발생과 생식 제 7권 제 1호, 29~34 (2003)
Dev. Reprod. Vol. 7, No. 1, 29~34 (2003)

자주복(*Takifugu rubripes*)의 소화관 발달

김봉원 · 나오수 · 박창범 · 고환봉[1] · 강법세[1] · 최영찬[2] · 이영돈†

제주대학교 해양과환경연구소, [1]사조 CS (주) 제주양식장, [2]제주대학교 해양학과

Development of the Digestive Tract in Tiger Puffer (*Takifugu rubripes*)

Bong Won Kim, Oh Soo Na, Chang Beom Park, Hwan Bong Go, Bub Se Kang, Young Chan Choi and Young Don Lee

Marine and Environmental Research Institute, Cheju National University, Jeju 695-814, Kroea
[1]Jeju Aquaculture Place, Sajo CS Co., Ltd., Jeju 699-810, Korea
[2]Department of Oceanography, Cheju National University, Jeju, 690-756, Korea

ABSTRACT : Anatomical and histological observations were used to examine the morphological differentiation and development of the digestive tract during ontogenesis in tiger puffer, *Takifugu rubripes*. Before hatching, the digestive tract was located between yolk sac and notochord of embryo. Newly hatched larvae had a straight tubular digestive tract. The larval mouth opened at 2 days after hatching (DAH). At 4 DAH, sphincters separated the digestive tract into the esophagus, anterior intestine, mid-intestine and rectum, and the anus was opened. At 5 DAH, the larval intestine bent between the anterior and intermediate parts and mucous cells developed in the esophageal epithelium. At this time yolk sac was absorbed completely. At 6 DAH, the digestive tract was differentiated into the U type with expansion of the anterior intestine toward the head of the larvae. At 10 DAH, the expanding anterior intestine became wider and a elliptical. At 15 DAH, the anterior intestine was divided into two portions by invagination of dorsal epithelium and the mid-intestine was convoluted dorsally. At 21 DAH, the frontal portion of the anterior intestine formed a differentiated expansion sac. At 24 DAH, the second convolution was observed in the anterior part of the posterior intestine. At 30 DAH, the expansion sac was extended longitudinally and the digestive tract took on the form seen in adult fish.

Key words : Development, Digestive tract, Expansion sac, Histology, Tiger puffer.

요 약 : 이 연구는 자주복의 개체발생 단계에 따른 소화관 외부형태의 변화와 소화관의 발달 양상을 조직학적으로 조사하였다. 부화 직전 수정란의 소화관은 난황낭과 배체의 척추 사이에 위치하였고, 형태는 거의 직선상 이었다. 입은 부화 후 2일째, 항문은 부화 후 4일째 열렸다. 부화 후 4일째 소화관은 식도, 전장, 중장 그리고 직장으로 구분이 되었고, 전장과 중장이 괄약근에 의해 구분되었다. 부화 후 5일째 자어는 전장과 중장 사이가 배측으로 굴곡되었고, 식도상피에 점액세포가 분포하였다. 이 시기에 난황은 대부분 흡수되었다. 부화 후 6일째 자어의 소화관은 전장이 두부 쪽으로 팽창하면서 U 자형으로 분화하였다. 부화 후 10일 째에 팽창한 전장은 더욱 커져서 구형을 형성하였다. 부화 후 15일째 전장의 배측 부위 중간에서 함입되기 시작하여 전장이 두 부분으로 나누어졌다. 부화 후 21일째 전장의 앞부분이 팽창낭으로 분화하였다. 부화 후 24일째에 후장의 앞부분이 배측으로 다시 회전하였다. 부화 후 30일째 팽창낭은 두부 쪽과 항문 쪽으로 길게 신장되어 어미의 소화관 형태로 발달하였다.

서 론

경골어류의 소화관은 다른 척추동물과 마찬가지로 먹이를 통한 체성장에 필요한 영양분의 소화 흡수라는 측면에서 아주 중요한 기능을 담당하고 있다. 경골어류의 자어는 일반적으로 부화 후 어느 일정기간 동안 체내에 보유한 난황에 의존하여 생활을 하며, 이 시기의 자어는 소화관이 완전히 발달하지 않는다 (Govoni et al., 1986). 어류의 자어는 난황을 거의 흡수한 이후부터 환경의 영양조건에 따라 생존과 성장에 영향을 받으므로, 적절한 에너지원을 외부로부터 섭취해야 하며, 이 때부터 소화관 조직이 형태 및 기능적으로 발달한다 (Gawlicka et al., 1995). 각각의 어종과 성장 단계에 따라 요구되는 영양조건이 다르며, 이는 소화관의 분화 및 발달시기에 각 영양소를 소화 · 흡수하는 세포 및 조직의 분화 및

* 이 연구는 2002년 두뇌한국21사업 핵심 분야에 의하여 지원되었습니다.

†교신저자: 제주도 북제주군 조천읍 함덕리 3288, 제주대학교 해양과환경연구소. (우) 695-814, (전) 064-782-8922, (팩) 064-783-6066, E-mail: leemri@cheju.ac.kr

발달 정도가 다르기 때문이다 (Lee et al., 1998). 경골어류의 소화관은 섭이형태 및 계통학적인 형태 · 구조적 특징의 다양성 때문에 많은 연구자들의 연구 대상이 되어 있다.

어류 자어의 소화관은 먹이습성과 필요한 영양조건에 따라 종마다 분화 및 발달 정도의 차이가 있고, 개체발생의 단계에 따라 다양한 형태 및 구조적 특징을 가진다 (Ostrander, 2000). 어류의 개체발생동안 소화관의 형태발달에 관해서 넙치 *Paralichthys olivaceus* (Yasunaga, 1972), summer flounder *Paralichthys dentatus* (Bisbal & Bengtson, 1995), European turbot *Scophthalmus maximus* (Segner et al., 1994), yellowtail flounder *Pleuronectes ferruginea* (Baglole et al., 1997)등의 가자미류, lake sturgeon *Acipenser fulvescens* (Buddington, 1985), Seberian sturgeon *A. baeri* (Gisbert et al., 1998) 등의 철갑상어류, 조피볼락 *Sebastes schlegeli* (Lee et al., 1998), 감성돔 *Acanthopagrus schlegeli* (Lee & Chin, 1999), 농어 *Paralabrax maculatofasciatus* (Pena et al., 2003) 등의 상업적 가치가 높은 어종을 중심으로 많은 연구들이 이루어졌다. Tanaka (1971)와 Kumai 등 (1989)이 치어 시기의 자주복 소화관 구조를 밝혔을 뿐 개체발생 동안 자주복의 소화관 발달에 관한 연구는 이루어지지 않았다.

이 연구는 자주복의 개체발생 단계에 따른 소화관 외부형태의 변화와 소화관의 발달 양상을 조직학적으로 조사하여 종묘생산 과정에서 적절한 먹이 공급을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

이 실험에 사용된 자주복 수정란은 자연산 친어로부터 인공 채란하여 수정시킨 것을 제주도 남제주군 표선면에 위치한 사조 CS (주) 제주양식장의 실내 원형 콘크리트 수조 (10 ton)에 수용하여, 부화한 자어를 사육하면서 실험재료로 사용하였다. 사육수는 지하해수를 가온시킨 후 여과 (10 ㎛ mesh)하였으며, 1일 1회 환수하였다. 실험기간동안 사육수온은 18.0~22.3℃ 범위였다.

먹이는 부화 후 3일부터 로티퍼를 공급하였고, 14일부터는 로티퍼 *Brachionus plicatilis*와 *Artemia nauplii*를 혼합 공급하였다. 부화 후 21일 이후에는 *Artemia nauplii*와 배합사료를 혼합 공급하였다 (Fig. 1).

개체발생 단계별로 소화관의 발달과정을 파악하기 위하여 사육중인 자 · 치어를 부화 후부터 30일간 매일 20마리씩 채집하였다. 채집된 자 · 치어는 10% 중성포르말린에 고정한 후 profile projector (Nikon, V-10)를 이용하여 각 부위를 0.1 mm까지 측정하였다. 소화관의 외부형태는 복부를 절개하여 해부현미경으로 관찰하였고, 조직 표본 제작을 위해 Bouin's solution에 재고정한 후, paraffin 절편법에 의하여 5 ㎛의 sagittal section과 cross section으로 연속절편을 제작하였다. 조직절편은 Hansen's hematoxylin과 0.5% eosin에 비교 염색하였다.

결 과

1. 성 장

실험기간 동안 사육한 자주복 자 · 치어의 성장을 조사한 결과, 부화 직후 자어의 크기는 2.8±0.2 mm 이었고, 실험 종료시점인 부화 후 30일째에 치어는 16.8±0.8 mm까지 성장하였다 (Fig. 1).

2. 소화관의 외부형태

자주복 자치어의 성장에 따른 소화관의 형태 변화는 다음과 같이 7단계로 구분하였다 (Fig. 2). ① 부화 전 난 막에 싸인 배에서 부화 후 2일째 소화관의 형태는 거의 직선상으로, 식도, 장, 직장으로 뚜렷이 구분할 수 없었고, 입이 열렸다 (Fig. 2-A). ② 부화 후 4~5일째의 소화관은 식도, 장, 직장으로 형태적 구분이 가능하고, 장 전반부와 중반부에 굴곡이 생기며 항문이 열렸다 (Fig. 2-B). ③ 부화 후 6~8일째에는 식도 후부와 전장 앞부분이 두부 쪽으로 신장되었다. 장 전반부가 두부 복측으로 커지고, 장 중반부는 배측을 향하여

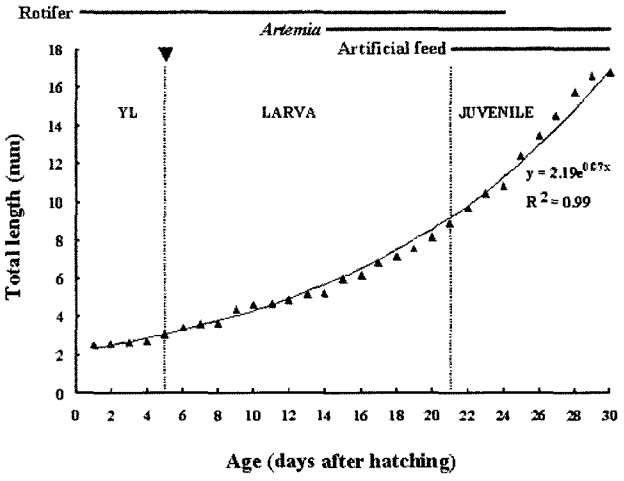

Fig. 1. Increase of total length (mm) in tiger puffer larvae. The arrow head indicates the time of first feeding. Observed (▲) and calculated (logistic curve) data. Each point corresponds to the mean of 20 larvae. Feeding schedule (—) is illustrated at the top of the figure. YL: yolk sac larvae.

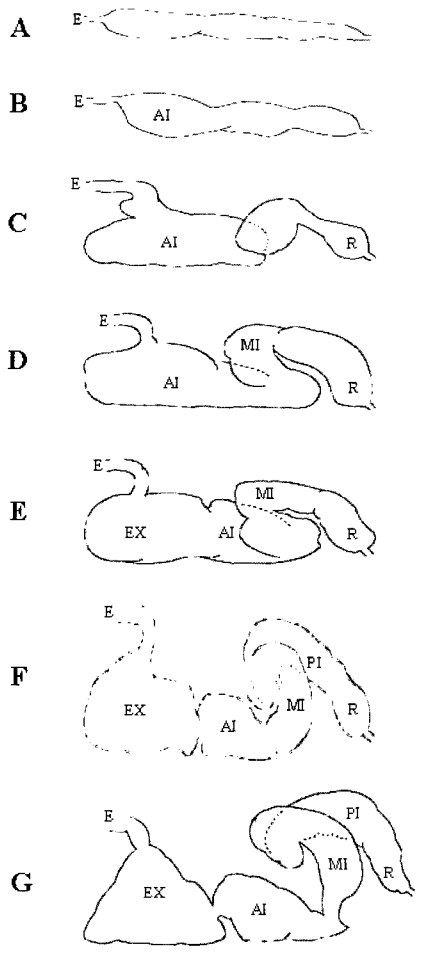

Fig. 2. Morphological development of 7 stages of external digestive tract in tiger puffer from pre-larvae to juvenile stage. (A) 0~2 DAH; (B) 4~5 DAH; (C) 6~8 DAH; (D) 10 DAH; (E) 15 DAH; (F) 21~24 DAH; (G) 30 DAH. AI: anterior intestine, E: esophagus, EX: expansion sac. MI: mid-intestine, PI: posterior intestine, R: rectum.

굴곡되었다 (Fig. 2-C). ④ 부화 후 10일째에는 장 전반부가 타원형으로 커지고 장 중반부가 배측으로 구부러지기 시작하였다 (Fig. 2-D). ⑤ 부화 후 15일째에는 장 전반부가 두부 쪽으로 더욱 길어지면서 전장의 앞부분이 팽창낭으로 분화하기 시작하였고, 장 중반부가 배측으로 회전하였다 (Fig. 2-E). ⑥ 부화 후 21~24일째에는 전장의 앞부분이 팽창낭으로 분화하였고, 장 중반부는 다시 배측으로 회전하였다 (Fig. 2-F). ⑦ 부화 후 27~30일째는 팽창낭이 두부 쪽과 항문 쪽으로 길게 신장되었다 (Fig. 2-G).

3. 소화관의 발달

1) 배체 형성기

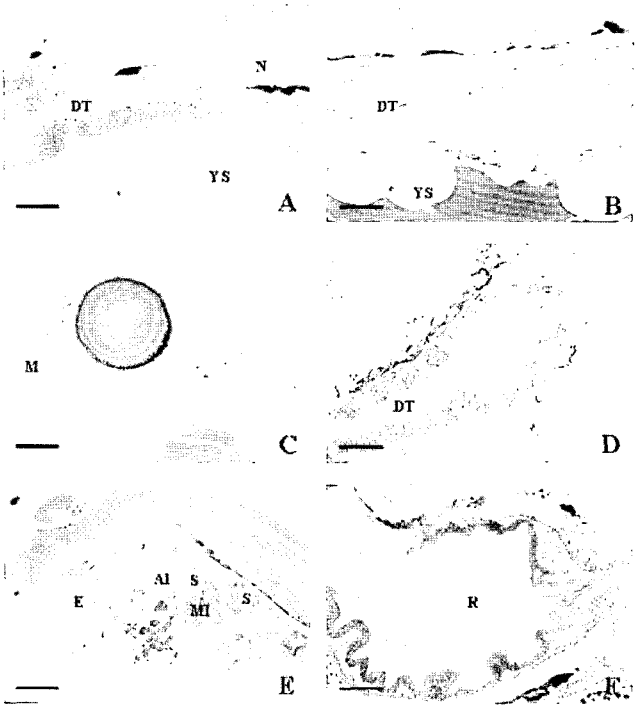

Fig. 3. Photomicrographs on the development of digestive tract during embryo and early larval stages in tiger puffer. (A) Section of fertilized egg in the embryonic shield stage showing the digestive tract between yolk sac and notochord. Scale bar= 25 ㎛; (B) Section of newly hatched larva possessing a tubular and straight digestive tract. Scale bar= 25 ㎛; (C) Section of 2 DAH larva showing the opened mouth. Scale bar= 25 ㎛; (D) Section of 2 DAH larva occurring a segregation of intestine consist of a columnar epithelium. Scale bar= 25 ㎛; (E) Section of 4 DAH larva showing the four distinct regions by sphincters. Scale bar= 50 ㎛; (F) Section of 4 DAH larva showing the opened anus. Scale bar= 25 ㎛. A: anus, AI: anterior intestine, DT: digestive tract, E: esophagus, M: mouth, MI: mid-intestine, N: notochord, R: rectum, S: sphincter, YS: yolk sac.

수정란의 크기는 1,250±200 ㎛ 이었고, 부화 전 수정란의 소화관은 난황과 배체 사이에 위치하였으며, 소화관의 형태는 거의 직선상이었다. 소화관 상피는 주로 단층편평상피 세포들로 이루어졌고, 배체의 복측과 소화관 사이를 따라 흑색 소포가 길게 발달하였다 (Fig. 3-A).

2) 자어 전기

부화 직후 자어의 소화관은 난황과 척추 사이의 복강에서 거의 곧은 관상 형태였다. 복부에 다량의 난황을 보유하고 있는 난황낭이 관찰되었고, 입과 항문은 아직 열리지 않았다. 소화관의 전반부는 단층편평상피 세포, 중반부는 단층원주

상피 세포, 후반부의 상피 세포층은 미분화상태의 위중층섬모상피 세포로 이루어져 있었다. 점막주름은 발달되어 있지 않았다 (Fig. 3-B). 부화 후 2일째에는 입이 열렸고 (Fig. 3-C), 소화관은 관상으로 원주상피세포가 단층으로 불규칙적인 배열을 하고 있으며, 장의 전반부와 중반부 그리고 중반부와 후반부 사이의 상피가 내강 쪽으로 융기하였다 (Fig. 3-D). 부화 후 4일째 소화관은 식도, 전장, 중장 그리고 직장으로 뚜렷하게 구분이 되었고, 점막주름이 분화하였다 (Fig. 3-E). 전장과 중장 그리고 중장과 직장의 연결 부위에 근섬유가 발달한 괄약근이 형성되었고, 항문이 열린 개체가 관찰되었다 (Fig. 3-F).

3) 자어 후기

먹이를 섭취하기 시작하는 부화 후 5일째에 자어의 복부에 있던 난황은 대부분 흡수되었고 (Fig. 4-A), 식도 상피의 상하에는 점액세포가 분포하였으며 (Fig. 4-B), 중장에서 처음으로 섭취한 먹이가 관찰되었다. 부화 후 6일째 소화관은 식도 후부와 전장 사이의 상피조직이 두부 쪽으로 팽창하면서 U 자형으로 분화하였고, 장 점막주름이 발달하였다 (Fig. 4-C). 부화 후 10일째 팽창한 전장은 더욱 커져서 구형으로 되었고, 배측은 점막주름이 없는 식도상피가 신장하였고, 복측은 전장상피로 형성되었다 (Fig. 4-D). 부화 후 15일째 전장의 배측 중간부분에서 상피가 복측으로 함입되어 전장이 두 부분으로 나누어지면서 앞부분은 팽창낭 (expansion sac)으로 분화하기 시작하였고 (Fig. 4-E), 팽창부의 앞쪽 복측 전장상피 아래에 단층편평상피세포로 이루어진 샘관 (gland)이 다수 분포하였다 (Fig. 4-F).

4) 치어기

부화 후 21일째 소화관은 전장의 앞쪽 부분이 팽창낭으로 분화하였고, 식도, 팽창낭 그리고 장 사이사이에는 괄약근이 매우 발달하여 명확하게 구분되었다 (Fig. 5-A). 팽창낭의 배측 부위는 팽창낭 상피로 분화하였고(Fig. 5-B), 복측 부위를 구성하는 전장상피는 미분화된 점막주름이 다수 남아 있었으며 (Fig. 5-C), 중장의 점막주름에는 배상세포가 발달하였다 (Fig. 5-D). 부화 후 24일째 팽창낭은 발달하여 더욱 커졌고, 팽창낭의 배측 부위의 점막주름은 퇴화되었으나, 복측 부위에서는 아직도 점막주름의 흔적이 남아 있었다 (Fig. 5-E). 부화 후 30일째 팽창낭 상피에 남아있던 점막주름은 퇴화되었다. 팽창낭은 복강의 전반부와 중반부 대부분을 차지하였고, 소화관은 성어의 형태와 비슷하게 발달하였다 (Fig. 5-F).

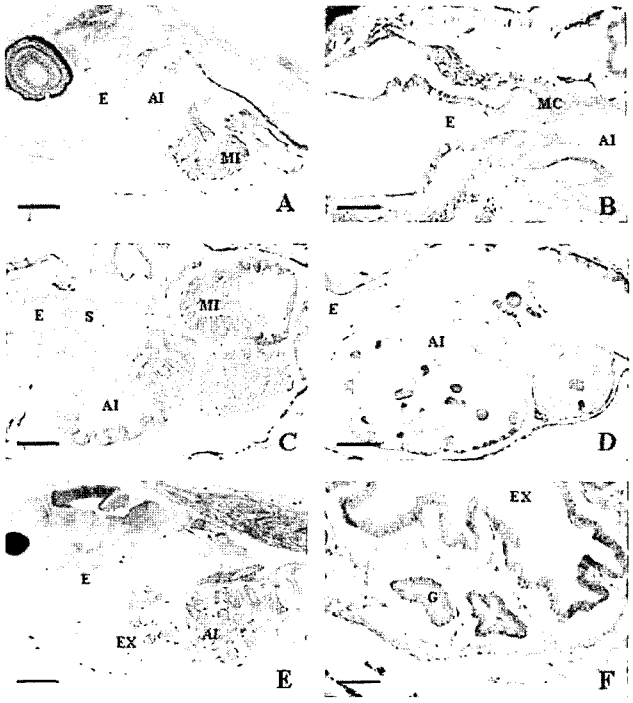

Fig. 4. Photomicrographs on the development of digestive tract during late larval stage in tiger puffer. (A) Section of 5 DAH larva showing completely absorbed yolk. Scale bar= 50 ㎛; (B) Section of 5 DAH larva showing mucous cells in the esophagus epithelium. Scale bar= 25 ㎛; (C) Section of 6 DAH larva showing the expansion of anterior intestine epithelium toward head of larva. Scale bar= 50 ㎛; (D) Section of 10 DAH larva showing more expansion of anterior intestine. Scale bar= 100 ㎛; (E) Section of 15 DAH larva showing separated two regions of anterior intestine. Scale bar= 200 ㎛; (F) Section of 15 DAH larva showing the gland of expansion sac. Scale bar= 25 ㎛. AI: anterior intestine, E: esophagus, EX: expansion sac, G: gland, MI: mid-intestine, MC: mucous cell, S: sphincter.

고 찰

경골어류의 소화계 형성 과정에는 두 번의 중요한 분화기가 있다. 첫 번째 시기는 기본적인 구조를 확립하는 난황흡수 말기로 섭이를 시작하는 시기이고, 두 번째 시기는 위선이 완성되고, 유문수가 분화하는 시기, 즉 치어로 이행되기 직전의 시기이다 (Tanaka, 1971). 이 연구에서 자주복의 부화 직후 자어는 커다란 난황을 갖고 있으며, 부화 후 2~5일경 입과 항문이 개구되었고, 부화 후 5일째 중장에서 로티퍼가 처음으로 관찰되었으며, 난황은 거의 흡수되었다. 따라서 자주복 자어는 부화 후 5~6일경에는 외부영양을 섭취할 수 있는 소화계 기본구조가 확립되는 것으로 여겨진다. 이 시기

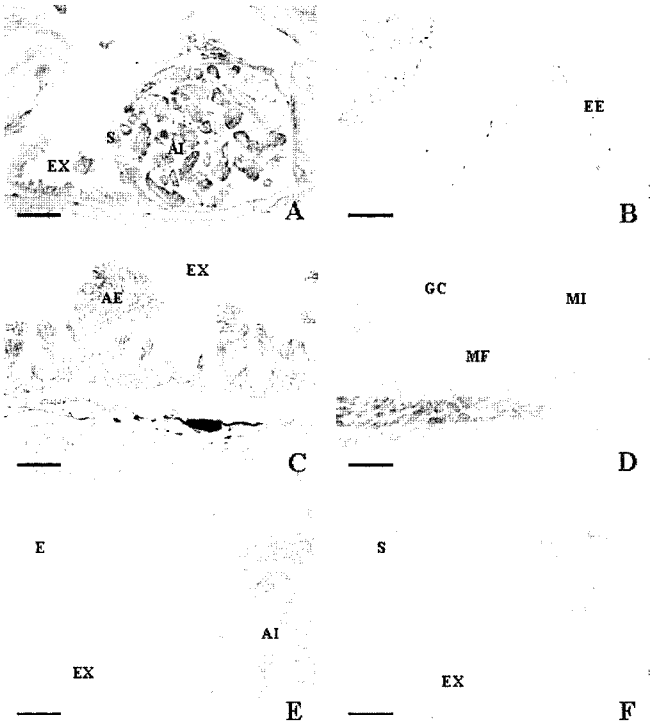

Fig. 5. Photomicrographs on the development of digestive tract during juvenile stage in tiger puffer. (A) Section of 21 DAH larva showing development of sphincter between expansion sac and anterior intestine. Scale bar= 200 ㎛; (B) Magnification of esophagus epithelium in Fig 5-A. Dorsal part of expansion sac. Scale bar= 25 ㎛; (C) Magnification of anterior intestine epithelium in Fig 5-A. Ventral part of expansion sac. Scale bar= 25 ㎛; (D) Section of 21 DAH larva showing development of goblet cells in mid-intestine. Scale bar= 25 ㎛; (E) Section of 24 DAH larva showing residual mucousal folds in the ventral part of expansion sac. Scale bar= 400 ㎛; (F) Section of 30 DAH larva showing development of digestive tract similar to adult fish. Scale bar= 400 ㎛. AE: anterior intestine epithelium, AI: anterior intestine, E: esophagus, EE: esophagus epithelium, EX: expansion sac, GC: goblet cell, MI: mid-intestine, S: sphincter.

에 직선상의 소화관은 굴곡 되기 시작하고, 식도에 점액세포들이 출현하고 있어 완전한 기능은 아닐지라도 먹이의 소화 및 흡수 기능이 시작되는 것으로 여겨진다.

섭이 개시시기 자어의 소화관은 은어 *Plecoglossus altivelis*, 잉어 *Cyprinus carpio* 그리고 송사리 *Oryzias latipes* 등과 같이 입에서 항문까지는 길이가 길며 직선형으로 된 것과, 돔류와 복어류 처럼 입으로부터 항문까지의 길이가 짧고 회전굴곡형인 2가지 유형으로 구분된다. 대부분의 회전형 어류는 장 전반부의 복측 부위를 중심으로 장이 1회전하는 것이 대다수이나, 예외적으로 복어류에서는 곡절형으로 볼 수 있는데, 이것은 복어류가 팽창낭을 갖고 있어 특별한 소화관의 분화로 여겨진다. 섭이 개시시기 자어 소화관은 성어 소화관의 가장 단순화된 구조로, 무위어와 유사하고, 그들의 위선 (gastric gland)과 유문수는 미분화된 상태이다 (Tanaka, 1969).

소화관 내부의 선조연, 배상세포 그리고 근육 층의 발달은 주로 섭취한 고형 물질 및 배설물의 수송과 관련이 있다. 난생어류의 경우에, 자어는 부화 직후 또는 부화 후 난황이 완전히 흡수된 이후부터는 고형물질을 섭식하기 때문에 이들 소화관의 선조연, 배상세포 그리고 근육층의 발달과 함께 소화기능을 수행하게 된다 (Lee & Chin, 1996). 이 연구에서 자주복 소화관의 전체적인 형태 변화, 소화관을 구성하는 각 부위의 점막주름 형성, 상피층의 구성세포 그리고 배상세포 등의 여러 가지 특징을 기준으로 볼 때 소화관 발달은 배발생 단계부터 부화 후 30일까지 이어진다.

대부분의 경골어류의 소화관은 구강, 인두강, 식도, 위, 유문수, 장 그리고 직장으로 구성되어 있는데, 잉어류는 위와 유문수를 갖고 있지 않다 (Tanaka, 1969). 자주복은 위선을 함유한 I type 위를 가지고 있다고 보고된 바가 있으나 (Nishida, 1971; Akasaki, 1987), Kumai(1988)는 위를 지니고 있지 않으며, 육안적으로 위같이 보이는 기관은 사실상 팽창낭이라고 보고하였다. 이 팽창낭은 식도 상피와 팽창낭 상피로 이루어진 기관이며, 팽창낭 상피는 기관이 팽창 능력을 갖추는 부화 후 18~20일에 장 상피에서 분화된다. 그리고 식도에서부터 담관 연결 부위까지 위의 기능을 한다고 보고하였다. 이 연구에서 자주복의 소화관은 부화 후 4일째 장으로 분화되고, 부화 후 21일째 장의 전반부가 팽창낭으로 분화되기 시작하면서, 부화 후 24일째 팽창낭으로 분화되었다. 부화 후 30일째 치어는 전형적인 성체의 소화관 구조를 갖추었으나, 팽창낭 상피에서 위선의 발달, 흡수세포, 배상세포 그리고 근육층 발달 등의 특징을 관찰할 수 없었다.

Kawai and Ikeda (1971)에 의하면 초기자어의 식도상피에 점액세포가 출현하여 차츰 그 수가 증가하는 것은 이들 세포가 분비하는 점액이 단순히 사료의 원활한 운반뿐 아니라 각종 소화효소를 분비하여 사료의 소화 작용을 도와줄 것으로 추측하였다. 이 연구에서 자주복 초기자어의 식도 상피 내 점액세포는 부화 후 4일째 관찰되었고, 이후 그 수는 점점 증가하였다. 따라서 사육환경에 따른 개체의 발달의 차이는 있겠으나 자주복인 경우 부화 후 4~5일에 첫 먹이를 공급하는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

부화 자어의 생존율은 각 기관의 분화발달과 밀접한 관계가 있을 것으로 생각할 수 있으나 생명유지 활동을 위해서는 영양섭취 기관인 소화관의 발달이 다른 기관보다도 부화자

어의 생존율 변화에 크게 영향을 미칠 것으로 여겨지며, 소화기관의 발달에 따른 먹이생물의 공급시기도 또한 부화자어의 생존율에 크게 영향을 미친다고 볼 수 있다.

향후 자주복에 있어서 팽창낭의 기능과 역할, 그리고 무위어에 있어서 위의 역할을 수행하는 소화기관에 관해서 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

인용문헌

Akasaki M (1987) In "Fish Anatomy" (ed. by A. Ochiai). Midorishobo, Tokyo, pp 73-100.

Baglole CJ, Murray HM, Goff GP, Wright GM (1997) Ontogeny of the digestive tract during larval development of yellowtail flounder: a light microscopic and mucous histochemical study. J Fish Biol 51:120-134.

Bisbal GA, Bengtson DA (1995) Development of the digestive tract in larval summer flounder. J Fish Biol 47:227-291.

Buddington RK (1985) Digestive secretions of lake sturgeon, *Acipenser fulvescens* during early development. J Fish Biol 26:715-723.

Gawlicka A, Teh SJ, Hung SSO, Hinton DE, de la Noe J (1995) Histological and histochemical changes in the digestive tract of white sturgeon larvae during ontogeny. Fish Physiol Biochem 14:357-371.

Gisbert E, Rodriguez A, Castell-Orvay F, Williot P (1998) A histological study of the development of the digestive tract of Siberian sturgeon *Acipenser baeri* during early ontogeny. Aquaculture 167:195-209.

Govoni JJ, Boehlert GW, Watanabe Y (1986) The physiology of digestion in fish larvae. Environ Biol Fish 16:59-77.

Kawai S, Ikeda S, (1971) Studies on digestive enzyme of fishes-Ⅰ. Carbohydrases in digestive organs of several fishes. Bull Jap Soc Sci Fish 37(4):333-337.

Kumai H, Kimura I, Nakamura M, Takii K, Ishida H (1989) Studies on digestive system and assimilation of a flavored diet in ocellate puffer. Nippon Suisan Gakkaishi 55(6): 1035-1043.

Lee JS, Chin P (1996) Uptake of polysacchride with development of alimentary tract in embryo of *Ditrema temmincki* (Teleostei: Embiotocidae). J Kor Fish Soc 29:438-449.

Lee JS, Chin P, Shin YK (1998) Biological study on the increment of survival rate during early life cycle in the rockfish, *Sebastes schlegeli* (Teleostei: Scorpaenidae). Ⅳ. Structural and functional development of the digestive tract in the larva and juvenile stage. Kor J Ichthyol 10:207-215.

Lee JS, Chin P (1999) Morphology and histology of digestive tract of the black sea bream, *Acanthopagrus schlegeli*. J Kor Fish Soc 32:642-648.

Nishida S (1987) In "Atlas of fish anatomy" (ed. by A. Ochiai). Midorishobo, Tokyo, pp 237-238.

Ostrander GK (2000) The laboratory fish. The handbook of experimental animals. San Diego. Academic Press.

Pena R, Dumas S, Villalejo-Fuerte M, Ortz-Galindo JL (2003) Ontogenetic development of the digestive tract in reared spotted sand bass *Paralabrax maculatofasciatus* larvae. Aquaculture 219:633-644.

Segner H, Storch V, Reinecke M, Kloas W, Hanke W (1994) The development of functional digestive and metabolic organs in turbot, *Scophthalmus maximus*. Mar Biol 119:471-486.

Tanaka M (1969) Studies on the structure and function of the digestive system in teleost larvae-Ⅱ. Characteristics of the digestive system in larvae at the stage of first feeding. J Ichthyol 16:41-49.

Tanaka M (1971) Studies on the structure and function of the digestive system in teleost larvae-Ⅲ. Development of the digestive system during postlarval stage. J Ichthyol 18:164-174.

Yasunaga Y (1972) The development of the digestive gland of the plaice larva, *Paralichthys olivaceus*. Bull Tokai Region Fish Res Lab 69:75-78.