

# 논 재배방식에 따른 저서성대형무척추동물 군집특성 및 군집안정성 분석

## Analysis of Community Stability and Characteristics of Macroinvertebrates in Paddy Fields by Cultivation Method

신이찬<sup>1</sup> · 김명현<sup>2</sup> · 어진우<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>국립공원연구원 생태조사부 책임연구원, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 기획조정과 농업연구사, <sup>3</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화평가과 농업연구사

I-Chan Shin<sup>1</sup>, Myung-Hyun Kim<sup>2</sup> and Jinu Eo<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Senior researcher, Ecological Survey Division, Korean National Park Research Institute, KNPS, Wonju 26441, Korea

<sup>2</sup>Researcher, Planning & Coordination Division, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

<sup>3</sup>Researcher, Climate change Assessment Division, National Institute of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

Received 1 November 2021, revised 18 January 2022, accepted 27 January 2022, published online 31 March 2022

**ABSTRACT:** This study was conducted to investigate in relation to characteristic of macroinvertebrates in conventional and organic paddy fields. The investigation was conducted five times a year for Suwon, Ansong, Boeun, Gunsan, Gimje, Hamyang, divide into conventional paddy fields and organic paddy fields from 2009 to 2011. The macroinvertebrates collected from the surveyed between conventional and organic paddy fields belonged to 84 species, 47 families, 16 orders, and 6 classes in 3 phyla. In the habitat oriented groups, climbers, swimmers and sprawlers were considerably occupied in conventional and organic paddy fields. In relation to the functional feeding groups, predators such as Odonata, Coleoptera, and Hemiptera were only the highest in paddy field ecosystem, regardless of cultivation method. As a result of community stability analysis, organic paddy fields has been identified much as species high resistance and resilience to environmental change in paddy field ecosystem. Species belonging to the I groups is considered to be important in organic paddy field such as *Sternolophus rufipes*, *Hydrochara affinis*, *Helochares nipponicus*, which has high mobility. In conclusion, it was found that the introduction of coleoptera as a food source was higher than that of conventional paddy fields in organic paddy field where primary consumers were abundant such as Chironomidae spp. and Dixidae sp..

**KEYWORDS:** Community stability, Conventional paddy field, FFGs, HOGs, Organic paddy field

**요 약:** 본 연구는 관행과 유기논에 서식하는 저서성대형무척추동물의 군집특성 및 군집안정성을 알아보고자 수행되었다. 조사는 2009년부터 2011년까지 수원, 안성, 보은, 군산, 김제, 함양 등 6개 지역의 유기논과 관행논을 대상으로 1년에 5회에 걸쳐 실시하였다. 전 지점에서 출현한 저서성대형무척추동물은 총 3문 6강 16목 47과 84종이었다. 서식기능군은 기어오르는무리 (Climbers), 헤엄치는무리 (Swimmers), 기는무리 (Sprawlers)가 대부분을 차지하였으며, 섭식기능군은 잡아먹는무리 (Predators)인 잠자리목 (Odonata), 딱정벌레목 (Coleoptera), 노린재목 (Hemiptera)이 대부분을 차지하는 것으로 나타났으나, 관행과 유기논에서 군집구조의 확연한 차이는 나타나지 않았다. 관행논과 유기논에서의 군집안정성 분석에서는 관행논에 비해 유기논에서 I 그룹에 속하는 종인 애물똥땡이 (*Sternolophus rufipes*), 잔물똥땡이 (*Hydrochara affinis*), 쯤물똥땡이 (*Helochares nipponicus*) 등 이동성이 강한 종과 자연생태계에서 서식하는 고추잠자리 (*Crocothemis servilla*)가 비교적 중요한 종인 것으로 나타났다. 결론적으로 1차 소비자인 깔따구류 (Chironomidae spp.), 모기류 (Dixidae sp.) 등이 풍부한 유기논에서는 이를 먹이원으로 하는 딱정벌레류의 도입이 관행논보다 더 높은 것으로 나타났다.

**핵심어:** 유기논, 관행논, 섭식기능군, 서식기능군, 군집안정성

\*Corresponding author: eoijny@korea.kr, ORCID 0000-0003-3577-9942

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. 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, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

국내 관행농업은 농약과 화학비료를 사용하여 최대한 수확량을 증대시키는 방향으로 수행되어 왔고 농약과 화학비료의 과도한 사용은 생물다양성 감소, 수질 및 토양오염, 재배작물의 안정성 등과 관련한 문제점을 야기하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 농업생태계의 자연환경을 보전하면서 영농활동을 이어갈 수 있는 유기농업이 많은 국가와 지역에서 시행되고 있다 (Ma and Joachim 2006, Han et al. 2013). 친환경농업은 1970년대 이후부터 화학비료 및 농약으로 인해 직접 피해를 받은 생산자가 자발적으로 시작하였고 이후 국가정책으로 친환경농업정책이 추진됨에 따라 그 면적이 지속적으로 확대되고 있다 (Jeong 2006). 국내에서 유기재배로 생산된 친환경농산물의 생산량은 2015년 약 94,000톤, 2017년 113,000톤, 2019년 127,000톤으로 지속적으로 증가하는 추세이다 (국립농산물품질관리원 친환경인증도제정보 <http://www.enviagro.go.kr>). 이것은 사회가 발전함에 따라 소비자들의 자연환경보전에 대한 관심이 증가하면서 (Selfa et al. 2008) 농업생태계의 다양성과 건전성을 향상시키는 유기농업의 필요성이 커졌기 때문으로 여겨진다 (Ma and Joachim 2006).

최근 농업생태계와 관련한 생물다양성 보전의 중요성이 부각되고 있으며 (Benton et al. 2003, Bengtsson et al. 2005, Butler et al. 2009, Gabriel et al. 2010, Winqvist et al. 2011), 그 중 자연습지의 대체서식지로 논습지 (rice fields) 에 대한 관심이 커지고 있다 (Elphick and Oring 1998, Elphick 2000, Tourenq et al. 2001, Ma et al. 2004). 논습지는 계절에 따라 수생태계와 육상생태계가 반복해서 나타나기 때문에 (Fasola and Ruiz 1996) 반자연 습지 생태계의 특성을 보이며 (Elphick 2000, Kadoya et al. 2009, Kim et al. 2011), 이 때문에 수조류를 포함한 다양한 야생동물이 서식하며 (Ma et al. 2004, Gregorio et al. 2011) 특히 수원청개구리, 물방개, 금개구리 등 다수의 멸종위기종이 서식하는 것으로 알려져 있다.

벼를 재배하는 중요한 공간인 논에 물이 유입되면서 벼의 재배가 시작되었으며, 이러한 물의 유입으로 잡초 발생을 억제하여 벼의 생산성을 높이는 한편 습지의 기능도 함께 함으로써 생물의 서식공간을 제공하였다 (Elphick and Oring 2003, Taft and Haig 2005). 이러한 논습지는 자연습지의 대체서식지로 관심이 높아지고

있고 (Tourenq et al. 2001, Ma et al. 2004), 논습지는 벼의 생육에 따라서 수생태계와 육상생태계가 반복하여 나타나기 때문에 이러한 서식공간을 대상으로 계절에 따라서 조류, 양서류, 어류, 곤충류 등 다양한 생물들이 출현하여 (Paoletti 1995), 농업생태계와 관련하여 생물다양성 보전의 중요성이 대두되고 있다 (Gabriel et al. 2010, Winqvist et al. 2011). 그중 수생태의 주요 구성원인 저서성대형무척추동물은 수생태계의 먹이사슬에서 중요한 중간자적 역할을 하는 분류군으로 물리·화학적 서식처 교란에 매우 민감하게 반응하며 (Hynes 1963, Kehde and Wilhm 1972), 또한 사방댐 관련하여서도 장마에 의해 저서성대형무척추동물이 종수 및 개체수의 영향을 받는다 (An et al. 2021) 등 환경요인에 따라 특정 종의 서식, 종수 및 개체수 등 군집구조의 차이가 뚜렷하여 생물학적 지표로 이용되어 왔다 (Hynes 1963).

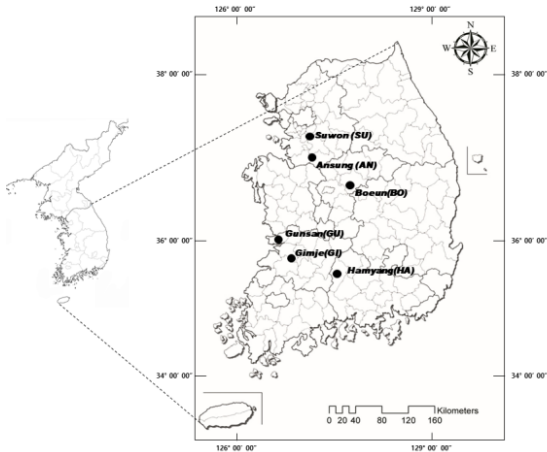
유기농업은 생물학적 원리에 근거한 총체적 관리체계로서 환경보전을 통해 생물다양성을 개선하는 효과를 가지고 있다 (Ma and Joachim 2006). 유기와 관행에 따른 재배방식의 차이는 생물서식지에 다양한 영향을 끼치기 때문에 이들 두 농법에 따른 생물다양성 차이를 비교할 필요가 있다 (Han et al. 2013).

본 연구는 유기농과 관행농인 두 재배법에 따른 저서성대형무척추동물의 특성 및 군집안정성을 통해 논 생태계의 생물다양성 보존과 복원을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 조사기간 및 조사지역

본 연구는 2009년부터 2011년까지 3년에 걸쳐 전국 6개 지역 (수원, 안성, 보은, 군산, 김제, 함양)을 대상으로 실시하였다 (Fig. 1). 각 지역에서는 인접한 유기농법으로 재배하는 논과 관행농법으로 재배하는 논을 선정하였다. 각 지점별 조사는 이앙 이후 20일 정도가 지나고, 또한 수위에 따라 저서성대형무척추동물의 생물군집이 크게 변할 수 있으므로 수심이 5 - 10 cm인 논만을 대상으로 연간 2 - 3회 실시하였다. 논에 서식하는 수서생물의 밀도는 1회 조사를 기준으로 각 조사 지점별로 3회 반복하여 채집한 후 평균값으로 산정하였다.



**Fig. 1.** Map of study sites. Closed circles indicate sampling sites. (A : Suwon (SU), B : Ansung (AN), C : Boeun (BO), D : Gunsan (GU), E : Gimje (GI), F : Hamyang (HY)).

## 2.2 조사방법 및 내용

정량 조사는 아래와 위가 트인 사각 방형구 ( $50 \times 20 \times 20$  cm)를 이용하였다. 사각 방형구를 벼 포기 사이에 고정된 후 그 안의 물을 모두 담아 망목 사이 크기가  $150 \mu\text{m}$ 인 망 ( $30 \times 30$  cm)으로 걸러진 생물을 얼음상자에 넣어 이동하였다. 채집된 저서성대형무척추동물 샘플은 실험실에서 분리하여 동정할 때까지 70% 에탄올에 고정하였다. 고정된 샘플은 해부현미경 (DE/MZ 7.5 Leica)을 이용하여 논 생태계 수서무척추동물 도감 (Han et al. 2008)과 수서곤충검색도설 (Yoon 1995) 등을 참고하여 분류하고 종을 동정하였다. 관행논과 유기논에서 출현종을 기준으로 대한 섭식기능군 (Functional feeding groups: FFGs)과 서식기능군 (Habitat orientation groups: HOGs)을 분석하였다 (Ro 2002, Ro and Chun 2004, Merritt et al. 2008). 절지동물문의 경우 강 (Class) 단위로 갑각강과 곤충강으로 세분하였으며, 특히 곤충강의 경우 목 (Order) 수준에서 생태적 특성이 크게 다르므로 다시 목 단위로 세분화하였다. 서식기능군 (Habitat Oriented Groups, HOGs)은 지치는무리 (Skaters), 헤엄치는무리 (Swimmers), 떠있는무리 (Planktoners), 기는무리 (Sprawlers), 기어오르는무리 (Climbers), 굴파는무리 (Burrowers)로 구분하였으며, 섭식기능군 (Functional Feeding Groups, FFGs)은 썰어먹는무리 (Shredders), 주워먹는무리 (Gathering-collectors), 걸러먹는무리 (Filtering-collectors), 식물뚫는무리 (Plant-piercers), 잡아먹는무리 (Predators)로 구분하였다 (Merritt et al. 2008). 관행논

과 유기논의 군집안정성은 생물군집의 동적평형을 통하여 유지되며, 이는 항상성 기작과 밀접한 연관성을 가지고 있다. 이러한 일련의 기작은 계량화가 가능한 군집의 저항력과 회복력으로 설명될 수 있다. 군집안정성 분석은 수서곤충류를 총 34개의 수서곤충 분류군들 간의 상대적 저항력과 회복력을 각각 10개 등급으로 정리한 Ro and Chun (2004)의 자료를 바탕으로 평가하였다. I 특성군은 저항력과 회복력이 모두 높은 분류군, II 특성군은 저항력은 낮고 회복력이 높은 분류군, III 특성군은 저항력과 회복력이 모두 낮은 분류군, IV 특성군은 저항력은 높으나 회복력이 낮은 분류군으로 구분하여 농법에 따른 군집안정성 차이를 비교 및 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 저서성대형무척추동물상

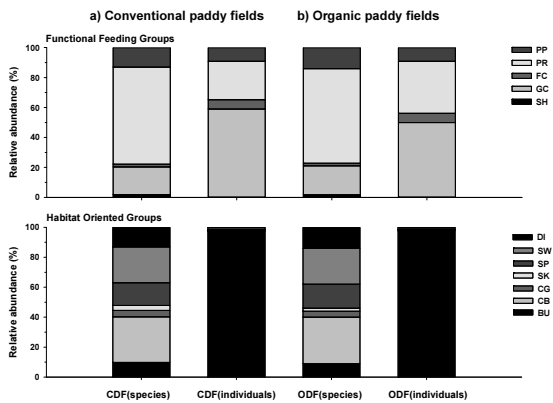
본 조사지역에서 채집된 저서성대형무척추동물은 총 3문 6강 16목 47과 84종 1,486,103 개체/ $\text{m}^2$ 이었다. 출현 분류군 중 환형동물문에서 5종 (6.0%), 연체동물문에서 11종 (13.1%), 절지동물문에서 68종 (81.0%)이 조사되었다 (Table 1). 논 생태계 내에서 곤충류의 주요 출현종인 OHC-group (Odonata-Hemiptera-Coleoptera)에서 50종 (59.5%)이 출현하였고, 그 외의 곤충류가 14종 (16.7%)이 출현하여 OHC-group이 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. 출현한 분류군별 양상을 보면 주로 정수역에서 출현하는 종이 대부분이지만 일반적으로 유수역에서 출현하는 각다귀류 등도 출현하는 것으로 보아 우리나라의 농업이 관개농업을 하기 때문에 유수역인 하천에서 서식하는 종들이 포함되어 출현하는 것으로 나타났다.

관행논에서는 총 3문 6강 13목 44과 75종 617,955 개체로 평균 36종 ( $\pm 11.9$ ) 90,569 개체/ $\text{m}^2$  ( $\pm 108,870.0$ )였으며, OHC-group에서 45종 (60.0%), 그 외의 곤충류에서 30종 (40.0%)이 출현하였다 (Fig. 2).

유기논에서는 총 3문 6강 15목 44과 81종 868,148 개체로 평균 42종 ( $\pm 12.2$ ) 128,645 개체/ $\text{m}^2$  ( $\pm 62,929.5$ )가 출현하였으며, OHC-group에서 59종 (72.8%), 그 외의 곤충류가 22종 (27.2%)이 출현하여 유기논이 관행논에 비해 OHP-group의 상대적 점유율이 높은 것으로 나타났다. 관행논과 유기논의 출현 분류군별 특성은 크게 유의한 결과를 찾을 수는 없었으나 유기논 지역에서 출현한 종이 황등애불이 (*Atylotus horvathi*), 고추잠

**Table 1.** The number of species and families belong to taxa of benthic macroinvertebrates collected from conventional (CPF) and organic paddy fields (OPF)

Phylum	Class	Order	Family	Species	
				CPF	OPF
Mollusca	Gastropoda	Mesogastropoda	4	5	5
		Basommatophora	3	5	5
	Bivalvia	Veneroida	1	1	1
Annelida	Oligochaeta	Archiligochaeta	1	1	1
	Hirudinea	Rhynchobdellida	1	1	1
		Arhynchobdellida	2	3	3
Arthropoda	Crustacea	Anostraca	1		1
		Spinicaudata	1		1
		Laevicaudata	1		1
		Isopoda	1	1	
	Insecta	Ephemeroptera	1	1	1
		Odonata	4	12	13
		Hemiptera	9	13	12
		Coleoptera	5	20	24
		Diptera	11	11	11
		Trichoptera	1	1	1
Total			46	74	80



**Fig. 2.** Composition of habitat oriented groups (HOGs) and functional feeding groups (FFGs) in conventional and organic paddy fields.

자리 (*Crocothemis servilia*), 애물땡땡이 (*Sternolophus rufipes*), 줌물땡땡이 (*Helochaeres nipponicus*), 잔물땡땡이 (*Hydrochara affinis*), 극동큰물진드기 (*Haliplus basinotatus*), 호르바드깨알물진드기 (*Microvelia horvathi*), 깨알물노린재 (*Hebrus nipponicus*), 풍년새우 (*Branchinella kugenumaensis*), 긴꼬리투구새우 (*Triops longicaudatus*), 이형민무늬조개벌레 (*Lynceus biformis*),

털줄뽕조개벌레 (*Caenestheriella gifuensis*) 등 12 종이었고, 관행논 지역에서만 출현한 종은 물벌레 (*Asellus hilgendorfi*), 애실소금쟁이 (*Hydrometra procera*) 2종만이 출현하였다. 이중 고추잠자리 (*C. servilia*)는 고도 2 m에서 882 m 범위에 서식하며 (Jeong et al. 2010), 자연형 저수지나 묵논습지를 선호하고, 자연하천이나 산림계곡에서는 서식하지 않는다고 보고하였다 (Kim et al. 2013). 이는 고추잠자리 (*C. servilia*)가 농약과 같은 화학물질에 취약한 종임을 확인할 수 있으므로 유기논의 지표종으로 가치가 있을 것으로 판단된다.

관행논과 유기논에서 개체수 측면에서 관행논(617,955 개체/m<sup>2</sup>)에 비해 유기논(868,148개체/m<sup>2</sup>)에서 1.4배 이상 높게 출현한 것은 관행논 지역에서 유입된 농약과 같은 화학물질이 수체 내에 서식하는 저서성대형무척추동물에게 영향을 주었기 때문인 것으로 판단된다. 논 수생태계에서 화학비료의 사용은 그 서식처에 서식하는 생물의 종수와 개체수를 감소시킨다는 결과와 유사한 결론을 본 연구에서도 확인하였다 (Grant et al. 1983, Mesléard et al. 2005, Han et al. 2013).

논 생태계의 주요 포식자인 OHC-group은 다른 생물을 섭식하는 것으로 알려져 있다 (Jakob and Poulin

2016). 이러한 OHC-group는 논 생태계에서 주로 우점하는 깔따구류 등을 섭식하는 잡아먹는무리 (Predators)로서 먹이원이 감소하면 먹이원이 풍부한 서식처로 이동하는 것으로 보고된 바 있다 (Katayama et al. 2013). 논에 물이 유입되고 유기물이 증가하며 깔따구류가 대발생하는 것이 이미 많은 연구를 통해서 보고된 바 있다 (Simpson et al. 1994).

이는 OHC-group이 관행논에 비해 더 높은 점유율을 보이는 것은 유기논에 서식하는 깔따구류 등이 상대적으로 풍부하기 때문으로 판단된다. 또한 관행에 비해 유기논이 비교적 생태학적으로 안정적인 상태로 보여진다 (Wilson et al. 2005). 특히 잔물땀방이는 모기유충을 하루에 800마리 이상 섭식이 가능하다고 추정한다 있으므로 (Baek et al. 2014), 유기논에는 모기유충을 비롯한 깔따구류 등이 풍부하게 서식하기 때문에 이를 먹이원으로 하는 딱정벌레류가 도입됨으로 종다양성이 높아진 것으로 판단된다.

### 3.2 섭식기능군 및 서식기능군 분석

일반적인 유수역의 성격을 띠는 하천생태계는 외부 유기원인 나뭇잎이나 나뭇가지와 같은 CPOM (Coarse Particulate Organic Matter)을 먹이원으로 하는 찢어먹는무리 (Shredders)가 높은 점유율을 나타내며, 중하류로 내려갈수록 주워먹는무리 (Gathering-collectors)와 걸러먹는무리 (filtering-collectors)의 점유율이 높아지는 것으로 알려져 있으나 (Ro and Chun 2004), 논 생태계는 물을 가두어 형성된 정수역적 특징을 가지고 있다. 이러한 특징을 가지는 관행 및 유기논의 섭식기능군과 서식기능군을 분석한 결과 정수지역에 서식하는 잠자리목 (Odonata), 딱정벌레목 (Coleoptera), 노린재목 (Hemiptera)이 우세하게 출현하여 잡아먹는무리 (Predators; 37종, 62.7%)가 대부분을 차지하였으며, 주워먹는무리 (Gathering-Collectors; 12종, 20.3%), 찢어먹는무리 (Plant-Piecrers; 8종, 13.6%), 찢어먹는무리 (Shredders)와 굵어먹는무리 (Scrappers)가 각각 1종 (1.7%) 등의 순으로 출현 빈도를 보였다.

관행논에서는 잡아먹는무리 (Predators)가 35종으로 64.81%, 주워먹는무리 (Gathering-collectors)가 10종으로 18.52%, 찢어먹는무리 (Plant-Piecrers)가 7종 12.96%, 찢어먹는무리 (Shredders)와 굵어먹는무리 (Scrappers)가 각각 1종으로 1.85%를 차지하는 순으로

나타났다. 이와 유사하게 유기논에서는 잡아먹는무리 (Predators)가 36종으로 63.16%, 주워먹는무리 (Gathering-collectors)가 11종으로 19.30%, 찢어먹는무리 (Plant-Piecrers)가 8종 14.04%, 찢어먹는무리 (Shredders)와 굵어먹는무리 (Scrappers)가 각각 1종으로 1.75%를 차지하는 순으로 나타나 재배방법에 따른 저서성대형무척추동물의 섭식기능군은 큰 차이가 없는 것으로 나타내었다. 그러나 재배방법과 상관없이 논 생태계 내에서 잡아먹는무리 (Predators)는 63% 이상인 것을 나타나 논 생태계에서는 잡아먹는무리의 비중이 높은 특징을 보이는 것으로 보였다 (Fig. 2).

서식기능군 (HOGs, Habitat Oriented Groups) 분포 특성은 서식지의 서식환경의 특성을 반영한다. 일반적으로 유수역인 하천에서는 주로 하상구조가 돌로 구성되어 돌에 붙어 서식하거나 하상에서 생활하는 붙는무리 (Clingers)와 기는무리 (Sprawlers)가 비교적 높은 비율로 출현하지만, 논 생태계에서는 서로 다른 서식기능군 조성을 보인다 (Jun et al. 2011). 이러한 논 생태계인 관행논과 유기논의 서식기능군을 분석한 결과 기어오르는무리 (Climbers)가 31종으로 30.10%, 헤엄치는무리 (Swimmers)가 24종 23.30%, 기는무리 (Sprawlers)가 16종 15.53%, 잠수하는무리 (Divers) 14종 13.59%, 굴파는무리 (Burrowers) 10종 9.71%, 그리고 붙는무리 (Clingers)와 지치는무리 (Skaters)가 각각 1종으로 3.88%를 차지하는 순으로 나타났다 (Fig. 2).

관행논과 유기논을 비교한 결과 관행논은 기어오르는무리 (Climbers)가 28종으로 30.43%, 헤엄치는무리 (Swimmers)가 22종 23.91%, 기는무리 (Sprawlers)가 14종 15.22%, 잠수하는무리 (Divers) 12종 13.04%, 굴파는무리 (Burrowers) 9종 9.78%, 그리고 붙는무리 (Clingers) 4종 4.35%, 지치는무리 (Skaters) 3종으로 3.26%를 차지하는 순으로 나타났다. 유기논에서는 기어오르는무리 (Climbers)가 31종으로 31.00%, 헤엄치는무리 (Swimmers)가 24종 24.00%, 기는무리 (Sprawlers)가 16종 16.00%, 잠수하는무리 (Divers) 14종 14.00%, 굴파는무리 (Burrowers) 9종 9.00%, 그리고 붙는무리 (Clingers) 4종 4.00%, 지치는무리 (Skaters) 2종으로 2.00%를 차지하는 순으로 관행논과 거의 유사한 것으로 나타내었다.

관행논과 유기논에서 서식기능군의 차이를 확인한 결과 거의 유사한 결과를 나타냈으나 논 생태계는 기어오르는무리 (Climbers), 기는무리 (Sprawlers), 헤엄치

는무리 (Swimmers), 잠수하는무리 (Divers)의 종수의 비율이 높은 것은 정수역을 선호하는 잠자리목(Odonata), 딱정벌레목 (Coleoptera), 노린재목 (Hemiptera) 등 분류군과 오염에 대한 상대적 내성범위가 넓은 갈따구류 (Chironomidae spp.) 등의 종수 및 개체수 밀도가 높게 나타났기 때문에 사료된다. 그중 개체수 밀도가 매우 높은 갈따구류 (Chironomidae spp.)는 논 저질토에 U자형 소굴을 만들고 그 곳에 수류를 발생시켜 호흡을 하고 먹이를 얻거나 배설물을 저질표층에 배설하는 등의 역할을 한다. 이로 인해서 저질토의 20 cm 정도 깊이 까지 산소가 공급이 된다 (Shin and Kim 2014). 이러한 논 생태계의 특성 중 서식기능군이 특정 기능군에 치우치지 않고 다양한 특징을 보이는 것도 하나의 특이한 생태적 특징인 것으로 판단된다.

3.3 군집안정성 분석

수생태계의 안정성은 생물군집의 동적평형을 통하여 유지되는데 이러한 일련의 기작은 계량화가 가능한 군집의 저항력과 회복력으로 설명이 가능하다 (Ro and Chun 2004). 수서곤충의 상대적 회복력과 저항력을 기준으로 4개의 특성군으로 나눌수 있다. I 특성군에 포함되는 분류군은 상대적 저항력과 회복력이 높은 집단으로 교란된 논 생태계에서 생물군집이 회복될 때 가장 먼

저 유입되는 종이다. II 특성군에 포함되는 분류군은 상대적 저항력은 낮으나 높은 회복력을 갖는 집단으로 교란이 자주 발생하는 환경에 적응한 종이다. III 특성군에 해당하는 분류군은 상대적 저항력과 회복력이 낮은 집단으로 인위적인 교란에 민감하게 반응하는 종이다. IV 특성군에 해당하는 분류군은 높은 상대적 저항력을 갖지만 회복력은 떨어지는 종이다.

관행논과 유기논의 군집 안정성 분석 결과 전체적으로 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났으나 I 특성군에 속하는 속의 circle 크기가 관행논에 비해 유기논이 큰 것으로 나타나 수환경 변화에 저항력 8, 회복력 7인 집단인 Coleoptera인 깨알물방개 (*Laccophilus difficilis*), 꼬마물방개 (*Hydroglyphus japonicus*), 테물방개 (*Allodesus megacephalus*), 가는줄물방개 (*Hygrotus chinensis*), 알물방개 (*Hyphydrus japonicus*), 애기물방개 (*Rhantus suturalis*), 줄무늬물방개 (*Hydaticus bowringii*), 꼬마줄물방개 (*Hydaticus grammicus*), 아담스물방개 (*Graphoderus adamsii*), 검정물방개 (*Cybister brevis*), 자색물방개 (*Noterus japonicus*), 알락물진드기 (*Haliplus simplex*), 극동큰물진드기 (*Haliplus basinotatus*), 샤아프물진드기 (*Haliplus sharpi*), 중국물진드기 (*Peltodytes sinensis*), 물진드기 (*Peltodytes intermedius*), 점박이물팽팽이 (*Berosus punctipennis*), 뒷가시물팽팽이 (*Berosus lewisius*), 애넓적물팽팽이 (*Enochrus simulans*), 북방물팽팽이 (*Hydro-*

Table 2. Analysis of stability factors-relative resistance and resilience in conventional and organic paddy fields

Cultivation method	Community stability			
	I group	II group	III group	IV group
Conventional paddy field	71.15%	1.92%	7.69%	19.23%
Organic paddy field	71.93%	3.51%	7.02%	17.54%

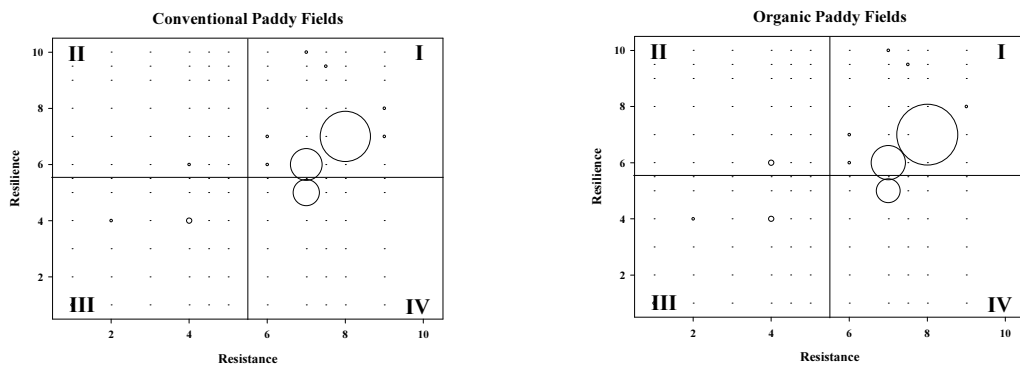


Fig. 3. Analysis of stability factors-relative resistance and resilience in conventional and organic paddy fields. The difference sizes of circles mean the number of genus.

*chara libera*), 애물뽕뎡이(*Sternolophus rufipes*), 잔물뽕뎡이(*Hydrochara affinis*), 쏘물뽕뎡이(*Helochaeres nipponicus*) 등 23종의 개체수 현존율이 관행보다 높은 것으로 나타났다. 이는 논 생태계 내에서 농업 활동과 같은 교란된 후, 생물군집이 회복될 때 가장 먼저 유입되는 종으로 유기논이 빠른 회복을 보이는 것으로 나타났다(Table 2, Fig. 3).

Han et al. (2013)은 유기농법과 관행농업 재배 지역에서 유기농법에서만 출현한 종을 황등애붙이(*Atylotus horvathi*), 고추잠자리(*Crocothemis serviliasservilia*), 애물뽕뎡이(*Sternolophus rufipes*), 극동큰물진드기(*Haliphys basinotatus*), 호르바드개알물진드기(*Microvelia horvathi*), 깨알물노린재(*Hebrus nipponicus*), 민무늬조개벌레(*Lynceus dauricus*), 털줄뽕쭈코조개벌레(*Caenestheriella gifuensis*) 등 총 8종을 보고한 바 있다. 그러나 본 연구에서는 쏘물뽕뎡이(*H. nipponicus*), 잔물뽕뎡이(*H. affinis*), 애물뽕뎡이(*S. rufipes*), 극동물진드기(*H. basinotatus*), 고추잠자리(*Crocothemis serviliasservilia*) 등 5종이 유기논에서만 출현한 것으로 확인되었다. Han et al. (2013)이 보고한 유기농업에서만 출현한 황등애붙이(*Atylotus horvathi*), 민무늬조개벌레(*Lynceus dauricus*), 털줄뽕쭈코조개벌레(*Caenestheriella gifuensis*), 극동큰물진드기(*Haliphys basinotatus*), 호르바드개알물진드기(*Microvelia horvathi*), 깨알물노린재(*Hebrus nipponicus*) 등은 우리나라의 농업이 관개농업에 의한 특정 지역의 서식하는 특성을 반영하는 종으로 하천 및 저수지에서 유입된 것으로 판단되어 유기논 서식 특성에는 큰 의미가 없을 것으로 판단된다. 따라서 주변환경에서 도입 가능하고 이동성이 높은 쏘물뽕뎡이(*H. nipponicus*), 잔물뽕뎡이(*H. affinis*), 애물뽕뎡이(*S. rufipes*), 그리고 자연생태계 내에 서식하는 고추잠자리(*Crocothemis serviliasservilia*) 등 4종이 유기논 서식에 적합한 종이라 사료된다. 또한 이들은 논 수생태계의 건전성이 확보된다면 종수 및 개체수가 높아질 것으로 판단된다. 관행논에 비해 유기논에서 II 특성군에 포함되는 분류군은 비교적 높은 것으로 나타났는데, 이는 상대적 저항력(4)은 낮으나 높은 회복력(6)을 갖는 집단이 파리목의 황등애붙이(*Atylotus horvathi*)와 대만재등애(*Tabanus amaenus*)로 교란이 자주 발생하는 환경에 적응 가능한 종이다. 유기논에서는 황등애붙이(*A. horvathi*)만이 출현하였으나 이러한 파리목의 경우에는 딱정벌레목에 비해 이동성이 매우 낮기 때문에 군집안정성에 대해서는 큰 의미를 부여하기 어려울 것으로 사료된다.

일반적으로 논 생태계는 농업활동으로 인해 매해 일정한 형태로 변화와 회복을 통한 순환성을 가지고 있으므로 이러한 곳에서 서식하는 종들은 대부분 직·간접 직후에 빠르게 이동성을 통한 회복이 가능한 종들로 구성되는 것으로 추정되지만 논 수생태계 조사를 통한 대표성을 얻기 위해서는 많은 자료가 필요하기 때문에 추후에는 다양한 조사연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서 출현한 저서성대형무척추동물은 총 3문 6강 16목 47과 84종이었다. 서식기능군은 기어오르는무리(Climbers), 헤엄치는무리(Swimmers), 기는무리(Sprawlers)가 대부분을 차지하였으며, 섭식기능군은 잡아먹는무리(Predators)인 잠자리목(Odonata), 딱정벌레목(Coleoptera), 노린재목(Hemiptera)이 대부분을 차지하는 것으로 나타났으나, 관행과 유기논에서 군집구조의 확연한 차이는 나타나지 않았다. 관행논과 유기논에서의 군집안정성 분석에서는 관행논에 비해 유기논에서 I 그룹에 속하는 종인 애물뽕뎡이(*Sternolophus rufipes*), 잔물뽕뎡이(*Hydrochara affinis*), 쏘물뽕뎡이(*Helochaeres nipponicus*) 등 이동성이 강한 종과 자연생태계에서 서식하는 고추잠자리(*Crocothemis servilia*)가 비교적 중요한 종인 것으로 나타났다. 결론적으로 1차 소비자인 갈따구류(Chironomidae spp.), 모기류(Dixidae sp.) 등이 풍부한 유기논에서는 이를 먹이원으로 하는 딱정벌레류의 도입이 관행논보다 더 높은 것으로 나타났다. 논 생태계는 농업활동으로 인해 매해 일정한 형태로 변화와 회복을 통한 순환성을 가지고 있으므로 이러한 곳에서 서식하는 종들은 대부분 직·간접 직후에 빠르게 이동성을 통한 회복이 가능한 종들로 구성되는 것으로 추정되지만 논 수생태계 조사를 통한 대표성을 얻기 위해서는 많은 자료가 필요하기 때문에 추후에는 다양한 조사지역을 대상으로 조사연구를 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01507302)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- An, C.H., Han, J.S., Hyun, J.B., Choi, J.K., and Lee, H.G. 2021. Comparison of the effects of continuous erosion control dams on benthic macroinvertebrate communities before and after the rainy season. *Ecology and Resilient Infrastructure* 8: 54-63.
- Baek, H.M., Kim, D.G., Baek, M.J., Lee, C.Y., Kang, H.J., Kim, M.C., Yoo, J.S., and Bae, Y.J. 2014. Predation efficiency and preference of the Hydrophilid Water Beetle *Hydrochara affinis* (Coleoptera: Hydrophilidae) larvae on two mosquitos *Culex pipiens molestus* and *Ochlerotatus togoi* under laboratory conditions. *Korean Journal of Environmental Biology* 32: 112-117.
- Bengtsson, J., Ahnström, J., and Weibull, A.C. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 42: 261-269.
- Benton, T.G., Vickery, J.A., and Wilson, J.D. 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?. *Trends in Ecology and Evolution* 18: 182-188.
- Butler, S.J., Brooks, D., Feber, R.E., Storkey, J., Vickery, J.A., and Norris, K. 2009. A cross-taxonomic index for quantifying the health of farmland biodiversity. *Journal of Applied Ecology* 46: 1154-1162.
- Elphick, C.S. 2000. Functional equivalency between rice fields and seminatural wetland habitats. *Conservation Biology* 14: 181-191.
- Elphick, C.S. and Oring, L.W. 1998. Winter management of Californian rice fields for waterbirds. *Journal of Applied Ecology* 35: 95-108.
- Elphick, C.S. and Oring, L.W. 2003. Conservation implications of flooding rice fields on winter waterbird communities. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 94: 17-29.
- Fasola, M. and Ruiz, M. 1996. The value of rice fields as substitutes for natural wetlands for waterbirds in the Mediterranean region. *Colonial Waterbirds* 19: 122-128.
- Gabriel, D., Sait, S.M., Hodgson, J.A., Schmutz, U., Kunin, W.E., and Benton, T.G. 2010. Scale matters: the impact of organic farming on biodiversity at different spatial scales. *Ecology Letters* 13: 858-869.
- Grant, I.F., Tirol, A.C., Aziz, T., and Watanabe, I. 1983. Regulation of Invertebrate Grazers as a Means to Enhance Biomass and Nitrogen Fixation of Cyanophyceae in Wetland Rice Fields. *Soil Science Society of America Journal* 47: 669-675.
- Gregorio, M.T., David, A., Javier, B., and Jordi, F. 2011. Using landsat images to map habitat availability for waterbirds in rice fields. *Ibis* 153: 684-694.
- Han, M.S., Na, H.K., Kang, K.K., Kim, M.R., Na, Y.E., Kim, H.R., and Kim, M.H. 2013. Characteristics of benthic invertebrates in Organic and Conventional Paddy field. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 32: 17-23.
- Han, M.S., Na, Y.E., Bang, H.S., Kim, M.H., Kang, K.K., Hong, H.K., Lee, J.T., and Ko, B.G. 2008. Aquatic invertebrates in paddy ecosystem of Korea. *National Academy of Agricultural Science, Swon*. p. 1-529. (in Korean)
- Hynes, H.B.N. 1963. *The Biology of Polluted Waters*. Liverpool Univ. Press, Liverpool.
- Jakob, C. and Poulin, B. 2016. Indirect effects of mosquito control using bti on dragonflies and damselflies (Odonata) in the Camargue. *Insect Conservation and Diversity* 9: 161-169.
- Jeong, E.M. 2006. "The development and characteristics of the environment-friendly agricultural policy in Korea" *Korean Journal of Organic Agriculture* 14(2): 117-137.
- Jeong, S.B., Oh, H.S., Jeon, H.S., Yang, K.S., and Kim, W.T. 2010. Aquatic insects fauna and characteristics of distribution on Jeju island wetlands. *Journal of wetlands research* 2: 35-46.
- Jun, Y.C., Kim, N.Y., Kwon, S.J., Han, S.C., Hwang, I.C., Park, J.H., Won, D.H., Byun, M.S., Kong, H.Y., Lee, J.E., and Hwang, S.J. 2011. Effects of land use on benthic macroinvertebrate communities: Comparison of two mountain streams in Korea. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* 47: S35-S49.
- Kadoya, T., Suda, S., and Washitani, I. 2009. Dragonfly crisis in Japan: a likely consequence of recent agricultural habitat degradation. *Biological Conservation* 142: 1899-1905.
- Katayama, N., Goto, T., Narushima, F., Amano, T., Kobori, H., and Miyashita, T. 2013. Indirect positive effects of agricultural modernization on the abundance of Japanese tree tadpoles in rice fields through the release from predators. *Aquatic Ecology* 47: 225-234.
- Kehde, P.M. and Wilhm, J.L. 1972. The effects of grazing by snails on community structure of periphyton in laboratory streams. *The American Midland Naturalist* 16: 8-24.
- Kim, J.O., Lee, S.H., and Jang, K.S. 2011. Efforts to Improve Biodiversity in Paddy Field Ecosystem of South Korea. *Reintroduction* 1: 25-30.
- Kim, J.S., Kwak, J.I., Noh, T.W., and Yi, P.I. 2013. Characteristics of Odonata communities based on Habitat types of superb biotope in Wonju city, Korea. *Korean Journal of Environment Ecology* 27: 209-218.
- Ma, S.-m. and Joachim, S. 2006. Review of History and Recent Development of Organic Farming Worldwide. *Agricultural Sciences in China* 5: 169-178.
- Ma, Z., Li, B., Zhao, B., King, K., Tang, S., and Chen, J. 2004. Are artificial wetlands good alternatives to natural wetlands for waterbirds?-a case study on Chongming Island, China. *Biodiversity Conservation* 13: 333-350.



- Merritt, R.W., Cummins, K.W., and Berg, M.B. 2008. An introduction to the aquatic insects of North America. 4th ed. Kendall/Hunt Publish. Co. Dubuque, Iowa, pp. 1214
- Mesléard, F., Garnero, S., Beck, N., and Rosecchi, É. 2005. Uselessness and indirect negative effects of an insecticide on rice field invertebrates. *Comptes Rendus Biologies* 328: 955-962.
- Paoletti, M.G. 1995. Biodiversity, traditional landscapes and agroecosystem management, *Landsc. Urban Planning* 31: 117-128.
- Ro, T.H. 2002. Categorization and Ecological Importance of Functional Feeding Groups as Essential Units in Lotic Ecosystems. *Bulletin of the KACN* 21: 67-93.
- Ro, T.H. and Chun, D.J. 2004. Functional Feeding Group Categorization of Korea Immature Aquatic Insects and Community Stability Analysis. *Korean Journal of Limnology* 37(2): 137-148.
- Selfa, T., Jussaume, R.A., and Winter, M. 2008. Envisioning agricultural sustainability from field to plate: Comparing producer and consumer attitudes and practices toward 'environmentally friendly' food and farming in Washington State, USA. *Journal of Rural Studies* 24: 262-276.
- Shin, H.S. and Kim, B.C. 2014. The Lake survey method. *Eco-Star Project*, pp. 125.
- Simpson, I., Roger, P., Oficial, R., and Grant, I. 1994. Effects of nitrogen fertilizer and pesticide management on flood-water ecology in a wetland ricefield. *Biology and Fertility of Soils* 17: 129-137.
- Taft, O.W. and Haig, S.M. 2005. The value of agricultural wetlands as invertebrate resources for wintering shorebirds, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 110: 249-256.
- Tourenq, C., Bennets, R.E., Kowalski, H., Vialet, E., Licchesi, J.L., Kayser, Y., and Isenmann, P. 2001. Are ricefields a good alternative to natural marshes for waterbird communities in the natural marshes for waterbird communities in the Camargue, Southern France? *Biological Conservation* 100: 335-343.
- Wilson, A.L., Ryder, D.S., Watts, R.J., and Stevens, M.M. 2005. Stable isotope analysis of aquatic invertebrate communities in irrigated rice fields cultivated under different management regimes. *Aquatic Ecology* 39: 189-200.
- Winqvist, C., Bengtsson, J., Aavik, T., Berendse, F., Clement, L.W., Eggers, S., Fischer, C., Flohre, A., Geiger, F., Liira, J., Pärt, T., Thies, C., Tschamtkke, T., Weisser, W.W., and Bommarco, R. 2011. Mixed effects of organic farming and landscape complexity on farmland biodiversity and biological control potential across Europe. *Journal of Applied Ecology* 48: 570-579.
- Yoon, I.B. 1995. *Aquatic insects of Korea*, Junghaengsa, Seoul, Korea