Korean J. Environ. Biol. 25 (4) : 326~335 (2007)

야외 격리 포장에서 유전자 변형 탄저병 저항성 PepEST 고추가 절지동물 군집에 미치는 영향

이훈복 · 권민철 · 박지은 · 김창기 · 박기웅 · 이범규 · 김환묵*

한국생명공학연구원 바이오평가센터

Effect of the Anthracnose Resistant Transgenic Chili Pepper on the Arthropod Communities in a Confined Field

Hoonbok Yi, Min Chul Kwon, Ji Eun Park, Chang-gi Kim,
Kee Woong Park, Bumkyu Lee and Hwan Mook Kim*

Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), O-Chang 685-1

Abstract − This study was conducted to assess the environmental risks of anthracnose resistant transgenic chili peppers with the PepEST gene on non-target organisms in the agroecosystem environments during the chili pepper growing seasons in 2006. We quantitatively collected arthropods assemblages living on leaves and flowers of chili peppers on June 20, July 25, and August 25 by using an insect vacuum collector to compare the patterns of arthropod community structures between non-transgenic chili peppers (nTR, WT512) and anthracnose resistant transgenic chili peppers (TR, line 68). We found the seasonal difference with the highest species richness and Shannon's diversity in July's sampling among the growing seasons ($P<0.05$) and each sampling season showed the different arthropod community composition. We also found there was no statistical difference between the two types of crops, nTR and TR, at each sampling time ($P>0.05$). The significance level of arthropod community showed that there were lots of seasonal difference of functional groups as well as taxa but only the herbivore group in the functional groups was significantly different for the types of plants ($P<0.05$). So, we further examined the herbivore groups to find any potential damage and identified the possibility of herbivorous damage from some herbivores, grasshoppers, aphids and thrips. Although we couldn't find any adverse effects from the environmental risk assessment between the arthropod community structures on two types of plants from our results, we should keep working for the environmental risk assessment because of the herbivorous potential risk possibility.

Key words : anthracnose, arthropod, community, diversity, herbivore, transgenic chili pepper

서 론

최근 생명공학기술의 눈부신 발전으로 제초제, 질병, 해충 등에 저항성을 가진 특수 목적의 유전자 변형 식물체를 개발하는 등, 다양한 유전자 변형 생물체들이 만들어지고 있다 (Fraley 1992; Simmonds *et al*. 1999; Griffiths *et al*. 2000; Conner *et al*. 2003). 이는 생물체의 유전자 중 필요한 유전자를 인위적으로 분리 · 결합하여 개발자가 목적한 특성을 갖도록 한 작물로서 제초제저항

* Corresponding author: Hwan Mook Kim, Tel. 043-240-6520, Fax. 043-240-6549, E-mail. hwanmook@kribb.re.kr

성, 병·해충저항성, 저장성향상, 고영양 성분함유 등의 특성을 지닌 작물을 말한다. 또한 여러 가지 종류의 작물들이 이미 상업화되어 있어서, 세계인구 증가에 따른 식량 문제의 해결을 위해 그 생산량이 앞으로도 매우 증가할 것으로 기대된다(Conner *et al*. 2003; Nap *et al*. 2003). 이미 미국을 비롯한 많은 나라가 유전자 변형 작물의 재배에 동참하고 있으며 매년 그 양이 증가하고 있다(James 2005). 우리나라에선 아직 상업화된 유전자 변형 작물은 없지만, 이미 많은 생명공학을 연구하는 대학교 및 수많은 연구시설에서 유전자 변형 작물을 개발 중에 있다. 이런 유전자변형작물들은 농업생태계를 포함한 자연생태계에 미치는 환경위해성 평가를 통해 환경위해도의 유무를 확인해야 한다(Hilbeck and Andow 2004; Hilbeck *et al*. 2006; Yi *et al*. 2006). 따라서 유전자 변형 작물이 비표적 생물체의 군집구조나, 먹이망 구조에 직·간접적으로 가해지는 변화를 통해서 환경위해도를 측정하였다(Dale *et al*. 2002).

본 연구에 사용된 유전자 변형 작물은 탄저병에 저항성을 가지는 특정 유전자인 Esterase 유전자를 삽입하여 유전자 변형된 탄저병 저항성 PepEST 고추이다(Kim *et al*. 2001). 탄저병은 탄저병균의 기생에 의해서 일어나며 고추를 비롯한 벼, 콩, 오이 등에서 잘 발병되는데 감염되면 식물체가 말라버리는 병으로 주로 작물의 과실에 발병하여 고추의 수확량에 치명적인 해를 준다(정영호 2000). 이러한 피해를 줄여 생산량을 늘리고자 탄저병에 저항성을 가진 고추를 개발하게 되었다(Kim *et al*. 2001). 이렇게 개발된 유전자 변형 작물이 생태계에 가해지는 위해성을 평가하기 위해, 야외 포장에 정식된 유전자 변형 고추와 모본에서 비표적 생물체인 곤충을 포함한 절지동물의 군집구조의 차이를 밝히는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 실험구의 설치

충북 청원군 오창읍 한국생명공학연구원 오창캠퍼스에 위치한 격리포장에 정식된 PepEST (line 68) 고추와 모본 WT512 고추에서 절지동물의 군집을 비교하였다. 고추는 2006년 5월 18일에 PepEST 고추, 모본과 청풍명월 고추를 각각 가로 세로 22 m의 토양에 2 m 간격을 두고 6 m×6 m의 plot을 9개 만들어 Latin square의 방법에 따라 정식하였고, 각각의 plot에 총 85주의 고추(17 plants×5 lines)를 정식하였다. 2006년 6월 29일에 제초제인 그라목손(Paraquat)을 1회만 살포하였다. 본 연구를 위한 샘플링은 PepEST 고추와 모본에서만 수행되었다(Fig. 1).

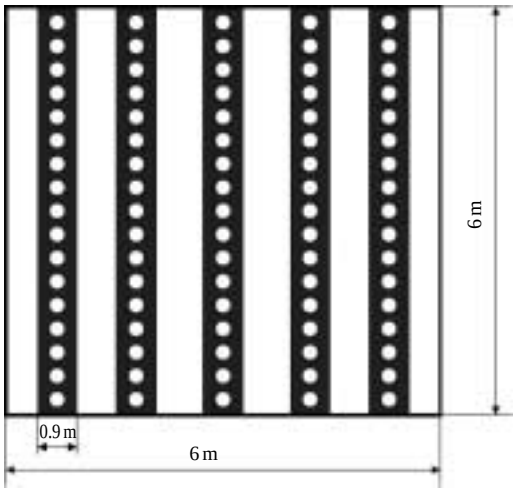

Fig. 1. A scheme of the one plot for chili peppers planted in 2006.

Fig. 2. A photo of collecting arthropods by using a cordless insect vacuum collector on chili peppers in 2006.

2. 절지동물채집

절지동물 채집은 2006년 6월 20일, 7월 25일, 8월 28일에 걸쳐 총 3회 수행하였고, 정량적인 샘플링을 하기 위하여, 각각의 타입에서 한 plot당 85주의 고추에 임의적인 번호를 부여하고, MS Excel에서 random generator를 사용하여 30주의 고추를 선정하였고, 10주의 고추를 한 샘플단위로 하여 DC Insect Vacs (BioQuip, 2820B; Cordless insect vacuum collector)를 이용하여 지면으로부터 약 15 cm 위로부터 고추 작물에서 절지동물채집을 수행 하였으며, 한 개의 처리구에서 3반복의 절지동물을 포획하였다(Fig. 2). 포획된 절지동물은 실험실로 가져와서 현미경하에서 분류하였으며, 분류가 끝난 표본은 본

Table 1. Mean abundance and in parenthesis of arthropod communities collected by using a cordless insect vacuum collector between non-transgenic (nTR: WT512) and transgenic (TR: line 68) chili peppers in 2006

Taxa	Korean name	20 June		25 July		28 August	
		nTR	TR	nTR	TR	nTR	TR
Herbivore	초식자	2.0 (1.4)	1.2 (0.8)	7.1 (3.4)	8.6 (5.2)	1.9 (1.0)	2.9 (1.6)
Coleoptera	딱정벌레목	0.1 (0.1)	–	0.2 (0.2)	0.2 (0.2)	0.1 (0.1)	–
Callosobruchus chinensis (Linné)	팥바구미	–	–	0.1 (0.1)	–	–	–
Monolepta quadriguttata (Motschulsky)	크로바잎벌레	–	–	–	0.2 (0.2)	0.1 (0.1)	–
Attelabidae	거위벌레과	–	–	0.1 (0.1)	–	–	–
Chrysomelidae	잎벌레과	0.1 (0.1)	–	–	–	–	–
Diptera	파리목	0.7 (0.6)	0.8 (0.5)	3.3 (1.2)	3.4 (1.5)	–	0.2 (0.2)
Melangyna lasiophthalma (Zetterstedt)	보라무늬꽃등에	–	–	–	0.1 (0.1)	–	–
Sphaerophoria menthastri (Linné)	꼬마꽃등에	–	–	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)	–	0.1 (0.1)
Calliphoridae	검정파리과	0.1 (0.1)	0.3 (0.2)	0.9 (0.2)	0.8 (0.3)	–	–
Drosophilidae	초파리과	–	–	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)	–	–
Lauxaniidae	큰날개파리과	–	–	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)	–	–
Stratiomyidae	동애등에과	–	–	0.7 (0.3)	0.2 (0.1)	–	–
Syrphidae	꽃등에과	–	0.1 (0.1)	–	–	–	0.1 (0.1)
Tipulidae	각다귀과	0.6 (0.4)	0.3 (0.2)	1.4 (0.3)	2.0 (0.6)	–	–
Hemiptera	노린재목	0.6 (0.5)	–	0.9 (0.8)	1.3 (0.7)	1.3 (0.5)	1.3 (0.6)
Cletus schmidti Kiritshenko	우리가시허리노린재	–	–	0.1 (0.1)	–	0.1 (0.1)	–
Eurydema gebleri Kolenati	북쪽비단노린재	0.1 (0.1)	–	–	–	–	–
Halyomorpha halys (Stal)	썩덩나무노린재	–	–	–	–	–	0.4 (0.2)
Hygia lativentris (Motschulsky)	떼허리노린재	–	–	–	–	–	0.1 (0.1)
Nysius plebejus Distant	애긴노린재	–	–	0.6 (0.4)	0.2 (0.2)	–	–
Plautia stali Scott	갈색날개노린재	–	–	–	–	1.0 (0.2)	0.8 (0.2)
Scotinophara lurida (Burmeister)	먹노린재	–	–	0.1 (0.1)	–	–	–
Stictopleurus crassicornis (Linné)	흑다리잡초노린재	0.1 (0.1)	–	–	–	–	–
Yemma exilis Horváth	실노린재	–	–	–	0.1 (0.1)	–	–
Miridae	장님노린재과	–	–	–	1.0 (0.4)	0.2 (0.1)	–
Rhopalidae	잡초노린재과	0.3 (0.2)	–	0.1 (0.1)	–	–	–
Homoptera	매미목	0.7 (0.3)	0.4 (0.2)	0.3 (0.3)	0.1 (0.1)	0.2 (0.1)	0.8 (0.3)
Sogatella furcifera (Horváth)	흰등멸구	–	–	–	–	–	0.1 (0.1)
Aphididae	진딧물과	0.7 (0.3)	0.4 (0.2)	0.2 (0.1)	–	0.2 (0.1)	0.7 (0.2)
Cicadellidae	매미충과	–	–	–	0.1 (0.1)	–	–
Delphacidae	멸구과	–	–	0.1 (0.1)	–	–	–
Hymenoptera	벌목	–	–	1.8 (0.6)	1.2 (0.8)	–	–
Apis mellifera Linné	양봉꿀벌	–	–	1.7 (0.4)	1.0 (0.6)	–	–
Apidae	꿀벌과	–	–	–	0.2 (0.2)	–	–
Pompilidae	대모벌과	–	–	0.1 (0.1)	–	–	–
Lepidoptera	나비목	–	–	–	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)	–
Pamara guttata (Bremer et Grey)	줄점팔랑나비	–	–	–	–	0.1 (0.1)	–
Yponomeutidae	집나방과	–	–	–	0.1 (0.1)	–	–
Orthoptera	메뚜기목	–	–	0.6 (0.4)	2.0 (1.7)	0.1 (0.1)	0.6 (0.5)
Acrida cinerea cinerea (Thunberg)	방아깨비	–	–	–	0.1 (0.1)	–	–
Atractomorpha lata (Motschulsky)	섬서구메뚜기	–	–	0.4 (0.2)	0.4 (0.2)	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)
Conocephalus chinensis (Redtenbacher)	쌕새기	–	–	–	–	–	0.1 (0.1)
Oxya japonica japonica (Thunberg)	벼메뚜기	–	–	0.1 (0.1)	0.2 (0.1)	–	–
Phaneroptera falcata (Poda)	실베짱이	–	–	–	–	–	0.3 (0.2)
Tettigoniidae	여치과	–	–	–	1.2 (1.2)	–	–
Thysanoptera	총채벌레목	–	–	–	0.1 (0.1)	–	–
Thripidae	총채벌레과	–	–	–	0.1 (0.1)	–	–
Predator	포식자	0.6 (0.5)	0.8 (0.6)	10.8 (4.6)	9.6 (3.9)	0.8 (0.7)	0.9 (0.8)
Araneae	거미목	0.5 (0.4)	0.6 (0.4)	8.7 (3.7)	8.3 (3.1)	0.8 (0.7)	0.9 (0.8)
Diaea subdola	각시꽃게거미	–	–	–	–	–	0.1 (0.1)
Misumenops tricuspidatus (Fabricius)	꽃게거미	–	–	–	–	0.1 (0.1)	–
Neoscona adianta (Walckenaer)	각시어리왕거미	0.2 (0.1)	–	0.1 (0.1)	–	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)
Tetragnatha vermiformis Emerton	논갈거미	–	–	0.1 (0.1)	–	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)
Agelenidae	풀거미과	–	–	0.4 (0.4)	–	–	–
Araneidae	왕거미과	–	0.1 (0.1)	0.4 (0.2)	0.2 (0.2)	–	–

Table 1. Continued

Taxa	Korean name	20 June		25 July		28 August	
		nTR	TR	nTR	TR	nTR	TR
Linyphiidae	접시거미과	0.2 (0.1)	–	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)	0.2 (0.1)	0.1 (0.1)
Lycosidae	늑대거미과	–	–	0.2 (0.1)	0.2 (0.2)	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)
Pholcidae	유령거미과	–	–	0.1 (0.1)	–	–	–
Salticidae	깡총거미과	–	–	0.1 (0.1)	–	–	–
Tetragnathidae	갈거미과	–	–	4.1 (1.3)	3.7 (0.9)	0.1 (0.1)	0.2 (0.1)
Theridiidae	꼬마거미과	–	0.4 (0.2)	1.2 (0.5)	1.0 (0.5)	–	–
Thomisidae	게거미과	0.1 (0.1)	–	1.7 (0.6)	3.1 (1.1)	–	0.1 (0.1)
Coleoptera	딱정벌레목	0.1 (0.1)	0.2 (0.2)	1.1 (0.4)	0.4 (0.4)	–	–
Harmonia axyridis (Pallas)	무당벌레	–	0.1 (0.1)	1.0 (0.3)	0.2 (0.2)	–	–
Hippodamia tredecimpunctata	열석점긴다리무당벌레	–	0.1 (0.1)	–	–	–	–
Propylea japonica (Thunberg)	꼬마남생이무당벌레	0.1 (0.1)	–	0.1 (0.1)	0.2 (0.1)	–	–
Hemiptera	노린재목	–	–	–	0.2 (0.1)	–	–
Aquarius paludum (Fabricius)	소금쟁이	–	–	–	0.2 (0.1)	–	–
Hymenoptera	벌목	–	–	0.7 (0.2)	–	–	–
Vespidae	말벌과	–	–	0.7 (0.2)	–	–	–
Odonata	잠자리목	–	–	0.3 (0.2)	0.6 (0.3)	–	–
Ischnura asiatica (Brauer)	아시아실잠자리	–	–	0.3 (0.2)	0.6 (0.3)	–	–
Parasitoid	기생자	–	0.3 (0.2)	0.7 (0.3)	0.8 (0.5)	0.3 (0.1)	–
Hymenoptera	벌목	–	0.3 (0.2)	0.7 (0.3)	0.8 (0.5)	0.1 (0.1)	–
Braconidae	고치벌과	–	0.3 (0.2)	0.7 (0.3)	0.7 (0.4)	–	–
Eulophidae	좀벌과	–	–	–	–	0.1 (0.1)	–
Ichneumonidae	맵시벌과	–	–	–	0.1 (0.1)	–	–
Detritivore	분해자	23.8 (12.7)	6.8 (1.9)	2.7 (0.7)	2.6 (0.8)	4.7 (1.3)	6.7 (3.7)
Diptera	파리목	23.8 (12.7)	6.8 (1.9)	2.7 (0.7)	2.6 (0.8)	4.7 (1.3)	6.7 (3.7)
Chironomidae	깔따구과	23.8 (12.7)	6.8 (1.9)	2.7 (0.7)	2.6 (0.8)	4.7 (1.3)	6.7 (3.7)
Omnivore	다식자	0.2 (0.1)	–	–	–	–	–
Diptera	파리목	0.2 (0.1)	–	–	–	–	–
Culicidae	모기과	0.2 (0.1)	–	–	–	–	–
Miscellaneous	미동정	0.2 (0.2)	0.2 (0.1)	0.6 (0.2)	1.1 (0.6)	2.0 (0.8)	3.9 (1.4)
Coleoptera	딱정벌레목	–	–	–	–	0.1 (0.1)	–
Coleoptera	딱정벌레목	–	–	–	–	0.1 (0.1)	–
Diptera	파리목	0.2 (0.2)	0.2 (0.1)	0.6 (0.2)	1.0 (0.5)	0.3 (0.2)	–
Cyclorrhapha	가락지감침파리아목	0.2 (0.2)	0.2 (0.1)	0.6 (0.2)	1.0 (0.5)	0.3 (0.2)	–
Hemiptera	노린재목	–	–	–	0.1 (0.1)	1.6 (0.5)	3.9 (1.4)
Pentatomidae	노린재과(약충)	–	–	–	0.1 (0.1)	1.6 (0.5)	3.9 (1.4)
Species richness		7.0 (2.3)	6.3 (2.1)	21.3 (7.1)	18.3 (6.1)	9.0 (3.0)	10 (3.3)
Shannon's diversity (H′)		1.1 (0.4)	1.1 (0.4)	2.7 (0.9)	2.5 (0.8)	1.6 (0.5)	1.5 (0.3)
Sum of mean abundance (S)		26.8 (14.9)	9.3 (3.6)	21.9 (9.2)	22.7 (11.0)	9.7 (3.9)	14.4 (7.5)

한국생명공학연구원의 곤충표본실에 보관중이다.

3. 데이터 분석

분류된 절지동물의 군집을 도식화하여 먹이 기능군으로 나누었으며, 각 분류군이나, 기능군 등의 평균 수도를 종속변수로 사용하여 포획된 시기별, 또는 작물간의 차이에 의해 출현했는지를 SAS를 이용하여 단변량 분석인 Analysis of Variance (ANOVA)를 하였다. 또한 species richness와 Shannon's diversity index 등을 구하였으며, PC-Ord를 이용하여 다변량 분석을 실시하였다. 다변량 분석을 위하여 Ordination의 한 방법인 다차원 분석 (Non-metric multidimensional scaling: NMS)을 하였다. 높은 베타 diversity를 가진 군집 데이터에 로그와 relativization을 취하여, Coefficient of Variation (CV)를 줄였으며, 이 data transformation 과정에서 출현도가 매우 낮게 포획된 개체수의 분류군은 실험 목적에 별 영향이 없을 것으로 판단되어, 데이터 분석에서 제외하였다 (Clarke 1993; SAS 2001; McCune and Grace 2002).

결과 및 고찰

야외 포장의 PepEST (line 68) 고추에서 채집된 절지동

Table 2. Significance levels of arthropod communities collected by using a cordless insect vacuum collector between non-transgenic (nTR: WT512) and transgenic (TR: line 68) chili peppers in 2006

Taxa	Korean name	Plant type (df=1)	Season (df=2)	Plant type X Season (df=2)
Herbivore	초식자	*	**	*
Coleoptera	딱정벌레목	–	–	–
Callosobruchus chinensis	팥바구미	–	–	–
Monolepta quadriguttata	크로바잎벌레	–	–	–
Attelabidae	거위벌레과	–	–	–
Chrysomelidae	잎벌레과	–	–	–
Diptera	파리목	–	**	–
Melangyna lasiophthalma	보라무늬꽃등에	–	–	–
Sphaerophoria menthastri	꼬마꽃등에	–	–	–
Calliphoridae	검정파리과	–	**	–
Drosophilidae	초파리과	–	–	–
Lauxaniidae	큰날개파리과	–	–	–
Stratiomyidae	동애등에과	–	*	–
Syrphidae	꽃등에과	–	–	–
Tipulidae	각다귀과	–	**	–
Hemiptera	노린재목	–	*	–
Cletus schmidti Kiritshenko	우리가시허리노린재	–	–	–
Eurydema gebleri Kolenati	북쪽비단노린재	–	–	–
Halyomorpha halys (Stal)	썩덩나무노린재	*	*	*
Hygia lativentris (Motschulsky)	떼허리노린재	–	–	–
Nysius plebejus Distant	애긴노린재	–	–	–
Plautia stali Scott	갈색날개노린재	–	**	–
Scotinophara lurida (Burmeister)	먹노린재	–	–	–
Stictopleurus crassicornis	흑다리잡초노린재	–	–	–
Yemma exilis	실노린재	–	–	–
Miridae	장님노린재과	*	**	**
Rhopalidae	잡초노린재과	–	–	–
Homoptera	매미목	–	–	–
Sogatella furcifera	흰등멸구	–	–	–
Aphididae	진딧물과	–	–	–
Cicadellidae	매미충과	–	–	–
Delphacidae	멸구과	–	–	–
Hymenoptera	벌목	–	**	–
Apis mellifera	양봉꿀벌	–	**	–
Apidae	꿀벌과	–	–	–
Pompilidae	대모벌과	–	–	–
Lepidoptera	나비목	–	–	–
Pamara guttata (Bremer et Grey)	줄점팔랑나비	–	–	–
Yponomeutidae	집나방과	–	–	–
Orthoptera	메뚜기목	–	*	–
Acrida cinerea cinerea (Thunberg)	방아깨비	–	–	–
Atractomorpha lata (Motschulsky)	섬서구메뚜기	–	*	–
Conocephalus chinensis	쌕새기	–	–	–
Oxya japonica japonica (Thunberg)	벼메뚜기	–	*	–
Phaneroptera falcata (Poda)	실베짱이	–	–	–
Tettigoniidae	여치과	–	–	–
Thysanoptera	총채벌레목	–	–	–
Thripidae	총채벌레과	–	–	–
Predator	포식자	–	**	–
Araneae	거미목	–	**	–
Diaea subdola	각시꽃게거미	–	–	–
Misumenops tricuspidatus	꽃게거미	–	–	–
Neoscona adianta (Walckenaer)	각시어리왕거미	–	–	–
Tetragnatha vermiformis Emerton	논갈거미	–	–	–
Agelenidae	풀거미과	–	–	–
Araneidae	왕거미과	–	–	–
Linyphiidae	접시거미과	–	–	–

Table 2. Continued

Taxa	Korean name	Plant type (df=1)	Season (df=2)	Plant type X Season (df=2
Lycosidae	늑대거미과	–	–	–
Pholcidae	유령거미과	–	–	–
Salticidae	깡총거미과	–	–	–
Tetragnathidae	갈거미과	–	**	–
Theridiidae	꼬마거미과	–	**	–
Thomisidae	게거미과	–	**	*
Coleoptera	딱정벌레목	–	*	–
Harmonia axyridis (Pallas)	무당벌레	–	*	–
Hippodamia tredecimpunctata	열석점긴다리무당벌레	–	–	–
Propylea japonica (Thunberg)	꼬마남생이무당벌레	–	–	–
Hemiptera	노린재목	–	*	*
Aquarius paludum (Fabricius)	소금쟁이	–	*	*
Hymenoptera	벌목	*	*	*
Vespidae	말벌과	*	*	*
Odonata	잠자리목	–	*	–
Ischnura asiatica (Brauer)	아시아실잠자리	–	*	–
Parasitoid	기생자	–	*	–
Hymenoptera	벌목	–	*	–
Braconidae	고치벌과	–	*	–
Eulophidae	좀벌과	–	–	–
Ichneumonidae	맵시벌과	–	–	–
Detritivore	분해자	–	–	–
Diptera	파리목	–	–	–
Chironomidae	깔따구과	–	–	–
Omnivore	다식자	–	–	–
Diptera	파리목	–	–	–
Culicidae	모기과	–	–	–
Miscellaneous	미동정	*	**	–
Coleoptera	딱정벌레목	–	–	–
Coleoptera	딱정벌레목	–	–	–
Diptera	파리목	–	*	–
Cyclorrhapha	가락지감침파리아목	–	*	–
Hemiptera	노린재목	*	**	*
Pentatomidae	노린재과 (약충)	*	**	*
Specises richness		–	**	–
Shannon's diversity (H′)		–	**	–
Sum of mean abundance		–	–	–

–, not detected; *$P < 0.05$; **$P < 0.001$

물의 종구성 및 먹이 기능군별로 구분하여 평균 수도와 표준오차로 나타내었으며 2006년의 3차에 걸친 채집시기별 (1차: 6월 20일, 2차: 7월 26일, 3차: 8월 28일), 작물별 (non transgenic: nTR, transgenic: TR)로 구분하여 나타내었다 (Table 1). 평균수도의 합에서 볼 때, 1차의 모본은 26.8 (14.9)로, 같은 시기의 PepEST 고추의 9.3보다는 더 높은 수도를 나타내었고, 2차에서는 각각 21.9와 22.7로써 두 작물간의 차이가 없었으며, 3차 시기엔 수도가 많이 낮아진 9.7과 14.4이었으며, PepEST에서 약간 높은 값을 나타냈지만 그 두 작물간의 차이는 없었다. 고추에서 절지류에 관한 연구는 주로 작물과 해충과의 관계를 다룬 연구가 대부분이었다 (Moon *et al*. 2006). 또한 Moon *et al*. (2006)에서도 밝힌 바와 같이 고추에 서식하는 총채벌레의 발생밀도가 7월에 가장 높았는데, 이는 본 연구의 절지동물군집의 수도와도 일치하는 시기였다. 본 연구는 고추작물에 대하여, 단지 해충의 역할이 아닌, 비표적 생물체로서의 절지동물의 군집조사를 다루었는데, 이러한 연구는 국내에선 전무한 실정이었다. 그러므로 본 연구는 지역적으로 제한적이긴 하지만, 고추에 서식하고 있는 곤충을 포함한 모든 절지동물의 군집구조를 밝혔다는 데에 의의가 있는 연구이며, 이들이 모본과 유전자 변형 고추와의 군집비교를 통해서 유전자 변형

Table 3. The non-target herbivore group species associated with non-transgenic (nTR: WT512) and transgenic (TR: line 68) chili peppers in 2006

Feeding guild	Taxa	Korean name	Occurrence (%)		Abundance		Presence		Linkage	Possible adverse effect		
			nTR	TR	nTR (99)	TR (114)	nTR	TR		Significance	Vector of disease	Damage
Defoliators	*Monolepta quadriguttata* (Motschulsky)	크로바잎벌레	4	4	1	2	Reproductive 2	Reproductive 1			No	Light
	Attelabidae	거위벌레과	4		1		Reproductive 1				No	Light
	Chrysomelidae	잎벌레과	4		1		Vegetative				No	Light
	Acrida cinerea cinerea (Thunberg)	방아깨비		4		1		Reproductive 1			No	Light
	Atractomorpha lata (Motschulsky)	섬서구메뚜기	15	19	5	5	Often	Often	Sometimes		No	Heavy
	Conocephalus chinensis (Redtenbacher)	쌕새기		4		1		Reproductive 2			No	Light
	Oxya japonica japonica (Thunberg)	벼메뚜기	4	7	1	2	Reproductive 1	Reproductive 1			No	Light
	Phaneroptera falcata (Poda)	실베짱이		7		3		Reproductive 2	Sometimes		No	Light
	Tettigoniidae	여치과		4		11		Reproductive 1			No	Light
Sap feeders	*Cletus schmidti* Kiritshenko	우리가시허리노린재	7		2		Often		Sometimes	Potential pest	virus	Medium
	Eurydema gebleri Kolenati	북쪽비단노린재	4		1		Vegetative			Potential pest	virus	Light
	Halyomorpha halys (Stal)	썩덩나무노린재		11		4		Reproductive 2	Sometimes	Potential pest	virus	Medium
	Hygia lativentris (Motschulsky)	떼허리노린재		4		1		Reproductive 2		Potential pest	virus	Light
	Nysius plebejus Distant	애긴노린재	7	4	5	2	Reproductive 1	Reproductive 1		Potential pest	virus	Medium
	Plautia stali Scott	갈색날개노린재	26	22	9	7	Reproductive 2	Reproductive 2	Sometimes	Potential pest	virus	Medium
	Scotinophara lurida (Burmeister)	먹노린재	4		1		Vegetative			Potential pest	virus	Light
	Stictopleurus crassicornis (Linné)	흑다리잡초노린재	4		1						virus	Light
	Yemma exilis Horváth	실노린재		4		1					virus	Light
	Miridae	장님노린재과	7	19	2	9	Reproductive 2	Reproductive 1	Sometimes	Potential pest	virus	Medium
	Rhopalidae	잡초노린재과	11		4		Often		Sometimes	Potential pest	virus	Medium
	Sogatella furcifera (Horváth)	흰등멸구		4		1		Reproductive 2			virus	Light
	Aphididae	진딧물과	30	30	10	10	Often	Anytimes	Always	Potential pest	virus	Heavy
	Cicadellidae	매미충과		4		1		Reproductive 1			virus	Light
	Delphacidae	멸구과	4		1		Reproductive 1			Potential pest	virus	Light
	Thripidae	총채벌레과		4		1		Reproductive 1		Potential pest	No	Heavy
Grain feeders	*Callosobruchus chinensis* (Linné)	팥바구미	4		1		Reproductive 1				No	Light
Pollen feeders	*Melangyna lasiophthalma* (Zetterstedt)	보라무늬꽃등에		4		1		Reproductive 1			No	Light
	Sphaerophoria menthastri (Linné)	꼬마꽃등에	4	7	1	2	Reproductive 1	Often	Sometimes		No	Light
	Calliphoridae	검정파리과	30	30	9	10	Often	Often	Sometimes		No	Light
	Drosophilidae	초파리과		4	1	1	Reproductive 1	Reproductive 1			No	Light
	Lauxaniidae	큰날개파리과	4	4	1	1	Reproductive 1	Reproductive 1			No	Light
	Stratiomyidae	동애등에과	15	7	6	2	Reproductive 1		Sometimes		No	Light
	Syrphidae	꽃등에과		7		2		Often	Always		No	Light
	Tipulidae	각다귀과	33	30	18	21	Often	Often	Sometimes		No	Light
	Apis mellifera Linné	양봉꿀벌	26	15	15	9	Reproductive 1	Reproductive 1	Sometimes		No	Light
	Apidae	꿀벌과		4		2		Reproductive 1			No	Light
	Pompilidae	대모벌과	4		1		Reproductive 1				No	Light
	Pamara guttata (Bremer et Grey)	줄점팔랑나비	4		1		Reproductive 2				No	Light
	Yponomeutidae	집나방과		4		1		Reproductive 1			No	Light

고추의 위해성 여부를 판단하기 위한 연구이었다. 이는 차기에 다른 유전자 변형 작물의 비표적생물체의 위해성 평가 연구에 참조할 만한 가치가 있을 것으로 판단된다.

각 먹이 기능군별로 두 작물간의 차이를 비교할 때, 초식자에서는 1차 조사의 모본은 2.0이었고, PepEST는 1.2였으며, 2차 조사에서는 각각 7.1과 8.6, 3차 조사에서는 1.9와 2.9로 나타나, 1차를 제외한 2, 3차에서는 PepEST에서 높은 수도를 나타냈다. 포식자와 기생자는 2차시기에 높은 값을 가진 것 외에는 각 시기별로 작물간에 수도의 차이는 없었다. 분해자에서는 깔따구과가 1차의 모본 512에서 PepEST보다 높은 수도를 나타냈고, 다른 시기에서는 각 작물별 차이가 없었다. 각 분류군별로 비교할 때, 2차시기에 높은 평균 수도를 나타내었고, 다양한 분류군이 나타났음을 알 수 있었다. 종구성에서도 다른 시기보다는 많은 차이를 나타내었다. 모본의 포식자의 분류군이 다양하게 나타났음을 알 수 있었다. 종풍부도에서는 2차 시기엔 모본 512는 21.3과 PepEST 18.3으로 다른 시기의 모본 512의 7.0, PepEST 6.3 (1차), 모본 512의 9.0과 PepEST 10.0 (3차) 보다는 훨씬 높은 값을 나타내었다. Shannon의 종다양도 지수에서도 각 시기별로 작물간의 차이는 보이지 않았지만 2차 시기의 종다양도 지수가 다른 시기보다 더 높은 값을 나타내었다 (Table 1).

위에서 논의된 분류군을 작물별, 채집시기별로 통계적인 유의성을 검증하기 위하여 수행한 ANOVA 분석을 통해서 나타난 결과가 Table 2에 나타나 있다. 작물간의 통계학적으로 유의한 차이가 있었던 분류군은 초식자 ($P < 0.05$)이었으며, 초식자의 먹이 기능군내의 분류군은 썩덩나무노린재 ($P < 0.05$)와 장님노린재과 ($P < 0.05$)이었다. 또한 다른 먹이 분류군은 포식자의 말벌과 ($P < 0.05$)이었고, 미동정군에서도 작물간의 차이가 나타나는 것으로 나타났으며, 분류가 쉽게 되지 않은 노린재의 약충 때문인 것으로 나타났다. 또한 채집시기별로는 초식자 ($P < 0.001$), 포획자 ($P < 0.001$), 기생자 ($P < 0.05$), 미동정 ($P < 0.05$)에서 통계학적인 유의성을 보여주고 있다 (Table 2). 작물과 채집시기별 관계는 초식자 (썩덩나무노린재, 장님노린재과) 에서만 유의한 결과를 나타내 주고 있다 ($P < 0.05$). 포식자에서는 유의한 차이가 없었지만 게거미과와 말벌과가 유의한 차이를 나타내었다 ($P < 0.05$).

일반적으로 초식자가 작물에 미치는 영향이 크고, 본 연구 목적인 유전자 변형 작물의 위해성이 비표적 생물체에 미치는 영향이므로, 직접적인 영향을 받을 가능성이 있는 초식자만을 구분하여 이들의 occurrence, abundance, presence, 위해 가능성여부를 확인하여 환경위해도의 가능성을 확인하였다. 즉, 작물간에 통계적으로 유의성을 나타낸 초식자의 분류군을 세분하여 Table 3에 나타내었다. 초식자기능군을 먹이 섭식형태에 따라 구분하였고, 각 분류군별 발생률과 수도를 표기하였다. 각 분류군이 두 작물간에 특별히 선호하거나 배제했던 결과는 나타나지 않았으며, 해충의 가능성이 있는 분류군인 3개의 과가 주요한 해충의 종류인데, 우선 메뚜기과인 섬서구메뚜기, 진딧물과, 총채벌레과가 작물의 피해 가능성이 큰 것으로 나타났다 (Table 3).

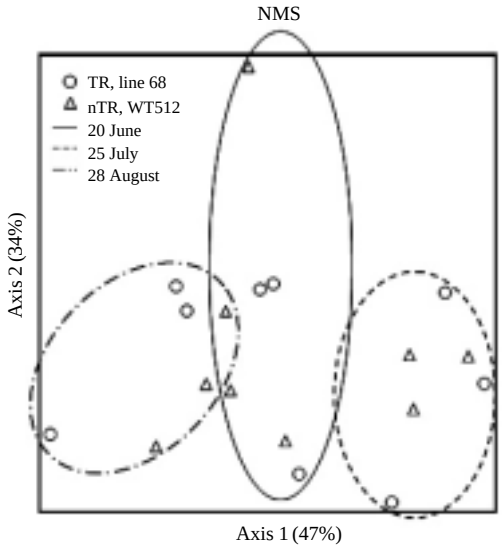

Fig. 3. Nonmetric multidimensional scaling (NMS) analysis of the arthropod community structures on non-transgenic (nTR: WT512) and transgenic (TR: line 68) chili red peppers during the three times (June 20, July 25, August 28) of collecting arthropods in 2006.

조사된 군집 데이터를 이용해 NMS (Non-metric Multidimentional scaling)로 분석한 결과 총 81%의 데이터를 설명하였고 47%를 설명한 Axis1에 의해 1차, 2차, 3차의 군집의 차이를 보여 주었다. 즉 본 실험에서 계절적인 종구성의 차이는 나타났으나 각 채집 시기별로 모본과 PepEST 고추와의 군집 구조의 차이는 나타나지 않았다 (Fig. 3).

결론적으로, 모본과 PepEST 고추간의 군집 구조별 차이는 작물에서 샘플링을 수행한 시기별 차이의 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 식물과 연관성이 높은 초식자의 selection matrix 분석은 환경위해도를 측정하는데 매우 효과적인 방법으로 이용되었다. 즉, 비표적 생물체인 절지동물의 군집 구조의 차이는 샘플링 시기별로 종구성과 분류군별 수도의 차이가 있었지만, 각 샘플링시기별로 두 작물간의 차이에 의한 군집 구조는 명확한

차이를 나타내지는 않았다. 각 먹이 기능군과 각 분류군별 분석을 통해서 볼 때, 초식자가 작물별 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으므로, 초식자군만을 별도로 분석한 결과 작물의 해충으로 역할을 하는 곤충군만이 높은 유의성을 나타내었다. 이는 두 가지 각 작물에 해를 주는지 여부와 유전자 변형 작물에 의한 위해성 여부 때문에 증가한 것인지를 판단하기 위해서, 작물에 관한 위해가능성을 분석한 결과, 모본과 PepEST간의 상대적인 위해도는 어느 한 작물이 특별히 높지 않았으므로, 유전자 변형으로 인해서 야기하게 될 환경위해가능성에 대한 유의성의 차이는 없는 것으로 결론 내려졌다. 본 연구에서 나타내진 않았지만, 잎을 관찰함으로써, 얻어지는 진딧물의 엽흔과 관련된 진딧물의 밀도 추정과, 고추의 꽃에 서식하는 총채벌레의 밀도 조사는 환경위해도를 추정하는데, 직접적인 영향을 주는 항목이기에, 매우 중요한 요소이기도 하다. 2006년도 한국생명공학연구원의 연구 결과 보고서에 따르면 성충인 총채벌레의 수도가 모본에서 유전자 변형 고추인 PepEST의 수도보다는 통계학적으로 더 높은 수도를 나타내었다($P<0.05$). 그러나 미성숙 총채벌레는 두 작물간의 차이가 없었다($P>0.05$). 본 두 가지 관찰에 의해서 얻어진 결과는 두 작물간의 차이가 총채 벌레에선 차이가 있었지만, 군집구조의 측면에선 환경위해성 차이가 없었음을 입증하는 결과라고 볼 수 있으며, 본 군집 조사를 통해서 나타난 결과와 결부하여, 환경위해도 평가에 매우 중요한 자료가 될 것이며 장기간의 모니터링을 통하여 세대를 거듭하여 나타날 돌연변이 등이나 유전자 서열변화에 따른 영향도 고려해 봐야 할 사항이다.

적 요

농업생태계에 심겨진 탄저병 저항성 유전자인 PepEST 유전자가 내재된 유전자변형 고추의 환경위해성을 평가하기 위하여 2006년 고추의 생육기간 동안 절지동물의 군집구조를 3회(6월 20일, 7월 25일, 8월 28일)에 걸쳐 조사하였다. 두 가지의 고추 즉 모본(nTR, WT512)와 유전자 변형 고추(TR, line 68)의 꽃과 잎에 서식하는 곤충을 포함한 절지동물의 군집구조를 파악하기 위하여 곤충을 포획할 수 있는 진공 흡입기를 이용하여 절지동물을 정량적으로 채집하였다. 생육 기간 중에서 7월에 가장 많은 종수, 종다양도, 그리고 종구성의 차이를 보여주었지만($P<0.05$), 각 생육기간별 두 작물간의 군집구조는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 각 분류군 별로 통계적인 유의성을 검증한 결과, 초식자의 먹이기능군이 통계적인 유의성을 나타냈으며($P<0.05$), 그 초식자군의 고추에 대한 잠재적인 피해 가능성을 검정한 결과, 섬서구메뚜기, 진딧물, 그리고 총채벌레의 잠재적 피해가능성이 크다고 판단되었다. 지금까지 수행된 본 연구결과를 근거로 판단하여 볼 때, 유전자 변형 고추로 인한 비표적 생물체의 군집구조의 차이가 없었으므로, 환경위해도는 없는 것으로 판단되지만, 추후 환경위해도의 잠재 가능성 때문에, 환경위해성 평가연구가 지속적으로 수행되어야 한다고 결론 내릴 수 있다.

사 사

본 연구는 과학기술부 시행 생명공학안정성평가기술개발사업과 KRIBB 기관고유사업 및 작물유전체기능연구단 연구결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

정영호. 2000. 채소 병해충 진단과 방제. 농촌진흥청 농업과학기술원편, 아카데미 서적, 330pp.

Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Aust. J. Ecol. 18:117-143.

Conner AJ, TR Glare and JP Nap. 2003. The release of genetically modified crops into the environment. Part II. Overview of ecological risk assessment. Plant J. 33:19-46.

Dale P. 2002. The environmental impact of genetically modified (GM) crops-A review. J. Agri. Sci. 138:245-248.

Fraley R. 1992. Sustaining the supply. Bio/Technology 10:40-43.

Griffiths BS, IE Geoghegan and WM Robertson. 2000. Testing genetically engineered potato, producing the lectins GNA and Con A, on non-target soil organisms and processes. J. Appl. Ecol. 37:159-170.

Hilbeck A, DA Andow and EMG Fontes. 2006. Environmental risk assessment of genetically modified organisms: V.2 Methodologies for assessing Bt cotton in Brazil. CABI, London UK.

Hilbeck A and DA Andow. 2004. Environmental risk assessment of genetically modified organisms: V. 1. A case study of Bt Maize in Kenya. CABI, Wallingford, UK.

James C. 2005. Executive summary of global status of commercialized biotech/GM crops: ISAAA Briefs No. 34. ISAAA: Ithaca, NY.

Kim YS, HH Lee, MK Ko, CE Song, CY Bae, YH Lee and BJ Oh. 2001. Inhibitation of fungal appressorium formation by pepper (*Capsicum annuum*) esterase. Mol. Plant Microbe.

Interact. 14:80-85.

McCune B and JB Grace. 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software Design. Gleneden Beach, OR, USA.

Moon HC, CI Kwon, IJ Rock, GB Rae, DH Kim and CY Hwang. 2006. Seasonal occurrence and damage by thrips on open and red pepper in Jeonbuk Province. Kor. J. Appl. Entomol. 45:9-13.

Nap JP, PLJ Metz, M Escaler and AJ Conner. 2003. The release of genetically modified crops into the environment. Part I. Overview of current status and regulations. Plant J. 33:1-18.

SAS Institute. 2001. PROC user's manual, version 6th ed. SAS Institute, Cary, NC, USA.

Simmonds NW, J Smartt, S Millam and W Spoor. 1999. Principles of crop improvement, 2nd ed. Blackwell, Oxford, UK.

Yi HB, JE Park, MC Kwon, S Park, CG Kim, SC Jeong, WK Yoon, SM Park, SL Han, CH Harn and HM Kim. 2006. Environmental risk assessment of watermelon grafted onto transgenic rootstock resistant to Cucumber green mottle mosaic virus (CGMMV) on non-target insects in conventional agro-ecosystem. J. Ecol. Field Biol. 29:323-330.

Manuscript Received: September 14, 2007
Revision Accepted: November 7, 2007
Responsible Editor: Jin Kyu Kim