ジャーキー種雌牛へのビタミンEの給与が肉色安定性に及ぼす影響

栗木隆吉・泉本勝利¹・宮本 拓¹

岡山県総合畜産センター，岡山県旭町 709-3494

¹ 岡山大学農学部，岡山市 700-8530

(1999. 9. 24 受付, 2000. 1. 7 受理)

要 約 ジャーキー種雌牛肉について，ミオグロビンのメト化による肉色の褐色化を抑制するため，肥育時にビタミンEを給与し，その効果を検討した。食用用に肥育されたジャーキー種雌牛に対して，出荷前平均 78 日間，1,000 mg/頭/日のビタミンEを給与し，大腿二頭筋と胸最長筋を採取した。各筋肉をステーキ状に整形して 4℃，暗所で 120 時間保存し，その間の筋肉表面のメトミオグロビン割合を測定した。大腿二頭筋において，ビタミンE給与によりメト化が抑制された ($P < 0.05$)。筋肉中のビタミンE含量は給与期間が長いほど高く，含量が高いほどメト化抑制効果が認められた。また，安定した肉色保持効果を期待するには，少なくとも 90 日以上給与が必要と考えられた。一方，胸最長筋では給与区が対照区と比べて，その差は小さいもののメト化が進行し，ビタミンEの給与による肉色安定効果は筋肉部位により違いがあることが認められた。

日本畜産学会報, 71 (8) : J264-J269, 2000

我々は，国内の食肉資源の有効利用および酪農振興の観点から，乳用雌牛，とくに岡山県北部の蒜山地域で特産的に飼養されているジャーキー種について，その雌牛の食肉特性を調べ，有効な利用法について検討を進めてきた。その中で，ジャーキー種雌牛の肉質について，従来より経験的に知られていた「肉色が濃い」，「変色が早い」といった色調現象は，肉色素であるミオグロビン含量の高いことが大きな要因であると考えられた¹⁰⁾。牛肉の色調は，枝肉格付や消費者の購入動機に大きく影響する¹²⁾ため，これを改善すれば価格の向上や販売の促進などが期待できる。

食肉の価値を低下させる肉色の変化（褐色化）は，肉色素であるミオグロビンが酸素型ミオグロビンからメト型ミオグロビンに酸化（メト化）されることによって起こる。Faustman ら⁵⁾や三津本¹⁸⁾は，肥育牛に対するビタミンEの給与により，展示中に起こる食肉の褐色化や脂質酸化が抑えられることを報告しており，商品としての牛肉の保存性を向上する有効な技術と考えられている。また，このビタミンEの効果は，ウシの品種や筋肉部位などによってその程度の異なることが知られており，こうした違いは個体や筋肉部位の生理的条件の違いによると考えられている^{4,11)}。

ジャーキー種雌牛の筋肉は，同じ乳用種であるホルス

タイン種と比較して筋肉のメト化が速く¹⁰⁾，ビタミンE給与による肉色安定効果が期待される。しかし，これまでにこの効果が検討されたのは，肉用種や乳用雄去勢牛であり，乳用雌牛で検討されたことはない。乳用雌牛が食用用に肥育されるのは，繁殖障害などにより廃用になる場合で，それまでの飼養方法は肥育牛のものとはかなり違う。そのため，筋肉の生理的条件も大きく異なり，ビタミンE給与による効果がこれまでの知見と異なることも予想される。

乳用雌牛を肥育する時，肥育開始時に成雌牛としてある程度の生体重を確保しているため，去勢牛に比べて肥育期間は短くなる。これまで，肉色の安定化を目的にウシに対して短期間ビタミンEを給与した研究では，酢酸- α -トコフェロール 1,200 IU/頭/日を 38 日間¹⁵⁾，dl- α -トコフェロール 2,500 mg/頭/日を 4 週間¹⁷⁾，酢酸-dl- α -トコフェロール 1,140 IU/頭/日を 67 日間および 1,200 IU/頭/日を 38 日間¹⁾，酢酸- α -トコフェロール 500 mg/頭/日を 42 日間¹³⁾の給与で効果が認められている。

そこで，今回，こうした知見をもとに食用用に肥育されるジャーキー種雌牛に対して，肥育期間中にビタミンEを給与し，その牛肉を保存したときのメト化を抑制する効果について検討した。

連絡者：栗木隆吉 (fax : 0867-27-3333, e-mail : takayoshi_kuriki@pref.okayama.jp)

材料および方法

1. 供試牛

試験には、蒜山酪農農業協同組合育成牧場で肥育されているジャージー種雌牛（13 頭）を用いた。雌牛は、いずれも未経産（9 頭）または 1 産（4 頭）したもので、出荷時の月齢は平均 42 カ月であった。

2. ビタミン E の給与

供試牛の肥育およびビタミン E の給与は同育成牧場で実施した。

ビタミン E（酢酸-dl- α -トコフェロール）を給与したウシ（給与区）については、7 頭を同室に群飼し、平均 78 日間（55 日から 90 日）、1 頭 1 日あたり 1,000 mg を出荷まで個別に給与した。その他の飼養条件は育成牧場の慣行に従い、飼料は 1 頭 1 日あたり中部飼料肥育用配合飼料（TDN 73.0%，DCP 9.5%）10.4 kg、イナワラ 1.5 kg を給与するとともに、トールフェスク乾草を自由摂取とした。また、対照区として育成牧場での慣行により肥育されたジャージー種雌牛（6 頭）を用いた。

3. 分析

実験には大腿二頭筋および胸最長筋の 2 部位を用いた。各筋肉は、屠殺後真空包装して 2 週間、0℃ にて熟成してから各種分析に供した。

分析方法は、おおむね前報¹⁰⁾のとおりであった。

すなわち、保存中の肉色変化については、各筋肉を筋線維に対して直角方向に厚さ 15 mm×50 mm×40 mm のステーキ状に整形し、プラスチック製容器（150 mm×300 mm×80 mm）に入れて密閉し、4℃ の暗所で保存した。保存を開始して 0、1、24、72、120 時間後に肉表面の反射率スペクトル（ミノルタ製 CM 1000 型）を測定し、褐色化の指標としてメトミオグロビン割合を算出した⁹⁾。

肉色素の指標としてヘマチン含量を Hornsey の変法⁸⁾により測定した。

加熱損失は、厚さ 20 mm×20 mm×50 mm に整形した肉サンプルをポリエチレン製の袋に入れ、70℃ で 1 時間加熱したときの重量損失（%）を求めた。

pH は、肉を 3 mm 目のプレートをつけたミンサーで挽肉にし、直接、ニードル型電極をさして pH メーター（堀場製 F-12 型）で測定した。

また、各筋肉の脂肪交雑の程度は（社）日本食肉格付協会の牛脂肪交雑基準をもとに評価した。

筋肉中のビタミン E の含量は、成書の方法⁷⁾をもとに次のとおりサンプルを処理した。まず、0.5 g のサンプル肉を 50 ml ねじ口遠心管に採取し、これに 1% NaCl 溶液

Fig. 1. Metmyoglobin formation in *biceps femoris* during storage at 4℃.

Means and standard division bars are shown.

● : Vitamin E supplementation △ : Control

を 0.5 ml 加えて懸濁後、さらに 3% ピロガロール・エタノール溶液を 10 ml 加えて 70℃ で 5 分間加温し、次に 5 M KOH 溶液を 3 ml 加えて 70℃ で 30 分間ケン化した。遠心管を氷水に浸けて反応を停止し、これに 1% NaCl 溶液 20 ml、酢酸エチル・n-ヘキサン混液（1:9）10 ml を加えて、10 分間激しく振とうした。上層のヘキサン層を 5 ml 採取して、N₂ ガス下 40℃ で溶媒を除去し、0.1 ml n-ヘキサンの再溶解してその 10 μ l を HPLC に導入した。HPLC は日立製作所製（ポンプ L-6200 型、UV-VIS 検出器 L-4200 型）を用いた。カラムは GL サイエンス製 ODS 3（ID 4.6 mm×250 mm）を用い、移動層はメタノールで流量は 1 ml/分であった。また、検出波長は 295 nm であった。

4. 統計処理

給与区と対照区の平均値について Student の *t* 検定を実施した。

結果および考察

1. 保存中のメトミオグロビン変化

給与区の平均出荷体重は 504 kg で、対照区の 497 kg と差はなかった。

ビタミン E 給与によるジャージー種雌牛肉のメト化抑制について、図 1 と 2 に各筋肉部位における保存中のメトミオグロビン割合の変化を示した。大腿二頭筋（図 1）において、肉色の褐色化の指標となるメトミオグロビ

ン割合は、保存 24 時間までは両区にまったく差は見られないが、72 時間では対照区が 52.2% であるの対して、給与区では 36.7% と有意 ($P<0.05$) に低く、ビタミン E 給与により大腿二頭筋のメト化を抑制することができた。一方、メトミオグロビンの蓄積が 30% を越えると消費者の牛肉の購買意欲が抑制されるといわれており⁶⁾、大腿二頭筋の給与区では、保存 72 時間後にはすでにこの値を超えた。一般に牛肉の消費期限は、「期限表示フレーム」を参考にした場合、肉塊、スライスともに 4℃ の保存温度で 6 日間となっている²¹⁾。実用的な品質保持技術の点からは、少なくともこの消費期限までは消費者の購買意欲を損なわない程度の肉色を維持できることが求められる。その点からは、今回のビタミン E の給与条

Fig. 2. Metmyoglobin formation in *longissimus thoracis* during storage at 4°C.

Means and standard division bars are shown.

● : Vitamin E supplementation △ : Control

件では肉色保持に十分な効果があるといえなかった。

胸最長筋のメトミオグロビン割合 (図 2) は、大腿二頭筋と異なり保存 24, 72 時間で給与区の方が対照区より有意 ($P<0.05$) に高かった。しかし、その値は給与区で 24 時間 16.1%, 72 時間 25.4% であったのに対して、対照区では、それぞれ 9.8%, 19.2% であり、その差は小さく、視覚的にも差はほとんどなかった。Arnold ら¹⁾は、1,266 IU の酢酸-dl- α -トコフェロールを交雑種去勢牛に 67 日間給与したとき、腰最長筋でメトミオグロビン割合に差が生じるのは展示 8 日目以降であったという。今回は保存期間が短かったため、胸最長筋ではビタミン E 給与による褐色化抑制効果が現れなかった可能性がある。

2. 肉質特性への影響

ビタミン E 給与による肉質への影響について、表 1 に結果をまとめた。大腿二頭筋、胸最長筋の各筋肉部位では、ヘマチン含量、pH、加熱損失、脂肪交雑の程度は給与区と対照区に差が見られなかった。

ヘマチン含量は、前報¹⁰⁾と同様に筋肉間に有意差 ($P<0.05$) が認められ、大腿二頭筋が胸最長筋より高かった。また、筋肉の色素含量は加齢によって増加することが知られている¹⁴⁾が、今回、実験に用いた雌牛は平均月齢が 42 カ月であり、前報¹⁰⁾の 6 歳齢の供試牛と比べて若かったが、いずれの筋肉部位においてもヘマチン含量に差はなかった。

Mitsumoto ら¹⁶⁾は、ビタミン E の給与により展示中の腰最長筋のドリップロスが減少し、加熱損失は逆に増加したと報告している。しかし、今回の結果では、給与区と対照区の間に加熱損失の差は認められなかった。彼らは展示期間を通じて加熱損失を経時的に測定しており、我々は熟成直後に測定したため、それが結果の違いとなったのであろう。

ビタミン E 含量については、各筋肉とも給与区が対照区より有意 ($P<0.05$) に高く、給与によりビタミン E の

Table 1. Effect of vitamin E (V.E) supplementation on characteristics of muscles

	<i>Biceps femoris</i>		<i>Longissimus thoracis</i>	
	V.E. ¹⁾	Cont.	V.E.	Cont.
Hematin (ppm)	243.9 $\pm$ 25.2 ^a	255.7 $\pm$ 43.6 ^{ab}	207.6 $\pm$ 25.5 ^b	212.4 $\pm$ 29.8 ^{ab}
pH	5.64 $\pm$ 0.04	5.64 $\pm$ 0.10	5.71 $\pm$ 0.07	5.69 $\pm$ 0.09
Cooking loss (%)	27.8 $\pm$ 1.1 ^a	27.9 $\pm$ 0.8 ^a	22.2 $\pm$ 0.6 ^b	21.8 $\pm$ 1.3 ^b
Marbling score	2.3 $\pm$ 0.5 ^a	2.0 $\pm$ 0.0 ^a	4.0 $\pm$ 1.4 ^b	4.0 $\pm$ 0.6 ^b
V.E content (μ g/g)	7.6 $\pm$ 2.8 ^a	4.1 $\pm$ 1.2 ^{bc}	5.4 $\pm$ 1.7 ^{ac}	3.2 $\pm$ 0.5 ^b

¹⁾ 1,000 mg/animal/day of vitamin E was supplemented.

Mean $\pm$ S.D.

^{a, b, c} : Different letters within the muscle's characters differ significantly ($P<0.05$).

筋肉への蓄積が促進された。筋肉間においても含量に差 ($P<0.05$) が認められた。また、対照区のビタミン E 含量は、大腿二頭筋および胸最長筋でそれぞれ $4.1, 3.2\mu\text{g/g}$ であったが、この結果はこれまで去勢肥育牛で報告されたもの¹⁸⁾と比べて高い値であった。ビタミン E の筋肉内の含量は飼養条件や部位によって異なるといわれている⁵⁾。Arnold ら³⁾によればホルスタイン去勢牛を 86 日間牧草で飼養すると、血中のビタミン E 含量は飼養前より有意に上昇し、肝臓や腰最長筋中の含量も高い傾向になったという。食肉用に肥育される雌牛は、はじめは搾乳目的で飼われるため、青草や乾草、綿実粕などビタミン E を多く含む飼料を摂取しており、このため筋肉中の含量も高い状態であったと考えられる。

一方、Mitsumoto ら¹⁵⁾は腰最長筋において 3.5 mg/kg 以上のビタミン E 含量によってメトミオグロビン割合が抑えられたと報告しているが、今回、大腿二頭筋の対照区では、ビタミン E 含量が 4.1 mg/kg あるにもかかわらず急激なメト化が認められた。反面、胸最長筋の対照区では、ビタミン E 含量は 3.2 mg/kg で大腿二頭筋より低かったが、メト化の進行は緩やかであった。我々は、前報¹⁰⁾において大腿二頭筋>胸最長筋>半腱様筋の順でメトミオグロビン形成が速く、色調が不安定であることを示したが、Liu ら¹³⁾によれば各筋肉間で色調の安定性とビタミン E の濃度に負の関係があるという。大腿二頭筋の対照区においてビタミン E の含量が高いにもかかわらず、メトミオグロビン形成が速かったことは Liu らの結果と同様であった。Okabe ら¹⁹⁾は日本シカに酢酸- α -トコフェロールを給与して脂質酸化の抑制を検討し、酸化を抑えるにはウシに比べて高いビタミン E 含量が必要であったことを報告した。その理由として、シカ肉は脂肪酸組成の不飽和度とミオグロビン含量が高く、酸化が起りやすい状態であり、これを抑えるために多量のビタミン E が必要になると推察している。ジャージー種雌牛においても、肉色素の指標であるヘマチン含量は大腿二頭筋の方が胸最長筋より高く、シカ肉と同様に大腿二頭筋は酸化が起りやすい状況であったと考えられる。そのためビタミン E 含量が高いにもかかわらず急激にメト化が進行したのであろう。

3. ビタミン E の筋肉内蓄積

ビタミン E の給与期間と筋肉への蓄積との関係について、大腿二頭筋の結果を図 3 に示した。筋肉中のビタミン E 含量は、給与期間が長くなるにつれて有意 ($r=0.790, P<0.05$) に高くなった。しかし、給与期間が 60 日程度では、ビタミン E の含量は対照区とほとんど変わらなかった。Arnold ら¹⁾によればホルスタイン種去勢牛に

Fig. 3. Relationship between vitamin E contents and the supplementation periods in *biceps femoris*. Linear regression formula is $Y=0.158X-4.696$ ($r=0.790, P<0.05$).

Fig. 4. Relationship between vitamin E contents and metmyoglobin formations in *biceps femoris* during 72 hours of storage at 4°C .

Linear regression formula is $Y=-2.829X+60.87$ ($r=-0.577, P<0.05$).

● : Vitamin E supplementation △ : Control

1 頭 1 日あたり $2,000\text{ IU}$ のビタミン E を 38 日間給与したとき、蓄積量の最も高いのは肝臓で次に皮下脂肪であり、中殿筋や胸最長筋などの筋肉部位では蓄積量の増加は認められるものの、量的には少なかったことを報告し

ている。また、Schnell ら²⁰⁾は廃用された乳用牛を肥育したとき、赤肉と脂肪の増加量が同じであることを報告しており、今回のジャージー種雌牛の肥育においても、肥育期間中の脂肪増加が大きく、肥育前半では主にビタミン E は脂肪組織に蓄積され、筋肉への蓄積が進まなかったと考えられる。加えて、今回のビタミン E 給与条件は 1,000 mg/頭/日であり、これまで報告されている短期間給与の条件と比べて少ない給与量であった。このことも、筋肉へのビタミン E の蓄積が遅れた要因であると思われる。

図 4 に、大腿二頭筋におけるビタミン E 含量と保存 72 時間のメトミオグロビン割合の関係を示した。筋肉中のビタミン E 含量が増えるに従ってメトミオグロビン割合は有意に低下した ($r = -0.576$, $P < 0.05$)。とくに、筋肉中の含量が 10 $\mu\text{g/g}$ を越えると、保存 72 時間後のメトミオグロビン割合は 30% 程度まで低下した。図 3 で示したように、今回のビタミン E 給与条件では給与 60 日までほとんど大腿二頭筋中にビタミン E の蓄積は起こらず、今回の給与量を前提とすれば、大腿二頭筋中のビタミン E 含量を 10 $\mu\text{g/g}$ 以上確保するには、少なくとも 90 日以上ビタミン E を給与する必要があると考えられる。一方で、Arnold ら²¹⁾は肥育牛に対して酢酸- α -トコフェロール量を変えて給与したとき、給与量が多い方が組織内へのビタミン E の蓄積も高かったことを報告している。ジャージー種雌牛の肥育は短期間になることより、保存中の肉色を安定させるにはビタミン E の給与期間を確保するより、給与量を増やす方が効果的な手段と思われる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ビタミンの給与などウシの飼養管理でお世話になった、小谷場長をはじめ蒜山酪農農業協同組合育成牧場の職員の皆様に感謝いたします。

文 献

- 1) Arnold RN, Scheller KK, Arp SC, Williams SN, Buege DR, Shaefer DM. Effect of long- or short-term feeding of α -tocopherol acetate to Holstein and crossbred beef steers on performance, carcass characteristics, and beef color stability. *Journal of Animal Science*, 70 : 3055-3065. 1992.
- 2) Arnold RN, Scheller KK, Arp SC, Williams SN, Shaefer DM. Dietary α -tocopherol acetate enhances beef quality in Holstein and beef breed steers. *Journal of Food Science*, 58 : 28-33. 1993 a.
- 3) Arnold RN, Arp SC, Scheller KK, Williams SN, Shaefer DM. Tissue equilibration and subcellular distribution of vitamin E relative to myoglobin and lipid oxidation in

displayed beef. *Journal of Animal Science*, 71 : 105-118. 1993 b.

- 4) Faustman C, Cassens RG. The effect of cattle breed and muscle type on discoloration and various biochemical parameters in fresh beef. *Journal of Animal Science*, 69 : 184-193. 1991.
- 5) Faustman C, Chan WKM, Schaefer DM, Havens A. Beef color update : the role for vitamin E. *Journal of Animal Science*, 76 : 1019-1026. 1998.
- 6) Greene BE, Hsin I, Zipser MW. Retardation of oxidative color changes in raw ground beef. *Journal of Food Science*, 36 : 940-942. 1971.
- 7) 五十嵐脩. ビタミン E : ビタミンハンドブック 3「ビタミン分析法」(日本ビタミン学会編) 27-35. 化学同人. 京都. 1989.
- 8) 泉本勝利. 筋肉中のヘム色素の直接分析法とその応用. 日本農芸化学会誌, 2 : 55-59. 1976.
- 9) 泉本勝利. 食肉の色調現象の化学と物理. 酪農科学. 食品の研究, 40 : 307-315. 1991.
- 10) 栗木隆吉・泉本勝利・宮本 拓. ジャージー種雌牛の肉質と肉色変化. 日本畜産学会報, 70 : J403-J408. 1999.
- 11) Lanari MC, Cassens RG. Mitochondrial activity and beef muscle color stability. *Journal of Food Science*, 56 : 1476-1479. 1991.
- 12) Liu Q, Lanari MC, Schaefer DM. A review of dietary vitamin E supplementation for improvement of beef quality. *Journal of Animal Science*, 73 : 3131-3140. 1995.
- 13) Liu Q, Scheller KK, Arp SC, Schaefer DM, Frigg M. Color coordinates for assessment of dietary vitamin E effects on beef color stability. *Journal of Animal Science*, 74 : 106-116. 1996.
- 14) 三津本充・三橋忠由・山下良弘. 黒毛和種去勢牛の発育にともなう 4 種の筋肉における肉色の変化. 中国農業試験場研究報告, 1 : 59-67. 1987.
- 15) Mitsumoto M, Cassens RG, Schaefer DM, Arnold RN, Scheller KK. Improvement of color and lipid stability in beef longissimus with dietary vitamin E and vitamin C dip treatment. *Journal of Food Science*, 56 : 1489-1492. 1991.
- 16) Mitsumoto M, Arnold RN, Schaefer DM, Cassens RG. Dietary vitamin E supplementation shifted weight loss from drip to cooking loss in fresh beef longissimus during display. *Journal of Animal Science*, 73 : 2289-2294. 1995.
- 17) 三津本充・小沢 忍・三橋忠由・河野幸雄・原田武典・藤田浩三・小出和之. 黒毛和種去勢牛への屠殺前 4 週間のビタミン E 投与による展示中の牛肉色と脂質の安定化. 日本畜産学会報, 66 : 962-968. 1995.
- 18) 三津本充. ビタミン E とビタミン C による牛肉品質の改善と保持. 日本畜産学会報, 67 : 1110-1126. 1996.
- 19) Okabe Y, Watanabe A, Shingu H, Kushibiki S, Hodate K, Ishida M, Ikeda S, Takeda T. Effects of α -tocopherol concentration on lipid peroxidation and volatiles in raw venison during storage. *Congress Proceedings : 44th International Congress of Meat Science and Technology* : 686-687. 1998.
- 20) Schnell TD, Belk KE, Tatum JD, Miller RK, Smith GC.

Performance, carcass, and palatability traits for cull cows fed high- energy concentrate diets for 0, 14, 28, 42, or 56 days. *Journal of Animal Science*, 75 : 1195-1202. 1997.

21) 新村 裕・西坂嘉代子. 食肉製品及び食肉の品質保持期限表示のための試験方法ガイドラインについて. 食肉の科学, 37 : 23-32. 1996.

Influences of Vitamin E Supplementation on the Meat Color Stability of Jersey Cows

Takayoshi KURIKI, Masatoshi IZUMIMOTO¹ and Taku MIYAMOTO¹

Okayama Prefectural Center for Animal Husbandry and Research, Asahi-machi,
Okayama-ken 709-3494, Japan

¹ Faculty of Agriculture, Okayama University Okayama-shi 700-8530, Japan

Corresponding : Takayoshi KURIKI (fax : +81 (0) 867-27-3333, e-mail : takayoshi_kuriki@pref.okayama.jp)

Color stability was investigated in beef of Jersey cows fed diets supplemented with vitamin E. Vitamin E supplementation was 1,000 mg/animal/day for the average of 78 days before slaughter. Muscles of *biceps femoris* and *longissimus thoracis* of Jersey cows were aged for 14 days at 0°C in the dark after slaughter. Then, the muscles were cut into 15 mm thick steaks, and stored at 4°C in the dark for 120 h. Metmyoglobin formations in *biceps femoris* were inhibited ($P < 0.05$) by vitamin E supplementation according to the duration of vitamin E supplementation and its content of muscles. For sufficient stability of meat color, about 90 days supplementation of vitamin E were necessary. However, metmyoglobin in *longissimus thoracis* of cows fed vitamin E was accumulated more than of control cows.

Animal Science Journal 71 (8) : J264-J269, 2000

Key words : Meat color, Vitamin E, Jersey cow, Metmyoglobin formation