

イタリアンライグラスにおける硝酸態窒素蓄積の品種間差とラップサイレージ調製における硝酸態窒素含量の低減技術

井上信明・馬場武志・太田 剛¹⁾・敷田成太郎・藤吉弘子
(畜産研究所)

西南暖地における主要なイネ科牧草であるイタリアンライグラスについて、硝酸態窒素蓄積の品種間差を明らかにし、さらに、ラップサイレージ調製における硝酸態窒素含量の低減技術について検討した。

- 1 イタリアンライグラスの硝酸態窒素蓄積は、品種により33~1237ppmの幅があり、最も高い‘サクラワセ’と最も低い‘アキアオバ’との差は38倍であった。
- 2 茎数が少なく、乾物収量が多い中晩生・晩生品種ほど硝酸態窒素含量が少ない傾向がみられた。
- 3 硝酸態窒素含量が高い(315~1011ppm)材料草をラップサイレージに調製した場合、水分含有率60%以上70%未満のものが60%未満のものに比べ硝酸態窒素含量の消失率が高く、発酵品質も良好であった。

[キーワード: イタリアンライグラス, 硝酸態窒素, 品種間差, ラップサイレージ, 水分含有率]

Varietal Differences in Nitrate Nitrogen Content in Italian Ryegrass and Effects of Moisture Content and Additives on Disappearance of Nitrate Nitrogen in Wrapped Bale Silage. INOUE Nobuaki, Takeshi BABA, Takeshi OHTA, Seitarou SHIKITA and Hiroko FUJYOSHI (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 19: 123 - 126 (2000)

The nitrate nitrogen content of 13 cultivars of Italian ryegrass was compared. Moreover, with Italian ryegrass containing large amounts of nitrate nitrogen, the effects of moisture content and sodium bicarbonate (NaHCO₃) addition on the disappearance of nitrate nitrogen were also investigated. (1) Nitrate nitrogen content ranged from 33 to 1237 ppm. The cultivar ‘SAKURAWASE’ showed the highest nitrate nitrogen content among the cultivars. The lowest level of nitrate nitrogen was observed in the cultivar ‘AKIAOBA’. (2) Nitrate nitrogen content was significantly lower in late maturing cultivars than in early ones, and it was recognized that the fewer stems there were in the cultivars, the lower the nitrate nitrogen content. (3) In wrapped bale silage with a 60-70% moisture level, nitrate nitrogen content considerably decreased, and the fermentation quality of wrapped bale silage with this moisture level was as favorable as that with a moisture level under 60%.

[Key words : nitrate nitrogen, moisture content, wrapped bale silage, Italian - ryegrass, cultivar difference]

結 言

西南暖地における主要な飼料作物であるソルガムやイタリアンライグラスは硝酸態窒素を蓄積しやすい作物として知られている^{5, 10)}。特に、多収穫を目的とした窒素質肥料の多肥栽培や家畜ふん尿の大量施肥は、作物中への硝酸態窒素の蓄積量を増大させ、反芻家畜の硝酸塩中毒が危惧される¹⁴⁾。一方、トウモロコシやソルガムについて、硝酸態窒素の低減栽培に関する報告はある^{5, 6, 7)}が、イタリアンライグラスについて検討した報告はほとんどない。また、気密サイロ等の固定式サイレージ調製によって作物中の硝酸態窒素が低減することは明らかとなっている^{2, 10, 11)}が、ラップサイレージに調製した場合の硝酸態窒素の低減技術に関する報告は少ない。そこで、イタリアンライグラスについて、硝酸態窒素蓄積の品種間差を検討するとともに、ラップサイレージ調製における水分含有率および重曹添加が硝酸態窒素含量の低減ならびに発酵品質に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1 硝酸態窒素蓄積の品種間差

イタリアンライグラス13品種について、硝酸態窒素含量の品種比較を行った。

供試品種は極早生品種が‘ウツキアオバ’、‘サクラワセ’の2品種、早生品種が‘タチワセ’、‘ワセアップ’、‘ニオウダチ’の3品種、中生品種が‘タチムシャ’の1品種、中晩生品種が‘トップ’、‘ジャイアント’、‘マンモスB’、‘ミドリホープ’、‘ナガハヒカリ’の5品種、晩生品種が‘ヒタチヒカリ’、‘アキアオバ’の2品種とした。

栽培試験は場内圃場(花崗岩残積土)において行い、1997年10月21日に播種した。播種法は散播で、播種量は3kg/10aとした。施肥は、基肥としてN、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ10kg/10a施用し、1998年2月16日および1番草刈取り直後に追肥としてN、K₂Oをそれぞれ7kg/10a施用した(当時慣行の施肥条件)。試験規模は1区面積5m²の3反復とした。刈取りステージは1、2番草ともに出穂~出穂揃期とし、収穫して得られた2番草を分析に供した。各品種の刈取り月日を第1表に示した。

材料草中の硝酸態窒素含量は高速液体クロマトグラフィーを用いて定量した¹⁵⁾。

2 ラップサイレージ調製における硝酸態窒素含量の低減技術

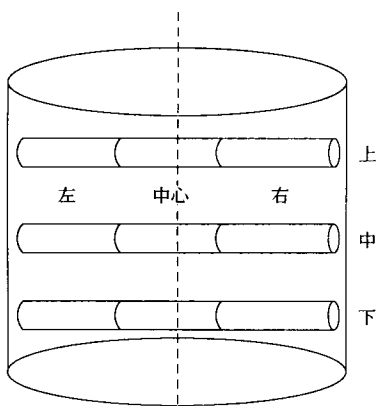
材料草は場内圃場(花崗岩残積土)において栽培したイタリアンライグラス‘タチマサリ’の1番草を用いた。播種は1997年11月4日に行い、2kg/10aを散播した。施肥は基肥としてN、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ10kg/10a施用し、追肥として、N、K₂Oを1998年2月16日に6.4kg/10a、1998年3月30日に8.6kg/10a施用し

1) 現畜産課

第1表 各品種の刈取月日

早晚性	品 種	1 番刈 (月日)	2 番刈 (月日)	生育日数 ¹⁾ (日)
極早生	サクラワセ	4. 3	4. 30	27
	ウツキアオバ	4. 3	4. 30	27
早 生	タチワセ	4. 14	5. 11	29
	ワセアッパ	4. 14	5. 11	29
	ニオウダチ	4. 17	5. 15	26
中 生	タチムシャ	4. 14	5. 13	29
中晩生	トップ	4. 22	5. 22	30
	ジャイアント	4. 23	5. 22	29
	マンモスB	4. 27	5. 27	30
	ミドリホープ	4. 27	5. 28	31
	ナガハヒカリ	4. 27	6. 3	37
晩 生	ヒタチヒカリ	4. 30	6. 3	34
	アキアオバ	4. 30	6. 3	34

1) 1 番草収穫日から2 番草収穫日までの生育日数



第1図 ラップサイレージのサンプル採取部位

た。刈取りは1998年4月27日(開花期)に行い、材料草の水分含量が50%未満、50%以上60%未満、60%以上70%未満の3水準になるよう1~2日予乾した。予乾後の処理は、それぞれの材料草に対して、重曹を現物重当たり0%(無添加)および1%添加の2区を設け、ラップサイレージに調製した。

収穫調製用機械としては、刈取りにはディスクモア、反転にはヘイテッダ、集草にはサイドレーキを使用した。また、梱包作業には100cm×100cmのロールベアラ、密封作業にはベールラップを使用した。ストレッチフィルムはボナル社のサイロタイト(白)を使用し、3回6層巻きとした。

ラップサイレージの開封は、調製後約2ヶ月目に行った。成分分析用サンプルは、草地試験場で考案されたサンプリング装置⁹⁾を用いて採取した。採取部位は上下に3段階の位置から、それぞれ右、中央、左の3カ所合計9カ所とした(第1図)。採取したサンプルは、混合縮分して約300gを分析に供した。

測定項目は、水分含量、pH、全窒素含量(TN)、揮発性塩基態窒素(VBN)、有機酸組成および硝酸態窒素含量とした。水分含量は80℃48時間の熱風乾燥法により、pHはガラス電極pHメーターにより測定した。全窒素含量はケルダール法、揮発性塩基態窒素は水蒸気蒸留法で定量した。有機酸組成は高速液体クロマトグラフ

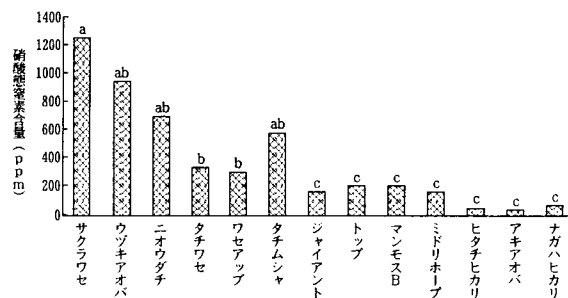
によるブロムチモールブルー(BTB)を利用したポストラベル法で乳酸含量と揮発性脂肪酸(VFA)含量を定量¹⁰⁾することにより求めた。硝酸態窒素含量の定量は試験1と同様の手法で行った。サイレージ発酵品質の評価には水分の異なるサイレージを比較するためのV-Score評価基準¹⁰⁾を用いた。この評価基準は100点満点で、80点以上は良、80~60点は可、60点以下は不良の3段階に評価できる。

結 果

1 硝酸態窒素蓄積の品種間差

(1) イタリアンライグラスにおける硝酸態窒素含量の品種間差

第2図にイタリアンライグラス13品種の硝酸態窒素含量を示した。イタリアンライグラスの硝酸態窒素含量は、33~1237ppmと、品種間に最大でおよそ38倍の差がみられた。イタリアンライグラス13品種の硝酸態窒素含量について分散分析し、Duncanの多重検定を行った結果、第2図に示されるように5%水準で品種間に有意差が認められた。供試品種の中では極早生品種の'サクラワセ'が最も高く、晩生品種の'アキアオバ'が最も低かった。品種間の早晚性の影響については、晩生になるほど硝酸態窒素含量が低くなる傾向を示した。特に、極早生、早生、中生品種と中晩生、晩生品種の間にはいずれの品種間にも有意差がみられた。



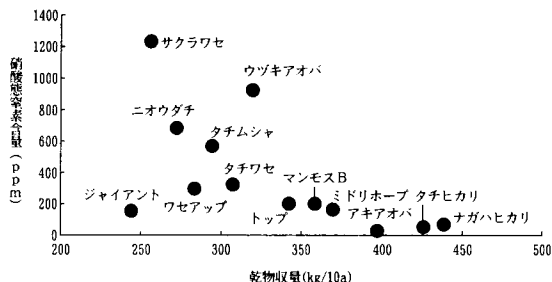
第2図 イタリアンライグラスにおける硝酸態窒素含量の品種間差

1) Duncanの検定により5%レベルで異符号間に有意差

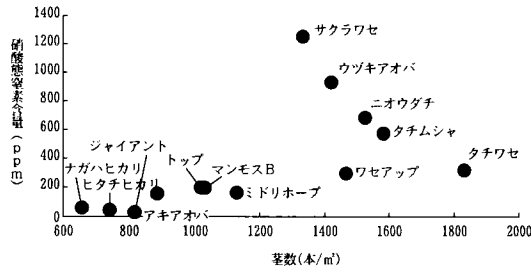
(2) 乾物収量および茎数と硝酸態窒素含量の関係

第3図に乾物収量と硝酸態窒素含量の関係を示した。乾物収量が330kg/10a未満の品種では硝酸態窒素含量に一定の傾向はみられなかったが、乾物収量が330kg/10a以上の品種ではいずれも硝酸態窒素含量が200ppm以下であった。

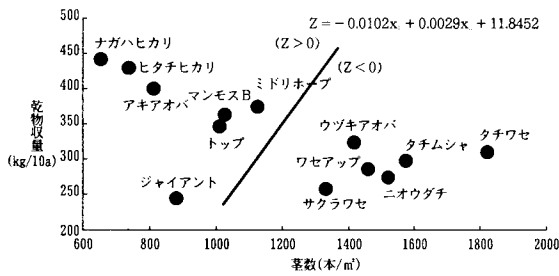
第4図に茎数と硝酸態窒素含量の関係を示した。茎数が1200本/m²未満の品種では硝酸態窒素含量がいずれ



第3図 乾物収量と硝酸態窒素含量の関係



第4図 茎数と硝酸態窒素含量の関係



第5図 茎数および乾物収量と硝酸態窒素含量の関係

1) x_1 : 茎数, x_2 : 乾物収量
 $Z > 0$ の場合, 硝酸態窒素含量 300ppm 未満, $Z < 0$ の場合, 300ppm 以上と判断される。相関比: 0.63, 判別率: 92.3%

も 200ppm 以下であったのに対し、茎数が 1200 本/m² 以上の品種では硝酸態窒素含量が 299~1237ppm と高い傾向がみられた。そこで、硝酸態窒素含量 300ppm を基準として、茎数と乾物収量を要因とした判別関数式を求めた(第5図)。その結果、茎数と乾物収量を変数とする判別関数式により 2 群に分けられ、茎数の多い群が硝酸態窒素含量が高くなる傾向がみられた。

2 ラップサイレージ調製における硝酸態窒素含量の低減技術

第2表にラップサイレージ調製時および開封時の硝酸態窒素含量を示した。調製水分の影響については、高水分になるほど消失率が高くなる傾向がみられた。特に、水分 60% 以上 70% 未満では重曹添加の有無に関わらず、99~100% と極めて高い消失率を示した。重曹添加の影響については、水分 50% 以上 60% 未満では違いがみられたが、水分 60% 以上 70% 未満および 50% 未満では無添加サイレージの場合とほとんど差がなかった。

第3表にラップサイレージの発酵品質を示した。pH はいずれの水分域においても重曹を添加した区が高くなった。また、調製水分が低下するにつれて pH が高くなる傾向がみられた。乳酸は、いずれの水分域においても重曹添加により生成量が少なくなる傾向を示した。酪酸生成量および VBN/TN は、水分 50% 以上 70% 未満で

第2表 サイレージ調製時及び開封時の硝酸態窒素含量

調製水分	重曹	硝酸態窒素(ppm)		消失率 (%)
		調製時	開封時	
60%以上70%未満	無添加	445	6	99
	添加	315	0	100
50%以上60%未満	無添加	712	395	45
	添加	780	84	89
50%未満	無添加	1011	641	37
	添加	876	560	36

1) 硝酸態窒素は乾物中の ppm
 2) 消失率は調製時に対する開封時の硝酸態窒素含量の割合

第3表 サイレージの発酵品質

調製水分	重曹	pH	乳酸 酢酸 酪酸			VBN/TN (%)	V-SCORE (点)
			(現物%)				
60%以上70%未満	無添加	5.0	1.14	0.21	0.10	8.8	85
	添加	5.9	0.43	0.35	0.54	19.9	9
50%以上60%未満	無添加	5.4	1.44	0.18	0.01	5.1	99
	添加	6.4	1.38	0.43	0.43	11.6	47
50%未満	無添加	6.0	0.92	0.14	0.01	5.3	98
	添加	6.3	0.77	0.18	0.00	4.6	100

重曹を添加した区が無処理区に比べ著しく高い値を示した。重曹を添加したものは、V-SCORE 評価点が水分 60% 以上 70% 未満で 9 点(不良)、水分 50% 以上 60% 未満で 47 点(不良)とかなり品質が劣っていた。その他のものはいずれも V-SCORE 評価点が 85~100 点となり、品質は良好であった。

考 察

1 硝酸態窒素蓄積の品種間差

飼料作物に蓄積する硝酸態窒素量は、窒素施肥量、日照、雨量、温度、作物の種類、作物の部位、生育ステージ等により影響を受けると報告されている^{1,17)}。トウモロコシの場合、多肥条件下で栽培しても生育ステージが進むにつれて、他の飼料作物に比べて植物体中の硝酸態窒素含量が低くなる¹⁸⁾。これは硝酸態窒素の蓄積は茎の部分で大部分を占めるため、登熟期に子実形成等による乾物集積によって作物中の硝酸態窒素が希釈されるため⁹⁾である。しかし、ソルガムやイネ科牧草の場合、硝酸態窒素含量が硝酸塩中毒の危険性があるレベルまで増加しやすい^{5,10)}という報告がある。そこで、本試験では、慣行の施肥条件下において栽培されたイタリアングラスについて、品種別に硝酸態窒素含量を調査した。その結果、極早生品種が最も高く、晩生品種ほど低くなる傾向がみられた。特に、極早生品種は慣行の施肥条件下で栽培したにも関わらず、'ウツキアオバ'、'サクラワセ'ともに 1000ppm 前後と高い値を示した。イタリアンライグラスにおける硝酸態窒素含量について、岩下ら⁷⁾は品種間差はみられなかったものの、晩生品種に低い傾向がみられたことを報告している。硝酸態窒素は植物が順調に生育を続けている限りでは蓄積は少ないことが報告されている⁹⁾。晩生品種は生育速度が緩やかであり、早生品種に比べると硝酸態窒素の吸収と同化のバランスを失うことなく順調に乾物生産が続けられるために、硝酸態窒素の蓄積が少なかったと考えられる。また、乾物収量が 330kg/10a 以上の比較的多収で、茎数の少ない品種が硝酸態窒素含量も少なくなる傾向であった。このことから、硝酸態窒素含量 300ppm を分岐点とし、乾物収量および茎数と硝酸態窒素含量の関係を判別分析により検討した結果、茎数が多く、乾物収量が少ない場合、硝酸態窒素含量は高くなることが示唆された。

2 ラップサイレージ調製における硝酸態窒素含量の低減技術

(1) ラップサイレージ調製時の水分含有率が硝酸態窒素含量に及ぼす影響

ラップサイレージにおいて、良品サイレージを調製

するための主要な要因は水分含有率と考えられており、40%~55%が適水分といわれている⁹⁾。そこで、本試験では、水分含有率の違いが硝酸態窒素含量ならびに発酵品質に及ぼす影響を調べた。

水分60%以上70%未満では、わずかではあるが酪酸の生成が認められた。この水分域での硝酸態窒素含量の消失率は極めて高く、99%の消失率を示した。水分50%以上60%未満ならびに50%未満では、水分60%以上70%未満の場合に比べ発酵品質は向上したが、硝酸態窒素含量の消失率は低下した。これは60%未満の水分では発酵菌全体の増殖が抑制される³⁾と同時に高水分条件を好む硝酸還元菌¹²⁾の活動も低下したためと考えられる。

(2) ラップサイレージ調製時の重曹添加が硝酸態窒素含量に及ぼす影響

一般の気密サイロにおいて、サイレージ調製時に、材料草に重曹や炭酸カルシウム等のpH緩衝剤を添加することによって硝酸態窒素含量の低減を試みた例がこれまでもいくつか報告されている^{2, 10, 11)}。これら緩衝剤を添加したサイレージの多くはいずれも硝酸態窒素含量の低減率は高いものの、発酵品質は低下する傾向がみられる。これは緩衝剤添加によってサイレージ中の硝酸還元菌が最も活性化する弱酸性から中性付近になるために硝酸態窒素含量は低減するが、このpH域ではVBN生成量が多くなり、酪酸菌の増殖が盛んになる¹¹⁾ためと考えられる。本試験においてもこれらの報告と同様、水分60%以上70%未満では重曹の添加により酪酸生成量およびVBN/TNが増加した。しかし、この水分域では、重曹添加の有無に関わらず、いずれのサイレージにおいても硝酸態窒素含量は激減した。ラップサイレージで使用するストレッチフィルムはわずかながら空気を通す⁹⁾ために、一般の固定式サイロとはやや異なった発酵の様相を呈していると考えられている⁹⁾。このために、ラップサイレージでは硝酸還元に関わる好気性微生物が活動することができ、緩衝剤を添加しなくても硝酸態窒素が減少したと考えられる。一般にラップサイレージは60%以上の水分では好気性微生物の活動が活発化するために発酵品質が低下するといわれているが、材料草に硝酸態窒素が多く含まれる場合、硝酸態窒素の還元に関わっている好気性微生物の増殖期間が長くなり、硝酸態窒素の低減化が促進される一方で、硝酸態窒素自体が酪酸菌や酵母等の不良菌の生育を抑制する²⁾ために、硝酸態窒素の低減化が促進され、発酵品質も維持できたと考えられる。

以上の結果から、イタリアンライグラスにおける硝酸態窒素の蓄積は、品種による差が大きく、多収で茎数の少ない品種ならびに中晩生、晩生品種ほど少ないことが明らかとなった。

また、イタリアンライグラスの硝酸態窒素含量が高い場合、水分を60%~70%程度でラップサイレージに調製することにより、硝酸態窒素含量の低減化が図れ、同時に発酵品質も良好に保つことができると考えられた。

引用文献

- 1) 相井孝允 (1975) ソルガムの利用について第5報青刈ソルガム中の硝酸態窒素含量、乳牛に対する青刈

- ソルガム給与ならびに硝酸塩中毒の人工発症試験。日草誌 **21** (2): 109 - 115.
- 2) 安宅一夫 (1987) 牧草・飼料作物の硝酸塩とサイレージ。自給飼料 **8**: 44 - 48.
- 3) 馬場武志・太田剛・大石登志雄 (1997) イタリアンライグラスラップサイレージの発酵品質に及ぼす材料草の水分、刈取りステージおよび貯蔵場所・貯蔵期間の影響。福岡農総試研報 **16**: 117 - 120.
- 4) 江原薫 (1971) 飼料作物・草地の研究。養賢堂、東京、p.86 - 99.
- 5) 原田久富美・須永義人・畠中哲哉 (1998) 窒素多量施用条件下におけるソルガムの硝酸態窒素濃度の品種間差。日草誌 **43** (4): 449 - 451.
- 6) 原田久富美・畠中哲哉・杉原進 (1996) 窒素多量施用条件下のトウモロコシ (*Zea mays L.*) の硝酸態窒素含量。日草誌 **41** (4): 352 - 356.
- 7) 原田久富美・畠中哲哉・杉原進 (1996) 窒素多量施用条件下のトウモロコシ (*Zea mays L.*) の硝酸態窒素含量。第3報栽植密度、品種間差について。日草誌 (別) **42**: 178 - 179.
- 8) 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** (4): 478 - 487.
- 9) 岩下秀逸・高木公伸・木庭研二 (1997) 飼料作物の安定多収栽培試験。熊本農研セ畜研試験成績書: 203 - 210.
- 10) 木下強・斎藤憲夫 (1995) 糞尿の過剰施用下における良質サイレージの調製技術試験。栃木県酪農試研報 **119**: 16 - 28.
- 11) 増子孝義・久保田誠・松元昭一・三宅佳孝・淡谷恭蔵 (1980) サイレージの硝酸態窒素の消長に関する研究Ⅲ。硝酸態窒素の消失におよぼす添加剤の影響。日草誌 **26** (3): 311 - 317.
- 12) 増子孝義・大谷忠・石間戸芳朗・川崎宣子・淡谷恭蔵 (1981) サイレージの硝酸態窒素の消長に関する研究Ⅴ。材料の水分含量が硝酸態窒素の消失におよぼす影響。日草誌 **27** (2): 227 - 232.
- 13) MASUKO, T., S. HARA, K. AWAYA, M. ONO and A. ADACHI (1985) Studies on the Disappearance of Nitrate in Forage Crops during Ensilage IX. J. Jpn. Grassland Sci. **31**: 241-247.
- 14) 岡田卓士 (1994) サイレージ添加資材による牧草、飼料作物中の硝酸態窒素低減効果について。牧草と園芸 **42** (9): 1 - 4.
- 15) 大桃定洋・田中治・北本宏子 (1993) 高速液体クロマトグラフィーによるサイレージ中の有機酸の定量。草地試研報 **48**: 51 - 55.
- 16) 鈴木茂孝、白井裕治 (1995) 高速液体クロマトグラフィーによる牧草中の亜硝酸態窒素および硝酸態窒素の同時定量法。飼料研究報告 **20**: 1 - 11.
- 17) 高橋潤一 (1992) 飼料中の硝酸態窒素。牧草と園芸 **40** (6): 5 - 9.
- 18) 自給飼料品質評価研究会編 (1994) 粗飼料の品質評価ガイドブック。日本草地協会、東京: pp82 - 87.