrow used for one bale.

<sup>2)</sup>CP: Crude protein, ADF: Acid detergent fiber, NDF: Neutral detergent fiber.

Table 14. Chemical composition<sup>1)</sup> of timothy and alfalfa silages.

Species Growth stage	Film color	Moisture %	CP		ADF DM(%)		NDF	
Timothy								
Late vegetative	Black	41.5(8.0)	13.0(6.3)	29.8(2.7)	53.5(3.2)			
	White	43.2(6.5)	13.3(4.3)	30.6(2.0)	54.2(2.0)			
Heading	Black	41.7(4.9)	11.5(9.2)	35.8(3.4)	60.8(3.6)			
	White	36.6(8.5)	10.3(5.4)	37.0(2.2)	63.2(2.2)			
Mid bloom	Black	42.6(3.8)	10.4(5.1)	36.1(2.4)	59.4(2.2)			
	White	40.2(2.3)	8.9(4.0)	38.8(2.9)	65.1(2.3)			
Alfalfa								
Late vegetative	Black	51.9(7.0)	17.9(4.7)	36.5(2.8)	49.4(3.4)			
	White	47.9(6.9)	16.9(4.2)	37.8(2.6)	51.4(1.8)			
Early bloom	Black	51.3(4.9)	16.3(3.4)	35.2(2.5)	48.5(2.2)			
	White	49.0(6.4)	15.2(3.8)	38.3(3.5)	52.8(2.9)			
Full bloom	Black	47.3(5.8)	14.3(6.6)	38.6(5.0)	53.7(5.1)			
	White	46.7(5.2)	14.9(6.3)	37.4(5.6)	51.0(4.5)			

<sup>1)</sup>Mean value and coefficient of variation of 21 sampling sites (Fig.6)

特に顕著な交互作用がみられた ADF 含量の草種×生育時期についてみると、アルファルファの ADF 含量は、生育時期の経過にしたがって緩やかに増加するのに対し、チモシーの ADF 含量は、栄養生長後期は低いが、出穂期以降、急激に増加したことが有意な交互作用に結びついたと考えられる。

次に、最小 2 乗平均値の差の検定により試料採取位置の選定を行った。本試験の分散分析結果では、試料採取位置の効果が有意であった成分は、ADF 含量のみであったため、検定は ADF 含量で行った。その結果 (Table 16)、各試料採取位置について、互

いの ADF 含量の最小 2 乗平均値に有意差 ( $P < 0.05$ ) の認められなかった採取位置は 10 箇所あった。

#### 4) 考 察

ロールベールの試料採取は、ドリルの先端に取り付けたコアサンプラーを、ベール表面から内部に回転させながら差し込み、ベール内の数カ所から採取する方法が多くを占める (ANDERSON ら, 1981; COLLINS ら, 1987; MARLEY ら, 1976; MIR ら, 1995; MONTGOMERY ら, 1986; NICHOLSON ら, 1991; RUS-



**Table 15.** Analysis of variance<sup>1)</sup> for moisture, crude protein, acid detergent fiber and neutral detergent fiber contents of silage.

Source <sup>2)</sup>	df	Moisture	CP <sup>3)</sup>	ADF	NDF
A	1	448.4*** <sup>4)</sup>	2069.8**	237.2**	816.8**
B	2	9.3**	316.5**	200.4**	122.1**
C	1	32.1**	40.2**	60.5**	51.8**
D	20	1.2	1.0	2.4**	0.9
A*B	2	17.2**	4.2*	156.4**	71.8**
A*C	1	0.2	2.3	2.5	8.7**
A*D	20	0.5	1.2	0.8	0.5
B*C	2	4.7*	5.4**	5.9**	5.0**
B*D	40	1.1	0.9	0.9	0.6
C*D	20	0.7	1.2	0.6	0.6

<sup>1)</sup>Model:  $Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + (A*B)_{ij} + (A*C)_{ik} + (A*D)_{il} + (B*C)_{jk} + (B*D)_{jl} + (C*D)_{kl} + e_{ijkl}$

$\mu$ : Mean, A<sub>i</sub>: Effect of species, B<sub>j</sub>: Effect of growth stage, C<sub>k</sub>: Effect of film color, D<sub>l</sub>: Effect of sampling site, e<sub>ijkl</sub>: Error.

<sup>2)</sup>A: Species, B: Growth stage, C: Film color, D: Sampling site.

<sup>3)</sup>CP: Crude protein, ADF: Acid detergent fiber, NDF: Neutral detergent fiber.

<sup>4)</sup>Significance levels were, \*: P<0.05, \*\*: P<0.01.

**Table 16.** Least squares mean of silage samples at 21 sampling sites<sup>1)</sup>.

Moisture(%)		CP(DM%)		ADF(DM%)		NDF(DM%)	
Site <sup>2)</sup>	Mean	Site	Mean	Site	Mean	Site	Mean
2	46.5	20	14.0	1	36.6	13	56.3
5	46.4	21	14.0	3	36.6	1	56.1
11	46.3	8	13.8	2	36.5	14	56.0
8	46.2	19	13.8	4	36.5	15	55.8
21	45.8	5	13.7	5	36.5	3	55.7
17	45.5	6	13.7	8	36.5	6	55.7
14	45.4	7	13.7	10	36.5	7	55.6
13	45.2	11	13.7	7	36.3	2	55.5
3	45.1	17	13.7	9	36.3	10	55.5
7	45.1	18	13.7	12	36.3	4	55.4
20	44.9	4	13.6	6	36.2	9	55.3
15	44.8	12	13.6	13	36.2	12	55.3
4	44.7	16	13.6	14	36.1	5	55.1
10	44.6	2	13.5	15	36.1	8	55.1
1	44.5	3	13.5	11	35.7	19	55.1
9	44.5	10	13.4	17	35.5	16	55.0
6	44.4	9	13.3	20	35.2	17	54.6
18	44.0	13	13.3	16	35.1	11	54.4
19	44.0	14	13.3	19	35.0	18	54.4
12	43.8	15	13.2	21	35.0	20	54.2
16	42.8	1	13.1	18	34.9	21	54.2

<sup>1)</sup>Samples were corrected from 12 silage bales.

<sup>2)</sup>Sampling sites were showed in Fig. 6.

<sup>3)</sup>95% confidence interval for least squares mean of acid detergent fiber.

SELL と BUXTON, 1985 ; RUSSELL ら, 1990 ; SAVOIE ら, 1996). コアサンプラーは, 試料採取ならびにサンプラーからの試料回収が容易で, 一定の容積を満たしていれば, どのような形状であっても問題はない. しかしながら, 数カ所の採取位置毎に採取量が

異なる場合や採取位置毎に分析値が大きく異なる場合には, 1 バールを代表する試料としての採用が難しいと考える. そこで本試験では, 初めに試作サンプラーを用いた採取位置間の採取量の変動について検討を行った. その結果, 採取量は水分含量が近似

していれば草種にかかわらず等量の試料が採取できることが認められた。また、縦置きしたバールでは、上端部および下端部と比較して中間部は密度が高く採取量が多くなるものの、円周面では東西南北いずれの方角から採取しても上下位置が変わらなければ等量採取できることが認められ、コアサンプラーによる試料採取の有利性が伺われた。

続いて、試料採取位置間の変動を解析するため、各サイレージ試料の水分、CP、ADF および NDF 含量について分散分析を行った。その結果、水分、CP および NDF 含量では、草種、生育時期、フィルム色には有意な効果が認められたが、21カ所の試料採取位置には、どの処理を加えても有意な効果は認められず、これらの全てが試料採取位置として有効であるという結果が得られた (Table 15)。これは、バール1個に用いた原料草のウィンドローの長さが平均185mと短く、圃場での予乾ムラが小さかったこと、低水分であったため貯蔵期間中の原料草の浸出液が少なかったことなどによるものと考えられる。

しかしながら、ADF 含量では、他の成分と異なり、草種、生育時期、フィルム色の他、試料採取位置に有意な効果が認められ、バール全体の ADF 含量を代表させることができない採取位置のあることが示された。そこで、ADF 含量について、21カ所の試料採取位置毎の最小2乗平均値をそれぞれ比較した (Table 16)。その結果、互いに有意差の認められない試料採取位置 (Fig. 13 の☆印部分および Table 16 の枠内) は10カ所選定され、この部位を低水分ラップサイレージの成分含量の代表値が得られる試料採取位置と選定した。

これら10カ所の内、バール底面の芯部 (Fig. 13 ⑬) およびバール内部 (Fig. 13 の⑦, ⑨, ⑫, ⑭) は、コアサンプラーで採取できないことから、除外

することとした。さらに、南・西面は日射が強いため、長期貯蔵を行った場合、紫外線の影響によるラップフィルムの劣化・破損が危惧されることなどがあり、実用的には日射の少ない北・東面からの試料採取が望ましいものと考えた。

以上の条件を考慮して総合的に判断すると、チモシーおよびアルファルファの低水分ラップサイレージでは、縦積みで貯蔵した場合、貯蔵時の北面下層部 (Fig. 13 の⑮) および東面上層部 (同⑯) のいずれか1カ所で、頂面から30cm、表面から深さ20cmまでの位置をコアサンプラーで試料採取することにより、そのロールバール全体の水分、CP、ADF および NDF 含量を代表する値が得られると考える。

## 2. 同一ロット内からのロールバール抽出個数の検討

### 1) 目的

実規模で生産した低水分ラップサイレージは、1圃場から生産されたものを1ロットとして扱う場面が多く、ロット内の代表となるバールをいかに選択するかが問題となる。コンパクトバール乾草では1ロットの品質を調査する場合、なるべく多くのバールから1バールにつき1試料を採取してそれを一括分析すればよいという報告がある (篠田ら, 1984)。低水分ラップサイレージも同様にロット内全ての品質を表示できれば良いが、この場合は実験3で取り上げた貯蔵性の問題があり、フィルムを切り取って試料採取用の穴を開けると、補修専用の粘着テープを貼ったとしても内部に空隙が生じ、バール内部の温度上昇やカビの発生、好気的変敗が危惧される (糸川ら, 1995; 杉本, 1990)。そのため、品質劣化の危険性を可能な限り小さくするため、1ロットを代表するバールの抽出個数を設定する必要がある。

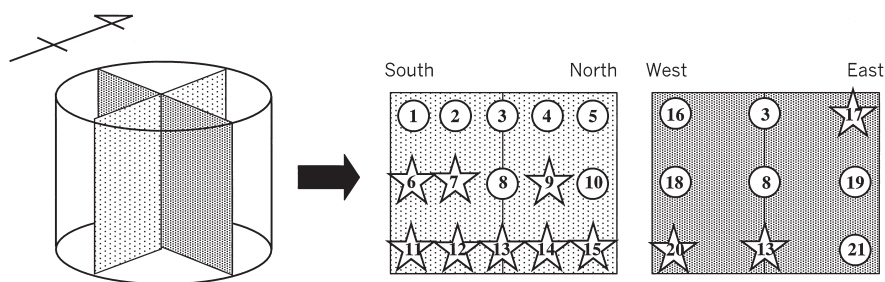


Fig. 13. Sampling sites of round bale silage.

☆: Suitable sampling sites for evaluating quality of round bale silage.

他方、予乾終了時の原料草の成分値から低水分ラップサイレージの品質が予測できれば、前述のような試料採取後の好気的変敗を回避することができる。これまでサイレージ調製に伴う原料草の養分損失に関する報告は数多くなされているが (BARRINGTON と BRUHN, 1970; BROUWN と KERR, 1965; GORDON ら, 1969; JOHNSON ら, 1984; KOEGEL ら, 1985; MAYNE と GORDON, 1986; McDONALD ら, 1991; SAVOIE ら, 1982), 原料草段階でのサイレージ品質予測に関する報告は少ない (萬田, 1994; McDONALD ら, 1973)。

そこで本実験では、はじめに予乾終了時の原料草を用いた低水分ラップサイレージの品質予測を試みる前段として、ウィンドロー間・ウィンドロー内の原料草の水分、CP および ADF 含量の変動を解析し、1 圃場もしくは 1 ベールを代表する原料草の試料が適正かつ簡易に採取可能かどうかを検討した。次に、低水分ラップサイレージのロット内の品質変動から分析用ベールの抽出個数を設定した。

## 2) 材料および方法

### (1) 供試材料

試験圃場として、圃場内の牧草の生育状況が比較的均一な A 圃場 (2 ha) および雑草の生育が旺盛で牧草の生育に変動があると認められる B 圃場 (2 ha) を選定した。A 圃場の基幹草種はアルファルファ (*Medicago sativa* L. 品種; 5444) 1 番草で、B 圃場の基幹草種はチモシー (*Phleum pratense* L. 品種: ノサップ) 2 番草である。牧草は刈取り後、圃場で水分約 30~50% を目途に予乾し、ベール直前のウィンドローから原料草の試料採取を行った。その後、実験 8 と同様のカッティングロールベアラ (設定切断長 40 mm) で梱包し、市販の黒色系フィルムでラップ被覆した。ラップ被覆は重複率 50% 8 層巻で行なった。調製したベールは縦 1 段積みで保管し、約 3 カ月後に開封・調査した。得られたベール数 (1 ロット) は A 圃場が 17 個、B 圃場が 16 個であり、内 10 個ずつを調査対象とした。

原料草の試料は、予乾後のウィンドローから 40 m 間隔で各々スポット状に 2 箇所ずつ採取し、分析値は 2 箇所の平均値を用いた。また、両圃場の種構成・生育状況・DM 収量は、収穫前の圃場からランダムに 5 箇所ずつ 1 × 1 m の坪刈りをして求めた。なお本実験では、1 個のロールベール (直径約 1.4 m, 高

さ約 1.2 m) を巻くことのできた原料草の列を、たとえ列の途中で巻き終わったとしても 1 ウィンドローとして取り扱った。

サイレージの試料は、貯蔵中に北面および東面が鳥獣害を受けたベールが多かったことから、貯蔵時の南面下層部を実験 8 と同様のコアサンプラーで採取した。

### (2) 化学分析および統計解析

採取した試料は、原料草、サイレージとも 60°C で 48 時間通風乾燥した後、飼料成分分析に供した。分析は実験 8 と同様に行った。

原料草のウィンドロー間・ウィンドロー内における成分変動の解析は、SAS の General Linear Models Procedure (SAS 出版局, 1990) を用いた分散分析 ( $P < 0.05$ ) により行った。また、1 ロットからの低水分ラップサイレージの抽出個数は単純無作為抽出法 (応用統計ハンドブック, 1995) により算出した。

## 3) 結果

両圃場の草種構成と DM 収量を **Table 17** に示した。B 圃場は A 圃場に比較して雑草の混入割合が高かった。また、B 圃場の DM 収量の平均値は A 圃場に比較して約 100 g/m<sup>2</sup> 低く、DM 収量の変動係数も 23% (A 圃場では 8%) と顕著に大きく、圃場内での生育ムラが大きな圃場であった。

両圃場の原料草の水分、CP、ADF 含量の平均値および変動係数を各々のロールベールを調製したウィンドロー毎に **Table 18** に示した。A および B 圃場の水分含量の平均値はそれぞれ 53.6% および 35.8%、CP 含量の平均値は 15.0% および 8.2%、ADF 含量の平均値は 36.5% および 34.9% であった。また、圃場全体の各成分の変動係数は両圃場とも近似した値であった。そこで、これらデータを用いた分散分析を行い、原料草の各成分含量の代表値が得られるかどうかを検討した。

はじめに、圃場内全ての試料採取位置間に成分含量の変動があるかどうかを検討した。結果を **Table 19** 上段に示した。試料採取位置の数は A 圃場が 2 ha 中 58 箇所、これら位置間には水分および CP 含量で有意差のあることが認められた。また、B 圃場の試料採取位置数は 2 ha 中 68 箇所であるが、3 成分全てに位置間の有意差が認められた。次に、各々のウィンドロー間に成分含量の差があるかどうかを検



Table 17. Botanical composition and dry matter yield at Pasture A and B.

Pasture A		Pasture B	
Species	SDR 2 <sup>1)</sup>	Species	SDR 2
<i>Medicago sativa</i> L.	100	<i>Phleum pratense</i> L.	100
<i>Rumex obtusifolius</i> L.	74	<i>Rumex obtusifolius</i> L.	63
<i>Poa pratensis</i> L.	15	<i>Setaria viridis</i> Beauv.	45
<i>Erigeron philadelphicus</i> L.	15	<i>Echinochloa crus-galli</i> Beauv.	31
<i>Capsella bursa-pastoris</i> Medic.	9	<i>Trifolium repens</i> L.	12
<i>Polygonum longisetum</i> De Bruyn	9	<i>Trifolium pratense</i> L.	9
<i>Phleum pratense</i> L.	6	<i>Polygonum longisetum</i> De Bruyn	8
<i>Chenopodium album</i> L.	6	<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	3
<i>Veronica arvensis</i> L.	6	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	2
<i>Trifolium repens</i> L.	5	<i>Chenopodium album</i> L.	2
<i>Taraxacum officinale</i> Weber	5	<i>Poa pratensis</i> L.	2
<i>Erigeron annuus</i> Pers.	4		
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	4		
Dry matter yield(g/m <sup>2</sup> )	384.1±29.2 <sup>2)</sup> CV=7.6% <sup>3)</sup>	Dry matter yield(g/m <sup>2</sup> )	278.9±63.2 CV=22.7%

<sup>1)</sup>SDR 2: (Coverage+Plant length)/2.

<sup>2)</sup>Mean±Standard deviation.

<sup>3)</sup>CV: Coefficient of variation.

Table 18. Moisture, CP and ADF contents of herbage before ensiling.

Windrow number	Pasture A			Pasture B		
	Moisture (%)	CP DM%	ADF	Moisture (%)	CP DM%	ADF
1	57.2( 6.9) <sup>1)</sup>	14.7( 6.6)	36.4( 4.6)	36.8( 8.9)	8.3( 6.9)	34.6( 2.5)
2	54.3( 7.4)	15.2( 5.1)	36.8( 4.9)	37.2( 7.8)	8.3( 4.8)	34.4( 2.4)
3	55.1( 8.2)	15.4( 7.4)	36.4( 3.4)	35.2( 7.0)	7.9( 8.1)	33.9( 2.0)
4	57.8( 4.9)	15.1(10.8)	35.9( 2.2)	36.8(10.2)	8.5( 6.2)	34.3( 2.5)
5	54.2( 3.8)	15.3( 2.7)	36.7( 4.1)	35.9( 5.9)	7.8( 8.0)	35.5( 6.3)
6	53.3( 6.5)	14.6( 5.7)	36.8( 2.7)	38.4( 7.3)	8.4( 4.4)	34.7( 0.7)
7	53.2( 5.9)	16.0( 4.8)	35.5( 2.0)	35.9(12.4)	7.9( 4.3)	35.6( 1.7)
8	52.4( 6.8)	14.9( 5.3)	36.4( 3.1)	35.4( 8.6)	8.1( 8.5)	35.9( 1.2)
9	50.5( 4.8)	14.2( 8.7)	36.9( 4.9)	34.7(10.0)	8.2( 6.4)	35.8( 1.0)
10	49.4(11.6)	14.8( 5.3)	36.7( 6.3)	32.0( 8.1)	8.4( 4.1)	34.5( 1.9)
Mean	53.6( 7.1)	15.0( 6.0)	36.5( 4.2)	35.8( 8.8)	8.2( 6.3)	34.9( 2.7)

<sup>1)</sup>Mean value and coefficient of variation of each windrow.

Table 19. Analysis of variance for moisture, crude protein and acid detergent fiber contents of herbage.

Source	Pasture	df	Moisture	CP <sup>1)</sup>	ADF
Sampling site in one pasture	A	57	2.08** <sup>2)</sup>	1.74*	1.15
	B	67	1.64*	2.77**	2.65**
Windrow in one pasture	A	9	4.90**	2.77**	0.69
	B	9	4.09**	3.20**	7.24**

<sup>1)</sup>CP: Crude protein, ADF: Acid detergent fiber.

<sup>2)</sup>Significance levels were, \*: P<0.05, \*\*: P<0.01.

討した。その結果(Table 19 下段)、両圃場とも各成分で圃場全体の変動の場合と同様の結果が得られ、

原料草のウィンドロー間には成分的な変動のあることが明らかになった。続いて、ウィンドロー内に成分含量の差があるかどうかを検討した。分散分析の結果を **Table 20** に示した。水分含量は両圃場とも試料採取位置間に有意差は認められず、ウィンドロー内の水分含量は均一であることが示された。一方、CP および ADF 含量は両圃場とも試料採取位置間に有意差のあるウィンドローが散見され、特に B 圃場では半数のウィンドロー内で ADF 含量の差が認められた。

**Table 20.** Analysis of variance for moisture, crude protein and acid detergent fiber contents of herbage at sampling site in one windrow.

Pasture	Windrow number	df	Moisture	CP <sup>1)</sup>	ADF
A	1	5	2.72	0.35	0.49
	2	6	1.86	1.47	0.33
	3	5	1.05	0.55	1.43
	4	3	3.51	0.26	3.34
	5	5	3.39	5.61 <sup>*2)</sup>	2.81
	6	4	0.77	2.67	1.21
	7	5	0.75	3.72	10.61
	8	5	4.30	5.20 <sup>*</sup>	0.55
	9	4	0.64	0.36	0.85
	10	6	0.12	3.82	0.76
B	1	6	0.58	2.96	0.19
	2	7	2.33	1.97	0.95
	3	6	0.39	0.19	0.88
	4	5	0.89	1.57	5.55 <sup>*</sup>
	5	6	0.93	2.18	1.09
	6	5	4.21	6.19 <sup>*</sup>	6.82 <sup>*</sup>
	7	6	0.70	12.38 <sup>**</sup>	5.98 <sup>*</sup>
	8	5	0.72	0.82	7.79 <sup>*</sup>
	9	6	1.57	6.21 <sup>*</sup>	19.92 <sup>**</sup>
	10	6	1.24	2.37	0.46

<sup>1)</sup>CP: Crude protein, ADF: Acid detergent fiber.

<sup>2)</sup>Significance levels were, \*: P<0.05, \*\*: P<0.01.

サイレージの水分、CP および ADF 含量を **Table 21** に示した。A 圃場および B 圃場から生産された低水分ラップサイレージの CP 含量の平均値は 15.4 および 8.4% で、その分散には両圃場間で有意差がみられた。一方、水分含量は A 圃場の変動係数が 3.9%、B 圃場が 6.9% と 3% の差があったものの、分散には圃場間の有意差は認められなかった。これは圃場が 2 ha と狭かったため、予乾作業が迅速に均一にできた結果と考える。ADF 含量の平均値は両圃場で 41.3 および 37.6% であり、分散の圃場間差はなかった。これらデータをもとに、単純無作為抽出法で試料採取用低水分バールサイレージの最小抽出個数を試算した結果 (**Table 22**)、目標精度毎の値を得ることができた。この表は、例えば水分含量を指標とした場合、目標精度を平均値 ± 2% に抑えるとする、両圃場ともランダムに 6 個以上選んでその平均値を出さなければ 1 圃場から生産された低水分バールサイレージの代表値は得られないことを示している。

**Table 21.** Moisture, crude protein and acid detergent fiber contents of silage.

Item <sup>1)</sup>	Moisture(%)		CP <sup>2)</sup> (DM%)		ADF(DM%)	
	Pasture A	Pasture B	Pasture A	Pasture B	Pasture A	Pasture B
Maximum	60.1	39.1	16.6	9.0	43.6	40.8
Minimum	52.9	29.5	13.1	7.9	39.1	36.1
Mean	55.9 <sup>a</sup>	34.1 <sup>b</sup>	15.4 <sup>a</sup>	8.4 <sup>b</sup>	41.3	37.6
SD	2.2	2.4	1.0	0.3	1.4	1.3
CV	3.9	6.9	6.5	3.8	3.3	3.5
Variance	4.8	5.5	1.0 <sup>a</sup>	0.1 <sup>b</sup>	1.9	1.7

<sup>1)</sup>SD: Standard deviation, CV: Coefficient of variation.

<sup>2)</sup>CP: Crude protein, ADF: Acid detergent fiber.

<sup>a,b</sup>: Mean values with different superscript letters were significantly different (P<0.05).

**Table 22.** Least sampling number of silage bales in one lot (95% confidence level).

Aimed at precision	Pasture A(N=17, n=10) <sup>1)</sup>			Pasture B(N=16, n=10)		
	Moisture	CP <sup>2)</sup>	ADF	Moisture	CP	ADF
Mean ± 0.1%	17	16	17	16	12	16
0.5%	14	9	12	14	2	11
1.0%	10	5	7	10	1	7
2.0%	6	1	1	6	1	1
3.0%	2	1	1	3	1	1
5.0%	1	1	1	1	1	1

<sup>1)</sup>N: Population, n: Sampling unit.

<sup>2)</sup>CP: Crude protein, ADF: Acid detergent fiber.

#### 4) 考 察

##### (1) 予乾原料草の圃場内成分変動

本実験では、1圃場から生産されたロールベールサイレージの試料ベール抽出個数を検討する前に、予乾原料草によるサイレージの品質予測を行えるかどうか、またそのために圃場を代表する原料試料が適正に採取可能かどうかを検討した。はじめに、圃場内の牧草の生育状況が比較的均一なA圃場と雑草の生育が旺盛で牧草の生育に変動のあるB圃場を選定し、圃場内全ての試料採取位置間に成分含量の変動があるかどうかを検討した。A圃場の試料採取箇所は2ha中58箇所、これら位置間には水分およびCP含量で有意差のあることが認められた。また、B圃場は2ha中68箇所、試料採取を行ったが、水分、CPおよびADF含量全てに位置間の有意差が認められた。次に、各々のウィンドロー間に成分含量の差があるかどうかを検討した。その結果 (Table 19)、両圃場とも各成分で圃場全体の変動の場合と同様の結果が得られ、原料草のウィンドロー間、換言すればロールベール1個体毎に用いた原料草はそれぞれが成分的に異なることが明らかになった。以上の結果から、原料草の各成分値は圃場全体で不均質であり、現実的にはランダムに数カ所から得られた試料でその圃場から生産される原料草全てを代表させることは困難なことが示唆された。

しかしながら実験8では、ウィンドロー内の水分、CPおよびADF含量の変動係数がそれぞれ6.8%以下、5.3%以下および4.1%以下の場合、1個の低水分ベールサイレージ内の水分、CPおよび繊維成分含量に試料採取部位間の有意差 ( $P < 0.05$ ) は認められていない。また、篠田ら (1984) もコンパクトベール乾草を調査し、ベール間で水分、CPおよび粗繊維含量に差はみられるが、ベール内ではこれら成分の変動が小さいことを示した。さらに、新田 (1970) はオーチャードグラスとシロクローバ1番草の成分変動を調査し、生草の水分含量は、 $3 \times 3$  mの小プロット内ではそれぞれ1.4%、0.9%ときわめて小さく、N、 $K_2O$ およびCaO含量の変動係数も10%以下で小さいという報告をしている。そこで、ベール内すなわちウィンドロー内の成分含量の変動は小さいものと仮定し、その程度を検討するため、ウィンドロー毎に成分含量の分散分析を行った。その結果 (Table 20)、水分含量は両圃場とも試料採取位置間に有意差は認められず、ウィンドロー内の水分含量

は均一であることが示された。一方、CPおよびADF含量は両圃場とも試料採取位置間に有意差のあるウィンドローが散見され、特にB圃場では半数のウィンドロー内でADF含量の差が認められた。以上のことから、サイレージ原料草のCPやADF含量は同一のウィンドロー内であっても試料採取位置によって含量が異なり、代表値を得ることは困難であることが示された。このことは、ランダムにスポット状にウィンドロー内の数カ所から抜き取った原料草試料からは開封後のロールベールサイレージの成分含量は予測できないことを示唆している。そのため、低水分ラップサイレージの品質調査には、そのサイレージから抜き取った試料を用いることが肝要であると考察した。

##### (2) 同一ロット内からの試料採取用ベール抽出個数の設定

A圃場およびB圃場から生産された低水分ラップサイレージのCP含量の平均値は15.4および8.4%で、その分散には両圃場間で有意差がみられた。一方、水分含量はA圃場の変動係数が3.9%、B圃場が6.9%と約3%の差があったものの、分散には圃場間の有意差は認められなかった。また、ADF含量の平均値は両圃場で41.3%および37.6%であり、分散の圃場間差はなかった。

これらデータをもとに、単純無作為抽出法で試料採取用低水分ベールサイレージの最小抽出個数を試算した結果、目標精度毎の値を得ることができた (Table 22)。本試験では、水分、ADF含量を指標とした場合、両圃場ともほぼ同様の抽出個数が設定できたが、CP含量を指標とした場合、抽出個数に圃場間差がみられた。これは、サイレージのCP含量の分散に圃場間差のあったことが大きな要因と考えられ、その原因として草種の違い、生育期の違い、雑草の混入割合など牧草生育状況の違いが挙げられる。一方、水分含量は収穫後に人為的な調整が可能である成分であることから、本実験程度の圃場状態で均一な予乾作業が実施できれば、得られた抽出個数はある程度の目安として利用可能であるものと考えられる。本実験では、2haの圃場から得られたベール総数を母集団の中の標本単位の総数 (N) とし、それからランダムに抜き取った10個を標本の中の標本単位数 (n) とした単純無作為抽出法で抽出個数を算出した。この場合、Nやnが大きく異なれば、得られる抽出個数も変化する。今後、抽出個数を一般化す



るためには面積の異なる母集団でのデータ蓄積が必要である。また、牧草の生育条件は地域、年次、栽培方法、草勢などの条件により異なるため、多様な圃場からのデータ採取・蓄積の必要性がある。

### 3. 低水分ラップサイレージの簡易品質判定指標の選定

#### 1) 目的

低水分ラップサイレージの品質を迅速かつ適切に評価するためには、試料採取方法の標準化とともに品質評価指標の選定が必要となる。現状では乳酸発酵型の高・中水分サイレージを対象とした品質評価基準（例えばフリーク法）を適用しているが、発酵の微弱な低水分サイレージでは品質を過小評価する傾向がある上、分析が煩雑なため（自給飼料品質評価研究会, 1994）、迅速な評価が要求される流通場面に適しているとは言い難い。そこで本実験では、低水分ラップサイレージの実用的な品質評価基準の策定に寄与することを目的とし、実験室内で分析可能なサイレージ品質評価項目として、pH、乳酸含量、有機酸組成、飼料成分組成（水分、CP、ADF および NDF 含量）ならびに BP 含量を取り上げ、これらから品質を適切に表現できる判定指標の選定を試みた。

#### 2) 材料および方法

##### (1) 供試材料

実験 8 で用いた低水分ラップサイレージを供試した。サイレージの試料採取は実験 8 と同様に 1 ベールにつき 21 箇所から行った (Fig. 6)。なお、サイレージの発酵品質および BP 含量は、貯蔵中の温度上昇が激しいと考えられる日なた表層部の 3 カ所 (Fig. 6 の①, ⑥, ⑩) と、貯蔵中の温度変化が少ないと考えられる芯部の 3 カ所 (Fig. 6 の③, ⑧, ⑬) について測定した。採取した試料の半量は 60°C で 48 時間通風乾燥した後、飼料成分分析に供した。残る半量はサイレージの発酵品質の分析に用いた。

##### (2) 化学分析および統計解析

試料の飼料成分分析は実験 8 と同様に行った。また BP 含量は ADIN として測定し (NRC, 1985)、全窒素中の値 (ADIN/TN) で示した。サイレージは大山の方法 (森本, 1971) に従って抽出後、VFA 含量はガスクロマトグラフィーで、乳酸含量は高速液体クロマトグラフィーで測定した。

統計処理は全て SAS の General Linear Models Procedure (SAS 出版局, 1990) を用いて行った。

#### 3) 結果

サイレージの飼料成分組成および発酵品質を Table 23 に示した。DM 含量はチモシーが 57.4~63.4%、アルファルファが 48.1~53.3% の範囲にあり、アルファルファが低い値であった。CP 含

Table 23. Chemical composition and fermentation characteristics of silage.

Item <sup>1)</sup>	Timothy		Alfalfa	
	Range	Mean	Range	Mean
Chemical composition				
DM(%)	57.4 -63.4	59.0	48.1 -53.3	51.0
CP(DM%)	8.9 -13.3	11.2	14.3 -17.9	15.9
ADF(DM%)	29.8 -38.8	34.7	35.2 -38.6	37.3
NDF(DM%)	53.5 -65.1	59.4	48.5 -53.7	51.1
BP(ADIN/TN%)	6.8 -10.4	8.4	7.1 - 8.3	7.7
Fermentation characteristics				
pH	5.5 - 5.8	5.6	5.2 - 5.6	5.4
Lactic acid(%)	0.06- 1.61	0.50	0.26- 1.64	0.79
Volatile fatty acids(%)				
Acetate	0.03- 0.92	0.22	0.02- 1.07	0.37
Propionate	-	0	-	0
Butyrate	0.00- 0.03	0.01	0.00- 0.03	0.01

<sup>1)</sup>DM: Dry matter, CP: Crude protein, ADF: Acid detergent fiber, NDF: Neutral detergent fiber, BP: Bound protein, ADIN/TN: Acid detergent insoluble nitrogen/Total nitrogen.

量はチモシーおよびアルファルファでそれぞれ8.9~13.3%および14.3~17.9%, ADF含量は同29.8~38.8%および35.2~38.6%, NDF含量は同53.5~65.1%および48.5~53.7%の範囲にあった。以上, これら一般的な飼料成分組成では, アルファルファがチモシーに比較してCPおよびADF含量が高く, NDF含量が低いという明確な草種間差が認められた。BP含量はADIN/TN比でチモシーが6.8~10.4%, アルファルファが7.1~8.3%でいずれも低含量であり, 草種間差も認められなかった。発酵品質はチモシーおよびアルファルファでpHがそれぞれ5.5~5.8および5.2~5.6と両草種とも高く, 乳酸含量がそれぞれ0.06~1.61%および0.26~1.64%, 酢酸含量がそれぞれ0.03~0.92%および0.02~1.07%と低く, プロピオン酸は検出されなかった。また, 不良発酵の指標とされる酪酸含量も両草種で0.03%以下であり, サイレージ発酵は微弱であった。

#### 4) 考 察

通常, サイレージの品質は栄養価と発酵品質で評価される。栄養価は水分, CP, 粗脂肪, 粗繊維および粗灰分を測定する一般飼料成分分析法の他, 繊維成分を反芻家畜の利用に即して分画するデタージェント法(VAN SOESTら, 1991)や酵素法(阿部, 1988)により行われており, これら分析体系にもとづいて消化率やTDN含量, エネルギー価などが計測されている。飼料の栄養価は家畜の飼料設計や健康管理上, 必須項目であり欠かすことはできない。近年では光学機器の発達によりNIRSを用いた迅速で比較的精度の高い分析手法が確立している(甘利ら, 1987; MARTENら, 1984; 水野ら, 1988a; NORRISら, 1976; O'KEEFFEら, 1987; SHENKら, 1981)。最近では乾燥後の未粉碎試料を大型セルに入れ測定する簡便法も開発されている(甘利ら, 1998; 水野ら, 1998)。一方, フリーク法(森本, 1971; 大山と白田, 1972; 高野と安宅, 1986)に代表される発酵品質を用いたサイレージ品質評価法はおもに高・中水分域のサイレージを対象としており, 低水分サイレージや発酵が抑制されたサイレージの品質を過小評価する傾向がある(自給飼料品質評価研究会, 1994)。そこで本実験では初めに, 流通を想定した低水分ラップサイレージの品質評価に発酵品質が適用可能かどうかを検討した。供試した原料草は水分含

量が36~52%と低水分であったが, これをサイレージ化したところ, 外観的にはフィルムの裂け目付近はスポット的にカビの発生している箇所があったものの, 全体的なカビの広がりには認められなかった。低水分原料をサイレージ化した場合, 発酵は弱く(McDONALDら, 1991), 乳酸がほとんど生成されず, VFAはおもに酢酸が生成されることが報告されている(MUCKとSPECKHARD, 1984; 大山と柗木, 1968)。本試験におけるサイレージの発酵品質(Table 23)もこれら報告と同様, pHの最大値が5.8, 最小値が5.2, 平均値が $5.5 \pm 0.2$ と高い値を示した。VFAは主として酢酸が検出されたが, その平均値は新鮮物中で0.30%と低く, プロピオン酸は検出されず, 酪酸含量も最大値で0.03%と僅少であった。また, 乳酸含量は平均値が0.65%と低く, 発酵は微弱であった。従来のフリーク法にpH, VBN/TNを追加した高野と安宅の評価法(1986)では, 良質サイレージの基準をpHが4.2以下, 乳酸含量1.5~2.5%, 酢酸含量0.5~0.8%, 酪酸含量0.1%以下, VBN/TN比8.0%以下と設定している。これを本試験の低水分サイレージに適用すると, pHが高く, 乳酸が低含量であるため, 不良発酵の指標である酪酸やVBN/TN比が僅かであっても評価は下がる。このことから, カビ等の影響による品質劣化のない低水分サイレージの場合, 発酵品質は品質判定指標として適当ではないことが示唆された。

続いて, サイレージ中のBPについての検討を行った。実験1~4で述べたように, 高水分ロールベール乾草を被覆せずに貯蔵した場合, 内部発熱による蛋白質変性(BJARNASONとCARPENTER, 1970)によりBPの増加程度は大きくなり(MONTGOMERYら, 1986), 家畜の嗜好性ならびに消化率の低下などの原因となる(GARCIAら, 1989; GOERINGら, 1973; GOERING, 1976; MAEDAら, 1988; MONTGOMERYら, 1986; YU, 1976; YUとTHOMAS, 1976; YUとVEIRA, 1977)。一方, フィルムで被覆した場合は, 好気性菌による内部発熱が抑制される(糸川ら, 1995)。1990年に筆者らが行なった調査(野中ら, 1991)では, チモシー1番刈生草でADIN/TN比の最大値が17%, またアルファルファ1番刈生草では11%の値を得た。また, 日本飼養標準乳牛(1999)においても, 出穂後のイネ科乾草およびアルファルファ乾草のBP含量は12および10%とされている。これらと比較して本試験のサイレージ中BP含

量は最大値 10.4%，最小値 6.8%，平均値  $8.0 \pm 1.25\%$  と低く，生草と同等のレベルであり，糸川らの報告（1995）と同様の結果が得られた。このことは，30～50%前後の水分域のロールベールサイレージではラップ被覆により気密性を保持できれば BP 含量は増加しないことを示すものであり，品質劣化の指標として相対的に寄与の程度が低いことを示唆している。

以上の結果，特に迅速な評価が要求される流通場面においては，低水分ラップサイレージの品質判定指標として発酵品質は必ずしも必要ではなく，品質評価には NIRS による迅速・高精度分析手法が確立している一般飼料成分で対応できるものと考えられた。

#### 4. 要 約

低水分ラップサイレージの流通時に使用できる実用的な品質判定基準を開発する目的で，水分含量約 30～50% 台のチモシーおよびアルファルファ低水分ラップサイレージを供試し，試料採取法の検討および評価指標の選定を試みた。

実験 8 では，低水分ラップサイレージの分析用試料の採取方法を検討するため，コアサンプラーを試作し，ベール表層の試料が均一に採取可能かどうかを検討した。次にこのサンプラーを用いて草種・生育期・フィルム色の異なる計 12 個のベールから貯蔵時の方位，上下位置を考慮し，それぞれ 21 箇所ずつ試料を採取し，その水分，CP，ADF および NDF 含量の変動から最適な試料採取位置の選定を行った。その結果，試作したコアサンプラーは，水分含量が近似していれば草種にかかわらず等量の試料が採取できること，また，縦置きしたベールでは上端部および下端部と比較して中間部は密度が高く採取量が多くなるものの，円周面では東西南北いずれの方角から採取しても上下位置が変わらなければ等量採取できることが認められた。低水分ラップサイレージ内 21 箇所から採取した試料の成分変動について，草種・生育期・フィルム色および試料採取位置を因子とした分散分析ならびに最小 2 乗平均値の差の検定による検討を行った結果，最適な試料採取位置はベールを縦置き貯蔵した場合の北面下層部および東面上層部であることが示された。これら部位の天頂から 30 cm，表面から深さ 20 cm までをコアサンプラーで抜き取り分析することにより，水分，CP，

ADF および NDF 含量の代表値が得られることが認められた。

実験 9 では，同一圃場から生産された低水分ラップサイレージの抜き取り調査個数を検討するため，生育が比較的均一な圃場（A 圃場；2 ha）と，雑草の侵入が多く牧草の生育が不均質な圃場（B 圃場；2 ha）から生産された低水分ラップサイレージ計 33 個を供試し，水分，CP および ADF 含量のベール間変動を調査した。その結果，単純無作為抽出法を用いることで目標精度ごとの抽出個数が得られた。抽出個数は水分・ADF 含量を指標とした場合，両圃場ではほぼ同数であったが，CP 含量を指標とした場合，圃場間差がみられた。これは CP 含量の分散に圃場間差のあったことが大きな要因と考えられた。また，原料草からサイレージの品質を予測する試みの前段として，1 圃場もしくは 1 ベールを代表する原料草の試料が適正に採取可能かどうかを，供試圃場で採取した予乾原料草を用いて検討した。その結果，両圃場の原料草の飼料成分組成にはウィンドロー間に有意差が認められ，圃場の原料草全てを代表する試料の採取は困難であることが示された。また，同一ウィンドロー内であっても CP や ADF 含量の異なる部位が散見され，数カ所から採取した試料でそのウィンドロー全体を代表させることは難しいことがわかった。以上から，サイレージの品質調査には，サイレージから抜き取った試料を用いなければならないことが示唆された。

実験 10 では，実験 8 で供試したサイレージを用い，実験室内で分析可能なサイレージ品質評価項目として，pH，有機酸組成，飼料成分組成（水分，CP，ADF および NDF 含量）ならびに BP 含量を取り上げ，その中から低水分ラップサイレージの流通時に利用できる品質評価指標として有効な成分の選定を行った。その結果，サイレージ発酵は微弱で，pH が 5.5 と高く，新鮮物中の乳酸含量が平均 0.65%，酢酸含量が平均 0.30%，酪酸含量が最大 0.03% と低含量であり，これら発酵品質は品質評価指標として必須ではないことが示唆された。また，貯蔵中の発熱に起因する BP 含量は ADIN/TN 比でチモシーが 6.8～10.4%，アルファルファが 7.1～8.3% と低く，生草と同等のレベルであった。これらの結果から判断すると，低水分ラップサイレージの品質を迅速に評価する指標としては，NIRS で高精度の分析が可能な水分，CP，ADF および NDF 含量等の飼料成分



組成が妥当であるものと考察した。

## V. 総 括

ロールベールラップサイレージは梱包形態が運搬に適しているため、粗飼料不足の顕在化する地域では既に流通が始まっており(近藤ら, 1998), 水分低減によるベールの軽量化は不可欠な状況にある。しかしながら, これまでのロールベールサイレージ調製に関する報告の多くは, 序論で述べたように, 好気性微生物の増殖による品質劣化の危険性から中水分域での調製が前提とされており (BEAULIEU ら, 1993; KELLER ら, 1998; 萬田, 1994; 松本ら, 1989; 杉本ら, 1990), それ以下の水分で調製したサイレージの報告は極めて少ない。また, 本研究で対象とした低水分ラップサイレージは半乾きの高水分乾草と同等の水分域であり, これら高水分乾草の品質保持に添加物を用いた報告は多いものの (COLLINS ら 1987; MARLEY ら, 1976; MILLER ら, 1967; MONTGOMERY ら, 1986), フィルムで被覆した事例は糸川ら (1995) の報告にみられる程度で少ない。

一方, 我が国は多湿な上, 牧草収穫時に晴天が持続することは少なく, ロールベールサイレージ調製にはモーアコンディショナ単独の収穫方法が採られることはほとんどない。圃場での予乾時間を可能な限り短縮するためには, 刈り取った牧草をテッドで攪拌し予乾する方法が一般的であるが, アルファルファに代表されるマメ科牧草主体草地においては, 予乾作業中の脱葉による栄養価の損失が大きな問題とされている。脱葉は原料草の低水分化により助長されるため, マメ科牧草主体の低水分ラップサイレージを安定的に調製するためには, 脱葉をできるだけ抑制でき, かつ迅速な乾燥が行える予乾方法を確立する必要がある。

さらに, 低水分ラップサイレージの流通を円滑に行うためには, 価格設定等に利用できる品質評価方法が必要となる。我が国の流通粗飼料は乾草が主体であり, その品質判定法 (ROHWEDER ら, 1978; 篠田ら, 1984) は確立されているが, 序論で述べたようにサイレージ流通のための試料採取方法や品質評価方法は標準化されていない。特に低水分サイレージは発酵が抑制される傾向にあり, 高・中水分サイレージを対象として開発された発酵品質による品質評価法の適用の可否を検討する必要がある。

本研究は, 乾草調製の困難な我が国の気象条件下において, 流通可能な低水分ラップサイレージの安定的な調製ならびに適正な品質評価に資するためのいくつかの知見を得るために行ったものである。本研究は, 大きく3つの試験から構成され, 前2試験は低水分ラップサイレージの安定調製に関する試験であり, 残る1試験は低水分ラップサイレージの品質評価に関する試験とした。その結果を総括すると以下の通りである。

初めに, 北日本で多く栽培されている寒地型イネ科牧草を中心に, 既存の調製技術を組み合わせることで低水分ラップサイレージが安定的に調製可能かどうかを検討するとともに, 貯蔵中のフィルムが破損した場合の品質劣化程度, ならびにフィルム色がラップサイレージの品質に及ぼす影響を検討した (実験1~4)。その結果, 貯蔵中の発酵および蛋白質の熱変性程度から判定すると, チモシーでは水分20~50%の低水分原料草でもフィルム被覆を重複率50%で4層以上行えば気密性が保持でき, 2カ月間の貯蔵で高品質の低水分ラップサイレージが調製できることが明らかとなった (実験1)。また, 越冬を含む11カ月間の貯蔵であっても, 4層以上のフィルム被覆で, 貯蔵中のフィルム破損がない場合には好気性微生物の増殖による品質劣化を防ぐことが可能であることを確認した (実験2)。しかしながら一方で, 貯蔵中にフィルムを破損すると, 破損部から空気が侵入し, 好気性微生物の増殖の影響と考えられる温度上昇が認められ, それは約1週間で48°Cに達するとともに, カビが視認できるまでに発生することが認められた。なお, 破損個所別にみると縦置き貯蔵時の円周面が破損するとフィルムと牧草ベール表層間の空隙を水分や空気が移動しやすく, 大部分がカビに覆われ堆肥化するため, 低水分ラップサイレージの品質劣化を抑制するためには, 特にベール円周面のフィルム保全が最も重要であることが示唆された (実験3)。被覆フィルムの色が貯蔵中のベールの温度に及ぼす影響を黒色系および白色系で比較した結果, 黒色系フィルムはベール表面温度が最高59.6°Cまでに上昇し, 白色系に比較して約10°C高かったものの, 蛋白質の熱変性で増加するサイレージ中BP含量はフィルム色や部位差が認められず, 原料草と同等のレベルであり, 蛋白質の熱変性は僅少であることが認められた。この理由として, 本試験を行った北海道は夏季気温の日内較差が大きく,

ベール表層温は一時 50°C 以上を記録するがそれは持続せず、日没から翌朝にかけては気温低下の影響により表層温が低下するため、高温が長時間持続しなかったものと考えた。一方で、フィルム色と発酵品質の関係では、白色系は気温変動の影響を受けにくく、安定的な発酵環境を維持できるため黒色系に比較して pH が低く、発酵は相対的に促進される傾向が認められた(実験 4)。

引き続き、マメ科牧草の効率の予乾方法の確立に資するため、アルファルファを供試して、フォーレージマットメーカ(NISHIZAKI ら, 1997)による摩砕圧縮予乾法(FM 区)と慣行のテグダによる攪拌予乾法(CC 区)についてその乾燥速度、脱葉による養分損失程度を比較検討し、新しい予乾方法の適性と問題点の抽出を行った(実験 5~7)。その結果、雑草の混入が少ないアルファルファ草地の FM 区では、頻繁な攪拌を行った CC 区に比較して同等の速度で低水分域まで予乾することができた。一方、アルファルファに比較して茎部の細い寒地型イネ科牧草が多い圃場では、刈り株がマット重量を支えきれずに倒れ、マット下部が接地し、株間の水分蒸散が行われないため乾燥速度が低下することが確認された。このことから、フォーレージマットメーカによる予乾速度の向上効果(NISHIZAKI ら, 1997; 西崎ら, 1998)は、いかなる状況下でも発現するものではなく、雑草の侵入程度や牧草の生育状態など草地側の要因に大きく影響を受けることが明らかになった。また、サイレージの葉部割合は FM 区が CC 区に比較して有意に高いことが認められ、テグダによる予乾作業はアルファルファの葉部を脱落させることが確認できた。さらにアルファルファ草地の優先雑草が短草型の場合、刈り取り時の雑草混入は少ないものの、テグダのタインが刈り残した雑草を引き抜いて混入させるため、サイレージ内の雑草は増加し、飼料成分組成は低蛋白質・高繊維含量となることが示された(実験 5)。摩砕処理がアルファルファ茎部の第一胃内分解性に及ぼす影響については、生草(HONG ら, 1988a)および乾草(SIROHI ら, 1988)において、茎部破砕がリグニン化画分と非リグニン化画分を分離し表面積を増やす結果、第一胃内に生息する細菌のコロニーが広く分布し、*in vitro* NDF 分解率が高まることが報告されている。本試験におけるアルファルファ低水分サイレージの *in sacco* 分解率は、開花期に収穫した 2 番草では FM 区の NDF

分解率が高まったものの、開花 1/10 期の 1 番草では逆に摩砕処理した FM 区の NDF 分解率が低い結果となった。この理由として、1 番草では FM 区茎部は CC 区茎部に比較して NDF や易分解性のヘミセルロース含量が低かったことから(表 9)、摩砕により茎部の髄が露出し可消化 NDF 画分がサイレージ発酵に利用され、第一胃内で分解可能な NDF 量が相対的に減少したのと考えた。逆に 2 番草は刈り遅れたため茎部の木質化が進み、髄が露出しても NDF の多くはサイレージ発酵に利用されずに残存したものと推察した。この点について、高水分サイレージでは摩砕処理が牧草の表面積を増大させ、貯蔵中に乳酸菌に供給できる牧草の可溶性糖類を増やすことから埋草初期の乳酸含量が増加し、pH は急速に低下することが報告されている(CHARMLEY ら 1997; SAVOIE ら, 1996)。しかしながら、乳酸菌の活性が低下する低水分域の原料草や、木質化の進んだ原料草の発酵に対して摩砕効果が発現するかどうかについては明らかにされておらず、本試験の結果は再現性が高いとは言えない。この観点から、今後、これら原料草の摩砕がサイレージ発酵に及ぼす影響に関するデータの蓄積を行う必要があるものと考えられる。アルファルファの *in sacco* CP 分解率は、*a+b* 画分および ED において FM 区が CC 区を上回り、摩砕処理が第一胃内の CP 分解を促進することが明らかとなった。この理由として、第一胃内分解性蛋白質画分 B1(SNIFFEN ら, 1992)が残存し、その含量が相対的に高まったこと、また摩砕時に圧縮され茎部に接着した葉部が易分解性 CP 含量を高めたことを考察した(実験 6)。牧草の摩砕処理と消化性の関係について、乾草では摩砕処理による消化性向上効果が報告されている(HONG ら, 1988b; PETIT ら, 1994)。一方、高・中水分の細切サイレージではこれまでのところ乾草と同様の効果は認められていない(CHARMLEY ら, 1997; FROST ら, 1995; MERTENS と KOEGEL, 1992)。この理由は、細切サイレージにおける埋草時の細切処理が摩砕による消化性および消化管通過速度の向上効果を打ち消してしまうためと考えられている(CHARMLEY ら, 1997)。本試験では低水分サイレージの消化性を調査したが、その結果は高中水分サイレージと同様で、摩砕処理が消化率や TDN 含量に影響を及ぼすことはなく、エネルギーの消化率および代謝率にも処理区間差は認められなかった。これは給与前に行ったサイ



レージの細切が、CHARMLEYら(1997)の考察と同様に摩砕処理の効果を打ち消したためと考えられた。ロールベールサイレージを細切せずに家畜に給与した場合には、乾草と同様に消化率向上効果が認められる可能性が高く、今後、データ蓄積の必要性が認められた(実験7)。

以上、アルファルファを始めとするマメ科牧草ではテグダによる攪拌予乾は脱葉や雑草混入による養分低下を誘起するため推奨できず、圃場での迅速な予乾にはフォーレージマットメーカーによる摩砕圧縮処理が有効なことが示された。しかしながら、摩砕処理した低水分ラップサイレージを家畜に給与した報告は少なく、消化性や採食量あるいは生産性などに関する研究蓄積が必要なことも本研究の中で指摘された。これら以外にも、ROTZら(1990)は、マットメーカー使用の際のコスト計算を行い、乾草利用経営では摩砕処理により高い収益性が見込まれるが、高水分細切サイレージ体系では慣行の体系と比較して差は認められないことを、またMcGECHAN(1992)は、マット成形技術がサイレージの排汁による環境汚染を軽減するメリットを取り上げ、サイレージ利用経営で経済的利益をもたらすことを報告した。今後の研究展開として、フォーレージマットメーカーを利用したマメ科牧草低水分ラップサイレージの実用化を目指し、給与方法に関する試験や、他の飼料と組み合わせた飼養試験を実施する予定であるが、その他に環境負荷面あるいは経済面からのアプローチも重要な課題であることが認識された。

最後に、流通時の低水分ラップサイレージを想定し、適正な品質評価のための試料採取法および品質評価に必要な分析項目の選定などに関する検討を行った(実験8~10)。ここでは初めに、ベールからの試料採取法を検討した。前段として、ドリル式コアサンプラーを試作し、草種、生育期、フィルム色の異なる12個のベール表層各12箇所から試料を採取した結果、円周面のいずれの方向からであっても等量の試料を採取でき、試作サンプラーの採取性は良好であることが確認できた。次に、このサンプラーによる低水分ラップサイレージの最適試料採取位置についての検討を行った。その結果、縦積み貯蔵時の場合はベール北面下層部もしくは東面上層部のいずれか1カ所から試料を抜き取ることで、そのロールベールの代表値が求められるという結果が得られ

た(実験8)。

続いて、1圃場で生産された低水分ラップサイレージから選抜する試料採取用ベールの抽出個数の設定を行った。ロールベールサイレージは同一圃場から生産しても個々の品質に変動のあることが指摘されている(萬田, 1994)。そこでまず、サイレージ抽出個数の設定に先立ち、原料草の水分、CPおよびADF含量を各ベール間で比較し、個々のベールの品質が異なるかどうかを確認した。その結果、各ベールの原料草間には有意差が認められ、同一圃場であっても個々のベール品質は異なることが認められた。これを踏まえ、2haの圃場から得られた低水分ラップサイレージの総数を母集団の中の標本単位の総数(N)とし、それからランダムに抜き取った10個を標本の中の標本単位数(n)とした単純無作為抽出法で各成分毎の抽出個数を算出したところ、目標とする分析精度を達成するために必要なベール抽出個数を得られることが明らかになった。しかしながら、この場合Nやnが大きく異なれば、得られる抽出個数も変化するため、今後、抽出個数を一般化するためには面積の異なる多様な圃場からのデータ蓄積が必要なが示唆された(実験9)。

以上、低水分ラップサイレージのベール内およびロット内の試料採取方法に関して、一定の知見を得ることができた。引き続き、ここでは実験8のサイレージによる試験結果、ならびに実験9で調査したウィンドロー内原料草の変動を踏まえてベール内の最適採取位置に関する再考察を行う。実験8では、サイレージベール21箇所から採取した試料の水分、CP、ADFおよびNDF含量の変動を解析し、ベール北面下層部あるいは東面上層部のいずれか1カ所から試料を抜き取ればよいという結果が得られた。この理由として、ベール1個に用いた原料草のウィンドローの長さが平均185mと短く、圃場での予乾ムラが小さかったこと、低水分であったため貯蔵期間中の原料草の浸出液が少なかったことなどから、サイレージの水分、CPおよびNDF含量にベール内の変動がないことが挙げられた。また、サイレージのADF含量については、ベール内に変動があり、試料採取位置は10箇所選定されたものの、貯蔵時の方角と日射量の違いによるフィルム劣化の危険性や、コアサンプラーによる採取の容易さといった実用面から、試料採取位置を1箇所とした。一方、実験9で供試した2圃場の原料草では、水分含量は実験8同



様ウィンドロー内の試料採取位置間に有意差は認められなかったものの、CP および ADF 含量は両圃場とも採取位置間に有意差のあるウィンドローが散見され、特に雑草の生育が旺盛であった圃場では半数のウィンドロー内で ADF 含量の部位間差が認められた。このように成分のばらつきがあるウィンドローから生産された低水分ラップサイレージでは、バール 1 個につき 1 箇所からの抜き取り試料だけで品質評価を行った場合、評価の信頼性が低下する危険性がある。そのため試料採取箇所の数はさらに増やす必要があるものと考え。すなわち、少なくとも実験 8 で示した貯蔵時の東西南北面の表層それぞれ (Fig. 14 の⑥か⑪, ⑮, ⑰, ⑳) からコアサンプルで均一に試料を採取し、その平均値を用いる必要があるものと結論した。

最後に、低水分ラップサイレージの品質評価に用いる分析項目の選定を行った(実験 10)。サイレージの品質は栄養価と発酵品質で評価されている。ここではまず、栄養価の中でも低水分サイレージで品質劣化の原因とされている貯蔵中の発熱による蛋白質変性の程度を確認した。実験 1～4 で述べたように、高水分ロールバール乾草を被覆せずに貯蔵した場合、内部発熱による蛋白質変性(BJARNASON と CARPENTER, 1970)により BP の増加程度は大きくなり(MONTGOMERY ら, 1986)、家畜の嗜好性ならびに消化率の低下などの原因となる(GARCIA ら, 1989; GOERING ら, 1973; GOERING, 1976; MAEDA ら, 1988; MONTGOMERY ら, 1986; YU, 1976; YU と THOMAS, 1976; YU と VEIRA, 1977)。一方、同じ水分含量の原料草をフィルムで被覆した低水分ラップサイレージの場合は、好気性菌による内部発熱が抑制されることが報告されている(糸川ら, 1995)。そこで、実験 1～4 および実験 8～10 で供試したサイ

レージのうち、フィルム被覆を行わなかったものやフィルムを破損したものを除いた正常なバールについて、原料草およびサイレージの BP 含量 (ADIN/TN 比) の関係を調べた。その結果 (Fig. 15)、原料草およびサイレージの BP 含量の間には  $r = 0.709$  ( $P < 0.01$ ) の相関が得られ、発熱による蛋白質変性は起こらなかったことが示された。このことから、20～50%前後の水分域のロールバールサイレージでは、ラップ被覆により気密性を保持できれば好気性微生物の増殖を抑制でき、それゆえ BP 含量は品質劣化の指標として相対的に寄与の程度が低いことが明らかになった。次に、低水分ラップサイレージの品質評価に発酵品質を用いることの妥当性を検討した。低水分原料をサイレージ化した場合、発酵は弱く (McDONALD ら, 1991)、乳酸がほとんど生成されず、VFA はおもに酢酸が生成される (MUCK と SPECKHARD, 1984; 大山と柁木, 1968)。しかしながら、酪酸菌の増殖は抑制され、酪酸や

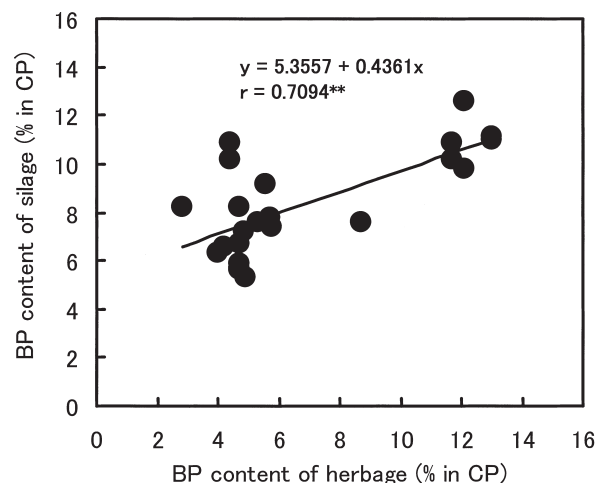


Fig. 15. Relationship between bound protein contents of herbage and silage.

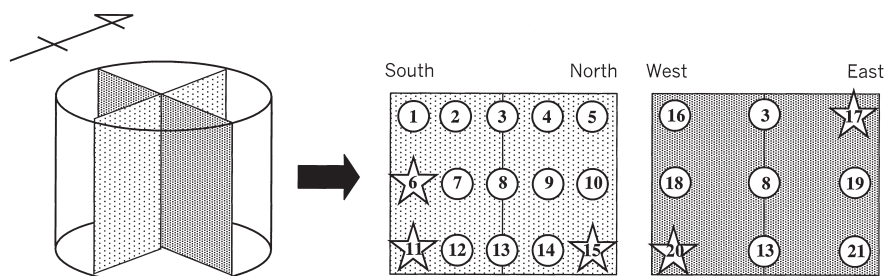


Fig. 14. Suitable sampling sites of round bale silage.

☆ : Suitable sampling points for evaluating quality of round bale silage.

VBN 含量の少ない良質サイレージが調製できる(糸川ら, 1995; 萬田, 1985; McDONALD, 1991, MUCK と SPECKHARD, 1984; 野中と名久井, 1995; 大山と柁木, 1968; 大山, 1970; 高野ら, 1968). 実験10において水分含量36~52%のサイレージ12点の発酵品質を検討した結果, pHは平均値が5.5と高く, 乳酸含量は平均値が0.65%と低く発酵は微弱であったものの, 不良発酵の指標である酪酸含量は最大値で0.03%と僅少であった. これらを従来のフリーク評点(高野と安宅, 1986)にあてはめると, pH, 乳酸含量からは劣質と判定されるが, 酢酸, 酪酸およびVBN/TN比では良質と判定され, 矛盾する結果となる. また, 発酵品質が一部関与していると考えられる採食量については, 実験1で同一原料草を水分を変えて(水分50, 40および20%ならびに乾草)調製し調査しているが, 水分40%以下では採食量の差は認められず, 発酵の影響は小さいものと判断された. これらの結果から, カビ等の影響による品質劣化のない低水分ラップサイレージの場合, 発酵品質は品質評価指標として適当ではなく, 特に迅速な評価が要求される流通場面においては, NIRSによる迅速・高精度分析手法が確立している一般飼料成分で対応可能なものと結論した.

## 謝 辞

本論文をまとめるにあたり, 岩手大学農学部教授中嶋芳也博士, 同教授雑賀 優博士, 帯広畜産大学畜産学部教授岡本明治博士, 弘前大学農学生命科学部教授豊川好司博士, 山形大学農学部教授高橋敏能博士には, ご多忙中にも関わらず御懇切なる御指導を賜り, かつ御高閣の労をおとりいただいた. 本研究は東北農業研究センター畜産草地部名久井忠部長の御指導の元に開始したものであり, その遂行に当たっては, 元畜産試験場飼養環境部伊藤稔部長ならびに北海道農業研究センター畜産草地部竹下潔部長に多大な御教示と御指導を賜った. また畜産草地研究所企画調整部業務第5科原慎一郎科長, 北海道農業研究センター畜産草地部飼料評価研究室久米新一室長ならびに大下友子主任研究官には, 研究の実施に際して多くの御協力と激励をいただいた. 畜産草地研究所家畜生理栄養部反すう家畜代謝研究室寺田文典室長には呼吸試験の実施にあたり多くの御指導をいただいた. 畜産草地研究所家畜育種繁殖部家畜

育種研究室佐々木修主任研究官には, データの統計解析にあたり多くの御助言をいただいた. 北海道農業研究センター畜産草地部放牧利用研究室小川恭男室長, 同草地生産研究室高橋俊室長, 北海道立根釧農業試験場草地環境科三枝俊哉科長ならびに畜産草地研究所山地畜産研究部山地畜産研究チーム手島茂樹主任研究官には, 草地管理および草地の植生調査にあたり多くの御協力をいただいた. さらに, 帯広畜産大学畜産学部教授西崎邦夫博士, 北海道農業研究センター総合研究部農業機械研究室井上慶一室長, 村上則幸研究員, 宮浦寿美研究員, 国岡治由技官および横地泰宏技官にはフォーレージマットメーカーの利用にあたり格別の便宜を図っていただいた. その他, 北海道農業研究センター企画調整部業務第1科および3科, 同畑作研究部業務科の職員諸氏には, 様々な面で研究遂行の便宜を図っていただいた. ここに記し, 心から深甚の謝意を申し上げる.

## 引用文献

- 1) 阿部亮(1988): 炭水化物成分を中心とした飼料分析法とその飼料栄養価評価法への応用. 畜産試験場研究資料. P.1-75. 農林水産省畜産試験場, 荏崎.
- 2) AGBOSSAMEY, Y. R., SAVOIE, P., SEOANE, J. R. and PETIT, H. V. (2000): Effect of intensity of maceration on digestibility and intake of alfalfa hay and silage fed to sheep. *Can. J. Anim. Sci.*, 80, 113-121.
- 3) AJIBOLA, O., KOEGEL, R. and BRUHN, H. D. (1980): Radiant energy and its relation to forage drying. *Transactions of the ASAE*, 23, 1297-1300.
- 4) 甘利雅弘, 阿部亮, 田野良衛, 柁木茂彦, 芹沢駿治, 古賀照章(1987): 近赤外分析法による粗飼料の成分分析と未知飼料の推定精度. *日草誌*, 33, 219-226.
- 5) 甘利雅弘, 阿部亮, 芹沢駿治, 古賀照章(1989): 近赤外分光法による粗飼料の成分分析と栄養価の推定法. II. 成分分析値からのTDN推定法と直接TDN推定法の検討. *日草誌*, 34, 271-279.
- 6) 甘利雅弘, 梶雄次(1998): 近赤外分析における無粉碎試料による乾草の飼料成分推定. *日草誌*, 44 (別), 270-271.

- 7) 甘利雅弘, 柁木茂彦, 阿部亮(1998): 近赤外分析法による乾草および牧草サイレージのTDN推定. 日草誌, 44, 61-66.
- 8) ANDERSON, P. M., KJELGAARD, W. L., HOFFMAN, L. D., WILSON, L. L. and HARPSTER, H. W. (1981): Harvesting practices and round bale losses. Transactions of the ASAE, 24, 841-842.
- 9) BARRINGTON, G. P. and BRUHN, H. D. (1970): Effect of mechanical forage-harvesting devices on field-curing rates and relative harvesting losses. Transactions of the ASAE, 13, 874-878.
- 10) BEAULIEU, R., SEOANE, J. R., SAVOIE, P., TREMBLAY, D. and THERIAULT, R. (1993): Effect of dry-matter content on the nutritive value of individually wrapped round-bale timothy silage fed to sheep. Can. J. Anim. Sci., 73, 343-354.
- 11) BJARNASON, J. and CARPENTER, K. J. (1970): Mechanisms of heat damage in proteins 2. Chemical changes in pure proteins. Br. J. Nutr., 24, 313-329.
- 12) BRODERICK, G. A., KOEGEL, R. G., MAURIES, M. J. C., SCHNEEBERGER, E. and KRAUS, T. J. (1999): Effect of feeding macerated alfalfa silage on nutrient digestibility and milk yield in lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 82, 2472-2485.
- 13) BROWN, W. O. and KERR, J. A. M. (1965): Losses in the conservation of heavily-wilted herbage sealed in polythene film in lined trench silos. J. British Grassland Society, 20, 227-232.
- 14) BUCHANAN-SMITH, J. G. (1990): An investigation into palatability as a factor responsible for reduced intake of silage by sheep. Anim. Prod., 50, 253-260.
- 15) BUTLER, G. W. and BAILEY, R. W. (1973): Chemistry and biochemistry of harbage. Vol. 3. P. 1-295. Academic Press. London and New York.
- 16) CHARMLEY, E., SAVOIE, P. and McQUEEN, R. E. (1997): Influence of maceration at cutting on lactic acid bacteria populations, silage fermentation and voluntary intake and digestibility of precision-chopped lucerne silage. Grass and Forage Science, 52, 110-121.
- 17) CHIQUETTE, J., SAVOIE, P. and LIRETTE, A. (1994): Effects of maceration at mowing on digestibility and ruminal fermentation of timothy hay in steers. Can. J. Anim. Sci., 74, 235-242.
- 18) COBLENTZ, W. K., FRITZ, J. O., BOLSEN, K. K. and COCHRAN, R. C. (1996): Quality changes in alfalfa hay during strage in bales. J. Dairy Sci., 79, 873-885.
- 19) COLLINS, M., PAULSON, W. H., FINNER, M. F., JORGENSEN, N. A. and KEULER, C. R. (1987): Moisture and strage effects on dry matter and quality losses of alfalfa in round bales. Transactions of the ASAE, 30, 913-917.
- 20) DESWYSEN, A. G., ELLIS, W. C. and POND, K. R. (1987): Interrelationships among voluntary intake, eating and ruminating behaviour and ruminal motility of heifers fed corn silage. J. Anim. Sci., 64, 835-841.
- 21) FENLON, D. R., WILSON, J. and WEDDELL, J. R. (1989): The relationship between spilage and *Listeria monocytogenes* contamination in bagged and wrapped big bale silage. Grass and Forage Science, 44, 97-100.
- 22) FROST, J. P., POOTS, R., KNIGHT, A., GORDON, F. J. and LONG, F. N. J. (1995): Effect of forage matting on rate of grass drying, rate of silage fermentation, silage intake and digestibility of silage by sheep. Grass and Forage Science, 50, 21-30.
- 23) GARCIA, A. D., OLSON, W. G., OTTERBY, D. E., LINN, J. G. and HANSEN, W. P. (1989): Effects of temperature, moisture and aeration on fermentation of alfalfa silage. J. Dairy Sci., 72, 93-103.
- 24) GOERING, H. K. (1976): A laboratory assessment on the frequency of overheating in commercial dehydrated alfalfa samples. J. Anim. Sci., 43, 869-872.
- 25) GOERING, H. K., GORDON, C. H., HEMKEN, R.



- W., WALDO, D. R., VAN SOEST, P. J. and SMITH, L. W. (1972): Analytical estimates of nitrogen digestibility in heat damaged forages. *J. Dairy Sci.*, 55, 1275-1280.
- 26) GOERING, H. K., VAN SOEST, P. J. and HEMKEN, R. W. (1973): Relative susceptibility of forages to heat damage as affected by moisture, temperature and pH. *J. Dairy Sci.*, 56, 137-143.
- 27) GORDON, C. H., HOLDREN, R. D. and DERBYSHIRE, J. C. (1969): Field losses in harvesting wilted forage. *Agron. J.*, 61, 924-927.
- 28) GROTHEER, M. D., FUQUA, B. D. and JOHNSON, L. J. (1985): Strage and preservation of high quality, round bale tall fescue. *J. Anim. Sci. (Abst.)*, 61, 328.
- 29) HARRISON, H. P. (1985): Preservation of large round bales at high moisture. *Transactions of the ASAE.*, 28, 675-679, 686.
- 30) 北海道農業試験会議(1989): 牧草サイレージ品質判定基準-改訂版-. 昭和63年度北海道農業試験会議資料.
- 31) 北海道立新得畜産試験場(1977): ビッグベアラによる粗飼料の調製と利用に関する試験. 昭和51年度北海道農業成績会議資料.
- 32) HONG, B. J., BRODERICK, G. A., PANCIERA, M. P., KOEGEL, R. G. and SHINNERS, K. S. (1988a): Effect of shredding alfalfa stems on fiber digestion determined by in vitro procedures and scanning electron microscopy. *J. Dairy Sci.*, 71, 1536-1545.
- 33) HONG, B. J., BRODERICK, G. A., KOEGEL, R. G., SHINNERS, K. J. and STRAUB, R. J. (1988b): Effect of shredding alfalfa on cellulolytic activity, digestibility, rate of passage and milk production. *J. Dairy Sci.*, 71, 1546-1555.
- 34) HRISTOV, A. N. and BRODERICK, G. A. (1996): Synthesis of microbial protein in ruminally cannulated cows fed alfalfa silage, alfalfa hay, or corn silage. *J. Dairy Sci.*, 79, 1627-1637.
- 35) HUGHES, A. D. (1971): The non-protein nitrogen composition of grass silage III. The composition of spoiled silages. *J. agric. Sci., Camb.*, 76, 329-336.
- 36) HUTCHINSON, K. J. and WILKINS, R. J. (1971): The voluntary intake of silage by sheep. II. The effects of acetate on silage intake. *J. agric. Sci., Camb.*, 77, 539-543.
- 37) 糸川信弘, 本田善文, 小林亮英(1995): ラップサイロの特性および調製貯蔵条件と発酵品質. *日草誌*, 40, 478-487.
- 38) 自給飼料品質評価研究会(1994): 粗飼料の品質評価ガイドブック, P.1-195. 日本草地協会. 東京.
- 39) JOHNSON, D. G., OTTERBY, D. E., LUNDQUIST, R. G., TRUE, J. A., BENSON, F. A., SMITH, R. E., LINDOR, L. K. and STOMMES, R. C. (1984): Yield and quality of alfalfa as affected by harvesting and storage methods. *J. Dairy Sci.*, 67, 2475-2480.
- 40) JONSSON, A., LINDBERG, H., SUNDAS, S., LINGVALL, P. and LINDGREN, S. (1990): Effect of additives on the quality of big-bale silage. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 31, 139-155.
- 41) KELLER, TH., NONN, H. and JEROCH, H. (1998): The effect of sealing and of additives on the fermentation characteristics and mould and yeast counts in stretch film wrapped big-bale lucerne silage. *Arch. Anim. Nutr.*, 51, 63-75.
- 42) KENT, B. A., ARAMBEL, M. J., WINSRYG, M. D. and WALTERS, J. L. (1989): Microbial inoculation of alfalfa haylage: ensiling characteristics and milk production response when fed to early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 72, 2325-2330.
- 43) KOEGEL, R. G., STRAUB, R. J. and WALGENBACH, R. P. (1985): Quantification of mechanical losses in forage harvesting. *Transactions of the ASAE*, 28, 1047-1051.
- 44) KOEGEL, R. G., SHINNERS, K. J., FRONCZAK, F. J. and STRAUB, R. J. (1986): Prototype for production of fast-drying forage mats. *ASAE Paper*, No. 86-1530.
- 45) 近藤恒夫, 金岡正樹, 嶺野英子, 村井勝(1998): 北東北の公共牧場におけるチモシー草地でのロールベールラップサイレージの生産実態と品

- 質. 日草誌, 44 (別), 400-401.
- 46) KUNG, L., SATTER, L. D., JONES, B. A., GENIN, K. W., A. L. SUDOMA, A. L., ENDERS, Jr., G. L. and KIM, H. S. (1987): Microbial inoculation of low moisture alfalfa silage. *J. Dairy Sci.*, 70, 2069-2077.
- 47) LIPPKE, H. and BARTON, II, F. E. (1988): Near infrared reflectance spectroscopy for predicting intake of digestible organic matter by cattle. *J. Dairy Sci.*, 71, 2986-2991.
- 48) MAEDA, Y., OKAMOTO, M. and YOSHIDA, N. (1988): Heat damage in hay-making of big bale. *J. Japan. Grassl. Sci.*, 34, 193-201.
- 49) 萬田富治(1985)：ロールバールサイレージの調製利用. 自給飼料, 4, 13-23.
- 50) 萬田富治(1994)：ロールバールサイレージシステムの基本と実際, P.1-128. 酪農総合研究所. 札幌.
- 51) 萬田富治(1999)：ラップサイレージの調製と利用, P.1-144. 酪農総合研究所, 札幌.
- 52) MARLEY, S. J., WILCOX, C. and DANLEY, M. M. (1976): The strange characteristics of large round bales. *ASAE Paper*, No. 76-1509.
- 53) MARTEN, G. C., BRINK, G. E., BUXTON, D. R., HALGERSON, J. L. and HORNSTEIN, J. S. (1984): Near infrared reflectance spectroscopy analysis of forage quality in four legume species. *Crop Sci.*, 24, 1179-1182.
- 54) 増子孝義(1996)：現場でサイレージを科学的に評価しよう. *Dairy Japan* 4月号付録, P.1-42. デーリィ・ジャパン社. 東京.
- 55) 松本博紀, 伊藤成宏, 唯野雅之, 中島廣, 篠田満, 萬田富治(1989)：ロールバールラッパーによるサイレージ調製試験. 畜産の研究, 43, 605-610.
- 56) MAYNE, C. S. and GORDON, F. J. (1986): The effect of harvesting system on nutrient losses during silage making. 1. Field losses. *Grass and Forage Science*, 41, 17-26.
- 57) McDONALD, P., HENDERSON, A. R. and RALTON, I. (1973): Energy changes during ensilage. *J. Sci. Fd Agric.*, 24, 827-834.
- 58) McDONALD, P., HENDERSON, A. R. and HERON, S. J. E. (1991): The biochemistry of silage 2nd ed. P. 1-340. Chalcombe Publications. Bucks.
- 59) McDONALD, P. and WHITTENBURY, R. (1973): The ensilage process in chemistry and biochemistry of herbage vol. 3., Academic Press. London and New York.
- 60) McGECHAN, M. (1992): Silage wilting technologies to reduce effluent production. *Agricultural engineer*, 47, 26-29.
- 61) MERTENS, D. R. and KOEGEL, R. G. (1992): Altered ruminal fermentation in lactating cows fed rations containing macerated alfalfa. *J. Dairy Sci. Suppl.*, 75, 233.
- 62) MILLER, L. G., CLANTON, D. C., NELSON, L. F. and HOEHNE, O. E. (1967): Nutritive value of hay baled at various moisture contents. *J. Anim. Sci.*, 26, 1369-1373.
- 63) MIR, Z., JAN, E. Z., ROBERTSON, J. A., MIR, P. S. and McCARTNEY, D. H. (1995): Effects of microbial inoculant and moisture content on preservation and quality of round baled alfalfa. *Can. J. Anim. Sci.*, 75, 15-23.
- 64) 水野和彦, 石栗敏機, 近藤恒夫, 加藤忠司(1988 a)：近赤外線反射率推定法による乾草の成分および栄養価の推定. II 推定精度に及ぼす草種構成の影響および推定に有効な波長の検討. 草地試研報, 38, 48-55.
- 65) 水野和彦, 石栗敏機, 近藤恒夫, 加藤忠司(1988 b)：近赤外線反射率推定法による乾草の成分および栄養価の推定. III 栄養価の推定方法としての近赤外反射率測定法と化学分析法の比較—オーチャードグラスについて—. 草地試研報, 38, 56-61.
- 66) 水野和彦, 榊原敏之, 杉田紳一, 中山貞夫(1998)：近赤外反射率測定法 (NIRS) によるオーチャードグラス未粉碎試料の化学成分および分解率の簡易推定法. 日草誌, 44 (別), 266-267.
- 67) MONTGOMERY, M. J., TINEO, A., BLEDSOE, B. L. and BAXTER, H. D. (1986): Effect of moisture content at baling on nutritive value of alfalfa orchardgrass hay in conventional and large round bales. *J. Dairy Sci.*, 69, 1847-1853.
- 68) 森本宏(1971)：動物栄養試験法, P.1-563. 養賢

- 堂. 東京.
- 69) 盛田清秀(1998): 畜産経営における農地集積に伴う問題点. 農業経営研究, 36, 127-132.
- 70) MUCK, R. E. and SPECKHARD, M. W. (1984): Moisture level effects on alfalfa silage quality. ASAE Paper, No. 84-1532.
- 71) MUCK, R. E., KOEGEL, R. G., SHINNERS, K. J. and STRAUB, R. J. (1989): Ensilability of mat-processed alfalfa. In proceedings of the CIGR Conference, 11, 2055-2061.
- 72) NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1985): Ruminant Nitrogen Usage, P. 1-86. National Academy Press. Washington, D.C.
- 73) NELSON, M. L., KLOPFENSTEIN, T. J. and BRITTON, R. A. (1989): Control of fermentation in high-moisture baled alfalfa by inoculation with lactic acid-producing bacteria: 1. Large round bales. J. Anim. Sci., 67, 1577-1585.
- 74) NICHOLSON, J. W. G., McQUEEN, R. E., CHARMLEY, E. and BUSH, R. S. (1991): Forage conservation in round bales or silage bags: effect on ensiling characteristics and animal performance. Can. J. Anim. Sci., 71, 1167-1180.
- 75) NISHIZAKI, K., SHIBATA, Y., YOKOCHI, Y. and NAKAYAMA, Y. (1997): Development of forage mat maker. ASAE Paper, No. 97-1099.
- 76) 西崎邦夫, 柴田洋一, 横地泰宏(1998): フォーレンジマットメーカーの開発. 農業機械学会誌, 60, 129-131.
- 77) 新田一彦 (1970): 牧草地における標本の変動. 北農試彙報, 97, 46-52.
- 78) NOCEK, J. E. (1988): In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: A review. J. Dairy Sci., 71, 2051-2069.
- 79) 野中和久, 名久井忠(1995): ストレッチフィルムの色が低水分ロールベールサイレージの発酵品質・結合蛋白質に及ぼす影響. 北草研報, 29, 68-72.
- 80) 野中和久, 名久井忠, 篠田満, 湯藤健治, 須田孝雄, 青谷宏明 (1990): 道東におけるロールベールラップの使用実態と効用について. 自給飼料, 14, 8-15.
- 81) 野中和久, 篠田満, 名久井忠(1991): 牧草類の生育にともなう蛋白質分画の推移. 北草研報, 25, 45-50.
- 82) NORRIS, K. H., BARNES, R. F., MOORE, J. E. and SHENK, J. S. (1976): Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy. J. Anim. Sci., 43, 889-897.
- 83) 農林省草地試験場 (1975): サイレージ試験法. 草地試験場資料 No.50-3. 農林省草地試験場. 西那須野.
- 84) 農林水産省農林水産技術会議事務局編(1995): 日本標準飼料成分表. 中央畜産会. 東京.
- 85) 農林水産省農林水産技術会議事務局編(1996): 日本飼養標準 めん羊. 中央畜産会. 東京.
- 86) 農林水産省農林水産技術会議事務局編(1999): 日本飼養標準 乳牛. 中央畜産会. 東京.
- 87) 大山嘉信(1970): サイレージ調製技術に関する諸問題. 畜産の研究, 24, 221-225.
- 88) 大山嘉信, 柁木茂彦(1968): サイレージ発酵に影響する諸要因に関する研究 III. 材料、水分含量、詰め込み密度およびサイロ内の気体の置換の影響. 日畜会報, 39, 168-174.
- 89) 大山嘉信, 白田尚(1972): フリーク法によるサイレージの有機酸分析法の検討. 日草誌, 18, 260-266.
- 90) O'KEEFFE, M., DOWNEY, G. and BROGAN, J. C. (1987): The use of near infrared reflectance spectroscopy for predicting the quality of grass silage. J. Sci. Food Agric., 38, 209-216.
- 91) ØRSKOV, E. R. and McDONALD, I. (1979): The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurement a weighted according to rate of passage. J. agric. Sci., Camb., 92, 499-503.
- 92) 応用統計ハンドブック編集委員会(1995): 応用統計ハンドブック, P.706-714. 養賢堂. 東京.
- 93) ÖZTEKIN, S. and ÖZCAN, M. T. (1997): Application of the maceration technique for drying forage in turkey. J. agric. Engng Res., 66, 79-84.
- 94) PETIT, H. V., SAVOIE, P., TREMBLAY, D., SANTOS, G. T. D. and BUTLER, G. (1994): Intake, digestibility and ruminal degradability of shredded hay. J. Dairy Sci.,



- 77, 3043-3050.
- 95) PHILLIP, L. E., UNDERHILL, L. and GARINO, H. (1990): Effects of treating lucerne with an inoculum of lactic acid bacteria or formic acid upon chemical changes during fermentation, and upon the nutritive value of the silage for lambs. *Grass and Forage Science*, 45, 337-344.
- 96) PITT, R. E. (1990): The probability of inoculant effectiveness in alfalfa silages. *Transactions of the ASAE*, 33, 1771-1778.
- 97) REEVES, J. B. III, BLOSSER, T. M., BALDE, A. T., GLENN, B. P. and VANDERSALL, J. (1991): Near infrared spectroscopic analysis of samples digested in situ. *J. Dairy Sci.*, 74, 2664-2673.
- 98) ROBERTS, C. A., MOORE, K. J., GRAFFIS, D. W., KIRBY, H. W. and WALGENBACH, R. P. (1987): Chitin as an estimate of mold in hay. *Crop Sci.*, 27, 783-785.
- 99) ROHWEDER, D. A., BARNES, R. F. and JORGENSEN, N. (1978): Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *J. Anim. Sci.*, 47, 747-759.
- 100) ROTZ, C. A., KOEGEL, R. G., SHINNERS, K. J. and STRAUB, R. J. (1990): Economics of maceration and mat drying of alfalfa on dairy farms. *Applied Engineering in Agriculture*, 6, 248-256.
- 101) RUSSELL, J. R. and BUXTON, D. R. (1985): Strage of large round bales of hay harvested at different moisture concentrations and treated with sodium diacetate and/or covered with plastic. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 13, 69-81.
- 102) RUSSELL, J. R., YODER, S. J. and MARLEY, S. J. (1990): The effects of bale density, type of binding and storage surface on the chemical composition, nutrient recovery and digestibility of large round hay bales. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 29, 131-145.
- 103) SAS 出版局 (1990) : SAS/STAT ユーザーズガイド Release 6.0 3ed, SAS 出版局. 東京.
- 104) SAVOIE, P., ROTZ, C. A., BUCHOLTZ, H. F. and BROOK, R. C. (1982): Hay harvesting system losses and drying rates. *Transactions of the ASAE*, 25, 581-585, 589.
- 105) SAVOIE, P., BINET, M., CHOINIERE, G., TREMBLAY, D., AMYOT, A. and THERIAULT, R. (1993): Development and evaluation of a large-scale forage mat maker. *Transactions of the ASAE*, 36, 285-291.
- 106) SAVOIE, P., TREMBLAY, D., CHARMLEY, E. and THERIAULT, R. (1996): Round bale ensilage of intensively conditioned forage. *Can. Agric. Eng.*, 38, 257-263.
- 107) SAVOIE, P., ASSELIN, N., LAJOIE, J. and TREMBLAY, D. (1997): Evaluation of intensive forage conditioning with a modified disk mower. *Applied Engineering in Agriculture*, 13 (5), 1-6.
- 108) SAVOIE, P., ROBERGE, M., LAJOIE, J., TREMBLAY, D. and LEMAY, S. P. (1999): Intensive forage conditioning applied to a self-propelled mower. *Applied Engineering in Agriculture*, 15, 107-115.
- 109) SHENK, J. S., LANDA, I., HOOVER, M. R. and WESTERHAUS, M. O. (1981): Description and evaluation of near infrared reflectance spectro-computer for forage and grain analysis. *Crop Sci.*, 21, 355-358.
- 110) 篠田満, 阿部亮, 岡本明治, 市川雄樹, 佐藤文俊, 久保政則, 高橋敏(1984) : 十勝地方における飼料生産とその評価に関する研究 1. 飼料分析におけるサイレージと梱包乾草からのサンプルリング法. *日草誌*, 30, 275-283.
- 111) SHINNERS, K. J., KOEGEL, R. G. and STRAUB, R. J. (1986): Drying rates of macerated alfalfa mats. *ASAE Paper*, No. 86-1033.
- 112) SHINNERS, K. J., KOEGEL, R. G. and STRAUB, R. J. (1988): Consolidation and compaction characteristics of macerated alfalfa used for silage production. *Transactions of the ASAE*, 31, 1020-1026.
- 113) SNIFFEN, C. J., O'CONNOR, J. D., VAN SOEST, P. J., FOX, D. G. and RUSSELL, J. B. (1992): A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and

- protein availability. *J. Anim. Sci.*, 70, 3562-3577.
- 114) STRAUB, R. J., KOEGEL, R. G. and SHINNERS, K. J. (1989): Harvesting systems for macerated mat dried alfalfa. *ASAE Paper*, No. 89-1511.
- 115) SIROHI, U. S., HONG, B. J., KOEGEL, R. G., BRODERICK, G. A., SHINNERS, K. J. and STRAUB, R. J. (1988): Mechanical and chemical treatments to modify the digestibility of alfalfa stems. *Transactions of the ASAE*, 31, 668-671.
- 116) 杉本亘之 (1989) : 牧草の自然発火およびくん炭化防止対策. 畜産の研究, 43, 49-54.
- 117) 杉本亘之, 峰崎康裕, 高橋圭二, 坂本洋一 (1990) : ロールベールサイレージの調製とその利用法. 畜産の研究, 44, 823-827.
- 118) SUWARNO, K., WITTENBERG, M., INGALLS, J. R. and McCaughey, W. P. (2000): Performance of lactating dairy cows fed macerated forage conserved as silage and hay. *Can. J. Anim. Sci.*, 80, 123-129.
- 119) 高野信雄, 安宅一夫 (1986) : サイレージバイブル, P.1-123. 酪農学園出版部. 江別.
- 120) 高野信雄, 山下良弘, 難波直樹, 鈴木慎二郎 (1968) : 低水分サイレージの調製利用に関する研究. 第1報 踏圧, 無踏圧処理が品質, 養分損失などに及ぼす影響と低水分サイレージの育成牛に対する飼養効果について. *日草誌*, 14, 44-50.
- 121) 内田仙二 (1999) : サイレージ科学の進歩, P. 1-272. デーリィ・ジャパン社. 東京.
- 122) VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J. B. and LEWIS, B. A. (1991): Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74, 3583-3597.
- 123) WATSON, S. J. and NASH, M. (1960): The conservation of grass and forage crops, P. 1-695. Oliver and Boyd. Edinburgh and London.
- 124) WILKINS, R. J., HUTCHINSON, K. J., WILSON, R. F. and HARRIS, C. E. (1971): The voluntary intake of silage by sheep. I. Interrelationships between silage composition and intake. *J. agric. Sci., Camb.*, 77, 531-537.
- 125) YU, Y. (1976): Relationship between measurements of heating and acid-detergent insoluble nitrogen in heat damaged fresh alfalfa, haylage and hay. *J. Dairy Sci.*, 59, 1845-1849.
- 126) YU, Y. and THOMAS, J. W. (1976): Estimation of the extent of heat damage in alfalfa haylage by laboratory measurement. *J. Anim. Sci.*, 42, 766-774.
- 127) YU, Y. and VEIRA, D. M. (1977): Effect of artificial heating of alfalfa haylage on chemical composition and sheep performance. *J. Anim. Sci.*, 44, 1112-1118.