

氏 名(本籍)	さ とう やす こ 佐 藤 靖 子
学位の種類	博 士 (農 学)
学位記番号	農 博 第 5 8 9 号
学位授与年月日	平 成 1 2 年 3 月 2 3 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 専 攻	東北大学大学院農学研究科資源生物科学専攻 (博士課程)
学位論文題目	笹かまぼこの構造と加熱肉のタンパク質の染色性に関する研究
論文審査委員	(主 査) 教 授 鈴 木 惇 教 授 佐 藤 英 明 教 授 伊 藤 敏 敏

論文内容要旨

1. 序論

食肉および魚肉は加熱調理を経て食される。加熱された食品の組織構造は、脱水および収縮による変化が生じて硬さおよび歯ごたえに影響を及ぼす。かまぼこは、均質化した魚肉タンパク質(すり身)から作られ、加熱方法の違いにより、蒸しかまぼこと焼きかまぼこがある。笹かまぼこは、焼きかまぼこである。笹かまぼこには、添加されて加熱により糊化したデンプン、擂潰中に混入した大小様々な気泡および擂り潰されずに残った魚肉片が存在する。

加熱によるタンパク質の変性は視覚的に判断できる場合がある。赤身肉は加熱変性により灰褐色に変化する。一方、白身の魚は加熱しても色調に変化がないので、タンパク質の変性を視覚的に確認することはできない。調理された肉が加熱されたものであったかを証明する方法の開発は要望されている。

食肉の筋線維および膠原線維のタンパク質は、酸性色素を用いたAzan染色およびPicrosirius染色により染め分けられる。この組織学的染色法により加熱変性された食品タンパク質を示し得ると考える。このことを確かめる材料には、一様なタンパク質からなる白色のすり身がもっとも適している。高温で加熱される焼きかまぼこは、加熱面と内部の温度差が大きいので、加熱によるタンパク質の性状の変化を調べるには、高温で加熱されている笹かまぼこが適している。

デンプンは、糊化してすり身の足の補強と関連することが示されている。デンプンは加熱により糊化して形状を変える。糊化および未糊化のデンプンの形状により製品の加熱温度を推定できると考える。かまぼこに存在する形を持つ物質を組織学的に証明し得れば、製品の質的管

理に有効である。

本研究では、笹かまぼこの組織構造を明らかにし、加熱によるデンプンと気泡の変化およびすり身の物性との関連を調べ、形状を示す添加物の証明法ならびにタンパク質の加熱および非加熱の状態を示し得る組織学的および組織化学的方法の確立を目的とした。

2. 笹かまぼこの組織構造

笹かまぼこは、魚肉すり身に少量のデンプン、食塩および卵白などを加えて搗潰し、成形後焙焼したものである。焙焼された笹かまぼこにおけるタンパク質の染色性の違いおよび組織構造を調べた。

材料は、市販笹かまぼこ生すり身および原材料の魚を用いた(表1)。常法によりパラフィン切片およびクリオスタット切片を作製した。標本は Hematoxylin-Eosin (H-E) 染色、Azan 染色、Picrosirius(PS) 染色、Periodic acid Schiff (PAS) 染色、PAS・Alcian blue(AB) 染色、PAS・Acrolein-Schiff(AS) 染色、Oil red O 染色および Sudan black B 染色を行った。

Azan 染色において、笹かまぼこの基質タンパク質は、直接加熱された表層は Azocarmine G に強く染まり、内部は Aniline blue に染まった。生すり身の基質タンパク質は Azocarmine G に一様に染まった(図1, 表2)。

製品に添加されたデンプンは、糊化した形状を示す。一部の製品の中央部には、円形および楕円形を示す未糊化のデンプン粒が存在した(図2)。生すり身には、円形および楕円形のデンプン以外に不定形なデンプンが存在した(図3)。不定形なデンプンは複屈折性を示さなか

ったので、天然デンプン以外の加工デンプンであると判断した。

製品に添加されて糊化したデンプンは、面積比で 1.8~5.8%含まれていた。気泡の割合は大小関係なく 12.7~18.2%であった(表 3, 4)。デンプンおよび気泡の割合は、一部の製品間で差異があった。

笹かまぼこには中性脂肪およびリン脂質の小滴が散在していた(図 4)。

一部の製品にデンプン以外の複屈折性を示す物質が散在していた。魚の鱗に同様の複屈折性が見られたので、複屈折性を示す物質は鱗の小片であると判断した(図 5)。

まとめ

笹かまぼこの加熱面と内部および製品とすり身の染色性の違いは、すり身タンパク質の加熱変性の違いを示す。笹かまぼこには、デンプン、気泡、魚の鱗および脂質が存在することを組織学的に示し得た。

3. すり身に添加したデンプンの性状

製品に存在した不定形を示すデンプンが加工デンプンであるかを調べるために、食品の製造過程で使用されている10種類の加工デンプン、ジャガイモデンプンおよび製品に使用されているデンプンの計12種類を1種類ずつすり身に添加して形状および染色性を調べた(表 5)。

すり身は常法によりパラフィン切片を作製し、H-E 染色、PAS 染色、ヨウ素染色、PS 染色、Azan染色および PAS・AB 染色を行った。

すり身に添加したジャガイモデンプンおよび製品デンプンに含まれる天然デンプンは PAS に反応した。大部分の加工デンプンは PAS に反

応した。天然デンプンのヨウ素反応は強かった。PAS に反応した加工デンプンのヨウ素反応は弱かった。カードラン、CD-10 およびパインデックス#2の3種類の加工デンプンは、PAS およびヨウ素に反応しなかった。カードランおよびCD-10は、Azan 染色では Aniline blue に染まり、PS 染色では Sirius red に染まった(図6)。PAS・AB 染色では AB に染まったので酸性多糖であると判断した。パインデックス#2はいずれにも染まらなかった(表6-1, 6-1, 7)。

まとめ

製品の製造過程で添加された天然デンプンおよびパインデックス#2以外の加工デンプンは、染色性の違いによりその存在を示し得るが、パインデックス#2は組織学的および組織化学的に証明できない。

4. 加熱されたすり身の物性へ及ぼすデンプンと気泡の影響

笹かまぼこを構成するデンプンおよび気泡の割合は、すり身の物性に影響を与えるかもしれない。加熱によるデンプンおよび気泡の径の変化が、すり身の物性へ影響を及ぼすかを加工デンプン、製品デンプンおよびジャガイモデンプンを用いて調べた。物性値はクリープメーターにより破断応力および破断歪を測定した。径の値は、一元配置分散分析により有意差($p < 0.05$)を求めた。径の変化と物性値は、回帰直線により相関係数を求めた。

すり身に添加したデンプンは、加熱により径が増大した。K-1、MR-200、MT-01 およびHPポテトにおける径の増大は、破断応力と正の相関があった(図7, 9, 10, 表8)。加熱によりすり身が硬くなり、歯ごたえを増すことを示す。MR-200 およびHPポテトの径の増大は、破断

応力と正の相関があり、破断歪には負の相関があったので、加熱によりすり身に硬さを増すと共に脆さを生じると考える。

気泡の径の増大は、大部分のすり身の破断応力と正の相関があった(図8, 9, 10, 表8)。気泡の径の増大はすり身の硬さおよび歯ごたえを増すと考える。

まとめ

加熱によるデンプンおよび気泡の径の増大は、大部分のすり身の破断応力と正の相関があったので、すり身の硬さおよび歯ごたえを増す要因の一つになる。

5. 笹かまぼこに存在するデンプンの性状

製品に存在した複屈折性を示す未糊化なデンプン粒は、すり身の内部温度が糊化温度に達していないことを示す。かまぼこに添加されたデンプンの糊化温度を複屈折性の有無により調べて、製品の内部温度を推察することが可能かを検討した。

生すり身内の円形および楕円形のデンプンは複屈折性を示した。加熱温度が70℃では、大部分のデンプンは糊化して複屈折性を示さなかったが、中央部の円形および楕円形のデンプン粒は複屈折性を示した(図11)。80℃以上の加熱では、デンプン粒はすべて糊化して複屈折性は消失していた(表9)。製品に未糊化のデンプン粒が存在することは、その部位の温度は70℃以上に達していないと判断できる。

笹かまぼこにはABに染まる糖質が存在した。この糖質は、加工デンプンの染色性から、カードランおよびCD-10のどちらかの加工デンプンと判断し得た。

ま と め

すり身に含まれる天然デンプンの複屈折性の消失により、すり身の内部温度が70℃以上に加熱されたことが証明できる。

6. 笹かまぼこの酸性色素による染色性の差異

肉タンパク質の加熱変性を酸性色素による選択的染色性に基づいて証明できるかを確かめた。笹かまぼこおよび生すり身の標本を用いて、分子量の異なる2種類の酸性色素を組み合わせて同一染色瓶による染色を試みて明瞭な染色性が生ずるかを調べた(表 10)。

製品の加熱面と内部および製品と生すり身の染色性は、分子量の差が300以上の組み合わせでは明瞭であった。製品の直接加熱された表層は分子量の小さい色素に強く染まり、内部は分子量の大きい色素に選択的に染まった。生すり身は分子量の小さい色素に一様に染まった(図 12, 表 11)。この選択的染色性は、Azan染色における染色性の差異と一致した。分子量の小さい色素に染まった製品の加熱面におけるタンパク質の超微視的構造は小さく、分子量の大きい色素に染まった内部はタンパク質の超微視的構造が大きいことを示す。

ま と め

食品タンパク質の加熱変性の状態は、分子量の差が300以上の酸性色素の組み合わせにより染色性の差異が明瞭であった。この選択的染色性の違いにより、食品が加熱されたことを証明し得る方法を確立することができた。

7. 調理された食肉の染色性の差異

加熱条件が異なる食肉タンパク質の組織構造の変化について、Azan 染色および分子量の異なる酸性色素の染色性に基づいて調べ得るかを検討した。さらに、コラーゲンの性状に基づいて加熱された状態を調べることが出来るかを検討した。

食肉の加熱面における筋線維は、Azan 染色では分子量の小さい Azocarmine G に強く染まり、内部は分子量の大きい Aniline blue に染まった。未加熱肉の筋線維は、分子量の小さい Azocarmine G に一様に染まった。分子量の異なる酸性色素を用いた NGB-SR 染色などにおいても加熱面は分子量の小さい色素に強く染まり、内部は分子量の大きい色素に染まった(図 13, 表 13)。食肉における選択的染色性は、笹かまぼこにおける染色性と同様であった。膠原線維は Aniline blue に染まり、加熱による染色性に変化はなかった。

PS 染色では、膠原線維は Sirius red に染まり複屈折性を示す。加熱された食肉の膠原線維は未加熱と同様に Sirius red に染まるが、大部分の筋周膜における膠原線維の複屈折性は失われた(図 14)。

まとめ

加熱肉の酸性色素による染色性の違いにより、加熱または非加熱であることを組織学的および組織化学的に証明し得る。

PS 染色において Sirius red に染まる膠原線維が、加熱によって複屈折性を失う現象は、充分加熱されたことを見極める指標の一つとなり得る。

8. 総括

笹かまぼこの加熱面と内部および製品と生すり身のタンパク質の染色性は異なっていた。

笹かまぼこに含まれる構造を示す物質の性状を組織学的および組織化学的に確認し得たことは、食品の品質を調べる有効な方法の一つである。

笹かまぼこに添加された天然デンプンの複屈折性の有無は、すり身内部の加熱状態が70~80℃に達したかを推定できる方法の一つとなり得る。

加熱によるデンプンおよび気泡の径の増大による組織構造の変化は、すり身の硬さを増す要因である。

分子量の異なる2種類の酸性色素における選択的染色性の違いは、食品タンパク質の加熱および非加熱を組織学的および組織化学的に証明し得る優れた方法であり、食品組織学の分野において活用できる。

表1 市販笹かまぼこの原材料

製品	使用魚種	その他の成分
A	タラ	砂糖, みりん, 卵白, 清酒, でん粉, 食物繊維
	キチジ	維, 調味料(アミノ酸等),
	グチ	ビタミンC保存料(ソルビン酸)
B	タラ	砂糖, みりん, 卵白, 食塩, 澱粉, 調味料
	イトヨリ鯛	(アミノ酸), 保存料(ソルビン酸K)
	キンメ鯛	
	舌ヒラメ	
C	タラ	砂糖, みりん, 卵白, 清酒, 食塩,
	その他	セルロース(食物繊維), 保存料(ソルビン酸), 調味料(アミノ酸等),
	白身魚	
D	吉次魚肉	砂糖, みりん, 卵白, 酒, 塩, でんぷん,
	すり身	乳化剤, 調味料(アミノ酸等), 保存料(ソルビン酸K), リン酸(Na), 増粘多糖類

原材料は製品の包装表示からの引用

表2 生すり身および製品の基質タンパク質の染色性

染色色素	生すり身		製品	
	表層	内部	表層	内部
Azan Azocarmine G	++	++	+++	-
Aniline blue	-	-	-	++
Orange G	-	-	-	±
PS Picric acid	++	++	++	±
Sirius red F3B	-	-	-	±
H-E Hematoxylin	-	-	-	-
Eosin	+	+	++	+
AS Schiff	+	+	++	+

染色性: +++: 強, ++: 中等度, +: 弱, ±: 微弱, -: 無

表3 すり身に添加されたデンプン量

製品	デンプン量(%)
A	0.5
B	0.8~0.9
C	0.8
D	不明

この値は製造業者から得た

表4 笹かまぼこの一定面積(37mm²)に占めるデンプンと気泡の割合

製品	デンプン(%)	気泡(%)
A	5.8±0.4 ^{a*}	18.2±2.3 ^{a*}
B	4.2±0.3 ^{a*}	12.7±0.9 ^b
C	1.8±0.3 ^b	14.1±1.6 ^b
D	5.4±0.8 ^{a*}	15.6±1.4 ^{a*}

* 平均±SEM(n=10)

a, b: 異符号間で有意差を示す(p<0.05)

表5 すり身に添加した加工デンプンの種類

加工デンプン	性状
カードラン	微生物生産多糖類
CD-10	水産練り製品用カードラン
ワキシ-αk7	餅種コーンスターチのα化澱粉
アルスターE	コーンスターチのα化澱粉
パインデックス#2	デキストリン
MR-200	タピオカ澱粉原料
K-1	タピオカ澱粉原料
MT-01	タピオカ澱粉原料
HP-ポテト	Potato starch 原料
バター#0	加工澱粉

カードラン, CD-10: 武田薬品工業株式会社製

その他の加工デンプン: 日本食品化工株式会社製

表 6-1 デンプンの染色性 1

染色	色素	JD	SD	AR	BT	HP	K1
PAS	Schiff	+	+	+	+	+	+
H-E	Hematoxylin	-	-	-	-	-	-
	Eosin	±	±	±	±	±	±
Azan	Azocarmine G	-	-	-	-	-	-
	Aniline blue	-	-	-	-	-	-
	Orange G	-	-	-	-	±	-
P S	Picric acid	-	-	-	-	-	-
	Sirius red	-	-	-	-	-	-
ヨウ素		++	++	±	±	±	±

JD: ジャガイモデンプン SD: 製品デンプン

AR: アルスターE BT: パッター#0

HP: HPポテト K1: K-1

表 6-2 デンプンの染色性 2

染色	色素	MR	MT	WK	KD	CD	PD
PAS	Schiff	+	+	+	-	-	-
H-E	Hematoxylin	-	-	-	-	-	-
	Eosin	±	±	-	~±	~±	-
Azan	Azocarmine G	-	-	-	-	-	-
	Aniline blue	-	-	-	+	+	-
	Orange G	-	-	-	-	-	-
P S	Picric acid	-	-	-	-	-	-
	Sirius red	-	-	-	±	±	-
ヨウ素		±	±	±	-	-	-

MR: MR-200 MT: MT-01

WK: ワキシ-αk7 KD: カードラン

CD: CD10 PD: パインデックス#2

表 7 デンプンのPAS・AB染色性

染色	色素	KD	CD	PD	JD
PAS	Schiff	-	-	-	+
AB	Alcian blue	+	+	-	-

KD: カードラン CD: CD10

PD: パインデックス#2 JD: ジャガイモデンプン

表 9 加熱におけるすり身デンプン粒の複屈折性

部位	生すり身	60℃	70℃	80℃以上
表層				
中央部				

⊗ 十字偏光: 有 ⊙ 複屈折性: 有 ○ 複屈折性: 無

表 10 分子量の異なる酸性色素

色素	分子量 (M.W.)
Picric acid (PA)	229.1
Metanil yellow (MY)	375.4
Biebllich scarlet (BS)	380.4
Tartrazine (T)	534.4
Naphtol green B (NGB)	878.5
Direct blue 1 (DB1)	992.8
Sirius red F3B (SR)	1233.1

表 11 染色性が明確な色素の組み合わせ

染色液	製品		生	
	表層	内部	表層	内部
PA - SR	P	S	P	P
PA - DB-1	P	D	P-D	P-D
T - DB-1	T	D	T-D	T-D
NGB - SR	N	S	N-S	N-S

PA(P), SR(S), DB-1(D), NGB(N)

NGB-SR 分子量差: 354.6

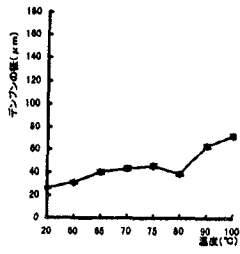
T-DB-1 分子量差: 458.4

PA-DB-1 分子量差: 763.7

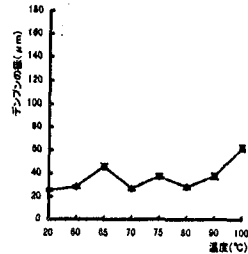
PA-SR 分子量差: 1004.0

表 13 酸性色素による食肉の染色性

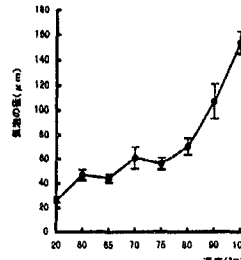
染色液	未加熱肉		加熱肉	
	表層	内部	表層	内部
PA - SR	P	P	P	P-S
PA - DB-1	P-D	P-D	P	P-D
T - DB-1	T-D	T-D	T	T-D
NGB - SR	N-S	N-S	N	N-S



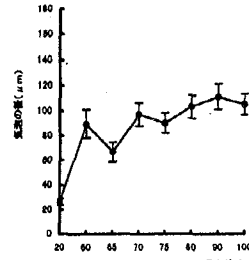
A: ジャガイモデンプン



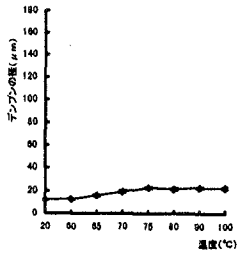
B: 製品デンプン



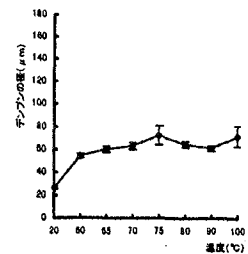
A: 製品デンプンK-1,MR-200,MT-01



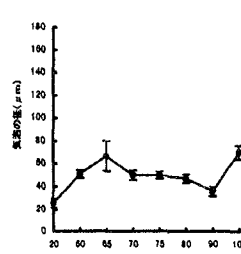
B: カードラン,CD-10,バインデックス#2



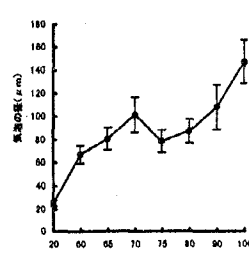
C: K-1,MR-200,MT-01,バター#0



D: HPポテト



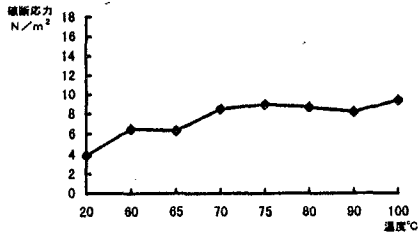
C: ジャガイモデンプン,ワキシ-αk7



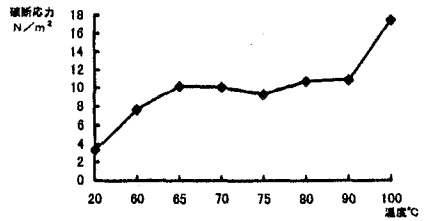
D: HPポテト,アルスター-E,バター#0

図 13 すり身に添加したデンプンの加熱による径の変化

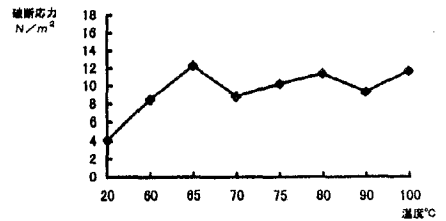
図 14 加熱による気泡の径の変化



A: ジャガイモデンプン, 製品デンプン, K-1, MR-200
HPポテト, カードラン, MT-01

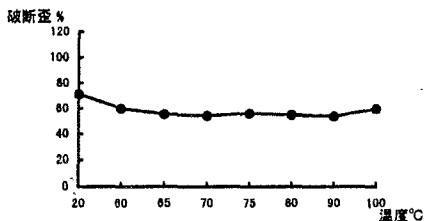


B: CD-10, バインデックス#2, ワキシ-αK7, アルスター-E

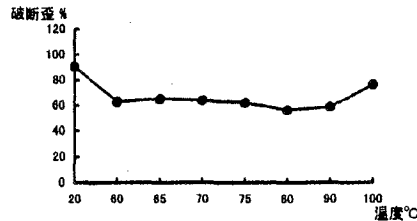


C: バッター#0

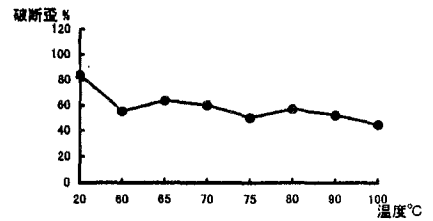
図 15 すり身の破断応力



A: MR-200, ジャガイモデンプン, 製品デンプン,
HPポテト, カードラン, アルスター-E,
K-1, バッター#0, ワキシ-αK7



B: CD-10, バインデックス#2,



C: MT-01

図 16 すり身の破断歪

表 8 デンプンおよび気泡の径の変化とすり身の物性との相関

	破断応力		破断歪	
	気泡	デンプン	気泡	デンプン
ジャガイモデンプン	46	82*	-54	-48
製品デンプン	78*	65	-40	-36
K-1	81*	87*	-33	-58
MR200	87*	85*	-58	-71*
バター#0	57	44	-54	-67
MT01	83*	86*	-50	-66
HPポテト	77*	87*	-53	-88*
カードラン	75*	—	-55	—
CD10	87*	—	-58	—
バインデックス#2	65	—	-82*	—
ワキシ-αK7	82*	—	-54	—
アルスター-E	98*	—	-52	—

—:測定不可 相関有:数値* 相関無:数値

図の説明

図1. 笹かまぼこの基質タンパク質の染色性

Azan染色×70 製品の加熱面(S)はAzocarmine Gに染まり、内部(N)はAniline blue に染まる。生すり身は一樣にAzocarmine Gに染まる。デンプン(→)は無染色。

図2. 製品に存在するデンプン

PAS染色×120 円形および楕円形のデンプン粒(→)。糊化したデンプン(▶)。左図同一視野における複屈折性:円形および楕円形のデンプン粒(→)、糊化したデンプン(▶)。

図3. 生すり身に存在するデンプン

PAS染色×120 不定形のデンプンが存在する(→)。左図同一視野における複屈折性はない(→)。

図4. 製品に存在する脂肪滴

Sudan black B染色×480 大小に染まる脂肪滴が存在する。
アセトン処理後のSudan black B染色×480 ごく細かい脂肪滴(リン脂質)が存在する。

図5. 製品に散在するデンプン以外の物質

製品 Azan染色×35 製品には複屈折性を示す物質が散在した(→)。
キチジの鱗×35 鱗には複屈折性を示す部位があった(→)。

図6. すり身に添加した加工デンプンの染色性

生すり身 PAS染色×90 HPポテトは円形および楕円形を示す。アルスターEは不定形を示す。
加熱すり身 Azan染色×90 カードランはAniline blueに染まる。
加熱すり身PS染色×90 カードランはSirius redに染まる。

図11. 70℃加熱すり身におけるデンプン

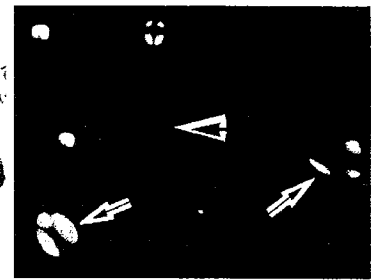
Azan染色×240 デンプンは無染色(→)。上図同一視野におけるデンプンの複屈折性(→)。



製品 Azan 染色 生すり身
 図 1 笹かまぼこの基質タンパク質における染色性



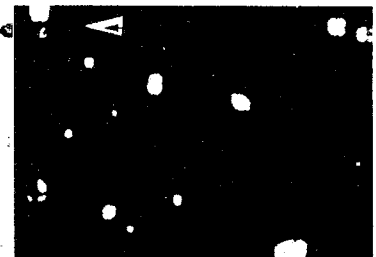
図 2 製品 PAS 染色



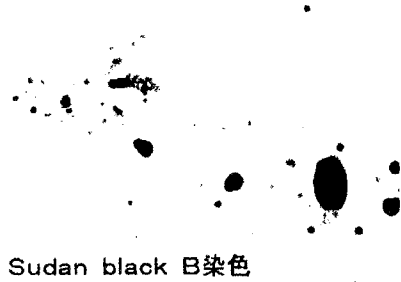
左図同一視野における複屈折性



図 3 生すり身 PAS 染色



左図同一視野における複屈折性



Sudan black B 染色

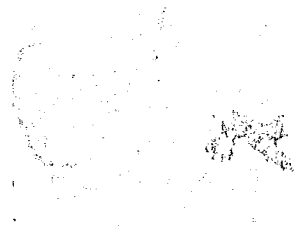
アセトン処理後

図 4 製品に存在する脂肪滴

HPポテト

PAS 染色

アルスター-E



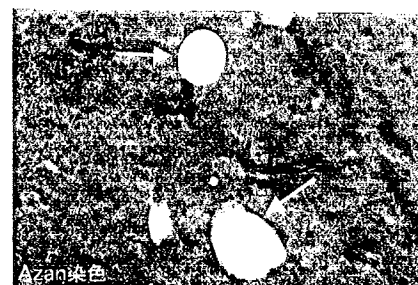
カードラン Azan 染色

カードラン PS 染色

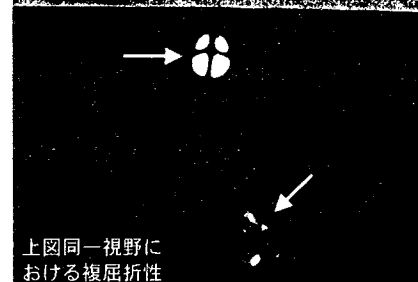
図 6 すり身に添加した加工デンプンの染色性



図 5 製品に散在するデンプン以外の物質



Azan 染色



上図同一視野における複屈折性

図 11 70°C 加熱すり身におけるデンプン

図12. 笹かまぼこの酸性色素による染色性

NGB-SR染色×90 製品の加熱面(S)は分子量の小さいNGBに染まり、内部(N)は分子量の大きいSRに染まる。生すり身は一様に分子量の小さいNGBに染まる。

T-DB1染色×90 製品の加熱面(S)は分子量の小さいTに染まり、内部(N)は分子量の大きいDB1に染まる。生すり身は一様に分子量の小さいTに染まる。

* 均質なタンパク質から成る生すり身において表面(*)がSRおよびDB1に染まった。

図13. 食肉の酸性色素による染色性

Azan染色×90 未加熱肉の筋線維はAzocarmine Gに染まる。コラーゲンはAniline blueに染まる。加熱肉における加熱面の筋線維(S)はAzocarmine Gに染まり、内部(N)はAniline blueの色調に染まる。

T-DB1染色×90 加熱肉におけ加熱面の筋線維(S)は分子量の小さいTに染まり、内部(N)は分子量の大きいDB1に染まる。

図14. 食肉のPS染色性

未加熱肉のコラーゲンは複屈折性を示す(→)。加熱肉では大部分のコラーゲンにおける複屈折性は失われた(→)。

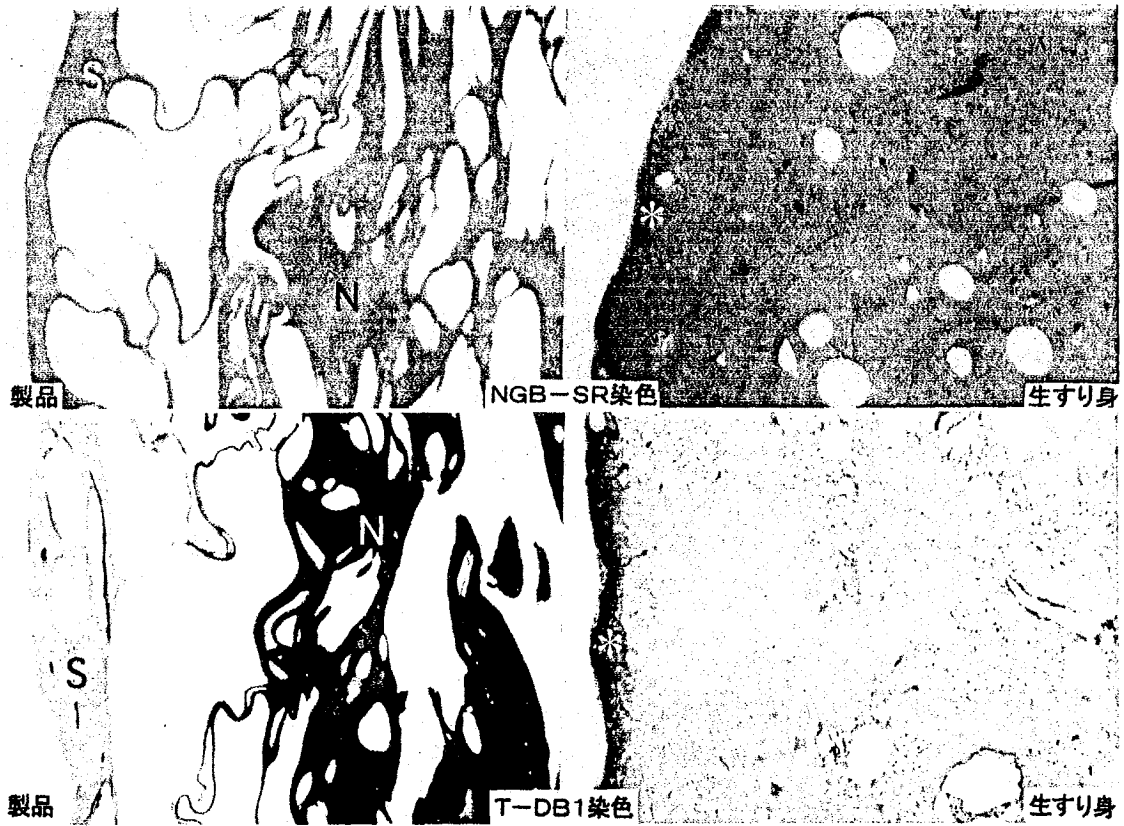


図 12 笹かまぼこの酸性色素による染色性



図 13 食肉の酸性色素による染色性

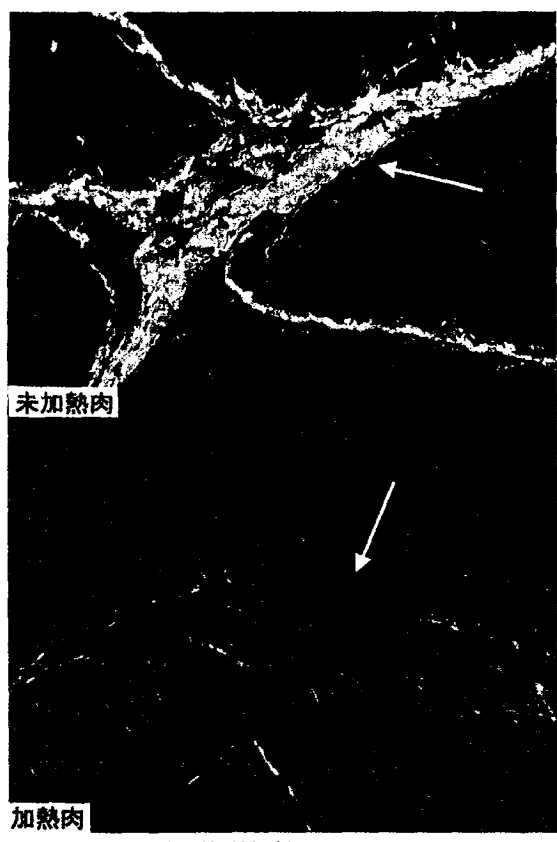


図 14 PS染色 複屈折性

論文審査結果要旨

かまぼこは、均質化した魚肉タンパク質から作られる。焼きかまぼこである笹かまぼこには、添加されたデンプン、播潰中に混入した大小様々な気泡および播り潰されずに残った魚肉片が存在する。赤身肉は加熱変性により灰褐色に変化する。白身の魚は加熱しても色調に変化がないので、タンパク質の変性を視覚的に確認することはできない。調理された肉が加熱されたものであったかを証明する方法の開発が要望されている。本研究では、一様なタンパク質からなる白色のすり身を用いて2種類の酸性色素による組織学的染色法を試み、調理された食品タンパク質が加熱もしくは非加熱の状態であることを示し得る染色法を確立しようとした。また、笹かまぼこの組織構造、加熱によるデンプンと気泡の変化およびすり身の物性との関連、加熱温度の推定および形状を示す添加物の証明法を明らかにした。

笹かまぼこの加熱面と内部および製品と生すり身のタンパク質の染色性は、2種類の酸性色素による染色により異なっていた。分子量の異なる7種類の酸性色素から2種類の酸性色素の組み合わせによる13種類の染色法を試みた。その中で4種類の組み合わせによる染色法が、食品タンパク質の加熱および非加熱を明確にそして選択的に染め分けることを見出した。これら酸性色素による染色法が、食品タンパク質の加熱および非加熱を証明し得る優れた方法であり、調理された食肉にも応用できることを明らかにした。添加された加工デンプンおよび笹かまぼこに含まれる構造を示す添加物質の性状を組織学的および組織化学的に確認し得る方法を示した。笹かまぼこに添加された天然デンプンの複屈折性の有無により、すり身内部の加熱状態が70℃以上に達したことを示し得た。これらの方法は食品の品質を管理する有効な方法の一つであることを証明した。加熱によるデンプンおよび気泡の径の増大による組織構造の変化は、すり身の硬さを増す要因であることを明らかにした。得られた知見は、食品組織学の分野において活用できる重要なものである。これらの成果は、本論文の著者が、自立して研究活動を行うに必要な、高度の研究能力と学識を有していることを示している。よって審査員一同は、本論文の著者に博士(農学)の学位を授与できるものと判断した。