

サイレージ発酵における硝酸塩の役割

酪農学園大学
農学博士

安宅 一夫

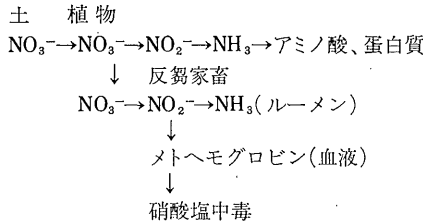
「生きとし生けるものすべて草なり」。これは聖書の中の言葉である。即ち、地球上のすべての生物は、直接・間接的に草を食料として生きていくのである。

酪農は、天地人、即ち、天の恵みのもとで、土・草・家畜・人間をめぐめる循環を基本とした循環農法であるが、この栄養連鎖の基本成分の一つとして硝酸塩がある。

植物および反芻家畜の栄養における硝酸塩の役割は図1に示すようである。牧草や飼料作物は、生長に必要な窒素源として硝酸塩を好んで吸収する。植物の根から吸収された硝酸塩は、植物体内の酵素作用を受けて、アミノ酸、蛋白質等に同化される。しかし、植物体内で、硝酸塩の吸収と同化のバランスがくずれると、ときとして植物体内に多量の硝酸塩を蓄積することがある。

一方、反芻家畜が硝酸塩を摂取すると、硝酸塩は第一胃内で、亜硝酸塩を経てアンモニアへと還元される。その時、中間還元産物の亜硝酸塩が、そのまま血液中に吸収されると、ヘモグロビンがメトヘモグロビンに変わり、動物の組織は徐々に酸素不足となり、重症の場合は死亡する。これがいわゆる硝酸塩中毒である。

図1 植物並びに反芻家畜の栄養における硝酸塩の役割



ところで、牧草や飼料作物の硝酸塩含量は、サイレージ調製によって著しく減少することが経験的に知られている。しかし、サイレージ発酵過程で硝酸塩含量が減少する機構および、サイレージ発酵に及ぼす硝酸塩の影響は、ほとんど知られていなかった。

著者らは、サイレージ調製より硝酸塩含量が減少する機構を明らかにするとともに、硝酸塩がサイレージ発酵を改善することを認めたので、その概要を紹介する。

1. 牧草の硝酸塩含量とサイレージ品質

硝酸塩含量の異なる31点のオーチャードグラスを用いてサイレージを調製し、牧草の硝酸塩含量と品質との関係を調べた(図2)。

牧草のNO₃-N含量が乾物中0.2%以上になると例外なく硝酸の生成がなくなり、フリーク評点の高い良質のサイレージができることを認めた。前述のように、硝酸塩含量の高い牧草を反芻家畜に給与すると硝酸塩中毒を起こしやすいことは周知の事実であるが、このような硝酸塩含量の高い牧草から常に良質のサイレージができることは注目に値する。

2. 硝酸塩添加によるサイレージの品質改善

前の実験で、硝酸塩含量の高い牧草から良質のサイレージができることを認めたので、この現象が硝酸塩そのものの効果かどうかを確かめるために、アルファルファとオーチャードグラスを用いて、詰込時に硝酸カリを添加し、サイレージを調製する実験を行った(図3)。

両草種とも、硝酸カリを添加すると、硝酸塩含量が著しく減少し、フリーク評点が改善された。この場合、硝酸カリの添加量はアルファルファで0.1%、オーチャードグラスは0.2%で十分と考えられた。このように、従来良質のサイレージを作ることが困難とされたアルファルファにおいても、硝酸塩の添加によってサイレージの品質改善が期待できることが示された。

次にオーチャードグラスサイレージの品質に及ぼす硝酸塩添加の効果と貯蔵温度との関連で検討した(第1表)。いずれの温度でも、硝酸カリを添加すると、酪酸の生成が著しく抑制され、サイレージの品質が改善された。なおサイレージ品質を改善するのに必要な硝酸カリの添加量は、20℃では0.2%、30℃では0.4%であった。

図2 牧草の硝酸塩含量とサイレージ品質の関係

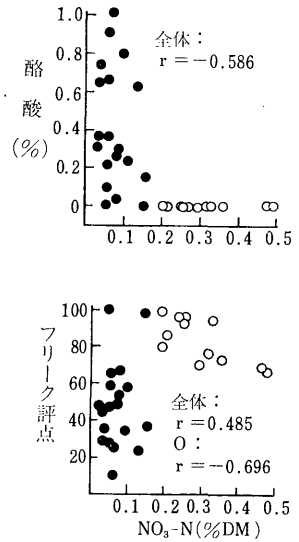


図3 硝酸カリ添加がサイレージ品質に及ぼす影響

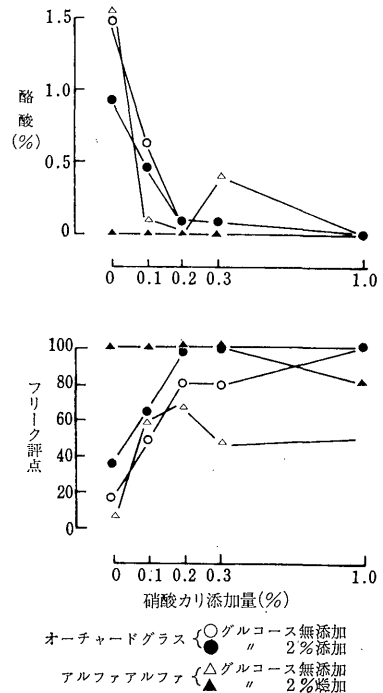


表 1 サイレージ品質に及ぼす硝酸塩添加および温度の影響

温度 (°C)	硝酸カリ添加量 (%)	pH	乳酸 (%)	酢酸 (%)	酪酸 (%)	総酸 (%)	フリーク 評 点	NH ₃ -N*
20	0	5.58	0	0.19	0.89	1.08	8	38.9
	0.2	4.71	0.67	0.82	0	1.49	60	17.1
	0.4	4.01	2.07	0.29	0	2.36	100	12.0
30	1.0	3.92	1.96	0.12	0	2.08	100	9.4
	0	5.32	0	0.68	1.00	1.68	-7	52.0
	0.2	4.72	0.60	0.88	0.11	1.59	16	21.4
30	0.4	4.39	0.77	0.52	0	1.29	70	12.8
	1.0	4.07	1.60	0.31	0	1.91	99	10.3

*全窒素に対する割合、%

3. サイレージの微生物に対する硝酸塩の影響

サイレージができるまでには、いろいろな微生物が関与しているが、これを大まかに分けると、乳酸菌、酪酸菌、好気性細菌、酵母、カビ等に分けられる。

このうち、乳酸菌は有用菌であるが、その他の菌は不良菌である。即ち、好気性細菌、酵母、カビ等の生育が活発になると、サイレージは堆肥のようになり、飼料として利用できなくなる。これらの微生物の生育は、サイロを密閉し、嫌気的条件を保つことにより抑制できる。

また、酪酸菌の生育が活発になると、貯蔵中の養分損失が多くなり、サイレージは悪臭を放ち、家畜の嗜好性が悪くなる。この菌の生育を抑制するには、pHを4.0以下にするか、水分含量を60%以下にしなければならぬ。従って、良質サイレージを作るためには、サイロを密閉し、嫌気的条件下にして乳酸発酵を促進し、pHを4.0以下にするか、乳酸発酵が期待できない場合には、材料を予乾して水分含量を60%以下にするのがよいわけである。

ところで、硝酸塩含量の高い牧草は、一般に糖含量が低く、乳酸発酵を促進して良質のサイレージを作ることが困難だと考えられていた。しかし、前述の様に、高水分、低糖分さらに高温という従来考えられていた不良条件下でも、硝酸塩が多量に存在すると、必ず良質のサイレージができることを認め、これを実証した。

さらに、サイレージの微生物に対する硝酸塩の影響を検討した結果、硝酸塩は、乳酸菌の生育には影響しないが、不良菌である酪酸菌および酵母の生育を強く抑制し、酪酸、2,3-ブタンジオール等の生成を抑制することが明らかにされた。

4. サイレージ発酵過程における硝酸塩の還元とサイレージ品質

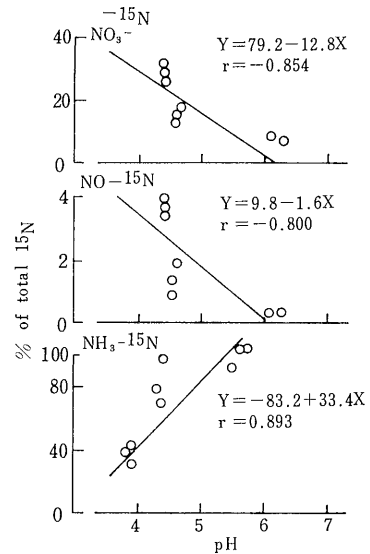
サイレージ調製によって、硝酸塩含量が減少することはよく知られているが、その機構は十分わかっていない。そこで、アイソトープ (¹⁵N) を用いて、サイレージ発酵過程における硝酸塩の動向を調べる実験を行っ

た。

その結果、サイレージ発酵過程における硝酸塩の還元経路には、硝酸塩→亜硝酸塩→アンモニアの同化型と、硝酸塩→亜硝酸塩→一酸化窒素の異化型があることを認め、サイレージの品質が悪くなる場合には同化型の還元経路が支配的となり、良質サイレージができる場合には異化型の還元経路が多くなることが知られた。

全 ¹⁵N に対する硝酸、一酸化窒素およびアンモニア態の ¹⁵N³濃度と pH³との関係は図4に示すようである。pHは硝酸塩および一酸化窒素濃度と負の相関があり、アンモニアとは正の相関があった。すなわち、サイレージの pHが高くなると、調製中における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ることがわかった。これは、サイレージの品質が悪くなるほど硝酸塩の消失量が多くなるこ

図 4 サイレージのpHと¹⁵N-硝酸塩、一酸化窒素およびアンモニア濃度との関係



とを示している。一方、pHが低くなると、硝酸塩の消失量は少なくなるが、一酸化窒素の生成が増加することがわかった。

これらのことから、硝酸塩がサイレージの品質を改善する機構は、サイレージ発酵過程における硝酸塩の還元物質である一酸化窒素が、不良菌とくに酪酸菌および酵母の生育を抑制するためと推測された。

以上のように、硝酸塩含量の高い牧草を用いてサイレージを調製すると常に良質のサイレージができること、また、硝酸塩がサイレージ発酵過程で減少する機構を明らかにした。したがって、硝酸塩含量の高い牧草の利用法として、サイレージは極めて有利な方法と考えられる。