

接触型電極を用いたインピーダンス測定による 枝肉肋骨間の切開面におけるオレイン酸割合の推定

村元隆行¹・渡辺亮平²・柴 伸弥³・横田朋佳²・中村泰生¹

¹ 岩手大学農学部, 盛岡市 020-8550

² 岩手大学大学院総合科学研究科, 盛岡市 020-8550

³ 農研機構東北農業研究センター畜産飼料作研究領域, 盛岡市 020-0198

(2021. 3. 23 受付, 2021. 5. 21 受理)

要約 黒毛和種去勢牛の枝肉 (n = 21) の第6から第7肋骨間の切開面に位置する胸最長筋のオレイン酸割合とインピーダンスとの関係について検討を行った。接触型電極を装着したLCRメータを用い、電極対の距離を1 cmまたは3 cmとして胸最長筋の表面に接触させ、1 Hz, 120 Hz, 1 kHz, および100 kHzにおけるインピーダンスを測定した。また、ガスクロマトグラフィー法により胸最長筋のオレイン酸割合を分析した。電極対の距離を1 cmとした測定では、胸最長筋の1 kHzにおけるインピーダンスとオレイン酸割合との間に有意な正の相関が得られた。電極対の距離を3 cmとした測定では、胸最長筋の120 Hz, 1 kHz, および100 kHzにおけるインピーダンスとオレイン酸割合との間に有意な正の相関が得られた。本研究の結果から、電極対の距離を3 cmとしてインピーダンス測定することにより、枝肉肋骨間の切開面に位置する胸最長筋のオレイン酸割合を広い範囲の周波数で推定できることが示された。

日本畜産学会報 92 (3), 331-334, 2021

キーワード : 枝肉切開面, 黒毛和種去勢牛, インピーダンス, オレイン酸, 接触型電極

わが国の流通段階における牛肉の品質評価は、枝肉の第6から第7肋骨間の切開面における格付け評価によって行われている。この格付け評価では胸最長筋の脂肪交雑の程度が最も重視されているが、近年の健康志向の高まりにより、脂肪の量だけでなく脂肪の質が注目されるようになってきた。

融点や硬さなどの脂肪の質は脂肪を構成する脂肪酸組成による影響を受け、脂肪組織は牛肉の食感や美味しさに大きな影響を及ぼし (小林と庄司 2011), また黒毛和種牛肉の風味はオレイン酸の割合が高くなると好ましくなることが報告されている (鈴木ら 2013)。したがって、流通段階で牛肉中の脂肪酸組成、特にオレイン酸の割合を開示できれば、健康に配慮した牛肉の購入だけでなく、嗜好に合わせた牛肉の購入も可能になると考えられる。

牛肉の脂肪酸組成の測定は化学的な方法により行われるのが一般的である (AOAC 1984; Aldaiら 2006)。近年、これらの測定を迅速かつ非破壊的に行うことができる近赤外分光法が利用されているが (Piaoら 2018)、本研究では、より安価に測定することが可能なインピーダンス法に着目した。接触型電極を用いてインピーダンス測定を行うことにより、日本短角種牛肉の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を

(鎌田と村元 2018)、また黒毛和種の胸最長筋のオレイン酸割合に加え、皮下脂肪のインピーダンスから間接的に胸最長筋のオレイン酸割合を (渡辺ら 2020)、それぞれ非破壊的に推定できることが報告されている。しかし、これらの研究ではステーキを対象としているため、流通段階での利用は難しい。また、流通段階で利用するためには枝肉の第6から第7肋骨間の切開面で測定する必要があるが、切開面で測定したインピーダンスからオレイン酸割合を推定する方法については明らかにされていない。

そこで本研究では、枝肉格付けの際に胸最長筋のオレイン酸割合を迅速、非破壊的、および安価に推定する方法を明らかにするため、枝肉肋骨間の切開面で接触型電極を用いて測定した黒毛和種の胸最長筋のインピーダンスとオレイン酸割合との関係について検討を行った。

材料および方法

1. 供試筋肉

21頭の黒毛和種去勢牛 (26.9 ± 0.6 ヲ月齡) の屠畜後2日目の左半丸枝肉から、第5から第8肋骨間の輪切りを採取し、第6から第7肋骨間の切開面に位置する胸最長筋 (*M. longissimus thoracis*) を供試した。

連絡者 : 村元隆行 (fax : 019-621-6287, e-mail : muramoto@iwate-u.ac.jp)

2. インピーダンスの測定

インピーダンス測定は、サンプルを採取した当日に、接触型電極を装着したLCRハイテスタ（3522-50；日置電機、長野）を用い、鎌田と村元（2014）の方法に準じた変法により行った。すなわち、図1に示すように、まず電流の発生側の電極対であるH_{CUR}端子とH_{POT}端子との距離、および電流の検出側の電極対であるL_{CUR}端子とL_{POT}端子との距離を、それぞれ1 cmで固定した。次に、胸最長筋の断面を楕円とし、その長軸において、枝肉切開面の中央側に検出側の電極対を、また反対側に電流の発生側の電極対を、両電極対の距離が長軸の中心を挟んで1 cm（長軸の中心から各0.5 cm）または3 cm（長軸の中心から各1.5 cm）となるようにして胸最長筋の断面に接触させ、インピーダンスを測定した。なお、測定の際の周波数は1 Hz、120 Hz、1 kHz、および100 kHzとした。また、幅1 cmの1 Hzおよび幅3 cmのすべての周波数における測定は8頭分の胸最長筋を用いて行い、他の測定は21頭分の胸最長筋を用いて行った。インピーダンスの測定後、サンプルを細切して真空包装し、脂肪酸組成の測定を行う

まで-20℃で貯蔵した。

3. オレイン酸割合の測定

脂肪酸組成の測定は、細切したサンプルを4℃で24時間かけて解凍したものを用い、ガスクロマトグラフィー法により行った。なお、総脂質は石油エーテルを用いて抽出し、脂肪酸遊離およびメチルエステル化はAldaiら（2006）の方法に準じた変法により行い、カラム（SP-2560；100 m length, 0.25 mm i.d., and 0.20 μm film thickness；Supelco, Bellfote, PA, USA）を装着したガスクロマトグラフ（GC-2010Puls；島津製作所、京都）を用いて行い、オレイン酸の割合を求めた。なお分析条件は、鎌田ら（2019）の方法と同様とした。

4. 統計解析

オレイン酸割合とインピーダンスとの関係について単回帰分析を行い、インピーダンスからオレイン酸割合を推定するための推定式を求めた。

結果および考察

電極対の距離を1 cmとし、1 Hz、120 Hz、1 kHz、およ

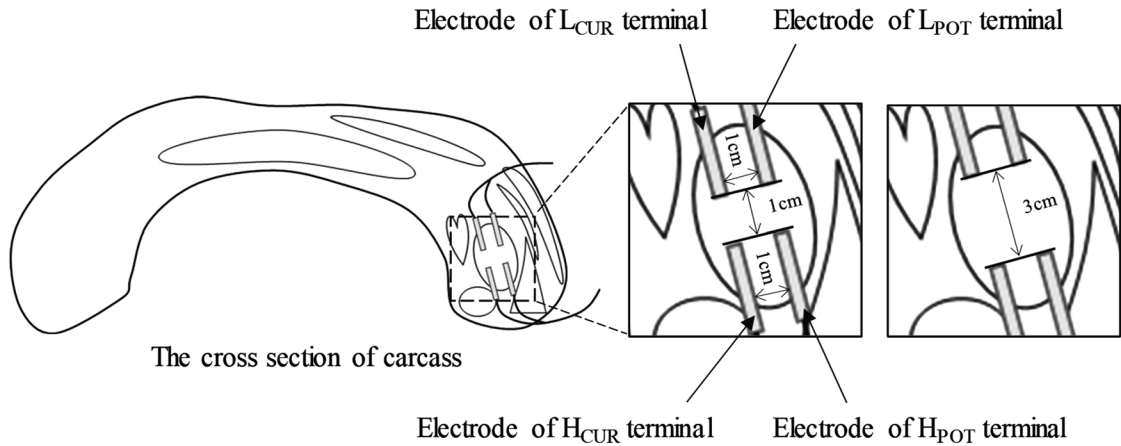


Figure 1 Position of each electrode on the cross section of carcass.

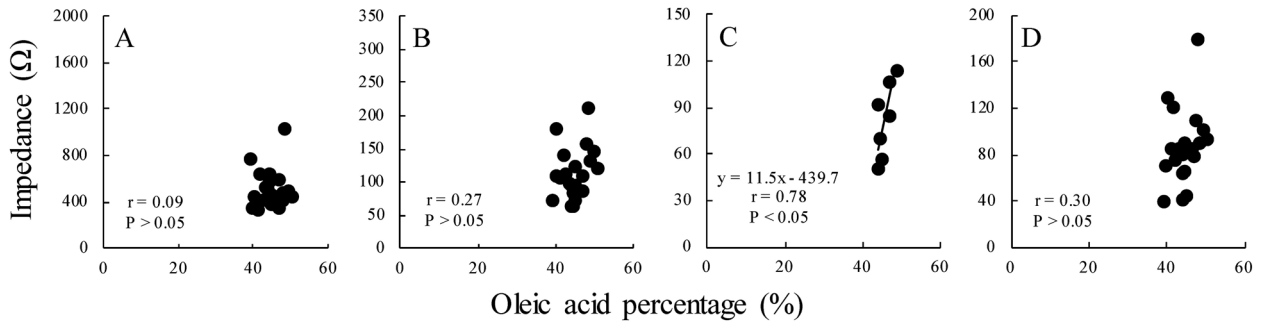


Figure 2 Relationships between the percentage of oleic acid and impedance, measured on the surface of *M. longissimus thoracis* using a cross section of carcass from Japanese Black steers. Measurements were made at 1 Hz (A), 120 Hz (B), 1 kHz (C), and 100 kHz (D) and the distance between the electrode pair on the current generation side (electrodes of H_{CUR} terminal and H_{POT} terminal) and electrode pair on the detection side (electrodes of L_{CUR} terminal and L_{POT} terminal) was 1 cm.

枝肉切開面のオレイン酸割合推定

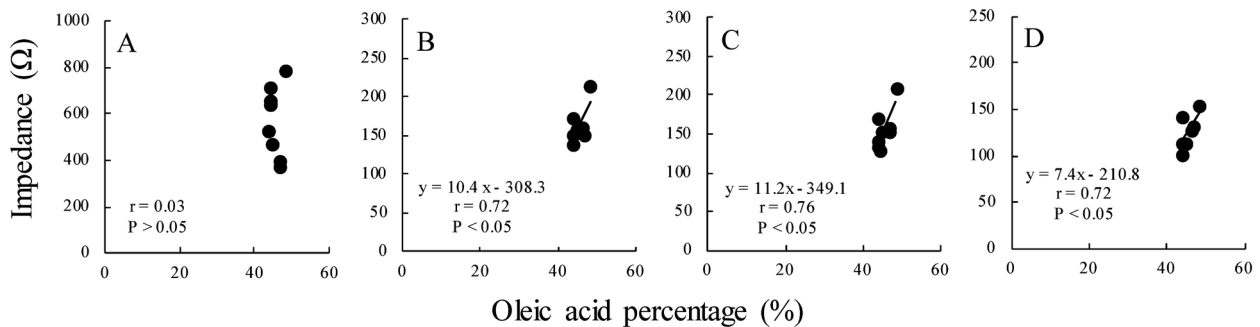


Figure 3 Relationships between the percentage of oleic acid and impedance, measured on the surface of *M. longissimus thoracis* using a cross section of carcass from Japanese Black steers. Measurements were made at 1 Hz (A), 120 Hz (B), 1 kHz (C), and 100 kHz (D) and the distance between the electrode pair on the current generation side (electrodes of H_{CUR} terminal and H_{POT} terminal) and electrode pair on the detection side (electrodes of L_{CUR} terminal and L_{POT} terminal) was 3 cm.

び 100 kHz で測定した胸最長筋のインピーダンスとオレイン酸割合との関係を図 2 に示す。1 kHz ($P < 0.05$, $r = 0.78$) で測定したインピーダンスとオレイン酸割合との間に有意な正の相関が得られた。また、電極対の距離を 3 cm とし、1 Hz, 120 Hz, 1 kHz, および 100 kHz で測定した胸最長筋のインピーダンスとオレイン酸割合との関係を図 3 に示す。120 Hz ($P < 0.05$, $r = 0.72$), 1 kHz ($P < 0.05$, $r = 0.76$), および 100 kHz ($P < 0.05$, $r = 0.72$) で測定したインピーダンスとオレイン酸割合との間に有意な正の相関が得られた。したがって、既に市販の測定装置に应用されている近赤外分光法 (Piao ら 2018) およびステーキのオレイン酸割合をインピーダンス測定により推定する方法 (鎌田と村元 2018) に比較して精度は低いと思われるが、接触型電極を用いてインピーダンス測定を行うことにより、電極対の距離を 1 cm とした測定では 1 kHz で、また電極対の距離を 3 cm とした測定では 120 Hz, 1 kHz, および 100 kHz で、それぞれ枝肉の格付け評価で重視されている胸最長筋のオレイン酸割合を、枝肉肋骨間の切開面において非破壊的に推定できることが示された。

木浦ら (2016) は、接触型電極を用いて測定した牛パティのインピーダンスから粗脂肪含量を推定する推定式を求め、その推定式の相関係数が鎌田と村元 (2014) がステーキから得た推定式の相関係数に比較して高かったことを報告している。彼らはこの理由について、挽肉と細切した脂肪とを混合してパティを調製したことにより、パティの中の脂肪組織がより均一に分布したためであるとしている。また、黒毛和種は他の品種に比較して胸最長筋の中の脂肪組織が均一に配置していることが知られている (口田ら 1999)。したがって、本研究において、電極対の距離を 1 cm とした測定では、1 Hz でのみインピーダンスとオレイン酸割合との間に相関が得られたのに対し、電極対の距離を 3 cm とした測定では、120 Hz, 1 kHz, および 100 kHz と複数の周波数で相関が得られたのは、電極対

の距離が長くなると測定範囲が広がるため、測定範囲に存在する脂肪組織の分布による影響を受けにくくなったためだと考えられる。また、酒本ら (1995) は、電流は低周波数では細胞膜を通過できないため細胞内を流ることができないが、高周波数では細胞膜を通過できるため細胞内を流ることができることを報告している。したがって、1 Hz での測定でインピーダンスとオレイン酸割合との間に相関が得られなかったのは、脂肪組織の内部 (脂肪細胞内) に含まれるオレイン酸の割合を反映しにくかったためだと考えられる。

本研究の結果から、枝肉の格付けの際に重視される胸最長筋のオレイン酸割合が、枝肉肋骨間の切開面におけるインピーダンスから迅速、非破壊的、および安価に推定できることが明らかとなった。また、枝肉肋骨間の切開面に電極を接触させる場合、電極対の距離を 3 cm とした測定の方が 1 cm とした測定に比較して脂肪組織の分布による影響を受けにくく、複数の周波数で測定できることが明らかとなった。

文 献

Aldai N, Osoro K, Barrón 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) polyunsaturated fatty acids Application to the intramuscular fat of beef meat. *Journal of Chromatography A* **1110**, 133-139.

AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis*. 14th edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.

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.

鎌田丈弘, 村元隆行. 2018. 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. *日本畜産学会報* **89**, 227-234.

鎌田丈弘, 米内美晴, 村元隆行. 2019. 黒毛和種牛肉における脂

- 脂肪酸組成とテクスチャーおよび肉色との関係. 日本畜産学会報 **90**, 31-36.
- 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.
- 口田圭吾, 小西一之, 鈴木三義, 三好俊三. 1999. BMS ナンバーと牛ロース芯内脂肪面積比との関連性におよぼす品種の効果. 日本畜産学会報 **70**, J106-J110.
- 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.
- 酒本勝之, 金子和真, 江崎光裕, 藤井麻美子, 金井 寛, 浅野次義. 1995. 電気インピーダンス法による新しい体脂肪量測定法. 医用電子と生体工学 **33**, 184-191.
- 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.
- 渡辺亮平, 石松朝輝, 鎌田丈弘, 米内美晴, 村元隆行. 2020. 接触型電極を用いたインピーダンス測定による黒毛和種 8 筋肉の脂肪酸組成の推定. 日本畜産学会報 **91**, 403-409.

Estimation of percentage of oleic acid in *M. longissimus thoracis* by measuring impedance on surface of the muscle on cross section of carcass from Japanese Black steers

Takayuki MURAMOTO¹, Ryohei WATANABE², Nobuya SHIBA³,
Tomoka YOKOTA² and Taisei NAKAMURA¹

¹ Faculty of Agriculture, Iwate University, Morioka 020-8550, Japan

² Graduate School of Arts and Sciences, Iwate University, Morioka 020-8550, Japan

³ Tohoku Agricultural Research Center, NARO, Morioka 020-0198, Japan

Corresponding : Takayuki MURAMOTO (fax : +81 (0) 19-621-6287, e-mail : muramoto@iwate-u.ac.jp)

In this study, the percentage of oleic acid in *M. longissimus thoracis* was estimated by measuring impedance on the surface of muscle from cross sections of Japanese Black steer carcasses using touch type electrodes. An LCR meter, equipped with touch type electrode pairs, measured impedance on the surface of the muscle located between the 6th and 7th ribs of Japanese Black steer carcasses (n = 21). Measurements were made at 1 Hz, 120 Hz, 1 kHz, and 100 kHz and the distance between the electrode pair on the current generation side and electrode pair on the detection side was either 1 or 3 cm. Oleic acid percentage of the muscles was analyzed by gas chromatography. A significant correlation was found between oleic acid percentage and impedance, measured at 1 kHz, when the distance between the electrode pairs was 1 cm. Significant correlations were also detected between oleic acid percentage and impedance, measured at 120 Hz, 1 kHz, and 100 kHz, when the distance between the electrode pair was 3 cm. Our results suggest that it is possible to estimate oleic acid percentage by measuring impedance in *M. longissimus thoracis* using a cross section of carcass and a wide range of frequencies using electrode pairs at a 3 cm distance.

Nihon Chikusan Gakkaiho 92 (3), 331-334, 2021

Key words : cross section of carcass, Japanese Black steers, impedance, oleic acid, touch type electrode.