

Research Article

Open Access

논 생태계 내 유기농법 재배 지역과 관행농법 재배 지역의 저서무척추동물군집의 특성

한민수,¹ 남형규,² 강기경,¹ 김미란,¹ 나영은,¹ 김혜림,¹ 김명현^{1*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원, ²경희대학교 생물학과 · 한국조류연구소

Characteristics of Benthic Invertebrates in Organic and Conventional Paddy Field

Min-Su Han,¹ Hyung-kyu Nam,² Kee-Kyung Kang,¹ Miran Kim,¹ Young-Eun Na,¹ Hye Rim Kim¹ and Myung-Hyun Kim^{1*} (¹Climate Change and Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 441-707, Korea, ²The Korea Institute of Ornithology and Department of Biology, Kyung Hee University, Seoul 130-701, Korea)

Received: 7 December 2012 / Revised: 2 January 2013 / Accepted: 12 January 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: Today, environmentally friendly farming has become an important feature of agricultural policy. It promotes or sustains farming systems which protect and enhance the environment. This study was conducted to compare benthic invertebrate communities in an organic and a conventional paddy field in South Korea.

METHODS AND RESULTS: Benthic invertebrates were collected at 11 regions of a rice paddy from June to August, 2009, 2010 and 2011. These comparisons undertaken using a community assessment approaches such as the number of individuals and species and community composition. Generally, the larger number of individuals and species of benthic invertebrates was observed in an organic paddy than in a conventional paddy field. Organic paddy fields could supported the wider range of species and abundance in aquatic invertebrates comparing to conventional paddy fields. Carrying capacity to support larger numbers of

invertebrates also tends to be higher in organic paddy than in conventional paddy field. Specially, organic farming regions surrounded by forests were high quality habitat for benthic invertebrates than other surrounded regions such as grassland.

CONCLUSION(S): We concluded that organic farming was more advantaged to benthic invertebrates than conventional farming. In order to improve biodiversity in rice paddy field, farming regimes without agricultural chemicals are recommended. The effect of organic management on biodiversity and abundance of benthic invertebrates could be maximized across highland farmland.

Key Words: Benthic invertebrates, Conventional paddy, Organic paddy, Rice

서론

최근 사회의 발전과 더불어 소비자들의 요구가 다양화되고, 환경에 대한 관심이 증가하면서 환경 보전에 기여하는 농업으로의 전환에 대한 필요성이 커지게 되었다(Selfa *et al.*, 2008). 이러한 추세에 맞춰 농업생태계의 다양성과 건전성을 크게 증가시키는 유기농업에 관심이 증대되었다(Ma and Joachim,

*교신저자(Corresponding author),
Phone: +82-31-290-0234; Fax: +82-31-0206;
E-mail: wildflower72@korea.kr

2006). 친환경농산물이란 환경 보전과 소비자에게 안전한 농산물을 제공하기 위해 농약과 같은 화학적 합성물 등을 전혀 사용하지 않거나 최소량만을 사용하여 생산한 농산물을 말하며, 유기농업에 의해 생산된 농산물은 우리나라 친환경농산물의 최상위단계에 위치하고 있다. 우리나라에서 유기재배로 생산된 친환경농산물의 생산량은 2003년 약 32,000톤, 2008년 약 115,000톤, 2010년 약 122,000톤으로 지속적인 증가 추세에 있다(국립농산물품질관리원 친환경인증통계정보 <http://www.enviagro.go.kr>). 유기농업은 생물학적 원리에 근거한 총체적 관리체계로서 환경 보전을 통해 생물 다양성을 개선하는 효과를 가지고 있다(Ma and Joachim, 2006). 유기 또는 관행의 방법을 통한 재배 방식의 차이는 생물 서식지에 다양한 영향을 끼치기 때문에 실제 유기농업이 생물에게 미치는 영향을 확인하기 위해서는 이들 두 농법에 따른 생물 다양성 차이를 비교할 필요가 있다.

논은 식량자원인 벼를 재배하기 위한 중요한 공간이며 물이 공급된 논에 모를 심으면서 벼의 재배가 시작된다. 이러한 물의 공급은 벼의 생산성을 높임과 동시에 다양한 생물의 서식공간을 제공하게 된다(Elphick and Oring, 2003; Taft and Haig, 2005). 대부분의 논은 벼의 이앙기부터 출수기 전까지 물을 공급하기 때문에 제한된 기간이지만 지속적이고 주기적으로 습지를 형성한다. 논 생태계의 이러한 특성으로 인해 매년 조류, 양서류, 어류, 곤충류 등 다양한 생물상들이 출현한다(Paoletti, 1995). 특히, 저서무척추동물은 논 생태계에서 저차소비자에 위치하기 때문에 먹이사슬에서 매우 중요한 역할을 차지하고 있다(Smeding and de Snoo, 2003). 일반적으로 저서무척추동물은 육상곤충과 같이 육상생활을 하던 곤충류가 2차적으로 다시 수중 생활을 하게 된 것으로 생활사(life history)가 변화된 환경에 알맞게 적응된 것들이 대부분이다(Huryn, 2009; Brand and Miserendino, 2012). 이들은 서식환경과 수질의 특성에 따라 독특한 분포를 보이기 때문에 수질오염을 평가하는 지표생물로도 많이 이용되고 있다(Guilpart *et al.*, 2012).

본 연구는 유기농업 논과 관행농업 논을 전국 단위에서 선정하여 두 재배법에 따른 저서무척추동물의 특성을 파악하고자 한다. 이를 통해 논 생태계의 다양성 보존과 복원을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

저서무척추동물 채집

본 연구는 2009년부터 2011년까지 3년에 걸쳐 전국 11개 지역(철원, 원주, 수원, 안성, 청양, 문경, 보은, 군산, 김제, 함양, 화순)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 저서무척추동물의 생물군집이 크게 변할 수 있으므로 수심이 5-10cm인 논만을 대상으로 연간 2-3회 실시하였다. 논에 서식하는 수서 생물의 밀도는 1회 조사를 기준으로 각 조사 지점별로 3회 반복하여 채집한 후 그 평균값으로 산정하였다.



Fig. 1. Map of study sites. Closed circles indicate sampling sites. (A : Cheolwon (CW), B : Suwon (SU), C : Wonju (WO), D : Ansong (AN), E : Cheongyang (CY), F : Mungyeong (MU), G : Boeun (BO), H : Gunsan (GU), I : Kimje (KI), J : Hamyang (HY), K : Hwasun (HS)).

밀도 조사는 아래위가 트인 사각 방형구(50×20×20cm)를 이용하였다. 사각 방형구를 벼 포기 사이에 고정할 후 그 안의 물을 모두 담아 망목 사이즈가 150 μ m인 망(30×30cm)으로 걸러진 생물을 얼음상자에 담아 이동하였다. 채집된 수서생물 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 참고로 하여 분류하고 종을 동정하였다.

통계 분석

유기농법과 관행농법에 따른 저서무척추동물 군집의 종수와 개체수 차이는 독립표본 t 검정을 이용하였고, 지역 간 차이는 일원배치분산분석(One-way ANOVA)을 하였다. 사후 검정으로 Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) test로 지역 간 사후 검증을 실시하였다. 모든 통계적 검증은 SPSS 21.0을 이용하였다. 평균 개체수와 종수는 평균과 표준오차로 나타냈다.

결과 및 고찰

농업생태계에서 생물다양성을 유지하는 것은 지속가능성을 뜻하며 최근 생물다양성의 복원 및 유지를 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있다(Baidu-Forson *et al.*, 2012). 유기농

법에 의한 재배 유무는 생물다양성 보전이나 유지를 위해 빼 놓을 수 없는 중요한 인자로 인지되고 있다(Hesler *et al.*, 1993; Smukler *et al.*, 2010). 본 연구에서도 논 생태계에 서식하는 저서무척추동물이 유기농법에 의한 재배 유무에 따라 다른 특성이 나타났다. 11개 조사 지점에서 관찰된 저서무척추동물은 총 93종, 평균 합계 69,612개체가 관찰되었다. 그 중 유기농법으로 재배한 논에서는 평균 22.11종, 8,149.22개체가 관찰되었으며, 관행농법으로 재배한 논에서는 평균 17.98종, 4,667.87개체가 관찰되어 유기농법으로 벼를 재배한 논이 관행농법으로 재배한 논보다 종수와 개체수 둘 다 높게 나타났다(Fig. 2; $p < 0.001$).

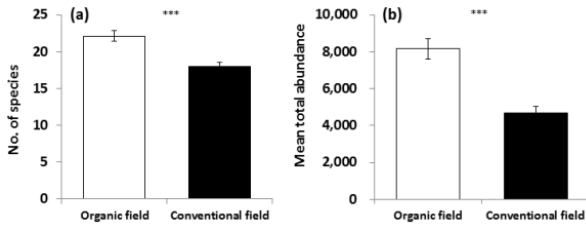


Fig. 2. Comparison of number of (a) species and (b) mean total abundance between organic field and conventional field in surveyed rice field during 2009-2011. Error bars indicate standard error (***) $p < 0.001$; independent samples t-test).

유기농법 재배 논에서만 나타난 종은 황등에불이(*Atylotus horvathi*), 고추잠자리(*Crocothemis serviliaservilia*), 애물뽕이(*Sternolophus rufipes*), 극동큰물진드기(*Haliphus basinotatus*), 호르बाट개알물진드기(*Microvelia horvathi*), 깨알물노린재(*Hebrus nipponicus*), 민무늬조개벌레(*Lynceus dauricus*) 및 털뽕족코조개(*Caenestheriella gifuensis*)로 총 8종이었으며, 관행농법 재배 논에서만 출현한 종은 깨다시등에(*Heamatopota pluvialis*), 꽃등에(*Eristalomyia tenax*), 물벌레(*Hesperocorixa distanti*), 애실소금쟁이(*Hydrometra procera*) 및 긴꼬리투구새우(*Triops longicaudatus*)로 총 5종이었다(Table 2). 특히, 관행농법 지역에서만 관찰된 파리목 중에 꽃등에는 하천 지표 생물로서 오염된 환경에 서식하는 종으로 잘 알려져 있다(Metcalf, 1989).

분류군별 구성을 살펴보면 유기농법 지역에서는 딱정벌레목(Coleoptera)이 24종으로 가장 많은 비중을 차지했으며(30%), 그 다음으로 잠자리목(Odonata) 14종(17%), 파리목(Diptera) 13종(16%), 노린재목(Hemiptera) 13종(16%), 기안목(Basommatophora) 5종(6%) 순이었다. 관행농법 지역에서는 딱정벌레목 22종(26%), 파리목 14종(17%), 노린재목 13종(15%), 잠자리목 12종(14%), 기안목 5종(6%), 증복족목(Maesogastropoda) 5종(6%) 순으로 나타났다(Fig. 3). 유기농법 지역과 관행농법 지역 모두 다른 저서생물을 포식하

는 포식성 섭식기능군(Predator)의 비중이 컸고, 저수지 등과 같이 정수역에서 많이 보이는 저서생물 구성과 동일한 특성을 가지는 것을 확인 할 수 있었다(Yoon *et al.*, 1989). 영농 방법에 따른 상위 포식자 분류군인 딱정벌레목, 잠자리목, 노린재목을 비교해볼 때 유기농법 지역이 관행농법 지역보다 상위 포식자 구성이 더 높은 것으로 나타났다(Fig. 2). 이와 같이 유기농법 지역의 상위 포식자의 비중이 높은 것은 먹이사슬의 관계에서 유기농법 지역이 관행농법 지역보다 더 안정적인 생태계 구조를 형성하기 때문으로 생각된다(Wilson *et al.*, 2005).

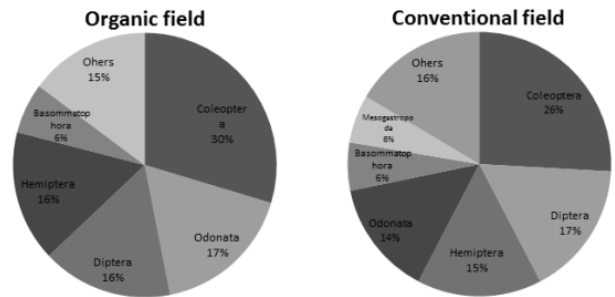


Fig. 3. Order composition of benthic invertebrates in organic and conventional field.

출현 개체군을 기준으로 살펴보면 상위 다섯 번째 종까지는 유기농법과 관행농법으로 재배한 논 모두 깔다구류(Chironomidae), 패형류(Ostracoda), 새각류(Branchiopoda), 요각류(Copepoda), 아가미실지렁이(*Branchiura sowerbyi* Beddard) 순으로 같았고, 상위 여섯 번째 종부터 약간의 차이가 있었다. 유기농법으로 재배한 논은 왕우렁이(*Anpullarius insularis*), 수정또아리물달팽이(*Hippeutis oantor*), 애기물달팽이(*Ausropeplea ollula*), 또아리물달팽이(*Gyraulus convexiusolus*), 작은쇠우렁이(*Gabbia kiusiuensis*) 순이었고, 관행농법으로 재배한 논은 애기물달팽이, 작은쇠우렁이, 수정또아리물달팽이, 원돌이물달팽이(*Physella acuta*), 왕우렁이 순으로 나타났다(Table 1). 유기농법 재배 논과 관행농법 재배 논에서 출현한 상위 다섯 종의 평균 개체수 비율은 95% 이상으로 나타났다. 이는 논이 벼 재배 과정에서 유입되는 유기물에 의해 일부 종의 발생이 높게 나타났기 때문으로 판단된다(Roger, 1996). 논에 물이 유입되고 유기물이 늘어난 경우 깔다구류가 대 발생하는 것은 이미 많은 연구를 통해 알려져 있다(Simpson *et al.*, 1994). 상위 10개의 우점종에서 관행농법 지역에서만 나타난 원돌이물달팽이는 외래종으로 부식질을 먹이로 하는 대표적인 오염지표종이며(Taylor, 2003; Cope and Winterbourn, 2004), 관행농법 지역이 유기농법 지역보다 상대적으로 더 오염되었음을 확인 시켜주는 또 다른 대표 종으로 생각할 수 있다.

Table 1. Dominant benthic invertebrate species ranking in abundance in organic and conventional field

No.	Organic field	(%)	Conventional field	(%)
1	<i>Chironomidae</i>	36.82	<i>Chironomidae</i>	35.73
2	<i>Ostracoda</i>	29.59	<i>Ostracoda</i>	31.91
3	<i>Branchiopoda</i>	23.09	<i>Branchiopoda</i>	22.07
4	<i>Copepoda</i>	6.23	<i>Copepoda</i>	7.21
5	<i>Branchiura sowerbyi</i> Beddard	1.93	<i>Branchiura sowerbyi</i> Beddard	0.53
6	<i>Anpullariusinsularus</i>	0.37	<i>Austropeplea ollula</i>	0.53
7	<i>Hippeutis oantor</i>	0.34	<i>Gabbia kiusiuensis</i>	0.30
8	<i>Austropeplea ollula</i>	0.22	<i>Hippeutis oantor</i>	0.26
9	<i>Gyraulus convexiusoulus</i>	0.20	<i>Physella acuta</i>	0.22
10	<i>Gabbia kiusiuensis</i>	0.19	<i>Anpullarius insularus</i>	0.18
11	others	1.01	others	1.05

Table 2. Comparison of collected benthic invertebrates in conventional and organic field at sampling sites

Species	Organic field	Conventional field
<i>Atylotus horvathi</i>	○	
<i>Heamatopota pluvialis</i>		○
<i>Eristalomyia tenax</i>		○
<i>Crocothemis serviliaservilia</i>	○	
<i>Sternolophus rufipes</i>	○	
<i>Haliphus basinotatus</i>	○	
<i>Microvelia horvathi</i>	○	
<i>Hesperocorixa distanti</i>		○
<i>Hydrometra procera</i>		○
<i>Hebrus nipponicus</i>	○	
<i>Triops longicaudatus</i>		○
<i>Lynceus dauricus</i>	○	
<i>Caenestheriella gifuensis</i>	○	
No. of species	8	5

일반적으로 논에 서식하는 저서무척추동물은 논 특성상 갈다구류(Chironomidae)와 같은 오염의 내성 범위가 큰 종들이 분포하는 특성을 가진다(Han *et al.*, 2008). 본 연구 결과에서도 동일한 종 구성 특성을 보였으며, 더 나아가 유기농법 지역과 관행농법 지역에서도 차이가 나타났다. 특히, 종의 구성상에서 관행농법 지역이 유기농법 지역보다 오염된 지역의 특성을 나타내는 원돌이물달팽이와 꽃등에의 빈도가 높았다.

유기농법 재배 논과 관행농법 재배 논의 개체수와 종수의 관계를 살펴보면, 관행농법으로 재배한 논보다 유기농법으로 재배한 논이 종수와 개체수에 있어서 넓은 범위를 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 특히, 관행농법으로 재배한 논은 유기농법으로 재배한 논과 비슷한 종수의 범위를 갖는다고 할지라도(10종에서 30종 범위), 개체수는 유기농법 논과 비교하여 훨씬 좁은 5,000개체 미만에 대부분이 모여 있는 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 4). 이를 통해 논에 농약과 같은 화학물질이 투

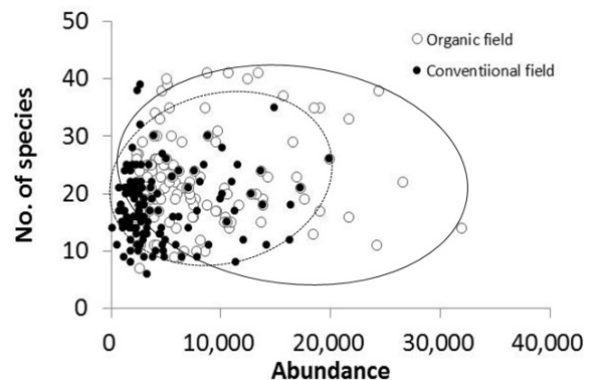


Fig. 4. Relations between number of individuals and species richness. Each point indicates each sampling sites. Open circle indicate organic field and closed circle indicate conventional field in surveyed rice field during 2009-2011.

입될 경우 저서무척추동물의 수용능력(carrying capacity)이 급격히 떨어지는 것을 알 수 있었다. 논 생태계에서 화학 비료의 사용은 서식생물의 종수와 개체수를 급격히 감소시킨다는 결과와 동일한 결론을 본 연구에서도 얻을 수 있었다 (Grant *et al.*, 1983; Mesléard *et al.*, 2005).

지역별 유기농법 재배 논과 관행농법 재배 논의 종수를 살펴보면 안성(AN), 함양(HY), 김제(KI), 수원(SU)에서 차이를 확인할 수 있었고, 개체수의 차이는 안성, 군산(GU), 함양, 김제, 수원에서 확인할 수 있었다(Table 3). 지역별 영농방법에 따른 종수와 개체수는 큰 차이를 나타냈다. 유기농법으로 재배한 지역끼리 종수와 개체수를 비교해보면 상당히 유의한 차이($p < 0.001$)를 나타낸 반면, 관행농법으로 재배한 지역끼리는 차이를 나타내긴 하지만 유기농법으로 재배한 지역끼리의 차이보다는 상대적으로 낮은 종수($p < 0.01$)와 개체수 ($p < 0.05$)의 차이를 확인할 수 있었다. 이를 통해 관행농법 지역에 비해 유기농법 지역은 저서무척추동물이 지역에 따라 훨씬 더 큰 영향을 받는다는 것을 파악할 수 있었고 관행농법 지역의 저서무척추동물 군집 구성이 유기농법 지역보다 상대적으로 단조로운 형태를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

지역 내에서 종수와 개체수 모두 유의한 차이를 나타내는 지역은 안성, 함양, 김제, 수원 지역으로 확인되었다(Table 3). 그 중 수원은 생물다양성 연구를 위해 관리된 곳으로 이 지역을 제외한 나머지 지역은 조사지 주변 경관이 농업 환경 뿐만 아니라 산림생태계가 잘 발달한 지역이었다(Fig. 5). 저서 생물이 수질과 같은 미시적 요인뿐만 아니라 경관과 같은 거시적 요인(large scale factors)에 의해서도 영향을 받는다는 연구결과는 이미 확인된 바 있다(Ballinger *et al.*, 2005; Probst *et al.*, 2005). 본 연구에서도 동일한 연구 결과를 보여주고 있다. 산림생태계가 발달한 안성, 함양, 김제 지역에서 유기농법으로 관리된 지역이 관행농법으로 관리된 지역보다 훨씬 높은 종수와 개체수를 나타내는 것으로 볼 때, 논 생태

계에서 유기농법을 통한 생물종다양성 복원을 기대하기 좋은 조건 중 하나는 주변 경관이 산림 생태계로 이루어진 지역으로 판단된다.

생물의 특성을 통해 그 지역의 환경을 평가하는 방법은 지속적으로 발전되어 왔으며, 본 연구에서도 유기농법 지역과 관행농법 지역에서 생물군집이 다른 구성을 갖고 있음을 저서무척추동물 군집을 통해 확인 할 수 있었다(Metcalf, 1989). 이를 통해 농약과 같은 화학물질이 생물상에 크게 영향을 끼치고 있음을 확인하였으며, 거시적인 관점에서 이러한 영향은 산림 생태계가 발달한 논에서 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 벼(*Oryza sativa*)는 전 세계적으로 114개국에서 재배하며, 그 면적은 전 세계 습지 면적의 약 15%를 차지하고 있다(Lawler, 2001). 뿐만 아니라 논이 단순히 식량을 생산하는 기능에 머물지 않고 지역의 야생동물에게 서식지를 제공하는 기능이 밝혀지면서 최근 급속히 관심이 증대되고 있다. 인간이 만든 인공습지(artificial wetland)로서 논생태계의 관리는 다양한 야생동물의 보존의 기능을 가지고 있음을 인지하고 논 생태계의 생물다양성 증진을 위한 지속적인 관심과 연구가 필요할 것으로 생각된다.

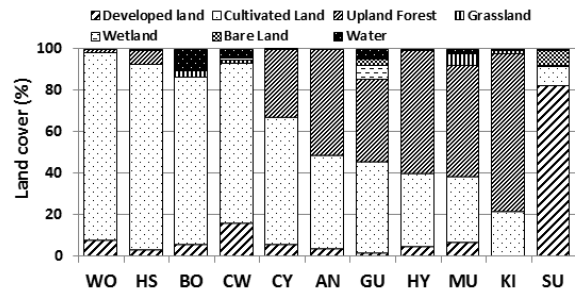


Fig. 5. Differences of land cover types at difference sampling sites. Abbreviation of the surveyed sites are shown in Figure 1.

Table 3. Comparison of number of individuals of benthic invertebrate at each sampling sites in organic and conventional field. Parenthesis indicate standard error. Abbreviation of the surveyed sites are shown in Figure 1

	AN	BO	CY	GU	HS	HY	KI	MU	SU	WO	p-value
No. of species											
Organic	35.13 (1.65)	18.92 (1.99)	23.00 (2.11)	16.67 (1.41)	20.38 (1.25)	26.93 (1.80)	18.47 (1.41)	19.25 (1.77)	21.53 (0.80)	17.67 (1.71)	$p < 0.001$
Conventional	25.73 (2.00)	16.46 (1.16)	19.25 (2.80)	13.33 (1.09)	17.30 (2.10)	20.20 (1.12)	13.80 (1.20)	19.25 (1.77)	18.00 (0.92)	18.00 (1.46)	$p < 0.01$
p-value	$p < 0.001$	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	$p < 0.01$	$p < 0.05$	n.s.	$p < 0.01$	n.s.	
No. of individuals											
Organic	9997.78 (1,662.49)	6423.41 (1,409.11)	5918.42 (1,157.29)	5448.11 (574.67)	7958.71 (1,298.23)	12695.78 (2,287.21)	10629.02 (1,617.10)	9445.92 (1,998.48)	4850.75 (880.78)	8489.92 (2,357.85)	$p < 0.001$
Conventional	5523.20 (1,309.17)	3818.69 (1,103.49)	3694.67 (1,041.50)	3300.00 (446.65)	4506.4 (1,130.86)	6127.76 (1,094.48)	5468.4 (917.16)	6720.08 (2,365.41)	1949.09 (263.86)	7215.64 (2,766.16)	$p < 0.05$
p-value	$p < 0.05$	n.s.	n.s.	$p < 0.01$	n.s.	$p < 0.01$	$p < 0.05$	n.s.	$p < 0.01$	n.s.	

요 약

최근 사회의 발전과 더불어 소비자들의 요구가 다양화되고, 환경에 대한 관심이 증가하면서 생산성 증대에서 환경 보전에 기여하는 농업으로의 전환의 필요성이 커지게 되었다. 유기농법과 관행농법과 같은 재배 방식의 차이는 생물 서식지에 다양한 영향을 끼치기 때문에 실제 유기농업이 생물에게 미치는 영향을 확인하기 위해서 두 농법에 따른 생물다양성 차이를 비교할 필요가 있다. 본 연구는 유기농법 지역과 관행농법 지역의 저서무척추동물의 군집 특성을 비교하기 위해 수행되었다. 조사 기간은 2009년부터 2011년까지였고 11개 지역을 조사 대상으로 하였다. 영농방법에 따라 개체수, 종수, 종구성 특성을 비교하였다. 저서무척추동물은 유기농법 지역에서 훨씬 많은 개체수와 종수가 기록되었으며, 종수와 개체수의 범위도 관행농법 지역에 비해 월등히 높은 것을 확인 할 수 있었다. 특히, 산림 지역으로 둘러싸인 지역에서 유기농법으로 재배할 경우 다른 경관적 요소로 둘러싸인 지역보다 저서무척추동물의 종수 및 개체수 증가에 더 큰 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있었다. 종다양성을 유지 또는 회복하기 위해서 농약과 같은 화학물질의 사용을 제한해야 하며, 특히, 산간 지역의 논생태계에서 유기농법으로 벼를 재배할 경우 저서무척추동물의 종다양성이 크게 높아질 것으로 기대된다.

감사의 글

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.

참고문헌

- Baidu-Forsom, J.J., Hodgkin, T., Jones, M., 2012. Introduction to special issue on agricultural biodiversity, ecosystems and environment linkages in Africa, *Agric. Ecosyst. Environ.* 157, 1-4.
- Ballinger, A., Nally, R.M., Lake, P.S., 2005. Immediate and longer-term effects of managed flooding on floodplain invertebrate assemblages in south-eastern Australia: generation and maintenance of a mosaic landscape, *Fresh. Biol.* 50, 1190-1205.
- Brand, C., Miserendino, M.L., 2012. Life cycle phenology, secondary production, and trophic guilds of caddisfly species in a lake-outlet stream of Patagonia, *Limnologica* 42, 108-117.
- Cope, N., and M. Winterbourn. 2004. Competitive interactions between two successful molluscan invaders of freshwaters: an experimental study, *Aquat. Ecol.* 38, 83-91.
- Elphick, C.S., Oring, L.W., 2003. Conservation implications of flooding rice fields on winter waterbird communities, *Agric. Ecosyst. Environ.* 94, 17-29.
- Grant, I.F., Tirol, A.C., Aziz, T., Watanabe, I., 1983. Regulation of Invertebrate Grazers as a Means to Enhance Biomass and Nitrogen Fixation of Cyanophyceae in Wetland Rice Fields, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 669-675.
- Guilpart, A., Roussel, J.-M., Aubin, J., Caquet, T., Marle, M., Le Bris, H., 2012. The use of benthic invertebrate community and water quality analyses to assess ecological consequences of fish farm effluents in rivers, *Ecol. Indic.* 23, 356-365.
- Han, M.S., Y.E. Na, H.S. Bang, M.H. Kim, K.K. Kang, H.K. Hong, J. T. Lee, and B.G. Ko. 2008. Aquatic invertebrates in paddy ecosystem of Korea. p. 1-529. National Academy of Agricultural Science, Swon, Korea.
- Hesler, L.S., Grigarick, A.A., Oraz, M.J., Palrang, A.T., 1993. Arthropod Fauna of Conventional and Organic Rice Fields in California, *J. Econ. Entomol.* 86, 149-158.
- Hurn, A.D., 2009. Aquatic Insects-Ecology, Feeding, and Life History, In: Editor-in-Chief: Gene, E.L. (Ed.), *Encyclopedia of Inland Waters*, Academic Press, Oxford, pp. 132-143.
- Lawler, S.P., 2001. Rice fields as temporary wetlands: a review, *Isr. J. Zool.* 47, 513-528.
- Ma, S.-m., Joachim, S., 2006. Review of History and Recent Development of Organic Farming Worldwide, *Agric. Sci. China* 5, 169-178.
- Mesléard, F., Garnero, S., Beck, N., Rosecchi, É., 2005. Uselessness and indirect negative effects of an insecticide on rice field invertebrates, *Compt. Rend. Biol.* 328, 955-962.
- Metcalf, J.L., 1989. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe, *Environ. Poll.* 60, 101-139.
- Paoletti, M.G., 1995. Biodiversity, traditional landscapes and agroecosystem management, *Landsc. Urban Plann.* 31, 117-128.
- Probst, M., Berenzen, N., Lentzen-Godding, A., Schulz, R., Liess, M., 2005. Linking land use variables and invertebrate taxon richness in small and medium-sized agricultural streams on a landscape level, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 60, 140-146.
- Roger, P.A., 1996. Biology and management of the floodwater ecosystem in rice fields, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

- Selfa, T., Jussaume, R.A., 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. *J. Rural Stud.* 24, 262-276.
- Simpson, I., Roger, P., Oficial, R., Grant, I., 1994. Effects of nitrogen fertilizer and pesticide management on floodwater ecology in a wetland ricefield, *Biol. Fertil. Soils* 17, 129-137.
- Smeding, F.W., de Snoo, G.R., 2003. A concept of food-web structure in organic arable farming systems, *Landsc. Urban Plann.* 65, 219-236.
- Smukler, S.M., Sánchez-Moreno, S., Fonte, S.J., Ferris, H., Klonsky, K., O'Geen, A.T., Scow, K.M., Steenwerth, K.L., Jackson, L.E., 2010. Biodiversity and multiple ecosystem functions in an organic farmscape, *Agric. Ecosyst. Environ.* 139, 80-97.
- Taft, O.W., Haig, S.M., 2005. The value of agricultural wetlands as invertebrate resources for wintering shorebirds, *Agric. Ecosyst. Environ.* 110, 249-256.
- Taylor, D.W. 2003. Introduction to physidae (Gastropoda: Hygrophila), Biology, classification, morphology. *Rev. Biol. Trop.* 51: 1-299.
- Wilson, A.L., Ryder, D.S., Watts, R.J., Stevens, M.M., 2005. Stable isotope analysis of aquatic invertebrate communities in irrigated rice fields cultivated under different management regimes, *Aquat. Ecol.* 39, 189-200.
- Yoon, I.B., S.J. Aw, and J.I. Kim. 1989. Study on the structures of aquatic insect communities at five wetlands in Gyung-sang-Nam-do, Korea, *Korean J. Environ. bio.* 7, 19-32.
- Yoon, I.B. 1995. Aquatic Insects of Korea, Jeonghansa, Seoul.