

## マグロ肉とメトミオグロビン還元酵素活性との関係について II

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	山中, 英明 高見沢, 光子 天野, 慶之
巻/号	39巻6号
掲載ページ	p. 673-681
発行年月	1973年6月

## マグロ肉色とメトミオグロビン還元酵素 活性との関係について—II

凍結貯蔵中ならびに解凍後の変化\*

山中 英明・高見沢光子・天野 慶之

(1973年1月17日受理)

### Relation between the Colour of Tuna Meat and the Activity of Metmyoglobin Reductase—II.

#### Changes in the Activity of Metmyoglobin Reductase during Frozen-storage and Subsequent Thawing of Tuna Meat

Hideaki YAMANAKA\*\*, Mitsuko TAKAMIZAWA\*\*,  
and Keishi AMANO\*\*

The changes in the activity of metmyoglobin reductase during frozen-storage and subsequent thawing of big-eye tuna meat were examined in order to elucidate whether the activity of metmyoglobin reductase is useful as an index in quality testing, especially in the evaluation of the colour of frozen-stored big-eye tuna meat, and also whether the prediction of the colour of meat after thawing is possible.

During frozen-storage at  $-20^{\circ}\text{C}$  the activity of metmyoglobin reductase decreased rapidly with marked formation of metmyoglobin. On the other hand at  $-30^{\circ}\text{C}$  and  $-40^{\circ}\text{C}$  the decrease in the activity was not so large and the red colour of meat was satisfactorily retained. The activity decreased remarkably during thawing and storage at  $3^{\circ}\text{C}$  for 18 hr in the tuna meat stored at  $-20^{\circ}\text{C}$  and  $-30^{\circ}\text{C}$ , but not in the meat stored at  $-40^{\circ}\text{C}$ . In the former meat samples, the formation of metmyoglobin in the course of thawing and subsequent storage was remarkable. These results suggest that the activity of metmyoglobin reductase could be a useful index in the quality evaluation of tuna meat, especially in respect of the colour.

現在のマグロ漁業は、漁場の遠隔化および操業日数の長期化に伴い、冷凍マグロの占める割合が大きくなった。凍結貯蔵中の肉色保持に関しては、尾藤の研究<sup>1)</sup>によつて、 $-35^{\circ}\text{C}$ 以下に貯蔵すると色変をかなりの程度防止できることがわかり、最近のマグロ漁船は高性能の冷凍機を装備することが常識となつている。しかし、その冷凍マグロが水揚げされ、解凍される段階になると、解凍後急激に褐変するもの、長期間赤色を保つものなどマグロの個体により様々であり、仲買人達は経験的に、漁場、冷凍条件、大きさ、皮肌や腹の色、切断した尾部の状態などから品質を推定しているにすぎない。そこで、肉色鑑別のための客観的指標が見つかれば、極めて意義深いと考えられる。

著者らは、前報<sup>2)</sup>で、マグロ筋肉から調製した粗酵素液中のメトミオグロビン(metMb)還元酵素活性を測定する方法について検討した。本報では、この方法によつて測定した mctMb 還元酵素活性が冷凍マグロの

\* 東海区水産研究所業績 B 570 号

\*\* 東海区水産研究所 (Tokai Reg. Fish. Res. Lab., Kachidoki, Chuo-ku, Tokyo)

品質判定, 特に肉色判定の目安となり得るかどうかを検討するために, 凍結貯蔵中および解凍後の metMb 還元酵素活性の変化について調べた。あわせて, 解凍後の肉色予知の可能性についても検討した。

### 実験方法

**試料** 東京中央卸売市場で購入した冷凍メバチマグロ 11 個体および日本近海で漁獲された氷蔵メバチマグロ 3 個体の背肉を用いた。詳細は Table 1 に示した。各個体について, 肉色, pH, metMb 還元酵素活性を測定し, 同程度の肉色の部分を選んで各辺 3 cm の角型試料をつくり, ポリエチレン袋に包み,  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}$  および  $-40^{\circ}\text{C}$  の冷凍室に貯蔵した。1, 2, 3 カ月後に各個体それぞれ 1 個ずつ同試料を取り出して, 2 等分し, その一方を用いて, 直ちに上記 3 項目の測定を行い, 残りは  $3^{\circ}\text{C}$  に 18 時間放置後, 同様な測定を行なった。

Table 1. Places of catch and storage conditions of big-eye tuna specimens used.

Fish No.	Places of catch	Storage conditions
1	Pacific Ocea (nnear Midway Islands)	Frozen*
2	" ( " )	"
3	Atlantic Ocean(off Angola)	"
4	" ( " )	"
5	Atlantic Ocean (off New York)	"
6	" ( " )	"
7	" ( " )	"
8	" ( " )	"
9	" ( " )	"
10	Indian Ocean (off Fremantle)	"
11	" ( " )	"
12	Off Sanriku	Iced**
13	"	"
14	"	"

\* Frozen-storage at  $-35^{\circ}\text{C}$  for 3 months after air blast freezing at  $-40^{\circ}\text{C}$ .

\*\* Iced-storage for 1 week.

**metMb 還元酵素活性の測定** 本酵素活性の測定は前報<sup>2)</sup>で述べた方法に準拠して行なった。

**肉色の測定** 肉色は全 Mb に対する metMb 量の百分率 (metMb%) で表わした。metMb% は尾藤の方法<sup>1,3)</sup>に従って測定した。

**pH の測定** 肉の pH は Toshiba Beckman zeromatic SS-3 型 pH メーターを用いて測定した。

### 結果と考察

Table 1 に示したメバチマグロの凍結貯蔵ならびに解凍実験に先立つて, まず 14 尾のメバチマグロの metMb%, pH および metMb 還元酵素活性を測定した。その結果を Table 2 に示した。

この結果を見て注目すべきは, 氷蔵マグロの metMb 還元酵素活性が低かったことである。その上, metMb% も氷蔵マグロが必ずしも低いといえなかつたし, pH も冷凍マグロよりも総じて低かつた。この低 pH は氷蔵中にかなり解糖作用が進んでいるためと考えられる。さらにまた, 氷蔵マグロは曳縄, 旋網などで漁獲される場合が多く, これらの漁法では魚体の消耗が激しく, グリコーゲンが減少し, 乳酸の蓄積がおり, pH が下がることも容易に推定される。

“やけ”といわれる現象はほとんど氷蔵マグロで起つている。この原因としては, 前述の漁法にもよるが, 氷蔵という手段にも起因するのではないかと考えられる。氷蔵法は小さな魚の場合効果的かもしれないが,

Table 2. metMb%, pH and metMb reductase activity of big-eye tuna meat used.

Fish No.	metMb%	pH	metMb reductase activity (%)*
1	22.0	6.68	3.0
2	24.5	6.36	4.5
3	30.0	5.89	4.0
4	28.0	6.95	4.5
5	17.0	6.25	5.0
6	27.0	6.46	5.5
7	33.0	5.84	4.0
8	31.0	6.38	6.0
9	29.0	6.19	3.0
10	23.0	6.61	5.5
11	18.0	6.46	6.5
12	28.0	6.09	5.0
13	30.0	5.90	3.5
14	27.5	5.98	1.0

\* Activity is expressed as the decrease of metMb% under the conditions previously described.<sup>21</sup>

マグロのように魚体が大きくなると中心部まで十分に冷やしきれないことも想像できる。このように氷蔵マグロでは魚体温が下らず、鮮度低下が著しいものもみられる。それに伴い、metMb還元酵素の活性も低下するのであろう。

一方、冷凍マグロの場合、ほとんど延縄によつて漁獲され、急速凍結後 $-35^{\circ}\text{C}$ 以下に凍結貯蔵されるため酵素作用は止まり、長期間貯蔵しても酵素はあまり損傷を受けず、活性の変化も小さいと考えられる。また、解糖系の酵素も働かず、肉のpHも一般的に高いのであろう。

次にこれらのマグロ肉を1カ月間、 $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $-30^{\circ}\text{C}$ および $-40^{\circ}\text{C}$ の冷凍室に貯蔵し、metMb%, pH, metMb還元酵素活性を測定した結果ならびにそれらのマグロ肉を $3^{\circ}\text{C}$ の冷蔵庫中で解凍し、18時間後のmetMb%, pH, metMb還元酵素活性の測定結果をTable 3に示した。

この表から明らかなように、 $-20^{\circ}\text{C}$ に貯蔵した場合、ほとんどのマグロでmetMb還元酵素活性が著しく低下した。また、metMb還元酵素活性の激減したマグロほどmetMbの形成は顕著であつた。しかし、No. 4, 5, 6のように、 $-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵中に活性がそれほど低下しなかつたマグロでは肉色は保持されていた。 $-30^{\circ}\text{C}$ に貯蔵したマグロではmetMb還元酵素活性の低下は小さく、metMbの増加はわずかであつた。 $-40^{\circ}\text{C}$ に貯蔵したマグロの活性変化はさらに小さく、metMbの増加はほとんど見られなかつた。

次に、 $3^{\circ}\text{C}$ で解凍後18時間貯蔵した場合の影響をみると、 $-20^{\circ}\text{C}$ および $-30^{\circ}\text{C}$ に凍結貯蔵したマグロの多くは、metMb還元酵素活性が急速に低下し、それに伴いmetMbの増加が著しかつた。しかし、18時間後にも活性低下の小さかつたマグロでは、metMbの増加はそれほど大きくなかつた。また、 $-40^{\circ}\text{C}$ に凍結貯蔵したマグロでは、活性の低下は $-20^{\circ}\text{C}$ ないし $-30^{\circ}\text{C}$ に比較して小さく、肉色は良好であつた。

次に、2カ月間凍結貯蔵したマグロについて同様な測定を行なつた。その測定結果をTable 4に示した。

2カ月間凍結貯蔵したマグロの場合にも、やはり1カ月間凍結貯蔵の場合と同じ傾向が認められた。 $-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵では、metMb還元酵素がほとんどのマグロで失活し、metMb%はすべて40%以上になつた。特にpHの低いNo. 3, 7, 12, 13, 14の各試料におけるmetMbの増加は顕著で、metMb%は65%を越えた。一方、 $-30^{\circ}\text{C}$ および $-40^{\circ}\text{C}$ 貯蔵の場合、metMb還元酵素活性は幾分低下したが、依然として活性はかなり残存していた。また、metMb%もやや増加したに止まつた。このように、2カ月になると、 $-30^{\circ}\text{C}$ および $-40^{\circ}\text{C}$ の温度効果はつきりしてくる。

$3^{\circ}\text{C}$ で解凍後18時間同温度に貯蔵した後の変化をみると、1カ月の場合とおおむね同じ結果であつた。

**Table 3.** metMb%, pH and metMb reductase activity of big-eye tuna meat after 1 month of frozen-storage at  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}$  and  $-40^{\circ}\text{C}$ , and those of big-eye tuna meat thawed and stored at  $3^{\circ}\text{C}$  for 18 hr.

Fish No.	Storage temperature	Frozen-stored meat			Thawed and stored meat		
		metMb%	pH	metMb reductase activity (%)*	metMb%	pH	metMb reductase activity (%)*
1	$-20^{\circ}\text{C}$	31.0	6.76	1.0	37.0	6.70	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	25.0	6.70	3.0	30.0	6.68	1.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	22.0	6.80	2.5	27.0	6.80	1.5
2	$-20^{\circ}\text{C}$	37.0	6.30	2.0	46.5	6.30	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	27.5	6.28	3.0	34.5	6.32	0.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	24.0	6.35	4.0	27.0	6.32	1.5
3	$-20^{\circ}\text{C}$	62.5	5.91	0.5	70.5	5.91	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	38.0	6.01	3.0	49.5	6.01	1.0
	$-40^{\circ}\text{C}$	34.5	5.96	4.0	42.0	5.92	0.5
4	$-20^{\circ}\text{C}$	37.0	6.80	4.0	41.0	6.88	1.5
	$-30^{\circ}\text{C}$	33.0	6.69	4.0	40.0	6.69	1.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	27.0	6.71	5.0	36.0	6.78	2.0
5	$-20^{\circ}\text{C}$	27.0	6.48	3.5	32.5	6.49	1.5
	$-30^{\circ}\text{C}$	21.5	6.51	3.5	31.0	6.54	1.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	18.0	6.60	5.0	27.0	6.54	3.5
6	$-20^{\circ}\text{C}$	33.5	6.40	3.5	41.0	6.52	1.0
	$-30^{\circ}\text{C}$	37.5	6.31	2.0	44.5	6.32	0.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	27.0	6.42	4.0	29.0	6.48	4.0
7	$-20^{\circ}\text{C}$	58.0	5.74	1.5	67.5	5.80	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	40.0	5.80	3.5	62.5	5.82	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	33.5	5.80	4.0	40.0	5.82	2.0
8	$-20^{\circ}\text{C}$	46.5	6.40	2.0	50.0	6.40	1.5
	$-30^{\circ}\text{C}$	34.0	6.42	5.5	42.0	6.39	2.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	31.0	6.45	5.5	38.5	6.41	3.5
9	$-20^{\circ}\text{C}$	46.5	6.18	1.0	47.0	6.15	1.0
	$-30^{\circ}\text{C}$	41.5	6.15	1.0	42.0	6.18	1.0
	$-40^{\circ}\text{C}$	34.5	6.20	2.5	36.0	6.20	2.0
10	$-20^{\circ}\text{C}$	42.5	6.49	2.0	48.0	6.42	1.5
	$-30^{\circ}\text{C}$	23.5	6.68	5.0	40.0	6.61	1.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	22.5	6.72	5.0	34.5	6.70	3.0
11	$-20^{\circ}\text{C}$	43.0	6.39	0	52.5	6.39	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	28.0	6.41	3.0	34.0	6.41	2.0
	$-40^{\circ}\text{C}$	19.0	6.49	6.5	28.0	6.49	3.5
12	$-20^{\circ}\text{C}$	61.5	6.01	0.5	67.0	5.99	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	34.5	6.01	4.0	38.0	6.00	2.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	29.5	6.08	4.5	33.5	6.05	3.5
13	$-20^{\circ}\text{C}$	49.5	5.92	2.5	63.0	5.91	0.5
	$-30^{\circ}\text{C}$	37.0	5.98	3.5	50.0	5.92	0.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	32.5	6.04	3.5	39.5	5.90	2.0
14	$-20^{\circ}\text{C}$	57.5	6.00	0	64.5	6.00	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	43.0	6.05	0.5	50.5	6.01	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	30.0	6.01	1.0	40.0	6.01	0

\* Activity is expressed as the decrease of metMb%.

**Table 4.** metMb%, pH and MetMb reductase activity of big-eye tuna meat after 2 months of frozen-storage at  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}$  and  $-40^{\circ}\text{C}$ , and those of big-eye tuna meat thawed and stored at  $3^{\circ}\text{C}$  for 18 hr.

Fish No.	Frozen-stored meat			Thawed and stored meat			
	Storage temperature	metMb%	pH	metMb reductase activity (%)*	metMb%	pH	metMb reductase activity (%)*
1	$-20^{\circ}\text{C}$	46.5	6.60	0.5	50.0	6.60	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	27.5	6.52	2.0	30.5	6.57	1.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	23.5	6.68	2.0	24.5	6.69	2.0
2	$-20^{\circ}\text{C}$	45.5	6.31	0.5	58.0	6.30	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	32.5	6.28	2.5	42.5	6.30	1.0
	$-40^{\circ}\text{C}$	27.5	6.30	3.5	34.5	6.31	1.5
3	$-20^{\circ}\text{C}$	79.0	5.88	0	86.0	5.98	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	41.0	5.89	1.5	58.5	5.95	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	37.0	6.01	2.0	39.0	6.01	1.0
4	$-20^{\circ}\text{C}$	42.5	6.83	1.0	55.0	6.82	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	35.0	6.72	2.5	48.5	6.69	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	31.5	6.80	3.0	48.0	6.79	0
5	$-20^{\circ}\text{C}$	58.0	6.20	0	68.0	6.29	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	37.0	6.48	0.5	49.0	6.40	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	33.5	6.42	1.0	39.5	6.42	0.5
6	$-20^{\circ}\text{C}$	45.5	6.30	0.5	47.5	6.31	0.5
	$-30^{\circ}\text{C}$	32.0	6.25	3.0	38.0	6.30	2.0
	$-40^{\circ}\text{C}$	27.0	6.32	2.5	28.0	6.39	2.5
7	$-20^{\circ}\text{C}$	70.5	5.80	0	81.5	5.85	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	37.5	5.89	1.5	50.5	5.90	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	30.5	5.87	2.5	37.5	5.90	1.0
8	$-20^{\circ}\text{C}$	58.5	6.40	0	58.0	6.40	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	34.5	6.42	2.0	40.5	6.40	0.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	34.5	6.40	2.5	35.0	6.32	2.0
9	$-20^{\circ}\text{C}$	56.0	6.22	0	59.0	6.21	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	37.5	6.29	1.5	44.5	6.19	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	31.0	6.23	1.5	34.5	6.21	1.5
10	$-20^{\circ}\text{C}$	52.5	6.59	0	63.0	6.62	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	28.5	6.60	1.5	37.0	6.65	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	23.0	6.78	4.0	35.0	6.73	1.0
11	$-20^{\circ}\text{C}$	47.0	6.38	0	53.5	6.40	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	25.0	6.38	2.0	35.0	6.45	1.0
	$-40^{\circ}\text{C}$	20.0	6.48	5.0	28.0	6.47	2.0
12	$-20^{\circ}\text{C}$	67.5	6.00	0.5	80.5	6.01	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	39.0	6.02	2.5	54.0	6.03	0.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	32.0	6.02	3.0	40.5	6.02	2.0
13	$-20^{\circ}\text{C}$	66.5	5.99	0	75.5	6.00	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	41.5	5.99	1.0	53.5	5.98	0.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	39.5	5.95	2.0	47.5	6.01	1.5
14	$-20^{\circ}\text{C}$	77.5	5.99	0	81.5	6.00	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	48.0	6.00	0.5	72.0	5.99	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	36.0	6.00	0.5	54.0	6.00	0

\* Activity is expressed as the decrease of metMb%.

**Table 5.** metMb%, pH and metMb reductase activity of big-eye tuna meat after 3 months of frozen-storage at  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}$  and  $-40^{\circ}\text{C}$ , and those of big-eye tuna meat thawed and stored at  $3^{\circ}\text{C}$  for 18 hr.

Fish No.	Storage temperature	Frozen-stored meat			Thawed and stored meat		
		metMb%	pH	metMb reductase activity (%)*	metMb%	pH	metMb reductase activity (%)*
1	$-20^{\circ}\text{C}$	55.5	6.60	0	58.0	6.62	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	27.0	6.70	2.0	35.0	6.63	1.0
	$-40^{\circ}\text{C}$	24.0	6.70	2.5	34.5	6.61	1.5
2	$-20^{\circ}\text{C}$	67.0	6.39	0	74.5	6.39	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	31.5	6.38	2.5	44.5	6.38	0.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	28.0	6.40	2.5	30.5	6.39	1.5
3	$-20^{\circ}\text{C}$	90.0	6.00	0	96.5	5.99	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	42.5	6.02	2.5	6.8	5.96	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	34.5	6.01	2.5	46.0	5.98	0
4	$-20^{\circ}\text{C}$	51.5	6.91	0	59.0	6.72	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	46.0	6.72	0.5	48.5	6.63	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	32.0	6.69	2.5	41.5	6.69	1.0
5	$-20^{\circ}\text{C}$	63.0	6.23	0	69.5	6.28	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	39.0	6.41	0	52.0	6.40	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	32.5	6.50	0.5	41.0	6.40	0
6	$-20^{\circ}\text{C}$	59.0	6.35	0	69.0	6.29	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	33.0	6.21	3.0	57.5	6.29	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	28.0	6.38	2.5	31.0	6.31	2.0
7	$-20^{\circ}\text{C}$	86.5	5.80	0	87.0	5.79	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	44.5	5.87	1.5	74.5	5.88	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	34.0	5.82	2.0	37.0	5.80	1.5
8	$-20^{\circ}\text{C}$	71.0	6.40	0	73.5	6.41	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	42.5	6.39	0.5	43.0	6.42	0.5
	$-40^{\circ}\text{C}$	32.5	6.38	2.5	34.5	6.40	1.5
9	$-20^{\circ}\text{C}$	75.5	6.19	0	78.0	6.20	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	38.5	6.21	1.5	46.0	6.22	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	34.0	6.19	1.5	36.5	6.30	0.5
10	$-20^{\circ}\text{C}$	68.5	6.52	0	74.5	6.46	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	27.0	6.59	1.5	40.0	6.58	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	25.0	6.67	2.0	34.5	6.67	0.5
11	$-20^{\circ}\text{C}$	58.0	6.42	0	67.0	6.41	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	26.5	6.42	2.0	34.5	6.59	1.0
	$-40^{\circ}\text{C}$	19.0	6.47	3.5	33.0	6.49	2.0
12	$-20^{\circ}\text{C}$	80.5	6.08	0	87.0	6.01	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	48.0	6.00	0	51.5	5.99	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	31.5	6.01	0.5	40.0	6.01	0
13	$-20^{\circ}\text{C}$	66.5	6.07	0	82.5	5.98	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	42.0	5.98	0	61.0	6.03	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	40.0	6.00	0.5	52.0	5.98	0
14	$-20^{\circ}\text{C}$	82.5	6.11	0	89.0	6.08	0
	$-30^{\circ}\text{C}$	50.0	6.00	0	72.0	5.98	0
	$-40^{\circ}\text{C}$	42.5	6.18	0	51.5	6.08	0

\* Activity is expressed as the decrease of metMb%.

すなわち、 $-20^{\circ}\text{C}$ に凍結貯蔵したマグロでは、No. 6を除いてすべて metMb 還元酵素が失活し、metMb の増加が著しかった。 $-30^{\circ}\text{C}$ に凍結貯蔵したマグロの場合も解凍後の metMb 還元酵素活性の低下が急激で、7 個体が失活し、metMb は著しく増加した。しかし、No. 1 や No. 6 のように活性のあまり低下しなかつたマグロでは肉色が良好であつた。また、肉の pH の低い No. 3, 7, 12, 13, 14 のマグロは、解凍後の褐変が顕著であつた。 $-40^{\circ}\text{C}$ に凍結貯蔵したマグロの場合、活性はやや低下したが、14 個体中 12 個体の活性は十分に残つており、肉色は保持されていた。しかし、No. 4 と No. 14 だけは失活し、metMb の増加は大きかつた。

次に、3 カ月間凍結貯蔵したマグロについて行なつた測定結果を Table 5 に示した。

$-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵のマグロでは、metMb 還元酵素はすべて失活した。metMb% はさらに増加し、50% をす

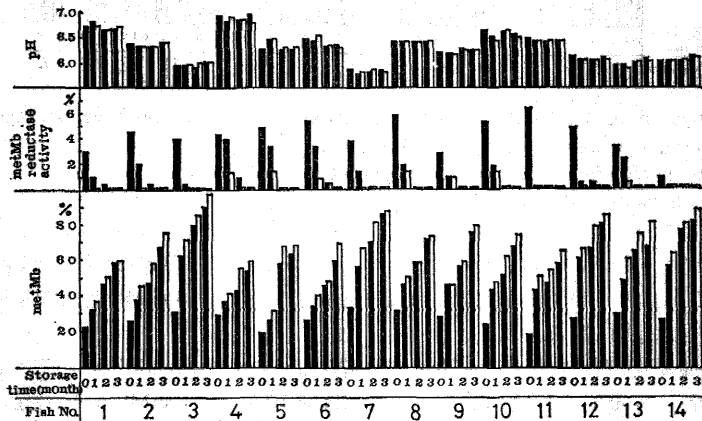


Fig. 1. Changes in metMb%, metMb reductase activity and pH during frozen-storage at  $-20^{\circ}\text{C}$  and subsequent thawing of big-eye tuna meat.

■ Immediately after each frozen-storage time  
□ After thawing and 18 hr of storage at  $3^{\circ}\text{C}$

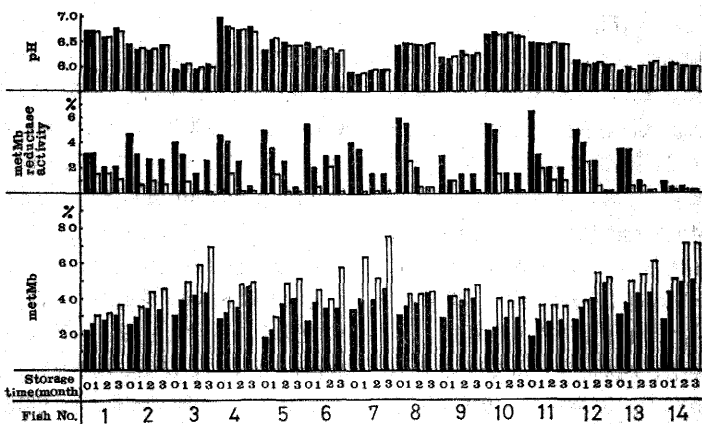


Fig. 2. Changes in metMb%, metMb reductase activity and pH during frozen-storage at  $-30^{\circ}\text{C}$  and subsequent thawing of big-eye tuna meat.

■ Immediately after each frozen-storage time  
□ After thawing and 18 hr of storage at  $3^{\circ}\text{C}$



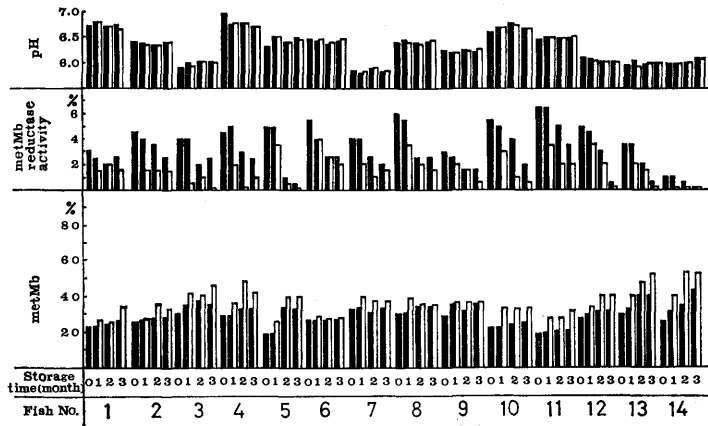


Fig. 3. Changes in metMb%, metMb reductase activity and pH during frozen-storage at  $-40^{\circ}\text{C}$  and subsequent thawing of big-eye tuna meat.

■ Immediately after each frozen-storage time  
□ After thawing and 18 hr of storage at  $3^{\circ}\text{C}$

べてが超過した。また、前にも述べたように、pHの低いマグロ肉では褐変が特に激しく、metMb%は80%を越えた。 $-30^{\circ}\text{C}$ および $-40^{\circ}\text{C}$ 貯蔵では、まだほとんどのマグロのmetMb還元酵素活性が残存しており、metMb%はそれほど高くなかった。

また、 $3^{\circ}\text{C}$ で解凍後の変化をみると、 $-20^{\circ}\text{C}$ 凍結貯蔵のマグロではmetMb還元酵素活性はすべて失活し、著しく褐変した。 $-30^{\circ}\text{C}$ に貯蔵したマグロでは解凍後10個体のmetMb還元酵素が失活し、metMbが増加した。特に、pHの低いマグロではそれが顕著であった。また、 $-40^{\circ}\text{C}$ に貯蔵したマグロは、解凍後も9個体において活性が残存しており、metMb%も30%台であつて肉色も良好であつた。酵素の失活したマグロではかなりmetMb%が増加したが、最もmetMb%の高いものでも52%であつた。

なお、pHの1ないし3カ月間凍結貯蔵中および解凍後の変化は認められなかった。

そこで、以上の結果を比較しやすいように凍結貯蔵温度別にmetMb%、pHおよびmetMb還元酵素活性をグラフにまとめてみた (Fig. 1~3)。

これらの図から明らかなように、 $-20^{\circ}\text{C}$ ではmetMb還元酵素活性の低下が激しく、それに伴い、metMbの増加が著しかった。また、 $-30^{\circ}\text{C}$ および $-40^{\circ}\text{C}$ 凍結貯蔵中の活性の低下は $-20^{\circ}\text{C}$ に比較して小さく、肉色も良好であつた。次に解凍後の変化をみると、 $-20^{\circ}\text{C}$ および $-30^{\circ}\text{C}$ に凍結貯蔵のマグロでは、解凍後の活性低下が激しく、色変は顕著であつた。 $-40^{\circ}\text{C}$ のマグロでは活性がかなり残存し、解凍後も肉色がよく保持された。このように、凍結貯蔵中および解凍後の肉色とmetMb還元酵素活性との間には高い相関が認められ、metMb還元酵素活性がマグロ肉色判定の一つの目安となりうる可能性を示した。

尾藤の報告<sup>1)</sup>にもあるように、 $-20^{\circ}\text{C}$ 凍結貯蔵では長期間肉色を保持することができないが、その原因の一つとして、metMb還元酵素活性の $-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵中の急激な低下があげられるのではなからうか。

また、肉のpHもまた肉色にかなり影響しているように思われる。すなわち、 $-20^{\circ}\text{C}$ および $-30^{\circ}\text{C}$ に貯蔵したマグロの場合、No. 3, 7, 12, 13, 14のように肉のpHが低いと、凍結貯蔵中ないし解凍後のmetMbの増加が特に著しかった。しかし、 $-40^{\circ}\text{C}$ に貯蔵したマグロでは、pHの高低が肉色に影響しなかった。このことは、肉のpHよりも凍結貯蔵温度の方がマグロの肉色への影響要因としては重要であることを示している。

さらに、解凍後の肉色は凍結貯蔵温度の影響を受け、低温度に凍結したマグロほど肉色が良かった。すなわち、 $-40^{\circ}\text{C}$ 凍結マグロの方が解凍後も肉色が保持されていた。その原因としては、凍結肉中の氷の状態

などが metMb 還元酵素などに微妙に影響しているように思われるが、この点は明らかではない。

次に、凍結状態のマグロ肉を用いて、解凍後の色変の進行度合を予測する可能性について、metMb 還元酵素活性、凍結貯蔵温度、pH の三点から検討してみた。前述の通り、metMb 還元酵素活性の高いことが肉色のよい必須条件なので、解凍後も metMb 還元酵素活性が残存するような条件を見つければよいことになる。その結果、凍結状態のマグロ肉が次の 2 条件を満たしていれば、解凍後も肉色が保持される確率は高いことがわかった。

- (1) 試料凍結マグロ肉の metMb 還元酵素活性がかなり高いこと。
- (2)  $-40^{\circ}\text{C}$  に凍結貯蔵したマグロであること。

$-30^{\circ}\text{C}$  凍結貯蔵でも肉色は保持できるが、解凍後に pH の低いマグロを中心として褐変がおこりやすい。そこで、解凍後の肉色も考慮に入れると、少なくとも  $-40^{\circ}\text{C}$  に凍結貯蔵しておく必要がある。

#### 文 献

- 1) 尾藤方通：本誌, 31, 534-539 (1965).
- 2) 山中英明・高見沢光子・天野慶之：本誌, 39, 667-671 (1973).
- 3) 尾藤方通：本誌, 35, 218-226 (1969).