

マグロの冷凍・保管技術に関する研究 (第1報)

The Studies on the Techniques of Freezing and Storage of Thunnus thynnus (1st Report)

小谷幸敏・本多美恵・加藤 愛・松本通夫・中野 陽

Yukitoshi Kodani, Mie Honda, Ai Kato, Michio Mathumoto and Hiroshi Nakano

境港産クロマグロを長期保管することを目的として、各種冷凍・保管技術を検討したところ、-30℃ ブライン凍結あるいは-40℃ エアープラスト凍結を行い、-40℃ 以下の低温で保管することにより、高品質な状態を7ヶ月間以上維持できることがわかった。

In order for long term storage of tuna that is unloaded at the Sakaiminato fishing port, many techniques of freezing and storage were examined. Brine Freezing (-30℃) or Air Blast Freezing(-40℃) and -40 degrees centigrade storage were able to maintain high quality for more than 7 months.

1. はじめに

鳥取県境港では、6~8月にかけてクロマグロ (*Thunnus thynnus*) が水揚げされ、エラ、内臓が除去されて全国に生マグロとして出荷されている。

マグロの冷凍に関しては、尾藤¹⁾は-35℃以下で凍結保管することにより6ヶ月後も良好な肉色が保持出来たことを報告しており、現在では超低温(-50℃~-60℃)による凍結保管が普及している。

しかし、この超低温保管には専用の保管施設の整備が必要となり、また、施設維持に高額な経費がかかることから、超低温保管施設が整備されていない境港では、境港産マグロが冷凍保管されて出荷されるケースはほとんどないのが現状である。

そこで、境港産クロマグロを長期に凍結保管して、安定して出荷するため、境港の既存の施設を可能な限り利用することを想定して、各種冷凍・保管技術について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 凍結原料

平成19年7月12日に搬入された境港産クロマグロ3尾を用いた(表1)。

表1 使用したマグロの形状

試料	体長 (cm)	重量 (kg)
A	130	38
B	130	34
C	130	36

2.2 凍結形状

解体したクロマグロの背側赤身肉を約3cmの厚さのブロックに切り、プラスチックフィルムで真空包装して凍結した。



図1 背側赤身ブロック (厚さ3 cm)真空包装

(図1)

2.3 凍結方法

凍結・保管方法、使用個体等の条件を表2に示した。

表2 マグロ凍結・保管試験区

番号	凍結方法	試験個体 保管温度	A, B, C						
			スタート	2週間	1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	5ヶ月	7ヶ月
1	-20 発泡スチロール内で凍結	-20							
2	-20 エアープラスト凍結	-20							
3	-30 ブライン凍結	-20							
4	-30 ブライン凍結	-30							
5	-40 エアープラスト凍結	-40							
6	-30 ブライン凍結	-40							
7	-30 ブライン凍結	-80							

実施 - 実施せず

- 20 発泡スチロール内凍結
発泡スチロールにマグロブロックを入れ、
- 20 の冷凍庫内で凍結した。
- 20 エアープラスト凍結
- 20 の冷凍庫内に試料を入れて凍結した。
- 40 エアープラスト凍結
- 40 の冷凍庫内に試料を入れて凍結した。
- 30 浸漬式(ブライン)凍結
浸漬式凍結装置((株)宝製作所製 TA-3590P)
で - 30 に冷却した 30%の塩化カルシウム溶
液(ブライン液)に試料を入れて凍結した。

2.4 保管温度

- 20 : - 20 に設定し凍結保管施設(庫内温
度約 - 19±1)内で保管。
- 30 : - 30 に設定した凍結保管庫(三洋電
機(株)製 MDF-U536D)(庫内温度約 - 30 ±
0.5)内で保管。
- 40 : - 40 に設定した凍結保管施設(庫内
温度約 - 39±0.5)内で保管。
- 80 : - 80 に設定した凍結保管庫(三洋電
機(株)製超低温フリーザーMDF-U481AT)(庫
内温度約 - 80)内で保管。

2.5 保管・調査期間

原料、2週間、1ヶ月間、2ヶ月間、3ヶ月間、5
ヶ月間、7ヶ月間

2.6 解凍方法

真空包装された冷凍試料を 20 の恒温水槽に
25 分間(凍結試料の大きさによって若干調整)入
れ、その後品温を一定にするために、5 に冷却し
た水に 30 分間浸漬して解凍した。

2.7 調査項目および方法

官能検査

マグロを厚さ約 5 mm 程度に切り、刺身とし
ての色調、味、食感、食べた時の香りをそれぞ
れ 5 段階で評価した。評価は食品開発研究所職
員を中心に 7~14 名で行った。

評価点 1点：非常に悪い 2点：悪い
3点：何とも言えない 4点：良い

5点：非常に良い

ドリップ量

解凍した試料を低温処理室(約 5)の中で、
試料の入っている袋の角を一部切断してスタ
ンドにぶら下げ、30 分間に流出したドリップ重
量を測定し、試料重量に対するドリップ割合を
算出した。

色調

日本電色工業(株)製分光式色差計 SE-2000
を用いて、マグロ赤身部分の L*値(明るさ)、a*
値(赤み)、b*値(黄み)を測定した。

メト化率

尾藤の方法²⁾により測定した。

塩溶性窒素

0.55 Mの食塩水(pH 7.0)に溶解する窒素成分
の全窒素に対する比率(溶解度)を測定した。

筋原繊維 Ca-ATPase 活性

新井の方法の簡便法³⁾により比活性(1分間に
1 mg のタンパク質が遊離するリン酸のモル数)
を測定した。

3. 結果と考察

3.1 原料マグロの性状

原料マグロの性状を表 3 に示した。

A 個体は B、C 個体に比べて塩溶性窒素、pH が
若干低くてドリップ量が多い傾向が見られ、少しで
はあるがタンパク質の変性が進行しているのではな
いかと思われた。肉の色調も若干暗いように思われ
た。

3.2 マグロ凍結中の品温の変化

マグロブロック肉凍結中の中心温度の変化を図 2
に、凍結時間を表 4 に示した。

- 30 ブライン(浸漬式)凍結は、エアープラスト
(空気)凍結に比べて凍結速度が速く、0~ - 10 ま
での凍結速度は、- 40 エアープラスト凍結の約 3
倍、- 20 エアープラスト凍結の約 10 倍であった。
- 20 エアープラスト凍結は、- 40 エアープラス
ト凍結に比べて、凍結に約 2.5~3.5 倍の時間を要し、

表3 凍結原料マグロの性状

試料	部位	色調			メト化率(%)	自由ドリップ(%)	塩溶性窒素(%)	Ca-ATPase比活性*1	pH	尾切断面pH
		L*	a*	b*						
A	背側赤身肉	23.64	10.11	5.89	14.0	0.96	81.6	0.083	5.42	5.75
B	背側赤身肉	27.27	9.33	5.72	15.5	0.14	88.5	0.087	5.59	5.92
C	背側赤身肉	23.76	8.49	3.74	13.0	0.20	94.5	0.084	5.54	5.94

* 1: μ moles Pi/min/mg protein

発泡スチロールに入れて -20 で凍結したものは、中心温度が -10 に達するまでに約 24 時間という長時間を要した。

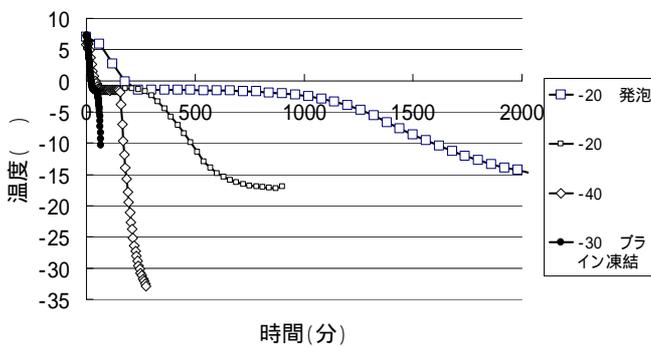


図1 マグロ凍結中の品温の変化

表4 マグロブロック(厚さ約3cm)の凍結方法別冷凍時間

凍結方法	時間(hr.)		
	0 -5	0 -20	0 -10
-30 ブライン凍結	0.57	1.48 (推定)	0.75
-40 エアープラスト凍結	2.08	2.67	2.25
-20 エアープラスト凍結	5.42	12.58 (推定)	8.00
-20 エアープラスト凍結(発泡スチロール内)	18.33	42.33 (推定)	24.00

3.3 各種凍結方法ならびに保管温度で保管したマグロの品質変化

3.3.1 官能の変化

一定期間凍結保管後、解凍して作成したマグロ刺身の官能評価結果を図3~7に示した。

色調は、保管温度が -20 ならびに -30 では、保管期間が長くなるにしたがって肉食の鮮やかな赤色が劣化し、暗褐色に変化する傾向が見られた。特に -20 保管での劣化は顕著で、すでに保管1ヶ月で「悪い」と評価するパネラーが多く見られた。

-20 保管では、保管期間が長期になると、凍結方法による差はあまり見られなくなったが、保管初期(2ヶ月程度)では、ブライン凍結は、エアープラ

スト凍結より色調の劣化が遅延される傾向が見られた(図3)。凍結保管5ヶ月目のマグロを解凍した時の外観を図4に示した。写真撮影の際の光の強度により、写真右側がやや暗く見えるが、-40以下の保管であれば色調はほぼ保たれているものと思われた。しかし、-30では明らかに暗褐色化が認められ、-20ではさらに顕著で、中でも-20発泡スチロール内凍結したものは著しい暗褐色化が認められた。

味については、総じて保管温度が高いものは評価が低い傾向が見られたが、その差は色調ほど顕著ではなく、一部のパネラーでは、外観(色調)の違いに影響され、味の正確な判断が出来ていないと思われる事例も見られた(図5)。

食感、においについては、保管温度による差は味よりさらに少なく、味と同様に外観の違いに影響された危険性があることを考慮に入れると、凍結保管中の食感、においの劣化はそれほど大きくないのではないかと思われた(図6、7)。

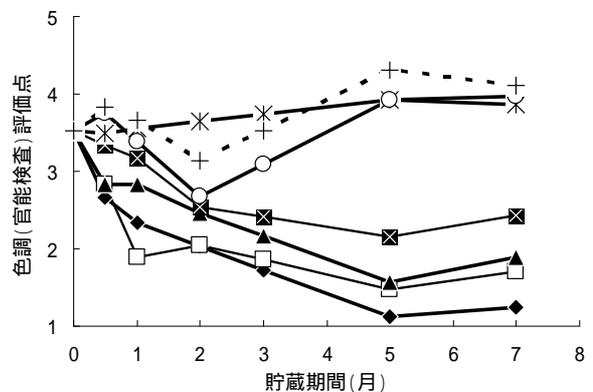


図3 マグロ凍結貯蔵中の色調(官能検査)の変化

● -20 発泡スチロール内
○ -20 のみ
▲ ブライン -20
■ ブライン -30
* -40 のみ
○ ブライン -40
+ + ブライン -80

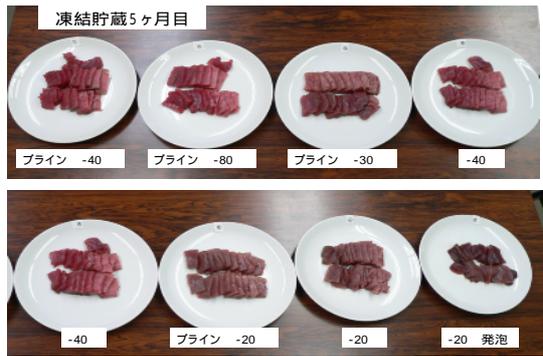


図4 解凍後の凍結保管5ヶ月目マグロ

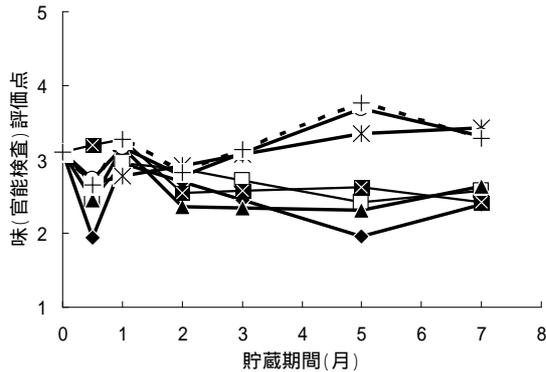


図5 マグロ凍結貯蔵中の味(官能検査)の変化

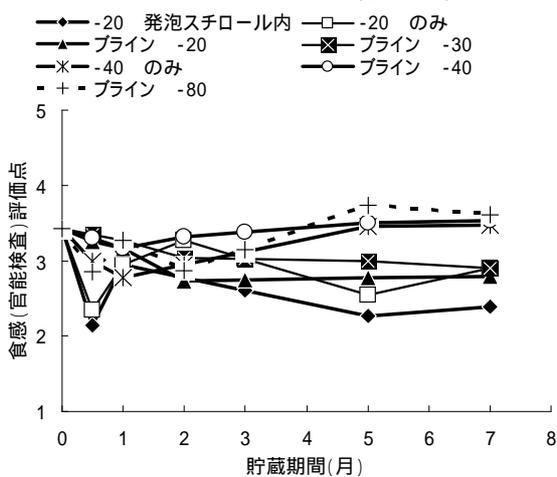


図6 マグロ凍結貯蔵中の食感(官能検査)の変化

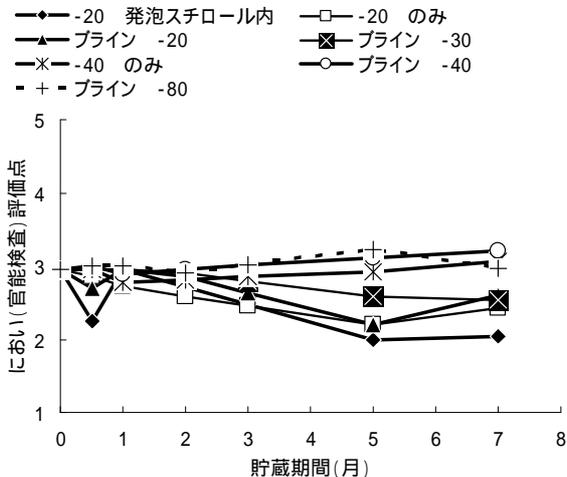
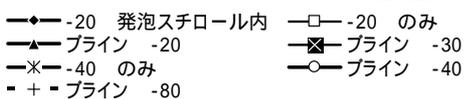


図7 マグロ凍結貯蔵中のおい(官能検査)の変化



3.3.2 色調の変化

機器による色調 (a*値: 赤み) 測定結果を図 8~11 に示した。

赤みを表す a*値は、官能による色調ほどははっきりした傾向は示していないが、官能と同様に凍結保管温度が高いほど低下が速く、大きい傾向が見られた (図 8)。値がばらついている原因として、測定個体、測定部位による差などが考えられる。測定部位については、試料を解凍して試験することから、同一試料を継続して測定することが出来ないため、多少のばらつきはやむを得ないが、個体差については、個体ごとにデータを集計 (図 9~11) してみると、個体により赤み (a*値) の劣化速度に違いがあり、A 個体は B、C 個体に比べて劣化が速いことが推察された。

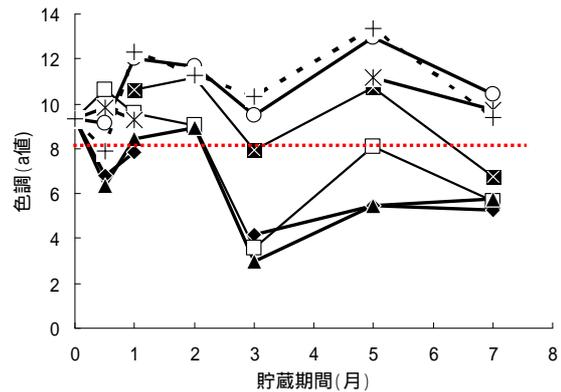


図8 凍結貯蔵中の色調(a値: 赤み)の変化

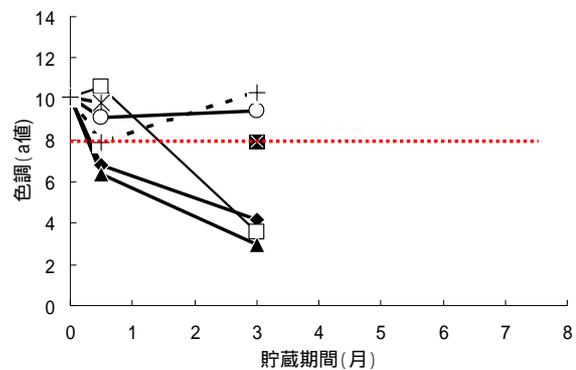
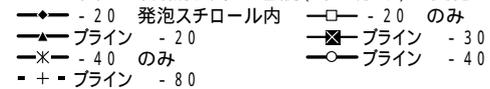
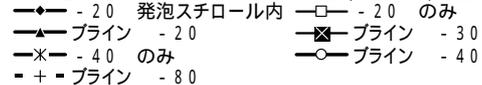


図9 サンプルA凍結貯蔵中の色調(a値: 赤み)の変化



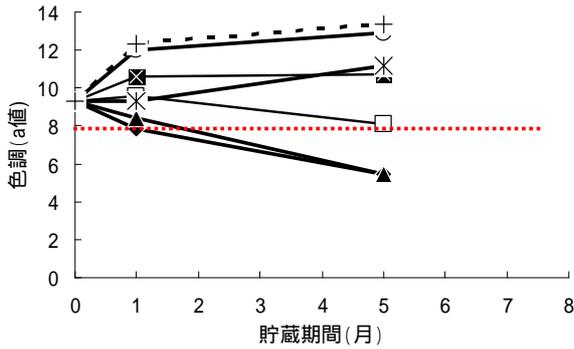


図10 サンプルB凍結貯蔵中の色調(a値:赤み)の変化
 ◆ - 20 発泡スチロール内 □ - 20 のみ
 ▲ プライン - 20 × プライン - 30
 * - 40 のみ ○ プライン - 40
 + - プライン - 80

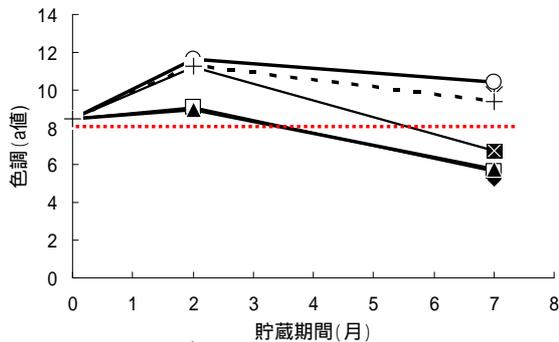


図11 サンプルC凍結貯蔵中の色調(a値:赤み)の変化
 ◆ - 20 発泡スチロール内 □ - 20 のみ
 ▲ プライン - 20 × プライン - 30
 * - 40 のみ ○ プライン - 40
 + - プライン - 80

3.3.3 色素のメト化率の変化

メト化とは、マグロの筋肉赤色素であるミオグロビンが、酸化されて暗褐色に変化する現象で、空気酸化や加熱によっても発生する。図12に測定結果を示す。

保管温度の影響は顕著で - 40 以下の保管温度であればメト化は緩やかであったが、 - 20 保管では凍結及び保管1~2ヶ月でメト化がかなり進行した。また、プライン凍結がエアブラスト凍結に比べてメト化をやや遅延する現象が、官能検査の色調の調査結果と同様に認められたことから、メト化率は、外観の赤色の暗褐色化をよく反映した指標であることがわかった。

官能検査による色調の変化やメト化率測定結果から判断すると、今回使用したマグロの凍結保管可能な期間は、 - 20 保管で1ヶ月程度、 - 30 プライン凍結を組み合わせると2ヶ月程度、 - 30 保管だと3ヶ月程度、 - 40 だと7ヶ月以上であると思わ

れた。

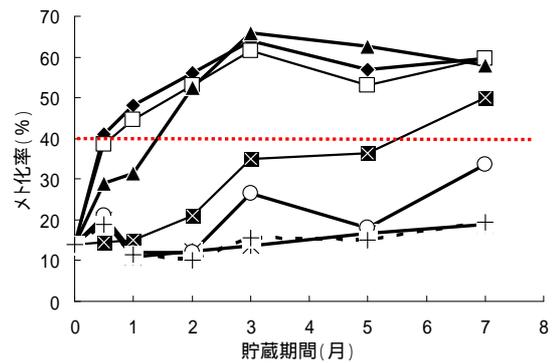


図12 マグロ凍結保管中のメト化率の変化
 ◆ - 20 発泡スチロール内 □ - 20 のみ
 ▲ プライン - 20 × プライン - 30
 * - 40 のみ ○ プライン - 40
 + - プライン - 80

3.3.4 ドリップ量の変化

凍結保管中のドリップ量の変化を図13~16に示した。

個体の差による影響が大きく、保管期間を通しての傾向が分かりづらくなっているが、 - 20 発泡スチロール凍結は、他に比べてドリップ発生量が著しく多い傾向が見られた。ドリップ発生量は、保管中にも徐々に増加するが、保管初期(2週間目)にすでに著しく多いことから、緩慢な凍結速度がタンパク質変性を促進したものと思われ、ドリップの発生量は保管温度よりも凍結速度が大きく影響することが推察された。 - 30 以下の保管温度でのドリップ発生量の増加は緩やかであった(図13)。個別に見ると、B、C 個体では保管中のドリップ量の増加は緩やかであったが、A 試料では増加が大きく、原料段階での品質がドリップの発生量に影響することが推察された(図14~16)。

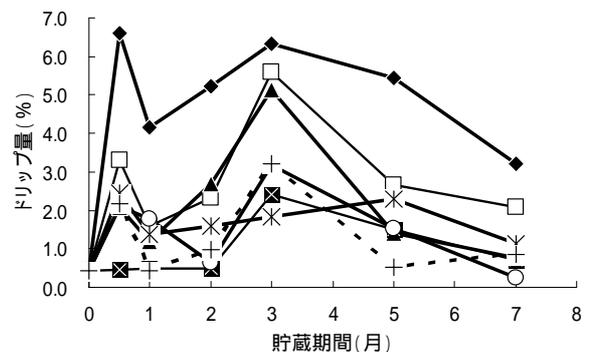


図13 マグロ凍結貯蔵中のドリップ量の変化
 ◆ - 20 発泡スチロール内 □ - 20 のみ
 ▲ プライン - 20 × プライン - 30
 * - 40 のみ ○ プライン - 40
 + - プライン - 80

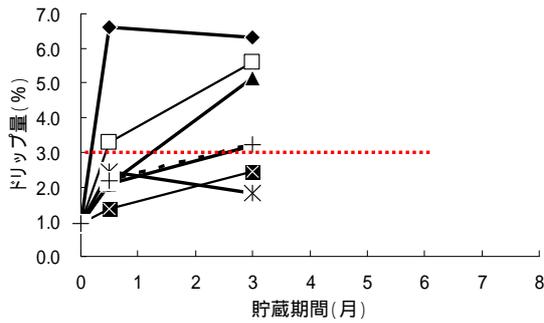


図14 凍結貯蔵中のサンプルAドリップ量の変化

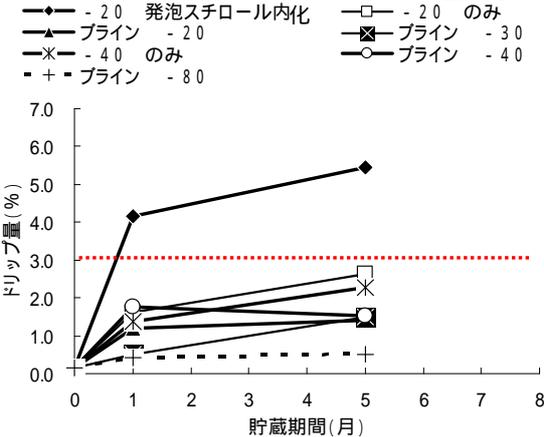


図15 凍結貯蔵中のサンプルBドリップ量の変化

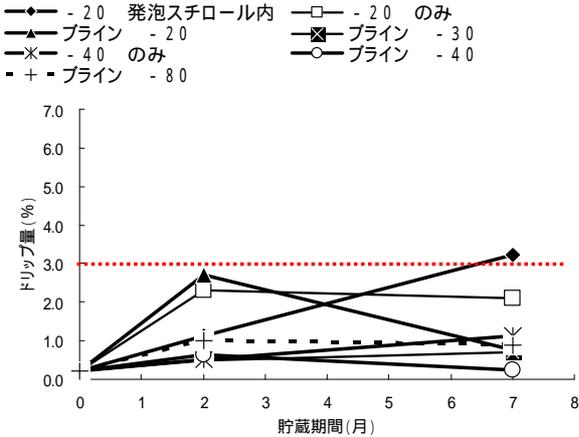


図16 凍結貯蔵中のサンプルCドリップ量の変化

3.3.5 タンパク質変性度指標の変化

タンパク質の変性度の指標とされる、塩溶性窒素とCa-ATPase活性測定結果を図17、18に示した。

値がばらついており、はっきりした傾向が分かりづらいが、Ca-ATPase活性測定結果をみると、保管温度が高い試験区は全体的に値が低く、タンパク質変性が進行している傾向が見られた。保管7ヶ月目の結果をみると、-40以下で保管したものは、保管中あまり変化していないのではないかと考えられた

(図18)。

塩溶性窒素は、-20発泡スチロール内という過酷な条件で凍結した試料でも、低下はほとんど見られなかったことから、今回の測定条件ではマグロの冷凍変性の評価指標としては適さないと思われた

(図17)。

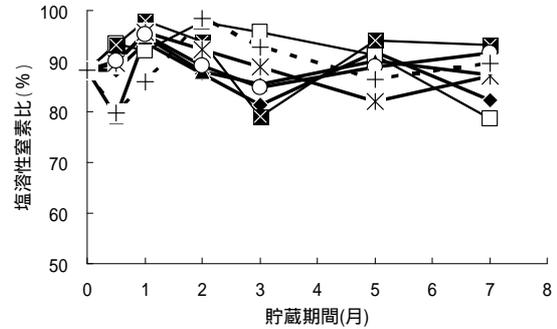


図18 マグロ凍結貯蔵中の塩溶性窒素の変化

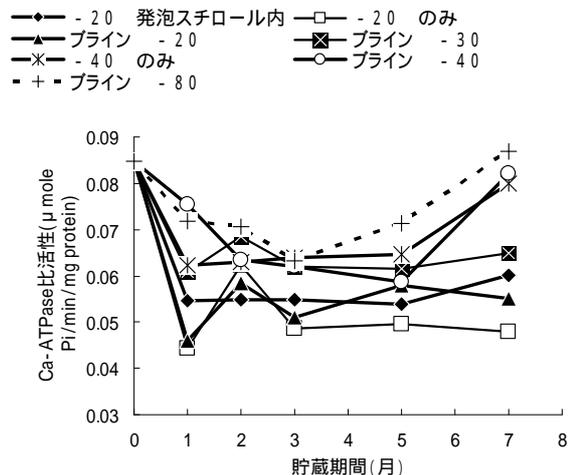


図17 マグロ凍結貯蔵中のCa-ATPase活性の変化

3.3.6 個体差について

今回試験したA個体は、色調やドリップの変化等において他の試料より凍結ならびに保管中の影響を受けやすい傾向が見られた。未凍結状態でのpH、塩溶性窒素の低さやドリップ量の多さから、若干タンパク質の変性が他よりも進行していることが予想された。A個体とその他の試料の差は決して大きいものではなかったが、このことが凍結ならびに保管中の品質劣化に大きく影響したとすると、品質の良いマグロは今回の試験よりもさらに長期間の保管が可能であることも予想されるが、逆に、品質が悪い場

合には短期間のうちに劣化してしまう危険性もあり、マグロの凍結保管には、原料品質の見極めも重要になることが予想される。現在、マグロの冷凍保管のための品質評価について簡易な判定方法がないことから、その判定手法開発もあわせて必要になることが予想される。

4. おわりに

- (1) -30 浸漬式(ブライン)凍結は空気凍結(エアープラスト)凍結に比べて急速凍結が可能で、約3cmの厚さのブロック状にしたマグロの中心温度の-10 までの到達速度は、-40 エアープラスト凍結の約3倍、-20 エアープラスト凍結の約10倍であった。
- (2)急速凍結(-30 ブライン凍結)は、ドリップの発生抑制、保管温度が高い場合(-20)の保管初期の色調の劣化抑制に効果が見られた。
- (3)マグロ凍結保管中の保管温度の影響は大きく、保管温度が高いとドリップの増加、変色などに大きく影響する傾向が見られた。特に変色(暗褐色化)への影響は大きく、官能検査、メト化率の変化などから判断すると、保管可能な期間は、-20 保管で1ヶ月程度、-30 ブライン凍結を組み合わせると2ヶ月程度、-30 保管だと3ヶ月程度、-40 だと7ヶ月以上であると思われた。
- (4)マグロ凍結保管において、わずかな初期品質の違いが凍結保管中の品質への影響を拡大させている可能性があることが分かった。

謝 辞

本研究を行うにあたり、株式会社島谷水産様に原料の提供を頂きました。深くお礼申し上げます。なお、本研究は、鳥取県受託事業「平成19年度マグロ冷凍技術導入試験」により行われたものであることをここに明記します。

文 献

- 1)尾藤方通；東海区水産研究所研究報告,84,p.51-

(1976)

2)尾藤方通；水産生物化学・食品学実験書,(株)恒星社厚生閣,p.275-280,(1974)。

3)新井健一；水産生物化学・食品学実験書,(株)恒星社厚生閣,p.189-194(1974)。