



논 잡초방제용 *Pomacea canaliculata*의 환경 적응성과 월동 왕우렁이에 의한 작물 피해

이상범¹, 이상민^{2*}, 박충배², 이초룡², 고병구², 박광래², 홍승길³, 김진호⁴

¹농촌진흥청 고객지원담당관실, ²국립농업과학원 농업환경부 유기농업과

³농촌진흥청 기술협력국 국외농업기술과, ⁴농촌진흥청 기술협력국 국제기술협력과

The Environmental Adaptability of *Pomacea canaliculata* used for Weed Control in Wet Rice Paddies and Crop Damage Caused by Overwintered Golden Apple Snails

Sang Beom Lee¹, Sang Min Lee^{2*}, Chung Bae Park², Cho Rong Lee², Byong Gu Ko², Kwang Lai Park², Seung Gil Hong³ and Jin Ho Kim⁴ (¹Client Service Division, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea, ²Organic Agriculture Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea, ³Agricultural Exports Division, Technology Cooperation Bureau, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea, ⁴International Technology Cooperation Center, Technology Cooperation Bureau, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea)

Received: 2 January 2019/ Revised: 3 February 2019/ Accepted: 25 February 2019

Copyright © 2019 The Korean Society of Environmental Agriculture

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.

ORCID

Sang Beom Lee

<https://orcid.org/0000-0002-7819-0487>

Abstract

BACKGROUND: The golden apple snail(GAS, *Pomacea canaliculata* Lamarck) is an invasive freshwater snail. It has occurred 34 years since the introduction of the GAS to the Korea. The GASs have been used recently for weed control in wet rice cultivation. The GASs' adaptability to the environment of GAS has been improved and the GASs devour the young stage of the crops as well as weeds.

METHODS AND RESULTS: We surveyed the survival area of the snails throughout the country during the winter seasons from 2000 to 2017 and crop damage due to GASs in 2017. Local maximum, minimum, and average air temperatures were monitored daily. The surveyed regions for the survival of the GASs in winters were Gangjin,

Goheung, Shinan, Haenam, Gimhae, Haman, Busan, Jeju, and Seogwipo. The survival durations at low temperatures were 12 hours at -5 °C, 1 day at -3 °C, 2 days at -1 °C, 10 days at 0 °C, and over 30 days at 3 °C. The eggs of GASs were not able to overwinter. The overwintering condition of the GAS needed a water depth of 10-20 cm with well formed mud. Crop damages caused by the overwintering GASs occurred in rice and water dropwort.

CONCLUSION: The overwintering GAS was first identified in Haenam, South Korea 2000 after introduction of the GAS. The overwintering area of GAS expanded to the mid-southern parts of Korea. We propose that it has not yet become a pest to rice or any other crop.

Key words: Crop damage, Golden apple snail(GAS), Overwintering, *Pomacea canaliculata*, Weed control

*Corresponding author: Sang Min Lee

Phone: +82-63-238-2591; Fax: +82-63-238-3824;

E-mail: sangminlee@korea.kr

서론

왕우렁이(golden apple snail, GAS)들 중에 아시아 지역의 많은 국가들에 도입 또는 유입(Cowie, 2002; Hayes et al., 2008; Horgan et al., 2014a, 2014c; Stuart, 2014)된 종은 원산지가 열대지방인 *Pomacea canaliculata* Lamarck이다. 이 종이 아시아 지역을 중심으로 유입된 주요한 이유는 생장이 빠르고, 단백질 함량이 높아 식용으로 적합하기(Matienzo, 1984; Naylor, 1996; Sharfstein and Steinman, 2001) 때문이다. 또한 매우 활동적이어서 일부 국가에서는 수족관의 애완 동물(Litsinger and Estano, 1993) 및 보리새우의 사료(Bombero-Tuburan et al., 1995)로 이용하기 위하여 도입하였다.

국내에서는 일본을 왕래하는 사람들에 의해서 1981년 우리나라에 처음 들어온 것으로 추정되며, 공식적인 도입은 충남 아산의 조동기씨가 1983년 2월 25일 식용목적으로 정부승인을 받아 수입(Lee et al., 2002)하여 이루어졌다. 국내에 유입되어 양식과 자연생태계 내에 서식하고 있는 왕우렁이는 2004년 5월 필리핀 쌀연구소(Philippine Rice Research Institute)의 도움으로 일본, 타이완 및 필리핀에 서식하는 종과 동일한 *Pomacea canaliculata* Lamarck로 동정되었다(RDA report, 2004).

국내 도입 후 시설하우스 내에 양식하면서 농가의 소득원으로 자리 잡게 되어 전국 각지로 확산되었다. 국내에서 왕우렁이라는 이름은 토종의 논우렁이(*Cipangopaludina chinensis malleata*)보다 크다고 해서 붙여진 이름이다. 도입 초기에는 시설하우스 내에서 양식하던 것이 점차 국내 자연환경에 적응력이 생기면서 여름철 논지에서도 양식하게 되었다. 이러한 과정에서 자연생태계로 탈출하여 수로나 논에 식물체를 잘 먹여치우는 것을 관찰하고, 1992년부터 민간단체를 중심으로 친환경농업에서 논 잡초제거에 왕우렁이를 이용하기에 이르렀다. 왕우렁이는 논 잡초는 물론이고 미나리, 벼, 배추, 토마

토, 무, 호박, 이끼류 등 식물체 및 동족의 알과 성체를 포함한 죽은 수생동물 등을 먹이로 하는 잡식성 생물이다(Lee et al., 2002). 특히, 습지나 수생식물에 대한 왕우렁이의 왕성한 초식성 먹이 습성에 의하여 유발되는 영향이 큰(Saveanu and Martin, 2015) 것으로 잘 알려져 있다.

따라서 왕우렁이에 의한 논 잡초방제 효과가 매우 우수하여 지방자치 정부의 지원하에 친환경농업 실천농가를 중심으로 왕우렁이 농법으로 국내에 확산되었다. 왕우렁이를 이용한 논 잡초방제 적용 초기에는 농업적 활용 기술이 제대로 확립되지 않아 제초효과도 떨어지고, 벼 재배 농가들의 피해도 종종 발생하였다. 한편, 연중 왕우렁이의 활동이 활발한 열대지방과 일부 아시아지역 등에서는 논 잡초뿐만 아니라 어린 벼 유묘를 가해함으로써 일반적으로 벼의 주요 해충(Litsinger and Estano, 1993; Halwart, 1994; Naylor, 1996; Wu et al., 2005; Burlakova et al., 2010; Salleh et al., 2012; Horgan et al., 2014b; Schneiker et al., 2016; Carlsson, 2017)으로 인식되고 있다. 특히, 필리핀 등 동남아시아 지역에서는 방제비용과 벼의 수량감소로 경제적 손실이 크다고 보고 되었다(Ranamukhaarachchi and Wickramasinghe, 2006; Schneiker et al., 2016). 그러나 남아메리카 자생종인 왕우렁이는 분류체계가 아직 정립되지 않았기 때문에 세계적으로는 해충으로 알려지지 않았다(Luque et al., 2014). 외국에서 벼의 주요 해충으로 지정된 것(Table 1)은 대부분 왕우렁이가 도입된지 1년에서 5년 사이에 이루어졌다(Cheng, 1989; Litsinger & Estano, 1993; Halwart, 1994; Naylor, 1996; Teo, 2001; Horgan et al., 2014c). 왕우렁이가 피해를 주는 작물은 주로 벼이며, 이양한 단단한 벼보다 어린모와 직파재배에서 피해가 큰 것으로 보고(Litsinger & Estano, 1993; Wada, 2004; Horgan et al., 2014b) 되었다.

한국에서는 왕우렁이의 활용성이 많아 아직까지 자연생태계의 위해종이나 벼의 해충으로 분류되지 않고, 어린모의 피

Table 1. *Pomacea canaliculata* introduced accidentally and/or deliberately into many Asian countries and reported year as a currently major pest in wet rice field

Introduced year	Country	Reported year as a Pest	Purpose of introduction
1979~1980	Taiwan	1982	Food
1981	Japan	1984	Aquarium pet/food
1982	Philippines	1986	Food/weed control
1982	Thailand	1988	Aquarium pet
1983	South Korea	-	Food
1985	China	-	Food
1987	Malaysia	1990	Food
1988	Vietnam	1993	Food
1989	Indonesia	-	Food
1991	Cambodia	1991	Food
1992	Lao PDR	1993	Fish pond
1993	Papua New Guinea	-	Food
2000	Australia	-	-
Mid-2000s	Ecuador	-	Food

해를 줄이고 잡초방제 효과를 높이기 위하여 왕우렁이 투입량, 씨래질 방법, 벼 이앙초기의 물 높이가 조절 등에 대한 기술들이 개발되고 있다. 국내 친환경 벼 재배시 왕우렁이를 대체할 만한 적당한 논 잡초방제 수단이 아직까지 없어 매년 왕우렁이농법 재배면적이 증가되고 있다(Lee, 2013). 이와 더불어 논 잡초방제를 위하여 투입된 왕우렁이를 비롯한 양식장의 왕우렁이들이 다양한 경로를 통하여 환경생태계로 유입 및 국내 자연환경에 적응하여 남부지방의 일부 지역들에서 월동하고 있는 실정(RDA final report 2000)이다.

열대성 왕우렁이들이 수로나 논 물웅덩이에서 월동하는 것이 확인되면서 일부 농가들은 월동 왕우렁이에 의한 벼 피해가 발생되고 있다고 주장하고 있다. 또한 언론에서는 외국의 왕우렁이 해충지정 사례를 들어 자연생태계 교란 여부에 대한 문제점을 조명하기 시작했다.

본 연구에서는 친환경농법의 잡초방제 목적으로 이용되고 있는 왕우렁이들이 장마나 관배수시 자연생태계로 유출되어 논과 수로에 월동되고 있는 실태에 대하여 모니터링을 하였다. 또한, 왕우렁이들의 월동과 관련하여 저온에서의 생존온도 및 월동지역의 환경특성을 분석하였고, 일부 지역에서 제기되고 있는 자연생태계내에서 월동된 왕우렁이들에 의한 작물 피해를 파악하였다.

재료 및 방법

왕우렁이의 환경 적응성

1) 월동실태 모니터링

농촌진흥청 국립농업과학원에서는 2000년부터 왕우렁이의 월동 여부에 대하여 지속적으로 모니터링을 실시하였다. 친환경 벼는 잡초방제를 위하여 왕우렁이를 지속적으로 투입하였거나 최근에는 투입하지 않았지만 과거에 왕우렁이 농법을 실시하였던 지역 또는 폐쇄된 양식장 주변 지역의 수로를 중심으로 모니터링을 실시하였다. 2000년부터 2006년까지 월동실태 조사지역을 점차로 확대하여 2016년~2017년도에는 46개 지역 70여개로 조사지역을 늘렸다.

조사지역으로는 경기도는 강화, 안성, 양평, 인천, 화성, 강원도는 강릉, 철원, 양양, 홍천, 충청남도는 당진, 서천, 예산, 장항, 홍성, 충청북도는 증평, 괴산, 충주, 제천, 전라남도는 강진, 고흥, 담양, 무안, 신안, 함평, 해남, 전라북도는 군산, 김제, 부안, 전주, 경상남도는 김해, 밀양, 양산, 영천, 울산, 함안, 창녕, 경상북도는 경주, 상주, 선산, 안동, 영천, 칠곡, 포항, 부산, 제주도는 한림, 서귀포 등 이었다.

조사 시기는 겨울철 영하의 날씨가 시작되는 12월 중순~하순경에 월동전 왕우렁이의 생사여부를 조사하였고, 겨울철이 지나고 새로운 왕우렁이를 투입하기 전인 3월~4월 사이에 월동여부와 월동밀도를 2~3회 정점 조사하였다.

조사방법은 현장에서 왕우렁이 개체를 포획하여 움직임 여부로 생존여부를 확인하였으며, 월동밀도는 논과 수로, 물웅덩이의 상태에 따라 약 2~5 m²에 생존하는 개체들을 조사하여 1 m²에 서식하는 밀도로 환산하였다.

2) 생존 한계온도

저온실험에는 자연생태계내에서 적응된 월동 왕우렁이를 사용하였다. 월동 왕우렁이는 해남과 강진 지역에서 채집하고, 이들이 산란한 난괴를 노지에 조성된 양식장에서 부화시켜 시험에 사용하였다. 먹이원으로 주변에서 자라는 연한 풀과 논 잡초를 공급하였고, 먹이가 부족할 시에는 배추 등 채소를 공급하여 증식시켰다. 시험에 사용한 개체는 활성이 왕성한 15~20 mm(각고 기준) 내외의 성체들을 선별하여 사용하였다.

실험 온도를 -5℃, -3℃, -1℃, 0℃, 3℃로 조절한 Bic Multi Incubator (Model LH-30-8CT, Nk System)에 처리 온도별로 100개체씩 왕우렁이를 치상하였다. 이후 처리온도에 따라서 30분에서 길게는 5일 간격으로 10~20개체씩 꺼내어 25±1℃로 조절된 항온수조(Water bath, KMC-1205 SW1, 비전과학)에 넣고 관찰하여 정상적으로 1주일 이상 움직이고, 먹이활동을 하는 개체들을 생존하는 것으로 판정하였다.

월동지역의 환경특성

1) 월동지역의 기온특성

왕우렁이들이 논과 수로 등지에서 월동하고, 도착화되어 가고 있는 고흥, 해남, 제주지역의 기상특성을 기상청에서 발행하는 기상월보 자료로 분석하였다. 자료 분석은 2016년 12월부터 2017년 3월까지 여러 기상인자들 중에서 일별 최고기온, 최저기온, 평균기온을 분석하였고, 일평균 평년기온과 비교하였다. 또한, 월평균 최고기온, 최저기온, 평균기온도 분석하였다.

2) 월동가능 서식지 환경조건

논 잡초방제용으로 사용된 *Pomacea* 속 왕우렁이들이 겨울철 영하의 기온에서도 논 생태계내 주변에 다량으로 월동되어 서식하고 있는 장소에 대하여 여러가지 주변 환경여건들을 조사하였다. 월동지의 환경특성 조사는 겨울철에 유지되는 물의 깊이, 수로와 물웅덩이의 위치와 모양의 상태, 물의 흐름여부, 수온과 물 아래 모양의 온도를 측정(Thermometer Fluke 54II, Japan)하였다.

작물의 피해실태

월동 왕우렁이에 의한 작물피해 조사는 2017년 8월~9월 사이에 왕우렁이가 다량으로 월동하는 강진, 해남, 제주 지역에서 실시하였다. 대상작물은 논벼와 미나리를 선택하였다. 벼 피해는 분명하게 확인이 가능하고, 다시 이앙하여 회복이 어려운 유수형성기를 선택하였고, 미나리 피해는 수확 후 왕우렁이들의 섭식이 왕성하여 재생육이 어려운 시기에 조사하였다.

작물피해 조사는 면적 단위로 측정하였다. 작물을 가해한 왕우렁이는 당해 연도에 입식한 왕우렁이가 아니라 이미 자연생태계내에 도착화되어 월동되어 번식된 왕우렁이들이었다. 피해량 측정은 달관조사 방법으로 작물이 피해를 받은 필지 수 및 필지별 면적대비 피해율, 피해 면적을 산정하였다.

결과 및 고찰

왕우렁이의 환경 적응성

1) 월동실태 모니터링

왕우렁이의 월동에 대한 연구(Oya et al., 1987; Lee et al., 2002)를 한 국가는 한국과 일본을 제외하고는 거의 없다. 왕우렁이가 국내에 도입된지 16년이 지난 2000년에 월동된 개체들이 해남지방에서 처음으로 확인되었다(Fig. 1). 그 이후 2000~2017년 사이에 지속적으로 모니터링을 실시한 결과 12월까지 전국에 걸쳐 논, 수로, 물웅덩이를 비롯한 분수대에 이르기까지 물이 고여 있는 장소의 대부분에서 생존하였다.

국내의 왕우렁이가 월동 가능지역과 예상지역을 추정하기 위하여 월동이 확인된 해남의 12월~2월까지 최저기온을 고려하여 구분하였다. 하지만 본 조사에서 왕우렁이의 월동 가능지역을 한계선으로 표시하는 것은 바람직하지 못하다는 것이 확인되었다. 즉 지역이 북부에 위치하더라도 월동에 적합한 조건을 갖추고 있으면 월동이 가능하기 때문이다. 2002년에는 월동지역이 남부지방의 강진, 해남, 장성, 담양으로 확장되었다. 2004년에는 포항, 칠곡으로 확대되었고, 중소형 크기의 개체들이 높은 밀도로 월동되고 있는 것이 확인되었다. 2006년의 월동조사에서는 신안, 강진, 고흥, 순천, 김해, 부산 등 남해안을 비롯한 구미, 영주, 평창 등 동해안에 이르기까지 가장 많은 지역에서 월동이 확인되었다. 이러한 현상들은 겨

울철 기온이 높아지고, 영하의 날씨가 길지 않는 등 지구 온난화 현상의 영향에 기인된 것으로 판단된다. 또한 논과 농수로에서 월동한 왕우렁이는 월동되지 않은 개체에 비하여 추위에 대한 내성 및 저항력이 더 높아지는데(Wada and Matsukura, 2007), 이는 저온을 극복하려고 활동을 최소화하고, 흙속에 묻혀 지낼 수 있는 환경 적응력이 증가(Seuffert and Martín, 2010)했기 때문이다.

2017년 조사에서 월동이 확인된 지역은 강진, 고흥, 해남, 신안, 함안, 김해, 부산, 제주, 서귀포 지역과 예외적으로 왕우렁이들이 월동에 적합한 환경조건이 잘 조성되어 있는 경기도 화성 지역을 포함하여 10개 시·군 13개 지역이었다. 한편 강진, 고흥, 해남, 제주 및 서귀포 지역에서는 점차 논과 수로에 토착화되어 가고 있는데, 이는 환경조건만 잘 맞으면 국내에서 왕우렁이의 월동은 전국 어디에서나 가능할 것으로 생각된다.

왕우렁이의 월동밀도(Table 2)는 강진 지역에서 1 m²에 30~40개체, 고흥 지역에서 15~20개체, 해남 지역에서 80~90개체로 지역의 서식지 환경조건에 따라 차이가 있었다. 한편 제주도의 한림읍과 서귀포에서도 실제로는 다량의 밀도로 월동되고 있으나 미나리 작물의 피해를 줄이기 위하여 지속적으로 잡아내거나 약제방제로 인하여 조사시점의 월동 개체밀도는 0.6~1.0마리/m²로 낮았다.

월동하는 왕우렁이의 크기는 평균 12~21 mm 범위로 지

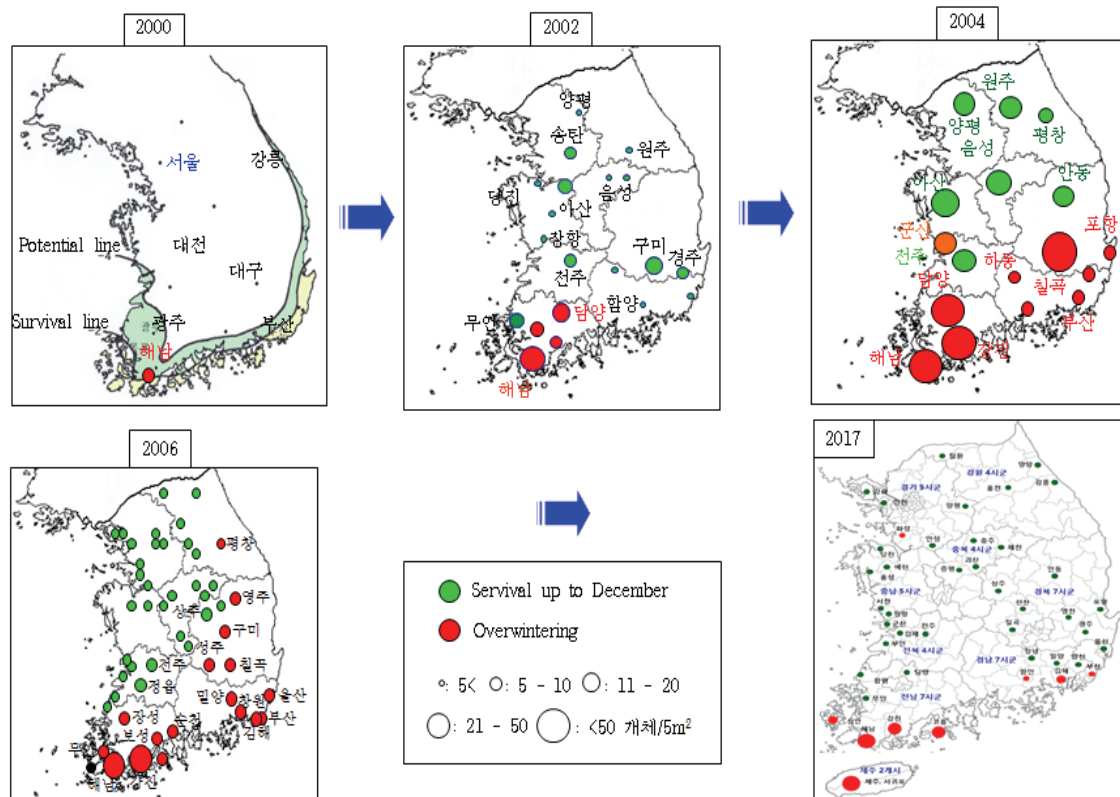


Fig. 1. Survival status and overwintering region of golden apple snail(*Pomacea canaliculata*) during the winter season. Survival of golden apple snail was investigated in the middle or late of December, and overwintering or not was investigated between March and April before new introduction of golden apple snails in wet paddy field.

Table 2. Inhabited status of golden apple snail in some overwintering region

① Overwintering region: Jeonnam Gangjingu Sinjeonmyeon Sachori - Inhabited area of overwintering: canal and paddy field - Density of golden apple snails over winter: 30~40 individuals per m ² - Size of golden apple snail: small to middle size 21.06 mm ± 7.25 mm
② Overwintering region: Jeonnam Goheunggun Pungyangmyeon Dangduri - Inhabited area of overwintering: canal - Density of golden apple snails over winter: 15~20 individuals per m ² - Size of golden apple snail: small to middle size 12.80 mm ± 3.31 mm
③ Overwintering region: Jeonnam Haenamgun Haenameup Naesari - Inhabited area of overwintering: canal - Density of golden apple snails over winter: 80~90 individuals per m ² - Size of golden apple snail: small to middle size 19.31 mm ± 6.22 mm

역에 따라서 생장이 왕성한 소형에서 중형의 개체들이 주류를 형성하고 있었다. 왕우렁이 자체가 저온에 견디는 생리적 기작에 관해서는 아직까지 잘 알려지지 않았다. 다만 왕우렁이 체내의 저분자 화합물인 글리세롤, 글루타민, 카르노산의 양은 증가하고, 수분함량, 글리코겐 및 페닐알라닌의 농도가 감소한다는 결과(Matsukura *et al.*, 2008)가 있으나 이러한 저분자 화합물의 실제 기능은 아직까지 정확히 구명되지 않고 있다. 다만 분자생물학적 측면에서 저온에 따른 열 충격 동족체 70 단백질 물질(PHSC70)에 관한 시험결과 왕우렁이를 9℃로 저온 처리하였을 때 소화관 신장 및 이동판에서는 변화가 없었으나 아가미 편박 세포에 위치한 PHSC70 단백질 물질 발현이 현저하게 감소되는 것으로 알려져 있다(Zheng *et al.*, 2012). 이러한 결과들로 미루어 판단해 보면 온도변화에 대한 생리적 반응에 관여하는 물질중의 하나가 아가미내의 PHSC70 발현으로 인하여 왕우렁이 월동에 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 사려된다.

2) 생존 한계온도

겨울철 차가운 날씨가 왕우렁이의 생존을 좌우하는 제한 요인으로 작용하며(Oya *et al.*, 1987), 왕우렁이의 저온에 대한 시험 결과는 Table 3과 같다. 자연생태계에서 월동한 왕우렁이들이 영하의 기온에 노출되어 생존할 수 있는 기간은 -5℃에서 12시간, -3℃에서 1일, -1℃에서 2일에 불과하였다. 또한, 온도 0℃에서는 10일간 생존할 수 있었으며, 3℃에서는 30일 이상 생존이 가능하였다.

원산지가 열대지방으로 추위에 취약한 왕우렁이가 국내에서는 겨울철 영하의 날씨로 인하여 대부분의 지역에서는 생존이 불가능할 것으로 추정된다. 하지만 실제로는 남부지방의 물웅덩이나 수로에서 다량의 개체들이 월동하고 있다. 이것은 왕우렁이가 수온이 내려가면 생존이 가능한 온도조건을 찾아 뿔 상태의 흡속으로 몸을 숨겨 생존한 것으로 판단된다.

본 연구 결과들은 왕우렁이 생존 하한선이 -6℃에서 1일, -3℃에서 3일, 0℃에서 35일 내외라는 보고(Oya *et al.*, 1987)와는 다소 차이가 있었다. 그 원인은 왕우렁이 개체군이 지역별로 각기 다른 환경에 정착하면서 저온에 대한 적응성이 달라졌기 때문인 것으로 판단된다.

Table 3. Survival period of golden apple snail at subzero and low temperature

Content	Temperature (℃)				
	-5℃	-3℃	-1℃	0℃	3℃
Survival period (days)	0.5	1	2	10	30<

월동지역의 환경특성

1) 월동지역의 기온특성 변화

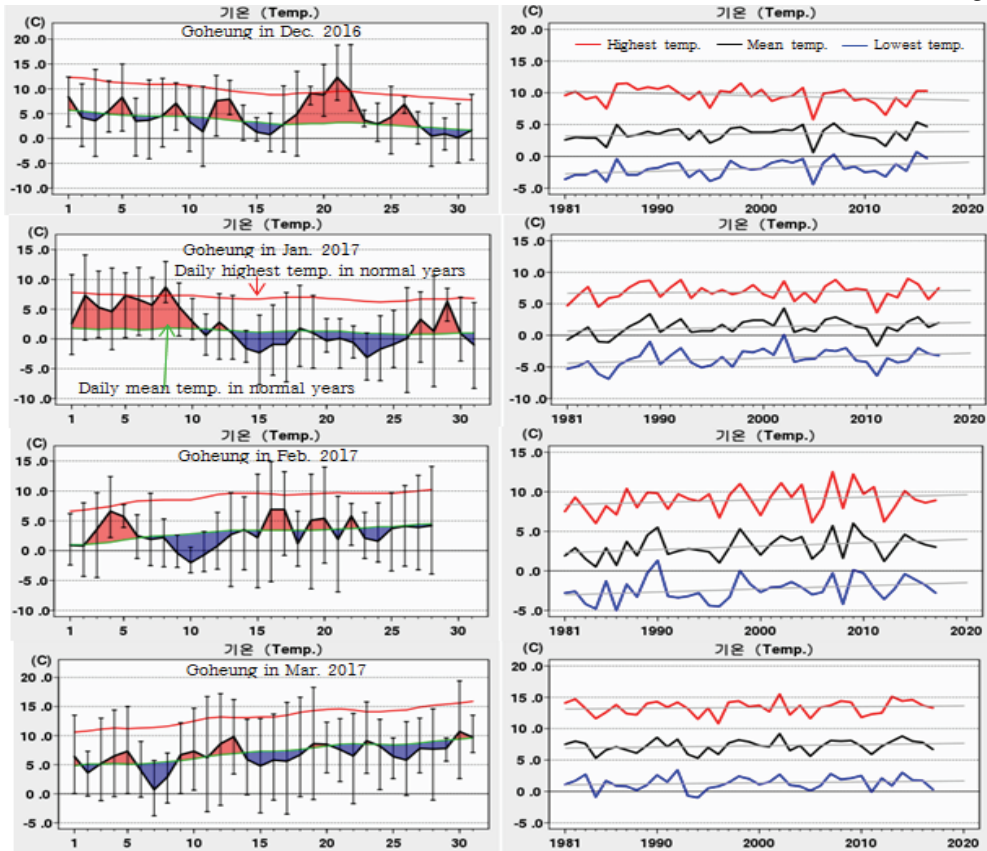
왕우렁이가 월동하여 토착화 되어가고 있는 해남, 고흥, 제주 지역의 기온 특성에 대하여 2016년 12월부터 2017년 3월까지 최고기온, 최저기온 및 평균기온을 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. 전 세계적으로 지구온난화와 이상기상 현상이 지속되고 있는 가운데 최근 국내의 기상변화는 서서히 덥거나 추운 것이 아니라 극한의 더위나 추위가 발생하고, 일교차가 크게 나타나고 있다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 왕우렁이의 월동이 토착화되어 가고 있는 지역의 겨울철 기온특성 변화는 평년에 비하여 조사지역 모두 일평균 기온의 변화가 심하였다. 이러한 기상변화로 인하여 왕우렁이를 비롯한 생물 생태계에 미치는 영향이 매우 클 것으로 판단된다.

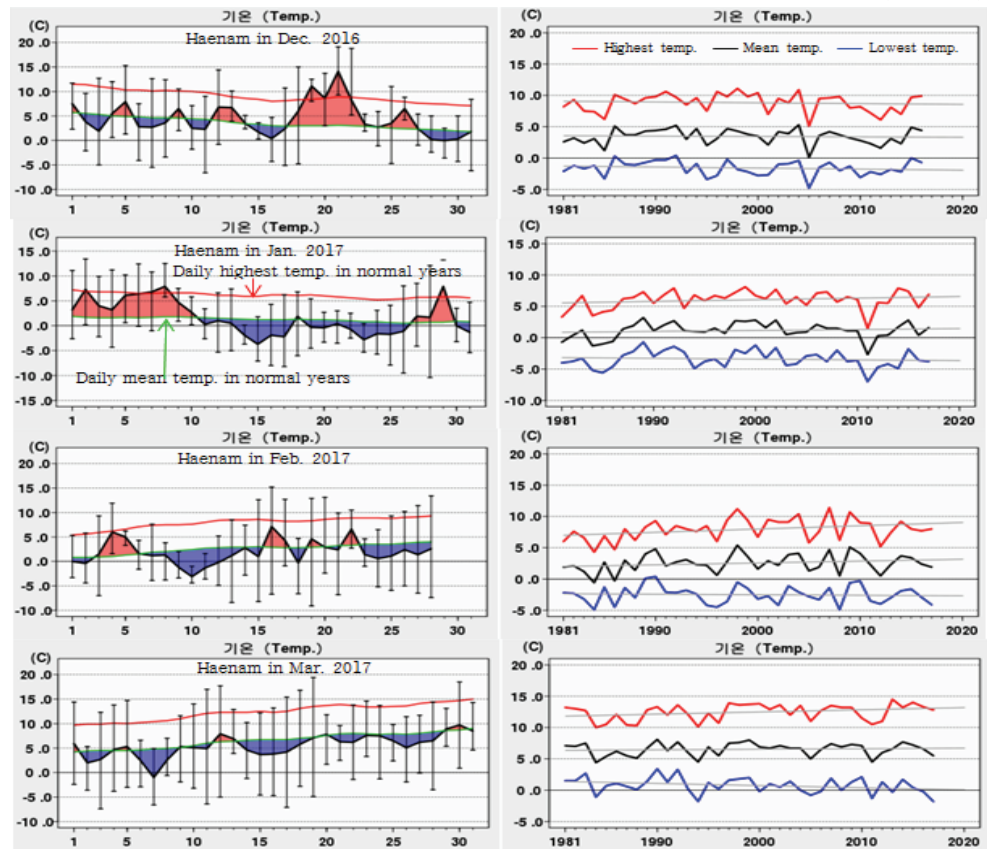
최고 일교차(Table 4)는 2016년 12월에 고흥, 해남, 제주가 각각 17.0℃, 19.8℃, 10.4℃, 2017년 1월에는 고흥, 해남, 제주가 각각 18.6℃, 22.5℃, 11.4℃, 2월에는 19.2℃, 22.0℃, 12.3℃, 3월에는 19.3℃, 24.3℃, 10.5℃로 지역 간에 일교차가 큰 것으로 나타났다.

겨울철 월평균 기온은 2016년 12월에 고흥, 해남, 제주가 각각 4.7℃, 4.4℃, 10.4℃의 기온을 나타내었으며, 2017년 1월은 고흥, 해남, 제주가 각각 2.9℃, 2.8℃, 7.5℃, 2월은 3.2℃, 2.3℃, 7.9℃, 3월은 6.7℃, 5.6℃, 10.3℃로 영상 기온을 나타내었다. 한편 월평균 최저기온은 2016년 12월에 고흥, 해남, 제주가 각각 -3.2℃, -3.6℃, 7.2℃의 기온을 나타내었으며, 2017년 1월은 고흥, 해남, 제주가 각각 -3.9℃, -4.3℃, 4.4℃이었고, 2월은 -4.0℃, -4.7℃, 4.2℃, 3월은 -2.0℃, -3.4℃, 6.8℃로 나타났다. 겨울철 월평균 최저기온은 제주도에서 영상 기온을 보였으나 고흥과 해남은 영하의 기온으로

(Goheung)



(Haenam)



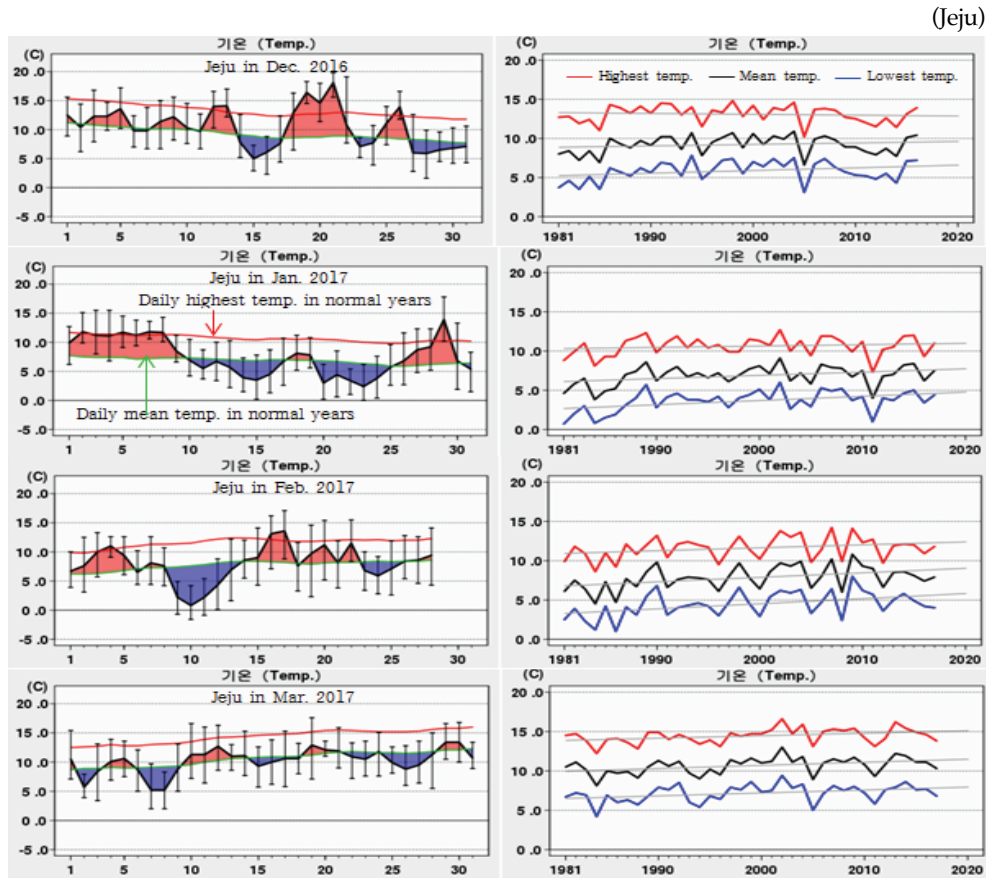


Fig. 2. Temperature change during the winter season in overwintering region of golden apple snails.

Table 4. Air temperature during the winter season from December 2016 to march 2017 in the overwintering regions of golden apple snails

Items	Overwintering region of GAS	Temperature(°C) in winter season			
		2016 December	2017 January	2017 February	2017 March
Maximum daily temperature range	Gochang	17.0	18.6	19.2	19.3
	Haenam	19.8	22.5	22.0	24.3
	Jeju	10.4	11.4	12.3	10.5
monthly maximum temperature,	Gochang	10.3±13.8	7.5±3.5	8.9±3.7	13.3±13.2
	Haenam	9.9±4.3	6.9±4.0	8.1±4.0	12.8±3.6
	Jeju	13.9±3.3	11.0±3.1	11.8±3.2	13.8±2.3
monthly minimum temperature	Gochang	3.2±1.9	-3.9±-2.7	-4.0±-4.4	2.0±1.7
	Haenam	3.6±2.2	-4.3±-2.8	-4.7±-2.7	4.4±1.9
	Jeju	7.2±3.5	4.4±3.4	4.2±2.3	6.8±2.2
monthly mean temperature	Gochang	4.7±3.1	2.9±2.5	3.2±2.0	6.7±2.1
	Haenam	4.4±3.3	2.8±2.4	2.3±2.0	5.6±2.1
	Jeju	10.4±3.4	7.5±3.2	7.9±3.0	10.3±2.1

왕우렁이 월동에 지역별 차이가 발생할 수 있다.

따라서 상이한 자연환경 조건들은 시간적 또는 지역적으로 자연생태계에 서식하는 생물들의 생존을 결정하는 중요한 제한 인자로 겨울철의 기온 변화는 생물들의 생활사에 미치는 영향

도 매우 클 것이다. 아마존강 유역의 열대지방이 원산지인 왕우렁이 *Pomacea canaliculata* 종을 포함한 외래 도입 생물종들의 국내 정착에 있어 온도는 생존을 결정하는 여러 제한요소가운데 중요한 인자중의 하나(Cowie, 2002)가 되고 있다.



Fig. 3. The paddy field and irrigation canal with water that can be overwintered by golden apple snails.

Table 5. Environmental characteristics of the overwintering investigation place of golden apple snail in wet rice cultivation area

Investigated place	Number of investigated site	Water			Soil under water	
		Depth(cm)	Temperature under ice (°C)	Flow speed	Temperature (°C)	Mud formation*
Rice field	8	5-12	3~4	0	4~6	++
Canal	21	10~15	3~6	0	5~8	+++
Puddle	13	25-40	4~7	0	6~8	++

* + good, ++ very good, +++ excellent

2) 월동가능 서식지 환경조건

왕우렁이들이 월동할 수 있는 전형적인 조건을 갖춘 수로는 Fig. 3과 같다. 왕우렁이가 겨울철 환경을 이겨내어 월동되기 위해서는 온도가 제일 중요한 제한 인자이지만 또한 필수조건 중의 하나가 물이 마르지 않아야 한다는 점이다. 논이나 웅덩이에 물이 담수되어 있어야 기온이 영하로 내려가더라도 왕우렁이가 땅속으로 들어가 월동이 가능하다.

왕우렁이가 월동되고 있는 논과 수로, 물웅덩이의 환경특성을 조사한 결과 Table 5와 같다. 왕우렁이 월동지의 환경특성은 논 8개 지점, 수로와 물웅덩이 각각 21개와 13개 지점을 조사하였다. 왕우렁이들이 월동하는 장소는 물의 깊이가 최소한 5 cm 이상 40 cm 이하이고, 남향의 물이 결빙되지 않으며, 유속이 없고 빨이 잘 형성되어 있었다. 겨울철의 추위가 지속되어 얼음두께가 3 cm 이상으로 물이 결빙되어도 얼음 아래의 수층 온도는 물 깊이에 따라 차이가 있으나 보통 3~5°C가 유지되었다. 또한 웅덩이나 수로의 물속 아래 토양의 온도는 4~8°C로 물보다 2~3°C가 높았다. 이러한 환경조건들로 인하여 추운 겨울철에도 논, 수로, 물웅덩이의 온도는 영상 3°C 이상이 유지되므로 월동이 가능한 것으로 판단되었다.

이러한 결과들은 *P. canaliculata* 왕우렁이는 물의 흐름이 빠른 곳보다 정체되어 있는 하천이나 논, 수로에 많이 서식하고 있으며, 유기물 함량이 높고 연한 수초가 자라고 있는 장소에서 많이 발견된 연구결과(Seuffert & Martin, 2013)와 유사하였다.

왕우렁이에 의한 작물의 피해실태

월동 왕우렁이에 의한 피해를 받은 작물은 벼와 미나리로

피해 양상은 Fig. 4와 같다. 월동 왕우렁이에 의한 작물피해로 농가들의 어려움이 발생되고 있는 지역은 강진, 해남 및 제주 지역이었다.

왕우렁이에 의한 피해의 대표적인 현상은 논에서 이앙초기에 불균일한 씨레질로 인하여 물에 잠긴 어린모가 가해되는 것이다. 벼 이앙초기에는 왕우렁이들의 먹이가 부족하기 때문에 부드러운 벼 전체를 먹어치우게 된다. 왕우렁이가 선호하는 먹이는 새싹이나 어린 식물체를 선호(Horgan et al., 2014b; Horgan et al., 2017)하기 때문에 무엇보다도 직파재배나 이앙한 어린모 등 초기 생육시기에 피해를 많이 주어 작물의 재배관리에 특별한 주의가 요구된다. 왕우렁이에 의한 벼의 가해는 생산성과 농가의 수익성을 떨어뜨린다(Stuart, 2014).

미나리의 피해 양상은 Fig. 4에서 보는 것처럼 수확 후 재생되는 미나리 새싹을 왕우렁이 성체가 갈아먹거나 생육이 진행되면 줄기를 끊어 놓아 생육이 지속되지 못한다. 또한, 줄기에 알을 산란하여 작업을 어렵게 하고, 상품성을 저하시킨다. 간접적인 피해로는 왕우렁이를 방제하기 위하여 농약 및 다량의 소금을 사용함에 따라서 미나리가 녹아내리는 현상이다.

월동 왕우렁이에 의한 벼와 미나리에서 발생한 작물 피해 정도는 Table 6에 나타난 바와 같다. 벼 피해는 강진, 고흥, 해남 지역에서 25개 필지에서 총 63 m²로 필지별 피해율이 0.4%로 미미하게 나타났으나 미나리의 피해는 12개 필지에서 2,650 m²로 필지별 피해율이 4.3%로 벼에 비하여 피해율이 높고, 피해 면적이 많았다. 그 원인은 벼논에서는 잡초가 지속적으로 발생하여 먹이원이 충분하지만 미나리 재배에서는 발생하는 식물체가 거의 없기 때문이었다.



Fig. 4. Crop damage caused by overwintered golden apple snails in Kangjin and Jeju (left: wet rice field, right: structured water dropwort cultivation).

Table 6. Crop damage caused by overwintered golden apple snails

Region	Crop sort	Crop damage			
		plot (No.)	area (m ²)	rate (%)	
Jeonnam	Gangjin	Rice	16	25	0.1
	Goheung	Rice	5	31	1.4
	Haenam	Rice	4	7	0.4
Jeju	Hallimeup	Water celery	7	1,000	4.3
	Seogwipo	Water celery	5	1,650	4.2

그 외에도 친환경 벼 재배 단지에서 잡초방제용 왕우렁이에 의한 벼 피해는 경기도 화성, 시흥과 경남 김해 등지에서 발생하고 있었으나 우려할 수준은 아니었다. 따라서 월동 왕우렁이에 의한 피해를 막으려면 무엇보다도 월동 서식처를 제거하고, 벼 이앙전 논을 평평하게 써레질을 잘 하여 어란모가 물에 잠기지 않도록 물높이를 잘 조절해 주어야 한다.

요 약

본 연구는 왕우렁이의 월동실태 및 작물의 피해 실태를 파악하기 위하여 수행하였다. 왕우렁이의 도입 후 처음 월동이 확인된 지역은 2000년 해남이었다. 그 후 왕우렁이의 국내 월동 지역이 중남부지역으로 확대되었다. 2017년도에 왕우렁이 개체들의 월동 지역은 전남의 강진, 고흥, 신안, 해남과 경남의 김해, 함안을 비롯한 부산과 제주, 서귀포였으며, 예외적으로 왕우렁이 월동조건이 양호하게 형성되어 있는 화성에서도 확인이 되었다. 그러나 왕우렁이는 알로서 월동하지는 않았다. 왕우렁이가 저온에서 견디는 생존기간은 -5℃에서 12시간, -3℃에서 1일, -1℃에서 2일, 0℃에서 10일 및 3℃에서 30일 이상이었다. 왕우렁이들의 월동 환경조건은 10~20 cm의 물이 고여 있고, 추위에 숨을 수 있는 빨이 잘 형성되어 있는 남향의 수로나 물 웅덩이였다. 월동 왕우렁이에 의한 피해는 벼와 미나리에서 발생하였으며 벼에서는 아직 우려할 수준은 아니었다. 다만, 미나리에서의 피해율은 4.26%로 벼에 비하여 높았고, 피해 면적도 많았다. 앞으로 왕우렁이의 국내 월동과 더불어 논 잡초방제용 왕우렁이들에 대한 지속적인 관찰과 연구가 요구된다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment

This study was carried out with the support of Research Program for Agricultural Science & Technology Development, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea (Project number: PJ01268405).

References

Bombero-Tuburan, I., Fukumoto, S., & Rodriguez, E. M. (1995). Use of the golden apple snail, cassava, and maize as feeds for the tiger shrimp, *Penaeus monodon*, in ponds. *Aquaculture*, 131(1-2), 91-100.

Burlakova, L. E., Padilla, D. K., Karatayev, A. Y., Hollas, D. N., Cartwright, L. D., & Nichol, K. D. (2010). Differences in population dynamics and potential impacts of a freshwater invader driven by temporal habitat stability. *Biological Invasions*, 12(4), 927-941.

Carlsson, N. O. (2017). Invasive apple snails are threatening natural ecosystems in Southeast Asia, Europe and North America. *Biology and Management of Invasive Apple Snails*, 45-61.

- Cheng, E. Y. (1989). Control strategy for the introduced snail, *Pomacea lineata*, in rice paddy. In: Slugs and Snails in World Agriculture. British Crop Protection Council Monograph 41 (ed. Henderson, F.), pp. 69-75, BCPC, Thornton Heath, UK.
- Robert, H. C. (2002). Apple snails (Ampullariidae) as agricultural pests: their biology, impacts and management. Barke. Centre for Agriculture and Bioscience International, 145-192.
- Hayes, K. A., Joshi, R. C., Thiengo, S. C., & Cowie, R. H. (2008). Out of South America: multiple origins of non-native apple snails in Asia. *Diversity and Distributions*, 14(4), 701-712.
- Halwart, M. (1994). The golden apple snail *Pomacea canaliculata* in Asian rice farming systems: present impact and future threat. *International Journal of Pest Management*, 40(2), 199-206.
- Horgan, F. G., Stuart, A. M., & Kudavidanage, E. P. (2014a). Impact of invasive apple snails on the functioning and services of natural and managed wetlands. *Acta Oecologica*, 54, 90-100.
- Horgan, F. G., Figueroa, J. Y., & Almazan, M. L. P. (2014b). Seedling broadcasting as a potential method to reduce apple snail damage to rice. *Crop Protection*, 64, 168-176.
- Horgan, F. G., Felix, M. I., Portalanza, D. E., Sánchez, L., Rios, W. M. M., Farah, S. E., Wither, J. A., Andrade, C. I., & Espin, E. B. (2014c). Responses by farmers to the apple snail invasion of Ecuador's rice fields and attitudes toward predatory snail kites. *Crop Protection*, 62, 135-143.
- Horgan, F. G., Palenzuela, A. N., Stuart, A. M., Naredo, A. I., Ramal, A. F., Bernal, C. C., & Almazan, M. L. P. (2017). Effects of silicon soil amendments and nitrogen fertilizer on apple snail (Ampullariidae) damage to rice seedlings. *Crop Protection*, 91, 123-131.
- Lee, S. B., Koh, M. H., Na, Y. E., & Kim, J. H. (2002). Physiological and ecological characteristics of the apple snails. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 21(1), 50-56.
- Litsinger, J. A., & Estano, D. B. (1993). Management of the golden apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck) in rice. *Crop Protection*, 12(5), 363-370.
- Luque, G. M., Bellard, C., Bertelsmeier, C., Bonnaud, E., Genovesi, P., Simberloff, D., & Courchamp, F. (2014). The 100th of the world's worst invasive alien species. *Biological Invasions*, 16(5), 981-985.
- Matienzo, L. H. (1984). Wilson Ang's big food snails. *Greenfields*, 14, 24-29.
- Matsukura, K., Tsumuki, H., Izumi, Y., & Wada, T. (2008). Changes in chemical components in the freshwater apple snail, *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae), in relation to the development of its cold hardiness. *Cryobiology*, 56(2), 131-137.
- Naylor, R. (1996). Invasions in agriculture: assessing the cost of the golden apple snail in Asia. *Ambio*, 25(7), 443-448.
- Oya, S. (1987). Overwintering of the apple snail, *Pomacea canaliculata* Lamarck, in north Kyushu. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 31, 206-212.
- Ranamukhaarachchi, S. L., & Wickramasinghe, S. (2006). Golden apple snails in the world: introduction, impact, and control measures. *Global advances in ecology and management of golden apple snails*, Philippine Rice Research Institute, 133-152.
- Salleh, N. H. M., Arbain, D., Daud, M. Z. M., Pilus, N., & Nawi, R. (2012). Distribution and management of *Pomacea canaliculata* in the Northern region of Malaysia: mini review. *Apcebee Procedia*, 2, 129-134.
- Saveanu, L., & Martín, P. R. (2015). Neuston: a relevant trophic resource for apple snails?. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 52, 75-82.
- Schneiker, J., Weisser, W. W., Settele, J., Bustamante, J. V., Marquez, L., Villareal, S., Arida, G., Chien, H. V., Heong, K. L., & Türke, M. (2016). Is there hope for sustainable management of golden apple snails, a major invasive pest in irrigated rice?. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 79, 11-21.
- Seuffert, M. E., & Martín, P. R. (2010). Dependence on aerial respiration and its influence on micro-distribution in the invasive freshwater snail *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda, Ampullariidae). *Biological Invasions*, 12(6), 1695-1708.
- Seuffert, M. E., & Martín, P. R. (2013). Distribution of the apple snail *Pomacea canaliculata* in Pampean streams (Argentina) at different spatial scales. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 43(2), 91-99.
- Sharfstein, B., & Steinman, A. D. (2001). Growth and survival of the Florida apple snail (*Pomacea paludosa*) fed 3 naturally occurring macrophyte assemblages. *Journal of The North American Benthological Society*, 20(1), 84-95.
- Stuart, A. M., Palenzuela, A. N., Bernal, C. C., Ramal, A. F., & Horgan, F. G. (2014). Effects of fertiliser applications on survival and recruitment of the

- apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck). *Crop Protection*, 64, 78-87.
- Teo, S. S. (2001). Evaluation of different duck varieties for the control of the golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) in transplanted and direct seeded rice. *Crop Protection*, 20(7), 599-604.
- Wada, T. (2004). Strategies for controlling the apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck)(Gastropoda: Ampullariidae) in Japanese direct-sown paddy fields. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 38(2), 75-80.
- Wada, T., & Matsukura, K. (2007). Seasonal changes in cold hardiness of the invasive freshwater apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck)(Gastropoda: Ampullariidae). *Malacologia*, 49(2), 383-392.
- Wu, D. C., Yu, J. Z., Chen, B. H., Lin, C. Y., & Ko, W. H. (2005). Inhibition of egg hatching with apple wax solvent as a novel method for controlling golden apple snail (*Pomacea canaliculata*). *Crop Protection*, 24(5), 483-486.
- Zheng, G., Dong, S., Hou, Y., Yang, K., & Yu, X. (2012). Molecular characteristics of HSC70 gene and its expression in the golden apple snails, *Pomacea canaliculata* (Mollusca: Gastropoda). *Aquaculture*, 358, 41-49.