

고등어(*Scomber japonicus*)의 난발생 및 자치어 형태발달

박충국 · 연인호 · 최낙현 · 허승준 · 한경호 · 이원교[†]

전남대학교 수산해양대학 양식생물학전공

Egg Development and Morphology of Larva and Juvenile of the Chub Mackerel, *Scomber japonicus*

Chung-Kug Park, In-Ho Yeon, Nak-Hyun Choi, Seung-Joon Heo, Kyeong-Ho Han and Won-Kyo Lee[†]

Aquaculture Program, College of Fisheries and Ocean Sciences, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

ABSTRACT : In order to monitor the developmental features of embryos, larvae, and juveniles of chub mackerel, *Scomber japonicus*, the fertilized eggs were obtained by artificial insemination. The fertilized eggs were spherical in shape and floated separately. Their membrane and yolk having 1 oil globule were transparent. The transparent eggs, having one oil drop in the yolk, were 0.94~1.02 mm (mean, 0.95±0.03 mm) in diameter. The fertilized eggs started hatching at 51 hrs after fertilization in 20±0.5°C water. The total length of the hatched larvae was 2.52~3.0 mm (mean, 2.75±0.04 mm). At hatching, the larva, with the mouth and anus not opened yet, had yolk sack, 28~31 myomeres and eyes with melanophore. Yolk completely 2 days after hatching and the total length of post-larvae 3.12~3.63 mm (mean, 3.39±0.05 mm). At the 18 days after hatching, the tip of tail became curved at the end and the stems for pectoral, dorsal, and caudal fins appeared. Juveniles, having all firm rays, was 44.12~58.72 mm (mean 55.95±6.74 mm) in TL 25 days after hatching.

Key words : *Scomber japonicus*, Egg, Larva, Juvenile, Melanophore, Hatched.

요 약 : 고등어를 습식법으로 인공 수정한 난을 대상으로 난발생 및 자치어 발육과정을 관찰하였다. 수정란의 형태는 구형의 분리부성란으로 유구는 1개를 가지고 있었으며, 난경은 0.94~1.02 mm(평균 0.95±0.03 mm)였다. 부화에 소요된 시간은 수온 20±0.5°C에서 51시간이 소요되었다. 부화 직후 자어의 전장은 2.52~3.0 mm(평균 2.75±0.04 mm)로 난황을 달고 있었고, 입과 항문은 아직 열려 있지 않았으며, 근절은 28~31개였고, 눈에는 흑색소포 소포가 착색되어 있었다. 부화 후 2일째의 전기 자어는 3.12~3.63 mm(평균 3.39±0.05 mm)로 난황이 완전히 흡수되었다. 부화 18일째 후기 자어는 전장이 8.45~12.32 mm(평균 10.85±4.36 mm)로 꼬리말단이 굽어지기 시작하면서 가슴지느러미, 등지느러미, 꼬리지느러미의 줄기가 형성되었다. 부화 25일째에는 44.12~58.72 mm(평균 55.95±6.74 mm) 외부 형태가 성어와 같은 치어기에 도달하였다.

서 론

고등어(*Scomber japonicus*)는 농어목(Perciforms), 고등어과(Scombridae), 고등어속(*Scomber*)에 속하는 어류로 우리나라에 8속 17종, 전세계에 15속 49종이 있으며(최 등, 2002), 우리나라, 일본, 중국 및 미국 캘리포니아 연안 등의 태평양에 주로 분포한다(Collette & Nauen, 1983; Yamada et al., 1986). 고등어는 회유종으로 우리나라에서는 봄과 여

름에 서해와 남해의 연안으로 이동하여 산란을 하고, 가을과 겨울에는 월동을 위해 남쪽으로 이동한다고 알려져 있다(정, 1977; Yamada et al., 1986).

고등어에 관한 국내 연구로는 성숙과 산란(차 등, 2002), 자원량(황, 1999; 최 등, 2004), 계절적 분포와 해황(차, 1999), 섭식생태(차 등, 2004; 윤 등, 2008) 등이 있으며, 국외 연구로는 고등어 집단의 개체변이(Hiyama et al., 2002), 먹이공급에 따른 행동특성(Nakayama et al., 2003), 개체구조의 차이(Zardoya et al., 2004), 양식생산을 위한 회복력과 생산력의 환경적 효과(Yatsu et al., 2005), 난모세포의 최종성숙과 배란(Shiraishi et al., 2005), 유전학적 다양성(Yagishita

[†] 교신저자: 전남 여주시 둔덕동 산 96-1, 전남대학교 수산해양대학 양식생물학전공, (우) 550-749, (전) +82-61-659-3162, (팩) +82-61-659-3160, E-mail: wklee196@chonnam.ac.kr

& Kobayashi, 2008) 등이 있다.

또한, 고등어는 과와 속이 같은 망치고등어(*Scomber australasicus*)와 외부형태적으로 유사하나, 두 어종을 구분하는 가장 큰 특징으로 망치고등어는 복부에 은백색 바탕에 작은 암청색 반점들이 복부 전반에 걸쳐 산재하고 있으나, 고등어의 경우는 은백색을 나타내고 있어 외형상 구분이 가능한 분류요소로 이용되고 있을 뿐이다(정, 1977). 따라서 본 연구는 새로운 양식대상 종의 개발을 위한 기초생물학적 연구의 일환으로 고등어의 난발생 과정 및 자치어의 발육단계에 따른 형태학적 특성을 규명하였기에 보고한다.

재료 및 방법

1. 어미 채집 및 인공채란

2007년 3월에 거문도 해상가두리 양식장에서 사육하던 고등어 어미를 전남대학교 수산증양식연구센터로 운반하여 육상수조에서 사육하던 중 2007년 6월에 고등어의 성성숙 유도를 위해서 생식소자극호르몬(gonadotropin: GTH) 유사체인 인간성선자극호르몬(human chorionic gonadotropin, hCG, Sigma, USA)을 Shiraishi(2005)의 방법에 따라 500 IU/kg을 복강에 주사하였다. 성성숙이 유도된 암컷과 수컷은 복부를 압박하여 알과 정액을 짜서 습식법으로 인공수정 하였다.

2. 난의 형태 및 발생과정

고등어의 난의 형태 및 발생을 관찰하기 위하여 현장에서 채란하여 인공수정한 수정란을 실험실로 운반하였다. 운반된 난은 투명 유리수조(50×50×50 cm)에 수용하여 사육하면서 난의 형태 및 크기를 관찰, 측정하였고, 난발생 과정을 관찰하였다.

난발생 과정은 인공채란한 수정란을 밀러가즈(망목 100 μ m)를 사용하여 2~3회 세란 후 2,000 ml 비이커 3개에 스포이드를 이용하여 1 ml씩 수용한 다음 incubator(HK-Bio25) 안에서 지수식으로 관리하였으며, 환수는 1일 2회씩 새로운 여과해수로 50%를 교환하였고, 포기는 실시하지 않았다. 난발생 과정 중 수온은 20±0.5°C로 설정하였다. 수정 후 발생 단계별 소요시간은 각 발생단계가 80% 이상 이루어졌을 때를 기준으로 하여, 3개의 비이커의 결과를 평균으로 하였고, 난발생 과정은 매시간 입체해부현미경(Olympus SZ-40)을

Table 1. Food supply of *Scomber japonicus* reared in the laboratory

Feed	Days after hatching				
	2	8	10	15	25
Rotifer(<i>Brachionus plicatilis</i>)	████████████████████				
<i>Artemia</i> sp.			████████████████████		
Artificial diet				████████████████████	

사용하여 관찰하였다.

3. 자치어의 형태발달 과정

부화 직후부터 치어기까지 발육단계에 따른 형태발달 과정을 관찰하기 위하여, 어미로부터 인공수정시켜 부화한 자어를 전남대학교 수산증양식 연구센터 육상 사각수조(4×4×1 m)에 수용하여 사육하였고, 사육기간동안 수온은 20.0~22°C(평균 21.3°C)로 유지시켰으며, 사육해수의 염분은 32.2~32.5‰(평균 32.3‰)이었다.

자치어 사육기간 동안 먹이 공급은 부화 직후부터 농축 클로렐라(*Chlorella* sp.)로 영양강화시킨 Rotifer(*Brachionus plicatilis*), 약 10일째부터 *Artemia* sp. 유생을 급이하였다. 배합사료는 먹이 붙임을 위해 *Artemia* sp. 공급개시일과 맞추어 지속적으로 공급하였다(Table 1). 자치어의 형태발달 과정은 부화 직후부터 1일 평균 40마리씩 채취하여 얼음 또는 마취제(MS-222, Tricain methasulfonate: Sandos)로 마취시킨 후 어체의 각 부위를 입체해부 현미경과 만능투영기(Nikon V-12B)를 이용하여 0.01 mm까지 측정, 관찰하였다. 자치어의 형태발달 단계는 Rusell(1976)에 따라 구분하였다.

결 과

1. 난의 형태

고등어의 수정란은 구형이고, 난황은 무색이었으며, 난경 0.94~1.02 mm(평균 0.95±0.03 mm)였다. 또한, 수정란은 분리 부성란으로 1개의 유구를 가지고 있었다(Fig. 1A~Q).

2. 난발생 과정

고등어의 난발생 과정을 관찰한 결과, 수정 후 5분에 수정막이 형성되었으며, 수정 후 20분이 경과하면서 동물극쪽으로 배반이 형성되기 시작하였다. 수정 후 30분이 경과하면서 난황의 시작으로 2세포기(Fig. 1A)가 되었으며, 1시간 후에 4세포기(Fig. 1B), 2시간 10분에 8세포기(Fig. 1C), 2시간 30분에 16세포기(Fig. 1D), 3시간 25분에 32세포기(Fig. 1E), 4시간 30분에 64세포기에 이르렀다(Fig. 1F). 세포분열은 계속 진행되어 수정 후 6시간 40분에 상실기에 이르렀으며(Fig. 1G), 8시간 29분 만에 포배기가 시작되었다(Fig. 1H). 11시간 20분에 배반은 난황의 1/3 정도를 덮어 내려와 낭배 초기(Fig. 1I), 13시간 30분에는 배반이 식물극 쪽으로 확장되면서 난황의 3/4 정도를 덮어 내려와 낭배 후기로 진행되었다(Fig. 1J).

수정 후 15시간 51분에 짙은 황색을 띤 배체가 분화하여 뚜렷하게 형성되었으며(Fig. 1K), 17시간 58분에 안포가 형성되고 7~8개의 근절이 나타났으며(Fig. 1L), 19시간에 쿠포시포가 출현하며 근절은 10~11개로 증가하였다(Fig. 1M). 수정 후 21시간에 안포가 거의 완성되어 렌즈가 분화하며, 이포가 형성되었으며, 배체의 머리 부분 뒤쪽에 황색소포와 흑색소포가 처음 출현하였다(Fig. 1N). 24시간 15분에 쿠포시포는 소실되고, 근절은 18~20개로 증가하고 머리와 등 쪽 근절 부분에 흑색소포가 더욱 뚜렷하게 나타났다(Fig. 1O). 수정 후 29시간에 뇌가 분화하기 시작하며 근절은 23~24개로 증가하였으며, 막상의 지느러미가 발달하였다. 또한, 심장이 분화하여 뛰기 시작하고 심장 박동 수는 분당 68~70회 정도로 활발한 심장박동수를 보였다(Fig. 1P). 수정 후 40시간에 심장 박동 수는 분당 11회 정도로 증가하고 렌즈에 색소포가 검게 착색되며, 간헐적으로 꼬리를 약하게 움직였다. 근절은 28~30개로 증가하였다(Fig. 1Q). 수정 후 51시간이 되면 꿈틀거리면서 꼬리 부분이 먼저 난황을 뚫고 밖으로 돌출하면서 부화가 시작되었다(Fig. 1R).

3. 자치어의 형태발달

고등어 자치어의 형태발달 과정은 전기자어, 후기자어와 치어기로 구분하여 관찰하였다.

1) 전기자어

부화 직후 자어의 전장은 2.52~3.0 mm(평균 2.75±0.04 mm,

n=40)로 근절은 28~31개로 항문과 입은 열려 있지 않았다. 항문의 위치는 전장의 약 40~45%로 몸의 중앙에서 약간 앞쪽에 위치하였고, 등지느러미, 뒷지느러미 및 꼬리지느러미는 막상으로 연결되었으며, 등지느러미 부분은 융기되어 있었다. 흑색소포는 머리에서부터 몸통 척추 윗부분, 난황에 분포하였다(Fig. 2A). 부화 2일째 자어는 전장 3.12~3.63 mm(평균 3.39±0.05 mm)로 꼬리지느러미 줄기가 분화되어 2~5개 형성되었으며, 뇌가 더욱 발달하여 분화하였다. 입과 항문이 개구되었고, rotifer의 섭이를 시작하였다. 또한, 활발한 장의 연동운동을 보였으며 섭이행동을 시작하였고, 장 주위로 흑색소포가 더 많이 나타났다(Fig. 2B).

2) 후기자어

부화 6일째의 전장은 3.76~3.78 mm(평균 3.77±0.09 mm, n=40)로 복부는 짧고, 항문은 몸의 전방에서 약 1/3된 곳에 위치하고 있었으며, 근절수는 32~34개이고, 눈은 검고 머리 부분의 흑색소포는 두정부와 장 주위에 거의 한정되어 있었다. 꼬리끝 부분이 융기하기 시작하였으며, 꼬리 부분에 나뭇가지 모양의 큰 흑색소포가 보였다(Fig. 2C). 부화 8일째에는 4.28~4.9 mm(평균 4.71±0.71 mm, n=40)로 머리 부분의 높이와 길이가 거의 같고, 윗 턱 앞끝은 아래턱보다 약간 돌출하였다. 양턱에는 이가 나타나고 미부봉살골이 45°로 융기되었으며, 흑색소포는 머리 부분과 몸 중앙 뒷부분 및 장 주위에 더 많이 나타났다(Fig. 2D). 부화 11일째에는 5.48~6.22 mm(평균 5.81±0.45 mm, n=40)로 흑색소포가 머리 중앙부분의 아래쪽에서 더 나타나기 시작하였고, 배 부분에 나뭇가지 모양의 흑색소포가 보였으며, 꼬리지느러미 줄기가 증가하였다(Fig. 2E). 부화 15일째에는 5.63~6.5 mm(평균 5.98±0.06 mm, n=40)로 항문은 몸의 거의 중앙에 위치하고, 근절 수는 32~34개였으며, 등지느러미, 가슴지느러미, 뒷지느러미의 줄기가 형성되었다. 머리 부분에 흑색소포가 증가하여 나타났으며, 꼬리 부분의 등쪽에 약간 분포하였으며, 2쌍의 비공이 확실히 보였다(Fig. 3A). 부화 18일째에는 8.45~12.32 mm(평균 10.85±4.36 mm, n=40)로 제 1등지느러미와 제 2등지느러미가 분리되었으며, 배지느러미가 융기되었다. 또한, 등지느러미와 뒷지느러미가 꼬리지느러미와 분리되었으며, 꼬리지느러미에 마디가 형성되었다. 흑색소포는 머리 전체로 퍼졌으며, 몸통 앞부분과 배 부분에 흑색소포가 증가하였고, 제 2 등지느러미 기저 양쪽에 수개의 흑색소포가 분포하였다(Fig. 3B).

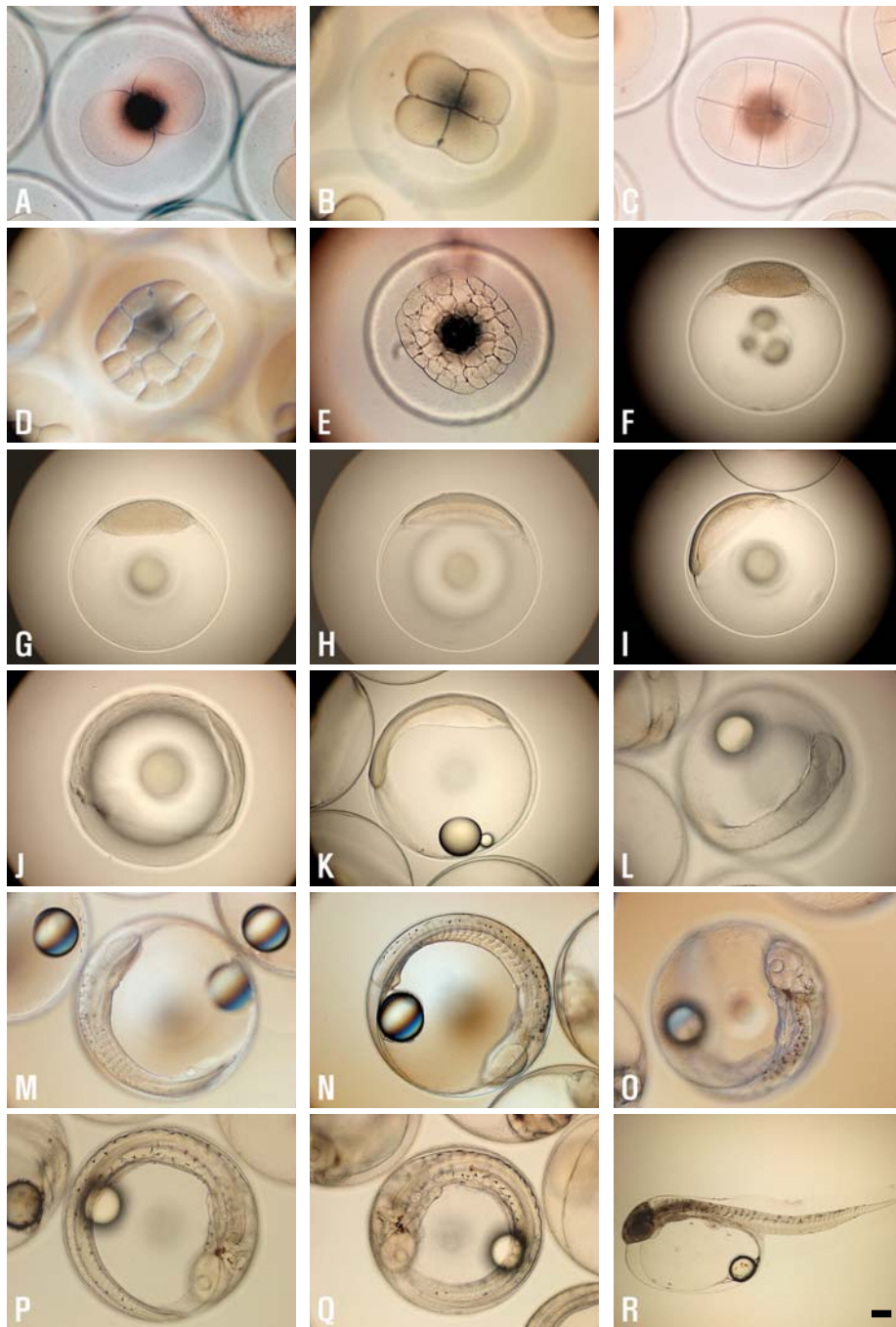


Fig. 1. The egg development of *Scomber japonicus* reared in the laboratory. A: 2-cells stage (30 min), B: 4-cells stage (1 hrs.), C: 8-cells stage (2 hrs. 10 min), D: 16-cells stage (2 hrs. 30 min), E: 32-cells stage (3 hrs. 25 min), F: 64-cells stage (4 hrs. 30 min), G: morula stage (6 hrs. 40 min), H: blastula stage (8 hrs. 29 min), I: early gastrula stage (11 hrs. 20 min), J: late gastrula stage (13 hrs. 30 min), K: formation of embryo (15 hrs. 51 min), L: 7~8 myotomes stage, appearance of optic vesicles (17 hrs. 58 min), M: formation of Kupffer's vesicles, auditory vesicle 10~11 myotomes stage (19 hrs.), N: formation of auditory vesicles and eye lens (21 hrs.), O: 18~20 myotomes stage, melanophores appeared on the embryo (24 hrs. 15 min), P: beginning of heart beat, caudal part leaves yolk sac (29 hrs.), Q: 28~30 myotomes stage (40 hrs.), R: embryo just before hatching (51 hrs.). Scale bar indicates 100 μ m.

3) 치어기

부화 20일째에는 25.82~32.04 mm(평균 30.46±5.28 mm, n=40)로 제 2 등지느러미에서 토막지느러미로 바뀌기 시작하였다. 제 1 등지느러미는 가시가 출현하였으며, 제 2 등지느러미 줄기 양옆을 따라 흑색소포의 열이 나타나고 꼬리부분의 흑색소포는 체내에 파묻혔다(Fig. 3C). 부화 22일째에는 35.72~ 43.34 mm(평균 40.46±6.44 mm, n=40)로 비공은 전후로 나누어지고 가슴지느러미에는 지느러미 마디가 나타났다. 흑색소포는 머리에서부터 꼬리까지 전체적으로 나타났다. 등지느러미와 토막지느러미가 확실히 분리되었다(Fig. 3D). 부화 25일째에는 44.12~58.72 mm(평균 55.95±6.74 mm, n=40)로 모든 지느러미의 줄기 및 가시가 정수에 달하고, 외부 형태가 성어와 같은 치어기에 도달하였으며, 옆줄이 확실히 나타났고, 배 부분은 약간 은백색을 띠었다(Fig. 3E).

고 찰

해산 어류의 생산 기술을 확립하고 자연 상태에서의 자원을 파악하기 위해서는 대상 종들의 초기 발육 과정을 우선적으로 알아야 하며, 특히 자연에서 채집한 난과 자치어에 대해서는 종을 동정하는데 어려움이 많기 때문에, 실내에서 인공 수정 및 자연산란에 의한 난과 자치어의 발육단계로 형태적인 특징을 관찰하고, 다른 종과 비교하는 것이 무엇보다 중요하다(변, 2002). 해산 경골어류 난의 형태는 종에 따라 다르며, 많은 양의 알을 낳는 어류가 있다. 이러한 해산 경골어류의 특징은 부성란 또는 침성란을 낳는데, 이 중 부성란은 크기가 작고, 환경 변화나 외적에 의한 피해 정도도 많으므로 침성란보다는 많은 수의 알을 낳는다(김, 1989).

고등어의 난은 구형의 투명한 분리분성란으로 1개의 유구

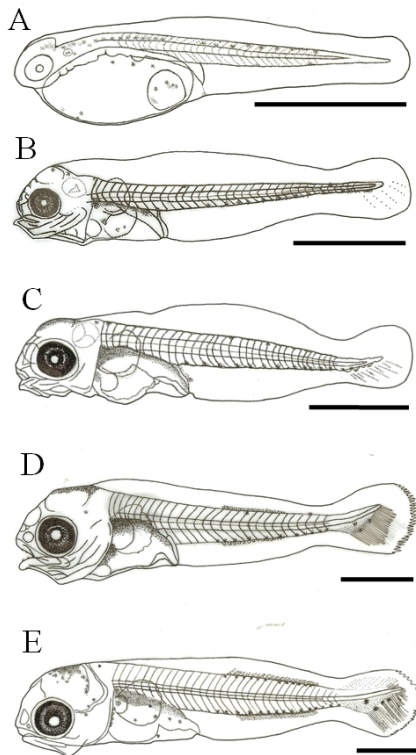


Fig. 2. Morphological development of larvae of *Scomber japonicus*. A: Newly hatched larvae, mean 2.75±0.04 mm in to total length (TL), B: 2 days after hatching, mean 3.39±0.05 mm in TL, C: 6 days after hatching, mean 3.77±0.09 mm in TL, D: 8 days after hatching, mean 4.71±0.71 mm in TL, E: 11 days after hatching, mean 5.81±0.45 mm in TL. Scale bars indicate 1.0 mm.

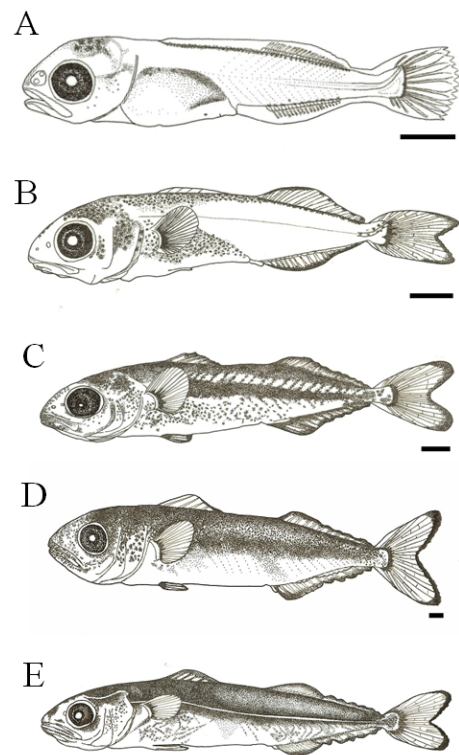


Fig. 3. Morphological development of larvae and juveniles of *Scomber japonicus*. A: 15 days after hatching, mean 5.98±0.06 mm in TL, B: 18 days after hatching, mean 10.85±4.36 mm in TL, C: 20 days after hatching, mean 30.46±5.28 mm in TL, D: 22 days after hatching, mean 40.46±6.44 mm in TL, E: 25 days after hatching, mean 55.95±6.74 mm in TL. Scale bars indicate 1.0 mm.

를 가지고 있었으며, 난의 크기는 0.94~1.02 mm로 같은 속에 속하는 대서양 고등어(*Scomber scombrus*)는 평균 1.209 mm (Mendiola et al., 2007)였으며, 농어목의 민어(*Müchthys müüy*)는 0.96~1.08 mm(한 등, 2002), 한국산 농어(*Lateolabrax japonicus*)는 1.33~1.46 mm(한 등, 1999), 일본산 농어 1.35~1.44 mm(Mito, 1957) 등과 비교하면 비교적 적은 편이다. 유구수는 1개(0.26~0.28 mm)가 관찰되었으며, 대서양 고등어(Mendiola et al., 2007)도 마찬가지로 1개(평균 0.31 mm)를 가지고 있어 유구수와 유구 크기는 큰 차이를 보이지 않았다. 수정되어 부화까지 소요된 시간은 수온 20±0.5℃에서 수정 후 51시간이었으나, 대서양 고등어(Mendiola et al., 2007)의 경우 수온 18.4℃에서 56시간이 소요되어 종간의 차이도 있겠으나, 수온 영향에 따른 부화시간의 차이로 생각된다. 부화 직후의 고등어 자어의 크기는 2.52~3.0 mm(평균 2.75±0.04 mm)로 도미과에 속하는 참돔(*Pagrus major*) 2.35~2.50 mm(한과 김, 1999), 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*) 1.59~1.82 mm(Koh, 1992)보다는 비교적 컸고, 농어목의 농어는 3.79~3.97 mm(한 등, 1999), 민어는 2.36~2.63 mm(한 등, 2002)로 비교적 비슷한 것으로 나타났다.

어류자원 가입량은 산란량과 초기성장단계에서의 생존율에 의하여 결정된다. 특히 고등어와 같이 초기성장이 빠른 부어류의 경우 초기생활사 연구는 성어의 생태를 이해하는데 중요한 선행과제이다. 고등어는 초기성장이 매우 빨라 부화 25일째에 평균 전장이 55.95 cm였는데, 이러한 결과를 토대로 한다면 부화 만 1년이면 가량이 체장 25~30 cm까지, 2년이 되면 32~35 cm까지, 3년이 되면 35 cm 이상으로 성장하는 것으로(Yamada et al., 1986) 알려진 결과와 비슷한 성장을 할 것으로 예측된다.

남해에 서식하는 고등어의 식성은 계절에 관계없이 어류를 주로 섭이하고 먹이생물의 계절적 변화가 크게 작용한다고 하였고, 연안표층에 풍부하게 서식하고 있는 게류 유생, 화살벌레, 단각류 등 다양한 먹이 섭이로 인하여 성장속도의 증가를 가져오는 것으로 보인다고 하였다(윤 등, 2008). 일반적으로 종묘생산 시 먹이 공급은 *Rotifer*(*Brachionus plicatilis*), *Artemia* sp., *Artificial dité*의 형태로 먹이공급이 이루어지는데, 본 실험에서도 마찬가지로 공급하였다. 그 결과, 부화 10일을 전후하여 표층에 무리를 지어 유영하고 강한 탐식성으로 공식현상을 보여 성장이 빠른 개체가 성장이 늦은 개체를 공격하며 표층을 유영하고 다니면서 성장이 늦은 무리가 먹

이섭이를 위하여 표층에 접근하는 것을 막아 개체간의 성장 차이는 뚜렷하게 나타났다. 이러한 먹이공급 형태는 빠른 탐식성을 보이는 고등어에서는 단계별 먹이공급이 체계적으로 이루어져야 하며, 그렇지 못할 경우 극심한 공식현상이 나타나기 때문에 이처럼 강한 탐식성과 빠른 성장률을 보이는 고등어의 효과적인 성장을 위해서는 초기 식성을 파악하고 다양한 먹이공급에 따른 성장률을 조사하여 보다 효과적인 성장을 유도할 수 있는 연구가 수행되어야 하며, 이를 바탕으로 안정적이고 효과적인 양식방법이 정착될 수 있어야 하겠다.

인용문헌

- Collette BB, Nauen CE (1983) F.A.O. species catalogue. 2. Scombrids of world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. FAO Fish Synop 2(125):137.
- Hiyama Y, Yoda M, Ohshimo S (2002) Stock size fluctuations in chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and the Japan/East Sea. Fish Oceanogr 11: 347-353.
- Koh JN (1992) Embryonic development and morphology of larvae and juveniles of Parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*. Ph. M. dissertation, Nat. Fish. Univ. Pusan. 46 pp.
- Mendiola D, Alvarez P, Cotano U, Martinez A, Murguia De Murguia (2007) Early development and growth of the laboratory reared north-east Atlantic mackerel *Scomber scombrus* L. J Fish Biology 70:911-933.
- Mito S (1957) On the egg development and larvae of the Japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus* (Cuvier). Sci Bull Fac Agr Kyushu Univ 16:115-124.
- Nakayama S, Masuda R, Shoji J, Takeuchi T, Tanaka M (2003) Effect of prey items on the development of schooling behavior in chub mackerel *Scomber japonicus* in the laboratory. Fish Sci 69:670-676.
- Shiraishi T, Ohta K, Yamaguchi A, Yoda M, Chuda H, Matsuyama M (2005) Reproductive parameters of the chub mackerel *Scomber japonicus* estimated from human chorionic gonadotropin-induced final oocyte maturation

- and ovulation in captivity. *Fish Sci* 71:531-542.
- Yagishita N, Kobayashi T (2008) Isolation and characterization of nine microsatellite loci from the chub mackerel, *Scomber japonicus* (Perciformes, Scombridae). *Molecular Ecology Res* 8:302-304.
- Yamada U, Tagawa M, Kishida S, Honjo K (1986) Fishes of the East China Sea and the Yellow Sea. *Seikai Reg Fish Res Lab, Japan*, pp 1-501.
- Yatsu A, Watanabe T, Ishida M, Sugisaki H, Jacobson LD (2005) Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management. *Fish Oceanogr* 14:263-278.
- Zardoya R, Castilho R, Grande C, Favre-Krey L, Caetano S, Marcato S, Krey G, Patarnellos T (2004) Differential population structuring of two closely related fish species, the mackerel (*Scomber scombrus*) and the chub mackerel (*Scomber japonicus*), in the Mediterranean Sea. *Molecular Ecology* 13:1785-1798.
- 김용익 (1989) 어류학 총론. 태화출판사, 부산, 270 pp.
- 변순규 (2002) 찰가자미, *Microstomus achne*의 번식생물학적 특성 및 초기발육. 여수대학교 박사학위논문, 162 pp.
- 윤성종, 김대현, 백근욱, 김재원 (2008) 남해에 출현하는 고등어(*Scomber japonicus*)의 식성. *한국수산학회지* 41(1): 26-31.
- 정문기 (1977) 한국어도보. 일지사, 서울, 1-727.
- 차병열 (1999) 한국 연근해 고등어, *Scomber japonicus*의 계절적 분포와 해황과의 관계. 부경대학교 대학원 이학박사 학위논문, 103 pp.
- 차병렬, 공용근, 이창훈, 김대현 (2004) 한국 근해 고등어 (*Scomber japonicus*)의 섭식생태. *한국수산자원학회지* 6: 14-22.
- 차형기, 최영민, 박종화, 김진영, 손명호 (2002) 한국 연근해 고등어, *Scomber japonicus*의 성숙과 산란. *한국수산자원학회지* 5:24-33.
- 최운, 김지현, 박종영 (2002) 한국의 바닷물고기. *교학사*. 504.
- 최영민, 장창익, 김영섭, 백철인, 박영철 (2004) 한국 근해 고등어의 생태학적 특성치 및 자원량 변동. *한국수산자원학회지* 6:79-89.
- 한경호, 김용익 (1999) 참돔의 난발생과정과 자어의 형태발달. *여수대학교 기초과학연구소논문집 제1권* pp 65-74.
- 한경호, 이원교, 양석우, 오성현, 신상수 (1999) 농어(*Lateolabrax japonicus*)의 초기생활사. *한국수산학회지* 11:94-101.
- 한경호, 오성현, 황동식, 조영현, 서대철 (2002) 민어의 난발생과정 및 자치어 발육단계에 따른 형태발달. *한국수산학회지* 14:93-99.
- 황선도 (1999) 한국 연근해 고등어(*Scomber japonicus*)의 자원 생태학적 연구. *충남대학교 박사학위논문*, 99 pp.

(received 27 September 2008, received in revised form 6 November 2008; accepted 8 November 2008)