

ホタテガイ貝柱フレークの品質特性に関する研究

秋野雅樹*, 武田忠明*, 今村琢磨*

Studies on the quality characteristic of the scallop adductor muscle flakes

Masaki AKINO*, Tadaaki TAKEDA* and Takuma IMAMURA*

A popular name “scallop flakes” is new food that manufactured from muscular fiber of heat-treated scallop adductor muscles. As for this, a manufacturing method is easy and mass production is possible. There are forms, such as fresh, boiled and frozen, in the adductor muscle of the scallop used as materials. The texture and colors of scallop flakes are greatly different by raw materials. We firstly established an objective method that evaluated the texture and colors of scallop flakes. Scallop flakes manufactured from raw and boiled adductor muscles had good texture and color tone. On the other hand, scallop flakes manufactured from frozen adductor muscles didn't have sufficient texture. The texture was improved by defrosting frozen adductor muscles at low-temperature, but during defrosting a large quantity of sugar phosphates were generated in adductor muscle and the browning degree of scallop flakes was promoted. Therefore, we have thought preventive measures from another viewpoint are required.

キーワード：ホタテガイ，貝柱フレーク，新規食品素材，物性，褐変，凍結，解凍，解糖系

まえがき

近年、北海道におけるホタテガイは、種苗生産技術や増養殖技術などの進歩により安定した生産量を確保できるようになり、その年間生産量は40万トンを超えている。しかし、価格の面では、生産増大に伴う需給バランスの崩れにより、不安定になりつつある。

これらホタテガイ消費の主体は、生鮮、冷凍貝柱、ボイル製品、乾ほたて貝柱の4種類であり、生産量の増大するホタテガイの更なる消費拡大のためには、これら既存の主力製品群に加わる新たな製品素材の開発が望まれている。

これまで水産試験場では、ホタテガイに関する製品の開発や品質向上試験に取り組んできた¹⁻⁵⁾。その中でも、加熱したホタテガイ貝柱を繊維状にほぐした、通称「貝柱フレーク」は製造方法が簡単で、かつ大量処理が可能なことから、今後の需要増加が期待できる製品である。水産試験場では、すでに貝柱フレークの基本的な製造方法を確立し⁶⁾、また、製法改良も行ってきている⁷⁾。

そこで本試験では、各種貝柱（生貝柱、冷凍貝柱、ボイル貝柱、冷凍ボイル貝柱）から製造した貝柱フレークの品質について、レオロジーおよび生化学的な角度から比較検討した。

材料及び方法

1. 貝柱フレークの物性

1.1 各種貝柱から製造した貝柱フレークの繊維強度と成分

2004年8月に紋別で水揚げされたホタテガイから調製した各種貝柱（生貝柱、冷凍貝柱、ボイル貝柱、冷凍ボイル貝柱）を原料として貝柱フレークを製造し、フレークの繊維強度及び成分を測定した。生貝柱及び冷凍貝柱については、ホタテガイから貝柱を採取して調製した。また、ボイル及び冷凍ボイル貝柱については、ホタテガイを5倍量の沸騰水で7分間煮熟した後、流水中にて10分間冷却後貝柱を採取し、調製した。生貝柱及びボイル貝柱はそのまま、また、冷凍貝柱及び冷凍ボイル貝柱は10℃で4時間解凍後、25分間蒸煮し、サイレントカッター（花木製作所製）で軽く1分間ほぐして貝柱フレー

報文番号A407 (2006年8月8日受理)

* 北海道立網走水産試験場 (Hokkaido Abashiri Fisheries Experiment Station, Masuura, Abashiri, Hokkaido 099-3119, Japan.)

クを調製し, 試験試料とした。

1. 2 冷凍貝柱の解凍条件と貝柱フレークの繊維強度

市販の冷凍貝柱(紋別産, Sサイズ)を未解凍及び雰囲気温度別に10~40℃で解凍したものを25分間蒸煮後, 20℃のインキュベータ中で放冷し, 貝柱中心部分の筋繊維を取り出し, その繊維強度を測定した。なお, 解凍は貝柱中心部が0℃以上になるまで行った。

2. 貝柱の凍結・解凍が貝柱フレークの褐変に及ぼす影響

2004年9月に紋別で水揚げされたホタテガイを原料とした。冷凍貝柱はホタテガイから貝柱を採取し, 3%塩水で洗浄後, アルミパンに並べて-25℃で48時間凍結して調製した。冷凍貝柱フレークについては, 冷凍貝柱を10℃のインキュベータ中で, 4時間解凍した解凍区, 同様に, 24時間解凍貯蔵した解凍貯蔵区, また解凍せず凍結状態の未解凍区のもの, それぞれ25分間蒸煮した後, 1. 1と同様に貝柱フレークを調製し, 試験試料とした。

なお, 対照としてホタテガイを5倍量の沸騰水で7分間煮熟した後, 流水中にて10分間冷却し, 貝柱を採取したボイル区についても上記と同様に行った。

一般成分の分析

水分: 105℃常圧乾燥法にて測定した。

タンパク質量: ミクロケルダール法にて測定した。

グリコーゲンの定量

各粉碎試料に30%水酸化カリウムを加え可溶化後, エタノールにて精製し, 適宜希釈した試料液をアンスロン・硫酸法によりグリコーゲンの加水分解と発色を同時に行った。グリコーゲン量は, この発色液の620nmにおける吸光値を求め, 検量線からグルコース量を算出し, これに0.9を乗じて求めた。

遊離アミノ酸の定量

各粉碎試料5gにエタノール20mlを加え, ホモジナイズ後, 遠心分離(3,000rpm, 15分間)し, 上澄液を分液ロートに移し, 沈殿に80%エタノール20mlを加え同様の操作を行い, 上澄液を得た。集めた上澄液にクロロホルムを加えて脱脂操作を行い, 濃縮乾固し, 0.01N塩酸にて定容した。この試料液をHPLC日立アミノ酸分析システム(L-7500)により分析した。

繊維強度の測定

繊維強度測定用試料は, 貝柱中心部の閉殻横紋筋を筋繊維に沿って繊維状になるように剥離し, 長さ12mm, 重さ0.05gとなるよう調製した。また, フレーク試料についても同様の繊維状に調製した。これら試料を不動工業(株)のレオメーター(RT-2002D)による引張り試験(テーブルスピード5cm/分, 試料間隔50mm)に供し, このとき得られる繊維の破断応力(g)と伸びた長さ(mm)を測定した。

糖代謝物(グルコース6リン酸, グルコース1リン酸, フラクトース6リン酸; 以下G6P, G1P, F6Pと略す。)の定量

貝柱試料については各横紋筋から1個体当たり0.4gをメスで採取し, 5個分2gを1区分として, またフレーク試料については, 2gを1区分として, 以下の処理を行った。すなわち, 貝柱片に冷却した6%過塩素酸溶液を30ml加えてホモジナイズした後, 遠心分離(10,000g, 15分間)を行い, 冷却しながら上澄液を水酸化カリウムで中和し, 生成した沈殿物を遠心分離により除去後, 上澄液を50mlに定容した。この分析試料液を中村ら⁸⁾の酵素法により分析した。

L-アルギニンおよびオクトピンの定量

L-アルギニンおよびオクトピンは, 糖代謝物分析に使用した分析試料液をSato⁹⁾らの方法に従って, HPLC(日立L-6200)により定量した。分析条件は次のとおりである。

カラム: Kaseisorb LC ODS-300-5, 4.6×250mm

(東京化成工業),

カラム温度: 20℃,

移動相: A液(80% 0.25M トリス塩酸(pH9.5)

+20%アセトニトリル), B液(80%アセトニトリル+20%蒸留水)による2液グラジュエント,

流速: 0.8ml/min,

検出波長: 励起波長325nm, 蛍光波長425nm

褐変度の測定

貝柱フレークを110℃の恒温器中で1時間加熱して褐変を進行させ, 各試料の褐変の程度を, 柞木田ら¹⁰⁾の方法に準じて評価した。なお, 褐変度は, 試料1g当たりの450nmの吸光度をもって次式により算出した。

褐変度=吸光度(450nm)×100/試料重量(g)

有意差検定

試験区内および試験区間の有意差検定はダンカンの多重比較検定により行った。

結果

1. 貝柱フレークの物性

1.1 各種貝柱から製造した貝柱フレークの繊維強度と成分

各種貝柱から製造した貝柱フレークの繊維強度をFig. 1に示した。繊維強度は, 全区分に有意差がみられた($p < 0.05$)。貝柱フレークの繊維強度(破断応力, 伸びた長さ)は, 強い順に冷凍ボイル貝柱(108.1 ± 29.3 g, 22.9 ± 3.7 mm), ボイル貝柱(69.3 ± 20.9 g, 18.7 ± 5.2 g), 生貝柱(56.3 ± 22.5 g, 14.4 ± 6.1 mm), 冷凍貝柱(25.2 ± 17.9 g, 8.0 ± 6.0 mm)であった。

冷凍ボイル貝柱から調製したフレークの繊維強度は, 伸びた長さの個体差が小さかった。一方, ボイル貝柱,

生貝柱及び冷凍貝柱からのフレークでは、伸びた長さバラツキがみられ、特に冷凍貝柱を原料としたフレークでは繊維強度が著しく弱かった。

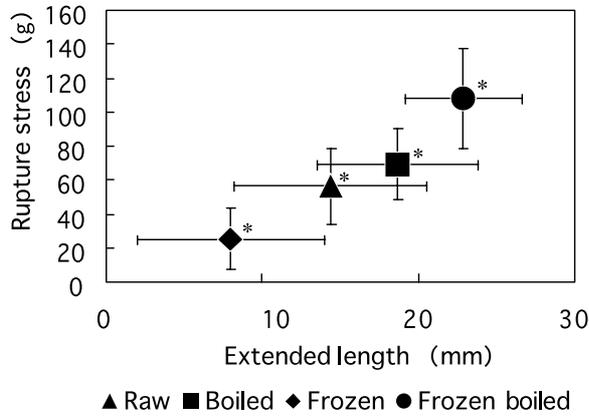


Fig. 1 Texture of the scallop flakes manufactured from each scallop adductor muscle materials. (n=5×10: Ten samples were prepared from one individual.) Bars indicate standard deviation (SD). *Significantly different from other scallop flakes, p<0.05.

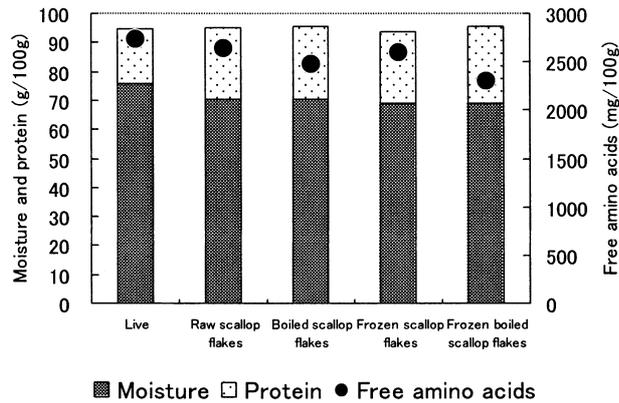


Fig. 2 Contents of protein, moisture and free amino acids in scallop flakes and scallop adductor muscle.

生貝柱及び各種貝柱から製造した貝柱フレークの水分、遊離アミノ酸、粗タンパク質量を Fig. 2 に示した。貝柱フレークの水分は68.9~70.4g/100g、粗タンパク質は、24.7~26.3g/100gであり、原料区分により大きな違いは認められなかった。ボイル貝柱、冷凍ボイル貝柱から製造した貝柱フレークの遊離アミノ酸は2,479、2,295mg/100gと他の貝柱フレーク(生2,641、冷凍2,593mg/100g)と比較して少し低い値を示した。

1. 2 冷凍貝柱の解凍条件と貝柱フレークの繊維強度

凍結状態で蒸煮加熱した冷凍貝柱については、閉殻筋の筋繊維組織が弱く、貝柱フレーク製造工程中に筋繊維が凝集し塊状になった。(Fig. 3)。雰囲気温度別に解凍後、蒸煮加熱した冷凍貝柱の繊維強度を Fig. 4 に示した。繊維強度は、全区分に有意差がみられ(p<0.05)、破断応力、伸びた長さともに雰囲気温度が高くなるほど低下した。

維強度は、全区分に有意差がみられ(p<0.05)、破断応力、伸びた長さともに雰囲気温度が高くなるほど低下した。

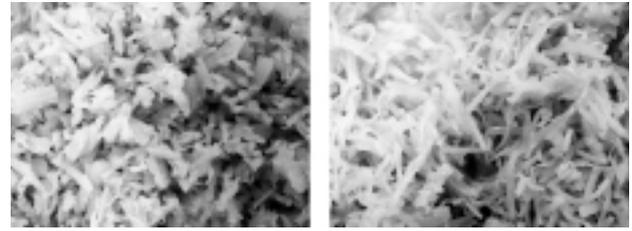


Fig. 3 Forms of scallop flakes. Left: Scallop flakes manufactured from non-thawed scallop adductor muscles. Right: Scallop flakes manufactured from boiled scallop adductor muscles.

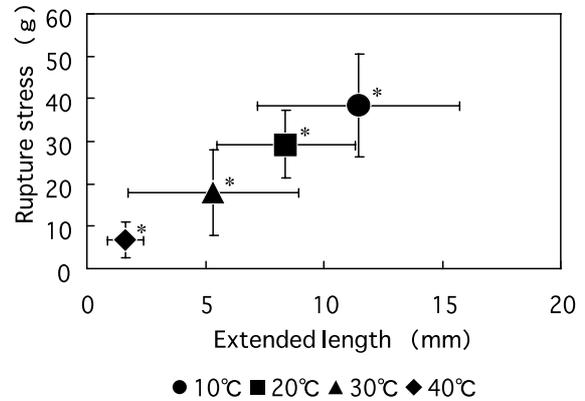


Fig. 4 Texture of scallop flakes manufactured from frozen scallop adductor muscle thawed by different temperature conditions. (n=6×5: Six samples were prepared from one individual.) Bars indicate standard deviation (SD). *Significantly different from other scallop flakes, p<0.05.

2. 貝柱の凍結・解凍が貝柱フレークの褐変に及ぼす影響

未解凍区、解凍区及び解凍貯蔵区の貝柱とそれらから製造した貝柱フレークのグリコーゲン量(無水物換算値)を Fig. 5 に示した。貝柱のグリコーゲン量は、未解凍区との比較で、解凍区での変化はみられなかったが、解凍貯蔵区で少し低下した。貝柱フレークのグリコーゲン量は、いずれの試験区とも貝柱よりも低く、その低下率は未解凍区で1.9%、解凍区、解凍貯蔵区で、それぞれ22.9、37.6%であり、解凍貯蔵区での低下が大きかった。

ボイル区、未解凍区、解凍区及び解凍貯蔵区の貝柱の糖代謝物量を Fig. 6 に、各種貝柱より製造した貝柱フレークの糖代謝物量と褐変度を Fig. 7 に示した。貝柱については、G6P量は、ボイル区と未解凍区では少なく、それぞれ4.65、1.23μmol/gであった。その一方、解凍区、解凍貯蔵区では、17.25μmol/g、10.61μmol/gと高い値を示した。G1P量は、全区分で0.06~1.02μmol/gと少な

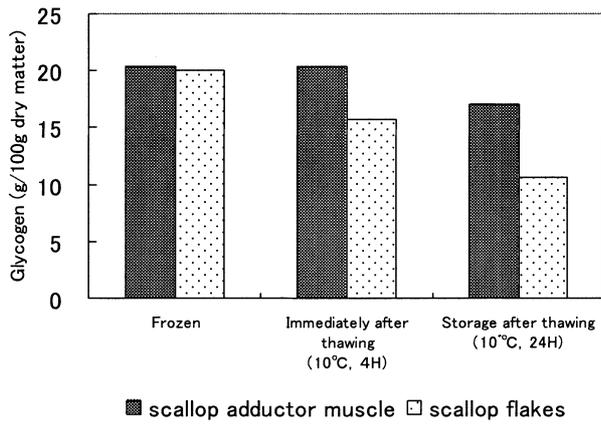


Fig. 5 Contents of glycogen of scallop adductor muscle and scallop flakes.

かった。F6P量は、0~3.35 $\mu\text{mol/g}$ であり、解凍貯蔵区で3.35 $\mu\text{mol/g}$ と少し高い値を示した。貝柱フレークでは、G6P量は1.66~9.07 $\mu\text{mol/g}$ であり、貝柱と同様に解凍区と解凍貯蔵区で、それぞれ、9.07, 6.44 $\mu\text{mol/g}$ と高い値を示した。貝柱との比較では、未解凍区を除く全区分で低下した。G1P量は、0.57~2.46 $\mu\text{mol/g}$ であった。F6P量は、0.46~3.10 $\mu\text{mol/g}$ であった。貝柱との比較では、未解凍区での若干の増加、解凍貯蔵区での減少がみられ

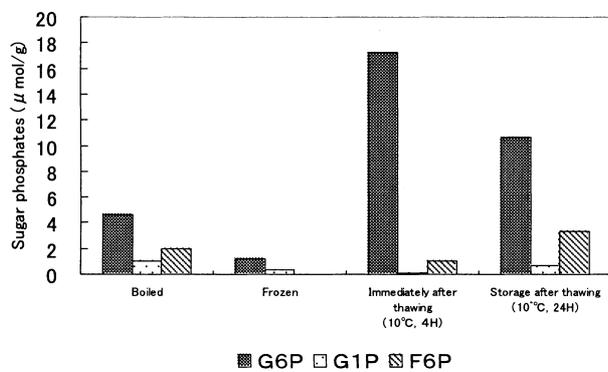


Fig. 6 Contents of sugar phosphates in scallop adductor muscle.

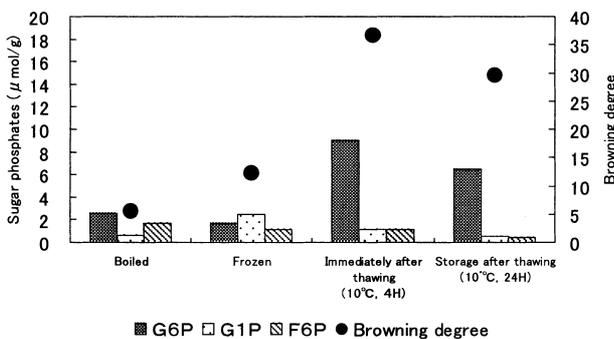


Fig. 7 Contents of sugar phosphates and browning degree in scallop flakes.

た。貝柱フレークの褐変度は、ボイル貝柱が5.5と最も低く、解凍区、解凍貯蔵区でそれぞれ、36.6, 29.6と高くなった。未解凍区の貝柱フレークの褐変度は12.2であり、解凍した冷凍貝柱と比較して褐変が抑制されていた。

ボイル区、未解凍区、解凍区および解凍貯蔵区の貝柱のオクトピン、L-アルギニン量を Fig. 8 に、各種貝柱より製造した貝柱フレークのオクトピン、L-アルギニン量を Fig. 9 に示した。

貝柱については、オクトピン量が、ボイル区、未解凍区でそれぞれ0.99, 1.30 $\mu\text{mol/g}$ と少なく、解凍区、解凍貯蔵区でそれぞれ7.66, 12.75 $\mu\text{mol/g}$ と多かった。L-アルギニン量は、ボイル区、未解凍区でそれぞれ16.04, 12.89と多く、解凍区、解凍貯蔵区でそれぞれ、6.67, 1.01 $\mu\text{mol/g}$ と少なかった。貝柱フレークについては、オクトピン量とL-アルギニン量の傾向は貝柱と類似していた。それらの含有量を貝柱と比較すると、オクトピン量は、ボイル区で1.15 $\mu\text{mol/g}$ とほとんど変化しなかったが未解凍区、解凍区、解凍貯蔵区でそれぞれ、2.45, 9.83, 14.92 $\mu\text{mol/g}$ と少し増加した。L-アルギニン量は、ボイル区、未解凍区、解凍区でそれぞれ、18.30, 15.44, 7.76 $\mu\text{mol/g}$ と少し増加したが解凍貯蔵区で1.00 $\mu\text{mol/g}$ と変化しなかった。

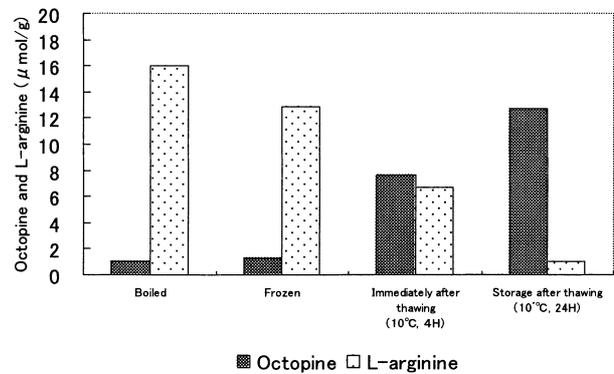


Fig. 8 Contents of octopine and L-arginine in scallop adductor muscle.

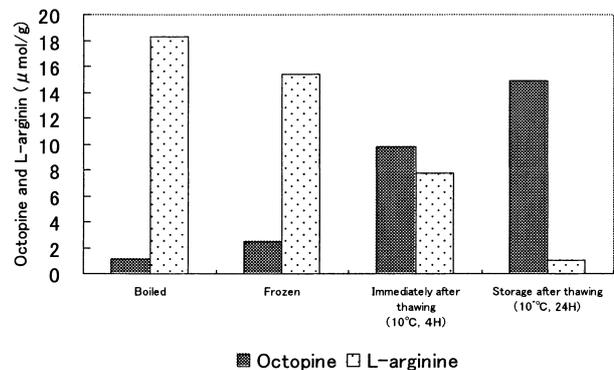


Fig. 9 Contents of octopine and L-arginine in scallop flakes.

考 察

本研究において、各種貝柱から製造した貝柱フレークの繊維強度は、冷凍貝柱からのフレークが最も弱かった。これに関しては凍結解凍中における物性の変化が大きく関与すると考えられる。凍結による肉質の変化は、組織構造的変化と膠質構造的変化が知られており、前者は機械的損傷説、細胞破壊説、気体分離膨張説、後者は脱水損傷説、塩基説、pH変化説、タンパク質変性、タンパク質分散密度の変化などである¹¹⁾。これらの説は、一つだけで単独に説明されるものではなく、相互関係を有する 경우가多く、複雑である。ホタテガイでも凍結解凍処理中に貝柱の筋原繊維の微細構造が著しく崩壊することが報告されており¹²⁾、このことは、日常的にも生鮮貝柱と解凍した冷凍貝柱の刺身を食した場合、前者の方が、歯ごたえが強く、コリコリ感があると言われていることから理解できる。

生及びボイル貝柱から製造した貝柱フレークの繊維強度は、比較的良好な食感を示したが、ボイル貝柱フレークの方が、破断応力、伸びた長さともに優れており、繊維強度も安定していた。脱殻時に、ボイル工程を加える方がより効果的であると考えられる。このボイル貝柱の繊維強度が、一般的な貝柱フレークの物性と比べられる。

冷凍ボイル貝柱から製造した貝柱フレークの繊維強度は、最も強かった。他のフレークと比べ破断応力がかなり大きく、品質的に物性が硬くなる傾向を示した。これは、繊維の伸びた長さの個体差が小さくなることから、凍結中に貝柱繊維間での水分の移動、平衡化が進んだことが原因の一つとして考えられる。

以上のように、貝柱フレーク製造に使用する貝柱原料によって、製品の物性に大きな違いがみられた。特に冷凍貝柱から製造する場合には、物性の低下が著しく、その製造条件について検討する必要があると考えられた。

解凍した冷凍貝柱の蒸煮加熱後の物性は、解凍中の雰囲気温度により大きく異なり、雰囲気温度が高いものほど加熱後の貝柱の繊維強度は低下した。市販の冷凍貝柱の多くは、冷蔵庫内の自然解凍、すなわち緩慢解凍による方法での食べ方が推奨されている。本研究でも冷凍貝柱を低温解凍することにより、加熱後の物性に与える影響が少ないことが明らかとなった。これら物性低下の原因は、解凍中の自己消化により筋肉組織が軟化した可能性もあり、今後検討の必要がある。

また、凍結状態の貝柱に対する蒸煮加熱は、物性を著しく低下させた。この原因としては、筋繊維組織内に氷結晶を含む状態で加熱したことから氷結晶の融解とタンパクの加熱凝固が同時に起こり、筋繊維間の隙間が大き

くなって脆くなった可能性や貝柱内外での温度差が大きくなり、かつ加熱に時間がかかったためプロテアーゼが作用した可能性など考えられるが、明確な要因は断定できない。

以上の結果より、冷凍貝柱から製造される貝柱フレークの繊維強度は弱いですが、解凍温度条件によりある程度改善できることが明らかとなった。

冷凍貝柱を解凍した場合、解糖系により糖代謝物が多量に生成され¹³⁾、それらがメイラード反応による褐変に関与することが報告されている¹⁴⁾。メイラード反応による褐変は、水産加工品でもよく見られ、カツオ缶詰のオレンジミートや乾ほたて貝柱の褐変などが知られている。乾ほたて貝柱では、製造工程での一番煮工程が強く関わっており、糖代謝物と色調の関係が調べられ、褐変原因の解明とその防止法が報告されている¹⁵⁾。過度の褐変を生じた加工製品は、外観の色調が悪くなり、商取引上かなりの不利益を被る。

本研究でも、褐変要因の解明と防止法の検討のために冷凍貝柱の解凍条件と糖代謝物量及びそれらから製造した貝柱フレークの糖代謝物量と色調との関係を調べた。解凍により貝柱のグリコーゲン量は、解凍貯蔵区で大きく減少した。解凍後のホタテガイ閉殻筋は、未凍結の閉殻筋と比較して、貯蔵中のグリコーゲンの減少速度が著しく速いことが報告されている¹²⁾。また、解凍区の貝柱では、グリコーゲン量の減少がほとんどみられないことから、解凍後の貯蔵中にグリコーゲンの分解が起こっていると推察された。また、解凍区、解凍貯蔵区の貝柱から製造した貝柱フレークのグリコーゲンの減少は、未解凍区から製造したものと比較して大きかった。これについては、凍結解凍処理での組織の損傷により、解糖系酵素が自由度を増し、加熱されることによりグリコーゲンの分解を引き起こしたものと推測される。これらから調製した貝柱フレークは、著しく褐変した。この褐変を引き起こす要因としては、貝柱中に生成された糖代謝物、特にG6Pが関連していると考えられた。また、貝柱フレーク中のG6P量は貝柱中よりも減少しており、メイラード反応に利用されたものと推測された。

解凍区と解凍貯蔵区の貝柱では、G6P量が著しく増加していた。凍結点付近の温度帯で解糖系も特異的に反応が増大することが知られている。カツオでは、グリセラルアルデヒド-3-リン酸以降の解糖系の反応が停止することにより、G6P、F6Pの増加を引き起こし、オレンジミートを誘発することが報告されている¹⁶⁾が、今回はオクトピンの増加、アルギニンの減少がみられるので、解糖系そのものの停止はないと判断された。解凍中にATPが消失するため、ホスホフルクトキナーゼ活性が律速と

して働き、一時的にG6Pの蓄積がみられたのだろう。そのため解凍直後のG6P量が最大になり、貯蔵後は解糖反応より少し減少していた。これらは、川嶋の研究¹²⁾からも同様の結果が導かれ、同様の結論を提示している。

その一方、ボイル貝柱は、一番煮工程における加熱で解糖系酵素が失活するため解糖系は停止している。また、ボイル貝柱中には極めて糖代謝物が少なく、貝柱フレーク製造中にも糖代謝物が生成しないことから、貝柱フレークの褐変はほとんどみられなかった。

未解凍区の貝柱で製造した貝柱フレークは、製造工程中に解糖系が僅かに進行するもの貝柱中の糖代謝物量が少ないため褐変は小さかった。

得られた結果から、生及びボイル貝柱から貝柱フレーク製造する場合、繊維強度、褐変度ともに良好な品質を有する製品を製造できる。一方、冷凍貝柱から貝柱フレークを製造する場合、その繊維強度の弱さが問題となる。その改善策としては、冷凍貝柱を適切な温度域で解凍することであり、そうすれば、製造工程においてフレークの形状を維持するために必要な物性が保たれた。

しかし、製品の色調という観点からは、冷凍貝柱を解凍することは、褐変の原因物質となる糖代謝物、特にG6Pを大量に生成するため不向きであった。

そのため、冷凍貝柱から製造した貝柱フレークは、製造方法での褐変防止では無く、別の角度からの防止策を講じなければならない。また、製品の殺菌条件、保管温度及び包装形態などを検討する必要がある。

要 約

各種貝柱（生貝柱、冷凍貝柱、ボイル貝柱、冷凍ボイル貝柱）から製造した貝柱フレークの成分及び繊維強度を評価し、その品質向上について検討した。

1. 生及びボイル貝柱から製造した貝柱フレークは良好な物性、色調を有していたが、冷凍貝柱を原料とした場合は、繊維強度が不足していた。
2. 冷凍貝柱から貝柱フレーク製造条件について検討し、10℃での低温解凍が物性改善に効果のあることを明らかにした。
3. 冷凍貝柱の解凍により、グリコーゲンの分解物であるG6Pが大量に蓄積し、それから製造した貝柱フレークは強く褐変した。
4. 冷凍貝柱を原料とした場合は、製品の殺菌条件、保管温度及び包装形態などを検討する必要がある。

文 献

- 1) 一杉哲郎, 金子博実, 高橋玄夫, 三村英一: 加工技術指導試験, 昭和49年度網走水産試験場事業報告,

97-111(1974)

- 2) 北海道立網走水産試験場紋別支場, 青森水産物加工研究所: 生鮮介類鮮度保持技術に関する総括報告書. 1998, 56 p.
- 3) 宇野 勉, 坂本正勝: ホタテガイの冷凍貯蔵試験 第2報 瞬間加熱ホタテガイ貝柱中の品質について. 北水試月報, 33(2), 34-39 (1976)
- 4) 北海道立稚内水産試験場, 北海道ホタテ漁業振興協会: ホタテ白干し品質向上試験報告書. 1984
- 5) 相沢 悟, 一杉哲郎, 加藤健仁, 金子博実, 川合祐史, 北川雅彦, 辻 浩司, 川合義春: 水産物の利用加工試験. 昭和59年度網走水産試験場事業報告, 275-285(1984)
- 6) 北川雅彦, 小玉裕幸: ホタテガイ新需要開拓技術開発試験. 平成7年度釧路水産試験場事業報告, 135-138(1995)
- 7) 阪本正博, 秋野雅樹, 成田正直, 木村 稔, 高橋玄夫: ホタテ貝柱フレーク高品質化技術開発試験. 平成13年度網走水産試験場事業報告, 146-150(2002)
- 8) 中村邦典, 藤井 豊, 石川宣次: ホタテガイ貝柱のグリコーゲンおよびA T Pの死後変化. 東海水研報告(84), 21-29(1976)
- 9) Sato. M, Takeuchi. M, Kanno. N, Nagahisa. E and Sato.Y : Determination of octopine by pre-column fluorescence derivatization using benzoin. *Biochem Intern.* 23, 1035-1039(1991)
- 10) 柞木田善治, 福田 裕: サキイカ製品褐変度の数値化に関する試験. 昭和55年度青森県水産物加工研究所試験研究報告, 85-90(1981)
- 11) 加藤舜郎: “42.凍結による肉質の変化”. 改訂新版食品冷凍の理論と応用, 第8版, 光琳, 1988, 375-386p.
- 12) 川嶋かほる: ホタテガイ閉殻筋の死後変化と加熱褐変機構に関する研究. 東京水産大学, 1996, 162p. 博士論文
- 13) D. F. Hiltz and W. J. Dyer : Hexose monophosphate accumulation and related metabolic change in unfrozen and thawed adductor muscle of the sea scallop. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 30, 45-52(1973)
- 14) 永山文男: 魚肉の褐変に関する研究-VI 数種の解糖中間体の加熱による変化. 日水誌, 27(2), 158-161 (1961)
- 15) 今村琢磨, 坂本正勝: ホタテ白干しの褐変について. 北水試月報, 43(1), 63-73 (1986)
- 16) 山中英明: カツオ缶詰オレンジミートに関する研究-VI G6PならびにF6Pの蓄積原因(2). 日水誌, 41(5), 573-578(1975)