

新しい食肉加工を考える上での畜肉原料

帯広畜産大学 三 浦 弘 之

1. はじめに

わが国にハム・ソーセージが伝授されたのが明治維新前後といわれ、文献によれば長崎のオランダ屋敷で火腿（ほおとい）が造られたのがはじめてと伝えられているから、わが国における食肉加工の歴史は未だ百数十年にしか過ぎない。しかしながら食肉を何らかの形で加工していたと思われるのは、遠く奈良時代の文献に遡ると、腊（きたひ）脯（ほじし）、肉醬（ししびしお）などの文字が残っていることから考えて、方法こそ今日に較べると原始的な方法であったにせよ、食肉加工の原型は日本にも存在していたとみることが出来る。

1873年、北海道開拓使庁（現北海道庁）は養豚奨励事業の一環として東京や札幌においてハムを試作、1878年にはパリで開催された第8回万国博覧会に出品して世界の水準と比較する試みを積極的に行うなど食肉加工業の揺らん期を経て、やがて総てのものが統制経済下におかれる第2次世界大戦前の統制期に入る¹⁾。この統制期における年間生産量の平均は、わずかに3,430t程度であったが、更に第2次世界大戦が終わった統制末期には、操業していた工場が僅か45工場で年間生産量が750t程度にまでおちこんだ。しかし終戦によって軍の需要を失った馬肉や兎肉の生産の余韻がしばらく続いたことが加工業の発展のきっかけとなって、更に、加工技術が高度化されたこととも重なって1955年頃から1962年頃までは飛躍的に生産が進展し、1972年までは年間平均10%増という順調な生産額で推移してきた。しかし1973年以降、1974年の石油ショックの影響を受けて減退し、その対策として消費拡大の数々の政策が打たれたことによって1975年以降は再び持ち直し鈍いながらも着実に生産量が伸び続けるまでに回復し今日に至っている。

わが国における食肉加工品の生産量は昭和21年に860t程度であった時に比べると昭和61年には497,581tと580倍以上の増加である²⁾。歴史的に食肉加工品が保存用食糧と考えられていた時代とは違って、現在のように副食品的な位置づけになっていることを考えると、食肉加工品の生産量がそのまま消費量とみなすことが出来るから日本人1人あたりの年間消費量は4kg弱となる²⁾。

この肉製品は1955年頃からの生活洋風化によって消費量は飛躍的に伸び食肉加工品の品目も著しく多様化して来ている。しかし、その多様化の中味は依然として欧米の肉製品消費の形態とは大きなへだたりがある。特にヨーロッパの肉製品が同じ種類のものであっても、その国、その土地に定着した手法や味付をかたくに守り続けているのに対して、わが国では名称によって製品のイメージを売りこもうとするメーカー側の意図が露骨に出ている製品が多く、オリジナル製品というよりはむしろ、その年、その年の消費者の嗜好やフィーリングに合わせて造られたものが多く、形状や原料割合を変えて登場させたものが大部分を占めている²⁾（表2、表3）。従ってマスコミを通じて宣伝している時は売れ行きは良いけれども、宣伝をやめると売れ行きがおちるので、目さきを変えた程度の製品の開発に流されがちである。

食肉加工を前提として原料肉の肉質を改善しようとする研究は、その目的範囲を広い範囲に広げてみると非常に沢山の研究が行われている。

2. 育種学的な改良による肉質改善

1950年代において豚肉の加工適性ととの関連から検討されて来た代表的な例としてPSE豚の間

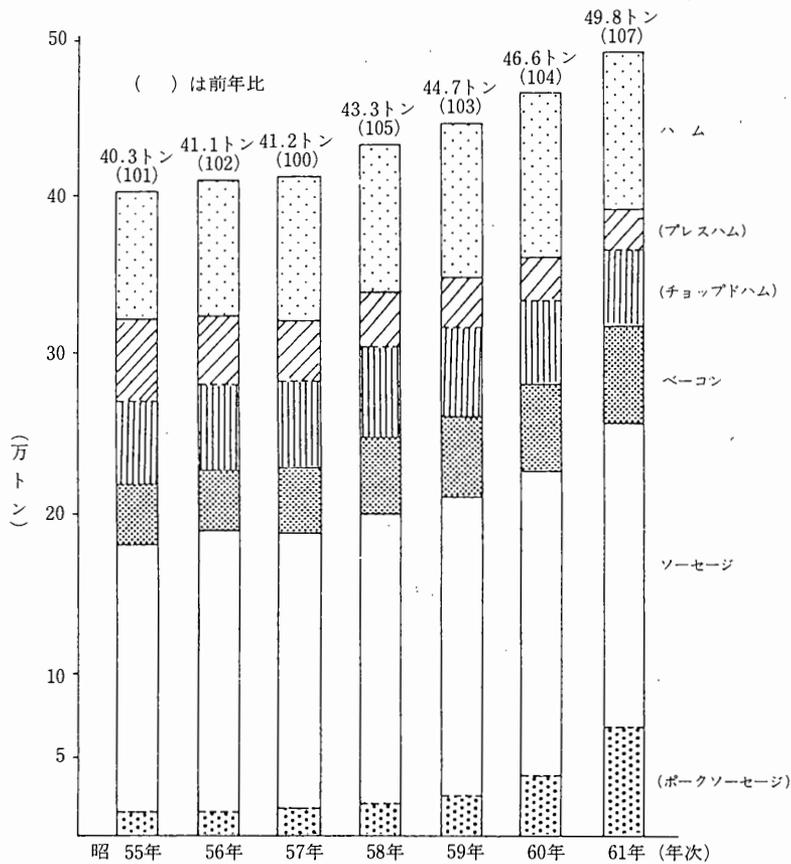


図1. ハムベーコン・ソーセージの生産数量の推移

題がある。PSE豚は色が淡く (Pale), 軟らかく (Soft), 水っぽい (Exudative) 性状を示す豚に対して与えられた名称で, わが国ではむれ豚, ふけ豚などの名称で知られる。PSE豚が示す異常な症状について, 最初デンマークの Ludvigsen³⁾ によって指摘され, 以後 1950年代後半から 1960年代にかけて Wismer-Pederson⁴⁾, Briskey⁵⁾, Bendallら⁶⁾ Ludvigsen⁷⁾ によって, 系統的に研究が行われて来た。これらによると解糖作用がもたらす死後の pH 変化は高温保持によって促進されること, 死後の pH 変化の型からおよそ 4つの型に類別することが出来ること, 品種別にみるとデンマークランドレースとポーランドチャイナ種に特に発生することなどが明らかになった。これらの PSE豚の性状を加工適性の側からみると PSE豚が示す

水っぽさは, 肉漿および筋原線維タンパク質とも抽出性が減少し, これによって保水性の低下が引き起こされて色調が淡く水っぽい肉になることが指摘されている。このような PSE豚の原料肉としての不適性は経済的にも大きな損失で, 脂肪厚が敬遠されて赤肉割合が多く占める豚肉を, しかも早期に肥育しようとする選抜のやり方が結果的にストレスに弱い品種の系統をふやすことになったのが原因とされている⁸⁾。これらの改善策として PSE豚を食肉加工技術でカバーして加工品の品質をたかめようとする研究も一方において行われた⁹⁾。例えば PSE豚性状を示す豚を早期に発見して¹⁰⁾ 豚肉に対してピロリン酸塩を加えるとテクスチロメーター値が改善され, 正常豚に近づけることが出来る事を示した。しかしこの方法にお

表1. 肉製品の分類

		肉塊 Cut meat		細切肉 Chopped meat		備考	
		欧米	日本	欧米	日本		
半 加 熱 製 品	生肉製品 Raw(Fresh) meat products Rohfleischwaren	Green bacon Corned beef		Fresh sausage Fehler bei Rohwurst Bratwurst(Hackfleisch)	ハンバーガーパティ (JAS)	生鮮肉と同じ取扱い 添加物の使用禁止 (凍結流通)	
	半乾燥製品 Semi-dry(Smoked) meat products	Regular ham Bacon(Side, Middle, Shoulder, Loin, Belly) Rohschneiderschinken (Lachsschinken, Rohschnei- ders, Bauchspeck,...) Smoked beef, chicken, tongue, ...	骨付ハム ラックスハム ベーコン(サイド, ミ ドル, ショルダー, ロース, ベリー) スモークドビーフ スモークドチキン スモークドタン ...	(JAS)	Semi-dry sausage Schnittfeste Rohwurst (Schiackw., Cervelatw., Salami, Mettw., Plockw., Rohkrakauer, ...) Streichfähige Rohwurst (Teew., Mettw., ...)	セミドライソーセージ ソフトサラミソーセージ レバーペースト (JAS)	
	乾燥製品 Dry meat products	Dry ham (Coppa, Proccittino, ...)	ドライハム(コッパ, ...) ドライビーフ 味付乾燥肉		Dry sausage Dauer wurst	ドライソーセージ サラミソーセージ ジャーキー (JAS)	Aw. 0.86 (max.) Room temp.
加 熱 製 品	ボイル製品 Boiled meat products	Cooked ham Cooked bacon Cooked chicken Pökelfwaren Kochschinken	ハム(ボンレス, ショルダー, ロ ース, ベリー) (JAS)	Cooked sausage Kochwurst(Leberw., Blutw., Rotw.), Sülze Brühwurst(Lyonerw., Bierw., Knackw., krakauerw., Rindsw., Wienerw., Frankfurterw., Kochsalami, ...)	ソーセージ(ウインナー, フラン クフルト, ポロニア, リオナ, ポーク, レバー) プレスハム 混合プレスハム, 混合ソーセージ チルドハンバーグステーキ (以上JAS) チョップドハム チキンソーセージ	63°C, min Coliform group(-) 10°C(max.)	
	焙焼製品 Roast meat products	Roast pork, (-beef, -chicken, -turkey, ...)	焼き豚	Meat loaf Meat pie Bratwurst Fleischkäse Laberkäse Pasteten, Rouladen	チルドハンバーグステーキ (JAS)		
	レトルト製品 Retort meat products	Canned ham	缶詰ハム	Canned sausage	加圧加熱ソーセージ レトルトバウチハンバーグ 缶詰ソーセージ (JAS)	120°C 4 min Room temp.	

注：英、独名は欧米における製品名、和名は日本における製品名。
 なお、JAS ののあるものは(JAS)。備考は日本における法律上の規制。W. は Wurst.

表2. 新製品リスト(1)

社名	商品名	重量(g) (1パック)	小売価格 (1パック) ④は100g 当たり(円)	社名	商品名	重量(g) (1パック)	小売価格 (1パック) ④は100g 当たり(円)
56年				伊藤ハム	ビーフウインナー	120	290
伊藤ハム	洋風おでん	230	250	"	アメリカンテースト	110	340
"	春巻他4品種	50	70	"	ルジャボン	50	400
"	しそ入りフランク	120	190	"	ジャーキー	15	100
"	うす塩フランク	180	260	日本ハム	ハウエルシンケン	50	350
"	おべんとうウインナー	80	110	"	ザ・ジバン牛焼肉	300	1,000
"	ロースシュゼット他2品種	70		"	焼肉タレ生パック	80	160
日本ハム	超うす切ポーク	90	200	"	パステイ	80	160
"	超うす切ピアソー	100	200	雪印食品	ディナーフランク他3品種	140	280
"	ブンブンたいむソーセージ	60	100	"	ロースハム(うす切)他4品 種	70	230
"	かつどんの具他2品種	130	180	"	ロースシンケン	50	370
"	超うす切ボンレス	80		高崎ハム	マリネロース他2品種	60	220
"	超うす切チキン	80		"	ポーク&ビーフウインナー		④ 240
ブリマハム	うす味ウインナー	140	200	"	ロースハム	100	350
"	おべんとうソーセージ	150	170	"	牛肉佃煮	120	5,000
"	ヤキトリ他6品種	120	250	鎌倉ハム	ロースハム他15品種	不定貫	500
"	ポークフランキー	140	140	信州ハム	ポークベジタブル	700	1,000
"	焼肉・牛肉他2品種	150	400	ゼンチク	スモークハム他4品種	250	500
"	ロースハム他7品種	不定貫	④ 500	58年			
"	角型ロースハム	"	④ 260	雪印食品	マイルドポーク	110	210
信州ハム	ロースハムスライス他4品種	100	390	"	焼豚	70	210
雪印食品	マリネパック他1品種	70	200	"	ミニサイズハンバーグ	216	240
"	チキンドローフ	175	220	"	豆乳入りソーセージ	140	230
"	ビーフハンバーグ	110	200	"	手造りフランク	150	320
高橋ハム	アーモンドサラミ	95	250	ブリマハム	ビーフハンバーグ	100	200
"	スモークチキン	180	240	"	ターキーハム	120	300
"	レバーペースト	40	150	"	うす味極うす切ターキー	60	200
東京ウインナー	カルシウム入ウインナー	135	130	"	カクテルスモーク	140	280
タケダハム	スタミナウインナー	不定貫	④ 200	"	ディズニーノビッコ	115	150
滝沢ハム	皮なしポークウインナー	120	150	"	角切りボンレス	70	250
"	ジョニーカルパス	23	150	"	細切りボンレス	70	250
"	ハムゼリー	100	170	"	もろみハム	不定貫	④ 500
57年				"	フレンチハンバーグ	100	350
ブリマハム	極うす切ロースハム他2品種	60	200	日本ハム	うす味ロース他4品種	80	340
"	リトルスモークフランク	95	240	"	チキンエース	150	320
"	ハーモニーポークうす切	120	340	"	べんとうラUNCHボール	175	320
"	ピッカピカソーセージ	50	100	"	ソシスルージュ	210	550
"	カクテルサラミ	15	100	"	シャローワンズ	150	170
"	うす味ポークウインナー	120	270	伊藤ハム	中華味ウインナー	110	220
"	ポーク&ビーフウインナー	105	230	"	豚角煮	80	250
伊藤ハム	ボロナシュゼット	70	200	"	ハーベスト	200	390

表3. 新製品リスト(2)

社名	商品名	重量(g) (1パック)	小売価格 (1パック) ④は100g 当たり(円)	社名	商品名	重量(g) (1パック)	小売価格 (1パック) ④は100g 当たり(円)
伊藤ハム	プチボール	120	250	丸大食品	ヘルヒージャンプ		
"	お料理ベーコン	60	220	"	ガンモ・ポークミニフランク		
"	ハムステーキ	160	620	"	ガンモ・ミートボール		
鎌倉ハム	ボルガ	250	400	"	ガンモ・タイニー		
滝沢ハム	ベジタブルハンバーグ	90	100	"	ガンモ・チキンハンバーグ		
ゼンチク	ビーフレバスティック	50	300	"	ガンモ・ポークウインナー		
"	レバーウインナー	100	148	高崎ハム	ざ・ふらんく	280	330
高橋ハム	ニュースニンピー	150	240	"	あらびきポークソーセージ	200	440
"	ロースハム(スライス)	80	310	"	ももハム	80	290
"	あらびきポークソーセージ	110	250	"	フラーマージュ	550	④ 230
"	ディナーランド	800	④ 350	"	コンセルブ	600	④ 370
タケダハム	ミニ扇ソーセージ	150	230	"	ラング	600	④ 500
59年				"	ルフ	500	④ 360
日本ハム	熟味ロースハム	95	430	"	サン	550	④ 500
"	熟味ボンレスハム	95	380	"	フランクバー	180	250
"	熟味ソフトサラミ	95	280	東北ハム	ティナーちゃん	105	220
"	スイフトメイプル・スイートベーコン	120	450	東急フーズ	プレスターキー	100	250
"	サンドイッチメイト	500	④ 1,300	"	ひじき入りソーセージ	100	200
"	チュラル	100	200	"	豆腐入りソーセージ	100	220
"	グルメカリー	180	180	"	ニンジン入りソーセージ	100	190
"	コックオヴァン	150	240	"	大豆タンパクミックスウインナー	100	200
プリマハム	フレンチハンバーグ	100	350	米久フーズ	ビザハンバーグ	100	150
"	アメリカンターキーハンバーグ	110	250	ゼンチク	風の谷のナウシカ・ウインナー	300	390
"	チキンナゲット	20	④ 1,000	"	風の谷のナウシカ・ポークウインナー	300	450
"	焼肉(牛肉)	80	250	"	ジャッキー	30	400
"	焼肉(豚肉)	80	200	全農	ポーク&ビーフウインナー	250	495
"	ディズニーノピッコ	115	160	60年			
"	ロースハム・もろみ味	70	300	伊藤ハム	アップルソースハンバーグ		
伊藤ハム	ジャイアンツハンバーグ	90	90	"	サラダヨーグルト(3種類)	150	180
"	ジャイアンツミートボール	160	150	"	バイエルン	130	260
"	ジャイアンツウインナー	140	220	日本ハム	シャウエッセン	170	340
"	ジャイアンツフランク	180	280	"	パンチ	115	220
"	グルメウインナー	140	220	"	もう切ってますよウインナー	110	140
"	グルメウインナー(皮なし)	300	450	"	フィッシュ&チキン	200	240
"	グルメハンバーグ			"	エッセンフルト	190	380
"	うす味ロースハム	75	280	プリマハム	バーベキューヒブ	50	150
"	うす味ボンレスハム	80	280				
"	うす味ポーク	110	280				
"	うす味手造り風ウインナー	120	280				
雪印食品	小麦胚芽入じアンデイ	160	240				
"	ハンバーグ・エクセレント	130	280				

(食肉年鑑 86年版より)

表4. 正常豚およびPSE豚から作ったソーセージのテクスチロメーター値

供試No.	みかけ上の区分	pH	硬 さ	凝集性	弾力性	咀嚼性
1	正常	5.78	13.6	0.65	6.5	57.54
2	正常	5.69	12.0	0.66	5.5	43.54
3	正常	5.51	10.6	0.60	5.5	34.98
4	正常	5.47	9.8	0.56	5.5	30.40
5	正常	5.46	8.0	0.46	4.5	16.60
6	PSE	5.44	6.4	0.44	3.5	9.86
7	PSE	5.42	5.2	0.46	3.5	8.37
8	PSE	5.38	4.8	0.40	3.5	6.72
9	PSE	5.32	3.7	0.38	3.5	4.90
10	PSE	5.26	3.6	0.39	2.5	3.50

(朴亨基他, 日畜会報, 46, 360 (1975))

表5. 正常豚およびPSE豚から作ったソーセージにピロリン酸塩を加えた場合のテクスチロメーター値

供試No.	みかけ上の区分	pH	硬 さ		凝集性		弾力性		咀嚼性	
			添 加	無添加	添 加	無添加	添 加	無添加	添 加	無添加
1	正常	5.67	15.70	11.45	0.78	0.52	7.75	6.5	94.91	38.70
2	PSE	5.40	6.1	4.8	0.50	0.46	4.5	3.5	13.75	7.73
3	PSE	5.27	5.7	5.8	0.48	0.48	3.2	3.0	8.76	8.35

(朴亨基ほか: 日畜会報, 46, 360 (1975))

いても重症あるいは中症のPSE豚に対しては改善の程度が低かった。(表4, 表5)

またPSE豚を原料としたスモークドハムの品質改善のために血液プラズマを5~10%添加すると発色性, Shear Force Value, 官能検査および化学的分析による判定から, 正常豚肉を用いてスモークドハムを加工した場合に匹敵するほど製品の品質が改善されたとのべている¹¹⁾。しかしこれも, 軽症のPSE豚に対しては有効であっても重症のPSE豚については言及していない。

ホルモンとPSE豚との関係についての研究はLudvigsen¹²⁾¹³⁾によって研究され, 10分間だけ中程度の運動をさせた後, 50分間休息させた豚の脳下垂体前葉のコルチコトロピン含量がPSE豚では正常豚の半分位しかないことを示し, 副腎皮質の機能が低いことがPSE豚発生の原因であると

示した。このことはデンマークランドレースおよびポーランドチャイナ種の豚で示されたばかりでなくJudgeら¹⁴⁾¹⁵⁾の研究結果からも支持されている。この様にホルモン代謝機能の低下が間接的にPSE豚発生の条件となることからPSE豚発生を抑制するために, と殺後の肉塊をただちに液体窒素で急冷することによってPSE筋の発生阻止に著しい効果をあげた。

この様にと殺後ただちに低温下におくことによって解糖作用の進行が遅れPSE筋が発生するのが抑えられることを明らかにしたことは食肉加工のプロセスとして低温保持工程を導入することが可能であることを示したものといえよう。

と殺前のストレスを抑えるためにホルモンを供与するなどによってPSE豚の発生を抑えることは可能である。また豚の品種を選択することによ

ってPSE豚になりやすい系統を除くことも可能である。豚肉の品種のうちピエトレン、ポーランドチャイナ、ランドレースなどがストレス感受性豚であり、チェスターホワイト、パークシャー、大ヨークシャーなどはストレス抵抗性豚である。Forrestr¹⁶⁾によるとストレス抵抗豚は運動させても37.5~39℃の基礎体温を維持しているのに対し、ストレス感受性豚はすぐに43~44℃位にまで体温が上昇し、42℃の高温環境下で10~30分間飼うだけで呼吸数、心拍数、心血輸出量が急速に高まり、そうして急速に低下するという。

ストレス抵抗性豚は42℃の高温下でも比較的長時間耐えることが出来るのと較べると、明らかな生理的反差が認められる。更にReddyら¹⁷⁾によるとストレス感受性豚は42℃の室温に入れると血清中のLDHとCPK値が高くなることを確かめており、このような生理的反差は豚の輸送やと畜場への搬入時、あるいはと殺前の係留、係留中の豚同志の斗争、豚の誘導のためのショックの使用などの時にはっきりと表われるという¹⁸⁾。従ってPSE豚の発生防止にはこれらの要因をのぞくことによって発生をかなり抑えることが出来る。しかしながらこれらの要因を完全に除くにはおのずから限界があって、やはり期待されるのは育種面からの根本的な改善である。事実、PSE豚が発生する可能性の高いストレス感受性豚(PSS)あるいは悪性高熱症豚(MH)の系統的淘汰によって繁殖性や肉質に関連する血液型システムのうちHシステムのH^a遺伝子やPHI^B遺伝子頻度が低下するといわれて居り¹⁹⁾これらの遺伝子頻度が高い品種は血清CPK値も高く、従ってPSE豚の発生率も高いから、育種面での改善によってPSE豚の改良は可能である。最近の食肉加工業界において、すくなくともPSE豚が最大の関心事ではなくなっているのは、これらの育種面での改善がゆっくりとしかも確実に功を奏している結果である。

3. 電気的刺激による肉質改善

家畜の枝肉を素早く冷却し、食肉のシェルフライフを引きのばす方法として冷却冷蔵があり、家

庭様冷蔵庫の普及によって食肉を完全に冷却の鎖でつなぐことが可能になった。しかしながらこのように発達したコールドチェンは微生物学的に安全を保証するけれども、食肉に含まれる様々な酵素系を不活性化することになり、例えばATPの消失が遅れるために死後硬直が発生するATPの臨界濃度に達するまでの時間が遅れ、死後硬直が完全に解除しないうちに食肉が消費者段階にまでゆきわたってしまうとか、食肉の色調還元系が十分に活性化されないうちに流通してしまうので食肉の変色が起こりやすいなどの問題を常に抱えている。

家畜はと殺放血されると筋肉細胞への酸素供給が絶たれて嫌気状態に変わる。その時に硬直の引き金となるATPの消失パターンはクレアチンりん酸からのATPの再生やADPからのATPの再生、解糖作用によるグリコーゲンからのATPの再生などによって最初は穏やかに消失曲線を描きながら、ついで急速な消失を示す。この時の解糖作用によってグリコーゲンからピルビン酸を経由して蓄積された乳酸によってpHは低下する²¹⁾。

この場合の筋肉はATPの再生と分解が平衡状態にある間は伸張が維持されているから弾力に富むがATPが消失して臨界濃度以下になると硬直が開始される²²⁾。硬直張力の強さはpH値に依存しpH値が高くなるにつれて硬直は強くなり、pHを一定にした場合は硬直力はカルシウム濃度が高くなるにつれて強くなる²³⁾。この様に死後硬直の発生とその強度はpH値によって大きく影響されることから、と殺後のpH値を制御することが出来れば、死後硬直の発生を直接、間接的に制御することが出来るはずである。

牛肉や羊肉の様に赤肉の多い家畜の肉はと殺肉の枝肉の急速な放冷によってATPが完全に消失しないうちに品温が低下し、そのために小胞体のカルシウム透過性が低下する。それと共にミトコンドリアからカルシウムイオンが急増し、そのために収縮たんぱく質であるアクチン・ミオシン相互作用に対する抑制効果がなくなり筋肉は強く収縮する²²⁾²³⁾。この現象を制御する方法として電気

刺激による肉質の改善法が開発された。

電気刺激では、単に ATP の消失や、pH 低下促進ばかりでなく、肉色調の鮮明化や軟化効果などの肉質改善をもたらすものとして注目されるようになった。また電気刺激処理を加えた枝肉ではコールドショートニングが起らないから、温と体で解体除骨することが可能で、冷と体で解体するよりも 30~50% の冷却エネルギーの節約と、70~80% もの冷蔵庫空間が節約出来るという経済的メリットも大きいとされている。

この電気刺激法は大きくわけて、500V から、3,600V という高電圧で電気刺激を行う方法と 5V から 100V 程度の低電圧で電気刺激を方法とに類別することが出来る。高電圧電気刺激法は、と殺後解体した枝肉に対する電気刺激法として定着し、後者の低電圧電気刺激法はと殺直後のと体に対して最小限の電圧で電気刺激を行う方法として確立している。両者を比較すると高電圧電気刺激法の方が電気刺激による効果は大きい。しかし高電圧電気刺激法を導入するには高電圧を操作する訓練された技師を特別に配置する必要があるし、施設上の経済的理由が内在するために、国やと畜場によって設置できる条件は様々である。また低電圧電気刺激法は、解体後の枝肉に対しては効果は低いが、と殺放血直後のと体に対しては、高電圧電気刺激と同様の効果が得られるところから、わが国では低電圧電気刺激法を採用している所が

ふえている。

この電気刺激の効果に対する評価は、家畜の種類や月齢、固体による感受性の違いなどによってまちまちである²⁶⁾。例えば電気刺激による仔牛肉の改善割合と成牛に対する熟成改善割合では差があるし、羊と豚では電気刺激の効果が異なる。従って電気刺激を行う場合には、家畜の種類や年齢、筋肉部位による差などの特性を十分に把握して条件を設定する必要がある。しかしその条件設定は大きな範疇で設定しても問題はなく、例えばホルスタイン肥育牛と和牛肥育牛の差を特別にもうける必要はない。諸外国でも食肉輸出国として知られる米国、オーストラリア、ニュージーランド、スウェーデン、ノルウェーなどでは付加価値をつけるために実用化が進んでいる。これらの国で積極的に電気刺激を行っているのは潜在的に食肉が持っている肉質特性を電気刺激によって引き出し肉質の高品質化をはかろうとする狙いがそこにある。

仔羊の放血後のと体に対して、通電時の電圧で 3.2~3.8V、周波数 13.8Hz の条件で電気刺激を行うと解糖作用の促進によって pH が急速に低下する。この場合に付随して起る筋肉色調の変化は肉眼的にも識別出来る程鮮赤化し、典型的なオキシオミグロビンを形成する。L 値で示される明るさおよび a 値で示される赤味の発現が電気刺激の効果として有意に高い相関を示す(表 6)。この

表 6. 胸最長筋の色調の変化 (仔羊・背最長筋)

色 調	処 理	屠 殺 後 の 経 過 時 間 (Hrs)		
		24	72	120
L 値*	対 照 区	41.53±0.50	49.40±0.35	51.29±0.54
	60 秒 区	43.25±0.32	43.97±0.52**	48.12±0.32*
	180 秒 区	37.38±0.86**	40.68±0.70**	40.55±0.88**
a 値	対 照 区	24.74±0.81	18.88±1.52	17.37±1.71
	60 秒 区	27.15±1.14*	20.57±1.44*	16.92±1.09
	180 秒 区	27.42±1.00**	22.61±1.11*	16.22±1.52*
b 値	対 照 区	12.66±1.90	15.63±1.66	16.76±1.19
	60 秒 区	14.27±1.52*	15.42±1.48	14.02±1.55*
	180 秒 区	13.36±1.82	15.67±1.60	16.22±1.70

*p<0.05, **p<0.01, 試料数 各 8

表7. ソーセージパティの粘着性
(仔羊・背最長筋)

処 理	粘 着 性 (cm ²)
対 照 区	25.61±1.34
60 秒 区	30.45±1.74*
180 秒 区	32.55±3.00**

*p<0.05, **p<0.01, 試料数 各5

表8. ボイルドソーセージの弾力性
(仔羊・背最長筋)

処 理	粘 着 性 (cm ²)
対 照 区	11.32±0.99
60 秒 区	17.44±1.96**
180 秒 区	17.82±1.44**

*p<0.05, **p<0.01, 試料数 各10

表9. アミノ態窒素の消長 (仔羊・背最長筋)

処 理	供 試 数	屠殺後の経過時間 (0~3℃, Hrs)					
		0.5	3	6	12	24	72
対 照 区	2	73.5	86.4	90.5	80.5	96.2	106.7
電気刺激区	4	78.3	93.8	96.2	106.1	162.0	201.2

表10. ソーセージパティの粘着性
(ホルスタイン肥育牛・大腿二頭筋)

刺 激 時 間	粘 着 性 (cm ²)
対 照 区	24.22±1.44
30 秒 区	28.61±1.12*
60 秒 区	31.26±1.88**
90 秒 区	34.22±2.21**

* p<0.05

**p<0.01

表11. ボイルドソーセージの弾力性
(ホルスタイン肥育牛・大腿二頭筋)

刺 激 時 間	粘 着 性 (cm ²)
対 照 区	14.26±1.41
30 秒 区	18.41±1.92*
60 秒 区	20.26±1.51**
90 秒 区	20.34±1.24**

* p<0.05

**p<0.01

様な生肉に対する効果が、生肉の段階で留まっているだけではそのメリットは左程大きくはないが、低電圧電気刺激を行った仔羊の肉を原料として調製したソーセージパティの粘着性やボイルドソーセージの弾力性までも有意に改善され(表6, 表7)この様なみかけ上の改善の他にアミノ態窒素の蓄積に対しても効果的で0~3℃の冷蔵庫で貯蔵した仔羊肉は、経時的に電気刺激区の方が蓄積が早く量的にも多い(表9)。同様の実験をホルスタイン肥育牛の大腿二頭筋を原料として検討してみると表10, 表11の如くでソーセージパティの粘着性もボイルドソーセージの弾力性も電気刺激によって改善された。しかも電気刺激の時間を長くすることによってそれらの物性が高くなる傾向もみられたが電気刺激時間を限りなく長くすることによって更に改善されるとは言えない。電気刺

激によってアミノ態窒素の蓄積が多くなることを仔羊肉で確かめたが、遊離アミノ酸の種類について明らかにしたのが、図2である。どの遊離アミノ酸も電気刺激によって増加するが特にセリン、グルタミン酸、アラニン、ロイシン、リジン、アルギニンなどの蓄積量が際立っている。しかし電気刺激の条件を変えることによって遊離アミノ酸の出納が変わるかどうかは確かめられていない。

この様に電気刺激によって遊離アミノ酸量が増加するのはCa依存性中性プロテアーゼの活性化によって筋肉たんぱく質あるいはペプチドレベルでの低分子化が関与しているものと思われる²⁷⁾。Dutsonら²⁸⁾は子羊の左側半丸に440Vの電気刺激を0.5~1秒行った所、リソゾーム酵素のβ-グルクロニダーゼおよびカタプシンの活性化は有意に増加したとのべている。

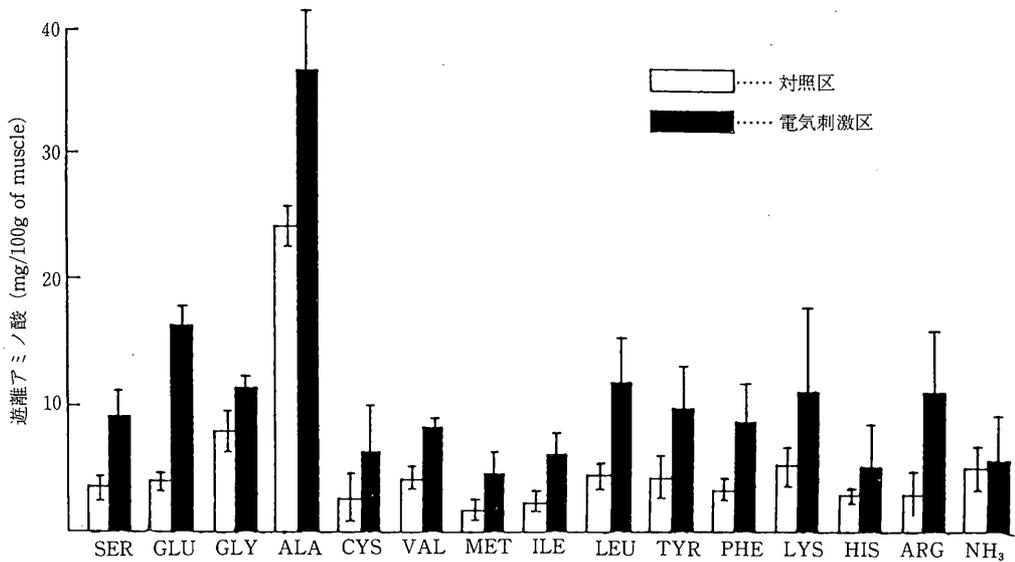


図2. 遊離アミノ酸の変化 (屠殺後0℃で48時間貯蔵したホルスタイン肥育牛・大腿二頭筋)

表12. 刺激時間とせん断値(lbs.)

(刺激時間)	(胸最長筋)	
	(と殺後2日目)	(と殺後14日目)
対照区	8.37±0.49	7.64±0.46
30秒区	8.72±0.81	6.61±0.24
60秒区	6.94±1.01	6.81±0.47
90秒区	8.12±0.73	7.00±0.55
(刺激時間)	(中殿筋)	
	(と殺後2日目)	(と殺後14日目)
対照区	22.41±0.86	21.05±0.51
30秒区	23.52±0.92	18.08±0.31
60秒区	17.42±0.41	15.71±0.99
90秒区	21.24±0.66	18.26±0.24

名区共ホルスタイン去勢牛8頭の平均値

Salmら²⁹によると牛肉に対する電気刺激はα-アクチニン、トロポニンTの崩壊を促進し、30,000ダルトンのタンパク質画分の増加を認めている。また更に電気刺激による筋漿画分に対する影響として(図3)RT93画分の減少とRT97画分の増加に加えてRT103画分の出現を認めた³²。このように電気刺激による効果は、本来食肉が保有しているにもかかわらず、過度の熟成もし

くは微生物学的劣化によって生じる低分子物質との共出現でしか確認出来なかった微量成分の蓄積によって、ある場合には熟成の促進という形で、ある場合には結着性の増加という形で現れて肉質を大きく改善する。

大動物例えばホルスタイン去勢牛に対する低電圧電気刺激の効果は、せん断値においてもはっきりと現れ(表12)胸最長筋、中殿筋とも60秒刺激によって特に顕著に軟化が識別された³⁰。

この様に電気刺激を行うことによって改善された畜肉は加工原料としての付加価値をも多く兼ね備えていて、風味に影響を与える低分子物質の蓄積の他に、ソーセージやハンバーグ、ミートボールといった挽き肉加工品の結着性をも高める効果や製品の色調安定性に寄与する性質を示しているため、今後の肉製品を考えてゆく上で有益である。

豚肉や鶏肉に対する電気刺激の効果は、その色調が薄いこともあって牛肉や羊肉に対する程そのメリットは評価されていない。しかしCrenwelge³¹によると豚の腿肉や脚部の筋肉色調、「しまり」などに対して優位に秀れた肉質改善が得られている。三浦はまた鶏肉に対しても早い時期に軟化効果がみられるとし、粘着性も高くなることを明らかにしている³²。

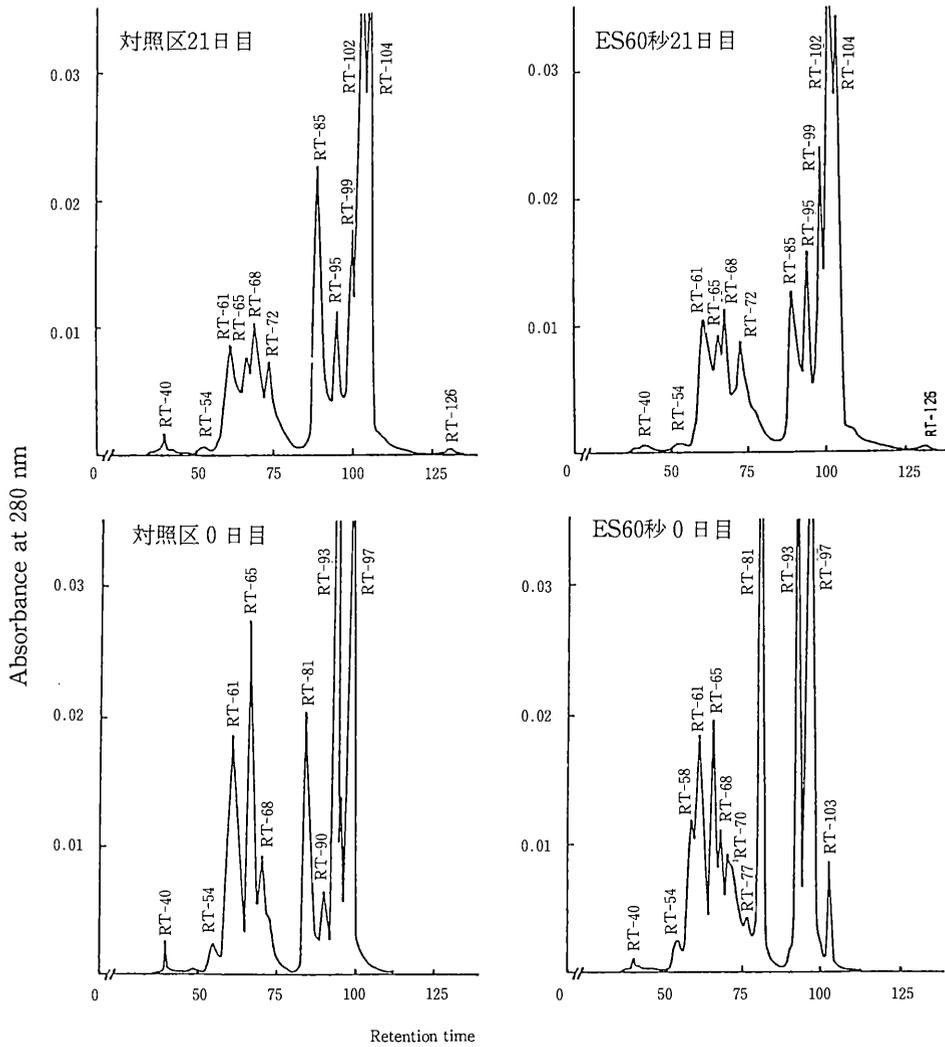


図3. 筋漿タンパク質の高速液体クロマトグラム (ホルスタイン肥育牛・大腿二頭筋) カラム; TSK-G2000SW (0.7×60cm) + G 3000SW (0.7×60cm)

4. 再構成肉という形の肉質改善

Restructured Meat と呼ばれる再構成技術の導入によって、老廃肉本来の欠点とされる性質、例えば「すじっぽさ」、硬さ、多汁感不足などを補い食性を高める研究が数多く発表されるようになった³³⁾。原料肉を低温下で切り裂き、フレック状にした後、一種類もしくは数種類の原料肉を混和し、整形器に充填した後凍結してそれを凍結肉スライサーで一定の厚さに切断したものである。老廃鶏、

老廃牛など本来であれば挽き材としての価値しかもたないものに造形性を与える加工法である。図4はそのフレーキングヘッドの内側を示したもので押しこまれた原料肉は矢印の方向に回転する回転羽根によって水平ナイフの部分で切断されて向う側に押し出される。これによるとミンチで細切された場合と異なって色々な平面で切り裂きが出来、ヘッドを変えると大きな切り裂き肉も小さな切り裂き肉も作り出すことが出来るので製品に対して種々の造形性をあたえ食感も新しい。このよ

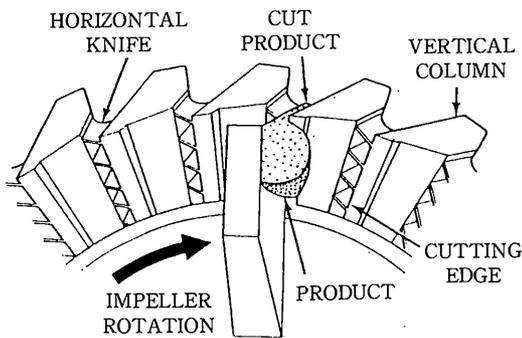


図4. フレーキングヘッドの内側と食肉の切り裂き図

うに切り裂いた肉は組織的にみた時に、細切された物ではないから多方面の接着面をもっているので結着させると肉塊に近い食感をあたえる。しかし雄豚と老廃牛という様に異種原料を組み合わせることが多いので結着力が低下したり、接着面の変色が問題になったりして、その改良とか接着に用いられる糊料の開発などが行われている。Durlandら³⁴⁾はフレークの多きさを6段階に変えた再構成牛肉ステーキでは細かいフレークにした再構成牛肉の官能的評価が高く、また原料肉の混合時間を15分間よりも5分間短縮した方が高い評価が得られたとしている。Wieberら³⁵⁾は再構成されたステーキの結着性の強度は真空下で混和した方が結着性の強度を高めるとのべている。Berryら³⁶⁾は再構成した牛肉ステーキの官能性と剪断性について検討し、脂肪含量が高いステーキほど歪曲度、すなわち自然の状態からの変動の程度が大きかったとし、また脂肪含量が18%あるいは22%であるステーキは10%あるいは14%のものよりも多汁性や、食べた時の浸潤程度が秀れて居り、剪断力も脂肪含量の多い方が低い値を示したと述べている。Cordrayら³⁷⁾は再構成豚肉にカプセルに封じこんだ脂肪酸を加えた所、脂肪酸の有無で有意の差はなかったけれどもピロリン酸ナトリウムやGDLを添加したものは対照区よりも風味が秀れていたとしている。Semanら³⁸⁾は牛肉の再構成肉ステーキの色調安定性について、電気刺激後4時間経過した原料肉を用いた方

が、96時間経過した原料肉よりも色調が安定していたとのべ、これはミオグロビンのプロオキシダントとしての作用が色調を不安定にしたためと推定した。このように再構成肉は色調的にも脂肪酸化の上からも不安定さをもっているが、加えられる食塩と共にトリポリリン酸塩、クエン酸塩、 α -トコフェロール、アスコルビン酸パルミチン酸エステルなどを加えると酸化防止効果が得られ、貯蔵期間中のみかけ上の変色および酸化を制御するとのべている Miles らの報告もある³⁹⁾。これらの色調安定性の保持にリン酸塩がどの程度有効であるかを調べた研究は Lamkey らによって報告され⁴⁰⁾ 食塩を含むリン酸塩の添加はテクスチャーの改善に効果的であるが、色調の安定性においては効果は認められていなかったとしている。このように再構成肉の技術導入は、利用価値の低かった老廃牛肉、牡豚肉、老廃鶏などの利用面を大きく広げたものとして注目され、今後、結着性、酸化防止性の改善によって更に新しい用途が開発される可能性を持っている。

5. エクストルージョン・クッキングによる新しい食肉素材への展開

エクストルージョン・クッキングは1930年代にプラスチック加工に登場してから急速に発展し現在ではわれわれの周辺にあるプラスチック製品がほとんどこの機械によって造られたといっても過言ではない。しかし、これが食品や飼料工業の分野に登場し、組織的な研究が集中的に行われるようになったのはごく最近のことである⁴¹⁾。この技術を導入するためにはエクストルーダーと呼ばれる装置が必要である(図5)。エクストルーダーには現在では二軸型があるがその構造は図5に示した一軸型とあまり大きな違いがなく、能力的に一軸型より強力な搬送能力をもっている点が異なる。しかも二軸型は原材料特性に応じて加工に対する自由度が高く加工素材や加工目的に応じてスクリュの組換えが出来るという点、高水分、高油分の材料でも加工可能であるという点などから、急速に注目され、1984年には3ヶ年計画で農林水産省の先端技術の開発の一つに挙げられるまでに

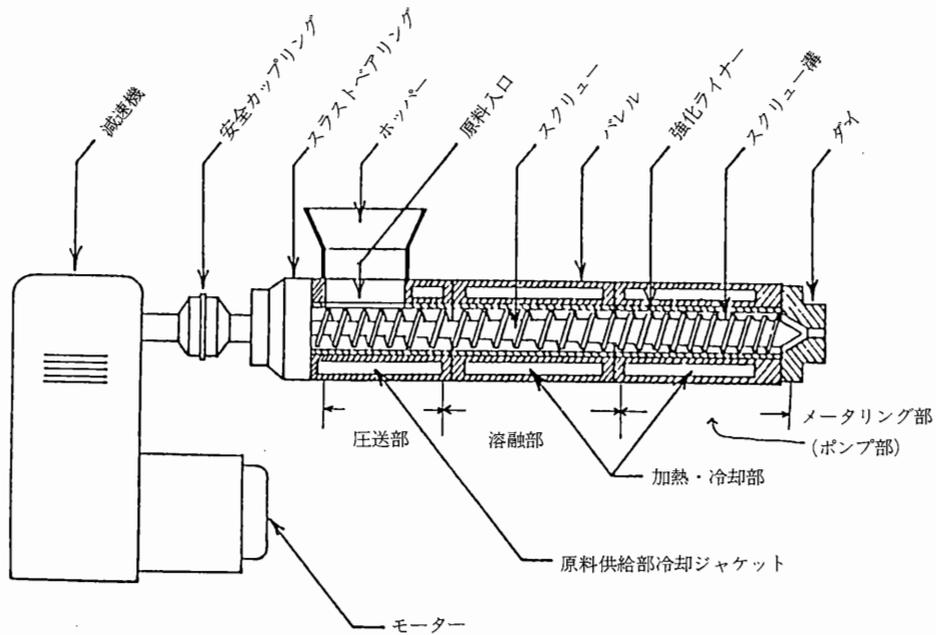


図5. エクストルーダーの構造 (野口明德 1987)

なった⁴²⁾。

近年食品関係者の間でこのエクストルージョン・クッキングが広く関心がもたれる様になったのは、同一設備で多様性をもった製品をつくる事が出来る上に、製品変化を自由に行えること、低品位材料から高品位材料まで幅の広い材料を使って高品質の製品が出来ること、工場用水の汚染がないということ、ランニングコストが小さいことに加えてエクストルーダーの内部で起る工程変化が破断、混合、加熱、組織化、反応、殺菌、成形、膨化など食品の加工工程に必要なプロセスをほとんど含んでいることなどによる。エクストルーダーは大きく分けてモーター、減速機、スラストベアリング、ホッパー、スクリュー、バレル、ダイなどから成っていて、バレルは加熱、冷却のジャケットをもっている。ホッパーからの原料はスクリューの回転により食い込んで前へと圧送され、熔融部で熱エネルギーを与えられて熔融し、メータリング部では熔融した原料が更に圧縮混合されてダイへと搬送する。エクストルージョン・クッキングでは原料許容水分が今の所、28~40%、20~28%、20%以下の3段階位に分類されている。

しかし二軸型エクストルーダーでは原料の水分が5~95%と広い範囲で使える他、油分も一軸型では7~8%以下であるのに対して、二軸型は20%程度まで可能である。エクストルーダー処理したものは原料が剪断作用の働きにより組織学的に再構成されたものとみることが出来、エクストルージョン・クッキング処理工程時に受けるいくつかのステップを経過することによって製品の組織化に影響を与える様になっている。この影響をエクストルージョン・クッキングの時にバレルのどの部分で与えるかによって製品も大きく変わる。例えばスクリューの組合せや加水量によって製品も組織が異なったものになる。

現在商品化されているものは、大豆や穀類を原料にしたものが多く、従来の分離大豆たんぱく質や魚肉すり身のテクスチャに勝る素材として評価され需要が伸びはじめている。更に一步進めて食肉自体を単身もしくは混合してエクストルージョン・クッキングを行い新しい素材を造り出してゆく方向も検討されて居り、いわゆる再構成肉とは異なる食感、組織を生み出すプロセスとして注目されている。

6. おわりに

以上長い間の懸案であったPSE豚の発生機構の解明と発生抑制に対する取り組みによって、育種学的にも解決の徴が見えて来た問題をはじめとして、畜肉原料という素材を単にあるがままの姿で受け入れるのではなく、今まで隠されていた特性を引き出してそれを加工の付加価値へと展開してゆく技術が定着しはじめていることを紹介した。これらの技術はわが国では、まだなじまない部分もあって、ただちに市場に登場するまでに至っていないかもしれないが、内外の畜産事情の厳しさに耐え、それを克服するためには、これらの加工技術上の転換も積極的に取り組む必要があるのではなからうか。

7. 引用文献

- 1) 日本食肉加工協会, 「ハム・ソーセージ読本」, 18-23, (1984)
- 2) 塚田武, 食品工業 **30**, 6, 67-72 (1986)
- 3) Ludvigsen, J., Proc. 15th Intern. Vet. Congr. **1**, 602-603 (1953)
- 4) Wismer-Pedersen, J., Food Res, **24**, 711-714 (1959)
- 5) Briskey, E. J. and J. Weaerssen, J. Food Sci., **26**, 297-299 (1961)
- 6) Bendall, J. R., O. Hallund and J. Wismer-Pedersen, Ibid., **28**, 156-158 (1963)
- 7) Ludvigsen, J., Ugesbrift for Landmaend No.47 and 48 (1958)
- 8) 安井勉, 日畜道支部報, **28**, 23-32 (1986)
- 9) 朴亨基他, 日畜会報, **46**, 360-364 (1975)
- 10) 星野忠彦, 肉の科学, **17**, 2, 1-29 (1976)
- 11) Polatowski, Z. J., Fleishwirtschaft **66**(2), 225-230 (1986)
- 12) 沖谷明紘, 藤巻正生, 肉の科学, **11**, 4, 189-206 (1970)
- 13) Ludvigsen, J., Acta Endocrinol., **26**, 406-409 (1957)
- 14) Juage, M. D., E. J. Briskey and R. K. Meyer, Nature **212**, 287-288 (1966)
- 15) Juage, M. D., R. G. Cassens and E. J. Briskey, J. Food Sci., **32**, 565-569 (1967)
- 16) Forrest, J. C., J. A. Will, M. D. Juage and E. J. Briskey, J. Appl. Physiol., **24**, 33-38 (1968)
- 17) Reddy, M. V. V., L. L. Kastenschmidt, R. G. Cassens and E. J. Briskey, Life Science, **10**, 1381-1386 (1971)
- 18) Wismer-Pedersen, J. and H. Rieman, Proc. twelfth Res. Conf. **89** (1960)
- 19) Gahne B., Acta Agric. Scand. Supple., **21**, 185-189 (1979)
- 20) Oishi T., M. Komatsu and T. Abe, J. Zootech. Sci., **50**, 879-884 (1979)
- 21) Lawrie R. A., Meat Science P.82 Pergamon Press (1966)
- 22) Buege D. R. and B. B. Marsh, Biochem. Biophys. Res. **65**, 478-482, (1975)
- 23) Izumi K., T. Ito and T. Fukazawa, J. Food Sci., **43**, 1188-1190 (1978)
- 24) 三浦弘之, 肉の科学 **22**, 145-164 (1981)
- 25) 三浦弘之, 肉の科学 **25**, 121-132 (1985)
- 26) Dutson T. R. et. al. Fleishwirtschaft **61**, 596-598 (1981)
- 27) Ducastaing A., C. Valin, J. Schollmeyer and R. Cross, Meat Sci., **15**, 193-202 (1985)
- 28) Dutson T. R., G. G. Smitn and Z. L. Carpenter, J. Food Sci., **45**, 1097-1098 (1980)
- 29) Salm C. P., J. C. Forrest, E. D., Aberile, E. W. Mills, A. C. Snyder and M. D. Judge, Meat Sci., **8**, 163-183 (1983)
- 30) 三浦弘之, 食肉に関する助成研究報告書 (財)伊藤記念財団 (1985) Vol. 4, 164-168
- 31) Crenwelge D. D., R. N. Terrell, T. R. Dutson, G. C. Smith and Z. L. Carpenter, J. Animal Sci, **59**, 697-701 (1984)
- 32) 三浦弘之 未開発 (1987)
- 33) Pearson A. M. and T. R. Dutson, Advances in Meat Research Vol. **3**, 1~497, An AVI Book (1987)
- 34) Durland, P. R., S. C. Seideman, W. J.

- Custello and N. M. Quenzer, *J. Food Protec.*, **45**, 127-131 (1982)
- 35) Wiebe W. R. Jr. and G. R. Schmidt, *J. Food Sci.*, **47** 386-392 (1982)
- 36) Berry B. W., J. J. Smith and J. L. Secrist, *J. Animal Sci.*, **60**, 433-439 (1985)
- 37) Cordray J. C. and D. L. Huffman, *J. Food Protec.*, **48**, 965-968 (1985)
- 38) Seman D. L., W. G. Moody, J. D. Fox and N. Gay *J. Food Sci.*, **51**, 268-272 (1986)
- 39) Miles R. S., F. K. Mckeith, P. J. Bechtel and J. Novakofski, *J. Food Protec.*, **49**, 222-225 (1986)
- 40) Lamkey J. W., R. W. Mandigo and C. R. Calkins, *J. Food Sci.*, **51**, 873-875 (1986)
- 41) 工業技術会編, 新しい食品加工技術II, 1~159 (1986)
- 42) 松枝日出郎, 魚肉ソーセージ No. 219, 29~45 (1987)
- 43) 野口明德, 肉の科学 Vol. 28, No. 1, 31~40 (1987)