ハタハタ仔魚の外部栄養への転換，絶食耐性および 絶食が仔魚の遊泳速度に与える影響

森岡 泰三,^{1*} 長倉 義智,² 村上 直人,¹ 市川 卓,¹
白藤 徳夫,¹ 福永 恭平,¹ 渡邊 精一³

(2008 年 9 月 11 日受付, 2008 年 12 月 3 日受理)

¹海水産総合研究センター北海道区水産研究所, ²海水産総合研究センター宮古栽培漁業センター,

³東京海洋大学海洋科学部

Transition from endogenous to exogenous feeding, starvation tolerance, and
effect of starvation on swimming performance in hatchery-reared
larvae of the Japanese sandfish *Arctoscopus japonicus*

TAIZO MORIOKA,^{1*} YOSHITOMO NAGAKURA,² NAOTO MURAKAMI,¹
TAKASHI ICHIKAWA,¹ NORIO SHIRAFUJI,¹
KYOHEI FUKUNAGA¹ AND SEIICHI WATANABE³

¹Hokkaido National Fisheries Research Institute, FRA, Akkeshi, Hokkaido 088–1108, ²Miyako Station, National Center for Stock Enhancement, FRA, Miyako, Iwate 027–0097, ³Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108–8477, Japan

The transition from endogenous to exogenous feeding, starvation tolerance, and effect of starvation on growth and swimming performance were examined in hatchery-reared larvae of the Japanese sandfish *Arctoscopus japonicus*. Most newly hatched larvae (12.3 mm in standard length and 2.47 mg in dry weight) commenced feeding at 2 days after hatching (DAH) and completed yolk sac absorption at about 25 DAH. However, no differences in the larval size and swimming speed between feeding and non-feeding groups were observed at 8 DAH (dry weight), 10 DAH (standard length) and about 10 DAH (cruising speed). The 50% lethal time (L_{time50}) of 0 DAH larvae under starvation conditions was 23–25 days. L_{time50} was shortest (4 days) when starvation conditions were initiated at 25 DAH and after that the tolerance gradually increased. This suggests that the larvae have a long overlap of endogenous nutrition and exogenous feeding period (2–25 DAH) and mainly depend on endogenous nutrition until 8 DAH. The completion period of yolk absorption is also a critical time for starvation. Although endogenous nutrition is important for growth and survival, exogenous feeding may be required at least before 8 DAH because the influence of starvation on growth appeared after 8 DAH.

キーワード : *Arctoscopus japonicus*, 飢餓耐性, 仔魚, 摂餌, ハタハタ, 遊泳速度, 卵黄

ハタハタ *Arctoscopus japonicus* は、朝鮮半島北東水域から沿海州、サハリンにいたる日本海とオホーツク海及びカムチャツカ東岸に分布する。¹⁾ 本種は特に秋田県における重要な漁業対象種であるが、その漁獲量は 1966 年の 20,607 トンから 1991 年には 71 トンに減少した。²⁾ このため、同県は 3 年間の禁漁を含めた漁業管理、³⁾ 産卵場の整備及び大量の種苗放流による資源の回復と安定

化に取り組んだ。海水産総合研究センター能登島栽培漁業センターは、1984 年に本種の種苗生産技術の開発に取り組み、⁴⁾ 秋田県と協力して海上網生簀における種苗生産技術を開発した。^{5,6)} この海上網生簀では、中央部の水面上に夜間電照装置と自動給餌機を設置しており、ハタハタ仔魚は電照下に蟄集した天然プランクトン⁷⁾ と配合飼料によって育成される。その飼育技術は、ふ化仔魚

が体長 12 mm と大型で比較的遊泳力がある特性が活用されており、高位安定化を図るために仔稚魚の生物特性を様々な視点から解明する必要があった。

本種仔稚魚については、ふ化仔魚の形態と各部長,⁸⁾ 形態学的発育史,^{1,9,10)} 成長,^{4,6,7,10,11)} 耳石の日周輪解析による成長履歴,^{12,13)} 仔魚や稚魚の分布,^{10,11,14)} 食性,^{7,10,11)} 摂餌量,^{4,7,15)} 潜砂,¹⁶⁻¹⁸⁾ 消化器系の発達¹⁹⁾ 等の生物特性に関する報告がある。死亡要因では、水温・塩分濃度耐性²⁰⁾ が調べられてはいるものの、飢餓や被食に関する知見は見あたらない。本種は生後 2 日目には一部摂餌を開始し,¹⁵⁾ 25 日以上にわたって卵黄が存在するため,^{4,18)} ふ化仔魚は高い飢餓耐性を持つと予想される。しかし、飢餓が進行すると発育と成長が遅滞し、遊泳機能が低下して波浪や潮流がある海上網生簀での飼育に失敗する恐れがある。さらに自然条件下においては被食の危険性を高める恐れがある。

ハタハタ仔魚の内部栄養から外部栄養への転換過程と飢餓に関する情報を得ることは、種苗生産技術の向上に加えて、資源の変動機構を解明する手がかりとしても重要である。本研究ではハタハタ仔魚の摂餌開始と卵黄の吸収過程を明らかにするとともに、絶食が成長と生残率、遊泳速度に与える影響を調べた。これらの調査結果から栄養の転換過程における特徴の一端を明らかにし、生後どの段階までに外部栄養を取り込むことが仔魚の生き残りに対して望ましいのかを考察した。

試料および方法

給餌群と絶食群による成長と卵黄吸収期間の比較 (実験 1) 2000 年 2 月 13 日、秋田県男鹿半島沿岸で漁獲された天然親魚由来のふ化仔魚を 2 kL 円形水槽 2 面に各々約 10,000 尾収容し、給餌群と絶食群を設定した。収容は、前日午後 8 時以降にふ化した個体を用いて午前 0 時前後に行い、便宜上 13 日午前 0 時をふ化、その日齢を 0 日齢とした。飼育は水温 11.4~12.5°C (平均 12.1°C) のろ過海水による掛け流し (15 回転/日) で 25 日間実施し、給餌群に対してアルテミアノープリウスを 3,000 万個体/日給餌した。仔魚の計測は 0 日齢から 12

日齢まで 2 日間隔で、その後は 15 日齢と 20 日齢と 25 日齢に実施した。仔魚各々 10 尾について標準体長と乾重量及び卵黄の長径・短径を測定し、卵黄は長径を長軸、短径を短軸とする回転楕円形に近似して体積を算出した。得られた各値は測定日毎に中央値を求め、群間で比較した。比較には Mann-Whitney の *U* 検定を用いた。また、給餌群の摂餌を確認するため、1~10 日齢に毎日 25 尾の消化管内容物を検査し、アルテミアを摂餌していた個体の出現頻度を求めた。

仔魚の絶食が遊泳速度に与える影響 (実験 2) 実験 1 の飼育魚を用いて生後 25 日間における遊泳速度を以下の方法により調べた。すなわち、福田²¹⁾ を参考に実験装置を作成した (Fig. 1)。実験魚の遊泳区には内径 16 mm、長さ 800 mm の透明アクリル管を使用し、貯水槽の高さと中間のコックの開閉により管内の流速を調整した。海水は実験 1 の飼育用から取水し、流速は流速計 (瞬時流速計 NF-5-PTN 型、検出範囲 0.300~3.000 L/分、Aichi Tokei) に表示される流量を遊泳管の断面積で除した値とした。実験手順は、飼育水槽から複数尾の仔魚を 2 L 容器に採集し、そのうち 3 尾を遊泳区の前方に位置する漏斗から止水の状態で作容、コックを徐々に開き遊泳を開始させた。30 秒後、流量が毎分 0.3 L (0.15 cm/秒) に達した時点で 60 秒放置し、仔魚が流れに定位していることを確認した。その後、遊泳状態を確認しながら流量を毎分 0.2 L 増大させ、十分遊泳しながらも流され始める流速を最大持続遊泳速度と定義した。実験は 0 日齢の午前 3 時に開始し (=0.25 日齢)、3 日齢、4~12 日齢に 2 日間隔及び 15~24 日齢に 3 日間隔で実施、両群それぞれ 1 回当たり 6~15 尾測定して脱落開始時の日時を記録し日齢に変換した。仔魚の遊泳速度は 0.25 日齢から 10 日齢前後まで比較的急速に増大し、その後給餌群ではほぼ横這い、絶食群ではやや低下する傾向が認められた。そこで日齢と遊泳速度との間に対数回帰式及び 2 次と 3 次の多項回帰式を求め、赤池情報量基準 AIC (Akaike's Information Criterion)²²⁾ が最小となる式を検討した。さらにハタハタ仔魚は尾鰭を用いて遊泳することから、1 回当たり 10 尾について両群

Fig. 1 Illustration of the apparatus used to measure the swimming speed of the Japanese sandfish larvae.

の尾鰭の条数と、鰭条に形成された節の数を計数し、絶食がそれらの発達に与える影響を調べた。

仔稚魚の飢餓による半数致死日数（実験3） 海上網生簀施設においてハタハタをふ化仔魚から飼育し、仔稚魚をほぼ定期的に採集して日齢と飢餓による半数致死日数（ L_{time50} ）との関係を調べた。この海上網生簀施設は能登島栽培漁業センター地先の入り江内に設置されており、 $3 \times 3 \times 2.5$ m（実容量 20 kL）の生簀網が装着できる筏群で構成されている。各網生簀の中央部水面上には 60 W の夜間電照装置と自動給餌機（YDF-160SO, YAMAHA）が各 1 基装着されている。実験は 1996 年と 1998 年に実施した。

1996 年の実験は、上述した網生簀に秋田県男鹿半島沿岸で漁獲された天然親魚由来のふ化仔魚を 4,500 尾/kL の密度で収容し、夜間電照下に蜆集した動物プランクトン⁷⁾と市販の配合飼料（初期餌料 B-400, 同 B-700 及び同 C-700, 協和発酵株式会社）を飼育の餌料に用いた。絶食耐性実験は 0 日齢及び 5~55 日齢の仔稚魚に対して 10 日間隔で行った。実験の際は生簀網を持ち上げて仔稚魚を濃縮し、一部を 70 L 容器に採集して約 500 m 隔てた能登島栽培漁業センターに搬送し、0.5 kL 円形水槽 1 面に 200 尾収容した。実験では水温 $10.1 \sim 13.5^\circ\text{C}$ のろ過海水を掛け流し（10 回転/日）、毎日死亡数を計数した。1998 年は 2 月 13 日、ふ化仔魚を海上網生簀に 250 尾/kL の密度で収容し、夜間電照下に蜆集する動物プランクトンのみを餌料に用いて 68 日間飼育した。絶食耐性実験は、0, 17, 32, 49 及び 67 日齢の仔稚魚に対して 1996 年と同様の方法で実施した。この実験では 0.5 kL 水槽 2 面を使用し、水温は前回よりも約 1°C 低い $9.2 \sim 12.1^\circ\text{C}$ であった。各群各日齢における半数致死日数（ L_{time50} ）は、実験を開始してから生残率が初めて 50% 以下に低下するまでの日数とした。

結 果

給餌群と絶食群による成長と卵黄吸収期間の比較（実験1） 給餌群と絶食群の卵黄体積、標準体長及び乾重量の経日変化を調べた結果、卵黄の体積の中央値は 0 日齢の 4.43 mm^3 から両者はほぼ等しく漸減し、25 日齢には給餌群 0.00 mm^3 及び絶食群 0.02 mm^3 となっていた（Fig. 2[A]）。標準体長の中央値は、給餌群では 0 日齢の 12.3 mm から 25 日齢に 18.0 mm となっていた。これに対し絶食群は 10 日齢を過ぎて成長が鈍化し、給餌群との間で 15~25 日齢の各中央値に有意差が認められた（Mann-Whitney の U 検定, $p < 0.05$ ）（Fig. 2[B]）。また、乾重量の中央値は給餌群では 0 日齢の 2.45 mg から 8 日齢の 1.95 mg まで減少した後増大に転じていた。これに対し、絶食群は 25 日齢の 1.10 mg までほぼ直線的に減少しており、給餌群との間で 10~25

Fig. 2 Yolk sac absorption [A] and growth in standard length [B] and dry body weight [C] of the Japanese sandfish larvae under different feeding conditions. Symbols indicate mean values and vertical bars represent range. Asterisks represent significant difference between feeding and non-feeding groups (Mann-Whitney's U -test, $p < 0.05$).

日齢の各中央値に有意差が認められた（Mann-Whitney の U 検定, $p < 0.05$ ）（Fig. 2[C]）。給餌群においてアルテミアを摂餌していたハタハタの出現頻度は 1 日齢 12%, 2 日齢 88% 及び 3~10 日齢 96~100% となっており、2 日齢にはほぼ全ての魚が摂餌を開始していた。

仔魚の絶食が遊泳速度に与える影響（実験2） 0~24 日齢における最大持続遊泳速度を調べた結果、ふ化仔魚の最大持続遊泳速度は $3.8 \sim 4.5 \text{ cm/秒}$ （平均 4.2 cm/秒 ）あり、両群とも 10 日齢前後まで比較的急速に増大した。その後給餌群はほぼ横這いとなり、絶食群では横這いから減少に転じていた（Fig. 3）。両群の日齢（ D : 単位日）と最大持続遊泳速度（ S : 単位 cm/秒 ）との間で対数回帰式及び 2 次と 3 次の多項回帰式を求めた結果、AIC はそれぞれ絶食群で 783.2, 702.5, 702.2, 給餌群で 786.9, 776.6, 775.0 となり、以下に示す 3 次の回帰式が最小を示した。

絶食群：

$$S = -0.0002 D^3 - 0.0199 D^2 + 0.6302 D + 3.7217$$

給餌群：

$$S = 0.0006 D^3 - 0.0353 D^2 + 0.7660 D + 3.6083$$

このような遊泳速度の変化を示した両群の尾鰭の発達
は、鰭条数の増大では両者はほぼ一致したものの、絶食群
で尾鰭条の分節が初めて認められたのは18日齢であ
り、給餌群よりも約1週間遅れていた (Table 1)。

仔稚魚の飢餓による半数致死日数 (実験3) 飢餓耐
性実験に用いる仔稚魚を海上網生簀内で飼育した結果、
密度250尾/kLで収容した1998年群は、1996年群に
比べて高い成長、生残率を示した。1998年群と1996

年群の体長の成長速度は、それぞれ0.43 mm/日と0.20
mm/日 (Fig. 4) であった。また採集した個体を除く飼
育終了時の生残率は、それぞれ94.5%と75.2%であ
った。このように飼育条件や成長、生残率が異なる両群の
飢餓耐性を日齢別に調べた結果、絶食下における生残率
はFig. 5の推移を示した。飢餓による半数致死日数
(以下、 L_{time50}) は、1996年群では0日齢23日、5日
齢17日、15日齢7日、25日齢4日、35日齢6日、45
日齢7日及び55日齢10日であった (Fig. 6)。また、
1998年群では0日齢が24日 (実験水槽No. 1) と25
日 (同No. 2)、以下17日齢11日と12日、32日齢15
日と16日、49日齢18日と17日、67日齢28日と27
日であった (Fig. 6)。よって、両群の L_{time50} はふ化仔

Fig. 3 Relationship between larval age and swimming speed under feeding and non-feeding conditions in the Japanese sandfish. The larvae in the feeding group were fed with *Artemia nauplii* (15 ind./ml/day) from 1 day after hatching.

Fig. 4 Growth of the Japanese sandfish reared in sea-net cages in 1996 and 1998. Symbols and vertical bars represent the mean values and ranges.

Table 1 Changes in the number of caudal fin rays and number of segments of the Japanese sandfish larvae between feeding and non-feeding groups

Days after hatching	Number of fin rays						Number of fin segments					
	Feeding group			Non-feeding group			Feeding group			Non-feeding group		
	Mean $\pm$ SD	Min.	Max.	Mean $\pm$ SD	Min.	Max.	Mean $\pm$ SD	Min.	Max.	Mean $\pm$ SD	Min.	Max.
0	5.5 $\pm$ 1.58	4	9	5.5 $\pm$ 1.58	4	9	0	0	0	0	0	0
3	10.0 $\pm$ 0.67	9	11	10.1 $\pm$ 0.74	9	11	0	0	0	0	0	0
4	9.6 $\pm$ 0.84	8	11	9.5 $\pm$ 0.97	8	11	0	0	0	0	0	0
6	9.6 $\pm$ 0.97	8	11	9.5 $\pm$ 0.97	8	11	0	0	0	0	0	0
8	12.2 $\pm$ 0.79	11	13	11.4 $\pm$ 2.07	8	14	0	0	0	0	0	0
10	12.5 $\pm$ 1.08	10	14	12.7 $\pm$ 1.06	11	14	0	0	0	0	0	0
12	13.1 $\pm$ 0.74	12	14	13.2 $\pm$ 0.79	12	14	0.8 $\pm$ 1.32	0	3	0	0	0
15	13.3 $\pm$ 1.06	11	15	12.8 $\pm$ 4.22	11	15	3.1 $\pm$ 5.30	0	13	0	0	0
18	13.3 $\pm$ 1.06	11	15	12.7 $\pm$ 1.42	11	15	10.9 $\pm$ 6.61	0	22	1.5 $\pm$ 3.37	0	10
21	13.1 $\pm$ 1.10	11	14	13.0 $\pm$ 1.15	11	14	11.3 $\pm$ 7.53	0	21	2.7 $\pm$ 4.81	0	14
24	13.1 $\pm$ 1.60	11	15	13.0 $\pm$ 0.82	11	14	17.8 $\pm$ 8.31	5	31	7.6 $\pm$ 1.65	5	10

Fig. 5 Mortality curves of the Japanese sandfish of different age groups during starvation, initiated at various days after hatching, examined in 1996 (left) and 1998 (right).

Fig. 6 Relationship between larval age of the Japanese sandfish and 50% lethal time in the starvation tolerance test.

魚で23～25日あり、日齢の進行とともに一度減少した後、遅くとも30日齢には増加に転じる点で共通していた。 L_{time50} が最も短かった日齢は、1996年群が25日齢、1998年群が17日齢であった。

考 察

本研究においてハタハタの初期摂餌と卵黄の吸収過程を調べた結果、2日齢には多くの仔魚が摂餌を開始するものの、卵黄の吸収期間は生後25日間に及ぶことを確認した。池端¹⁵⁾によれば本種は生後2日目に一部が摂餌を開始する。また、卵黄は25日齢¹⁸⁾や、全長22～23 mm (30日齢前後に該当)⁴⁾に消失することが報告されている。また、本種の消化管はふ化した段階で食道と胃と腸に分化しており、¹⁹⁾5日齢には脾臓にトリプシン様酵素の前駆体であるチモージェン顆粒が認められてい

る。¹⁹⁾これらの知見と今回の観察結果は、本種が生後2日齢から20日以上にわたって内部栄養と外部栄養の両方を利用できる魚種であることを示唆している。摂餌開始から卵黄が消失するまでの日数は、イカナゴ *Ammodytes personatus* で5～10日、^{23,24)}マダイ *Pagrus major* で±1日以内、^{25,26)}太平洋ニシン *Clupea pallasii* で1～2日、²⁷⁾マツカワ *Verasper moseri* で1日²⁸⁾であり、これらの魚種に比べて本種は長期である。しかし、給餌群の乾重量が8日齢まで無給餌群と同様に減少していたことから、0～8日齢における外部栄養の利用は些少であると考えられる。

いっぽう、ハタハタ仔魚の最大持続遊泳速度は給餌、無給餌に関わりなく10日齢まで比較的急速に増大した。その後給餌群の増大は緩慢となり、絶食群では減少に転じていた。AICが最小となる3次の回帰式を採用した場合、両群における遊泳速度の差は9日齢まで5%以内、これが14日齢には10%に拡大し、24日齢には52%に拡大したことになる。このような変化は筋肉や神経、呼吸・循環器、骨格などの発達に加えて、²⁹⁾水の抵抗やエネルギーの産生と供給源等³⁰⁾様々な要因の影響を受けていることが想起される。神経系や骨格系に関する知見は見あたらないものの、筋肉についてはアクトミオシン量がふ化後増大の一途を示すことが生体成分の分析によって明らかにされている (森岡, 未発表)。本研究では卵黄の吸収が進むとともに体長が伸長して体型が細長くなり、尾鰭条の数も増していた。このような体型の変化と筋肉や尾鰭の発達、遊泳の際に受ける水の抵抗を弱め、水を掻く力と効率を高める効果があると推察される。しかし、絶食は尾鰭条の分節を約1週間遅らせ、遊泳速度に10日齢前後から影響を与え始めることが今回解明された。

他種仔魚の遊泳速度については、マダイで0.2～0.9 cm/秒 (11日齢, 全長5 mm)、³¹⁾ヒラメ *Paralichthys*

olivaceus で 1.5 cm/秒以下 (0~13 日齢, 全長 4.5 mm 以下), ³²⁾ アユ *Plecoglossus altivelis* で約 1~4 cm/秒 (1~8 日齢, 全長 6~8 mm), ³³⁾ ニシンで 6.87 mm/秒 (11 日齢, 体長 10.5 mm)²¹⁾ などが報告されている。魚類の遊泳速度は供試魚の履歴や測定条件によって異なるものの,³⁴⁾ ハタハタ仔魚の遊泳速度は毎秒 0.3~0.6 cm/体長の範囲にあって, 体長当りではニシン仔魚やアユ仔魚に近い。

ハタハタ仔稚魚の L_{time50} は, 0 日齢における 23~25 日から一時低下した後上昇していた。またほぼ同じ日齢では成長, 生残率の良い 1998 年群が 1996 年群よりも長い結果が得られた。群によって成長, 生残率に違いが生じた要因は不明であるが, 海上飼育では飼育密度と成長, 生残率が逆相関する傾向にある。⁶⁾ 1998 年群のような低い収容密度 (250 尾/kL) で無給餌飼育したハタハタは, 夜間電照下に蛸集する天然餌生物を摂餌することによって天然稚仔魚^{10,11)} と同等以上の速度で成長し, 高い生残結果を示すことが知られている。⁷⁾ これに対し 1996 年群のような高い収容密度 (4,500 尾/kL) で飼育したハタハタは, 天然餌生物が不足するうえ配合飼料の摂餌状況に個体差が生じることが示唆されている。⁶⁾ 魚類の摂餌と消化の状況が水温や餌の質, 密度, 大きさ, 消化吸收の効率等の影響を受けて変化するとすれば,³⁵⁾ 1998 年群は 1996 年群に比べて餌環境が良く, 個体の栄養状態が相対的に高くなったために成長, 生残率が高い値を示したものと推察される。

いっぽう, 1998 年群の L_{time50} は, 例えば標準体長 17.0 mm (17 日齢) や 23.4 mm (32 日齢) 時の値がほぼ同じ体長時の 1996 年群 (35 日齢 16.8 mm, 55 日齢 24.1 mm) に比べて各々約 6 日長い。両群の間で認められた日齢と体長の両方の基準による L_{time50} の違いが何に起因するのかは不明であるが, 魚類の飢餓耐性は高水温で低くなることがサワラ *Scomberomorus niphonius*³⁶⁾ やイカナゴ *Ammodytes personatus*³⁷⁾ 等で知られている。本研究は自然水温なので, 同じ体長では若齢である 1998 年群の飼育・実験水温が 1996 年群よりも低温であるし, 同じ日齢でも 1998 年群が約 1°C 低かった。また, ハタハタは日齢が進むとともに形態や行動が変化することが知られており,^{1,18)} それにともなって代謝の状態も変化することが予想される。卵黄の残量とその成分組成も含め, ある体サイズや発育段階におけるハタハタが飢餓時に動員できる生体成分やその量, 代謝の速度は不明であり, 水温要因を含めての解明が今後の課題である。

しかし, ハタハタの L_{time50} は供試魚の前歴などによって異なるものの, ふ化仔魚の L_{time50} (約 24 日) と 1996 年群の L_{time50} が最低となった日齢 (25 日齢) は, 実験 1 や既往の知見に示された卵黄の消失時期 (25 日

齢前後) とほぼ一致している。さらに 1998 年群で L_{time50} の最低値を確認できた日齢 (17 日齢) も卵黄の吸収がかなり進行した日齢に該当する。これらのことから, 本種にとって卵黄の吸収が完了する時期は, たとえ外部栄養を利用していても飢餓耐性が低下する危険期であるといえる。いっぽう, 30 日齢を過ぎると L_{time50} の増大が認められた。本種は 30 日齢で胃腺が完成し,¹⁹⁾ 35~40 日齢に仔魚期から稚魚期に移行することが報告されている。¹⁸⁾ このような日齢になれば摂餌と消化に関する機能が高くなり, 個体の栄養状態が好転するため絶食耐性が向上するものと推察される。なお, ふ化仔魚の飢餓による半数致死日数については, マダイで 6 日,²⁵⁾ サワラで 9 日,³⁶⁾ イカナゴで 11~21 日³⁷⁾ などの知見が得られており, 本種の飢餓耐性は比較的高い。

以上, 本種の外部栄養への転換過程における生物特性の一端を明らかにした。本種仔魚は生後 2 日目から 20 日以上に亘り内部栄養と外部栄養の両方を潜在的に利用でき, かつ比較的高い遊泳能力と飢餓耐性を持っている。これらの特性は, 波浪や潮流などの影響を受けやすく, 電照下への天然餌生物の蛸集が不安定⁷⁾ な海上網生簀において, 本種の仔稚魚飼育を可能にする基本要因となっている。さらに, 自然環境下においては仔魚の飢餓やそれが原因での被食による死亡を抑制する効果があると推察される。しかし, 卵黄の吸収期は飢餓耐性が低下する危険期である。さらに, 絶食が発育や成長, 遊泳機能に与える影響は 8 日齢以後顕著になるので, それまでに外部栄養を取り込むことが仔稚魚の成長, 生残にとって望ましいと判断される。

文 献

- 1) Okiyama M. Contrast in reproductive style between two species of Sandfishes (Family Trichodontidae). *Fish. Bull. U.S.* 1990; **88**: 543-549.
- 2) 杉山秀樹. 秋田県におけるハタハタの漁業管理. 北日本漁業 1998; **26**: 9-14.
- 3) Sakuramoto K, Sugiyama H, Suzuki N. Models for forecasting sandfish catch in the coastal waters off Akita Prefecture and the evaluation of the effect of a 3-year fishery closure. *Fish. Sci.* 2001; **67**: 203-213.
- 4) 前山 清. ハタハタ種苗生産技術開発. 昭和 59 年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京. 1985; 188-194.
- 5) 島 康洋. 海上網生簀を利用したハタハタの種苗生産について. 第 4 回ハタハタ研究会議報告書. 日本海区水産研究所, 新潟. 1991; 32-33.
- 6) 長倉義智. 海上小割網におけるハタハタの種苗生産. 日本海ブロック試験研究集録. 日本海区水産研究所, 新潟. 1996; **33**: 31-37.
- 7) 森岡泰三. プラントクトン蛸集ランプを設置した海面網生簀におけるハタハタ仔稚魚の食性. 日水誌 2002; **68**: 526-533.
- 8) 小川良徳. 秋田のハタハタに関する研究. 日本海区水産創立三周年記念論文集, 日本海区水産研究所, 新潟.

- 1952; 237-245.
- 9) 沖山宗雄. 変態の多様性とその意義. 「魚類の初期発育」(田中克編) 恒星社厚生閣, 東京. 1991; 36-46.
- 10) 安村 明. 天然ハタハタ稚仔生態調査. 昭和57年度秋田県水産試験場事業報告, 秋田県, 秋田. 1984; 53-70.
- 11) 南 卓志, 田中 實. アカヒゲ漁で漁獲されたハタハタ稚魚. 日水研報告 1985; **35**: 1-10.
- 12) Tsukamoto T, Shima Y. Otolith daily increment in sandfish. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1990; **56**: 1083-1087.
- 13) Tsukamoto T, Shima Y, Hirokawa J. Estimation of early growth history in the Japanese sandfish with otolith microstructure. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1991; **57**: 585-589.
- 14) 沖山宗雄. ハタハタの初期生活史研究について. 第2回ハタハタ研究会議報告書. 秋田県, 秋田. 1988; 21-28.
- 15) 池端正好. ハタハタ種苗生産試験について. 昭和56年度秋田県水産試験場事業報告, 秋田県, 秋田. 1983; 72-80.
- 16) Nelson, J. *Fishes of the world*, 2nd ed. Wiley-Interscience, NY. 1984.
- 17) 杉山秀樹, 柴田 理. 「しんかい2000」によるハタハタ *Arctoscopus japonicus* の生態と生息環境に関する研究. しんかい2000研究シンポジウム報告書 1989; **5**: 111-118.
- 18) Morioka T. Onset of burying behavior concurrent with growth and morphological changes in hatchery-reared Japanese sandfish *Arctoscopus japonicus*. *Fish. Sci.* 2005; **71**: 242-244.
- 19) 川合真一郎. 仔稚魚の消化系の発達と消化酵素活性の変化. 平成5年度健苗育成技術開発研究成果の概要, 水産庁研究部研究課, 東京. 1994; 81-105.
- 20) 輿石裕一, 野口昌之. ハタハタ稚魚の高温および低塩分濃度耐性について. ハタハタ研究協議会議事録. 秋田県, 秋田. 1987; 26-29.
- 21) 福田雅明. ニシンの発育初期における成長と生残に関する研究. 博士論文, 北海道大学, 北海道. 1986.
- 22) 山田作太郎, 北田修一. 生物資源統計学. 成山堂書店, 東京. 1997.
- 23) Yamashita Y and Aoyama T. Hatching time, yolk sac absorption, onset of feeding, and early growth of the Japanese sand eel *Ammodytes personatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1985; **51**: 1777-1780.
- 24) 山田浩且. 伊勢湾産イカナゴのふ化特性と外部栄養への転換. 日水誌. 1998; **64**: 440-446.
- 25) 福原修. 初期の飢餓がマダイ仔魚の生き残り, 成長および発育に及ぼす影響について. 南西海区水研報告. 1974; **7**: 19-29.
- 26) 茂木正人, 石川 健, 寺岡成樹, 伏見 浩. マダイ仔魚の内部栄養から外部栄養への転換. 水産増殖 2001; **49**: 323-328.
- 27) 山本義久. 「(栽培漁業技術シリーズ7) ニシンの種苗生産技術」. 日昇印刷, 東京. 2001.
- 28) 有瀧真人, 鈴木重則, 渡辺研一. 飼育したマツカワ仔稚魚の形態発育と成長. 日水誌 2000; **66**: 446-453.
- 29) 松浦義行. 体力の発達. 朝倉書店, 東京. 1984.
- 30) 伊藤 朗. 図説・運動生化学入門. 医歯薬出版株式会社, 東京. 1988.
- 31) Sakamoto W, Tsuda R. Statistical analyses of swimming mode of larvae *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1983; **49**: 839-848.
- 32) 安永義暢. 小型直水路によるヒラメ仔魚の遊泳速度の測定. 日水誌 1985; **51**: 227-231.
- 33) Tsukamoto T, Kajihara T. On the relation between yolk absorption and swimming activity in the Ayu larvae *Plecoglossus altivelis*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1984; **50**: 59-61.
- 34) 中村幸雄, 渡辺幸彦, 土田修二. 新しい遊泳能力測定装置による海産魚類の遊泳能力の評価. 海洋生物研究所研究報告 1991; **19**: 1-33.
- 35) Pandian T and Vivekanandan E. Energetics of feeding and digestion In: Tytler P, Calow P. *Fish Energetics*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore. 1985; 99-124.
- 36) Shoji J, Aoyama M, Fujimoto H, Iwamoto A, Tanaka M. Susceptibility to starvation by piscivorous Japanese Spanish mackerel *Scomberomous niphonius* (Scombridae) larvae at first feeding. *Fish. Sci.* 2002; **68**: 59-64.
- 37) Yamashita Y, Aoyama T. Starvation resistance of larvae of the Japanese sand eel *Ammodytes personatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1986; **52**: 635-639.