

Research Article

Open Access

## 논 생태계 내 둌병의 저서성 대형무척추동물 군집구조 특성

최락중, 한민수, 김미란, 조광진, 강기경, 나영은, 김명현\*

국립농업과학원 기후변화생태과

### Characteristics Communities Structure of Benthic Macroinvertebrates at Irrigation Ponds, within Paddy Field

Lak-Jung Choe, Min-Su Han, Miran Kim, Kwang-Jin Cho, Kee-Kyung Kang, Yong-Eun Na and Myung-Hyun Kim (Climate Change and Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science, RD A, Suwon, 441-707, Korea)

Received: 16 July 2013 / Revised: 11 October 2013 / Accepted: 26 October 2013

© 2013 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### Abstract

**BACKGROUND:** Ecological functions of irrigation ponds were well known fact that important for biodiversity conservation in agricultural ecosystems. However, many irrigation ponds were destructed with changes of agricultural environment. The objective of this study is to appreciate the importance of ecological functions of irrigation pond. Furthermore, it presented to useful information for restorations of irrigation pond from analyses of correlations between benthic macroinvertebrate communities and locational factors of irrigation ponds.

**METHODS AND RESULTS:** Benthic macroinvertebrate sampling was conducted from 2010 to 2012 at 15 study ponds. Comparisons of benthic macroinvertebrates diversity approached species richness and density, and statistical analyses were performed using independent t-test. A total of 131 species / 137,118 individuals of benthic macroinvertebrates were recorded during study period. Dominant taxa of benthic macroinvertebrates included Coleoptera, Hemiptera, and Odonata. Generally, benthic

macroinvertebrate diversity in mountain region and existing ponds were showed higher than open field and created ponds, respectively. DCA ordination showed that benthic macroinvertebrate community was most correlated with locational characteristics of irrigation pond, and it correlated with bank type and age of pond.

**CONCLUSION(S):** In conclusions, in order to restore ecological irrigation pond, it is necessary to consider environmental factors such as locational characteristics and bank types.

**Key words:** Agricultural biodiversity, Benthic macroinvertebrates, Irrigation pond, Paddy field ecosystem

#### 서론

논 농사가 주로 이루어진 우리나라에서 아주 빈번하게 나타난 습지의 한 유형이 둌병이다. 둌병이란 논에 이용하기 위해 물을 가두어 놓는 역할을 하는 소택형습지로, 물 저장과 장마철 홍수 조절 측면에서 중요한 기능을 한다(Kim *et al.*, 2011; Son *et al.*, 2012). 또한 논에서 발생한 영양물질이 인근 수계로 유출되기 전 둌병에서 1차 저감이 이루어져, 수질 정화의 기능을 지니기도 한다(Kim *et al.*, 2011). 뿐만 아니라 중간 낙수기 및 겨울철 무담수 논에 서식하는 다양한 생물

\*교신저자(corresponding author),

Phone: +82-31-290-0234; Fax: +82-31-209-0206;

E-mail: wildflower72@korea.kr

의 피난처 역할을 하여, 생물다양성 보전 측면에서도 중요한 기능을 한다(Kim *et al.*, 2011).

농업환경은 최근 각종 개발사업으로 인해 과거와는 다른 특성을 보인다. 농업환경 개선을 위한 다목적농촌용수 개발사업, 경지정리사업, 배수개선사업 등이 이루어져 논에 필요한 물의 공급은 과거에 비해 훨씬 수월해졌다. 이처럼 논 의 용수공급 문제가 해결되면서 둠병의 필요성은 감소하였고, 현재 논 생태계에서 둠병은 과거에 비해 급감한 실정이다(Kim *et al.*, 2011).

최근 농업은 농약과 비료를 사용하던 관행농업으로부터, 토양의 지력과 천적생물 등을 적절히 이용하는 친환경농업의 비중이 점차 높아지고 있다(Han *et al.*, 2013). 이러한 농업 환경의 변화로 인해 농업생태계의 생물다양성은 점차 증가하고 있으며, 이러한 현상은 친환경농업의 지표이자 홍보 수단으로 이용되고 있다. 친환경 농업 육성과 연계하여 최근 농업 환경에서 둠병의 중요성이 부각되고 있으며, 이에 따라 일부 지자체에서는 농업환경 내 둠병에 대한 복원 사업이 널리 이루어지고 있다(Kim *et al.*, 2011).

저서성 대형무척추동물은 수서생태계의 생물 군집 가운데 가장 널리 연구된 생물 군집으로, 어류를 포함한 다양한 포식자에게 먹이원으로 중요한 생태적 지위를 지니고 있다(Pennak, 1989; Yoon, 1995). 저서성 대형무척추동물 군집은 주로 환형동물문(Annelida), 연체동물문(Mollusca), 절지동물문(Arthropoda)으로 구성되며, 절지동물 가운데 특히 하루살이목(Ephemeroptera), 잠자리목(Odonata), 노린재목(Hemiptera), 딱정벌레목(Coleoptera), 파리목(Diptera) 등의 수서곤충 무리가 대부분을 차지하는 것으로 알려져 있다(McCafferty, 1983). 저서성 대형무척추동물은 농업생태계 내에서도 중요한 지위를 지니는 것으로 알려져 있다(Han *et al.*, 2007). Han 등(2007)은 둠병을 포함한 논 생태계에 서식하는 수서무척추동물상에 대한 연구를 통하여, 논 생태계에 약 222종의 수서무척추동물을 기록한 바 있다. 국내 저서성 대형무척추동물에 대한 연구는 대부분 계류를 중심으로 이루어

어졌으며, 습지의 저서성 대형무척추동물 군집에 대한 연구는 국내 최대 습지인 우포늪에 관한 연구와 주로 고산지대의 습지에 대한 연구만 이루어졌다(Bae *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2009; Jeong *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2011). 한편 둠병을 중심으로 한 논 생태계의 생물다양성에 대한 연구는 주로 둠병의 생태적 기능에 초점을 두고 연구되었다. 어류 피난처로서의 둠병의 기능, 둠병의 물리·화학·생물적 특성에 대한 연구, 둠병 내 수질요소와 저서성 대형무척추동물 군집의 특성에 대한 연구 등이 이루어진 바 있다(Kim *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012; Son *et al.*, 2012).

특히 논 생태계 내 생물다양성 증진을 위한 둠병 복원에 있어 중요한 둠병의 환경적 특성 및 입지조건과 저서성 대형무척추동물 군집조성의 상관성에 대한 연구는 아직 이루어지지 않았다. 근래 둠병의 생태적 기능을 인정하고 논 생태계 생물다양성 증진 방안으로 지자체를 중심으로 한 둠병 조성 사업이 이루어지고 있어, 이에 대한 연구의 필요성이 부각되고 있다. 따라서 본 연구에서는 논 생태계 내 둠병에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 분포 특성을 파악하여, 둠병의 생태적 기능의 중요성을 입증하고자 하였다. 또한 둠병의 환경적 특성 및 입지조건과 저서성 대형무척추동물 군집조성의 관계를 분석하여 둠병 복원의 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

조사지역

본 연구의 조사는 8지역에서 총 15개 둠병을 대상으로 실시하였다(Fig. 1, Table 1). 경기도 화성(GHS)에서 2개, 경기도 수원(GSW)에서 2개, 경기도 안성(GAS)에서 1개, 충청남도 예산(CYS)에서 2개, 충청남도 홍성(CHS)에서 3개, 경상남도 울진(GUJ)에서 2개, 전라남도 담양(JDY)에서 2개, 전라남도 곡성(JGS)에서 1개의 둠병을 선정하였다. 경기도 안

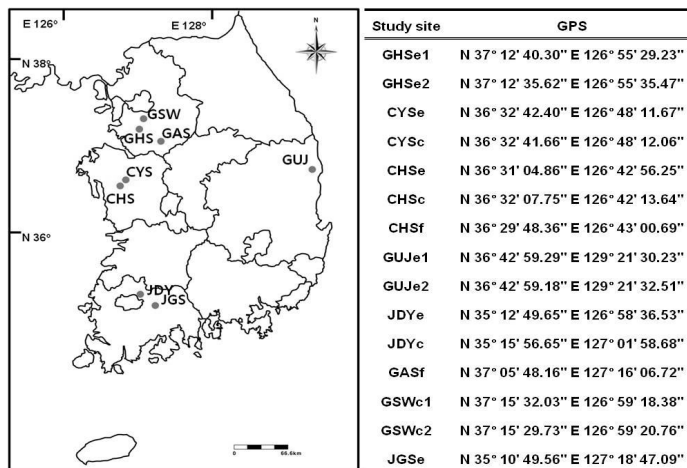


Fig. 1. Descriptions of the study area and survey ponds in paddy fields (GHS, GyeongGi-Hwaseong; CYS, ChungNam-Yesan; CHS, ChungNam-Hongseong; GUJ, GyeongNam-Uljin; JDY, JeonNam-Damyang; GAS, GyeongGi-Anseong; GSW, GyeongGi-Suwon; JGS, JeonNam-Gokseong; c, created pond; e, existing pond; f, flooded fellow paddy field).

**Table 1. List of environmental characteristics and locational characteristics in survey irrigation ponds**

Study site	Environmental characteristics				Locational characteristics					
	Bank type	Pond shape	Area (m <sup>2</sup> )	Depth (m)	Altitude (m)	MDF (m)	Forest (%)	Paddy field (%)	Upland (%)	Urban land (%)
GHSe1	soil	rectangle	74.4	0.72	128	17	83.58	13.00	1.78	0.20
GHSe2	soil	circle	21.2	0.83	118	18	83.58	13.00	1.78	0.20
CYSe	soil	triangle	10.0	0.46	67	51	46.15	38.58	4.04	8.92
CYSc	soil	rectangle	30.0	0.27	67	50	46.15	38.58	4.04	8.92
CHSe	soil	triangle	33.2	0.48	93	2	58.32	18.41	16.75	6.53
CHSc	rock	rectangle	221.0	0.47	49	34	42.82	28.37	17.35	7.75
CHSf	soil	rectangle	901.0	0.35	107	32	68.78	13.60	13.79	3.25
GUJe1	soil	rectangle	70.0	0.49	147	4	66.08	15.12	11.17	5.35
GUJe2	soil	rectangle	37.8	0.31	143	7	66.08	15.12	11.17	5.35
JDYe	rock	rectangle	207.5	1.20	52	264	13.17	65.92	11.41	3.48
JDYc	rock	rectangle	1127.7	0.28	173	54	31.92	44.22	14.99	5.35
GASf	soil	triangle	187.0	0.18	110	1	84.68	14.82	0.00	0.00
GSWc1	soil	triangle	36.0	0.12	28	254	4.55	21.53	10.48	46.96
GSWc2	soil	rectangle	15.0	0.17	27	324	4.55	21.53	10.48	46.96
JGSe	soil	triangle	95.4	0.50	147	6	35.83	17.00	37.00	5.27
	Mean		204.48	0.45	97.07	74.53	49.08	25.25	11.08	10.30
	S.D.		338.93	0.29	46.57	109.14	27.36	15.29	9.11	15.16

\*c, new created pond; e, existing pond (old created pond); f, flooded fellow rice field

\*MDF, Minimum Distance from Forest

성과 홍성의 조사지점 중 CHSf와 GASf는 논이 가장자리 일부분을 담수휴경 한 곳으로 둠병과 유사한 기능을 하기 때문에 조사지점에 포함하였다.

### 조사방법

야외조사는 2010년부터 2012년까지 각 둠병에서 연간 2-4회 수행하였다. 저서성 대형무척추동물의 채집은 뜰채(망목 0.1mm, 내부 지름 27cm)를 사용하였으며, 한 지점 당 동일한 연구자가 미소서식체를 10분씩 3반복 채집하였다. 정량 자료는 지점 당 3반복한 결과를 종합하여 단위 노력 (Catch Per Unit Effort) 당 채집된 저서성 대형무척추동물의 개체수(개체수/CPUE)를 단위로 이용하였다. 둠병의 다른 생물적 요인을 파악하기 위한 어류 및 양서류의 채집도 병행하였으며, 저서성 대형무척추동물 정량채집과 동일한 방법과 단위를 이용하였다. 채집한 샘플은 아이스박스에 보관 후 실험실로 이동하였으며, 저서성 대형무척추동물을 골라낸 후 70% 에탄올에 고정하여 영구보존하였다. 골라낸 표본은 해부현미경 (Leica DE/MZ 7.5)을 이용하여 동정하였다(Yoon *et al.*, 1995; Kawai and Tanida, 2005; Han *et al.*, 2008).

### 분석방법

본 논문에서는 둠병의 입지적 특성 및 조성 후 경과시간 (조성기간)에 따른 저서성 대형무척추동물의 다양성 비교에 초점을 맞추어 둠병을 구분하였다. 둠병의 유형 분류에 대한 문헌조사 결과, Kim 등(2011)에 의해 서부 민간인 통제구역

의 둠병 48개를 수문학 및 지형적 측면에서 구분한 연구가 이루어졌으나, 둠병의 수문학적 측면에서 분류 기준을 제시하여 본 연구에 적용하기에는 부적합하였다. 따라서 본 연구에 적합한 둠병의 새로운 분류 기준이 필요하여, 둠병의 입지적 특성 및 조성 후 경과시간에 따른 별도의 기준에 의해 둠병을 구분하였다. 본 연구에서는 둠병의 입지적 특성에 따른 비교를 위해 조사된 모든 둠병을 반경 0.5 Km 이내 산림비율이 50% 미만인 지역은 평야지대 둠병으로, 50% 이상인 지역은 산간지대 둠병으로 각각 구분하였다.

조성 후 경과시간에 따른 차이는 충남 예산(CYS), 충남 홍성(CHS), 전남 담양(JDY) 지역에서 조성 후 경과 시간이 5년이 초과된 둠병(이하 기존둠병)과 5년 이하의 둠병(이하 조성둠병)을 각각 비교하였다. 선행 연구에서 새롭게 조성된 연못에서 저서성 대형무척추동물의 종의 유입은 조성 후 4년째 부터는 비교적 유사한 종수를 유지하는 것으로 나타났으며, 3년 미만의 연못과 10년 이상의 연못은 종다양성 측면에서 뚜렷한 차이가 있는 것으로 연구된 바 있다(Williams *et al.*, 2008; Ruhí *et al.*, 2012). 따라서 조성 후 경과시간에 따른 둠병의 구분은 새롭게 조성된 둠병에서 저서성 대형무척추동물의 다양성이 안정화 단계에 접어들 것으로 판단되는 5년을 기준으로 하였다. 조성둠병 중 충남 예산(CYS), 전남 담양(JDY), 충남 홍성(CHS)은 2010년을 기준으로 조성 후 각각 약 1년, 3년, 5년이 경과된 것으로 확인되었으며, 세 지역의 기존둠병의 경우 모두 조성된 지 20년 이상이 경과한 것으로 청문조사결과 확인되었다.

각 둠병의 저서성 대형무척추동물의 다양성은 출현종수(이하 종 다양도) 및 개체수(이하 밀도)를 이용하여 분석하였다. 또한 둠병 내 저서성 대형무척추동물 군집의 분포 특성을 파악하기 위하여 분류군 및 기능군 측면(섭식기능군, 서식기능군)의 분석도 실시하였다. 저서성 대형무척추동물의 분류군은 문(Phylum) 단위로 구분하였다. 단, 절지동물문의 경우 강(Class) 단위로 갑각강과 곤충강으로 세분하였으며, 특히 곤충강의 경우 목(Order) 수준에서 생태적 특성이 크게 다르므로 다시 목 단위로 세분화 하였다. 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 씹어먹는무리(Shredders), 주워먹는무리(Gathering-collectors), 걸러먹는무리(Filtering-collectors), 식물뚫는무리(Plant-piercers), 잡아먹는무리(Predators)로 구분하였다(Merritt *et al.*, 2008).

저서성 대형무척추동물의 군집조성과 둠병의 환경적 특성 및 입지조건 사이의 상관관계 분석을 위한 둠병의 자료로 총 10가지 항목을 조사하였다. 둠병의 환경적 특성에 대한 분석은 둠병의 독 유형, 둠병 형태, 면적, 평균수심, 입지조건에 대한 분석은 고도, 인근 숲과의 최단거리(Minimum Distance from Forest, MDF), 산림비율(%), 논비율(%), 밭비율(%), 시가지비율(%) 측면에서 분석하였다.

둠병의 환경적 특성 및 입지조건에 따른 저서성 대형무척추동물의 군집조성 특성은 DCA (Detrended Correspondence Analysis) 서열법으로 분석하였으며, 두 그룹의 유의성은 MRPP (Multiple Responses Permutation Procedure) 기법으로 검증하였다. 각 둠병의 저서성 대형무척추동물 군집에 대한 유사도 분석은 Cluster analysis 기법을 이용하였다. 서열법 분석 및 유사도 분석은 PC-ORD program ver. 6 (McCune and Grace, 2002)을 이용하였다.

입지적 특성, 조성 후 경과시간에 따른 다양성에 대한 통계 분석은 각 그룹 간 independent t-test를 이용하였다. 저서성 대형무척추동물의 밀도는 자료의 정규화를 위하여 로그 변환 후 통계분석 하였다. 모든 통계분석은 SAS program ver. 9.2를 사용하였으며, 입지조건 가운데 토지이용도의 경우 ArcGIS program ver. 10.0을 이용하여 분석하였다.

## 결 과

### 둠병의 환경적 특성 및 입지조건

둠병의 환경적 특성 및 입지조건에 대한 조사를 실시한 결과는 Table 1과 같다. 둠병의 독은 조사지역 대부분 둠병이 흙과 점토로 이루어 졌으나 충남 홍성의 조성둠병(CHSc), 전남 담양의 조성둠병(JDYc)과 기존둠병(JDYe)은 조경석으로 이루어져 인위성이 강하였다. 둠병의 형태는 주로 사각형이었으나 원형, 삼각형 모양도 나타났다. 둠병의 면적은 10-1127.7m<sup>2</sup>, 둠병의 평균수심은 0.12-1.20m, 둠병의 고도는 27-173m, 인근 숲과의 최단거리(Minimum Distance from

Forest)는 1-324m, 산림비율은 4.55-84.68%, 논비율은 13.00-65.92%, 밭비율은 0-37.00%, 시가지비율은 0-46.96%로 나타났다. 시가지비율이 가장 높은 경기도 수원(GSW)은 조사지를 중심으로 반경 0.5 Km 지역에 도로 및 주거시설 등이 밀집하여 있으나, 시가지비율이 가장 낮은 경기도 화성(GHS)은 조사지를 중심으로 산림이 밀집한 지역으로 확인되었다. 전반적으로 고도가 높은 곳에 위치한 둠병이 인근 숲으로부터 거리가 가깝고 산림비율이 높았으며, 낮은 고도의 둠병은 농경지 및 시가지비율이 높았고 숲과의 거리가 먼 경향을 보였다.

### 저서성 대형무척추동물 군집에 영향을 미치는 생물적 요인

둠병의 어류 및 양서류의 서식 밀도를 조사한 결과, 둠병 내 어류 밀도는 평야지대가 산간지대보다 더 높은 밀도를 보였으나( $t_{93} = 1.66, p < 0.05$ ; Table 2), 양서류는 산간지대에서 더 높은 밀도를 보였다( $t_{93} = 1.66, p < 0.05$ ; Table 2). 둠병의 조성시기에 따른 두 분류군 출현 밀도를 조사한 결과, 어류는 충남 예산(CYS)과 전남 담양(JDY)에서 출현하였고 충남 홍성(CHS)에서는 출현하지 않았다. 충남 예산(CYS)의 경우 기존둠병과 조성둠병 간 어류 밀도는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나, 전남 담양(JDY)은 기존둠병에서 어류의 밀도가 더 높은 것으로 나타났다( $t_{10} = 1.81, p < 0.05$ ; Table 2). 반면 양서류의 경우 세 지역에서 모두 출현하였으나, 세 지역에서 모두 기존둠병과 조성둠병 간 밀도 차이는 없는 것으로 나타났다(각각  $t_{10} = 1.81, t_8 = 1.86, t_{10} = 1.81, p > 0.05$ ; Table 2).

### 저서성 대형무척추동물 군집조성 특성

전체 조사기간 동안 모든 둠병에서 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 131종 137,118개체였다. 가장 많은 종이 출현한 분류군은 딱정벌레목이었으며, 잠자리목과 노린재목의 출현종도 다양하였다. 반면, 하천에서 많이 발생하여 주요 EPT group이라 이르는 하루살이목, 강도래목(Plecoptera), 날도래목(Trichoptera)은 출현종 비율이 매우 낮았다. 출현 개체수 비율에서는 연체동물문이 가장 높은 비율로 출현하였으며, 수서곤충 가운데는 출현종이 다양한 세 분류군(잠자리목, 노린재목, 딱정벌레목)과 하루살이목이 출현 개체수 비율이 높은 것으로 나타났다(Fig. 2).

둠병에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 서식기능군(HOGs)의 밀도를 분석한 결과 모든 둠병에서 헤엄치는무리가 50% 이상을 차지하였다. 반면 일반적인 하천에서 높은 비율을 나타내는 붙는무리(Clingers)는 전혀 출현하지 않았다. 섭식기능군(FFGs)의 밀도를 분석 결과에서는 둠병에 따른 차이는 있으나 일반적으로 잡아먹는무리의 비율이 높았으며, 주워먹는무리의 비율이 뒤를 이었다. 반면 걸러먹는무리와 씹어먹는무리의 비율은 대부분 둠병에서 낮은 것으로 나타났고, 긁어먹는무리(Scrapers)는 조사기간 동안 출현하지 않았다(Fig. 3).

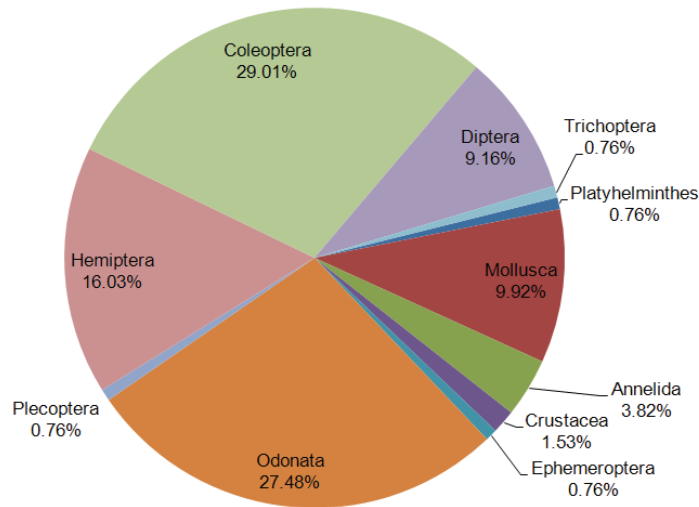
**Table 2. Comparison of density (Mean±S.E.) in fish and amphibian according to Locational type and age of irrigation ponds**

Taxon	Mountain region	Open field region	CYS		CHS		JDY	
			Existing pond	Created pond	Existing pond	Created pond	Existing pond	Created pond
Fish	<b>4.60</b> <b>±1.77</b>	<b>21.83</b> <b>±7.40</b>	32.83 ±20.52	90.00 ±49.68	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	<b>52.00</b> <b>±15.54</b>	<b>11.17</b> <b>±11.17</b>
p-value	<b>p&lt;0.05</b>		N.S.		N.S.		<b>p&lt;0.001</b>	
Amphibian	<b>157.40</b> <b>±60.51</b>	<b>27.50</b> <b>±8.24</b>	68.50 ±43.12	75.33 ±47.36	320.40 ±210.93	14.20 ±14.20	4.17 ±3.97	16.50 ±12.30
p-value	<b>p&lt;0.05</b>		N.S.		N.S.		N.S.	

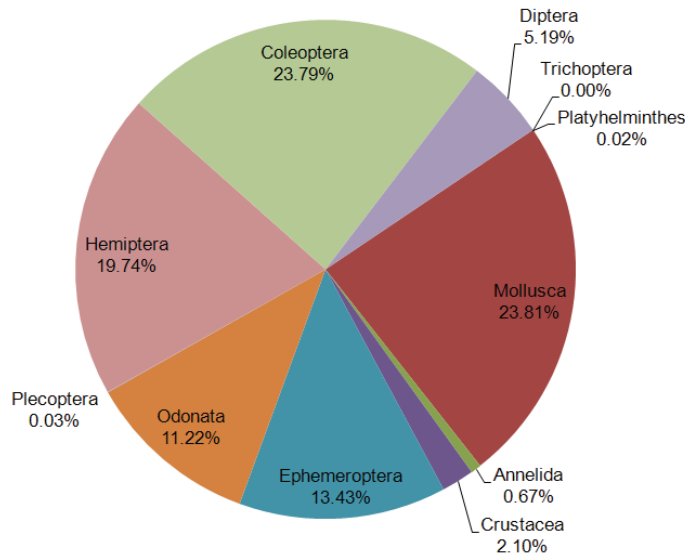
\*Bold letters: significant difference by independent t-test between mountain region and open field region, existing pond and created pond, respectively. N.S. means that not significant difference by independent t-test

\*CYS, ChungNam-Yesan; CHS, ChungNam-Hongseong; JDY, JeonNam-Damyang

### A. Species richness



### B. Species density



**Fig. 2. A. Species richness and B. Species density compositions of benthic macroinvertebrates in agricultural irrigation ponds.**

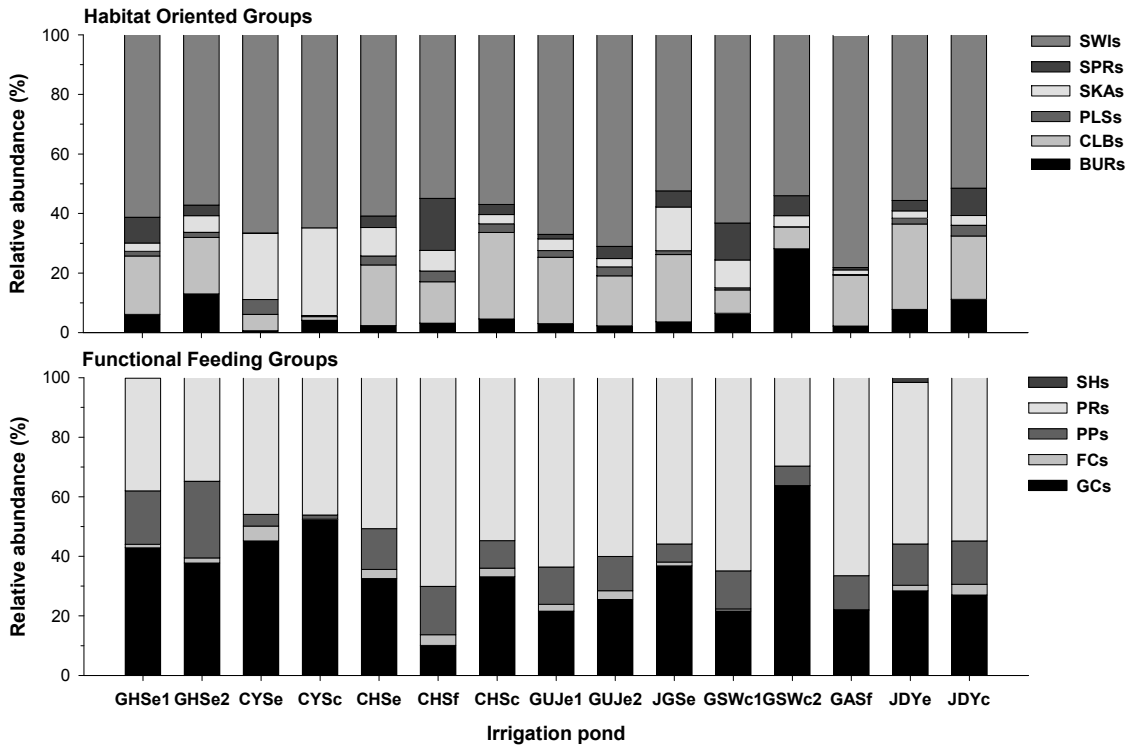


Fig. 3. Relative abundance of habitat oriented groups (HOGs) and functional feeding groups (FFGs) in aquatic insects at agricultural irrigation ponds (SWIs, Swimmers; SPRs, Sprawlers; SKAs, Skaters; PLSs, Planktonics; CLBs, Climbers; BURs, Burrowers; SHs, Shredders; PRs, Predators; PPs, Plant-piecer; FCs, Filtering-collectors; GCs, Gathering-collectors).

**입지적 특성 및 조성시기에 따른 저서성 대형무척추동물 다양성**

산간지대와 평야지대의 둠병에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 종 다양도 및 밀도를 비교한 결과 산간지대의 둠병에서 모두 높은 것으로 나타났다(각각  $t_{93}=1.66, p < 0.001$ ; Fig. 4). 분류군에 따른 다양성의 비교에서 종 다양도 측면에서는 수서곤충이, 밀도 측면에서는 연체동물과 수서곤충이 산간지대에서 더 높은 것으로 나타났다(각각  $t_{93}=1.66, p < 0.001$ ; Table 3).

둠병의 조성시기에 따른 저서성 대형무척추동물의 다양성 비교에서는 지역별로 다른 경향을 보였다. 충남 예산(CYS)과 충남 홍성(CHS)의 경우 기존둠병의 종 다양도(각각  $t_{10}=1.81, p < 0.01$ ;  $t_8=1.86, p < 0.05$ ; Fig. 5)와 밀도(각각  $t_{10}=1.81, p < 0.001$ ;  $t_8=1.86, p < 0.05$ ; Fig. 5)가 모두 조성둠병 보다 높은 값을 나타냈다. 반면 전남 담양(JDY)에서는 기존둠병과 조성둠병의 종 다양도, 밀도 모두 차이가 없었다( $t_{10}=1.81, p > 0.05$ ; Fig. 5).

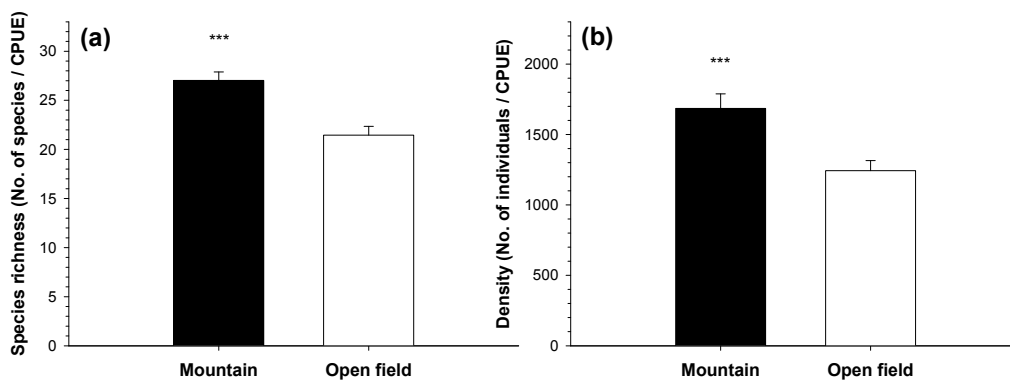
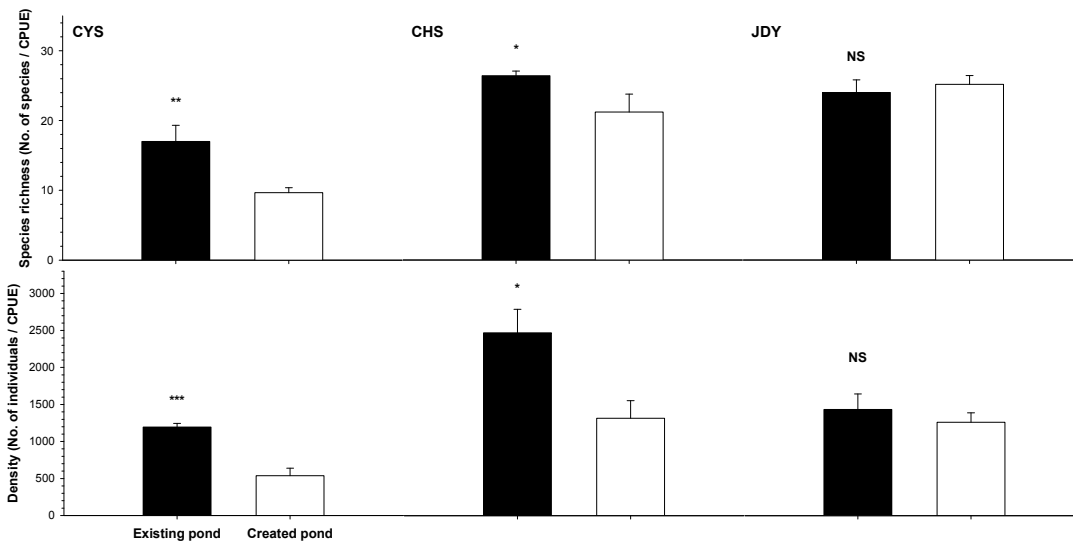


Fig. 4. Comparisons of benthic macroinvertebrates (a) species richness and (b) density between mountain region and open field region. Error bars indicate standard error (\*\*\*) $p < 0.001$ , significant difference by independent t-test).

**Table 3. Comparison of diversity (Mean±S.E.) of benthic macroinvertebrates according to different locational type of irrigation ponds and benthic macroinvertebrate taxonomic groups**

Locational type		Platyhelminthes	Mollusca	Annelida	Crustacea	Aquatic insects
Species richness	Mountain region	0.00±0.00	4.00±0.29	0.65±0.14	0.19±0.06	22.19±0.78
	Open field region	0.02±0.02	3.96±0.29	0.50±0.11	0.21±0.07	16.77±0.73
p-value		N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	p<0.001
Density	Mountain region	0.00±0.00	417.53±37.42	5.86±2.41	28.37±10.71	1233.53±82.33
	Open field region	0.56±0.56	282.65±26.52	12.92±4.15	32.00±11.49	915.13±60.99
p-value		N.S.	p<0.001	N.S.	N.S.	p<0.001

\*Bold letters: significant difference by independent t-test between mountain region and open field region, N.S. means that not significant difference by independent t-test



**Fig. 5. Comparison of benthic macroinvertebrates diversity (species richness and density) between existing and created irrigation ponds. Error bars indicate standard error (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$  significant difference; NS, Not significant difference by independent t-test).**

#### 뚝방 특성 및 입지조건에 따른 저서성 대형무척추동물의 종조성 차이

뚝방의 환경적 특성 및 입지조건에 따른 저서성 대형무척추동물 군집조성의 차이를 DCA ordination 으로 분석한 결과, 제 1축과 제 2축의 고유값(eigenvalue)이 각각 0.67, 0.35 (total inertia=3.89)였으며, 변이의 설명률은 제 1축이 31.3%, 제 2축이 7.1%를 설명하여 총 38.4% 변이를 설명하였다(Fig. 6). 1축을 기준으로 시가지비율, 인근 숲과의 최단 거리(MDF)는 우측으로 갈수록 높은 값을 나타냈으며( $r=0.802$ ;  $0.758$ ), 고도, 숲비율, 뚝방 조성시기(나이)는 좌측으로 갈수록 높은 값을 나타냈다( $r=-0.774$ ;  $-0.623$ ;  $-0.606$ ). 분석 결과에서 뚝방의 조성시기가 높아짐은 뚝방의 조성시기가 오래됨을 의미한다. 한편 2축을 기준으로 논비율, 뚝방 독 형태는 위쪽으로 갈수록 높아졌으며( $r=0.759$ ;  $0.738$ ), 경관과 산림비율은 아래쪽으로 갈수록 높아졌다( $r=-0.682$ ;  $-0.647$ ).

뚝방 독 형태의 값이 높다는 것은 뚝방의 독이 인위성이 높은 석축으로 이루어짐을 의미하며, 경관 값이 높다는 것은 비교적 자연성이 높은 산간지대임을 의미한다. 전반적으로 자연성이 잘 보전된 산간지대의 뚝방은 좌측 하단에 위치하였으며, 상대적으로 인위적인 간섭에 쉽게 노출되는 평야지대의 뚝방은 중앙과 우측 상단에 위치하였다. MRPP 분석결과에서도 뚝방의 입지적 특성에 따른 저서성 대형무척추동물 군집의 조성은 유의한 차이( $A=0.111$ ,  $p=0.018$ )가 있는 것으로 나타났다. Sorensen 거리 척도를 이용한 Cluster analysis 결과 각 뚝방은 저서성 대형무척추동물 군집조성에 따라 총 3개의 그룹으로 구분되었다(Fig. 7). 대체로 동일한 지역의 뚝방 내 저서성 대형무척추동물의 군집조성이 가장 유사하였으며, 구분된 3개의 그룹은 DCA 결과의 제 1축을 기준으로 그룹화되는 것으로 나타났다.

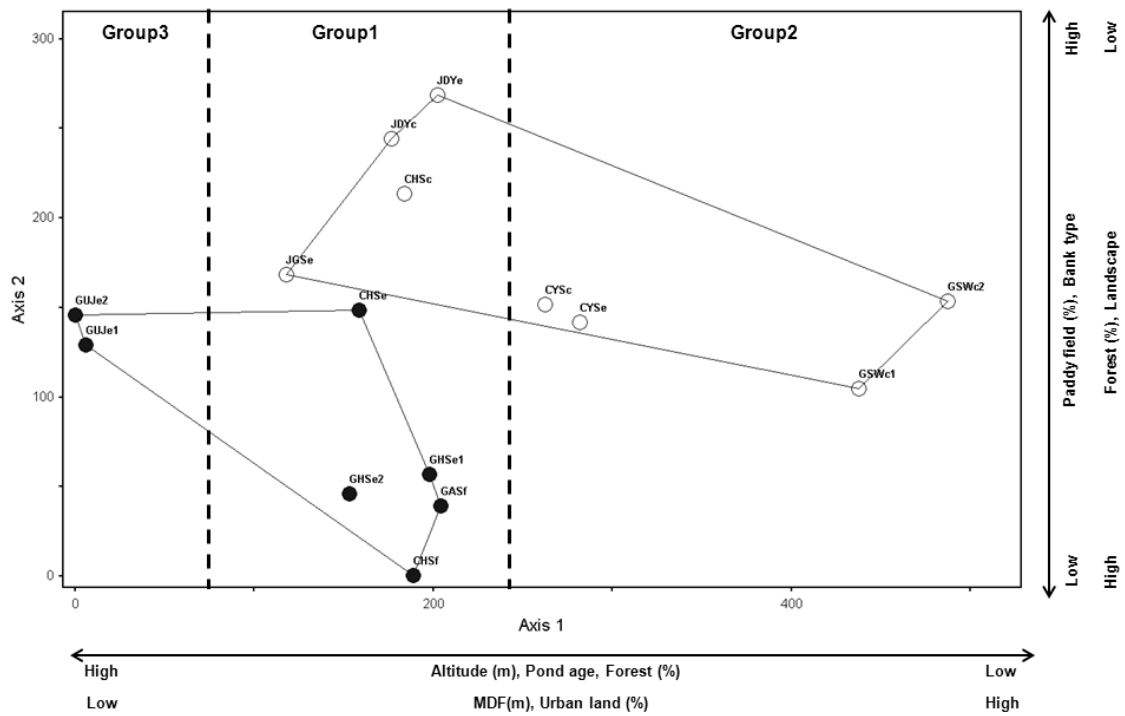


Fig. 6. Denterred Correspondence Analysis (DCA) ordination on benthic macroinvertebrate communities in agricultural irrigation ponds. Individual numbered data are based on the spring season survey. Closed and open circle indicate irrigation pond in mountain region and open field region, respectively.

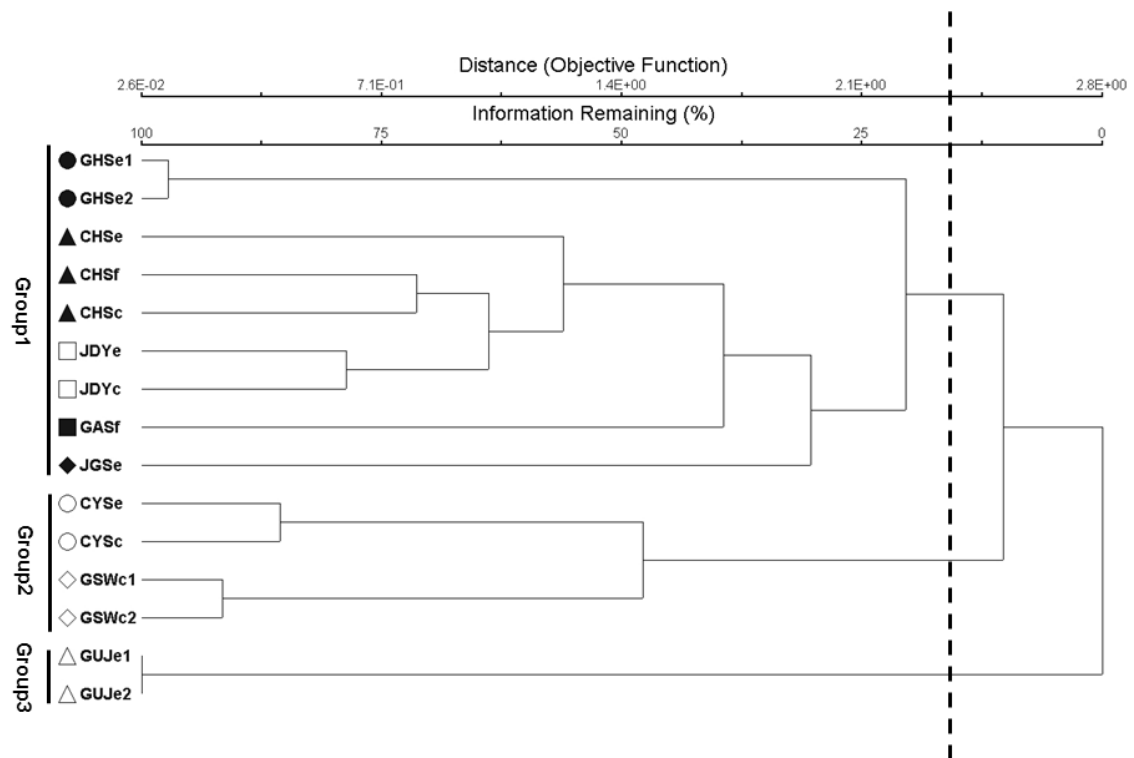


Fig. 7. Cluster analysis of benthic macroinvertebrate communities from the agricultural irrigation ponds (Closed figure, irrigation pond in mountain region; Open figure, irrigation pond in open field region).



## 고찰

### 저서성 대형무척추동물 군집조성 특성

뚩뚱이는 논 관개를 위한 소택형습지의 한 유형으로, 주로 정수성 환경 특성을 보인다. 이러한 환경적 특성은 정수성 서식처에 적용된 저서성 대형무척추동물이 주로 출현한 군집 특성에서도 알 수 있다. 특히 딱정벌레목, 잠자리목, 노린재목은 일반적으로 정수성 서식처에 다양한 종이 적용한 분류군이다(Yoon *et al.*, 1989; Merritt *et al.*, 2008). 연체동물문은 분류군 수에 비하여 높은 밀도로 출현하였는데, 이는 수심이 얇고 수온이 비교적 높은 뚩뚱이 연체동물이 서식하기에 적합한 서식처 특성을 보이기 때문이다(Meyer and Whiles, 2008). 또한 하루살이목의 경우 분류군 수는 적으나 밀도는 매우 높은 것으로 나타났는데, 이는 정수성 서식처에 널리 분포하는 연못하루살이(*Cloeon dipterum*)가 높은 밀도로 출현하였기 때문이다. 연못하루살이는 환경 변화에 대한 상대적 저항력과 회복력이 높아 교란 및 복원된 서식처에 가장 먼저 정착하는 무리이다. 또한 국내에서는 1년 4세대의 생활사를 지닐 것으로 추정되므로, 다른 분류군에 비해 높은 생산성을 지니 뚩뚱이 내에서 높은 밀도를 보인 것으로 판단된다(Lee *et al.*, 2012). 한편 본 연구에서는 일반적으로 수생태계에서 높은 밀도를 보이는 실지렁이류(Tubificidae spp.)와 깔따구류(Chironomidae spp.)가 출현하지 않았는데 이는 조사방법에 의한 결과로 판단된다. 일반적으로 실지렁이류와 깔따구류는 주로 하상에 높은 밀도로 서식하는 것으로 알려져 있으나, 본 연구에서는 뜰채를 이용하여 주로 수초대에 대한 조사를 수행하여 실지렁이류와 깔따구류가 채집되지 않은 것으로 판단된다(Kang and Chung, 2010).

뚩뚱이의 서식처 특성은 저서성 대형무척추동물의 서식기능군(HOGs) 및 섭식기능군(FFGs)의 밀도 분포에서도 나타났다. 가장 높은 밀도로 출현한 서식기능군은 헤엄치는무리로 이는 뚩뚱이 물의 흐름이 거의 없는 정수성 특성을 나타내는데서 기인한 것으로 보인다. 또한 이러한 정수성 환경에서는 수초가 안정적으로 군락을 이루기 때문에, 기어오르는무리도 상대적으로 높은 비율로 출현하였다. 반면, 일반적인 하천의 경우 물이 끊임없이 흐르기 때문에 주로 돌에 붙거나 하상에서 생활하는 붙는무리와 기는무리가 높은 비율을 차지하므로 뚩뚱이과는 다른 서식기능군 조성을 보인다(Jun *et al.*, 2011). 한편, 섭식기능군의 밀도 조성에서는 잡아먹는무리가 가장 높은 비율을 보였다. 일반적인 하천에서는 썰어먹는무리, 주워먹는무리 및 걸러먹는무리의 밀도가 높는데, 이는 하천생태계에서는 하천연속성개념(The River continuum concept)에 의하여 상류로부터 유입되는 CPOM(Coarse particulate organic matter), FPOM(Fine particulate organic matter) 등을 주요 먹이원으로 이용하는 종이 많기 때문이다(Vannote *et al.*, 1980; Jun *et al.*, 2011). 반면 뚩뚱이는 미소갑각류 및 양서류 등이 높은 밀도로 서식하여 잡아먹는무리의 먹이자원이 풍부하고(Kim *et al.*, 2012), 유수 서식처에 비해 딱정벌레목, 잠자리목, 노린재목 등 잡아먹는무리가 먹

이활동을 하기에 적합한 환경을 조성하기 때문에 잡아먹는무리의 밀도가 높게 나타난 것으로 보인다.

본 연구에서 출현한 저서성 대형무척추동물 종수는 총 131종으로, Han 등(2007)이 발표한 국내 논 생태계에 서식하는 수서무척추동물 222종의 59%를 차지한다. 하지만 Han 등(2007)은 물벼룩류와 선충류를 수서무척추동물에 포함하였으며, 10년 간 전국의 논, 수로, 뚩뚱이 등에서 조사한 결과를 정리하였다. 반면 본 연구에서는 3년 간 8개 지역의 뚩뚱이만을 조사하였으므로, 실제로는 논 생태계에 서식하는 대부분의 저서성 대형무척추동물이 뚩뚱이에 서식할 것으로 추정된다. 또한 Bae 등(2004)과 Lee 등(2011)이 연구한 국내 최대 습지인 우포늪에서 각각 총 135종, 131종의 저서성 대형무척추동물이 출현한 것과 비교해 볼 때, 뚩뚱이는 매우 높은 생태적 가치를 지녔다고 할 수 있다.

### 입지적 특성 및 조성시기에 따른 저서성 대형무척추동물 다양성

입지적 특성은 습지에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 분포에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Williams *et al.*, 2003; Thiere *et al.*, 2009; Hamasaki *et al.*, 2009; Ruhí *et al.*, 2013). 본 연구에서도 산간지대에 위치한 뚩뚱이에서 저서성 대형무척추동물의 다양성이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 산간지대가 평야지대에 비해 서식처 다양성이 더 높은 이유로 판단된다(Thiere *et al.*, 2009; Ruhí *et al.*, 2013).

한편, 뚩뚱이의 조성시기에 따라 저서성 대형무척추동물의 다양성은 차이를 보였는데, 비교적 최근에 조성된 뚩뚱이에서 다양성이 낮은 것으로 나타났다. 인위적으로 조성된 뚩뚱이는 서식처가 안정화 단계에 이르기 전까지는 지속적인 종의 유입이 이루어지므로, 기존에 조성된 뚩뚱이의 경우 새로이 조성된 뚩뚱이보다 더 많은 종이 유입된 결과로 여겨진다(Williams *et al.*, 2008; Ruhí *et al.*, 2012). 다만 전남 담양(JDY)의 경우 기존뚩뚱이와 조성뚩뚱이의 다양성에 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 다른 생물군집의 영향으로 판단된다. 전남 담양(JDY)의 기존뚩뚱이에서 조성뚩뚱이보다 높은 어류 밀도를 보였는데, 그로 인해 기존뚩뚱이에서 어류의 포식압이 높아 두 유형의 뚩뚱이 간 다양성에 차이가 없었던 것으로 판단된다(Fairchild *et al.*, 2000).

### 뚩뚱이 특성 및 입지조건에 따른 저서성 대형무척추동물의 군집조성 차이

DCA 서열법 및 MRPP 기법으로 분석한 결과 저서성 대형무척추동물 군집조성은 산간지대와 평야지대의 뚩뚱이 사이에 뚜렷한 차이를 보였다. 특히 저서성 대형무척추동물의 분포에 영향을 미치는 주요인은 고도, 산림비율, 논비율, 시가지 비율, 인근 숲과의 최소거리 등 입지적 특성을 결정짓는 요인으로 확인되었다. 선행 연구에서도 입지적 특성에 따라 저서성 대형무척추동물의 천이 및 군집조성에 차이가 있는 것으로 알려져 있다(Williams *et al.*, 2003; Thiere *et al.*, 2009;

Hamasaki *et al.*, 2009; Ruhí *et al.*, 2013). 입지적 특성 외 둙병의 조성시기와 둙병의 독 형태도 저서성 대형무척추동물의 군집 구성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 둙병의 조성시기에 따라 저서성 대형무척추동물의 군집조성이 다르게 나타나는데, 이는 군집의 정착과정과 관련되어 있다. 일반적으로 조성된 습지는 초기에 빠른 속도로 중의 유입이 이루어지며, 일정 기간이 지나면 정착 가능한 대부분 종이 유입되어 안정화 단계에 이르는 것으로 알려져 있다(Williams *et al.*, 2008; Ruhí *et al.*, 2012). 둙병의 독 형태는 딱정벌레나 잠자리 등 우화시 육상으로 올라오는 분류군에 있어 매우 중요한 요인이다. 특히 딱정벌레목의 경우 우화 전 단계에서 땅을 파고 들어가 용실을 만드는 습성을 보이므로, 이들의 분포에 있어 수변부 독의 형태는 특히 중요한 요인으로 판단된다(Williams *et al.*, 1999; Merritt *et al.*, 2008).

## 요 약

일반적으로 둙병은 논 생태계 내 생물다양성 증진에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있지만, 농업생산성 증대를 위한 경지정리, 배수개선사업 등 농업환경 개선사업에 의하여 급격히 감소되었다. 근래에 들어 사회적으로 친환경농업의 활성화와 생물다양성에 대한 관심의 증대로 인하여, 논 생태계 내에 둙병을 새롭게 복원하려고 하는 노력들이 시도되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 둙병의 저서성 대형무척추동물 군집 특성을 규명하고, 둙병의 특성 및 입지조건과 저서성 대형무척추동물 군집의 관계를 분석하여 둙병 복원의 기초자료를 제공하고자 하였다. 2010년부터 2012년까지 여덟 개 지역에서 15개의 둙병을 대상으로 저서성 대형무척추동물에 대한 조사를 실시하였다. 조사결과 둙병에서는 총 131종의 저서성 대형무척추동물이 서식하는 것으로 확인되어, 둙병이 농업생태계 내 생물다양성의 유지 및 보전에 중요한 기능을 하는 것을 확인할 수 있었다. 저서성 대형무척추동물의 군집조성과 둙병의 환경적 특성 및 입지조건 분석에서는 입지적 특성이 둙병의 저서성 대형무척추동물 군집조성에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 확인되었다. 특히 둙병 독의 형태 및 둙병 조성 후 경과시간도 군집조성에 영향을 미치는 것으로 나타나 둙병의 입지적 특성과 함께 둙병 복원시 고려되어야 할 사항으로 판단된다.

## Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ008608)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Bae, Y.J., Jo, S.I., Hoang, D.H., Lee, H.G., Na, K.B., 2004. Biodiversity and community composition of benthic macroinvertebrates from Upo wetland in Korea, *Kor. J. Env. Eco.* 18, 75-91.
- Fairchild, G.W., Faulds, A.M., Matta, J.F., 2000. Beetle assemblages in ponds: effects of habitat and site age, *Freshwater Biol.* 44, 523-534.
- Hamasaki, K., Yamanaka, T., Tanaka, K., Nakatani, Y., Iwasaki, N., Sprague, D.S., 2009. Relative importance of within-habitat environment, land use and spatial autocorrelations for determining odonate assemblages in rural reservoir ponds in Japan, *Ecol. Res.* 24, 597-605.
- Han, M.S., Na, Y.E., Bang, G.S., Kim, M.H., Kang, K.K., Hong, H.K., Lee, J.T., Ko, B.G., 2008. Aquatic invertebrates in paddy ecosystem of Korea, pp. 25-524, National Academy of Agricultural Science, Suwon, Korea.
- Han, M.S., Na, Y.E., Bang, H.S., Kim, M., Kim, M.K., Roh, K.A., Lee, J.T., 2007. The fauna of aquatic invertebrates in paddy field, *Korean J. Environ. Agri.* 26, 267-273.
- Han, M.S., Nam, H.K., Kang, K.K., Kim, M.R., Na, Y.E., Kim, H.R., Kim, M.H., 2013. Characteristics of benthic invertebrates in organic and conventional paddy field, *Korean J. Environ. Agri.* 32, 9-15.
- Jeong, S.B., Kim, D.S., Jeon, H.S., Yang, K.S., Kim, W.T., 2010. Species richness of aquatic insects in wetlands along the altitudinal gradient in Jeju, Korea: Test of Rapoport's rule, *Kor. J. Appl. Entomol.* 49, 175-185.
- 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., Hwang, S.J., 2011. Effects of land use on benthic macroinvertebrate communities: Comparison of two mountain streams in Korea, *Ann. Limnol. -Int. J. Lim.* 47, S35-S49.
- Kang, H.K., Chung, K., 2010. A comparison of samplers for aquatic macroinvertebrate in rice paddies: Aquatic net, Quadrat and Core, *Kor. J. Appl. Entomol.* 49, 313-324.
- Kawai, T., Tanida, K., 2005. Aquatic insects of Japan: Manual with keys and illustrations, pp. 1-1342, Tokai University, Kanagawa, Japan.
- Kim, H.A., Choi, J.Y., Kim, S.G., Do Y., Joo, G.J., Kim, D.K., Kim, H.W., 2012. Observation and evaluation of zooplankton community characteristics in the petite ponds (Dumbeong) for irrigation: A case study in

- Goseong region of South Korea, *Korean J. Limnol.* 45, 490-498.
- Kim, J.O., Shin, H.S., Yoo, J.H., Lee, S.H., Jang, K.S., Kim, B.C., 2011. Functional evaluation of small-scale pond at paddy field as a shelter for mudfish during midsummer drainage period, *Korean J. Environ. Agri.* 30, 37-42.
- Kim, J.O., Shin, H.S., Yoo, J.H., Lee, S.H., Jang, K.S., Kim, B.C., 2011. Physicochemical and biological properties of constructed small-scale ponds for ecological improvement in paddy fields, *Korean J. Limnol.* 44, 253-263.
- Kim, S.H., Kim, J.H., Kim, J.K., 2011. Classification of small irrigation ponds in western Civilian Control Zone in Korea, *J. wetl. res.* 13, 275-289.
- Lee, C.Y., Kim, D.G., Choe, L.J., Baek, M.J., Yoon, T.J., Bae, T.J., 2012. Estimation of accumulated degree days required for the development of *Cloeon dipterum* (Ephemeroptera: Baetidae) in an experimental tub under field conditions, *Korean J. Limnol.* 45, 123-128.
- Lee, D.H., Hwang, J.W., Sung, S.H., Yoon, C.S., Cheong, S.W., 2009. A characteristic on community structure of benthic macroinvertebrates of the Shinbulsan wetland, *J. Environ. Sci.* 18, 561-567.
- Lee, J.C., Koo, B.Y., Yoon, C.S., Lee, D.J., Cheong, S.W., 2011. Seasonal changes on community structures of benthic macroinvertebrates in wetland Upo, *J. Environ. Sci.* 20, 261-274.
- McCafferty, W.P., 1983. Aquatic entomology: the fishermen's guide and ecologists' illustrated guide to insects and their relatives, pp. 1-448, Jones and Bartlett, Boston, USA.
- Merritt, R.W., Cummins, K.W., Berg, M.B., 2008. An introduction to the aquatic insects of North America, pp. 1-1158, forth ed., Kendall/Hunt, Dubuque, Iowa, USA.
- Meyer, C.K., Whiles, M.R., 2008. Macroinvertebrate communities in restored and natural Platte River slough wetlands, *J. N. Am. Benthol. Soc.* 27, 626-639.
- Pennak, R.W., 1989. Fresh-water invertebrates of the United states, third ed. John Wiley & Sons, New York.
- Ruhí a., Herrmann J., Gascón, S., Sala, Jordi., Geijer, J., Dani, B., 2012. Change in biological traits and community structure of macroinvertebrates through primary succession in a man-made Swedish wetland, *Freshwater Science* 31, 22-37.
- Ruhí, A., Boix, D., Gascón, S., Sala, J., Quintana, X.D., 2013. Nestedness and successional trajectories of macroinvertebrate assemblages in man-made wetlands, *Oecologia* 171, 545-556.
- Son, J.K., Kim, N.C., Kim, M.H., Kang, B.H., 2012. Community characteristics of benthic macroinvertebrates according to growth environment at rural palustrine wetland, *J. Korean Env. Res. Tech.* 15, 129-144.
- Thiere, G., Milenkovski, S., Lindgren, P.E., Sahlén, G., Berglund, O., Weisner S.E.B., 2009. Wetland creation in agricultural landscapes: Biodiversity benefits on local and regional scales, *Biol. Conserv.* 142, 964-973.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R., Cushing, C.E., 1980. The river continuum concept, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37, 130-137.
- Williams P., Whitfield, M., Biggs, J., 2008. How can we make new ponds biodiverse? A case study monitored over 7 years, *Hydrobiologia* 597, 137-148.
- Williams, P., Biggs, J., Whitfield, M., Thorne, A., Bryant, S., Fox, G., Nicolet, P., 1999. The pond book: A guide to the management and creation of ponds, pp. 1-111, Ponds Conservation Trust, Oxford, UK.
- Williams, P., Whitfield, M., Biggs, J., Bray, S., Fox, G., Nicolet, P., Sear, D., 2003. Comparative biodiversity of river, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England, *Biol. Conserv.* 115, 329-341.
- Yoon, I.B., 1995. Aquatic insects of Korea, Junghaengsa, Seoul, Korea.
- Yoon, I.B., Aw, S.J., Kim, J.I., 1989. Study on the structures of aquatic insect communities at five wetlands in Gyung-san-Namdo, Korea, *Korean J. Environ. Biol.* 7, 19-32.