



Original research article

경관유형에 따른 사과 과수원의 개화기 방화곤충상 분석

최강범^{1,2}, 이흥식³, 정철의^{1,4,*}

¹안동대학교 대학원 식물외과, ²영주풍기농협, ³농식품검역검사본부 식물방제과, ⁴안동대학교 농업과학기술연구소

Analysis of Flower-visiting Insect Assembly in Apple Orchards Relative to the Landscape Type Measured by Yellow Pan-traps

Kang Beom Choi^{1,2}, Heung-sik Lee³, Chuleui Jung^{1,4,*}

¹Department of Plant Medicine, Andong National University, Andong, Republic of Korea

²Youngju Poong-gi Nonghyup, Youngju, Republic of Korea

³Department of Plant Pest Control, Animal and Plant Quarantine Agency, Kimcheon, Republic of Korea

⁴Agriculture Science and Technology Research Institute, Andong National University, Andong, Republic of Korea

Abstract

Pollination is an important ecosystem service through the close interaction between plants and insects. The density and composition of pollen mediators are key factors determining the crop productivity. This study evaluated the abundance and diversity of flower-visiting insects in apple orchards according to four different landscape types (crop fields, villages, orchards, and mountains). Each landscape type with 8~9 orchards was determined with dominant environments around a selected orchard. Yellowing pan-traps were used to investigate the flower-visiting insects. Total 3,575 individuals were collected from 11 order 68 family and 111 species; 1,182 Coleopteran, 1,045 Dipteran and 1,027 Hymenopteran individuals. Diversity index was statistically higher (2.82 ± 0.23) in mountain orchards, and lower (2.38 ± 0.06) in crop field area. Among Hymenoptera, the Western honey bee, *Apis mellifera* dominated with 67% of Hymenopteran abundance, and *Gametis jucunda* (39%) in Coleoptera, Cetonidae. Overall abundance was highly correlated among populations of bees, flies, and beetles. The results confirmed that flower-visiting insect composition differed relative to the landscape types around the orchards. Strategies for conservation and promotion of pollination are further discussed with implementing pollinator habitats.

Keywords

Pollination, Landscape, *Apis mellifera*, Conservation, Pollinator habitat

서론

종자식물은 수술의 꽃가루인 수 배우자와 암술의 씨방에 있는 암 배우자가 만나서 수정을 함으로써 씨앗이 생겨나서 번식을 하게 된다. 많은 식물은 이러한 유성생식을 위하여 꽃가루가 암술머리로 옮겨질 수 있도록 하는 화분매개를 필요로 한다. 화분매개는 일반적으로 비, 바람, 물 또는 조류, 곤충류 등에 의해서 이루어지는데, 곤충

의 역할이 가장 중요하다(Free, 1970; Barth, 1985; Aizen and Harder, 2009; Garibaldi *et al.*, 2011; IPBES, 2016; Jung *et al.*, 2018). 사과, 복숭아, 배, 감, 자두, 오렌지, 딸기, 참외, 해바라기, 알팔파 등 100여 종의 주요 농작물들은 곤충이 화분매개를 해 주어야만 효율적인 경제적 생산이 가능하다(Choi, 1987; Lee *et al.*, 1988; Lee, 1993; Morse and Calderone, 2000; Lee *et al.*, 2000, 2007). 대부분의 과수는 화분매개 의존도가 매우 높는데, 사과의 경우, 봄철

에 개화가 되면 가위벌을 방사하거나 과수원 주변 방화곤충을 통해 화분매개가 이루어진다. 사과 과수원에서 꿀벌 및 방화곤충을 이용하여 수정을 할 경우 결실률, 과실의 품질 향상 및 노동력의 절감이 뚜렷하게 나타난다는 보고가 있으며 (Bosch and Blas, 1994; Lee *et al.*, 2000) 특히, 벌의 화분매개는 사과의 정형과 비율을 증가시켜 품질을 향상시켜 농가소득에도 도움이 된다 (Maeta, 1987; Choi *et al.*, 1995; Cho *et al.*, 1996). 꿀벌 등의 화분매개의 경제적 가치는 양봉산물 생산의 65~143배 (Levin, 1983; Winston and Scott, 1984)에 이른다는 보고가 있다. 우리나라의 경우 주요 농작물 생산에 미치는 꿀벌 화분매개의 가치를 6조원으로 평가하였다 (Jung, 2008). 캐나다에서는 양봉산물이 6천만 달러의 20배인 12억 달러, 뉴질랜드에서는 22억 달러에 이른다는 보고 (Winston and Scott, 1984; Matheson and Scharder, 1987)가 있으며, 전 세계적 화분매개의 경제적 가치는 약 270~700조원 정도로 추정한다 (IPBES, 2016).

사과는 우리나라 과수 재배 면적 (151,826 ha)의 20%를 차지하는 중요한 작물이다 (Jung *et al.*, 2018). 우리나라 사과 생산량은 90년대 중반을 정점으로 이후 감소세를 보였으나, 2002년 새로운 품종과 가공 제품들이 개발되면서 소비와 생산이 다시 증가하는 추세이다. 2019년 전국 사과 재배면적은 32,954 ha이며 생산량은 475,303톤이다. 경상북도는 19,426 ha (전국 대비 59%)에서 315,230톤 (전국 대비 66.4%)을 생산한다. 10 a당 생산량이 1,594 kg이다 (Statistic Korea, 2019).

국내 방화곤충 조사는 Woo *et al.* (1986)이 경기, 충남, 경남 지역의 사과, 배, 복숭아, 과수원의 방화곤충에 대해 전반적으로 조사하여 보고하였고, Choo *et al.* (1987), Lee *et al.* (2005)과 Kim and Hwang (2009)은 복숭아 과원에서, Oh *et al.* (1989)과 Hong *et al.* (1989)과 Lee *et al.* (2007)은 배 과수원에서, Lee *et al.* (2000, 2008), Kim *et al.* (2009)이 사과, 배, 감, 복숭아 과수원에서 벌목 방화곤충상을 분석 보고하였다. Yoon *et al.* (2017)은 국내 원예산업에서 상업적 화분매개서비스 이용 현황을 조사 보고하였다. 그러나 화분매개 곤충의 발생은 주변 경관 영향이 매우 큼에도 불구하고, 경관요소에 따른 국내 연구 결과는 미미하다. 경관은 농업 생산 체계에서 농생태계의 다양성 및 경관 구조에 대한 이해와 생태계 구성 생물종의 다양성 및 풍부도를 해석하는 데 중요한 단서가 된다 (Potts *et al.*, 2016; Lee and Jung, 2019; Naeem *et al.*, 2019).

이번 연구에서는 개화기 사과 과수원에 방문하는 화분매개 곤충의 종 구성이나 밀도는 주변 경관에 영향을 받을 것을 가정하고, 이를 검증하기 위하여 설계하였다. 방화곤충의 밀도와 종류가 과실 생산량, 품질에 영향을 미친다는 과학적 사실들이 밝혀지면서, 이번 연구가 향후 사과 재배 지역의 고품질 사과 생산 및 특성화의 매우 중요한 기초자료가 되리라 생각한다.

재료 및 방법

1. 방화곤충 조사 지역

조사 지역은 경북 영주시 풍기읍, 안정면, 봉현면에서 실시하였다. 과수원 주변 경관요소의 배치에 따른 방화곤충의 구성상의 차이를 알아보기 위하여, 4개의 주요 경관우점 지역 내 과수원을 선발하였다 (산림, 과수원, 논밭 그리고 마을 우점 지역). 조사 과원 선정을 위해 사전에 인터넷 (네이버지도, 다음지도, 구글지도)을 이용하여 실험 경관 조건에 부합하는 과수원의 목록을 조사한 뒤 과수원을 직접 방문하여 주변 경관 확인 후, 조사 과수원을 선정하고 트랩을 설치하여 진행하였다. 총 34개 과수원 중 산림 우점 지역 8개소, 과수원 우점 지역 8개소, 논밭 우점 지역 9개소, 마을 우점 지역 9개소이다 (Fig. 1). 산림 우점 지역은 과수원 인근 자연식생이 50% 이상인 곳을 선정하였고, 마을이 인접한 과수원은 도보로 3분 이내 마을이 있는 곳을 선정하였다 (Table 1).

2. 조사 과수원의 경관 구조 분석

각 조사과원의 경관 구조 분석을 위하여, 과수원 중앙 부위에서 반경 100 m 주변을 방화곤충의 중요 영향범위로 설정하고, 경관요소를 확인하였다. 위성사진을 이용하여 대상 지역을 격자 (11 m × 11 m)로 나누었다. 거대 경관요소와 미세 경관요소로 나누고, 격자 내 일부분만 포함될 경우 우점 경관요소를 기준으로 판단하였다. 거대 경관요소로서, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 밭, 논, 과수원, 마을, 도로 및 수계 (저수지 및 하천) 등을 조사하였다. 거대 경관요소는 산, 밭, 과수원, 마을 우점 지역으로의 분류가 적합한지 판단하였다. 미세 경관요소는 농가 농장주의 농법, 품종, 방제 횟수를 조사하고 주변에 발작물, 주변 나무 식생을 육안 조사하였다. 또한 과원의 기본 정보인 면



Fig. 1. Aerial view of study farms in Youngju, GB Korea. Farms were marked relative to the dominant landscape type by pink (crop field area), green (village area), yellow (orchard area), and purple (mountain area). Image was captured from google map.

적, 재식 연도, 재배품종, 농약살포 횟수, 과수원 주변 식생 등을 조사하였다.

3. 방화곤충 조사방법

2013년 경북 영주시의 주요 사과원의 개화시기는 5월 초에서 20일 사이였다. 방화곤충상 조사는 5월 5일에 19일 사이에 실시하였다. 황색수반트랩은 높이 120m의 고추지대에 노란색 접시(20.5×11×6 cm)를 부착하여 제작하고 유인액은 물:설탕:중성세제를 85:10:5% (v/v) 비율로 섞어 사용하였다. 트랩은 사과의 꽃눈이 퍼지기 시작할 때, 과수원 중앙에서부터 10m 거리를 두고, 3개를 설치하였다. 설치 후 4일 간격으로 3회 트랩에 포획된 곤충을 핀셋으로 분리하여 75%의 에탄올병에 옮겨 넣은 후, 냉장 보관하였으며 이후 건조 표본을 제작하였다. 제작된 표본은 해부 현미경 하에서 과 및 속, 종 등 가능한 수준의 동정을 실시하였고, 파리목 등 종 구분이 명확치 않은 그룹은 과 수준으로 정리하였다. 종명은 한국곤충명집(The Entomology Society of Korea. Korea Society of Applied Entomology, 1994)의 분류체계를 따라서 정리하였다. 모든 표본은 안동대학교 곤충생태실에 보관하였다.

4. 통계분석

목별 분류의 개체수(밀도)와 종수는 평균±SE(표준오

차)로 표시하였으며, 경관유형별로 군집 파라미터는 분산분석법(ANOVA)를 이용하여 비교하였다. 분산분석의 *F* 분석 결과가 유의미할 경우, 처리별 평균 차이는 Duncan test를 통해 유의수준 5%에서 검정하였다. 지점별 종수(형태적 그룹 포함), 개체수 자료를 이용한 군집구조분석(종다양성, 균등도, 우점도)을 실시하였다. 종다양도분석은 Shanon-Weiver index (*H*), 균등도는 Pielou Evenness index (*E*), 우점도는 Simpson Dominance index (*D*)를 추정하고(McCune and Grace, 2002), 지수 간 비교는 평균±SD(표준편차)로 정리하고 분산분석을 통해 분석하였다. 다양도지수 간의 관계는 선형회귀분석(Proc Regression), 산림에서의 거리와 방화곤충 또는 경관유형의 크기와 방화곤충의 종수 또는 개체수의 연관 관계는 상관분석(Proc Correlation)을 실시하였다. 통계 분석은 SPSS 프로그램을 이용하였다(SPSS ver. 24).

결 과

1. 조사 과원의 경관요소 분석

조사 과수원의 재배지 면적은 10a에서 2ha까지 다양했다. 평균 재배면적은 2,335.3±1,880.3평(0.78 ha)이었다(Table 1). 주요 재배품종은 대부분 만생종 부사(Fuji)이었

Table 1. Geographic and agronomic information of study farms in Youngju, GB, Korea

Farm*	Latitude	Longitude	Spray	Size	Variety
F1	36.83459	128.5846	8	8000	Fuji
F2	36.85189	128.5594	12	1000	Fuji, Yokka
F3	36.85384	128.558	12	1800	Fuji, Yokka, Other
F4	36.85816	128.5556	12	1700	Fuji
F5	36.85726	128.5372	14	2000	Fuji
F6	36.85975	128.5358	12	1600	Fuji, Yangkwang
F7	36.87384	128.5155	11	800	Fuji, Hongro
F8	36.87852	128.5125	12	1000	Fuji
V1	36.85603	128.553	13	900	Fuji
V2	36.85272	128.5492	13	1000	Fuji, Other
V3	36.85961	128.5322	13	1000	Fuji, Hongro
V4	36.84371	128.5158	12	700	Fuji
V5	36.86544	128.5197	13	1800	Fuji, Hongro
V6	36.89366	128.4856	13	900	Fuji
V7	36.89161	128.5253	12	1200	Fuji, Hongro
V8	36.89348	128.5285	12	3800	Fuji, Tsugaru
V9	36.88495	128.4795	14	1250	Fuji
O1	36.84288	128.5198	12	1000	Fuji
O2	36.88631	128.4763	14	1050	Fuji
O3	36.88854	128.4701	12	1100	Fuji
O4	36.89303	128.486	14	5800	Fuji, Other
O5	36.85722	128.5183	11	3000	Fuji
O6	36.85525	128.5207	13	2500	Fuji, Yokka, Yangkwang
O7	36.87654	128.4926	12	1800	Fuji
O8	36.88017	128.4798	13	5000	Fuji, Other
O9	36.87985	128.4853	14	3200	Fuji, Yokka
M1	36.85679	128.5547	12	900	Fuji
M2	36.85188	128.547	13	1000	Fuji, Other
M3	36.85294	128.5152	8	6000	Fuji, Yokka
M4	36.88834	128.4685	13	800	Fuji
M5	36.89496	128.4865	14	3000	Fuji, Other
M6	36.89566	128.4874	14	4000	Fuji, Yangkwang
M7	36.89661	128.5292	14	6000	Fuji, Other
M8	36.90815	128.5379	13	2800	Fuji, Yokka

*Farms were categorized as dominant area (F: crop field, V: village, O: orchard or M: mountain forest).
Spray means the numbers of pesticide application in the orchard during crop season, Size unit as pyeong (=0.03 a)

으며 일부 조생종 품종이 포함되어 있다. 농약 살포 횟수는 평균 12.5 ± 1.4 회로, 8회 방제하는 2개소, 나머지는 대부분 12~14회의 정규 방제를 실시하고 있었다. 조사 지역의 경관요소로는 과수원, 과수원을 제외한 농작물재배지, 마을, 산림으로 구분하였고, 농작물재배지로는 논이 우점하였고, 참깨, 들깨, 사과묘목, 고구마, 인삼, 생강 등이 조사되었다. 마을로 분류된 시설에서는 12개 경관요소가 발견되었는데 길, 집, 휴한지, 창고 등이 있었다. 산림에서는

9개의 경관요소가 조사되었고 소나무, 아까시나무, 참나무가 많이 관찰되었다. 조사 과원의 주요 경관의 분포는 Figs. 1과 2에서 보는 바와 같이, 주요 경관의 핵심 요소가 우점을 이루는 것으로 파악되었다.

2. 방화곤충의 분류학적 다양성

조사기간 중 채집된 곤충은 총 111종 3,575마리이다

(Table 2). 딱정벌레목이 38종 1,182개체로 전체 조사된 종수와 개체수의 34%와 33%를 이루었다. 벌목은 31종, 1,027개체, 파리목은 21종 1,045개체가 조사되었다. 나비목은 4종 39개체만 조사되었다. 그 외 매미목, 노린재목, 풀잠자리목, 날도래목, 잠자리목, 밀들이목 등이 채집되었다.

벌목 곤충 중 우점 5종의 개체수는 864마리로 벌목 곤충의 84%를 차지하였다. 그중 꿀벌과의 양봉꿀벌 (*Apis mellifera*)은 678마리로 66%이었으며, 차우점종인 꼬마꽃벌과(Halictidae)의 *Lasioglossum leviventre*을 비롯하여 *L. proximatum*, *L. exiliceps*, *L. formosa* 등이 조사되었다. 파리목의 우점 5개 그룹의 개체수는 979마리로 파리목의

95%를 차지하고 있었으며, 그중 꽃파리과(Anthomyiidae)가 345마리로 33%이었고 벼룩파리과(Phoridae), 갈다구과(Chironomidae), 각다귀과(Tipulidae), 기생파리과(Tachinidae)가 나타났다. 딱정벌레목의 우점 5종의 개체수는 926마리로 78%를 차지하였고, 꽃무지과(Cetonidae)의 풀색꽃무지 *Gametis jucunda*가 466마리로 39%였다. 차우점종으로 나무좀류(Scolytidae), 꽃벼룩류(Mordellidae), 노랑발통잎벌레(*Monolepta pallidula*), 먼지

Table 2. Species richness and abundance of insects collected in yellow pan-traps from apple orchards in Youngju, GB, Korea during 2013 season

Taxon	Species richness		Abundance	
	Number	%	Number	%
Hymenoptera	31	27	1,027	28
Diptera	21	18	1,045	29
Coleoptera	38	34	1,182	33
Homoptera	2	1	19	0
Hemiptera	10	9	39	1
Lepidoptera	4	3	39	1
Neuroptera	1	0	85	2
Trichoptera	1	0	47	1
Mecoptera	1	0	72	2
Other	2	1	20	0
Total	111	100	3,575	100

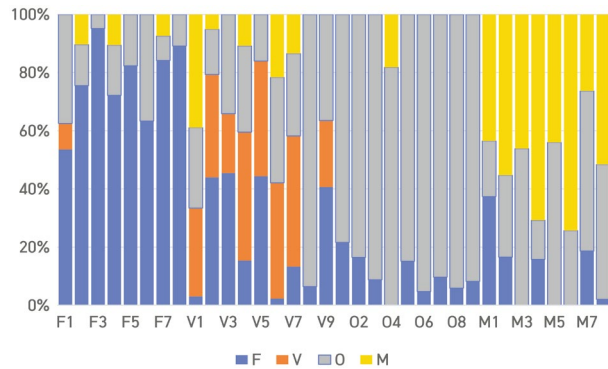


Fig. 2. Composition (%) of four landscape components of each study farm. Farms were categorized with dominant area of crop field (F), village (V), orchard (O) or mountain forest (M).

Table 3. Dominance structures of flower-visiting insect species of Hymenoptera, Diptera and Coleoptera

Taxon	Dominant species	Order	Abundance	Proportion (%)*
Hymenoptera	<i>Apis mellifera</i>	1	678	66
	<i>Lasioglossum leviventre</i>	2	95	9
	<i>Lasioglossum proximatum</i>	3	34	3
	<i>Lasioglossum exiliceps</i>	4	31	3
	<i>Lasioglossum formosae</i>	5	26	2
Diptera	Anthomyiidae spp.	1	345	33
	Phoridae spp.	2	338	32
	Chironomidae spp.	3	177	16
	Tipulidae spp.	4	100	9
	Tachinidae spp.	5	19	1
Coloepoptera	<i>Gametis jucunda</i>	1	466	39
	Scolytidae spp.	2	201	17
	Mordellidae spp.	3	105	8
	<i>Monolepta pallidula</i>	4	99	8
	Harpalidae spp.	5	55	4

*Relative proportion means the proportion of each species (morpho-unit) among the total individuals collected in each taxon.

벌레류(Harpalidae) 등이 나타났다(Tables 2, 3).

3. 경관유형별 방화곤충 구성상

채집된 곤충은 산지 과수원에서 가장 많았고 나머지 논밭지역, 과수지역, 마을지역의 과수원에서는 통계적으로 차이가 없었다(ANOVA, $df=4,33$, $P=0.009$, Fig. 3). 대부분 지역에서 꿀벌이 가장 많이 채집되었고 산지 과수원에서는 풀색꽃무지를 비롯한 딱정벌레목 곤충이 가장 많이 채집되었다. 벌목 곤충의 개체수는 논밭지역에 조금 높은 경향을 보였으나 전체적으로 유의하지는 않았다(ANOVA, $df=4,33$, $P=0.107$). 파리목 곤충의 풍부도 역시 경관유형별 차이를 보이지 않았다(ANOVA, $df=4,33$, $P=0.8$). 딱정벌레목 곤충의 풍부도는 산지과원에서 월등히 높았으며, 마을지역 과원에서 가장 낮았다(ANOVA, $df=4,33$, $P<0.0001$, Fig. 3).

전체 채집 종수 역시 산지 과수원에서 가장 높았으며 나머지 유형에서는 차이가 없었다(ANOVA, $df=4,33$, $P=0.001$, Fig. 3). 벌목 종수는 마을 지역 과원에서 4.1~0.4로 가장 적었으며 나머지 유형에서는 6.4~7.5종으로 차이가 없었다(ANOVA, $df=4,33$, $P=0.008$). 파리목 곤충의 종수는 유형별 차이가 없었다(ANOVA, $df=4,33$, $P=0.1$). 딱정벌레목 종수는 마을 과원에서 가장 적었으며, 산지과원에서 가장 많았다(ANOVA, $df=4,33$, $P<0.0001$, Fig. 3)

4. 경관유형별 우점 방화곤충 및 다양도 분석

전체적으로 우점인 곤충은 양봉꿀벌, 풀색꽃무지, 벼룩파리류, 꽃파리류, 갈따구류, 나무좀류 및 *Andrena* 애꽃벌류, *Lasioglossum* 줄꼬마꽃벌류 등이 우점하였다. 경관별 우점종 분석에서는 나무좀류, 벼룩파리류 및 모기붙이류는 화분매개 기여도가 상대적으로 낮기 때문에 제외하였다. 논밭 지역 과수원에서는 꿀벌, 풀색꽃무지, 꽃파리, 꽃벼룩, *Lasioglossum* 줄꼬마꽃벌류 순이었고, 우점종 간 유의성이 있었다(ANOVA, $df=8,63$, $P=0.0001$, Fig. 4). 마을 인접 지역 과수원에서는 양봉꿀벌, 꽃파리, 그리고 *L. leviventre*를 비롯한 줄꼬마꽃벌류가 조금 많은 경향이 있었으나 통계적 유의차는 없었다($P=0.14$), 과수원 밀집 지역은 꽃파리, 양봉꿀벌, 줄꼬마꽃벌류, 풀색꽃무지 순으로 우점을 보였고, 유의성이 있었다($P=0.027$). 산과 인접한

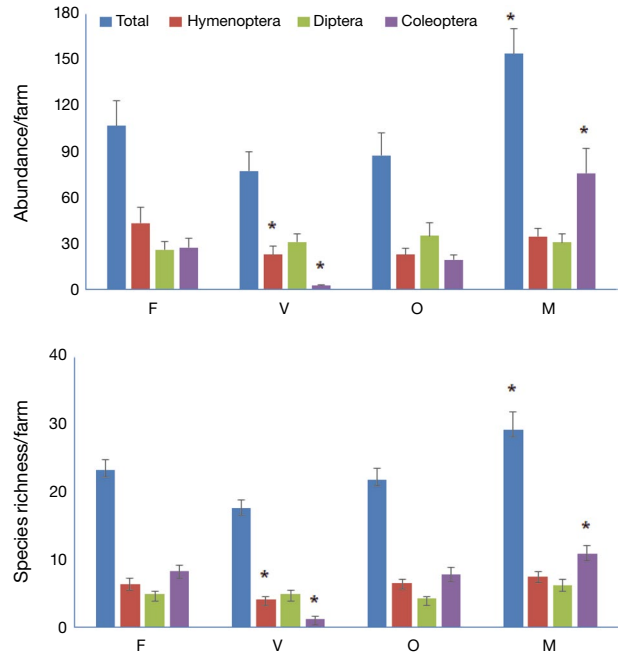


Fig. 3. Mean/farm (\pm SE) abundance (Upper) and species richness (Lower) of insects collected from apple orchards in Youngju, GB, Korea using yellow pan-trap during 2013 season. Data arranged relative to the landscape type of the orchard location. Farms were categorized with dominant area of crop field (F), village (V), orchard (O), or mountain forest (M). Means with *mark means significantly different within taxonomic group of either Total, Hymenoptera, Diptera or Coleoptera by ANOVA, Duncan's test at $P<0.05$.

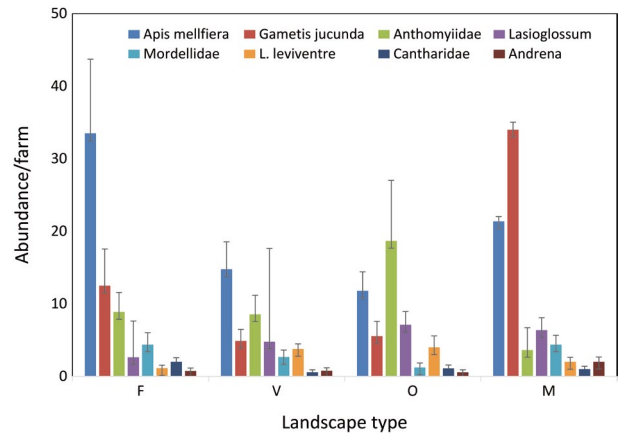


Fig. 4. Abundance (mean/farm \pm SE) of 8 dominant species of flower-visiting insects collected from apple orchards relative to the landscape types of dominant area of crop field (F), village (V), orchard (O) or mountain forest (M).

과수원들에서는 풀색꽃무지, 양봉꿀벌이 압도적으로 우세하였으며, 줄꼬마꽃벌류, 애꽃벌류가 상대적으로 많이 출현하였다($P=0.007$).

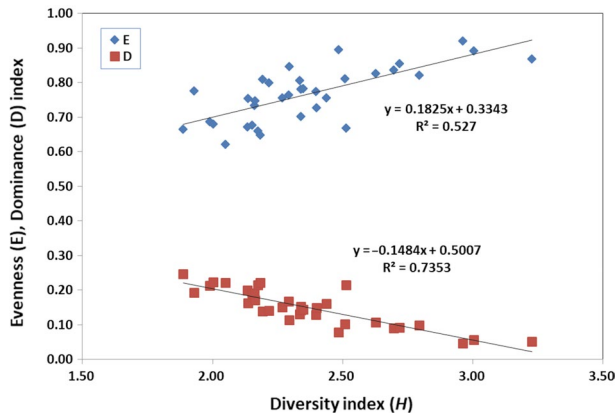


Fig. 5. Relationship among Shannon-Weaver species diversity (H), evenness (E) and dominance (D) indices of flower-visiting insects from apple orchards in Youngju, GB.

종다양도지수는 산지 과원에서 2.82로 가장 높게 나타났고, 논밭 우점 지역에서 가장 낮았다(2.03). 다양도지수와 균등도지수가 높은 산과 인접한 과수원에서는 우점도지수가 가장 낮았고, 우점도지수가 가장 높은 밭과 인접한 과수원에서는 다양도와 균등도지수가 가장 낮은 것을 확인하였다(Table 4). 균등도지수가 높은 지역에서 다양도지수가 높게 나타났으며, 우점도지수와 다양도지수는 음의 상관관계를 보였다(Fig. 5).

5. 경관유형과 방화곤충과의 상관관계

각 과원에서 조사된 방화 곤충의 개체수와 종수 사이에는 유의한 관계가 있음을 확인하였다($P < 0.05$, Table 5). 벌목, 파리목, 딱정벌레목 곤충의 풍부도 간에도 연관관계가 확인되었다. 조사 지역 경관 구조 내 과수원 면적 비율과 벌목, 파리목, 딱정벌레목과는 음의 관계 즉, 과수원 면적이 높은 지역에서는 벌목, 파리목, 딱정벌레목 곤충의 개체수가 적었다. 논밭의 면적과 벌목의 개체수는 양의 상관을 보였다. 벌목 곤충의 개체수는 전체 방화곤충의 종수, 파리목의 종수, 딱정벌레목의 풍부도와 종수에 정의 상관관계를 보인 반면, 과수원 면적과 벌목 곤충의 개체수는 음의 상관관계를 보였다. 파리목은 주변 경관과는 상관이 없고, 파리목의 종수가 산지가 늘어나면 증가하는 것을 확인하였다. 딱정벌레목은 개체수와 종수가 서로 상관관계를 이루고 있고, 딱정벌레의 개체수와 산지 면적과는 정의 상관관계를 가지고 있었다(Table 6).

전체 개체수와 벌목, 파리목, 딱정벌레목의 개체수는 서로 상관관계가 있었다. 전체의 개체수가 높으면 꿀벌, 꽃

Table 4. Species diversity, evenness and dominance indices (\pm SD) of flower-visiting insect assemblages from apple orchards in Youngju, GB relative to different landscape types

F*	Species diversity index						Evenness index						Dominance index					
	V	O	M	F	V	O	M	F	V	O	M	F	V	O	M			
1.89	2.16	2.33	2.51	0.67	0.73	0.81	0.67	0.25	0.19	0.13	0.22	0.25	0.19	0.13	0.22			
1.93	2.16	2.34	2.63	0.78	0.75	0.7	0.83	0.19	0.17	0.15	0.11	0.19	0.17	0.15	0.11			
1.99	2.17	2.34	2.7	0.69	0.66	0.78	0.84	0.21	0.21	0.14	0.09	0.21	0.21	0.14	0.09			
2.0	2.18	2.35	2.72	0.68	0.65	0.78	0.86	0.22	0.22	0.14	0.09	0.22	0.22	0.14	0.09			
2.05	2.19	2.4	2.79	0.62	0.81	0.78	0.82	0.22	0.14	0.13	0.1	0.22	0.14	0.13	0.1			
2.13	2.22	2.4	2.96	0.67	0.8	0.73	0.92	0.2	0.14	0.15	0.05	0.2	0.14	0.15	0.05			
2.14	2.27	2.44	3	0.75	0.76	0.76	0.89	0.16	0.15	0.16	0.06	0.16	0.15	0.16	0.06			
2.15	2.29	2.48	3.23	0.68	0.76	0.9	0.87	0.19	0.17	0.08	0.05	0.19	0.17	0.08	0.05			
-	2.29	2.51	-	-	0.85	0.81	-	-	0.11	0.1	-	-	0.11	0.1	-			
2.03 \pm 0.10	2.21 \pm 0.05	2.38 \pm 0.06	2.82 \pm 0.23	0.69 \pm 0.04	0.74 \pm 0.06	0.78 \pm 0.05	0.84 \pm 0.07	0.21 \pm 0.02	0.17 \pm 0.03	0.14 \pm 0.02	0.09 \pm 0.05	0.21 \pm 0.02	0.17 \pm 0.03	0.14 \pm 0.02	0.09 \pm 0.05			

*Farms were categorized with dominant area of crop field (F), village (V), orchard (O) or mountain forest (M).

Table 5. Correlation coefficient of species richness (S) and abundance (A) among flower-visiting insect groups and landscape factor composition (%)

	S	Hym S	Dip S	Cole S	F	V	O	M
Total S	1	0.677*	0.655*	0.747*	-0.035	-0.147	-0.429	0.482*
Hym S		1	0.424*	0.462*	0.038	-0.044	-0.513	0.327
Dip S			1	0.175	-0.121	-0.282	-0.119	0.510*
Cole S				1	0.091	0.03	-0.633	0.294
F					1	-0.604	-0.109	-0.382
V						1	-0.331	-0.155
O							1	-0.113
M								1

	A	Hym A	Dip A	Cole A	F	V	O	M
Total A	1	0.543*	0.492*	0.739*	0.048	-0.106	-0.324	0.338*
Hym A		1	0.169	0.14	0.349*	-0.27	-0.17	0.087
Dip A			1	-0.024	-0.086	0.186	-0.04	-0.133
Cole A				1	-0.045	-0.105	-0.413	0.530*
F					1	-0.604	-0.109	-0.382
V						1	-0.331	-0.155
O							1	-0.113
M								1

F: Crop field area, V: Village area, O: Orchard area, M: Mountain area, A: abundance, S: species richness. Hym: Hymenoptera, Dip: Diptera, and Cole: Coleoptera. Mark (*) indicates the significance within this table at $P < 0.05$.

Table 6. Correlation coefficient of abundances of flower-visiting insect groups and landscape factor composition (%)

	Total	Hym	Dip	Cole	And	Anth	Apis	Gam	Hali	Mor	Pho
F	0.05	0.35*	-0.09	-0.05	-0.18	-0.07	0.37*	-0.04	-0.25	0.24	-0.01
V	-0.32	-0.17	-0.04	-0.41	-0.24	-0.02	-0.09	-0.23	-0.10	-0.10	0.01
O	-0.11	-0.27	0.19	-0.11	-0.08	0.26	-0.24	-0.10	0.08	-0.20	0.12
M	0.34*	0.09	-0.13	0.53*	0.53*	-0.27	0.03	0.43*	0.07	0.03	-0.02

F: Crop field area, V: Village area, O: Orchard area, M: Mountain area, Total: total abundance in each farm and Hym: Hymenoptera, Dip: Diptera, Col: Coleoptera, And: *Andreninae*, Anth: *Anthomyiidae*, Apis: *Apis mellifera*, Gam: *Gametis jucunda*, Hali: *Halictinae*, Mor: *Mordellidae*, Pho: *Phoridae*. Mark (*) indicates the significance within this table at $P < 0.05$.

무지, 꽃벼룩이 많았다. 벌목과는 꿀벌과 꽃벼룩이 상관관계를 보였고, 파리목이 많은 곳에는 꽃파리가 많아지는 상관관계를 보였다. 딱정벌레가 많은 곳은 꽃무지, 꽃벼룩이 많은 것을 확인할 수 있었다(Table 6). 밭과 인접한 과수원에서는 벌목, 꿀벌과 상관관계가 있었다. 하지만 마을과 인접한 과수원과 과수원 밀집 지역에서는 상관관계가 없는 것으로 확인되었다. 또한 산과 인접한 과수원에서는 우점하는 개체수와 상관관계가 있었다. 또한 산과 인접한 과수원에서는 딱정벌레목, 애꽃벌, 풀색꽃무지와 상관관계가 있는 것으로 확인되었다. 실험지역 중 산과 인접

한 곳에서 가장 많은 상관관계가 있는 것으로 확인되었다(Table 6).

고 찰

이 연구를 통하여 68과 111종 3,575의 곤충이 채집되었다. 딱정벌레목이 가장 많은 1,182마리, 파리목이 1,045마리, 벌목이 1,027마리 채집되었으며, M지역에서 개체수, 종수가 가장 많이 채집되었다. 벌목의 총 개체수 1,027마리 중 우점하는 5종은 864마리로 84%를 차지하였다. 그 중 꿀벌이 67%로 최우점종인 것을 알 수 있었다. 꿀벌을

제외하고 앵꽃벌류 4종이 차우점을 보였다. 파리목에서는 꽃파리가 345마리로 33%의 우점율을 보였다. 딱정벌레목에서는 1,182마리 중 풀색꽃무지가 466마리로 39%의 우점을 보였다. 이 결과는 Kim *et al.* (2009)의 경북 지역 사과원을 비롯한 다양한 과수원에서 벌목 중 양봉꿀벌이 69.1%를 차지하였다는 보고와 유사하다. Lee and Woo (1994)는 사과원에서 가위벌류의 중요성을 특히 강조한 바 있으나, 뿔가위벌류의 머리뿔가위벌, 붉은뿔가위벌, 꼬마뿔가위벌, 뿔가위벌 4종이 관찰되었고, 그중 머리뿔가위벌 개체수가 조금 많고(27개체) 나머지는 소수가 관찰되었다.

고품질 사과를 생산하기 위해서는 충분한 화분매개가 이루어져야 하고, 현재 꿀벌뿐 아니라 야생의 화분매개 곤충이 화분매개의 주요한 역할을 한다(Lee *et al.*, 2000; Jung, 2008; Kim *et al.*, 2009). 꿀벌은 가장 중요한 화분매개자이며, 이번 연구에서도 벌목 중 67%가 꿀벌로 최우점종으로 확인되었다. 그러나 꿀벌의 경우 2016년 미국에서 시작된 CCD (Colony Collapse Disorder)의 보고 이후 북미와 유럽을 중심으로 전 세계적으로 그 개체수가 감소하고 있는 상황이다(Cox-foster *et al.*, 2007; Aizen and Harder, 2009; van Engelsdorp *et al.*, 2009; Gosh and Jung, 2016). 꿀벌 개체수 감소에 대한 여러 요인 중 서식처의 단편화 및 살충제 등의 오염이 주 요인으로 제기되었고, 꿀벌 봉군에서 실제 살충제 성분이 검출되기도 했다(Winfrey *et al.*, 2009; Farooqui, 2012; Pohorecka *et al.*, 2012; EU, 2013; van der Sluijs, 2013). 우리나라의 경우 대륙성 기후로 사과가 재배되는 봄, 여름은 병해충의 예방과 방제를 위해 다양한 농약을 사용하며, 이 농약이 필수적인 농자재로서 인식된다(Kim *et al.*, 2009; Jung, 2019). 국내에서도 농약에 의한 꿀벌 피해는 다수 보고되었다(Shim and Kim, 2001; Kim *et al.*, 2009; Kim and Jung, 2013). 현재 꿀벌에 피해가 있다고 알려진 살충제의 유효 성분은 피레스로이, 유기인계, 네오니코티노이드, 아바멕틴, 페닐피라졸, 쿠즈마포스, 카바릴 등이 있다(IRAC, 2019). 또한, 사과의 경우 품질 관리를 위해 적과, 적화작업이 필요한데 이때 사용되는 Cabaryl과 석화유황합제 등에 의한 꿀벌 중독의 문제 또한 보고되고 있다(Kim and Jung, 2013). 따라서, 꿀벌의 개체수 감소는 전 지구적인 현상으로 그 속도는 늦출 수 있을지 모르나 국내에서는 피할 수 없는 문제로 직면할 가능성이 크다. 이에 꿀벌을

보호하기 위한 연구와 노력 이외에 방화곤충의 다양화를 추구하는 방안 또한 필수적이다.

이전 연구들에 따르면 방화곤충 중 꿀벌 이외에 사과 과수원에서 머리뿔가위벌(Lee *et al.*, 2008), 꽃등애류(Hong *et al.*, 1989), 꽃벌류(Lee *et al.*, 2000) 등이 많이 발견되었다. 이번 연구에서도 벌목보다 딱정벌레목과 파리목의 방화곤충이 더 많이 발견되었다. 방화곤충의 다양성 확보는 단순히 꿀벌의 역할을 대체하는 것에 국한된 것이 아니라, 다양성이 높은 경관 생태계가 그렇지 못한 생태계에 비해 환경 변화에 대한 생태계 변이의 폭이 훨씬 적기 때문이다. 이는 사과 과수 농가 입장에서도 안정적인 수익을 보장하기 때문에 중요하다. 특히 최근 갈색날개매미충, 미국선녀벌레 등 사과에도 영향을 주는 침입해충의 밀도와 발생빈도가 증가하고 있고 기후변화가 빨라지고 있는 현재 상황에서는 환경 변화에 따른 생태계 안정성을 유지할 수 있는 군집 다양성이 보다 요구되고 있는 실정이다(Brittain *et al.*, 2013).

이번 연구에서 벌목보다 딱정벌레목과 파리목의 방화곤충이 더 많이 발견된 이유에는 산을 개간하여 과수원을 개원하는 곳이 늘어난 현상이 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 이는 산지 과수원에서 그 경향이 뚜렷하게 보였고, 논밭에 있는 과원의 경우 꿀벌의 비중이 전체 방화곤충 중 여전히 60% 이상을 차지했다. 산지 과원의 경우 단기적으로는 다른 경관 속에 있는 과수원에 비해 다양성이 높은 것으로 보일 수 있으나 경관 전체적으로 볼 때는 생물종의 단일화를 초래할 수 있다(Free, 1970). 또한 조사 결과를 자세히 살펴보면 딱정벌레목의 화분매개곤충 중 많은 개체수가 해충화 가능성이 높은 풀색꽃무지로 방화곤충 다양성 확보가 수익의 증대 및 환경 변화에 따른 생태계 안전성을 보장하기 어렵다. 따라서, 사과 과수원을 비롯한 과수원의 경우 특정 경관 생태를 개발하여 과수원을 개원하는 것 보다는 방화곤충의 다양성을 확보하는 방향으로 나아가야 할 것으로 보인다.

물론 이 연구는 황색수반트랩만을 이용한 연구의 한계는 분명하다. 일부 곤충은 황색 수반트랩에 잘 유인되지 않는다. 예를 들면, 뒤영벌류는 자외선과 보라색 계열에 더 잘 반응하기 때문에 실제보다 적게 채집되었을 가능성이 있다. 반면 활동 반경이 작고 지표면의 작은 꽃을 방문하는 앵꽃벌류는 더 잘 잡히는 경향이 있다(Kim *et al.*, 2009; HS Lee, personal observation). 그럼에도 불구하고

고 트랩을 활용한 연구는 지역 간 비교하거나 많은 지역을 짧은 시간에 조사할 때 매우 유용하다. 육안조사나 포충망을 이용한 조사의 경우 역시 시간적 변이나 곤충 이동성에 의한 변이가 존재하기 때문에, 경관유형별 비교를 위하여 34개의 과수원을 대상으로 2주 이내 조사해야 하는 일정을 감안할 때 좋은 방법으로 평가된다. 추후 다양한 조사 방법을 동원하여 충분한 방화곤충 목록을 작성하고 비교하는 것은 매우 의미있는 일이 될 것이다.

자연의 화분매개 곤충의 감소는 전 세계적 관심이다 (Potts *et al.*, 2010; Cameron *et al.*, 2011). 이는 방화곤충을 위한 서식지 감소가 주요한 요인으로 분석되고 있다 (Brown and Paxton, 2009; Winfree *et al.*, 2009). 더욱이 기후변화로 인해 방화곤충의 서식처와 밀도 감소는 가속화되고 있는 실정이다 (Memmott *et al.*, 2007; Naeem *et al.*, 2019). 현재 방화곤충의 보호와 증진을 위한 자료는 충분하지 못하지만 (Lebuhn *et al.*, 2013), 다행스럽게도 국제사회는 생물 다양성 협약회의(Convention on Biological Diversity)에서 International Pollinator Initiative: The Sao Paulo Declaration on Pollinators (BME, 1999)를, 생물다양성기구(IPBES)에서 화분매개 시스템의 국제적 평가(IPBES, 2016) 등을 수행하면서 화분매개 자원의 보호와 증진을 위한 노력을 하고 있다. 방화곤충의 다양성 감소는 식물 다양성의 감소와 직접적으로 연관되어 있다 (Biesmeijer *et al.*, 2006). 단편화된 농경지는 방화곤충을 지원하지 못한다(Naeem *et al.*, 2019; Aizen *et al.*, 2019). 반대로 토끼풀, 해바라기, 아몬드 등을 심어 식물 다양성을 증가시키면 방화곤충의 다양성을 증가시킬 수 있다 (Kremer *et al.*, 2007). 이는 꿀벌과 같은 방화곤충들이 충분한 먹이를 공급받을 수 있는 환경이 만들어져 곤충들의 개체군 성장에 긍정적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 작물의 생산성을 높인다(Brittain *et al.*, 2013; Garibaldi *et al.*, 2013). 국내에서도 고추밭 주변에 개화식물을 식재한 결과 천적이 늘어나고 과실 생산이 증가하는 경향이 보고되었고(Lee and Jung, 2019), 사과생산단지를 중심으로 다양한 개화식물을 식재하는 화분매개 서식처 조성을 통한 친환경 사과생산모델을 구축하려는 시도가 진행되고 있다 (Jung, 2019). 이러한 식물 다양성 증가가 생물종 다양성의 증가를 넘어 작물 생산량에 긍정적인 영향을 준 경우는 이미 체리(Holzschuh *et al.*, 2012)와 딸기(Andersson *et al.*, 2012)에서 증명된 바 있다.

지금까지 기술한 바와 같이 과수원 내외 꽃길 조성, 콩

과 작물과 같은 지피식물(Cover plants) 활용 등은 토양 표토 양분 유실 방지, 토질 개선, 화분매개 및 천적 곤충 증가 등 생물 다양성 및 과수 작물 생산 환경 증진의 효과를 기대할 수 있다. 이러한 노력은 전 세계적으로 발생하고 있는 꿀벌을 포함한 방화곤충의 감소에 능동적으로 대처하고 피해를 줄일 수 있는 길이기도 하다(Rockstrom *et al.*, 2009; IPBES, 2016). 또한 이러한 경관 생태의 변화는 경관을 마주하는 지역민의 정서 함양에 도움이 되며 화분매개서식처는 화분매개곤충을 부양할 뿐 아니라, 복합밀원단지, 시민들의 축제의 공간으로 활용하는 등 생태계 서비스 이상의 더 큰 어메니티 효과 창출 등 다양한 산업부문에 파급효과를 가져올 수 있을 것이다(Jung, 2019). 최근 농림 분야에서는 기존의 1차 산업의 생산부문을 넘어서 다양한 가공품의 개발 및 판매 등의 영역을 통합하고, 관광, 체험, 치유 등의 서비스를 제공하여 새로운 가치를 창출하는 6차 산업의 개념이 주목받고 있어 식물 다양성 증가를 통한 화분매개곤충을 포함한 생물 다양성 증가는 단순한 생산성 향상에서 더 나아가 농업 분야의 새로운 도약을 야기할 수도 있다(Jung, 2019).

사 사

이 논문 작성을 위한 한국연구재단을 통한 교육과학기술부의 대학중점연구소 과제(NRF-2018R1A6A1A03024862) 지원에도 감사 드립니다.

인용 문헌

- Aizen, M. A. and L. D. Harder. 2009. The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current Biology* 19: 915-918.
- Aizen, M. A., S. Aguiar, J. C. Biesmeijer, L. A. Garibaldi, D. W. Inouye, C. Jung, D. J. Martins, R. Medel, C. L. Morales, H. Ngo, A. Pauw, R. J. Paxton, A. Saez and C. L. Seymour. 2019. Global agricultural productivity is threatened by increasing pollinator dependence without a parallel increase in crop diversification. *Global Change Biology* 25: 3516-3527.
- Barth, F. G. 1985. *Insects and flowers. The Biology of a Partnerships.* George Allen and Unwin. 293pp.
- Biesmeijer, J. C., S. P. M. Roberts, M. Reemer, R. Ohlemuller,

- M. Edwards, T. Peeters, A. P. Schaffers, S. G. Potts, R. Kleukers, C. D. Thomas, J. Settele and W. E. Kunin. 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313: 351-354.
- Bosch, J. and M. Blas. 1994. Foraging behavior and pollinating efficiency of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* on almond (Hymenoptera, Megachilidae and Apidae). *Apple. Entomol. Zool.* 29: 1-9.
- Brittain, C., C. Kremen and A. M. Klein. 2013. Biodiversity buffers pollination from changes in environmental conditions. *Global Change Biology* 19: 540-547.
- Brown, M. J. F. and R. J. Paxton. 2009. The conservation of bees: a global perspective. *Apidologie* 40: 410-416.
- Cameron, S. A., J. D. Lozier, J. P. Strange, J. B. Koch, N. Cordes, L. F. Solter and T. L. Griswold. 2011. Patterns of wide spread decline in North American bumblebees. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108: 662-667.
- Cho, D. H., J. S. Kim, J. T. Yoon and B. S. Choi. 1996. Effects of *Osmia cornifrons* on fruit setting in "Fuji" apple trees. *RDA. J. Agri. Sci.* 38(2): 382-386.
- Choi, K. H., D. H. Lee, S. W. Lee and O. H. Ryu. 1995. Survey on the species of pollinating insects and their utilization in apple orchards. pp. 626-631. Annual Report of National Horticultural Research Institute, RDA, Korea.
- Choi, S. Y. 1987. Studies on foraging activity of honey bee in the apple blossoms (I). *Kor. J. Apic.* 2(1): 93-100.
- Choo, H. Y., M. K. Cho and K. S. Woo. 1987. Insect visitors to peach and plum blossoms. *Korean J. Plant Prot.* 26: 117-122.
- Cox-Foster, D. L., S. Conlan, E. C. Holmes, G. Palacios, J. D. Evans, N. A. Moran, P. Quan, T. Briese, M. Hornig, D. M. Geiser, V. Martinson, D. V. Engelsdorp, A. L. Kalkstein, A. Drysdale, J. Hui, J. Zhai, L. Cui, S. K. Hutchison, J. F. Simons, M. Egholm, J. S. Pettis and W. I. Lipkin. 2007. A metagenomic survey of microbes in honey bee colony collapse disorder. *Science* 318: 283-287.
- EU (European Commission). 2013. Commission implementing regulation (EU) No 485/2013. Official Journal of the European Union.
- Farooqui, T. 2012. A potential link among biogenic amine-based pesticides, learning and memory, and colony collapse disorder: a unique hypothesis. *A Unique Hypothesis. Neurochemistry International* 62: 122-136.
- Free, J. B. 1970. *Insect pollination of crops*. 684pp. Academic Press. New York.
- Garibaldi, L. A., M. A. Aizen, A. M. Klein, S. A. Cunningham and L. D. Harder. 2011. Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108: 5909-5914.
- Ghosh, S. and C. Jung. 2016. Global honeybee colony trend is positively related to crop yields of medium pollination dependence. *Kor. J. Apic.* 31(1) : 85-95.
- Hong, K. J., S. H. Lee and K. M. Choi. 1989. The flower visiting insects on the blossoms of pear, peach and apple trees in Suwon. *Kor. J. Apic.* 4(2): 16-24.
- IPBES. 2016. The Assessment Report on Pollinators, Pollination and Food Production. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany. 552 p.
- IRAC-Insecticide Resistance Action Committee. 2019. Mode of action classification. <http://www.irac-online.org/>. Accessed 20191118.
- Jung, C. 2008. Economic value of honeybee pollination on major fruit and vegetable crops in Korea. *Kor. J. Apic.* 23(2):147-152.
- Jung, C. 2019. Importance of pollinator insects for apple production and improvement of the pollination system. *The Apple*. 30: 30-35.
- Jung, C., S. Ghosh, Y. D. Yim and E. S. Keum. 2018. Insect pollination: Estimation of economic contribution. 198 p. Geia Shoulder, Korea.
- Kim, B. S., Y. J. Yang, Y. K. Park, M. H. Jeong, A. S. You, K. H. Park and Y. J. Ahn. 2009. Risk assessment of fipronil on honeybee (*Apis mellifera*). *Korean J. Pestic. Sci.* 13: 39-44.
- Kim, D. W. and C. Jung. 2013. Comparative analysis of the perception on honeybee damage by the pesticides between beekeeper and apple growers. *Kor. J. Apic.* 28: 33-38.
- Kim, D. W., H. S. Lee and C. Jung. 2009. Comparison of flower-visiting hymenopteran communities from apple, pear, peach and persimmons blossoms. *Kor. J. Apic.* 24: 227-235.
- Kim, H. H. and C. Y. Hwang. 2009. Species and diurnal activities of the insect pollinators on peach and pear orchards in Jeonju. *Kor. J. Apic.* 24: 75-81.
- Lebuhn, G., S. Droege, E. F. Connor, B. Gemmill-Herren, S. G. Potts, R. L. Minckley, T. Griswold, R. Jean, E. Jula, D. W. Roubik, J. Cane, K. W. Wright, G. Frankie and F. Parker. 2013. Detecting insect pollinator declines on regional and global scales. *Conservation Biology* 27: 113-120.
- Lee, C. Y. and C. Jung. 2019. Flower habitat supplementation can conserve pollinators and natural enemies in agricultural ecosystem: Case study in the pepper field. *J. Apic.* 34(2): 141-147.
- Lee, H. L. 1993. Role of honey bee in horticulture and livestock. *Kor. J. Apic.* 8(2): 183-187.
- Lee, H. R., J. W. Kim and S. Y. Choi. 1988. Foraging activity of honeybee (*Apis mellifera*) and pollination effect of several crops. *Kor. J. Apic.* 3(1): 68-80.
- Lee, H. S. and K. S. Woo. 1994. Genus *Osmia* (Hymenoptera; Megachilidae) from Korea. *Kor. J. Apic.* 9: 117-130.
- Lee, H. S., S. W. Lee and H. K. Ryu. 2000. The insects foraging on apple orchards in Kyungpook Province. *Kor. J. Apic.*

- 15(1): 9-20.
- Lee, S. B., D. K. Seo, S. J. Kim, J. W. Cho, Y. S. Kim, H. J. Yoon, H. C. Park and S. J. Hwang. 2005. The peach flower visiting insect, and the characteristics on forging activity of honeybee (*Apis mellifera* L.) and bumblebee (*Bombus terrestris* L.) for the pollination of peach. *Kor. J. Apic.* 20(2): 123-132.
- Lee, S. B., D. K. Seo, S. J. Kim, N. I. Gwak, H. J. Yoon, H. C. Park and S. J. Hwang. 2007. The pear flower-visiting insects, and the characteristics on pollinating activity of honeybee and bumblebee at pear orchard. *Kor. J. Apic.* 22: 125-132.
- Levin, M. D. 1983. Value of bee pollination to U. S. Agriculture. *Bull. Ent. Soc. Am.* 29(4): 50-51.
- Maeta, Y. 1987. Comparative studies on the biology of bees of the genus *Osmia* in Japan, with special reference to their management for pollination of crops (Hymenoptera: Megachilidae). *Bull. Tohoku. Natl. Agric. Exp. Stn.* 57: 1-221.
- Matheson, A. G. and M. Schrader. 1987. The value of honeybee to New Zealand's primary production. Ministry of Agriculture and Fisheries, New Zealand.
- McCune, B. and J. B. Grace. 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software Design. Oregon, USA, 300pp.
- Memmott, J., P. G. Craze, N. M. Waser and M. V. Price. 2007. Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. *Ecology Letters* 10: 710-717.
- Morse, R. A. and N. W. Calderone. 2000. The value of honey bees as pollinators of U.S. crops in 2000. *Bee Culture* 128: 1-15.
- Naeem, M., M. Liu, J. Huang, G. Ding, G. Potapov, C. Jung and J. An. 2019. Vulnerability of East Asian bumblebee species to future climate and land cover changes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 277: 11-20.
- Oh, H. W., M. L. Lee and K. S. Woo. 1989. Effect of pollinators on the fruit set of apple and pear trees. *Korean J. Apic.* 4: 11-15.
- Pohorecka, K., P. Skubida, A. Miszczak, P. Semkiw, P. Sikorski, K. Zagibajld, D. Teper, Z. Koltowski, M. Skubida, D. Zdanska and A. Bober. 2012. Residues of neonicotinoid insecticides in bee collected plant materials from oilseed rape crops and their effect on bee colonies. *J. Apic. Sci.* 56(2): 115-134.
- Potts, S. G., J. C. Biesmeijer, C. Kremen, P. Neumann, O. Schweiger and W. E. Kunin. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution* 25: 345-353.
- Potts, S. G., V. Imperatriz-Fonseca, H. T. Ngo, J. C. Biesmeijer, T. D. Breeze, L. V. Dicks, L. A. Garibaldi, R. Hill, J. Settele and A. Vanbergen. 2016. The assessment report on pollinators, pollination and food production: summary for policymakers. Bonn, Germany, Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 36pp.
- Rockstrom, J., W. Steffer, K. Noone, A. Persson, F. S. Chapin, E. F. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. Wit, T. Hughes, S. Leeuw, H. Rodhe, S. Sorlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen and J. A. Foley. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472-475.
- Sao Paulo Declaration on Pollinators. 1999. Report on the recommendations of the workshop on the conservation and sustainable use of pollinators in agriculture with emphasis on bees. Brazilian Ministry of the Environment, Brasilia, Brazil.
- Shim, J. H. and Y. H. Kim. 2001. Effect of insecticides on the activity of esterases in the honey bees. *Kor. J. Apic.* 16: 9-18.
- Statistics Korea. 2019. Crops production statistics, 2019/Fruit-vegetable/Apple. <http://www.kostat.go.kr/portal/korea/kor.pi/index.action>. Accessed on Nov. 18. 2019.
- van der Sluijs, J. P., N. Simon-Delso, D. Goulson, L. Maxim, J. Bonmatin and L. P. Belzunces. 2013. Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollinator services. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5: 293-305.
- van Engelsdorp, D., J. Hayes Jr., R. M. Underwood and J. Pettis. 2008. A survey of honey bee colony losses in the U.S., fall 2007 to spring 2008. *PLoS One.* 3(12): e4071. doi: 10.1371/journal.pone.0004071
- Winfree, R., R. Aguilar, D. P. Vazquez, G. Leubhn and M. A. Aizen. 2009. A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology* 90: 2068-2076.
- Winston, M. L. and C. D. Scott. 1984. The value of bee pollination to Canadian apiculture. *Canadian Beekeeping* 11: 134.
- Woo, K. S., H. Y. Choo and K. R. Choi. 1986a Studies on the ecology and utilization of pollinating insects. *Korean J. Apic.* 1: 54-61.
- Yoon, H. J., K. Y. Lee, H. S. Lee, M. Y. Lee, Y. S. Choi and M. R. Lee. 2017. Survey of Insect Pollinators Use for Horticultural Crops in Korea. *J. Apic.* 32(3): 223-235.