

乳用牛における希少糖 D-プシコース給与の影響(2)

傍示和・増川慶大・久保貴士・三好里美

Effect of the dietary rare sugar, D-Psicose, feeding in the dairy cattle(2)

Nodoka KATAMI, Keita MASUKAWA, Takashi Kubo, Satomi MIYOSHI

要 約

ラットやヒトにおいて希少糖摂取により体脂肪蓄積の抑制や食後の血糖値上昇の抑制作用が確認されており、医療および食品分野のみならず畜産分野での応用も期待されている。乳用牛に希少糖 D-プシコース 50.0g を 14 日間給与し、給与前、給与後および給与後 2 週間（給与 2W 後）を比較したところ、乳成分の一つである乳中尿素窒素（MUN）は給与後と給与 2W 後の間で有意差（ $p < 0.05$ ）が認められた。今回は、給与量を 50.0 g から 100.0 g に変更し、改めてその影響を検証していくことを目的とした。その結果、体重や BCS および乳成分には影響を及ぼすことはなかった。その一方で、血中のアンモニア濃度は給与前および給与後と給与 2 W 後でそれぞれ有意差（ $p < 0.05$ ）が認められた。

緒 言

ブドウ糖をはじめとする単糖は自然界において糖鎖や糖タンパク質、核酸などの構成糖や遊離糖などの状態で広く存在しており、生命活動には欠かせないものとなっている¹⁾。希少糖は、国際希少糖学会で「自然界に存在量が少ない単糖およびその誘導体」と定義されている¹⁾²⁾。希少糖は量こそ微量ではあるが、その種類は多く、核となる単糖だけでも 50 種以上にも及ぶ。D-プシコースは D-フルクトースの C-3 エピマーであり³⁾、希少糖の一つとされ生体内ではほとんど代謝されない（エネルギー価がほぼ 0kcal/g）単糖であると考えられている⁴⁾⁵⁾。近年、酵素反応を利用した D-プシコースの大量生産方法が確立されたことにより、栄養学的な検討が可能となった⁶⁾⁷⁾。

ラットにおいて、D-プシコースが脂肪合成を刺激せずに体脂肪蓄積を抑制すること⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾、食後の血糖値上昇を抑制すること¹¹⁾¹²⁾、少量の D-プシコースを長期摂取（30 ヶ月）しても安全性に問題がないこと¹³⁾が知られている。ヒトにおいても血糖上昇抑制作用が報告されており¹⁴⁾¹⁵⁾、生体に与える様々な生理活性より医療および食品分野での応用が期待されている⁷⁾。

乳牛において、多糖類であるデキストリン給与により乳量や脂肪、蛋白質、無脂乳固形などの乳成分が向上した¹⁶⁾という報告や分娩前後にオリゴ糖 DFAIII 給与により低 Ca 血症の予防効果があった¹⁷⁾という報告がある。

希少糖 D-プシコース給与の報告が畜産分野では少なく、以前、乳用牛 6 頭に希少糖 D-プシコース 50.0g を 14 日間給与し、給与前、給与後および給与後 2 週間（給与 2W 後）を比較したところ、体重やボディコンディションスコア（BCS）および血液性状検査に影響を及ぼすことは無く、乳成分の一つである乳中尿素窒素（MUN）は給与後と給与 2W 後の間で有意差（ $p < 0.05$ ）が認められた。D-プシコースの機能性をより検証すべく、今回は給与量を 50.0 g から 100.0 g に変更し、給与前後を比較することで、改めて希少糖が乳量、乳成分及び血液生化学性状に及ぼす影響を検証することを目的とした。

材料及び方法

1. 試験期間

令和 2 年 5 月 19 日から 6 月 16 日に行った。D-ブシコースは 5 月 19 日から 6 月 2 日の 14 日間給与した。

2. 供試牛

当場で飼養している泌乳牛 6 頭を試験に供した。試験開始時点で平均体重 $609.0 \pm 22.9\text{kg}$ 、平均年齢 4.3 歳、平均産歴は 2.7 産、分娩後日数は 88.3 日であった。また、令和 2 年 5 月時点での 6 頭の平均乳量は 32.8kg であった。

3. 供試飼料

今回は 1 頭当たり 100.0g の D-ブシコースを給与した。供試飼料を給与する際は、水でふやかしたビートパルプ 2.0kg 、ビタミン 8.0g およびミネラル 150.0g に混合して確実に 100.0g を摂取するようにした。給与時間は午前 9 時前後とした。

なお、供試した D-ブシコースは株式会社希少糖生産技術研究所から提供を受けたものである。

4. 飼養管理

飼養形態は繋ぎ飼い牛舎であった。粗飼料はチモシー乾草、オーツ乾草およびアルファルファ乾草を給与した。それぞれの乾草を約 15.0cm に細断、混合したのち飽食とした。また、濃厚飼料は自動給餌器により 1 日 5 回 (3:00、5:00、8:30、16:00 および 23:40)、給与量はそれぞれの乳用牛の乳量に合わせて適切な量を与えた。水はウォーターカップによる自由飲水とした。搾乳は 9 時および 16 時に行い、ミルカーは自動離脱とした。

5. 調査方法および調査項目

以下の項目の調査を、供試飼料給与前日、供試飼料給与直後および給与終了時から 2 週間後 (給与 2W 後) の計 3 回実施した。

1) 体重

供試飼料を給与し、血液採取を行ってからデジタル表示式体重計量器 (TRU-TEST ; 富士平工業株式会社, 東京) を用いて測定し記録した。

2) ボディコンディションスコア (BCS)

BCS の評価は Ferguson ら¹⁸⁾および Edmonson ら¹⁹⁾の方法を用いて腰角、坐骨端および大腿骨頭で形成される三角形の形や腰椎横突起、尾骨靱帯、仙骨靱帯の見え方を観察し、5 段階 評価(1=消瘦, 5=過肥 0.25 刻み)を行った。試験期間中の 3 回の BCS 評価は同一の 4 人で行い 4 人の平均を用いた。

3) 産乳成績

a. 乳量

搾乳は 1 日 2 回 (9:00 および 16:00) に行い、1 日乳量は朝と夕方の搾乳量の合計とした。

b. 乳成分

搾乳ミルカーにサンプラーを装着し、搾乳途中の生乳を採取した。採取した生乳を専用の容器に入れ、四国生乳販売農業協同組合連合会牛乳検査課に検査を依頼した。依頼項目は、乳脂肪、無脂乳固形、蛋白質、乳糖、体細胞数および乳中尿素窒素 (MUN) の計 6 項目である。

4) 臨床検査

下記の血液生化学的検査および血液学的検査どちらも(株)福山臨床検査センターに委託した。

採血は供試飼料を給与した約 1 時間後に頸静脈から行った。委託業者指定の分離剤入り真空採
香川畜試報告 54 (2019) - 25 -

血管及び血糖検査用真空採血管へ採取し、同日中に委託業者に手渡した。検査項目は、生化学的検査について血糖 (Glu)、総蛋白 (TP)、アルブミン (Alb)、グルタミン酸オキサロ酢酸トランスアミラーゼ (GOT)、 γ -グルタミルトランスぺプチダーゼ (γ -GTP)、総コレステロール (TCHO)、HDL コレステロール、LDL コレステロール、遊離脂肪酸 (NEFA)、カルシウム (Ca)、リン (P) およびマグネシウム (Mg) を依頼した。また、血液学的検査は赤血球数、白血球数およびヘマトクリット (Ht) を依頼した。

また、血中乳酸濃度は一般財団法人生物化学安全研究所、血中アンモニア(NH₃)濃度は株式会社食環境衛生研究所に委託した。

6. 統計処理

統計処理は、統計解析ソフト StatView (SAS インスティテュートジャパン,1998) を使用して分析した。各要因別 (給与前、給与直後、給与 2W 後) に得られた平均値については分散分析を行い、Tukey-Kramer の HSD 検定により平均値を比較した。有意水準は 5%とした。

成 績

1. 体重

給与前、給与後、給与 2W 後いずれにおいても有意な差は認められなかった (表 1)。

2. ボディコンディションスコア (BCS)

給与前、給与後、給与 2W 後いずれにおいても有意な差は認められず、外貌上の変化は認められなかった (表 1)。

3. 産乳成績

乳量および乳成分どちらも、給与前、給与後、給与 2W 後いずれにおいても有意な差は認められなかった (表 1)。

表 1. 飼養成績

		給与前	給与後	給与2W後
体重	k g	609.0 $\pm$ 22.9	613.0 $\pm$ 25.8	601.0 $\pm$ 21.6
BCS		2.8 $\pm$ 0.1	2.8 $\pm$ 0.1	2.8 $\pm$ 0.1
乳量	k g	34.6 $\pm$ 1.9	33.2 $\pm$ 1.9	33.0 $\pm$ 1.6
乳成分				
乳脂肪	%	4.0 $\pm$ 0.2	3.4 $\pm$ 0.1	3.6 $\pm$ 0.3
乳蛋白質	%	3.4 $\pm$ 0.1	3.4 $\pm$ 0.1	3.3 $\pm$ 0.1
乳糖	%	4.5 $\pm$ 0.1	4.5 $\pm$ 0.1	4.5 $\pm$ 0.1
無脂乳固形	%	8.8 $\pm$ 0.1	9.0 $\pm$ 0.1	8.8 $\pm$ 0.1
体細胞数	万/ml	2.0 $\pm$ 0.7	3.3 $\pm$ 1.2	2.2 $\pm$ 1.0
MUN	mg/dl	10.4 $\pm$ 0.6	11.2 $\pm$ 0.7	11.1 $\pm$ 1.0
平均値 $\pm$ 標準誤差 (n=6)				

4. 臨床検査

生化学的検査のうち、血中 NH_3 濃度のみ給与前および給与後と給与 2W 後の間にそれぞれ有意な差が認められ、他の項目では有意差は認められなかった。また、血液学的検査は有意な差が認められなかった（表 2）。

表 2. 血液性状検査

		給与前			給与後			給与2W後		
生化学的検査										
Glu	mg/dL	58.3	±	1.0	52.7	±	9.4	58.3	±	0.7
Alb	g/dL	4.3	±	0.1	4.2	±	0.1	4.2	±	0.1
TP	g/dL	7.4	±	0.2	7.7	±	0.2	7.6	±	0.2
TCHO	mg/dL	190.2	±	21.7	190	±	19.1	193.1	±	14.2
HDL	mg/dL	158.7	±	13.1	157.2	±	11.2	165.8	±	11
LDL	mg/dL	71.7	±	13.3	72.3	±	12.5	73.8	±	9
NEFA	mEq/L	0.13	±	0.01	0.10	±	0.01	0.12	±	0.07
GOT	U/L	92.2	±	11.2	94.0	±	6.4	85.3	±	5.9
γ-GTP	U/L	28.2	±	2.3	32.5	±	2.3	30.8	±	2.6
Ca	mg/dL	10.1	±	0.2	10.2	±	0.2	10.0	±	0.5
P	mg/dL	5.7	±	0.3	5.0	±	0.2	5.6	±	0.4
Mg	mg/dL	2.5	±	0.1	2.4	±	0.1	2.4	±	0.1
乳酸	mg/dL	7.6	±	1.7	7.1	±	0.6	6.9	±	1.5
NH ₃	μmol/L	45.8	±	4.1 a	45.7	±	2.8 a	31.0	±	2.7 b
血液学的検査										
白血球数	/μL	10400.0	±	1566.3	11240.0	±	1501.2	11916.7	±	1541.1
赤血球数	万/μL	653.3	±	34.8	664.0	±	47.6	635.7	±	37.0
Ht	%	33.3	±	0.9	33.8	±	1.6	32.2	±	1.2

平均値±標準誤差 (n = 6)

考 察

ラットにおいて、希少糖 D-プシコースが脂肪合成を刺激せずに体脂肪蓄積を抑制すること⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾、食後の血糖値上昇を抑制すること¹¹⁾¹²⁾、少量の D-プシコースを長期摂取（30 ヶ月）しても安全性に問題がないこと¹³⁾が知られている。ヒトにおいても血糖上昇抑制作用が報告されており¹⁴⁾¹⁵⁾、生体に与える様々な生理活性より医療および食品分野での応用が期待されている⁷⁾。希少糖 D-プシコース給与の報告が畜産分野では少なく、以前、乳用牛 6 頭に希少糖 D-プシコース 50.0g を 14 日間給与し、給与前、給与後および給与後 2 週間（給与 2W 後）を比較したところ、体重やボディコンディションスコア（BCS）および血液性状検査に影響を及ぼすことは無く、乳成分の一つである乳中尿素窒素（MUN）は給与後と給与 2W 後の間で有意差（ $p < 0.05$ ）が認められた。D-プシコースの機能性をより検証すべく、今回は給与量を 50.0 g から 100.0 g に変更し、給与前後を比較することで、改めて希少糖が乳量、乳成分及び血液生化学性状に及ぼす影響を検証することを目的とした。

体重および BCS には給与前、給与後および給与 2W 後いずれにおいても有意差が認められなかった。ラットでは、D-プシコースを添加した場合、非添加区と比較して有意な体重増加抑制作用が認められたことが報告されている¹²⁾²⁰⁾。牛において、少なくとも 14 日間の D-プシコース 100.0g 給与では体重抑制作用は認められないことが推察された。乳成分、体細胞および乳量においては有意差は認められなかった。

また、血液学的検査の結果は給与前、給与後および給与後 2W いずれの間にも有意差は認められなかったものの、血液生化学検査のうち血中アンモニア濃度において給与前および給与後と給与 2 W 後の間にそれぞれ有意差が認められた。しかし、一般に牛の血中 NH_3 濃度の基準値が $0\sim 90\ \mu\text{mol/L}$ であり、給与 2 W 後の数値は給与前後に比べて低値になったものの基準値の範囲内のため問題視するものではないと考えられる。岡田らは、高蛋白・高デンプン飼料を乳牛に給与したところ、血中のアンモニア濃度は給与飼料の分解性蛋白質濃度およびデンプン濃度と関連して、また、血中乳酸濃度はデンプン濃度と関連して変化すること²⁴⁾、また、高デンプン飼料給与時には給与後 8 日目以降に血中 D-乳酸濃度が急激に増加していることも報告している²⁵⁾。今回は給与量を 100.0 g に増やしたものの血中の乳酸濃度や NH_3 濃度に悪影響を及ぼすことはなく、適切な給与量の範囲内であったと推察された。

希少糖 D-プシコースは、ヒトやラットにおいて食後血糖値上昇抑制作用や内臓脂肪蓄積抑制作用等、様々な生理活性を有する機能性単糖であることが報告されている。今回の給与試験では、乳用牛において体重や BCS などの発育性、血液生化学性状および血液学的性状にも影響を及ぼさない結果となった。

参考文献

- 1) 徳田雅明. 香川大学発『希少糖』生活習慣病予防への新戦略. 外科と代謝・栄養. 第 49 巻. 第 6 号. 299-307. 2015.
- 2) 何森ら. 希少糖研究への挑戦と期待. 生物工学会誌. 第 86 巻. 第 9 号. 427-442. 2008.
- 3) Green GM, Perlin AS. 1968. O-Isopropylidene derivation of D-allulose(D-psicose) and D-erythrohexopyranose-2,3-diulose. Can J Biochem. 46:765-70.
- 4) Matsuo T, Suzuki H, Hashiguchi M, Izumori K. 2002. D-Psicose is rare sugar that provides no energy to growing rats. J Nutr Sci Vitaminol. 48:77-80.
- 5) Iida T, Hayashi N, Yamada T, Yoshikawa Y, Miyazato S, Kishimoto Y, Okuma K, Tokuda M, Izumori K. 2010. Failure of D-psicose absorbed in the small intestine to metabolize into energy and its low large intestinal fermentability in humans. Metabolism 59:206-14.
- 6) Granstrom T.M., Tanaka G, Tokuda M, and Izumori K. 2003. Izumoring: A novel and complete strategy for bioproduction of rare sugars. Jouenal of bioscience and bioengineering. 97(2) : 89-94.
- 7) 山田ら. ヒトにおける希少糖含有シロップ摂取による血糖応答に及ぼす影響. 2017. 日本栄養・食糧学会誌. 第 70 巻. 第 6 号. 271-278.
- 8) Matsuo T, Baba Y, Hashiguchi M, Takeshita K, Izumori K and Suzuki H. 2001. Dietary D-psicose, a C-3 epimer of D-fructose, suppresses the activity of hepatic lipogenic enzymes in rats. Asia Pacific J Clin Nutr 10(3): 299-237.
- 9) Matuso T, Baba Y, Hashiguchi M, Takeshita K, Izumori K and Suzuki H. 2001. Less body fat accumulation with D-psicose diet versus D-fructose diet. J Clin biochem nutr 30: 55-65.
- 10) Ochiai M, Nakanishi Y, Yamada T, Iida T and Matsuo T. 2013. Inhibition by dietary D-psicose of body fat accumulation in adult rats fed a high sucrose diet. Biosci biotechnol biochem 77(5): 130019-1-4.
- 11) 松尾達博. 2006. ラットにおける D-プシコースの血糖値上昇抑制作用. 日本栄養・食糧学会誌. 第 59 巻. 第 2 号. 119-121.
- 12) Matsuo T, Izumori K. 2006. Effects of dietary d-psicose on diurnal variation in plasma glucose and insulin concentrations of rats. Biosci biotechnol biochem 70(9): 2081-2085.
- 13) 檜垣俊介, 松尾達博. 2015. 希少糖 D-プシコースが高脂肪食ラットの生存期間に及ぼす影響. 日香川畜試報告 54 (2019)

本栄養・食糧学会誌. 第 68 巻. 第 2 号. 69-72.

- 14) Hsyashi N, Iida T, Yamada T, Okuma K, Takehara I, Yamamoto T, Yamada K and Tokuda M. 2010. Study on the postprandial blood glucose suppression effect of D-psicose in borderline diabetes and the safety of long of long-term ingestion by normal human subjects. Biosci. Biotechnol. Biochem74(3):510-519.
- 15) Iida T, Kishimoto Y, Yoshikawa Y, Hayashi N, Okuma K, Tohi M, Yagi K, Matsuo T and Izumori K. 2008. A cute D-psicose administration decreases the glycemic responses to an oral maltodextrin tolerance test in normal adults. J Nutr Sci Vitaminol54:511-514.
- 16) Yasuda K, Fukata T. 2004. Mixed feed containing dextran improves milk production of Holstein dairy cows. J Vet Med Sci 66(10) : 1287-1288.
- 17) 大谷昌之. オリゴ糖 DFAIIIによる低 Ca 血症の予防効果とその後の生産性. 学術シンポジウム I. 牛の低カルシウム血症 ; 基礎と臨床.
- 18) Ferguson J. D., Galligan D. T. and Thomsen N. 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. J Dairy Sci 77:2695-2703.
- 19) Edmonson A. J., Lean I. J., Weaver L. D., Farver T and Webster G. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. J Dairy Sci 72:68-78.
- 20) 山田ら. 2010. 異性化糖食で飼育したラットの体脂肪蓄積に対する D-プシコースの作用. 日本食品化学工学会誌. 第 57 巻. 第 6 号. 263-267.
- 21) 大場真人. 2019. ここはハズせない乳牛栄養学～乳牛の科学～. 株式会社デーリィジャパン社. 東京.
- 22) 永幡肇. 2015. 獣医衛生学. pp.305-334. (岩田祐之・押田敏雄・酒井健夫・高井伸二・局博一・永幡肇編)、文永堂出版株式会社. 東京.
- 23) Wilson J. R., Bartley E. E., Anthony H. D., Brent B. E., Sapienza D. A., Chapman T. E., Dayton A. D., Milleret R. J., Frey R. A. and Meyer R. M. 1975. Analyses of rumen fluid from “sudden death” lactic acidotic and healthy cattle fed high concentrate ration. J Anim Sci 41(5) : 1249-1255.
- 24) 岡田ら. 1997. 高蛋白・高デンプン飼料給与乳牛における血中アンモニア・乳酸濃度. 日本獣医師会雑誌 50:705-708.
- 25) 岡田ら. 2003. 高デンプン飼料給与時の乳牛の血中およびルーメン液中 D/L 乳酸, アンモニア濃度の推移. 日本獣医師会雑誌 56:450-454.