スズキの仔魚期における鰾の分化と発達^{*1}

牧野 直, 内山雅史, 岩波重之, 遠山忠次, 田中 克

(1994年2月22日受付)

Differentiation and Development of the Swimbladder in Larvae of the Japanese Sea Bass *Lateolabrax japonicus*Naoshi Makino,^{*2,6} Masashi Uchiyama,^{*3} Shigeyuki Iwanami,^{*4}
Tadatugu Tohyama,^{*3} and Masaru Tanaka^{*5}

Development of the culture of marine fishes is dependent on detailed information on their early life stages. This paper describes the timing of differentiation, initial inflation and development of the swimbladder in Japanese sea bass larvae. Developmental changes in yolk and oil globule volumes and specific gravities were also observed. The mouth opened when the yolk mass was greater than the oil globule volume. First feeding was observed when the oil globule volume became greater than that of the yolk. Specific gravity of larvae increased rapidly during the first day after hatching then became relatively constant around the neutral buoyancy level.

A rudimentary swimbladder, protruding from the dorso-posterior wall of the primordial stomach, was first observed 2 days after hatching. Initial inflation of the swimbladder occurred 8 days after hatching and was complete in most larvae by 16 days after hatching, when the oil globule was completely absorbed. A few larvae were observed with uninflated swimbladders in which epithelial cells exhibited hypertrophy. Uninflated swimbladders were atrophic about 30 days after hatching. These results indicate that the development and degeneration of the swimbladder of the Japanese sea bass is similar to that of other physoclistous species.

キーワード: スズキ, 鰾, 卵黄・油球吸収, 比重, 成長, 仔魚期

近年, スズキ *Lateolabrax japonicus* 仔稚魚を飼育する技術が進展し, 10万尾規模で大型種苗(全長4~10 cm)の生産が可能となった。¹⁾ しかし, 依然として軽微ではあるが, 鰾腔にガスを保有できないことによって生じる脊柱屈曲²⁾や顎などに異常をもつ変形魚などが出現し,^{1,2)}健全な種苗の育成には多くの解決すべき問題が残されている。鰾の発生や鰾内にガスを保有する時期については,すでにマダイ *Pagrus major* やイシダイ *Oplegnathus fasciatus* など数種の魚類で研究されており,鰾が卵黄吸収前の前期仔魚期に分化すること,鰾腔にガスを保有する仔魚の出現は摂餌開始前後に生じる³⁻⁶⁾こと,そしてマダイでは,ガスの保有が油球の吸収終了時には完了していることなどが観察されている。⁶⁾スズキの初期発育に関しては,水戸⁷⁾や田中・松宮⁸⁾が報告してい

るが,卵黄や油球の吸収過程,ならびに鰾の分化や発達は明らかにされていない。海産魚類の健全な種苗を育成するためには,発育初期の形態・生理・生態を総合的に理解することが必要であり,連続的な試料の入手が容易な飼育魚で発育過程を詳しく記述することはその不可欠の前提となる。

著者らは,1989年以来本種の種苗生産を行うとともに,より健全な種苗を育成する手がかりを得るための基礎研究を行ってきた。本報では,スズキの初期発育,特に鰾の分化や発達について報告する。

実験方法

本研究の材料には,1990年2月17日に自然産出した受精卵より得たふ仔魚が用いられた。仔魚の飼育は黒色

^{*1} スズキの初期発育—I (Early Life Stages in Japanese Sea Bass—I).^{*2} 千葉県栽培漁業センター (Chiba Prefectural Fish Farming Center, Hamakatsuura, Katsuura, Chiba 299-57, Japan).^{*3} 千葉県水産試験場 (Chiba Prefectural Fisheries Experiment Station, Hiraiso, Chikura, Chiba 295, Japan).^{*4} 千葉県東京湾栽培漁業センター (Chiba Prefectural Tokyo Bay Fish Farming Center, Okubo, Futtsu, Chiba 299-14, Japan).^{*5} 京都大学農学部 (Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kitashirakawa, Kyoto 606-01, Japan).^{*6} 現所属: 千葉県東京湾栽培漁業センター (Chiba Prefectural Tokyo Bay Fish Farming Center, Okubo, Futtsu, Chiba 299-14, Japan).

Fig. 1. Developmental changes in absorption of yolk and oil globule and growth in total length (A), and specific gravity and % inflated swimbladder (B) of the Japanese sea bass larvae during the first 16 days after hatching.

Major developmental events are shown in the upper panel. OG: volume of oil globule, SB: % of inflated swimbladder, SG: specific gravity, TL: total length, YS: volume of yolk sac. Vertical bars indicate S.D. The horizontal broken line shows the specific gravity of sea water (15°C) in Fig. 1B.

500 l ポリエチレン水槽で行われ、観察には0~40日齢のスズキ仔魚が用いられた。飼育は初期より自然海水の流水条件で行われ、水温は13.5~15.5°C (平均14.5°C)であった。初期餌料としてふ化後6日より海産クロレラ・乳化オイルおよび脂溶性ビタミンで培養したシオミズツボウムシを与えた。通気には径2 cmのエアストーンを使用した。ふ化後3日から熊谷⁹⁾の方法に準じ水表面の油膜を除去した。

ふ化直後から40日間仔魚を毎日100尾前後採取し、一部はMS-222で麻酔後、全長と比重を測定した。全長の測定は万能投影機を用いて行い、発育初期の仔魚では、併せて鰾の最大長径および卵黄と油球の長・短径も測定した。卵と油球は楕円体とみなし、次式により体積を算出した。卵黄体積 $=\pi(ab^2-cd^2)/6$ 、油球体積 $=\pi cd^2/$

6 (a: 卵黄最大長径, b: 卵黄最大短径, c: 油球最大長径, d: 油球最大短径)。また、卵黄体積に対する油球体積の比率を求め、その値を油球占有率とし、卵黄と油球の吸収率をそれぞれ次式により算出した。卵黄吸収率 $= (Y_n - Y_{n+R})/R$ 、油球吸収率 $= (O_n - O_{n+R})/R$ ($Y_n(O_n)$: n日の卵黄(油球)体積, $Y_{n+R}(O_{n+R})$: n日からR日後の卵黄(油球)体積)。

仔魚の比重測定は、安永¹⁰⁾の方法に準じて、ふ化後13日までの仔魚について各日齢ごとに行い、同時に鰾腔にガスを保有している仔魚の割合をふ化後16日まで調べた。他の供試魚は、生体時の鰾の発達状態を光学顕微鏡を用いて観察した後に、10%緩衝ホルマリン液またはブアン液で固定し、常法により厚さ3~10 μmの水溶性樹脂切片を作成した。これらの切片をGillのヘマトキシリンとエオシンにより二重染色を施し、鰾の分化・発達状態を光学顕微鏡下で観察した。

結 果

発育に伴う卵黄および油球の吸収と比重の変化 仔魚はふ化後時間経過とともに外部形態を発達させながら成長し、6日には開口が認められた。7日にはほぼ半数の仔魚で、8日には全ての仔魚で、シオミズツボウムシの摂餌が確認された。鰾腔にガスを保有した仔魚は摂餌開始翌日の8日から観察された。8日から10日までの間は活発な摂餌活動が観察されたにもかかわらず、成長はほとんど停滞傾向を示した。卵黄の大部分は、摂餌開始までに吸収され、摂餌開始前日の6日ではふ化直後のほぼ2%を残すのみであった。その時の油球占有率は $51.0 \pm 16.35\%$ を示したが、摂餌が開始された7日には $102.2 \pm 16.91\%$ となり、以後油球体積は10日まで卵黄体積より大きな値で推移した。油球の吸収は、卵黄のそれに比べるとゆるやかであり、卵黄が完全に吸収された12日以後も残存したが、16日には完全に消失した (Fig. 1A, Table 1)。卵黄の吸収率は、ふ化から7日までは $0.0947 \text{ mm}^3/\text{日}$ であったが、それ以後11日までは $0.00082 \text{ mm}^3/\text{日}$ と低い値を示した。一方、同時期の油球の吸収率は $0.0027 \text{ mm}^3/\text{日}$ と $0.00092 \text{ mm}^3/\text{日}$ であった。このように、7日以前では卵黄の吸収率が油球の吸収率を上回ったが、それ以後11日までは油球の吸収率が高くなった。

仔魚の比重はふ化直後では1.021であったが、その後の1日の間に急激に増大し、飼育海水の比重(ρ_s : 1.026)にほぼ等しくなった。それ以後では比重は1.026前後と中性浮力に近い値で推移した (Fig. 1B)。

鰾の分化と発達 鰾の原基は生体観察ではふ化後3日に初めて認められたが、組織切片標本ではすでに2日に原基の分化が確認された。鰾の原基は胃原基後部背面壁の一部から膨出した小囊として観察された。この時点で

Table 1. Developmental changes of yolk and oil globule volumes in larvae of Japanese sea bass

Age { Days after hatching }	Yolk Av. ($\pm$ S.D.) (mm ³)	Oil globule Av. ($\pm$ S.D.) (mm ³)	Oil globule/ Yolk $\times 100$ Av. ($\pm$ S.D.) (%)	Absorption rates of yolk and oil globule (mm ³ /day)	Water temperature in rearing tank ($^{\circ}$ C)
0	0.667269 (0.13538)	0.023412 (0.00211)	3.6 (0.91)	0.0947* ¹ 0.0027* ² (0-7 days)	13.5
1	0.338965 (0.05627)	0.021232 (0.00132)	6.4 (1.09)		14.2
2	0.105430 (0.02533)	0.017691 (0.00207)	17.9 (6.48)		14.0
3	0.047451 (0.00791)	0.016723 (0.00175)	36.2 (8.26)		14.4
4	0.024785 (0.00589)	0.012673 (0.00157)	54.3 (16.97)		14.3
5	0.017192 (0.00462)	0.007697 (0.00170)	48.0 (16.21)		15.5
6	0.011115 (0.00181)	0.005522 (0.00148)	51.0 (16.35)		14.4
7	0.004228 (0.00086)	0.004230 (0.00074)	102.2 (16.91)	0.00082* ¹ 0.00092* ² (7-11 days)	14.4
8	0.002388 (0.00067)	0.002996 (0.00072)	136.0 (52.91)		13.8
9	0.001371 (0.00049)	0.002399 (0.00044)	215.6 (146.40)		14.8
10	0.001102 (0.00031)	0.001082 (0.00040)	101.5 (39.49)		15.5
11	0.000914 (0.00046)	0.000544 (0.00038)	60.9 (23.03)		14.8
12	—	0.000210 (0.00029)	—		14.6
13	—	0.000035 (0.00003)	—		15.1
14	—	0.000008 (0.00000)	—		15.2
15	—	0.000006 (—)	—		15.1

Absorption rates of yolk (*¹) and oil globule (*²). **Fig. 2.** Photomicrographs of longitudinal sections of the swimbladder in larval Japanese sea bass.

A: 2 days after hatching. it, intestine; nch, notochord; og, oil globule; sbp, swimbladder pouch; st, stomach; vc, vacuole; ys, yolk sac. B: Enlargement of the rudimentary swimbladder in A. C: 3 days after hatching. pd, pneumatic duct; sb, swimbladder. D: 4 days after hatching. ct, connective tissue. Bars indicate 200 μ m (A), 20 μ m (B, C), 10 μ m (D).

Fig. 3. Photomicrographs showing the swimbladder of larval Japanese sea bass.

A: 5 days after hatching, longitudinal section. cap, capillaries; gg, gas gland. B: 7 days after hatching, cross section of the swimbladder. bc, blood corpuscle. C: 8 days after hatching, longitudinal section. D: Enlargement of the swimbladder in C. eo, eosinophilic materials. Bars indicate 25 μ m (A, B), 100 μ m (C), 50 μ m (D). (other abbreviations are the same as in Fig. 2).

は小囊には中空は認められなかった。鰾原基の上皮細胞は長径 6 μ m 前後で、消化管上皮と比較して形態的に目立った差異は認められなかった (Fig. 2A, B)。

3 日の組織切片標本では鰾腔が明瞭に観察され、鰾は前後にやや湾曲し、鰾底の右側より下方に直走する気管が認められた。鰾上皮細胞は消化管上皮と同様の形状を示し、長径 7 μ m 前後の単列する円柱状の細胞で構成された。上皮の随所にはエオシンに染色されない部分が認められた。鰾上皮の厚みは、鰾背側部で 7~10 μ m、腹側部で 10~12 μ m を示し、背側と腹側とで上皮の厚みに差が認められた (Fig. 2C)。4 日になると鰾腔は急激に拡大し、体軸方向がやや長径な楕円形を呈した。鰾壁は 2 層に区分され、外層は内層を取り巻く結合組織からなっていた。内層の上皮は背側では扁平化が進み、腹側では厚みを増し、両者の厚みの差は明瞭となった。 (Fig. 2D)。5~7 日ではさらに拡張した鰾腔の長径は 90 μ m 内外に達し、3 日の鰾のほぼ 3 倍となった。鰾上皮の全域にはエオシンに染色されない多数の空腔が見いだされた。鰾の腹側には鰾底に沿って前後に走る索状の血管原基が認められた (Fig. 3A)。7 日にはこの血管は管腔を持つ奇網血管を形成するとともに初めて血管内に血球が観察され

た (Fig. 3B)。このような鰾腔の拡張や奇網血管の形成にもかかわらず、鰾腔にガスを保有する個体はまだ認められなかった。しかし、軽度であるが、鰾上皮細胞からエオシンに染まった粘液様物質の分泌像が観察された。

8 日には、鰾の長径は 140 μ m 内外に拡張し、初めて鰾腔にガスを認める仔魚が出現した。一例ではあるが、そのガスを認めた仔魚の鰾上皮からもエオシンに染まった分泌像が観察された (Fig. 3C, D)。気管は明瞭に開腔した状態で存在した。ガスが認められた仔魚の出現頻度は、8~10 日では 10%、11 日では 20% であったが、13 日には 50% になり、さらに 15 日には 80% と経日的に増加した (Fig. 1B)。気管の消失過程の観察例は少ないが、20 日の仔魚では気管は完全に閉塞して消化管から分離した状態が観察された (Fig. 4)。その遺残組織は 25 日頃まで認められたが、それ以後に消失した。鰾の長径は 20 日には 350 μ m、25 日には 420 μ m あったが、30 日には 780 μ m、35 日には 950 μ m へと成長とともに顕著に増大した (Table 2)。

鰾の形成異常 鰾の開腔率はふ化後 15 日には 80% に達したが、20 日になっても鰾腔にガスを保有しない仔魚が見られた。それらの鰾の長径は、ガスを認めた仔魚と

Table 2. Development of the swimbladder in Japanese sea bass larvae + represents presence in all larvae examined, ± presence or absence depending on larvae

Age { Days after hatching }	Total length (Av. mm)	Swimbladder length* ¹ (μ m)	Pneumatic duct	Blood corpuscles in the capillaries of the gas gland	Gas in the swimbladder
0	3.7				
1	4.2				
2	4.6				
3	4.9	30	+		
4	5.1	70	+		
5	5.1	80	+		
6	5.2	90	+		
7	5.4	100	+		
8	5.5	140	+	+	±
11	5.6	200	+	+	±
16	6.2	250	+	+	+
20	7.5	350 350* ²		+	+
25	8.4	420		+	+
30	9.3	780		+	+
35	9.3	950 250* ²		+	+

*¹ Maximum length (mean of 10 fishes).*² Uninflated swimbladder (mean of 3-4 fishes).

同じ値であった (Table 2, Fig. 5A, B)。しかし、鰾上皮細胞は著しく肥大し、核はヘマトキシリンに濃染して増殖傾向を示した。鰾上皮細胞は全分泌の様相を呈し、分泌物や細胞破屑と思われる異物が著しく縮小した内腔の間に散在していた (Fig. 5B, C)。ガスを保有しない鰾は、30日頃からガス保有魚の鰾よりも長径が短くなる傾向が認められた。35日の仔魚では鰾上皮が明らかに萎縮傾向を示し、鰾の長径はガス保有魚の30%程度に減少した。その鰾壁は退化傾向を示し、奇網毛細血管は著しく拡張していた (Fig. 5D)。

考 察

魚類の卵黄吸収は、多くの魚種で研究されており、それらを総述した Heming and Buddington¹¹⁾ はその過程を3期に分けている。受精からふ化までの第1期 (Prehatch phase) では、卵黄吸収率は時間経過とともにゆるやかではあるが連続的に増加し、その時の卵黄と油球吸収率はほぼ等しくなる。第2期 (Posthatch phase) に入ると、卵黄の吸収率は急速に高まり、油球のそれよりも大きくなる。第3期 (Terminal phase) では、卵黄が少なくなるに伴って吸収率はゆるやかになり、その後完全に吸収される。この期では油球が優先的に消費され、タンパク質代謝に支障が生じる前に摂餌が開始されると述べている。

本研究においても、ふ化とともに卵黄は急速に消費され、7日までは油球の吸収率を上回っていたが、それ以

Fig. 4. Photomicrograph of a longitudinal section of the swimbladder with degenerating pneumatic duct which has separated from the swimbladder 20 days after hatching in a Japanese sea bass larva.

Bar indicates 100 μ m. (other abbreviations are the same as in Figs. 2 and 3).

後11日までは、卵黄の吸収率は低下し、油球の吸収率が卵黄のそれを上回った。このような卵黄と油球の吸収過程は、スズキにおいても Heming and Buddington¹¹⁾ の区分を当てはめることが可能であり、摂餌が開始された7日までは第2期に、以後11日までは第3期に相当すると考えられた。開口時までは卵黄を栄養源として諸器官の形成が促進され、卵黄の残量が油球の残量より多い時期 (6日)、すなわち栄養源を油球に依存する直前に口が開くとともに、タンパク質の欠乏が生じない間に (7日)

Fig. 5. Photomicrographs showing the swimbladders of larval Japanese sea bass.

A: 20 days after hatching, longitudinal section. be, bladder epithelium; li, liver; rm, ret mirabile. B: 20 days after hatching, longitudinal section. Uninflated swimbladder with abnormally hypertrophic epithelium. C: 20 days after hatching, cross section. Abnormal uninflated swimbladder. D: 35 days after hatching, longitudinal section. Degenerating swimbladder. Bars indicate 50 μ m (other abbreviations are the same as in Figs. 2 and 3).

摂餌が始まるものと考えられる。ヨーロッパスズキ *Dicentrarchus labrax* では、卵黄の残量が油球の残量より多い時に油球の吸収が開始され、同時に開口や摂餌が生じ、その翌日には卵黄が完全に吸収される。¹²⁾ 卵黄の残量が油球の残量より多い時期に開口が認められることは、*Lates calcarifer*¹³⁾ やクロダイ¹⁴⁾ でも見られることから、本種に限られたことではなく、海産分離浮性卵より生まれる仔魚ではかなり一般的な現象ではないかと推定される。以上のように、第2期から第3期への移行は内部栄養から外部栄養への転換期に当たり、この時期を油球占有率を指標に特定できる可能性が高く、今後いろいろな魚種での検討が期待される。

浮遊性の卵を産む魚種では、卵黄吸収期に一時的に成長が停滞する。^{5, 14)} この時期に少量残存した卵黄は、主に体の維持と摂餌活動のエネルギーに利用されるとされている。¹¹⁾ 本研究では、卵黄が完全に吸収されても成長の停滞は認められず、むしろ活発に摂餌活動を行っていた8日から10日にかけて成長の伸びが見られなかった。この成長の停滞は、卵黄が残り少ない上に摂餌の成功率

も低く、後述するように水表面での空気を呑み込むための活動にエネルギーを必要とすることと関連するのであろう。一方、卵黄を完全に吸収した後の成長の進展は、摂餌能力の急速な増大による¹⁵⁾ ものと考えられる。油球の成分はトリグリセリド¹⁶⁾ であることから、油球は卵黄吸収終了後の摂餌活動のエネルギー源の一つとして重要な役割を果たしていると思われる。

ストライプドバス *Morone saxatilis*³⁾ では、卵黄吸収とともに増大する魚体比重は、鰾腔にガスを保有することによって低下し、その後の仔魚は中性浮力を保つ。一方、本種では鰾の形成期には比重の顕著な変化は認められず、ふ化直後においてのみ比重の増大が認められた。本種における初期の比重の増大とその後の一定レベルの保持は、ふ化後1日以内に仔魚膜が発達して皮下組織間隙に水分が保持される¹⁷⁾ ことにより、中性浮力の獲得が行われる結果と推定された。Tanaka¹⁸⁾ によれば、カタクチイワシのような分離浮性卵では、ふ化間近に比重が増大して卵は沈降する。この沈降は発生の進展とともに加速されるものと推定され、浮性卵のふ化が早期に行われ

*7 牧野 直: 未発表。

るのは、沈降現象の防止と密接に関係していると考えられる。¹⁹⁾ 本種のふ化後1日以内に認められた海水比重より小さい頃に開始されるふ化から浮力の安定化への変化は、卵沈降の補償作用としての意義を持つものかもしれない。

前述したように、無管鰾魚類の鰾の発生はすでに数種の仔魚で研究されている。例えばマダイ^{4,6)}では、鰾の原基はふ化後1~2日に食道背面の一部が膨出して、また、インダイ²⁾では、鰾原基はふ化後3日に食道末端の背面が膨隆して形成される。これらの魚種では、鰾の原基の分化は食道背面より見られるとされているが、本種では明らかに腸への移行部に近い胃の最後部背面より鰾の原基の分化が確認された。クロダイ、アユ、マダラなどにおいても本種と同様の分化部位が観察されている。⁴⁸⁾ 今後、鰾の分化部位について食道と胃の分化やその境界の観察も含め、代表種について再検討する必要がある。ヨーロッパスズキ²⁰⁾では、鰾の原基は生体観察によってふ化後3日に確認されている。スズキでは、鰾の原基はふ化後2日目に胃の原基背面の一部が膨出して形成されるのが観察された。このようにスズキの鰾もマダイ、インダイ、ヨーロッパスズキの3種と同様にふ化後比較的早期に発生することが明らかになった。

山下⁶⁾は、マダイの鰾の組織学的研究において、ガス腺の分化過程における鰾上皮細胞の一連の変化に着目し、鰾上皮の空胞化は、無管鰾魚類のガス腺分化の過程に現れる特徴的な現象であることを示唆した。さらに、鰾上皮の空胞化は、ガス腺の血液洞を形成するための前駆現象とみなされると指摘している。本研究においても、ふ化後3日に鰾上皮の一部に空胞化の兆候を認め、5日には上皮全域に空胞化の広がりが観察された。さらに、7日には奇網血管に血球が認められた。これらの結果は、スズキにおいても山下⁶⁾の指摘を裏付けている。

ガス保有魚の出現時期は、林田ら²¹⁾がスズキ仔魚を水温16℃で飼育した場合には、ふ化後10日(平均全長5.5 mm)であった。本研究では、林田ら²¹⁾よりも飼育水温が1.5℃前後低いが、8日(平均全長5.5 mm)から観察された。マダイ⁶⁾では、飼育条件(主に水温)によってガスの保有開始時期に差が生じるとされているが、本研究と林田ら²¹⁾との間には保有開始時期に顕著な差は認められなかった。

鰾腔ガスの由来はすでに数種の魚で研究されており、仔魚を人為的に空気を遮断して飼育すると、海水中に十分な酸素が溶存していても鰾腔へのガスの保有が認められないことから、水表面での空気の吞み込みによる。^{22,23)} 本種においても、マダイと同様に最初の鰾腔へ

のガスの補給は、水面より空気を吞み込むことが必須とされている。²¹⁾ 山下⁶⁾は、ガス保有以前の鰾腔から珪藻と異物を見だし、また異物を含まない標本においても、上皮からエオシンに染まった粘液様物質の分泌像を観察した。これらの観察より、ガス保有期の鰾の拡張は摂餌開始時期に正常な行動として吞み込んだ海水によって生じることを推論した。本種においては、珪藻や異物の存在は認められなかったが、摂餌が開始された7日にはマダイと同様の分泌像が観察された。したがって、本種もマダイと同様の鰾の拡張機構をもつ可能性が推定される。

鰾への最初のガスの補給に不可欠な気管は、マダイ^{4,6)}では、ふ化後2~3日に開腔し、ふ化後10~12日には、退行が認められている。しかも、気管の閉塞と鰾よりの分離は鰾腔にガスの存在を認めた直後に生じる。スズキで気管の開閉時期を直接調べた研究例はないが、林田ら²¹⁾は、ふ化後18日(全長7.5 mm内外)前後までに大半の仔魚が鰾腔にガスを保有することから、全長7 mm(ふ化後16~20日)前後で気管が退化消失すると推測した。本研究では、組織切片像により、ふ化後3日に気管の開腔を確認した。気管の退化時期は、観察例数が少ないので必ずしも明確ではないが、20日には完全に閉塞して消化管から分離した仔魚が見られたことや、16日前後までに大半の仔魚がガスを保有することから、気管の退化は全長7 mm(ふ化後16~20日)前後に起きると考えられ、林田ら²¹⁾の観察結果と一致する。このように、本種では気管の退化までには、ガスを保有し始めてから10日前後の許容期間のあることが明らかになった。この期間は水温などの飼育条件の影響を受けやすいと考えられるので、今後は飼育条件との関連を検討する必要がある。

マダイ^{4,23)}では、気管が閉塞する以前に空気の吞み込みに失敗した仔魚は、その後数日間鰾腔にガスを保有せず、鰾上皮は著しく肥大して過形成の状態を示す。ヨーロッパスズキ²⁴⁾では、鰾腔にガスを保有できない仔魚は肥大した鰾をもつという。本研究においても、20日に鰾腔にガスを認めない仔魚が観察され、その鰾上皮は著しく肥大して過形成の状態を呈し、その組織像はマダイ⁴⁾の像と酷似していた。ヨーロッパスズキ²⁴⁾の肥大した鰾の変性については組織学的検討はなされていないが、おそらく、マダイ⁴⁾や本種と同様の変性が鰾腔に起きているものと推定される。一方、35日の仔魚では鰾上皮は顕著に萎縮し、鰾壁の外層が退化傾向を示し、奇網毛細血管は著しく拡張していた。この萎縮した鰾をもつ仔魚は30日を過ぎると観察され始めることから、過形

⁴⁸⁾ 田中 克: 未発表。

成状態の鰾がしだいに萎縮したものと推測される。以上のことから、スズキにおいても、鰾は内部栄養（卵黄・油球）から外部栄養（餌料）への転換期を経て形成され、有気鰾期に空気の呑み込みによって鰾腔にガスを導入すれば、以後鰾の機能的な発育が健全に行われるものと推定された。今後、空気呑み込み行動が充分可能なエネルギーを持つ活力の高い仔魚を育成することが肝要と考えられ、そのためには、良質卵の確保が最も重要と考えられる。近年、仔稚魚の内分泌機能に関する研究が進み、²⁵⁾ 母体由来の甲状腺ホルモンが鰾の開腔に関与することが実験的に明らかにされている。²⁶⁾ また、最近、鰾の分化や発達に繊維芽細胞成長因子 (FGF) の関与が注目され始めている。²⁷⁾ 今後、鰾の分化や正常な発達に関する生理学的研究も併行して進めることにより、仔魚の初期発育における鰾の役割がより明らかになると期待される。

謝 辞

本研究の発表の機会を与えられた千葉県栽培漁業センター 小島英二所長に謝意を表する。飼育実験その他で種々の御協力をいただいた本庄光雄主任ほか所員の方々に、また、英文アブストラクトを校閲いただいた NOAA NMFS Beaufort Laboratory の J. S. Burke 博士に深謝する。

文 献

- 金子信一, 岩波重之, 牧野 直, 内山雅史, 小島英二: スズキ 種苗生産. 平成2年度千葉県栽培漁業センター業務報告書, 30-39 (1992).
- 日本栽培漁業協会南伊豆事業場: スズキ異形魚防止試験. 平成5年度スズキ種苗生産技術検討会資料, 21-38 (1993).
- 福所邦彦: イシダイの種苗生産に関する基礎的研究. 長崎水試論文集, 6, 1-173 (1979).
- 隆島史夫, 荒井泰晴, 野村 稔: 人工採苗マダイの鰾形成異常について. 東水大研報, 67, 67-73 (1980).
- S. I. Doroshev, J. W. Cornacchia, and K. Hogan: Initial swimbladder inflation in the larvae of physoclistous fishes and its importance for larval culture. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer*, 178, 495-500 (1981).
- 山下金義: マダイの鰾の分化. 魚類学雑誌, 29, 193-202 (1982).
- 水戸 敏: スズキの卵発生と幼期. 九州大学農学芸雑誌, 16, 115-124 (1957).
- 田中 克, 松宮義晴: スズキの初期生活史. 栽培技研, 11, 49-65 (1982).
- 熊谷 滋, 地下洋一郎, 野坂克己, 川西 敦: 瀬戸内海産スズキの種苗生産. 栽培技研, 13, 67-75 (1984).
- 安永義暢: ヒラメの生理生態に関する研究. 水産工学研究所研報, 9, 16-17 (1988).
- T. A. Heming and R. K. Buddington: Yolk absorption in embryonic and larval fishes, in "Fish Physiology" (ed. by W. S. Hoar and D. J. Randall), Vol. 11, Academic Press, New York, 1988, pp. 407-445.
- S. Klaoudatos, N. Tsevis, and A. Conides: Energy sources during the early larval development of the European sea bass *Dicentrarchus labrax* (L.). *Aquaculture*, 87, 361-372 (1990).
- H. Kohno, S. Hara, and Y. Taki: Early larval development of the sea bass *Lates calcarifer* with emphasis on the transition of energy sources. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 52, 1719-1725 (1986).
- D. A. Farris: A change in the early growth rates of four larval marine fishes. *Limnol. Oceanogr.*, 4, 29-36 (1959).
- 田中 克: 海産仔魚の摂餌と生残 I 天然海域における食性. 海洋と生物, 2, 440-447 (1980).
- H. Nakagawa and Y. Tsuchiya: Studies on rainbow trout egg (*Salmo gairdnerii irideus*). *J. Fac. fish. Anim. Hush. Hiroshima Univ.*, 10, 11-19 (1971).
- J. E. Shelbourne: The effect of water conservation on the structure of marine fish embryos and larvae. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 35, 275-286 (1956).
- Y. Tanaka: Change in the egg buoyancy of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* during embryonic development. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56, 165 (1990).
- 田中 克: 海産仔魚の摂餌と生残 V 魚卵・仔魚の垂直分布と垂直移動. 海洋と生物, 3, 379-386 (1981).
- B. Chatain: La vessie natatoire chez *Dicentrarchus labrax* et *Sparus auratus*. 1. Aspects morphologiques du développement. *Aquaculture*, 53, 303-311 (1986).
- 林田豪介, 塚島康生, 松清恵一, 北島 力: 人工採苗スズキの鰾異常と脊柱前彎症の関連. 長崎水試研報, 10, 35-40 (1984).
- S. I. Doroshev and J. W. Cornacchia: Initial swim bladder inflation in the larvae of *Tilapia mossambica* (WALBAUM). *Aquaculture*, 16, 57-66 (1979).
- 北島 力, 塚島康生, 藤田矢郎, 渡辺 武, 米 康夫: マダイ仔魚の空気呑み込みと鰾の開腔および脊柱前彎症との関連. 日水誌, 47, 1289-1294 (1981).
- D. W. Johnson and I. Katavic: Mortality, growth and swim bladder stress syndrome of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae under varied environmental conditions. *Aquaculture*, 38, 67-78 (1984).
- 田川正明, 木村 量: 内分泌機能の発現とその役割, 「魚類の初期発育」(田中 克編), 水産学シリーズ 83, 恒星社厚生閣, 東京, 1991, pp. 47-59.
- C. L. Brown, S. I. Doroshev, J. M. Numez, C. Hadly, J. Vaneenennaam, R. S. Nishika, and H. A. Bern: Maternal triiodothyronine injections cause increases in swimbladder inflation and survival rates in larval striped bass, *Morone saxatilis*. *J. expl. Zool.*, 248, 168-176 (1988).
- T. Suzuki and T. Kurokawa: Purification of a heparin-binding growth factor from swim bladder of porgy. *Zool. Sci.*, 10 (Suppl.), 16 (1993).