

黒毛和種去勢牛のビタミンAコントロールレベルの検討

三根琴美・諸岡佳恵*・大塚洋功

Investigation of Vitamin A Control Levels on Japanese Black Steers

MINE Kotomi, MOROOKA Yoshie* and OTSUKA Hiroyoshi

要 約

出荷を26ヵ月齢として肥育期間の短縮による効率的な牛肉生産を図るため、ビタミンA制御レベルを検討した。肥育試験は約15ヵ月齢の黒毛和種去勢牛8頭を供試し、ビタミンAコントロールについて対照区と緩和区を設定し、緩和区のみβ-カロテン製剤（ビタミンAとして9,600IU相当量）を給与した。その結果、肥育中期の飼料摂取量が向上し、増体量が高くなる傾向を示した。また、枝肉成績では脂肪交雑に差はなく、枝肉重量は有意な差はないものの大きい値が得られた。これらのことから、ビタミンA制御の緩和は肉質を維持したまま高い増体が期待でき、早期肥育に有効な手段の一つと考えられる。

緒 言

ビタミンAは牛において脂肪前駆細胞から脂肪細胞への分化を阻害することが分かっている（Ohyamaら1998）。そのため、黒毛和種の肥育において脂肪交雑の増加を目的に、脂肪細胞が分化する時期である13～20ヵ月齢にビタミンA給与を制限する飼養管理方法が一般的である。しかし、過度なビタミンA制限による生産性の低下事例が散見される。

一方、黒毛和種における枝肉形質の遺伝率は高く、枝肉重量で0.63、BMSNo.で0.55と推定されており（入江ら2015）、遺伝による影響が大きい。近年では育種改良が進み、高い遺伝的能力を持った種雄牛が選抜により供用されている。生産される枝肉の格付け成績も向上し、2020年では黒毛和種去勢牛におけるA5の割合が49.5%となっている（日本食肉格付協会2022）。これらのことから、環境要因であるビタミンAコントロールレベルを緩和しても、高い肉質を得られることが期待できる。

また、経営面からは肥育コストを削減するため、出荷を早める早期肥育についての関心が高まっている。本県でも黒毛和種における出荷月齢の改良目標を26ヵ月齢～28ヵ月齢と定めているが、現状では29.5ヵ月齢となっており、出荷を早める肥育技術の開発が求められている。

そこで、26ヵ月齢まで出荷月齢を早めた早期肥育において、ビタミンA欠乏症による生産性の低下を防ぐことを目的とし、ビタミンAコントロールレベルを緩和した肥育方法を検討した。

材料および方法

1 試験区と供試牛

試験区はビタミンAの前駆体であるβ-カロテン製剤を添加給与し、血中レチノール濃度を60～80 IU/dLにコントロールする緩和区と、β-カロテン製剤を添加給与しない対照区の2区を設けた。

供試牛は黒毛和種去勢牛8頭を用いた。平均9.5ヵ月齢で導入し、15.0ヵ月齢で表1のとおり種雄牛、GH遺伝子型および体重に偏りなく各区4頭を設置した。

表1 試験区と供試牛

		福増	美津金幸	美津金幸	福之姫	平均体重
対照区	GH 遺伝子型	A/A	A/B	A/B	B/B	457 kg
	体重	470 kg	453 kg	461 kg	446 kg	
緩和区	GH 遺伝子型	A/B	B/B	A/A	A/B	451 kg
	体重	451 kg	400 kg	490 kg	463 kg	

2 β-カロテン製剤の給与方法と添加量

β-カロテン製剤は市販の0.4%β-カロテン・0.4%ビタミンE製剤（希釈物：米ぬか油粕、プロピオン酸カルシウム）を用いた。添加量は日本飼養標準に記載されている試験開始時点のビタミンA要求量の1/2に当たるβ-カロテン24 mg相当量を毎日1回飼料にトップドレスし給与した。なお、添加量は添加区の平均血中レチノール濃度が60 IU/dLを下回った場合、増給することとした。なお、β-カロテンからビタミンAへの転換率は、日本飼養標準（肉牛編）2008年版（農業・食品産業技術総合研究機構2009）に基づき、1 mgのβ-カロテンが400 IUのビ

令和5年8月31日受付

*現千葉県競馬組合

タミンAに転換されるものとして計算した。

3 試験方法と測定項目

(1) 試験期間

肥育試験は2021年7月から2022年6月にかけて実施した。肥育前期を10.1~14.9ヵ月齢、肥育中期を15.0~20.9ヵ月齢、肥育後期を21.0~26.1ヵ月齢とし、平均26.1ヵ月齢でと畜した。

(2) 供試牛の一般管理

供試牛はオガクズを敷いた飼育ペン（餌槽側間口4.4m×奥行き7.0m、直下型扇風機を設置）2区画を用意し、各区4頭を配置した。飼料給与は個体識別給飼装置（ドアフィーダ）により個別に行い、飲水はウォーター

カップによる自由飲水とした。また、尿石症予防剤入りの鉱塩を常置した。

(3) 給与飼料、飼料摂取量

飼料給与量を表2に示した。肥育前期用配合飼料はTDN71.0%以上、CP17.0%以上、ビタミンA2,232 IU/kg含有の市販配合飼料およびTDN72.0%以上、CP17.0%以上、ビタミンA3,000 IU/kg含有の市販配合飼料を混合したものを用い、肥育中後期用配合飼料はTDN72.0%以上、CP12.5%以上、ビタミンA250 IU/kg含有の市販肥育用配合飼料を用いた。チモシーと稲わらは長さ5cmに細断し、配合飼料と混合して給与した。

飼料の給与時間は午前9時と午後2時とし、飼料給与量および残飼量から日々の飼料摂取量を算出した。

表2 飼料給与量

肥育期	肥育前期					肥育中期					肥育後期						
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
肥育前期用配合飼料	1 kg	2 kg →5 kg	4kg														
肥育中後期用配合飼料			3 kg	8 kg	9 kg	粗飼料と配合飼料を 原物重量比1:9で飽食					粗飼料と配合飼料を 原物重量比9:91で飽食						
チモシー	5.6 kg	3 kg	1 kg														
稲わら		1.5 kg	1.5 kg	2 kg	1.2 kg	粗飼料と配合飼料を 原物重量比1:9で飽食					粗飼料と配合飼料を 原物重量比9:91で飽食						

(4) 体重

固定式牛衡機（MODEL ED-302：Yamato）により1ヵ月に1回測定した。

(5) 第一胃内容液性状

第一胃内容液は16.4、18.2、21.2、23.1、26.1ヵ月齢の計5回、それぞれ朝の給餌約4時間後に経口カテーテルを用いて採取した。第一胃内容液は採取後に遠心分離し、上清に等量の6%過塩素酸液を加えて密閉凍結保存し、解凍して分析に供した。総揮発性脂肪酸濃度（総VFA）および乳酸の有機酸分析には液体クロマトグラフィ（カラム：Shimadzu Shim-Pack SCR-102H）を用いた。

(6) 血液性状

血液は14.9、16.3、17.3、18.2、19.1、20.1、21.2、22.2、23.1、24.3、25.3、26.1ヵ月齢の計12回、頸静脈から採取した。遠心分離後の血漿を-20℃で凍結保存し、採取後1週間以内に高速液体クロマトグラフにより血中レチノール濃度を測定した。総蛋白質（TP）、アルブミン（ALB）、グルコース（GLU）、 γ -グルタミルトランスアミノターゼ（ γ -GTP）、グルタミン酸オキサロ酢酸トランスアミノターゼ（GOT）、血中尿素態窒素（BUN）、総コレステロール（T-Cho）、トリグリセリド（TG）、カルシウム（Ca）、リン（IP）については、14.9、17.3、19.1、21.2、23.1、25.3および26.1ヵ月齢の計7回分について、生化学多機能小型卓上分析装置（ビオリス30i：

東京貿易メディシス）を用いて測定した。

(7) 枝肉格付および肉の理化学分析

試験終了後（平均月齢26.1ヵ月齢）にと畜し、左半丸は東京都中央卸売市場食肉市場に搬入して日本食肉格付協会による格付を受け、市場セリ価格より枝肉価格を算出した。

右半丸から胸最長筋（第6~7）肋骨間部の背部を約5cm厚で採取し、胸最長筋（ロース芯）、皮下脂肪、筋間脂肪に分離後、肉色、脂肪色を測定し、胸最長筋はpH、加熱損失および剪断力価を測定した。水分、粗脂肪、粗蛋白質および脂肪酸組成については、冷凍保存後、解凍し測定に用いた。

脂肪酸組成は日本食品油脂検査協会に依頼し、基準油脂分析試験法により分析を行った。肉色、脂肪色、加熱損失、水分、粗脂肪および粗蛋白質については、分析マニュアル（畜産技術協会2003）に従って分析を行った。

(8) と畜時内臓所見

と畜時に心臓、肺、肝臓、第一胃および第二胃の粘膜、膀胱の状態を確認し、病変、異常の有無を調査した。

4 統計処理

統計処理は統計フリーソフトEZR（Ver.1.40）を用いた（Kanda2013）。体重、飼料摂取量、血液性状については反復分散分析を、その他の項目についてはt検定に

より検定を行った。なおP値が0.05未満の場合に統計的に有意な差であるとみなした。

結果および考察

1 飼料摂取量とビタミンA推定摂取量

飼料摂取量およびビタミンA推定摂取量を表3に、飼料摂取量の推移を図1に示した。

ビタミンA推定摂取量は、飼料中に含まれるビタミンA、β-カロテンの量と飼料摂取量、添加β-カロテン量から算出した。なお、緩和区において血中レチノール濃度が全期間を通して60 IU/dL以上であったため、β-カロテン製剤は増給せず全期間を通して24 mg相当量/日/頭の添加量となった。

飼料摂取量は試験区と期間との間に交互作用があり ($P<0.05$)、肥育中期において緩和区が高く推移したが、その後減少し肥育後期においては対照区と同等となった。九州地域重要新技術研究成果では、ビタミンAの多量投与により採食量が上昇するが、繰り返し投与することによってビタミンA投与の採食量への影響が低下することが報告されている (九州農業試験研究推進会議1999)。本試験では少量を毎日投与したが、肥育後期に採食量が対照区と同等となったことから、飼料摂取量への効果は低下していくものと考えられた。

表3 飼料摂取量およびビタミンA推定摂取量

		対照区	緩和区	P値
飼料摂取量 (kg/日)	肥育中期	11.10	11.80	0.17
	肥育後期	11.02	11.19	0.82
	全期間	11.07	11.52	0.43
ビタミンA 推定摂取量 (IU/日相当量)	肥育中期	2,792	12,507	
	肥育後期	2,771	12,352	

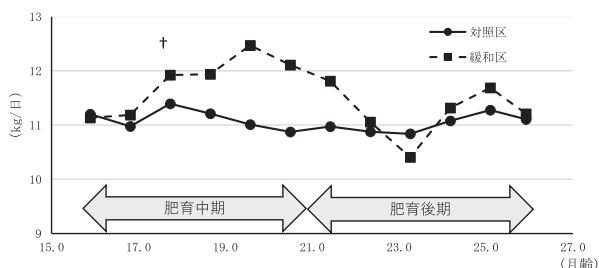


図1 飼料摂取量の推移

試験区×時間：交互作用あり ($P<0.05$)
†:試験区間に傾向あり ($P<0.1$)

2 発育成績

平均体重の推移を図2、各時期の発育成績を表4に示した。体重は肥育中期において緩和区が対照区より高い値を示したが、有意な差は認められなかった。日増体量は各期とも試験区の間には有意な差はなかったが、肥育中期に緩和区で高い傾向が見られた。飼料摂取量は肥育中期に緩和区で高く推移したことから、このことはβ-カロ

テン製剤の添加により飼料摂取量が上昇したことによるものと考えられる。

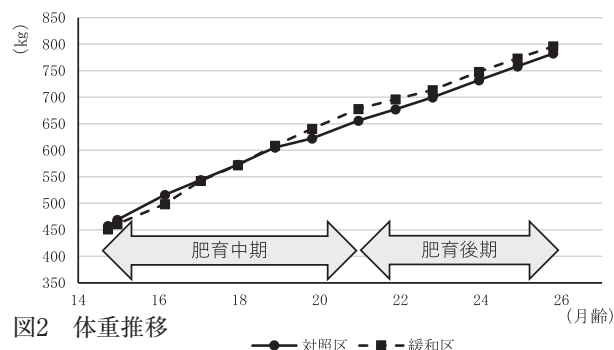


図2 体重推移

● 対照区 -■- 緩和区

表4 発育成績

		対照区	緩和区	P値
体重 (kg)	試験開始前	469	461	0.70
	中期終了時	656	678	0.48
	試験終了時	783	796	0.78
日増体量 (kg)	肥育中期	1.03	1.19	0.06 [†]
	肥育後期	0.86	0.80	0.66
	全期間	0.95	1.02	0.52

†:傾向あり ($P<0.1$)

3 第一胃内容液性状

第一胃内容液性状を表5に示した。いずれの項目も試験区の間には有意な差はなかった。

表5 第一胃内容液性状

		対照区	緩和区	P値	
総VFA濃度 (mmol/dL)	肥育中期	8.25	8.35	0.71	
	肥育後期	8.32	8.04	0.71	
VFAモル比率 (%)	酢酸	肥育中期	63.69	65.01	0.42
		肥育後期	62.26	63.63	0.54
	プロピオン酸	肥育中期	20.68	19.57	0.50
		肥育後期	22.64	21.08	0.55
酪酸	肥育中期	13.04	12.68	0.63	
	肥育後期	12.48	12.52	0.96	
A/P比	肥育中期	3.11	3.43	0.41	
	肥育後期	2.82	3.18	0.43	
pH	肥育中期	6.66	6.66	1.00	
	肥育後期	6.76	6.84	0.24	

4 血液性状

血液一般成分を表6に示した。GOTは試験開始前に緩和区が対照区より高く、血中カルシウム濃度は対照区が緩和区より高い値を示したが、正常範囲内での推移であった。その他の項目は試験区の間には有意な差はなかった。

表6 血液性状

		対照区	緩和区	P値
総蛋白質 (g/dL)	試験開始前	6.8	6.5	0.36
	肥育中期	6.8	6.6	0.64
	肥育後期	7.4	7.4	0.94
アルブミン (g/dL)	試験開始前	3.5	3.4	0.55
	肥育中期	3.6	3.5	0.71
	肥育後期	3.9	3.9	0.80
グルコース (mg/dL)	試験開始前	84.0	78.3	0.26
	肥育中期	77.1	76.7	0.90
	肥育後期	76.7	76.6	0.98
γ-GTP (U/L)	試験開始前	16.5	13.8	0.50
	肥育中期	19.4	19.1	0.94
	肥育後期	19.7	20.9	0.78
GOT (U/L)	試験開始前	62.3	74.0	0.03*
	肥育中期	53.3	60.3	0.38
	肥育後期	63.3	68.6	0.83
血中尿素態窒素 (mg/dL)	試験開始前	12.7	11.9	0.55
	肥育中期	12.8	13.7	0.64
	肥育後期	16.4	15.6	0.77
総コレステロール (mg/dL)	試験開始前	110.0	97.5	0.45
	肥育中期	128.6	135.3	0.57
	肥育後期	151.3	157.8	0.50
トリグリセリド (mg/dL)	試験開始前	16.0	11.5	0.23
	肥育中期	18.2	16.9	0.76
	肥育後期	19.1	18.8	0.94
カルシウム (mg/dL)	試験開始前	9.2	8.7	0.02*
	肥育中期	9.5	9.3	0.42
	肥育後期	9.5	9.2	0.34
無機リン (mg/dL)	試験開始前	7.5	7.5	0.96
	肥育中期	7.2	7.6	0.42
	肥育後期	7.1	7.4	0.71

*: 有意差あり (P<0.05)

血中レチノール濃度を図3に示した。試験区と採取時期との間に交互作用があり、対照区と緩和区で異なる推移を示した。対照区で17.3ヵ月齢から19.1ヵ月齢まで、緩和区で18.2ヵ月齢から19.1ヵ月齢まで急激に低下し、その後は同程度の濃度で推移した。このことから、両区とも19ヵ月齢前後までは肝臓等にビタミンAの蓄積があり血中に動員されていたが、19ヵ月齢以降は蓄積が極端に低下し血液へ放出されなくなり、摂取されたビタミンAに依存した血中濃度を示したのと考えられる。また、19.1ヵ月齢から25.3ヵ月齢まで緩和区が対照区より20 IU/dL程度高く、緩和区が概ね60~80 IU/dL、対照区が概ね40~60 IU/dLで推移した。このことから、β-カロテンの24 mg/日投与はビタミンAの蓄積が少ない場合において血中レチノール濃度を20 IU/dL程度上昇させることが示唆された。

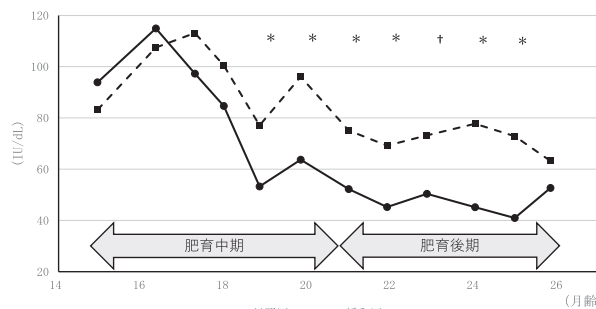


図3 血中レチノール濃度

試験区×採取時期: (P<0.05)
*: 試験区間に有意差あり (P<0.05)
†: 試験区間に傾向あり (P<0.1)

5 枝肉成績、肉の理化学分析値

枝肉成績を表7に示した。格付成績は全頭A5等級となった。枝肉重量は飼料摂取量や体重を反映し緩和区が高い値を示したが、有意な差は見られなかった。その他の項目も試験区間に有意な差は見られなかった。肥育中期の血中レチノール濃度が低い牛において脂肪交雑が上昇する報告は多くあるが(岡ら1998、小田原ら1995、木下ら1997)、本試験ではこれと異なる結果となった。家畜改良センターが公表している黒毛和種の育種価の推移によると、2016年生まれの種雄牛は1990年生まれの種雄牛と比べてBMS No.の育種価が4.8高く、ビタミンAコントロールの研究が盛んに行われていた1990年代よりも黒毛和種の遺伝的能力が大きく上昇していることが示されている(家畜改良センター2023)。本試験でビタミンAコントロールレベルに関わらず同様の脂肪交雑を示したことから、高い遺伝的能力を持つ現在の黒毛和種において、ビタミンAコントロールの脂肪交雑への影響は小さいことが推察された。

表7 枝肉成績

	対照区	緩和区	P値
格付け成績	A5:4頭	A5:4頭	
枝肉重量 (kg)	501	517	0.29
ロース芯面積 (cm ²)	65.0	71.3	0.45
バラ厚 (cm)	8.0	8.1	0.88
皮下脂肪厚 (cm)	2.2	2.3	0.85
歩留基準値 (%)	74.9	75.6	0.58
BMS No.	10.0	10.0	1.00
BFS No.	2.3	2.3	1.00
しまり	5.0	5.0	1.00
きめ	5.0	5.0	1.00
枝肉単価 (円)	2,148	2,231	0.21
枝肉金額 (円)	1,075,284	1,157,048	

肉の理化学分析値を表8に示した。皮下脂肪色でb*値が緩和区で高い傾向が見られた。β-カロテン製剤の給与によりその一部が皮下脂肪に蓄積され、脂肪色が変化した可能性が考えられる。しかし、表7に示したBFS No.については両区に差がなく、格付け成績に影響しなかった。

表8 肉の理化学分析値

	対照区	緩和区	P値	
最長筋pH	5.6	5.6	0.93	
剪断力価 (1b/cm ²)	2.8	3.3	0.37	
加熱損失 (%)	14.4	15.1	0.61	
水分含量 (%)	40.0	39.4	0.88	
粗蛋白含量 (原物%)	47.4	48.2	0.88	
粗脂肪含量 (原物%)	11.0	10.7	0.85	
ロース肉色	L*値	51.4	50.4	0.23
	a*値	23.5	23.8	0.56
	b*値	12.9	13.4	0.41
筋間脂肪色	L*値	76.2	71.6	0.21
	a*値	5.2	5.8	0.79
	b*値	7.1	7.5	0.75
皮下脂肪色	L*値	69.6	68.3	0.55
	a*値	4.0	4.8	0.61
	b*値	5.3	7.3	0.07 [†]
筋肉内脂肪 脂肪酸割合 (%)	オレイン酸	46.1	47.9	0.60
	一価不飽和脂肪酸	50.0	51.8	0.64
	不飽和脂肪酸	52.0	53.6	0.68

†:傾向あり (P<0.1)

6 内臓調査

内臓調査の結果を表9に示した。ほぼ全ての供試牛で第一胃の炎症が見られ、肝臓については緩和区において1頭に肝炎が見られた。また膀胱の炎症については緩和区が対照区より多い傾向が見られた。β-カロテンは抗酸化作用を持ち、活性酸素による炎症等の防止が期待されたが、内臓所見からはその効果が見られなかった。

表9 内臓所見 (頭)

部位	症状	対照区	緩和区	
第一胃	炎症等	3	4	
肝臓	炎症等	0	1	
	炎症	0	3	
膀胱	+	1	3	
	尿石	±	2	0
	-	1	1	

7 肥育コストの試算

肥育に要した飼料摂取量、飼料費、枝肉販売額およびその差額を表10に示した。飼料費は肥育中期の採食量が多かった緩和区で高かったが、枝肉販売額は枝肉重量や枝肉単価の高い緩和区で高く、その差額は緩和区が70千円高くなった。ビタミンA血中濃度を60~80 IU/dLにコントロールすることで枝肉重量が改善し、粗収益が増加する可能性が示された。

表10 肥育コスト試算

		対照区	緩和区	
飼料摂取量 (kg)	稲わら	352	367	
	配合飼料	3,333	3,470	
	合計	3,685	3,837	
金額 (千円)	売上	1,075	1,157	
	費用	枝肉販売額	253	263
		飼料費	253	263
	βカロテン製剤		2	
差額	822	892		

注) kg単価：稲わら63.5円、市販配合飼料69.1円
βカロテン製剤1gあたり1.0円

以上より、黒毛和種去勢牛におけるβ-カロテン24 mgの毎日給与は肥育中期および後期において体内の蓄積ビタミンAが少ない状態で血中レチノール濃度を約20 IU/dL上昇させることが分かった。ビタミンAコントロールについては改良の進んだ黒毛和種の遺伝的能力により、ビタミンA制限時期の血中レチノール濃度を60~80 IU/dLに上昇させても枝肉成績に影響を与えない可能性が示された。

また肥育期間を短縮する早期肥育では、枝肉重量の低下が課題として挙げられるが、β-カロテン製剤の毎日給与により肥育中期において採食量が上昇し増体量が増加する傾向が認められ、有意な差はないものの枝肉重量が大きく収益性が向上したことから、枝肉成績に悪影響を及ぼすことなく枝肉重量を改善する手法として有効と考えられる。

引用文献

- 社団法人 畜産技術協会、2003、牛肉品質評価のための理化学的分析マニュアルVer.2。
入江正和・木村信熙、2015、肉用牛の科学、第1版、肉用牛研究会298-299
独立行政法人家畜改良センター、2023、黒毛和種の遺伝能力の推移について (令和5年6月28日) [2023年8月31日引用] Available from URL: http://www.nlbc.go.jp/kachikukairyo/data/pr/kuro_trend2023.pdf
木下正徳・山岡達也・内田健史、1997、黒毛和種肥育牛におけるビタミンAが肉質に及ぼす影響 (第2報)、大分県畜産試験場試験成績報告書第26号：48-53
九州農業試験研究推進会議、1999、肥育期間中のビタミンA給与水準、給与時期、給与方法の確立、九州地域重要新技術研究成果No.33ビタミンAの適正制御による高品質牛肉生産技術の開発：7-48
公益社団法人日本食肉格付協会、2023、牛枝肉格付結果 (令和4年4月~令和5年3月) [2023年8月31日引用] Available from URL: http://www.jmga.or.jp/rating/archive/#beef_result
独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構、

2009、日本飼養標準・肉用牛（2008年版）、初版、公益社団法人中央畜産会：27

小田原利美・佐々江洋太郎・吉岩征男・溝口春寿・一野俊彦・広瀬啓二・溝口春寿・内田健史、1995、黒毛和種肥育牛におけるビタミンAが肉質に及ぼす影響（第1報）、大分県畜産試験場試験成績報告書第24号：90-97

Ohyama M, Matsuda K, Torii S, Matsui T, Yano H, Kawada T, Ishihara T, 1998, The interaction between vitamin A and thiazolidinedione on bovine adipocyte differentiation in primary culture, J Anim. Sci 76:61-65

Oka A, Maruo Y, Miki T, Yamasaki T, Saito T, 1998, Influence of vitamin A on the quality of beef from the Tajima strain of Japanese Black cattle, Meat Sci.48:159-167