

PLANT & FOREST

# Risk assessment of genetically engineered rice Bt-9 resistant to *Cnaphalocrocis medinalis*: influence on above-ground arthropods in Korea

Sung-Dug Oh<sup>1,†</sup>, Eun Ji Bae<sup>1,†</sup>, Soo-Yun Park<sup>1</sup>, Bumkyu Lee<sup>2</sup>, Do Won Yun<sup>1</sup>, Sang Jae Suh<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Agricultural Biotechnology, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Jeonju 54874, Korea

<sup>2</sup>Department of Environment Science & Biotechnology, Jeonju University, Jeonju 55069, Korea

<sup>3</sup>School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

\*Corresponding author sjsuh@knu.ac.kr

†These authors equally contributed to this study as first author.

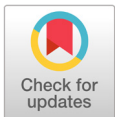
## Abstract

The effect of genetically engineered rice Bt-9 on the diversity and abundance of plant-dwelling insects and spiders was tested under field conditions. Genetically engineered rice Bt-9, expressing *mCry1Ac1* from *Bacillus thuringiensis*, confers resistance to rice leaf roller (*Cnaphalocrocis medinalis*) and provides tolerance to the herbicide glufosinate (PPT). The study compared Bt-9 and two non-GM reference varieties, Ilmi-byeo and Dongjin-byeo, at LMO isolated fields in Gunwi (Kyungpook National University) and Jeonju (National Institute Agricultural Sciences) in Southern Korea in 2016 - 2017. A total of 40,817 individuals from 62 families and 11 orders were collected from the two living modified organism (LMO) isolated fields. From the three types of rice fields, a total of 13,982, 14,105, and 12,730 individuals from the Bt-9, Ilmi-byeo and Dongjin-byeo were collected, respectively. Throughout the study, the analysis of variance indicated no significant differences ( $p < 0.05$ ). Multivariate analysis showed that the abundance and diversity of plant dwelling insects were similar. The data on insect species population densities were subjected to principal component analysis (PCA), which did not distinguish among the three varieties, Bt-9 and the non-GM, reference cultivars, during the cultivation years. However, the results of the PCA analysis were completely divided into four groups based on the yearly survey areas. Therefore, there was no evidence for a negative impact of Bt-9 on the above-ground insects and spiders.

**Keywords:** biosafety, insect diversity, LMO rice (Bt rice)

## Introduction

벼는 세계인구의 약 40%가 주식으로 하는 세계 3대 주요 작물 중의 하나로 세계 식량안보에 있어 매우 중요한 식량 자원이다(Oh et al., 2016a). 또한 벼는 혈당을 높여주는 전분과 양질의



### OPEN ACCESS

**Citation:** Oh SD, Bae EJ, Park SY, Lee BK, Yun DW, Suh SJ. 2019. Risk assessment of genetically engineered rice Bt-9 resistant to *Cnaphalocrocis medinalis*: influence on above-ground arthropods in Korea. Korean Journal of Agricultural Science 46:827-841. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20190065>

**Received:** June 18, 2019

**Revised:** August 14, 2019

**Accepted:** August 22, 2019

**Copyright:** © 2019 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

단백질을 지니고 있으며 불포화지방산으로 성인병 예방에도 효과적이고, 그 밖에도 다양한 영양소가 함유되어 있어 영양학적으로 우수하다고 보고되었다(Son, 2001). 따라서, 주식으로 이용 중인 아시아 지역 이외에도 미국이나 유럽 등에서도 벼 소비량이 매우 증가하고 있다(Hossain, 1997; Peng et al., 2009). 그러나 현재 전 세계적으로 주요 벼 생산국의 기상악화 등으로 벼 수급이 불안정해져 벼의 국제가격이 폭등할 것으로 예상하며, 국내에서도 지구 온난화로 인한 기후변화 때문에 가까운 미래에 쌀 부족 현상이 나타날 것으로 전망하고 있다(Kim et al., 2015). 이러한 식량 생산 문제를 해결하는 것에 현재까지의 육종기술만으로는 한계가 있으며, 한계를 극복하기 위해 개발된 기술이 생명공학이며 이 기술을 이용해 만든 작물이 유전자변형 작물(genetically engineered organism, GMO)이다(Lee and Suh, 2011; Oh et al., 2016b).

GM작물은 종자 자체로도 경제적 가치가 있지만, 이외에도 사회적, 환경적으로도 경제적인 효과가 높다. PG Economics의 보고에 의하면 GM작물 재배가 시작된 1996년부터 2016년까지 21년간의 세계 농업을 분석한 결과 GM작물 재배를 통해 농약사용 절감과 노동력 절감, 생산성 증대 등으로 농가소득 증대를 가져오고, 탄소배출 감소 및 온실가스 감소의 효과와 생물다양성 보전 등으로 환경보호 효과를 높일 수 있는 등 긍정적인 측면의 보고가 있었다(Brookes and Barfoot, 2018). 또한 1996년 GM작물이 상업화된 이래로 2015년을 제외하고 재배면적이 계속해서 증가하고 있다. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA)의 보고에 따르면 2018년 GM작물 재배면적이 전년대비 1% (190만 ha)가 증가한 1억 9,170만 ha이었으며, 2017년보다 2개국(중국)이 증가해 총 26개국에서 GM작물을 재배중이다(ISAAA, 2019). 현재 국내에서는 상업적인 목적으로 재배와 판매가 가능한 GM작물은 없지만, GM작물에 대한 연구개발은 꾸준히 진행 중이다. 그러나 이러한 GM작물의 긍정적 측면과 지속적인 재배의 증가에도 잠재적 독성 및 알레르기 유발과 GM작물의 잡초화, 새로운 종류의 독성 물질 생성, 생태계 교란 및 환경에 미치는 영향 등 많은 우려도 나오고 있는 것이 사실이다(Oh et al., 2016b).

이러한 우려에 대해 국내에서는 GM작물의 연구개발 외에도 안전성 평가를 연구하고 있는데, 이 평가는 생태계를 지속시키는 생물종의 정량 연구를 통한 생물다양성(biodiversity) 조사로 시작하게 된다(Choi et al., 2015). 생물다양성 평가는 단순히 종의 목록이나 멸종률을 다루는 것이 아니라, 인구와 주변 생태계의 변화에 초점을 맞춘다(Kwon, 2008). 다양한 생물 분류군 중 곤충은 전 세계적으로 백만 종이 넘고 매우 다양한 생태를 가지고 있으며 먹이사슬에서 양적으로 우위를 차지하고 있다(Borror et al., 1989; Groombridge, 1992; Price, 1997). 따라서 곤충은 생태계 먹이연쇄에서 생태계의 특성을 나타내는 중요한 위치를 차지하고 있으며, 종 구성변화는 장기적인 생태계의 변화를 파악할 수 있는 중요한 구성요소이다(Gullan and Cranston, 2005). 또한 일반적으로 주변환경과 밀접한 관계를 맺고 해당 생태계 환경의 질을 측정할 수 있는 기준으로 활용 가능하다(KNPS, 2006). 현재까지 여러 GM벼들에 대한 안전성 평가 연구로 living modified organism (LMO) 격리포장에서 재배 시 일어나는 곤충상 발생비교와 해충 발생양상에 대해서는 보고되어 왔으나(Kim et al., 2010; Bae et al., 2012; Choi et al., 2015; Oh et al., 2017; Oh et al., 2019), GM벼의 재배 연차간 비표적 곤충상에 대한 조사 및 비교 분석에 관한 연구는 2018년에 처음 보고되었을 정도로 미비한 실정이다(Oh et al., 2018a).

본 연구에서는 일미벼에 토양 세균인 *Bacillus thuringiensis*의 내독성 단백질 유전자(*mCry1Ac1*)를 형질전환 하여, 흑명나방(*Cnaphalocrocis medinalis*)에 대해 살충력을 나타내는 해충저항성 Bt-9 벼(Lee et al., 2016)에 대한 환경위해성 평가를 수행하였다. 해충저항성 Bt-9 벼의 일반적인 평가 외에 지역간 및 연차간 차이를 추가한 환경위해성 평가를 위해 모품종인 일미벼와 재배품종인 동진벼 및 해충저항성 Bt벼를 재배하는 LMO 격리포장에서 채집한 비표적 곤충상의 발생 및 변화를 두 지역에서 2년동안 비교 분석하였다. 본 연구를 통해 국내 연구개발 중인 GM벼의 환경위해성 안전관리 지침서 작성 시에 기초자료로 제공하고자 한다.

## Materials and Methods

본 연구의 시험재료인 해충저항성 Bt-9 벼는 토양 세균인 *Bacillus thuringiensis*에서 유래한 해충저항성 단백질 유전자(mCry1Ac1)를 일미벼에 도입하여 흑명나방(*Cnaphalocrocis medinalis*) 유충에 대해 살충력을 나타낸다. 해충저항성 Bt-9 벼에서의 cry1Ac1 단백질 발현량을 ELISA (enzyme-linked immunosorbent assay)를 분석한 결과  $4.3 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$  수준의 단백질이 발현되었으며 일미벼에서는 검출되지 않았다(Oh et al., 2019). 또한, 흑명나방 유충의 벼잎 섭식실험 결과 대조구인 동진벼가 90% 이상의 피해 면적을 받은 것에 비해 해충저항성 Bt-9 벼의 피해 면적은 10%로 효과적인 해충저항성을 나타내었다(Lim, 2018).

실험을 위해 해충저항성 Bt-9 벼(2016년 T5세대, 2017년 T6세대)와 모품종인 일미벼 및 동진벼를 경북대학교 군위 LMO 격리포장(경북 군위군, RDA-가A-2015-049)과 국립농업과학원 전주 LMO 격리포장(전북 전주시, RDA-가AB-2013-041)에서 2016년과 2017년에 재배하였다. 전주 LMO 격리포장에서는 구당 1주 3본, 15 cm × 30 cm 간격 약 500주를, 군위 LMO 격리포장에서는 구당 1주 3본, 15 cm × 30 cm 간격 약 400주를 각각 3반복 배치하였다. 벼의 재배 방법은 농촌진흥청의 시험 표준재배법을 기준으로 하였으며, 군위 LMO 격리포장은 공시계통인 해충저항성 Bt벼와 동진벼 및 일미벼 종자를 육묘용 플러그 트레이(50공)에 2016년에는 5월 9일에 파종한 후, 6월 10일에 LMO 격리포장에 정식하였고, 2017년에는 5월 3일에 파종한 후 6월 3일에 LMO 격리포장에 정식하였다. 전주 LMO 격리포장은 2016년도에는 5월 9일에 파종한 후 6월 7일에 LMO 격리포장에 정식하였고, 2017년에는 5월 10일에 파종한 후 6월 12일에 LMO 격리포장에 정식하였다.

곤충 조사는 해충저항성 Bt-9벼와 일미벼 및 동진벼를 대상으로 2개 지역에서 이앙 약 한 달 후 생육 초(군위 2016년 7월 1일, 2017년 6월 30일; 전주 2016년 7월 7일, 2017년 7월 5일)부터 수확 직전(군위 2016년 10월 9일, 2017년 10월 7일; 전주 2016년 10월 10일, 2017년 10월 10일)까지 2주 간격으로 총 8회에 걸쳐 실시하였다. 채집은 각 품종별로 3반복 수행하였고, 조사자간의 편차를 최소화하고 채집 효율을 증대시키기 위해 미소곤충이 포집될 수 있는 채집망이 부착된 지름 9인치 엔진식 흡충기(Agricultural Backpack 2-Cycle Aspirator, M1612, John W. Hock Company, Gainesville, USA)로 왕복 이동하며 곤충을 흡충하였다. 이 때 흡충은 각 실험구의 1반복당 벼 250주씩 상하단 부위를 훑는 식으로 수행하였고, 채집된 곤충은 지퍼팩에 담아 에틸아세테이트(ethylacetate)로 살충하였다.

해충조사는 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼 및 동진벼 간의 표적 해충을 제외한 해충과 천적 및 기타 곤충을 대상으로 기능군별 발생양상을 분석하였다. 채집된 곤충은 기능별로 해충군, 천적군(거미 포함), 기타 곤충군으로 구분하였는데, 해충군은 벼 해충으로 알려진 벼멸구와 흰등멸구, 애멸구, 매미충류, 노린재류 및 나방류 등을 분류 선정하였으며, 해충저항성 Bt-9 벼의 표적해충인 흑명나방과 또 발생에 영향을 준다고 알려진 이화명나방은 제외하고 계수하였다. 또한 포식 및 기생성 곤충과 거미를 포함하여 천적군으로 선정하였으며, 해충군과 천적군을 제외한 곤충들은 기타 곤충군으로 분류 선정하였다(Choi et al., 2015). 해충군은 종(species) 수준에서, 천적군과 기타 곤충군은 과(family) 수준에서 동정 계수하였다. 채집된 곤충의 조사 결과에 대한 통계 분석은 SPSS (23.0.0 for Windows, Rel.23.0, 2015., SPSS Inc., Chicago, USA)를 사용하여  $p < 0.05$  수준으로 ANOVA와 Duncan test로 평균간의 유의성 여부를 검정하였고, 채집된 곤충의 기능군별로 우점도 지수(dominance index, DI; McNaughton's dominance index) 및 다양도 지수(diversity index, HI; Shannon-Weaver diversity index), 균등도 지수(evenness index, EI; Pielou index), 풍부도 지수(richness index, RI; Margalef species richness index)를 계산하였다(Choi et al., 2015).

또한, 벼의 품종 및 재배 시기에 따른 곤충상 변화를 다양한 통계적 방법을 적용하여 비교분석하기 위하여 주성분 분석을 수행하고, 그 결과를 score plot 및 loading plot으로 나타냈다(SIMCA-P version 12.0; Umetrics, Umeå, Sweden).

## Results and Discussion

### 곤충류 발생현황

군위 LMO 격리포장과 전주 LMO 격리포장에서 2016년과 2017년 2년 동안 벼의 성장기에서 종자 수확 직전까지 약 100일간 해충저항성 Bt-9 벼와 모품종인 일미벼 및 재배품종인 동진벼를 재배한 포장에서 연도별로 총 8회에 걸쳐 채집된 곤충을 해충, 천적 및 기타 곤충의 기능군별 발생현황을 비교 분석하였다. 조사기간 11목 62과 40,817개체의 곤충류와 거미류가 채집되었으며, 기능군별로는 해충류 7목 19과 18,580개체, 천적류 7목 28과 8,860개체, 기타 곤충류 3목 15과 13,377개체가 채집되었다. 품종별로는 해충저항성 Bt-9 벼 재배지에서 13,982개체, 일미벼 재배지에서 14,105개체, 동진벼 재배지에서 12,730개체가 채집되었다. 지역별로 채집된 곤충은 군위 9,939개체, 전주 30,878개체로 전주가 월등히 높은 조사밀도를 보였다(Table 1).

해충류는 군위에서 2016년에 18과 1,766개체, 2017년에 15과 2,487개체가 조사되어 2017년에 다소 증가하였으나, 전주에서는 2016년에 14과 8,796개체, 2017년에 13과 5,531개체로 다소 감소하였다. 2016년에는 군위에서 멸구류(Delphacidae)의 발생밀도가 가장 높았으며, 전주는 매미충과(Cicadellidae)와 멸구과가 전체 밀도의 대부분을 차지하였다. 2017년 군위에서는 2016년과 달리 매미충과의 발생밀도가 증가하였고, 또한 총채벌레류(Thripidae)의 발생도 증가하였으나, 진딧물과(Aphididae)와 노랑굴파리과(Chloropidae)는 감소하였다. 2017년에 전주에서는 매미충과 멸구류의 발생밀도가 감소하였으며, 특히 멸구류의 밀도가 현저히 감소하였다. 또한, 군위에서와 같이 진딧물과 노랑굴파리류는 감소하였으나, 반면 잎벌레류(Chrysomelidae)의 발생은 증가하였다.

**Table 1.** Total sum number of common plant dwelling non-target insects and arachnids captured using vacuum suction at fields planted with three different genotypes of rices at Gunwi and Jeonju, Korea in 2016 and 2017. (continued)

Category	Order	Family	Gunwi 2016			Jeonju 2016			Gunwi 2017			Jeonju 2017			Number
			Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	
Insect pests	Orthoptera	Tettigoniidae	7	8	5	2	0	0	3	4	2	0	0	0	1
		Acrididae	0	1	1	0	0	0	1	3	6	0	0	0	2
	Thysanoptera	Thripidae	0	0	0	18	10	15	159	115	161	33	26	15	3
Hemiptera		Miridae	1	3	2	5	4	3	6	5	13	6	5	6	4
		Berytidae	0	0	1	0	0	5	1	0	0	6	7	10	5
		Lygaeidae	6	3	3	0	4	4	2	0	2	1	1	3	6
		Coreidae	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	7
		Alydidae	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	8
		Rhopalidae	0	2	0	0	0	0	1	2	2	3	3	1	9
		Cicadellidae	32	33	34	1,403	1,601	1,205	322	329	345	1,167	1200	1,080	10
Homoptera		Ricaniidae	1	0	0	0	0	2	0	0	0	2	2	1	11
		Derbidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
		Delphacidae	351	429	361	1,508	1,489	1,211	322	313	284	645	636	548	13
Coleoptera		Aphididae	39	42	51	32	72	116	0	0	0	0	0	0	14
		Chrysomelidae	1	2	1	0	1	0	9	12	5	49	29	27	15
Diptera		Curculionidae	12	11	12	0	0	1	13	14	8	0	0	1	16
		Chloropidae	100	92	108	22	26	20	0	0	0	0	0	0	17
Lepidoptera		Pyalidae	0	0	1	5	4	6	5	9	5	1	7	8	18
		Noctuidae	2	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	1	19
Subtotal			554	629	583	2,996	3,211	2,589	845	808	834	1,913	1,917	1701	-

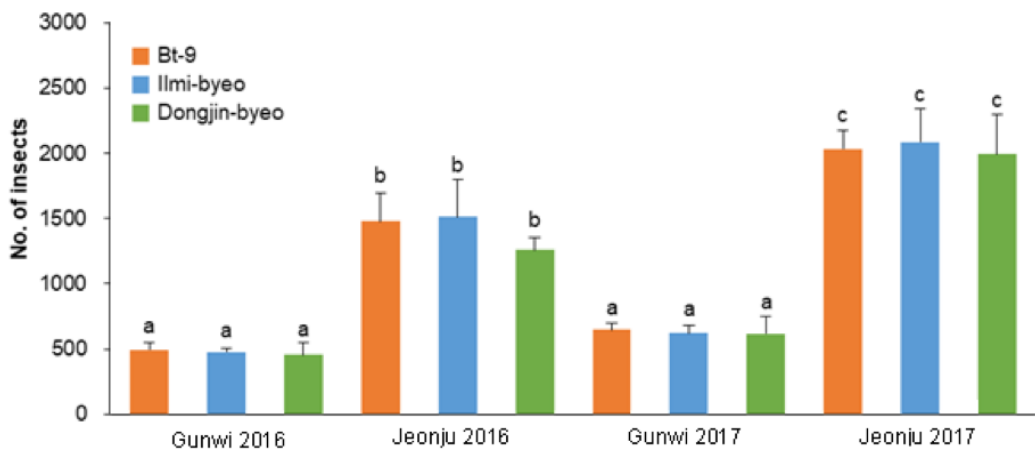
**Table 1.** Total sum number of common plant dwelling non-target insects and arachnids captured using vacuum suction at fields planted with three different genotypes of rices at Gunwi and Jeonju, Korea in 2016 and 2017.

Category	Order	Family	Gunwi 2016			Jeonju 2016			Gunwi 2017			Jeonju 2017			Number
			Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	
Natural enemies	Odonata	Coenagrionidae	14	6	13	53	40	62	4	6	7	26	29	22	20
		Libellulidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hemiptera	Saldidae	0	0	0	1	0	0	7	1	3	3	3	0	22
		Nabidae	3	3	2	3	7	1	0	0	0	0	0	0	23
		Anthocoridae	12	13	18	5	9	12	19	13	14	16	6	11	24
		Miridae	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	25
		Chrysopidae	0	1	0	16	10	27	3	1	2	7	1	5	26
	Neuroptera	Staphylinidae	16	17	14	29	18	15	3	6	2	6	13	13	27
		Coccinellidae	0	0	0	3	1	2	6	8	6	20	26	21	28
	Hymenoptera	Eulophidae	87	59	70	108	145	134	248	267	211	1,069	1,132	1,124	29
		Platygastridae	26	11	27	55	36	70	0	4	2	0	0	0	30
		Braconidae	26	28	27	63	73	121	79	62	71	131	182	125	31
		Ichneumonidae	32	31	21	41	44	29	4	4	4	12	33	27	32
		Drynidae	6	7	2	15	14	15	0	0	0	0	0	0	33
	Diptera	Pipunculidae	0	0	0	11	10	3	0	0	0	3	0	2	34
	Araneae	Pholcidae	87	109	91	46	56	53	47	70	76	97	66	75	35
		Theridiidae	4	5	1	24	23	19	2	8	3	1	2	3	36
		Linyphiidae	12	18	10	28	19	32	22	28	20	22	12	17	37
		Araneidae	0	2	0	17	15	12	4	4	2	3	4	7	38
		Tetragnathidae	6	8	4	12	10	7	1	4	1	0	0	2	39
Agelenidae		3	5	5	12	5	9	39	36	20	32	31	25	40	
Pisauridae		4	3	3	10	6	2	1	0	0	0	1	1	41	
Lycosidae		1	0	0	2	7	3	2	3	3	0	0	0	42	
Oxyopidae		0	0	1	6	3	1	12	21	4	21	12	12	43	
Clubionidae		0	0	0	0	3	2	1	0	0	0	0	2	44	
Thomisidae		0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	45	
Salticidae		3	1	3	1	0	0	31	16	36	8	9	7	46	
Ctenidae		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	47	
	Subtotal	342	327	312	562	559	632	535	562	488	1,477	1,563	1,501	-	
Other insects	Homoptera	Tingidae	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	48
		Coleoptera	Helodidae	10	5	1	12	10	5	24	22	15	17	14	20
	Diptera	Elateridae	4	3	3	1	1	3	6	3	5	129	151	77	50
		Chrysomelidae	60	62	86	12	11	6	22	11	17	153	231	196	51
		Curculionidae	1	1	2	1	0	0	28	28	20	2	2	0	52
		Culicidae	110	97	91	18	40	71	36	48	34	97	193	176	53
		Empididae	0	0	0	0	0	0	0	2	3	210	237	305	54
		Dolichopodidae	2	4	6	17	18	4	25	41	29	10	2	4	55
		Syrpidae	2	0	2	0	0	0	3	1	1	0	1	0	56
		Phoridae	21	16	18	22	10	17	0	0	0	0	0	0	57
		Sciomyzidae	18	14	12	105	115	99	5	9	7	19	33	34	58
		Sepsidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59
		Chloropidae	331	247	236	640	514	337	278	238	269	1,888	1,770	1,614	60
		Ephydriidae	24	24	15	51	48	13	140	94	124	200	156	112	61
Anthomyiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	62		
	Subtotal	585	473	472	879	767	555	568	498	524	2,726	2,791	2,539	-	
Total		1,481	1,429	1,367	4,437	4,537	3,776	1,948	1,868	1,846	6,116	6,271	5,741	-	

거미류(Araneae)를 포함한 천적류는 2016년 군위에서 20과 981개체가, 2017년에는 22과 1,585개체가 조사되었으며, 전주에서는 2016년에 27과 1,753개체가, 2017년에는 21과 4,541개체가 조사되어 두 지역 모두 2017년에 발생밀도가 증가하였다. 곤충천적류 중에서는 군위에서 2017년에 좀벌과(Eulophidae)와 고치벌과(Braconidae)의 발생이 증가한 반면, 반날개과(Staphylinidae)와 납작먹좀벌과(Platygastridae), 맵시벌과(Ichneumonidae)의 발생은 감소하였다. 전주에서는 좀벌과의 발생이 2017년에 매우 증가하였고, 무당벌레과(Coccinellidae)와 고치벌과의 발생 또한 증가하였으며, 반면 납작먹좀벌과의 발생이 매우 감소하였으며 풀잠자리과(Chrysopidae), 반날개과, 맵시벌과, 집게벌과(Drynidae)의 발생도 다소 감소한 경향을 보였다. 거미류에서는 2017년에 군위와 전주 모두 가계거미과(Agelenidae)와 스라소니거미과(Oxyopidae), 깡충거미과(Salticidae)가 증가하였고, 전주에서 꼬마거미과(Theridiidae)가 감소하였으며, 기타 거미류는 비슷한 발생양상을 나타내었다.

해충 및 천적을 제외한 기타 곤충류에서는 2016년에 군위에서 13과 1,530개체가, 2017년에 12과 1,590개체가 조사되어 비슷한 발생량을 보였다. 반면, 전주에서는 2016년에 10과 2,201개체가, 2017년에 13과 8,056개체가 조사되어 2017년에 높은 발생밀도를 보였다. 군위에서 2017년에 물가파리과(Ephydriidae)의 발생량이 매우 높았으며 그 밖에도 바구미과(Curculionidae)와 장다리파리과(Dolichopodidae)의 발생량도 증가하였다. 전주에서는 노랑굴파리과의 발생밀도가 기타곤충류의 대부분을 차지할 만큼 매우 밀도가 높았으며, 이외에도 방아벌레과(Elateridae)와 잎벌레과, 모기과(Culicidae), 춤파리과(Empididae), 물가파리과의 발생도 매우 높았다. 이와 같이 군위와 전주 두 지역 모두 2017년이 2016년보다 천적 및 기타 곤충류의 발생량이 증가하였으며, 해충 발생량에서는 군위에서는 증가하였으나 전주에서는 다소 감소하였고, 곤충 종류에 따라 발생량의 차이가 나타나기도 하였다.

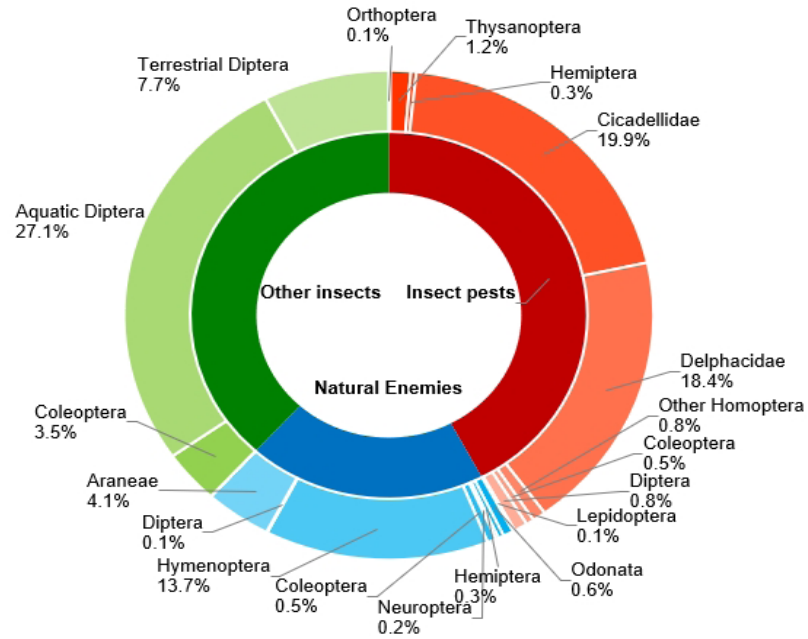
또한, 지역 및 연차간 품종별 비표적 곤충류 발생현황을 분석한 결과, 연도별로는 2016년 군위에서는 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼, 동진벼가 1,481개체, 1,429개체, 1,367개체가 조사되었으며, 2017년에는 1,948개체, 1,868개체, 1,846개체가 조사되어 연차간 큰 차이는 없는 것으로 나왔다. 반면 전주에서는 2016년에 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼, 동진벼가 4,437개체, 4,537개체, 3,776개체가 발생하였으며, 2017년에는 6,116개체, 6,271개체, 5,741개체가 발생하여 2016년에 비해 개체발생량이 현저히 높아진 것으로 나타났다. 지역별로는 조사기간 동안 전주지역에서 해충을 비롯한 전반적인 개체군밀도가 군위지역보다 더 높게 나타났다. 따라서 지역간 및 연차간 발생량의 차이는 있었지만, 품종별로 통계적 유의차는 나타나지 않았다(Table 1; Fig. 1).



**Fig. 1.** Average population densities in common plant dwelling non-target insects and arachnid captured using vacuum suction at fields planted with three different genotypes of rices at Gunwi and Jeonju, Korea in 2016 and 2017. The results shown are the mean  $\pm$  SD, n = 3 replicates for each group. Bt-9: insect-resistant genetically engineered rice. a - c: Duncan's Multiple Range Test at  $p < 0.05$ .

## 기능군별 발생현황

조사기간 동안 두 지역에서 채집된 곤충들을 기능군으로 구분하여 분석한 결과, 해충류가 42.2%, 천적류 19.5%, 기타곤충이 38.3%로, 해충의 발생밀도가 가장 높았다. 해충군에서는 매미충과(Cicadellidae)와 멸구과(Delphacidae)의 발생량이 높았고, 천적군은 좀벌(Eulophidae)과 고치벌(Braconidae) 등의 기생성 곤충류가 우점하였으며, 유령 거미과(Pholcidae), 접시거미과(Linyphiidae), 가게거미과(Agelenaidae) 등의 거미류(Araneae) 또한 높은 발생량을 보였다. 기타 곤충군에서는 수서파리류인 모기과(Culicidae)와 물가파리과(Ephydriidae), 육서파리류인 노랑굴파리과(Chloropidae) 등 파리목이 대부분을 차지하였다(Fig. 2).



**Fig. 2.** Occurrences of common plant dwelling non-target insects and arachnids captured using vacuum suction on three different genotypes of rices at Gunwi and Jeonju, Korea in 2016 and 2017.

전체 개체군 중 해충군은 멸구류와 매미충류, 노린재류(Hemiptera), 딱정벌레류(Coleoptera) 등을 포함하여 총 7목 19과의 곤충류가 발생하였다(Table 1 and 2). 2016년 군위에서는 총 6목 18과의 해충이 조사되었으며, 이들 중 멸구류가 약 64.6%로 우점하였고, 매미충류를 포함한 멸구매미충류는 전체의 약 70.2%를 차지하였다. 다음으로 파리류(Diptera) 16.9%, 딱정벌레류 2.2%, 노린재류 1.3%, 메뚜기류(acrididae)가 1.2%를 차지하였다. 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼, 동진벼에서 해충 발생 양상은 유사하였으며, 개체군밀도에서도 뚜렷한 통계적 유의차는 보이지 않았다. 2016년 전주에서는 총 7목 14과의 해충이 조사되었으며, 이들 중 멸구류와 매미충류가 각각 47.8%로 총 95.6%로 가장 우점하였으며, 다음으로 파리류 0.7%, 총채벌레류 0.4%, 노린재류 0.3% 순이었다. 전주에서는 군위에서와 달리 매미충류의 발생량이 현저히 높았으며, 다른 해충의 발생은 상대적으로 매우 낮았다. 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼, 동진벼에서의 해충 발생양상은 유사한 경향을 보였으며, 개체군밀도는 매미충류에서 일미벼에서 다소 밀도가 높아 해충저항성 Bt-9 벼와 유의적 차이를 보였으나, 해충저항성 Bt-9 벼와 동진벼는 통계적 유의성이 없었다. 그러나 멸구류 등 이외의 대부분의 해충에서는 통계적 유의성을 보이지 않아 해충저항성 Bt-9 벼가 일미벼 및 동진벼의 해충 발생에는 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 2017년 군위에서는 총 6목 15과의 해충이 조사되었

으며, 이들 중 매미충류가 40.0%로 가장 우점하였으며, 멸구류를 포함한 멸구매미충류는 76.9%를 차지하였다. 또한, 총채벌레류는 17.4%, 딱정벌레류 2.4%, 노린재류 1.4% 순으로 차지하였다. 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼 및 동진벼의 해충 발생양상은 2016년과 같이 유사하였으며, 개체군밀도에서도 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 2017년 전주에서는 총 5목 13과의 해충이 조사되었으며, 이들 중 매미충류가 62.3%로 가장 우점하였으며, 멸구류를 포함해 총 95.3%로 해충의 대부분을 차지하였다. 또한, 딱정벌레류 1.9%, 총채벌레류 1.3% 등 다른 해충의 발생은 상대적으로 매우 낮았다. 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼 및 동진벼에서 해충 발생양상은 유사하였으며, 개체군밀도는 노린재류에서 해충저항성 Bt-9 벼와 동진벼가 통계적 유의성이 있었지만, 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼에서는 통계적 유의성이 없었다. 그러나 이외의 해충에서는 통계적 유의성이 나타나지 않았다(Table 2). 따라서 해충저항성 Bt-9 벼와 non-GM벼인 일미벼 및 동진벼에서 해충 발생 정도는 조사연도 및 지역 간에서 차이가 나타났으나, 동일 조사연도 및 지역 내에서는 유사한 경향을 보였으며, 해충저항성 Bt-9 벼가 해충 발생에 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

조사기간 동안 천적군은 좀벌, 고치벌 등 기생성 천적곤충류와 꽃노린재(Anthoridae), 무당벌레, 풀잠자리와 같은 포식성 천적곤충류 및 거미류를 포함해 총 7목 28과가 조사되었다(Table 1 and 3). 2016년 군위에서는 총 5목 20과의 천적곤충류와 거미류가 조사되었으며, 이들 중 벌목 곤충류가 46.8%로 가장 우점하였으며, 거미류가 39.6%, 노린재류 5.1%, 딱정벌레류 4.7%, 잠자리류(Odonata) 3.3% 순으로 나타났다. 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼 및 동진벼에서 천적류 발생양상은 유사하였으며, 개체군밀도에서도 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 전주에서는 총 7목 27과의 천적곤충 및 거미류가 조사되었으며, 이들 중 벌목 곤충류가 54.9%로 가장 우점하였으며, 거미류 25.6%, 잠자리류 8.8%, 딱정벌레류 3.8%, 풀잠자리류 3.0% 순으로 나타났다. 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼, 동진벼에서 천적류 발생양상은 유사하였으며, 개체군밀도는 풀잠자리류와 파리류에서 해충저항성 Bt-9 벼와 동진벼간 통계적 유의성이 나타났지만, 이는 적은 개체수로 인해 약간의 차이에도 유의성이 나타나는 것으로 판단되며, 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼간 통계적 유의성은 없는 점, 나머지 천적곤충류 및 거미류에서의 통계적 유의성 또한 없는 점으로 미루어 보아 해충저항성 Bt-9 벼가 천적류 발생에 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 2017년 군위에서는 총 6목 22과의 천적곤충류 및 거미류가 조사되었으며, 이들 중 벌목 곤충류가 60.3%로 우점하였으며, 거미류 32.6%, 노린재류 3.5%, 딱정벌레류 1.9% 순으로 나타났다. 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼 및 동진벼에서 천적류 발생양상은 유사하였으며, 개체군밀도에서도 뚜렷한 통계적 유의성은 보이지 않았다(Table 3). 따라서 해충저항성 Bt-9 벼와 non-GM벼인 일미벼 및 동진벼에서 천적류 발생은 조사연도 및 지역 간에서 차이가 나타났으나, 동일 조사연도 및 지역 내에서는 유사한 경향을 보였으며, 해충저항성 Bt-9 벼가 천적류에 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

조사기간 동안 해충과 천적군을 제외한 기타 곤충군은 물가파리류, 모기류, 잎벌레류를 포함해 총 3목 15과가 조사되었다(Table 1 and 4). 2016년 군위에서는 총 3목 13과의 곤충류가 조사되었으며, 이들 중 노랑굴파리, 벼룩파리 등 육서파리류가 56.8%로 가장 우점하였으며, 물가파리, 모기 등 수서파리류 27.2%를 포함해 총 84.0%의 파리목 곤충류가 차지하였다. 잎벌레류, 알꽃벼룩(Helodidae) 등 딱정벌레류는 15.7%를 차지하였다. 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼, 동진벼에서 해충 및 천적을 제외한 기타곤충류 발생양상은 유사하였으며, 개체군 밀도에서도 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 전주에서는 총 2목 10과의 곤충류가 조사되었으며, 이들 중 육서파리류가 69.2%로 가장 우점하였으며, 수서파리류 28.0%를 포함해 파리목 곤충류가 97.2%로 대부분을 차지하였고, 딱정벌레류가 2.8%로 나타났다. 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼, 동진벼에서 해충 및 천적을 제외한 기타곤충류 발생양상은 유사하였으며, 개체군밀도에서도 뚜렷한 통계적 유의성은 보이지 않았다. 2017년 군위에서는 총 3목 12과의 곤충류가 조사되었으며, 이들 중 육서파리류가 49.6%로 가장 우점하였으며, 수서파리류 37.5%를 포함한 87.1%의 파리목 곤충류가 기타곤충류의 대부분을 차지하였고, 딱정벌레류가 12.5%로 나타났다. 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼, 동진벼에서는 기타곤충류 발



생양상은 유사하였으며, 개체군밀도에서도 뚜렷한 통계적 유의성은 없었다. 전주에서는 총 3목 13과의 곤충류가 조사되었으며, 이들 중 육서파리류가 65.2%로 가장 우점하였으며, 수서파리류 21.9%를 포함해 총 87.1%의 파리목 곤충류가 조사되었고, 딱정벌레류가 12.7%로 나타났다. 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼, 동진벼에서 기타곤충류 발생양상은 유사하였으나, 딱정벌레류의 발생밀도에서는 품종 간에서 다소 통계적 유의성이 나타났다. 그러나 그 이외의 곤충류에서는 통계적 차이를 보이지 않았다(Table 4). 따라서 해충저항성 Bt-9벼와 non-GM벼인 일미벼 및 동진벼에서 기타곤충류의 발생은 조사연도 및 지역 간에서 통계적 차이를 보였으나, 동일 조사연도 및 지역 내에서는 유사한 경향을 보였으며, 해충저항성 Bt-9 벼가 기타곤충류 발생에 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

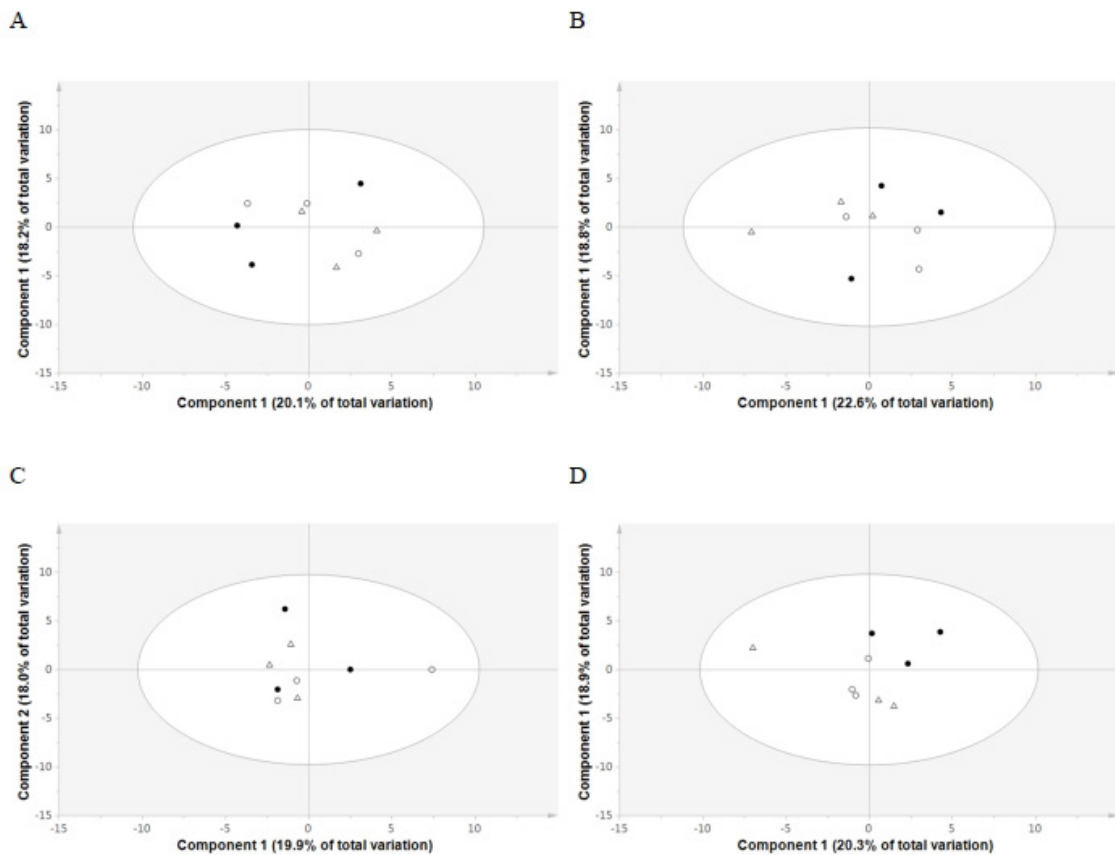
2016년과 2017년에 군위와 전주의 해충저항성 Bt-9 벼와 일미벼 및 동진벼의 재배지에서 채집된 곤충상의 군집의 종다양성을 분석한 결과, 전체 채집된 곤충에서 우점도 지수(DI)는 군위에서 0.26 - 0.32, 전주에서 0.44 - 0.55로 전주가 군위보다 약 1.7배로 높았다. 지역간 우점도 지수는 전주에서 높아 통계적 차이를 보였으며, 품종간에는 전주의 2016년 동진벼에서 다소 차이를 보였으나 그 이외에는 특별한 통계적 유의성을 나타내지는 않았다. 다양도 지수(H')는 군위에서 2.76 - 2.91, 전주에서 2.28 - 2.53로 군위에서 다소 높아 통계적인 차이를 보였으나 품종간에는 뚜렷한 유의성이 없었다. 균등도 지수(EI)는 군위에서 0.75 - 0.79, 전주에서 0.60 - 0.67로 분석되어 전주에 비해 군위에서 대체적으로 더 다양한 종들이 채집되었으며, 두 지역 모두 품종간에는 특별한 통계적 차이를 보이지 않았다. 종풍부도 지수(RI)는 군위와 전주 두 지역 모두 2016년에 비해 2017년의 종풍부도가 낮아진 것을 보였다. 또한, 전주보다 군위의 종 풍부도가 좀 더 높았고, 품종별로는 동진벼, 일미벼, 해충저항성 Bt-9 벼 순으로 풍부도가 높았으나 통계적인 유의성은 보이지 않았다(Table 5). 따라서 지역과 연도간에는 종 다양성의 차이를 보였으나, 동일 조사연도 및 지역 내에서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, 해충저항성 Bt-9 벼가 재배지 내의 곤충 종다양성에 특별한 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

## 주성분분석

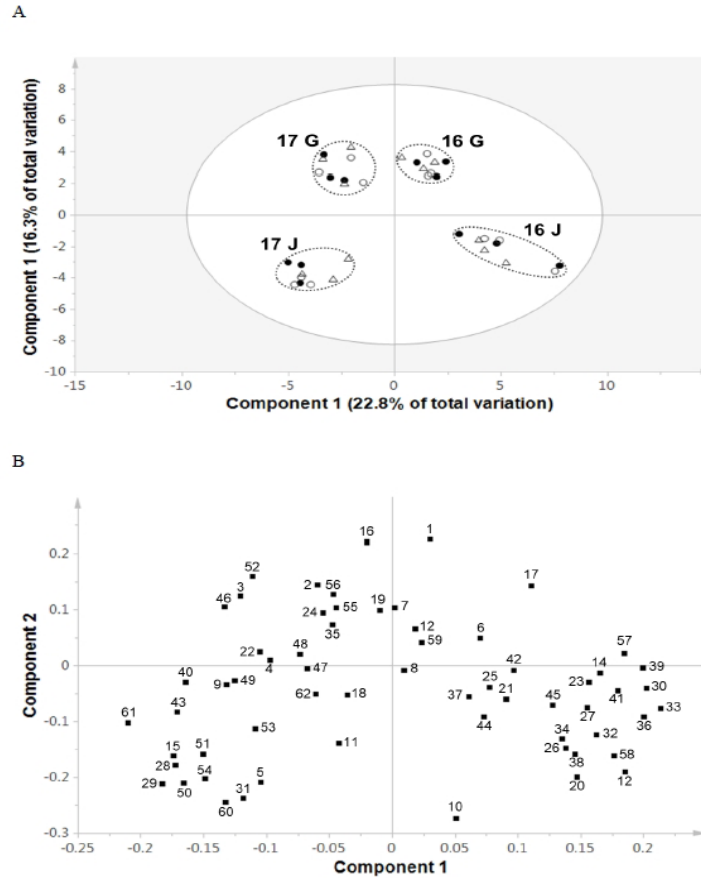
유전자재조합을 포함하여 유전형질이 다른 벼의 재배시 곤충 발생에 차이가 나타나는지를 통계적으로 분석하기 위하여 본 연구를 통해 얻은 곤충상 데이터를 이용하여 주성분분석을 수행한 결과, 해충저항성 Bt-9 벼를 재배하였을 때 발생하는 곤충상은 모품종 일미벼와 재배품종 동진벼와 차이가 없었다(Fig. 3). 이러한 결과는 벼의 재배 연도 및 지역에 관계없이 모두 동일하였다(Fig. 3A - 3D). GM작물의 환경위해성 평가 측면에서, GM벼의 재배가 곤충상에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 여러 자연환경 조건에서의 곤충상 변화를 분석하는 것이 데이터의 신뢰성을 높일 수 있기에 다지역 및 다년차 곤충상 데이터를 확보하는 것은 매우 중요하다. 보다 많은 곤충상 데이터 분석을 위해, 본 연구결과(2016년 전주, 2017년 군위와 전주)와 기 발표한 결과(2016년 군위; Oh et al., 2018b)를 종합하여 통계분석을 하였다(Fig. 4A). 두 연구는 포장 조건 및 관리 등이 동일하게 수행되었으며, Oh et al. (2018b)은 곤충상 데이터에 대해 주성분분석을 하지 않았다. 종합한 곤충상 데이터를 주성분분석한 결과, 재배 지역 및 연도에 따라 곤충상이 확연하게 4개의 그룹으로 구분이 되었다. 제 1 주성분에 의해 2016년과 2017년의 곤충상이 구별이 되었고, 제 2 주성분에 의해 재배 지역인 군위와 전주의 곤충상이 구분이 되었다. 하지만, 각 그룹 내에서 해충저항성 Bt-9 벼 및 일미벼, 동진벼는 혼재되어 있어 곤충상의 차이가 없음을 보였다. 벼가 재배된 자연환경에 따라 곤충상이 4개 그룹으로 구분되는데 영향을 미친 곤충이 무엇인지를 확인하기 위하여 주성분분석의 loading plot을 확인한 결과, 각각의 자연환경에 특이적으로 발생의 변화를 보인 곤충군은 없었다(Fig. 4B). 즉, 해충군 및 천적곤충군, 기타 곤충군 등에 구분이 없이 다양한 곤충이 자연환경별로 4개의 그룹으로 구분되는데 역할을 하였다. 자세히 살펴보면, 2017년 군위 재배 시에는 해충군인 Thripidae (3)와 천적곤충군인 Salticidae (46), 기타 곤충군인 Curculionidae (52)의 발생이 타

자연환경에 비해 많았고, 같은 해 전주에서는 천적곤충군인 Eulophidae (29)와 기타 곤충군인 Elateridae (50)의 발생이 많았다. 또한, 2016년에는 군위에서 재배하였을 때는 해충군인 Chloropidae (17)의 발생이 많았던 반면 전주에서는 해충군인 Delphacidae (13)와 천적곤충군인 Coenagrionidae (20), 기타 곤충군인 Sciomyziade (58)의 발생이 비교적 많았다.

GM벼 재배 시에 지역이나 연도에 따라 곤충상의 변이에 특이 사항이 발생하는지 확인하기 위해, 동일 재배연도에서 지역간 곤충상 변이를 확인한 결과, 2016년에는 전주에서는 매미충과 및 멸구류가 전체 밀도의 대부분을 차지하였으며, 군위는 멸구류의 발생밀도가 가장 높았다. 2017년에 전주에서는 매미충과 멸구류의 발생밀도가 감소하였으며, 특히 멸구류의 밀도가 현저히 감소하였으며, 군위는 매미충과 및 총채벌레류의 발생이 증가하였으나, 진딧물과와 노랑굴파리과의 발생은 감소하였다. 2016년에는 전주에서 곤충상 변이가 군위보다 큰 반면 2017년에는 군위에서 곤충상 변이가 비교적 더 크게 나타났다. 동일 재배 지역을 기준으로 비교했을 때 군위에서는 2016년에 비해 2017년이, 전주에서는 2017년에 비해 2016년이 곤충상의 변이가 컸다(Fig. 4A). 본 연구의 주성분분석 결과들을 종합해 보면, *mCry1Ac1* 유전자를 도입하여 개발한 해충저항성 Bt-9 벼는 그 모본 및 다른 재배 품종과 비교하여 재배지 내의 곤충상 변화에 영향을 미치지 않으며, 곤충상의 변화 및 변이 정도는 오히려 자연환경, 즉 재배 지역 또는 연도에 의해 영향을 크게 받음을 통계적으로 확인할 수 있었다.



**Fig. 3.** Score plots of principal components 1 and 2 of the PCA results obtained from data on 62 insects collected at fields planted with three different genotypes of rice plants in two years, 2016 (A, B) and 2017 (C, D) at two different regions, Gunwi (A, C) and Jeonju (B, D). ●, insect-resistance transgenic rice (Bt-9); ○, parent cultivar (Ilmi-byeo); Δ, commercial rice cultivar (Dongjin-byeo).



**Fig. 4.** (A) Score and (B) loading plots of principal components 1 and 2 of the PCA results obtained from data on 62 insects collected at fields planted with three different genotypes of rice plants in two years, 2016 (16) and 2017 (17) at two different regions, Gunwi (G) and Jeonju (J). The numbers of the loading plots represent the same compounds as for Table 1. ●, insect-resistance transgenic rice (Bt-9); ○, parent cultivar (Ilmi-byeo); △, commercial rice cultivar (Dongjin-byeo).

## Conclusion

본 연구에서는 거미류를 포함한 곤충류의 다양도 및 풍부도에 대해 해충저항성 Bt-9벼의 영향을 포장 재배 조건 하에 시험하였다. 토양 세균인 *Bacillus thuringiensis*의 내독소 단백질 유전자(*mCry1Ac1*)를 발현하는 해충저항성 Bt-9 벼는 흑명나방(*Cnaphalocrocis medinalis*)과 제초제 글루포시네이트(PPT)에 대한 내성을 보인다. 2016년과 2017년 2년간 경북대학교 군위 LMO 격리포장과 국립농업과학원 전주 LMO 격리포장에서 해충저항성 Bt-9 벼와 non-GM벼인 일미벼와 동진벼를 비교하였다. 조사기간 총 11목 62과 40,817개체의 곤충류 및 거미류가 채집되었다. 품종별로는 Bt-9 재배지에서 13,982개체, 일미벼 재배지에서 14,105개체, 동진벼 재배지에서 12,730개체가 조사되었다. 연구 전반에 걸쳐 곤충상의 변이에 대해 유의한 차이는 나타나지 않았다( $p < 0.05$ ). 다변량 분석은 조사된 곤충의 풍부도 및 다양도가 유사하다는 것을 보여주었다. 본 연구를 통해 얻은 곤충상 데이터를 이용하여 주성분분석(PCA)을 수행한 결과, 해충저항성 Bt-9 벼와 두 non-GM벼 간의 곤충상 차이가 없으며, 조사연도와 조사지를 기준으로 4그룹으로 완전히 나뉘어지는 것을 볼 때, 해충저항성 Bt-9 벼가 재배지의 곤충상 변화에 영향을 미치지 않는 것으로 확인할 수 있었다.

**Table 2.** Average population densities of non-target insect pests in common plant dwelling non-target insect groups and arachnid captured using vacuum suction at fields planted with three different genotypes of rice at Gunwi and Jeonju, Korea in 2016 and 2017.

Category	Gunwi 2016			Jeonju 2016			Gunwi 2017			Jeonju 2017		
	Bt-9 <sup>z</sup>	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo
Orthoptera	2.3 ± 1.2bc	3.0 ± 1.7c	2.0 ± 1.0bc	0.7 ± 1.2ab	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	1.3 ± 0.6abc	2.3 ± 2.1bc	2.7 ± 2.1bc	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a
Thysanoptera	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	6.0 ± 2.0a	3.3 ± 1.5a	5.0 ± 2.6a	53.0 ± 16.7c	38.3 ± 11.0b	53.7 ± 17.0c	11.0 ± 3.6a	8.7 ± 3.1a	4.7 ± 4.2a
Hemiptera	3.0 ± 1.0abc	2.7 ± 1.2abc	2.3 ± 2.1ab	2.0 ± 1.0a	2.7 ± 1.5abc	4.3 ± 3.2abc	3.7 ± 0.6abc	2.3 ± 0.6ab	6.0 ± 2.0cd	5.3 ± 1.2abc	5.7 ± 2.1bcd	8.7 ± 2.3d
Homoptera												
Cicadellidae	10.7 ± 5.0a	11.0 ± 3.5a	11.3 ± 5.9a	46.7 ± 13.08b	53.7 ± 10.67c	40.1 ± 11.89b	107.3 ± 14.6a	109.7 ± 11.9a	115.0 ± 30.5a	389.0 ± 24.3b	400.0 ± 55.1b	390.3 ± 98.7b
Delphacidae	11.70 ± 6.6abc	14.30 ± 14.7abc	12.03 ± 5.1abc	50.27 ± 13.65d	49.63 ± 10.96d	40.87 ± 52.3d	107.3 ± 8.4ab	104.3 ± 20.3ab	94.7 ± 21.1a	215.0 ± 40.6c	212.0 ± 28.4bc	215.3 ± 13.8c
Other												
Homoptera	13.3 ± 4.7a	14.3 ± 4.5a	17.0 ± 2.6a	10.7 ± 10.0a	24.0 ± 20.0ab	39.3 ± 36.1b	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.7 ± 0.6a	0.7 ± 0.6a	0.7 ± 0.6a
Coleoptera	4.3 ± 4.2ab	4.3 ± 3.1ab	4.3 ± 4.2ab	0.0 ± 0.0a	0.3 ± 0.6a	0.3 ± 0.6a	7.3 ± 1.5ab	8.7 ± 4.5abc	4.3 ± 2.5ab	16.3 ± 7.5c	9.7 ± 6.7bc	12.3 ± 9.1bc
Diptera	33.3 ± 11.5b	30.7 ± 8.5b	36.0 ± 20.1b	7.3 ± 1.5a	8.7 ± 4.0a	6.7 ± 4.5a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a
Lepidoptera	0.7 ± 1.2a	0.7 ± 0.6a	1.0 ± 0.0a	1.7 ± 1.5a	1.3 ± 0.6a	2.0 ± 1.0a	1.7 ± 1.5a	3.7 ± 3.8a	1.7 ± 2.9a	0.3 ± 0.6a	2.3 ± 1.5a	1.3 ± 1.5a
Total	184.7 ± 39.0a	209.7 ± 26.8a	194.3 ± 53.7a	998.7 ± 199.8cd	1070.3 ± 136.6d	863.0 ± 85.3c	281.7 ± 33.2a	269.3 ± 24.0a	278.0 ± 59.6a	637.7 ± 24.4b	639.0 ± 75.3b	633.3 ± 89.5b

<sup>z</sup> Insect-resistant genetically engineered rice.

a - d: The results shown are the mean ± SD, n = 3 replicates for each row group, and Duncan's multiple range test at p < 0.05 within three different genotypes.

**Table 3.** Average population densities of natural enemies in common plant dwelling non-target insect groups and arachnid captured using vacuum suction at fields planted with three different genotypes of rice at Gunwi and Jeonju, Korea in 2016 and 2017.

Category	Gunwi 2016			Jeonju 2016			Gunwi 2017			Jeonju 2017		
	Bt-9 <sup>z</sup>	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo
Odonata	4.7 ± 1.2abc	2.0 ± 0.0ab	4.3 ± 1.5abc	17.7 ± 6.4ef	13.7 ± 6.5de	20.7 ± 6.1f	1.3 ± 1.2a	2.0 ± 1.7ab	2.3 ± 2.5ab	8.7 ± 3.1bcd	9.7 ± 1.2cd	6.3 ± 2.1abc
Hemiptera	5.0 ± 2.0abc	5.3 ± 1.5bc	6.7 ± 4.7bc	3.0 ± 0.0ab	5.7 ± 4.7bc	4.7 ± 3.2ab	8.7 ± 2.3c	4.7 ± 3.5abc	5.7 ± 2.5bc	6.3 ± 3.8a	3.0 ± 3.0a	3.7 ± 4.7a
Neuroptera	0.0 ± 0.0a	0.3 ± 0.6a	0.0 ± 0.0a	5.3 ± 1.5b	3.3 ± 2.5ab	9.0 ± 5.6c	1.0 ± 1.0a	0.3 ± 0.6a	0.7 ± 0.6a	2.3 ± 2.5ab	0.3 ± 0.6a	2.7 ± 1.5ab
Coleoptera	5.3 ± 1.5ab	5.7 ± 2.5ab	4.7 ± 3.2ab	10.7 ± 5.0bc	6.3 ± 4.5abc	5.7 ± 1.5ab	3.0 ± 1.0a	4.7 ± 0.6ab	2.7 ± 1.5a	8.7 ± 4.2abc	1.30 ± 8.5c	10.3 ± 2.1bc
Hymenoptera	9.90 ± 17.0abc	4.53 ± 5.5a	4.90 ± 10.4ab	9.40 ± 23.3abcd	10.40 ± 38.1abcd	12.30 ± 7.9d	110.3 ± 33.6bcd	112.3 ± 10.7cd	9.60 ± 43.6abcd	40.40 ± 61.5ef	4.49 ± 26.5f	38.13 ± 52.7e
Diptera	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	3.7 ± 2.5c	3.3 ± 3.5bc	1.0 ± 1.7ab	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	1.0 ± 1.7ab	0.0 ± 0.0a	0.3 ± 0.6a
Araneae	4.00 ± 13.5a	5.03 ± 10.0ab	3.93 ± 2.5a	5.30 ± 15.1ab	5.00 ± 16.1ab	4.67 ± 14.8ab	5.40 ± 7.0ab	6.33 ± 2.3b	5.53 ± 14.7ab	6.13 ± 7.5ab	4.60 ± 9.2ab	4.87 ± 11.5ab
Total	11.40 ± 27.9a	10.90 ± 11.3a	10.40 ± 13.7a	187.3 ± 16.8b	186.3 ± 53.0b	210.7 ± 7.6b	178.3 ± 28.7b	187.3 ± 11.5b	162.7 ± 56.4b	485.0 ± 50.5cd	518.0 ± 19.5d	444.7 ± 47.4c

<sup>z</sup> Insect-resistant genetically engineered rice.

a - f: The results shown are the mean ± SD, n = 3 replicates for each row group, and Duncan's multiple range test at p < 0.05 within three different genotypes.

**Table 4.** Analysis of insect diversity in common plant dwelling non-target insect groups and arachnid captured using vacuum suction at fields planted with three different genotypes of rice at Gunwi and Jeonju, Korea in 2016 and 2017.

Category	Gunwi 2016			Jeonju 2016			Gunwi 2017			Jeonju 2017		
	Bt-9 <sup>z</sup>	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo
Homoptera	0.3 ± 0.6a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.3 ± 0.6a	0.3 ± 0.6a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.3 ± 0.6a	0.3 ± 0.6a
Coleoptera	25.0 ± 2.6ab	23.7 ± 11.6ab	30.7 ± 11.0b	8.7 ± 4.7ab	7.3 ± 4.0ab	4.7 ± 1.2a	26.7 ± 5.7ab	21.3 ± 8.1ab	19.0 ± 7.9ab	100.3 ± 10.2c	132.7 ± 22.7d	118.3 ± 26.5cd
Diptera												
Aquatic Diptera	51.3 ± 27.5a	46.3 ± 20.8a	41.3 ± 8.3a	63.7 ± 22.7a	73.7 ± 7.0a	62.3 ± 11.2a	68.7 ± 6.7a	64.7 ± 16.0a	65.7 ± 13.6a	178.7 ± 29.6b	207.0 ± 37.2b	219.3 ± 50.8b
Terrestrial Diptera	118.3 ± 36.5ab	87.7 ± 23.0ab	85.3 ± 20.3ab	20.7 ± 30.0b	174.7 ± 95.9ab	118.0 ± 38.6ab	93.7 ± 10.7ab	79.7 ± 15.4a	90.0 ± 3.5ab	629.7 ± 106.0c	590.3 ± 137.7c	579.3 ± 131.6c
Total	195.0 ± 15.5a	157.7 ± 29.3a	157.3 ± 25.5a	293.0 ± 4.6a	255.7 ± 100.6a	185.0 ± 34.8a	189.3 ± 6.5a	166.0 ± 30.0a	174.7 ± 16.1a	908.7 ± 81.9b	930.3 ± 157.2b	917.0 ± 172.3b

<sup>z</sup> Insect-resistant genetically engineered rice.

a - d: The results shown are the mean ± SD, n = 3 replicates for each row group, and Duncan's Multiple Range Test at p&lt;0.05 within three different genotypes.

**Table 5.** Analysis of insect diversity in common plant dwelling non-target insect groups and arachnid captured using vacuum suction at fields planted with three different genotypes of rice at Gunwi and Jeonju, Korea in 2016 and 2017.

Category	Gunwi 2016			Jeonju 2016			Gunwi 2017			Jeonju 2017		
	Bt-9 <sup>z</sup>	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo	Bt-9	Ilmi-byeo	Dongjin-byeo
Dominance (DI)	0.29 ± 0.01a	0.29 ± 0.04a	0.26 ± 0.00a	0.52 ± 0.05cd	0.55 ± 0.05d	0.44 ± 0.10b	0.30 ± 0.01a	0.32 ± 0.03a	0.30 ± 0.04a	0.48 ± 0.04bcd	0.46 ± 0.04bc	0.45 ± 0.02bc
Diversity (H')	2.90 ± 0.04c	2.88 ± 0.02c	2.91 ± 0.14c	2.36 ± 0.15ab	2.28 ± 0.13a	2.53 ± 0.24b	2.76 ± 0.00c	2.79 ± 0.10c	2.78 ± 0.12c	2.37 ± 0.07ab	2.41 ± 0.10ab	2.45 ± 0.11ab
Evenness (EI)	0.79 ± 0.02c	0.78 ± 0.01c	0.78 ± 0.02c	0.63 ± 0.04ab	0.60 ± 0.02a	0.67 ± 0.07b	0.75 ± 0.01c	0.76 ± 0.00c	0.77 ± 0.02c	0.65 ± 0.01ab	0.66 ± 0.02b	0.67 ± 0.04b
Richness (RI)	6.24 ± 0.24cd	6.38 ± 0.14cd	6.46 ± 0.32d	5.76 ± 0.12cd	5.88 ± 0.57cd	5.98 ± 0.13cd	5.87 ± 0.21cd	6.01 ± 0.80cd	5.69 ± 0.60bc	4.81 ± 0.24a	4.93 ± 0.28a	5.05 ± 0.11ab

<sup>z</sup> Insect-resistant genetically engineered rice.

a - d: The results shown are the mean ± SD, n = 3 replicates for each row group, and Duncan's Multiple Range Test at p&lt;0.05 within three different genotypes.

## Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 농촌진흥청 연구개발사업(과제번호: PJ01423501, PJ01186701)의 지원으로 수행되었습니다.

## Authors Information

Sung-Dug Oh, <https://orcid.org/0000-0001-8574-6773>

Eun Ji Bae, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher

Soo-Yin Park, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher

Bumkyu Lee, Jeonju University, Professor

Do won Yun, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher

Sang Jae Suh, Kyungpook National University, Professor

## References

- Bae SM, Yu MR, Yun HG, Shin TY, Choi JB, Lee WW, Kim HJ, Kim HT, Woo SD. 2012. Assessment of insects in transgenic rice (CPPO06) resistant to the herbicide. *Journal of Agriculture Science Chungbuk National University* 28:137-142. [in Korean]
- Borror DJ, Triplehorn CA, Johnson NF. 1989. An introduction to the study of insects. Saunders College Publishing, Florida, USA.
- Brookes G, Barfoot P. 2018. GM crops: Global socio-economic and environmental impacts 1996-2016. PG Economics Ltd., UK.
- Choi WS, Ahn SJ, Yoon JH, Kim HH, Jang JW, Park JJ. 2015. Comparing of insect fauna between transgenic rice and common rice cultivar based on light tap and sweeping methods. *Journal of Agriculture & Life Science* 49:1-17.
- Groombridge B. 1992. Global biodiversity. Status of the earth's living resources. Chapman and Hall, London, UK.
- Gullan PK, Cranston PS. 2005. The insect an outline of entomology. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK.
- Hossain M. 1997. Rice supply and demand in Asia: A socioeconomic and biophysical analysis. *Applications of Systems Approaches at the Farm and Regional Levels* 1:263-279.
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). 2019. Global status of commercialized biotech/GM crops in 2018. ISAAA Brief No. 54.
- Kim CG, Kim HY, Lee WK, Jung MS, Kim JS, Lee YS. 2015. Impacts analysis of climate change of agriculture, forestry, fisheries, and food sectors and establishing model of impacts assessment. *Korea Rural Economic Institutes, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs* 1-419.
- Kim KM, Ryu TH, Suh SJ. 2010. Studies on insect diversity related to genetically engineered vitamin A rice under large scale production. *Korean Journal of Breeding Science* 42:157-162. [in Korean]
- KNPS (Korea National Park Service). 2006. The research of natural resources in Hallyeohaesang National Park. KNPS, Wonju, Korea.
- Kwon YH. 2008. An approach to introduce biodiversity components for the EIA system in Korea. *Journal of Environmental Policy* 7:91-104. [in Korean]
- Lee BK, Suh SC. 2011. A study on the trends and biosafety assessment of genetically modified crops. *Korean Environmental Law Review* 33:3-25. [in Korean]

- Lee DK, Park SH, Seong SY, Kim YS, Jung HR, Choi YD, Kim JK. 2016. Production of insect-resistant transgenic rice plants for use in practical agriculture. *Plant Biotechnology Reports* 10:391-401. [in Korean]
- Lim MH. 2018. Development of an insect-resistant rice with *mcry1Ac1* gene for substantial equivalence assessment. Ph.D. dissertation, Kyungpook National University., Daegu, Korea. [in Korean]
- Oh SD, Lim MH, Lee BK, Yun DW, Sohn SI, Chang AC, Park SK, Suh SJ. 2018b. Effects of insect-resistant genetically modified rice (Bt-9) cultivation on non-target insect diversity. *Korean Journal of Agriculture Science* 45 28-37. [in Korean]
- Oh SD, Park SY, Chang AC, Lim MH, Park SK, Suh SJ. 2018a. Influences of insect-resistant genetically modified rice (Bt-T) on the diversity of non-target insects in an LMO quarantine field. *Korean Journal of Breeding Science* 50:406-414. [in Korean]
- Oh SD, Suh SJ, Park SY, Lee K, Sohn SI, Yun DW, Chang AC. 2017. Effects of vitamin E enhanced transgenic soybean cultivation on insect diversity. *Korean Journal of Breeding Science* 49:129-140. [in Korean]
- Oh SD, Yun DW, Chang AC, Lee YJ, Lim MH. 2019. Molecular biological analysis of Bt-transgenic (Bt-9) rice and its effect on *Daphnia magna* feeding. *Korean Journal of Agricultural Science* 46:113-124. [in Korean]
- Oh SD, Yun DW, Sohn SI, Lee BK, Lee KJ, Chang AC. 2016b. Environmental risk assessment and evaluation of vitamin E enhanced transgenic soybean: Responses of *Daphnia Magna* fed on vitamin E enhanced transgenic soybean. *Journal of Korean Society of International Agriculture* 28:197-204. [in Korean]
- Oh SW, Lee SM, Park SY, Lee SY, Lee WH, Cho HS, Yeo YS. 2016a. Rice biotechnology and current development. *Journal of Korean Society of International Agriculture* 28:24-36. [in Korean]
- Peng S, Tang Q, Zou Y. 2009. Current status and challenges of rice production in China. *Plant Production Science* 12:3-8.
- Price PW. 1997. *Insect ecology*, John Wiley and Sons, New York, USA.
- Son SM. 2001. Rice based meal for prevention of obesity and chronic disease. *Korean Journal of Community Nutrition* 6:862-867. [in Korean]