

トウモロコシサイレージを用いた発酵 TMR の 小規模サイレージ発酵試験法（パウチ法）による品質解析

名取美貴・細谷 肇

The Factor Affecting Fermentative Quality of Total Mixed Ration Silage with Whole Crop Corn Silage Prepared by a Simple Method of Laboratory Silage Fermentation

Miki NATORI and Hajime HOSOYA

要 約

トウモロコシサイレージを用いた発酵混合飼料（発酵 TMR）の発酵品質に影響を与える調製要因を明らかにするため、小規模サイレージ発酵試験法（パウチ法）により、添加剤の種類、貯蔵温度及び貯蔵期間の効果を検討した。混合した TMR をそれぞれ乳酸菌・糖添加区、乳酸菌添加区、糖添加区及び無添加区として調製し、33～35℃の高温と7～13℃の低温の2区分の温度に分けて貯蔵した。貯蔵後1か月、2か月及び3か月で開封し発酵品質を調査した。

添加剤の有無及び種類別による発酵品質の差は認められなかった。

一方、貯蔵温度により発酵品質に差が見られ、pH は1か月及び3か月貯蔵において高温貯蔵区の方が低かった。かびによる廃棄率は、高温貯蔵では全ての貯蔵期間で認められなかったのに対し、低温貯蔵では2か月目から有意に高くなった。また高温貯蔵区では、乳酸含量が高く、酢酸含量は低く、発酵品質評価として算出したフリーク評点において高い評価が得られた。このことから、トウモロコシサイレージを用いたパウチ法による発酵 TMR の発酵品質は、貯蔵温度による影響が大きいことが明らかになった。

緒 言

近年、飼料高騰などの影響から自給飼料生産の重要性が再認識され、千葉県における飼料作物の作付面積は2008年から拡大傾向にある。2010年には、前年に比べ320ha拡大して3,750haとなり¹⁾、この内、青刈りトウモロコシの作付面積は1,150haである²⁾。県内粗飼料自給率の向上のためには、基幹的な飼料作物として位置づけられるトウモロコシを活用した飼料調製利用を推進する必要がある。

一方、TMR (total mixed rations: 混合飼料) を密封・梱包・サイレージ化した発酵 TMR は、品質が不安定になりがちな自給飼料や貯蔵性の低い食品残渣などの利用に適した調製法といわれており、乳酸発酵により良好な貯蔵性が得られ、嗜好性の向上、開封後の変敗抑制などが利点

として挙げられる³⁾。県内でもこの発酵 TMR を利用する酪農形態が散見されるようになり、発酵 TMR は一度にまとまった量を調製・貯蔵できる点からも自給飼料の効果的な利用方法として期待される。

本研究では、トウモロコシサイレージを用いた発酵 TMR の品質を左右する調製要因を解明するため、小規模サイレージ発酵試験法であるパウチ法⁴⁾により、添加剤の種類と貯蔵温度の効果を検証した。

材料及び方法

1. 供試自給飼料

発酵 TMR の調製に用いたトウモロコシサイレージは、当センターで2010年に栽培し、黄熟期刈りで細断型ロールベアラにより収穫調製した。

2. パウチ法を利用した発酵 TMR の調製と貯蔵

TMR 調製は2010年11月9日に行った。TMR の材料は、当センターの搾乳牛舎において表1に示した割合で TMR ミキサーにより搾乳牛用に調製したものを

平成 23 年 8 月 31 日 受付

用い、各試験区分につき400g供試した。添加剤の種類、貯蔵温度と貯蔵期間により24区分(添加剤の種類4区分×貯蔵温度2区分×貯蔵期間3区分、1反復)とした。添加剤は、材料TMR原物に対する添加量を乳酸菌製剤は0.01%、グルコースは1%に相当するように水道水に溶解して用いた。添加剤の種類区分は、サイレージ調製用L型乳酸菌スプレタイプ製剤(Y社製)0.2%・D-グルコース20%水溶液20mlを添加した乳酸菌・糖添加区、前出乳酸菌製剤0.2%水溶液20mlの乳酸菌添加区、D-グルコース20%水溶液20mlの糖添加区、水のみ20mlを加えた無添加区とし、それぞれ材料に添加後よく混合した。

上記の添加処理を施した各TMRを直ちに袋に詰め、田中ら⁴⁾の改変法により密封した。すなわち、内側の袋にポリエチレン・ナイロン積層フィルム袋(旭化成パックス社製飛竜袋KN-209、180mm×300mm×0.075mm厚)、外側に市販ポリエチレン袋(260mm×380mm×0.03mm厚)を用い、業務用卓上密封包装機(シャープ社製SQ-202)によって脱気密封する工程を二重に行った。

貯蔵温度は33～35℃の高温貯蔵と7～13℃の低温貯蔵の2区分とし(貯蔵庫内温度は外気温で変動)、貯蔵期間は1か月、2か月、3か月とした。

表1 材料TMRの配合割合

飼料名	原物配合割合 (%)
トウモロコシサイレージ(黄熟期刈り)	28.2
市販配合飼料	25.4
大豆粕	1.9
ヘイキューブ	2.8
ふすま	3.8
ビートパルプ	3.8
綿実	2.8
アルファルファ乾草	0.2
クレイングラス乾草	6.0
チモシー乾草	5.6
オーツ乾草	2.4
ミネラル剤	4.7
水	12.2

3. 発酵TMRの開封調査と成分分析

開封した発酵TMRは、かびによる廃棄率、乾物率、pH、有機酸含量、全窒素(TN)及び揮発性塩基態窒素(VBN)を測定した。開封後、かび発生部を取り除き、かび廃棄量として重量を測定し、かびによる廃棄率を算出した。かびを取り除いた部分から分析用サンプルとして50gを採取し、500ml容のポリビンに入れ250mlの蒸留水を加えて15℃の冷蔵庫中で16-24時間抽出した。抽出後、脱脂綿で濾過し、抽出液(濾液)のpHをガラス電極pHメーターにより測定した。有機酸含量は、高速液体クロマトグラフィーによるポストカラムpH緩衝化電気伝導度検出法で乳酸及び揮発性脂肪酸を定量した⁵⁾。また、VBN定量は水蒸気蒸留法⁶⁾、TN定量はケルダール法⁷⁾により行った。さらに、これらの分析値から、発酵品質として全窒素に対する

揮発性塩基態窒素の割合(VBN/TN)、フリーク評点、Vスコアを算出した⁶⁾。なお、貯蔵・発酵させる前のTMRの性状についても発酵TMRと同様に分析を行った。

4. 統計処理

二元配置の分散分析により貯蔵温度と添加剤を要因とした有意差検定を行った⁸⁾。

結 果

密封直前の材料TMRの性状は表2のとおりであった。トウモロコシサイレージ由来の有機酸が他の材料との混合で希釈された結果の値が得られ、不良品質の指標となるn-酪酸及びVBNは認められなかった。

密封後のパウチの状況は以下のとおりだった。高温貯蔵した試験区では、調製翌日になると発生したガスにより内側の袋が膨張していた。2日後にはすべての区において、内側の袋が破裂していた。一方、低温貯蔵した発酵TMRでは、調製翌日でも膨らむことがなく、2日後になって内側の袋の皺がなくなる程度まで膨らみ、破裂は3日後以降に散見される程度であった。

1か月貯蔵した発酵TMRの開封調査及び発酵品質分析の結果を表3に示した。高温貯蔵した試験区は、低温貯蔵と比較してpHが低かった($p < 0.01$)。また、高温貯蔵では添加剤の有無や種類に関わらず、かびによる廃棄は発生しなかった。一方で低温貯蔵でのかび廃棄率は1.2～5.3%であったが、高温貯蔵との有意差はなかった。発酵品質として分析した有機酸含量において、高温貯蔵した区分の方が乳酸($p < 0.01$)、プロピオン酸($p < 0.01$)、総酸($p < 0.05$)の含量が高く、酢酸含量は低かった($p < 0.05$)。VBN/TNはいずれの試験区においても差はなかった。分析値から算出した発酵品質評点においては、Vスコアでは差がなかったが、フリーク評点では高温貯蔵区の方が高い評価となった($p < 0.05$)。

2か月貯蔵(表4)では、pHにおいて添加剤及び貯蔵温度による差はなかった。かびによる廃棄率は、高温貯蔵区では廃棄がなく、低温貯蔵区の3.8～10.7%と比較して低くなっていた($p < 0.05$)。また、乳酸($p < 0.01$)、プロピオン酸($p < 0.05$)の含量は高温貯蔵区の方が低温貯蔵区と比較して高く、酢酸含量は低かった($p < 0.01$)。総酸含量に差はなかった。Vスコアでは差がなかったが、フリーク評点では高温貯蔵区の方が高い評価となった($p < 0.01$)。VBN/TNは高温貯蔵区で高い値であった($p < 0.05$)。

3か月貯蔵(表5)では、高温貯蔵区の方が低温貯蔵区よりもpHが低くなっていた($p < 0.01$)。また1、2か月貯蔵と同様、全ての添加処理の区分においてかびによる廃棄は高温貯蔵区で発生しなかったが、低温貯蔵区の廃棄率は12.9-43.8%で、高温貯蔵区に比べ高い値となっていた($p < 0.05$)。有機酸については、1、2か月貯蔵

名取ら：トウモロコシサイレージを用いた発酵 TMR の小規模サイレージ発酵試験法（パウチ法）による品質解析

表2 貯蔵前の材料 TMR の性状

水分含量 (%)	pH	原物中有機酸含量 (%)					VBN/TN (%)	発酵品質評価	
		乳酸	酢酸	プロピオン酸	n-酪酸	総酸		Vスコア	フリーク評点
37.2	5.52	1.52	0.26	0.02	0.00	1.81	0.0	99	99

と同様に、高温貯蔵の条件で乳酸 ($p < 0.05$)、プロピオン酸 ($p < 0.01$) 含量が高く、酢酸含量が低かった ($p < 0.05$)。総酸含量、VBN/TN 及び V スコアは貯蔵温度による差はなかった。フリーク評点については3か月貯蔵においても高温貯蔵した方が、高い評価が得られた ($p < 0.01$)。

なお、低温貯蔵におけるかびによる廃棄率は、貯蔵期

間が長期になるにつれ増加する傾向があった。また、発生したかびは白色で粒状のコロニーが確認された。

1-3か月貯蔵を通じ、いずれの試験区分でも、乳酸、酢酸及び総酸含量は貯蔵前の材料 TMR (表2) と比較して増加しており発酵が進んでいたことが確認されたが、添加剤の有無及び種類の違いについては全ての発酵品質の調査項目において差が認められなかった。

表3 1か月貯蔵した発酵 TMR における発酵品質

試験区分		水分含量 (%)	pH	かび 廃棄率 (%)	原物中有機酸含量 (%)					VBN/TN (%)	発酵品質評価	
貯蔵温度	添加剤				乳酸	酢酸	プロピオン酸	n-酪酸	総酸		Vスコア	フリーク評点
高温貯蔵	乳酸菌・糖添加	40.0	4.52	0	3.70	0.82	0.06	0.01	4.60	3.8	93	98
	乳酸菌添加	39.5	4.57	0	4.22	1.16	0.08	0.05	5.53	4.4	87	96
	糖添加	36.4	4.58	0	3.91	0.93	0.09	0.02	4.95	3.8	92	97
	無添加	41.3	4.65	0	3.92	0.92	0.07	0.03	4.94	3.2	92	98
低温貯蔵	乳酸菌・糖添加	43.9	4.84	5.3	2.45	1.77	0.03	0.04	4.32	3.7	84	49
	乳酸菌添加	44.0	4.89	1.8	2.79	1.67	0.02	0.02	4.51	3.9	88	73
	糖添加	41.3	4.98	1.2	2.10	1.21	0.02	0.02	3.37	3.2	90	75
	無添加	41.3	4.92	5.2	2.06	1.50	0.02	0.00	3.59	3.3	89	69
分散分析の要因												
	貯蔵温度		0.0012**	NS	0.0017**	0.0251*	0.0087**	NS	0.0336*	NS	NS	0.0163*
	添加剤		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* $P < 0.05$ 、** $P < 0.01$ 、NS: 有意差無

表4 2か月貯蔵した発酵 TMR の発酵品質

試験区分		水分含量 (%)	pH	かび 廃棄率 (%)	原物中有機酸含量 (%)					VBN/TN (%)	発酵品質評価	
貯蔵温度	添加剤				乳酸	酢酸	プロピオン酸	n-酪酸	総酸		Vスコア	フリーク評点
高温貯蔵	乳酸菌・糖添加	39.9	4.65	0	3.98	1.04	0.09	0.02	5.14	4.7	92	96
	乳酸菌添加	39.6	4.52	0	3.66	1.12	0.09	0.03	4.89	4.6	90	93
	糖添加	43.0	4.56	0	4.21	1.16	0.10	0.03	5.50	5.2	89	96
	無添加	42.7	4.69	0	4.14	1.10	0.10	0.04	5.38	4.3	89	96
低温貯蔵	乳酸菌・糖添加	42.6	4.81	3.8	2.55	2.51	0.03	0.02	5.10	3.8	89	62
	乳酸菌添加	42.9	5.19	10.7	1.43	2.46	0.08	0.01	3.98	3.8	89	55
	糖添加	46.5	4.84	9.1	1.88	2.22	0.04	0.01	4.15	3.8	90	60
	無添加	40.1	4.83	6.3	2.63	2.13	0.03	0.01	4.79	3.8	90	67
分散分析の要因												
	貯蔵温度		NS	0.0163*	0.0041**	0.0014**	0.0345*	NS	NS	0.0171*	NS	0.0004**
	添加剤		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* $P < 0.05$ 、** $P < 0.01$ 、NS: 有意差無

表5 3か月貯蔵した発酵 TMR の発酵品質

試験区分		水分含量 (%)	pH	かび 廃棄率 (%)	原物中有機酸含量 (%)					VBN/TN (%)	発酵品質評価	
貯蔵温度	添加剤				乳酸	酢酸	プロピオン酸	n-酪酸	総酸		Vスコア	フリーク評点
高温貯蔵	乳酸菌・糖添加	40.1	4.54	0	4.10	1.10	0.11	0.01	5.33	4.1	91	96
	乳酸菌添加	36.1	4.55	0	4.37	1.21	0.11	0.02	5.71	5.5	89	96
	糖添加	40.9	4.52	0	4.44	1.39	0.12	0.02	5.97	5.9	87	93
	無添加	38.3	4.52	0	4.46	1.28	0.12	0.02	5.89	5.1	89	96
低温貯蔵	乳酸菌・糖添加	46.8	4.79	43.8	2.81	2.67	0.04	0.01	5.53	4.8	89	63
	乳酸菌添加	42.0	5.02	43.8	2.13	1.71	0.05	0.01	3.91	3.3	89	67
	糖添加	46.8	5.06	12.9	1.37	2.54	0.04	0.01	3.98	4.3	88	55
	無添加	45.4	4.89	16.8	2.87	2.44	0.05	0.01	5.38	4.8	89	64
分散分析の要因												
	貯蔵温度		0.0075**	0.0397*	0.0139*	0.0158*	0.004**	NS	NS	NS	NS	0.0004**
	添加剤		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* $P < 0.05$ 、** $P < 0.01$ 、NS: 有意差無

考 察

トウモロコシや牧草等のサイレージの調製では、調製時に乳酸菌を添加することにより乳酸発酵を促進し品質が向上すること、材料草中のグルコースなどの単少糖類を含む NFC (non fibrous carbohydrate: 非繊維性炭水化物) の含量が高いと乳酸発酵が促進されることが一般に知られている。飼料イネサイレージを用いた発酵 TMR の試験では、乳酸菌を添加した発酵 TMR は無添加よりも pH が低く乳酸含量が高いこと、NFC が高いほど乳酸含量が高いことが報告されている⁹⁾。本実験でも、添加剤として乳酸菌・糖添加、乳酸菌添加、糖添加、無添加の区分を設けたが、貯蔵温度及び期間に関わらず発酵品質に差は認められず、トウモロコシサイレージを利用した発酵 TMR では、乳酸菌や糖添加による発酵品質への影響は認められなかった。

発酵 TMR におけるかびによる廃棄は、高温貯蔵区では見られなかったのに対し、低温貯蔵区では2か月目から有意に多くなり、3か月目には著しく増加した。また低温貯蔵区は貯蔵期間が長くなるにつれ廃棄率が増えていた。このことから、高温貯蔵区では貯蔵1か月よりも早い期間でかびが抑えられ3か月たっても品質が安定しており、一方、低温貯蔵区では3か月貯蔵してもかびが生存可能な状態で増殖し続け品質が安定しなかったことが考えられた。また本実験の高温貯蔵した発酵 TMR では、低温貯蔵のものと比較して、乳酸及び酢酸含量やフリーク評点において有意な差が認められ、1か月及び3か月貯蔵で pH が有意に低くなっていた。サイレージの発酵品質に与える影響のひとつとして貯蔵温度が挙げられるが、実証規模の発酵 TMR の試験において、平均気温 20°C 程度で調製し貯蔵した場合は10日で pH が低下し安定した品質が得られるが、10°C 以下では20日以上貯蔵しても好気的変敗の原因菌となる酵母が残存し、貯蔵温度により発酵 TMR の発酵過程に影響を与えることが報告されている¹⁰⁾。以上のことから、本実験でも貯蔵温度による影響が大きく、乳酸菌の増殖やかびの発生度合いに違いが生じたことが明らかになった。

またサイレージでは、梱包あるいは密閉後の初期の段階で、好気性細菌の働きにより炭酸ガスが発生し、材料草が嫌気状態となる。本実験では、二重密封した内側の袋が膨張・破裂した時間が貯蔵温度により異なっており、高温貯蔵した区分では急速に炭酸ガスが発生し、より短い期間で乳酸菌が増殖しやすい嫌気状態に至り、乳酸菌

に対して有利に働いたものと考えられた。

発酵 TMR の調製法としては、トランスバックに詰め脱気密閉し貯蔵する方式と、細断型ロールペーラ等を利用し高い梱包密度で貯蔵する方式がある。特に後者の方式は、細断型ロールペーラの活用場面の拡大が可能となる方法として期待されている。しかし、細断型ロールペーラを所有する個人や組合、TMR センター等、それぞれの経営形態や自給飼料の作付状況によって、発酵 TMR を調製する季節が左右されることが想定される。このため、今後は細断型ロールペーラを用い実証規模でトウモロコシサイレージを活用した発酵 TMR の調製をすることにより、低温時に調製したロールペールにおける品質の時系列的な変化や、高温時に調製したロールペールの発酵促進の程度など、貯蔵中の温度の影響を検証することが必要となる。本研究で貯蔵温度により発酵品質に差があったことから、自給飼料を用いた発酵 TMR の調製では季節性に留意することが重要であると考えられる。

引用文献

- 1) 千葉県(2011)、千葉県農林水産業の動向 平成 23 年版: 31
- 2) 農林水産省大臣官房統計部 (2011)、農林水産省作物統計 http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/pdf/syukaku_siryuu_10.pdf [2011 年 8 月 23 日]
- 3) 塩谷繁・細田謙次・松山裕城 (2007)、栄養生理研究会報 51 (2): 1-5
- 4) 田中治・大桃定洋 (1995)、日本草地学会誌 41 (1): 55-59
- 5) 渡辺晴生・堀田正樹・高梨勝・佐藤公明 (1998)、千葉県畜産総合研究センター研究報告 22: 49-57
- 6) 社団法人日本草地畜産種子協会・自給飼料利用研究会編 (2007)、粗飼料の品質評価ガイドブック 京和工業印刷: 68-77
- 7) 作物分析法委員会編 (1976)、栄養診断のための栽培植物分析測定法 養賢堂: 63-67
- 8) 吉田 実・阿部猛夫監修 (1982)、畜産における統計的方法、中央畜産会: 67-71
- 9) 曹陽・堀口健一・高橋敏能 (2009)、日本草地学会誌 55 (1): 1-8
- 10) 岩手県農業研究センター (2008)、研究レポート 449 http://www.pref.iwate.jp/~hp2088/repo/h20/repo_449.html [2011 年 8 月 23 日]