

水産食品のイノシン酸とその関連物質に関する研究 - IV.

産卵期におけるクロマグロ肉中のイノシン酸と
その関連物質の消長

竹田正彦・示野貞夫

(農学部水産利用学研究室)

Studies on Inosinic Acid and the Related Compounds in Sea Food - IV.

Variation in the Concentrations of Inosinic Acid and
the Related Compounds in Muscle of Bluefin Tuna
(*Thunnus thynnus*), During Spawning Season.

By

Masahiko TAKEDA and Sadao SHIMENO

(Laboratory of Fish Technology, Faculty of Agriculture)

Summary

1. The proximate composition and concentrations of inosinic acid and the related compounds in the muscle of long-lined bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) have been investigated during spawning season (April-June).
2. The contents of fat and protein in the muscle decreased considerably throughout this period.
3. The significant variation was found in the concentrations of total fraction of inosinic acid and its catabolites from the muscle before and after spawning, and hence flavorless of the muscle from *post*-spawning fish appear to be attributable to the decrease in the concentration of this fraction, in part.
4. There was considerable individual variation in the catabolism of inosinic acid in the muscle of both *pre*-spawning and spent fish.
5. Little inosinic acid remaining and much hypoxanthine accumulation were found in the fatty muscle, while considerable accumulation of hypoxanthine was found in the degraded muscle which contained little fat.
6. There was a positive correlation between the maximum concentration of inosinic acid in the muscle and the market price of fish.

緒 言

クロマグロ (*Thunnus thynnus*) は全世界の温帯から亜寒帯の一部にかけて広く分布する、きわめて重要な水産資源で、その肉は昔からわれわれ日本人により賞味・重用されている。しかしこの魚のしゅんは冬であって、初夏になると、とくに75~100 kg 以上のものは急激にやせて脂肪が少なく、うまみもなくなる。このような魚体は“らっきょまぐろ”と呼ばれ、その肉質は多少とも

“こんにゃく”状になっているが、これは産卵による魚体の衰弱に由来するものと考えられている²⁾³⁾。清水⁴⁾⁵⁾はこの点に注目して、マグロ肉の普通成分ならびにエキス窒素の季節的变化をしらべ、食味が脂肪含量の消長と平行し、また夏の産卵期にモノアミノ窒素が増加し、冬期にジアミノ窒素が増加することから、産卵後の初夏におけるマグロ肉の不味化が、脂肪とジアミノ窒素（とくにヒスチジン）の減少に基づくことを明らかにした。

いっぽう、近年の食品化学的研究により、一般に魚肉のうまみには、遊離アミノ酸のほかに、イノシン酸（IMP）も大きな役割をなしていることが明らかになってきた。したがってもし産卵後のクロマグロ肉において、IMP含量が著しく減少していることがわかれば、これを産卵による不味化の一原因とみなすことができるであろう。著者らは主としてこの点を確かめ、あわせて産卵が魚肉の品質に及ぼす影響について検討するため、産卵期におけるクロマグロ肉の普通成分、ならびにIMPとその関連物質を定量した。その結果をここに報告する。

研究を進めるにあたって、日本大学の清水亘教授、ならびに奈良女子大学の遠藤金次助教授に有益な助言をいただいた。また高知県水産試験場漁業科の奴田原耕衛科長をはじめ、調査官および調査船の乗組員諸氏には、試料の採集と魚体測定について多大の配慮と援助を受けた。ここに記して厚く御礼申しあげる。

本研究に要した費用の一部分は、昭和38年度全国かつおまぐろ研究協議会助成金によった。助成金交付の労をとられた当局に対して謝意を表す。

試料および分析方法

試料：JONES⁶⁾⁷⁾らの報告によると、魚の生息環境や漁獲方法の相違によって、魚肉中の酸溶性ヌクレオチドの死後分解過程が異なることが容易に推察される。それゆえ、本研究の試料は、なるべく同一漁場から、同一方法により漁獲・採集するように留意した。すなわち、ルソン島北東（19°37'～20°34'N, 124°31'～125°06'E）から、台湾東方（21°39'～21°42'N, 124°56'～124°42'E）を経て、沖縄東方（26°05'～26°26'N, 128°48'～128°22'E）に至る、一連のクロマグロ産卵海域³⁾において、4～6月の産卵期に、延縄により漁獲したものから試料を採集した。ただし調査日程の都合で、同一産卵期中に産卵前後の試料をそろえることができなかったので、やむを得ず、1963年5月、1964年4月および1965年6月の3年間にわたって試料を採集した。また各種成分含量の個体差を考慮して⁸⁾、毎回7～9尾ずつ、計24尾から採肉し、測定ならびに分析結果を、統計学的に比較することとした。

供試魚の体格測定の結果（平均値と標準偏差）はTable Iに示すとおりである。表示の生殖腺重量およびその指数から判断すると、おおむね4月魚は産卵直前、5月魚は産卵盛期、そして6月魚は産卵直後の状態にそれぞれあったものと思われる。この点はまた、生殖腺の肉眼的観察によっても十分に確かめることができた。なお供試魚の性別は、各時期とも雌雄相半ばしていた。

体格測定後の供試魚は、ただちに内臓を除去して碎水中に貯蔵し、約2週間後に魚市場において、尾部の肉、すなわち第5背鰭副鰭付近を厚さ約5cmの輪切りに切りとり、これをポリエチレンの袋に入れて、ふたたび碎水中に約1週間貯蔵したのち分析した。ただ各時期とも、試料漁獲日に1～7日のずれがあったので、全氷蔵期間を統一することができなかったが、大部分の試料は21～24日の氷蔵期間であったので、その長短による影響はほとんどないものと考えられる。

分析方法：上記の要領で採集した肉の普通肉の部分の細切し、ただちにIMPとその関連物質を分析すると同時に、普通成分の分析、pHの測定、揮発性塩基の抽出などを行なった。IMPとその関連物質の抽出および定量法はそれぞれ第Ⅲ報⁹⁾および第Ⅱ報⁸⁾のそれらと全く同様である。普通成分の定量は常法により行ない、揮発性塩基窒素は通気法により定量した。

Table I. Description and proximate composition of muscle from bluefin tuna, during spawning season, and significance of variation in results. (Sample have been stored in ice for 3-4 weeks before analyses.)

Date of Capture	Significance of variation		
	April 21-28	May 15-16	June 6-12
No. of fish	8	7	9
	Av. ±S. D.	Av. ±S. D.	Av. ±S. D.
Fork length, cm	202±12	193±11	206±6
Body weight, Kg	146±20	126±22	136±15
Gonad weight, Kg	6.6±2.0	7.1±1.4	3.7±1.3
Fatness Δ	17.8±0.9	17.4±1.5	15.6±0.8
Gonad index Δ	8.1±2.3	10.0±1.9	4.3±1.6
			Apr. - May Apr. - June May - June
Moisture, %	71.6±2.6	74.2±1.8	77.0±1.2
Protein, %	23.8±0.9	23.5±0.6	21.4±1.1
Fat, %	3.6±2.7	2.0±1.2	0.6±0.4
Ash, %	1.1±0.05	1.1±0.07	1.2±0.13
pH	5.86±0.22	5.73±0.11	5.81±0.07
Volatile base, N-mg%	22.7±1.7	24.0±4.0	22.5±5.0

*** Variation related to the spawning at a level of significance higher than 1%.

** Variation related to the spawning at a level of significance of 2%.

* Variation related to the spawning at a level of significance of 5%.

(-) Variation not related to spawning.

$$\Delta \text{ Fatness} = \frac{\text{Body weight, Kg}}{(\text{Fork length, cm})^3} \times 10^3 \quad \Delta \text{ Gonad index} = \frac{\text{Gonad weight, Kg}}{(\text{Fork length, cm})^3} \times 10^4$$

結果および考察

1. 産卵期における魚体肥満度の消長

魚体の栄養状態を察知し、体成分の消長を検討するときの参考にするため、各試料の体重と尾叉長から肥満度を計算し、その時期別の平均値と標準偏差、ならびにこれら平均値の差の有意性を t 分布により検定した結果を一括して Table I に示した。これによると、産卵前の 4 月と 5 月にそれぞれ平均 17.8 (範囲: 16.4~19.0) および 17.4 (15.8~19.8) もあった肥満度が、産卵後の 6 月には、15.6 (14.1~16.8) に激減している。このような産卵による肥満度の低下現象は、すでに山中³⁾ により報告されているが、本研究においてもこの事が確認された。そこでこのような栄養状態の変化に関連して、体成分ならびに IMP (呈味成分) とその関連物質に、どのような変化が起るかを知るために、以下に述べるような検討を加えた。

2. 産卵期における筋肉普通成分の消長

Table I に示したように、灰分を除くと、筋肉中の各種普通成分の組成は、産卵の前後で明らかに相違し、水分が産卵後に 4~5% 増加したのに対し、蛋白と脂肪はそれぞれ約 2% と 1.4~3% ずつ減少している。この結果は清水⁴⁾ によるマグロ背肉についての結果とよく一致している。また魚体脂肪が産卵期に減少することは魚類の通性であるが、クロマグロでは、上記のように、蛋白が産卵後に減少したことが注目される。この点も清水⁴⁾ の報告と一致しており、産卵のため、脂肪のほかに蛋白をも消耗することが確かめられた。そしてこのような産卵後における少脂肪と多水分が、後述の IMP 含量の減少とあいまって、その肉の味が低下する主な原因であると考えられる。なお、Table I に示したように、各時期の試料 (氷蔵肉) における平均 pH および揮発性塩基窒素の濃度には有意な差が認められなかった。このことから、氷蔵肉の鮮度変化は産卵活動の有無とは

無関係のように思われる。

3. 産卵期における筋肉中の IMP とその関連物質の消長

氷蔵肉における IMP とその関連物質を定量した結果は、Table II に示すとおりである。全般的に、IMP の分解がかなり進み、イノシンおよびヒポキサンチンが多量に蓄積していたが、漁獲後

Table II. Concentrations and percentage compositions of inosinic acid and the related compounds in bluefin tuna muscle, during spawning season, and significance of variation in results. (Sample have been stored in ice for 3-4 weeks before analyses.)

Date of capture	April 21-28	May 15-16	June 6-12	Significance of variation		
				Apr. - May	Apr. - June	May - June
No. of fish	8	7	9			
Concentration (μ mole/g wet weight \pm S. D.)						
ATP	0.21 \pm 0.04	0.15 \pm 0.09	0.12 \pm 0.03	-	***	-
ADP	0.32 \pm 0.08	0.18 \pm 0.04	0.12 \pm 0.03	***	***	***
AMP	0.21 \pm 0.08	0.18 \pm 0.03	0.17 \pm 0.02	-	*	-
IMP	2.03 \pm 0.83	2.14 \pm 0.66	1.68 \pm 0.90	-	-	-
Inosine	5.53 \pm 1.3	5.00 \pm 0.30	3.67 \pm 0.62	-	***	***
Hypoxanthine	1.79 \pm 0.63	1.47 \pm 0.32	1.11 \pm 0.49	-	*	-
TOTAL	10.12 \pm 1.5	9.11 \pm 1.0	6.86 \pm 1.2	-	***	***
Composition (% of the total concentration \pm S. D.)						
ATP	2.1 \pm 0.3	1.7 \pm 1.0	1.7 \pm 0.4	-	*	-
ADP	3.2 \pm 0.8	1.9 \pm 0.3	1.8 \pm 0.3	***	***	-
AMP	2.3 \pm 0.4	2.0 \pm 0.3	2.5 \pm 0.4	-	-	**
IMP	20.0 \pm 6.8	23.1 \pm 4.8	23.2 \pm 8.8	-	-	-
Inosine	56.6 \pm 9.0	55.3 \pm 4.7	54.4 \pm 9.8	-	-	-
Hypoxanthine	18.1 \pm 6.8	16.1 \pm 3.1	16.0 \pm 6.9	-	-	-

***, **, *, (-) see Table I.

20日以上も氷蔵した試料であるから、これは当然の結果である。しかし、食味の変化や生化学的変化を産卵と関連ずけて検討するには、氷蔵前または氷蔵初期における成分含量、つまりまだ IMP その他の分解が進んでいないときの含量を推定し、比較することが望ましい。そしてこの値は、表示の各成分つまり氷蔵後のその総和、あるいは区分総計からは察知することができる。そこでまず Table II の各成分含量の総和に基づいて、産卵期における筋肉中の IMP とその関連物質の総量の消長をみると、産卵前(4~5月)の 9.1~10.1 μ mole/g から、産卵後(6月)の 6.9 μ mole/g へと激減している。魚類筋肉中のこれら成分の総量が季節的に変化することは、すでにフナ¹⁰⁾ とマサバ¹¹⁾ について知られており、いずれも、それが魚の活動状態の季節変化に関連するものと考えられている。しかし、産卵前後における本総量の変化について報告された例はまだ見あたらない。一般に動物の死後の筋肉中の酸溶性ヌクレオチドとその分解物の総量は、生存時の筋肉中の遊離 ATP 含量にはほぼ等しいと考えてよいので、その消長は、動物の生存時における、エネルギーレベルの消長を指標するものと考えられる。したがって、前述のように、産卵後の筋肉中において、この値が激減したことは、明らかに、産卵前に体内に蓄積・準備していたエネルギーを、産卵活動によって大量かつ急速に消費したことを物語っている。かつまたこの総量の減少が脂肪および蛋白の減少と平行して認められることは、生体内で ATP が脂肪や蛋白の酸化作用の結果、生成されることを考えあわせると、生化学的に興味深い現象である。

つぎに便宜上、ヌクレオチド類を、アデニンヌクレオチド類(ATP, ADP, AMP)と、IMP ならびにその分解物(IMP, イノシン, ヒポキサンチン)の両区にわけて、各々の消長をみると、つ

ぎのとおりである。

アデニンヌクレオチド：この区分では、とくに4月にADPの含量と組成(総量に対する%)が高い点が目だつ。魚肉中のADP含量が季節的变化を示すことは、すでにCod¹²⁾とコイ¹³⁾において認められていて、いずれも体内に栄養分を蓄積する時期にADPがATP、AMPよりも多く、産卵期になると、ほとんどその差がなくなるか、または逆の関係になるという。そしてJONESら¹²⁾¹⁴⁾は、この3者の相対的な関係が、筋肉中のmyokinase活性(したがってpH)によって支配されることを指摘している。以上のことから、産卵期におけるクロマグロ肉中のADPの消長も、体内における栄養分の消長、すなわち前述の蛋白、脂肪の消長と関連しているように思われる。しかし、この点についてはもっと長期間にわたる変化をしらべなければ、はっきりした事はいえない。

IMPとその分解物：氷蔵肉中の本区分総量(IMP+イノシン+ヒポキサンチン)は、新鮮時における最大IMP含量にほぼ等しいと考えてよいので、この値から、新鮮時のflavor qualityをほぼ察知することができる。そこでTable IIから各時期の新鮮肉における最大IMP含量を求めて比較すると、明らかに、産卵後の6月に減少している。したがって、このことがまた前述の脂肪の減少とともに、産卵後に肉の味が低下する大きな原因になっているものと考えられる。

いっぽう、氷蔵肉における本区分の百分組成、すなわちIMP代謝のパターンは、平均値で示すと、時期的にはほとんど変化しないようである(Table II)。このことから、IMP代謝過程が、産卵の前後を問わずほぼ一定していることがわかる。しかしそれはあくまで統計的にみた場合の結果であって、個々の試料についてIMP代謝のパターンを比較すると、同一時期の試料において、顕著な個体差が認められる。これは、筋肉中の種々の要素によって、IMP代謝に関与する諸酵素の活性が、複雑に変化するためと考えられ、逆にこれによって、筋肉内酵素力の個体差がうかがわれる。

4. IMP残存率・ヒポキサンチン蓄積率と脂肪含量・揮発性塩基窒素との関係

魚体氷蔵中の筋肉IMP代謝に関与する要因を明らかにすることは、品質保持をはかるうえに極めて重要なことである。そこで本研究においても、前報⁸⁾と同様に、測定あるいは分析によって得

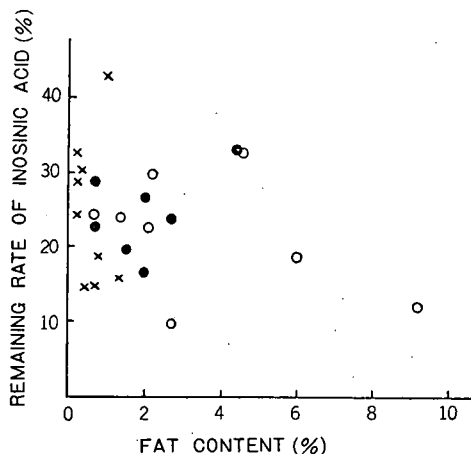


Fig. 1. Relationship of remaining rate of inosinic acid to fat content in the iced muscle of bluefin tuna.
○, April group; ●, May group;
×, June group.

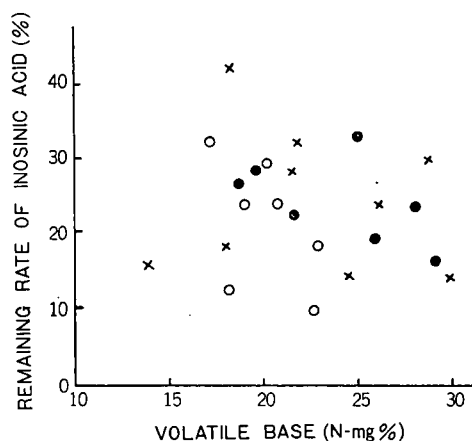


Fig. 2. Relationship of remaining rate of inosinic acid to concentration of volatile base in the iced muscle of bluefin tuna.
○, April group; ●, May group;
×, June group.

られた、2, 3の要素について若干の検討を試みた。まず、脂肪含量とIMP残存率(前報⁸⁾参照)との関係をしらべると、Fig. 1に示したように、少数例ではあるが、多脂肪魚(6%以上)にIMP残存率が低い傾向がうかがわれる。しかし少脂肪魚(5%以下)では両者は無関係である。このように、ミナミマグロ⁸⁾と同様に、クロマグロにおいても、著しい多脂肪魚は、氷蔵中にIMPの分解が急速に進み、したがってflavor qualityが低下しやすいことがわかった。

つぎに鮮度がIMP残存率に及ぼす影響を知るために、揮発性塩基窒素とIMP残存率との関係をしらべたが、Fig. 2に示したように、両者は全く無関係である。この理由は、IMPの分解が、鮮度の良好な氷蔵初期に、酵素作用により急速に進むのに対し、揮発性塩基は氷蔵後期に、主として細菌の増殖により徐々に増加していくからであり、また後者の蓄積のために、前者の分解が促進されたりしないからであろう。

さらにヒポキサンチン蓄積率(前報⁹⁾参照)と脂肪含量ならびに揮発性塩基窒素との関係をしらべると、Fig. 3・4に示したように、いずれについてもかなりの相関関係が認められる。すなわち、鮮度低下がとくに著しい2, 3の例を除くと、脂肪含量が多いものほど、ヒポキサンチン蓄積率つまりIMPからイノシンをへてヒポキサンチンへの変化が速いことが明らかになった。この点は、前述のIMP残存率と脂肪含量との関係と同様に、食品化学的に重要な問題であるので、今後さらに追究したいと考えている。いっぽう多脂肪魚(4%以上)を除くと、揮発性塩基窒素が約25mg%以下のものでは、ヒポキサンチン蓄積率が比較的low(10~20%)、かつ鮮度に関係なくほぼ一定

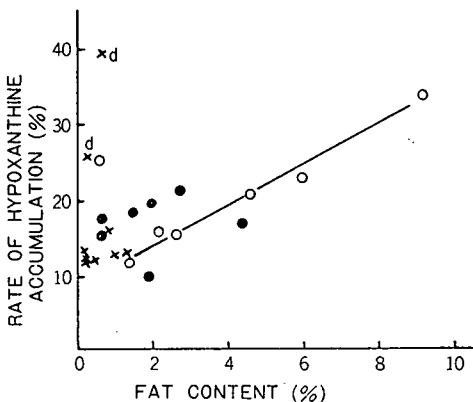


Fig. 3. Relationship of rate of hypoxanthine accumulation to fat content in the iced muscle of bluefin tuna.

○, April group; ●, May group; ×, June group. d, degraded fish.

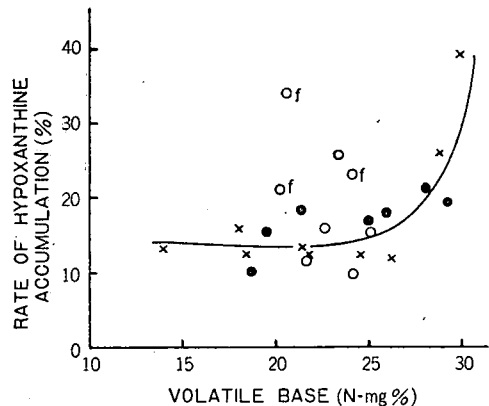


Fig. 4. Relationship of rate of hypoxanthine accumulation to concentration of volatile base in the iced muscle of bluefin tuna.

○, April group; ●, May group; ×, June group. f, fatty fish.

であるが、本窒素が約26mg%以上のものでは、鮮度低下に比例して急激にヒポキサンチンが蓄積(26~39%)することがわかった。これは、おそらく本窒素の蓄積によりIMPやイノシンの分解が促進されたのではなく、細菌によるイノシンの分解が急速に進んだためと考えられる。いずれにせよ、以上の2つの相関関係(Figs 3・4)から考えると、クロマグロのような多脂肪魚に関しては、SPINELLIら¹⁵⁾やJONESら¹⁶⁾が提しようしている、ヒポキサンチンの定量による魚肉鮮度判定法は、そのままでは適用できないように思われる。

5. 最大IMP含量と市場魚価との関係

一般にマグロ類の魚価は、魚体肥満度、魚肉脂肪含量、肉色などの五感判定を総合して決められるが、本研究試料においても、魚価の消長は肥満度のそれと相関していて、一般に高肥満度の4・

5月魚は高価(キロ当り平均508円, 298円)であるが, 産卵後のやせた6月魚は安価(キロ当り平均128円)である。いっぽう, すでに述べたように, 新鮮時の最大IMP含量は4・5月魚に多く, 6月魚に少ない。

したがって, 間接的に, 最大IMP含量の多少が, 魚価の高低と関連しているものと推察される。この点を確かめるために, 両者の関係をプロットすると, Fig. 5に示したように, やはりIMP含量の多いものほど高価な傾向が認められる。とくにIMP含量が多く, しかも多脂肪あるいは高肥満度のマグロ(図中のa, b)はとりわけ高価で, 反対にIMP含量が多くても, やせて肉色が悪いまぐろ(図中のc)は安価である。以上のように, IMPの定量結果と魚市場における五感判定に基づく魚価との間に, かなりの相関関係が認められたことは, 食品化学的に興味深いことである。

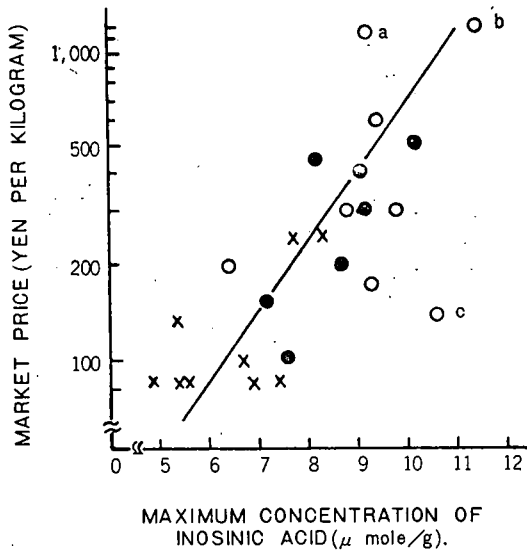


Fig. 5. Relation between maximum concentration of inosinic acid in the muscle and market price of iced bluefin tuna (Yen/Kg).

○, April group; ●, May group; ×, June group.

要 約

1. 台湾東方～沖縄海域で, 4～6月の産卵期に, 延縄で漁獲したクロマグロ24尾について, 魚肉の普通成分ならびにイノシン酸とその関連物質を定量し, その産卵前後における変化について, 生化学的あるいは食品化学的な検討を加えた。
2. 本海域のクロマグロは5月から6月へかけて急激にやせ, 筋肉中の水分が増加するいっぽう, 脂肪と蛋白が減少したが, これは明らかに産卵による影響であると思われる。
3. これら体成分の消長と平行して, イノシン酸とその関連物質の総量が, 産卵後(6月)に激減した。このことから, 産卵による魚体エネルギーの大量減耗がうかがわれる。
4. イノシン酸とその分解物の総量を, 新鮮時の最大イノシン酸含量とみなすと, 明らかにその産卵後における減少が認められた。したがって, このことが脂肪の減少とともに, 産卵後に魚肉の味が低下する原因であると思われる。しかしその後の氷蔵中におけるイノシン酸代謝は産卵とは無関係に進み, かつ個体差が著しい。
5. 多脂肪魚ではイノシン酸残存率が低くヒポキサンチン蓄積率が高い。また鮮度不良の少脂肪魚でも, ヒポキサンチンの蓄積が顕著であった。
6. 新鮮時の最大イノシン酸含量と市場魚価との間に, 正の相関関係が認められた。

文 献

- 1) 岩井 保・中村 泉・松原喜代松: 京都大学みさき臨海研究所特別報告, (2), 1 (1965).
- 2) 水産庁南海区水産研究所: マグロ延縄漁業年漁況図, 日本鯷漁業協同組合連合会, (1954).
- 3) 清水 亘: 水産利用学, 金原出版, 東京 (1953).
- 4) ———: 日水誌, 13, 27 (1947).

- 5) 清水 亘：日水誌, 15, 28 (1949).
- 6) JONES, N. R., and J. MURRAY: *Biochem. J.*, 66, 5 p (1957).
- 7) MURRAY, J., and N. R. JONES: *Biochem. J.*, 68, 9 p (1958).
- 8) 竹田正彦・示野貞夫：高知大学学術研究報告, 14 (自然科学 II), 115 (1965).
- 9) ———— : 高知大学学術研究報告, 13 (自然科学 II), 225 (1964).
- 10) 中野智夫：日水誌, 27, 147 (1961).
- 11) 坂口守彦・清水 亘：日水誌, 37, 72 (1965).
- 12) JONES, N. R., and J. MURRAY: *J. Sci. Fd Agric.*, 13, 475 (1962).
- 13) 斉藤恒行・新井 健：北大水産彙報, 6, 228 (1955).
- 14) JONES, N. R., and J. MURRAY: *Z. vergl. Physiol.*, 44, 174 (1961).
- 15) SPINELLI, J., M. EKLUND, and D. MIYAUCHI: *J. Food Sci.* 29, 710 (1964).
- 16) JONES, N. R., J. MURRAY, E. I. LIVINGSTON and C. K. MURRAY: *J. Sci. Fd Agric.*, 15, 763 (1964).

(昭和40年9月30日受理)