黒毛和種去勢牛の肥育過程における血漿グルコース、 遊離脂肪酸、遊離グリセロールおよびインスリン 濃度とそのノルアドレナリン負荷に対する 応答性について

小沢 忍・三橋忠由・三津本 充

農水省中国農業試験場畜産部，大田市 694

(1990. 4. 9 受付)

Key words : lipid metabolism, plasma glucose, insulin, beef cattle, fattening

枝肉への過剰な蓄積脂肪は、赤肉割合を低下させ、一方筋肉蓄積脂肪は、脂肪交雑として肉質を向上させる。このように蓄積脂肪は歩留り規格および肉質規格に大きく影響を及ぼしており、効率的に肥育牛を仕上げるためには、脂肪の合成・分解に関する基礎的な知見を蓄積する必要がある。

内藤³⁾は、ヒト肥満症の成因を解明するため、脂肪分解作用を有するノルアドレナリン (NA) 負荷試験を行ない、肥満症における脂肪代謝特性を調べている。本研究では、内藤³⁾の手法を黒毛和種去勢肥育牛に応用し、肥育ステージ別に NA を負荷して、蓄積脂肪の分解を促した時の血漿遊離脂肪酸 (FFA)、遊離グリセロール (FG) の動態を観察し、NA 負荷による脂肪分解作用およびその後の再エステル化能に及ぼす肥育ステージの影響を調べた。さらに、NA 負荷が血漿グルコースおよびインスリン濃度に及ぼす影響についても調べた。

材料および方法

供試牛は黒毛和種去勢牛 6 頭で、試験開始時の 9 カ月齢から 17 カ月齢までを肥育前期として、粗飼料 (トウ

モロコシホールクロップサイレージ、乾物中の TDN ; 65.8%) を多給し、それ以降体重が 650 kg になるまでを肥育後期として粗脂肪および濃厚飼料 (自家配合、TDN ; 71~72%) とも飽食させた。肥育前期では、粗飼料からの TDN 摂取量は 50%、同じく後期においては 10% であった。試験開始時および試験終了時の月齢および体重の平均値±標準偏差は、それぞれ 8.9±0.3 カ月、258±27 kg、および 28.1±2.0 カ月、647±7 kg で、またその間の一日当り増体量は 0.66±0.05 kg であった。NA 負荷は粗飼料を多給した肥育前期終了直前の I 期 (平均体重 435±33 kg)、濃厚飼料飽食時の II 期 (同 563±5 kg) および同じく肥育終了前の III 期 (同 642±12 kg) の 3 ステージで実施した。NA (dL-ノルアドレナリン三共製 : 0.1 w/v%) は 0.01 mg/kg (体重) を頸静脈留置カテーテルから注入した。採血は NA 負荷前の 0 分および負荷後 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150, 180 分の 12 回行ない、血漿中の FFA, FG, グルコースおよびインスリンの濃度を測定した。FFA は DUNCOMBE 変法 (NEFA テスト, 和光純薬), FG は酵素法 (グリセロール・中性脂肪テスト,

The Concentration of Plasma Free Fatty Acids, Free Glycerol, Glucose and Insulin and Responses to Noradrenalin Administration at Three Fattening Stage in Japanese Black Steers: Shinobu OZAWA, Tadayoshi MITSUHASHI and Mitsuru MITSUMOTO
(Chugoku National Agricultural Experiment Station, Oda-shi, 694)

Boehringer Mannheim), グルコースは酵素法 (グルコース B テスト, 和光純薬), インスリンは酵素抗体標識法 (インスリンテスト, 和光純薬) にて分析した.

結 果

肥育過程 3 ステージにおける NA 負荷に対する血漿 グルコース, FFA, FG およびインスリン濃度の変化を図 1 に示した.

NA 負荷前の血漿 FFA 濃度は, Ⅲ期に有意に高い

値を示した. FFA 濃度は, NA 負荷後上昇を示し, その程度は肥育の進行にともなって著しく上昇した.

NA 負荷前における血漿 FG 濃度は肥育ステージにより差が認められなかった. どのステージでも NA 負荷 10 分後に最大値を示し, 肥育の進行にともなって上昇し, I 期とⅢ期との間に有意差が認められた.

NA 負荷前の血漿グルコース濃度は, 肥育ステージ間で差は認められなかった. NA 負荷により, グルコース濃度は各肥育ステージで著しく上昇し, 負荷 10 分

Fig. 1. Changes of plasma free glycerol (FG), free fatty acid (FFA), glucose, and insulin concentrations after noradrenalin administration at three stages of fattening in Japanese Black steers. Each point and vertical line indicate the mean $\pm$ S.D. of six steers.

* I : 435 kg of average body weight at former fattening stage.

II : 563 kg of average body weight at latter fattening stage.

III : 642 kg of average body weight at finishing stage.

後に最大値を示した。最大値は、粗飼料を多給したⅠ期でもっとも低い値を示した。

負荷前における血漿インスリン濃度は、肥育の進行にともなって増加した。NA 負荷によってインスリン濃度は著しく上昇し、20～30 分後に最大値に達した。これは肥育が進むにつれ有意に大きくなった。

考 察

脂肪組織に蓄積されている中性脂肪の分解は、NA などカテコールアミン類によるホルモン感受性リパーゼの活性化により、著しく促進されることが知られている⁶⁾。脂肪は、3 分子の FFA と 1 分子の FG に加水分解されるが、FFA は血中に放出されるほか、一部は脂肪細胞内にとどまり、再エステル化の材料として使用される。一方、脂肪細胞内にはグリセロールを磷酸化して α -グリセロ磷酸に転換する酵素（グリセロキナーゼ）の活性が微弱なため、FG は直接再エステル化には使用されず¹⁰⁾、そのまま細胞外に放出されるので、FG 濃度が脂肪分解の程度を反映していると考えられる。また脂肪分解後の血中 FFA/FG 比は再エステル化の指標として用いられている³⁾。

本実験において、NA 負荷前における FG 濃度は肥育ステージで差はみられなかったが、NA 負荷後には肥育の進行とともにわずかに増加傾向を示した。このことは、NA による脂肪分解作用が、体脂肪蓄積量の増加にともないやや亢進することを示唆している。しかし、生体内では脂肪分解後に血中に放出された FG が肝臓を通過する際に、一部は脂肪に再合成され、一部はグルコースを産生する代謝系にも関与してくるので、本実験で得られた FG 濃度がすべて脂肪分解起因のものを反映しているわけではない。したがって、肝臓におけるこれらの代謝の影響を除くため、今後は細胞レベルにおけるホルモン刺激脂肪分解作用を検討する必要がある。

NA 負荷後、FFA の再エステル化能の指標とされる FFA/FG はⅠ、ⅡおよびⅢ期でそれぞれ 2.6、3.2 および 4.8 と著しく高くなり、脂肪蓄積が進むほど脂肪細胞における FFA の見かけ上の再エステル化能は低下した。しかし、佐藤ら⁷⁾は雌肥育牛を用いて同様な試験を行なって、本実験とはまったく異なった結果を報告している。この違いは、品種、性、肥育状態、月齢に起因すると考えられるが、詳細については今後さらに検討する必要がある。FFA/FG 比は、放出 FFA の再エステル化能の程度を反映するだけでなく、NA 負荷により中性脂肪の部分加水分解の程度によっても変る可能性が示唆されている¹¹⁾。とくに、肥育末期において FFA/

FG 比が理論値である 3 を越えたことから、中性脂肪からモノグリセロールあるいはジグリセロールへの不完全な加水分解が起こっていることも考えられる。

血漿グルコース濃度は、濃厚飼料多給により上昇するが^{1,2)}、本実験では NA 負荷前のグルコース濃度は、粗飼料を多給したⅠ期と、濃厚飼料を多給したⅡ期およびⅢ期との間に明らかな差は認められなかった。差を認めた EVANS ら¹⁾ および MILLS and JENNY²⁾ の試験では、濃厚飼料に対する粗飼料の比が本実験に比べ著しく大きく、本実験程度の飼料構成の違いでは、血漿グルコース濃度に明らかな差を生じさせないことが推察される。一方、同じ飼料を給与したⅡ期とⅢ期との間には差がみられなかったことから、体重 550 kg と 650 kg 程度の差では血漿グルコース濃度に違いは生じないものと考えられる。NA 負荷によるグルコース濃度の上昇は、Ⅰ期はⅡおよびⅢ期に比べ明らかに低かった。著者らは、肥育度の違いが筋肉中のグリコーゲン量に反映されることを観察している⁵⁾。本実験では、筋肉中のグリコーゲン量を測定していないので推定の域を免れないが、Ⅱ期、Ⅲ期では筋肉中に比較的多くのグリコーゲンが蓄積されていたと思われる。そのため、NA 負荷によるグルコースの放出量が多くなっていることも一因と考えられる。また、NA に対するグリコーゲン分解の感受性が増加していることも考えられるが、それが飼料構成の差に起因するのか、肥育度の差によるものであるのかについては不明であり、今後詳細に検討する事項でもある。

インスリンは脂肪分解を抑制するだけでなく、脂肪合成に必要な補酵素 NADPH の供給を刺激し、また脂肪酸合成過程でアセチル-CoA からマロニル-CoA に至る代謝経路の活性化に作用する⁹⁾。そのため、インスリンは脂肪合成に関しては必須なホルモンである。本実験では NA 負荷前の血漿インスリン濃度は、肥育の進行にともない上昇し、この傾向はⅠ期からⅡ期にかけて著しかった。前報⁴⁾でも、肥育度の異なるホルスタイン種 2 群を比較し、肥育度の進んでいる区でインスリン濃度が高いことを明らかにしたが、本実験でも同様な結果が得られた。濃厚飼料多給時における血漿インスリン濃度は、粗飼料多給時に比べ高いことが報告されている^{1,2,8)}。肥育前期であるⅠ期に比べⅡおよびⅢ期のインスリン濃度が高い値を示した理由は、Ⅰ期では粗飼料多給、ⅡおよびⅢ期では濃厚飼料多給の飼養方法のためと考えられる。また、同じ飼料を給与したⅡ期とⅢ期のインスリン濃度は、有意ではないがⅡ期よりⅢ期の方が高く、肥育の進行によってもインスリン濃度は上昇する傾向を示した。NA 負荷後のインスリン濃度の上昇がⅠ期に比べ

ⅡおよびⅢ期で大きかったのは、グルコース濃度の上昇による内因性インスリン分泌の増加によるものと思われる。

本研究の一部は科学技術庁科学技術振興調整費により実施した。

文 献

- 1) EVANS, E., J.G. BUCHANAN-SMITH and G.K. MACLEOD, Postprandial patterns of plasma glucose, insulin and volatile fatty acids ruminants fed low-and high-roughage diets. *J. Anim. Sci.*, **41**: 1474-1479. 1975.
- 2) MILLS, S.E. and B.F. JENNY, Effects of high concentrate feeding and fasting on plasma glucocorticoids in dairy heifers. *J. Anim. Sci.*, **48**: 961-965. 1979.
- 3) 内藤周幸, 脂肪細胞の反応性と肥満症. ホルモンと臨床, **28**: 501-509. 1980.
- 4) 小沢 忍・小石川常吉・千国幸一・吉武 充, ホルスタイン去勢牛の肥育状態の差がノルアドレナリン負荷時の血液性状に及ぼす影響. 日畜会報, **61**: 145-149. 1990.
- 5) 小沢 忍・小石川常吉・千国幸一・吉武 充, 牛の仕上げ体重が屠殺後の筋肉の pH 値, 乳酸, グリコーゲンおよびヌクレオチド関連物質の変化に及ぼす影響. 日畜会報, **61**: 385-389. 1990.
- 6) RADLOFF, D. and L.H. SCHULTZ, Hormonal regulation of plasma free fatty acid concentration in ruminants, *J. Dairy Sci.*, **49**: 971-975. 1966.
- 7) 佐藤 博・常石英作・滝本勇治・西村宏一, 肉牛の脂肪分解・耐糖能およびインスリン感受性の肥育にともなう変化. 日畜会報, **55**: 82-86. 1984.
- 8) TRENKLE, A. Effects of short-chain fatty acids, feeding, fasting and type of diet on plasma insulin levels in sheep. *J. Nutr.*, **100**: 1323-1330. 1970.
- 9) 山本 清, ホルモンと脂質の代謝. 31-52. 共立出版. 東京. 1982.
- 10) 山本 清, ホルモンと脂質の代謝. 52-62. 共立出版. 東京. 1982.
- 11) VERNON, R.G. Lipid metabolism in the adipose tissue of ruminant animals. in *Lipid Metabolism in Ruminant Animals*. (CHRISTIE, W.W. ed.) 317-318. Pergamon Press. Oxford. 1981.