

アンモニア処理乾草の調製と利用

帯広畜産大学 藤田 裕

昭和58年の北海道の夏は、極めて厳しい気象条件にさいなまれた。とくに1番草収穫期にかかる6月の全道平均気温10.7℃、平均降水量123mm、日照時間115hは、平年同期の13.7℃、96mm、177h（いずれも北海道気象速報による）にくらべ今期の悪条件ぶりを如実に物語っている。しかし近年の気象パターンからすれば、58年夏のみが特異な例外となる保証はない。そして、このような牧草収穫期における低温多雨が貯蔵飼料の量・質確保の面から北海道の酪農、肉牛生産を今後とも圧迫しつづけることは、十二分に予期しなければならぬところであろう。

乾草調製に付随する気象上の制約を消去する有力な方策として、牧草サイレージの利用はほぼ完全に定着したが、一方で、牧草サイレージも調製条件により品質・栄養価が必ずしも安定しないこと、多汁性粗飼料に過度に依存することへの不安などから、一定量の乾草は常時確保したいという意識が根強い。最近の大型ロールベラーの導入による乾草調製作業の能率化も乾草の利用量を確保するのに主要な役割を果しつつある。

しかしながら、ロールベールにせよ直方形コンパクトベールにせよ、ベール時の適正水分含量を常に順守することは實際上極めて困難であり、生乾きのままベールされる割合は低いとは言えない。この場合、収納後の発熱変敗によって生ずる養分損失と品質低下とともに発黴乾草の毒性と取扱い時の衛生問題^{1~5)}、さらに収納後の自然発火が重大な火災事故に至る事例の増加^{6~9)}など、包括される問題点は多い。

このような乾草調製にかかわる技術上の問題点を背景に、最近、乾草の貯蔵性と品質改善を主目的とするアンモニア処理法が研究と普及の両面から急速な進展を見せている。

本稿ではこの問題をめぐる最近の研究成果を中心に記述する。

1. アンモニア処理乾草の調製法

飼料に対するアンモニア処理の技術は、本来、低質粗飼料の飼料価値改善方策の一環として早くから注目されて来た。すなわち、稲ワラ、麦ワラをはじめ、種実用とうもろこし茎葉、その他農場副産物類や製造副産物類など、そのままでは栄養価、採食性の点で飼料としての利用が限定される材料に対するアンモニア処理である。これは低質粗飼料のアルカリ処理法の一つとみるべきもので、とくに炭水化物区分の消化性を高め、飼料価値を増強することが主眼となる。そこでは、同時に、アンモニアの形で非たんぱく態窒素(NPN)補足と採食嗜好性の改善効果も広く認められて来た。このような低質粗飼料の飼料価値改善技術としてのアンモニア処理法は、ヨーロッパ、とくにドイツ、ノルウェーで早くから進展するとともに、カナダ、アメリカでも急速に関心が高まり、最近では主としてNPN補足の面から、コーン・サイレージへの応用が活発化している。^{10~13)}わが国においても、もみ殻や稲ワラ、麦ワラ類、さらにホールクロップサイレージに対するアンモニア処理法について基礎から実用に至る研究活動が進んでいる^{14~29)}。北海道では、とくに58年度の粗飼料不足への懸念から、小麦ワラのアンモニア処理に関心を集め、各地で試行的利用例が増加しているのは周知の通りである。

これら低質粗飼料の飼料価値改善を直接目的とするアンモニア処理については、いくつかの総説が発表されているので、^{30~34)}参照願うこととし、ここでは乾草の品質保全を目的とする無水アンモニア処理法に主題を集約したい。

1) アンモニア処理の作用機序

無水アンモニア(Anhydrous ammonia, NH_3)は、沸点 -33°C 、気化状態で非常に軽く(比重:0.60)、かつ水に溶け易い。水に対する溶解度は 20°C で水1容に対し702容、水分存在下では植物組織に極めて容易に浸透吸着する。飼料価値改善

法としてのアンモニア処理では、植物体に浸透したアンモニアによって組織の「アルカリ膨化」^{34, 38)}を生ぜしめ、細胞壁構成成分の膨潤化と一部可溶性に基づく粗繊維区分の消化性増大を期待することになる。また、アンモニアは周知のように反すう家畜に対するNPN源として利用可能であり、エネルギー源飼料との適切な組合せによって、アンモニア処理飼料に残存するアンモニアはたんぱく質源補足効果を発揮できる。^{35~37)}

一方、無水アンモニアは各種菌類に対する生育阻害作用を有し、とくに酵母やカビ類に強い効果を示す。³⁹⁾この点から、防黴制菌剤としての用途が開発され、柑橘類やトウモロコシ穀粒の貯蔵、^{40~42)}作物土壌中の有害菌類や線虫類の制御^{43, 44)}などに応用されて来た。生乾き乾草の貯蔵性改善に対するアンモニアの応用は、この延長上に位置するもので、1974年および1975年におけるKnapp^{45, 46)}らの研究成果を契機として欧米諸国で急速に関心が高まった。Knappらの研究はアンモニア処理乾草の貯蔵時における養分損失とともに化学成分や消化性の変化に力点を置いたものであるが、Küntzelら(1979, 1980)^{47, 48)}は、さらに微生物学的検討を行って次の諸点を明らかにした。すなわち、水分25~55%の原料乾草に対して1.5~2.0%のアンモニア処理により、酵母類の顕著な生育抑制作用がみられること、同じく4.0%処理により、中温および高温細菌の増殖も阻害されることが見出された。同時にこの成績では、高水分状態の半乾草でも2カ月以上にわたって変敗することなしに耐過しうることが示されているが、この間に半乾草からの水分蒸散が活潑に行われるので、処理乾草は一旦処理が完了して開放状態で収納されていれば次第に低水分となり、長期の貯蔵がさらに確実となる。

2) アンモニア処理の手順と条件

処理の作業手順は、細部については次に述べるような処理条件によって若干変動はあるが、基本的な手順は、①原料乾草の堆積、②堆積乾草の被覆密封、③アンモニア注入、④一定期間放置、⑤開封=残存遊離アンモニア除去、という単純なものである。従って、特別な建物設備、機器類は必要としない。作業手順の実際と必要な資材等に関

しては、多くの解説書、普及資料^{13, 49~55)}が発表されているので参照されたい。

上記の処理手順や処理効果にかかわる、アンモニア乾草調製時の条件としては、これまでの研究成果から主要点をあげると以下の通りである。

原料乾草の草種：アンモニア処理を適用できる乾草の草種はとくに限定されない。これまでの試験例では、アルファルファ^{45, 46, 50)}、オーチャードグラス^{56~59)}、チモシー^{56, 57, 60)}、トールフェスク⁴⁶⁾、ライグラス^{47, 48)}、クローバー・チモシー混播草⁴⁶⁾、ラディノクローバー・トールフェスク混播草⁴⁶⁾などが供試され、いずれも満足すべき処理効果が認められている。

アンモニア処理乾草は生乾きの状態でベール収納できるため、乾燥—ベール—収納の各段階での葉部脱落や日光・降雨による漂白作用を著しく軽減できる点で意義が大きい。^{45, 46)}この点はとくにマメ科牧草で強調できるであろう。

原料乾草の水分含量：乾燥が不十分な高水分半乾草に対してアンモニア処理を施す場合、どの位の水分含量まで処理しうるか、という原料乾草水分の上限が目される。また、乾燥を終った低質乾草の飼料価値改善を目的とする場合、水分含量の下限が問題となろう。これらは、アンモニアガスの水に対する高い溶解性と植物体組織への浸透吸着度の関係を考慮すると重要な点である。

アンモニア処理の効果と材料水分の関係は、ワラ類など低質粗飼料の処理について早くから検討されているが、稲ワラに関するWaiissら(1972)⁶¹⁾の成績によると、室温でのアンモニアガス5%注入の場合、材料あたり20~30%加水の時に処理効果(消化率の改善)が最大になるとしている。また、小麦ワラについての三上ら(1983)¹⁹⁾の最近の報告では、水分含量25~35%の範囲内では加水量増加による消化率改善効果のちがいは著しいものではなかったとされる。

牧乾草に対する処理では、Küntzelら(1980)⁴⁸⁾が材料の水分含量と処理乾草に残存するアンモニア量の関係を検討している。その成績によると、水分含量35~50%の範囲では吸着アンモニア量のばらつきが大きくなることが示されており、アンモニア吸着量の変動にはアンモニア注入量以外の要因が関与することが考察された。

一般に低質粗飼料に対するアンモニア処理では、水分含量10~50%が実際の適用範囲とされている。³⁴⁾ 乾草を生乾き状態で貯蔵した場合、発熱発霉を生じ易い水分含量の最少限界は20~25%であり、^{45,50)} かつ自然発火につながる危険域は水分含量30~40%の範囲内にある⁶⁾とされる。また、これまでの牧乾草に対するアンモニア処理の試験例では材料の水分含量25~40%の範囲で供試されているものが大部分で、いずれも、この範囲内で好結果を得ている。従って、実用上の見地から半乾草の発熱やカビの被害を防ぎ貯蔵性を改善するためのアンモニア処理を行うとすれば、材料水分20~40%が一応の適用範囲となろう。

アンモニアの注入量と処理期間：アンモニア注入添加量は、低質粗飼料の消化性改善目的の場合、材料あたり5%前後が望ましい量とされているが、³⁴⁾ 実用上、カナダやノルウェーでは麦ワラ処理の場合、乾物あたり3.5%の注加が推奨されている。⁴⁹⁾

アンモニア処理が他のアルカリ物質による処理とやや趣を異にするのは、一定の処理期間を経過したのち、過剰の処理剤(アンモニア)が存在す

る場合はこれを空气中に放散させて除去できる点である。これは利点でもあるが一時的かつ少量とは言え大気汚染の原因ともなり、しかも無駄を生ずることになる。従って、注入したアンモニアの回収率(牧草への吸着割合)を高め、同時に処理効果を最大ならしめるために注入量を適正に調節することが必須となる。

半乾草処理の場合は、前述のように微生物増殖の抑制が主眼となるため、添加注入量は低質粗飼料の消化性改善の場合にくらべて、やや低く設定される。Küntzelら(1980)⁴⁸⁾は、材料原物あたり1.5~2.0%を最少量としているほか、おおむね3%以内で好結果が得られるとする報告が多い。^{45~48,56~60)} 箭原ら(1982)⁵⁸⁾は、1%注入添加ではカビの発生を抑制できず、2~3%を適正レベルとしている。また、緊密に圧縮されたロールペールで一旦発熱が高まった場合には注入量を増やす必要のあることも指摘されている。⁶²⁾

アンモニア処理時の半乾草は、反応熱により注入直後から各部位平均45℃に及ぶ急激な温度上昇がみられる(図1)。この温度上昇は時として部位により80℃以上にも達するが、概ね数時間内に

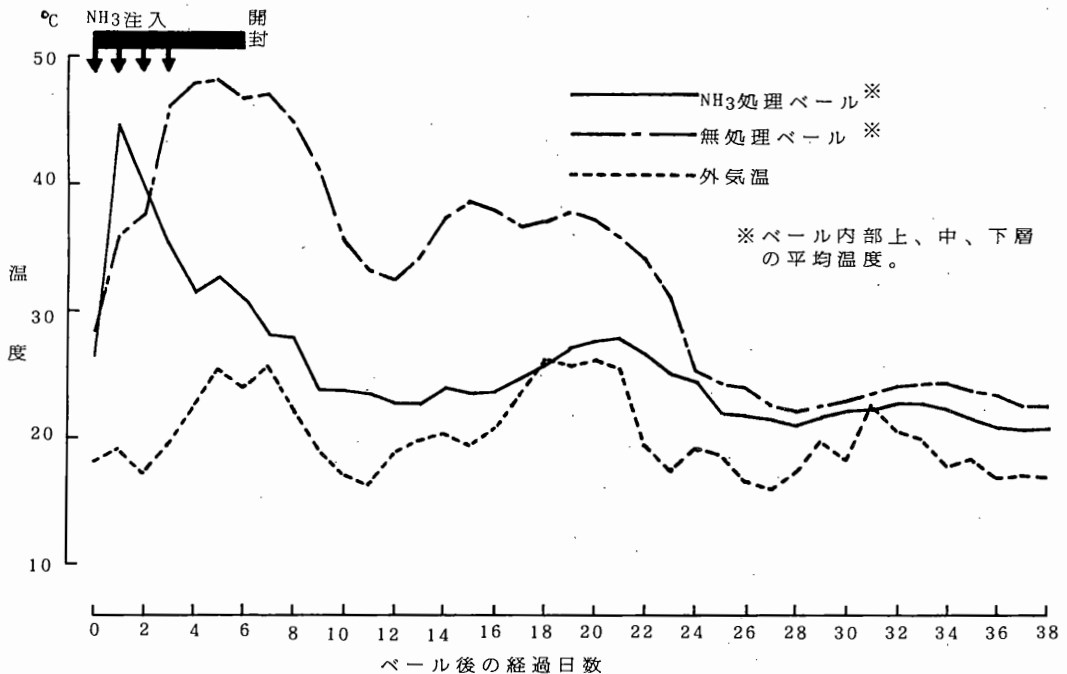


図1 高水分ペール乾草の内部温度変化とアンモニア処理(熊瀬ら、1982).⁶⁰⁾

終息しはじめ、8～14日目には外気温のレベルに戻る。このような温度上昇・下降のパターンからみたアンモニアと乾草組織の反応の進行状況、およびアンモニア処理における反応の進行はカセイソーダ処理の場合（48時間）よりも20日程度おそくなるというKlopfenstein(1981)³³⁾の指摘を考慮すると、半乾草の処理については2～3週間の被覆密封期間が効果的と考えられる。

一方、アンモニア反応時の発熱により、多量の水蒸気が蒸散が起り、これが被覆シートの内面に凝結して堆積乾草の上表面を過湿状態にする。アンモニア処理乾草では、ペール時の高水分を堆積放置中に発黴変敗をとまわずに蒸散させようことが一つの特徴であり、さらに被覆用シートの再利用を考え合わせると、あまりに長期間堆積を被覆密封しておくことは得策ではない。

アンモニアの注入形態：低質粗飼料に対するアンモニア処理では、アンモニア水(NH₄OH)の形で添加注入する方式が初期には用いられていたが、高水分乾草(半乾草)に対する処理では無水アンモニアをそのままガス状で注入する方式が急速に進展した。この方法によれば、アンモニア水利用の場合のように多量の水を取扱う必要がなく、アンモニアは被覆された堆積乾草の内部で拡散浸透が自然に行われるので、堆積全体への均一な処理が容易となる。箭原および沼川(1981)⁵⁷⁾はNH₄OH処理とNH₃処理を比較し、NH₄OH処理では処理効果がやや劣り、効果のばらつきが大きいとしている。このポンベからガス状で放出注入する方式は、注入の進行とともに気化熱がうばわれ、ポンベ内部温度が著しく低下する。この結果、放出圧が下り、気化放出速度は極端に低くなる。従って、この方式によるとアンモニアの注入に多大の時間を要することになる(50kgポンベ全量の放出に約2日間を要する^{54,55,60)})。注入を短時間内に完結したい場合には、液化アンモニアを落差を利用して直接ポンベから堆積下部に流入させ、堆積内部でアンモニアを気化させる方法を適用できる。カナダやノルウェーにおける麦ワラ処理の場合にみられるように、タンクローリー車によってアンモニアの分配が行われる際は、

この直接注入方式によることになる。⁴⁹⁾

処理温度：注入したアンモニアと乾草組織との反応は高温条件下で促進される。^{21,63,64)}

低質粗飼料に対するアンモニア処理法の検討によると、稲ワラでは45℃²¹⁾、トウモロコシ茎葉(ストーパー)では90℃⁶⁴⁾の処理温度保持が処理期間を短縮する上で効果的とされる。同様に、WaagepetersenおよびVestergaard Thomsen(1977)⁶³⁾は、大麦ワラについて、処理時の温度を15℃上昇させることによってアンモニア注入レベル1.5%増加分に相当する効果、または処理期間を4.5倍に延長したと同等の効果を期待できるとしている。

しかし、半乾草に対するアンモニア処理の場合、自然環境温度下で処理されるのが常態であるから、温度条件は外気温および前記のアンモニア注入時における一時的な温度上昇の範囲に限定されることになる。箭原および沼川(1981)⁵⁷⁾は、半乾草処理時の温度条件との関連で、アンモニア処理の際に用いる被覆シートの透光性の影響を検討し、透光性の高いシートほど被覆内部温度が高く、処理効果が高いとし、黒色よりも無色透明シートの使用を推奨している。

これらの点から、半乾草に対する処理においても、なるべく外気温の高い時期に、直射日光を受け易い場所で処理を実施することが望ましいと考えられる。

乾草の堆積方法：大量の半乾草に対する処理では、実用上は直方形コンパクトペールまたはロー



写真1 スタック法によるアンモニア処理

ルベールを堆積して処理するのが一般的であるが、ルーズヘイや細切乾草についても適用できる。麦ワラのアンモニア処理法として知られるノルウェー法（スタック法³²⁾では、直方形コンパクトベール300個程度を約2 mの高さに立方状に堆積して処理する（写真1参照）。また同じくカナダの方式では大型ロールベールを4個連接させて列条をつくり処理する方式が推奨されている⁴⁹⁾。これら麦ワラ処理の方式はそのまま半乾草に適用されている。

3) アンモニア取扱い上の留意点

無水アンモニアの飼料的利用（貯蔵性および飼料価値の改善）が比較的急速に普及進展したことは、欧米の場合、価格面で利用し易いことと共にアンモニアを注入できるという簡便さが評価されていると思われる。利用者はベールした材料を堆積し被覆する作業を完了すればその後はさしたる煩雑さなしに処理工程が進行する。

しかし、工程が単純であるだけに、安易な作業実施が思わぬ事故につながる可能性を考慮しておく必要がある。

アンモニアは高濃度では人体に有害かつ可燃性のガスであり、非常に気化し易い物質を高圧で液化した状態で取扱うことになるので、作業者は一定の取扱い基準を順守しなければならない。

まず、人体に対する有害性について、アンモニアは体内に蓄積される毒物ではないが、人体組織、とくに粘膜に対して強い侵蝕作用をもつことに留意すべきである。通常50ppm程度から臭を感知でき、空気中408ppmでノドに痛み、700ppmの濃度になると眼に激しい刺激を感じるとともに出血およびまぶたの腫脹を生じ、直ちに適切な治療処置を講じなければ失明に至る場合もありうる。

1700ppmでは吸入すると肺水腫を起し、致死の危険性もある。体表皮膚への影響では2000ppmの濃度になると数秒間の接触で皮膚表面の損傷、水泡の発生をみる^{39) 40)}。

一方、可燃性物質としての特性は、空気中16～25%の濃度範囲で燃焼可能状態となり、爆発の危険性をもつが、引火性はそれほど強くない。着火温度は480～815℃で、その時の湿度が着火温度の変動に関与する。しかし、カナダにおける麦ワラ

処理の事例では、過去に爆発や着火の発生は皆無であるという⁴⁹⁾。

上記の危険性回避の対策を含め、カナダの普及資料⁴⁹⁾では一般的注意事項として以下の諸点をあげている（スタック法について）。

- ①アンモニア注入用のパイプは鉄製のものを用いること（アンモニアは銅、銅合金、アルミニウム合金、その他メッキ製品に強い腐蝕性をもつ）。
- ②プラスチックパイプは風化によってもろくなっている場合があるので注意が必要。
- ③被覆プラスチックシートは0.15mm厚程度のものを用い、風による損傷を防ぐためにスタック被覆の外面に何か所かロープをかけること。
- ④スタックの設置場所は既存建物から離しておくこと。
- ⑤注入作業の際はゴム手袋、ゴーグルを着用し、不時のトラブルに備えてアンモニア防除用マスクを携行すること。
- ⑥作業時にはアンモニアが眼や皮膚に接触した時の洗滌用に大量の水を準備しておくこと。
- ⑦被覆シート開封時は微風状態が望ましいが風向を考え人家や家畜の方向にアンモニアが流れないようにすること、などである。

なお、ボンベ入りアンモニアの消費について、わが国ではとくに法的認可（高圧ガス取締法による）は必要とされない。また、アンモニアは特定化学物質（第3類物質）に該当するが、個人消費の場合には労働安全衛生法の適用はない。ただし、第三者を雇用して労使関係を成立させてアンモニア消費を行うような場合には、事業者として同法および特定化学物質等障害予防規則による規制対象となる。ボンベの保管については一般高圧ガス保安規則により40℃以下に保つことが指定されている。

2. 化学組織の変化と成分損失

1) 化学組成の変化

アンモニア処理にともなう牧草化学成分上の主な変化としては、残存あるいは植物組織に吸着されたアンモニアを主体とする窒素区分の増加と、細胞壁構成成分の質的量的変化が観察される。

前述のようにアンモニア処理乾草では、アンモニア注入後、一定期間密封し次いで被覆を除いて過剰の遊離アンモニアを放散させる。従って残存

するアンモニアの多くは何らかの形で組織内に溶存または吸着した状態となっており、これは一般化学組成上、粗たんばく質区分の増加となる。この増加量は、原料乾草の状態やアンモニアの添加

注入量により変動するが、無処理原料草にくらべて処理乾草は1.3～2.0倍の粗たんばく質含量を示すことになる(表1)。

表1. アンモニア処理による高水分乾草の粗蛋白質含量と貯蔵性・消化率の改善効果

主体原料草種	Knappら (1975) ⁴⁶⁾		箭原・沼川 (1978) ⁵⁶⁾		Küntzel & Pahlow (1980) ⁴⁸⁾		熊瀬ら (1982, 1983) ^{60,62)}	
	アルファ	ルファ	チモシー		ライグラス		チモシー	
アンモニア注入割合 (原物あたり%)	1.0		3.0		1.0	1.5	1.6	4.8
原料乾草水分含量 (%)	32.4		36.9		43	52	29.4	40.8
粗蛋白質含量 (乾物あたり%)	無処理	16.3	8.4		12.5		10.0	13.3
	NH ₃ 処理	21.9	15.7		20.3	25.4	16.2	21.4
乾物損失率(%)	無処理	15.1	8.1*		8.0**		18.5	19.0
	NH ₃ 処理	9.9	1.4		6.5	3.2	0.6	4.8
乾物消化率(%)	無処理	60.5†	35.2‡				61.8	61.8
	NH ₃ 処理	66.1†	53.3‡				62.3	66.3
有機物消化率(%)	無処理		37.0†		65.6**‡		63.1	62.2
	NH ₃ 処理		54.6‡		69.1‡	73.8‡	63.4	67.6
NDF消化率(%)	無処理	47.0†	32.9†				67.1	73.2
	NH ₃ 処理	56.9†	47.2‡				70.4	81.5
粗蛋白質消化率(%)	無処理		38.0‡				50.3	44.3
	NH ₃ 処理		56.8‡				60.1	52.5

* 著しい変敗による腐棄部分を除く。 † N×6.25.

** 良質乾草を対照とする。 ‡ in vitro消化率。

アンモニア処理時に添加注入した遊離のアンモニア単体がどのような形態で処理後の牧草中に残存するかは、NPNの補足効果=家畜体における利用性の面からも興味ある点である。

アンモニア処理された低質粗飼料(稲ワラ、麦ワラ、モミガラなど)では、水溶性のアンモニア態およびアミド態窒素のほかに、NDFやADFなどの繊維質区分に結合した窒素成分が増加することを指摘する報告が多い。^{20,23,26,65)}

稲ワラに対するアンモニア処理の場合、これらの窒素成分の一部は熱水不溶性で比較的強く繊維質区分に吸着されており、吸着された全窒素中約16%をしめるとい²⁸⁾。また、アンモニア処理により増加した窒素の一部は、たんばく態窒素としても測定されるが、これは主にリグニン化窒素化合

物として存在するものと推定されている。²⁰⁾

牧乾草について、箭原および沼川(1978)⁵⁶⁾は、チモシー1番草およびオーチャードグラス2番草のアンモニア処理(対原物2～3%)により増加した窒素区分のうち、約30%がNDF区分に結合しており、その多くがヘミセルロース区分中に存在するとしている。

一方、アンモニア処理にもとづく炭水化物区分の変化としては、NDFの減少とADFの相対的増加が特徴的に認められる。^{20,56,60)} このことはアンモニア処理によってヘミセルロース区分が減少することを示すもので、箭原および沼川(1978)⁵⁶⁾はヘミセルロース減少量とジアスターゼ溶解性区分の増加量がほぼ一致するところから、ヘミセルロースの一部が易利用性炭水化物に変化するものと推定

している。

一般に粗飼料のアルカリ処理における飼料価値改善効果は、主として構造化炭水化物の易溶化によるところが大きい。上記のアンモニア処理にもとづく炭水化物区分組成の変化は細胞壁構成成分消化率の向上に結びつくものであり、アンモニア処理が貯蔵性の改善と共に家畜における利用性の向上にも有効なことを説明するものと言えよう。

半乾草に対するアンモニア処理後の一般化学組成では、貯蔵性の面から水分含量の変化を発熱との関係で注目する必要がある。

高水分状態でベールされそのまま堆積された半乾草（未処理）は、最初の数日以内に発熱を開始し、内部温度は急激に上昇する。図1に示した例では堆積3～5日目に内部平均温度で50℃近くに達し、その後一旦下降傾向を示すが再び上昇がみられ30～40℃の状態が全体で数週間続いている。この比較的緩やかな発熱期間内にベール内部（この例ではロールベール）では適度の水分と温度が確保された結果、急速に好気性微生物の増殖が進行することになる。そしてこの間にも絶えず水分の蒸散が行われるので水分含量は次第に減少し、やがては通常乾草の水分レベルに至るが、それまでに変敗は極大となる。これに対し、アンモニア処理乾草では、アンモニア注入当初に急激な温度上昇がみられた後、短時日以内に下降し外気温レベルに戻る。一般に相当期間貯蔵後（たとえば40日）もアンモニア処理乾草は未処理乾草にくらべ水分含量はやや高めとなるが、内部の発熱変敗はおさえられる。このように、アンモニア処理乾草では当初の変敗を生じ易い高水分状態の期間をアンモニアの強い防黴制菌作用によってしのぎ、被覆を取除いた後は水分を蒸散させつつ組織に吸着残存したアンモニアとの協調によって貯蔵性を安定させることに特質があると考えられる。

2) 貯蔵中の成分損失

乾草は一旦ベールされ収納されればその間の成分損失についてはあまり関心がはられないのを常とする。しかし、乾燥不十分な状態で収納され、発熱発黴を生じた場合は相当度の貯蔵ロスを見込まねばならない。高水分状態での発熱は前項1)で述べたように多量の水分蒸散をとまうので、ベ

ール全体重量は当然大幅に減少するが、この際の重量減少は単に水分量の減少のみによるものではない。高水分乾草の発熱は植物体成分の酸化分解に由来するものであるから、発火に至らない場合でも時々刻々、貴重な飼料養分が目に見えない燃焼作用で失われて行くことを銘記すべきである。このような発熱にとまらぬ養分損失をアンモニア処理によってどの程度軽減できるかは、アンモニア処理乾草調製の効果を見積る上で主要な指標となろう。表1に既往の研究報告におけるアンモニア処理乾草の乾物損失に関する成績を併記したので参照されたい。処理条件によって効果発現の程度は変動するが、貯蔵中の乾物損失割合はアンモニア処理により明らかに低下させうることが示されている。熊瀬ら（1982⁶⁰⁾の報告では、このほか全有機物の貯蔵時損失は無処理高水分半乾草（水分29%）における19%に対しアンモニア処理乾草では1%にすぎず、無処理乾草では有機物中とくに粗たんぱく質の損失が著しい（29%）ことが明示された。

発黴乾草の化学組成のうち、粗たんぱく質含量自体は一般に低水分で調製収納した場合や収納前の原料乾草にくらべて著しい差を示さない^{4,60)}が、これは当然ながら貯蔵時の損失がなかったことを意味するものではない。上記の無処理高水分乾草の粗たんぱく質損失割合を考慮すると、アンモニア処理は単にNPNの補足のみでなく、原料乾草に既存の牧草たんぱく質の損耗を防止する上でも意義が大きいと考えられる。

3. 家畜に対する効果

アンモニア処理乾草の特質としては前項2)で述べたように、高水分半乾草についてはまずアンモニアの制菌作用を活用した貯蔵性の改善に力点が置かれるが、同時に家畜に給与した場合の消化性および採食性の向上とNPN源供給の効果が加味されることになる。

1) 消化率の改善効果

低質粗飼料に対する処理では、材料あたり2～5%のアンモニア添加注入により有機成分、とくに炭水化物区分の消化率改善がみられるのが普通である。このアンモニア処理にとまらぬ消化率改善

効果については、細胞壁構成成分、とくにペントースから構成されるヘミセルロースの可溶化あるいは消化酵素作用を受け易い状態への変化による²⁴⁾ところが大きいとされる。²⁴⁾最近、寺島ら(1978)²²⁾はヘミセルロースのもつウロン酸エステル結合のアンモニア処理による解離の可能性を指摘し、さらにItohら(1981)²⁹⁾は走査電顕の観察結果からアンモニア処理による組織像の変化をルーメン内微生物の消化活動との関連で検討している。

貯蔵性の改善を主目的とする高水分半乾草のアンモニア処理では、アンモニアの注加割合が比較的低いこと、ならびに原料乾草がもともとある程度高い消化性をもっていることから、麦ワラ類に対する処理のように、常に劇的な消化率向上がみられるわけではない。しかし、表1にみられるように材料原物あたり1~3%のアンモニア処理により、貯蔵性の改善と共に、消化率の向上効果が多く認められる。とくに無処理乾草の変敗が著しく進行した場合には、いわゆるHeat damage^{66~70)}による消化率低下をも含めて考えると、アンモニア処理乾草の相対的な有利性が際立つことになる。この点に関して、調製時に降雨にさらされ変敗の著しい粗悪乾草にアンモニア処理を施すことにより消化率の改善をはかりうること、あるいは、一旦発熱を開始したバール乾草に対しての処理により発熱変敗の進行が阻止できると共に、対照変敗乾草にくらべ高い消化率を確保できること、⁶²⁾さらにバール後3日を経過した半乾草においてもアンモニア処理の効果は直後処理のものと大差ないこと、⁷¹⁾などの報告がみられる。これらの成績は、粗悪乾草の消化率改善とともに、調製・収納過程で何らかの失官により発熱変敗を生じつつある乾草の救済にアンモニア処理が有効なことを示すものと言えよう。

2) 窒素の利用性

平均的レベルのアンモニア処理(半乾草原物あたり1~3%)により、乾草の粗たんばく質含量は原料乾草の1.3~2.0倍に増加する。この増加分の窒素は、必ずしも遊離単体のアンモニアとして存在するものではなく、大部分は植物体組織に吸着し、一部はとくに繊維性物質と強固に結合していると推定されるため、反すう胃内での動向が

窒素利用率との関連で注目される。Terashima(1981)²⁷⁾は、¹⁵Nでラベルしたアンモニアにより処理された稲ワラについて、組織に吸着された窒素のルーメン微生物への取込みを調べ、アンモニア処理によって増加した窒素は他の窒素化合物と同様の割合で微生物体に利用されることを示した。一方、熊瀬ら(1983)⁶²⁾は、高レベルでアンモニア処理(半乾草原物あたり4.8%)を行った乾草の単独給与ではルーメン内アンモニア濃度の著しい上昇と窒素蓄積率の低下傾向を認めている。この成績から判断されるように、アンモニア処理を施した粗飼料に残存するアンモニアの利用性については尿素をはじめとする他のNPNと同様、給与する際の飼料構成が問題となろう。Miraら(1983)³⁷⁾はアンモニア処理大麦ワラの肉牛育成に対する自由採食試験で、アンモニア処理ワラは庄べん大麦との併給により、ルーメン内分解性たんばく質(RDP)の要求量と供給量を適切に合致させること、ならびに無処理ワラ給与時にくらべ明らかな増体改善がみられることを示した。また、KungおよびHuber(1983)³⁶⁾によると、泌乳初期の高泌乳牛の場合でも、加熱大豆のような低分解性たんばく質飼料を組合せることによりアンモニア処理コーンサイレージの窒素を有効に利用できるとされる。同様にColenbrander(1983)¹²⁾は、アンモニア処理コーンサイレージをコンブリートフィードの基礎飼料として用いた場合、全窒素の16%相当をアンモニア由来の窒素で効率よく代替できるとしている。

アンモニア処理乾草の給与にあたっては、窒素利用性をめぐる今後の課題として、併給する濃厚飼料および他の粗飼料中の窒素形態の影響を考慮する必要があると考えられる。

3) 採食性および生産効果

アンモニア処理を施された乾草は、一定の処理期間を経過したのち被覆を除かれて放置される。この間に未吸着の遊離アンモニアは大部分が急速に放散されるため、処理済みの乾草はアンモニアの刺激臭はほとんどもない。堆積やバールの形態にもよるが、開封後数日ないし1週間を経過すれば、そのまま家畜に給与できる。

処理乾草の採食性は一般に極めて良好で、処理

乾草（アルファルファ）を肉用牛に給与したPurdue大学の試験例⁵⁰⁾では無処理乾草給与時に比べて自由採食量は約20%増加し、増体も1日あたり約200g以上改善された。同じく、泌乳牛に対するアンモニア処理アルファルファ乾草の給与例では、低水分（19%）で収納した良質乾草を対照とした場合に比べ、採食量（体重あたり処理乾草乾物2%摂取）、乳量、乳質とも全く遜色がなかった。また、北海道農試におけるアンモニア処理オーチャードグラス2番乾草の給与試験（給与日量2kg）でも、泌乳成績は通常乾草給与期にくらべて大差ないことが示された。⁷²⁾

現在までのところ、乳牛、肉牛に対するアンモニア処理乾草の大量給与試験の成績は限定されているが、低質粗飼料に対するアンモニア処理関連の成績を含めて評価すると、平均的アンモニア注入レベル（半乾草原物あたり2～3%）による処理乾草は通常良質乾草と同割合での置換えが可能となろう。ただし、この場合、粗たんぱく質供給量の一部はNPNとして評価すべきで、給与飼料の構成上若干の配慮が必要と思われる。

<おわりに>

本稿ではアンモニア処理法を適用した場合の経済効果については触れ得なかったが、無水アンモニアの価格は地域により流動的であり、現在のところ、北海道地区では必ずしも際立って安価な処理剤とは言えない。被覆用ポリエチレンシートの経費等を合せ考えると現状では仕上り乾草（水分15%換算、NH₃3%注入の場合）1kgあたり12～13円の経費となろう。従って、この経費に見合う付加価値をアンモニア処理によって生み出せるかどうかの判断に帰することになる。

一般に乾草確保にあたってややもすると見逃され易いのは、調製貯蔵過程の養分損失であるが、アンモニア処理によってこれが大幅に軽減できること、早期梱包、早期収納が可能なこと、不慮の火災事故を防止できること、特別な設備機器が不要なこと、さらに処理後の飼料価値改善効果をも併せて評価するとアンモニア処理乾草の有利性は決して小さいものではない。牧草収穫時の気象条件をにらみながら、臨機臨場的に応用できる技術

として定着することが期待される。

本稿をまとめるにあたり資料の蒐集整理に御協力いただいた帯広畜産大学・熊瀬 登氏に厚く感謝の意を表します。

文献

- 1) Crump, M.H. and J.N. Henning, Mycotoxicosis in animals fed legume hay infested with Rhizoctonia leguminicola. J. Amer. Vet. Med. Ass., 143:996-997. 1963.
- 2) Gregory, P.H., M.E. Lacey, G.M. Festenstein and F.A. Skinner, Microbial and biochemical changes during the moulding of hay. J. Gen. Microbiol., 33:147-174. 1963.
- 3) Mohanty, G.P., C.W. Carlson, H.H. Voelker and N.A. Jogensen, Toxic substance in alfalfa hay (Abstr.). J. Dairy Sci., 51:984. 1968.
- 4) Mohanty, G.P., N.A. Jogensen, R.M. Luther and H.H. Voelker, Effect of molded alfalfa on rumen activity, performance and digestibility in dairy steers. J. Dairy Sci., 52:79-83. 1969.
- 5) Lacey, J., Thermophilic actinomycetes associated with farmer's lung. In Aspergillosis and farmers lung in man and animals. (de Haller, R. and F. Suter eds.) 155-168. Hans Huber. Bern. 1974
- 6) Bruhn, H.D., 30 to 40 % moisture hay causes barn and silo fires. Hoard's Dairyman, May 10, 607. 1978.
- 7) Drum, D.A. and P. Rappleyea, If treated hay burns, know the preservative used. Hoard's Dairyman, June 10, 743. 1978.
- 8) 釧路北部消防事務組合消防本部消防課, 乾燥牧草(ロールペール)の自然発火に関する調査報告. 1981.
- 9) 釧路北部地区農業改良普及所, 乾牧草の自然発火と技術対策. 1981.
- 10) Huber, J.T., R.E. Lichtenwalner, R.E. Ledebuhr and C.M. Hansen, Gaseous ammonia treatment of corn silage for dairy cows. J. Dairy Sci., 62:965-971. 1979.
- 11) Huber, J.T., N.E. Smith and J. Stiles, Influence of time after ensiling on distribution of nitrogen in corn silage treated with ammonia. J. Anim. Sci., 51:1387-1392. 1980.
- 12) Colenbrander, V.F., W.P. Weiss, D.L. Hill and N.J. Moeller, Ammonia and urea in corn silage-based complete mixed diets for dairy cows. J. Anim. Sci., 56:525-528. 1983.
- 13) Campbell, J.K., How dairymen add anhydrous ammonia to forage. Hoard's Dairyman, July 25:925. 934. 1983.
- 14) 鷲野保・三上昇, えん麦ホールクロップのサイロ埋蔵時におけるNaOH, NH₃ (NH₄ OH)の添加レベルが消化率に及ぼす効果, 日畜道支部会報, 21: 18-19. 1978.
- 15) 鷲野保・三上昇, アンモニア処理えん麦ホールクロップサイレンジによるホルスタイン去勢牛の肥育試験. 日畜道支部会報 22:7. 1979.
- 16) Terashima, Y., H. Harada, M. Tarui and H. Itoh, Nutritive value of ammoniated and oxidized-ammoniated rice straw for sheep. Jpn. J. Zootech. Sci., 52:269-274. 1981
- 17) 箭原信男・沼川武雄・高井慎二, アンモニア処理による半乾燥稲ワラの飼料価値向上に関する研究. 東北農試研報, 65:91-97. 1981.
- 18) 熊瀬登・鈴木昌宏・趙景陽・藤田裕・大居明夫・松永光弘・伊藤鉄弥・須田孝雄・高橋敏, 小麦稈の化学成分と栄養価に及ぼすアンモニア処理の効果. 第18回北海道草地研究会講演要旨, 51. 1983.
- 19) 三上昇・山崎昭夫・小林亮英・鷲野保, 麦稈のアンモニア処理法. 日畜道支部会報, 26(1):17-18. 1983
- 20) Itoh, H., Y. Terashima, N. Tohrai and Y. Matsui, Improving the nutritive value of rice straw and rice hulls by ammonia treatment, Jpn. J. Zootech. Sci., 46:87-93. 1975
- 21) Tohrai, N., Y. Terashima and H. Itoh, Effect of processing conditions on the nutritive values of ammonia treated rice hulls and rice straw. Jpn. J. Zootech. Sci., 49:69-74. 1978.
- 22) 寺島福秋・唐来宣人・斉藤弘美・伊藤宏, アンモニア処理粗飼料のウロン酸および遊離カルボキシル基含量ならびにFSPについて. 日畜第68回大会講演要旨, 9. 1978.
- 23) Itoh, H., Y. Terashima and N. Tohrai, Evaluation of ammonia treatment for improving the utilization of fibrous materials in low quality roughages. Jpn. J. Zootech. Sci., 50:54-61. 1979
- 24) Tohrai, N., Y. Terashima and H. Itoh. Effects of ammonia treatment on cellulose digestion and sugar production of the low quality roughage. Jpn. J. Zootech. Sci., 50:189-194. 1979.
- 25) Terashima, Y., I. Torisu and H. Itoh, Effects of sodium chlorite and ammonia treatment on the *in vitro* digestibility of low quality roughages. Jpn. J. Zootech. Sci., 51:40-47. 1980.
- 26) Terashima, Y., A. Yamashita, H.

- Murakami and H. Itoh, Effect of processing conditions of the combined treatment with sodium chlorite and ammonia on the nutritive values of rice straw. *Jpn. J. Zootech. Sci.*, 52:275-281. 1981.
- 27) Terashima, Y., K. Iwata and H. Itoh, Utilization of absorbed nitrogen in oxidized-ammoniated rice straw and rice hulls by rumen microbes. *Jpn. J. Zootech. Sci.*, 52:392-394. 1981.
- 28) Itoh, H., Y. Terashima, K. Ueda and Y. Takahashi, Nitrogen distribution in rice straw and rice hulls treated with sodium chlorite and ammonia. *Jpn. J. Zootech Sci.*, 52:519-524. 1981.
- 29) Itoh, H., Y. Terashima and A. Hayashizaki, Ammoniated rice straw and rice hulls and rumen microbial degradation investigated by scanning electron microscopy. *Jpn. J. Zootech. Sci.*, 52:671-679. 1981
- 30) Todorov, N.A., Recent development in animal nutrition research in eastern Europe. *J. Anim. sci.*, 40:1284-1299. 1975.
- 31) Jackson, M.G., The alkali treatment of straws. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2: 105-130. 1977
- 32) Sundstøl, F., E. Coxworth and D.N. Mowat, Improving the nutritive value of straw and other low-quality roughages by treatment with ammonia. *World Anim. Rev.*, 26:13-21. 1978.
- 33) Klopfenstein, T. and F.G. Owen, Value and potential use of crop residues and by-products in dairy rations. *J. Dairy Sci.*, 64:1250-1268. 1981.
- 34) 伊藤宏, 低質粗飼料の利用性向上に関する最近の研究. *日報会報*, 54:487-496. 1983.
- 35) McCall, R. and W.R. Graham Jr., The value of several ammoniated products as feed for beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 12: 798-805. 1953.
- 36) Kung, L. Jr. and J.T. Huber, Performance of high producing cows in early lactation fed protein of varying amounts, sources and degradability. *J. Dairy Sci.*, 66: 227-234. 1983.
- 37) Mira, J.J.F., M. Kay and E.A. Hunter, Treatment of barley straw with urea or anhydrous ammonia for growing cattle. *Anim. Prod.* 36:271-275. 1983.
- 38) Wistler, R.L. and Teng, J., Cellulose chemistry. In *Handbook of pulp and paper technology*. 2nd ed. 13-23. Van Nostrand Reinhold Co. New York. 1970.
- 39) Howkes, G.R. and F.C. Elliot, Agricultural uses of ammonia other than fertilizer. In *Agricultural anhydrous ammonia technology and use*. (Vicker, M.H., W.P. Martin, I.E. Miles and H.H. Tucker eds.) 299-310. Amer. Soc. Agron. Madison. 1966.
- 40) Leggo, D. and J.A. Seberry, Ammonia fumigation for reducing green mould wastage in oranges during ethylene degreening. *Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb.*, 4: 173. 1964.
- 41) Bothast, R.J., E.B. Lancaster and C.W. Hesseltine, Ammonia kills spoilage molds in corn. *J. Dairy Sci.*, 56: 241-245. 1973.
- 42) Montgomery, R.R., G.W. Nofsinger and R.J. Bothast, Preservation of high moisture maize—A comparison of gaseous and liquid anhydrous ammonia with methylene-bis-propionate. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 5: 337-345. 1980.
- 42) Eno, C.F., W.G. Blue and Y.M. Good, Jr., The effect of anhydrous ammonia on nematodes, fungi, bacteria and nitrification in some Florida soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 19: 55. 1955.
- 44) Smiley, R.W., R.J. Cook and R.I. Papendick, Anhydrous ammonia as a soil fungicide against *Fusarium* and fungicidal activity in the ammonia retention zone. *Phytopathology*, 60:1227-1232. 1970.
- 45) Knapp, W.R., D.A. Holt and V.L. Lechtenberg, Anhydrous ammonia and propionic acid as hay preservatives. *Agron. J.*, 66: 823-824. 1974.
- 46) Knapp, W.R., D.A. Holt and V.L. Lechtenberg, Hay preservation and quality improvement by anhydrous ammonia treatment. *Agron. J.*, 67: 766-768. 1975.
- 47) Kuntzel, U., Y. Leshem and G. Pahlow, Anhydrous ammonia as a moist hay preservative. *Proceedings of a conference on forage conservation in the 80's* (European Grassland Federation, C. Thomas ed.) 252-256. 1979.
- 48) Kuntzel, U. and G. Pahlow, Wasserfreies Ammoniak zur Konservierung von „Feuchtheu“. *Das wirtschaftseigene Futter*, 26: 39-52. 1980.
- 49) Kernan, J. and E. Coxworth, Ammoniation of straw to improve its nutritional

- value as a feed for ruminant animals. Agricultural Extension Bulletin (University of Saskatchewan, College of Agriculture) No. 329. 1-13. 1980.
- 50) Lechtenberg, V.L., Hay ammoniation raises available energy and protein. Hoard's Dairyman, August 10, 1986 & 1039. 1982
- 51) Kuhl, G., アンモニアを使い粗飼料の品質アップ。ファームマネージメント, 2: 28-32. 1983.
- 52) 高野保, わら類の有効利用を考える。農家の友(7), 47-50. 1983.
- 53) 箭前信男, 被雨低質化粗飼料に対するアンモニア処理の効果。畜産の研究, 37: 45-48. 1983.
- 54) 箭原信男, アンモニア処理による乾草作り。酪農事情, No.8. 62-67. 1983
- 55) 箭原信男, アンモニア処理による粗飼料の貯蔵と品質の改善。畜産コンサルタント, No.10. 26-32. 1983.
- 56) 箭原信男・沼川武雄, アンモニア処理による半乾牧草の貯蔵性および品質の改善。日畜会報, 49: 648-652. 1978.
- 57) 箭原信男・沼川武雄, 半乾牧草のアンモニア処理における被覆用シートの透光性が処理効果におよぼす影響。東北農試研報, 65: 99-105. 1981.
- 58) 箭原信男・高井慎二・名久井忠, 高水分乾草に対するアンモニア添加量試験。日草誌, 28(別号): 237-238. 1982.
- 59) 箭原信男・高井慎二・名久井忠, 被雨低質化粗飼料に対するアンモニア処理効果。日草誌, 29(別号): 203-204. 1983.
- 60) 熊瀬登・出原裕次・佐藤藤子・藤田裕, 高水分ロ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。帯大研報, 13: 43-50. 1982.
- 61) Waiss, A.C. Jr., J. Guggolz, G.O. Kohler, H. G. Walker, Jr. and W.N. Garrett, Improving digestibility of straws for ruminant feed by aqueous ammonia. J. Anim. Sci., 35: 109-112. 1972.
- 62) 熊瀬登・雨宮嘉宏・辻岡美津代・藤田裕, 高水分ロール乾草の貯蔵性と栄養価に及ぼすアンモニア処理の効果(II)。日畜第74回大会講演要旨, 47. 1983.
- 63) Waagepetersen, J. and K. Vestergaard Thomsen, Effect on digestibility and nitrogen content of barley straw of different ammonia treatments. Anim. Feed Sci. Technol., 2: 131-142. 1977.
- 64) Oji, U.I., D.N. Mowat and J.E. Winch, In vitro evaluation of processing conditions for thermoammoniation of corn stover. Can. J. Anim. Sci., 59: 813-816. 1979.
- 65) Horton, G.M.J., Composition and digestibility of cell wall components in cereal straws after treatment with anhydrous ammonia. Can. J. Anim. Sci., 61: 1059-1062. 1981.
- 66) Denso, G., O.A.M. Lewis, D. S. Miller and P.R. Payne, Effect of heat treatment on the nutritive value of proteins. Chemical and balance studies. J. Sci. Food Agr., 13: 192. 1962
- 67) Van Soest, P.J., The estimation of forage protein digestibility and determination of the effects of heat-drying upon forages by means of the nitrogen content of acid-detergent fiber (Abstr.) J. Dairy Sci., 45: 664. 1962.
- 68) Goering, H. K., C.H. Gordon, R.W. Hemken, D. R. Waldo, P.J. Van Soest and L.W. Smith, Analytical estimates of nitrogen digestibility in heat damaged forages. J. Dairy Sci., 55: 1275-1280. 1972.
- 69) 吉田則人・岡本明治・原田禎彦, 牧草のヒートダメージについて — ヒートダメージ飼料における成分変化と消化性の検討 — 日草誌, 27(別号): 213-214. 1981.
- 70) 前田良之・岡本明治・吉田則人, ヒートダメージ飼料における蛋白質の分解性とアミノ酸組成に関する研究。日草誌, 29(別号): 205-206. 1983.
- 71) 箭原信男・高井慎二・名久井忠, 半乾粗飼料のアンモニア処理貯蔵に関する研究 3. アンモニアの添加方法について。日畜第74回大会講演要旨, 47. 1983.
- 72) 杉原敏弘・木下善之・山崎昭夫・高野保, アンモニア処理乾草を混合飼料として用いた泌乳牛による給与試験。日畜道支部会報, 26(1): 30. 1983.