



Title	魚類の脂質代謝：Ⅰ. 網刺し魚と遊泳魚の脂肪酸組成の比較
Author(s)	林, 賢治; HAYASHI, Kenji; 高木, 徹 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 27(3-4), 172-180
Issue Date	1976-12
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/23596">https://hdl.handle.net/2115/23596</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	27(3_4)_P172-180.pdf



## 魚類の脂質代謝

### I. 網刺し魚と遊泳魚の脂肪酸組成の比較

林 賢治\*・高木 徹\*

#### Lipid Metabolism in Fish

##### I. Comparison of fatty acid compositions in gilled fish and impounded fish

Kenji HAYASHI\* and Toru TAKAGI\*

#### Abstract

The purpose of this study is to elucidate, if possible, the selectivity of the fish in utilizing its fatty acids of lipid stores as energy sources. The fish examined were gilled fish and impounded fish of true sardine (*Sardinopus melanosticta*) and young yellow-tail (*Seriola quinqueradiata*). Gilled fish caught in the mesh of the set net bag underwent excessive exercise, while impounded fish were free swimming in the same bag.

The average contents of total lipids in flesh showed a little difference between gilled fish and impounded fish for both true sardine and young yellow-tail. While in the liver of young yellow-tail, the contents in gilled fish were somewhat higher than that of impounded fish. Pointing out of the obvious differences of lipid characteristics between gilled fish and impounded fish, in the case of true sardine flesh, it showed a decreasing tendency in phospholipid contents in gilled fish. The acid values for neutral lipids were remarkably higher in gilled fish.

For the fatty acid compositions, little differences between gilled fish and impounded fish were recognized in those of neutral lipids and triglycerides for true sardine flesh. The same was true of neutral lipids in the flesh and the liver, and of phospholipids in the liver, for young yellow-tail. However, in those of phospholipids in the flesh of gilled fish for true sardine and young yellow-tail, the contents of 16:0, 20:5 and 22:6 acids varied widely, at 20:5 and 22:6 acids decreased, while in contrast at 16:0 acid increased. From the results, it was inferred that fatty acid metabolism in flesh phospholipids of gilled fish and impounded fish might be distinct. Polyenoic acids such as 20:5 and 22:6 acids in phospholipids were utilized on the components of cell membranes or those of mitochondria. In addition, it was presumed that these acids played a possible role in pressing energy sources by a distinctive metabolic pathway.

In an additional investigation (June to Dec., 1973) on impounded fish alone, the total lipid contents in flesh varied seasonably, but the phospholipid contents remained nearly constant in the total lipids (see Fig. 5). Although, in the fatty acid compositions of phospholipids (see Fig. 6), (20:5+22:6) acid contents varied widely as compared with those of (14:0+16:0+18:0) and (16:1+18:1) acids. These results showed that phospholipid fatty acids underwent a metabolic variation.

\* 北海道大学水産学部魚油化学講座 (Laboratory of Chemistry of Fish Oil, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

## 緒 言

魚類の運動エネルギー源として脂肪酸が関与することは、従来多くの研究から明らかにされているが、その脂肪酸代謝において脂肪酸の利用の選択性については充分明らかにされていない。一方、環境の変化、飢餓、異常運動などの‘ストレス’は魚類の脂肪酸代謝に影響することが知られている<sup>1-6)</sup>。さらに飢餓あるいは負荷の大きな運動の場合は、中性脂質（蓄積脂質）の代謝とともに、リン脂質（組織脂質）も変動することが報告されている<sup>6-9)</sup>。

魚類が網目に刺すと刺し運動によって次第に網目に入り、魚体筋肉は網目の脚張力で圧迫を受けるとさらに強い逃避運動を行い、時間の経過に伴ってその運動は減衰して魚体が刺し止められる。このような異常な運動は魚類のエネルギー代謝に影響するものと思われた。本報では、魚類の運動と脂肪酸代謝の関係を明らかにする目的から、マイワシ (*Sardinopus melanosticta*) およびブリ若魚 (*Seriola quinqueradiata*) を試料魚に用い、異常運動を体験した網刺し魚と通常の遊泳魚について、それらの筋肉または肝臓の中性脂質、トリグリセリドおよびリン脂質の脂肪酸組成を比較検討した。

一方、魚類のリン脂質はほぼ一定の含量を示すことが知られているが、その脂肪酸組成も一定であるのか、漁獲時期の異なるマイワシ筋肉を試料として調べた。

## 試 料

試料魚のマイワシおよびブリ若魚は、できるだけ人為的な要因を排除する目的から、それぞれ1973年7月、8月に函館近郊の上磯沖に設置された定置網より得た。この定置網では毎早朝(4~5a. m.) 1回の網起しを実施した。同時に採集した試料の遊泳魚は定置網内で遊泳していた群、網刺し魚は定置網の網目に刺し止められてすでに死亡していた群である。マイワシの場合、網目に刺し止められ、まだ生きている群も分析に供した。なお、網目に刺し止められてからの時間的経過については実測できなかったが、網刺しによる異常運動を体験した群として扱った。試料魚の体長、体重、肥満度などは表1に、また、前述の定置網で1973年6月~12月にかけて漁獲されたマイワシの生物学的特性を表2にそれぞれ示してある。

Table 1. *Biological measurements for gilled fish and impounded fish of true sardine and young yellow-tail.*

		No. of Fishes	Body Length* cm	Body Weight* g	Fatness index*
True sardine	Impounded fish	10	18.1	76	12.8
	Gilled fish I**	10	18.4	87	13.9
	Gilled fish II**	10	18.2	76	12.6
Young yellow-tail	Impounded fish	7	17.9	114	19.8
	Gilled fish II**	7	15.9	80	20.0

\* Mean. \*\* Gilled fish I are alive, and II dead samples.

## 実験方法

**脂質の抽出** 網刺し魚と遊泳魚の試料は各1尾ごとに筋肉を分割し、また、ブリ若魚の肝臓は、それぞれ7尾ずつ合してクロロホルム-メタノール (1:2, v/v)<sup>10)</sup> により全脂質を抽出した。また、6月~12月(1973年)に漁獲されたマイワシ筋肉の全脂質は、それぞれ2~16尾ずつを合して同様に抽出して得た。

Table 2. *Biological measurements for true sardine caught from June to Dec. in 1973.*

Day and Month	No. of fishes	Body length* cm	Body weight* g	Fatness index*
28, June	15	17.7	78.2	14.2
13, July	15	17.7	73.3	13.3
27, July	15	18.0	75.8	13.1
12, Aug.	14	17.1	69.0	13.7
25, Aug.	16	17.9	79.3	13.7
14, Sep.	15	18.5	87.4	13.8
26, Sep.	15	17.8	73.0	13.0
7, Oct.	7	17.8	75.8	13.5
31, Oct.	2	19.2	83.0	11.7
14, Nov.	6	18.1	77.8	13.1
11, Dec.	15	17.9	80.3	13.9

\* Mean.

**中性脂質とリン脂質の分画** 各試料の全脂質(約1g)を、110°C, 5hrs 活性化した珪酸(マリンクロット製)-セライト 545 (和光純薬製) (2:1, w/w, 約40g) のカラムクロマトグラフィーにかけ、クロロホルム(約400ml)で中性脂質を、続いてメタノール(約200ml)によりリン脂質を分画した。また、試料マイワシの網刺し魚と遊泳魚の中性脂質の酸価と不ケン化合物含有率を測定<sup>11)</sup>した。

**トリグリセリドの分画** 試料マイワシについて、網刺し魚と遊泳魚の筋肉中性脂質を、110°C, 5hrs 活性化した珪酸(関東化学製, 100 mesh, 約100倍量) のカラムクロマトグラフィーにかけ、4% エーテル-ヘキサンで炭化水素、ステリンエステル類を溶出させたのち、10% エーテル-ヘキサンにより

Table 3. *Total lipid, neutral lipid and phospholipid contents, and*

		Part	Total lipid %* <sup>1</sup> (range)	Neutral lipid %* <sup>1</sup> (range)
True sardine	Impounded fish	Flesh	4.6 (3.8-5.4)	3.5 (2.2-4.3)
	Gilled fish (alive)		5.0 (3.3-8.5)	4.1 (2.4-7.5)
	Gilled fish (dead)		4.8 (2.3-6.8)	4.0 (1.5-5.9)
Young yellow-tail	Impounded fish	Flesh	1.4 (1.2-1.5)	0.7 (0.5-0.9)
	Gilled fish (dead)		1.2 (1.0-1.4)	0.6 (0.3-0.8)
	Impounded fish	Liver	4.6	3.5
	Gilled fish (dead)		6.0	4.5

\*<sup>1</sup>% to wet weight, mean. \*<sup>2</sup>Mean. \*<sup>3</sup>% to neutral lipid.

トリグリセリド成分を溶出分画した。そのあとエーテルで遊離ステリン、脂肪酸などが溶出された。トリグリセリド画分に他成分が混入していないことを薄層クロマトグラフィー（薄層板：20×20cm, 吸着剤：ワコーゲル B-5, 250 $\mu$ , 活性化：100°C, 60 min, 展開溶媒：ヘキサン-エーテル-酢酸（90:10:1, v/v）, 検出試薬：15% リンモリブデン酸-エタノール溶液）で確認した。

**脂肪酸分析** 中性脂質、トリグリセリド、リン脂質の脂肪酸組成は、常法に従ってそれぞれの画分より得た混合脂肪酸を BF<sub>3</sub>-メタノール<sup>12)</sup> 中でエステル化した脂肪酸メチルをガスクロマトグラフィー (GLC) 分析して求めた。GLC 分析の条件は、ガスクロマトグラフ：G8 型 (FID 検出器, 柳本製), カラム：ステンレス製 U 字管 (3mm $\phi$ ×1.5m), 充填剤：10% DEGS (Chromosorb W AW, 80/100 mesh, ガスクロ工業製), 恒温槽および試料導入部温度：190°C, 240°C, 窒素 (キャリアーガス), 水素および空気の流量：0.7 kg/cm<sup>2</sup>, 15 ml/min, 0.6 l/min である。脂肪酸組成は百分率 (wt%) で表わした。

## 結 果

**網刺し魚および遊泳魚の脂質の性状** 試料マイワシ・ブリ若魚の網刺し魚と遊泳魚の筋肉、肝臓の脂質含有率、中性脂質とリン脂質含有率、およびマイワシ筋肉中性脂質のトリグリセリド含有率、酸価、不ケン化物含有率の分析結果を表 3 に示す。試料魚は表 1 に示したように網刺し魚、遊泳魚ともほぼ同じ大きさのものを分析に供したが、筋肉の脂質含有率はマイワシ、ブリ若魚とも個体差による若干のバラツキがあった。網刺し魚と遊泳魚間の特徴をとらえるため脂質含有率の平均値で比較したが、両者間に著しい差異は認められなかった。しかし、ブリ若魚の肝臓の脂質含有率は網刺し魚において高かった。中性脂質とリン脂質について、中性脂質含有率/リン脂質含有率 (NL/PL) の比をとると、マイワシ筋肉の NL/PL 比は遊泳魚の 3.2 に対して、網刺し魚 (生存群), (死亡群) でそれぞれ 4.6, 5.7 の高値を与えた。この結果は、網刺し魚のリン脂質が減少していることを示したが、ブリ若魚の筋肉および肝臓で、NL/PL 比に同様の差異が認められなかったのは、マイワシとブリ若魚の

*characteristics of neutral lipid for gilled fish and impounded fish.*

Phospholipid %* <sup>1</sup> (range)	Ratio* <sup>2</sup> of NL/PL	Neutral lipid		
		Triglyceride %* <sup>3</sup> (range)	Acid value* <sup>2</sup> (range)	Unsap. matter %* <sup>2</sup> (range)
1.1 (0.9-1.2)	3.2	91.7 (86.3-96.5)	3.7 (2.1-5.4)	7.8 (5.0-13.5)
0.9 (0.7-1.0)	4.6	—	—	—
0.7 (0.5-0.9)	5.7	82.3 (70.6-93.7)	10.3 (3.9-28.4)	6.9 (4.8-11.3)
0.7 (0.6-1.0)	1.0	—	—	—
0.6 (0.5-0.9)	1.0	—	—	—
1.1	3.2	—	—	—
1.5	3.0	—	—	—

筋肉の脂質含有率，中性脂質とリン脂質含有率が両種間で相違していることから，魚種による差と思われる。

マイワシ筋肉の中性脂質の不ケン化物含有率（平均値）は，網刺し魚と遊泳魚間で大差を示さなかったが，酸価（平均値）は明らかに網刺し魚において高値であった。この網刺し魚における遊離脂肪酸の増加は，網刺しによる異常な運動を体験したこととも関連があろう。また，マイワシ筋肉の中性

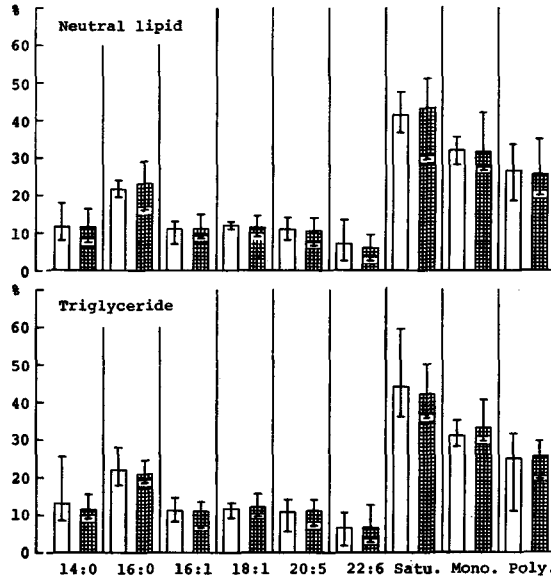


Fig. 1. Contents of major fatty acid components, and of saturated, monoenoic and polyenoic acids in flesh neutral lipid (upper) and triglyceride (lower) of impounded fish (□) and gilled fish (dead) (▨) for true sardine.

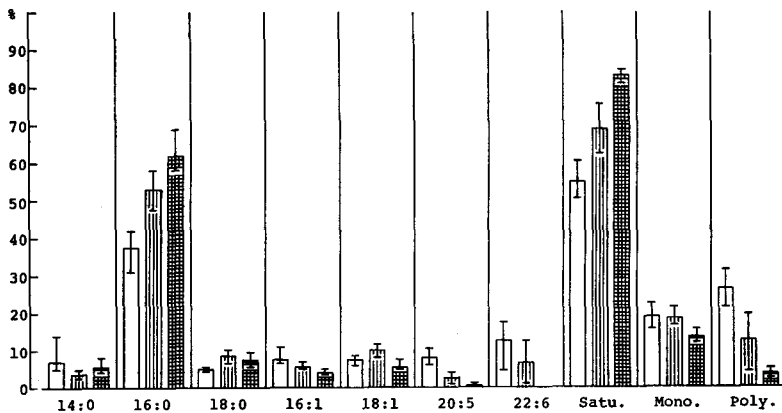


Fig. 2. Contents of major fatty acid components, and of saturated, monoenoic and polyenoic acids in flesh phospholipid of impounded fish (□), gilled fish (alive) (▨), and gilled fish (dead) (▩) for true sardine.

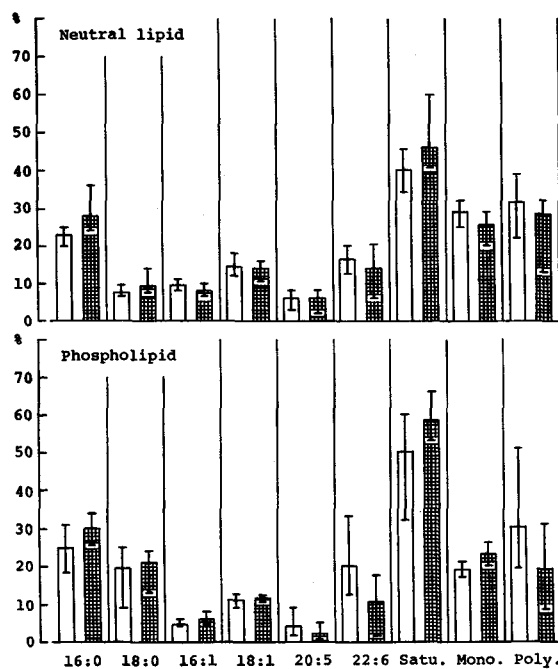


Fig. 3. Contents of major fatty acid components, and of saturated, monoenoic and polyenoic acids in flesh neutral lipid (upper) and phospholipid (lower) of impounded fish (□) and gilled fish (dead) (▨) for young yellow-tail.

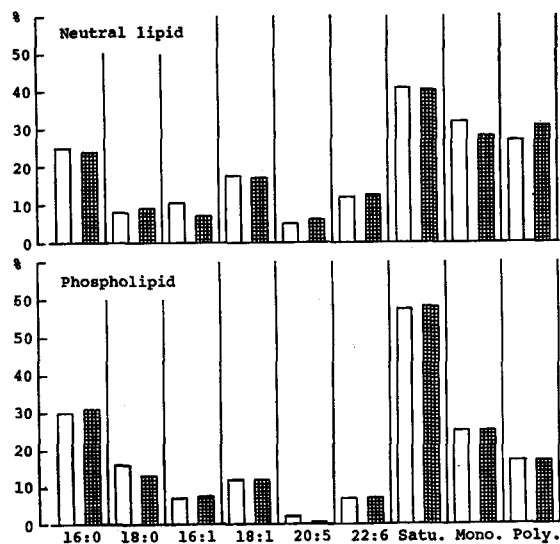


Fig. 4. Contents of major fatty acid components, and of saturated, monoenoic and polyenoic acids in liver neutral lipid (upper) and phospholipid (lower) of impounded fish (□) and gilled fish (dead) (▨) for young yellow-tail.

脂質のトリグリセリド含有率(平均値)は網刺し魚 82.3%, 遊泳魚 91.7% であり, 後者において高値であった。しかし, 全脂質中のトリグリセリド含有率を算出すると, それぞれ約 69%, 約 70% であり両者はほぼ同含有率であった。このことは, 網刺し魚でトリグリセリドが消費されたのではなく, 遊離脂肪酸の増加による相対的な減少と考えられる。

**網刺し魚と遊泳魚の脂肪酸** GLC 分析により求めたマイワシ, プリ若魚の筋肉または肝臓の中性脂質, トリグリセリド, リン脂質の脂肪酸組成から, 網刺し魚と遊泳魚間の差異を見出すため, それぞれ組成中の比較的含有率の高い主要脂肪酸および飽和酸, モノエン酸, ポリエン酸の平均含有率を比較した(図1~図4)。マイワシ筋肉の中性脂質およびトリグリセリドにおいて(図1), トリグリセリドで僅かな飽和酸含有率の減少, モノエン酸含有率の増加を示した。しかし, マイワシ筋肉のリン脂質では(図2), 網刺し魚と遊泳魚間に顕著な差異が認められた。すなわち, 16:0, 20:5, 22:6 酸含有率の変動が大きく, 網刺し魚で 20:5, 22:6 酸含有率の減少と 16:0 酸含有率の増加の傾向を示し, 網刺し魚(生存群)は遊泳魚と網刺し魚(死亡群)の中間の値となった。また, 飽和酸:モノエン酸:ポリエン酸の含有率は, 遊泳魚 55:19:26(%), 網刺し魚(生存群) 69:19:12(%), 網刺し魚(死亡群) 83:14:3(%)を示し, 網刺し魚で飽和酸含有率は増加し, ポリエン酸含有率が減少していた。プリ若魚筋肉の中性脂質とリン脂質では(図3), 網刺し魚の中性脂質において, 16:0 酸含有率の増加, 22:6 酸含有率の減少および飽和酸含有率の増加, モノエン酸とポリエン酸含有率の減少を示したが, その増減はいずれも僅少であった。しかし, リン脂質においては, マイワシ筋肉のリン脂質で示したと同様の傾向, すなわち, 網刺し魚で 16:0 酸含有率の増加と 20:5, 22:6 酸含有率の減少および飽和酸含有率の増加とポリエン酸含有率の減少が認められた。プリ若魚筋肉のリン脂質におけるこの傾向は, マイワシの場合ほど顕著でなかったが, これは前述したように脂質含有率, および中性脂質とリン脂質含有率が, 両種間で異なることから魚種による差とも思われる。さらに, プリ肝臓の中性脂質とリン脂質においては(図4), 網刺し魚の中性脂質で僅かなモノエン酸含有率の減少とポリエン酸含有率の増加が, また, リン脂質で僅かな 18:0 酸含有率の減少が認められたが, 中性脂質, リン脂質とも網刺し魚と遊泳魚間で顕著な差異を示さなかった。

**マイワシ筋肉脂質およびリン脂質脂肪酸組成の時期的変動** 図5に1973年6月~12月にかけて漁獲されたマイワシ筋肉の脂質含有率および中性脂質とリン脂質の含有率を図示してある。図5から明

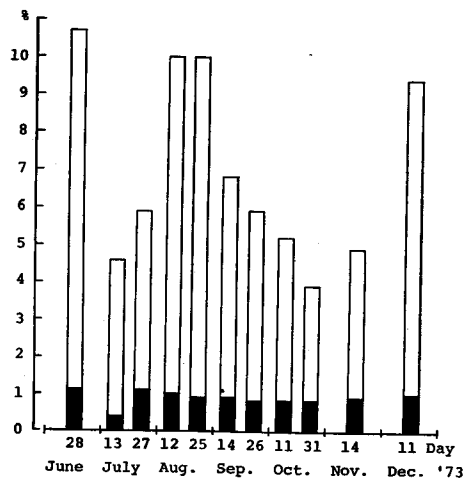


Fig. 5. Seasonal changes of total lipid contents of flesh; neutral lipid (□) and phospholipid (■), for true sardine caught from June to Dec. in 1973.

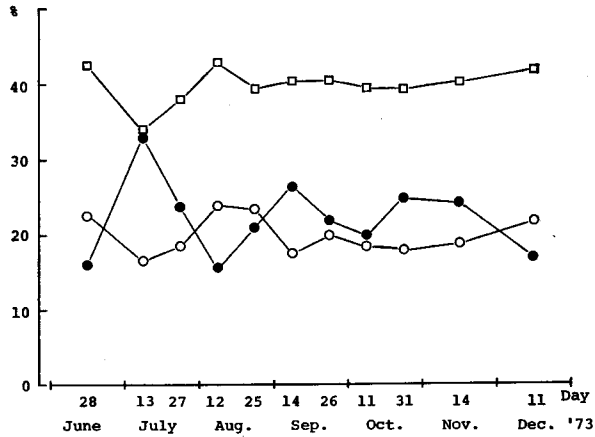


Fig. 6. Seasonal variations of (14:0+16:0+18:0, □—□), (16:1+18:1, ○—○) and (20:5+22:6, ●—●) acid contents in flesh phospholipid for true sardine caught from June to Dec. in 1973.

らかなように、マイワシ筋肉の脂質含有率は時期的な変動を示したが、リン脂質含有率は7月13日の低値(筋肉組織に対して0.4%)を除くと、6月~12月にかけて0.8~1.1%のほぼ一定の割合で含有された。すなわち、脂質含有率の変動は主として中性脂質の増減に対応していることが判る。また、リン脂質の脂肪酸組成について、比較的含有率の高い主要な脂肪酸の含有率合計、すなわち、(14:0+16:0+18:0)酸、(16:1+18:1)酸、(20:5+22:6)酸含有率の時期的変動を図示したのが図6である。(14:0+16:0+18:0)酸含有率は34~43%、(16:1+18:1)酸含有率は17~24%の範囲でそれぞれ変動し、その増減傾向は両者ではほぼ同様であったが、一方、(20:5+22:6)酸含有率は前2者の増減傾向とは異なり、その変動域も16~33%と大であった。

#### 考 察

網刺しによる異常運動を体験した網刺し魚(特にマイワシ筋肉)で、リン脂質の減少傾向が認められた。このリン脂質の減少は、ニシン(*Clupea harengus*)を4ヶ月間飢餓状態におくとリン脂質が減少すること<sup>6)</sup>、産卵回遊したカラフトマス(*Oncorhynchus gorbusha*)の肝臓脂質<sup>7)</sup>、血清脂質<sup>8)</sup>およびサケ(*O. tshawitscha*)の筋肉脂質<sup>9)</sup>において、トリグリセリドの減少と同時にリン脂質が減少するという結果と類似した。すなわち、これらの結果は、飢餓あるいは負荷の大きいはげしい運動の場合は、中性脂質(蓄積脂質)の代謝に加えて、リン脂質(組織脂質)も変動することを示唆したものと考えられる。

また、環境の変化、飢餓、異常運動などの‘ストレス’は魚類の脂肪酸代謝にも影響することが知られている。Saddlerら<sup>4)</sup>はシロサケ幼魚(*O. keta*)を人為的に淡水域から海水域へ導入すると、その脂肪酸組成において、20:5、22:6酸含有率は減少し、相対的に16:0、18:0、18:1酸含有率が増加することを認め、これは捕獲、麻酔処理および海水域への導入による一時的飢餓などによる‘ストレス’と関連するものと推察した。Kruegerら<sup>2)</sup>はギンザケ幼魚(*O. kisutch*)を52cm/secの適度な流速下と59cm/secの高流速下におくと、前者で18:1、16:0、16:1酸含有率が減少するが、後者の遊泳可能限界においては、22:6、18:2、18:4酸のポリエン酸含有率が減少することを認めた。また、魚類を長期間飢餓の状態におくと、ポリエン酸は消耗するが、短時間の飢餓ではポリエン酸が維持されること

が知られている<sup>3-5)</sup>。これらの知見と異常運動を体験した網刺し魚のリン脂質脂肪酸組成において、20:5, 22:6 酸含有率が減少傾向を示したことを併せ考えると、ポリエン酸の代謝は特異性のあることを示唆した。

今回の実験結果から、通常の遊泳運動と負荷の大きい異常運動では筋肉の脂質代謝に相異があり、網刺し魚の筋肉リン脂質の 20:5, 22:6 酸の減少が顕著なことは、これら脂肪酸が選択的に利用されたものと思われた。すなわち、リン脂質のポリエン酸 (20:5, 22:6 酸) は細胞膜、ミトコンドリア膜などの構成成分としての役割の他に、異常時 ('ストレス') においては、おそらく通常の代謝系とは異なる経路で緊急的エネルギー補給の役割を荷うものではないかと考えられる。なお、48時間絶食させたラットの横隔膜組織では、トリグリセリドの脂肪酸よりリン脂質の脂肪酸が優先して減少するという事実も報告<sup>13)</sup> されている。

また、マイワシ筋肉のリン脂質含有率は、筋肉組織に対してはほぼ一定値であったが、その脂肪酸組成は時期的に変動しており、とくに (20:5+22:6) 酸含有率の変動域の大きいことは、リン脂質の脂肪酸が常に一定でなく代謝転換していることを示唆した。

終りに、試料魚の採集にご便宜下さった北海道上磯町 坂見佐一郎氏に感謝します。

#### 文 献

- 1) Saddler, J.B., Koski, K.V., and Cardwell, R.D. (1972). Fatty acid alterations during migration and early sea water growth of chum salmon (*Oncorhynchus keta*). *Lipids* 7, 90-95.
- 2) Krueger, H.M., Saddler, J.B., Chapman, G.A., Tinsley, I.J., and Lowry, R.R. (1968). Bioenergetics, exercise, and fatty acids of fish. *Amer. Zool.* 8, 119-129.
- 3) Kelly, P.B., Reiser, R., and Hood, D.W. (1958). The origin and metabolism of marine fatty acids: The effect of diet on the depot fats of *Mugil cephalus* (the common mullet). *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 35, 189-192.
- 4) Nicolaidis, N. and Woodall, A.N. (1962). Impaired pigmentation in chinook salmon fed deficient in essential fatty acids. *J. Nutrition* 78, 431-437.
- 5) Reiser, R., Stevenson, B., Kayama, M., Choudhury, R.B.R., and Hood, D.W. (1963). The influence of dietary fatty acids and environmental temperature on the fatty acid composition of teleost fish. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 40, 507-513.
- 6) Wilkins, N.P. (1967). Starvation of herring, *Clupea harengus* L.: Survival and some gross biochemical changes. *Comp. Biochem. Physiol.* 23, 503-518.
- 7) Phleger, C.F. (1971). Liver triglyceride synthesis failure in post-spawning salmon. *Lipids* 6, 347-349.
- 8) Patton, S., Crozier, G.F., and Benson, A.A. (1970). Serum lipid and the death of spawning pacific salmon. *Nature* 225, 754-755.
- 9) Greene, C.W. (1919). Biochemical changes in the muscle tissue of king salmon during the fast of spawning migration. *J. Biol. Chem.* 39, 435-456.
- 10) Bligh, E.G. and Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37, 911-917.
- 11) 日本油化学協会編 (1966). 基準油脂分析試験法. p. 268. 朝倉書店. 東京.
- 12) Morrison, W.R. and Smith, L.M. (1962). Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol. *J. Lipid Res.* 3, 600-608.
- 13) Neptune, E.R. Jr., Sudduth, H.C., Foreman, R.D., and Fash, F.J. (1960). Phospholipid and triglyceride metabolism of excised rat diaphragm and role of these lipids in fatty acid uptake and oxidation. *Ibid.* 1, 229-235.