

〈Original article〉

형질전환 벼와 일반 벼간 곤충상 비교

박태철¹ · 최호정¹ · 정효진¹ · 장호중¹ · 김주곤² · 박정준^{1,3,*}

¹경상대학교 식물의학과, ²서울대학교 국제농업기술대학원, ³경상대학교 농업생명과학연구원

Comparison of Insect Fauna in Transgenic and Common Rice Paddy Fields

Taechul Park¹, Hojeong Choe¹, Hyoujin Jeong¹, Hojung Jang¹, Jukon Kim² and Jung-Joon Park^{1,3,*}

¹Department of Plant Medicine, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

²Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Republic of Korea

³Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

Abstract - Quantitative classification of insect fauna in transgenic rice in 2 LMO (Living genetically Modified Organism) isolated paddy fields (Gyeongsang National University, Gyeongbuk National University) and rice in 4 paddy fields (Duryang 1, Duryang 2, Hwagye 1, Hwagye 2), were evaluated for consecutive 5 years (2013 to 2017) in Sacheon, Gyeongnam province, and for 2 consecutive years (2015 to 2016) in Gunwi Gyeongbuk province. Sampling insect fauna were evaluated by black light trapping, sticky trapping, visual surveying, and sweeping methods in each target paddy field, respectively. A total of 37,941 individuals, of 464 species from 15 orders, were collected in Sacheon for 5 years. A total of 10,030 individuals, of 366 species from 13 orders, were collected in Gunwi for 2 years. Based on results of comparison between transgenic and non-transgenic paddy fields for 5 consecutive years, the similarity index between LMO paddy field and common paddy field is not different. Thus, this difference is not due to the environment, not the LMO.

Keywords : transgenic rice, non-transgenic cultivation rice, Insect fauna surveying, community analysis

서론

현대생명공학기술을 이용한 형질전환 작물(Living genetically Modified Organism; LMO)는 여러 기능을 기반으로 인류가 직면한 어려운 문제들(식량문제, 환경문제, 에너지문제, 자원문제, 의료문제 등)을 해결할 수 있는 수단으로 주목되고 있다. 이러한 LMO의 잠재적인 가치에도 불구하고 연

구 및 개발 초기부터 유전자의 인위적인 조작에 따른 안전성의 불신 등 사회적 의심이 지속적으로 제기되어 왔다(Noh 2014). LMO의 개발과 이용 확대에 있어 대상 생태계에 미치는 영향과 위해성 평가는 필수적이다(Frewer *et al.* 2004).

생물다양성은 생물의 종류가 얼마나 다양한지 의미한다(CBD 1992; Morrell 1999). 생물다양성을 이루는 생물 종은 생태계의 기본 단위일 뿐만 아니라 인간과 생태계의 생명을 유지하는 필수적인 자원이다. 생물다양성은 특정생태계에서 종의 수나 형태 및 분포 등의 종 상호간 관계를 의미하는 종 다양성(species diversity)과 유전정보의 다양성을 의

* Corresponding author: Jung-Joon Park, Tel. 055-772-1928, Fax. 055-772-1929, E-mail. jungpark@gnu.ac.kr

미하는 유전자 다양성 (gene diversity), 서식지 내에서 서로 경쟁 혹은 공생하고 먹이사슬을 이루는 생태적 기능을 의미하는 생태계 다양성 (ecosystem diversity)으로 나뉜다 (Kwon *et al.* 2006). 지구상의 생물은 약 40억 년의 역사를 통해 다양한 환경에 적응하고 진화한 결과 미지의 생물체를 포함하여 약 1,000만 내지 3,000만 종으로 추정되는 다양한 생물이 존재하게 되었다 (Gaston and Spicer 2004; ESK 2013). 생태계 먹이사슬의 아래에서 생태계의 특성을 대변하는 위치를 차지하는 곤충 종 구성변화는 장기적인 생태계 변화를 파악함에 있어 중요한 인자이다 (Rosenberg *et al.* 1986; Gullan and Cranston 2005). 따라서 대상 생태계 곤충 종 비교는 생태계 환경위해성 평가의 시작이며, 더 진전하여 비표적 곤충 종과 관련된 연구가 필요하다 (Poppy 2000, 2004; Dale *et al.* 2002; Romeis *et al.* 2008).

다양한 종으로 이루어진 곤충 집단의 특징 및 특성은 구성 종의 정량적 군집분석으로 가능하다. 군집분석이란 비슷한 특성을 가진 집단을 확인하기 위해 시도하는 통계적 분석기법이다. 조사 지점별로 정량적인 채집자료를 사용한다. 그리고 각 채집위치별 생태계의 특징 및 특성을 살필 수 있다 (Bae *et al.* 2004; Jung *et al.* 2008; Lee *et al.* 2009; Ahn 2013).

국내에서 형질전환 벼와 비변형 벼의 곤충상 조사와 관련한 연구에서 Bae *et al.* (2012)은 Protax 저해 제초제 내성 형질전환 벼와 일반 벼의 곤충상을 육안으로 확인한 결과 차이가 없다고 하였다. 일반적인 곤충상 조사는 육안조사와 더불어 트랩(유아등 트랩, 끈끈이 트랩, 페로몬 트랩)과 포충망으로 이루어지고 (Borror *et al.* 1989; Kim *et al.* 2012), 각 조사방법에 따른 장단점의 파악은 지역별 형질전환 벼와 일반 벼의 곤충상 차이를 위한 표준 조사 방법을 제시함에 있어 필수적이다.

본 연구는 5년 동안 형질전환 벼와 비변형 벼 재배지의 곤충상을 채집 및 조사한 뒤 분류 및 동정 과정을 거쳐 자료를 획득하고 형질전환 벼와 비변형 벼 사이 곤충상 군집분석 결과를 통해 서로 비교하는 것이다.

재료 및 방법

1. 조사지역과 조사시기

조사지역은 경상남도 사천시 용현면 선진리에 위치한 경상대학교 LMO 격리포장내 형질전환 벼 재배지 (35°02'39.94"N 128°03'29.45"E)와 경상남도 사천시 사천읍 두량리에 위치한 비변형 재배 벼 재배지 (두량1, 35°06'32.53"N 128°07'09.62"

E; 두량2, 35°06'27.67"N 128°07'17.16"E)에서 수행하였고, 경상북도 군위군 화계리 경북대학교 LMO 격리포장내 형질전환 벼 재배지 (36°06'46.06"N 128°38'25.61"E)와 주변 비변형 벼 재배지 (화계1, 36°06'55.45"N 128°38'18.00"E; 화계2, 36°06'56.20"N 128°38'07.37"E)에서 수행하였다. 사천시의 조사시기는 2013년부터 2017년까지 매년 7월 말에서 10월 초까지 2주에 한번씩 조사하였고, 군위군의 조사시기는 2015년부터 2016년까지 매년 7월 말에서 10월 초까지 2주에 한번씩 조사하였다.

2. 조사방법

곤충상 조사는 벼를 직접 가해하며 빈번하게 발생하는 주요 해충을 포함한 모든 곤충을 채집하여 조사하였다. 곤충상 조사는 직접관찰방법과 유인관찰방법으로 나뉜다. 직접관찰방법은 포충망을 이용한 포충망조사 방법, Breeding case (직경 9.3 cm, 뚜껑에 망이 있어 공기가 통하는 원형 케이스)를 이용한 육안조사 방법을 실시하였고, 유인관찰방법은 유아등 트랩을 이용한 방법, 끈끈이 트랩을 이용한 방법을 실시하여 총 4가지 방법으로 실시하였다. 포충망조사는 직경 50 cm의 포충망을 이용하여 각 실험 포장 내 지정된 3개의 구역을 각 왕복 25회씩 휘둘러 채집하였고, 육안조사는 Breeding case를 가지고 실험 포장 내에서 일정시간동안 채집하였다. 유아등 트랩(낮에 태양광으로 충전하여 밤에 해충 유인램프로 유인하여 팬을 이용하여 저속 고풍량 흡입으로 채집, 에코솔라텍)은 각 실험 포장 당 1기씩 설치하였고, 채집 후 수거 시기가 늦어지면 나방류의 인편이 떨어져 종 분류가 불가하여 설치 후 1일 간격으로 수거하였다. 끈끈이 트랩 (15×25 cm, 단면, 그린아그로텍)은 단면 끈끈이 트랩을 서로 마주보게 하여 각 실험 포장 당 2개 설치하였다.

곤충의 종 분류는 국가생물종지식정보시스템 (KNA 2012)을 이용하였고, 도감으로는 한국의 잠자리 (Jung 2012), 한국의 밤 곤충도감 (Baek 2012), 딱정벌레 도감 (Son 2009), 노린재 도감 (Ahn 2010) 등을 참고하였다.

3. 조사된 곤충상 군집분석

각 실험포장 당 채집된 곤충에 대하여 우점도 지수 (dominance index; DI), 다양도 지수 (diversity index; H'), 풍부도 지수 (richness index; RI) 및 균등도 지수 (evenness index; EI)를 계산하였다.

우점도 지수는 (DI)는 비교 대상들 간의 우점 정도를 나타내는 지표로, 지수는 0~1의 숫자로 표현된다. 1에 가까울수록 군집내 모든 개체수 중 몇 종의 개체수가 높다는 의미

이며, 1인 경우 군집내 종수나 개체수가 한 종으로 구성된다라는 의미이다. 다음 식 1의 우점도 지수(DI, McNaughton's dominance index) (McNaughton 1967)를 산출하였다.

$$DI = \frac{n_1 + n_2}{N} \quad (1)$$

여기서 n_1 은 가장 많은 개체가 채집된 종(우점종)의 개체수, n_2 는 두 번째로 많은 개체가 채집된 종(아우점종)의 개체수이고, N 은 채집된 총 개체수이다(McNaughton 1967).

다양도 지수(H')는 한 군집 내에서 종과 개체수의 관계를 나타낸 것으로 종풍부도와 균등도를 동시에 나타내는 척도이며, 지수가 높을수록 군집내의 다양도가 높다. Margalef (1958)의 Shannon-Wiener function (H')을 Lloyd and Ghelardi (1964)가 변형한 식 2를 이용하였다(Pielou 1969).

$$H' = \sum_{i=1}^s \left[\frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} \right] \quad (2)$$

여기서 n_i 는 채집된 개체들 중 i 종의 개체수이고 N 은 채집된 총 개체수이다(Pielou 1969).

풍부도 지수(RI)는 총 개체수와 총 종수를 사용하여 군집의 상태를 표현하는 지수로서 값이 높을수록 종 구성이 균형을 이루고 환경상태가 양호하다는 것을 의미한다. Margalef (1958)의 지수인 식 3을 이용하였다.

$$RI = \frac{S - 1}{\ln(N)} \quad (3)$$

여기서 S 는 채집된 전체 종수이고 N 은 채집된 총 개체수이다(Margalef 1958).

균등도 지수(EI)는 군집 내 종 구성의 균일한 정도를 나타내는 지수로 각 지수의 최대치에 대한 실제치의 비로 표현한다. 군집 내 모든 종의 개체수가 동일할 때 최대치, 즉 1이 된다. Pielou (1975)의 식 4를 이용하였다.

$$EI = \frac{H'}{\ln S} \quad (4)$$

여기서 H' 은 식 2에 계산된 다양도 지수이며 S 는 채집된 전체 종수이다(Pielou 1975).

유사도 지수(Sørensen's QS; SI)는 조사 지역 간의 동질성 정도를 수치화 한 값으로 출현 종을 근거로 두 지역 간의 유사성을 나타낸다. 0~1의 숫자로 표시되며 %로 나타낼 때는 1이 100%를 의미하고 1에 가까울수록 두 지역 간의 유사도가 높음을 의미한다. Sørensen (1948)이 제시한 식 5를 이용하였다.

Table 1. Number of orders, families, species and individuals surveyed at each Sacheon sampling site in each sampling date

Sampling date	Sampling sites	No. of order	No. of families	No. of species	No. of individuals
2013	LMO	7	31	65	5,362
	Duryang1	5	24	45	8,326
	Duryang2	7	17	27	4,027
Sub total		8	38	91	17,715
2014	LMO	10	29	50	4,818
	Duryang1	9	38	69	1,669
	Duryang2	8	41	88	1,757
Sub total		11	54	123	8,244
2015	LMO	14	50	84	2,249
	Duryang1	12	58	102	905
	Duryang2	10	56	116	953
Sub total		15	85	209	4,107
2016	LMO	10	46	99	1,471
	Duryang1	9	47	98	1,160
	Duryang2	12	59	117	1,319
Sub total		13	82	214	3,950
2017	LMO	9	37	64	1,244
	Duryang1	10	32	57	1,885
	Duryang2	8	30	53	796
Sub total		11	55	121	3,925
Total		15	123	464	37,941

Table 2. Number of species and individuals of each insect order surveyed at each sampling method in Sacheon

Sampling method	Order	No. of families	No. of species (%)	No. of individuals (%)
Monitoring (Sweeping and visual sampling)	Hemiptera 노린재목	21	62 (25.51)	1,385 (40.80)
	Odonata 잠자리목	5	24 (9.88)	757 (22.30)
	Diptera 파리목	20	48 (19.75)	584 (17.20)
	Orthoptera 메뚜기목	5	24 (9.88)	240 (7.07)
	Hymenoptera 벌목	8	24 (9.88)	170 (5.01)
	Coleoptera 딱정벌레목	15	29 (11.93)	153 (4.51)
	Lepidoptera 나비목	8	23 (9.47)	74 (2.18)
	Araneae 거미목	3	3 (1.23)	20 (0.59)
	Trichoptera 날도래목	3	3 (1.23)	5 (0.15)
	Neuroptera 풀잠자리목	1	1 (0.41)	4 (0.12)
	Mantodea 사마귀목	1	1 (0.41)	2 (0.06)
	Ephemeroptera 하루살이목	1	1 (0.41)	1 (0.03)
Sub total no.		91	243 (100.00)	3,395 (100.00)
Trap (Light trap and yellow sticky trap sampling)	Coleoptera 딱정벌레목	22	77 (24.06)	25,062 (72.55)
	Diptera 파리목	17	51 (15.94)	4,469 (12.94)
	Trichoptera 날도래목	9	27 (8.44)	1,874 (5.42)
	Hemiptera 노린재목	13	44 (13.75)	1,817 (5.26)
	Lepidoptera 나비목	10	81 (25.31)	578 (1.67)
	Ephemeroptera 하루살이목	2	5 (1.56)	345 (1.00)
	Hymenoptera 벌목	6	20 (6.25)	213 (0.62)
	Thysanoptera 총채벌레목	1	2 (0.63)	146 (0.42)
	Odonata 잠자리목	2	3 (0.94)	17 (0.05)
	Plecoptera 강도래목	2	3 (0.94)	11 (0.03)
	Orthoptera 메뚜기목	1	2 (0.63)	8 (0.02)
	Dermaptera 집게벌레목	2	3 (0.94)	3 (0.01)
	Neuroptera 풀잠자리목	1	1 (0.31)	2 (0.01)
	Araneae 거미목	1	1 (0.31)	1 (0.00)
Sub total no.		89	320 (100.00)	34,546 (100.00)
Total	Coleoptera 딱정벌레목	23	95 (17.24)	25,215 (66.46)
	Diptera 파리목	23	158 (28.68)	5,053 (13.32)
	Hemiptera 노린재목	22	84 (15.25)	3,192 (8.41)
	Trichoptera 날도래목	9	25 (4.54)	1,889 (4.98)
	Odonata 잠자리목	5	25 (4.54)	774 (2.04)
	Lepidoptera 나비목	15	91 (16.52)	652 (1.72)
	Hymenoptera 벌목	9	32 (5.81)	383 (1.01)
	Ephemeroptera 하루살이목	2	5 (0.91)	346 (0.91)
	Orthoptera 메뚜기목	5	22 (3.99)	248 (0.65)
	Thysanoptera 총채벌레목	1	2 (0.36)	146 (0.38)
	Araneae 거미목	3	3 (0.54)	21 (0.06)
	Plecoptera 강도래목	2	3 (0.54)	11 (0.03)
	Neuroptera 풀잠자리목	2	2 (0.36)	6 (0.02)
	Dermaptera 집게벌레목	2	3 (0.54)	3 (0.01)
	Mantodea 사마귀목	1	1 (0.18)	2 (0.01)
Total no.		124	551 (100.00)	37,941 (100.00)

$$SI = \frac{2S_{ij}}{S_i + S_j} \quad (5)$$

여기서 S_{ij} 는 i 지점과 j 지점에서 공통으로 채집된 종 수이고 S_i 는 i 지점에서 채집된 총 종 수, S_j 는 j 지점에서 채집된 총 종 수이다(Sørensen 1948).

결과 및 고찰

1. 곤충 종 발생 양상

경상남도 사천시에서 2013~2017년 5년 동안 총 15목 123과 464종 37,941개체가 채집되었다. 그 중 2016년에 214종으로 가장 다양하게 채집되었고, LMO에서 99종으로 다양하게 채집되었다. LMO 포장에 다른 두 포장에 비해 크기가

작지만 비슷하게 종수가 채집된 것으로 보아 LMO 포장에 다른 포장에 비해 종이 풍부하다고 볼 수 있다(Table 1). 5년 동안 딱정벌레목, 파리목, 노린재목 순으로 우점하였다. 그 중 딱정벌레목이 전체 개체 중 66.46%를 차지하였다. 직접 관찰방법에서는 노린재목, 잠자리목, 파리목 순으로 우점하였고, 그 중 노린재목이 전체 개체 중 40.8%를 차지하였고, 잠자리목이 22.3%를 차지하여 두 목이 62% 이상 차지하였다. 유인관찰방법에서는 딱정벌레목, 파리목, 날도래목 순으로 우점하였고, 그 중 딱정벌레목이 전체 개체 중 72.55%를 차지하였다. Moon (2015)의 LM벼 포장에서 포충망 조사 및 Suction trap 결과를 보면 노린재목의 멸구과, 매미충과, 노린재과, 나비목의 명나방과, 메뚜기목의 메뚜기과, 딱정벌레목

의 바구미과가 발생하였으며, 이는 직접관찰방법의 우점목과 유사함을 보인다. 하지만 Moon (2015)의 LM벼 포장과의 차이는 전라북도 익산시의 농촌진흥청 국립식량과학원 벼맥류부 격리포장과 경상남도 사천시의 경상대학교 격리포장과 지역적 차이로 사료된다(Table 2). 지난 5년간 딱정벌레목, 파리목, 노린재목, 날도래목이 주요 우점목으로 채집되었다. 각 연도별로 우점목을 비교한 결과 2013, 2014, 2017년에는 딱정벌레목이 우점하였고, 2015, 2016년에는 파리목이 우점하였다. 딱정벌레목은 지난 5년 동안 상위 우점목에 항상 포함되었다(Table 3).

경상북도 군위군에서 2015~2016년 2년 동안 총 13목 111과 366종 10,030개체가 채집되었다. 그 중 2015년에 228종

Table 3. Order ranking at each Sacheon sampling site in sampling date

Sampling date	Sampling site	Order ranking		
		1	2	3
2013	LMO	Coleoptera 딱정벌레목	Trichoptera 날도래목	Hemiptera 노린재목
	Duryang1	Coleoptera 딱정벌레목	Lepidoptera 나비목	Odonata 잠자리목
	Duryang2	Coleoptera 딱정벌레목	Hemiptera 노린재목	Lepidoptera 나비목
	Total	Coleoptera 딱정벌레목	Trichoptera 날도래목	Hemiptera 노린재목
2014	LMO	Coleoptera 딱정벌레목	Diptera 파리목	Trichoptera 날도래목
	Duryang1	Coleoptera 딱정벌레목	Hemiptera 노린재목	Trichoptera 날도래목
	Duryang2	Coleoptera 딱정벌레목	Hemiptera 노린재목	Odonata 잠자리목
	Total	Coleoptera 딱정벌레목	Hemiptera 노린재목	Diptera 파리목
2015	LMO	Diptera 파리목	Ephemeroptera 하루살이목	Coleoptera 딱정벌레목
	Duryang1	Diptera 파리목	Coleoptera 딱정벌레목	Hemiptera 노린재목
	Duryang2	Coleoptera 딱정벌레목	Diptera 파리목	Hemiptera 노린재목
	Total	Diptera 파리목	Coleoptera 딱정벌레목	Hemiptera 노린재목
2016	LMO	Diptera 파리목	Hemiptera 노린재목	Coleoptera 딱정벌레목
	Duryang1	Hemiptera 노린재목	Diptera 파리목	Coleoptera 딱정벌레목
	Duryang2	Diptera 파리목	Coleoptera 딱정벌레목	Hemiptera 노린재목
	Total	Diptera 파리목	Hemiptera 노린재목	Coleoptera 딱정벌레목
2017	LMO	Coleoptera 딱정벌레목	Diptera 파리목	Trichoptera 날도래목
	Duryang1	Coleoptera 딱정벌레목	Diptera 파리목	Trichoptera 날도래목
	Duryang2	Diptera 파리목	Coleoptera 딱정벌레목	Trichoptera 날도래목
	Total	Coleoptera 딱정벌레목	Diptera 파리목	Trichoptera 날도래목

Table 4. Number of orders, families, species and individuals surveyed at each Gunwi sampling site in each sampling date

Sampling date	Sampling sites	No. of order	No. of families	No. of species	No. of individuals
2015	LMO	10	56	94	838
	Hwagye1	11	59	107	1,533
	Hwagye2	11	72	127	1,104
Sub total		12	94	225	3,475
2016	LMO	12	51	115	1,859
	Hwagye1	10	56	105	2,972
	Hwagye2	11	53	115	1,724
Sub total		12	75	215	6,555
Total		13	111	366	10,030

으로 가장 다양하게 채집되었다(Table 4). 2년 동안 딱정벌레목, 파리목, 날도래목 순으로 우점하였다. 그 중 딱정벌레목이 전체 개체 중 29.91%를 차지하였고, 파리목이 25.23%를 차지하여 두 목이 전체 개체의 50% 이상 차지하였다. 직접관찰방법에서는 메뚜기목, 노린재목, 잠자리목 순으로 우점하였다. 그 중 메뚜기목이 전체 개체 중 41.77%를 차지하였고, 노린재목이 24.42%를 차지하여 두 목이 전체 개체의 65% 이상 차지하였다. 유인관찰방법에서는 딱정벌레목, 파리목, 날도래목 순으로 우점하였다. 그 중 딱정벌레목이 전체 개체 중 34.93%를 차지하였고, 파리목이 28.51%를 차지하여 두 목이 전체 개체의 60% 이상 차지하였다. Kim *et al.* (2010)의 결과 경상북도 군위군 경북대학교 격리포장에서

엔진식 흡충기를 이용하여 노린재목의 멸구류, 매미충류, 진딧물류, 노린재류, 나비목의 나방류, 딱정벌레목의 바구미류, 총채벌레목의 총채벌레류를 채집하였다. 조사방법의 차이가 있지만, 노린재목이 우점하는 유사한 결과를 나타냈다(Table 5). 지난 2년간 딱정벌레목, 날도래목, 파리목, 노린재목, 하루살이목, 나비목이 주요 우점목으로 채집되었다. 각 연도별로 우점목을 비교한 결과 2015년에는 딱정벌레목이 우점하였고, 2016년에는 파리목이 우점하였다. 하지만 2015, 2016년 둘다 상위 우점종이 딱정벌레목, 날도래목, 파리목이어서 큰 차이는 없다(Table 6).

2013~2017년까지 총 5년 동안 조사된 모든 곤충은 각 연도별로 비교하여, 부록에 따로 정리하였다(Appendix 1, 2).

Table 5. Number of species and individuals of each insect order surveyed at each sampling method in Gunwi

Sampling methods	Order	No. of families	No. of species (%)	No. of individuals (%)
Monitoring (Sweeping and visual sampling)	Orthoptera 메뚜기목	3	16 (10.19)	650 (41.77)
	Hemiptera 노린재목	17	38 (24.20)	380 (24.42)
	Odonata 잠자리목	5	22 (14.01)	274 (17.61)
	Diptera 파리목	17	29 (18.47)	115 (7.39)
	Coleoptera 딱정벌레목	13	17 (10.83)	40 (2.57)
	Hymenoptera 벌목	6	10 (6.37)	31 (1.99)
	Lepidoptera 나비목	7	15 (9.55)	30 (1.93)
	Mantodea 사마귀목	1	2 (1.27)	24 (1.54)
	Araneae 거미목	2	3 (1.91)	8 (0.51)
	Trichoptera 날도래목	2	3 (1.91)	3 (0.19)
	Neuroptera 풀잠자리목	1	1 (0.64)	1 (0.06)
Sub total no.		74	157 (100.00)	1,556 (100.00)
Trap (Light trap and yellow sticky trap sampling)	Coleoptera 딱정벌레목	19	61 (23.92)	2,960 (34.93)
	Diptera 파리목	16	50 (19.61)	2,416 (28.51)
	Trichoptera 날도래목	9	25 (9.80)	1,632 (19.26)
	Hemiptera 노린재목	9	30 (11.76)	451 (5.32)
	Lepidoptera 나비목	13	58 (22.75)	361 (4.26)
	Ephemeroptera 하루살이목	2	5 (1.96)	334 (3.94)
	Hymenoptera 벌목	4	18 (7.06)	194 (2.29)
	Thysanoptera 총채벌레목	1	1 (0.39)	112 (1.32)
	Odonata 잠자리목	2	3 (1.18)	8 (0.09)
	Orthoptera 메뚜기목	1	2 (0.78)	4 (0.05)
	Neuroptera 풀잠자리목	2	2 (0.78)	2 (0.02)
Sub total no.		78	255 (100.00)	8,474 (100.00)
Total	Coleoptera 딱정벌레목	22	71 (19.40)	3,000 (29.91)
	Diptera 파리목	21	66 (18.03)	2,531 (25.23)
	Trichoptera 날도래목	9	26 (7.10)	1,635 (16.30)
	Hemiptera 노린재목	20	59 (16.12)	831 (8.29)
	Orthoptera 메뚜기목	3	16 (4.37)	654 (6.52)
	Lepidoptera 나비목	17	67 (18.31)	391 (3.90)
	Ephemeroptera 하루살이목	2	5 (1.37)	334 (3.33)
	Odonata 잠자리목	5	22 (6.01)	282 (2.81)
	Hymenoptera 벌목	7	25 (6.83)	225 (2.24)
	Thysanoptera 총채벌레목	1	1 (0.27)	112 (1.12)
	Mantodea 사마귀목	1	2 (0.55)	24 (0.24)
	Araneae 거미목	2	3 (0.82)	8 (0.08)
	Neuroptera 풀잠자리목	3	3 (0.82)	3 (0.03)
Total no.		113	366 (100.00)	10,030 (100.00)

Table 6. Order ranking at each Gunwi sampling site in sampling date

Sampling date	Sampling site	Order ranking		
		1	2	3
2015	LMO	Coleoptera 딱정벌레목	Trichoptera 날도래목	Diptera 파리목
	Hwagye1	Coleoptera 딱정벌레목	Trichoptera 날도래목	Ephmeroptera 하루살이목
	Hwagye2	Coleoptera 딱정벌레목	Diptera 파리목	Lepidoptera 나비목
	Total	Coleoptera 딱정벌레목	Trichoptera 날도래목	Diptera 파리목
2016	LMO	Coleoptera 딱정벌레목	Trichoptera 날도래목	Diptera 파리목
	Hwagye1	Diptera 파리목	Trichoptera 날도래목	Hemiptera 노린재목
	Hwagye2	Coleoptera 딱정벌레목	Trichoptera 날도래목	Diptera 파리목
	Total	Diptera 파리목	Coleoptera 딱정벌레목	Trichoptera 날도래목

Table 7. Community analyses on the insect fauna surveyed at each Sacheon sampling site in sampling date

Sampling date	Sampling site	Indices			
		DI	H'	EI	RI
2013	LMO	0.90	0.75	0.18	7.57
	Duryang1	0.98	0.30	0.08	4.76
	Duryang2	0.95	0.48	0.15	3.13
2014	LMO	0.77	1.59	0.39	6.58
	Duryang1	0.42	2.87	0.65	10.57
	Duryang2	0.42	2.95	0.64	13.15
2015	LMO	0.30	3.74	0.74	20.86
	Duryang1	0.21	4.12	0.78	27.91
	Duryang2	0.26	3.93	0.74	28.72
2016	LMO	0.25	3.58	0.78	13.44
	Duryang1	0.27	3.34	0.73	13.75
	Duryang2	0.34	3.29	0.69	16.15
2017	LMO	0.64	2.17	0.54	7.59
	Duryang1	0.77	1.65	0.42	6.38
	Duryang2	0.63	2.18	0.56	7.06

DI: dominance index, H': diversity index, EI: evenness index, RI: richness index

2. 곤충상 군집분석

표본추출방법에 따른 군집분석 결과는 경상남도 사천시와 경상북도 군위군을 나누어 정리하였다. 경상남도 사천시의 5년간의 군집분석 결과로 우점도 지수를 비교해본 결과 2013년에 LMO, 두량1, 두량2에서 각각 0.90, 0.98, 0.95로 다른 해에 비해 높게 나타났다. 이 결과는 2013년에 단일종이 많이 채집된 것으로 사료된다. 다양도 지수를 비교해본 결과 2015년에 LMO, 두량1, 두량2에서 각각 3.74, 4.12, 3.93으로 다른 해에 비해 높게 나타났다. 이 결과는 2015년이 다른 해에 비해 다양하게 종이 채집된 것으로 사료된다. 균등도 지수를 비교해본 결과 2015년에 LMO, 두량1, 두량2에서 각각 0.74, 0.78, 0.74로 다른 해에 비해 높게 나타났다. 이 결과는 2015년이 다른 해에 비해 종들의 개체수가 비슷한 것으로 사료된다. 풍부도 지수를 비교해본 결과 2015년에 LMO, 두

Table 8. Comparison of the similarity indices to insect fauna surveyed at each Sacheon sampling site in each sampling date

Sampling date	Sampling sites	LMO	Duryang1	Duryang2
2013	LMO	-	0.37	0.39
	Duryang1	0.37	-	0.23
	Duryang2	0.39	0.23	-
2014	LMO	-	0.60	0.55
	Duryang1	0.60	-	0.59
	Duryang2	0.55	0.59	-
2015	LMO	-	0.34	0.31
	Duryang1	0.34	-	0.37
	Duryang2	0.31	0.37	-
2016	LMO	-	0.39	0.34
	Duryang1	0.39	-	0.26
	Duryang2	0.34	0.26	-
2017	LMO	-	0.36	0.34
	Duryang1	0.36	-	0.36
	Duryang2	0.34	0.36	-

량1, 두량2에서 각각 20.86, 27.91, 28.72로 다른 해에 비해 높게 나타났다. 이 결과는 2015년이 다른 해에 비해 종 구성이 균형을 이루고 있는 것으로 사료된다(Table 7). 유사도 지수를 비교해본 결과 2014년에 LMO와 두량1, LMO와 두량2, 두량1과 두량2의 지수가 각각 0.60, 0.55, 0.59로 다른 해에 비해 높게 나타났다. 이 결과는 각각의 두 지역 간의 유사도가 높다는 것으로 채집된 종 중 동일 종이 많은 것으로 사료된다(Table 8).

경상북도 군위군의 2년간의 군집분석 결과로 우점도 지수를 비교해본 결과 2016년에 LMO, 화계1, 화계2에서 각각 0.28, 0.48, 0.43으로 2015년에 비해 높게 나타났다. 이 결과는 2016년의 지수가 사천시의 우점도 지수보다 낮지만, 군위군의 다른 해의 우점도 지수보다 높아 단일종이 더 채집된 것으로 사료된다. 다양도 지수를 비교해본 결과 2015년에 LMO, 화계1, 화계2에서 각각 4.18, 3.71, 4.02로 2016년에 비해 높게 나타났다. 이 결과는 2016년에 비해 포장에서 다

Table 9. Community analyses on the insect fauna surveyed at each Gunwi sampling site in sampling date

Sampling date	Sampling sites	Indices			
		DI	H'	EI	RI
2015	LMO	0.21	4.18	0.82	24.35
	Hwagye1	0.30	3.71	0.72	23.45
	Hwagye2	0.22	4.02	0.76	27.41
2016	LMO	0.28	3.44	0.72	15.14
	Hwagye1	0.48	2.86	0.61	13.00
	Hwagye2	0.43	3.07	0.65	15.28

DI: dominance index, H': diversity index, EI: evenness index, RI: richness index

Table 10. Comparison of the similarity indices to insect fauna surveyed at each Gunwi sampling site in each sampling date

Sampling date	Sampling sites	LMO	Hwagye1	Hwagye2
2015	LMO	-	0.40	0.42
	Hwagye1	0.40	-	0.48
	Hwagye2	0.42	0.48	-
2016	LMO	-	0.30	0.39
	Hwagye1	0.30	-	0.36
	Hwagye2	0.39	0.36	-

양한 종들이 채집된 것으로 사료된다. 균등도 지수를 비교해 본 결과 2015년에 LMO, 화계1, 화계2에서 각각 0.82, 0.72, 0.76으로 2016년에 비해 높게 나타났다. 이 결과는 2016년에 비해 종들의 개체수가 비슷한 것으로 사료된다. 풍부도 지수를 비교해본 결과 2015년에 LMO, 화계1, 화계2에서 각각 24.35, 23.45, 27.41로 2016년에 비해 높게 나타났다. 이 결과는 2016년에 비해 종 구성이 균형을 이루고 있는 것으로 사료된다(Table 9). 유사도 지수를 비교해본 결과 2015년에 LMO와 화계1, LMO와 화계2, 화계1과 화계2의 지수가 각각 0.40, 0.42, 0.48로 2016년에 비해 높게 나타났다. 이 결과는 각각 두 지역 사이의 유사도 정도를 나타내는 것으로 2016년보다는 높지만 0.5를 넘지 못하는 것으로 보아 채집된 종 중 동일종이 많다고는 할 수 없다(Table 10).

사천시, 군위군과 Son *et al.* (2016)에서 구미시, 김제시, 부여군, 진주시의 논를 비교하면, 사천시와 군위군의 우점도 지수는 각각 0.21~0.98, 0.21~0.48 다양도 지수는 각각 0.30~4.12, 2.86~4.18 균등도 지수는 각각 0.08~0.78, 0.61~0.81 풍부도 지수는 각각 3.13~28.72, 13~27.41이며, Son *et al.* (2016)에서 우점도 지수 0.16~0.29, 다양도 지수 4.52~5.22, 균등도 지수 0.89~0.93, 풍부도 지수 6.64~9.76으로 보였다. 우점도 지수와 풍부도 지수는 사천시와 군위군이 비교적 높은 수준을 보였고, 다양도 지수와 균등도 지수는 사천시와 군위군이 비교적 낮은 수준을 보였다. 이것으로

보아 사천시와 군위군은 다른 지역에 비해 몇몇 종의 우점이 높은 것으로 사료된다.

Bae *et al.* (2012)는 격리포장 안에서 Prottox 저해 제초제 내성 LM 벼를 재배 후 일반 벼와 비교하여 발생하는 곤충상을 비교한 결과 LM 벼와 일반 벼 사이의 곤충상 차이가 각 지역에 의한 환경 차이로 인한 것으로 연구결과가 나타났고, 이 결과는 본 연구의 결과와 유사한 결과를 보인다. 이전 아직 외부로 환경방출이 일어나지 않은 것으로 사료된다.

본 연구결과는 경남 사천시의 5년, 경북 군위군의 2년 동안 직접관찰방법과 유인관찰방법을 이용하여 채집하였다. 전체 채집된 개체수 중 유인관찰방법으로 채집된 개체수가 직접관찰방법보다 압도적으로 높게 채집되었다. 하지만 직접관찰방법에 비해 종 다양성이 떨어지는 결과를 보이며, 실험포장에서 직접관찰방법을 이용하여 잡는 것은, 포장 내에 있는 종을 대상으로 실시 가능한 것이고, 또한 유인관찰방법의 경우, 유인력에 의한 타종의 혼입가능성 및 몇몇 나방 인편손실에 의한 종 분류 불가로 인하여 상대적으로 그 결과를 획득하기 힘들었다. 직접관찰방법과 유인관찰방법에서 채집되는 곤충이 서로 다르기 때문에 두가지 방법을 지속적으로 진행하는 것이 유리하다. 다년간 LMO포장과 일반포장을 비교해본 결과 매년 상위 주요 목은 우점 순서를 제외하면 거의 같은 목이 나타나는 것을 보아 아직까지는 LMO포장과 일반포장의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았다고 사료된다. 그리고 LMO포장과 일반포장 사이의 유사도 지수와 일반포장 사이의 유사도 지수가 차이가 없는 것으로 보아 LMO로 인한 차이가 아닌 환경에 의한 차이로 사료된다. 본 연구결과는 형질전환 작물의 안전성을 확실히 평가할 수 없었지만, 이 결과를 기초로 하여 향후 지속적으로 형질전환 작물의 안전성 연구에 필히 도움이 될 것으로 사료된다.

적 요

형질전환 벼와 일반 벼의 환경위해성 평가 기초자료를 위해 경상남도 사천시에서 2013~2017년, 경상북도 군위군에서 2015~2016년 7월 말부터 10월 초까지 벼에 발생하는 곤충상을 조사하고 군집특성을 분석하여 비교하였다. 사천시에서 형질전환 벼는 경상대학교 LMO (Living genetically Modified Organism) 격리포장 내에서 재배되었고, 일반 벼는 경상남도 사천시 사천읍 두랑리에서 재배되었다. 군위군에서 형질전환 벼는 경북대학교 LMO 격리포장 내에서 재배되었고, 일반 벼는 경상북도 군위군 효령면 화계리에서 재배되었다. 채집방법으로 육안 조사, 포충망 조사, 유아등 트랩, 끈끈이 트랩을 이용하였다. 5년 동안 사천시에서 총 15목

123과 464종 37,941개체가 채집되었고, 2년 동안 군위군에서 총 13목 111과 366종 10,030개체가 채집되었다. 다년간 LMO포장과 일반포장을 비교해본 결과 매년 상위 주요 목은 우점 순서를 제외하면 거의 같은 목이 나타나는 것을 보아 아직까지는 LMO포장과 일반포장의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았다고 사료된다. 그리고 LMO포장과 일반포장 사이의 유사도 지수와 일반포장 사이의 유사도 지수가 차이가 없는 것으로 보아 LMO로 인한 차이가 아닌 환경에 의한 차이로 사료된다.

사 사

본 연구는 LMO환경위해성 평가기관 운영비 (과제번호: PJ013699) 지원에 의해 이루어졌습니다.

REFERENCES

- Ahn SJ. 2013. Study on insect fauna and diversity of Junam wetland. Doctoral thesis, Gyeongsang National University.
- Ahn SJ, WG Kim and SS Kim. 2010. Natural Ecology of Korea 1: A pictorial book of Stink bug. Pil Tong, Seoul (in Korean).
- Bae SM, MR Yu, HG Yun, TY Shin, JB Choi, WW Lee, HJ Kim, HT Kim and SD Woo. 2012. Assessment of insects in transgenic rice (CPPO06) resistant to the herbicide. *J. Agr. Sci. Chungbuk Nat'l Univ.* 28:137-142.
- Bae YJ, SI Jo, DH Hoang, HG Lee and KB Na. 2004. Biodiversity and community composition of benthic macroinvertebrates from Upo wetlands in Korea. *Kor. J. Environ. Eco.* 18:75-91.
- Baek MG. 2012. Lists of Korean Organisms 2: Apictorial book of Nocturnal Insects. Jayeongwa Sangtae, Seoul (in Korean).
- Borror DJ, CA Triplehorn and NF Johnson. 1989. An introduction to the study of insects, 6th ed., Saunders College Publishing, Florida.
- CBD. 1992. Convention on Biological Diversity. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada.
- Dale PJ, B Clarke and EM Fontes. 2002. Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nat. Biotechnol.* 20:567-574.
- ESK. 2013. Master plan for managing Biodiversity center of Korea. Ecological Society of Korea, Ministry of Environment, Seoul.
- Frewer L, J Lassen, B Kettlitz, J Scholderer, V Beekman and KG Berdal. 2004. Societal aspects of genetically modified foods. *Food Chem. Toxicol.* 42:1181-1193.
- Gaston KJ and JI Spicer. 2004. Biodiversity: An Introduction, 2nd ed. Blackwell Publishing Ltd. Oxford, UK.
- Gullan PK and PS Cranston. 2005. The insect - An outline of entomology. Blackwell Publishing Ltd. Oxford, UK.
- Jung GS. 2012. Lists of Korean Organisms 1: Korean Dragon Flies. Jayeongwa Sangtae, Seoul (in Korean).
- Jung SB, HS Jun, GS Yang, JS Go, JG Oh and WT Kim. 2008. Distribution characteristics of aquatic insets at wetlands in Mt. Halla. *Kor. J. Env. Eco.* 22:40-41.
- Kim KH, DS Kim, CG Park, SW Cho, YN Yoon and KY Lee. 2012. Principles and application in insect pest management. Hyang Moon Sa, Seoul (in Korean).
- Kim KM, TH Ryu and SJ Suh. 2010. Studies on insect diversity related to genetically engineered vitamin A rice under large scale production. *Korean J. Breed. Sci.* 42:157-162.
- KNA. 2012. Insects illustrated book. Korea National Arboretum, Korea (<http://www.nature.go.kr>).
- Kwon YH, TH No, HW Lee and HR Jeong. 2006. Biodiversity in environmental assessment of the introduction of this item. Korean Environment Institute, Korea.
- Lee DH, JW Hwang, SH Sung, CS Yoon and SW Cheong. 2009. A characteristic on community structure of benthic macroinvertebrates of the Shinbulsan wetland. *J. Environ. Sci.* 18:561-567.
- Lloyd M and RJ Ghelardi. 1964. A table for calculating the "equitability" component of species diversity. *J. Anim. Ecol.* 33:217-225.
- Margalef DR. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3:36-71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California grassland. *Nature* 216:168-169.
- Moon JH. 2015. Effects of transgenic rice plant on insect fauna and biosafety evaluation on biological indicators. Chonbuk National University. Cheongju.
- Morell V and F Lanting. 1999. The variety of life. *National Geographic* 195:6-31.
- Noh YH. 2014. Methods to improve efficiency of safety management system and policy of living modified organism focusing on LMO for trials and research. Doctoral thesis, Hannam University.
- Pielou CE. 1969. Shannon's formula as a measure of specific diversity, its use and misuse. *Amer. Nat.* 100:463-465.
- Pielou CE. 1975. Ecology diversity. Wiley Publ., NY.
- Poppy GM. 2000. GM crops: environmental risks and non-target effects. *Trends Plant Sci.* 5:4-6.
- Poppy GM. 2004. Gene flow from GM plants - towards a more quantitative risk assessment. *Trends Biotechnol.* 22:436-

- 438.
- Romeis J, D Bartsch, F Bigler, MP Candolfi, MMC Gielkens, SE Hartley, R Layton, H Quemada, A Raybould, RI Rose, J Schiemann, MK Sears, AM Shelton, J Sweet, Z Vaituzis and JD Wolt. 2008. Assessment of risk of insect-resistant transgenic crops to nontarget arthropods. *Nat. Biotechnol.* 26:203–208.
- Rosenberg DM, HV Danks and DM Lehmkuhl. 1986. Importance of insects in environmental impact assessment. *Environ. Manage.* 10:773–783.
- Son JK, MJ Kong, DH Kang, BH Kang, SW Yun and SI Lee. 2016. The comparative studies on the terrestrial insect diversity in protected horticulture complex and paddy wetland. *J. Wet. Res.* 18:386–393.
- Son SB. 2009. Road map of ecological research 10: A pocket pictorial book of beetles. Hwang So Geol Eum, Seoul (in Korean).
- Sørensen T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab Publ.*, Denmark.

Received: 18 October 2018

Revised: 5 November 2018

Revision accepted: 12 November 2018