

〈Original article〉

## 수중트랩으로 채집된 논 수서생물 군집의 지역 및 시기별 특성

윤성수 · 김명현\* · 어진우 · 권순익 · 남형규 · 송영주

농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화생태과

### Regional and Temporal Characteristics of Aquatic Organism Communities in Rice Paddy Fields, using Submerged Funnel Trap

Sung-Soo Yoon, Myung-Hyun Kim\*, Jinu Eo, Soon-Ik Kwon, Hyung-Kyu Nam and Young-Ju Song

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

**Abstract** - Extensive monitoring of aquatic organisms in rice paddy fields has been difficult due to laborious sampling methods such as quadrat sampling using a hand net. This study aimed to analyze temporal and regional community compositions of aquatic organisms collected with a less time-consuming sampling method. This method involved using submerged funnel traps in rice paddy fields. Submerged funnel traps were useful for capturing taxa containing species that are indicative of environmental changes and highly mobile species that feed on waterbirds. Fifteen taxa including Ampullariidae, Cobitidae, Chironomidae, Hydrophilidae and Dytiscidae determined the community compositions. Among the major taxa, only Chironomidae resistant to environmental disturbances represented temporal variations of aquatic organism communities in rice paddy fields. Ampullariidae, Dytiscidae, and Hydrophilidae, which are prone to be affected by anthropogenic activities, differed among regions.

**Keywords** : biodiversity, chemical light, fish meal, submerged funnel trap

## 서 론

케냐 나이로비에서 2000년에 개최된 제 5차 생물다양성 협약 당사국총회결의안이 등장한 이후 지속 가능한 농업의 과제로 농업생태계의 생물다양성 보전이 강조되고 있다. 특히 우리나라의 경우는 전체 경지 면적 중 약 54%를 논이 차지하며 (Statistics Korea 2016), 논은 두루미, 꼬마잠자리, 수원청개구리 등 다양한 희귀종과 멸종위기종의 서식처로 알려져 있다 (Han *et al.* 2007; Fujioka *et al.* 2010; Roh *et al.* 2014). 이러한 이유로 논은 2008년 창원에서 개최된 제 10차

람사르협약 당사국총회에서 생물다양성 보전 전략의 대상이 되는 습지생태계로 강조되었다 (Kim *et al.* 2011). 또한 우리나라 정부는 친환경농업 확대와 생물다양성 증진을 위해 수서생물을 비롯한 논에 서식하는 다양한 생물 분류군의 분포 조사를 정책적인 목표로 하고 있다 (Ministry of Environment 2017).

지금까지 논에 서식하는 수서생물의 생물다양성과 관련한 국내 연구는 수서무척추동물의 분류 및 분포 현황 (Han *et al.* 2007; Kim *et al.* 2012)이나 수문학적 연결성이나 유기농법 시행여부와 같이 특정 조건 아래에서 논에 서식하는 수서생물의 다양성 차이를 비교하는 연구가 주를 이루었다 (Han *et al.* 2013; Choe *et al.* 2016). 앞에서 언급한 논 수서생물 다양성 연구에서는 주로 모 간격에 들어갈 수 있는 바닥 면적

\* Corresponding author: Myung-Hyun Kim, Tel. 063-238-2503, Fax. 063-238-3823, E-mail. wildflower72@korea.kr

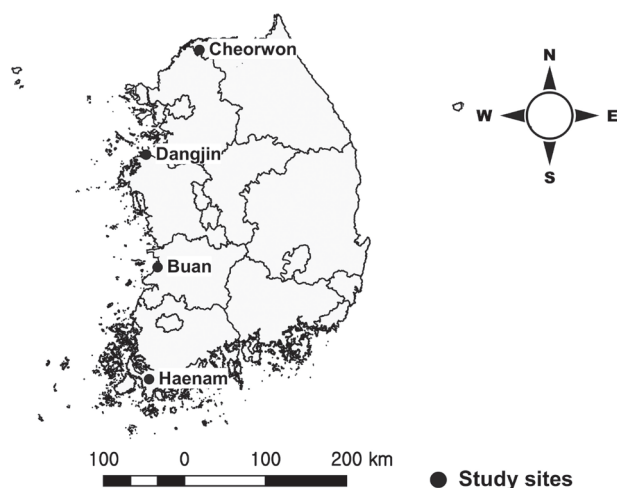
(20×50 cm)을 지닌 방형구 안의 수서생물을 뜰채로 채집하는 방형구법이 사용되었다(Son *et al.* 2012; Han *et al.* 2013; Choe *et al.* 2013, 2016). 방형구법은 한 명이 한 필지에서 5회 채집하는 데 약 1시간 정도 소모되어 높은 노동력을 요구하며(Kang and Chung 2010), 뜰채를 사용할 경우 논과 같이 진흙이 많은 환경에서는 채집 효율이 좋지 않다고 알려졌다(Helgen 2002). 이러한 이유 때문에 시기와 지역에 따라 달라지는 논 수서생물 군집을 대표할 수 있는 자료와 이를 효율적으로 수집할 수 있는 방법에 대한 논의가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 비교적 짧은 수행 시간과 적은 노동력으로 수서생물을 효율적으로 채집할 수 있는 수중트랩(Yoon *et al.* 2017)을 사용하여 채집한 논 수서생물의 군집 조성을 분석하고자 한다. 이를 통해 시기별, 지역별 논 수서생물 군집의 조성을 결정하는 분류군을 확인하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 수서생물 채집

본 연구는 철원, 당진, 부안, 해남 등 4개 지역에서 2015년과 2016년 6월부터 8월까지 2년에 걸쳐 수행되었다(Fig. 1). 채집시기는 월별로 3~13일 이었으며, 각 지역마다 월 간 일수의 차이가 28~35일이 나도록 설정하였다. 수서생물의 채집은 논이 밀집한 지점을 선정하고 지점에서 반경 1 km 내에서 매해 무작위로 선택한 10개의 필지에서 월 1회 수행하

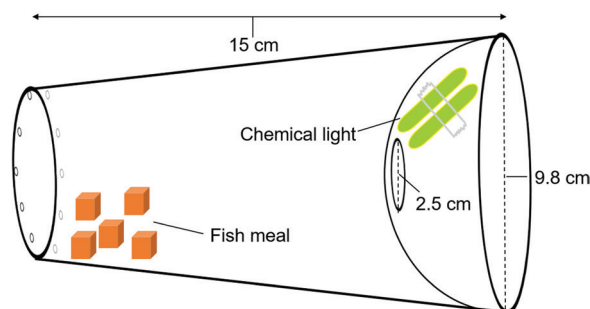


**Fig. 1.** Map of study sites. Each point is the center of a circle with a 1 km. Longitude and latitude (Cheorwon: N 38°12'11" and E 127°14'58", Dangjin: N 37°1'58" and E 126°30'17", Buan: N 35°46'40" and E 126°40'5", Haenam: N 34°31'37" and E 126°33'33").

였다. 필지 당 3개의 수중트랩을 수평으로 눕혀 설치하였고 트랩 간격은 10 m 이상으로 하였다. 수중트랩은 길이가 15 cm 인 플라스틱 컵에 입구 직경이 2.5 cm인 뚜껑을 뒤집어 붙여 제작하였다(Fig. 2). 수중트랩의 바닥에는 지름 2 mm 크기의 구멍을 뚫어 수중트랩의 설치 시 배기와 수거 시 배수가 용이하도록 했다. 수서생물을 수중트랩으로 유인하기 위한 유인물질로 밀가루와 어분을 배합한 과립형 떡밥(Fish meal, Gyompyo, Korea) 3 g과 지름 4 mm 낚시용 캐미라이트(Chemical light, AGAMI, Korea) 2개를 이용하였다. 수중트랩 설치와 회수는 각각 10~12시와 13~15시에 이루어지게 하여 하루 밤 동안 떡밥과 캐미라이트의 유인효과가 모두 적용될 수 있도록 하였다. 수거한 모든 수서생물은 1 mm 크기의 망에 거른 후 70% 에탄올에 담아 동정 전까지 보관하였다. 수중트랩 바닥의 배수 구멍으로 빠져나갈 수 있거나 수거 시 수중트랩 입구를 통해 추가적으로 포획될 수 있는 몸길이 2 mm 이하의 분류군(패충류, 물벼룩 등)은 동정 대상에서 제외되었다. 채집된 수서생물은 해부현미경(Leica DE/MZ 7.5)를 이용하여 국내 문헌을 참고하여 동정하였다(Yoon 1995; Han 2008). 동정은 종 수준까지 확인하는 것을 기본으로 하였으며, 종 수준의 분류가 어려운 경우에는 과(Family)나 속(Genus) 수준까지 동정하였다. 물땀이과(Hydrophilidae)와 물방개과(Dytiscidae)는 성충과 유충 간에 이동성과 먹이 선호성이 다르기 때문에 분리하여 동정했다.

### 2. 자료 분석

통계분석에 사용된 데이터는 월별로 지역 당 10개의 필지에서 설치한 30개의 트랩에서 포획된 수서생물의 개체수를 합산한 것을 사용하였다. 채집된 수서생물 군집의 통계 분석을 위하여 양서류(올챙이)를 제외한 분류군 단위를 과(Family) 수준으로 통일하였고, 개체수는 로그변환 뒤 사용



**Fig. 2.** Lateral view of the submerged funnel trap for sampling aquatic organisms in rice paddy fields (Modified from Yoon *et al.* 2017).

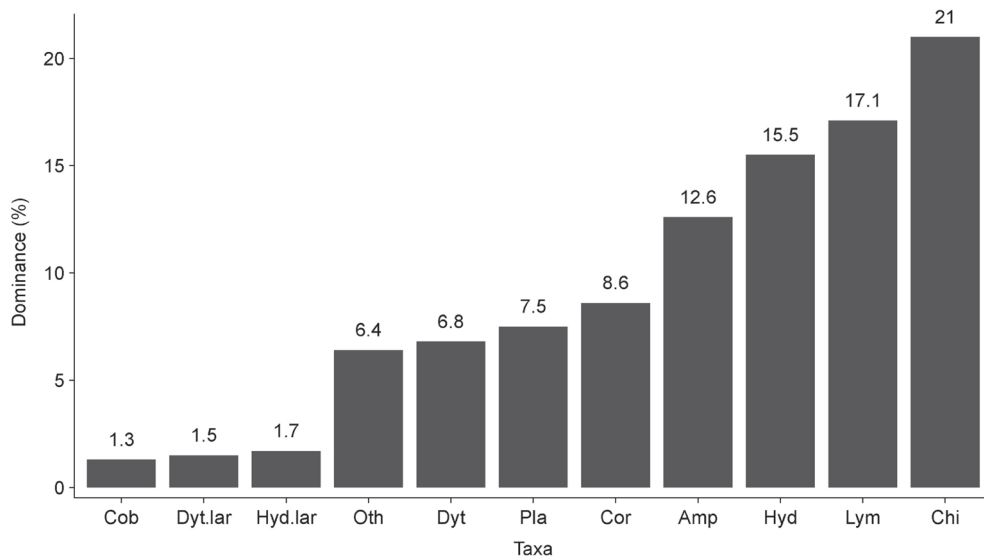
하였다. 수서생물의 월별 군집조성을 확인하기 위하여 거리 기반 중복분석(Distance-based redundancy analysis; dbRDA)을 수행하였다. dbRDA는 실제 생태계의 군집 조성을 잘 반영한다고 알려졌다(Legendre 1999). dbRDA의 거리 기반은 modified-Gower 비유사성척도(Anderson *et al.* 2006)를 사용하였고, 독립변수는 지역과 시기(Month)를 설정하였다. 모형 선정을 위해 양방향 단계별 선택법이 사용되었고, 변수별 유의성은 Monte Carlo 순열검정으로 확인하였다. 또한 독립변수 사이의 설명력과 상호작용을 확인하기 위하여 변동 분할법(Variation partitioning)을 실시하였다. 지역과 시기에 따라 수서생물 군집조성에 유의한 차이가 있는지 확인하기 위해 다중응답중복순열 분석(MRPP; Multi-response permutation procedure)을 수행하였다. 군집 조성에 유의한 영향을 주는 분류군을 선정하기 위해 modified-Gower 비유사성척도를 사용한 비계량형다차원척도법의 축과 각 분류군 개체수의 Pearson 상관분석을 실시하였다. 상관분석 결과( $p < 0.05$ ,  $r^2 > 0.25$ )를 만족하는 분류군의 시기별, 지역별 개체수의 차이를 확인하기 위해 Kruskal-Wallis 검정과 Nemenyi 다중비교분석을 실시하였다. 모든 통계 분석은 R 통계 프로그램을 이용하였다(R Development Core Team 2017). dbRDA, 변동분할분석 그리고 MRPP는 vegan 패키지(Oksanen *et al.* 2017)를 이용했고, Kruskal-Wallis와 Nemenyi 다중비교분석은 PMCMR 패키지(Pohlert 2017)를 활용하였다.

## 결과 및 고찰

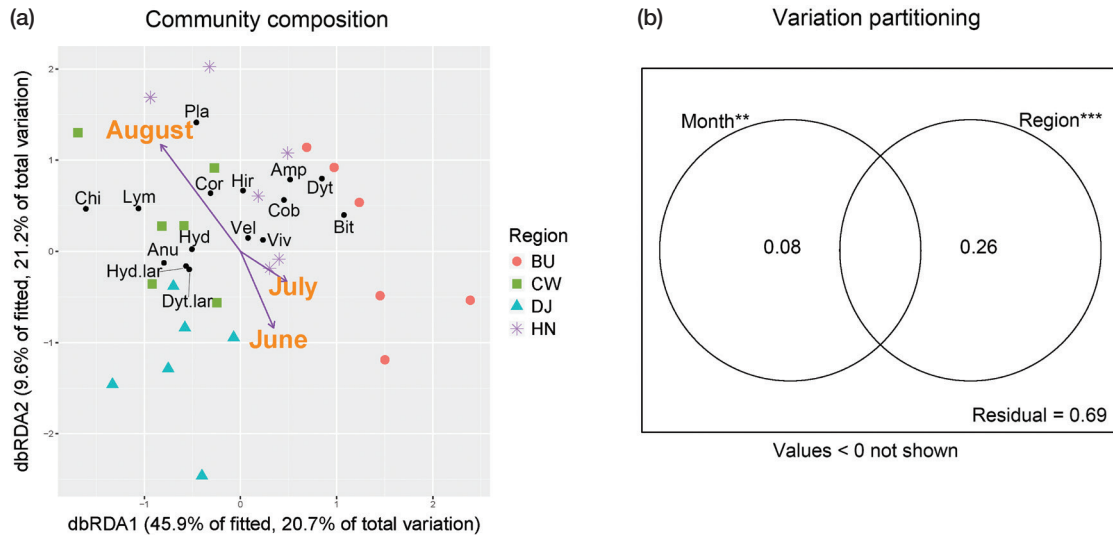
### 1. 수서생물 군집 특성

수중트랩으로 전체 조사기간 동안 모든 지역에서 채집된 수서생물은 총 7강 14목 34과 20607개체였다. 조사 결과 논에서 관찰된 수서생물 중 갈따구과(Chironomidae), 물달팽이과(Lymnaeidae), 물땡땡이과(Hydrophilidae), 사과우렁이과(Ampullariidae), 물벌레과(Corixidae), 또아리물달팽이과(Planorbidae), 물방개과(Dytiscidae), 물방개과 유충, 물땡땡이과 유충, 미꾸리과(Cobitidae)에 속한 종들이 가장 많이 채집된 상위 10개 분류군이였다(Fig. 3). 본 연구에서 채집된 주요 분류군들 중 복족류를 제외하면 대부분이 물속에서 이동성이 높은 분류군들이였다. 상위 분류군 중 복족류, 미꾸리과 그리고 물방개과에 속한 종들은 주로 어분에 유인되고 물땡땡이과나 물벌레과에 속한 종들은 낚시용 캐미라이트에 유인되는 것으로 알려져 있다(Yoon *et al.* 2017).

딱정벌레류(Coleoptera)는 논 수서생물 군집에서 높은 종구성비를 가지는 것으로 알려졌지만, 코어러와 방형구를 사용하여 논 수서무척추동물을 채집했을 때에는 전체 개체의 1% 미만이었으며 갈따구과와 실지렁이과(Tubificidae)는 60% 이상이었다(Kang and Chung 2010; Han *et al.* 2013). 반면에 본 연구에서는 먹이원에 민감한 미꾸리과(Lee and Cho 2004)와 생물지표로 사용되는 물방개과(Burghel *et al.* 2011)와 같은 포식성 수서생물이 비교적 높은 비율



**Fig. 3.** Dominant taxa of aquatic organisms sampled with submerged funnel traps in rice paddy fields (Amp: Ampullariidae; Chi: Chironomidae; Cob: Cobitidae; Cor: Corixidae; Dyt: Dytiscidae; Dyt.lar: Dytiscidae (larvae); Hyd: Hydrophilidae; Hyd.lar: Hydrophilidae (larvae); Lym: Lymnaeidae; Oth: Other taxa; Pla: Planorbidae).



**Fig. 4.** Results of dbRDA and variation partitioning. (a) Triplots of dbRDA results showing community compositions that correspond to independent variables (BU: Buan; CW: Cheorwon; DJ: Dangjin; HN: Haenam; Anu: Anura (tadpoles); Amp: Ampullariidae; Bit: Bithyniidae; Chi: Chironomidae; Cob: Cobitidae; Cor: Corixidae; Dyt: Dytiscidae; Dyt.lar: Dyticidae (larvae); Hir: Hirudinidae; Hyd: Hydrophilidae; Hyd.lar: Hydrophilidae (larvae); Lym: Lymnaeidae; Pla: Planorbidae; Vel: Veliidae Viv: Viviparidae). (b) Venn-diagram illustrating variation partitioning of the aquatic organisms for the independent variables (\*\*:  $p < 0.01$ ; \*\*\*:  $p < 0.001$ ).

로 채집되어 군집 조성을 결정하는 주요 분류군(Pearson's correlation test;  $p < 0.05$ ,  $r^2 > 0.25$ )으로 나타났다. 이는 지금까지 논 수서생물 군집 조성을 파악하는 데 과소평가 될 수 있었던 이동성이 높은 포식성 분류군들이 수중트랩에서 높은 비율로 채집된 결과(Murkin *et al.* 1983)로 보인다. 따라서 수중트랩은 이전에 쉽게 채집하지 못했던 분류군들을 포획할 수 있기 때문에 논 생태계의 먹이망 구조를 파악하는데 보다 유용할 것이다.

## 2. 논 수서생물의 지역과 시기별 군집 특성

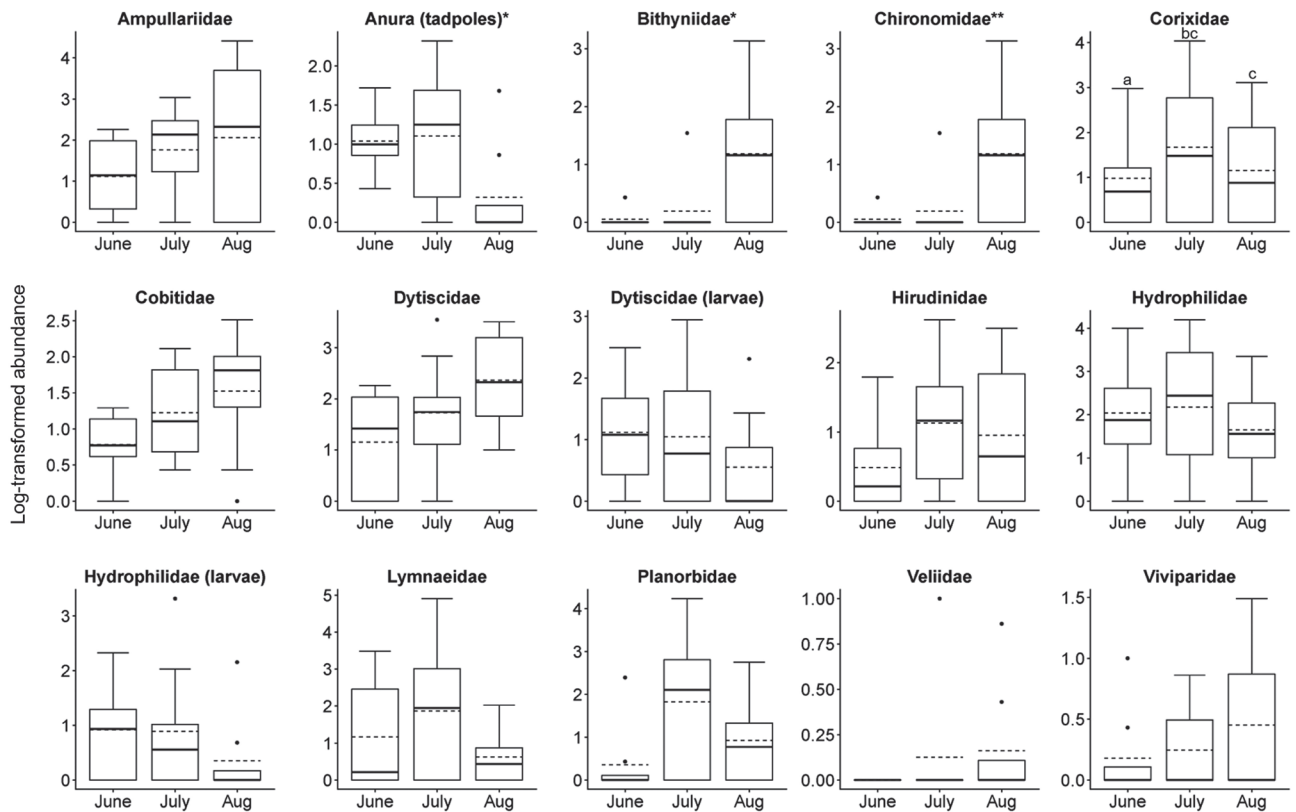
논 수서생물 군집 조성은 지역과 시기 모두 분명한 차이가 있었고, 특히 지역의 차이가 크게 나타났다(Region: MRPP,  $A = 0.12$ ,  $p < 0.001$ ; Month: MRPP,  $A = 0.025$ ,  $p < 0.05$ ). 지역과 시기는 모두 dbRDA 모형의 유의한 변수로 선정되었다(Table 1 & Fig. 4a). 변동분할분석을 통해 군집조성에 미치는 영향력을 확인해보니 지역은 26%의 설명력을, 시기는 8%의 설명력을 가졌다(Fig. 4b). 지역과 시기가 공통적으로 군집 조성에 미치는 영향은 없었다(Fig. 4b).

논 수서생물 군집 조성을 결정하는 주요 분류군(Pearson's correlation test;  $p < 0.05$ ,  $r^2 > 0.25$ )은 사과우렁이과, 양서류(올챙이) (Anura (tadpoles)), 쇠우렁이과(Bithyniidae), 깔따구과, 물벌레과, 미꾸리과, 물방개과, 물방개과(유충), 거머리과(Hirudinidae), 물뽕뽕이과, 물뽕뽕이과(유충), 물달팽이과, 또아리물달팽이과, 깨알소금쟁이과(Veliidae), 논우렁이과

**Table 1.** Results of dbRDA models. Variations in community composition of aquatic organisms collected in rice paddy fields, explained by temporal (month) and spatial (region) variables.

Variables	df	AIC	F	adj- $R^2$	p-Value
Month	2	70.3	2.2	0.05	0.006
Region	3	66.1	3.7	0.23	0.001

(Viviparidae) 15분류군으로 확인되었다. 주요 15분류군 중 쇠우렁이과, 양서류(올챙이) 그리고 깔따구과 만이 월별로 개체수가 통계적으로 유의한 차이를 나타냈고, 특히, 깔따구과는 7월과 8월 사이에 유의하게 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 5). 깔따구과와 같은 1차 소비자는 질소소비 이후 조류(Algae)의 증식과 함께 증가하며 이후 벼가 크게 자라면서 조류의 광합성이 저해 되면 조류의 생물량이 줄어들면서 깔따구과의 개체수가 감소한다고 알려져 있다(Leitão *et al.* 2007). 따라서 깔따구과는 모내기 이후 비료가 투입되고 나서 벼가 크게 성장하는 기간인 6월과 7월 사이에 증식하고 그 이후에 먹이원의 감소와 함께 줄어든 것으로 보인다. 또한 깔따구과는 논에서 가장 많이 발생하는 분류군(Leitão *et al.* 2007; Dalzochio *et al.* 2016)이기 때문에 논에서 발생하는 다양한 환경 조건에 충분히 적응하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 지역과 필지 사이의 다양한 환경 조건 차이와 상관없이 월별 논 관리 및 벼 생육상황에 따라 특징적인 변화를 보인 것으로 사료된다.

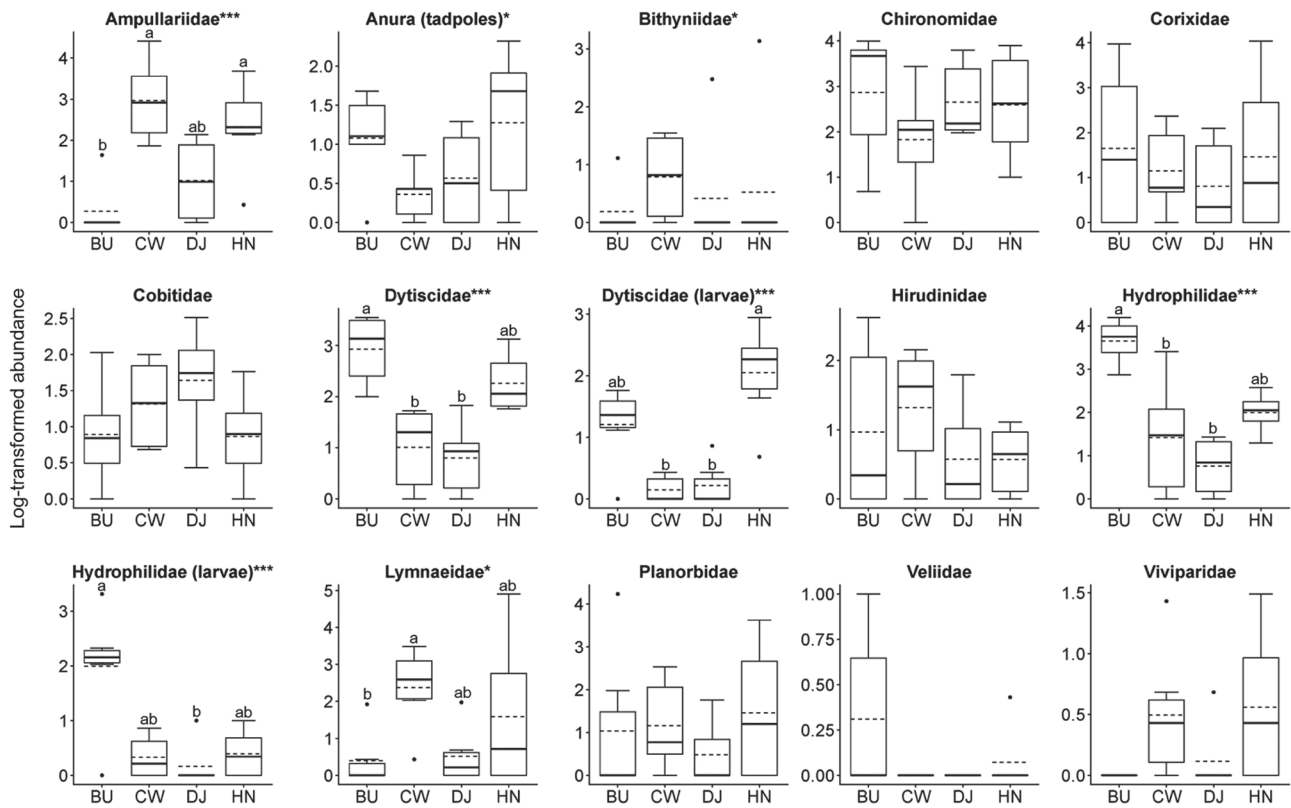


**Fig. 5.** Box-plots showing monthly variations in the log-transformed abundances of major taxa. Box plots represent medians (bold black horizontal line), mean (black dashed lines) and 25% and 75% quartiles (box perimeters). The whiskers show 95% confidence interval, the small circles are outliers. The results of Kruskal-Wallis test (\*:  $p < 0.05$ ; \*\*:  $p < 0.01$ ; \*\*\*:  $p < 0.001$ ). The small letters represent results of Tukey's test; for example, a and b are significantly different from each other ( $p < 0.05$ ) whereas neither a and ab nor b and bc differ significantly ( $p > 0.05$ ).

반면 지역에 따라 개체수의 차이를 나타내는 분류군은 사과우렁이과, 양서류(올챙이), 물방개과, 물방개과 유충, 물땡땡이과, 물땡땡이과 유충, 물달팽이과로 나타났다(Fig. 6). 이 분류군들은 남부지방(부안, 해남)과 중북부지방(당진, 철원)에서 두 분류군의 채집량이 상이했다. 부안에서는 물땡땡이과와 물방개과가 철원과 당진보다 많은 수가 채집되었다. 해남에서도 물땡땡이과와 물방개과 성충과 유충의 개체가 비교적 높았지만, 물방개과 유충만이 철원과 당진에 비해 통계적으로 유의하게 많이 채집되었다. 반면에 철원에서는 사과우렁이과와 물달팽이과가 부안보다 많이 채집되었다. 물땡땡이과와 물방개과에 속한 종들은 지역과 기온에 따라 특징적인 분포를 보이는 것으로 알려졌다(Verberk and Esselink 2005; Han *et al.* 2010, 2011). 따라서 물방개과나 물땡땡이과는 유충시기에 먹이가 되는 깔따구과나 모기과(Culicidae)의 개체가 감소하는 시기에 성충으로 많이 발생하는 것으로 알려졌다(Leitão *et al.* 2007), 본 연구에서는 지역적인 차이에 의해 시기적인 변화가 모호해진 것으로 나타났다. 하지

만 특정 필지의 환경 변수가 고려되지 않았고 과 수준에서 분석됐기 때문에 선행 연구를 토대로 두 분류군의 지역적인 특성을 논의하기 어렵다. 또한 사과우렁이과는 유기농 논에서 분포하는 생물군으로 유기농업 유무와 관련 있는 지역적 특성으로 인해 분포가 결정되는 것으로 알려졌다(Han *et al.* 2013). 따라서 지역별로 상이한 논 관리 현황과 물땡땡이과와 물방개과 그리고 사과우렁이과의 생태적 지위와 연관될 가능성도 높다.

본 연구를 통해서 수중트랩을 활용하면 지역 환경과 시기에 따라 서로 다른 분포 양상을 보이는 수서생물 분류군들을 채집할 수 있다는 것을 확인하였다. 하지만, 이러한 차이를 나타내는 원인까지 규명하지는 못했다. 후속 연구에서 지역과 필지를 대표하는 환경변수의 체계적인 설정과 조사 시기를 늘린다면 논 수서생물 군집 조성을 보다 명확하게 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 예를 들어, 논은 자연습지와 다르게 제초제와 살충제 살포나 수위변화 등 높은 빈도의 인위적인 교란으로 인한 수서생물 군집의 변화가 발생하



**Fig. 6.** Box-plots showing regional differences in the log-transformed abundances of major taxa (BU: Buan; CW: Cheorwon; DJ: Dangjin; HN: Haenam). Box plots represent medians (bold black horizontal line), mean (black dashed lines) and 25% and 75% quartiles (box perimeters). The whiskers show 95% confidence interval, the small circles are outliers. The results of Kruskal-Wallis test (\*:  $p < 0.05$ ; \*\*:  $p < 0.01$ ; \*\*\*:  $p < 0.001$ ). The small letters represent results of Tukey's test; for example, a and b are significantly different from each other ( $p < 0.05$ ) whereas neither a and ab nor b and ab differ significantly ( $p > 0.05$ ).

는 생태계이기 때문에 (Bambaradeniya *et al.* 2004; Wilson *et al.* 2008; Kumar *et al.* 2013; Melo *et al.* 2015), 필지별 수질, 수위 등의 다양한 환경변수를 조사하면 수서생물 군집 차이의 원인을 구명할 수 있을 것이다. 또한 물방개과나 물장군과에 속한 포식자들은 갈다구과와 같은 1차 소비자가 감소한 이후에 급증하는 것으로 알려져 있기 때문에 (Leitão *et al.* 2007), 조사 빈도를 높이거나 조사 기간을 늘리면 포식자와 피식자 사이의 발생 양상을 명확하게 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

## 적 요

기준에 주로 논 수서생물의 채집을 위해 사용된 방형구법과 뜰채법은 높은 노동력을 요구했기 때문에 광범위한 지역을 대상으로 한 모니터링이 어려웠다. 이 연구는 논 수서생물을 보다 신속하게 채집할 수 있는 수중트랩을 사용하여

지역 및 시기별 논 수서생물의 군집 조성을 확인하였다. 수중트랩은 논을 대표하는 수서생물 중 환경 변화를 지표하거나 수조류의 먹이가 되는 이동성이 높은 종이 포함된 분류군을 채집하는 데 유용했다. 사과우렁이과 (Ampullariidae), 미꾸라지과 (Cobitidae), 물벌레과 (Corixidae), 물방개과 (Dytiscidae), 물땡땡이과 (Hydrophilidae), 물달팽이과 (Lymnaeidae) 등 15개 분류군은 논 수서생물 군집 조성을 결정했다. 주요 분류군 중 환경 교란에 강한 갈다구과 만이 논 수서생물 군집의 시기 변화를 대표했다. 인위적인 영향에 민감한 사과우렁이과, 물땡땡이과 그리고 물방개과는 지역별로 분포가 상이했다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 연구개발사업 (과제번호: PJ01228501)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

- Anderson MJ, KE Ellingsen and BH McArdle. 2006. Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. *Ecol. Lett.* 9:683-693.
- Bambaradeniya CN, JP Edirisinghe, DN De Silva, CV Gunatilleke, KB Ranawana and S Wijekoon. 2004. Biodiversity associated with an irrigated rice agro-ecosystem in Sri Lanka. *Biodivers. Conserv.* 13:1715-1753.
- Burghilea CI, DG Zaharescu, PS Hooda and A Palanca-Soler. 2011. Predatory aquatic beetles, suitable trace elements bioindicators. *J. Environ. Monit.* 13:1308-1315.
- Choe LJ, MS Han, M Kim, KJ Cho, KK Kang, YE Na and MH Kim. 2013. Characteristics communities structure of benthic macroinvertebrates in irrigation ponds, within paddy field. *Korean J. Environ. Agric.* 32:304-314.
- Choe LJ, KJ Cho, MS Han, MK Kim, SK Choi, HS Bang, J Eo, YE Na and MH Kim. 2016. Benthic macroinvertebrate biodiversity improved with irrigation ponds linked to a rice paddy field. *Entomol. Res.* 46:70-79.
- Dalozchio MS, R Baldin, C Stenert and L Maltchik. 2016. Can organic and conventional agricultural systems affect wetland macroinvertebrate taxa in rice fields? *Basic Appl. Ecol.* 17:220-229.
- Fujioka M, SD Lee, M Kurechi and H Yoshida. 2010. Bird use of rice fields in Korea and Japan. *Waterbirds* 33:8-29.
- Han MS, HK Nam, KK Kang, M Kim, YE Na, HR Kim and MH Kim. 2013. Characteristics of benthic invertebrates in organic and conventional paddy field. *Korean J. Environ. Agric.* 32:17-23.
- 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.
- Han MS, MH Ki, HS Bang, YE Na, DB Lee and KK Kang. 2011. Geographical distribution of diving beetles (Dytiscidae) in Korean paddy ecosystem. *Korean J. Environ. Agric.* 30:209-215.
- 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. pp. 1-416. 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.
- Helgen JC. 2002. Methods for evaluating wetland condition: developing an invertebrate index of biological integrity for wetlands. US Environmental Protection Agency. Washington DC.
- Kang HK and K Chung. 2010. A comparison of samplers for aquatic macroinvertebrate in rice paddies: aquatic net, quadrat and core. *Korean J. Appl. Entomol.* 49:313-324.
- Kim JO, SH Lee and KS Jang. 2011. Efforts to Improve Biodiversity in Paddy Field Ecosystem of South Korea. *Reintroduction* 1:25-30.
- Kim MH, MS Han, HK Na, KK Kang and M Kim. 2012. Geological distribution of aquatic invertebrates living in paddy fields of South Korea. *Korean J. Soil Sci. Fertil.* 45:1136-1142.
- Kumar A, MB Colton, M Springer and FA Trama. 2013. Macroinvertebrate communities as bioindicators of water quality in conventional and organic irrigated rice fields in Guanacaste, Costa Rica. *Ecol. Indic.* 29:68-78.
- Lee DK and YS Cho. 2004. Effect of organic rice farming on the seasonal occurrence of aquatic animals and predation efficacy of the muddy loach against mosquitoes in rice field. pp. 233-250. In *Ecological Issues in a Changing World: Status, response and strategy* (Hong SK, JA Lee, BS Ihm, A Arina, Y Son, ES Kim and JC Choe eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Legendre P and MJ Anderson. 1999. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecol. Monogr.* 69:1-24.
- Leitão S, P Pinto, T Pereira and MF Brito. 2007. Spatial and temporal variability of macroinvertebrate communities in two farmed Mediterranean rice fields. *Aquat. Ecol.* 41:373-386.
- Melo S, C Stenert, MS Dalzochio and L Maltchik. 2015. Development of a multimetric index based on aquatic macroinvertebrate communities to assess water quality of rice fields in southern Brazil. *Hydrobiologia* 742:1-4.
- Ministry of Environment. 2017. National biodiversity strategy action plan 2017. p. 41, 247.
- Murkin HR, PG Abbott and JA Kadlec. 1983. A comparison of activity traps and sweep nets for sampling nektonic invertebrates in wetlands. *Freshw. Invertebr. Biol.* 2:99-106.
- Oksanen J, FG Blanchet, R Kindt, P Legendre, PR Minchin, RB O'Hara, GL Simpson, P Solymos, MHH Stevens and H Wagner. 2017. *Vegan: Community Ecology Package*. R package. version 2.4-4.
- Pohlert T. 2017. The pairwise multiple comparison of mean tanks package (PMCMR). R package. version 4.1.
- R Development Core Team. 2017. R: a language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://r-project.org>.
- Roh G, A Borzée and Y Jang. 2014. Spatiotemporal distributions and habitat characteristics of the endangered treefrog, *Hyla suweonensis*, in relation to sympatric *H. japonica*.

- Ecol. Inform. 24:78-84.
- Son JK, NC Kim, MH Kim and B Kang. 2012. Community characteristics of benthic macroinvertebrates according to growth environment at rural palustrine wetland. *J. Korea Soc. Environ. Restor. Technol.* 15:129-144.
- Statistics Korea. 2016. Agricultural area survey. [http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=1287](http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1287).
- Verberk WC and H Esselink. 2005. Aggregation of water beetles: mechanisms of dispersal. *Proc. Exper. Appl. Entomol.* 16:51-61.
- Wilson AL, RJ Watts and MM Stevens. 2008. Effects of different management regimes on aquatic macroinvertebrate diversity in Australian rice fields. *Ecol. Res.* 23:565-572.
- Yoon IB. 1995. *Aquatic insects of Korea*. Junghaengsa, Seoul, Korea.
- Yoon S, 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.

Received: 2 March 2018

Revised: 20 March 2018

Revision accepted: 2 April 2018