

生鮮スルメイカ保管中に起こる性状変化に関する研究Ⅱ

—物性測定法の検討と保管中の変化—

吉岡武也, 木下康宣

Quality Change of Fresh Squid upon Storage Ⅱ

—Physicochemical Evaluation of Mantle Muscle—

Takeya Yoshioka and Yasunori Kinoshita

要 旨

生鮮スルメイカを保管した際に起こる外套膜（胴肉）の物性の変化を検討した。測定に用いるプランジャーの形状やイカ肉の繊維方向などを変えて測定した結果、体軸に対して垂直に外套膜を幅1cmに切り出し、厚さ0.4mmステン板をプランジャーとして筋繊維に対し垂直に押し込んだ際の歪率60%時の荷重でイカ肉の物性が測定可能であった。この方法で測定したイカ肉の硬さは、イカの死後、12時間程度で最小値となった。

1. はじめに

鮮度の良いイカは歯ごたえがあり強い食感を示すが、鮮度の低下したイカは柔らかく、鮮度の低下は食感の低下を引き起こすことは良く知られており、イカの重要な品質指標のひとつである。これまでイカ肉の物性については、Mochizukiはイカ肉テクスチャーの種類間差について詳細に報告している¹⁾。さらに、Kuginoはアオリイカを、Andoはヤリイカを用い、生のイカを保管した際のテクスチャーの経時的変化をそれぞれ異なった方法で測定しており、いずれも死後12時間以内に物性値が低下する事を報告している^{2, 3)}。しかしながら、スルメイカについて、特に品質変化が問題となる高鮮度時における物性の変化を報告した例はない。またイカ肉の物性測定にはどのような方法が適しているかについても統一的な見解はない。

一般的に食品の物性は、試料台に乗せた試料をプランジャーと呼ばれる器具に一定の速度で押しあて、プランジャーにかかる荷重を、試料の歪率との関係で分析する例が多い。その際に使用されるプランジャーには、くさび型、円柱形、球形など多くの種類があり、対象物の特性により随時適したものを選択する必要がある。さらに、今回の

ようにイカ外套膜の物性を測定する場合には、外套膜の表と裏、および筋肉繊維の方向性にも留意しなければならない。今回、イカ肉の物性測定方法を構築する目的で、鮮度の異なるイカ肉を材料とし、種々のプランジャーで、外套膜の表もしくは裏側より、筋繊維に対して垂直もしくは平行に押し込んだ際の、歪率と荷重の関係について調べた。さらに、活イカを実験材料として致死後に起こる物性の変化を追跡した。

2. 実験方法

2.1 実験材料

特に断りのない限り、実験には、当日に函館沖で漁獲されたスルメイカ(*Todarodes pacificus*)を、活魚トラックで生きたまま実験室まで輸送して使用した。平均体重は約300gで、外套長は18～23cmであった。

2.2 イカの処理および保存方法

イカの即殺方法として特に確立されたものはなかったため、生きたスルメイカの外套部（胴体部分）と頭腕部を包丁で切断することで即殺した。なお、この処理により外套膜部分の動きが停止し

たため、イカは即殺状態にあるものと判断した。それゆえ保管の際のイカ試料は頭腕部のない胴体部のみとなった。必要に応じて開き処理なども行い、1ハイずつポリエチレン製の袋に入れ、封をして一定温度に設定したインキュベーター中で保管した。保管した外套膜を一定時間ごとに取り出し、剥皮処理を行い分析に供した。なお、剥皮は人手によって行ったが、イカ外套膜の表皮は4層構造となっており、1層目(表面)と2層目の間に色素胞が存在しており、人手による剥皮では、この1層目と2層目が剥けると言われている⁴⁾。

2.3 イカ肉の物性測定法

イカ肉の物性測定には、レオメーターRE-3305S(株式会社山電)を使用した。どのようなプランジャーが最適か不明であったので、ナイフ刃(カッターナイフの刃)、厚さ0.4mmステン板、くさび型、直径8mmの円柱などを試みた。また、切断方向による違いも考えられたので、剥皮したイカ外套膜の表側および裏側から、さらにはイカの筋繊維に対し平行および垂直に押し込んだ際の荷重の変化を、破断強度解析ソフトWindows Ver.1(株式会社山電)を用いて解析した。なお、プランジャースピードは1mm/秒、格納ピッチは0.01秒である。

2.4 ポリアクリルアミドゲル電気泳動(SDS-PAGE)

方法

SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動は、Laemmliの方法で行った⁵⁾。

3. 結果

3.1 プランジャー形状と破断特性

最初に、プランジャーとしてナイフ刃、ステン板、くさびを使用した。イカ肉の特性を考え、表側、裏側、および筋繊維に対し垂直、平行の測定を行い、どの測定方法が肉質変化をとらえているか検討した。切り出したイカ肉試料の表側から押し込んだ際の歪率荷重曲線を、筋繊維に対し垂直、平行に押し込んだ場合、およびイカ肉試料の裏側から押し込んだ際の歪率荷重曲線を、筋繊維に対し垂直、平行に押し込んだ場合の歪率荷重曲線を検討した。その結果、くさび型プランジャーによる測定では急激に荷重が増加し、オーバーロードの点で測定不可と判断した。一方、ナイフ刃やス

テン板などを用いた場合には、歪率の増加にともない荷重が増加し、ある程度の荷重がかかると急激に荷重が低下する破断の現象が確認された。

食品の物性を評価する際には、この破断時の荷重や歪率が物性の指標として用いられる例が多いので、破断点の荷重と歪率を求め、図1に表側、図2に裏側から押し込んだ際の測定結果を示した。

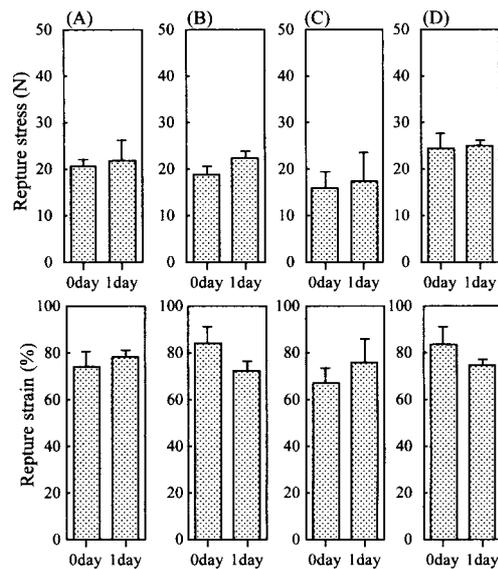


Fig.1 Ruptures and strain of squid mantle sample on the day of killing and after one day storage at 0°C. Knife blade plunger was used. The specimen was placed on the stage of rheometer with the outer tunic up(A,B) or inner tunic up(C,D). Sample was broken across(A,C) or parallel to muscle fiber(B,D).

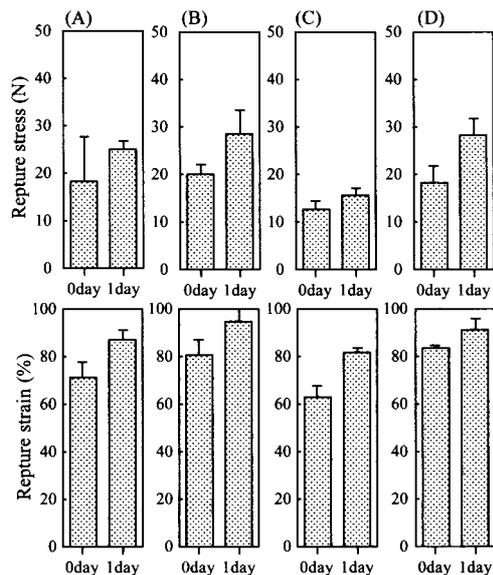


Fig.2 Ruptures stress and strain of squid mantle sample on the day of killing and after one day storage at 0°C. Stainless steel plate plunger was used. The specimen was placed on the stage of rheometer with the outer tunic up(A,B) or inner tunic up(C,D). Sample was broken across(A,C) or parallel to muscle fiber(B,D).

その結果、イカの保管により破断歪率が增加する例が多く、保管したイカを破断させるには、より深く、より強く押し込むことが必要であった。したがって、実際にイカを食した際に感じる鮮度の良いコリコリしたイカの硬さは、ナイフ刃やステン板を用いた際の破断点とは異質のものであることが示された。

次に円柱形プランジャーを用い、表面および裏側から押し込んだ際の、歪率荷重曲線を図3に示

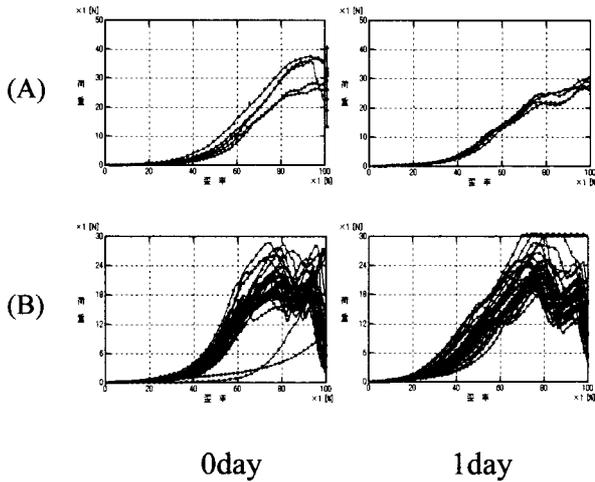


Fig.3 Stress-strain curves of raw squid mantle on the day of killing and after one day storage at 0°C. X-axis and Y-axis show strain and stress, respectively. Cylinder plunger with 8mm diameter was used. Sample were broken from outside(A) or inside(B) of mantle.

した。しかしこの場合においては、保管の前後における破断荷重と歪率に大きな差はなく、このプランジャーでの測定によりイカ保管中の変化を追跡することは出来ないと判断した。これらすべての結果より、破断時の荷重や歪率により、保管した際のスルメイカの物性変化を評価することは困難であると判断した。

これらの測定結果の中で、ステン板プランジャーを用い、外套膜の表側より体軸に平行に押し込んだ場合、歪率荷重曲線の形状は保管の前後で異なっているように見えた。すなわち、保管前のイカ肉を押し込んだ場合は、押し込み直後から荷重がすみやかに増加するのに対し保管したイカは押し込んだ際の荷重の増加が遅く、両サンプルは明らかに区別された。

そこで、イカを種々の時間、保管した場合の、歪率荷重曲線の変化を詳細に検討した。具体的には、活イカ (n=14) を断頭して即殺し、人手で剥

皮後、外套膜をポリエチレン製の袋に入れ5°Cにて0, 12, 24, 36, 48時間、保管し、経時的にその一部を取り出し、筋繊維に対し平行になるように幅1cmに切り出した。この試料をクリープメータの試料台に乗せ、厚さ0.4mmのステン板プランジャーを用い、筋繊維に対して垂直に押し込んだ。個々の歪率・荷重曲線から歪率10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 99%の時の荷重を読みとり、平均値を算出し、その結果を図4に示した。

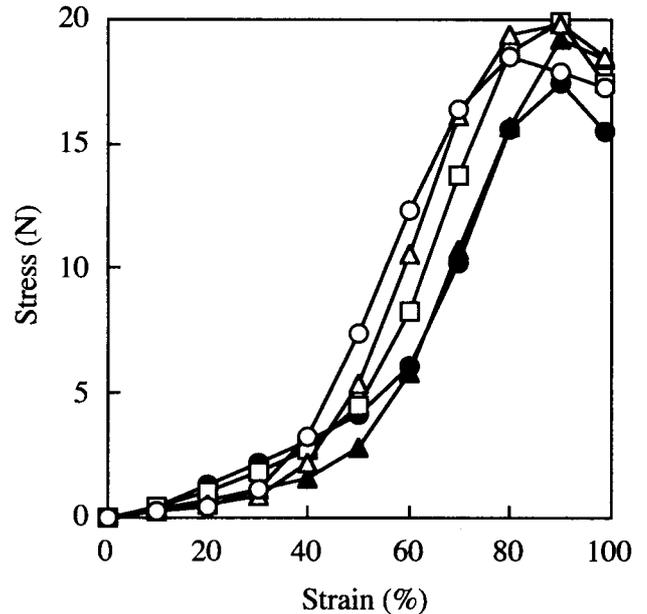


Fig.4 Stress-strain curves of squid mantle muscle and its change during the storage. Sample was broken across to muscle fiber by 0.4mm thick Stainless steel plunger. Storage time: 0h(○), 12h(△), 24h(□), 36h(●) and 48 h(▲)

この結果によると、破断時の荷重は前の結果と同じようにほとんど差は見られなかった。また、歪率40%以下では、イカの保存による荷重の変化は少なかった。大きな差が見られたのは、歪率50~80%の範囲で、保存時間の延長による荷重の低下が認められた。特に歪率60%時の荷重は、保管の開始時より経時的に低下する傾向があり、実際の食感の変化と対応しているように思われた。すなわち、即殺直後のイカではわずかな進入でも荷重がかかるのに対し、保管したものでは抵抗がかからず、軟らかいと感じる感覚を良く反映していると思われた。この結果より、本試験ではイカの物性の測定方法として、下記の方法を採用し、イカの硬さ (Hardness Load) として表すこととした。

使用機器 : クリープメータRE-3305S
 ロードセル : 200N
 プランジャー : 厚さ0.4mmステン板
 プランジャースピード : 1mm/sec
 格納ピッチ : 0.01sec
 イカの処理 : 外套膜を体軸に垂直に幅1cmに切り出し、筋繊維に対し垂直に押し込み
 解析 : 破断強度解析ソフトにより歪率60%時の荷重を算出

3.2 測定部位の影響

かまぼこなどのように均一な食品の物性を測定する際には、測定部位による問題は生じない。しかしイカの場合、外套膜上の測定する部位により測定値が変わる可能性がある。そこで、スルメイカの外套膜を開き、体軸に垂直に幅1cmに切り出し、先端部から頭腕部にかけて硬さ荷重を測定し、その結果を図5に模式的に示した。その結果、物

13.5	13.8	14.1
13.6	13.9	13.6
13.0	13.4	12.6
12.3	12.0	11.3
11.1	11.1	12.1
11.5	11.0	11.5

Fig.5 Hardness of different positions on the squid mantle. Sample parts were broken across to muscle fibers with 0.4mm thick stainless steel plunger attached to a rheometer. Hardness was expressed as "Hardness load" when the plunger was inserted to 60% thickness of the sample.

性値はイカの体軸方向で異なり、先端部側は高く、頭腕部側は低い傾向が認められた。一方、体軸と直角の方向には差は認められなかった。この結果より、イカ肉の物性を測定する際には先端部側1/3のみを使用することとした。

3.3 保管中の物性変化

上記の方法にて、イカ外套膜の硬さ荷重の経時変化を測定し、結果を図6に示した。なお、測定

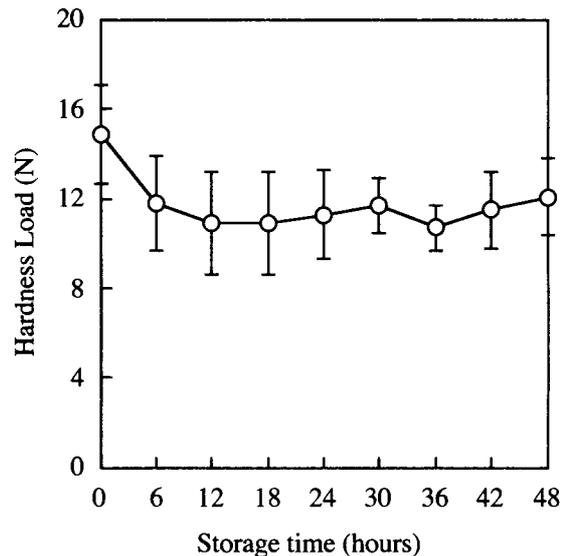


Fig.6 Change on the texture of squid mantle muscle during storage at 0°C. Hardness was shown as "Hardness load" when the plunger was inserted to 60% thickness of the sample. Sample were prepared as described in Fig.4. Ten sample were analyzes for each six squid.

にあたっては1尾より10箇所程度測定し、6尾の平均値として表した。その結果、即殺直後では荷重は15Nであったものが、徐々に低下し、12時間後には11Nに達し、48時間後においても変化はなかった。

3.4 保管した肉の蛋白質性状

上記のようにイカを0°Cで保管した場合、12時間という短時間に外套膜の物性が低下し、鮮度の良い状態のコリコリした食感が失われてしまうことが明らかとなった。イカ外套膜のタンパク質の内、77~85%は筋原繊維タンパク質であり、筋原繊維タンパク質の3/4は、収縮タンパク質（ミオシンおよびアクチン）であることから、ミオシン、アクチンの構造が外套膜の物性に影響していることが予想された⁶⁾。そこで、イカ外套膜保管中におこるタンパク質の自己消化をSDS-PAGEにて観察

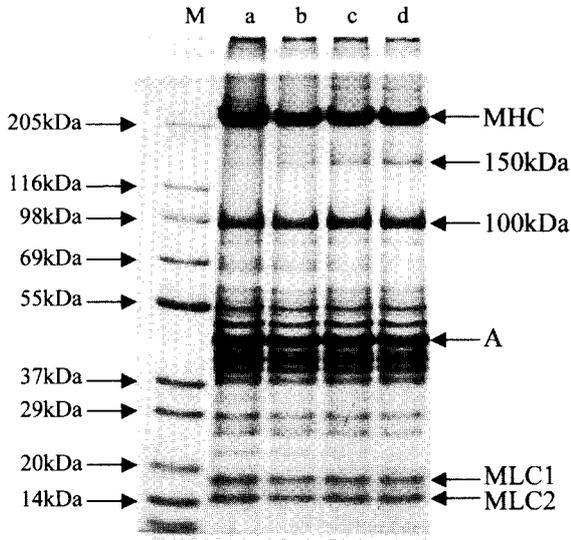


Fig.7 Change on the SDS-PAGE pattern of squid mantle. Squid mantle was stored at 0°C for 0h(a), 12h(b), 24h(c), and 48h(d). MHC, A, MLC1, MLC2, 150kDa and 100kDa denote myosin heavy chain, actin, myosin light chain 1, myosin light chain 2, 150kDa and 100kDa fragment, respectively.

し、結果を図7に示した。

保管0時間ではミオシンヘビーチェーン(MHC)の他、アクチンや2本のミオシンライトチェーン(MLC)のバンドが認められた。保管による変化を見ると、48時間後においてもMHC、アクチン、MLCのバンドには、いずれも大きな変化は認められなかった。保管により、150kDa付近に新たなバンドが認められ、ミオシンの分解物と予想されたが、わずかな量であった。この様に、今回の実験条件内では、保管による収縮タンパク質の自己消化の程度は僅かであり、物性の低下の主要因とは考えられなかった。

4. 考 察

刺身商材としてのスルメイカは、死後速やかに外套膜の透明感、肉の食感などが低下することが知られている。前報において、我々はスルメイカを保管した際に起こる外套膜透明感と核酸関連成分の変化について詳細に検討した⁷⁾。その結果、即殺したスルメイカを0°Cに保管した場合、24時間後に濁度は最大値に達し透明感は消失していた。外套膜の厚みは死後12時間以内に15%増加し、硬直収縮を反映していると思われた。また、外套膜中のATP(アデノシン三リン酸)は、保管24時間後に消失しており、透明感の低下と同調していたが、外套膜の厚みの増加より遅かった。

本研究ではスルメイカの死後に起こる、肉の食感(テクスチャー)の変化を測定方法から検討した。その結果、スルメイカ外套膜のテクスチャーを測定するために、種々のプランジャーを用いて押し込んだ際の歪率荷重曲線を測定したが、0°Cで1日間の保管前後では、いずれのプランジャーを用いても破断時の歪率と荷重の変化は、肉の軟化を反映していなかった。Kuginoらは活アオリイカを実験材料として、切り出した外套膜試料を筋繊維に対し垂直または平行に、厚さ0.3mmのステンレス板プランジャーを押し込んだ際の歪率荷重曲線を測定した。その結果、筋繊維に対し垂直に押し込んだ際には、イカの保管による破断強度の変化は少ないが、平行に押し込んだ際には破断強度が低下すること報告している²⁾。しかしながら、スルメイカの場合、種々の形状のプランジャーを用い、筋繊維の方向などを変えて破断時の強度と歪率を測定したが、鮮度低下による食感の変化をとらえることはできなかった。おそらく、アオリイカは沿岸性のイカであるのに対しスルメイカは日本沿岸を南北に移動する回遊性のイカであるので、筋繊維の構造が異なると予想され、これが外套膜の破断特性に影響しているものと考えられた。したがって、イカ肉の物性の測定方法については、歪率破断曲線から詳細に検討した結果、ステン板プランジャーを用いた歪率60%の荷重(硬さ荷重)で、それぞれ定量的に測定できることが明らかとなった。

この方法を用いて、活イカを実験材料として0°Cに保管した際の物性の変化を測定した結果、12時間という短時間に硬さ荷重が低下し、鮮度の良い状態のコリコリした食感が失われることが明らかとなった。この死後12時間という時間は、先の報告でのイカ肉の厚みが最大となる時間と一致しているが、ATPが完全に消失する時間帯(24時間)より早く起こっていた。イカ肉を保管した際の物性の低下のメカニズムについては不明な点が多い。おそらく、外套膜のタンパク質におこる何らかの変化と、それに伴う保水能の低下、あるいはATP濃度低下に起因する細胞膜機能の低下などが原因と思われるが、この詳細については不明である。しかし、筋肉タンパク質のSDS-PAGE観察の結果から、ミオシン、アクチンのような収縮タンパク質の自己消化によるものではないことは明らかである。

謝 辞

研究の遂行にあたり適切なご助言をいただいた、北海道大学関伸夫名誉教授、今野久仁彦教授、桜井泰憲教授に深くお礼申し上げます。

この研究の一部は、文部科学省「都市エリア産学官連携促進事業」の一環として、北海道大学大学院水産科学研究院、参画水産関連企業と取り組んだ共同研究の成果である。

引用文献

- 1) Mochizuki Y, Mizuno H, Ogawa H, Ishimura K, Tsuchiya H, Fukazawa M, Iso N. Rheological properties of cuttlefish and squid raw meat. Fisheries Science 1994; 60: 555-558.
- 2) Kugino M, Kugino K, Ogawa T. Change in microstructure and rheological properties of squid mantle during storage. Food Sci. Technol. Int. Tokyo 1997; 3: 157-162.
- 3) Ando M, Ando M, Tsukamasa Y, Makinodan Y, Miyoshi M. Muscle firmness and structure of raw and cooked arrow squid mantle as affected by freshness. J. Food. Sci. 1999; 64: 659-662.
- 4) 杉本昌明. 食品の冷凍における品質低下とその防止法 2.4色素. 冷凍1982; 62: 1295-1301.
- 5) Laemmli U.K. Frave M. Maturation of the head of bacteriophage T4 J.Mol.Biol. 1973;80:579-599.
- 6) 國崎直道. イカの栄養成分「イカの栄養・機能成分」(奥積昌世, 藤井建夫)成山堂書店, 東京, 2000: 28-30.
- 7) 吉岡武也, 木下康宣, 吉野博之. 生鮮スルメイカ保管中の外套膜透明感の変化. 北海道立工業技術センター研究報告. 2004; 8: 57-61.