

ペヘレイ必須脂肪酸の解明－I

勝呂尚之・石橋秀之*・工藤盛徳**

健康なペヘレイを種苗生産するためには、その栄養要求に応じた飼料の給餌が必要である。魚類の栄養要求については、多くの魚種においてその必須脂肪酸の重要性が、明らかにされている。ペヘレイにおいても、イカ肝油による成長促進効果が示され、必須脂肪酸としてn3高度不飽和脂肪酸の重要性が示唆された。今年度は、ペヘレイの必須脂肪酸を明確にするため、配合飼料に各種脂肪酸を添加し、その成長、活力及び魚体の脂肪酸組成の比較を行った。

材料及び方法

実験 1

場内の餌料培養棟内に、500ℓパンライト水槽を6個設置し、平成2年7月21日から8月30日までの40日

間、飼育試験を行った。

供試魚はペヘレイ1年魚(平均体重32.8g)を脂肪酸欠乏飼料で30日間予備飼育したものを、各パンライト水槽に40尾ずつ収容した。

飼育水は湧水を使用し、流水式として各試験区ごとに0.1ℓ/秒の割合で注水した。

試験区の設定を第1表に示した。

飼料は市販のヒラメ稚魚用配合飼料をソックスレー脂肪脱脂法で脱脂した後、各種脂肪酸を添加したものを使用した。給餌は、1日に魚体重の2%を目安に、1日3回手撒きで与えた。

給餌開始時と終了時において、粗脂肪含有量と脂肪酸組成の魚体分析を行った。分析は魚体を肝臓、血合肉、普通肉に区分し、それぞれについて各区3尾ずつ

第1表 試験区の設定

	試験区	内 容
実験1	1	ココナッツオイル16%
	2	ココナッツオイル12%+オレイン酸4%
	3	ココナッツオイル12%+リノール酸4%
	4	ココナッツオイル12%+リノレン酸4%
	5	イカ肝油 16%
	6	無 脂 肪
実験2	1	ココナッツオイル16%
	2	ココナッツオイル12%+オレイン酸4%
	3	イカ肝油 16%
	4	ココナッツオイル12%+リノール酸4%

* 東海大学大学院海洋学研究科

** 東海大学海洋学部

分析した。

粗脂肪含有率は Folch 法を基本に、クロロホルム：メタノール＝2：1 混液によって、粗脂肪を抽出し求めた。脂肪酸分析は、抽出した粗脂肪をケン化、エステル化し、ガスクロマトグラフ分析を行った。

実験 2

場内の B 試験池内に、500 ℓ パンライト水槽を 4 個設置し、平成 2 年 11 月 8 日から 12 月 19 日までの 41 日間飼育試験を行った。飼育試験が終了し魚体測定を行った後、2 月 21 日までの 64 日間、活力試験を実施した。

供試魚は、ベヘレイ当歳魚（平均体重 6.9 g）を、脂肪酸欠乏飼料で 7 日間予備飼育したものを、各パンライト水槽に 100 尾づつ収容した。

飼育水は湧水を使用し、流水式として各試験区に 0.1 ℓ/秒の割合で注水した。

試験区の設定を第 2 表に示した。

飼料は市販のヒラメ用配合飼料をソックスレー脂肪脱脂法で脱脂した後、各脂肪酸を添加したものをを使用した。給餌は 1 日に魚体重の 2% を目安に、1 日 3 回手撒きで与えた。

活力試験は、飼育試験の継続で無給餌で行い、終了後にへい死数を数えてその活力を比較した。

結 果

実験 1

1) 飼育結果 実験期間中の水温は、12.4～24.0℃で、試験区ごとの差はなかった。

実験結果を第 2 表に示した。予備飼育中から供試魚の多くが細菌性の疾病にかかり、へい死が続出した。特に 5 区は鰓病も併発したため 8 月 10 日に 1 尾を残して全滅した。残りの 1 尾についても、その後は摂餌しなかった。

成長は、無脂肪とココナッツオイルと比較して、リノール酸、リノレン酸の各添加区が優れていた。

肥満度は、オレイン酸が高く、次いでリノール酸、リノレン酸、無脂肪、ココナッツオイルの順であった。

飼料効率は、オレイン酸（61.3%）、リノール酸（46.9%）、リノレン酸（36.3%）がココナッツオイル（2.5%）と無脂肪（8.1%）に比べ優れていた。

生残率は、リノール酸（77.5%）、リノレン酸（62.5%）、オレイン酸（42.5%）、無脂肪（37.5%）、ココナッツオイル（15.0%）、イカ肝油（2.5%）の順であった。

2) 魚体分析結果 魚体の脂肪酸分析結果を第 3 表～第 6 表に示した。

飼育開始時の粗脂肪含有率は、肝臓が 36.5%、血合肉が 10.2%、普通肉が 0.9% であった。飼育終了時の粗脂肪含有率は、3 区分ともにココナッツオイル、オレイン酸（18：1）、リノール酸（18：2）、リノレン酸（18：3）の各添加区で増加し、イカ肝油添加区及び無脂肪区では減少した。

飼育開始時の脂肪酸組成は肝臓で 18：1（37.0%）、16：0（19.0%）、22：6（6.7%）が多く、血合肉でも 18：1（27.2%）、16：0（17.9%）、22：6（16.7%）

第 2 表 実験 1 の飼育結果

		1 区 ココナッツオイル	2 区 オレイン酸	3 区 リノール酸	4 区 リノレン酸	5 区 イカ肝油	6 区 無脂肪
開始時	尾数 (尾)	40	40	40	40	40	40
	全長 (cm)	17.4	17.6	17.9	17.9	17.6	17.3
	体長 (cm)	14.9	15.1	15.3	15.2	15.1	14.9
	体重 (g)	31.9	32.0	33.5	32.8	32.8	30.7
終了時	尾数 (尾)	6	17	31	25	1	15
	全長 (cm)	17.8	18.1	18.7	18.8	18.6	17.9
	体長 (cm)	15.3	15.5	16.0	15.8	15.6	15.2
	体重 (g)	32.3	41.8	41.0	38.4	30.1	32.0
	肥 満 度	9.0	11.6	10.0	9.7	7.9	9.1
生 残 率 (%)		15.0	42.5	77.5	62.5	2.5	37.5
平均体重増 (g)		0.4	9.8	7.5	5.8	—	1.3
飼 料 効 率 (%)		2.5	61.3	46.9	36.3	—	8.1

第3表 魚全体の脂肪酸組成

(単位は%)

検出脂肪酸	給餌飼育前	給 餌 飼 育 後					
		1.コナツツオイル	2.オレイン酸	3.リノール酸	4.リノレン酸	5.イカ肝油	6.無脂肪
8:0							
10:0							
12:0		2.4	3.1	3.3	2.7		
14:0	2.2	8.1	7.4	7.5	6.8	2.9	2.1
15:0	0.3		0.4	0.3	0.4	0.2	0.6
16:0	21.0	21.5	20.3	20.8	20.7	23.8	17.9
16:1	7.1	8.3	7.2	5.7	5.4	6.0	7.1
16:2		0.4	0.3	0.3	0.1		
18:0	4.6	3.9	3.9	3.8	3.5	2.8	4.5
18:1	25.5	24.4	27.1	20.3	21.4	20.9	21.6
18:2	3.9	4.0	4.5	11.0	5.2	3.4	4.4
18:3	3.2	2.9	2.6	1.9	4.6	3.5	3.8
18:4	0.8	0.5	0.6	0.5	1.3	0.0	1.0
20:0	0.3	0.4	0.6	2.8	1.5	0.4	0.5
20:4	0.4	0.2	0.2	0.1	0.9	1.2	0.4
20:5	3.6	2.3	2.3	1.9	2.7	5.1	3.9
22:0		0.1	0.2	0.8	0.1	0.0	0.1
22:1	2.1	1.9	1.5	1.3	2.0	1.7	2.6
22:5	3.4	1.9	1.9	1.7	1.9	2.2	3.3
22:6	19.5	16.5	15.0	16.2	17.7	24.0	24.6
24:1	0.5	0.3	0.4	0.2	0.1	0.4	0.5
粗 脂 肪	3.7	5.9	7.4	7.3	5.3	2.6	2.6

第4表 筋肉の脂肪酸組成

(単位は%)

検出脂肪酸	給餌飼育前	給 餌 飼 育 後					
		1.コナツツオイル	2.オレイン酸	3.リノール酸	4.リノレン酸	5.イカ肝油	6.無脂肪
8:0							
10:0							
12:0		1.7	2.4	2.3	1.7		
14:0	2.0	6.6	6.1	5.8	5.0	1.8	2.0
15:0	0.3		0.4	0.3	0.3	0.1	0.7
16:0	22.2	24.1	22.4	23.6	22.1	24.6	19.5
16:1	5.3	7.1	6.3	5.0	4.5	3.6	6.3
16:2		0.2	0.2	0.1			0.6
18:0	4.5	4.4	4.6	4.3	4.0	3.1	4.7
18:1	22.2	22.2	24.3	18.9	19.3	16.9	18.3
18:2	3.2	3.2	3.8	9.6	4.4	2.4	3.6
18:3	2.6	2.2	2.2	1.6	3.8	2.3	2.6
18:4	0.8	0.2	0.5	0.3	0.9	0.0	0.7
20:0	0.3	0.2	0.4	2.0	1.2	0.1	0.4
20:4	0.4	0.2	0.2	0.1	0.8	1.0	0.3
20:5	4.5	2.9	2.8	2.4	3.5	6.2	4.8
22:0		0.1	0.1	0.5	0.1	0.0	0.1
22:1	2.3	2.1	1.7	1.5	2.2	2.1	2.7
22:5	3.4	1.9	1.9	1.8	2.1	2.5	3.0
22:6	23.5	20.3	18.5	20.4	22.9	30.9	29.0
24:1	0.5	0.3	0.5	0.2	0.2	0.4	0.4
粗 脂 肪	0.9	1.3	1.5	1.5	1.5	1.2	1.1

第5表 血合の脂肪酸組成

(単位は%)

検出脂肪酸	給餌飼育前	給 餌 飼 育 後					
		1.ココナツオイル	2.オレイン酸	3.リノール酸	4.リノレン酸	5.イカ肝油	6.無脂肪
8:0							
10:0							
12:0		2.8	4.7	3.7	4.8		
14:0	2.4	8.8	8.7	8.5	9.2	6.1	2.7
15:0	0.4		0.5	0.4	0.5		0.5
16:0	17.9	15.5	16.0	15.0	19.0	25.4	13.7
16:1	7.6	9.7	8.1	7.0	7.1	12.7	8.1
16:2		0.7	0.9	0.8			1.0
18:0	4.3	3.4	2.7	2.8	3.2	1.9	3.4
18:1	27.0	26.0	28.7	21.7	22.9	25.3	22.1
18:2	4.4	6.1	5.3	13.9	46.2	4.4	5.3
18:3	4.6	4.9	3.7	3.1	6.1	4.1	5.2
18:4	1.0	0.9	0.9	1.3	1.9		1.4
20:0	0.4	0.5	0.7	3.0	1.7	0.6	0.6
20:4	0.4	0.2	0.3	0.3	0.8	0.8	0.5
20:5	2.5	1.7	2.0	1.6	1.9	3.0	3.1
22:0		0.2	0.2	0.7	0.1		0.1
22:1	2.5	2.2	1.6	1.3	1.3	0.9	2.8
22:5	4.9	2.8	2.7	2.5	2.2	1.6	5.5
22:6	16.7	13.2	12.3	12.3	10.7	11.4	22.7
24:1	0.9	0.4	0.6	0.3	0.1	0.3	0.7
粗 脂 肪	10.2	16.0	19.8	21.3	18.6	9.5	9.1

第6表 肝臓の脂肪酸組成

(単位は%)

検出脂肪酸	給餌飼育前	給 餌 飼 育 後					
		1.ココナツオイル	2.オレイン酸	3.リノール酸	4.リノレン酸	5.イカ肝油	6.無脂肪
8:0							
10:0							
12:0		4.5	4.4	6.8	4.3		
14:0	2.9	13.5	11.3	13.2	11.4	3.9	2.1
15:0	0.3		0.6	0.5	0.6	0.7	0.3
16:0	19.0	17.4	16.5	15.3	16.5	18.7	16.1
16:1	10.1	11.5	9.9	6.9	7.3	9.2	9.0
16:2		0.6	0.7	1.3	0.8		1.1
18:0	5.3	2.8	2.7	2.7	2.5	2.2	4.9
18:1	37.0	31.5	34.7	24.5	28.0	32.3	34.1
18:2	6.4	5.2	6.6	14.1	7.3	6.3	6.5
18:3	4.1	3.6	3.2	1.9	6.3	7.7	7.0
18:4	1.2	0.7	1.5	0.8	2.1		1.4
20:0	0.6	1.1	1.5	5.9	2.3	1.1	0.9
20:4	0.3	0.2	0.3	0.1	1.5	2.2	0.5
20:5	0.9	0.5	0.5	0.4	1.1	2.6	0.9
22:0		0.2	0.4	1.6	0.3		0.2
22:1	1.5	0.8	0.8	0.6	2.1	0.9	2.4
22:5	2.0	1.1	0.9	0.4	1.0	2.0	2.5
22:6	6.7	4.4	3.9	3.2	4.3	9.0	8.7
24:1	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.8
粗 脂 肪	36.5	49.5	52.1	47.7	41.4	21.7	22.8

が多い。普通肉では、22：6（23.5%）、18：1（22.2%）、16：0（22.2%）が多い。

飼育終了時には、無脂肪区で18：1、16：1、18：2、18：0が減少した。ココナッツオイル区では、16：1、20：4が増加した。オレイン酸添加区では18：1が増加した。リノール酸添加区では、18：2が大幅に増加した。リノレン酸添加区では、18：3の増加は少なかった。イカ肝油添加区は生存が悪かったため、言及を差し控える。

実験 2

試験期間中の水温は13.5～17.3℃で、試験区ごとの差はなかった。

実験結果を第7表に示した。

成長は、全長、体長、体重ともにイカ肝油が優れ、

次いでリノール酸、オレイン酸、ココナッツオイルの順であった。

肥満度は、オレイン酸、イカ肝油、リノール酸がココナッツオイルより高かった。

飼料効率は、イカ肝油が62.5%で最も良く、次いでリノール酸（49.7%）、オレイン酸（40.8%）、ココナッツオイル（8.8%）の順であった。

生残率は、オレイン酸、イカ肝油、リノール酸が100%であり、ココナッツオイルが98%でほとんど差はなかった。

絶食による活力試験の生残率は、オレイン酸（95.8%）、イカ肝油（89.0%）、リノール酸（51.6%）、ココナッツオイル（12.9%）の順であった。

第7表 実験2の飼育結果

		1 区 ココナッツオイル	2 区 オレイン酸	3 区 イカ肝油	4 区 リノール酸
開 始 時	尾数（尾）	100			
	全長（cm）	11.9			
	体長（cm）	10.2			
	体重（g）	9.8			
	肥満度	10.4			
終 了 時	尾数（尾）	98	100	100	100
	全長（cm）	12.1	12.7	13.2	13.0
	体長（cm）	10.4	10.9	11.4	11.2
	体重（g）	10.5	13.0	14.7	13.7
	肥満度	9.3	10.0	9.9	9.8
生 残 率（%）		98.0	100.0	100.0	100.0
平均体重増（g）		0.7	13.0	14.7	13.7
飼 料 効 率（%）		8.8	40.8	62.5	49.7

考 察

実験1では予備飼育からへい死魚続出し、本試験に入ってから、へい死は止まらず試験終了時の生残率は各区とも低いものになった。予備飼育中にへい死した魚は、へい死魚の外部所見及び細菌検査結果から *Aeromonas salmonicida* 感染症¹⁾ であることが判明した。

本試験中のへい死魚については、各区とも外部所見は健康魚と変わりが無いものが多かった。しかし、これらのへい死魚は、生きていたときは魚体が白化し、

ふらふらと水面付近を力なく泳いでいるものが多かった。

無脂肪飼料やEFA欠乏飼料での飼育により、生残率の低下や成長阻害、ショック症状などの必須脂肪酸欠乏症の発生例が、多くの魚種で知られている。特に、シマアジはEFA欠乏に敏感で、EFA欠乏飼料で長期間飼育すると、多量のへい死を引き起こす²⁾ ことが知られている。ペヘレイもシマアジと同様にEFA欠乏に敏感で、40日間にわたる脂肪酸欠乏飼料での飼育により、予備飼育終了時までにかかなりの魚が衰弱してしまい、本試験での生残率の低下を引き起こしたと考

えられる。その中でイカ肝油添加区の生残率が極端に悪かった。しかし、そのへい死の原因は、8月10日に突発的に発生した細菌性の鰓病が直接の要因と考えられるので、実験1でのイカ肝油の生残率の低さは、必須脂肪酸としてのイカ肝油の添加効果とは、何ら関係がないものと判断した。

実験2ではイカ肝油がリノール酸やオレイン酸、ココナッツオイルに比較して成長が改善された。このことはイカ肝油の主成分である $n-3$ HUF A ($n-3$ 高度不飽和脂肪酸)が、ペヘレイのEFAとして、リノール酸、オレイン酸およびココナッツオイルの主成分であるラウリン酸よりも優れた添加効果を持つことを示唆している。

また実験1の結果より、無脂肪区およびココナッツオイルとの比較でオレイン酸、リノール酸、リノレン酸に成長促進効果が見られた。さらに、実験2よりオレイン酸とリノール酸はココナッツオイルより成長を改善することが再確認された。しかし、実験1で最大の成長を示したオレイン酸とリノール酸は、実験2の結果ではその成長促進効果は、イカ肝油には及ばなかった。

ペヘレイの栄養要求に関する今までの研究で、成魚におけるタラ肝油の成長促進効果⁹⁾が知られ、また稚魚ではイカ肝油が、大豆油やタラ肝油よりも優れた添加効果を持つ¹⁾ことが知られている。特にイカ肝油とビタミン剤の併用が成長および生残に効果的である⁵⁾ことが解明されている。今回の試験結果においても、イカ肝油の添加区で最大の成長促進が見られ $n-3$ HUF Aが、ペヘレイのEFAとして重要であることが再認識された。また、リノール酸やリノレン酸、オレイン酸については、イカ肝油よりは効果が劣るものの、ココナッツオイルよりは成長が改善されており、ペヘレイのEFAとしての可能性を示している。

一般に、ニジマス⁶⁾やコイ⁷⁾などの淡水魚では、 $n-3$ HUF Aの他に、リノレン酸やリノール酸の添加効果が認められている。他方、マダイ⁸⁾に代表される海水魚のEFAは、 $n-3$ HUF AがEFAとして高い効力を持つ点では、ニジマスやコイ等の淡水魚と同じだが、淡水魚において高い栄養価をもつリノール酸やリノレン酸には、EFAとしての効果がほとんどない。ペヘレイもリノール酸やリノレン酸が多少成長を改善したという点では、ニジマスやコイと同様のEFA要求をもつことが推察される。オレイン酸の添加効果に

ついては、今までの研究からはあまり類似の報告がないが、セラピア⁹⁾においてオレイン酸単用区がかなり良好な成長を示している事例がある。しかし、給餌後12週間後には比肝重値の増加等のEFA欠乏症の徴候を示している。ペヘレイでも、実験1のオレイン酸添加区では生残率がかなり悪く、無脂肪区と同程度であったことから、実験2でも試験期間を延長すれば生残が悪化する可能性も考えられ、オレイン酸の添加効果については疑問が残る。

一方、魚体の分析結果から判断して、試験開始時と試験終了時の各脂肪酸の増減より、ペヘレイは18:1、16:2、18:2、18:0を利用することが推察される。特に、18:1はよく利用されるようである。

ココナッツオイル添加区において飼料に含まれていない16:1、20:0が増加していることから、それらの脂肪酸を合成する能力があるものと思われる。また、18:1がよく利用されているにも関わらず、増加していることから18:1を生合成する能力を持つものと推察される。一般に魚類においては16:1は16:0から、18:1は18:0から生合成されることが知られており、ペヘレイもこれらの生合成能力を持つものと考えられる。さらに、ラウリン酸などの低級飽和酸からの長鎖化が知られており、20:0が増加していることからこの能力もあると考えられる。

オレイン酸(18:1)添加区においては18:1の増加が見られるものの、18:1系の20:3が見出されないことから18:1から20:3への生合成能力はないと思われる。

リノール酸(18:2)添加区においては、18:2が大幅に増加し、20:4 $n-6$ 、22:5が増加していないことから、ペヘレイは18:2を体内に取り込むものの、20:4 $n-6$ 、22:5への生合成は行われないと考えられる。

リノール酸(18:3)添加区において、18:3の増加が少なく20:4 $n-3$ が増加していることから18:3から20:4 $n-3$ への生合成が行われていることが推察される。

しかし、今回の分析結果だけでは18:1系の回路、あるいは18:3系の20:4 $n-3$ からの生合成能力は確認できず、今後の研究課題である。

また、コイ⁷⁾、ニジマス¹⁰⁾、シマアジ¹¹⁾等の多くの魚種においてEFA欠乏の症状として、魚体および肝臓組織中に16:1や18:1等のモノエンの増加が認め

られる。さらに、コイ⁷⁾、ソウギョ¹¹⁾、コレゴヌス¹²⁾等の淡水魚においては20:3の増加が顕著である。しかしペヘレイの無脂肪区やココナツオイル添加区の、魚体の分析結果からはこれらの症状は見出されない。これは、ペヘレイが他の魚種とは違った脂肪酸の代謝経路を持つことを示唆している。しかし試験期間が短いために、モノエンや20:3の蓄積が見られなかった可能性もあり、明言できない。

今回の試験では、供試魚および施設の都合により十分な試験区の設定ができず、試験期間も短期間にせざるをえなかった。特に実験1で40日間、実験2で41日間の試験期間は、各試験区の差異を明確にするためには期間が短すぎた。これらの脂肪酸のEFAとしての重要性を論じるためには、さらに長期間の飼育試験を行い、成長や活力、内部形態等を比較すると同時に、魚体の脂肪酸組成を分析しその比較検討を行う必要がある。

謝 辞

本研究の実施にあたり多大な協力をいただいた北里大学水産学部奥村慎一郎君に深く感謝する。また、貴重な御助言と御校閲の労を賜った水産試験場戸井田伸一主任技師に深謝する。

摘 要

- 1) ペヘレイの必須脂肪酸を解明するため、配合飼料に各種脂肪酸を添加し、成長、生残及び魚体の脂肪酸組成へ与える影響を調べた。
- 2) 実験1では、オレイン酸、リノール酸及びリノレン酸の各添加区がココナツオイル添加区の成長を改善した。イカ肝油添加区は鰓病の発生のため1尾を残し全滅した。
- 3) 実験1の魚体分析より、ペヘレイは16:0、16:1、18:0、18:1、18:2を利用し、16:1、18:1、20:0、20:4 n-3を生合成する能力があると推察される。
- 4) 実験2では、イカ肝油の添加区が最大の成長を示し、リノール酸とオレイン酸の添加区は、ココナツオイル添加区に比較して成長が改善された。
- 5) 今回の試験では、ペヘレイの必須脂肪酸を明確にするためには試験期間が短かった。さらに長期間での飼育試験を行い、成長や活力、内部形態等を比較すると同時に、魚体の脂肪酸組成を分析しその比較

検討を行う必要がある。

引用文献

- 1) 佐藤茂・山崎尚(1990): 池中養殖ペヘレイの *Aeromonas salmonicida* 感染症の発生, 神奈川県淡水魚増殖試験場報告, 26, 79~83.
- 2) 渡辺武・荒川敏久・竹内俊郎・佐藤秀一(1989): シマアジ稚魚に対する必須脂肪酸としてのエイコサペンタエン酸とドコサヘキサエン酸の有効性, 日本水産学会誌, 56 (8).
- 3) 石崎博美・小山定久(1982): ペヘレイに対する飼料への油脂添加効果試験, 神奈川県淡水魚増殖試験場報告, 17, 98~100.
- 4) 戸井田伸一(1990): ペヘレイ健苗量産技術開発試験-Ⅲ, ペヘレイ飼料への油脂添加がペヘレイの成長・活力に及ぼす影響, 神奈川県淡水魚増殖試験場報告, 26, 28~34.
- 5) 戸井田伸一(1991): ペヘレイ稚魚へのイカ肝油添加効果, 神奈川県淡水魚増殖試験場報告, 27, 32~34.
- 6) 竹内俊郎(1978): 淡水魚の必須脂肪酸と脂肪の栄養価, 養魚と飼料脂質, 水産学シリーズ(22), 恒星社厚生閣, 23~42.
- 7) 渡辺武・竹内俊郎・荻野珍吉: コイの成長に対するリノール酸とリノレン酸の添加効果-Ⅱ, 日本水産学会誌, 41 (2) 263 ~269.
- 8) 米康夫・古市政市: 海産魚の栄養要求に関する研究, マダイに対する脂質の栄養効果について, 昭和42年度日本水産学会春季大会講演要旨集.
- 9) 竹内俊郎・佐藤秀一・渡辺武(1983): *Tilapia nilotica*の必須脂肪酸要求, 日本水産学会誌, 49 (7) 1127~1134.
- 10) 渡辺武・小林一郎・打江長武・荻野珍吉(1974): 必須脂肪酸欠乏ニジマスの脂肪酸組成, 日本水産学会誌, 40 (4) 387 ~392.
- 11) 竹内俊郎・渡辺教美・雍文岳・渡辺武(1991): ソウギョの必須脂肪酸, 日本水産学会誌, 57 (3) 467 ~474.
- 12) 竹内俊郎・佐藤秀一・窪田三郎・藤巻由紀夫・C. Y. Cho (1989): コレゴヌスに対するn-3およびn-6系列脂肪酸の添加効果, 日本水産学会誌, 55 (11) 1977~1982.