豚異常肉の実験的作出と枝肉の温度と pH 値による自然発生例の分類

前田博之^{*1)} 森 千恵子^{*1)} 湯浅 亮^{*2)} 横田 博^{*2)}

(昭和 60 年 5 月 24 日受理)

Differentiation of Abnormal Pork Produced by Usual or Experimental Method of Slaughter on the Basis of Temperature and pH Value of Carcass

HIROYUKI MAEDA (Asahikawa Meat Inspection Center, Prefecture of Hokkaido Asahikawa, Hokkaido 071-13) et al.

SUMMARY

Rigor mortis was noticed to develop very early in some pigs slaughtered in a usual slaughterhouse system. An attempt was made to clarify the relationship between the abnormal phenomenon and meat quality.

There were interesting similarities between Subgroup A of pigs showing early rigor mortis and Experimental Group I and between Subgroup C and Experimental Group, II concerning the developing time of rigor mortis, changes in temperature and pH value of the carcass, and meat quality. In this experiment it was possible to produce PSE pork and DFD-like porcine meat.

要 約

実験屠体各群において、屠殺後 90 分の pH と肉眼所見とに関してきわめて特徴的な傾向がみられた。すなわち、打額群の pH の平均値 5.92 ± 0.21 を基準とすると、実験 I 群は高く、実験 II 群は低かった。そして I 群は DFD 傾向、II 群は PSE 肉であり、ともに早い死後硬直が確認された。

通常屠殺材料の pH 値はばらつきが大であった。ところが早期温体硬直群を総合的に検討する過程で、実験群のデーターを参考にすると、屠殺後 90 分という時点の pH 値で、A : 6.0 以上、B : 6.0~5.6、C : 5.6 以下の 3 亜群に区分できることが判明した。そして、C 亜群は PSE 肉、A 亜群は DFD 肉であることが認められた。通常屠体の pH は 5.69 ± 0.24 であった。

内臓摘出直後の打額群肉温 40.0°C を基準にすると、実験 I 群は $+1.3^{\circ}\text{C}$ 、実験 II 群は $+1.4^{\circ}\text{C}$ で、この上昇は興奮や筋運動の指標となり、屠体における異化代謝速度の増大を予測させる。通常屠体は $+0.4^{\circ}\text{C}$ 、早期温体硬直の A 亜群は $+0.1^{\circ}\text{C}$ 、B 亜群は -0.1°C 、C 亜群は $+1.3^{\circ}\text{C}$ であった。

近年、とくに大規模屠畜場において、枝肉の温度がまだほとんど下降しないきわめて早期に死後硬直（早期温体硬直と呼ぶ）をきたす屠豚が増加する傾向が見られる。この異常現象は肉質問題、つまり PSE (Pale Soft Exudative; ムレ肉) や DFD (Dark Firm Dry; わが国では未報告) のような“生理的異常肉”^{30,31)} の発生となんらかの関連があるのではないと思われる。そこでこれを確かめ、この異常現象の実態を主として生理化学面において把握・検討し、その原因を究明する目的で一連の研究を開始した。

早期温体硬直という異常現象の発生は、現今の大規模

*1) 北海道旭川保健所旭川食肉検査事務所 (北海道旭川市東鷹栖6-12)

*2) 酪農学園大学酪農学部 (北海道江別市西野幌582)

屠畜場を中心とした殺システム（生産方式・出荷輸送・けい留屠殺）と深い関係があるように思われる。とりわけ長距離輸送や長時間のけい留・強制追込みなどは、屠豚に対しさまざまなストレッサー（絶食や、高度の興奮・狂騒をもたらす物理的・精神的要因）となり、極度のストレス状態（生理的異常）を引き起こすものとなっていることであろう。

われわれは、これまでに上述のような屠殺システムが肉質に及ぼす影響について種々検討してきた¹²⁻¹⁶⁾。枝肉の温度と pH 値について、PSE 肉では屠殺後枝肉の温度が高く pH 値が急激に低下し^{2,6-8,17-20,24,27-29,31)}、いっぽう DFD 肉では高い最終 pH を示すことが知られている^{1,11,21,25)}。また、PSE・DFD 豚において死後硬直が早く発現するという報告がある^{24,26)}。異常肉発現の原因と

メカニズムを解明することは、現今の屠殺システムの問題点を明らかにし、その改善策をみいだすこととなろう。

本報においては、この肉質問題が早期温体硬直現象と関連していることを確かめるため、実験的屠殺を実施し、まず筋肉の肉眼所見ならびに温度と pH 値について検討した。

1. 供試材料および方法

1) 供試材料

供試豚は 5~6 カ月齢の肉用豚で、供試材料は通常屠殺材料と実験的屠殺材料とに大別される。この概要は表 1 に示した。写真 1 は早期温体硬直屠体である。

2) 検査項目と方法

供試材料各群の枝肉について、内臓摘出直後（屠殺後 10 分前後）から 90 分までの時間、第 5~6 肋間部胸最長筋（ロース芯部）の温度と pH を連続的に記録した。

3) 筋肉の所見

枝肉の pH 測定相当部位を採取し観察した。

2. 結 果

1) 死後硬直発現時間

供試材料各群の枝肉について調べ表 2 の結果を得た。

2) 枝肉の温度と pH 値

(1) 経時的変動：図 1 に示したごとく、実験的屠殺材料において、打額群は pH の高い領域から低い領域へ緩やかに変動していた。実験屠体群は pH 6.0 を境としてその変動領域がはっきりと分かれていた。実験 I 群は高い pH 領域で、II 群は低い領域で変動していた。通常屠殺材料においては、早期温体硬直屠体群の変動はさまざまであった。そこで、実験的屠殺材料の変動を参考にして 3 亜群に区分した。すなわち、屠殺後 90 分の pH 値が 6.0 以上 (11 例) を A 亜群、pH 6.0~5.6 (5 例) を B 亜群、pH 5.6 以下 (8 例) を C 亜群とした。なお、通常屠体群はおおむね打額屠体群と同様の変動を示した。

(2) 温度と pH 値：内臓摘出直後および屠殺後 90 分について調べ、表 2 の結果を得た。

3) 筋肉の肉眼所見

早期温体硬直屠体各群の屠殺後 24 時間における肉色と pH 値を写真 2・3・4 に示した。通常屠体（淡赤色で畜試式豚標準肉色 3~4, pH 5.60）を基準にすると、硬直 A 亜群（肉色は暗赤色で標準肉色 6, pH 6.65）は DFD 肉；C 亜群（淡赤白色で標準肉色 1~2, pH 5.45）は PSE 肉；B 亜群は PSE 傾向肉であった。

実験的屠殺材料において DFD 傾向肉と PSE 肉が作

表 1 供試材料の概要

供試豚各群（例数）	屠 殺 前	屠 殺 法
＜通常屠殺材料＞		
通常屠体 (14)	興奮と狂騒	電撃屠殺
早期温体硬直屠体 (24)	(誘導路・レストレーナにおける強制追込み)	(200V, 1~2 秒)
＜実験的屠殺材料＞		
打額屠体 (5)	安 静	打額屠殺
実験屠体 I (5)	高度の興奮と狂騒 (24 時間絶食, 1.5 時間四肢拘束・電気刺激)	電撃屠殺 (200V, 1~2 秒)
実験屠体 II (5)	高度の興奮と狂騒 (給餌して搬入後, 30 分間四肢拘束・電気刺激)	直接刺殺 (内臓摘出後 30 分間放置)

表 2 枝肉の死後硬直発現時間・温度・pH・肉眼所見

供試豚各群	死後硬直 発現時間	枝肉の温度 (°C)		枝 肉 の pH		肉眼所見
		内臓摘出直後	屠殺後 90 分	内臓摘出直後	屠殺後 90 分	
＜通常屠殺材料＞						
通常屠体群	360 分以上	40.4±0.4	31.5±3.7	6.41±0.27	5.69±0.24	正 常 肉
早期温体硬直屠体 A 亜群	7 分以内	40.1±0.4	33.9±1.5*	6.71±0.25	6.41±0.26**	DFD 肉
B 亜群	7 分以内	39.9±0.4	33.3±5.1	6.31±0.28	5.83±0.11	(不 詳)
C 亜群	7 分以内	41.3±0.7**	35.6±1.7**	5.80±0.31**	5.53±0.09**	PSE 肉
＜実験的屠殺材料＞						
打 額 屠 体 群	360 分以上	40.0±0.4	32.0±1.0	6.61±0.25	5.92±0.21	正 常 肉
実 験 屠 体 I 群	90 分以内	41.3±0.6**	34.7±2.0*	6.61±0.19	6.15±0.09	(得られず)
実 験 屠 体 II 群	90 分以内	41.4±0.4**	35.1±2.3*	5.79±0.22**	5.65±0.10*	PSE 肉

注) 枝肉の温度と pH は平均値±標準偏差で示した

打額屠体群を基準とした場合の有意差 (*: p<0.05 **: p<0.01)

図1 枝肉の温度とpH値の変動

出されていた。すなわち、実験Ⅰ群では不完全ながらDFD傾向を示し、実験Ⅱ群では屠殺後90分の時点で全例淡赤白色（畜試式豚標準肉色1～2）を呈しPSE肉であった（写真5）。

3. 考察

内臓摘出直後における早期温度硬直屠体の発生についての調査結果を図1の余白に示した。このように、死後硬直がきわめて早期に発現すること、しかも通常屠畜場において高率に発生していることは異常事態であり、きわめて注目すべき事柄であろう。5℃においては、死後硬直は屠殺後24～72時間で徐々に発現するといわれている¹⁰⁾。事実、通常屠体や打額屠体では屠殺後長時間死後硬直は発現しなかった（表2）。ところが、実験屠体ⅠおよびⅡ群では90分以内に発現していた（表2）。死後硬直現象はATPの減少による筋肉細胞の死を意味しており、死後硬直が内臓摘出直後（7分以内）に発現する早期温度硬直屠体発生事態は、“生理的異常肉”³¹⁾発生を予測される。

“生理的異常肉”であるPSEやDFD肉におけるpH値がきわめて特徴的な変動を示した。枝肉のpH値の変動は実験Ⅰ群では6.0以上の高値領域で推移したのに対し、実験Ⅱ群ではpH6.0以下の領域で推移した（図1）。とくに実験Ⅱ群では屠殺後10分以内ですでに平均pH5.8にまで低下していた（表2）。内臓摘出直後の肉温は、打額群にくらべて実験ⅠおよびⅡ群ともに高かった（図1、表2）。そして、打額群は正常肉、実験Ⅱ群は全例がPSE肉であった。実験Ⅰ群は最終的な肉質を確認

できなかったが、早い死後硬直の発現と高いpH値からDFD傾向肉と考えられる²⁴⁾。

実験屠体Ⅰ群は早期温度硬直A亜群と、C亜群はⅡ群とそれぞれ類似性のあることが、以下の知見により認められた。上述の実験的屠殺材料におけるpH値の特徴的な変動をもとに早期温度硬直屠体群を3亜群に区分した（図1）。すなわち、実験屠体Ⅰ群の変動と類似のものをA亜群、Ⅱ群と類似のものをC亜群とし、この範囲に入らずpH値の変動が6.0前後に推移するものをB亜群として区別した（図1）。このB亜群は通常屠体と同様で、ともに打額屠体とはほぼ類似の推移を示した（図1）。B亜群については今後検討が必要であろう。

内臓摘出直後の肉温について打額群を基準とすると、硬直C亜群で高く実験Ⅱ群とよく類似していた（図1）。枝肉の温度の上昇は屠殺前の興奮や筋運動の指標であり、屠殺後の筋肉細胞における異化代謝（この場合、とくに乳酸生成）速度を増大させて肉質に大きな影響を及ぼすものと考えられている^{2,5,9,22,23)}。事実、C亜群と実験Ⅱ群はともにPSE肉となっていた（写真2、表2）。硬直A亜群においては肉温は高くならず（図1）、24時間前後のカット面を調べたところDFD肉となっていた（写真2）。

野外におけるPSE肉やDFD肉の発生は、生体時に屠豚に加えられるストレスと関連していることが指摘されている^{3,4,7,17,19)}。今回著者らは、早期温度硬直屠体の中にPSE肉やDED肉の存在を認めた。そして、ストレス負荷により、実験的にPSE肉とDFD傾向肉を作出することができた。このことから、ストレスがPSE

肉や DFD 肉などの“生理的異常肉”を発現させる大きな要因であることが証明された。今後、さらに検討を加えてこれらを確認し、そのメカニズムを解明していきたい。

以上まとめると、今回われわれは同種同系統の豚を用いた実験的屠殺によって、正常肉・PSE 肉・DFD 傾向肉を作出することができた。そして、通常屠殺の中の早期温体硬直屠体には PSE と DFD の“生理的異常肉”³¹⁾が存在することが明らかとなった。

供試豚をご提供いただいた大阪 武氏、実験屠殺にご協力いただいた上川畜産公社の各位、ならびに実験をすすめる上で種々ご協力いただいた旭川食肉検査事務所の皆様に深謝する。なお、本研究の一部は北海道食肉協議会の助成により行われたことを付記する。

文 献

- 1) BEM, Z., HECHELMANN, H., LEISTNER, L., et al.: *Die Fleischwirtschaft*, 56, 985~987 (1976).
- 2) BRISKEY, E. J. and WISMER-PEDERSEN, J.: *J. Food Sci.*, 26, 297~305 (1961).
- 3) BUCHTER, L.: *Meat*, COLE, D. J. A. and LAWRIE, R. A., editors, 1st ed., 133~148, The Avi Publishing Company, Westport (1975).
- 4) DYETT, E. J., HUGHES, R. B. and JONES, C. R. V.: *Meat and Meat Products*, WILSON, N. R. P., editor, 23~80, Science Publishers, London (1981).
- 5) FORREST, J. C., JUDGE, M. D., SINK, J. D., et al.: *J. Food Sci.*, 31, 13~21 (1966).
- 6) 藤巻正生, 荒川信彦, 鈴木敦士: 日畜会報, 36, 474~477 (1965).
- 7) 深沢利行: 日畜会報, 46, 501~508 (1975).
- 8) 星野忠彦, 新妻沢夫, 勝倉義瑋, ほか: 酪農科学の研究, 22, A 235-A 241 (1973).
- 9) KASTENSCHMIDT, L. L., BRISKEY, E. J. and HOEKSTRA, W. G.: *J. Food Sci.*, 29, 210~217 (1964).
- 10) LAWRIE, R. A.: *Meat Science*, 3rd ed., 136~162, Pergamon Press, London (1974).
- 11) LINKE, H., JANKOWITSCH, H., LEISTNER, L., et al.: *Die Fleischwirtschaft*, 56, 973~977 (1976).
- 12) 前田博之, 宮内 健, 菅原憲治, ほか: 食品衛生研究, 26, 453~460 (1976).
- 13) 前田博之, 真上次夫, 東 鉄夫, ほか: 北獣会誌, 研究発表要旨集, 9 (1976).
- 14) 前田博之, 森 千恵子, 保古晴男, ほか: 日獣会誌, 34 (Suppl.) 101~102 (1981).
- 15) 前田博之, 森 千恵子, 奥村公夫, ほか: 日獣会誌, 35 (Suppl.) 123 (1982).
- 16) 森 千恵子, 前田博之, 奥村公夫, ほか: 日獣会誌, 35 (Suppl.) 123~124 (1982).
- 17) 西尾重光: 日豚研誌, 13, 54~56 (1976).
- 18) 西尾重光: 畜産の研究, 31, 1409~1414 (1977).
- 19) 西尾重光: 畜産の研究, 32, 31~35 (1978).
- 20) 西尾重光, 渡辺昭三: 豚病学, 熊谷哲夫, 波岡茂郎, 丹羽太左衛門, ら編, 第2版, 1080~1100, 近代出版, 東京 (1982).
- 21) POTTHAST, K. and HAMM, R.: *Die Fleischwirtschaft*, 56, 978~984 (1976).
- 22) SAYRE, R. N., BRIDKEY, E. J., HOEKSTRA, W. G., et al.: *J. Animal Sci.*, 20, 487~492 (1961).
- 23) SAYER, R. N., BRISKEY, E. J., HOEKSTRA, W. G.: *J. Food Sci.*, 28, 292~297 (1963).
- 24) SAYRE, R. N., KIERNAT, B. and BRISKEY, E. J.: *J. Food Sci.*, 29, 175~181 (1964).
- 25) SCHEPER, J. and SCHOEN, L.: *Die Fleischwirtschaft*, 56, 970~973 (1976).
- 26) TOPEL, D. G., CHRISTIAN, L. L. and BALL, R. A.: *Disease of Swine*, DUNNE, H. W. and LEMAN, A. D., editors, 4th ed., 970~977, Iowa State Univ. Press, Iowa (1975).
- 27) WISMER-PEDERSEN, J.: *J. Food Sci.*, 24, 711~727 (1959).
- 28) 山口真俊: 豚病学, 熊谷哲夫, 波岡茂郎, 丹羽太左衛門, ら編, 第2版, 672~680, 近代出版, 東京 (1982).
- 29) 山下 実, 久保田安彦, 横山安雄, ほか: 日獣会誌, 31, 271~274 (1978).
- 30) 湯浅 亮: 肉質に関する最近の諸問題—ムレ肉問題への生化学的アプローチ—, 1~16, 北海道獣医師会, 札幌 (1980).
- 31) 湯浅 亮, 田村 孝, 前田博之, ほか: *Jpn. J. Vet. Sci.*, 34, 741~748 (1981).

写真1 早期温体硬直屠体：屠殺後7分前後に発現（右は対照）

写真2 通常屠殺材料の第5～6肋間カット面。（屠殺後24時間）

写真3 早期温体硬直屠体A亜群：DFD肉（屠殺後24時間）

写真4 早期温体硬直屠体C亜群：PSE肉（屠殺後24時間）

写真5 実験Ⅱ群：PSE肉（屠殺後90分）