

地域資源の有効利用及び健康機能性を付与した

高付加価値牛乳の開発

西村友佑・和田卓也¹⁾・二本木俊英

¹⁾福井県奥越農林総合事務所

要 約 生乳への健康機能性成分の付与の可能性を検討すべく、県内で発生する未利用資源である、そば殻・昆布屑・あん粕を利用して、ホルスタイン種経産牛を対象に1期2週間・4×4ラテン方格法による給与試験を行った。結果、各種機能性成分は乳中で検出されず、乳中への移行には給与資源への何らかの加工が必要であることが考えられた。また、乳中の総ポリフェノール量および脂肪酸組成にも有意な差はみられなかった。一方、泌乳成績・血液生化学性状等に影響は及ぼさず、乳用牛の飼料としての可能性が示唆された。

キーワード：健康機能性、乳生産性、あん粕、そば殻、昆布屑

諸 言

近年、消費者の健康志向の高まりを受け、機能性食品市場は拡大を続けている。特に機能性ヨーグルトを筆頭に、機能性食品の開発が畜産分野においても進められている。

また同様に、食の安心・安全への意識も高まりを見せており、地産地消の機運が改めて高まりを見せている。

これらの流れを受け、酪農分野においては、地域に根差した、特色のある生乳生産技術開発の取り組みがみられる。例えば八代田ら(2013)は、地域特有の飼料を明確にし、その割合を高めることで、乳中の脂肪酸組成を特徴づけることが可能であると報告している。高田ら(2002)は、ハーブ類の給与により、特有の精油成分が乳中へ移行することを確認し、特徴ある風味を持つ生乳生産の可能性を示唆した。

そこで、県内で発生する未利用資源のうち、健康機能性成分を有するものとして、そば殻(ルチン)、昆布屑(フコキサンチン)、あん粕(ア

ントシアニン類)の3資源を選定し、これらを用いた給与試験により、当該機能性成分(括弧内の成分)の乳中への移行を検討した。

材料および方法

1. 供試牛、試験区分および実施期間

試験牛は、泌乳中後期のホルスタイン種経産雌牛を各区1頭配置した。

試験区分は、対照区 そば殻区 昆布屑区 あん粕区の4区について、4×4ラテン方格法により実施した。

試験は平成27年12月～28年1月にかけて実施し、試験期間は馴致期間9日間、本試験期間5日間の計14日とした。

2. 供試資源および給与方法

県内食品加工業者で発生したものを譲り受け供試した。そば殻は製粉行程で実と分けられた黒皮の部分である。昆布屑は選別機で篩い分け

られた 1 cm×5 cm 程度の規格外品である。あん粕は小豆あん製館の過程で発生する小豆の皮であり、圧搾等の脱水は行われていない。

流通形態について、そば殻は麻袋入り (15kg/袋)、昆布屑は段ボール入り (10kg/箱)、あん粕はポリ袋入り (8kg/袋) であった。これらの飼料一般成分は表 1 の通りである。

表1. 供試資材の飼料成分

成分	昆布屑 あん粕 そば殻			
	水分(%)	40.0	64.0	17.7
粗蛋白質(CP)	4.2	10.6	7.8	
粗脂肪(EE)	1.8	0.6	3.0	
乾物中(%)	粗繊維	5.7	45.5	40.2
	ADF	24.5	49.3	47.1
	NDF	10.4	75.0	64.2
粗灰分(CA)	21.5	2.0	2.7	

給与量について、そば殻・あん粕は供試牛へ予備的に給与を行い、DMI に影響を及ぼさないと考えられた 2.2kg・3.0kg/日とした。昆布屑にはヨウ素が含まれているため、日本飼養標準・乳牛 (2006 年版) に基づき、ヨウ素中毒発生限界給与量の 90% である 0.9kg/日とした。

これらを、全試験期間、夕方の飼料給与時間 (16:00) にトップドレスで給与した。飼料については、自家サイレージ (オーチャードグラス主体)・粉碎飼料用粃米・市販配合飼料・ビートパルプを混合飼料 (TMR) とした (表 2)。TMR の給与について、馴致期間中は自由採食、

本試験期間中は日本飼養標準・乳牛 (2006 年版)³⁾ に基づいて、DM で維持要求量を満たすように給与した。

3. 調査項目および分析方法

乾物摂取量 (DMI) は、個体ごとに給与量、残飼量を測定し、水分測定値を基に算出した。

乳量および乳成分について、乳量はミルクメーター (オリオン機械株式会社製) を使用して毎日計測した。乳成分は、各試験期最終 2 日間、各朝夕の計 4 回分の採取を行い、分析は北陸酪農業協同組合連合会に依頼した。

血液は、各試験期の最終日の午前 10 時 30 分に尾静脈より採取して血漿を分離し、血液生化学自動分析装置 (富士フィルムメディカル(株)製富士ドライケム 4000sV) を用いて、血液生化学性状の分析を行った。

第一胃内容液は、各試験期の最終日の飼料給与前 (14:00) に経口カテーテルを用いて採取した。採取した第一胃内容液は二重ガーゼでろ過し、直ちに pH メーター ((株)佐藤計量器製作所製、ガラス電極 pH メーター K-620PH) を用いて pH を測定した。アンモニア態窒素は Conway の微量拡散法で測定した。

資源中・乳中のアントシアニン類・フコキサンチン・ルチンの分析は (一財) 日本食品分析センターに依頼した。生乳中の機能性成分につ

表2. 飼料構成と成分組成

項 目		対照区	昆布屑区	あん粕区	そば殻区
乾物混合割合 (%)					
TMR	自家サイレージ	42.6	41.4	40.2	39.5
	市販配合飼料	9.5	9.2	9.0	8.8
	飼料用粃米	6.4	6.2	6.0	5.9
	ビートパルプ	41.6	40.4	39.3	38.6
トップ ドレス	昆布屑	-	2.9	-	-
	あん粕	-	-	5.6	-
	そば殻	-	-	-	7.3
飼料成分 (乾物中%)					
	粗蛋白質(CP)	14.9	14.7	14.7	14.5
	粗脂肪(EE)	1.9	1.8	1.8	1.9
	中性 detergent 繊維(NDF)	39.3	40.4	38.7	40.6
	非繊維性炭水化物(NFE)	35.2	34.5	35.7	34.7
	可消化養分総量(TDN)	67.6	67.8	67.9	66.8

いても、凍結後、同センターに依頼した。総ポリフェノール分析は、Folin-denis 法により測定し、(+) カテキン換算量として算出した。

乳中のそばアレルギー物質の検査は、(一財)日本食品分析センターに依頼した。

結果

1. 乾物摂取量および泌乳成績

結果を表3に示す。乾物摂取量は、そば殻区でやや低下する傾向が見られたものの、有意な差は見られなかった。

乳量は各区において有意な差は見られなかった。乳脂肪は、有意な差ではないが対照区に比べ、あん粕区・そば殻区で上昇する傾向が見られた。

2. 第一胃内溶液性状及び血液生化学性状

第一胃内溶液性状ならびに血液生化学性状は、いずれの項目も各区において有意な差は見られなかった。(表4)

3. 各種機能性成分

供試資材中の機能性成分含量は表5の通りである。あん粕中のアントシアニン類については定量下限以下(>1mg/100g)となった。

生乳中の機能性成分については表6の通りであり、いずれの機能性成分も乳中への移行は確認されなかった。また、乳中総ポリフェノール含量についても、各区で差は見られなかった。

生乳中の脂肪酸組成は表7の通りである。機能性脂肪酸である共役リノール酸(CLA)を含め、すべての項目において有意な差は得られなかった。

表3. 乾物摂取量および泌乳成績

項目	対照区	昆布屑区	あん粕区	そば殻区
乾物摂取量 (kg/日)	23.0	22.4	21.3	20.7
乳量 (kg/日)	29.8	29.7	29.7	29.2
乳成分				
乳脂肪率(%)	4.1	4.3	4.4	4.4
乳蛋白質率(%)	3.5	3.6	3.6	3.5
無脂乳固形分(%)	9.2	9.0	9.0	8.9
MUN (mg/dl)	12.3	12.1	12.4	11.6

表4. 第一胃内溶液性状および血液生化学性状

項目	対照区	昆布屑区	あん粕区	そば殻区
第一胃内溶液性状				
pH	7.6	7.4	7.5	7.5
アンモニア態窒素(mg/dl)	8.7	9.0	9.9	8.1
血液生化学性状				
GLU(mg/dl)	75.8	76.3	73.0	73.5
BUN(mg/dl)	11.0	11.5	11.1	10.8
TP(g/dl)	7.9	7.5	7.6	7.7
TCHO(mg/dl)	203.3	193.5	195.0	204.3
GOT(U/L)	68.8	86.3	62.0	67.8

表5. 給与資材中の各種機能性成分

機能性成分含量 (mg/100g)	(TMR)	あん粕	昆布屑	そば殻
総ポリフェノール ^{※1}	268.1	66.2	110.3	1111.2
フコキサンチン	-	-	3.84	-
アントシアニン類	-	n.d. ^{※2}	-	-
ルチン	-	-	-	8.9

※1 (+)カテキン換算 ※2 >1mg/100g

表6. 生乳中の各種機能性成分

機能性成分含量(mg/100g)	対照区	昆布屑区	あん粕区	そば殻区
総ポリフェノール	2.45	2.19	2.31	2.39
フコキサンチン	-	n.d. ^{※1}	-	-
アントシアニン類	-	-	n.d. ^{※2}	-
ルチン	-	-	-	n.d. ^{※3}

※1 >0.05mg/100g ※2 >1mg/100g ※3 >0.5mg/100g

表7. 乳中脂肪酸組成

項目	対照区	あん粕区	昆布屑区	そば殻区
酪酸～カプリン酸	3.66 ±0.80	3.82 ±0.95	3.18 ±0.74	3.46 ±0.73
ミリスチン酸	13.11 ±2.01	13.50 ±0.91	13.08 ±0.53	12.86 ±1.65
パルミチン酸	33.36 ±2.90	34.28 ±1.76	32.89 ±1.27	32.88 ±2.88
ステアリン酸	9.27 ±0.98	8.91 ±1.36	9.78 ±1.42	9.29 ±0.47
オレイン酸	22.46 ±5.74	21.18 ±3.16	23.25 ±2.13	23.79 ±5.19
バクセン酸	1.27 ±0.05	1.11 ±0.34	1.45 ±0.12	1.31 ±0.08
リノール酸	2.93 ±0.42	2.96 ±0.38	2.80 ±0.38	2.79 ±0.29
α-リノレン酸	0.52 ±0.09	0.55 ±0.06	0.49 ±0.07	0.52 ±0.11
共役リノール酸	0.48 ±0.20	0.47 ±0.18	0.54 ±0.25	0.52 ±0.27
その他	12.94 ±0.68	13.19 ±1.15	12.54 ±1.26	12.58 ±0.85

脂肪酸総量に対する%

考 察

あん粕区、そば殻区において乳脂肪率が高くなる傾向となったが、あん粕は繊維含量が高い一方、その大半は易消化性であり（エコフィードを活用したTMR製造利用マニュアル,2009）、結果として繊維成分の利用効率が向上したことが要因と思われる。一方、粃殻のような粗剛性をもつ飼料は反芻を促進させることが報告されている（堀口,2003;Sudweeks et al.,1981）。そば殻も強固な粗剛性を持ち、同様に反芻促進に寄与したものと考えられ、結果、粗飼料の利用効率が向上し、乳脂肪の上昇につながったものと推察される。反芻の状況や飼料の消化率等は未調査のため、今後の課題としたい。

各種機能性成分について、第一にあん粕中のアントシアニン類は当初の想定と反して、原料中に含まれていないことが明らかとなった。喜多ら（1993）は、小豆中のアントシアニンについて、小豆を24時間冷水に浸漬後、得られた種皮から、アントシアニン類としてデルフィニジンおよびシアニジンの2種類を同定している。一方阿久澤ら（2013）は、製餡行程の一つであ

る煮熟で生じる渋きりに水にアントシアニン類を含むポリフェノールが大量に含まれていることを報告している。すなわち、小豆を熱水抽出することにより、冷水では溶出されなかった水溶性アントシアニンが、煮沸することにより溶出したことが考えられる。結果として小豆種皮の残渣としてのあん粕にはアントシアニンが残存しなかったと推察された。

フコキサンチンは、海藻類に特異に存在するカロテノイド（キサントフィル類）の一種であり、ヒト臨床試験（Yanmei et al.,2015）においては体脂肪の減少効果が認められている機能性成分である。今回の試験では、ヨウ素中毒を考慮した上で最大限の昆布屑を給与し、フコキサンチン換算で一日当たり約28mgの給与を行ったものの、乳中では定量下限以下(0.1mg/100g)となり、検出されなかった。一方、放牧飼養を行うことにより、乳中のキサントフィル（ルテインおよびゼアキサンチン）含有量が舎飼いに比べ有意に上昇したという報告があるものの

（三谷ら,2011）、上昇幅のレンジはμg/dLと非常に低濃度であった。以上のことから、乳中フコキサンチン含有量を定量可能な水準まで引き上げるには、昆布屑のように給与量制限を強いることのない、別の資材を用いて多給する必要が

あると考えられる。

反芻動物における乳中ルチン移行には、De Feo ら (2006) の報告がある。すなわち、反芻動物である山羊を供試動物とし、ルチンを含有する植物であるルリジサを給与したことにより、乳中にルチンが移行したというものである。ルチンを 435mg/週 摂取し、105mg/週 を乳中に排出したことを報告している。仮にこの移行率 (105/435 \approx 24%) を本試験に当てはめると、そば殻区の生乳中のルチン濃度は 0.23mg/100g となり、定量下限値以下となった。乳用牛におけるフラボノイド類の代謝動態についての知見は乏しいものの、その乳中への移行率は、山羊の 24% を大きく逸脱しない範囲内にあるものと推察される。

また、今回の試験に用いた給与資源は各種食品関連会社から発生したそのままの状態での給与を行った。すなわち粒度が大きく、ルーメンマットに長時間捕捉されやすい状態と考えられ、第一胃内で機能性成分が分解を受けている可能性が考えられる。一方、糞を洗い出したところ、原型は留めていないもののそば殻と特定できる粒子が多数観察された。これらの解決策としては、例えば粉碎処理を行うなどして粒度を細かくし、ルーメン内液相とともに速やかに下部消化管へ流入させることがあげられる。つまり疑似的にバイパスという形をとることで、下部消化管での吸収量を増加させることが期待できる。かつ、粉碎処理により飼料の表面積を増加させることで消化率の向上が考えられる。このような処理が機能性成分の吸収・移行に及ぼす影響の検討については次年度以降の課題としたい。

一方、今試験において従来と変わらない乳生産性を示すなど、供試牛の健全性に問題は見られなかった。本年度は、乳中の機能性成分に重きを置いた内容であったが、今後はこれらに加え、健全性を裏付けるデータをより深く掘り下げることで、管内酪農家への訴求性を高め、利用拡大を進めていきたい。

文 献

阿久澤さゆり・峰村貴央・大林宏也・高橋牧

- 道子・服部清澄. 生餡の加工工程で生じる廃棄資源の有効利用に関する研究. *Food preservation science*, 39(3): 149-154, 2013-05
- De Feo, V. Quaranta, E. Fedele, V. Craps, S. Rubino, R. and Pizza, C. Flavonoids and terpenoids in goat milk in relation to forage intake. *Italian Journal of Food Science*, 18:85-92, 2006
- (一社) 配合飼料供給安定機構. エコフィードを活用した TMR 製造利用マニュアル. 20, 2009-8
- 堀口健一. 第一胃刺激用具を投与した肉牛における反芻行動, 第一胃性状および肥育成績に関する研究. *栄養生理研究会報*, 47:21-35, 2003
- 喜多出穂・藤原智子・花崎紀子・丸山悦子・梶田武俊. 小豆のアントシアニン色素の分析に関する研究. *調理科学*, 26(3): 202-207, 1993
- 三谷朋弘・佐藤悠二・上田宏一郎・高橋誠・中辻浩喜・近藤誠司. 舎飼い飼養から放牧飼養への移行時期における牛乳成分の変動. *北畜会報*, 53:29-34, 2011
- (独) 農業・食品産業技術総合研究機構編, 日本飼養標準乳牛 2006 年版.
- Sudweeks, E.M. Ely, L.O. Mertens, D.R. Sisk, L.R. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets :Roughage value index system. *Journal of Animal Science*, 53:1406-1411, 1981
- 高田修・篠倉和己・河智義弘・中西克美・鈴木一郎・石田元彦. 乳牛へのハーブ給与による高機能性牛乳の生産. *兵庫農技研報*, 38:24-28, 2002
- Yanmei, L. Tomoaki, I. Keisuke, S. Mi, S. Focoxanthin Supplementation Reduces Body Fat in Over Weight Humans : A Randomized, Placebo Controlled Study. *薬理と治療*, 43(9): 1317 -1322, 2015
- Yayota, M. Tsukamoto, M. Yamada, Y. and Ohtani, S. Milk composition and flavor under different feeding systems: a survey of dairy farms, *Journal of Dairy Science*, 96:5174-5183, 2013

Developing high-value-added milk by utilizing local resource effectively and adding health functionality.

Yusuke NISHIMURA, Takuya WADA¹⁾ and Toshihide NIHONGI

Fukui Prefectural Livestock Experiment Station

¹⁾ Fukui Prefectural Okuetsu General Office of Agriculture and Forestry

Abstract

To consider adding health functionality to milk, we carried out feeding test. Four Holstein cows in mid to late lactation were arranged in 4x4 Latin square design with two weeks experimental period. We selected buckwheat hull, dried kelp fraction and azuki bean jam waste as diet that discharged within Fukui prefecture. As a result, the functional components from these diets was not detected in milk. In addition, total polyphenol content and fatty acid composition in milk stayed constant. However, milk yield and composition and blood composition were not affected by feeding these diets. Results of this study indicate that these local resources will be new feedstuff for cows.

Key word : Health functionality, Milk production, Azuki bean jam waste, Buckwheat hull,
Dried kelp fraction