

インピーダンス測定による牛肉の脂肪酸組成の推定
に関する研究

2018

岩手大学大学院 連合農学研究科
生物生産科学専攻（岩手大学配属）

鎌田 丈弘

目次

第1章	緒論	2
第2章	黒毛和種牛肉における脂肪酸組成とテクスチャーおよび肉色との関係	
	緒言	5
	材料および方法	7
	結果および考察	9
	要約	13
	Abstract	14
第3章	接触型電極を用いたインピーダンス測定による牛肉中オレイン酸割合の推定	
	緒言	15
	材料および方法	17
	結果および考察	19
	要約	23
	Abstract	24
第4章	総括	25
	謝辞	27
	引用文献	28
	図表	33

第1章 緒論

これまで黒毛和種の改良は脂肪交雑の量を増加させることを重視して進められてきた。そのため、遺伝的に脂肪交雑の量が多くなる種雄牛が選抜され、黒毛和種の筋肉内脂肪含量は増加してきた（堀井ら 2009）。しかし、その結果、一部の黒毛和種において、胸最長筋の脂肪含量は 50% を超えるようになり、消費者が好む食味とは必ずしも一致しなくなってきた（Motoyama ら 2016）。

そのため、近年、消費者の健康志向等の影響により、脂肪の量だけではなく、質に影響を及ぼす脂肪酸の組成が注目されるようになってきた。オレイン酸の割合は牛肉の品質に影響を及ぼし、一価不飽和脂肪酸の割合が高くなると官能評価での「甘いかおり」の評価が高くなることが報告されている（佐久間ら 2012）。したがって、飽和脂肪酸の割合が低く、不飽和脂肪酸の割合が高い牛肉は、官能評価での評価が高くなることが知られている（Westerling と Hedrick 1979）。また、オレイン酸は血液中の LDL コレステロール濃度を低下させること（Mattson と Grundy 1985）、およびリノール酸の異性体である共役リノール酸は抗ガン、動脈硬化抑制、および体脂肪の減少（松石ら 2015）といった機能を持つことが、それぞれ報告されている。一方、n-3 系の多価不飽和脂肪酸の割合が高い牛肉では、オフフレーバーの発生の一因となるアルデヒド類が多く生成することが報告されている（Elmore ら 1999）。以上のことから、近年、黒毛和種牛肉の品質を評価するための新たな項目として、脂肪酸組成に注目が集まるようになってきた。

オレイン酸などの一価不飽和脂肪酸の割合が高い筋肉は筋肉内脂肪含量も高く（Indurain ら 2006）、また不飽和脂肪酸の割合が高くなると筋肉内脂肪の融点が低く軟らかくなるため（Leat 1975；小林と庄司 2011）、筋肉内脂肪含量が高い筋肉は剪断力価が低くなる（Ueda ら 2007）。一方、飽和脂肪酸の割合が高い

脂肪は不飽和脂肪酸の割合が高いものに比較して融点が高く、固化した脂肪は液状の脂肪に比較して白くなることが報告されている (Wood ら 2004)。したがって、筋肉内脂肪含量が高い品種である黒毛和種では、筋肉内脂肪の脂肪酸組成は牛肉のテクスチャーおよび筋肉全体の色調に影響を及ぼす可能性が考えられる。しかし、脂肪酸組成が黒毛和種牛肉のテクスチャーおよび肉色に及ぼす影響については、未だに不明な点も多い。

一方、牛肉の脂肪酸組成の分析は、一般にガスクロマトグラフィー法により行われているが、時間を要するだけでなく、枝肉や牛肉の一部を損傷させてしまうため、流通過程において分析を行うことは難しい。そこで近年、迅速かつ非破壊的な分析方法の一つとして、近赤外分光法による脂肪酸組成の測定についての研究が行われてきた (Sierra ら 2008 ; 大倉ら 2009 ; Piao ら 2018)。ところが、近赤外分光法を用いるための測定器は高額であり、導入が容易ではないことが問題となっている。

簡易かつ測定器が安価な非破壊分析法の一つとして、電気的特性の測定が挙げられる (河野 2003)。食肉は、他の食品と同様に、塩類や有機酸などのイオン導電性の電解質および糖や脂質などの非電解質を含む。さらに、食肉は細胞構造を有しており、細胞組織は電気的に絶縁性が高い細胞膜に原形質が覆われ、その一方で細胞内外の物質は電解質を含む導体である。また、細胞組織は筋線維や脂肪細胞など特性の異なる細胞に分化しているため、電気的に不均一な系である (豊田 2011)。これらの性質に由来して食肉は特有の電気的特性を示し、この特性の測定による食肉の品質評価についての研究が行われている。

食肉の電気的特性の測定方法の一つとしてインピーダンス測定がある。インピーダンスとは交流回路における電流の流れにくさを示す物理量である。インピーダンス測定の技術は、主に電気化学の分野で発達したものであるが、最近では農畜産物および水産物の非破壊計測法としても研究が進められている

(Kitamura ら 2000 ; 加藤ら 2000a ; 加藤ら 2000b ; 河野ら 2006). ウシにおいても, インピーダンス測定による生体における脂肪交雑の推定 (橋元ら 2014 ; 橋元ら 2016), 枝肉構成の推定 (Velazco ら 1999), および牛肉の脂肪含量推定 (鎌田と村元 2014 ; 木浦ら 2016) などをも目的とした研究が行われてきた. 一方, Marchello ら (1999) は, 脂肪含量とインピーダンスとの関係について調べ, 豚挽肉と牛挽肉との間では結果が異なることを報告している. 彼らはその原因が不飽和脂肪酸割合の違いにあるのではないかと考察しており, インピーダンス測定は牛肉の脂肪酸組成の推定に利用できる可能性が考えられる.

そこで本研究では, 第 2 章において黒毛和種牛肉における脂肪酸組成とテクスチャーおよび肉色との関係について, および第 3 章においてインピーダンス測定による牛肉の脂肪酸組成の推定について, それぞれ検討を行った.

第2章 黒毛和種牛肉における脂肪酸組成とテクスチャーおよび肉色との関係

緒言

これまで黒毛和種の改良は脂肪交雑の量を増加させることを重視して進められてきた。そのため、遺伝的に脂肪交雑の量が多くなる種雄牛が選抜され、黒毛和種の筋肉内脂肪含量は増加してきた（堀井ら 2009）。しかし、その結果、一部の黒毛和種において、胸最長筋の脂肪含量は 50%を超えるようになり、消費者が好む食味とは必ずしも一致しなくなってきた（Motoyama ら 2016）。

食肉の食味を構成する因子として、視覚で認識できる要素として形状、色、および光沢、また口に入れて認識できる要素として味、香り、テクスチャー、および温度が挙げられる。ここで、食肉におけるテクスチャーとは、硬さや弾力などの歯で噛んだ時に感じられる歯触り、および舌と口蓋の上皮細胞で感じられる滑らかさや多汁性などが知られている（松石ら 2015）。また、Sanders ら（1997）は、日本の卸売業者、レストラン店主、および小売業者の 69.4%は、牛肉を選択する際の最も重要な項目として新鮮な色を挙げることを報告している。

オレイン酸などの一価不飽和脂肪酸の割合が高い筋肉は筋肉内脂肪含量も高く（Indurain ら 2006）、また不飽和脂肪酸の割合が高くなると筋肉内脂肪の融点が低くなるため（小林と庄司 2011）、筋肉内脂肪含量が高い筋肉は剪断力価が低くなる（Ueda ら 2007）。さらに、一価不飽和脂肪酸の割合が高くなると官能評価での「甘いかおり」の評価が高くなることが報告されている（佐久間ら 2012）。したがって、不飽和脂肪酸の割合が高い牛肉は官能評価での評価が高くなることが知られている（Westerling と Hedrick 1979）。そこで近年、黒毛和種牛肉の品質を評価するための新たな項目として、脂肪酸組成に注目が集まるよ

うになってきた。一方，飽和脂肪酸の割合が高い脂肪は不飽和脂肪酸の割合が高いものに比較して融点が高く，固化した脂肪は液状の脂肪に比較して白くなることが報告されている（Wood ら 2004）。したがって，筋肉内脂肪含量が高い品種である黒毛和種では，筋肉内脂肪の脂肪酸組成は牛肉のテクスチャーおよび筋肉全体の色調に影響を及ぼす可能性が考えられる。ところが，黒毛和種牛肉における筋肉の脂肪酸組成とテクスチャー特性の主要な 4 項目（最大荷重，凝集性，付着性，およびガム性荷重）および肉色（L*値，a*値，および b*値）との関係については明らかにされていない。

そこで本研究では，同一の方法で肥育を行った黒毛和種肥育牛の胸最長筋について，脂肪酸組成とテクスチャーおよび肉色との関係について検討を行った。

材料および方法

1. 供試牛および供試筋肉

青森県産業技術センター畜産研究所和牛改良技術部（青森県つがる市）で肥育され、2016年から2017年に出荷された黒毛和種肥育牛25頭（去勢：18頭，雌：7頭）を用いた。これらの肥育牛はすべて同一の肥育方式で肥育され，平均 28.9 ± 0.2 ヵ月齢（去勢： 28.5 ± 0.1 ，雌： 29.8 ± 0.7 ）で屠畜された。すべての肥育牛は同一の食肉処理場で屠畜後，部分肉に加工し，屠畜後21日目まで 1°C で貯蔵し，胸最長筋（*M. longissimus thoracis*）を採取して分析に供した。

2. テクスチャーの測定

各個体の胸最長筋から，それぞれ約100gのステーキサンプルを採取し，ナイロンバックに入れて 80°C に設定したウォーターバスに浸漬し，中心温度が 75°C になるまで湯浴を行った。その後，クラッシュアイス中にて約60分間の冷却を行い，以降の加熱を停止させた。冷却後，ステーキサンプルのドリップをペーパータオルで除去して重量を測定し，湯浴前の重量との差から多汁性の指標であるクッキングロスを求めた。なお，クッキングロスは1頭分の計測ができず，24頭のデータとなった。

クッキングロス測定後のステーキサンプルから筋線維の断面が 10×8 mmで筋線維と平行の直方体を作成し，卓上型物性測定器（TPU-2C：山電，東京）を用い，岡田と村元（2013）の方法により，テクスチャープロファイル分析を行った。なお，プランジャーによる加圧の方向は筋線維に対して垂直になるようにした。得られた波形から最大荷重，凝集性，付着性，およびガム性荷重を求めた。

3. 肉色の測定

各個体の胸最長筋から，それぞれ筋線維の断面が 30×30 mmで厚さ15mmの

ステーキサンプルを2個ずつ切り出し、肉色の測定面である筋線維断面が空気（酸素）に触れるように4°Cで60分間の貯蔵を行い、分光測色計（CM-2500d；KONICAMINOLTA, 東京）を用いて、L*値、a*値、およびb*値を測定した。

4. 脂肪酸組成および粗脂肪含量の測定

各個体の胸最長筋のうち、上記の分析に用いなかった部分を細切し、真空包装した後、分析を行うまで-30°Cで冷凍貯蔵した。

脂肪酸組成の分析はガスクロマトグラフィー法により行った。なお、脂肪酸遊離およびメチルエステル化は Aldai ら（2006）の方法により行い、カラム（SP-2560; 100m length, 0.25mm i.d., and 0.20 μ m film thickness; Supelco, Bellfote, Pennsylvania, USA）を装着したガスクロマトグラフィー（GC-2010Puls, 島津製作所, 京都）を用いて行った。また分析条件は、注入口 250°C, FID 検出器 260°C, および 45°Cで4分間保持し、その後 13°C/min で 175°Cまで上昇した後、240°Cまで4°C/min で再上昇させ15分間保持する条件で行った。ピークの同定のため、GLC463（C4:0～C24:1 混合；Nu Chek Prep, USA）、Methyl ester of CLA 9-cis,11-trans（Matreya, USA）を標品として用い、これらのリテンションタイムと比較して同定を行った。各脂肪酸の組成比はピークの面積合計を100%として算出した。

粗脂肪含量の分析は16時間のジエチルエーテル抽出によるソックスレー法（AOAC, 1984）により行った。

5. 統計解析

各脂肪酸の割合とテクスチャー、クッキングロス、および肉色との関係について、およびオレイン酸および一価不飽和脂肪酸の割合と粗脂肪含量との関係について、それぞれ単回帰分析を行い、回帰係数の有意性について検定を行った。

結果および考察

黒毛和種の胸最長筋における最大荷重と各脂肪酸の割合および粗脂肪含量との関係を図 1 に示す。パルミチン酸 ($R = 0.42$)、ステアリン酸 ($R = 0.50$)、および飽和脂肪酸 ($R = 0.49$) の割合が高くなるのに伴って最大荷重が有意に高くなった ($P < 0.05$)。また、オレイン酸 ($R = -0.41$) および一価不飽和脂肪酸 ($R = -0.49$) の割合 ($P < 0.05$) および粗脂肪含量 ($R = -0.55, P < 0.01$) が高くなるのに伴って最大荷重が有意に低くなった。これらの結果は、筋肉内脂肪含量が高い筋肉は剪断力価が低くなるという報告 (Ueda ら 2007) と一致することに加え、一価不飽和脂肪酸割合が高くなり、飽和脂肪酸割合が低くなることにより、変形させるのに必要な力の指標である最大荷重が低くなり、牛肉が軟化する可能性についても示している。一般に、脂肪の硬さは脂肪を構成する脂肪酸の融点による影響を受ける。本研究において、最も割合が高かった脂肪酸は融点が 13.4°C と低い (Wood ら 2004) オレイン酸 ($50.0 \pm 0.6\%$) であった。したがって、一価不飽和脂肪酸割合と最大荷重との間に負の相関が得られたのは、一価不飽和脂肪酸の中で特にオレイン酸の割合が高かったためであると考えられる。

黒毛和種の胸最長筋における凝集性と各脂肪酸の割合および粗脂肪含量との関係を図 2 に示す。凝集性と各脂肪酸の割合の間にはそれぞれ有意な相関がみられなかったが ($P > 0.05$)、粗脂肪含量が高くなるのに伴って凝集性が有意に低くなった ($R = -0.84, P < 0.001$)。したがって、複数回噛みしめる時の復元する割合の指標である凝集性は脂肪酸組成による影響を受けないが、筋肉内脂肪含量の影響を受けることが示された。一方、黒毛和種の胸最長筋における付着性と各脂肪酸の割合および粗脂肪含量との間には、それぞれ有意な相関がみられなかった ($P > 0.05$, 図 3)。したがって、接着する物体を引き離すのに必要

な力の指標である付着性は脂肪酸組成および筋肉内脂肪含量による影響を受けないことが示された。

黒毛和種の胸最長筋におけるガム性荷重と各脂肪酸の割合および粗脂肪含量との関係を図 4 に示す。パルミチン酸 ($R = 0.42$) および飽和脂肪酸 ($R = 0.43$) の割合が高くなるのに伴ってガム性荷重が有意に高くなった ($P < 0.05$)。また、オレイン酸 ($R = -0.41$) および一価不飽和脂肪酸 ($R = -0.44$) の割合 ($P < 0.05$) および粗脂肪含量 ($R = -0.81, P < 0.001$) が、それぞれ高くなるのに伴って、ガム性荷重が有意に低くなった。これらの結果は、一価不飽和脂肪酸割合が高くなり、飽和脂肪酸割合が低くなることにより、飲み込める状態にまで砕くのに必要な力の指標であるガム性荷重が低くなり、牛肉が飲み込み易くなることを示している。これは、ガム性荷重が最大荷重と凝集性との積であることから、最大荷重と同様に、牛肉に含まれる脂肪酸の中で特にオレイン酸の割合が高いことが大きな要因であると考えられる。

オレイン酸などの一価不飽和脂肪酸の割合が高い筋肉は筋肉内脂肪含量も高いことが報告されている (Indurain ら 2006)。ところが本研究では、オレイン酸および一価不飽和脂肪酸の割合と粗脂肪含量の間には有意な相関がみられなかった ($P > 0.05$, 図 5)。この結果は、少なくとも本研究において、オレイン酸および一価不飽和脂肪酸の割合が高い筋肉の最大荷重およびガム性荷重が低かったのは、粗脂肪含量が高かったためではなかったことを示している。したがって、脂肪含量が低い筋肉においても、オレイン酸または一価不飽和脂肪酸の割合が高い牛肉は軟らかく飲み込み易い可能性があると考えられる。飯田 (2017) は、牛肉における適正な脂肪含量は 36% であり、多すぎる脂肪交雑は風味およびうま味を低下させることを報告している。したがって今後は、オレイン酸および一価不飽和脂肪酸がどの程度の割合を満たしていれば、粗脂肪含量がどの程度まで低くても、軟らかく飲み込み易いと評価されるのかについて

検討していく必要があると考えられる。

鈴木ら（2013）および露木ら（2016）は、一価不飽和脂肪酸割合が高い牛肉において「やわらかさ」の評価が低くなるという、本研究とは異なる結果を報告している。彼らは、一価不飽和脂肪酸の融点が低いことから、加熱中に脂肪が流出したためではないかと考察している。一方、本研究では、粗脂肪含量とクッキングロスとの間に有意な相関（ $R = -0.82, P < 0.001$ ）がみられたものの、各脂肪酸の割合とクッキングロスとの間に有意な（ $P > 0.05$ ）相関はみられなかった（図 6）。また Scheeder ら（2001）も、牛パティの脂肪酸組成はクッキングロスに影響を及ぼさないことを報告しており、本研究の結果と一致している。したがって、脂肪酸組成の違いは脂肪の流出量には影響を及ぼさないと考えられる。

黒毛和種の胸最長筋における各脂肪酸の割合と b^* 値との関係を図 7 に示す。飽和脂肪酸の割合（ $R = 0.41$ ）が高くなるのに伴って b^* 値が有意に高くなり、また一価不飽和脂肪酸の割合（ $R = -0.40$ ）が高くなるのに伴って b^* 値が有意に低くなった（ $P < 0.05$ ）。一方、各脂肪酸の割合と L^* 値および a^* 値の間には、それぞれ有意な相関がみられなかった（ $P > 0.05$, 図 8 および図 9）。これらの結果は、一価不飽和脂肪酸割合が高くなり、また飽和脂肪酸割合が低くなることにより、明度の指標である L^* 値および赤色度の指標である a^* 値には影響を及ぼさないものの、黄色度の指標である b^* 値は低くなることを示している。したがって、枝肉の格付において黄色度が高いものは低く評価される傾向があるため、一価不飽和脂肪酸割合が高い牛肉は、軟らかく飲み込み易いと評価されるだけでなく、格付成績についても高く評価される可能性があると考えられる。

本研究の結果から、黒毛和種の牛肉において、牛肉の脂肪酸組成はテクスチャーおよび肉色に影響を及ぼす可能性が示された。今後は、消費者が求める適正な脂肪の量と脂肪酸組成との関係を明らかにし、またそのような品質の牛肉

を生産するための肥育方法について検討していく必要があると考えられる。

要約

黒毛和種牛肉（胸最長筋）における脂肪酸組成とテクスチャーおよび肉色との関係について検討を行った。牛肉の最大荷重とパルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、飽和脂肪酸、および一価不飽和脂肪酸割合との間、およびガム性荷重とパルミチン酸、オレイン酸、飽和脂肪酸、および一価不飽和脂肪酸割合との間に、それぞれ有意な相関がみられた。また、牛肉の b^* 値と飽和脂肪酸および一価不飽和脂肪酸割合との間に有意な相関がみられた。

Relationships between fatty acid composition and textural properties and color of beef from Japanese Black cattle

Abstract

This study was conducted to examine relationships between fatty acid composition and textural properties and color of Japanese Black cattle beef (*M. longissimus thoracis*). Significant correlations were found between maximum load and the percentages of palmitic acid, stearic acid, oleic acid, saturated fatty acid, and monounsaturated fatty acid. Similarly, significant correlations were found between the load of gumminess and the percentages of palmitic acid, oleic acid, saturated fatty acid, and monounsaturated fatty acid. Significant correlations were also present between the b* value and the percentages of saturated fatty acid and monounsaturated fatty acid.

第3章 接触型電極を用いたインピーダンス測定による牛肉中オレイン酸割合の推定

緒言

これまで、我が国における牛肉の評価は脂肪交雑の量を重視するものであったが、近年、消費者の健康志向等の影響により、脂肪の量だけではなく、質に影響を及ぼす脂肪酸の組成が注目されるようになってきた。オレイン酸の割合は牛肉の品質に影響を及ぼし、割合が高くなると脂肪が軟らかくなること (Leat 1975) ことが報告されている。また、飽和脂肪酸の割合が低く、オレイン酸に代表される不飽和脂肪酸の割合が高い牛肉は、官能試験における評価が高くなることが報告されている (Westerling と Hedrick 1979)。一方、n-3 系の多価不飽和脂肪酸の割合が高い牛肉では、オフフレーバーの発生の一因となるアルデヒド類が多く生成することが報告されている (Elmore ら 1999)。

脂肪酸組成の分析は、一般にガスクロマトグラフィー法により行われているが、時間を要するだけではなく、枝肉や牛肉の一部を損傷させてしまうため、流通過程において分析を行うことは難しい。そこで近年、迅速かつ非破壊的な分析方法の一つとして、近赤外分光法による脂肪酸組成の測定についての研究が行われてきた (Sierra ら 2008 ; 大倉ら 2009)。ところが、近赤外分光法を用いるための測定器は高額であり、導入が容易ではないことが問題となっている。

食肉の非破壊的な測定方法の一つとしてインピーダンス測定がある。これまで、安価な測定器を用いたインピーダンス測定による、牛ステーキ (鎌田と村元 2014) および牛パティ (木浦ら 2016) の脂肪含量、およびテクスチャーの違い (村元ら 2017) を迅速および非破壊的に推定する方法が、それぞれ明らかにされてきた。Marchello ら (1999) は、脂肪含量とインピーダンスとの関係につ

いて調べ、豚挽肉と牛挽肉との間では結果が異なることを報告している。彼らはその原因が不飽和脂肪酸割合の違いにあるのではないかと考察しているが、牛肉の脂肪酸組成とインピーダンスとの関係については明らかにされていない。

そこで本研究では、ガスクロマトグラフィー法により求めた牛肉の脂肪酸組成とインピーダンスとの関係を明らかにし、インピーダンス測定による牛肉の脂肪酸組成の推定について検討を行った。

材料および方法

1. 供試筋肉

日本短角種去勢牛 8 頭を供試牛として用いた。屠畜 2 日後のすべての供試牛の枝肉から半腱様筋 (*M. semitendinosus*) および胸最長筋 (*M. longissimus thoracis*), および任意の 5 頭の供試牛の枝肉から腹鋸筋 (*M. serratus ventrailis*) を採取し, 各筋肉の一部から筋線維と平行に 10×10×40mm の直方体サンプル (2 反復) を調製した。

2. インピーダンスの測定

インピーダンスは, 測定周波数を 1mHz から 100kHz まで可変できる LCR ハイテスタ (3522-50, 日置電機, 長野) を用い, 測定ケーブルとして 4 端子プローブ (9140, 日置電機, 長野) を用いて測定を行った。各端子のケーブルを HCUR 端子 (測定信号印加端子) と HPOT 端子 (電圧検出の Hi 端子), および LCUR 端子 (測定電流検出端子) と LPOT 端子 (電圧検出の Lo 端子) に接続した。HCUR 端子電極と HPOT 端子電極, LCUR 端子電極と LPOT 端子電極との間隔を約 1 cm の幅で向き合わせた。向き合わせた 2 つの電極対はステーキの両端に接触させ, 筋線維の方向に対し垂直の方向に固定した (図 10)。なお測定は, 定電圧が 0.4V および周波数が 1Hz, 120Hz, および 100kHz で行った。

3. 粗脂肪含量および脂肪酸組成の測定

各筋肉において, インピーダンスの測定に供した直方体サンプルの周辺を細切し, 真空包装した後, 分析まで -20°C で冷凍貯蔵した。4°C で 48 時間の解凍後, 粗脂肪含量および脂肪酸組成の分析を行った。

粗脂肪含量の分析は 16 時間のジエチルエーテル抽出によるソックスレー法 (AOAC, 1984) により行った。脂肪酸組成の分析はガスクロマトグラフィー法により行った。なお, 脂肪酸遊離およびメチルエステル化は Aldai ら (2006)

の方法により行い、カラム (SP-2560; 100m length, 0.25mm i.d., and 0.20 μ m film thickness; Supelco, Bellefonte, Pennsylvania, USA) を装着したガスクロマトグラフィー (GC-2010Puls, 島津製作所, 京都) を用いて行った。また分析条件は、注入口 260 $^{\circ}$ C, FID 検出器 260 $^{\circ}$ C, および 140 $^{\circ}$ C で 2 分間保持し, その後 1 分間に 4 $^{\circ}$ C のペースで上昇した後, 240 $^{\circ}$ C で 20 分間保持する温度設定で行った。ピークの同定のため, Supelco 37 component FAME Mix (47885-U ; Supelco), PUFA-2, Animal Source (47015-U ; Supelco), および PUFA-3, Menhaden Oil (47085-U ; Supelco) を標品として用い, これらのリテンションタイムと比較して同定を行った。各脂肪酸の組成比はピークの面積合計を 100% として算出した。

4. 統計解析

各筋肉および各周波数において, 各脂肪酸組成とインピーダンスとの関係について, それぞれ単回帰分析を行い, 回帰係数の有意性について検定を行った。また, 粗脂肪含量および各脂肪酸割合の 3 筋肉間における平均値の差の検定を Tukey-Kramer の多重比較検定により行った。

結果および考察

腹鋸筋のオレイン酸割合と粗脂肪含量との関係、および周波数 1Hz, 120Hz, および 100kHz におけるインピーダンスとの関係を、それぞれ図 11 に示す。鎌田と村元 (2014) および木浦ら (2016) は、粗脂肪含量とインピーダンスとの間には正の相関が得られたと報告していることから、オレイン酸割合と粗脂肪含量との関係について検討を行った結果、オレイン酸割合と粗脂肪含量との間には有意な相関がみられなかった ($P > 0.05$)。したがって、オレイン酸割合と粗脂肪含量が、それぞれ独立してインピーダンスに影響を及ぼしていることが示された。周波数 120Hz ($R = 0.96, P < 0.01$) および 100kHz ($R = 0.95, P < 0.05$) において、オレイン酸割合の増加に伴いインピーダンスは有意に増加し、正の高い相関が得られた。したがって接触型電極を用いたインピーダンス測定により少なくとも腹鋸筋中のオレイン酸割合を迅速、非破壊、安価、および高い精度で推定できる可能性が示唆された。

腹鋸筋の飽和脂肪酸割合と粗脂肪含量との関係、および周波数 1Hz, 120Hz, および 100kHz におけるインピーダンスとの関係を、それぞれ図 12 に示す。飽和脂肪酸割合と粗脂肪含量との間には有意な相関がみられなかった ($P > 0.05$)。したがって、飽和脂肪酸割合と粗脂肪含量が、それぞれ独立してインピーダンスに影響を及ぼしていることが示された。飽和脂肪酸割合の増加に伴い周波数 120Hz ($R = -0.92, P < 0.05$) および 100kHz ($R = -0.89, P < 0.05$) において、インピーダンスはそれぞれ有意に減少し、負の高い相関が得られた。腹鋸筋の不飽和脂肪酸割合と粗脂肪含量との関係、および周波数 1Hz, 120Hz, および 100kHz におけるインピーダンスとの関係を、それぞれ図 13 に示す。また、腹鋸筋の一価不飽和脂肪酸割合と粗脂肪含量との関係、および周波数 1Hz, 120Hz, および 100kHz におけるインピーダンスとの関係を、それぞれ図 14 に示す。不

飽和脂肪酸割合および一価不飽和脂肪酸割合と粗脂肪含量との間には、それぞれ有意な相関がみられなかった ($P > 0.05$)。したがって、不飽和脂肪酸割合または一価不飽和脂肪酸割合と粗脂肪含量が、それぞれ独立してインピーダンスに影響を及ぼしていることが示された。不飽和脂肪酸では周波数 120Hz ($R = 0.92, P < 0.05$) および 100kHz ($R = 0.87, P < 0.05$) において、また一価不飽和脂肪酸では周波数 120Hz ($R = 0.96, P < 0.01$) および 100kHz ($R = 0.92, P < 0.05$) において、不飽和脂肪酸または一価不飽和酸の割合の増加に伴い、それぞれインピーダンスは有意に増加し、正の高い相関が得られた。

腹鋸筋におけるすべての周波数において、ステアリン酸、リノール酸、 α -リノレン酸、および多価不飽和脂肪酸の割合とインピーダンスとの間には、それぞれ有意な相関がみられなかった ($P > 0.05$, 図 15, 16, 17, および 18)。これは、全脂肪酸に対するこれらの脂肪酸の割合が、オレイン酸などの相関が得られた脂肪酸に比較して低かったことから、インピーダンスには反映されなかったためではないかと考えられる。また、半腱様筋および胸最長筋ではすべての周波数において、各脂肪酸の割合とインピーダンスとの間には、それぞれ有意な相関はみられなかった ($P > 0.05$, 図 19 および 20)。各筋肉の粗脂肪含量(表 1) は、半腱様筋が $3.8 \pm 0.5\%$ 、胸最長筋が $12.9 \pm 1.4\%$ 、および腹鋸筋が $29.7 \pm 7.0\%$ であり、腹鋸筋が 3 筋肉の中で有意に高かった ($P < 0.01$)。したがって、腹鋸筋とは異なり、半腱様筋および胸最長筋において各脂肪酸の割合とインピーダンスとの間に、それぞれ相関がみられなかったのは、半腱様筋および胸最長筋の粗脂肪含量が腹鋸筋のものに比較して低かったことにより、脂肪酸の割合だけでなく含量としても低く、このことがインピーダンスに反映されなかった原因ではないかと考えられる。常石ら (1987) は、各筋肉の脂肪酸組成が類似していることを報告している。本研究では、オレイン酸および一価不飽和脂肪酸の割合に筋肉の間での有意な差は認められず、また飽和脂肪酸および不飽

和脂肪酸の割合に腹鋸筋と胸最長筋との間での有意な差はみられなかった ($P > 0.05$, 表 2). したがって, 腹鋸筋のインピーダンスを測定することにより, 飽和脂肪酸および不飽和脂肪酸の割合については胸最長筋の, またオレイン酸および一価不飽和脂肪酸の割合については胸最長筋だけではなく半腱様筋のものについても推定できる可能性が示された.

江崎と野口 (1959) は, 炭素鎖中の二重結合の有無による立体構造上の規則的配列の変化は電気的特性に影響を及ぼす可能性のあることを報告している. 本研究において, 不飽和脂肪酸割合とインピーダンスとの間には正の相関が得られたのに対し, 飽和脂肪酸割合とインピーダンスの間には負の相関が得られた. したがって, 脂肪酸の炭素鎖中における二重結合の割合が高まると絶縁性が高まり, インピーダンスが増加する可能性のあることが示された. この理由については本研究の中では明らかにすることができなかつたため, 今後詳細に検討していく必要があると考えられる.

西岡ら (2008) は, 市場において好ましいと評価される皮下脂肪の一価不飽和脂肪酸割合は 61% から 64% と報告している. また, 佐久間 (2012) らは, 一価不飽和脂肪酸割合が 60% 程度の胸最長筋は, 50% 前後のものに比較して, 官能評価における甘い香りが高まることを報告している. また, 橋元ら (2014) は, 5 頭の黒毛和種の筋肉を用いた官能評価において, 皮下脂肪の一価不飽和脂肪酸割合が 61% の個体のものは, 5 頭の中で美味しさの評価が最も高かったことを報告している. したがって, 一価不飽和脂肪酸割合が 60% 程度の筋肉は官能評価における風味および美味しさの評価が高くなることが考えられる. そこで, この値 (60%) を図 14 の C および D の近似式に適応すると, それぞれ $862\ \Omega$ および $866\ \Omega$ が得られる. したがって, インピーダンス測定を行い, 周波数 120Hz または 100kHz において, 860 から 870 Ω 程度のインピーダンスが得られた牛肉は官能評価における風味および美味しさの評価が高くなる可能性が示

された。今後、官能評価も併せて行うことにより、インピーダンスとの関係について詳細に検討を行う必要があると考えられる。

本研究では、粗脂肪含量が高い腹鋸筋のオレイン酸，飽和脂肪酸，不飽和脂肪酸，および一価不飽和脂肪酸と周波数 120Hz および 100kHz におけるインピーダンスとの間では相関が得られたが，1Hz におけるインピーダンスとの間では相関が得られなかった。豊田（2008）は，周波数が低い条件下では電流は細胞膜の脂質二重層を通過できないが，高い条件下では通過できることから，低い周波数から高い周波数においてインピーダンスを測定することにより，細胞内外および細胞膜の状態を推定することが可能であることを報告している。したがって，低い周波数である 1Hz においては，電流は細胞膜の内側に存在する脂肪滴には到達できず，インピーダンスに反映されないのではないかと考えられる。

本研究の結果から，接触型電極を用いて周波数 120Hz および 100kHz におけるインピーダンスを測定することにより，腹鋸筋のような脂肪含量が高い牛肉のオレイン酸，飽和脂肪酸，不飽和脂肪酸，および一価不飽和脂肪酸の，それぞれの割合を非破壊的に推定できる可能性が示された。また，腹鋸筋のインピーダンスを測定することにより，飽和脂肪酸および不飽和脂肪酸の割合については胸最長筋の，またオレイン酸および一価不飽和脂肪酸の割合については胸最長筋だけではなく半腱様筋のものについても推定できる可能性が示された。今後，脂肪含量が低い筋肉，オレイン酸以外の脂肪酸割合，および枝肉での推定を行うための方法について検討を行っていく必要があると考えられる。

要約

接触型電極を用いたインピーダンス測定による牛肉中脂肪酸組成の推定について検討を行った。ウシの半腱様筋、胸最長筋、および腹鋸筋からステーキを作成し、接触型電極を装着した LCR メータを用いてインピーダンスを測定した。各ステーキのインピーダンスと各脂肪酸割合との関係を単回帰分析により解析した結果、腹鋸筋のオレイン酸、飽和脂肪酸、不飽和脂肪酸、および一価不飽和脂肪酸の割合とインピーダンスとの間に、それぞれ有意な相関が得られた。腹鋸筋の各脂肪酸の割合と粗脂肪含量との間に有意な相関は得られなかった。粗脂肪含量は腹鋸筋（29.7%）が半腱様筋（3.8%）および胸最長筋（12.9%）に比較して有意に高かった。本研究の結果から、脂肪含量が高い筋肉については、オレイン酸、飽和脂肪酸、不飽和脂肪酸、および一価不飽和脂肪酸の割合が接触型電極を用いたインピーダンス測定により非破壊的に推定できる可能性が示された。

Estimation of oleic acid percentage of beef by measuring impedance with touch type electrodes

Abstract

This study was aimed to estimate the fatty acid composition of beef by measuring impedance using touch type electrodes. Steaks were prepared from bovine *M. semitendinosus*, *M. longissimus thoracis*, and *M. serratus ventrailis*. The impedance of the steaks was measured with an LCR meter equipped with touch type electrodes. The relationship between percentage of each fatty acid and the impedance of the steaks was analyzed by a simple regression analysis. A significant correlation was observed between the percentage of oleic acid, saturated fatty acid, unsaturated fatty acid, and monounsaturated fatty acid and the impedance of *M. serratus ventrailis*. There were no significant correlations between the percentages of fatty acids and crude fat content in *M. serratus ventrailis*. The crude fat content in *M. serratus ventrailis* (29.7%) was significantly higher than that in *M. semitendinosus* (3.8%) and *M. longissimus thoracis* (12.9%). These results suggested that it is possible to estimate the percentage of oleic acid, saturated fatty acid, unsaturated fatty acid, and monounsaturated fatty acid of beef with a high fat content non-destructively by measuring impedance with touch type electrodes.

第4章 総括

1 黒毛和種牛肉における脂肪酸組成とテクスチャーおよび肉色との関係

黒毛和種牛肉における，脂肪酸組成とテクスチャー（最大荷重，凝集性，付着性，およびガム性荷重）および肉色（L*値，a*値，およびb*値）との関係について明らかにするため，青森県内で生産され，同一の方法で肥育を行った黒毛和種肥育牛の胸最長筋について，脂肪酸組成とテクスチャーおよび肉色との関係について検討を行った．

最大荷重とパルミチン酸，ステアリン酸，および飽和脂肪酸の割合との間には正の，およびオレイン酸および一価不飽和脂肪酸割合との間には負の有意な相関が，それぞれ得られた．また，ガム性荷重とパルミチン酸および飽和脂肪酸の割合との間には正の，およびオレイン酸および一価不飽和脂肪酸の割合との間には負の有意な相関が，それぞれ得られた．また，牛肉のb*値と飽和脂肪酸との間には正の，および一価不飽和脂肪酸割合との間には負の有意な相関が，それぞれ得られた．オレイン酸および一価不飽和脂肪酸割合と粗脂肪含量との間には有意な相関はみられなかった．

以上の結果から，脂肪含量に係らず，オレイン酸および一価不飽和脂肪酸の割合が高い黒毛和種牛肉は，喫食時に軟らかく飲み込み易いと評価され，また枝肉の格付け時に肉色の評価が高くなる可能性のあることが示された．

2 接触型電極を用いたインピーダンス測定による牛肉中オレイン酸割合の推定

牛肉の脂肪酸組成の迅速，非破壊，および安価な測定手法を確立するために，ウシの3筋肉（腹鋸筋，半腱様筋，および胸最長筋）から作成したステーキを用いて，脂肪酸組成と接触型電極を装着したLCRハイテスタを用いて測定した

インピーダンスとの関係について検討を行った。

腹鋸筋から作成したステーキについて、オレイン酸、飽和脂肪酸、不飽和脂肪酸、および一価不飽和脂肪酸の割合とインピーダンスとの間に、それぞれ有意な相関が得られた。一方、半腱様筋および胸最長筋から作成したステーキの各脂肪酸の割合とインピーダンスとの間には有意な相関は得られなかった。

以上の結果、3 筋肉の中で腹鋸筋の粗脂肪含量が最も高かったことから、インピーダンス測定により、脂肪含量が高い筋肉のオレイン酸、飽和脂肪酸、不飽和脂肪酸、および一価不飽和脂肪酸の割合を、それぞれ推定できる可能性が示唆された。また、インピーダンス測定を行い、周波数 120Hz または 100kHz において、860 から 870 Ω 程度のインピーダンスが得られた牛肉は、一価不飽和脂肪酸の割合が 60%程度を示し、官能評価における風味および美味しさの評価が高くなる可能性のあることが示された。

本研究の結果から、黒毛和種牛肉において脂肪酸組成は食味に関わる要素の一つであるテクスチャーおよび肉色に影響を及ぼす可能性が示唆された。特に、オレイン酸をはじめとする一価不飽和脂肪酸の割合が高い牛肉は、テクスチャーの改善および枝肉の評価の向上に寄与することが考えられる。また、インピーダンス測定により、牛肉の脂肪酸組成を推定できる可能性が示唆され、このことから、脂肪酸組成との間に相関が得られたテクスチャーおよび肉色についても迅速、非破壊、および安価に推定できる可能性が示唆された。

今後は、脂肪酸組成およびインピーダンスと官能評価との関連についても検討を行い、黒毛和種牛肉において、より食味性が高いと考えられる脂肪酸組成を解明し、その脂肪酸組成をインピーダンス測定により推定することが可能であるかについても検討を行う必要があると考えられる。

謝辞

本研究に関して、終始懇切丁寧なる御指導および御校閲を賜りました主指導教員の岩手大学農学部の村元 隆行 准教授に深く感謝いたします。また、審査および貴重な御助言を賜りました、副指導教員の岩手大学農学部の澤井 健 教授、弘前大学農学生命科学部の松崎 正敏 教授、および山形大学農学部の堀口 健一 教授に心から感謝の意を表します。また、本研究を遂行するにあたり、脂肪酸組成の分析について御指導および貴重な御助言を賜りました東北農業研究センターの米内 美晴 博士に深く感謝申し上げます。さらに、本研究を遂行するにあたり、多大なる御協力および御支援を賜りました、青森県産業技術センター畜産研究所の皆様にも深く感謝申し上げます。

引用文献

- Aldai N, Osoro K, Barron LJR, Nájera AI. 2006. Gas-liquid chromatographic method for analysing complex mixtures of fatty acids including conjugated linoleic acids (cis9trans11 and trans10cis12 isomers) and long-chain (n-3 or n-6) Application to the intramuscular fat of beef meat. *Journal of Chromatography A* **1110**, 133-139.
- Altmann M, Pliquet U. 2006. Prediction of intramuscular fat by impedance spectroscopy. *Meat Science* **72**, 666-671.
- AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis*. 14th edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.
- Elmore JS, Mottram DS, Enser M, Wood JD. 1999. Effect of polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **47**, 1619-1625.
- 江崎平八, 野口駿. 1959. 脂肪酸アルカリ塩の電気抵抗. *工業化学雑誌* **62**, 1834-1835.
- 橋元大介, 福田修, 中西良孝. 2014. 生体インピーダンス法によるウシ枝肉脂肪交雑の推定. *日本畜産学会報* **85**, 509-515.
- 橋元大介, 福田修, 早田剛. 2016. 生体インピーダンス法による肉牛の脂肪交雑値推定. *計測自動制御学会論文集* **52** 188-194.
- 橋元大介, 辻村和也, 深川聡, 大串正明, 中西良孝. 2014. 食肉流通業者による黒毛和種牛肉の官能評価と理化学的特性との関係. *日本暖地畜産学会報* **57**,

1-8.

堀井美那, 櫻井由美, 神辺佳弘, 笠井勝美, 浅田勉, 小林正和, 山田真希夫, 林征幸, 甫立京子. 2009. 牛脂肪交雑基準 (BMS) と筋肉内脂肪含量との関係 (1996 から 2004 年) . 日本畜産学会報 **80**, 55-61.

飯田文子. 2017. 牛肉ロースの食味性. 日本調理科学会誌 **50**, 85-95.

Indurain G, Beriain MJ, Goñi MV, Arana A, Purroy A. 2006. Composition and estimation of intramuscular and subcutaneous fatty acid composition in Spanish young bulls. *Meat Science* **73**, 326–334.

鎌田丈弘, 村元隆行. 2014. 接触型電極を装着した LCR メータを用いたインピーダンス測定による牛肉中脂肪含量の推定. 日本畜産学会報 **85**, 193-196.

加藤宏郎, 坂口守彦, 大井康之, 丸尾信, 豊田薫. 2000. インピーダンス特性による魚肉の鮮度判定 (第 1 報) —魚肉の電気特性と高周波域の実用的鮮度指標の導出—. 農業機械学会誌 **62**, 76-83.

加藤宏郎, 坂口守彦, 大井康之, 丸尾信, 豊田薫. 2000. インピーダンス特性による魚肉の鮮度判定 (第 2 報) —高周波域の鮮度指標の変化と氷蔵時間の確定—. 農業機械学会誌 **62**, 59-69.

河野澄夫. 2003. 食品の非破壊分析ハンドブック. pp84-91.サイエンスフォーラム, 千葉.

河野俊夫, 北野雅治, 松岡孝尚, 石川勝美, 疋田慶夫. 2006. 乾燥中のシイタケ子実体の電気インピーダンス特性. 植物環境工学 **18**, 206-211.

Kitamura Y, Toyoda K, PARK B. 2000. Electric Impedance Spectroscopy for Yogurt

Processing. Food Science and Technology Research **6**, 310-313.

木浦佑一, 鎌田丈弘, 村元隆行. 2016. 接触型電極を用いたインピーダンス測定による牛パティの脂肪含量推定. 日本畜産学会報 **87**, 35-38.

小林正人, 庄司則章. 2011. 黒毛和種牛肉の脂肪の質. 東北畜産学会報 **60**, 65-73.

Leat WMF. 1975. Fatty acid composition of adipose tissue of Jersey cattle during growth and development. Journal of Agricultural Science, Cambridge **85**, 551-558.

Marchello MJ, Slinger WD, Carlson JK. 1999. Bioelectrical impedance: fat content of beef and pork from different size grinds. Journal of Animal Science **77**. 2464-2468.

Mattson FH, Grundy SM. 1985. Comparison of effects of dietary saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids on plasma lipids and lipoproteins in man. Journal of Lipid Research **26**, 194.

松石昌典, 西邑隆徳, 山本克博. 2015. 肉の機能と科学, pp.57-63, 106. 朝倉書店, 東京.

Motoyama M, Sasaki K, Watanabe A. 2016. Wagyu and the factors contributing to its beef quality: A Japanese industry overview. Meat Science **120**. 10-18.

村元隆行, 木浦佑一, 石松朝輝, 鎌田丈弘. 2017. 接触型電極を用いたインピーダンス測定による牛肉テクスチャーの非破壊推定. 日本畜産学会報 **88**, 315-320.

西岡輝美, 石塚譲, 安松谷恵子, 入江正和. 2008. 市場および小売店における牛肉脂肪の嗜好性と理化学的特性との関連. 日本畜産学会報 **79**, 391-401.

- 大倉力, 朴善姫, 西輝美, 入江正和. 2009. 近赤外分光法による豚肉脂質評価装置の開発. 照明学会誌 **84**, 492.
- 岡田祐季, 村元隆行. 2013. 野生エゾシカの 3 筋肉の理化学特性. 日本畜産学会報 **84**, 169-174.
- Piao S, Okura T, Irie M. 2018. On-site evaluation of Wagyu beef carcasses based on the monounsaturated, oleic, and saturated fatty acid composition using a handheld fiber-optic near-infrared spectrometer. *Meat Science* **137**, 258-264.
- 佐久間弘典, 齋藤薫, 曾和拓, 浅野早苗, 小平貴都子, 奥村寿章, 山田信一, 河村正. 2012. 黒毛和種肥育牛の胸最長筋における官能特性に及ぼす粗脂肪含量と脂肪酸組成の影響について. 日本畜産学会報 **83**, 291-299.
- Sanders SK, Morgan JB, Wulf DM, Tatum JD, Williams SN, Smith GC. 1997. Vitamin E supplementation of cattle and shelf-life of beef for the Japanese market. *Journal of Animal Sciences* **75**, 2634-2640.
- Scheeder MRL, Casutt MM, Roulin M, Escher F, P.-A Dufey, Kreuzer M. 2001. Fatty acid composition, cooking loss and texture of beef patties from meat of bulls fed different fats. *Meat Science* **58**, 321-328.
- Sierra V, Aldai N, Castro P, Osoro K, Coto-Montes A, Oliván M. 2008. Prediction of the fatty acid composition of beef by near infrared transmittance spectroscopy. *Meat Science* **78**. 248–255.
- 鈴木啓一, 横田祥子, 塩浦宏陽, 島津朋之, 飯田文子. 2013. 試食パネルによる黒毛和種牛肉の食味性に及ぼす肉質等級, 性と脂肪酸組成の影響の評価. 日

本畜産学会報 **84**, 375-382.

豊田浄彦. 2008. 食品の電気物性とその応用. 美味技術研究会誌 **11**, 57-60.

豊田浄彦. 2011. 食肉の電気特性とその応用. 食肉の科学 **52**, 21-28.

常石英作, 滝本勇治, 西村宏一, 武田尚人. 1987. 肥育牛の各種筋肉におけるトリアシルグリセロールとリン脂質の脂肪酸組成. 日本畜産学会報 **58**, 919-926.

露木理紗子, 鈴木啓一, 飯田文子. 2016. 焼成調理における牛肉官能特性に及ぼす脂肪酸組成の影響. 日本調理科学会誌 **49**, 19-25.

Ueda Y, Watanabe A, Higuchi M, Shingu H, Kushibiki S, Shinoda M. 2007. Effects of intramuscular fat deposition on the beef traits of Japanese Black steers (Wagyu). *Animal Science Journal* **78**, 189-194.

Velazco J, Morrill JL, Grunewald KK. 1999. Utilization of bioelectrical impedance to predict carcass composition of Holstein steers at 3, 6, 9, and 12 months of age. *Journal of Animal Science* **77**, 131-136.

Westerling DB, Hedrick HB. 1979. Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics. *Journal of Animal Science* **48**, 1343-1348.

Wood JD, Richardson RI, Nute GR, Fisher AV, Campo MM, Kasapidou E, Sheard PR, Enser M. 2004. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science* **66**, 21-32.

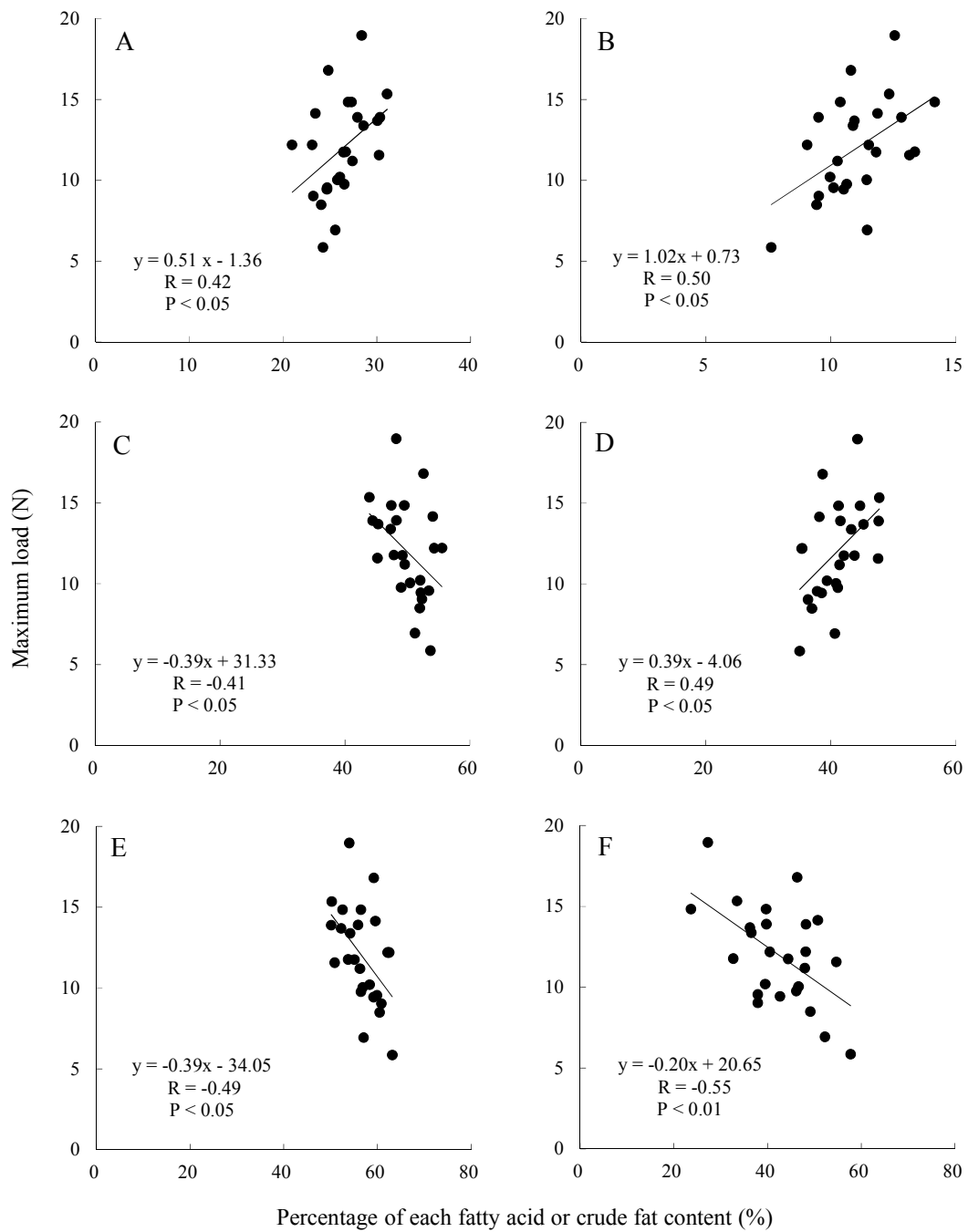


Figure 1 Relationships between percentages of palmitic acid (A), stearic acid (B), oleic acid (C), saturated fatty acid (D), monounsaturated fatty acid (E), and crude fat content (F) and maximum load of *M. longissimus thoracis* of Japanese Black cattle.

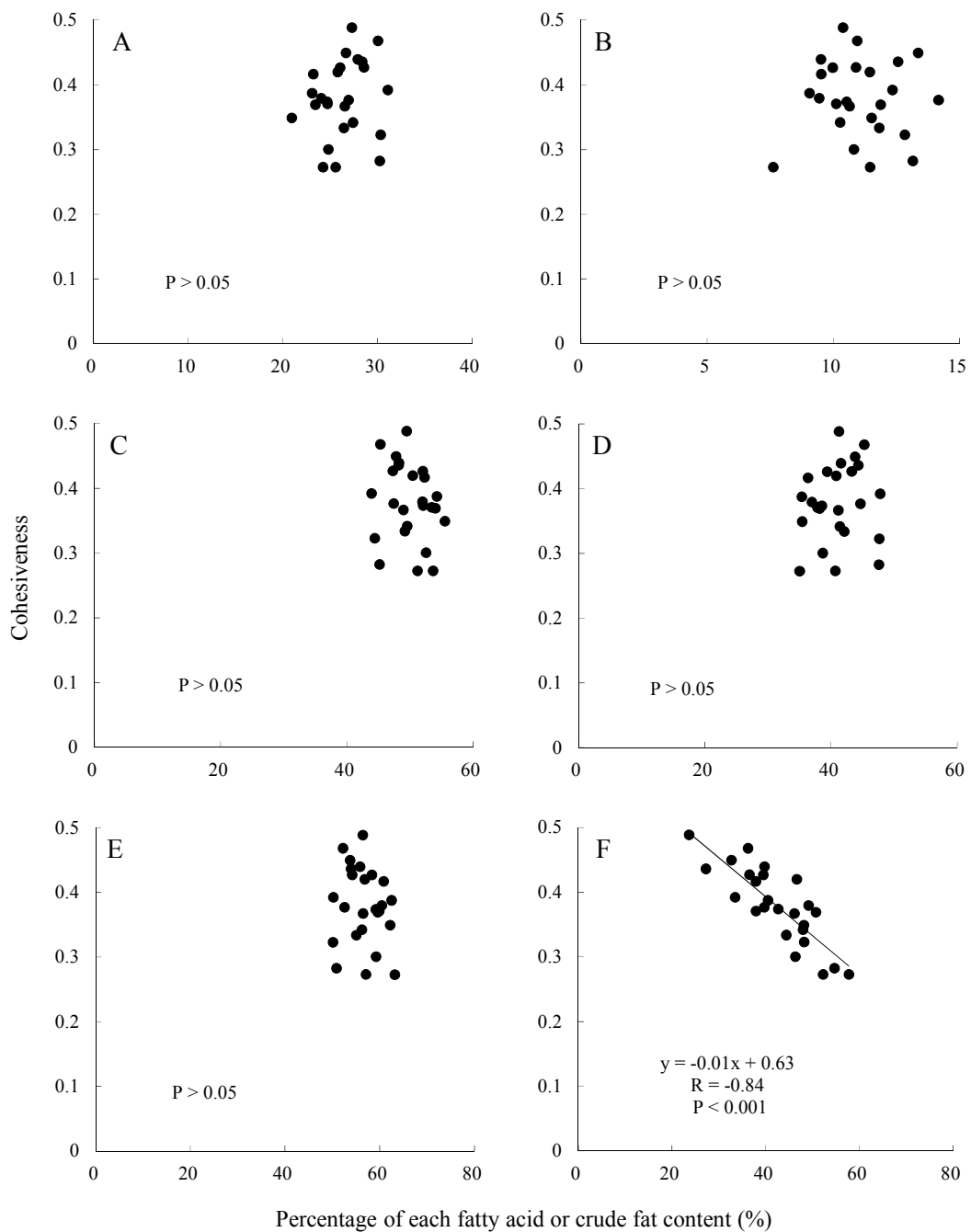


Figure 2 Relationships between percentages of palmitic acid (A), stearic acid (B), oleic acid (C), saturated fatty acid (D), monounsaturated fatty acid (E), and crude fat content (F) and cohesiveness of *M. longissimus thoracis* of Japanese Black cattle.

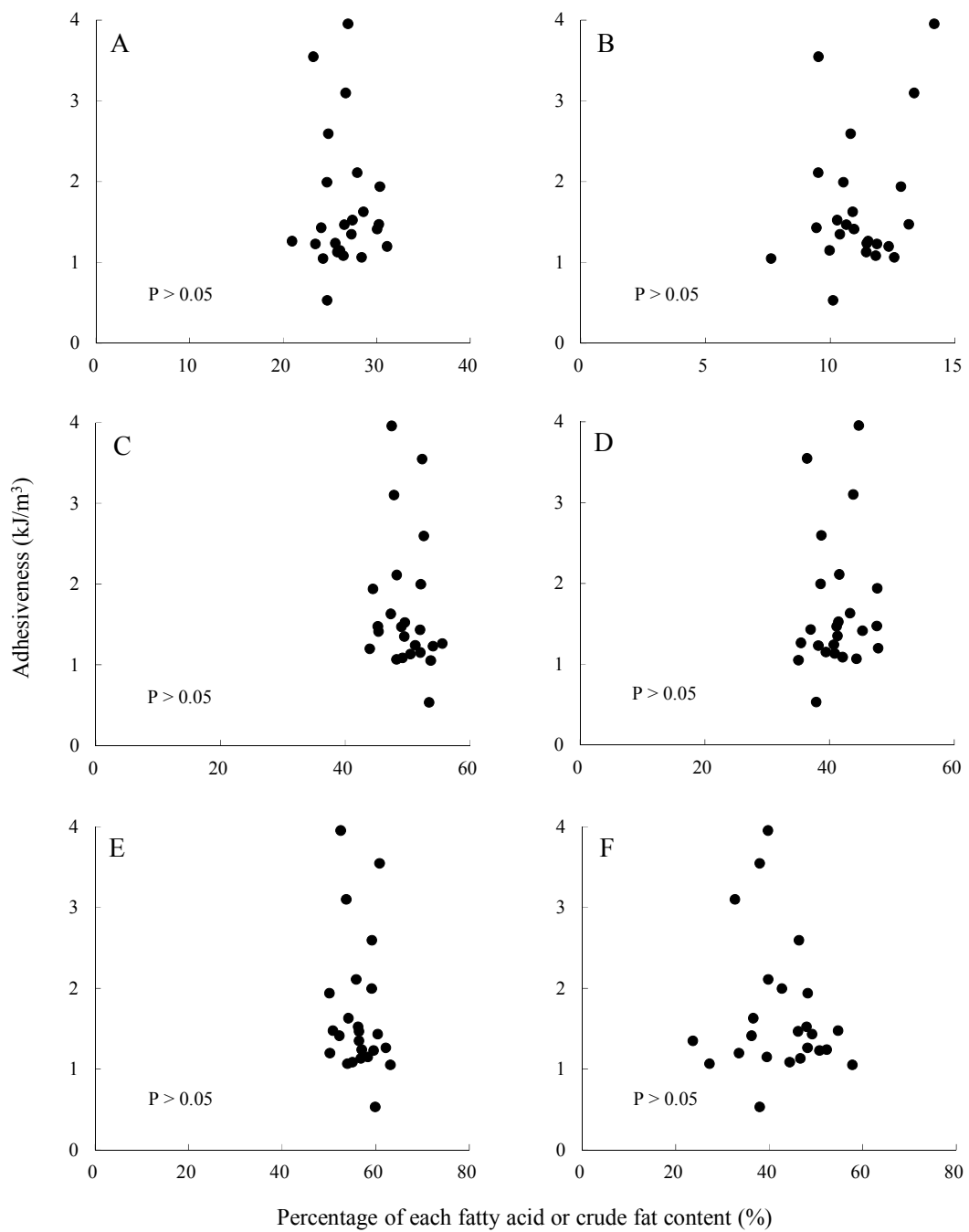


Figure 3 Relationships between percentages of palmitic acid (A), stearic acid (B), oleic acid (C), saturated fatty acid (D), monounsaturated fatty acid (E), and crude fat content (F) and adhesiveness of *M. longissimus thoracis* of Japanese Black cattle.

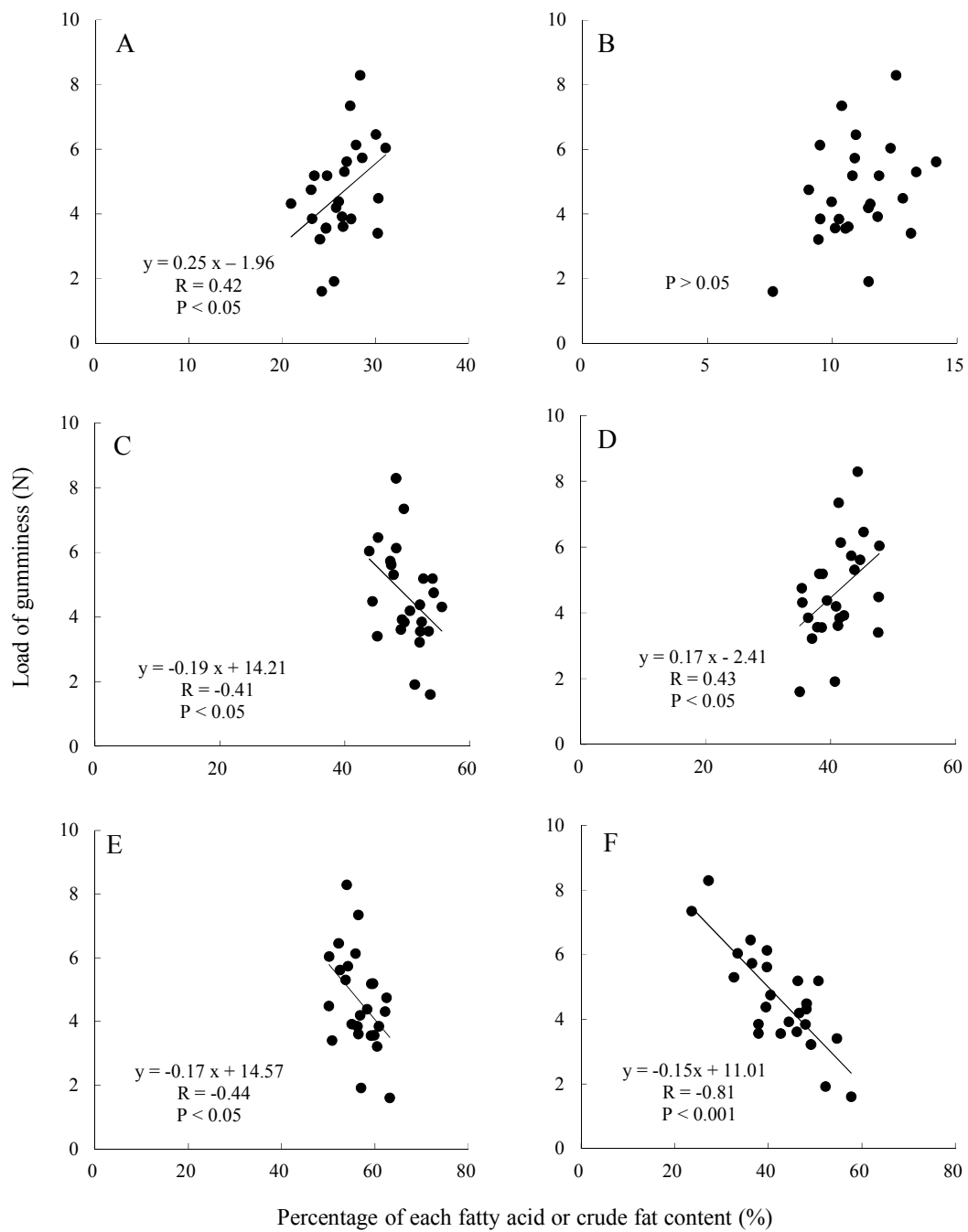


Figure 4 Relationships between percentages of palmitic acid (A), stearic acid (B), oleic acid (C), saturated fatty acid (D), monounsaturated fatty acid (E), and crude fat content (F) and load of gumminess of *M. longissimus thoracis* of Japanese Black cattle.

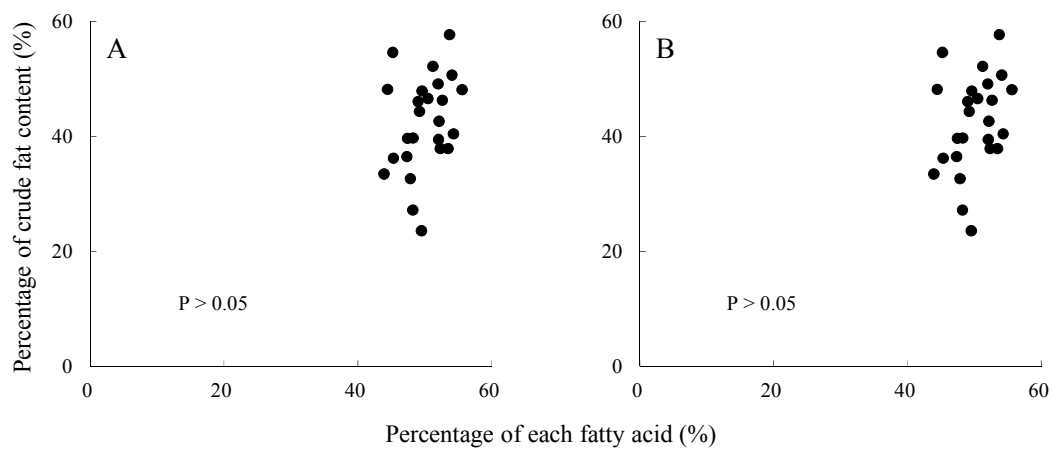


Figure 5 Relationships between percentages of oleic acid (A) and monounsaturated fatty acid (B) and percentage of crude fat content of *M. longissimus thoracis* of Japanese Black cattle.

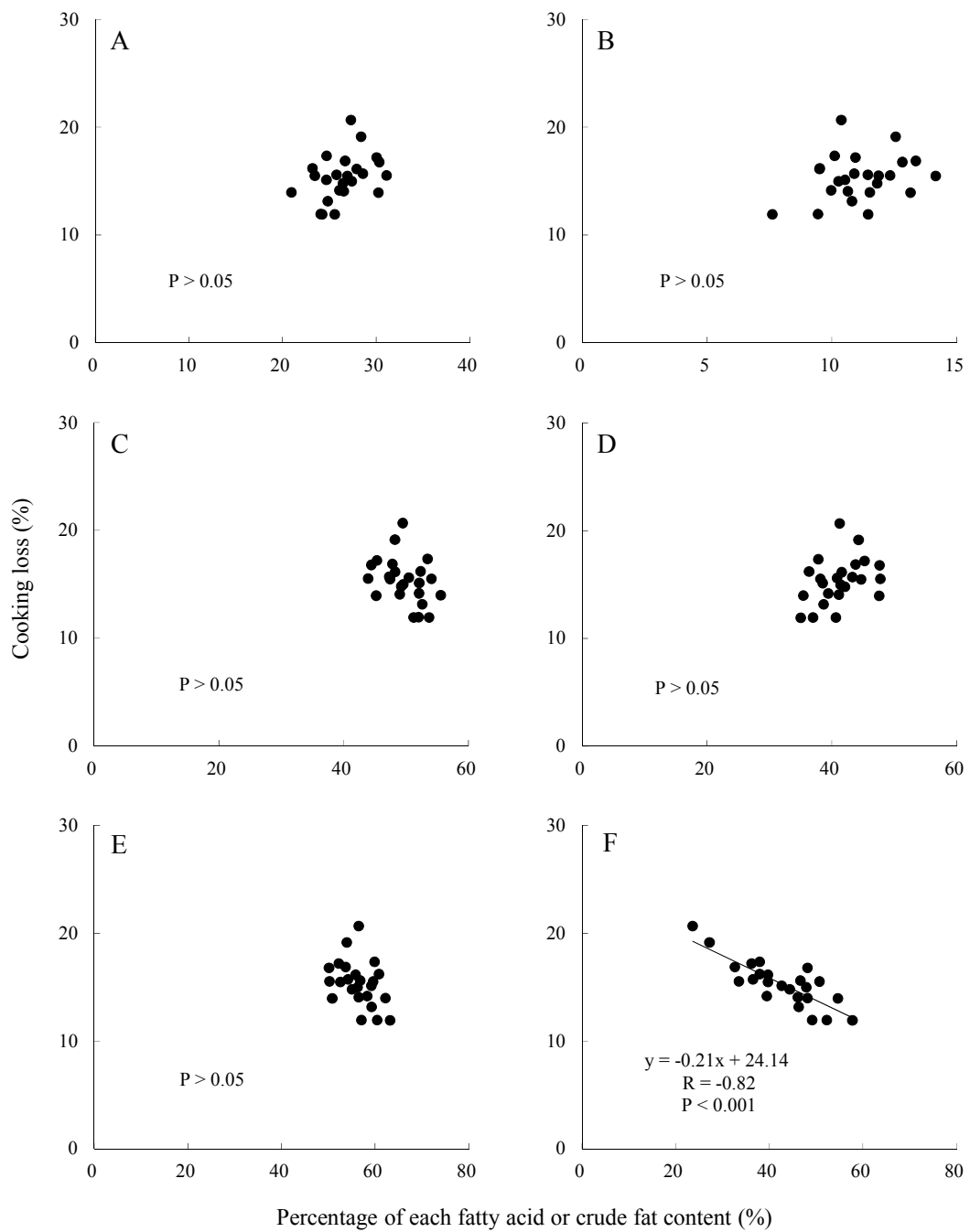


Figure 6 Relationships between percentages of palmitic acid (A), stearic acid (B), oleic acid (C), saturated fatty acid (D), monounsaturated fatty acid (E), and crude fat content (F) and cooking loss of *M. longissimus thoracis* of Japanese Black cattle.

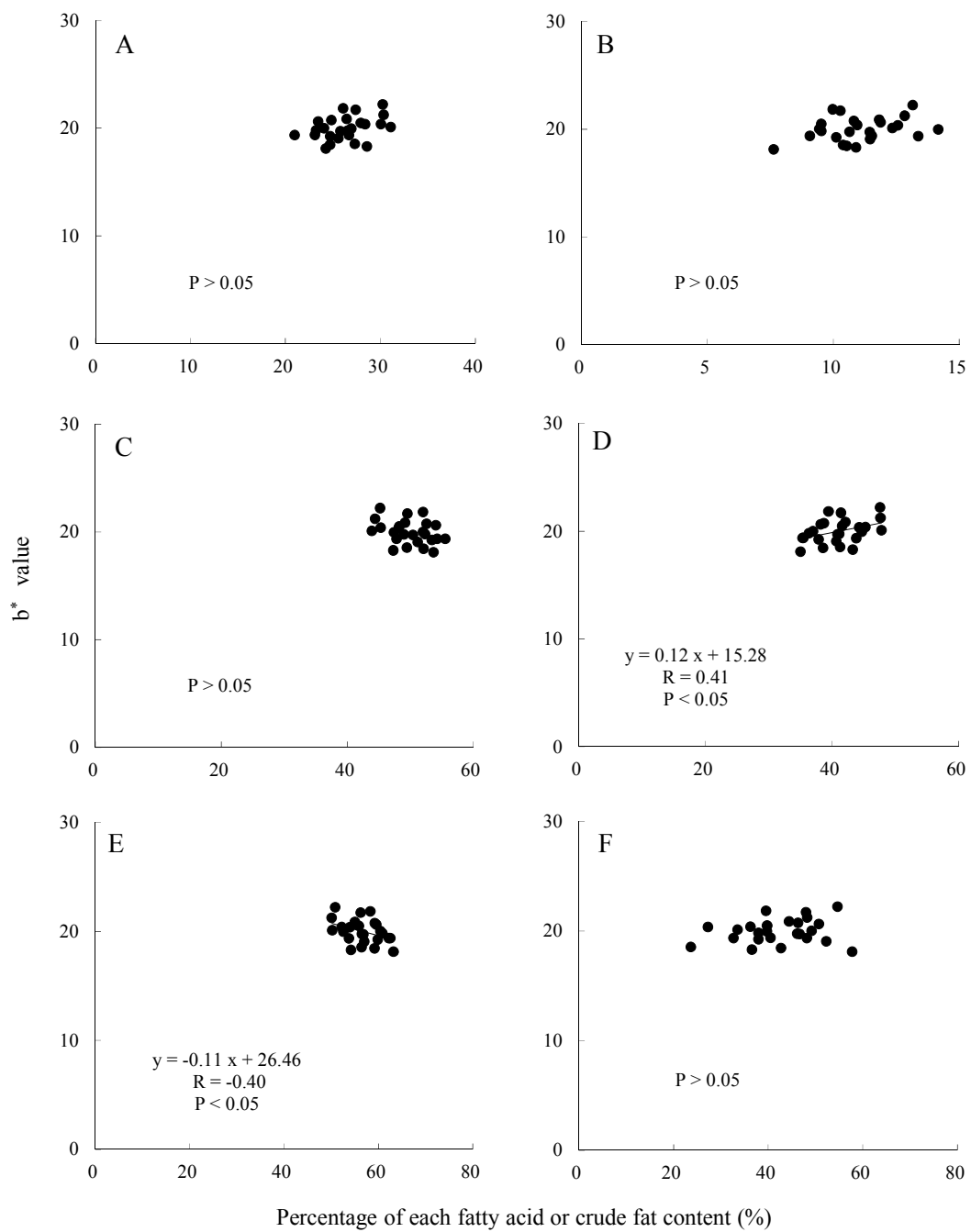


Figure 7 Relationships between percentages of palmitic acid (A), stearic acid (B), oleic acid (C), saturated fatty acid (D), monounsaturated fatty acid (E), and crude fat content (F) and b^* value of *M. longissimus thoracis* of Japanese Black cattle.

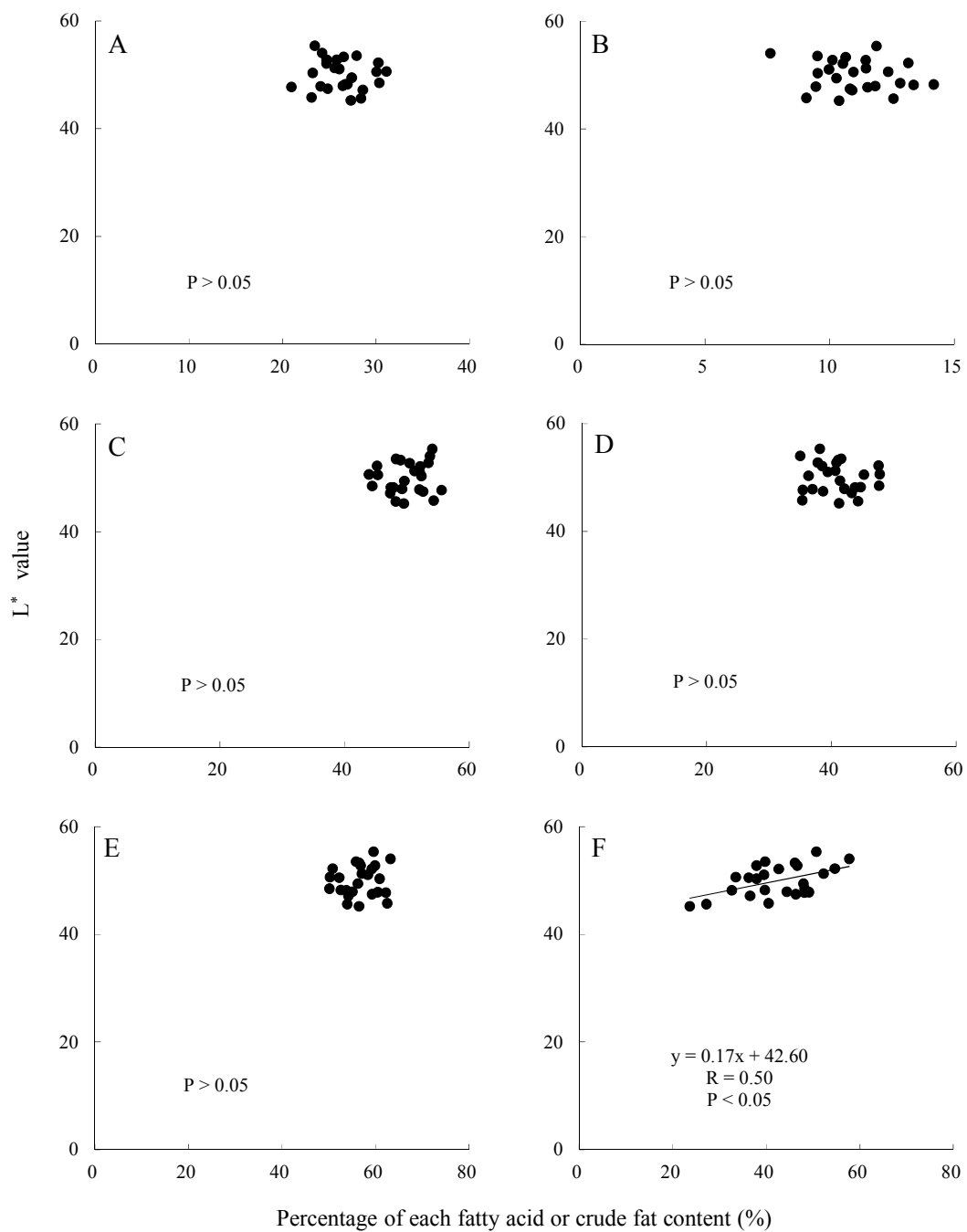


Figure 8 Relationships between percentages of palmitic acid (A), stearic acid (B), oleic acid (C), saturated fatty acid (D), monounsaturated fatty acid (E), and crude fat content (F) and L* value of *M. longissimus thoracis* of Japanese Black cattle.

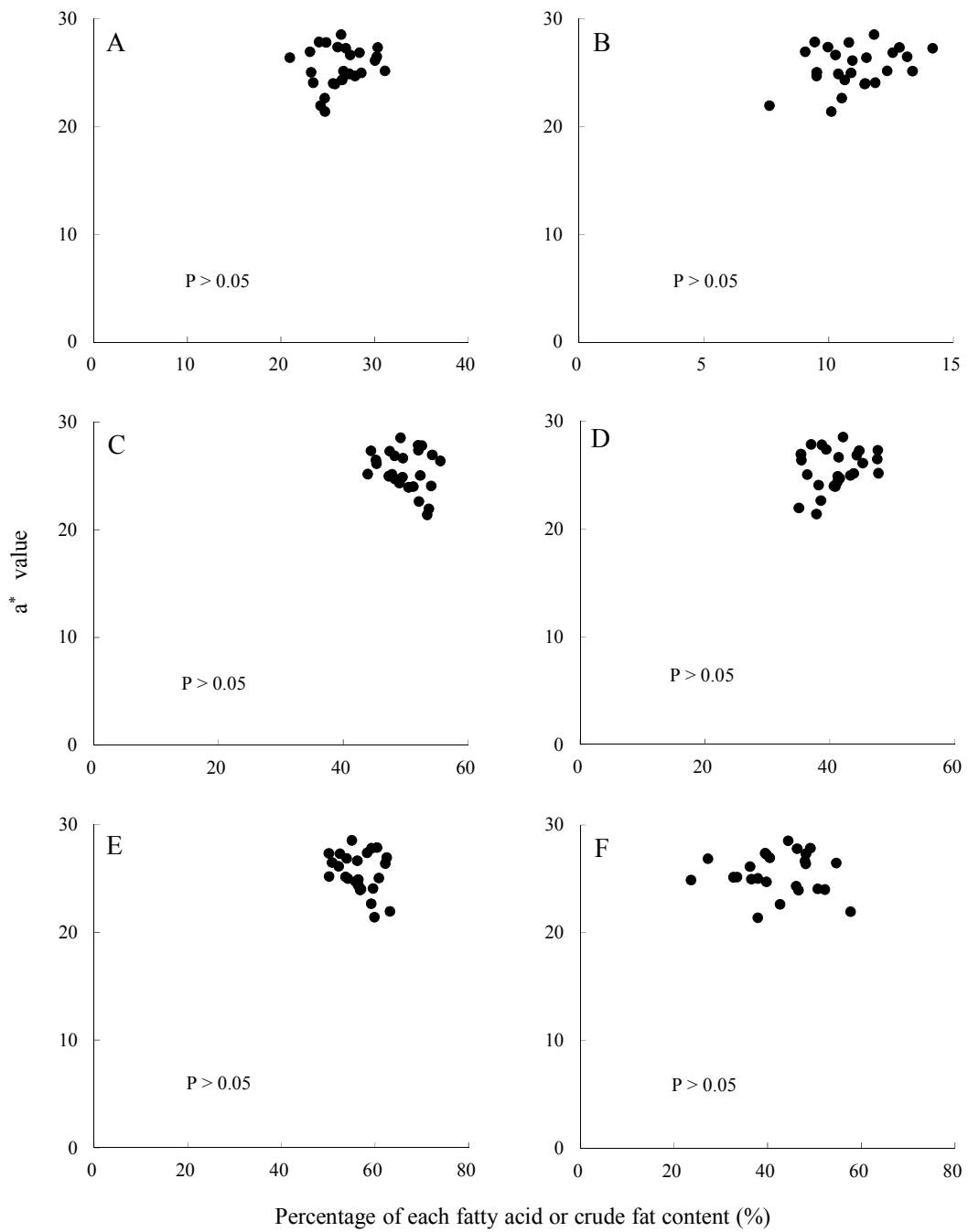


Figure 9 Relationships between percentages of palmitic acid (A), stearic acid (B), oleic acid (C), saturated fatty acid (D), monounsaturated fatty acid (E), and crude fat content (F) and a* value of *M. longissimus thoracis* of Japanese Black cattle.

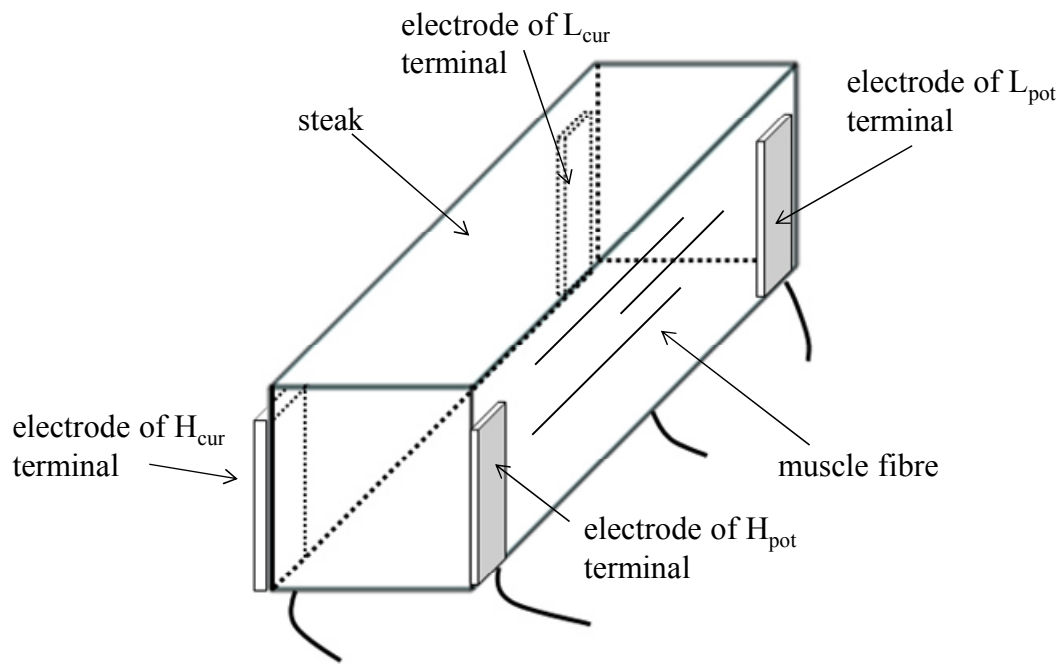


Figure 10 How to put in electrodes for a steak.

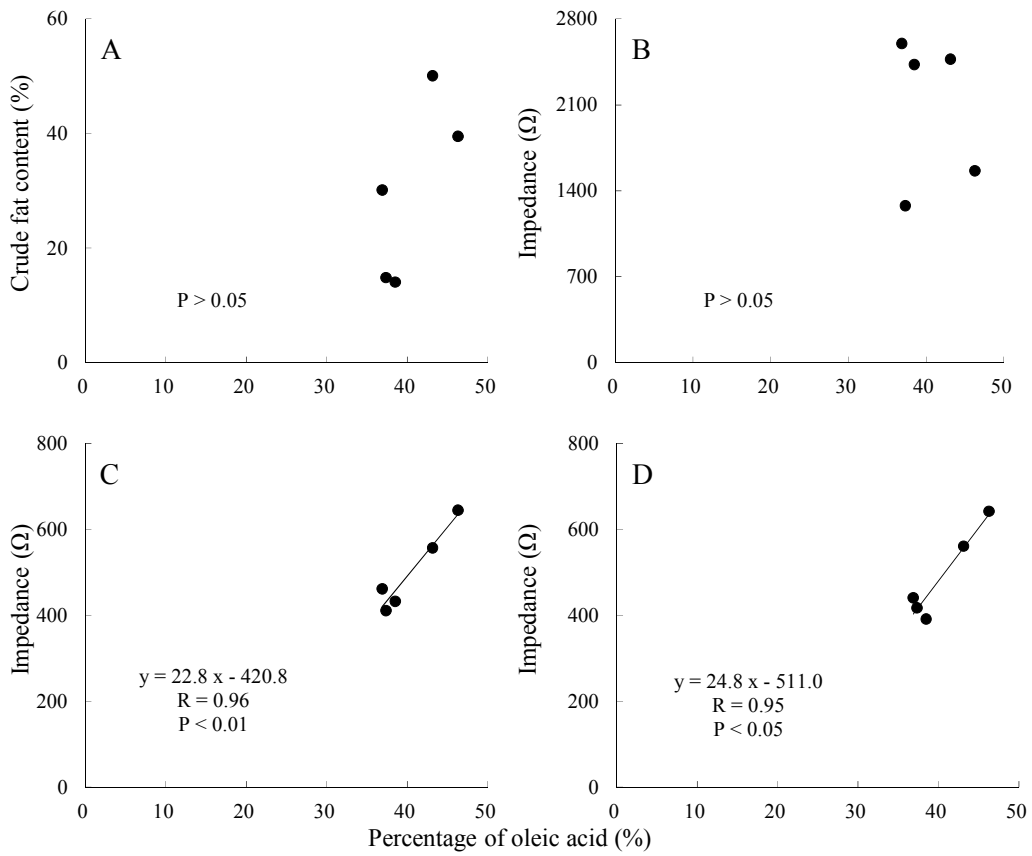


Figure 11 Relationships between percentage of oleic acid and crude fat content (A) and impedance at 1Hz (B), 120Hz (C), and 100kHz (D) in steak of *M. serratus ventrailis*.

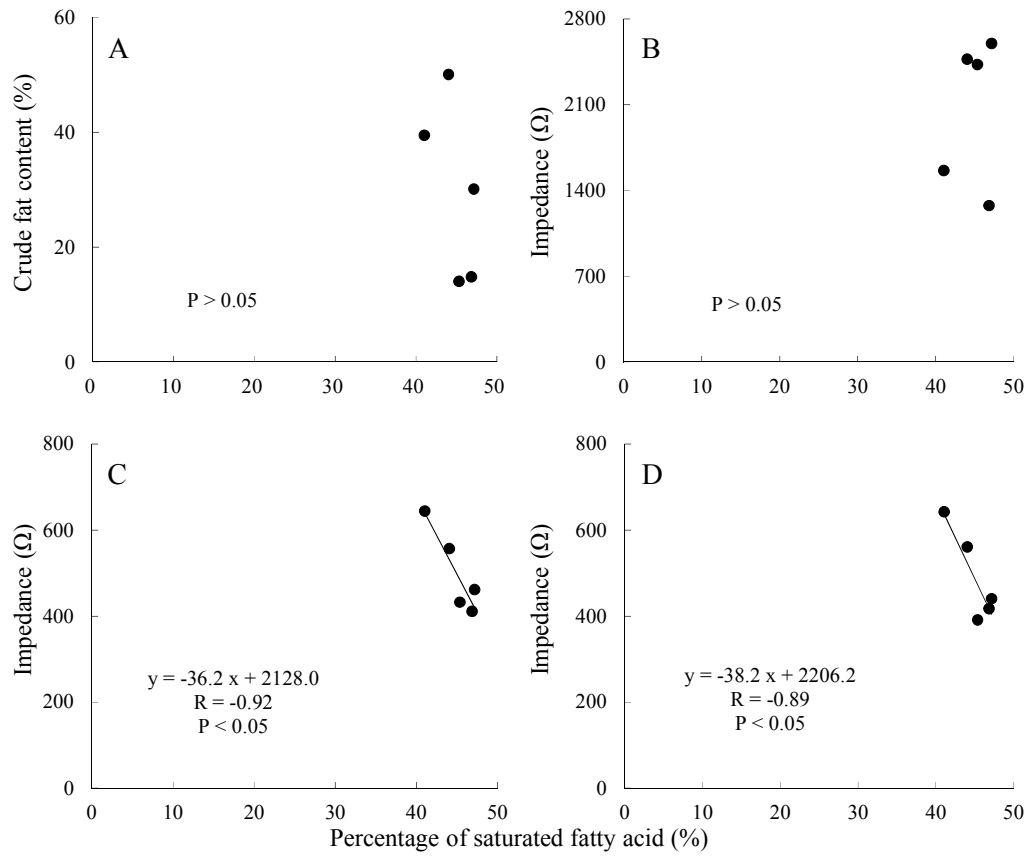


Figure 12 Relationships between percentage of saturated fatty acid and crude fat content (A) and impedance at 1Hz (B), 120Hz (C), and 100kHz (D) in steak of *M. serratus ventrailis*.

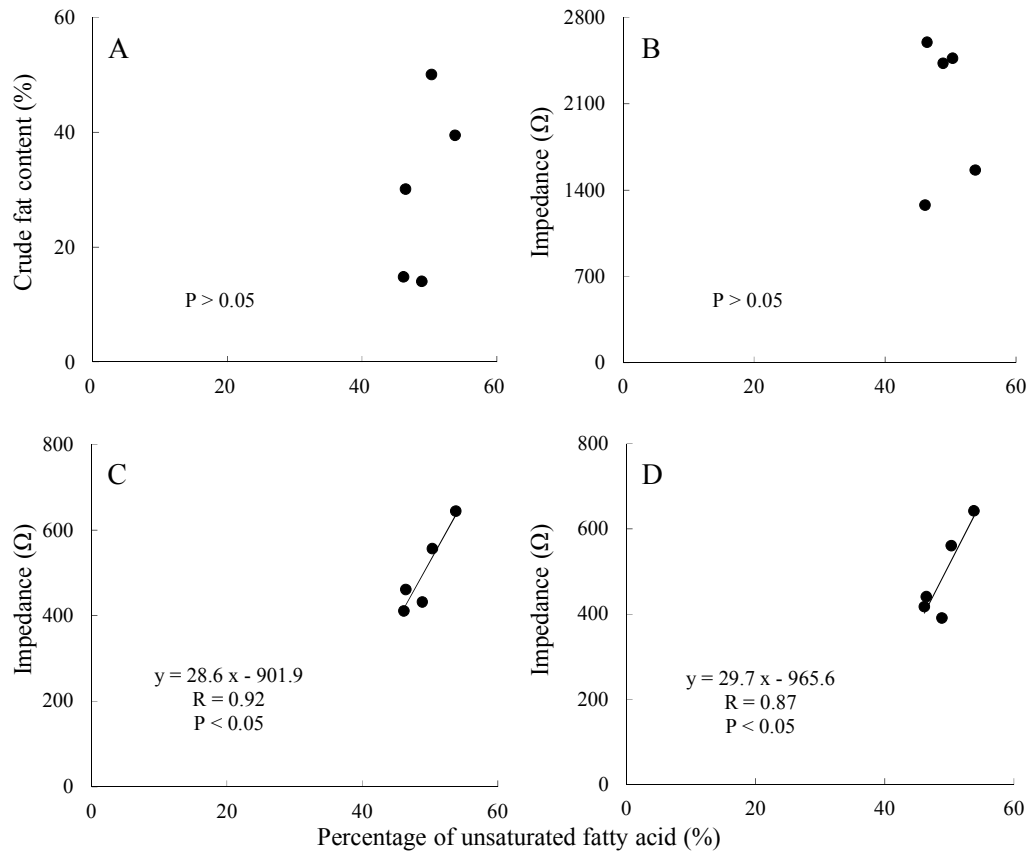


Figure 13 Relationships between percentage of unsaturated fatty acid and crude fat content (A) and impedance at 1Hz (B), 120Hz (C), and 100kHz (D) in steak of *M. serratus ventrailis*.

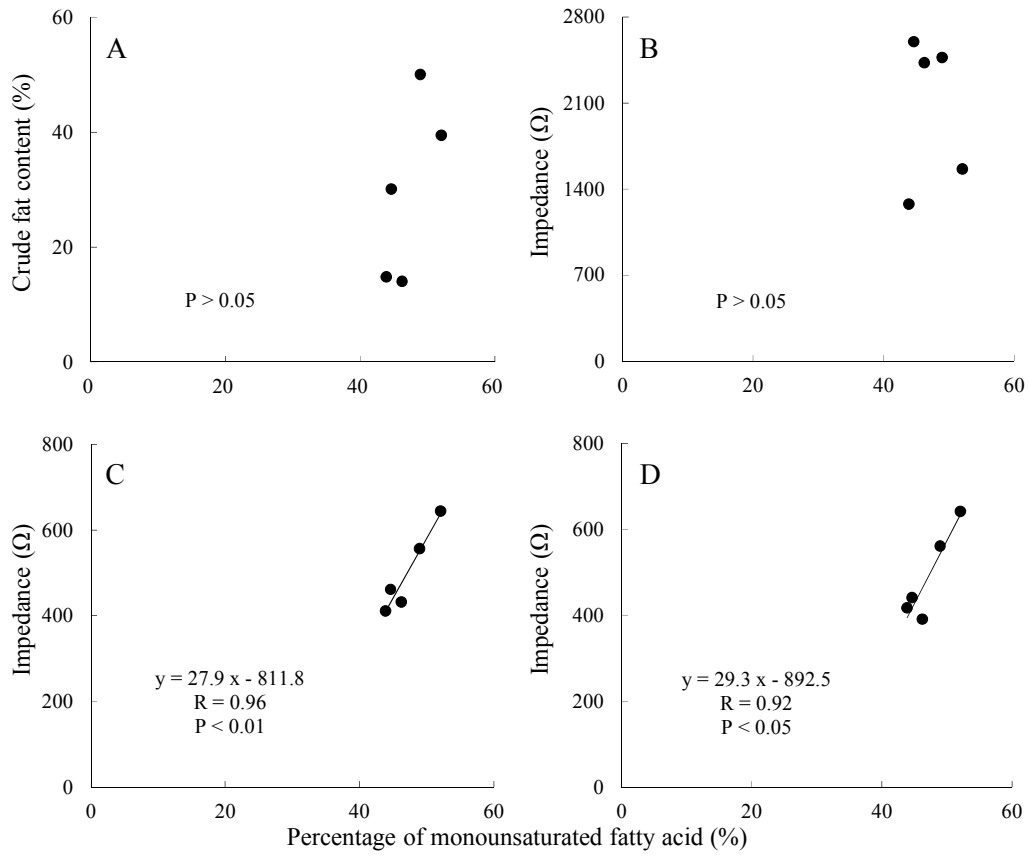


Figure 14 Relationships between percentage of monounsaturated fatty acid and crude fat content (A) and impedance at 1Hz (B), 120Hz (C), and 100kHz (D) in steak of *M. serratus ventralis*.

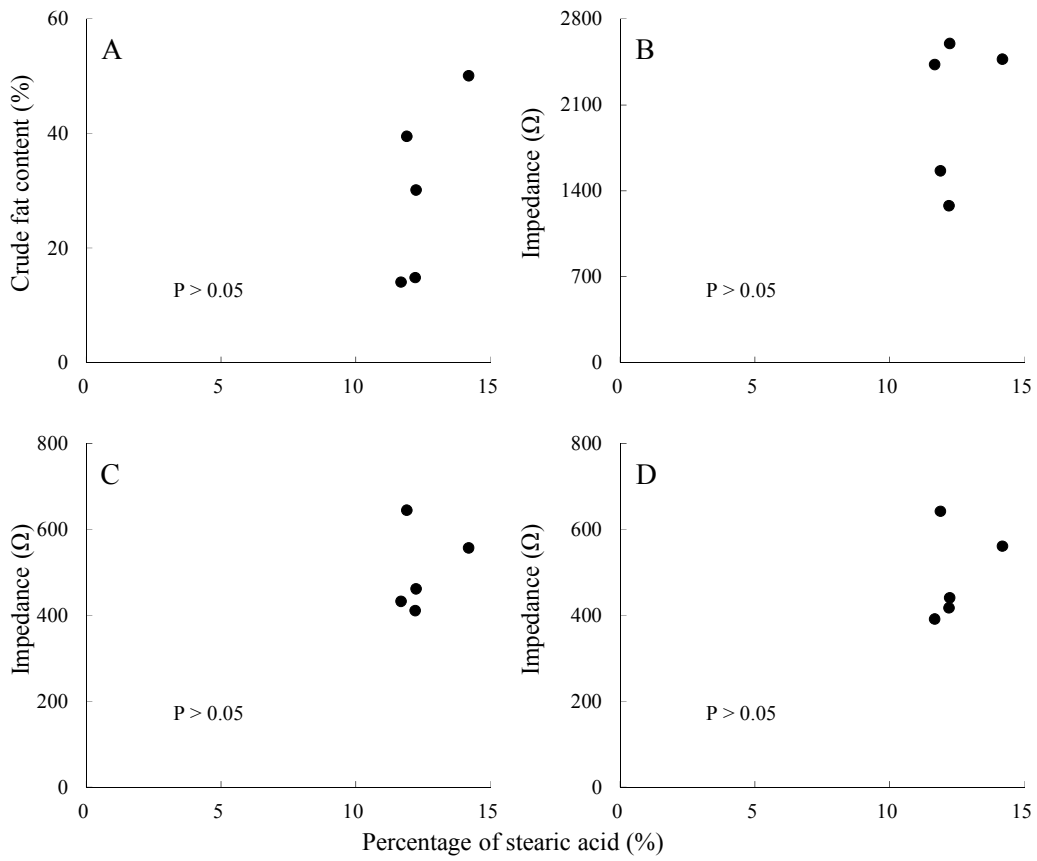


Figure 15 Relationships between percentage of stearic acid and crude fat content (A) and impedance at 1Hz (B), 120Hz (C), and 100kHz (D) in steak of *M. serratus ventrailis*.

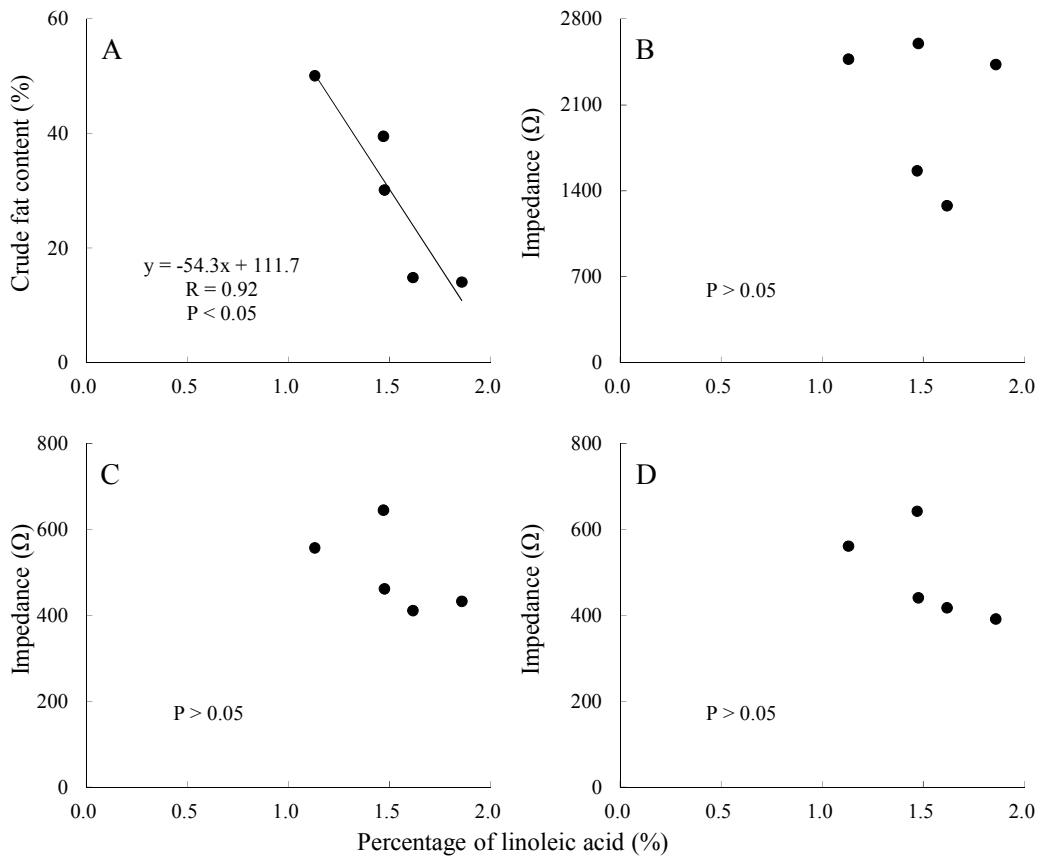


Figure 16 Relationships between percentage of linoleic acid and crude fat content (A) and impedance at 1Hz (B), 120Hz (C), and 100kHz (D) in steak of *M. serratus ventrailis*.

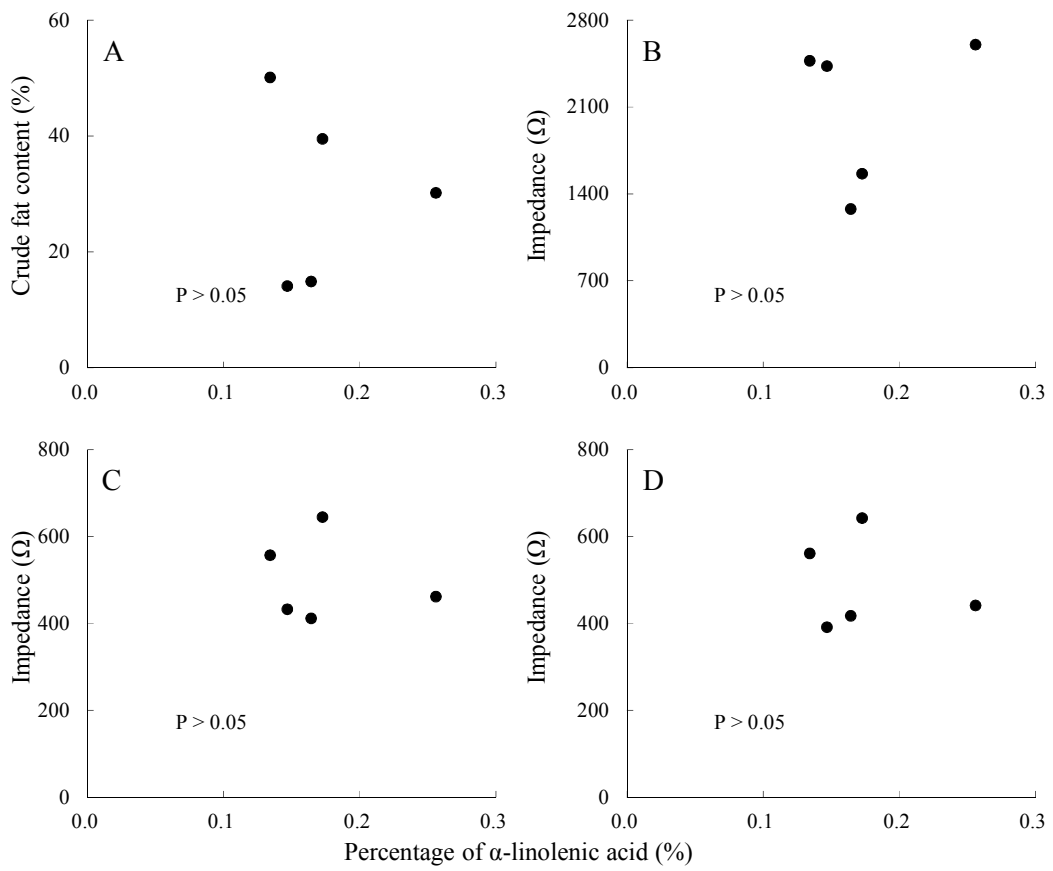


Figure 17 Relationships between percentage of α -linolenic acid and crude fat content (A) and impedance at 1Hz (B), 120Hz (C), and 100kHz (D) in steak of *M. serratus ventrailis*.

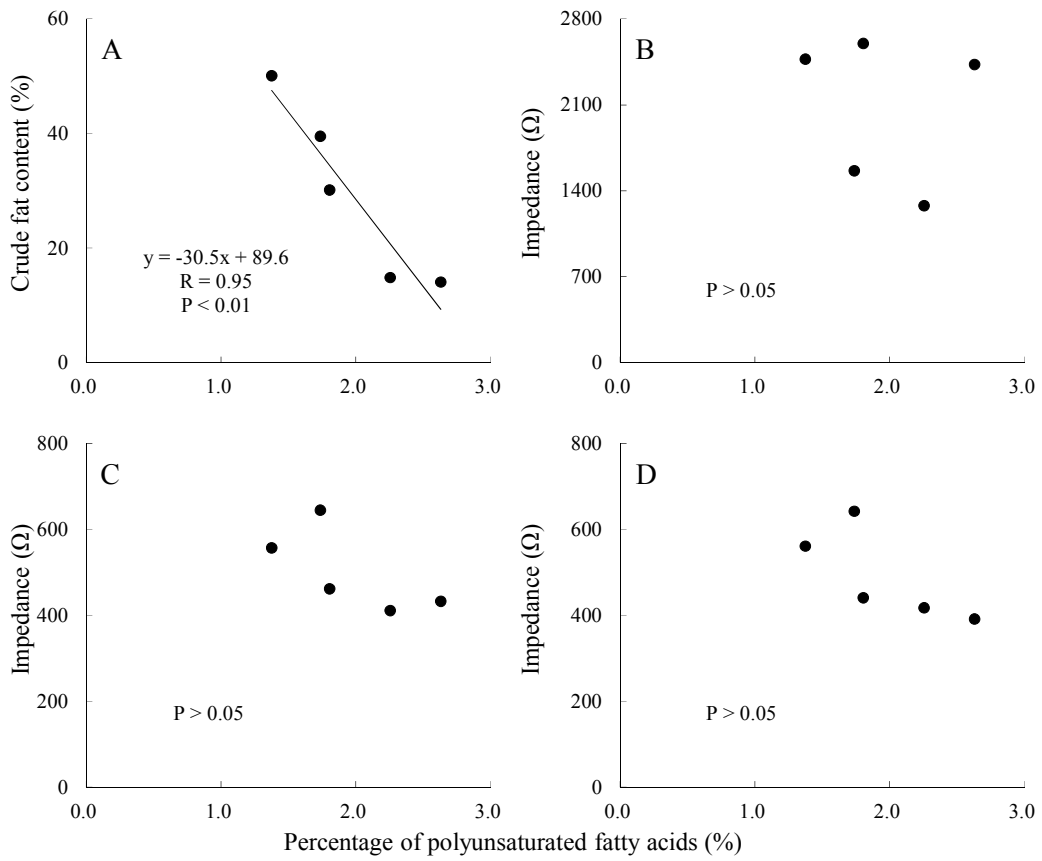


Figure 18 Relationships between percentage of polyunsaturated fatty acids and crude fat content (A) and impedance at 1Hz (B), 120Hz (C), and 100kHz (D) in steak of *M. serratus ventralis*.

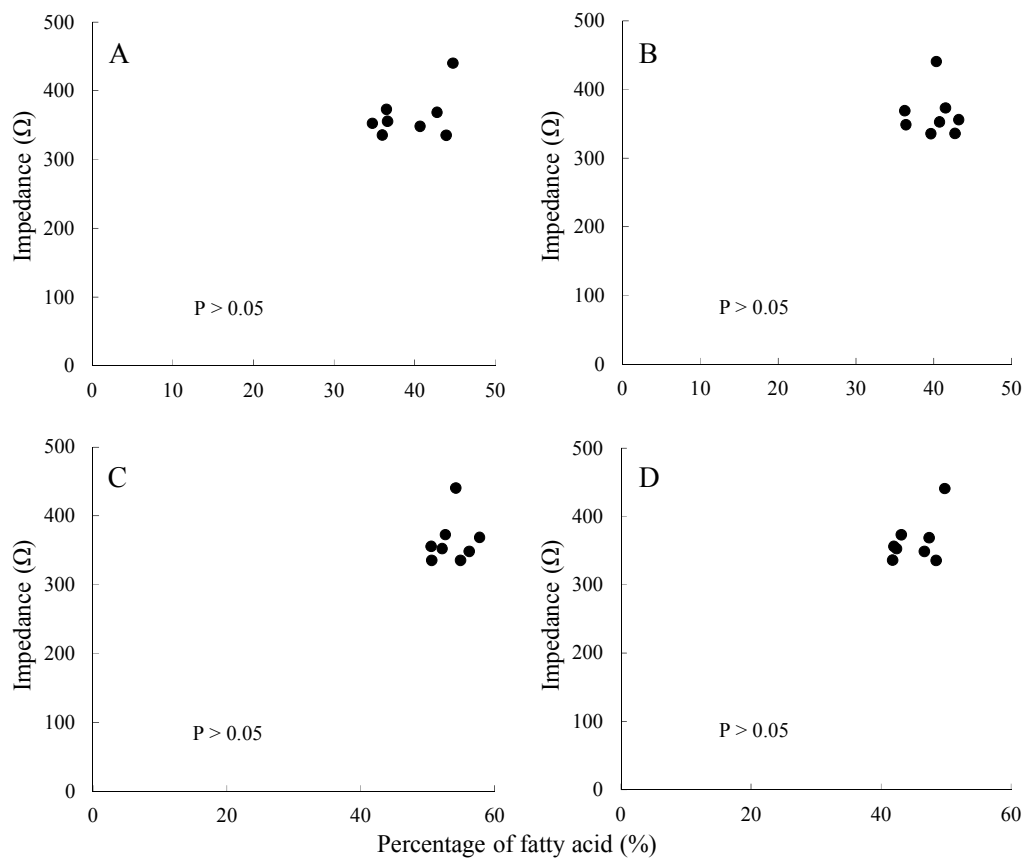


Figure 19 Relationships between percentage of oleic acid (A), saturated fatty acid (B), unsaturated fatty acid (C), and monounsaturated fatty acid (D) and impedance at 120Hz in steak of *M. semitendinosus*.

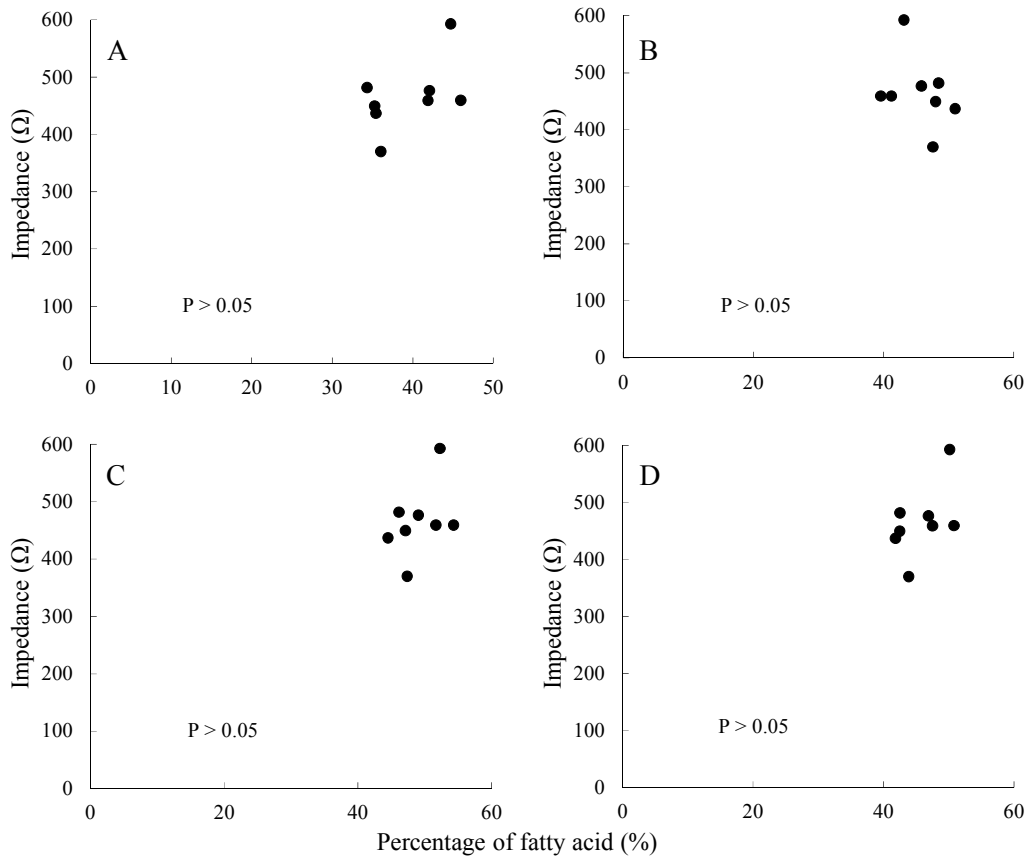


Figure 20 Relationships between percentage of oleic acid (A), saturated fatty acid (B), unsaturated fatty acid (C), and monounsaturated fatty acid (D) and impedance at 120Hz in steak of *M. longissimus thoracis*.

Table 1 Crude fat content of *M. semitendinosus*, *M. longissimus thoracis*, and *M. serratus ventralis*¹

	Crud fat content (%)
<i>M. semitendinosus</i>	3.8 ± 0.5 ^b
<i>M. longissimus thoracis</i>	12.9 ± 1.4 ^b
<i>M. serratus ventralis</i>	29.7 ± 7.0 ^a

¹Mean ± SE

^{a, b} Means within a column with a different superscript letter differ significantly (P < 0.01).

Table 2 Fatty acid composition of *M. semitendinosus*, *M. longissimus thoracis*, and *M. serratus ventrailis*¹

	<i>M. semitendinosus</i>	<i>M. longissimus thoracis</i>	<i>M. serratus ventrailis</i>
Oleic acid	39.5 ± 1.8	39.5 ± 2.1	40.4 ± 1.8
Saturated	40.1 ± 1.2 ^b	45.6 ± 1.8 ^a	44.9 ± 1.1 ^a
Unsaturated	53.6 ± 1.2 ^a	49.0 ± 1.5 ^b	49.1 ± 1.4 ^b
Monounsaturated	45.2 ± 1.4	45.7 ± 1.6	47.2 ± 1.5

¹Mean ± SE

^{a, b} Means within a row with a different superscript letter differ significantly (P < 0.05).