アユ仔魚用配合飼料のタンパク質源の検討 および水溶性窒素成分の効果

山本章造,¹ 酒本秀一,² 竹内昌昭³

(2001年7月16日受付, 2001年12月7日受理)

¹岡山県水産試験場, ²オリエンタル酵母工業㈱, ³東京農業大学

Estimation of protein sources and effects of water-soluble
nitrogen components in artificial diets on larval ayu

SYOZO YAMAMOTO,^{1*} SHUICHI SAKAMOTO² AND MASAOKI TAKEUCHI³

¹Fisheries Experiment Station Okayama Prefecture, Ushimado, Okayama 701-4303, ²Oriental Yeast Co., LTD, Chiba, Chiba 261-0002, ³Tokyo University of Agriculture, Setagaya, Tokyo 156-8502, Japan

This report describes the nutrient value of water-soluble nitrogen components in diets for larval ayu *Plecoglossus altivelis*. Larval ayu with 3.2 mg mean body weight were reared on five kinds of test diet containing different protein sources for 31 days.

The diets containing vacuum freeze-dried larval sardine *Sardinops melanostictus* as the protein source promoted growth, improved the survival rate, and increased the resistance to fasting. The performances of the diets were almost the same as those of the living organisms, so these diets were considered suitable for larval ayu.

These diets contain plenty of water-soluble nitrogen components which are known to be lower molecular proteins or peptides. This result proved the mechanism of larval protein absorption inferred from histochemical research.

キーワード：アユ, 仔魚, 配合飼料, 水溶性窒素, 消化吸収, 飼料効果, レシチン

アユ *Plecoglossus altivelis* は, 最も早期に種苗の大量生産に成功した魚種の一つであり, それはシオミズツボムシ *Brachionus plicatilis* やアルテミア *Artemia salina* 幼生などの生物餌料を使用することによって可能になった。¹⁾ しかし, 生物餌料の大量培養は不安定であるうえに生産コストが高く, また, 栄養のアンバランス, 病気の持ち込みの危険性が高いなどの問題が指摘されている。²⁾ そこで, 生物餌料に替わる人工配合飼料の開発研究が精力的に進められ,³⁾ アユについても脂質のうち高度不飽和脂肪酸^{4,5,6)} やリン脂質^{7,8,9)} の必須性が明らかにされ, 生物餌料との併用で優れた飼料効果を示す仔稚魚用の微粒子配合飼料も開発された。²⁾ しかし, 一方では, 仔魚期に生物餌料の割合を少なくし, 配合飼料を多用すると体形異常が多発するなどの問題も指摘されている。¹⁰⁾

アユを含む海産仔魚の消化吸収機構の一般的な特徴は, 脂質および糖質は成魚と基本的に同様であるが, タ

ンパク質は成魚と異なり, 仔魚はタンパク質を微小顆粒として, 直腸部の上皮細胞内の飲作用により直接取り込むことが組織化学的な研究から明らかにされている。^{11,12)} ところが, これらの知見に基づいた仔魚用の人工配合飼料の開発, 特に, タンパク質の消化吸収機構の特徴を考慮したタンパク質素材について検討した報告は少ない。^{13,14,15)} そこで, 筆者らは仔魚の消化吸収に適した配合飼料のタンパク質素材を探索することを目的に, 加熱素材として市販の北洋魚粉 (製造工程で加熱処理) と非加熱素材としてマイワシ *Sardinops melanostictus* のシラスおよびシオミズツボムシの真空凍結乾燥物を主体にした試験飼料を試作し, それらの単独給餌による飼育試験を行い, アユ仔魚に対する飼料効果を比較検討した。また, 仔稚魚期の発育に必須とされるレシチン⁹⁾ との相乗効果についても検討した。

* Tel : 81-869-34-3074. Fax : 81-869-34-4733. Email : shiyouzou_yamamoto@pref.okayama.jp

材料および方法

供試魚と試験条件 供試魚にはシオミズツボワムシを与えて飼育したふ化後 15 日, 平均全長 12.0 mm, 平均湿体重 3.2 mg の仔魚を用いた。

飼料試験には配合飼料を給餌した 1~5 区と対照として生物餌料のシオミズツボワムシとアルテミア幼生のみを与えた区の計 6 区を設けた。給餌量は 4~8 g/槽/日とし, 8~10 回に等分して給餌し, 成長に応じて増量した。生物餌料は 1 日にシオミズツボワムシ 35 万~200 万個体, アルテミア幼生 5 万~35 万個体を成長に応じて与えた。

飼育水槽は 350 L 容角型水槽を使用し, 配合飼料を投与した区は 2 槽ずつ, 生物餌料を投与した区は 1 槽設けた。1 水槽に仔魚を 1,500 尾ずつ収容し, 砂ろ過海水を 1 日に 3~10 回換水して飼育した。水温は毎朝 10 時前後に測定し, 試験期間中の平均は 17.3℃ (14.9~21.9℃ の範囲) で, 水槽間の水温差は 0.5℃ 以内であった。水槽水面直上の日中最高照度は遮光幕を用いて 3,000 lx 以下に調節した。飼育水槽の底掃除は毎日徹底して行い, 残餌等を除去するとともに死魚を計数した。飼育試験は 11 月 22 日から 12 月 22 日までの 31 日間行った。

試験飼料 タンパク質源が異なる 5 種類の飼料組成を Table 1 に示す。No. 1 および 2 は加熱処理をした市販の北洋魚粉 (魚粉飼料), No. 3 は北洋魚粉と真空凍結乾燥したシオミズツボワムシ (混合飼料), No. 4 および 5 は真空凍結乾燥したマイワシのシラスおよびシオミズツボワムシ (シラス飼料) を主なタンパク質源とした。また, No. 2~4 には大豆レシチンを 5 % 添加し, その効果を検討した。

Table 1. Test diet composition

Ingredients (%)	Diet number					
	1	2	3	4	5	6 ^{*1}
White fish meal	65	65	45	0	0	0
Whitebait ^{*2}	0	0	0	45	45	0
Rotifer ^{*2}	0	0	20	20	20	0
Casein Na	10	10	10	10	10	0
Soybean lecithin	0	5	5	5	0	0
α -starch	10	5	5	5	10	0
Vitamin mixture ^{*3}	10	10	10	10	10	0
Mineral mixture ^{*4}	5	5	5	5	5	0
L-ascorbic acid Ca	500 mg/100 g diet					0

^{*1} Living organism.

^{*2} Freeze dried sources.

^{*3} Halver et al.¹⁶⁾

^{*4} National Research Council.¹⁸⁾

マイワシのシラスは高知県沿岸域で漁獲後急速凍結したもの, シオミズツボワムシはナンノクロロプシス *Nannochloropsis* sp. で培養したものを使用し, それぞれ真空凍結乾燥後造粒に供した。

ビタミン混合物は Halver 処方¹⁶⁾を一部改変した。アユ仔魚は特にアスコルビン酸が不足すると脊索白化症や体形異常が多発する危険性が高いことから,¹⁷⁾ アスコルビン酸 Ca 塩を試験飼料に外割りで 500 mg/100 g 添加した。また, ミネラル混合物は USP X II-2¹⁸⁾に微量元素を加えた。

試験飼料の調製は小型の流動層造粒機 (フロイント社製) を使用し, 2.5 % カゼインナトリウムを粘結剤として, 35℃ で流動層造粒し, 42℃ で乾燥した。造粒から乾燥までの所要時間は約 45 分で, 低温で造粒乾燥することによりタンパク質の熱変性を防いだ。飼料の粒径は 100~177, 177~289 および 289~350 μ m の 3 段階に分類した。

試験飼料および魚体の分析 配合飼料, シオミズツボワムシおよび試験終了時の仔魚は一般成分と水溶性窒素を, 飼料分析基準¹⁹⁾に準じて分析した。粗タンパク質および水溶性タンパク質は, 常法どおり窒素量に係数 6.25 を乗じて算出し, 粗タンパク質に対する水溶性タンパク質の割合を求めた。

試験飼料の評価 飼料の効果は, 仔魚の摂餌量, 生残, 成長, 体成分および絶食耐性などを基準に評価した。

試験開始後の 6 日間は給餌開始 2~3 時間後に 15 尾前後の仔魚を採取し, 消化管内飼料の充満割合を測定して摂餌量を調査した。また, 試験開始時および 15 日目には各区から 30 尾を, 終了時には全数を取り上げ計数後, 全長と体重を測定した。生残率は開始時仔魚数からサンプル数と不明数を除いた仔魚数の終了時生残数に対する割合で示し, 肥満度 (Condition factor) は (平均体重/平均全長³) $\times 10^3$ で表した。生残率は 2 水槽の平均値を χ^2 検定により危険率 5 % 水準で飼料間の有意差を検定した。平均全長, 平均体重および肥満度は 2 水槽の平均値を分散分析し, Duncan の多重検定 (Duncan's new multiple range test) により危険率 5 % 水準で飼料間の有意差を検定した。

仔魚の絶食耐性は絶食後の半数致死日数および全数致死日数で評価した。具体的には, 試験終了時に各区の仔魚 20 尾ずつを 25 L 水槽に収容し, 無給餌, 流水, 通気の同一条件下で, 半数および全数の仔魚の致死日数を測定した。絶食耐性試験中の平均水温は 15.8℃ であった。

結 果

試験飼料 飼料の一般成分と水溶性窒素量を Table 2 に示す。粗脂肪は 4.2~10.0 % の範囲で, レシチンを添

加した2～4区が高くなった。粗タンパク質は50.5～54.0%，粗灰分は12.1～14.0の範囲で飼料間の差は少なかった。水溶性窒素は1.8～3.5の範囲であり，粗タンパク質のうち水溶性タンパク質が占める割合は20.9～43.1%の範囲で，シラス飼料は魚粉飼料の2倍以上であった。一方，真空凍結乾燥したシオミズツボワムシの水溶性タンパク質は63.0%を占め，最も高かった。

摂餌状況 配合飼料を摂餌している仔魚の割合は試験開始当初10～20%の範囲で低かったが，4～5日後には80～100%に向上した。一方，摂餌魚の消化管内における配合飼料の充満率は当初10～30%であったが，3～4日後には70～90%に向上した。仔魚は配合飼料を飽食

量近く摂餌するようになった。

生残 飼育試験の結果をTable 3に示す。生残率は魚粉飼料を与えた1および2区が43.6～74.8%，シラス飼料を与えた4および5区が72.5～80.2%の範囲であり，混合飼料を与えた3区は61.5～75.6%で両者の中間であった。 χ^2 検定の結果，危険率5%の水準で，シラス飼料の生残率は魚粉および混合飼料より有意に優れた。魚粉飼料の生残率はレシチンの添加により有意に向上したのに対し，シラス飼料は変わらなかった。また，生物餌料を投与した6区は89.5%で最も高かった。配合飼料のみを与えた1～5区は試験開始後8～13日目に死亡数が増加し，4および5区はその後減少したが，1～3区は試験終了時まで継続して生残率が低下した。

成長 試験終了時の仔魚の平均全長は16.9～23.6 mmの範囲であり，各区の間で異なっていた。2水槽の平均値を分散分析した結果，危険率5%の水準でシラス飼料の平均全長は，魚粉および混合飼料より有意に優れた。シラス飼料は生物餌料と遜色のない成長を示す水槽もあったが，平均全長の変動係数は配合飼料を投与した1～5区が生物餌料を投与した6区に比較し大きく，個体差が認められた。一方，平均体重は7.8～46.3 mgの範囲で，平均全長と同様にシラス飼料は魚粉飼料より有意に優れ，混合飼料は両者の中間の値を示した。また，生物餌料を与えた仔魚の成長は配合飼料に比較して有意に優れていた。

試験終了時の仔魚の平均体重と飼料中の水溶性窒素量との関係をFig. 1に示す。平均体重は飼料中の水溶性窒素量が多いほど明らかに増加し，両者に高い正の相関

Table 2. Proximate composition of test diets

Diet number	1	2	3	4	5	6*1
Components (%)						
Moisture	6.5	5.6	6.8	6.6	6.8	5.9
Crude protein*2	52.2	54.0	52.1	51.2	50.5	55.2
Crude lipid	4.2	9.0	10.0	9.6	5.5	8.3
Crude starch	24.4	18.9	17.0	16.8	24.4	—
Crude ash	12.1	13.0	12.4	14.0	13.6	17.7
Water-soluble nitrogen	1.8	1.8	2.3	3.5	3.5	5.6
Water-soluble protein*3	11.4	11.3	14.6	22.0	21.8	34.8
Water-soluble protein/ crude protein	21.8	20.9	27.9	43.0	43.1	63.0

*1 Freeze dried rotifer.

*2 Total nitrogen $\times$ 6.25.

*3 Water-soluble nitrogen $\times$ 6.25.

Table 3. Growth performance of larvae fed the test diets for 31 days

Diet number		1	2	3	4	5	6
Number of survival	1* ¹	472	871	916	850	946	1133
	2	596	745	717	935	935	
Survival rate (%)	1	43.6	74.8	75.6	72.5	77.4	89.5
	2	52.9	65.5	61.5	80.2	77.0	
	Mean* ²	48.3 ^{a*3}	70.2 ^b	68.6 ^b	76.4 ^c	77.2 ^c	
Total Length (mm)	1	17.5	20.0	22.3	23.5	22.4	25.9
	2	16.9	19.6	19.2	23.6	23.2	
	Mean* ²	17.2 ^a	19.8 ^b	20.8 ^b	23.6 ^c	22.8 ^c	
Body weight (mg)	1	10.2	18.2	34.9	46.3	31.8	57.1
	2	7.8	15.7	23.8	42.4	36.9	
	Mean* ²	9.0 ^a	16.9 ^a	29.4 ^b	44.4 ^c	34.4 ^{bc}	
Condition factor* ⁴	1	1.91	2.27	3.15	3.57	2.83	3.28
	2	1.61	2.08	3.36	3.23	2.96	
	Mean* ²	1.8 ^a	2.2 ^a	3.3 ^b	3.4 ^b	2.9 ^b	

*1 Tank number.

*2 Mean value of duplicate tanks.

*3 Values with the same superscripts are not significantly different ($p < 0.05$).

*4 (Mean body weight/total length³) $\times 10^3$.

Fig. 1. Relationship between amount of water-soluble N in the diets and mean body weight of larvae at the end of feeding trial. Diet No. 1: ●, 2: ○, 3: ▲, 4: □, 5: ■

Fig. 2. Relationship between amount of water-soluble N in the diets and condition factor of larvae at the end of feeding trial. Diet No. 1: ●, 2: ○, 3: ▲, 4: □, 5: ■

が認められた。一方、水溶性窒素量が等しい飼料にレシチンを添加すると平均体重は増加したが、レシチン無添加のシラス飼料を投与した5区はレシチン添加の魚粉飼料を投与した2区よりも優れていた。

肥満度 試験終了時の平均肥満度は、魚粉を用いた1および2区が1.61~2.27、シラスを用いた4および5区が2.83~3.57の範囲で、混合飼料およびシラス飼料が魚粉飼料に比較し有意に高かった。魚粉飼料を投与した1区の肥満度は極めて低かったが、魚粉飼料にレシチンを添加（2区）することにより向上した。この傾向はシラス飼料も同様で、肥満度はレシチンの添加により向上し、生物餌料の3.28と比べ遜色がなかった。

仔魚の肥満度と飼料中の水溶性窒素量の関係を Fig. 2 に示す。肥満度は水溶性窒素量が多いほど高く、肥満度と飼料中の水溶性窒素量との間には正の相関が認められた。また、シラス飼料を投与した4および5区の肥満度は、レシチン添加の有無に関わらず魚粉飼料を投与した1および2区より高かった。混合飼料を投与した3区はシラス飼料と大差なかった。

魚体成分 試験終了時の仔魚の体成分を Table 4 に示す。生物餌料を投与した6区を含め、魚体の一般成分に区間差は少なかった。肥満度が低い1区は水分がやや多く、粗タンパク質と水溶性窒素の割合が少ない傾向が認められた。

絶食耐性 試験終了時の仔魚の絶食耐性を測定した結果を Table 5 に示す。仔魚は絶食後も数日間は正常に遊泳し活発な索餌行動を示したが、魚粉飼料を投与した仔魚は6日目頃から行動が緩慢になり徐々に遊泳能力を

Table 4. Proximate analysis of the whole bodies of larvae at the end of feeding trial

	Diet number					
Components (%)	1	2	3	4	5	6
Moisture	87.7	86.2	85.3	84.5	85.8	86.2
Crude protein	9.7	10.5	11.0	11.6	10.9	10.5
Crude lipid	—*	—	1.8	1.7	1.5	1.6
Crude ash	—	1.1	2.2	2.2	2.0	1.9
Water-soluble nitrogen	0.7	1.0	1.0	1.1	0.7	1.0
Water-soluble protein	4.3	6.3	6.6	6.8	4.7	6.2
Water-soluble protein/ crude protein	44.4	60.2	59.6	58.7	42.7	59.2

* Not analyzed.

Table 5. The results of resistance study against non-diet breeding (days)

Diet number	1	3	4	5	6
50% death dates	7	17	21	19	21
ratio (%)*	33.3	81.0	100	90.5	100
100% death dates	10	22	28	25	32
ratio (%)*	31.3	68.8	87.5	78.13	100

Diet No. 2 was not tested.

* Percentage to living organism group (No. 6).

失い、水槽底面に横臥する個体が出現した。一方、シラス飼料を投与した仔魚は10日目頃まで正常な遊泳行動を示したが、15日過ぎから横臥個体が認められた。いずれの仔魚も横臥して1日後には死亡した。シラス飼

Fig. 3. Relationship between condition factor of larvae at the end of feeding trial and 100% death dates with non-diet breeding. Diet No. 1: ●, 3: ▲, 4: □, 5: ■, 6: ◆

料投与仔魚の半数致死日数は19～21日間で魚粉飼料投与の1区の7日間より長く、生物餌料投与の6区の21日間とはほぼ同じであった。また、混合飼料投与の3区は17日間であった。全数致死日数も同様な傾向を示し、シラス飼料投与の4および5区が25～28日間で魚粉飼料投与の1区の10日間より2倍以上長かった。生物餌料を投与した6区の半数致死日数に対して、魚粉飼料投与の1および2区は33.3%、シラス飼料投与の4および5区は90%以上であり、シラス飼料は生物餌料に近い絶食耐性を示した。また、絶食後20日目における4および5区の横臥魚の肥満度は平均1.47(1.35～1.53の範囲)まで低下し、その肥満度は1区の試験終了時の肥満度1.61と大差なかった。

試験終了時の仔魚の平均肥満度と絶食後の全数致死日数との関係をFig. 3に示す。平均肥満度が高くなるにつれて絶食後の全数致死日数も長くなり、両者は高い正の相関を示した。

考 察

アユ仔魚用配合飼料を開発するために、タンパク質源としてマイワシのシラスやシオミズツボワムシの真空凍結乾燥物と北洋魚粉の栄養価を比較検討した。

アユ仔魚の配合飼料に対する摂餌量は経日的に向上し、区間差は少なかった。したがって、本試験で得られた飼育成績は試験飼料の栄養価を反映していると考えられた。

配合飼料と生物餌料の効果を比較すると、魚粉飼料は

生物餌料に比べ仔魚の生残、成長ともに極めて劣ったが、シラス飼料は遜色のない飼育成績を示した。

摂餌量の少ないシラス飼料が摂餌量の多い生物餌料に匹敵する飼育成績を示したのは、シラス飼料の水分含量が生物餌料²⁰⁾より少なく乾物換算したタンパク質摂取量はシラス飼料と生物餌料で大差ないこと、また、シラス飼料の栄養成分が生物餌料と同等に利用されたことなどによると考えられた。

次に、魚粉飼料とシラス飼料を比較すると、シラス飼料の4および5区は、生残、成長、肥満度および絶食耐性ともに優れていた。生残率は、魚粉飼料投与の1および2区の死亡が試験終了時まで続いたことから、差を生じた。試験終了時の平均肥満度は魚粉飼料投与の1区が1.61と低く、この肥満度はシラス飼料を投与した4および5区の仔魚が絶食耐性試験で衰弱した時期の肥満度1.46と大差ないことから、仔魚は試験中に魚粉飼料を摂餌していたにもかかわらず栄養不良状態に陥り、生残率が低下したものと推察された。

仔魚の成長はシラス飼料が魚粉飼料に比べて著しく優れ、混合飼料は中間の値を示した。これらの配合飼料間の飼育成績の差は、摂餌量がほとんど変わらなかったことから考えて、単に摂餌量の差の問題ではなく、タンパク質源とした魚粉と真空凍結乾燥物の質の違いによるところが大きいと推察された。シラス飼料は魚粉飼料と比較して、一般成分には大差なかったが、水溶性窒素は2倍以上含むのが特徴であり、シオミズツボワムシにも水溶性窒素が多かった。一般に、魚粉は製造工程で加熱処理をすることから水溶性窒素成分が少ないのに対し、真空凍結乾燥物はタンパク質が未変性で水溶性窒素成分を豊富に含んでいる。仔魚用飼料にタンパク質加水分解物を適正に添加すると仔魚の成長が促進することは飼育試験の結果から明らかにされており^{21,22,23)}シラス飼料が魚粉飼料より優れたのは、水溶性窒素成分を多く含むことによると考えられた。

仔魚の飼料中タンパク質の消化吸收機構はコイ *Cyprinus carpio*¹¹⁾ アユ²⁴⁾をはじめ、多くの魚種^{25,26,27)}について組織化学的な手法を用いて研究されており、田中²⁸⁾渡辺²⁹⁾らが総説している。それらによると、仔魚の脂質および糖質の消化吸收は基本的に成魚と同様であるが、タンパク質は異なり、胃腺が未発達な仔魚は、タンパク質を微小顆粒として直腸部の上皮細胞から飲作用により直接取り込むとされている。事実、アユ仔魚は胃腺が形成される前の全長25 mm 前後まではペプシン様酵素の活性は非常に微弱であり、タンパク質の消化能力は低い²⁴⁾と推察されている。また、取り込まれるタンパク質顆粒は仔魚の直腸部上皮細胞の微絨毛の間隙を通過する必要があり、分子量が少ない極微小のタンパク質あるいはポリペプチドであろう^{30,31)}と推察されている。渡

辺³²⁾は生物餌料を食べたワカサギ *Hypomesus transpacificus* やハナカシカ *Cottus nozawae* の直腸上皮細胞の空胞中に電子密度の高い物質を多数観察し、これらは主として餌料由来の水溶性タンパク質であろうとしている。これらのことから、シラス飼料が生物餌料に劣らない良好な成績を示したのは、飼料中の水溶性窒素成分が仔魚のタンパク質の吸収に適した分子量の少ない水溶性タンパク質あるいはポリペプチドを豊富に含むためであろうと推察された。このことは、組織化学的な手法を用いて明らかにされた仔魚のタンパク質吸収機構を実証したものと考えられる。

飼料原料としてのタンパク質の栄養価を評価する場合には、基本的にタンパク質の含有率、必須アミノ酸組成および消化率などを考慮する必要がある。³³⁾ 渡辺ら^{20,34)}は生物餌料の一般組成、ミネラル組成およびアミノ酸組成を分析し、シオミズツボウムシ、アルテミア幼生およびアカルチア *Acartia clausi* などの生物餌料はアミノ酸組成に顕著な差はなく、タンパク質源として優れた素材であるとしている。また、アミ *Archaenomysis kokuboi* 粉末を添加した飼料がヒラメ稚魚の成長を促進することが明らかにされ、これは遊離アミノ酸の効果であろう³⁵⁾と推察されている。シラス飼料は生物餌料と遜色のない餌料効果を示したことから、飼料のアミノ酸組成に顕著な差はないと考えられるが、今後検討すべき課題である。

仔魚の肥満度は魚粉およびシラス飼料にレシチンを添加するといずれも向上した。肥満度が高いほど絶食耐性は向上したことから、肥満度を活力評価の一つの指標と考え、レシチンを添加した飼料およびシラス飼料は活力が向上すると推察された。アユ仔稚魚の生残や成長、健苗性に対するレシチンの効果は生物餌料との併用ですでに認められており、^{7,8,9)} 配合飼料に大豆レシチンを添加した今回の試験においてもそれらを支持する結果となった。シラス飼料にレシチンを添加すると、肥満度が高くなって活力が向上し、生物餌料に劣らない飼料効果を示したことから、それらは高い相乗効果を持つと推察された。

仔魚が必要とするタンパク質源が成魚と異なることは、仔魚用の配合飼料を開発するにあたって重要な意味を持つものである。今回の試験では、タンパク質源として真空凍結乾燥したマイワシのシラスとシオミズツボウムシを用いた。今後は、良好な成績を示した飼料原料の水溶性窒素成分の分子量を測定して、仔魚の消化吸収に適したタンパク質の大きさを明らかにすることによって、より幅広い原料を探索し、仔魚用配合飼料の実用化をはかる必要がある。

試作した配合飼料は真空凍結乾燥物を主体にした飼料である。この飼料は水溶性成分を多く含むために溶出が

速く飼育水が濁りやすい短所があり、換水量を増加して水槽底の掃除を徹底するなど飼育に細心の注意が必要であった。今後実用化のためには、水溶性成分の溶出を防ぐ造粒法の検討などがさらに必要である。

謝 辞

終わりに臨み、配合飼料の設計等に積極的に協力し、試験飼料を試作していただいた旭電化工業株式会社白川洋一氏に厚くお礼申し上げます。また、試験を実施するにあたり飼育などにご協力いただいた岡山県水産試験場の職員の方々に深謝します。

文 献

- 1) 星野 暹, 山本喜久蔵, 安家重材, 和田 功, 直江知也, 服部洋年. 海水によるアユ稚魚の人工生産に関する研究—1967年の経過. 木曾三川河口資源調査報告第5号, 木曾三川河口資源調査団, 長野. 1968; 833-858.
- 2) 伏見 徹, 西中弘興, 平本義春, 水呉 浩. 栽培漁業と新養成技術, 微粒子人工飼料のアユ稚魚生産への応用(上). 水産の研究 1985; 14: 89-93.
- 3) 金沢昭夫. 微粒子飼料. 「養魚飼料—基礎と応用」(米康夫編) 恒星社厚生閣, 東京. 1985; 99-110.
- 4) 北島 力, 吉田満彦, 渡辺 武. アユ仔魚に対する油脂酵母ワムシの飼料効果. 日水誌 1980; 46: 47-50.
- 5) 岡 彬, 鈴木則夫, 渡辺 武. 脂肪酸組成の異なるワムシのアユ仔魚に対する飼料効果. 日水誌 1980; 46: 1413-1418.
- 6) Kanazawa A, Teshima S, Sakamoto M. Requirements of essential fatty acids for the larval ayu. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1982; 48: 587-590.
- 7) Kanazawa A, Teshima S, Inamori S, Iwashita T, Nagao A. Effects of phospholipids on growth, survival rate, and incidence of malformation in the larval ayu. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.* 1981; 30: 301-309.
- 8) Kanazawa A, Teshima S, Inamori S, Sumida S, Iwashita T. Rearing of larval red sea bream and ayu with artificial diets. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.* 1982; 31: 185-192.
- 9) Kanazawa A, Teshima S, Kobayashi T, Takae M, Uehara R. Necessity of dietary phospholipids for growth of the larval ayu. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.* 1983; 32: 115-120.
- 10) 隆島史夫, 井上晃延. 人工採苗アユの体形異常についてⅢ. 病因学的調査結果. *J. Tokyo Univ. Fish.* 1979; 66: 9-21.
- 11) Iwai T. Fine structure of gut epithelial cells of larval and juvenile carp during absorption of fat and protein. *Arch. Histol. Jpn.* 1969; 30: 183-199.
- 12) 田中 克. 仔魚の消化系の構造と機能に関する研究—V. 後部腸管上皮層の変化と蛋白質の摂取. 魚類学雑誌 1972; 19: 172-180.
- 13) 山本章造. 真空凍結乾燥物を主体にした配合飼料がクロダイ仔魚の生残や成長に与える影響. 昭和59年度岡山水試事報, 1985; 61-64.
- 14) 酒本秀一. 仔稚魚用人工配合飼料の現状と問題点. 「昭和63年度栽培漁業技術研修事業基礎理論コーステキスト集. 餌料生物シリーズII No. 10」(日本栽培漁業協会編), 東京. 1988; 1-25.
- 15) 平川範明, 竹内俊郎, 酒井 清, 渡邊 武. 微粒子飼料

- によるナマズ仔魚の摂餌試験. *J. Tokyo Univ. Fish.* 1997; **83**(1, 2) : 43-52.
- 16) Halver JE, Ashley LM, Smith RR. Ascorbic acid requirements of coho salmon and rainbow trout. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1969; **98**: 762-771.
 - 17) 山本章造. アユ仔魚期の配合飼料に関する試験—Ⅳ. 仔魚の生残と生長, および体形異常発生に及ぼす飼料中リン酸塩およびビタミン C の影響, 昭和 54 年度岡山水試事報, 1980; 173-178.
 - 18) National Research Council. *Nutrient Requirements of Trout, Salmon, and Catfish*. National Academy of Science, Wash. D. C., 1973; 1-57.
 - 19) 飼料分析基準研究会. 一般成分. 「飼料分析基準注解」日本飼料協会, 東京. 1983.
 - 20) 渡辺 武, 荒川敏久, 北島 力, 福所邦彦, 藤田矢郎. 仔稚魚用生物飼料の一般組成およびミネラル組成. 日水誌 1978; **44**: 979-984.
 - 21) Zambonino JLI, Cahu CL, Pères A. Partial substitution of di- and tripeptides for native proteins in sea bass diet improves *Dicentrarchus labrax* larval development. *J. Nutr.* 1997; **127**: 608-614.
 - 22) Cahu CL, Zambonino JLI, Quazuguel P, Gall MML. Protein hydrolysate vs. fish meal in compound diets for 10-day old sea bass *Dicentrarchus labrax* larvae. *Aquaculture* 1999; **171**: 109-119.
 - 23) Kolkovski S, Tandler A. The use of squid protein hydrolysate as a protein source in microdiets for gilthead seabream *Sparus aurata* larvae. *Aquacult. Nutr.* 2000; **6**: 11-15.
 - 24) 田中 克, 川合真一郎, 山本章造. アユ仔稚魚の消化系の発達と消化酵素活性について. 日水誌 1972; **38**: 1143-1153.
 - 25) 田中 克. 仔魚の消化系の構造と機能に関する研究—Ⅲ. 後期仔魚の消化系の発達. 魚類学雑誌 1971; **18**: 164-174.
 - 26) Watanabe Y. Ingestion of horseradish peroxidase by the intestinal cells in larvae or juveniles of some teleosts. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1981; **47**: 1299-1307.
 - 27) Watanabe Y. Intracellular digestion of horseradish peroxidase by the intestinal cells of teleost larvae and juveniles. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1982; **48**: 37-42.
 - 28) 田中 克. 消化器官. 「稚魚の摂餌と発育」(日本水産学会編) 恒星社厚生閣, 東京. 1975; 7-23.
 - 29) 渡辺良朗. 仔魚の消化吸收機構. 「養魚飼料」(日本水産学会編) 恒星社厚生閣, 東京. 1985; 89-98.
 - 30) 渡辺良朗. 消化吸收機構から見た海産仔魚用人工飼料の必要条件 (上). 水産の研究 1987; **29**: 108-111.
 - 31) 渡辺良朗. 消化吸收機構から見た海産仔魚用人工飼料の必要条件 (下). 水産の研究 1987; **30**: 66-69.
 - 32) 渡辺良朗. 硬骨魚類仔稚魚の前中腸および直腸上皮細胞の微細構造. 北大水産彙報 1982; **33**: 217-228.
 - 33) 秋山敏男. 養魚飼料用代替タンパク質の栄養価. 「新しい養魚飼料」(渡邊 武編) 恒星社厚生閣, 東京. 1994; 35-42.
 - 34) 渡辺 武, 荒川敏久, 北島 力, 藤田矢郎. 仔稚魚用生物飼料蛋白質の栄養価. 日水誌 1978; **44**: 985-988.
 - 35) 朴 光植, 竹内俊郎, 青海忠久, 良永知義. ヒラメ稚魚の成長に対するアミ粉末中の残留塩素および遊離アミノ酸の影響. 日水誌 2000; **66**: 697-704.