

# クロマグロ初期餌飼料の開発に関する研究

瀬岡 学\*, Amal K. Biswas

(飼料・食品安全性・加工グループ)

近畿大学水産研究所

\*seoka@nara.kindai.ac.jp

クロマグロ *Thunnus orientalis* の種苗生産では、ふ化後3日の開口直後からワムシ *Brachionus rotundiformis* を、ふ化後10日頃からアルテミア *Artemia sp.* を、そしてふ化後13日頃からインダイ *Oplegnathus fasciatus* などのふ化仔魚・卵を与え、ふ化後20数日からイカナゴ等の生餌を給与する餌料系列が適用されている。しかし、この餌料系列は、マダイを初めとする従来魚の種苗生産のものと比較するとアルテミアだけでなくふ化仔魚・卵の給与が必須であることや、配合飼料を使用できない点で特異的である。特に、ふ化仔魚・卵の併用給与はアルテミアの単独給与時に観察される仔稚魚の成長や生残低下を防ぐ上で、極めて重要な飼育技術の一つとなっている。<sup>1)</sup>

しかし、ふ化仔魚・卵を給与するためには、クロマグロの種苗生産シーズンにあわせ、その給源

になるインダイなどの親魚を飼育し確実に成熟させる必要があるだけでなく、卵・ふ化仔魚を給餌するまでの管理業務も煩雑で生産スタッフにかかる苦勞も多い。したがって、クロマグロの種苗生産を商業規模で行うためには、ふ化仔魚・卵を使用せず、アルテミアもしくは配合飼料の単独給与を可能として作業性や生産性を大きく向上させる必要がある。

そこで、本研究では栄養学的観点から、まず実験1においてクロマグロ種苗生産で用いられているアルテミアと他の生物餌料との栄養素成分の差異を明らかにし、次いで実験2ではアルテミアとふ化仔魚をそれぞれクロマグロ仔稚魚に与える飼育試験を行って、アルテミアの栄養価改善や配合飼料の開発に資する知見を得ようとした。

**Table 1** Proximate composition and amino acid contents of live feeds used in the seedling production of the bluefin tuna *Thunnus orientalis*

	Artemia	Rotifer	Fish larvae*			Fish eggs*		
			Parrot fish	Bluefin tuna	Flat fish	Parrot fish	Bluefin tuna	Flat fish
Moisture (%)	90.9	85.3	90.5	88.7	90.1	93.0	92.9	91.2
Crude protein (% DW)	61.9	58.0	63.7	59.4	68.3	56.9	53.0	69.2
Lipid (% DW)	19.8	18.7	25.1	27.0	19.1	18.0	21.7	17.2
Crude sugar (% DW)	7.7	8.3	2.5	2.5	3.6	2.2	1.8	2.4
Crude ash (% DW)	9.4	16.6	11.3	10.9	13.1	19.9	19.0	11.5
Amino acids (mg/g DW)								
Aspartic acid	83.9	88.8	71.7	64.8	90.7	43.2	51.6	84.4
Glutamic acid	89.5	79.4	82.4	84.0	90.8	73.3	67.8	107.2
Serine	26.9	26.7	24.4	24.4	31.3	30.8	29.8	38.9
Glycine	24.9	18.3	23.8	23.8	24.0	20.4	18.1	21.4
Histidine	13.2	11.5	18.1	18.1	18.2	16.8	14.7	16.4
Arginine	27.0	22.5	28.1	26.8	8.5	27.4	23.7	26.7
Threonine	25.4	18.9	26.4	26.5	27.9	27.1	24.9	28.9
Alanine	29.5	19.8	34.8	32.1	36.1	43.4	41.1	41.4
Proline	24.6	20.7	20.7	21.9	24.5	32.4	26.5	29.1
Tyrosine	21.3	17.2	22.9	21.1	25.1	27.5	20.9	26.8
Valine	26.3	22.3	30.9	29.7	34.9	34.2	34.4	35.9
Methionine	14.3	12.6	18.9	26.9	27.1	17.8	25.1	20.5
Isoleucine	21.0	20.8	23.5	26.3	27.9	27.0	31.7	27.7
Leucine	35.0	32.0	41.6	44.4	51.7	45.5	48.1	49.8
Phenylalanine	21.2	21.0	24.4	27.9	26.4	25.0	24.2	24.4
Lysine	40.6	38.7	46.4	55.7	60.7	50.7	55.1	49.4
Total	529.7	473.7	544.1	528.7	613.5	545.1	517.7	631.4
EEA (% total)	46.3	45.9	51.7	57.4	50.3	54.9	58.5	48.5

\* Parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*; Flat fish, *Paralichthys olivaceus*.

**Table 2** Fatty acid composition of neutral lipid and polar lipid fractions of live feeds used in the seedling production of the bluefin tuna

	Artemia	Rotifer	Fish larvae			Fish eggs		
			Parrot fish	Bluefin tuna	Flat fish	Parrot fish	Bluefin tuna	Flat fish
Neutral lipid (% total)								
14:0	2.6	8.7	3.8	3.3	4.7	3.9	3.4	4.8
16:0	13.4	17.8	20.5	19.6	20.3	21.5	20.8	21.2
16:1	5.9	8.4	7.8	6.3	7.4	7.8	6.0	7.7
18:0	2.8	2.5	4.4	7.4	4.1	3.6	7.1	3.2
18:1n-9	20.6	7.1	20.0	17.8	13.9	19.7	16.7	14.5
18:1n-7	5.1	2.5	5.2	4.7	5.3	5.2	4.2	5.2
18:2n-6	3.6	4.8	6.1	1.0	8.8	5.8	0.9	9.1
18:3n-6	0.6	0.1	0.1	0.1	0.4	0.1	0.2	0.4
18:3n-3	15.9	0.6	0.6	0.4	0.7	0.6	0.4	0.8
20:4n-6	1.2	1.8	0.8	1.8	0.7	0.6	1.8	0.6
20:5n-3	4.3	7.8	3.6	4.0	5.4	3.4	3.7	5.0
22:6n-3	7.2	17.3	10.8	15.3	13.6	11.3	17.7	11.6
Polar lipid (% total)								
14:0	0.7	3.7	0.7	0.9	2.0	0.6	0.6	2.1
16:0	11.1	18.2	24.8	23.8	24.0	24.0	23.4	23.7
16:1	4.0	5.4	2.5	2.5	2.6	0.9	2.0	2.4
18:0	6.9	4.6	6.8	9.2	6.1	7.9	11.4	5.2
18:1n-9	27.6	4.6	9.8	10.3	6.5	9.5	9.1	6.5
18:1n-7	10.7	2.8	2.9	2.4	2.8	2.7	1.8	2.9
18:2n-6	3.5	17.2	4.2	0.6	6.8	3.8	0.5	6.7
18:3n-6	0.7	0.1	ND*	0.1	0.1	0.1	0.4	0.1
18:3n-3	13.5	1.6	0.4	0.2	0.3	0.4	0.2	0.4
20:4n-6	2.4	2.8	2.7	5.5	2.0	2.4	5.5	1.8
20:5n-3	8.8	6.6	7.9	6.4	9.8	8.8	7.4	9.8
22:6n-3	1.2	7.5	27.8	28.1	25.0	28.3	29.9	26.6

\* Not detected.

## 試料および方法

実験 1 では市販の栄養強化剤でマダイ *Pagrus major* など従来の増養殖対象海産魚を飼育可能なレベルにまで栄養強化したアルテミアおよびワムシと、自然産出されたインダイ、ヒラメ *Paralichthys olivaceus* およびクロマグロ卵とそれらのふ化仔魚を化学分析に供した。一方、実験 2 では、先のアルテミアとインダイふ化仔魚を 500 L 水槽 2 基に収容した 100 尾のクロマグロ (23 日齢；平均体重 31.0 mg) にそれぞれ与えて 6 日間飼育し、魚体を化学分析に供した。

本研究では粗タンパク質および粗灰分を AOAC 法で、総脂質および粗糖質をそれぞれクロロホルム・メタノール法およびフェノール・硫酸法で分析した。アミノ酸は塩酸加水分解した試料を液体クロマトグラフィーで定量した。また、脂質クラス組成を薄層クロマトグラフィーで求めるとともに、総脂質をシリカカートリッジで中性および極性画分に分離して、それぞれの脂肪酸組成

をガスクロマトグラフィーで分析した。

## 結果

### 実験 1

粗タンパク質および総脂質含量は生物餌料間で類似し、それぞれ約 53~69% および約 18~27% の範囲であった (Table 1)。また、アルテミアの粗糖質含量は約 8% で、ふ化仔魚や卵の約 2~3% に比べて高かったが、ワムシの値とは類似していた。さらに、アルテミアの粗灰分含量はワムシや魚卵より若干低かったが、ふ化仔魚との間には顕著な差異はなかった。

また、アルテミアの総アミノ酸含量 (約 529.7 mg/g DW) はワムシ (473.7 mg/g DW) よりも高く、ふ化仔魚および魚卵 (517.7~631.4 mg/g DW) とほぼ同等であった。さらに、ヒスチジン、アルギニンなど個々の必須アミノ酸含量にも生物餌料間で顕著な差異は認められず、総アミノ酸に占める必須アミノ酸の割合も 50% 前後で類似し

**Table 3** Rearing performance of the bluefin tuna fed on either *Artemia* or fish larvae

	Dietary groups	
	Fish larvae	<i>Artemia</i>
No. of fish		
Initial	100	100
Final	44	12
Survival (%)	44.0	12.0
Total length (mm)*		
Initial	14.7	14.7
Final*	27.9	20.2
Body weight (mg/fish)*		
Initial	31	31
Final	240	67

\* Average values were shown to simplify the table.

ていた。

一方、脂肪酸組成についてみると (Table 2)、中性および極性脂質画分でリノレン酸レベルがアルテミアで高く、エイコサペンタエン酸レベルに大きな生物餌料種間差は認められなかった。しかし、アルテミアのドコサヘキサエン酸 (DHA) レベルは、中性脂質画分で他の生物餌料の30~50%、さらに極性脂質画分では4~16%しか存在しなかった。

## 実験 2

飼育終了時におけるアルテミア給与区の平均全長、平均魚体重および生残率は、それぞれ20.2 mm, 67 mgおよび12%であり、ふ化仔魚給与区の27.9 mm, 240 mgおよび44%に比べ極めて劣っていた (Table 3)。

アルテミア給与区では飼育開始時と比べて終了時における全魚体の脂質含量に若干の減少が認められるとともに、遊離脂肪酸レベルが低下して中性脂質画分が少なくなったが (Table 4)、両脂質画分の脂肪酸組成に顕著な変動は認められなかった (Fig. 1)。一方、ふ化仔魚給与区では脂質含量の増加に伴いトリアシルグリセロール (TAG) レベルが増し、アルテミア給与区における値より約2倍高かった (Table 4)。さらに、ふ化仔魚給与区においては両脂質画分でリノレン酸、リノール酸、オレイン酸レベルが減少したものの、DHA レベルは開始時および終了時における試験区の約3倍にまで達した (Fig. 1)。

**Table 4** Lipid class composition of the bluefin tuna larvae fed on either *Artemia* or fish larvae

	Initial	Final	
		Fish larvae	<i>Artemia</i>
Lipid (% wet)	1.8	2.1	1.6
Polar lipids (% lipid)			
Phosphatidylcholine	26.3	26.6	28.0
Phosphatidylserine	7.3	4.8	8.0
Phosphatidylinositol	4.4	4.2	3.7
Phosphatidylethanolamine	21.3	16.0	23.8
Others	7.1	8.2	8.5
Neutral lipids (% lipid)			
Sterol	15.8	14.4	16.5
Free fatty acids	6.3	4.0	1.8
triacylglycerol	6.4	14.9	6.6
Sterol etser	2.5	3.1	2.0
Others	2.9	4.1	1.3
Total polar lipid (% lipid)	66.4	59.8	72.0
Total neutral lipid (% lipid)	33.9	40.5	28.2

## 考察

一般成分、粗糖質およびアミノ酸の含量や組成に、アルテミアと他の生物餌料間に共通して存在する差異が認められなかった実験1の結果から、これらの栄養素がクロマグロ種苗生産でアルテミアの使用を制限している可能性は低いものと考えられる。一方、アルテミアでは他の生物餌料に比べ、海産魚では必須脂肪酸<sup>2)</sup>であるDHAのレベルが極めて低かった。先述したように、本研究で用いたアルテミアは、マダイなど従来種の種苗生産で一般的に使用されるDHA強化後のものであるが、クロマグロ仔稚魚の成長を維持するために必要なDHA量を満たしていないのかも知れない。

そこで実験2では、アルテミアとインダイふ化仔魚をそれぞれ単独給与してクロマグロを飼育し、魚体の脂質成分について比較検討した。その結果、アルテミア給与区の生残率および成長がふ化仔魚給与区よりも極めて低かったことから、アルテミアの単独給与がクロマグロの発育に悪影響を及ぼすことを実験的に確認することができた。さらに、アルテミア給与区では生残の低下と成長の鈍化に伴い、魚体の脂質含量とTAGおよび遊離脂肪酸レベルが開始時あるいはふ化仔魚給与区よりも低かったことから、アルテミアの単独給与はクロマグロの脂質蓄積を妨げると同時に、エネルギーとしての動員を低下させることが示唆された。一方、ふ化仔魚給与区における優れた生残および成長と、魚体脂質およびTAGの増加は、ふ化仔魚の給与に

よってエネルギー源としての脂質の貯蔵と利用が維持され、その節約効果によりタンパク質の蓄積

なかったこと、さらにアルテミア給与区で魚体極性脂質画分のDHAが著しく低レベルであったこ

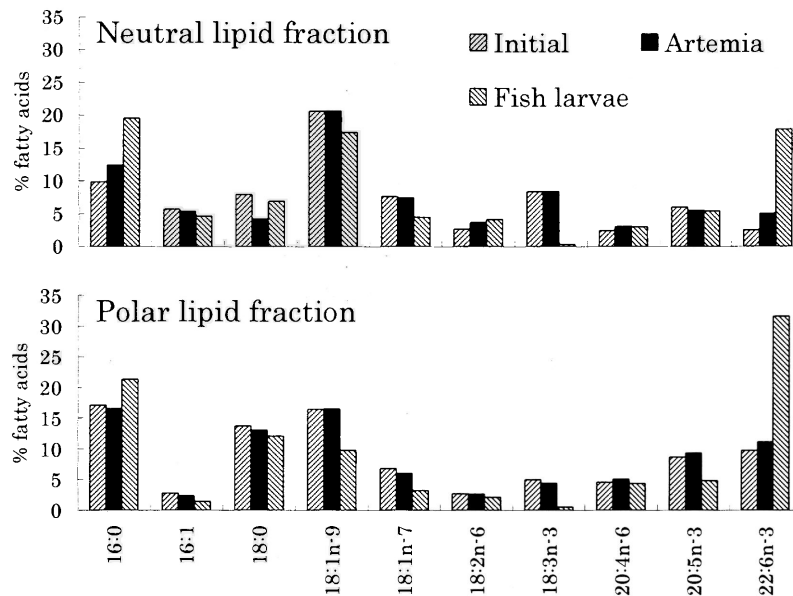


Fig. 1 Fatty acid composition of the neutral lipid and polar lipid fractions of the bluefin tuna fed on either *Artemia* or fish larvae.

を伴う体成長が促進したことを示唆するものであろう。Takii *et al.*<sup>3)</sup> および滝井ら (未発表) は、クロマグロ仔稚魚のエネルギー源は脂質、特にTAGであるが、その不足は体タンパク質の消費により賄われることを示唆している。

さらに、魚体の脂肪酸組成を比較したところ、ふ化仔魚給与区では中性および極性脂質画分におけるDHAの蓄積が顕著であった。DHAは海産魚の必須脂肪酸であり、細胞、脳、網膜、神経などの生体膜構築やそれらの機能発現に欠かせない栄養素である。<sup>2)</sup> 本研究では供試したアルテミアとふ化仔魚のDHA絶対量を分析していないが、脂質含量がふ化仔魚で比較的高く、両脂質画分におけるDHAレベルは極めて多いことから、絶対量はふ化仔魚で高かったものと思われる。このことが、クロマグロの細胞・神経系の発達を維持し、脂質・タンパク質代謝を促進して、ふ化仔魚給与区の優れた成長につながったものと推察される。また、生体膜でDHAは極性脂質に局在する。<sup>2)</sup> したがって、アルテミアのDHAが極性脂質画分で極めて少

とを併せて考えると、クロマグロはDHAを主要構成脂肪酸とする食餌性極性脂質を特に要求するのかもしれない。今後はこれらの結果を踏まえ、アルテミアの栄養価改善や配合飼料開発に関する研究を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) Sawada Y, Miyashita S, Murata O, Kumai H. Seedling production and generation succession of the Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*. *Mar. Biotech.* 2004; in printing.
- 2) Sargent JR, Tocher DR, Bell JG. The lipids. In : Halver JE, Hardy RW (eds) *Fish Nutrition*. Academic Press, New York. 2002; 181-257.
- 3) Takii K, Kotani A, Kumai H. Anesthesia, fasting tolerance and nutrient requirement of juvenile northern bluefin tuna. *Fish. Sci.* 2005; in printing.