

接触型電極を用いたインピーダンス測定による塩漬中の牛肉のテクスチャー特性、 ドリップロス、および塩漬の程度の非破壊推定

横田朋佳¹・福田智歩¹・金谷圭太¹・渡辺亮平¹・村元隆行²

¹ 岩手大学大学院総合科学研究科, 盛岡市 020-8550

² 岩手大学農学部, 盛岡市 020-8500

(2020. 5. 13 受付, 2020. 11. 13 受理)

要 約 接触型電極でインピーダンスを測定することで、塩漬中の日本短角種去勢牛 (n = 5) の上腕三頭筋のテクスチャー特性、ドリップロス、および塩漬の程度を非破壊的に推定する方法を検討した。牛肉に重量当たり 6% (w/w) の NaCl を添加し、10 から 60 分間の塩漬を行った後、テクスチャー特性、ドリップロスおよびインピーダンスを測定した。その結果、テクスチャー特性およびドリップロスには塩漬時間による有意な差は認められなかった。インピーダンスは、1 Hz では塩漬前が塩漬 10 分に比較して有意に高かったが、それ以降では塩漬時間による有意な差は認められなかった。一方、120 Hz および 100 kHz では、塩漬前が塩漬 10 分に比較して有意に高く、塩漬 10 分から 30 分の間には有意な差が認められなかった。さらに、塩漬 10 分が塩漬 40 分から 60 分に比較して有意に高かったが、塩漬 40 分から 60 分の間には塩漬時間による有意な差は認められなかった。本研究の結果から、接触型電極を用いたインピーダンス測定により、Na⁺ の浸透の程度から推察される塩漬の程度を非破壊的に推定できる可能性が示された。

日本畜産学会報 92 (1), 71-74, 2021

キーワード：インピーダンス、塩漬、テクスチャー、ドリップロス、Na⁺

スペイン北西部のレオン地区では、セシーナというウシのモモ肉を原料とした伝統的な生ハムが製造されている。セシーナは整形、塩漬、燻煙、乾燥、および熟成の工程を経て製造され、塩漬において海塩のみを用いるという点で特徴的である。

塩漬は生ハムをはじめとする非加熱食肉製品の製造において最も重要な工程である。食塩には脱水作用があり、食肉に食塩を添加すると浸透圧が高まり水分活性が低下する (安井 1980 ; 大高と玉手 1990)。食肉から漏出する水分はドリップといわれ、タンパク質やビタミンなどが含まれているため、ドリップの発生は栄養成分および呈味成分の損失となる (平野 1992 ; 畑江 1996)。このため、過剰な塩漬による過剰なドリップロスの発生は生ハムの品質を低下させてしまうと考えられる。したがって、栄養成分および呈味成分の損失を最低限に抑えた塩漬を行うためには、塩漬中のドリップロスを経時的に把握する必要があると考えられる。しかし、塩漬中の牛肉のドリップロスを非破壊的に調べる方法については明らかにされていない。

インピーダンス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。Yang ら (2013) は、ブタの胸最長筋において、突き刺し型電極を用いたインピーダンス測定により、水分含量を推定できることを報告している。ところ

が、この方法は非破壊的な方法ではないため、塩漬中のドリップロスを経時的に把握することは難しい。一方、鎌田と村元 (2014) および木浦ら (2016) は、筋肉内の脂肪組織が電気的に絶縁体であることから、接触型電極を用いたインピーダンス測定により、牛肉中の脂肪含量を非破壊的に推定できることを報告している。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、筋肉中の水分含量と脂肪含量の間には負の相関がある (Savell ら 1986) ことから、塩漬中のドリップロスを非破壊的に推定できる可能性があると考えられる。

また、生ハムは水分含量の低下に伴って硬くなり、粘着性および弾力性が低下することが報告されている (Serra ら 2005)。村元ら (2017) は、接触型電極を用いたインピーダンス測定により、牛肉のテクスチャー特性を非破壊的に推定できることを報告している。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、塩漬中の牛肉のテクスチャー特性を調べ、その要因となるドリップロスを非破壊的に推定できる可能性があると考えられる。

そこで本研究では、塩漬中の牛肉のテクスチャー特性、ドリップロスおよびこれらの理化学特性から推察される塩漬の程度を経時的に推定する方法を明らかにするため、塩漬時間の異なる牛肉を用いて接触型電極によるインピーダ

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

ンス測定を行い、ドリップロスおよびテクスチャー特性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

日本短角種去勢牛 5 頭 (26.7 ± 1.4 カ月齢) を屠畜し、枝肉を 2℃ で約 48 時間貯蔵した後、上腕三頭筋 (*M. triceps brachii*) を採取した。これらの上腕三頭筋は真空包装し、4℃ で 10 日間の熟成を行った後、-20℃ で貯蔵し、塩漬および分析を行う際は 4℃ で 48 時間かけて解凍を行った。

2. 塩漬

解凍後の各上腕三頭筋から筋線維の断面が 20×20 mm で長さが 50 mm の、筋線維と平行の直方体を 14 本ずつ切り出し、それぞれの重量を測定した後、塩漬を行う前に 4℃ で 60 分間の貯蔵を行った。筋肉サンプルのうち、2 本は塩漬を行わず、残りの 12 本は、厚生労働省 (2020) による「食品および添加物等の規格基準」に基づいて、重量当たり 6% の NaCl を表面に擦りこんだ後、重量を測定した (塩漬前重量)。その後、真空包装し、4℃ でそれぞれ 10 分、20 分、30 分、40 分、50 分、および 60 分の塩漬を行った (各 2 反復)。

3. ドリップロスの測定

塩漬後、各筋肉サンプルの表面に付着している NaCl を各面 5 秒ずつ、流水で除去した後、重量を測定した (塩漬後重量)。流水は水道水とした。塩漬前重量と塩漬後重量との差を塩漬前重量で除した値からドリップロス (%) を求めた。

4. インピーダンスの測定

ドリップロスの測定後、4 端子プローブ (9140 ; 日置電機、長野) を接続した LCR ハイテスタ (3522-50 ; 日置電機) を用いて、塩漬の時間が異なる各筋肉サンプルのインピーダンスの測定を行った。インピーダンスの測定は、HCUR 端子 (測定信号印加端子) の電極と HPOT 端子 (電圧検出の Hi 端子) の電極および LCUR 端子 (測定電流検出端子) の電極と LPOT 端子 (電圧検出の Lo 端子) の電極との間隔を、それぞれ約 2 cm の幅で向き合わせ、筋肉サンプルの両端との間に隙間が生じない状態で、筋線維に対して垂直方向から行った (2 反復)。なお、定電圧は 0.4

V とし、周波数は 1 Hz, 120 Hz, および 100 kHz とした。また、塩漬を行わなかった 2 本の筋肉サンプルも同様にインピーダンスの測定を行い、塩漬前のインピーダンスとした。

5. テクスチャープロファイル分析

インピーダンスの測定で用いたすべての筋肉サンプルの表面から、各面約 5 mm ずつを除去し、筋線維の断面が 10×10 mm で長さが 40 mm の、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) を用いて、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 (2 反復)。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。分析により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。

6. 統計解析

各塩漬時間の間における各測定項目の平均値の差の検定を、Tukey-Kramer の多重比較検定により行った。なお、危険水準は 5% に統一した。

結果および考察

塩漬時間が日本短角種去勢牛の上腕三頭筋のテクスチャーに及ぼす影響を表 1 に示す。最大荷重、凝集性、付着性、およびガム性荷重には、塩漬時間による有意な差は認められなかった。福田ら (2017) は、厚さ 50 mm かつ約 100 g の筋肉サンプルにおいて、塩漬を 3 日間行っても上腕三頭筋、棘下筋、外側広筋、および腓腹筋のテクスチャーは変化しなかったことを報告している。したがって、本研究の結果から、少なくとも上腕三頭筋のテクスチャーは、サンプルの大きさに関わらず、塩漬による影響を受けないことが示された。生ハムの最大荷重、凝集性、ガム性荷重、および咀嚼性は NaCl 含量が高くなるのに伴って高くなり、硬く乾いた食感になることが報告されている (Laureati ら 2014)。また、Serra ら (2005) および Ruiz-Ramírez ら (2006) は、水分含量と生ハムの硬さとの間には負の相関があることを報告している。これらのことから、塩漬中のテクスチャーは一定ではなく、水分含量および NaCl の浸透に伴って変化する可能性が考えられたが、本研究の結果から、上腕三頭筋では、塩漬後だけではなく、塩漬中においても、塩漬によるテクスチャーへ

Table 1 Effect of curing time on texture properties of steak of *M. triceps brachii* from Japanese Short horn steers (n = 5)¹

	Before curing	Curing times (minutes)					
		10	20	30	40	50	60
Maximum load (N)	18.4 ± 2.2	13.2 ± 5.4	14.0 ± 3.8	20.6 ± 5.3	13.9 ± 4.6	15.2 ± 5.5	15.8 ± 4.7
Cohesiveness	0.48 ± 0.03	0.49 ± 0.05	0.47 ± 0.02	0.48 ± 0.03	0.47 ± 0.03	0.49 ± 0.06	0.49 ± 0.07
Adhesiveness (kJ/m ³)	2.3 ± 0.4	2.1 ± 0.7	2.6 ± 1.0	2.6 ± 0.8	2.1 ± 0.6	2.5 ± 1.3	2.7 ± 0.4
Load of gumminess (N)	8.8 ± 0.9	6.3 ± 2.4	6.5 ± 1.9	10.2 ± 2.4	6.6 ± 1.8	7.2 ± 2.9	7.8 ± 2.9

¹ Mean ± SE.

Table 2 Effect of curing time on drip loss of steak of *M. triceps brachii* from Japanese Short horn steers (n = 5)¹

	Before curing	Curing times (minutes)					
		10	20	30	40	50	60
Drip loss (%)	0.0	7.0 ± 1.9	7.3 ± 1.4	7.5 ± 1.4	7.8 ± 1.7	8.4 ± 1.0	8.4 ± 0.8

¹ See footnote in Table 1.**Table 3** Effect of curing time on impedance of steak of *M. triceps brachii* from Japanese Short horn steers (n = 5)¹

		Before curing	Curing times (minutes)					
			10	20	30	40	50	60
Impedance (Ω)	1 Hz	431.4 ± 60.0 ^a	195.7 ± 72.2 ^b	148.0 ± 36.4 ^b	157.5 ± 51.3 ^b	154.6 ± 60.5 ^b	152.2 ± 73.3 ^b	166.4 ± 104.7 ^b
	120 Hz	121.6 ± 12.3 ^a	50.2 ± 7.3 ^b	38.4 ± 4.0 ^{bc}	35.9 ± 3.8 ^{bc}	30.9 ± 7.2 ^c	31.1 ± 7.9 ^c	31.8 ± 8.0 ^c
	100 kHz	104.4 ± 11.5 ^a	43.7 ± 7.8 ^b	34.0 ± 3.9 ^{bc}	31.1 ± 4.7 ^{bc}	26.7 ± 6.4 ^c	25.9 ± 7.4 ^c	25.9 ± 3.9 ^c

¹ See footnote in Table 1.^{a-c} Means within a row with a different superscript letter differ significantly ($P < 0.05$).

の影響はないことが示された。

塩漬時間が日本短角種去勢牛の上腕三頭筋のドリップロスに及ぼす影響を表 2 に示す。本研究では、ドリップロスを求めるために用いた塩漬後重量には筋肉内部に浸透した NaCl の重量が含まれているため、実際のドリップロスは本研究で得られた値より高くなることに留意する必要がある。ドリップロスには塩漬時間による有意な差は認められなかった。このことから、塩漬によって生じるドリップは塩漬後少なくとも 10 分以内にほとんど漏出している可能性が示された。しかし、本研究で用いたサンプルは生ハムの原料となる 1 つの筋肉（原木）に比較して体積が小さかったことから、今後は原木または体積が大きいサンプルを用いての検討が必要であると考えられる。

塩漬時間が日本短角種去勢牛の上腕三頭筋のインピーダンスに及ぼす影響を表 3 に示す。1 Hz におけるインピーダンスは、塩漬前が塩漬 10 分に比較して有意に高かったが、それ以降では塩漬時間による有意な差は認められなかった。一方、120 Hz および 100 kHz におけるインピーダンスは、塩漬前が塩漬 10 分に比較して有意に高く、塩漬 10 分、20 分、および 30 分の間には有意な差が認められず、また塩漬 10 分が 40 分、50 分、および 60 分に比較して有意に高かったが、塩漬 40 分、50 分、および 60 分の間には塩漬時間による有意な差は認められなかった。

豊田 (2008) は、電流は周波数が低い条件下で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することから、異なる周波数においてインピーダンスを測定することにより、細胞の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、塩漬 10 分ですべての周波数におけるインピーダンスが低下したのは、塩漬 10 分以内でドリップのほとんどが漏出し、ドリップの主成分である水分の漏出に伴って、NaCl 由来の Na⁺ の筋線維外部での濃度が増加し、筋肉全体としての電導性が高まったためではないかと考えられる。一方、

塩漬 40 分で 120 Hz および 100 kHz におけるインピーダンスが低下したのは、Na⁺ が筋線維の膜を通過し、筋線維内部での Na⁺ の濃度が増加し、筋肉全体としての電導性がさらに高まったためではないかと考えられる。本研究では、塩漬 40 分以降のインピーダンスに差はなく、その平均値は、120 Hz では 31.3 Ω および 100 kHz では 26.2 Ω であった。したがって、塩漬中の筋肉のインピーダンスが、各周波数においてこれらの値以下の場合、Na⁺ が十分に浸透したと判断でき、Na⁺ の浸透の程度から推察される塩漬の程度を推定できる可能性が示された。

食肉のインピーダンスは抵抗成分および容量成分から成り、Cole-Cole プロットにおいて円弧状の周波数特性を示すため、複数の周波数で測定することにより、サンプルの細胞外抵抗、細胞内抵抗、および細胞膜の静電容量を求められることが知られている (Yang ら 2013)。したがって、今後は細胞外抵抗、細胞内抵抗、および細胞膜の静電容量と塩漬中の牛肉の理化学特性との関係についての検討が必要であると考えられる。

本研究の結果から、少なくとも塩漬中における上腕三頭筋のドリップロスおよびテクスチャーを、接触型電極を用いたインピーダンス測定により推定することはできないものの、120 Hz および 100 kHz で測定したインピーダンスから、塩漬の程度を非破壊的に推定できる可能性が示された。

文 献

- 福田智歩, 谷本智里, 野呂聡美, 村元隆行. 2017. 日本短角種去勢牛の塩漬された 6 筋肉間における理化学特性およびテクスチャー特性の比較. 日本畜産学会報 **89**, 339-344.
- 畑江敬子. 1996. 食肉の調理. In: 沖谷明紘 (ed.), 肉の科学, 初版. pp. 112-118. 朝倉書店, 東京.
- 平野正男. 1992. 第 3 章 食肉の科学 IV 筋肉の死後変化・筋肉から食肉へ. In: 森田重廣 (ed.), 食肉・肉製品の科学, 初版. p. 76. 学窓社, 東京.

- 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.
- 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.
- 厚生労働省. 2020. 食品別の規格基準について. [homepage on the internet]. 厚生労働省, 東京; [cited 29 June 2020]. Available from URL : <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11130500-Shokuhinanzenshu/0000071198.pdf>
- Laureati M, Buratti S, Giovannelli G, Corazzin M, Lo Fiego DP, Pagliarini E. 2014. Characterization and differentiation of Italian Parma, San Daniele and Toscano dry-cured hams : A multi-disciplinary approach. *Meat Science* **96**, 288-294.
- 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.
- 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.
- 大高文男, 玉手六郎. 1990. 第II章 肉の科学と利用 3肉製品(1) 食肉加工の基礎科学 b. 塩せきの科学. In : 有馬俊六郎, 鶴田文三郎, 足立 達, 大武由之, 大高文男, 玉手六郎, 野並 慶宣 (eds), 改訂 畜産食品—科学と利用—, 初版. pp. 230-233. 文永堂, 東京.
- Ruiz-Ramírez J, Arnau J, Serra X, Gou P. 2006. Effect of pH₂₄, NaCl content and proteolysis index on the relationship between water content and texture parameters in *biceps femoris* and *semimembranosus* muscles in dry-cured ham. *Meat Science* **72**, 185-194.
- Savell JW, Cross HR, Smith GC. 1986. Percentage ether extractable fat and moisture content of beef *longissimus* muscle as related to USDA marbling score. *Food Science* **51**, 838-839.
- Serra X, Ruiz-Ramírez J, Arnau J, Gou P. 2005. Texture parameters of *M. biceps femoris* from dry-cured hams as a function of water activity and water content. *Meat Science* **69**, 249-254.
- 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.
- Yang Y, Wang ZY, Ding Q, Huang L, Wang C, Zhu DZ. 2013. Moisture content prediction of porcine meat by bioelectrical impedance spectroscopy. *Mathematical and Computer Modelling* **58**, 819-825.
- 安井 勉. 1980. 第II編 製法編 第2章 塩漬. In : 天野慶之, 藤巻正生, 安井 勉, 矢野幸男 (eds), 食肉加工ハンドブック, 初版. p. 283. 光琳, 東京.

Estimation of textural properties, drip loss, and degree of curing of beef during curing by impedance measured using touch type electrodes

Tomoka YOKOTA¹, Chiho FUKUDA¹, Keita KANAYA¹, Ryohei WATANABE¹ and Takayuki MURAMOTO²

¹ Graduate School of Arts and Sciences, Iwate University, Morioka 020-8550, Japan

² Faculty of Agriculture, Iwate University, Morioka 020-8550, Japan

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

This study was conducted to estimate textural properties, drip loss, and degree of curing of beef (*M. triceps brachii*) during curing by impedance measured using touch type electrodes. Steaks (20×20×50 mm) were cured with 6% (w/w) muscle weight of NaCl for 10, 20, 30, 40, 50, or 60 minutes. Various characteristics of the steaks were measured before and during curing : textual properties, drip loss, and impedance (at 1 Hz, 120 Hz, and 100 kHz). Maximum load, cohesiveness, adhesiveness, load of gumminess, and drip loss did not vary significantly with curing time. Impedance at 1 Hz before curing was significantly higher than after curing. Impedances at 120 Hz and 100 kHz before curing were significantly higher than those after 10 minutes of curing ; however, there were no differences in impedance among steaks cured for 10, 20, or 30 minutes. Impedances at 120 Hz and 100 kHz after 10 minutes of curing were significantly higher than those of steaks cured for 40, 50, or 60 minutes ; there were no differences in impedance among steaks cured for 40, 50, or 60 minutes. These results suggest that it is difficult to estimate textural properties and drip loss of beef during curing but that it is possible to estimate the degree of curing non-destructively by measuring impedance with touch type electrodes.

Nihon Chikusan Gakkaiho 92 (1), 71-74, 2021

Key words : curing, drip loss, impedance, Na⁺, texture.