

가항늪에 서식하는 황소개구리(*Lithobates catesbeianus*)의 먹이원 분석 연구^{1a}

박창득² · 이창우³ · 임정철⁴ · 양병국² · 이정현^{2*}

A Study on the Diet Items of American Bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Ga-hang Wetland, Korea^{1a}

Chang-Deuk Park², Chang-Woo Lee³, Jeong-Cheol Lim⁴, Byeong-Gug Yang², Jeong-Hyun Lee^{2*}

요 약

본 연구는 황소개구리의 성별 및 성숙도, 시기에 따른 먹이원 및 포식 습성을 확인하기 위해 2014년 4월부터 9월까지 경상남도 창원군 가항늪에서 진행하였다. 황소개구리 먹이원은 위 절제술을 통해 위에서 직접 수집하였으며, 위 내용물을 종 수준까지 동정하였다. 연구결과, 황소개구리는 크고 무거운 개체일수록 많은 양의 먹이를 포식하는 것으로 나타났으나, 성별 및 성숙도에 따른 포식량은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 연구기간 동안 황소개구리의 먹이원은 곤충강(개체 수 평균 비율 65.5%)이 가장 높은 비중을 차지하였고, 그 다음으로는 갑각강(13.5%), 복족강(7.9%) 순으로 나타났다. 황소개구리는 곤충강의 물자라(*Muljarus japonicus*)를 가장 많이 포식한 것으로 확인되었으며, 박새(*Parus major*), 등줄쥐(*Apodemus agrarius*), 땃쥐(*Crocidura lasiura*) 등도 황소개구리의 먹이원으로 나타났다. 황소개구리는 습지생태계의 교란에 직접적인 영향을 미치며, 이러한 결과들은 환경부 생태교란 생물로 지정되어 있는 황소개구리가 습지생태계에 미치는 영향을 확인하는데 중요한 기초자료가 될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 교란, 먹이원, 먹이사슬, 습지, 포식습성, 황소개구리

ABSTRACT

This study was conducted to clarify diet items and predatory behavior of American bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) according to the sex, maturity and season from April to September 2014 at Gahang wetland of Changnyeong-gun, Gyeongsangnamdo province, Korea. We examined the stomach contents of *L. catesbeianus* using a gastrectomy technique and identified the contents to a genus or species. The examination showed that large and heavy individual of *L. catesbeianus* fed on larger amounts of food. However, there were no statistically significant differences in predation amount according to the sex and maturity of *L. catesbeianus*. The main diet item of during the study period was mostly Insecta (average population rate of 65.5%), followed by Crustacea (13.5%) and Gastropoda (7.9%). The most preferred diet item of *L. catesbeianus* was *Muljarus japonicus*. Surprisingly, *L. catesbeianus* also foraged *Parus major*, *Apodemus agrarius*, and *Crocidura lasiura*. This

1 접수 2017년 11월 1일, 수정 (1차: 2017년 12월 26일, 2차: 2018년 1월 6일), 게재확정 2018년 1월 8일

Received 1 November 2017; Revised (1st: 26 December 2017, 2nd: 6 January 2018); Accepted 8 January 2018

2 국립생물자원관 National Institute of Biological Resources, Seo-gu Incheon 22689, Korea

3 국립생태원 National Institute of Ecology, Seocheon-gun Chungnam 33657, Korea

4 국립환경과학원 National Institute of Environmental Research, Seo-gu Incheon 22689, Korea

a 본 연구는 2014년 국립환경과학원 국립습지센터 전국내륙습지 정밀조사 지원에 의하여 수행되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-32-590-7156, Fax: +82-32-590-7069, E-mail: lee98511@korea.kr

findings showed that *L. catesbeianus* directly disturbed the wetland ecosystem. We expect the results will be the important reference data for checking the impact of *L. catesbeianus*, which is designated as invasive species by the Ministry of Environment, on wetland ecosystem.

KEY WORDS : AMERICAN BULLFROG, DIET ITEM, DISTURBANCE, FOOD CHAIN, PREDATORY BEHAVIOR, WETLAND

서론

황소개구리(*Lithobates catesbeianus*)는 2003년 IUCN에서 전 세계 100대 악성 침입성 외래종으로 지정되었으며(IUCN, 2003), 우리나라를 포함하여 중국, 일본, 대만 등 대부분의 아시아 국가들에 도입되어 각 나라의 토착생태계를 심각하게 교란하고 있는 것으로 알려졌다(The General Office of the State Council of China, 2003; Global Invasive Species Database, 2015; National Institute for Environmental Studies of Japan, 2015). 북아메리카가 원서식지인 황소개구리는 1800년대 남아메리카를 시작으로 1900년대 유럽과 아시아까지 널리 퍼져나갔다(Telford, 1960; Stumpel, 1992; Wu et al. 2004). 자신의 입의 크기에 맞는 먹이라면 무엇이든 잡아먹는 왕성한 포식력을 가진 황소개구리는 도입된 나라의 토착 양서류 군집의 감소와 일부 종들의 절멸에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려졌다(Bury and Whelan, 1984; Moyle, 1973; Fisher and Shaffer, 1996; Kiesecker and Blaustein, 1998). 황소개구리의 주요 먹이원은 대부분 곤충류가 차지하지만(Cohen and Howard, 1958; Bury and Whelan, 1984; Hirai, 2004; Barrasso et al. 2009), 각 나라와 서식지에 따라 뱀, 거북과 같은 파충류를 비롯하여 어류, 조류, 포유류가 포함된 소형 척추동물들까지 포식하는 것으로 보고되었다(Smith, 1977; Gollop, 1978; Corse and Metter, 1980; Beringer and Johnson, 1995).

우리나라에는 황소개구리를 식용 목적으로 1957년 진해 국립양어장으로 수입하였으나, 양식에 실패하였고 1971년 일본으로부터 도입하여 양식을 시도하였다(Kim, 1971; Kim, 1975). 이후, 황소개구리는 농가소득 증대를 위하여 우리나라 전역에 많은 농가에 분양되었지만 대형 개구리를 혐오하는 국민 인식과 사육비용 대비 낮은 판매 가격으로 인한 경제성 부족으로 인하여 양식이 중단되었으며, 농가에서 양식하던 개체들이 방사되어 자연으로 유입되었다(Kil et al. 2011). 황소개구리는 현재 제주도를 포함한 우리나라 전역에 분포하고 있다(Oh and Hong, 2007; Kim and Song, 2010). 최근 조사에 따르면 황소개구리는 경기도, 강원도,

경상도 지역에서는 개체 수가 다소 줄어든 반면, 충청도, 전라도에는 아직도 많은 개체가 서식하고 있으며, 제주도를 비롯하여 장산도, 상태도, 신의도 등 도서지역에도 널리 확산되어 있다(Kil et al. 2011). 현재 환경부에서는 우리나라 생태계에 악영향을 미치고 황소개구리를 생태계교란 생물로 지정하여 관리하고 있다.

1970년대 우리나라에 도입된 황소개구리에 관한 국내 연구는 생태, 번식주기, 양식, 이용, 포획 및 관리방안 등 많은 연구들이 이루어졌다(Kim, 1971; Kim 1975; Kim and Ko, 1998; Choi et al. 1998; Ministry of Environment, 1999; Ko 2000; Ministry of Environment, 2005; Oh and Hong, 2007; Kil et al. 2011; Mun et al. 2013). 황소개구리의 먹이원에 관한 이전 연구들에서는 곤충류, 복족류, 갑각류, 어류, 양서류, 조류, 포유류 등을 포식하는 것으로 확인되었으며, 이 가운데 주요 먹이원은 곤충류인 것으로 확인되었다(Kim, 1971; Kim and Ko, 1998; Choi et al. 1998; Ministry of Environment, 1999; Ministry of Environment, 2005). 하지만 이전 연구들에서는 황소개구리의 먹이원 분류 단위가 강(Class) 또는 목(Order) 수준으로 되어 있어 정확한 먹이원을 확인하는데 한계가 있었으며, 먹이사슬 교란 및 생태계에 미치는 부정적인 영향을 평가하는데 어려움이 있었다. 이에 본 연구는 황소개구리의 먹이원을 속(Genus) 또는 종(Species) 단위까지 동정하고 준성체, 수컷, 암컷별 포식 습성 확인을 목적으로 경상남도 창원군 가항늪에 서식하는 황소개구리를 대상으로 2014년 4월부터 9월까지 총 6개월 동안 수행하였다.

연구방법

1. 연구지역

황소개구리의 먹이원 분석 연구는 경상남도 창원군 이방면 가항리에 위치한 가항늪(N 35° 31' 17.0" E 128° 23' 8.4")에서 수행하였다. 가항늪은 낙동강의 지류인 토평천이 범람하여 형성된 배후습지로 동쪽과 서쪽에는 낮은 산지가 위치하고 북쪽과 남쪽은 대부분 논과 밭이 자리하고 있었다(Figure 1.). 가항늪의 물은 수로를 따라 인근 배수펌프장을

거쳐 토평천을 통해 낙동강으로 흘러갔다. 가항늪에는 줄(*Zizania caduciflora*), 세모고랭이(*Scirpus triqueter*), 애기부들(*Typha angustifolia*), 갈대(*Phragmites communis*) 등의 수변식물과 함께 말즘(*Potamogeton crispus*), 마름(*Trapa japonica*) 등의 수생식물이 풍부해 황소개구리가 먹이를 사냥하거나 은신하기에 매우 적합한 환경이었다. 먹이원 분석을 위한 황소개구리의 포획은 가항늪 2개의 연못을 비롯하여 가항늪과 연결된 인근의 배수펌프장 유수지까지 포함하여 총 3개 장소에서 수행하였다.

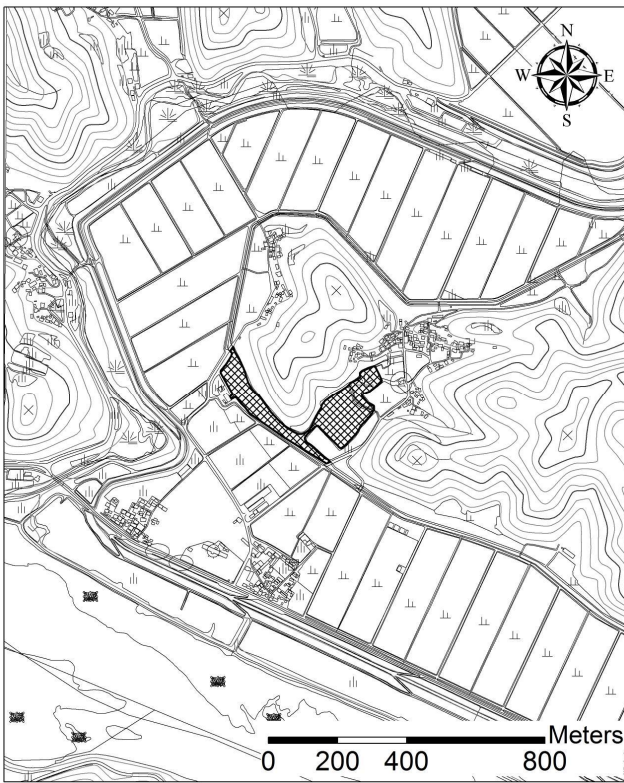


Fig 1. Study area(☒; Ga-hang wetland)

2. 조사방법

황소개구리 포획은 매월 1-2회, 일몰 후, 18:00-21:00 사이에 수행하였다. 또한 외부형태의 특징, 포식한 먹이원 등을 비교, 분석하기 위해 포획한 황소개구리는 성별과 몸통 길이에 따라 준성체, 수컷, 암컷 총 3가지 유형으로 구분하였다. 몸통 길이는 80-120mm는 준성체, 120mm 이상은 성체로 구분하였다(Jancowski and Orchard, 2013). 황소개구리는 가항늪 수변부 또는 카약(Tequila, Point65)을 이용하여 습지 내부에서 포획하였다. 삼지창을 이용한 포획은 통발, 주낙, 그물 포획법과 비교하여 황소개구리의 성별 또는 크

기에 따라 선별하여 포획할 수 있는 장점이 있었다. 포획한 황소개구리는 양서류 마취제인 0.1% MS-222(Ethyl 3-amino-benzoate methanesulfonate salt, Sigma)가 담긴 용기에 곧바로 넣어 마취하였다. 마취한 황소개구리는 이후, 실험실로 옮겨 흐르는 물에 세척한 다음 -70℃가 유지되는 초저온 냉동고(DFU-740CE, Operon)에 5-10분 동안 급랭하였다(Jancowski and Orchard, 2013). 황소개구리는 현재 생태계 교란 생물로 지정되어 있어 포획 후, 재방사가 불가하기 때문에 마취와 급랭을 통한 안락사를 진행하였다.

냉동한 황소개구리는 6℃로 유지되는 냉장고에서 해동하여 곧바로 각 개체의 외부형태 특징을 측정하였다. 외부형태 특징은 전체 길이(TL; total length), 몸통 길이(SVL; snout-vent length), 앞다리 길이(FOL; foreleg length), 뒷다리 길이(HIL; hindleg length), 머리의 폭(HEW; head width), 머리의 길이(HEL; head length), 무게(BOW; body weight) 등 총 7가지 부위를 측정하였다. 황소개구리 외부형태 특징 가운데 각각의 길이는 디지털 캘리퍼스(Digital caliper, Mitutoyo)로 0.1mm 단위까지 무게는 전자저울(Entris-8201, Sartorius)을 이용하여 0.1g 단위까지 측정하였다.

황소개구리 먹이원은 위 절제술을 통해 위에서 직접 수집하였다. 황소개구리 위에서 꺼낸 먹이원은 70% 에탄올이 담긴 표본병에 각 개체별로 구분하여 고정하였다. 먹이원의 1차 동정은 해당 분류군 도감을 이용하여 수행하였으며, 미동정된 종과 재검토가 필요한 종은 해당 분류군의 전공자에 동정을 의뢰하여 2차로 최종 동정하였다. 황소개구리 먹이원 동정은 곤충류의 경우, Kim et al.(2012), Park et al.(2012), Park et al.(2013), 복족류와 수서곤충류는 Gong et al.(2013), 거미류는 Gong(2013) 등의 도감을 이용하였다. 황소개구리 위 내용물에서 확인된 먹이원은 최대한 종(species) 수준까지 동정하는 것을 원칙으로 하였으며, 분류군에 따라 종 단위의 분류가 어려울 경우에는 속(genus) 수준으로 동정하였다. 동정이 끝난 먹이원은 길이(L)와 폭(W)을 디지털 캘리퍼스로 측정하여 각 개체별 부피(V)를 아래와 같은 산술식을 통해 계산하였다(Magnusson et al. 2003). 또한 먹이원의 각 개체별 부피를 합산하여 황소개구리의 개체별 포식량(TOVOL; total volume)을 산출하였다. 동정과 측정이 끝난 먹이원은 각 종별로 측정용 자를 두고 사진 촬영하였으며, 이후 6℃로 유지되는 냉장고에 보관하였다.

$$V = 4/3\pi (L/2) (W/2)^2$$

3. 통계분석

황소개구리의 총 7가지 외부형태 특징, 개체별 먹이원의 부피에 관한 자료는 모두 정규분포 하는 것으로 확인되었다

(Shapiro-Wilk's normality test, 모든 경우, $p > 0.05$). 황소개구리 유형별 외부형태 특징 비교, 유형별 포식량 비교는 모수통계법인 One-way ANOVA, 수컷과 암컷의 외부형태 특징 비교는 Independent sample *t*-test를 이용하여 분석하였다. 외부형태 특징과 포식량에 상관관계는 Pearson correlation을 이용하였다. 모든 통계분석은 SPSS(Statistical package for social science, ver. 23)을 이용하였으며, $\alpha = 0.05$ 를 기준으로 통계적 유의성을 판단하였다. 본문과 표에 제시한 모든 자료는 평균±표준오차로 제시하였다.

결 과

연구기간 동안 수컷은 47개체, 암컷은 43개체, 준성체 49개체를 포함하여 총 139개체의 황소개구리를 포획하였다. 황소개구리 외부형태 특징의 측정 결과는 Table 1과 같다. 형태적으로 성 성숙의 특징이 나타나지 않은 준성체는 수컷, 암컷과 비교하여 외부형태 특징 7가지 모두에서 작거나 가벼운 것으로 나타났다(One-way ANOVA, 모든 경우 $p < 0.05$). 반면, 성숙한 수컷과 암컷은 측정된 7가지 외부형태 특징 모두에서 특별한 차이를 보이지 않았다(Independent sample *t*-test, 모든 경우 $p > 0.05$). 포획한 황소개구리 가운데 가장 큰 개체는 암컷으로 TL이 404.3mm, SVL이 160.0mm, BOW는 519.9g이었으며, 가장 작은 개체는 준성체로

TL이 118.2mm, SVL이 49.5mm, BOW는 12.9g 이었다.

포획한 총 139개체의 황소개구리 가운데 위 내용물이 있었던 개체는 84.9%에 해당하는 118개체였다. 유형별 평균 포식량은 준성체가 4,539.0±1,154.8mm³(range=54.1-45,371.9), 수컷이 5,870.6±1,601.9mm³(range=20.2-43,460.2), 암컷이 8,356.3±2,419.3mm³(range=76.4-65,505.6)로 확인되었다. 또한 외부형태 특징과 포식량 사이에 상관관계를 분석한 결과, 머리 길이를 제외한 6가지 외부형태 특징과 포식량 사이에 유의미한 양의 상관관계가 확인되어 크고 무거운 개체일수록 많은 양의 먹이를 포식하는 것으로 나타났다(Pearson correlation; TL: $r=0.21$, $p < 0.05$, SVL: $r=0.20$, $p < 0.05$, FOL: $r=0.24$, $p < 0.05$, HIL: $r=0.21$, $p < 0.05$, HAW: $r=0.21$, $p < 0.05$, BOW: $r=0.25$, $p < 0.05$). 반면, 준성체, 수컷 및 암컷의 유형별 포식량에는 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않아 성별과 크기에 따라 포식량에는 차이를 보이지 않았다(One-way ANOVA, $df=2$, $F=1.22$, $p > 0.05$).

황소개구리 위 내용물에서 수집한 먹이원을 동정한 결과, 총 4문 10강 20목 46과 62속 63종(미동정 종 12종 포함) 646개체를 확인하였다(Table 2). 각 먹이원의 개체 수를 기준으로 각 분류군별 구성 비율의 순서는 곤충강(Class Insecta) 65.5%, 갑각강(Class Crustacea) 13.5%, 복족강(Class Gastropoda) 7.9%, 양서류강(Class Amphibia) 7.3%, 거미강(Class Arachnida) 4.2%, 정골어강(Class Osteichthyes) 4.2%, 빈모강(Class Oligochaeta)과 포유강(Class Mammalia)이

Table 1. Physical characteristics of the American bullfrogs used in this study

	n	TL(mm)	SVL(mm)	FOL(mm)	HIL(mm)	HEL(mm)	HEW(mm)	BOW(g)
Male (range)	47	313.7±4.6 (254.4-392.6)	126.1±1.7 (104.3-148.6)	70.7±1.0 (56.5-82.3)	187.6±3.0 (146.5-244.0)	40.3±0.8 (20.0-48.7)	48.4±0.7 (40.2-57.6)	223.1±11.6 (115.6-377.7)
Female (range)	43	308.0±6.4 (231.2-404.3)	125.6±2.6 (92.2-160.0)	71.2±1.6 (53.0-82.3)	182.4±4.0 (139.0-244.2)	39.5±0.8 (30.8-53.8)	46.3±1.0 (35.9-62.1)	227.4±15.3 (86.5-519.9)
Subadult (range)	49	217.8±5.4 (118.2-280.0)	88.3±2.2 (49.5-113.9)	49.3±1.3 (26.4-69.2)	129.5±3.2 (68.8-166.2)	29.1±0.6 (17.5-53.8)	33.1±0.7 (18.5-43.1)	79.4±5.2 (12.9-170.7)

Table 2. List of diet items of the American bullfrogs investigated in this study

Phylum	Class	Order	Family	Genus	Scientific name	Korean name	N	Type [†]	Index [‡] (%) NP VP	
Arthropoda	Insecta	Heteroptera	Belostomatidae	Muljarus	<i>Muljarus japonicus</i>	물자라	131	A		
			Nepidae	Laccotrephes	<i>Laccotrephes japonensis</i>	장구애비	9	A		
				Ranatra	<i>Ranatra chinensis</i>	게아재비	13	A		
			Gerridae	Aquarius	<i>Aquarius paludum</i>	소금쟁이	36	A		
			Coreidae	Riptortus	<i>Riptortus clavatus</i>	톱다리개미허리노린재	2	A		
				Pentatomidae	Scotinophara	<i>Scotinophara horvathi</i>	갈색큰머리노린재	20	A	65.5
			Dalpada		<i>Dalpada cinctipes</i>	다리무늬두원점노린재	1	A		
			Cicadidae	Cryptotympana	<i>Cryptotympana atrata</i>	말매미	3	N		
			Coleoptera	Hydrophilidae	Hydrophilus	<i>Hydrophilus accuminatus</i>	물땡땡이	2	A	
					Hydrochara	<i>Hydrochara affinis</i>	잔물땡땡이	2	A	
					Dytiscidae	Hydaticus	<i>Hydaticus grammicus</i>	꼬마줄물방개	4	A

Table 2. List of diet items of the American bullfrogs investigated in this study

Phylum	Class	Order	Family	Genus	Scientific name	Korean name	N	Type [†]	Index [‡] (%)	
									NP	VP
			Coccinellidae	Henosepilachna	<i>Henosepilachna vigintioctopunctata</i>	이십팔점박이무당벌레	6	A		
				Propylea	<i>Propylea japonica</i>	꼬마남생이무당벌레	2	A		
			Harpalidae	Amara	<i>Amara</i> sp.	애들근먼지벌레속 sp.	4	A		
				Onycholabis	<i>Onycholabis</i> sp.	물결납작먼지벌레속 sp.	6	A		
				Harpalus	<i>Harpalus</i> sp.	머리먼지벌레속 sp.	10	A		
			Tenebrionidae	Blindus	<i>Blindus</i> sp.	제주거저리속 sp.	3	A		
			Staphylinidae	Philonthus	<i>Philonthus</i> sp.	좁반날개속 sp.	2	A		
			Elateridae	Melanotus	<i>Melanotus restrictus</i>	검정빛살방아벌레	1	A		
			Cerambycidae	Apriona	<i>Apriona germari</i>	뿔나무하늘소	2	A		
			Scarabaeidae	Anomala	<i>Anomala chamaeleon</i>	카멜레온줄풍뎅이	2	A		
				Onthophagus	<i>Onthophagus fodiens</i>	모가슴소풍뎅이	1	A		
		Blattodea	Mantidae	Tenodera	<i>Tenodera sinensis</i>	왕사마귀	1	A		
				Statilia	<i>Statilia maculata</i>	좁사마귀	2	A		
		Odonada	Agerionidae	Cercion	<i>Cercion melanotum</i>	작은등줄실잠자리	25	A, N		
			Aeshnidae	Anax	<i>Anax parthenope julius</i>	왕잠자리	8	A, N		
			Libellulidae	Orthetrum	<i>Orthetrum albistylum speciosum</i>	밀잠자리	3	A		
		Orthoptera	Gryllotalpidae	Gryllotalpa	<i>Gryllotalpa orientalis</i>	땅강아지	78	A		
			Tettigidae	Criotettix	<i>Criotettix japonicus</i>	가시모메뚜기	2	A		
			Gryllidae	Teleogryllus	<i>Teleogryllus emma</i>	왕귀뚜라미	14	A, N		
			Tettigonidae	Eobiana	<i>Eobiana engelhardti</i>	애여치	1	A		
				Gampsocleis	<i>Gampsocleis ussuriensis</i>	긴날개여치	4	A		
			Acrididae	Acrida	<i>Acrida cinerea</i>	방아개비	1	A		
			Apidae	Apis	<i>Apis mellifera</i>	양봉꿀벌	1	A		
		Hymenoptera	Vespidae	Polistes	<i>Polistes snelleni</i>	별쌍살벌	1	A		
				Vespa	<i>Vespa mandarinis</i>	장수말벌	2	A		
				Vespa	<i>Vespa velutina</i>	등검은말벌	1	A		
			Eumenidae	Eumenes	<i>Eumenes nigrior</i>	점호리병벌	3	A		
		Diptera	Stratiomyidae	Stratiomys	<i>Stratiomys japonica</i>	줄동애등애	3	N		
			Tabanidae	Tabanus	<i>Tabanus</i> sp.	등애속 sp.	10	N		
		Lepidoptera	Arctiidae	Aglaomorpha	<i>Aglaomorpha histrio</i>	흰무늬왕불나방	1	A		
	Crustacea	Isopoda	Corixidae	Asellus	<i>Asellus hilgendorffii</i>	물벌레	55	A	13.5	1.1
			Oniscidae	Armadillidium	<i>Armadillidium vulgare</i>	공벌레	32	A		
	Arachnida	Araneae	Lycosidae	Arctosa	<i>Arctosa</i> sp.	논늑대거미속 sp.	15	A		
				Anahita	<i>Anahita</i> sp.	너구리거미속 sp.	2	A	4.2	1.0
			Thomisidae	Xysticus	<i>Xysticus</i> sp.	참게거미속 sp.	2	A		
			Pisauridae	Dolomedes	<i>Dolomedes sulfureus</i>	황닷거미	8	A		
	Chilopoda	Scolopendromorpha	Scolopendridae	Scolopendra	<i>Scolopendra</i> sp.	왕지네속 sp.	1	A	0.1	0.5
	Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Amyntas	<i>Amyntas</i> sp.	왕지렁이속 sp.	2	A	0.3	0.9
	Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae	<i>Hippeutis cantori</i>	수정또아리물달팽이	19	A		
			Eupulmonata	Physidae	<i>Physa acuta</i>	원뿔이물달팽이	4	A	7.9	2.6
			Limacidae	Oxyloma	<i>Oxyloma hirasei</i>	뽕쪽잠물우렁이	24	A		
		Stylommatophora	Bradybaenidae	Acusta	<i>Acusta despecta</i>	명주달팽이	3	A		
		Architaenioglossa	Viviparidae	Cipangopaludina	<i>Cipangopaludina chinensis malleata</i>	논우렁이	1	A		
	Chordata	Osteichthyes	Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Pseudorasbora</i> sp.	참붕어속 sp.	2	A	0.8	12.5
				Carassius	<i>Carassius auratus</i>	붕어	1	A		
				Misgurnus	<i>Misgurnus mizolepis</i>	미꾸라지	2	A		
		Amphibia	Anura	Ranidae	<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	참개구리	2	A		
				Lithobates	<i>Lithobates catesbeianus</i>	황소개구리	1	J	7.3	13.4
				Bufo	<i>Bufo gargarizans</i>	두꺼비	44	J		
	Aves	Passeriformes	Paridae	Parus	<i>Parus major</i>	박새	1	J	0.1	5.6
	Mammalia	Rodentia	Muridae	Apodemus	<i>Apodemus agrarius</i>	등줄쥐	1	A	0.3	8.1
				Crocidura	<i>Crocidura lasiura</i>	맛쥐	1	A		
Total							646		100	100

†Type: A; adult, N; nymph, J; juvenile.

‡Index: N; number of individuals, NP; numeric proportion, VP; volumetric proportion.

0.3%, 순각강(Class Chilopoda)과 조강(Class Aves)이 0.2% 순으로 나타났다(Figure 2). 반면, 먹이원의 부피를 기준으로 각 분류군별 구성 비율은 곤충강 54.3%, 양서류 13.4%, 경골어강 12.5%, 포유강 8.1%, 조강 5.6%, 복족강 2.6%, 갑각강 1.1%, 거미강 1.0%, 빈모강 0.9%, 순각강 0.5% 순으로 확인되었다(Figure 2).

황소개구리가 포식한 먹이원의 개체 수와 부피의 월별 변화량은 Table 3과 같다. 4월부터 9월까지 황소개구리가 포식한 먹이원을 개체 수를 기준으로 확인한 결과, 곤충강이 평균 63.6±6.1%(range=40.0-72.9) 가장 높은 비중을 차지하였고 그 다음으로는 갑각강 11.9±5.7%(range=0-34.2), 복족강 11.4±4.1%(range=1.2-28.6), 양서류 6.4±4.2%(range=0-23.9) 순으로 나타났다. 또한 같은 기간 동안 황소개구리가 포식한 먹이원의 부피를 기준으로 확인한 결과에서도 곤충강이 평균 54.8±10.1%(range=10.7-71.6)로 가장 높은 비율을 차지했으며, 그 다음으로는 경골어강 13.3±7.4%(range=0-38.3), 양서류 13.1±8.7%(range=0-50.1), 포유강 6.9±4.4%(range=0-21.5), 조강 4.6±4.6%(range=0-27.5) 순으로 나타났다. 곤충강, 복족강 이상 2개 분류군들은 연구기간 동안

거의 매일 주기적으로 관찰되어 황소개구리의 지속적인 먹이원으로 확인되었으며, 순각강, 빈모강, 양서류, 조강, 포유강과 같은 분류군들은 특정 시기에 습지에서 발생하여 일시적으로 포식한 먹이원인 것으로 나타났다(Table 3).

황소개구리의 주요한 먹이원인 곤충강의 경우, 개체 수를 기준으로 물자라(*Muljarus japonicus*) 성충 131개체, 땅강아지(*Gryllotalpa orientalis*) 성충 78개체, 소금쟁이(*Aquarius paludum*) 성충 36개체, 작은등줄실잠자리(*Cercion melanotum*) 성충과 약충 25개체, 갈색큰머노린재(*Scotinophara horvathi*) 성충 20개체 등의 순으로 나타났으며(Table 2), 부피를 기준으로 물자라 182,545.4mm³, 말매미(*Cryptotympana atrata*) 약충 56,743.1mm³, 땅강아지(*Gryllotalpa orientalis*) 39,403.1mm³, 왕귀뚜라미(*Teleogryllus emma*) 성충과 약충 27,281.7mm³, 장구애비(*Laccotrephes japonensis*) 성충 16,424.3mm³ 등의 순으로 확인되었다. 그밖에 황소개구리의 먹이원 가운데 주목할 만한 종으로는 독이빨이나 독침을 가진 왕지네속 sp.(*Scolopendra* sp.) 성충 1개체(3,552.4mm³), 장수말벌(*Vespa mandarinis*) 성충 2개체(7,348.4mm³), 등검은말벌(*V. velutina*) 성충 1개체(692.1 mm³), 벌쌍살벌(*Polistes snelleni*) 성충 1개체

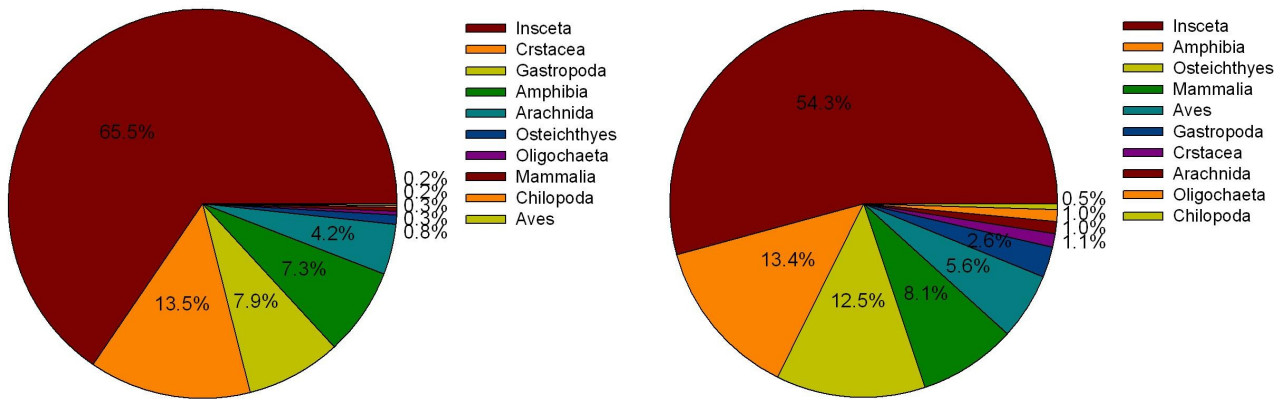


Fig 2. Numeric(a) and volumetric(b) proportion of American bullfrog's diet items.

Table 3. Monthly variation in the diet items of the American bullfrogs investigated in this study

Prey taxon(Class)	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Mean ± SE
Insecta	62.8	53.2	72.9	40.0	81.3	71.5	63.6 ± 6.1
Crustacea	4.3	34.3	0	22.9	10.2	0	11.9 ± 5.7
Arachnida	3.2	1.9	4.7	8.5	6.7	0	4.2 ± 1.3
Chilopoda	0	0.6	0	0	0	0	0.1 ± 0.1
Oligochaeta	0	0	2.4	0	0	0	0.4 ± 0.4
Gastropoda	5.3	8.2	17.6	28.6	1.2	7.1	11.4 ± 4.1
Osteichthyes	0.5	0.6	2.4	1	0	7.1	1.8 ± 1.1
Amphibia	23.9	0	0	0	0	14.3	6.4 ± 4.2
Aves	0	0.6	0	0	0	0	0.1 ± 0.1
Mammalia	0	0.6	0	0	0.6	0	0.2 ± 0.1

Table 3. Monthly variation in the diet items of the American bullfrogs investigated in this study

Prey taxon(Class)	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Mean ± SE
Insecta	68.0	42.2	77.4	59.2	71.6	10.7	54.8 ± 10.1
Crustacea	0.3	0.9	0	1.7	3.1	0	1.0 ± 0.5
Arachnida	0.1	0	0.2	0.1	4.9	0	0.9 ± 0.8
Chilopoda	0	2.4	0	0	0	0	0.4 ± 0.4
Oligochaeta	0	0	11.8	0	0	0	2.0 ± 2.0
Gastropoda	1.4	3.7	7.4	4.0	0.5	0.9	3.0 ± 1.1
Osteichthyes	1.8	1.8	3.2	35.0	0	38.3	13.3 ± 7.4
Amphibia	28.4	0	0	0	0	50.1	13.1 ± 8.7
Aves	0	27.5	0	0	0	0	4.6 ± 4.6
Mammalia	0	21.5	0	0	19.9	0	6.9 ± 4.4

†Index: NP; numeric proportion, VP; volumetric proportion.

(216.0mm³)등이 관찰되었고 생태적으로 지위가 같은 양서류인 두꺼비(*Bufo gargarizans*) 유생 44개체(23,139.7mm³), 참개구리(*Pelophylax nigromaculatus*) 성체 2개체(40,354.9mm³)와 같은 양서류도 관찰되었다. 무엇보다 황소개구리는 습지생태계 먹이사슬에 상위에 있는 위치한 박새(*Parus major*) 유조 1개체(40,536.9mm³), 등줄쥐(*Apodemus agrarius*) 성체 1개체

(31,574.1mm³), 땃쥐(*Crocidura lasiura*) 성체 1개체(27,881.6mm³)와 같은 조류, 포유류까지 포식하는 것으로 나타났다 (Figure 3). 위 내용물이 확인된 118개체 가운데 동종포식(cannibalism)이 확인된 사례는 황소개구리 올챙이를 포식한 1개체로 동종포식률은 0.8%로 낮게 나타났다.

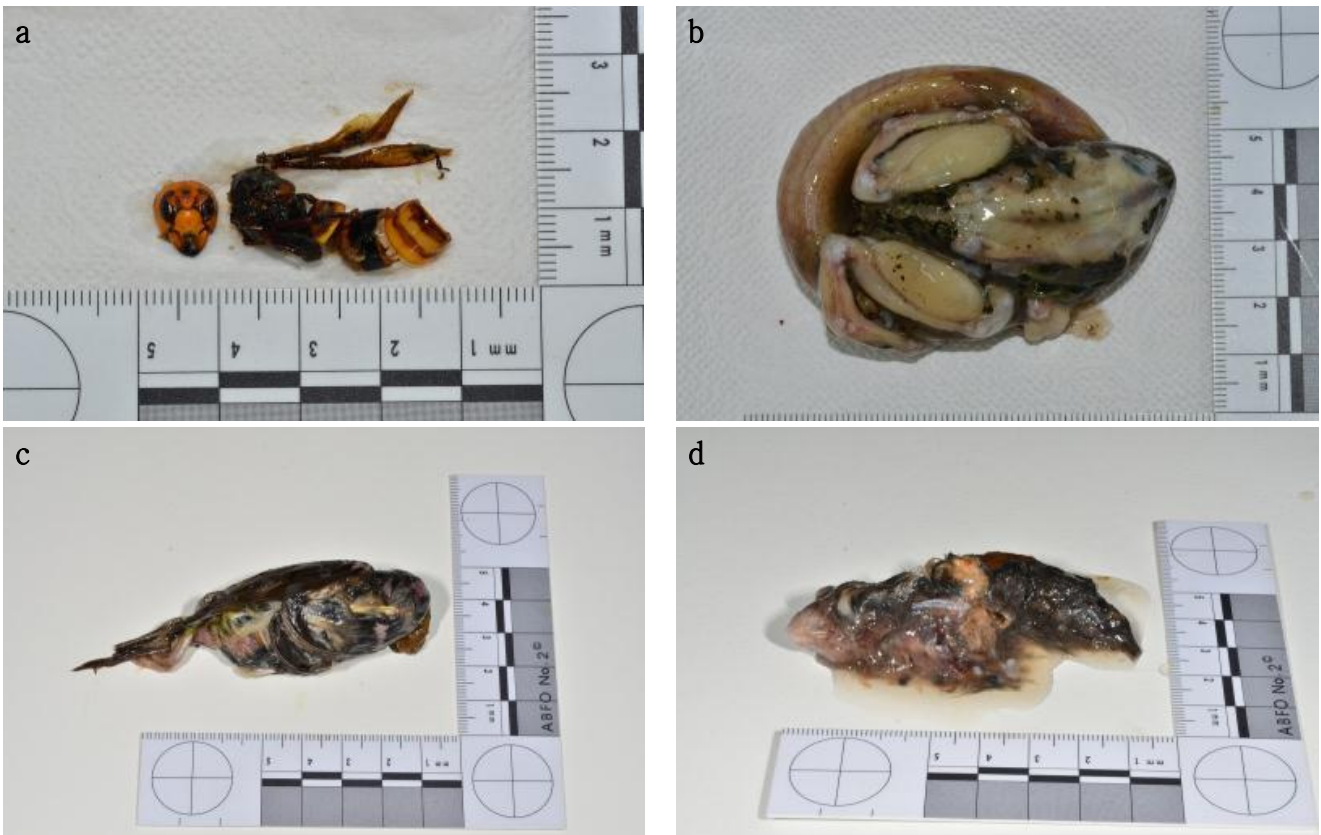


Fig 3. Representative diet items from the American bullfrogs investigated. (a) *Vespa mandarinis*, (b) *Pelophylax nigromaculatus*, *Misgurnus mizolepis*, (c) *Parus major*, (d) *Apodemus agrarius*.

고찰

대부분의 양서류(유미목 60.8%, 무미목 89.6%) 암컷은 수컷보다 크고 번식기 수컷들 사이에 레슬링과 같은 물리적 경쟁이 빈번한 일부 종들의 경우에는 수컷이 암컷보다 큰 것으로 알려져 있다(Shine, 1979). 양서류 암컷은 몸집이 클수록 번식력도 함께 증가하기 때문에 번식성공률을 높이기 위해 수컷은 몸집이 큰 암컷을 선호하게 된다(Trivers, 1972). 또한 수컷은 암컷에 비해 사망률이 높고 대부분 암컷보다 작은 것으로 알려져 있다(Organ, 1961). 황소개구리의 번식 전략에 있어 나이가 많고 크기가 큰 수컷은 어리고 작은 수컷에 비해 좋은 산란지를 선점하여 번식성공률이 높고 이로 인해 암컷은 크기가 큰 수컷을 선호하는 것으로 보고된 바 있다(Howard, 1978). 하지만 황소개구리 수컷과 암컷의 크기 차이는 수컷 간 경쟁, 성 선택 및 번식성공률에는 큰 영향을 미치지만 진화학적으로 암컷과 수컷의 크기 차이를 결정하는 성적이형성에는 그 영향의 정도가 낮은 것으로 알려졌다(Shine, 1979). 황소개구리에 대한 이전 연구에서도 암컷과 수컷의 크기는 차이가 없는 것으로 나타났으며(Kim, 1975; Wu et al. 2006; Silva et al. 2009), 우리의 연구에서도 동일한 결과를 확인하여 황소개구리 성별에 따른 개체 크기 차이는 성적이형성과의 관련성은 낮은 것으로 생각된다. 성별에 따른 크기를 제외하고 현재까지 잘 알려진 황소개구리의 대표적인 성적이형성에는 외고막 지름, 울음주머니, 생식 혹 등이 있다. 성적으로 성숙한 수컷 황소개구리의 고막은 눈보다 2배 이상으로 크고 턱 아래에 황색 울음주머니가 있으며, 번식기에 앞발가락에 짙은 회색의 생식 혹이 발달하는 반면, 암컷은 고막의 크기가 눈과 비슷하고 울음주머니와 생식 혹은 없는 것이 특징이다(National Research Council, 1974).

황소개구리의 외부형태 특징과 포식량 사이에 상관관계를 분석한 결과, 머리의 길이를 제외한 6가지 특징과 포식량은 모두 양의 상관관계를 나타냈다. 이전의 황소개구리의 먹이원 연구에서도 SVL과 포식량 사이에는 유의미한 양의 상관관계를 나타내어 크기가 큰 개체일수록 많은 양의 먹이를 포식하는 것으로 나타났다(Wu et al. 2006; Wang et al. 2008). 다른 무미양서류인 Black-spotted pond frog(*Rana nigromaculata*), Darma pond frog(*R. porosa brevipoda*) 역시 개체의 SVL과 포식량은 양의 상관관계를 보이는 것으로 보고된 바 있다(Hirai and Matsui, 2001; Hirai, 2002). 하지만 황소개구리 준성체, 수컷, 암컷에 따른 3가지 유형 사이에 포식량은 차이가 없었으며, 수컷과 암컷 사이에 포식량에 차이가 없음이 다른 연구들에서도 밝혀진 바 있다(Beard, 2007; Silva et al. 2009). 황소개구리의 유형에 따라 포식량에 차이가 없는 이유로는 황소개구리의 강한 포식성

때문인 것으로 추정된다. 황소개구리는 다른 양서류와 마찬가지로 물가 또는 수초 위에 휴식하고 있다가 주변에 먹이를 발견함과 동시에 곧바로 달려들어 포식하는 기회주의적인 포식습성을 가지고 있다. 무엇보다 주변에 움직이는 모든 사물에 거의 반응하며 집어삼키는 강한 포식성으로 인하여 준성체, 수컷, 암컷 사이에 포식량에도 큰 차이가 없었던 것으로 생각된다.

연구기간 동안 위 내용물을 통해 우리는 갑각강, 복족강, 곤충강, 순각강, 빈모강, 거미강, 양서강, 경골어강, 포유강, 조강을 포함한 총 4문 10강에 이르는 황소개구리 먹이원을 동정하였으며, 먹이원 가운데 곤충강이 가장 높은 비율로 나타나 황소개구리의 주된 먹이원이 곤충강에 속한 종들인 것을 확인할 수 있었다. IUCN에 의해 “전 세계 100대 악성 침입성 외래종”으로 지정된 황소개구리 먹이원에 관한 연구는 이미 많은 사례들이 알려져 있다. 많은 연구들에서 황소개구리의 주요 먹이원은 대부분 곤충강과 거미강에 속한 종들인 것으로 알려졌다(Wu et al. 2006; Wang et al. 2008; Hothem et al. 2009; Jancowski and Orchard, 2013). 또한 다른 연구에서는 곤충강 이외에 갑각강, 양서강에 속한 종이 황소개구리의 주요한 먹이원인 경우를 확인한 연구들도 있었다(Hirai, 2004; Silva et al. 2009). 우리나라에 서식하는 황소개구리 먹이원에 관한 연구들을 살펴보면 Kim (1971)는 황소개구리는 가재, 붕어, 미꾸라지, 곤충, 지렁이, 달팽이, 게, 새우, 지네, 노래기 등 움직이는 소형동물은 대부분 포식한다고 하였으며, Kim and Ko(1998), Ministry of Environment(1999)의 연구에서는 황소개구리 주요 먹이원에서 곤충류가 전체 먹이원에 60% 비율을 차지하는 것으로 보고하였다. 이러한 사례들과 우리의 연구결과를 통해 황소개구리는 서식지 내에서 관찰되는 모든 소형동물들을 포식하는 것이 가능하며, 이러한 포식습성은 도입종인 황소개구리가 우리나라 생태계에 쉽게 적응할 수 있었던 주요한 요인 가운데 하나인 것으로 판단된다.

무미양서류의 먹이원에 관한 연구들은 많은 사례들이 있다. 개구리과(Ranidae)에 속한 Japanese frog(*Rana porosa brevipoda*), Black-spotted pond frog(*R. nigromaculata*), Marsh frog(*R. ridibunda*)의 경우, 먹이원에 60-90%는 곤충강이 차지했으며, 이 가운데 메뚜기과(Acrididae), 딱정벌레과(Carabidae), 노린재과(Pentatomidae)의 종들이 주요 먹이원인 것으로 보고된 바 있다(Hirai and Matsui, 2001; Hirai, 2002; Cicek and Mermer, 2007). 두꺼비과(Bufo)에 속한 Great plains toad(*Bufo cognatus*), Common toad(*B. bufô*)의 경우에도 먹이원에 90% 이상이 곤충강에 속한 딱정벌레과, 풍뎡이과(Scarabaeidae), 바구미과(Curculionidae) 등의 종들이었으며(Anderson et al. 1999; Mollov and Stojanova, 2010), 청개구리과(Hylidae)에 속한 Japanese

treefrog(*Hyla japonica*), Gray treefrog(*H. versicolor*)의 먹이원에서도 곤충강 인시목(Lepidoptera), 막시목(Hymenoptera)의 종들이 70-90%를 비율을 차지하는 것으로 알려졌다(Hirai and Matsui, 2000; Mahan and Johnson, 2007). 위의 연구들에서 확인된 것처럼 대부분의 무미양서류의 주된 먹이원은 곤충류가 대부분이며, 생태계 먹이사슬에서 동일한 위치에 있는 다른 양서류 또는 상위 단계의 파충류, 조류, 포유류의 포식은 그 사례가 거의 없는 것을 알 수 있다. 하지만 황소개구리 먹이원에 대한 다수의 연구에서 황소개구리는 먹이사슬에서 같은 단계에 있는 도롱뇽, 개구리와 같은 양서류를 비롯하여 어류, 파충류, 조류, 포유류와 같은 상위 단계에 있는 동물군까지 폭넓게 포식하는 것으로 알려졌다(Wang et al. 2008; Hothem et al. 2009; Silva et al. 2009; Jancowski and Orchard, 2013). 우리 연구에서도 황소개구리는 강한 식탐성으로 서식지 내에서 서식하는 대부분의 동물들을 비롯하여 양서류, 조류, 포유류 등과 같이 생태적으로 지위가 같은 동물군을 비롯하여 상위 동물군까지 폭넓게 포식하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 황소개구리의 왕성한 포식성은 금개구리 개체군을 감소시키는 것으로 확인된 바 있으며(Ra et al. 2010), 물장군(*Lethocerus deyrollei*), 대모잠자리(*Libellula angelina*), 가시고기(*Pungitius sinensis*), 백조어(*Culter brevicauda*) 낚생이(*Mauremys reevesii*) 등과 같이 습지에 서식하고 있는 다른 멸종위기 야생생물의 개체군 감소를 유발하는 요인으로 작용할 것으로 예상된다.

동종포식은 많은 양서류에서 관찰되는 현상으로 개체군 내의 경쟁, 변태시기에 높은 생존율, 개체군 조절 등에 영향을 미치는 것으로 알려졌다(Marta, 1986). 우리의 연구에서 황소개구리의 동종포식률은 0.8%로 나타났다. 브라질에 서식하는 황소개구리의 경우, 동종포식률은 1.3%, 2.7%로 각각 나타났으며(Silva et al. 2009; Boelter et al. 2012), 캐나다의 경우에는 0.4%로 확인되었다(Jancowski and Orchard, 2013). 곤충류가 주요 먹이원이고 먹이사슬에 상위에 있는 포유류, 조류, 어류까지 포식하는 황소개구리의 먹이원의 구성을 고려해 보았을 때, 황소개구리 성체의 낮은 동종포식률은 자체적인 개체군 조절에 미치는 영향은 미비할 것으로 판단된다.

우리나라에 서식하고 있는 황소개구리의 먹이원을 종(Species) 수준까지 확인한 이번 연구를 통해 황소개구리의 토착 생태계 교란을 직접 확인할 수 있었으며, 이를 통해 환경부 생태계교란 생물로 지정되어 있는 황소개구리가 습지생태계에 미치는 영향을 확인, 평가하는데 중요한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Anderson, A.M., D.A. Haukos and J.T. Anderson(1999) Diet composition of three anurans from the Playa wetland of Northwest Texas. *Copeia* 1999(2): 515-520.
- Barraso, D.A., R. Cajade, S.J. Nenda, G. Baloriani and R. Herrera (2009) Introduction of the American bullfrog *Lithobates catesbeiana* (Anura: Ranidae) in natural and modified environments: an increasing conservation problem in Argentina. *South American Journal of Herpetology* 4: 69-75.
- Beard, K.H.(2007) Diet of the invasive frog, *Eleutherodactylus coqui*, in Hawaii. *Copeia* 2007(2): 281-291.
- Beringer, J. and T.R. Johnson(1995) *Rana catesbeiana* (bullfrog). Diet. *Herpetological Review* 26: 98.
- Boelter, R.A., I.L. Kaefer, C. Both and S. Cechin(2012) Invasive bullfrogs as predators in a neotropical assemblage: What frog species do they eat? *Animal Biology* 2012(62): 397-408.
- Bury, B.R. and J.A. Whelan(1984) Ecology and management of the bullfrog. U.S. Fish and Wildlife Service, Resource Publication 155: 1-23.
- Choi, D.S., S.G. Ko and H.H. Jeong(1998) Study on ecological characteristics and using of American bullfrog. Ministry of Environment, Seoul, 196pp: 54-55. (in Korea)
- Cicek, K and A. Mermer(2007) Food composition of the marsh frog, *Rana ridibunda* Pallas, 1771, in Thrace. *Turkey Journal of Zoology* 2007(31): 83-90.
- Cohen, N.W. and W.E. Howard(1958) Bullfrog growth at the San Joaquin experimental range, California. *Copeia* 1958: 223-225.
- Corse, W.A. and D.E. Metter(1980) Economics, adult feeding and larval growth of *Rana catesbeiana* on a fish hatchery. *Journal of Herpetology* 14: 231-238.
- Fisher, R.N. and H.B. Shaffer(1996) The decline of amphibians in California's great central valley. *Conservation Biology* 10: 1387-1397.
- Global Invasive Species Database(2015) List of alien species Taiwan. In: Invasive species of Taiwan. <http://issg.org/database/species/search.asp?>
- Gollop T.(1978) Bullfrog preying on cedar waxwing. *Herpetological Review* 9: 47-48.
- Gong, S.H.(2013) Guide Book of Spider. Nature and Ecology, Seoul, 416pp. (in Korean)
- Gong, D.S., D.H. Won, J.H. Park, S.A. Ham, S.J. Kweon, S.H. Son, S.C. Han, I.C. Hwang, J.G. Lee, D.H. Ryu, S.H. Lee, S.J. Park, K.A. Yu and H.Y. Gong(2013). Ecological Guide Book of Benthic Macroinvertebrates. National Institute of Environmental Research, Incheon, 483pp. (in Korean)
- Howard, R.D.(1978) The evolution of mating strategies in bullfrogs, *Rana catesbeiana*. *Evolution* 32(4): 850-871.

- Hirai, T and M. Matsui(2000) Feeding habitats of the Japanese tree frog, *Hyla japonica*, in the reproductive season. Zoological Science 2000(17): 977-982.
- Hirai, T and M. Matsui(2001) Food habitats of an endangered Japanese frog, *Rana porosa brevipoda*. Ecological Research 2001(16): 737-743.
- Hirai, T.(2002) Ontogenetic change in the diet of the pond frog, *Rana nigromaculata*. Ecological Research 2002(17): 639-644.
- Hirai, T.(2004) Diet composition of introduced bullfrog, *Rana catesbeiana*, in the Mizorogaike pond of Kyoto, Japan. Ecological Research 2004(19): 375-380.
- Hothem, R.L., A.M. Meckstroth, K.E. Wegner, M.R. Jennings and J.J. Crayon(2009) Diets of three species of anurans from the Cache Creek watershed, California, USA. Journal of Herpetology 43(2): 275-283.
- IUCN(2003) 100 of the world's worst invasive alien species. The invasive species specialist group, Auckland, New Zealand, 11pp.
- Jancowski, K. and S.A. Orchard(2013) Stomach contents from invasive American bullfrog *Rana catesbeiana*(=*Lithbates catesbeianus*) on southern Vancouver island, British Columbia, Canada. NeoBiota 16: 17-37.
- Kiesecker, J.M. and A.R. Blaustein(1998) Effects of introduced bullfrogs and smallmouth bass on microhabitat use, growth, and survival of native red-legged frogs(*Rana aurora*). Conservation Biology 12: 776-787.
- Kim, D.S., S.J. Park, K.S. Oh and J.H. Lee(2012) Butterflies and Moths of the Baekdudaegan. National Institute of Environmental Research, Incheon, 464pp. (in Korean)
- Kim, H.K.(1971) Ecology of bullfrog (*Rana catesbeiana*). Korea Environment Merchandise Testing Institute Proceedings 1971(8): 67-92. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.K.(1975) Indoor Breeding of bullfrog (*Rana catesbeiana*). Korea Environment Merchandise Testing Institute Proceedings 1975(15): 225-238. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.S. and S.K. Ko(1998) Study on distribution, food habit and gametogenesis cycle of introduced species, *Rana catesbeiana*. Forest Science Proceedings 57: 165-177. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.B. and J.Y. Song(2010). Amphibians in Korea. World Science, Seoul, 146pp: 48-49. (in Korean)
- Kil, J.H., S.M. Hwang, D.H. Lee, D.E. Kim, Y.H. Kim, C.W. Lee, H.M. Kim, M.J. Kim, J.M. Kim and K.J. Oh(2011) Alien Species in Korea. National Institute of Environmental Research, Incheon, 272pp. (in Korean)
- Ko, S.K.(2000) A study on the reproductive cycle of bullfrog, *Rana catesbeiana*. Honam university Industrial and Technology Research Institute Proceedings 8: 233-243. (in Korean with English abstract)
- Magnusson, W.E., A.P. Lima, W.A. Silva and M.C. Araujo(2003) Use of geometric forms to estimate volume of invertebrates in ecological studies of dietary overlap. Copeia 2003: 13-19.
- Mahan, R.D. and J.R. Johnson(2007) Diet of gray treefrog(*Hyla versicolor*) in relation to foraging site location. Journal of Herpetology 2007(41): 16-23.
- Marta, L.C.(1986) Cannibalism by younger tadpoles: another hazard of metamorphosis. Copeia 1986(4): 1007-1009.
- Ministry of Environment(1999) Capture and using of American bullfrog. Ministry of Environment, Seoul, 15pp: 5-7. (in Korea)
- Ministry of Environment(2005) Study on the reduction factor of American bullfrog. Ministry of Environment, Seoul, 96pp: 29-34. (in Korea)
- Mollov, I.A. and A.M. Stojanova(2010) Diet and trophic niche overlap of three toad species(Amphibia, Anura) from Poland. Biotechnology and Biotechnological Equipment 2010(24): 263-269.
- Moyle, P.B.(1973) Effects of introduced bullfrog, *Rana catesbeiana*, on the native frogs, of the San Joaquin valley, California. Copeia 1973: 18-22.
- Mun, S.R.M., K.H. Nam, C.G. Kim, Y.J. Chun, H.W. Lee, J.H. Kil and J.C. Lee(2013) Suggestions for the improvement of the Invasive alien species management in Korea comparative analysis of the legal framework for invasive alien species between Japan and Korea. Environmental Policy 6: 35-54. (in Korean with English abstract)
- National Institute for Environmental Studies of Japan(2015) List of alien species Japan. In: Invasive species of Japan. http://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/index_en.html.
- National Research Council(1974) Amphibians: Guidelines for the breeding, care and management of laboratory animals. Washington, D.C. National Academy of Science.
- 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 Journal of Environment and Ecology 21(4): 311-317. (in Korean with English abstract)
- Organ, J.A.(1961) Studies of the local distribution, life history, and population dynamics of the salamander genus *Desmognathus* in Virginia. Ecological Monographs 31:189-220.
- Park, J.Y., S.J. Park and J.Y. Park(2013) Coleoptera in Wangpicheon. National Institute of Environmental Research, Incheon, 216pp. (in Korean)
- Park, S.J., Y.J. Park, D.H. Lee, H.M. Lim, J.K. Choi and S.H. Suh(2012) Insects in Korea. National Institute of Environmental Research, Incheon, 500pp. (in Korean)
- Ra, N. Y., D.S. Park, S.H. Cheong, N.S. Kim and H.C. Sung(2010) Habitat associations of the endangered gold-spotted pond frog(*Rana chosonica*). Zoological Science 2010(27): 396-401.

- Shine, R.(1979) Sexual selection and sexual dimorphism in the amphibia. *Copeia* 1979(2): 297-306.
- Silva, E.T., E.P. Reis, R.N. Feio and O.R. Filho(2009) Diet of the invasive frog *Lithobates catesbeianus*(Shaw, 1802)(Anura: Ranidae) in Vicoso, Minas Gerais state, Brazil. *South American Journal of Herpetology* 4(3):286-294.
- Smith, A.K.(1977) Attraction of bullfrog(Amphibia, Anura, Ranidae) to distress calls of immature frogs. *Journal of Herpetology* 11: 234-235.
- Stumpel, A.H.(1992) Successful reproduction of introduced bullfrog *Rana catesbeiana* in Northwestern Europe: A potential threat to indigenous amphibians. *Biological Conservation* 60: 60-62.
- Telford, S.R.(1960) The american bullfrog, *Rana catesbeiana*, in Japan. *Copeia* 1960: 155.
- The General Office of the State Council of China(2003) List of the first batch of alien invasive species in China. *Gazette of the State Council of the People's Republic of China*, 23: 41-46 (in Chinese).
- Trivers, R.L.(1972) Parental investment and sexual selection, p. 136-179. In: *Sexual Selection and the Descent of Man, 1871-1971*. B. Campbell(ed.). Aldine, Chicago.
- Wang, Y., Y. Wang, P. Lu, F. Zhang and Y. Li(2008) Diet composition of post-metamorphic bullfrog(*Rana catesbeiana*) in the Ahoushan Archipelago, Zhejiang Province, China. *Frontiers of Biology in China* 3(2): 219-226.
- Wu, Z., Y.Y.P. Wang and Y.M. Li(2004) National population of bullfrog (*Rana catesbeiana*) and their potential threat in the east of Zhejiang Province. *Biodiversity Science* 12: 441-446.
- Wu, Z., Y. Li, Y. Wang and M.J. Adams(2006) Diet of introduced bullfrog(*Rana catesbeiana*): predation on and diet overlap with native frogs on Daishan island, China. *Journal of Herpetology* 39(4): 668-674.