

〔原著論文〕

ホルスタイン種去勢牛における胸最長筋および僧帽筋の脂肪酸組成と筋炎の有無との関連性

Relationship between myositis and fatty acid composition
on *M. longissimus thoracis* and *M. trapezius* for Holstein steers

浜崎陽子¹・石井 努¹・中橋良信¹・村澤七月¹・高橋奈緒子²・
撫 年浩²・木村信熙²・日高 智¹・口田圭吾¹

Yoko Hamasaki¹, Tsutomu Ishii¹, Yoshinobu Nakahashi¹, Nazuki Murasawa¹, Naoko Takahashi²,
Toshihiro Nade², Nobuhiro Kimura², Satoshi Hidaka¹, Keigo Kuchida¹

¹ 帯広畜産大学 帯広市 〒080-8555

² 日本獣医生命科学大学 武蔵野市 〒180-8602

¹ Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro-shi 080-8555

² Nippon Veterinary and Life Science University, Musashino-shi 180-8602

要約

本研究では、ホルスタイン種去勢牛における胸最長筋および僧帽筋のモノ不飽和脂肪酸 (MUFA) 割合と筋炎の有無との関連性について、画像解析の手法を用いて調査を行った。材料として、筋炎が多発している1牧場から出荷されたホルスタイン種去勢牛22頭を用いた。供試牛においては、左右の半丸を切開し、両半丸の第6-7肋骨間切開面における筋炎の有無の確認および枝肉横断面画像の撮影を行った。またガスクロマトグラフィーにより、左右半丸それぞれの胸最長筋および僧帽筋における交雑脂肪の脂肪酸組成の測定を行い、MUFA割合を算出した。筋炎が発生した僧帽筋の画像解析形質のうち、筋肉面積 (-0.546) および僧帽筋の厚さ (-0.622) において MUFA 割合との間に中程度から高い負の相関が示された ($P < 0.01 \sim 0.05$)。このことから、筋炎が発生した僧帽筋では、筋肉の面積や厚さが大きいほど MUFA 割合が低くなる傾向にあることが示された。僧帽筋に筋炎が存在する枝肉における胸最長筋および僧帽筋の MUFA 割合の最小二乗平均値は、それぞれ 50.75% および 55.82% であり、筋炎の存在しない枝肉におけるそれら (52.52% および 57.48%) と比べ、有意に低かった ($P < 0.05$)。また、筋炎が発生した僧帽筋において、炭素鎖が 14 および 16 個の脂肪酸 (C14:0, C14:1, C16:0 および C16:1) が高い値を示し、筋炎が発生していない僧帽筋においては、炭素鎖が 18 個の脂肪酸 (C18:0, C18:1 および C18:2) および MUFA 割合が高い値を示した。これは、筋炎の発生が C 16:0 より長鎖の脂肪酸への炭素鎖延長に対して、酵素の働きを阻害するなどの影響を与えている可能性を示唆するものである。

キーワード：筋炎, 脂肪酸, 胸最長筋, 僧帽筋, ホルスタイン種

Key words : Myositis, Fatty acid composition, *M. longissimus thoracis*, *M. trapezius*, Holstein

緒 論

日本における現行の格付は、(社)日本食肉格付協会の格付員によって、牛枝肉取引規格に基づいて評価されている。牛肉評価の際、肉質や肉量だけでなく、瑕疵についても記録される。牛枝肉の瑕疵には、多発性

筋出血 (シミ), 筋水腫 (ズル), 筋炎 (シコリ), 外傷 (アタリ), 割除 (カツジョ) およびその他の6種類がある。枝肉に瑕疵が存在すると、枝肉の経済的価値は下がり、生産者に損失が生じる。岡本ら¹⁾は黒毛和種去勢牛および交雑種 (黒毛和種×ホルスタイン種) において、枝肉の瑕疵が枝肉単価に与える影響を明らかにし、筋炎についてはその程度が重症であるほど枝肉単価をより低下させる傾向があると報告した。

受付 2008年6月23日 受理 2009年3月31日

筋炎発生のメカニズムは明らかになっていないが、筋線維の発生不全、筋線維損傷後の再生不全、血管の変性および神経損傷などの原因により、筋線維部分を代償的に脂肪組織または結合組織が埋めたために生じると推察される。石井ら²⁾は、画像解析の手法を利用して、ホルスタイン種去勢牛において、僧帽筋の筋炎の程度が重症であるほど、隣接する胸最長筋の脂肪交雑が細くなる傾向にあることを示した。脂肪交雑は食味性に影響を与える要因であることから、筋炎が発生することで当該筋肉および近接する筋肉の食味性に何らかの影響を与える可能性が示唆される。近年、牛肉の美味しさの指標となりうる形質を明らかにすることが望まれており、筋肉脂肪のモノ不飽和脂肪酸(MUFA)割合などの理化学的に測定された形質が注目されている^{3,4)}。そこで本研究では、ホルスタイン種去勢牛における胸最長筋および僧帽筋の脂肪酸組成と筋炎の有無の関連性について調査することを第一の目的とした。また画像解析の手法を用いて、脂肪酸組成と筋肉内の脂肪交雑粒子の特徴および筋肉形状との関連性を調査することを第二の目的とした。

材料および方法

1. 供試牛および筋炎の調査

材料として、筋炎が多発している1牧場から、2007年5月に北海道内の枝肉処理施設に出荷されたホルスタイン種去勢牛22頭を用いた。今回の供試牛においては、左右の半丸を切開し、両半丸の第6-7肋骨間切開面における筋炎の有無を確認した。供試牛22頭のうち、左右半丸の僧帽筋に筋炎のあるものが7頭、片方の半丸(左または右)のみの僧帽筋に筋炎のあるものが4頭存在した。なお、胸最長筋に筋炎のある枝肉は存在しなかった。

2. 枝肉横断面画像の撮影および画像解析

左右半丸の第6-7肋骨間枝肉横断面画像は、ミラー型撮影装置(HK-333, 早坂理工(株), 札幌)によって撮影した。ミラー型撮影装置の構造ならびに特徴については、高橋ら⁵⁾が報告した通りである。ミラー型撮影装置により得られた高精細画像から画像解析形質を算出するために、枝肉横断面画像専用の解析ソフトウェア(BeefAnalyzer II, 早坂理工(株), 札幌)を用いた。枝肉横断面画像から胸最長筋および僧帽筋を抽出するために、自動的に各筋肉の輪郭線を描画し、輪郭が誤認識された部分については、手動による補正を

行った。

抽出した各筋肉画像を用いて、以下に示す画像解析形質(計16形質)を口田ら⁶⁾の手法に従って算出した。なお、個々の脂肪交雑粒子を独立させた状態で粒子の形状や面積を算出するために細線化処理が必要であるが、その処理回数は、ホルスタイン種の画像解析によるBMSナンバーの推定法について報告した浜崎ら⁷⁾の結果から5回とした。胸最長筋および僧帽筋の両筋肉について、それぞれの筋肉面積と、脂肪交雑の特徴を示す形質として、各筋肉内に占める脂肪交雑の割合(脂肪面積割合)、全体のあらさ、最大粒子のあらさ、指定範囲内粒子数および細かさ指数を算出した(6形質×2部位)。また、各筋肉の形状を表す形質として、胸最長筋の慣性主軸短径長径比および胸最長筋の複雑度、僧帽筋の慣性主軸短径長径比および僧帽筋の厚さの4形質を求めた。

全体のあらさは各筋肉における脂肪交雑粒子のあらさの指標であり、値が大きいほど、筋肉内の脂肪交雑粒子が細かいことを示す。最大粒子のあらさは各筋肉内で最も大きい脂肪交雑粒子のあらさの指標であり、値が大きいほど、筋肉内に単独で大きい脂肪交雑粒子が存在することを示す。指定範囲内粒子数は、指定範囲(0.01~0.5 cm²)の脂肪交雑粒子数であり、値が大きいほど、細かい脂肪交雑粒子が多く存在することを示す。また、細かさ指数は、指定範囲内の脂肪交雑粒子数を筋肉面積で割ることで算出し、値が大きいほど単位面積当たりの細かい脂肪交雑粒子が多く存在することを示す。慣性主軸短径長径比は、各筋肉の慣性主軸の第1軸または第2軸のうちの短軸長を長軸長で割ることで算出された。この値は、1に近いほど筋肉形状は円形に近く、値が小さいほど形状が扁平であることを示す。胸最長筋の複雑度は、胸最長筋の周囲長を凸包周囲長で割ることで算出され、その値が大きいほど筋肉形状が複雑であることを示す。また、僧帽筋の短軸長を僧帽筋の厚さとした。

3. 脂肪酸組成の理化学分析およびMUFA割合の算出

脂肪酸組成を分析するために、枝肉処理施設において、プラスチック板(幅2.5 cm×長さ6 cm)を用いて、左右半丸それぞれの胸最長筋および僧帽筋における脂肪交雑の脂肪サンプルを10 mg程度採取した。脂肪サンプルは低温状態で実験室へ輸送し、冷凍保存した。脂肪サンプルは、5%の塩酸を含むメチルアルコール5 mlが入った試験管に入れ、100℃で3時間加熱し、メチル化を行った。室温で温度を下げた後

に、ヘキササン5 mlを加え、1分間振とうし、分離した上層部分をバイアル瓶に入れ、ガスクロマトグラフィー (GC 2010 島津製作所, 京都) により脂肪酸組成の測定を行った。なお、キャリアーガスにはヘリウムを用い、流量は1.4 ml/min. とした。キャピラリーカラム (HR-SS-10 0.25 mm×25 m 信和化工, 京都) を用い、開始温度は140°C, 昇温は210°Cまでは5°C/min. とし、その後10分の保持時間を設けた。インジェクターおよび水素炎イオン検出器の温度は250°Cとした。各脂肪酸の同定には、標準試料のメチルエステルキット (GLサイエンス社, 東京) を用い、各脂肪酸のピーク面積を算出することにより脂肪酸割合を求めた。同定した脂肪酸は、ミリスチン酸 (C14:0), ミリストレイン酸 (C14:1), パルミチン酸 (C16:0), パルミトレイン酸 (C16:1), ステアリン酸 (C18:0), オレイン酸 (C18:1) およびリノール酸 (C18:2) の7種類で、その全体に占めるC14:1, C16:1およびC18:1の割合をMUFA割合とした。

なお、統計分析には、SAS[®]を利用し、僧帽筋における筋炎の有無別の画像解析形質とMUFA割合との相関関係を調査するためにCORRプロシジャを、また、僧帽筋と胸最長筋の脂肪酸組成について、僧帽筋の筋炎の有無および半丸の左右を要因とした分散分析を実施するためにGLMプロシジャを用いた。

結果および考察

供試牛の格付形質の基礎統計量を表1に示した。供試牛における枝肉重量およびBMSナンバーの平均±標準偏差は、それぞれ435.95±14.30 kgおよび2.14±

0.35であった。日本食肉格付協会が公表している牛枝肉格付情報[®]において、平成18年度 (平成18年4月～平成19年3月) に出荷された乳用種去勢牛の枝肉重量およびBMSナンバーの全国平均 (調査頭数) は424.1 kg (n=52,644), 2.1 (n=51,062) であり、本研究の供試牛において枝肉重量はやや大きい値を示したが、BMSナンバーについては同程度であった。

供試牛の左右半丸別の画像解析形質およびMUFA割合の基礎統計量を表2に示した。なお、僧帽筋および胸最長筋のいずれの形質においても左右半丸による有意な差は示されなかった。画像解析形質において、僧帽筋の脂肪面積割合 (左半丸: 32.53±21.79%, 右半丸: 31.73±20.41%) が胸最長筋の脂肪面積割合 (左半丸: 20.71±3.76%, 右半丸: 20.93±3.22%) よりも高く、また、その標準偏差も非常に大きい値を示した。その理由として、本研究の供試牛において、僧帽筋にのみ筋炎が発生しており、画像解析の際に、筋炎の部分が筋肉 (赤身) としてではなく脂肪として認識された²⁾ためと推察される。また、供試牛全頭の胸最長筋のMUFA割合の平均値 (左半丸: 51.88±1.68%, 右半丸: 51.71±1.96%) は僧帽筋におけるそれ (左半

表1 ホルスタイン去勢牛のと畜月齢および格付形質の基礎統計量 (n=22)

形 質	平均 (標準偏差)
と畜月齢(月)	20.88 (0.74)
格付形質	
枝肉総重量(kg)	435.95 (14.30)
胸最長筋面積(cm ²)	39.86 (4.70)
ばらの厚さ(cm)	5.58 (0.54)
皮下脂肪の厚さ(cm)	2.15 (0.58)
歩留基準値	68.91 (0.78)
BMS No	2.14 (0.35)

表2 ホルスタイン去勢牛の画像解析形質およびMUFA割合の左右半丸別基礎統計量 (n=22)

形 質	僧帽筋 平均(標準偏差)		胸最長筋 平均(標準偏差)	
	左半丸	右半丸	左半丸	右半丸
画像解析形質				
筋肉面積(cm ²)	32.83 (9.54)	32.05 (6.79)	42.65 (5.24)	42.79 (6.24)
脂肪面積割合(%)	32.53 (21.79)	31.73 (20.41)	20.71 (3.76)	20.93 (3.22)
全体のあらさ	0.33 (0.21)	0.31 (0.13)	0.29 (0.08)	0.28 (0.06)
最大粒子のあらさ	0.17 (0.22)	0.14 (0.11)	0.08 (0.05)	0.09 (0.05)
指定範囲内粒子数	69.55 (28.91)	69.45 (29.4)	87.23 (22.22)	92.23 (16.67)
細かさ指数	2.18 (0.94)	2.16 (0.88)	2.04 (0.46)	2.17 (0.35)
慣性主軸短径長径比	0.16 (0.04)	0.16 (0.03)	0.60 (0.09)	0.63 (0.06)
僧帽筋の厚さ	2.32 (0.65)	2.28 (0.44)	—	—
胸最長筋の複雑度	—	—	1.08 (0.01)	1.08 (0.01)
MUFA 割合(%)	56.80 (2.27)	56.79 (0.88)	51.88 (1.68)	51.71 (1.96)
筋炎発生頭数(頭)	8	10	—	—

丸：56.80±2.27%，右半丸：56.79±0.88%）に比べ、左右半丸いずれにおいても有意に低かった（ $P < 0.01$ ）。Okaら⁴⁾は、黒毛和種去勢牛において、体表面側の組織では体内側の組織よりもMUFA割合が高いと報告しており、また、Indurainら¹⁰⁾は、スペインのピレネイカ牛の雄牛について同様の報告をした。本研究で取り上げた2つの筋肉については、僧帽筋が胸最長筋よりも体表面側に位置しており、彼らの報告と傾向が一致していた。

表3に僧帽筋および胸最長筋における僧帽筋の筋炎の有無別のMUFA割合と画像解析形質との相関係数を示した。筋炎が発生した僧帽筋の画像解析形質のうち、筋肉面積（-0.546）、慣性主軸短径長径比（-0.611）および僧帽筋の厚さ（-0.622）においてMUFA割合との間に中程度から高い負の相関が示された（ $P < 0.01 \sim 0.05$ ）。なお、筋炎が発生していない僧帽筋におけるそれらはすべて低く、かつ有意ではなかった。筋炎の発生した僧帽筋の形状について、石井ら²⁾は、ホルスタイン種去勢牛において、僧帽筋の筋炎が重症であるほど僧帽筋においてはその厚みが増し、筋肉面積が大きくなると報告した。また、宮島ら¹¹⁾は、超音波診断により、筋炎の発生前と発後に僧帽筋の幅が1 cm以上厚くなると報告した。本研究で示された僧帽筋の筋肉面積および僧帽筋の厚さとMUFA割合との間の負の相関関係は、筋炎が発生した僧帽筋では、筋肉の面積や厚さが大きいほどMUFA割合が低くなる傾向にあることを示唆しており、筋炎の発生は、当該筋肉である僧帽筋の形状だけでなく、その脂肪酸組成にも影響を与えると推察される。

また、胸最長筋においては、僧帽筋に筋炎が発生している場合（ $n=18$ ）、全体のあらさ（-0.553）、最大粒子のあらさ（-0.529）、細かさ指数（0.475）および胸最長筋の複雑度（-0.556）においてMUFA割合との間に中程度の相関が示された（ $P < 0.05$ ）が、僧帽筋に筋炎が発生していない場合（ $n=26$ ）の胸最長筋におけるそれらの相関係数はいずれも低く、かつ有意ではなかった。これは、僧帽筋において筋炎が発生している場合、胸最長筋の脂肪交雑があまりほど、また、胸最長筋の形状が複雑なほど、MUFA割合は低くなる傾向にあることを示している。僧帽筋において筋炎が発生した場合、筋炎発症部位ではない胸最長筋において、その脂肪酸組成および脂肪交雑の状態に何らかの影響があることが示唆された。石井ら²⁾は、僧帽筋の筋炎が重症であるほど、胸最長筋の脂肪交雑粒子は細かくなると報告しており、これは、僧帽筋にお

表3 僧帽筋における筋炎の有無別の画像解析形質とMUFA割合との相関係数

形 質	僧帽筋		胸最長筋	
	筋炎有 ($n=18$)	筋炎無 ($n=26$)	筋炎有 ($n=18$)	筋炎無 ($n=26$)
筋肉面積	-0.546 *	0.244	-0.432	-0.006
脂肪面積割合	-0.392	0.385	-0.042	-0.138
全体のあらさ	-0.468	0.353	-0.553 *	-0.184
最大粒子のあらさ	-0.366	0.028	-0.529 *	0.134
指定範囲内粒子数	0.048	0.253	-0.022	-0.025
細かさ指数	0.490 *	0.236	0.475 *	-0.029
慣性主軸短径長径比	-0.611 **	0.092	0.169	0.261
僧帽筋の厚さ	-0.622 **	0.135	—	—
胸最長筋の複雑度	—	—	-0.556 *	0.312

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

ける筋炎の発生が、隣接する胸最長筋の脂肪交雑に影響を与えるという本研究での結果を裏付けるものである。

胸最長筋の粗脂肪含量とMUFA割合との関連性については多くの報告がある。なお、本研究では、筋肉内の粗脂肪含量の測定は行っていないが、エーテル抽出で得られた粗脂肪含量と画像解析から算出された脂肪面積割合との関連性について、黒毛和種、アンガス種ならびに交雑種を用いた研究で0.91と高い決定係数が報告されており¹²⁾、筋肉内の粗脂肪含量の理化学的測定値と画像解析形質によって算出された脂肪面積割合は、同等の形質と見なすことが可能であろう。Pitchfordら¹³⁾は、Hereford雌牛と様々な品種の種雄牛との交雑牛1,215頭（平均月齢：去勢23ヵ月、雌16ヵ月）における背最長筋の筋肉内脂肪含量とMUFA割合の表型相関について-0.09と報告した。また、Waldmanら¹⁴⁾は、40頭のアンガス種（去勢22頭および雌18頭、平均日齢517.88日齢）を用い、最長筋の筋内脂肪のC18:1とマープリングスコアとの間に有意な相関関係は見られなかったと報告した（ $r=0.20$ ）。さらに、Kazalaら¹⁵⁾は、和牛と乳用種との交雑種36頭（去勢牛15頭および雌牛21頭、と畜日齢509-560日齢）を用い、マープリングスコアとC18:1との相関係数を0.12と報告した。本研究においても、胸最長筋における脂肪面積割合とMUFA割合との間に有意な相関関係は示されず（筋炎有：-0.042および筋炎無：-0.138）、前述の報告と傾向が一致していた。本研究の結果から、僧帽筋における筋炎の有無は隣接する胸最長筋の脂肪面積割合とMUFA割合との関連性に影響を与えないことが示唆された。ただし、筋肉内脂肪のMUFA割合には品種、性別、月齢および飼料など、様々な要因が関与しているといわれており、筋肉内脂肪におけるMUFA割合と脂肪量との関連性に

表4 ホルスタイン去勢牛 (n=22×2) の僧帽筋および胸最長筋における脂肪酸組成の最小二乗平均値

形質(%)	僧帽筋				胸最長筋			
	筋炎有	筋炎無	左半丸	右半丸	筋炎有	筋炎無	左半丸	右半丸
C14:0	4.28 ^a	3.43 ^b	3.87	3.85	3.51	3.28	3.44	3.35
C14:1	2.15 ^a	1.53 ^b	1.82	1.86	0.86	0.91	0.90	0.87
C16:0	29.51 ^a	26.97 ^b	28.31	28.17	29.36 ^a	28.13 ^b	28.99	28.51
C16:1	7.53 ^a	6.09 ^b	6.83	6.79	3.84	3.93	3.95	3.81
C18:0	8.16 ^b	9.59 ^a	8.84	8.90	13.68	13.14	13.24	13.58
C18:1	46.14 ^b	49.85 ^a	47.93	48.06	46.05 ^b	47.69 ^a	46.79	46.95
C18:2	2.23 ^b	2.54 ^a	2.41	2.36	2.69	2.93	2.70	2.92
MUFA 割合	55.82 ^b	57.48 ^a	56.58	56.72	50.75 ^b	52.52 ^a	51.64	51.63

a, b: 各筋肉内において異符号間に有意差あり (P<0.05)

関しても様々な報告があるため、この関連性を明らかにするためには、さらなる調査・研究が必要であろう。

表4に各筋肉について、僧帽筋における筋炎の有無および左右半丸別での脂肪酸組成の最小二乗平均値を示した。Zembayashiら³⁾は、ホルスタイン種去勢牛の最長筋におけるMUFA割合の最小二乗平均値について53.0%と報告しており、本研究の僧帽筋に筋炎の発生していない枝肉の胸最長筋における値(52.52%)と近似していた。胸最長筋および僧帽筋共に、左右半丸における脂肪酸組成に有意な差は見られなかった。僧帽筋における筋炎の発生の有無により、胸最長筋におけるC16:0, C18:1およびMUFA割合において有意な差が示された(P<0.05)。僧帽筋においては、筋炎の有無により、脂肪酸組成に関するすべての形質において有意な差があり(P<0.05)、炭素鎖が14および16個の脂肪酸(C14:0, C14:1, C16:0およびC16:1)では筋炎が発生した僧帽筋において高い値を示し、炭素鎖が18個の脂肪酸(C18:0, C18:1およびC18:2)およびMUFA割合では筋炎が発生していない僧帽筋において高い値を示した。僧帽筋に筋炎が発生していない胸最長筋および僧帽筋において、MUFA割合が高い値を示したのは、C18:1が高い値を示した影響と考えられる。生体内における脂肪酸合成は、アセチル-CoAカルボキシラーゼの働きによって、飼料由来のアセチル-CoAからマロニル-CoAが作られ、さらに脂肪酸合成酵素の働きによって、アセチル基が脂肪酸に転移することで、炭素鎖が2つずつ延長される。この一連の反応が繰り返され、主要生成物として炭素鎖が16個のパルミチン酸(C16:0)が合成される¹⁶⁻¹⁸⁾。炭素鎖が16個より長い飽和脂肪酸は、C16:0を前駆体として、脂肪酸長鎖化システム的作用により炭素鎖が2個ずつ延長される^{16,19)}。LuthriaとSprecher²⁰⁾はラットを用いた実験により、哺乳類のC16:0ならびにC18, C20およびC22の多不飽

和脂肪酸の炭素鎖延長を触媒する酵素が少なくとも3種類は存在することを示唆した。本研究で示された筋炎と脂肪酸組成との関連性は、筋炎の発生は、C16:0より長鎖の脂肪酸への炭素鎖延長に対して、酵素の働きを阻害するなどの影響を与えている可能性を示唆するものである。

供試牛は特定の1牧場から得られたものであるため、今後、一般出荷牛のデータを収集し、さらに調査する必要があるが、本研究の結果より、筋炎が発生している枝肉では、発生部位である僧帽筋のMUFA割合が下がるだけでなく、筋炎が発生していない胸最長筋においてもMUFA割合が低下する傾向が示された。MUFA割合は牛肉の食味性との関連性が注目されている形質^{3,4)}であり、本研究の結果から、筋炎が発生することで、牛肉の食味性に影響を与える可能性が示唆された。また、筋炎の発生の有無により、僧帽筋および胸最長筋の筋肉内脂肪の脂肪酸組成に一定の傾向が示された。脂肪酸組成には、品種、性別、月齢および摂取飼料など、様々な要因が複雑に関連していると考えられているが、今回調査した筋炎などの筋肉の変性によっても影響を受ける可能性が示された。

謝 辞

本研究の一部は、先端技術を活用した農林水産研究高度化事業委託事業「光学的手法による和牛肉品質の評価技術とその応用: No.1674 代表者: 入江正和」における研究費を使用して行われたものであり、ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 岡本圭介・大澤剛史・長谷川未央・口田圭吾・日高智・加藤貴之, 肉用牛研究会報, 78: 61-66.

- 2005.
- 2) 石井 努・浜崎陽子・高橋奈緒子・撫 年浩・木村信熙・口田圭吾. 肉用牛研究会報, 85 : 15-21. 2008.
 - 3) Zembayashi M, Nishimura K, Lunt DK, Smith SB. *Journal of Animal Science*, 73 : 3325-3332. 1995.
 - 4) Oka A, Iwaki F, Dohgo T, Ohtagaki S, Noda M, Shiozaki T, Endoh O, Ozaki M. *Journal of Animal Science*, 80 : 1005-1011. 2002.
 - 5) 高橋健一郎・口田圭吾・堀 武司・波 通隆・小高仁重. 日本畜産学会報, 77 : 501-507. 2006.
 - 6) 口田圭吾・大澤剛史・堀 武司・小高仁重・丸山新. 動物遺伝育種研究, 34 : 45-52. 2006.
 - 7) 浜崎陽子・口田圭吾・日高 智・島田謙一郎・関川三男・丸山 新. 日本畜産学会報, 76 : 431-437. 2005.
 - 8) SAS institute Inc., SAS User's guide Statistic. Ver. 5 edn. pp 433-506. SAS Institute Inc. Cary, NC. 1985.
 - 9) (社)日本食肉格付協会, 牛枝肉格付情報 平成 18 年 4 月~平成 19 年 3 月版. CD-ROM. (社)全国肉用牛振興基金協会. 東京. 2007.
 - 10) Indurain G, Beriain MJ, Goni MV, Arana A, Purroy A. *Meat Science*, 73 : 326-334. 2006.
 - 11) 宮島恒晴・陣内孝臣・黒川洋介. 肉用牛研究会第 45 回大会講演要旨集, 51-54. 2007.
 - 12) Kuchida K, Konishi K, Suzuki M, Miyoshi S. *Animal Science and Technology*, 69 : 585-588. 1998.
 - 13) Pitchford WS, Deland MPB, Siebert BD, Malau-Aduliand AEO, Bottema CDK. *Journal of Animal Science*, 80 : 2825-2832. 2002.
 - 14) Waldman RC, Suess GG, Brungardt VH. *Journal of Animal Science*, 27 : 632-635. 1968.
 - 15) Kazala EC, Lozeman FJ, Mir PS, Laroche A, Bailey DR, Weselake RJ. *Journal of Animal Science*, 77 : 1717-1725. 1999.
 - 16) 板倉弘重, 脂質の科学. pp 65-66. 朝倉書店. 東京. 1999.
 - 17) 稲葉恵一・平野二郎, 脂肪酸化学. pp 96-98. 幸書房. 東京. 1981.
 - 18) 今井 陽・坂上利夫, 脂質の生化学. pp 345-366. 朝倉書店. 東京. 1973.
 - 19) Vance DE, Vance JE, *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes*. pp 129-152. Elsevier Science. Amsterdam. 1996.
 - 20) Luthria DL, Sprecher H. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1346 : 221-230. 1997.