

먹이 종류에 따른 금개구리 (*Rana plancyi chosonica*) 유생의 성장

라 남 용 · 이 정 현¹ · 박 대 식^{1,*}

강원대학교 생명과학부, ¹강원대학교 과학교육학부

Growth of Golden Frog Larvae, *Rana plancyi chosonica* by Different Food Types

Nam-yong Ra, Jung-hyun Lee¹ and Daesik Park^{1,*}

Division of Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, Kangwon 200-701, Korea

¹Division of Science Education, Kangwon National University, Chuncheon, Kangwon 200-701, Korea

Abstract - In order to develop an efficient feed for successful growth of Golden frog, *Rana plancyi chosonica*, larvae, we compared and analyzed the growth of the frog larvae, supplying four different food types. The growth of Golden frog larvae fed a vegetable food of spirogyra and cabbages and a mixture of vegetable and animal foods, TetraMin, a commercial fish food, or eel feed, was faster than that of the larvae fed only organic matters and vegetables collected from natural habitats. Among artificial food types, the mixture of vegetable and animal foods was more efficient for larval growth than the vegetable food. For the successful metamorphosis, the mixture of vegetable food and Tetramin was the most efficient food, comparing other types of food. These results suggest that a mixture of vegetable and animal food mixed in an appropriate proportion would be the most efficient artificial feed for the successful growth and metamorphosis of Golden frog larvae.

Key words : Anuran, *Rana plancyi chosonica*, Golden frog, growth, metamorphosis, feed

서 론

오늘날 전 지구적으로 생물다양성이 감소하고 있으며 (Eldridge 1998), 양서류 개체군의 감소 또한 지구단위로 폭넓게 나타나고 있다 (Pechmann *et al.* 1991; Wake 1991; Blaustein 1994; Alford and Richards 1999; Houlihan *et al.* 2000). 최근, 우리나라에서도 논이나 저수지, 연못 등에서 흔히 볼 수 있었던 양서류의 수가 날로 격감하고 있는

실정이다 (윤 등 1998). 이러한 개체군 감소 주된 요인으로는 서식지의 파괴, 화학물질로 인한 오염, 지구 온난화와 오존층 파괴를 포함한 환경변화, 외래종의 무분별한 도입, 전염병 발생, 사람에 의한 과다 포획 등이 알려져 있다 (Kendell 2001; Blaustein *et al.* 2005).

육상과 수중 생태계의 연결자인 양서류는 환경의 구성 요소로서 건강한 생태계 보존을 위한 중요성과 경제적·산업적·환경교육의 높은 가치를 가진다. 이리하여 감소되는 양서류 개체군에 대한 보존과 멸종된 양서류 개체군의 복원 프로젝트가 선진국에서는 활발하게 진행되고 있다 (Alford and Richards 1999; Adama *et al.* 2004;

* Corresponding author: Daesik Park, Tel. 033-250-6739, Fax. 033-242-9598, E-mail. parkda@kangwon.ac.kr

Buckley and Foster 2005). 우리나라의 경우 지방자치단체 단위의 개구리 방사 및 복원 프로젝트가 수행되고 있으나, 세계자연보호연맹 (IUCN; International Union of Conservation of nature and Natural Resources)으로부터 제안된 기본적인 절차 (IUCN 1998)의 고려 없이 무분별한 수행으로 인하여, 양서류의 복원보다는 오히려 기존 양서류 군집을 교란하고 있는 것이 현실이다.

금개구리 (*Rana plancyi chosenica*)는 우리나라 서해안 지역의 저지대 평야에 산재하는 농지주변 웅덩이나 물이 항상 고여 있는 논에 주로 서식하는 종으로, 형태적으로는 참개구리 (*Rana nigromaculata*)와 매우 유사하나 참개구리와 달리 등의 가운데 흰 선이 없는 반면 등 양쪽으로 융기한 두 개의 금색선이 있는 것이 특징이다 (강과 윤 1975). 금개구리의 산란은 4월부터 7월 사이에 이루어지며, 산란된 알은 약 일주일정도가 지난 뒤 부화한다. 금개구리 유생은 머리 위부터 등을 지나 꼬리 측면을 따라서 한 줄의 가는 금색선이 있는 것이 특징이며, 6월 이후부터 저지대의 농지주변 웅덩이에서 관찰된다 (양 등 2001). 금개구리는 약 한달 가량의 유생시기를 보낸 뒤, 성체로 변태한다 (이 2003). 금개구리는 IUCN의 멸종위험종 (vulnerable species)이며, 환경부의 멸종위기야생동·식물 II급으로 등록되어 있으나, 우리나라에서 이 종에 대한 기초연구나 복원 노력은 아주 미비한 상태이다 (이 2003).

최근 환경부의 '멸종위기종복원'의 일환으로 금개구리 복원을 위한 기초조사 및 표준 전략과 절차를 마련하기 위한 연구가 진행 중에 있다. 개구리를 인공적으로 증식하여, 복원에 이용하기 위해서는 해당 종의 유생과 성체의 먹이를 안정적으로 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 그동안 여러 연구자들에 의해 무미류 유생의 먹이로 상추류 (Romaine; escarole lettuces)와 시금치 (Kendell 2001), 인공적인 먹이인 가축 사료, 물고기 사료 등이 제시되었다 (McDiarmid and Altig 1999). 또한 식용을 목적으로 양식연구가 활발히 수행된 황소개구리 (Bullfrog, *Rana catesbeiana*)의 경우, 유생에게 어분과 쌀겨, 효모단백질 등을 배합한 사료를 공급하여 유생을 성공적으로 증식하였다 (Lutz and Avery 1999). 미국의 북미표범개구리 (Northern Leopard Frog, *Rana pipiens*) 복원 연구의 경우, 수생식물과 인공적인 먹이 (kale, watercress, bloodworm)를 배합하여 유생을 성공적으로 증식한 사례가 있다 (Adama *et al.* 2004). 금개구리의 유생은 식물성 먹이와 더불어 물고기 사료를 선호하는 것으로 알려져 있다 (이 2003).

본 연구는 금개구리 유생에게 서로 다른 네 가지 형태의 먹이를 공급하고, 그에 따른 성장을 비교하여, 금개구리

유생의 인공증식 시 필요한 효율적인 먹이를 개발하는 것을 목적으로 수행되어졌다.

재료 및 방법

1. 연구지역

본 연구는 2006년 7월 10일부터 2006년 8월 8일까지 강원도 춘천시 신북읍에 위치한 금개구리 증식시설에서 수행되었다. 증식시설이 위치한 곳은 소양강과 인접한 곳으로 오랫동안 방치된 목정논이 습지화 된 곳으로, 면적은 약 1,200 m²이고, 평균 수심은 약 40 cm이었다. 증식시설 주변은 다른 생물과 금개구리의 유·출입을 막기 위하여 1.5 m의 울타리를 설치하였고, 부화동 (7×40 m) 2동, 창고 1동을 비닐하우스로 조성하였다. 비닐하우스 안의 바닥에는 웅덩이 (가로 3.5 m×세로 40 m×깊이 35 cm)를 조성하고 바닥을 비닐과 방수포로 덮은 후, 지하수를 이용하여 금개구리 증식에 필요한 수량을 확보하였다. 증식장이 위치한 습지는 주변에서 물이 샘솟고 소양강과 인접하여 물이 1년 내내 풍부한 곳이었다. 습지에는 애기부들 (*Typha angustata*), 질경이택사 (*Alisma plantago*), 가래 (*Potamogeton distinctus*), 마름 (*Trapa japonica*), 검정말 (*Hydrilla verticillata*)과 같은 수생식물이 풍부하게 자라고 있었으며, 이로 인해 금개구리의 먹이가 되는 곤충류와 거미류를 쉽게 관찰할 수 있었다. 또한 금개구리와 서식환경이 유사한 참개구리가 다수 관찰되어 금개구리의 증식에 유리한 입지조건을 가지고 있었다.

2. 금개구리의 알

금개구리는 물웅덩이 또는 습지에 산란하며, 50~100여 개의 알로 이루어진 알덩이 2~3개를 주변의 수초나 물속의 나뭇가지 주위에 낳는 것으로 알려져 있다 (이 2003). 산란된 알은 대략 일주일 정도가 경과되면 부화하였다 (Fig. 1). 실험에 사용한 금개구리의 알의 채집은 충남 태안군 소원면 (N: 36°48', E: 128°09')에서 이루어졌다. 채집 장소는 수풀이 무성한 습지였으며, 한 개체가 산란한 것으로 생각되는 작은 알 덩어리 세 개와 이와 좀 떨어진 근처에서 한 덩어리의 알을 채집하였다. 작은 세 개의 알 덩어리에는 각각 18개, 58개, 53개의 알이 들어있었으며, 미수정란 20개를 제외한 109개의 알이 250 L 가량의 물을 채우고, 공기펌프로 공기를 풍부하게 제공한 고무수조 (세로 75 cm×가로 100 cm×깊이 36 cm)에서 모두 성공적으로 부화하였다. 다른 하나의 알 덩어리



Fig. 1. Golden frog (*Rana plancyi chosonica*) adult (A), larva (B), egg clump (C).

리에는 총 123개의 알이 들어 있었으며 미수정란 35개를 제외한 나머지 88개의 알이 성공적으로 부화하였다. 금개구리는 환경부 멸종위기야생동·식물 II급에 해당하는 종으로 임의로 포획하거나 양식이 금지되어 있기 때문에 채집 전 금강유역환경청으로부터 포획허가서를 발급받아 참관인과 동행한 상태에서 채집하였다.

3. 먹이의 종류와 실험장치

본 실험을 실행하기 이전에 금개구리 유생이 선호하는 먹이와 공급하는 먹이의 적정량을 찾기 위해 사전실험을 실행하였다. 금개구리 유생의 식성을 확인하기 위하여 시중에서 판매중인 뱀장어 사료(뉴일치만, 우성사료), 메기 사료(메기플러스, 우성사료), 열대어 사료(Tetra Min, Tetra)와 해캄, 배추를 각각 격리되어 있는 금개구리 유생에게 공급하고 일주일 동안 매일 남은 먹이의 양과 유생이 배설한 배설물의 양을 비교하는 방법으로 실험을 수행하였다. 예비실험 결과, 금개구리 유생은 동물성 먹이 보다 식물성 먹이를 선호하였으며, 한 마리당 이틀에 한번 씩 1g의 먹이를 공급하는 것이 가장 적절하다는 것을 알아내었다. 우리의 사전실험 결과와 이전의 연구결과(이 2003)를 참고하여 식물성 먹이와 동물성 먹이를 조합하여 먹이를 준비하였다.

먹이의 조합에는 습지에서 채취한 해캄, 배추, 열대어 사료(TetraMin), 뱀장어사료, 어류 영양제를 이용하였다.

Table 1. Four food types used in rearing larval *Rana plancyi chosonica* and showing proportions of each nutritional content in a mixed food

Group	Food contents	Proportion
Control	Mud+organic matter+spirogyra	-
Vegetable food	Spirogyra+cabbage (+nutrient 0.2%)	1:1
Vegetable & animal food 1	Spirogyra+cabbage+TetraMin* (+nutrient 0.2%)	2:2:1
Vegetable & animal food 2	Spirogyra+cabbage+Eel feed† (+nutrient 0.2%)	2:2:1

*TetraMin: protein 48%, oil 8%, fiber 2%, ash 11%, moisture 6%, Vitamin A, D, E etc. †Eel feed: protein 49%, fat 3%, calcium 2%, phosphate 2.7%, fiber 3%, ash 18%, Vitamin etc.

식물성 먹이 중, 해캄은 금개구리 유생이 자연서식지의 해캄 사이에서 다량 발견되는 것에 판단하여 선호하는 먹이일 것이라는 것을 예측하여 선정하였고, 배추는 자연에서 해캄을 구하지 못할 경우를 대비해 공급과 보관이 쉬운 대체 먹이 원으로서 선정하였다. 동물성 먹이는 경제적이고 손쉽게 구할 수 있는 물고기 사료를 이용하였다. 그 중 테트라민은 열대어 사료로서 영양을 고루 갖추고 있어 물고기 사육에 폭넓게 이용되고 있어 선정하였고, 뱀장어 사료는 대량으로 구입할 경우 매우 경제적이며 지속적으로 이용 가능하므로 선정하였다.

실험에서 공급한 먹이군은 네 실험군으로 구성되었는데, 우선 대조군은 서식지에서 발견되는 수생식물 및 해캄을 공급하고, 실험용기의 바닥은 습지로부터 채취한 진흙을 제공하였다. 식물성 먹이군은 삶은 배추와 해캄을 1:1로 섞어서 제공하였다 (Table 1). 실험에 사용한 배추는 5분 정도 삶아서 부드럽게 한 후에 사용하였으며, 해캄은 습지에서 채취하여 수분을 최대한 제거하고, 배추와 함께 잘게 다져서 사용하였다. 동물성 먹이군은 두 종류인데, 첫 번째 그룹은 배추와 해캄의 식물성 먹이에 동물성 먹이로 열대어 사료인 테트라민을 2:2:1의 비율로 혼합한 것이었으며, 다른 하나의 그룹은 배추와 해캄의 식물성 먹이에 뱀장어 사료를 2:2:1의 비율로 조합한 것이었다. 대조군을 제외한 나머지 먹이군의 혼합 먹이를 제조할 때, 어류용 영양제(아쿠아비타, 바이오엘코리아, 바이오감마믹스, 바이오엘코리아)를 0.2%로 희석한 뒤 첨가하여 공급하였다 (Table 1).

실험에 사용된 금개구리 유생은 각각 실험수조(23 cm × 16 cm × 14 cm)에 한 마리씩 수용하였으며, 각 실험군마다 20마리씩 총 80마리를 사용하였다. 실험을 진행하는 동안 모든 실험수조 안의 수온과 수위를 같게 유지하기 위하여 실험수조에 지름 약 0.3 mm의 작은 구멍을 20개 내고, 증식장 내의 물이 자유롭게 실험수조를 순환

하도록 설치하였다. 이리하여 실험하는 동안 모든 사육 용기에 물은 항상 약 1L를 유지하였다. 먹이의 공급은 사전실험 결과에 따라 유생 1마리 당 혼합된 먹이 1g을 2일에 1회 공급하였다. 먹이를 공급할 때마다 각 실험수조에 남아있는 먹이와 배설물이 실험수조 안에서 부패하는 것을 방지하기 위하여 수압을 이용, 흡입하여 이를 제거하였다.

4. 환경요인과 금개구리 유생의 측정

연구기간 동안 개체의 성장에 영향을 미칠 수 있는 대기온도, 습도, 수온을 매일 기록하였다. 대기온도와 습도는 온습도계로 수온은 실험수조가 설치된 부화장의 온도를 수온온도계로 각각 0.1°C까지 측정하였다.

금개구리 유생의 개체 측정은 실험 시작 일에 처음 실시하였으며, 이후 매 5일 마다 한번 씩 수행하였다. 신체적 특징으로는 금개구리 유생의 TL(코끝부터 꼬리 끝까지의 길이: Total length), BL(코끝부터 몸통 끝까지의 길이: Body length), TD(꼬리지느러미를 포함하여 꼬리에서 가장 넓은 부분: Tail depth), BW(체중: Body Weight)를 디지털 버니어캘리퍼스(Digimatic caliper, Mitutoyo)와 디지털저울(Electronic Balance, A&D Company Ltd.)를 이용하여 각각 0.01 cm, 0.01 g 단위까지 측정하였다(Fig. 2). 또 각각의 개체는 가스너 표준발달단계표(Gosner 1960)를 참고하여 실험시작 전 및 매 측정 때 마다 가스너 발달단계를 결정하여 기록 하였다. 실험 시작 전 금개구리 유생의 평균 발달단계는 대조군이 28 단계, 식물성 먹이군이 30단계, 식물성 먹이에 테트라민을 혼합한 먹이군이 30단계, 식물성 먹이에 장어사료를 혼합한 먹이군이 30단계였다. 측정 시 유생들의 크기가 작은 관계로 마취의 부작용을 우려하여 마취하지 않았으며, 젖은 화장지 위에 개체를 올려놓고 가능한 짧은 시간인 30초 내에 모든 측정을 마무리 하였다.

금개구리 유생의 변태 성공여부를 결정하기 위하여,

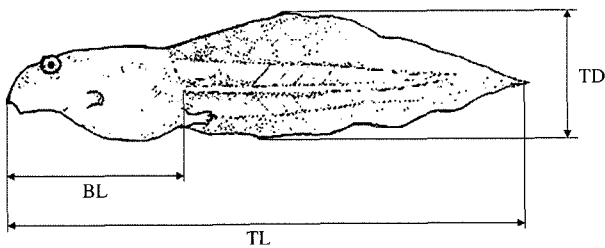


Fig. 2. Physical parameters, total length (TL), body length (BL), and tail depth (TD), of larval *Rana plancyi chosenica* measured in the study.

변태 직전 발달단계까지 성장한 유생의 수를 기록하였다. 변태 중인 개체들을 물이 담긴 실험수조에 사육할 경우에는 익사할 수 있으므로, 앞발이 완전히 발달하고 꼬리가 짧아지는 가스너 40단계까지 발달한 개체는 성공적으로 변태한 것으로 고려하고, 신체적 특징을 측정 한 후 실험을 종료하였다. 대조군의 경우, 실험 시작 시 가스너 발달단계의 평균값이 다른 실험군에 비하여 2단계 낮은 것을 고려하여, 대조군의 유생이 가스너 38단계에 이르면 이를 성공적으로 변태한 것으로 고려하였다.

5. 자료분석

금개구리의 성장률분석을 위해 2006년 7월 10일, 7월 15일, 7월 20일, 7월 26일까지 총 4회에 걸쳐 기록한 자료를 SPSS(ver. 11.0)를 이용하여 분석하였다. 측정된 자료는 7월 10일 실험시작 일에 측정된 개체측정 값을 원점으로 놓고, 매 개체측정마다 유생이 성장하여 증가한 값을 계산하여 사용하였다. 먹이 처치 실험군이 총 4개로 구성되어 있고 4회에 걸쳐 반복 측정된 값으로부터 먹이에 따른 금개구리 유생의 성장의 차이를 검증하기 위하여 Mixed model ANOVA (Repeated measure linear model)를 이용하여 분석하였다. 그리고 실험군별로 발달 단계가 변태직전단계인 38, 혹은 40단계까지 성장한 금개구리 유생의 수에서 차이가 있는지를 비교하기 위하여 카이검증(Chi-square test)을 실시하였다. 실험 중 죽거나 증식장 침수로 인해 개체 측정이 누락된 13마리의 경우에는 결과분석에서 제외하였다.

결 과

실험기간 동안 증식시설의 평균 대기온도는 27.54°C \pm 1.15 (n=12, range=22.5~33.5), 수온은 23.54°C \pm 0.67 (n=12, range=21.0~27.0), 그리고 습도는 63.41% \pm 3.77 (n=12, range=12~35)이었다(Fig. 3). 실험을 진행하는 동안 총 80마리의 실험군 중에서 13마리의 금개구리 유생의 개체 측정을 할 수 없었는데, 대조군의 경우, 금년에 발생한 집중호우 시, 증식장이 부분 침수되면서 실험수조를 7마리가 빠져나가 총 13마리의 개체 측정 자료만을 분석에 사용하였다. 식물성 먹이군은 대조군과 마찬가지로 침수 시, 실험수조를 이탈한 1마리와 몸통, 꼬리 부위의 곰팡이 전염으로 죽은 1마리를 제외하고 총 18마리를 측정하여 분석하였다. 식물성 먹이에 테트라민을 혼합하여 공급한 먹이군의 경우 곰팡이 전염으로 2마리가 죽었기 때문에 나머지 18마리의 측정 자료로 이

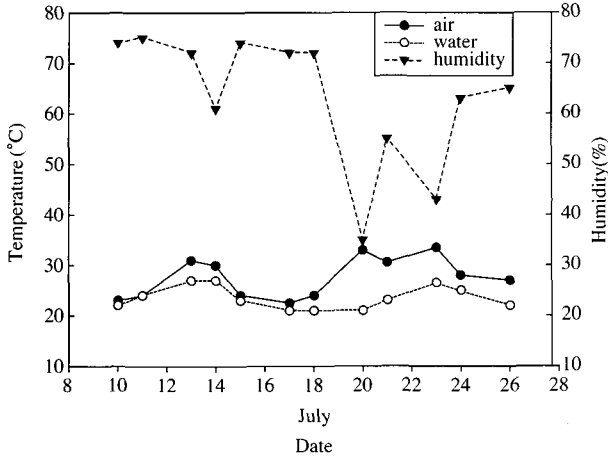


Fig. 3. Transitions of air and water temperature and humidity during the study period.

용하였다. 마지막으로 식물성 먹이에 장어사료를 혼합하여 공급한 먹이군의 경우에도 2마리가 곰팡이 전염으로 죽어, 이를 제외한 18마리를 측정하여 분석하였다. 실험 수조를 빠져나간 개체는 실험이 종료된 후, 부화시설 안에서 포획망과 뜰채를 이용하여 재 포획하였으며, 곰팡이 전염으로 죽은 개체는 원인 균을 동정하기 위하여 한국교원대학교 양서류질병 연구팀에 보내 검사를 의뢰하였다.

서로 다른 먹이의 공급과 시간 변화에 따라 금개구리 유생의 전체길이(TL) 성장은 유의미한 변화를 보였으며 ($F=677.91$, $df=3$, $P<0.05$; Fig. 4A), 먹이와 시간, 두 변인의 성장에 대한 상호작용 또한 유의미하였다 ($F=7332.25$, $df=1$, $P<0.001$). 모든 실험처치군들은 대조군에 비하여 유의미하게 높은 전체길이(TL) 성장을 보였으며 (Tukey test, 모든 경우에 있어 $P<0.05$), 식물성과 테트라민 혼합 먹이군의 전체길이(TL) 성장은 식물성 먹이군과 식물성과 장어사료 혼합 먹이군에 비하여 의미 있게 높았다 (Tukey test, 모든 경우에 있어 $P<0.05$). 반면, 식물성 먹이군과 식물성에 장어사료 혼합 먹이군 사이의 전체길이(TL) 성장의 차는 중요하지 않았다 (Tukey test, $P>0.05$).

서로 다른 먹이의 공급과 시간 변화에 따라 금개구리 유생의 몸통길이(BL) 성장은 유의미한 변화를 보였으며 ($F=844.46$, $df=3$, $P<0.05$; Fig. 4B), 먹이와 시간, 두 변인의 성장에 대한 상호작용 또한 유의미하였다 ($F=7980.66$, $df=1$, $P<0.001$). 모든 실험처치군들은 대조군에 비하여 유의미하게 높은 몸통길이(BL) 성장을 보였다 (Tukey test, 모든 경우에 있어 $P<0.05$). 그러나 각 실험처치군들 사이에는 유의미한 몸통길이(BL) 성장의 차

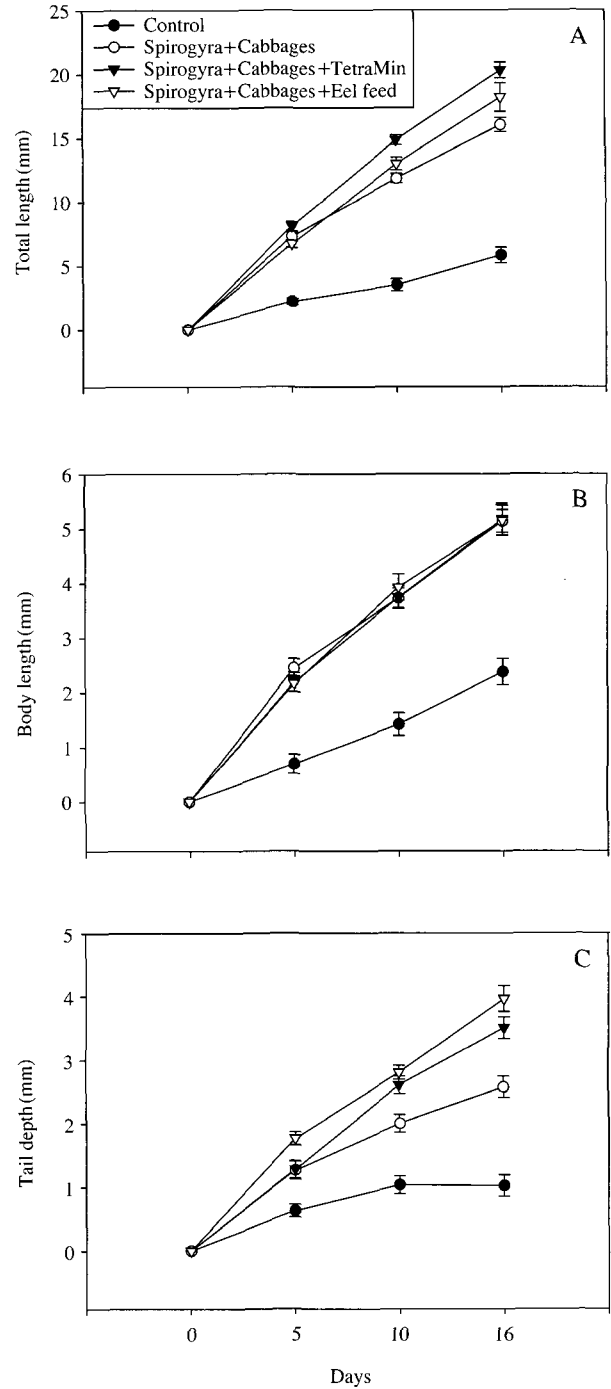


Fig. 4. Growth of total length (A), body length (B), and tail depth (C) of *Rana plancyi chosonica* larvae by different food types.

이를 보이지 않았다 (Tukey test, 모든 경우에 있어 $P>0.05$).

서로 다른 먹이의 공급과 시간 변화에 따라 금개구리 유생의 꼬리높이(TD) 성장은 유의미한 변화를 보였으며 ($F=548.38$, $df=3$, $P<0.05$; Fig. 4C), 먹이와 시간, 두 변

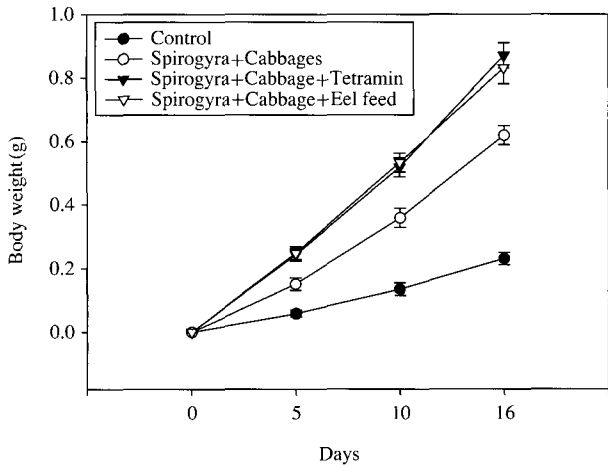


Fig. 5. Growth of body weight of *Rana plancyi chosonica* larvae by different food types.

인의 성장에 대한 상호작용 또한 유의하였다 ($F=4791.13$, $df=1$, $P<0.001$). 모든 실험처치군들은 대조군에 비하여 유의하게 높은 꼬리높이 (TD) 성장을 보였으며 (Tukey test, 모든 경우에 있어 $P<0.05$), 식물성에 테트라민이나 장어사료를 혼합한 먹이군의 꼬리높이 (TD) 성장은 식물성 먹이군에 비하여 의미 있게 높았다 (Tukey test, 모든 경우에 있어 $P<0.05$). 반면, 식물성에 테트라민이나 장어사료를 혼합한 먹이군 사이에는 유의미한 꼬리높이 (TD) 성장의 차이를 보이지 않았다 (Tukey test, $P>0.05$).

서로 다른 먹이의 공급과 시간 변화에 따라 금개구리 유생의 체중 (BW) 증가는 유의미한 변화를 보였으며 ($F=293.98$, $df=3$, $P<0.05$; Fig. 5), 먹이와 시간, 두 변인의 증가에 대한 상호작용 또한 유의미하였다 ($F=848.12$, $df=1$, $P<0.001$). 모든 실험처치군들은 대조군에 비하여 유의미하게 높은 체중 (BW) 증가를 보였으며 (Tukey test, 모든 경우에 있어 $P<0.05$), 식물성에 테트라민이나 장어사료를 혼합한 먹이군의 체중 (BW) 증가는 식물성 먹이군에 비하여 의미 있게 높았다 (Tukey test, 모든 경우에 있어 $P<0.05$). 반면, 식물성에 테트라민이나 장어사료를 혼합한 먹이군 사이에는 유의미한 체중 (BW) 증가의 차이가 없었다 (Tukey test, $P>0.05$).

최종 계측 시점에서 금개구리 유생의 평균 발달단계는 대조군이 34단계 ± 0.94 ($n=13$, range=28~39), 식물성 먹이군은 36단계 ± 0.69 ($n=18$, range=31~41), 식물성에 테트라민을 혼합한 먹이군은 38단계 ± 0.68 ($n=18$, range=35~42), 식물성에 장어사료를 혼합한 먹이군은 37단계 ± 0.43 ($n=18$, range=28~42)로 나타났다. 변태 직전 단계까지 도달한 금개구리 유생의 수는 대조군이

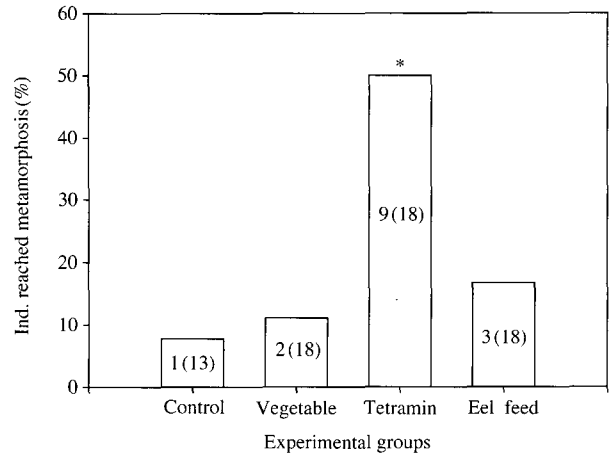


Fig. 6. Proportions of individuals reached the metamorphosis. Numbers inside the bars indicate the number of individuals metamorphosed out of total individuals.

13마리 중 1마리, 식물성 먹이군이 18마리 중 2마리, 식물성에 테트라민을 혼합한 먹이군이 18마리 중 9마리, 식물성에 장어사료를 혼합한 먹이군이 18마리 중 3마리였으며, 실험처치군 사이의 차이는 유의미 하였다 ($X^2=53.08$, $df=3$, $P<0.0001$; Fig. 6). 특히 식물성 먹이에 테트라민을 혼합한 먹이군은 다른 실험군들에 비해서 같은 시간 안에 많은 수의 금개구리 유생이 변태에 이르렀다 (X^2 사후검증, 모든 경우에 있어서 $P<0.001$; Fig. 6). 반면, 다른 실험처치군과 대조군간의 차이는 유의미하지 않았다 (X^2 사후검증, 모든 경우에 있어서 $P>0.05$; Fig. 6).

고 찰

본 연구는 금개구리 유생에게 서로 다른 네 가지 종류의 먹이를 공급하고 그에 따른 성장을 비교하여, 금개구리 유생의 인공증식 시 필요한 효율적인 먹이 원을 개발하는 것을 목적으로 수행되어졌다. 우리의 연구결과는 식물성 먹이에 적절한 비율로서 동물성 먹이를 혼합한 먹이가 금개구리 유생의 성공적인 성장과 변태에 가장 효율적이라는 것을 보여준다.

금개구리 유생에게 인공적으로 배합한 먹이를 공급한 3개의 실험군이 습지에서 수거한 진흙과 수생식물, 해감을 함께 공급한 대조군보다 모든 개체 측정 부위에서 더 높은 성장을 보였다. 이것은 습지의 식물과 유기물보다 인공적으로 배합한 먹이가 금개구리 유생의 성장에 더 나은 영향을 미쳤다는 것을 의미한다. 북미표범개구

리(Northern Leopard Frog, *Rana pipiens*) 복원 연구의 경우, 인공적인 먹이(kale, watercress, bloodworm)와 자연적인 먹이인 수생식물을 혼합하여 공급한 유생이 인공적인 먹이나 자연적인 먹이만을 제공한 유생보다 더 높은 성장을 보여주었는데, 이러한 이전의 결과는 우리의 실험결과와 일치하는 것이다(Adama *et al.* 2004). 나아가 금개구리 유생에게 해삼과 배추를 혼합하여 만든 식물성 먹이를 공급한 실험군 또한 습지의 식물과 유기물을 공급한 대조군보다 더 높은 성장률을 보였는데, 이것은 금개구리 유생의 치설 발달이 미약한 것을 고려하여 배추를 공급할 때에 삶아서 공급함으로써 유생의 먹이 이용률이 높아진 것에서 기인한 것으로 생각된다. 또한 실험처치군의 먹이에 첨가한 영양제 역시 실험처치군 안의 금개구리 유생의 성장에 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

순수한 식물성 먹이를 공급한 실험처치군보다 식물성 먹이와 동물성 먹이(TetraMin, 뱀장어 사료)를 혼합하여 공급한 두 실험군이 더 높은 성장을 보인 것은 단백질과 지질과 같은 동물성 영양 성분이 금개구리 유생의 성장에 높은 기여를 하였기 때문인 것으로 생각된다. 무미류 유생의 먹이에 함유된 여러 가지 영양은 그들의 성장에 중요하게 작용하는데(Kupferberg 1997; A'lvarez and Niecieza 2002), 특히 단백질과 지질은 유생의 성장과 분화, 변태에 관련된 갑상선 호르몬 기능에 영향을 미쳐(Kupferberg 1997) 높은 성장률을 유도하는 것으로 알려져 있다. 예를 들어, 높은 비율의 단백질이 함유된 먹이를 섭취한 *Discoglossus galganoi* 유생은 낮은 비율의 단백질이 함유된 먹이를 섭취한 유생보다 더 높은 성장률을 보였다(A'lvarez and Niecieza 2002).

금개구리 유생의 실험군 간 발달 정도의 비교로부터, 유생이 변태에 이르는 시간이 실험군간에 다양하였으며, 식물성 먹이에 테트라민을 혼합한 먹이군에서 가장 빨랐다. 이전의 연구들은 식물성 먹이만으로는 무미류 유생의 변태에 필요한 영양소가 부족할 것이라는 것을 보여 주었다(Nace *et al.* 1996; McDiarmid and Altig 1999). 반면, 동물의 조직이나 단백질이 포함된 먹이는 무미류 유생들의 성장과 발달을 2배나 증가시킨다는 연구결과가 있었다(Nathan and James 1972; Steinwascher and Travis 1983; Pandian and Marian 1985; Crump 1990; Kupferberg 1997). 우리의 실험에서 식물성 먹이에 열대어 사료를 혼합하여 공급한 실험군의 경우 나머지 실험군에 비하여 의미 있게 높은 변태율을 보였는데, 이는 이전의 연구결과와 일치되게 동물성 먹이의 혼합이 금개구리 유생의 발달 및 변태에 긍정적으로 효과를 미치고 있음을 의미하는 것이라고 하겠다. 반면, 식물성 먹이

와 뱀장어 사료를 배합한 동물성 먹이군 안의 금개구리 유생들의 변태율은 대조군이나 식물성 먹이만을 제공한 실험군과 차이를 보이지 않았는데, 이는 식물성에 테트라민을 혼합한 실험군에서 나타난 빠른 변태가 동물성 먹이 성분 자체만이 아니라, 테트라민에 추가적으로 포함되어 있는 비타민이나 기타 무기질 등의 성분 및 그들의 혼합 비율 차이 역시 이른 변태에 관여하고 있음을 의미한다. 금개구리 유생의 변태 과정에 관여하는 동물성 먹이나 비타민과 같은 성분의 구체적인 영향에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

결론적으로, 우리의 실험결과는 식물성 먹이에 동물성 먹이를 일정 함량 섞은 먹이가 금개구리 유생의 성장 및 변태를 위한 발달을 가장 효과적으로 촉진한다는 것을 보여주며, 금개구리를 대량으로 증식·복원할 때 이러한 먹이를 공급하는 것이 가장 효율적일 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 금개구리(*Rana plancyi chosonica*) 유생의 성장에 효율적인 먹이를 개발하기 위하여, 서로 다른 네 가지 형의 먹이를 공급하고 그에 따른 성장을 비교한 것이다. 금개구리 유생에게 식물성 먹이를 공급한 군과 식물성과 동물성 배합 먹이를 공급한 실험군이 습지에서 수거한 유기물과 식물성 먹이만을 공급한 대조군보다 더 빠른 성장을 보였다. 나아가, 식물성과 동물성 먹이를 혼합하여 공급한 먹이군이 순수하게 식물성 먹이만을 공급한 실험군보다 더 높은 성장을 보였다. 식물성 먹이에 동물성 먹이로서 열대어 사료를 혼합하여 공급한 실험군의 유생들이 대조군이나, 식물성 먹이 실험군, 식물성에 뱀장어 사료를 혼합하여 공급한 실험군 모두에 비하여 빠른 시간 안에 변태에 이르렀다. 이러한 결과는 식물성 먹이와 동물성 먹이를 적절하게 배합한 먹이가 금개구리 유생의 빠른 성장과 변태에 가장 효율적이라는 것을 나타낸다.

사 사

본 연구는 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”으로부터 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

강영선, 윤일병. 1975. 한국동식물도감 동물편(양서과충류).

- 17:1-344.
- 양서영, 김종범, 민미숙, 서재화, 강영진. 2001. 한국의 양서류. 아카데미서적. 68pp.
- 윤일병, 김종인, 양서영. 1998. 한국산 참개구리와 금개구리의 식성에 관한 연구. 환경생물. 16:69-76.
- 이상철. 2003. 무미 양서류 금개구리 (*Rana plancyi chosonica* Okada)의 현지 내·외 보전 및 복원 전략에 관한 연구. 인천대학교 대학원 석사학위 논문.
- Adama DB, K Lansley and MA Beaucher. 2004. Northern Leopard Frogs (*Rana pipiens*) Recovery: Captive rearing and reintroduction in southeast British Columbia, 2003. 26pp. Report to the Columbia Basin Fish and Wildlife Compensation Program, Nelson, BC.
- Alford RA and SJ Richards. 1999. Global amphibian declines: A problem in applied ecology. pp.133-165. In Annual Review of Ecology and Systematics. Annual Reviews, 4139 El Camino Way, Palo Alto, CA.
- A'lvarez D and AG Nicieza. 2002. Effects of temperature and food quality on anuran larval growth and metamorphosis. Funct. Ecol. 16:640-648.
- Blaustein AR. 1994. Chicken little or nero's fiddle? A perspective on declining amphibians populations. Herpetologica 50:85-97.
- Blaustein AR, JM Romansic, EA Scheessele, BA Han, AP Pessier and JE Longcore. 2005. Interspecific variation in susceptibility of frog tadpoles to the pathogenic fungus *Batrachochytrium dendrobatidis*. Conserv. Biol. 19:1460-1468
- Buckley J and J Foster. 2005. Reintroduction strategy for the pool frog *Rana lessonae* in England. English Nature Research Reports No. 642, English Nature, Northminster House, Peterborough PE1 1UA.
- Crump ML. 1990. Possible enhancement of growth in tadpoles through cannibalism. Copeia 1990:560-564.
- Eldridge N. 1998. Life in the balance: humanity and the biodiversity crisis. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Gosner KL. 1960. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. Herpetologica. 16:183-190.
- Houlahan JE, CS Findlay, BR Schmidt, AH Myer and SL Kuzmin. 2000. Quantitative evidence for global amphibian population declines. Nature. 404:752-755.
- IUCN. 1998. Guidelines for Re-introductions. pp.1-11. Prepared by the IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Kendell K. 2001. Northern Leopard Frog Reintroduction : Raven River-Year 2 (2000). pp. 29. Alberta Sustainable Resource Development, Fish and Wildlife Service, Alberta Species at Risk Report No. 13, Edmonton, AB.
- Kupferberg SJ. 1997. The role of larval diet in anuran metamorphosis. Amer. Zool. 37:146-159.
- Lutz CG and JL Avery. 1999. Bullfrog Culture. Southern Regional Aquaculture Center No. 436.
- McDiarmid RW and R Altig. 1999. Tadpoles : the biology of anuran larvae. University of Chicago Press, London. pp. 444.
- Nace GW, DD Culley, MB Emmons, EL Gibbs, VH Hutchison and RG McKinnell. 1996. Amphibians : guidelines for the breeding, care, and management of laboratory animals. A report of the Subcommittee on Amphibian Standards, Committee on Standards, Institute of Laboratory Animal Resources, and National Research Council. National Academy of Sciences, Washington, D. C.
- Nathan JM and VG James. 1972. The role of protozoa in the nutrition of tadpoles. Copeia. 1972:669-679.
- Pandian TJ and MP Marian. 1985. Predicting anuran metamorphosis and energetics. Physiol. Zool. 58:538-552.
- Pechmann JHK, DE Scott, RD Semlitsch, JP Caldwell, LJ Vitt and JW Gibbons. 1991. Declining amphibian populations : the problem of separating human impacts from natural fluctuations. Science. 253:892-895.
- Steinwascher K and J Travis. 1983. Influence of food quality and quantity on early growth of two anurans. Copeia 1983:238-242.
- Wake DB. 1991. Declining amphibian populations. Science. 253:860.

Manuscript Received: November 7, 2006
 Revision Accepted: November 20, 2006
 Responsible Editor: Wonchoel Lee