

PLANT&FOREST

# Effect of insect-resistant genetically engineered (Bt-T) rice and conventional cultivars on the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål)

Sung-Dug Oh<sup>1,†</sup>, Eun Ji Bae<sup>1,†</sup>, Kijong Lee<sup>1</sup>, Soo-Yun Park<sup>1</sup>, Myung-Ho Lim<sup>1</sup>, Doh-Won Yun<sup>1</sup>, Seong-Kon Lee<sup>1</sup>, Gang-Seob Lee<sup>1</sup>, Soon Ki Park<sup>2</sup>, Jae Kwang Kim<sup>3</sup>, Sang Jae Suh<sup>2\*</sup>

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

<sup>2</sup>School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

<sup>3</sup>Division of Life Sciences, Incheon National University, Incheon 22012, Korea

<sup>†</sup>These authors equally contributed to this study as first author.

\*Corresponding author: sjsuh@knu.ac.kr

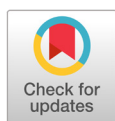
## Abstract

Insect-resistant transgenic rice (Bt-T) expresses a toxic protein (mcr1Ac1) derived from the soil bacterium *Bacillus thuringiensis* found in the rice cultivar Dongjin with an insecticidal property against rice leaf roller (*Cnaphalocrocis medinalis*). In this study, to investigate the impact of Bt-T on non-target organisms, the feed and oviposition preferences and biological parameters of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) were comparatively analyzed in four rice cultivars: Dongjin (parent variety), Ilmi (reference cultivar), Chinnong (brown planthopper resistant cultivar) and Bt-T. In the Bt-T and Dongjin cultivars, the feed preferences were  $32.4 \pm 8.3$  and  $34.1 \pm 6.8\%$ , and the oviposition preferences were  $32.5 \pm 5.1$  and  $30.0 \pm 5.3\%$  respectively, and there was no statistical significance between these rices. Additionally, in the Bt-T and Dongjin cultivars, the total lifespans from egg to adult were  $39.5 \pm 6.9$  and  $40.0 \pm 5.8$  days, and the weights of adult females were  $1.78 \pm 0.14$  and  $1.72 \pm 0.16$  mg, respectively. Therefore, there was no statistical difference in the biological parameters between these two varieties. Overall, the results indicate that the insect-resistant transgenic rice (Bt-T) did not negatively affect the reproduction and life cycle of brown planthopper, a non-target organism.

**Keywords:** biosafety, insect-resistant transgenic rice (Bt-T), *Nilaparvata lugens* Stål

## Introduction

최근 GM작물(genetically modified crops)은 생명공학기술의 발달을 바탕으로 재배 국가와 재배 면적 등이 급속히 성장하고 있다. 1994년 GM 토마토의 상업적 재배 이후, 1997년 GM 대두 및 옥수수가 상업화 되었고, 재배면적은 1996년 이후 꾸준히 증가하고 있다(KRIBB, 2019). ISAAA의 보고에 의하면 2019년 GM작물의 재배면적은 1996년 170만 ha에서 112배 증



### OPEN ACCESS

**Citation:** Oh SD, Bae EJ, Lee K, Park SY, Lim MH, Yun DW, Lee SK, Lee GS, Park SK, Kim JK, Suh SJ. Effect of insect-resistant genetically engineered (Bt-T) rice and conventional cultivars on the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål). Korean Journal of Agricultural Science 49:511-520. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20220044>

**Received:** May 24, 2022

**Revised:** June 28, 2022

**Accepted:** July 18, 2022

**Copyright:** © 2022 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.

가한 1억 9,040만 ha이었으며, 총 29개국에서 GM작물을 재배 중이다(ISAAA, 2020). 현재 대한민국은 GM작물에 대해 상업적인 목적으로 재배가 이루어지고 있지 않지만, 2001년부터 시작된 바이오그린21사업과 작물기능유전체사업을 통한 농업생명공학연구 활성화로 GM작물 연구개발은 지속적으로 증가하고 있다(Cho et al., 2020). 그러나 GM작물의 긍정적 측면과 반대로 GM작물이 농업과 자연생태계에 미치는 위해성에 대한 대중의 우려도 제기되고 있다(Rheey, 2019). 이러한 우려에 대해 GM작물 재배에 따른 곤충상의 변화와 생물종에 대한 영향, 유전자 이동성 등 환경위해성에 대한 다양한 항목의 안전성평가 연구가 수행되고 있다(Choi et al., 2015; Amin et al., 2020a; 2020b; Kim et al., 2020; Oh et al., 2020).

벼는 세계 3대 주요 작물 중 하나이며, 전 세계 인구 중 40%가 주식으로 하는 곡물이다(Oh et al., 2016). 이러한 벼에 큰 피해를 주는 주요 해충들 중 하나인 흑명나방(*Cnaphalocrocis medinalis*)은 유충 기간 동안 잎을 세로로 만 후 엽육을 섭식하여 벼와 작물의 광합성을 저해하고 수량과 품질에 영향을 준다(Park et al., 2006). 따라서 이러한 피해를 최소화하고 벼 생산량을 늘리기 위해 토양 세균인 *Bacillus thuringiensis*의 살충성 단백질 유전자인 *mcry1Ac1*을 생명공학기술을 이용하여 동진벼에 도입하여 흑명나방에 대해 살충력을 나타내는 해충저항성 Bt벼(이벤트명 Bt-T)를 개발하였다(Lee et al., 2015; Lim, 2018).

벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stål)는 국내를 포함한 아시아 전역과 남태평양 및 호주 북부 등 벼 재배지에 널리 분포하고 있다. 국내발생 벼멸구의 비래 시기와 발생량은 해마다 다소 차이를 보이지만, 일반적으로 6월 중하순에 비래하고 벼 재배지에서 2 - 3세대 증식하여 9월 초순경에 피해를 준다(Choi et al., 2017). 벼멸구는 성장 중인 작물에 rice grassy stunt virus (RGSV)를 매개하여 작물의 수확을 감소시킬 수 있으며(Dyck and Thomas, 1979), 직접적으로 벼의 줄기나 잎을 가해해 벼에 대한 피해 가능성이 큰 해충군이다. 따라서 벼멸구는 이화명나방, 흑명나방, 벼밤나방 등이 표적인 해충저항성 LM벼에 대한 비표적 곤충들 중 하나로 선정되기도 하였으며(Yi et al., 2016), 특히 국외에서 나방류 및 딱정벌레류 저항성LM벼가 비표적 곤충인 벼멸구에 대해 미치는 영향을 분석하는 연구가 수행되기도 하였다(Bernal et al., 2002; Mannakkara et al., 2013; Lu et al., 2014; Chang et al., 2020). 그러나 *mcry1Ac1* 유전자가 도입된 LM벼에 대한 비표적 곤충 조사는 이루어지지 않았다. 또한, 국내에서는 해충저항성 Bt 벼에 대한 비표적 곤충상 조사가 이루어졌지만(Choi et al., 2015; Amin et al., 2020a; 2020b), 곤충상 조사 외에 실험실 조건 하에서 이루어진 특정 비표적 곤충에 미치는 영향에 대한 연구는 보고되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 흑명나방이 표적인 해충저항성 Bt 벼(이벤트명 Bt-T)가 비표적 생물종인 벼멸구의 발육, 생존, 생식에 미치는 영향을 분석하기 위하여 해충저항성 Bt 벼(Bt-T)와 동진벼, 일미벼, 친농벼 등 총 4품종에 대한 벼멸구 기주 선호도와 생물학적 특성을 비교하여 해충저항성 Bt 벼가 비표적 생물체인 벼멸구에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

## Materials and Methods

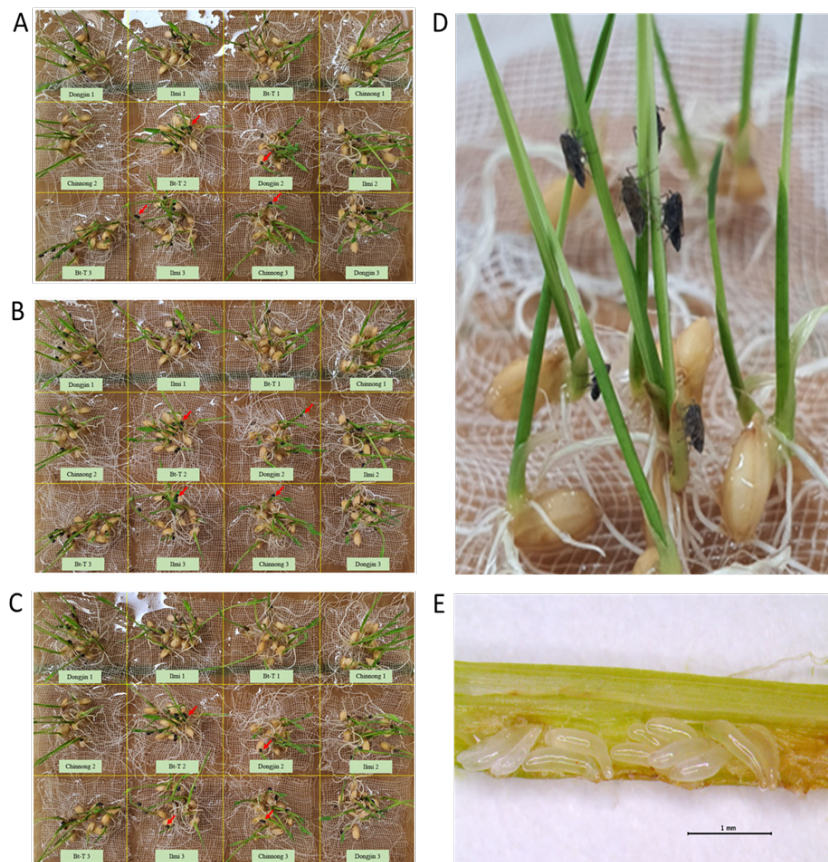
### 벼멸구 개체군 및 벼 품종 기주 생육

본 실험에 사용한 벼멸구는 2018년 경북대학교 응용생명과학부에서 분양 받아 국립농업과학원 내 격리된 사육실(온도  $27.6 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ , 습도  $50 \pm 5\%$ , 광주기 L : D = 16 : 8)에서 벼멸구 감수성 품종인 낙동벼 유묘를 먹이로 공급하여 20세대 이상 누대 사육하였으며, 모든 실험은 단시형을 이용하였다. 벼멸구 영향 조사에 사용된 벼는 해충저항성 Bt 벼(Bt-T)와 모품종인 동진벼, 참조품종으로 일미벼, 양성 대조구로 벼멸구 저항성 유전자인 *Bph2*를 가진 친농벼(Choi et al., 2017) 등 총 4개의 벼 품종을 사용하였다. 해충저항성 Bt 벼(Bt-T T8 세대)는 국립농업과학원 임명호 박사가 제공하였으며, 친농벼는 국립식량과학원 박현수 박사에게 분양 받았다. 해충저항성 Bt 벼는 흑명나방

유충의벼잎섭식실험결과에서대조구인동진벼가90%이상의피해면적을받은것에비해해충저항성Bt벼의피해면적은10%이하로해충저항성을나타내었다(Lim, 2018). 실험용벼모두온도 $27.6 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ , 습도 $50 \pm 5\%$ , 광주기L:D=16:8조건의배양실에서발아용종이및거즈에파종하여7일이상경과한2-3엽기의유묘를벼멸구의기주로사용하였다.

### 벼 품종에 따른 벼멸구의 기주 및 산란선호도 조사

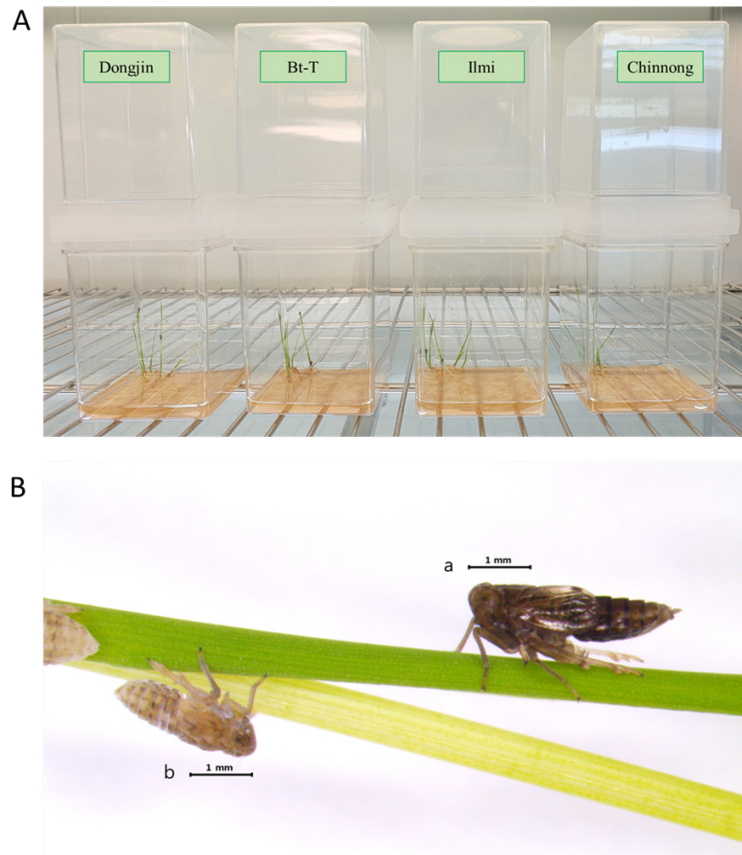
벼 품종별 벼멸구의 기주선호도와 산란선호도 조사는 곤충 사육상자(가로 24.5 cm, 세로 17.5 cm, 높이 13 cm) 밑면에 발아용 종이를 깔고 4 cm × 4 cm 크기의 거즈를 4행 3열로 12장을 배열하여 그 위에 친농벼, 일미벼, 동진벼, 해충저항성 Bt 벼의 발아된 종자를 각 품종당 10립씩 3반복을 정식하였다. 정식 7일 후, 2-3엽기의 유묘에 벼멸구 성충 100마리를 접종하였다. 벼멸구의 기주선호도와 산란선호도 분석은 총 10반복으로 완전임의배치법으로 수행하였으며, 기주선호도 조사는 접종 후 24, 48, 72시간에 12개 구역별로 PVC 필름지로 칸막이를 설치하여 벼멸구의 이동을 제한한 후, 기주에 붙어있는 벼멸구의 수를 계수하였다(Fig. 1). 기주선호도 조사 이후에 기주에 있는 벼멸구를 모두 제거하고, 품종별로 해부현미경(SMZ1000, Nikon Co., Tokyo, Japan)을 사용하여 기주 줄기에 산란된 벼멸구의 알을 계수하고 구당 전체 산란수에서 각 품종별 산란수의 비율로 산란선호도를 계산하여 분석하였다(Fig. 1E).



**Fig. 1.** Feeding and oviposition preference test of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) to tested rice varieties: Dongjin (parent variety), Ilmi (reference cultivar), Bt-T (insect-resistant genetically engineered rice), and Chinnong (brown planthopper [BPH] resistant cultivar). (A) 24 hours after infestation. (B) 48 hours after infestation. (C) 72 hours after infestation. (D) BPH feeding on rice. (E) Eggs of BPH. Red arrow: BPH.

## 벼 품종에 따른 벼멸구의 산란수, 부화율, 우화율 및 발육 조사

벼 품종별 벼멸구 개체군 성장을 조사하기 위해 곤충 사육용 상자(7.2 cm × 7.2 cm × 19.5 cm, Cat. No. 310074-linker, 310075-cap, 310076-bottom, SPL Co., Ltd., Pocheon, Korea) 에 품종별로 2 - 3엽기의 유묘 5본을 정식하였으며, 낙동벼에서 사육 중인 성충 암수 1쌍을 정식한 벼에 접종하였다. 이후 7일 간격으로 각 품종별 유묘 5본을 새 기주 및 산란처로 추가 공급하였고, 24시간 간격으로 벼멸구의 발육 기간과 개체수를 품종별로 10반복씩 조사하였다(Fig. 2A). 벼멸구의 난(egg) 기간은 벼멸구 접종 후 첫 부화일까지의 기간으로 정하였으며, 약충 발육 기간은 상자 내 첫 부화일부터 첫 우화일까지의 기간으로 정하였다. 성충의 수명은 발육 기간 조사가 끝난 것 우화한 성충 암수 1쌍을 동일한 조건의 새로운 사육 상자에 접종하여 암컷이 사망할 때까지의 기간을 산정하였다. 벼멸구 약충수는 부화한 약충들을 흡충기를 이용하여 새로운 기주로 접종하며 계수하였으며, 이후에 우화한 성충들을 채집해 성충수를 계수하여 이전에 조사된 약충수와 함께 계산해 우화율(성충수/약충수 × 100)을 분석하였다(Fig. 2B). 채집한 성충들은 -80°C에 보관하였으며, 이후에 보관된 개체들을 이용해 무게 및 체장, 날개 길이를 조사하였다. 발육 기간과 벼멸구 개체수 조사를 완료하고 약 20일 이후에 해부현미경(SMZ1000, Nikon Co., Tokyo, Japan)을 사용하여 각 벼 품종별 기주들에 산란된 알의 부화 여부를 조사하였으며, 조사된 산란수와 약충수를 계수하여 부화율(약충수/산란수 × 100)을 분석하였다. 모든 결과에 대한 통계 분석은 IBM SPSS Statistics 26.0를 이용하여  $p < 0.05$  수준으로 Tukey's HSD test와 ANOVA로 평균간의 유의성 여부를 검정하였다.



**Fig. 2.** Life cycle investigation of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål). Dongjin is parent variety. Bt-T is insect-resistant genetically engineered rice. Ilmi is reference cultivar. Chinnong is brown planthopper (BPH) resistant cultivar. (A) Insect culture for life cycle investigation of BPH. (B) Adult and nymph stage of BPH. a is BPH adult and b is BPH nymph.

## Results and Discussion

### 벼 품종별 벼멸구의 기주 및 산란선호도

벼 품종별 벼멸구의 기주선호도를 조사한 결과 해충저항성 Bt 벼와 동진벼, 일미벼 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다. 벼멸구 접종 24시간 후 해충저항성 Bt 벼는  $30.1 \pm 4.2\%$ 의 기주선호도를 보였으며, 48시간 후에는  $31.7 \pm 6.1\%$ 였으며, 시간이 경과함에 따라 조금씩 상승하여 72시간 후에는  $32.4 \pm 8.3\%$ 의 기주선호도를 보였다. 모품종인 동진벼는 접종 24시간 후  $33.0 \pm 5.0\%$ 의 기주선호도를 보였으며, 48시간 후에는  $33.8 \pm 6.4\%$ , 72시간 후에는  $34.1 \pm 6.8\%$ 로 해충저항성 Bt 벼와 같이 기주선호도가 점차 상승하였다. 일미벼에서는 벼멸구 접종 후 24, 48, 72시간별로  $31.2 \pm 5.5$ ,  $31.0 \pm 5.2$ ,  $27.5 \pm 5.9\%$ 으로 다소 감소하는 경향을 보였으며, 벼멸구 저항성 품종인 친농벼는 벼멸구 접종 후 24, 48, 72시간별로  $5.7 \pm 2.3$ ,  $3.5 \pm 3.3$ ,  $6.0 \pm 4.4\%$ 으로 기주선호도가 전체적으로 10% 이하의 수준으로 나타났다(Table 1). 일반적으로 벼멸구는 저항성 벼품종보다 감수성 벼품종에서 기주선호도가 높은 것으로 보고되어 있다(Kim et al., 1998). 또한 해충저항성 Bt 벼(T1C-19, *Cry1C*)의 벼멸구 기주선호도는 모품종인 Minghui 63와 유의한 차이를 보이지 않았다고 보고되었다(Chang et al., 2020). 본 실험에서도 감수성 품종에서 벼멸구 기주선호도가 높았으며, 해충저항성 Bt 벼와 모품종인 동진벼 간의 기주선호도는 통계적인 차이는 나타나지 않았다. 품종별 벼멸구의 산란수를 조사한 결과에서는 동진벼가 422.2  $\pm$  88.7마리, 해충저항성 Bt 벼 398.2  $\pm$  126.3마리, 일미벼 376.5  $\pm$  118.4마리, 친농벼 132.9  $\pm$  130.2마리 순으로 조사되었으며, 해충저항성 Bt 벼와 동진벼, 일미벼 간의 통계적인 차이를 보이지 않았으나, 벼멸구 저항성 품종인 친농벼와는 유의한 차이를 보였다(Table 1). Dang 등(2019)은 해충저항성 Bt 벼(T2A-1, *Cry2A*)와 모품종 Minghui 63 간의 벼멸구 산란선호도 분석 결과 통계적인 유의차가 없었으며, 해충저항성 Bt 벼(T2A-1, *Cry2A*)가 벼멸구의 산란선호도에 영향을 미치지 않는 것으로 보고하였다. 이와 같은 결과들은 본 실험의 해충저항성 Bt 벼가 모품종인 동진벼와 비교해 벼멸구의 기주 및 산란선호도에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

**Table 1.** Feeding preference and fecundity of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) to tested rice varieties.

Variety	Feeding preference (%)				Oviposition preference	
	0 h	24 h	48 h	72 h	Fecundity (eggs·female <sup>-1</sup> )	Rate (%)
Bt-T <sup>z</sup>	25	30.1 $\pm$ 4.2a	31.7 $\pm$ 6.1a	32.4 $\pm$ 8.3a	398.2 $\pm$ 126.3a	32.5 $\pm$ 5.1a
Dongjin	25	33.0 $\pm$ 5.0a	33.8 $\pm$ 6.4a	34.1 $\pm$ 6.8a	422.2 $\pm$ 88.7a	30.0 $\pm$ 5.3a
Ilmi	25	31.2 $\pm$ 5.5a	31.0 $\pm$ 5.2a	27.5 $\pm$ 5.9a	376.5 $\pm$ 118.4a	28.5 $\pm$ 5.1a
Chinnong	25	5.7 $\pm$ 2.3b	3.5 $\pm$ 3.3b	6.0 $\pm$ 4.4b	132.9 $\pm$ 130.2b	9.0 $\pm$ 6.2b

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

a, b: The results shown are the mean  $\pm$  SD, n = 10 replicates for each column groups followed by the same letters are not significantly different among rice types at  $p < 0.05$  (Tukey's HSD test).

### 벼 품종별 벼멸구의 발육 기간

품종별로 벼멸구를 접종한 후 부화한 2세대를 이용하여 발육기간을 조사하였다. 벼멸구의 품종별 평균 난(egg) 기간은 해충저항성 Bt 벼에서는 8.2  $\pm$  1.2일, 동진벼 8.1  $\pm$  1.0일로 조사되었고, 일미벼가 8.6  $\pm$  1.2일로 다소 길었으며, 친농벼가 7.9  $\pm$  0.9일로 가장 짧은 것으로 조사되었다(Table 2). Song 등(1972)의 결과에서는 사육 온도 23 - 30°C에서 벼멸구의 난기간이 7.20 - 8.50일로 조사되었고, Hu 등(2010)의 결과에서는 벼멸구의 난기간이 7.38 - 8.95일로 조사되어 본 실험의 난기간과 유사한 결과를 보였다(Hu et al., 2010). 또한, 해충저항성 Bt 벼와 모품종인 동진벼, 참조품종인 일미벼, 벼멸구 저항성 품종인 친농벼의 사이에서 통계적인 유의성을 보이지 않으며, 따라서 해충

저항성 Bt 벼가 모품종인 동진벼와 참조품종인 일미벼와 비교해 벼멸구의 난기간에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. 평균 약충(nymph) 기간은 일미벼가  $11.7 \pm 1.6$ 일로 가장 짧았으며, 동진벼와 해충저항성 Bt 벼는  $12.6 \pm 1.2$ ,  $12.9 \pm 1.7$ 일로 유사한 경향을 보였고, 친농벼에서는  $14.6 \pm 2.0$ 일로 가장 긴 결과를 보였다(Table 2). 이는 Choi 등(2017) 연구에서 벼멸구의 약충기간이 동진벼에서  $12.0 \pm 0.56$ 일로 조사되었고, Bac 등(1987)은 감수성 품종인 추청벼에서 12.78일로 조사되어 본 실험 결과와 유사한 결과를 보였다. 또한, 해충저항성 Bt 벼가 동진벼 및 일미벼와 비교해 통계적인 유의차를 보이지 않아 해충저항성 Bt 벼가 벼멸구의 약충 기간에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 품종별 벼멸구 암컷의 성충(adult) 기간은 일미벼 20.6  $\pm$  6.0일, 동진벼 19.3  $\pm$  5.6일, 해충저항성 Bt 벼 18.4  $\pm$  6.3일, 친농벼 15.8  $\pm$  3.8일 순으로 조사되었으며, 모품종인 동진벼와 참조품종인 일미벼, 벼멸구 저항성 품종인 친농벼와 비교해 통계적인 유의차를 보이지 않아 해충저항성 Bt 벼가 벼멸구의 성충 기간에도 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다(Table 2). Bernal 등(2002)의 연구 결과에서도 해충저항성 Bt벼와 대조품종 사이에서 약충 발육기간이 유의한 차이가 없는 것으로 보고되었다. 또한, Lu 등(2014)의 연구에서도 해충저항성 Bt 벼인 TIC-19 (*Cry1C*)와 T2A-1 (*Cry2A*)가 모품종인 Minghui 63과 비교해 벼멸구의 발육기간에서 통계적으로 차이를 보이지 않은 것으로 조사되었다. 따라서 본 실험과 이전의 연구들을 미루어 볼 때 해충저항성 Bt 벼에 도입된 *mcr1Ac1*과 *Cry1C*, *Cry2A* 유전자들이 벼멸구의 발육 기간에 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

**Table 2.** Mean developmental period (days  $\pm$  standard deviation) of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) reared on Bt rice (Bt-T) and three varieties.

Stage	Rice variety			
	Bt-T <sup>z</sup>	Dongjin	Ilmi	Chinnong
Egg	8.2 $\pm$ 1.2a	8.1 $\pm$ 1.0a	8.6 $\pm$ 1.2a	7.9 $\pm$ 0.9a
Nymph	12.9 $\pm$ 1.7ab	12.6 $\pm$ 1.2a	11.7 $\pm$ 1.6a	14.6 $\pm$ 2.0b
Adult	18.4 $\pm$ 6.3a	19.3 $\pm$ 5.6a	20.6 $\pm$ 6.0a	15.8 $\pm$ 3.8a
Total	39.5 $\pm$ 6.9a	40.0 $\pm$ 5.8a	40.9 $\pm$ 5.6a	38.3 $\pm$ 3.6a

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

a, b: The results shown are the mean  $\pm$  SD, n = 10 replicates for each row groups followed by the same letters are not significantly different among rice types at p < 0.05 (Tukey's HSD test).

### 벼 품종별 벼멸구의 산란수, 부화율, 우화율 및 발육 정도

벼멸구의 부화율, 우화율, 성충 무게는 벼 품종별로 벼멸구를 암수 1쌍씩 접종한 후 부화한 2세대를 이용하여 조사 분석하였다(Fig. 2). 벼멸구 암컷 성충의 평균 산란수는 동진벼 217.2  $\pm$  107.7개, 일미벼 211.3  $\pm$  92.8개, 해충저항성 Bt 벼 192.4  $\pm$  55.4개, 친농벼 31.3  $\pm$  19.2개 순으로 나타났으며, 해충저항성 Bt 벼와 모품종인 동진벼와 참조품종인 일미벼 간의 통계적인 차이는 보이지 않았다(Table 3). Chang 등(2020)의 연구에서 해충저항성 Bt 벼(TIC-19)의 벼멸구 산란수가 198.67  $\pm$  49.41개, 모품종 Minghui 63에서는 232.64  $\pm$  51.15개로 조사되었으며, 통계적인 유의차를 보이지 않아 본 실험의 결과와 유사한 경향을 보였다. 부화율(hatching rate)은 친농벼 81.3  $\pm$  18.9%, 일미벼 75.1  $\pm$  16.3%, 해충저항성 Bt 벼 68.8  $\pm$  10.3%, 동진벼 67.1  $\pm$  7.0% 순으로 조사되었으며, 해충저항성 Bt 벼와 동진, 일미, 친농벼간의 통계적인 차이는 없었다(Table 3). 우화율(adult emergence rate)은 일미벼 78.0  $\pm$  10.0%, 동진벼 76.8  $\pm$  11.2%, 해충저항성 Bt 벼 73.8  $\pm$  7.2%, 친농벼 61.1  $\pm$  15.3% 순으로 조사되었으며, 해충저항성 Bt 벼와 모품종인 동진벼 및 참조품종인 일미벼를 비교하였을 때 통계적인 차이를 보이지 않았다(Table 3). 벼멸구 암컷의 성충 무게(adult weight)는 해충저항성 Bt 벼가 1.78  $\pm$  0.14 mg로 가장 높았고, 일미벼 1.75  $\pm$  0.19 mg, 동진벼 1.72  $\pm$  0.16 mg, 친농벼 1.25  $\pm$  0.14 mg 순으로 조사되었다(Table 3). 벼멸구의 수컷 성충 무게는 해충저항성 Bt 벼가 0.86  $\pm$  0.11 mg으로 가장 높았으며, 동진벼와 일미벼는 각각 0.85  $\pm$  0.15 mg, 일미벼 0.85  $\pm$  0.13 mg으로 동일한 무게

를 보였으며, 친농벼는  $0.77 \pm 0.10$  mg으로 가장 낮은 무게를 보였다. 벼멸구 암수의 성충 무게는 해충저항성 Bt 벼가 벼멸구 저항성 품종인 친농벼와 비교했을 때 통계적인 차이를 보였지만, 모품종인 동진벼와 참조품종인 일미벼간의 통계적인 유의성은 보이지 않았다(Table 3). 벼멸구 암컷 성충의 체장(adult length)은 해충저항성 Bt 벼  $2.30 \pm 0.26$  mm, 일미벼  $2.29 \pm 0.27$  mm, 동진벼  $2.28 \pm 0.31$  mm 순으로 유사한 체장이 조사되었으며, 친농벼는  $2.14 \pm 0.29$  mm로 가장 낮은 체장을 보였다(Table 3). 벼멸구 수컷 성충의 체장은 일미벼가  $2.13 \pm 0.06$  mm으로 가장 높았으며, 친농벼  $2.12 \pm 0.10$  mm, 해충저항성 Bt 벼  $2.07 \pm 0.17$  mm, 동진벼  $2.07 \pm 0.07$  mm 순으로 조사되었고, 암수 성충의 체장은 4 품종 모두 통계적인 차이를 보이지 않았다(Table 3). 벼멸구 암컷 성충의 날개 길이(adult wing length)는 해충저항성 Bt 벼  $1.33 \pm 0.14$  mm, 일미벼  $1.33 \pm 0.10$  mm, 동진벼는  $1.31 \pm 0.14$  mm로 유사한 경향을 보였으며, 저항성 품종인 친농벼는  $1.25 \pm 0.14$  mm로 가장 짧은 것으로 조사되었다(Table 3). 벼멸구 수컷 성충의 날개 길이는 동진벼가  $1.18 \pm 0.06$  mm, 친농벼  $1.17 \pm 0.10$  mm, 해충저항성 Bt 벼  $1.17 \pm 0.06$  mm, 일미벼  $1.17 \pm 0.06$  mm로 조사되었다. 벼멸구 암수 성충의 날개 길이는 4 품종 모두 통계적인 유의차를 보이지 않았다(Table 3). Lu 등 (2014)은 두 종류의 해충저항성 Bt 벼(T1C-19, T2A-1)와 모품종 Minghui 63간의 벼멸구 부화율 및 우화율, 수명, 산란수 등이 통계적 차이를 보이지 않았다고 보고하였고, Chang 등(2020)도 해충저항성 Bt 벼와 모품종 사이에서 벼멸구의 부화율, 성충 무게 및 수명 등 생육 매개 변수에 차이가 없는 것으로 보고하였으며, Mannakkara 등(2013)은 세 종류의 해충저항성 Bt 벼(TT51, TIC-19, T2A-1)가 벼멸구의 생식과 생장에 특별한 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. 따라서 이들 연구 결과와 본 실험의 결과를 미루어 볼 때, 토양 세균인 *Bacillus thuringiensis*의 내독소 단백질 유전자인 *mcr1Ac1*가 도입된 해충저항성 Bt 벼가 비표적 생물체인 벼멸구의 생식과 생장에 특별한 영향을 미치지 않는다고 판단되었다.

**Table 3.** Fecundity, hatching rate, adult emergence rate and development of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) reared on Bt rice (Bt-T) and three varieties.

Biological parameter	Rice variety			
	Bt-T <sup>z</sup>	Dongjin	Ilmi	Chimnong
Fecundity (eggs·female <sup>-1</sup> )	192.4 ± 55.4a	217.2 ± 107.7a	211.3 ± 92.8a	31.3 ± 19.2b
Hatching rate (%)	68.8 ± 10.3a	67.1 ± 7.0a	75.1 ± 16.3a	81.3 ± 18.9a
Adult emergence rate (%)	73.8 ± 7.2ab	76.8 ± 11.2a	78.0 ± 10.0a	61.1 ± 15.3b
Adult weight (mg·adult <sup>-1</sup> )				
Female	1.78 ± 0.14a	1.72 ± 0.16a	1.75 ± 0.19a	1.25 ± 0.14b
Male	0.86 ± 0.11a	0.85 ± 0.15a	0.85 ± 0.13a	0.77 ± 0.10b
Adult length (mg·adult <sup>-1</sup> )				
Female	2.30 ± 0.26a	2.28 ± 0.31a	2.29 ± 0.27a	2.14 ± 0.29a
Male	2.07 ± 0.17a	2.07 ± 0.07a	2.13 ± 0.06a	2.12 ± 0.10a
Adult wing length (mg·adult <sup>-1</sup> )				
Female	1.33 ± 0.14a	1.31 ± 0.14a	1.33 ± 0.10a	1.25 ± 0.14a
Male	1.17 ± 0.06a	1.18 ± 0.06a	1.17 ± 0.06a	1.17 ± 0.10a

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

a, b: The results shown are the mean ± SD, n = 10 replicates for each row groups followed by the same letters are not significantly different among rice types at p < 0.05 (Tukey's HSD test).

## Conclusion

본 연구에서는 토양 세균인 *Bacillus thuringiensis*의 내독소 단백질 유전자 *mcr1Ac1*와 *bar* 유전자를 발현하여, 흑명나방(*Cnaphalocrocis medinalis*)에 대한 저항성이 있는 해충저항성 Bt(이벤트명 Bt-T) 벼가 비표적 생물체인 벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stål)에 대해 미치는 영향을 실험실 조건 하에 분석하였다. 해충저항성 Bt벼와 모품종 동진벼,

참조품종 일미벼, 벼멸구 저항성 품종인 친농벼를 이용해 벼멸구의 기주 및 산란선호도와 부화율, 우화율 등의 생육 특성에 대한 영향을 비교 분석한 결과, 기주 및 산란선호도 조사에서는 접종 72시간 후 해충저항성 Bt 벼와 모품종인 동진벼가 유사한 경향을 보였으며, 해충저항성 Bt 벼와 모품종인 동진벼, 참조품종인 일미벼에서 유의한 차이가 나타나지 않았다. 벼멸구의 발육 기간 및 산란수, 부화율, 우화율, 성충 암수 무게 및 체장, 날개 길이를 조사한 결과, 해충저항성 Bt 벼와 모품종인 동진벼와 참조품종인 일미벼 간의 유의미한 차이는 보이지 않았다. 해충저항성 Bt 벼는 *B. thuringiensis* 유래의 내독소 유전자를 형질전환하여 개발된 벼이다. *B. thuringiensis*의 내독소 단백질 (Cry1)은 나비목 유충의 중장에서 활성화되어 독성을 띠는 것으로 알려져 있다(Claus and Berkeley, 1986). 반면, 벼멸구 저항성 벼의 저항 기작은 대부분 벼멸구의 식이성(흡즙)과 연관되어 있다(Kim et al., 2016). 이전 연구들과 본 실험의 결과로 미루어보아 해충저항성 Bt 벼의 살충성이 벼멸구에게 활성화되지는 않은 것으로 보인다. 따라서 흑명나방을 표적으로 하는 해충저항성 Bt 벼(이벤트명 Bt-T)가 비표적 생물체인 벼멸구의 성장과 생식에 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

## Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 연구개발사업(과제번호: PJ015745, PJ014235)의 지원으로 수행되었습니다.

## Authors Information

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

En Ji Bae, <https://orcid.org/0000-0001-9620-6975>

Kijong Lee, <https://orcid.org/0000-0003-3111-322X>

Soo-Yun Park, <https://orcid.org/0000-0002-2030-6440>

Myung-Ho Lim, National Institute of Agricultural Sciences, Senior Researcher

Doh-Won Yun, <https://orcid.org/0000-0002-6633-5685>

Seong-Kon Lee, <https://orcid.org/0000-0002-0939-9391>

Gang-Seob Lee, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher

SoonKi Park, Kyungpook National University, Professor

Jae Kwang Kim, Incheon National University, Professor

Sang Jae Suh, <https://orcid.org/0000-0002-7489-3193>

## References

- Amin MR, Oh SD, Bae EJ, Park SY, Suh SJ. 2020a. Impact of insect-resistant transgenic rice on above-ground non-target arthropods in Korea. *Entomological Research* 50:525-538.



- Amin MR, Oh SD, Suh SJ. 2020b. Comparing the effects of GM and non-GM soybean varieties on non-target arthropods. *Entomological Research* 50:423-432.
- Bae SD, Song YH, Park YD. 1987. Effects of temperature conditions on the growth and oviposition of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal. *Korean Journal of Plant Protection* 26:13-23. [in Korean]
- Bernal CC, Aguda RM, Cohen MB. 2002. Effect of rice lines transformed with *Bacillus thuringiensis* toxin genes on the brown planthopper and its predator *Cyrtorhinus lividipennis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102:21-28.
- Chang X, Sun L, Ning D, Dang C, Yao H, Fang Q, Peng Y, Wang F, Ye G. 2020. Cry1C rice doesn't affect the ecological fitness of rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* either under RDV stress or not. *Scientific Reports* 10:16423.
- Cho JI, Park SH, Lee GS, Kim SM, Lim SM, Kim YS, Park SC. 2020. Current status of GM crop development and commercialization. *Korean Journal of Breeding Science Special Issue* 52:40-48. [in Korean]
- Choi NJ, Jeong IH, Kwon DH, Choi MY, Baik CH. 2017. Life table analysis of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae) on rice of resistant cultivars. *Korean Journal of Environmental Biology* 35:526-532. [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 of Agriculture & Life Science* 49:1-17. [in Korean]
- Claus D, Berkeley RCW. 1986. Genus *Bacillus* Cohn 1872. In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Vol. 2. pp. 1104-1139. The Williams & Wilkins Co., Baltimore, USA.
- Dang C, Sun C, Lu Z, Zhong F, Wang F, Wang Q, Sun R, Peng Y, Ye G. 2019. Cry2A rice did not affect the interspecific interactions between two rice planthoppers, *Nilaparvata lugens*, and *Sogatella furcifera*. *GM Crops & Food* 10:170-180.
- Dyck VA, Thomas B. 1979. The brown planthopper problem. pp. 3-17. In *International Rice Research Institute (Ed.), Brown Planthopper: Threat to Rice Production in Asia*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Hu LX, Chi H, Zhang J, Zhou Q, Zhang RJ. 2010. Life-table analysis of the performance of *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) on two wild rice species. *Journal of Economic Entomology* 103:1628-1635.
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). 2020. Global status of commercialized biotech/GM crops:2019, Brief No. 55-2019. ISAAA, New York, USA.
- Kim DY, Eom MS, Kim HJ, Ko EM, Pack IS, Park JH, Park KW, Nam KH, Oh SD, Kim JK, et al. 2020. Gene flow from transgenic soybean, developed to obtain recombinant proteins for use in the skin care industry, to non-transgenic soybean. *Applied Biological Chemistry* 63:65.
- Kim MK, Cohen MB, Roh JH, Kim YH, Im DJ, Hur IB, Chung DH, Kim KH. 1998. Reactions of resistance to brown planthopper in Japonica rice cultivars. *RDA Journal of Crop Protection* 40:10-15. [in Korean]
- Kim WJ, Park HS, Kim HS, Ha KY, Cho YC, Lee JH, Kim BK. 2016. Response to brown planthopper resistance genes at rice seedling stage. *Korean Journal of Breeding Science* 48:29-36. [in Korean]
- KRIBB (Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology). 2019. Biosafety white paper 2019. KRIBB, Daejeon, Korea. [in Korean]
- Lee SY, Yeo YS, Park SY, Oh SW, Yoon EK, Shin KS, Woo HJ, Lim MH. 2015. Composition analysis of herbicide tolerant Ab rice and insect-resistant Bt rice. *Korean Journal of Breeding Science* 47:255-263. [in Korean]
- Lim MH. 2018. Development of an insect-resistant rice with mcry1Ac1 gene for substantial equivalence assessment. Ph.D. dissertation, Kyungpook National Univ., Daegu, Korea. [in Korean]
- Lu ZB, Liu YE, Han NS, Tian JC, Peng YF, Hu C, Guo YY, Ye GY. 2014. Transgenic cry1C or cry2A rice has no adverse impacts on the life-table parameters and population dynamics of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera Delphacidae). *Pest Management Science* 71:937-945.
- Mannakkara A, Niu L, Ma WH, Lei CL. 2013. Zero effect of Bt rice on expression of genes coding for digestion, detoxification and immune responses and developmental performances of brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). *Journal of Insect Physiology* 59:985-993.

- Oh SD, Min SK, Kim JK, Park JH, Kim CG, Park SY. 2020. Evaluation of the acute toxicity of theoredoxin (TRX) transgenic soybean to *Daphnia magna*. *Korean Journal of Agricultural Science* 47:791-802. [in Korean]
- Oh SW, Lee SM, Park SY, Lee SY, Lee WH, Cho HS, Yeo YS. 2016. Rice biotechnology and current development. *Journal of the Korean Society of International Agriculture* 28:24-36. [in Korean]
- Park HH, Park CG, Park HM, Uhm KB. 2006. Rearing system for rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae) using corn seedlings. *Korean Journal of Applied Entomology* 45:91-95.
- Rheey SH. 2019. A philosophical analysis of the issues of GM crops. *Sogang Journal of Philosophy* 56:9-31. [in Korean]
- Song YH, Choi SY, Park JS. 1972. Studies on the resistance of "Tong-il" variety (IR-667) to brown planthopper, *Nilaparvata lugens* STAL. *Korean Journal of Plant Protection* 11:61-68. [in Korean]
- Yi HB, Kim HJ, Na SM. 2016. The methodology for environmental risk assessments of non-target organisms (insects) on LM rice. *Korean Journal of Environment and Ecology* 30:710-723. [in Korean]