

## 硝酸塩含量がサイレージの化学的品質におよぼす影響

野 英 二\*

(附属農場研究室)

### Influence of Nitrate Content on the Chemical Quality of Silage

Eiji No\*

(April, 1977)

#### 諸 言

わが国の乳牛飼養は多頭化の方向で進められてきた。しかし、飼料畑面積の拡大が困難のため、飼料生産は集約化、多収化の傾向にあり、糞尿の土地への還元と相俟って窒素多施用が行なわれがちである。このため、硝酸塩蓄積牧草が生産される状態に陥りやすい<sup>4,5)</sup>。

このような牧草等の硝酸塩含量は、サイレージ化により減少することが知られている<sup>11, 12, 17, 26)</sup>。この点においてサイレージの有為性が認められる。

窒素多施用により低可溶性炭水化物含量、かつ高蛋白質含量の牧草が生産されやすく、このような組成の牧草を材料としたサイレージの品質傾向については、一定の見解を得ていないと思われる<sup>2, 6, 8, 10, 21, 22)</sup>。

また、硝酸塩とサイレージ発酵の関係についての報告がある<sup>1, 2, 25)</sup>が、わずかにすぎない。

そこで、本研究はサイレージ発酵に影響すると思われる要因として、詰込み時の可溶性炭水化物と粗蛋白質との比(C/P)および硝酸塩をとりあげた。その中でも、主に硝酸塩含量とサイレージ品質との関係について検討した。

#### 材料および方法

材料：供試牧草は、茨城大学飼料学研究室圃場より生産したオーチャードグラス(O)、ローズグラス(R)、イタリアンライグラス(I)である。材料の均一性、サイレージの再現性を期すため森沢<sup>16)</sup>の方法に準じ、これらの牧草を乾燥し材料に供した。材料の主な組成はTable 1のとおりである。なお、材料の窒素含量を高(H)、中(M)、低(L)に区分した(例えば低窒素含量オーチャードグラスはOLと示す)。

---

\* Lab. of Experiment Farm, The College of Dairying, Ebetsu, Hokkaido, Japan.

**Table 1** Chemical composition of material grass

Code	Material	Stage of cutting	Level of N	Moisture (%)	Grude protein* (P)	Water soluble carbohydrate* (C)	C/P	NO <sub>3</sub> -N*
OL	Orchardgrass	blooming	Low	9.2	12.7	3.65	0.29	0
OH	"	blooming	High	11.2	18.6	3.49	0.19	1.08
RL	Rhodesgrass	heading	Low	7.0	10.2	3.32	0.33	0.03
RM	"	heading	Medium	7.1	12.6	3.66	0.29	0.14
RH	"	blooming	High	7.5	14.1	3.89	0.28	0.45
IL	Italian ryegrass	maturity	Low	11.3	8.9	11.37	1.28	0
IH	"	blooming	High	11.6	20.0	4.65	0.23	0.50

\* % on dry matter basis

サイレージ調製：詰込み時のC/Pおよび硝酸塩含量とサイレージ発酵との関係を調べるため、実験を2回に分けてサイレージ調製を行なった。

実験Iは材料にOL, OHを用い、それぞれにグルコースを添加してC/Pを段階的に調節した。また、OLにOH相当の硝酸塩を添加した区も設定した。

実験IIはOL, RL, RM, RH, IL, IHを用い、詰込み時の硝酸塩含量を種々に変えた。詰込みにあたっては、水分が75%になるように水戻し調整を行ない詰込んだ。

サイロには、ブンゼンバルブを装着した100 ml 容ポリ容器を用い、25°Cで20日間貯蔵した。

**Table 2** Effect of ratio of water soluble carbohydrate to crude protein and nitrate of ensiled material on the chemical quality of silages (Exp.I)

Material	Additive <sup>a)</sup>	C <sup>b)</sup> /P	NO <sub>3</sub> -N <sup>c)</sup>	pH	Acids <sup>d)</sup>				Mark <sup>e)</sup>	VBN <sup>f)</sup>	NO <sub>3</sub> -N <sup>c)</sup>
					Lactic	Acetic	Butyric	Total			
OL	None	0.29	0	5.26	0	0.57	0.64	1.39	0	89.3	0
	G	0.50	0	5.11	0	0.44	0.78	1.22	0	49.1	0
	G	1.00	0	4.58	0.29	0.23	0.63	1.15	13	13.0	0
	G	1.50	0	3.86	1.45	0.13	0.23	1.81	57	9.0	0
OL	K	0.29	1.00	4.87	0.56	0.25	0	0.81	70	22.3	0.85
	G,K	0.50	0.98	4.82	0.59	0.19	0	0.78	81	18.3	0.86
	G,K	1.00	0.92	4.25	0.96	0.30	0	1.26	83	11.8	0.86
OH	None	0.19	1.08	4.77	0.98	0.24	0	1.22	90	49.5	0.91
	G	0.50	1.02	4.52	1.31	0.24	0	1.55	97	45.3	0.87
	G	1.00	0.94	4.22	1.42	0.21	0	1.63	98	35.6	0.88

Note : a) G : Glucose K : KNO<sub>3</sub> b) Ratio of water soluble carbohydrate to crude protein c) % on dry matter basis d) % on fresh matter basis e) According to Flieg's evaluation f) mg % of volatile basic nitrogen on fresh matter basis

分析：供試材料について、水分は Kett 赤外線水分計、粗蛋白質はガンニング変法<sup>13)</sup>、可溶性炭水化物 (WSC) はアンスロン法<sup>14)</sup>、硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) は材料浸出液を  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  法<sup>7)</sup> による除蛋白後、その濾液について亜鉛末還元一比色法<sup>15)</sup> により定量した。

サイレージについては、サイレージ浸出液を用いて、pH をガラス電極 pH メーター、有機酸をガスクロマトグラフィー、揮発性塩基態窒素 (VBN) を常法<sup>14)</sup>、 $\text{NO}_3\text{-N}$  を材料と同様の方法で測定した。

### 結果および考察

実験 I および II において調製したサイレージの化学的品質を、それぞれ Table 2, 3 に示した。なお、サイレージの品質は Flieg 法による評点を基準とし、併せて pH および VBN 含量を加味し判定した。Flieg 評点は、ガスクロマトグラフィーで得られたプロピオン酸を便宜上酢酸に、イソ酪酸より高級な VFA を酪酸に合して計算し、表示した。

実験 I においては Table 2 で示されているように、OL の場合、すべてに酪酸が見られ、特に C/P 0.29, 0.50 では乳酸生成がないなど極めて劣質なものであった。一方、粗蛋白質含量の高い OH は、pH および VBN 含量が幾分高かったが、C/P が 0.19 の低い値であっても酪酸は見られず 90 点の Flieg 評点を得た。そして、グルコース添加による C/P の上昇にともない品質は一層改善された。

サイレージの品質を予測する指標として、材料草の糖含量と蛋白質含量の比で表わすことがある。Jacobson ら<sup>10)</sup> は良質サイレージを得るために全糖と蛋白質の比が 0.35 以上必要であるとし、Gordon ら<sup>8)</sup> は 0.5 以下あるいは新鮮材料中の糖含量が 2% 以下の場合、添加物あるいは予乾などの必要性を述べている。上記から、本実験における OH の C/P 0.19 の場合、サイレージ材料としては好ましくないと思われるが、OL のすべてのものより好結果を得た。

窒素肥料の多施用により牧草中の粗蛋白質含量は高く、WSC 含量は低くなる傾向にあることが広く認められている。そして、このような材料とサイレージ品質の関係について、須藤ら<sup>20, 21)</sup>、Fox ら<sup>6)</sup>、Gordon ら<sup>8)</sup> は、窒素多施用にともなう高蛋白質材料では品質低下の傾向があることを認めている。一方、大山ら<sup>18)</sup> は高蛋白質かつ低 WSC 含量材料でも必ずしも低品質のものができないことを報じている。また、坂東ら<sup>3)</sup>、和泉ら<sup>9)</sup> は高窒素施用による品質低下を認めていない。

硝酸塩添加の OL では不良酸が生成されず OH と同様の結果を得た。このことは硝酸塩が酪酸等の不良酸生成抑制効果を有し、サイレージ発酵に対し好影響を与えることを示すものであろう。そして、OH のように高蛋白質にともなう硝酸塩蓄積材料においても、添加

した硝酸塩と同様の効果を有することが予想される。

硝酸塩蓄積材料のサイレージ化による窒素酸化ガスの生成が知られており、Wangら<sup>24)</sup>、Petersonら<sup>19)</sup>は一酸化窒素の生成を観察している。そして、一酸化窒素の有害微生物抑制効果を期するサイレージ添加物がある<sup>20)</sup>。これらのことから安宅ら<sup>1)</sup>が想定しているように、高硝酸塩蓄積材料の高品質化はサイロ内における硝酸還元生成物の不良発酵抑制効果であることが予測される。

実験IIにおいてはTable 3のとおりである。実験Iと同様に硝酸塩を含まないもの、また、OLおよびRLにおける低硝酸塩の場合、品質は劣質なものとなった。

安宅ら<sup>2)</sup>は材料中のNO<sub>3</sub>-N含量が0.2%以上で良質なものを得たと報告している。また、Wieringa<sup>25)</sup>はNO<sub>3</sub>-N含量が0.1~0.2%の範囲で酪酸は生成されず、この範囲外で酪

**Table 3** Effect of nitrate content of ensiled material on the chemical quality of silages (Exp. II)

Material	Additive <sup>a)</sup>	NO <sub>3</sub> -N <sup>c)</sup>	pH	Acids <sup>d)</sup>				Mark <sup>e)</sup>	VBN <sup>f)</sup>	NO <sub>3</sub> -N <sup>g)</sup>
				Lactic	Acetic	Butyric	Total			
OL	None	0	5.26	0	0.49	0.74	1.23	0	57.5	0
	K	0.05	5.36	0	0.76	0.63	1.39	0	77.7	0
	K	0.10	4.65	0.84	0.29	0	1.13	78	15.2	0
	K	0.20	4.95	0.74	0.27	0	1.01	77	17.4	0.08
	K	0.40	4.80	0.76	0.27	0	1.03	77	16.9	0.30
	K	0.58	4.87	0.72	0.25	0	0.97	78	16.6	0.46
	K	0.93	5.19	0.55	0.26	0	0.81	70	15.9	0.84
	K	1.27	4.73	0.75	0.24	0	0.99	81	17.2	1.21
RL	None	0.03	5.13	0	0.77	0.81	1.58	0	85.5	0
	K	0.14	4.52	0.87	0.48	0	1.35	65	25.0	0
	K	0.44	5.36	0.25	0.29	0	1.17	50	54.9	0.15
RM	None	0.14	4.62	0.95	0.54	0	1.49	64	31.7	0
	K	0.44	5.04	0.74	0.49	0	1.23	63	38.5	0.21
RH	None	0.45	4.32	1.07	0.33	0	1.40	83	37.0	0.36
	K	0.96	4.44	0.94	0.37	0	1.31	75	32.4	0.80
IL	None	0	4.45	0.68	0.19	0.70	1.57	21	12.1	0
	K	0.20	4.02	1.93	0.54	0	2.47	86	12.4	0.09
	K	0.48	4.06	1.77	0.49	0	2.26	87	12.3	0.36
IH	None	0.50	5.53	0.74	1.06	0	1.80	53	123.6	0.09
	K	0.97	6.53	0.15	1.71	0	1.86	50	158.5	0.43

Note: a), c) ~ f) .....Same as in Table 2.

酸の生成を認めており、0.1%以上で酪酸が生成されない点では本実験と一致している。しかし、それ以上のレベル間での品質は2つの傾向に大別できる。つまり、OLのように0.1%以上のレベル間では品質に大差がないものと、RL, RM および IH のように NO<sub>3</sub>-N の増加により乳酸含量の低下, VBN 含量の増加, そして pH の上昇による品質低下の傾向がある。特に乳酸含量については吉田ら<sup>23)</sup>も KNO<sub>3</sub>添加で低下することがあるのを認めている。これらのことは材料草による相違であること、また、硝酸塩含量の過多は不良酸生成抑制と同時に、乳酸発酵も抑制することがあると思われる。また、Wieringa<sup>25)</sup>は硝酸塩の還元最終産物として形成されるアンモニアのために pH が上昇することを指摘している。

このように詰込み時の硝酸塩含量の増加で品質劣化の傾向を示す場合、不良酸の抑制と同時に乳酸含量を低下させ、pH の上昇については VBN 含量の増加をもたらすのか、あるいは、硝酸塩由来による VBN 含量の増加により pH の上昇がもたされるのかは明らかでないが、前者の可能性が高いと思われる。

実験 I, II の結果をもとに、Fig. 1 に Flieg 評点および pH と NO<sub>3</sub>-N の消失量との関係を、Fig. 2 に詰込み NO<sub>3</sub>-N 含量とその消失率との関係を示した。

Flieg 評点 70 点以上のもものでは含量として 0.2% 以下の消失量であるが、評点の低下にともない消失量は多くなる傾向が見られた。

硝酸塩のサイレージ化による減少は低 pH でその量は少なく、高 pH で多いことが報告されている<sup>11,17,26)</sup>。本実験においても、ローズグラスおよびイタリアンライグラスに関してはこれらの報告と軌を一にしており、オーチャードグラスも含め pH 5.0 では 0.2% 以下の消失量であった。

Fig. 1 The relationship between Flieg's evaluation and pH and disappeared NO<sub>3</sub>-N

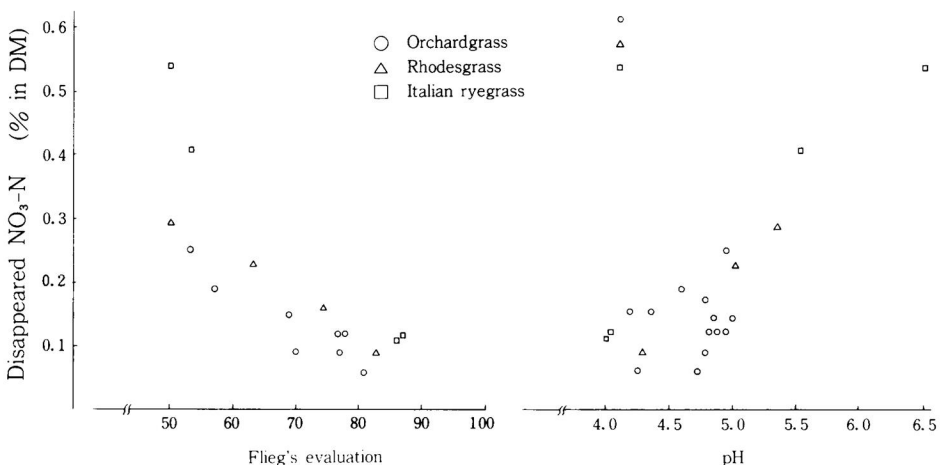
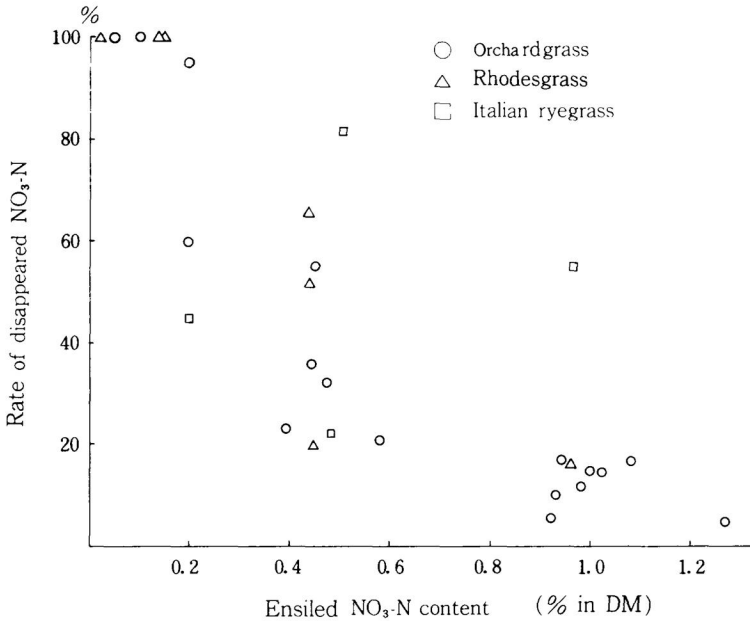


Fig. 2 The relationship between ensiled  $\text{NO}_3\text{-N}$  content and the rate of disappeared  $\text{NO}_3\text{-N}$



宮崎ら<sup>12)</sup>は詰込み材料中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量が多いほど多く消失することを報告している。しかし、Fig. 3で示されているように、詰込み時の含量が多いほど消失率は低下した。これは、pHが約5以下かつ高評点で0.2%以下の消失量であることも一因であろう。

以上、本実験から判断すると、硝酸塩はサイレージ発酵において不良酸を抑制し、WSCとの適当な組合せでより良い品質が得られると推定される。しかし、良品質の場合の硝酸塩の消失量は乾物中含量として約0.2%の一定量であるため、今後、高硝酸塩蓄積材料の高品質化にともなう硝酸塩の消失量の問題が課題であると思われる。

## 要 約

オーチャードグラス、ローズグラスおよびイタリアンライグラスの3草種を用いて、硝酸塩がサイレージの化学的品質におよぼす影響について検討した。

その結果を要約すると次のとおりである。

1. 3草種とも、詰込み時の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量が乾物中0.2%以上あると不良酸は生成されなかった。

2. 詰込み時の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量が多くなるとpHの上昇、乳酸含量の減少およびVBN含量の増加による品質劣化の傾向を示すものがあった。

3. pHの上昇, Flieg 評点の低下にともない $\text{NO}_3\text{-N}$ の消失量が多くなる傾向にあった。また, 良品質のものでは乾物中含量として0.2%前後の一定量であった。

4. 以上から, 詰込み $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量が乾物中約0.2%と適当なWSC含量の組合せでより良品質のサイレージが得られると推定された。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり, 終始懇篤なる御指導を賜った茨城大学農学部飼料科学研究室中村亮八郎教授, 同吉田條二助教授に対して深甚の謝意を表する。

なお, この概要は1976年4月に開催された第31回日本草地学会大会において発表したことを付記する。

## 文 献

- 1) 安宅一夫・大島安友・榎崎昇, 1973 窒素施肥がサイレージの品質と飼料価値におよぼす影響, 日草誌, 19別-1: 90-31.
- 2) 安宅一夫・榎崎昇, 1974 サイレージの発酵におよぼす $\text{NO}_3\text{-N}$ の影響に関する研究1, 日草誌, 20別-1: 108-109.
- 3) 坂東健・蔦野保, 1970 いね科牧草サイレージの化学的品質と消化率に及ぼす窒素施肥水準と生育時期の影響, 道農試集, 21: 39-47.
- 4) Crawford, R. F., W. K. Kennedy and W. C. Johnson, 1961 Some factor that affect nitrate accumulation in forages. Agron J. 53: 159-162.
- 5) 江原薫・山田芳雄・梅津頼三郎, 1966 飼料作物における硝酸態窒素含量に関する研究 第1報, 日作紀, 34: 292-297.
- 6) Fox, J. B. and S. M. Brown, 1969 The effect of fertilizer nitrogen on silage fermentation. J. Br. Grassld. Soc., 24: 23-24.
- 7) 藤井暢三, 1958 生化学実験法, 18, 南山堂, 東京.
- 8) Gordon, G. H., J. C. Derbyshire, H.G. Wiseman and W. C. Jacobson, 1964 Variations in initial composition of orchardgrass as related to silage composition and feeding value. J. Dairy Sci., 47: 987-992.
- 9) 和泉康史・大橋尚夫・及川寛, 1972 窒素施肥水準および刈取時期が乾草とサイレージの消化率および養分摂取量に及ぼす影響, 日畜会報, 43: 603-610.
- 10) Jacobson, W. C. and H. G. Wiseman, 1962 Relationship between chemical composition of orchardgrass forage and the chemical quality of the resulting silage. J. Dairy Sci., 45: 664.
- 11) Jacobson, W. C. and H. G. Wiseman, 1963 Nitrogen disappearance in silage. J. Dairy Sci., 46: 617-618.
- 12) 宮崎昭・石田直彦, 1968 サイレージ調製時における青刈飼料中の硝酸塩含量の変化について, 日畜会報, 39: 313-318.
- 13) 森本宏, 1971 動物栄養試験法, 421-424, 養賢堂, 東京.
- 14) 森本宏, 1971 動物栄養試験法, 292, 養賢堂, 東京.
- 15) 森本昌宏・平古場朗・石橋龍吾, 1967 亜硝酸イオン共存下の硝酸イオンの吸光光度定量, 分析化学,

- 16 : 1335-1340.
- 16) 森沢重雄・吉田條二・中村亮八郎, 1974 サイレージ発酵に関する基礎的研究 1. 日草誌, 20 別-1, 104-105.
  - 17) 中村亮八郎・吉田條二・藤田力雄, 1966 青刈とうもろこしの硝酸塩について, 茨大農報, 14 : 41-45.
  - 18) 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 1, 日畜会報, 39 : 61-67.
  - 19) Peterson, W. H., R.H.Burris, R. Sant and H. Y. Little, 1958 Production of toxic gas (nitrogen oxides) in silage making. J. Agr. Food Chem., 6 : 121-126.
  - 20) 須藤浩, 1971 サイレージと乾草, 49, 養賢堂, 東京.
  - 21) 須藤浩・内田仙二・守分俊彦・国眼重雄, 1971 サイレージの調製法に関する研究 第 17 報, 岡大農報告, 38 : 39-49.
  - 22) 須藤浩・内田仙二・長浜知洋, 1972 同上 第 18 報. 岡大農報, 39 : 31-39.
  - 23) 吉田條二・森沢重雄・中村亮八郎, 1974 サイレージ発酵に関する基礎的研究 3. 日草誌, 20 別-1 : 110-111.
  - 24) Wang, L. C. and R. H. Burris, 1960 Mass spectrometric study of nitrogenous gases produced by silage. J. Agr. Food Chem., 8 : 239-242.
  - 25) Wierinaga, G.W., 1966 The influence of nitrate on silage fermentation. Pro. 10th Int. Grassld. cong., 537-540.
  - 26) Wiseman, H. G. and W. C. Jacobson, 1965 Determination of nitrate in silages and forages. J. Agr. Food Chem., 13 : 36-19.

### Summary

The relations between the nitrate content of ensiling materials and the chemical quality of silages were investigated with orchardgrass, rhodesgrass and Italian ryegrass. The results are summarized as follows.

1) No undesirable acid was produced when the  $\text{NO}_3\text{-N}$  contents in ensiling materials were more than 0.2% in dry matter.

2) The chemical quality of silages tended to become poor as the  $\text{NO}_3\text{-N}$  contents in the materials increased.

3) The concentrations of disappeared nitrate tended to increase when pH was high and Flieg's evaluation was low. In the case of the high quality silage, the concentrations of disappeared nitrate were under 0.2%  $\text{NO}_3\text{-N}$  in dry matter.

4) From above results, it was presumed that a more high quality silage should be obtained by a combination of about 0.2%  $\text{NO}_3\text{-N}$  in dry matter and suitable water soluble carbohydrate contents in the materials.