

Original article

왕우렁이(*Pomacea canaliculata*)의 국내 분포와 확산 특성 및 영향 요인 분석

이대성 · 박영석*

경희대학교 생물학과

Factors Affecting Distribution and Dispersal of *Pomacea canaliculata* in South Korea. Dae-Seong Lee (0000-0001-7288-0156) and Young-Seuk Park* (0000-0001-7025-8945) (Department of Biology, Kyung Hee University, Dong-daemun, Seoul 02447, Republic of Korea)

Abstract *Pomacea canaliculata* (channeled apple snail; CAS), which is one of the world's worst alien invasive species, is widely distributed in Korea, and raised ecological and economic problems. In this study, we surveyed the distribution and dispersal characteristics of CAS in Korea, and analyzed the effects of environmental and anthropogenic (or social) factors on their distribution and dispersal. We considered various events related to CAS such as changes of policy including promotion of agriculture using CAS and enactment of biological diversity conservation law. Our results showed that human activities strongly influenced to the distribution and dispersal of CAS in Korea. Distribution of CAS seemed to relate with environment-friendly agriculture considering environmental conditions of CAS habitats. And dispersal characteristics of CAS were significantly correlated with social factors such as cultivation area and rate of organic products, production CAS on inland fishery.

Key words: *Pomacea canaliculata* (channeled apple snail), alien species, distribution, dispersal, anthropogenic factor

서 론

왕우렁이 (*Pomacea canaliculata*)는 중남미가 원산지
로, 우리나라뿐만 아니라 국제적으로도 많은 문제를 야
기하며, 세계자연보전연맹 (International Union for Con-
servation of Nature)이 지정한 세계 최악의 침입외래종
100종 중 하나이다 (Lowe *et al.*, 2000; Global Invasive Spe-
cies Database, 2020). 왕우렁이는 특히 논 농사를 많이 짓

는 아시아지역에서 널리 확산되었으며, 일본, 베트남, 필
리핀 등 여러 국가에서 정착지의 생물다양성 훼손, 생태
계 교란 및 경제적 피해를 야기하고 있다 (Mochida, 1991;
Halwart, 1994; Yusa *et al.*, 2006; Joshi, 2007; Bae *et al.*,
2012; Carlsson, 2017). 왕우렁이는 하루에 최대 개체 체중
의 22%에 달하는 수생식물을 섭식하고 농작물에 피해를
주며 (Qiu and Kwong, 2009), 플랑크톤 생물 군집에 영향
을 주어 하천 생태계 내 탁도의 증가 등 하천환경 및 생물
다양성에 영향을 미친다 (Carlsson *et al.*, 2004).

왕우렁이는 우리나라에 1983년 식용을 목적으로 도입
되었으나, 1990년대 왕성한 식생 섭식 능력을 이용한 제
초 효과를 인정받아 이후 친환경 농업에 사용되었고, 이

Manuscript received 29 May 2020, revised 7 June 2020,

revision accepted 19 June 2020

* Corresponding author: Tel: +82-2-961-0946, Fax: +82-2-961-0244

E-mail: parkys@khu.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

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, provide the original work is properly cited.

후 전국적으로 확산되어왔다. 왕우렁이는 도입 초기에 원산지의 기후조건을 고려하여 국내에서는 월동하지 못할 것으로 예상되었다(NIE, 2017). 그러나 예상과 달리 왕우렁이는 국내 환경에 적응하여 다수의 지역에서 왕우렁이의 월동이 확인되었고, 이로 인한 농작물 등의 피해가 발생하고 있다(Lee *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2007a, b; Seo *et al.*, 2010). 국내 해남 지역 내 일부 담수직파 논에서 왕우렁이로 인한 벼농사의 피해가 보고 된 바있으며(Kim *et al.*, 2007a), 강원, 해남 및 제주 지역에서도 벼와 미나리 재배 농가에서 왕우렁이로 인한 피해가 발생하였다(Lee *et al.*, 2019b). 이에 환경부 및 국립생태원에서는 왕우렁이에 대한 정밀조사를 정기적으로 수행하여(NIER, 2007; NIE, 2017), 왕우렁이가 국내 자연생태계에 미칠 영향에 대해 연구해오고 있다.

현재 우리나라에서 왕우렁이는 전국적으로 관찰되고 있으며, 이러한 왕우렁이의 분포와 확산에는 인간 활동이 크게 영향을 미친 것으로 여겨진다(NIE, 2017). 왕우렁이를 비롯한 외래생물의 유입 및 확산, 정착에는 인간 활동이 매우 중요하게 작용하며, 그 영향에 따라 확산 및 피해정도가 다르게 나타난다(Lee *et al.*, 2017, 2019b). 본 연구에서는 왕우렁이를 비롯한 외래생물종의 유입 및 확산 방지, 관리 방안 마련을 위한 기본자료를 제공하고자, 왕우렁이의 국내 분포와 확산 특성을 조사하고, 이에 영향을 미친 환경요인과 인위적 또는 사회적 요소를 분석하였다.

재료 및 방법

1. 왕우렁이 국내 분포 조사

우리나라에서 왕우렁이 분포를 확인하기 위해 문헌 조사, 온라인 검색, 현장 조사 등을 수행하였다. 먼저 기존 연구 문헌(ME, 2004; NIER, 2005, 2007; RDA, 2006; Kim *et al.*, 2007a, b; Jeong *et al.*, 2008; Seo *et al.*, 2010)에서 언급된 왕우렁이 서식지 자료와 국립환경과학원의 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr/>)에서 제공하는 생물측정망(2009~2017) 조사 결과에서 저서성 대형무척추동물 중 왕우렁이가 출현한 지역 자료를 종합하였다. 또한 온라인 검색 엔진(Naver; <https://www.naver.com/>)에서 검색어(‘왕우렁이’, ‘우렁이’)를 통한 온라인 및 이미지 검색을 진행하였다. 왕우렁이가 속한 사과우렁이과(Ampullariidae)는 난괴(egg mass)를 물 밖에 낳는 생태적 습성이 있어 온라인에서 왕우렁이와 난괴에 대한 사진이 존재하는 게시글을 찾고, 해당 글 내 언급된 지역을 확인하였다. 정확한 지

명이 없거나 구체적이지 않은 지명인 경우(e.g. 한탄강, 광주 등)는 제외하였으며, 이후 현장 답사 등을 통해 왕우렁이 서식 여부, 기존 문헌 및 온라인 자료 외 추가 서식지 여부를 확인하였다. 수집 및 확인된 왕우렁이 서식지 정보를 공간 및 시간에 따라 정리하여 왕우렁이 분포 자료를 제작하였다. 수집한 왕우렁이 분포 자료 내 왕우렁이 분포지역은 특성에 따라 자연생태계 내 왕우렁이가 서식하는 ‘서식지’, 왕우렁이를 이용한 농법을 시행하는 ‘농경지’, 왕우렁이를 인위적으로 양식하는 ‘양식장’의 3개 범주로 구분하여 정리하였다. 문헌 및 현장 조사, 인터넷 검색을 통해 확보한 왕우렁이의 국내 분포는 Fig. 1과 같다. 조사된 왕우렁이 분포 지역은 총 428지점이었으며, 이 중 왕우렁이의 서식지는 339지점, 농경지 45지점, 양식장 44지점이었다.

2. 환경 및 사회 자료 수집

왕우렁이의 서식지 특성을 분석하기 위하여 3개 범주(지리, 기후, 토지이용)의 9개 환경 인자를 사용하였다. 지리적 요인으로 고도와 경사각을, 기후요인으로 평년 연강수량, 평년 7월 최고기온, 평년 1월 최저기온, 평년 연평균기온을 사용하였다. 고도와 경사각은 국토지리정보원(<http://www.ngii.go.kr>)에서 제공한 수치표고모형을 기반으로 제작하였다. 기후 자료는 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>)에서 제공한 ‘한반도기후변화 시나리오(RCP 8.5, 제어적분 400년)’ 자료와 국가농림기상센터(구: <http://www.agdcm.kr>, 현: <http://calslab.snu.ac.kr/ncam/main>)에서 제공한 ‘농업용 상세 전자기후도(응용 SERS A1B 시나리오)’ 자료를 종합하여 제작하였다. 기후자료는 30년(1981~2010)에 해당하는 자료를 이용하여 평년 평균자료로 산출하였다. 토지이용 특성은 환경부 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr>)에서 제공하는 대분류 및 중분류 토지이용 자료를 사용하여 분석하였다. 토지이용 유형은 도시, 농지, 산림, 초지, 나지, 습지, 수역의 7가지 유형으로 구분하였고, 왕우렁이 분포지 반경 500 m 이내의 토지이용 유형의 비율을 산출하여 사용하였다. 이중 비율이 높은 도시, 농지, 산림 유형을 분석에 사용하였다. 모든 환경 자료는 디지털 지도 자료로 제작되었고, 공간해상도는 30m×30m이다. 이후 만들어진 디지털 지도 자료를 지리정보시스템(geographic information system; QGIS.org, 2019) 상에서 왕우렁이 서식지 좌표를 기반으로 해당 환경요인 값을 추출하여 사용하였다.

우리나라에서 왕우렁이에 대한 사회적 관심도와 왕우렁이 분포 및 확산과의 연관성을 분석하기 위하여 구글 트렌드(Google Trend; <https://trends.google.co.kr/>)에서 ‘왕우렁

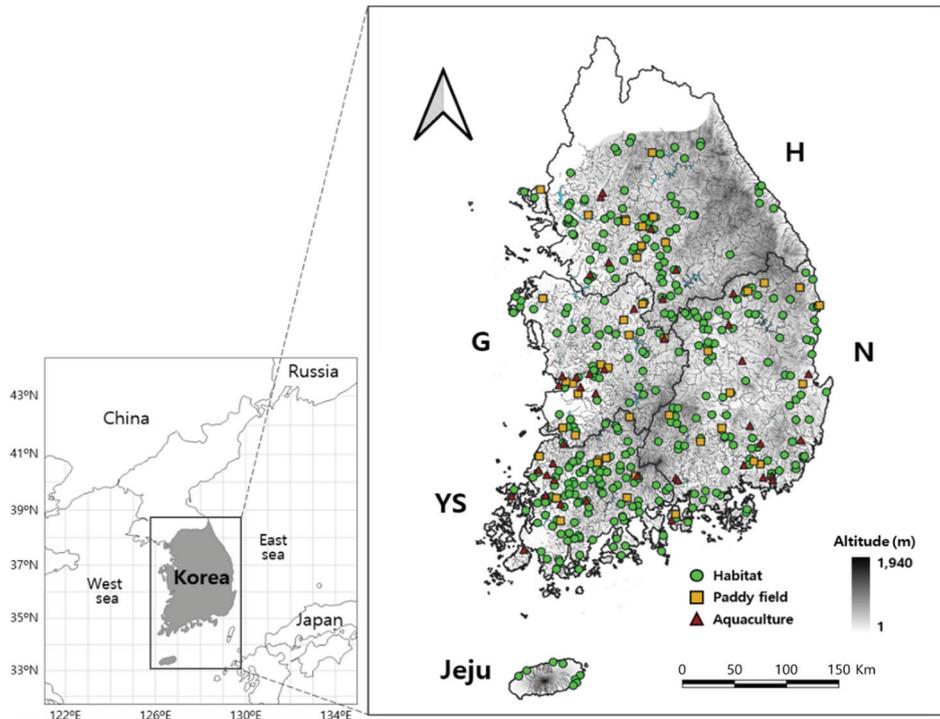


Fig. 1. Habitat of *Pomacea canaliculata* (channeled apple snail, CAS) in Korea. Paddy field means environmental friendly agricultural land using CAS (H: Han river watershed, G: Geum river watershed, N: Nakdong river watershed, YS: Yeongsan-Seumjin river watershed, Jeju: Jeju island).

이’, ‘우렁이’, ‘외래종’, ‘친환경 농산물’, ‘유기농’ 등의 검색어에 대한 연도별 상대 검색 비율 (2004년~2018년)을 구하였다. 구글 트렌드는 월별 자료를 제공하며 가장 높은 검색빈도를 보인 월의 검색량을 100%로 하여 상대빈도를 제시한다. 본 연구에서는 월별 자료를 연도별 평균으로 환산하여 사용하였다. 왕우렁이 관련 농산물 정보는 국립농산물품질관리원 친환경 인증관리 정보시스템 (<http://www.enviagro.go.kr>)에서 제공하는 친환경인증통계를 이용하여 2001년부터 2017년까지 ‘친환경 농산물’, ‘유기농 농산물’, ‘무농약 농산물’, ‘저농약 농산물’의 재배면적 및 전체 농경지 대비 비율을 정리하였다. 본 연구에서 친환경 농산물은 유기농, 무농약, 저농약 농산물 전체를 의미한다. 또한 농림축산식품부 제공 농림수산물통계연보 (2008~2012)와 해양수산부 제공 해양수산물통계연보 (2006~2007, 2013~2017)를 참고하여 연도별 내수면 왕우렁이 생산량을 확인하였다. 그 밖에도 관련 신문, 법령 등을 찾아 왕우렁이 관련 정책 자료를 정리하였다. 국내에서는 왕우렁이와 우렁이를 구분하지 않고 사용하는 경향이 있어, 구글 트렌드 검색어에 우렁이를 포함하였고, 통계연보 내 내수면 어업별, 어종별 생산량 중 우렁이 관련 통계치를 정리하여 생산량 자료를 제작하였다.

3. 분석 방법

왕우렁이의 확산은 조사한 분포 자료 중 왕우렁이 서식지의 확산을 의미한다. 왕우렁이의 확산 거리는 연도별 서식지의 확산 거리로, 해당 연도의 서식지와 그 이전 연도까지의 분포 서식지 중 가장 가까운 서식지 간 거리로 계산하였다 (Lewis *et al.*, 2013). 자연생태계 내 왕우렁이는 하천의 흐름에 따라 확산되나 본 연구에서는 인간 활동에 의한 인위적 확산까지 고려하고자, 수계가 아닌 서식지 간 거리를 고려하였다. 왕우렁이 서식지의 확산거리와 조사한 사회 현상 (예, 검색량, 농산물 생산량 등) 간의 관계는 스피어만 상관분석 (Spearman rank correlation)을 진행하여, 상관계수 및 유의확률을 계산하였다. 본 연구에서 수행한 모든 자료의 비교 및 분석은 R 프로그램 (<https://www.r-project.org/>, Version 3.6.1) 상에서 진행되었고, 기본적으로 제공하는 ‘stats’ package (R Core Team, 2019)를 사용하였다.

결 과

1. 왕우렁이 서식지 환경 특성 분석

관찰된 왕우렁이 서식지의 70%가 고도 100.0 m 이하

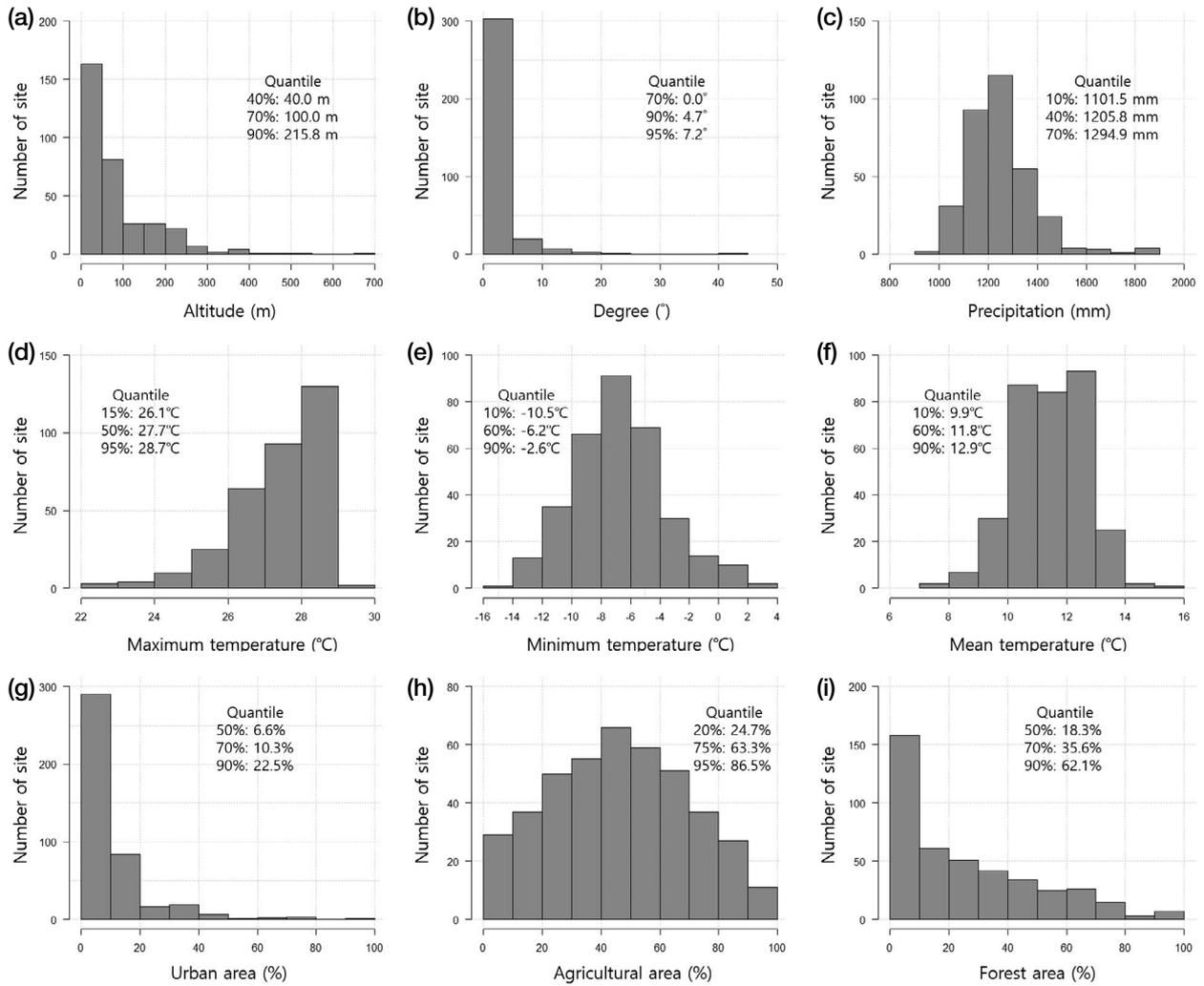


Fig. 2. Histogram of environmental conditions on habitat of *Pomacea canaliculata*. Geographical conditions: a, b, meteorological conditions: c~f, land-use conditions: g~i. (a) Altitude, (b) Slope, (c) Annual precipitation, (d) Annual maximum temperature at July, (e) Annual minimum temperature at January, (f) Annual mean temperature, (g) Urban area, (h) Agricultural area and (i) Forest area.

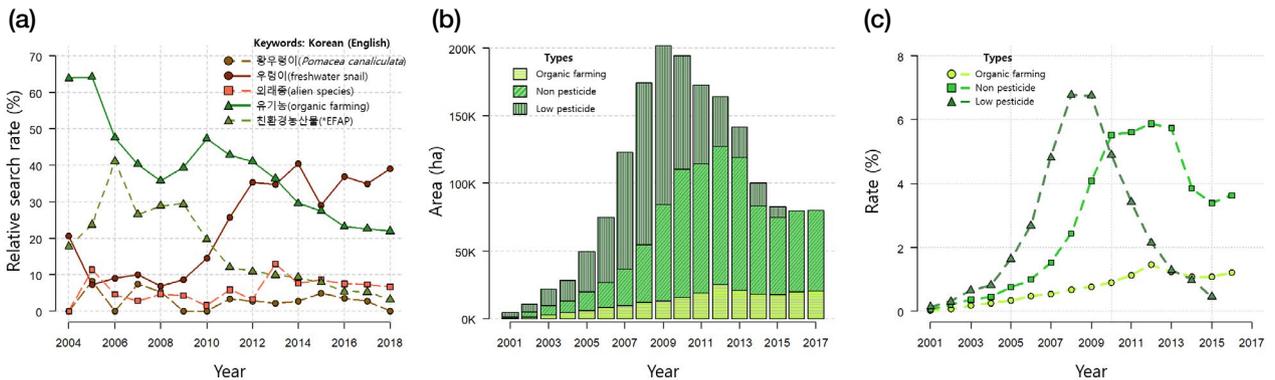


Fig. 3. Trend information related to *Pomacea canaliculata* in Korea. (a) Search rate for some keyword. It was provided from Google Trend (<https://trends.google.co.kr/>), and *EFAP means environment friendly-agricultural products. (b) Change of area under cultivation by types of environment friendly agricultural products (EFAP). (c) Change of cultivation rate to whole agricultural land by types of EFAP. Sum of whole type products means total EFAP. Certification of agricultural product with low pesticides was reduced from 2010, and was abolished at 2016.

에, 95%가 경사각 8.0° 이하에 있었다(Fig. 2). 연평균 강수량은 1250.0 mm (± 7.3)이었으며, 전체 서식지의 60%가 연평균 강수량이 1,100~1,300 mm 지역에 있었다. 평균 7월 최고기온은 27.4°C (± 0.1), 1월 최저기온은 -6.7°C (± 0.2), 월평균기온은 11.5°C (± 0.1)이며, 전체 서식지 중 80% 이상이 7월 최고온도가 26°C 이상, 1월 최저온도가 -10~-3°C 사이, 월평균기온이 10~13°C 사이에 위치하였다. 또한 분포지역 주변의 토지이용은 농업(42.2 \pm 0.7%), 산림(26.7 \pm 0.7%), 도시(10.6 \pm 0.7%) 순으로 높았다. 분포지역 전체의 70%는 도시 비율이 10% 이하이거나 산림이 30% 이하였으며, 전체 분포지역의 80%가 농업 비율이 25% 이상이었다.

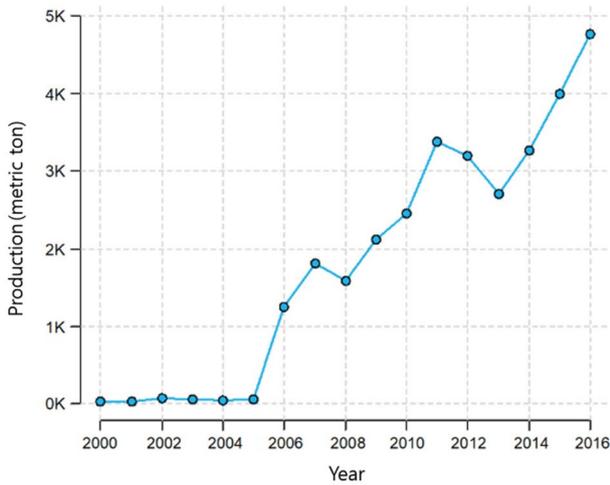


Fig. 4. Production change of *Pomacea canaliculata* on inland fishery in Korea.

2. 왕우렁이와 사회적 요소 변화

검색어 중 ‘왕우렁이’와 ‘외래종’의 검색량은 연도별로 크게 변화하지 않았다(Fig. 3a). 그러나 ‘우렁이’에 대한 검색량은 과거에 비해 2008년 이후 크게 증가하였다. ‘유기농’과 ‘친환경 농산물’에 대한 검색량은 2000년대에는 매우 높았으나, 2010년 이후 감소하였다. 국내 친환경 농산물은 2001년부터 2009년까지 지속적으로 재배면적 및 전체 농경지 대비 비율이 증가하였으나, 2010년부터 감소하였다(Fig. 3b). 저농약 농산물의 재배 면적과 비율은 2010년부터 감소하였고, 무농약 농산물 생산량은 2013년부터 감소하였다. 반면에 유기물 농산물은 지속적으로 증가하는 양상을 보였다. 국내 내수면 어업 생산량 중 우렁이 생산량은 2005년까지 100 M/T 이하로 매우 낮았으나, 2006년부터 급격히 증가하여 2016년에는 4,759 M/T에 달하였다(Fig. 4).

3. 왕우렁이의 분포 확산 및 확산 요인 분석

국내 왕우렁이 서식지간 최근접 거리는 연도별로 점차 감소하는 양상을 보였다(Fig. 5a). 2007년 이전 서식지와 2008년 서식지간 거리(2007→2008)는 평균 45.5 km였으나, 2009년(2008→2009)에는 20.8 km, 2017년(2016→2017)에는 7.6 km로 나타났다. 또한 조사한 왕우렁이 양식장 및 왕우렁이를 이용한 친환경농경지 중 40%가 왕우렁이 서식지와 5 km 이내, 75%가 10 km 이내에 위치한 것으로 나타났다(Fig. 5b).

구글 트렌드 검색어 중 ‘유기농’과 ‘친환경 농산물’은 서로 간에 강한 양의 상관관계($r=0.711$, $p=0.028$)를 가졌

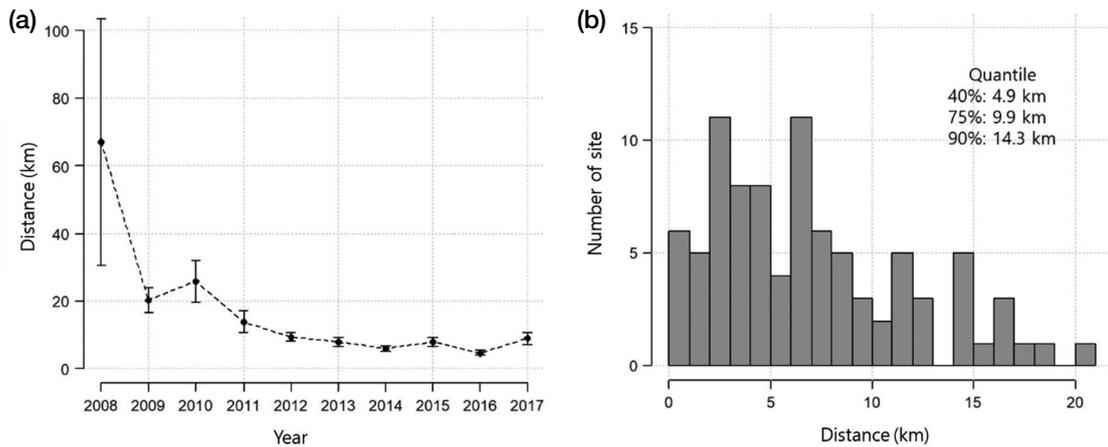


Fig. 5. Distribution analysis of *Pomacea canaliculata* (channeled apple snail, CAS). (a) Dispersal distance of CAS by year. (b) Distance between CAS habitats and others (CAS farm and farmland using CAS). Due to small number of CAS habitats, CAS habitats observed before 2008 were integrated. Distance means Euclidean distance calculated nearest neighbor distance. Point means average and error bar shows standard error.

고, 이 두 검색어는 검색어 중 ‘우렁이’와는 강한 음의 상관관계 ($r = -0.879 / -0.604, p < 0.001 / p = 0.011$)를 보였다(Table 1). 검색어 중 ‘유기농’은 국내 유기농 농산물의 재배 면적 및 비율에 대해 강한 음의 상관관계 ($r = -0.600 / -0.571, p = 0.004 / 0.007$)를 가지나, ‘우렁이’는 반

대로 강한 양의 상관관계 ($r = 0.754 / 0.742, p = 0.001 / 0.002$)를 가졌다. 국내 내수면 우렁이 생산량은 구글 트렌드 검색어 중 ‘친환경 농산물’ 및 ‘유기농’과 강한 음의 상관관계 ($r = -0.775 / -0.720, p = 0.011 / p < 0.001$)를 보였다. 또한 우렁이 생산량은 무농약, 유기농, 친환경 농산물의 재배 면적과 비율에 대해 강한 양의 상관관계 (무농약: $r = 0.785 / 0.785, p < 0.001 / p < 0.001$, 유기농: $r = 0.891 / 0.891, p < 0.001 / p < 0.001$, 친환경: $r = 0.571 / 0.591, p = 0.022 / 0.016$)를 보였다. 국내 왕우렁이 서식지의 확산 거리는 구글 트렌드 검색어 중 ‘친환경 농산물’과는 강한 양의 상관관계 ($r = 0.806, p = 0.007$)를 보이나, 검색어 중 ‘우렁이’와 유기농 농산물의 재배 면적 및 비율, 우렁이 생산량과는 음의 상관관계 ($r = -0.867 / -0.576 / -0.667, p = 0.021 / 0.023 / 0.022$)를 보였다. 또한 내수면 우렁이 누적 생산량은 왕우렁이 연도별 누적 서식지 수와 매우 강한 양의 상관관계 ($r = 0.998, p < 0.001$)를 가졌다(Fig. 6).

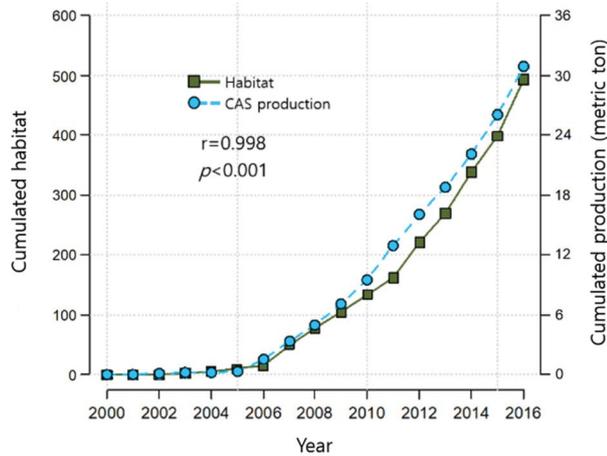


Fig. 6. Relation between cumulated habitat and cumulated production of *Pomacea canaliculata*.

고찰

왕우렁이는 1990년대 초부터 농업에 이용되었는데, 정

Table 1. Correlation between factors related with *Pomacea canaliculata*. Table showed only significant correlation ($p < 0.05$). r means correlation coefficient.

Variable 1	x	Variable 2	r	p-value
G*-Organic food	x	G*-EFAP*	0.711	0.028
G*-River snail	x	G*-EFAP*	-0.879	<0.001
G*-River snail	x	G*-Organic food	-0.604	0.011
Organic products area	x	G*-Organic food	-0.600	0.004
Organic products rate	x	G*-Organic food	-0.571	0.007
Organic products area	x	G*-River snail	0.754	0.001
Organic products rate	x	G*-River snail	0.742	0.002
CAS* Production	x	G*-EFAP*	-0.775	0.011
CAS* Production	x	G*-Organic food	-0.720	<0.001
CAS* Production	x	G*-River snail	0.747	0.005
CAS* Production	x	NP* products area	0.785	<0.001
CAS* Production	x	NP* products rate	0.785	<0.001
CAS* Production	x	Organic products area	0.891	<0.001
CAS* Production	x	Organic products rate	0.891	<0.001
CAS* Production	x	EFAP* area	0.571	0.022
CAS* Production	x	EFAP* rate	0.591	0.016
Dispersal distance	x	G*-EFAP*	0.806	0.007
Dispersal distance	x	G*-River snail	-0.867	0.006
Dispersal distance	x	Organic products area	-0.576	0.021
Dispersal distance	x	Organic products rate	-0.667	0.023
Dispersal distance	x	CAS* Production	-0.767	0.022

*G-: Google trend, *CAS: *Pomacea canaliculata* (channeled apple snail), *NP: Non Pesticide, *EFAP: Environment Friendly Agricultural Products

부에서 1997년 ‘환경농업육성법’ 제정하여 친환경농업을 장려한 이후, 왕우렁이를 이용한 농법은 전국적으로 빠르게 확산되었다. 왕우렁이를 이용한 농법을 권장하기 위해 지급되던 정부 보조금은 2004년 이후로 폐지되었으나, 각 지자체별 장려 보조금은 현재도 지급되고 있다. 한편 2003년부터 시작된 웰빙(Well-being) 열풍에 의해 건강한 먹거리에 대한 관심이 대두되었고, 이러한 관심은 2010년 초 웰빙 열풍이 끝난 후에도 지속되었다(Kim, 2007; Lee and Ji, 2010). 이와 같은 정치·사회적 영향으로, 2000년대 초반 유기농 및 친환경 농산물에 대한 관심이 급격히 커졌다.

구글 트렌드에서 확인한 유기농 및 친환경농산물 검색량은 이러한 현상을 반영하며, 이로 인해 국내 유기농 및 무농약 농산물의 재배면적 및 생산량이 지속적으로 증가하였다. 구글 트렌드에 따르면, 우리나라에서 외래생물에 대한 검색량은(‘외래종’) 2005년과 2013년에 증가하였다. 이는 2005년에 우리나라의 ‘야생동식물보호법’ 실행 및 국제연합(UN)의 ‘새천년 생태계 평가보고서(Millennium Ecosystem Assessment)’ 발간, 2013년에 우리나라의 ‘생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률(생물다양성법)’ 시행의 영향으로 생각된다. 2005년부터 급격히 증가한 왕우렁이의 생산량은 왕우렁이를 이용한 친환경 농법 사용의 증가를, 2008년 이후 증가한 왕우렁이에 대한 검색량(‘우렁이’)은 왕우렁이에 대한 수요의 증가를 의미한다. 실제로 왕우렁이를 이용한 벼 생산면적은 2004년 4,649 ha에서 2005년 13,786 ha으로 크게 증가한 후, 지속적으로 증가해왔으며(서울신문, 2008.11.15), 전라남도 내 왕우렁이 양식장은 2004년 13개소에서 2011년 83개소로 크게 증가하였다(농업인신문, 2011.01.28). 생물다양성법이 제정 및 시행된 2012년과 2013년에 왕우렁이 생산량의 감소가 나타났으나, 전체적으로 국내 내수면 왕우렁이의 생산량은 2005년 이후 지속적으로 증가해왔다. 또한 2008년 이후 증가한 왕우렁이 검색량은 무농약 농산물 및 유기농산물, 친환경농산물 생산량 증가 시기와 유사하고 서로간 유의한 양의 상관관계를 보이기 때문에, 해당 검색량의 증가는 웰빙 열풍으로 인한 왕우렁이 이용 친환경 농법에 대한 관심 대두의 결과로 생각할 수 있다. 이를 고려하면 국내 왕우렁이 검색량 및 생산량은 외래생물에 대한 법률 시행 등과 같은 정책적 요소의 영향보다 친환경 농산물을 선호하는 웰빙 여론에 의한 영향을 더 많이 받은 것으로 판단된다.

유기농 및 친환경 농산물에 대한 검색량은 2010년 이후로 감소하며, 왕우렁이 검색량 및 생산량과 음의 상관관계를 보였다. 웰빙 열풍은 사회 구성원 대부분이 동조하고 10년 이상 지속되는 메가트렌드이고(Kim, 2014), Table 1

에서 나타난 유기농산물 검색량과 유기농산물 재배면적 및 생산량 사이 나타난 음의 상관관계, 지속적으로 증가하는 유기농산물 재배면적 및 비율, 왕우렁이 생산량과 왕우렁이 검색량 사이 양의 상관관계, 유기농산물 재배면적 및 비율 간 강한 양의 상관관계를 고려할 때, 이러한 경향성은 해당 농산물에 대한 관심 감소 또는 웰빙 열풍의 진정이 아닌, 웰빙 열풍에 의한 반응이 실제 농업 및 왕우렁이 생산량에 반영되기까지의 시간적 지연(delay effect)으로 생각된다.

왕우렁이는 1980년대 국내에 도입된 이후, 전국적으로 급속히 확산되었다. 이러한 국내 왕우렁이의 확산에는 친환경 농법 및 양식장 등과 같은 인간의 활동이 크게 영향을 미쳤다(NIE, 2017). 국내 왕우렁이의 초기 확산은 주변 농경지 및 양식장에서 강우 등으로 인한 유출이 주 원인이었으나(Lee *et al.*, 2002; NIE, 2017), 자연생태계 내 왕우렁이 서식지간 확산 거리가 감소함에 따라 근래 들어 서식지 인접 지역으로의 확산이 증가하는 것으로 보인다(Fig. 5). 본 연구에서 조사한 왕우렁이 서식지 간 확산 거리와 유기농 농산물의 재배면적과 비율, 내수면 왕우렁이 생산량 사이 나타난 유의한 음의 상관관계는 이러한 지역적인 왕우렁이 확산에 대한 인간 활동의 영향을 보여준다. 인접 지역간 확산에 따라 왕우렁이 확산 거리는 시간에 따라 감소함으로 내수면 생산량과 같은 증가량과는 음의 상관관계를 가지게 된다. 또한 본 연구에서 수집한 국내 왕우렁이 서식지의 연도별 누적 수는 국내 내수면 우렁이 누적 생산량과 강한 양의 상관관계를 가져, 국내 왕우렁이 서식지 확산에 대한 내수면 양식의 직간접적인 영향을 보여준다. 본 연구에서 확인한 왕우렁이 서식지 중 대다수는 고도 및 경사각이 낮으며, 연평균 강수량이 많고, 온도가 높은 지역이었다. 또한 서식지 반경 500 m 이내에 농업 지역의 비율이 높았다. 이는 국내 왕우렁이 서식지 대부분이 저지대 및 농지 인근에 위치함을 의미하며, 일부 도시지역 근처의 서식지는 해당 서식지 인근에 왕우렁이 양식장의 존재가 의심된다.

우리나라의 왕우렁이 서식지는 이러한 인위적인 활동뿐만 아니라 기후변화와 같은 자연 생태계 변화에 의해 증가할 것으로 보인다. Bae *et al.* (2012)의 연구 결과에 따르면 기후변화에 의해 국내 왕우렁이 서식 및 월동 가능지역은 전국적으로 확산되며, 2020년대 후에는 전체 국토 면적 중 50% 이상에서 왕우렁이가 월동 가능하다. 실제 수행된 왕우렁이 월동모니터링 조사에서도 왕우렁이가 월동 지역은 기존 전라도 위주의 남쪽에서 경상북도 및 강원도, 경기도 등으로 월동지역의 북상이 나타났다(Lee *et al.*, 2019b). 현재까지 조사된 왕우렁이 월동지역의 월평균최저기온을 계

산한 결과(Bae *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2019b), 왕우렁이 월동서식지의 최저기온은 평균 -4.4°C 였다. 본 연구에서 수집한 왕우렁이 서식지 중 평년 월평균최저기온이 -4.4°C 이상인 지점은 총 70개 지점이며 해당 지점에서는 왕우렁이 월동이 가능할 것으로 예상된다. 또한 이러한 지점들은 남해안을 따라 김해까지, 서해안을 따라 전라남도 영광군, 전라북도 부안군, 충청남도 서천군과 태안군까지 위치하였는데, 이는 기존에 연구되었던 왕우렁이 월동예상선(Lee *et al.*, 2002)보다 더 북쪽에 위치한다. 관찰된 서식지의 대부분이 농업 및 도시 지역의 수로에 위치하고 있으며, 이러한 수로에서 왕우렁이의 월동은 유속, 기온보다 용존산소량과 pH 같은 수질, 수심 등에 더 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Ito, 2002). 본 연구에서 수집한 왕우렁이 서식지의 기상정보와, 저온 및 건조에 대한 왕우렁이의 적응성과 월동 이후 이에 대한 더 강한 내성을 얻는 것으로 알려진 왕우렁이의 생물적 성질을 고려할 때(Matsukura and Wada, 2007; Wada and Matsukura, 2011), 국내 왕우렁이 월동 가능 지역은 현재까지 알려진 월동 지역보다 더 넓게 분포할 가능성이 높다

왕우렁이와 같은 외래생물의 유입은 토착 생물종의 종풍부도를 감소시키고, 생물 및 유전적 다양성의 감소와 서식지 환경 교란 등의 문제를 야기한다(Engelhardt and Ritchie, 2001; Galil, 2007; Butchart *et al.*, 2010). 이미 우리나라에는 왕우렁이를 비롯해 미국가재(*Procambarus clarkii*), 미국선녀벌레(*Metcalfa pruinosa*), 큰입배스(*Micropterus salmoides*) 등이 유입 및 확산되어 생태적 경제적으로 많은 문제를 일으키고 있다(NIER, 2008; Lee and Park, 2019; Lee *et al.*, 2019a). 외래생물종의 유입은 세계화의 한 일면이기에 앞으로 더욱 많은 외래생물들이 인위적으로 또는 자연적으로 유입될 것으로 보인다(McNeely, 2000; Strayer, 2010). 이에 환경부는 지난 2019년부터 미 유입 위해 의심종에 대한 사전관리 강화, 국내 유입 외래생물의 위협 관리 강화, 외래생물 확산 방지체계 구축 등을 골자로 한 ‘제2차 외래생물 관리계획’을 수립하여 대응해오고 있다(ME, 2019). 다만 본 연구에서 확인한 왕우렁이 확산 사례와 같은 인위적 확산에 대한 대비는 아직까지 충분히 준비되어 있지 않다.

환경부에 따르면, 2006년 국내 도입된 외래생물 중 확인된 척추동물은 총 504종이고 이 중 34.9%에 해당하는 176종은 온라인 쇼핑몰에서 판매 중인 것으로 나타났다(ME, 2006). 2020년 현재에도 온라인 쇼핑몰에서는 베타(Siamese Fighting Fish), 뱀파이어 크랩(Vampire crab), 레이저백 거북이(Razorback musk turtle)와 같은 외래생물종을 누구나 쉽게 구입할 수 있다. 이러한 외래생물종들

은 언제든지 우리나라 생태계로 유입되어 생태계에 영향을 미칠 수 있는 잠재적 생태계 위해생물이다. 또한 판매되고 있는 대다수의 외래생물종은 생태계 내 포식자에 준하는 종이기에 국내 생태계로 유입될 경우, 그 파급효과는 본 연구에서 다른 왕우렁이보다 더욱 클 것으로 생각된다. 본 연구의 결과, 왕우렁이는 국가 정책 및 사회적 유행 현상에 의해 전국적으로 확산되었다. 왕우렁이 확산과 유사한 외래생물 확산 사례를 방지하기 위해서는 외래생물에 대한 제도적 관리방안 보완과 함께, 외래생물 유입에 대한 범국민적인 인식 제고가 반드시 필요할 것으로 보인다.

적 요

본 연구는 우리나라에서 외래종인 왕우렁이의 분포와 확산에 있어 영향을 미친 환경 및 인위적 요소를 분석하기 위해, 국내 왕우렁이 분포지역 및 관련 사회정책적 자료를 수집하여 분석하였다. 조사된 국내 왕우렁이 서식지 중 대부분은 고도 및 경사가 낮고, 농경지 인근에 위치하고 있었다. 이러한 왕우렁이 서식지의 특성은 친환경 농업이라는 인위적 활동에 의한 왕우렁이 확산 및 분포와 관련이 있는 것으로 판단된다. 우리나라에서는 왕우렁이와 관련하여 왕우렁이 농법의 국가적 장려, 왕우렁이 농법에 대한 국가 보조금 폐지, 생물다양성법 제정 등과 같은 정책적 변화와 친환경 농산물을 중시하는 웰빙 열풍 등 다양한 정책적, 사회적 사건이 발생하였다. 본 연구에서 확인한 왕우렁이의 확산 양상은 사회적 요소 중 유기농 농산물의 재배면적과 비율, 내수면 왕우렁이 생산량과 매우 유의한 상관관계를 보여, 왕우렁이 확산에 대한 인간 활동의 영향을 보여주었다. 이미 뉴트리아, 미국선녀벌레 등 많은 외래생물종이 우리나라로 유입되고 있는 가운데, 왕우렁이와 같이 인위적 생물 확산이 반복되지 않도록 충분한 제도적 대책 보완과 함께 외래생물에 대한 범국민적 인식 제고가 필요하다.

저자정보 이대성(경희대학교 대학원 박사과정), 박영석(경희대학교 교수)

저자기여도 연구설계: 박영석, 자료 수집 및 분석: 이대성, 자료 검토: 박영석, 원고 작성 및 검토: 이대성, 박영석

이해관계 본 연구는 이해관계의 충돌 여지가 없습니다.

연구비 본 연구는 한국연구재단 연구과제(NRF-2016R1A2B4011801 & NRF-2019R1A2C1087099)의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Bae, M.J., Y.S. Kwon and Y.S. Park. 2012. Effects of global warming on the distribution of overwintering *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae) in Korea. *Korean Journal of Limnological Society* **45**(4): 453-458.
- Butchart, S.H.M., M. Walpole, B. Collen, A. Van Strien, J.P.W. Scharlemann, R.E.A. Almond, J.E.M. Baillie, B. Bomhard, C. Brown and J. Bruno. 2010. Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science* **328**(5982): 1164-1168.
- Carlsson, N.O.H. 2017. Invasive apple snails are threatening natural ecosystems in Southeast Asia, Europe and North America. *Biology and management of invasive apple snails Philippine Rice Research Institute (PhilRice), Maligaya* : 45-61.
- Carlsson, N.O.L., C. Brönmark and L.-A. Hansson. 2004. Invading herbivory: the golden apple snail alters ecosystem functioning in Asian wetlands. *Ecology* **85**(6): 1575-1580.
- Engelhardt, K.A.M and M.E. Ritchie. 2001. Effects of macrophyte species richness on wetland ecosystem functioning and services. *Nature* **411**(6838): 687-689.
- Galil, B.S. 2007. Loss or gain? Invasive aliens and biodiversity in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin* **55**(7-9): 314-322.
- Global Invasive Species Database. 2020. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. http://www.iucngisd.org/gisd/100_worst. Accessed 26 May 2020.
- 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.
- Ito, K. 2002. Environmental factors influencing overwintering success of the golden apple snail, *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae), in the northernmost population of Japan. *Applied Entomology and Zoology* **37**(4): 655-661.
- Jeong, S.-B., H.-S. Jeon, G.-S. Yang and W.-T. Kim. 2008. Habitational environment and management of Apple snails in Jeju-do. *Proceedings of the Korean Society of Environment and Ecology Conference* (2): 54-57.
- Joshi, R.C. 2007. Problems with the management of the golden apple snail *Pomacea canaliculata*: an important exotic pest of rice in Asia, p. 257-264. In: Area-wide control of insect pests. Springer.
- Kim, D.-I., S.-G. Kim, K.-J. Choi, B.-R. Kang, J.-D. Park, J.-J. Kim, D.-R. Choi and H.-M. Park. 2007a. Occurrence and damage of golden apple snail (*Pomacea canaliculata*: Ampullariidae) in Jeonnam Province of South Korea. *Korean Journal of Applied Entomology* **46**(1): 109-115.
- Kim, H.-J., S.-D. Bae, G.-H. Lee, S.-T. Park, C.-G. Park and H.-M. Park. 2007b. Over-wintering of the apple snail, *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae) and its overwintering habitat in the Yeongnam District. *Korean Journal of Applied Entomology* **46**(3): 437-444.
- Kim, J.-K. 2014. Analysis of Korea Social Culture Trend: A Qualitative Research in the Early 2000. *Korean Society of Culture Industry* **14**(1): 45-56.
- Kim, Y.S. 2007. The effects of health oriented consumption propensity on well-being consumption trend. *Social Science Research* **23**(2): 1-21.
- Lee, D.-S and Y.-S. Park. 2019. Evaluation of potential distribution area of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*) in South Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **52**(4): 340-347.
- Lee, D.-S., Y.-S. Bae, B.-K. Byun, S. Lee, J.K. Park and Y.-S. Park. 2019a. Occurrence prediction of the citrus flatid planthopper (*Metcalfa pruinosa* (Say, 1830)) in South Korea using a random forest model. *Forests* **10**(7): 583.
- Lee, I.G and S.G. Ji. 2010. Relation among value of well-bing consumer, consumption value, relative quality and client preference. *Journal of Commodity Science and Technology* **28**: 1-12.
- Lee, S.-B., M.-H. Koh, Y.-E. Na and J.-H. Kim. 2002. Physiological and ecological characteristics of the apple snails. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **21**(1): 50-56.
- Lee, S.B., S.M. Lee, C.B. Park, C.R. Lee, B.G. Ko, K.L. Park, S.G. Hong and J.H. Kim. 2019b. 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**(1): 23-33.
- Lewis, M.A., P.K. Maini and S.V. Petrovskii. 2013. *Dispersal, individual movement and spatial ecology*. Lecture Notes in Mathematics (Mathematics Bioscience Series), 2071.
- Lowe, S., M. Browne, S. Boudjelas and M. De Poorter. 2000. 100 of the world's worst invasive alien species: a selection from the global invasive species database. Invasive Species Specialist Group Auckland, New Zealand.
- Matsukura, K. and T. Wada. 2007. Environmental factors affecting the increase of cold hardiness in the apple snail *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae). *Applied Entomology and Zoology* **42**(4): 533-539.
- McNeely, J.A. 2000. The future of alien invasive species: changing social views. *Invasive species in a changing world*: 171-190.
- ME. 2004. Survey results about distribution of apple snail habitats and overwintering areas, and its ecosystem risk. Ministry of Environment.
- ME. 2019. Establishment of medium and long-term plan for alien species and detailed implementation plan. Ministry of Environment, Seoul.
- ME. 2006. Research for classification of ecosystem risk level, and current state of introduced species in Korea. Ministry of Environment.
- Mochida, O. 1991. Spread of freshwater *Pomacea* snails (Pilidae,

- Mollusca) from Argentina to Asia. *Micronesica* (3): 51-62.
- NIE. 2017. Investigating ecological risk of alien species (IV). National Institute of Ecology.
- NIER. 2005. Wildlife survey. National Institute of Environmental Research.
- NIER. 2007. Detailed studies on invasive alien species and their management (II). National Institute of Environmental Research.
- NIER. 2008. Alien species in Korea. National Institute of Environmental Research.
- QGIS.org. 2019. QGIS Geographic Information System. (Version 3.10.3).
- Qiu, J.-W. and K.-L. Kwong. 2009. Effects of macrophytes on feeding and life-history traits of the invasive apple snail *Pomacea canaliculata*. *Freshwater Biology* **54**(8): 1720-1730.
- R Core Team. 2019. R: A Language and environment for statistical computing (Version 3.5.2).
- RDA. 2006. Distribution of overwintering area of the apple snail (*Pomacea canaliculata*) and environmental characteristic of its over-wintering Habitat. Rural Development Administration.
- Seo, H.-Y., C.-H. Paik, M.-Y. Choi, G.-H. Lee, K.-B. Lee and T.-H. Noh. 2010. A study on the ecology of the golden apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck) in Chungnam and Jeonbuk province of Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* **24**(6): 772-780.
- Strayer, D.L. 2010. Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshwater Biology* **55**: 152-174.
- Wada, T and K. Matsukura. 2011. Linkage of cold hardiness with desiccation tolerance in the invasive freshwater apple snail, *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda: Ampullariidae). *Journal of Molluscan Studies* **77**(2): 149-153.
- Yusa, Y., N. Sugiura and T. Wada. 2006. Predatory potential of freshwater animals on an invasive agricultural pest, the apple snail *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae), in southern Japan. *Biological Invasions* **8**(2): 137-147.