

# PPO 저해 제초제 내성 유전자변형 벼가 절지동물군집에 미치는 영향

김영중 · 이준호<sup>1</sup> · 백경환<sup>2</sup> · 김창기\*

한국생명공학연구원 바이오평가센터, <sup>1</sup>서울대학교 농생명공학부, <sup>2</sup>전남대학교 농식품생명화학부

## Arthropod Diversity and Community Structure in Fields of Non-genetically Modified (GM) and Herbicide-tolerant GM Rice

Young-Joong Kim, Joon-Ho Lee<sup>1</sup>, Kyoungwhan Back<sup>2</sup> and Chang-Gi Kim\*

Bio-Evaluation Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Cheongju 28116, Republic of Korea

<sup>1</sup>Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

<sup>2</sup>Division of Applied Bioscience and Biotechnology, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea

**ABSTRACT:** One of the primary concerns about the environmental risks of genetically modified (GM) crops is that they may have adverse effects on the local arthropod communities. In this study, we investigated whether the arthropod diversity and community structure in fields of GM rice tolerant to protoporphyrinogen oxidase (PPO)-inhibiting herbicides differ from those in non-GM (control) rice fields. The aim of this study was to assess the potential adverse effects of GM rice on the local arthropod communities. During the growing seasons in the study period, we collected arthropods from both fields by using yellow sticky traps and compared the diversity and community structure of arthropods from the two sites. Overall, the GM rice had no significant effect on the diversity of the local arthropod communities. In addition, multivariate analyses (permutational multivariate analysis of variance and nonmetric multidimensional scaling) showed that the structures of arthropod communities were not affected by the rice genotype (GM vs. non-GM), although these comparisons were made using data obtained at different sampling dates.

**Key words:** Biosafety, Herbicide tolerance, Genetically modified crop, Environmental risk

**초 록:** 유전자변형 작물이 절지동물에 미칠 수 있는 잠재적인 부정적 영향은 유전자변형 작물의 주요한 환경위해성의 하나로 여겨지고 있다. 본 연구에서는 PPO (protoporphyrinogen oxidase) 저해 제초제 내성 유전자변형 벼가 절지동물에 미칠 수 있는 영향을 평가하기 위하여 절지동물의 다양성과 군집구조를 조사하였다. 절지동물은 야외포장에서 벼의 생육기간 동안 황색점착트랩을 이용하여 채집하였다. 유전자변형 벼는 채집된 절지동물군집의 다양도 지수에 유의한 영향을 주지 않았다. 또한 다변량분석(PerMANOVA, NMDS) 결과에서도 절지동물군집 구조는 채집시기에 따라 달랐지만 벼의 유전형(유전자변형 또는 비변형)에 의해 영향을 받지 않았다.

**검색어:** 생물다양성, 환경위해성, 군집 구조, 다양성지수

1996년부터 상업적인 재배가 이루어진 유전자변형(Genetically Modified, GM) 작물은 매년 두 자릿수 이상의 재배면적 증가율을 기록하고 있으며, 2013년 기준으로 19개국, 최소 5만 ha 이상의 농경지에서 재배되고 있다(James, 2013). 그 중 제초제 내성 GM 작물은 전체 GM 작물 재배 면적의 84%를 차지할 정도로 비중이 크다(Beckie and Hall, 2014). 이는 잡초가 농작물

의 생산에 미치는 영향이 크기 때문인데, 특히 논 포장에서 발생하는 잡초는 토양의 양분과 물 부족 현상을 일으키고(Rao et al., 2007), 살충제와 살균제 등의 농약 처리시 벼의 접촉을 막음으로써 약제의 효율을 떨어지게 하며, 벼의 생장을 저해하여 벼의 생산량을 크게 감소시킬 수 있다(Ismail et al., 2012). 제초제 내성 GM 벼를 재배하게 된다면 제초제를 이용한 잡초관리를 효과적으로 할 수 있게 되어 노동과 비용적인 측면에서 유리하며, 더 나아가 벼의 생산성 증대에 기여할 수 있을 것이다.

반면 GM 작물이 생태계에 미칠 수 있는 잠재적 부정적인 영

\*Corresponding author: cgkim@kribb.re.kr

Received August 5 2015; Revised September 10 2015

Accepted September 16 2015

향에 대한 우려가 계속됨에 따라, GM 작물의 상업화 이전에 과학적인 방법의 환경위해성 평가를 수행할 것을 바이오안전성의정서와 국내 이행법인 유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률에서 명문화하고 있다. 특히 GM 작물과 상호작용하는 생물체 중에서 일차 소비자인 초식자와 이들을 먹이로 하는 상위단계의 포식자 및 기생자, 그리고 식물의 부식물질을 먹이로 하는 분해자가 모두 포함되는 절지동물 분류군은 작물에 의해 큰 영향을 받을 수 있으므로, GM 작물이 절지동물에 미치는 영향을 평가하는 것은 위해성평가 과정 중 핵심적인 내용이다. *Bt* 독소를 생성하는 해충저항성 GM 작물의 비표적 절지동물에 미치는 영향에 대한 연구는 국내외에서 지금까지 활발히 이루어지고 있는 반면(Lang and Otto, 2010; Carpenter, 2011; Lee et al., 2014; Nam et al., 2014; Kim et al., 2015), 제초제 내성 유전자변형 작물이 절지동물에 미치는 영향에 대한 연구는 아직까지 많이 이루어지지 않고 있으며, 주로 제초제 처리 후 일어난 잡초 종의 변화가 절지동물에 미치는 영향에 대한 연구가 대부분이다(Brooks et al., 2003; Haughton et al., 2003; Heard et al., 2006).

본 연구에서는 제초제 내성 GM 벼가 초식자, 포식자, 기생자 그리고 분해자를 포함한 다양한 절지동물들에 미치는 영향을 알아보기 위해 야외포장에서 시기별로 절지동물을 채집하여 이들의 기능군적 특징에 따른 군집의 구조와 다양성을 비교하였다.

## 재료 및 방법

본 실험에서는 PPO (protoporphyrinogen oxidase)저해 제초제 내성 GM 벼(CPPO06 이벤트, T<sub>3</sub> 세대)와 모본인 동진벼를 사용하였다. GM 벼는 토양세균인 *Mycococcus xanthus*의 *Prottox* (PPO) 유전자를 동진벼에 도입하여 개발한 것으로 *Ubi* 프로모터와 *nos* 터미네이터의 조절을 받고 있으며, 과산화작용 제초제(peroxidizing herbicides)에 내성을 갖는다(Lee et al., 2007).

2009년 6월 2일에 충북 청주시 청원구 오창읍에 위치한 한국생명공학연구원 LMO 격리포장(36°43'N, 127°26'E; 고도, 35 m)에 GM 벼와 모본인 동진벼를 이양하였다. 각 실험구의 크기는 8 m × 8 m, 간격은 2 m이었으며, 3반복 난괴법으로 배치하였다. 각 실험구에는 약 1380주의 벼를 이양하였고, 조사기간 중에는 살충제와 제초제 등의 농약을 사용하지 않았다. 조사기간 동안 벼 포장에서는 깨풀(*Acalypha australis*), 돌피(*Echinochloa crus-galli*), 바랭이(*Digitaria sanguinalis*), 방동사니(*Cyperus microiria*) 등의 잡초가 발생했지만, 지속적으로 손제초하여 제거하였다.

각 실험구 당 황색점착트랩(250 mm × 150 mm, 그린아그로텍) 2개를 지면 위 60 cm의 높이에 설치하였으며, 2009년 8월 13일부터 10월 22일까지 2주간격으로 총 6회 수거하였다. 수거한 황색점착트랩은 실험이 완료될 때까지 -20°C의 냉동고에 보관하였다. 포획된 절지동물의 종 동정은 해부현미경(Olympus SZ 600) 하에서 이루어졌으며, 종 수준까지 동정을 하였다. 종 수준까지의 동정이 어려운 일부 분류군의 경우 과 수준까지 분류하였고, 각 분류군별 개체 수를 조사하였다.

분류와 동정이 이루어진 절지동물은 McAlpine et al. (1981)과 Triplehorn et al. (2005)의 먹이 기능군에 대한 기준에 따라 초식자, 포식자, 분해자 및 기생자로 구분하였다. 군집분석을 위해 동정된 절지동물은 과 수준으로 통합한 개체수를 기반으로 하였는데, 그 이유는 속 수준 이하로 동정이 불가능한 종들이 발생하였기 때문이다. 과 수준에서 절지동물 개체 수 데이터를 이용하여 Shannon의 다양도 지수( $H'$ ), Simpson의 다양도 지수( $1-\lambda'$ ), 풍부도(richness) 및 균등도(evenness ( $J'$ )) 지수를 산출하였다. 벼의 계통(GM, 모본)이 다양도 지수와 먹이기능군별 절지동물 개체 수에 미치는 영향을 알아보기 위하여 반복측정분산분석(Repeated measures ANOVA)을 수행하였다. 분산분석의 기본가정이 되는 정규분포를 만족시키기 위해 먹이 기능군별 개체수 데이터는 상용로그변환( $\log_{10}$ )을 하였고, Shapiro-Wilk W 검정과 Levene 검정을 통해 이를 검증하였다. 또한 본 연구에서 조사된 절지동물 종들의 전체적인 군집 및 먹이기능군별 군집이 채집시기와 벼 계통간에 따른 차이가 있는지 알아보기 위하여 NMDS (Non-metric multidimensional scaling) 분석을 실시하여 군집의 구조를 도식화 하였고, PerMANOVA (Permutational multivariate analysis of variance; Anderson et al., 2008) 분석을 실시하여 채집시기와 벼의 계통이 절지동물 군집구조에 미치는 영향을 알아보았다. NMDS와 PerMANOVA 분석을 실시하기 전 각 절지동물의 밀도 값을 데이터의 안정화 및 표준화를 위해 네제곱근(4<sup>th</sup> root)으로 변환한 후(Quinn and Keough, 2002), Bray-Curtis 유사도를 계산하였다. 반복측정분산분석은 STATISTICA (Version 8.0, Statsoft, USA)를 사용하였으며, NMDS와 PerMANOVA 분석은 PRIMER (Version 6.1.13, PRIMER-E, UK)를 사용하였다. 한편 한 개의 과에서 두 가지 이상의 먹이기능군적 특성을 가질 수 있는 검정파리과, 흑파리과, 장다리파리과 그리고 쉬파리과는 먹이기능군적 특성에 따른 분석에서 제외하였다(Table 1).

## 결과 및 고찰

본 실험의 절지동물 밀도데이터는 과 수준으로 통일하여 군

**Table 1.** Counts of arthropods sampled using yellow sticky traps in genetically modified (GM; CPPO06) and non-GM (Dongjin) rice fields

Order/Family/Species	Korean name	Rice lines		Functional guilds
		Dongjin	CPPO06	
<b>Coleoptera</b>	<b>딱정벌레목</b>			
Chrysomelidae	잎벌레과			
Chrysomelidae spp.	잎벌레과 종	49	84	Herbivore
Coccinellidae	무당벌레과			
<i>Coccinella septempunctata</i> (Linne)	칠성무당벌레	1	1	Predator
<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas)	무당벌레	1	1	Predator
<i>Propylea japonica</i> (Thunberg)	꼬마납생이무당벌레	15	8	Predator
Curculionidae	바구미과			
Curculionidae spp.	바구미과 종	2	0	Herbivore
Dytiscidae	물방개과			
<i>Rhantus pulverosus</i> (Stephens)	애기물방개	1	1	Predator
Elateridae	방아벌레과			
<i>Aeoloderma agnate</i> (Candeze)	꼬마방아벌레	1	1	Herbivore
Elateridae sp.	방아벌레과 종	1	1	Herbivore
Staphylinidae	반날개과			
<i>Paederus fuscipes</i> (Curtis)	청딱지개미반날개	0	1	Predator
Staphylinidae spp.	반날개과 종	3	8	Predator
<b>Diptera</b>	<b>파리목</b>			
Calliphoridae	검정파리과			
Calliphoridae spp.	검정파리과 종	123	115	Omnivore
Cecidomyiidae	혹파리과			
Cecidomyiidae spp.	혹파리과 종	654	544	Omnivore
Chironomidae	깔따구과			
Chironomidae spp.	깔따구과 종	2178	3460	Detritivore
Dolichopodidae	장다리파리과			
Dolichopodidae spp.	장다리파리과 종	54	49	Omnivore
Sarcophagidae	쉬파리과			
Sarcophagidae spp.	쉬파리과 종	90	65	Omnivore
Sciomyzidae	들파리과			
<i>Sepedon aenescens</i> (Wiedemann)	뿔들파리	2581	1888	Predator
Sepsidae	꼭지파리과			
Sepsidae spp.	꼭지파리과 종	23	23	Herbivore
Syrphidae	꽃등예과			
Syrphidae spp.	꽃등예과 종	22	31	Predator
Tephritidae	과실파리과			
Tephritidae spp.	과실파리과 종	90	72	Herbivore
Tipulidae	각다귀과			
Tipulidae spp.	각다귀과 종	41	45	Detritivore
<b>Hemiptera</b>	<b>노린재목</b>			
Anthocoridae	꽃노린재과			
<i>Orius</i> spp.	Orius속 종	430	515	Predator

Table 1. Continued

Order/Family/Species	Korean name	Rice lines		Functional guilds
		Dongjin	CPPO06	
Berytidae	실노린재과			
<i>Yemma exilis</i> (Horvath)	실노린재	0	2	Herbivore
Gerridae	소금쟁이과			
<i>Gerris paludum</i> (Insularis)	소금쟁이	1	0	Predator
Lygaeidae	긴노린재과			
<i>Nysius plebejus</i> (Distant)	애긴노린재	13	5	Herbivore
<i>Tropidothorax cruciger</i> (Motschulsky)	십자무늬긴노린재	0	1	Herbivore
Miridae	장님노린재과			
<i>Adelphocoris suturalis</i> (Jakovlev)	변색장님노린재	1	2	Herbivore
<i>Stenotus rubrovittatus</i> (Matsumura)	홍색얼룩장님노린재	13	7	Herbivore
Miridae spp.	장님노린재과 종	5	3	Herbivore
Notonectidae	송장헤엄치게과			
<i>Notonecta triguttata</i> (Motschulsky)	송장헤엄치게	1	0	Predator
Pentatomidae	노린재과			
<i>Dolycoris baccarum</i> (Linne)	알락수염노린재	1	2	Herbivore
<i>Eurydema gebleri</i> (Kolenati)	복쪽비단노린재	0	1	Herbivore
<b>Homoptera</b>	<b>매미목</b>			
Aphididae	진딧물과			
Aphididae spp.	진딧물과 종	295	448	Herbivore
Cicadellidae	매미충과			
<i>Nephotettix cincticeps</i> (Uhler)	끝동매미충	117	95	Herbivore
<i>Recilia dorsalis</i> (Motschulsky)	번개매미충	215	163	Herbivore
<i>Ricania taeniata</i> (Stal)	남쪽날개매미충	1	0	Herbivore
Cicadellidae spp.	매미충과 종	135	140	Herbivore
Delphacidae	멸구과			
<i>Laodelphax striatellus</i> (Fallen)	애멸구	364	374	Herbivore
<i>Sogatella furcifera</i> (Horvath)	흰등멸구	235	357	Herbivore
<b>Hymenoptera</b>	<b>벌목</b>			
Braconidae	고치벌과			
Braconidae spp.	고치벌과 종	503	738	Parasitoid
Eulophidae	좀벌과			
Eulophidae spp.	좀벌과 종	433	436	Parasitoid
Ichneumonidae	맷시벌과			
Ichneumonidae spp.	맷시벌과 종	152	169	Parasitoid
Tenthredinidae	잎벌과			
<i>Athalia rosae</i> (Ruficornis)	무잎벌	35	36	Herbivore
<b>Lepidoptera</b>	<b>나비목</b>			
Hesperiidae	팔랑나비과			
<i>Parnara guttata</i> (Bremer et Grey)	줄점팔랑나비	0	2	Herbivore
Pyralidae	명나방과			
<i>Cnaphalocrocis medinalis</i> (Guenee)	혹명나방	2	3	Herbivore
<i>Chilo suppressalis</i> (Walker)	이화명나방	4	4	Herbivore

Table 1. Continued

Order/Family/Species	Korean name	Rice lines		Functional guilds
		Dongjin	CPPO06	
<b>Neuroptera</b>	<b>플잠자리목</b>			
Chrysopidae	플잠자리과			
Chrysopidae sp.	플잠자리과 종	4	3	Predator
<b>Odonata</b>	<b>잠자리목</b>			
Coenagrionidae	실잠자리과			
<i>Ischnura asiatica</i> (Brauer)	아시아실잠자리	16	13	Predator
Libellulidae	잠자리과			
<i>Orthetrum albistylum speciosum</i> (Uhler)	밀잠자리	2	1	Predator
<i>Pantala flavescens</i> (Fabricius)	된장잠자리	1	3	Predator
<i>Sympetrum</i> spp.	좀잠자리속 종	6	6	Predator
<b>Orthoptera</b>	<b>메뚜기목</b>			
Acrididae	메뚜기과			
<i>Acrida cinerea</i> (Thunberg)	방아깨비	1	0	Herbivore
Pyrgomorphidae	섬서구메뚜기과			
<i>Atractomorpha lata</i> (Motschulsky)	섬서구메뚜기	1	0	Herbivore
Tettigonidae	여치과			
<i>Conocephalus chinensis</i> (Redtenbacher)	썩썩기	14	3	Predator
Tridactylidae	좁쌀메뚜기과			
<i>Xya japonica</i> (De Haan)	좁쌀메뚜기	0	1	Herbivore
<b>Thysanoptera</b>	<b>총채벌레목</b>			
Thripidae	총채벌레과			
Thripidae spp.	총채벌레과 종	2552	2521	Herbivore
<b>Araneae</b>	<b>거미목</b>			
Clubionidae	염낭거미과			
Clubionidae spp.	염낭거미과 종	17	19	Predator
Linipidae	접시거미과			
Erigoninae spp.	애접시거미아과 종	7	14	Predator
Salticidae	깡충거미과			
<i>Evarcha albaria</i> (L. Koch)	흰눈썹깡충거미	0	1	Predator
<i>Mendoza elongate</i> (Karsch)	살깃깡충거미	2	3	Predator
Tetragnathidae	갈거미과			
<i>Pachygnatha clercki</i> (Sundevall)	턱거미	1	0	Predator
<i>Tetragnatha maxillosa</i> (Thorell)	민갈거미	0	3	Predator
<i>Tetragnatha praedonia</i> (L. Koch)	장수갈거미	1	4	Predator
Thomisidae	계거미과			
Thomisidae sp.	계거미과 종	0	2	Predator

집분석을 수행하였다. 절지동물을 종 수준까지 분류한 뒤 근집 분석을 실시하는 것이 바람직하며, 먹이기능군적 특징을 파악하기 쉽지만, 점착트랩을 이용하여 채집하는 경우 광범위한 절지동물 분류군 각각을 종 수준까지 동정하기는 매우 어려운 한계가 있다. 본 실험에서 일부 분류군은 종 수준까지 동정되었으

나 과 수준 이하로 동정이 어려운 분류군도 있었으므로, 같은 분류군의 수준에서 밀도를 비교하려면 과 수준으로 통일하여 비교하는 것이 타당하다고 판단하였다. Hoback et al. (1999)도 점착트랩을 이용하여 채집한 곤충 근집을 과 수준에서 효과적으로 분석한 바 있다.

본 실험을 통해 절지동물 군집의 모니터링을 위해 적용된 황색점착트랩은 장점과 단점이 있음을 알 수 있었다. 우선 장점으로는 육안조사 또는 포충망을 이용한 채집 방법 등을 이용해 정량적인 밀도확인이 불가능한 종들; 예를 들어 깔따구과, 총채벌레과, 대부분의 파리목 종들, 기생벌 등의 밀도를 동일한 조건에서 정량적으로 채집하여 모니터링을 할 수 있었다. 하지만 단점으로는 시각적으로 곤충을 유인하는 황색점착트랩의 특성상 벼 포장에서 발생하는 종이 아닌 외부로부터 유입되는 종들이 섞이게 되어 군집분석을 하는데 있어 불리하게 작용함을 알 수 있었다. 본 실험결과에서도 보였듯이(Table 1), 십자화과 식물을 주로 가해하는 무잎벌(*Athalia rosae* (Ruficornis))과 북쪽비단벌레(*Eurydema gebleri* (Kolenati))가 채집되었으며, 그 외 확인되지 않은 과 수준의 여러 초식자 곤충 중에는 벼를 기주로 하지 않는 종들이 포함되어 있을 가능성이 크다.

본 연구에서는 11목 46과로 총 24,009마리의 절지동물이 채집되었고, 그 중 동진벼에서는 11,511마리, CPPO06벼에서는 12,498마리의 절지동물이 각각 관찰되었다(Table 1). 초식자, 분해자, 기생자, 포식자를 포함한 모든 먹이기능군별 그룹의 절지동물 밀도는 시기에 의한 차이는 보였으나, 벼 계통에 의한 영향은 받지 않는 것으로 나타났다(Table 2). 그러나, 초식자군과 기생자군의 경우 통계적으로 유의하지는 않았지만, 어느 정도 벼 계통에 따른 차이를 보이는 것을 알 수 있었는데, 그 이유는 초식자인 진딧물과의 경우 동진벼에서 보다 CPPO06벼에서 더 높은 밀도를 보였고, 그에 따라 기생자군에 속하는 고치벌과의 밀도가 CPPO06벼에서 높게 나타났기 때문으로 보인다. Holling (1966)에 의하면 이동성이 상대적으로 큰 기생자나 포식자와 같은 경우 먹이의 밀도에 따라 그들의 공간분포 양상이 나타난다고 보고하였다. 그러므로 본 연구에서 나타난 고치벌과의 벼 계통 간 밀도 차이는 진딧물의 밀도에 의한 영향으로 볼 수 있겠지만, 진딧물과의 경우는 무시형 개체들의 경우 이동성이 적고 기주에서 항상 생활하기 때문에 벼 계통에 의한 영향을 받았을 가능성이 있다.

먹이기능군별 점유율을 살펴보면, 동진벼에서는 초식자(38.2%),

포식자(29.5%), 분해자(22.0%), 기생자(10.3%) 순으로 나타났고, CPPO06벼에서는 초식자(36.3%), 분해자(30.7%), 포식자(21.6%), 기생자(11.5%)로 GM 벼와 모본 벼 간에 통계적인 유의성은 없었지만, 분해자와 포식자의 점유율의 차이가 다소 나타나는 것을 알 수 있었다. 과 별 점유율을 살펴보면, 동진벼에서는 들파리과(22.4%), 총채벌레과(22.2%), 깔따구과(18.9%), 흑파리과(5.7%), 멸구과(5.2%), 고치벌과(4.4%) 순으로 우점하였으며, CPPO06벼에서는 깔따구과(27.7%), 총채벌레과(20.2%), 들파리과(15.1%), 고치벌과(5.9%), 멸구과(5.8%), 흑파리과(4.4%)순으로 우점하였다.

위의 결과처럼 GM 벼와 모본 벼 간에 분해자와 포식자의 점유율의 차이가 다소 나타난 이유는 통계적으로는 유의한 차이가 나타나지는 않았지만(Table 2), 포식자에 해당하는 들파리과의 밀도가 GM 벼보다 모본 벼에서 상대적으로 높았고, 분해자에 해당되는 깔따구과의 밀도가 모본 벼보다 GM 벼에서 더 높게 나타났기 때문이다. Haughton et al. (2003)과 Brooks et al. (2003)의 연구들에 의하면 제초제 내성 GM 옥수수과 모본이 재식된 야외포장에서 분해자 그룹에 속하는 톡토기목의 밀도가 GM 옥수수 포장에서 더 높게 나타남을 보고하였고 이를 통해 톡토기 분류군은 제초제내성 작물의 위해성평가를 하는데 있어서 유용한 지표생물이 될 수 있을 것이라고 언급하였다. 하지만 앞의 두 연구는 본 실험과는 달리 사용된 작물이 다르고, PPO 저해 제초제와는 기작이 다른 glyphosate 제초제 계열에 대한 내성을 가진 작물을 대상으로 하였으며, 또한 Marshall et al. (2003)이 보고한 것처럼 제초제 처리를 통한 잡초관리를 인하여 분해자 밀도의 차이가 나타났을 수도 있기 때문에 본 연구에서 나타난 깔따구과의 밀도의 벼 계통간 차이가 나타난 이유를 알아보기 위해서는 CPPO06벼의 직접적 접촉을 통한 실내검정 또는 야외포장에서 제초제 처리를 통한 잡초관리를 하였을 때의 밀도변화에 대한 연구 등의 좀 더 다양한 측면에서의 접근을 통한 검증이 필요하다.

GM 벼와 모본의 야외포장에서 채집된 절지동물 군집의 시기별 다양도 지수는 Table 3과 같다. 시기에 따른 다양도 지수

**Table 2.** Results of a repeated-measures analysis of variance (RMANOVA) of the abundances of arthropod functional guilds

	Detritivores			Herbivores			Parasitoids			Predators		
	d.f.	F	P	d.f.	F	P	d.f.	F	P	d.f.	F	P
Genotype (G)	1	2.56	0.186	1	7.33	0.054	1	7.56	0.051	1	0.28	0.623
Time (T)	5	11.81	< 0.001	5	69.20	< 0.001	5	2.66	0.053	5	35.3	< 0.001
G × T	5	1.53	0.226	5	0.57	0.720	5	1.37	0.276	5	0.34	0.882
Error	20			20			20			20		

**Table 3.** Shannon's diversity ( $H'$ ), Simpson's diversity ( $1-\lambda'$ ), richness (d), and Pielou's evenness ( $J'$ ) of arthropods collected in plots of genetically modified (GM; CPPO06) and non-GM (Dongjin) rice

Line	Time	$H'$	$1-\lambda'$	d	$J'$
Dongjin	13 Aug.	1.54 (0.07)	0.64 (0.04)	3.63 (0.14)	0.48 (0.03)
	27 Aug.	2.03 (0.02)	0.81 (0.01)	2.74 (0.01)	0.72 (0.01)
	10 Sep.	2.43 (0.10)	0.88 (0.02)	4.14 (0.08)	0.79 (0.04)
	24 Sep.	2.39 (0.06)	0.89 (0.01)	4.00 (0.49)	0.80 (0.02)
	8 Oct.	1.65 (0.47)	0.63 (0.19)	3.25 (0.20)	0.56 (0.16)
	22 Oct.	2.18 (0.20)	0.83 (0.06)	3.61 (0.06)	0.74 (0.07)
CPPO06	13 Aug.	1.84 (0.09)	0.76 (0.02)	3.60 (0.19)	0.57 (0.03)
	27 Aug.	2.09 (0.09)	0.83 (0.02)	3.30 (0.28)	0.70 (0.02)
	10 Sep.	2.47 (0.10)	0.89 (0.02)	4.06 (0.22)	0.81 (0.02)
	24 Sep.	2.47 (0.09)	0.89 (0.02)	4.26 (0.16)	0.81 (0.03)
	8 Oct.	1.43 (0.25)	0.57 (0.10)	2.93 (0.04)	0.49 (0.09)
	22 Oct.	1.73 (0.25)	0.68 (0.10)	3.08 (0.09)	0.60 (0.10)
RMANOVA					
Time	$F$	7.469	5.136	11.313	6.856
	$P$	< 0.001	0.003	< 0.001	< 0.001
Genotype	$F$	0.084	0.058	0.038	0.152
	$P$	0.787	0.821	0.855	0.717

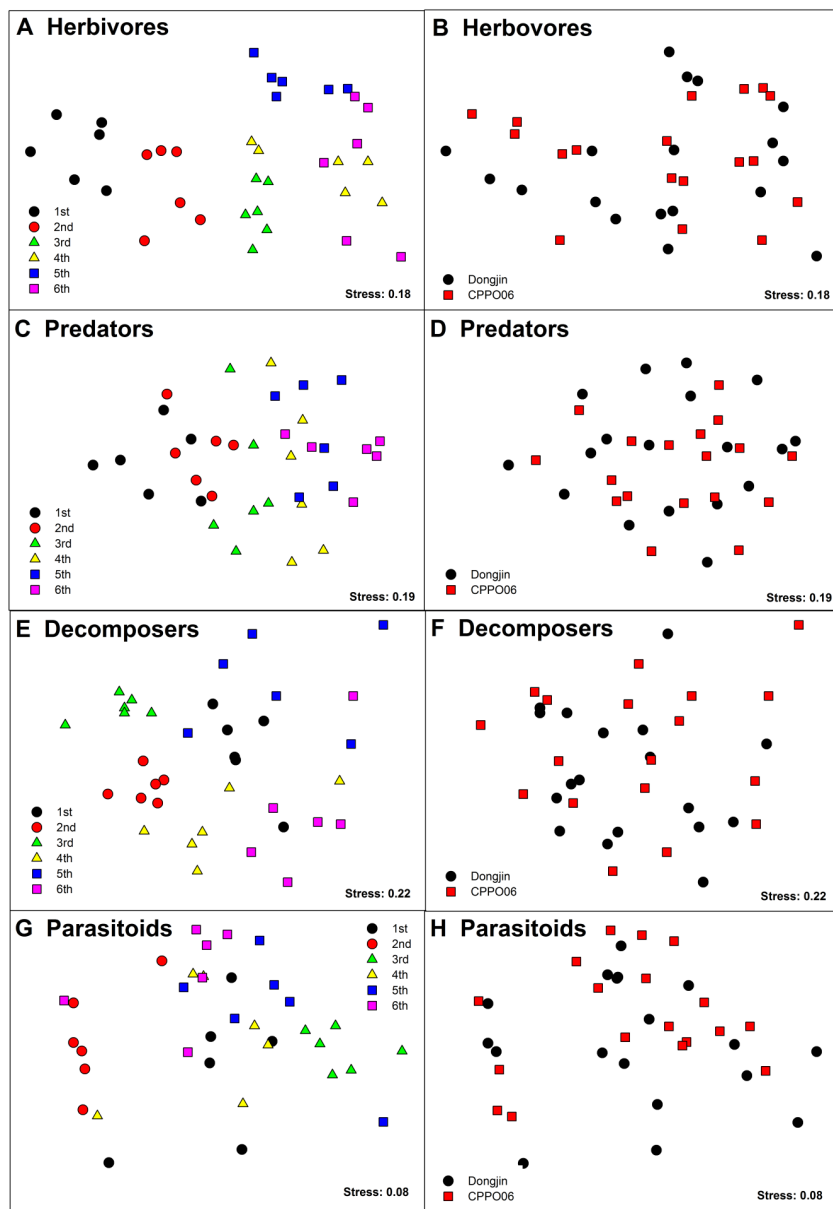
**Table 4.** Results of a two-way permutational multivariate analysis of variance (PerMANOVA) of the community composition of arthropods collected in rice plots, based on the Bray-Curtis similarity coefficient

	Detritivores			Herbivores			Parasitoids			Predators			Whole arthropod guilds		
	d.f.	Pseudo- $F$	$P$	d.f.	Pseudo- $F$	$P$	d.f.	Pseudo- $F$	$P$	d.f.	Pseudo- $F$	$P$	d.f.	Pseudo- $F$	$P$
Genotype (G)	1	1.05	0.436	1	0.49	0.671	1	1.43	0.27	1	1.67	0.178	1	1.18	0.313
Time (T)	5	9.84	<0.001	5	12.33	<0.001	5	10.01	<0.001	5	7.80	<0.001	5	10.64	<0.001
G × T	5	1.02	0.439	5	0.83	0.664	5	1.49	0.22	5	0.42	0.966	5	0.76	0.840
Res	24			24			24			24			24		
Total	35			35			35			35			35		

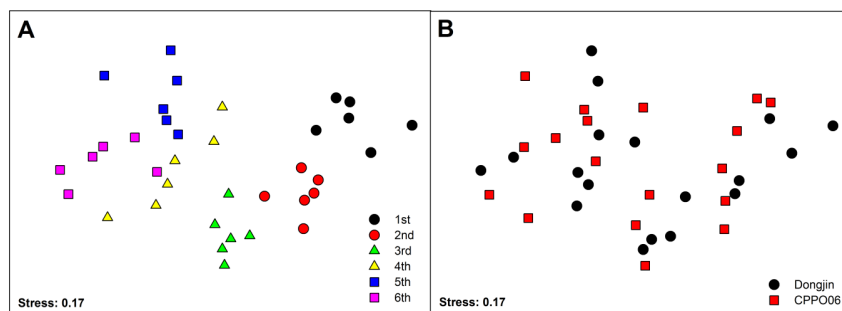
를 살펴보면, Shannon의 다양도 지수( $H'$ )와 Simpson의 다양도 지수( $1-\lambda'$ ), 풍부도의 값의 변화는 GM 벼 계통과 모본 벼 계통 모두에서 첫 채집시기인 8월 13일부터 3번째 채집시기인 9월 10일까지 증가하다가 9월 24일까지 그 수준이 유지되고, 10월로 접어들면서 감소되는 양상을 보였다. 이와 같이 벼의 생육단계 및 시기에 따라 절지동물 군집의 다양도 지수가 변화하는 양상은 Bambaradeniya et al. (2008)의 결과에서도 볼 수 있다. 이와 같이 모든 지수들은 시기에 따른 차이는 나타났지만, 벼 계통간의 차이는 나타나지 않았다. PerMANOVA와 NMDS에서도 전체적인 절지동물 군집구조와 각 기능 군에 따른 절지동물 군집구조 역시 채집시기에 따른 차이는 나타났으나 계통간의

차이는 나타나지 않았다(Table 4, Figs. 1-2). 이러한 결과를 토대로 본 실험에 사용된 제초제내성 벼는 전체적인 생육시기 동안 절지동물 군집구조에 부정적인 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

본 연구를 통해 제초제 내성 GM 벼는 초식자, 포식자, 기생자, 분해자를 포함한 절지동물의 군집구조에 영향을 미치지 않았지만, 몇몇 과들에서 어느 정도 벼 계통 간의 차이가 있었다. 이러한 결과는 제초제내성 벼가 절지동물 군집에 영향을 미치지 않음을 의미하지만 앞서 언급한 초식자에 해당하는 진딧물과와 분해자인 깔따구과에 대한 추가적인 연구를 통해 제초제내성 벼에 대한 환경위해성평가가 이루어져야 할 것이다.



**Fig. 1.** Nonmetric multidimensional scaling (NMDS) plots of functional guilds of arthropod communities sampled using yellow sticky traps from August to October 2009 (Herbivores: A, B; Predators: C, D; Decomposers: E, F; Parasitoids: G, H).



**Fig. 2.** Nonmetric multidimensional scaling (NMDS) plots of the arthropod community sampled using yellow sticky traps from August to October 2009 (Sampling time: A; Genotypes: B).



## 사 사

본 연구는 KRIBB 주요사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## Literature Cited

- Anderson, M.J., Gorley, R.N., Clarke, K.R., 2008. PerMANOVA+ for Primer: Guide to Software and Statistical Methods. Primer-E Ltd., Plymouth, UK.
- Bambaradeniya, C.N.B., Edirisinghe, J.P., 2008. Composition, structure and dynamics of arthropod communities in a rice agro-ecosystem. *Cey. J. Sci.* 37, 23-48.
- Beckie, H.J., Hall, L.M., 2014. Genetically-modified herbicide-resistant (GMHR) crops a two-edged sword? An Americas perspective on development and effect on weed management. *Crop Prot.* 66, 40-45.
- Brooks, D.R., Bohan, D.A., Champion, G.T., Haughton, A.J., Hawes, C., Heard, M.S., Clark, S.J., Dewar, A.M., Firbank, L.G., Perry, J.N., Rothery, P., Scott, R.J., Woiod, I.P., Birchall, C., Skellern, M.P., Walker, J.H., Baker, P., Bell, D., Browne, E.L., Dewar, A.J.G., Fairfax, C.M., Garner, B.H., Haylock, L.A., Horne, S.L., Hulmes, S.E., Mason, N.S., Norton, L.R., Nuttall, P., Randle, Z., Rossall, M.J., Sands, R.J.N., Singer, E.J., Walker, M.J., 2003. Invertebrate responses to the management of genetically modified herbicide-tolerant and conventional spring crops. I. Soil-surface-active invertebrates. *Phil. Trans. R. Soc B* 358, 1847-1862.
- Carpenter, J.E., 2011. Impacts of GM crops on biodiversity. *GM crops* 2, 1-17.
- Haughton, A.J., Champion, G.T., Hawes, C., Heard, M.S., Brooks, D.R., Bohan, D.A., Clark, S.J., Dewar, A.M., Firbank, L.G., Osborne, J.L., Perry, J.N., Rothery, P., Roy, D.B., Scott, R.J., Woiod, I. P., Birchall, C., Skellern, M.P., Walker, J.H., Baker, P., Browne, E.L., Dewar, A.J.G., Garner, B.H., Haylock, L.A., Horne, S.L., Mason, N.S., Sands, R.J.N., Walker, M.J., 2003. Invertebrate responses to the management of genetically modified herbicide-tolerant conventional spring crops. II. Within-field epigeal and aerial arthropods. *Phil. Trans. R. Soc. B* 358, 1863-1877.
- Heard, M.S., Clark, S.J., Rothery, P., Perry, J.N., Bohan, D.A., Brooks, D.R., Champion, G.T., Dewar, A.M., Hawes, C., Haughton, A.J., May, M.J., Scott, R.J., Stuart, R.S., Squire, G.R., Firbank, L.G., 2006. Effects of successive seasons of genetically modified herbicide-tolerant maize cropping on weeds and invertebrates. *Ann. Appl. Biol.* 149, 249-254.
- Hoback, W.W., Svatos, T.M., Spomer, S.M., Higley, L.G., 1999. Trap color and placement affects estimates of insect family-level abundance and diversity in a Nebraska salt marsh. *Entomol. Exp. Appl.* 91, 393-402.
- Holling, C.S., 1966. The functional response of invertebrate predators to prey density. *Mem. Entomol. Soc. Can.* 98, 5-86.
- Ismail, B.S., Siddique, A.B., 2012. Allelopathic inhibition by *Fimbristylis miliacea* on the growth of the rice plants. *Adv. Environ. Biol.* 6, 2423-2427.
- James, C., 2013. Global Status of Commercialized Biothec/GM Crops: 2013. ISAAA Briefs, 2013.
- Kim, Y.J., Moon, D.B., Nam, K.J., Lee, J.H., Harn, C.H., Kim, C.G., 2015. Effects of transgenic cabbage expressing Cry1Ac1 protein on target pests and the non-target arthropod community under field conditions. *J. Asia Pac. Entomol.* 18, 657-668.
- Lang, A., Otto, M., 2010. A synthesis of laboratory and field studies on the effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize on non-target Lepidoptera. *Entomol. Exp. Appl.* 135, 121-134.
- Lee, K., Yang, K., Kang, K., Kang, S., Lee, N., Back, K. 2007. Use of *Myxococcus xanthus* protoporphyrinogen oxidase as a selectable marker for transformation of rice. *Pestic. Biochem. Physiol.* 88, 31-35.
- Lee, S.Y., Kim, S.T., Jung, J.K., Lee, J.-H., 2014. A comparison of spider communities in Bt and non-Bt rice fields. *Environ. Entomol.* 43, 819-827.
- Marshall, E.J.P., Brown, V.K., Boatman, N.D., Lutman, P.J.W., Squire, G.R., Ward, L.K., 2003. The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Res.* 43, 77-89.
- McAlpine, J.F., Peterson, B.V., Shewell, G.E., Teskey, H.J., Vockeroth, J.R., Wood, D.M., 1981. Manual of Nearctic Diptera, Volumes 1-3, Agriculture Canada, Quebec.
- Nam, K.J., Kim, Y.-J., Moon, D.-B., Nam, K.-H., Pack, I.S., Park, J.-H., Jeong, S.-C., Harn, C.H., Kim, C.-G., 2014. Effects of Bt cabbage (*Brassica oleracea*) on the host preference and performance of the green peach aphid, *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae). *Korean J. Appl. Entomol.* 53, 193-197.
- Quinn, G.P., Keough, M.J., 2002. Experimental Design and Data Analysis for Biologists. Cambridge University Press.
- Triplehorn, C.A., Johnson, N.F., 2005. Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects, 7th ed., Thomson Brooks/Cole, Belmont.
- Rao, A.N., Johnson, D.E., Sivaprasad, B., Ladha, J.K., Mortimer, A.M., 2007. Weed management in direct-seeded rice. *Adv. Agron.* 93, 153-255.