

高鮮度魚肉のインピーダンスと凍結－解凍後の品質の関係

戸 枝 優 花* 鈴 木 徹** 渡 辺 学**†

* 東京海洋大学海洋生命科学部食品生産科学科 (108-8477 東京都港区港南 4-5-7)

** 東京海洋大学学術研究院食品生産科学部門 (108-8477 東京都港区港南 4-5-7)

要 約

死後数時間以内の高鮮度状態での、魚肉の即殺から凍結までの冷蔵保存時間の差異が凍結－解凍後の品質に及ぼす影響を調べるため、凍結前インピーダンスと凍結－解凍後のドリップ率の関係を調べた。初めに、凍結後の保管は行わずに凍結速度（緩慢，急速）の影響を検証し、次いで実際の流通を想定した3ヶ月の凍結保管実験を行った。その結果、凍結保管なし、凍結保管3ヶ月の両方において、凍結前インピーダンスと解凍後のドリップ率が相関するという結果が得られた。また、死後数時間以内の非常に高鮮度な状態においては、凍結速度よりも凍結前インピーダンスの方が、凍結－解凍後のドリップ率とより強く相関していることが示唆された。

キーワード：凍結，鮮度，品質，魚，ドリップ，インピーダンス

1. 緒 言

一般に、食品を高品質で凍結するためには、最大氷結晶生成温度帯を素早く通過させる急速凍結が有効であるとされている。しかし、鮮魚においては凍結の速さだけではなく、凍結前の鮮度もまた凍結後の品質に関わる重要な因子であることが明らかにされている。既往の研究では、鮮度の異なるマアジ筋肉組織を凍結した場合に氷結晶サイズが顕著に異なることが報告されている¹⁾。また、マアジ筋肉組織を死後数日間冷蔵保存し、定量的に魚類の鮮度と凍結後の品質の関連を明らかにしたものもある²⁾。これらの報告では一様に、凍結前の保存時間が長いほど細胞外で氷結晶が粗大化しやすい傾向にあることが示されている。しかしいずれも、即殺から凍結までの保存時間が1日、2日というレベルでの違いに注目しており、死後数時間以内の非常に鮮度の高い魚肉においては、凍結前の保存時間の差異が凍結後の品質に与える影響について十分な検証が行われていない。また死後数時間程度での鮮度低下を定量的に評価する手法は確立されていない。

一般に、魚の鮮度低下はK値で評価されるこ

とが多い。確かに、死後数日程度のレベルでの鮮度低下はK値とよく対応することが知られている。しかしマアジのK値は、活け締め後数時間程度の冷蔵中はほとんど変化しないことが報告されている^{3,4)}。

そこで、即殺後数時間以内の非常に高鮮度な魚肉の鮮度低下による組織性状の変化を評価するため、インピーダンスに着目した。インピーダンスとは、導電性と誘電性に影響される電流の流れにくさであり、対象物の内部組成を電気的特性として検知できるため、近年食品に対する応用研究が盛んに行われている⁵⁻⁹⁾。魚介類などの生体では、組織の損傷や鮮度低下など細胞レベルの劣化情報を得ることが出来ることが示されている^{5,6,8)}。特に、K値がほぼ変化しないような非常に鮮度の高い状態での、数時間単位の鮮度変化を検出できると報告されている⁵⁾。一方、魚類のインピーダンスは、鮮度だけではなく脂質含量にも影響を受けると報告がある⁹⁾。

以上より本研究では、活魚の養殖マアジを用い、活け締め後4℃で0, 2, 4時間の冷蔵保存を行って鮮度の異なるサンプルを調製し、インピーダンスを測定した後に凍結して、凍結－解

†Fax:+81 3-5463-0617 E-mail:mwat@kaiyodai.ac.jp

凍後の品質とインピーダンスとの関係を調べることを目的とした。

2. 実験方法

まず即殺から凍結までの冷蔵保存時間を変えたサンプルに対して、急速凍結と緩慢凍結を行いすぐに解凍する実験を行った。これにより凍結前冷蔵保存時間、凍結速度が解凍後の品質に及ぼす影響を調べた。次に実際の流通工程での影響を確認するため、凍結前冷蔵保存時間を変えたサンプルに対して緩慢凍結を行い、その後 -20°C で3ヶ月間凍結保管を行った後、解凍して品質評価を行う実験を行った。

2.1 試料および凍結方法

実験サンプルとしては、活魚の入手が容易で取扱い易い魚体サイズであるマアジ (*Trachurus japonicus*) を用いた。なるべく同じサイズ (平均尾叉長 $20.8\pm 1.1\text{ cm}$, 平均体重 $122.1\pm 20.2\text{ g}$) の養殖魚を用いることで、生育環境、餌、成長度に起因する個体差ができる限り小さくなるよう配慮した。試料魚は活魚運搬車で運搬し、到着後水槽に移してから一晚予備飼育を行ったものを実験に供した。試料魚を活け締めにし (延髄を切断後ピアノ線で脊髄を破壊)、活け締め後30分以内に3枚におろして背側筋肉を凍結用とインピーダンス測定用で2本切り出した。飼育から背側筋肉の切り出しまで、室温 18°C 下で行った。その後、 4°C に設定したインキュベーター (FMU-0531, 福島工業) で、ラップフィルムをしいた金属トレー上に試料を置き、さらに試料の上からラップフィルムをかけた状態で冷蔵保存を行った。所定の時間 (0 h, 2 h, 4 h) が経過したところで取り出して凍結した。

緩慢凍結には -20°C に設定したストッカー (ディープフリーザー-25L SC-DF25 型, Twin-bird) を、急速凍結には -80°C に設定したストッカー (超低温フリーザー MDF-C8V1, Sanyo) を用いた。1本の背側筋肉をラップフィルムで包み凍結実験に供した。試料の概ね熱的中心となる位置にT型熱電対 (素線径 $\phi 0.254\text{ mm}$) を挿入し、データロガー (メモリハイロガー LR8431, Hioki) を用いて温度計測を行っ

た。

2.2 インピーダンス測定

LCR メーター (LCR HiTester 3532-50, Hioki) を用い、凍結前冷蔵保存時間を変えた魚肉サンプルのインピーダンスの測定を行った。印加電圧の周波数は $50\text{ Hz} \sim 3\text{ MHz}$ の範囲で11通りに変化させた。電極は白金製の針状電極 (直径 $\phi 0.5\text{ mm}$, 電極間隔 8 mm) を用いた。インピーダンス測定用の背側筋肉から、体軸方向に 1 cm 幅の測定サンプルを3個切り出して、ラップフィルムをしいた金属トレー上に試料を置いてから電極を突き刺して測定した。この3点の測定値を平均したものを測定結果とした。温度を均一 (約 6°C) にするため、金属トレーの下にはクラッシュアイスを敷き、測定前に試料をトレー上でおよそ10分間静置した。

2.3 保水力の評価

凍結組織観察用に試料を切り出した後 (2.4に記載)、凍結した試料をプラスチックバッグに入れて氷水中で解凍し、Hodgesら¹⁰⁾の方法を参考にドリップ率を算出した。試料に付着したドリップを拭き取った後、試料の重量を測定し、それを凍結前の重量で割って算出した。

なお、品質評価のためにテクスチャー測定も試みたが、ばらつきが大きく一定の傾向が見出せなかったため、今回はドリップ率のみを品質指標として用いた。

2.4 凍結組織観察

既往の研究¹¹⁻¹²⁾を参考に、凍結組織観察を行った。凍結、保管した試料を -30°C ストッカー内の卓上バンドソーで、尾側から 3 cm 程度の部分を厚さ 5 mm で切断して液体窒素に浸漬し、組織片を得た。これを直ちにドライアイスで冷却したヘキサン (Wako) 中で包埋剤 (O.C.T. Compound, Sakura Finetek Japan) にて包埋し、切片作製時まで -80°C ストッカーで保管した。クライオスタットを用いて凍結組織切片 (10 mm 厚) をとり、70%エタノール (Wako) で組織固定を行った後、1%エオシン (Wako) で細胞質、膠原線維、筋線維の染色を行った。蛍光顕微鏡 (BZ-9000, Keyence)

を用いて明視野、10倍対物レンズでの観察を行い、画像を撮影した。

3. 実験結果および考察

3.1 凍結直後に解凍した試料

3.1.1 凍結温度履歴

得られた凍結温度履歴を Fig. 1, Fig. 2 に示す。凍結前冷蔵保存時間が違っても、凍結温度履歴が顕著な影響を受けることはなかったため、冷蔵保存なしの場合の凍結温度履歴を代表例として示す。最大氷結晶生成温度帯通過時間は、 -20°C 凍結では概ね60分、 -80°C 凍結ではばらつきが大きい longestでも約20分であり、凍結温度によって違いが見られた。

また、 -20°C 凍結サンプルにおいては過冷却現象が見られたサンプルが多くあったが、過冷却度（相変化開始前の最低到達温度と平衡凍結点温度の差）はどれも 1.5°C 未満であった。凍結前の過冷却は、過冷却度が大きいほど、また解消後の冷却が速いほど氷結晶を微細化させるが、過冷却度が 2°C 程度では、解消後に急速凍結を行っても氷結晶を微細化する効果は小さいことが分かっている¹³⁾。今回の場合、過冷却度も小さく、また過冷却解消後の冷却が緩慢であったことから、過冷却現象による氷結晶の大きさへの影響は無視してよいと考えられる。

3.1.2 インピーダンス

即殺後の冷蔵保存時間を変えた魚肉のインピーダンス測定結果を Fig. 3 に示す。予備実験として行った7日までの冷蔵保存後のインピーダンス測定結果も合わせて示している。

Fig. 3 より、周波数が大きくなるほどインピーダンスは小さな値となり、どの周波数においても冷蔵時間が長くなると共にインピーダンスが小さくなる傾向を示した。

冷蔵保存中のインピーダンスの低下は、最初の4時間で半分以下にまで到達しており、1日経過後の変化は小さいことが分かった。また同じ冷蔵時間であってもインピーダンス値にはばらつきが見られ、生育環境や、脂質含量等の個体差、活け締め時のわずかな違いなどがインピーダンスに影響した可能性が考えられる。これよ

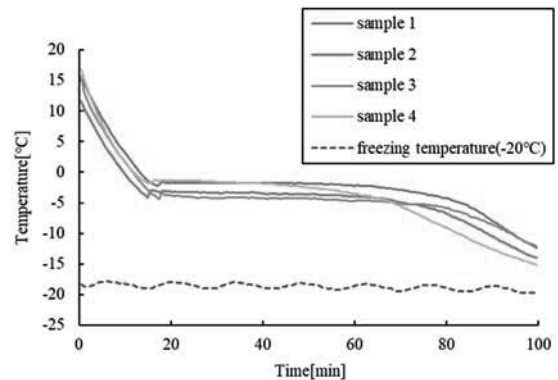


Fig. 1 Examples of temperature history during -20°C Freezing of horse mackerel

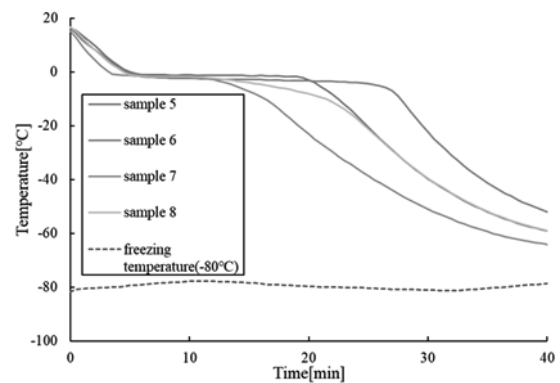


Fig. 2 Examples of temperature history during -80°C Freezing of horse mackerel

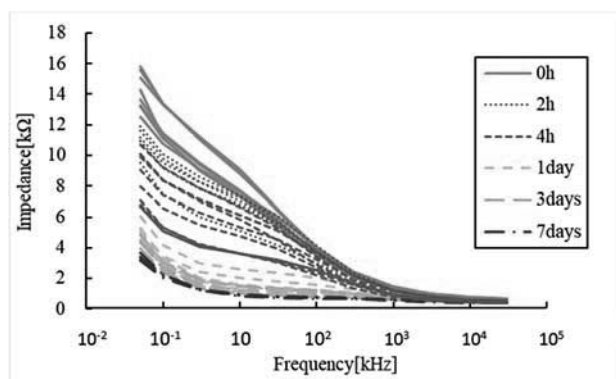


Fig. 3 Impedance measurement of horse mackerel

り、インピーダンスによって、死後数時間程度の魚肉の鮮度低下を定量的に評価できることが示唆された。

以上より本実験では、十分な実験精度を得るために実験条件数を減らし、冷蔵保存時間 0 h, 2 h, 4 h の 3 通りの高鮮度魚肉を用いることにした。

3.1.3 凍結前冷蔵保存時間と保水力の関連

即殺から凍結までの冷蔵保存時間と凍結—解凍後のドリップ率の関係を Fig. 4 に示す。ドリップ率の測定値にはかなりのばらつきがあるが、冷蔵保存時間が長くなるほどドリップ率は増大する傾向を示した。データを直線近似したときの決定係数は -20°C 凍結で 0.5372、 -80°C 凍結で 0.3751 であった。致死後の経過時間が長くなれば鮮度が低下することは自明であるから、このデータは凍結前の鮮度の差が凍結—解凍後の品質に影響することを示すものと言える。しかし魚の鮮度とは、様々な生化学反応によって細胞等の組織が生存時の状態から変化する度合いであるから、基本的には致死後の経過時間に伴って低下するが、その過程での温度管理や取扱いなどにも大きく影響を受ける。そこで次に、インピーダンスと保水力の関係を調べる。

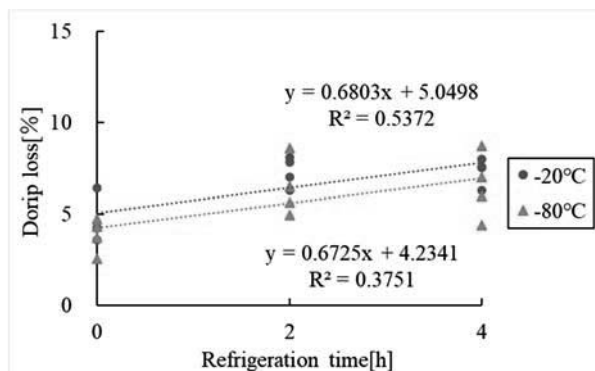


Fig. 4 Relationship between drip loss after thawing and refrigerate storage time of horse mackerel (in case of no storage in frozen state)

3.1.4 インピーダンスと保水力の関連

マアジの凍結前インピーダンス (100 Hz) と凍結—解凍後のドリップ率の関係を Fig. 5 に示す。Fig. 3 に示した通り、インピーダンスは周

波数によって異なるが、100 Hz におけるインピーダンスとドリップ率との相関が最も高かったため、これを採用した。

Fig. 5 より、インピーダンスが大きいほどドリップ率が小さいという傾向になった。データを直線で近似したときの決定係数 R^2 は、 -20°C 凍結で 0.6319、 -80°C 凍結で 0.6400 であった。凍結前冷蔵保存時間よりもインピーダンスの方が、保水力との強い相関を示したことから、インピーダンス測定は、魚体筋肉の組織性状の差を定量的に評価できることが示唆された。

細胞膜は脂質二重膜で構成されており、電気的には絶縁体であるため、低周波の電流は主に細胞外を流れ、高周波の電流は細胞膜を貫くチャンネルを経路として通過する^{5,6)}。しかし鮮度低下によって細胞膜構造の崩壊や細胞組織内に間隙の発生が起これると、導電性が増大すると考えられ、本実験における低周波域のインピーダンス低下は、これを反映したものと考えられる^{5,6,8,14,15)}。また、橋本ら¹⁶⁾は、ゴマサバの凍結前の鮮度が冷凍品のドリップと氷結晶生成に及ぼす影響について調べており、解凍後にドリップが発生する理由は、鮮度低下に伴い結合組織が脆弱化した部分に凍結時に氷結晶が生成され、これによって結合組織が物理的に破壊され、筋肉中に保持できなくなった自由水が水溶性物質を含んで溶出するためと推察している。本実験ではマアジを試料としているため、ゴマサバと比較すると比較的鮮度低下が遅く、また凍結前の冷蔵時間も短い。また望月ら⁴⁾は、活

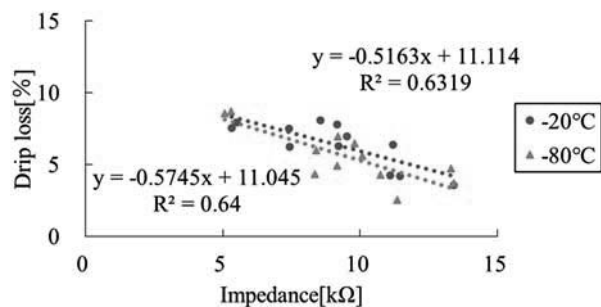


Fig. 5 Relationship between drip loss after thawing and impedance measured at 100 Hz before freezing in horse mackerel (in case of no storage in frozen state)

け締め後のマアジの死後硬直は、即殺後約9時間から12時間で最大となるとしており、本実験で用いた試料は死後硬直前であったと考えられる。しかし、即殺後1日以内の段階においても筋内膜のコラーゲン分解は進行し、構造の脆弱化を生じさせるため¹⁷⁾、上記の考察は今回の実験結果に対しても有効と考えられる。

以上より、インピーダンスと凍結-解凍後のドリップ率には相関があり、活け締め後冷蔵0h, 2h, 4hの高鮮度な状態においても、凍結前の鮮度の差が凍結後の品質に影響することが分かった。これは、漁獲後直ちに凍結する船上凍結の有効性を示唆するものと考えられる。

また、Fig. 5に示された近似直線を見ると、 -20°C 凍結と -80°C 凍結で、概ね同一の直線となっている。これより、凍結前のインピーダンスが同一であれば、凍結温度が異なってもドリップ率はあまり影響を受けないことが示唆された。一方、インピーダンスが最小、最大となる点でのドリップ率を近似直線から求めると、概ね2倍程度違っている。これより凍結温度が同一でも、インピーダンスが違くとドリップ率に違いが出るようになった。

以上より、活け締め後冷蔵4時間までの高鮮度な状態では、凍結速度の差よりもインピーダンスの差の方が、凍結-解凍後のドリップ率との関係が深いと考えられる。すなわち凍結前インピーダンスを測定することで、凍結温度の如何に関わらず、凍結-解凍後の品質をある程度予測できると考えられる。

3.1.5 凍結組織観察

各サンプルの凍結直後の氷結晶画像をFig. 6に示す。

凍結温度で比較すると、全ての冷蔵時間において、 -80°C 凍結の方が氷結晶サイズが若干小さいように見受けられる。これは、3.1.1でも確認したように、最大氷結晶生成温度帯通過時間の差が出ているため、急速に凍結した方が氷結晶が小さくなったと考えられる。

凍結前冷蔵保存時間で比較すると、多少の氷結晶サイズの差は見られるが一定の傾向は見えなかった。小南ら²⁾によれば、即殺から凍結までの 4°C での冷蔵保存期間を0日、1日、2日

と延ばして鮮度を低下させたマアジ魚肉では、凍結条件が同一であっても、氷結晶サイズが明らかに粗大化したと報告している。これに比べて今回の、凍結前冷蔵保存0h, 2h, 4hという条件は、確かに鮮度低下は起こっているが、活け締め後冷蔵4時間までの高鮮度な状態での差であるため、筋肉組織の軟化などが大きくは進んでおらず、氷結晶サイズに目視で確認できるほどの影響を及ぼさなかったと考えられる。これより、氷結晶観察では違いが確認できないような微小な鮮度の違いが、インピーダンスを測ることで定量化でき、それに起因する魚肉の凍結-解凍後の品質変化を予測できることが示唆された。

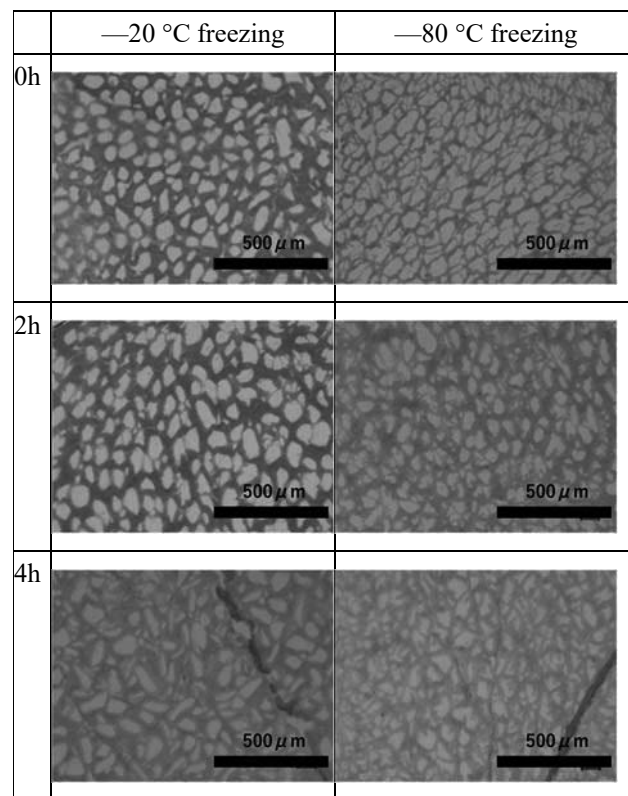


Fig. 6 Ice crystals pictures generated in horse mackerel tissue in case of no frozen storage. Column denotes the freezing temperature, row denotes the waiting time before freezing in 4°C refrigerator.

3.2 凍結後に3ヶ月の保管を行った試料

実際の流通条件での影響を確認するために、凍結前冷蔵保存時間を変えたサンプルを一 20°C で緩慢凍結し、 -20°C で3ヶ月間凍結保

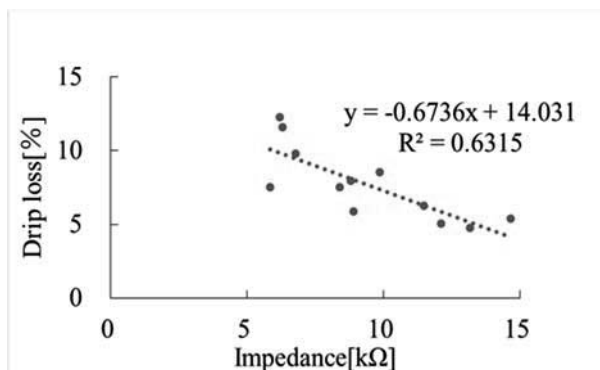


Fig. 7 Relationship between drip loss after 3 months frozen storage and impedance (100 Hz) before freezing of horse mackerel.

管した後、品質評価を行った。なお、各凍結前冷蔵保存時間における魚肉のインピーダンス測定結果と凍結温度履歴は、3.1で示した凍結直後に解凍した場合と同様であった。

3.2.1 インピーダンスと保水力の関連

マアジの各凍結前インピーダンス(100 Hz)と、凍結-解凍後のドリップ率の関係を Fig. 7に示す。データを直線で近似したときの決定係数 R^2 は 0.6315 であったことから、凍結直後に解凍した場合と同様、3ヶ月保管後においてもインピーダンスは凍結-解凍後のドリップ率と相関があり、インピーダンスが大きいほどドリップ率が小さくなることが判った。これより、3ヶ月の保管を経ても、活け締め後冷蔵 0 h, 2 h, 4 h の高鮮度な状態における凍結前の鮮度の差が、凍結-解凍後の品質に影響を及ぼすことが判った。

3.2.2 凍結組織観察

3ヶ月間凍結保管した後のサンプル内部の氷結晶画像を、3.1.5で示した -20°C 凍結直後の氷結晶画像と並べて Fig. 8に示す。

凍結保管の有無で比較すると、全ての冷蔵時間において、3ヶ月保管の方が氷結晶サイズが若干大きいように見受けられる。これは、凍結保管中に氷結晶の再結晶化が進行したためであると考えられる。しかしそれは、目視で明らかに判別できるほど大きな差ではなかった。これは、活け締め後冷蔵 4 時間までの高鮮度な状態

で凍結したため、氷結晶が小さく同等の大きさで分布しており、再結晶化の進行が最小限に抑制されたものと考えられる。

凍結前冷蔵保存時間で比較すると、凍結直後に解凍した場合と同じく、多少の氷結晶サイズの差は見られるが一定の傾向は見えなかった。3ヶ月間の凍結保管を経た場合でも、凍結前の微小な鮮度の違いは、氷結晶サイズには顕著な違いを及ぼさないが、解凍後のドリップ率には明らかに影響し、それはインピーダンスを測定することである程度予測できることが判った。

3.2.3 凍結保管期間が違う場合のインピーダンスとドリップ率の関係

-20°C で凍結して凍結保管期間を変えた場合の、インピーダンスとドリップ率の関係を Fig. 9にまとめる。参考データとして、1ヶ月保管 (-20°C 凍結, -20°C ストッカー保管) のデータも載せている。ただし、このデータの

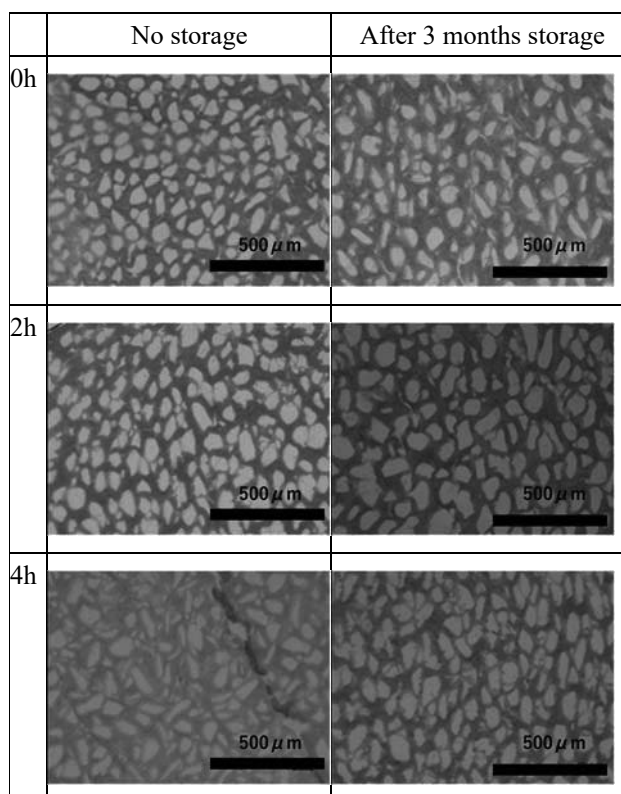


Fig. 8 Ice crystals pictures in horse mackerel tissue in case of -20°C freezing. Column denotes the frozen storage period, row denotes the waiting time before freezing in 4°C refrigerator.

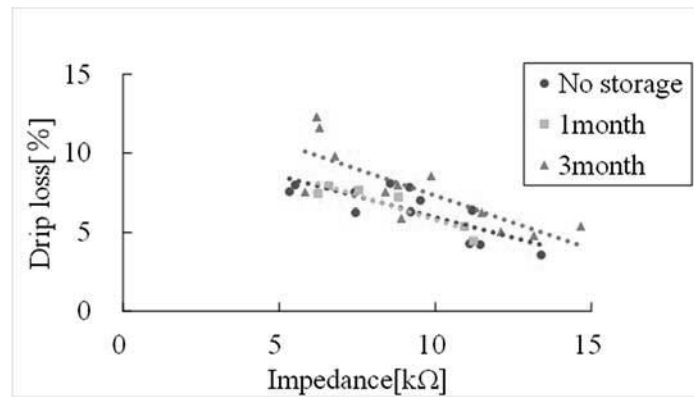


Fig. 9 Relationship between impedance and drip loss at each freezing storage period in horse mackerel (-20°C freezing and -20°C storage).

凍結前冷蔵保存時間は、2 h と 4 h の 2 条件のみである。

3 ヶ月保管では、保管なしと比較して低インピーダンス域のドリップ率が特に増加していた。これより、活け締め直後に凍結させたサンプルは、3 ヶ月の保管を経てもドリップ率があまり変化しないが、活け締め直後数時間冷蔵したサンプルは、3 ヶ月の保管を経るとドリップ率が増加すると考えられる。すなわち、3 ヶ月以上の凍結保管を行う場合、活け締め直後に凍結を行うことで、凍結-解凍後の品質を凍結保管前と同等程度に保てる可能性があることが示唆された。

また、凍結保管なしと 1 ヶ月保管のデータを直線近似したところ、ほぼ同一の直線になった。すなわち、活け締め後冷蔵 4 時間までの高鮮度な状態で凍結を行えば、1 ヶ月程度の凍結保管を行っても解凍後のドリップ率は増大しない可能性が見出された。

4. 結 論

魚の死後に生ずる筋肉組織の変化が凍結後の品質に及ぼす影響を高鮮度な状態で現象確認すると共に、インピーダンスによる定量的な評価を行い、以下の結果を得た。

- (1) 凍結保管期間によらず、凍結前の魚肉のインピーダンスと凍結-解凍後のドリッ

プ率の間には相関があった。すなわち、活け締め後冷蔵 4 時間までの高鮮度な状態でも、凍結前の鮮度は高い方が、凍結-解凍後の品質を向上させられることが判った。

- (2) 凍結直後に解凍した試料において、凍結-解凍後のドリップ率は、凍結前のインピーダンスと明らかな相関を示したが、凍結温度にはほぼ影響されなかった。すなわち、凍結速度（緩慢、急速）よりも、凍結前の鮮度の方が、凍結-解凍後の品質に大きな影響を及ぼすことが判った。
- (3) 凍結前の、活け締め後冷蔵 4 時間程度の鮮度低下は、凍結保管期間が 1 ヶ月であれば凍結-解凍後の品質にさほどの影響を与えないが、凍結保管期間が 3 ヶ月まで延長されるとドリップ率に影響が見られた。すなわち、凍結保管が長期に亘るほど、凍結前鮮度が高い状態で凍結することが有効であると示唆された。

謝 辞

本研究の一部は、農研機構・生研支援センターのイノベーション創出強化研究推進事業「国産冷凍サバを高付加価値化するコールドチェーンの実用化技術の開発」の支援を受けて行ったものである。

文 献

- 1) Kominami, Y., Watanabe, M., Suzuki, T., The Change of the Microscopic Structure Caused by Declining Freshness Affects the Ice Crystal Morphology in Frozen Fish Muscle, Summary of Japan Society for Bioscience, Biotechnology, and Agrochemistry, 3J15P14(2012). (in Japanese)
- 2) Kominami, Y., Watanabe, M., Suzuki, T., Effects of Postmortem Physiological Changes on Ice Crystal Morphology in the Fish Muscle Tissue, Trans. JSRAE, 2014, **31**(2), pp. 47-56. (in Japanese)
- 3) Ozeki, A., Watanabe, M., Suzuki, T., Influence of Fish Freshness on the Freezing Process and Quality, Proc. 6th IIR Conference on Sustainability and the Cold Chain, 2020, pp. 610-617.
- 4) Mochizuki, S., Sato, A., Effects of Various Killing Procedures and Storage Temperatures on Post-mortem Changes in the Muscle of Horse Mackerel, Nippon Suisan Gakkaishi, 1994, **60**(1), pp. 125-130. (in Japanese)
- 5) Kato, K., Sakaguchi, M., Ooi, Y., Maruo, S., Toyoda, K., Measurement of the Freshness of Fish by Impedance Spectroscopy (Part1) -Electrical Characteristics of Fish and Selection of High Frequency Freshness Indices-, Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 2000, **62**(3), pp. 76-83. (in Japanese)
- 6) Kato, K., Sakaguchi, M., Ooi, Y., Maruo, S., Toyoda, K., Measurement of the Freshness of Fish by Impedance Spectroscopy (Part2) -Variation of High Frequency Freshness Indices and Estimation of Ice Storage Time-, Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 2000, **62**(5), pp. 59-69. (in Japanese)
- 7) Miyawaki, O., Shimiya, Y., Impedance Analysis for Freezing Injury of Cells and Food, Cryobiology and Cryotechnology, 2002, **48**(2), pp. 125-127. (in Japanese)
- 8) Ishihara, S., Taketani, B., Ioka, H., Kiyokawa, T., Nondestructive Determination of Freshness of Roundnose Flounder by Impedance Analysis, Bulletin of Shimane Prefectural Fisheries Technology Research Center, 2018, **11**, pp.1-9. (in Japanese)
- 9) Kubo, K., Matsumoto, Y, Kuwahara, K., Okabe, S., Taniyama, S., Tachibana, K., Murata, M., Nondestructive Determination of Fat Content in Yellowtail and Horse Mackerel by Impedance Analysis, Nippon Suisan Gakkaishi, 2016, **82**(5), pp. 743-752. (in Japanese)
- 10) Hodges, J.H., Cahill, V.R., Ockerman, H.W., Effect of Vacuum Packaging on Weight Loss, Microbial Growth and Palatability of Fresh Beef Wholesale Cuts, Journal of Food Science, 1974, **39**(1), pp. 143-146.
- 11) Alizadeh, E., Chapleu, N., Lamballerie, M., Le-Bail, A., Effect of Different Freezing Processes on the Microstructure of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Fillets, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2007, **8**(4), pp. 493-499.
- 12) Kominami, Y., Watanabe, M., Suzuki, T., Histological Study of Extracellular Matrix Influenced by Ice Crystal Formation in Fish Tissue-Simultaneous Observation of Ice Crystal Morphology and Extracellular Matrix by Applying Immunohistochemical Staining, Trans. JSRAE, 2012, **29**(2), pp. 307-315. (in Japanese)
- 13) Kobayashi, R., Kanesaka, N., Watanabe, M., Suzuki, T., Effect of the Breaking Temperature of Supercooling on Ice Characteristics and Drip Loss of Foods in Supercooled Freezing Method, Trans. JSRAE, 2014, **31**(3), pp. 297-303. (in Japanese)
- 14) Schäfer, M., Schlegel, C., Kirlum, H. J., Gersing, E., Gebhard, M., Monitoring of Damage to Skeletal Muscle Tissues Caused by Ischemia, Bioelectrochemistry and Bioenergetics, 1998, **45**, pp.

151-155.

15) Martinsen, Ø. G., Grimnes, S., Mirtaheri, P.: Non-invasive Measurements of Post-mortem Changes in Dielectric Properties of Haddock Muscle—a Pilot Study. *Journal of Food Engineering*, 2000, **43**, pp. 189-192.

16) Hashimoto, K., Kawashima, T., Yoshino, N., Shirai, T., Takiguchi, A., Effects of Freshness on Thawing Drip and Ice Crystal Formation in Frozen Spotted Mackerel *Scomber australasicus*, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2015, **81**(1), pp. 124-129. (in Japanese)

17) Kimura, S., “Extracellular Matrix of Seafood”, 1997, Kouseisha Kouseikaku, Tokyo, pp.73-82. (in Japanese)

Relationship between Impedance and the Quality of Fresh Fish Meat after Freezing and Thawing

Yuka TOEDA * Toru SUZUKI** Manabu WATANABE**†

*Department of Food Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology
(4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo, 108-8477)

** Department of Food Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology
(4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo, 108-8477)

Summary

In fish freezing, freshness before freezing is an important factor related to quality after freezing and thawing. In case of fresh condition up to several hours after the killing, however, the effect of differences in freshness on the quality after freezing and thawing has not been well investigated. In this article, we utilized impedance which has been reported to be able to detect the degradation of freshness during several hours after the killing, to evaluate the relationship between the freshness before freezing and the quality of fish meat after freezing and thawing. First, the effect of freezing rate (slow or rapid) on the relationship between the freshness before freezing and the quality after thawing was evaluated without frozen storage. Then a 3-month frozen storage experiment was conducted to simulate actual distribution. As a result, in both non-frozen storage and 3-month frozen storage, the impedance before freezing had relationship with the drip loss after thawing. Furthermore, in such fresh condition as up to several hours after the killing, it was indicated the impedance before freezing was more clearly related with drip loss than freezing rate.

Keywords: Freezing, Freshness, Quality, Fish, Drip, Impedance