

Research Article



CrossMark

Open Access

한국 친환경농업단지의 왕우렁이 월동 및 분포특성

신이찬¹, 변영웅², 이병모¹, 김주리¹, 윤현조¹, 윤지영¹, 이영미¹,
 한은정¹, 박상구¹, 국용인³, 최덕수⁴, 조일규^{5,6}, 홍성준^{1*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 유기농업과, ²농촌진흥청 연구정책과, ³순천대학교 생명산업과학대학 바이오한약자원학과,
⁴전라남도 농업기술원 친환경농업연구소, ⁵전남바이오산업진흥원 친환경농생명연구센터, ⁶㈜현농

Distribution Characteristics and Overwintering of Golden apple snails, *Pomacea canaliculata* (Gastropoda:Ampullariidae) at the Environment-friendly complex in Korea

I-Chan Shin¹, Young-Woong Byeon², Byung-Mo Lee¹, Jurry Kim¹, Hyun-Jo Yoon¹, Ji-Young Yoon¹, Young-Mi Lee¹, Eun-Jung Han¹, Sang-Gu Park¹, Yong-In Kuk³, Duck-Soo Choi⁴, Il Kyu Cho^{5,6} and Sung-Jun Hong^{1*} (¹Organic Agriculture Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea, ²Research Policy Planning Division, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea, ³Department of Bio-oriental Medicine Resources, College of Life Science and Industry, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea, ⁴Eco-friendly Agricultural Research Center, Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Services, Naju 58228, Korea, ⁵Eco-Friendly Agri-Bio Research Center, Jeonnam Bio-industry Foundation, Gokseong 57510, Korea, ⁶Hyunnong Co. LTD, Gwangju 61186, Korea)

Received: 5 November 2021/ Revised: 1 December 2021/ Accepted: 10 December 2021

ORCID

Copyright © 2021 The Korean Society of Environmental Agriculture

Il Kyu Cho

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://orcid.org/0000-0002-4177-5588>

Abstract

BACKGROUND: Recently, the golden apple snail, *Pomacea canaliculata* has been used as an environmentally-friendly weed-control agent in rice farming. Although effective for this particular style of farming, *P. canaliculata* can be destructive to other crops. The objective of this study was to identify overwintering as well as regional and seasonal distribution characteristics of *P. canaliculata*. Notably, winter is typically fatal for *P. canaliculata*. However, owing to increasing average global temperatures, we assessed the ability of *P. canaliculata* to survive through uncharacteristically warm winters.

METHODS AND RESULTS: To examine the distribution and overwintering regions of *P. canaliculata*, We conducted a survey from April 2020 to May 2021 on environmentally-friendly rice fields, agricultural waterways, and streams in 23 cities belonging to 8 provinces. In addition,

because air temperature may influence the distribution density of *P. canaliculata*, we analyzed the winter temperature data (<http://weather.rda.go.kr>).

CONCLUSION(S): In 2021, overwintering of *P. canaliculata* (1-3 individuals/m²) was observed in the Goheung and Yeongam regions in Jeonnam. Overwintering of *P. canaliculata* was observed in fewer regions in 2021 than in 2020; this fact may be attributed to the lower minimum temperatures measured in 2021 (approximately 8°C lower) than those in 2020. Our results suggest that overwintering occurs as long as overnight temperatures are ≥ -15°C, but can take place if temperatures are as low as -19°C.

Key words: Agricultural waterway, Organic farming, Overwintering, Riverine ecosystem, Stream

서론

농업의 지속적인 발전과 안전한 농산물 생산을 위해 정부는 친환경농업의 중요성을 인식하고 1997년 '환경농업 육성법'을 제정하였으며 2001년 '친환경농업육성법'으로 친환경농

*Corresponding author: Sung-Jun Hong
 Phone: +82-63-238-2564; Fax: +82-63-238-3824;
 E-mail: hongsj7@korea.kr

업을 추진하는 기반을 만들었다[1].

친환경농업 실천농가의 애로사항은 병해충 방제, 수량과 품질저하, 잡초방제 등이며[2], 그 중 잡초방제를 위해서 왕우렁이가 이용되어왔다. 왕우렁이는 주로 정수역인 호소, 논, 습지와 흐름이 완만한 농수로 및 소하천에 서식하고 있으며, 잡식성으로 수변의 비교적 부드러운 수생식물, 농작물(어린벼, 미나리, 배추, 토마토, 무, 호박)과 동족의 알과 성체를 포함하여 수체내 미소동물 사체 등을 섭식한다. 이러한 왕우렁이 (*Pomacea canaliculate*, Golden apple snail)는 남미 아열대대 원산지로서 1980년대 남미에서 대만으로 수입을 통해 아시아 전역으로 퍼지게 되었다. 국내에서는 1983년 최초로 식용목적으로 도입되었으나, 현재에는 98.6%의 뛰어난 제초효과[3]로 인한 환경 및 경제적 이점으로 벼 재배 이양초기 제초목적으로 활용이 되고 있다. 제초용으로 왕우렁이를 이용하는 벼 재배면적은 해마다 증가하여 2000년 179 ha[4]에서 2018년에는 117,473 ha(친환경농업 48,380 ha, 관행농업 69,093 ha)로 면적이 증가하는 추세이며, 친환경농산물의 생산량은 2015년 약 94,000 ton, 2019년 127,000 ton으로 증가하는 추세이다(<http://www.enviagro.go.kr>). 그러나 왕우렁이는 홍수 등에 의해 농경지 인근의 농수로, 저수지, 소하천 등으로 유출되어 자연생태계에 적응 및 월동한 경우가 보고된 바 있다[4, 5].

일본의 경우 왕우렁이에 의한 벼 피해는 대부분 월동한 개체에 의해 발생하는 것으로 보고된 바 있다[6]. 국내에서는 왕우렁이의 도입 초기에 겨울철 낮은 수온과 기후에 의하여 월동 가능성이 낮을 것으로 예측하였으나, 잡초방제용 왕우렁이의 사용량이 급격하게 증가하면서 2003년 전남 해남, 강진 등 월동한 왕우렁이가 간척지 논에서 출아중인 어린 벼를 섭식하여 큰 피해를 주는 것이 보고되었다[5].

왕우렁이는 한달에 1,000~1,200개를 산란하고, 난괴에서 부화한 새끼는 성체가 되기까지 60일이 걸리며, 먹이 및 기후 조건에 따라 2~6년까지 생존이 가능한 것으로 보고된 바 있다[7]. 그러나 고유종인 논우렁이와 달리 알로 세대 경과를 하므로 대량 증식할 수 있는 조건이 논우렁이보다 훨씬 유리하며 1회 평균 272개[7], 연중 4,375개의 알을 산란하며 최고 8,680개까지 산란한다[8, 9]. Alvrecht 등은 왕우렁이의 번식과 섭식량은 환경요인에 따라 좌우되는데 그 중 수온의 영향이 가장 크다고 보고하였다[10].

따라서 본 연구에서는 지역 및 시기별로 왕우렁이 월동 및 분포특성을 조사하여 효율적인 관리기술 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

조사기간 및 조사지점

본 연구는 2020년 4월부터 11월까지 총 3회 걸쳐 7개 도 20개 시군, 2021년 4월부터 5월까지 4개 도 12개 시군을 대상으로 조사를 수행하였다(Table 1, Fig. 1). 조사 대상지역은 친환경인증 논이 많은 순으로 선정하였으며, 2020년에는

경기(파주, 화성, 양평), 강원(철원, 홍천), 충북(청주, 괴산, 충주), 충남(아산, 예산, 홍성), 전북(익산, 군산, 순창), 전남(영암, 해남, 고흥), 경남(산청, 김해, 고성)를 대상지역으로 현장조사를 실시하였고, 경북은 2020년 봄철 코로나의 영향으로 조사지역에서 제외하였다. 2021년에는 왕우렁이 월동 가능성이 높은 지역인 전북(익산, 군산, 순창), 전남(영암, 해남, 고흥), 경북(상주, 의성, 경주), 경남(고성, 김해, 산청) 등 4개 시도 12개 시군을 대상으로 현장조사를 실시하였다(Table 1).

조사방법 및 분석

왕우렁이가 육안으로 확인된 구역을 대상으로 가장자리 바닥, 수생식물군란 내부 바닥 등에서 왕우렁이 개체를 파악하였으며, 개체수의 정량화는 한 지점당 1 m²의 면적을 대상으로 뜰채(30×30 cm, 망목크기 1 mm)를 이용하였다. 단위면적당 개체수 현존율(Individauls/m²)을 Ind.m²로 표기하였다. 그리고 왕우렁이의 각고와 각장을 측정하여 대(> 5 cm 이상), 중(3~4.9 cm 이하), 소(< 2.9 cm 이하)로 크기를 구분하였다.

2020년 4~5월과 2021년 4~5월에는 생존한 왕우렁이의 월동을 확인하기 위하여 현장조사를 실시하였고, 9월은 장마와 태풍 등에 의해 농경지로부터 농수로 및 소하천으로 유출된 왕우렁이의 개체수 현존율을 파악하기 위해 현장조사를 진행하였다. 그리고 10~11월에는 기온변화에 따른 왕우렁이 밀도 변동을 파악하기 위해 왕우렁이 밀도 분석을 실시하였다. 또한 왕우렁이와 유사한 서식처에서 생활하는 국내 토착종인 논우렁이(*Cipangopludina chinensis malleata*)의 분포에 영향을 미칠 가능성이 높은 것으로 판단되어 왕우렁이와 논우렁이의 서식밀도를 비교 및 분석하였다.

왕우렁이는 환경요인 중 온도의 영향이 가장 크게 받기 때문에[10] 대상지역의 기온자료는 농촌진흥청 농업기상정보서비스(<http://weather.rda.go.kr>) 겨울철(12월부터 2월까지) 기온자료(1일 24시간 기온측정 자료)를 토대로 왕우렁이 월동 가능 기온을 분석하였다.

결과 및 고찰

왕우렁이 월동 현황

전국 7개 도 20개 시군을 대상으로 2020년 왕우렁이 월동 현황을 조사한 결과(Fig. 2) 유체 및 성체로 월동을 하는 것으로 확인되었다. 2020년도에 총 11지역에서 월동개체를 확인하였는데, 강원지역은 홍천, 경기 지역에서는 파주, 경남지역에서는 고성, 김해, 전남 지역에서는 고흥, 영암, 해남, 전북 지역은 군산, 순창, 익산, 충남 지역은 홍성에서 월동이 확인되었다. 월동 왕우렁이의 단위면적당 개체수 현존율은 전남 고흥과 해남에서 10 Ind.m² 이상, 경남 김해에서 5 Ind.m² 이상, 전북의 군산, 순창과 전남의 영암에서 2 Ind.m² 이상, 전북 익산, 강원 홍천, 경기 파주, 충남 홍성에서 각각 1 Ind.m² 이상 등의 순으로 확인되었다. 전남 남부지역인 해남과 고흥 지역에서 단위면적당 10 Ind.m² 이상으로 가장 높은 출현

Table 1. Investigation regions of overwintering on *Pomacea canaliculata* (2020 from 2020 to 2021)

Region		GPS Coordinates		Altitude (m)	Investigation period (year)
Gyeonggi	Paju	37° 57' 02" N 126° 50' 16" E		24	2020
		37° 58' 26" N 126° 51' 11" E		24	
	Hwaseong	37° 58' 25" N 126° 54' 26" E		17	
		37° 03' 33" N 126° 46' 46" E		4	
		37° 29' 21" N 127° 30' 36" E		48	
		37° 33' 25" N 127° 21' 25" E		60	
Yangpyeong	37° 33' 28" N 127° 20' 43" E		49		
Gangwon	Cheolwon	38° 14' 08" N 127° 14' 44" E		193	2020
		38° 12' 02" N 127° 16' 08" E		175	
	Hongcheon	37° 37' 47" N 127° 45' 58" E		148	
		37° 37' 35" N 127° 46' 01" E		153	
Chungcheongbuk	Chungju	36° 58' 36" N 127° 50' 10" E		82	2020
		36° 58' 30" N 127° 47' 37" E		84	
	Goesan	37° 02' 25" N 127° 47' 14" E		118	
		36° 50' 05" N 127° 52' 11" E		115	
		36° 49' 58" N 127° 52' 08" E		118	
		36° 39' 58" N 127° 52' 05" E		235	
	Cheongju	36° 41' 15" N 127° 24' 25" E		37	
		36° 41' 09" N 127° 24' 56" E		33	
		36° 39' 08" N 127° 32' 56" E		311	
Chungchengnam	Asan	36° 44' 09" N 126° 55' 59" E		45	2020
		36° 43' 54" N 126° 55' 53" E		51	
		36° 44' 06" N 126° 55' 32" E		43	
		36° 43' 43" N 126° 43' 01" E		21	
	Yesan	36° 43' 43" N 126° 43' 01" E		21	
		36° 43' 46" N 126° 42' 57" E		22	
		36° 43' 46" N 126° 42' 58" E		23	
	Hongseong	36° 42' 55" N 126° 43' 19" E		12	
		36° 32' 19" N 126° 42' 02" E		41	
		36° 32' 19" N 126° 42' 04" E		41	
		36° 32' 16" N 126° 42' 10" E		47	
		36° 31' 57" N 126° 41' 56" E		36	
Jeollabuk	Iksan	36° 07' 34" N 127° 00' 14" E		7	2020, 2021
		36° 07' 36" N 127° 00' 14" E		6	
		36° 06' 31" N 126° 55' 40" E		10	
	Gunsan	36° 00' 19" N 126° 51' 47" E		22	
		36° 01' 56" N 126° 49' 24" E		5	
Sunchang	35° 20' 05" N 127° 06' 13" E		106		
		35° 20' 02" N 127° 06' 13" E		105	
Jeollanam	Yeongam	34° 47' 04" N 126° 38' 26" E		15	2020, 2021
		34° 47' 10" N 127° 39' 07" E		8	
		34° 47' 47" N 126° 36' 41" E		1	
	Haenam	34° 36' 24" N 126° 31' 33" E		15	
		34° 27' 00" N 126° 40' 39" E		2	
Goheung	34° 35' 24" N 127° 19' 47" E		4		
Gyeongsangbuk	Sangju	36° 24' 51" N 128° 10' 19" E		54	2020, 2021
		36° 23' 48" N 127° 57' 47" E		274	
	Uiseong	36° 30' 39" N 128° 25' 16" E		71	
		36° 21' 20" N 128° 27' 41" E		49	
		35° 50' 13" N 129° 06' 42" E		71	
Gyeongju	35° 55' 59" N 129° 05' 50" E		170		
Gyeongsangnam	Sancheong	35° 28' 49" N 127° 56' 03" E		370	2020, 2021
	Gimhae	35° 18' 42" N 128° 45' 54" E		1	
	Goseong	35° 03' 48" N 128° 12' 08" E		57	

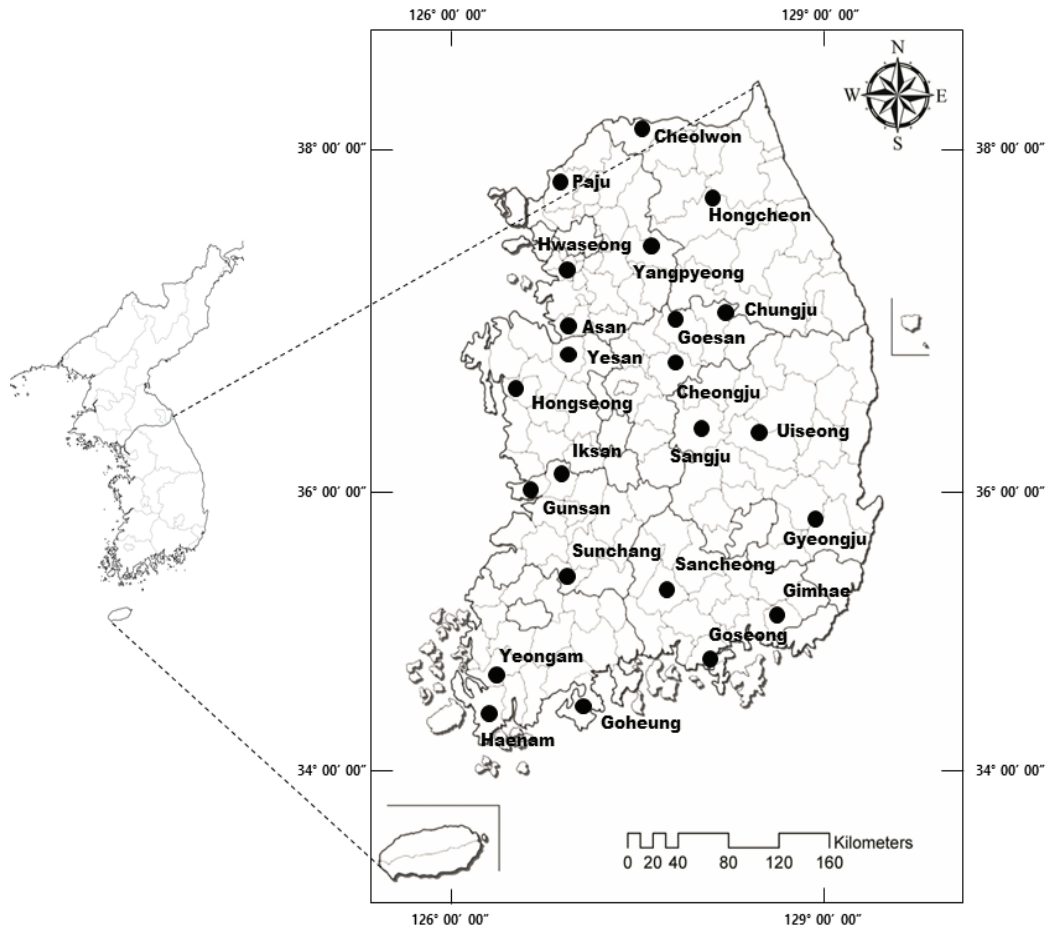


Fig. 1. Overwintering investigated regions of *Pomacea canaliculata* in Korea.

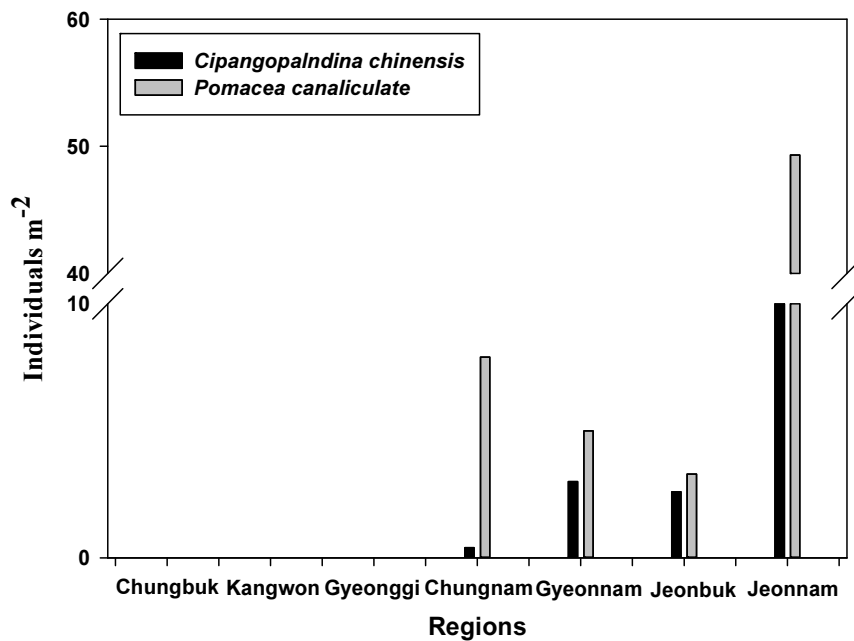


Fig. 2. Comparison for density per unit area (m²) of *Pomacea canaliculata* and *Cipangopludina chinensis malleata* at each region in 2020.

Table 2. Comparison for density per unit area (m²) A) *Pomacea canaliculata* and (B) *Cipangoplugina chinensis malleata* in various regions

Regions	Species		A/B ratio	Regions	Species		A/B ratio
	A	B			A	B	
Kangwon				Jeonbuk			
Hongcheon	0.1	0.0	-	Gunsan	3.3	0.0	-
Hengseong	0.0	0.0	-	Sunchang	2.7	1.8	1:0.7
Cheolwon	0.0	0.0	-	Iksan	1.3	11.5	1:8.8
Gyeonggi				Chungnam			
Yangpyeong	0.0	0.0	-	Asan	0.0	0.0	-
Paju	0.1	0.0	-	Yesan	0.0	12.7	-
Pyeongtae	0.0	0.0	-	Hongseong	1.0	8.3	1:8.3
Hwaseong	0.0	0.0	-	Chungbuk			
Gyeongnam				Goesan	0.0	0.0	-
Goseong	0.7	0.0	-	Cheongju	0.0	0.0	-
Gimhae	6.9	7.3	1:1.1	Chungju	0.0	0.0	-
Sancheong	0.0	4.3	-	Total average			
Jeonnam					3.1	12.2	1:3.9
Goheung	40.0	80.0	1:2.0				
Yeongam	2.2	1.8	1:0.8				
Haenam	12.0	89.0	1:7.4				

울을 보여 월동비율이 높은 것으로 나타났다. 전남 해남지역은 2002년 저수지와 수로에서 월동하고 있는 개체가 처음 발견되었는데, 이는 겨울철 온도가 낮지 않기 때문에 발생한 것으로 판단된다[11]. Lee 등은 왕우렁이 월동지역이 해남, 장항, 장성이라고 보고한 바 있고[5], 해남지역은 다른 지역에 비해 2002년부터 지속적으로 월동하는 것으로 나타났다. 그 외 강원 의 황성과 철원, 경기의 양평, 평택, 화성, 경남의 산청, 충남의 아산, 예산, 충북의 괴산, 청주, 충주는 왕우렁이 월동이 확인되지 않았으나, 이는 서식처의 수환경 및 지형[12], 그리고 위도 및 고도에 따른 기온변화에 의한 것으로 판단된다.

왕우렁이는 낮은 수온에 민감하게 반응하는 반면, 논우렁이는 저온에 대한 내성이 강하고 월동하는 패류 중 가장 수명이 길며, 부착조류와 유기퇴적물(debris) 등을 섭취한다[13-15]. 논우렁이는 주로 논, 수로, 연못 등의 진흙이나 물가와 같이 왕우렁이의 서식지와 유사한 곳에서 서식하나, 저온의 민감성과 수생식물을 주로 섭취하는 왕우렁이와 먹이원 측면에서 먹이 경쟁을 하지 않을 것으로 판단된다. 이러한 유사한 환경에서 서식하는 왕우렁이와 논우렁이의 월동 및 밀도 변화를 알아 보기 위해 2020년 3~4월 왕우렁이와 논우렁이의 밀도 비율을 비교한 결과, 경남, 전남, 전북, 충남에서 주로 논우렁이가 서식하는 것으로 나타났는데, 이는 한강, 낙동강, 금강 등을 중심으로 전국적으로 고르게 서식하고 있으나[16], 농약이나 중금속에 의한 수질오염으로 인해 낮은 개체수를 보인다고 보고한 바 있다[17]. 본 조사에서는 논우렁이가 왕우렁이보다 평균 4배 이상 높은 비율로 공존하면서 월동을 하는 것으로 확인되었다(Table 1, Fig. 2). 한편 2021년 월동 현황조사에서는 영암군 호동천과 고흥군 신흥천에서 각각 1~3 Ind.·m⁻²

의 왕우렁이가 소하천에서 출현하였지만, 논 및 농수로에서는 왕우렁이 월동이 확인되지 않았다(Fig. 3, Fig. 4).

농경지 유출 농수로 및 소하천의 왕우렁이 밀도조사

왕우렁이는 이용 농가의 물 관리나 홍수 등에 의해 농경지 인근의 농수로, 저수지, 소하천 등으로 유출되었고, 자연생태계에 적응 및 월동한 개체가 보고된 바 있다[4, 5]. 따라서 2020년 9월에 강원, 경기, 전북, 충북, 충남, 경남 등을 대상으로 농수로와 소하천에 서식하는 왕우렁이 현존량을 비교하였다(Table 3). 농수로에서는 전 지역에서 출현하였으며, 개체수 현존량이 가장 높은 지역은 예산군(278 Ind.·m⁻²)이었고, 전북 순창군과 충북 청주시에서는 2 Ind.·m⁻²로 가장 적었다(Table 3). 소하천에서는 영암군에서 71 Ind.·m⁻²로 가장 높은 현존량을 보였으나, 강원 철원, 경기 화성군, 경기 파주시, 충남 아산시, 경남 김해시에서는 왕우렁이를 확인할 수 없었다. 왕우렁이의 크기는 소형 개체(< 2.9 cm)가 중(3~4.9 cm)·대형(> 5cm) 개체보다 약 3배 높은 현존량을 나타내었다(Table 3, Table 4). 일본에서 왕우렁이 월동조사를 한 결과 각각 2~3 cm 정도 소형 개체들의 월동률이 높은 것을 보고한 바 있다[18]. 그러나 본 연구에서 농수로 및 소하천에서 소형 개체가 많이 출현한 것은 농경지에서 유출된 왕우렁이가 산란과정을 통해서 부화한 개체인 것으로 판단된다.

농수로와 소하천의 단위면적당 왕우렁이 출현현황을 비교한 결과, 농수로가 소하천보다 약 2배 높은 개체수 현존량을 보이는 것으로 나타났다. 2020년 10~11월에는 강원, 경기, 전북, 전남, 충북, 충남, 경남 등 각각 1개 정점을 대상으로 왕우렁이 출현율을 조사하였다. 그 결과 농수로의 개체수

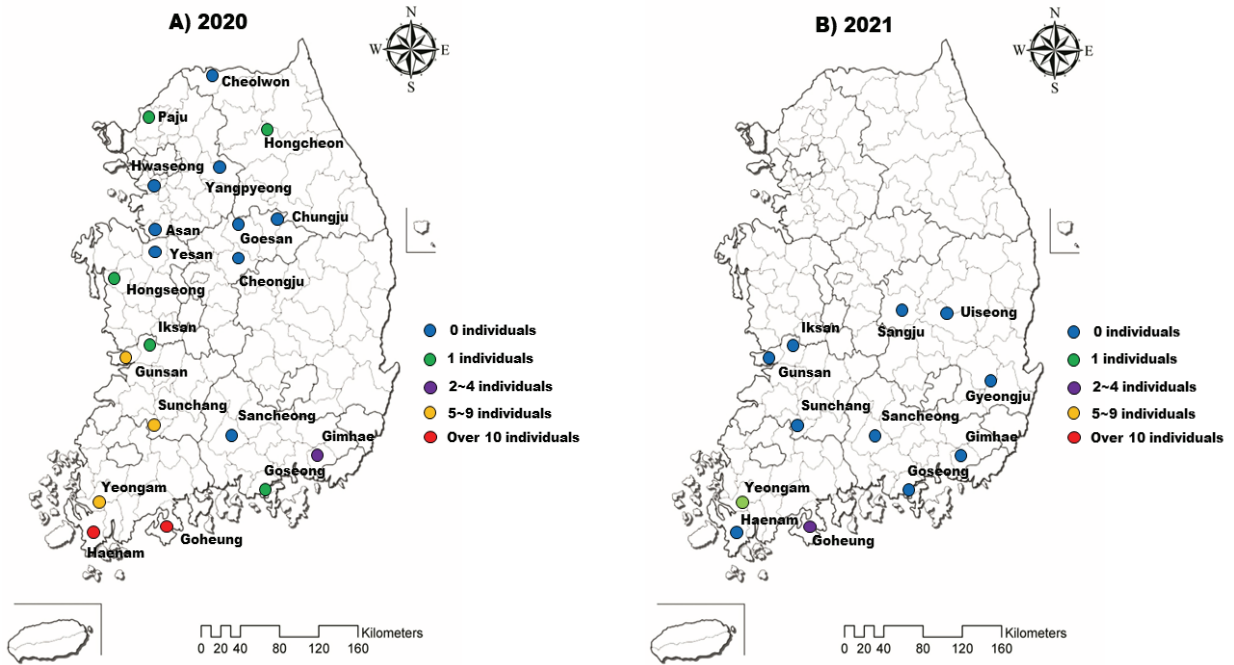


Fig. 3. Overwintering situation of *Pomacea canaliculata* concerning investigated regions from 2020 to 2021.

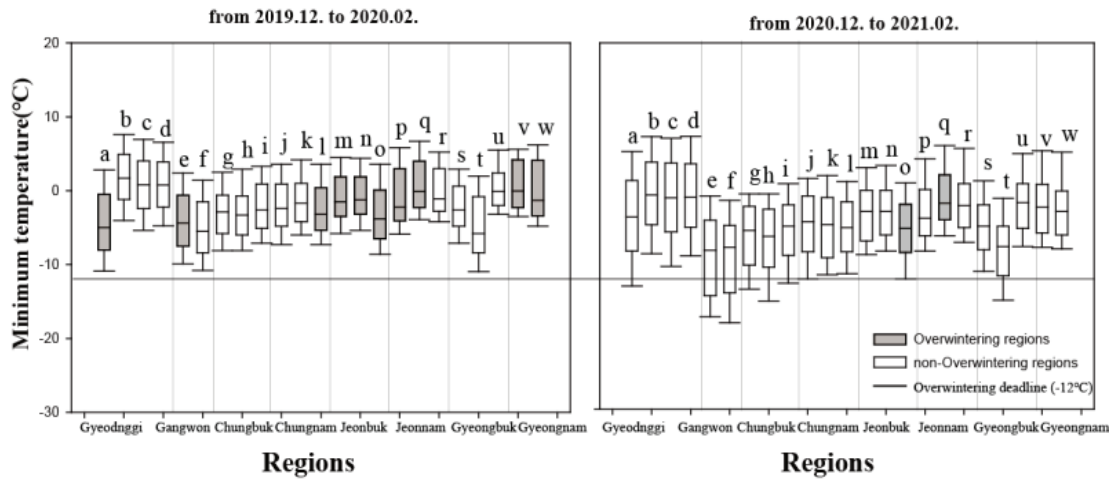


Fig. 4. Minimum temperature (°C) of Overwintering regions relating investigated regions from 2020 to 2021 (a: Paju, b: Hwaseong, c: Yangpyeong, d: Pyeongtaek, e: Cheolwon, f: Heongcheon, g: Chungju, h: Goesan, i: Cheongju, j: Asan, k: Yesan, l: Hongseong, m: Iksan, n: Gunsan, o: Sunchang, p: Yeongam, q: Haenam, r: Goheung, s: Sangju, t: Uiseong, u: Gyeongju, v: Gimhae, w: Goseong).

현존율은 전북 군산시가 29 Ind.·m²로 가장 높은 개체수 현존량을 나타냈으나, 경기 양평군, 충북 청주시 등에서는 왕우렁이를 확인할 수 없었다. 소하천에서는 전북 군산에서 14 Ind.·m²로 가장 높게 출현하였으나, 경기 양평군, 충남 아산시, 충북 청주시 등에서는 왕우렁이가 출현하지 않았다. 왕우렁이의 분포조사 결과 농수로가 소하천보다 약 2배 높은 현존량을 보이는 것으로 나타났다(Table 4). 2020년 9월에 비해 2020년 10월~11월 조사에서 왕우렁이 출현율이 농수로에서 평균 30% 감소하였으며 소하천에서는 40% 감소한 것

으로 확인되었다(Table 3, Table 4).

2020년 9월 조사에서 왕우렁이와 논우렁이의 서식 비율을 비교한 결과, 왕우렁이와 논우렁이의 비율은 농수로 1:0.4, 소하천에서 1:1.0으로 농수로에서 왕우렁이 비율이 높았으며, 2020년 10월과 11월 조사에서는 왕우렁이와 논우렁이의 비율이 농수로 1:0.5, 소하천 1:3.0으로 9월 조사결과와 거의 유사한 경향을 나타내었다. 이는 농수로에서는 유속이 거의 없는 정수역으로 왕우렁이가 서식하기에 적합한 것으로 판단된다. 그러나 소하천에서는 9월과 10월~11월에 3배 이상으로

Table 3. Comparison for density per unit area (m²) of *Pomacea canaliculata* in agricultural waterways and stream on September 2020

Region		Pomacea canaliculata Individuals·m ²							
		Agricultural waterways				Streams			
		> 5 cm	3~4.9 cm	< 2.9 cm	total	> 5 cm	3~4.9 cm	< 2.9 cm	total
Gyeonggi	Paju	-	5	2	7	-	-	-	-
	Hwaseong	-	4	47	51	-	-	-	-
	Yangpyeong	-	-	5	5	-	7	-	7
	Pyeongtaek	-	-	-	-	-	-	-	-
Gangwon	Cheolwon	-	-	77	77	-	-	-	-
	Hongcheon	-	-	2	2	-	1	1	2
Chungbuk	Chungju	-	-	20	20	-	-	1	1
	Goesan	-	3	-	3	1	8	59	68
	Cheongju	-	2	-	2	-	5	6	11
Chungnam	Asan	-	2	89	91	-	-	-	-
	Yesan	27	29	222	278	-	-	7	7
	Hongseong	-	-	19	19	-	2	17	19
Jeonbuk	Iksan	-	3	-	3	-	8	-	8
	Gunsan	-	7	30	37	-	-	7	7
	Sunchang	-	-	2	2	-	5	20	25
Jeonnam	Yeongam	-	6	44	50	5	43	23	71
	Haenam	-	12	230	242	1	12	38	51
	Goheung	-	2	15	17	-	-	3	3
Gyeongnam	Sancheong	-	-	8	8	-	1	37	38
	Gimhae	-	7	-	7	-	-	-	-
	Goseong	-	-	40	40	-	-	2	2
Total		27	66	610	703	7	84	219	310

Table 4. Comparison for density per unit area(m²) of *Pomacea canaliculata* in agricultural waterways and streams on October 2020

Region		Pomacea canaliculata Individuals·m ²							
		Agricultural waterways				Streams			
		> 5 cm	3~4.9 cm	< 2.9 cm	total	> 5 cm	3~4.9 cm	< 2.9 cm	total
Gyeonggi	Yangpyeong	-	-	-	-	-	-	-	-
Gangwon	Hongcheon	-	1	10	11	1	-	-	1
Chungbuk	Cheongju	-	-	-	-	-	-	-	-
Chungnam	Asan	-	5	4	9	-	-	-	-
Jeonbuk	Gunsan	1	15	13	29	1	3	10	14
Jeonnam	Jindo	-	-	1	-	1	3	5	9
Gyeongnam	Goseong	-	1	15	16	-	4	1	5
Total		1	22	43	65	3	10	16	29

소하천에서 논우렁이의 비율이 높았는데 이는 점차 낮은 수온에 적응하지 못하는 것으로 생각되며, 10월~11월 현장조사 시 소하천에서 다수의 왕우렁이 사패가 발견되었다. 이와 관련하여 Kim 등은 11월 왕우렁이 밀도가 10월보다 현저히 낮아지는 것을 월동의 시작으로 보았으나[11], 본 연구에서는 현장조사 시 왕우렁이 사패가 다수 확인되었는데 이는 수온이 낮아질수록 저온에 적응하지 못하는 왕우렁이 개체가 차츰 사멸한 것으로 판단된다.

기온에 따른 왕우렁이 월동 및 분포 특성

열대지방이 원산지인 왕우렁이는 국내 겨울철 온도에 취약할 것으로 판단되어 왕우렁이 월동이 확인된 지역을 대상으로 12월-2월 최저온도를 기준으로 월동가능 지역을 Fig. 3에 나타내었다. 왕우렁이는 환경요인 중 온도의 영향이 가장 크게 받기 때문에[10], 2020년과 2021년 왕우렁이의 월동현황 및 분포를 제시하였다(Fig. 3).

왕우렁이 조사지역을 대상으로 2020년부터 2021년까지

겨울철 평균기온, 최고기온, 최저기온을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 2020년과 2021년 평균기온, 최고기온, 최저기온 모두 큰 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.001$). 2020년 겨울철 조사지역의 평균기온은 $2.0 \pm 1.7^\circ\text{C}$, 최고기온은 $16.9 \pm 2.6^\circ\text{C}$, 최저기온은 $-10.7 \pm 3.1^\circ\text{C}$ 이었고, 왕우렁이가 월동한 지역의 평균기온은 $2.7 \pm 1.4^\circ\text{C}$, 최고기온이 $17.0 \pm 1.5^\circ\text{C}$, 최저기온이 $-9.7 \pm 2.3^\circ\text{C}$ 로 나타내었다. 2021년 겨울철 조사지역에서는 평균기온이 $-0.1 \pm 2.1^\circ\text{C}$, 최고기온 $19.8 \pm 2.4^\circ\text{C}$, 최저기온 $-18.7 \pm 3.4^\circ\text{C}$ 로 나타내었으며, 왕우렁이가 월동한 지역의 평균기온은 $2.1 \pm 0.7^\circ\text{C}$, 최고기온 $21.3 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 최저기온 $-15.0 \pm 2.3^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 겨울철의 낮은 기온은 왕우렁이의 생존을 결정하는 제한요인으로 작용한다[19]. 월동한 왕우렁이가 영하의 온도에 노출되어 생존할 수 있는 기간을 Oya 등은 왕우렁이의 생존 하한선을 -6°C 에서 1일, -3°C 에서 3일, 0°C 에서 35

일 내외라고 보고하였다[19]. 본 연구 결과에서는 2020년에 비해 2021년 월동지역이 감소한 것은 평균 약 8°C 의 낮은 기온 차에 의한 영향이 큰 것으로 생각되며, 월동이 가능한 최저기온은 -15.0°C 이상으로 판단된다(Table 5). 월동 가능성이 희박한 최저기온으로는 약 -19.0°C 이하가 될 것으로 보인다(Table 5). 2020년과 2021년 왕우렁이의 월동이 확인된 지역의 최저기온을 확인한 결과 평균 -12°C 의 기온에서는 왕우렁이의 월동을 확인할 수 없었다(Fig. 4).

일반적으로 하천, 저수지, 습지 등은 기온이 매우 낮다고 하더라도 표층수가 먼저 결빙된다. 이는 물의 밀도는 3.98°C 가 최대가 되기 때문에 표층수의 얼음보다는 바닥층 물의 밀도가 가장 높고, 바닥층에 물의 밀도는 최대 3.98°C 가 되어 이곳에서 왕우렁이가 서식할 가능성이 높다. 또한 왕우렁이의 월동은 인근지역에서 소하천으로 유입되는 생활하수, 농업용

Table 5. Mean, maximum and minimum air temperature ($^\circ\text{C}$) in each region during the winter season. Blank(-) indicates item that measured due to no data

Regions	Winter season						<i>p</i> value	
	from 2019. 12 to 2020 .02			from 2020.12 to 2021. 02				
	Mean ($^\circ\text{C}$)	Max ($^\circ\text{C}$)	Min ($^\circ\text{C}$)	Mean ($^\circ\text{C}$)	Max ($^\circ\text{C}$)	Min ($^\circ\text{C}$)		
Gyeonggi	Paju	-0.5	14.8	-15.1	-3.7	14.4	-21.9	$P < 0.001$
	Hwaseong	1.8	14.8	-10.9	-0.7	18.2	-19.6	$P < 0.001$
	Yangpyeong	0.8	14.7	-13.0	-1.3	19.7	-20.8	$P < 0.001$
	Pyeongtaek	0.9	14.4	-9.7	-0.9	18.6	-19.2	$P < 0.001$
Gangwon	Cheolwon	-0.6	14.8	-17.0	-3.8	16.9	-22.0	$P < 0.001$
	Hongcheon	-0.6	15.8	-15.7	-3.8	19.2	-23.5	$P < 0.001$
Chungbuk	Chungju	0.7	15.5	-12.3	-1.4	21.2	-18.5	$P < 0.001$
	Goesan	1.0	15.5	-12.4	-1.5	22.0	-21.0	$P < 0.001$
	Cheongju	2.0	16.4	-11.4	-0.4	22.8	-21.2	$P < 0.001$
Chungnam	Asan	1.7	15.1	-11.8	-0.4	19.2	-21.2	$P < 0.001$
	Yesan	2.4	26.9	-9.3	0.2	19.2	-20.1	$P < 0.001$
	Hongseong	1.4	14.8	-11.6	-0.5	16.0	-20.4	$P < 0.001$
Jeonbuk	Iksan	3.0	16.5	-8.7	1.2	21.2	-19.2	$P < 0.001$
	Gunsan	2.8	16.6	-9.2	1.0	18.9	-17.2	$P < 0.001$
	Sunchang	1.4	17.5	-12.3	-0.6	21.0	-22.1	$P < 0.001$
Jeonnam	Yeongam	3.4	19.6	-8.6	1.6	21.4	-16.6	$P < 0.001$
	Haenam	4.8	19.2	-5.7	3.1	19.3	-14.6	$P < 0.001$
	Goheung	4.2	16.8	-7.3	2.6	21.2	-13.3	$P < 0.001$
Gyeongbuk	Sangju	2.1	17.4	-10.6	0.1	17.4	-16.1	$P < 0.001$
	Uiseong	0.6	16.9	-14.4	-1.8	23.9	-22.5	$P < 0.001$
	Gyeongju	4.2	18.4	-7.1	2.4	23.9	-12.6	$P < 0.001$
Gyeongnam	Sancheong	-	-	-	-	-	-	-
	Gimhae	4.9	17.4	-6.1	2.9	21.2	-13.8	$P < 0.001$
	Goseong	4.5	17.9	-6.2	2.6	19.3	-12.8	$P < 0.001$
Total average \pm SD		2.0 ± 1.7	16.9 ± 2.6	-10.7 ± 3.1	-0.1 ± 2.4	19.8 ± 2.4	-18.7 ± 3.4	
Overwintering region		2.7	17.0	-9.7	2.1	21.3	-15.0	
Unoverwintering region		1.5	16.7	-11.7	-0.3	19.7	-19.1	

* : Overwintering regions

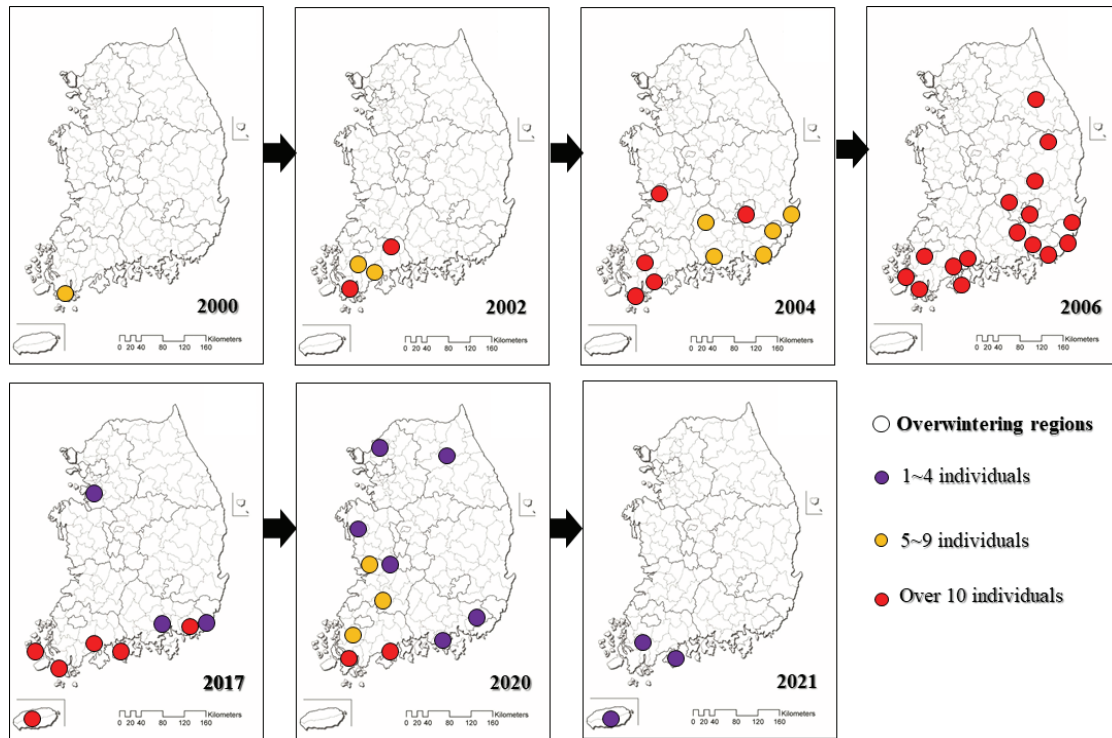


Fig. 5. Overwintering regions of *Pomacea canaliculata* during the winter season from 2000 to 2021(modified by Lee et al. 2019, from 2000 to 2017).

수, 공업용수 등 수온에 영향을 미치는 다양한 수환경이 왕우렁이 월동에 영향을 많이 끼칠 것으로 판단된다. 이와 관련하여 Kim 등은 경북 칠곡지역이 20~50 Ind.·m²가 월동하였는데 그 원인을 그 지역 주변에 많은 수막재배 하우스에서 겨울철에도 수온이 높은 물이 작은 도랑으로 유입된 영향으로 보았다[4]. 월동장소 측면에서는 Lee 등은 국내의 경우 대부분의 물웅덩이, 농수로 및 저수지 아래의 땅속과 수중에서 월동하는 것으로 보고한 바 있다[5].

본 조사에서는 주변 유역에서 유입되는 생활하수 및 공업용수 관련 수환경 조사를 수행하지 않았지만, 추후 이와 관련된 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 왕우렁이 월동에는 지역별 및 수환경, 지리적 차이가 발생할 수 있다. 이에 Lee 등은 상이한 자연환경 조건들은 시간적 또는 지역적으로 자연생태계에 서식하는 생물들의 생존을 결정하는 중요한 제한인자로 겨울철의 기온변화는 생물들의 생활사에 미치는 영향이 매우 크다고 보았다[20]. 국내에서는 왕우렁이 현장조사가 많이 진행되어왔으나 고정된 조사지역이 아닌 연구자가 선택에 의한 지역이 대상이 되어 연도별 왕우렁이 월동 및 분포조사가 일관적이지 못한 부분이 있으므로 추후에는 고정된 연구지역을 대상으로 연도별 조사가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

연도별 국내 왕우렁이 분포 현황

왕우렁이가 국내에 도입된 이후 2000년에 해남지역에서 월동한 개체가 처음으로 발견된 후 2000년부터 2021년까지 모니터링을 실시한 결과를 토대로 연도별 왕우렁이 분포현황

을 Fig. 5에 제시하였다. Lee 등에 따르면 2002년에는 전남 남부지역인 강진, 해남, 장성, 담양에서 왕우렁이의 월동이 확인되었고(Fig. 3), 2004년에는 경북 포항, 칠곡으로 왕우렁이 월동범위가 넓어졌으며, 2006년 월동조사에서는 전남 지역인 신안, 강진, 고흥, 순천, 경남 지역인 김해, 부산 등 남해안과 구미, 영주, 평창 등 동해안에 이르기까지 월동 지역이 점차 증가하는 것을 보고하였다[20]. 이러한 월동범위의 확산을 Lee 등은 겨울철 높은 기온과 최저기온이 길지 않은 등 지구 온난화 현상에 기인한다고 하였고[5], 또한 논과 농수로에서 월동한 왕우렁이는 월동되지 않은 개체에 비하여 추위에 대한 내한성이 더 높아지며[21], 활동을 줄이고 토양 내에 묻혀 서식하는 등의 저온을 극복하기 위한 환경 적응력이 증가한다고 보고한 바 있다[22]. 2017년 조사에서는 전남 지역인 강진, 고흥, 해남, 신안, 경남의 함안, 김해, 부산, 제주의 서귀포 지역을 비롯하여 경기 화성을 포함하여 10개 시군 13개 지역에서 월동이 확인한 바 있다[20]. 2020년 조사에서는 강원 의홍군, 경기의 파주, 경남의 고성, 김해, 전남의 고흥, 영암, 해남, 전북의 군산, 순창, 익산, 충남의 홍성 등 12개 시군에서 월동이 확인되었고, 2021년 4~5월 월동조사에서는 전남의 고흥, 영암, 제주지역에서 월동을 확인하였다(미발표 자료). 2000년부터 지속적으로 월동이 확인된 전남 강진, 고흥, 해남 등과 2020년에 비해 비교적 낮은 최저기온임에도 출현한 영암지역은 왕우렁이 서식조건에 맞는 수환경 조건과 비교적 높은 최저기온의 영향으로 소하천 및 농수로의 환경조건에 적응해 가는 것으로 생각된다.

2020년에 비해 2021년 왕우렁이 월동지역이 감소한 것은 2020년 12월부터 2021년 2월까지의 기온이 2019년 12월부터 2020년 2월까지의 기온보다 평균 약 8°C 정도 더 낮았기 때문에 왕우렁이의 월동이 확인이 되지 않은 것으로 판단된다(Table 5). 왕우렁이는 환경요인 중 온도에 의한 영향이 가장 크게 받기 때문에[10] 2020년보다 최저기온이 평균 약 8°C 낮은 기온이 왕우렁이의 월동제한에 큰 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 이와 관련하여 Wada 도 17.5°C 이하에서 왕우렁이 50%가 이동을 중지하고, 10°C 이하에서는 껍질과 덮개가 움츠러들어 저온의 영향이 큼을 확인하였다[23]. Kim 등의 실내 실험에서도 0°C에서 16.7%만 움직이고 그 외 왕우렁이는 정지상태로 생존하여 가을 이후 온도가 낮아짐에 따라 월동 상태로 진입하는 것으로 보고한 바 있다[11].

2000년부터 2021년 현재까지 강원, 해남, 고흥, 영암지역은 왕우렁이 월동이 가능한 지역으로 생각되며, 이들 지역을 중심으로 왕우렁이의 유출 및 관리방안에 대한 논의가 필요할 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 왕우렁이의 분포 및 월동지역을 알아보기 위해 2020년 4월부터 2021년 5월까지 전국 8개 도, 23개 시군의 친환경인증논과 농수로 및 소하천을 대상으로 조사를 실시하였다. 2020년도 월동이 확인된 지역으로는 전남의 고흥과 해남을 포함한 남해안 일대와 전북, 충남 등 일부 지역에서 확인되었고, 2021년에는 전남의 고흥, 영암 등 소하천에서 왕우렁이의 월동을 확인하였다. 이는 2020년 겨울철 최저기온에 비해 2021년 겨울철 최저기온 차가 평균 약 8°C 낮기 때문에 기온에 취약한 왕우렁이의 월동이 제한된 것으로 판단된다. 왕우렁이 월동 가능 최저기온은 -15°C 이상이고, 월동 가능성이 낮은 최저기온은 -19°C 이하가 될 것으로 사료된다.

왕우렁이의 월동이 가능한 지역을 중심으로 왕우렁이의 유출 및 관리방안에 대한 논의가 필요할 것으로 판단된다. 또한 연도별 왕우렁이 분포조사가 일관적이지 못한 부분이 있으므로 추후에는 고정된 연구지역을 대상으로 연도별 조사가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Co-operative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ01560401)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

1. Kwon OD, Park HG, An KN, Lee Y, Shin SH, Shin GH, Shin HR, Kuk YI (2010) Effect of various organic materials on weed control in environment-friendly rice paddy fields. *Korean Journal of Weed Science*, 30, 272-281. <https://doi.org/10.5660/KJWS.2010.30.3.272>.
2. Lee SG, Lee YH, Kim JS, Lee BM, Kim MJ, Shin JH, Kim HM, Choi DH (2005) Diseases and weeds occurrence and control in organic and conventional rice paddy field. *Korea Journal of Organic Agriculture*, 13, 291-300.
3. Moon YH, Oh DH, Kim GC, Choi JS, Na JS (1997) Test of organic agricultural material on paddy field. *Report Research Experiment Chonbuk ARES*, 533-540.
4. Kim HJ, Bae SD, Lee GH, Park ST, Park CG, Park HM (2007) Over-wintering of the Apple Snail, *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae) and Its Over-wintering habitat in the Yeongnam district. *Korean Journal of Applied Entomology*, 46, 437-444. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2007.46.3.437>.
5. Lee SB, Koh MH, Na YE, Kim JH (2002) Physiological and ecological characteristics of the Apple snails. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 21, 50-56. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2007.46.3.437>.
6. Oya S, Hirai Y, Miyahara Y (1986) Injuring habits of the apple snail, *Ampullarius insularis* D'Orbigny, to the young rice seedlings. *Proceedings of the Association of Plant Protection of Kyushu*, 32, 92-95.
7. Teo SS (2004) Biology of golden apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck), with emphasis on responses to certain environmental conditions in Sabah, Malaysia. *Molluscan Research*, 24, 139-149. <https://doi.org/10.1071/MR04009>.
8. Mochida O (1988) Rice seed health, in: Nonseedborne rice pests of quarantine importance. pp. 117-129, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
9. Mochida O (1991) Spread of freshwater *Pomacea* snails (Pilidae, Mollusca) from Argentina to Asia. *Micronesia Supplement*, 3, 51-62.
10. Albrecht EA, Carreno NB, Castro-Vazquez A (1999) A quantitative study of environmental factors influencing the seasonal onset of reproductive behavior in the South American apple-snail *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae). *Journal of Molluscan Studies*, 65, 241-250. <https://doi.org/10.1093/mollus/65.2.241>.
11. Kim DI, Kim SG, Choi KJ, Kang BR, Park JD, Kim JJ, Choi DR, Park HM (2007) Occurrence and damage

- of Golden apple snail(*Pomacea canaliculata*. Ampullariidae) in Jeonnam Province of South Korea. Korean Journal of Applied Entomology, 46, 109-115. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2007.46.1.109>.
12. Seo HY, Park CH, Choi MH, Lee GH, Lee KB, Noh TH (2010) A study on the ecology of the Gold apple snail, *Pomacea canaliculata*(Lamarck) in Chungnam and Jeonbuk Province of Korea. Korean Journal of Environment and Ecology, 24, 772-780.
 13. Kehde PM, Wilhm JL (1972) The effects of grazing by snails on community structure of periphyton in laboratory streams. American Midland Naturalist, 897, 2-24. <https://www.jstor.org/stable/4218989>.
 14. Osenber CW (1989) Resource limitation, competition and the influence of life history in a freshwater snail community. Oecologia, 79, 512-519. <https://www.jstor.org/stable/4218989>.
 15. Weber LM, Lodge DM (1990) Periphytic food and predatory crayfish: relative roles in determining snail distribution. Oecologia, 82, 33-39. <https://doi.org/10.1007/BF00318530>.
 16. Kwon OK, Cho DH, Park GM, Lee JS (1985) A study on a distribution of the freshwater snails and mussels in the north-south Han River. Korean Journal of Malacology, 1, 1-4.
 17. Park GM, Jung YH, Kim JJ, Chung PR (1997) Comparison of nucleotide sequences of 28S rDNA from two viviparid snail species in Korea: *Cipangopaludina chinensis malleata* and *C. japonica*. Korean Journal of Malacology, 13, 91-96.
 18. Kiyota H, Sogawa K (1996) Ecology and management of the apple snail in Kyushu, Japan. Proceedings of the international workshop on the pest management strategies in Asian monsoon agroecosystems(Kumamoto, 1995), Kyushu National Agriculture, 187-195.
 19. Oya S, Hirai Y, Miyahara Y (1987) Overwintering of the apple snail, *Pomacea canaliculatum* Lamarck, in north Kyushu. Japanese Journal of Applied Entomology Zoology, 31, 206-212. <https://doi.org/10.1303/jjaez.31.206>.
 20. Lee SB, Lee SM, Park CB, Lee CR, Ko BG, Park KW, Hong SG, Kim JH (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 Journal of Environmental Agriculture, 38, 23-33. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2019.38.1.1>.
 21. Wada T, Matsukura K (2007) Seasonal changes in cold hardiness of the invasive freshwater apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck)(Gastropoda: Ampullariidae). Malacologia, 49, 383-392. <https://doi.org/10.4002/0076-2997-49.2.383>.
 22. Seuffert ME, Martín PR (2010) Dependence on aerial respiration and its influence on microdistribution in the invasive freshwater snail *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda, Ampullariidae). Biological Invasions, 12, 1695-1708. <https://doi.org/10.1007/s10530-009-9582-5>.
 23. Wada T, Higuchi H, Ichinose K, Fukushima Y (1999) Effect of drainage on damage to direct-sown rice the apple snail *Pomacea canaliculata*(Lamarck). Applied Entomology and zoology, 34, 365-370. <https://doi.org/10.1303/aez.34.365>.