

환경농업 시범마을 논에서 시비에 따른 무척추동물 개체 수 변화

한민수* · 신중두 · 나영은 · 이남종 · 박문희 · 김세근

농업과학기술원

(2002년 3월 28일 접수, 2002년 5월 20일 수리)

Changes of Invertebrate Density in Rice Paddies of Different Fertilizer Managements in Demonstration Villages of Sustainable Agriculture.

Min-Su Han*, Joung-Du Shin, Young-Eun Na, Nam-Jong Lee, Mun-Hee Park and Sae-Geun Kim (National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea)

ABSTRACT: This study was conducted to survey and identify kinds and population of the freshwater invertebrate fauna according to the managements of paddy rice fields at Ok-Chun and Yang-Pyung. The experiment was conducted in 4 paddy plots; conventional fertilization plot (CF), fertilization by prescription with soil testing with (ST+A) or without soil amendment (ST), and no fertilization as the control. In addition, the freshwater invertebrate fauna was also surveyed at 3 sections of as upper, intermediate and down, in both Jitan and Bungsan stream. The total number of the freshwater invertebrates was higher in the order of ST>CF>ST+A>C and ST>ST+A>CF>C at Ok-Chun and Yang-Pyung, respectively. The population density of aquatic insects was higher in plots fertilized by prescription with soil testing than in the other plots at both demonstration villages. The freshwater invertebrates collected in Jitan and Bungsan stream were identified and classified into 59 families and 90 species, and their population density was highest in the downstream among.

Key words: freshwater invertebrates, sustainable agriculture, rice paddy

서 론

친환경 농업은 농약의 안전사용 기준을 지키고, 작물별 안전 시비 기준량을 준수하여 환경을 보전하며, 안전한 농산물을 생산하는 농업이다. 친환경 농업의 목표 또한 환경을 고려한 국민의 안전한 식량 공급과 생산성 유지, 농산물의 안정성 및 경제성 확보를 동시에 추구하는데 있다. 따라서 친환경 농업의 실천은 비료성분 공급과 병해충 및 잡초로부터의 작물보호가 환경보전적으로 이루어짐으로써 합리적인 INM (Integrated nutrient management) 및 IPM (Integrated pest management)의 기술체계가 적용되며, 우리나라의 농업실정을 감안하고 이러한 기준을 적용하여 환경을 보전하고 지속농업을 영위할 수 있도록 시범적으로 실시되고 있는 것이 친환경 시범마을이다. 그러나 시범마을의 실제투입기술은 농경지의 이화학적 특성 및 병해충의 방제 측면만 고려되었으¹⁾며, 환경보전 측면에서 중요한 논 수서 생물의 종 다양성 변동 경향 등에 대한 연구 보고가 미흡한 실정인 반면^{2,4,5)}, 수계에서의 수질오염에

대한 연구와 생물학적 수질판정 및 수계생물의 다양성평가 연구는 날로 진척되고 있다^{6,8)}. 따라서 본 연구의 목적은 친환경 농업 시범마을의 논에 서식하는 수서무척추동물 개체 수 변동 상황과 그 주변 하천에 서식하는 종 다양성 및 개체밀도를 조사하는데 있으며, 또한 그 변동 상황을 추적하여 친환경농업의 실천에 따른 생물상의 변동 양상을 파악함으로써 환경농업실천에서의 문제점과 개선점을 찾고 논 수생태계내의 생물서식에 시비와 농약관리의 차이가 주는 영향을 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

시험구 처리

본 시험은 옥천군 이원면 지탄리 시험포장과 양평군 강상면 병산리 시험포장에서 수행하였다. 처리내용은 그 지역 관행 시비구와 토양검정 화학 비료 시용구, 화학비료 시용+개량제구 (규산질비료 200, 가축분퇴비 800 Kg/10a), 무비료구의 4처리 단구제로 배치하고, 농가관행 시비구를 대조구로 하였다. 수서 무척추 동물상을 조사하기 위하여 각각 지탄수계와 병산수계를 상류, 중류 및 하류의 3지점으로 구분하여 조사하였다.

조사 방법

*연락처:

Tel: +82-31-290-0286 Fax: +82-31-290-0277

E-mail: mshan@rda.go.kr

Table 1. Differences in population of freshwater invertebrates in surface water at paddy field treated with different fertilization methods.

Location	Treatment ^a	Jun	Jun	Jul	Aug	Average	Index
		/8	/23	/21	/14		
		No/L					
Ok-Chon	CF	94	633	197	133	264	100
	STF	172	922	384	228	427	162
	STF + A	28	392	273	90	196	74
	NF	19	161	152	87	105	40
Yang-Pyung	CF	372	481	270	355	370	100
	STF	632	608	640	1136	754	204
	STF + A	270	445	334	638	422	114
	NF	159	139	284	608	298	81

^aCF : Convention fertilization
 STF : Fertilization by prescription with soil testing
 STF + A : Fertilization by prescription with soil testing added amendment
 NF : No fertilization

Table 2. Differences in population of aquatic insects in surface water of paddy field treated with different fertilization methods.

Location	Treatment ^a	Jun	Jun	Jul	Aug	Average	Index
		/8	/23	/21	/14		
		No/L					
Ok-Chon	CF	5.5	87.8	17.7	20.0	32.8	100
	STF	13.7	87.8	66.8	36.7	51.3	156
	STF + A	5.5	62.8	21.8	15.2	26.3	80
	NF	3.0	63.3	23.2	9.2	24.7	75
Yang-Pyung	CF	5.7	114.5	32.3	28.0	45.1	100
	STF	6.5	135.2	93.0	70.5	76.3	169
	STF + A	3.3	166.3	32.2	30.7	58.1	129
	NF	3.3	32.3	35.7	24.8	24.0	53

^aCF : Convention fertilization
 STF : Fertilization by prescription with soil testing
 STF + A: Fertilization by prescription with soil testing added amendment
 NF : No fertilization

논가 논에 처리한 시험구에서 2000년 6월부터 8월까지 논 서식, 수서 무척추동물의 발생과 개체수 변동을 조사하기 위해 월 1회 논물 수심 5~10 cm 정도에서 망목 150 μm 망에 한 지점에서 비이커로 3회를 채취하여 물 2 L가 되도록 하였으며, 장소를 달리하여 3회 채취하여 6 L를 1회 반복으로 3회에 걸쳐 채집한 후 아이스박스에 시료를 담아 실험실로 옮긴 다음 4℃에 보관하였다. 그 후 채집 수서 무척추동물을 선별하여 70%의 ethanol에 고정하고 수시로 해부 현미경으로 관찰하여 분류하였으며^{9,21)}, 각 종의 개체 수를 조사하였다. 주변의 농업용수 이용 하천에서의 수서 생물조사에 있어서는 surbur식 계류용 정량 채집망 30×30 cm를 사용하여 지점 당

3회 반복 채집하였다. 채집된 수서 곤충은 육안으로 선별되는 것은 70%의 ethanol에 보존하고, 잔여물과 미소 무척추동물은 망목 150 μm 망에 담아 열음이 충전된 아이스박스에 담아 실험실내에서 선별한 후 70%의 ethanol에 침지한 후 현미경 하에서 원색도감을 참고로 하여 분류하고 개체밀도를 조사하였다²²⁻³²⁾.

결과 및 고찰

시비방법에 따른 수서 무척추 동물상

친환경 시범 마을에 설치된 시험포장에서의 처리별 서식 수서 무척추동물의 연평균 개체수 변화는 Table 1 에서 보는 바와 같다. 옥천에서는 토양 검정 화학비료 시비구에서 농가 관행 보다 62% 정도 많았으며, 무비에서 가장 적었다. 양평 역시 토양 검정 화학비료 전용구가 754/L 로 농가 관행구의 370/L 보다 2배정도 많이 서식하였으며 무비에서 가장 적은 것으로 조사되었다. 이것은 토양 검정에 따른 화학비료의 적정 투입 수준이 생물상을 유지하는데 어느 처리 수준 못지않은 결과를 얻었다는 것과 일치한다⁴⁾. 또한 김 등, 한 등 및 김 등의 보고에서 시비 수준보다는 농약의 과다 투입이 수서 무척추동물의 개체밀도와 다양성을 낮춘다고 발표한 바 있다^{23,5)}. 그렇지만, 옥천과 양평의 두 시범 마을의 지리적 특성상 병충해 다발 발생 지역이 아니고 관행적으로 병충해 방제를 거의 하지 않는 지역이므로 논외의 수서 무척추동물 밀도는 시비의 영향을 많이 받는 것으로 조사되었다. 토양 검정 화학비료 전용구에서 논외의 수서 곤충 개체 수는 옥천과 양평에서 각각 51.3, 76.3/L로 농가 관행구보다 56%, 69%가 각각 많았으며, 양평의 평균 개체수도 51%가 많았다 (Table 2). 따라서 생물 다양성 유지와 지속적 농업을 위해서 화학비료의 적정 시비는 환경 보전 특히 수서생물 밀도 증가에 크게 기여하는 것으로 생각된다. 한 등의 결과에 의하면 농약이 과다 투입되는 병충해 다발 지역에서는 화학비료 전용구보다 벼짚 및 유기물 등의 적정 투입에서 수서 곤충의 서식수가 많고 종 다양성 지수가 높아 안정도가 높은 것으로 보고하고 있어 유기물이 농약독성을 감소시키는 결과로 추정된다⁴⁾. 논에서의 갑각류는 수서 생태계에서의 저차 소비자로서 먹이연쇄에 있어 중요한 연결고리가 되고, 단기간에 대량증식 된 후 일시에 사라지므로 논외의 에너지 흐름을 촉진하는 동시에 축적된 물질(잔사)을 되돌려 줌으로서 물질순환을 돕는다고 보아야 할 것이다³³⁾. 50-60년대에 화학비료가 부족한 시기에는 유기물이 풍부하게 축적된 논에서는 풍년 새우가 대량발생되어 풍년을 예견한 것과 같이 논 생태계에서의 수서 갑각류의 의미는 크고 그 차지하는 구성 비율도 90% 이상을 차지한다고 보고되고 있다²⁴⁾. 옥천에서의 논 서식 갑각류의 총 개체 수는 토양검정 화학비료 전용구가 농가관행에 비해 63%가 많았고, 양평에서는 전처리 모두 농가관행에 비해 11~41%정도 증가하였다 (Table 3). 친환경 시범마을에서 INM과 IPM으로 관리한 논가 논과 주변 시비지 외 지역 관행 논가 논에 수서 무척추 동물

Table 3. Differences in the population of aquatic crustacea in surface water of paddy field treated with different fertilization methods.

Locations	Treatmentst. ^a	Branchiopoda				Copepoda				Ostracoda				Total	In. ^b
		Jun/8	Jun/23	Jul/21	Aug/14	Jun/8	Jun/23	Jul/21	Aug/14	Jun/8	Jun/23	Jul/21	Aug/14		
		----- No/L -----													
Ok-Chun	CF	50	252	-	-	33	288	123	18	3	6	56	81	910	100
	STF	87	373	17	-	43	406	185	49	14	54	121	136	1485	163
	STF+A	10	82	-	-	7	217	168	20	2	29	79	37	651	72
	NF	7	10	-	-	5	91	88	15	1	18	16	52	303	33
Yang-Pyung	CF	208	21	-	22	111	294	203	206	13	33	13	15	1139	100
	STF	101	17	12	31	144	255	434	95	13	54	46	93	1295	111
	STF+A	205	25	-	24	88	347	258	530	12	41	22	48	1600	141
	NF	179	3	-	27	133	87	208	471	51	14	11	70	1254	110

^aCF : Convention fertilization

STF : Fertilization by soil testing

STF + A : Fertilization by prescription with soil testing added amendment

NF : No fertilization

^bIn. : Index

Table 4. Comparison of the numbers of freshwater invertebrates in surface water of rice paddies.

Location	Treatment ^a	Date	Insects	Annelida	Shells		Crustcea	Index
					No/L			
Yang-Pyung	SP	Aug /16	38.8	8.8	7.3	299.8	100	
	CP		9.6	-	2.5	42.6	15	
Ok-Chun	SP	Aug /14	2.7	-	7.3	176.4	100	
	CP		10.8	-	12.2	106.5	70	

^aSP : Sustainable paddy field managed with IPM and INM technology

CP : Conventional paddy with farmer's practice

개체수 조사는 Table 4와 같다. 양평에서는 BB (Bulk blending) 비료 시용 및 IPM으로 관리한 논외 수서 무척추동물의 개체 수는 농가관행 논에 비하여 85%가 더 많았으며, 옥천은 30%가 더 많은 경향을 보였다. 그러나 강 등이 1968년에 수원지역 논에서 조사한 자료를 보면³⁴⁾, 물방개, 송장해엄치게, 참거머리 등이 상당수 채집되는 것으로 보고 되어 있는데 비해 본 조사에서는 시비량을 줄이고 농약 사용횟수를 줄였음에도 불구하고 발견되지 않았다.

수계에 따른 수서 무척추 동물상

옥천과 양평의 시범마을 내 논가 논을 관류하는 하천의 수서 무척추 동물상은 Table 5 및 6과 같다. 시범마을의 지천에서 서식하는 생물을 채집한 결과 갑각류가 6과 7종, 편형, 선형, 환형 및 연체동물이 13과 17종, 수서 곤충류가 40과 59종이 발견되어 총 59과 76종과 미확인 14종이 조사되었다. 두 지역 모두 생활하수 유입지역에서는 오수생물인 실지렁이, 돌거머리 등이 서식하고 있었고, 최상류에서는 빈 부수성 생물인 강도래목, 납작하루살이과, 각다귀류가 우점종인 것으로 나타났으며, 하류에서는 중 부수성 종인 날도래류와 꼬마하루살이과가 우점종인 것으로 분류되었다. 하천의 상류, 중류 및 하류에서 조사한 수서 무척추 동물의 개체수는 Table 7과 같다. 조사지점 별로는 두 지역 모두 하류에 서식하는 수서 무척추

동물 밀도가 가장 높았으며, 옥천의 평균 개체 수에서도 최상류에 비해 하류에서 172%가 많은 밀도를 나타냈다. 양평에서는 총 개체 밀도와 수서곤충의 서식밀도가 하류 다음으로 최상류가 생활하수 유입지 보다 많았다. 수량이 늘어나고 하천의 바닥이 강우에 의해 정화되는 8월에는 생활하수 유입지에서도 곤충서식 밀도가 늘어 최상류와 하류에서의 서식 곤충 밀도가 비슷하여 전형적인 하천의 양상을 보였으며, 생활하수 유입지가 지나치게 서식밀도가 낮은 것은 생활하수의 오염에 영향을 받았겠지만 우기를 제외하면 하천의 수량이 유지되지 못하는데 더 큰 원인이 있는 것으로 판단되었다. 하천의 조사 지점별 채집 종 수를 보면 Table 8과 같다. 두 지역 모두 최상류에서 종수가 가장 풍부하였고³⁵⁻³⁹⁾, 생활하수 유입지에서 종 수가 적었으며, 월별로는 7월에 가장 많은 종이 채집되었다. 옥천 보다는 양평에서 더 많은 종이 서식하는 것으로 나타났으며, 이때의 주변 환경은 옥천이 최상류까지 밭과 논을 경작하고 있었고, 양평의 최상류는 인위적인 영향을 전혀 받지 않은 상태였다.

요 약

논의 관리방법에 따른 수서생물상의 변동 양상을 파악하

Table 5. Lists of freshwater invertebrate species identified in the Jitan and Bungsan stream, which pass through the demonstration villages of sustainable agriculture.

Order	Family	Name of Species
Crustacea	Gammaridae	<i>Rivulogammarus nipponensis</i> Ueno
Anostraca	Asellidae	<i>Asellus hilgendorffii</i> Boval-lius
Isopoda	Astacidae	<i>Cambaroides</i> sp.
Branchiopoda	Daphniidae	<i>Daphnia</i> sp.
Ostracoda	Cypridae	<i>Notodromas monacha</i> , <i>Candona</i> sp
Copepoda	Canthocamptidae	<i>Bryocamptus</i> sp
Platyhelminthes	Planariidae	<i>Planaria</i> sp.
Nemathelminthes	Dorylaimoide	<i>Dorylaimus</i> sp.
Annelida		
Oligochaeta	Naididae	<i>Nais Japonica</i>
	Tubificidae	<i>Tubifex</i> sp.
Hirudinea	Hirudidae	<i>Hirudo nipponia</i>
	Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia complanata</i>
	Erpobdellidae	<i>Erpobdella octoculata</i>
Mollusca	Viviparidae	<i>Cipangopaludina hinensis malleata</i> Reere
Mesogastropoda	Pleuroceridae	<i>Semisulcospira fortieosta</i> Martens
Basommatophora	Lymnaeidae	<i>Radixauricularia coreana</i> Martens
		<i>Austropelea omula</i> Gould
		<i>Fossaria truncatula</i> Muller
	Planorbidae	<i>Segmentina hemisphaerula</i> Benson
		<i>Hippeulis Cantori</i> Benson
		<i>Gyraulus convexiusculus</i> Hutton
	Ancylidae	<i>Pettancylus nipponicus</i> Kuroda
Veneroida	Sphaeriida	<i>Muselium japonicum</i> Westerlund

Table 6. Lists of aquatic insect species identified in the Jitan and Bungsan stream, which pass through the demonstration villages for sustainable agriculture.

Order	Family	Name of Species
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetis thermicus</i> Ueno; <i>Baetiella tuberculata</i> Kaziauskas
	Heptageniidae	<i>Epeorus latifolium</i> Ueno; <i>Ecdrymurus kibunensis</i> Imanishi
	Ephemeridae	<i>Ephemerella strigata</i> Eaton
Plecoptera	Perlidae	<i>Kiotina decorata</i> Zwick
	Chloroperlidae	<i>Sweltasa kua</i>
Diptera	Culicomorpha	<i>Dixa</i> sp.
Nematocera	Tipulidae	<i>Tipula kua</i> ; (<i>kub</i> ; <i>kug</i> ; <i>kuh</i> ; <i>kui</i> ; <i>kum</i>)
	Psychodidae	<i>Pedicia kua</i> ; <i>Hexatoma kua</i>
		<i>Psychoda</i> sp.
	Dixidae	<i>Dixa kua</i>
	chironomidae	<i>Chironomus</i> sp.
	Ceratopogonidae	<i>Ceratopogonius</i> sp.
Orthorrhapha	Dolichopodidae	<i>Dolichopus</i> sp.
	Sciomyzidae	<i>Sciomyzidae</i> ssp.
	Athericidae	<i>Suragina kua</i> .
	Tabanidae	<i>Tabanus amaenus</i> walker, <i>T. kinoshitai</i> Kono et Takahasi
		<i>Atylotus horvathi</i> Szilady
Cyclorrhapha	Syrphidae	<i>Eristalis kua</i>
	Ephydriidae	<i>Brachydeutera</i> sp.
Hemiptera	Gerridae	<i>Gerris latiabdominis</i> Miyamoto
		<i>Gerris</i> (<i>Gerris Selloides</i>) <i>gracilicornis</i> Horvath
		<i>Aquarius Eelongatus</i> Uhler

Continued(Table 6)

Order	Family	Name of Species
Odonata	Hydrometridae	<i>Hydrometra albolineata</i> scott
	Nepidae	<i>Laccotrephes japonensis</i> Scott, <i>Ranatra chienensis</i> Mayr
	ealopterygidae	<i>Calopteryx japonica</i> Tillyard
	Platynemididae	<i>Copera annulata</i> selys
Zygoptera	Libellulidae	<i>Sympetrum eroticum eroticum</i> selys; <i>Orthetrum kua</i>
anisoptera	Gomphidae	<i>Asiagomphus meianopsides</i> Doi; <i>Dawidius lunatus</i> Barteneff
	Sialidae	<i>Sialis kua</i>
Megaloptera	Corydalidae	<i>Parachauliodes continentalis</i> weele
Coleoptera	Dytiscidae	<i>Neonectes natrrix</i> sharp; <i>Potamonectes simplicipes</i> sharp; <i>Platambus</i> (<i>Agraphis</i>) <i>Fimbriatus</i> sharp; <i>Agabus browni kamiya</i> <i>Hydrochara libra</i> Sharp; <i>Hydrochara bilineatus</i> Cashimrensis <i>Redtenbacher</i> <i>Stenelimis vulgaris</i> Nomura
	Hydrophilidae	<i>Eubrianar ramicornis</i> Kiesenwetter
Trichoptera	Elmidae	<i>Luciola lateralis</i> Motschulsky
	Psphenidae	
	Lampyridae	
	Philopotamidae	<i>Wormaldia kua</i>
	Hydropsychidae	<i>Macronema radiatum</i> Mclachlan; <i>Cheumatopsyche brevilineata</i> Iwata; <i>Hydropsyche kua</i> <i>Hydroptila kua</i>
	Hydroptilidae	<i>Coera japonica</i> Banks; <i>Neophylax ussurinsis</i> -Martyrov, <i>Apatania kua</i> , <i>Hydatophylax nigrovittatus</i> Mclachlan,
	Limnephilidae	<i>Nothopsyche kua</i>
	Glossosomatidae	<i>Glossosma kua</i>
	Phryganopsychidae	<i>Phryganopsyche latipennis</i> Banks
	Lepidostomatidae	<i>Goerodes kua</i>
Odontoceridae	<i>Psilotreta kisoensis</i> Iwata	
Molannidae	<i>Molanna moests</i> Banks	
Total	59	76

Table 7. Distributions of the population of freshwater invertebrates in the Jitan and Bungsan stream

Location & station	June 2000				July 2000				August 2000				Average	Index
	In ^{a)}	Cu ^{b)}	Ot ^{c)}	Total	In	Cu	Ot	Total	In	Cu	Ot	Total		
No/0.09 m ²														
Okchun-goong Jitan stream														
Upper	599	6	16	621	308	112	25	445	342	4	21	367	478	100
Intermediate	406	67	484	957	266	41	150	457	1512	45	32	1589	1001	210
Down	1,127	2	159	1288	318	16	14	348	2244	11	9	2264	1300	272
Yangpyung-goong Bungsan stream														
Upper	1659	117	212	1988	522	43	3	568	782	9	2	793	1116	100
Intermediate	223		4	227	589		6	595	567			567	463	41
Down	1725	34	97	1856	701	2	104	807	896	8	61	965	1209	108

^{a)}In, insects; ^{b)}Cu, Crustacea; ^{c)}Ot, Other.

Table 8. Distribution of the freshwater invertebrate species identified in Jitan and Bungsan stream at demonstration villages for sustainable agriculture

Location & positions	June			July			August			
	In ^{a)}	Cu ^{b)}	Ot ^{c)}	In	Cu	Ot	In	Cu	Ot	
No/L										
Jitan	Upper	27	2	4	40	1	1	23	1	2
	Intermediate	10	1	4	11	2	5	4	1	5
	Down	6	2	3	10	1	8	11	1	4
Bungsan	Upper	22	1	1	34	1	1	34	1	1
	Intermediate	20	-	4	15	-	1	12	-	-
	Down	9	2	6	15	1	9	13	1	8

^{a)}In, insects; ^{b)}Cu, Crustacea; ^{c)}Ot, Other.

기 위하여 종합적인 환경농업기술 시범 2개 지역의 논 및 하천에서 주기적으로 조사 분석하였다. 논에서의 수서 무척추동물의 총 개체 수는 두 지역 모두 농가관행구에 비해 화학비료 토양검정 시비구에서 62% 이상 높았고, 그 다음은 두 지역에서 서로 다르게 나타나 옥천의 경우 농가관행구, 양평은 화학비료+개량재 순으로 많고, 가장 적은 처리는 무비구였다. 수서곤충의 총 개체 수는 토양검정시비구가 농가관행구 옥천 및 양평 각각 32.8, 45.1/L 보다 56%, 69% 더 많았다. 갑각류의 총 개체수는 옥천 지역에서는 토양검정 화학비료구> 화학비료+개량제구> 농가관행구> 무비구 순으로 많았으며, 양평에서는 화학비료+개량제구> 토양검정 화학비료> 무비> 농가관행구 순으로서 과다 비료사용구인 농가관행구에서 가장 적었다. 두 지역의 논관류 하천에서 서식하는 수서 무척추동물은 59과 76종이 분류되었고, 미확인종이 14종으로 조사되었으며, 특히 물방개과 중 노란테 콩알 물방개 및 땅콩 콩알 물방개가 채집되었고 양평 지역에서는 날도래 종류가 다양하게 서식하고 있는 것으로 나타났다. 하천지류별 수서 무척추동물 서식밀도는 두 지역 모두에서 상류보다는 하류에서 밀도가 높았으며, 옥천의 년평균 성적에서도 하류에서 1300/0.09 m²로 최상류에 비해 172% 더 많은 밀도를 나타냈다. 친환경 농업 실천 2개 지역에서의 논 서식 수서 무척추동물 개체 수 조사 결과 일반관행 농가 논 92.1/L 보다 58% 더 많았다.

참고문헌

1. 농림부 (1999) 친환경농업 시범마을 조성사업 지침, 농촌진흥청, p.1-114.
2. 김병석, 박연기, 김선관, 정영호, 정기채 (1996) 농약 사용이 농경지 생물상에 미치는 영향 연구, 농업과학 기술원 시험사업보고서, 작물보호부편, p.1112-1122.
3. 김용화, 윤일병, 유순애 (1990) 농약이 자연 생태계에 미치는 영향 조사 연구, 환경청 특정연구보고서, p.1-200.
4. 한민수, 강기경, 김진호, 김세근, 고문환, 박형만 (2000) 논농사에 있어서 생물 다양성평가, 농업과학기술원 연구 보고서, p.128-137.
5. 한민수 (2000) 친환경농업 지역에서의 생물 다양성평가, 농업기반공사 농공기술, 5~6월호, p.38-42.
6. 김재원 (1969) 한국주요하천상류의 수생곤충의 현존량, *Korean J. Limnol.* 2, 71-78.
7. 백청오, 강상구, 이광식 (1996) 우리나라 농업용수 수질 오염현황과 개선대책, *Korean J. Environ. Agric.* 15, 506-519.
8. 한강완, 조재영, 김성조 (1997) 금강유역농업지대의 토양 및 수질오염, *Korean J. Environ. Agric.* 16, 19-24.
9. 川村多實二 (1986) 日本 淡水生物學, p.1-200.
10. 川合楨次編 (1985) 日本産 水生昆蟲檢索圖說, p.1-198.
11. 조복성 (1969) 한국동식물도감, 10권 동물편(곤충류 II), 문교부편, p.170-273.
12. 윤일병 (1995) 수서곤충검색도설, p.1-198.

13. Yoon, I. B. and Ahn, K. J. (1986) A systematic study of Korean Dytiscidae I. (Hydroporinae), *Korean J. Entomo.* 16, 145-151.
14. Yoon, I. B. and Ahn, K. J. (1988) A systematic study of Korean Dytiscidae II. (Laccophilinae), *Korean J. Entomo.* 18, 191-195.
15. Yoon, I. B. and Ahn, K. J. (1988) A systematic study of Korean Dytiscidae III. (Colymbetinae and Dytiscinae), *Korean J. Entomo.* 18, 251-268.
16. 森本権, 林長閑 (1986) 原色日本 甲虫図鑑 I, p.5-8.
17. 上野俊一, 黒澤良彦, 佐藤正孝 (1985) 原色日本 甲虫図鑑 II, p.180-217.
18. 杉村光俊, 石田昇三, 小島圭三, 石田勝義, 青木典司 (1999) 原色日本ドムボ幼虫成蟲大圖鑑, p.405-471.
19. 石田勝義 (1996) 日本産 ドムボ目 幼虫 檢索圖說, p.3-143.
20. 加納六郎, 篠永哲 (1997) 日本 有害節足動物, p.90-129.
21. 宇根豊, 日鷹一雅, 赤松富仁 (1989) 田の 虫図鑑, p.52-72.
22. 谷田一三 (2000) 原色川虫圖鑑, p.10-203.
23. 氣賀澤和男 (1989) 土壤害虫 原色図鑑, p.148-201.
24. 山口進, 山口就平, 青木俊明 (1982) 世界の 昆蟲大百科, p.262-309.
25. 今森光彦 (2000) 水辺の 昆虫, p.161-280.
26. 津田松苗 (1962) 水生昆蟲學, p.6-212.
27. 素木得一 (1981) 昆蟲の 分類, p.770-779.
28. 鈴木實 (1991) 淡水指標生物図鑑, p.241-291.
29. Patrick, W. (1981) Aquatic entomology, p.82-394.
30. Yoon, I. B. and Kim, K. H. (1989) A taxonomic study of the caddisfly larva in Korea I, *Korean J. Entomo.* 19, 31-40.
31. Yoon, I. B. and Kim, K. H. (1989) A taxonomic study of the caddisfly larva in Korea II (rhyachophilidae, glossosomatidae), *Korean J. Entomo.* 19, 299-318.
32. Yoon, I. B. and Kong, D. S. (1990) A systematic study of the dragonfly (odonata) Larva from Korea I (superfamily aeshnoidea), *Korean J. Entomo.* 20, 55-81
33. 日鷹一雅 (1999) 水田の 生物 多様性と その 生態學的 機能, 愛園大學 農學部, p.1-112.
34. 강수원, 신영무 (1968) 벼의 성장기간에 있어서 논 의 육수학적 연구, *Korean J. Limnol.* 1, 3-10.
35. 윤일병, 배연재, 어성준 (1985) 회양강 수계의 저서성 대형 무척추동물의 군집에 관한 연구, *Nat. Conser.* 51, 39-48.
36. 강다형, 전태수, 박영석 (1995) 수영강의 수영천 및 석대천의 저서성 대형무척추동물의 부수성에 따른 월별 군집변이, *Korean J. Ecol.* 18, 157-177.
37. 김재원 (1970) 동해암계류의 수생곤충 현존량, *Korean J. Limnol.* 3, 1-8.
38. 沼田進, 水野信彦, 御勢久右衛門 (1992) 河川の 生態學, p.30-31.
39. 津田松苗 (1995) 水質汚濁の 生態學, p.1-30.