대규모 GMO 포장에서 가뭄저항성벼(Agb0103)가 곤충다양성에 미치는 영향

오성덕¹ · 김진서² · 이기종¹ · 류태훈¹ · 서상재^{2*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원 생물안전성과, ²경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부

Studies on Insect Diversity Related to Drought-tolerant Transgenic (Agb0103) Rice in Large Scale GMO Field

Sung-Dug Oh¹, Jinseo Kim², Kijong Lee¹, Tae-Hun Ryu¹, and Sang Jae Suh^{2*}

¹Biosafety Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon, 441-707, Korea

²School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea,

Abstract : This study was carried out to develop of macro-protocol and the biosafety guide for drought-tolerant transgenic rice (Agb0103) at large scale GMO field, a total of 4,700 m². In GMO quarantine area of Kyungpook National University, insect species diversities and population densities on Agb0103 and wild type (Ilmi) were investigated. There was no difference between the population densities of insect pests and natural enemies on two varieties, while sometimes insect pest density on Ilmi was slightly higher than on Agb0103, but natural enemy density on Agb0103 was a little higher. These results provided the insect diversity for risk assessment analysis of Agb0103 and suggested that the macro-protocol could be useful to detect GM plants.

Keywords : Biosafety, Drought-tolerant, Insect diversity, Transgenic rice

서 언

생명공학은 21세기 식량 공급을 보장할 수 있는 첨단 산업으로서 과학 선진국들이 경쟁적으로 연구개발을 강화하고 있는 분야이다. 특히 생명공학 기술의 발전은 유전변이의 폭을 크게 확대시켜 기존의 기술로는 해결할 수 없었던 다양한 특성을 가진 농작물의 신품종 육성을 가능하게 하였다. 유전자변형작물(Genetically modified crops) 개발 연구가 본격적으로 시작된 1980년 이래로 식물생명공학기술에 의한 GM (Genetically modified) 작물은 사료용 및 식품가공용을 중심으로 세계적으로 널리 확산되고 있으며, 2013년에 1억 7,530만 헥타르가 재배되어 처음 상업적으로 재배되기 시작한 1996년보다 무려 100배 이상 증가하였고, 전 세계 36개국에서 27작물 336이벤트의 GM작물이 재배 승인된 것으로 농업생명공학 응용을 위한 국제서비스(ISAAA)는 보고하고 있다(James 2013). GM

작물은 작물 생산에 필요한 노동력과 농기계, 농약 등의 사용 절감에 따른 경제적인 이익뿐만 아니라(Owen 2000), 기후 변화 등의 농업환경 변화에 지속 가능한 작물의 생산을 가능케 한다(Brookes and Barfoot 2006). 그러나, GM작물이 재배되기 시작한 1996년부터 재배면적의 증가와 함께, GM작물 재배 지역의 환경 및 생태계 위해성과 식품 섭취에 따른 인체 영향 및 안전성에 대한 우려도 여전히 제기되고 있다.

GM작물의 품종개발은 재배 안정성을 높이고, 고부가가치의 농산물 생산으로 소비자의 다양한 기호도 변화와 함께 개발 건수와 재배면적이 나날이 증가하고 있는 만큼 개발된 GM 작물의 실용화를 위해서는 실제 재배환경 수준의 안정성 평가에 대한 필요성이 더욱더 요구된다(Dunwell 1999). 실험실이나 온실에서 시험 연구한 예비안정성 검사의 한계를 극복하기 위해서도 지속적으로 작물생산현장과 밀접한 포장에서 기존 1세대 작물에서 수행하던 방법을 준용하여 일차적으로 안정성 평가를 도출하여야 한다(Kim et al. 2010).

벼는 아시아 지역 사람들이 주식으로 이용하는 매우 중요한 작물이며(Qin et al. 2009), 담수조건에서 생육하므로 물 부족에 대비하여 물 자원의 관리와 농업지속성을 위한 체계

*Corresponding author (E-mail: sjsuh@knu.ac.kr, Tel: +82-53-950-7767, Fax: +82-53-950-6758)

(Received on May 12 2014. Revised on June 3 2014.

Accepted on June 9 2014.)

적 접근과 더불어 생명공학 기술을 이용하여 가뭄저항성 벼 개발은 더욱 중요한 시점에 있다. 최근, 몬산토에서 개발된 가뭄저항성 옥수수는 포장시험을 통해 상업화를 눈앞에 두고 있다. 한국에서도 감자 유래 StMYB1 유전자(Im et al. 2012), 대장균 유래 Trehalose 생합성 유전자(Jang et al. 2003), 애기장대의 PUB22, 23(Cho et al. 2008) 등이 형질전환된 작물이 가뭄저항성을 보이는 것으로 보고되었다. 일미벼를 모본으로 생명공학기술을 이용하여 개발된 가뭄저항성 벼는 스트레스 유도성 프로모터하에 고추 유래 CaMsrb2 유전자를 도입하여 개발되었으며, 유묘기와 성숙기에 강한 가뭄저항성을 나타낸다. 고추에서 분리한 CaMsrb2 유전자는 엽록체내에서 산화스트레스 조건에서 메티오닌의 산화를 방지하고 활성산소의 제거기작을 통해 엽록체의 손상을 방지하므로써 가뭄 등 스트레스 저항성을 유도한다(Kim et al. 2013).

일반적인 벼에 대한 주요 병 해충 발생 양상 및 경제적 가치에 대한 보고들은 많이 있으나 (Catling & Lee 1977; Kim et al. 1996; Lee et al. 1993; Lee et al. 2005; Lee & Ma 1997; Lee et al. 2005; Ma & Lee 1996), 농촌진흥청에서 개발된 GM작물인 가뭄저항성 벼(Agb0103, CaMsrb2-23)의 환경위해성 및 식품안전성 평가는 2011년 시작되어 아직 그 결과가 미비하다. 최근 가뭄저항성벼(Agb0103)의 후대안정성과 기능 검정에 대한 보고가 있으나(Oh et al. 2013; Kim et al. 2013), 특히 GM작물의 환경위해성평가 항목 중에 'GMO포장에서 주요 병해충의 발생에 대한 연구' 내용은 보고된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 non-GM인 일미벼를 모본으로 한 가뭄저항성벼(Agb0103)와 일미벼에서 거미를 포함한 해충과 천적 등에 대한 실제적인 재배환경에서 영향성을 평가하기 위해 가뭄저항성벼와 일미벼의 대규모 포장에서 곤충 변화 양상을 비교 분석하였으며, GM 작물을 상업화하고자 하는 생산자와 소비자에게 신뢰성 있는 안정성 검정 체계에 대한 기초자료로 제공하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 시험재료는 2013년 하계 경북대학교 농업생명과학대학 군위 GMO실습격리포장에서 총 사용면적 4,700 m²의 포장에 가뭄저항성벼(Agb0103)와 모품종인 일미벼를 3반복 배치하였다. 재배방법은 농촌진흥청의 농사시험 표준재배법으로 기준으로 재배하였으며, 공시계통인 가뭄저항성벼 12 kg과 모품종인 12 kg 일미벼를 동시에 침지, 최

아한 후, 육묘상자에 5월 10일 파종하여 5월 30일 기계 이앙하였다.

해충조사는 가뭄저항성벼와 일미벼를 대상으로, 이앙 약 한달 후 생육기 초(2013년 6월 26일)부터 수확 직전(2013년 10월 1일)까지 2주 간격으로 총 8회에 걸쳐 실시하였다. 채집은 각 품종별 3개 구역을 설정하여 각 구역별로 2반복씩 품종별로 총 6반복을 실시, 일미벼와 가뭄저항성벼 간의 해충 및 천적 등 기능군별 발생상을 비교 분석하였다. 각 조사 구역별 채집조사는 실험구내를 왕복 이동하면서 총채벌레와 같은 미소 곤충이 통과할 수 없을 정도로 조밀한 망사를 부착한 지름 9인치 엔진식 흡충기로 양쪽 벼 300주씩 상하단 부위를 훑는 식으로 흡충한 후, 지퍼팩에 각 실험구별로 채집물을 담아 Ethyl Acetate로 살충하였다.

채집된 곤충은 기능별로 해충군, 천적군, 거미군으로 크게 구분하여 계수하였다. 해충군은 벼멸구, 애멸구, 흰등멸구, 노린재류 등 주요 종별로, 천적군은 기생성 천적과 포식성 천적 등으로 구분하여 계수하였다. 가뭄저항성벼 및 일미벼 시험구를 대상으로 조사구역당 3반복씩 2구역에서 조사된 곤충류는 각 구역별, 기능군별로 조사시기마다 SPSS (20.0.0 for Windows, Rel.20.0.0, 2011. Chicago: SPSS Inc.)를 이용하여 $p < 0.05$ 수준으로 품종 평균간 유의성 여부를 검정하였다.

결과 및 고찰

2013년 6월 하순부터 2013년 10월 상순까지 약 100일간 가뭄저항성벼(Agb0103)와 일미벼에서 조사된 곤충 및 거미류의 각 기능군별 발생현황을 비교 분석하였다. 해충 및 천적 등 전체 조사곤충 발생은 두 집단간 차이($p=0.351$)가 없는 것으로 분석되었다. 시기별 발생량은 이앙후 서서히 증가하다가 8월 중순 이후 다시 밀도가 낮아지는 경향을 보이다가 9월 중순부터 비래해충인 벼멸구와 흑명나방 등의 발생 증가와 고온의 지속으로 애멸구 등의 발생 증가 등의 원인으로 다시 밀도가 증가하는 경향을 보였다(Table 1). 품종 간에는 7월 12일에 일미벼에서 상대적으로 Agb0103에서 보다 다소 높은 밀도를 보였으나, 통계적으로 유의성($p=0.415$)은 없었으며, 일시적인 현상으로 일정한 양상을 찾을 수 없었다. 모든 조사시기에서 Agb0103과 일미벼에서 해충 및 천적류의 발생은 비슷한 양상을 보였다.

해충의 발생양상은 생육초기에 일미벼 포장에서 Agb0103 포장 보다 다소 밀도가 높았으나, 두 집단간 차이($p=0.208$)가

없는 것으로 분석되었다. 해충의 시기별 발생량은 전체적으로 Agb0103와 일미벼에서 생육초기에서부터 발생량이 증가하기 시작하여 8월 중순부터 서서히 밀도가 낮아지는 경향을 보이다가 9월 중순부터 비래해충인 벼멸구와 흑명나방 등과 애멸구의 발생 증가로 다시 밀도가 증가하는 경향을 보였다(Table 1). 품종 간에는 7월 12일에는 일미벼에서 상대적으로 높은 밀도를 보였으나, 통계적으로 유의성($p=0.392$)은 없었으며, 일시적인 현상으로 일정한 양상을 찾을 수 없었다. 모든 조사시기에서 Agb0103와 일미벼의 평균 발생밀도 차이는 없는 것으로 나타났다. 또한 Agb0103 및 일미벼에서 조사된 천적의 발생은 두 집단간 차이($p=0.312$)가 없는 것으로 나타났다. 시기별 발생은 일미벼와 Agb0103에서 생육초기에서부터 발생량이 증가하기 시작하여 고온기인 8월 9일 밀도가 높았으며, 이후 다시 밀도가 낮아지는 경향을 보이다가 9월부터 급격히 증가하는 경향을 보였다(Table 1). 품종 간에는 8월 9일에 Agb0103에서 상대적으로 높은 밀도를 보였으나, 통계적으로 유의성($p=0.310$)은 없었으며, 반면 9월 5일에는 일미

벼에서 밀도가 높았으나 마찬가지로 통계적 유의성($p=0.585$)은 없었다. 모든 조사시기에서 Agb0103와 일미벼와의 평균 발생밀도는 통계적 유의차가 없는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 Ma & Lee (1996), Lee & Ma (1997)등의 수도 주요해충에 대한 보고에서 비록 GMO연구 및 실험방법에 차이가 있었지만 주요 해충의 발생 밀도에서는 본 연구와 비슷한 결과를 나타내었으며, Kim et al. (2010)에 의한 GMO 포장에서 비타민 A 강화 벼의 주요 해충에 대한 보고와도 유사한 결과를 나타냈었다.

조사기간 동안 Agb0103 및 일미벼 포장에서의 해충은 멸구류, 매미충류, 나방류, 진딧물류, 바구미류, 노린재류, 총채벌레류 등 주로 10여종의 해충이 발생하였다(Fig. 1). 이들 해충 중에서 Agb0103 포장에서는 애멸구가 30.1%로 가장 우점하였고, 다음이 보리수염진딧물이 16.1%, 벼멸구 15.7%, 흰등멸구 15.2%순이었다. 일미벼에서도 애멸구가 30.4%로 우점하였고, 보리수염진딧물이 14.7%, 벼멸구 14.3%, 흰등멸구 14.2%순이었다. Agb0103 및 일미벼에서 애멸구, 흰등멸구,

Fig. 1. Occurrences of insect pests in large scale GMO field (A: Agb0103, B: Ilmi).

Table 1. Population densities of total insect pests and natural enemies in large scale GMO field.

Group	Entry	Investigating date							
		26 th Jun	12 th Jul	24 th Jul	9 th Aug	21 th Aug	5 th Sep	17 th Sep	1 st Oct
Insect pests	Agb0103	49.3 ± 15.6a	47.3 ± 12.1a	84.0 ± 13.5a	66.0 ± 16.1a	59.7 ± 5.7a	41.0 ± 13.5a	140.3 ± 28.0a	300.0 ± 73.7a
	Ilmi	46.0 ± 14.0a	92.3 ± 80.4a	103.3 ± 3.2a	58.7 ± 5.8a	67.3 ± 4.2a	54.0 ± 14.7a	155.7 ± 12.4a	310.3 ± 40.8a
Natural enemy	Agb0103	16.0 ± 4.0a	33.7 ± 12.2a	27.3 ± 10.5a	65.3 ± 14.8a	33.7 ± 2.1a	27.0 ± 5.3a	31.7 ± 5.5a	78.3 ± 8.1a
	Ilmi	12.3 ± 7.6a	34.0 ± 4.4a	24.0 ± 7.9a	50.7 ± 16.1a	32.7 ± 5.7a	33.7 ± 18.7a	28.0 ± 1.0a	75.0 ± 12.1a
Total	Agb0103	65.3 ± 19.6a	81.0 ± 23.4a	111.3 ± 23.8a	131.3 ± 2.1a	93.3 ± 7.6a	68.0 ± 17.0a	172.0 ± 29.1a	378.3 ± 78.4a
	Ilmi	58.3 ± 16.3a	126.3 ± 83.3a	127.3 ± 11.2a	109.3 ± 10.4a	100.0 ± 9.5a	87.7 ± 19.7a	183.7 ± 13.3a	385.3 ± 50.1a

Mean ± SD, Tukey's Studentized Range (HSD) Test at $P < 0.05$.

벼멸구 등3종의 멸구류의 발생이 각각 총 61.0%, 58.9%를 차지하였으며, 기타 멸구류를 포함하면 각각 61.4%, 59.2%로 전체 해충 발생량의 상당한 부분을 차지하였다. 반면 멸구류와 같은 흡즙 해충인 매미충류는 Agb0103에서는 번개매미충 3.6%, 꼭지매미충 1.5% 등 총 5.3%를 차지하였으며, 일미벼에서도 번개매미충 3.3%, 꼭지매미충 1.2% 등 총 4.7%로 조사되어, 조사기간 동안 매미충류 발생량이 멸구류에 비해 상대적으로 매우 낮았다. Agb0103와 일미벼에서의 주요 해충인 멸구류, 매미충류, 나방류, 노랜재류 및 바구미류의 발생양상은 거의 유사하였으며, 총채벌레류의 발생에서는 Agb0103 4.5%, 일미벼 11.4%로 다소 다른 양상을 나타내었다. 그러나, 전반적으로 해충발생양상은 Agb0103와 일미벼의 두 품종간에 차이가 없는 것으로 조사되었다.

멸구매미충류 발생에서는 애멸구가 46.4%로 가장 우점종으로 거의 절반을 차지하였으며, 그 이외 벼멸구 22.9%, 흰등멸구 22.5%순으로 발생을 보였으며, 멸구류가 전체의 91.8%를 차지하였다. 반면 매미충류는 8.2%를 점하여 발생량이 매우 낮았으며, 이중 번개매미충 5.3%로 매미충류에서는 가장 우점종이었고, 꼭지매미충 2.1%, 끝동매미충, 벼알락매미충이 각각 0.1%의 발생을 보였고, 이외에도 초록다홍알락매미충, 작은애매미충 등이 조사되었다.

멸구류의 발생량은 전반적으로 Agb0103보다 일미벼에서 많은 경향으로 나타났으며, 평균 간의 차이($p=0.404$)는 없는 것으로 분석되었다. 시기별 발생량은 이양후 서서히 증가하다

가 7월 24일 이후 다시 밀도가 낮아지는 경향을 보였으며, 9월 중순부터 벼멸구의 발생 증가와 고온의 지속으로 애멸구 등의 발생 증가 등의 원인으로 다시 밀도가 증가하는 경향을 보였다. 시기별 발생량은 수확기인 10월 1일에 가장 높게 나타났으며, 8월 21일에는 일미벼에서 일시적으로 다소 높아지는 경향을 보였으나 이후에는 점차 감소 후 다시 9월 17일 이후에 증가하는 경향을 보여 Agb0103와 일미벼 간의 멸구류의 발생양상에 특이한 유의성이 없는 것으로 분석되었다(Table 2).

매미충류의 발생양상은 멸구류와 달리 두 품종에서 유사하게 나타났으며, 평균 간의 차이($p=0.784$)는 없는 것으로 분석되었다. 시기별 발생량은 수확기인 10월 1일에 가장 높게 나타났으며, 8월 9일에 Agb0103에서 매미충류가 조사되지 않아 일미벼와 차이가 있는 것으로 분석되었으나, 그 이외의 모든 조사시기에서는 두 품종 간 발생양상에 특이한 유의성이 없는 것으로 분석되었다(Table 2).

진딧물류 발생량은 두 품종에서 유사한 발생 경향을 보였으며, 평균 간의 차이($p=0.850$)는 없는 것으로 분석되었다. 시기별 발생량은 Agb0103와 일미벼에서 생육 초기에 일부 발생을 보였으나 이후 계속 발생이 없다가 생육 후기에 다시 발생을 보여 가장 밀도가 높게 나타났다. Agb0103에서는 10월까지 계속 증가하는 추세를 보였으나, 일미벼에서는 발생이 다소 감소하는 양상을 보였으나, 모든 시기별 평균발생밀도 간의 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 2).

나방류는 전반적으로 GM벼인 Agb0103에서 다소 발생량

Table 2. Population densities of several insect pests in large scale GMO field.

Group	Entry	Investigating date							
		26 th Jun	12 th Jul	24 th Jul	9 th Aug	21 th Aug	5 th Sep	17 th Sep	1 st Oct
Plant hoppers	Agb0103	30.0 ± 12.0a	30.0 ± 6.7a	59.3 ± 18.3a	49.3 ± 15.4a	49.3 ± 6.1a	26.0 ± 13.9a	53.3 ± 18.0a	182.3 ± 68.2a
	Ilmi	30.0 ± 9.5a	40.0 ± 5.0a	55.3 ± 9.5a	41.3 ± 12.5a	55.3 ± 6.5a	38.3 ± 9.2a	63.7 ± 1.5a	198.7 ± 26.3a
Leaf hoppers	Agb0103	3.0 ± 2.0a	4.3 ± 2.1a	3.0 ± 4.4a	0.0	0.7 ± 0.6a	2.3 ± 1.2a	6.0 ± 3.0a	22.3 ± 4.6a
	Ilmi	3.0 ± 1.0a	2.7 ± 0.6a	3.0 ± 2.6a	0.3 ± 0.6b	1.0 ± 1.0a	2.0 ± 1.7a	7.3 ± 1.5a	24.7 ± 9.0a
Aphids	Agb0103	0.7 ± 0.6a	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.3 ± 6.8a	66.0 ± 9.5a
	Ilmi	1.0 ± 0.0a	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.3 ± 14.5a	61.0 ± 13.0a
Moths	Agb0103	1.0 ± 1.7a	0.0	1.7 ± 2.9a	5.0 ± 1.7a	4.0 ± 1.0a	1.7 ± 1.5a	10.3 ± 5.5a	15.3 ± 11.0a
	Ilmi	0.3 ± 0.6a	0.0	0.7 ± 0.6a	3.0 ± 1.0a	6.7 ± 3.2a	1.7 ± 1.2a	7.0 ± 3.6a	13.7 ± 10.0a
Weevils	Agb0103	10.3 ± 3.2a	1.0 ± 1.7a	1.7 ± 2.1a	1.0 ± 1.0a	4.3 ± 2.3a	5.3 ± 2.3a	4.7 ± 1.5a	9.3 ± 1.2a
	Ilmi	9.0 ± 4.4a	2.0 ± 1.0a	1.3 ± 1.5a	1.0 ± 1.7a	2.7 ± 1.2a	5.3 ± 2.1a	4.3 ± 1.2a	7.3 ± 3.2a
Stink bugs	Agb0103	2.0 ± 1.7a	0.7 ± 1.2a	1.3 ± 0.6a	2.3 ± 0.6a	1.3 ± 1.5a	5.0 ± 1.7a	6.0 ± 2.6a	4.7 ± 2.3a
	Ilmi	1.7 ± 0.6a	0.3 ± 0.6a	0.7 ± 0.6a	1.3 ± 0.6a	1.7 ± 1.5a	4.7 ± 1.2a	5.7 ± 4.5a	5.0 ± 1.0a

Mean ± SD, Tukey's Studentized Range (HSD) Test at $P < 0.05$.

이 많았으나, 두 품종에서 유사한 발생 경향을 보였으며, 평균 간의 차이($p=0.583$)는 없는 것으로 분석되었다. 시기별 발생량은 생육초기에는 거의 발생이 없다가 서서히 밀도가 증가하여 고온기인 8월을 정점으로 다소 감소하는 경향을 보였고, 9월 중순이후 비래해충인 흑명나방의 발생증가로 급격히 밀도가 증가하는 경향을 보였으나, 전반적으로 발생밀도는 높지 않았다. 품종 별로는 Agb0103에서는 8월 9일, 일미벼에서는 8월 21일을 정점으로 발생량이 감소하다가 9월 중순부터 흑명나방의 발생으로 10월 초순에 최대 발생밀도를 보였고, 8월 9일과 9월 17일에는 Agb0103에서 상대적으로 높은 발생량을 보였으나, 각각 $p=0.158$, $p=0.430$ 으로 통계적 유의성은 없었으며, 8월 21일은 일미벼에서 더 높은 발생밀도를 보였으나 마찬가지로 통계적 유의성($p=0.242$)은 없었다. 전체 나방류 발생량에서는 흑명나방이 50.9%로 절반이상을 차지하여 가장 우점종이었고, 벼밤나방 28.2%, 이화명나방 14.4%, 벼애나방 6.0%의 발생을 보였으나, 전반적으로 발생량은 많지 않았다. 다만 최근 나방류 발생경향과 달리 생육중기부터 흑명나방의 발생이 증가하기 시작하여 9월 중순 이후에 급격히 증가하는 추세를 보였다(Table 2).

바구미류의 발생은 전반적으로 거의 비슷한 발생 양상을

보였으며, 두 품종간 발생량은 통계적 유의성($p=0.410$)이 없었다. 시기별 발생량은 두 품종 모두에서 6월 하순경과 10월 초순경 2회의 발생최성기를 보였다. 품종 간에는 8월 21일과 10월 1일에 Agb0103에서 상대적으로 높은 밀도를 보였으나, 각각 $p=0.326$, $p=0.368$ 로 통계적으로 유의성은 없었으며, 모든 조사시기에서 Agb0103와 '일미벼'와의 평균 발생밀도는 통계적 유의차가 없는 것으로 분석되었다(Table 2).

노린재류 발생양상은 전반적으로 생육초기에는 아주 낮은 밀도를 보이다가 생육후기인 결실기에 밀도가 급증하는 경향을 보였으며, 두 품종 간 평균발생밀도의 차이($p=0.603$)는 없는 것으로 분석되었다. 시기별 발생량은 초기에는 주로 식물 흡즙 노린재류가 조사되었으나, 결실기 이후로 갈수록 종실을 가해하는 노린재류의 밀도가 증가하는 양상을 보였다. 품종별로는 두 품종 모두 9월 17일 최대 발생밀도를 보였고, 10월 초순까지 밀도가 유지되었다. 7월 24일과 8월 9일에는 Agb0103에서 상대적으로 다소 높은 발생량을 보였으나 각각 $p=0.230$, $p=0.101$ 로 통계적 유의성은 없었으며, 품종간 시기별 평균 발생밀도에는 통계적 유의성은 없었다(Table 2). 조사기간 동안 노린재류의 발생량은 많지 않았으며, 13종이 관찰되었고, 그 중 날개선홍장님노린재가 52.3%로 가장 우점종이었고, 보

Fig. 2. Occurrences of natural enemies in large scale GMO field (A: Agb0103, B: Ilmi).

Table 3. Population densities of several natural enemies in large scale GMO field

Group	Entry	Investigating date							
		26 th Jun	12 th Jul	24 th Jul	9 th Aug	21 th Aug	5 th Sep	17 th Sep	1 st Oct
Parasitoides	Agb0103	12.3 ± 6.0a	2.7 ± 2.5a	11.3 ± 7.5a	6.3 ± 4.0a	5.7 ± 1.5a	4.7 ± 4.2a	10.0 ± 7.9a	33.0 ± 9.5a
	Ilmi	9.7 ± 6.8a	1.0 ± 1.0a	6.7 ± 4.6a	2.3 ± 2.3a	3.0 ± 1.0a	3.7 ± 1.5a	8.7 ± 3.1a	35.3 ± 13.3a
Predators Insects	Agb0103	1.0 ± 0.0a	15.7 ± 4.5a	2.0 ± 1.0a	2.0 ± 1.7a	1.0 ± 1.0a	5.7 ± 0.6a	5.3 ± 4.0a	16.7 ± 2.3a
	Ilmi	1.3 ± 1.2a	13.0 ± 2.6a	3.7 ± 4.0a	5.0 ± 4.6a	2.3 ± 0.6a	6.7 ± 8.1a	7.0 ± 1.0a	15.7 ± 4.0a
Spiders	Agb0103	1.7 ± 2.1a	8.3 ± 4.5a	13.0 ± 4.6a	56.3 ± 10.8a	27.0 ± 1.7a	14.7 ± 0.6a	12.7 ± 6.5a	20.2 ± 6.9a
	Ilmi	1.0 ± 1.0a	11.0 ± 5.6a	10.7 ± 4.5a	40.7 ± 8.3a	26.3 ± 5.1a	17.7 ± 3.5a	10.0 ± 3.6a	16.7 ± 3.1a

Mean ± SD, Tukey's Studentized Range (HSD) Test at $P < 0.05$.

리장님노린재 10.6%, 애긴노린재 9.8%, 빨간촉각장님노린재 9.1%, 붉은잡초노린재 8.3%를 차지하였다.

조사기간 동안 Agb0103와 일미벼 포장에서 천적류의 발생은 맵시벌, 고치벌, 집게벌 등 기생성 천적과, 노린재, 무당벌레, 반날개류 등 포식성 천적 등의 천적곤충류와 거미류가 발생하였으며, Agb0103에서는 거미류의 발생이 53.2%로 가장 높았고 기생성천적은 29.8%, 포식성천적은 17.1%의 발생을 보였다. 일미벼에서도 거미류의 밀도가 51.7%로 가장 높았고, 기생성천적의 밀도가 27.2%, 포식성천적의 밀도가 21.1%를 나타내었다(Fig. 2). 일미벼에서의 천적류 발생양상은 Agb0103에서보다 상대적으로 거미류와 기생성천적의 발생이 적었으며, 포식성천적류의 발생이 높은 경향을 보였으나, 두 집단간 차이 ($p=0.312$)가 없는 것으로 분석되었다. 또한, 모든 조사시기별 평균 발생밀도에서도 통계적 유의성은 없었다(Table 3).

기생성 천적곤충 발생양상은 유사한 경향을 보였으며, 두 품종간 발생량에서도 통계적 유의성($p=0.302$)이 없는 것으로 분석되었다. 시기별 발생량은 초기에는 발생밀도가 낮았으나 7월 말에 발생량이 증가하였으며, 그 이후 일시적으로 감소 추세를 보였으나 9월 중순 이후 급격히 밀도가 증가하는 양상을 보였다(Table 3). 품종간 시기별 기생성 천적곤충류 평균 발생밀도는 생육 초중기에는 Agb0103에서 다소 높았으나, 반면 생육 후기에는 일미벼에서 다소 높았다. 품종간 시기별 평균발생밀도는 생육초기에서 두 품종간 다소 차이를 보여 특히 7월 24일과 8월 9일에 Agb0103에서 상대적으로 높은 밀도를 보였으나, 각각 $p=0.411$, $p=0.211$ 로 통계적으로 유의성은 없었으며, 품종간 시기별 평균 발생밀도에는 통계적 유의성은 없었다. 기생성 천적곤충류에서는 맵시벌류가 67.4%로 가장 우점하였으며, 좀벌류는 28.4%, 집게벌류 4.1% 등의 발생을 보였다.

포식성 천적곤충류 발생은 유사한 발생 경향을 보였으며, 일미벼에서 다소 높은 발생밀도를 보였으나 두 품종간 발생량에서는 통계적 유의성($p=0.453$)이 없는 것으로 분석되었다. 포식성 천적곤충류에서는 잠자리류가 58.3%로 우점하였으며, 포식성 노린재류가 13.1%, 반날개류 14.4%, 무당벌레류 10.9%, 풀잠자리류 1.9% 등을 차지하였다. 이중 아시아실잠자리가 56.4%로 가장 우점종이었으며, 그 다음 반날개 14.4%, 애꽃노린재가 7.1%, 긴날개뽕기노린재 5.8% 순이었다. 시기적으로는 생육초기부터 발생밀도가 증가하기 시작하여 7월 12과 10월 1일 등 2회의 최대 발생을 보였다(Table 3). 두 품

종간 시기별 평균 발생밀도에서는 7월 24일, 8월 9일, 8월 21일에 일미벼에서 특히 상대적으로 높았으나, $p=0.526$, $p=0.349$, $p=0.116$ 으로 통계적으로 유의성은 없었으며, 모든 조사시기에서 두 품종 평균 발생밀도에서는 차이가 없는 것으로 분석되었다. 비록 GMO연구는 아니지만 Lee et al. (1993)에 의해 보고된 벼의 주요 천적에 관한 연구와 Kim et al. (2010)에 의한 GMO 포장에서 non-GM벼인 낙동벼의 주요 천적에 대한 보고에서 non-GM벼인 일미벼 포장의 주요 천적 발생 종류 및 밀도는 본 연구와 비슷한 결과를 나타내었다.

적 요

본 연구는 대규모 GMO 격리포장에서 고추 유래 가뭄저항성 *CaMsrB2* 유전자가 도입된 가뭄저항성벼(Agb0103)의 안정성 평가에 대한 가이드라인 및 프로토콜을 개발하고자 수행하였다. 경북대학교 농업생명과학대학 GMO 실습격리포장에서 총 사용면적 4,700 m²에서 Agb0103와 모품종인 일미벼에 대해 거미류를 포함한 곤충류 다양성을 조사하였다. 조사기간 동안 채집된 개체들은 기능별로 해충군, 천적군, 거미군으로 크게 구분하여 계수하였으며, 조사된 개체군의 해충군, 천적군, 거미류 등의 밀도는 기능군 별로 Agb0103와 일미벼간에 유의성을 보이지 않았다. 해충의 발생양상을 비교 분석한 결과, 전반적으로 일미벼에서 발생량이 다소 많은 경향으로 나타났으나, 대부분의 시기별 발생량 평균 간의 차이는 없는 것으로 나타나서 Agb0103와 일미벼과의 해충 발생양상에는 유의성을 찾기가 어렵다고 판단된다. 또한 천적류 발생양상은 해충 발생양상과는 달리 Agb0103에서 발생량이 다소 많은 경향으로 나타났으나, 시기별 평균 간 차이는 없는 것으로 분석되어 천적 발생양상에도 특이한 유의성을 없다고 판단된다. 따라서 가뭄저항성 *CaMsrB2* 유전자가 도입된 Agb0103에서의 해충 및 천적의 개체군 밀도 및 발생양상은 모본인 일미벼에서와 차이가 없는 것으로 조사되었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 차세대 바이오그린21사업(과제번호: PJ009505042014)와 농촌진흥청 기관과유 사업(과제번호: PJ009609012014)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

1. Brookes G, Barfoot P. 2006. Global impact of biotech crops: Socio-economic and environmental effects in the first ten years of commercial use. *AgBioForum* 9: 139-151.
2. Catling HD, Lee SC. 1977. Studies on economic damage of Korean rice pests. *Kor. J. Pl. Prot.* 16: 79-86.
3. Cho SK, Ryu MY, Song C, Kwak JM, Kim WT. 2008. Arabidopsis PUB22 and PUB23 are homologous U-Box E3 ubiquitin ligases that play combinatory roles in response to drought stress. *Plant Cell* 20: 1899-1914.
4. Dunwell JM. 1999. Transgenic crops: the next generation, or an example of 2020 vision. *Ann. Bot.* 84: 269-277.
5. Im JS, Cho KS, Cho JH, Park YE, Cheun CG, Kim HJ, Cho HM, Lee JN, Jin YI, Byun MO, Kim DY, Kim MJ. 2012. Growth, quality, and yield characteristics of transgenic potato (*Solanum tuberosum* L.) overexpressing StMyb1R-1 under water deficit. *J. Plant Biotech.* 39: 154-162.
6. James C. 2013. The global status of commercialized biotech/GM Crops: 2013. ISAAA Briefs No. 46: 4-8.
7. Jang IC, Oh SJ, Seo JS, Choi WB, Song SI, Kim CH, Kim YS, Seo HS, Choi YD, Nahm BH, Kim JK. 2003. Expression of a bifunctional fusion of the Escherichia coli genes for trehalose-6-phosphate synthase and trehalose-6-phosphate phosphatase in transgenic rice plants increases trehalose accumulation and abiotic stress tolerance without stunting growth. *Plant Physiol.* 131: 516-24.
8. Kim CK, Min HS, Ra DS, Lee KS. 1996. Incidence of major rice diseases under direct seeded cultivation. *RDA. J. Agri. Sci.* 38: 353-358.
9. Kim JS, Park HM, Che SH, Lee TH, Hwang DJ, Oh SD, Park JS, Song DG, Pan CH, Choi DI, Kim YH, Nahm BH, Kim YK. 2013. A Pepper MSRB2 gene confers drought tolerance in rice through the protection of chloroplast-targeted genes. *Plos One.* 9: e90588.
10. Kim KM, Ryu TH, Suh SJ. 2010. Studies on insect diversity related to genetically engineered vitamin A rice under large scale production. *Korean J. Breed. Sci.* 42: 157-162.
11. Lee HP, Kim JP, Jun JR. 1993. Utilization of insect natural enemies and spiders for the biological control in rice paddy field - Community structure of insects and spiders, suppress effect on insect pest by natural enemies, and their overwintering habitats in rice paddy field. *RDA. J. Agri. Sci.* 35: 261-274.
12. Lee HS, Ryu TH, Jung HY, Park SK, Park GH, Sohn JK, Kim KM. 2010. Characteristics of agronomy to vitamin A strengthening rice at large scale GMO field. *Korean J. Breed. Sci.* 42: 56-60.
13. Lee SC, Ma KC. 1997. Occurrence of major insect pests in machine transplanted and direct seeded rice paddy field. *Korean J. Entomol.* 36: 141-144.
14. Lee SG, Lee YH, Kim JS, Lee BM, Kim MJ, Shin JH, Kim HM, Choi DH. 2005. Insect pests occurrence and control in organic and conventional rice paddy field. *Korean J. Organic Agri.* 13: 301-201.
15. Lee SW, Choi BR, Park HM, Yoo JK, Chung BK. 2005. Monitoring on insecticide resistance of major insect pests in paddy field. *Korean J. Pesticide Sci.* 9: 365-373.
16. Ma KC, Lee SC. 1996. Occurrence of major rice insect pests at different transplanting times and fertilizer levels in paddy field. *Korean J. Entomol.* 35: 132-136.
17. Oh SD, Lee KJ, Park SK, Park HM, Lee SM, Ahn HI, Sohn SI, Cho HS, Ryu TH. 2013. Biosafety assessment for drought-tolerant transgenic rice (CaMsrB2-8) : Progeny stability study for three generations. *Korean J. Breed. Sci.* 42: 157-162.
18. Owen MDK. 2000. Current use of transgenic herbicide resistant soybean and corn in the USA, *Crop Prot.* 19: 765-771.
19. Qin Y, Kim SM, Park HY, Sohn JK. 2009. Inheritance analysis of giant mutation induced by T-DNA insertion in rice. *Korean J. Breed. Sci.* 41: 9-15.