

우리나라 중서부지역 논 습지에 서식하는 무미 양서류의 서식처 특성 - 대호간척농지의 영농방법 중심으로 -

유나경^{1.#} · 도민석^{2.#} · 남형규² · 최그린¹ · 손석준^{1,3} · 유정철^{1,*}

¹경희대학교 생물학과, ²국립생물자원관, ³문화재청 국립문화재연구소

Habitat Characteristics of Anuran Species Inhabiting Rice Fields of Western Mid-South Korea - In the Case of Daeho Reclamation Agricultural Land by Farming Practices -. Nakyung Yoo^{1.#} (0000-0002-5930-2279), Min Seock Do^{2.#} (0000-0003-0162-8740), Hyung-Kyu Nam² (0000-0002-9619-2478), Green Choi¹ (0000-0001-5124-3537), Seock-Jun Son^{1,3} (0000-0003-1034-1258) and Jeong-Chil Yoo^{1,*} (0000-0003-4137-4175) (¹Department of Biology, Kyung Hee University, Seoul 02447, Republic of Korea; ²National Institute of Biological Resources, Seogu, Incheon 22689, Republic of Korea; ³National Research Institute of Cultural Heritage, Cultural Heritage Administration, Daejeon 35204, Republic of Korea)

Abstract Paddy wetlands are a critical habitat for a variety of wild animals, and their rapid development and environmental changes pose a threat to the conservation of agrobiodiversity. The objectives of this study were to evaluate the habitat characteristics of anuran inhabiting paddy wetlands and identify major environmental variables affecting their distributions. The study was conducted in the Daeho reclaimed area in Dangjin, from March to October 2018. In this study, we found three anuran species (*Pelophylax nigromaculatus*, *Hyla japonica* and *Pelophylax chosonicus*). The environmental factors affecting the three species were identified as air temperature, humidity, water-depth, and micro-habitats. *H. japonica* were affected by water temperature, and *P. chosonicus* were affected by rice height and types of farming practices. All the three species richness was correlated with air temperature, humidity, and water-depth positively, and the three species used rice transplanted paddy fields the most. It was also found that paddy is the most preferred of the micro-habitats during the breeding season, so the survey area is considered to be used as the major breeding sites for the three species. *P. chosonicus* were more observed on environmental-friendly paddy fields than conventional paddy fields, which appears to be differences in their surroundings environment caused by predators and weeding. It will be needed to identify their relationship with predators, their preferred food resources and the richness and diversity of wild vegetation around paddy wetlands.

Key words: amphibians, rice fields, environment-friendly fields, conventional fields, GLMM

서 론

[#] The first two authors contributed equally to this work.
Manuscript received 15 November 2019, revised 2 December 2019,
revision accepted 2 December 2019
* Corresponding author: Tel: +82-2-961-0727, Fax: +82-2-961-0244,
E-mail: jcyoo@khu.ac.kr

전 세계적으로 개발로 인해 자연 습지가 파괴되고 있으며, 급격한 환경 변화로 인해 습지를 주요 서식지로 이용하는 야생동물들도 함께 감소하고 있다(Tiner, 1984; Finlayson *et al.*, 1999; Fujioka, 2001). 인공 습지로 분류되

는 논 습지 역시 개발로 인해 많은 환경 변화를 겪고 있으며, 그 안에 서식하는 생물 다양성이 크게 영향을 받고 있다(Hazell *et al.*, 2004; Fuller *et al.*, 2005; Moreira and Maltchik, 2014). 우리나라 논 습지는 1960년대부터 시작된 농지개발사업으로 인해 획일화된 크기의 필지와 논둑, 콘크리트 구조물로 축조된 수로, 콘크리트로 포장된 농로로 형성되었으며, 이러한 논외의 물리적 변화는 논에 의존적인 야생동물에게 부정적인 영향을 미치게 되었다(Fujioka and Lane, 1997; KREI, 2003; Naito *et al.*, 2013). 논외의 물리적 변화뿐만 아니라 농약 및 제초제의 사용이나 농기계의 이용과 같은 현대화된 경작 방법 또한 논에 서식하는 야생동물의 생물 다양성 보전에 위협이 되고 있다(Liess and Ohe, 2005; Peltzer *et al.*, 2006; Piatti *et al.*, 2010).

그러나 역설적으로, 논 관리 방식에 따라 생물 다양성이 크게 영향을 받는 것이 밝혀지면서 개발로 인해 감소하고 있는 자연 습지의 대체 가능한 공간으로 논 습지의 중요성과 논 습지의 보호 관리 방안에 관한 관심이 늘어나고 있다(Elphick, 1998; Hazell *et al.*, 2004; Butler *et al.*, 2009; Winqvist *et al.*, 2011). 특히, 2008년 제10차 람사르 협약 당사국 총회에서는 논 생태계의 생물 다양성 보전 기능이 크게 부각되면서 그 중요성은 더욱 증가하고 있다(COP10, 2008). 하지만, 실질적으로 논에 서식하는 생물의 이용 현황에 관한 연구는 저서무척추동물과 같은 특정 분류군에서만 진행되어 왔을 뿐 논에 서식하는 다른 생물 분류군에 대한 연구는 극히 미비하다(Feber *et al.*, 1997; Wilson *et al.*, 2008; Shin *et al.*, 2018). 따라서 논 생태계에서 이루어지는 농업 활동이 생물 다양성 증진에 미치는 영향을 파악하기 위한 지속적인 연구가 필요하다.

양서류는 논 습지에 서식하고 있는 대표적인 분류군 중 하나로, 조류와 어류, 포유류의 피식자이자 육상 및 수생 포식자로 생태계를 구성하는 먹이사슬의 중간자적 위치에 있어 생물 다양성 보전에 중요한 역할을 담당하고 있다(Hirai and Matsui, 1999, 2002; Katayama *et al.*, 2012, 2013). 그렇기 때문에 논 습지를 이용하는 양서류의 보전 생태학적 연구들이 활발하게 이루어지고 있으며, 특히, 무미 양서류들의 농법에 따른 영향을 파악하기 위해 그들의 번식 생태와 서식지 이용, 먹이 자원 및 포식자와의 관계에 초점을 맞춘 다양한 연구들이 수행되고 있다(Fujioka and Lane, 1997; Naito *et al.*, 2012, 2013; Moreira and Maltchik, 2014). 우리나라에 서식하고 있는 무미 양서류는 총 13종으로, 이 중 12종이 논 습지를 번식 및 섭식, 휴식을 위한 공간으로 이용한다고 알려져 있다(Jang and Suh, 2010; Lee *et al.*, 2011; Do *et al.*, 2018). 그러나 우리나라에 서식하고 있는 무미 양서류에 대한 많은 연구들은 논 습지

와 같은 단일 서식지를 대상으로 하기보다는 논 습지를 포함한 다양한 환경에서 서식지 이용 특성에 관한 연구에 초점을 맞추어 수행되었으며(Sung *et al.*, 2007; Ra, 2010; Do *et al.*, 2018; Koo *et al.*, 2018), 논 습지에 초점을 맞춘 연구는 드물게 수행되고 있다(Kim *et al.*, 2016). 더욱이 한국의 서해안에 위치한 논 습지들은 우리나라에 서식하고 있는 멸종위기 양서류들의 핵심 서식공간으로 이러한 지역을 보호하기 위해서는 논 습지에 초점을 맞추어 종들의 서식지 이용에 대한 정밀한 조사가 필요하다(Do *et al.*, 2017; Borzée *et al.*, 2018).

따라서 본 연구는 서해안 주변에 위치한 논 습지를 이용하는 무미 양서류의 서식지 이용 특성 및 무미 양서류가 출현한 지역의 논 생태계 내 다양한 환경 요인들의 특성을 규명하고자 한다. 이를 위해 먼저, 조사지역에 서식하고 있는 무미 양서류의 종 다양도와 풍부도를 확인하였다. 또한 그들이 분포한 지역의 대기, 수질, 물리적 서식 환경과 같은 서식환경의 특성을 확인하였다. 최종적으로 분석에 이용된 모든 환경 변수들을 이용하여 종들의 분포에 영향을 끼친 주요 환경 변수들을 파악하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역

본 연구는 대한민국 충청남도 당진시에 위치한 간척 논지에서 수행되었다(37°02'N, 126°30'E; Fig. 1). 전체 벼 재배 지역의 면적은 3,904 ha로 그중 574.7 ha의 면적을 친환경농업방법을 이용하여 벼를 재배하고 있다. 논은 계절에 따라 수생태계와 육상생태계가 반복해 나타나며, 양서류가 출현하는 3월부터 10월까지의 수생태계의 논을 대상으로 하였다. 이 시기 동안 진행되는 농업 활동은 물대기, 논갈이, 씨레질, 모내기 등이 있다. 조사 지역은 1979년 대호 대단위농업종합개발사업에 의해 조성되었으며, 조사 지역에 존재하는 필지 1개의 크기는 가로 100 m, 세로 100 m로 현대화된 U자 형태의 콘크리트 수로와 농로, 논둑이 균등하게 형성되어 있다(Fig. 1). 친환경 농업지역에서는 기본적으로 화학적 제초작업을 수행하지 않으며, 일부 지점에서 소량의 농약이 사용되기도 한다. 반면, 관행 농업지역은 티아디닐(tiadinil), 클로시아니딘(clothianidin) 등의 화학성분이 포함된 농약이나 제초제를 사용하고 있었다(Lee and Jung, 2008). 본 연구에서는 총 8개의 조사구간(관행 4구간, 친환경 4구간)을 선정하였으며, 각 조사구간을 6개의 필지로 세분화하여 관행 24필지, 친환경 24필지를 대상으로 조사가 수행되었다(Fig. 1).

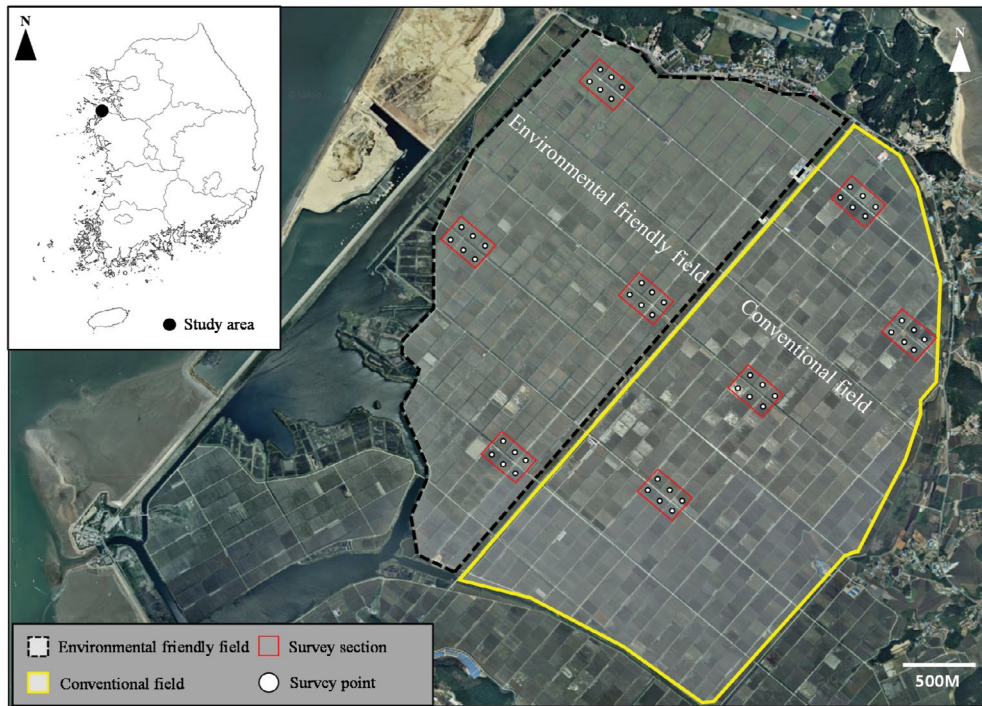


Fig. 1. The location of the survey section and point. Black dotted line and yellow line areas indicate Environmental friendly and conventional field, respectively. The red line area represents the survey section, and the circle in it means the survey point. (37°02'N, 126°30'E).

Table 1. Environmental variables and their descriptions used in this study.

Category	Variables (unit)	Type	Description or range
Agriculture environment	Farming practices	Categorical	Conventional paddy fields, Environment paddy fields
Atmospheric environment	Air temperature (°C)	Continuous	4.6~26.8
	Humidity (%)	Continuous	61~100
Water environment	Water level (cm)	Continuous	0~19
	Water temperature (°C)	Continuous	4.1~26.5
	NaCl (%)	Continuous	1.7~26.4
	TDS (ppm)	Continuous	114~6850
Physical environment	Micro habitat	Categorical	Paddy, Ditch, Levee, Road
	Paddy type*	Categorical	PH, PL, FU, RT
	Rice height (cm)	Continuous	0~100

*Paddy type: PH, PL, FU, and RT in physical environment represent post-harvested, plowed, flooded and uncultivated, and rice transplantation paddy, respectively

2. 양서류 조사방법

본 조사는 2018년 3월부터 10월까지 한 달에 한 번, 양서류의 번식이 활발하게 이루어지는 일몰 후 19:00시부터 01:00시 사이에 수행되었다. 날씨가 영향을 받지 않기 위해 비가 오지 않는 맑은 날을 선정하였고, 친환경과 관행 농지

를 번갈아 가며 조사하였다. 선 조사방법(Transect surveys)을 적용하여 논둑이나 농로를 걸어 다니며, 출현하는 무미양서류의 종류와 개체수를 모두 기록하였고, 육안을 통해 확인된 성체만을 개체수로 산정하였다(Schmidt, 2004). 벼가 성장하는 시기에는 필지 내부로 접근이 어렵기 때문에 필지의 중앙 부분은 조사가 수행되지 않았다(Fig. 2).

3. 논 서식환경 조사방법

무미 양서류들이 이용하는 논 서식환경의 특성을 확인하기 위해 먼저, 대기 환경, 수질 환경, 물리적 환경, 화학적 환경 특성과 같이 크게 4가지로 나누어 서식환경을 확인하였으며, 그 중 대기 환경은 기온과 습도로 세분화하였고, 수질 환경은 수위, 수온, NaCl, TDS (Total dissolved solid) 로, 물리적 환경은 미소 서식지와 필지 유형, 벼 길이로 세분화하였다. 화학적 환경 특성은 농약의 사용 유무에 따라 관행 농지와 친환경 농지로 나누어 분류하였다(Table 1).

대기 환경 특성인 기온과 습도는 온습도계 (LM8010, LUTRON®, Taiwan)를 이용해 각 조사구간의 기온과 습도를 확인하였다. 수 환경 특성인 수위는 줄자를 이용하여

필지 내 수위를 확인하였고, 수온, NaCl, TDS는 수질측정기 (HI98360, HANNA®, Italy)를 이용해 확인하였다. 물리적 환경 특성인 미소 서식지는 조사구역에 위치한 필지와 논둑, 수로, 농로 4가지로 나누어 개체들이 분포한 지점의 미소 서식지를 파악하였고, 필지 유형은 Nam et al. (2015)의 연구를 참고하여 경작에 따라 변화하는 필지의 형태를 (1) 그루터기를 형성한 필지 (Post-harvested paddy: PH), (2) 갈아엎은 필지 (Plowed paddy: PL), (3) 물을 댄 필지 (Flooded and uncultivated paddy: FU), (4) 모내기한 필지 (Rice transplantation paddy: RT)와 같이 4가지로 분류하여 무미 양서류가 관찰된 지점의 필지 상태를 기록하였다 (Table 1).

그루터기를 형성한 필지는 수확을 마친 이후의 상태로 주로 10월부터 이듬해 4월 사이에 형성된다. 갈아엎은 필지는 논갈이한 필지로 지면이 울퉁불퉁하며, 지면이 불규칙적으로 수면 위로 올라와 있고, 주로 4월에 형성된다. 물을 댄 필지는 모내기 전, 필지의 면적 80% 이상이 물에 잠겨 있는 상태로, 지면이 평평하고, 5월에 형성된다. 모내기한 필지는 모내기를 하여 벼가 익었을 때까지의 상태로 주로 5월부터 10월 사이에 형성된다. 벼 길이는 모내기 이후에 성장하는 벼 길이를 줄자를 이용해 확인하였다.

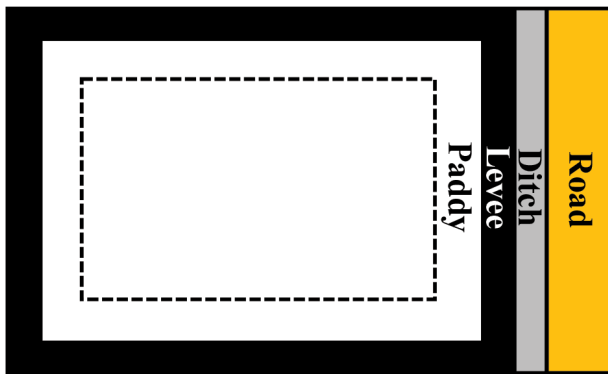


Fig. 2. Schematic diagram of a typical land use for rice field in the survey site. Center of paddy (inside of dotted line) was excluded from survey area because of inaccessibility after rice transplantation.

4. 통계 분석

환경분석에 이용된 요인 중 무미 양서류에게 영향을 미치는지 주요 변수들을 알아보기 위해 포아송분포 (Poisson distribution)를 이용한 일반화 선형 혼합 모형 (Generalized

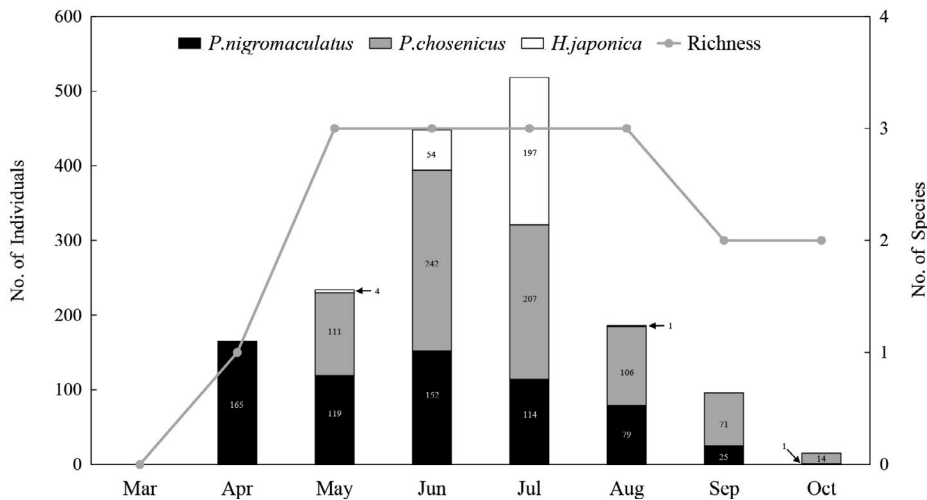


Fig. 3. Seasonal change of number of species (solid line) and abundance (bars) of Black-spotted pond frogs (*Pelophylax nigromaculatus*), Gold-spotted pond frogs (*Pelophylax chosonicus*) and Japanese tree frogs (*Hyla japonica*) using rice fields around the west coast in the Republic of Korea from March to October 2018.

linear mixed model: GLMM)을 분석에 이용하였다. 종속 변수는 조사 지점에서 출현한 개체수로 설정하였으며, 독립변수는 명목형 변수인 농법의 유형(관행 농지, 친환경 농지)과 미소 서식지(필지, 논둑, 수로, 농로), 필지의 유형(PH, PL, FU, RT)을 비롯하여 연속형 변수인 기온과 수온, 습도, 수심, 벼의 높이, TDS, NaCl로 설정하였다. 조사한 날짜(Month) 및 필지는 임의 효과(Random effect)로 사용되었으며, 적합 모델(Fitted model)에 대하여 우도 비율 테스트(Likelihood ratio test)를 계산하기 위해 ANOVA를 이용하였다.

무미 양서류가 분포한 조사구역의 기온과 습도와 같은 연속형 변수들과 조사 지점에서 출현한 개체수와의 관계를 알아보기 위해 산점도(Scatter plot)를 통해 시각화하였으며, 종들이 이용한 필지의 형태(PH, PL, FU, RT)와 미소 서식지(필지, 논둑, 수로, 농로)의 차이를 알아보기 위해 Chi-square test를 수행하였다. 또한, 관행 및 친환경 농지에 분포하는 종별 풍부도의 차이를 알아보기 위해 각 조사 지점에서 출현한 종들의 평균 개체수를 파악하였으며, Wilcoxon signed rank test를 수행하였고, 일반화 선형 혼합모형은 lme4 package를 이용하였다(Bates *et al.*, 2014). 모든 통계적 분석은 R 3.0.2(R Core Team, 2013)을 이용하였다.

결 과

1. 종 다양도와 풍부도

조사지역에서 출현한 무미 양서류는 참개구리(*Pelophylax nigromaculatus*)와 금개구리(*Pelophylax chosonicus*), 청개구리(*Hyla japonica*)로 총 3종 1,662개체가 확인되었다. 이 중 가장 많은 개체수가 확인된 종은 금개구리로 751개체의 서식이 확인되었고, 다음으로 참개구리 655개체, 청개구리 256개체 순이었다. 출현한 종이 가장 다양했던 시기는 5월부터 8월까지로 3종이 모두 확인되었고, 3월에는 종이 확인되지 않았다. 가장 많은 개체가 확인된 시기는 7월로 518개체가 확인되었으며, 가장 낮은 시기는 3월로 개체의 출현이 확인되지 않았다(Fig. 3).

2. 양서류의 출현에 영향을 끼친 주요 환경 요인

조사지역에 서식하고 있는 양서류들의 풍부도에 영향을 끼친 환경 요인들을 확인한 결과, 기온과 습도, 수심, 미소 서식지는 3종의 풍부도 모두에 영향을 끼치는 통계적으로 유의미한 환경 요인으로 확인되었다. 추가적으로 청개구리의 풍부도는 수온에 통계적으로 유의미한 영향을 받고 있

Table 2. Generalized linear mixed model (GLMM) for effects of abundance of Black-spotted pond frogs (*Pelophylax nigromaculatus*), Gold-spotted pond frogs (*Pelophylax chosonicus*) and Japanese tree frogs (*Hyla japonica*) on 10 environmental factors (air temperature, water temperature, humidity, water level, TDS, NaCl, paddy type, micro habitat, rice height, agrichemicals use), in the Republic of Korea, from March to October 2018. Significant results at probability <0.05 are marked in bold.

	df	χ^2	Pr(>Chisq)
Air temperature			
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	1	5.5525	p<0.05
<i>Pelophylax chosonicus</i>	1	6.0987	p<0.05
<i>Hyla japonica</i>	1	4.6753	p<0.05
Water temperature			
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	1	2.1864	0.1392
<i>Pelophylax chosonicus</i>	1	0.0932	0.7602
<i>Hyla japonica</i>	1	4.5427	p<0.05
Humidity			
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	1	10.443	p<0.01
<i>Pelophylax chosonicus</i>	1	4.8328	p<0.05
<i>Hyla japonica</i>	1	8.6893	p<0.01
Water level			
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	1	22.652	p<0.0001
<i>Pelophylax chosonicus</i>	1	79.844	p<0.0001
<i>Hyla japonica</i>	1	7.8023	p<0.01
TDS			
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	1	0.3101	0.5776
<i>Pelophylax chosonicus</i>	1	0.8409	0.3591
<i>Hyla japonica</i>	1	0.5957	0.4402
NaCl			
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	1	0.6603	0.4165
<i>Pelophylax chosonicus</i>	1	1.7015	0.1921
<i>Hyla japonica</i>	1	0.4762	0.4901
Paddy type			
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	3	1.5535	0.2126
<i>Pelophylax chosonicus</i>	3	6.0877	0.1317
<i>Hyla japonica</i>	3	0.4212	0.9358
Micro habitat			
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	3	307.94	p<0.0001
<i>Pelophylax chosonicus</i>	4	396.30	p<0.0001
<i>Hyla japonica</i>	4	395.86	p<0.0001
Rice height			
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	1	1.5935	0.2068
<i>Pelophylax chosonicus</i>	1	6.5576	p<0.05
<i>Hyla japonica</i>	1	0.6074	0.4358
Farming practices			
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	1	1.5535	0.2126
<i>Pelophylax chosonicus</i>	1	23.756	p<0.0001
<i>Hyla japonica</i>	1	0.6449	0.4219

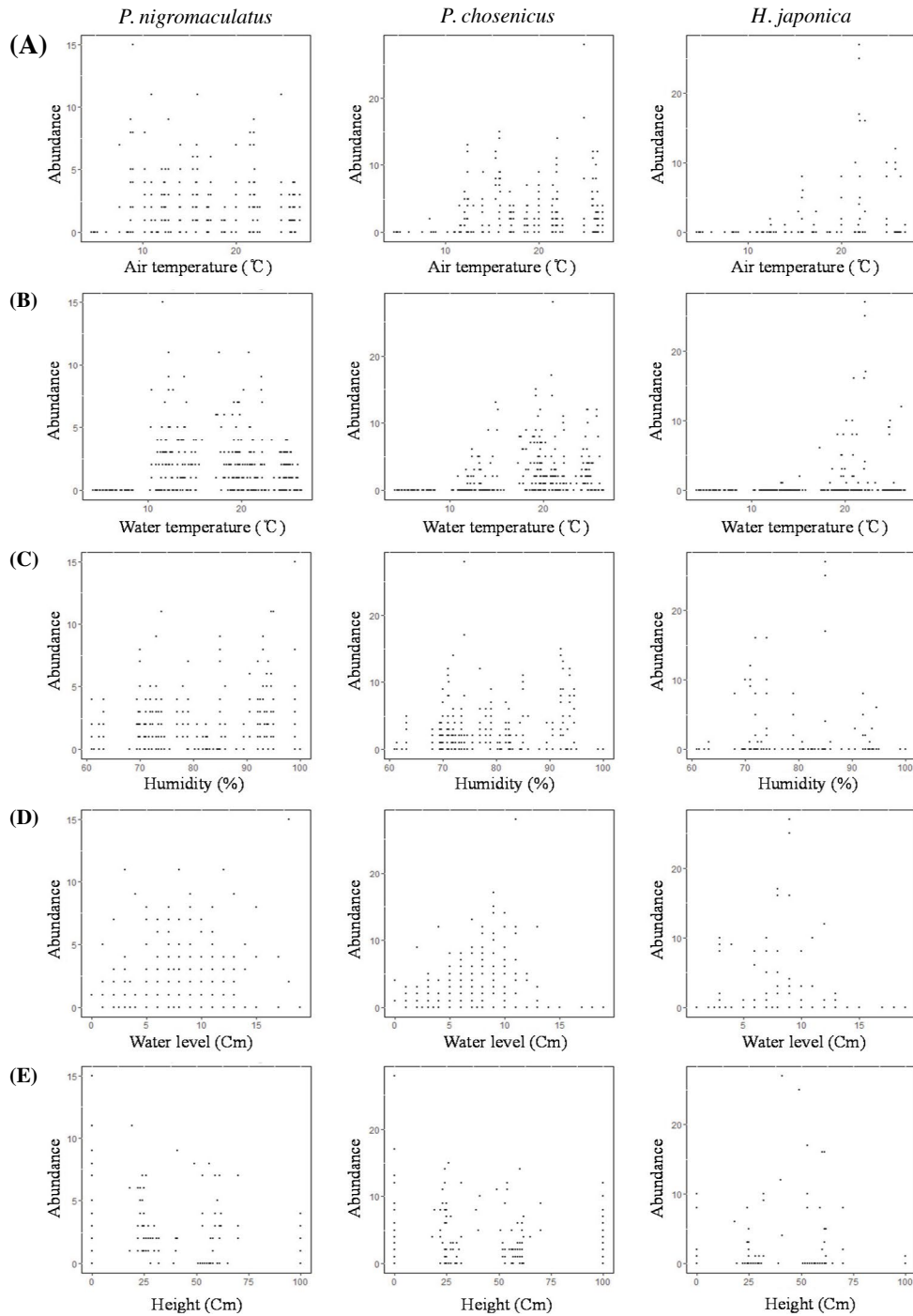


Fig. 4. The pattern of association between the abundance of three frog species and (A) air temperature, (B) water temperature, (C) humidity, (D) water level, (E) rice height in rice fields around the west coast in the Republic of Korea from March to October 2018.

있으며, 금개구리의 풍부도는 벼의 길이와 농법의 유형에 통계적으로 유의미한 영향을 받고 있는 것으로 확인되었다(Table 2).

기온, 습도, 수심이 증가할수록 양서류 3종의 풍부도가 모

두 증가하는 경향을 보였고(Fig. 4A, 4C, 4D), 3종 모두 이용한 필지의 유형 중 모내기한 필지에서 높게 나타났다(Fig. 5). 특히 금개구리와 청개구리는 참개구리보다 모내기한 필지를 높은 비율로 이용하는 것으로 나타났다($\chi^2=57.53$,

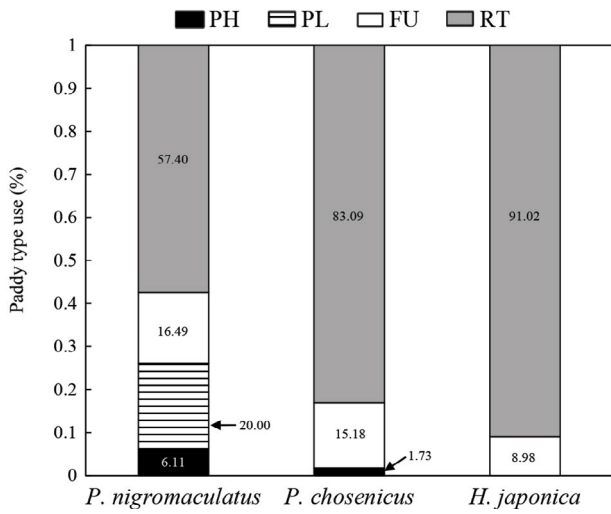


Fig. 5. Paddy type use of Black-spotted pond frogs (*Pelophylax nigromaculatus*), Gold-spotted pond frogs (*Pelophylax chosonicus*) and Japanese tree frogs (*Hyla japonica*) in rice field around the west coast in the Republic of Korea. PH, PL, FU, and RT represent post-harvested, plowed, flooded and uncultivated, and rice transplantation paddy, respectively.

$p < 0.0001$; 참개구리: 57.40%, 금개구리: 83.09%, 청개구리: 91.02%). 각각의 개구리들이 이용한 미소 서식지는 시기에 따라 다르게 나타났다(Fig. 6; 참개구리: $\chi^2_{12} = 908.38$, $p < 0.0001$; 금개구리: $\chi^2_{15} = 436.87$, $p < 0.0001$; 청개구리: $\chi^2_9 = 715.50$, $p < 0.0001$). 청개구리는 수온이 증가할수록 개체수가 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 4B). 금개구리의 개체수는 벼 길이가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 4E). 또한, 금개구리의 개체수는 친환경 필지에서 더 많이 관찰되었다(Fig. 7; $V = 1026.5$, $p < 0.05$).

고찰

본 연구에서는 논 습지에서 무미 양서류를 대상으로 종 다양도와 풍부도를 파악하고, 그들이 분포한 지역의 대기 및 수 환경과 물리적 환경을 통해 종별 서식 특성을 알아 보았다. 그 결과, 조사지역에는 멸종위기 야생생물 II급 종인 금개구리가 우점하였고, 참개구리와 청개구리의 서식이 확인되었다. 시기적으로는 6월과 7월에 무미 양서류의 종 다양도와 풍부도가 높게 나타났다. 종별 풍부도는 대기 환경 요인들과 양의 상관관계를 보였고, 수 환경 요인들과는 종에 따라 차이가 나타났다. 3종이 선호하는 필지의 형태는 모두 모내기한 필지로 나타났고, 시기에 따라 이용하는 미소 서식지는 종별 풍부도의 차이를 보였다. 농법 유형에

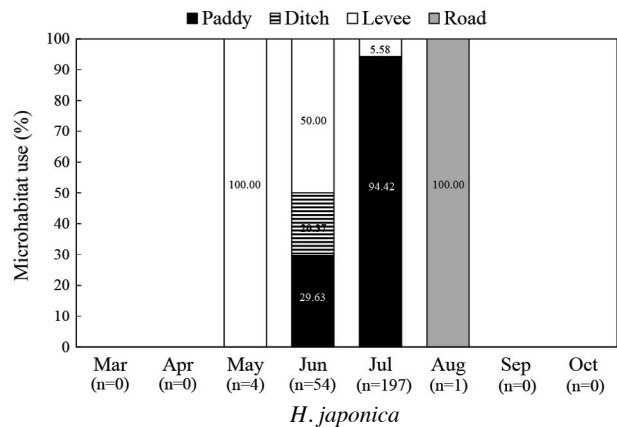
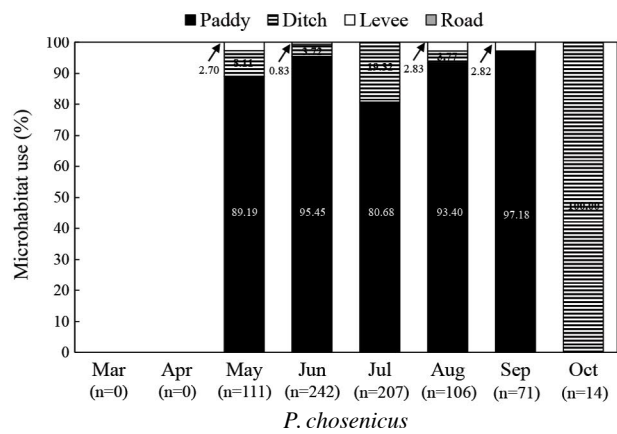
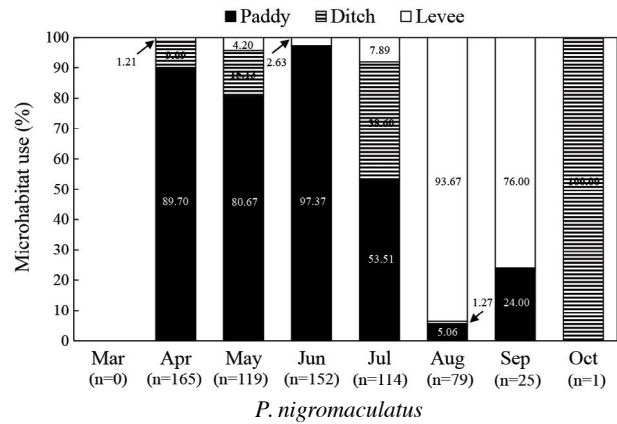


Fig. 6. Monthly change in micro-habitat selection of Black-spotted pond frogs (*Pelophylax nigromaculatus*), Gold-spotted pond frogs (*Pelophylax chosonicus*) and Japanese tree frogs (*Hyla japonica*) in rice field around the west coast in the Republic of Korea from March to October 2018.

서도 종에 따라 차이가 있었다. 금개구리는 친환경 농지를 선호하고 있었으며, 참개구리와 청개구리는 농법 유형에 따른 풍부도에 차이를 보이지 않았다. 더욱이 양서류의 분

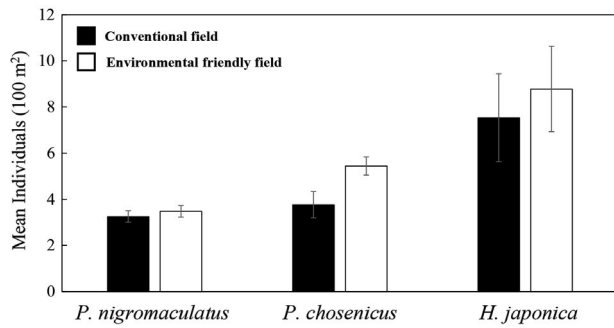


Fig. 7. Mean abundance of a survey point according to the farming practices by Black-spotted pond frogs (*Pelophylax nigromaculatus*), Gold-spotted pond frogs (*Pelophylax chosonicus*) and Japanese Tree Frogs (*Hyla japonica*) in rice field around the west coast in the Republic of Korea from March to October 2018. Error bars indicate standard error.

포는 대기 환경 인자에서 기온과 습도가 영향을 미치는 것으로 나타났고 수 환경 인자에서는 수심, 그 외에 미소 서식지가 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

기온과 습도는 종들의 분포에 영향을 미치는 중요한 대기 환경 요인으로 확인되었으며, 본 연구 결과 조사지역에 출현한 무미 양서류는 기온과 습도가 높아질수록 개체수가 증가하는 경향을 보였다. 일반적으로 따뜻한 기온과 높은 습도는 양서류의 종 다양도와 풍부도에 영향을 미치는 주요 환경변수로 알려져 있다 (Duellman and Trueb, 1986; Duellman, 1988). 본 연구 종들이 포함된 한국산 양서류 16종의 분포에 대한 Do (2014)의 연구에 따르면, 7가지의 기후 요인 중 분포에 가장 높은 영향을 끼친 변수는 여름철 기온으로 확인되었으며, 청개구리의 분포에 대한 Koo (2019)의 연구에서도 19가지의 기후 요인 중 분포에 가장 높은 영향을 끼친 변수는 여름철 기온으로 확인되었다. 또한, 참개구리와 청개구리의 출현빈도는 습도에 주된 영향을 받으며, 금개구리의 이동 빈도는 습도와 양의 상관관계를 가지고 있다고 알려져 있다 (Noh, 2007; Sung *et al.*, 2007). 본 연구 역시 여름인 7월에 풍부도가 가장 높았고, 5월부터 8월에 종 다양성이 높게 확인되어 기존의 연구 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 종 다양도와 풍부도가 높았던 시기는 3종의 번식 시기와 중첩되어 있었다. 일반적으로 논 습지는 양서류 종들의 주요 번식지로 이용되며, 번식기에는 다른 시기에 비해 많은 개체들이 출현한다 (Fujioka and Lane, 1997; Watanabe *et al.*, 2005). 선행연구에 따르면, 참개구리의 번식 시기는 4월부터 6월 사이로 알려져 있으며, 금개구리와 청개구리의 번식 시기는 5월부터 7월 사이로 알려져 있다 (Ra, 2010; Lee *et al.*, 2011; Koo, 2019). 본 연구에서도 참개구리는 4월, 금개구

리는 6월, 청개구리는 7월에 가장 많은 개체가 출현하였다 (Fig. 3).

무미 양서류들은 유수 또는 정수지역과 수심의 깊이에 따라 선호하는 번식지가 다르다 (Goldberg *et al.*, 2006; Kato *et al.*, 2010). 예를 들어 계곡산개구리는 계곡과 같이 물이 흐르는 유수지역을 산란지로 선호하지만, 한국산개구리와 북방산개구리는 필지 및 웅덩이와 같이 물 흐름이 없는 정수지역을 산란지로 선호하며, 두꺼비들은 저수지와 같이 수심이 깊은 지역을 산란지로 선호한다 (Lee *et al.*, 2011; Do *et al.*, 2018). 본 조사 결과, 정수지역인 필지의 수심은 종들이 선호하는 산란지역의 수심과 유사하게 나타났다. 무미 양서류의 산란지 환경에 관한 연구에 따르면, 참개구리가 선호하는 산란지의 수심 (Mean \pm S.E.: 10.35 \pm 2.14 cm)은 본 연구 결과 (1st~3rd quartiles: 5.00~9.00 cm)와 유사했으며, 청개구리 또한 선호하는 산란지의 수심 (Range: 7~10 cm)이 본 연구 결과 (1st~3rd quartiles: 7.00~9.00 cm)와 유사한 것으로 확인되었다 (Wang *et al.*, 2008; Kato *et al.*, 2010). 종합적으로 무미 양서류의 풍부도는 기온과 습도에 영향을 받고 있었으며, 번식 시기와 가깝게 연관되어 있었고, 그들이 분포한 지역의 수심 범위를 고려해 볼 때 논 습지가 번식 및 서식공간으로 적합한 것으로 판단된다.

미소 서식지는 무미 양서류들의 분포에 영향을 끼친 주요 물리적 환경 요인으로 확인되었으며, 각각의 종들은 시기에 따라 이용한 미소 서식지가 다르게 나타났다 (Table 2). 본 연구 결과, 3종의 양서류는 필지에서 가장 많은 개체들이 출현하였고, 참개구리는 4월부터 6월까지, 금개구리는 5월부터 9월까지, 청개구리는 7월에 대부분 필지를 이용하고 있었다 (Fig. 6). 일반적으로 필지는 양서류들의 주된 번식공간으로 번식기와 비번식 시기에 따라 종들이 이용하는 미소 서식지 패턴이 다양하게 나타난다 (Maeda and Matsui, 1989; Hirai and Matsui, 2002; Naito *et al.*, 2012). 본 연구에서 참개구리는 번식기 이후 8월과 9월에는 대부분 개체가 논둑을 이용하고 있었으며, 금개구리는 번식기 이후 9월까지 많은 개체가 필지를 이용하였고, 청개구리는 번식기 이후인 8월부터 개체가 거의 관찰되지 않았다. 일반적으로 참개구리는 번식 기간이 끝난 후에도 필지 주변의 논둑이나 농로와 같은 물에서 취식 활동을 위해 오랫동안 시간을 보내고, 금개구리는 번식을 마친 후 동면에 들어가기 전까지도 개체들이 번식지 주변의 물속에서 시간을 보내며, 청개구리는 논 습지에서 번식 활동을 마친 뒤 주변 산지나 초지로 이동한다고 알려져 있다 (Hirai and Matsui, 1999; Sawahata, 2002; Ra, 2010; Naito *et al.*, 2012). 따라서 종들이 이용한 미소 서식지 특성 패턴

은 번식 시기에 따라 다르게 나타난 것으로 판단된다.

친환경과 관행 농지에 분포한 무미 양서류의 평균 풍부도를 확인한 결과, 참개구리와 청개구리는 두 농법에 따라 차이를 보이지 않았지만, 금개구리들의 풍부도는 관행 농지보다 친환경 농지에 더 높게 나타났다. 더욱이 친환경과 관행 농법은 금개구리의 분포에 영향을 미치고 있었다(Table 2). 일반적으로 양서류 종들은 논 습지에 조성된 주변 환경과 포식 관계 등 다양하고 복합적인 요인에 따라 선호하는 농법에 차이를 보인다고 알려져 있다(Fujioka and Lane, 1997; Naito *et al.*, 2012). 금개구리가 관행에 비해 친환경 농지에서 풍부도가 높았던 이유는 필지 내에 형성된 수생 식물과 같은 식생의 피도가 영향을 주었을 가능성이 크다고 판단된다. 일반적으로 농약을 다량으로 사용하는 관행 농지보다 친환경 농지의 식생 피도가 높다고 알려져 있다(KREI, 2003). 금개구리는 침수, 부엽, 정수식물과 같은 식생의 피도가 높아질수록 풍부도가 증가한다고 알려져 있으며, 참개구리와 다르게 수생 식물 또는 식물의 잔해에 알을 부착하여 산란하는 생태적 습성을 가지고 있다(Ra, 2010; Lee *et al.*, 2011). 따라서 두 농법에 따라 필지 내에 형성된 수생 식물의 종류와 풍부도에 대한 정밀한 조사를 통해 두 농법에 따라 금개구리가 선호하는 번식공간을 파악하고, 포식 관계에 대한 추가적인 연구들이 수행된다면, 금개구리가 친환경 농지를 선호한 정확한 원인을 밝혀낼 수 있을 것으로 판단된다.

본 조사지역에 서식하고 있는 청개구리와 참개구리 2종은 농법 유형에 영향을 받고 있지 않았는데, 이러한 이유는 양서류들의 포식자인 어류와 조류의 분포가 영향을 미쳤을 가능성이 있다고 판단된다. 예를 들어, 양서류의 포식자인 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*)는 청개구리의 유생과 난파의 생존을 감소시키는 것으로 확인되었으며, 친환경 농지에 더 많이 분포하고 있는 미꾸리로 인해 친환경 농지일지라도 청개구리의 밀도가 관행 농지보다 높지 않을 수 있다고 알려진 것과 같이 어류의 밀도는 많은 양서류의 번식지와 서식지 선택에 영향을 미친다고 알려져 있다(Resataris, 2005; Werner *et al.*, 2007; Both *et al.*, 2009; Katayama *et al.*, 2013). 그뿐만 아니라 본 조사지역에 서식하고 있는 미꾸리들은 관행 농지보다 친환경 농지에서 풍부도가 높고, 형태적 크기가 큰 것으로 확인되었다(Shin *et al.*, 2018). 또한 백로류(왜가리, 중대백로, 중백로, 쇠백로, 황로, 해오라기)는 취식 활동을 위해 관행 농지보다 친환경 농지를 선호했으며, 양서류의 유생을 먹이 자원으로 이용하고 있다고 알려져 있다(Katayama *et al.*, 2012). 더욱이 본 조사지역에서도 해오라기(*Nycticorax nycticorax*)와 중백로(*Mesophox intermedia*), 황로(*Bubulcus ibis*)와 같은

백로류는 관행보다 친환경 농지를 선호하고 있었다(Nam *et al.*, 2016). 반면, 참개구리와 청개구리와 다르게 금개구리는 친환경 농지를 선호하고 있었는데, 이는 친환경 농지에서 수행하지 않는 제조작업과 포식자의 유무 및 행동 생태학적 습성이 영향을 주었을 가능성이 있다고 판단된다. 선행연구에 따르면 금개구리는 식생 피도가 높은 서식지를 선호하며, 번식기 이외 대부분 기간에도 물속에서 많은 시간을 보낸다고 알려져 있고 어류의 풍부도가 높은 지역에 서식한다고 알려져 있다(Ra, 2010). 따라서 금개구리는 다른 종들보다 어류와 공존할 수 있는 능력을 갖추고 있어 어류로부터의 포식압이 높지 않을 것으로 판단된다. 그뿐만 아니라 친환경 농지를 선호하는 해오라기는 물속 먹이자원을 선호하지만, 중백로와 황로 2종은 주로 육지에서 먹이를 취식한다고 알려져 있으며, 본 조사지역에서 해오라기의 풍부도는 매우 낮은 것으로 알려져 있었다(Choi, 2008; Nam *et al.*, 2016). 따라서 물에서 주로 생활하는 금개구리는 다른 두 종에 비해 조류로부터의 포식압이 낮고, 어류의 존재에 의한 영향을 비교적 덜 받고 있을 가능성이 있다고 판단된다.

종합적으로 대호 간척농지는 무미 양서류 3종의 번식지로 주요한 서식공간을 제공하고 있었으며, 각각의 종들은 번식기와 비번식기에 따라 미소 서식지 이용 패턴에 차이를 나타냈다. 참개구리와 금개구리의 풍부도는 농법 유형에 따라 차이를 보이지 않았지만, 금개구리는 친환경 농지를 선호하고 있었다. 비록, 본 연구에서는 종들이 선호한 농법 유형에 대한 추가적인 연구가 필요하지만, 조사지역에 서식하고 있는 어류 및 조류와의 서식 밀도와 포식 관계를 통해 무미 양서류들이 선호하는 농법의 차이와 그 원인에 대한 가능성을 확인하였다. 추후 무미 양서류들의 분포 조사뿐만 아니라 동일한 시기에 분포한 포식자들과의 관계와 양서류의 먹이 자원을 파악하고, 필지와 논둑 주변에 자생하는 식생의 풍부도와 다양도를 확인한다면, 금개구리가 친환경 농지를 선호한 원인과 참개구리와 청개구리가 차이를 보이지 않은 정확한 원인을 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 더불어 본 연구 결과는 양서류들의 서식지 특성을 파악하는 것에서 그치지 않고, 종들을 보호하고 관리하는 데 중요한 근거가 될 것이다.

적 요

논 습지는 다양한 야생동물들의 주요 서식공간으로, 급격한 개발 및 환경 변화로 인해 논에 서식하는 야생동물의 생물 다양성 보전에 위협이 되고 있다. 본 연구에서는

서해안에 위치한 논 습지를 이용하는 무미 양서류의 서식지 이용 특성을 규명하고자 2018년 3월부터 10월까지 당진시 대호 간척 농지에 서식하는 양서류의 풍부도와 서식 환경을 바탕으로 종들에게 영향을 끼친 주요 환경 요인을 파악하고, 서식지 이용 특성을 알아보았다. 연구 결과 조사 지역에서는 금개구리(*Pelophylax chosonicus*)를 포함하여 참개구리(*P. nigromaculatus*)와 청개구리(*Hyla japonica*)의 서식이 확인되었다. 3종에 영향을 끼치는 환경 요인으로 기온과 습도, 수심, 미소 서식지로 확인되었고, 청개구리는 수온에 영향을 받고 있었으며, 금개구리는 벼의 길이와 농법의 유형에 영향을 받고 있는 것으로 확인되었다. 3종은 모두 기온과 습도, 수심이 증가할수록 개체수가 증가하는 경향을 보였고, 모내기할 필지를 가장 많이 이용했으며, 번식 시기에는 미소 서식지 요인 중 필지를 가장 선호하고 있어 조사지역이 3종의 주요 번식지로 이용되고 있는 것으로 판단된다. 금개구리는 관행에 비해 친환경 농지에서 더 많이 관찰되었는데, 이는 포식자와 제초작업으로 인한 주변 환경의 차이로 인한 원인으로 보인다. 본 연구를 통해 논에 서식하는 무미 양서류 3종이 선호하는 환경 요인은 종에 따라 다른 것을 확인할 수 있었다. 이 결과는 무미 양서류 보전에 중요한 자료를 제공할 것이다.

저자정보 유나경 (경희대학교 생물학과 대학원생), 도민석 (국립생물자원관 연구사), 남형규 (국립생물자원관 연구사), 최그린 (경희대학교 생물학과 대학원생), 손석준 (문화재청 국립문화재연구소 연구원), 유정철 (경희대학교 생물학과 교수)

저자기도 연구 구상 및 계획: 유나경, 도민석, 남형규, 유정철; 조사 수행: 유나경, 도민석, 남형규, 최그린, 손석준; 자료 분석: 유나경, 도민석, 남형규, 유정철; 원고 작성 및 교정: 유나경, 도민석, 남형규; 원고 검토: 최그린, 손석준, 유정철. 본 연구에 참여한 저자는 논문 결과에 동의하였고, 출판될 최종본을 검토하였습니다.

이해관계 본 연구에 참여한 모든 저자들은 학술지 출판에 있어서 어떠한 이해충돌의 여지가 없음을 알려드립니다.

REFERENCES

- Bates, D., M. Mächler, B. Bolker and S. Walker. 2014. Fitting linear mixed-effects models using lme4. arXiv preprint arXiv:1406.5823.
- 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.
- Both, C., M. Solé, T.G. Santos and S.Z. Cechin. 2009. The role of spatial and temporal descriptors for neotropical tadpole communities in southern Brazil. *Hydrobiologia* **624**: 125-138.
- Butler, S.J., D. Brooks, R.E. Feber, J. Storkey, J.A. Vickery and K. Norris. 2009. A cross-taxonomic index for quantifying the health of farmland biodiversity. *Journal of Applied Ecology* **46**(6): 1154-1162.
- Choi, Y.S. 2008. Foraging Ecology and Habitat Preference of Tree-nesting Ardeidae in Korea. Ph.D. thesis. Kyung Hee University. Seoul.
- COP10, R. 2008. Enhancing biodiversity in rice paddies as wetland systems. In: 10th Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971).
- Do, M.S., H.J. Jang, D.I. Kim, K.S. Koo, S.C. Lee and H.K. Nam. 2018. The study on habitat analysis and ecological niche of Korean Brown Frogs (*Rana dybowskii*, *R. coreana* and *R. huanrensis*) using the species distribution model. *Korean Journal of Herpetology* **9**: 1-11.
- Do, M.S., J.W. Lee, H.J. Jang, D.I. Kim, J. Park and J.C. Yoo. 2017. Spatial distribution pattern and prediction of hotspot area for endangered herpetofauna species in Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* **31**(4): 381-396.
- Do, M.S. 2014. Prediction of Distribution Tendency of Amphibians in South Korea According to Climate Change using MaxEnt Modeling. The 8th international conference of Kyung Hee University. 200-217.
- Duellman, W.E. and L. Trueb. 1986. *Biology of Amphibians*. McGraw-Hill Publishing Company, New York.
- Duellman, W.E. 1988. Patterns of species diversity of anuran amphibians in the American tropics. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **75**: 79-104.
- Elphick, C.S. and L.W. Oring. 1998. Winter management of Californian rice fields for waterbirds. *Journal of Applied Ecology* **35**(1): 95-108.
- Feber, R.E., L.G. Firbank, P.J. Johnson and D.W. Macdonald. 1997. The effects of organic farming on pest and non-pest butterfly abundance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **64**(2): 133-139.
- Finlayson, C.M., N.C. Davidson, A.G. Spiers and N.J. Stevenson. 1999. Global wetland inventory-current status and future priorities. *Marine and Freshwater Research* **50**(8): 717-727.
- Fujioka, M. and S.J. Lane. 1997. The impact of changing irrigation practices in rice fields on frog populations of the Kanto Plain, central Japan. *Ecological Research* **12**(1):101-108.
- Fujioka, M. 2001. The potential and problems of agricultural ecosystems for birds in Japan. *Global Environmental Re-*

- search 5: 151-161.
- Fuller, R.J., L.R. Norton, R.E. Feber, P.J. Johnson, A.C. Joys, F. Mathews, R.C. Stuart, M.C. Townsend, W.J. Manley, M.S. Wolfe, D.W. Macdonald and L.G. Firbank. 2005. Benefits of organic farming to biodiversity vary among taxa. *Biology Letters* 1: 431-434.
- Goldberg, F.J., S. Quinzio and M. Vaira. 2006. Oviposition-site selection by the toad *Melanophryniscus rubriventris* in an unpredictable environment in Argentina. *Canadian Journal of Zoology* 84(5): 699-705.
- Hazell, D., J.M. Hero, D. Lindenmayer and R. Cunningham. 2004. A comparison of constructed and natural habitat for frog conservation in an Australian agricultural landscape. *Biological Conservation* 119(1): 61-71.
- Hirai, T. and M. Matsui. 1999. Feeding habits of the pond frog, *Rana nigromaculata*, inhabiting rice fields in Kyoto, Japan. *Copeia* 1999(4): 940-947.
- Hirai, T. and M. Matsui. 2002. Feeding relationships between *Hyla japonica* and *Rana nigromaculata* in rice fields of Japan. *Journal of Herpetology* 36(4): 662-667.
- Jang, H.J. and J.H. Suh. 2010. Distribution of amphibian species in South Korea. *Korean Journal of Herpetology* 2: 45-51.
- Katayama, N., T. Amano, G. Fujita and H. Higuchi. 2012. Spatial overlap between the intermediate egret *Egretta intermedia* and its aquatic prey at two spatiotemporal scales in a rice paddy landscape. *Zoological Studies* 51: 1105-1112.
- Katayama, N., T. Goto, F. Narushima, T. Amano, H. Kobori and T. Miyashita. 2013. Indirect positive effects of agricultural modernization on the abundance of Japanese tree frog tadpoles in rice fields through the release from predators. *Aquatic Ecology* 47(2): 225-234.
- Kato, N., M. Yoshio, R. Kobayashi and T. Miyashita. 2010. Differential responses of two anuran species breeding in rice fields to landscape composition and spatial scale. *Wetlands* 30(6): 1171-1179.
- Kim, S.K., H.S. Park and S.R. Park. 2016. Distribution of fish and amphibian in rice fields near the Yedang Reservoir in Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* 30(1): 48-57.
- Koo, K.S., S. Kwon, I.K. Park and H.S. OH. 2018. Relationship between body size variation and habitat environment of *Hyla japonica* in Jeju Island, South Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* 32(6): 575-581.
- Koo, K.S. 2019. Distribution characteristics and body size variation of Japanese Tree Frog (*Hyla japonica*) in South Korea. Ph.D. thesis. Kangwon national university. Chuncheon.
- KREI. 2003. The agricultural and rural history of Korea for 100 years : change and development of Korean rural society. Korea Rural Economic Institute. Seoul (in Korean).
- Lee, J.H., H.J. Jang and J.H. Suh. 2011. Ecological Guide Book of Herpetofauna in Korea. NIER. Incheon (in Korean).
- Lee, S.H. and J.E. Jung. 2008. Management Effect of Environment-friendly Agriculture Pilot Site : A Case Study on Project Office of DaeHoo Environment. Korea Rural Community Corporation (KRC). Ansan (in Korean).
- Liess, M. and P.C. Von Der Ohe. 2005. Analyzing effects of pesticides on invertebrate communities in streams. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 24: 954-965.
- Maeda, N. and M. Matsui. 1989. Frogs and Toads of Japan (Third edition). Bun-ichi Co., Ltd. Tokyo (in Japanese).
- Moreira, L.F.B. and L. Maltchik. 2014. Does organic agriculture benefit anuran diversity in rice fields?. *Wetlands* 34(4): 725-733.
- Naito, R., M. Sakai, Y. Natuhara, Y. Morimoto and S. Shibata. 2013. Microhabitat use by *Hyla japonica* and *Pelophylax porosa brevipoda* at levees in rice paddy areas of Japan. *Zoological Science* 30(5): 386-392.
- Naito, R., M. Yamasaki, Y. Natuhara and Y. Morimoto 2012. Effects of water management, connectivity, and surrounding land use on habitat use by frogs in rice paddies in Japan. *Zoological Science* 29(9): 577-585.
- Nam, H.K., M. Kim, G. Choi, D. Jang, S.H. Choi, K.J. Cho, L.J. Choe, Y.E. Na and M.H. Kim. 2016. Influence of pesticide use on distribution of waterbirds in rice fields at mid-western part of South Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* 34(4): 361-364.
- Nam, H.K., S.H. Choi and J.C. Yoo. 2015. Patterning waterbird assemblages on rice fields using self-organizing map and random forest. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 34(3): 168-177.
- Noh, D.C. 2007. Environmental Monitoring by using Anuran Calls. Ph.D. thesis, Korea national university of education. Cheongju.
- Peltzer, P.M., R.C. Lajmanovich, A.M. Attademo and A.H. Beltzer. 2006. Diversity of anurans across agricultural ponds in Argentina, pp. 131-145. In: Marine, Freshwater, and Wetlands Biodiversity Conservation. Springer, Dordrecht.
- Piatti, L., F.L. Souza and P.L. Filho. 2010. Anuran assemblage in a rice field agroecosystem in the Pantanal of central Brazil. *Journal of Natural History* 44(19-20): 1215-1224.
- R Core Team. 2013. R: a language and environment for statistical computing. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at <http://www.R-project.org/>.
- Ra, N.Y. 2010. Habitat and Behavioral Characteristics, Captive Breeding and Recovery Strategy of the Endangered Gold-Spotted Pond Frog (*Rana plancyi chosenica*). Ph.D. thesis. Kangwon national university. Chuncheon.
- Reseteris, W.J. 2005. Habitat selection behaviour links local and regional scales in aquatic systems. *Ecology Letters* 8: 480-486.
- Sawahata, T. 2002. Seasonal changes in number of *Rana porosa brevipoda* killed on the road. *Bulletin of the Herpetol Society of Japan* 2: 72-74 (in Japanese).

- Schmidt, B.R. 2004. Declining amphibian populations: The pitfalls of count data in the study of diversity, distributions, dynamics, and demography. *Herpetological Journal* **14**: 167-174.
- Shin, H.S., Y.J. Song, S.I. Kwon, J. Eo, S.H. Lee and M.H. Kim. 2018. Monthly change of the length-weight relationship of the loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) population in paddy fields by farming practices. *Korean Journal of Environmental Biology* **36**(1): 1-10.
- Sung, H.C., S.M. Cha, S.W. Cheong, D.S. Park and S.R. Park. 2007. Monitoring local populations and breeding migration patterns of the gold-spotted pond frog, *Rana chosenica*. *Journal of Ecology and Environment* **30**(2): 121-126.
- Tiner, R.W. 1984. Wetlands of the United States: current status and recent trends. United States Fish and Wildlife Service.
- Wang, Y., Z. Wu, P. Lu, F. Zhang and Y. Li. 2008. Breeding ecology and oviposition site selection of black-spotted pond frogs (*Rana nigromaculata*) in Ningbo, China. *Frontiers of Biology in China* **3**(4): 530-535.
- Watanabe, S., N. Nakanishi and M. Izawa. 2005. Seasonal abundance in the floor-dwelling frog fauna on Iriomote Island of the Ryukyu Archipelago, Japan. *Journal of Tropical Ecology* **21**(1): 85-91.
- Werner, E.E., D.K. Skelly, R.A. Relyea and K.L. Yurewicz. 2007. Amphibian species richness across environmental gradients. *Oikos* **116**: 1697-1712.
- Wilson, A.L., R.J. Watts and M.M. Stevens. 2008. Effects of different management regimes on aquatic macroinvertebrate diversity in Australian rice fields. *Ecological Research* **23**(3): 565-572.
- Winqvist, C., J. Bengtsson, T. Aavik, F. Berendse, L.W. Clement, S. Eggers, C. Fischer, A. Flohre, F. Geiger, J. Liira, T. Pärt, C. Thies, T. Tscharntke, W.W. Weisser and R. Bommarco. 2011. Mixed effects of organic farming and landscape complexity on farmland biodiversity and biological control potential across Europe. *Journal of Applied Ecology* **48**(3): 570-579.