

관행농업과 유기농업이 논둑에 서식하는 토양배회성 무척추동물에 미치는 영향*

김명현** · 최락중*** · 한민수*** · 최순군*** · 나영은*** · 강기경*** · 어진우***

Effects of Conventional and Organic Farming on Ground-dwelling Invertebrates in Paddy Levees

Kim, Myung-Hyun · Choe, Lak-Jung · Han, Min-Su · Choi, Soon-Kun ·
Na, Young-Eun · Kang, Kee-Kyung · Eo Jinu

This study was conducted to compare the community structure and biodiversity of ground-dwelling invertebrates between conventional and organic paddy fields's levees. Ground-dwelling invertebrates were collected using a pitfall trap every month for two years (2010-2011) in levees of conventional and organic paddy fields. The numbers of species and individuals were higher in organic paddy field than in conventional paddy field. For the pests, the treatment of insecticide and herbicide reduced the number of Delphacidae, and Chrysomelidae, but did not affect the other pests such as Chronomidae, Culicidae, Thripidae, and Aphididae. For the natural enemies, the treatment reduced the number of individuals of most of enemy's taxon (except only one taxonomic group, Ichneumonidae) in the levee of conventional paddy field.

Key words : *natural enemy, organic farming, paddy levee, pest*

* 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ00919806) 및 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호 : PJ00860801)의 지원에 의해 이루어진 것임

** Corresponding author, 국립농업과학원 기후변화생태과(wildflower72@korea.kr)

*** 국립농업과학원 기후변화생태과

I. 서 론

농업생태계는 영농과정에서 끊임없는 교란이 일어나며 교란의 성격이나 방법에 따라 서식생물의 종의 구성이나 밀도에 영향을 미치게 된다(Bengtsson et al., 2005). 그 결과 농경지에 서식하는 생물들의 생태적 역할의 정도에도 영향을 미치게 될 것이다(Takada et al., 2014). 최근 사회의 발전과 더불어 소비자들의 요구가 다양화되고, 환경에 대한 관심이 증가하면서 환경보전을 고려한 농업으로의 전환에 대한 필요성이 커지게 되었다(Selfa et al., 2008). 이러한 추세와 함께 농업생태계의 다양성과 건전성을 향상시키는 유기농업에 대한 관심도 함께 증대되었다(Ma and Joachim, 2006). 이러한 사회적 여건을 고려하여 우리나라에서는 1997년 국가 차원에서 「환경농업육성법」을 제정하였고, 이 법은 이후 2001년에 「친환경농업육성법」, 2013년에 「친환경농업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률」로 개정되어 왔다. 초기의 친환경농산물은 유기농산물, 무농약농산물 및 저농약농산물로 구분되었으나, 2010년부터 친환경농산물 중 신뢰도가 낮은 저농약농산물을 폐지하여, 현재는 유기농산물과 무농약농산물로 분류된다. 유기농산물은 유기합성농약과 화학비료를 사용하지 않고 재배한 농산물이며, 무농약농산물은 유기합성농약은 사용하지 않고 화학비료는 권장시비량의 1/3 이하를 사용하여 재배한 농산물을 말한다.

이러한 친환경농업이 실질적으로 농업생태계에서 생물다양성 보전과 같은 환경보전기능을 가지고 있는지에 대한 연구가 최근에 많이 수행되어 지고 있다(Hesler et al., 1993; Drinkwater et al., 1995; Bengtsson et al., 2005; Hole et al., 2005; Smith et al., 2008; Kim et al., 2011; Yachi et al., 2012; Lee et al., 2013). 하지만 대부분의 연구가 작물이 자라고 있는 농경지 내부에서 수행이 되어져 왔으며, 논에서도 본답을 위주로 수서생물에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다(Kim et al. 2009; Han et al., 2002; Han et al., 2013a; Han et al., 2013b). 하지만 농경지를 둘러싸고 있는 논둑을 포함한 주변부는 농경지 내에서 일어하는 제초 및 살충과 같은 영농활동이 있을 때, 농경지에 서식하는 생물의 피난처의 역할을 수행하기 때문에 농경지 내부보다 상대적으로 생물다양성이 다양한 것으로 알려져 있지만(Kaule and Krebs, 1989; Marshall and Moonen, 2002), 이러한 농경지 주변부에 대한 연구는 많이 이루어지지 않은 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 관행농업 및 유기농업과 같은 농경지 관리가 논둑에 서식하는 토양배회성 무척추동물 군집에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지역 및 조사시기

본 연구는 경기도 수원시 농촌진흥청 구 시험포장에서 2010년 1월부터 2011년 12월까지 2년에 걸쳐 수행되었다(Fig. 1A). 유기재배 논 면적은 140 m²로 2009년부터 벼의 재배기간 동안 제초제 및 살충제를 전혀 사용하지 않았다. 따라서, 제초는 손으로 하였고, 유기물 공급은 유기질비료(유박)를 연간 2000 kg ha⁻¹ 투입하였다. 관행재배 논 면적은 320 m²로 제초제는 연간 2회, 살충제는 연간 1회 처리하였다. 관행농업과 유기농업 논 사이에는 약 1 m 폭의 수로를 설치하였다. 관행농업에 사용된 제초제는 이앙 전에는 마세트(주성분: Butachlor)를 30 kg ha⁻¹ 처리하였으며, 이앙 10일 후 폴스톱(주성분: Fentrazamide + Pyrazosulfuron-ethyl)을 30 kg ha⁻¹ 처리하였다. 살충제는 벼멸구 발생 시기(9월)에 맞추어 비선택성 살충제인 파단(주성분: Cortap hydrochloride) 수용제를 살포하였다. 토양배회성 무척추동물의 포획을 위한 트랩이 설치된 논둑은 관행 및 유기농업 논 모두 예초기로 관리하였다.

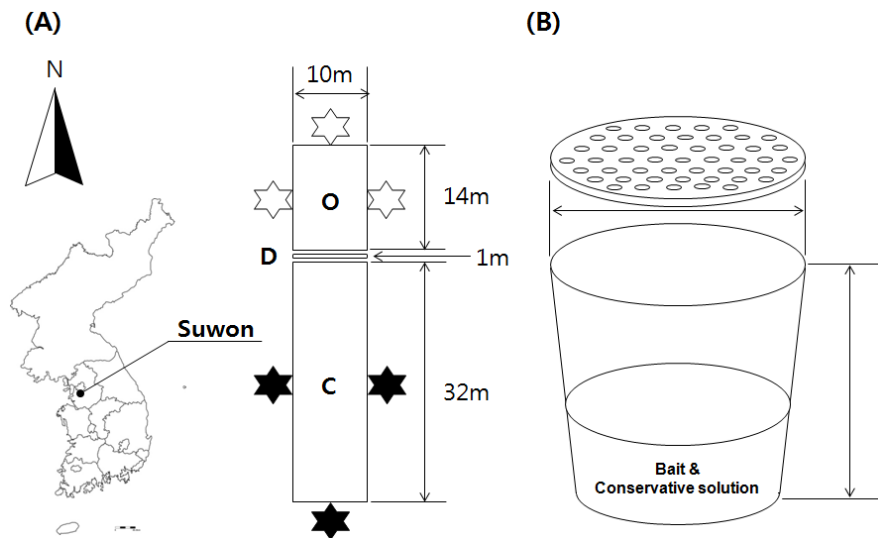


Fig. 1. (A) Study site and (B) pitfall trap used in this study.

O : Organic paddy field, C : Conventional paddy field, D : Ditch, white star : pitfall trap points of organic site, black star : pitfall trap points of conventional site

2. 조사방법

토양배회성 무척추동물의 채집은 관행재배 및 유기재배 논에서 각 3지점을 선정하여 함

정트랩(pitfall trap)을 설치하였다(Fig. 1A). 트랩은 상부직경 180 mm, 높이 220 mm의 플라스틱 용기를 이용하였으며, 직경 10 mm의 구멍이 뚫린 덮개가 있어 토양배회성 무척추동물을 제외한 양서류, 포유류 등 소형 동물의 트랩 내 유입을 방지하였고, 또한 우천 시 트랩 안으로 강우가 들어가지 않도록 덮개 상부에 직경 200 mm의 갓을 설치하였다(Fig. 1B). 유인제 및 보존액(95% ethanol : ethylene glycol : water = 70:15:15)을 각 트랩에 500 ml씩 넣고 트랩의 상부가 지면과 평행하도록 설치하였다. 채집된 샘플은 약 1개월(28 ± 3 일) 주기로 월 말에 수거하였다.

3. 분석방법

각 트랩에서 수거한 샘플은 아이스박스 보관 후 실험실로 이동, 배회성 무척추동물만 골라내어 70% ethanol에 보존, 해부현미경 Leica DE/MZ 7.5를 이용하여 국내외 문헌을 참고하여 동정하였다(Aoki, 1999; Woo and Shin, 2000; Namkung, 2001; Ku et al., 2001; Lee and An, 2001; Cho and Ahn, 2001; Park and Paik, 2001; Kwon and Huh, 2001; Cha et al., 2001). 동정은 가능한 한 종 수준까지 하였으며, 종 수준의 분류가 어려운 경우에는 과(Family)나 속(Genus) 수준까지 동정하였다.

기온과 강수량 자료는 조사지점에서 북쪽으로 약 1.5 km에 위치한 수원기상대의 자료를 활용하였다.

채집된 배회성 무척추동물의 종수 및 개체 수의 연간변동 추이는 대조구 및 처리구의 트랩 1개를 1 반복으로 간주하여 평균(\pm 표준오차)을 비교하였다. 종수 및 개체 수의 조사년도와 처리에 따른 통계적 유의성 검증에는 이원분산분석(two-way ANOVA)을 이용하였다. 분류군에 따른 개체 수 분석은 월별 출현빈도가 40% 이상인 분류군을 대상으로 하였으며, 각 분류군의 농업적 효과(보건 및 농업적 측면에서 유의한지 유해한지의 여부)는 관련 문헌을 참고하였다(Nyffeler and Benz, 1987; Kromp, 1999; Thomson and Hoffmann, 2010). 개체 수 분석에서는 개체 수를 로그변환 후 이용하였다. 통계적 유의성 검증에 대한 분석은 SAS program ver 9.2 (SAS institute)을 이용하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 기상 조건

조사기간 동안 월별 기온 및 강수량 변동은 Fig. 2와 같다. 연평균기온은 2010년이 12.2 °C, 2011년이 11.8°C를 나타냈으며, 11월을 제외하고 전반적으로 2010년에 비해 2011년의

기온이 낮은 경향을 나타냈다. 특히 1월의 경우 2011년 기온이 -7.3°C 로 2010년의 -4.4°C 보다 3°C 정도 낮은 것으로 나타났다. 강수량의 경우 2010년에는 1,471 mm, 2011년에는 1,976 mm로 나타났으며, 2010년에는 8월과 9월에 강우가 집중된 반면 2011년에는 6월과 7월에 강우가 집중된 것으로 나타났다.

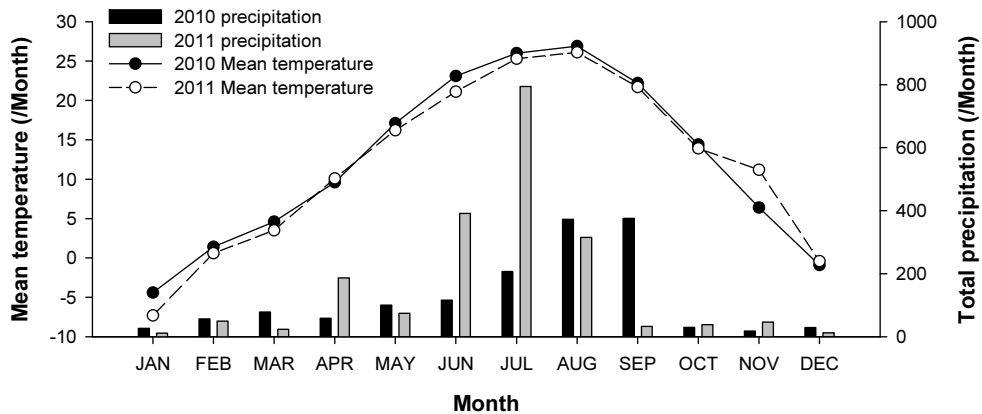


Fig. 2. Seasonal changes in the monthly mean air temperature ($^{\circ}\text{C}$) and precipitation (mm) of study site.

2. 토양배회성 무척추동물 종수 및 개체 수 변동

본 조사에서 확인된 배회성 무척추동물의 월별 출현종수 및 개체 수는 유기농업이 관행농업보다 높은 것으로 나타났지만, 전반적인 계절변동은 농법 간 유사한 경향을 보였다 (Fig. 3). 종수는 2010년에 비하여 2011년이 전반적으로 적은 것으로 나타났으며, 특히 8월과 9월에 종수가 상대적으로 낮은 경향을 보였다. 개체 수 변동은 2010년과 2011년에서 다른 경향을 나타냈다. 2010년에는 6월에 급격히 증가하여 10월 이후에 급격히 감소한 반면, 2011년에는 6월에 가장 많은 개체 수를 보인 뒤 7월과 8월에 급격히 감소하였다. 8월 이후 9월과 11월에는 개체 수가 다시 회복하는 경향을 보였다. 종수 및 개체 수에 대한 이원분산 분석 결과에서는 월, 년 및 처리에 따라 모두 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 상호작용의 영향은 없는 것으로 나타났다(Table 1).

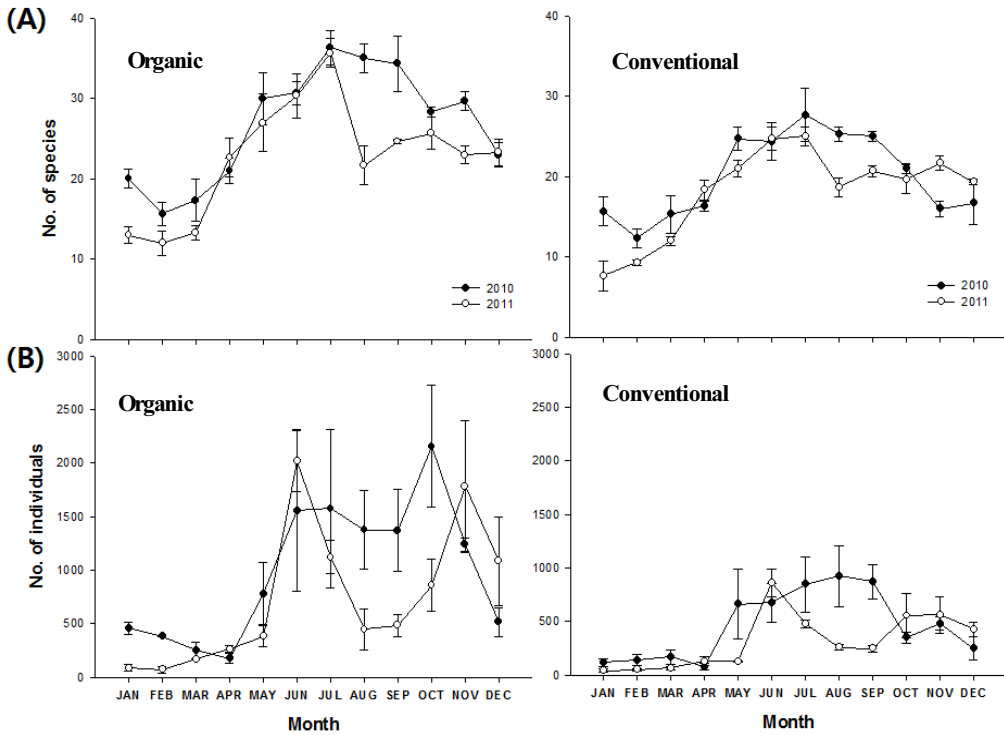


Fig. 3. Seasonal changes in (A) the number of species and (B) the number of individuals of ground-dwelling invertebrates on paddy levees (point : average value, upper and under bar : standard error).

Table 1. Results of ANOVA on the number of species and the number of individuals of ground dwelling invertebrates

	Factor	df	MS	F	p
No. of species	Month	11	241.73	18.43	<0.0001
	Year	1	270.75	20.64	<0.0001
	Treat	1	290.08	22.12	<0.0001
	Year*Treat	1	0.33	0.03	NS
	Error	33	13.12		
No. of individuals	Month	11	5.44	0.49	<0.0001
	Year	1	1.31	1.31	<0.0001
	Treat	1	0.51	0.51	0.0012
	Year*Treat	1	<0.001	<0.001	NS
	Error	33	0.04		

3. 농경지 관리에 따른 각 분류군의 반응

본 조사지 논둑에서는 배회성 무척추동물중 문(Phylum) 수준에서는 절지동물문이 주로 채집되었으며, 강(Class) 수준에서는 거미강(Arachnida), 내구강(Entognatha), 곤충강(Insecta)이 주로 채집되었다. 거미강에서는 진드기아강(Acari)과 거미목(Araneae)이, 곤충강에서는 파리목(Diptera), 벌목(Hymenoptera), 총채벌레목(Thysanoptera), 노린재목(Hemiptera) 및 딱정벌레목(Coleoptera)이 높은 비율로 채집되었다.

이월분산분석의 주요 요인으로는 조사년도(year), 처리(treat)를 두었으며, 각 조사가 이루어진 월(month)을 블록으로 지정하여 분석하였다. 배회성 무척추동물의 생활사적 측면에서 대부분의 분류군이 겨울철 밀도가 감소하고 봄~가을철 밀도가 증가하는 경향을 보이므로, 주로 요인은 조사년도와 처리만으로 한정하여 분석 결과를 설명하였다. 연도 간 및 처리 간 차이의 유의성을 기준으로 채집된 분류군을 4그룹으로 구분할 수 있었다. 즉, 연도와 처리에서 모두 유의한 차이가 있는 것으로 나타난 그룹(SYT), 연도에서만 유의한 차이가 있는 것으로 나타난 그룹(SY), 처리에서만 유의한 차이가 있는 것으로 확인된 그룹(ST) 및 연도와 처리 모두 유의한 차이가 없는 그룹(NS)으로 구분되었다.

각 분류군별로 아목(Suborder) 또는 과(Family) 수준에서 이월분산분석을 실시한 결과는 다음과 같다. 거미강 중 진드기아강의 무기문아목(Astigmata), 중기문아목(Mesostigmata) 및 은기문아목(Oribatida)은 ST그룹으로 확인되었다. 거미목의 염낭거미과(Clubionidae)와 늑대거미과(Lycosidae)는 ST그룹으로 분석되었으며, 접시거미과(Linyphiidae)와 꼬마거미과(Theridiidae)는 SYT그룹으로 분석되었다(Table 2).

Table 2. Results of ANOVA on the number of individuals of each taxonomic (Family or Suborder) group in Class Arachnida

Taxon	Factor	df	MS	F	p
Subclass Acari					
Astigmata (ST)	Month	11	1.298103	4.88	0.0002
	Year	1	1.016448	3.82	NS
	Treat	1	1.106932	4.16	0.0495
	Year*Treat	1	0.032553	0.12	NS
	Error	33	0.266126		

Taxon	Factor	df	MS	F	p
Mesostigmata (ST)	Month	11	1.670494	9.02	<.0001
	Year	1	0.677611	3.66	NS
	Treat	1	0.825799	4.46	0.0424
	Year*Treat	1	0.122294	0.66	NS
	Error	33	0.185238		
Oribatida (ST)	Month	11	3.651678	19.8	<.0001
	Year	1	0.000251	0	NS
	Treat	1	0.834525	4.53	0.0409
	Year*Treat	1	0.044812	0.24	NS
	Error	33	0.184394		
Order Araneae					
Clubionidae (ST)	Month	11	0.650468	8.6	<.0001
	Year	1	0.000414	0.01	NS
	Treat	1	0.358647	4.74	0.0367
	Year*Treat	1	0.229928	3.04	NS
	Error	33	0.075633		
Linyphiidae (SYT)	Month	11	0.263458	4.12	0.0008
	Year	1	0.387328	6.06	0.0192
	Treat	1	0.559257	8.75	0.0057
	Year*Treat	1	0.01854	0.29	NS
	Error	33	0.063896		
Lycosidae (ST)	Month	11	0.432231	6.36	<.0001
	Year	1	0.128009	1.88	NS
	Treat	1	0.807168	11.87	0.0016
	Year*Treat	1	0.000701	0.01	NS
	Error	33	0.068004		
Theridiidae (SYT)	Month	11	0.156082	3.55	0.0023
	Year	1	1.909484	43.38	<.0001
	Treat	1	1.195762	27.16	<.0001
	Year*Treat	1	0.015856	0.36	NS
	Error	33	0.04402		

내구강의 털보톡토기과(Entomobryidae), 보라톡토기과(Hypogastruridae), 마디톡토기과(Isotomidae)는 SYT그룹으로 분석되었으며, 등근톡토기과(Sminthuridae)는 ST그룹으로 분석되었다(Table 3).

Table 3. Results of ANOVA on the number of individuals of each taxonomic (Family) group in Class Entognatha

Taxon	Factor	df	MS	F	p
Entomobryidae (SYT)	Month	11	0.846034	11.25	<.0001
	Year	1	1.578411	20.98	<.0001
	Treat	1	0.806919	10.73	0.0025
	Year*Treat	1	0.084771	1.13	NS
	Error	33	0.075233		
Hypogastruridae (SYT)	Month	11	1.975191	7.93	<.0001
	Year	1	1.152169	4.63	0.0389
	Treat	1	4.214709	16.92	0.0002
	Year*Treat	1	0.251007	1.01	NS
	Error	33	0.249024		
Isotomidae (SYT)	Month	11	0.761496	5.3	<.0001
	Year	1	1.302311	9.07	0.005
	Treat	1	1.735704	12.09	0.0014
	Year*Treat	1	0.000655	0	NS
	Error	33	0.143599		
Sminthuridae (ST)	Month	11	1.411005	5.64	<.0001
	Year	1	0.421091	1.68	NS
	Treat	1	2.322601	9.29	0.0045
	Year*Treat	1	0.010152	0.04	NS
	Error	33	0.25		

곤충강 중 파리목의 갈따구과(Chironomidae)와 모기과(Culicidae)는 NS그룹으로 나타났으며, 등에모기과(Ceratopogonidae), 초파리과(Drosophilidae), 물가파리과(Ephydriidae), 퉁파리과(Scathophagidae) 및 검정날개버섯파리과(Sciaridae)는 ST그룹으로 분석되었다(Table 4). 벌목의 고치벌과(Braconidae)와 개미과(Formicidae)는 ST그룹으로 분석되었으며, 검정알벌과(Scelionidae)는 SYT그룹으로, 맵시벌과(Ichneumonidae)는 SY그룹으로 분석되었다(Table 5).

Table 4. Results of ANOVA on the number of individuals of each taxonomic (Family) group in Order Diptera

Taxon	Factor	df	MS	F	p
Order Diptera					
Ceratopogonidae (ST)	Month	11	0.704286	13.07	<.0001
	Year	1	0.019615	0.36	NS
	Treat	1	0.443096	8.22	0.0072
	Year*Treat	1	0.034177	0.63	NS
	Error	33	0.053876		
Chironomidae (NS)	Month	11	0.399089	2.32	0.0346
	Year	1	0.574345	3.33	NS
	Treat	1	0.176317	1.02	NS
	Year*Treat	1	0.131605	0.76	NS
	Error	33	0.172275		
Culicidae (NS)	Month	11	0.513694	6	<.0001
	Year	1	0.065111	0.76	NS
	Treat	1	0.255662	2.98	NS
	Year*Treat	1	0.010139	0.12	NS
	Error	33	0.085678		
Drosophilidae (ST)	Month	11	1.074744	6.78	<.0001
	Year	1	0.070025	0.44	NS
	Treat	1	1.073295	6.77	0.0138
	Year*Treat	1	0.093428	0.59	NS
	Error	33	0.15847		
Ephydriidae (ST)	Month	11	0.269778	7.08	<.0001
	Year	1	0.094936	2.49	NS
	Treat	1	0.25999	6.82	0.0134
	Year*Treat	1	0.147539	3.87	NS
	Error	33	0.038109		
Scathophagidae (ST)	Month	11	0.597598	23.37	<.0001
	Year	1	0.003772	0.15	NS
	Treat	1	0.572378	22.39	<.0001
	Year*Treat	1	0.000763	0.03	NS
	Error	33	0.025567		
Sciaridae (ST)	Month	11	0.363304	4.45	0.0004
	Year	1	0.155056	1.9	NS
	Treat	1	0.53022	6.5	0.0156
	Year*Treat	1	0.005948	0.07	NS
	Error	33	0.081558		

Table 5. Results of ANOVA on the number of individuals of each taxonomic (Family) group in Order Hymenoptera

Taxon	Factor	df	MS	F	p
Order Hymenoptera					
Braconidae (ST)	Month	11	0.231248	4.8	0.0002
	Year	1	0.033885	0.7	NS
	Treat	1	0.659392	13.68	0.0008
	Year*Treat	1	0.000237	0	NS
	Error	33	0.048184		
Formicidae (ST)	Month	11	1.18453	24.41	<.0001
	Year	1	0.000229	0	NS
	Treat	1	0.264718	5.46	0.0257
	Year*Treat	1	0.050255	1.04	NS
	Error	33	0.048521		
Scelionidae (SYT)	Month	11	0.296149	1.75	NS
	Year	1	2.052789	12.14	0.0014
	Treat	1	1.964959	11.62	0.0017
	Year*Treat	1	0.276239	1.63	NS
	Error	33	0.16906		
Ichneumonidae (SY)	Month	11	0.10805	2.3	0.0321
	Year	1	0.2946	6.26	0.0175
	Treat	1	0.176235	3.75	NS
	Year*Treat	1	0.011723	0.25	NS
	Error	33	0.047044		

그 외 곤충강의 경우 노린재목 멸구과(Delphacidae), 딱정벌레목 잎벌레과(Chrysomelidae), 반날개과(Staphylinidae)는 ST그룹으로 분석되었으며, 딱정벌레목 먼지벌레과(Carabidae)는 성충과 유충 모두 SYT그룹으로 분석되었다. 총채벌레목의 총채벌레과(Thripidae) 및 노린재목의 진딧물과(Aphididae)는 NS그룹으로 분석되었다(Table 6).

Table 6. Results of ANOVA on the number of individuals of each taxonomic (Family) group in Order Thysanoptera, Hemiptera and Coleoptera

Taxon	Factor	df	MS	F	p
Order Thysanoptera					
Thripidae (NS)	Month	11	0.384697	1.31	NS
	Year	1	0.123518	0.42	NS
	Treat	1	0.295326	1	NS
	Year*Treat	1	0.00035	0	NS
	Error	33	0.294457		
Order Hemiptera					
Aphididae (NS)	Month	11	1.514164	10.56	<.0001
	Year	1	5.97E-05	0	NS
	Treat	1	0.570596	3.98	NS
	Year*Treat	1	0.032119	0.22	NS
	Error	33	0.143394		
Delphacidae (ST)	Month	11	0.718856	8.06	<.0001
	Year	1	0.13842	1.55	NS
	Treat	1	0.390147	4.37	0.0443
	Year*Treat	1	0.014732	0.17	NS
	Error	33	0.089195		
Order Coleoptera					
Carabidae (larvae) (SYT)	Month	11	0.318827	5.16	0.0001
	Year	1	1.671622	27.07	<.0001
	Treat	1	0.596335	9.66	0.0039
	Year*Treat	1	0.104304	1.69	NS
	Error	33	0.061755		
Carabidae (adult) (SYT)	Month	11	0.345898	5.45	<.0001
	Year	1	1.989715	31.36	<.0001
	Treat	1	0.816189	12.86	0.0011
	Year*Treat	1	0.142065	2.24	NS
	Error	33	0.063456		
Chrysomelidae (ST)	Month	11	0.247377	6.01	<.0001
	Year	1	0.000325	0.01	NS
	Treat	1	0.177733	4.31	0.0456
	Year*Treat	1	0.164188	3.99	NS
	Error	33	0.041191		

Taxon	Factor	df	MS	F	p
Staphylinidae (ST)	Month	11	0.572414	8.42	<.0001
	Year	1	0.243059	3.57	NS
	Treat	1	0.710733	10.45	0.0028
	Year*Treat	1	0.011878	0.17	NS
	Error	33	0.067994		

농경지 관리에 따른 반응 결과에서 구분된 4개의 그룹을 종합하면 ST그룹이 16개 분류군으로 전체 우점분류군(29개 분류군)의 55%를 차지하였으며, SYT그룹이 28%(8개 분류군)를 차지하였다. 반면 SY그룹은 단 1개의 분류군으로 가장 적은 3%를 차지하였으며, NS그룹은 14%(4개 분류군)를 차지하였다. 따라서, 처리에 의해서 통계적인 유의한 차이를 나타내는 분류군(ST그룹과 SYT그룹)은 전체 우점분류군의 83%(24개 분류군)로 나타났다. 연도에 따른 통계적 차이를 보인 분류군(SYT그룹과 SY그룹)은 31%(9개 분류군)로 나타났다.

IV. 고 찰

관행적으로 제초제와 살충제를 살포하는 논둑의 논둑과 제초제와 살충제를 전혀 살포하지 않은 논둑에 출현하는 토양배회성 무척추동물의 군집 특성을 Table 7로 정리하여 나타났다. 채집된 토양배회성 무척추동물 군집은 분류군에 따라 조사년도 및 처리에 의한 차이가 나타났다. 조사년도 간 차이를 나타내는 분류군들은 기온과 강수량 변화와 같은 기상요인의 영향을 받은 것으로 판단된다. 기존 연구에서도 강수량의 경우 습지 범람의 주요 원인으로 범람에 의한 주변부 곤충상의 다양성 감소에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있어(Do et al., 2007), 논에서도 이와 유사하게 토양배회성 무척추동물의 감소가 나타난 것으로 보인다.

처리에 의해 차이를 나타내는 분류군은 조사된 모든 거미강과 내구강에 속하는 분류군, 그리고 일부 곤충강에 속한 분류군으로 제초제와 살충제를 살포한 논둑(관행재배 논)에서 모두 낮은 개체 수를 나타냈다. 이를 통하여 제초제 및 살충제 등의 살포 영향이 농경지뿐만 아니라 주변부에도 함께 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다. 한편, 논 생태계에 출현하는 이들 분류군들은 작물에 부정적인 영향을 주는 해충 또는 이러한 해충을 먹이원으로 하는 천적으로 구분될 수 있다. 이들 그룹들에 대한 살충제 및 제초제의 영향을 살펴보면 멸구과와 잎벌레과 등 해충뿐만 아니라 천적으로 인식되는 분류군의 감소도 확인되었다. 특히 해충으로 분류된 6개 분류군 가운데 제초제 및 살충제 처리에 따라 개체 수가

감소한 분류군은 2개 분류군이었으나, 천적 및 유용곤충으로 분류된 11개 분류군 가운데 10개 분류군의 개체 수 감소에 영향을 미치는 것으로 나타났다. Jaafar et al.(2013)은 살충제 및 제초제 등은 해충뿐만 아니라 해충의 천적의 감소에도 큰 영향을 미친다는 것을 보고하였고, Navntoft et al.(2006)은 제초제 및 살충제의 사용량을 줄였을 경우 천적 곤충인 딱정벌레류(Carabidae)의 다양성이 증가된다고 보고하였다.

본 연구 결과 제초제와 살충제를 살포하는 농경지 주변부의 생물다양성을 감소시키는 것으로 나타났으며, 해충뿐만 아니라 천적 및 유용곤충 개체 수 감소에도 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 제초제와 살충제를 사용하지 않는 유기농업이 천적 및 유용곤충의 증가를 유도한다는 Hole et al.(2005)와 Power and Stouffer(2011)의 연구결과와 일치하는 것이다. 따라서 농업생태계의 생물다양성 증가 측면과 천적 개체군 증가에 따른 해충 조절 측면을 고려한다면 작물재배에 있어서 관행재배에서 유기재배로 영농방법의 전환이 필요할 것으로 판단된다.

Table 7. Differences between survey years, and treats on dominant taxonomic groups. Dominant taxonomic groups show an appearance frequency of above 40% (ANOVA, *P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001)

Taxon	Year	Treat	Agricultural effect
Arachnida			
Astigmata	×	○*	
Mesostigmata	×	○*	
Oribatida	×	○*	
Clubionidae	×	○*	(+)
Linyphiidae	○*	○**	(+)
Lycosidae	×	○**	(+)
Theridiidae	○***	○***	(+)
Entognatha			
Entomobryidae	○***	○**	
Hypogastruridae	○*	○***	
Isotomidae	○**	○**	
Sminthuridae	×	○**	
Insecta			
Chironomidae	×	×	(-)
Culicidae	×	×	(-)

Taxon	Year	Treat	Agricultural effect
Ceratopogonidae	×	○**	
Drosophilidae	×	○*	
Ephydriidae	×	○*	
Scathophagidae	×	○***	
Sciaridae	×	○*	
Braconidae	×	○***	(+)
Formicidae	×	○*	(+)
Scelionidae	○**	○**	(+)
Ichneumonidae	○*	×	(+)
Delphacidae	×	○*	(-)
Chrysomelidae	×	○*	(-)
Staphylinidae	×	○**	(+)
Carabidae (larvae)	○***	○**	(+)
Carabidae (adults)	○***	○**	(+)
Thripidae	×	×	(-)
Aphididae	×	×	(-)

○: Significant difference by ANOVA, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

×: No significant difference by ANOVA

(+): Positive effect in human health & cultivation

(-): Negative effect in human health & cultivation

V. 요약 및 결론

유기농업이 농업생태계 생물다양성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 2년(2010~2011년)간 관행논과 유기논의 논둑에서 함정트랩을 이용하여 토양배회성 무척추동물을 조사하였다. 채집된 토양배회성 무척추동물 군집은 분류군에 따라서 조사년도 및 제초제와 살충제 처리 유무에 따라서 차이가 나타났다. 제초제와 살충제 처리는 주변 논둑의 토양배회성 무척추동물의 개체 수를 감소시키는 것으로 확인되었다. 제초제와 살충제의 처리는 논둑에 서식하는 해충에 속하는 멸구과와 잎벌레과의 개체 수를 감소시키는 결과를 보였지만, 갈다구과, 모기과, 총채벌레과, 진딧물과에는 영향을 주지 않았다. 반면에 천적 및 유용곤충에 속하는 11개 분류군 중 맵시벌과 1분류군을 제외하고 10개 분류군의 개체 수를 감소시키는 것으로 확인되었다.

[Submitted, May. 19, 2016; Revised, July. 22, 2016; Accepted, July. 27, 2016]

References

1. Aoki, J. 1999. Pictorial keys to soil animals of Japan (in Japanese). Tokai University press. Tokyo. Japan.
2. Bengtsson, J., J. Ahnström, and A. C. Weibull. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *J. Appl. Ecol.* 42: 261-269.
3. Cha, J. Y., D. S. Ku, S. W. Cheong, and J. W. Lee. 2001. Economic insects of Korea 17: Ichneumonidae (Hymenoptera) (in Korean). National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea.
4. Cho, Y. B. and K. J. Ahn. 2001. Economic insects of Korea 11: Silphidae, Staphylinidae (Coleoptera) (in Korean). National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea.
5. Do, Y., M. H. Jang, D. K. Kim, and G. J. Joo. 2007. Change of Carabid beetle (Coleoptera, Carabidae) diversity and species composition after flooding events in Woopo wetlands. *Korean J. Limnol.* 40(2): 346-351.
6. Drinkwater, L. E., D. K. Letourneau, F. Workneh, A. H. C. van Bruggen, and C. Shennan. 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecol. Appl.* 5(4): 1098-1112.
7. Han M. S., H. K. Nam, K. K. Kang, Y. E. Na, H. R. Kim, and M. H. Kim. 2013b. Characteristics of benthic invertebrates in organic and conventional paddy field. *Korean J. Environ. Agric.* 32(1): 17-23.
8. Han M. S., J. D. Shin, Y. E. Na, N. J. Lee, M. H. Park, and S. G. Kim. 2002. Changes of invertebrate density in rice paddies of different fertilizer managements in demonstration villages of sustainable agriculture. *Korean J. Environ. Agric.* 21(2): 96-101.
9. Han M. S., K. J. Cho, H. K. Nam, K. K. Kang, Y. E. Na, M. Kim, and M. H. Kim. 2013a. Variation in population size of mudfish by agricultural practices in paddy fields. *Korean J. Environ. Agric.* 32(1): 24-34.
10. Hesler, L. S., A. A. Grigarick, M. J. Orazo, and A. T. Palrange. 1993. Arthropod fauna of conventional and organic rice fields in California. *J. Econ. Entomol.* 86(1): 149-158.
11. Hole, D. G., A. J. Perkins, J. D. Wilson, I. H. Alexander, P. V. Grice, and A. D. Evans. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biol. Conserv.* 122(1): 113-130.

12. Jaafar, W. N. W., N. Mazlan, N. A. Adam, and D. Omar. 2013. Evaluation on the effects of insecticides on biodiversity of arthropod in rice ecosystem. *Acta Biologica Malaysiana*. 2(3): 115-123.
13. Kaule, G., and S. Krebs. 1989. Creating new habitats in intensively used farmland. *Biological habitat reconstruction/* edited by G. P. Buckley, pp. 161-170. Belhaven Press. London. UK.
14. Kim, D. I., S. G. Kim, S. J. Ko, B. R. Kang, D. S. Choi, G. H. Lim, and S. S. Kim. 2011. Biodiversity of invertebrate on organic and conventional pear orchards. *Koren J. Organic Agri*. 19(1): 93-107.
15. Kim, J. S., D. I. Kim, S. G. Kim, B. Kang, S. J. Ko, G. H. Lim, and H. J. Kim. 2009. Biodiversity of benthic macroinvertebrate on organic rice paddy field. *Koren J. Organic Agri*. 17(2): 193-209.
16. Kwon, Y. J. and E. Y. Huh. 2001. Economic insects of Korea 19: Auchenorrhyncha (Homoptera) (in Korean). National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea.
17. Kromp, B. 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. 1999. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74: 187-228.
18. Ku, D. S., S. A. Belokobylskij, and J. Y. Cha. 2001. Economic insects of Korea 16: Braconidae (Hymenoptera) (in Korean). National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea.
19. Lee, J. E. and S. L. An. 2001. Economic insects of Korea 14: Chrysomelidae (Coleoptera) (in Korean). National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea.
20. Lee, S. Y., S. T. Kim, J. S. Im, J. K. Jung, and J. H. Lee. 2013. Comparison of community structure and biodiversity of arthropods between conventional and organic red pepper fields. *Koren J. Organic Agri*. 21(4): 601-615.
21. Ma, S., and S. Joachim. 2006. Review of history and recent development of organic farming worldwide. *Agr. Sci. China*. 5(3): 169-178.
22. Marshall, E. J. P. and A. C. Moonen. 2002. Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 89(1): 5-21.
23. Namkung, J. 2001. The spiders of Korea (in Korean). Kyohak-sa. Seoul.
24. Navntoft, S., P. Esbjerg, and W. Riedel. 2006. Effects of reduced pesticide dosages on carabids (Coleoptera: Carabidae) in winter wheat. *Agric. For. Entomol.* 8(1): 57-62.
25. Nyffeler, M. and G. Benz. 1987. Spiders in natural pest control: A review. *J. Appl. Ecol.* 103: 321-339.

26. Park, J. K. and J. C. Paik. 2001. Economic insects of Korea 12: Carabidae (Coleoptera) (in Korean). National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea.
27. Power, E. F. and J. C. Stout. 2011. Organic dairy farming: impacts on insect-flower interaction networks and pollination. *J. Appl. Ecol.* 48(3): 561-569.
28. Selfa, T., R. A. Jussaume, and M. Winter. 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(3): 262-276.
29. Smith, J., S. G. Potts, B. A. Woodcock, and P. Eggleton. 2008. Can arable field margins be managed to enhance their biodiversity, conservation and functional value for soil macrofauna?. *J. Appl. Ecol.* 45(1): 269-278.
30. Takada, M. B., S. Takagi, S. Iwabuchi, T. Mineta, and I. Washitani. 2014. Comparison of generalist predators in winter-flooded and conventionally managed rice paddies and identification of their limiting factors. *SpringerPlus.* 3:418.
31. Thomson, L. J. and A. A. Hoffmann. 2010. Natural enemy responses and pest control: importance of local vegetation. *Biol. Control.* 52(2): pp. 160-166.
32. Woo, K. S., and H. K. Shin. 2000. Economic insects of Korea 5: Phlaeothripidae (Thysanoptera) (in Korean). National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea.
33. Yachi, S., A. Ohtaka, and N. Kaneko. 2012. Community structure and seasonal changes in aquatic oligochaetes in an organic paddy field in Japan. *Edaphologia.* 90: 13-24.