

筋肉内遺伝子発現を活用した多様な肉用牛肥育技術の開発に関する研究

柴田 昌宏

日本獣医生命科学大学 応用生命科学部 動物科学科 動物栄養学教室

日獣生大研報 69, 1-3, 2020.

はじめに

消費者の国産牛肉への関心は安全、安心を背景に高いものがあるが、わが国の肉用牛肥育は穀物飼料多給によるもので、その飼料の約9割は輸入に依存しており、このため肉用牛肥育の飼料自給率は10数%と低迷している。この穀物は家畜の飼料であると同時にヒトの食料でもあるため、世界の食料事情を考えるとその競合は避けられない状況にある。一方、ウシは草食獣であるため、ヒトが利用できない草資源、すなわち粗飼料を栄養素として活用できる。こうしたことから、輸入穀物飼料への依存度を下げ、粗飼料を活用しながら自給飼料で肉用牛肥育を行うことは喫緊の課題となっており、この実現は持続可能な畜産を構築し、食料問題の解決が期待される。また、肉用牛肥育は、肥育素牛の生産から肥育終了まで約3年間を要し、新たな肥育技術の開発には、これを繰り返す必要があるため、長期間を要する。肥育牛は、屠畜後の枝肉で最終評価されることから、それまでの飼料等の肥育環境が適切でなかった場合でも、肥育途中でその影響を評価することは極めて困難である。そこで、肥育牛における遺伝子発現を活用することで、生体反応を推測し、肥育途中で枝肉あるいは肉質の評価ができないか、検討を行ってきた。

本研究では、肉用牛肥育における穀物の代替飼料として飼料イネや放牧等の粗飼料を活用した肉用牛の肥育に取り組んできた。こうした多様な飼養環境の肥育過程において、骨格筋内で発現する遺伝子を解析することは、肥育環境が骨格筋成長に及ぼす影響を示唆することができ、また、科学的根拠に基づいた肥育技術を開発することでできると考えた。こうした取り組みは、実験動物や家禽では一般的であるが、最大の産業動物であるウシでは、1頭当たりの経済価値が高いこともあり、これまで実施されてこなかった。これまでに行われてきた肥育試験にこうした学術的なアプローチを付加することで、肥育技術開発の効率化、加速化を図ることを目的としている。

多様な環境での肉用牛肥育試験

本研究を実施するために取り組んだことは、慣行肥育の穀物多給肥育に対して、粗飼料多給肥育に取り組み、国内和牛の最大シェアを持つ黒毛和種を供試して肥育試験を実施した。試験は10試験区以上で実施し、この時、肥育過程において骨格筋をバイオプシーにより採取した。粗飼料を活用した肥育では、牧乾草の多給、飼料イネホールクロップサイレージ (WCS) および放牧を取り入れた肥育試験を実施し、それぞれ穀物飼料多給肥育を対照区とした。

初めに行った試験は、牧乾草を肥育中期以降に多給し、穀物飼料を制限給餌する試験であるが、この時の肥育成績は、出荷時体重および枝肉重量が対照区と比較して試験区で20%程度の有意な減少がみられ、生産性を確保することができなかった (Shibata et al. 2012)。次に、牧乾草の多給を肥育全期間の10から28ヵ月齢まで実施し、肥育中期までは穀物飼料の給与を60%程度制限し、その後も20%程度の制限を行った (Shibata et al. 2019a)。この結果、出荷時体重は試験区間で差が認められなかったものの、枝肉重量は試験区で10%程度の有意な減少がみられた (表1、肥育試験①)。粗飼料源を牧乾草から飼料イネ WCS に変更し、肥育試験を実施した。飼料イネ WCS は、牧乾草よりも乾物率は低いものの、嗜好性が良いため、栄養素の摂取が効率的に行えると考えた。また、飼料イネ WCS は、

表1 肥育・枝肉成績

	肥育試験①		肥育試験②		肥育試験③	
	乾草区 n=6	対照区 n=6	WCS区 n=5	対照区 n=5	放牧区 n=5	対照区 n=5
出荷時体重, kg	664	703	707	770	705	728
枝肉重量, kg	395*	435	439	485	423*	459
ロース芯面積, cm ²	43.2	48.4	44.7	52.7	46.0	51.2
ばら厚, cm	5.7*	7.2	6.1*	7.4	7.2	7.3
皮下脂肪厚, cm	1.9*	3.4	2.6	3.8	3.0*	3.9
BMS, No. ^{※1}	3.8	4.0	4.7	5.2	3.4	3.2
BCS, No. ^{※2}	4.2	4.0	4.8	4.0	4.8*	3.8
BFS, No. ^{※3}	2.8	2.8	2.8	2.8	5.8*	3.0
飼料自給率, % ^{※4}	39.3	16.6	37.2	15.7	58.3	14.2
飼料代, ¥ ^{※5}	289,614	311,321	297,620	339,860	247,754	305,127
引用	Shibata et al. 2019a		Shibata et al. 2016		Shibata et al. 2019b	

※1: 牛脂肪交雑基準 (日本食肉格付協会)、※2: 牛肉色基準 (同)、※3: 牛脂肪色基準 (同)、※4: 自給の有無が不明のものは、農林水産省が算出している飼料自給率を採用。※5: 肥育期間について、飼料費は実費を放牧は種子、肥料、土壌改良材の費用を積算 * : $P < 0.05$

コメを主食としているわが国では、その生産システムが確立しているため、入手しやすいという利点がある。飼料イネ WCS 給与による肥育は、肥育中期から穀物飼料を 50% 程度制限し、その後、80% 程度の制限を行い、この間、飼料イネ WCS は飽食とした (Shibata et al. 2016)。この結果、枝肉重量は試験区で 10% 程度の減少が認められたが、有意差はなく、統計学的には同等の生産性であることが示唆された (表 1、肥育試験②)。肉質について、脂肪交雑や肉色は同等が確認され、さらに、飼料イネ WCS 由来と考えられる肉中のビタミン含量の有意な増加がみられた。次に、飼料イネ WCS と放牧を組み合わせた肥育試験を行った。肥育前期の半年間、放牧を行い、その後、舎飼いとして、中期は穀物飼料を 50 ~ 30 % 制限し、後期は 20 % 程度の制限を行い、この間、飼料イネ WCS は飽食とした (Shibata et al. 2019b)。この結果、出荷時体重は試験区間で差は認められなかったが、枝肉重量は試験区で約 8 % の有意な減少となり、また、試験区の肉色は濃く、脂肪色は黄色化がみられた (表 1、肥育試験③)。飼料自給率は、いずれの肥育試験の対照区においても 15 % 程度であったのに対し、牧草あるいは飼料イネ WCS を多給した試験区では、40 % 程度、放牧を取り入れた試験区では、58.3 % であった。また、肥育期間中に費やした飼料代は、対照区に対して試験区で 10 ~ 20 % の削減が試算された。こうした肥育試験から穀物飼料に依存しない、粗飼料を活用した肉用牛肥育の可能性を大きく示唆した。

肉用牛の肥育過程における筋肉内遺伝子発現

多くの肥育試験から得られた肥育過程の筋肉試料から、骨格筋の成長に関与する遺伝子を中心にそれらの発現解析をリアルタイム PCR で実施した。対象とした遺伝子は、ミオシン重鎖、Myostatin 及び Atrogin-1 など、骨格筋の成長に関連するもの、さらに、C/EBP α 、Pref-1 及び HSP40 など、肉質への影響が考えられるものを候補として分析を行った。これらの中でも Myostatin 遺伝子は、骨格筋の成長を抑制方向に調節する主要因子として 1997 年に同定され (McPherron et al. 1997)、この機能が欠損したウシは極度の筋肥大が起こるダブルマッスルウシ (図 1) として知られている (Kambadur et al. 1997)。また、この遺伝子は脂肪の蓄積とも関連が報告されており (McPherron & Lee 2002)、こうしたことからこの遺伝子に注目した。これらの遺伝子の発現解析の結果から見えてきたことは、牧草や飼料イネ WCS への切り換え多給によって、一時的に骨格筋の成長は抑制方向へ動くが、それらはいずれも馴化され時間とともにその成長が促進される方向へ動くことが明らかとなった (Shibata et al. 2011, 2016 & 2019a)。また、実施した肥育試験はいずれも一般的な出荷月齢よりやや早い 28 ヶ月齢までとしたが、出荷直前の遺伝子発現から、肥育期間を延長した場合、骨格筋の成長が期待できることが示唆された。一方で、筋肉内脂肪交雑は、肥育期間を延長した場合でもそれが増加するこ



図 1 ダブルマッスルウシ (ベルジアンブルー種)

とが見込めないことも示唆された。次に、放牧を取り入れた時の影響について、肥育期間の前期または中期に放牧した場合では、放牧期間中の遺伝子の発現様相が異なるものの、放牧終了後の舎飼では、共通して、代償性成長を示唆する遺伝子発現が認められ、実際に日増体量が放牧時より放牧後で高値となることを明らかにした (Shibata et al. 2019b & 一部未発表)。また、放牧はエネルギー代謝において、酸素を必要としない解糖系がメインの速筋型筋線維から酸素必要とする電子伝達系がメインの遅筋型筋線維に変化することを遺伝子及びタンパク質の発現から明らかにした (Shibata et al. 2009 & 2014)。さらに、この筋線維型の変化は、放牧を取り入れた牛肉で肉色が濃くなることと関係することを示唆した (Shibata et al. 2019b)。今後はこうした遺伝子を指標として、これらを制御する物質の発見、あるいは飼養条件等を明らかにすることができれば、肉用牛肥育における生産性は向上し、穀物飼料への依存度も大幅に低減できるものと考えられる。

今後の展望

今回の研究テーマは、肉用牛の肥育技術を開発するための手段であり、遺伝子の発現解析から、効率的な肉用牛肥育に向けて多くの示唆を得たが、肉質制御と遺伝子発現との関係については今後、さらに発展させていきたい。また、この取り組みにより、飼料イネ WCS や放牧など、粗飼料を活用した肉用牛の肥育に大きな手応えを感じているため、是非とも本学、富士アニマルファームにおいてこれまで得られた知見の検証とこれを活用した肉用牛肥育を実践していきたい。現在の黒毛和種去勢牛は、穀物多給肥育であるため、また、育種改良の結果として、その 80% が「上物」と呼ばれる霜降り牛肉になる。このため、黒毛和種において適度な脂肪交雑の赤身牛肉はマイノリティであり、さらに、その生産スタイルで放牧や飼料イネなどの粗飼料を活用した牛肉は、非常に希少性がある。こうした牛肉を本学で生産することができれば、他には類を見ない本学のブランドとして、そしてエシカルと言う点で、大きくアピールできるものと考えられる。さら

にこうした取り組みが肉用牛肥育において定着することは、脱穀物飼料、すなわちヒトと家畜が食料で競合することなく、食料問題の解決の糸口となり、本学としてグローバルに貢献できるものと考えている。最後は、少々、風呂敷を広げ過ぎた観があるが、持続可能な畜産と言う点では方向性は間違っていないと確信する。今後、本学においてこれらを実現するため、関係各署のご理解とご協力を是非とも頂戴したいところです。

謝 辞

この度は名誉ある梅野信吉賞を頂き、大変光栄に存じます。受賞に際しましては清水学長をはじめ、田崎選考委員長ならびに選考委員の先生方、さらに副賞を贈呈いただきました同窓会の皆様に謹んで御礼申し上げます。また、本賞への推薦を頂きました動物生産化学教室太田能之教授ならびに本賞への応募を後押ししていただきました動物科学科長小澤壯行教授に心より感謝申し上げます。

引用文献

- 1) Kambadur R, Sharma M, Smith TPL and Bass JJ. (1997) Mutations in myostatin (GDF8) in double-muscling Belgian Blue and Piedmontese cattle. *Genome Research* 7, 910-915.
- 2) McPherron AC, Lawler AM and Lee SJ. (1997) Regulation of skeletal muscle mass in mice by a new TGF- β superfamily member. *Nature* 387, 83-90.
- 3) McPherron AC and Lee SJ. (2002) Suppression of body fat accumulation in myostatin-deficient mice. *Journal of Clinical Investigation* 109, 595-601.
- 4) Shibata M., Matsumoto K., Oe M., Ohnishi-Kameyama M., Ojima K., Nakajima I., Muroya S. and Chikuni K. (2009) Differential expression of the skeletal muscle proteome in grazed cattle. *Journal of Animal Science* 87, 2700-2708.
- 5) Shibata M., Matsumoto K., Hikino Y., Oe M., Ojima K., Nakajima I., Muroya S. and Chikuni K. (2011) Influence of different feeding systems on the growth performance and muscle development of Japanese Black steers. *Meat Science* 89, 451-456.
- 5) Shibata M., Matsumoto K., Hikino Y., Oe M., Ojima K., Nakajima I., Muroya S., Chikuni K. and Yamamoto N. (2012) Effect of Grass Hay Feeding on Meat Production, Carcass Characteristics, and Meat Quality in Japanese Black Steers. *Bulletin of NARO Western Region Agricultural Research Center* 11, 15-25.
- 6) Shibata M., Matsumoto K., Hikino Y. and Yamamoto N. (2014) Effect of indoor concentrate feeding vs. outdoor grazing on the expression of genes involved in muscle growth and nutrient content in Japanese Black steer muscle. *Open Journal of Animal Sciences* 4, 297-304.
- 7) Shibata M., Hikino Y., Imanari M., Matsumoto K. and Yamamoto N. (2016) Influence of a rice whole-crop silage diet on growth performance, carcass and meat characteristics, and muscle-related gene expression in Japanese Black steers. *Animal Science Journal* 87, 929-937.
- 8) Shibata M., Hikino Y. and Matsumoto K. (2019a) Influence of feeding a grass hay diet during the early stage of the fattening period on growth performance, carcass characteristics and meat production in Japanese Black steers. *Animal Science Journal* 90, 194-204, DOI: 10.1111/asj.13139.
- 9) Shibata M., Hikino Y., Imanari M. and Matsumoto K. (2019b) Comprehensive evaluation of growth performance and meat characteristics of a fattening system combining grazing with feeding rice whole-crop silage in Japanese Black steers. *Animal Science Journal* 90, 504-512, DOI: 10.1111/asj.13176.