

焼酎粕を用いた発酵 TMR の発酵品質と生乳生産性の検討

布野秀忠 坂本洋一 安田康明

要約 発酵 TMR の品質安定化を目的として、TMR 調製時に乳酸菌・繊維分解酵素混合製剤を添加 (L 区) した場合と低 pH の甘藷焼酎粕を水分調整として混合 (S 区) した場合の発酵品質を比較し、各区の発酵 TMR を泌乳牛に給与して生乳生産性へ与える影響および飼料コストについて検討した。発酵品質は、pH が C 区 (対照区) 4.55、L 区 4.75、S 区 4.42 で、L 区と S 区に有意差 ($P < 0.05$) が認められた。乳酸含有率は、C 区 1.92%、L 区 1.56%、S 区 2.67% で、L 区と S 区に有意差 ($P < 0.05$) が認められた。酢酸含有率は、C 区 0.47%、L 区 0.41%、S 区 0.94% で、S 区が有意 ($P < 0.05$) に高かった。酪酸は、S 区のみ含有率が 0.11% であった。V-SCORE は、C 区 97.9 点、L 区 98.4 点、S 区 85.9 点で、全ての発酵 TMR の品質は「良 (80 <)」と判断された。

搾乳牛への給与試験結果では、乾物摂取量、日乳量および乳成分、乳中尿素態窒素、血液性状には各試験区間に有意な差は認められなかった。

飼料コストは、S 区が甘藷焼酎粕の粗蛋白質含有率が高いことから、原料の配合割合を考慮して決定でき、安価であった。

以上のことから、甘藷焼酎粕混合は発酵 TMR の pH 調整剤および水分調整剤として利用可能であることが示唆された。

キーワード：乳用牛 発酵 TMR 焼酎粕 pH V-SCORE 飼料コスト

酪農経営では、規模拡大が進むに従い混合飼料 (TMR) 給与体系が普及している。TMR は、粗飼料と濃厚飼料を混合し、適正な養分濃度の飼料を自由採食させる方法であるが、飼料中には、微生物の増殖が促進される多量の炭水化物が含有している。このため、好气的条件となる混合時の粉碎や大量の加水により、外気温の高い時期の発熱や長期保存が困難であるなどの問題がある¹⁾。

吉原は、TMR を調製した後、ビニール袋内で嫌気状態にし発酵させることにより、夏期の過剰発熱が抑制され、3 日間は安定した温度変化で推移する。この時期に乳牛へ発酵 TMR を給与した場合、24 時間後の採食性が変化しないことを報告している。しかし、発酵 TMR の品質について、早期の pH 低下による安定的な発酵を促す目的で、TMR の調製時に pH 調整剤等の添加が必要であると指摘している²⁻⁴⁾。

近年、焼酎ブームにより、麦、甘藷などを利用した焼酎が全国的に生産されている。焼酎は、発酵液からアルコールを蒸留し製造されるが、製造された焼酎量の約 2 倍が残渣液 (焼酎粕) として発生する。大手の焼酎メーカーでは、これを脱水⁵⁾して畜産利用しているが、多額の設備投資が必要であることから、県内の小規模酒造会社では産業廃棄

物として処理している。

脱水処理した焼酎粕は粗蛋白含量が高いことから、乳牛に対する給与試験^{6,7)} や稲わらへ添加・発酵試験^{8,9)} も報告されている。また、水分約 70% の麦焼酎粕濃縮液を用いた発酵 TMR の試験¹⁰⁾ では、発酵初期段階で pH 低下、乳酸菌増殖により不良微生物の増殖を抑制するとの報告もある。しかし、高水分のまま、つまり無処理の焼酎粕を水分調整として混合した発酵 TMR の品質調査や乳酸菌製剤等のサイレージ調製用添加剤で調製した発酵 TMR との品質比較、更には、それらの搾乳牛への給与試験に関する報告は見あたらない。

そこで、発酵 TMR の品質安定化を目的として、TMR 調整時に乳酸生成を促進するための乳酸菌・繊維分解酵素混合製剤 (乳酸菌・酵素製剤) を添加した場合と低 pH の甘藷焼酎粕を水分調整剤とする 2 つの発酵 TMR の発酵品質を比較、評価するとともに、それぞれの発酵 TMR を泌乳牛に給与し、生乳生産性へ与える影響について調査した。併せて、飼料コストについても調査した。

材料および方法

1 試験区および供試飼料の調製

試験区は、乳酸菌・酵素製剤を 0.5g/kg 添加する

表1 供試飼料の配合割合と養分組成

区 分	C区	L区	S区
配合割合(%DM)			
イタリアンサイレージ	15.3	15.3	17.8
アルファルファ乾草	29.6	29.6	26.2
ビートパルプ	3.6	3.6	3.7
綿実	5.8	5.8	5.8
コーングルテンフィード	11.2	11.2	11.3
圧片大麦	9.3	9.3	9.4
蒸圧圧片トウモロコシ	18.1	18.1	16.5
脱脂大豆	4.1	4.1	4.2
糖蜜	3.0	3.0	3.1
焼酎粕			2.0
乾物(%)	60.3	60.3	61.2
成分組成(%DM)			
CP	16.2	16.2	16.2
EE	3.5	3.5	3.6
NDF	34.5	34.5	34.6

表2 甘藷焼酎粕の栄養成分及びpH

	分析値
水分(%)	93.1
粗蛋白(DM%)	22.2
粗脂肪(DM%)	2.7
灰分(DM%)	6.2
NDF(DM%)	37.1
ADF(DM%)	24.5
pH	4.3

表3 発酵TMRを給与した供試牛の概要

乳牛No	生年月日	産次	最近分娩 月日	試験区及び分娩後日数		
				I期	II期	III期
51	12/21/98	7	09/20/07	C区	57 S区	71 L区 85
64	05/30/00	5	08/14/07	S区	94 L区	108 C区 122
82	09/02/02	4	09/06/07	L区	71 C区	85 S区 99
99	09/04/03	2	06/03/07	S区	166 L区	180 C区 194
102	11/21/03	2	08/16/07	L区	92 C区	106 S区 120
108	06/27/04	2	08/24/07	C区	84 S区	98 L区 112

区をL区、甘藷焼酎粕を水分調整として混合する区をS区とし、乳酸菌・酵素製剤および甘藷焼酎粕を添加しない区を対照区(C区)とした。各区の配合割合および成分組成は表1に示した。なお、各区のCP%(粗蛋白質)、NDF%は同一となるよう調整し、水分含量は40%とになるようC区、L区は加水し、S区は甘藷焼酎粕添加および加水により水分含量を調整した。用いた甘藷焼酎粕は、出雲市内酒造会社から排出された蒸留後の廃液で、水分含量、成分およびpHは表2に示した。また、各区の

TMRには発酵材料として糖蜜を用いた。

調製は、飼料混合機で攪拌、混合した各区のTMRを、トランスバック内のビニール袋に投入し、掃除機で脱気して21日以上保管した。

2 給与試験

供試牛は、ホルスタイン種経産牛6頭を用い、その概要は表3に示した。試験期間は、各区の発酵TMRを用いて予備試験10日間、本試験4日の計14日間を1期とし、合計3期とする3×3ラテン方格法により供試牛を配置した。

給与方法は、原則自由採食とするため、保管している各区発酵TMRを開封後、本試験中毎日10時に1日分の給与量のうち約30%を給与し、13時に約20%、15時に約50%を給与した。

3 調査項目

(1) pH、揮発性脂肪酸およびV-SCORE

発酵品質の評価は、pH、揮発性脂肪酸(VFA)およびV-SCOREとした。分析試料は、各区の発酵TMRを開封時にサンプリングし、品質評価ガイドブック¹¹⁾に基づき抽出したろ液とした。pHは、ろ液をガラス電極pHメーターで測定し、乳酸および酢酸、プロピオン酸、酪酸のVFAは、ガスクロマトグラフィー(GC-14A、島津製作所)で分析した。また、揮発性塩基態窒素(VBN)を蒸気蒸留法¹¹⁾で分析し、V-SCORE¹¹⁾を算出した。

(2) 乾物摂取量、体重、乳量および乳成分

各区の乾物摂取量については、各区発酵TMR開封時にサンプリングした飼料の乾物率を求め、各試験区ごとに本試験期間中毎日9時に残食の全量を秤量し、乾物給与量から差し引いて求めた。

本試験期間中の4日間において、体重は、毎日14時に牛衡器で測定した。乳量は、毎朝夕の搾乳時に測定し、乳成分(乳脂率、乳蛋白率、乳糖率、無脂固形分率)は、搾乳時に採取した乳汁を、島根県畜産振興協会生乳検査所に分析依頼した。乳中尿素態窒素(MUN)は、ドライケム(DRI-CHEM3000富士フィルム)で測定した。

(3) 血液性状

採血は、供試牛ごとに試験区終了日の14時に行い、ヘマトクリット、総蛋白、アルブミン、GOT、GGT、総コレステロール、遊離脂肪酸、β-ヒドロキシ酪酸、アセト酢酸、尿素窒素、カルシウムについて島根県農業共済連家畜臨床技術センターに分析依頼した。

(4) コスト評価

各区TMR原物1kgの調製にかかる飼料費を算出

して、C区 TMR 原物 1kg の調製にかかる経費を 100 とした場合の L および S 区の飼料費指数を比較した。なお、L 区に添加した乳酸菌酵素製剤は飼料として見なし、S 区の甘藷焼酎粕は、500 円 / t として算出した。

4 統計分析

得られた結果は、試験区を変動要因として、一元配置による分散分析を実施し、多重検定には scheffe を用いた。

結 果

(1) 発酵品質

各区の発酵品質判定に用いる各項目の分析結果を表 4 に示した。試験区は有意な変動因となり、pH は S 区が最も低下し、L 区と S 区に有意差

表 4 各区発酵 TMR 開封後の発酵品質

	C 区	L 区	S 区
pH	4.49 ± 0.19ab	4.78 ± 0.26a	4.37 ± 0.17b
水分 (%)	39.2 ± 1.76	38.4 ± 1.84	38.0 ± 2.24
乳酸 (FM%)	1.92 ± 0.78ab	1.56 ± 0.61a	2.67 ± 0.84b
酢酸 (FM%)	0.47 ± 0.12a	0.41 ± 0.16a	0.94 ± 0.45b
プロピオン酸 (FM%)	ND	ND	ND
酪酸 (FM%)	ND	ND	0.11 ± 0.04
揮発性塩基態窒素 (FM%)	0.03 ± 0.006	0.04 ± 0.005	0.04 ± 0.004
V-SCORE	97.9 ± 0.56	98.4 ± 1.22	85.9 ± 5.28

平均値 ± 標準偏差 (n=8)

a,b: 異符号間に有意差 (5% 水準) があることを示す

($P < 0.05$) を認めた。乳酸含有率は、S 区が 2.67% と最も高く、L 区と S 区に有意差 ($P < 0.05$) が認められた。酢酸含有率は、S 区が 0.67% と最も高く、有意 ($P < 0.05$) に高かった。プロピオン酸は、各区とも未検出であった。酪酸は、S 区のみ認められ、含有率は 0.11% であった。VBN は、C 区 0.03%、L 区 0.04%、S 区 0.04% であり、V-SCORE は、全ての区の発酵品質が「良 (80 <)」と評価さ

表 5 発酵 TMR 給与乳牛の体重、乾物摂取量および生乳生産成績

	C 区	L 区	S 区
体重 (kg)	730.5 ± 60.1	734.1 ± 54.6	733.2 ± 59.0
乾物摂取量 (kg)	27.3 ± 3.5	27.3 ± 2.4	27.7 ± 3.2
乳量 (kg/日)	37.9 ± 8.3	38.3 ± 6.4	38.5 ± 7.1
乳成分組成 (%)			
乳脂率	4.42 ± 0.41	4.52 ± 0.40	4.44 ± 0.53
乳タンパク率	3.53 ± 0.20	3.55 ± 0.14	3.53 ± 0.15
乳糖率	4.57 ± 0.08	4.58 ± 0.05	4.57 ± 0.07
乳中尿素態窒素濃度 (mg/dl)	15.24 ± 2.04	15.77 ± 2.24	14.22 ± 2.07

平均値 ± 標準偏差 (n=6)

れた。また、各発酵 TMR 開封時、ビーニール袋の結束口付近に糸状菌が発生したのが見られたが、破棄した量は少なく品質は保持されていた。

(2) 発酵 TMR 給与試験成績

給与試験は、平成 19 年 11 月 16 日から 12 月 28 に行い、その結果は表 5 に示した。乾物摂取量および日乳量は、S 区が高い傾向にあったが、有意な差は認められなかった。また、体重乳成分、MUN、血液性状においても各試験区間に有意な差は認められなかった (表 6)。

表 6 発酵 TMR 給与乳牛の血液性状

	C 区	L 区	S 区
ヘマトクリット (%)	31.3 ± 3.16	31.9 ± 3.19	31.8 ± 3.11
総タンパク質 (g/dl)	7.6 ± 0.22	7.8 ± 0.47	7.7 ± 0.33
アルブミン (g/dl)	3.8 ± 0.10	3.9 ± 0.08	3.9 ± 0.08
GOT (IU/l)	93.7 ± 21.58	89.5 ± 15.85	88.3 ± 16.83
GGT (IU/l)	28.8 ± 10.53	29.8 ± 11.08	30.0 ± 11.10
総コレステロール (mg/dl)	220.3 ± 53.14	222.0 ± 41.87	221.7 ± 46.41
遊離脂肪酸 (μ /dl)	92.7 ± 15.16	91.5 ± 25.20	91.0 ± 22.28
β -ヒドロキシ酪酸	624.3 ± 101.87	618.8 ± 100.18	628.7 ± 129.81
γ -セト酪酸	21.5 ± 9.20	18.3 ± 3.50	21.2 ± 6.71
血糖 (mg/dl)	59.5 ± 1.05	61.0 ± 3.52	60.8 ± 5.11
尿素窒素 (mg/dl)	16.6 ± 1.68	17.3 ± 2.76	15.7 ± 1.95
カルシウム (mg/dl)	10.1 ± 0.55	10.4 ± 0.37	10.0 ± 1.00

平均値 ± 標準偏差 (n=6)

(3) コスト評価

コスト評価を表 7 に示した。評価指数は、C 区 100 に比較し L 区 104、S 区 95 となり、飼料費を算出した結果、S 区は甘藷焼酎粕の粗蛋白質含量で TMR 中の蛋白質含有率を調整できるため最も安価となった。

表 7 飼料費指数によるコスト評価

	C 区	L 区	S 区
指数 (飼料費 (円/kg))	100 (26.4)	104 (27.4)	95 (25.2)

考 察

発酵 TMR は、TMR の消化生理および泌乳生理に適するという特徴と発酵させることによって暑熱期の過剰発熱を抑制するという特徴がある。更に、高水分の食品製造残渣を原料の 1 つとして利用できることから、発酵 TMR に食品製造残渣を混合した試験も数多く報告^{17,18)}されている。しかし、発酵 TMR を調製する場合、早期の pH 低下により乳酸発酵を促す目的で、pH 調整剤等の利用が必要で

あるともいわれている^{2,4)}。横山ら¹⁰⁾は発酵TMRへの麦焼酎濃縮液の添加により、麦焼酎濃縮液自体のpHが低いことから初期段階の乳酸発酵条件が整えられ、好気性細菌等の増殖を抑制し、品質高い発酵TMRを調整することが出来ることを報告している。グラスサイレージの調製法でも、発酵初期からサイロ内のpHを低下させる目的で、調製時にギ酸^{13,14)}や乳酸菌製・酵素剤^{15,16)}の添加が乳酸発酵促進に効果があると報告されている。そこで今回、発酵TMRの初期発酵から乳酸発酵を促進し発酵品質の向上を目的として、TMR調整時に乳酸菌・酵素製剤の添加と低pH甘藷焼酎粕の混合について発酵品質を調査した。併せて乳牛の給与試験も行った。なお、甘藷焼酎粕の混合については、水分含有率が93.1%と高いことから水分調整剤として用いた。

各発酵TMRの品質については、pH、各VFA(乳酸、酢酸、プロピオン酸および酪酸)測定値およびV-SCOREにより評価した。

pHは甘藷焼酎粕混合区が最も低く、また、乳酸含有率も他の区に比べ高い値であった。酢酸含有率も、甘藷焼酎粕混合区の含有率が有意に高かった。酢酸は、酢酸菌よりも乳酸菌が生成することが知られており¹²⁾、本試験でも酢酸菌より乳酸菌による生成が優勢であったと考えられた。これらの結果から、甘藷焼酎粕の混合は乳酸発酵を安定的に促進し、好気性細菌等の増殖を抑制していると推察され、横山ら¹⁰⁾の報告と同様な成績であった。

本試験では甘藷焼酎粕混合区にのみ酪酸が検出された。酪酸は、酪酸菌によって乳酸や糖類が酪酸に変換され生成されるものであり、不良発酵の指標とされるが、甘藷焼酎粕添加区で検出された含有率は低く、V-SCOREは85.9点で品質は「良」と評価された。酪酸菌が付着した原因の詳細については不明であったが、他の区から検出されなかったことから、TMR調製前の付着が推測された。酪酸菌は、自然界に広く存在する偏性嫌気性芽胞形成グラム陽性菌で、付着防止は重要なポイントであり、今後、酪酸菌が付着した過程を解明する必要がある。

乳酸菌・酵素製剤添加区は、V-SCOREが98.4点と高く、発酵品質が「良」と評価されたが、明らかな効果は認められなかった。

また、調製した各発酵TMRを搾乳牛へ給与した結果では、体重、乾物摂取量、乳量、乳成分、MUN

および血液性状とも各試験区間に有意な差が認められず、今回供試した発酵TMRが採食性や生乳生産へ与える影響はないと考えられる。

コスト評価とした飼料費指数の比較では、甘藷焼酎粕区が最も安価であった。これは、水分調整剤として用いた甘藷焼酎粕の乾物中に含有する粗蛋白質が多いことから、これをTMRの配合原料として飼料中粗蛋白質含有率を調整することができるためである。よって、他の区に比較すると、TMR乾物1kg当たり飼料費が最も安価となり、飼料コストの低減が示唆された。

以上のことから、甘藷焼酎粕を水分調整剤として混合した発酵TMRは、発酵品質が高く、pH調整剤としての効果が認められ、搾乳牛へ給与した場合でも乳生産へのマイナス影響がなく、飼料コストの低減が期待される。

県内での焼酎粕の発生は、甘藷焼酎が製造される10月から12月ごろであり利用期間が限定されるが、液状のまま焼酎粕を保存する方法¹⁹⁾が開発され、本試験で発酵TMRに調製すれば更に長期間の飼料利用も可能であることが示唆された。今後、県内酒造会社から酪農経営への流通体制が整備されることで、焼酎粕の低コストによる畜産への利用が可能となり、焼酎粕の処理に苦慮していた小規模の焼酎醸造メーカーの処分方法として、また酪農家の低コスト飼料調整として、双方のコスト低減につながる技術であると思われる。

参 考 文 献

- 1) 古本史. 酪農ジャーナル, 9:16-18, 2002.
- 2) 吉原由実子. DAIRYMAN, 3:85, 2006.
- 3) 吉原由実子. DAIRYMAN, 4:85, 2006.
- 4) 吉原由実子. DAIRYMAN, 5:77, 2006.
- 5) 宮崎陽子ら. 三井船舶技報, 193:30-35, 2008.
- 6) 柄本康ら. 宮崎県畜産試験場研究報告, 15:50-56, 2002.
- 7) 中尾信雄ら. 宮崎大学農学部研究報告, 49(1・2):31-40, 2003.
- 8) 町田豊ら. 鹿児島県畜産試験場報告, 25:102-105, 1993.
- 9) 川村修ら. 宮崎大学農学部研究報告. 44(1-2). 93-97, 1997.
- 10) 横山学ら. 福岡県農業総合試験場研究報告. 28:1-7, 2009.

- 11) 日本草地畜産種子協会. 粗飼料の品質評価ガイドブック, 東京. 1994.
- 12) 須藤浩. サイレージと乾草, 東京. 1971.
- 13) 増子孝義ら. 日本草地畜産学会誌. 43 (3) : 278-287, 1997.
- 14) 増子孝義ら. 日本草地畜産学会誌. 44 (4) : 347-355, 1998.
- 15) 蔡義民ら. 日本畜産学会報. 66 (11) : 941-948, 1995.
- 16) 村田憲昭ら. 青森県畜産試験場報告. 17 : 24-29, 2001.
- 17) 石黒裕敏. 畜産の研究. 48 (5) : 589-592, 1994.
- 18) 石田聡一. 日本草地畜産学会誌. 48 (1) : 69-72, 2002.
- 19) 高山清子ら. 宮崎県食品開発センター研究報告. 52 : 103-106, 2007.