

사과원 피복 초생의 개화가 화분매개자 네트워크와 사과 생산에 미치는 영향

손민웅¹ · 정철의^{1,2*}¹안동대학교 식물의학과, ²안동대학교 농업과학기술연구소

Effects of Blooming in Ground Cover on the Pollinator Network and Fruit Production in Apple Orchards

Min Woong Son¹ and Chuleui Jung^{1,2*}¹Department of Plant Medicals, Andong National University, Andong 36729, Korea²Agricultural Science and Technology Research Institute, Andong National University, Andong 36729, Korea

ABSTRACT: Pollinators are not only crucial for plant reproduction, but also important for crop production. These pollinators are affected by the diversity of plants within orchards. Thus, the study investigated the effect of blooming on the ground cover on pollinator diversity, network, fruiting rates and subsequent apple size during harvest season in apple blooming period. Total ten orchards were selected; Five with ground covered mostly by dandelion while the another five without ground cover. The orchards with dandelion bloom showed 16 pollinator groups and 801 pollination network interaction, while 14 pollinator groups and 589 interaction were found from orchards without ground cover blooms. es. Overall pollinators' abundances were not different. But bumble bees and caliphorid flies were more abundant in orchards with ground cover blooming. There was no significant in fruiting rates, but the apple size was significantly bigger in orchards with ground cover. These results may indicate that blooming on the ground cover during apple flowering season would increase pollinator diversity and influence fruit quality later on in apple orchards, and pose importance of floral diversity for sustainable apple production system.

Key words: Connectance, Dandelion, Sustainability, Landscape management, Honeybee, Bumble bee

초 록: 화분매개는 숙씨식물 번식에 매우 중요한 역할을 한다. 화분매개 곤충은 식물 다양성과 밀접한 관계를 가지며, 농작물 생산성 향상에 기여한다. 사과원 내 식물 다양성은 과수와 주변부, 그리고 하부 식생에 의해 결정된다. 본 연구는 사과꽃 개화기에 서양민들레 등 초생이 피복된 사과원과 초생이 없는 과수원에서 화분매개자의 다양성과 네트워크, 그리고 결실률과 생산된 과실의 크기 차이를 분석하였다. 경북 안동시 길안면 소재 각 5개의 사과원에서 2020년 4월 사과 개화기에 이루어졌다. 사과와 같은 시기 개화하는 초생은 민들레가 우점이었다. 두 사과원 유형에 따른 꿀벌수는 통계적으로 차이가 없었으나, 전체 풍부도 및 검정파리류와 뒤영벌류의 풍부도는 초생 피복 사과원에서 높았다. 민들레 피복 사과원에서 화분매개자 16 그룹과 801개 상호작용이, 초생 제거 사과원에서는 화분매개자 14개 그룹과 589개 식물-화분매개자 상호작용이 확인되었다. 또한, 초생 피복 사과원의 수확기 사과 크기가 더 컸다. 본 연구의 결과는 서양민들레 등 초생 피복은 봄철 화분매개자의 다양도를 증가시킬 수 있고, 수확기 과수의 크기에 긍정적인 영향을 줄 수 있으며, 지속 가능한 사과원 경관관리를 위한 초생제배의 중요성을 확인시켜 주었다.

검색어: 연결도, 민들레, 지속가능, 경관관리, 꿀벌, 뒤영벌

화분매개 상호작용을 이해하기 위한 생태학적 네트워크 이론은 생태계에서 일어나는 다양한 상호작용에 대하여 분석하는 하나의 방법론으로 알려져 있다(Hannon, 1973; Fath et al., 2007; Lee et al., 2018). 생태학적 네트워크 이론을 통하여 먹이-포식자 간 상호작용이나 공생-기생, 화분매개 네트워크 등 다

*Corresponding author: cjung@andong.ac.kr

Received January 29 2021; Revised February 23 2021

Accepted February 24 2021

양한 교호작용들의 특성을 설명할 수 있다(Memmott et al., 2004; Monotoya et al., 2006; Olesen et al., 2007). 그러나 국내에서 이와 관련한 연구들이 아직은 미흡하다고 보인다.

화분매개자는 중요한 생태계 서비스를 공급한다(Ebeling et al., 2008). 이들의 증가는 작물의 수정에 영향을 주고 수정률은 결국 결실률로 이어지게 된다(Garibaldi et al., 2011). 이를 통해 Garcia and Minarro (2014)와 Norfolk et al. (2016)에서는 작물재배지 주변 꽃피는 잡초의 중요성을 강조하였다. 또한, Garcia and Minarro (2014)에 따르면 화분매개자뿐만 아니라 천적의 기능을 갖는 곤충들에게도 영향을 줄 수 있다고 한다. 그러나 최근 화분매개자의 개체수와 풍부도는 조금씩 감소하는 추세이다(Kovacs-Hostyanszki et al., 2017). 효율적인 작물 생산과 편리한 농지관리를 위해 무분별한 토지이용, 단일작물 재배, 농약사용이 원인이 되었기 때문이다(Kovacs-Hostyanszki et al., 2017; Bennett et al., 2020; Pardo and Borges, 2020). 특히, 하층 식생 관리강도가 높은 단일작물재배는 식물 다양성 감소를 일으키고, 화분매개자의 먹이 및 서식처 감소로 이어지게 된다. 화분매개자의 감소는 식물의 번식에 악영향을 주며, 이는 다시 과실 생산율에 매우 치명적일 수 있다(Garcia and Minarro, 2014; Cunningham, 2000; Bennett et al., 2020; Pardo and Borges, 2020). 대부분의 식물-화분매개자 간 다양성의 강도와 복잡성이 상호 구조적 관계로 진화해 왔기 때문이다(Carvalho et al., 2014). 그럼에도 불구하고 식물 다양성을 높이려는 초생 재배법에 대한 농가의 인식은 매우 저조하다. 과수원에서 재배되는 작물과 야생 식물과의 화분매개자 경합을 우려하는 목소리가 있기 때문인데, 이 같은 문제는 실험을 통해 적합한 식물들이 제안되고 있다(Lundin et al., 2017).

사과(*Malus domestica* Borkhausen)는 전세계에서 2018년 기준 연간 생산량이 약 86.14 백만톤이고, 지구상 세번째로 많은 수확량을 나타내는 작물이다(Shahbandeh, 2020). 국내에서는 2018년 기준 연간 사과 생산량이 48만톤으로 전 세계 약 0.6%를 차지한다(Statistics Korea, 2018). 사과는 자가수분으로 인한 결실률이 상당히 낮은 작물로 화분매개자의 역할이 매우 중요하다(Lee et al., 2008; Pardo and Borges, 2020). 이러한 화분매개자를 유인할 수 있는 식물로써 서양민들레(*Taraxacum officinale* Weber)도 좋은 후보가 될 수 있다. 서양민들레는 유럽 원산으로 국화과(Compositae)의 여러해살이풀이다. 외래잡초 중 4번째로 가장 많이 발생하고, 밭이나 과수원 등에서 쉽게 볼 수 있는 장점이 있다(Lee et al., 2017). 또한, 다른 잡초들과 달리 많은 꽃을 개화하는 뚜렷한 장점이 있어 화분매개자의 유인 식물로써 가치가 높다.

사과꽃과 화분매개자 사이의 관계에 대한 국내 연구는 1980년

대부터 꾸준히 진행되어왔다. 당시 주요 연구로 직접 손으로 하는 인공수분보다 화분매개충을 이용한 효율적 화분매개에 관심을 쏟았었다(Jeong and Choi, 1988; Oh et al., 1989). 이후 2000년대에 들어서 꿀벌류를 포함한 다양한 화분매개자에 관심을 갖게 된다. Lee et al. (2000)은 사과원에서 사과꽃 개화기 동안 나타나는 화분매개 곤충상에 대해 조사하였다. 화분매개자의 대부분을 차지하는 꿀벌류 이외에도 기타 방화곤충들의 중요성을 강조하였다. 이와 함께 방화곤충의 단순한 구조뿐만 아니라 화분매개 활동의 특성이나 효과, 이용현황 및 경관 유형에 따른 화분매개자들의 구조에 대해서도 조사가 지속적으로 진행되어왔다(Lee et al., 2003; Lee et al., 2008; Lee et al., 2009; Lee et al., 2010; Yoon et al., 2012; Yoon et al., 2013; Lee et al., 2016). 그러나 계속되는 과도한 농약의 사용 및 토지이용 강도의 증가로 꿀벌을 포함한 야생 화분매개곤충 감소 현상은 점점 높아지고 있다. 특히 농약에 의한 피해가 가장 심한데, 이미 국내에서는 80년대부터 관련 연구들이 수행되고 있다. Choi et al. (1989)에서는 꿀벌류가 농약으로 인한 큰 피해를 입었고, 특히 사과, 배 등의 과수원에서 그 피해가 가장 심한 것으로 파악하고 있다. Calatayud-Vernich et al. (2016)에 따르면 과수원에서 작물의 개화기에 꿀벌의 농약 중독 및 사망률의 증가가 빈번하게 일어나며, 농약의 사용을 점차 줄이는 방향으로 제시하고 있다. 이를 해결하고 화분매개자 보호 및 작물 생산량 증가를 위해 현재까지도 국내의 연구자들은 다양한 연구들을 수행하고 있다(Cunningham, 2000; Klein et al., 2006; Jauker and Wolters, 2008; Garcia and Minarro, 2014; Garratt et al., 2014; Bennett et al., 2020).

이에 본 연구에서는 사과원 초생 서양민들레의 피복이 사과-화분매개 상호작용 네트워크 구조에 어떠한 영향을 주는지, 화분매개자의 다양도 및 이후 결실률과 사과 품질의 결과가 어떠한지를 조사하였다.

재료 및 방법

조사지역

조사는 2020년 4월 하순부터 5월 초까지 사과꽃 개화기 동안 수행되었다. 대상 사과 품종은 부사로 하였다. 경상북도 안동시 길안면에 위치한 사과원에서 하부 식생에 서양민들레(*T. officinale*)가 피복된 사과원 5곳과 하부 식생층에 모든 피복 식물을 제거한 사과원 5곳, 총 10곳의 사과원을 지정하였다(Table 1). 초생 피복 사과원 선정은, 사과원에 방문하여 10개의 1 m × 1 m 방형구를 무작위로 설정한 뒤 면적의 50% 이상을 피복하는 경우 선정하였다.

Table 1. Geographical coordinates and area of ten apple orchards in Giran, Andong, Korea

Ground cover		Latitude	Longitude	Area (m ²)
Yes	T1	36.3923	128.9321	7,739
	T2	36.3963	128.9299	14,851
	T3	36.4368	128.9122	13,286
	T4	36.4417	128.8980	2,245
	T5	36.4554	128.8938	3,223
No	C1	36.4489	128.8991	2,934
	C2	36.4577	128.9005	8,642
	C3	36.4281	128.9136	6,804
	C4	36.4134	128.9243	9,090
	C5	36.4427	128.9009	3,052

Table 2. Targeted morphological groups of pollinators investigated in this study

Hymenoptera	Diptera	Lepidoptera	Coleoptera
Andrenidae	Anthomyiidae	Adelidae	Cantharidae
<i>Apis</i> sp.	Bibionidae	Lycaenidae	Cerambycidae
<i>Bombus</i> sp.	Calliphoridae	Nymphalidae	Cetoniidae
<i>Normada</i> sp.	Platystomatidae	Pieridae	Oedemeridae
Megachilidae	Sciomyzidae	Sphingidae	Rutelidae
Halictidae	Syrphidae		
Formicidae	Tabanidae		

화분매개자 조사

사과꽃 개화기에 각 사과원에서 나타나는 화분매개곤충상을 조사하였다. 사과원 한 곳당 무작위로 10그루의 사과나무를 설정하고 한 명당 5분씩 다섯명이 사과꽃에 방화하는 화분매개자를 기록하였다. 사과꽃 개화기동안 사과원 한 곳당 5회씩 총 50회 방문하여 조사하였다. 비가 오지 않는 날 일 중 오전 9시부터 오후 5시까지 무작위로 사과원에 방문하였다. 분류 동정이 어려운 경우 포충망으로 포획 후 실험실에 가져와 분석하였다.

대상 화분매개자는 4개의 주요 큰 그룹으로 나누고, 각 4개의 그룹에서 다시 5~6개의 그룹으로 세분하였다(Table 2). 주요 화분매개자로는 벌목, 파리목, 딱정벌레목으로 하였고 벌목에서는 꿀벌류(*Apis* sp.)를 포함한 뒤영벌류(*Bombus* sp.) 등 7그룹, 파리목은 꽃파리과(Anthomyiidae) 등 7그룹, 나비목은 긴수염나방과(Incurvariidae) 등 5그룹, 딱정벌레목은 병대벌레과(Cantharidae) 등 5그룹으로 하였다.

화분매개자 다양성을 분석하기 위해 다양도(Pielou, 1975)와 우점도(McNaughton, 1967), 균등도(Pielou, 1975), 풍부도(Margalef, 1958)를 계산하였다. 이후, 초생 피복 사과원과 초

생 제거 사과원에서 나타나는 화분매개자 비율에 대해 계산하였다.

화분매개자 네트워크 분석

각 사과원에서 나타나는 화분매개 네트워크에 대하여 분석하였다. 초생 피복 사과원과 초생 제거 사과원에서 나타나는 화분매개 네트워크구조를 분석하기 위하여 R software 4.0.2 bipartite package를 사용하였다(R Development Core Team, 2020). 각 화분매개 네트워크 지수는 귀무모형(null model)을 만들어 비교하였다. 해당 모델은 1,000회 반복하고, 95% 신뢰구간을 설정하여 2.5%와 97.5% 내에서 추정치를 설정하였다. 주요 지수로는 Connectance, Generality, Linkage density, Links per species, Vulnerability가 있다. Connectance는 네트워크에서 가능한 모든 연결 중에서 실제로 형성된 비율인데, 여러 네트워크 구조적 지표들과 관련이 있는 중요 지수이다. Generality는 화분매개자 종당 사과원에 기증된 평균 수이며, Vulnerability는 사과원별 기증된 평균 방문 화분매개자 종수인데, 상호작용하는 종끼리의 특성을 설명하는데 중요한 지수가 될 수

있다. Linkage density는 연결당 밀도이고, Links per species는 종당 연결 수이며, 이들은 네트워크의 구조를 기본적으로 설명할 수 있는 지수이다(Olesen and Jordano, 2002; Power and Stout, 2011; Lee et al., 2018).

사과 결실률과 수확기 크기 조사

2020년 4월 하순부터 5월 초까지 초생 피복 사과원과 초생 제거 사과원의 결실률을 비교하기 위해 사과 개화기간 동안 꽃의 수를 측정하였다. 각 사과원에서 무작위로 선정된 5그루의 사과 나무 한 그루당 꽃수로 하였다. 이후, 낙과기가 오기 전인 6월에 각 사과원의 사과 결실수를 측정하였다. 마지막으로 수확기 직 전인 11월 중순에 각 사과원에 방문하여 사과나무에 착과 된 과실의 평균 사과 크기를 측정하기 위하여 사과원당 100개씩 높

이, 너비, 둘레를 버니어캘리퍼와 줄자를 이용하여 측정하였다.

초생 피복 사과원과 초생 제거 사과원의 품질(화분매개자 밀도, 너비, 높이, 둘레, 결실률)에 대한 결과는 *t*-test를 이용하여 검정하였다. 사과 결실률은 Shapiro-Wilk test 검정 후 데이터가 정규분포하지 않아 Arcsine 변환 후 *t*-test를 진행하였다(Sokal and Rohlf, 1995; Warton and Hui, 2011).

결과

2020년 경북 길안면에 있는 사과원 10곳에서 사과꽃 개화기 동안 화분매개 네트워크를 조사한 결과 초생 피복 사과원 16개 그룹에 사과원-화분매개자 간 801의 상호작용 수로 초생 제거 사과원 14개에 사과원-화분매개자 간 589의 상호작용 수보다 높게 나타났다(Fig. 1). 초생 피복 사과원의 경우 꿀벌류 그룹이

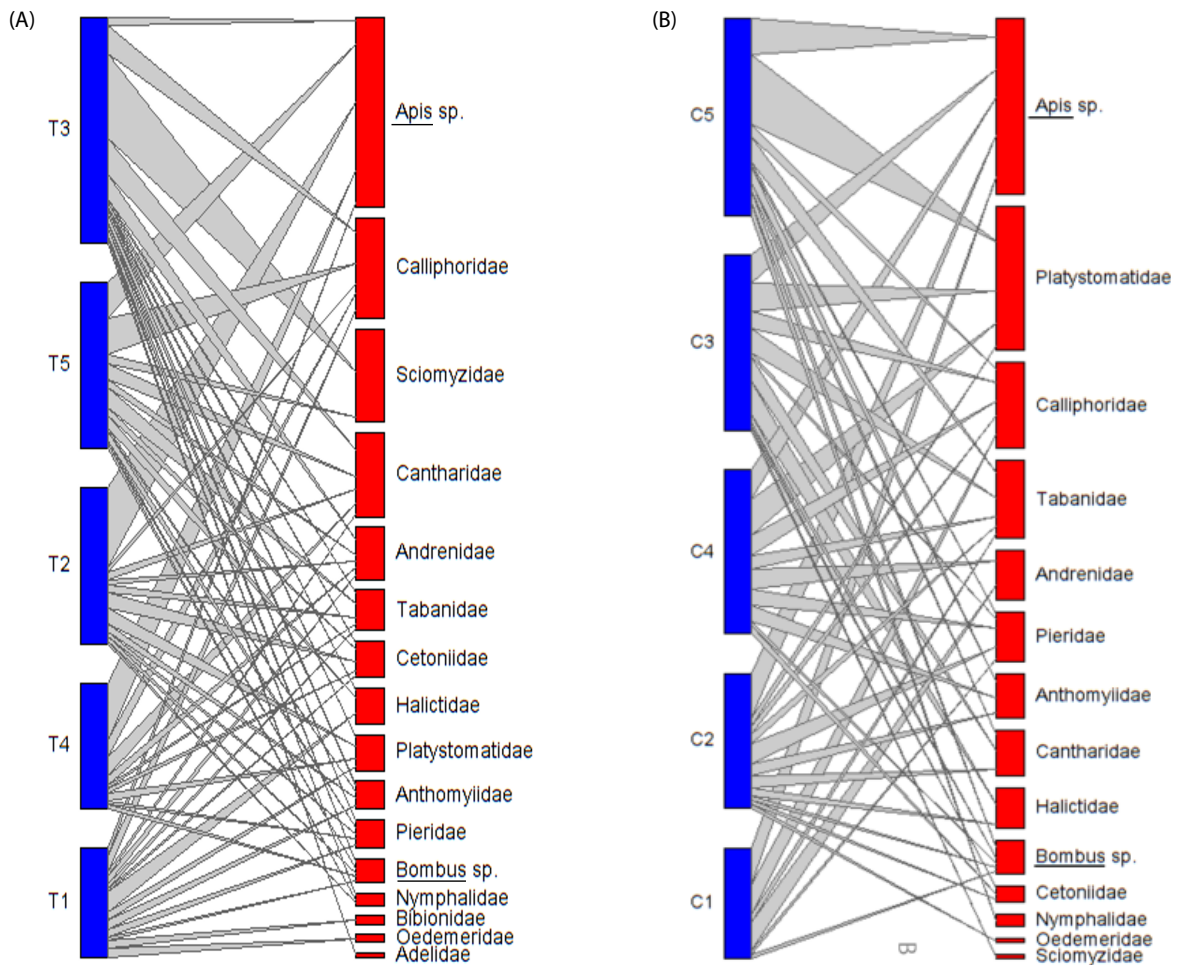


Fig. 1. The pollinator network structure of apple orchards with ground cover dominated by dandelion (*Taraxacum officinale*) (A), and without ground cover (B) during apple blooming season in Giran, Andong, Korea in 2020. In the network, red color represents pollinator groups, blue color does each apple orchard, and the connecting lines indicate the interaction. Thickness of the line indicate the interaction strength, and the area of the rectangle means the frequency of participation in the pollinator networks.

Table 3. Effects of ground cover on the pollinator network structures in apple orchards in Giran, Andong, Korea in 2020. Each index was shown with 95% confidence intervals

Network index	With ground cover	Without ground cover
Connectance	0.75 (0.75 ~ 0.75) ^{na}	0.69 (0.69 ~ 0.69) ^{na}
Linkage density	6.05 (6.72 ~ 7.31)*	7.13 (6.69 ~ 7.54) ^{ns}
Links per species	2.91 (2.91 ~ 2.91) ^{na}	2.75 (2.75 ~ 2.75) ^{na}
Generality	3.58 (3.96 ~ 10.31)*	3.94 (3.71 ~ 10.89) ^{ns}
Vulnerability	8.53 (3.96 ~ 10.31) ^{ns}	10.31 (3.71 ~ 10.89)*

na: not available, ns: not significant, *: significant.

Table 4. Comparison of pollinator densities, diversity indices, fruiting rates and fruit size before harvest from apple orchards with and without ground cover in Giran, Andong, Korea in 2020. Mean values were provided with standard errors

	With ground cover	Without ground cover	<i>t</i> value	<i>P</i> value
Number of pollinator groups	11.8 ± 0.77	9.0 ± 0.75	2.3333	0.0479*
Total pollinator density	160.2 ± 30.40	117.8 ± 15.91	1.1054	0.3011
<i>Apis</i> sp. density	16.0 ± 2.08	12.8 ± 2.00	1.1172	0.2695
Calliphoridae density	6.4 ± 0.91	2.6 ± 0.67	3.3211	0.0018**
<i>Bombus</i> sp. density	1.9 ± 0.44	0.8 ± 0.23	2.0528	0.0474*
Diversity (<i>H'</i>)	1.8 ± 0.07	1.5 ± 0.10	2.2627	0.0535
Dominance (<i>D</i>)	0.5 ± 0.05	0.7 ± 0.03	2.2136	0.0578
Evenness (<i>E</i>)	0.7 ± 0.04	0.7 ± 0.07	1.0954	0.3053
Richness (<i>R</i>)	2.2 ± 0.10	1.7 ± 0.15	2.3706	0.0487*
Number of blossoms per tree	2796.3 ± 54.74	2734.6 ± 59.25	0.7497	0.4571
Fruiting rate (%)	53.0 ± 0.87	52.6 ± 0.88	0.2790	0.7815
Fruit width (mm)	88.2 ± 0.50	85.2 ± 0.48	4.3638	< 0.0001***
Fruit height (mm)	76.1 ± 0.44	72.7 ± 0.40	5.6494	< 0.0001***
Fruit circumference (mm)	288.8 ± 1.02	275.4 ± 0.94	9.6993	< 0.0001***

Significance of the statistical test was shown as * to 0.05, ** to 0.001, and ***.

상호작용에 가장 많이 참여하였으며, 검정파리류(Calliphoridae), 들파리류(Sciomyzidae), 병대벌레류(Cantharidae), 애꽃벌레(Andrenidae) 순으로 많이 나타났다. 초생 제거 사과원의 경우 꿀벌류가 상호작용에 가장 많이 참여하였으며, 알락파리류(Platystomatidae), 검정파리류, 등에류(Tabanidae), 애꽃벌레 순으로 나타났다. 초생 피복 사과원에서 나타난 꽃무지류(Cetoniidae)와 긴수염나방류(Adelidae)는 초생 제거 사과원에 서는 나타나지 않았다.

귀무모형(null model)을 적용하여 화분매개 네트워크 지수를 분석한 결과 사과꽃 개화기에 서양민들레 초생 피복 처리의 경우 연결밀도(linkage density)와 화분매개자가 방문하는 사과원 수(generality)가 초생 제거 사과원과 다르게 통계적으로 유의하다는 결과를 보여주었다(Table 3).

초생 피복 사과원과 초생 제거 사과원 사이의 화분매개자 다

양도, 균등도, 전체 평균 밀도, 우점종인 꿀벌류의 밀도, 나무당 개화 수, 결실율은 서양민들레가 피복된 사과원에서 높았지만 통계적으로($P > 0.05$) 유의하지 않았다(Table 4). 반면에 화분매개자 그룹의 수, 검정파리류와 뒤펽벌레의 종 풍부도, 사과 과실의 너비, 높이, 둘레 및 Richness는 초생 피복 사과원에서 높았고 통계적으로 유의하였다($P < 0.05$).

고찰

사과 개화기에 과수원 내 민들레 등 하부 식생과이 같이 꽃이 필 경우 꿀벌 밀도에는 차이가 없는 반면 검정파리류와 뒤펽벌레의 밀도는 높은 것으로 나타났으며, 사과 크기가 더 큰 것으로 조사됐다. 비록 통계적 차이는 없었지만 화분매개자 그룹의 수 역시 하부 식생층 지피식물이 존재할 때 더 다양하였다.

Garcia and Minarro (2014)는 과수원이나 밭 등 다년생 작물 재배지에서 작물 이외의 꽃피는 식물의 존재는 화분매개자뿐 아니라 포식성이나 기생성 천적 곤충들에게 먹이와 서식처를 제공한다고 보고했다. 본 연구에서도 화분매개자 종류와 일부 종의 출현 빈도 등이 초생 피복 사과원에서 더 높게 나타난 것을 볼 수 있었다. 또한, 파리목에 해당하는 등에류 등 일부 그룹은 그들이 유충일 때 사과의 해충이 될 수 있는 진딧물류 또는 노린재류 등의 천적으로 작용할 수 있다(Kim et al., 1995; Tenhumberg and Poehling, 1995; Jauker and Wolters, 2008; Garcia and Minarro, 2014). 결국 사과원에서 초생 피복 식물의 존재는 천적들에게 서식처를 제공하는 기능으로도 활용될 수 있어 보인다.

화분매개 네트워크 분석 결과 연결 밀도(linkage density)는 초생 피복 사과원에서 더 높았는데, 이는 초생 피복 사과원에서 식물과 화분매개자 간 네트워크가 더 복잡하게 연결되어 있음을 반증한다(Martinez, 1992; Olesen et al., 2007; Lee et al., 2018).

화분매개자 구성비를 보면, 벌목(Hymenoptera) 곤충 중에서 꿀벌류가 차지하는 비율은 60% 이상으로 나타난다(Lee et al., 2014; Son et al., 2019; Choi et al., 2020). 실제로 본 연구에서도 벌목 중 꿀벌류의 비율은 76.8%로 나타났다. 초생 피복 사과원에서는 우점종이었던 꿀벌류 비율이 초생 제거 사과원보다 더 낮았는데 이는 초생 피복 사과원이 초생 제거 사과원보다 더 다양한 화분매개자들이 방문했기 때문이다. 초생 제거 사과원에서는 꿀벌류(*Apis* sp.) 우점도가 높는데, Carvalheiro et al. (2011)과 Son et al. (2019)에 따르면 꿀벌류는 다양한 작물에 방화하는 습성이 있는 반면에 다른 몇몇 화분매개자들은 소수의 특정 식물만을 선호할 수 있고, 다양한 먹이가 있는 곳에서 다른 화분매개자들의 상대적 비율이 높기 때문이다.

초생 피복 사과원과 초생 제거 사과원의 결실률은 큰 차이를 나타내지 않았으나, 과실 크기 면에서 전체적으로 차이가 있음을 확인하였다. Garratt et al. (2014)에서는 화분매개자에 의하여 결실된 사과가 화분매개자 차단 처리구보다 너비와 과중이 더 크게 나타난 것을 볼 수 있는데, 화분매개자 다양성이 높은 초생 피복 사과원보다 화분매개자가 상대적으로 낮았던 초생 제거 사과원의 사과가 너비, 높이, 둘레 모두 더 작은 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 초생 피복의 존재가 더 많은 화분매개자를 불러들이게 되고, 곧 더 나은 품질의 작물생산을 위한 긍정적 영향을 제공할 수 있는 것으로 짐작할 수 있다.

Sanchez et al. (2003)과 Heo et al. (2015)에 따르면 과수원 초생 피복은 토양 통기성 확보 기능, 토양 보습 효과 및 수분 효율 증대기능, 질소고정 식물이 존재할 경우 질소고정 능력을 돕

는 기능 등 과수원 작물에 대한 영양학적 및 물리적 도움을 줄 수 있다고 한다. 즉, 초생 피복은 해당 작물의 식물학적 기능을 돕고 작물 생산량에 영향을 줄 수 있는 환경을 조성해준다고 할 수 있다(Sanchez et al., 2003; Heo et al., 2015). 또한, Eo et al. (2010)에 따르면 과수원 피복 식물의 존재는 토양 미소절속동물의 개체밀도를 증가시키며, 그에 따른 토양 유기물 분해와 양분공급 활동이 활발할 수 있다고 한다. 본 연구에서는 초생 피복으로 인한 토양 기능의 상승에 대해서는 연구하지 않았으나, 화분매개자에 대한 서식처 및 먹이 제공처 기능을 포함한 다른 긍정적인 효과에 대해 기대할 수 있다고 본다.

Rader et al. (2016)에 따르면 꿀벌류 뿐만 아니라 파리류, 나비류 등 다른 화분매개자들도 작물 재배지에서 중요한 화분매개자가 될 수 있다. 또한, 이들은 전체 화분매개자의 큰 부분을 차지하고 있다. 실제 초생 피복 사과원에서 종 풍부도 지수(R)가 더 크게 나타난 것을 보아 이들의 화분매개 활동에 의한 긍정적인 효과를 기대할 수 있다. 또한, 초생 피복 사과원과 초생 제거 사과원의 네트워크 구조를 보면 꿀벌류를 제외하고 검정 파리류, 등에류 등의 야생화분매개자들이 더욱 복잡한 구조를 그리며 나타나는 결과를 보였다.

비록 본 연구가 제한된 지역에서 1년의 야외 연구 결과인 바, 기상 환경 등에 따른 재현성이 부족할 수 있다. 또한 화분매개자의 분류 수준이 상세하지 않아, 화분매개자 종별 다양성이나 식물에 대한 반응 특성을 구체적으로 추론할 수는 없다. 개화 초생 역시 민들레에 국한되어 있다는 제약은 분명하다. 그럼에도 불구하고 본 연구의 결과는 사과원 피복 식물의 개화는 다양한 화분매개자들을 사과원으로 유인하였고, 사과의 품질 특성에 영향을 미쳤음을 확인하였다. 또한, 파리목 곤충 중 꽃등에류 등 천적 기능이 존재하는 화분매개자의 풍부도 및 다양도를 높여 해충의 밀도 조절에도 기여할 수 있을 것으로 본다. 사과원에서의 잡초관리를 최소화하고 다양한 현화식물을 동반식물이나 번두리 식물로 이용할 수 있게 된다면, 화분매개와 천적 활동의 다양성에 의한 고품질 사과 생산에 도움이 될 것으로 보인다.

사 사

이 논문은 2020년 안동대학교 학술연구조성비(연구교수)의 지원을 통해 연구되었음.

저자 직책 & 역할

손민웅: 대학원생; 연구설계, 야외조사, 자료분석, 원고작성, 원고수정

정철의: 교수, 연구비, 연구계획, 연구설계, 자료분석, 원고 작성, 원고수정

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

- Bennett, J.M., Steets, J.A., Burns, J.H., Burkle, L.A., Vamosi, J.C., Wolowski, M., Arceo-Gomez, G., Burd, M., Durka, W., Ellis, A. G., Freitas, L., Li, J., Rodger, J.G., Stefan, V., Xia, J., Knight, T. M., Ashman, T., 2020. Land use and pollinator dependency drives global patterns of pollen limitation in the Anthropocene. *Nat. Commun.* 11, 3999.
- Calatayud-Vernich, P., Calatayud, F., Simo, E., Suarez-Varela, M. M., Pico, Y., 2016. Influence of pesticide use in fruit orchards during blooming on honeybee mortality in 4 experimental apiaries. *Sci. Total Environ.* 541, 33-41.
- Carvalho, L.G., Biesmeijer, J.C., Benadi, G., Frund, J., Stang, M., Bartomeus, I., Kaiser-Bundury, C.N., Baude, M., Gomes, S.I.F., Merckx, V., Baldock, K.C.R., Bennett, A.T.D., Boada, R., Bommarco, R., Cartar, R., Chacoff, N., Danhardt, J., Dicks, L. V., Dormann, C.F., Ekroos, J., Henson, K.S.E., Holzschuh, A., Junker, R.R., Mikel, M.L., Memmott, J., Montero-Castano, A., Nelson, I.L., Petanidou, T., Power, E.F., Rundlof, M., Smith, H.G., Stout, J.C., Temitope, K., Tschardtke, T., Tscheulin, T., Vila, M., Kunin, W.E., 2014. The potential for indirect effects between co-flowering plants via shared pollinators depends on resource abundance, accessibility and relatedness. *Ecol. Lett.* 19, 1389-1399.
- Carvalho, L.G., Veldtman, R., Shenkute, A.G., Tesfay, G.B., Pirk, C.W.W., Donaldson, J.S., Nicolson, S.W., 2011. Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity. *Ecol. Lett.* 14, 251-259.
- Choi, K.B., Lee, H., Jung, C., 2020. Analysis of flower-visiting insect assembly in apple orchards relative to the landscape type measured by yellow pan-traps. *J. Apic.* 35(1), 21-32.
- Choi, S.Y., Kim, Y.S., Lee, M.L., Oh, H.W., Jeong, B.K., 1989. Studies on the acute and chronic toxicities of pesticides to the honeybees, *Apis mellifera*. *J. Apic.* 4(2), 85-95.
- Cunningham, S.A., 2000. Depressed pollination in habitat fragments causes low fruit set. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.* 267, 1149-1152.
- Ebeling, A., Klein, A., Schumacher, J., Weisser, W.W., Tschardtke, T., 2008. How does plant richness affect pollinator richness and temporal stability of flower visits?. *Oikos* 117, 1808-1815.
- Eo, J., Kang, S.B., Park, K.C., Han, K.S., Yi, Y.K., 2010. Effects of cover plants on soil biota: a study in an apple orchard. *Korean J. Environ. Agric.* 29(3), 287-292.
- Fath, B.D., Scharler, U.M., Ulanowicz, R.E., Hannon, B., 2007. Ecological network analysis: network construction. *Ecol. Model.* 208, 49-55.
- Garcia, R.R., Minarro, M., 2014. Role of floral resources in the conservation of pollinator communities in cider-apple orchards. *Agric. Ecosyst. Environ.* 183(15), 118-126.
- Garibaldi, L.A., Aizen, M.A., Klein, A.M., Cunningham, S.A., Harder, L.D., 2011. Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 108(14), 5909-5914.
- Garratt, M.P.D., Breeze, T.D., Jenner, N., Polce, C., Biesmeijer, J. C., Potts, S.G., 2014. Avoiding a bad apple: insect pollination enhances fruit quality and economic value. *Agric. Ecosyst. Environ.* 184, 34-40.
- Hannon, B., 1973. The structure of ecosystems. *J. Theor. Biol.* 41, 535-546.
- Heo, J.Y., Park, Y.S., Um, N.Y., Park, S.M., 2015. Selection of native ground cover plants for sod culture in an organic apple orchard. *Korean J. Plant Res.* 28(5), 641-647.
- Jauker, F., Wolters, V., 2008. Hover flies are efficient pollinators of oilseed rape. *Oecologia* 156, 819.
- Jeong, J.S., Choi, S.Y., 1988. Diurnal activity of the honeybees on the blossoms of Apple Tree. *J. Apic.* 3(2), 16-21.
- Kim, D.S., Lee J.H., Jeon, H.Y., Yiem, M.S., Kim, K.Y., 1995. Community structure of phytophagous arthropods and their natural enemies at different weed management systems in apple orchards. *Korean J. Appl. Entomol.* 34(3), 256-265.
- Klein, A.M., Vaissiere, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Tschardtke, T., 2006. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.* B274, 303-313.
- Kovacs-Hostyanszki, A., Espindola, A., Vanbergen, A.J., Settele, J., Kremen, C., Dicks, L.V., 2017. Ecological intensification to mitigate impacts of conventional intensive land use on pollinators and pollination. *Ecol. Lett.* 20, 673-689.
- Lee, H.S., Lee, S.W., Ryu, H.K., 2000. The insects foraging on apple orchards in Kyungpook province. *J. Apic.* 15(1), 9-20.
- Lee, I.Y., Oh, Y.I., Hong, S.H., Heo, S.J., Lee, C.Y., Park, K.W., Cho, S.H., Kwon, O.D., Im, I.B., Kim, S.K., Seong, D.G., Chung, Y.J., Kim, C.S., Lee, J., Seo, H.A., 2017. Occurrence of weed flora and changes in weed vegetation in orchard fields of Korea. *Weed Turf. Sc.* 6(1), 21-27.
- Lee, K.U., Yoon, H.J., Park, I.G., Kwon, C.R., Lee, S.C., 2010. Survey on the current status of mason bees in apple orchard of Korea. *J. Apic.* 25(1), 53-61.
- Lee, K.Y., Lee, J.A., Han, H.H., Na, D.Y., Kim, S.Y., Yoon, H.J., 2016. The appropriate sex ratio and density of the mason bee (*Osmia cornifrons*) for apple pollination. *J. Apic.* 31(4), 337-349.
- Lee, K.Y., Lee, S.G., Lee, Y.B., Kim, N.J., Kim, J.H., Choi, Y.S., Kang, P.D., Yoon, H.J., 2014. Current status of honeybee production for pollination service in 2013. *J. Apic.* 29(4), 245-256.
- Lee, M., Kim, Y., Cho, K., 2018. Exploring community structure

- and function with network analysis: a case study of Cheonggye stream. *Korean J. Environ. Biol.* 36(3), 370-376.
- Lee, S.B., Lee, K.Y., Yoon, H.J., Park, I.G., Park, H.R., Ha, N.G., Kim, S.R., 2009. Characteristics and effects on pollinating activity according to the release numbers of *Osmia cornifrons* and *O. pedicornis* at the apple orchards. *J. Apic.* 24(4), 219-226.
- Lee, S.B., Seo, D.K., Choi, K.H., Lee, S.W., Yoon, H.J., Park, H.C., Lee, Y.D., 2008. The visited insects on apple flowers, and the characteristics on pollinating activity of pollinators released for pollination of apple orchards. *J. Apic.* 23(4), 275-282.
- Lee, Y.B., Chang, S.J., Park, H.C., Kim, M.A., Lee, M.L., 2003. The survey of foraging activities of honey bees (*Apis mellifera* Linne) and pollination effects on wild plants. *J. Apic.* 18(2), 117-126.
- Lundin, O., Ward, K.L., Artz, D.R., Boyle, N.K., Pitts-Singer, T.L., Williams, N.M., 2017. Wildflower plantings do not compete with neighboring almond orchards for pollinator visits. *Environ. Entomol.* 46(3), 559-564.
- Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. *Comput. Chem.* 3, 36-71.
- Martinez, N.D., 1992. Constant connectance in community food webs. *Am. Nat.* 139, 1208-1218.
- McNaughton, S.J., 1967. Relationships among functional properties of Californian grassland. *Nature* 216(5111), 168-169.
- Memmott, J., Waser, N.M., Price, M.V., 2004. Tolerance of pollination networks to species extinctions. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B-Biol. Sci.* 271, 2605-2611.
- Monotoya, J.M., Pimm, S.L., Sole, R.V., 2006. Ecological networks and their fragility. *Nature* 442, 259-264.
- Norfolk, O., Eichhorn, M.P., Gilbert, F., 2016. Flowering ground vegetation benefits wild pollinators and fruit set of almond within arid smallholder orchards. *Insect. Conserv. Divers.* 9, 236-243.
- Oh, H.W., Lee, M.L., Woo, K.S., 1989. Effect of pollinators on the fruit set of apple and pear trees. *J. Apic.* 4(2), 11-15.
- Olesen, J.M., Jordano, P., 2002. Geographic patterns in plant-pollinator mutualistic networks. *Ecology* 83, 2416-2424.
- Olesen, J.M., Bascompte, J., Dupont, Y.L., Jordano, P., 2007. The modularity of pollination networks. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104(50), 19891-19896.
- Pardo, A., Borges, P.A.V., 2020. Worldwide importance of insect pollination in apple orchards: a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 293, 106839.
- Pielou, E.C., 1975. *Ecological diversity*. Wiley, New York.
- Power, E.F., Stout, J.C., 2011. Organic dairy farming: impacts on insect-flower interaction networks and pollination. *J. Appl. Ecol.* 48, 561-569.
- R Development Core Team, 2020. R: a language and environment for statistical computing. The R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L.A., Garratt, M.P.D., Howlett, B.G., Winfree, R., Cunningham, S.A., Mayfield, M.M., Arthur, A.D., Andersson, G.K.S., Bommarco, R., Brittain, C., Carvalheiro, L.G., Chacoff, N.P., Entling, M.H., Foully, B., Freitas, B.M., Gemmill-Herren, B., Ghaxoul, J., Griffin, S.R., Gross, C.L., Herbertsson, L., Herzog, F., Hipolito, J., Jaggard, S., Jauker, F., Klein, A., Kleijn, D., Krishnan, S., Lemos, C.Q., Lindstrom, S.A.M., Mandelik, Y., Monteiro, V.M., Nelson, W., Nilsson, L., Pattemore, D.E., Pereira, N.O., Pisanty, G., Potts, S.G., Reemer, M., Rundlof, M., Sheffield, C.S., Scheper, J., Schuepp, C., Smith, H.G., Stanley, D.A., Stout, J.C., Szentgyorgyi, H., Taki, H., Vergara, C.H., Viana, B.F., Woyciechowski, M., 2016. Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113(1), 146-151.
- Sanchez, J.E., Edson, C.E., Bird, G.W., Whalon, M.E., Willson, T. C., Harwood, R.R., Kizikaya, K., Nugent, J.E., Klein, W., Middleton, A., Loudon, T.L., Mutch, D.R., Scrimger, J., 2003. Orchard floor and nitrogen management influences soil and water quality and tart cherry yields. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 128(2), 277-284.
- Shahbandeh, M., 2020. Global production of fruit by variety selected 2018. <https://www.statista.com/statistics/264001/worldwide-production-of-fruit-by-variety/> (accessed on 11 February, 2020).
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J., 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. Third edition. W. H. Freeman, New York.
- Son, M., Jung, S., Jung, C., 2019. Diversity and interaction of pollination network from agricultural ecosystems during summer. *J. Apic.* 34(3), 197-206.
- Statistics Korea, 2018. <https://kosis.kr/statisticsList> (accessed on 18 January, 2021).
- Tenhuberg, B., Poehling, H., 1995. Syrphids as natural enemies of cereal aphids in Germany: Aspects of their biology and efficacy in different years and regions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 52(1), 39-43.
- Warton, D.I., Hui, F.K.C., 2011. The arcsine is asinine: the analysis of proportions in ecology. *Ecology* 92(1), 3-10.
- Yoon, H.J., Lee, K.Y., Kim, M.A., Park, I.G., Kang, P.D., 2013. Characteristics on pollinating activity of *Bombus terrestris* and *Osmia cornifrons* under different weather conditions at apple orchard. *J. Apic.* 28(3), 163-171.
- Yoon, H.J., Lee, K.Y., Park, I.G., Kim, M.A., Kim, Y.M., Kang, P.D., 2012. Current status of insect pollinators use in apple orchards. *J. Apic.* 27(2), 105-116.