

# Effects of insect-resistant genetically modified rice (Bt-9) cultivation on non-target insect diversity

Sung-Dug Oh<sup>1†</sup>, Myung-Ho Lim<sup>1†</sup>, Bumkyu Lee<sup>2</sup>, Doh-Won Yun<sup>1</sup>, Soo-In Sohn<sup>1</sup>, Ancheol Chang<sup>1</sup>, Soon Ki Park<sup>3</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](mailto:sjsuh@knu.ac.kr)

†These authors contributed equally to this work as the first authors.

## Abstract

This study was done to develop environmental risk assessments and a biosafety guide for insect-resistant genetically modified rice at a LMO (Living Modified Organism) isolation field. In the LMO quarantine area of Kyungpook National University, the species diversities and population densities of non-target insects found on insect-resistant genetically modified rice (Bt-9) resistant to *Cnaphalocrocis medinalis* and on non-GM rices (Dongjin and Ilmi) were investigated. The Bt-9 event was therefore evaluated under field conditions to detect possible impacts on the above ground insects and spiders. The study compared transgenic rice and two non-GM reference rices, Ilmi and Dongjin, at Gunwi in Southern Korea in 2016. Each rice was grown on three 18 m<sup>2</sup> plots with a randomized block design. A total of 4,243 individuals from 43 families and 9 orders were collected from the LMO isolation field. In the three types of rice fields, a total of 1,467 individuals from the insect-resistant genetically modified rice (Bt-9), 1,423 individuals from the Ilmi, and 1,353 individuals from the Dongjin were collected, respectively. There was no difference between the population densities of the non-target insect pests, natural enemies and other insects on the insect-resistant genetically modified rice (Bt-9) and non-GM rices. These results provide the diversity and population density of non-target insects for an environment risk assessment survey on insect-resistant genetically modified rice and could be used as a guideline to make a biosafety assessment method for genetically modified crops.

**Keywords:** biosafety, insect-resistant genetically modified rice, insect diversity

## Introduction

유전자변형작물(Genetically modified crops)은 제초제내성 유전자변형(Genetically Modified, GM) 콩이 1996년에 상업적으로 재배된 이후, 생명공학기술을 이용한 GM작물의 관련 시장이 급속하게 성장하고 있다. 2016년도 세계 전체 종자시장의 35%를 GM작물이 차지하고 있으며, 작물별로 생산량에서도 콩은 83%, 면화는 75%, 옥수수 29%, 카놀라는 24%를 GM작물이 차



## OPEN ACCESS

**Citation:** Oh SD, Lim MH, Lee B, Yun DW, Sohn SI, Chang A, Park SK, Suh SJ. 2018. Effects of insect-resistant genetically modified rice (Bt-9) cultivation on non-target insect diversity. Korean Journal of Agricultural Science 45:28-37.

**DOI:** <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180009>

**Editor:** Kee Woong Park, Chungnam National University, Korea

**Received:** September 29, 2017

**Revised:** January 24, 2018

**Accepted:** February 27, 2018

**Copyright:** © 2018 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.

지하고 있다. 또한, GM작물은 2015년 11월을 기준으로 39개 국가와 EU (28개국)에서 사료 및 식품, 환경 방출에 대한 승인이 이루어졌으며, 26개 작물, 363개의 이벤트에 대해 3,418건의 규제 승인이 이루어졌다(James, 2016). GM작물의 긍정적인 측면인 농약 사용 절감과 이에 따른 재배의 용이함, 생산량 증가에 따른 농가 소득 증대 등 다양한 잇점으로 GM작물의 개발과 그 재배 면적 및 생산물과 소비 시장 규모가 급속하게 성장하고 있다(Lee et al., 2012; James, 2016). GM작물의 안전한 이용과 환경과 인체에 대한 위해 가능성을 사전에 예방하고자 세계 각 나라들은 자국 실정에 적합한 안전 관리 체계를 구축 중이며, 특히 국제협약인 바이오 안전성 의정서(Cartagena Protocol on Biosafety)를 통해 유전자변형생물체에 대한 국가 간 협력과 안전관리를 도모하고 있으나, GM작물 재배지역의 농업환경과 생태계 위해성 및 식품 섭취에 따른 인체 영향 및 안전성에 대한 우려도 꾸준히 제기되고 있다(Lee, 2017). 고부가가치의 기능성 농산물 생산으로 농산물 수요 시장의 다변화 요구 등으로 GM작물의 개발 건수와 재배면적이 증가하고 있는 만큼 개발된 GM작물의 상용화를 위해서는 농경지와 주변 생태계에 미치는 영향에 대한 작물 재배환경 수준의 안전성 평가가 요구된다(Oh et al., 2014; Lee, 2017).

옥수수, 밀과 더불어 3대 곡류 중 하나인 벼(*Oryza sativa* L.)는 아시아 지역 사람들이 주식으로 이용하는 매우 중요한 작물이다(OECD, 1999; Qin et al., 2009). 또한, 3대 영양소인 탄수화물, 지방, 단백질이 함유되어 있으며 이외 식이섬유, 무기질, 비타민 등이 함유되어 다른 곡류들에 비해서 영양학적으로 우수하며, 당뇨병과 비만, 혈중 콜레스테롤을 감소시키는 효과가 있는 것으로 보고되었다(Son, 2001). 이러한 벼의 재배 편이성이나 기능 강화를 위해서 병해충에 저항성을 지닌 유전자를 도입하거나 특정 영양성분이 강화된 GM벼들이 많이 개발되고 있다. 국내에서는 2010년부터 2014년까지 병저항성, 제초제 저항성, 가뭄저항성 GM벼 및 레스베라트를 생합성벼 등의 안전성 평가를 위한 실험 재배도 이루어졌지만 아직까지 국내에서는 GM작물의 상업적인 재배는 이루어지지 않고 있다(Bae et al., 2012; Oh et al., 2014). 최근 다양한 GM벼의 연구로 GM벼 포장 재배 시에 발생하는 해충 양상 및 곤충상 비교에 대한 보고들은 있으나(Kim et al., 2010; Bae et al., 2012; Oh et al., 2014; Choi et al., 2015), 해충저항성 GM벼에 대한 주요 해충의 발생 조사 및 분석에 관한 연구는 보고 된바 없다.

본 연구에서는 토양 세균인 *Bacillus thuringiensis* 에서 유래한 해충저항성 유전자(*cry1Ac*)를 일미벼에 도입시킴으로써 흑명나방(*Cnaphalocrocis medinalis*)에 대하여 살충성을 나타내는 해충저항성 Bt벼(Lee et al., 2016)의 환경위해성 평가 항목 중 거미를 포함한 천적과 해충 등에 미치는 영향을 평가하기 위해 해충저항성 Bt벼와 모본인 일미벼 및 재배품종인 동진벼를 재배한 LMO 포장에서 표적해충인 나방류를 제외한 비표적곤충의 발생 변화양상을 비교 분석하였으며, 본 연구를 통해 국내 개발 GM벼의 환경위해성 평가 자료를 생산할뿐만 아니라, GM작물의 안전관리 지침서 작성시에 기초 자료로 제공하기 위하여 수행하였다.

## Materials and Methods

본 연구의 시험재료인 해충저항성 Bt벼(Bt-9, T5 세대)와 동진벼 및 일미벼를 경북대학교 LMO 격리 포장에서 18 m<sup>2</sup>의 면적(40주 × 10줄, 400주/1반복)을 3반복 난괴법으로 배치하였다(2016년, 경북 군위군, RDA-가A-2015-049). 재배방법은 농촌진흥청의 농사시험 표준재배법을 기준으로 하였으며, 공시계통인 해충저항성 Bt벼와 일미벼 및 동진벼의 종자를 50공 트레이에 5월 9일에 파종한 후 6월 10일에 LMO 격리포장에 정식하였다.

곤충 조사는 해충저항성 Bt벼(Bt-9)와 일미벼 및 동진벼를 대상으로 성장기(2016년 7월 1일)부터 수확 직전(2016년 10월 9일)까지 2주 간격으로 총 8회에 걸쳐 실시하였다. 채집은 각 품종별 3반복으로 수행하였고, 해충저항성 Bt벼(Bt-9)와 일미벼 및 동진벼 간의 표적해충을 제외한 해충과 천적 및 기타 곤충을 대상으로 기능군별 발생양상을 분석하였다. 각 조사 구역별 채집조사는 곤충 채집 효율의 증대와 조사자간의 편차를 최소화하기 위하여 엔진식 흡충기를 사용하였다. 실험구내 총채벌레와 같은 미소 곤충이 포집될 수 있는 채집망을 부착한 지름 9인치 엔진식 흡충기(Agricultural Backpack 2-Cycle Aspirator, John W. Hock Company)로 왕복 이동하면서 각 실험구의

1반복당 벼 250주씩 상하단 부위를 훑는 식으로 흡충한 후, 지퍼백에 채집물을 담아 에틸 아세테이트(Ethyl Acetate)로 살충하였다.

채집된 곤충은 벼의 해충으로 알려진 벼멸구(*Nilaparvata lugens*), 흰등멸구(*Sogatella furcifera*), 애멸구(*Laodelphax striatellus*)와 번개매미충(*Maiestas dorsalis*), 벼알락매미충(*Maiestas oryzae*) 등의 매미충류와 벼애나방(*Naranga aeneascens*)과 벼밤나방(*Sesamia inferens*)이 포함된 나방류 및 애긴노린재(*Nysius plebejus*), 빨간촉각장님노린재(*Trigonotylus caelestialium*) 등이 포함된 노린재류로 구분된 곤충들을 해충군으로 분류하였으며, 이들 해충에 대한 천적들을 천적곤충군(거미 포함)으로 분류하였다. 해충군과 천적군을 제외한 곤충을 기타 곤충군으로 분류하였다(Choi et al., 2015). 기능별로 해충군, 천적곤충군(거미 포함), 기타 곤충군으로 크게 구분하여 계수하였으며, 해충군은 종(species) 수준에서 천적과 기타 곤충군은 과(family) 수준에서 동정하였다. 채집된 곤충류의 조사결과에 대한 통계적 분석은 SPSS (23.0.0 for Windows, Rel.23.0, 2015. Chicago: SPSS Inc.)를 이용하여  $p < 0.05$  수준으로 ANOVA 처리하여 평균간의 유의성 여부를 검정하였다. 또한, 채집된 곤충의 기능군별로 해충군은 종(species) 수준에서 천적과 기타 곤충군은 과(family) 수준에서 우점도 지수(dominance index, DI; McNaughton's dominance index) 및 풍부도 지수(richness index, RI; Margalef species richness index), 다양도 지수(diversity index, H'; Shannon-Weaver diversity index), 균등도 지수(evenness index, EI; Pielou index)를 계산하였다(Choi et al., 2015).

## Results and Discussion

2016년 7월 초순부터 2016년 10월 상순까지 약 100일간 해충저항성 Bt벼(Bt-9)와 일미벼 및 동진벼를 재배한 포장에서 총 8회에 걸쳐 채집한 해충, 천적 및 기타 곤충의 기능군별 발생현황을 비교 분석하였다. 조사기간 9목 43과 4,243개체의 곤충류와 거미류가 채집되었으며, 기능군별로는 해충류 6목17과29종, 천적류 5목19과, 기타 곤충류 3목13과가 조사되었다. 품종별로 해충저항성 Bt벼(Bt-9) 재배지에서 1,467개체, 모품종인 일미벼 재배지는 1,423개체 및 재배품종인 동진벼에서 1,353개체가 채집되었다(Table 1).

**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, Korea (Continued).

| Category     | Order      | Family                        | Species                       | Bt-9                          | Ilmi-byeo | Dongjin-byeo |    |
|--------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|--------------|----|
| Insect pests | Orthoptera | Acrididae                     | <i>Oxya chinensis</i>         | 0                             | 1         | 1            |    |
|              |            | Tettigoniidae                 | <i>Conocephalus maculatus</i> | 7                             | 8         | 5            |    |
|              | Homoptera  | Delphacidae                   | <i>Nilaparvata lugens</i>     | 9                             | 2         | 7            |    |
|              |            |                               | <i>Sogatella furcifera</i>    | 147                           | 193       | 171          |    |
|              |            |                               | <i>Laodelphax striatellus</i> | 188                           | 227       | 180          |    |
|              |            |                               | <i>Stenocranus matsumurai</i> | 7                             | 7         | 3            |    |
|              |            |                               | <i>Diostrombus politus</i>    | 0                             | 1         | 0            |    |
|              |            |                               | Cicadellidae                  | <i>Nephotettix cincticeps</i> | 0         | 0            | 1  |
|              |            |                               |                               | <i>Maiestas dorsalis</i>      | 14        | 7            | 20 |
|              |            | <i>Macrostelus striifrons</i> |                               | 7                             | 14        | 7            |    |
|              |            |                               |                               | <i>Maiestas oryzae</i>        | 11        | 11           | 6  |
|              |            | Ricaniidae                    | <i>Ricania taeniata</i>       | 1                             | 0         | 0            |    |
|              |            | Derbidae                      | <i>Zizacella hirayamella</i>  | 0                             | 1         | 0            |    |
|              |            | Aphidoidea                    | <i>Sitobion avenae</i>        | 39                            | 42        | 51           |    |

**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, Korea (Continued).

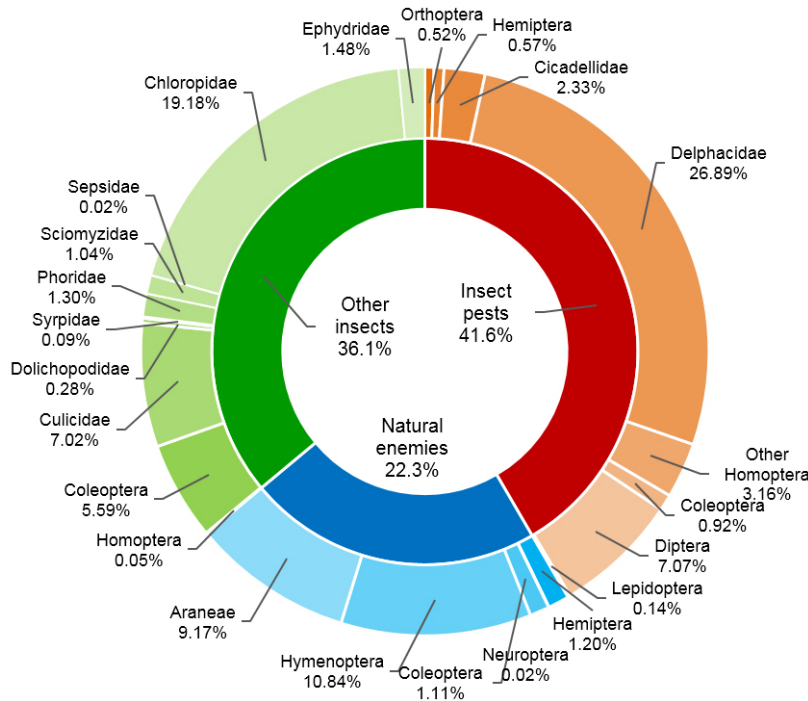
| Category       | Order           | Family         | Species                           | Bt-9 | Ilmi-byeo | Dongjin-byeo |    |
|----------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|------|-----------|--------------|----|
| Insect pests   | Hemiptera       | Rhopalidae     | <i>Rhopalus maculatus</i>         | 0    | 2         | 0            |    |
|                |                 | Lygaeidae      | <i>Nysius plebejus</i>            | 6    | 3         | 2            |    |
|                |                 |                | <i>Pachygrontha antennata</i>     | 0    | 0         | 1            |    |
|                |                 | Alydidae       | <i>Riptortus clavatus</i>         | 1    | 0         | 0            |    |
|                |                 | Coreidae       | <i>Cletus punctiger</i>           | 1    | 0         | 1            |    |
|                |                 | Miridae        | <i>Stenodema rubrinervis</i>      | 0    | 0         | 1            |    |
|                |                 |                | <i>Stenodema calcarata</i>        | 0    | 1         | 0            |    |
|                |                 |                | <i>Trigonotylus caelestialium</i> | 1    | 2         | 1            |    |
|                |                 | Berytidae      | <i>Yemma exilis</i>               | 0    | 0         | 1            |    |
|                | Coleoptera      | Curculionidae  | <i>Lissorhptrus oryzophilus</i>   | 12   | 11        | 12           |    |
|                |                 | Chrysomelidae  | <i>Oulema oryzae</i>              | 1    | 0         | 1            |    |
|                |                 |                | <i>Oulema erichsoni</i>           | 0    | 2         | 0            |    |
|                | Diptera         | Chloropidae    | <i>Chlorops oryzae</i>            | 100  | 92        | 108          |    |
|                | Lepidoptera     | Noctuidae      | <i>Naranga aenescens</i>          | 2    | 0         | 1            |    |
|                |                 |                | <i>Sesamia inferens</i>           | 0    | 2         | 1            |    |
|                |                 | Subtotal       |                                   | 554  | 629       | 582          |    |
|                | Natural enemies | Hemiptera      | Nabidae                           |      | 3         | 3            | 2  |
|                |                 |                | Anthocoridae                      |      | 12        | 13           | 18 |
|                |                 | Neuroptera     | Chrysopidae                       |      | 0         | 1            | 0  |
| Coleoptera     |                 | Staphylinidae  |                                   | 16   | 17        | 14           |    |
| Hymenoptera    |                 | Eulophidae     |                                   | 87   | 59        | 70           |    |
|                |                 | Platygastridae |                                   | 26   | 11        | 27           |    |
|                |                 | Braconidae     |                                   | 26   | 28        | 27           |    |
|                |                 | Ichneumonidae  |                                   | 32   | 31        | 21           |    |
|                |                 | Drynidae       |                                   | 6    | 7         | 2            |    |
|                |                 | Araneae        | Theridiidae                       |      | 3         | 5            | 5  |
|                |                 |                | Linyphiidae                       |      | 0         | 2            | 0  |
| Araneidae      |                 |                |                                   | 4    | 5         | 1            |    |
| Tetragnathidae |                 |                |                                   | 87   | 109       | 91           |    |
| Agelenidae     |                 |                |                                   | 1    | 0         | 0            |    |
| Pisauridae     |                 |                |                                   | 4    | 3         | 3            |    |
| Lycosidae      |                 |                |                                   | 6    | 8         | 4            |    |
| Clubionidae    |                 |                |                                   | 0    | 0         | 1            |    |
| Thomisidae     |                 |                | 3                                 | 1    | 3         |              |    |
| Salticidae     |                 |                | 12                                | 18   | 10        |              |    |
| Subtotal       |                 |                | 328                               | 321  | 299       |              |    |
| Other insects  | Homoptera       | Tingidae       |                                   | 1    | 1         | 0            |    |
|                | Coleoptera      | Helodidae      |                                   | 10   | 5         | 1            |    |
|                |                 | Elateridae     |                                   | 4    | 2         | 3            |    |
|                |                 | Chrysomelidae  |                                   | 60   | 62        | 86           |    |
|                |                 | Curculionidae  |                                   | 1    | 1         | 2            |    |

**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, Korea.

| Category      | Order   | Family         | Species | Bt-9 | Ilmi-byeo | Dongjin-byeo |
|---------------|---------|----------------|---------|------|-----------|--------------|
| Other insects | Diptera | Culicidae      |         | 110  | 97        | 91           |
|               |         | Dolichopodidae |         | 2    | 4         | 6            |
|               |         | Syrpidae       |         | 2    | 0         | 2            |
|               |         | Phoridae       |         | 21   | 16        | 18           |
|               |         | Sciomyzidae    |         | 18   | 14        | 12           |
|               |         | Sepsidae       |         | 1    | 0         | 0            |
|               |         | Chloropidae    |         | 331  | 247       | 236          |
|               |         | Ephydriidae    |         | 24   | 24        | 15           |
|               |         | Subtotal       |         |      | 585       | 473          |
| Total         |         |                | 1467    | 1423 | 1353      |              |

Bt-9, insect-resistant genetically modified rice.

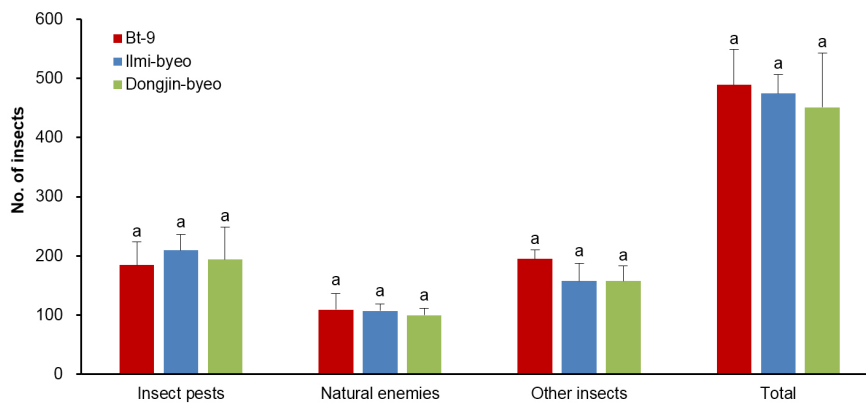
조사기간 동안 채집된 개체들은 기능군별로 해충군, 천적군, 기타 곤충군으로 크게 구분하여 계수하였다. 채집된 전체 개체에서 기능군별 비중은 해충 41.6%, 천적 22.3%, 기타 곤충 36.1%로, 조사기간 동안에 기타 곤충의 발생밀도가 매우 높았다. 해충군에서는 애멸구(*Laodelphax striatellus*), 흰등멸구(*Sogatella furcifera*) 등 매미충류와 벼줄기굴파리(*Chlorops oryzae*) 등 파리류 발생량이 높았다. 천적군은 좀벌(Eulophidae), 맵시벌(Ichneumonidae), 고치벌(Braconidae) 등의 기생성 곤충류와 거미류(Araneae)가 우점하였으며, 기타 곤충군에서는 육서파리류인 노랑굴파리과(Chloropidae), 수서파리류인 모기과(Culicidae) 등 파리목과 잎벌레과(Chrysomelida) 등의 딱정벌레목이 대부분을 차지하였다(Fig. 1).



**Fig. 1.** Occurrences of common plant dwelling non-target insects and arachnids captured using vacuum suction on three different genotypes of rices.

기능군별 곤충 발생 양상 비교를 위하여 조사기간 동안 해충, 천적, 기타 곤충군으로 구분하여 해충저항성 Bt벼 (Bt-9) 재배가 곤충 발생 양상에 미치는 영향을 분석하였다. 비표적해충군, 천적군 및 기타곤충의 개체군 발생량은 해충저항성 Bt벼(Bt-9)와 일미벼, 동진벼 재배지에서는 비슷한 수준으로 발생하였으며, 전체 채집된 곤충류에서도 통계적 유의성을 보이지 않았다(Fig. 2).

조사기간 동안 재배 포장에서 해충군의 발생은 총 6목 17과 29종의 해충이 채집되었고, 채집된 전체 해충류에서 멸구류가 64.6%로 우점하였으며, 매미충류가 5.6%, 기타 매미목 곤충류가 7.6%로 매미목 곤충류가 77.8%를 차지하였다. 그 외에는 파리목 17.0%, 딱정벌레목 2.2%, 노린재목 1.4%, 메뚜기목 1.2%, 나비목 0.3%로 조사되었다. 해충저항성 Bt벼(Bt-9), 일미벼 및 동진벼 품종 간의 각 분류군별 발생에서는 통계적으로 유의차는 없었다(Fig. 3). 천적군은 총 4목 9과의 곤충류와 10과의 거미류가 채집되었으며, 벌목 48.5%로 우점하였고, 거미류 41.0%, 노린재목 5.4%, 딱정벌레목 5.0%, 풀잠자리목 0.1%의 비율로 조사되었으며, 해충저항성 Bt벼(Bt-9), 일미벼 및 동진벼 품종 간의 통계적으로 유의차는 없었다(Fig. 4). 해충군과 천적군을 제외한 기타 곤충군의 발생 조사 결과, 총 3목 13과의 곤충이 채집되었으며, 꽃등애과(Syripidae), 노랑굴파리과(Chloropidae), 벼룩파리과(Phoridae), 꼭지파리과(Sepsidae)

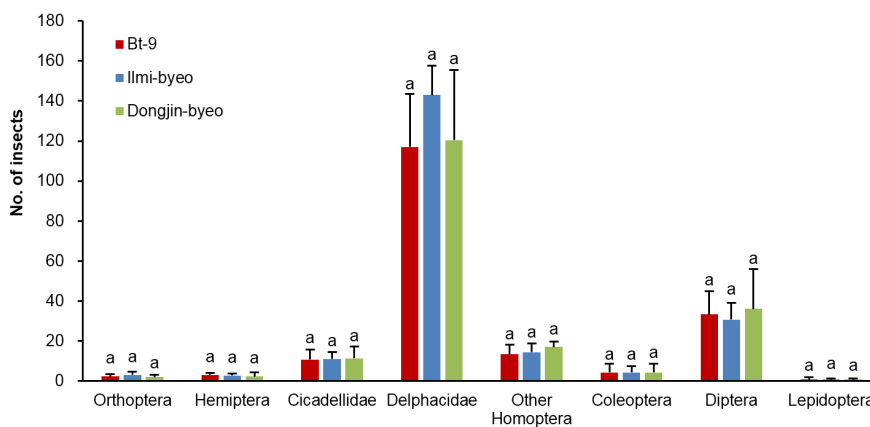


The results shown are the mean ± SD, n = 3 replicates for each group.

Bt-9, insect-resistant genetically modified rice.

a: Duncan's Multiple Range Test at p < 0.05.

Fig. 2. Average population densities of insect groups by rice variety in LMO field.



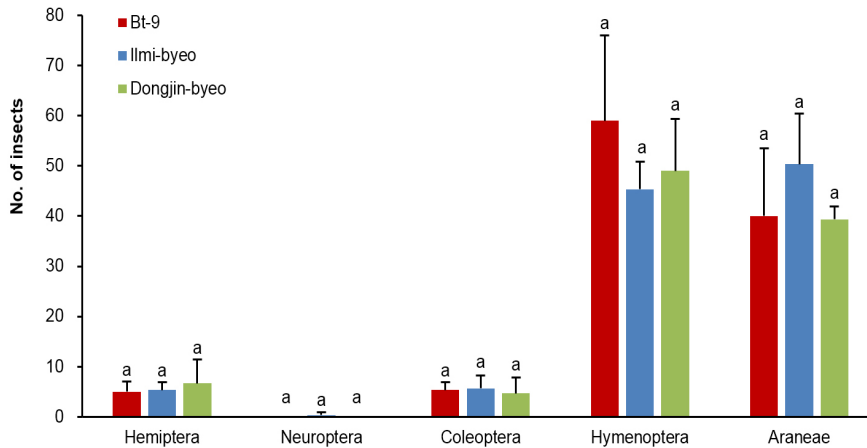
The results shown are the mean ± SD, n = 3 replicates for each group.

Bt-9, insect-resistant genetically modified rice.

a: Duncan's Multiple Range Test at p < 0.05.

Fig. 3. Average population densities of non-target insect pests by rice variety in LMO field.

이 포함된 육서파리류가 57.1%, 물가파리과(Ephydriidae), 뿔들파리과(Sciomyzidae), 장다리파리과(Dolichopodidae), 모기과(Culicidae)가 포함된 수서파리류가 27.3%로 총 파리목이 84.4%로 대다수를 차지하였고, 딱정벌레목 15.5%, 매미목 0.1%로 조사되었다. 해충저항성 Bt벼(Bt-9), 일미벼 및 동진벼 품종간의 분류군별 곤충류 발생에서는 통계적 유의 차이는 없었다(Fig. 5). 해충저항성 Bt벼(Bt-9)는 모품종인 일미벼와 재배품종인 동진벼에서 흑명나방 등 표적해충을 제외한 해충균 및 천적균, 기타 곤충군에 대한 전체적인 발생 밀도에서는 통계적 유의차가 보이지 않았다. 이와 같은 결과는 해충저항성 Bt벼(Bt-9)가 모본과 재배품종에 비교하여 곤충상 발생에 특이적인 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

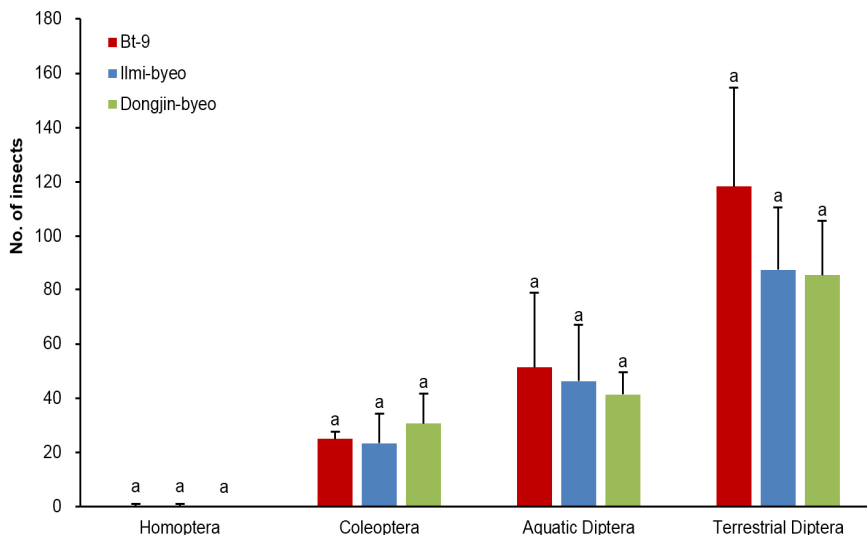


The results shown are the mean  $\pm$  SD, n = 3 replicates for each group.

Bt-9, insect-resistant genetically modified rice.

a: Duncan's Multiple Range Test at  $p < 0.05$ .

Fig. 4. Average population densities of natural enemies by rice variety in LMO field.



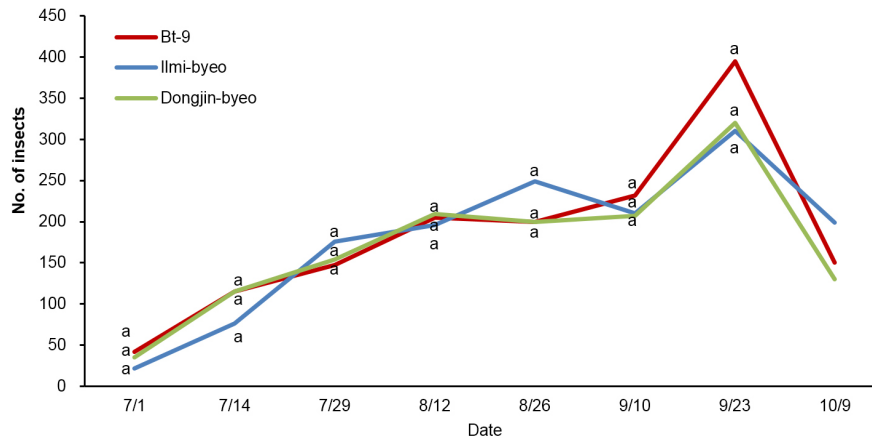
The results shown are the mean  $\pm$  SD, n = 3 replicates for each group.

Bt-9, insect-resistant genetically modified rice.

a: Duncan's Multiple Range Test at  $p < 0.05$ .

Fig. 5. Average population densities of other insects by soybean variety in LMO field.

해충저항성 Bt벼(Bt-9), 일미벼 및 동진벼를 재배시에 조사 시기별 곤충 발생 양상에 차이가 나타나는지를 분석하였다. 개체군의 밀도는 세 품종 모두에서 생육초기부터 생육후기로 갈수록 개체군 밀도가 증가하였으며, 첫 채집 일인 7월 1일에 가장 낮았으며, 9월 23일에 개체군 밀도가 가장 높게 증가하였다가 마지막 채집일인 10월 9일에 감소한 경향을 보였다. 해충저항성 Bt벼(Bt-9), 일미벼 및 동진벼 품종간의 조사시기별 개체군 밀도의 차이는 보였으나, 동일 조사시기 내에서는 통계적인 유의성은 없었다(Fig. 6). 해충저항성 Bt벼(Bt-9), 일미벼 및 동진벼에서 생육 시기에 따른 총 8회의 조사 기간별 통계적인 유의차는 보이지 않았으며, 따라서 해충저항성 Bt벼(Bt-9)가 시기별 곤충상 발생에도 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.



Bt-9, insect-resistant genetically modified rice.

a: Duncan's Multiple Range Test at  $p < 0.05$ .

Fig. 6. Seasonal fluctuations of common plant dwelling non-target insects by rice variety.

채집된 곤충상의 군집 분석을 전체 채집된 곤충에서 우점도 지수(DI)는 최소 0.313에서 최대 0.349로 높지 않은 것으로 분석되었는데 이는 채집된 대상 군집 내 모든 개체수가 다양한 종으로 구성되어 있다는 것을 보여주고 있다. 풍부도 지수(RI)는 벼 품종별로 해충저항성 Bt벼(Bt-9)와 일미벼 재배 포장에서 각각 6.023, 6.057을 보여 동진벼 포장의 5.844보다 조금 높게 나타났으나 유의적 차이는 보이지 않았다. 다양도 지수(H')는 각 벼 재배 포장에서 2.770 - 2.746의 값으로 품종간 유의성은 없었으며, 이 결과는 종 다양도가 풍부한 지역의 약 2.7 - 4.0 정도 수치에 비해서는 낮은 값이지만, 벼 재배의 농경지 조건때문으로 사료된다(Choi et al., 2015). 또한, 우점도 지수(0.313 - 0.349)에 비해 다양도 지수(2.746 - 2.770)와 균등도 지수(EI, 0.753 - 0.769)가 높은 값으로 분석되어 대체적으로 해충저항성 Bt벼(Bt-9)와 non-GM벼들이 재배된 LMO 격리포장에서 다양한 곤충 종들이 채집되었으며, 개체수의 특이적인 차이가 없었음을 알 수 있었다(Table 2). 본 실험에서의 곤충상 군집 분석 결과는 Choi et al. (2015)가 보고한 GM벼 재배시에 발생하는 곤충상 군집 분석 결과와 다소 차이를 보이는데 벼의 경작지의 위도 등의 지리적인 차이와 LMO격리 포장 주변의 환경 조건에 의한 발생하는 종의 차이 및 변화로 기인되며 또한, 곤충상 조사 시기와 횟수 등에 의한 채집되는 비래 해충 등의 곤충 개체수의 차이에 의해서 나타나는 것으로 사료된다. 또한, Bae et al. (2012)가 보고한 Prottox 제초제 저항성 GM벼를 LMO 격리 포장에서 환경 방출 시킨 후 non-GM벼와 비교하여 발생하는 곤충상을 비교한 결과에서도 곤충상의 차이가 지역별 환경의 차이에 기인하며, GM벼와 non-GM벼 사이의 차이가 없다고 하여 본 실험 결과와 같은 경향을 보였다(Bae et al., 2012).



**Table 2.** Community analysis of insects in LMO field.

| Indices        | Rice type      |                |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                | Bt-9           | Ilmi-byeo      | Dongjin-byeo   |
| Dominance (DI) | 0.349 ± 0.046a | 0.344 ± 0.010a | 0.313 ± 0.028a |
| Diversity (H') | 2.746 ± 0.017a | 2.746 ± 0.043a | 2.770 ± 0.073a |
| Evenness (EI)  | 0.753 ± 0.006a | 0.753 ± 0.010a | 0.769 ± 0.016a |
| Richness (RI)  | 6.023 ± 0.164a | 6.057 ± 0.135a | 5.844 ± 0.183a |

Values are the Mean ± SD of triplicate measures.

Bt-9, insect-resistant genetically modified rice.

a: Duncan's Multiple Range Test at  $p < 0.05$  within category.

## Conclusion

본 연구는 토양 세균인 *B. thuringiensis*에서 유래한 해충저항성 유전자(*cry1Ac*)를 일미벼에 도입시킴으로써 흑명나방(*Cnaphalocrocis medinalis*)에 대하여 살충성을 나타내는 해충저항성 Bt벼(Bt-9)의 환경위해성 평가에 대한 프로토콜 및 가이드라인을 개발하고자 수행하였다. 경북대학교 LMO 격리포장에서 해충저항성 Bt벼(Bt-9)와 모품종인 일미벼 및 재배 품종인 동진벼를 재배하고, 성장기와 수확 직전까지의 기간 동안 거미류를 포함한 흑명나방 등 표적곤충을 제외한 비표적 곤충류의 다양성을 조사하였다. 조사기간 동안 채집된 개체들은 기능별로 천적군, 해충군, 기타 곤충군으로 크게 구분하여 계수하였으며, 총 9목 43과 4,243개체가 채집되었다. 조사된 개체군의 천적군, 해충군, 기타 곤충의 발생량은 해충저항성 Bt벼(Bt-9)과 모품종인 일미벼와 재배품종인 동진벼간의 통계적인 유의차가 없었으며, 시기별 곤충 발생 양상에서도 통계적인 유의적 차이를 보이지 않았다. 채집된 곤충상의 군집 분석 결과에서도 해충저항성 Bt벼(Bt-9)와 non-GM벼들의 우점도(DI), 종풍부도(RI), 다양도(H'), 균등도(EI) 지수가 통계적인 유의적 차이가 없었으며, 다양도 지수(2.746 - 2.770)와 균등도 지수(0.753 - 0.769)의 값이 높게 분석되어 해충저항성 Bt벼(Bt-9)와 non-GM벼들이 재배된 LMO 격리 포장에서 다양한 곤충 종들이 채집되었고 개체수의 특이적인 차이가 없었음을 확인하였다. 결과적으로, 해충저항성 유전자(*cry1Ac*)가 도입된 해충저항성 Bt벼(Bt-9)의 재배에 의한 흑명나방 등 표적곤충을 제외한 비표적 곤충류의 발생밀도와 양상은 모품종인 일미벼와 재배품종인 동진벼와 차이가 없는 것으로 조사되었다.

## Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 농촌진흥청 연구개발사업(과제번호: PJ01186701, PJ01191107)의 지원으로 수행되었습니다.

## 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 Agriculture Science Chungbuk National University 28:137-142. [in Korean]
- 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 Agriculture & Life Science 49:1-17. [in Korean]
- James C. 2016. Global status of commercialized biotech/GM crops: 2016. ISAAA Brief 52. ISAAA, Ithaca, NY, USA.

<http://www.isaaa.org>.

- Kim KM, Ryu TH, Suh SJ. 2010. Studies on insect diversity related to genetically engineered vitamin A rice under large scale production. *Korean Journal Breeding Science* 42:157-162. [in Korean]
- Lee BK. 2017. A study on the establishment of isolation distances for environmental release of biotech crops. *Korean Journal of Agricultural Science* 44:188-195. [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.
- Lee HS, Yi GH, Kim KM. 2012. Comparison of weed characteristics and possibility of gene flow in GM rice. *Korean Journal of Weed Science* 32:10-16. [in Korean]
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 1999. Consensus document on the biology of *Oryza sativa* (Rice). Paris, France.
- Oh SD, Kim JS, Lee KJ, Ryu TH, Suh SJ. 2014. Studies on insect diversity related to drought-tolerant transgenic (Agb0103) rice under large scale GMO field. *Korean Journal Breeding Science* 46:136-142. [in Korean]
- Son SM. 2001. Rice based meal for prevention of obesity and chronic disease. *Korean Journal Community Nutrition* 6:862-867. [in Korean]
- Qin Y, Kim SM, Park HY, Sohn JK. 2009. Inheritance analysis of giant mutation induced by T-DNA insertion in rice. *Korean Journal Breeding Science* 41:9-15.