

자생종 포식자를 이용한 침입외래종 황소개구리(*Rana catesbeiana*)의 생태적 제어에 관한 연구^{1a}

노선호² · 정진석² · 유영한^{2*}

Ecological Control of Invasive Alien Species, American Bullfrog (*Rana catesbeiana*) Using Native Predatory Species^{1a}

Sun-Ho No², Jin-Seok Jung², Young-Han You^{2*}

요약

습지생태계에 심각한 영향을 미치는 침입외래종 황소개구리(*Rana catesbeiana*)의 생태적 제어를 목적으로 효과적인 생물종을 선발하기 위하여 6종의 토종 포식성 어류와 6종의 조류를 이용하여 황소개구리의 올챙이와 아성체를 대상으로 포식률을 측정하였다. 본 실험에 사용한 어류 중 동자개(*Pseudobagrus fulvidraco*), 메기(*Silurus asotus*), 가물치(*Channa argus*) 3종은 황소개구리의 올챙이와 아성체를 모두 포식하였고, 그 중 전자를 더 선호하였다. 그러나 끄리(*Opsariichthys uncirostris*), 드렁허리(*Monopterus albus*), 뱀장어(*Anguilla japonica*) 3종은 황소개구리의 올챙이와 아성체를 전혀 섭식하지 않았다. 그리고 고니(*Cygnus columbianus*), 큰고니(*Cygnus cygnus*), 쇠오리(*Anas crecca*), 원앙(*Aix galericulata*), 홍머리오리(*Anas penelope*), 가창오리(*Anas formosa*) 등 실험에 사용한 6종의 조류 또한 황소개구리의 올챙이와 아성체를 전혀 먹지 않았다. 결과적으로, 국내 습지생태계에서 토종 물고기를 이용한 침입외래종 황소개구리의 제어가능성을 확인할 수 있었다.

주요어: 포식률, 어류, 조류, 올챙이, 아성체

ABSTRACT

We investigate predation rates of larvae and juveniles of *Rana catesbeiana* by using six native predatory fishes and six birds to select effective species to ecological control and management of *R. catesbeiana* that is invasive alien species and affects seriously wetland in Korea. Among freshwater fishes, *Pseudobagrus fulvidraco*, *Silurus asotus* and *Channa argus* ate larvae and juveniles of *R. catesbeiana*, and prefer the former, however *Opsariichthys uncirostris*, *Monopterus albus* and *Anguilla japonica* didn't eat at all. Six experimental water birds, *Cygnus columbianus*, *Cygnus cygnus*, *Anas crecca*, *Aix galericulata*, *Anas penelope* and *Anas formosa* never ate them. We were able to confirm control of *R. catesbeiana* probability using the native predatory fishes in Korea wetland.

KEY WORDS: PREDATION RATE, FISH, BIRD, LARVAE, JUVENILE

1 접수 2016년 12월 9일, 수정 (1차: 2017년 1월 25일, 2차: 2017년 2월 14일), 게재확정 2017년 2월 15일

Received 9 December 2016; Revised (1st: 25 January 2017, 2nd: 14 February 2017); Accepted 15 February 2017

2 공주대학교 생명과학과 Dept. of Life Science, Kongju Univ., Gongju, 32588, Korea

a 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국과학창의재단(2013년도 학생 창의·융합형 연구과제)의 지원에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-41-850-8505, Fax: +82-41-850-0957, E-mail: youeco21@kongju.ac.kr

서론

도로건설, 항만, 항공 등 교통이 발달하고 국가 간 인적·물적 교류가 확대됨에 따라 세계화 및 지구촌 공동체가 형성되고 있다. 이와 함께 외래종의 유입이 증가하고 생태적 안정성 훼손과 경제적 손실 등의 문제가 전 세계적으로 심화되고 있다(Do *et al.*, 2015). 외래종의 대부분은 생태계에 직·간접적으로 미치는 영향이 미미하거나, 또는 거시적으로 나타나지 않기 때문에 이들의 존재가 장기간 알려지지 않을 수 있다(Williamson and Fitter, 1996). 그러나 일부 외래종은 토착종의 절멸, 또는 생물군집 구조 변화와 같이 돌이킬 수 없는 심각한 영향을 끼칠 수 있다(Clavero and Garcia-Berthou, 2006). 한 예로 세계 최대의 담수호인 아프리카 Lake Victoria에 Nile Perch (*Lates niloticus*)가 도입되었을 때 자생어종의 생물량 80%가 감소하였다고 보고되었다(Barel *et al.*, 1985).

국제자연보전연맹(IUCN)은 전 지구적으로 자연생태계에 심각한 악영향을 미치는 종으로 전 세계 100대 악성 침입생물을 지정하여 관리하고 있다(Lee and Kil, 2013). 그 중 하나인 황소개구리는 무미목(Order Salientia) 개구리과(Family Ranidae)로, 미국 South Carolina가 원산이며(Kang *et al.*, 2011), 우리나라를 포함하여 중국, 일본, 대만 등 대부분 아시아 국가에 도입되어 토착생태계를 심각하게 교란시키고 자생종 생물의 개체군 감소와 크게 연관되어 있다(Garner *et al.*, 2006). 이와 같은 이유로 황소개구리는 지역 사회에 부정적인 영향을 미친다고 보고되었다(Kats and Ferrer, 2003). 우리나라는 식용을 목적으로 1970년대에 일본으로부터 황소개구리가 도입되었는데(Oh and Hong, 2007), 환경에 대한 강한 적응력으로 급속하게 번식하여 전국적으로 퍼져나갔다(Yum and Ha, 2014). 그 이후, 우리나라는 황소개구리에 의한 종다양성 감소 등 생태계에 미치는 악영향으로 인해 생태계교란생물로 지정하여 관리되고 있다(Oh and Hong, 2007). 그러나 기후, 환경, 포식, 경쟁, 중간 상호작용 등 복합적 요인으로 황소개구리에 의한 피해 및 향후 변화는 예측이 어렵다(Werner, 1992). 따라서 황소개구리와 같은 침입외래종의 유입에 대응하여 해당 종의 생태적 특성을 이해하고 현실적이며, 효율적인 제어 방안의 마련이 필요하다. 침입외래종을 제어하기 위해서는 다양한 제어 방안들이 고려될 수 있으나, 또한 이로 인해 야기될 수 있는 이차적인 문제들도 고려되어야 한다. 침입외래종을 제어하기 위한 방법의 하나로 생태적 제어방법이 있다. 이는 도입된 외래종이 침입종이 되었을 경우, 해당 종의 생활사, 서식환경, 천적 등 생태적 특성을 이용하여 대상 종을 제어하는 방법이다. 이는 물리적 제어나, 화학적 제어 등으

로 인해 야기될 수 있는 환경오염, 생태계 훼손 등으로부터 상대적으로 위험성이 낮으며, 높은 기대효과를 갖는다(Yu *et al.*, 2011).

침입외래종 황소개구리에 관한 국외 연구로는 짝짓기 전략의 진화(Howard, 1978), 번식기 행동(Ryan, 1980), 포식자에 대한 올챙이의 행동과 성장 사이의 관계(Relyea and Werner, 1999), 올챙이의 해충퇴치 반응에서 포식자의 종류와 집단 크기의 영향(Smith and Awan, 2009), 식이물 조성(Hirai, 2004), 병원균 *Batrachochytrium dendrobatidis*의 전파 과정(Garner *et al.*, 2006) 등 전 분야에서 다양한 연구가 수행되었다. 반면, 국내의 경우 황소개구리의 체내 유기질소계 농약류 축적(Oh *et al.*, 2002), 체내 Polychlorinated biphenyls의 축적도와 분포 특성(Moon *et al.*, 2004), 미토콘드리아 ND1/tRNA 유전자 서열 비교를 통한 유전적 다양성(Lee *et al.*, 2005), 조직 내 젖산탈수소효소의 역학적 특성(Yum and Ha, 2014) 등이 수행되었으나, 황소개구리의 생태 특성 및 제어방법에 관해서는 연구된 자료가 매우 빈약하다.

침입외래종의 제어를 위해서는 종의 기초 생태 뿐 아니라, 이를 포식하는 포식자나, 천적 등 자생종과의 유기적인 연구가 필요하다. 따라서 국내 자연생태계에 심각한 영향을 끼치는 침입외래종 황소개구리의 효율적 제어를 목적으로 자생종 포식자를 구분하고, 생태적 제어에 가장 용이한 황소개구리의 발달단계를 도출하여 생태계에 적용 및 관리방안 수립을 위한 기초자료로 이용하고자 한다.

연구방법

1. 연구지역

본 연구는 2013년 6월에서 2016 12월까지 수행되었으며 어류와 양서류의 채집은 충청남도 부여군, 서산시 일대의 습지지역에서 원형통발(diameter 350mm × length 600mm)을 이용하였다. 채집된 생물은 공주대학교 야외 실험실로 옮겨 2~3일간 적응 시킨 후 실험하였다. 한편, 조류는 (사)천연기념물 조류 인공복원연구소(등록번호 : 307-82-07915)에서 보호하고 있는 개체들을 대상으로 연구소 내 사육장에서 실험하였다.

2. 연구재료

어류는 동자개, 메기, 가물치, 쏘리, 드렁허리, 뱀장어 6종을 선정하였으며(Table 1; fishes), 이들 어종은 육식성이거나 잡식성으로 전장이 20cm 이상 성장하고, 황소개구리와 같이 하천, 저수지, 논 수로 등에 서식하는 어종이다(Kim and Park, 2002)

Table 1. Fishes, birds and amphibians used for this predatory experiment

Classification	Scientific name	Korean name	Total length (mm)	Mass (g)	No. of individuals (n)
Fishes	<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개	192.7±6.8	76.7±5.9	3
	<i>Silurus asotus</i>	메기	310.0±9.2	283.0±22.1	3
	<i>Channa argus</i>	가물치	397.3±21.2	829.7±30.8	3
	<i>Opsariichthys uncirostris</i>	꼬리	246.7±18.9	263.0±9.8	3
	<i>Monopterus albus</i>	드렁허리	392.3±18.6	296.6±20.2	3
	<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어	458.3±12.6	405.7±53.0	3
Birds	<i>Cygnus columbianus</i>	고니	1,232.0	9,410.0	1
	<i>Cygnus cygnus</i>	큰고니	1,445.0	15,230.0	1
	<i>Anas crecca</i>	쇠오리	382.0	421.0	1
	<i>Aix galericulata</i>	원앙	451.0	515.0	1
	<i>Anas penelope</i>	홍머리오리	492.0	592.0	1
	<i>Anas formosa</i>	가창오리	405.0	455.0	1
Amphibians	<i>Rana catesbeiana</i> (Larvae)	황소개구리(올챙이)	11.3±1.8	16.8±6.8	810
	<i>Rana catesbeiana</i> (Juveniles)	황소개구리(아성체)	10.1±3.5	17.1±7.2	270

조류는 고니, 큰고니, 쇠오리, 원앙, 홍머리오리, 가창오리 6종을 선정하였으며(Table 1; birds), 이들 조류는 잡식성으로, 국내에 텃새 및 겨울철새로 서식, 도래하는 종이다(Lee et al., 2000).

제어대상종인 황소개구리는 올챙이와 아성체로 발생단계를 구분하여 실험하였다(Table 1; amphibians). 올챙이는 뒷다리와 앞다리가 전혀 발생하지 않았거나, 뒷다리만 일부 발생하고, 온전하게 꼬리지느러미를 갖추고 있는 상태로서 Staging System for Anurans (Gosner, 1960)의 26-41단계에 해당된다. 그리고 아성체는 뒷다리와 앞다리가 모두 발달된 상태로 변태가 진행 중이거나, 또는 갓 변태를 마친(30일 이내) 미성숙 개체로서 Staging System for Anurans (Gosner, 1960)의 42-46단계에 해당된다. 각 생물종은 전장(total length)과 무게(mass)를 측정하였으며, 전장의 측정에서 어류와 양서류는 주둥이에서부터 꼬리지느러미 또는 꼬리뼈(변태를 마친 양서류)까지, 조류는 부리에서부터 꼬리까지의 길이를 각각 측정하였다(Table 1).

한편, 본 연구를 통해 포획된 침입외래종 황소개구리는 어류에게 공급하여 모두 소모되었으며, 어류는 실험이 종료된 후 기존의 채집지역에 모두 방사 하였다. 그리고 조류는 천연기념물 조류 인공복원연구소에서 보호·관리되고 있다.

3. 연구방법

어류에 의한 황소개구리 포식실험은 총 12개의 수조(length 89.5cm × width 61.5cm × height 33.0cm)에 물을 15cm 가량 채우고, 황소개구리의 먹이원이자 최소한의 은신처 기능을 할 수 있는 나자스말(*Najas graminea*), 검정말

(*Hydrilla verticillata*), 말즘(*Potamogeton crispus*), 개구리밥(*Spirodela polyrhiza*) 등의 수생식물을 넣어주었다. 어류의 개체수에 따른 포식률의 차이를 알아보기 위해서 6개 수조는 동자개, 메기, 가물치, 꼬리, 드렁허리, 뱀장어 6종의 어류를 각각 1개체씩 넣어 어류 1개체 처리구를 만들었다. 그리고 나머지 6개 수조는 각각의 어류를 2개체씩 넣어 어류 2개체 처리구를 만들었다. 그리고 모든 수조에서 어류를 2-3일간 적응시킨 후 황소개구리 올챙이를 10개체씩 공급하였다. 그리고 하루에 1회씩 6일간 동일한 시간(AM 09:00)에 관찰하여 남아 있는 개체수를 기록하였으며, 총 3회 반복 실험 하였다. 그리고 황소개구리의 발생단계가 어류의 포식률에 영향을 미치는지 확인하기 위해 동일한 방법으로 구성된 각 처리구에 올챙이와 아성체를 동시에 5개체씩 넣고 총 3회 반복실험 하였다. 이때 황소개구리 아성체의 질식사를 방지하기 위해 스티로폼 보드(length 15cm × width 15cm)를 넣어주었다. 또한 각 처리구에서 어류의 최소한의 생존을 위해 거저리과(Tenebrionidae)의 밀웜(*Tenebrio molitor*)을 지속적으로 공급하였다.

조류에 의한 황소개구리 포식실험은 총 6개의 사육장(length 5.0m × width 3.0m × height 3.0m)에 고니, 큰고니, 쇠오리, 원앙, 홍머리오리, 가창오리 6종의 조류를 각각 넣었다. 그리고 플라스틱 수조(length 40cm × width 30cm × height 30cm)를 각각 설치하고 물을 15cm 가량 채우고, 황소개구리의 먹이원이자 최소한의 은신처 기능을 할 수 있는 나자스말(*Najas graminea*), 검정말(*Hydrilla verticillata*), 말즘(*Potamogeton crispus*), 개구리밥(*Spirodela polyrhiza*) 등의 수생식물을 넣어주었다. 그 후, 올챙이를 10개체씩 넣어 하루에 1회씩 6일간 동일한 시간(AM 09:00)에 관찰하여

남아 있는 개체수를 기록하였으며, 총 3회 반복실험 하였다. 그리고 황소개구리의 발생단계가 조류의 포식에 영향을 미치는지 확인하기 위해 동일한 방법으로 구성된 각 처리구에 올챙이와 아성체를 5개체씩 넣고 총 3회 반복실험 하였다. 이때 황소개구리 아성체의 질식사를 방지하기 위해 스티로폼 보드(length 15cm × width 15cm)를 넣어주었다. 또한 각 조류들에게는 기존에 먹이로 사용한 옥수수 분쇄 사료(조단 백질 15%, 조지방 3%)를 별도의 먹이통을 이용해 지속적으로 공급하였다.

4. 통계분석

통계분석은 SPSS 18.0 프로그램을 이용하였으며, 수집된 데이터의 정규분포 여부를 확인하기 위하여 Kolmogorov-smirnov test를 실시하였다. 검정결과 각 데이터가 정규분포를 따르지 않으므로($P < 0.05$), 비모수통계법을 사용하였다. 그 중 동자개, 메기, 가물치 3집단 간 일평균 올챙이 섭식수 차이는 Kruskal-Wallis test를 사용하였으며, 포식자의 개체수(1개체, 2개체)와 황소개구리의 발생단계(올챙이, 아성체) 등 2집단 간 일평균 섭식수 차이는 Mann-Whitney U test를 사용하였다.

결 과

1. 어류 포식실험 결과

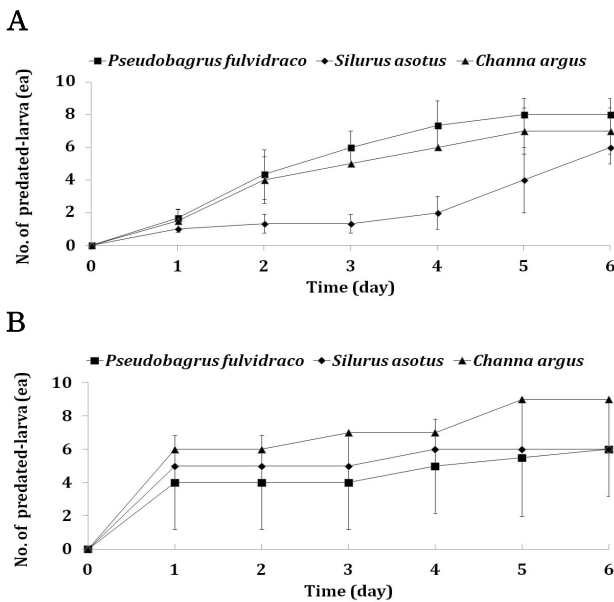


Figure 1. Cumulative predation rate of larvae of bullfrog by one fish (A) or two fishes (B) (n=3)

어류 포식실험 결과 동자개, 메기, 가물치 3종만이 황소개구리 올챙이를 포식하였으며 *끄리*, *드렁허리*, *뱀장어* 3종은 황소개구리 올챙이를 전혀 포식하지 않았다. 어류 1개체 처리구는 시간이 흐름에 따라 일정하게 황소개구리 올챙이를 포식하였다. 그러나 2개체 처리구에서는 첫째 날에 포식활동이 집중된 경향이 나타났다(Figure 1).

어류의 종 및 개체수 처리구별 일평균 황소개구리 올챙이 포식수는 어류 1개체 처리구에서 동자개 1.3 ± 0.9 개체(min. 0 - max. 3), 가물치 1.2 ± 0.8 개체(min. 0 - max. 3), 메기 1.0 ± 0.8 개체(min. 0 - max. 3) 순으로 나타났으며, 어류 2개체 처리구에서 어류 1개체 당 포식수는 가물치 0.8 ± 1.2 개체(min. 0 - max. 3), 동자개 0.5 ± 0.7 개체(min. 0 - max. 3), 메기 0.5 ± 1.0 개체(min. 0 - max. 3) 순으로 나타났다. 한편, 통계분석을 실시한 결과, 포식자 개체군의 종내(*P. fulvidraco*, $U=103.5$, $Z=-1.936$, $p > 0.05$; *S. asotus*, $U=111.0$, $Z=-1.753$, $p > 0.05$; *C. argus*, $U=130.5$, $Z=-1.051$, $p > 0.05$) 및 종간(one predator, $\chi^2=0.508$, $df=2$, $p > 0.05$; two predator, $\chi^2=1.407$, $df=2$, $p > 0.05$)에 포식수는 유의한 차이가 없었다(Figure 2).

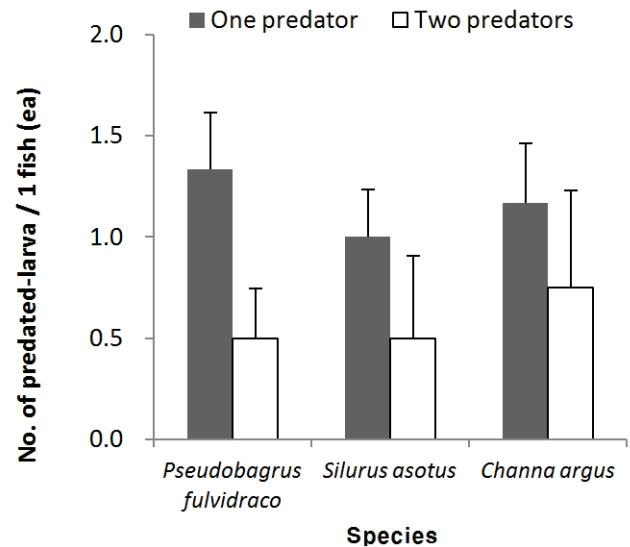


Figure 2. Predated number of larvae of bullfrog per day by one fish or two fishes of three species; *Pseudobagrus fulvidraco*, *Silurus asotus* and *Channa argus* (n=18)

황소개구리의 발달단계에 따른 어류 1개체의 일평균 포식수를 살펴보면, 동자개는 올챙이 0.8 ± 0.2 개체(min. 0 - max. 3), 아성체 0.4 ± 0.2 개체(min. 0 - max. 1), 메기는 올챙이 0.3 ± 0.1 개체(min. 0 - max. 1), 아성체 0.2 ± 0.1 개체(min. 0 - max. 1), 가물치는 올챙이 0.5 ± 0.1 개체(min. 0 - max. 2), 아성체 0.1 ± 0.1 개체(min. 0 - max. 1)를 포식하였다. 통계분석을

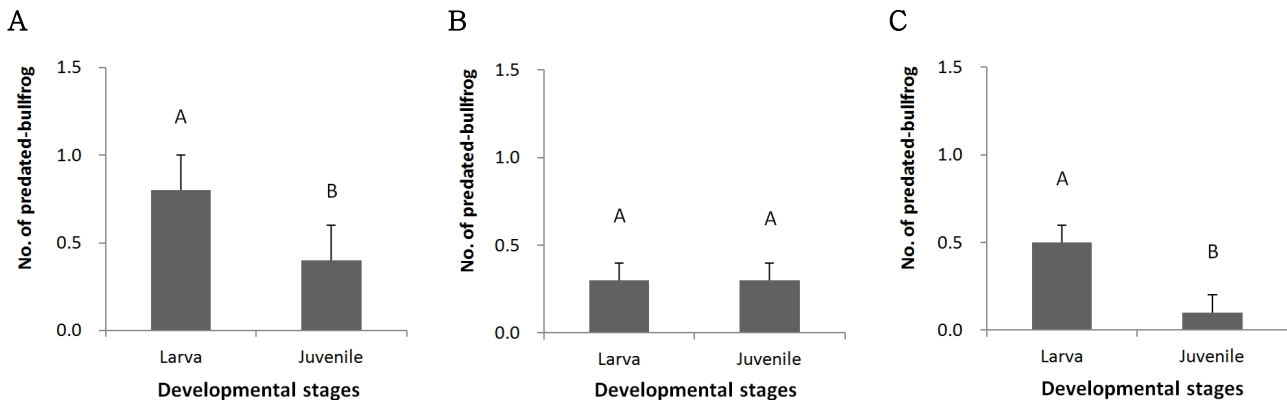


Figure 3. Predated number of larvae or juvenile of bullfrog per day by three species; *P. fulvidraco* (A), *S. asotus* (B) and *C. argus* (C). Large alphabet means significant differences between larvae and juvenile by Mann-Whitney U test (n=18)

실시한 결과, 가물치(U=107.0, Z=-2.231, p<0.05) 1종만이 유의한 차이가 나타났으며, 동자개(U=132.0, Z=-1.059, p>0.05)와 메기(U=144.0, Z=-0.791, p>0.05) 2종은 차이가 없었다. 그러나 3종의 어류 모두 근소한 차이로 아성체 보다는 올챙이를 더 많이 포식하는 경향성을 보였다(Figure 3).

2. 조류 포식실험 결과

조류 포식실험 결과, 고니, 큰고니, 쇠오리, 원앙, 홍머리오리, 가창오리 6종 모두 황소개구리의 올챙이 또는 아성체를 전혀 섭식하지 않았다.

고찰

황소개구리의 생태적 제어에 이용가능성이 있는 자생종 포식자를 선정하기 위한 실험에서 고니, 큰고니, 쇠오리, 원앙, 홍머리오리, 가창오리 6종의 조류와 꼬리, 드렁허리, 뱀장어 3종의 어류는 황소개구리의 올챙이 또는 아성체를 전혀 포식하지 않았다. 따라서 이들은 황소개구리의 제어에 부적합한 것으로 판단된다. 본 연구에 이용된 고니, 큰고니, 쇠오리, 원앙, 홍머리오리, 가창오리 등 오리와 조류들은 식물의 종자, 줄기, 낙엽, 뿌리 등 식물성 먹이를 주로 섭식하나(Lee and Hong, 2008; Choi *et al.*, 2015), 또한 우렁이, 조개, 어류 등 소형의 동물성 먹이도 함께 섭식하는 잡식성으로 보고된 종들이다(Smith *et al.*, 1989; Lee *et al.*, 2000). 그리고 어류 중 꼬리, 드렁허리, 뱀장어는 육식성 어류로서, 육상 및 수서곤충류 뿐만 아니라 잉어과(Family Cyprinidae)의 소형 어류를 섭식하며(Son and Byeon, 2001; Kim and Park, 2002), 그 과정에서 일부 식물성플랑크톤 까지도 섭식하는 육식성 어류로 알려져 있다(Son and Byeon, 2001).

그러나 연구결과, 이들 조류 및 어류는 황소개구리의 올챙이 또는 아성체를 전혀 포식하지 않았다.

이는 황소개구리의 방어기작과 관련이 있을 수 있다. 선행 연구에 따르면, 양서류의 올챙이는 몇 가지 주요 방어기작을 가지고 있는데, '나쁜 맛(unpalatability)', '화학적 간섭(chemically mediated)', '피부 독소(dermal toxins)', '채색(coloration)', '활동성 감소(low activity)' 등을 통해 포식자를 회피한다(Kruse and Francis, 1977; Hurlbert, 1970; Kats *et al.*, 1988; Eklov and Werner, 2000). 이는 올챙이가 육식동물과 공존하며, 생존율을 높일 수 있는 주요한 근거로서 설명된다(Kats *et al.*, 1988). 그 중 황소개구리의 올챙이는 불쾌한 냄새와 나쁜 맛으로 포식자를 회피하며(Kruse and Francis, 1977; Kats *et al.*, 1988), 또한 위협이 되는 포식자 앞에서 활동성을 감소시키는 것으로 보고되었다(Hurlbert, 1970; Werner, 2000). 한편, 동자개, 메기, 가물치 3종은 황소개구리의 올챙이와 아성체를 모두 섭식하여 이러한 방어기작에 대한 저항성을 갖거나, 또는 먹이 경험을 통해 학습한 것으로 판단된다. 이와 같은 먹이 경험은 서식지의 중첩과도 영향이 있을 수 있다. 선행 연구에 따르면, 황소개구리는 주로 물웅덩이, 저수지, 호수 등 정체된 물, 하천의 경우에는 물의 흐름이 비교적 완만한 중하류에 서식하며(Lee and Ko, 2001), 심지어 도서지역의 인공저수지에서도 서식이 보고되었다(Lee *et al.*, 2009). 한편, 본 연구 대상 중 동자개와 메기는 저수지, 호수, 하천 등에 서식하며, 물의 흐름이 느리고, 탁하며, 바위와 나무뿌리의 밀도가 높은 지역을 선호하며(Britton *et al.*, 2007; Lim *et al.*, 2012), 가물치는 연못이나 늪과 같이 정체되고 탁하며, 수초가 우거진 곳을 선호하는 것으로 보고되었다(Go and Park, 2012). 반면에 꼬리, 뱀장어 등과 같이 상대적으로 황소개구리와 서식지 중첩이 적은 종들은 먹이 경험이 부족한 요인

으로 회피했을 가능성이 있다. 그러나 이와 같이 서식지 중첩이 적은 종은 침입외래종의 제어에 이용될 수 없다는 것은 아니다. 선행연구에 따르면, 토종의 포식자가 침입외래종에 대하여 적응에 성공하게 되면 토종의 포식자는 형태적 및 행동적 변화를 통해 더 강력한 포식자가 될 수도 있다(Li *et al.* 2011; Heo *et al.* 2014).

본 연구에서 동자개, 메기, 가물치 3종의 개체수에 따른 황소개구리 올챙이 포식률은 유의한 차이가 없으며, 오히려 2개체 처리구에서 더 낮아지는 경향성을 보였는데, 이는 어류 2개체 처리구에서 제한된 수조의 크기 및 포식자의 분포 밀도를 고려할 때 종내 경쟁이 유발된 것으로 판단되며 (Yoo *et al.*, 2007), 선행연구에 따르면 제한된 공간에서 서식밀도의 증가는 어류의 섭식, 성장, 생산성에 직접적인 영향을 미칠 수 있다고 하였다(Rowland *et al.*, 2006). 따라서 황소개구리의 생태적 제어에 있어 포식성 어류를 도입하기 위해서는 습지 면적과 포식자의 서식밀도 또한 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

황소개구리의 발생단계에 따른 어류의 포식성은 가물치 1종만이 유의한 차이가 있었으며, 황소개구리의 아성체 보다 올챙이를 더 높은 비율로 포식하였다. 한편, 동자개와 메기 2종은 유의한 차이는 없었으나, 아성체 보다 올챙이를 조금 더 포식하는 경향성이 있었다. 양서류는 일반적으로 올챙이 단계에서 꼬리지느러미를 가지고 있어 물속에서 활동성을 갖는다. 그러나 이러한 기관은 개구리로 변태하면서 점차 퇴화되고 이동성을 갖는 다리를 갖게 된다(Lee and Moon, 2009). 본 연구에서도 3종의 어류는 황소개구리의 아성체보다 올챙이를 더 많이 포식하였는데, 이는 황소개구리의 아성체는 올챙이에 비해 큰 이동성을 갖으며, 회피능력이 더 뛰어나기 때문에 상대적으로 피식될 확률이 낮은 것으로 판단된다.

선행연구(Govindarajulu, 2006)에 따르면 황소개구리는 부화 후 첫해를 물속에서 올챙이 단계로 보낸다. 그리고 이듬해 늦여름에 올챙이의 68%가 변태하고 나머지는 물속에서 2-3번째 겨울을 보낸다. 그리고 변태 후 2년이 지나야 비로소 성적 성숙을 달성한다고 보고되었다. 이는 국내 양서류 중 옴개구리와 꼬리치레도롱뇽을 제외하면, 대부분의 양서류가 태어난 첫 해에 개구리까지 변태하는 것과는 구별되는 특징이다. 이와 같이 생활사의 대부분 기간을 물속에서 보내는 황소개구리의 생태특성에 따라(Govindarajulu, 2006), 대상 침입외래종의 제어를 위해서는 토착어류가 가장 유리할 수 있다고 판단되며, 본 연구를 통해 동자개, 메기, 가물치 3종의 포식성을 확인할 수 있었다. 이는 어류의 도입이 양서류의 서식 및 분포에 중요한 영향을 미칠 수 있다(Knapp *et al.*, 2007)는 연구결과와도 부합된다. 그러나 본 연구는 제한된 크기의 수조 내에서 소수 종을 대상으로

수행되었기 때문에 자생종 포식자를 이용한 황소개구리의 제어 가능성만을 제시할 수 있을 것이다. 따라서 황소개구리를 포함하여 국내 생태계를 교란시키는 다양한 침입외래종의 제어를 위해서는 국내에 서식하는 다양한 토종생물들을 대상으로 생태적 특성에 관한 연구와 함께 포식자에 대한 대상종의 회피반응, 방어기작, 성장반응, 경쟁, 먹이 경험 등 자연생태계에서 일어날 수 있는 복합적이고 유기적 상관관계에 대한 규명이 필요하다.

REFERENCES

- Barel, C.D., R. Dorit, P.H. Greenwood, G. Fryer, N. Hughes, P.B.N. Jackson, H. Kawanabe, R.H. Lowe-McConnell, M. Nagoshi, A.J. Ribbink, E. Trewavas, F. Witte and K. Yamaoka(1985) Destruction of fisheries in Africa's lakes. *Nature*. 315: 19-20.
- Britton, J.R., J. Pegg, R.Sedgwick and R. Page(2007) Investigating the catch returns and growth rate of wels catfish, *Silurus glanis*, using mark-recapture. *Fisheries Management and Ecology* 14(4): 263-268.
- Choi, Y.E., S. You, S.R. Kang, B. Choi and J. Chon(2015) Management plan of whooper swan (*Cygnus cygnus*) habitat using causal loop analysis 1a. *Korean Journal of Environment and Ecology*. 29(3): 353-367. (in Korean with English abstract)
- Clavero, M. and E. Garcia-Berthou(2006) Homogenization dynamics and introduction routes of invasive freshwater fish in the Iberian Peninsula. *Ecological Applications*. 16(6): 2313-2324.
- Do, Y.H., E.J. Ko, Y.M. Kim, H.J. Kim, G.J. Joo, J.Y. Kim and H.W. Kim(2015) Using text-mining method to identify research trends of freshwater exotic species in Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment*. 48(3): 195-202. (in Korean with English abstract)
- Eklov, P. and E.E. Werner(2000) Multiple predator effects on size-dependent behavior and mortality of two species of anuran larvae. *Oikos*. 88(2): 250-258.
- Garner, T.W., M.W. Perkins, P. Govindarajulu, D. Seglie, S. Walker, A.A. Cunningham and M.C. Fisher(2006) The emerging amphibian pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis* globally infects introduced populations of the North American bullfrog, *Rana catesbeiana*. *Biology letters*. 2(3): 455-459.
- Go, H. J. and N.G. Park(2012) Isolation of a novel neuropeptide with contractile activity on the smooth muscle from the snakehead *Channa argus*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45(2): 114-121.
- Gosner, K.L(1960) A Simplified table for staging anuran embryos and larvae. *Herpetologica* 16: 183-190.
- Govindarajulu, P., W.M. Price and B.R. Anholt(2006) Introduced bullfrogs (*Rana catesbeiana*) in Western Canada: has their ecology diverged?. *Journal of Herpetology*. 40(2): 249-260.

- Heo, J.H., H.J. Lee, I.H. Kim, J.J. Fong, J.K. Kim, S. Jeong, and D. Park(2014) Can an invasive prey species induce morphological and behavioral changes in an endemic predator? evidence from a South Korean snake (*Oocathochus rufodorsatus*). *Asian Herpetological Research* 5(4): 245-254.
- Hirai, T.(2004) Diet composition of introduced bullfrog, *Rana catesbeiana*, in the Mizorogaike Pond of Kyoto, Japan. *Ecological Research*. 19(4): 375-380.
- Howard, R.D.(1978) The evolution of mating strategies in bullfrogs, *Rana catesbeiana*. *Evolution*. 32(4): 850-871.
- Hurlbert, S.H.(1970) Predator responses to the vermilion-spotted newt (*Notophthalmus viridescens*). *Journal of Herpetology*. 4(1): 47-55.
- Kang, C.K., Y.J. Oh, S.B. Lee, B.M. Lee, H.S. Nam, Y.K. Lee, H.J. Jee, M.K. Hong, S.J. Koo(2011) Herbicidal activity of naturally developed d-Limonene against *Sicyos angulatus* L. under the greenhouse and open field condition. *Korean Journal of Weed Science*. 31(4): 368-374. (in Korean with English abstract)
- Kats, L.B. and R.P. Ferrer(2003) Alien predators and amphibian declines: review of two decades of science and the transition to conservation divers. *Diversity and Distributions*. 9(2): 99-110.
- Kats, L.B., J.W. Petranka and A. Sih(1988) Antipredator defenses and the persistence of amphibian larvae with fishes. *Ecology*. 69(6): 1865-1870.
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2002) *Freshwater fishes of Korea*. Kyo hak sa. Seoul (in Korean)
- Knapp, R.A., D.M. Boiano and V.T. Vredenburg(2007) Removal of nonnative fish results in population expansion of a declining amphibian (mountain yellow-legged frog, *Rana muscosa*). *Biological Conservation*. 135(1): 11-20.
- Ko, H.J. and N.G. Park(2012) Original articles : Isolation of a novel neuropeptide with contractile activity on the smooth muscle from the Snakehead *Channa argus*. *Fisheries and aquatic science* 45(2): 114-121.
- Kruse, K.C. and M.G. Francis(1977) A predation deterrent in larvae of the bullfrog, *Rana catesbeiana*. *Transactions of the American Fisheries Society*. 106(3): 248-252.
- Lee, D.H. and J. Kil(2013) A study on morphology measurement and comparison of nutria (*Myocastor coypus*) inhabiting in Korea. *Journal of Environmental Impact Assessment*. 22(3): 241-254. (in Korean with English abstract)
- Lee, D.P. and S.K. Ko(2011) The incidence of abnormalities in bullfrogs, *Rana catesbeiana*, and their heavy metal accumulations in the Yeongsan river system. *Korean J. Environ. Biol* 30(4): 287-306. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.W. and M.J. Moon(2009) Histochemical and fine structural visualization of the epithelial apoptosis in the anuran tadpole during the tail regression stages. *Applied Microscopy*. 39(2): 107-115. (in Korean with English abstract)
- Lee, I.S. and S.B. Hong(2008) Understanding the visitation aspect of dabbling ducks (*Anas* spp.) in the long period at Nakdong Estuary, Busan, Republic of Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology*. 22(6): 625-631. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.Y., J.H. Shim and I.S. Joung(2005) Original research : genetic diversity of *Rana catesbeiana* in Korea based on mitochondrial ND1/tRNA sequence analysis. *The Ecological Society of Korea*. 28(6): 375-382. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.C., Y.D. Ju, J.H. Shim, Y.S. Bae(2009) List and distribution of amphibians and reptiles in islands in Incheon, South Korea: Focused on Endangered Species. *Korean Journal of Nature Conservation* 3(1): 39-44.
- Lee, W.S., T.H. Ku and J.Y. Park(2000) *A field guide to the birds of Korea*. LG Evergreen Foundation. Seoul. (in Korean)
- Li, Y., Z. Ke, S. Wang, G.R. Smith, and X. Liu(2011) An exotic species is the favorite prey of a native enemy. *PLoS One* 6(9): e24299.
- Lim, S.G., H.K. Han, H.W. Gil and I.S. Park (2012) Temperature-dependent index of mitotic interval (τ_0) for chromosome manipulation in Korean Bullhead, *Pseudobagrus fulvidraco*. *Development & reproduction* 16(4): 321-327.
- Loesch, C.R. and R.M. Kaminski(1989) Winter body-weight patterns of female Mallards fed agricultural seeds. *Journal of Wildlife Management* 53(4): 1081-1087.
- Medeiros, C.I., C. Both, I.L. Kaefer and S.Z. Cechin(2016) Reproductive phenology of the American Bullfrog in subtropical Brazil: photoperiod as a main determinant of seasonal activity. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias* 88(3): 1909-1921.
- Moon, J.Y., S.I. Lee, H.Y. Song, K.J. Lee, K.H. Choi and G.H. Jeong(2004) Accumulation levels and distribution characteristics of polychlorinated biphenyls in crucians and leopard frogs from the Nakdong river basin. *Analytical Science & Technology*. 17(4): 347-354. (in Korean with English abstract)
- Oh, D.J., Y.B. Kim, J.Y. Lee, J.Y. Moon and G.H. Jeong(2002) Accumulation of organonitrogen pesticides in fishes and amphibians from the Basin of major rivers of S. Korea. *Analytical Science & Technology*. 15(6): 489-495. (in Korean with English abstract)
- Oh, H.S. and C.E. Hong(2007) Current conditions of habitat for *Rana catesbeiana* and *Trachemys scripta elegans* imported to Jeju-do, including proposed management plans. *Korean J Environ Ecol*. 21(4): 311-317. (in Korean with English abstract)
- Relyea, R.A. and E.E. Werner(1999) Quantifying the relation between predator-induced behavior and growth performance in larval anurans. *Ecology*. 80(6): 2117-2124.
- Rowland, S.J., C. Mifsud, M. Nixon, P. Boyd(2006) Effects of stocking density on the performance of the Australian fresh-

- water silver perch (*Bidyanus bidyanus*) in cages. *Aquaculture*. 253: 301-308.
- Ryan, M.J.(1980) The reproductive behavior of the bullfrog (*Rana catesbeiana*). *Copeia*. 1980(1): 108-114.
- Smith, G.R. and A.R. Awan(2009) The roles of predator identity and group size in the antipredator responses of American toad (*Bufo americanus*) and bullfrog (*Rana catesbeiana*) tadpoles. *Behaviour*. 146(2): 225-243.
- Smith, L.M., R.L. Pederson and R.M. Kaminski(1989) Habitat management for migrating and wintering waterfowl in North America. Texas Tech University Press. Texas. 560pp.
- Son, Y.M. and H.K. Byeon(2001) Feeding habit of main carnivorous fish (*Erythroculter erythropterus*, *Opsariichthys uncirostris* and *Micropterus salmoides*) at lake Paldang. *The Bulletin of Institute*. 15: 61-78.
- Werner, E.E.(1992) Competitive interactions between wood frog and northern leopard frog larvae: the influence of size and activity. *Copeia*. 1992(1): 26-35.
- Williamson, M. and A. Fitter(1996) The varying success of invaders. *Ecology*. 77(6): 1661-1666.
- Yoo, J.W., H.J. Kim, H.J. Lee, C.G. Lee, C.S. Kim, J.S. Hong, J.P. Hong and D.S. Kim(2007) Interaction between invertebrate grazers and seaweeds in the East Coast of Korea. *The Sea*. 12(3): 125-132. (in Korean with English abstract)
- Yu, S.M., T.H. Noh, D.M. Kim, T.W. Jeon, Y.K. Lee, S.W. Lee, O.J. You, B.S. Kim and Y.H. Lee(2011) Ecological Characteristics of Bacteriophages Infecting *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* and Their Use as Biocontrol Agents. *Res. Plant Dis*. 17(1): 90-94. (in Korean with English abstract)
- Yum, J.J. and E.S. Ha(2014) Kinetic properties of lactate dehydrogenase in tissues from *Rana catesbeiana*. *Journal of Life Science*. 24(2): 118-127. (in Korean with English abstract)