

메밀의 망실재배시 종자생산성 향상을 위한 수분곤충의 선발과 활용법 구명

김수정^{1†}, 손황배^{1†}, 남정환¹, 이종남², 서종택², 장동철³, 김유희^{4*}

¹농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구소, 농업연구사, ²농업연구관,

³농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지 작물연구소, 농업연구관, ⁴농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물과, 농업연구관

Selection and Application of Pollinating Insects to Improve Seed Production of Buckwheat in Net House

Su Jeong Kim^{1†}, Hwang Bae Sohn^{1†}, Jeong Hwan Nam¹, Jong Nam Lee², Jong Taek Suh²,
Dong Chil Chang³ and Yul Ho Kim^{4*}

¹Researcher and ²Senior Researcher, Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Pyeongchang 25342, Korea

³Senior Researcher, Bioenergy Crop Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea

⁴Senior Researcher, Central Area Crop, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea

Abstract - This study investigated field data to understand the spatio-temporal distribution of pollinating insects and buckwheat flowers. We set the in-situ observation sites in different locations to get altitude and cropping system distribution data for five years (2016 to 2020) in Korea. Twenty-five different insect species, belonging to 8 orders, were recorded. Over the past five years, species from the orders Diptera and Hymenoptera were the principal visitors. Hymenoptera was mainly represented by honey bees (*Apis cerana*), while Diptera was represented by bean seed fly (*Delia platura*) and several other species. Some bees and other Hymenoptera species could, however, act as co-pollinators because of their high relative frequency and activity. Compared with open-field cultivation (conventional), the pollination mediating effect of flies and bees was superior in net house, so the yield was high, and it was also found to be slightly higher in the mixed treatment of flies and bees than in the single treatment. Based on the above results, flies and bees were found to be the most active pollinating insects in buckwheat and it is necessary to actively utilize the selected insects to improve buckwheat productivity. This relationship will be utilized in establishing the system of seed production on pollinating regulation of a primary plant.

Key words – Bees, Flies, Pollination, Seed production

서 언

메밀(*Fagopyrum esculentum* Moench)은 우리나라를 포함
한 아시아, 북미 및 유럽에서 오랫동안 재배되고 있는 마디풀과
의 일년생 작물이다(Campbell, 1997; Kim *et al.*, 2020). 최근
(2016–2019년) 우리나라 메밀 재배면적은 2,330–3,177 ha, 생

산량은 1,624–1,892 톤으로 건강한 먹거리를 선호하는 소비패
턴의 변화로 재배면적 및 생산량은 증가 추세에 있다(KOSIS,
2020).

메밀은 자가수분을 억제하여 유전적 다양성을 확보하는 자
가불화합성 작물로서 생리적 기작으로 암술과 수술의 형태가 다
른 이형예현상(heterostylism)을 나타낸다(Free, 1993; Quinet
et al., 2004). 꽃 형태에는 2가지 유형(장주화 또는 단주화)이
있으며, 장주화는 수술보다 약 2–3 mm 높게 돌출된 긴 암술대를
가지고 있으나 단주화는 암술보다 긴 수술을 갖고 있으며, 장/

*교신저자: E-mail kimyuh77@korea.kr

Tel. +82-31-695-4050

† These authors contributed equally to this work.

© 본 학회지의 저작권은 (사)한국자원식물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

단주화가 50:50으로 거의 동일한 비율로 꽃을 피운다(Björkman, 1995b; Namai and Fujita, 1995; Quinet *et al.*, 2004).

메밀의 수분은 바람에 의해 일어날 수 있지만, 대부분의 수분은 곤충에 의해 이루어지는 것으로 보고되고 있다(Halbrech *et al.*, 2005; Lee and Choi, 1997; Marshall and Pomeranz, 1982). 메밀의 방화곤충으로 벌목(Hymenoptera), 파리목(Diptera) 등 다양한 종이 있는 것으로 보고되었다(Campbell *et al.*, 1997; Carreck and Williams, 2002; Goodman *et al.*, 2001; Hedtke and Pritsch, 1993; Wang and Li, 1998). 또한, 많은 나라에서 꿀벌을 메밀의 주요 수분곤충으로 사용하고 있으며, 생산성을 높이기 위해 꿀벌을 도입할 것을 권장하고 있다(Björkman, 1995a; Dalby, 2000; Wang and Li, 1998). 그러나, 전체 메밀꽃 방화곤충 중에서 꿀벌의 비율은 일본 5%, 중국 35%, 러시아 37%에 불과하다고 하였다(McGregor, 1976; Ogasahara *et al.*, 1995). 우리나라 야생식물과 작물의 방화곤충 목별 종수와 비율을 보면 벌목이 33.5%(165종)로 가장 많았으며, 다음으로 파리목 29.1%(143종), 딱정벌레목 19.3%(95종), 나비목 12.6%(62종)로 나타났다. 이 중에서 작물의 수분곤충 분류군별 비율은 벌목이 35.0%로 가장 높은 비중을 차지하고, 다음으로 파리목이 31.3%이며, 기타 딱정벌레목과 나비목도 일부 보고하였다(Hong *et al.*, 2017). 수분곤충은 농업 생산성 향상뿐만 아니라, 생태계 내 1차 생산자의 지속성 유지라는 측면에서 자연생태계의 구조와 기능을 유지하는데 있어서도 중요한 역할을 담당하고 있다(Hong *et al.*, 2017).

수분곤충은 종자 생산에 결정적 영향을 미친다. 수분곤충이 불충분할 경우 낮은 종자생산성으로 이어질 수 있다(Björkman and Pearson, 1995). 따라서, 기후 변화에 따른 메밀 생산단지의 수분곤충 발생 및 출현양상 변화에 대한 추적 연구와 주요 수분곤충과 작물 간 상호관계 구명은 메밀 종자 생산을 위한 효율

적인 체계 구축에 중요한 기초자료로 활용될 수 있다. 또한, 수분곤충이 농작물 수분에 직·간접적으로 관여하여 생물다양성에 중요한 역할을 함에 따라(Hong *et al.*, 2017), 메밀의 방화곤충 및 수분에 관한 연구는 기후변화 등 환경변화로 초래되는 생태계의 변화와 적응에 관한 주요 지표로도 활용될 수 있다는 측면에서 중요하다.

대표적인 이형예현상을 나타내는 메밀은 작물 고유의 특성으로 인해 종자보급을 위한 격리 채종시 수분곤충이 반드시 필요하다. 그러나, 메밀의 경우 수분곤충의 종류와 종자생산성의 연관성에 대한 연구 결과는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구는 메밀의 주산단지, 해발고도 및 재배작형별 방화곤충의 종류와 밀도를 조사하였다. 이를 통해 다양한 환경 조건에서 안정성이 높은 수분곤충을 선발하고 농업형질과의 상호관계를 구명함으로써 품질이 우수하고, 생산성이 높은 종자생산 체계를 구축하고자 하였다. 이러한 연구결과는 타가수정(cross fertilization) 작물인 메밀의 품종 육성 및 기본식물 종자 채종체계에 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

재료 및 방법

주산단지의 메밀 방화곤충 종류와 밀도

1년 차(2016년)에는 메밀 주산지인 강원도 평창군 봉평면 메밀밭에서 메밀꽃이 피는 시기인 2016년 8월 31일부터 9월 12일까지 방화곤충의 종류와 밀도를 조사하였다. 조사방법은 포충망을 이용해서 메밀꽃을 중심으로 10회 쓸어담아 포충망 안에 있는 곤충을 조사하는 쓸어담기와 노란색과 파란색의 점착트랩(Sticky trap, plastic 25 × 15 cm)을 각각 8개씩 메밀꽃 높이(70–100 cm)에 맞추어 설치하고 트랩별로 수집된 방화곤충을 계수하는 방법으로 하였다(Fig. 1).



Fig. 1. Surveying methods for visiting insects of buckwheat during the flowering season. A: Swiping method to collect visiting insects at random, B: Traps in fields, C: Trapped insects in yellow sticky trap, and D: Trapped insects in blue sticky trap.

해발고도별 메밀 재배지역의 방화곤충 종류와 밀도

2년 차(2017년)에는 해발고도별로 농가와 연구소 포장에서 ‘양절메밀’ 품종을 7월 중순–9월 하순까지 재배하였으며, 개화기인 8월 31일부터 9월 11일까지 점착트랩을 8개씩 설치하여 방화곤충 종류와 밀도를 조사하였다. 방화곤충 조사는 트랩 내 점착 물질이 있는 부분에 잡힌 개체수를 계수하는 방법으로 하였으며, 각 해발고도별로 채집된 개체를 대상으로 형태 분류를 기본적으로 수행하였다. 또한 형태 분류가 어려운 파리목에 대해서는 필요에 따라 mitochondrial encoded cytochrome c oxidase I (mtCOI) 마커를 사용한 분자 동정도 활용하였다. 파리목 시료의 일부 유충은 성체단계의 형태학적 형태를 위해 실험실에서 사육되었으며, 여러 개별 유충의 genomic DNA를 DNAzol (Molecular Research Center, Cincinnati, OH, USA)으로 10마리 이상의 유충 또는 성충의 genomic DNA (population pooled genomic DNA)를 직접 추출하고 Nanodrop (NanoDrop Technologies, Wilmington, DE, USA)으로 정량화하였다. 범용 프라이머(LCO1490 and HCO2198, Macrogen co., Seoul, Korea)를 활용하여(Folmer *et al.*, 1994), 1 U TOYOBO KOD-FX TaqTM (Toyobo Life Science, Osaka, Japan), 2X 완충액(15 mM MgCl₂ 포함)을 혼합하였다. 파리목의 개별 또는 풀링된 genomic DNA, 0.2 mM 각각 dNTP, 0.5 μM 각각 프라이머를 사용하여 PCR 반응에서 추출한 DNA를 증폭하였다. PCR 산물을 염기서열 분석한 결과를 BLAST 분석을 통해 종을 동정하였다. 분자 종동정에 관련한 기본적인 실험 방법은 기존에 보고된 방법과 거의 동일하게 수행하였다(Nam *et al.*, 2020).

재배지역은 해발고도별로 강릉(강원도 강릉시 견소동, 북위 37°46′, 동경 128°56′, 해발 6 m), 진부(강원도 평창군 진부면, 북위 37°35′, 동경 128°33′, 해발 505 m), 봉평(강원도 평창군 봉평면, 북위 37°36′, 동경 128°22′, 해발 554 m), 대관령(강원도 평창군 대관령면, 북위 37°40′, 동경 128°43′, 해발 764 m) 등 4개 지역에서 수행하였다.

해발고도별 기상자료는 시험포장이 위치하고 있는 가까운 기상청 기상자료 개방 포털(KMA Weather Data Service Open MET Data Portal, 2021)의 자료를 수집하였으며, 종관기상관측장비(Automated Synoptic Observing System, ASOS)와 방재기상관측장비(Automatic weather system, AWS)의 자료를 활용하였다. 강릉과 대관령은 ASOS 자료로, 진부와 봉평은 AWS 자료로 평균온도, 최고온도, 최저온도, 누적강수량 및 풍속 등 기상요소를 활용하였다.

재배작형별 메밀 방화곤충 종류와 밀도

3년차에서 5년차(2018–2020년)는 지역별 재배적기에 ‘양절메밀’ 품종을 봄·가을 파종하여 수분곤충의 활동이 가장 왕성한 개화기 동안 점착트랩을 12일간 설치하여 재배작형별 방화곤충의 차이를 비교하였다.

재배지역은 제주(제주 서귀포시 성산면 북위 33°24′, 동경 126°52′, 해발 75 m), 강릉(강원도 강릉시 견소동, 북위 37°46′, 동경 128°56′, 해발 6 m), 봉화(경상북도 봉화군 소천면, 북위 36°54′, 동경 129°01′, 해발 315 m), 대관령(강원도 평창군 대관령면, 북위 37°40′, 동경 128°43′, 해발 764 m) 등 총 4지역에서 수행하였다. 재배작형별로 봄재배는 2019년(4–7월)과 2020년(4–7월)년에 수행하였고, 가을재배는 2018년(7–10월)과 2019년(7–10월)에 수행하여 각각 2회 평균 데이터를 사용하여 방화곤충 종류와 밀도를 수치와 비율로 나타내었다.

재배작형별 기상자료는 기상청 기상개방 포털 자료(KMA Weather Data Service Open MET Data Portal, 2021)를 통해 기상요소를 분석하였고, 이에 따른 봄재배와 가을재배의 생산성을 비교하였다.

수분곤충 처리에 따른 메밀 종자 생산성 비교

식물체 당 주요 수분곤충의 화분매개효과를 구명하기 위해 대관령(해발고도 764 m) 시험포장에서 2018년 7월 26일에 ‘양절메밀’을 소형화분(Ø 10 cm)에 종자 2립을 파종하는 방법으로 40개의 화분을 한 처리구로 구성하여 처리별로 망실(3 × 6.5 m, h = 160 cm)을 설치하였다.

메밀밭 종자 생산성 향상을 위한 수분곤충의 화분매개효과를 구명하기 위해 대관령(해발고도 764 m) 시험포장에서 2018년부터 2020년까지 3년간 가을재배로 7월 중·하순에 ‘양절메밀’을 파종하였다. 메밀은 표준재배법에 준하여 재배하였으며(RDA, 2016), 30 cm 간격으로 줄뿌림하였다. 망실재배조건에서 메밀이 10% 개화하였을 때인 8월 중순부터 수분곤충을 단독 또는 혼합처리하고 처리별 종자 생산성을 비교하였다. 시험은 ① 노지 자연방입 처리(관행, 대조구), ② 망실 내 곤충을 넣지 않는 곤충 무방사 처리(무처리), ③ 망실 내 파리 단독처리(파리), ④ 망실 내 뒤영벌 단독처리(벌), ⑤ 망실 내 파리와 뒤영벌을 함께 두는 혼합처리(파리+벌) 등 5처리로 수행하였다. 노지(관행)는 자연방입으로 격리를 하지 않고 시험포장내에서 일반농가에서와 같이 관행적인 방입상태로 재배하였다. 파리 처리구는 격리된 케이지에 돼지 허파를 이용하여 유충, 번데기, 성충으로 증식된 파리 약 100마리 내외를 꽃이 10%로 피기 시작할 때 망실에

투입하여 수분활동을 하게 하였다. 뒤영벌 처리구는 (주)경농에서 뒤영벌(*Bombus terrestris* Biobest Group NB, Westerlo, Belgium)을 구입하여 1일 정도 안정화시킨 후 격리망실에 설치하였으며, 구획(3 × 6.5 m, h = 160 cm)당 수분활동에 가장 적합한 뒤영벌 50봉군을 방사하였으며(Lee *et al.*, 2013), 혼용처리구는 파리 단용처리(100마리)와 뒤영벌 단용처리(50봉군)을 한 구획내에 동시에 투입하였다.

수분곤충별 생산성 증가 효과를 확인하기 위하여 실험구내에 80% 종실이 익었을 때인 10월 상·중순에 m²당 g으로 환산하여 생산성 등을 조사하였다. 식물체 당 결실률, 종자수, 종자무게 및 천립중을 측정하였다. 천립중은 정밀종자계수기(WAVER IC-250, AIDEX, Nagoya, Japan) 이용하여 1,000립을 계수한 후 무게를 측정하는 방법으로 조사하였다.

통계분석

방화곤충 종류와 밀도에 대한 데이터는 평균값과 표준편차로 표시하였으며, ANOVA test를 수행하였다(SAS Statistics ver. 9.4(SAS, 2019)). 수분곤충별 화분매개효과에 대한 메밀의 농업적 형질을 평가하기 위해 R analysis을 사용하였다. 그 중에서 상가적인 주효과와 다양한 상호작용(Additive Main Effects and Multiplicative Interaction, AMMI) 모델을 이용하여 수량성을 평가하기 위해 R analysis (R studio i386 4.0.3, R Studio inc, Boston, MA, U.S.A.)을 사용하였으며, ‘agricolae’ 라이브러리(library)를 호출하여 수량 데이터를 계산하였다(R Studio Team, 2019; Park *et al.*, 2016; Yan and Rajcan, 2002). 각 처리군의 수량에 대한 안정성을 평가하기 위한 지표값인 ASV (AMMI stability value)는 상호작용 주성분1(Interaction Principal Analysis 1, IPCA1)과 IPCA2 점수에 기초하여 계산하였다(Purchase, 1997).

결과 및 고찰

주산단지의 메밀 방화곤충 종류와 밀도

메밀은 자연상태에서 수분·수정되기 위해서는 방화곤충의 역할이 필수적이다. 메밀 주산단지인 봉평지역의 메밀 개화시기에 비례하는 방화곤충 밀도는 파리목(Diptera)이 71%로 대부분을 차지하고, 그 다음으로 나비목(Lepidoptera), 벌목(Hymenoptera), 딱정벌레목(Coleoptera)이 각각 13%, 9%, 5% 순이었다(Fig. 2A). 트랩별로 보면 등애류 등 작은 곤충 유인에 효과적인 노란색 점착트랩에는 파리목이 39%, 벌목이 33%, 나비목이 18%로 다양한 곤충이 균일하게 포집되었다(Fig. 2B). 파란색 점착트랩의 경우 파리목이 80%로 압도적으로 높은 비율을 보였으며, 나비목, 딱정벌레목, 벌목은 3-11%로 낮게 나타났다(Fig. 2C).

기존에 수행된 연구 결과에서도 트랩의 색깔에 따라서 유인되는 곤충의 종류가 다름이 확인되었다. 색깔 점착트랩은 간단하고 저렴한 방법으로 곤충의 밀도를 모니터링 하는 효과적인 도구가 될 수 있으며, 상업적으로 많이 사용하고 있다(Pobozniak *et al.*, 2020). 점착트랩 색깔 중 노란색 트랩은 진딧물, 가루이 잎벌레 성충을 모니터링하는데 유용하며(Lu *et al.*, 2012), 파란색 트랩은 파리나 총채벌레 등을 모니터링하는데 이용된다(Howard and Wall, 1998; Murai, 2001). 특히, 파리목 곤충의 경우 매우 발달된 시각을 이용한 먹이 탐색, 사냥이 빈번히 일어나며, 파리목은 꽃에 유인되는 경우가 아니기 때문에 보통 파란색에 더 유인이 잘 된다(Bell *et al.*, 2019; Hardie, 1986). 왜냐하면, 파리는 파란색(490 nm)과 노란색(570 nm) 파장 중 파란색에 민감한 것으로 알려져 있으며(Hardie, 1986), 파리목의 대부분이 더 어두운 색깔(파란색, 검은색 등)을 선호하기 때문이다. 짙은 파란색 트랩은 노란색 트랩보다 주변환경 및 식생에 더 강한 대비를 제공하기 때문이다(Hecht, 1970; Howard and Wall, 1998).

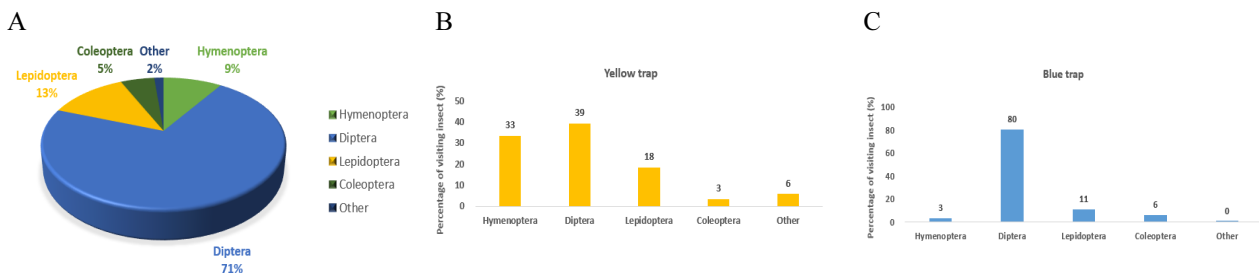


Fig. 2. Representative order (A) based on insect populations in common buckwheat field in Bongpyeong region, Pyeongchang for 12 days (Aug. 31.-Sep. 12.) in 2016. Numerical comparison of the visiting insects in buckwheat field using (B) Yellow and (C) Blue sticky traps.

개화기 메밀꽃의 꿀샘에 있는 sugar와 같은 compound는 수분곤충이 선호하는 물질이며, 수분곤충은 메밀이 발산하는 여러 화합물에 반응하여 이끌린다는 보고가 있다(Björkman, 1995a; Goodman *et al.*, 2001; Kirilenko and Bochkaryeva, 1983).

수분(pollination)은 암술머리에 같은 종의 다른 식물체 유래의 화분이 안착하여 종자를 생산하는 과정으로, 수분방법은 풍매(바람매개) 또는 충매(곤충매개) 등으로 다양하게 진화되었다(Hong *et al.*, 2017).

국내 110여편(1962~2017년)의 논문에서 수분곤충은 8목 87과 288속 492종으로 보고되었다. 이 중 벌목이 33.5%(165종)로 가장 중요한 수분곤충의 역할을 하는 것으로 언급되고 있으며, 파리목(29.1%, 143종), 딱정벌레목(19.3%, 95종), 나비목(12.6%, 62종) 순이었다(Hong *et al.*, 2017). 본 연구에서도 파리목과 벌목이 메밀의 주요 수분곤충 역할을 하는 것으로 구명되어 기존 연구와 일치하는 경향을 나타내었다. 따라서, 메밀에서는 파리 및 벌이 가장 활발한 화분 매개체(pollinator) 역할을 하는 것으로 판단된다.

해발고도별 메밀 재배지역의 방화곤충 종류와 밀도

메밀은 생육 기간이 70~80일로 짧아 다양한 작부체계에 활용이 가능하고 무엇보다 재배기간 동안 농약을 거의 사용하지 않는 장점이 있다. 본 연구의 조사 데이터에서도 메밀을 재배하였을 때 많은 수의 곤충이 유인되어 다양한 개체군의 곤충이 서

식하고 있음이 확인되었다. 이처럼 메밀은 농업 생산성 향상뿐만 아니라, 다양한 곤충과 연관된 자연생태계의 구조와 기능을 유지하는데도 중요한 역할을 담당하고 있는 것으로 생각된다.

해발고도별로 메밀 개화시기의 방화곤충 종류를 조사한 결과, 파리목, 벌목, 나비목 등 8목 25종의 곤충이 관찰되었다(Table 1). 해발고도별로는 진부(505 m)에서 파리목이 98%로 가장 많았으며, 다음으로 봉평(554 m) 77%, 대관령(764 m) 72%, 강릉(6 m) 50% 순으로 나타났다. 이처럼 파리목의 비율이 해발고도 500 m 이상의 고랭지에서 높고, 평간지인 강릉에서 낮게 나타났다. 강릉의 9월초 기온은 고랭지보다 비교적 따뜻하여 진딧물목, 딱정벌레목, 매미목 등 다양한 곤충이 발생하였다.

관찰된 파리목으로는 주로 집파리류(*Muscidae* spp.), 연두금파리(*Lucilia illustris*), 고자리파리(*Delia antiqua*), 초파리(*Drosophila* spp.), 등에류(*Tabanidae* spp.) 등이었다. 채집된 4개 지역에서 파리목 개체의 염기서열 분석 후 BLAST 분석을 수행결과, 고자리파리(*Delia antiqua*)가 강릉, 봉평, 진부, 대관령 4지역에서 모두 동정되었고, 집파리과(*Muscidae*)에 속하는 *Limnophora triangula*는 대관령에서만 동정되었고, 큰검정뺨금파리(*Chrysomya pinguis*)와 대풍꽃등애(*Sphaerophoria macrogaster*)는 지역별로 샘플링이 되지 않았고 돼지허파에서만 발견되었으며, 검정딸집파리(*Fannia prisca*)는 봉평에서 동정되었다(Table 2).

벌목(Hymenoptera)에서는 꿀벌(*Apis mellifera*, *A. cerana*),

Table 1. Numerical comparison of the visiting insects to buckwheat flower according to altitude

Inset order	Region (altitude)	Number of visiting insects				Mean of four regions
		Gangnung (6 m)	Bongpyeong (554 m)	Jinbu (505 m)	Daegwallyeong (764m)	
Hymenoptera		25 (4) ^z	25 (3)	33 (1)	37 (9)	30 (4)
Diptera		287 (50)	664 (77)	4,989 (98)	283 (72)	1,556 (74)
Lepidoptera		11 (2)	7 (1)	18 (0)	10 (3)	12 (1)
Coleoptera		27 (5)	24 (3)	8 (0)	6 (2)	16 (2)
Hemiptera		8 (1)	20 (2)	11 (0)	7 (2)	12 (1)
Homoptera		23 (4)	0 (0)	0 (0)	3 (1)	7 (1)
Sternorrhyncha		191 (33)	114 (13)	9 (0)	42 (11)	89 (14)
Trichoptera		0 (0)	0 (0)	0 (0)	4 (1)	1 (0)
Others		0 (0)	8 (1)	5 (0)	3 (1)	4 (0)
Sum (%)		572 (100)	862 (100)	5073 (100)	395 (100)	- (100)

^zValue (percentage) of insect visitors based on buckwheat flower field in Gangnung, Bongpyeong, Jinbu, and Daegwallyeong region, Gangwon province for 12 days (Aug 31-Sep. 12) in 2017.

Table 2. Summary of BLAST results of the mtCOI partial sequence of Diptera collected from buckwheat fields in four regions

Diptera species	E value	Identity	Accession	Region
<i>Delia platura</i>	0	99%	KY844861.1	Gangneung, Bongpyeong, Jinbu, Deagwallyeong and Pig lug
<i>Limnophora triangula</i>	0	93%	KC626326.1	Deagwallyeong
<i>Chrysomya pinguis</i>	0	99%	KT894996.1	Pig lug
<i>Sphaerophoria macrogaster</i>	0	99%	KR662069.1	Pig lug
<i>Fannia prisca</i>	0	99%	JX861413.1	Bongpyeong and pig lug

Table 3. Meteorological mean data for four buckwheat cultivation sites in Korea

Meteorological data ²	Region (altitude)	Gangnung (6 m)	Bongpyeong (554 m)	Jinbu (505 m)	Daegwallyeong (764m)	Mean of four regions
	Average temp. (°C)		22.0±1.8 ^y	17.0±1.3	16.9±1.6	15.2±1.5
Maximum temp. (°C)		26.6±2.1	23.8±2.1	24.1±2.4	21.3±2.6	13.0±3.6
Minimum temp. (°C)	Accumulated	18.1±2.4	12.0±2.3	12.0±2.9	9.7±2.9	23.9±2.2
precipitation (mm)		14.3±9.7	10.0±2.5	12.0±2.9	14.1±6.2	12.6±2.0
Wind speed (m/s)		4.2±0.5	6.1±1.6	7.8±2.3	4.3±0.9	5.6±1.7

²All data values were obtained from KMA Weather Data Service Open MET Data Portal in Korea Meteorological Administration (NCDSS). (<http://data.kma.go.kr>). Meteorological data represents the August 31 to September 12, 2017 climate average for the buckwheat flowering period, including temperature, precipitation, and wind speed.

³Mean±Standard deviation (Mean±SD).

무잎벌(*Athalia rosae*), 말벌(*Vespa* sp.), 기생벌(*Diadegma* sp.) 등이 관찰되었다. 특히 기생벌의 발견은 메밀이 작물 시스템 내에서 천적곤충을 유인하는 작물로 사용될 수 있음을 시사한다. 나비목(Lepidoptera)에는 파밤나방(*Spodoptera exgua*), 배추좀나방(*Plutella xylostella*) 등이 있었으며, 딱정벌레목(Coleoptera)으로는 무당벌레(*Harmonia* sp.), 벼룩잎벌레(*Phyllotreta striolata*), 먼지벌레(*Anisodactylus* sp.) 등이 있었다.

해발고도별 메밀 재배지역의 기상환경을 분석한 결과는 다음과 같다(Table 3). 메밀 개화기간(8월 31일-9월 12일) 동안의 해발고도별 평균기온은 강릉(6 m)이 22.0°C로 봉평(554 m) 17.0°C, 진부(505 m) 16.9°C, 대관령(764 m) 15.2°C보다 5.1-6.8°C 높았다. 재배기간 중 최저, 최고온도 범위는 강릉 18.1-26.6°C, 봉평 12.0-23.8°C, 진부 12.0-24.1°C, 대관령 9.7-21.3°C으로 해발고도별로 차이를 보였다. 꽃이 수정되는 시기인 9월 상순의 평균온도는 대관령, 진부, 봉평 지역의 경우 15.2-17.0°C 범위를 보여 방화곤충이 활동하기에 적합한 환경이었으나 강릉 지역은 최고온도가 26.6°C로 다른 지역보다 높은 것으로 나타났다. 메밀의 경우 재배지역의 기상조건 등 생육 환경이 수량과 품질에 영향을 미치므로 파종부터 수확까지의

온도가 중요하다고 하였다(Kim and Kim, 2018). 메밀이 발아할 때의 최적온도는 21~31°C이지만, 전체 생육기간 동안은 18~21°C가 최적조건이다(Jung *et al.*, 2015). 재배온도 20°C에 비해 30°C도에서 자란 메밀이 배낭 형성 비율이 낮았으며, 통계적으로도 유의한 차이를 보였다고 하였다(Hornýák *et al.*, 2020; Płażek *et al.*, 2019). 또한, 고온조건(30°C)이 영양생장기의 메밀 생장에 유리하게 작용하였으나, 배발달은 20°C에서 좋았다고 하였다(Kopéc *et al.*, 2021).

이러한 연구결과를 고려해 볼 때 강릉 지역보다는 대관령, 진부, 봉평 등 고랭지 지역이 메밀 생산성 증대에 유리할 것으로 판단된다. 한편, 메밀재배지의 개화기간 동안의 누적 강수량은 10.0-14.3 mm로 지역별로 약간의 차이를 보였으며, 4개 지역 평균은 12.6 mm였다. 이러한 수준의 강수량은 방화곤충의 활동에 영향을 주지 않았을 것으로 판단된다. 강풍주의의 기준은 풍속 14 m/s 이상 또는 순간풍속 20 m/s 이상인 것을 감안하면, 시험기간 동안 풍속 데이터는 4.2-7.8 m/s로 크지 않아 강풍의 영향은 크지 않았음을 알 수 있었다.

기존 연구에서 꽃의 종류에 따라 방화하는 곤충이 다르며, 개화시기의 기상 등 여러가지 요인이 복합적으로 관여한다고 하였다(Lee *et al.*, 2007; Ogasahara *et al.*, 1995; Sim *et al.*,

1998). 본 연구에서 메밀의 주요 방화곤충이 파리목, 벌목 등 특정 곤충 종류를 보이는 것은 앞으로 메밀 꽃 특성과 방화곤충의 상호관련성을 정밀하게 연구하는데 도움이 되는 중요한 정보가 될 수 있을 것으로 생각된다.

재배작형별 메밀 방화곤충 종류와 밀도

메밀을 봄재배(2019–202년)와 가을재배(2018–2019년) 작형별로 나누어 강릉, 대관령, 봉화, 제주 등 4개 지역에서 방화곤충 밀도를 조사하였을 때, 방화곤충은 가을재배(9월)보다는

봄재배(6월) 작형에서 많이 관찰되었다(Table 4). 봄재배에서 방화곤충의 종류는 파리목이 71%로 가장 많았으며, 진딧물목, 노린재목, 딱정벌레목, 벌목 순으로 관찰되었다. 가을재배에서 방화곤충은 파리목이 59.4%로 가장 많았으며, 진딧물목, 벌목, 노린재목 순으로 관찰되었다. 파리목은 봄재배가 71.0%로 가을재배의 59.4%보다 1.2배 정도 높은 비율을 보였으나, 벌목의 경우 가을재배가 8.0%로 봄재배 1.7%보다 4.8배 월등히 많은 것으로 관찰되었다. 4지역 2작형 모두에서 가장 많이 관찰된 파리목에는 집파리, 연두금파리, 고자리파리, 기타 초파리류가 주로 관

Table 4. Seasonal variation in insect visitors of buckwheat flowers in four cultivation regions in spring and autumn season

Insect pollinators	Season (Month)	Number of insect visitors (%)		
	Spring (June)	Autumn (September)	Mean	
Hymenoptera	34^z (1.7) c^y	62 (8.0) bc	48 (5) c	
Diptera	1,453 (71.0) a	461 (59.4) a	957 (65) a	
Lepidoptera	13 (0.6) c	27 (3.5) c	20 (2) c	
Coleoptera	60 (2.9) c	20 (2.6) c	40 (3) c	
Hemiptera	64 (3.1) c	39 (5.0) bc	51 (4) c	
Homoptera	10 (0.5) c	19 (2.5) c	15 (1) c	
Sternorrhyncha	408 (19.9) b	143 (18.4) b	276 (19) b	
Trichoptera	1 (0.0) c	3 (0.4) c	2 (0) c	
Others	2 (0.1) c	4 (0.5) c	3 (0) c	
Sum (%)	2,047 (100)	776 (100)	1,412 (100)	
<i>p</i> value	18.95***	26.57***	36.17***	

^zValues were based on 12 days detector in 180 m² quadrants in buckwheat field, four main cultivation regions in spring cultivation (2019-2020), and autumn cultivation (2018-2019).

^yMeans with the same letter in a column are not significantly different according to DMRT (5%).

Table 5. Seasonal Meteorological data for four buckwheat cultivation sites in Korea

Meteorological data ^z	Season (Month)	Spring (June)	Autumn (September)	Mean (two seasons)
	Average temp. (°C)		19.7±1.8 ^y	18.2±1.4
Maximum temp. (°C)		24.9±2.1	22.7±1.5	23.8±1.8
Minimum temp. (°C)		14.7±2.4	14.3±1.5	14.5±2.0
DIF		10.2±2.5	8.4±0.8	9.3±1.7

^zAll data values were obtained from KMA Weather Data Service Open MET Data Portal in Korea Meteorological Administration (NCDSS). (<http://data.kma.go.kr>). Meteorological data represents average temperature, maximum temperature, minimum temperature and DIF (different between day and night temperature) in buckwheat flowering time, four main cultivation regions in spring cultivation (2019-2020), and autumn cultivation (2018-2019).

^yMean±Standard deviation (Mean±SD).

찰되었으며, 벌목에서는 꿀벌, 무잎벌, 기생벌 등이 발견되었다.

메밀 재배작형에 따른 개화기간 동안 온도를 측정된 결과 봄 재배는 평균 19.7°C 가을재배는 18.2°C였다. 최고온도는 봄재배가 2.2°C로 봄재배가 높았다(Table 5). 수량은 봄재배의 경우 97.9 g/m²로 가을재배의 59.9 g보다 높게 나타났다(Fig. 3). Lee and Choi (1997)는 메밀 봄재배 작형에서 방화곤충의 활동을 조사한 결과 파리목이 68%로 가장 많았고, 그 다음으로는 벌목이 21%로 조사되었고 하였다. 여름재배의 경우 벌목이 56.5%로 밀도가 가장 높았고 다음으로 파리목이 39.1%였다고 하였다. 이처럼 계절에 따라 다소의 차이가 있으나 메밀의 방화곤충으로 파리류가 매우 중요한 역할을 한다는 결과는 본 연구와 일치하는 것으로 나타났다.

개화식물 중의 약 90%가 수분곤충에 의존하고 있으며(Klein

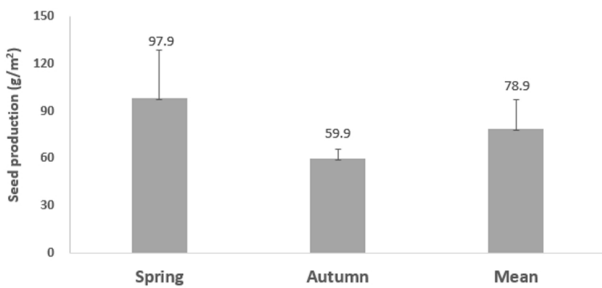


Fig. 3. Seed production of seasonal variation in insect visitors in four cultivation regions in spring (2019-2020) and autumn season (2018-2019).

et al., 2007), 수분곤충과 개화식물 간의 상호작용 네트워크는 민감하게 연결되어 있다(Willmer, 2012). 예를 들면 메밀의 환경 조건의 변화에 따라 꽃 피는 시기가 달라질 수 있고 이에 따라 수분곤충 생태계에서 주 발생 지역이나 주 수분시기 등에 영향을 미칠 수 있다(Potts et al., 2010; Tylianakis et al., 2008). 따라서, 메밀의 주산단지 4지역을 중심으로 메밀의 방화곤충 종류와 밀도를 분석하여 실제 현장에서 효율적으로 정보를 활용하고자 하였다.

파리목은 농업 생태계 내에서 매우 풍부하고 다양한 수분 매개체로서의 역할을 담당하며(Orford et al., 2015), 특히, 꽃등예과(Syrphidae) 곤충은 많은 식물의 꽃가루 매개자 역할과 농업 환경에서 중요한 포식자 역할을 동시에 수행한다(Ssymank et al., 2008). 진딧물의 포식자로 알려져 있으며 다양한 농업 환경에서 진딧물이 꽃등예과 개체군을 유지하는 데 중요한 역할을 한다고 하였다(Miller et al., 2013). 해발고도(Table 1) 및 재배작형별(Table 4) 메밀 재배지역에서 진딧물목과 꽃등예과의 발생빈도가 높은 것은 이러한 관계를 설명해 주는 근거 자료로 활용될 수 있다.

한편, 메밀은 꿀벌을 유인하기 좋은 꿀샘을 가지고 있으며(Myers and Meinke, 1994), 아침에 주로 꿀샘이 열리므로 곤충의 활동은 아침 시간에 가장 활발하다고 하였다(Hedtke and Pritsch, 1993). 본 연구에서도 파리목과 함께 벌목이 많이 관찰되었는데 이중 상당수가 꿀벌이었다. 특히, 꿀벌은 장주화와 단주화의 꽃가루를 모두 수집하기 때문에 메밀의 수분에 효과적

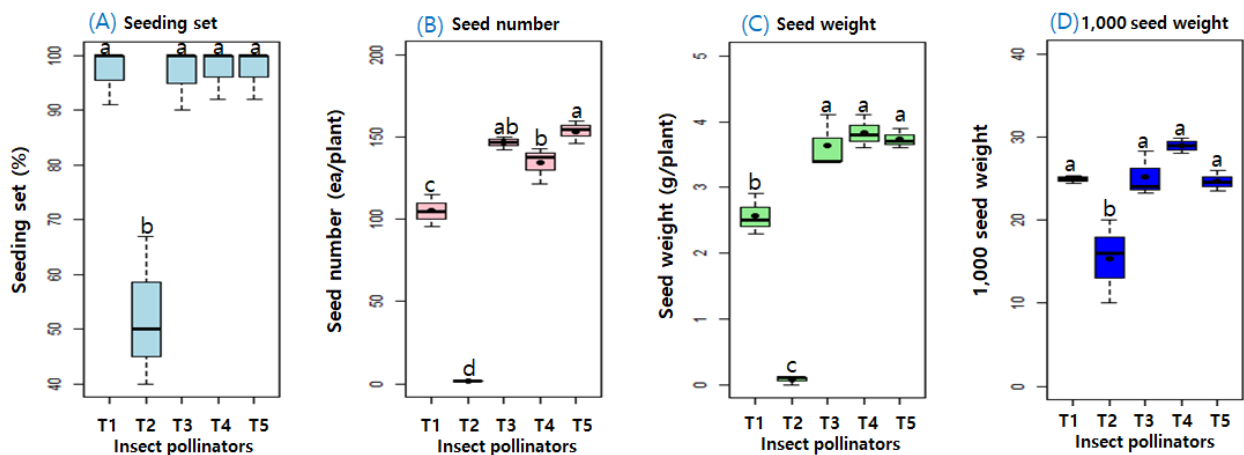


Fig. 4. The rate of seeding set (A), seed number (B), seed weight (C), and 1,000 seed weight (D) by treat of insect pollination at cultivar ‘Yangjul-memil’ flowering period of buckwheat at pot plant in 2018. T1, Open field (control); T2, Without insect in the net house; T3, With flies in the net house; T4, With bees in the net house; T5, flies and bees in the net house. The rate of seeding set, number of seeds, and weight of seeds differed significantly among insect pollinators of buckwheat (ANOVA Test, $p < 0.05$) and was affected insect pollinators. Means with the same letter in a figure are not significantly different according to DMRT (5%).

인 매개체라고 하였다(Björkman, 1995a; 1995b). 화분매개 효과는 기본적으로 화분매개 곤충의 다양성 또는 풍부도에 따라 달라진다. 다양한 벌들이 많은 개체수로 존재한다면 화분매개는 더 잘 이루어질 수 있다. 따라서 국내 메밀의 생산성 향상을 위해서는 수분곤충으로 파리목과 벌목을 활용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

수분곤충에 따른 메밀 종자 생산성 비교

주요 수분곤충의 메밀 화분매개에 따른 생산성을 비교한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 수분곤충 처리구의 결실률은 96.2~97.4%로 높았으나, 망실(무처리)은 52.2%로 낮았다(Fig. 4A). 식물체당 종자수는 파리와 뒤영벌 혼합처리가 153.4개로 가장 많았으며, 그 다음으로 파리, 뒤영벌의 순이었으며, 망실(무처리)은 가장 작았다(Fig. 4B). 식물체당 종자무게는 노지(관행)가 2.6 g, 망실(무처리) 0.1 g 보다 26배 많았다(Fig. 4C). 수분곤충 처리 간에는 통계적 유의한 차이가 없었으나, 노지(관행)나 망실(무처리) 처리와는 확연한 차이를 나타내었다. 천립중도 25~29 g 범위로 노지와 수분곤충처리 간에는 통계적 유의차가 없었으나 망실(무처리)에서는 15.3 g으로 낮아 결실이 이루어져도 충실한 종자를 생산하지 못한 것으로 나타났다(Fig. 4D).

망실 무처리, 즉 수분곤충을 투입하지 않은 경우 비록 결실률이 52.2%로 관찰되지만, 종자수 및 종자무게는 각각 1.8개 및 0.1 g으로 매우 적어 생산성이 떨어짐을 알 수 있었다. 이는 Lee *et al.* (1997)이 메밀 봄재배에서 수분곤충을 차단한 망실에서는 식물체당 67개의 종자가, 수분곤충을 차단하지 않은 노지재배의 경우 140개의 종자가 결실되었으며, 가을재배에서도 망실 7

개, 노지 55개로 수분곤충을 차단했을 때 종자 결실되었다고 하였다. 또한, Marshall (1969)이 성장상을 이용한 실험에서 메밀 꽃가루는 바람에 의해서도 이동되며, 풍원으로부터 30 cm 떨어진 식물은 식물체당 53개의 종자를, 거리가 다소 먼 330 cm에서는 식물체당 12개의 종자를 맺었다고 한 연구결과와 유사하였다. 이러한 결과를 참고해 볼 때 망실 무처리구의 종자 결실은 바람이 영향을 미친 것으로 판단된다.

현재 자연생태계의 많은 식물들은 화분매개 부족을 경험하는데 482종의 야생화 중 63%, 17개 작물에서는 59%가 화분매개 부족을 겪는다고 보고하였다(Mayfield, 1998). 이처럼 농작물의 경우 바람으로도 일부 수정이 가능하지만 수분곤충이 부족하다면 화분매개 부족으로 인해 생산량의 감소로 이어질 수 있다. 따라서, 생산성 향상을 위한 수분곤충의 효율적 활용이 매우 중요할 것으로 생각된다.

메밀의 3년간 평균 m² 당 종자 생산성은 노지(관행)가 61 g으로 망실(무처리) 29 g 보다 2배 정도 많았으며, 통계적인 유의성이 확인되었다(Table 6 and Fig. 5). 파리와 뒤영벌 혼합처리는 151 g로 종자 생산성이 가장 높았으며, 그 다음으로 뒤영벌과 파리처리가 각각 138 g, 127 g 순이었다. 수분곤충 간에는 통계적 유의한 차이가 없었으나 망실(무처리)과는 확연한 차이를 보였다. 재배환경에 따른 농업형질의 안정성을 평가할 때 ASV (AMMI stability value) 수치가 클수록 재배 환경에 따라 수량의 변동이 심하고, ASV 값이 작을수록 연차간 환경의 변화에 따른 수량의 변동성이 적음을 의미한다. 본 연구에서 수량의 안정성이 높은 처리는 뒤영벌 또는 파리 단독처리로 분석되었으며, 노지(관행)의 경우 안정성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 특히,

Table 6. Effect of pollinating insects on seed yield of buckwheat in autumn season

Insect pollinators	Year	Seed yield (g/m ²) ^z			AMMI stability value ^y			
	1 st (2018)	2 nd (2019)	3 rd (2020)	Mean	ASV	rASV	YSI	rYSI
Open field (control)	71±6.3 c ^x	72±8.8 b	41±3.9 c	61 (100) c	54.0	5	9	4
Without insect (net house)	10±2.7 d	42±17.7 c	35±8.6 c	29 (47) d	33.7	3	8	5
With flies (net house)	96±10.7 bc	88±18.2 ab	198±32.4b	127 (209) b	26.9	2	5	3
With bees (net house)	135±31.7a	80±7.3 b	244±13.4 b	138 (227) ab	23.4	1	3	2
With flies and bees (net house)	106±19.1 ab	111±24.6 a	236±16.4 a	151 (248) a	37.8	4	5	1
<i>p</i> value	29.4***	9.0***	116.6***	101.2***				

^zAll data represent the average weight of seed and standard deviation from 2018 to 2020 in buckwheat field of Daegwallyeong.

^yAll data calculated yield for 3 years (Mean), AMMI stability value (ASV) and Yield stability index (YSI), Rank of AMMI stability value (rASV), rank of yield stability index (rYSI).

^xMeans with the same letter in a column are not significantly different according to DMRT (5%).

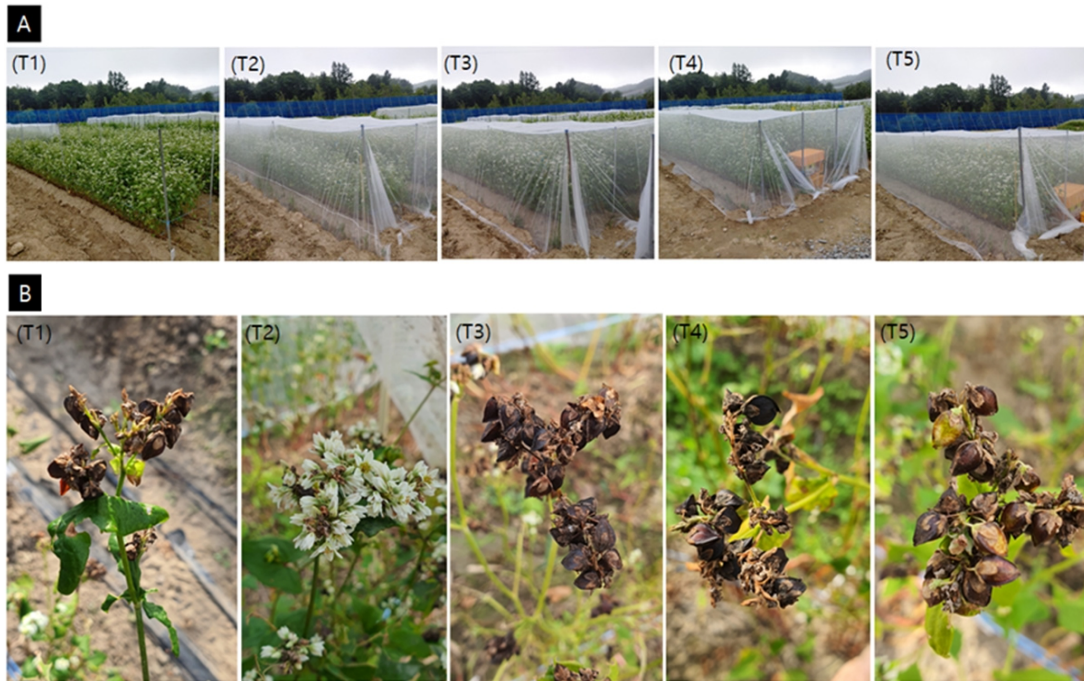


Fig. 5. Activity of pollinating insect in flowering time (A) and Seed set comparison in harvesting time (B) for insect pollination at cultivar ‘Yangjul-memil’ flowering period of buckwheat field. T1, Open field (control); T2, Without insect in the net house; T3, With flies in the net house; T4, With bees in the net house; T5, flies and bees in the net house.

메밀은 수분이 이루어지지 않을 경우 결실단계로 넘어가지 않고, 장기간 개화상태를 유지하는 것으로 관찰되었다(Fig. 5B). 수분곤충에 있어서 야생에서는 다양한 벌들이 많은 개체수로 존재하여 수분이 더 잘 이루어진다. 농가에서 실제 사용하기에는 야생벌이나 야생파리의 구매나 증식이 쉽지 않다. 또한 야생벌의 경우 종 보존 차원에서 함부로 활용하기 어려운 점이 있다 (Garibaldi *et al.*, 2013). 이런 이유로 현재 농가의 과수나 채소의 수분곤충으로 많이 이용되고 있는 뒤영벌과 파리목을 활용하여 사용하였다(Choi and Jung, 2015; Lee *et al.*, 2013). Son *et al.* (2019)은 경북 및 강원지역의 30종 대상으로 식물-화분매개 네트워크 실험을 한 결과 메밀(*Fagopyrum esculentum*)이 14.2%로 들깨, 도라지에 이어 세번째로 많이 화분매개 상호작용하는 작물로 관찰되었다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 메밀에도 뒤영벌과 파리를 이용하여 실제 현장에서 적용할 수 있는 수분곤충으로 활용하였다.

Lee *et al.* (2013)은 양파 종자 생산을 위해 화분매개효과를 비교한 실험에서 뒤영벌이 기존의 연두금파리보다 화분매개효과가 우수하여, 뒤영벌이 파리목을 대체할 수 있다고 하였다. 망실(4.0 × 2.0 × 1.0 m) 내에서 꿀벌과 파리의 화분매개효과를 비교하였을 때도 꿀벌이 파리보다 더 좋은 화분매개효과를

보였다고 하였다(Munawar *et al.*, 2011). 또한, Hwang *et al.* (1998)은 면적이 넓은 비가림 하우스 내에서 양파에 파리목과 꿀벌을 수분곤충으로 처리한 실험에서는 두 수분곤충 모두에서 화분매개효과가 인정되었으나 두 종간에는 큰 차이가 없었다고 하였다. 이러한 결과는 본 연구의 수분곤충 처리에서 종자 생산성이 현저히 높았으며, 수분곤충별로는 파리와 뒤영벌 처리간 통계적 유의성은 없었으나 뒤영벌 처리에서 종자 생산성이 약간 높았던 결과와도 유사하였다.

한편, 본 연구에서 사용된 파리와 뒤영벌 처리간에는 뚜렷한 장단점이 존재하여 상호 보완하는 처리가 필요할 것으로 판단되었다. 뒤영벌의 경우 파리목보다 봉군관리가 쉽고, 저온이나 고온 등 환경적인 영향도 덜 받는다는 장점이 있지만, 구입비용이 비싸다는 점과 망실 주변을 철저히 봉쇄하지 않으면 망실 밖으로 나갈 우려가 있다는 단점이 있다. 파리목의 경우 저렴한 가격으로 대량 생산할 수 있고 쏘일 염려가 없어 안전하다는 장점이 있으나 수명이 짧아 자주 투입해야 한다는 단점이 있다. 이상의 결과를 볼 때, 메밀 생산성을 최대로 끌어 올리기 위해서는 수분곤충 단독 처리보다 혼합처리가 더 효과적인 것으로 생각된다.

적 요

메밀을 대상으로 주산지, 해발고도별, 재배작형별 방화곤충의 종류와 밀도를 조사하였다. 이를 바탕으로 선발된 수분곤충을 망실 격리재배에 처리하여 수량성 등 농업적 형질을 검토하였다. 메밀 주산지에서 방화곤충 비율은 파리목이 71%로 대부분을 차지하였으며, 그 다음으로 나비목, 벌목, 딱정벌레 순이었다. 해발고도별로는 고랭지 및 준고랭지 지역에서 파리목이 72~98%의 높은 비율을 보였으나, 평탄지인 강릉에서는 비율이 50%로 낮았다. 재배작형별로 파리목은 봄재배에서 71%의 비율을 보여 가을재배보다 1.2배 높았으나, 벌목의 경우 가을재배에서 8%로 봄재배보다 4.8배 높아 방화곤충 비율에서 뚜렷한 차이를 보였다. 메밀 재배지역과 작형에서 가장 많이 관찰된 파리목에는 집파리, 연두금파리, 고자리파리, 기타 초파리목이 주로 관찰되었으며, 벌목에서는 꿀벌, 기생벌 등이 발견되었다. 노지재배(관행)와 비교하여 망실에서 파리목이나 뒤영벌의 수분매개효과가 우수하여 수량이 높았으며, 단독 처리보다는 혼합 처리에서 다소 높았다. 이상의 결과를 볼 때, 메밀에서는 파리목이나 벌류가 가장 활발한 수분곤충 역할을 하는 것으로 구명되었으며, 메밀 생산성 향상을 위해 선발된 곤충을 적극 활용할 필요가 있다고 판단된다.

사 사

본 연구는 국립식량과학원 고령지농업연구소 “메밀의 안정적 종자생산체계 구축(과제번호: PJ01359901)”사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

Bell, M., S. Irish, W.P. Schmidt, S. Nayak, T. Clasen and M. Cameron. 2019. Comparing trap designs and methods for assessing density of synanthropic flies in Odisha, India. *Parasit. Vectors* 12:75.

Björkman, T. 1995a. The role of honey bees (Hymenoptera: Apidae) in the pollination of buckwheat in eastern North America. *J. Econ. Entomol.* 88:1739-1745.

Björkman, T. 1995b. The effect of pollen load and pollen grain competition in fertilization success and progeny performance in *Fagopyrum esculentum*. *Euphytica* 83:47-52.

Björkman, T. and K. Pearson. 1995. The inefficiency of honey bees in the pollination of buckwheat: *In Current Advances in Buckwheat Research. Proceedings of the 6th International Symposium on Buckwheat, Shinshu, Japan, 24-29 August 1995*, Matamo, T. and Ujihara, A. (eds.), Shinshu University Press, Shinshu, Japan. pp. 453-462.

Campbell, C.G. 1997. Buckwheat *Fagopyrum esculentum* Moench. International Plant Genetic Resources Institute, CAB International. pp. 3-93.

Campbell, J.W., A. Irvin, H. Irvin, C. Stanley-Stahr and J.D. Ellis. 1997. Insect visitors to flowering buckwheat, *Fagopyrum esculentum* (Polygonales: Polygonaceae), in North-Central Florida. *Florida Entomol. Soc.* 99:264-268.

Carreck, N.L. and I.H. Williams. 2002. Food for insect pollinators on farmland: Insect visits to flowers of annual seed mixtures. *J. Insect Conserv.* 6:13-21.

Choi, S.W. and C. Jung. 2015. Diversity of insect pollinators in different agricultural crops and wild flowering plants in Korea: literature review. *J. Apiculture* 30:191-201.

Dalby, R. 2000. Classic American honey plants: buckwheat. *American Bee J.* 140:485-486.

Folmer, O., M. Black, W. Hoeh, R. Lutz and R. Vrijenhoek. 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol. Marine Bio. Biotechnol.* 3:294-299.

Free, J.B. 1993. *Insect pollination of crops*. Academic Press, London, UK. p. 544.

Goodman, R., G. Hepworth, P. Kaczynski, B. Mckee, S. Clarke and C. Bluett. 2001. Honey bee pollination of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) cv. ‘Manor’. *Aust. J. Exp. Agric.* 41:1217-1221.

Halbrecq, B., P. Romedenne and J.F. Ledent. 2005. Evolution of flowering, ripening and seed set in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench): quantitative analysis. *European J. Agri.* 23:209-224.

Hardie, R.C. 1986. The photoreceptor array of the dipteran retina. *Trends in Neurosci.* 9:419-423.

Hecht, O. 1970. Light and color reactions of *Musca domestica* under different conditions. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 16:94-98.

Hedtke, C. and G. Pritsch. 1993. Qualitative and quantitative investigation of insects foraging on buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Apidologie* 24:476-477.

- Hong, S.B., I.Y. Jang, J.G. Cha, D.S. Yu, J.H. Lee, I.A. Yeo, J.Y. Kim, M.S. Shin, H.M. Jeong, O.C. Kwon and J.K. Kim. 2017. Study of climate change impact on major regulating functions of ecosystem. Nat. Inst. Ecol. NIE basis research-2017-16. pp.12-62.
- Hornýák, M., A. Płazek, P., Kope'c, M. Dziurka, J. Pastuszak, A. Szczerba and T. Hura. 2020. Photosynthetic activity of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) exposed to thermal stress. Photosynthetica 58:45-53.
- Howard, J.J. and R. Wall. 1998. Effects of contrast on attraction of the housefly, *Musca domestica* to visual targets. Med. Vet. Entomol. 12:322-324.
- Hwang, H.J., J.K. Suh, I.J. Ha and Y.W. Ryu. 1998. Effect of pollinating insects on seed yield in seed production of onion (*Allium cepa* L.). RDA J. Hort. Sci. 40:27-33.
- Jung, G.H., S.L. Kim, M.J. Kim, S.K. Kim, J.H. Park, C.G. Kim and S.G. Heu. 2015. Effect of sowing time on buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) growth and yield in central Korea. J. Crop Sci. Biotech. 18:285-291.
- Kim, S.J. and Y.H. Kim. 2018. Agricultural guide of buckwheat. Rural Development Administration, Jeonju, Korea. pp. 7-90.
- Kim, S.J., H.B. Sohn, S.Y. Hong, J.N. Lee, K.D. Kim, J.T. Suh, J.H. Nam, D.C. Chang, M.W. Park and Y.H. Kim. 2020. Construction of data system on seed morphological traits and functional component in tartary buckwheat germplasms. Korean J. Plant Res. 33(5):446-459. doi: 10.7732/kjpr.2020.33.5.446
- Kopéc, P., M. Hornýák, J. Pastuszak, A. Szczerba, M. Rapacz, J. Waga and A. Płazek. 2021. Changes in the flower and leaf proteome of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) under high temperature. Int. J. Mol. Sci. 22:2678. doi: 10.3390/ijms22052678
- KOSIS (Korean statistical information service). 2020. Census of Agriculture - State Data. Available at [https://kosis.kr/publication/publicationThema.do/2016-2019 full report](https://kosis.kr/publication/publicationThema.do/2016-2019%20full%20report) (accessed 12 Aug. 2021). Korean Statistical Information Service, Daejeon, Korea.
- Lee, H.R. and M.H. Choi. 1997. Studies on foraging activities, efficacies of the pollinators and pollen characteristics of Korean raspberry (*Rubus crataegifolius*), buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) and Japanese Cornelian cherry (*Cornus officinalis*). Korean J. Apic. 12:69-76.
- Lee, K.Y., E.T. Lee, I.S. Hwangbo, I.G. Park, M.A. Kim, Y.M. Kim, P.D. Kang and H.J. Yoon. 2013. Selection of insect pollinators for selfing cages for onion (*Allium cepa* L.) seed production. Korean J. Apic. 28:181-189.
- 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. Korean J. Apic. 22:125-132.
- Lu, Y., Y. Bei and J. Zhang. 2012. Are yellow sticky traps an effective method for control of sweet-potato whitefly, *Bemisia tabaci*, in the greenhouse or field? J. Insect Sci. 12:113.
- Marshall, H. 1969. Isolation of self-fertile, homomorphic forms in buckwheat, *Fagopyrum sagittatum* Gilib. Crop Sci. 9:651-653.
- Marshall, H.G. and Y. Pomeranz. 1982. Buckwheat: description, breeding, production and utilization: In Advances in Cereal Science and Technology, Pomeranz, Y., (ed.), American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, MN (USA), 5:157-210.
- Mayfield, M.M. 1998. Shortcomings of current crop pollination strategies: lessons from natural pollination systems. Dept. of Biology, Undergraduate Thesis, Reed College, Eugene, Oregon (USA).
- McGregor, S.E. 1976. Insect pollination of cultivated crop plants. USDA [online]. Available from <http://gears.tucson.ars.ag.gov/book/>
- Miller, N., S. Al-Dobai, J. Legaspi and J. Sivinski. 2013. Estimating attraction of Syrphidae (Diptera) to flowering plants with interception traps. Biocontrol Sci. Technol. 23:1040-1052.
- Munawar, M.S., R. Shazia, N. Shahid and S. Ghulam. 2011. Comparative performance of honeybees (*Apis mellifera* L.) and blowflies (*Phormia terronovae*) in onion (*Allium cepa* L.) seed setting. J. Agric. Res. 49:49-56.
- Murai, T. 2001. The pest and the vector from the East: *Thrips palmi*: In 'Thrips and tospoviruses. Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera', Reggio: Calabria, Italy, pp. 19-30.
- Myers, R.L. and L.J. Meinke. 1994. Buckwheat: A multi-purpose, short-season alternative. University of Missouri Extension Bulletin G4306. Available at: <http://extension.missouri.edu/publications/DisplayPub.aspx?P=G4306> (accessed 4 Aug. 2021). University of Missouri, Columbia, MO (USA).
- Nam, H.Y., M. Kwon, H.J. Kim and J. Kim. 2020. Development of a species diagnostic molecular tool for an invasive pest, *Mythimna loreyi*, using LAMP. Insects 11(11):817.
- Namai, H. and Y. Fujita. 1995. Floral characteristics associated with seed productivity in common buckwheat, *Fagopyrum esculentum* Moench: In Current Advances in Buckwheat Research. Proceedings of the 6th International Symposium

- on Buckwheat, Shinshu, Japan, 24-29 Aug. 1995, Matamo, T. and A. Ujihara (eds.), Shinshu University Press, Shinshu, Japan. pp. 425-435.
- Ogasahara, S., C. Kaji, M. Hagiwara and T. Matamo. 1995. Pollination of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) as influenced by meteorological conditions: *In* Current Advances in Buckwheat Research. Proceedings of the 6th International Symposium on Buckwheat, Shinshu, Japan, 24-29 Aug. 1995, Matamo T. and A. Ujihara (eds.), Shinshu University Press, Shinshu, Japan. pp. 475-481.
- Orford, K.A., I.P. Vaughan and J. Memmott. 2015. The forgotten flies: the importance of non-syrphid Diptera as pollinators. *Proc. R. Soc. B. Biol. Sci.* 282:2014-2934.
- Płażek, A., A. Słomka, P. Kopeć, M. Dziurka, M. Hornyák, K. Sychta, J. Pastuszek and F. Dubert. 2019. Effects of high temperature on embryological development and hormone profile in flowers and leaves of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Int. J. Mol. Sci.* 20(7):1705.
- Pobozniak, M., K. Tokarz and K. Musynov. 2020. Evaluation of sticky trap colour for thrips (Thysanoptera) monitoring in pea crops (*Pisum sativum* L.). *J. Plant Dis. Prot.* 127:307-321.
- Quinet, M., V. Cawoy, I. Lefèvre, F. Van Migroet, A.L. Jacquemart, and J.M. Kinet. 2004. Inflorescence structure and control of flowering time and duration by light in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *J. Exp. Bot.* 55:1509-1517.
- R Studio Team. 2019. R Studio: Integrated development for R. R Studio, <http://www.rstudio.com> Inc., Boston, MA (USA).
- SAS. 2019. SAS User's guide. Statistics, Version 9.4, SAS Institute Inc, Cary NC.
- Sim, Y.S., M.S. Huh and Y.E. Choi. 1998. Foraging activities of honeybees in *Fagopyrum esculentum* Moench. *J. Apic.* 13:61-68.
- Son, M., S. Jung and C. Jung. 2019. Diversity and interaction of pollination network from agricultural ecosystems during summer. *J. Apiculture* 34(3):197-206.
- Szymank, A., C.A. Kearns, T. Pape and F.C. Thompson. 2008. Pollinating flies (Diptera): A major contribution to plant diversity and agricultural production. *Biodivers. Agric.* 9:86-89.
- Wang, R. and C. Li. 1998. Insect pollinators and yield of common buckwheat: *In* Current Advances in Buckwheat Research. Proceedings of the 7th International Symposium on Buckwheat, Winnipeg, Manitoba, 12-14 Aug. 1998, Campbell, C. and R. Przybylski, (eds.), Winnipeg, Manitoba, Canada. 25-28.

(Received 30 September 2021 ; Revised 12 December 2021 ; Accepted 13 December 2021)