Korean Journal of Environmental Biology

Original article

https://doi.org/10.11626/KJEB.2023.41.4.335

Korean J. Environ. Biol.
41(4) : 335-344 (2023)
ISSN 1226-9999 (print)
ISSN 2287-7851 (online)

논에 서식하는 수서곤충 및 복족류 군집의 특성 및 계절적 변동

어진우*, 전상민, 최순군, 엽소진, 안난희

국립농업과학원 기후변화평가과

Seasonal changes in community composition and abundance of aquatic insects and gastropods in rice fields

Jinu Eo*, Sang-Min Jun, Soon-Kun Choi, So-Jin Yeob and Nan-Hee An

National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

Contribution to Environmental Biology

- This study showed that the aquatic insect community is affected by regional temperature, and *P. canaliculata* is an important biological factor influencing seasonal changes in gastropod community in paddy fields.

***Corresponding author**
Jinu Eo
Tel. 063-238-2507
E-mail. eojiny@korea.kr

Received: 24 May 2023
Revised: 12 September 2023
Revision accepted: 30 October 2023

Abstract: Community composition and abundance of aquatic invertebrates are important for ecological functions. Community characteristics of insects and gastropods were compared in five regions to investigate the effect of geological factors in surveys conducted between June and August to analyze seasonal changes in invertebrate communities. Underwater traps were used to obtain a constant collection effect. Insect communities were dominated by *Hydrochara affinis*, *Rhantus suturalis* and *Sigara nigroventralis*, and nMDS analysis demonstrated the separation of their communities by region. *H. affinis* and *Sternolophus rufipes* were not found in Haenam and Cheolwon, respectively. The results showed the effects of regional temperature on the distribution of aquatic insects. *Pomacea canaliculata*, *Hippeutis cantori* and *Austropeplea ollula* were dominant in the gastropod community. The seasonal variation in the abundance of *P. canaliculata* was the most pronounced, and its abundance in August was 38.2 times higher than in June. The abundances of several species including *Hippeutis cantori* were negatively correlated with that of *P. canaliculata*. These results suggest that *P. canaliculata* is a pivotal factor that drives seasonal changes in gastropod community.

Keywords: temperature, latitude, underwater trap, *Pomacea canaliculata*

1. 서 론

논은 람사르조약에 의해 인공습지로 분류되며 양분순환, 토양생성, 생물다양성 등 중요한 생태계서비스를 제공한다(Ramsar Convention Wetlands 2018). 수생태계는 전 세계 곤충의 6%를 보유하는 등 생물다양성 유지에 기여하며(Dijkstra *et al.* 2014), 논이나 둠벙에는 많은 종의 수서동물들이 서식할 수 있다(Lupi *et al.* 2013; Wakhid *et al.* 2020). 우리나라 평야지대의 논은 주로 5월에 물대기를 시작으로 9월에 완전물떼기를 하며 이 기간에만 일시적으로 담수상태가 된다. 단기간의 담수는 생활환이 긴 종의 생존에 영향을 미칠 수 있으며, 이러한 환경에 적응한 종들에

유리하다(Lupi *et al.* 2013).

수서 무척추동물은 다양한 섭식형태를 갖고 있어 수생태계의 먹이사슬을 구성하는 역할을 하며, 환경 변화에 민감히 반응한다(Stoks *et al.* 2014). 곤충은 담수 서식지에서 보고된 동물 종의 60%를 차지하며 척추동물 14.5%, 연체동물 4% 등으로 구성된다(Balian *et al.* 2008; Dijkstra *et al.* 2014). 논과 습지에 서식하는 수서곤충은 잠자리목(Odonata), 딱정벌레목(Coleoptera), 노린재목(Hemiptera)이 대부분으로 포식성 비중이 높다(Han *et al.* 2022; Shin *et al.* 2022). 연체동물인 복족류는 높은 생장율과 번식력을 갖고 있어 논 서식에 적합하며, 다양한 포식자의 먹이원이 되거나 유기물을 분해하는 역할을 한다(Gonzalez-Solis and Ruiz 1996). 따라서, 이들의 발생밀도와 분포지역에 대한 정보는 논 수생태계의 기능을 이해하는 데 중요하다.

지역적으로 기온이나 강수량 등 기상요인은 수서무척추동물의 번식과 생장에 영향을 주어 이들의 지리적 분포나 군집조성이 달라진다(Morin *et al.* 1994; Huryn *et al.* 1995). 국지적으로 논 수서생물의 발생밀도와 다양성은 먹이원, 서식처 이용성, 배수, 농약사용 등에 영향을 받으며(Salmah *et al.* 2017), 벼의 생장단계에 따라 달라진다(Molozzi *et al.* 2007). 또한, 잡초제거를 목적으로 모내기 후 투입되는 왕우렁이(*Pomacea canaliculata*)는 주요한 생물적 요인이다. 왕우렁이는 자연생태계를 교란하는 외래침입종으로 보고되고 있으며 논 생태계에서도 이들의 영향을 평가하는 것이 필요하다(Maldonado and Martin 2019).

본 연구는 논 수서무척추동물 군집의 지역별 특성과 계절적 변동을 분석하고자 하였다. 지리적 영향을 비교하기 위해 철원과 해남을 포함하는 5지역을 대상으로 하였고, 군집의 계절적 변동을 관찰하기 위해 6월과 8월에 조사하였다. 일정한 채집효과를 얻기 위해 수중트랩을 이용하였는데(Yoon 2017), 이 방법으로 채집되는 무척추동물 중 비율이 높고 중요한 생태적 기능을 수행하는 수서곤충과 복족류를 대상으로 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지역 및 시기

온도환경에 따른 논 수서동물 군집의 지역별 차이를 비교하기 위해 위도상 남북으로 위치한 철원, 당진, 전주, 부안, 해남 등 5지역을 대상으로 하였다(Fig. 1, Appendix 1). 수서동물 군집의 계절적 차이를 비교하기 위해 모내기 다음달인 6월과 완전물떼기 전인 8월에 조사하였으며, 2017~2020년 4년간 실시하였다. 이 기간 지역별 평균기온은 철원 10.4°C, 당진 12.3°C, 전주 13.3°C, 부안 13.3°C, 해남 13.8°C였다(AWIS 2023).

Fig. 1. Map of survey sites.

2.2. 조사방법

수서무척추동물을 채집하기 위해 수중트랩을 이용하였으며, 트랩은 700 mL의 플라스틱컵(위 직경 9.8 cm, 길이 15 cm, 입구 직경 2.5 cm)에 케미라이트 1개와 어분 3 g을 넣고 뚜껑을 거꾸로 닫아 제작하였다. 각 지역별로 8지점을 선정하였고 지점별로 3~4개의 논을 대상으로 수중트랩을 3개씩 설치하였다. 수중트랩을 설치한 다음날에 트랩을 수거하여 시료를 70% 알코올에 보관하였다. 수서무척추동물의 동정은 실체현미경 MZ 7.5 (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany)를 이용하여, Han *et al.* (2008)을 참고로 종 수준까지 동정하였다. 수서곤충의 성충과 유충의 개체수는 합산하여 계산하였다.

 ©2023. Korean Society of Environmental Biology.

2.3. 통계분석

수서곤충과 복족류의 발생밀도는 각 지점별로 트랩당 채집된 개체수로 계산하였다. 발생밀도는 지점별 평균값을 이용하여, 지역별 비교에는 Tukey test를 실시하였고 시기별 비교에는 repeated measures ANOVA를 수행하였다. 군집의 구조 및 차이를 분석하기 위해 nMDS (non-metric multidimensional scaling)와 MRPP (multiple response permutation procedure)를 각각 수행하였고, Species Diversity and Richness package v.4.0 (Pices Conservation, Lymington, UK)을 이용하였다. 왕우렁이와 다른 복족류의 상관관계를 분석하기 위해 개체수를 Log $(n+1)$로 변환하여 Pearson coefficient를 계산하였다. 다중검정과 상관분석에는 SAS v9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수서곤충의 지역별 군집 특성

수서곤충은 조사기간에 총 65종 15,268개체가 관찰되었다. 사돈물땡땡이(*Hydrochara affinis*), 애기물방개(*Rhantus pulverosus*), 검정배물벌레(*Sigara nigroventralis*) 순

Table 1. Dominant species (number of individuals per trap) of aquatic insects in paddy fields

	Cheolwon	Dangjin	Jeonju	Buan	Haenam
June					
Hydaticus grammicus	0.07 ± 0.03^{a}*	0.04 ± 0.01^{a}	0.14 ± 0.06^{a}	0.46 ± 0.26^{a}	0.04 ± 0.02^{a}
Hydroglyphus japonicus	0.00 ± 0.00^{a}	0.02 ± 0.01^{a}	0.02 ± 0.01^{a}	0.01 ± 0.01^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
Hygrotus chinensis	0.01 ± 0.01^{b}	0.11 ± 0.05^{a}	0.00 ± 0.00^{b}	0.00 ± 0.00^{b}	0.00 ± 0.00^{b}
Rhantus suturalis	1.07 ± 0.71^{a}	0.18 ± 0.09^{a}	0.11 ± 0.04^{a}	1.33 ± 0.50^{a}	0.03 ± 0.01^{a}
Hydrochara affinis	6.97 ± 2.63^{a}	0.07 ± 0.02^{a}	0.38 ± 0.17^{a}	9.42 ± 6.15^{a}	0.10 ± 0.07^{a}
Sternolophus rufipes	0.00 ± 0.00^{b}	0.00 ± 0.00^{b}	0.01 ± 0.01^{b}	0.04 ± 0.02^{a}	0.01 ± 0.01^{b}
Berosus lewisius	0.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.37 ± 0.21^{a}	0.02 ± 0.01^{a}	0.02 ± 0.01^{a}
Berosus spinosus	0.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.42 ± 0.26^{a}	0.01 ± 0.01^{a}	0.01 ± 0.01^{a}
Sigara substriata	0.04 ± 0.03^{a}	0.08 ± 0.08^{a}	0.05 ± 0.04^{a}	0.04 ± 0.04^{a}	0.23 ± 0.22^{a}
Sigara septemlineata	0.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.01 ± 0.01^{a}	0.08 ± 0.08^{a}	0.02 ± 0.01^{a}
Sigara nigroventralis	0.11 ± 0.10^{a}	0.24 ± 0.21^{a}	1.65 ± 0.97^{a}	0.84 ± 0.64^{a}	0.04 ± 0.02^{a}
Muljarus japonicus	0.00 ± 0.00^{a}	0.04 ± 0.02^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.01 ± 0.01^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
Total	8.36 ± 1.69^{ab}	1.06 ± 0.32^{c}	4.54 ± 0.77^{bc}	12.97 ± 2.88^{a}	0.83 ± 0.24^{c}
August					
Hydaticus grammicus	0.39 ± 0.12^{a}	0.94 ± 0.38^{a}	0.33 ± 0.06^{a}	1.01 ± 0.29^{a}	0.50 ± 0.18^{a}
Hydroglyphus japonicus	0.00 ± 0.00^{a}	0.02 ± 0.01^{a}	0.07 ± 0.04^{a}	0.02 ± 0.01^{a}	0.02 ± 0.01^{a}
Hygrotus chinensis	0.00 ± 0.00^{a}	0.08 ± 0.04^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
Rhantus suturaliss	2.54 ± 2.00^{a}	0.36 ± 0.18^{a}	0.07 ± 0.30^{a}	2.38 ± 0.79^{a}	0.08 ± 0.04^{a}
Hydrochara affinis	1.76 ± 1.48^{a}	0.01 ± 0.01^{a}	0.23 ± 0.07^{a}	2.05 ± 0.47^{a}	0.01 ± 0.00^{a}
Sternolophus rufipes	0.00 ± 0.00^{a}	0.02 ± 0.01^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.29 ± 0.03^{a}	0.05 ± 0.04^{a}
Berosus lewisius	0.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.07 ± 0.04^{a}	0.02 ± 0.01^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
Berosus spinosus	0.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.01 ± 0.01^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.02 ± 0.02^{a}
Sigara substriata	0.21 ± 0.20^{a}	0.05 ± 0.05^{a}	0.01 ± 0.01^{a}	0.32 ± 0.23^{a}	0.01 ± 0.01^{a}
Sigara septemlineata	0.02 ± 0.02^{a}	0.01 ± 0.01^{a}	0.08 ± 0.08^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
Sigara nigroventralis	0.02 ± 0.02^{a}	0.03 ± 0.03^{a}	0.61 ± 0.49^{a}	0.58 ± 0.33^{a}	0.02 ± 0.02^{a}
Muljarus japonicus	0.00 ± 0.00^{a}	0.07 ± 0.04^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.02 ± 0.01^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
Total	5.01 ± 1.54^{ab}	1.97 ± 0.45^{b}	1.79 ± 0.33^{b}	7.89 ± 2.10^{a}	0.80 ± 0.17^{b}

Data represent the mean of four years (± S.E.). Different letters in the same row represent significant differences according to the Tukey's test ($p<0.05$). Asterisks indicate significant differences between June and August according to repeated measures ANOVA: *$p<0.05$.

으로 많았다(Table 1). 총 발생밀도는 부안이 높고 해남이 낮았으나 위도상으로 뚜렷한 경향은 없었다. Han *et al.* (2007)은 논에서 172종이 관찰되었다고 보고하였으나, 조사 범위와 방법이 달랐기 때문에 관찰된 종 수가 적었던 것으로 보인다. 수중트랩은 먹이나 빛에 유인되는 종이 주로 채집되기 때문에 전체 다양성을 조사하기 위해서는 채집망을 이용하는 방법이 유리하다(Yoon *et al.* 2017).

수서곤충 군집은 nMDS 분석에서 지역별로 구분이 되었으며(Fig. 2), MRPP 분석 결과에서도 6월($A=0.162$, $p=0.024$)과 및 8월($A=0.152$, $p=0.012$)에 모두 지역 간 차이가 있었다. 애물땡땡이와 사돈물땡땡이는 위도상으로 분포 양상이 달랐으며, 지역별 온도 차이에 영향을 받은 것으로 보인다. 연평균기온 등 온도인자는 수서곤충 군집에 영향을 미치는 중요한 환경요소이며 지리적으로 종다양성이 달라지게 한다(Shah *et al.* 2015; Tonkin *et al.* 2015). 애물땡땡땡이는 철원에서 전혀 발견되지 않았고 부안과

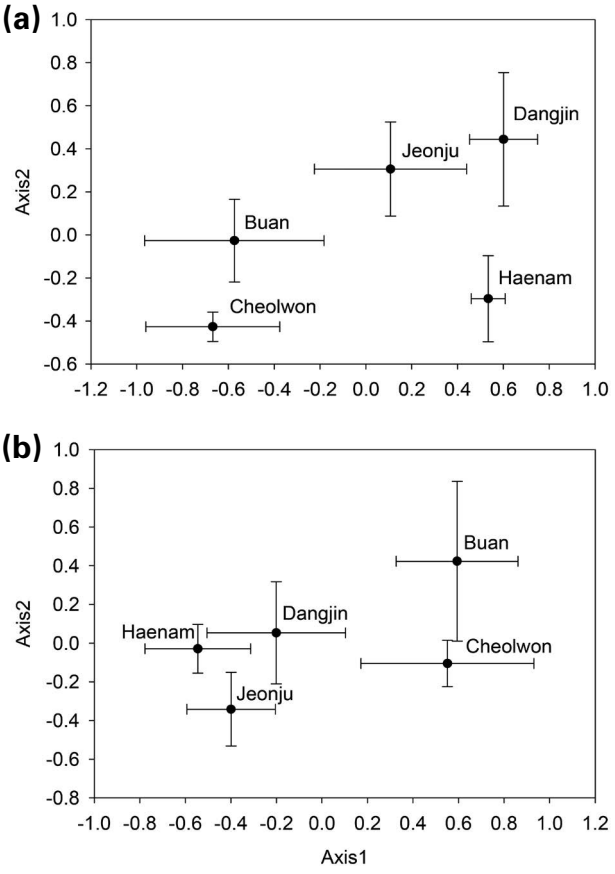

Fig. 2. Non-metric multidimensional scaling analysis of the aquatic insect community. (a) June, (b) August.

해남에 많았는데 Han *et al.* (2010)도 이 종이 충청도, 전라도에 주로 분포하는 것으로 보고하였다(Table 1). 이 종은 인도, 인도네시아, 필리핀, 스리랑카, 타이완, 베트남, 일본, 중국 등 우리나라보다 위도가 낮은 지역에서 발견된다(Darilmaz and Ahmed 2016). 반면에 사돈물땡땡이는 철원과 부안에서 많았는데 이전 연구에서도 전남 이북에서 주로 서식한다고 보고되었으며(Han *et al.* 2020; Kang *et al.* 2020), 러시아와 터키 등 우리나라보다 위도가 높은 지역에서 주로 관찰된다(Brekhov *et al.* 2013; Tasar 2018). 애물땡땡이와 사돈물땡땡이처럼 위도상으로 편중되어 서식하는 종의 분포지역 변화는 온난화의 영향을 모니터링할 수 있는 지표로도 활용할 수 있다.

꼬마줄물방개와 애기물방개는 모든 조사지역에서 관찰되었는데, 논은 물리화학적 교란이 심한 서식지이므로 환경변화에 강한 종들이 주로 우점하기 때문인 것으로 보인다. Shin *et al.* (2022)도 논에서 포식성 곤충의 상대밀도가 높고 재배방식에 따라 차이가 적었다고 하였다. 물자라의 발생밀도는 당진에서 높았는데, Kim *et al.* (2012)도 이 종이 남부지역보다 충북지역에 많다고 하였다. 이처럼 위도에 상관없이 전국적으로 분포하거나 특정 지역에서 발생밀도가 높은 종들은 온도 이외의 환경요인에 영향을 받은 것으로 추측된다.

3.2. 수서곤충 군집의 계절적 변동

수서곤충 총 발생밀도의 시기별 차이는 뚜렷하지 않았으나, 꼬마줄물방개와 애물땡땡이는 일부 지역에서 6월보다 8월에 증가하는 경향이 있었고 사돈물땡땡이는 8월에 감소하는 경향을 보였다(Table 1, Fig. 3). 논에 서식하는 수서곤충은 물대기 이후에 산란을 시작하며 우점종의 유충기간이 한 달 내외로 짧기 때문에 8월까지 세대를 반복하며 개체수가 증가할 수 있으나 종에 따라 발생밀도의 계절적 변동은 다를 수 있다(Saijo 2001; Yoon *et al.* 2020). 한편, 철원에서 2020년 8월에 애기물방개와 발생밀도가 크게 증가한 반면 사돈물땡땡이의 발생밀도는 낮았다. 환경적 원인으로 이 지역에서 8월 상순에 991.5 mm의 집중호우가 내렸고, 평균기온도 23.6°C로 낮았던 점을 들 수 있다(AWIS). 강우로 인한 논물의 온도, 전기전도도(EC), pH 등 이화학성 변화는 수서 딱정벌레목의 군집조성에 영향을 미칠 수 있다(Pakulnicka *et al.* 2015; Taher and Heydarnejad 2019). 생태적 원인으로 애기물방개는 수중

 ©2023. Korean Society of Environmental Biology.

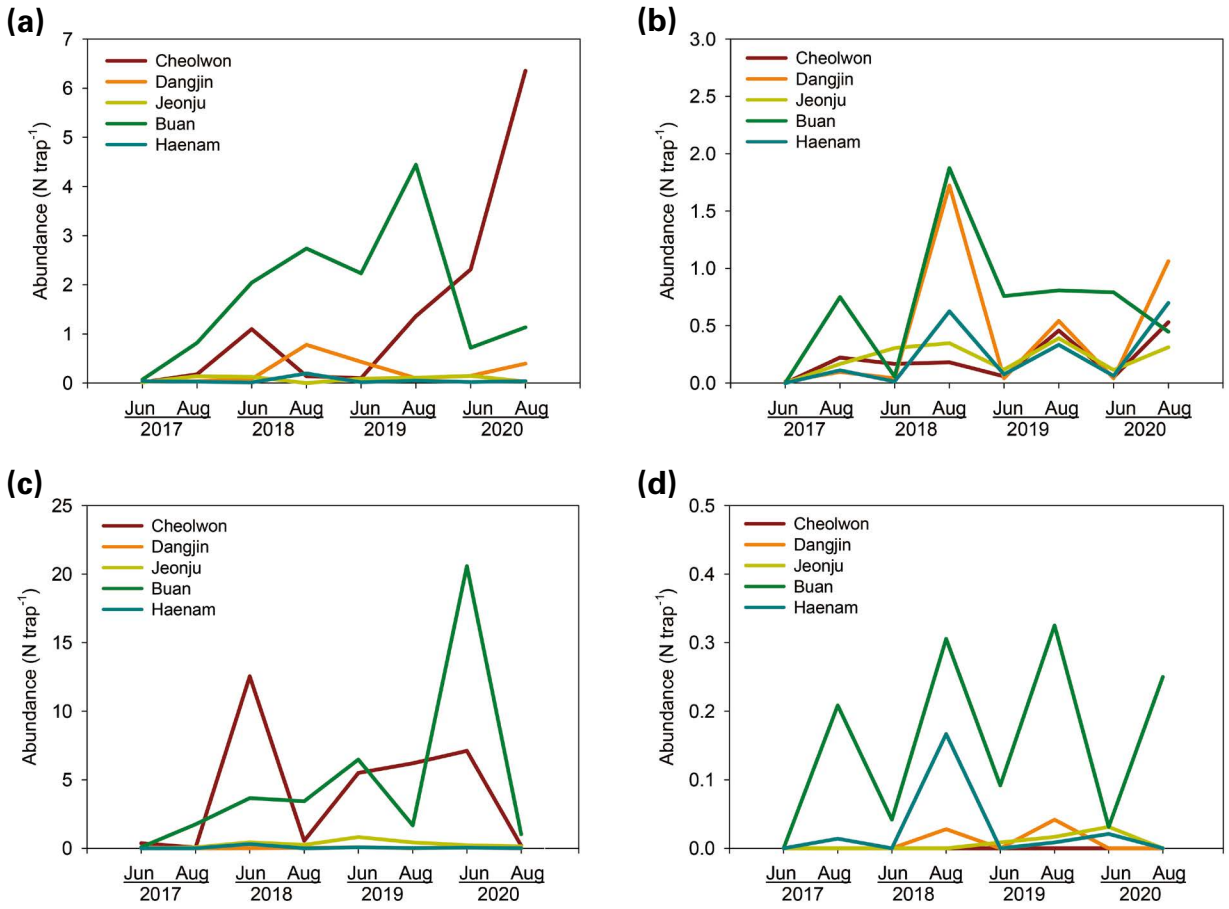

Fig. 3. Seasonal changes in abundance of four insect species. (a) *Rhantus suturalis*, (b) *Hydaticus grammicus*, (c) *Hydrochara affinis*, (d) *Sternolophus rufipes*.

에서 수초 등에 부착하여 산란하지만 사돈물땡땡이는 알집을 수면에 뜨게 만드므로 홍수로 인해 알집이 유실될 수 있다(Larson *et al.* 2000; Yoon *et al.* 2020). 두 종의 유충은 포식성으로 경쟁관계이기 때문에 물환경 변화에 상대적으로 유리한 애기물방개의 개체수가 증가하였을 가능성이 있다.

3.3. 복족류의 지역별 군집 특성

복족류는 총 13종 29,620개체가 관찰되었다. 왕우렁이(*P. canaliculata*), 수정또아리물달팽이(*Hippeutis cantori*), 애기물달팽이(*Austropeplea ollula*) 순으로 많았다(Table 2). Han *et al.* (2007)도 논에서 복족류 14종이 관찰되었다고 하였으며, 본 연구와 종 수에서 차이가 크지 않았던 것은 수서곤충에 비해 종의 분포지역 편중성이 적고 수중트랩을 이용한 채집방법이 유효했기 때문인 것으로 판단된다. MRPP 분석 결과, 6월($A=0.171$, $p=0.016$)과 8월($A=0.524$, $p=0.0003$)에 모두 지역 간 차이가 있었으나, 대부분의 우점종들은 5지역에서 모두 관찰되었다. Miloslavich *et al.* (2013)도 위도상으로 복족류 군집의 종수와 발생밀도가 큰 차이가 없으며 환경에 의한 영향이 적었다고 하였다. 수서 복족류는 농업 등의 인간에 의한 교란이 증가함에 따라 종수는 감소하고 종구성은 비슷해지며 외래종이 증가하는 경향이 있다(Kulkarni *et al.* 2021).

3.4. 복족류 군집의 계절적 변동 및 왕우렁이의 영향

복족류 군집의 계절적 변동을 보면 왕우렁이의 상대밀도와 발생밀도 변화가 가장 뚜렷하였다(Table 2). 왕우렁이는 6월에 복족류 군집의 5.8%를 차지하였으나 8월에는

73.1%로 증가하였고, 발생밀도는 6월에 비해 8월에 평균 38.2배 증가하였다. 왕우렁이는 남미가 원산으로 30°C까지는 생육이 빨라지므로 더운 여름철에 개체수가 급증한 것으로 보인다(Seuffert and Martin 2013). 반대로 일부 종은 8월에 감소하는 경향이 있었는데 이는 왕우렁이의 영향으로 추측할 수 있다. 수정또아리물달팽이는 4년의 조사기간 동안 8월에 모두 왕우렁이와 음의 상관관계를 보였으며, 배꼽또아리물달팽이(*Polypylis hemisphaerula*)와 또아리물달팽이(*Gyraulus convexiusculus*)는 부분적으로 음의 상관관계가 있었다(Fig. 4). 왕우렁이는 잡식성으로 먹이 경쟁에서 유리하고, 다른 복족류의 알이나 유충을 포식할 수 있기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다(Kwong *et al.* 2009). 작은쇠우렁이의 경우 음의 상관관계가 없었는데, 복족류의 산란습성이나 왕우렁이와 접촉했을 때의 행동에 따라 피해 정도가 달라질 수 있다(Maldonado and Martin 2019). 이러한 결과는 왕우렁이가 논 수서 복족류 군집의 계절적 변동에 영향을 미치는 중요한 생물적 요인이라는 것을 보여준다.

왕우렁이는 *Pomacea*속 중에서도 새로운 서식지에서 우점하는 능력이 크며, 논습지뿐만 아니라 자연습지의 식생을 교란시킨다(Horgan *et al.* 2014). 인위적 교란이 클수록 토착종이 줄어들고 외래종의 분포가 증가한다(Bae and Park 2020). 왕우렁이는 전국적으로 논에서 사용되고 있으며 월동가능 지역도 증가하고 있기 때문에 자연습지의 수생태계 교란이 늘어날 수 있다(Bang *et al.* 2003; Lee *et al.* 2019; Shin *et al.* 2021). 왕우렁이의 발생밀도는 온도와 양의 상관관계가 있으며(Chantima *et al.* 2020), 8월 발생밀도도 평균기온이 높은 해남에서 가장 높았기 때문에 온난화에 따라 왕우렁이가 생태계에 미치는 영향은 커질 수 있으며, 이에 대한 장기적인 모니터링과 평가가 요구된다.

Table 2. Dominant species (number of individuals per trap) of gastropods in paddy fields.

	Cheolwon	Dangjin	Jeonju	Buan	Haenam
June					
Pomacea canaliculata	0.28±0.0.8^{a}*	0.00±0.00^{a}	0.17±0.13^{a}	0.11±0.07^{a}	0.70±0.37^{a}*
Cipangopaludina chinensis malleata	0.00±0.00^{a}	0.09±0.08^{a}	0.01±0.01^{a}	0.04±0.01^{a}	0.14±0.09^{a}
Gabbia kiusiuensis	0.17±0.05^{b}	0.18±0.06^{ab}	0.43±0.08^{a}	0.19±0.06^{ab}	0.08±0.03^{b}
Austropeplea ollula	7.64±3.53^{a}	0.23±0.14^{b}	0.68±0.47^{ab}	0.31±0.16^{b}	0.82±0.41^{ab}
Galba truncatula	0.20±0.20^{a}	0.00±0.00^{a}	0.09±0.09^{a}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}
Physa acuta	0.00±0.00^{a}	0.03±0.03^{a}	1.34±1.34^{a}	0.01±0.01^{a}	0.00±0.00^{a}
Hippeutis cantori	0.81±0.72^{a}	0.51±0.20^{a}	2.92±1.82^{a}	1.70±0.80^{a}	0.33±0.15^{a}
Polypylis hemisphaerula	0.13±0.11^{a}	0.06±0.05^{a}	0.34±0.24^{a}	0.01±0.01^{a}	0.03±0.02^{a}
Gyraulus convexiusculus	0.00±0.00^{a}	0.11±0.07^{a}	0.59±0.56^{a}	0.01±0.01^{a}	0.01±0.01^{a}
Total	9.22±1.53^{a}	1.23±0.44^{c}	6.58±1.93^{ab}	2.37±0.71^{bc}	2.11±0.45^{bc}*
August					
Pomacea canaliculata	11.43±1.36^{b}	0.06±0.06^{b}	1.69±0.91^{b}	0.91±0.62^{b}	33.81±9.60^{a}
Cipangopaludina chinensis malleata	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}	0.06±0.02^{a}	0.20±0.02^{a}	0.19±0.13^{a}
Gabbia kiusiuensis	0.11±0.06^{b}	0.25±0.14^{ab}	0.78±0.11^{b}	0.67±0.21^{ab}	0.23±0.06^{ab}
Austropeplea ollula	0.16±0.05^{a}	0.03±0.02^{a}	0.21±0.07^{a}	0.03±0.02^{a}	0.38±0.16^{a}
Galba truncatula	0.01±0.01^{a}	0.01±0.01^{a}	0.02±0.02^{a}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}
Physa acuta	0.00±0.00^{a}	0.19±0.18^{a}	3.86±2.38^{a}	1.07±0.80^{a}	0.35±0.21^{a}
Hippeutis cantori	0.09±0.02^{a}	1.11±0.31^{a}	1.51±0.63^{a}	2.16±0.93^{a}	0.26±0.08^{a}
Polypylis hemisphaerula	0.04±0.04^{b}	1.45±0.47^{a}	1.21±0.34^{ab}	0.06±0.05^{ab}	0.43±0.20^{ab}
Gyraulus convexiusculus	0.00±0.00^{a}	0.08±0.05^{a}	0.03±0.02^{a}	0.08±0.05^{a}	0.05±0.02^{a}
Total	11.84±2.37^{b}	3.34±1.30^{b}	9.39±3.47^{b}	5.26±1.61^{b}	35.73±5.34^{a}

Data represent the mean of four years (±S.E). Different letters in the same row represent significant differences according to the Tukey's test ($p<0.05$). Asterisks indicate significant differences between June and August according to repeated measures ANOVA: *$p<0.05$.

 ©2023. Korean Society of Environmental Biology.

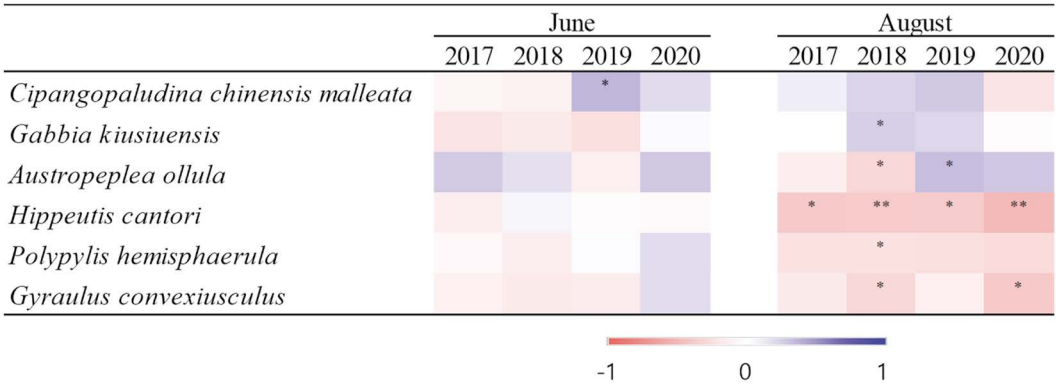

Fig. 4. Pearson's correlation coefficient between abundances of *Pomacea canaliculata* and other gastropods. * and ** indicate significant correlation at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.

적 요

논에 서식하는 수서곤충 및 복족류의 군집 특성과 계절적 변동을 연구하였다. 지역적 특성 및 시기별 변동을 분석하고자 5지역을 대상으로 6월과 8월에 조사하였으며, 일정한 채집효과를 얻기 위해 수중트랩을 이용하였다. 수서곤충은 사돈물땡땡이, 애기물방개, 검정배물벌레 등이 주로 우점하였으며, 지역별로 군집이 구분되었다. 애물땡땡이와 사돈물땡땡이의 분포는 위도상으로 지역별 온도에 영향을 받은 것으로 보인다. 복족류 중에는 왕우렁이, 수정또아리물달팽이, 애기물달팽이 등이 주로 우점하였다. 왕우렁이의 계절적 변동이 가장 뚜렷하였으며, 발생밀도가 6월보다 8월에 38.2배 증가하였다. 수정또아리물달팽이 등의 발생밀도는 왕우렁이와 음의 상관관계가 있었으며, 이는 왕우렁이의 포식이나 먹이경쟁에 의한 영향으로 추측된다. 이러한 결과는 왕우렁이가 논 수서무척추동물 군집의 계절적 변동에 영향을 미치는 중요한 요소라는 점을 보여준다.

CRediT authorship contribution statement

J Eo: Conceptualization, Investigation, Writing-Original draft, Writing-Review & editing. **SM Jun:** Investigation. **SK Choi:** Investigation. **SJ Yeob:** Investigation. **NH An:** Supervision.

Declaration of Competing Interest

The authors declare no conflicts of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. RS-2020-RD009339)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

REFERENCES

AWIS. 2023. Agricultural Weather Information Service. http://weather.rda.go.kr. Accessed October 20, 2023.

Bae MJ and YS Park. Key determinants of freshwater gastropod diversity and distribution: the implications for conservation and management. Water 12:1908. https://doi.org/10.3390/w12071908

Balian EV, H Segers, C Lévèque and K Martens. 2008. The freshwater animal diversity assessment: an overview of the results. Hydrobiologia 595:627–637. https://doi.org/10.1007/s10750-007-9246-3

Bang JH, IC Shin, YM Lee, DG Lee, MJ Park, S Lee, HJ Yoon, SG Park, YI Kuk and SJ Hong. 2023. Characteristics of benthic macroinvertebrate community and distribution of golden apple snail in certified environmentally-friendly paddy field complexes of South Korea. Korean J. Environ. Biol. 41:126–137. https://doi.org/10.11626/KJEB.2023.41.2.126

Brekhov OG, HV Shaverdo, EV Ilyina and MI Shapovalov. 2013. Water beetles of Dagestan, Russia (Coleoptera: Noteridae, Dytiscidae, Haliplidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Spercheidae). Koleopterol. Rundsch. 83:35–52.

Chantima K, S Lekpet, P Butboonchoo and C Wongsawad. 2020. Diversity and abundance of gastropods in relation to physio-chemical parameters in rice paddies, Chiang Rai province,

Thailand. Agr. Nat. Resour. 54:295–300. https://doi.org/10.34044/j.anres.2020.54.3.09

Darilmaz M and Z Ahmed. 2016. Aquatic coleopteran from Pakistan: faunistic and zoogeographical contribution (Coleoptera: Gyrinidae: Dytiscidae: Hydrophilidae). J. Nat. Hist. 50:149–162. https://doi.org/10.1080/00222933.2015.1059515

Dijkstra KDB, MT Monaghan and SU Pauls. 2014. Freshwater biodiversity and aquatic insect diversification. Annu. Rev. Entomol. 59:143–163. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011613-161958

Gonzalez-Solis J and X Ruiz. 1996. Succession and secondary production of gastropods in the Ebro Delta ricefields. Hydrobiologia 337:85–92. https://doi.org/10.1007/BF00028509

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, HS Bang, MH Kim, KK Kang, MP Jung and DB Lee. 2010. Distribution characteristics of water scavenger beetles (Hydrophilidae) in Korean paddy field. Korean J. Environ. Agric. 29:427–433. https://doi.org/10.5338/KJEA.2010.29.4.427

Han MS, YE Na, HS Bang, MH Kim, KK Kang, HK Hong, JT Lee and BG Ko. 2008. Aquatic Invertebrates in Paddy Ecosystem of Korea. National Academy of Agricultural Science. Suwon, Korea.

Han MS, YE Na, HS Bang, MH Kim, MK Kim, KA Roh and JT Lee. 2007. The fauna of aquatic invertebrates in paddy field. Korean J. Environ. Agric. 26:267–273.

Horgan FG, AM Stuart and EP Kudavidanage. 2014. Impact of invasive apple snails on the functioning and services of natural and managed wetlands. Acta Oecol.-Int. J. Ecol. 54:90–100. https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.10.002

Huryn AD, AC Benke and GM Ward. 1995. Direct and indirect effects of geology on the distribution, biomass, and production of the freshwater snail Elimia. J. N. Am. Benthol. Soc. 14:519–534. https://doi.org/10.2307/1467538

Kang JH, C Lim, SH Park, WG Kim, N Sareein and YJ Bae. 2020. Genetic and morphologic variation in a potential mosquito biocontrol agent, *Hydrochara affinis* (Coleoptera: Hydrophilidae). Sustainability 12:5481. https://doi.org/10.3390/su12135481

Kim M, M Han, H Nam, K 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

Kulkarni MR, A Bagade and SM Padhye. 2021. Freshwater gastropod richness patterns along an urbanization gradient in tropical India. J. Urban Ecol. 7:1–5. https://doi.org/10.1093/jue/juab035

Kwong KL, RKY Chan and JW Qiu. 2009. The potential of the invasive snail *Pomacea canaliculata* as a predator of various life-stage of five species of freshwater snails. Malacologia 51:343–356. https://doi.org/10.4002/040.051.0208

Larson DJ, Y Alarie, RE Roughley and AN Nilsson. 2001. Predaceous diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae) of the Nearctic region, with emphasis on the fauna of Canada and Alaska. Ann. Entomol. Soc. Am. 94:769–770. https://doi.org/10.1603/0013-8746(2001)094[0769:PDBCDO]2.0.CO;2

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

Lupi D, A Rocco and B Rossaro. 2013. Benthic macroinvertebrates in Italian rice fields. J. Limnol. 72:184–200. https://doi.org/10.4081/jlimnol.2013.e15

Maldonado MA and PR Martin. 2019. Dealing with a hyper-successful neighbor: effects of the invasive apple snail *Pomacea canaliculata* on exotic and native snails in South America. Curr. Zool. 3:225–235. https://doi.org/10.1093/cz/zoy060

Miloslavich P, JJ Cruz-Motta, E Klein, K Iken, V Weinberger, B Konar, T Trott, G Pohle, G Bigatti, L Benedetti-Cecchi, Y Shirayama, A Mead, G Palomo, M Oritz, J Gobin, A Sardi, JM Diaz, A Knowlton, M Wong and AC Paralta. 2013. Large-scale spatial distribution patterns of gastropod assemblages in Rocky shores. PLoS One 8:e71396. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071396

Molozzi J, LU Hepp and AS Dias. 2007. Influence of rice crop on the benthic community in Itaja Valley. Acta Limnol. Bras. 19:383–392.

Morin A and P Dumont. 1994. A simple model to estimate growth rate of lotic insect larvae and its value for estimating population and community production. J. N. Am. Bentol. Soc. 13:357–367. https://doi.org/10.2307/1467365

Pakulnicka J, A Górski and A Bielecki. 2015. Environmental factors associated with biodiversity and the occurrence of rare, threatened, thermophilous species of aquatic beetles in the anthropogenic pond of the Masurian Lake District. Biodivers. Conserv. 24:429–445. https://doi.org/10.1007/s10531-014-0774-7

Ramsar Convention on Wetlands. 2018. Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and Their Services to People. Ramsar Convention Secretariat.

Saijo H. 2001. Seasonal prevalence and migration of aquatic insects in paddies and an irrigation pond in Shimane Prefecture. Jpn. J. Ecol. 51:1–11.

Salmah CMR, AZ Siregar, AA Hassan and Z Nasution. 2017. Dyna-

 ©2023. Korean Society of Environmental Biology.

mics of aquatic organisms in a rice field ecosystem: effects of seasons and cultivation phases on abundance and predator-prey interactions. Trop. Ecol. 58:177–191.

Seuffert ME and PR Martin. 2013. Juvenile growth and survival of the apple snail *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda: Ampullariidae) reared at different constant temperatures. SpringerPlus 2:312. https://doi.org/doi:10.1186/2193-1801-2-312

Shah DN, JD Tonkin, P Haase and SC Jahnig. 2015. Latitudinal patterns and large-scale environmental determinants of stream insect richness across Europe. Limnologica 55:33–43. https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.11.001

Shin IC, MH Kim and J Eo. 2022. 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, 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* (Gastropods: 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

Stoks R, AN Geertes and L de Meester. 2014. Evolutionary and plastic responses of freshwater invertebrates to climate change: realized patterns and future potential. Evol. Appl. 7:42–55. https://doi.org/10.1111/eva.12108

Taher M and MS Heydarnejad. 2019. Ecological factors affecting aquatic beetle species (Insecta: Coleoptera). Iran. J. Anim. Biosyst. 15:137–146. https://doi.org/10.22067/ijab.v15i2.81541

Taşar GE. 2018. Investigations on the Hydrophiloidea (Coleoptera: Helophoridae, Hydrochidae and Hydrophilidae) fauna of Sanhurfa province. KSU J. Agric. Nat. 21:111–118. https://doi.org/10.18016/ksudobil.298369

Tonkin JD, DN Shah, M Kuemmerlen, F Li, Q Cai, P Haase and SC Jähnig. 2015. Climatic and catchment-scale predictors of Chinese stream insect richness differ with order. PLoS One 10:e0123250. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123250

Wakhid W, A Rauf, M Krisanti, IM Sumertajaya and N Maryana. 2020. Species richness and diversity of aquatic insects inhabiting rice fields in Bogor, West Java, Indonesia. Biodiversitas 21:34–42. https://doi.org/10.13057/biodiv/d210106

Yoon SS, MH Kim, J Eo and YJ Song. 2020. Temperature-dependent development models and phenology of *Hydrochara affinis*. Korean J. Environ. Biol. 38:222–230. https://doi.org/10.11626/KJEB.2020.38.2.222

Yoon SS, MH Kim, SK Choi, J Eo, SI Kwon and YJ Song. 2017. The development of a sampling instrument for aquatic organisms in rice paddy fields: submerged funnel traps with attractants. Korean J. Environ. Biol. 35:640–647. https://doi.org/10.11626/KJEB.2017.35.4.640

SUPPLEMENTARY MATERIALS

Appendix 1. GPS position of survey sites

Cheolwon	Dangjin	Jeonju
38°09′35″N 127°14′36″E	36°55′00″N 126°36′24″E	35°53′01″N 127°08′42″E
38°10′06″N 127°14′28″E	36°55′55″N 126°36′29″E	35°53′23″N 127°08′36″E
38°11′45″N 127°15′24″E	37°01′25″N 126°30′35″E	35°53′43″N 127°07′40″E
38°12′13″N 127°14′56″E	37°02′17″N 126°29′52″E	35°53′00″N 127°06′45″E
38°12′57″N 127°14′28″E	36°58′41″N 126°36′53″E	35°52′38″N 127°05′28″E
38°13′36″N 127°14′26″E	36°58′02″N 126°39′21″E	35°52′39″N 127°01′39″E
38°13′12″N 127°15′01″E	36°57′18″N 126°38′23″E	35°52′16″N 127°01′01″E
38°12′18″N 127°14′08″E	36°56′36″N 126°37′56″E	35°52′16″N 127°00′48″E
Buan	**Haenam**	
35°46′37″N 126°40′05″E	34°40′30″N 126°40′00″E	
35°46′33″N 126°41′15″E	34°39′14″N 126°40′38″E	
35°46′39″N 126°41′13″E	34°38′29″N 126°37′59″E	
35°44′09″N 126°41′49″E	34°34′41″N 126°38′54″E	
35°43′23″N 126°42′25″E	34°33′09″N 126°39′09″E	
35°42′35″N 126°42′15″E	34°31′52″N 126°37′58″E	
35°40′25″N 126°40′36″E	34°32′05″N 126°35′44″E	
35°37′52″N 126°40′07″E	34°31′41″N 126°33′34″E	

 ©2023. Korean Society of Environmental Biology.