

高水分ロールベール乾草の貯蔵性と栄養価 におよぼすアンモニアガス処理の効果

熊瀬 登*・出原裕次**・佐藤泰子**・藤田 裕**

(受理: 1982年5月31日)

Effects of Gaseous Ammonia Treatment on Preservation and Nutritive Value of High Moisture Roll Baled Hay

Noboru KUMASE*, Yuhji IDEHARA**, Yasuko SATO**, and Hiroshi FUJITA**

摘 要

アンモニアガスを水分30%のロールベール乾草に注入処理し、その貯蔵性と栄養価に対する効果を調べた。平均重量615kgのロールベール2個を用い、一方にアンモニアガスを乾草当たり2.2%注入し(Ex区)、他方を無処理区(Co区)とした。38日の貯蔵期間中のベール内温度変化、乾草のN分画および一般成分組成を調べるとともに、貯蔵後の乾草を両区とも外側部と内側部に等分し消化試験を行った。Co区は発酵により嗜好性が極度に低下したため、Ex区との混合給与とした。得られた結果は次の通りである。1) Ex区は貯蔵期間中の発酵による発熱や発酵はみられなかった。2) Ex区の全Nは1.5倍に増加したが、その増加分の83%はアンモニア態Nで、14%はアミド態Nとなり、純蛋白態Nには変化がなかった。3) Ex区はNDFの減少とADFの増加により、ヘミセルロースが減少した。4) Ex区におけるベール中の成分量は貯蔵後も損失が少なく、特に粗蛋白質・NFE・ADF・エネルギーは増加した。一方、Co区の損失率は各成分とも10%を越え、中でも乾物は20%、粗蛋白質は30%と大きな損失であった。5) Ex区の消化率は各成分ともCo区より高い傾向にあり、特に粗蛋白質はCo区内側部が44%で最低となり($P<0.01$)、粗脂肪はEx区内側部がCo区内側部に比べ15%高くなった($P<0.05$)。6) Ex区のDCPは9.6%でCo区の2倍となった。TDN・DEは両区に顕著な差はなかった。7) 以上から、高水分ロールベール乾草に対するアンモニアガス処理は、消化性の顕著な向上を得る物ではなかったが、貯蔵を極めて高めたことから有効な手段と考えられた。

本 文

ロールベールまたはビッグベールなる大型乾草梱包機械が導入されて10年近くがたち、北海道を中心に著しい普及をみせている。ロールベールは、刈取り適

期に大量の乾草調製が可能なることから、従来の小型梱包乾草に比べ有利とされている。しかし、ロールベールにおいても天候次第では、水分20~40%のいわゆる半乾草で梱包せざるを得ない場合がある。この場合は貯蔵中に微生物の作用で発熱が生じ、これによる養

* Two-year Course in Grassland Farming, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Hokkaido, Japan. 080

** Laboratory of Animal Nutrition, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Hokkaido, Japan. 080

分損失を無視することができない³⁾とともに、自然発火による火災も多数報告されている⁴⁾。

アンモニアは殺菌効果を有しているため、欧米では防黴剤としての検討が早くからなされている^{5,6)}。また無水アンモニアは沸点が -33°C であり大気中では急激に気化拡散し、湿った植物組織中に容易に浸透するため防黴効果も高い。さらにアンモニア添加は、水酸化物によるアルカリ処理を行うことにもなり消化性の向上がみられること^{7,8)}、反芻動物に対し N 源の供給を増加させることにもなる。

本実験では、高水分のロールペール乾草にアンモニアガス処理を施し、乾草の貯蔵性と栄養価に及ぼす効果を検討した。

実験方法

供試乾草は十勝管内芽室町で生産されたチモシー主体一番草で、水分約30%のロールペール2個を用いた。ペーラは Gallignani 製 9500 型を用い、ペールの直径は約 1.8 m、長さ約 1.5 m の円柱型であった。これらのペールのうち、一方のペール(原物重 630 kg)にアンモニアガスを乾物当り 2.2% 注入しアンモニア区とし、すのこ上に置いたペールを黒色ポリエチレンシートで密封した。アンモニア処理は、すのこ下に挿入したホースを通じてアンモニアガスをポンペより4日間に分けて注入し、注入終了3日間後にシートを密封した。さらに他方のペール(原物重 600 kg)を無処理区とし、密封せずにすのこ上にそのまま放置した。

両区とも貯蔵期間は38日(7月13日~8月20日)とし、貯蔵中のペール内温度変化をペール上部・中央部・下部について自動温度記録計で測定した。なお、貯蔵中は雨や夜露を避けるべく適宜シートでペールを被った。

貯蔵終了後の各ペールを外側部・内側部に等容積になるように二分し、各部の N 分画、一般成分組成を調べるとともに消化試験に供用した。N 分画において、全 N(TN) はケルダール法; 純蛋白態 N(TpN) はトリクロル酢酸法⁹⁾により求めた。アンモニア態 N(AN), アマイド態 N(AmN) は WANG ら¹⁰⁾の方法を用いて求めた。さらに TN から TpN, AN, AmN を引いたものを非蛋白態・非アンモニア態・非アマイド態 N(No) とした。また不溶性 N(ISN), 水溶性アンモニア態 N(SAN) を HUBER ら¹¹⁾の方法を用いて求め、TN から ISN と SAN を引いたものを

水溶性非アンモニア態 N(SnAN) とした。

ペール貯蔵後の乾草の栄養価を査定するために、去勢成メン羊4頭を供用し予備期7日間、本試験期5日間の消化試験を実施した。供試飼料は各区を外側部と内側部に分けた4飼料の予定であったが、無処理区に著しい発黴がみられ、供試動物の嗜好性が極度に低下したため、便宜上無処理区はアンモニア区との混合給与とした。すなわち次の4飼料である。1) アンモニア区外側部、2) アンモニア区内側部、さらに3) アンモニア区外側部と無処理区外側部を乾物で等量混合した物、4) アンモニア区内側部と無処理区内側部の混合物とした。消化試験より得られた成績は、4×4ラテン方格法により統計処理を行った。

結果および考察

貯蔵中の温度変化を Fig. 1 に表わした。アンモニア区ではアンモニアガス注入と同時に急激な温度上昇がみられたが、注入終了後速やかに低下し8日頃から外気温とほぼ同じ水準で推移した。当初の温度上昇はアンモニアと水分との反応熱によるもので、最高は上部の 65°C であった。無処理区では貯蔵開始と同時に発酵による明らかな発熱がみられ、最高では中央部の 59°C であった。その後日数の経過に伴い徐々に低下したものの、 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ が3週間程持続し24日頃から外気温の水準に落ち着いた。

KNAPP ら⁵⁾は水分30%の乾草に対して乾物当り約1.5%のアンモニアガス処理により発黴を抑制できるとし、KÜNTZEL ら⁶⁾は水分25~55%の乾草に対し防黴剤として原物当り1.5%のアンモニアガス添加をすべきとしている。本実験において貯蔵後のペールは無処理区では全体的に白色発黴がみられ、特に中心部が著しかった。一方アンモニア区では発黴が極めて抑制され、ペール最下部の表面にわずかに認められた程度であり、表面は茶褐色に変化したものの内部は十分に緑色を呈していた。

貯蔵後の乾草の N 分布をみると (Table 1), 両区とも内側・外側の部位による差はなかった。アンモニア区において TpN 含有割合は原料乾草と変わらなかったが、他の N 分画はどれも増加した。TN は平均 2.59%, AN は平均 0.80% となり、各々 1.5 倍、16 倍の増加となった。TN の増加量に対する AN 増加量は 83% であり、AmN 増加量は 14% となった。伊藤ら¹²⁾はアンモニア処理によるアンモニア態 N, ア

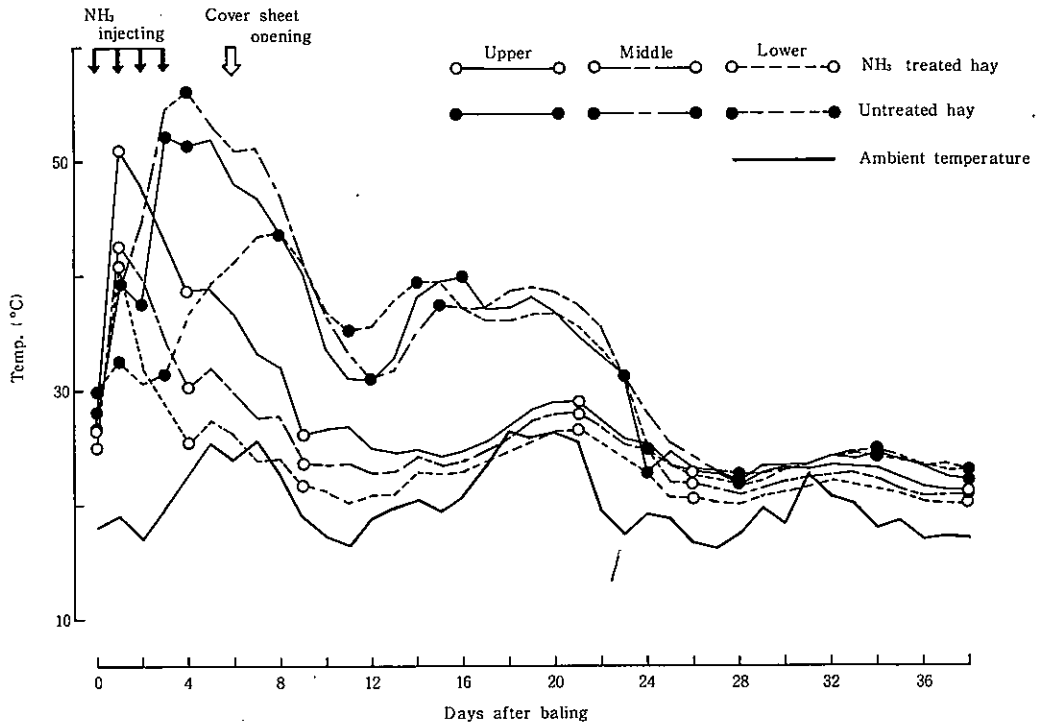


Fig. 1. Temperature trends in roll baled hay (Daily averaged temperature).

Table 1. Nitrogen distribution in ammoniated, untreated and original hay (% of dry matter).

| Treatment | Fraction ¹⁾ | | | | | | | |
|------------------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | TN | TpN | AN | AmN | No | SAN | SnAN | ISN |
| Original ²⁾ | 1.69 | 1.12 | 0.05 | 0.22 | 0.30 | 0.05 | 0.69 | 0.95 |
| Ammoniated | Outside | 2.54 | 1.13 | 0.78 | 0.32 | 0.31 | 0.75 | 0.77 |
| | Inside | 2.64 | 1.10 | 0.81 | 0.37 | 0.36 | 0.76 | 0.90 |
| | Average | 2.59 | 1.12 | 0.80 | 0.35 | 0.33 | 0.76 | 0.84 |
| Untreated | Outside | 1.55 | 1.08 | 0.16 | 0.18 | 0.13 | 0.16 | 0.48 |
| | Inside | 1.64 | 1.10 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.17 | 0.39 |
| | Average | 1.60 | 1.09 | 0.17 | 0.18 | 0.16 | 0.17 | 0.44 |

1) TN=Total N; TpN=True protein N; AN=Ammonia N; AmN=Amide N; SAN=Soluble ammonia N; ISN=Insoluble N; No=N other than TpN, AN and AmN; SnAN=Soluble N other than SAN.

2) Hay just before baling.

マイド態 N の増加は、ほとんど処理アンモニアに由来するものであったと報告している。本実験の結果も TN の増加はほとんど NPN の増加によるものであり、さらにその大部分が注入したアンモニアガスに由来したと考えられる。SAN は AN に比べやや低い値を示し、

ISN は原料乾草より増加した。HUBER ら¹¹⁾ は処理アンモニアの 40% は処理後直ちに植物組織中の物質と結合し、この結合が不溶性 N 区分を増加させたとしている。このことにより、注入したアンモニアはほとんど遊離状態で存在するが、アンモニア処理により

Table 2. Chemical components in ammoniated, untreated and original hay (% of dry matter).

| Treatment | Moisture | OM ³⁾ | CP ¹⁾ | Ammonia ²⁾ | Crude fat | NFE ³⁾ | NDF | ADF | Hemi-cellulose ⁴⁾ | Crude fiber | Crude ash | Energy ⁵⁾ |
|------------|----------|------------------|------------------|-----------------------|-----------|-------------------|------|------|------------------------------|-------------|-----------|----------------------|
| Original | 29.4 | 93.0 | 10.3 | 0.1 | 2.3 | 41.6 | 73.1 | 47.1 | 25.9 | 38.7 | 7.0 | 4.61 |
| Ammoniated | | | | | | | | | | | | |
| Outside | 22.7 | 92.4 | 11.0 | 0.9 | 2.1 | 40.0 | 72.6 | 49.9 | 22.7 | 39.4 | 6.6 | 4.66 |
| Inside | 22.1 | 92.3 | 11.5 | 1.0 | 2.5 | 40.0 | 71.6 | 50.2 | 21.4 | 39.4 | 6.7 | 4.73 |
| Average | 22.4 | 92.4 | 11.2 | 1.0 | 2.3 | 40.0 | 72.1 | 50.0 | 22.1 | 39.4 | 6.7 | 4.70 |
| Untreated | | | | | | | | | | | | |
| Outside | 18.1 | 92.5 | 8.7 | 0.2 | 2.2 | 42.6 | 73.7 | 49.9 | 23.8 | 39.0 | 7.3 | 4.65 |
| Inside | 17.3 | 91.7 | 9.1 | 0.2 | 2.4 | 41.0 | 73.3 | 48.8 | 24.5 | 39.2 | 8.1 | 4.59 |
| Average | 17.7 | 92.1 | 8.9 | 0.2 | 2.3 | 41.8 | 73.5 | 49.3 | 24.2 | 39.1 | 7.7 | 4.62 |

1) CP¹⁾=Crude protein corrected for ammonia; CP¹⁾=(TN-AN)×6.25.

2) Ammonia=AN×17/14.

3) OM³⁾, NFE³⁾=Organic matter or NFE corrected for ammonia.

4) Hemicellulose=NDF-ADF.

5) kcal per gram.

Table 3. Effect of hay ammoniation on the recovery of chemical components.

| Treatment | Bale weight | Moisture | Dry matter | OM ¹⁾ | CP ¹⁾ | Crude fat | NFE ¹⁾ | NDF | ADF | Crude fiber | Crude ash | Energy |
|-------------|-------------|----------|------------|------------------|------------------|-----------|-------------------|-------|-------|-------------|-----------|--------------------|
| Weight (kg) | | | | | | | | | | | | |
| Ammoniated | - 60 | - 57.4 | - 2.6 | - 5.1 | 4.0 | - 0.3 | -10.6 | - 6.2 | 11.4 | 1.9 | - 1.6 | 25 ²⁾ |
| Untreated | - 180 | -101.8 | -78.2 | -75.7 | -12.8 | - 1.9 | -31.9 | -55.7 | -29.4 | -29.1 | - 3.1 | -357 ²⁾ |
| Percentage | | | | | | | | | | | | |
| Ammoniated | - 9.5 | - 31.0 | - 0.6 | - 1.2 | 8.8 | - 2.9 | - 5.7 | - 1.9 | 5.4 | 1.1 | - 5.1 | 1.2 |
| Untreated | -30.0 | - 57.8 | -18.5 | -19.2 | -29.4 | -19.2 | -18.1 | -18.0 | -14.7 | -17.7 | -10.5 | -18.3 |

1) See Table 2.

2) Mcal.

植物組織に強く結合して水では抽出されない N が一部存在すると考えられる。

一方無処理区においては、AN と SAN が増加した他は全て貯蔵中に減少した。高水分牧草の貯蔵中の変敗によりアンモニア態 N が増加したという同様な報告³⁾がされている。

貯蔵後の乾草の一般成分組成では (Table 2), 部位間の差はなかった。原料乾草と比較し、アンモニア区の水分は貯蔵初期のアンモニア反応熱の影響と貯蔵中の蒸散により 7% 減少したが、無処理区では 12% の減少となり貯蔵中の発熱に伴う水分蒸散が激しかったことを示している。本実験においては、従来の粗蛋白質算出方法 (全 N \times 6.25) を用いると、アンモニア処理によるアンモニアの増加のため粗蛋白質が過大評価される。そこで Table 1 の AN より粗蛋白質補正值 (CP'=(全 N-AN) \times 6.25) を用い、アンモニア (AN \times 17/14) を一成分として表示した。CP' では原料乾草よりアンモニア区は 0.9% 増加し、無処理区は 1.4% 減少した。

アンモニア区における繊維性区分については、原料乾草に比べ NDF の減少と ADF の増加により、3.8% のヘミセルロース (NDF-ADF) 減少を示した。これらの結果はアンモニア処理を行った他の報告^{13, 14)}と同じであった。伊藤ら¹³⁾はアンモニア処理により NDF-N の減少量と ADF-N の増加量が一致することから、処理アンモニアがリグニンと結合してリグニン N 化合物が生ずることを推察している。

貯蔵後のバール重はアンモニア区が 570 kg の減少に対し、無処理区は 420 kg にまで減少した。バール重と Table 2 の成分値から算出した貯蔵中の各成分の増減量を Table 3 に示した。アンモニア区は CP', ADF, 粗繊維, エネルギーが増加した他は、各成分の損失率は乾物の 0.6% を最低として 6% 未満であった。これに対し無処理区は全成分について損失が多く、中でも乾物は 18.5%, 粗蛋白質は 29.4% の損失であった。貯蔵中に増加した AN を粗蛋白質に算入しても、その損失は 23.2% とやはり大きなものであった。KNAPP ら¹⁵⁾は 2 カ月間の貯蔵中に損失した乾物が、アンモニア処理乾草で 9.9% であったのに対し無処理では 15.1% と大きく有意であったと報告している。

貯蔵後の乾草の消化率および養分含量を Table 4 に示した。混合給与した無処理区の値はアンモニア区の消化率から推計したものである。有機物消化率は残

存するアンモニアを除外した補正值 (OM') で示したが、粗蛋白質・NFE・DCP・TDN は補正をしていない。なぜならアンモニアの消化率を求めることができないからである。アンモニア区の部位間における消化率の差は少なかった。アンモニア区では NFE 以外の各成分消化率は無処理区より常に高い傾向にあった。特に粗蛋白質において無処理区内側部が最低となり (P<0.01), 最高値を示したアンモニア区内側部より 19% 低かった。さらに粗脂肪においてもアンモニア区内側部は 52.4% で無処理区内側部との間に有意差があった (P<0.05)。

無処理区の消化率が推定であるため明確なことはいえないが、次のような考察が可能となろう。HORTON と O'SHEA⁷⁾は、穀類稈のアンモニア処理により粗繊維消化率が 21% 向上したのを始め、乾物・粗蛋白質・エネルギーの消化率向上を報告している。本実験結果では粗繊維消化率はアンモニア区が 2.7% 無処理区より高かったに過ぎない。これは、発黴乾草において粗繊維消化率が 10% 向上したとする報告があることから、無処理区の消化率も上昇したため相殺されたのであろう。箭原と沼川¹⁴⁾はセルラーゼ法による NDF・ADF 消化率が原料草の 2 倍に増加したという。細胞膜構成物質である NDF のアンモニア処理による減少は (Table 2), 消化性向上をもたらす有益な現象である。しかし伊藤ら¹⁶⁾はアンモニア処理による稲稈の組織構造の崩壊がみられたのは、アンモニア 5% 以上処理した場合であると報告している。本実験の乾物当り 2.2% のアンモニア注入率では、NDF 消化率の顕著な増加をもたらす程のものではなかったかも知れない。

養分含量では、アンモニア区の DCP は 9.6% となり無処理区の 2 倍であった。TDN・DE は各々 61.1% と 2.83 Mcal/g を示し、無処理区より 1% 増加したに過ぎない。本実験では、以上のようにアンモニア処理による消化性の向上は顕著ではなかった。これは、本実験におけるアンモニア注入率がこれまでの報告に比べ低く、消化性に影響を与えるに至らなかったのであろう。また無処理区の消化率をアンモニア区との混合飼料から推計したため、両者の相乗効果により差が明確化されなかったのかも知れない。

アンモニアガス処理に際して、ボンベが冷却され注入圧の低下により 4 日間に分けて注入を行った。この注入期間を短縮することは今後の課題とされたが、アンモニア区のバール内部位による N 分布や成分組成・

Table 4. Effect of hay ammoniation on digestibilities and nutritive values¹⁾ (% of dry matter).

| Treatment | Dry matter | Digestibilities | | | | | | | | | | Nutritive value | | | |
|------------|------------|------------------|---------------------|---------------------|------|------|------|-------------|--------|---------|---------|-----------------|--|--|--|
| | | OM ²⁾ | Crude protein | Crude fat | NFE | NDF | ADF | Crude fiber | Energy | DCP (%) | TDN (%) | DE (Mcal/kg) | | | |
| Ammoniated | Outside | 61.8 | 57.4 ^{b**} | 43.3 ^{ab*} | 53.4 | 73.5 | 69.9 | 75.9 | 59.3 | 8.8 | 60.4 | 2.80 | | | |
| | Inside | 62.9 | 62.7 ^{a**} | 52.4 ^{a*} | 53.1 | 73.3 | 70.8 | 76.3 | 60.7 | 10.3 | 61.8 | 2.87 | | | |
| | Average | 62.3 | 60.1 | 47.9 | 53.3 | 73.4 | 70.4 | 76.1 | 60.0 | 9.6 | 61.1 | 2.83 | | | |
| Untreated | Outside | 63.1 | 56.9 ^{a**} | 46.9 ^{ab*} | 58.6 | 69.9 | 67.0 | 73.6 | 60.2 | 5.4 | 61.6 | 2.77 | | | |
| | Inside | 60.5 | 43.7 ^{b**} | 37.8 ^{b*} | 57.3 | 71.9 | 67.1 | 73.2 | 58.0 | 4.2 | 58.7 | 2.66 | | | |
| | Average | 61.8 | 50.3 | 42.3 | 58.0 | 70.9 | 67.0 | 73.4 | 59.1 | 4.8 | 60.2 | 2.72 | | | |

1) Digestibilities of untreated hay were estimated from those of ammoniated hay.

2) See Table 2.

In the same column, values with different superscripts except averages differ significantly. (*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$)

消化率に差がみられなかったことは、ガスがペール内に均一に拡散したと考えられる。さらに、貯蔵中の発熱発黴による成分損失が極めて抑制されたことや、消化試験において供試動物の嗜好性が良好であったことなどから、高水分のロールペール乾草に対し、アンモニアガス処理は有効な手段と考えられた。

文 献

- 1) BECHTEL, H. E., A. O. SHAW and F. W. ATKESON, *J. Dairy Sci.*, 28: 35-48. 1945.
- 2) GREGORY, P. H., M. E. LACEY, G. N. FESTENSTEIN and F. A. SKINNER, *J. gen. Microbiol.*, 33: 147-174. 1963.
- 3) MOHANTY, G. P., N. A. JORGENSEN, R. W. LUTHER and H. H. VOELKER, *J. Dairy Sci.*, 52: 79-83. 1969.
- 4) 乾燥牧草（ロールペール）の自然発火に関する調査報告，釧路北部消防事務組合消防本部消防課。1981.
- 5) KNAPP, W. R., D. A. HOLT and V. L. LECHTENBERG, *Agron. J.*, 66: 823-824. 1974.
- 6) KÜNTZEL, U., Y. LESHEM and G. PAHLOW, *European Grassland Federation Forage Conservation in the 80's.*: 252-256. 1979.
- 7) HORTON, G. M. J. and G. M. STEACY, *J. Anim. Sci.*, 48: 1239-1249. 1979.
- 8) LAWLOR, M. J. and J. O'SHEA, *Anim. Feed Sci. Technol.*, 4: 169-175. 1979.
- 9) 森本 宏，動物栄養試験法，第1版，319，養賢堂，東京。1971.
- 10) WANG, P. Y., H. I. BOLKER and C. B. PURVES, *Can. J. Chem.*, 42: 2434-2439. 1964.
- 11) HUBER, J. T., J. FOLDAGER and N. E. SMITH, *J. Anim. Sci.*, 48: 1509-1515. 1979.
- 12) ITOH, H., Y. TERASHIMA, K. UEDA and Y. TAKAHASHI, *Jpn. J. Zootech. Sci.*, 52: 519-524. 1981.
- 13) ITOH, H., Y. TERASHIMA, N. TOHRAI and Y. MATSUI, *Jpn. J. Zootech. Sci.*, 46: 87-93. 1975.
- 14) 箭原信男，沼川武雄，日畜会報，49: 648-652. 1978.
- 15) KNAPP, W. R., D. A. HOLT and V. L.

- LECHTENBERG, *Agron. J.*, 67: 766-768. 1975.
 16) ITOH, H., Y. TERASHIMA and A. HAYASHIZAKI, *Jpn. J. Zootech. Sci.*, 52: 671-679. 1981.

Summary

A study was conducted to determine the effectiveness of gaseous ammonia as a preservative to prevent microbial activity and consequent nutritive loss in roll hay baled at a 30% moisture content. Two roll bales prepared averaged 615 kg in weight. One bale was treated with gaseous ammonia at a level of 2.2% of dry matter, and the other was used for control. Temperature trends in the bales after baling were measured over 38 days. After storage each bale was divided into outside and inside parts. Changes in nitrogen distribution and chemical components of the hay were analysed, and then subjected to digestion trials. In the trials, control hay was fed as a mixture with the ammoniated one, because they were very moldy and unpalatable. Results obtained are as follows; 1) No heating due to microbial activity and no deterioration by mold were observed in ammoniated hay. 2) In ammoniated hay, total-N increased by 1.5 times the original value, and ammonia-N and amide-N accounted for 83% and 14% of increased total-N, respectively. True protein-N content in the treated hay was not different from that of original one. 3) NDF reduced and ADF increased, consequently hemicellulose decreased by ammonia treatment. 4) Loss of chemical components in ammoniated hay was apparently lower than those in the untreated materials. Crude protein, NFE, ADF and energy were retained at a constant level in the ammoniated hay during storage. Relative loss of components in control hay was estimated above 10%, and loss of dry matter and crude protein accounted for 20% and 30%, respectively. 5) Digestibilities of several components in ammoniated hay were higher than

those of control hay. Particularly, digestibility of crude protein in the inner part of control hay was significantly lower than any other part and treatment ($P < 0.01$). Digestibility of crude fat in ammoniated inner hay was significantly higher than that of the control by 15% ($P < 0.05$). 6) DCP content of ammoniated hay was 9.6%, twice as much as that of the

control. TDN and DE content of ammoniated hay were not so different from those of the control. 7) It was indicated that gaseous ammonia treatment for high moisture hay, at the level of 2.2% of dry matter, was apparently useful in hay preservation, though there was little difference in nutritive values between the two hays.