



시설 딸기에서 화분매개용 꿀벌 벌통의 보온에 의한 화분매개효과

이경용*, 카타난 산카르, 이영보, 윤형주

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부 양봉생태과

Effect of Thermal Insulation of Honeybee (*Apis mellifera* L.) Hive on Strawberry Pollination in Greenhouse

Kyeong Yong Lee*, Sankar Kathanan, Young Bo Lee and Hyung Joo Yoon

Industrial Insect Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

Abstract

Bee pollination is critical for strawberry production in Korea during the winter. We examined the influence of hive thermal insulation on strawberry pollination. In terms of pollination activity and hive lifespan, the average temperature inside the insulated hive was 4.6°C higher than that inside an ordinary hive, and it took 20 days longer for the bees to completely disappear from the hive. In terms of bee activity, insulated hives had 2.1 times the number of bees entering the hive and 1.2 times the overall bee activity of normal beehives. On inspecting the merchantable yield and quality of strawberries to evaluate the pollination effect, the merchantable yield was 3.3% higher in the insulated hive than the general hive, and there was no significant difference in fruit quality. Therefore, we believe that hive thermal insulation is essential for strawberry pollination during the winter, as heat-insulation can improve hive internal temperature, lifespan, bee activity, and strawberry yield.

Keywords

Hive insulation, Strawberry, Pollination, Honeybee

서론

딸기(*Fragaria × ananassa* Duch.)는 장미과에 속하는 다년생 식물로 전 세계적으로 재배되고 있는 대표적인 원예 작물이다(RDA, 2019). 국내에서는 주로 9월말부터 5월 말까지 시설하우스에서 재배되며, 대표적인 겨울-봄 과채류로 소비되고 있다(Choi *et al.*, 2013). 딸기 꽃은 자가 수분이 가능하나 상품성이 있는 딸기를 생산하기 위해서 반드시 꿀벌과 같은 화분매개자(pollinator)가 필요하다(McGregor, 1976; Pion *et al.*, 1980; Vincent *et al.*, 1990; Abrol *et al.*, 2019). 1967년 독일에서 처음 딸기의 화분매개자로 꿀벌이 사용된 이래로, 1970년 일본에서 시설재배

딸기의 화분매개에 꿀벌 사용이 보편화되었다(Shimotori, 1981; Sujikawa, 1981). 국내에는 70년대 후반에 겨울 딸기에 꿀벌이 처음 도입되어 80년대에 시설 딸기 재배면적 증가에 따라 급격히 확산되었다(Ahn *et al.*, 1989). 2000년대에 이르러 전국의 모든 딸기 재배농가가 꿀벌을 화분매개자로 이용하고 있다(Yoon *et al.*, 2011, 2021). 딸기의 생산을 위해 겨울철 비닐하우스 환경에서 5개월 이상 장기간 꿀벌에 의한 화분매개가 필요하다. 따라서 딸기 개화기간 동안 시설하우스 내에서 효과적인 꿀벌 관리 기술이 요구된다(Ohishi, 1999; Lee *et al.*, 2014). 그럼에도 불구하고 국내에서 꿀벌에 의한 딸기 화분매개 연구는 화분매개효과 검증이나 적정 방사밀도 연구에 집중되어 있으며

(Ahn *et al.*, 1989; Lee *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2014), 화분매개용 꿀벌 봉군의 관리에 대한 연구는 전무한 실정이다. 반면, 우리나라와 같이 시설 딸기 재배의 비중이 높은 일본에서는 시설재배 환경에서 꿀벌의 봉군 관리에 대한 연구가 1970년대부터 수행되었고(Sujikawa, 1981; Ohishi, 1999), 최근에는 겨울철 시설하우스에서 효과적인 화분매개를 위해 봉군의 온도를 관리해주는 벌통(Beehouse, TOHO Industries Co. Ltd, Osaka, Japan)과 봉군의 단열효과가 뛰어난 특수골판지를 이용한 화분매개 전용 벌통(Doredore, Maruto tokai Industries Co. Ltd., Toyohashi, Japan)이 제품화되어 있다.

우리는 딸기에서 장기간 꿀벌의 화분매개를 위하여 벌통 내부환경을 효과적으로 관리하는 방법을 개발하고자 하였다. 특히 벌통 내부의 온도는 여왕벌의 산란과 일벌의 육아에 큰 영향을 미친다(Harrison, 1987; Woyke and Jasinski, 1990; Stabentheiner *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2015). 따라서 겨울철 시설하우스 환경에서 외역봉의 충분한 화분매개 활동을 위해 벌통 내부의 온도관리는 매우 중요하다(Seeley, 1989, 1995; Beekman, 2005). 이에 우리는 화분매개 전용 목재 꿀벌벌통(Korea Patent No. 10-1931583)의 외부에 단열재를 둘러 보온처리한 봉군이 꿀벌의 활동이나 수명 그리고 딸기의 화분매개에 어떤 효과를 미치는지 조사하였다. 이를 통해 딸기 재배 현장에서 벌통 보온의 효용성을 입증하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 작물 및 곤충

실험을 위한 작물은 딸기 설향 품종(*Fragaria × ananassa* var. Seolhyang)을 선정하였다. 실험 곤충은 논산시 소재 화분매개용 꿀벌 생산농가에서 양성된 서양종 꿀벌(*A. mellifera* L.) 이탈리아 계통으로 선정하였다.

2. 시험포장 및 봉군준비

딸기에서 꿀벌봉군의 보온재 적용 실험은 2018년 9월 20일에 정식 후 2019년 4월 30일까지 전라북도 완주군 삼례읍 소재(35°54'19"N, 127°04'44"E), 토경 딸기 재배농가의 660 m² 크기 비닐하우스 10개 동에서 수행되었다. 각 비닐하우스의 딸기 모종은 2,000주가 정식되었다. 실험

에 사용된 벌통은 10,000마리 봉군(여왕벌 1마리, 소비 4장), 대용화분(pollen patty, Korean beekeeper Nonghyup, Seoul, Korea) 2kg, 꿀이 저장된 소비 1장을 목재 화분매개 전용 벌통(49.5 cm × 20.5 cm × 32.5 cm)에 넣어 준비하였다. 벌통은 2018년 10월 30일에 투입하여 사용한 후 2019년 3월 10일에 회수하였다.

3. 벌통의 보온처리 및 설치

벌통의 보온을 통한 화분매개효과 조사를 위하여 보온처리구와 무처리구를 설정하였다. 보온처리구는 벌통 외부에 5겹의 면과 솜으로 된 천 방한재를 덮은 후 5개의 비닐하우스에 각각 방사하였고, 무처리구는 화분매개 전용 목재 벌통을 나머지 5개 비닐하우스에 각각 방사하였다. 벌통은 비닐하우스 입구로부터 20 m 되는 지점에 지상으로부터 0.6 m 높이의 받침대를 설치 후 그 위에 설치하였다.

4. 벌통 내부환경, 벌의 활동량 및 수명조사

벌통 보온처리에 따른 벌통 내부온도 변화를 조사하기 위하여 각 벌통에는 온도정보수집장치(176T4, Testo, Titisee-Neustadt, Germany)의 센서를 소비 내 여왕벌 산란권역에 설치하였다. 비닐하우스 외부온도 측정을 위하여 기상환경정보 수집장치(Illuminance UV recorder TR-74Ui; T&D Co.; Matsumoto, Nagano, Japan)를 비닐하우스의 입구에서 50 m 되는 지점에 지상에서 1.8 m 높이에 설치하였다. 각 환경 정보는 2018년 12월 1일부터 2019년 3월 4일까지 3개월 동안 20분에 1번씩 측정되었다. 벌의 활동량 측정은 이미지 기반 벌 활동량 측정장치(Lee *et al.*, 2020)를 통하여 일 평균 소문출입량(bee traffic)으로 나타내었다. 화분매개기간 동안 봉군의 수명을 조사하기 위하여 12월부터 3월까지 매달 15일에 벌통을 내검하여 육안으로 소비의 각 면당 일벌이 붙어있는 양을 백분율로 기록한 다음 Burgett와 Burikam (1985)의 회귀식을 적용하여 착봉수를 계산하였다.

5. 화분매개효과 조사

벌통 보온처리에 따른 화분매개효과를 확인하기 위하여 딸기의 상품과율과 수확된 과실의 품질을 조사하였다. 상품과율은 화방별로 총 3차례(1회: 2018년 12월 14일부터

20일, 2회: 2019년 2월 15일부터 19일, 3회: 2019년 4월 5일부터 8일) 조사하였다. 조사 방법은 비닐하우스 입구에서부터 10 m, 30 m, 50 m, 70 m, 90 m에 각각 30개씩 과실을 무작위로 수확 후 하우스별로 수확된 딸기에서 기형과를 뺀 나머지 과실 중 12 g 이상되는 과실의 비율을 백분율로 나타내었다(RDA, 2017). 수확물 품질조사는 수확된 딸기의 무게, 경도, 당도, 산도 및 당산비를 조사하였다. 무게는 전자저울(CB-3000, AND, Seoul, Korea)로 측정하였고, 경도는 휴대용경도계(TMS-Pro, Food Technology, Sterling, VA, USA)로 원통형(5Φ × 10 mm) 탐침을 사용하였다. 경도는 딸기의 중단부위를 3차례 측정 후 평균으로 나타내었다(Lim *et al.*, 2016). 당도는 수확된 딸기 10개를 거즈로 착즙하여 디지털 당도계(PR-32α, Atago, Tokyo, Japan)로 측정하였다. 산도는 과즙 5 mL에 2차 증류수 35 mL를 가한 후 0.1 N NaOH로 pH를 적정하고 구연산으로 환산하여 나타내었다(RDA, 2017). 당산비는 당도를 산도로 나누어 표시하였다.

6. 통계분석

보온처리별 벌통 내외부온도, 착봉수, 활동량, 상품과율, 수확물 품질은 t-test로 유의성을 검정하였다. 측정시기에 따른 벌통 내외부온도, 착봉수, 벌의 활동량, 상품과율, 수확물 품질의 비교는 oneway ANOVA test로 유의성을 확인 후 Turkey's HSD로 사후검정하였다. 평균비교분석에서 등분산검정이 통과되지 않을 경우 welch's test를 사용하였다. 시간에 따른 온도, 착봉수, 활동량 간 상관관계는 pearson correlation으로 분석하였다. 회귀분석을 통하여 도출된 2차 회귀식으로 시험구별 봉군의 수명을 추정하였다. 이번 연구의 통계분석 소프트웨어는 SPSS PASW 22.0 for windows (IBM, Chicago, USA)를 사용하였다.

결 과

1. 벌통 보온처리에 따른 벌통 내부온도 비교

벌통에 보온처리 시 벌통 내부의 온도변화를 조사한 결과(Table 1), 보온처리구가 무처리구보다 평균 4.6°C 높았다(t-test: $t_{191}=0.625$, $p=0.0001$). 시기별로 12월은 무처리구가 1.3°C 높았으나, 1월부터 보온처리구가 1°C, 2월 5.7°C, 3월 10.8°C 유의미하게 높았다(1월 $t_{60}=2.595$,

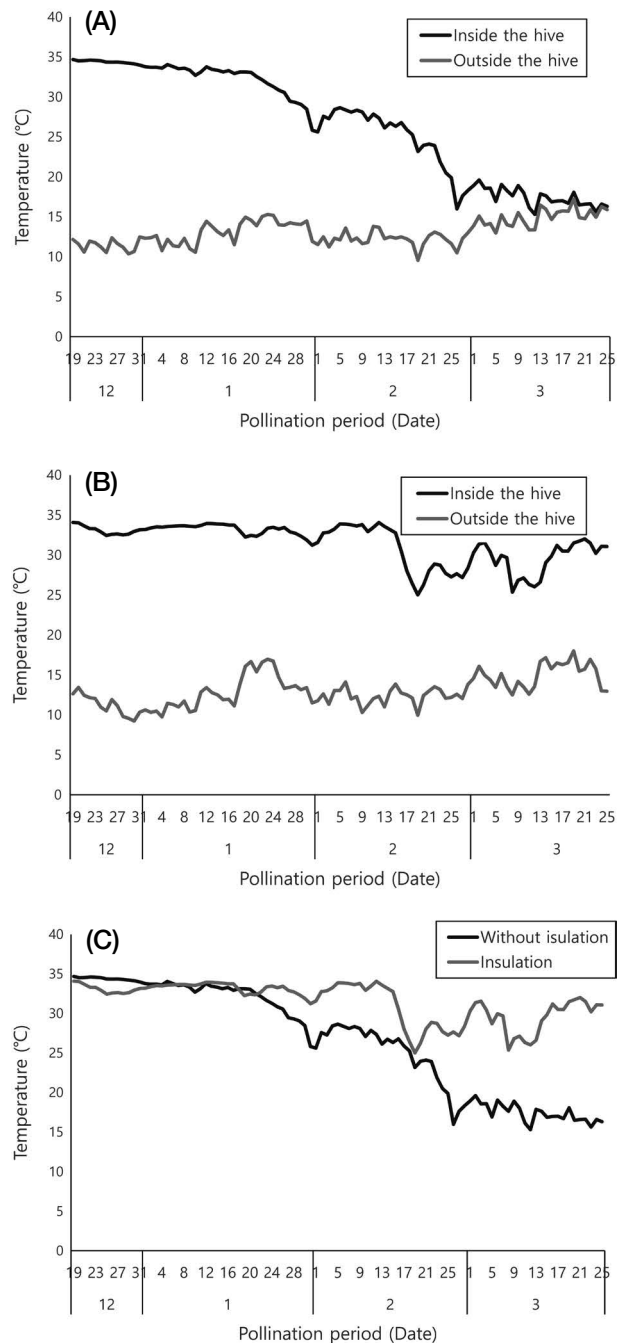


Fig. 1. Temperature changes inside and outside beehive during thermal insulation (A), without insulation (B), and comparison of hive temperature during diverse thermal insulation treatments (C).

$p=0.0001$, 2월 $t_{54}=6.444$, $p=0.0001$, 3월 $t_{60}=14.515$, $p=0.0001$). 반면 벌통 밖 하우스온도는 유의미한 차이가 없었다($p>0.05$). 벌통 내부온도는 시간이 지날수록 감소하는 경향을 나타내었는데, 특히 보온처리구($r=-0.653$)에 비해 무처리구($r=-0.964$)의 온도가 더욱 큰 부의 상

Table 1. Comparison of insulated hive temperature during pollination period

Location	Treatments	Pollination period (Month) ^x				
		December	January	February	March	Total
Hive	Control ^y	34.4 ± 0.2 ^z	32.2 ± 2.0	25.0 ± 3.6	17.2 ± 1.2	26.0 ± 7.1
	Insulation	33.1 ± 0.6	33.2 ± 0.7*	30.7 ± 3.0*	28.0 ± 4.0*	30.6 ± 3.6*
Outside	Control	11.4 ± 0.7	13.2 ± 1.4	12.2 ± 0.9	15.2 ± 1.2	15.1 ± 1.4
	Insulation	11.3 ± 1.3	12.9 ± 2.1	12.4 ± 1.0	15.9 ± 2.4	15.4 ± 1.2

^xDec 15, 2019~Mar 30, 2020^yControl^y is the hive without insulation.^zTemperature (°C) in beehive box and mean ± SD value

* indicates that the data between insulation and control were significantly different according to t-test (p < 0.05).

Table 2. Comparison of number of bees in the hive during various thermal insulation treatments

Treatment	Time after hive setup (Month)				
	0	1	2	3	Mean
Control ^x	10000	7875.0 ± 853.9 ^y	7250.0 ± 500.0	2250.0 ± 1190.2	6843.8 ± 3015.1
Insulation	10000	8125.0 ± 1030.8	7500.0 ± 1291.0	4000.0 ± 2160.2	7406.3 ± 2550.9

^xControl^x is the hive without insulation.^yMean ± SD value

There is no significant difference between thermal and no insulation.

관관계를 나타내었다. Fig. 1과 같이, 무처리구는 1월 이후부터 온도가 꾸준히 감소하는 경향을 나타내었으나 보온처리구는 2월 중순 경 한 번 감소 후 온도가 유지되는 경향을 나타내었다. 또한 무처리구와 보온처리구의 온도 차이는 시간이 지날수록 커지는 경향을 나타내었다(Fig. 1C; $r=0.935$).

2. 벌통 보온처리에 따른 착봉수 및 벌의 활동량 비교

벌통에 보온처리에 따른 봉군의 착봉수를 조사한 결과(Table 2), 보온처리구가 무처리구보다 562.5마리 더 많았으나 유의미하지 않았다. 벌통 설치 이후 월별로 시험구간 유의미한 차이는 없었으나, 설치 후 3개월째 무처리구의 벌 감소량이 더 많은 경향이였다. 설치 후 시간과 벌통 내 착봉수는 부의 상관을 보였다(보온처리 $r=-0.843$; 무처리 $r=-0.914$). 시간에 따른 벌의 감소량을 예측하기 위하여 회귀분석을 수행한 결과(Fig. 2), 보온처리구와 무처리구 모두 유의미한 회귀식이 도출되었다(보온처리 regression ANOVA $F_{2,13}=18.293$, $p=0.0001$, $R^2=0.738$, $y=-406.25x^2-643.75x+9793.7$; 무처리 $F_{2,13}=56.403$, $p=0.0001$, $R^2=0.897$, $y=-718.75x^2-231.25x+$

9706.2). 도출된 식에 의하면 벌이 완전히 소실되기까지의 시간은 무처리구는 105.6일, 보온처리구는 125.4일로 계산되었다.

보온처리에 따라 소문 출입수를 비교한 결과(Table 3), 들어오는 벌의 수는 보온처리구가 무처리구에 비해 2.1배 많았다(t-test $t_{186}=10.731$, $p=0.0001$). 반면, 들어오는 벌의 수는 무처리구가 보온처리구보다 1.3배 많았다($t_{186}=-3.821$, $p=0.0001$). 전체 활동수에서는 보온처리구가 무처리구보다 1.2배 많았다($t_{186}=2.981$, $p=0.003$). 월별로 나누어 보면 12월부터 3월까지 각 월별로 들어오는 벌의 수는 보온처리구가 무처리구보다 유의미하게 많았다(12월 $t_{60}=4.953$, $p=0.0001$; 1월 $t_{60}=6.440$, $p=0.0001$; 2월 $t_{54}=6.582$, $p=0.0001$; 3월 $t_6=2.600$, $p=0.041$). 반면, 나가는 벌의 수는 12월, 2월, 3월에 무처리구가 보온처리구보다 유의미하게 많았다(12월 $t_{60}=-2.254$, $p=0.028$; 2월 $t_{54}=-3.512$, $p=0.001$; 3월 $t_6=-2.654$, $p=0.038$). 벌의 총 활동량은 각 월별로 보온처리구가 무처리구보다 많은 경향을 보였지만 유의미하지 않았다($p>0.05$). 다만 1월에서는 보온처리구가 무처리구보다 1.4배 유의미하게 많았다($t_{60}=3.056$, $p=0.003$). 화분매개기간과 벌의 활동

Table 3. Comparison of bee activities during insulation of beehive box

Bee activity ^y	Treatment	Pollination period (Month) ^x				
		December	January	February	March	Total
Incoming (bees)/day	Control ^w	245.0 ± 84.4 ^z	227.4 ± 83.9	196.3 ± 97.0	109.0 ± 106.2	218.9 ± 92.7
	Insulation	429.5 ± 189.4*	461.5 ± 184.2*	498.8 ± 223.0*	495.5 ± 277.8*	463.5 ± 200.6*
Outgoing (bees)/day	Control	459.2 ± 175.5*	380.5 ± 140.1	588.9 ± 215.2*	685.3 ± 19.1*	481.5 ± 196.3*
	Insulation	356.9 ± 181.7	375.2 ± 173.4	398.9 ± 189.0	377.8 ± 230.9	376.3 ± 180.9
Total traffic (bees)/day	Control	704.2 ± 253.0	607.9 ± 215.9	785.3 ± 262.6	794.3 ± 114.5	700.4 ± 248.1
	Insulation	786.4 ± 368.5	836.7 ± 356.5*	897.7 ± 410.0	873.3 ± 508.2	839.8 ± 379.4*

^wControl is the hive without insulation.

^xDec 15, 2019~Mar 30, 2020

^yIn and out activities from gate on the beehive per day

^zNumber of forager bees and mean ± SD value

* indicates that the data between insulation and control were significantly different according to t-test ($p < 0.05$).

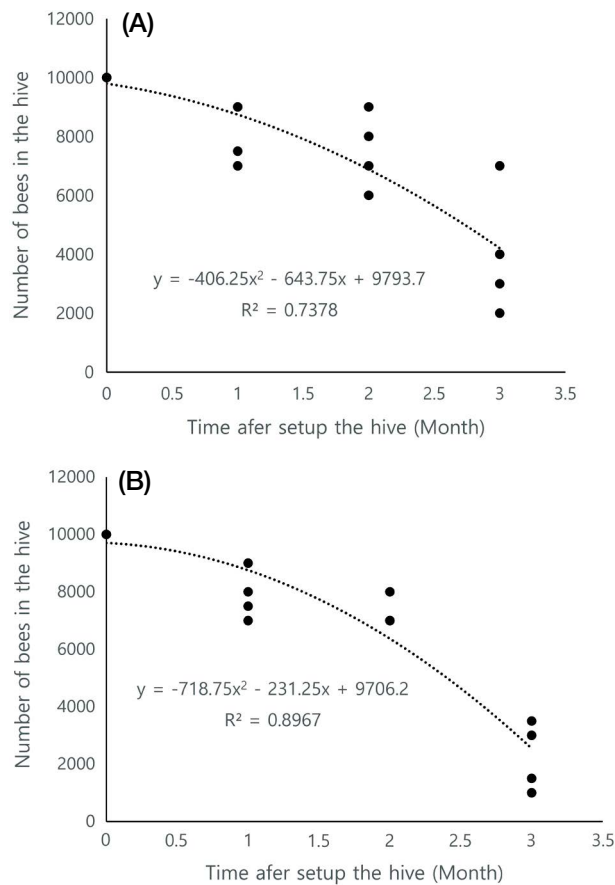


Fig. 2. The regression analysis between number of bees in the hive and months after hive setup with thermal insulation treatment (A) and no insulation treatment (B).

량 간 상관관계를 조사한 결과, 무처리구에서 집에서 나가는 벌의 수와 화분매개기간 사이에 정의 상관이 있었다

($r = 0.317$, $p = 0.002$). 반면 집에 들어오는 벌의 수와 화분매개기간 사이에는 부의 상관이 확인되었다($r = -0.333$, $p = 0.001$). 보온처리구는 화분매개기간과 유의미한 상관관계가 없었다.

3. 벌통 보온처리에 따른 딸기의 상품과율 및 수확물 특성 비교

보온처리가 딸기의 화분매개효과에 영향을 미치는지 조사하였다. 먼저 상품과율을 조사한 결과(Table 4), 보온처리구가 무처리구보다 상품과율이 3.3% 유의미하게 높았다(t -test $t_{120} = -2.064$, $p = 0.041$). 수확기간별로 조사하였을 때, 1차 수확(2018년 12월)과 3차 수확(2019년 4월)에는 보온처리구가 무처리구보다 다소 높은 경향을 보였으나 유의미한 차이는 없었다($p > 0.05$). 반면 2차 수확(2019년 2월)에는 보온처리구가 5.5% 유의미하게 높았다($t_{38} = -3.006$, $p = 0.005$). 보온처리구와 무처리구는 수확시기에 따라 정상과율이 차이가 있었는데, 특히 2차 수확이 다른 수확시기보다 2~12% 상품과율이 낮은 경향이 있었다(one-way ANOVA test 보온처리 $F_{2,58} = 3.672$, $p = 0.031$; 무처리 $F_{2,58} = 11.696$, $p = 0.0001$). 보온처리별로 수확된 딸기의 특성을 비교한 결과, 딸기의 무게는 보온처리구가 무처리구보다 1.5 g 유의미하게 무거웠고(t -test $t_{532} = 2.629$, $p = 0.009$), 경도가 0.1 N 더 높았으나($t_{532} = 2.003$, $p = 0.046$) 그 외 경도, 당도, 산도, 당산비는 유의미한 차이가 없었다($p > 0.05$). 수확시기별로는 1화방 수확 시 보온처리구가 무처리구보다 딸기의 무게가 3.9 g 더 무거웠고

($t_{175}=3.483, p=0.001$), 2화방에서는 당도가 0.4 brix 더 높았다($t_{178}=2.098, p=0.037$). 반면 3화방에서는 무처리구의 당도가 0.5 brix 더 높았다($t_{175}=-2.877, p=0.005$). 그러나 딸기의 맛을 결정하는 당산비는 모든 수확시기에서 유의미한 차이가 없었다.

고찰

딸기 시설 토경재배의 경우 꽃이 피는 기간이 10월 중하순부터 4월까지로(Choi *et al.*, 2013), 5개월 이상 화분매개용 꿀벌 봉군의 안정적인 유지가 필요하다. 꿀벌 여왕벌의 산란과 일벌의 외역활동은 밀접한 연관이 있다(Seeley, 1995; Rivera *et al.*, 2015). 여왕벌의 원활한 산란을 위해서 벌통 내부환경관리는 매우 중요하다(Ohashi *et al.*, 2009; Stabentheiner *et al.*, 2010; Szopek *et al.*, 2013). 특히 여왕벌의 산란권 온도는 $33^{\circ}\text{C}\sim 36^{\circ}\text{C}$ 사이로 유지되어야 한다(Kleinhenz *et al.*, 2003; Petz *et al.*, 2004). 벌통의 보온처리하는 봉군 내부의 산란권 온도유지에 효과적이었다. 특히 외기온도가 급격히 낮아지는 1월 중순 이후부터 무처리구의 봉군 내부온도가 급격히 감소하였고, 3월에는 봉군온도와 외기온도가 같아진 것에 반해 보온처리구는 $27\sim 30^{\circ}\text{C}$ 를 꾸준히 유지하였다. 보온처리구에서 봉군온도가 유지된다는 것은 여왕벌의 산란이 원활하게 이루어지고 봉군상태가 양호하다는 것을 의미하지만(Southwick and Heldmaier, 1987), 무처리구에서 봉군온도가 지속적으로 감소한다는 것은 산란이 중단되어 일벌이 감소함을 의미하며, 더욱이 3월 이후에 봉군온도와 외기가 같아진 것은 봉군 내 벌의 수가 너무 적어 봉군 내 온도유지 능력을 상실하였다고 생각된다(Heinrich, 1996). 실제로 착봉수 조사 결과에서도 3월의 무처리구의 착봉수는 보온처리구보다 2배 가까이 적은 것으로 나타났다(Table 2). 또한 벌이 완전히 소실되는 기간을 회귀식으로 추정하면 역시 보온처리구가 무처리구보다 20일 더 길었기 때문에, 봉군의 온도를 관리하는 것이 벌의 수명을 연장시킬 수 있다고 생각된다. 벌의 일간 평균활동량은 더욱 흥미로운 패턴을 보였다. 외역봉의 입소수는 보온처리구가 무처리구보다 유의미하게 많았지만 반대로 출소수는 무처리구가 보온처리구보다 많은 경향을 보였다(Table 3). 특히 출소수는 다른 시기보다 시설하우스 내부온도가 3월에 가장 많았다. Fig. 3의 (A)와 (B)처럼 무처리구에서

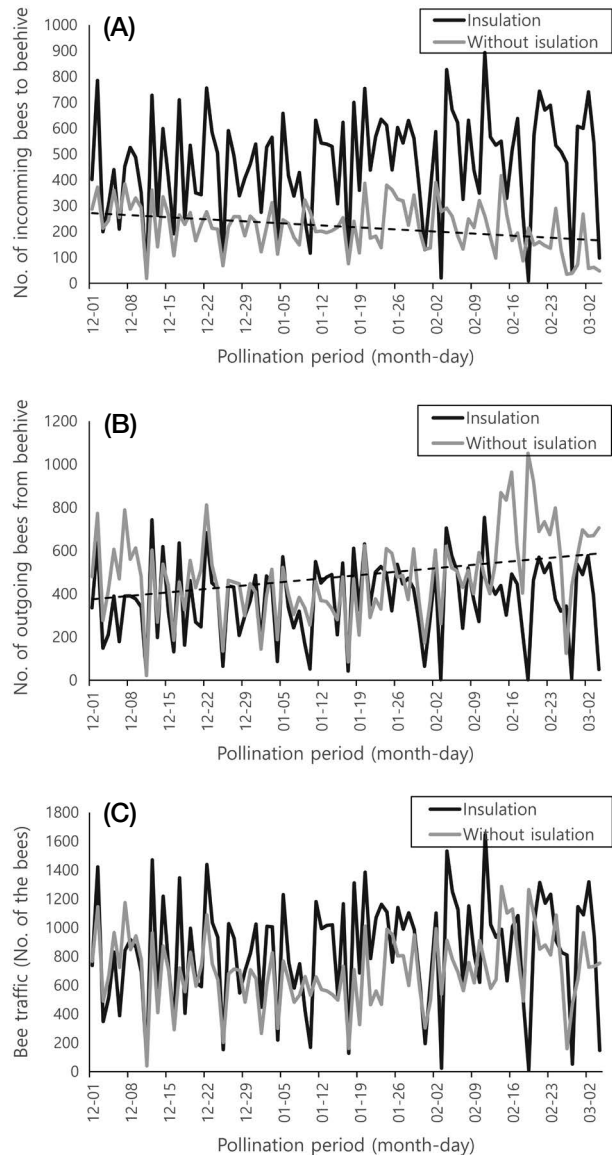


Fig. 3. Changes in the number of incoming bees (A), outgoing bees (B), and bee traffic (C) during thermal insulation treatment. Dotted lines were trend lines with significant correlation between time and bee activities without insulation the hive.

시간이 지날수록 일벌의 입소수는 감소하는 반면 출소수가 증가하는 패턴은 결국 벌의 전체적인 수가 꾸준히 감소한다는 것으로 이해할 수 있다. 따라서 봉군의 보온처리하는 봉군의 세력감소를 최소화하여 딸기의 화분매개기간 동안 봉군을 유지시킬 수 유용한 방법이라고 판단된다.

이러한 벌통의 보온을 통한 봉군유지가 딸기의 생산성 향상에 영향을 미치는지 조사한 결과, 보온처리구는 무처리구에 비해 딸기의 상품과율이 3.4% 유의미하게 높았고,

Table 4. Comparison of merchantable quality percentage of strawberry under insulation treatment in beehive

Treatments	Harvest period ^y			Total
	1 st	2 nd	3 rd	
Control ^x	86.5 ± 10.2 ^{zb}	82.6 ± 5.1 ^b	94.5 ± 8.1 ^a	87.9 ± 9.4
Insulation	90.8 ± 6.4 ^{ab}	88.1 ± 6.5 ^{b*}	94.6 ± 9.6 ^a	91.2 ± 8.0*

^xControl^x is the hive without insulation.

^y1st is Dec 14~20, 2018, 2nd is Feb 15~19, 2019, and 3rd Apr 5~8, 2019.

^zMean ± SD, merchantable quality percentage is (merchantable quality fruits / total harvested fruits) × 100

* indicates that the data between insulation and control were significantly different according to t-test (p < 0.05).

Diverse letters indicate significant differences among harvest periods based on the results of one-way ANOVA and Tukey's HSD test (p < 0.05).

Table 5. Comparison of physical attributes of strawberry under insulation treatment in beehive

Harvest period ^x	Treatment	Weight (g)	Firmness (N)	Soluble solids (Brix)	Acidity (%)	SS/TA ^y
1 st	Control ^w	32.2 ± 7.1	2.7 ± 0.9	10.1 ± 8.9	0.6 ± 0.1	17.6 ± 20.0
	Insulation	36.1 ± 6.6*	2.9 ± 1.0	9.4 ± 1.2	0.6 ± 0.1	16.0 ± 3.3
2 nd	Control	29.7 ± 5.3	2.3 ± 0.5	9.2 ± 1.2	0.5 ± 0.2	21.9 ± 14.6
	Insulation	30.2 ± 8.1	2.4 ± 0.5	9.6 ± 1.2*	0.5 ± 0.1	19.8 ± 6.3
3 rd	Control	28.3 ± 4.5	2.2 ± 0.5	10.3 ± 0.9*	0.3 ± 0.1	34.0 ± 12.7
	Insulation	28.6 ± 4.0	2.3 ± 0.5	9.8 ± 1.2	0.3 ± 0.1	37.9 ± 31.4
Total	Control	30.1 ± 5.9	2.4 ± 0.7	9.9 ± 5.2	0.5 ± 0.2	24.5 ± 17.5
	Insulation	31.6 ± 7.2*	2.5 ± 0.7*	9.6 ± 1.2	0.5 ± 0.2	24.4 ± 20.7

^wControl^w is the hive without insulation.

^x1st is Dec 14~20, 2018, 2nd is Feb 15~19, 2019, and 3rd Apr 5~8, 2019.

^ysoluble solids/titratable acidity

^zMean ± SD, and * signifies that the data between insulation and control were significantly different according to a t-test (p < 0.05).

2화방에서 5.5% 더 높았다(Table 4). 따라서 봉군의 보온 처리는 딸기의 생산성도 높일 수 있다고 판단된다. 일반적으로 2화방 딸기 생산성이 가장 낮는데 이는 2화방 개화시기(12월말~1월중)의 시설하우스 내 온도가 가장 낮기 때문이다(Lee *et al.*, 2017). 저온은 딸기의 꽃가루 발생 및 화분관 발아에 부정적인 영향을 줄 수 있을 뿐만 아니라(Voyiatzis and Paraskevopoulou-Paroussi, 2002; Sharma and Sharma, 2004; Lee *et al.*, 2017), 일벌의 화분매개 행동을 둔화시킬 수 있다(Joshi and Joshi, 2010; Abou-Shaara *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2018). 이번 조사에도 2화방 개화기인 12월과 1월의 시설하우스 내 평균온도가 3월보다 3°C 이상 낮았고(Table 1), 1화방에 비해 2화방의 상품과율 역시 감소하였다. 그러나 감소량은 시험구에 따라 차이를 보였는데, 보온처리구는 2화방의 상품과율이 1화방 대비 2~6% 감소한 반면 무처리구는 4~12%로 보온처리구에 비해 2배 이상 감소하였다. 이러한 이유는 저온시기인 2

화방 개화기에서 개화생리적으로 착과가 어려우나 봉군의 보온처리를 통해 안정적으로 봉군이 유지됨에 따라 외역봉의 화분매개 활동이 촉진되어 기형과 발생을 최소화했기 때문으로 생각된다. 또한 2화방 딸기의 가격은 3화방 이후의 딸기보다 20~30% 높은 가격을 형성하기 때문에(KREI, 2020) 2화방에서 생산성 증가는 딸기 농가소득 향상에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 예상된다.

이번 연구 결과를 종합하면, 겨울철 화분매개용으로 쓰여지는 꿀벌의 벌통을 보온처리했을 경우, 봉군 내부의 산란권 온도가 유지되고, 봉군의 수명도 향상될 뿐만 아니라 벌의 활동량도 증대되었다. 또한 화분매개 산물인 딸기의 상품과율도 증가하여 생산성도 향상되었다. 따라서 겨울철 시설 딸기의 화분매개를 위해 꿀벌을 사용할 경우 벌통을 보온처리하는 것이 필요하다고 판단된다. 본 연구는 딸기 재배농가에게 꿀벌을 더 오래 효과적으로 사용함으로써 딸기의 생산성을 향상시킬 수 있는 중요한 정보

를 제공해 줄 수 있다. 또한 시설하우스에서 꿀벌의 봉군 관리가 화분매개효과를 향상시키는 것을 밝히는 기초자료로 중요한 가치가 있다. 그러나 우리의 결과는 벌통 내부의 온도환경 개선이 여왕벌의 산란에 어떠한 영향을 미쳤는지 정력적 데이터를 제시하지 못했음에 한계가 있다. 따라서 향후, 봉군보온 처리에 따른 여왕벌의 산란양에 대한 변동 등 추가적인 조사가 필요할 것으로 생각된다. 그리고 화분매개효과 또한 소문 출입수 외에 방화활동수를 조사하여 보온처리구에서 딸기의 생산성이 높아진 원인도 명확하게 밝힐 필요가 있다. 벌통을 보온시키는 방법 또한 벌통 내부에 발포 보온단열재를 넣거나 전기가온판 등의 방법을 통하여 벌의 수명과 활동에 더 효과적인지 검토할 필요가 있다고 생각된다.

벌통 보온만으로 장기간 동안 여왕벌의 산란을 유지시키기에는 한계가 있다. 여왕벌의 산란은 온도와 같은 환경조건도 중요하지만 무엇보다 난소발달을 위한 단백질원인 꽃가루의 공급이 중요하다(Haydak, 1970; Renzi *et al.*, 2016; Chuda-Mickiewicz and Samborski, 2019). 그러나 딸기꽃은 여왕벌이 산란을 유지하기에 충분한 꽃가루를 제공할 수 없기 때문에 추가적인 단백질원이 필요하다(Gilbert and Breen, 1987). 따라서 산란자극을 위해 쓰여지는 ‘대용화분’의 공급방법에 대한 추가 연구가 필요할 것이다. 이번 연구는 벌통투입 시에만 한 번 대용화분이 공급되었지만 대용화분도 적기에 같이 추가로 공급된다면 봉군의 수명을 더욱 연장시킬 수 있을 것으로 기대된다.

적 요

한국에서 겨울 시설하우스 딸기의 생산을 위해 꿀벌의 화분매개는 반드시 필요하다. 벌통의 보온이 꿀벌을 통한 딸기 화분매개에 어떠한 영향을 미치는지 조사하였다. 벌의 화분매개 활동과 수명을 조사하기 위해 단열재처리 벌통과 일반나무 벌통을 비교한 결과, 보온처리 벌통이 일반 벌통보다 평균 온도가 4.6°C 높았고, 벌이 완전 소실되기까지 걸리는 기간이 20일 더 길었다. 또한 벌의 활동량에서 일반 벌통보다 입소수는 2.1배, 전체 활동량은 1.2배 많았다. 화분매개효과를 조사하기 위하여 상품과율과 과실의 품질을 조사한 결과, 상품과율은 일반 벌통보다 3.3% 높았고, 과실의 품질은 유의미한 차이가 없었다. 따라서 보온처리를 한 벌통은 벌통 내부온도를 개선시키고, 벌의

활동량과 봉군의 수명을 증가시킬 뿐만 아니라 딸기의 생산성을 향상시킬 수 있기 때문에 겨울철 딸기의 화분매개를 위해 벌통의 보온이 권장된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(주관과제명: 융복합기술을 이용한 수출용 대과형 딸기 품질향상 및 안전성 확보 연구, 세부과제번호: PJ01598903)을 수행하는 과정에서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었다.

인용 문헌

- Abrol, D. P., A. K. Gorke, M. J. Ansari, A. Al-Ghamdi and S. Al-Kahtani. 2019. Impact of insect pollinators on yield and fruit quality of strawberry. *Saudi J. Biol. Sci.* 26: 524-530.
- Abou-Shaara, H. F., A. A. Owayss, Y. Y. Ibrahim and N. K. Basuny. 2017. A review of impacts of temperature and relative humidity on various activities of honey bees. *Insectes Soc.* 64: 455-463.
- Ahn, S. B., I. S. Kim, W. S. Cho and K. M. Choi. 1989. Survey on the present situation of honeybee use as the pollinator in the plastic house of strawberry cultivation area by the questionnaires. *J. Apic.* 4: 1-8.
- Beekman, M. 2005. How long will honey bees (*Apis mellifera* L.) be stimulated by scent to revisit past-profitable forage sites? *J. Comp. Physiol. A.* 191: 1115-1120.
- Burgett, M. and L. Burikam. 1985. Number of adult honey bees (Hymenoptera: Apidae) occupying a comb: a standard for estimating colony populations. *J. Econ. Entomol.* 78: 1154-1156.
- Choi, H. R., S. J. Lee, J. H. Lee, J. W. Kwon, H. K. Lee, J. T. Jeong and T. B. Lee. 2013. Cholesterol-lowering effects of unripe black raspberry water extract. *J. Korean Soc. Food. Sci. Nutr.* 42: 1899-1907.
- Chuda-Mickiewicz, B. and J. Samborski. 2019. Effect of restricted pollen supply to colonies on the quality of reared queen bees. *Acta Sci. Pol. Zootech.* 18: 21-26.
- Gilbert, C. and P. J. Breen. 1987. Low pollen production as a cause of fruit malformation in strawberry. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 112: 56-60.
- Harrison, J. M. 1987. Roles of individual honeybee workers and drones in colonial thermogenesis. *J. Exp. Biol.* 129: 53-61.
- Haydak, M. H. 1970. Honey bee nutrition. *Annu. Rev. Entomol.* 15: 143-156.
- Heinrich, B. 1996. How the honey bee regulates its body tem-

- perature. *Bee World* 77: 130-137.
- Joshi, N. C. and P. C. Joshi. 2010. Foraging behaviour of *Apis* spp. on apple flowers in a subtropical environment. *NY Sci. J.* 3: 71-76.
- Kleinhenz, M., B. Bujok, S. Fuchs and J. Tautz. 2003. Hot bees in empty broodnest cells: heating from within. *J. Exp. Biol.* 206: 4217-4231.
- KREI (Korea Rural Economic Institute). 2020. Agricultural outlook information. KREI press, Naju, Korea.
- Lee, G. B., Y. U. Choe, E. J. Park, Z. Wang, M. Li, K. Li and J. S. Kang. 2017. Influence of abnormally low temperatures on growth, yield, and biologically active compounds of strawberry. *J. Environ. Sci. Int.* 26: 381-392.
- Lee, K. Y., J. Lim, H. J. Yoon and H. J. Ko. 2018. Effect of climatic conditions on pollination behavior of honeybees (*Apis mellifera* L.) in the greenhouse cultivation of watermelon (*Citrullus lanatus* L.). *J. Apic.* 33: 239-250.
- Lee, K. Y., S. Choi, J. Lee and H. J. Yoon. 2020. Development of imaging-based honeybee traffic measurement system and Its application to crop pollination. *J. Apic.* 35: 233-243.
- Lee, M. L., G. H. Byoun, M. Y. Lee, Y. S. Choi and H. K. Kim. 2015. The effect of temperature, yellow sand, and acid rain on life span and nosema infection rate in honeybees, *Apis mellifera* L. *J. Apic.* 30: 269-274.
- Lee, M. Y., Y. I. Mah, Y. D. Chang, T. I. Kim and I. K. Park. 1998. Effect of *Apis mellifera* on fruit production of strawberry cultivated in the vinyl-house. *J. Apic.* 13: 21-26.
- Lee, S. B., H. J. Yoon, I. G. Park, Y. S. Kim, M. Y. Lee and M. L. Lee. 2006. Comparison on the pollinating activities of bumblebee, *Bombus terrestris* L. and honeybee, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) in the strawberry houses. *J. Apic.* 21: 125-130.
- Lee, S. B., H. J. Yoon, S. W. Kang, J. S. Kwon and K. K. Park. 2014. Comparison of the pollinating activities according to number of combs per honeybee (*Apis mellifera*) hive released in the strawberry (Seolhyang var.) vinyl-houses. *J. Seric. Entomol. Sci.* 52: 134-141.
- Lee, S. B., N. G. Ha, K. Y. Lee, H. J. Yoon, I. G. Park, H. S. Gang, S. J. Hwang, M. Y. Lee and K. Choi. 2008. Characteristics and effects on the pollinating activities of honeybee, *Apis mellifera* L. and whitetailed bumblebee, *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae) in strawberry vinyl houses. *J. Apic.* 23: 73-81.
- Lim, S., H. Hwang and Y. Shin. 2016. Physicochemical properties and antioxidant activities of 'Seolhyang' and 'Janghee' strawberries from different ripening stages grown in Korea. *J. East Asian Soc. Diet. Life* 26: 80-87.
- McGregor, S. E. 1976. Strawberry-Insect pollination of cultivated crop plants. *USDA Handbook*, 496: 338-343.
- Ohashi, M., R. Okada, T. Kimura and H. Ikeno. 2009. Observation system for the control of the hive environment by the honeybee (*Apis mellifera*). *Behav. Res. Methods.* 41: 782-786.
- Ohishi, T. 1999. Appropriate management of honeybee colonies for strawberry pollination. *Honeybee Science* 20: 9-16.
- Petz, M., A. Stabentheiner and K. Crailsheim. 2004. Respiration of individual honeybee larvae in relation to age and ambient temperature. *J. Comp. Physiol. B* 174: 511-518.
- Pion, S., D. De Oliveira and R.O. Paradis. 1980. Agents pollinisateur et productivité du fraisier 'Redcoat'. *Phytoprotection*, 61: 72-78.
- RDA (Rural Development Administration). 2017. Standard manual of characteristics investigation for breeding new varieties Strawberries, RDA press, Jeonju, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2019. Strawberry cultivation, RDA press, Jeonju, Korea.
- Renzi, M. T., N. Rodrciguez-Gasol, P. Medrzycki, N. Porrini, A. Martini, G. Burgio, S. Maini and F. Golastra. 2016. Combined effect of pollen quality and thiamethoxam on hypopharyngeal gland development and protein content in *Apis mellifera*. *Apidologie* 47: 779-788.
- Rivera, M. D., M. Donaldson-Matasci and A. Dornhaus. 2015. Quitting time: When do honey bee foragers decide to stop foraging on natural resources? *Front. Ecol. Evol.* 3: 50.
- Seeley, T. D. 1989. Social foraging in honeybees: how nectar foragers assess their colony's nutritional status. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 24: 181-199.
- Seeley, T. D. 1995. The wisdom of the hive. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, London, England.
- Sharma, V. P. and R. R. Sharma. 2004. The Strawberry. ICAR. New Delhi, India.
- Shimotori, K. 1981. Honeybees and strawberry industry in Tochigi. *Honeybee Science* 2: 57-60.
- Southwick, E. E. and G. Heldmaier. 1987. Temperature control in honey bee colonies. *Bioscience* 37: 395-399.
- Stabentheiner, A. and H. Kovac. 2014. Energetic optimisation of foraging honeybees: flexible change of strategies in response to environmental challenges. *PLoS One* 9(8): e105432.
- Sujikawa, Y. 1981. Honeybees in greenhouses, their effects on strawberries and a problem of UV-cut firm house. *Honeybee Science* 2: 49-56.
- Szopek, M., T. Schmickl, R. Thenius, G. Radspieler and K. Crailsheim. 2013. Dynamics of collective decision making of honeybees in complex temperature fields. *PLoS One* 8(10): e76250.
- Vincent, C., D. De Oliveira and A. Bélanger. 1990. The management of insect pollinators and pests in Québec strawberry plantations, pp. 177-192, Intercept Ltd., Andover, UK.
- Voyiatzis, D. G. and G. Paraskevopoulou-Paroussi. 2002. Factors affecting the quality and in vitro germination capacity of strawberry pollen. *Hortic. Sci. Biotechnol.* 77: 200-203.

Woyke, J. and Z. Jasinski. 1990. Effect of the number of attendant worker bees on the initiation of egg laying by instrumentally inseminated queens kept in small nuclei. *J. Apic. Res.* 29: 101-106.

Yoon, H. J., K. Y. Lee, M. A. Kim, I. G. Park and Y. C. Choi. 2011. Current status of insect pollinator use in strawberry

crop in Korea. *J. Apic.* 26: 143-155.

Yoon, H. J., K. Y. Lee, Y. B. Lee, M. Y. Lee, S. Kathanan and J. D. Park. 2021. Current status of insect pollinators use for horticultural crops in Korea, 2020. *J. Apic.* 36: 111-123.