

PLANT&FOREST

Influence of β -carotene enhanced transgenic soybean cultivation on the diversity of non-target arthropods in Korea for three years

Sung-Dug Oh^{1,†}, Eunji Bae^{1,†}, Soo-Yun Park¹, Seong-Kon Lee¹, Doh-Won Yun¹, Kihun Ha¹, Minwook Kim², Yeongjin Son², Chang Uk Eun², Young-Kun Kim², Junho Lee², Dongmin Kim², Donguk Kim², Jongwon Kim³, Sang Jae Suh^{2,4,*}

¹Department of Agricultural Biotechnology, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Jeonju 54874, Korea

²School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

³Division of Zoology, Honam National Institute of Biological Resources, Mokpo 58762, Korea

⁴Institute of Plant Medicine, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

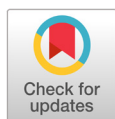
[†]These authors equally contributed to this study as first author.

*Corresponding author: sjsuh@knu.ac.kr

Abstract

Environmental risk assessment of living modified (LM) crops is essential for their cultivation. In this study, we cultivated β -carotene enhanced transgenic soybean (LM soybean) and non-LM soybean (Gwangan) in living modified organism (LMO) isolated fields, and investigated changes in the insect fauna using three types of collection methods for three years. In total, 331,483 individual insects and arachnids, representing 82 families in 14 orders, were captured during the study. Totals of 166,518 and 164,965 individual insects and arachnids were collected from LM soybean and Gwangan, respectively. Throughout the study, although there were differences between the investigation year, region, and methods, there were no significant differences between the population densities of insect pests, natural enemies, and other insects on LM soybean and non-LM soybean. Also, there were no statistically significant differences between varieties in the results of the species diversity analysis. The data on insect species population densities were subjected to multidimensional scaling (MDS), which did not distinguish between the two varieties, LM soybean and the non-LM soybean, in all cultivated fields. However, the results of the MDS analysis were completely divided into six groups based on the yearly survey areas. These results provided the insect diversity for an environmental risk assessment of LM soybean and suggested that the guideline could be useful to detect LM crops.

Key words: β -carotene enhanced transgenic soybean, biosafety, insect diversity



OPEN ACCESS

Citation: Oh SD, Bae E, Park SY, Lee SK, Yun DW, Ha K, Kim M, Son Y, Eun CU, Kim YK, Lee J, Kim D, Kim D, Kim J, Suh SJ. Influence of β -carotene enhanced transgenic soybean cultivation on the diversity of non-target arthropods in Korea for three years. Korean Journal of Agricultural Science 49:719-736. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20220066>

Received: August 22, 2022

Revised: August 22, 2022

Accepted: September 20, 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.

Introduction

세계 주요 작물 중 하나인 콩(*Glycine max* [L.] Merrill)은 종자에 약 36.5%의 단백질을 포함하고 있으며, 높은 단백질 수준과 균형 잡힌 아미노산 구성으로 인해 영양 및 기능적 품질 향상을 위한 식품을 만들어내는 데 널리 이용되고 있다(Aijje and Li, 2014; Vagadia et al., 2017). 또한, 콩의 이러한 특징은 식품용 외에 가축의 사료용으로도 높은 가치를 이용되고 있다. 국내에서는 콩 생산량이 2021년에 110,781톤으로, 전년도 대비 36.9%가 증가한 양이며, 재배 면적은 54,444 ha에 이른다(KOSTAT, 2021).

카로티노이드(carotenoid)는 자연계에 널리 존재하는 지용성의 색소로 붉거나 노란빛의 색을 가진 생리활성물질로 알려져 있다(Choi and Kim, 2022a). 이 물질은 식물과 미세조류, 곰팡이, 세균 등에서도 생합성되며, 식물에서는 엽록체와 유색체에서 생합성이 된다(Ha et al., 2007). 카로티노이드는 비타민A와 동물 형태 형성에 필요한 레티노이드(retinoid) 화합물의 필수 전구체이다(Lee et al., 1981; Bendich and Olson, 1989). 특히 일부 카로티노이드는 항산화제 및 라디칼 스캐빈저(free radical scavengers) 역할을 하여 건강을 증진하며, 전립선암과 유방암 및 기타 암과 심혈관질환을 예방하는 것으로 나타났다(Matthews et al., 2003). 저개발 국가에서는 비타민A와 아연과 같은 미량 영양소 결핍이 어린이와 산모의 높은 사망률에 큰 역할을 하고 있다(Tomkins, 2001). 따라서 이러한 빈곤층의 비타민 A 결핍 문제를 해소하고자 세균(*Erwiniauredovora*)에서 유래된 carotene desaturase (*CrtI*) 유전자와 수산화에서 유래된 phytoene synthase (*Psy*) 유전자를 형질전환하여 벼 종자의 베타카로틴 함량을 증가시킨 LM벼(Golden Rice)가 세계 최초로 개발되었다(Ye et al., 2000). 또한 국내에서도 녹광 고추(*Capsicum annuum* cv. Nockwang)의 *Psy* 유전자와 *CrtI* 유전자를 낙동벼에 형질전환하여 베타카로틴 함량을 증진시킨 베타카로틴 생합성벼(비타민A 강화벼)가 개발되었다(Ha et al., 2010). 최근에는 국내 재배품종 콩인 광안(*Glycine max* L. cv. Gwangan)을 모품종으로 종자 특이적인 β -conglycinin promoter와 *Psy* 유전자와 *CrtI* 유전자를 도입한 비타민A 강화콩이 개발되었으며, 비타민A 강화콩은 카로티노이드 함량이 광안콩에 비해 약 62배가 증가된 것으로 나타났다(Kim et al., 2012a).

LM작물(genetically modified crops)은 1994년 LM토마토가 상업적으로 재배된 이후 전세계적으로 재배 국가와 면적이 지속적으로 증가하고 있다. ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications)의 발표에 따르면, 2019년 LM작물의 재배면적은 1억 9,040만 ha로, 1996년 기준 179만 ha에서 112배 증가하였으며, 특히 유전자변형 콩은 전체 면적의 50%인 9,190만 ha를 차지하고 있다(ISAAA, 2020). 1997년 LM콩 및 옥수수가 상업화되면서 LM작물의 개발 및 상업화도 꾸준히 증가하고 있으며(KRIBB, 2019), 현재 국내에서는 상업적인 목적으로 LM작물 재배가 이루어지고 있지 않고 있으나 LM작물에 대한 연구개발은 꾸준히 증가하고 있다(Cho et al., 2020). 그러나 LM작물의 출현 이후 많은 사람들이 LM작물이 인체와 환경에 미치는 위해성에 대해 우려를 표하고 있으며(Choi and Kim, 2022b), 최근 대국민 인식조사에서는 ‘유전자변형작물이 환경에 위협적이다’라는 인식이 45.4%로, 환경위해성에 대한 우려가 여전히 높은 편으로 나타났다(KBCH, 2020). 이러한 우려에 대해 국내에서는 LM작물이 환경에 방출될 경우 국내 생물 다양성에 미칠 수 있는 영향에 대한 환경위해성 평가를 수행하고 있다(Lee and Suh, 2011). 생물다양성을 이루고 있는 종은 생태계의 기본 단위이며 인간과 생태계의 생명을 유지시키는 필수적인 자원이다(Park et al., 2018). 그 중 특히 곤충은 생태계 먹이사슬에서 생태계의 특성을 나타내는 중요한 위치에 있으며, 곤충 종의 구성 변화는 장기적인 생태계의 변화를 파악할 수 있게 해주는 중요한 구성요소이다(Gullan and Cranston, 2005). 일반적으로 곤충상 조사는 육안조사와 끈끈이트랩, 유아등, 페로몬 트랩 등 각종 트랩과, 포충망 조사 등 다양한 방법으로 이루어지고 있으며(Borrer et al., 1989; Kim et al., 2012b; Park et al., 2018), 조사 작물이나 해충 등 목적과 환경에 따라 적절한 방법을 선택함으로써 조사 효율을 높일 수 있다.

국내에서 개발된 LM작물은 비표적생물종에 대한 영향, 곤충상의 변화 등 환경위해성에 대한 다양한 항목의 안전성평가 연구가 수행되었으며(Kim et al., 2010; Oh et al., 2011; 2012; 2014; Choi et al., 2015; Amin et al., 2020a; 2020b;

Kim et al., 2020; Oh et al., 2020a), 비타민E 강화콩과 관련된 보고들도 있다(Lee et al., 2011a; 2011b; Oh et al., 2016; 2017). 비타민A 강화콩과 관련된 안전성평가는 재배 환경에서의 곤충상 조사 분석 결과가 보고되어 있으나(Oh et al., 2020b), 조사기간이 1년이며, 조사방법 또한 끈끈이트랩만을 이용하여 더 많은 조사기간과 방법이 필요할 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 베타카로틴 강화콩과 모품종인 광안콩을 LMO 격리포장에서 재배해 3년간 세 가지의 조사방법(끈끈이트랩, 엔진식 흡충기, 육안 조사)을 이용하여 곤충상의 변화를 비교 분석하였으며, 이는 국내 연구 개발 중인 LM콩의 환경위해성 평가를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Materials and Methods

재배 정보

콩 재배지의 곤충상 조사를 위해 2018년부터 2020년까지 3년에 걸쳐 베타카로틴 강화콩과 모품종인 광안콩을 경북대학교 군위 LMO 격리포장(경북 군위군, RDA-가A-2015-049)과 국립농업과학원 전주 LMO 격리포장(전북 전주시, RDA-가AB-2013-041)에서 각 품종별로 24 m² (8 m × 3 m)을 난괴법 3반복으로 배치(72 m²)하여 재배하였다. 공시계통인 베타카로틴 강화콩과 광안콩은 500립씩 50공 트레이에 2018년 6월 15일, 2019년 6월 3일, 2020년 6월 3일에 파종한 후 2018년 7월 3일, 2019년 6월 25일, 2020년 6월 23일에 LMO 격리포장에 각 품종별로 300주씩 정식하였다. 콩의 재배방법은 농촌진흥청의 농사시험 표준재배법을 기준으로 하였다.

채집 시기 및 조사 방법

콩 재배지의 곤충 조사시기는 베타카로틴 강화콩과 광안콩을 대상으로 2018년도 전주 LMO 격리포장에서는 콩 품종의 성장기(8월 10일)부터 수확 직전(10월 7일)까지 2주 간격으로 총 5회에 걸쳐 실시하였으며, 군위 LMO 격리포장에서는 8월 16일부터 10월 12일까지 2주 간격으로 총 5회에 걸쳐 실시하였다. 2019년도 전주 LMO 격리포장에서는 8월 9일부터 10월 4일까지 2주 간격으로 총 5회에 걸쳐 실시하였으며, 군위 LMO 격리포장에서는 8월 6일부터 10월 1일까지 2주 간격으로 총 5회에 걸쳐 실시하였다. 2020년도 전주 LMO 격리포장에서는 8월 5일부터 9월 29일까지 2주 간격으로 총 5회에 걸쳐 실시하였으며, 군위 LMO 격리포장에서는 8월 5일부터 9월 29일까지 2주 간격으로 총 5회에 걸쳐 실시하였다. 곤충 채집은 각 품종별로 3반복 수행하였으며, 황색끈끈이트랩과 엔진식 흡충기, 콩 잎 채취를 통해 곤충을 채집하였다. 황색끈끈이트랩(Yellow sticky trap, 350 × 250 mm², Greenagrotech, Gyeongsan, Korea)은 각 실험구당 1개씩을 조사 대상인 콩보다 30 cm 높은 위치에 설치하여 2주간 곤충을 채집하여 수행하였다. 채집이 완료된 황색끈끈이트랩은 지퍼팩에 담은 뒤, 냉동보관 후 동정 및 계수하였다. 흡충기를 이용한 조사는 미소 곤충을 채집할 수 있는 채집망을 부착한 지름 9인치의 엔진식 흡충기(Agricultural Backpack 2-Cycle Aspirator, John W. Hock Company, Gainesville, USA)로 각 조사 구역을 왕복 이동하면서 실험구의 상하단 부위를 훑는 식으로 흡충하여 조사하였다. 채집된 곤충들은 지퍼팩에 담아 에틸아세테이트로 살충 처리하였다. 잎 채취를 통한 조사는 각 실험구의 재배종인 콩 잎을 무작위로 50장씩 채취하여 지퍼팩에 담은 뒤, 냉동보관 후, 앞과 뒷면을 육안 및 실체현미경(Olympus SXZ 16, Olympus Co., Tokyo, Japan)으로 확인하여 조사하였다. 곤충 조사는 해충, 천적, 기타 곤충을 대상으로 기능군별로 분류 및 분석하였다. 채집된 곤충들은 콩의 해충으로 알려진 노린재류, 총채벌레류, 나방류, 응애류 등을 분류 선정하였고, 기생성, 포식성 곤충 및 거미류가 포함된 천적으로 분류하였다. 천적군과 해충군을 제외한 곤충들을 기타 곤충군으로 분류하였으며, 해충군은 종(species) 수준에서 천적과 기타곤충류는 과(family) 수준에서 동정하고 계수하였다.

통계 분석

채집된 곤충들의 조사 분석에 대한 통계 처리 및 분석은 SPSS (26.0.0 for Windows, Rel.26.0, 2019. Chicago: SPSS Inc.)를 사용하여 $p < 0.05$ 수준으로 ANOVA와 Tukey's honestly significant 검정으로 평균간의 유의성 여부를 검정하였고, 기능군별로 풍부도 지수(richness index, RI; Margalef species richness index), 우점도 지수(dominance index, DI; McNaughton's dominance index), 균등도 지수(evenness index, EI; Pielou index) 및 다양도 지수(diversity index, H'; Shannon-Weaver diversity index)를 계산하였다(Choi et al., 2015). 또한, 콩의 품종에 따른 조사지역 및 재배 시기의 곤충상 변화를 분석하기 위하여 다차원척도분석법(multidimensional scaling, MDS)을 실시하였으며, Table 1의 자료를 이용하여 Euclidean distance로 지각도를 작성하여 비교 분석하였다.

Table 1. Total number of common plant-dwelling non-target insects and arachnids captured in two fields planted with two different genotypes of soybeans at Gunwi and Jeonju, Korea, in 2018 - 2020. (continued)

Category	Order	Family	Total	Gunwi		Jeonju		
				GW ^y	β -carotene ^z	GW ^y	β -carotene ^z	
Insect pests	Orthoptera	Acrididae	8	5	2	1	0	
		Oecanthidae	1	0	0	1	0	
		Pyrgomorphidae	33	0	0	17	16	
		Tettigoniidae	9	3	3	2	1	
	Thysanoptera	Thripidae	190,483	40,970	40,415	62,459	46,639	
	Hemiptera	Alydidae	903	171	160	317	255	
		Berytidae	2,967	442	438	1,108	979	
		Coreidae	10	1	1	6	2	
		Lygaeidae	1,850	372	382	573	523	
		Miridae	999	111	99	395	394	
		Pentatomidae	366	87	67	130	82	
		Rhopalidae	13	4	1	5	3	
		Homoptera	Aleyrodidae	12,104	1,218	1,212	4,909	4,765
			Aphididae	5,598	1,125	937	2,020	1,516
			Cicadellidae	4,000	907	731	1,442	920
	Derbidae		24	7	10	7	0	
	Flatidae		13	2	3	4	4	
	Ricaniidae		329	153	118	44	14	
	Coleoptera	Apionidae	20	4	9	5	2	
		Bruchidae	414	87	159	129	39	
		Chrysomelidae	2,134	368	312	782	672	
	Diptera	Agromyzidae	36	14	11	5	6	
		Platystomatidae	1,408	393	415	380	220	
	Lepidoptera	Crambidae	129	18	21	51	39	
		Geometridae	21	3	7	9	2	
		Noctuidae	149	81	33	25	10	
		Tortricidae	121	38	33	30	20	
		Prostigmata	Tetranychidae	4,729	30	29	2,436	2,234
	Subtotal		228,871	46,614	45,608	77,292	59,357	
	Natural enemies	Odonata	Coenagrionidae	69	22	40	3	4
Thysanoptera		Aeolothripidae	48	4	3	19	22	
Hemiptera		Anthocoridae	1,623	468	362	384	409	
		Nabidae	16	3	7	3	3	
Neuroptera		Chrysopidae	262	24	30	108	100	
Coleoptera		Coccinellidae	437	94	97	117	129	
		Staphylinidae	142	40	50	30	22	
Diptera		Pipunculidae	114	67	41	4	2	
		Tachinidae	1,031	481	431	46	73	

Table 1. Total number of common plant-dwelling non-target insects and arachnids captured in two fields planted with two different genotypes of soybeans at Gunwi and Jeonju, Korea, in 2018 - 2020.

Category	Order	Family	Total	Gunwi		Jeonju		
				GW ^y	β -carotene ^z	GW ^y	β -carotene ^z	
Natural enemies	Hymenoptera	Braconidae	2,344	681	660	484	519	
		Chalcididae	67	23	13	10	21	
		Eulophidae	45,822	4,907	4,444	16,501	19,970	
		Ichneumonidae	410	74	57	145	134	
		Scelionidae	547	188	140	115	104	
		Araneae	Araneidae	205	62	22	57	64
			Clubionidae	14	5	7	1	1
			Linyphiidae	13	5	2	2	4
			Oxyopidae	11	3	1	3	4
			Salticidae	161	20	27	46	68
			Scytodidae	3	0	0	1	2
			Tetragnathidae	624	118	143	180	183
			Theridiidae	590	122	153	140	175
		Thomisidae	175	31	42	59	43	
	Subtotal	54,728	7,442	6,772	18,458	22,056		
Other insects	Collembola	Entomobryidae	937	360	551	14	12	
	Pscoptera	Psocidae	24	12	10	0	2	
	Hemiptera	Lygaeidae	41	13	13	5	10	
		Miridae	385	140	144	44	57	
		Tingidae	17	9	4	2	2	
	Homoptera	Cicadellidae	11,023	1,890	1,882	3,818	3,433	
		Delphacidae	1,861	457	414	480	510	
		Membracidae	7	3	0	2	2	
		Psyllidae	2,087	238	394	633	822	
	Neuroptera	Hemerobiidae	4	0	0	3	1	
	Coleoptera	Chrysomelidae	396	142	124	64	66	
		Curculionidae	125	17	20	58	30	
		Elateridae	23	6	10	0	7	
		Latridiidae	1,448	259	272	466	451	
	Diptera	Anthomyiidae	197	85	91	8	13	
		Calliphoridae	423	197	146	38	42	
		Celyphidae	15	11	2	1	1	
		Chironomidae	1,477	511	355	321	290	
		Chloropidae	5,568	1,763	1,832	869	1,104	
		Dolichopodidae	528	197	166	91	74	
		Empididae	259	34	26	94	105	
		Ephydriidae	998	188	184	318	308	
		Lauxaniidae	529	179	181	81	88	
		Muscidae	861	322	288	138	113	
		Mycetophilidae	369	66	88	118	97	
		Platystomatidae	27	6	8	6	7	
		Psychodidae	33,740	2,200	1,680	14,188	15,672	
		Sarcophagidae	347	106	170	42	29	
		Sciomyzidae	341	109	80	82	70	
		Sepsidae	37	12	19	3	3	
	Stratiomyidae	33	10	11	6	6		
	Syrphidae	182	67	49	32	34		
Tabanidae	17	7	4	3	3			
Uliidiidae	15	9	5	1	0			
Hymenoptera	Vespidae	85	33	16	19	17		
Lepidoptera	Pieridae	16	5	1	6	4		
	Subtotal	64,442	9,663	9,240	22,054	23,485		
Total		331,483	63,719	61,620	101,246	104,898		

^y Non-LM Gwangan.^z Genetically modified soybean.

Results and Discussion

곤충류 발생 현황

전주 및 군위 LMO 격리포장에서 2018년부터 2020년까지 3년 동안 콩의 성장기부터 등숙기까지 베타카로틴 강화콩과 모품종인 광안콩을 재배한 포장에서 연도별로 총 5회에 걸쳐 채집된 곤충 및 거미류를 해충과 천적, 기타 곤충 등 기능군별로 발생현황을 비교 분석하였다. 조사기간 14목 82과 331,483개체의 곤충류와 거미류가 채집되었으며, 기능군별로는 해충군 8목 28과 228,871개체, 천적군 8목 23과 54,728개체, 기타 곤충군 9목 36과 64,442개체가 채집되었다(Table 1). 품종별로는 베타카로틴 강화콩에서 166,518개체, 광안콩 재배지에서 164,965개체가 채집되었다. 지역별로는 군위 125,339개체, 전주 206,144개체로 전주에서 월등히 높은 조사 밀도를 보였다. 기능군별로는 해충군이 군위에서 26과 92,222개체, 전주에서 28과 136,649개체가 조사되었으며, 전주 LMO 격리포장이 군위 LMO 격리포장보다 해충의 발생량이 1.5배정도 높았다. 특히, 잎응애과(Tetranychidae)와 가루이과(Aleyrodidae), 실노린재과(Berytidae)가 군위와 비교하여 큰 차이를 보였으나, 큰날개매미충과(Ricaniidae)는 군위가 발생량이 많았다. 천적군은 군위에서 22과 14,214개체, 전주에서 23과 40,514개체가 조사되었으며, 좀벌과(Eulopidae)가 군위에 비해 전주에서 월등히 높은 발생량을 보였으나, 잠자리목(Odonata)과 파리목(Diptera)은 군위가 더 높았다. 기타 곤충군은 군위에서 35과 18,903개체, 전주에서 36과 45,539개체가 조사되었고, 군위에 비하여 전주에서 나방파리과(Psychodidae), 매미충과(Cicadellidae), 나무이과(Psyllidae)가 더 많이 발생하였고, 툭토기목(Collembola)과 노린재목(Hemiptera)은 군위에서 큰 발생량을 보이는 등 조사지역에 따라 곤충의 발생량에 차이를 나타내었다(Table 1).

기능군별 발생 현황

채집된 곤충 및 거미류를 기능군으로 구분하여 분석한 결과, 해충군은 64.1%, 천적군은 16.5%, 기타 곤충군은 19.4%로, 해충의 발생량이 가장 높았다. 채집된 곤충 중 해충군에서는 대만총채벌레(*Frankliniella intonsa*)와 꽃노랑총채벌레(*F. occidentalis*)를 포함하는 총채벌레목(Thysanoptera)의 발생량이 53.1%로 대부분을 차지하였다. 다음으로 가루이과(Aleyrodidae), 진딧물과(Aphididae) 등의 매미목(Homoptera)이 6.3%, 실노린재과(Berytidae), 긴노린재과(Lygacidae) 등의 노린재목(Hemiptera)이 2.1%의 발생량을 보였다(Fig. 1). 해충류의 발생량은 군위와 전주 두 지역간에는 통계적인 차이를 보였지만, 베타카로틴 강화콩과 광안콩 간의 품종별로는 통계적인 유의차는 나타나지 않았다(Fig. 2). 천적군에서는 좀벌과, 고치벌(Braconidae) 등 벌목(Hymenoptera)이 14.8%로 가장 우점하였으며, 갈거미과(Tetragnathidae), 꼬마거미과(Theridiidae) 등의 거미류(Araneae)가 0.5%, 꽃노린재과(Anthocoridae), 쇠기노린재(Nabidae)가 포함된 노린재목(Hemiptera)이 0.5%로 비슷한 수준으로 발생하였다(Fig. 1). 천적군에서도 해충군과 같이 베타카로틴 강화콩과 광안콩의 품종간의 통계적인 유의차를 보이지 않았으나, 재배 지역간에는 차이가 있는 것으로 분석되었다(Fig. 2). 기타 곤충군에서는 나방파리과(Psychodidae), 노랑굴파리과(Chloropidae), 깔따구과(Chironomidae) 등의 파리목(Diptera)이 13.9%로 가장 많이 발생하였으며, 매미충과(Cicadellidae), 나무이과(Psyllidae), 멸구과(Delphacidae) 등의 매미목(Homoptera)이 4.5%, 섯벌레과(Iatridiidae), 잎벌레과(Chrysomelidae) 등의 딱정벌레목(Coleoptera)이 0.6% 순으로 발생하였다(Fig. 1). 기타 곤충군에서도 지역 내에서 품종간의 통계적인 유의차는 보이지 않았으나, 전주와 군위 재배지역 간의 차이는 유의하였다(Fig. 2). 또한 조사기간 동안 채집된 전체 곤충류 발생 개체군에서도 전주와 군위 재배지역 간의 차이는 보였지만, 베타카로틴 강화콩과 광안콩의 품종간 통계적인 유의차는 보이지 않았다(Fig. 2).

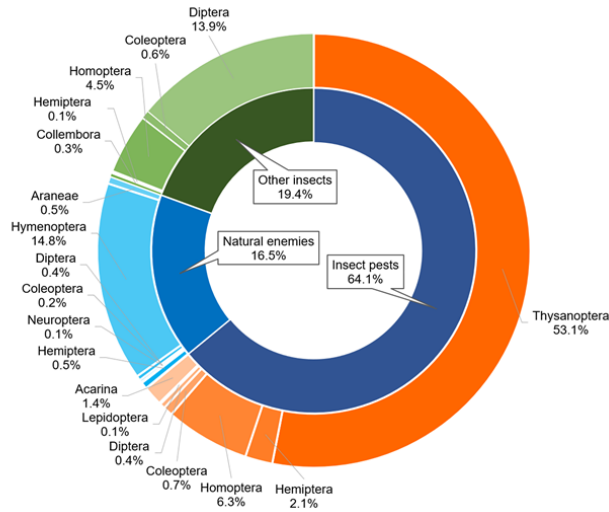


Fig. 1. Occurrences of common plant dwelling non-target insects and arachnids captured on two different genotypes of soybeans at Gunwi and Jeonju, Korea in 2018 - 2020.

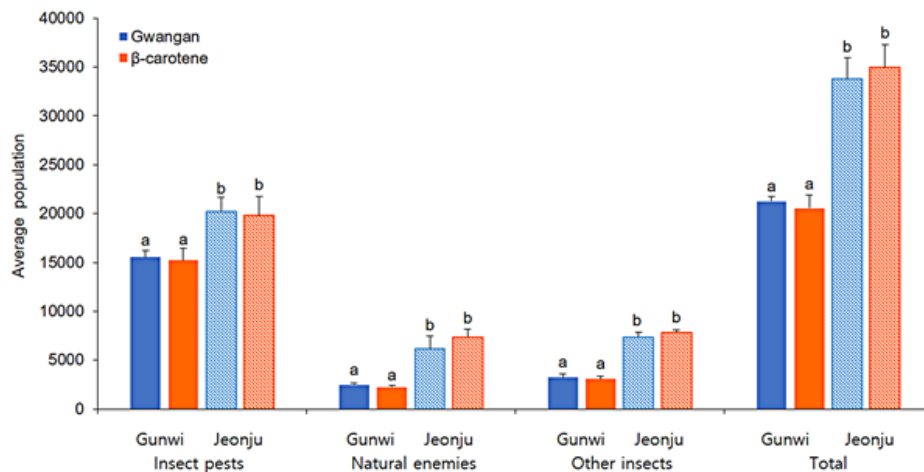


Fig. 2. Average population densities in common plant-dwelling non-target insects and arachnid captured on two different genotypes of soybeans at Gunwi and Jeonju, Korea in 2018 - 2020. The results shown are the mean \pm SD, n = 3 replicates for each group. β -carotene, genetically modified soybean. a, b: Tukey honestly significant difference (Tukey HSD) at $p < 0.05$.

연도별 발생 현황

2018년부터 2020년까지 3년 동안 군위와 전주지역에서 연도별로 구분하여 분석한 결과, 두 조사 지역에서 모두 2019년에 가장 많은 곤충들이 발생하였다(Table 2). 해충군은 군위 지역에서 2018년에 총채벌레목이 두 품종 모두에 80.6%로 우점하였으며, 매미목 10.8%, 노린재목 4.4%, 딱정벌레목(광안콩 2.0%, 베타카로틴 강화콩 2.3%), 파리목(광안콩 1.3%, 베타카로틴 강화콩 1.4%) 순으로 발생하였다. 2018년 전주 지역에서도 총채벌레목이 광안콩에 70.6%, 베타카로틴 강화콩에 67.6%로 우점하였으며, 매미목(광안콩 18.8%, 베타카로틴 강화콩 19.9%), 노린재목(광안콩 7.9%, 베타카로틴 강화콩 9.5%), 딱정벌레목(광안콩 1.7%, 베타카로틴 강화콩 2.1%) 순으로 발생하여, 군

위와 비교해 발생 비율에서 차이는 다소 있지만 발생 양상은 유사한 결과를 보였다. 2019년 군위 지역에서는 총채벌레목이 광안콩 90.0%, 베타카로틴 강화콩 92.2%로 우점하였으며, 매미목(광안콩 7.2%, 베타카로틴 강화콩 5.6%), 노린재목(광안콩 1.7%, 베타카로틴 강화콩 1.4%) 순으로 발생하여, 해충군에서 총채벌레목이 2018년에 비해 12% 이상 증가된 높은 발생율이 보였다. 2019년 전주 지역도 총채벌레목이 광안콩 83.5%, 베타카로틴 강화콩 83.0%로 가장 우점하였으며, 매미목(광안콩 11.9%, 베타카로틴 강화콩 12.8%), 노린재목(광안콩 2.1%, 베타카로틴 강화콩 2.0%) 순으로 발생하였다. 또한, 2019년 군위 지역에 비해 전주 지역의 응애류 발생 비율이 1%를 넘는 등 지역 간의 차이를 보였다. 2020년 군위 지역에서는 2019년과 유사하게 총채벌레목이 광안콩 91.7%, 베타카로틴 강화콩 91.5%로 우점하여 해충군의 대부분을 발생 비율을 보였으며, 매미목(광안콩 4.7%, 베타카로틴 강화콩 4.0%), 노린재목(광안콩 1.8%, 베타카로틴 강화콩 2.2%), 파리목(광안콩 1.4%, 베타카로틴 강화콩 1.6%) 순으로 발생하였다. 2020년 전주 지역에서는 총채벌레목이 광안콩 79.2%, 베타카로틴 강화콩 80.4%로 우점하였으며, 응애류(광안콩 10.8%, 베타카로틴 강화콩 10.9%), 매미목(광안콩 6.2%, 베타카로틴 강화콩 4.8%), 노린재목 1.9% 순으로 발생하여, 전주 지역의 2019년에 채집된 응애류에 비해 개체수와 발생 비율이 더 증가했음을 확인되었다. 위의 분석 결과, 해충군의 발생 밀도는 조사 지역 및 조사 연도간의 차이가 다소 있으나, 광안콩과 베타카로틴 강화콩의 품종간 통계적인 유의성은 보이지는 않았다(Table 2).

조사 연도별 천적군 발생 분석 결과, 2018년 군위 지역에서 벌목이 광안콩 79.2%, 베타카로틴 강화콩 76.8%로 우점하였으며, 다음으로 노린재목과 파리목, 응애류가 유사한 발생 비율로 나타났다. 2018년 전주 지역에서는 벌목이 96.1%로 우점하였으며, 2018년 군위 지역에 비해 천적군의 발생 비율의 대부분을 차지하였다. 2019년 군위 지역에서는 벌목이 광안콩 82.1%, 베타카로틴 강화콩 83.8%로 우점하였으며, 파리목(광안콩 8.0%, 베타카로틴 강화콩 7.4%), 노린재목(광안콩 4.7%, 베타카로틴 강화콩 4.0%), 응애류(광안콩 3.5%, 베타카로틴 강화콩 2.8%) 순으로 발생되었다. 2019년 전주 지역에서는 벌목이 광안콩 93.8%, 베타카로틴 강화콩 92.4%로 우점하였으며, 2018년 전주 지역과 동일하게 우점하였다. 2020년 군위 지역에서는 벌목이 광안콩 67.0%, 베타카로틴 강화콩 61.1%로 우점하였으며, 노린재목(광안콩 10.4%, 베타카로틴 강화콩 9.7%)과 응애류(광안콩 9.0%, 베타카로틴 강화콩 15.7%)가 전년도에 비해 다소 증가된 발생 비율을 보였다. 또한, 잠자리목(Odonata)이 3년동안 조금씩 증가하는 발생 양상을 보였다. 2020년 전주 지역에서는 벌목이 광안콩 84.8%, 베타카로틴 강화콩 92.9%로 우점하였으며, 노린재목과 딱정벌레목이 전년도에 비해 다소 증가하여 조사 연도간 차이를 보였다. 이처럼 천적군의 곤충 및 거미류는 지역 및 조사 연도간의 차이는 있으나 품종간의 뚜렷한 차이는 보이지 않았지만, 2020년 군위 지역의 잠자리목에서 통계적 유의성을 보였으나, 2018년과 2019년에는 통계적인 유의차가 없었다. 이는 베타카로틴 강화콩이 천적군의 발생 밀도와 관련해 특이적인 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다(Table 2).

3년간 조사된 기타 곤충군은 2018년 군위 지역에서 파리목이 광안콩 66.1%, 베타카로틴 강화콩 63.4%로 우점하였으며, 매미목(광안콩 26.5%, 베타카로틴 강화콩 27.7%), 딱정벌레목(광안콩 4.8%, 베타카로틴 강화콩 5.5%), 노린재목(광안콩 2.3%, 베타카로틴 강화콩 3.0%) 순으로 발생되었다. 2018년 전주 지역에서는 파리목이 광안콩 62.6%, 베타카로틴 강화콩 68.4%로 우점하였으며, 매미목(광안콩 33.1%, 베타카로틴 강화콩 27.6%), 딱정벌레목(광안콩 4.2%, 베타카로틴 강화콩 3.9%) 순으로 발생하였으며, 군위에 비해 노린재목의 밀도가 현저히 낮아 조사 지역간의 차이를 보였다. 2019년 군위 지역에서는 파리목이 광안콩 64.6%, 베타카로틴 강화콩 60.0%로 우점하였으며, 매미목(광안콩 19.7%, 베타카로틴 강화콩 20.1%), 툭토기목(광안콩 9.2%, 베타카로틴 강화콩 14.4%), 딱정벌레목(광안콩 4.9%, 베타카로틴 강화콩 4.8%) 순으로 발생하였다. 또한, 전년도에서는 발생하지 않았던 툭토기목이 현저히 증가하여 조사 연도간의 차이를 보였다. 2019년 전주 지역에서는 파리목이 광안콩 88.2%, 베타카로틴 강화콩 88.6%로 2018년과 달리 기타 곤충군의 발생량의 대부분을 차지하였으며, 매미목은 광안콩 10.2% 베타카로틴 강화콩 9.9%로 전년도 대비 다소 많이 감소한 것으로 나타났다. 2020년의 군위와 전주 두 지역 모두에서 이전 연도

(2019년)에 비해 우점했던 파리목의 발생 비율이 현저하게 감소하고 매미목은 증가함을 확인하였다. 군위 지역의 광안콩에서는 파리목이 53.5%, 매미목이 41.2%, 베타카로틴 강화콩에서 매미목이 49.6%, 파리목이 45.7%의 발생 밀도를 보였다. 전주에서는 파리목이 광안콩 51.0%, 베타카로틴 강화콩이 59.4%로 약간 우점하였으나, 매미목이 광안콩에서 42.8%, 베타카로틴 강화콩에서 36.6%의 발생 비율을 보였다. 기타 곤충군의 발생 밀도에서 지역 및 조사 연도간의 차이는 있었으나, 품종간의 뚜렷한 차이는 보이지 않았다. 다만, 2018년과 2020년에는 거의 발생하지 않았던 털보독토기과(Entomobryidae)가 이상적으로 많이 발생하여 2019년 군위 지역에서 독토기목에서 품종 간의 통계적 유의성을 보였다. 그러나, 2019년 전주 지역에서도 독토기목에서 품종 간의 통계적 유의차가 없는 것을 분석되어 베타카로틴 강화콩이 독토기목 발생 밀도에 특별한 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다(Table 2).

3년동안 군위와 전주지역의 광안콩 및 베타카로틴 강화콩의 종다양성을 분석하였다(Table 3). 우점도지수는 군위에서 0.555 - 0.773, 전주에서 0.469 - 0.624로 군위에서 다소 높은 지수를 보였으며, 2020년에서 두 지역 모두 높은 우점도를 보이는 등 조사 연도 간의 차이도 보였다. 그러나, 모품종인 광안콩과 베타카로틴 강화콩의 품종간 통계적 유의성은 보이지 않았다. 우점도 지수가 높게 나온 이유로는 총채벌레목의 개체수가 다른 목에 비해 많이 채집되었기 때문이라고 판단되었다. 다양도 지수는 군위에서 1.809 - 2.394, 전주에서 2.025 - 2.183로 전주가 군위보다 높았으며, 두 지역 모두 2018년에 가장 높은 다양도 지수를 보였다. 이는 조사 연도에 따라 다양도 지수에는 차이를 보였으나, 광안콩과 베타카로틴 강화콩 간의 품종별 유의성은 보이지 않았다. 균등도 지수 분석 결과, 군위 지역에서는 0.430 - 0.572, 전주 지역에서 0.482 - 0.545로 나타났으며, 2018년에는 군위가 더 높았으나 2020년에는 전주가 더 높아지는 등 조사 지역 및 조사 연도별로 차이를 보였다. 종풍부도 지수에서 군위 지역은 7.039 - 7.504였으며, 전주는 5.493 - 8.077로 분석되었으며, 특히, 전주는 2018년과 2019년까지 비슷한 지수를 유지하다 2020년에 증가되는 경향을 보였다. 따라서 종 다양성은 조사 지역과 조사 연도 간에 따라 차이를 보였지만, 동일 조사 연도 및 지역 내에서 광안콩과 베타카로틴 강화콩의 품종별 뚜렷한 차이는 보이지 않아, 베타카로틴 강화콩이 재배지 내의 곤충 종다양성에 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

곤충 조사 방법에 따른 발생 비교 분석

황색끈끈이트랩, 엔진식 흡충기, 콩 잎 채취 후 관찰 등의 방법을 이용하여 채집된 곤충 및 거미류에 대한 지역 및 품종 간의 발생을 비교 분석하였다. 곤충상 조사 방법에 따른 분석 결과, 황색끈끈이트랩을 이용하였을 때의 개체 채집량이 전체의 90.9%로 가장 높았으며, 엔진식 흡충기 조사(7.5%)와 콩 잎 채취 후 관찰(1.6%) 순으로 포집되었다(Table 4).

황색끈끈이트랩을 이용해 조사하였을 때, 군위 지역의 해충군에서는 총채벌레목(Thysanoptera)이 광안콩에서 89.9%, 베타카로틴 강화콩에서 90.5%로 우점하였으며, 천적군에서는 벌목(Hymenoptera)이 광안콩에서 80.3%, 베타카로틴 강화콩에서 80.1%로 우점하였다. 기타 곤충군에서는 파리목(Diptera)이 광안콩에서 69.0%, 베타카로틴 강화콩에서 64.7%로 우점하였으며, 다음으로 매미목(Homoptera)이 광안콩에서 24.5%, 베타카로틴 강화콩에서 28.7% 발생하였다. 전주 지역에서도 채집된 곤충의 발생 양상이 군위 지역과 유사하였다. 해충군에서는 총채벌레목이 광안콩에서 88.4%, 베타카로틴 강화콩에서 88.5%로 우점하였으며, 천적군에서는 벌목이 광안콩에서 95.4%, 베타카로틴 강화콩에서 95.6%로 우점하였다. 기타 곤충군에서는 파리목이 광안콩에서 77.3%, 베타카로틴 강화콩에서 79.6%로 우점하였으며, 다음으로 매미목이 광안콩에서 21.0%, 베타카로틴 강화콩에서 18.9%로 발생하였다. 두 지역 모두 해충 및 천적군에서는 광안콩과 베타카로틴 강화콩 간의 통계적인 유의차는 보이지 않았지만, 기타 곤충군에서는 군위 지역의 벌목, 전주 지역의 파리목에서 품종간 통계적 유의차를 보였다(Table 4). 벌목의 경우, 베타카로틴 강화콩에서 채집된 말벌과(Vespidae)의 개체수가 2019년에는 6개체, 2020년에는 4개체로 광안콩에서

의 2019년 16개체, 2020년 10개체 비해 약 2배 가량 차이를 보였다(Oh et al., 2021). 그러나, 2018년에는 광안콩과 베타카로틴 강화콩 간의 통계적인 유의차는 보이지 않았다. 2020년에 파리목의 노랑굴파리과(Chloropidae) 채집된 개체수는 베타카로틴 강화콩 311 개체, 광안콩 60 개체였으며, 나방파리과(Psychodidae)에서는 베타카로틴 강화콩 1,027 개체, 광안콩 493 개체가 채집되어 통계적인 유의차를 보였으나, 2018년과 2019년에는 광안콩과 베타카로틴 강화콩 간의 통계적인 유의차는 보이지 않았다(Oh et al., 2021). 기타 곤충군에서는 군위 지역의 벌목, 전주 지역의 파리목(Diptera)에서 품종간 통계적 유의차를 보였지만, 이는 특정 연도와 채집된 개체수의 차이에 의한 것으로 품종간에 특별한 연관이 없는 것으로 판단된다. 또한, 기타 곤충군의 3년간 전체 통계 분석에서도 지역간의 통계적인 유의차는 있지만, 광안콩과 베타카로틴 강화콩 간의 품종별 통계적인 유의차는 없었다(Table 4).

엔진식 흡충기를 이용해 조사하였을 때, 군위 지역에서 해충군은 노린재목(Hemiptera)이 광안콩에서 44.4%, 베타카로틴 강화콩에서 46.6%로 우점하였으며, 다음으로 총채벌레목(Thysanoptera)이 광안콩에서 33.6%, 베타카로틴 강화콩에서 30.9% 발생하였다(Table 4). 천적군에서는 벌목(Hymenoptera)이 광안콩에서 69.5%, 베타카로틴 강화콩에서 67.2%로 우점하였다. 기타 곤충군에서는 광안콩과 베타카로틴 강화콩간의 발생 비율이 약간의 차이를 보였다. 광안콩에서는 매미목(Hemiptera) 38.1%, 파리목(Diptera) 31.6%, 툽토기목(Collembora) 23.0% 순으로 개체군 밀도를 차지하였지만, 베타카로틴 강화콩에서는 툽토기목 35.1%, 매미목 31.4%, 파리목 26.6% 순으로 나타났다. 그러나 기타 곤충군 내에서 주요 발생 개체들인 툽토기목, 매미목, 파리목의 발생 정도가 유사하며, 개체군 밀도 차이 또한 크지 않은 것으로 확인되었다. 전주 지역에서 해충군은 매미목이 광안콩에서 31.0%, 베타카로틴 강화콩에서 36.6%로 우점하였으며, 다음으로 노린재목과 거미강(Arachnida)의 전기문목(Prostigmata) 순으로 발생 밀도를 보였다. 천적군에서는 벌목이 광안콩에서 73.9%, 베타카로틴 강화콩에서 74.4%로 우점하여, 군위 지역과 유사한 발생 비율을 보였다. 기타 곤충군에서는 파리목이 광안콩에서 46.5%, 베타카로틴 강화콩에서 47.3%로 우점하였으며, 다음으로 매미목이 각각 36.1, 35.5%로 밀도를 차지하였다. 엔진식 흡충기를 이용한 곤충상 조사 방법에서 채집된 개체군 밀도는 전주와 군위 지역간의 통계적인 차이를 보였으나, 군위 지역에서 툽토기목을 제외한 나머지 모든 분류군에서 광안콩과 베타카로틴 강화콩의 품종간 통계적 유의성은 확인되지 않았다(Table 4).

잎을 채취한 관찰조사에서는 군위와 전주 지역 모두에서 해충군의 발생량이 천적군과 기타 곤충군에 비해 월등히 높은 것을 확인하였다(Table 4). 군위 지역에서는 총채벌레목이 광안콩에서 62.7%, 베타카로틴 강화콩에서 67.5%로 우점하였으며, 매미목은 광안콩과 베타카로틴 강화콩에서 각각 32.3, 27.8%로 발생 비율을 보였다. 천적군에서는 풀잠자리목(Neuroptera)이 광안콩에서 41.1%, 베타카로틴 강화콩에서 48.2%로 우점하였으며, 기타 곤충군에서는 두 품종에서 모두 매미목과 파리목만 발생되었다. 전주 지역에서 해충군은 군위와 달리 잎응애과(Tetranychidae)가 광안콩에서 58.6%, 베타카로틴 강화콩에서 59.0%로 우점하였으며, 다음으로 매미목이 광안콩 27.6%, 베타카로틴 강화콩 28.0%로 발생 비율을 보였으며, 군위 지역과 비교하여 지역적인 발생량의 차이를 보였다. 천적군에서는 총채벌레목이 광안콩에서 60.9%, 베타카로틴 강화콩에서 54.5%로 우점하였으며, 기타 곤충군에서는 두 품종 모두 매미목이 가장 많이 발생하였다. 조사결과, 전주와 군위 지역간의 곤충상 발생 정도는 차이가 있었지만, 광안콩과 베타카로틴 강화콩의 품종간 통계적인 유의성은 보이지 않았다(Table 4).

조사기간 동안 군위와 전주 지역에서 세 가지의 다른 곤충 조사 방법으로 채집된 곤충군집의 종다양성을 분석하였다. 황색끈끈이트랩을 이용해 채집된 곤충 및 거미류의 우점도 지수(dominance index, DI)는 군위 지역에서 광안콩 0.675, 베타카로틴 강화콩 0.688, 전주 지역에서는 광안콩 0.522, 베타카로틴 강화콩 0.490으로 총채벌레류의 채집밀도가 매우 높아 비교적 우점도 지수가 높게 나타났다. 또한, 지역간의 우점도 지수는 통계적 유의성을 보였지만, 각 조사 지역 내 광안콩과 베타카로틴 강화콩의 품종간에서는 유의차를 보이지 않았다(Table 5). 엔진식 흡충기를 이용해 채집된 곤충들의 우점도 지수는 군위에서 광안콩 0.288, 베타카로틴 강화콩 0.298였으며, 전주에서는 광안콩 0.295, 베타카로틴 강화콩 0.313으로 분석되어 황색끈끈이트랩과 비교해 낮은 우점도 지수를 보였다. 전

주와 군위의 조사 지역 모두 품종 간 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 잎을 채취해 채집된 곤충들의 우점도 지수는 군위에서 광안콩 0.827, 베타카로틴 강화콩 0.833였으며, 전주에서는 광안콩 0.698, 베타카로틴 강화콩 0.770으로 아주 높은 우점도 지수를 보였다. 이는 응애, 총채벌레, 진딧물류 등 비비행성 곤충류가 한정적으로 채집되었기 때문이다. 전주와 군위의 두 조사 지역에서 광안콩과 베타카로틴 강화콩 간의 품종별 통계적 유의성은 보이지 않았다(Table 5). 이러한 분석 결과들을 미루어 보아 우점도 지수는 조사 방법과 지역간의 차이는 있지만, 베타카로틴 강화콩이 모품종인 광안콩에 비해 우점도 지수에 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다(Table 5).

황색끈끈이트랩을 이용해 채집된 군집의 다양도 지수(diversity index, H')는 군위 지역에서는 광안콩 2.075, 베타카로틴 강화콩 2.036였으며, 전주 지역에서 광안콩 1.966, 베타카로틴 강화콩 1.971로 분석되어 비슷한 경향을 보였으며, 광안콩과 베타카로틴 강화콩의 품종 간 통계적인 유의성도 보이지 않았다. 엔진식 흡충기로 채집된 개체군의 다양도 지수는 군위에서 광안콩 2.954, 베타카로틴 강화콩 2.912였으며, 전주에서는 광안콩 2.999, 베타카로틴 강화콩 2.966로 황색끈끈이트랩에 비해 다소 높게 나왔다. 그러나, 지역간 및 품종 간의 통계적인 유의성은 보이지 않았다. 콩 잎을 채취해 채집된 곤충들의 다양도 지수는 군위에서 광안콩 1.353, 베타카로틴 강화콩 1.278였으며, 전주에서는 광안콩 1.495, 베타카로틴 강화콩 1.354로 세 조사방법 중 가장 낮은 다양도 지수를 보였다. 이는 잎응애, 총채벌레, 진딧물류 등 특정 분류군만 주로 채집된 결과에 기인한 것으로 판단되었다. 또한, 조사 지역간 및 품종 간의 통계적 유의성은 없었다. 위와 같은 결과들을 미루어 보아 다양도 지수는 조사 방법 간의 차이는 보였지만, 베타카로틴 강화콩이 다양도 지수에 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다(Table 5).

황색끈끈이트랩 조사 방법에 대한 균등도 지수(evenness index, EI)는 군위에서 광안콩 0.470, 베타카로틴 강화콩 0.463였으며, 전주에서 광안콩 0.454, 베타카로틴 강화콩 0.460으로 두 지역 모두 유사하였으며, 품종간 통계적인 유의성도 보이지 않았다. 잎 채취로 채집된 곤충들의 균등도 지수는 군위에서 광안콩 0.502, 베타카로틴 강화콩 0.468였으며, 전주에서 광안콩 0.532, 베타카로틴 강화콩 0.514로 황색끈끈이트랩에 비해 조금 더 높은 균등도를 보였다. 지역 및 품종간의 통계적인 유의성은 보이지 않았다. 엔진식 흡충기 조사 방법의 균등도 지수는 군위에서 광안콩 0.763, 베타카로틴 강화콩 0.760였으며, 전주에서 광안콩 0.746, 베타카로틴 강화콩 0.733으로 황색끈끈이트랩에 비해 높은 균등도 지수를 보였다. 지역 및 품종간의 통계적인 유의성은 보이지 않았다(Table 5).

전체 채집된 곤충 및 거미류의 종풍부도 지수(richness index, RI)는 군위에서 황색끈끈이트랩을 이용해 채집하였을 때, 광안콩 8.290, 베타카로틴 강화콩 8.151로 가장 높았으며, 전주에서 잎을 채취해 채집하였을 때, 광안콩 2.442, 베타카로틴 강화콩 2.080으로 가장 낮았다. 조사방법 간의 차이는 있었지만, 지역 및 품종간의 통계적인 유의성은 보이지 않았다(Table 5).

곤충모니터링 방법에 따라 조사된 해충류의 종 구성에 차이를 보였으며, 황색끈끈이트랩은 전반적으로 벼메뚜기 등 메뚜기목과 같은 대형 곤충과 콩명나방 등 나방류를 포함한 대부분 곤충이 채집되었으며, 특히 꽃노랑총채벌레, 대만총채벌레 등 총채벌레목과, 담배가루이 등 노랑색에 잘 유인되는 미소 해충류의 구성 비율이 높았다. 반면 엔진식 흡충기를 이용한 방법에서는 담배가루이, 막대애매미충 등 매미목과, 실노린재, 애긴노린재, 톱다리개미허리노린재, 가로줄노린재 등 노린재목의 구성비율이 높았다. 반면, 잎 관찰에서는 꽃노랑총채벌레, 대만총채벌레 등 총채벌레목, 진딧물류 및 응애류 등 비비행성 곤충류가 주로 조사되었다. 천적 군집은 황색끈끈이트랩에서는 쯤벌, 고치벌 등 벌목의 채집 밀도가 높았으며, 엔진식 흡충기도 벌목의 비중이 높았으나, 거미류와 노린재류의 밀도가 황색끈끈이트랩에 비하여 높은 경향을 보였다. 잎 관찰 방법에서는 천적류는 두 방법과 달리 총채벌레류와 풀잠자리 등의 비율이 높았으나 채집개체수는 매우 적었다. 기타곤충류의 군집에서는 황색끈끈이트랩에서는 기생파리, 집파리 등 대형 파리류와 나방파리, 노랑굴파리 등 소형 파리류 등 파리류와 매미충류의 조사 비율이 높았으며, 이와 달리 엔진식 흡충기 방법은 노랑굴파리 등 소형 파리류와 멸구매미충류의 구성비율이 높았다. 반면, 잎 관찰 방법은 매미충, 깔다구, 쇠벌레 등 일부 종이 채집되었지만 밀도는 매우 낮았다.

Table 2. Average population densities of common plant-dwelling non-target insect groups and arachnids captured in two fields planted with two different genotypes of soybeans at Gunwi and Jeonju, Korea, in 2018 - 2020.

Category	Order	2018			2019			2020					
		Gunwi	Jeonju	Gunwi	Jeonju	Gunwi	Jeonju	Gunwi	Jeonju				
Insect pests	Orthoptera	1.3 ± 1.2 ^a	1.0 ± 1.0 ^a	4.3 ± 0.6 ^{bc}	0.3 ± 0.6 ^a	0.3 ± 0.6 ^a	1.7 ± 1.2 ^{ab}	1.3 ± 0.6 ^a	1.0 ± 1.0 ^a	0.3 ± 0.6 ^a	0.7 ± 0.6 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	
	Thysanoptera	3,630.3 ± 450.1 ^a	3,551.7 ± 633.7 ^a	3,172.0 ± 2,128.6 ^a	3,172.0 ± 1,745.4 ^a	4,903.0 ± 267.6 ^{abc}	5,335.0 ± 674.3 ^{abc}	7,660.0 ± 525.5 ^{bc}	7,680.3 ± 1,025.2 ^c	5,123.3 ± 564.3 ^{abc}	4,585.0 ± 420.9 ^{ab}	4,971.3 ± 895.0 ^{abc}	4,694.0 ± 761.9 ^{ab}
	Hemiptera	199.3 ± 31.1 ^d	194.0 ± 45.5 ^d	417.0 ± 29.4 ^c	445.3 ± 24.3 ^c	93.3 ± 34.4 ^a	80.7 ± 15.6 ^a	184.7 ± 18.9 ^{bcd}	189.3 ± 34.9 ^{cd}	103.3 ± 17.6 ^a	108.0 ± 22.1 ^{ab}	122.0 ± 18.2 ^{abcd}	111.3 ± 15.0 ^{abcd}
	Homoptera	486.7 ± 118.7 ^b	477.0 ± 112.3 ^{ab}	989.7 ± 20.5 ^c	985.7 ± 124.9 ^c	389.7 ± 101.3 ^{ab}	324.0 ± 65.3 ^{ab}	1,037.3 ± 110.7 ^c	1,188.3 ± 147.6 ^c	261.0 ± 97.5 ^{ab}	202.7 ± 18.2 ^a	386.7 ± 47.4 ^{ab}	282.3 ± 38.3 ^{ab}
	Coleoptera	88.3 ± 23.0 ^{abcd}	100.0 ± 35.4 ^d	88.3 ± 38.9 ^{abcd}	97.7 ± 18.9 ^{cd}	46.3 ± 12.5 ^{abcd}	34.0 ± 5.0 ^{abc}	75.3 ± 9.7 ^{abcd}	74.7 ± 30.1 ^{abcd}	18.3 ± 13.8 ^a	26.0 ± 8.8 ^{ab}	71.3 ± 18.5 ^{abcd}	65.3 ± 11.9 ^{abcd}
	Diptera	59.0 ± 8.7 ^{cd}	62.7 ± 8.5 ^{cd}	36.0 ± 15.5 ^{bc}	31.0 ± 3.6 ^b	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.7 ± 0.6 ^a	0.3 ± 0.6 ^a	76.7 ± 3.8 ^c	79.3 ± 12.7 ^c	38.3 ± 15.7 ^{bcd}	44.0 ± 11.0 ^{abcd}
	Lepidoptera	29.7 ± 15.3 ^b	16.0 ± 2.0 ^{ab}	5.0 ± 3.6 ^a	6.0 ± 2.0 ^a	12.0 ± 6.6 ^a	10.3 ± 3.8 ^a	13.3 ± 3.1 ^a	12.3 ± 2.1 ^a	5.0 ± 2.0 ^a	5.0 ± 3.6 ^a	8.3 ± 1.5 ^a	5.3 ± 1.2 ^a
	Araneeae	8.3 ± 1.2 ^a	5.3 ± 3.2 ^a	6.3 ± 3.1 ^a	3.3 ± 0.6 ^a	0.3 ± 0.6 ^a	2.3 ± 0.6 ^a	12.60 ± 2.21 ^b	10.40 ± 16.1 ^b	1.3 ± 0.6 ^a	2.0 ± 2.0 ^a	67.63 ± 70.2 ^a	637.3 ± 49.2 ^a
	Subtotal	4,503.0 ± 338.6 ^a	4,407.7 ± 740.3 ^a	5,264.7 ± 2,067.2 ^a	4,695.3 ± 1,692.3 ^a	5,445.0 ± 207.4 ^b	5,786.7 ± 734.8 ^{ab}	8,705.0 ± 582.7 ^{bc}	9,250.7 ± 1,103.1 ^c	5,590.0 ± 677.4 ^a	5,008.3 ± 446.3 ^a	6,275.0 ± 814.5 ^{ab}	5,839.7 ± 797.6 ^{ab}
	Natural enemies	Odonata	0.0 ± 0.0 ^a	0.7 ± 0.6 ^a	0.3 ± 0.6 ^a	0.3 ± 0.6 ^a	2.0 ± 2.0 ^{ab}	2.7 ± 0.6 ^{ab}	0.7 ± 0.6 ^a	1.0 ± 1.0 ^a	5.3 ± 3.2 ^b	10.0 ± 1.7 ^c	0.0 ± 0.0 ^a
Thysanoptera		0.3 ± 0.6 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.3 ± 0.6 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	1.0 ± 1.0 ^a	1.0 ± 1.7 ^a	4.7 ± 0.6 ^b	6.0 ± 2.6 ^b	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	1.3 ± 0.6 ^a	1.3 ± 1.5 ^a
Hemiptera		54.7 ± 7.4 ^{ab}	44.0 ± 9.5 ^{ab}	52.0 ± 9.6 ^{ab}	51.0 ± 15.1 ^{ab}	63.3 ± 9.6 ^b	49.0 ± 12.5 ^{ab}	23.3 ± 8.0 ^a	38.3 ± 10.6 ^{ab}	39.0 ± 23.1 ^{ab}	30.0 ± 12.5 ^{ab}	53.7 ± 5.1 ^{ab}	48.0 ± 4.6 ^{ab}
Neuroptera		0.7 ± 1.2 ^a	2.0 ± 1.0 ^a	1.20 ± 7.0 ^{ab}	97 ± 4.7 ^{ab}	7.0 ± 3.0 ^{ab}	7.7 ± 1.5 ^{ab}	8.3 ± 1.2 ^{ab}	12.0 ± 10.4 ^{ab}	0.3 ± 0.6 ^a	0.3 ± 0.6 ^a	15.7 ± 2.1 ^b	11.7 ± 2.3 ^{ab}
Coleoptera		230 ± 6.9 ^{cd}	243 ± 2.9 ^{cd}	70 ± 1.0 ^a	63 ± 2.5 ^a	12.3 ± 5.1 ^{abc}	13.7 ± 1.2 ^{abcd}	10.3 ± 6.5 ^{abc}	163 ± 8.5 ^{abcd}	9.3 ± 2.1 ^{ab}	11.0 ± 4.6 ^{abc}	31.7 ± 6.7 ^c	27.7 ± 1.5 ^{cd}
Diptera		39.7 ± 38.4 ^{ab}	46.0 ± 38.4 ^{ab}	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	106.7 ± 9.0 ^c	91.0 ± 24.3 ^{bc}	12.3 ± 3.5 ^a	22.0 ± 4.4 ^a	36.3 ± 7.4 ^a	20.3 ± 6.4 ^a	43 ± 1.2 ^a	3.0 ± 1.0 ^a
Hymenoptera		680 ± 93.4 ^a	550 ± 45.9 ^a	2,943.7 ± 936.1 ^b	2,907.7 ± 977.2 ^b	1,097.7 ± 48.0 ^{ab}	1,032.3 ± 87.4 ^{ab}	1,974.3 ± 588.3 ^{ab}	2,133.0 ± 513.6 ^{ab}	252.0 ± 38.3 ^a	189.0 ± 43.3 ^{ab}	833.7 ± 919.6 ^a	1,875.3 ± 1,510.9 ^{ab}
Araneeae		41.7 ± 5.5 ^a	48.7 ± 12.5 ^{ab}	48.7 ± 6.4 ^{ab}	51.3 ± 7.5 ^{ab}	46.7 ± 9.3 ^a	35.0 ± 2.6 ^a	71.3 ± 3.1 ^{bc}	79.3 ± 3.1 ^c	33.7 ± 6.7 ^a	48.7 ± 13.9 ^{ab}	43.0 ± 6.6 ^a	50.7 ± 7.5 ^{ab}
Subtotal		768.0 ± 105.1 ^{ab}	715.7 ± 70.5 ^{ab}	3,064.0 ± 917.0 ^c	3,026.3 ± 949.6 ^c	1,336.7 ± 33.5 ^{abc}	1,232.3 ± 100.6 ^{abc}	2,105.3 ± 576.4 ^{abc}	2,308.0 ± 509.5 ^{bc}	376.0 ± 60.8 ^{ab}	309.3 ± 24.8 ^a	983.3 ± 916.3 ^{ab}	2,017.7 ± 1,516.5 ^{abc}
Other insects		Collembora	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	119.3 ± 28.0 ^b	183.7 ± 35.5 ^c	4.7 ± 0.6 ^a	4.0 ± 1.0 ^a	0.7 ± 0.6 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a
	Psocoptera	1.7 ± 2.1 ^a	3.0 ± 3.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.7 ± 1.2 ^a	2.3 ± 2.1 ^a	0.3 ± 0.6 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a
	Hemiptera	29.3 ± 6.1 ^{bc}	35.3 ± 9.5 ^c	1.3 ± 1.5 ^a	2.7 ± 0.6 ^a	12.7 ± 4.5 ^a	7.3 ± 3.8 ^a	1.0 ± 1.0 ^a	5.0 ± 6.2 ^a	12.0 ± 8.7 ^a	11.0 ± 2.0 ^a	14.7 ± 7.1 ^{ab}	15.3 ± 4.9 ^{ab}
	Homoptera	333.7 ± 127.9 ^a	322.7 ± 82.6 ^a	906.7 ± 319.5 ^b	799.3 ± 49.6 ^b	256.3 ± 23.4 ^a	255.7 ± 86.9 ^a	389.0 ± 15.7 ^a	377.0 ± 19.5 ^a	272.7 ± 58.6 ^a	318.3 ± 40.1 ^a	348.7 ± 31.0 ^a	412.7 ± 49.1 ^a
	Neuroptera	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	1.0 ± 1.7 ^a	0.3 ± 0.6 ^a
	Coleoptera	60.3 ± 18.9 ^c	63.7 ± 12.7 ^c	1,157 ± 15.5 ^d	1,120 ± 4.4 ^d	64.0 ± 7.5 ^c	60.7 ± 9.0 ^c	52.0 ± 6.2 ^{bc}	47.3 ± 1.5 ^{abc}	17.0 ± 2.6 ^a	17.7 ± 6.0 ^a	28.3 ± 12.1 ^{ab}	25.3 ± 12.2 ^{ab}
	Diptera	83.3 ± 194.9 ^a	737.7 ± 172.3 ^a	1,712.3 ± 155.4 ^b	1,979.3 ± 433.8 ^b	839.0 ± 41.7 ^a	763.7 ± 39.0 ^a	3,352.7 ± 234.8 ^c	3,371.3 ± 625.7 ^c	354.0 ± 41.0 ^a	293.7 ± 20.7 ^a	415.0 ± 244.5 ^a	669.0 ± 162.7 ^a
	Hymenoptera	2.3 ± 2.3 ^a	2.0 ± 1.7 ^a	1.3 ± 1.2 ^a	1.0 ± 1.0 ^a	5.3 ± 3.2 ^a	2.0 ± 0.6 ^a	0.7 ± 0.6 ^a	1.7 ± 1.5 ^a	3.3 ± 1.2 ^a	1.3 ± 0.6 ^a	4.3 ± 3.2 ^a	3.0 ± 1.0 ^a
	Lepidoptera	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.3 ± 0.6 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	1.7 ± 2.9 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	2.0 ± 1.0 ^a	1.3 ± 1.5 ^a
	Subtotal	1,260.7 ± 326.8 ^a	1,164.3 ± 270.0 ^a	2,737.3 ± 450.7 ^b	2,895.0 ± 467.7 ^{bc}	1,299.0 ± 69.2 ^a	1,273.7 ± 47.5 ^a	3,800.0 ± 219.9 ^{cd}	3,806.3 ± 605.5 ^d	661.3 ± 98.9 ^a	642.0 ± 20.8 ^a	814.0 ± 249.3 ^a	1,127.0 ± 199.0 ^a
Total	6,531.7 ± 218.7 ^a	6,287.7 ± 930.8 ^a	11,066.0 ± 2,332.5 ^b	10,616.7 ± 1,706.0 ^b	8,080.7 ± 252.7 ^{ab}	8,292.7 ± 694.0 ^{ab}	14,610.3 ± 844.6 ^c	15,365.0 ± 1,016.9 ^c	6,627.3 ± 738.5 ^a	5,959.7 ± 420.0 ^a	8,072.3 ± 1,173.3 ^{ab}	8,984.3 ± 1,460.1 ^{ab}	

[†] Genetically modified soybean.

[‡] The results shown are the mean ± standard deviation, n = 3 replicates for each group, and Tukey's honestly significant difference at p < 0.05 within row.

Table 3. Analysis of insect diversity of common plant-dwelling non-target insect groups and arachnids captured in two fields planted with two different genotypes of soybeans at Gunwi and Jeonju, Korea, in 2018 - 2020.

Index	2018			2019			2020				
	Gunwi	Jeonju	Gunwi	Jeonju	Gunwi	Jeonju	Gunwi	Jeonju			
Dominance (DI)	0.555±0.058ab [†]	0.563±0.038ab	0.469±0.063a	0.479±0.059a	0.607±0.019ab	0.642±0.029bc	0.500±0.024ab	0.498±0.033ab	0.769±0.017c	0.624±0.098abc	0.586±0.093abc
Diversity (H')	2.394±0.146d	2.378±0.065d	2.177±0.123cd	2.183±0.129cd	2.133±0.057cd	2.038±0.033abc	2.025±0.033abc	1.809±0.055a	1.836±0.087ab	2.074±0.104bc	2.086±0.087bc
Evenness (EJ)	0.571±0.030d	0.572±0.016d	0.543±0.034bcd	0.545±0.030cd	0.513±0.009bcd	0.489±0.011abc	0.508±0.006bc	0.430±0.010a	0.439±0.014a	0.482±0.024ab	0.491±0.023abc
Richness (RI)	7.400±0.299bc	7.208±0.200bc	5.846±0.267a	5.833±0.210a	7.039±0.660b	7.057±0.178b	5.493±0.150a	5.843±0.293a	7.444±0.577bc	8.077±0.116c	7.624±0.219bc

[†] Genetically modified soybean.

[‡] The results shown are the mean± standard deviation, n = 3 replicates for each group, and Tukey's honestly significant difference at p < 0.05 within row.

Table 4. Average population densities of common plant-dwelling non-target insect groups and arachnids captured using three different types in fields planted with two different genotypes of soybeans at Gunwi and Jeonju, Korea, in 2018 - 2020.

Category	Order	Gunwi			Jeonju		
		Yellow sticky trap	Vacuum insect aspirator	Observation of leaves	Yellow sticky trap	Vacuum insect aspirator	Observation of leaves
Insect pests	Orthoptera	27±2.3ab [†]	00±0.0a	00±0.0a	17±0.6a	03±0.0a	00±0.0a
	Thysanoptera	13,342.7±623.4b	1370±82.5a	1120±33.0a	15,745.3±1,431.0c	15,351.3±1,973.8bc	743±30.4a
	Hemiptera	212.7±13.1bc	181.0±47.8b	169.0±55.0b	288.3±32.6bc	282.3±47.6c	460.7±39.5d
	Homoptera	1,006.7±213.0d	894.3±193.6cd	39.3±7.6a	1,680.7±39.5c	1,561.7±105.1e	163.3±22.4a
	Coleoptera	108.3±4.2bc	116.7±53.8cd	44.0±18.7ab	43.3±12.1ab	55.7±25.8abc	188.7±38.0c
	Diptera	131.0±5.0c	137.3±15.0c	4.7±3.2a	65.0±12.8b	68.7±8.6b	181.0±14.4de
	Lepidoptera	44.0±17.1d	28.7±4.0cd	1.7±1.5a	22.0±4.4c	18.0±5.3bc	3.7±1.2ab
	Psodiptera	00±0.0a	00±0.0a	0.7±0.6a	00±0.0a	00±0.0a	4.7±1.2ab
	Subtotal	14,880±643.7b	14,565.7±1,276.0b	407.7±126.5a	17,816.3±1,409.5c	17,337.7±1,962.5c	3,470±20.3b
	Natural enemies	Odonata	67±3.8bc	100±4.6c	07±1.2a	10±0.0ab	13±1.2ab
Thysanoptera		00±0.0a	00±0.0a	00±0.0a	03±0.0a	13±1.5a	07±1.2a
Hemiptera		135.3±33.6b	103.7±10.2b	19.0±5.6a	183.3±6.5a	114.7±22.6b	233±1.5a
Neuroptera		2.7±1.5ab	4.0±1.0ab	2.3±1.2ab	25.3±7.2c	26.0±4.4c	100±1.7b
Coleoptera		41.0±4.6d	43.3±5.0d	3.7±1.5ab	34.7±2.5d	39.7±6.7d	143±5.5c
Diptera		181.7±26.3b	157.0±53.8b	1.0±1.7a	16.7±4.5a	24.7±4.2a	00±0.0a
Hymenoptera		1,774.7±127.9c	1,611.0±76.2bc	183.0±18.5a	537.10±1,368.1d	6,543.3±794.6d	380.0±52.9ab
Araeae		68.0±8.5bcd	83.3±9.8d	53.7±10.1bc	75.0±4.4cd	90.0±6.6d	86.0±7.2d
Subtotal		2,210.0±155.4d	2,012.3±134.1b	263.3±20.7a	5,629.7±1,358.0c	6,841.1±824.5c	514.3±65.9a
Other insects		Collembola	07±0.6a	00±0.0a	119.3±28.0b	00±0.0a	00±0.0a
	Psecoptera	40±3.0a	00±0.0a	00±0.0a	00±0.0a	07±1.2a	00±0.0a
	Hemiptera	33.7±13.4c	34.3±9.1c	20.3±10.7bc	19.3±5.7bc	18.0±4.6abc	37.2±2.5ab
	Homoptera	661.7±45.5b	731.0±93.8b	197.3±97.4a	1,404.0±359.7c	1,360.0±73.0c	224.3±5.7a
	Neuroptera	00±0.0a	00±0.0a	00±0.0a	07±1.2a	03±0.6a	03±0.6a
	Coleoptera	124.3±28.6c	125.3±5.9c	17.0±1.0a	91.3±11.6b	84.3±5.5b	104.7±13.6bc
	Diptera	1,860.7±225.8b	1,651.7±132.3b	163.7±11.9a	5,175.0±172.5c	5,720.3±357.0d	302.0±15.0a
	Hymenoptera	11.0±3.0c	5.3±1.5b	00±0.0a	6.3±4.0b	5.7±1.2b	00±0.0a
	Lepidoptera	1.7±2.9a	0.3±0.6a	00±0.0a	2.0±1.0a	1.3±1.5a	00±0.0a
	Subtotal	2,697.7±259.2c	2,551.3±231.7c	517.7±123.9ab	6,692.7±524.5d	7,190.7±286.7d	649.7±18.2b
Total	19,755.7±517.3b	19,129.3±1,369.4b	1,188.7±51.0a	30,138.7±2,239.7c	31,369.3±2,311.9c	3,000.0±63.0a	

[†] Genetically modified soybean.

[‡] The results shown are the mean± standard deviation, n = 3 replicates for each group, and Tukey's honestly significant difference at p < 0.05 within row.

Table 5. Analysis of insect diversity of common plant-dwelling non-target insect groups and arachnids captured using three different types in fields planted with two different genotypes of soybeans at Gunwi and Jeonju, Korea, in 2018 - 2020.

Index	Gunwi						Jeonju					
	Yellow sticky trap		Vacuum insect aspirator		Observation of leaves		Vacuum insect aspirator		Yellow sticky trap		Observation of leaves	
	Gwanggan	β -carotene ^y	Gwanggan	β -carotene	Gwanggan	β -carotene	Gwanggan	β -carotene	Gwanggan	β -carotene	Gwanggan	β -carotene
Dominance (DI)	0.675 ± 0.014c ^z	0.688 ± 0.005c	0.288 ± 0.033a	0.298 ± 0.032a	0.827 ± 0.010e	0.833 ± 0.033e	0.522 ± 0.017b	0.490 ± 0.025b	0.295 ± 0.020a	0.313 ± 0.015a	0.698 ± 0.036cd	0.770 ± 0.017de
Diversity (H')	2.075 ± 0.046c	2.036 ± 0.008c	2.954 ± 0.073d	2.912 ± 0.047d	1.353 ± 0.103ab	1.278 ± 0.170a	1.966 ± 0.040c	1.971 ± 0.038c	2.999 ± 0.031d	2.966 ± 0.041d	1.495 ± 0.064b	1.354 ± 0.037ab
Evenness (EI)	0.470 ± 0.012ab	0.463 ± 0.001ab	0.763 ± 0.029c	0.760 ± 0.019c	0.502 ± 0.024ab	0.468 ± 0.058ab	0.454 ± 0.006a	0.460 ± 0.007ab	0.746 ± 0.012c	0.733 ± 0.009c	0.532 ± 0.011b	0.514 ± 0.050ab
Richness (RI)	8.290 ± 0.079c	8.151 ± 0.269c	6.683 ± 0.602b	6.454 ± 0.349b	2.462 ± 0.466a	2.532 ± 0.097a	7.307 ± 0.252bc	6.892 ± 0.158b	6.829 ± 0.456b	7.039 ± 0.377b	2.442 ± 0.224a	2.080 ± 0.428a

^y Genetically modified soybean.

^z The results shown are the mean ± standard deviation, n = 3 replicates for each group, and Tukey's honestly significant difference at p < 0.05 within row.

전반적으로 황색끈끈이트랩 방법이 채집된 개체수 및 종수가 가장 많았다. 이는 진공 흡충기나 잎을 직접 채취하여 조사하는 방법은 비행성이 크고, 비교적 민감한 곤충류는 조사 과정에 쉽게 도망갈 수 있으나, 설치 2주 후에 수거하는 황색끈끈이트랩은 긴 조사기간 및 유인 특성에 의해 비교적 다양한 곤충류가 채집되었기 때문인 것으로 파악된다. 따라서 황색끈끈이트랩 조사 방법이 채집 편이성이나 효율면에서 매우 우수하였으며, 끈끈이트랩의 특성상 곤충이 끈끈이에 부착되므로 동정에 다소 어려움이 있을 수 있으나, LM콩의 환경 방출에 따른 안전성 평가를 위하여 가장 효율적으로 이용할 수 있는 곤충 모니터링 방법일 것으로 분석되었다. 또한, 진공 흡충기 방법은 황색끈끈이트랩 방법보다 다소 채집 효율성이 낮았으나, 종 동정이나 채집물의 보관 등에 이점이 있고, 채집된 종의 다양성이 높아 안전성 평가에 역시 효율적으로 이용할 수 있을 것으로 분석되었다.

다차원척도법

전주와 군위 LMO 격리포장에서 LM콩의 재배에 따라 품종, 조사 지역 및 연도별 곤충 발생의 유사성을 분석하기 위하여 다차원척도분석법(MDS, multidimensional scaling)을 실시하였다. MDS분석은 PROXSCAL을 이용하여 Euclidian distance로 지각도를 작성하여 분석하였다. 그 결과, Kruskal의 스트레스 값은 0.01783로 적합도는 매우 좋은 수준이었으며, Turcker의 적합계수는 0.99435으로서 모형의 설명력이 매우 높았다. 지각도에 나타난 지역별의 베타카로틴 강화콩 및 광안콩에서의 곤충류의 발생은 각 조사 지역 내에서 가까운 것으로 나타났으나, 동일 품종에서의 조사 지역 간에서는 유사도가 먼 것으로 나타났다(Fig. 3). 따라서, 베타카로틴 강화콩과 광안콩에서 곤충 발생양상의 차이는 조사 지역간에는 있었으나, 동일 지역에서는 차이가 없는 것으로 분석되었다.

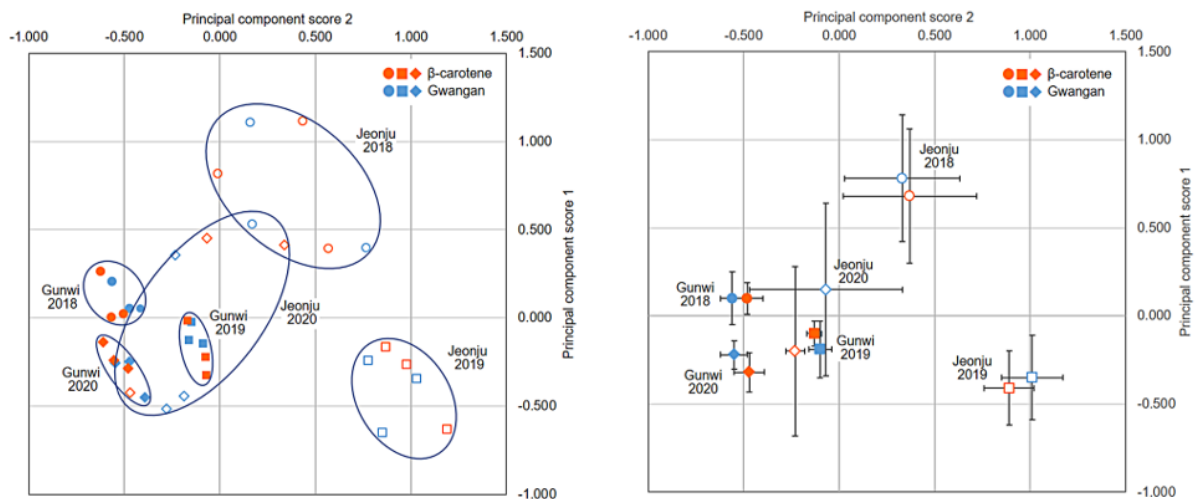


Fig. 3. Proxscal multidimensional scaling ordination with common plant dwelling non-target insects and arachnid captured on two different genotypes of soybeans at Gunwi and Jeonju, Korea in 2018 - 2020 (stress - 1 = 0.10632, Turcker's coefficient of congruence = 0.99433). β -carotene, genetically modified soybean.

Conclusion

본 연구에서는 베타카로틴 강화콩이 곤충과 거미류의 종다양성에 미치는 영향을 평가하기 위해 다년간 두 지역의 LMO 격리포장 재배 조건 하에 시험하였다. 베타카로틴 강화콩은 국내 재배 품종인 광안콩에 카로티노이드 생합성 유전자인 *Psy*와 *CrtI* 유전자를 형질전환한 콩이다. 2018년부터 2020년까지 총 3년동안 경북대학교 군위 LMO 격리포장과 국립농업과학원 전주 LMO 격리포장에서 베타카로틴 강화콩과 모품종인 광안콩을 대상으로 각 재배지에서 황색끈끈이트랩, 엔진식 흡충기 및 잎 관찰 등 3가지의 조사방법을 이용해 곤충 및 거미류를 채집하여 비교 분석하였다. 조사기간 총 14목 82과 331,483개체의 곤충류와 거미류가 채집되었으며, 품종별로는 베타카로틴 강화콩 재배지에서 166,518개체, 광안콩 재배지에서 164,965개체가 채집되었다. 그 결과, 조사연도와 지역 및 방법 간의 차이는 있었으나, 품종 간의 곤충상에 대한 유의차는 대부분의 분류군에서 나타나지 않았으며, 종다양성 분석에서도 품종 간의 통계적인 유의차는 보이지 않았다. 또한, 다차원척도법 분석에도 베타카로틴 강화콩과 광안콩에서 곤충 발생 양상의 차이는 조사 연도와 조사 지역 간에는 있었으나, 동일 지역과 연도에서는 차이가 없으므로 나타나는 것을 확인하였다. 따라서, LM작물인 베타카로틴 강화콩 재배가 해충, 천적 및 기타 곤충의 개체군 밀도와 발생 양상에 특별한 영향이 없는 것으로 분석되었다.

Conflict of Interests

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

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 농촌진흥청 연구개발사업(과제번호: PJ0157502022, PJ01368001)의 지원으로 수행되었습니다.

Authors Information

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

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

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

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

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

Kihun Ha, <https://orcid.org/0000-0002-2938-1906>

Minwook Kim, <https://orcid.org/0000-0003-1664-0128>

Yeongjin Son, <https://orcid.org/0000-0001-6290-7562>

Chang Uk Eun, <https://orcid.org/0000-0002-7065-2122>

Young-Kun Kim, <https://orcid.org/0000-0002-0896-4379>

Junho Lee, <https://orcid.org/0000-0002-0418-0550>

Dongmin Kim, <https://orcid.org/0000-0002-8629-2889>

Donguk Kim, <https://orcid.org/0000-0002-1248-1142>

Jongwon Kim, <https://orcid.org/0000-0002-1793-8041>

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

References

- Aijie LSY, Li L. 2014. Structure, trypsin inhibitor activity and functional properties of germinated soybean protein isolate. *International Journal of Food Science & Technology* 49:911-919.
- 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.
- Bendich A, Olson JA. 1989. Biological actions of carotenoids. *FASEB Journal* 3:1927-1932.
- Borror DJ, Triplehorn CA, Johnson NF. 1989. An introduction to the study of insects, 6th ed. Saunders College Publishing, Florida, USA.
- 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* 52:40-48. [in Korean]
- Choi SS, Kim GD. 2022a. Production of carotenoids by bacteria; carotenoid productivity and availability. *Journal of Life Science* 32:411-419. [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]
- Choi Y, Kim BS. 2022b. Domestic environmental release of genetically modified crops: Focusing on the government-NGOs joint environmental assessment. *Civil Society and NGO* 20:409-443. [in Korean]
- Gullan PK, Cranston PS. 2005. The insect an outline of entomology. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK.
- Ha SH, Kim JB, Park JS, Lee SW, Cho KJ. 2007. A comparison of the carotenoid accumulation in Capsicum varieties that show different ripening colours: Deletion of the capsanthin-capsorubin synthase gene is not a prerequisite for the formation of a yellow pepper. *Journal of Experimental Botany* 58:3135-3144.
- Ha SH, Liang YS, Jung H, Ahn MJ, Suh SC, Kweon SJ, Kim DH, Kim YM, Kim JK. 2010. Application of two bicistronic systems involving 2A and IRES sequences to the biosynthesis of carotenoids in rice endosperm. *Plant Biotech Journal* 8:928-938.
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). 2020. Global status of commercialized biotech/GM crops:2019, Brief No. 55-2019. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, New York, USA.
- KBCH (Korea Biosafety Clearing House). 2020. Results of public awareness survey of LMO in 2020. KBCH, Daejeon, Korea. [in Korean]
- 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 KH, Kim DS, Park CG, Cho SW, Yoon YN, Lee KY. 2012b. Principles and application in insect pest management. Hyang Moon Sa, Seoul, Korea. [in Korean]
- Kim KM, Ryu TH, Suh SJ. 2010. Studies on insect diversity related to genetically engineered vitamin A rice under large scale production. *Korean Journal of Breeding Science* 42:157-162. [in Korean]
- Kim MJ, Kim JK, Kim HJ, Pak JH, Lee JH, Kim DH, Choi HK, Jung HW, Lee JD, Chung YS, et al. 2012a. Genetic modification of the soybean to enhance the β -carotene through seed-sepcific expression. *PLoS One* 7:e48287.
- KOSTAT (Korean statistics). 2021. Results of a survey on the production of chinese cabbage, radish, soybean, apple and pear in 2021. Korean Statistics, Daejeon, Korea. [in Korean]
- KRIBB (Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology). 2019. Biosafety white paper 2019. KRIBB, Daejeon, Korea. [in Korean]
- Lee BK, Suh SC. 2011. A study on the trends and biosafety assessment of genetically modified crops. *Environmental Law Review* 33:3-25. [in Korean]

- Lee CY, McCoon PE, LeBowitz JM. 1981. Vitamin A value of sweet corn. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 29:1294-1295.
- Lee KJ, Shon SI, Lee JY, Yi BY, Oh SD, Kweon SJ, Suh SC, Ryu TH, Kim KH, Park JS. 2011b. Effects of transgenic soybean cultivation on soil microbial community in the rhizosphere. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 30:466-472. [in Korean]
- Lee KJ, Yi BY, Kim KH, Kim JB, Suh SC, Woo HJ, Shin KS, Kweon SJ. 2011a. Development of efficient transformation protocol for soybean (*Glycine max* L.) and characterization of transgene expression after Agrobacterium-mediated gene transfer. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* 54:37-45.
- Matthews PD, Luo R, Wurtzel ET. 2003. Maize phytoene desaturase and ζ -carotene desaturase catalyse a poly-Z desaturation pathway: Implications for genetic engineering of carotenoid content among cereal crops. *Journal of Experimental Botany* 54:2215-2230.
- Oh SD, Ha KH, Park SY, Lee SK, Yun DW, Lee KJ, Suh SJ. 2021. Impact of vitamin-A-enhanced transgenic soybeans on above-ground non-target arthropods in Korea. *Korean Journal of Agricultural Science* 48:875-890. [in Korean]
- Oh SD, Kim JS, Lee KJ, Ryu TH, Suh SJ. 2014. Studies on insect diversity related to drought-tolerant transgenic (Agb0103) rice under large scale GMO field. *Korean Journal of Breeding Science* 46:136-142. [in Korean]
- Oh SD, Lee KJ, Sohn SI, Kweon YJ, Kim JS, Lee JY, Park BS, Kweon SJ, Suh SC, Ryu TH, et al. 2012. Effect on insecticide susceptibility of *Lissorhoptrus oryzophilus* fed on *Bacillus thuringiensis* (Bt)-transgenic rice variety. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 24:247-253. [in Korean]
- Oh SD, Min SK, Kim JK, Park JH, Kim CG, Park SY. 2020a. Evaluation of the acute toxicity of theoredoxin (TRX) transgenic soybean to *Daphnia magna*. *Korean Journal of Agricultural Science* 47:791-802. [in Korean]
- Oh SD, Park SY, Lee SK, Yun DW, Lee GS, Suh SJ. 2020b. Influence of vitamin A-enhanced transgenic soybean cultivation on the diversity of insects in LMO quarantine fields. *Korean Journal of Breeding Science* 52:310-321. [in Korean]
- Oh SD, Shin HC, Sohn SI, Lee KJ, Kim HJ, Ryu TH, Lee JY, Park BS, Kweon SJ, Suh SC, et al. 2011. Evaluation and assessment of biosafety for *Bacillus thuringiensis* (Bt)-transgenic rice: Responses of *Daphnia magna* fed on Bt-transgenic rice variety. *Journal of Applied Biological Chemistry* 54:296-302. [in Korean]
- Oh SD, Suh SJ, Park SY, Lee KJ, Sohn SI, Yun DW, Chang AC. 2017. Effects of vitamin E enhanced transgenic soybean cultivation on insect diversity. *Korean Journal of Breeding Science* 49:129-140. [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 TC, Choe HJ, Jeong HJ, Jang HJ, Kim JK, Park JJ. 2018. Comparison of insect fauna in transgenic and common rice paddy fields. *Korean Journal of Environmental Biology* 36:488-497. [in Korean]
- Tomkins A. 2001. Nutrition and maternal morbidity and mortality. *British Journal of Nutrition* 85:S93-S99.
- Vagadia BH, Vanga SK, Raghavan V. 2017. Inactivation methods of soybean trypsin inhibitor-a review. *Trends in Food Science & Technology* 64:115-125.
- Ye X, Al-Babili S, Klott A, Zhang J, Lucca P, Beyer P, Potrykus I. 2000. Engineering the provitamin A (β -carotene) biosynthetic pathway. *Science* 287:303-305.