

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450378

研究課題名(和文) 育成初期からの低質粗飼料給与に反芻動物の消化および代謝は適応するか？

研究課題名(英文) Can early experience of low-quality roughage improve digestive and metabolic efficiency in ruminants?

研究代表者

八代田 真人 (Yayota, Masato)

岐阜大学・応用生物科学部・准教授

研究者番号：30324289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)： 育成初期から低質粗飼料を給与することが反芻動物の消化および代謝に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。離乳後の子羊に低質粗飼料(スーダングラス乾草)または標準的な粗飼料(チモシー乾草)を4から6ヵ月給与し、その後はいずれも低質粗飼料を給与した。育成期から低質粗飼料を摂取させることで、体内での窒素利用効率が改善し、動物の基礎代謝量を下げることが示唆された。また、尿素サイクルおよびアミノ酸代謝は窒素リサイクルを増加させるために活性化し、肝臓中の脂質酸化は減少することが明らかとなった。しかしながら、低質粗飼料の経験期間が1ヵ月程度でも肝臓における同様の代謝の変化が起こることも明らかとなった。

研究成果の概要(英文)： The aim of this study was to determine how the digestion and metabolism changed in lambs fed low-quality roughage (LQR) from an early stage of their life. Lambs were fed LQR (sudangrass hay) or normal-quality roughage (timothy hay) for 4 to 6 months and then all lambs were fed LQR for 2 months. Feeding lambs LQR from early stage of their life improved lambs' intake and digestibility. The experienced lambs tended to increase nitrogen absorption and decrease its loss in feces. Early experience with LQR could induce lambs to adapt to a lower basal metabolic rate. The urea cycle and amino acid metabolism were enhanced in order to increase the nitrogen recycle and, the oxidation of fatty acid in the liver was reduced in lambs fed LQR. However, when unexperienced lambs were fed LQR for 1 month, the similar metabolic variations were occurred in their liver. It means the liver metabolism in unexperienced lambs could rapidly adapt the LQR to the same degree compare with the experienced lambs.

研究分野：動物栄養学

キーワード：低質粗飼料 反芻動物 メタボロミクス 栄養環境 育成期 ヒツジ

1. 研究開始当初の背景

- (1) 地球温暖化の進行に伴い寒地型牧草の不適作地が拡大している。このため、今後の反芻家畜生産においては暖地型牧草やわら類に代表されるような、寒地型牧草に比べ質の低い粗飼料(低質粗飼料)を効果的に利用した生産技術を確立しておくことが極めて重要である。これらの技術は、日本国内だけでなく、今後畜産物需要の大幅な増加が見込まれる発展途上国(多くは熱帯や亜熱帯に地域にある)の家畜生産にも大いに貢献できる。
- (2) これまで、低質粗飼料の利用は飼料側の問題として捉えられ、粉碎や破碎およびアルカリ処理などの飼料加工の面から解決が図られてきた。一方、動物側の栄養管理法や飼料給与法から低質粗飼料の効果的な利用法を検討した例は少ない。
- (3) 動物側から見た場合、低質粗飼料の基本的な問題は、摂取量、消化率および代謝率が低いことである。しかし、育成期の早い段階から低質な粗飼料を摂取した経験がある個体は、未経験な個体に比べ、その後の低質粗飼料の摂取量や消化率が高いと報告されている(Provenza and Balph 1988; Distel et al. 1996)。同様に、放牧では育成期からの放牧経験が、その後の放牧飼養成績を良好にするとされている(Arnold and Maller, 1977)。これらの結果は、発育期からの栄養環境が、消化および代謝機構の変化(適応)をもたらず可能性を示唆しており、同時に飼育管理法によって低質粗飼料を効率良く利用できる可能性を示唆しているが、カギとなるその適応機構は明らかにはされていない。

2. 研究の目的

- (1) 肉牛では、哺乳時に高栄養条件にすることによる代謝的刷り込みの発現が検証されており、かつそれを利用した牛肉生産が近年、試みられている(Ebara et al., 2012, 後藤, 2008)。また、乳牛では哺乳から離乳に伴う代謝機能の発達(糖および窒素代謝変化)が明らかにされつつある(Hayashi et al. 2006)。これらの例は、発育時の栄養環境が、その後の消化および代謝に大きく影響することを示唆している。
- (2) 先述のように低質粗飼料においても、育成期の早い段階から摂取経験がある個体は、未経験な個体に比べ、その後の低質粗飼料の摂取量や消化率が高いと言われている。これらの事を総合的に考察すると、反芻動物の消化・代謝機能が形成される育成期から低質粗飼料を給与

すれば、反芻胃内の菌叢を含む消化および代謝機能の適応が起こり、低質粗飼料をより効率的に利用できる可能性があると考えられる。

- (3) そこで本研究では、低質粗飼料に対する反芻動物の消化や代謝機能の発育に伴う変化を測定し：  
育成初期からの低質粗飼料給与によって消化や代謝機能に適応が起きるかを明らかにする。  
適応は消化または代謝機構のどの部分に起因するかを明らかにする。  
消化または代謝機構の適応に重要な発育段階の時期を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

- (1) 実験 1: 4 ヶ月齢の子ヒツジにスーダンクラス乾草(低質粗飼料群)またはチモシー乾草(対照群)を4 ヶ月間給与し、その後両群ともスーダンクラス乾草の給与に切り替えて、2 ヶ月間飼育した。試験開始から2 ヶ月ごとに飼料摂取量、消化率、窒素出納および血中甲状腺ホルモン(T3 および T4)濃度を測定し、比較した。
- (2) 実験 2: 育成初期(2 ヶ月齢)の子ヒツジに低質粗飼料であるスーダンクラス乾草を6 ヶ月間給与して、2 ヶ月ごとに飼料摂取量および消化率を測定した。また、給与から4 ヶ月および6 ヶ月目に、子ヒツジの肝臓サンプルを採取して、CE-TOFMS でメタボロミクス解析を実施し、肝臓における代謝産物の変化を検討した。
- (3) 実験 3: 3 ヶ月齢の子ヒツジにスーダンクラス乾草(低質粗飼料経験群)またはチモシー乾草(対照群)を4 ヶ月間給与し、その後両群ともスーダンクラス乾草の給与に切り替えて、3 ヶ月間飼育することで、低質粗飼料の摂取経験がある子ヒツジと経験がない子ヒツジの飼料摂取量および肝臓のメタボロミクス解析の結果を比較した。

4. 研究成果

- (1) 実験 1: 試験開始から最初の4 ヶ月間では、低質粗飼料群の飼料摂取量は、対照群に比べ有意に高かった( $P < 0.01$ )。両群とも低質粗飼料を給与した2 ヶ月間においては、低質粗飼料群の飼料摂取量は対照群より有意に低かったが( $P < 0.05$ )、体重は群間で有意な差がなかった。消化率および蓄積窒素量は低質粗飼料群が対照群に比べ高い傾向にあり、摂取窒素量に対する糞中窒素量は低質粗飼料群が対照群より低い傾向にあった。

血清中尿素態窒素濃度は対照群に比べ低質粗飼料群が有意に高かった ( $P < 0.05$ )。これらの結果から、育成期の早い段階から、子ヒツジに低質粗飼料を継続的に給与すると、窒素の利用効率が改善することが示唆された。また、血清中甲状腺ホルモン (T3 および T4) 濃度は対照群に比べ低質粗飼料群が低かった。これは低質粗飼料への馴致によって、低質粗飼料群が低い基礎代謝に適應したことを示唆しているものと考えられた。

- (2) 実験 2: 代謝体重当たりの飼料摂取量は 2 ヶ月目から 6 ヶ月目まで減少した。一方、消化率は最初の 4 ヶ月間は増加したものの、残りの 2 ヶ月間においては減少した。また肝臓においては 8 個のアミノ酸の濃度の変化が観察された。すなわち、尿素サイクルの中間体であるシトルリンの濃度は増加を示し、一方、アルギニンコハク酸とアルギニンの濃度は減少した。解糖系/糖新生系の中間体であるグルコース-6-リン酸 (G6P)、フルクトース-6-リン酸 (F6P)、グリセロール 3-リン酸とジヒドロキシアセトンリン酸 (DHAP) は減少し、一方、NAD<sup>+</sup> および NADP<sup>+</sup> は増加した。また、タウロコール酸およびタウリンは増加したが、グリココール酸の濃度は減少を示した。これらの結果は、育成期の早い段階から、子ヒツジに低質粗飼料を継続的に給与すると、肝臓においてアミノ酸代謝と解糖系/糖新生系に適應が起こることを示唆している。また、肝臓における脂肪酸の酸化を増加させることで、エネルギー要求量を満たすように調整している可能性もあり、同時に、胆汁酸の構成を調整することで、脂質をより摂取しやすくしている可能性も示唆された。

- (3) 実験 3: 飼料摂取量は、低質粗飼料経験群が対照群に比べて有意に高かった ( $P < 0.01$ )。また、メタボロミクス解析による肝臓の代謝物質は、主成分分析 (PCA) および PLS 解析の結果から、各群が違う飼料を給与されていた最初の 4 ヶ月間には違いが認められたが、両群とも低質粗飼料であるスーダングラスを給与された残りの 3 ヶ月においては、低質粗飼料経験群と対照群の間に明確な違いは認められなかった。低質粗飼料経験群では、肝臓において 6 つのアミノ酸およびいくつかのアミノ酸関連代謝物質の増加が認められた。また、解糖系/糖新生系の中間体である G6P、F6P、DHAP、グルコース-1-リン酸および乳酸が減少し、TCA 回路の中間体であるクエン酸および ATP も減少した。同時に、脂質酸化関連代謝物質であるカルニチン、*O*-アセチルカルニチンおよび  $\beta$ -ブチロベタ

インも減少した。一方、対照群でも低質粗飼料を給与して 1 ヶ月後には、同様の変化が認められた。これらの結果は、育成初期からの低質粗飼料の摂取は、飼料摂取量を改善し、解糖系/糖新生系および脂質酸化の活性を減少させるが、尿素サイクルおよびアミノ酸代謝を活性化することを示唆している。しかしながら、この変化は育成初期でなくとも、低質粗飼料を 1 ヶ月摂取させることで起きることが明らかとなった。

- (4) 以上の結果から本研究では、育成期の早い段階から低質粗飼料を給与することは、その後の低質粗飼料の摂取量と消化率を改善することが明らかになった。とくに、育成期から低質粗飼料を摂取することにより、窒素の吸収が増加し、糞中への排泄量が低下することで、窒素の利用効率が改善した。これと同時に、低質粗飼料への馴致は動物の基礎代謝量を下げる可能性があることが示唆された。また、育成期から低質粗飼料を摂取し続けることでアミノ酸の利用および解糖系/糖新生系は、適應的な変化を示し、尿素サイクルおよびアミノ酸代謝は窒素リサイクルを増加させるために活性化した。同時に、肝臓中の脂質酸化は減少することが明らかとなった。しかしながら、この変化は低質粗飼料の摂取経験がない動物でも 1 ヶ月間程度、低質粗飼料を給与することで、同様の代謝の変化が認められた。このことは、低質粗飼料の経験期間が比較的短くても肝臓における代謝の変化が起こることを示唆している。

#### <引用文献>

- Arnold, G.W., Maller, R.A.: Effect of nutritional experience in early and adult life on the performance and dietary habits of sheep. *Applied Animal Ethology*, 3: 5-26, 1977.
- Distel, R.A., Villalba, J.J., Laborde, H.E., Burgos, M.A.: Persistence of the effects of early experience on consumption of low-quality roughage by sheep *Journal of Animal Science*, 74: 965-968, 1996.
- Ebara, F., Inada, S., Morikawa, M., et al. (2013) Effect of nutrient intake on intramuscular glucose metabolism during the early growth stage in cross-bred steers (Japanese Black male · Holstein female). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97: 684-693.
- 後藤貴文: 放牧を軸とした国内草資源フル活用による新たな肉牛飼養システムの提案. *日本草地学会誌* 54: 182-194,

2008.

Hayashi, H., Kawai, M., Nonaka, I., Terada, F., Katoh, K., Obara, Y.: Developmental changes in the kinetics of glucose and urea in holstein calves Journal of Dairy Science, 89: 1651-1661, 2006.

Provenza, FD., Balpf, DF.: Development of dietary choice in livestock on rangelands and its implications for management. Journal of Animal Science, 66: 2356-2368, 1998.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

Xu W., Okayama N., Iwasawa A., Yayota M.: Temporal changes in the liver tissue metabolome of lambs fed low-quality roughage. Animal Science Journal, 2017:DOI: 10.1111/asj.12792 (査読有)

Xu W., Taki Y., Iwasawa A., Yayota M.: Effects of early experience with low-quality roughage on feed intake, digestibility and metabolism in lambs. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 100: 1023-1030, 2016. DOI: 10.1111/jpn.12492 (査読有)

[学会発表](計 2件)

Xu, W., Okayama, N., Yayota, M.: Glucose metabolism parameters and feed digestibility in lambs fed low-quality roughage after weaning. 2015年度日本草地学会大会, 61(別)151, 2015(信州大学, 南箕輪村, 長野)

Xu, W., Taki, Y., Yayota, M.: Effects of early experience with low-quality roughage on intake, digestibility and nitrogen metabolism in lambs. Proceedings of the 5th China-Japan-Korea Grassland Conference, 199, 2014 (Changchun, China).

[図書](計 0件)

なし

[産業財産権]

なし

出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

八代田 真人 (YAYOTA Masato)

岐阜大学・応用生物科学部・准教授

研究者番号: 30324289

(2)研究分担者

中野 美和 (NAKANO Miwa)

国立研究開発法人・農業・食品産業技術総

合研究機構・畜産研究部門

研究者番号: 30547716

(3)連携研究者

岩澤 淳 (IWASAWA Atsushi)

岐阜大学・応用生物科学部・教授

研究者番号: 90242742

(4)研究協力者

徐 文斌 (XU Wenbin)