

研究論文

乳酸発酵おからの飼料利用に関する研究

日渡美世^{*1}、齋藤恵^{*1}、河野朋之^{*2}

Utilization to Feed of Okara Fermented by Lactic Acid Bacteria

Miyo HIWATASHI^{*1}, Megumi SAITO^{*1}, and Tomoyuki KONO^{*2}Food Research Center^{*1}, Aichi College of Agriculture^{*2}

乳酸発酵おからの長期保存性と飼料利用適性について検討した。乳酸発酵と包材の選択の併用により、未開封で常温 45 日間以上の腐敗変敗抑制が可能であった。また、開封後も 1 週間の保存性が確認された。次に、乳牛用混合飼料への添加試験を行った結果、乳酸発酵おから混合区では対照区に比べて、嗜好性の向上と乳量の増大が認められた。一方、乳牛の体重及び乳成分は、対照区と乳酸発酵おから混合区とで差が認められなかった。以上の結果から、乳酸発酵おからは乳牛用飼料素材として有用であることが示された。

1. はじめに

豆腐製造時に排出されるおからは、全国で年間約70万トンに達し、大豆由来の有用成分を豊富に含むにも関わらず、その多くは産業廃棄物として処理されている。おからの有効利用が進まない原因の一つとして、おからが高水分で腐敗しやすいことがある。多くの中小豆腐製造企業では、乾燥機の導入が困難であるため、排出されたおからは、産業廃棄物となる。我々はこれまでに、中小豆腐製造企業で導入可能な乳酸発酵を利用したおからの腐敗防止方法を検討してきた¹⁾。その結果、おから用に選抜した乳酸菌スターターを使用し、容器への詰め込みを併用することにより、糖質や酵素剤の添加や、加温・冷却などの温度調整を行わずに腐敗を防止することができた。

一方、近年飼料価格の高騰が著しく、より低価格で安全な飼料素材が求められている。おからの飼料利用については古くから検討されており、保存性向上のための発酵飼料化(サイレージ化)²⁾³⁾や乾燥おからの利用⁴⁾についても検討されている。しかしながら、乳牛用飼料素材としておからを使用した場合、腐敗等によりおからの品質が低下していたり、給与量が過剰であるなどの理由から、乳房炎の発生や乳脂肪率の低下が生じることがある。そこで、本研究では、おからの乳酸発酵物を飼料素材として活用する上で必要な知見を得ることを目的として、保存試験及び乳牛への投与試験を行った。

2. 実験方法

2.1 試料

おからは、愛知県内の豆腐メーカーの工場外に排出さ

れたものを使用した。乳酸菌は *Lactobacillus casei* L-14 株、*Weissella paramesenteroides* HM25 株の混合スターターを使用した。

2.2 乳酸発酵おからの調製

屋外に排出されるおからに噴霧器を使用して、 2×10^8 cfu/ml の乳酸菌培養液を 1×10^7 cfu/g の割合で噴霧した。これをポリエチレン製袋を被せた 50L 容ポリタルに 40~45kg 詰め込み密閉後、屋外にて 20~30 日間発酵し、飼料用乳酸発酵おからとした。合計約 420kg の乳酸発酵おからを調製した。

2.3 乳酸発酵おからの保存試験

異なる包材による保存試験は、30℃、7 日間発酵後の乳酸発酵おからを、ポリエチレン製袋またはナイロン/ポリエチレン製袋に詰めて密封包装したものを 25℃、45 日間保存して行った。開封後の保存試験は、30℃、7 日間発酵後の乳酸発酵おからを 500mL 容ポリエチレン容器に入れ、非密閉条件下で 30℃、14 日間保存することにより行った。保存後の過酸化価 (POV) は滴定法により分析した。乳酸菌数は BCP 寒天培地で 35℃、72 時間、耐熱性芽胞菌数は 80℃、15 分間のヒートショック後、標準寒天培地で 35℃、48 時間、真菌数は $10 \mu\text{g/ml}$ クロラムフェニコール加ポテトデキストロース寒天培地で 25℃、7 日間培養後のコロニー数をそれぞれ測定した。

2.4 乳牛への投与試験

2.4.1 供試牛及び試験期間

乳牛への投与試験は、愛知県農業大学校において、平成26年6月4日から平成26年7月17日まで行った。ホルスタイン種搾乳牛3頭を供試牛とした。対照区、乳酸発酵おから

*1 食品工業技術センター 分析加工技術室、*2 愛知県農業大学校 (現新城設楽農林水産事務所)

ら混合区の2種類の試験区を設け、1試験区を14日間とし、各個体について、それぞれ対照区、乳酸発酵おから混合区、対照区の順に連続して試験を行った。

2.4.2 供試飼料

飼料は完全混合飼料の形態で給与した。おからの飼料成分⁵⁾を表1に示す。飼料成分は、それぞれ乾燥重量あたりの値で示した。対照区、乳酸発酵おから混合区それぞれの1頭あたりの飼料給与量と飼料成分を表2に示す。乳酸発酵おから混合区では、対照区で給与した混合飼料（以下TMRとする）に乳酸発酵おからを乾物換算で10%配合するとともに、両試験区の飼料成分の差異を調整するために、牧草（スーダングラス）を配合した。さらに個体によっては増給飼料を1日約4kg分追加した。両試験区ともに、1頭あたり朝、夕それぞれ25kgの飼料を給与し、自由摂取させた。

2.4.3 調査項目

飼料摂取量は、朝、夕の飼料給与量から残餌量を差し引いたものとし、朝、夕の合計を1日の飼料摂取量として、1頭1日当たりの平均値として算出した。体重は各個体について、各試験区の最終日に測定した。第一胃内容液は、各試験区の最終日に採取し、pH、有機酸組成、プロトゾア（原生動物）数を測定した。プロトゾア数は、メチルグリーン/ホルマリン染色液で染色後、トーマ血球計算盤を用いて顕微鏡下で計測した。乳量は各個体について搾乳時に測定し、朝、夕の合計を1日の乳量として、1頭1日当たりの平均値として算出した。乳成分は、各試験区の最終日に採取した乳について、乳脂率、乳蛋白率、無脂固形分、体細数、乳中尿素態窒素を測定した。

2.4.4 化学分析

乳酸発酵おからのpHは、試料10.0gを90.0mLの蒸留水に懸濁したもの、第一胃内容液のpHは原液をpHメーター（株）堀場製作所で測定した。第一胃内容液の有機酸量は、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）を使用し、pH緩衝化ポストカラム電気伝導度検出法により分析した。乳中の乳脂率、乳蛋白率、無脂固形分、体細数、乳中尿素態窒素は、愛知県酪農農業協同組合酪農センターにて多成分赤外線分析装置（SYS-4000;Foss）により分析した。なお、乳成分の分析値は3頭の平均値とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 乳酸発酵おからの長期保存性の検討

乳酸発酵おからの包材の違いによる品質変化を、表3に示す。ポリエチレン製袋、ナイロン/ポリエチレン製袋のどちらを使用した場合も、25℃、45日間保存後に腐敗原因菌の増殖は認められなかった。しかしながら、ポリエチレン製袋を使用した試験区では、45日後には褐変、

表1 おからの飼料成分

| 水分 (%) | CP率 (%) | TDN率 (%) | NDF率 (%) |
|--------|---------|----------|----------|
| 75.0 | 21.6 | 90.3 | 30.4 |

CP:粗たんぱく質, TDN:可消化養分総量, NDF:中性デタージェント繊維
CP率, TDN率, NDF率は乾燥重量あたりの値で示した。

表2 飼料給与量

| | 飼料給与量 (kg/日) | | | 飼料成分 (%) | | |
|------------|--------------|---------|---------|----------|------|------|
| | TMR | 乳酸発酵おから | スーダングラス | CP率 | TDN率 | NDF率 |
| 対照区 | 50.0 | — | — | 16.4 | 71.5 | 38.2 |
| 乳酸発酵おから混合区 | 42.0 | 10.0 | 3.0 | 16.2 | 71.9 | 40.0 |

CP:粗たんぱく質, TDN:可消化養分総量, NDF:中性デタージェント繊維
飼料成分は乾燥重量あたりの値で示した。

異臭の発生が認められ、過酸化物質の上昇が認められた。おからの脂質含量は3.6%と低いが、微生物的な変敗が認められないことから、化学的な脂質酸化が異臭の原因と考えられた。そこで、長期保存中の脂質酸化を抑制するために、酸素透過度の低いナイロン/ポリエチレン製の包材を使用した。その結果、25℃、45日間保存後も、腐敗抑制だけではなく、色調、臭いなどの性状も保持され、過酸化物質もほとんど上昇しなかった。

次に、開封後の保存性について確認した(表4)。未発酵のおからでは、腐敗による異臭の発生と褐変が認められた。乳酸発酵によると推測されるpH低下が認められたが、耐熱性芽胞菌の増殖は阻止できなかった、未発酵のおからの保存性は、初発の菌数によって大きく異なった(データは図示せず)。一方、乳酸発酵おからでは、開封後7日後もpH、耐熱性芽胞菌数ともに変化しなかった。官能的にも色調と乳酸発酵臭が維持されていた。しかしながら、14日後には酸化臭が発生したことから、開封後も常温で7日間以上保存可能であるが、脂質酸化による変敗が起こることが確認された。

表3 乳酸発酵おからの保存中の品質変化

| 包材 | POV (meq/kg) | pH | 微生物菌数(cfu/g) | | |
|--------------|--------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | 乳酸菌数 | 耐熱性芽胞菌数 | 真菌数 |
| ポリエチレン製 | 560 | 4.8 | 5.1×10^7 | 4.0×10^2 | 1.0×10^2 |
| ナイロン/ポリエチレン製 | 15 | 4.5 | 2.3×10^8 | 2.0×10^2 | <100 |

*25℃、45日間保存

表4 乳酸発酵おからの開封後の品質変化

| | | pH | 耐熱性芽胞菌数 (cfu/g) |
|------------|-----|-----|-------------------|
| | | | |
| おから (未発酵) | 初発 | 6.5 | 1.5×10^3 |
| | 7日後 | 5.1 | 1.3×10^5 |
| おから (乳酸発酵) | 初発 | 4.2 | 3.6×10^2 |
| | 7日後 | 4.4 | 3.1×10^2 |

3.2 乳牛用飼料適性試験

おからは対照区の混合飼料に比べて、CP 率（粗たんぱく質）、TDN 率（可消化養分総量）が高く、NDF 率（繊維質）が低い傾向がある（表 1、表 2）。そのため、乳酸発酵おから混合区では、CP 率、及び TDN 率が低く、NDF 率が高い牧草（スーダングラス）を添加することにより飼料成分を調整した。乳酸発酵おから混合による飼料摂取量への影響について図 1 に示す。乳酸発酵おからを混合することにより飼料摂取量は有意（有意水準 $p < 0.05$ ）に増大し、嗜好性の向上が示唆された。一般的に牧草を乳酸発酵させたサイレージは飼料としての嗜好性が高いといわれていることから、乳酸発酵おからについても同様の効果と考えられた。また、飼料摂取量が低下する夏場の給与も有効であると考えられた。

各個体の試験区終了時の体重を図 2 に示す。試験期間を通して大きな体重変動はなく、乳酸発酵おからを混合することによる体重への影響は認められなかった。いずれの試験区においても十分な栄養分を摂取できたことが確認された。

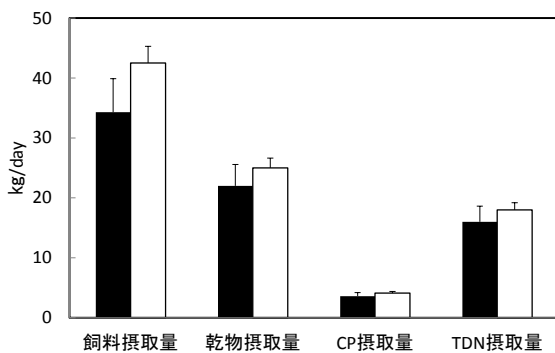


図 1 乳酸発酵おから配合の飼料摂取量への影響

■：対照区，□：乳酸発酵おから混合区

対照区は 28 日間、乳酸発酵おから混合区は 14 日間の平均値で示した。

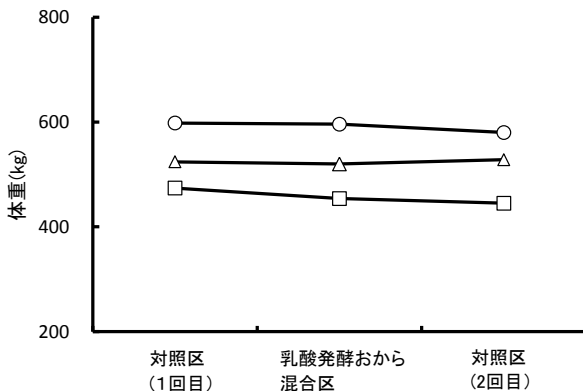


図 2 乳酸発酵おから配合の体重への影響

○，△，□はそれぞれの個体を示した。

3.3 第一胃内容液成分、乳成分への影響

おからは乾草類の繊維と異なり、牛体内での消化速度が速いため、牛の胃内環境への影響が報告されている⁴⁾。そこで本研究においても、両試験区の第一胃内容液の性状について分析した（表 5）。

乳酸発酵おから混合区では対照区に比べて、pH はほとんど変化しなかったが、A/P 比（酢酸/プロピオン酸比）が低下し、プロトゾア総数が増大した。乾燥おからの投与による A/P 比の低下が報告されている²⁾が、本試験でも同様の傾向が認められた。プロトゾア数については両者とも正常値だった。飼料成分を考慮した飼料配合とすることにより、乾物換算で 10% までの配合では第一胃内の発酵異常は認められないことが確認された。

乳量及び乳成分について表 6 に示す。1 日あたりの乳量の平均値は、乳酸発酵おから混合区で対照区に比べて約 3kg 増量した。乳酸発酵おから混合区で乾物飼料摂取量が増大し、乳生産に必要な栄養分を摂取できたことが、乳量増大へと繋がったものと推察された。

乳成分については、乳脂肪率は 4.3%、無脂乳固形分は 8.8~8.9% とどちらの試験区でも良好な結果が得られた。これまで、生おからや乾燥おからの給与による乳脂肪率の低下が報告されている²⁾が、本試験では乳脂肪率への影響は見られなかった。これは、飼料設計が異なることや乾物摂取量が高かったためと考えられる。

乳房炎等の発生時に増大する体細胞数については、両試験区ともに低い値を示した。また、乳中尿素態窒素量については、10~14mg/dl が適性値であるが、乳酸発酵おから混合区では 17.4mg/dl とやや高い値を示した。乾燥おからを投与した試験においても同様の結果が報告されている²⁾。これは飼料中の分解性たんぱく質が過剰であるためと考えられた。よって、飼料設計において、トウモロコシ圧ぺんなど非分解性たんぱく質含量の高い素材の配合割合を高める必要があると考えられた。

表 5 第一胃内容液の性状の比較

| | 対照区 | 乳酸発酵おから混合区 |
|-----------------------------|-----|------------|
| pH | 7.3 | 7.5 |
| 有機酸 | | |
| 酢酸(mM/dl) | 5.2 | 4.9 |
| プロピオン酸(mM/dl) | 1.7 | 2.0 |
| 酪酸(mM/dl) | 0.9 | 0.9 |
| A/P比 | 3.0 | 2.5 |
| プロトゾア総数($\times 10^4$ /ml) | 71 | 106 |

表6 乳成分の比較

| | 対照区 | 乳酸発酵おから混合区 |
|--------------------------|------|------------|
| 乳量(kg/day) | 30.1 | 33.0 |
| 乳脂肪率(%) | 4.3 | 4.4 |
| 乳蛋白質(%) | 3.3 | 3.2 |
| 無脂乳固形分率(%) | 8.9 | 8.8 |
| 体細胞数($\times 10^4$ /ml) | 12.5 | 11.3 |
| 乳中尿素態窒素(mg/dl) | 14.2 | 17.4 |

4. 結び

- (1) おからは長期保存中に脂質酸化による変質が発生した。酸素透過度の低い包材の使用により、25℃、45日間の保存が可能だった。
- (2) 乳牛への投与試験を行った結果、乳酸発酵おから混合による体重への影響は認められず、嗜好性の向上と乳量増大の傾向が認められた。
- (3) 乳酸発酵おから混合による乳脂肪率、無脂乳固形分率への影響は認められなかった。乳中尿素態窒

素量が増加したが、これは飼料中の分解性蛋白質が過剰であるためと考えられた。

本研究により、おから排出現場で処理し、短時間で発酵させた乳酸発酵おからは、未開封、開封後ともに腐敗しにくく飼料用に扱いやすい素材であることを実証した。また、乳牛用の飼料適性も高いことが確認された。限られた頭数で短期間の試験であるため、嗜好性や乳量など、本試験で向上した項目については、引き続き長期間の試験により詳細に検討する必要がある。また、乳酸発酵おからについては、肉用牛や他の家畜飼料への利用も可能と考えられる。

文献

- 1) 日渡美世, 加納早緒里, 加藤丈雄: 食品科学工学会誌, 投稿中
- 2) 丹羽美次: 日本草地学会誌, **47**(3), 323(2001)
- 3) 水谷将也, 山本泰也: 三重県農業技術センター研究報告, **27**, 67(2000)
- 4) 生田健太郎, 篠倉和己, 小嶋睦, 和田政夫: 兵庫県農林水産技術総合センター研究報告, **40**, 19(2004)
- 5) 農業・食品産業技術総合研究機構編: 日本標準飼料成分表, 中央畜産会(2009)