

나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*)의 난발생과 자치어 형태발달

Embryonic and Larval Morphological Development of the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

신중로¹, 정시온¹, 고강희¹, 한경호^{1,*}

Joong-Ro Shin¹, Si-On Jung¹, Kang-Hee Kho¹, Kyeong-Ho Han^{1,*}

¹전남대학교 수산과학과

¹Department of Fisheries Sciences,
Chonnam National University, Yeosu 59626,
Republic of Korea

* Correspondence to Kyeong-Ho Han
E-mail: aqua05@jnu.ac.kr

Received January 6, 2026

Revised February 28, 2026

Accepted February 28, 2026

Abstract : This study was conducted to provide fundamental data on the early life history of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by observing its embryonic development and larval morphological stages. The experiment was carried out at a water temperature of $28 \pm 0.5^\circ\text{C}$, with fertilized eggs collected from the buccal cavity of brooding females. The eggs were pear-shaped, non-adhesive, demersal, and opaque yellow, without an oil globule, measuring $2.63 \sim 2.97$ mm in length. The zygote formed 1.5 hours post-fertilization (hpf). The morula stage was reached at 12 hpf, the gastrula stage at 22 hpf, and brain and eye differentiation occurred at 44 hpf. Hatching commenced at 120 hpf. Newly hatched larvae had an average total length (TL) of 5.41 ± 0.2 mm, with closed mouths and anuses. By day 12 post-hatching (10.49 ± 0.4 mm TL), the yolk was completely absorbed, and the larvae entered the post-larval stage, initiating active feeding. By day 28 post-hatching, the specimens reached the juvenile stage (25.88 ± 0.8 mm TL), exhibiting adult-like vertical stripes on the body and the characteristic “tilapia spot” on the dorsal fin. These findings contribute to the understanding of the developmental biology of Cichlids and provide essential data for the ecological management of this invasive species in domestic freshwater systems.

Keywords : Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, Egg development, Larvae, Morphological development, Early life history

서론

나일틸라피아(억돔, *Oreochromis niloticus*)는 시클리목(Cichliformes), 시클리과(Cichlidae), 틸라피아속(억돔속, *Oreochromis*)에 속하는 어류(Kang *et al.*, 2025)로 남아프리카의 케냐가 원산지이며, 현재는 아프리카 전역을 비롯하여 중국, 대만, 태국, 인도네시아, 한국 등에 도입되어 세계적으로 가장 널리 양식화된 어류이다(Molnar *et al.*, 2008). 나일틸라피아는 주로 하천의 하류나 호소, 하구역에서도 서식하며 수온이나 염도에 강한 적응성을 보이는 광온성과 광염성을 지니는 것이 특징이다. 일반적으로 수온 $17 \sim 35^\circ\text{C}$ 의 넓은 수온 범위에서 서식하며, 치어는 15°C , 성체는 10°C 이하에서 폐사되는 것으로 알려져 있다. 이들은 주로 조류(Algae)와 수서식물과 같은 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤, 어류 등 다양한 먹이를 섭식한다. 나일틸라피

아의 체형은 체고가 높고 옆으로는 매우 납작하며 주둥이가 단단하고 아래턱이 위턱보다 더 길며 이빨은 원추형 융모치(Cili-form teeh)로 상악과 하악에 밀생되어 있다. 체색은 은백색이나 암청색을 띠고 꼬리지느러미는 암색을 많이 띠며 밝은색의 줄무늬가 여러 줄 있다. 또한 몸 옆면에 8~10개 정도의 암색 띠로 이루어진 가로 줄무늬가 꼬리까지 산재해 있다.

시클리과 어류는 경골어류 중 가장 다양한 분류군 중 하나로 이들은 전 세계에서 약 1,700여 종(250속) 이상으로 추정되며(Nelson *et al.*, 2016), 현재까지 아프리카에서 아직 발견되지 못한 미기록 시클리드가 몇 백 종이나 존재할 것으로 추정되고 있다(Turner *et al.*, 2001). 동아프리카의 빅토리아 호수, 말라위 호수와 탕가니카 호수에서 수백 종의 시클리드가 서식한다고 알려져 있다(Seehausen, 1996; Turner *et al.*, 2001). 또한 부화 방법에 따라 분류학적으로 구분되며, 어소(Nest)에서 어미의 보

호를 받아 부화하는 틸라피아속, 수컷 또는 암컷의 구중에서 부화하는 *Sarotherodon*속, 암컷의 구중에서 부화하는 틸라피아속으로 나뉜다(Munro *et al.*, 1990). 전 세계적으로 양식되고 있는 틸라피아의 대부분은 체외 수정 후 어미의 입에서 구중 부화(Mouthbrooding)하는 틸라피아속으로 산란 수는 적은 반면 연중 산란하는 특징이 있다.

전 세계적으로 담수어류의 양식업에서 잉어, 붕어류 다음으로 중요한 위치를 차지하며 국내에 1955년 식용 자원 조성을 위해 틸라피아속에 있는 모잠비크틸라피아(*Oreochromis mossambicus*)와 나일틸라피아를 태국에서 도입하였고(Kim and Park, 1990; Kim and Park, 2002), 1980년대 이후 생산량이 급격하게 늘어나 1990년에는 379,169톤에서 2020년 기준 전 세계 생산량이 6,100,719톤에 달했다(Zhang, 2023). 그중 나일틸라피아는 우리나라의 국립수산물과학원 진해 내수면연구소로 이식된 후 국내 여러 곳에서 양식을 시도하여 생산량이 증가하였다.

일반적으로 나일틸라피아는 열대성 어류로 10°C 이하의 수온에서는 서식하지 못한다(Charo-Karisa *et al.*, 2005; Rakocy, 2005). 그러나 최근 공업단지에서 배출되는 온배수로 인해 국내 하천의 특정 지역(황구지천)과 온배수가 연중 지속해서 유입되고 있는 일부 하천(금호강, 곡교천, 남강, 진천천, 달서천 등)에서도 나일틸라피아 개체군의 서식이 보고된 바 있다(NIER, 2015, 2016; Yoon *et al.*, 2018). 외래종의 도입은 서식지 변형, 질병 및 기생충의 도입, 영양 단계의 변화 등으로 인해 토착 어류에게 영향을 줄 수 있으며(Gozlan *et al.*, 2005), 국내 도입된 나일틸라피아는 하천 환경의 악화 및 부영양화의 발생을 유발하고(Figueroa and Giani, 2005), 생태계를 교란할 가능성이 있어 주의가 필요한 종이다. 한편 나일틸라피아는 환경 변화에 대한 내성이 강하고 성장 속도가 빠른 대형 어종으로, 아프리카와 동아시아를 포함한 전 세계에서 널리 양식되는 중요한 상업적 자원

이다. 그러나 국내에서 양식 중인 나일틸라피아의 초기생활사에 관한 연구는 여전히 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 나일틸라피아의 난발생 과정과 자치어의 형태발달을 관찰하여, 이들의 초기생활사적 특성을 규명하고 생물학적 이해를 높이기 위한 기초자료를 구축하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험어

실험에 사용된 나일틸라피아는 경상남도 창녕 소재의 틸라피아 양식장에서 2년산의 성숙한 수컷과 암컷을 구입하였으며, 곧바로 전남대학교 실험실로 이송하였다. 이후 성어는 P.P 수조(120 cm × 75 cm × 90 cm)에 입식하였으며, 어미로 사용할 개체를 선별하였다(Fig. 1).

2. 어미의 선별과 관리

번식기에 도달한 수컷은 머리와 꼬리지느러미는 전반적으로 붉은색이 뚜렷하게 나타나며, 생식공의 형태가 비교적 뾰족한 반면, 암컷은 둥근 생식공을 지니며, 복부를 압박하였을 때 난이 흘러나오는 개체를 어미로 선별하였다. 선별된 모든 개체는 생식공이 돌출되었으며, 산란 행동을 보이는 것을 사용하였다. 수컷과 암컷의 비율은 각각 1:2로 선정하여 아크릴 수조(90 cm × 45 cm × 50 cm)에 수용하였다.

사육수는 전기히터(클리오네, AT-600, 300W)를 이용하여 28±0.5°C로 유지시켜 자연 산란을 유도하였다. 사육수는 매일 3회씩 15%를 환수하였으며, 침전된 배설물과 부니를 주기적으로 제거해 주었다.



Fig. 1. Adult fish of *Oreochromis niloticus*, nuptial coloration of male.

3. 난의 형태 및 발달 과정

암컷의 구강 내에 수정란을 확인하였으며, 난 형태와 크기 그리고 발달 과정을 관찰함과 동시에 측정을 수행하였다. 수정란은 사육수조(60 cm × 45 cm × 45 cm)에 부화 텀블러(Ziss, ZET-E65)를 장치하여 수용하였다. 부화 텀블러 장치는 폭기시켜 수정란이 침전되지 않게 교반하였다. 매일 3회씩 15%를 환수하였으며, 탈락 또는 부패한 난은 지속적으로 제거하였다. 난은 임의로 10개를 선정하여 시간당 1회 간격으로 광학현미경(Nicon, Y-TV55, Japan)을 이용하여 난할(Cleavage)을 관찰하였으며, 디지털카메라(Nicon, DS-F, Japan)로 촬영하였다. 부화 후 자어의 발달은 MICROSCOPE DIGITAL CAMERA (WPI, MT-M4KHDMI)로 관찰과 촬영을 수행하였다. 본 실험에서 모든 사육환경의 수온은 $28 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 설정하였다.

4. 자치어 형태발달

부화 후 자어는 유영능력을 갖추 때까지 부화 텀블러에서 사육하였으며 유영능력을 갖춘 자어는 부화 텀블러에서 꺼내 사육하였다. 부화 텀블러를 제거한 후 스펀지여과기(Aquatech, SP-L4)를 설치하였으며, 매일 3회씩 15%를 환수하였다. 바닥에 쌓인 배설물과 사료 찌꺼기는 지속적으로 제거해 주었다. 자치어의 먹이는 난황을 흡수한 10월 30일부터 11월 20일까지 배합사료(러브라바 1호; 0.2 mm, Japan)를 급이해 주었으며 그 이후 전장 20 mm부터는 배합사료(러브라바 6호; 1.1~1.3 mm, Japan)를 급이해 주었다.

자치어의 형태발달 과정의 기록과 촬영은 5개체를 임의로 선

정한 것을 사용하였으며, MICROSCOPE DIGITAL CAMERA (WPI, MT-M4KHDMI)를 사용하여 단위 0.01 mm까지 측정하였다. 자치어의 형태발달 단계는 기존에 보고된 근연종에서 모잠비크틸라피아의 난발생 및 형태발달(Tachihara and Obara, 2003)을 참고하여 구분하였다.

결 과

1. 난발생

1) 난의 형태

난은 서양배(Pear) 형태로 난황은 불투명한 황색의 분리침성란이었다. 난의 크기는 2.63~2.97 mm (n=50)였다(Fig. 2).

2) 난발생 과정

암컷의 구강 내 수정란을 채취하여 관찰한 결과, 1시간 30분 경 동물극(Animal pole)에서 접합체(Zygote)의 형성을 확인하였다(Fig. 3A). 1시간 30분 뒤에 난할(Cleavage)이 진행되며 2세포기에 진입하였고(Fig. 3B), 수정 후 2시간 뒤에 4세포기(Fig. 3C), 3시간 뒤에 8세포기(Fig. 3D), 4시간 뒤에 16세포기로 나뉘었다(Fig. 3E). 12시간 이후 상실기(Morula stage)에 접어든 것을 확인하였으며(Fig. 3F), 17시간 후에는 포배기(Blastula stage)에 달하였고(Fig. 3Ga, Gb), 22시간 뒤 낭배기(Gastrula stage)에 접어드는 것을 확인하였다(Fig. 3Ha~Hc). 26시간 뒤 신경판(Neural plate)이 형성되어 신경배(Neurula)로 발

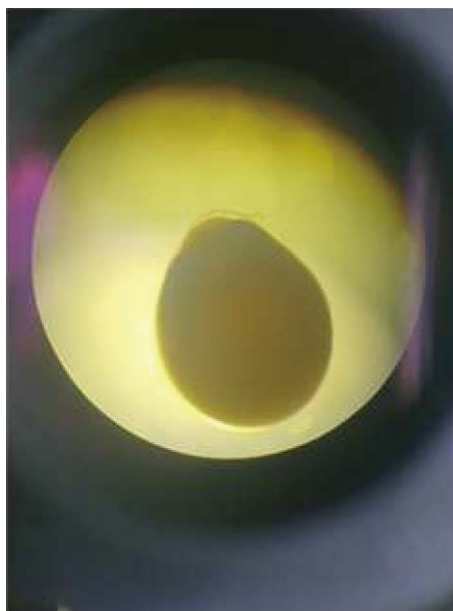


Fig. 2. Pyriform egg of *Oreochromis niloticus*.

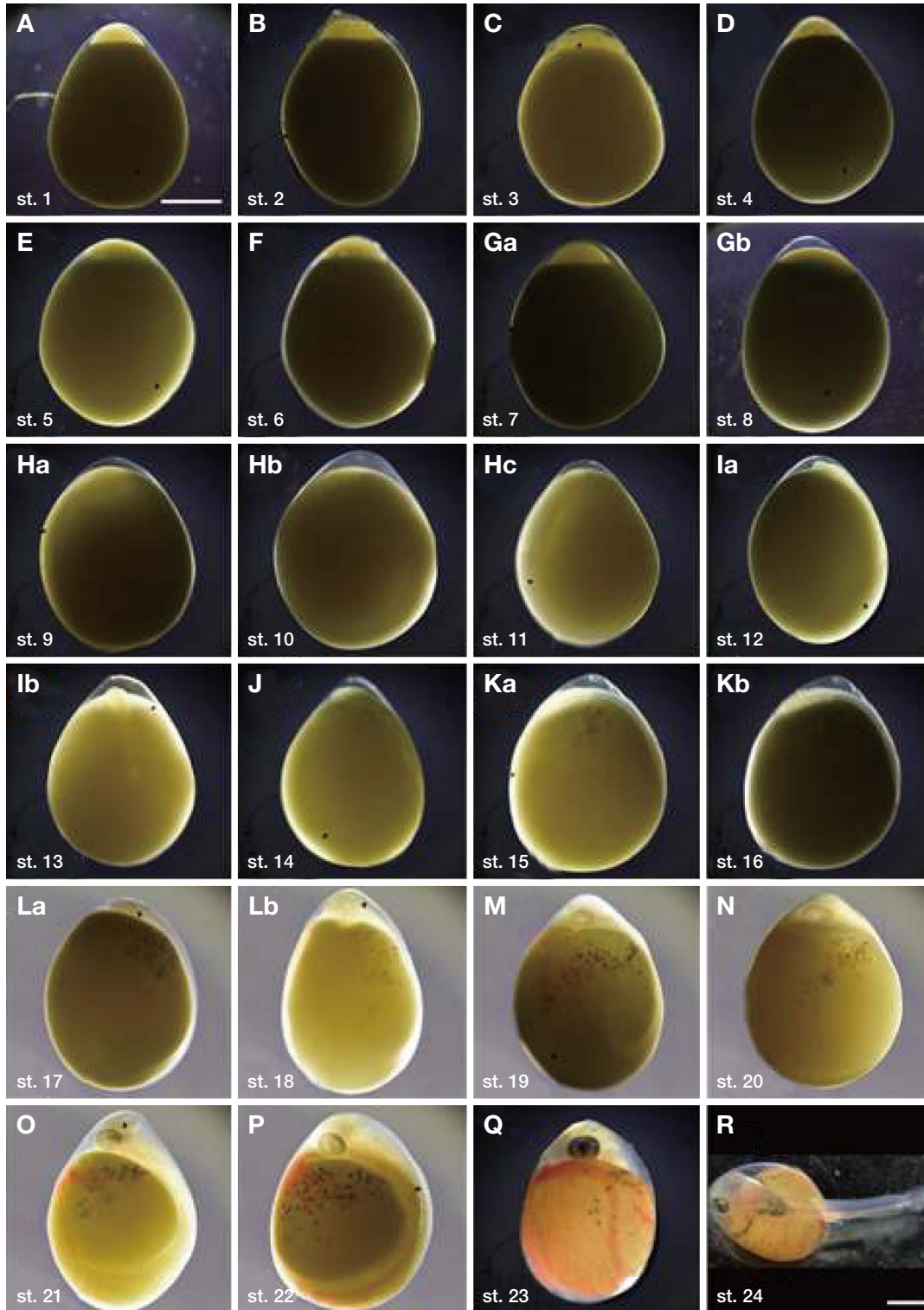


Fig. 3. Egg development of *Oreochromis niloticus*. Scale bar = 1.0 mm. Time required for each development stage is shown in Table 1.

달하였으며 (Fig. 3Ia), 척색 말단부에 쿠퍼씨포 (Kupffer's vesicle)의 형성을 확인하였다 (Fig. 3Ib).

수정 30시간 후 배체의 난막에 흑색소포 (Melanophore)가 발

달하였으며, 근절 (Myomere)은 4개가 형성되었다 (Fig. 3J). 40시간 후에 안포 (Optic vesicle)가 형성되었으며 (Fig. 3Ka), 꼬리의 끝이 길어지면서 근절이 16개로 증가하였다 (Fig. 3Kb). 44시

Table 1. Egg development of *Oreochromis niloticus* at water temperature $28 \pm 0.5^\circ\text{C}$

	Stage	Characteristics	hpf	Fig. 3
Zygote	1	1-Cell	0~1.5	A
Cleavage	2	2-Cell	1.5~2	B
	3	4-Cell	2	C
	4	8-Cell	3	D
	5	16-Cell	4	E
Morula	6	Morula	12	F
Blastula	7	Early Blastula	17	Ga
	8	Late Blastula	20	Gb
Gastrula	9	Gastrula = 30%	22	Ha
	10	Gastrula = 40%	24	Hb
	11	Gastrula = 50%	25	Hc
Segmentation	12	Neurula = 70%	26	Ia
	13	Kupper's vesicle formation	28	Ib
	14	Somitogenesis	30	J
	15	Optic vesicle creation	40	Ka
	16	somites increased	42	Kb
	17	Brain differentiation	44	La
	18	Kupper's vesicle disappeared	46	Lb
	19	Heart development	48	M
Pharyngula	20	Blood circulation	60	N
	21	Head enlargement	72	O
	22	tail separation	90	P
	23	Gill formation	110	Q
Hatching	24	Hatching	120	R

간 후 뇌가 발달하며 안구가 발달하고 근절이 28개로 증가하였으며(Fig. 3La), 기저부에 형성된 쿠퍼씨포의 소실을 확인하였다(Fig. 3Lb). 48시간 후 안구에 흑색소포가 침착하며, 심장의 발달을 확인하였다(Fig. 3M). 60시간 후 척색(Notochord)은 확실한 형상을 띠며, 혈관포(Blood vesicle)를 통해 혈액이 순환되는 것을 확인하였다(Fig. 3N). 72시간 후 머리 부분이 비대해지며 난황과 분리되었고 머리의 기저부 하단에 흑색소포가 발달하였으며 혈관이 난황을 감싸는 것을 관찰하였다(Fig. 3O). 90시간 후 아래턱이 발달하며 꼬리가 난황에서 분리되기 시작하였다(Fig. 3P). 110시간 후 안구의 뒤쪽으로 아가미가 형성되며 머리에 흑색소포가 침착되었다(Fig. 3Q). 120시간 후에는 머리부터 난막을 뚫고 나오면서 부화가 시작되었다(Fig. 3R).

2. 자치어의 형태발달 과정

부화 직후 자어는 전장 $5.41 \pm 0.2 \text{ mm}$ ($n=5$)로 흑색소포는 난황 윗부분과 몸통 아랫부분, 머리에 침착되어 있었다. 입과 항문을 열려 있지 않았으며 등지느러미, 배지느러미, 가슴지느러미는 아직 발달하지 않았고 꼬리지느러미만이 발달해 있었다(Fig. 4A).

부화 후 2일째 자어는 전장 $6.71 \pm 0.2 \text{ mm}$ ($n=5$), 난황의 크

기는 $2.13 \pm 0.2 \text{ mm}$ ($n=5$)로 머리부터 등까지 나뭇가지 모양으로 흑색소포가 침착되기 시작하였고 꼬리지느러미를 활발하게 움직이기 시작하였다(Fig. 4Ba, Bb).

부화 후 7일째 자어는 전장 $9.40 \pm 0.2 \text{ mm}$ ($n=5$), 난황의 크기는 $1.33 \pm 0.2 \text{ mm}$ ($n=5$)로 머리부터 등의 뒷부분까지 검은 점 모양으로 색소포가 발달하였으며, 꼬리지느러미는 부채꼴로 발달하였고, 입과 항문이 열린 것을 확인하였다(Fig. 4Ca, Cb).

부화 후 12일째 자어는 전장 $10.49 \pm 0.4 \text{ mm}$ ($n=5$)로 난황을 모두 소비하였으며 등지느러미, 배지느러미가 부채 모양으로 융기되었고 가슴지느러미가 원형으로 발달하였다. 또한 난황을 모두 흡수한 자어는 먹이활동을 시작하였다(Fig. 4Da, Db).

부화 후 18일째 자어는 전장 $15.61 \pm 0.8 \text{ mm}$ ($n=5$)로 배지느러미가 형성되었고 등지느러미 줄기의 길이가 길어졌으며, 활발한 먹이활동을 보여주었다. 또한 아가미 뚜껑 윗부분을 비롯해 몸 전체에 점 모양으로 흑색소포가 침착되었다(Fig. 4E).

부화 후 22일째 자어는 전장 $21.89 \pm 0.8 \text{ mm}$ ($n=5$)로 이 시기의 각 부위별 지느러미 줄기 수를 살펴본 결과, 등지느러미는 26개로 증가하였고, 뒷지느러미는 13개로 증가하였다. 또한 꼬리지느러미는 판형의 꼬리지느러미로 지느러미 줄기 수는 18개로 증가하였다(Fig. 4F).

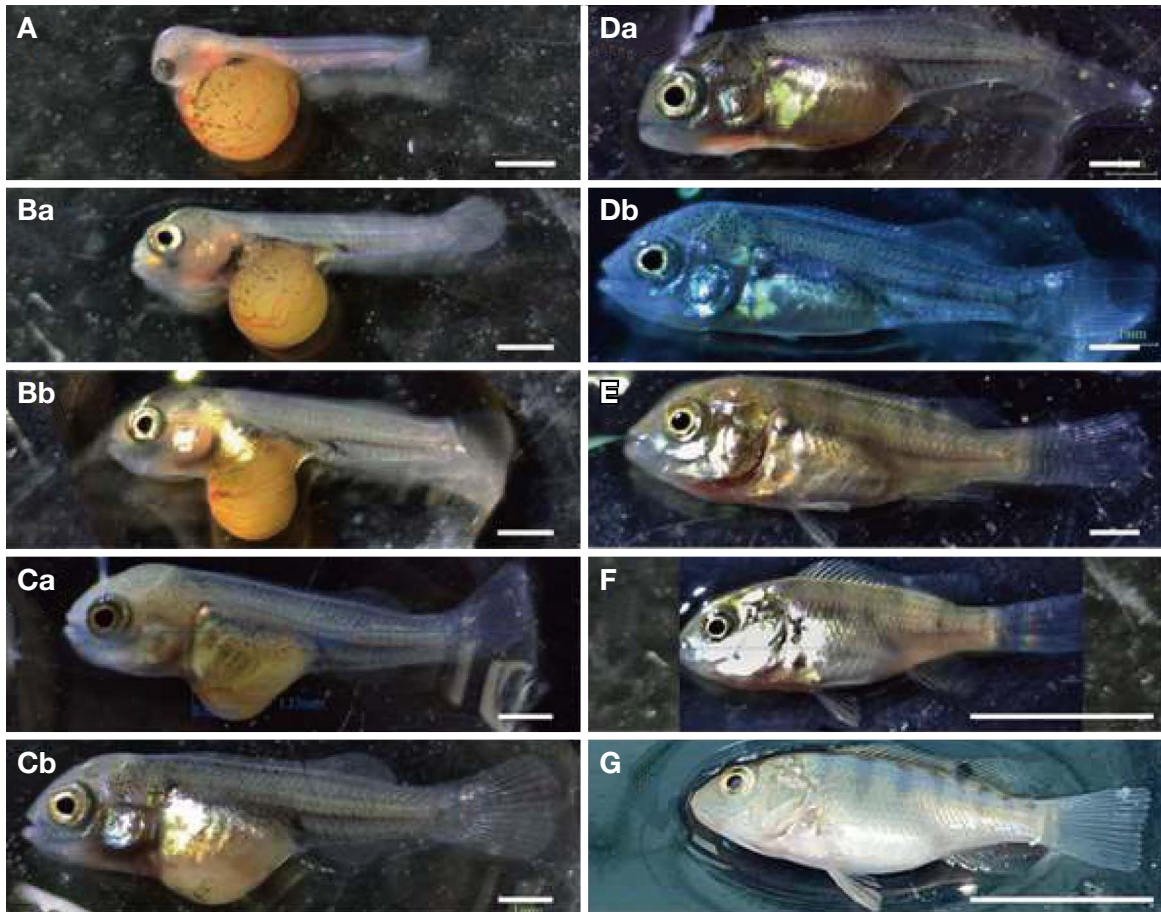


Fig. 4. Morphological development of the larvae and juvenile of *Oreochromis niloticus*.

부화 후 28일째에는 치어기에 도달하였는데, 전장 25.88 ± 0.8 mm ($n=5$)로 성장함에 따라 체고가 급격히 증가하였고 지느러미의 형태와 비율은 어미와 비슷해졌으며 체표의 무늬 또한 성어와 같은 가로 줄무늬가 선명하게 나타났다(Fig. 4G). 등지느러미 중앙에 틸라피아 반점이라고 불리는 틸라피아 특유의 무늬(Holden and Bruton, 1992)가 나타났다.

고 찰

초기생활사에서 나타나는 발생 과정과 자치어의 형태발달은 종의 판별과 더불어 종 보존에 있어 매우 중요한 기초자료로 이용된다(Seo *et al.*, 2010). 일부 특징들의 경우 종을 판별하는 형질 분류의 키가 되기도 하며, 각각의 어류들은 고유한 초기생활사를 지니고 있어 이들의 비교분석을 통한 생태, 자원량의 평가 등이 가능하여 초기생활사 연구는 매우 중요하다(Cha, 2002).

나일틸라피아 난의 형태는 서양배 형태로 유구(Oil globule)는 없었으며, 부착성이 없는 침성란이었다. 난경은 2.78 mm

(± 0.2 mm)로 근연종인 모잠비크틸라피아의 난은 2.72 mm (± 0.1 mm)로 나일틸라피아의 난과 유사하였다(Tachihara and Obara, 2003).

나일틸라피아의 부화까지 소요 시간은 평균수온 28°C에서 부화까지 120시간이었고, 근연종인 모잠비크틸라피아는 수온 26°C에 88시간이 소요된 것으로 보고된 바가 있다(Tachihara and Obara, 2003). 부화 직후의 나일틸라피아 전기자어의 평균 전장은 5.41 mm, 모잠비크틸라피아 전기자어의 평균전장은 4.0 mm로 전장을 비교하였을 때 나일틸라피아의 성장 양상이 좀 더 큰 것으로 나타났다(Tachihara and Obara, 2003). 후기자어기는 부화 후 12일 뒤였으며 평균전장 10.49 mm로 모잠비크틸라피아 평균전장 7.6 mm와 차이가 있었다(Tachihara and Obara, 2003). 치어기에 진입하기까지 부화 후 28일이 소요되었으며 평균전장 25.88 mm로 모잠비크틸라피아 평균전장 11.4 mm와 차이를 확인할 수 있었다(Tachihara and Obara, 2003).

자치어 발달기의 구분은 형태적 특징에 기반하였으며, 난막을 뚫고 나온 부화 직후인 전기자어기는 입과 가슴지느러미를 움직이기 시작하는 기점으로 구분하였고, 후기자어기는 난황을 모두

흡수하여 먹이 섭취를 시작하는 단계로 구분된다(Tachihara and Obara, 2003). 치어기에 접어들면서 틸라피아 특유의 반점이 형성됨과 동시에 체표에 줄무늬가 나타나는데 이는 틸라피아 종이 치어기에 도달하였을 때 나타나는 형질인 것으로 알려져 있다(Tachihara and Obara, 2003).

계통발생학적 관점에서 흥미로운 점으로 모잠비크틸라피아와 southern mouthbrooder (*Pseudocrenilabrus philander*)는 나일 틸라피아와 근연종이며, 이들의 난발생과 부화 패턴은 매우 유사한 형태로 보고된 바가 있다(Holden and Bruton, 1994). 다양한 어류상에서 다양한 난발생과 부화 패턴을 지니며, 이는 개별 종마다 지니는 고유한 특성으로 유전학적으로 가까운 근연종일 수록 비슷한 양상을 보여주는 것으로 판단된다.

나일틸라피아의 경우 강한 생존력과 적응성에 의해 세계 100 대 외래종에 선정된 바가 있다. 국내 생태계 또한 외래종의 도입으로 인해 출현빈도가 지속적으로 높아지는 추세이며, 효과적인 관리방안을 위해서 이들의 생태에 관한 연구가 매우 중요하다. 특히 초기생활사에 관한 연구는 향후 외래종의 지속적인 관리방안을 제시할 수 있으며, 생태적 연구에서 중요한 위치에 있다.

국내에서 실시된 나일틸라피아의 선행 연구는 나일틸라피아의 유전자 발현 및 성호르몬 연구(Park *et al.*, 2016), 성 분화에 관한 연구(Kwon and Kwon, 2006), 나일틸라피아의 삼배체 유도연구(Jeong, 1990) 등의 다양한 연구가 수행되었으나 초기생활사에 관한 국내 연구자료는 부족한 실정이다.

본 연구는 나일틸라피아의 난발생과 자치어의 형태발달을 관찰하였으며, 추후 담수 시클리드과 어류 또는 타 어종 간 초기생활사의 비교분석 또는 교잡 틸라피아의 난발생과 부화 패턴의 연구에서 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

결론

본 연구를 통해 세계적인 양식 대상종이자 국내 하천 생태계에 정착한 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*)의 초기생활사적 특성을 규명하였다. 수온 $28 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 조건에서 나일틸라피아는 수정 후 120시간 만에 부화에 성공하였으며, 이는 근연종인 모잠비크틸라피아에 비해 긴 부화 시간을 필요로 하나, 부화 직후 자어의 크기(5.41 mm) 및 치어기에 도달하는 성장 속도(25.88 mm) 면에서는 더욱 우세한 성장 양상을 보였다. 특히 부화 후 28일경에 나타나는 ‘틸라피아 반점’과 체표의 가로 줄무늬는 이들이 성어와 유사한 형태적 완성도를 갖춘 치어기에 진입했음을 알리는 중요한 지표임을 확인하였다. 결론적으로, 본 연구에서 확보한 상세한 난발생 단계 및 자치어 발달 과정에 대한 정보는 국내 환경에 적응한 나일틸라피아 개체군의 생물학적 이해를 높이는 데 기여할 것이다. 나아가 이러한 기초자료는

효율적인 양식 생산 관리뿐만 아니라, 온배수 유입 하천 등 특정 수역에서 확산되고 있는 외래종 나일틸라피아의 생태적 관리 및 조절 방안을 수립하는 데 있어 핵심적인 근거로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- Cha, S.S., 2002. Review on the studies of ecology of fish in their early life stages off Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 14(1), 76-82.
- Charo-Karisa, H., M.A. Rezk, H. Bovenhuis and H. Komen, 2005. Heritability of cold tolerance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, juveniles. *Aquaculture*, 249(1-4), 115-123.
- Figueredo, C.C. and A. Giani, 2005. Ecological interactions between Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) and the phytoplanktonic community of the Furnas Reservoir (Brazil). *Freshw. Biol.*, 50(8), 1391-1403.
- Gozlan, R.E., S. St-Hilaire, S.W. Feist, P. Martin and M.L. Kent, 2005. Disease threat to European fish. *Nature*, 435(7045), 1046.
- Holden, K.K. and M.N. Bruton, 1992. A life-history approach to the early ontogeny of the Mozambique tilapia *Oreochromis mossambicus* (Pisces, Cichlidae). *Afr. Zool.*, 27(4), 173-191.
- Holden, K.K. and M.N. Bruton, 1994. The early ontogeny of the southern mouthbrooder, *Pseudocrenilabrus philander* (Pisces, Cichlidae). *Environ. Biol. Fishes*, 41(1), 311-329.
- Jeong, W.G., 1990. Induction of triploidy, gonadal development and growth in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Master Thesis, Cheju National University, Jeju.
- Kang, C.B., J.K. Kim, K.H. Han and J.G. Myoung, 2025. Revised Classification and Checklist of Korean Native Fishes. *Korean J. Ichthyol.*, 37(4), 398-460.
- Kim, D.S. and I.S. Park, 1990. Genetic identification of hatchery reared tilapia strains. *J. Aquac.*, 3(1), 31-37.
- Kim, I.S. and J.Y. Park, 2002. Freshwater Fishes of Korea. Kyohak, Seoul. 465pp.
- Kwon, J.Y. and H.C. Kwon, 2006. The timing of aromatase action for sex differentiation in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Dev. Reprod.*, 10(3), 197-202.
- Molnar, J.L., R.L. Gamboa, C. Revenga and M.D. Spalding, 2008. Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Front. Ecol. Environ.*, 6(9), 485-492.
- Munro, A.D., A.P. Scott and T.J. Lam (Eds.), 1990. Reproductive seasonality in teleosts: Environmental influences (Vol. 264). Boca Raton: CRC press.
- Nelson, J.S., T.C. Grande and M.V.H. Wilson, 2016. Fishes of the world. 5th ed. John Wiley & Sons Inc., New York, U.S.A., 707pp.
- NIER, 2015-2016. The Survey and Evaluation of Aquatic Ecosystem Health in Korea. National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- Park, J.W., J.Y. Kwon, Y.H. Jin and S.Y. Oh, 2016. Effects of fasting on brain expression of Kiss2 and GnRH I and plasma levels of sex

- steroid hormones, in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Ocean Polar Res.*, 38(1), 81-88.
- Rakocy, J.E., 2005. Cultured aquatic species information programme. *Oreochromis niloticus*. FAO Fisheries and Aquaculture Department.
- Seehausen, O., 1996. Lake Victoria Rock Cichlids. Verduyn Cichlids, Zevenhuizen.
- Seo, W.I., D.J. Yoo, S.G. Byun, Y.C. Kim, S.H. Lee, I.H. Yeon, H.S. Yim and B.I. Lee, 2010. Spawning behavior and early life history of endangered *Cottus hangiongensis*. *Korean J Fish. Aquat. Sci.*, 43(1), 46-53.
- Tachihara, K. and E. Obara, 2003. Morphological development of embryos and juveniles in the Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus* as a direct developmental fish under rearing conditions. *Aquacult. Sci.*, 51(3), 295-306.
- Trewevas, E., 1983. Tilapiine Fishes of the Genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum of Natural History, Publ. Num. 878. Comstock Publishing Associates. Ithaca, New York, 585pp.
- Turner, G.F., O. Seehausen, M.E. Knight, C.J. Allender and R.L. Robinson, 2001. How many species of cichlid fishes are there in African lakes?. *Mol. Ecol.*, 10(3), 793-806.
- Yoon, J.D., J.H. Kim, S.H. Park and M.H. Jang, 2018. The distribution and diversity of freshwater fishes in Korean Peninsula. *Korean J. Ecol. Environ.*, 51(1), 71-85.
- Zhang, H., 2023. Correlation between single nucleotide polymorphism from IGF-1 gene with body weight gain of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Ph.D. Thesis, Pukyung National University, Busan.