

친환경 인증 논외 저서성 대형무척추동물 군집과 왕우렁이 분포의 특성

방정환, 신이찬¹, 이영미, 이동규, 박미정, 이슬기, 윤현조, 박상구, 국용인², 홍성준*

국립농업과학원 유기농업과, ¹국립공원연구원 생태연구부, ²순천대학교 바이오한약자원학과

Characteristics of benthic macroinvertebrate community and distribution of golden apple snail in certified environmentally-friendly paddy field complexes of South Korea

Jeong Hwan Bang, I-Chan Shin¹, Young-Mi Lee, Dong-Gyu Lee, Mi-Jung Park, Seulgi Lee, Hyun-Jo Yoon, Sang-Gu Park, Yong-In Kuk² and Sung-Jun Hong*

Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea

¹Ecological Research Division, Korean National Park Research Institute, KNPS, Wonju 26441, Republic of Korea

²Department of Bio-oriental Medicine Resources, Suncheon National University, Suncheon 57922, Republic of Korea

Contribution to Environmental Biology

- To conserve biodiversity of the paddy ecosystem, changes in eco-friendly rice cultivation methods are required and continuous monitoring of paddy organisms is important.
- Macroinvertebrates are among the most abundant species in paddy fields and play an important role in the trophic level of the paddy ecosystem food chain.

*Corresponding author

Sung-Jun Hong

Tel. 063-238-2564

E-mail. hongsj7@korea.kr

Received: 10 February 2023

First revised: 30 March 2023

Second revised: 1 May 2023

Revision accepted: 30 May 2023

Abstract: Paddy fields provide important habitats for biodiversity conservation within the agricultural ecosystem. Their importance is gradually increasing as their ecological value is better understood. Benthic macroinvertebrates dominate paddy fields. They play an essential role in maintaining the biodiversity of paddy ecosystems. This study aimed to analyze characteristics of benthic macroinvertebrate communities and main environmental factors affecting the distribution of golden apple snails (*Pomacea canaliculata*). Results showed that the diversity index (H') of the benthic macroinvertebrate community was the highest at the Sangju site (St. 12) but the lowest at the Sancheong site (St. 18). Total Dissolved Solids (TDS), salinity, and Electrical Conductivity (EC) values were the highest in Gimhae and Yeongam based on Canonical Correspondence Analysis (CCA). Numbers of *P. canaliculata* (m^{-2}) were relatively low in Gunsan and Iksan where water temperatures were high. Therefore, changes in geographical characteristics and environmental factors might affect the distribution of *P. canaliculata* and characteristics of benthic macroinvertebrate communities. Results of this study can be used as primary data for biodiversity conservation and ecosystem service evaluation in agroecosystems.

Keywords: benthic macroinvertebrates, golden apple snail, organic farming, paddy field, *Pomacea canaliculata*

1. 서 론

지난 수십 년 동안 과도한 농약과 비료 사용, 무분별한 토지이용 등과 같은 인간활동으로 인해 논생태계의 생물 다양성이 위협받고 있다(Lockwood 1999; Feng 2002). 논은 다양한 생물들과 무생물이 상호작용하는 습지생태계이며, 농업생태계에서 생물다양성을 유지시켜 주는 중요한 서식공간이다(Imanishi *et al.* 2021). 또한 논은 홍수조절, 수질정화, 미기후 조절 등 다양한 생태계 서비스를 제공하고 있다(Natuhara 2013; Chen *et al.* 2022). 최근 논 생물다양성 보전에 대해 발표한 연구에 따르면 논생태계의 생물 다양성이 증가하면 작물 생산성도 증가할 뿐만 아니라 해충을 효과적으로 제어하고 생태계 안정성과 지속가능성을 유지하여 다양한 생태계 서비스를 제공할 수 있다고 보고하였다(Luo *et al.* 2014). 이러한 논생태계 생물다양성 보전의 중요성은 나날이 강조되고 있기 때문에 지속가능한 농업 생산을 유도하기 위해서는 친환경 농업의 확대가 필요하다(Li *et al.* 2019; Rasheed *et al.* 2021).

과거에는 벼의 생산성을 높이기 위해 과도하게 화학물질을 사용해 왔으며, 이로 인해 논생태계의 생물다양성 감소, 작물의 안정성 감소, 수질오염 등과 같은 환경문제가 나타나고 있다(Shin *et al.* 2022a). 최근에는 안전한 먹거리 생산과 함께 농업생태계 보전을 고려해야 한다는 인식의 변화로 많은 국가와 지역에서 유기농업을 시행하고 있으며 이러한 벼 재배 방식의 변화는 환경 및 생물다양성 문제를 해결하기 위한 방안으로 고려되고 있다(Chappell and LaValle 2011; Han *et al.* 2013; Rasche and Steinhauser 2022). 우리나라 정부에서도 환경농업육성법(1997), 친환경농업육성법(2001), 친환경농어업법(2021)을 제정 및 개정하여 농업생태계를 보전하면서 안전한 농산물을 생산하기 위한 기반을 마련하였다(Shin *et al.* 2021). 소비자들은 경제 성장과 함께 자연환경보전을 고려한 소비 형태의 변화를 가져왔고(Selfa *et al.* 2008; Lee and Yang 2021), 농업생태계에서 생물다양성의 의미와 중요성에 대한 인식이 개선되고 있다.

논은 벼 재배를 위해 주기적으로 물 관리를 하고 있으며 계절에 따라 육상생태계와 수생태계가 반복적으로 나타나면서, 많은 생물들에게 중요한 서식지를 제공한다(Fasola and Ruiz 1996; FAO 2004). 수서생물은 논에서 가장 풍부하고 다양한 생물이다(Curcó *et al.* 2001). 그중에서 대형

무척추동물(macroinvertebrates)은 습지생태계의 먹이사슬 영양단계에서 중요한 역할을 하고 있으며, 논 수질의 지표로도 사용되고 있다(Monge *et al.* 2005; Castillo *et al.* 2006; Rizo-Patrón Viale *et al.* 2013; Han *et al.* 2022). 또한 양서류, 조류, 어류의 먹이원으로서 담수생태계 생물다양성을 유지하는 데 중요한 생태적 지위를 차지한다(Han *et al.* 2007; Wood *et al.* 2010).

왕우렁이(*Pomacea canaliculata*)는 남미 아열대 원산지로 국내에서는 주로 친환경 벼 재배를 위해 제초제를 대신하여 생물학적으로 잡초를 방제하기 위해 이용되어 왔고 제초 효과도 상당히 높게 나타났다(Moon *et al.* 1997). 논 생태계 보전과 경제적 이점으로 왕우렁이를 이용한 벼 재배 농가는 해마다 증가하고 있으며(Shin *et al.* 2021), 왕우렁이 개체군과 서식환경에 대한 지속적인 모니터링이 필요한 시점이다. 따라서 본 연구는 친환경 인증 논을 대상으로 지역별 저서성 대형무척추동물 군집 특성과 왕우렁이

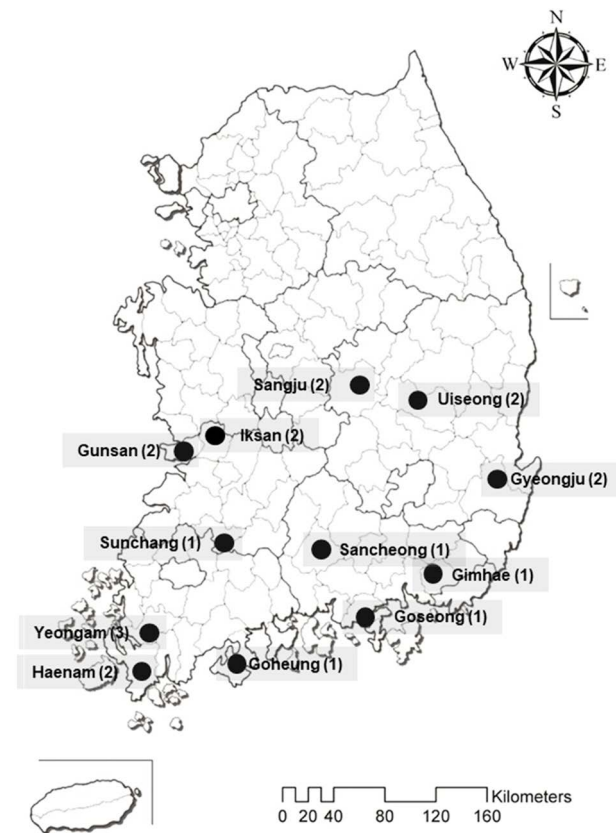


Fig. 1. A map of environmentally friendly paddy field research sites in South Korea. Numbers in parentheses indicate numbers of survey points.

Table 1. GPS coordinates and altitude of study sites in environmentally friendly paddy fields

Province	City	Station	GPS	Altitude (m)	
JB	Iksan	St. 1	36°07'34"N 127°00'14"E	7	
		St. 2	36°06'31"N 126°55'40"E	10	
	Gunsan	St. 3	36°00'19"N 126°51'47"E	22	
		St. 4	36°01'56"N 126°49'24"E	5	
	Sunchang	St. 5	35°20'05"N 127°06'13"E	106	
JN	Yeongam	St. 6	34°47'04"N 126°38'26"E	15	
		St. 7	34°47'13"N 126°39'07"E	8	
		St. 8	34°47'47"N 126°36'41"E	1	
	Haenam	St. 9	34°36'24"N 126°31'33"E	15	
		St. 10	34°27'00"N 126°40'39"E	2	
	Goheung	St. 11	34°35'24"N 127°19'47"E	4	
	GB	Sangju	St. 12	36°24'51"N 128°10'19"E	54
			St. 13	36°23'48"N 127°57'47"E	274
Uiseong		St. 14	36°30'39"N 128°25'16"E	71	
		St. 15	36°21'20"N 128°27'41"E	49	
Gyeongju	St. 16	35°50'13"N 129°06'42"E	71		
	St. 17	35°55'59"N 129°05'50"E	170		
GN	Sancheong	St. 18	35°28'49"N 127°56'03"E	370	
	Gimhae	St. 19	35°18'42"N 128°45'54"E	1	
	Goseong	St. 20	35°03'48"N 128°12'08"E	57	

JB: JeollaBuk-do; JN: JeollaNam-do; GB: GyeongsangBuk-do; GN: GyeongsangNam-do

분포에 영향을 미치는 주요 환경요인을 분석하였다. 이를 통해 농업생태계 생물다양성 보전과 가치 평가를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구 대상지와 조사 시기

연구 대상지는 친환경 인증 논(친환경 논)이 많은 한국의 남부 지방을 중심으로 4개의 도, 12개의 시군 지역 중에서 20개 지점을 선정하였다(Fig. 1). 조사 지점은 선행 연구 결과를 바탕으로 왕우렁이의 월동 가능성이 높은 지역

을 선정하였고(Shin *et al.* 2021), 전라북도(익산, 군산, 순창), 전라남도(영암, 해남, 고흥) 그리고 경상북도(상주, 의성, 경주), 경상남도(산청, 김해, 고성) 지역 중 20개 지점을 랜덤으로 선정하여 현장조사를 수행하였다(Table 1). 조사 시기는 논에 서식하는 수서생물들의 밀도가 높은 시기를 고려하여 2021년 7월과 8월 중에 현장조사를 실시하였다.

2.2. 조사 방법 및 조사 내용

친환경 논을의 수질 환경요인을 조사하기 위해 현장에서 휴대용 수질분석기(Multi-Parameter PCSTestr TM 35; Oakion, Singapore)를 이용하여 pH, WT (Water temperature), EC (Electrical conductivity), TDS (Total dissolved

solids), Salinity를 측정하였다. 저서성 대형무척추동물의 채집은 다양한 서식지를 대상으로 방형구(1×1 m) 조사를 3회 반복하여 수행하였고, 방형구 내에서는 뜰채(30×30 cm, 망목크기 1 mm)를 이용하여 정량 채집을 하였다. 채집된 샘플들은 현장에서 90% 에틸알코올로 고정하고 실험실로 운반하여 샘플 골라내기(Sorting) 작업을 수행한 후 해부현미경(Leica DE/MZ 7.5; Leica, Germany)을 사용하여 동정하였다(Yoon 1995; Kawai and Tanida 2005; NAIST 2008; Jung 2011, 2012; Kwon *et al.* 2013; NIBR 2018; Shin *et al.* 2022b).

채집한 저서성 대형무척추동물 군집은 20개 조사 지점에서 생물학적 지수를 산출하였고, 각 지수 중에서 우점도

(Dominance Index, $DI = (n_1 + n_2)/N$ (N : 총 개체수, n_1 , n_2 : 제1, 2우점종의 개체수), 다양도(Diversity Index, $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \times \ln(P_i)$) (S : 전체 종수, P_i : i 번째에 속하는 개체수의 비율(n_i/N))로 계산, N : 군집 내의 전체 개체수, n_i : 각 종의 개체수), 균등도(Evenness Index, $E = H'/\ln(S)$) (H' : 다양도, S : 전체 종수), 풍부도(Richness Index, $RI = (S - 1)/\ln(N)$) (S : 전체 종수, N : 총 개체수)를 산정하였다.

방형구 조사에서 채집된 왕우렁이는 단위 면적당 개체수 현존율(Ind. m^{-2})로 표기하였고, 왕우렁이의 각고와 각장을 측정하여 다음과 같은 크기 등급으로 구분하였다: small (<3.0 cm), medium (3.0~5.0 cm), and large (>5 cm). 왕우렁이 난괴 조사는 난괴가 발견된 곳에서 도보

Table 2. Dominant and subdominant species of benthic macroinvertebrates in environmentally friendly paddy fields

Province	City	Station	Dominant species (%)	Sub dominant species (%)	DI (%)
JB	Iksan	St. 1	<i>Limnodrilus gotoi</i> (41.3)	<i>Chironomidae</i> spp. (27.3)	0.69
		St. 2	<i>Hydroglyphus japonicus</i> (32.6)	<i>Hippeutis cantori</i> (25.0)	0.52
	Gunsan	St. 3	<i>Hydroglyphus japonicus</i> (60.5)	<i>Pomacea canaliculata</i> (10.3)	0.71
		St. 4	<i>Sigara substriata</i> (49.7)	<i>Berosus lewisius</i> (28.8)	0.79
	Sunchang	St. 5	<i>Limnodrilus gotoi</i> (55.7)	<i>Hippeutis cantori</i> (25.0)	0.81
JN	Yeongam	St. 6	<i>Pomacea canaliculata</i> (29.6)	<i>Gyraulus chinensis</i> (22.2)	0.52
		St. 7	<i>Neocaridina denticulata</i> (43.8)	<i>Pomacea canaliculata</i> (37.5)	0.81
		St. 8	<i>Chironomidae</i> spp. (51.4)	<i>Limnodrilus gotoi</i> (22.9)	0.74
	Haenam	St. 9	<i>Ischnura asiatica</i> (50.0)	<i>Chironomidae</i> spp. (28.6)	0.79
		St. 10	<i>Physa acuta</i> (60.8)	<i>Chironomidae</i> spp. (17.3)	0.84
Goheung	St. 11	<i>Hippeutis cantori</i> (27.3)	<i>Limnodrilus gotoi</i> (20.0)	0.47	
GB	Sangju	St. 12	<i>Hyphydrus japonicus</i> (33.3)	<i>Neocaridina denticulata</i> (16.2)	0.50
		St. 13	<i>Chironomidae</i> spp. (44.1)	<i>Limnodrilus gotoi</i> (32.4)	0.76
	Uiseong	St. 14	<i>Hydroglyphus japonicus</i> (48.3)	<i>Gabbia misella</i> (12.2)	0.61
		St. 15	<i>Chironomidae</i> spp. (42.1)	<i>Polypylis hemisphaerula</i> (26.3)	0.68
	Gyeongju	St. 16	<i>Pomacea canaliculata</i> (74.7)	<i>Hydroglyphus japonicus</i> (5.3)	0.80
St. 17	<i>Pomacea canaliculata</i> (72.3)	<i>Physa acuta</i> (9.2)	0.82		
GN	Sancheong	St. 18	<i>Chironomidae</i> spp. (89.5)	<i>Noterus japonicus</i> (5.6)	0.95
	Gimhae	St. 19	<i>Hydroglyphus japonicus</i> (35.9)	<i>Physa acuta</i> (26.9)	0.63
	Goseong	St. 20	<i>Chironomidae</i> spp. (57.4)	<i>Sigara substriata</i> (10.3)	0.68

JB: JeollaBuk-do; JN: JeollaNam-do; GB: GyeongsangBuk-do; GN: GyeongsangNam-do. DI: Dominance Index.

로 10 m 이동하면서 난괴 수를 파악하였고, 지역별 왕우렁이 분포에 영향을 미치는 주요 환경요인을 파악하기 위해 Canonical Correspondence Analysis (CCA)를 사용하였다(Ter Braak and Verdonschot 1995).

3. 결과 및 고찰

3.1. 저서성 대형무척추동물 군집 특성

전체 20개 조사 지점에서 채집한 저서성 대형무척추동물 중 우점종은 10종으로 실지렁이(*Limnodrilus gotoi*), 꼬마물방개(*Hydroglyphus japonicus*), 방물벌레(*Sigara substriata*), 왕우렁이(*Pomacea canaliculata*), 새뱅이(*Neocaridina denticulata*), 깔따구류(*Chironomidae* spp.), 아시아실잡자리(*Ischnura asiatica*), 원돌이물달팽이(*Physa acuta*), 수정또아리물달팽이(*Hippeutis cantori*), 알물방개(*Hyphydrus japonicus*)가 나타났고, 아우점종은 13종으로 나타났다(Table 2). 우점도 지수(DI)는 고흥(St. 11) 지점에서 0.47로 가장 낮게 나타났고, 반면에 산청(St. 18) 지점에서 0.95로 가장 높게 나타났으며, 이 지점의 우점종은 깔따구류(*Chironomidae* spp.)이다. 본 연구 결과에서 상주 지점과 익산 지점의 다양도 지수가 가장 높게 나타났다(Table 3). 이 지점의 우점종은 각각 알물방개(*Hyphydrus japonicus*) 33.3%와 꼬마물방개(*Hydroglyphus japonicus*) 32.6%로 상대적으로 낮은 우점도를 보였다. 그러나 산청 지점에서는 균등도와 다양도 지수가 가장 낮게 나타났고 이러한 결과는 깔따구류(*Chironomidae* spp.)가 약 90% 정도 우점한 결과로 보인다. 일반적으로 국내에서는 담수무척추동물을 이용한 수질을 평가하고 있으며 깔따구는 수질오염 지표종으로 이용되고 있다(Kim *et al.* 2013). 깔따구가 우점하는 수질은 식수로 사용할 수 없는 4급수의 오염된 수질환경이라는 것을 추측할 수 있다. 선행 연구에서는 깔따구류가 오염된 수역에서 유기물을 섭식하거나 교란된 하상에서 대발생할 수 있다고 보고하였다(Jung *et al.* 2022). 본 연구 결과에서도 산청지점에서 깔따구류(*Chironomidae* spp.)가 대발생하여 다양한 저서성 대형무척추동물이 출현하지 못한 것으로 보인다.

친환경 논의 수질 환경요인을 분석한 결과 각 조사 지점마다 다양한 값의 범위를 보였다(Table 4). 특히 고흥 지점의 EC, TDS, Salinity 값이 상대적으로 낮은 값을 보였

Table 3. Biological indices of benthic macroinvertebrate assemblages in environmentally friendly paddy fields

Province	City	Station	H'	E	RI
JB	Iksan	St. 1	1.35	0.62	1.41
		St. 2	1.90	0.86	1.99
	Gunsan	St. 3	1.53	0.60	2.18
		St. 4	1.33	0.64	1.37
	Sunchang	St. 5	1.28	0.55	1.66
JN	Yeongam	St. 6	1.78	0.86	1.59
		St. 7	1.14	0.82	0.77
		St. 8	1.16	0.84	0.84
	Haenam	St. 9	1.03	0.94	0.76
St. 10		1.13	0.63	1.14	
GB	Sangju	St. 11	1.79	0.92	1.50
		St. 12	2.08	0.71	2.95
	Uiseong	St. 13	1.30	0.81	1.13
Gyeongju		St. 14	1.76	0.67	2.60
	St. 15	1.40	0.87	1.36	
GN	Sancheong	St. 16	1.19	0.42	2.84
		St. 17	1.05	0.46	1.71
	Gimhae	St. 18	0.47	0.26	1.01
		St. 19	1.76	0.77	2.07
	Goseong	St. 20	1.68	0.62	3.32

JB: JeollaBuk-do; JN: JeollaNam-do; GB: GyeongsangBuk-do; GN: GyeongsangNam-do. H': Diversity Index; E: Evenness Index; RI: Richness Index.

고(높은 다양도 지수), 해남, 경주 그리고 영암 지점의 EC, TDS, Salinity 값은 높게 나타났다(낮은 다양도 지수). 일반적으로 온도가 증가하면 증발이 촉진되어 염도가 증가하는 경향을 보이며, EC와 염도도 양의 상관관계를 보인다. 선행 연구에서는 담수 서식지의 수서곤충들은 염도에 제한된 내성 범위를 보이므로 염도의 증가는 다양도 지수에 부정적인 영향을 주었고(Muresan *et al.* 2020), 또한 높은 염도는 하천에 서식하는 대형무척추동물 군집에도 악영향을 주었다(Metzeling 1993). 그리고 높은 TDS 값은 아마도 교란된 논의 토사로 인하여 대형무척추동물 다양

Table 4. Physicochemical characteristics of water in environmentally friendly paddy fields

Province	City	Station	pH	WT (°C)	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	TDS (mg L^{-1})	Salinity (mg L^{-1})
JB	Iksan	St. 1	-	-	-	-	-
		St. 2	7.6	34.7	287	203	139
	Gunsan	St. 3	7.2	35.0	214	151	102
		St. 4	7.3	32.7	369	262	177
	Sunchang	St. 5	-	-	-	-	-
JN	Yeongam	St. 6	7.9	24.8	299	212	144
		St. 7	8.2	25.6	277	197	133
		St. 8	8.6	31.9	1415	999	698
	Haenam	St. 9	-	-	-	-	-
		St. 10	7.7	29.0	195	144	105
	Goheung	St. 11	7.6	29.0	98	68	53
GB	Sangju	St. 12	-	-	-	-	-
		St. 13	7.1	31.6	184	130	90
	Uiseong	St. 14	8.5	34.7	215	154	115
		St. 15	7.4	32.1	330	231	159
	Gyeongju	St. 16	8.2	23.1	140	100	89
		St. 17	7.4	24.2	160	225	108
GN	Sancheong	St. 18	-	-	-	-	-
	Gimhae	St. 19	7.5	30.5	671	467	319
	Goseong	St. 20	7.2	32.1	110	80	58

JB: JeollaBuk-do; JN: JeollaNam-do; GB: GyeongsangBuk-do; GN: GyeongsangNam-do. WT: Water Temperature; EC: Electrical Conductivity; TDS: Total dissolved solids.

성에 부정적인 영향을 준 것으로 판단된다(Lubanga *et al.* 2021).

본 연구 결과에서 친환경 논 20개 지점의 평균 다양도 지수는 1.41이며, 균등도 지수는 0.69이다. 선행 연구에서는 전국 284개 지역의 논에 서식하는 수서무척추동물의 다양도 지수(1.09)와 균등도 지수(0.42)를 각각 산출하였고(Kim *et al.* 2012), 본 연구 결과보다 낮은 다양도 값을 보였다. 이러한 결과는 관행 논과 친환경 논의 벼 재배 방식에 따른 차이로 보인다. 호주에서는 농약을 사용하지 않은 친환경 논이 관행 논보다 저서성 대형무척추동물의 다양성이 높게 나타났다(Wilson *et al.* 2008). 또한 유기 재

배 논에서는 잡초 방제를 위해 논에서 물 관리를 하기 때문에 물 순환에 따라 서식하는 대형무척추동물의 생존에 영향을 줄 수 있다고 한다(Suhling *et al.* 2000; Bazzanti *et al.* 2003). 따라서 저서성 대형무척추동물의 개체수는 벼 재배 방식이나 수환경 요인에 따라 달라질 수 있으며 수질 환경요인이 서로 다른 논들과 비교가 필요하다. 우리나라에서도 관행 논보다 친환경 논에서 저서성 대형무척추동물의 개체수가 높게 나타났고(Kim *et al.* 2009), 깔따구류(*Chironomidae* spp.)가 유기 재배 논에서 많이 서식하고 있다는 것은 본 연구 결과와 유사한 경향으로 보인다.

Table 5. Density by size of apple snail dominant in environmentally friendly paddy fields

Province	City	Station	No. individuals of <i>Pomacea canaliculata</i> (m ⁻²)			
			Small	Medium	Large	Sum (%)
JB	Iksan	St. 1	2	2	-	4 (0.8)
		St. 2	-	-	-	-
	Gunsan	St. 3	28	-	-	28 (5.3)
		St. 4	36	1	-	37 (7.0)
	Sunchang	St. 5	3	2	-	5 (0.9)
JN	Yeongam	St. 6	22	2	-	24 (4.6)
		St. 7	2	-	-	2 (0.4)
		St. 8	68	-	-	68 (12.9)
	Haenam	St. 9	-	3	-	3 (0.6)
		St. 10	-	1	-	1 (0.2)
	Goheung	St. 11	22	1	-	23 (4.4)
GB	Sangju	St. 12	-	-	-	-
		St. 13	-	-	-	-
	Uiseong	St. 14	15	1	-	16 (3.0)
		St. 15	5	1	-	6 (1.1)
	Gyeongju	St. 16	127	3	-	130 (24.7)
St. 17		141	-	-	141 (26.8)	
GN	Sancheong	St. 18	-	3	-	3 (0.6)
	Gimhae	St. 19	28	1	3	32 (6.1)
	Goseong	St. 20	-	4	-	4 (0.8)
Total (%)			499 (94.7)	25 (4.7)	3 (0.6)	527 (100.0)

JB: JeollaBuk-do; JN: JeollaNam-do; GB: GyeongsangBuk-do; GN: GyeongsangNam-do. Apple snail (*Pomacea canaliculata*) size classes include small (<3 cm), medium (3-5 cm), and large (>5 cm).

3.2. 왕우렁이 개체군 분포

친환경 논에 우점하는 왕우렁이는 개체 크기에 따라 다른 분포를 보였다 (Table 5). 채집된 전체 왕우렁이 중 개체 크기가 작은 small (<3 cm) 그룹에서 499개체 (94.7%)가 채집되어 왕우렁이 개체군의 대부분을 차지하였다. 조사 지점별 분포에서는, 경주 지역인 St. 17에서 141개체 (26.8%), 그리고 St. 16은 130개체 (24.7%)가 채집되어 가

장 많은 비율을 보였다. 친환경 논에서 관측된 왕우렁이 난괴의 밀도는 조사 지점마다 다른 분포를 보였다 (Table 6). 왕우렁이 난괴는 주로 상대적으로 따뜻한 경남과 전남 지역에 많이 분포하였다. 경남 지역인 김해 (St. 19) 지점에서 71개 (39.2%)로 가장 많이 관측되었고, 산청 (St. 18) 지점은 22개 (12.2%)의 난괴가 출현했다. 그리고 전남 지역인 해남 (St. 10) 지점에서 21개 (11.6%)의 난괴가 나타났다. 왕우렁이는 열대지방이 원산지로 추위에 취약한 특징

Table 6. Numbers of apple snail egg clutch observed in environmentally friendly paddy fields

Province	City	Station	No. of Eggs clutch 10 m ⁻¹ (%)
JB	Iksan	St. 1	2 (1.1)
		St. 2	-
	Gunsan	St. 3	12 (6.6)
		St. 4	1 (0.6)
	Sunchang	St. 5	4 (2.2)
JN	Yeongam	St. 6	3 (1.7)
		St. 7	2 (1.1)
		St. 8	5 (2.8)
	Haenam	St. 9	1 (0.6)
		St. 10	21 (11.6)
	Goheung	St. 11	-
	Sangju	St. 12	-
		St. 13	-
		Uiseong	St. 14
	St. 15		1 (0.6)
Gyeongju	St. 16	11 (6.1)	
	St. 17	3 (1.7)	
GN	Sancheong	St. 18	22 (12.2)
	Gimhae	St. 19	71 (39.2)
	Goseong	St. 20	18 (9.9)
Total			181 (100.0)

JB: JeollaBuk-do; JN: JeollaNam-do; GB: GyeongsangBuk-do; GN: GyeongsangNam-do.

이 있다(Lee *et al.* 2019). 선행 연구에서는 난괴의 밀도가 여름철에 많이 출현하였고(Lee *et al.* 2002), 본 연구 결과에서도 따뜻한 남부 지방에서 난괴 밀도가 높게 나타났다(Table 6). 또한 여름철 강우로 인하여 왕우렁이 개체와 난괴가 이동하여 조사 지역별 밀도에 영향을 주었을 가능성도 있으며(Lee *et al.* 2002), 서식지의 잠재 먹이원은 왕우렁이의 난괴 수와 개체 밀도에 영향을 줄 수 있다(Estoy *et al.* 2002).

CCA 분석은 친환경 논에 서식하는 왕우렁이 개체와

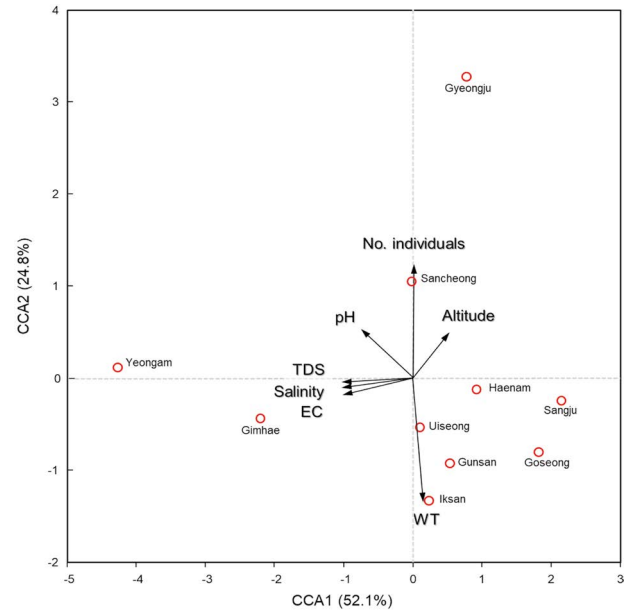


Fig. 2. Canonical Correspondence Analysis (CCA) revealing the distribution of apple snails in relation to water environmental factors and study sites in environmentally friendly paddy fields. WT: Water Temperature; EC: Electrical Conductivity; TDS: Total Dissolved Solids.

수질 환경요인들과 상관관계를 보여 준다(Fig. 2). TDS, Salinity, EC는 CCA 1축과 음의 상관관계이며, 김해와 영암에서는 높은 값을 보이는 반면, 해남과 상주에서는 낮은 값을 보였다. 수온(WT)의 경우, CCA 2축과 음의 상관관계를 보였고, 군산, 익산에서는 높게 나타났다. 그리고 단위 면적당 왕우렁이 개체수는 CCA 2축과 양의 상관관계를 보였고, 경주에서 높게 나타났다. 왕우렁이의 분포는 지역에 따라 서로 다른 수질 환경요인에 의해 제한될 수 있다. 일반적으로 생물의 분포는 온도에 영향을 받기 때문에 동물들의 서식 형태는 온도 조건에 따라 달라질 수 있다(Bae and Park 2015). 본 연구 결과에서도 온도에 따라 왕우렁이 개체 분포에 영향을 준 것을 볼 수 있다(Fig. 2). 특히 익산은 온도가 높은 반면 왕우렁이 개체수가 적게 나타났고 경주 지역은 온도가 낮지만 개체수가 많이 나타났다. 지역에 따른 왕우렁이 분포 차이는 영농활동이나 논물 관리를 통해 왕우렁이 서식지가 변화하여 개체군이 이동하거나, 사망으로 인해 개체군 크기가 감소한 영향인 것으로 보인다(Holomuzki and Biggs 2006; Lysne and Koetsier 2006; Seuffert and Martín 2012). 또한 여름철 집중호우 기간의 지역별 강수량의 차이는 왕우렁이 서식환경의 변

화를 가져올 수 있으며 왕우렁이가 다른 곳으로 유출되거나 이동했을 가능성도 있다(Lee *et al.* 2002).

본 연구는 왕우렁이 농법을 하는 친환경 논을 대상으로 하였고 봄철 친환경 논에는 정부에서 지원하는 왕우렁이를 0.12 kg a⁻¹ 투입한 것으로 조사되었다. 친환경 벼 재배 농가에서는 왕우렁이 개체수 증가로 인한 벼 피해와 경제적 비용 문제로 인해 추가적으로 왕우렁이를 투입하지 않는다. 따라서 본 연구에서 조사 지역별 왕우렁이의 초기 밀도는 비슷하다고 가정하였다. “왕우렁이의 농업적 활용과 관리 요령(NIAS 2013)”에 따르면 논 가장자리에 왕우렁이를 투입하면 몇 시간 이내에 논 전체로 퍼져 나가며, 왕우렁이는 산란에서 번식 성체까지 약 60일 이내의 생활사를 가지고 있으며 1회에 약 157~1,300개의 알을 산란하는 것으로 알려져 있다. 따라서 봄철에 투입된 왕우렁이 개체는 짧은 생활사 주기를 통해 개체군의 밀도가 증가할 수 있으며 수질 환경요인과 종내·종간 경쟁 그리고 상호작용으로 인해 개체군의 밀도가 조절될 수 있다. 또한, 농가마다 벼를 재배하는 관리 기술이 다를 수 있기 때문에, 본 연구 결과의 일반화를 위해서는 향후 추가적인 연구가 필요하다.

지난 수십 년 동안 농업에서 지속적으로 사용하고 있는 농약과 화학비료는 생물다양성 감소와 온실가스 배출 등을 포함한 심각한 환경문제를 야기하였고 친환경 농업이 확대됨에 따라 왕우렁이를 이용하는 농가도 증가하였다(Shin *et al.* 2021). 왕우렁이를 활용한 벼농사는 제초제를 사용하지 않고 효과적으로 잡초를 제거할 수 있지만, 무분별한 사용은 자연생태계에 영향을 줄 수 있다. 최근 왕우렁이의 자연생태계 유출 등 환경에 미치는 부정적 영향을 최소화하기 위해 정부에서는 부처 간 협의를 통해 관리지침을 마련하였다. 친환경농업법을 근거로 왕우렁이 운영 및 기본 원칙을 수립하여 왕우렁이를 활용하는 사람들에게 관리 지침을 준수할 수 있도록 홍보 및 교육 그리고 지자체에서 관리 실태 여부를 매년 점검하고 있다. 또한 연구기관에서는 예찰 및 방제 기술에 대한 연구를 수행하고 있으며 왕우렁이를 보다 효율적으로 활용하고 관리할 수 있도록 노력을 하고 있다. 따라서 농업생태계의 지속가능성과 건전성을 유지하기 위해서는 장기 모니터링을 통한 생태계 구성원들의 분포와 환경요인과의 관계를 지속적으로 모니터링할 필요가 있으며 이러한 현장 데이터를 근거로 농업생태계 관리 방안을 수립해야 한다. 따라서 본 연구 결과는 농업생태계 생물다양성 보전을 위한 기초자료로 활용될 수 있으며 많은 생물들이 공존하는 논습지는 안전한

먹거리를 제공할 뿐만 아니라 다양한 생태계 서비스를 제공할 것이다.

적 요

논은 농업생태계 생물다양성을 보전하는 중요한 서식공간으로 최근 생태학적 가치가 주목을 받으면서 중요성이 점점 커지고 있다. 저서성 대형무척추동물은 논에 우점하고 있으며 논생태계 생물다양성을 유지하는 중요한 역할을 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 한국 남부 지방의 친환경 논을 대상으로 저서성 대형무척추동물 군집의 특성과 왕우렁이 분포에 영향을 미치는 주요 환경요인을 분석하였다. 연구 결과 저서성 대형무척추동물 군집의 다양도 지수(H')는 상주 지점(St. 12)에서 가장 높게 나타났고, 산청 지점(St. 18)에서 가장 낮게 나타났다. CCA 분석 결과, 김해와 영암에서 TDS, Salinity, EC의 값이 높게 나타났다. 그리고 군산, 익산에서는 수온(WT)이 높고 단위 면적당 왕우렁이 개체 수는 상대적으로 낮게 나타났다. 따라서 지리적인 특성과 수질 환경요인의 변화는 왕우렁이의 분포와 저서성 대형무척추동물 군집의 특성을 변화시킬 수 있다. 본 연구 결과는 농업생태계 생물다양성 보전과 생태계 서비스 평가를 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

CRedit authorship contribution statement

JH Bang: Conceptualization, Investigation, Formal analysis, Writing - original draft, Writing - review & editing. IC Shin: Conceptualization, Investigation, Methodology, Formal analysis, Writing - review & editing. YM Lee: Investigation, Writing - review. DG Lee: Investigation, Writing - review. MJ Park: Investigation, Writing - review. S Lee: Investigation, Writing - review. HJ Yoon: Investigation, Writing - review. SG Park: Investigation, Writing - review. YI Kuk: Writing - review & editing. SJ Hong: Conceptualization, Methodology, Writing - review & editing, Funding acquisition.

Declaration of Competing Interest

The authors declare no conflicts of interest.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01560401)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Bae MJ and YS Park. 2015. Characterizing the effects of temperature on behavioral periodicity in golden apple snails (*Pomacea canaliculata*). *Ecol. Inform.* 29:130–138. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.02.004>
- Bazzanti M, VD Bella and M Seminara. 2003. Factors affecting macroinvertebrate communities in astatic ponds in central Italy. *J. Freshw. Ecol.* 18:537–548. <https://doi.org/10.1080/02705060.2003.9663994>
- Castillo LE, E Martínez, C Ruepert, C Savage, M Gilek, M Pinnock and E Solis. 2006. Water quality and macroinvertebrate community response following pesticide applications in a banana plantation, Limon, Costa Rica. *Sci. Total Environ.* 367:418–432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.02.052>
- Chappell MJ and LA LaValle. 2011. Food security and biodiversity: can we have both? An agroecological analysis. *Agric. Human Values* 28:3–26. <https://doi.org/10.1007/s10460-009-9251-4>
- Chen ZD, FB Li, CC Xu, J Long, JF Feng and FP Fang. 2022. Spatial and temporal changes of paddy rice ecosystem services in China during the period 1980–2014. *J. Integr. Agric.* 21:3082–3093. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.07.049>
- Curcó A, A Canicio, MA Escolano, E Fores, C Ibáñez, P Luque and X Riera. 2001. Mejora de la gestión del hábitat en la Zepa del Delta del Ebro (Cataluña, España). SEO/Birdlife. Cataluña 151.
- Estoy Jr GF, Y Yusa, T Wada, H Sakurai and K Tsuchida. 2002. Effects of food availability and age on the reproductive effort of the apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck) (Gastropoda: Ampullariidae). *Appl. Entomol. Zool.* 37:543–550. <https://doi.org/10.1303/aez.2002.543>
- FAO. 2004. All About Rice. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. <https://www-fao-org.lib.rda.go.kr/rice2004/en/aboutrice.htm>
- Fasola M and X Ruiz. 1996. The value of rice fields as substitutes for natural wetlands for waterbirds in the Mediterranean region. *Colon. Waterbirds* 19:122–128. <https://doi.org/10.2307/1521955>
- Feng Y. 2002. Biodiversity and eco-agriculture. *Chin. J. Eco-Agric.* 10:5–7.
- Han JS, CH An, JC Lim, KJ Cho and HG Lee. 2022. Analysis of benthic macroinvertebrate fauna and habitat environment of Muljangori-oreum Wetland in Jeju Island. *Korean J. Environ. Biol.* 40:363–373. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2022.40.4.363>
- Han MS, HK Nam, KK Kang, M Kim, YE Na, HR Kim and MH Kim. 2013. Characteristics of benthic invertebrates in organic and conventional paddy field. *Korean J. Environ. Agric.* 32:17–23. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2013.32.1.17>
- Han MS, HS Bang, MH Kim, MK Kim, KA Roh, JT Lee and YE Na. 2007. The fauna of aquatic invertebrates in paddy field. *Korean J. Environ. Agric.* 26:267–273. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2007.26.3.267>
- Holomuzki JR and BJ Biggs. 2006. Habitat-specific variation and performance trade-offs in shell armature of New Zealand mudsnails. *Ecology* 87:1038–1047. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1038:HVAPT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1038:HVAPT]2.0.CO;2)
- Imanishi A, Y Natuhara, J Imanishi, I Duangvongsa and S Southavong. 2021. Effects of double rice cropping with irrigation on the diversity of herbaceous plants and their utilization as a food source in paddy fields of southern Lao People's Democratic Republic. *Landsc. Ecol. Eng.* 17:493–505. <https://doi.org/10.1007/s11355-021-00469-4>
- Jung KS. 2011. Odonata Larvae of Korea. Nature & Ecology. Seoul.
- Jung KS. 2012. The Dragonflies and Damselflies of Korea. Nature & Ecology. Seoul.
- Jung SW, YH Kim, JH Lee, DG Kim, MK Kim and HM Kim. 2022. Biodiversity changes and community characteristics of benthic macroinvertebrates in weir section of the Nakdong River, South Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 36:150–164. <https://doi.org/10.13047/KJEE.2022.36.2.150>
- Kawai T and K Tanida. 2005. Aquatic Insects of Japan: Manual with Keys and Illustrations (1st edition). Tokai University Press. Kanagawa, Japan.
- Kim JS, DI Kim, SG Kim, B Kang, SJ Ko, GH Lim and HJ Kim. 2009. Biodiversity of benthic macroinvertebrate on organic rice paddy field. *Korean J. Org. Agric.* 17:193–209.
- Kim MC, SP Cheon and JK Lee. 2013. Invertebrates in Korean Freshwater Ecosystems. Geobook. Seoul, Korea.
- Kim MH, MS Han, HK Nam, KK Kang and M Kim. 2012. Geological distribution of aquatic invertebrates living in paddy fields of South Korea. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 45:1136–1142. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2012.45.6.1136>
- Kwon SJ, YC Chun and JH Park. 2013. Benthic Macroinvertebrates. Nature & Ecology. Seoul.
- Lee CS and HM Yang. 2021. A study on consumers' purchasing behavior and perception of the low-carbon certificated agricultural products. *Korean J. Org. Agric.* 29:333–358. <https://doi.org/10.11625/KJOA.2021.29.3.333>
- Lee SB, MH Koh, YE Na and JH Kim. 2002. Physiological and ecological characteristics of the apple snails. *Korean J. Environ. Agric.* 21:50–56. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2002.21.1.050>
- Lee SB, SM Lee, CB Park, CR Lee, BG Ko, KL Park, SG Hong and JH Kim. 2019. The environmental adaptability of *Pomacea canaliculata* used for weed control in wet rice paddies and crop damage caused by overwintered golden apple

- snails. Korean J. Environ. Agric. 38:23–33. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2019.38.1.1>
- Li M, R Li, J Zhang, S Liu, Z Hei and S Qiu. 2019. A combination of rice cultivar mixed-cropping and duck co-culture suppressed weeds and pests in paddy fields. Basic Appl. Ecol. 40:67–77. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2019.09.003>
- Lockwood JA. 1999. Agriculture and biodiversity: finding our place in this world. Agric. Human Values 16:365–379. <https://doi.org/10.1023/A:1007699717401>
- Lubanga HL, JO Manyala, A Sitati, MJ Yegon and FO Masese. 2021. Spatial variability in water quality and macroinvertebrate assemblages across a disturbance gradient in the Mara River Basin, Kenya. Ecohydrol. Hydrobiol. 21:718–730. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.03.001>
- Luo Y, H Fu and S Traore. 2014. Biodiversity conservation in rice paddies in China: Toward ecological sustainability. Sustainability 6:6107–6124. <https://doi.org/10.3390/su6096107>
- Lysne S and P Koetsier. 2006. Experimental studies on habitat preference and tolerances of three species of snails from the Snake River of southern Idaho, U.S.A. Am. Malacol. Bull. 21: 77–85.
- Metzeling L. 1993. Benthic macroinvertebrate community structure in streams of different salinities. Mar. Freshw. Res. 44:335–351. <https://doi.org/10.1071/MF9930335>
- Monge P, T Partanen, C Wesseling, V Bravo, C Ruepert and I Burstyn. 2005. Assessment of pesticide exposure in the agricultural population of Costa Rica. Ann. Occup. Hyg. 49:375–384. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meh102>
- Moon YH, DH Oh, GC Kim, JS Choi and JS Na. 1997. Test of organic agricultural material on paddy field. Rep. Res. Exp. Chonbuk ARES. 533–540.
- Muresan AN, M Gaglio, V Aschonitis, G Nobili, G Castaldelli and EA Fano. 2020. Structural and functional responses of macroinvertebrate communities in small wetlands of the Po delta with different and variable salinity levels. Estuar. Coast. Shelf Sci. 238:106726. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106726>
- NAIST. 2008. Aquatic Invertebrates in Paddy Ecosystem of Korea. National Institute Agricultural Science and Technology. Suwon, Korea.
- Natuhara Y. 2013. Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan. Ecol. Eng. 56:97–106. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.04.026>
- NIAS. 2013. Agricultural Utilization and Management tips of Golden Apple Snail. National Institute of Agricultural Sciences. Suwon, Korea.
- NIBR. 2018. Insect Fauna of Korea. Vol. 12, No. 22. Aquatic Coleoptera I (Arthropoda: Insecta: Coleoptera: Dytiscidae) (Lee DH and KJ Ahn, eds.). National Institute of Biological Resources. Incheon, Korea.
- Rasche L and J Steinhauser. 2022. How will an increase in organic agricultural area affect land use in Germany? Org. Agric. 12:513–530. <https://doi.org/10.1007/s13165-022-00405-2>
- Rasheed S, P Venkatesh, DR Singh, VR Renjini, GK Jha and DK Sharma. 2021. Ecosystem valuation and eco-compensation for conservation of traditional paddy ecosystems and varieties in Kerala, India. Ecosyst. Serv. 49:101272. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101272>
- Rizo-Patrón Viale F, A Kumar, MBM Colton, M Springer and FA Trama. 2013. Macroinvertebrate communities as bioindicators of water quality in conventional and organic irrigated rice fields in Guanacaste, Costa Rica. Ecol. Indic. 29:68–78. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.013>
- Selfa T, RA Jussaume Jr. and M Winter. 2008. Envisioning agricultural sustainability from field to plate: Comparing producer and consumer attitudes and practices toward ‘environmentally friendly’ food and farming in Washington State, USA. J. Rural Stud. 24:262–276. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2007.09.001>
- Seuffert ME and PR Martin. 2012. A lentic dweller in lotic habitats: the behavior of the invasive South American apple snail *Pomacea canaliculata* in flowing water. Aquat. Ecol. 46:129–142. <https://doi.org/10.1007/s10452-011-9386-4>
- Shin IC, MH Kim and J Eo. 2022a. Analysis of community stability and characteristics of macroinvertebrates in paddy fields by cultivation method. Ecol. Resil. Infrastruct. 9:15–23. <https://doi.org/10.17820/eri.2022.9.1.015>
- Shin IC, SH Lee, YM Lee, JY Yoon, SJ Hong, HJ Yoon, SG Park and EJ Han. 2022b. Distribution characteristics of macroinvertebrates in an agricultural paddy field and irrigation pond ecosystems in a farmer’s practice manual on the village of the Agricultural Environment Conservation Program. Korean J. Environ. Biol. 40:148–156. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2022.40.2.148>
- Shin IC, YW Byeon, BM Lee, J Kim, HJ Yoon, JY Yoon, YM Lee, EJ Han, SG Park, YI Kuk, DS Choi, IK Cho and SJ Hong. 2021. Distribution characteristics and overwintering of golden apple snails, *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae) at the environment-friendly complex in Korea. Korean J. Environ. Agric. 40:279–289. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2021.40.4.32>
- Suhling F, S Befeld, M Häusler, K Katur, S Lepkojus and F Mesléard. 2000. Effects of insecticide applications on macroinvertebrate density and biomass in rice-fields in the Rhône-delta, France. Hydrobiologia 431:69–79. <https://doi.org/10.1023/A:1004006422334>
- Ter Braak CJ and PF Verdonschot. 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. Aquat. Sci. 57:255–289. <https://doi.org/10.1007/BF00877430>

Wilson AL, RJ Watts and MM Stevens. 2008. Effects of different management regimes on aquatic macroinvertebrate diversity in Australian rice fields. *Ecol. Res.* 23:565–572. <https://doi.org/10.1007/s11284-007-0410-z>

Wood C, Y Qiao, P Li, P Ding, B Lu and Y Xi. 2010. Implications of rice agriculture for wild birds in China. *Waterbirds* 33:30–43. <https://doi.org/10.1675/063.033.s103>

Yoon IB. 1995. *Aquatic Insects of Korea*. Junghaengsa. Seoul.