

농법 차이에 따른 농경지 생태계의 생물 다양성 및 군집 구조의 변화*

김훈** · 김교진** · 순연** · 조영주*** · 김태연*** · 문명진****

Change in Biodiversity and Community Structures in Agricultural Fields depending on Different Farming Methods

Kim, Hoon · Kim, Kyo-Jin · Sun, Yan · Jo, Young-Ju ·
Kim, Tae-Yeon · Moon, Myung-Jin

Organic agriculture is well known to be not only affecting the physical and chemical status of the soil but also closely connected to the biodiversity through complex community structure and ecological interactions. Current study monitored and analyzed the invertebrate biodiversity of organic and conventional paddy fields and upland fields from April, 2017 to August, 2017. Total of 680 species (with 14,371 individuals) were confirmed - more number of species were identified at the organic agriculture practicing fields. According to the various indices analysis, organic paddy field showed about 40% higher diversity index, while organic upland field showed about 10% higher diversity index. Richness index at organic paddy field was 60% higher compared to conventional paddy field, while organic upland field showed 40% higher value. Dominance and evenness index at conventional agriculture practicing fields were low, which possibly indicate at least partial dominance phenomenon. Hemipteran, dipteran and aranean species showed highest diversity in all fields, while dipteran, hemipteran, aranean and coleopteran species had highest diversity in conventional agriculture practicing fields.

Key words : *biodiversity, conventional agriculture, invertebrate, organic agriculture*

* 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원(농생명산업기술개발사업)의 지원을 받아 연구되었음(과제번호 316032-5).

** 단국대학교 자연과학대학 생명과학과

*** 단국대학교 공공인재대학 환경자원경제학과

**** Corresponding author, 단국대학교 자연과학대학 생명과학과(moonmj@dankook.ac.kr)

I. 서 론

관행농법은 수확량을 비약적으로 늘리기 위해 다양한 비료 및 농약을 사용하며 자연환경에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 잘 알려져 있다(Rockstrom et al., 2009, German et al., 2016). 따라서 자연과 농업과의 관계를 개선하기 위해 기존에 시행되던 관행농법을 대체하기로 하고, 최신 기술을 농업에 접목하여 기존의 농약 사용량을 줄인다거나, 자연적, 생물학적 방식에 의존하는 방제를 도입하는 등 다양한 방법들이 시도되어 왔고 이 모든 대체 방법들은 결국 유기농법에 기초하고 있다(Michelsen, 2001; Wezel et al., 2014; Plumecocq et al., 2018).

관행농업을 통한 농업생태계 관리 방식은, 해당 지역 내 서식 종 수를 감소시키는 것으로 알려져 있는데(Tscharntke et al., 2005), 농업 생태계에서는 그 영향이 특정 종에 국한되지 않고 동, 식물상 모두가 관리 방법에 영향을 받기 때문에(Altieri, 1999), 관행농업과 유기농업간의 차이가 어떻게 각각의 생물상에 변화를 주는지에 대한 많은 연구들이 수행되었다(Wilson et al., 1999; Tilman et al., 2001; Bengtsson et al., 2005; Han et al., 2013).

인위적인 방법을 사용하지 않고 자연적 생태계에 의존하는 방식으로 식량을 생산할 수 있는 유기 농업은, 관행농업으로 오염된 농경지 생태계와 감소된 생물다양성 회복을 위한 대안으로 유럽연합을 비롯한 많은 국가와 지역에서 장려되고 있다(Michelsen, 2001, RDA Report, 2004; Ma and Joachim, 2006, IFOAM Report 2008, Han et al., 2013).

관행농업은 수확량을 증대시키기 위해, 다양한 화학비료 및 농약의 사용을 적극 권장하였으며 이에 따라 농경지 지형의 획일화, 단일작물 경작 면적의 증가, 서식지의 물리적 파괴 등을 초래하였다(Bengtsson et al., 2005; Pluess et al., 2008). 또한 농약의 사용으로 인한 종 간 경쟁, 숙주와 기생 중간 관계, 포식 관계 등의 생물학적 상관관계 및 군집 구조의 이상 현상이 보고된 바 있다(Lampert and Sommer, 1997; Buser et al., 2012; Loureiro et al., 2013).

국내의 경우 특정 작물에 따른 생물상 비교 연구(Lee et al., 2013; Song et al., 2013) 또는 유기농법 및 관행농법을 시행하는 논 지역의 생물상 비교 연구(Park et al., 2012; Han et al., 2013) 등의 연구가 보고되어 있는데, 농법과 종 다양성 간의 관계를 측정하기 위해서는 종 다양성 조사를 통한 지표종을 설정하고 각 지표종의 군집 구조를 비교하는 연구가 필수적이나 농법차이에 따른 동일 지역의 생물상 비교 분석 또는 지표종 선정과 관련된 연구는 아직 부족한 실정이다(Klaus et al., 2013; Lee et al., 2013; Kim et al., 2017).

해외의 경우 농법의 차이와 절지동물군 다양성에 대한 연구가 많이 진행되었는데, 유럽 지역 내 곤충 및 거미류 다양성 연구(Rundolf and Smith, 2006; Klaus et al., 2013), 영국 지역 내 벌 및 나비류의 다양성 연구(Gabriel et al., 2013), 북미 지역 내 절지동물 다양성 연구(Letourneau et al., 2001; Boutin et al., 2008) 등이 보고되어 있다. 하지만 유럽 및 북미 지역

의 농지는 밭 지역이 대부분이며 농지 면적에서도 큰 차이를 보이기 때문에 국내 농업 환경과 직접 비교하기 어려우며, 따라서 국내 실정에 맞는 연구가 선행되어야 한다.

특히 농법 차이에 따른 종 다양성 변화 및 지표종 설정에 대해서는 동일 지역에 대해 여러 해에 걸친 지속적 연구를 통해 결론이 도출 되어야 할 것으로 생각되나 국내 단일 지역에 대한 무척추동물군 종 다양성 연구는 매우 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 유기 농업의 서식동물군 생물다양성 증대효과 및 검증지표 개발 및 관리방안 도출을 위한 연구의 일환으로, 유기 및 관행 농법을 시행하는 논과 밭에 서식하는 무척추동물군의 생물다양성 각각을 비교 분석하여, 농법 차이에 따라 다르게 나타나는 생물다양성을 조사하고 지표종 선정에 위한 기초 분석을 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지

조사는 충청북도 괴산군 일원의 논과 밭을 대상으로 하였다(Table 1). 서로 다른 농법의 상호 간섭을 회피하기 위하여 유기 농법을 시행하는 농지들과 관행 농법을 시행하는 농지들을 일정 거리를 두고 선정하였으며 농법에 의한 생물상 차이를 확인하기 위해 최대한 주변 환경 및 지형이 유사한 지역을 선정하였다.

Table 1. Information on the fields surveyed

	Organic paddy field	Conventional paddy field	Organic upland field	Conventional upland field
Location	Oseong-ri, Goesan-gun (N 36°50'02'' E 127°51'13'')	Jewol-ri, Goesan-gun (N 36°49'19'' E 127°50'07'')	Oseong-ri, Goesan-gun (N 36°49'47'' E 127°51'41'')	Jewol-ri, Goesan-gun (N 36°49'09'' E 127°49'26'')
Altitude (m)	110	110	130	100
Size (m ²)	1,908	3,183	1,775	1,700
Pest control	No pesticides	Chemical insecticide (3 times; early May, mid July and late August)	No pesticides	Chemical insecticide (4 times; early June, mid August, late September and late October)

Ⅲ. 결 과

조사시간 중 4개 지역에서 채집된 무척추동물은 5강 15목 158과 680종으로 동정되었다. 분류군 별 조성의 경우, 내구강(Entognatha) 1종, 곤충강(Insecta) 577종, 거미강(Arachnida) 99종, 복족강(Gastropoda) 1종, 갑각강(Arthropoda) 2종이 확인되었다. 하위 분류군을 살펴보면 내구강에서 툽토기목(Collembola) 1종이, 곤충강에서 하루살이목(Ephemeroptera) 3종, 바퀴목(Dictyoptera) 2종, 잠자리목(Odonata) 15종, 메뚜기목(Orthoptera) 23종, 총채벌레목(Thysanoptera) 5종, 노린재목(Hemiptera) 175종, 딱정벌레목(Coleoptera) 99종, 벌목(Hymenoptera) 92종, 파리목(Diptera) 138종, 날도래목(Trichoptera) 2종, 나비목(Lepidoptera) 23종 등이 확인되었고, 거미강에서는 거미목(Araneae) 99종, 복족강에서는 중복족목(Architenioglossa) 1종, 갑각강에서는 배갑목(Notostraca) 2종이 각각 관찰되었다(Fig. 1).

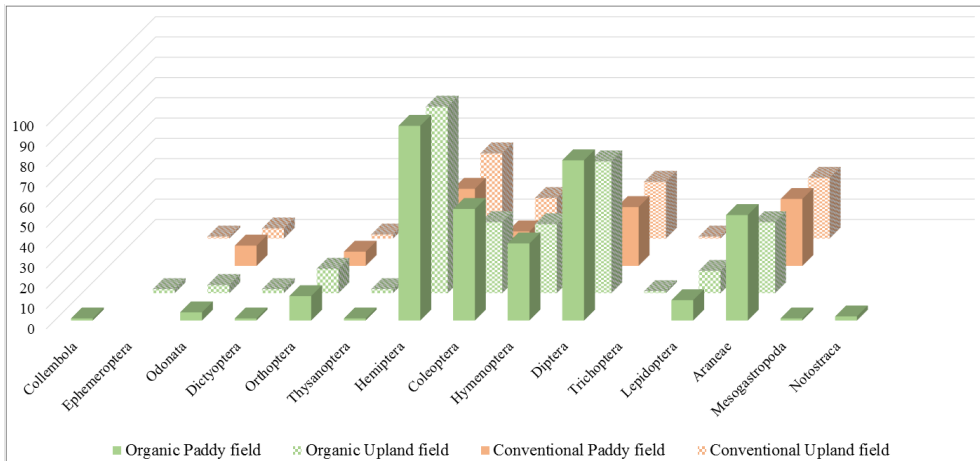


Fig. 1. Number of species per family identified in each location.

조사 시기와 관련하여 살펴보면, 4월에 실시된 1차 조사에서는 총 1,643개체 168종이 확인되었고, 5월에 실시된 2차 조사에서는 총 3,483개체 266종, 6월에 실시된 3차 조사에서 총 3,583개체 209종, 7월에 실시된 4차 조사에서 총 1,115개체 141종, 8월에 실시된 5차 조사에서 총 1,844개체 183종, 9월에 실시된 6차 조사에서 총 1,421개체 161종, 마지막으로 수확이 끝나는 시점인 10월에 실시된 7차 조사에서 총 1,282개체 132종이 확인되었다. 채집된 무척추동물의 종 수를 비교하였을 때, 유기 농업을 시행하는 지역에서 전반적으로 더 많은 종이 채집되었으며, 개체 수 역시 관행농 논에서 가장 많은 개체가 채집된 6월을 제외하면 유기 농업 시행 지역에서 더 많은 개체 수가 확인되었다(Table 2).

Table 2. Number of species and individuals collected in each site per survey

		1 st survey (Apr. 22 nd)	2 nd survey (May 20 th)	3 rd survey (Jun. 24 th)	4 th survey (Jul. 22 nd)	5 th survey (Aug. 26 th)	6 th survey (Sep. 23 rd)	7 th survey (Oct. 21 st)	Total
OP	species	82	125	104	57	78	78	71	352
	indvs.	413	1,324	1,380	399	1,073	609	1,088	6,286
CP	species	29	36	18	31	38	31	34	150
	indvs.	204	495	1,534	229	139	94	71	2,766
OU	species	70	107	80	58	66	69	47	295
	indvs.	792	1,344	379	338	411	610	107	3,981
CU	species	23	64	50	28	48	30	9	165
	indvs.	234	320	290	149	221	108	16	1,338
Total	species	168	266	209	141	183	161	132	680
	indvs.	1,643	3,483	3,583	1,115	1,844	1,421	1,282	14,371

* OP : Organic Paddy field, OU : Organic Upland field, CP : Conventional Paddy field, CU : Conventional Upland field.

조사지역의 자연환경 상태를 알아보기 위해 생태자연도를 분석한 결과, 경작지 모두 개밭 또는 이용 대상이 되는 3등급이었고, 식생보전등급의 경우 논 지역은 3등급, 밭 지역은 2등급으로 자연환경이 양호한 농경지 수준을 유지하고 있었다. 유기 농법 시행 지역은 경작지 주변 식생에 대한 관리를 별도로 진행하지 않았으나 관행 농법 시행 지역의 경우 경작지 주변에 제초제를 사용하여 잡목 관리를 진행하였다. 유기 농법 시행 논 인근에는 개망초, 토끼풀, 강아지풀, 억새, 민들레 등이 우점하고 있었고, 유기 농법 시행 밭 인근에는 질경이, 애기뽕풀, 엉겅퀴, 환삼덩굴, 개뽕썩 등이 우점하였다. 관행 농법 시행 논외의 경우 농수로 주변에만 개망초, 닭의장풀 등이 확인되었고 벼 사이로 피가 다수 관찰되었다. 관행 농법 시행 밭의 경우 경작지 바로 옆에 작은 개울이 있어 돌미나리, 명아주 등이 확인되었고 농경지 미화 사업으로 인해 조성된 양귀비 및 금잔디 군락이 확인되었다. 작목의 경우, 유기 농법 시행 밭은 봄철에 감자를(4월~5월), 가을철에는 콩을 재배하였고(7월~10월), 관행 농법 시행 밭의 경우 봄철 감자(4월~5월), 여름 옥수수(5월~6월), 그리고 가을 양배추를 재배하였다(9월~10월).

논 지역의 경우, 유기 농법을 시행하는 논에서는 총 5강 13목 111과 352종 6,281개체가 확인되었으며, 관행 농법을 시행하는 논에서는 총 2강 8목 63과 150종 2,766개체가 확인되어 출현 종 수와 개체 수에서 많은 차이를 보였다(Fig. 2). 이 중, 풍년새우, 긴꼬리투구새우 등이 방형구를 통한 포획 방법을 통해 유기 농법을 시행하는 지역에서만 확인되었고 왕우렁이의 경우 두 지역에서 모두 확인되었다. 또한 유기 농법 시행 논에서 곤충류 293종 및

거미류 51종이 나타났고, 관행 농법 시행 논에서는 곤충류 116종 및 거미류 33종이 나타나 육상 절지동물군에서도 큰 차이를 보이는 것을 확인하였다. 논 지역에서 공통적으로 관찰된 종은 잠자리목 2종, 메뚜기목 4종, 노린재목 17종, 딱정벌레목 7종, 벌목 4종, 파리목 13종, 거미목 17종 등 총 64종이었고, 특히, 유기농 논에서만 나타난 종은 톱토기목 1종, 잠자리목 1종, 메뚜기목 5종, 노린재목 51종, 딱정벌레목 42종, 벌목 32종, 파리목 55종, 나비목 8종, 거미목 27종, 고설류목 1종, 배갑목 2종으로 총 225종이었다. 분류군 별 구성을 살펴보면, 유기 농법 시행 논에서는 전체 4강 12목 58과 351종 가운데 노린재목이 96종(27.4%)으로 가장 많은 비중을 차지했고, 그 다음으로 파리목 79종(22.5%), 딱정벌레목 55종(15.7%), 거미목 52종(14.8%), 벌목 38종(10.8%), 나비목 10종(2.8%) 순으로 나타났다. 관행 농법 시행 논에서는 전체 2강 8목 54과 150종 가운데 노린재목 38종(25.3%), 거미목 33종(22.0%), 파리목 29종(19.3%), 딱정벌레목 17종(11.3%), 벌목 14종(9.3%), 잠자리목 10종(6.7%) 순으로 나타났다.

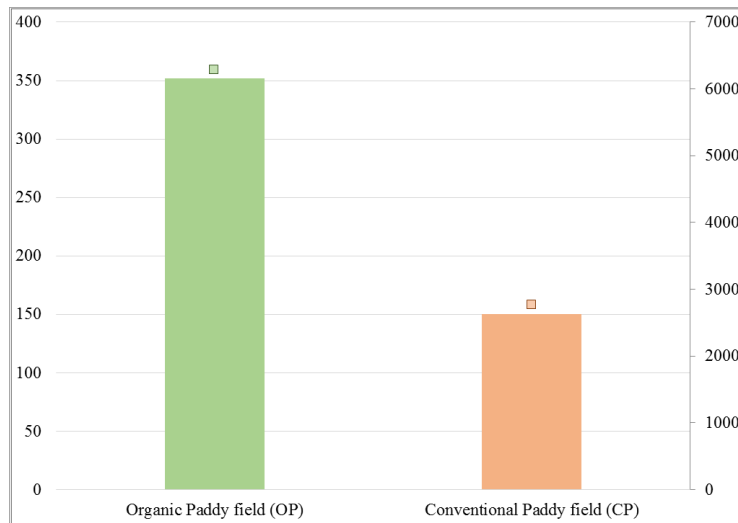


Fig. 2. Total number of species (bar graphs) and individuals (dots) identified in paddy fields.

밭 지역의 경우, 유기 농법을 시행하는 밭에서 총 2강 12목 92과 295종 3,979개체가 관찰되었는데, 관행 농법을 시행하는 밭에서 총 2강 11목 67과 165종 1,338개체가 확인되어 논과 마찬가지로 출현 종 수와 개체 수에서 큰 차이를 보였다(Fig. 3). 유기 농법을 시행하는 밭에서 확인된 육상 절지동물군은 곤충류 261종 및 거미류 35종이었고, 관행 농법을 시행하는 밭에서는 곤충류 135종 및 거미류 30종이 확인되었다. 밭 지역에서 공통적으로 관찰된 종은 잠자리목 2종, 메뚜기목 1종, 총채벌레목 2종, 노린재목 20종, 딱정벌레목 4종, 벌

목 6종, 파리목 11종, 나비목 2종, 거미목 11종 등으로 총 59종이었다. 유기농 밭에서만 확인된 종은 하루살이목 2종, 바퀴목 1종, 메뚜기목 7종, 노린재목 39종, 딱정벌레목 19종, 벌목 25종, 파리목 26종, 날도래목 1종, 나비목 8종, 거미목 16종 등 총 144종이었다. 유기농 밭 시행 밭에서는 전체 2강 12목 60과 295종 가운데 노린재목 92종(31.2%), 파리목 65종(22.0%), 거미목 35종(11.9%), 딱정벌레목 35종(11.9%), 벌목 34종(11.5%), 나비목 11종(3.7%) 순으로 나타났다(Fig. 3). 관행 농업 시행 밭에서는 전체 2강 11목 50과 165종 가운데 노린재목 42종(25.5%), 거미목 30종(18.2%), 파리목 28종(17.0%), 벌목 25종(15.2%), 그리고 딱정벌레목 20종(12.1%) 순이었다.

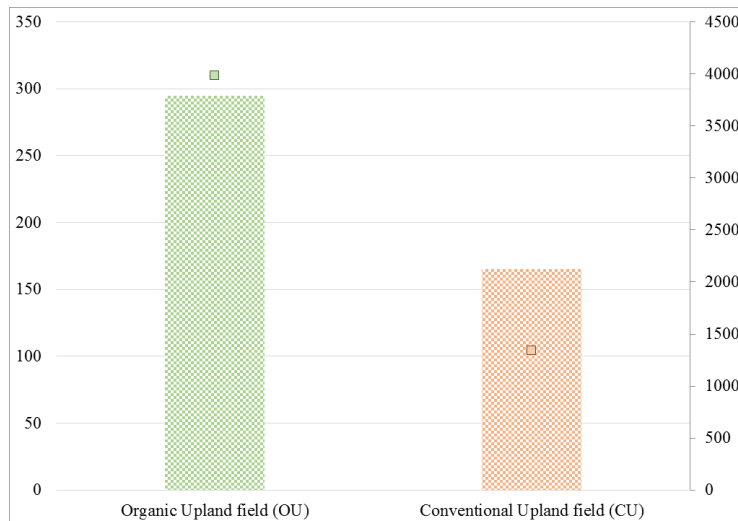


Fig. 3. Total number of species (bar graphs) and individuals (dots) identified in upland fields.

그리고 모든 지역에서 관찰된 종은 아시아실잠자리(*Ischnura asiatica*), 북쪽비단노린재(*Eurydema gebleri*), 실노린재(*Yemma exilis*), 풀밭장님노린재(*Lygus rugulipennis*), 목화진딧물(*Aphis gossypii*), 갈색날개매미충(*Ricania shantungensis*), 시골가시허리노린재(*Cletus punctiger*), 무당벌레(*Harmonia axyridis*), 일본왕개미(*Camponotus japonicus*), 홍개미(*Formica rufa*), 검정파리(*Calliphora vomitoria*), 연두금파리(*Lucilia illustris*), 벼아기갈따구(*Cricotopus oryzaphagos*), 아메리카동애등애(*Ptecticus tenebrifer*), 백금갈거미(*Tetragnatha pinicola*), 장수갈거미(*Tetragnatha praedonia*), 꽃게거미(*Ebrechtella tricuspadata*), 풀게거미(*Xysticus croceus*) 등 총 18종이었다.

확인된 데이터를 바탕으로 지수 분석을 실시한 결과, 유기 농업 시행 논에서 가장 높은 종 풍부도가 나타났고, 유기 농업 시행 밭, 관행 농업 시행 밭, 관행 농업 시행 논 순으로 나타났다. 농업의 차이에 따라 분석한 결과, 유기농 논 종 풍부도가 관행농 논에 비해 약

60%가량 높게 나타났고, 유기농 밭의 종 풍부도는 관행농 밭에 비해 약 40% 높게 나타났다. 종 다양도 지수의 경우, 유기농 논이 관행농 논에 비해 약 40% 높게 나타났고, 유기농 밭은 관행농 밭에 비해 약 10% 높게 나타났다. 우점도 지수 분석 결과, 다른 지역과 비교하였을 때, 관행농 논외의 종 우점도가 가장 높게 나타났는데 제1우점종인 벼아기갈따구(*Cricotopus oryzaphagos*)의 개체 수가 전체 개체 수의 약 40% 이상을 차지하였다. 균등도 지수 분석 결과, 모든 지역에서 종 균등도가 비슷하게 나타났으나, 관행농 논에서만 약간 낮은 균등도가 확인되었다(Table 3-4).

Table 3. Community analysis on paddy fields in 2017 with various indices

	Richness Index (RI)	Dominance Index (DI)	Diversity Index (H')	Evenness Index (J')
Organic Paddy field (OP)	40.71	0.13	4.43	0.51
Conventional Paddy field (CP)	18.93	0.58	2.84	0.36

Table 4. Community analysis on upland fields in 2017 with various indices

	Richness Index (RI)	Dominance Index (DI)	Diversity Index (H')	Evenness Index (J')
Organic Upland field (OU)	35.71	0.16	4.49	0.54
Conventional Upland field (CU)	23.48	0.18	3.96	0.55

조사 데이터와 농법 차이를 서로 비교한 결과, 유기 농법 및 관행 농법을 시행하는 지역에서 특징적으로 출현한 종 및 농법과 상관없이 논 지역에서 혹은 밭 지역에서 공통적으로 출현하였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이는 종을 지표종 후보군으로 잠정하였다. 농법에 따라 특징적으로 출현 한 종을 서로 비교한 결과, 유기농 논에서 219종, 관행농 논에서 43종이 각각 확인되어 약 다섯 배 이상의 차이를 보였고, 유기농 밭에서 143종, 관행농 밭에서 84종이 확인되어 약 1.7배의 차이를 보였다. 또한 농법과 상관없이 논 및 밭에서 공통적으로 출현하며 통계적 유의성을 보이는 종들을 선별한 결과, 유기농 논에서 벼메뚜기(*Oxya chinensis sinuosa*), 썩새기(*Conocephalus chinensis*), 붉은가위뿔노린재(*Acanthosoma spinicolle*), 홍맥장님노린재(*Stenodema calcarata*), 시골가시허리노린재(*Cletus punctiger*), 꼬마남생이무당벌레(*Propylea japonica*), 유채좁쌀바구미(*Ceutorhynchus albosuturalis*), 진디벌(*Aphidius ervi*), 노랑굴파리(*Chlorops serenus*), 장수갈거미(*Tetragnatha praedonia*), 작살가랑

잎꼬마거미(*Enoplognatha caricis*), 긴호랑거미(*Argiope bruennichi*) 등 12종이(Table 5), 관행농 논에서는 아시아실잠자리(*Ischnura asiatica*), 풀밭장님노린재(*Lygus rugulipennis*), 고사리장님노린재(*Monalocoris filicis*), 목화진딧물(*Aphis gossypii*), 갈색날개매미충(*Ricania shantungensis*), 툽다리개미허리노린재(*Riptortus clavatus*), 일본왕개미(*Camponotus japonicus*), 홍개미(*Formica rufa*), 털검정파리(*Aldrichina grahami*), 연두금파리(*Lucilia illustris*), 벼아기갈따구(*Cricotopus oryzaphagos*), 꼬마백금거미(*Leucauge celebesiana*), 백금갈거미(*Tetragnatha pinicola*), 민갈거미(*Tetragnatha maxillosa*), 풀게거미(*Xysticus croceus*) 등 15종이 선별되었다(Table 6).

밭 지역에서는 풀색노린재(*Nezara antennata*), 실노린재(*Yemma exilis*), 풀밭장님노린재(*Lygus rugulipennis*), 목화진딧물(*Aphis gossypii*), 찌리수염진딧물(*Aulacorthum solani*), 복숭아흑진딧물(*Myzus persicae*), 시골가시허리노린재(*Cletus punctiger*), 일본왕개미(*Camponotus japonicus*), 굴파리좀벌(*Diglyphus isaea*), 검정파리(*Calliphora vomitoria*), 벼아기갈따구(*Cricotopus oryzaphagos*), 고려꽃등애(*Paragus haemorrhous*), 노랑초파리(*Drosophila melanogaster*) 등 13종이 유기농 밭에서 선별되었고(Table 7), 관행농 밭에서는 애긴노린재(*Nysius plebejus*), 목도리장님노린재(*Adelphocoris demissus*), 소나무장님노린재(*Alloeotomus chinensis*), 각시장님노린재(*Plymerus cognatus*), 홍색열룩장님노린재(*Stenotus rubrovittatus*), 일본왕개미(*Camponotus japonicus*), 검정파리(*Calliphora vomitoria*), 연두금파리(*Lucilia illustris*), 검정띠과실파리(*Euphranta nigrescens*), 장수갈따구(*Chironomus plumosus*), 대만흰나비(*Pieris canidia*), 백금갈거미(*Tetragnatha pinicola*), 풀게거미(*Xysticus croceus*) 등 13종이 유의한 차이를 보이는 것을 확인하였다(Table 8).

Table 5. List of species identified at organic paddy field with statistical significance

Korean Name	Scientific Name	# of indivs. at OP	# of indivs. at CP	Pearson's (p-value)
벼매뚜기	<i>Oxya chinensis sinuosa</i>	45	1	17.421 (0.0000)***
썩새기	<i>Conocephalus chinensis</i>	36	1	13.501 (0.0002)**
붉은가위빨노린재	<i>Acanthosoma spinicolle</i>	32	2	9.735 (0.0018)*
홍맥장님노린재	<i>Stenodema calcarata</i>	65	5	18.005 (0.0000)***
시골가시허리노린재	<i>Cletus punctiger</i>	80	7	20.660 (0.0000)***
꼬마납생이무당벌레	<i>Propylea japonica</i>	37	3	9.996 (0.0015)*

Korean Name	Scientific Name	# of indivs. at OP	# of indivs. at CP	Pearson's (p-value)
유채즙살바구미	<i>Ceutorhynchus albosuturalis</i>	98	1	40.529 (0.0000)***
진디벌	<i>Aphidius ervi</i>	65	1	26.144 (0.0000)***
노랑굴파리	<i>Chloropsserenus</i>	44	8	5.618 (0.0177)*
장수갈거미	<i>Tetragnatha praedonia</i>	25	22	5.811 (0.0159)*
작살가랑잎꼬마거미	<i>Enoplognatha caricis</i>	14	1	4.031 (0.0447)*
긴호랑거미	<i>Argiope bruennichi</i>	16	1	4.873 (0.0273)*

* P<0.05, ** P<0.01, *** P<0.0001

Table 6. List of species identified at conventional paddy field with statistical significance

Korean Name	Scientific Name	# of indivs. at OP	# of indivs. at CP	Pearson's (p-value)
아시아실잠자리	<i>Ischnura asiatica</i>	14	27	23.894 (0.0000)***
풀밭장님노린재	<i>Lygus rugulipennis</i>	5	13	14.675 (0.0001)**
고사리장님노린재	<i>Monalocoris filicis</i>	3	11	15.166 (0.0000)***
목화진딧물	<i>Aphis gossypii</i>	98	103	39.336 (0.0000)***
갈색날개매미충	<i>Ricania shantungensis</i>	3	10	13.081 (0.0003)**
툽다리개미허리노린재	<i>Riptortus clavatus</i>	3	6	5.494 (0.0198)*
일본왕개미	<i>Camponotus japonicus</i>	1	14	27.759 (0.0000)***
홍개미	<i>Formicarufa</i>	26	38	24.781 (0.0000)***
털검정파리	<i>Aldrichina grahamsi</i>	1	20	41.195 (0.0000)***
연두금파리	<i>Lucilia illustris</i>	14	53	73.395 (0.0000)***
벼아기갈따구	<i>Cricotopus oryzaphagos</i>	206	1121	1436.38 (0.0000)***

Korean Name	Scientific Name	# of indivs. at OP	# of indivs. at CP	Pearson's (p-value)
꼬마백금거미	<i>Leucauge celebesiana</i>	5	12	12.797 (0.0003)***
백금갈거미	<i>Tetragnatha pinicola</i>	13	36	42.117 (0.0000)***
민갈거미	<i>Tetragnatha maxillosa</i>	22	29	16.494 (0.0000)***
풀게거미	<i>Xysticus croceus</i>	16	23	14.746 (0.0001)***

* P<0.05, ** P<0.01, *** P<0.0001

Table 7. List of species identified at organic upland field with statistical significance

Korean Name	Scientific Name	# of indivs. at OU	# of indivs. at CU	Pearson's (p-value)
풀색노린재	<i>Nezara antennata</i>	36	4	4.858 (0.0275)*
실노린재	<i>Yemma exilis</i>	430	20	98.877 (0.0000)***
풀밭장님노린재	<i>Lygus rugulipennis</i>	23	1	5.604 (0.0179)*
목화진딧물	<i>Aphis gossypii</i>	184	2	56.583 (0.0000)***
싸리수염진딧물	<i>Aulacorthum solani</i>	66	1	19.833 (0.0000)***
복숭아혹진딧물	<i>Myzus persicae</i>	68	6	11.336 (0.0007)**
시골가시허리노린재	<i>Cletus punctiger</i>	78	14	4.765 (0.0290)*
일본왕개미	<i>Camponotus japonicus</i>	25	29	22.968 (0.0000)***
굴파리좀벌	<i>Diglyphus isaea</i>	39	1	10.872 (0.0009)**
검정파리	<i>Calliphora vomitoria</i>	26	118	231.301 (0.0000)***
벼아기깔따구	<i>Cricotopus oryzaphagos</i>	15	13	6.676 (0.0098)**
고려꽃등에	<i>Paragus haemorrhous</i>	20	1	4.63 (0.0314)*
노랑초파리	<i>Drosophila melanogaster</i>	97	11	12.7 (0.0004)**

* P<0.05, ** P<0.01, *** P<0.0001

Table 8. List of species identified at conventional upland field with statistical significance

Korean Name	Scientific Name	# of indivs. at OU	# of indivs. at CU	Pearson's (p-value)
애긴노린재	<i>Nysius plebejus</i>	7	21	36.506 (0.0000)***
목도리장님노린재	<i>Adelphocoris demissus</i>	1	8	19.33 (0.0000)***
소나무장님노린재	<i>Alloeotomus chinensis</i>	7	10	10.174 (0.0014)*
각시장님노린재	<i>Polymerus cognatus</i>	7	29	57.729 (0.0000)***
홍색얼룩장님노린재	<i>Stenotus rubrovittatus</i>	9	13	13.353 (0.0003)**
일본왕개미	<i>Camponotus japonicus</i>	25	29	22.968 (0.0000)***
검정파리	<i>Calliphora vomitoria</i>	26	118	231.301 (0.0000)***
연두금파리	<i>Lucilia illustris</i>	1	78	217.788 (0.0000)***
검정띠과실파리	<i>Euphranta nigrescens</i>	2	48	129.819 (0.0000)***
장수갈따구	<i>Chironomus plumosus</i>	1	6	13.589 (0.0002)**
대만흰나비	<i>Pieris canidia</i>	3	5	5.908 (0.0150)*
백금갈거미	<i>Tetragnatha pinicola</i>	24	30	26.032 (0.0000)***
풀게거미	<i>Xysticus croceus</i>	2	8	15.904 (0.0000)***

* P<0.05, ** P<0.01, *** P<0.0001

IV. 고 찰

지속적인 인구의 증가와 이에 따른 식량 문제를 해결하기 위해 도입된 집약적 생산 방식의 농법은 급격한 생산량의 증가를 가져왔으나, 서식지 내 종 다양성의 감소, 작물 해충의 증가, 경작 지역 내 수질 및 토양 오염 등의 문제를 함께 야기하였다. 이러한 문제들로 인해 결국 증가하던 주요 곡물 생산량은 감소하는 추세를 보이는 등 농업의 지속성이 위협받고 있다(FAO, 2011). 농업의 지속성을 유지하기 위한 방안으로 농업과 자연이 함께 공존할

수 있는 생태적 건강성이 대두되었으며, 농업 지역 내 생물다양성 확보의 중요성이 대두되었다(Jung et al., 2013). 화학 합성 농약을 사용하는 관행 농법이나 그렇지 않는 유기 농법과 같은 재배 방식은 경작 지역 내 종 다양성에 큰 영향을 미치는 것으로 잘 알려져 있고(Bengtsson et al., 2005; Hole et al., 2005; Power and Stout, 2011; Takada et al., 2014), 두 농법에 따른 생물 다양성 차이를 비교한 결과 유기농법 시행 지역에서 증가된 종 수 및 개체 수가 확인되었다(Park et al., 2012; Han et al., 2013; Kim et al., 2017).

본 연구에서 유기 농법을 사용한 농지와 관행 농법을 사용한 농지의 종 다양성을 비교한 결과, 채집된 전체 무척추동물 680종 중에서 유기 농법을 시행하는 지역에서 채집된 종은 총 546종으로 관행 농지에서 채집된 270종에 비해 약 50% 가량 높게 나타난 것으로 분석되었다. 세부적으로 유기농 논에서 전체 종의 51.8%에 해당하는 352종이, 그리고 유기농 밭에서는 43.4%인 295종이 채집되었고, 관행농 논에서는 22.1%인 150종이, 그리고 관행농 밭에서는 24.3%에 해당하는 165종이 관찰되어 유기농 논과 유기농 밭에서 각각 42%와 56% 더 많은 종이 출현하였다. 뿐만 아니라 다양도 지수 분석 결과 역시 관행농법 시행 지역보다 유기농법 시행 지역에서 더 높게 나타나 관행농법에 비해 유기농법이 종 다양성 증가에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이는 유기 농업 시행 지역에서 높게 나타나는 절지동물군 다양성 연구 결과와 일치하며(Bengtsson et al., 2005; Montanez et al., 2014), 특히 괴산 지역에서 시행된 2017년도의 연구 결과와 비교하였을 때에도 비슷한 양상을 보이는 등, 유기농법이 종 다양성에 미치는 긍정적인 영향을 확인하였다(Kim et al., 2017).

Wilson et al.(2005)는 화학 합성 농약에 노출되지 않은 논외의 경우 천적 생물군을 통한 안정적인 생태계 구조 형성이 가능하다고 보고하였고, 화학 제제를 사용하여 방제하는 경우 그 대상이 되는 해충 종뿐 아니라 천적 절지동물군 다양성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Theiling and Croft, 1988; Desneux et al., 2007; Cónsoli et al., 2009). 논에서 사용되는 화학 합성 농약 및 비료는 해당 지역의 절지동물군 수용 능력을 저하시켜 저서무척추동물군 다양성을 감소시키며(Grant et al., 1983; Mesléard et al., 2005; Han et al., 2013), 이러한 농약의 사용은 자연 환경과 인류의 건강에 부정적인 영향을 끼칠 뿐 아니라, 그 대상이 되는 해충 종들의 약제 저항성을 증가시킬 수 있어 궁극적으로 더 많은 양의 농약을 사용하게 되는 결과를 초래할 수 있다(Ekstrom and Ekbon, 2011).

또한 본 연구 결과에서 나타난 유기 농법 시행 지역의 생물 다양성 증가는, 제초제 등의 화학 제제를 사용하여 주변 식생을 관리하는 방법이 농경지 주변의 식물상을 저하시켜 이와 연관된 흡습성 무척추동물군의 감소와 이에 따른 포식자군의 감소로 연결되어 전반적인 생물다양성 저하를 야기한다는 보고와도 일치하였다 (Jarvis et al., 2010).

본 연구의 결과에 따르면 유기농법을 시행하는 논과 밭 모두에서 노린재목, 파리목, 딱정벌레목, 거미목의 종 다양성이 가장 풍부한 것으로 조사되었는데, 곤충강 내 딱정벌레목과 노린재목의 종 다양성이 가장 풍부하다는 점 이외에도, 작물을 재배하는 지역의 특성상 흡습

성의 무척추동물(노린재 등)과 해당 생물군을 포식하는 육식성 절지동물군(딱정벌레, 거미 등)의 다양성이 함께 증가하는 것으로 생각되며(Bengtsson et al., 2005; Power et al., 2012; Lee et al., 2014), 안정적인 생태계가 형성되어 있는 지역에서 딱정벌레목, 잠자리목, 거미목 등의 다양한 포식자군이 발견된다는 연구와도 일치한다(Han et al., 2013; Klaus et al., 2013).

생물 다양성을 평가하는 지표의 하나로 지수 분석이 널리 사용되고 있는데(Morris et al., 2014; Dinesh et al., 2018), 본 연구를 통해 얻어진 종 수와 개체 수에 따른 지수 분석 결과 역시 유기 농법의 시행이 관행 농법에 비해 더 높은 종 다양성을 제공하고 생태계 안정성을 증가시키는 것으로 확인되었다. 유기 농법을 시행하는 논과 밭에서 모두 관행 농법 시행 논과 밭에 비해 더 높은 종 풍부도와 다양도를 보였고, 종 균등도와 우점도를 함께 분석한 결과 유기 농업 시행 지역의 생태계가 더 안정적인 것으로 생각되며, 관행 농업 시행 논과 밭의 경우 낮은 종 균등도와 높은 종 우점도를 보여 제1우점종인 벼아기갈따구의 우점화가 진행되고 있을 가능성이 있는 것으로 판단되었다. 하지만 많은 개체수가 확인된 6월은 벼아기갈따구의 대발생 시기와 겹칠 가능성이 있으므로 향후 추가적인 조사를 통해 파악해야 할 것으로 사료된다.

종 다양성 연구를 통해 파악된 정보는 농법의 차이를 보여주는 하나의 지표가 되며, 지표종 선정을 통해 다양한 정책 수립에 반영될 수 있다(Ponce et al., 2011; Kim, 2018). 현재 국내에 설정되어 있는 지표종은 기후 변화에 따라 변화하는 생물다양성을 파악하기 위한 목적으로 국가 기후변화 생물지표 100종(ME, 2017)과 농업부문 기후변화 지표생물 30종(RDA, 2017)이 보고되어 있으나, 이들 지표종은 기후 변화를 기준으로 할 뿐 농법 차이에 따른 지표종이 아니므로 추가 연구를 통한 농법 관련 지표종 선정이 필요할 것으로 사료된다.

Kim 등(2017)은 괴산 지역을 대상으로 한 무척추동물 생물상 조사를 통해 유기 농법 시행 논에서만 확인된 50종과 유기 농법 시행 밭에서만 확인된 42종 등을 농법에 따른 지표종 후보군으로 제시하였는데, 그 후속 연구로 실시된 본 연구는 유기 농업 시행 논 고유종 225종 및 유기 농업 시행 밭 고유종 144종을 새로운 후보군으로 설정하였을 뿐 아니라, 같은 논 혹은 같은 밭 지역에서 공통적으로 출현하나 통계적으로 유의한 종을 분석하여 추가하였다. 지역 내 고유 출현종 수의 증가는 기후 변화 및 주변 지역 내 인위적인 행위 등 다양한 인자들에 의해 영향을 받기 때문에(Wascher, 2000; De Roeck, 2005; Billeter et al., 2008), 최종적인 괴산 지역 내 농법에 따른 지표종 선정은 향후 지속적인 생물상 조사 데이터의 축적과 분석을 통해 가능할 것으로 생각된다.

V. 요약

유기 농업은 토양에 물리적, 화학적 영향을 미칠 뿐 아니라 이에 따른 군집 구조와 생태

적 영향을 통해 생물 다양성과 직접적으로 연관되어 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 2017년 4월부터 10월까지 충청북도 괴산 내 유기 농법 및 관행 농법 시행 논과 밭에서 육상 및 저서 무척추동물상 모니터링을 수행하고 그에 따른 종 다양성의 변화를 비교 분석하였다. 그 결과, 네 곳에서 총 680종(14,371개체)이 확인되었으며 유기 농법을 시행하는 지역에서 더 많은 종 수가 확인되었다. 특히 개체 수에 따른 다양한 지수 분석을 시행한 결과, 유기 농법 시행 논에서 관행 농법 시행 논에 비해 약 40% 높은 다양성이 관찰되었고, 밭의 경우 유기 농법 시행 지역에서 약 10% 높은 다양성이 확인되었다. 종 풍부도의 경우 유기 농법 시행 논에서 약 60% 높게 나타났고, 유기 농법 시행 밭에서는 약 40% 높게 나타났다. 우점도와 균등도 지수 분석 결과, 관행 농법 시행 논에서만 낮은 균등도와 특정 종의 우점도가 높게 나타나 부분적인 우점화 현상이 나타나고 있음을 확인하였다. 종 분포의 경우 네 곳 모두에서 노린재목, 파리목, 거미목의 다양성이 가장 높게 나타났으며, 개체 수의 경우 유기 농법 시행 지역에서는 노린재목, 파리목, 거미목, 벌목의 개체 수가 가장 많았고, 관행 농법 시행 지역에서는 파리목, 노린재목, 거미목, 딱정벌레목의 개체 수가 높게 나타났다.

[Submitted, October. 4, 2018 ; Revised, November. 8, 2018 ; Accepted, November. 22, 2018]

References

1. Altieri, M. A. 1999. The Ecological Role of Biodiversity in Agroecosystems. *Agr. Ecosyst. Environ.* 74: 19-31.
2. Bengtsson, J., J. Ahnstrom, and A. Weibull. 2005. The Effects of Organic Agriculture on Biodiversity and Abundance: a Meta-analysis. *J. Appl. Ecol.* 42: 261-269.
3. Billeter, R., J. Liira, D. Bailey, et al. 2008. Indicators for Biodiversity in Agricultural Landscapes: a Pan-European Study. *J. Appl. Ecol.* 45: 141-150.
4. Boutin, C., A. Baril, and P. A. Martin. 2008. Plant Diversity in Crop Fields and woody Hedgerows of Organic and Conventional Farms in Contrasting Landscape. *Agric. Ecosyst. Environ.* 123: 185-193.
5. Buser, C. C., P. Spaak, and J. Wolinska. 2012. Disease and Pollution Alter *Daphnia* Taxonomic and Clonal Structure in Experimental Assemblages. *Freshw. Biol.* 57: 1865-1874.
6. Cónsolil, F. L., J. R. P. Parra, and S. A. Hassan. 2009. Side-effects of Insecticides Used in Tomato Fields on The Egg Parasitoid *Trichogramma pretiosum* Riley (Hym., Trichogram-

- matidae), A Natural Enemy of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lep., Gelechiidae). *J. Appl. Entomol.* 122: 43-47.
7. De Roeck, E. 2005. Trends of some Agri-environmental Indicators in the European Union. Report EUR 21 669 EN, European Commission Directorate General Joint Research Centre, Ispra, Italy.
 8. Desneux, N., A. Decourtye, and J. M. Delpuech. 2007. The Sublethal Effects of Pesticides on Beneficial Arthropods. *Annu. Rev. Entomol.* 52: 81-106.
 9. Dinesh, G. K., P. T. Ramesh, N. Chitra, and M. P. Sugumaran. 2018. Ecology of Birds and Insects in Organic and Conventional (In-Organic) Rice Ecosystem. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7: 1769-1779.
 10. Ekstrom, G., and B. Ekbom. 2011. Pest Control in Agro-ecosystems: An Ecological Approach. *Crit. Rev. Plant Sci.* 30: 74-94.
 11. Gabriel, D., S. M. Sait, W. E. Kunin, and T. G. Benton. 2013. Food Production vs. Biodiversity: Comparing Organic and Conventional Agriculture. *J. Appl. Ecol.* 50: 355-364.
 12. German, R. N., C. E. Thompson, and T. G. Benton. 2016. Relationships among multiple aspects of agriculture's environmental impact and productivity: a meta-analysis to guide sustainable agriculture. *Biol. Rev.* 92: 716-738.
 13. Grant, I. F., A. C. Tirol, T. Aziz, and I. Watanabe. 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.
 14. Han, M. S., H. K. Nam, K. K. Kang, M. R. Kim, Y. E. Na, H. R., Kim and M. H., Ki. 2013. Characteristics of Benthic Invertebrates in Organic and Conventional Paddy Field. *Korean J. Environ. Agric.* 32: 17-23.
 15. 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: 113-130.
 16. Jarvis, D. I., C. Padoch, and H. D. Cooper. 2010. Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems (in Korean). Rural Development Administration Republic of Korea. 203-232p.
 17. Jung, O. S., H. B. Yeo, N. H. Heo, H. R. Jang, H. J. Oh, and G. J. H. Sa. 2013. Promotion of Biodiversity for Sustainability of Agriculture. Chungnam Development Institute.
 18. Kim, H., J. H. Seo, K. J. Kim, G. I. Choi, Y. J. Jo, T. Y. Kim, and M. J. Moon. 2017. Comparative Analysis on the Invertebrate Biodiversity between Organic and Conventional Agriculture Fields. *Korean J. Org. Agric.* 25: 875-900.
 19. Kim, T. Y. 2018. The Use of Agri-environment Concept in the Legislation and the Improvements in South Korea. *Korean J. Org. Agric.* 26: 83-97.

20. Klaus, V. H., T. Kleinebecker, D. Prati, M. M. Gossner, F. Alt, S. Boch, S. Gockel, A. Hemp, M. Lange, J. Muller, Y. Oelmann, E. Pasalic, S. C. Renner, S. A. Socher, M. Turke, W. W. Weisser, M. Fischer, and N. Holzler. 2013. Does Organic Grassland Farming Benefit Plant and Arthropod Diversity at the Expense of Yield and Soil Fertility? *Agric. Ecosyst. Environ.* 177: 1-9.
21. Lampert, W. and U. Sommer. 1997. *Limnoecology*. Oxford University Press.
22. Lee, M., E. J. Han, J. H. Park, S. J. Hong, S. M. Kang, and J. H. Kim. 2014. Utilization of Organic Farming for *in situ* Conservation of Biodiversity.: Rahmanh, G. U. Aksoy (eds.) Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference: 'Building Organic Bridges'. 4: 953-956. Istanbul, Turkey.
23. 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. *Korean J. Organic Agric.* 21: 601-615.
24. Letourneau, D. K. and B. Goldstein, 2001. Pest Damage and Arthropod Community Structure in Organic vs. Conventional Tomato Production in California. *J. Appl. Ecol.* 38: 557-570.
25. Loureiro, C., J. L. Pereira, M. A. Pedrosa, F. Goncalves, and B. B. Castro. 2013. Competitive Outcome of *Daphnia-Simocephalus* Experimental Microcosms: Salinity versus Priority Effects. *PLoS One* 8: e70572.
26. Ma, S. M. and S. Joachim. 2006. Review of History and Recent Development of Organic Farming Worldwide. *Agr. Sci. China.* 5: 169-178.
27. Margalef, D. R. 1958. Information Theory in Ecology. *Gen. Syst.* 3: 36-71.
28. McNaughton, S. J. 1967. Relationship among Functional Properties of California Grassland. *Nature.* 216: 168-144.
29. Mesléard, F., S. Garnero, N. Beck, and É. Rosecchi. 2005. Uselessness and Indirect Negative Effects of an Insecticide on Rice Field Invertebrates. *C. R. Biol.* 328: 955-962.
30. Michelsen, J. 2001. Recent Development and Political Acceptance of Organic Farming in Europe. *J. Eur. Soc. Rural Sociol.* 41: 3-20.
31. Montanez, M. N. and A. A. Suarez. 2014. Impact of Organic Crops on the Diversity of Insects: A Review of Recent Research. *Rev. Colomb. Entomol.* 40: 131-142.
32. Morris, E. K., T. Caruso, F. Buscot, M. Fischer, C. Hancock, T. S. Maier, T. Meiners, C. Muller, E. Obermaier, D. Prati, S. A. Socher, I. Somnemann, N. Waschke, T. Wubet, S. Wurst, and M. C. Rillig. 2014. Choosing and Using Diversity Indices: Insights for Ecological Applications from the German Biodiversity Exploration. *Ecol. Evol.* 4: 3514-3524.

33. Park, K. L., M. J. Kong, N. C. Kim, and J. K. Son. 2012. The Analysis of Vegetation Characteristics of Organic Rice Paddy for Value Assessment of the Rice Paddy Wetland. *J. Wetlands Res.* 14: 59-73.
34. Pielou, E. C. 1966. The Measurement of Diversity in Different Types of Biological Collections. *J. Theor. Biol.* 13: 131-144.
35. Pielou, E. C. 1975. *Ecological Diversity*. Wiley, New York.
36. Pluess, T., I. Opatovsky, G. E. Regev, Y. Lubin, and M. H. Schmidt. 2008. Spiders in Wheat Fields and Semi-desert in the Negev (Israel). *J. Arachnol.* 36: 368-373.
37. Plumecocq, G., T. Debril, M. Duru, M. Magrini, J. Sarthou, and O. Therond. 2018. The Plurality of Values in Sustainable Agriculture Models: Diverse Lock-in and Coevolution Patterns. *Ecol. Soc.* 23(1): 21.
38. Ponce, C., C. Bravo, D. G. de Leon, M. Magana, and J. C. Alonso. 2011. Effects of Organic Farming on Plant and Arthropod Communities: A Case Study in Mediterranean Dryland Cereal. *Agr. Ecosyst. Environ.* 141: 193-201.
39. Power E. F. and J. C. Stout. 2011. Organic Dairy Farming: Impact on Insect-flower Interaction Networks and Pollination. *J. Appl. Ecol.* 48: 561-569.
40. Power, E. F., D. L. Kelly, and J. C. Stout. 2012. Organic Farming and Landscape Structure: Effects on Insect-Pollinated Plant Diversity in Intensively Managed Grasslands. *PLoS ONE*. 7: e38073.
41. Rockstrom, J., W. Steffen, K. Noone, A. Persson, F. S. Chapin, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sorlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liveman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. 2009. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Nature*. 461: 472-475.
42. Rundolf, M. and H. G. Smith. 2006. The Effect of Organic Farming on Butterfly Diversity Depends on Landscape Context. *J. Appl. Ecol.* 43: 1121-1127.
43. Song, J. H., Y. S. Cho, K. H. Lim, and H. C. Lee. 2013. Current Status of Pest Management and Biodiversity in Organic Pear Orchards in Korea. *Korean J. Environ. Agric.* 21: 617-627.
44. 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.
45. Theiling, K. M. and B. A. Croft. 1988. Pesticide Side-effects on Arthropod Natural Enemies:

- A Database Summary. *Agri. Ecosys. Environ.* 21: 191-218.
46. Tilman, D., J. Fargione, B. Wolff, C. Antonio, A. Dobson, and R. Howarth. 2001. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. *Science*. 292: 281-284.
 47. Tscharntke, T., A. M. Klein, A. Kruess, I. Steffan-Dewenter, and C. Thies. 2005. Landscape Perspectives on Agricultural Intensification and Biodiversity-ecosystem Service Management. *Ecol. Lett.* 8: 857-874.
 48. Wascher, D. W. 2000. Agri-environmental Indicators for Sustainable Agriculture in Europe. Wascher, D. W. (ed). European Centre for Nature Conservation (ECNC Technical Report Series). Tilburg.
 49. Wezel, A., M. Casagrande, F. Celette, J. Vian, A. Ferrer, and J. Peigne. 2014. Agroecological Practices for Sustainable Agriculture: A Review. *Agron. Sustain. Dev.* 34: 1-20.
 50. Wilson, J., A. Morris, B. Arroyo, S. Clark, and R. Bradbury. 1999. A Review of the Abundance and Diversity of Invertebrate and Plant Foods of Granivorous Birds in Northern Europe in Relation to Agricultural Change. *Agr. Ecosyst. Environ.* 75: 13-30.
 51. Wilson, A. L., D. S. Ryder, R. J. Watts, and M. M. Stevens. 2005. Stable Isotope Analysis of Aquatic Invertebrate Communities in Irrigated Rice Fields Cultivated Under Different Management Regimes. *Aquat. Ecol.* 39: 189-200.