

# 한반도 동부 농업생태계에 따른 지표배회성 무척추동물의 군집 특성 비교

안치현 · 오영주<sup>1\*</sup> · 옥숙미 · 이욱재<sup>1</sup> · 손수인<sup>2</sup> · 김명현<sup>2</sup> · 나영은<sup>3</sup> · 김창석<sup>2</sup>(주)생물생활성연구소, <sup>1</sup>(주)미래환경생태연구소, <sup>2</sup>국립농업과학원, <sup>3</sup>전라북도농업기술원

## The Comparison of Community Characteristics of Ground-dwelling Invertebrates According Agroecosystem Types in the Eastern Region of the Korean Peninsula

Chi-Hyun Ahn, Young-Ju Oh<sup>1\*</sup>, Suk-Mi Ock, Wook-Jae Lee<sup>1</sup>, Soo-In Sohn<sup>2</sup>, Myung-Hyun Kim<sup>2</sup>, Young-Eun Na<sup>3</sup> and Chang-Seok Kim<sup>2</sup>

Institute of Organism Bioreactive and Promotion Co., Ltd., Suwon 16614, Korea

<sup>1</sup>Institute for Future Environmental Ecology Co., Ltd, Jeonju 54883, Korea<sup>2</sup>National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea<sup>3</sup>Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Service, Iksan 54591, Korea

**ABSTRACT:** To compare the features of ground-dwelling invertebrates according agroecosystems, we selected paddy fields, dry fields, orchards in the Eastern region of Korea. The surveys were performed by using pit-fall traps twice per year from 2013 to 2015. Total 6,420 individuals of 172 species belonging to 13 orders, 58 families were investigated in the Eastern region, the species of Hymenoptera (38.26%), Orthoptera (16.28%) accounted large portion of the communities. In the geographical observation, invertebrates were caught was 2,983 individuals in Gyeongsangnam-do, the diversity index of Gyeongsangbuk-do community was higher than of the others and abundance and species richness of paddy field were higher than from dry field or orchard. To understand the relation between taxonomic groups and environmental factors, we carried out the canonical correspondence analysis and hierarchical clustering. As a result, Homoptera, Blattaria, Isoptera, and Coleoptera were positively related to soil pH, soil temperature, and moisture contents, and negatively related to the others. Invertebrate community also were patterned dependently by type of ecosystems. This results were shown that distribution of invertebrates is a few influenced the relationship of the space habituated invertebrates and environmental factors.

**Key words:** Ground-dwelling invertebrates, Community characteristics, Environmental factor, Agroecosystem, Canonical correspondence analysis

**초록:** 농업생태계에 따른 지표배회성 무척추동물의 군집 특성을 비교하기 위하여 한반도 동부의 3개 행정권역내에 분포하는 논, 밭, 과수원을 대상으로 선정하였다. 2013년부터 2015년까지 매년 2회에 걸쳐 pit-fall trap법을 사용하여 채집된 무척추동물을 통해 군집분석을 하고 기상자료를 포함하는 환경요인의 영향을 분석하였다. 전체 채집된 무척추동물은 13목 58과 172종 6,420개체이며, 분류군 중에서 벌목(38.26%), 메뚜기목(16.28%)이 우점하였다. 경상남도 출현 개체수가 2,983개체(46.46%)로 가장 많았으며, 경상북도가 풍부도(1.96), 다양도(1.51) 모두 높게 나타났다. 농업생태계 유형 중 논에서 69종 3,299개체(51.39%)가 조사되었으며, 종다양성 지수도 높게 확인되었다. 특히 우점종인 개미과의 포함유무가 종 다양성지수 분석에 미치는 영향은 미미한 것으로 보여진다. 곤충 분류군과 환경요인과의 정준상관분석 결과, 토양 pH, 토양온도와 토양 함수율의 영향에 의해 메미목, 바퀴목, 흰개미목, 딱정벌레목과는 양의 상관관계로 구분되었고, 기온, 강수량, 전기전도도, 상대습도, 최저최상온도와의 음의 상관관계를 나타냈다. 무척추동물 군집은 계층적 군집화를 통해 생태계 유형별로 패턴화가 일어나는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 공간과 환경요인과의 상관관계가 무척추동물의 분포에 다소 영향을 주는 것으로 사료된다.

**검색어:** 지표배회성 무척추동물, 군집 특성, 환경요인, 농업생태계, 정준상관분석

\*Corresponding author: [cave50joo@gmail.com](mailto:cave50joo@gmail.com)

Received September 28 2016; Revised November 3 2016

Accepted December 20 2016

한반도의 동부지역은 서남부의 발달한 넓은 평야지역에 비해 농경지 면적은 좁으나 풍부한 산림이 발달하여 생물상이 다양하게 분포하고 있다. 농업기술의 발전으로 토지개간을 통한 농경지 면적의 증가, 비료사용을 통한 농업생산량의 증가에 따라 토양환경은 점차 악화되고 농업생태계 내에 서식하는 토양 무척추동물의 종다양성과 풍부도가 낮아지고 있다(Hyeon, 1984). 최근들어 이러한 환경변화에 따른 토양생물상의 변화를 알아보고 농업에 활용하고자 하는 사회적 요구로 국토를 행정구역별로 세분화하여 농경지내 무척추동물의 군집분포를 면밀히 조사할 필요성이 대두되고 있다.

최근 10여년간 농업생태계의 무척추동물에 대한 연구로는 농약과 비료의 사용량 증가에 따른 서식 곤충의 종과 밀도의 변화, 자연보호 지역의 계획(Petrillo, 2001), 농업환경 평가를 위한 지표 곤충 선별(Choi et al., 2004, 2007), 농업생태계 내 곤충 군집특성(Choe et al., 2013, 2015; Choi et al., 2007; Han et al., 2002, 2007; Kim et al., 2007, 2012), 유기와 관행재배 과수원의 곤충의 종 다양성(Kim et al., 2011; Choi et al., 2011), 경관 구조 등을 통한 농경지의 특성과 곤충의 분포(Lee et al., 2008) 등 지속적으로 이루어지고 있다. 더욱이 토양 무척추동물의 환경과 다양성과의 관계는 수질, 대기온도, 습도 등 기후환경 요인과 토양환경과의 상호작용에 의해 영향을 받으며(Cho, 1999; Entling et al., 2012), 종 다양성은 생태계 내에서 종의 개체수, 분포, 중간 관계를 의미하고 생물 종은 농업에 이용되는 자원제공, 토양과 수질관리에 영향을 미치는 것으로 보고한 바 있다(Kwon et al., 2006).

특히 곤충과 환경에 대한 선행연구 중 국외 연구의 대부분은 지형과 환경에 대한 지표로 곤충을 이용하거나 곤충과 환경과의 관계에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Yu et al., 2016). 그러나 국내 농업생태계를 대상으로 한 곤충과 환경요인과의 관계에 대한 연구는 저서성 대형무척추동물과 수질환경을 분석한 연구가 대다수이며, 곤충에 대한 연구는 나방과 강수량과 일조시간 등의 관계(Choi, 2008; Noh et al., 2016), 온도상승에 따른 남방계 나비류의 북방가능성(Kwon et al., 2010), 겨울철 기온상승과 꽃매미 발생과 분포 예측(Lee et al., 2011) 등의 일부연구를 제외하면 농업생태계와 곤충상의 변화를 조사한 사례가 적어 상호관계를 이해하는 데 어려움이 있는 실정이다.

이에 본 연구는 한반도 동부에 위치한 강원도, 경상북도, 경상남도의 3개 행정권역 내에 분포하는 논, 밭, 과수원을 대상으로 지표배회성 무척추동물의 군집 특성을 알아보고자 조사지역의 무척추동물에 대한 목별 개체수의 분포, 종 다양성을 조사하여 분석하였으며, 기상정보 및 조사지의 환경요인을 조사하여 환경이 군집에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 조사지역의 선정과 환경요인 조사

#### 조사지역 선정 및 조사기간

한반도 동부에 위치한 강원도, 경상북도, 경상남도의 3개 행정권역 내의 조사지역은 농업생태계 유형, 재배작물의 지역 특색, 조사지의 접근우수성을 고려하여 각각 4개씩 선정하였다. 조사지역내 조사지점은 논인 경우 각 지역별 3개 지점씩 총 36 지점을, 밭의 경우 각 지역별 5~8개 지점씩 총 73 지점을, 과수원의 경우 각 조사지역별 3개 지점씩 총 36 지점을 선정하였다(Fig. 1). 선정된 지점은 동일 경계로 구분된 5개 이상의 경작지가 인접해 있는 공간을 대상으로 조사하였다(Table 1). 조사지역은 지표배회성 무척추동물이 다양 출현하는 것으로 예상되는 5월과 9월로 하고 2013년부터 2015년까지 매년 2회에 걸쳐 수행하였다(Choi, et al., 2004).

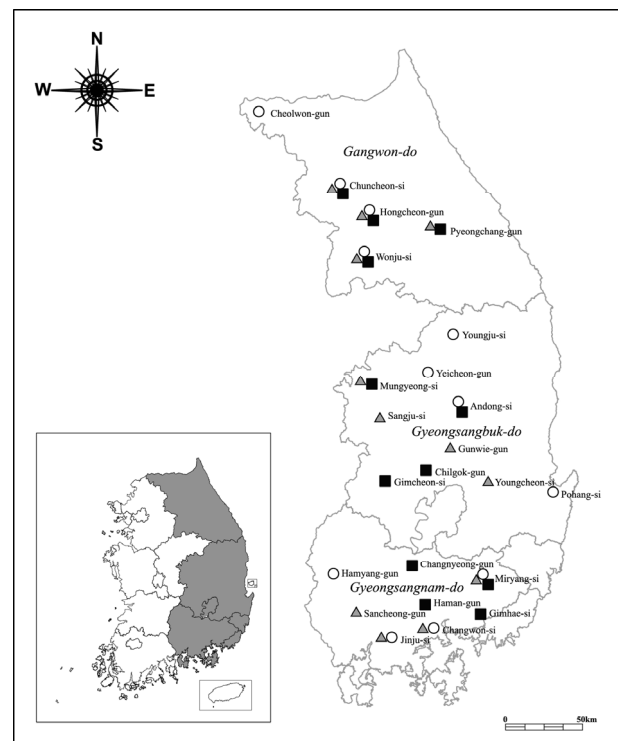


Fig. 1. Main survey locations of three agroecosystems in the Eastern region of Korea. Each shape indicates the survey locations of three ecosystems; circle is paddy field, dark quadrangle is dry field, gray triangle is orchard.

**Table 1.** Status and herbicide management of major survey locations in the Eastern region of Korea

| Agroecosystem type | Province | City/County     | No. of site | Area (m <sup>2</sup> ) | BAR <sup>†</sup> (%) | Herbicide ratio (%) |
|--------------------|----------|-----------------|-------------|------------------------|----------------------|---------------------|
| Paddy Field        | GW*      | Chuncheon-si    | 3           | 14,100                 | 75.5                 | 0.0                 |
|                    |          | Hongcheon-gun   | 3           | 12,800                 | 84.3                 | 0.0                 |
|                    |          | Wonju-si        | 3           | 16,800                 | 85.2                 | 100.0               |
|                    |          | Cheolwon-gun    | 3           | 16,900                 | 88.1                 | 100.0               |
|                    | GB**     | Youngju-si      | 3           | 13,400                 | 77.4                 | 100.0               |
|                    |          | Youngcheon-si   | 3           | 12,100                 | 78.5                 | 100.0               |
|                    |          | Pohang-si       | 3           | 15,700                 | 75.7                 | 33.3                |
|                    |          | Andong-si       | 3           | 17,900                 | 88.5                 | 100.0               |
|                    | GN***    | Hamyang-gun     | 3           | 13,900                 | 80.2                 | 33.3                |
|                    |          | Changwon-si     | 3           | 10,000                 | 79.1                 | 66.7                |
|                    |          | Jinju-si        | 3           | 16,400                 | 80.0                 | 0.0                 |
|                    |          | Miryang-si      | 3           | 18,000                 | 83.5                 | 33.3                |
|                    |          |                 |             |                        |                      |                     |
| Dry Field          | GW       | Chuncheon-si    | 5           | 10,738                 | 80.8                 | 100.0               |
|                    |          | Hongcheon-gun   | 5           | 11,745                 | 85.1                 | 100.0               |
|                    |          | Wonju-si        | 5           | 12,179                 | 85.2                 | 80.0                |
|                    |          | Pyeongchang-gun | 5           | 24,617                 | 94.5                 | 100.0               |
|                    | GB       | Mungyeong-si    | 8           | 13,393                 | 70.2                 | 100.0               |
|                    |          | Gimcheon-si     | 5           | 11,650                 | 76.0                 | 100.0               |
|                    |          | Chilgok-gun     | 8           | 9,678                  | 78.5                 | 62.5                |
|                    |          | Andong-si       | 6           | 10,664                 | 90.5                 | 83.3                |
|                    | GN       | Changnyeong-gun | 5           | 10,060                 | 80.8                 | 80.0                |
|                    |          | Haman-gun       | 8           | 11,214                 | 81.9                 | 25.0                |
|                    |          | Gimhae-si       | 5           | 12,645                 | 72.8                 | 40.0                |
|                    |          | Miryang-si      | 8           | 10,969                 | 74.3                 | 37.5                |
|                    |          |                 |             |                        |                      |                     |
| Orchard            | GW       | Chuncheon-si    | 3           | 11,225                 | 69.1                 | 66.7                |
|                    |          | Hongcheon-gun   | 3           | 8,954                  | 84.2                 | 66.7                |
|                    |          | Wonju-si        | 3           | 7,058                  | 85.2                 | 66.7                |
|                    |          | Pyeongchang-gun | 3           | 4,532                  | 72.4                 | 33.3                |
|                    | GB       | Mungyeong-si    | 3           | 7,213                  | 75.4                 | 66.7                |
|                    |          | Sangju-si       | 3           | 9,819                  | 77.3                 | 66.7                |
|                    |          | Yeicheon-gun    | 3           | 7,073                  | 84.5                 | 66.7                |
|                    |          | Gunwie-gun      | 3           | 6,472                  | 75.7                 | 100.0               |
|                    |          |                 |             |                        |                      |                     |
|                    | GN       | Sancheong-gun   | 3           | 6,878                  | 78.7                 | 66.7                |
|                    |          | Changwon-si     | 3           | 6,821                  | 79.3                 | 100.0               |
|                    |          | Jinju-si        | 3           | 9,275                  | 80.0                 | 100.0               |
|                    |          | Miryang-si      | 3           | 4,540                  | 84.0                 | 100.0               |

\*GW: Gangwon-do, \*\*GB: Gyeongsangbuk-do, \*\*\*GN: Gyeongsangnam-do

†BAR: Biotops Area Ratio

## 조사지역의 입지분석 및 환경조사

조사지점의 입지조사는 조사지점을 중심으로 반경 0.5 km 이내의 범위에 대해 생태면적을 계산하였으며, 생태면적율(BAR, Biotops Area Ratio)은 ArcGIS tools v10.0 (Esri, Redlands, CA, USA)를 이용하여 2009년 환경부에서 제작된 중분류 토지 피복도를 기초로 공간유형별 면적과 가중치의 곱들에 대한 총합을 전체대상지 면적으로 나누어 계산하였다. 조사지 환경에 대한 조사는 우선적으로 농업생태계와 무척추동물의 군집에 영향을 미칠 수 있는 제초제의 사용유무에 대한 비율을 각 조사지점별로 조사하였다. 조사기간의 조사지점에 대한 기상자료는 조사지 인접 기상대의 기상일보와 농업기상관측자료 중에서 추출하고 그 산술 평균값을 환경요인 분석에 사용하였다. 각 조사지점에 대한 현지조사는 지점내 5 부분에서 이동식 전자측정장치(Professional Portable HP3010, HP3040, Trans; DM18, Takemura, JAPAN)를 이용하여 측정한 결과와 토양샘플을 취하여 냉장보관이 되는 아이스박스에 담아 실험실로 운반하여 분석한 결과를 종합하여 토양의 산성도(pH), 전기전도도(Electric conductivity; EC), 토양온도(0.5 M Soil Temperature), 토양함수율(0.5 M Soil moisture content) 분석에 사용하였다.

## 무척추동물의 채집과 군집분석

### 무척추동물의 채집과 분류

조사지역 무척추동물상에 대한 조사방법은 pit-fall trap 방법으로 각각의 플라스틱 통(114×76 mm, BioQuip)에 유인제(95% ethanol : ethylene : wine = 2 : 1 : 1)를 50 ml씩 충전하여 조사지점마다 총 3필지 이상의 면적에 필지당 5 m 간격으로 5개의 trap을 흙바닥과 동일선 상에 설치하였다. trap의 설치시간은 야간을 포함하여 12시간 이상 18시간 이하로 하였으며, 채집확보한 곤충은 현장에서 Ziploc bag에 담아 냉장이 유지되는 아이스박스에 넣어 연구실로 운반하여 동정하였다. 운반된 곤충은 육안과 광학현미경(DE/MZ 7.5; Leica Microsystems, Wetzlar, Germany)하에서 성충의 외부형태에 의한 관찰을 통해 한국응용곤충학회에서 발간한 한국곤충명집(1994)와 한국곤충생태도감(1998)을 근거로 동정하였다.

### 곤충의 군집분석

군집분석은 정량으로 조사한 자료를 사용하였으며, 각 조사지점의 개체수를 바탕으로 제1, 제2 우점종을 선정하였고, 우점

도지수는 McNaughton's dominant index (DI)의 공식을 적용하여 산출하였다(McNaughton, 1967). 다양도지수는 Margalef의 정보이론에 의하여 유도된 Shannon-Weaver function을 Lloyd & Gheraldi가 변형한 공식을 활용하였다(Pielou, 1969). 군집의 종구성에 대한 풍부도지수는 Margalef (1958)의 지수를, 균등도지수는 Pielou (1975)의 지수를 이용하여 산출하였다. 군집의 발생특성에 대해 환경과 유형과의 관계에 대한 정량적 분석 및 군집구성에 대한 형태분석은 canonical correspondence analysis (CCA; Ter Braak, 1986)와 agglomerative hierarchical clustering (AHC; Day and Edelsbrunner, 1984)의 방법을 이용하였고 분석을 위한 프로그램으로는 ECOM II (Pisces, UK)와 XLSTAT 2016 (Addinsoft, UK)을 사용하였다. 각각의 유연관계에 대해 CCA 분석을 수행한 결과를 토대로 이차원 공간에서 주요요인을 표현하였다.

## 결과 및 고찰

### 조사지역의 전체 곤충분류군과 종조성

2013년부터 2015년까지 3년간 매년 2회에 걸쳐 강원도, 경상남북도 지역의 지표배회성 무척추동물에 대해 조사하였다. 채집된 지표배회성 무척추동물은 전체 13목 58과 172종 6,420 개체이며, 강원도에서 9목 37과 113종 1,636개체가, 경상북도에서 12목 42과 117종 1,801개체가, 경상남도에서 10목 40과 107종 2,983개체가 출현하였다. 농업생태계별로는 논에서 10목 32과 69종 3,298개체가, 밭에서 8목 29과 74종 2,102개체가, 과수원에서 9목 27과 59종 1,020개체가 각각 채집되었다.

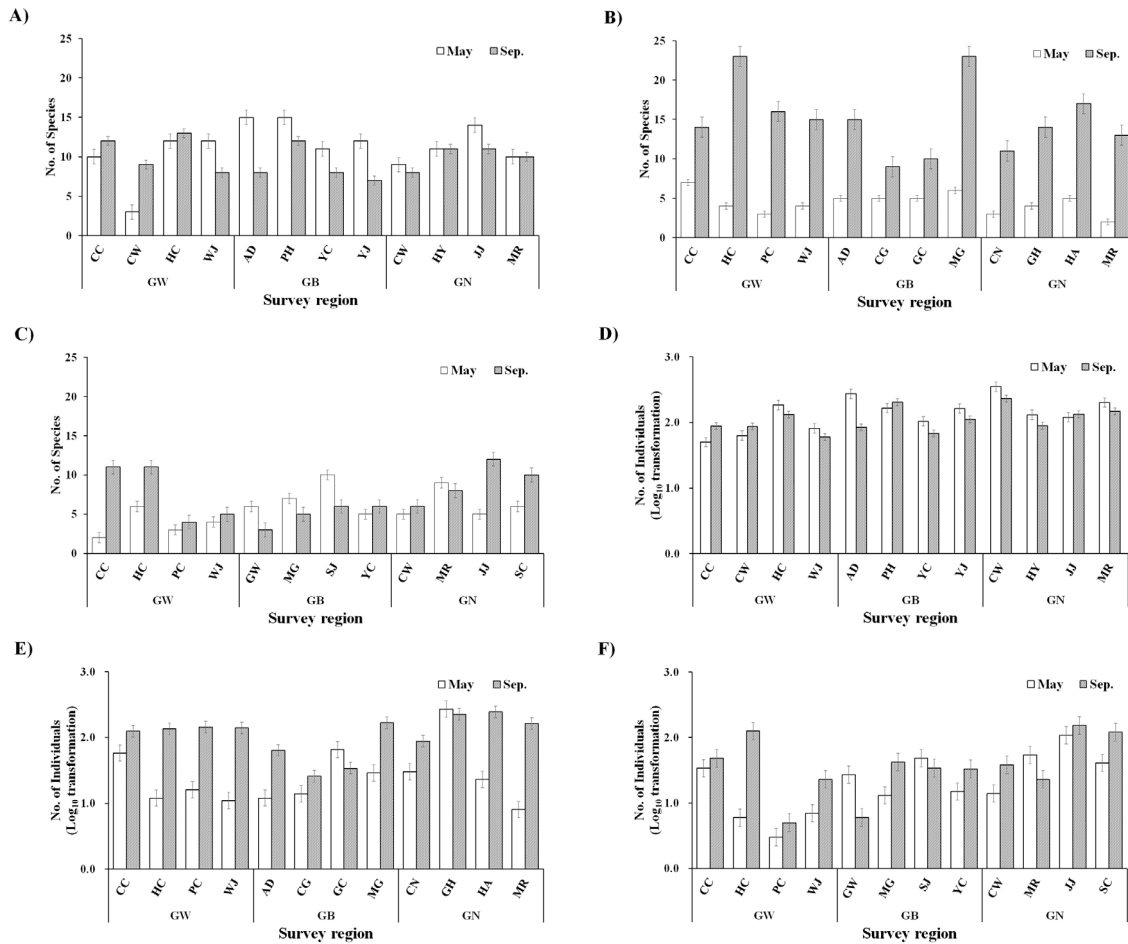
조사권역별 생태계 유형별로 출현 개체수를 보면, 강원도 논에서 745개체(11.60%), 밭에서 640개체(9.97%), 과수원에서 251개체(3.91%)가, 경상북도 논에서 1,171개체(18.24%), 밭에서 412개체(6.42%), 과수원에서 218개체(3.40%)가, 경상남도 논에서 1,382개체(21.53%), 밭에서 1,050개체(16.36%), 과수원에서 551개체(8.58%)가 각각 채집되었다. 위도상 남쪽에 위치하는 경상남도의 창원, 김해, 함안, 진주지역에서는 조사시기와 생태계 유형에 관계없이 대체로 많은 개체가 확인되었고, 경상북도 안동 영천, 영주지역의 논에서는 5월에, 포항지역의 논, 안동, 문경지역의 밭, 예천, 문경지역의 과수원에서는 9월에 비교적 많은 개체가 출현하였다. 강원도는 밭과 과수원에서 9월에 많은 개체가 조사되었다(Table 2, Fig. 2).

무척추동물의 분류군 수준에서의 목별 개체수를 보면 전체 조사지역에서 우점종인 개미과를 포함하는 벌목은 2,456개체(38.26%)로 가장 많았으며, 다음으로 메뚜기목 1,045개체

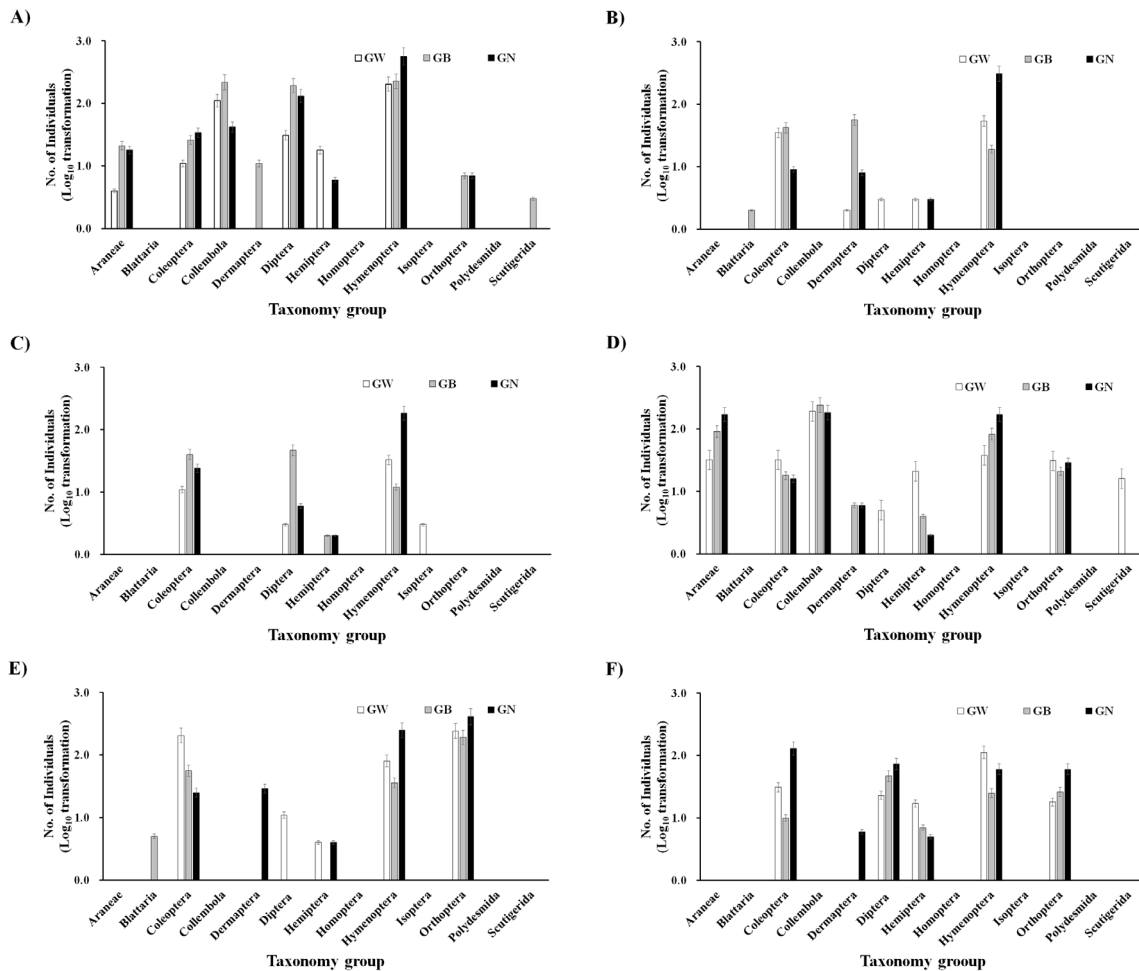
**Table 2.** The collected ground-dwelling insects of the research area according to the agroecosystem

| Month     | Categories        | Paddy Field |      |       |       | Dry Field |     |     |       | Orchard |     |     |       |
|-----------|-------------------|-------------|------|-------|-------|-----------|-----|-----|-------|---------|-----|-----|-------|
|           |                   | GW*         | GB** | GN*** | Total | GW        | GB  | GN  | Total | GW      | GB  | GN  | Total |
| May       | No. of Order      | 7           | 9    | 8     | 9     | 5         | 5   | 6   | 6     | 4       | 6   | 5   | 8     |
|           | No. of Family     | 16          | 20   | 18    | 28    | 5         | 6   | 6   | 8     | 8       | 16  | 11  | 22    |
|           | No. of Species    | 28          | 37   | 31    | 57    | 14        | 13  | 10  | 23    | 13      | 21  | 18  | 44    |
|           | No. of Individual | 378         | 705  | 804   | 1887  | 97        | 120 | 330 | 547   | 50      | 103 | 217 | 370   |
| September | No. of Order      | 8           | 9    | 9     | 10    | 5         | 7   | 7   | 8     | 5       | 5   | 6   | 6     |
|           | No. of Family     | 13          | 12   | 12    | 19    | 17        | 16  | 18  | 29    | 9       | 7   | 11  | 14    |
|           | No. of Species    | 25          | 22   | 22    | 39    | 37        | 36  | 31  | 72    | 20      | 13  | 24  | 33    |
|           | No. of Individual | 367         | 466  | 578   | 1411  | 543       | 292 | 720 | 1555  | 201     | 115 | 334 | 650   |

\*GW: Gangwon-do, \*\*GB: Gyeongsangbuk-do, \*\*\*GN: Gyeongsangnam-do



**Fig. 2.** Comparison of number of species (A~C) and number of individuals (log10 transformation of data; D~F) of ground-dwelling insect in survey regions at May and September; paddy field(A, D), dry field(B, E), and orchard(C, F). GW: Gangwon-do, GB: Gyeongsangbuk-do, GN: Gyeongsangnam-do, and CW: Cheolwon-gun, CC: Chuncheon-si, HC: Hongcheon-gun, PC: Pyeongchang-gun, WJ: Wonju-si, YJ: Youngju-si, YC: Yeicheon-gun, MG: Mungyeong-si, SJ: Sangju-si, AD: Andong-si, GW: Gunwie-gun, CG: Chilgok-gun, GC: Gimcheon-si, YC: Youngcheon-si, PH: Pohang-si, CY: Changnyeong-gun, HY: Hamyang-gun, MY: Miryang-si, HA: Haman-gun, SC: Sancheong-gun, GH: Gimhae-si, CW: Changwon-si, and JJ: Jinju-si.



**Fig. 3.** Comparison of number of individuals (log<sub>10</sub> transformation) according to three agroecosystems. Number of individuals (log<sub>10</sub> transformation) show across taxonomy groups at May(A, B, C) and September(D, E, F); paddy field(A, D), dry field(B, E), and orchard(C, F).

(16.28%), 툇톇기목 986개체(15.36%), 딱정벌레목 756개체 (11.78%)가 확인되었다. 강원도에서는 벌목 519개체(8.08%)로 가장 많았고, 딱정벌레목(326개체, 5.08%), 툇톇기목 (303개체, 4.72%)이 많이 나타났다. 경상북도에서는 툇톇기목(458개체, 7.13%), 벌목(401개체, 6.25%), 파리목(288개체, 4.49%), 메뚜기목(246개체, 3.83%) 순으로 개체수가 많았고, 경상남도에서는 벌목 1,536개체(23.93%)로 가장 많이 채집되었으며, 메뚜기목 507개체(7.90%), 딱정벌레목(238개체, 3.71%), 툇톇기목(225개체, 3.50%), 파리목(213개체, 3.32%)이 비슷한 수준으로 조사되었다. 생태계 유형별 목별 개체수는 논에서 벌목 1,283개체(19.98%), 툇톇기목 986개체(15.36%), 파리목 363개체(5.65%), 거미목 336개체(5.23%)로 조사되었으며, 밭에서는 메뚜기목 845개체(13.16%), 벌목 747개체(11.64%), 딱정벌레목 373개체(5.81%) 순으로 높게 분포하였다. 또한 과수원에서는 벌목 426개체(6.64%), 딱정벌레목 246개체(3.83%), 파

리목 199개체(3.10%)로 많이 나타났다(Fig. 2, 3). 이러한 결과는 지표배회성 곤충의 조사에서 일반적으로 사용되는 pit-fall trap 방법과 곤락형태로 서식하는 개미의 사회적 곤충 행동특성과 관련되어 있으며, 개미가 서식하는 인접한 지점에 트랩이 설치될 경우 개미가 많이 채집되는 것으로 판단된다(Lach et al, 2010; Sabu and Shiju, 2010).

### 곤충의 군집분석

동부 3개 지역에서 채집, 동정한 곤충의 우점도지수를 보면, 자료 표에는 제시되지 않았지만 지역별로는 경상남도 0.75, 강원도 0.71, 경상북도 0.66 순으로 나타났고, 농업생태계 유형별로는 밭 0.72, 과수원 0.71, 논 0.69로 확인되었다. 이는 특정 종에 대한 의존도가 높아 나타나는 결과로 논에서는 북방호리가슴개미(545개체), 스미스개미(341개체)가 높게 분포하였고,

밭과 과수원에서는 곰개미(665개체, 228개체)가 다수 출현하였다. 종 다양성 지수를 보면, 경상북도에서 5월에 논에서 종다양도 1.85, 종풍부도 2.39, 균등도 0.72, 9월에 밭에서 종다양도 2.00, 종 풍부도 3.17, 균등도 0.78로 가장 높게 조사되었고, 경상남도에서는 5월의 밭에서 종다양도 0.47, 종 풍부도 0.72, 균등도 0.40으로 가장 낮게 확인되었다(Table 3).

한편, 가장 높은 빈도를 차지하는 개미과를 제외한 종 다양성지수를 보면 지역별로는 경상남도의 우점도가 0.76로 강원도(0.71), 경상북도(0.68)보다 높게 나타났다. 농업생태계 유형별로 보면, 논 전체 우점도가 0.73로 밭(0.72), 과수원(0.70)보다 높았으며, 개미과를 제외하고도 여전히 우점도 지수가 높게 나타나는 이유는 딱정벌레과, 털보톡토기과의 종들이 전체 채집한 곤충의 대부분을 차지하고 있기 때문이다.

종 풍부도와 균등도를 보면 역시 강원도 지역이 풍부도 1.99, 균등도 0.68로 경상북도(1.96, 0.68), 경상남도(1.73, 0.57)보다 높은 것으로 나타났다. 유형별로는 밭이 풍부도 2.03, 균등도

0.63으로 논(1.97, 0.62), 과수원(1.68, 0.69)보다 높게 나타났다. 이는 경상남도의 논에서 5월에 개미과의 출현이 상대적으로 높았기 때문이다. 또한 조사지역별 유형별 종 다양도와 풍부도를 살펴보면 경상북도의 논(1.75, 2.39), 과수원(1.46, 1.91), 강원도의 논(1.44, 1.85), 경상남도의 논(1.35, 1.96)이 5월에 높게 나타났고, 강원도 밭(1.84, 3.26)과 경상북도의 밭(2.00, 3.17)에서 9월에 높게 조사되었다(Table 4). 이러한 결과로 밭보다는 논과 과수원이 곤충서식에 다소 양호한 환경을 제공하는 것으로 판단된다.

### 환경요인과의 관계

조사지역의 생산성 관리를 위해 제초제 사용에 대한 비율을 조사한 결과 Table 1에 제시한 바와 같다. 강원도의 춘천과 홍천지역의 논과 경상남도의 진주지역의 논은 무농약 재배를 시행하고 있어 종 풍부도는 증가하나 제초제를 사용하는 기타지

**Table 3.** Diversity index of ground-dwelling insects across three agroecosystem types

| Month     | Diversity index | Paddy Field |      |       | Dry Field |      |      | Orchard |      |      |
|-----------|-----------------|-------------|------|-------|-----------|------|------|---------|------|------|
|           |                 | GW*         | GB** | GN*** | GW        | GB   | GN   | GW      | GB   | GN   |
| May       | Dominance (DI)  | 0.73        | 0.56 | 0.80  | 0.85      | 0.78 | 0.96 | 0.68    | 0.65 | 0.82 |
|           | Diversity (H')  | 1.44        | 1.85 | 1.35  | 0.97      | 1.07 | 0.47 | 1.10    | 1.48 | 0.94 |
|           | Richness (RI)   | 1.85        | 2.39 | 1.96  | 1.16      | 1.39 | 0.72 | 1.61    | 1.91 | 1.43 |
|           | Evenness (J)    | 0.69        | 0.72 | 0.56  | 0.68      | 0.65 | 0.40 | 0.81    | 0.78 | 0.52 |
| September | Dominance       | 0.70        | 0.72 | 0.66  | 0.57      | 0.49 | 0.65 | 0.73    | 0.78 | 0.59 |
|           | Diversity       | 1.55        | 1.47 | 1.60  | 1.84      | 2.00 | 1.55 | 1.29    | 1.16 | 1.65 |
|           | Richness        | 2.10        | 1.65 | 1.86  | 3.26      | 3.17 | 2.48 | 1.95    | 1.26 | 1.92 |
|           | Evenness        | 0.66        | 0.68 | 0.70  | 0.65      | 0.78 | 0.60 | 0.69    | 0.74 | 0.76 |

\*GW: Gangwon-do, \*\*GB: Gyeongsangbuk-do, \*\*\*GN: Gyeongsangnam-do, p<0.05

**Table 4.** Diversity index of ground-dwelling insects except Formicidae across three agroecosystem types

| Month     | Diversity index | Paddy Field |      |       | Dry Field |      |      | Orchard |      |      |
|-----------|-----------------|-------------|------|-------|-----------|------|------|---------|------|------|
|           |                 | GW*         | GB** | GN*** | GW        | GB   | GN   | GW      | GB   | GN   |
| May       | Dominance (DI)  | 0.71        | 0.56 | 0.59  | 0.85      | 0.75 | 0.90 | 0.70    | 0.66 | 0.70 |
|           | Diversity (H')  | 1.43        | 1.75 | 1.70  | 0.96      | 0.80 | 0.35 | 1.00    | 1.46 | 1.08 |
|           | Richness (RI)   | 1.84        | 2.39 | 2.27  | 1.14      | 1.36 | 0.85 | 1.61    | 1.91 | 1.43 |
|           | Evenness (J)    | 0.75        | 0.68 | 0.78  | 0.75      | 0.56 | 0.27 | 0.70    | 0.76 | 0.58 |
| September | Dominance       | 0.75        | 0.80 | 0.77  | 0.56      | 0.56 | 0.64 | 0.66    | 0.82 | 0.66 |
|           | Diversity       | 1.38        | 1.21 | 1.39  | 1.72      | 1.62 | 1.29 | 1.45    | 1.03 | 1.49 |
|           | Richness        | 2.10        | 1.65 | 1.86  | 3.00      | 2.79 | 2.45 | 1.95    | 1.26 | 1.92 |
|           | Evenness        | 0.59        | 0.56 | 0.60  | 0.64      | 0.67 | 0.52 | 0.76    | 0.67 | 0.68 |

\*GW: Gangwon-do, \*\*GB: Gyeongsangbuk-do, \*\*\*GN: Gyeongsangnam-do, p<0.05

역에 비해 다양도가 높지 않은 것으로 조사되었다. 그러나 거미목, 툯도기목, 딱정벌레목의 다양도는 제초제 처리지역에 비해 다소 높게 나타났다(Table 2, 3). 이러한 결과는 무척추동물의 분류학적 특성은 농경지의 관리방법에 따른 서식지의 변화, 각 분류군의 행동특성, 생물의 생활사와 관련되어 있으며, 논 생태계는 짧은 기간의 작업, 비료와 농약의 과다사용 등 오염문제와 농산물의 안정성문제 등 다양한 문제를 야기시켜 자연생태계와 달리 서식하는 종 다양성이 낮고 영속성이 없다는 부분과 일치하는 것으로 확인되었다(Wolfgang et al., 2003; Choi et al., 2007; Kim et al., 2009). 벼를 재배하는 논은 경우와는 달리 조사지역 내 밭의 경우는 밭내부보다는 제초제를 사용하는 경우 밭둑의 식생에 대한 다양도, 교란지수가 증가하였고, 강원도 원주지역, 경상북도 안동지역, 경상남도 함안지역은 밭사면의 식생도 다양한 것으로 조사되었다. 이러한 이유로 밭에서의 지역간 무척추동물상의 비교는 다소 어려우나 시기별로 보면, 밭 전체 조사지역에서 5월보다 9월에 풍부도는 2~5배, 다양도는 2~3배 정도 증가하는 추세를 나타냈다.

조사기간 동안 조사지역에 대한 기후자료는 월평균 기온, 월평균 강수량, 월평균 최저초상온도, 월평균 상대습도, 0.5 M 토양온도, 0.5 M 함수율을 나타낸 결과는 Table 5와 같다. 강원도 조사지점들의 평균기온은 경상북도, 경상남도에 비해 전체 평균기온의 차이는 0.5~1.0°C 이나 지형적인 특성으로 5월에 각각 0.34~1.29°C, 0.33~2.51°C 낮았고, 9월에는 각각 0.08~0.90°C, 0.88~2.47°C 낮게 조사되었다. 강수량은 경상남도가 다른 두

지역에 비해 5월에 48.3~68.76 mm 더 많았으나 9월에는 다른 지역과 비슷하거나 오히려 적은 수준이었다. 반면에 경상북도는 상대습도에서 다른 두지역에 비해 비슷하나 토양함수율은 더 낮게 확인되었다. 농업생태계별 환경요인에 대한 지표배회성 무척추동물 목에 대한 회귀분석에서 평균기온( $R^2=0.9266$ ,  $VIF=13.62$ ), 평균상대습도( $R^2=0.9086$ ,  $VIF=10.94$ ), 최저초상온도( $R^2=0.9708$ ,  $VIF=34.30$ )는 다중 공선성을 나타냈다.

조사지역별 조사시기별 기타환경요인인 토양온도, 토양함수율, 산성도, 전기전도도를 보면, 토양온도는 경상남도가 5월과 9월에 기온과 마찬가지로 높게 나타났으나 지역별로 두드러진 차이는 나타내지 않았다. 그러나 농업생태계 유형별로는 과수원의 토양온도가 논, 밭보다는 1.65~12.6°C 낮게 조사되었고 함수율에서는 논 특성상 밭과 과수원에 비해 높게 나타났다. 또한 토양 pH는 밭이 5월(4.47±0.51), 9월(4.44±0.48)로 논과 과수원에 비해 낮게 낮으며, 전기전도도 조사에서는 5월 논이 0.68±0.31 ds/m으로 낮게 나타났다.

조사지역의 평균기온, 평균 월강수량, 최저초상온도, 평균상대습도의 기후자료와 조사지역에서 측정된 토양 pH, 토양온도, 토양함수율, 전기전도도의 환경인자를 환경변수로 하고 논, 밭, 과수원에 출현한 곤충의 목 수준의 개체수를 생물변수로 하여 CCA분석을 수행하였다(Fig. 4). 분석결과 제 1축과 제 2축의 변수의 설명률은 44.2%, 22.3%, 총 66.6%로 두 축의 총 변이를 설명하였다. 제 1축에서는 토양 pH, 토양온도와 토양함수율의 영향에 의해 거미목, 메뚜기목, 띠노래기목, 그리마목이 음의

**Table 5.** Environmental factors of the research locations in the Eastern region of Korea

| Month     | Categories               | Province    |             |              |
|-----------|--------------------------|-------------|-------------|--------------|
|           |                          | GW*         | GB**        | GN***        |
| May       | Air Temperature (°C)     | 18.30±0.60  | 18.83±0.60  | 18.84±0.20   |
|           | Month Precipitation (mm) | 61.17±29.96 | 63.24±47.93 | 123.44±59.49 |
|           | Grass Min. Temp. (°C)    | 7.46±0.63   | 9.16±0.53   | 9.08±0.77    |
|           | Rel. Humid. (%)          | 59.08±4.47  | 54.78±4.86  | 59.25±3.13   |
|           | 0.5 M Soil Temp. (°C)    | 16.85±1.70  | 18.10±0.28  | 18.95±0.78   |
|           | 0.5 M Soil Moisture (%)  | 8.19±0.39   | 15.09±1.89  | 12.55±1.95   |
| September | Air Temperature (°C)     | 20.10±0.37  | 20.12±0.27  | 21.16±0.84   |
|           | Month Precipitation (mm) | 88.16±59.99 | 99.87±42.77 | 98.24±13.81  |
|           | Grass Min. Temp. (°C)    | 12.50±1.39  | 13.89±1.35  | 14.38±0.99   |
|           | Rel. Humid. (%)          | 76.00±5.06  | 74.78±2.12  | 74.33±1.42   |
|           | 0.5M Soil Temp. (°C)     | 23.08±1.89  | 23.42±0.98  | 25.90±0.01   |
|           | 0.5M Soil Moisture (%)   | 10.00±0.66  | 16.80±2.02  | 12.38±1.24   |

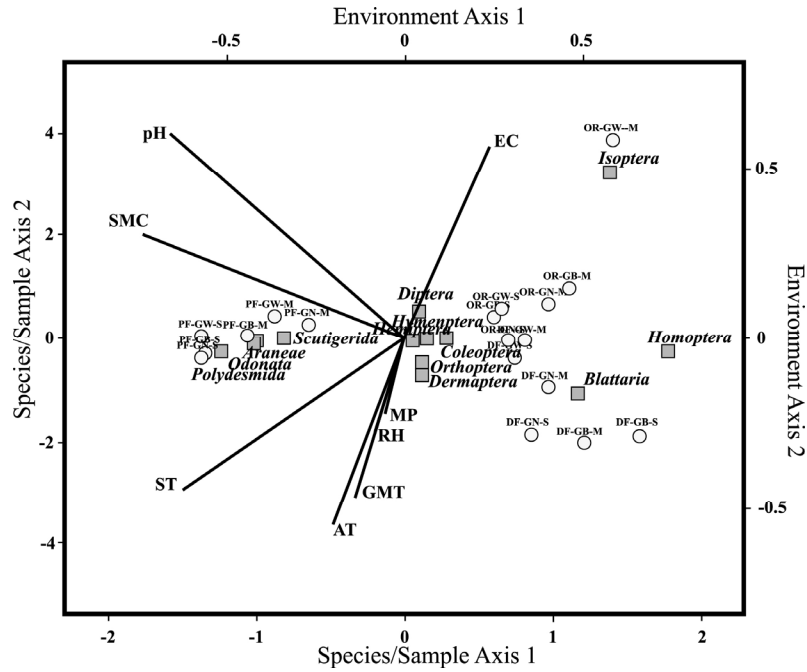
\*GW: Gangwon-do, \*\*GB: Gyeongsangbuk-do, \*\*\*GN: Gyeongsangnam-do  
Each data reveals Mean ± SD.



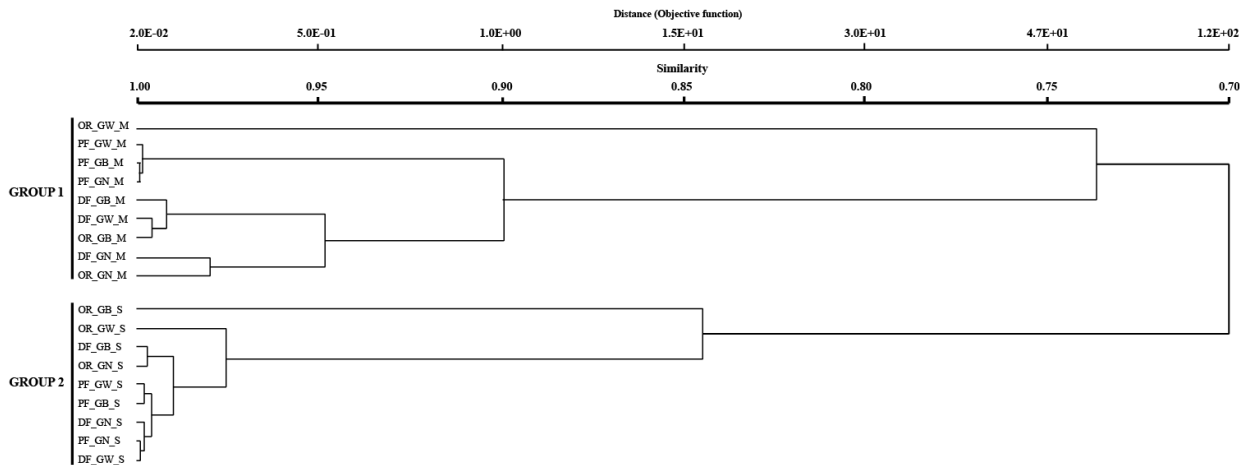
상관관계, 매미목, 바퀴목, 흰개미목, 딱정벌레목과는 양의 상관관계로 구분되었다. 제 2축에서는 평균기온, 강수량, 상대습도, 최저최상온도와 전기전도도의 영향에 의해 메뚜기목, 집게벌레목, 바퀴목, 파리목, 벌목, 딱정벌레목이 음의 상관관계, 흰개미목, 파리목이 양의 상관관계로 나타났다. 이상의 결과는 몽고의 초지에서 강수량과 온도 등 기후요인과 공간과의 상관관계가 딱정벌레의 종풍부도에 상관이 있다고 보고한 결과와 비

교할 때, 조사지역의 공간이 환경요인과 형성하는 상관관계에 다소 영향을 받은 것으로 판단되었다(Yu et al., 2016).

조사권역과 조사시기 및 다양도 지수, 환경요인을 고려하여 조사한 모든 무척추동물에 대해 계층적 군집화를 각각 5월(GROUP1; \_M), 9월(GROUP2; \_S)로 나타냈다(Fig. 5). 논경우는 봄에 무척추동물의 군집에 미치는 영향이 높고, 수확을 하는 가을은 논과 밭에 서식하는 무척추동물의 군집유형이 유



**Fig. 4.** Ordination diagram by canonical correspondence analysis of ground-dwelling insect communities and air temperature, month precipitation, relative humidity, grass minimum temperature, soil temperature, soil moisture content, pH, electric conductivity in agricultural area. Each survey area shown as 'agroecosystem type' - 'area' - 'month'; PF: paddy field, DF: dry field, OR: orchard, GW: Gangwon-do, GB: Gyeongsangbuk-do, GN: Gyeongsangnam-do, M: May, S: September.



**Fig. 5.** Cluster analysis of ground-dwelling invertebrates in survey regions. Each survey area shown as 'agroecosystem type' - 'area' - 'month'; PF: paddy field, DF: dry field, OR: orchard, GW: Gangwon-do, GB: Gyeongsangbuk-do, GN: Gyeongsangnam-do, M: May, S: September.

사하게 나타났다. 과수원은 계절에 관계없이 모두 밭과 유사하거나 상이한 유형을 나타냈다. 이러한 결과는 농업생태계에 서식하는 무척추동물의 군집이 생태계 유형별로 형성되는 경향을 가지는 것으로 먹이원, 토양함수율, 토양온도에 직, 간접적인 영향을 받는 것으로 판단된다.

최근 한반도에 나타나는 기후 이상현상의 주기가 짧아지고, 사계절의 경계가 변화되고 있는 기후여건과 사회적 요구에 의해 무농약 친환경 경작을 지향하는 환경변화가 경작지 내에 서식하는 지표배회성 무척추동물에 미치는 영향이 증가할 것으로 판단된다. 이에 지속적인 모니터링과 다중 융합적 연구를 통한 다양한 분석이 계속되어야 할 것으로 사료된다.

## Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development” (Project No. PJ00919829), National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Literature Cited

Cho, S.R., 1999. Comparison of Distribution of Soil Microarthropoda in the Forests of Industrial and Non-Industrial Complex Areas. *Korean J. Ecol.* 22, 1-6.

Choe, L.J., Cho, K.J., Choi, S.K., Lee, S.H., Kim, M.K., Bang, H.S., Eo, J., Kim, M.H., 2015. Effect of landscape and management on ground-dwelling insect assemblages of farmland in Jeju Island, Korea. *Entomol. Research.* 46, 36-44.

Choe, L.J., Han, M.S., Kim, M.R., Cho, K.J., Kang, K.K., Na, Y.E., Kim, M.H., 2013. Characteristics Communities Structure of Benthic Macroinvertebrates at Irrigation Ponds, within Paddy Field. *Korean J. Environ. Agric.* 32, 304-314.

Choi, K.S., Park, Y.M., Kim, D.H., Kim, D.S., 2011. Seasonal occurrence and damage of geometrid moths with particular emphasis on *Ascotis selenaria* (Geometridae: Lepidoptera) in citrus orchards in Jeju, Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 50, 203-208.

Choi, S.W., 2008. Effects of weather factors on the abundance and diversity of moths in a temperate deciduous mixed forest of Korea. *Zool. Sci.* 25, 53-58.

Choi, Y.C., Kim, J.G., Choi, J.Y., Kim, W.T., Shim, H.S., Park, B.D., 2007. Evaluation of Farm Lands located in Urban Area and Industrial Complex using Insect Diversity Indices. *Korean J. Appl. Entomol.* 461, 363-373.

Choi, Y.C., Park, H.C., Kim, J.G., Sim, H.S., Kwon, O.S., 2004. Selection of Indicator Insects for the Evaluation of Agricultural

Environment. *Korean J. Appl. Entomol.* 43, 267-273.

Day, W.H., Edelsbrunner, H., 1984. Efficient algorithms for agglomerative hierarchical clustering methods. *J. classif.* 1, 7-24.

Entling, M.H., Schweiger, O., Bacher, S., Espadaler, X., Hickler, T., Kumschick, S., Woodcock, B.A., Nentwig, W., 2012. Species Richness-Environment Relationships of European Arthropods at Two Spatial Grains: Habitats and Countries. *PloS one.* 7, e45875.

Han, M.S., Na, Y.E., Bang, H.S., Kim, M.H., Kim, M.K., Roh, K.A., Lee, J.T., 2007. The Fauna of Aquatic Invertebrates in Paddy Field. *Korean J. Environ. Agric.* 26, 267-273.

Han, M.S., Shin, J.D., Na, Y.E., Lee, N.J., Park, M.H., Kim, S.G., 2002. Changes of Invertebrate Density in Rice Paddies of Different Fertilizer Managements in Demonstration Villages of Sustainable Agriculture. *Korean J. Environ. Agric.* 21, 96-101.

Hyeon, J.S. 1984. The Structure and Function of Agroecosystems. *Korean J. Environ. Agric.*

Kim, D.I., Kim, S.G., Ko, S.J., Kang, B.R., Choi, D.S., Lim, G.H., Kim, S.S., 2011. Biodiversity of Invertebrate on Organic and Conventional Pear Orchards. *Korean J. Org. Agric.* 19, 93-107.

Kim, J.G., Choi, Y.C., Choi, J.Y., Sim, H.S., Park, H.C., Kim, W.T., Park, B.D., Lee, J.E., Kang, K.K., Lee, D.B., 2007. Ecological Analysis and Environmental Evaluation of Aquatic Insects in Agricultural Ecosystem. *Korean J. Appl. Entomol.* 46, 335-341.

Kim, M.H., Bang, H.S., Han, M.S., Hong, H.K., Na, Y.E., Kang, K.K., Lee, J.T., Lee, D.B., 2009. Effect of Vegetation Types on the Distribution of Soil Invertebrates. *Korean J. Environ. Agric.* 28, 125-130.

Kim, M.H., Han, M.S., Nam, H.K., Kang, K.K., Kim, M.R., 2012. Geological Distribution of Aquatic Invertebrates Living in Paddy Fields of South Korea. *Korean J. Soil Sci. Fertil.* 45, 1136-1142.

Korean Entomolo. Inst., 1998. Insects life in Korea, 1st ed., Korean Entomolo. Instit.

Kwon, T.S., Kim, S.S., Chun, J.H., Byun, B.K., Lim, J.H., Shin, J.H., 2010. Changes in butterfly abundance in response to global warming and reforestation. *Environ. Entomol.* 39, 337-345.

Kwon, Y.H., Noh, T.H., Lee, H.W., Jeong, H.R., 2006. Introduction of biodiversity item in the Environmental Assessment. *Korea Environ. Inst.*

Lach, L., Parr, C.L., Abbott, K.L., 2010. *Ant Ecology*, 1st ed., Oxford University. New York.

Lee, D.K., Yoon, E.J., Bae, J.H., 2008. Landscape Structure Analysis Based on Insect Spatioal Distribution in Rural Area. *J. Korean Soc. Rural Plan.* 14, 23-32.

Lee, J.S., Kim, I.K., Koh, S.H., Cho, S.J., Jang, S.J., Pyo, S.H., Choi, W.I., 2011. Impact of minimum winter temperature on *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) egg mortality. *J. Asia-Pacific Entomol.* 14, 123-125.

Margalef, D.R., 1958. Information theory in ecology. *Gen.Syst.* 3, 36-71.

- McNaughton, S.J., 1967. Relationships among functional properties of Californian grassland. *Nature*. 216, 168-169.
- Noh, D.H., Kim, S.S., Choi, S.W., 2016. Regional Diversity Pattern of Spring Moths and Climatic Effects on Moth Eatches. *Korean J. Environ. Biol.* 34, 30-36.
- Petrillo, H., 2001. The use of indicator in reserve design. [http://www.nau.edu/envsci/sisk/courses/cnu440/SCBS/students/2001/HollyPetrillo/Indicator\\_Tntro.htm](http://www.nau.edu/envsci/sisk/courses/cnu440/SCBS/students/2001/HollyPetrillo/Indicator_Tntro.htm).
- Pielou, E.C., 1969. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse. *Amer. Nat.* 100, 463-465.
- Pielou, E.C., 1975. *Ecology diversity*. Wiley and Sons, New York, pp. 165.
- Sabu, T.K., Shiju, R.T., 2010. Efficacy of pitfall trapping, Winkler and Berlese extraction methods for measuring ground-dwelling arthropods in moist-deciduous forests in the Western Ghats. *J. Insect Sci.* 10, 98.
- Ter Braak, C.J., 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*. 67, 1167-1179.
- The Entomolo. Society of Korea, 1994. Name enumeration of Korean Insect, 1st ed., Konkuk. Univ. press.
- Wolfgang, B., Harenberg, A., Zimmermann, J., Weiß, B., 2003. Biodiversity, the ultimate agri-environmental indicator?: potential and limits for the application of faunistic elements as gradual indicators in agroecosystems. *Agric. Ecosy. & Environ.* 98, 99-123.
- Yu, X.D., Lu, L., Wang, F.Y., Luo, T.H., Zou, S.S., Wang, C.B., Song, T.T., Zhou, H.Z., 2016. The Relative Importance of Spatial and Local Environmental Factors in Determining Beetle Assemblages in the Inner Mongolia Grassland. *PloS one*. 11, e0154659.