

簡易型サイロの密封方法とサイロ内の酸素濃度の関係

上垣隆一¹⁾*, 川野和男²⁾, 大澤 玲³⁾, 木村俊之⁴⁾

(平成 29 年 9 月 28 日 受付)

Relationship between sealing method and oxygen concentration in silo during silage ensiling

Ryuichi UEGAKI¹⁾*, Kazuo KAWANO²⁾, Ryo OSAWA³⁾ & Toshiyuki KIMURA⁴⁾

プラスチック樹脂製のパウチ袋をサイロにして飼料用米のサイレージ調製実験を行なった。破碎し水分を調整した籾米に乳酸菌を加えた後にパウチ袋に詰め、ヒートシール、ワニ口クリップ、ひもで縛る、結束バンドで縛るの4つの方法で封入口を密封した。室温で32日間の貯蔵を行い、サイロ内の酸素濃度を非破壊で測定するとともに、サイレージの醗酵品質(pH, 有機酸濃度, 微生物数)を解析し、密封法との関連を検証した。サイロ内の酸素濃度は、すべてにおいて1日後に0%になり、ヒートシール法ではサイロ内の酸素濃度は32日間0%を維持した。その他の方法では5日を経過する頃から酸素濃度が上昇が認められ、20日前後には13-16%程度まで上昇した。サイレージの醗酵品質は、ヒートシール法が、低いpHの値(3.86)や乳酸濃度が高い値(1.21%)であること等から、サイレージ醗酵が良好に進行したと判断した。一方、その他の密封法の醗酵品質はpHが4.4-13, 乳酸濃度が0.65-0.88%と劣質で、一部かびの発生も認められるなど、サイレージ醗酵は不良であった。以上より、ワニ口クリップ、ひもで縛る、結束バンド法の密封法はサイレージ調製には不向きで、ヒートシールのように、完全に密封させる方法が酸素の侵入を防ぎサイレージ醗酵も促進させるサイロの密封法として適していると考えられる。

-
- 1) 農研機構 動物衛生研究部門病態研究領域
 - 2) 日本化薬フードテクノ株式会社
 - 3) 埼玉県農業技術研究センター
 - 4) 農研機構 食品研究部門

- 1) National Institute of Animal Health, NARO
- 2) Nippon Kayaku Food Techno Co.
- 3) Saitama Agricultural Technology Research Center
- 4) Food Research Institute, NARO

* Corresponding author; Ryuichi UEGAKI
National Institute of Animal Health, Division of Pathology and Pathophysiology, Toxicology Unit
Kannondai 3-1-5, Tsukuba, Ibaraki, 305-0856 JAPAN
Tel: 029-838-7822
Fax: 029-838-7880
E-mail: uegaki@affrc.go.jp

緒言

サイレージは、牧草やトウモロコシなど飼料の栄養価値を保存するために嫌気状態に保ち乳酸醗酵(サイレージ醗酵)をさせた飼料である。近年は、飼料の多様化に伴い、牧草などのみならず、飼料イネや飼料用米、あるいは粗飼料と濃厚飼料を混合した各種の混合飼料などもサイレージとして保管することが多くなった。一方、サイレージを調製する容器であるサイロも大きく変化している。タワー型サイロのような大型のものは少なくなり、樹脂製のフィルムでラッピングする、あるいはフレコンバックやドラム缶など簡易型のものが主流になった。簡易型のサイロは、初期投資が少ない、多種多様の飼料原料に対応しやすいなどの長所があるが、嫌気性の維持に短所があり、サイレージ醗酵が進みにくくかびが発生しやすいなどの問題がある。サイレージ醗酵が十分に進まなければ腐敗に繋がり、かびが発生すると飼料の商品価

値が下がり衛生面での問題も発生する。そのため、簡易型のサイロであっても、安全かつ安定した飼料生産のために、サイレージの貯蔵期間中に嫌気性を保ち、サイレージ発酵を促進しかつ維持する必要がある。

簡易型サイロの嫌気性の維持の困難さは、サイロの封入口周辺にかびが発生することが多く、また、サイレージ醗酵品質が劣質であること¹⁾から、封入口の気密性に難があると考えられる。現在、フレコンバックなどの樹脂製の非定形のサイロは、脱気後にひもで縛る、あるいは結束バンドで縛るなどの方法で密封されている²⁾。また、食品の保存などでは、ヒートシール、ワニ口クリップやヒートシールが密封に用いられている。ヒートシールは、実験室規模でのサイレージ調製にも用いられている^{3) 4)}。これらの密封法が、簡易型サイロの密封法として適切なかどうか検証されていない。簡易型サイロの嫌気性の向上を図るには、これらの方法が、酸素の密封性にどの程度の効果があるのか、酸素濃度とサイレージ発酵について検証する必要がある。本報では、ヒートシール、ワニ口クリップ、ひもで縛る、結束バンドで縛る方法で密封した実験室規模でのサイロ内の酸素濃度を非破壊的に計測するとともに、サイレージの発酵品質を検証した。

材料と方法

原材料は、2015年茨城県つくばみらい市内で栽培され、完熟期に収穫した北陸193号の粳米を供試した。粳米を破碎(粒径: 0.2-3 mm, フォーレンジカッター, 豊平農機, 札幌)し、水分を30%となるように加水(1 kgあたり170 mL)し、乳酸菌(*Lactobacillus plantarum* chikuso-1)を添加(10^5 CFU/kg)した後に、15 gずつパウチ袋(ACO1026, 日本ゼネラルアプライアンス, 東京)に入れた。その後、各々の袋に、酸素センサー(後述)を袋の封入口周辺に貼り付け、以下の4通りの方法で密封した。1: ヒートシール(heat seal)(以下、ヒートシール法)、2: ワニ口クリップ(crocodile clip)(以下、ワニ口クリップ法)、3: ひもで縛る(bind with a string)、4: 結束バンド(clamping band)(以下、結束バンド法)。ヒートシール法は、熱圧着シールした。ワニ口クリップ法は、袋をワニ口クリップ(PA220mm, Weloc, Weland, Sweden)で閉じた。ひもで縛る方法は、パウチ袋の封入口を折り返して二重にした後に、ポリプロピレン製の市販の荷作りひもを使用して縛りつけた。結束バンド法は、市販品を量販店にて購入したものを使用しパウチ袋の封入口を折り返して二重にした後にペンチを用いて封

入した。各々3袋を調製し、室温(18-23℃)で32日間の貯蔵を行った。サイロ内の様子を貯蔵期間中および開封時にかびの発生を目視で観察した。

酸素濃度は、チップセンサータイプの非破壊酸素濃度計(Precision Sensing GmbH, Magdeburg, Germany)を用いて測定した。測定は、貯蔵期間を通して1~4日の間隔で実施した。測定前の大気を21%に校正し測定した⁵⁾。

サイレージの発酵品質(pH, 乳酸, 酢酸, プロピオン酸, 酪酸)は、既報^{4), 5)}と同様に測定した。概略すると、サイレージ4 gに滅菌精製水を40 mL加えよく混和しサイレージ抽出液を調整した。サイレージ抽出液中のpHをpHメーター(F-72, 堀場製作所, 京都)で測定し、抽出液の有機酸濃度をHPLC(有機酸分析システム, 島津製作所, 京都)で測定した。微生物の菌数は、酒石酸10%添加ポテトデキストロース寒天培地(日水製薬株式会社, 東京)上にてかび様および酵母様コロニーを形成する数をそれぞれかび生菌数および酵母数, Nutrient agar(Difco laboratories, Franklin Lakes, New Jersey)および嫌気条件下(アネロパックケンキ, スギヤマゲン, 東京)のMRS培地(Difco laboratories)上でコロニーを形成する数をそれぞれ一般好気性細菌数と乳酸菌数とした⁶⁾。

統計処理は、統計解析処理ソフトPrism(GraphPad Software, Inc., La Jolla, USA)を使用し、酸素濃度は貯蔵日数別に、サイレージの発酵品質は各項目別に分散分析を行いTukey'sの多群比較検定を行った。

結果

目視の観察において、調製5日後より、ヒートシール法以外は黒ずみが発生し、11日後ではより顕著になった。22日後では、ワニ口クリップの1つに、25日後には別のワニ口クリップ法では、かびの発生が認められた。32日後には、結束バンド法ではかびの発生が認められた。

酸素濃度の推移を、Fig. 1に示した。調製後、1日後にはすべての袋で酸素濃度は0%になった。その後、ヒートシール法では、32日間のサイレージ貯蔵期間中、酸素濃度は0%のまま維持された。ワニ口クリップ法は、6日後に酸素濃度が0.1%になり、19日後の13.4%まで徐々に上昇を続けた。その後、酸素濃度は減少に転じ25日後に5.3%になり32日後までほぼ同じ濃度を維持した。ひもで縛ったものは、5日後に酸素濃度が0.1%になり、その後32日後まで緩やかに増加し、22日後に15%以上と

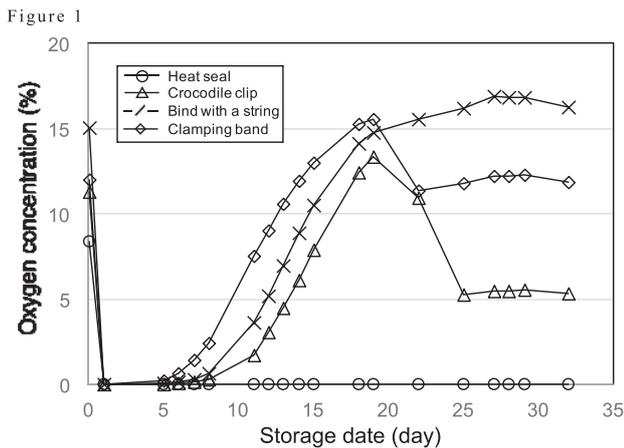


Fig. 1. Oxygen concentration in the silo during silage ensiling.

なり、その後ほぼ同程度の濃度であった。結束バンド法は、5日後に酸素濃度が0.3%になり、19日後に最大濃度15.5%になった。その後、若干酸素濃度は減少し、22日後から32日後まで12%前後の濃度であった。

酸素濃度の、統計解析結果をTable 1に示した。5日後では、どの閉じ方も有意な差は認められなかったが、18日後では、ヒートシール法は他のすべての方法に対し有意な差 ($P < 0.05$) が認められた。

サイレージの発酵品質の結果を、Table 2に示した。ヒートシール法のpHは最も低く(ワニ口クリップ法と結束バンド法に対し有意差あり)、乳酸濃度も最も高かった(全ての方法に対して有意差あり、Table 2)。また、かび生菌と酵母は認められなかった。ワニ口クリップ法、ひもで縛る、結束バンド法では、pHは4.4-13、乳酸濃度は0.65-0.88%であり、かび生菌や酵母が認められた。

考察

すべての袋は調製時に脱気をしていない。それにも関わらず、1日後には酸素濃度が0%になった (Fig. 1)。

この結果は、既報⁵⁾と同等の結果であり、好気的な微生物活動により酸素が急激に消費されたためと考えられる。その後の酸素濃度の違いは、各密封法の密封の程度の違いと考えることができる。ヒートシール法は、1日後に酸素濃度が0%になり、そのまま32日間維持した。この結果は、ヒートシールに高い密封性があるといえる。一方で、ワニ口クリップ法、ひもで縛る、結束バンド法は、1日後に0%になったものの、5日後程度を経過すると、徐々に酸素濃度は上昇し、18日後には3法とも13-16%程度になり、各密封方法内で最大濃度かまたはそれに近い濃度になった (Fig. 1)。この結果は、ワニ口クリップ、ひもで縛る、結束バンドの密封方法は、ヒートシール法に比べて密封性が低いといえる。18日の段階で、ヒートシールは、他の密封方と比べて有意に酸素濃度が低かった (Table 1) ことから、ヒートシールの密封性が高いと判断できる。

サイレージ発酵品質は、ヒートシール法が、pHや乳酸濃度、さらにかびの発生も認められなかったことから、サイレージ発酵が十分に進行し、良好に貯蔵できていたと考えられる。一方、ワニ口クリップ法、ひもで縛る、結束バンド法の密封方法は、pHはヒートシール法と比べて高く(一部有意差あり)、乳酸濃度は有意に低い (Table 2) ことから、サイレージ発酵は十分に進行しなかったと考えられる。さらに、酢酸濃度が高かった(一部有意差あり、Table 2) ことから、酸素の影響を受けていると考えられる。酢酸濃度が高いと、サイレージの発酵品質としての評価が低くなる⁷⁾ こともあり、これらの密封方法は、サイレージの調製法として適していないと考えられる。実際に、ワニ口クリップ法と結束バンド法では、目視の観察においてかびの発生と、サイレージ中にかび生菌が求められた。このことから、貯蔵中に酸素の影響を受けていたことが示唆される。サイレージ発酵品質の結果は、酸素濃度の結果とよく一致し、ヒートシールで密封したものは良好であり、その他の密封法

Table 1. Summary of statistical analysis results of oxygen concentration in each silo.

Binding type	Storage days	F-value	P-value	Significant difference between treatments						
				A-B	A-C	A-D	B-C	B-D	C-D	
Heat seal	A	5	0.8507	0.5042	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Crocodile clip	B	13	11.1	0.0032	NS	<0.05	<0.01	NS	<0.05	NS
Bind with a string	C	18	83.86	<0.0001	<0.001	<0.001	<0.001	NS	NS	NS
Clamping band	D	32	3.302	0.0785	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Table 2. Fermentation quality of rice grain silage using various bind type of silo.

	pH		Organic acid (%)				?oorganism (Log coloney forming unit/g fresh weight)										
			Lactic		Acetic		Fungi		Yeast		AB		LAB				
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD			
Heat seal	3.86	0.01	^b	1.21	0.02	^a	0.26	0.04	^b	ND	-	ND	-	7.29	0.43	7.61	0.19
Crocodile clip	4.06	0.04	^a	0.88	0.13	^b	2.45	0.26	^a	4.02	3.48	ND	-	7.99	0.36	8.04	0.26
Bind with a string	4.13	0.14	^a	0.65	0.09	^b	1.75	0.52	^{ab}	ND	-	4.34	3.97	8.05	0.85	7.70	1.04
Clamping band	4.00	0.01	^{ab}	0.85	0.10	^b	2.65	1.15	^a	1.54	2.66	1.06	1.83	5.89	1.54	6.17	1.51

SD : standerd division

AB : Aerobic bacteria

LAB : Lactic acid bacteria

Propionic acid, butyric acid and coli from bacterium were not detected in all samples

There were significant difference ($P < 0.05$)

は不良であった。

以上より、現状で一般的に行われているひもで縛る、結束バンドでの密封や、食品の一時保存時などで広く使用されているワニ口クリップは、長期間にわたる保存が行われるサイレージ調製には不向きであると考えられる。一方で、ヒートシールのように、完全に密着させる方法が、酸素の侵入を防ぎ、サイレージ発酵も促進させるサイロの密封法として適していると考えられる。大型のヒートシール用の気密性袋やそれに合致したシール機の改善などが実用化に向けた課題である。

謝辞

本課題は、27年度広報・連携重点的促進費にて実験を行った。関係各位に感謝申し上げます。

引用文献

- 1) Inoue, H. Tohno, M. Matsuo M. et al: Farm-scale method for producing high-quality rice grain silage. *Grassl. Sci.*, 59(4) 226-229 (2013).
- 2) 農業・食品産業技術総合研究機構：既存の穀物用施設を活用した 籾米サイレージ調製技術マニュアル <

第2版>

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/momimai-manual_201505.pdf

- 3) 田中 治, 大桃定洋：プラスチックフィルムを用いた小規模サイレージ発酵試験法（パウチ法）の開発. *日本草地学会誌*. 41 (1), 55-59 (1995).
- 4) 本谷綾香, 足立憲隆, 江波戸宗大他：副資材を利用した飼料用米サイレージの発酵品質. *日本畜産学会報*, 86 (4), 441-448 (2015).
- 5) Uegaki, R. Kawano, K. Osawa, R. et al.: Effect of Different Silage Storing Conditions on the Oxygen Concentration in the Silo and Fermentation Quality of Rice. *J. Agric. Food Chem.*, 65 (24), 4877-4882 (2017).
- 6) 蔡 a, 自給飼料利用研究会編：三訂版 粗飼料の品質評価ガイドブック. pp, 70-71, 日本草地畜産種子協会, 東京, (2009).
- 7) 蔡 b, 自給飼料利用研究会編：三訂版 粗飼料の品質評価ガイドブック. pp74-78, 日本草地畜産種子協会, 東京, (2009).

Summary

**Relationship between sealing method and oxygen concentration
in silo during silage ensiling**Ryuichi UEGAKI¹⁾ *, Kazuo KAWANO²⁾, Ryo OSAWA³⁾ & Toshiyuki KIMURA⁴⁾

To discussed of sealing method of silo, we investigated silage storage experiment of forage rice grain using plastic bag as a silo. The rough rice that was added of the lactic acid bacteria and adjustment of the moisture content were packed into a silo. Then, the bags were sealed by the following four methods; heat seal, crocodile clip, bind with a string and clamping band. After then, they were stored for 32 days at room temperature. The oxygen concentrations were measured in the silos during storage experiment and silage fermentative quality (pH, organic acid content, microbial flora) was analyzed after opened silos, and verified the relation with the sealing method. The oxygen concentration in the silo became 0 % after 1 day in all. After that, the oxygen concentration in the silo of the heat seal was maintained at 0% for 32 days. On the other hand, the oxygen concentration in the other sealing methods rose to about 13-16 % around 20 days. The silage fermentative quality of the heat seal was progressed favorably, because the pH was low (3.86) and the lactic acid concentration was high (1.21 %). Fermentation quality of the other sealing methods were poor, pH was 4-4.13, lactic acid concentration was 0.65-0.88 %, additionally, fungus was also found in some silages. From the above, the sealing method with crocodile clip, string tied, binding band is not suitable for silage preparation. On the other hand, the method of completely adhesion like heat seal method was prevented the invasion of oxygen and promotes silage fermentation, thus, it is suitable as a method.

Key words: Feed hygiene, Flexible container bag, Rice grain silage, Sealing method, Silo