

エビの加熱温度による物理的特性変化

竹内 友里, 高橋 英史

Changes in Physical Characteristics of Prawn (*Penaeus monodon*) by Heating

Yuri Takeuchi and Hidehito Takahashi

The object of the study is to elucidate the changes in the physical structure and properties of a prawn by heating. An unheated shelled raw prawn was used in the experiment for comparison. The shelled raw prawns were heated by immersion in water at 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100°C for 30 minutes, respectively. In addition, the shelled raw prawn were also exposed to edible oil at 121°C for 30 minutes. For the retort sterilization, the shelled raw prawn were sealed in a pouch, which was sterilized at 121°C ($F_0=6$). After heat was applied, the prawns were observed under an electron microscope, and color, water loss and hydroxyproline quantity were determined. According to the electron microscope images, there was no great difference between the prawn heated in edible oil and the retort sterilized prawn. However, regarding texture, the retort sterilized prawn was softer, and there was more hydroxyproline flow than in the prawn heated in edible oil. The reason for the prawn becoming fragile after retort sterilization was speculated as follows: The foodstuff was sealed in a container and sterilized. Therefore the water lost from the prawn hydrolyzes the prawn's own collagen. The collagen is muscle fiber binding protein. When it is hydrolyzed, the structure becomes fragile.

Key words: prawn, electron microscope, collagen, drip, retort.

食に関わる日本の現状は、動物性タンパク質の摂取量増加による脂肪エネルギー比の増加¹⁾、一部の高齢者にタンパク質不足が見られることである。ヒトは老年期になれば基礎代謝が低下し食事量は減るが、内臓でのタンパク質代謝は一生を通じて変化しないため、高齢者であっても18歳と変わらぬタンパク質量（男性：60 g/day, 女性：50 g/day）を摂取することが推奨²⁾されている。また、頻繁に買い物に出向けない買い物弱者は全国600万人と推計されている。

そこで高蛋白低脂肪食材を国民が利用し易くするための方法の一つとして、様々な料理に合い日本人の多くに好まれているエビの常温保存化を検討している。本報では、エビの加熱による組織構造変化とそれに伴う物性変化について報告する。

実験方法

1. 供試材料

インドネシア産クルマエビ科ウシエビ *Penaeus monodon* (俗称：ブラックタイガー) の無頭殻付き冷凍品を流水解凍後に殻を剥き、体重 21 ± 1 g のものを用いた。容器はスタンディングアルミ積層パウチ（構成：12 μ m PET / 15 μ m Ny / 7 μ m Al / 60 μ m PP, サイズ：140×180×38 mm）を用いた。

2. 加熱処理法

非加熱エビをコントロールとした。温度の違いによる変化を調べるため、40, 50, 60, 70, 80, 90, 100°Cの各温度の温水中で30分間ボイルした。ボイル液量はエビ重量の15倍とした。レトルト殺菌での温度が組織の脆弱化に関与しているか否かを調べるため、121°C食用油中で30分間加熱した。パウチに非加熱のエビを3尾入れ、ヘッドスペースガスは窒素ガス35 mlとした。厚み約20 mmのものをシャワー等圧殺菌シャワー冷却方式で121.1°C, 12分間 ($F_0=6$) のレトルト殺菌を行った。

3. 測定法

(1) 電子顕微鏡観察

試料を5%グルタルアルデヒド水溶液で固定後、卓上走査電子顕微鏡（日立ハイテック、TM-1000 Miniscope）を用いて150倍、2000倍で観察した。観察面は左半身と右半身を均等に分ける正中線に水平に切断した縦断面で、腹部2節目に露出する筋繊維とした。

(2) 色調測定

エビの2節目中心の横断面のL*, a*, b*値を分光測色計（KONICA MINOLTA, CM-3500d）で測定した。

(3) ドリップ量測定

ドリップ量は以下の式で算出した。

$$\text{加熱ドリップ量 (\%)} = \frac{\text{加熱前重量} - \text{加熱処理後重量}}{\text{加熱前重量}} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

(4) ヒドロキシプロリン量測定

コラーゲン存在の指標となるヒドロキシプロリン (Hyp) の流出量を 70℃, 100℃ ボイル, 121℃ 油中加熱, 121℃ レトルト殺菌について測定した. 定量は加水分解後にアミノ酸分析計 (日立製作所, L-8800) で行った. 非加熱のエビに含まれる Hyp 量を 100% としたときの Hyp の流出率を算出した.

結 果

1. 非加熱から加熱温度 100℃までの物性変化

(1) 外観

加熱によるエビの外観変化を図 1 に示した. 50℃ 付近からエビ全体が弧を描くような緩やかな屈曲が始まり, 加熱温度があがるにつれエビ全体が収縮し丸まっていった. 外皮の色は加熱されることで青みがかった色から赤色に変化した. 60℃ (図 1-d) からエビ全体が鮮やかな赤色に変化することがわかった.

a: 非加熱



b: 40℃



c: 50℃



d: 60℃



e: 70℃



f: 80℃



g: 90℃



h: 100℃



i: 121℃油中



j: 121℃レトルト殺菌



図 1 加熱条件によるエビの外観変化

(2) 筋繊維構造

電子顕微鏡観察による筋繊維の加熱変化を図2に示した。まず非加熱(図2-a)と40℃に加熱した組織(図2-b)では平滑面が観察され、筋繊維が互いに隙間無く存在する様子が観察された。2000倍で観察すると、結合組織のネットワークと思われる網目構造が観察された。次に50℃の加熱組織(図2-c)は観察画像の右から左へ流れる一方向に揃った細い繊維が観察された。また2000倍では40℃で見られた網目構造ではなく、繊維を縦に区切るよう

な鱗状の模様が観察された(図2-cの右)。60℃の加熱組織(図2-d)では径が約50 μm の筋繊維構造が観察された。さらに温度が上がり70℃(図2-e), 80℃(図2-f)では、60℃で見られた筋繊維同士の間隔が狭まるかのように観察された。90℃(図2-g), 100℃(図2-h)ではさらに筋繊維間が狭まり、全体が押しつぶされたかのごとく筋繊維同士が近づいたように観察された。2000倍観察では50℃以降すべての温度域で鱗状の模様が観察された(図2-c～hの右)。

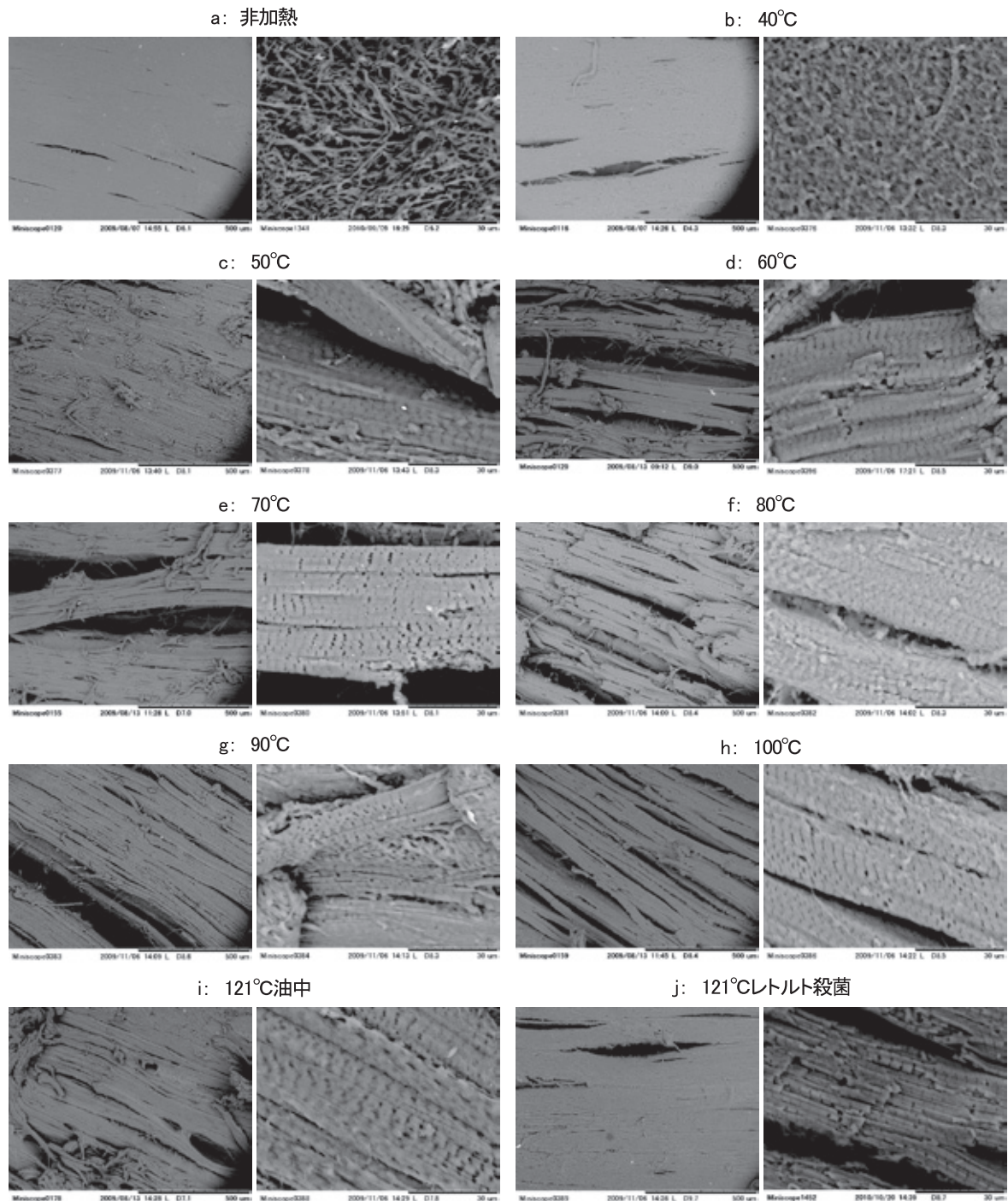


図2 加熱条件に対する筋繊維構造

左: 150倍, 右: 2000倍

(3) ドリップ量

加熱温度によるドリップ量の変化を図3に示した。ドリップは60℃から流出し始め、100℃まで加熱温度が上昇するほどドリップ量が増加した。

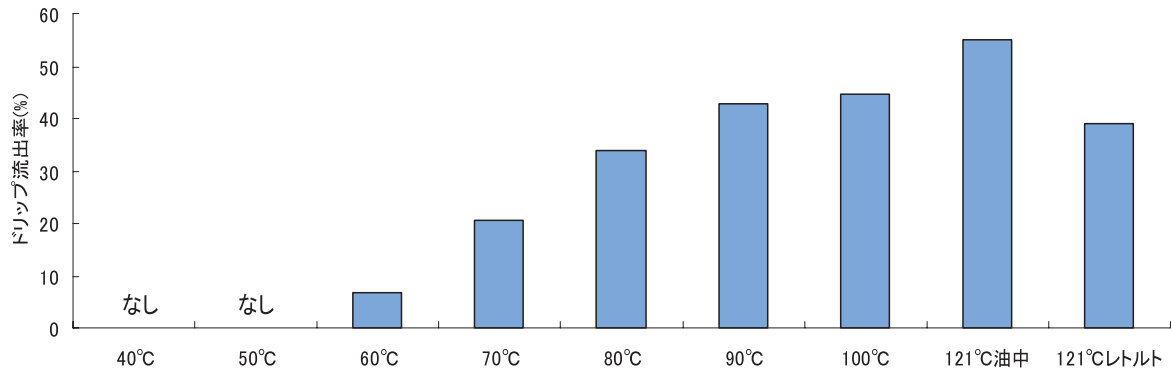


図3 加熱条件によるドリップ量

(4) 色調

加熱温度によるL*, a*, b* 値の変化を図4に示した。L* 値は加熱温度が高いほど上昇し70～80℃付近でL*≒80になり100℃までの温度で一定となった。a* 値は温度による変化がなく、b* 値は加熱温度が高いほど上昇しその後80℃～100℃でb*=5で一定になった。

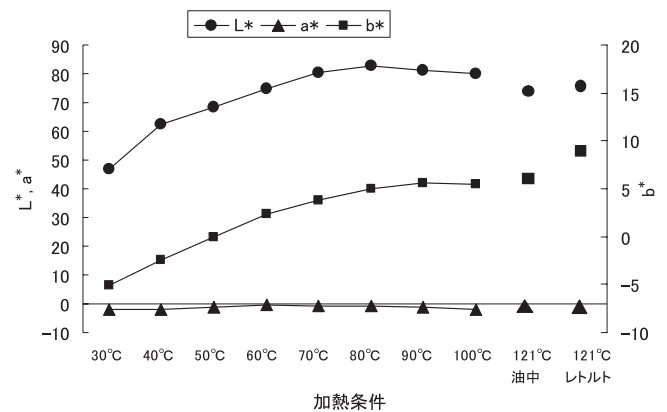


図4 加熱温度に対する色調変化

(5) Hyp 量

加熱温度によるHyp 流出量の変化を図5に示した。非加熱のHyp 含有量を基準としたとき70℃と100℃のHyp 流出量は大きく変わらず、約5%が流出することがわかった。

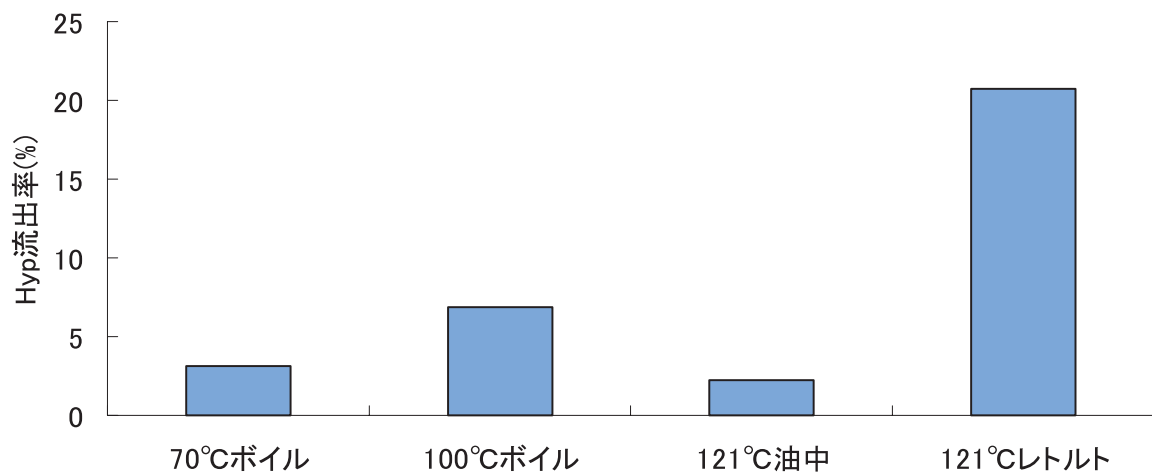


図5 加熱条件によるHyp 流出量

2. 121℃の油中加熱品と 121℃レトルト殺菌品の比較

121℃の油中加熱品とレトルト殺菌品を食すると食感は大きく異なり、油中加熱は全体が硬く、レトルト殺菌はボソボソし水っぽく、軟らかであった。外観観察では、油中加熱は外観を維持しているように観察された（図 1-i）が、レトルト殺菌では表皮が剥がれ赤色がまだらになり、身が崩れている様子を観察した（図 1-j）。電子顕微鏡では油中加熱とレトルト殺菌は繊維間の隙間がほとんどない様子を観察したが、2つの組織は似たような組織構造であることがわかった（図 2-i, j）。ドロップは、レトルト殺菌より油中加熱の方が多く、レトルト殺菌では加熱前のエビ重量の約 40% が、油中加熱は約 55% がドロップとして流出したことがわかった（図 3）。色調（図 4）は、油中加熱とレトルト殺菌の L* 値は沸点 70～100℃の値より若干減少した。a* 値は沸点加熱の値と大きな変化はなかった。b* 値は油中加熱では沸点 70～100℃とほぼ同じ値だったがレトルト殺菌ではそれより高い値を取った。Hyp 流出量を図 5 に示した。121℃油中加熱では沸点 70℃、100℃と大きく変わらず 5% に満たない流出量であったが、レトルト殺菌のエビからは 21% が流出していることがわかった。

考 察

エビは 80% が水分、18% がタンパク質で成り立っている³⁾。エビの可食部は筋肉が複雑に絡み合った構造をしており⁴⁾、その筋肉は筋繊維が束ねられ形成されている。一般的な筋繊維は、Z 線で区切られた筋節が連なった構造をしている筋原繊維タンパク質（Myofibrillar protein:Mf）、筋形質タンパク質（Sarcoplasmic protein:Sp）、筋基質タンパク質（Stromal protein:Sm）からなる。全筋肉タンパ

ク質の半分以上を Mf が占めているが、Mf が多数束となりその間を Sp が充たし、これら全体を Sm が取り囲んだものが筋繊維と呼ばれる。筋繊維は主に Sm が構成する結合組織によって相互に結びつけられ筋肉を形成する。図 6 に筋繊維の模式図を示したが、エビもこのような形態をとっていると考えられる。

測定結果を温度ごとにまとめ、表 1 に示した。各測定結果の相関関係から、加熱によるエビの組織構造変化とそれに伴う物性変化について考察した。

非加熱組織では、電子顕微鏡観察によって各タンパク質が互いに隙間無く結合しているのが観察された。40℃で加熱した組織では非加熱の組織と比べ大きな違いはなく、まだタンパク質は変性が始まっていないと考えられた。50℃加熱組織では 40℃の様相と異なり一方向に揃った繊維が観察された。また、50℃の加熱温度以降、2000 倍観察で鱗状の模様が観察された。筋繊維中の Mf の Z 線は一定間隔で存在し、加熱や貯蔵により脆弱化することが知られている^{5), 6)}。このことから、50℃加熱以降に筋繊維に見られた鱗状の模様は、加熱によって筋繊維が変性し、脆弱化した Z 線部分での乖離が起こったため観察されるようになったと推察した。しかし、電子顕微鏡内のチャンバーでは観察中に試料の乾燥を招くため、組織の収縮により Z 線部の乖離が起きた可能性もある。これは今後さらなる検討が必要と考える。また、外観観察から加熱により、エビ全体が丸くなるのは筋肉の熱変性による収縮のためと考えられ、50℃付近から丸まり始めたので、40～50℃の間で筋肉タンパク質の熱変性が起こると考えられた。ドロップは 40℃、50℃の試料からは流出がなく 60℃から流出し始めた。60℃で加熱した組織の電顕観察では筋繊維の束が観察されるようになった。外観観察では 60℃からエビが鮮やかな赤色に変化した。加熱でエビの表皮が赤く見えるよ

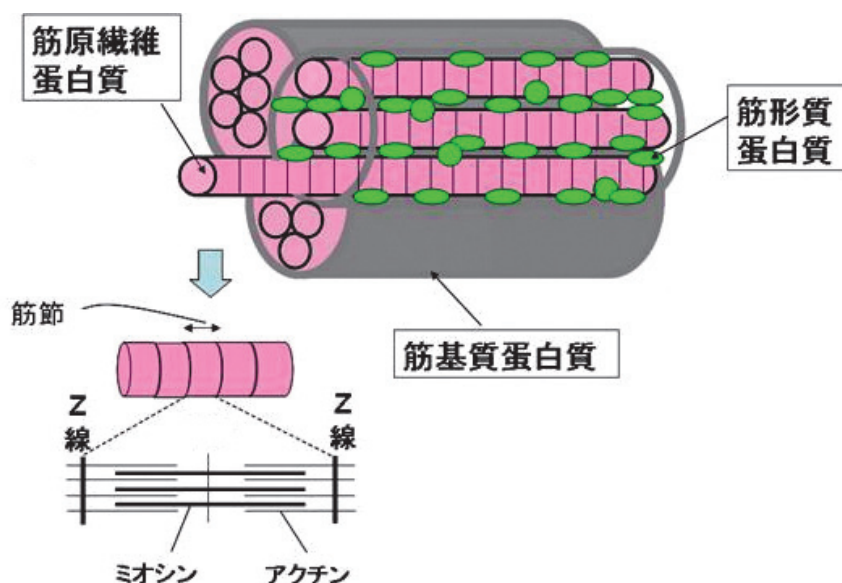


図6 一般的な筋繊維構造

表 1 加熱条件によるエビの物性変化の概要

加熱温度	加熱時の形態	電子顕微鏡観察	ドリップ	Hypの 流出率	色差 L* 値	b* 値	食感
非加熱		各タンパク質が互いに 隙間なく結合	なし	0%			—
40℃	開放系温水中		なし	—			—
50℃	開放系温水中	高倍率で Z 線が 観察され始めた	なし	—	上昇	上昇	—
60℃	開放系温水中	筋繊維構造を観察	流出開始	—			—
70℃	開放系温水中	繊維間が狭まる		3%			—
80℃	開放系温水中			—			—
90℃	開放系温水中	より 狭まる	流出量 増加	—	一定	一定	—
100℃	開放系温水中			7%			—
121℃	開放系油中			2%	減少		硬い
121℃	容器密封 レトルト	繊維間の隙間が 殆どない構造	油中加熱 より少ない	21%	減少	減少	ポソポソして 軟らかい

うになるのは、生ではタンパク質と結合状態のアスタキサンチンは青色を呈しているが、タンパク質の変性により結合が外れアスタキサンチン元来の赤色を呈するからである⁷⁾。60℃からエビが鮮やかな赤色に変化したということは表皮部のタンパク質が60℃付近で変性したからと考えられる。エビの表皮にはコラーゲンの多いことが知られている。そのため、エビのコラーゲンは60℃付近で熱変性すると推察した。コラーゲンの変性が起きたことで組織の保水性が失われ、60℃でドリップの流出が起これり始めたのではないかと考えられる。70℃以降では、電顕観察から加熱温度が高くなるほど筋繊維間の隙間が狭まることが分かった。色調測定で80℃～100℃の温度帯で値が一定となったので、加熱温度80℃までの間にエビタンパク質の変性は終了したと考えられる。よって、80℃以降に見られる物性変化はタンパク質熱変性以外の要因が関係すると推察される。

121℃の油中加熱と121℃レトルト殺菌した組織は、同じ温度での加熱にも拘わらずその食感は全く異なり、油中加熱した組織は硬く、レトルト殺菌した組織は脆く軟らか

だった。この2つの組織を比較すると、電顕では2つの組織はともに筋繊維間にほとんど隙間がなく組織構造には違いが見られなかった。ドリップの流出量は油中加熱よりレトルト殺菌の方が少なかった。油中加熱では、全面から急速に加熱されるので食品の水分が激しく蒸発し脱水が起こる⁸⁾。一方レトルト殺菌は密封容器詰のため加熱で流出したドリップがエビの周辺に留まり、冷却されたときに一度エビの外に出た水分がいくらか復水していることが考えられる。加熱方法によるドリップ量についてはさらなる検討が必要である。食感の違いに関係していると考えられる点は2つある。まずはHypの流出量である。Hypはコラーゲンの指標とされているが、Hypの流出量は70℃、100℃のボイルと121℃油中での加熱組織では少なくとも5%程度であったが、レトルト殺菌での組織は20%を超える流出量だった。コラーゲン含量は組織の硬さに関係している⁹⁾ことから、このHyp流出量の違いが油中加熱とレトルト殺菌の食感の違いに関係していると考えられる。もう一つの点は、油中加熱は開放系であり、レトルト殺菌は容器に

密封して加熱している点である。組織強度の維持に関係するコラーゲンは湿式加熱で可溶化する¹⁰⁾。前述の通り、レトルト殺菌では密封容器詰のためエビから出たドリップが容器内に留まり、ドリップがエビに触れた状態で加熱される。そのため湿式加熱となりコラーゲンが溶解し組織が脆くなったと考えられる。

そこで、レトルトでのエビの組織脆弱化抑制法として、加熱時にエビのコラーゲンと水分が接触しない状態にすればよいのではないかと考え、現在検討を行っている。

文 献

- 1) 厚生労働省：平成 19 年国民健康・栄養調査結果の概要 (2008)。
- 2) 厚生労働省：日本人の食事摂取基準 2010 年版 (2009)。
- 3) 香川芳子：五訂増補食品成分表 2006, 女子栄養大学出版部 (2005)。
- 4) K. Nakamura: Structures of Main Ventral Muscles in Abdomen of Kuruma Prawn *Penaeus japonicus*., Nippon Suisan Gakkaishi., **58** (8), 1443-1446 (1992)。
- 5) Jones S B, Carroll R J, Cavanaugh J R: Structural Changes in Heated Bovine Muscle: A scanning electron microscope study., J Food Sci., **42**, 1, 125-131 (1977)。
- 6) 奥村朋之, 犬塚雄介, 小川真理子, 小川俊也, 中村丈志, 神崎憲幸, 秋山宗雄, 久保正法, 西村敏英：鶏ムネ肉の食味性を改善する熟成技術の開発, 日本家禽学会誌, **40**, J4, J235-J242 (2003)。
- 7) 松野隆男：エビ・カニはなぜ赤い－機能性色素－カロテノイド－, 大阪大学出版会 (2004)。
- 8) 山崎清子, 島田キミエ：調理と理論, 東京同文書院 (1967)。
- 9) S. Mizuta, Y. Yamada, T. Miyagi, R. Yoshinaka: Histological Changes in Collagen Related to Textural Development of Prawn Meat during Heat Processing, J Food Sci., **64**, 6 (1999)。
- 10) 佐藤秀美：おいしさをつくる「熱」の科学, 柴田書店 (2007)。