

ウナギ仔魚用飼料・飼育システムの開発 — 世界で初めてシラスウナギの人工生産に成功 —

田中秀樹^{*1}・野村和晴^{*1}・山本剛史^{*2}・奥 宏海^{*1}

Development of artificial diets and rearing systems for eel larvae - The first success of production of glass eel in captivity -

Hideki TANAKA^{*1}, Kazuharu NOMURA^{*1}, Takeshi YAMAMOTO^{*2}, and Hiromi OKU^{*1}

Abstract Recently, a slurry-type diet made from shark egg yolk has been identified to be a suitable diet for captive-bred eel larvae. Although preleptocephalus larvae could be reared with this diet beyond the depletion of their yolk and oil droplet stores, it was still incomplete because the larvae could not be raised to glass eel. Then the biochemical compositions of eggs, larvae, and previous diets were analyzed and a new diet was designed by supplement of krill hydrolysate, phytase treated soybean peptide, vitamins, and minerals. A new rearing tank with a device which keeps the inner wall and the bottom of the tank clean by water current set up by water supply was also contrived. Larvae reared with the new diet in the new tank has grown to 50–60 mm in total length and begun to metamorphose into glass eel around 250 days after hatching. We have succeeded for the first time to rear the eel larvae to glass eel. However, the techniques for producing glass eels are not yet firmly established. Further studies should be focused on larval diets and the rearing regimes of the larvae to establish the techniques for consistent mass production of glass eels.

Key words: Japanese eel, *Anguilla japonica*, leptocephalus, larval rearing, artificial diet

ウナギ養殖の種苗となるシラスウナギの採捕量は減少傾向が続き、価格の高騰にともなう漁獲圧の高まりが天然資源に悪影響を及ぼすことが懸念されている。また、慢性的な種苗不足と大幅なシラス価格の変動は養鰻業の経営を不安定にし、日本の養鰻経営体数、生産量は減少の一途をたどっている。このような状況を打開するためには安定した種苗の供給が重要であり、ウナギ人工種苗生産の実現が急務とされてきた。しかしながら、1973年に北海道大学で世界初の人工ふ化に成功して以来 (Yamamoto and Yamauchi, 1974)、

いくつかの研究機関で仔魚を得ることに成功したものの、給餌によってふ化仔魚を成長させた例はなかった。

独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所では、1990年代の初めからウナギの人為催熟および人工授精技術の改良に取り組み、従来に比べると良質な受精卵、健全なふ化仔魚の得られる確率が飛躍的に増加した (Ohta *et al.*, 1997)。その結果、仔魚の飼育試験を計画的に行うことが可能となり、海産魚の初期餌料の定番であるワムシをあらかじめ培養し、様々な観点から

2005年12月24日受理 (Received: December 24, 2005)

^{*1} 養殖研究所 〒516-0193 三重県度会郡南伊勢町中津浜浦 422-1 (National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Nakatsuhamaura, Minami-ise, Mie 516-0193, Japan)

^{*2} 養殖研究所玉城庁舎 〒519-0423 三重県度会郡玉城町昼田 224-1 (Inland station, National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Tamaki, Mie 519-0423, Japan)

給餌試験を実施することができた。我々は1994年にウナギ人工ふ化仔魚がワムシを食べることを初めて確認し (Tanaka *et al.*, 1995), ふ化後7日目頃から摂餌を始め, ワムシを消化吸収する能力があること (Kurokawa *et al.*, 1996), 19~28°Cの範囲では高水温ほど摂餌率, 摂餌量ともに高いこと, 明るい方がよく摂餌するが, 暗黒下でも少しは食べることを明らかにした。

しかし, 数年間にわたる精力的な努力にもかかわらず, ワムシの給餌ではウナギ仔魚は成長せず, 生存期間も最高18日にとどまった。そこで, 我々はもう一度原点に戻ってウナギ仔魚に有効な初期餌料の探索を行った。生物餌料 (生きたワムシのほかに冷凍ワムシ, 天然プランクトン, オタマボヤ, アルテミアなど), 市販飼餌料 (海産魚用初期飼料, 甲殻類用初期飼料, シラス餌付け用ペースト状飼料など), 栄養強化飼料 (魚卵粉末, 濃縮ナンノクロロプシス, DHA強化ユーグレナなど), その他 (イカ, エビ, クラゲ, エイのヒレ, ゼラチン, 鶏卵 (卵黄), イガいの生殖線, ウナギ卵, マダイ卵, ウナギ仔魚など) を試してみた。その結果, 餌料生物の栄養強化飼料として市販されていたサメ卵低温乾燥粉末 (商品名: アクアラン) を好んで食べることを発見し, サメ卵粉末を濾過海水に懸濁させた餌を用いてウナギ人工ふ化仔魚を長期間飼育する方法を開発した。しかし, サメ卵粉末のみからなる餌ではふ化後約1ヵ月間, 全長10mm程度まで成長させるのが限界で, 栄養的な欠陥があることが示唆された。その後, 餌の改良を中心にさらに研究を進め, サメ卵粉末をベースとし, 消化機能の十分発達していない仔魚で

も吸収しやすいオリゴペプチドを添加するとともにビタミン, ミネラルを強化し, これらの餌の材料をオキアミ抽出液に懸濁させた餌を考案した。その結果, 200日以上飼育に成功し, 大きいものは全長30mm以上のレプトケファルス幼生の段階まで到達した (Tanaka *et al.*, 2001)。しかしながら, 飼育管理に多大な労力を要する上に, 依然として飼料の栄養的欠陥に起因すると思われる発育不全や斃死が見られ, 成長, 生残ともに満足のいくレベルに達していないため, 本研究では飼育装置の改良と栄養・試料学的知見に基づく飼料の改良に取り組み, 飼育下でシラスウナギを作り出すことを目指した。

新たな飼育装置の開発

従来, ウナギ人工ふ化仔魚の給餌飼育には, 日本栽培漁業協会南伊豆事業場 (現水産総合研究センター南伊豆栽培漁業センター) でイセエビのフィロソーマ幼生飼育のために開発された容量5Lの亚克力ボウル水槽を使用してきたが, 収容尾数が約200尾に限られる上, 残餌の洗浄に多大な労力を要し, 大量の仔魚を長期間飼育するには問題があった。

そこで, アクリル樹脂を素材として, 注水の力で水槽全体に水流を起こして残餌等を自動的に洗い流し, 中心部の排水管から効率よく流出させることを目的として, 新たな水槽を考案し, 試作した (Fig. 1)。これらの水槽は, 長さ50cm, 直径25cmの円筒を横置きにし, 上部を切り取って両端を塞いだ形状で, 底面を平らにした平底型 (Fig. 1A) と底面も連続する曲面に

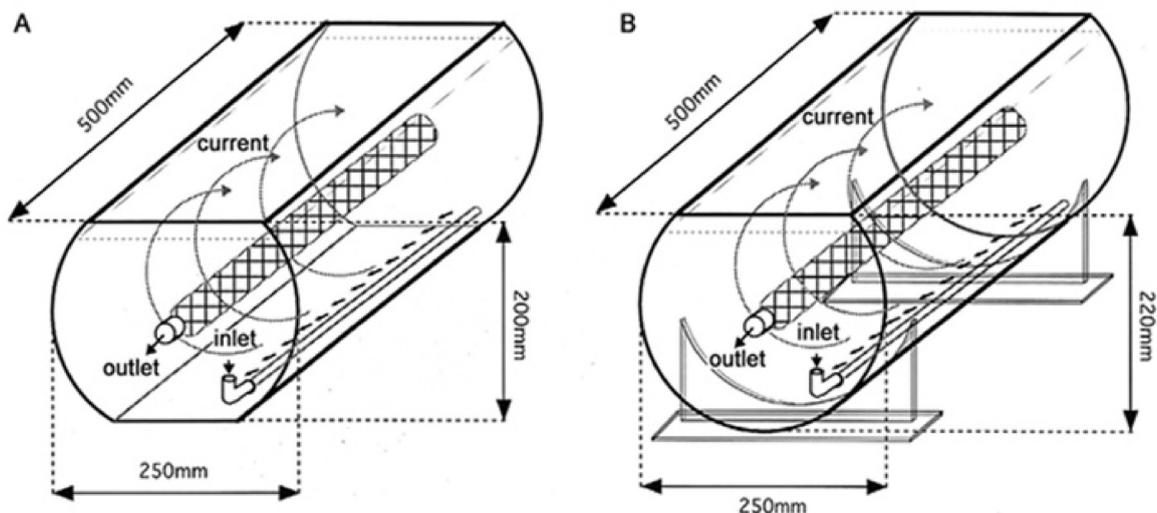


Fig. 1. Two types of newly designed rearing tank for eel larvae. A. Flat bottom carousel tank, B. Round bottom carousel tank.

なっている丸底型 (Fig. 1B) の 2 種類である。いずれも、斜め下部の壁面付近に設置したほぼ全長にわたるノズルから壁面に沿って海水を射出して水槽内に長軸を中心とした水流を起こし、軸方向中心部に配置したほぼ全長にわたるストレーナーから排水する構造となっている。水槽底面付近に水流を起こすことによって残餌を洗い流し、死骸や糞が沈殿するのを防ぎ、元気な仔魚がこれら汚染原因物質と接触する機会を減少させるとともに、水槽全体の飼育水を回転させることによって水質の均一化を図り、速やかに水槽内の汚れを排出することを目的としている。

内径 9 mm, 外径 13 mm, 長さ 48 cm の透明塩ビパイプに直径 1 mm の穴を 5 mm 間隔で一列に 94 個あけた注水ノズルを設置し、水槽壁面に沿って射出するように 1.0 L / 分の注水を行うと、丸底型では水槽の基部から末端部まで水槽底面付近において 4.0 ~ 5.0 cm / 秒のほぼ等しい流れを起こすことができた。実際に飼育試験を行ってみると、底を平らにした平底型は残餌の水洗機能ではやや劣ったが、初期の餌付けには優れており、どちらも従来のアクリルボウル水槽より少ない労力で 1 水槽あたり 1,000 ~ 2,000 尾の仔魚 (日齢 8) の飼育が可能であった。

卵、仔魚および餌の一般成分とアミノ酸組成の分析

餌の改良のための基礎的知見を得る目的で、ウナギ仔魚等の生物試料 (ウナギ排卵卵, ウナギふ化仔魚 (日

齢 0), 給餌開始時 (日齢 8), 20 日間給餌後 (日齢 28), 変態直前のレプトケファルス (日齢 436), 天然シラスウナギ, アナゴレプトケファルス) およびウナギ仔魚の飼育に用いた試験飼料 (AP' 10/F, ACc10/F, ACc10(T/K)) と飼料原料 (アクアラン, カゼインカルシウムペプチド, 大豆ペプチド (ハイニュート PM), オキアミ自己消化物, オキアミエキス) の一般成分組成, 遊離アミノ酸組成および加水分解物のアミノ酸組成等を分析し, 比較した。

一般成分組成のうち, 水分は 110°C で 8 時間乾燥, 灰分は 600°C で 5 時間加熱, 粗タンパク質はセミマイクロケルダール法, 総脂質はメタノール-クロロホルム抽出法により定量した。遊離アミノ酸組成は, 0.6 規定過塩素酸により一昼夜抽出し, 日立アミノ酸分析計 L8500 により分析した。加水分解物のアミノ酸組成については, トリプトファンは 4.2 規定水酸化ナトリウムにより 110°C で 24 時間加水分解し, 島津高速液体クロマトグラフにより, シスチンは過酸により氷冷下で 4 時間酸化した後溶媒を除去し, 6 規定塩酸にて 110°C で 18 時間加水分解し, 日立アミノ酸分析計 L8500 により, これら以外のアミノ酸については 6 規定塩酸にて 110°C で 22 時間加水分解し, 日立アミノ酸分析計 L8500 により定量した。

ウナギ卵および仔稚魚の一般成分組成を比較すると, シラスウナギへの変態に伴い水分含量が低下し, タンパク質含量が増加した (Table 1)。脂質含量は卵およびふ化仔魚では高く, 油球をほぼ吸収し終えたふ化後

Table 1. Proximate composition of eel eggs, eel larvae, conger eel larvae, ingredients of diets, and experimental diet

	Moisture (%)	Crude protein (%)	Total lipids (%)	Ash (%)
Eel eggs	87.9	7.2 (59.5 ^{*3})	4.2 (34.7 ^{*3})	1.0 (8.3 ^{*3})
Eel larvae (0 dph ^{*1})	89.9	6.7 (66.3)	3.9 (38.9)	1.2 (11.9)
Eel larvae (8 dph)	91.8	7.2 (87.8)	1.3 (15.9)	0.9 (11.0)
Eel larvae (28 dph) ^{*2}	—	5.5	—	—
Eel larva (436 dph) ^{*2}	—	8.5	—	—
Wild glass eel	81.6	12.8 (69.6)	2.8 (15.2)	1.7 (9.2)
Conger eel <i>leptocephalus</i>	92.8	4.5 (62.5)	1.3 (17.5)	1.4 (19.4)
Shark egg powder (Aquaran)	1.7	52.1 (53.0)	57.9 (58.9)	3.2 (3.3)
Soybean peptide (Hinute PM)	5.6	83.9 (88.9)	—	6.1 (6.5)
Casein calcium peptide	6.4	85.4 (91.2)	—	3.3 (3.5)
Krill hydrolysate	11.6	65.6 (74.2)	15.7 (17.8)	13.0 (14.7)
Experimental diet (AP' 10/F)	71.3	16.3 (56.8)	15.1 (52.6)	1.3 (4.5)

^{*1} Days post hatching.

^{*2} Only crude protein was analyzed.

^{*3} On dry matter basis.

8日目以降は低下した。日齢8以降のウナギ仔魚の一般成分は天然のアナゴのレプトケファルスと比較的類似していると推定された。飼料原料の内、アクアランは脂質含量が高く、試験飼料はアクアランが主原料となっていることからタンパク質と脂質の比が約1:1であった。

遊離アミノ酸組成については、サンプル数が少ないので比較が困難であるが、排卵卵からふ化後8日目にかけて遊離アミノ酸合計量が減少した。これは卵では浮力獲得及び発生におけるエネルギー基質として遊離アミノ酸が重要であることを裏付けていると考えられる。この間、多くのアミノ酸が減少し、特にふ化に伴うグルタミンの減少が著しかった。ただし、ふ化に伴って中性の必須アミノ酸は減少していないが、8日目には減少していた。また、タウリンは8日目まで増加していた。一方、8日目と天然シラスを比較すると、多くのアミノ酸が減少していたが、タウリン、グリシン、アラニン、 β アラニン、GABA及びカルノシンは増加していた。特に β アラニン、GABA及びカルノシンの増加が著しいのが特徴的であった。飼料原料のうちアクアランには尿素が極めて多かった。オキアミ抽出物には各アミノ酸および関連物質がかなり豊富に含まれていた。カゼインカルシウムペプチドおよびハイニュートPMは過塩素酸可溶性の低分子ペプチドが多いため測定が不可能であったが、試験飼料の遊離アミノ酸組成はおおむね主原料であるアクアランのそれを反映しているようであった。試験飼料のタウリンは乾物換算するとアナゴレプトケファルスよりはかなり少なかった。

加水分解物のアミノ酸組成を粗タンパク質(16g窒素)中の百分率で比較すると、アナゴレプトケファルスではセリン、アラニン、メチオニン、ロイシン、芳香族アミノ酸、リジン、アルギニン、プロリンなどがウナギ卵およびふ化仔魚より少なかったが、これらのうち非必須アミノ酸はウナギでも卵からふ化仔魚になるにつれて減少する傾向があった。ウナギ仔魚ではふ化後28日目から436日目までに多くのアミノ酸が増加しており、特にスレオニン、ロイシン、ヒスチジン及びプロリンで顕著な増加が見られた。ふ化後436日目のレプトケファルスと天然シラスを比較すると、塩基性アミノ酸であるアルギニンの増加が顕著で、さらにリジン、ヒスチジンが増加し、プロリンが減少していた。このことから、レプトケファルスからシラスウナギへの変態の前後で魚体を構成しているタンパク質の種類あるいは各種タンパク質の構成比率に変化があったと考えられた。試験飼料では生物試料に比べてグリシン、アラニンなどが少なく、イソロイシン、ロイシン、ア

ルギニンなどが多かった。しかしながらアクアランには尿素が多く、また試料によっては加水分解で定量される通常のアミノ酸以外の窒素化合物も多いと考えられる。必須アミノ酸バランスの比較のためにA/E比(各必須アミノ酸含量 $\times 1000$ /全必須アミノ酸含量、ただし、メチオニンはシスチンと、フェニルアラニンはチロシンとの合計量で計算した)を見ると、飼料原料のうちアクアランは生物試料に比べてアルギニン、イソロイシン、ロイシンが多く、リジン、芳香族アミノ酸が少なかった。ハイニュートPMではアルギニン、芳香族アミノ酸が多く、リジン、スレオニンがやや少なかった。カゼインカルシウムペプチドではロイシン、芳香族アミノ酸が多く、アルギニンが極端に少なく、スレオニンもやや少なかった。オキアミ自己消化物では含硫アミノ酸、スレオニンがやや多いが、ヒスチジン、芳香族アミノ酸は少なかった。カゼインカルシウムペプチドおよびオキアミ自己消化物のバリンはアクアランやハイニュートPMよりは多かった。

以上のことから、アナゴレプトケファルスにはウナギ排卵卵やふ化仔魚に比べて遊離のタウリンおよび β アラニンが豊富に含まれており、またタンパク質を構成するアミノ酸ではバリンの比率がやや高く、アルギニンがやや低い傾向が見られた。タウリンは海産魚の成長や緑肝症の予防に有効であることが報告されている。 β アラニンはヒスチジンまたはメチルヒスチジンと化合してカルノシンまたはアンセリンとなり、これらイミダゾール化合物は魚類でも筋肉における緩衝作用があることが報告されているが、アナゴレプトケファルスにはカルノシンやアンセリンは検出されなかった。今回分析した飼料原料はそれぞれ特徴的なアミノ酸組成を有しており、それらを必要に応じて適当に組み合わせることにより、様々な特徴のあるアミノ酸組成の飼料の作製が可能であると考えられる。また、ウナギ仔魚が特異的に嗜好性を示すサメ卵粉末(アクアラン)には尿素が多いことが特徴的であった。

ウナギ仔魚の成長に伴う

グリコサミノグリカン組成の変化

多糖の一種であるグリコサミノグリカン(GAG)は一般的にレプトケファルス型仔魚の重要な体構成成分の一つである。GAGはウロン酸とアミノ糖を構成糖とし、機能的には体構造を維持するほか、変態時には代謝されてエネルギー源としての役割を果たすといわれている(Pfeiler, 1991, 1996)。ウナギ成長過程における糖組成変動の特徴を明らかにするため、ふ化直後(日齢0)、摂餌開始直後(日齢9)、約4週間摂餌後

(日齢 30), レプトケファルス (日齢436) のウナギ人工ふ化仔魚, 変態直前のアナゴレプトケファルスケファルスおよび天然シラスウナギの構成多糖の組成を分析した。

各サンプルから多糖成分を抽出・精製し, 一般糖, ウロン酸, アミノ糖の含量をそれぞれ特異的発色法により比色定量した。中性糖含量については一般糖含量からウロン酸含量を差し引くことによって求めた。さらに特異的分解酵素への感受性を利用し, 精製GAGの定性分析を行った。

総多糖は各サンプル湿重量の0.2~0.4%を占め, ウナギ仔魚の成長に伴いウロン酸とアミノ糖が相対的に増加し, 中性多糖は減少した。ウナギ (日齢436) およびアナゴのレプトケファルスではその多糖成分はウロン酸およびアミノ糖が大半を占め, 中性糖は極めて少量しか含まれていなかった。シラスではレプトケファルスと比べてウロン酸およびアミノ糖の相対含量は低く, 中性糖の割合が高かった。Fig. 2に見られるこれらの分析結果はウナギ仔魚の成長過程における糖組成変動の特徴を示していると考えられる (Fig. 2)。また定性分析によりふ化時にはGAGとしてヒアルロン酸, コンドロイチン硫酸, ヘパラン硫酸を含んでいることが確認されたが, 仔魚の成長に伴いヒアルロン酸の相対的含量が増加し, 日齢436日のウナギレプトケファルスではアナゴレプトケファルスと同様にヒアルロン酸がGAG成分の大半を占めることが明らかとなった。

以上の結果から, ウナギ仔魚の成長過程での糖組成

変動の定量的・定性的特徴が明らかとなった。また変態直前のアナゴレプトケファルスとの比較から日齢436日まで人工飼育下においてもGAGは正常に合成されていることが確認された。現在ウナギ仔魚の飼育にはサメ卵, 大豆ペプチドおよびオキアミを主成分とした飼料を使用しているが, 現時点では新たにGAG生合成の材料となる成分を添加する必要はないと考えられた。

新たな餌の開発と仔魚の成長・変態

従来, ワムシの栄養強化用飼料として市販されてきたサメ卵粉末 (アクアラン) を主成分とした餌を用いてウナギ仔魚飼育試験を行ってきたが, 2001年にアクアランが製造中止となり入手できなくなったため, 代替餌材料を緊急に探し出すことが必要となった。幸いにも, アクアランの原料である冷凍サメ卵ペースト (アクアベース) が入手できたので, 水分含量の違いを考慮に入れてアクアランまたは冷凍サメ卵ペーストに, 大豆ペプチド, オキアミ自己消化物を添加した飼料を作製し, 日齢8から10日間の飼育試験を行ってウナギ仔魚の成長・生残を比較した。その結果, サメ卵ペーストを主成分とする餌は, 従来のアクアランを用いた餌とほぼ同等の成長・生残を示し, ウナギ仔魚飼料の主な材料として使用可能であることが明らかになった。

次に, 飼料のアミノ酸組成の改善を目的として, ふ化仔魚やシラスと従来与えていた飼料 (サメ卵80%,

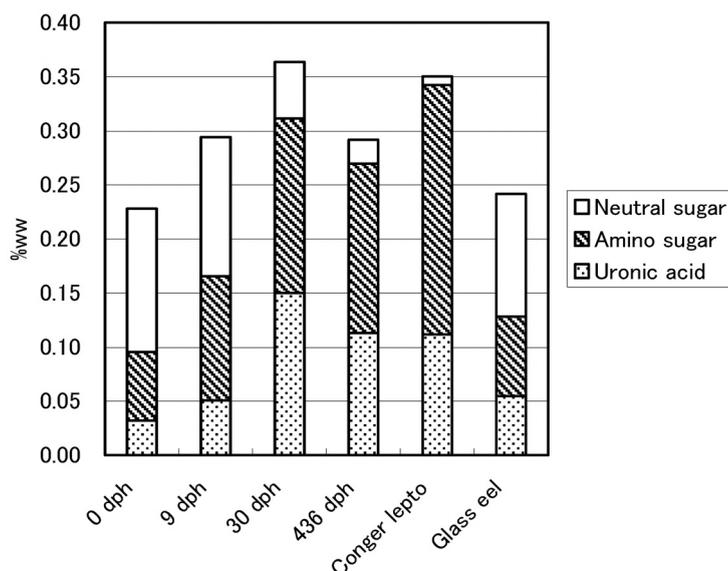


Fig. 2. Changes in the sugar composition of polysaccharide extracted from eel larvae from 0 day post hatching (dph) to glass eel.

大豆ペプチド10%, オキアミ自己消化物10%) のアミノ酸分析値を比較し, サメ卵には少ない芳香族アミノ酸を豊富に含むカゼインカルシウムペプチドや結晶アミノ酸(タウリン, スレオニン, バリン, メチオニン, ヒスチジン, リジン)を添加した飼料を試作した(Table 2)。ふ化後8日目のウナギ人工ふ化仔魚を供試魚として10日間の飼育試験を行い成長・生残を比較したところ, カゼインカルシウムペプチド添加区では成長・生残ともに従来の飼料より劣り, 結晶アミノ酸添加区も従来の飼料に比較して成長の改善は見られず, 生残率は若干低下した(Table 2)。これらの結果から, 現在までのところアミノ酸組成の調整による飼料の改善には成功していない。

本研究開始以前の飼料は, 日齢8~17まではアクアラン80g, 大豆ペプチド20gを250mLの蒸留水に懸濁させたもの, 日齢18以降はアクアラン80g, 大豆ペプチド20gにビタミンプレミックス3.5g, ミネラルプレミックス1.5gを加え, 270mLのオキアミ抽出液に懸濁させたものを用いていた。この飼料を用いた飼育では日齢100で全長20mm前後, 日齢209で31mmに達したのが最高であった(Tanaka *et al.*, 2001)。しかし, この飼料ではその後数年間の努力にもかかわらず, この成績を上回る飼育結果は得られなかった。

その後, 本研究と平行して実施した不二製油株式会社との共同研究により, 従来の大豆ペプチドはフィチン酸というリン化合物を含み, 仔魚がミネラルやタンパク・ペプチド等を吸収するのを阻害する恐れがあること, 酵素処理によってフィチン酸を低減することが可能なこと等が示され, また, 日本水産株式会社との共同研究ではオキアミ自己消化物がウナギ仔魚用飼料

の成分として有望なことが示された。

以上の知見を総合して冷凍サメ卵ペーストにフィチン酸低減大豆ペプチド, オキアミ自己消化物を添加した飼料で日齢8から10日間, その後は, これにオキアミ抽出液, ビタミン・ミネラル混合物を添加した飼料を毎日5回給餌して, 丸底回転水槽を用い水温21.5°Cで長期飼育試験を実施した。その結果, 日齢100で全長20~30mm, 日齢250前後で天然のレプトケファルスが変態を開始する全長50~60mmに達し, 肛門や背鰭基部の位置が前進し, 体高が低くなるなどの形態変化が見られた個体は, 約20日間でシラスウナギに変態した(Fig. 3) (Tanaka, 2003; Tanaka *et al.*, 2003)。

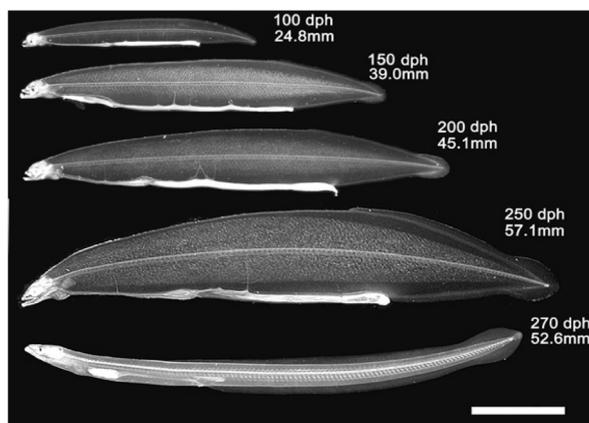


Fig. 3. Growth and metamorphosis of captive-bred Japanese eel (after Tanaka *et al.*, 2003). Age in days post hatching (dph) and total length are indicated. Scale bar=10mm.

Table 2. Comparison of growth and survival rate between amino acid supplemented diets

Experimental group	Age (days)	Number of fish	Survival rate (%) ^{*1}	Total length (mm) ^{*2}	Body depth (mm) ^{*2}
Initial	8	30	—	6.47±0.23	0.642±0.037
Control ^{*3}	18	60	42.00±3.97	9.36±0.49 ^a	1.052±0.107 ^a
A ₁ ^{*4}	18	89	30.40±7.99	9.33±0.36 ^a	1.046±0.061 ^a
CCP ^{*5}	18	47	17.37±3.39	8.90±0.54 ^b	0.962±0.102 ^b
CCP・A ₂ ^{*6}	18	76	13.04±5.71	8.99±0.44 ^b	0.992±0.090 ^b

^{*1} Mean±SD of 3 tanks of each experimental group.

^{*2} Values followed by the same letter are not significantly different in each column (p<0.05).

^{*3} Shark egg (dry weight) 80 : Soybean peptide 10 : Krill hydrolysate 10.

^{*4} Shark egg (dry weight) 80 : Soybean peptide 10 : Krill hydrolysate 10+Tau 1.00,Thr 0.48,Val 0.16, Met 0.50,Lys 1.32,His 0.60.

^{*5} Shark egg (dry weight) 60 : Casein calcium peptide (CCP)20 : Soybean peptide 10 : Krill hydrolysate 10.

^{*6} Shark egg (dry weight) 60 : CCP 20 : Soybean peptide 10 : Krill hydrolysate 10+Tau 1.00,Thr 0.40,Val 0.05,Met 0.50,Lys 0.76,His 0.50.

おわりに

本研究の成果により、効率的な飼育水槽が開発されるとともに、仔魚や飼料原料の成分が解明され、サメ卵を主成分とする飼料の給餌によってレプトケファルスとして正常と思われる発育、成長を示し、シラスウナギに変態させることに成功した。しかしながら、依然として初期の生残率は低く、成長は天然に比べて遅く、長期にわたる飼育中の減耗も大きい。また、健全なシラスウナギが得られる確率が極めて低いことから、今後は親魚養成法や人為催熟法を改善し、卵や仔魚の質を高め、ふ化後各段階での飼料の改良や飼育技術の高度化が必要と考えられる。

文 献

- Kurokawa T., Tanaka H., Kagawa H., and Ohta H., 1996: Absorption of protein molecules by the rectal cells in eel larvae *Anguilla japonica*. *Fish. Sci.*, **62**, 832-833.
- Ohta H., Kagawa H., Tanaka H., Okuzawa K., Inuma N., and Hirose K., 1997: Artificial induction of maturation and fertilization in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Fish. Physiol. Biochem.* **17**, 163-169.
- Pfeiler E., 1991: Glycosaminoglycan composition of anguilliform and elopiform leptocephali. *J. Fish Biol.*, **38**, 533-540.
- Pfeiler E., 1996: Energetics of metamorphosis in bonefish (*Albus* sp.) leptocephali: Role of keratan sulfate glycosaminoglycan. *Fish. Physiol. Biochem.*, **15**, 359-362.
- Tanaka H., Kagawa H., Ohta H., Okuzawa K., and Hirose K., 1995: The first report of eel larvae ingesting rotifers. *Fish. Sci.*, **61**, 171-172.
- Tanaka H., Kagawa H., and Ohta H., 2001: Production of leptocephali of Japanese eel (*Anguilla japonica*) in captivity. *Aquaculture* **201**, 51-60.
- Tanaka H., 2003: Techniques for Larval Rearing. In "Eel Biology" (eds. Aida K. Tsukamoto K., and Yamauchi K.), Springer-Verlag, Tokyo, pp.427-434.
- Tanaka H., Kagawa H., Ohta H., Unuma T., and Nomura K., 2003: The first production of glass eel in captivity: fish reproductive physiology facilitates great progress in aquaculture. *Fish. Physiol. Biochem.*, **28**, 493-497.
- Yamamoto K. and Yamauchi K., 1974: Sexual maturation of Japanese eel and production of eel larvae in the aquarium. *Nature*, **251**, 220-222.