

# 에스테르 왁스가 함유된 폴리프로필렌 방출기 제조와 복숭아순나방 교미교란 효과 검정

윤지영 · 김다은 · 임유나 · 이지성<sup>1</sup> · 양창열<sup>2</sup> · 김종득\*

한국과학기술원 생명화학공학과, <sup>1</sup>대원산업(주), <sup>2</sup>국립원예특작 과학원

## Efficacy Test of Mating Disruptors Against Peach Fruit Moth, *Grapholita molesta*, using Polypropylene Dispenser Containing Ester Wax

Ji Young Yoon, Da Eun Kim, Yu Na Im, Ji Sung Lee<sup>1</sup>, Chang Yeol Yang<sup>2</sup> and Jong-Duk Kim\*

Department of Chemical and Biomolecular Engineering (BK 21 Plus Program), KAIST, Guseong-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon 34141, Korea

<sup>1</sup>Daewon Industrial, Inc., #412-1, Cheongcheon-dong, Bupyeong-gu, Incheon 21315, Korea

<sup>2</sup>Crop Environment Division of National Crop Experiment Station, RDA, Jeollabuk-do, 55365, Korea

**ABSTRACT:** *Grapholita molesta* (GM) has been considered as a major problem to apple and peach orchards. Mating disrupters have been applied to control the pest over the world as an Integrated Pest Management [IPM] tool. Various types of dispensers releasing mating disrupters have been developed with different formulation of wax, polyethylene tube and aerosol. In this study, the dispensers that were composed of ester waxes and polypropylene (PP) film were used as dispenser materials to analyze release pattern of GM pheromone compared with paraffin wax and polyethylene (PE) film. The release pattern in PP film group was consistent with time while PE film group irregular. Based on these results, Japan wax\_PP film dispenser (Japan\_PP) was manufactured and showed the mating disruption effect of 98% during 5months in peach orchard.

**Key words:** Peach, *Grapholita molesta*, Mating disrupter, Ester wax, Polymer film

**조 록:** 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)은 핵과류과실에 일차 피해를 주는 해충이다. 이를 해결하기 위해 종합적병해충관리 [IPM]의 일환으로써 전세계적으로 교미교란제가 농가에 적용되고 있다. 왁스, 폴리에틸렌 튜브, 에어로졸 형태의 다양한 교미교란제가 상업화되었다. 이 연구에서는 복숭아순나방 성페로몬 방출기로써 에스테르왁스와 폴리프로필렌(PP)필름백을 구성하는 방출기를 기존의 파라핀 왁스와 폴리에틸렌(PE) 재질의 필름과 비교하여 페로몬의 방출거동을 분석했다. PE재질의 필름백은 성페로몬의 방출이 불규칙한 반면, PP필름백에서 성페로몬은 시간에 따라 일정하게 방출하는 패턴을 얻었다. 이러한 결과를 토대로 Japan 왁스\_PP 필름 방출기(Japan\_PP)를 제작하였고, 약 5개월 동안 복숭아과수원에 적용한 결과 98% 이상의 교미교란 효과가 검증되었다.

**검색어:** 복숭아, 복숭아순나방, 교미교란제, 에스테르 왁스, 고분자 필름

복숭아순나방(*Grapholita molesta*)은 배, 사과, 복숭아 등 핵과류 과실에 서식하여 1차 피해를 주는 해충이다. 과실 속에 가해하는 유충은 살충제의 접촉을 피할 수 있어 유충을 방제 대상으로 하는 교미교란제의 사용이 증가하고 있다(Pree et al., 1998; Bochert et al., 2004). 교미교란제는 합성 성페로몬을 방

출시켜 수컷으로 하여금 암컷으로 오인시키고, 또한 성페로몬에 대한 감각을 둔화시켜 정상적 교미를 억제하는 역할을 띤다(Baker et al., 2005). 단일 교배종인 복숭아순나방은 이로 인해 한 번의 교미기회를 놓치면 무정란을 생산하여 차세대 형성을 억제하게 된다(Baker et al., 2005). 국내의 복숭아 순나방은 1년에 4~5회 성충발생을 나타내고 있다(Yang et al., 2001). 이 성충 발생 시기는 4~9월로 약 6개월 이상 교미교란제로부터 합성 성페로몬이 방출되어야 교미교란 효과를 발휘하게 된다. 합성 성

\*Corresponding author: [kjd@kaist.ac.kr](mailto:kjd@kaist.ac.kr)

Received August 27 2015; Revised October 6 2015

Accepted October 13 2015

페로몬을 장기간 지속적으로 방출시키기 위해 왁스, 스프레이, 폴리에틸렌 튜브 타입 등의 다양한 제형의 교미교란제가 개발되었고, 국내 과원에 이 교미교란제 효과를 입증하였다(Jung et al., 2006).

복숭아순나방 성페로몬의 조성 비율이 지역적으로 상이할 수 있으며(Boo, 1998), 이들 교미교란제 처리가 광범위한 지역에 적용이 곤란한 국내 경작 규모를 고려하면, 특수한 형태의 교미교란제 제형화 기술이 필요하다(Jung et al., 2008). 이를 위해 국내 복숭아순나방 성페로몬의 조성을 분석하였으며, 이 합성 성페로몬을 제조하여 장기간 방출시킬 수 있는 제형이 개발되었다(Jung et al., 2008). 효과적인 제형 연구를 위해 기존의 제품인 왁스 제형의 SPLAT™와 폴리에틸렌 튜브 제형의 ISOMATE®의 비교실험이 진행된 결과 SPLAT™처리군에서 교미교란 효과가 더 좋게 나타났지만 이는 각 제품에 포함된 페로몬의 함량이 다름에서 나타난 것으로 밝혀졌다(Stelinski et al., 2005; Jung et al., 2006).

본 연구에서는 Isomate®와 SPLAT™에서 사용된 방출소재와 비교하여 더 장시간 페로몬을 방출할 수 있는 새로운 소재를 개발하고자 하였다. 기존의 파라핀 왁스 외에 동물 및 식물에서 유래된 천연 왁스인 에스테르 왁스(Bees, Japan, Carnauba)와 복숭아순나방 성페로몬을 혼합하여 페로몬 방출거동을 분석하였다. 또한, 기존에 사용된 polyethylene 필름과 비교하여 다양한 고분자 필름백에(polypropylene, nylon과 polyethylene 합지 필름, polyethylene terephthalate와 polyethylene 합지 필름) 이 왁스와 성페로몬 혼합물을 넣어 성페로몬 방출 투과막으로서의 효율을 비교 평가했다. 실내 평가에서 선발된 교미교란제 방출기를 2015년 4월초부터 9월초까지 복숭아원에 적용해 교미교란 효과를 검증하였다.

## 재료 및 방법

### 교미교란제 구성물

복숭아순나방 성페로몬 성분인 (Z)-8-dodecenyl acetate (Z8-12Ac)을 (주)그린아그로텍(경산)에서 구입하였다. 복숭아순나방 발생예찰용 페로몬 루어에 포함된 페로몬 성분은 Z8-12Ac: E8-12Ac: Z8-12OH (95:5:1)로서 델타형 트랩과 함께 (주)그린아그로텍에서 구입하였다. 파라핀과 Carnauba 왁스는 시그마알드리치 코리아(서울)에서 구입하였으며, Bees 및 Japan 왁스는 (주)신원무역상사(서울)에서 구입했다. 복숭아순나방 페로몬과 왁스 혼합물을 넣어 고분자 필름백으로 (주)대원산업(인천)에서 공급한 polyethylene (PE), polypropylene (PP), nylon/

polyethylene (NY/PE), polyethylene terephthalate/polyethylene (PET/PE)을 사용하였다. 각 필름의 두께는 PE와 PP 필름은 60  $\mu\text{m}$ , NY/PE 합지 필름은 NY 15  $\mu\text{m}$ /PE 60  $\mu\text{m}$ 을 사용하였고 PET/PE 합지 필름은 PET 12  $\mu\text{m}$ /PE 60  $\mu\text{m}$  두께의 필름을 사용하였다.

### 교미교란제 제조 및 성페로몬 방출 실험

파라핀 및 Bees, Japan, Carnauba 왁스를 각각 70°C에서 용융시킨 후, 복숭아순나방 성페로몬을 왁스와 페로몬 혼합물 전체 양의 5% 중량비가 되도록 섞는다. 이 교반된 혼합물을 상온에서 서서히 식힌 후, 각 5.8 cm<sup>2</sup>면적의 PE, PP, NY/PE, PET/PE 필름백에 넣어 페로몬 방출 실험 전까지 4°C에서 보관하였다. 이러한 왁스 혼합물이 들어있는 각 필름백 교미교란제군을 30°C의 항온기에 걸어 시간에 따른 각 샘플 잔량의 무게를 측정함으로써 시간에 따른 페로몬의 방출량을 계산했다.

### 교미교란제 효과 실험

경기도 화성 지역의 복숭아원에 예찰용 델타트랩을 이용하여 교미교란제 효과실험을 진행하였다. Fig. 1과 같이 1번 그룹은 음성 대조군으로, 복숭아순나방 페로몬 루어가 없는 델타트랩을 임의로 2곳에 설치하였고, 2번 그룹은 양성 대조군으로 복숭아순나방 페로몬 루어가 있는 델타 트랩을 5 m 이상 간격을 두고 3곳에 설치하였다. 3번 그룹은 약 330 m<sup>2</sup>에 10그루의 복숭아나무가 있으며 모니터링 트랩을 2번 그룹과 동일하게 3곳에 설치하고, 이와 함께 제조한 Japan 왁스 혼합물이 있는 PP 필름백(PP\_Japan)을 나무 한 그루당 3~4개씩 설치하였다. 각 델타트랩의 복숭아순나방 루어는 50일에 한번 씩 교체하였고, 끈끈이 트랩은 한 달에 한번 씩 교체하였다. 현재 국내 농가에서 적용하고 있는 ISOMATE®안의 복숭아순나방페로몬 함량(25~75 mg 복숭아순나방페로몬/개)을 고려해서 약 50 mg의 복숭아순나방페로몬이 함유되어 있는 Japan\_PP 교미교란제 3~4개를 한 그루당 설치하여 10그루에 각각 적용하였다. 각 밭의 간격은 100 m 이상으로 근접한 밭에서의 복숭아순나방의 이동성은 관찰되지 않았다. 실험은 2015년 4월초부터 9월초까지 수행되었으며 트랩에 포획된 복숭아순나방 수컷의 개체수를 토대로 5개월 동안 교미교란제의 효과를 아래 식으로 산출하였다(Lee et al., 2014).

교미교란 효과(%) = [(대조구에 포획된 복숭아순나방 개체수 - 교미교란제 처리구에 포획된 복숭아순나방 개체수) / (대조구에 포획된 복숭아순나방 개체수)] × 100

(A)



(B)

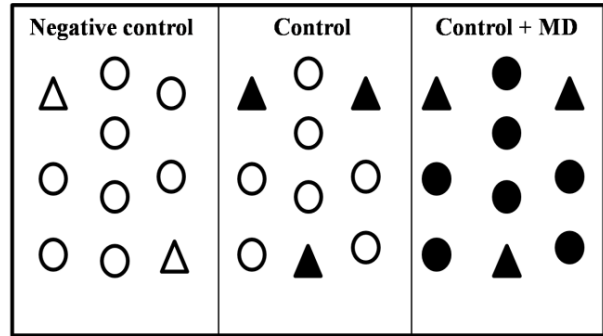


Fig. 1. (A) Application of mating disruptors (Japan\_PP) into peach orchard. (B) the area of each peach orchard: 330 m<sup>2</sup>, △ = peach tree containing Delta-trap without pheromone lure, ▲ = peach tree containing Delta-trap with pheromone lure, ○ = peach tree without mating disruptors, ● = peach tree with mating disruptors.

## 결 과

### 복숭아순나방페로몬 방출실험

#### 파라핀 왁스와 에스테르 왁스

방출기를 구성하는 다양한 왁스 재질이 복숭아순나방성페로몬의 방출거동에 미치는 영향을 분석하기 위해 30°C 항온기에서 방출되는 하루 평균 성페로몬 양을 측정했다(Fig. 2). 파라핀 왁스에서는 약 4개월 이상 동안 평균 73.9 ± 9.2 μg/cm<sup>2</sup>/day의 방출율을 보였고, 에스테르 왁스인 Bees, Japan, Carnauba 왁스에서는 각각 41.3 ± 5.2 μg/cm<sup>2</sup>/day, 38.0 ± 3.7 μg/cm<sup>2</sup>/day, 3.5 ± 0.8 μg/cm<sup>2</sup>/day의 방출율을 나타냈다. 또한 이를 토대로 각 그래프의 기울기 값을 Table 1과 같이 산출한 결과 파라핀 왁스에서는 -0.744, Bees, Japan, Carnauba 왁스에서는 각각 -0.590, -0.295, -0.007로 시간이 지날수록 하루에 방출되는 페로몬의 방출량이 감소했다. 하지만 에스테르 왁스군에서는 파라핀 왁스와 비교하여 하루에 방출되는 성페로몬의 양이 감소함과 동시에 그래프의 기울기 값이 0에 가까운 값을 보임에 따라 파라핀 왁스에 비해 경과 기간에 따라 일정한 성페로몬 방출 거동을 보였다.

#### 고분자 필름백

왁스만을 사용했을 때 성페로몬 방출을 조절하는데 한계가 있어 각 종류의 필름백(PE, PP, NY/PE, PET/PE)에 성페로몬과 왁스의 각 혼합물을 넣어 이중 방출재질 효과를 분석하였다.

Fig. 2와 같이 각 왁스 혼합물이 함유된 필름백 교미교란제군의 페로몬 방출 그래프를 분석하여 Table 1에 각 군에서 하루당 방출되는 성페로몬 양이 경과 시기별로 일정한지의 여부를 평균 성페로몬 방출량으로 산출하였다. 모든 왁스 혼합물이 함유된 각 필름백에서 복숭아 순나방성페로몬 방출 거동은 비슷한 형태로 나타났다. 각 왁스 혼합물이 있는 PE 필름군에서 성페로몬의 투과도가 가장 높게 나타났고 시간에 따라 방출되는 평균 성페로몬 양은 서서히 줄어드는 양상을 보였다. NY/PE와 PET/PE 필름군에서는 성페로몬의 투과가 거의 나타나지 않았고, 오히려 시간이 갈수록 무게가 증가하는 현상이 나타났다. 각 왁스 혼합물을 넣은 PP 필름군에서는 기울기 값이 0에 가까운 값을 보임에 따라 다른 고분자 필름백에 비해 일정하게 성페로몬이 방출되었다.

#### 교미교란제방출기 효능 현장 검증

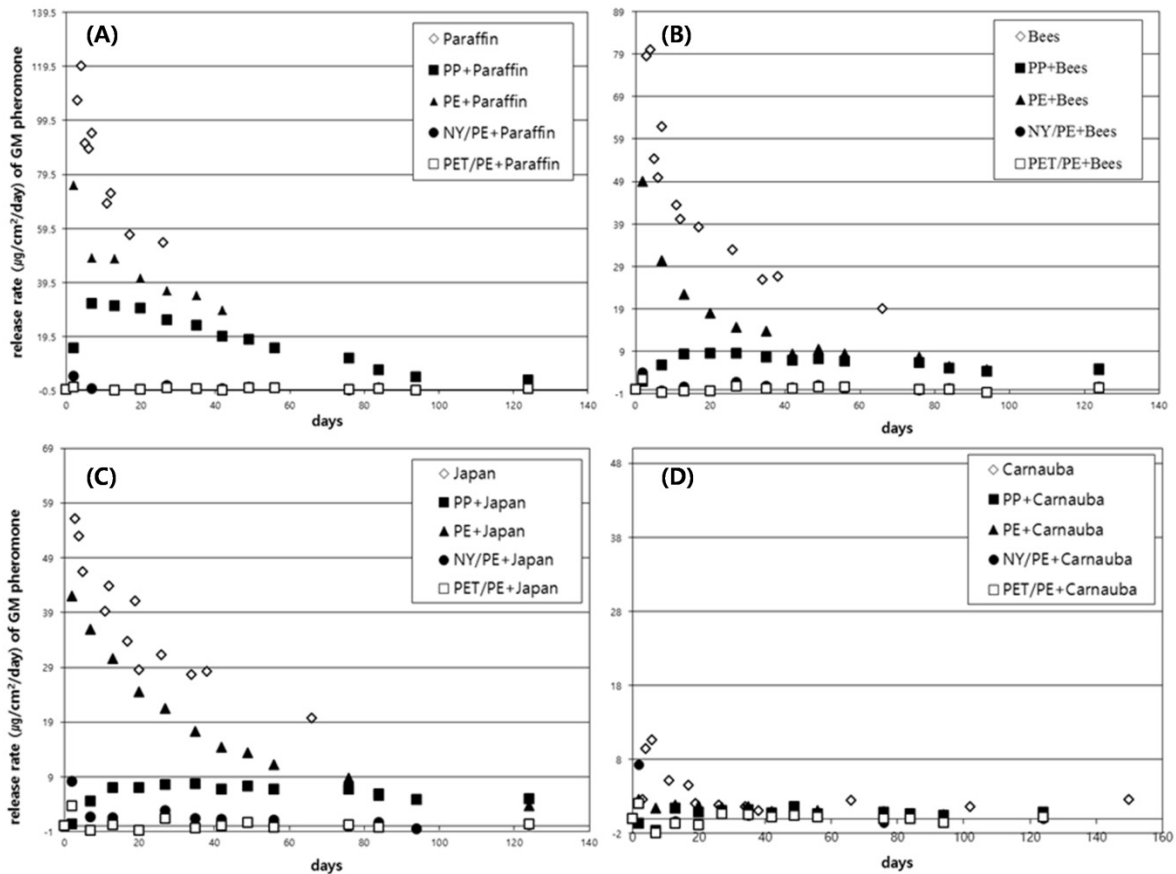
실내 방출기 효능 검증에 따라 최적의 기능을 발휘한 Japan 왁스 혼합물이 있는 PP 필름백(Japan\_PP)을 교미교란제로서 제조한 후 경기도 화성에 위치한 복숭아원에서 복숭아순나방에 대한 교미교란 효과를 분석하였다(Fig. 1). 그 결과, 음성 대조군의 트랩에서는 복숭아순나방 수컷이 발견되지 않았고 양성 대조군에서는 트랩에 4월초부터 9월초까지 평균 169 ± 17 마리의 수컷이 포획되어, 교미교란 효과를 분석하기 위한 충분한 복숭아순나방 집단의 발생이 있었음을 확인하였다(Fig. 3). 복숭아순나방의 이러한 포획 발생상황에서 Japan\_PP 교미교란제 군에서는 평균 2 ± 1마리의 수컷이 포획 되어, 교미교란 효과가 98% 이상의 교미교란 효과가 확인되었다(Fig. 3).

## 고찰

교미교란제는 근본적으로 해충의 교미를 교란시켜 차세대 형성을 억제하여 해충방제를 피하게 된다. 현재 파라핀 왁스를 이용한 왁스타입의 SPLAT™와 PE재질의 튜브타입인 ISOMATE®가 전량 수입되어 국내 농가에 보급되어 있다. 하지만 그 지속 기간은 2~4개월로서 복숭아순나방의 활동기간(6개월)보다 짧고(Delwiche et al., 1998; Welter et al., 2005; Stelinski et al., 2006), 농가의 교미교란제보관법에 대한 교육 미흡으로 인해 상온에서 포장이 뜯겨진 채 그대로 방치되는 경우도 많았다. 따라서 이러한 손실을 고려해 볼 때, 적어도 6개월 이상 일정하게 성페로몬을 방출 시킬 수 있는 방출 소재의 개발이 요구 되었다. 식물성 및 동물성 왁스인 에스테르 왁스는 경도가 높고, 산소 또는 세균에 침식되지 않는 성질로 동·식물의 표면을 덮어 수분의 증발을 억제하는 역할을 하여 과실의 품질개선을 위한 코팅재료로 이용되고 있다(Raymond et al., 1995; Thin et al., 2013). 이러한 성질을 이용하여 방출소재는 페로몬의 산화안

정성을 높일 수 있다. 또한 이 연구에서 사용된 PP, NY/PE, PET/PE 필름은 기체 투과도가 PE필름에 비해서 적기 때문에, 에스테르 왁스와 함께 사용하면 페로몬 방출을 효율적으로 조절해 값비싼 합성 성페로몬의 불필요한 손실을 줄일 수 있다. 이에 연구에서는, 에스테르 왁스와 필름백의 종류에 따른 페로몬의 방출거동을 확인하여, Fig. 2에서와 같이 실험실내의 페로몬의 방출율을 토대로 방출속도의 기울기 값이 0에 근접하는 소재를 선발하는 전략을 세웠다.

복숭아순나방 암컷에서 방출되는 평균 성페로몬의 양은 8.48~25.3 ng/h으로 추정 되었다(Lacey et al., 1992). 또한 교미교란제 한 개당 방출되는 페로몬의 양은 암컷이 방출하는 성페로몬양의 600~1,000배 이상이 방출되도록 적용을 한다는 보고도 있다(Kong et al., 2014). 암컷 복숭아순나방은 하루 중 일정한 시각에 2~3시간 동안 성페로몬을 방출하며(Han et al., 2001), 최대 방출량이 25.3 ng/h라고 할 때 이를 참고하여 제조한 교미교란제로부터 방출되는 성페로몬 양을 비교하여 이보다 더 많은 양을 일정하게 방출하는 적합한 소재를 선정 할 수 있다.



**Fig. 2.** The release rate of *Grapholita molesta* sex pheromone according to dispenser materials (wax or wax + film bag) at 30°C. (A) Paraffin wax group (B) Bees wax group (C) Japan wax group (D) Carnauba wax group with polymer film bags (PE: polyethylene, PP: polypropylene, NY/PE: nylon/polyethylene, PET/PE: polyethylene terephthalate/polyethylene).

**Table 1.** Slope and average of pheromone release rate in each polymer bag (n=12)

Polymer type	Slope of pheromone release rate (average release rate, Mean $\pm$ SEM, $\mu\text{g}/\text{h}$ )			
	Paraffin	Bees	Japan	Carnauba
Naked	-0.744 (35.4 $\pm$ 4.4)	-0.590 (19.8 $\pm$ 2.5)	-0.295 (18.3 $\pm$ 1.8)	-0.002 (1.7 $\pm$ 0.4)
PE <sup>1</sup>	-0.217 (21.5 $\pm$ 2.8)	-0.196 (7.6 $\pm$ 1.8)	-0.222 (9.2 $\pm$ 1.7)	-0.008 (0.7 $\pm$ 0.1)
PP <sup>2</sup>	-0.159 (9.3 $\pm$ 1.3)	-0.003 (3.1 $\pm$ 0.3)	0.018 (3.1 $\pm$ 0.3)	-0.007 (0.3 $\pm$ 0.1)
NY/PE <sup>3</sup>	-0.013 (0.2 $\pm$ 0.2)	-0.008 (0.2 $\pm$ 0.2)	-0.025 (0.7 $\pm$ 0.3)	-0.011 (0.3 $\pm$ 0.3)
PET/PE <sup>4</sup>	0 (0.0 $\pm$ 0.1)	-0.003 (0.1 $\pm$ 0.1)	-0.008 (0.1 $\pm$ 0.2)	0 (0.0 $\pm$ 0.1)

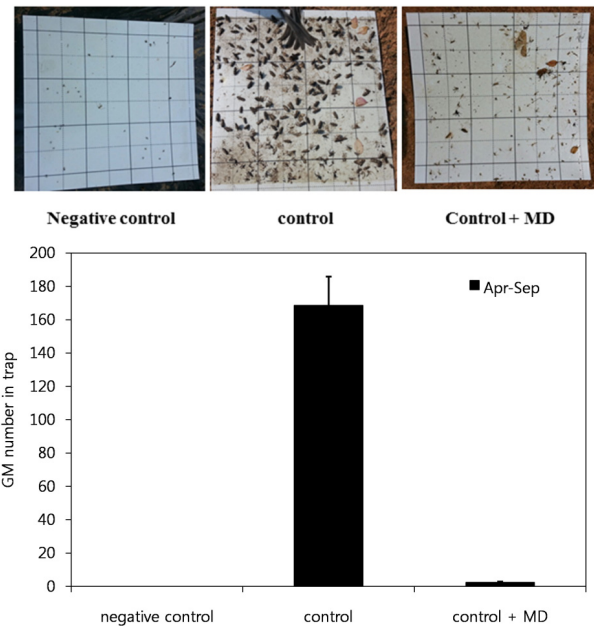
<sup>1</sup>polyethylene.

<sup>2</sup>polypropylene.

<sup>3</sup>nylon/polyethylene.

<sup>4</sup>polyethylene terephthalate/polyethylene.

Table 1은 Fig. 2에서 나타난 각 군에서의 페로몬 방출양( $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$ )을 페로몬을 방출하는 교미교란제의 면적을 곱하고 24시간으로 나누어 단위를  $\mu\text{g}/\text{h}$ 로 바꾸어 나타냄으로써 실제로 암컷이 시간당 방출하는 페로몬의 양과 비교가 쉽도록 정리하였다. Table 1의 결과를 토대로 계산할 때 파라핀 왁스군에서 약 35.4  $\mu\text{g}/\text{h}$ 의 페로몬이 방출될 때, 하루에 방출하는 페로몬의 양은 약 850  $\mu\text{g}$ 이 된다. 교미교란제 한 개당 50 mg의 성페로몬이 함유되어 있으므로 방출속도를 계산하면 이는 약 60일의 지속기간을 갖는다고 할 수 있으며, Table 1에 근거하여 방출그래프의 기울기가 -0.744로 파라핀 왁스군에서는 페로몬이 일정한 방출 패턴을 나타내지 않음을 알 수 있다. 에스테르 왁스군에서 Carnauba 왁스는 1.7  $\mu\text{g}/\text{h}$ 의 속도로 페로몬을 방출하고 이를 토대로 계산할 때 하루에 약 40.8  $\mu\text{g}$ 의 페로몬을 방출하여 1년 이상의 지속 효과를 기대할 수 있지만, 교미교란 효과를 위해 한 그루당 적용해야 하는 교미교란제 개수가 많아지므로 농가 용이성이 떨어진다. Bees 왁스와 Japan 왁스는 각각 19.8  $\mu\text{g}/\text{h}$ , 18.3  $\mu\text{g}/\text{h}$ 의 속도로 페로몬을 방출하여 두 왁스 모두 농가에 적용하기에 적합하다고 판단되지만, 왁스자체의 페로몬 방출 그래프의 기울기가 Bees 왁스는 -0.590이고 Japan 왁스는 -0.295로 Japan 왁스에서 더 0에 가까운 값으로 zero-order한 방출양상을 나타내어 Japan 왁스를 교미교란제로 적용하였다. 또한 고분자 필름군의 실험결과를 토대로 필름군을 선정하였다(Fig. 2, Table 1). 각 왁스 혼합물이 있는 PE 필름군은 페로몬에 대한 투과도가 전반적으로 높고, 하루당 평균 방출되는 페로몬의 양이 시간이 지남에 따라 줄어들어 페로몬의 방출량을 조절하는 투과막으로서의 역할은 다



**Fig. 3.** The average trapped number (Mean  $\pm$  SE) of *Grapholita molesta* (GM) male insects in negative control, control and control + MD groups for 5 months (negative control: 0, control: 169  $\pm$  17, Control + MD: 2  $\pm$  1).

소부적합하다. 따라서, PE 필름을 사용 시 다른 필름과의 합지 형태 또는 성페로몬의 일정한 방출을 유도하는 두께로 제조해야 한다. NY/PE와 PET/PE 필름군에서는 방출기 기울기가 0에 가까운 것으로 나타나지만(Table 1), Fig. 2와 Table 1에서 보는 바와 같이 시간당 방출하는 합성 성페로몬의 양이 암컷이 방출하는 페로몬의 양과 비슷하거나 더 적고 방출율이 일정하지 않아 페로몬 방출 소재로서는 적절하지 않다. 이와 비교하여, PP 필름백을 사용 시에는 성페로몬이 경과 기간에 따라 일정한 방출 거동을 보여 PP 필름백을 가장 적합한 필름으로 선정 하였다.

위와 같이 실내환경 실험을 통해 선정된 Japan 왁스와 PP 필름백으로 교미교란제를 제조하여(Japan\_PP) 복숭아원에 적용 하였다. Japan\_PP 교미교란제는 Table 1과 같이 약 30°C 환경에서 평균 3.1  $\pm$  0.3  $\mu\text{g}/\text{h}$ 의 합성 성페로몬을 방출한다고 했을 때, 이 양은 암컷이 방출하는 페로몬 양의 약 123배에 해당한다. 실제로 야외조건에서 4월초~9월초에 복숭아원에 적용시 5개월 이상 트랩의 수컷 유인수로 효과를 추정해봤을 때, 98% 이상의 교미교란 효과를 보였다(Fig. 3). 결론적으로, 에스테르 왁스와 PP 필름백은 페로몬의 방출을 지연시킬 수 있는 교미교란 방출소재로서의 활용이 가능하며, Japan\_PP 교미교란제에서 방출되는 페로몬양을 바탕으로 5개월 이상 교미교란 효과를 기대 볼 수 있다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 2014년도 국가농업 R&D 어젠다 연구사업(PJ01021302)에 의해 지원되었다.

## Literature Cited

- Baker, T.C., Heath, J.J., 2005. Pheromones: function and use in insect control, in: Gilvert L.I. (Ed), Comprehensive Molecular Insect Science Elsevier, Amsterdam. pp. 407-459.
- Bochert, D.M., Stinner, R.E., Walgenbach, J.F., Kennedy, G.G., 2004. Oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) phenology and management with methoxyfenozide in North Carolina apples. *J. Econ. Entomol.* 97, 1353-1364.
- Boo, K.S., 1998. Variation in sex pheromone composition of a few selected lepidopteran species. *J. Asia-Pac. Entomol.* 1, 17-23.
- Delwiche, M., Atterholt, C., Rice, R., 1998. Spray application of paraffin emulsions containing insect pheromones for mating disruption. *Transactions of the ASAE.* 41, 475-480.
- Han, K.S., Jung, J.K., Choi, K.H., Lee, S.W., Boo, K.S., 2001. Sex pheromone composition and male trapping of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) in Korea. *J. Asia-Pacific Entomol.* 4, 31-35.
- Jung, S.C., Park, C.W., Park, M.W., Lee, S.W., Choi, K.H., Hong, Y.P., Kim, Y.G., 2006. Efficacy of commercial mating disruptors on field overwintering populations of Oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck). *Korean. J. Appl. Entomol.* 45, 235-240.
- Jung, S.C., Park, M.W., Lee, S.W., Choi, K.H., Hong, Y.P., Bae, S.W., Kim, Y.G., 2008. Development of wax-typed pheromone dispenser for mating disruption of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, and its application technique. *Korean. J. Appl. Entomol.* 47, 255-263.
- Kong, W.N., Li, J., Fan, R.J., Li, S.C., Ma, R.Y., 2014. Sex-pheromone-mediated mating disruption technology for the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae): Overview and Prospects. *Psyche Article ID 253924.*
- Lee, S.Y., Choi, K.H., Do, Y.S., Lee, S.W., Yoon, C.M., Kim, G.H., 2014. Management of *Grapholita molesta* and *Carposina sasakii* using mating disruption in non-chemical or organic apple orchards. *Korean. J. Appl. Entomol.* 53, 103-110.
- Lacey, M.J., Sanders, C.J., 1992. Chemical composition of sex pheromone of oriental fruit moth and rates of release by individual female moths. *J. Chem. Ecol.* 18, 1421-1435.
- Pree, D.J., Whitty, K.J., Walker, G.M., Driel, L.V., 1998. Resistance to insecticides in oriental fruit moth populations (*Grapholita molesta*) from the Niagara Peninsula of Ontario. *Can. Entomol.* 130, 245-246.
- Raymond, G., McGuire, Hallman, G.J., 1995. Coating with cellulose-or carnauba-based emulsions interferes with postharvest ripening. *Hortscience.* 30, 294-295.
- Stelinski, L.L., Gut, L.J., Mallinger, R.E., Epstein, D., Reed, T.P., Miller, J.R., 2005. Small plot trials documenting effective mating disruption of oriental fruit moth by using high densities of wax drop pheromone dispensers. *J. Econ. Entomol.* 98, 1267-1274.
- Stelinski, L.L., Miller, J.R., Ledebuhr, R., Gut, L.J., 2006. Mechanized applicator for large-scale field deployment of paraffin-wax dispensers of pheromone for mating disruption in tree fruit. *J. Econ. Entomol.* 99, 1705-1710.
- Thinh, D.C., Kunasakdakul, K., 2013. Inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides* and control of postharvest Anthracnose disease on mango fruit using propionic acid combined with bee-carnauba wax emulsion. *J. Agr. Sci.* 5, 110-116.
- Welter, S.C. Pickel, C., Millar, J., Cave, F., Van Steenwyk, R.A., Dunley, J., 2005. Pheromone mating disruption offers selective management options for key pests. *Calif. Agr.* 59, 16-22.
- Yang, C.Y., Han, K.S., Boo, K.S., 2001. Occurrence of and damage by the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) in pear orchards. *Korean J. Appl. Entomol.* 40, 117-123.