

シカ (*Cervus nippon*) およびイノシシ (*Sus scrofa leucomystax*) の肉質に及ぼす要因調査

渡邊 彰¹・木下一成²・村元隆行³・中井瑞歩⁴・鈴木結子⁴・井上朔実³・平田滋樹⁵

¹ 農研機構東北農業研究センター, 盛岡市 020-0198

² 株式会社一成, 加古川市 675-1217

³ 岩手大学農学部, 盛岡市 020-8550

⁴ 岩手大学大学院総合科学研究科, 盛岡市 020-8550

⁵ 農研機構中央農業研究センター, つくば市 305-8666

(2020. 4. 28 受付, 2020. 8. 31 受理)

要 約 国内で流通しているシカおよびイノシシ肉の品質向上のために, 処理施設より胸・腰最長筋を購入して, 熟成終了時の pH を測定し変動要因について調べた. 調査票から動物種, 性別, 体重, 捕獲方法 (箱わな, 囲いわな, 足わな) を要因とし分散分析により解析した. また, タンパク質の変性程度を測定し Pale, Soft, and Exudative (PSE) の発生についても調査した. その結果, 調査個体の 35% は Dark, Firm, and Dry (DFD) が疑われる pH > 6.0 であり, 足わなによる捕獲が pH を有意に高くし, オスがメスより高くなる傾向が認められた. 一方, PSE と判定されたのは箱わなおよび囲いわなで捕獲された頭数の 52%, 足わな捕獲の 5.8% であった. 以上の結果より, 品質の高い野生獣肉を提供するには早期発見による DFD の回避と, 興奮を抑えた止め刺し技術による PSE 回避が重要であることが示された.

日本畜産学会報 91 (4), 395-401, 2020

キーワード: イノシシ, シカ, ストレス, 肉質, pH

農林水産省のとりまとめでは, 野生鳥獣による農作物の被害金額は 2018 年度において約 158 億円で, そのうちシカが約 54 億円, イノシシが約 47 億円である. この額は 2012 年度の被害金額 230 億円から毎年徐々に減少している (農林水産省農村振興局農村政策部 2018). 環境省が推定した生息数でも 2017 年度末におけるニホンジカ (本州以南) の推定個体数は約 244 万頭, イノシシは約 88 万頭で, 2014 年度以降, 減少傾向にあると報告されている (環境省自然環境局 2019). しかしながら, 捕獲による個体群管理が必要であり, 2013 年に環境省と農林水産省が共同でとりまとめた「抜本的な鳥獣捕獲強化対策」では 2023 年度までに半減することを捕獲目標とし, そこでは本州以南のニホンジカについては 2011 年度実績 (27 万頭) の 2 倍以上の捕獲, イノシシについては, 2011 年度の捕獲数 (39 万頭) と同程度以上の捕獲を全国で行うことを目標としている (農林水産省と環境省 2013).

一方, 捕獲されたシカおよびイノシシの利用率は 2016 年度の調査で, それぞれ 10% (5.6 万頭) および 4% (2.8 万頭) 程度であり, 有効に活用されていない. 2018 年度に野生鳥獣の食肉処理を行った処理加工施設は全国で 633 施設存在する (農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統

計課消費統計室 2018) が, 肉質についての調査報告は見当たらない. 山田ら (2013) はニホンジカの血清コルチゾールとクレアチンキナーゼの測定結果から捕獲方法により動物が受けるストレスに大きな違いがあることを報告している. 動物の受けるストレスは, その動物を食肉として利用する場合に肉質に対して大きな影響を与えることが知られており (Lister ら 1981), 食肉品質の安定性について懸念が生じる.

そこで, 本報告では野生のニホンジカ (*Cervus nippon*) およびニホンイノシシ (*Sus scrofa leucomystax*) の肉質についての調査を行い, その変動要因について検討した.

材料および方法

1. 野生動物の捕獲

長崎県, 三重県, 京都府, 静岡県, 栃木県の各地域で捕獲され処理施設において解体されたニホンジカ (n = 25, 以下シカと表記) およびニホンイノシシ (n = 42, 以下イノシシと表記) の合計 67 頭を供試試料として, 各個体の「性別・体重・捕獲方法」を記録票より抜粋し要因解析データとして利用した. このうち捕獲方法については餌を

連絡者: 渡邊 彰 (e-mail: akiraw@affrc.go.jp)

利用して箱に誘導する「箱わな (n = 29)」, 餌により囲いに誘導する「囲いわな (n = 10)」および動物の通路に仕掛け肢を捉える「足わな (n = 28)」に区分された。

2. 供試試料

シカおよびイノシシは捕獲された場所において止め刺し処理を行い処理施設に搬入後に解体処理されている。枝肉より胸および腰最長筋を分離し真空包装して東北農業研究センターに冷蔵便で輸送し、センター到着後はシカ肉では止め刺しより7日目、イノシシ肉では5日目まで $2 \pm 1^{\circ}\text{C}$ で熟成させた。熟成終了時に約2cm厚のスライス肉を調製し、真空包装後に -30°C で凍結し分析まで保存した。また、一部の試料 (シカ16頭、イノシシ30頭) については熟成終了時に後述のトランスミッション値とpHを測定した。

3. pHおよびトランスミッション値 (TMV) の測定

半解凍した試料をメスで切開しニードル形pH電極 (Model 6252; 堀場製作所, 京都) を挿入して約 10°C でのpHを測定した。また、タンパク質の変性程度を表すTMVの測定は凍結前の試料に対してEikelenboomら (1974) の方法を改変した小石川ら (1979) の方法に従い以下の様に実施した。すなわち、容量50mLのディスポーザブル遠沈ボトルに細切した試料3.0gを入れ15.0mLの蒸留水を加えヒスコトロンホモジナイザーでホモゲナイズ後、 $2,000 \times \text{rpm}$ ($760 \times g$) で15分間遠心分離した。上澄みをろ紙 (No.5A) でろ過し、ろ液1mLにpH4.6のくえん酸-りん酸緩衝液 ($0.2 \text{ M Na}_2\text{HPO}_4$, $0.1 \text{ M C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) 5mLを加えて、水浴 20°C で30分間静置した。別にろ液1mLに蒸留水5mLを加えたものを対照として、分光光度計 (U-0080D; 日立ハイテクノロジーズ, 東京) により波長600nmで透過率 (T%) を求めTMVとした。また、ろ液のpHをpH電極 (GST-5821C; 東亜ディーケーケー, 東京) を用い室温で測定した。

4. 統計処理

守屋と広岡 (2018) の報告に従いR (version3.6.2) パッケージを用いて解析した。すなわち、関数lm () によりpHを目的変数、pHに及ぼす可能性のある要因を説明変数とする線形モデルの当てはめを行い、その結果を関数anova () に引数として与えType IIIによる分散分析を行った。さらに、lsmeans () により主効果の最小2乗平均を求めTukeyによる多重検定を実施した。また、回帰曲線はpHおよびTMVを対数変換して、関数lm () により直線近似し累乗回帰式 $\text{TMV} = a \times (\text{pH})^b$ を求めた。

結 果

1. 熟成後のpH分布

供試したシカ肉 (止め刺し後7日目) およびイノシシ肉 (止め刺し後5日目) のpH分布状況を図1に示した。シカ肉の中央値は6.00で、単純平均値 \pm 標準誤差が 6.07 ± 0.09 , 最大値7.05, 最小値5.41と極めて広範囲に分

布した。イノシシ肉の中央値は5.67で、外れ値7.21 (第3四分位数 $+1.5 \times$ (第3 - 第1四分位数) 以上の値) が観測されたため、以後の解析において本データを除外した。これを除外した単純平均値 \pm 標準誤差は 5.80 ± 0.06 , 最大値6.69, 最小値5.25であり、イノシシ肉の分布はシカ肉よりも酸性側にあった。また、 $\text{pH} > 6.0$ の個体は23検体で全体の35%となった。

2. pH分布に及ぼす要因の解析

熟成後のpHに及ぼす要因として、動物種 (シカ, イノシシ), 性別 (メス, オス), 捕獲方法 (箱わな, 囲いわな, 足わな) および体重 (平均 \pm 標準誤差; $38.0 \pm 2.0 \text{ kg}$) を用いた。Rパッケージによる線形モデルの当てはめを行い、これを分散分析した結果を表1に示した。動物種および体重がpHに及ぼす影響は認められなかった ($P > 0.05$) が、性別には $P = 0.058$ の傾向があり、捕獲方法には $P < 0.0001$ でpHへの有意性が確認された。

動物種, 性別, 捕獲方法について最小2乗平均を求めTukeyによる検定を行い、その結果をそれぞれ図2 (a), (b), (c) に示した。シカ肉とイノシシ肉の最小2乗平均 \pm 標準誤差は、それぞれ 5.88 ± 0.08 と 5.84 ± 0.06 となり有意差は認められなかった。メスとオスでは 5.76 ± 0.07 と 5.96 ± 0.07 で0.2だけオスがメスよりも高い傾向にあった。捕獲方法では足わなが 6.16 ± 0.07 で箱わなの 5.71 ± 0.07 および囲いわなの 5.72 ± 0.11 よりも有意に高い値 ($P < 0.0001$ および $P = 0.0081$) であった。

3. TMVとpHの関係

TMVは未凍結試料で測定する必要があることから、供試可能な一部の熟成後の試料について実施し、pHとの関係をシカ (n = 16) とイノシシ (n = 30) に分けて図3 (a) および (b) に示した。累乗近似の結果、シカ肉では

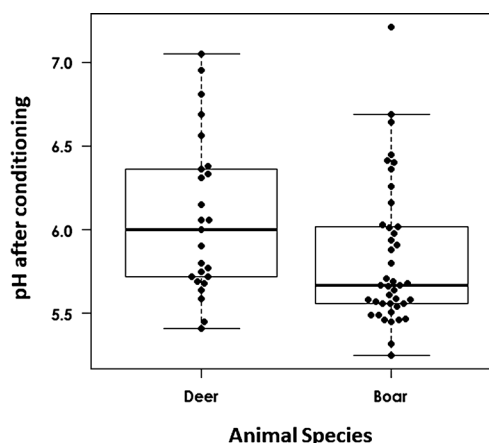


Figure 1 The pH value of deer (n = 25) and boar (n = 42) measured at 7 and 5 days post-mortem, respectively. Box plot displaying the minimum, the lower quartile, the median, the upper quartile and the maximum value, and overlaid with dot of individual data.

Table 1 Analysis of variance (ANOVA, type III) for animal species, sex, trap methods and weight to the pH after conditioning

Source	Sum Sq	Df	F-value	P-value
Animal species	0.01	1	0.141	0.708
Sex	0.39	1	3.734	0.058
Trap methods	2.50	2	12.094	3.966×10^{-5}
Weight	0.28	1	2.700	0.106
Residuals	6.09	59		

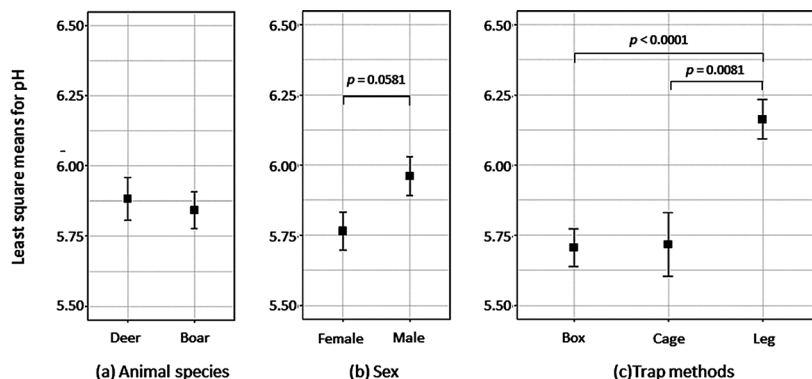


Figure 2 Least square means (\pm SE) for pH after conditioning by different animal species, sex and trap methods (Box-, Cage- and Leg-binding-trap).

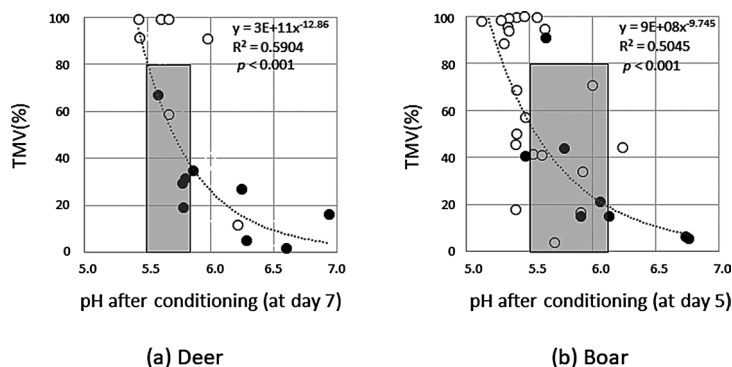


Figure 3 Curve liner relationship between pH and transmission value (TMV) after conditioning in deer (n = 16) and boar (n = 30). The meaning of the symbols are as follows : ○ ; Box- or Cage- trap (n = 29), ● ; Leg-binding-trap (n = 17). The rectangular box shows the assumed ideal region of pH and TMV.

$TMV = (3E+11) \times pH^{-12.86}$ ($R^2 = 0.5904$, $P < 0.001$),
 イノシシ肉では $TMV = (9E+08) \times pH^{-9.745}$ ($R^2 = 0.5045$,
 $P < 0.001$) の関係があり, pH の低下とともに TMV が
 高くなることが確認された. また, TMV が 80 台から軽
 度ないしは中度の PSE 症状を呈するという報告 (小石川
 ら 1979) を参考に $TMV > 80$ となった個体数を調べると,
 箱わなまたは囲いわなで捕獲された 29 頭のうち 15 頭
 (52%), 足わなで捕獲された 17 頭のうち 1 頭 (5.8%)
 が該当した.

考 察

動物の死後, 筋肉の pH は徐々に低下する. pH 低下が
 停止する時点での値を極限 pH と称して, 通常ウシでは屠
 殺 48 時間後, ブタでは 24~48 時間後に測定される
 (Murray 1995). しかし, 本調査では野生獣の処理施設
 が全国に点在し施設内での pH 測定が不可能であったた
 め, 熟成終了後の pH を測定することにした. シカでは渡
 辺ら (1993) の報告を参考にして止め刺し後 7 日目の

pH, イノシシでは豚 (Dransfield ら 1981) を参考に、止め刺し後 5 日目の pH を測定した。食肉の pH は極限 pH 到達後に上昇することが知られているため (Lawrie 1991), ここでの測定値は極限 pH と同等ではないが、真空包装 1 週間では変動が認められないこと (D'agata ら 2010) や pH 低下が屠殺 7 日目まで継続する場合があることも報告されている (Mahmood ら 2017)。したがって、熟成後の pH であっても本調査の目的である要因解析への影響は少ないと考えた。

本調査で測定した pH の分布 (図 1) では、シカ肉の中央値は 6.00, 単純平均値は 6.09 で、これは典型的な哺乳類の筋肉における極限 pH の約 5.4~5.5 (Lawrie 1991) よりもかなり高い値であった。これに対して、イノシシ肉の単純平均値は 5.80 で、やや高い値であるが正常値に近い第 1 四分位 (5.56) から中央値 (pH 5.67) 付近に多くの試料が位置していた。このようにイノシシ肉ではシカ肉より酸性側に分布が多いものの、両野生獣とも正常な値から Dark, Firm, and Dry (DFD) が疑われる高い値まで大きなばらつきが観察された。これらの pH の変動要因として、ここでは動物種、性別、捕獲方法および個体の体重を想定して解析した。その結果、動物種と体重の pH への影響は認められず、性別と捕獲方法が影響している可能性が示された。

動物種について、畜肉では牛肉および豚肉の正常な極限 pH はそれぞれ 5.5~5.6 および 5.5~5.8 (Honikel 2004) と上述の典型的な筋肉の極限 pH 範囲よりもやや広い値が示されていて、両者で顕著な差異はない。同様に、シカ肉およびイノシシ肉における pH の最小 2 乗平均値は 5.90 および 5.85 で両者に顕著な差異はなかった (図 2 (a))。しかし、これらの値は正常な極限 pH よりも高い値であった。

また、体重についてはラム肉において体重の重い個体が有意に高い pH であった (Teixeira ら 2005) とする報告や、違いは認められない (Vergara ら 1999) とする報告もあり明確ではない。Mahmood ら (2017) は牛枝肉重と乳酸塩または糖ポテンシャル (グルコース/g) の間に曲線関係があることを述べていることから、体重が pH に影響することも推測される。しかし、本調査では両者の関連性を確認することは出来なかった。

性別についてはオス由来の肉の pH が高い傾向にあることが認められた (図 2 (b))。ラム肉では性差が認められなかったという報告 (Teixeira ら 2005) もあるが、牛肉では性別の違いは顕著である。オス由来の牛肉で高い極限 pH を持った DFD 肉が発生することが多く、ダークカッティングビーフ (DFC) と呼ばれている (Monin 2004)。フランスで行われた牛肉の調査 (Mounier ら 2006) によればオス牛の最長筋における極限 pH は平均で 5.71, 最大値 6.23, 最小値 5.48 と報告され、DFD を回避するためには家畜の取り扱い方に注意する必要があることを指

摘している。Węglarz (2010) もオス牛で 5.87, メス牛で 5.51 と有意な違いを報告している。Lower ら 2004) はストレス環境下にあるオス牛の極限 pH が 5.98 で、これはカテコールアミンに対する反応性がメス牛より高いためと報告している。本調査でもカテコールアミンが筋肉中の蓄積グリコーゲンを減少させオス由来肉の pH を 5.96 と高止まりさせたと考えられたが、メスとの明確な有意差を確認するまでではなかった。ここで観察したメス由来肉の pH も最小 2 乗平均 5.76 とやや高めめの値であった。個別にみるとメスでも pH > 6.0 となる個体が 31 頭中 5 頭 (16.1%) 存在しておりメスでも蓄積グリコーゲンの減少が起こっている可能性がある。このことが顕著な有意差を見出せなかった理由と考えられた。

極限 pH が高くなる理由は上述のように筋肉中の蓄積グリコーゲンが低下するためと考えられ、栄養状態 (Priolo ら 2002) や季節 (Kreikemeier ら 1998) といった環境と屠殺前の輸送等による心理的または身体的ストレスなどが影響する (Lister 1981)。グリコーゲンが 53 $\mu\text{mole/g}$ 以下になると、極限 pH と蓄積グリコーゲン量の間に逆相関の関係がある (Immonen と Puolanne 2000; Henckel ら 2002) ことは良く知られている。また、速筋型の白色筋より遅筋型の赤色筋でグリコーゲン蓄積量が少なく pH の高止まりが報告されている (Huff-Lonergan ら 2002; Realini ら (2013)。近年、過剰なグリコーゲン下でも赤色筋では極限 pH が高くなる可能性が示唆され (England ら 2016)、そのメカニズムは明確になっていないが、やはり白色筋より赤色筋のほうが極限 pH は高い傾向にある。本調査で対象とした胸・腰最長筋について、家畜である黒毛和種では赤色筋線維 (I 型 + II A 型) 割合が 50% 近くを占めるが他品種では白色筋線維 (II B 型) 割合が高く (岩本ら 1991; Gotoh 2003)、典型的な白色筋に分類される。また、ブタでは II B 型が 78~87% を占めている (Choe ら 2008)。これに対して猪では I 型 + II A 型が 54.81%, 鹿では 59.26% と野生獣の最長筋における赤色筋割合が高いことが述べられている (Żochowska-Kujawska ら 2012)。これらの報告から本調査で要因として想定した項目以外にも筋線維型や拘束時間、季節、栄養状態など pH を高止まりさせる要因があることが推察される。

捕獲方法については足わなで捕獲した肉の pH は 6.17 と極めて高く、箱わなの 5.68 や囲いわなの 5.77 よりも有意に高い値であった (図 3 (c))。この値は畜肉と比較しても高い値で、DFD 肉の危険性が懸念される。捕獲方法がニホンジカに与えるストレスについては山田ら (2013) がくくりわなによる捕獲は銃器を用いたシャープシューティングよりも血清コルチゾールおよびクレアチンキナーゼを有意に高くすることを示し、くくりわなの身体的負担が大きいことを報告している。また、若松 (平成 28 年度事業, 2017) は銃による射撃で得たエゾシカの最

長筋では、屠殺 24 時間後の pH が 5.4 から 5.7 の正常範囲にあることを報告している。銃器による狙撃では拘束時間が無いのに対して、本報告における足わなは山田ら (2013) のくくりわなに相当するもので、身体拘束により筋肉中の貯蔵グリコーゲンが減少し pH が高くなったものと推察される。これに対して箱わなや囲いわなは足わなよりも身体拘束が少ないことから、pH 5.71 および 5.72 と典型的な極限 pH (Lawrie 1991) よりもやや高いものの、正常な極限 pH (Honikel 2004) に近い範囲に収まっていた。

一方、異常肉として問題となる Pale, Soft, and Exudative (PSE) は DFD とは対極的なもので、正常値とされる低い極限 pH 領域で発生する。豚肉では遺伝的素因も含めてしばしばこの PSE が問題となる。これは、急速な pH 低下により短時間で極限 pH 5.4~5.7 に到達し、この間の熱産生のために枝肉の冷却遅延が起こり、低 pH と高温という条件のもとでタンパク質の変性が起こることによる (Monin 2004)。豚肉だけでなく、牛肉、ラム肉、シカ肉、鶏肉でも起こる問題である (Kim ら 2014)。本調査ではタンパク質の変性程度をトランスミッション値 (TMV) により測定した。低 pH 領域で起こるタンパク質変性による可溶性低下のため TMV は上昇する。したがって、図 3 (a) (b) のように TMV が pH と逆相関となることは必然的な結果である。シカ肉やイノシシ肉の TMV についての報告は見当たらないため、ここでは小石川ら (1979) の報告を参考に TMV > 80 を軽度以上の PSE 肉と判断した。図 3 からは PSE が疑われるシカ肉は 16 頭中 5 検体 (31%)、イノシシ肉で 30 頭中 11 検体 (37%) が観測された。英国での豚肉市場調査では 15.1% が PSE の可能性があるとして報告されている (Homer と Matthews 1998)。また、2006 年のブタ最長筋におけるアメリカでの調査で、3.34% に PSE が発生していたとの報告がある (Meisinger と Berg 2006)。これらの報告と比較しても、ここで調査した野生獣肉の PSE の発生頻度は非常に高い。前述した捕獲方法と pH の関係 (図 2) から箱わなと囲いわなで捕獲した場合の pH は正常範囲に近い値となるため、これらの肉では PSE の危険性が高まることになる。実際、TMV > 80 で PSE と判定された 16 頭のうち 15 頭が箱わなまたは囲いわな捕獲個体であった (図 3)。屠殺直前における筋肉の高い代謝活性は動物の死後も継続すると報告されている (Terlouw 2015)。したがって、野生獣では止め刺し時の筋肉の代謝活性を抑え、急速な pH 低下が起こることを避けるような取り扱いが極めて重要となる。本調査では pH が 5.8 以下の試料に対して止め刺し方法を「電気 (n = 5)」「銃 (n = 3)」「ナイフ (n = 17)」「打額 (n = 3)」に分類し解析を試みたが、有意な差異を認めることは出来なかった (未掲載)。これは止め刺し技術には担当者の経験などが影響し、その違いをデータとして調査出来なかったためと推察した。

このように畜肉と比較して野生獣肉では熟成後の pH が高い傾向にあり、とくに足わな捕獲は他の方法と比較して顕著に高くなることが明らかになった。一方、箱わなや囲いわなでは TMV が高くなり PSE の危険性があることが示された。筋肉の正常な極限 pH は 5.5 付近であるが、食肉として理想的な pH は畜種によって異なっている。豚肉では pH 範囲を 5.5~6.0 (Van der Wal ら 1988) とする報告や、PIC (Pig Improvement Company) は商業的に最も望ましい pH を 5.7~6.1 として、6.1 以上を DFD、5.5 以下を PSE の目安としている (Heugten 2001)。一方、ウシでは DFD の境界を 6.0 以上とする報告 (Tarrant と Sherington 1980) や 6.2 以上とする報告 (Fabiansson ら 1984) もある。Viljoena ら (2002) は正常値を pH ≤ 5.8 とし、羊肉でも Watanabe ら (1996) は pH < 5.8 を正常値として扱っている。また、ゲームミートであるヌーでは pH < 6.0 を正常としている (Shange ら 2019)。このように各動物種における理想的な pH 範囲は様々で、これをシカ肉やイノシシ肉でどのように設定するかは衛生面や食味性による検討が必要である。今後、理化学的特性調査や官能評価が必要であり本調査で判断することは難しいが、仮に理想値をシカ肉で 5.5 ≤ pH ≤ 5.8, TMV < 80, イノシシ肉で 5.5 ≤ pH ≤ 6.0, TMV < 80 とすると、調査したシカ肉の 16 頭中 5 頭 (31%) とイノシシの 30 頭中 9 頭 (30%) しか理想的な範囲に収まらないことになる。しかし、個体別に見ると足わな捕獲でも pH < 5.8 と DFD が回避された個体は存在していた。したがって、より良いジビエ供給には捕獲された野生獣の早期発見による DFD の回避と、興奮を抑える止め刺し技術による PSE の回避が重要となる。

謝 辞

シカ肉およびイノシシ肉の調達にご協力頂いた (株)一成企画調整室の迫田華絵氏、池田彩夏氏および試料調製の補助を頂いた農研機構東北農業研究センターの契約職員本宮由美子氏に感謝の意を表する。なお、本研究は、農研機構生研支援センター「生産性革命に向けた革新的技術開発事業」の支援を受けて実施した。

文 献

- Choe JH, Choi YM, Lee SH, Shin HG, Ryu YC, Hong KC, Kim BC. 2008. The relation between glycogen, lactate content and muscle fiber type composition, and their influence on postmortem glycolytic rate and pork quality. *Meat Science* **80**, 355-362.
- D'agata M, Nuvoloni R, Pedonese F, Russo C, D'ascenzi C, Preziuso G. 2010. Effect of packaging and storage time on beef qualitative and microbial traits. *Journal of Food Quality* **33**, 352-366.
- Dransfield E, Jones RCD, MacFie HJH. 1981. Tenderising in *M. longissimus dorsi* of beef, veal, rabbit, lamb and pork. *Meat Science* **5**, 139-147.

- Eikelenboom G, Campion DR, Kauffman RG, Cassens RG. 1974. Early postmortem methods of detecting ultimate porcine muscle quality. *Journal of Animal Science* **39**, 303-308.
- England EM, Matarneh SK, Oliver EM, Apaoblaza A, Scheffler TL, Shi H, Gerrard. 2016. DE. Excess glycogen does not resolve high ultimate pH of oxidative muscle. *Meat Science* **114**, 95-102.
- Fabiansson S, Inger Erichsen I, Reuterswärd AL, Malmfors G. 1984. The Incidence of Dark Cutting Beef in Sweden. *Meat Science* **10**, 21-33.
- Gotoh T. 2003. Histochemical properties of skeletal muscles in Japanese cattle and their meat production ability. *Animal Science Journal* **74**, 339-354.
- Henckel P, Karlsson A, Jensen MT, Oksbjerg N, Petersen JS. 2002. Metabolic conditions in Porcine *longissimus* muscle immediately pre-slaughter and its influence on peri- and post- mortem energy metabolism. *Meat Science* **62**, 145-155.
- Heugten VE. 2001. Understanding pork quality. *Swine News* **24**. [homepage on the Internet]. North Carolina Cooperative Extension Service, NC; [cited 19 June 2020]. https://projects.ncsu.edu/project/swine_extension/swine_news/2001/sn_v2403.htm
- Homer DB, Matthews KR. 1998. A repeat national survey of muscle pH values in commercial pig carcasses. *Meat Science* **49**, 425-433.
- Honikel KO. 2004. pH measurement. In : Jensen WK, Devine C, Dikeman M (eds), *Encyclopedia of Meat Science* Vol.1, pp. 238-242. Elsevier Academic Press, UK.
- Huff-Lonerger E, Baas TJ, Malek M, Dekkers JCM, Prusa K, Rothschild MF. 2002. Correlations among selected pork quality traits. *Journal of Animal Science* **80**, 617-627.
- Immonen K, Puolanne E. 2000. Variation of residual glycogen-glucose concentration at ultimate pH values below 5.75. *Meat Science* **55**, 279-283.
- 岩元久雄, 尾野喜孝, 後藤貴文, 西村正太郎, 中西良孝, 梅津頼三郎, 高原 斉. 1991. 黒毛和種, 褐毛和種およびホルスタイン種の去勢雄牛間での筋線維型構成に関する比較検討. 日本畜産学会報 **62**, 674-682.
- 環境省自然環境局. 2019. 全国の二ホンジカ及びイノシシの個体数推定等について [homepage on the Internet]. 環境省, 東京; [cited 19 June 2020]. <https://www.env.go.jp/press/107256.html>
- Kim YHB, Warner R, Rosenvold K. 2014. Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality : a review. *Animal Production Science* **54**, 375-395.
- 小石川常吉, 吉武 充, 千国幸一, 小沢 忍. 1979. PSE 豚肉の判定方法に関する研究 I. PSE 豚肉の理化学的性質について. 畜産試験場研究報告 **35**, 149-157.
- Kreikemeier KK, Unruh JA, Eck TP. 1998. Factors affecting the occurrence of dark-cutting beef and selected carcass traits in finished beef cattle. *Journal of Animal Science* **76**, 388-395.
- Lister D, Gregory NG, Warriss PD. 1981. Stress in meat animals. In : Lawrie R (ed.), *Developments in meat science-2*. pp. 61-92. Applied Science Publishers LTD, USA.
- Lower TE, Devine CE, Well RW, Lynch LL. 2004. The relationship between postmortem urinary catecholamines, meat ultimate pH, and shear force in bulls and cows. *Meat Science* **67**, 251-260.
- Lawrie RA. 1991. *Meat Science* 5th edn. Pregamon press, Oxford.
- 守屋和幸, 広岡博之. 2018. R パッケージを用いた最小 2 乗分散分析と最小 2 乗平均値の算出. 日本畜産学会報 **89**, 1-6.
- Mahmood S, Roy BC, Larsen IL, Aalhus JL, Dixon WT, Bruce HL. 2017. Understanding the quality of typical and atypical dark cutting beef from heifers and steers. *Meat Science* **133**, 75-85.
- Meisinger J, Berg E. 2006. United States pork industry pork quality survey. In : *proceedings of Mid-West section of animal society of animal science*, Abstract 245, March 2006, Des Moines, IA.
- Monin G. 2004. Colour and texture deviation. In : Jensen WK, Devine C, Dikeman M (eds), *Encyclopedia of Meat Science* Vol.1, pp. 323-330. Elsevier Academic Press, UK.
- Mounier L, Dubroeuq H, Andanson S, Veissier I. 2006. Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. *Journal of Animal Science* **84**, 1567-1576.
- Murray AC. 1995. The evaluation of muscle quality. In : Morgan Jones S. (ed.), *Quality and Grading Carcasses of Meat Animals*, pp. 83-108. CRC Press, USA.
- 農林水産省農村振興局農村政策部. 2018. 全国の野生鳥獣による農作物被害状況について (平成 30 年度). [homepage on the Internet]. 農林水産省, 東京; [cited 19 June 2020]. Available from URL : <https://www.maff.go.jp/j/press/nousin/tyozyu/attach/pdf/191016-1.pdf>
- 農林水産省, 環境省. 2013. 抜本的な鳥獣捕獲強化対策 (平成 25 年 12 月 26 日). [homepage on the Internet]. 農林水産省, 東京; [cited 19 June 2020]. Available from URL : <https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/pdf/kyouka.pdf>
- 農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課消費統計室. 2018. 調査結果の概要 (野生鳥獣資源利用実態調査). [homepage on the Internet]. 農林水産省, 東京; [cited 19 June 2020]. Available from URL : <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files/data?sinfid=000031911292&ext=pd>
- Priolo A, Micol D, Agabriel J, Prache S, Dransfield E. 2002. Effect of grass or concentrate feeding systems on lamb carcass and meat quality. *Meat Science* **62**, 179-185.
- Realini CE, Vénien A, Gou P, Gatellier P, Pérez-Juan M, Danon J, Astru T. 2013. Characterization of *Longissimus thoracis*, *Semitendinosus* and *Masseter* muscles and relationships with technological quality in pigs. 1. Microscopic analysis of muscles. *Meat Science* **94**, 408-416.
- Shange N, Gouws P, Hoffman LC. 2019. Changes in pH, colour and the microbiology of black wildebeest (*Connochaetes gnou*) *longissimus thoracis et lumborum* (LTL) muscle with normal and high (DFD) muscle pH. *Meat Science* **147**, 13-19.

- Tarrant PV, Sherington J. 1980. An investigation of ultimate pH in muscles of commercial beef carcasses. *Meat Science* **4**, 287-297.
- Teixeira A, Batista S, Delfa R, Cadavez V. 2005. Lamb meat quality of two breeds with protected origin designation. Influence of breed, sex and live weight. *Meat Science* **71**, 530-536.
- Terlouw CEM. 2015. Chapter 7, Stress Reactivity, Stress at Slaughter, and Meat Quality. In : Przybylski W, Hopkins D (eds), *Meat Quality Genetic and Environmental Factors*, pp. 288-307. CRC Press, FL.
- Van der Wal PG, Bolink AH, Merkus GSM. 1988. Differences in Quality Characteristics of Normal, PSE and DFD Pork. *Meat Science* **24**, 79-84.
- Vergara H, Molina A, Gallego L. 1999. Influence of sex and slaughter weight on carcass and meat quality in light and medium weight lambs produced in intensive systems. *Meat Science* **52**, 221-226.
- Viljoena HF, de Kocka HL, Webb EC. 2002. Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. *Meat Science* **61**, 181-185.
- 若松純一. 2017. (5) 筋肉の pH と評価. In : 近藤誠司, 「シカ肉等級ガイドライン」—その確立に向けた基礎知識—. pp. 44-54. 一般社団法人 エゾシカ協会 JRA 事業畜産振興事業「平成 28 年度銃による野生シカ捕獲における肉質改善事業」.
- Watanabe A, Daly CC, Devine CE. 1996. The Effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. *Meat Science* **42**, 67-68.
- 渡辺 彰, 瀬川 恵, 佐藤 博, 松本光人. 1993. 鹿肉の貯蔵中の理化学的变化. 日本畜産学会報 **64**, 934-937.
- Węglarz A. 2010. Meat quality defined based on pH and colour depending on cattle category and slaughter season. *Czech Journal of Animal Science* **55**, 548-556.
- 山田晋也, 大竹正剛, 大場孝裕, 山口 亮, 大橋正孝. 2013. 捕獲がニホンジカ (*Cervus nippon*) に与えるストレス—血清コルチゾールとクレアチンキナーゼの測定—. 野生生物と社会 **1**, 1-5.
- Żochowska-Kujawska J, Lachowicz K, Sobczak M. 2012. Effects of fibre type and kefir, wine lemon, and pineapple marinades on texture and sensory properties of wild boar and deer longissimus muscle. *Meat Science* **92**, 675-680.