

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

雪印種苗(株) 千葉研究農場

岡 田 卓 士

1 はじめに

近年の酪農では、牧草や飼料作物の高位生産を目指して集約的な多肥栽培が行われています。また、家畜の多頭化に伴い、毎日多量に排泄される糞尿の処理対策として適正量以上に草地に散布されている場合も見られます。すなわち、多量の窒素が草地に還元される場合が少なくありません。このような草地で生産された作物にはしばしば硝酸態窒素が多く蓄積し、流産やへい死をもたらす硝酸塩中毒の原因となります。以前より、作物をサイレージ化することによって硝酸態窒素含量が低減することが分かっていましたが、弊社、千葉研究農場でも、作物中の硝酸態窒素を低減する資材について数回の試験を行い、いくつかの知見を得たので、ここに紹介します。

2 硝酸塩中毒とは

草地（土壤）に施用（還元）された窒素のうち、何割かは土壤微生物の働きにより硝酸態窒素に生成されます。作物は自身の生長に必要な窒素源として硝酸態窒素を好んで吸収、利用しますが、窒素の多量の施用などによる窒素の過剰吸収や植物体内での窒素同化力の減退などによって窒素利用

のバランスが大きく崩れた場合、作物中に多くの硝酸態窒素が蓄積します。硝酸態窒素の蓄積は植物体を特に痛めるものではありませんが、この硝酸態窒素を多く含んだ牧草類（粗飼料）を牛に大量に与えた場合、軽度では下痢の発生や生産性の低下、乳房炎、後産停滞、重度では流産や中毒死をもたらす硝酸塩中毒が起こることが知られています。

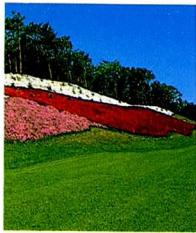
飼料として牛に摂取された硝酸塩はルーメン内微生物の働きによって亜硝酸塩を経てアンモニアにまで分解されて窒素源として利用されます。しかし、硝酸塩が大量に摂取された場合、ルーメン内での硝酸塩から亜硝酸塩への還元と亜硝酸塩からアンモニアへの還元のバランスが崩れ、ルーメン内に亜硝酸塩が蓄積します。この亜硝酸塩がルーメン壁より吸収され血液へ移行すると、血液中のヘモグロビンに作用して酸素運搬能力を持たないメトヘモグロビンが作られます。結果、牛は酸素欠乏状態に陥り、種々の弊害をもたらします。

3 サイレージ化による硝酸塩含量の減少機序

硝酸塩中毒の対策で最も重要なことは硝酸塩を多く含む粗飼料を牛に与えないことですが、たと

牧草と園芸・平成6年(1994)9月号 目次

第42巻第9号(通巻499号)



花(単播)を利用した
美しいゴルフ場ラフ斜面

□<西南暖地向け> イタリアンライグラスと麦類の混播のポイント	表②
□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.....	岡田 卓士… 1
□ライコムギ新品種「ライコッコ」の特性とその利用.....	岩田 康男… 5
□最近の代用乳、哺乳体系について.....	藤本 秀明… 8
■魅力ある農村づくりのためにミックスフラワーを 活用しましょう.....	太田 アイ子… 12
□=花と緑で美しい環境づくり=スノーミックスフラワー・シリーズ.....	16
□雪印の秋播き麦類優良品種の紹介.....	表③
□<雪印交配・ホウレンソウ> アールフォー	表④

え施肥管理を十分に行い、適正な窒素量を草地に施用したとしても、作物の種類や気象条件などによっては作物中に多量の硝酸態窒素が蓄積することがあります。以前より、作物のサイレージ化が硝酸態窒素含量を低減することは分かっていましたが、最近の研究では、サイレージ発酵過程の硝酸態窒素の低減過程も明らかにされつつあります¹⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。

安宅²⁾によれば、サイレージ発酵過程における硝酸塩の分解パターンには、硝酸塩→亜硝酸塩→アンモニアの同化型と、硝酸塩→亜硝酸塩→酸化窒素の異化型の2種類があることが認められています。劣質のサイレージ発酵をした場合には同化型の経路が主流になり、良質なサイレージ発酵では異化型が主流になります。発酵初期のpHが高ければ同化型の分解が主流になり、硝酸塩の消失量が増加し、消失する硝酸塩のほとんどがアンモニアに変わります。pHが低ければ異化型の分解が進行し、硝酸塩の消失は少ないものの酸化窒素の生成が増加し、不良微生物の生成を抑制、良質なサイレージを作ります。

すなわち、緩衝作用を持つ資材を使用して初期のサイレージ発酵過程でのpH低下を抑制し、なおかつ、発酵を促進する資材を併用することにより、硝酸態窒素を効果的に低減し、また、発酵品質面でも満足しうるサイレージを調製できることが考えられます。

4 試験経過

1) 予備試験

弊社、千葉研究農場において、発酵促進資材として酵素(セルラーゼ)、ブドウ糖を、緩衝剤として尿素、炭酸カルシウム、リン酸カルシウムを組み合わせ、トウモロコシ、オオムギを材料に数回の調査を行なった結果、以下のような知見が得られました。

①緩衝材のみでは硝酸態窒素の低減

効果は得られるが、発酵品質は思わずくない。

②酵素単独、酵素+緩衝剤の場合でも硝酸態窒素の低減効果は明瞭ではない。

③ブドウ糖と緩衝剤を組み合わせた時に高い硝酸態窒素の低減効果が確認され、また、発酵品質も良好である。この時のブドウ糖濃度は2%のとき最も低減効果が高く、0.5%以下では効果が見られない。

これらを参考に、適当なブドウ糖の添加濃度、ならびに組み合わせる緩衝剤を検討する試験を行いました。

2) 試験1 ライムギ・イタリアンライグラスでの硝酸態窒素低減効果の検討

表1に示したような、多窒素施肥栽培したライムギ・イタリアンライグラスを材料に、表2に示す添加資材を混合し、1ℓ容のポリ容器に詰め込み、密封し、室温下で貯蔵しました。30日後に開

表1 ライムギ・イタリアンライグラスの詰め込み前成分値

(水分以外乾物中%)

水分	粗たんぱく質	粗脂肪	粗灰分	NSC	ADF	NDF	SIP	UIP	NO ₃ -N
73.0	23.2	2.5	11.3	16.2	23.2	46.9	15.6	3.5	0.213

注) 分析：弊社中央研究農場、NO₃-Nはフェノール硫酸法による

表2 試験1でのサイレージ添加資材と処理濃度

処理	処理濃度(w/w)	略号
無処理(対照)		C
尿素+リン酸カルシウム+ブドウ糖	0.5+0.5+2.0%	U+P+G
尿素+リン酸カルシウム+酵素	0.5+0.5+0.05%	U+P+E
尿素+リン酸カルシウム+酵素+乳酸菌	0.5+0.5+0.05+0.5%	U+P+E+L

注) C: 対照 U: 尿素 P: リン酸カルシウム G: ブドウ糖 E: 酵素 L: 乳酸菌

表3 試験1の結果 その1：飼料成分値(水分以外乾物中%)と硝酸態窒素消失率(%)

処理	水分	粗たんぱく質	粗脂肪	粗灰分	NSC	ADF	NDF	SIP	UIP	NO ₃ -N	消失率
C	73.9	22.2	4.8	11.3	22.6	25.1	39.2	17.6	2.6	0.104	51.2
U+P+G	72.6	25.2	4.6	11.9	17.4	23.5	40.5	16.7	2.7	0.052	75.6
U+P+E	72.5	26.4	4.7	12.2	21.7	23.4	34.8	21.0	2.6	0.100	53.0
U+P+E+L	73.0	27.1	4.0	12.0	20.6	23.1	36.3	21.1	2.9	0.121	43.3

注) 分析：表1に準ずる

表4 試験1の結果 その2：サイレージの発酵品質

(VBN/T-N: %、有機酸：原物中%)

処理	pH	VBN/T-N	乳酸	酢酸	酪酸	その他	合計
C	4.2	7.3	2.91	0.27	0.03	0.04	3.23
U+P+G	4.3	25.0	4.53	0.34	0.05	0.05	4.96
U+P+E	4.3	17.1	4.22	0.22	0.04	0.01	4.48
U+P+E+L	4.0	13.8	5.25	0.13	0.03	0.06	5.46

注) 分析：弊社中央研究農場

封した際の飼料成分と発酵品質の分析結果を表3及び表4に示しました。

材料草中の硝酸態窒素含量は乾物中で0.21%と高く、いわゆる危険領域の範囲にありました。サイレージ化によって対照区で0.10%まで低下し、緩衝剤（尿素0.5%，リン酸カルシウム0.5%）とブドウ糖（2.0%）の添加では0.05%まで低下しました。材料草中の75%以上の硝酸態窒素が消失したことになり、効果的な低減効果がみられました。発酵品質では、pHが対照区4.2に対して4.0~4.3と大差なく良好で、原物中の有機酸含量は乳酸が対照区2.91%に対して4.22~5.25%と高く、酪酸は0.03%に対して0.03~0.05%と若干高くなりました。特筆すべきはアンモニア態窒素の生成量の上昇で、総窒素に対する割合で対照区7.3%に対して最も高いもので25.0%となりました。

硝酸態窒素が低減されたサイレージほど劣質で、アンモニア態窒素濃度が高くなることは前述しましたが、この試験では対照区を除き硝酸態窒素の消失率が高いものほどアンモニア態窒素の生成量が多くなっています。しかし、硝酸態窒素の消失率が対照区とほぼ同様であった酵素の添加区でもアンモニア態窒素の生成率は10%高く、このアンモニア態窒素の生成は緩衝剤として添加した尿素が関与していると推測されました。

以上をまとめると次のようになります。

①尿素0.5%，リン酸カルシウム0.5%，ブドウ糖2.0%の併用で硝酸態窒素濃度を効果的に低下させることができる。

②緩衝剤と酵素、緩衝剤と酵素及び乳酸菌の併用による硝酸態窒素低減効果は明瞭ではない。

③尿素の使用はサイレージ中のアンモニア態窒素濃度を増加させる。

3) 試験2 ソルガムでの硝酸態窒素低減効果に関する緩衝剤とブドウ糖濃度の検討

試験1の結果を踏まえ、サイレージのアンモニア態窒素の濃度に悪影響を及ぼすと考えられる尿素を添加せず、また、経済性を考慮しブドウ糖の添加濃度をできるだけ低い水準にする目的で、ソルガムを材料に試験を行いました。

表5に示したようなソルガムを材料に、表6に示す添加資材を混合し、20ℓ容のポリ容器に詰め込み、密封、室温下で貯蔵しました。30日後に開封した際の飼料成分と発酵品質の分析結果を表7及び表8に示しました。

表5 ソルガムの詰め込み前成分値（水分以外乾物中%）

水分	粗たんぱく質	粗脂肪	粗灰分	NSC	ADF	NDF	SIP	UIP	NO ₃ -N
63.6	9.6	3.1	8.3	24.1	33.7	54.9	4.9	3.4	0.078

注) 分析: 表1に準ずる

表6 試験1でのサイレージ添加資材と処理濃度

処理	処理濃度(w/w)	略号
無処理(対照)		C
リン酸カルシウム	0.5%	P
炭酸カルシウム	0.5%	Ca
リン酸カルシウム+ブドウ糖	0.5+1.0%	PG1
リン酸カルシウム+ブドウ糖	0.5+2.0%	PG2
炭酸カルシウム+ブドウ糖	0.5+1.0%	CaG1
炭酸カルシウム+ブドウ糖	0.5+2.0%	CaG2

注) C: 対照 P: リン酸カルシウム Ca: 炭酸カルシウム G: ブドウ糖

表7 試験2の結果 その1: 飼料成分値（水分以外乾物中%）と硝酸態窒素消失率(%)

処理	水分	粗たんぱく質	粗脂肪	粗灰分	NSC	ADF	NDF	SIP	UIP	NO ₃ -N	消失率
C	79.1	9.3	3.3	9.2	24.6	35.2	53.5	5.6	2.0	0.049	37.1
P	78.9	8.2	2.8	10.9	25.8	33.5	52.4	4.7	2.0	0.037	52.6
Ca	78.8	8.5	2.8	9.9	26.0	33.8	52.8	5.2	2.1	0.041	47.4
PG1	77.9	8.3	2.5	10.8	27.6	33.1	50.8	5.1	2.0	0.031	60.3
PG2	77.6	8.3	2.4	10.4	29.3	32.7	49.7	5.0	2.0	0.032	59.0
CaG1	78.3	8.7	2.5	9.8	28.2	33.4	50.7	5.2	1.9	0.029	62.8
CaG2	77.9	9.0	2.2	9.6	30.2	32.5	49.1	5.8	2.0	0.035	55.1

注) 分析: 表1に準ずる

表8 試験2の結果 その2: サイレージの発酵品質

(VBN/T-N:%、有機酸:原物中%)

処理	pH	VBN/T-N	乳酸	酢酸	酪酸	その他	合計
C	3.3	6.03	2.10	0.69	0.07	0.17	3.02
P	3.4	7.70	3.09	0.76	0.05	0.11	4.00
Ca	3.5	6.84	3.40	0.80	0.05	0.10	4.33
PG1	3.4	6.86	2.75	0.76	0.05	0.08	3.63
PG2	3.4	6.78	2.84	0.85	0.08	0.12	3.88
GaG1	3.5	6.59	3.05	0.76	0.06	0.07	3.92
GaG2	3.4	6.10	3.24	0.82	0.06	0.07	4.18

注) 分析: 表4に準ずる

材料草中の硝酸態窒素含量は乾物中で 0.08 % でしたが、サイレージ化によって対照区で 0.05 % まで低下しました。緩衝剤 0.5 % の単独添加での硝酸態窒素濃度はリン酸カルシウムで 0.037 %、炭酸カルシウムで 0.041 % となり、さらに、ブドウ糖との併用ではリン酸カルシウムではブドウ糖 1 % 添加で 0.031 %、2 % 添加では 0.032 %、炭酸カルシウムの場合、ブドウ糖 1 % の添加で 0.029 %、2 % の添加では 0.035 % となりました。硝酸態窒素の低減効果が最も高かったのは炭酸カルシウムと 1 % のブドウ糖を添加した場合で、約 63 % の硝酸態窒素が消失しました。発酵品質は pH が対照区 3.3 に対して 3.4~3.5 とおおむね良好で、また、有機酸含量は乳酸が対照区 2.10 % に対して 2.75~3.40 % と若干高くなりました。酪酸の生成も若干見られ、対照区 0.07 % に対して 0.05~0.08 % でした。試験 1 で問題だったアンモニア態窒素の生成は、総窒素に対する割合で対照区 6.0 % に対して 6.1~7.7 % で、尿素を利用しないことによりほぼ解決したように思われました。

以上をまとめると次のようになります。

- ①緩衝剤として尿素を使用しなくても、リン酸カルシウムもしくは炭酸カルシウムとブドウ糖の併用で 6 割程度の硝酸態窒素を低減することができる。
- ②緩衝剤はリン酸カルシウム、炭酸カルシウムとも硝酸態窒素低減効果に大差はない。
- ③緩衝剤 0.5 % とブドウ糖 1 % の添加で十分な硝酸態窒素低減効果が期待できる。
- ④尿素を使用しないことにより、サイレージ中のアンモニア態窒素濃度の増加はほとんどみられない。

以上のことから、緩衝剤としてリン酸カルシウムもしくは炭酸カルシウム 0.5 % とブドウ糖 1 % の添加により、硝酸態窒素を効果的に減少させ、発酵品質の面でも満足のいくサイレージを調製できることが判明しました。

リン酸カルシウムと炭酸カルシウムでは選択に迷うところですが、経済性で考えれば炭酸カルシウムの方が安価です。しかし、リン酸カルシウムはミネラル（カルシウム、リン）補給のサプリメ

ントとしても使われていますので、この代替として使用することも考えられます。

弊社、千葉研究農場でもイタリアンライグラスを材料として、実規模レベル(地下サイロ：2.5×2.5×5.0 m)での試験を行い、硝酸態窒素濃度、発酵品質ともに良好な結果を得、また、それを給与した牛群でも採食量、乳量などに良好な結果が得られています。

5 終わりに

現場で実施するに当たっては次の 2 点に注意して下さい。

- ①材料草の水分は 70 % 以上にして下さい。低水分の場合、ブドウ糖が残留する可能性があります。
- ②材料草と添加資材はできるだけ均一になるよう混ぜて下さい。不均一な混合でブドウ糖が残留した場合、開封後の 2 次発酵を促進する原因となることがあります。

ここに示したのは、緩衝剤とブドウ糖という添加資材を用いてサイレージ化することにより硝酸態窒素を低減できることを説いたものであり、硝酸態窒素含量の高い作物ができてしまった際の窮屈の策としての技術です。硝酸態窒素を恐れず多量の窒素肥料を施用し、高い収量を上げることを推奨しているものではありません。

硝酸態窒素は牛にとってとても危険な成分です。土作り、草作りの基本技術を再点検し、正しい施肥、栽培、適期刈取りを行い、この段階で硝酸態窒素との関係を断ち切るよう努力して下さい。

〈参考文献〉

- 1) 安宅一夫・樋崎 昇 (1981) 日草誌 27, 308~317
- 2) 安宅一夫 (1987) 自給飼料 8, 44~48
- 3) 増子孝義・藁谷信一・佐谷野利幸・淡谷恭蔵 (1979) 日草誌 25, 241~245
- 4) 増子孝義・久保田 誠・松元昭一・三宅佳孝・淡谷恭蔵 (1980) 日草誌 26, 311~317
- 5) 増子孝義・大谷忠・淡谷恭蔵 (1981) 日草誌 26, 435~437