

Original article

멸종위기 야생생물 금개구리 (*Pelophylax chosonicus*)의 난 발생 및 먹이 종류에 따른 올챙이의 성장 및 생존율 분석

김근식 · 송예빈¹ · 박창득 · 강동원 · 윤주덕*

국립생태원 멸종위기종복원센터, ¹서울여자대학교 생명환경공학과

Characterizing Development of Endangered Gold-spotted Pond Frog (*Pelophylax chosonicus*) Focused on Egg Development and Growth and Survival Rates of Tadpoles with Different Feed. Keun-Sik Kim (0000-0002-2081-2589), Yebin Song¹ (0000-0001-7205-2668), Chang-Deuk Park (0000-0002-7832-2806), Dong Won Kang (0000-0003-1799-8295) and Ju-Duk Yoon* (0000-0003-1667-327x) (Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology, Yeongyang 36531, Republic of Korea; ¹Department of Bio & Environmental Technology, Seoul Women's University, Seoul 01797, Republic of Korea)

Abstract We studied the development of the endangered gold-spotted pond frog, *Pelophylax chosonicus* eggs and analyzed growth and survival rate of the tadpoles while feeding different feed to obtain the basic data on the its biological traits and reproduction. We observed the fertilized eggs of gold-spotted pond frog that naturally spawned in a breeding tank using a microscope. Fertilized eggs were sphere shape surrounded by colloid layers, clearly distinct with animal and plant poles. The fertilized eggs hatched 31 hours after fertilization and operculum complete at 175 hours after fertilization at water temperature of $27.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$. As a result of growth and survival rate by different feed from 35 days after mouth open stage, vegetable feed (VF) group and tetra-min (T) group were significantly higher average weight gain rate (WG) (5843.9% and 5736.3%, respectively) and average specific growth rate (SGR) (11.67% and 11.62, respectively) compared with other groups (WG: 641.8~4625.2%, SGR: 5.72~11.01%). The vegetable (V) group showed the lowest growth rate ($P < 0.05$). The average feed efficiency was 177.83% in the VF group, about 17 times higher than the V group. In addition, the average survival rate of the VF and T groups were the high at 97.5% and 100%, respectively, and the V group was the lowest at 32.5%. Therefore, the more efficient feeds for successful breeding is singly with VF or T.

Keywords: egg development, growth rate, survival rate, *Pelophylax chosonicus*, feeds

서 론

한 종의 난 발생 및 초기생활사 연구는 해당 종에 대한

이해와 함께 분류학적, 생태학적 지식 등을 확보할 수 있으며, 생물자원의 보전 및 보호 등 다양한 분야에 이용할 수 있다. 산란시기, 수온 등의 번식관련 환경생물학적 특성과 더불어 난의 형태적 특성과 발생 등은 해당 종에 대한 많은 정보를 제공할 수 있으며, 유사종과의 분류학적 유연관계를 밝히는 데도 유용하게 이용될 수 있다.

Manuscript received 13 August 2020, revised 7 September 2020, revision accepted 7 September 2020
* Corresponding author: Tel: +82-54-680-7360, Fax: +82-54-680-7329
E-mail: grandblue@nie.re.kr

양서류는 유생단계인 올챙이 시기에는 아가미 호흡을 하고,变态하여 성체인 개구리나 도롱뇽이 되어서는 허파 호흡, 피부호흡을 함으로써 수생태계와 육상생태계에 적응되어 있다(Gang and Yoon, 1975). 또한 육상의 곤충류뿐 아니라 수생태계에서 수서곤충, 갑각류, 환형동물 등을 비롯한 저서성 무척추동물을 먹이원으로 하여 살아가는 포식자이며(Yoon *et al.*, 1998), 담수에 넓게 분포하고 있다.

양서류는 세계적으로 가장 빠르게 절멸될 수 있는 분류군으로 다른 분류군에 비해 양서류의 개체군은 급격하게 줄어들고 있는 것으로 보고되어 있으며(IUCN, 2020), 주요 감소 원인으로는 서식지 파괴, 질병, 외래종 도입, 환경오염, 남획 등이 있다(Sung *et al.*, 2009). 우리나라에는 19종의 양서류 중 총 4종이 멸종위기 야생생물로 지정되어 있는 실정이다(MOE, 2012). 특히 금개구리(*Pelophylax chosonicus*)는 척삭동물문(Phylum Chordata) 양서류강(Class Amphibia) 개구리목(Anura) 개구리과(Ranidae)에 속하는 소형 척추동물로 인천, 경기, 충북, 충남, 전북 등 우리나라 서부와 전라북도 일부지역에 서식하는 종으로 주로 저지대의 농경지, 습지, 저수지 등에 서식한다(Lee and Park, 2016). 몸길이는 4~6 cm 정도이고 등면은 녹색, 암녹색, 또는 암갈색으로 주변 환경에 따라 체색이 다양하게 변하며 배면은 대부분 황색 또는 금색이다. 특히 눈 뒤에서부터 등면 양쪽에 갈색 혹은 금색의 뚜렷한 융기선 2줄이 있어 3줄인 참개구리와 쉽게 구분되는 형태적 특징을 가지고 있다(Lee and Park, 2016). 금개구리는 농경지를 주 서식지로 활용하기 때문에 농약에 노출되어 있고, 농지를 다른 용도로 전환하는 개발행위로 인해 서식지 또는 산란지 훼손이 발생하며, 그 밖에도 주택과 도로의 건설, 수질오염, 외래종인 황소개구리에 의한 피식 등이 개체군 위협요인으로 작용하고 있다(Sung *et al.*, 2009; NIBR, 2018). 이에 따라 우리나라 멸종위기 야생생물 II급에 속하며, 세계적색목록과 한국적색목록에 취약(Vulnerable)으로 지정되어 있다(NIBR, 2018).

금개구리에 대한 연구는 Yoon *et al.* (1998)의 식성에 관한 연구를 시작으로 최근까지 활발하게 이루어지고 있으나 금개구리의 서식지 특성과 행동권 연구(Ra *et al.*, 2008), 금개구리의 이동특성 연구(Sung *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2018), 금개구리의 유전적 다양성 연구(Park *et al.*, 2009), 금개구리 서식지의 수질 연구(Borzée *et al.*, 2018) 등 대부분의 연구가 서식지 및 생태특성 연구에 치중되어 있다. 증식·복원에 대한 연구는 Ra *et al.* (2007)이 올챙이의 적정 먹이원 분석을 한 바 있으나 현저히 부족한 실정이다. 올챙이는 일반적으로 초식동물(herbivore), 잔사식생물(detritivore)로 알려져 있으며(Altig *et al.*, 2007), 먹이

원이 부족할 경우 올챙이는 배설물과 같은 찌꺼기(feces)를 먹고, 제한된 번식지 내에서 개체군의 밀도가 높은 경우 일부 종에 있어서는, 올챙이 간의 경쟁이 치열해져 동종섭식(cannibalism)을 하기도 한다(Steinwascher, 1978; Jefferson *et al.*, 2014). 올챙이 발생, 성장,变态와 같은 특성은 환경적 요인의 큰 영향을 받기 때문에(Steinwascher, 1978; Semlitsch, 1987), 양서류의 성공적인 증식을 위해서 가장 중요한 것은 올챙이의 영양과 소화에 대한 이해이다(Pryor, 2014).

따라서 본 연구는 멸종위기종인 금개구리의 난 발생 과정을 관찰해 유사종 간의 분류학적 유연관계를 비교할 기반을 마련하고, 올챙이의 초기 먹이에 따른 영향을 분석하여 금개구리를 증식할 때 손쉽게 이용할 수 있고, 효과적인 먹이원을 밝힘으로써 효율적인 증식기반을 마련코자 하였다.

재료 및 방법

1. 포획허가 및 성체 포획

금개구리(*Pelophylax chosonicus*)는 환경부 지정 멸종위기 야생생물 II급에 해당하는 종으로 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」에 따라 관찰 환경청으로부터 포획·보관·훼손 허가를 받아 진행하였다(허가번호: 제 2018-33호). 금개구리의 증식을 위한 원종은 2018년 충청남도 아산시 선장면 일대의 논에서 야간에 손을 이용해 직접 포획하였다. 등 쪽 융기선 2줄을 기준으로 동정한 금개구리 중 눈 크기 대비 고막 크기를 기준하여 암컷과 수컷을 1:1 비율로 20개체를 선별하였다. 선별한 개체들은 공기가 통하도록 뚜껑에 구멍을 내고, 수분 공급을 위해 바닥에 생수에 적신 와이프올을 넣은 60L 운반용 통(가로 : 63.2×세로 : 43.7×높이 : 32.6 cm)을 이용하여 연구실로 운반하였다.

2. 사육환경 및 산란유도

운반한 금개구리는 암수 5마리씩 나누어 순환여과와 유수가 가능한 PVC 수조(가로 : 99.0×세로 : 45.0×높이 : 40.0 cm)에 수용하였다. PVC 수조는 3개를 한 세트로 모래, 바이오볼, 시포락스로 이루어진 여과재로 여과한 후 원활한 찌꺼기 배출을 위해 순환여과식으로 수류를 주었으며, 일일 환수량은 약 20%였다. 수조 내부에는 스펀지를 계단식으로 깔고, 물이끼(Sphagnum moss, New Zealand)를 10 cm 내외로 쌓아 올렸고, 수위는 5 cm 내외로 조정하였다. 수온은 여과조에 티타늄히터(OKE-HE185, 세원)를

온도조절기(OKE-6428HC, 세원)를 이용해 $27.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 로 유지하였으며, 기온은 냉난방기를 이용해 $23.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 로 유지하였고, 스팟 램프를 사용하여 하루 9시간씩 자연광 이외의 빛을 공급하였다. 먹이는 성충 귀뚜라미를 하루 1회, 개체당 2마리씩 공급하였다. 귀뚜라미의 먹이는 일반적으로 이용하는 사료에 영양강화를 위해 비타민 C, E(참신 이와씨, 참신, 한국), 소화제(바이오 웨스타 플러스, 참신, 한국), 글루타치온(참신 리버웰, 참신, 한국) 등을 묻힌 야채를 공급하였다.

금개구리의 산란유도를 위해 3달 동안 한 달에 한번 지속적으로 전체 개체를 하나의 수조에 두 시간씩 합사 후 무작위로 암수 5마리씩 나누어 수용하였다.

3. 발생 조사

금개구리가 산란한 난은 산란 즉시 사이폰을 이용해 수거하였으며, 1회용 스포이드를 이용하여 불순물 및 죽은 난을 제거하였다. 이후 수조에 패트리디쉬가 30% 정도가 물에 잠기도록 넣어준 후 수중히터(100 W)를 이용하여 $25.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$, $27 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 를 유지하였으며, 전체 수조의 온도를 일정하게 유지하기 위해 측면 여과기(NSF-260, 한국)를 이용해 순환시켰다. 패트리디쉬에 금개구리 난 30여개를 올려놓은 후 현미경(SMZ745T, Nikon)을 이용하여 시간대별로 관찰하였다. 발생단계의 결정은 전체 난의 50% 이상이 해당 발달 단계를 도달하였을 때를 기준으로 하였다. 발생단계의 기준은 Gosner (1960)의 개구리목의 알과 유생 발생 단계별 체계를 따랐다.

4. 먹이별 올챙이의 성장 및 생존

금개구리 올챙이의 먹이 공급별 성장률 및 생존율을 확인하기 위해 500 mL 사육 용기에 절반 정도의 물을 채운 후 무게를 맞춰 개구한 올챙이 20마리씩을 2반복구로 수용하였다. 수온은 수중히터(100 W)를 이용하여 $25.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 를 유지하였으며, 전체 수조의 온도를 일정하게 유지하기 위해 측면 여과기(NSF-260, 한국)를 이용해 순환시켰다. Ra *et al.* (2007)의 연구를 참고하여 먹이공급 실험군은 총 6개로 야채공급군, 테트라민 공급군, 식물성사료(미세조류가 첨가된 사료) 공급군, 동물성사료 공급군, 테트라민 + 야채 공급군, 식물성사료 + 동물성사료 공급군으로 설정하였으며, 야채공급군은 배추와 시금치를 물에 충분히 삶아 공급하였고, 테트라민 공급군은 테트라사의 테트라민을 공급하였다. 식물성사료는 PRODAC사의 베지터블 시클리드 그래놀을 공급하였고, 동물성사료는 오토히메-EPO를 공급하였다. 먹이는 만복급이가 될 수 있도록 1주차는

0.05 g, 2주차는 0.06 g, 3주차는 0.07 g, 4주차는 0.10 g, 5주차는 0.20 g을 하루에 1회씩 공급하였다. 혼합공급군은 무게를 기준으로 정확하게 50:50으로 공급하였다. 성장률을 확인하기 위해서 실험셋팅 1일자부터 1주일 간격으로 총 5주차까지 계측을 수행하였으며, 1~3주차까지는 올챙이 전체 무게를 기준으로 계측하였고, 4~5주차에는 각각 개체별 무게를 계측하였다. 초기 무게와 최종 무게를 기준하여 증체율(percent weight gain, %), 일간성장률(specific growth rate, %/day), 사료효율(feed efficiency, %) 및 생존율(survival rate, %)을 식으로 구하였다. 단, 사료효율을 계산할 때에는 사망한 개체의 무게를 포함하였으며, 사망개체의 무게는 각 계측 주차의 평균 무게로 합산하였다.

$$\text{증체율}(\%) = (\text{최종무게} - \text{초기무게}) \times 100 / \text{초기무게}$$

$$\text{일간성장률} = 100 \times (\ln \text{최종무게} - \ln \text{초기무게}) / \text{실험기간(일)}$$

$$\text{사료효율} = 100 \times (\text{최종무게} - \text{초기무게}) / \text{누적사료량}$$

5. 통계처리

먹이원 간 성장률 및 증체율 차이를 파악하기 위해서 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 사후검정은 Tukey b로 평균간 유의성을 95% 수준에서 검정하였다. 모든 통계분석은 SPSS 12.0(SPSS Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 난 발생

금개구리는 연구기간 동안 총 2회 사육장에 자연산란하였으며, 난의 형태는 교질층에 둘러싸인 구형으로 알주머니의 장축 방향으로 1줄로 배열되어 있었다. 수정률은 모두 95% 이상이었으며, 알 크기는 단경 $2.39 \pm 0.183 \text{ mm}$ ($n=20$), 장경 $2.55 \pm 0.148 \text{ mm}$ ($n=20$)였고, 동물극은 색소체를 포함하여 흑갈색을 띠었고, 식물극은 이에 비해 옅은 담황색을 띠었다.

금개구리의 난 발생과정을 27°C 에서 관찰한 결과 금개구리의 수정란은 전할이며, 부동할의 특징을 보였다. 수정 후 30분이 경과하면서 회색신월환(gray crescent)이 나타났으며(Fig. 1a), 수정 후 2시간이 경과하면서 동물극 쪽에서부터 두 갈래로 갈라지고, 수직이등분한 할구가 만들어지면서 2세포기에 달했다(Fig. 1b). 수정 후 2시간 30분에

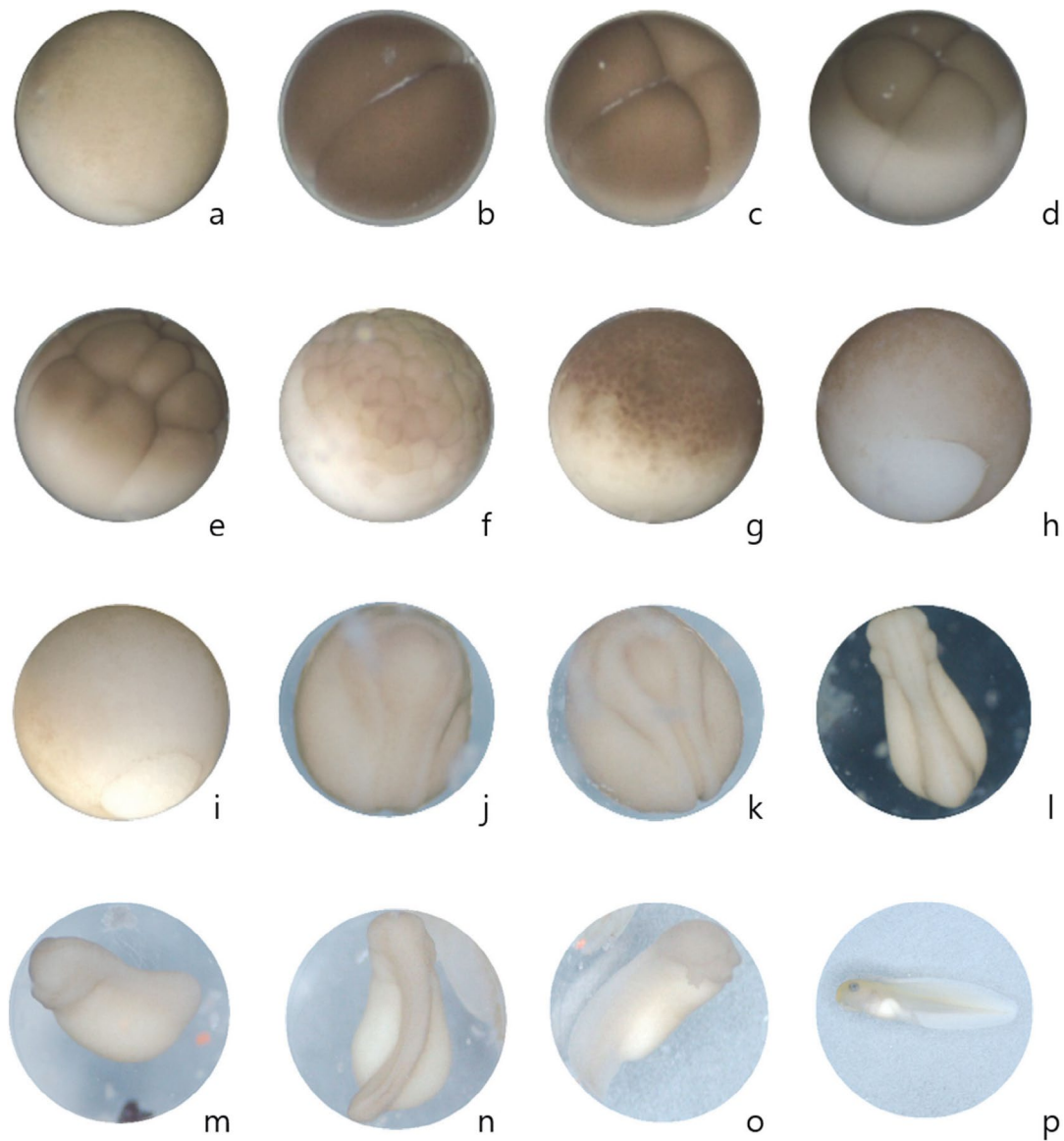


Fig. 1. Developments of eggs and tadpoles of *Pelophylax chosonicus*.

는 동물극 쪽 할구에서부터 수평 난할이 일어나 같은 크기로 이분되어 4세포기에 달했다(Fig. 1c). 수정 후 3시간에는 수평 난할이 위와 같은 방식으로 일어나 8세포기에 달하였으며(Fig. 1d), 수정 후 3시간 30분에는 16세포기에 달하였고(Fig. 1e), 수정 후 4시간에는 32세포기에 달했다. 수정 후 5시간에는 세포의 분열 수가 증가하면서 상실기(Fig. 1f)에 달하면서 세포의 수를 개수할 수 없을 정도로 분열하였다. 수정 후 6시간이 지난 후에는 할구의 크기가 점점 작아져 포배기에 달하였고(Fig. 1g), 수정 후 8시간이 지난 후에는 원구배순(dorsal lip)이 관찰되어 낭배기에 달했다(Fig. 1h). 수정 후 12시간 30분이 지난 후에는

배환이 난황을 점차 덮어 내려오면서 중·후기 낭배기에 달했다(Fig. 1i). 수정 후 18시간 30분에는 배환이 식물극을 완전히 덮어 배체가 형성되었으며, 신경판(neural plate)이 완벽히 형성되었다(Fig. 1j). 수정 후 23시간에는 신경판 주위에 신경습(neural fold)이 형성되었고(Fig. 1k), 수정 후 25시간에는 회전하였으며, 수정 후 28시간에는 신경관(neural tube)이 형성되었다(Fig. 1l). 수정 후 31시간에는 미아기(tail bud)에 도달하였고(Fig. 1m), 부화가 시작되었다. 수정 후 33시간 30분 후에는 근육반응이 이루어졌으며(Fig. 1n), 수정 후 50시간에는 심장박동이 관찰되었으며, 부화가 완료되었다. 수정 후 55시간에는 아가미 순환을 시

작하였고(Fig. 1o), 수정 후 95시간에는 개구가 완료되었으며(Fig. 1p), 수정 후 105시간에는 꼬리지느러미 순환이 이루어졌다. 수정 후 125시간에는 아가미 뚜껑 주름이 형성되었고, 수정 후 150시간에는 아가미 뚜껑이 닫히기 시작하여, 수정 후 175시간에 아가미 뚜껑을 완성하는 단계에 도달하였다. 이는 Gosner(1960)의 양서류 배아와 유생 발생 단계도와 일치하였으며, 아프리카발톱개구리(*Xenopus laevis*), budgett's frog(*Lepidobatrachus laevis*)의 난 발생 과정과도 유사하였다(Amin *et al.*, 2015).

2. 공급 먹이별 올챙이의 성장 및 생존

금개구리 올챙이를 대상으로 서로 다른 조건의 먹이를 공급하는 실험을 진행하는 도중 동종섭식(cannibalism)은 관찰되지 않았다. 초기 실험 올챙이의 평균무게는 0.0051 g으로 개체 간 평균 무게 차이 측정이 불가능하였다. 채소 공급군의 올챙이는 대부분 공급한 채소를 먹지 않았고, 실험 1주차부터 평균 무게는 0.0126±0.00025 g으로 가장 낮았으며, 나머지 공급군의 올챙이 평균 무게인 0.0253±0.00008~0.0268±0.00050 g과 약 두 배 정도가 낮게 나타나 큰 차이를 보였다. 실험 3주차에는 평균 무게가 0.0194±0.00200 g인 반면 4주차에는 평균무게가 0.0144±0.00044 g으로 나타나 오히려 성장이 줄어드는 양상을 보였다. 이는 채소 공급군 내 큰 개체들이 사망한 결과로 판단된다. 실험 5주차인 앞다리 변태직전 까지도 채소 공급군은 다른 공급군에 비해 성장이 매우 낮았다(Fig. 2).

반면 테트라민 공급군과 식물성 사료 공급군은 실험 3주차에 평균 무게가 각각 0.1746±0.00270 g, 0.1635±0.00963 g으로 나타나 유사하였고, 다른 공급군에 비해 성장이 빠른 양상이 나타났다. 특히 실험 5주차에는 두 공

급군의 올챙이의 평균 무게는 각각 0.2977±0.00540 g, 0.3031±0.01944 g으로 다른 공급군의 올챙이에 비해 빠른 성장을 보였다. 실험 5주차 동물 사료 공급군의 올챙이 평균 무게는 0.1623±0.00153 g으로 사료 단일 공급군 중 가장 낮았다. 두 혼합공급군은 유사한 성장 패턴을 보였는데 식물성+동물성 사료 공급군은 독립적으로 식물성과 동물성 공급군의 중간 정도의 성장을 보인 반면 테트라민+채소 공급군은 독립적으로 테트라민과 채소 공급군 중간이상의 성장을 보였다.

각 먹이 공급군별 생존율을 분석한 결과 테트라민과 식물성 사료 공급군이 각각 100%, 97.5±2.50%로 가장 높았으며, 채소 공급군이 32.5±2.50%로 가장 낮았고, 두 공급군 간 통계적으로 유의했다(Table 1). 동물성 사료 공급군은 생존율이 75.0±25.0%로 다른 단일 사료 공급군에 비해 낮았으며, 식물성+동물성 사료 공급군의 생존율 또한

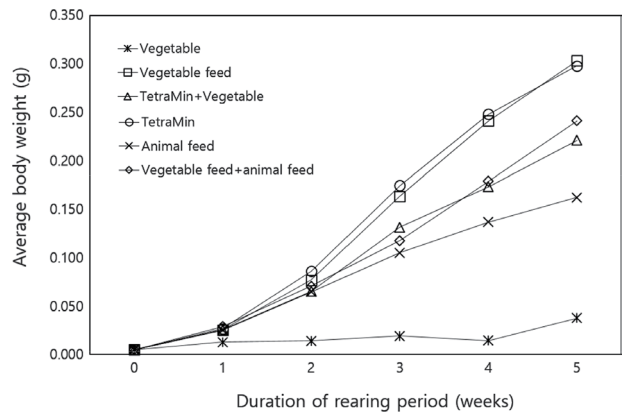


Fig. 2. Variation of average body weight of *Pelophylax chosonicus* tadpoles after 35-day rearing with different feed.

Table 1. Initial body weight, average final body weight, survival rate, specific growth rate and feed efficiency of *Pelophylax chosonicus* tadpoles after 35-day rearing with different feed.

Parameter	Vegetable	Tetramin (T)	Vegetable feed (VF)	Animal feed (AF)	T + VF	VF + AF
Initial body weight (g)	0.0051	0.0051	0.0051	0.0051	0.0051	0.0051
Ave. final body weight (g)	0.0378±0.00183	0.2977±0.00540	0.3031±0.01944	0.1623±0.00153	0.2210±0.00184	0.2410±0.00651
Survival rate (%)	32.5±2.50	100.0±0.00	97.5±2.50	75.0±25.0	90.0±0.00	82.5±12.50
Weight gain (%)	641.8±35.9 ^d	5,736.3±105.9 ^a	5,843.9±381.2 ^a	3,082.8±29.9 ^c	4,232.4±36.1 ^b	4,625.2±127.7 ^b
Specific growth rate (%)	5.72±0.14 ^d	11.62±0.05 ^a	11.67±0.18 ^a	9.89±0.03 ^c	10.77±0.02 ^b	11.01±0.08 ^b
Feed efficiency (%)	10.29±0.09 ^d	174.14±3.21 ^a	177.83±12.00 ^a	90.59±3.91 ^c	118.77±4.28 ^b	131.68±1.54 ^b

^{abcd} mean values on the same line that are not affected by same letter are significantly different based on one-way ANOVA followed by Turkey b multiple comparison test (P<0.05).

82.5±12.50%로 비교적 낮게 나타났다. 먹이 공급군별 성장특성을 분석한 결과 증체율(%)은 식물성 사료 공급군이 5843.9±381.2%로 가장 높았으며, 테트라민 공급군과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(one-way ANOVA, $p>0.05$). 반면 채소 공급군은 641.8±35.9%로 가장 낮았고, 동물성 사료 공급군이 3082.8±29.9%로 낮았으며 다른 단일 사료 공급군들과 통계적으로 유의한 차이를 보였다(one-way ANOVA, $p<0.05$). 혼합 공급군은 테트라민, 식물성 사료 공급군과 동물성 사료 공급군의 중간값을 보였다. 일일 성장률(%)은 5.72±0.14~11.67±0.18%의 범위로 나타났으며, 성장률 및 증체율과 동일한 순서로 통계적으로 유의한 차이를 보였다(one-way ANOVA, $p<0.05$). 사료 효율은 채소 공급군이 10.29%로 가장 낮았으며, 가장 높은 식물성 사료 공급군의 177.83±12.00%와 약 17배 차이를 보였다.

대부분 종의 올챙이가 야생에서 본래 초식성(herbivorous)이라고 알려져 있다(McDiarmid and Altig, 1999). 초식성 올챙이는 육식성 생물에 비해 긴 창자를 가지고 있으며 식물성 먹이량이 많을수록 내장 길이와 질량이 증가하는 것으로 보고되어 있다(Altig and Kelly, 1974). 본 연구결과에서는 초식성인 올챙이의 주 먹이원으로 예상했던 채소 공급군의 생존율 및 성장률이 가장 낮은 것으로 조사됨에 따라 금개구리 올챙이가 다른 먹이원도 함께 활용할 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

올챙이를 실내에서 사육할 때는 동물성 함유량이 높은 먹이를 선호하며(Taylor *et al.*, 1995), 동물성 성분을 포함한 먹이를 급이할 경우 성장, 발생, 생존율을 향상시키는 연구결과가 다수 존재한다(e.g. Nagai *et al.*, 1971; Crump, 1990; Godome *et al.*, 2018). 많은 수의 연구에서 적절한 단백질의 공급은 올챙이의 성장과 발달을 촉진시키는 것으로 알려져 있다(Nathan and James, 1972; Pandian and Marian, 1985; Pfennig, 1990; Kupferberg, 1997). 이는 동물성 먹이가 세포벽을 가지고 있는 식물이나 조류보다 빠르게 소화 및 흡수가 가능하기 때문이다(Pryor, 2014). 본 실험에서도 채소 공급군에 비해 사료 공급군에서 성장이 빠르고, 생존율이 높은 것을 확인할 수 있었다. 동물성 사료 성분과 식물성 사료 성분이 적절히 함유된 테트라민과 식물성 사료가 성장을 촉진하고, 생존에 유리한 것으로 나타났다. 테트라민 구성성분이 조단백이 42~47%이며, 식물성 사료의 조단백은 43%의 단백질 함량을 가지고 있다. 반면 동물성 함유량이 가장 높은 오토히메(평균 74%) 사료의 경우에는 오히려 성장률 및 생존율이 다른 사료들에 비해 낮아지는 결과를 보였다. 따라서 금개구리의 성장 및 생존에 있어서 동물성은 필수이지만, 적절한 식물성 성분

을 동시에 공급해야 한다는 점을 의미하며, 극단적인 동물성 사료의 공급은 지양해야 한다. 이는 Ra *et al.* (2007)의 연구에서도 금개구리 올챙이에 테트라민에 해캄과 배추를 일정량 혼합하여 공급한 실험군에서 금개구리 올챙이의 성장이 가장 효과적이라는 결론에 도달한 바 있어 유사하였다. 다만 본 연구결과에서는 테트라민 또는 식물성 사료 단일 공급군이 테트라민과 채소 혼합 공급군에 비해 성장이 빠르고, 생존에 유리한 것으로 조사되어 차이를 보였다. 따라서 금개구리 올챙이의 증식 사육을 위해서는 테트라민 또는 식물성 사료만을 단일로 공급하는 것만으로도 충분한 영양공급이 가능할 것으로 판단된다.

3. 부화 수온에 따른 기형발생 양상

25°C에서 부화한 금개구리 올챙이들은 변태 직전까지의 성장과정에서 기형이 없었던 반면, 27°C에서 부화한 금개구리 올챙이들은 60% 이상이 척추와 꼬리쪽이 꺾이는 기형을 보였다. 또한 25°C에서 부화한 올챙이들의 변태 성공률은 83%였던 반면, 27°C에서 부화한 올챙이 중 기형개체의 경우 뒷다리가 생성되는 변태 단계에서는 큰 차이를 보이지 않았으나, 앞다리가 생성되는 변태 단계에서 대량 폐사가 일어났으며, 특히 앞다리가 생성된 이후에도 꼬리를 흡수하는 변태과정에서 모두 폐사하였다. 따라서 추후 금개구리의 효과적인 증식·복원을 위해서는 부화 수온별 기형발달 양상에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 멸종위기 양서류인 금개구리의 난 발생과정에 대한 기초적인 자료를 제공하고 있으며, 금개구리의 증식·복원을 위한 올챙이의 발달에 가장 적절한 먹이원을 밝혀냄으로써 효율적인 증식기반을 마련하였다.

적 요

멸종위기 양서류 금개구리의 생물학적 특성 및 증식을 위한 기초자료 확보를 위해 난 발생 및 올챙이 초기 먹이 종류에 따른 영향에 대한 연구를 수행하였다. 사육수조 내에서 자연산란한 금개구리의 수정란을 현미경 하에서 관찰하였다. 수정란은 교질층에 둘러싸인 구형으로, 동물극과 식물극이 명확하게 구분되었다. 수온 27.0±1.0°C에서 수정 후 31시간 뒤에 부화하였으며, 수정 후 175시간 뒤에 아가미 뚜껑을 완성하였다. 개구 이후 단계부터 35일간 먹이종류별 성장 및 생존율을 분석한 결과 식물성 사료와 테트라민 단독 공급군의 평균 증체율(각각 5843.9%, 5736.3%), 평균 일일성장률(각각 11.67%, 11.62%)이

다른 공급군들 (중체율: 641.8~4625.2%, 일일성장률: 5.72~11.01%)에 비해 가장 높았고 ($P < 0.05$), 야채 공급군이 가장 낮았다 ($P < 0.05$). 평균 사료 효율은 식물성 사료 공급군이 177.83%로 야채 공급군 10.29%에 비해 약 17배 높았다. 또한 식물성 사료와 테트라민 단독 공급군의 평균 생존율은 각각 97.5%, 100%로 가장 높았으며, 야채 공급군은 32.5%로 가장 낮았다. 따라서 금개구리의 성공적인 증식을 위한 올챙이 먹이는 식물성 사료 또는 테트라민을 단일로 공급하는 것이 가장 효율적인 것으로 판단된다.

저자정보 김근식 (국립생태원 멸종위기종복원센터 선임연구원), 송예빈 (서울여자대학교 생명환경공학과 석사과정), 박창득 (국립생태원 멸종위기종복원센터 전임연구원), 강동원 (국립생태원 멸종위기종복원센터 전임연구원), 윤주덕 (국립생태원 멸종위기종복원센터 책임연구원)

저자기여도 연구책임: 윤주덕, 개념설정: 김근식, 윤주덕, 금개구리 사육 및 연구 수행: 김근식, 송예빈, 강동원, 자료 분석: 김근식, 박창득, 논문작성: 김근식, 강동원

이해충돌 이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음

사사 본 논문은 환경부의 재원으로 국립생태원의 지원을 받아 수행하였습니다.

REFERENCES

- Altig, R. and J.P. Kelly. 1974. Indices of feeding in anuran tadpoles as indicated by gut characteristics. *Herpetologica* **30**(2): 200-203.
- Altig, R. and R.W. McDiarmid. 1999. Tadpoles: the biology of anuran larvae (ed.). University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Altig, R., M.R. Whiles and C.L. Taylor. 2007. What do tadpoles really eat? Assessing the trophic status of an understudied and imperiled group of consumers in freshwater habitats. *Freshwater Biology* **52**(2): 386-395.
- Amin, N.M., M. Womble, C. Ledon-Rettig, M. Hull, A. Dickinson and N. Nascone-Yoder. 2015. Budgett's frog (*Lepidobatrachus laevis*): A new amphibian embryo for developmental biology. *Developmental Biology* **405**(2): 291-303.
- Bellakhal, M., A. Neveu, M. Fartouna-Bellakhal, H. Missaoui and L. Aleya. 2014. Effects of temperature, density and food quality on larval growth and metamorphosis in the North African green frog *Pelophylax saharicus*. *Journal Thermal Biology* **45**: 81-86.
- Borzée, A., C.N. Kyong, H.K. Kil and Y. Jang. 2018. Impact of water quality on the occurrence of two endangered Korean anurans *Dryophytes suweonensis* and *Pelophylax chosonicus*. *Herpetologica* **74**(1): 1-7.
- Crump, M.L. 1990. Possible enhancement of growth in tadpoles through cannibalism. *Copeia* **1990**(2): 560-564.
- Denver, R.J. 1997. Proximate mechanisms of phenotypic plasticity in amphibian metamorphosis. *American Zoologist* **37**(2): 172-184.
- Gang, Y.S. and I.B. Yoon. 1975. Illustrated guide book of Korean animal and plant animal edition (Amphibian and Reptile). Ministry of Education, Seoul, 190 pp. (in Korean)
- Gosner, K.L. 1960. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica* **16**(3): 183-190.
- Harkey, G.A. and R.D. Semlitsch. 1988. Effects of temperature on growth, development, and color polymorphism in the ornate chorus frog *Pseudacris ornata*. *Copeia* **1988**(4): 1001-1007.
- Howard, R.D. 1978. The influence of male-defended oviposition sites on early embryo mortality in bullfrogs. *Ecology* **59**(4): 789-798.
- IUCN. 2020. The IUCN Red List of Threatened Species: <http://www.iucnredlist.org/>
- Kim, J.I., I.B. Yoon and S.Y. Yang. 1998. Study on the food habits of *Rana nigromaculata* Hallowell and *Rana plancyi chosonica* Okada (Salientia; Ranidae) in Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **16**(2): 69-76. (in Korean)
- Kupferberg, S.J. 1997. The role of larval diet in anuran metamorphosis. *American Zoologist* **37**: 146-159.
- Lee, J.H. and D.S. Park. 2016. The encyclopedia of Korean amphibians. Nature and Ecology, Seoul, 248pp. (in Korean)
- Lofts, B., J.J. Wellen and T.S. Benraad. 1972. Seasonal changes in endocrine organs of the male Common Frog, *Rana temporaria* III. The gonads and cholesterol cycle. *General and Comparative Endocrinology* **18**: 344-363.
- Minister of Environment (MOE). 2012. Protection and Management of Wildlife Act Enforcement.
- Nagai, Y., S. Nagai and T. Nishikawa. 1971. The nutritional efficiency of cannibalism and an artificial feed for the growth of tadpoles of Japanese toad (*Bufo vulgaris* sp.). *Agricultural and Biological Chemistry* **35**: 697-703.
- Nathan, J.M. and V.G. James. 1972. The role of protozoa in the nutrition of tadpoles. *Copeia* **1972**(4): 669-679.
- National Institute of Biological Resources (NIBR). 2018. Korean endangered species. National Institute of Biological Resources, Incheon, 593pp. (in Korean)
- Pandian, T.J. and M.P. Marian. 1985. Predicting anuran metamorphosis and energetics. *Physiological Zoology* **58**: 538-552.
- Park, S.G., N.Y. Ra, J.D. Yoon and M.H. Chang. 2018. Maximum travel distance of *Pelophylax chosonicus*. *Korean Journal of Herpetology* **9**(1): 12-16. (in Korean)

- Park, S.K., D.S. Park, H. Lee and M.S. Min. 2009. A study of genetic diversity for conservation among local populations of the gold-spotted pond frog, *Rana plancyi chosenuca* (Amphibia: Ranidae). *Korean Journal of Herpetology* **1**(1): 21-33. (in Korean)
- Pfennig, D.W. 1990. The adaptive significance of an environmentally-cued developmental switch in an anuran tadpole. *Oecologia* **85**: 101-107.
- Pryor, G.S. 2014. Tadpole nutritional ecology and digestive physiology: implications for captive rearing of larval anurans. *Zoo Biology* **33**(6): 502-507.
- Ra, N.Y., J.H. Lee and D.S. Park. 2007. Growth of golden frog larvae, *Rana plancyi chosenuca* by different food types. *Korean Journal of Environmental Biology* **25**(1): 8-15. (in Korean)
- Ra, N.Y., H.C. Sung, S. Cheong, J.H. Lee, J. Eom and D. Park. 2008. Habitat use and home range of the endangered gold-spotted pond frog (*Rana chosenuca*). *Zoological Science* **25**(9): 894-904.
- Smith, D.C. 1987. Adult recruitment in chorus frogs effects of size and date at metamorphosis. *Ecology* **68**(2): 344-350.
- Smith-Gill, S.J. and K.A. Berven. 1979. Predicting amphibian metamorphosis. *The American Naturalist* **113**(4): 563-585.
- Steinwascher, K. 1978. The effect of coprophagy on the growth of *Rana catesbeiana* tadpoles. *Copeia* **1978**(1): 130-134.
- Sung, H.C., N.Y. Ra, S.W. Cheong, S.K. Kim, S.M. Cha and D.S. Park. 2009. Reproductive dynamics of the Gold-spotted pond frog (*Rana plancyi chosenuca*) population located at Cheongwon, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **27**(1): 20-30. (in Korean)
- Taylor, C.L., R. Altig and C.R. Boyle. 1995. Can anuran tadpoles choose among foods that vary in quality? *Alytes* **13**: 81-86.
- Yoon, I.B., J.I. Kim and S.Y. Yang. 1998. Study on the food habits of *Rana nigromaculata* Hallowell and *Rana plancyi chosenuca* Okada (Salientia; Ranidae) in Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **16**: 69-76. (in Korean)