



국내 과채류에서 화분매개곤충 이용현황

윤형주*, 이경용, 이영보, 이만영, Kathannan Sankar, 박정동¹

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부, ¹농촌진흥청 농촌지원국 기술보급과

Current Status of Insect Pollinators Use for Horticultural Crops in Korea, 2020

Hyung Joo Yoon*, Kyeong Yong Lee, Young Bo Lee, Man Young Lee, Kathannan Sankar and Jung Dong Park¹

Department of Agricultural Biology, The National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea
¹R&D Extension Division, Extension Service Bureau, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

Abstract

We have surveyed the current status of insect pollinators use for horticultural crops in 2020. The use rate and farm number of insect pollinators for 27 horticultural crops were 28.0% and 64,049, respectively. The colony number of insect pollinators used in this survey was 615,609, which include 413,359 for honeybees, 181,141 for bumblebees, 16 for mason bees, 545 for flies, and 20,548 for the combination of bumblebees, honeybees, and mason bees. The use rate of insect pollinators was 67.2% for 12 vegetable crops, such as strawberry (100%), onion (100%), oriental melon (93.1%), water melon (92.7%), tomato (84.5%), melon (72.7%), pepper (38.9%), paprika (8.7%), zucchini (2.1%), eggplant (3.4%), bitter melon (4.6%), and cucumber (1.0%). The colony number of insect pollinators used for 12 vegetable crops was 581,635, which include honeybees (67.0%), bumblebees (29.7%), flies (0.1%), and the combination (3.2%) of bumblebees and honeybees. The use rate of insect pollinators was 10.5% for 15 fruit tree crops, such as mango (100%), raspberry (18.6%), apple (20.0%), persimmon (7.5%), pear (5.9%), plum (10.2%), peach (0.2%), blueberry (7.1%), Korean raspberry (0.3%), cherry (0.2%), pomegranate (1.2%), kiwi (0.1%), passion fruit (7.1%), boxthorn (51.5%) and raw jujube (2.8%). The colony number of insect pollinators used for 15 fruit tree crops was 33,974, which include honeybees (70.2%), bumblebees (24.1%), mason bees (0.0%), flies (0.8%), and the combination (4.9%) of bumblebees, honeybees, and mason bees. Together, most of farms (98.9%) showed positive effect for the use of insect pollinators and farms of 98.4% planned for the continuous use of insect pollinators.

Keywords

Insect pollinator, Honeybee, Bumblebee, Mason bee, Horticultural crops, Vegetable crops, Fruit tree crops

서론

최근 화분매개곤충의 서식지 감소와 환경 및 기후변화에 따라 화분매개곤충의 다양성과 수가 점차 감소하고 있는 것으로 나타났다(Goulson *et al.*, 2008; Rao and

Stephen, 2010; Dolezal *et al.*, 2016; Sowell, 2020). 지난 50여년간 화분매개체를 이용한 작물생산은 약 300% 증가하였지만 전 세계 16% 척추동물계 화분매개체가 멸종위기에 직면하였다. 유럽에서는 벌과 나비의 9%가 개체수 멸종 위기에 처했으며, 벌 37%, 나비 31% 종의 개체수가 감

소하였다고 보고하였다(IPBES, 2016).

화분매개곤충의 가치에 대해서는 124개의 경제작물 가운데 70%가 화분매개가 필요하며(Klein *et al.*, 2007), 전 세계 400개 이상의 작물 중 130개 이상의 작물이 화분매개곤충을 필요로 한다(James and Pitts-Singer, 2008). Konuma and Okubo (2015)는 2013년 기준, 일본의 화분매개곤충에 대한 경제적 가치는 연 4조 7000억 엔으로 일본 농업생산의 8%에 달한다고 하였다. Gallai *et al.* (2009)은 전 세계 인간의 식용으로 사용하는 100개 작물에 대한 화분매개곤충이 갖는 수분의 경제적 가치는 1,530억 유로에 달하며, 화분매개곤충들이 사라지면 농업 분야에서 1,900~3,100억 유로의 손실이 발생할 것으로 예상했다. 또한 전 세계 작물의 75%가 부분적으로 화분매개체에 의존하고 있고 5~8% (연 2,350~5,770억 불)의 생산은 화분매개체 기여에 직접 관련되어 있다고 보고하였다. 또한, 작물생산뿐 아니라 바이오연료(팜오일 등), 섬유, 의약, 가축 사료, 건축 자재 등 생산에도 기여한다고 발표하였다(IPBES, 2016). Dicks *et al.* (2021)은 화분매개체 감소의 가장 큰 원인은 서식지 파괴였고, 가축 방목지 확대와 비료 사용 증가, 단일작물 경작 등과 같은 토지 관리와 농약 사용 확산 그리고 기후변화 순이라고 하였다.

화분매개곤충 보호 및 보전을 위해서 유럽에서는 화분매개곤충의 모니터링 평가, 생태계 모델 연구, 도시 서식지 보존개선 등 10개 추진전략 등 ‘유럽 화분매개자 계획’을 수립하였다(EC, 2021). 미국은 화분매개곤충 보호를 위한 연방 다부처 협력기구 조직해서 보호정책을 추진하고 있고(USA, 2015), 이와 같은 일환으로 사유지 대상 10년 동안 벌의 서식지 보전을 위한 밀원식물을 유지하는 야생 화분매개자 보호를 위한 서식지 보전 프로그램 운영하고 있다(USDA, 2021). 영국과 노르웨이에서도 화분매개곤충 보호 전략을 추진하고 있다(Defra UK, 2014; NGS & SO, 2018). 화분매개체 중 벌은 자연식생뿐만 아니라 과일, 채소, 종자식물, 유료작물, 노지화초와 주요 사료작물 등을 포함한 농작물의 수분에 매우 중요한 역할을 한다(Morandin and Winston, 2005; Greenleaf and Kremen, 2006; Winfree *et al.*, 2007). 상업적으로 관리하는 벌들도 수분작용 서비스에 이용될 뿐만 아니라 대규모의 상업용 경작지, 소규모 정원, 그리고 유리온실과 비닐하우스와 같은 곳에서 사용하고 있다(Free, 1993; Dag and Kammer, 2001). 우리나라도 시설재배 면적의 증가와 현재의 야생 화분매개곤충의 수로는 만족할 만한 효과를 기대할 수 없

는 일부 야외 과수 생산지에서 화분매개곤충의 부족으로 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 농작물에서 사용하고 있는 화분매개곤충 사용현황 실태조사를 위하여, 2020년 화분매개곤충 이용작목, 사용 면적, 농가수, 화분매개곤충 종류 및 사용량 등 기본적인 현황과 작물 재배농가를 대상으로 화분매개곤충 사용기간, 이용효과, 화분매개곤충 사용한 후장·단점 및 화분매개곤충 이용 의향 등을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 국내 과채류에서 화분매개곤충 사용현황

1) 작목별 재배면적 조사

작목별 재배면적조사는 통계청 국가통계포털 내, 2020년 농작물생산조사(수박, 토마토, 딸기, 참외, 오이, 호박 등 6개 채소와 사과, 복숭아, 배, 단감, 자두 등 5개 과수), 2020년 농림축산식품부 농업경영체 등록정보(여주, 채종용 양파, 대추, 블루베리, 키위, 체리, 산딸기, 석류, 망고, 패션프루트 등 10개 작물), 농림축산식품부 시설채소 온실 현황 및 생산실적(가지, 멜론, 풋고추, 파프리카 등 4개 작물), 농림축산식품부 특용작물 생산실적(복분자, 구기자 등 2개 작물) 등에서 12개 채소와 15개 과수의 재배면적을 조사하였다.

2) 과채류에서 화분매개곤충 이용현황 조사

과채류 작목에서 화분매개곤충 사용현황 실태조사는 2021년 2월 16일부터 2021년 5월 30일까지 전국 8개도, 1개의 특별자치도, 8개 특·광역시에 있는 156개 농업기술센터의 채소, 과수 담당자 및 화분매개곤충 생산업체를 대상으로 조사하였다. 조사방법은 공문 등 매체를 이용하거나 대인면접법으로 설문조사하였고, 조사내용은 2020년도 화분매개곤충 이용 작목, 화분매개곤충별 사용면적, 농가수 및 사용량 등을 조사하였다. 화분매개곤충별 사용량의 경우, 뽕가위벌류는 500개 고치를 1통(봉군)으로 계산하였다. 파리류는 채종용 양파에 사용하는 경우에는 300백만 마리/봉군/660 m² (돼지고기 300백만 마리/600 kg, 5천 마리/kg)으로, 망고에서는 80만 마리/봉군/660 m² (망고 300백만 마리/160 kg, 5천 마리/kg)으로 산출하였다.

3) 화분매개곤충 농가이용 현황 조사

전국에 화분매개곤충을 사용하는 농가를 대상으로 2021

Table 1. Survey of insect pollinators use for horticultural crops in 2020

Crops	Cultural area (ha)	Insect pollinators			
		Area of use (ha)	Rate of use (%)	Colony numbers	Farmer numbers
Water melon	9,324	8,643.9	92.7	232,789	12,747
Strawberry	6,421	6,420.5	100	96,323	14,958
Tomato	5,707	4,821.5	84.5	149,032	9,484
Pepper	4,254	1,652.9	38.9	21,169	4,454
Cucumber	3,963	38	1.0	285	221
Oriental melon	3,490	3,250.1	93.1	64,125	5,263
Zucchini	3,060	62.9	2.1	666	246
Melon	1,485	1,080.2	72.7	15,253	2,282
Paprika	728	63.6	8.7	1,531	75
Eggplant	243	8.32	3.4	101	29
Bitter melon	112	5.2	4.6	74	22
Onion (seed)	19	19	100	287	54
Apple	32,954	6,593.7	20	18,524	7,058
Peach	20,634	85.4	0.4	547	146
Pear	9,616	570.7	5.9	2,866	693
Persimmon	8,639	651.43	7.5	2,238	1,914
Plum	7,100	721.6	10.2	1,948	1,957
Blueberry	3,447	245.9	7.1	4,008	1,561
Kiwi	1,468	1.5	0.1	12	1
Korean raspberry	941	2.4	0.3	24	9
Cherry	687	1.07	0.2	18	8
Raspberry	684	127	18.6	1,924	518
Pomegranate	468	5.42	1.2	39	3
Jujube (raw)	284	7.92	2.8	120	31
Boxthorn	108	55.6	51.5	843	254
Mango	76	76.03	100	820	58
Passion fruit	17	1.2	7.1	43	3
27	125,929	35,213	28.0	615,609	64,049

년 2월 16일부터 5월 30일까지 화분매개곤충 농가 이용 실태를 조사하였다. 조사방법은 대인면접법으로 설문조사 하였고, 조사내용은 2020년 화분매개곤충 사용기간, 이용 효과, 이용방법, 구입가격, 사용 전 화분매개곤충에 대한 교육 여부, 화분매개곤충을 사용한 후 이점, 문제점 및 향후 화분매개곤충 이용 의향 등이었다.

2. 통계분석

설문조사에 대한 통계분석은 Chi-square Test, T-test, 빈도분석(Frequencies Analyze) 및 다중응답분석(Multiple response analyze)을 사용하였다. 모든 통계분석은 SPSS PASW 22.0 for windows 통계 패키지(IBM, USA)를 사용

하였다. Chi-square Test와 T-test는 화분매개곤충 종류별 평균 사용봉군수 등에 사용하였다. 빈도분석은 화분매개곤충 사용기간, 이용방법, 교육, 관리 등 화분매개곤충 농가 이용현황 및 향후 사용의향 등에 사용하였다. 다중응답분석은 화분매개곤충 사용 시 이점과 문제점에 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 국내 과채류에서 화분매개곤충 이용현황

전국 시·군 농업기술센터 채소, 과수 담당자 및 화분매개곤충 생산업체 등을 대상으로 2020년도 화분매개곤충 이용현황 실태를 조사한 결과(Table 1), 토마토를 비롯

한 12개 채소와 사과를 비롯한 15개 과수 등 총 27개 작목에서 화분매개곤충을 사용하는 것으로 나타났다. 27개 작목에 대한 화분매개곤충 사용률은 28.0%로 2016년 대비 2.2% 증가하였다(Yoon *et al.*, 2017). 하지만 작목별 사용률이 달라서 딸기, 망고, 채종용 양파는 100% 화분매개곤충을 사용하였고, 참외 93.1%, 수박 92.7%, 토마토는 84.5% 화분매개곤충을 사용하였다. 조사된 27개 작목의 총 화분매개곤충 사용봉군수는 615,609 봉군으로, 수박에서 232,789 봉군으로 가장 많았고, 그다음은 토마토 149,032 봉군, 딸기 96,323 봉군, 참외 64,125 봉군으로 전반적으로 화분매개곤충 사용봉군수는 과수작목보다 채소작목에서 사용량이 많았다. 화분매개곤충 사용농가수는 64,049 농가로 2016년(55,208 농가)보다 16.2% 증가하였다. 사용농가수는 딸기, 수박, 토마토, 사과 순으로 많았다. 이에 좀 더 정확한 분석을 위해서 채소와 과수 작목으로 나누어 화분매개곤충 사용현황을 조사하였다.

2. 채소작목에서 화분매개곤충 사용현황

1) 채소작목에서 화분매개곤충별 사용 면적, 농가수 및 봉군수

채소작목을 대상으로 화분매개곤충 이용현황 실태를

조사한 결과(Table 2), 12개 채소작목(수박, 딸기, 참외, 토마토, 고추, 멜론, 채종용 양파, 호박, 오이, 가지, 여주 등)에서 화분매개곤충을 사용하는 것으로 나타났다. 12개 채소의 총 재배면적은 38,806 ha로 조사되었으며, 수박이 9,324 ha로 가장 넓었다(Statistics Korea, 2020). 화분매개곤충 사용면적 역시 수박이 8,643.9 ha로 가장 많았으며, 그다음으로는 딸기 6,420.5 ha, 토마토 4,821.5 ha, 참외 3,250.1 ha 순으로 조사되었다. 2020년도 12개 채소작목의 화분매개곤충 사용면적은 26,066.1 ha로 나타났다(Table 2). 12개 채소의 평균 화분매개곤충 사용률은 67.2%로, 2011년(48.4%)에 비해 18.8%, 2016년 대비 7.8%가 증가된 것으로 조사되었다(Yoon *et al.*, 2013; Yoon *et al.*, 2017). 딸기와 채종용 양파(파리류 사용)에서 100% 화분매개곤충을 사용하였으며, 그다음은 참외 93.1%, 수박 92.7%, 토마토 84.5%, 멜론 72.7% 순으로 나타났다.

12개 채소에서 사용한 화분매개곤충은 꿀벌, 뒤영벌, 꿀벌과 뒤영벌의 혼합사용 및 파리류 등 4종류로 조사되었다(Table 2). 화분매개곤충의 총 사용면적은 26,066.1 ha로 꿀벌이 18,190.4 ha (69.8%)로 가장 많았으며, 뒤영벌이 6,101.8ha (22.7%), 꿀벌과 뒤영벌의 혼합이 899.6 ha (7.4%), 그리고 파리류가 19.0 ha (0.1%)를 차지하였다. 뒤영벌의 사용면적은 2011년도(3,009.0 ha)와 비교해 보면,

Table 2. Cultural area and rate of insect pollinators use for 12 vegetable crops in 2020

Vegetable crops	Cultural area (ha)	Area of insect pollinators use (ha)					Area rate of insect pollinators use (%)		
		Total	Honeybees	Bumblebees	Honeybee & Bumblebees	Flies	2020	2016	2011
Water melon	9,324	8,643.9	8,643.8	0.0	0.1	0.0	92.7	64.8	45.8
Tomato	5,707	4,821.5	0.0	4,821.5	0.0	0.0	84.5	63.6	40.4
Strawberry	6,421	6,420.5	4,710.8	175	1,534.7	0.0	100.0	99.9	99.9
Oriental melon	3,490	3,250.1	3,248.3	0.0	1.8	0.0	93.1	93.8	81.2
Pepper	4,254	1,652.9	480.9	972.6	199.5	0.0	38.1	31.8	35.4
Zucchini	3,060	62.9	22.9	24.9	15.1	0.0	2.1	1.6	5.3
Cucumber	3,963	38.0	0.0	38.0	0.0	0.0	1.0	0.2	0.0
Melon	1,485	1,080.2	1,071.4	5	3.7	0.0	72.7	82.8	38.4
Paprika	728	63.6	0.0	63.6	0.0	0.0	8.7	5.9	15.2
Bitter melon	112	5.2	5.2	0.0	0.0	0.0	4.6	1.2	-
Eggplant	243	8.3	1.2	0.0	0.0	0.0	3.4	-	10.8
Onion (seed)	19	19.0	0.0	0.0	0.0	19.0	100.0	100.0	-
Total	38,806	26,066.1 (100%)	18,190.4 (69.8%)	6,101.8 (22.7%)	1,754.9 (7.4%)	19.0 (0.1%)	67.2	59.4	48.4

불과 10년 사이에 2배나 증가한 것을 알 수 있었다(Yoon *et al.*, 2013). 화분매개곤충 중 꿀벌은 수박 47.5%, 딸기 25.9%, 참외 17.9%, 멜론 5.9%, 고추 2.6% 순으로 사용되었다. 오이, 파프리카 및 채종용 양파에서는 꿀벌을 전혀 사용하지 않는 것으로 나타났다(Table 2). 뒤영벌의 경우, 토마토 1개의 작목에서 만 79.0% (4,821.5 ha)를 사용하였고, 고추 15.9%, 딸기 2.9%, 파프리카 0.1% 순으로 이용되었다. 토마토의 경우, 2011년도 뒤영벌의 사용률이 40.4%에서 2016년도에는 63.6%, 2020년에는 84.5%로, 2011년 대비 2.1배, 2016년 대비 1.3배나 사용량이 증가된 것을 알 수 있었다(Yoon *et al.*, 2013; Yoon *et al.*, 2017). 꿀벌과 뒤영벌을 혼합으로 사용하는 채소작물로서는 딸기가 87.5% (1,534.7 ha)로 가장 많았고, 그다음이 고추로 11.4%를 차지하였다. 2016년 조사에서는 고추(50.0%)와 딸기(49.5%)에서 혼합 사용률이 비슷하였으나, 2020년도에는 딸기에서 혼합사용률이 38.0%나 증가한 것을 알 수 있었다. 오이, 멜론, 참외에서도 일부 혼합으로 사용되는 것으로 조사되었다. 파리류는 단지 채종용 양파에서만 100% 사용되었다(Table 2).

Table 3에서 보는 바와 같이 12개 채소작목에서 화분매개곤충을 사용한 총 농가수는 49,835 농가로 2016년 (46,194 농가) 농가수 대비 3,641 농가가 늘어난 것으로 조사되었다(Yoon *et al.*, 2017). 화분매개곤충 종류별 사용 농가수는 꿀벌 32,182 농가(64.6%), 뒤영벌 13,537 농

가(27.2%), 꿀벌과 뒤영벌을 혼합해서 사용 4,062 농가(8.2%) 그리고 파리류도 54 농가로 0.1%를 차지하였다. 꿀벌의 경우, 수박(39.6%), 딸기(33.8%) 및 참외(16.3%) 등 3개 작목에서 전체의 89.7%를 차지하였다. 2016년도에 비해 꿀벌을 사용하는 딸기 농가수(12,928 → 10,865 농가)는 줄었으나, 수박(11,065 → 12,745 농가)을 사용하는 농가수는 증가한 것으로 조사되었다. 뒤영벌은 토마토에서 70.1%인 9,484 농가였고, 고추 21.6% (2,923 농가), 딸기 4.0% (543 농가) 순으로 조사되었다. 꿀벌과 뒤영벌의 혼합사용은 딸기에서 87.4% (3,550 농가)로 가장 많았고, 2016년 55.0% (1,230 농가)보다 32.4%나 증가하였다. 멜론(6.5%)과 고추(5.4%)에서도 혼합으로 화분매개곤충을 사용하는 농가가 있었다. 파리류는 채종용 양파에서 100% (54 농가) 이용하는 것으로 조사되었다(Table 3).

12개 채소에서 사용한 총 화분매개곤충 봉군수는 581,635 봉군으로 나타났으며 (Table 4), 이는 2011년 (306,856 봉군) 대비 1.9배(142,431 봉군), 2016년(449,287 봉군) 대비 1.3배 증가한 것으로 확인되었다(Yoon *et al.*, 2017). 화분매개곤충 종류별 사용봉군수는 꿀벌이 389,508 봉군으로 4종류의 화분매개곤충 중에 67.0%를 차지하였다. 뒤영벌은 29.7% (172,970 봉군), 꿀벌과 뒤영벌의 혼합사용 3.2% (18,870 봉군), 파리류는 0.1% (287 봉군)으로 조사되었다. 뒤영벌은 2011년(52,684 봉군) 대비 3.3배나 증가하여 사용량이 가장 많이 늘어난 화분매개곤

Table 3. The farm numbers of insect pollinators use for 12 vegetable crops in 2020

Vegetable crops	Farm numbers of insect pollinators use				
	Total	Honeybees	Bumblebees	Honeybee & Bumblebees	Flies
Water melon	12,747	12,745	0	2	0
Tomato	9,484	0	9,484	0	0
Strawberry	14,958	10,865	543	3,550	0
Oriental melon	5,263	5,257	0	6	0
Pepper	4,454	1,310	2,923	221	0
Zucchini	246	73	153	20	0
Cucumber	221	0	221	0	0
Melon	2,282	1,885	134	263	0
Paprika	75	0	75	0	0
Bitter melon	22	22	0	0	0
Eggplant	29	25	4	0	0
Onion (seed)	54	0	0	0	54
Total	49,835 (100%)	32,182 (64.6%)	13,537 (27.2%)	4,062 (8.2%)	54 (0.1%)

충으로 조사되었다. 꿀벌은 토마토, 오이, 파프리카, 채종용 양파를 제외한 8개 작목에서 사용하였다. 수박 59.8%, 딸기 18.9%, 참외 16.5% 및 멜론 3.9%로 4개 작목에서 99.1%를 사용하는 것으로 나타났다. 아열대 작물인 여주에서는 0.02%인 74 봉군을 사용하는 것으로 조사되었다 (Table 4). 뒤영벌은 수박, 참외, 여주, 채종용 양파를 제외한 8개 작목에서 사용하였고, 토마토에서 86.2%, 딸기 3.7%, 고추 8.9%, 멜론 0.9% 등에 사용하였다. 특히, 뒤영벌은 딸기에서 사용량이 2011년도에 비해 사용량이 11.2배나 급속하게 증가하였는데, 이와 같은 이유는 3월 이후 꿀벌을 딸기 화분매개용으로 사용하는 것보다 수익이 높은 꿀 수확에 이용되는 것과 재배방식의 변환으로 4~5월까지 사용하는 고설재배의 증가에 따라, 꿀벌의 공급이 원활하지 못한 점에 기인한 것으로 생각된다. 꿀벌과 뒤영벌을 혼합해서 사용(3.2%)한 경우는 대부분 딸기(85.4%)와 고추(23.8%)에서 사용하였다(Table 4). 2011년도와 비교해 보면, 딸기에서 꿀벌과 뒤영벌의 혼합사용률이 42.4배나 급격하게 증가하였다. 수박과 토마토의 경우에 있어서, 수박에서는 뒤영벌의 사용량이, 토마토에서는 꿀벌의 사용량이 줄어든 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과로 볼 때, 수박과 토마토에서는 작물에 맞는 화분매개곤충을 사용하고 있는 것으로 생각된다. 연두금파리를 포함한 파리류는 0.1% (287봉군)으로 단지 채종용 양파에만 사용하는 것으로 조사되었으며(Table 4), 2016년과 비교해 볼 때 파

리류의 사용이 2배 이상 줄어들었는데(Yoon *et al.*, 2017), 이는 파리류의 증식 문제와 사육장 주변에서 발생하는 악취 등 때문에 사용량이 줄어 든 원인으로 판단된다.

12개 채소에 대하여, 3,300 m²당 꿀벌과 뒤영벌의 평균 사용봉군수를 조사한 결과(Fig. 1), 꿀벌은 15.5±5.9 봉군으로 뒤영벌 20.9±10.9 봉군보다 사용봉군수가 5.4 봉군이 적었으나 통계적으로 유의성이 없는 것으로 나타났다 (T-test: t(14) = -1.218, p=0.243).

3. 과수작목에서 화분매개곤충 사용현황

1) 과수에서 화분매개곤충별 사용 면적, 능가수 및 봉군수

과수에 대하여 화분매개곤충 이용현황 실태조사를 한 결과, 사과, 복숭아, 배, 감, 자두, 블루베리, 대추, 복분자, 참다래, 석류, 산딸기, 체리, 구기자, 망고, 패션프루트 등 15개 과수에서 화분매개곤충을 사용하였다(Table 5). 2011년도(Yoon *et al.*, 2013)에 비해 아열대 및 특용 작목인 망고, 패션프루트, 대추, 구기자 등에 화분매개곤충을 사용하는 것으로 조사되었다. 국내 15개 과수의 총 재배 면적은 87,123 ha로, 사과의 재배면적이 32,954 ha로 가장 많았고, 복숭아(20,634 ha), 배(9,616 ha), 감(8,639 ha), 자두(7,100 ha) 순이었다(Statistics Korea, 2020). 화분매개곤충 사용면적 역시 사과가 6,593.7 ha로 가장 많았고, 자두 721.6 ha 감 651.4 ha, 배 570.7 ha 순으로 나타났다. 2020년 도 15개 과수의 화분매개곤충 사용면적은 9,146.9 ha로 나

Table 4. The colony numbers of insect pollinators for 12 vegetable crops in 2020

Vegetable crops	Colony numbers of insect pollinators				
	Total	Honeybees	Bumblebees	Honeybee & Bumblebees	Flies
Water melon	232,789	232,786	0	3	0
Tomato	149,032	0	149,032	0	0
Strawberry	96,323	73,770	6,435	16,118	0
Oriental melon	64,125	64,088	0	37	0
Pepper	21,169	3,307	15,362	2,500	0
Zucchini	666	351	165	150	0
Cucumber	285	0	285	0	0
Melon	15,253	15,051	140	62	0
Paprika	1,531	0	1,531	0	0
Bitter melon	74	74	0	0	0
Eggplant	101	81	20	0	0
Onion (seed)	287	0	0	0	287
Total	581,635 (100%)	389,508 (67.0%)	172,970 (29.7%)	18,870 (3.2%)	287 (0.1%)

타났으며, 2016년(8,193.4ha)보다 1.1배 증가하였다. 2020년도 15개 과수의 화분매개곤충 사용면적(9,146.9 ha)은 12개 채소의 화분매개곤충 사용면적(26,066.1 ha)보다 약 2.8배나 적었다(Tables 2 and 5). 15개 과수의 화분매개곤충 사용면적률은 재배면적이 다소 적은 망고(100%), 구기자(51.5%), 산딸기(18.6%)를 제외하고 화분매개곤충 사용면적률이 10% 이상인 작목은 사과(20.0%)와 자두(10.2%)뿐이었다. 화분매개곤충 사용률은 10.5%로 2016년(9.0%)보다 1.5% 증가된 것으로 조사되었다(Table 5).

15개 과수에서 사용한 화분매개곤충은 꿀벌, 뒤영벌, 뽕가위벌류, 혼합사용(꿀벌, 뒤영벌 및 뽕가위벌류), 파리류 등 5종류로 채소에서는 사용되지 않은 뽕가위벌류가 1종이 더 많은 것으로 나타났다(Table 5). 화분매개곤충 종류별 총 사용면적은 9,146.8 ha로 꿀벌이 68.1% (6,230.2 ha)를 차지하였으며, 뒤영벌 26.8% (2,454.2 ha), 뽕가위벌류 0.1% (4.8 ha), 혼합사용 4.6% (422.7 ha), 그리고 파리류 0.4%(35.0 ha)였다. 화분매개곤충 종류별로 살펴보면, 꿀벌은 사과에서 65.8%로 가장 많이 사용되었고, 감 10.4%, 자두 9.5% 순으로 이용되는 것으로 나타났다. 뒤영벌은

역시, 사과(88.6%)에서 가장 많이 사용되었으며, 일부 블루베리, 자두, 감, 복숭아와 망고에서도 이용되었다. 뽕가위벌류는 100% 사과에서만 사용되었다. 혼합사용 또한, 사과에서 74.8%로 가장 많은 사용되었고, 자두(20.9%), 배(2.6%), 블루베리(1.8%)에서도 사용하는 것으로 조사되었다. 파리류는 망고에서만 사용하는 것으로 나타났다.

15개 과수의 총 화분매개곤충 사용 농가수는 14,214 농가로 12개 채소 농가수(49,835 농가)보다 3.5배나 적었다(Tables 3 and 6). 화분매개곤충 종류별 사용 농가수는 꿀벌 11,170 농가(78.6%), 뒤영벌 2,680 농가(18.9%), 뽕가위벌류 7 농가(0.1%), 혼합사용 334 농가(2.3%) 그리고 검정뽕파리를 포함한 파리류도 23 농가로 0.2%를 차지하였다. 꿀벌의 경우, 사과(41.0%), 자두(17.5%), 감(16.8%) 및 블루베리(13.8%) 농가가 전체의 89.1%를 차지하였다. 뒤영벌은 사과에서만 81.8%인 2,192 농가였고, 산딸기 농가도 13.6%를 차지하였다. 뽕가위벌류 역시, 사과에서만 사용되었다. 혼합사용 또한, 사과 농가가 276 농가로 전체의 82.6%를 차지하였고, 감 25 농가(7.5%), 블루베리, 산딸기 농가 순이었다. 파리류는 단지 망고에만 23 농가가

Table 5. Cultural area and rate of insect pollinators use for 15 fruit tree crops in 2020

Fruit tree crops	Cultural area (ha)	Area of insect pollinators use (ha)						Area rate of insect pollinators use (%)		
		Total	Honeybees	Bumblebees	Mason-bee	Honeybee, Bumblebees & Mason-bee	Flies	2020	2016	2011
Apple	32,954	6,593.7	4,099.7	2,173.1	4.8	316.2	0.0	20.0	18.3	17.8
Peach	20,634	85.4	63.5	21.9	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	1.9
Pear	9,616	570.7	559.8	0.0	0.0	10.9	0.0	5.9	2.7	23.0
Persimmon	8,639	651.4	650.5	0.9	0.0	0.0	0.0	7.5	14.0	14.9
Plum	7,100	721.6	589.8	43.6	0.0	88.2	0.0	10.2	0.4	2.8
Blueberry	3,447	245.9	61.9	176.6	0.0	7.4	0.0	7.1	3.8	23.2
Jujube (raw)	284	7.9	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	-
Korean raspberry	941	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.1	9.1
Kiwi	1,468	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	-
Pomegranate	468	5.4	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.0	-
Raspberry	684	127.0	127.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.6	24.0	-
Cherry	687	1.1	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.2	2.2	-
Boxthorn	108	55.6	55.6	0.0	0.0	0.0	0.0	51.5	4.5	-
Mango	76	76	4.6	36.4	0.0	0.0	35.0	100.0	100.0	-
Passion fruit	17	1.2	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	7.1	5.5	-
Total	87,123	9,146.8 (100%)	6,230.2 (68.1%)	2,454.2 (26.8%)	4.8 (0.1%)	422.7 (4.6%)	35.0 (0.4%)	10.5	9.0	14.1

Table 6. The farm numbers of insect pollinators for 15 fruit tree crops in 2020

Fruit tree crops	Farmer numbers of insect pollinators					
	Total	Honey-bees	Bumble-bees	Mason-bee	Honeybee, Bumblebees & Mason-bee	Flies
Apple	7,058	4,583	2,192	7	276	0
Peach	146	83	63	0	0	0
Pear	693	693	0	0	0	0
Persimmon	1,914	1,874	15	0	25	0
Plum	1,957	1,952	5	0	0	0
Blueberry	1,561	1,544	0	0	17	0
Jujube (raw)	31	31	0	0	0	0
Korean raspberry	9	9	0	0	0	0
Kiwi	1	1	0	0	0	0
Pomegranate	3	3	0	0	0	0
Raspberry	518	137	365	0	16	0
Cherry	8	1	7	0	0	0
Boxthorn	254	254	0	0	0	0
Mango	58	5	30	0	0	23
Passion fruit	3	0	3	0	0	0
Total	14,214 (100.0%)	11,170 (78.6%)	2,680 (18.9%)	7 (0.1%)	334 (2.3%)	23 (0.2%)

이용하는 것으로 나타났다(Table 6).

15개 과수에서 사용한 총 화분매개곤충 봉군수는 33,974 봉군으로 2016년 대비 1.1배(30,290 봉군) 증가하였다(Table 7). 이는 12개 채소(581,635 봉군)보다 19.2배나 적은 것으로 나타났다. 화분매개곤충 종류별 사용 봉군수를 조사한 결과, 꿀벌이 23,851 봉군으로 5종류의 화분매개곤충 중 70.2%를 차지하였다. 꿀벌의 경우, 사과에서 65.8%로 가장 많이 사용되었고, 감 10.4%, 자두 9.5%, 배 9.0% 순으로 이용되는 것으로 나타났다. 뒤영벌은 8,171 봉군(24.1%)으로, 15개의 과수 중 5개 작목에만 사용하던 2016년도(Yoon *et al.*, 2017)와 달리, 2020년도에는 7개 과수에서 사용하는 것으로 조사되어 작목의 다양화가 이루어지고 있는 것을 알 수 있었다(Table 7). 뒤영벌은 사과(52.1%), 블루베리(34.0%)에서 86.1%를 차지하였으며, 망고(6.7%), 복숭아(3.2%), 자두(3.2%), 패션플루트, 체리, 감에서도 일부 이용되었다. 특이한 점은 패션플루트의 경우, 2016년도에는 화분매개용으로 꿀벌만 사용하였는데 반하여, 2020년도 조사에서는 꿀벌은 전혀 사용하지 않고, 뒤영벌만 사용하는 것으로 나타났다. Lee *et al.* (2020)은 패션플루트에 적합한 화분매개곤충은 뒤영벌이라고 보고하였다. 뿔가위벌류는 16 봉군(0.1%)으

로 단지 사과에서만 100% 사용하였다. 과수에서만 사용하는 뿔가위벌류는 2016년도에 2,415 봉군(8.0%)에서 16 봉군(0.1%)으로 151배나 감소하여 거의 현장에서 사용될 수가 없었다. 이렇게 뿔가위벌류의 사용 봉군이 급격하게 줄어든 이유는 자연 서식처의 감소로 야외 증식 및 채집이 어려워졌기 때문일 것으로 생각된다. 또한 채집지역별로 차이는 있지만 낮은 봉입률도 한가지 원인으로 판단된다(Yoon *et al.*, 2015). 혼합사용은 1,678 봉군(4.9%)으로 역시, 사과에서 53.6%로 가장 많이 사용하였다. 2016년도에 비해 자두(21.3%), 배(15.5%), 블루베리(9.5%)에서도 사용량이 증가한 것으로 조사되었다(Yoon *et al.*, 2017). 그리고 검정뿔파리를 포함한 파리류는 258 봉군(0.8%)으로 단지 망고에서만 사용하는 것으로 나타내었다(Table 7).

15개 과수의 3,300 m²당 화분매개곤충 종류별 평균 사용 봉군수를 조사한 결과(Fig. 2), 꿀벌 8.8±5.4 봉군, 뒤영벌 14.6±10.3 봉군, 뿔가위벌류는 3.3 봉군을 사용하는 것으로 나타났다. 뒤영벌은 꿀벌과 비교해 볼 때, 과수에서 1.7배나 많이 사용하는 것으로 조사되었으나 통계적 유의성은 없었다(T-test: t(20) = -1.740, p=0.097). 꿀벌과 뒤영벌은 채소에 비해서 과수에서 1.4~1.7배 적게 사용하였다(Fig. 1).

Table 7. The colony numbers of insect pollinators for 15 fruit tree crops in 2020

Fruit tree crops	Colony numbers of insect pollinators					
	Total	Honeybees	Bumblebees	Mason-bee	Honeybee, Bumblebees & Mason-bee	Flies
Apple	18,524	13,350	4,258	16	900	0
Peach	547	282	265	0	0	0
Pear	2,866	2,606	0	0	260	0
Persimmon	2,238	2,229	9	0	0	0
Plum	1,948	1,330	260	0	358	0
Blueberry	4,008	1,067	2,781	0	160	0
Jujube (raw)	120	120	0	0	0	0
Korean raspberry	24	24	0	0	0	0
Kiwi	12	12	0	0	0	0
Pomegranate	39	39	0	0	0	0
Raspberry	1,924	1,924	0	0	0	0
Cherry	18	8	10	0	0	0
Boxthorn	843	843	0	0	0	0
Mango	820	17	545	0	0	258
Passion fruit	43	0	43	0	0	0
Total	33,974 (100.0%)	23,851 (70.2%)	8,171 (24.1%)	16 (0.1%)	1,678 (4.9%)	258 (0.8%)

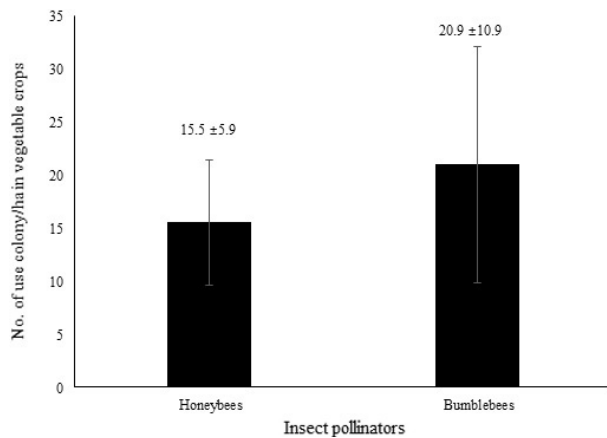


Fig. 1. The numbers of average colony of insect pollinators used per ha in vegetable crops, 2020. There was no significant difference in the number of average colony between honeybees and bumblebees used per ha at T-test.

이상의 결과를 종합하면, 2020년도 꿀벌, 뒤영벌, 뿔가위벌류 및 파리류 등 화분매개곤충을 이용한 작목은 12개 채소와 15개 과수 등 총 27개 작목으로 조사되었다. 27개 작목에 대한 화분매개곤충 사용률은 28.0%였다. 채소와 과수 작목으로 나누어 분석한 결과, 채소작목은 67.2%로 2016년(59.4%)에 비해 7.8% 증가하였고 과수는 9.0%

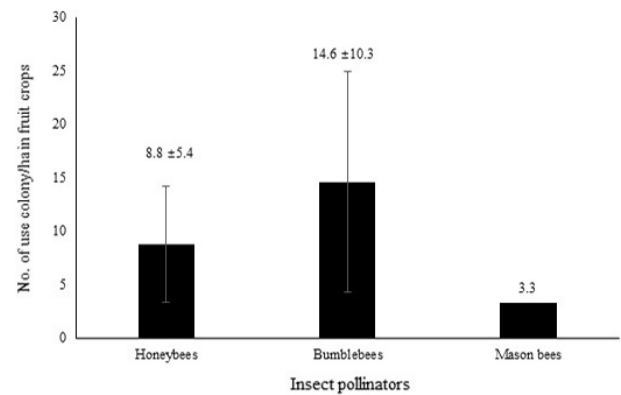


Fig. 2. The colony numbers of insect pollinators per ha for fruit tree crops in 2020. There was no significant difference in the number of average colony between honeybees and bumblebees used per ha at T-test.

에서 10.5%로 1.5% 증가하였다. 채소에서의 사용률이 과수보다 5.2배나 높은 것을 알 수 있었다. 화분매개곤충 사용 농가수는 64,049 농가였으며, 27개 작목의 총 화분매개곤충 사용 봉군수는 615,609 봉군으로, 꿀벌 413,359 봉군, 뒤영벌 181,141 봉군, 뿔가위벌류 16 봉군, 그리고 꿀벌, 뒤영벌, 뿔가위벌류의 혼합사용이 20,548 봉군, 파리류 545 봉군이었다. 하지만 화분매개곤충 사용 봉군수의

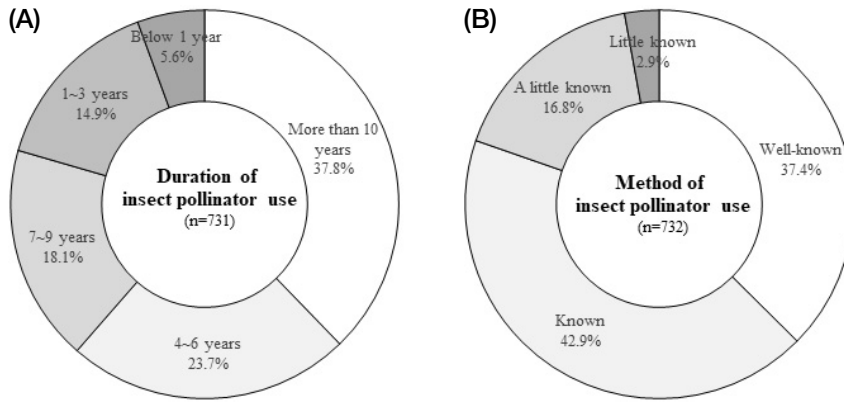


Fig. 3. Duration (A) and method (B) of insect pollinators use for 26 horticultural crops in 2020.

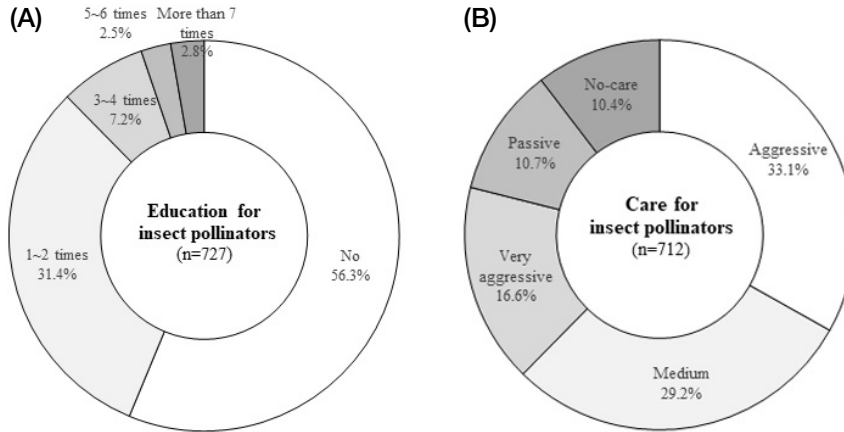


Fig. 4. Education (A) and care (B) for insect pollinators use.

경우, 종자생산용 작물이나 소규모 작물 등은 이번 조사에 포함되지 않았기 때문에 화분매개곤충 사용 봉군수는 더 많을 것으로 판단된다.

4. 화분매개곤충 농가 이용 현황

1) 화분매개곤충 사용 기간, 방법, 교육, 관리 및 가격

화분매개곤충 사용농가 731명을 대상으로 화분매개곤충 사용기간을 조사한 결과 (Fig. 3A), 10년 이상이 37.8%로 가장 많았고, 그다음이 4~6년으로 23.7%, 7~9년 18.1% 순이었으며, 1년 이하도 5.6%나 되었다. 화분매개곤충 평균 사용기간은 6.8 ± 3.1 년으로 통계적 고도의 유의성이 있었다 (Chi-square Test: $X^2=206.695$, $df=4$, $p=0.0001$). 화분매개곤충의 이용방법 여부를 조사한 결과를 Fig. 3B에 나타내었다. 조사 대상 중 37.4%는 ‘잘 알고 있다’로 대답하였고, 42.9%는 ‘알고 있다’, 16.8%는 ‘약간 알고 있다’고 대답하여 사용 농가의 97.1%가 알고

있는 것으로 조사되어, 대부분이 화분매개곤충 사용법을 알고 있는 것으로 판단되었다. 화분매개곤충 사용에 대한 교육 여부에 대한 조사한 결과 (Fig. 4A), ‘전혀 교육 경험이 없다’가 56.3%로 가장 많았으며, ‘1~2회 교육을 받았다’가 31.4%이었고 ‘3~7회 이상’은 12.5%였다. 이에 50% 이상이 화분매개곤충 사용법에 대한 교육 경험이 전혀 없는 것으로 나타나, 개인적인 경험보다는 작물별로 어느 화분매개곤충을 어떻게 사용하는지 등에 대한 표준 사용법에 대한 체계적인 교육이 필요하다고 생각된다.

농작물에 사용하는 화분매개곤충의 관리 여부를 조사한 결과 (Fig. 4B), ‘적극적으로 관리를 해준다’가 33.1%, ‘보통’ 29.2%, ‘매우 적극적’이 16.6% 등 79%의 작물 재배농가가 화분매개곤충을 관리해 준다고 답하였다. 화분매개곤충의 구입 가격을 조사한 결과 (Fig. 5A and 5B), 꿀벌은 12~15만원이 31.8%로 가장 많았고, 그다음이 15~18만원으로 28.3%를 차지하였다. 3만원 미만이 1.4%로 조

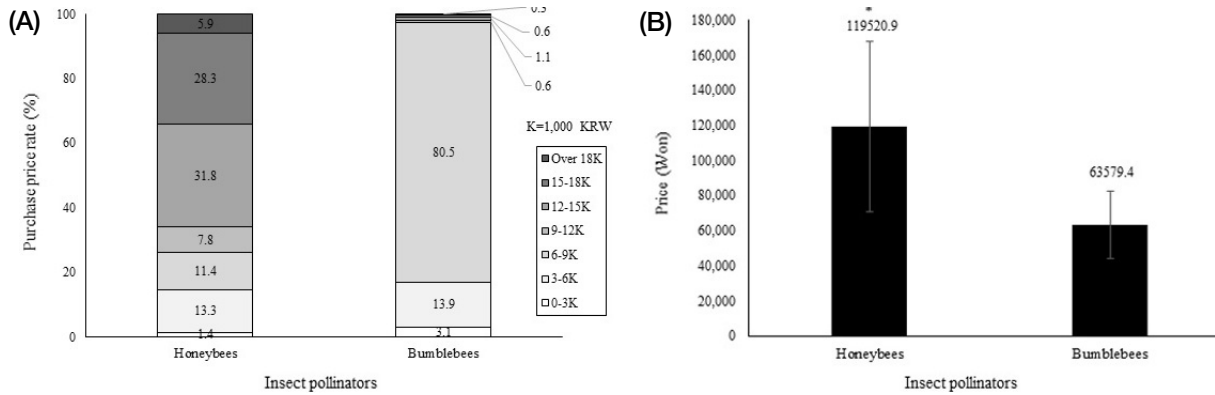


Fig. 5. Purchase price rate (A) and purchase price (B) of insect pollinators for 26 horticultural crops in 2020.

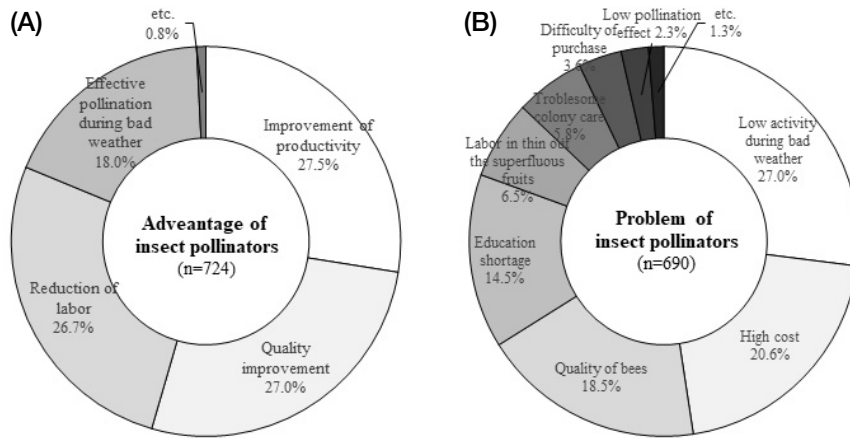


Fig. 6. Advantage (A) and problem (B) of insect pollinators use.

사되었고, 18만원 이상에 판매되는 것도 5.9%나 차지하였다(Fig. 5A). 이처럼, 화분매개용 꿀벌의 가격이 다양한 이유는 딸기 등 장기간(4~5개월) 사용하는 채소작목과 사과처럼 단기간(10일 이내)에 사용하는 과수작목에 따라서 달라지기 때문으로 생각된다. 화분매개용 꿀벌의 평균 구입가격은 119,521±48,418원이었다(Fig. 5B). 뒤영벌의 평균 구입가격은 63,879±19,264원으로, 6~9만원이 80.5%, 3~6만원이 13.9%였다(Fig. 5A). 꿀벌과 뒤영벌의 가격은 약 1.9배의 차이가 있었다(T-test(778)=20.547, p=0.0001).

2) 화분매개곤충 사용 시 효과 및 향후 사용계획

작물 재배농가를 대상으로, 화분매개곤충을 이용할 경우의 이점을 우선순위로 조사한 결과(Fig. 6A), 생산성 향상(27.5%), 품질향상(27.0%), 노동력 절감(26.7%), 기상 조건 불량 시 효과적인 수분(18.0%) 순으로 나타났다. 화

분매개곤충 이용 시 문제점으로는 기상조건 불량 시 활동 부족이 27.0%로 가장 높았으며, 가격부담 20.6%, 벌의 품질 18.5%, 교육 부족 14.5%, 적과 노동력 6.5% 순이었다(Fig. 6B). 화분매개곤충 사용 시 만족도를 조사한 결과(Fig. 7A), ‘불만스럽다’고 한 비율은 1.1%에 불과해, 화분매개곤충 사용에 대해서 대체로 만족하는 것으로 나타났다. 앞으로 화분매개곤충을 사용할 의향 여부를 조사한 결과(Fig. 7B), 사용 확대 31.1%, 현행유지가 53.5%였으며, 축소하겠다는 의견은 1.7%만을 보여 화분매개곤충 사용에 대해서 상당히 긍정적인 반응을 나타내었다(Fig. 7B). 이러한 결과로 볼 때, 작물재배농가와 화분매개곤충 공급농가를 대상으로 작물별로 맞춤형 매뉴얼을 작성하고, 현장에서 바로 사용할 수 있는 현장 사용법 등을 연구 개발한다면, 화분매개곤충의 시장은 더욱 더 확대될 것으로 판단된다.

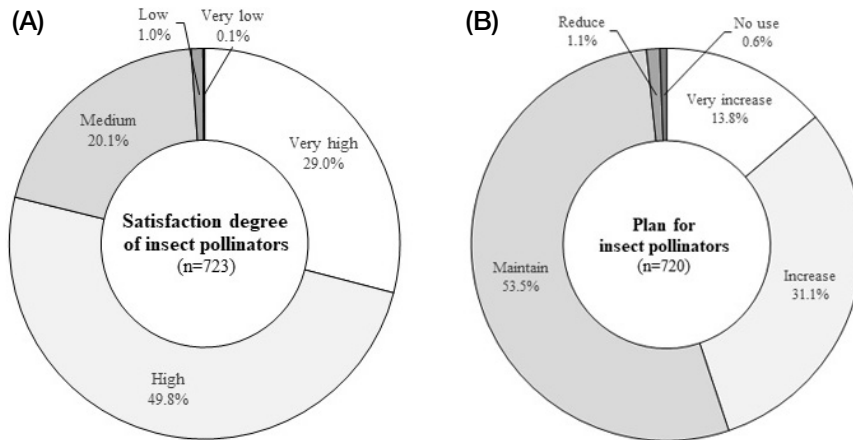


Fig. 7. Satisfaction degree (A) and plan (B) of insect pollinators use.

적 요

2020년도 채소 및 과수 작목에서 화분매개곤충 사용현황 실태를 조사한 결과, 화분매개곤충을 이용한 작목은 채소 12개, 과수 15개 등 총 27개였다. 26개 작목에 대한 화분매개곤충 사용률은 28.0%였고, 화분매개곤충 사용농가수는 64,049 농가였다. 27개 작목의 총 화분매개곤충 사용봉군수는 615,609 봉군으로, 꿀벌 413,359 봉군, 뒤영벌 181,141 봉군, 빨가위벌류 16 봉군, 파리류 545 봉군, 그리고 꿀벌, 뒤영벌, 빨가위벌류의 혼합사용이 20,548 봉군이였다. 12개 채소의 평균 화분매개곤충 사용률은 67.2%로, 딸기 및 양파채종 100.0%, 참외 93.1%, 수박 92.7%, 토마토 84.5%, 멜론 72.7%, 고추 38.9%, 파프리카 8.7%, 호박 2.1%, 오이 1.0%, 가지 3.4%, 여주 1.2%이였다. 12개 채소에서 화분매개곤충 사용봉군수는 581,635 봉군으로 꿀벌 67.0%, 뒤영벌 29.7%, 파리류 0.1%, 그리고 꿀벌과 뒤영벌의 혼합사용이 3.2%를 차지하였다. 15개 과수의 평균 화분매개곤충 사용률은 10.5%로 망고 100.0%, 사과 20.0%, 배 5.9%, 감 7.5%, 복숭아 0.4%, 자두 10.2%, 블루베리 7.1%, 산딸기 18.6%, 키위 0.1%, 복분자 0.3%, 체리 0.2%, 석류 1.2%, 생대추 2.8%, 패션프루트 7.1%, 구기자 51.5%였다. 15개 과수에서 화분매개곤충 사용봉군수는 33,974봉군으로 꿀벌 70.2%, 뒤영벌 24.1%, 파리류 0.8%, 그리고 꿀벌, 뒤영벌, 빨가위벌류의 혼합사용이 4.9%로 조사되었다. 빨가위벌류는 공급부족으로 거의 사용하지 않은 것으로 나타났다. 화분매개곤충 사용농가의 98.9%가 화분매개곤충 사용에 만족하였고, 98.4%가 향후 화분

매개곤충을 계속 사용하겠다고 답변하여 화분매개곤충 사용에 대해서 상당히 긍정적인 반응을 보였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01618101)의 지원에 의해 이루어진 것이며, 화분매개곤충 이용현황 실태조사에 협조 해주신 각 시군센터 담당자 및 관련 화분매개곤충 생산업체에 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

인용 문헌

- Dag, A. and Y. Kammer. 2001. Comparison between the effectiveness of honeybee (*Apis mellifera*) and bumblebee (*Bombus terrestris*) as pollinators of greenhouse sweet pepper (*Capsicum annuum*). *Am. Bee. J.* 141: 447-448.
- Department for Environment Food & Rural Affairs, UK. 2014. The National Pollinator Strategy: for bees and other pollinators in England. p. 1-36.
- Dicks, L. V., T. D. Breeze, H. T. Ngo, D. Senapathi, J. An, M. A. Aizen, P. Basu, D. Buchori, L. Galetto, L. A. Garibaldi, B. Gemmill-Herren, B. G. Howlett, V. L. Imperatriz-Fonseca, S. D. Johnson, A. Kovács-Hostyánszki, Y. J. Kwon, H. G. Lattorff, T. Lungharwo, C. L. Seymour, A. J. Vanbergen and S. G. Potts. 2021. A global-scale expert assessment of drivers and risks associated with pollinator decline. *Nat. Ecolo. & Evol.* DOI: 10.1038/s41559-021-01534-9.
- Dolezal, A. G., N. A. Scavo, S. D. Hendrix, M. A. Harris, M. J.

- Wheelock, M. E. O'Neal and A. L. Toth. 2016. Honey bee viruses in wild bees: Viral prevalence, loads and experimental inoculation. *PLoS One* 11: E0166190.
- European Commission. 2021. Report from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions, Progress in the implementation of the EU Pollinators Initiative. p. 1-15.
- Free, J. B. 1993. Insect pollination of crops. 2nd ed., Academic Press, London.
- Gallai, N., J. M. Salles, J. Settle and B. E. Vaissière. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ.* 68: 810-821.
- Goulson, D., G. C. Lye and B. Darvill. 2008. Decline and conservation of bumblebees. *Annu. Rev. Entomol.* 53: 191-208.
- Greenleaf, S. S. and C. Kremen. 2006. Wild bee species increase tomato production and respond differently to surrounding land use in Northern California. *Biol. Conserv.* 133: 81-87.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). 2016. Summary for policy makers of the assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services on pollinators, pollination and food production. IPBES. (deliverable 3(a)) of the 2014-2018 work programme.
- James, R. J. and T. L. Pitts-Singer. 2008. Bee pollination in agricultural ecosystems. Oxford University Press, New York.
- Klein, A. M., B. Vassiere, J. H. Cane, L. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen. and T. Tscharntke. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. Royal. Soc. London. B.* 274: 303-313.
- Konuma, A. and S. Okubo. 2015. Valuating pollination services for agriculture in Japan. *Jap. J. ECol.* 65: 217-226.
- Lee, K. Y., H. J. Yoon, S. Lee and J. Park. 2020. Foraging Activities of Honeybees (*Apis mellifera* L.) and Bumblebees (*Bombus terrestris* L.) on Passionfruit (*Passiflora edulis* f. *edulis*) Flower and their Pollination Effects. *Korean J. Apic.* 35: 205-217.
- Morandin, L. A. and M. L. Winston. 2005. Wild bee abundance and seed production in conventional, organic, and genetically modified canola. *Ecol. Appl.* 15: 871-881.
- Norwegian Government Security and Service Organisation (NGS & SO). 2018. National pollinator strategy, A strategy for viable populations of wild bees and other pollinating insects. p. 1-52.
- Rao, S. and W. P. Stephen. 2010. Abundance and diversity of native bumble bees associated with agricultural crops: The Willamette valley experience. *Psyche* volume 2010, Article ID 354072, 9 pages.
- Sowell, A. 2020. Sugars and Sweeteners Yearbook Tables; Table 46. USDA, Economic Research Service, Washington, DC. <https://www.ers.usda.gov/data-products/sugar-and-sweeteners-yearbook-tables/documentation>.
- SPSS PASW® Statistics 22.0. 2013. PASW® Core System User's Guide, SPSS inc. USA.
- Statistics Korea. 2020. Crops production statistics, 2020/Fruit vegetable/Apple. <http://www.kostt.go.kr/portal/korea/kor.pi/index.action>.
- United States of America (USA). 2015. National strategy to promote the health of honey bees and other pollinators. Pollinator Health Task Force. p. 1-58.
- United States Department of Agriculture (USDA). 2021. 2021 USDA strategic pollinator priorities and goals report. p. 1-37.
- Winfree, R., T. Griswold and C. Kremen. 2007. Effect of human disturbance on bee communities in a forested ecosystem. *Conserv. Biol.* 21: 213-223.
- Yoon, H. J., K. Y. Lee, I. G. Park., M. I. Kim, Y. M. Kim and P. D. Kang. 2013. Current Status of Insect Pollinators Use for Horticultural Crops in 2011. *Korean J. Apic.* 28: 9-18.
- Yoon, H. J., K. Y. Lee, S. Y. Kim, Y. B. Lee, N. Kim and B. R. Jin. 2015. Effects of location, direction, altitude, and placement of trap nests on the rate of trap-nesting of *Osmia* solitary bees. *J. Asia Pac. Entomol.* 18: 695-700.
- Yoon, H. J., K. Y. Lee, H. S. Lee, M. Y. Lee, Y. S. Choi, M. Y. Lee and G. H. Kim. 2017. Survey of Insect Pollinators Use for Horticultural Crops in Korea, 2016. *Korean J. Apic.* 32: 223-235.