

サイロ開封後の環境温度がトウモロコシサイレー ジの好気的変敗に及ぼす影響

服部育男・熊井清雄*・福見良平**

Effect of Temperature on Aerobic Deterioration
of Corn Silage after Opening Silos

Ikuo HATTORI, Sumio KUMAI, and Ryohei FUKUMI

Summary

Upon exposure to air after opening silos, silage deteriorates rapidly resulting in reduced quality of feed for cattle. This study was carried out to determine the effect of temperature on aerobic deterioration of corn silage after opening silos. It seemed that the higher the temperature, the earlier and greater the rise in silage temperature. The temperature rise in silage at 10°C was delayed by 70 hours and the maximum temperature was lowest. High temperatures also caused early rise in pH but the final pH was nearly the same regardless of temperature. Fungal growth was more enhanced by high temperatures. After seven days, lactic acid was detected only in the silage stored at 10°C, whereas it disappeared in those stored at the higher temperatures. The results suggest that low temperature can delay the onset of aerobic deterioration but it seems that once deterioration begins, temperature has no effect.

緒言

サイロ開封後におこるサイレージの好気的変敗は、夏期の高温時に発生しやすく、一旦変敗が始まると表層から急速に拡がり、サイレージの品質を著しく低下させる⁶⁾。

ところで、Ohyama ら⁹⁾は開封後の環境温度が好気的変敗に及ぼす影響について検討し、5～10°Cの場合には16例中すべてが変敗しなかったが、10～15°Cの範囲では22例中7例が7日以内に温度が上昇し、25～30°Cでは38例中23例が発熱を示したと報告している。また、Pitt ら¹⁰⁾は文献から集めたデータを解析した結果、10°C以下または40°C以上の範囲では好気的変敗が遅れることを報告している。しかし、これらはいずれも環境温度と好気的変敗の有無との関係を示すにとどまっており、微生物学的な側面から環境温度が好気的変敗に及ぼす影響を検討した報告は、ほとんど見受けられない。

そこで本実験は好気的変敗の操作を解明することを目的として、環境温度がトウモロコシサイレー

*草地学研究室 (Laboratory of Grassland Science)

**畜産学研究室 (Laboratory of Animal Science)

ジの好気的変敗に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

糊熟期トウモロコシ(P3352)を1992年8月21日に詰め込み、サイレージを調製した。1992年10月25日にサイロを開封して実験に供した。開封時の発酵品質を表1に示した。サイロ開封後、サイレージはビニールシート上で良く混合し、10ℓ容の発泡スチロール製の断熱容器(20×20×25cm、厚さ2cm)にそれぞれ2.5kg圧密を加えずに詰め直し、10、15、20、25、30および35℃の恒温室内に各1個、表面を空気にさらしたまま7日間静置した。

Table 1 Fermentation quality of corn silage.

DM(%)	pH	Organic acid(FM%)				VBN ^{a)} T-N (%)
		Lactic	Acetic	Propionic	Total	
22.3	3.6	0.97	0.33	0.12	1.42	0.66

a) Volatile basic nitrogen.

これらサイレージについて、品温を連続測定し、実験開始時から5日目までの毎日と7日目にサンプリングを行った。各サンプルは微生物生菌数の計測、pHおよび有機酸含量の測定に供した。なお、サンプリングは毎回サイレージを恒温器から取り出し、すばやく混合して行った。

サイレージの品温は、断熱容器内のサイレージの中心部にサーモメーターを埋設し、自動記録計(オシログラフ 千野EH200-12型)を使用して連続測定した。微生物相については、酵母、糸状菌および一般細菌数を計測した。各生菌数の計測は希釈平板法により行った。なお、酵母と糸状菌の計測は、抗菌剤として10%酒石酸を1ℓ当たり8ml添加したポテトデキストロース寒天培地²⁾を用い、25℃で3日間培養して行った。また、一般細菌については、普通寒天培地⁵⁾を用い、32℃で3日間培養して計測した。pHはガラス電極メーターで、有機酸組成はガスクロマトグラフィー法⁴⁾でそれぞれ測定した。

結 果

サイレージの品温の推移

図1にサイロ開封後におけるサイレージの品温の推移を示した。各サイレージは実験開始後10時間以内に設定温度に達したが、35℃区と30℃区の品温は実験開始時から発熱ピークまでほぼ直線的に上昇し、発熱ピークは実験開始約24時間後で、最高温度はそれぞれ47℃と45℃に達した。一方、25℃、20℃、15℃および10℃の各区はそれぞれ約24時間、30時間、30時間および72時間後から発熱を開始し、環境温度が低い区ほど発熱が遅くなる傾向が認められた。また、ピーク時の品温はそれぞれ40℃、40℃、33℃、および31℃と環境温度の低下にともなって低くなる傾向を示した。温度変化のパターンについてみると、25℃以上の各区は発熱ピークに達した後も設定温度より高い温度で推移したのに対し、20℃以下の各区は発熱ピーク後、比較的速やかに設定温度まで下降した。

pHの推移

表2にサイロ開封後におけるサイレージのpHの推移を示した。pHは環境温度が高まるにつれて、開封後の早い時期から上昇する傾向を示した。また、実験終了後におけるpHは、いずれの処理区も同程度となった。

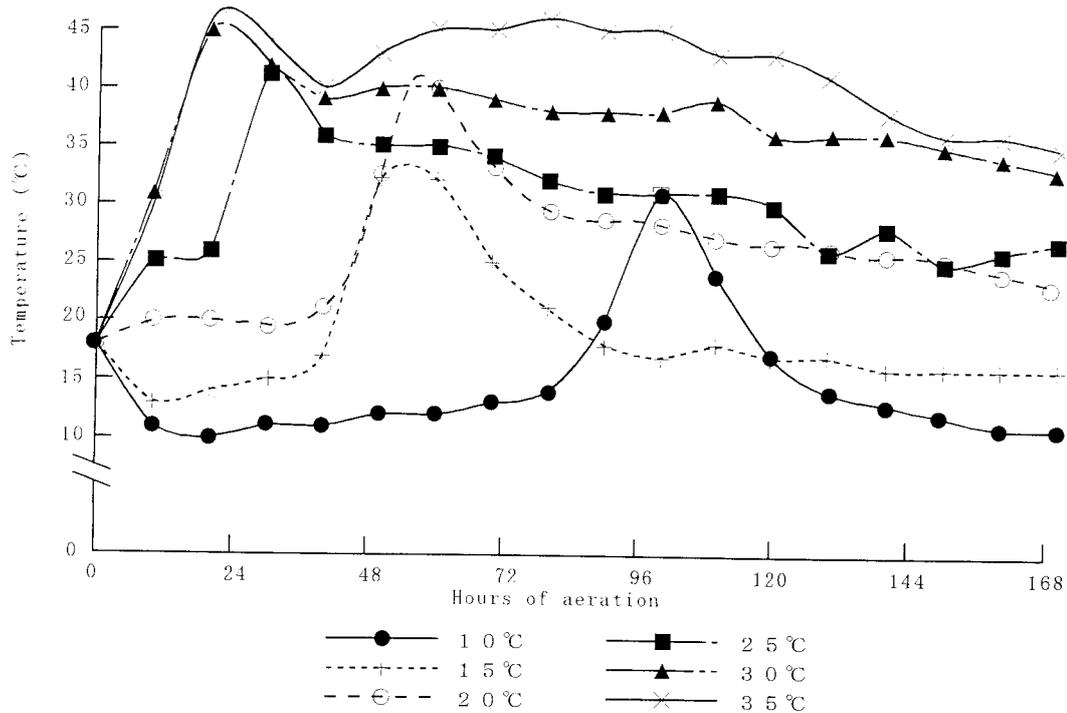


Fig. 1 Influence of environment temperature on silage heating during aeration.

Table 2 Effect of environmental temperature on pH change in corn silage during aeration.

Days of aeration	Environmental temperature(°C)					
	10	15	20	25	30	35
0	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
1	3.6	3.6	3.6	3.6	4.5	3.8
2	3.7	3.7	4.0	5.9	6.5	5.8
3	3.7	4.3	6.4	6.4	6.6	6.8
4	3.8	6.3	6.2	6.7	6.7	6.6
5	4.4	5.8	5.8	6.7	6.8	6.8
7	7.0	6.9	7.0	7.1	7.5	7.5

微生物相の推移

表3にサイロ開封後におけるサイレージの酵母菌数の推移を示した。開封時の生菌数は 10^4 個レベルであった。処理開始1日目では、環境温度が高い区ほど菌数が増え、30℃区と35℃区は 10^7 個レベルに達した。その後、30℃区と35℃区はほとんど増殖が認められなかった。一方、その他の区は徐々に増殖したが、いずれの区も 10^7 個レベルで増殖がとまった。 10^7 個レベルに達する時間は、温度が高い区からそれぞれ実験開始3日、3日、3日および5日後であった。

Table 3 Effect of environmental temperature on viable counts of yeast(\log_{10} N/gFM) during aeration.

Days of aeration	Environmental temperature(°C)					
	10	15	20	25	30	35
0	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
1	3.6	4.3	5.2	6.5	7.2	7.4
2	4.5	5.5	6.2	6.6	6.3	6.8
3	5.8	7.4	7.7	7.6	7.7	7.5
4	6.9	7.1	7.4	7.5	7.3	6.5
5	7.5	7.3	8.4	6.3	7.6	7.6
7	7.2	7.3	7.0	6.0	6.2	4.9

表4にサイロ開封後におけるサイレージの糸状菌数の推移を示した。実験開始時では 10^4 個レベルで酵母のそれとほぼ同じであった。糸状菌についても処理開始1日目では、処理温度が高まるにつれて菌数が高まる傾向があった。その後、各区の菌数は増加し、 10^8 個レベルでピークに達した。

Table 4 Effect of environmental temperature on viable counts of mould(\log_{10} N/gFM) during aeration.

Days of aeration	Environmental temperature(°C)					
	10	15	20	25	30	35
0	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
1	4.6	4.8	6.8	6.9	7.9	7.9
2	5.5	6.6	7.1	7.1	6.6	6.6
3	6.7	7.8	8.4	8.4	8.2	7.5
4	7.8	8.6	8.4	8.2	8.5	7.7
5	8.2	8.2	9.1	7.3	8.1	8.3
7	8.7	8.4	8.5	7.7	7.5	6.3

表5にサイロ開封後における一般細菌数の推移を示した。処理開始1日目では、処理温度が高まるにつれて菌数が高まる傾向があった。その後、20°C以上の区は同様の推移を示し、 10^8 から 10^9 個レベルに達した。一方、15°C区の菌数はそれらより遅れて増加し、10°C区のそれはさらに遅れて増加したが、最終的な菌数はいずれの区も同程度であった。

Table 5 Effect of environmental temperature on viable counts of aerobic bacteria(\log_{10} N/gFM) during aeration.

Days of aeration	Environmental temperature(°C)					
	10	15	20	25	30	35
0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
1	4.7	4.5	6.8	6.9	7.8	7.8
2	4.8	5.2	6.7	6.9	6.6	6.8
3	5.8	7.8	7.8	7.8	7.9	7.8
4	7.7	8.2	7.9	8.6	8.7	8.0
5	9.0	8.4	9.3	9.1	9.5	8.2
7	8.0	8.0	8.6	8.9	8.4	8.5

有機酸含量の推移

表6に開封時と実験終了時における有機酸組成を示した。乳酸含量はいずれの区も減少し、10℃区を除くすべての区で消失した。酢酸とプロピオン酸含量についてはいずれの処理区も残存していたが、これらの開封時と比較して顕著に減少した。

Table 6 Effect of environmental temperature on organic acid content in corn silage 7 days after opening silos.

Treatment	Organic acid(FM%)		
	Lactic	Acetic	Propionic
Opening	0.97	0.33	0.12
10℃	0.12	0.01	0.02
15℃	0	0.09	0.05
20℃	0	0.04	0.03
25℃	0	0.08	0.06
30℃	0	0.03	0.03
35℃	0	0.08	0.08

考 察

今回の実験において、環境温度が高まるとサイレージの発熱が早く始まる傾向が認められた。微生物はその種類によってそれぞれ最適の生育温度(至適温度)をもっている。サイレージの好気的変敗の主因菌は酵母、糸状菌のいずれかであり¹⁾、酵母では *Pichia*, *Hansenula*, *Candida* および *Saccharomyces* 属が、糸状菌では *Monascus*, *Geotrichum*, *Byssochlamys*, *Mucor*, *Aspergillus*, *Penicillium* および *Fusarium* 属が主因菌となり得るものである²⁾。これらはそのほとんどが中温性の微生物に属し、25℃から40℃が至適温度であるとされている¹⁾。また、微生物の最低と最高成育温度は、それぞれ約15℃と約45℃である¹⁾。したがって、環境温度が25℃以上の区のサイレージは、好気的変敗に関する微生物の生育環境が好適温度域であり、各区はほぼ同じ時期から増殖を開始して発熱したものと考えられる。また、一般に微生物の増殖速度は、至適温度以下の場合、低温になるにつれて遅くなることが知られている¹⁾。表3-5の結果から処理開始後1日目の菌数に差が認められたことは、低温になるにつれて微生物の増殖速度が遅れ、発熱開始の時間を遅らせたためと考えられる。なお、10℃区は15℃区より40時間程発熱が遅れた。この理由としては10℃という環境温度は、好気的変敗に関する多くの微生物の生育温度限界を超えたものであり、低温性の微生物しか繁殖できなかったためと考えられる。このように、環境温度が低くサイレージの品温が微生物の増殖至適温度域を下まわっている場合は、微生物の増殖速度が遅れるために、一定の微生物生菌数⁸⁾に達し、サイレージの品温⁹⁾や、pHが上昇するなど、微生物が繁殖しやすい環境が整った時点で、微生物が急激に増殖して好気的変敗が生起すると考えられる。

また、25℃以上の区と20℃以下の区の温度変化のパターンが異なったことについては、サイレージ自体の熱伝導性が悪く、熱がサイレージ内にこもりやすいこと、そして25℃以上の区の恒温機はヒーターのみの機種でクーラーを装備していなかったため、設定温度より温度が高まった場合にそれを低下させる機能を持たなかったのに対し、20℃以下の区は恒温機がヒーターとクーラーの併用型であったためにサイレージの発熱が終息した後、速やかに冷却されたことによるものと考えられる。

今回の実験において、環境温度が低い区ほど発熱ピーク時の品温が低くなる傾向を示した。変敗に

よる発熱は微生物の呼吸熱に由来することが知られている³⁾が、糸状菌と酵母の生菌数についてみると、いずれの区においても発熱ピーク時の菌数は同程度であり、いずれのサイレージも同等に変敗したものと見なされる。したがって、低温環境下においても一旦変敗が始まれば発熱ピークの品温が異なっても高温区と同様の変敗が生起することが明らかとなった。発熱ピーク時の品温に差が認められた理由は、環境温度の影響によると考えられる。

以上より、サイレージの好気的変敗は、高温環境下では低温環境下より生起が早くなることが明らかとなった。したがって、サイロ開封後のサイレージはできるだけ低温環境下で保蔵することが重要である。

摘 要

好気的変敗の機作を解明することを目的として環境温度が好気的変敗に及ぼす影響について検討した。サイレージの品温は環境温度が高まるに伴って早い時期から発熱する傾向が認められた。また、ピーク時の品温は環境温度が高い区ほど高くなる傾向があった。pHの上昇は品温の発熱開始時間と同様の傾向を示したが、最終的なpHはいずれの区も同程度であった。微生物相についても、増殖開始時期と品温の上昇が連動する傾向を示したが、各区のピーク時の菌数には差が認められなかった。実験終了時の有機酸についてみると、10℃区の乳酸は残存していたが、その他の区では消失した。

以上より、サイレージの好気的変敗は高温環境下で早く生起した。また、低温環境下では変敗開始が大幅に遅れるが、一旦変敗が始まると高温環境下と同様に変敗が進むことが明らかとなった。

引用文献

- (1) 相磯和嘉 監修. 1976. 食品微生物学. 医歯薬出版. 東京. pp. 63-76.
- (2) Britt, D. G. and J. T. Huber. 1975. Fungal growth during fermentation and refermentation of nonprotein nitrogen treated corn silage. *J. Dairy Sci.* 58: 1666-1671.
- (3) 原慎一郎・伊藤 稔・大山嘉信. 1979. サイレージ好気的変敗の際の品温、ガス代謝量及び熱発生量と微生物相の相互関係. *日畜会報.* 50: 549-556.
- (4) 松山圭一郎. 1986. サイレージ中の揮発性脂肪酸と乳酸のガスクロマトグラフィーによる同時定量. *畜産の研究.* 40: 1410-1412.
- (5) 駒形和雄. 1975. 微生物の分類と同定. 東大出版会. 東京. pp. 210.
- (6) 松岡 栄・板垣 隆・浜田美紀・高橋潤一・藤田 裕. 1983. 好気的変敗の程度が異なるトウモロコシサイレージの飼料価値. *帯広大研報.* 13: 161-166.
- (7) McDonald, P. 1981. *The Biochemistry of Silage.*(1st ed.). John Wiley and Sons. New York pp. 1-218.
- (8) O'Leary, J., R. W. Hemiken and L.S. Bull. 1981. Evaluation of forage ensiled in concrete stave and oxygen-limiting silos. *Proc 14th IGC.* 660-662.
- (9) Ohyama, Y., S. Masaki and S. Hara. 1975. Factors influencing aerobic deterioration of silages and changes in chemical composition after opening silos. *J. Sci. Food Agric.* 26: 1137-1147.
- (10) Pitt, R. E., R. E. Muck and N. B. Pickering. 1991. A model of fungal growth in silage. 2. Aerobic stability. *Grass and Forage Sci.* 46: 301-312.
- (11) Woolford, M. K., K. K. Bolsen and L. S. Peart. 1982. Studies on the aerobic deterioration of whole crop cereal silages. *J. Agric. Sci. Camb.* 98: 529-535.