

地域資源の有効利用および健康機能性を付与した 高付加価値牛乳の開発

河端茜・谷村英俊

要 約 福井県内で発生した食品残渣をエコフィードとして最大限に活用した給与メニューを設計し、ホルスタイン種経産牛を対象に 12 週間の給与試験を行い、飼料費の低減および機能性成分の生乳への移行を検討した。試験区では県産飼料の飼料用粳米やイネホールクロップサイレージ(イネ WCS)の他に県内の食品加工業者から発生した醤油粕、酒粕、豆皮、粉碎そば殻サイレージを可能な限り組み込んだ給与メニューとした。対照区の県産飼料は飼料用粳米のみ給与し、残りは混播サイレージや市販の配合飼料を給与した。給与試験の結果、乳牛の泌乳成績および健全性に影響はみられなかった。試験区の県産飼料自給率は 69.7%となり、飼料費は対照区と比較して 25.5%低減された。また、そば殻に含まれる機能性成分ルチンの体内および生乳への移行は認められなかった。

キーワード: エコフィード, 飼料自給率, 機能性成分, ルチン

諸 言

飼料価格の高騰により、飼料費低減や国内飼料自給率向上を目的とした食品残渣を用いたエコフィードの利用が推進されている。酪農分野においてもイネ WCS や飼料用米等の県産飼料の利用は進んでいるものの、購入飼料の利用率は依然として高く、安価なエコフィードを有効活用した生乳生産の低コスト化が求められている。

また近年、健康に対する消費者の意識は高まりつつあり、機能性食品の市場規模は拡大傾向にある。牛乳の成分は飼料中の成分が大きく影響することから、健康機能成分が含まれる飼料を給与し、牛乳中に移行できれば、付加価値のある牛乳を開発でき、購買意欲の向上に繋がると期待される。

前年の試験(西村ら, 2017)で県内製麺所から発生したそば殻に着目し、機能性成分の体内移行の検討を行った。そば殻には血圧降下作用や抗炎症作用を示すルチンが含まれており、粉碎処理したそば殻を至適条件下(水分 45%, 糖

蜜 5%, 乳酸菌 0.5%)でサイレージ化したところ、そば殻中のルチン含量が有意に増加したことを明らかにした。また、このそば殻サイレージを乳牛に短期給与したところ、一部個体の血漿から微量のルチンの移行が確認された。

そこで、今年度は県内の食品加工業者で発生した未利用の食品残渣をエコフィードとして最大限活用した給与メニューを設計、長期給与試験を行い、乳牛の健全性に及ぼす影響と機能性成分の生乳への移行について検討を行った。

材料および方法

1 供試牛

供試牛には泌乳中後期のホルスタイン種経産牛を 4 頭用いた。

2 試験区分と給与方法

試験区分は対照区と試験区の 2 区とし、各区に 2 頭を配置した。試験期間は馴致期間 2 週間、本試験期間 10 週間の 1 期 12 週間の反転法で行った。

試験区の県産飼料は飼料用粳米の他に、イネ WCS、粉碎そば殻サイレージ、酒粕、醤油粕、豆皮を給与した。一方、対照区は県産飼料に飼料用粳米のみ給与し、残りは混播サイレージや市販の配合飼料を給与した。(表 1)。両区とも CP15 かつ TDN72 前後になるよう飼料設計を行った。飼料の給与方式は分離給与とし、濃厚飼料は 1 日 4 回に分けて給与を行った (表 2)。

表1. 飼料構成

| 乾物混合割合(%) | 対照区 | 試験区 |
|---------------|------|------|
| 混播サイレージ | 42.9 | |
| イネWCS | | 31.7 |
| 粉碎そば殻サイレージ | | 10.6 |
| アルファルファヘイキューブ | 2.0 | 1.7 |
| 市販配合飼料 | 39.7 | 28.6 |
| 飼料用粳米 | 8.7 | 11.7 |
| ビートパルプ | 4.7 | |
| 大豆粕 | 2.0 | |
| 酒粕 | | 5.2 |
| 醤油粕 | | 5.0 |
| 豆皮 | | 5.5 |
| 県産飼料自給率(%) | 8.7 | 69.7 |

…県産飼料

表2. 飼料の給与体系

| 給与時間 | 給与飼料 |
|-------------|-------------------------------------|
| 8:30 15:30 | 粗飼料(ヘイキューブを含む) 市販配合飼料・大豆粕・醤油粕・豆皮 |
| | ※粗飼料の給与はなし |
| 11:30 18:30 | 市販配合飼料・ビートパルプ・豆皮・酒粕 |

3 供試飼料

イネ WCS は福井県大野市内のコントラクターで生産されたものを供試した。飼料用粳米(コシヒカリ)は粉碎機(丸七製作所製 2 号)で 2mm メッシュ程度に粉碎したものを供した。醤油粕(県内醤油製造業者より発生)、酒粕(県内酒造業者より発生)、大豆の外皮部分である豆皮(県内豆腐製造業者より発生)は全て未処理で使用した。水分含量は、醤油粕が約 15%、酒粕が約 50%、豆皮が約 10%であった。酒粕は高温で変敗する恐れがあったため、5℃の冷蔵庫で保存の上、試験に供した。粉碎そば殻サイレージには、そばの実から単離された黒皮部分であるそば殻(県内製麺業者より発生)を用いた。まず、製粉機(ひかり号 A2, 國光社, 愛知)を用いて 2mm メッシュ程度に粉碎した。内袋を設置したフレコン内に粉碎そば殻に対して水分 45%、糖

蜜 5%、乳酸菌(畜草 2 号; *Lactobacillus bushneri* IWT192 株, 農研機構畜産研究部門より譲与) 0.5%を添加後、脱気封入し 30 日間室温で静置した。粉碎そば殻サイレージは 1.0kg より給与を開始し、馴致期間中 5.0kg まで給与量を引き上げた。

4 調査項目および分析方法

(1) 体重

体重は体重計を用いて定時(午前 11 時)に測定した。

(2) 第一胃内溶液性状

第一胃内溶液は、隔週の午後 1 時に経口カテーテルを用いて採取した。採取した第一胃内溶液は二重ガーゼでろ過した後に pH メーター(ガラス電極 pH メーター K-620PH, (株)佐藤計量器製作所, 東京)を用いて pH を測定した。

(3) 乳量および乳成分

乳量はミルクメーター(オリオン機械株式会社, 長野)を使用し、毎日計量した。乳成分(乳脂肪率, 乳蛋白質率, 乳糖, 無脂固形分, 体細胞数, MUN)は本試験期間中、隔週朝夕の生乳を採取し、北陸酪農農業協同組合に分析を依頼した。

(4) 血液生化学性状

血液は、隔週の午後 1 時に尾静脈より採取した。その後、3,000rpm で 5 分間遠心分離し血漿を採取し、血液生化学自動分析装置(ドライケム 4000sV, 富士フイルムメディカル株式会社, 東京)を用いて一般成分(GLU, ALB, BUN, TP, TCHO, GGT, GOT, Mg, IP, Ca)を測定した。また、Ht は分離前の血液を毛細管に回収し、15,000rpm で 5 分間遠心分離後、計測板を用いて測定した。

(5) ルチンの検出

試験中、隔週で採取した生乳、第一胃内溶液および血漿を各 1ml とり、メタノール 10ml を添加後 80℃で 1 時間加熱処理した。2,500rpm で 10 分間遠心分離し、その上澄み液を回収した。さらに、残渣にメタノールを 10ml 添加し、遠心分離後、上澄み液を回収し、25ml にメスアッ

ブした。孔径 0.45 μ m のメンブレンフィルターでろ過したものを分析試料とし、高速液体クロマトグラフィー (HPLC10A, SHIMADZU, 京都) に供試した。測定条件は中川らの報告 (2011) に基づき、以下の条件で検出を行った。

HPLCの測定条件

| | |
|-------|--|
| 分析カラム | shiseido CAPCELL PAK C18 ACR (4.6 mm i.d.×150 mm) |
| 移動相 | 2.5%酢酸, アセトニトリル(80 : 20) |
| 流速 | 0.8 mL/min. |
| 検出 | 紫外分光光度計 350 nm |

(6) そばアレルギー成分検査

試験最終日に採取した試験区の生乳各 50ml を合乳し、200ml に調整したものを一般社団法人日本食品分析センターに分析依頼した。

(7) 飼料費の算出

表 1 の現物配合量と各飼料の単価をもとに 1 日 1 頭あたりの飼料費を算出した。また、対照区と試験区の飼料費を比較し軽減率を計算した。

結 果

1 体重および第一胃内溶液性状

体重および第一胃内溶液性状において、両区に有意な差は認められなかった (表 3)。

表3. 体重および第一胃内溶液性状

| 項目 | 対照区 | 試験区 | p |
|-----------------|-----------|-----------|------|
| 体重(kg) | | | |
| 試験前 | 613±42.2 | 640±62.9 | n.s. |
| 試験後 | 684±70.1 | 728±81.1 | n.s. |
| 第一胃内溶液性状 | | | |
| pH | 6.69±0.53 | 7.46±0.01 | n.s. |

n.s.:非有意

2 泌乳成績

乳量および乳成分ともに両区で有意な差はみられなかった(表 4)。

表4. 泌乳成績

| 項目 | 対照区 | 試験区 |
|-----------------|----------|----------|
| 乳量(kg/日) | 23.9±6.4 | 21.1±7.5 |
| 乳成分 | | |
| 乳脂肪率(%) | 4.5±0.5 | 4.8±0.2 |
| 乳蛋白質率(%) | 3.6±0.3 | 4.0±0.2 |
| 乳糖(%) | 4.7±0.2 | 4.2±0.4 |
| 無脂乳固形分(%) | 9.3±0.2 | 9.2±0.3 |
| 体細胞数(千/ml) | 478±882 | 320±510 |
| MUN(mg/dl) | 12.8±0.6 | 10.7±0.7 |

3 血液生化学性状

分析した全ての成分について両区に有意な差は認められず、正常値の範囲内を示した (表 5)。

表5. 血液生化学性状

| 項目 | 対照区 | 試験区 |
|----------------|----------|------------|
| 血液生化学性状 | | |
| Ht(%) | 30.0±0.1 | 31.6±1.6 |
| GLU(mg/dl) | 72.0±0.8 | 77.2±0.6 |
| ALB(g/dl) | 3.5±1.1 | 3.6±3.2 |
| BUN(mg/dl) | 13.0±0.1 | 13.0±0.2 |
| TP(g/dl) | 8.2±1.4 | 8.4±2.8 |
| TCHO(mg/dl) | 171±43.8 | 181.6±74.1 |
| GGT(U/L) | 34.0±0.1 | 32.8±0.1 |
| GOT(U/L) | 68.5±2.3 | 93.9±0.6 |
| Mg(mg/dl) | 2.4±0.1 | 2.9±0.6 |
| IP(mg/dl) | 5.7±0.7 | 5.7±8.6 |
| Ca(mg/dl) | 9.3±7.1 | 9.8±7.4 |

4 飼料費の比較

1日1頭あたりの飼料費は対照区で1,190円、試験区で886円となり25.5%の飼料費が軽減された (表6)。また、県産飼料自給率は69.7%であった (表1)。

表6. 飼料費の比較

| 項目 | 税込単価 (円/kg) | | 飼料費(円) | |
|---------------------|-------------|-----|--------------|-------------|
| | 対照区 | 試験区 | 対照区 | 試験区 |
| 混播サイレージ | 22 | 508 | | |
| イネWCS | 13 | | 273 | |
| 粉碎そば殻サイレージ | 14 | | 68 | |
| アルファルファヘイキューブ | 77 | 39 | 39 | |
| 市販配合飼料 | 49 | 490 | 417 | |
| 飼料用粳米 | 20 | 44 | 70 | |
| ビートパルプ | 58 | 70 | | |
| 大豆粕 | 79 | 39 | | |
| 酒粕 | 0 | | 0 | |
| 醤油粕 | 13 | | 19 | |
| 豆皮 | 0 | | | |
| 飼料費合計(円/日/頭) | | | 1,190 | 886 |
| 飼料費軽減率(%) | | | | 25.5 |

…県産飼料

5. ルチンの検出およびそばアレルギー検査

試験区の生乳、血漿、第一胃内溶液からルチンの検出を行ったところ、全ての検体からルチンは検出されなかった。また、試験区の生乳から、そばアレルギー成分は検出されなかった。

考 察

飼料価格は依然として高値を維持し、飼料自給率の向上や飼料費の低減が求められている。また、国内の食品廃棄物は平成26年度で1,953万トンとなっており、食品廃棄物の減量を目的とした食品リサイクル法による食品廃棄物の飼料および肥料化等の再生利用が進められている(2018, 農林水産省)。今回の試験では、エコフィードとして一般的に利用されている飼料用粃米とイネ WCS のほかに、県内の食品加工業者で発生した未利用の食品製造副産物の醤油粕、酒粕、豆皮、そば殻をエコフィードとして用いた。一般に、食品残渣は水分量が高いものが多く、継時的な変敗が危惧される(小橋ら, 2011)。そのため、他の研究機関では保存性を高めるためにエコフィードを TMR 形式で給与する方法が採用されることが多い。しかしながら、本県では分離給与方式が主流な給与形態であるため、今回保存調製技術を必要としないかつ低価格のエコフィードを選定し、給与割合を最大限まで高めた飼料設計が乳牛の健全性および乳生産性に及ぼす影響を検討した。

県産飼料自給率が約70%を占める給与メニューで12週間の給与試験を行ったところ、乳牛の健全性および乳生産性には影響を及ぼさないことが示された。また、生乳中からそばアレルギー成分は検出されなかったことから、粉碎そば殻サイレージを給与しても通常と同様に生乳の出荷が可能であることが明らかとなった。飼料費は1日1頭あたり886円となり、対照区と比較して304円の低減となった。これを20頭の搾乳牛を飼養した場合に換算すると、1日で6,080円、年間約220万円の飼料費の削減が見込まれた。給与したエコフィードに関しても水分含量が少ないものを選定したため、粉碎そば殻サイレージを除いて乳酸菌添加による飼料のサイレージ化といった煩雑な保存調製が必要なく、分離給与方式の酪農家でも簡便に取り扱いが可能であると考えられた。

一方、県産エコフィードを畜産飼料として利用するには調達方法に課題がみられた。事前の聞き取り調査の結果から、県内の食品加工業者では今回の試験で供試したものの他にも複数種類の食品残渣が発生しており、これらのほとんどが無料あるいは低価格で引き取ることが可能である。しかしながら、これらは農家自身が引き取りに行かなければならず、運搬の手間や経費が伴う場合がある。また、エコフィードの活用が未だ本格化していない本県においては、未利用資源の飼料価値を畜産農家に周知するとともに、農家が希望する飼料条件をエコフィード発生業者へ提供するマッチングシステムを構築することで県が両者の架け橋になる必要があると考えられた。

昨年度、3週間の粉碎そば殻サイレージの短期給与により一部個体の血漿からルチンが検出されたため、今年度は給与期間を12週間に延ばして同量の粉碎そば殻サイレージを給与したが、ルチンは生乳、血漿および第一胃内溶液に移行されなかった。反芻動物の乳中へのルチンの移行は山羊での報告があるが、その際給与していたルチン含有飼料はルリジサと呼ばれるハーブの一種である(De Feo et al., 2006)。今回、各個体の採食量は測定していないが、一定量の食い込みは認められていたにもかかわらず、ルチンが移行しなかった理由としては、そば殻は乳牛の消化器系では吸収されにくいことが挙げられる。そば殻の吸収率を上げるため、2mm程度に粉碎しサイレージ化したが、試験牛の糞中から給与前とほぼ同じ大きさの未消化性のそば殻が確認された。サイレージ化によりそば殻中のルチン含量は有意に増加したことから、吸収率をさらに高めるようそば殻を2mm以下に粉碎することで体内移行の可能性は示唆されたが、そば殻を2mm以下に粉碎するには長時間粉碎機にかけなくてはいけないため手間がかかること、また全ての農家に粉碎機は設置されていないことからそば殻を用いた機能性成分の体内移行は難しいことが示唆された。一方、今回の給与試験で用いた酒粕にはルーメン微生物叢やルーメン内環境の安定化(安藤, 2011)、醤油粕には乳中の共役リノール酸含量を高める(岸本と山形, 2015)といった機能性が報告されており、これらの県産エコフィードを代替飼料として利用す

ることで、乳牛の健全性を維持するとともに、
県内消費者に安心・安全な県産牛乳を提供できる
ことが考えられた。

文 献

- 安藤貞. 酵母を中心とした醸造副産物の畜産利用, 畜産技術, 669 : 18-21. 2011
- Deo, V・Quaranta, E・Fedele, V・Craps, S・Rubino, R・Pizza, C. Flavonoids and terpenoids in goat milk in relation to forage intake. Italian Journal of Food Science, 18:85-92. 2006
- 岸本勇氣・山形典彦, 豆腐粕と醤油粕の混合サイレージ給与が生乳中共役リノール酸含量に及ぼす影響, 愛媛県農林水産研究所畜産研究センター研究報告, 3 : 1-4. 2015
- 小橋有里・村松克久・小柳渉. 新潟県内に存在する低・未利用資源有効活用のための飼料成分値の評価, 新潟県農業総合研究所畜産研究センター研究報告, 17 : 19-29.2011
- 中川友里・橋本直哉・駒野小百合・久保義人. 播種期および収穫期の異なる夏型ソバ品種の品質調査, 平成 23 年食品加工に関する試験成績, 34.2011
- 西村友佑・加藤絢・谷村英俊. 県産エコフィード等を活用した機能性牛乳生産技術の開発. 福井県畜産試験場研究報告, 30 : 30-36.2017
- 農林水産省. 食品ロス削減に向けて～食べものに、もったいないを, もういちど～.2018

The efficient use of local resources and the development of high-value-added milk due to health functionality

Akane KAWABATA and Hidetoshi TANIMURA
Fukui Prefectural Livestock Experiment Station

Abstract

We designed the feeding plan using food residue generated in Fukui prefecture effectively and carried out feeding test on delivered holstein cows for 12 weeks to research reduction of feed cost and transfer of functional component from feed to body or milk. In terms of the self-supplied feed, unhulled rice was fed in the control group, whereas soy sauce lees, sake lees, soy bean hull and silage of crushed buckwheat hull, that were from food processing factories in Fukui, were added to unhullued rice and rice whole crop silage in the test group. As a result of feeding test, rutin, functional component contained in buckwheat hull could not found in plasma, stomach juice and milk. However, there is no significant difference between the control and the test group in the lactation performances and the health. This study indicated that effective use of local self-supplied feed could archive feed self-sufficiency rate higher (69.7%) and cost of feed lower (25.5%).

Keyword: eco-feed, feed self-sufficiency rate, functional component, rutin