

生鮮スルメイカ保管中に起こる性状変化に関する研究Ⅳ

—肉質劣化の抑制方法の検討—

吉岡武也, 木下康宣

Quality Change of Fresh Squid upon Storage IV

— Techniques to Preserve the Quality of Fresh Squid Mantle Muscle —

Takeya Yoshioka and Yasunori Kinoshita

要 旨

生鮮スルメイカの鮮度を保つ方法として、致死条件、保管温度、保管時のガス環境などの影響を、外套膜筋肉のATP含量、透明度、硬さ（テクスチャー）を指標として検討した。その結果、致死条件としては苦悶死よりも断頭や神経切断のような即殺が、保管温度としては0, 5, 10°Cの中では5°Cが最も保管後の品質が優れていた。また、イカ肉を純酸素で密封して保管することによりATP、透明度、硬さの変化が抑制された。

1.はじめに

日本近海で漁獲されるスルメイカは、生食用途として、また加工原料として広範囲に利用されている。生鮮スルメイカの最も重要な品質決定要因は鮮度であろう。高鮮度なイカの表皮と外套膜肉（胴肉）は内臓が透けて見えるほど透明であり、こりこりとした特有の歯ごたえを有している。しかし、死後、数時間のうちに表皮の黒色化と肉の白濁がおこり、食感も柔らかいものとなることが経験的に知られている。鮮度の低下した水産物の品質を元に戻すことは不可能であるので、生鮮品、加工品のいずれの範疇においても、水揚げされた資源を最大限に生かし、消費者に好まれる良い製品を供給するためには、漁獲、流通時の鮮度管理が重要で、価値を落とさない取り組みが大切である。

生鮮スルメイカを保管した際の品質の変化については、呈味や物性などの変化を検討した例はあるが、極高鮮度のうちに起こる品質の変化を多面的に検討した例はない。我々は、スルメイカの鮮度を生かした高付加価値利用をはかることを目的として、活イカを実験材料として用い、生鮮スル

メイカを保管した際の鮮度の変化を品質面と生化学面の両方から明らかにするとともに、品質の劣化制御、つまり鮮度保持技術の開発に取り組み、その一部をすでに報告している^{1,2)}。

スルメイカの鮮度保持技術を検討するにあたり、その品質を客観的に測定する必要がある。ここでは、下記の3点を生鮮スルメイカの品質判定要素とした。

- ①外套膜（胴）表皮の色調
- ②剥皮後の外套膜肉の透明感
- ③外套膜肉の硬さ（テクスチャー）

イカを長期間保管した際の品質の変化については、K値³⁻⁶⁾やテクスチャー、⁷⁻¹⁰⁾呈味成分¹¹⁾を指標とした例が報告されている。しかし、我々は、死後短時間に起こる変化をとらえるための、新しい方法を検討した。その結果、①の表皮の発色は、写真画像のデジタル解析により数値化（発色率と表す）することが可能であった。②の外套膜肉の透明感は、700nmにおける透過光の光散乱を試料の厚さで補正し、濁度として表した。²⁾さらに③の外套膜肉の物性(イカ肉の食感)は、筋繊維に対し垂直にステン板プランジャーを押し込み、歪率

60%時の荷重で数値化（硬さと表す）できた。これらの3つの新手法は、イカの品質変化の多面的評価と定量的な考察を可能にした。

これらの方法を用いて、活イカを断頭即殺し、0°Cに保管した際に起こる、死後短時間で生じた変化を測定した。その結果、保管12時間以内に外套膜肉の厚さが最大となり、同時に硬さが最小となった。次いで、24時間までに、発色率と濁度が最大となった。ATPは24時間後には消失した。K値は保管開始時には0%であったものが、24時間後には23%となった。従来、スルメイカはK値の上昇が速いと考えられていたが、魚類で一般的に報告されている値と大差ないことが確認された。

新鮮なスルメイカの持つ外観的、食感的特徴は、死後、12から24時間という短い時間内に失われてしまうことが明らかとなった。そこで、本研究では生鮮イカの鮮度を保つ方法について、スルメイカの漁獲から消費までを想定し、魚体処理、流通保管条件などについて詳細に検討した。具体的には活イカを実験室に輸送し、屠殺後、種々の条件で保存試験を行い、18から24時間後の性状を外套膜肉の濁度、硬さ、ATP含量を指標として測定したので、以下に報告する。

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た。搬入したイカは必要に応じて、一旦、水槽で蓄養したが、いずれも搬入当日に実験に使用した。

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膜部（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された。

それゆえ保管の際のイカ試料は頭腕部のない胴体部(外套膜部)のみとなった。必要に応じて開き処理なども行い、1杯ずつポリエチレン製の袋に入れ、封をして各温度に設定したインキュベーター中で保管した。ただし、表皮の発色に関する試験では、表皮への袋の接触が発色に影響することか

ら、包装せずに表皮が他のものに接触しない状態で保管した。

保管したイカを剥皮などの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¹⁰⁾。

2.3表皮発色の測定方法

イカ表皮の発色の定量化は、以下の方法で行った。外套膜を切り開き、鰭部分を除去した後、白色のプラスチックトレイに表皮が上になるように載せ、同時にトレイ上に色見本カード（東洋インキ COLOR FINDER1050）を置き、デジタルカメラにて撮影を行った。撮影した画像をコンピュータに取り込み、Adobe社製画像処理ソフト、Photoshop Ver.6.0にて、発色した部分の面積を測定した。

発色した面積の計算は、まずイカ外套膜と同時に撮影した色見本カードの色の濃さに合わせて、2階調化する境界のしきい値を求めた。次にこのしきい値をもとにイカ外套膜部分を2階調化し全体の面積に対する黒色化した部分の面積を求め、発色率として表した。

2.4ATP関連化合物の測定方法

切りだしたイカ試料を直ちに液体窒素中で凍結し、分析に用いるまで-85°Cの冷凍庫で保管した。凍結した試料を-30°Cに数時間保管した後に、凍結状態のまま、25倍量の10%過塩素酸を加えて直ちに磨砕した。その後、5,000r.p.mで10分間遠心分離を行い、ATP関連化合物を上清に得た。さらに微細な粒子を除くため東洋ろ紙No.5Cを用いてろ過し、5 M KOHでpH6.4に調整した。この際に生じた過塩素酸カリウムの沈殿をろ過で除いて分析試料とした。

分析は、一般的な方法で行った。すなわち高速液体クロマトグラフ（TOSOH LC8020シリーズ）を用い、ODS-80TS（4.6mm I.D.×250mm）カラム上で、溶出はA液〔0.1Mリン酸ニ水素ナトリウム（pH4.1）〕とB液〔20%アセトニトリルを含む同溶液〕の2液を用いたリニアグラジエントにより分析した。グラジエントは、分析開始時から5

分間B液濃度を2%に保持し、その後15分にかけて10%に上げ、これを25分まで保持した後2%へもどし、40分までこれを保持した。なお、流速は1 ml/min、カラム温度は室温、検出波長は254nmで行った。

解析 込み
：破断強度解析ソフトにより歪率60%時の荷重を算出

3.実験結果

2.5イカ肉の透明度測定法

食品の色調を表す指標としてはL*, a*, b*表色系が良く用いられている。この中でL*は明度を表すと言われており、イカ外套膜を剥皮し透過光を測定すれば、イカ的外套膜の透明度を測定できる可能性がある。しかしながら、イカは個体および外套膜の部位ごとに厚みが異なり、また、保管により厚みが変わることが予想されることから、L*を一定の厚さで補正する必要がある。しかしL*を試料の厚さで補正することはできないので、以下に述べる方法を用いた。

本研究に用いた装置は色彩測色計（ミノルタCM3500d）をスペクトル測定波長幅10nmに改造したものである。人手により剥皮したイカ外套膜筋を、4cm×3.5cmの長方形に切り出し、その両面を厚さ0.04mmのポリエチレン製のフィルムで挟み、体表側から光を当て、透明度の指標とした。

また、吸光値を厚さで補正するために、試料の厚さを平行して測定する必要があった。試料の厚さは、以下の方法で測定した。吸光度を測定したイカ試料を、直径5mmの球形プランジャーを装着したレオメーター（山電 レオナーRE-3305S）の試料台に乗せ、スピード0.5cm/秒で試料台を上昇させ、試料とプランジャーが接触した際の高さから、試料の厚さを求めた。

2.6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（山電レオナーRE-3305S）を使用し、既報にて述べたように下記の方法にて測定した²⁾。

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

3.1絞め方の影響

マダイ等を用いた魚類の実験で、致死条件としては、苦悶死よりも即殺の方が保管中のATP含量が維持され死後硬直も遅れる事から、致死時のストレスは、その後の品質に影響することが知られている¹³⁾。今回、スルメイカの絞め方と保管後の品質について検討した。活スルメイカを、断頭して即殺したもの、空気中に放置し苦悶死させたもの、外套部と頭足部の間の一部を切断した3種の絞め方のものを、各6尾ずつ調製し、それぞれを断頭区、放置区、神経切断区とした。なお、断頭区は断頭処理後、即座に胴体部分の動きが停止したため、即殺状態にあると判断された。また、放置区では放置してから10分間程度、触腕などを動かし、一部のイカは墨を吐いていたので苦悶死状態にあると判断された。神経切断区では、切断により外套膜表皮の発色が瞬間的に消失したことから、脳と外套膜の間の神経が切断されているものと判断された。これらのイカを0℃に18時間保管した後に、上記に示した方法によりATP含量、濁度、硬さ荷重を測定し、結果を図1に示した。その結果、断頭区と神経切断区では、4~5μMのATPが認められたが、放置区ではほぼ消失していた。また、濁度は放置区が高い結果で、断頭区、神経切断区は比較的低い値であった。硬さ荷重で

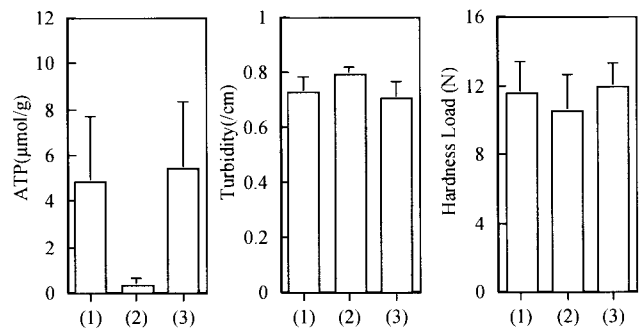


Fig.1 Change in property of stored squid mantle prepared by different killing methods. Live squid were killed by following three different methods; (1) beheading, (2) exhausting, (3) nerve severing. ATP, turbidity and hardness load were measured after 18hours storage at 0°C. (n=6)

は、放置区が低く、断頭区、神経切断区は高い値であった。このように、断頭や神経切断などの処理を行ったイカは、空气中に放置し苦悶死したイカに比べて、保管後のATPが高く、透明感が残され、物性値も高かったことから、品質が保持されていると判断された。

3.2 保存温度の影響

鮮魚として流通されるスルメイカのほとんどは、漁獲後、洋上で氷詰めされて氷蔵の状態で行われている。流通時のイカの温度は0°C程度と思われるが、スルメイカの保管温度と鮮度保持の関係について検討した例はない。そこでスルメイカの表皮の色調に及ぼす保管温度の影響について検討した。

表皮の発色を見る試験として、切り開いた外套膜をトレイに乗せ、0, 5, 10°Cのインキュベーターで保管し、経時的に写真撮影し発色率を算出し、

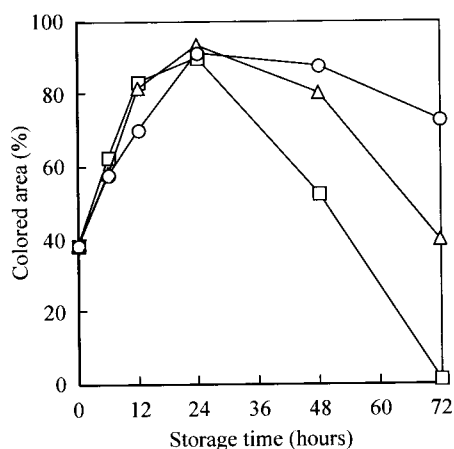


Fig.2 Change in colored area of squid mantle surface during storage at various temperatures : 0°C(○), 5°C(△) and 10°C(□). CF155 was used as color standard. (n=5)

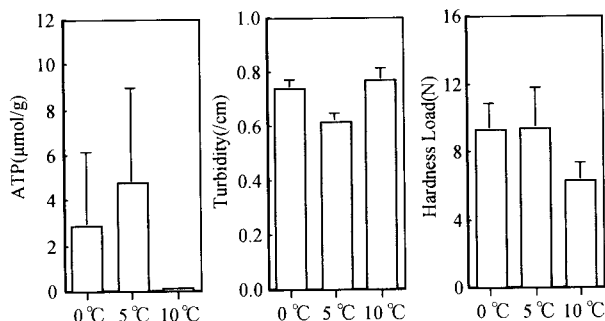


Fig.3 Change in property of squid mantle by storage at different temperature. Deheaded squid was stored 24hours and ATP content, turbidity and hardness load were measured. (n=6)

結果を図2に示した。さらに、断頭した24個体のイカの胴部を内臓付きのままビニール袋でくるみ、0, 5, 10°Cに6個体ずつ保管し、24時間保管後にATP含量、濁度、硬さ荷重の測定を行い、結果を図3に示した。

その結果、表皮の発色は0°C保管よりも5, 10°C保管の方がわずかに速く進行するが、いずれの温度で保管しても発色率が最大となるのは24時間後であった。しかし、その後起こる発色率の低下は、保管温度により大きく異なり、0°C保管では72時間後も発色率は75%であるのに対し、10°C保管では発色率はほぼ0%であり、完全に発色が消失して、白くなっていた。

次に、各温度で24時間保管した後のATP含量、濁度、硬さ荷重を測定した結果では、ATP含量は値のバラツキが大きいものの、5°C保管区が最もATP残存量が高く、10°C保管区では完全に消失していた。濁度は0°C, 10°C保管区が高く、5°C保管区が低い値を示した。この濁度の差は目視によって明らかに確認できる程度であった。60%歪み時の硬さ荷重では0°C, 5°C保管区が高く10°C保管区が低い値となった。このように0°C, 5°C, 10°C保管の比較では、5°C保管区が他の温度よりATP含量が高く、濁度が低い結果となり、保管温度の違いにより保管後の性状が変化することがわかった。

従来、水産物は漁獲後、速やかに冷却し、凍らない程度の低温で流通させることが鮮度保持に効果的であると言われてきたが、養殖マダイ等の魚を材料とした研究結果では、0°C程度の低温よりも5°C程度の方が、死後硬直が遅れることが明らかとなっている¹⁵⁾。今回の試験の結果からも、イカも同様に0°Cよりもむしろ5°Cに保管した方が、透明感が残存することが明らかとなった。

3.3 ガス環境の影響

既報および上記の試験の結果、外套膜の透明感の維持とATPの残存に相関があるように思われた¹²⁾。ATPは生体のエネルギー源として、主にグルコースを原料として酸素呼吸により生産されている。次にイカを保管する際の酸素などのガス環境の影響について検討した。

具体的には断頭した24個体のイカを即座に開き処理し、人手により剥皮した。その後、1個体ずつパウチ袋に詰め、約300mlの空気、窒素、二酸

化炭素、酸素をおのおの封入し、ヒートシール後、0°Cのインキュベーターで12時間保管し、ATP含量と濁度を分析した。

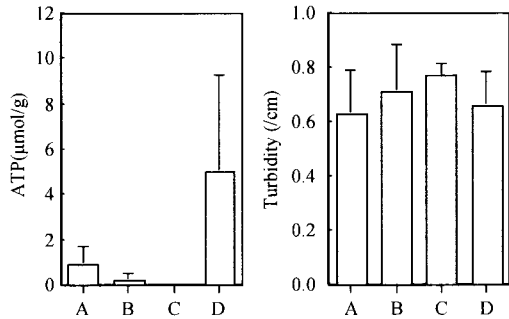


Fig.4 Effect of different modified atmosphere packaging on the property of squid mantle. Squid mantle without skin was packed in plastic bags with atmosphere of air (A), nitrogen gas(B), carbon dioxide gas(C) and oxygen gas(D), individually. Gas volume in each bags was approximately 300ml. Storage temperature and time was 0°C and 12hours, respectively. The bar indicates standard error(n=6)

測定結果を図4に示した。ATP含量では、空気を封入したものでは1 μmol/g程度のATPが認められたが、窒素、二酸化炭素を封入したものは、ATPはほとんど認められなかった。一方、酸素封入を行ったものは5 μmol/g程度の高いレベルでATPが残存していた。濁度は、空気と酸素を封入したものの濁度が、窒素、二酸化炭素を封入したものより低い値となった。この結果は、死後のスルメイカにおいても雰囲気中の酸素を取り込み、ATPの生産が進行していることを示している。その結果、空気や酸素保管の方が、ATPが残存し、窒素や二酸化炭素に比べ、透明感も維持されると推定された。

3.4 保存時のイカ形態の影響

次に、イカを保存する際の形態（魚体処理）の影響について検討した。試験は、断頭したイカをそのままの状態（A）、および開いて内臓と表皮を剥皮した状態（B）で、ビニール袋でくみ、0°Cで12時間保管した後に、性状を分析した。

結果を図5に示した。開いて剥皮したものは、処理を行わないものと比較し、ATP含量が低く、同時に濁度が高く、魚体処理を行わない方が、品質が維持されることがわかった。両サンプル間に濁度の差が見られたのは、おそらく剥皮が影響しているものと考えられ、皮付きの状態での流通保

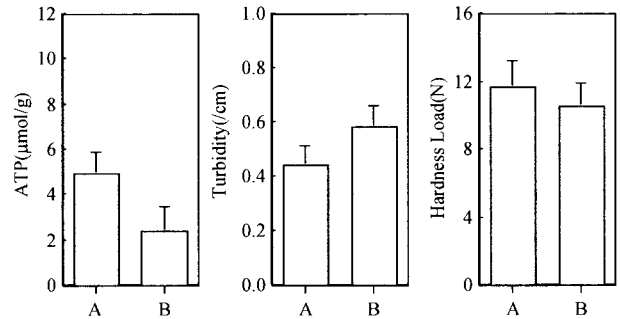


Fig.5 Effect of attached guts and skin on the property of mantle after storage. Squid mantle was stored with (A) or without (B) guts and surface skin at 0°C for 12hours. ATP content, turbidity and hardness load were measured as described above. (n=6)

管の方が、外套膜の透明感が保たれることが明らかとなった。ここでもATP含量と濁度には相関があった。しかし硬さ荷重には差は認められなかった。

4. 考察

魚類の死後に起こる品質性状に影響する要因として、活き絞め時のストレスや保管温度などの影響が検討され、苦悶死よりも即殺が、また、0°Cよりも5°Cに保管した方が、死後硬直やATPの消失を遅らせ品質が保持されることが報告されている^{13,15)}。今回、活スルメイカを実験材料として、絞め方法や保管温度や保管時の形態などの影響について検討した。その結果、空気中に放置する苦悶死よりも、断頭や神経切断などの即殺の方が保管後のATP含量は高く、あわせて濁度が低く、硬さ荷重が高かったことより、透明感と物性の点でも品質が保持されていることが確認された。保管温度については0°Cよりも5°Cに保管した方が、保管後の濁度は低く、品質が保持されていることが明らかとなった。同時に、ATP含量も0°C保管より5°C保管の方が高かった。この原因については明らかではないが、Watabeらは、ヒラメを実験材料として筋小胞体のCaイオン取り込みに対する温度の影響を調べ、10°Cに比べて0°Cでは極端に低く、寒冷収縮が起こることを明らかとしている¹⁶⁾。筋肉細胞内のCaイオンの分布状態は筋原繊維タンパク質のATPase活性に大きく影響しているので、筋小胞体のCaイオン取り込み能の温度依存性が、保管によるATPの消失に影響している可能性が考えられた。

また、外套膜のみを種々のガス環境下で保管し

た結果、窒素ガス、二酸化炭素ガスでは0°Cで12時間保管した後にATPはすでに消失していたが、酸素ガスを共存させた場合、ATPは高い濃度で残存していた。生体内でATPは、グリコーゲンを原料として好氣的環境下で効率よく生産されることから、イカの死後においても雰囲気中の酸素ガスが、生体内でのATP生産に影響を及ぼしていることが推測された。別途行った実験では、海水に浸漬したウニ卵巣を密封包装した後に、酸素ガスを封入すると、酸素を加えないものより品質が保持されており、たとえ生体レベルでは死んだ後でも、細胞レベルでの活動は維持されており、イカにおいても雰囲気中の酸素はATPの消長に影響を与えていると推測された¹⁷⁾。ホタテガイ貝柱の保管の場合も酸素ガス置換包装はATP濃度の維持に効果があり、貝柱の硬化を遅らせることが報告されている¹⁸⁾。これ以外に保管したイカの品質に影響を与える可能性として、イカの処理方法を検討したが、内臓除去と剥皮の処理はATPの低下と濁度の上昇を早めるようであり、品質保持の効果は認められなかった。

前報においてATPの消失と濁度が最大となる時間は一致しており、両者に関係があることが推測された。さらに図1, 3, 4に示した実験においても、ATPが残存していた試験区は濁度が低い傾向があり、ATP含量の低下は濁度の上昇を引き起こしているようである。魚類と同様に、イカの場合もATP濃度の低下により筋原繊維が収縮するので、ミオシンとアクチンが重なり合うことにより、また、収縮部位がアトランダムに起きることから、光の散乱状態が変化し濁度が上昇することが原因の一つと考えられる。しかし、死後硬直を反映していると予想される外套膜の厚さが最大となった後にも、濁度は上昇することからATPの消失自体が直接、筋肉タンパク質の光散乱に影響を及ぼすことが予想される。この点を明らかにするためには、筋原繊維タンパク質の構造や変性に対するATPの影響についてさらに詳しく検討することが必要である。

即殺したスルメイカのK値は0であり、鮮度判定指標としては有用ではない。このような高鮮度ではイカ肉の筋細胞は生きていることから、指標としてはATPが適当である。さらに、ATP濃度の低下とイカ色素の発色、外套膜の硬直、透明度の

増大はいずれも密接に関連していることから、このような品質変化をATP濃度から推定できる。即殺イカ外套膜の貯蔵方法は5°Cで、酸素ガス置換包装あるいは酸素ガス雰囲気下での貯蔵法が優れていることが明らかになった。本研究はスルメイカの高鮮度時の品質保持について研究したもので、従来の、イカの可食限界を見極める視点からの鮮度研究とは異なるものである。

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) 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.
- 2) 吉岡武也, 木下康宣. 生鮮スルメイカ保管中に起こる性状変化に関する研究Ⅲ. 北海道立工業技術センター研究報告. 2006; 9: 10-14.
- 3) Nakamura K, Ishikawa S, Kimoto K, Mizuno Y. Change in freshness of Japanese common squid during cold storage. *Bull. Tokai Reg. Fish Res. Lab.* 1985;118:45-49.
- 4) Saito T, Arai K, Tanaka T. Studies on the organic phosphates in muscle of aquatic animals VI. Effect of storing temperature upon the content of muscular nucleotides of squid. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 1958;9:121-126.
- 5) Ohashi E, Okamoto M, Ozawa A, Fujita T. Characterization of common squid several freshness indicators. *J. Food Sci.* 1991;56:161-163.
- 6) Yokoyama Y, Tanaka S, Sakaguchi M, Kawai F, Kanamori M. Postmortem changes of ATP and its related compounds and freshness indices in spear squid *Doryteuthis bleekeri* muscle. *Fish. Sci.* 1994;60:583-587.
- 7) Mochizuki Y, Mizuno H, Ogawa H, Ishikawa K, Tsuchiya H, Fukuzawa M, Iso N. Rheological properties of cuttlefish and squid raw meat. *Fish. Sci.* 1994;60:555-558.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) Kagawa M, Matsumoto M, Hatae K. Difference in texture among three varieties of squid and effect of cold storage on texture. *J. Home Econ. Jpn.* 2000;51:699-708
- 11) Kagawa M, Matsumoto M, Hatae K. Taste difference among three kinds of squid and the effect of cold storage on the taste. *J. Home Econ. Jpn.* 1999;50:1245-1254.
- 12) 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.
- 13) 岡弘康, 大野一仁, 二宮順一郎. 養殖ハマチの致死条件と冷蔵中における魚肉の硬さとの関係. 日水誌. 1990 ; 56 : 1673-1678.
- 14) Sorensen N.K, Carlehoeg M. How does handling and killing methods effect sensory quality of farmed Atlantic salmon(*salmo salar*)? International symposium on more efficient utilization of fish and fisheries products (Abstracts). 2001:28.
- 15) Iwamoto M. Yamanaka H. Abe H. Watabe S. Hashimoto K. Rigor-mortis progress and its temperature-dependency in several marine fishes. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1990; 56: 93-99.
- 16) Watabe S, Ushio H, Hashimoto K, Iwamoto M. Temperature dependency of rigor-mortis of fish muscle : Myofibrillar Mg²⁺-ATPase activity and Ca²⁺ uptake by sarcoplasmic reticulum. *J. Food Sci.*1989;54:1107-1110.
- 17) 木下康宣, 吉岡武也, 宮崎俊一, 金地宏和. 塩水パックウニの品質に及ぼす酸素充填の影響. 北海道立工業技術センター研究報告2002 ; 7 : 21-25.
- 18) 木村稔, 成田正直, 今村琢磨, 潮秀樹, 山中英明. ガス置換包装によるホタテガイ生鮮貝柱の高品質保持. 日水誌2000 ; 66 : 475-480.