농학석사 학위논문

성페로몬 트랩을 이용한 복숭아유리나방 예찰 및 방제법 최적화 연구

Research on optimization of control and monitoring method for *Synanthedon bicingulata* (Lepidoptera: Sesiidae)by using sex pheromone trap

2020년 2월

서울대학교 대학원

산림과학부 산림환경학전공

권 준 형

성페로몬 트랩을 이용한 복숭아유리나방 예찰 및 방제법 최적화 연구

지도교수 박 일 권

이 논문을 농학석사 학위논문으로 제출함
2020년 2월

서울대학교 대학원
산림과학부 산림환경학전공
권 준 형

권준형의 석사학위논문을 인준함
2020년 2월

위 원 장 _____ 김 현 석 _____ (인)

부위원장 _____ 박 일 권 _____ (인)

위 원 _____ 이 우 신 _____ (인)

국문초록

본 연구는 복숭아유리나방(Lepidoptera: Sesiidae) (*Synanthedon bicingulata*)의 피해 특성과 우화소장을 조사하여 발생 시기와 발생 위치를 규명하였으며 기계학습을 이용하여 발생 개체군의 규모를 예상하는 모델을 개발하였다. 복숭아유리나방 성페로몬의 2가지 물질을 합성하고 성페로몬 루어의 비율 조성, 처리량 그리고 기주 휘발물질을 실험하여 최적 효과를 갖는 루어를 선발하였고, 성페로몬 트랩의 형태별, 색상별 비교를 통해 가장 우수한 포획력을 갖는 트랩을 선발하였다. 복숭아유리나방의 피해 특성은 흉고직경에 관계없이 고르게 가해하였고, 지면부에서 50 cm까지 높이에서 가장 많은 피해흔을 나타내었다. 성페로몬의 합성은 중간체를 이용하여 성페로몬 물질인 (3*E*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate와 (3Z,13Z)-3,13-octadecadieny acetate를 합성하였다.

성페로몬의 순도를 가스크로마토그래피-질량분석기(gas cromatography-mass spectrometer, GC-MS)로 분석한 결과 각각 94.15%와 82.8%의 높은 순도를 보였다. 성페로몬 조성 비율은 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6이 가장 우수한 유인력을 나타내었으며, 지역에 따른 페로몬 조성 비율의 차이는 없었다. 트랩의 형태 비교 시험에서는, 버켓 트랩이 델타 트랩보다 우수한 포획력을 보였다. 트랩 색상별 포획력을 알아보기 위해 노란색, 초록색, 하얀색, 파란색, 검정색 그리고 빨간색의 버켓 트랩을 비교 실험한 결과 노란색 트랩이 가장 우수한 포획력을 나타내었다. 각 색상별 트랩을 색차계 분석과 포획수와의 관계로 분석한 결과, 황~청색의 영역에서 처리 간 차이를 보였다. 처리량별 유인력의 차이는 2 mg와 3 mg사이에 처리량에서 1 mg보다 좋은 유인력을 나타냈으며 가장 좋은 유인력을 보이는 농도는 2 mg와 3 mg사이로 추정된다. 기주 유래 휘발 물질 페로몬 시너지스트 실험은 벚나무속(*Prunus*)의 휘발 물질을 문헌 조사를 통해 선발하여 4종의 물질을 성페로몬과 조합하여 실험하였다. 그 결과 기주 유래 휘발 물질 페로몬 시너지스트 물질은 *Z*-3-hexenyl acetate를 처리한 조합에서 성페로몬 단독 처리보다 우수한 유인력을 나타냈으며 시너지스트로 추정된다. 성페로몬 트랩을 이용

하여 복숭아유리나방 수컷 성충의 발생 시기를 조사한 결과 복숭아유리나방은 지역에 관계없이 연 2회 발생하며 5월 초순부터 7월 초순까지 봄철 발생기와 8월 초순부터 10월 중순까지 가을철 발생기를 가지는 것을 나타내었다. 가을철 발생 규모는 봄철 발생 규모의 약 59% 더 많이 발생 하였다. 봄철 발생 개체군의 규모를 이용하여 가을철 발생 개체군을 예측하는 기계학습 모델을 개발하였다. 본 연구에는 2018년 조사한 3개 장소를 대상으로 예측값을 추정하였고 평균 94.6%의 정확도를 보였다. 이를 이용하여 경제적인 방제 규모의 설정할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서 복숭아유리나방 성페로몬의 합성과 피해특성 그리고 우화소장을 파악하였고 복숭아유리나방 성페로몬의 최적 조성 비율, 트랩의 형태, 트랩의 색상, 시너지스트를 선발하는 실험을 진행하였다. 추후 성페로몬 트랩을 이용한 실제 방제효과, 교미교란제 개발을 위한 성페로몬의 포화 농도 조사 연구가 필요하다. 또한 페로몬과 기주 휘발물질에 대한 감각기 전기생리반응(EAG) 연구와 성페로몬에 대한 후각수용 관련 유전자 탐색 연구 등을 수행한다면 복숭아유리나방 성페로몬 트랩의 효율적인 현장적용에 기초자료를 제공해 줄 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 복숭아유리나방, 피해특성, 성페로몬 트랩, 모니터링, 친환경방제법

학 번 : 2018-27084

목 차

제 1 장 서론 ····· 1
제 2 장 연구사 ····· 4
제 3 장 재료 및 방법 ····· 8
제 1 절 복숭아유리나방 피해특성 조사 ····· 8
제 2 절 성페로몬 합성 ····· 11
제 3 절 성페로몬 순도 측정 ····· 15
제 4 절 야외 유인력 검증 시험 ····· 16
제 5 절 우화소장 조사 ····· 19
제 6 절 발생 예측 모델 ····· 20
제 7 절 색상별 트랩의 색차계 분석 ····· 20
제 8 절 통계분석 ····· 21
제 4 장 결과 ····· 22
제 1 절 복숭아유리나방 피해특성 ····· 22
제 2 절 복숭아유리나방 성페로몬의 분석 ····· 24
제 3 절 비율 조성 실험 ····· 26
제 4 절 트랩 형태 선발 실험 ····· 30
제 5 절 색상 선발 실험 ····· 30
제 6 절 색차계 분석 결과 ····· 35
제 7 절 처리량별 실험 ····· 41
제 8 절 시너지스트 물질 탐색 ····· 43
제 9 절 우화소장 조사 ····· 44
제 10 절 모델링 예측 결과 ····· 46
제 5 장 고찰 ····· 48

참고문헌 ····· 55
부록 ····· 64
Abstract ····· 69

표 목 차

[Table 1] The DBH of investigated cherry blossom trees ··· 9
[Table 2] Emission amount of compounds for field test of synergistic effect ····· 19
[Table 3] Trap surface color values(L*a*b*) measured by chromameter ····· 36

그 림 목 차

[Figure 1] Investigation site for *Synanthedon dicingulata*'s damage wound ····· 8
[Figure 2] Types of damage wound by *Synanthedon dicingulata* ····· 10
[Figure 3] Synthetic scheme of (13*Z*)-octadecen-3-yn-1-ol 11
[Figure 4] Synthetic scheme of (3*Z*,13*Z*)-octadecadien-1-ol 13
[Figure 5] Synthetic scheme of Octadecadien-1-ol ····· 14
[Figure 6] Number of *Synanthedon bicingulata*'s damage wound ····· 23
[Figure 7] GC-MS chromatograms for *Synanthedon bicingulata*'s sex phromone ····· 25
[Figure 8] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at different composition ratio of sex pheromone ····· 26

[Figure 9] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at different composition ratio of sex pheromone ····· 29
[Figure 10] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at two different types of trap ····· 30
[Figure 11] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at two different color traps ····· 32
[Figure 12] Number of male *Synanthedon bicingulata*'s caught at six different color traps ····· 35
[Figure 13] Reflectance rate of six color bucket traps ····· 36
[Figure 14] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at six difference color traps ····· 38
[Figure 15] Linear regression model of male capture of six difference color trap ····· 40
[Figure 16] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at different amount of sex pheromone ···· 42
[Figure 17] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at pheromone trap combined with different host volatiles ····· 43
[Figure 18] Seasonal occurrence of *Synanthedon bicingulata* male adult ····· 45
[Figure 19] Predict of *Synanthedon bicingulata* adult emerging scale to using model ····· 47

제 1 장 서론

최근 가로 경관의 조경 가치와 개화 시기의 관광 가치가 증가함에 따라 벚나무 식재가 증가하고 있다. 2014년 2,835본에 불과하던 벚나무의 가로수 식재 본수는 2016년에는 최대치인 96,874본이 식재되었으며 점차 감소하여 2018년에는 7,751본이 식재 된 것으로 집계되었다. 2019년 현재 집계된 국내 벚나무 가로수의 식재 본수는 2014년부터 2018년까지 총 1,533,111본으로 국내 식재된 가로수 중 가장 많은 수가 식재되어 있다(산림청, 2019). 이러한 증가에 따라 벚나무를 가해하는 천공성 해충인 복숭아유리나방의 서식지가 과수에서 가로수로 전이되었고 그 피해가 증가하고 있다. 따라서 벚나무에 큰 피해를 주고 있는 복숭아유리나방에 대한 생태 및 피해 그리고 정확한 발생 시기를 예찰하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

유리나방(clearwing moth)으로 통칭되는 유리나방과(Sesiidae)의 복숭아유리나방 성충의 충태는 벌목을 의태한 형태로 나타난다. Arita (1994)에 의해 일본에 서식하는 유리나방류의 형태학적 분류 중 복숭아유리나방의 형태적 차이가 확립되어 보고되었고 이후 Lee et al. (2004)이 복숭아유리나방(*Synanthedon bicingulata*) (Lepidoptera:Sesiidae)의 충태별 형태학적 분류를 통해 국내 복숭아유리나방 성충의 외부 형태 및 생식기의 특성과 생활사에 따른 유충의 형태 특성을 보고하였다. Hardy (1982)는 유리나방과의 *Synanthedon tipuliformis*의 암수 성충 우화 성비는 1:1에 가까운 것으로 보고하였다. 유리나방류는 아시아, 유럽 및 북미 등 넓은 지역에 분포하며 일본에는 총 39종과 45종의 기주식물이 보고 되어있다(Arita, 1994). 국내 유리나방과는 Arita et al. (2004)이 총 9속 25종을 보고하였다. 복숭아유리나방의 학명은 *Sesia bicingulata* Staudinger (1887)로 처음 명명되었다가 이후 국내에서 Park (1983)에 의해 *Synenthedon bicingulata*로 개칭 된 후 다시 정립되어 *Synanthedon bicingulata* (Arita et al. 2004)로 명명 되었다. 기주의 범위는 국내의 벚나무속(*Prunus*)인 매실, 살구, 자두, 복숭아 외에도 배나무, 사과나무와 같은 과수 해충으로서 알려져 있으며 중부 이남에서는 살구, 복숭아 그리고 매실 등에 큰 피해를 주고 중부 이북지역에서는 사과, 배나무 등

에 피해가 큰 것으로 보고되어있다(농촌진흥청, 2019). 그러나 생활권 수목에 대한 피해 현황 및 특성은 조사되지 않은 상태이다.

복숭아유리나방은 유충기를 수목 내부에서 보내는 천공성 해충으로 생태 특성상 피해의 정도를 파악하기 어렵고 화학 방제의 효과가 크지 않다(Pereyra and Sancgez, 2006). 그러나 현재 대부분의 복숭아유리나방의 방제는 유기합성농약에 의존하고 있다. 화학적 방제법은 다양한 해충을 신속하게 죽일 수 있는 반면 생물 다양성의 감소, 환경 오염 그리고 저항성 개체 출현 등을 포함해 많은 부작용을 일으켜왔다(Lacey and Shapira-Ilan, 2008). 따라서 살충제 사용으로 인한 부작용을 최소화시키는 동시에 지속 가능한 관리 방법으로 종합적 해충 관리(Integrated Pest Management, IPM)개념이 등장하였다(Lacey and Shapira-Ilan, 2008).따라서, 종합적 해충 관리를 위해서는 해충의 정확한 발생 시기 모니터링 기법 및 환경 친화형 방제법이 필수적이다.

페로몬(pheromone)은 곤충의 종내 의사소통을 위한 화학적 신호 물질이다. 페로몬 트랩은 곤충의 발생 시기를 정확히 파악하는데 매우 유용하며, 페로몬 기반의 발생 시기 조사를 위해서는 페로몬의 최적 조합, 농도, 트랩의 종류, 트랩 설계 및 트랩의 설치 위치 등을 표준화하는 것이 중요하다(Arm et al. 1997). 이를 위해 본 연구에서는 생활권 주변의 가로수에서 복숭아유리나방의 피해 특성 및 페로몬 트랩을 이용한 지역별 발생 시기, 가장 효과적인 성페로몬의 조성 비율 그리고 성페로몬의 최적 처리량 선발 시험을 수행하였다. Lee et al. (2018)은 *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae)를 대상으로 기주식물의 휘발물질을 성페로몬과 함께 처리하였을 때 더 좋은 유인력을 나타내는 것을 보고한 반면, 어떤 곤충들은 기주 식물이 아닌 식물의 휘발물질을 기피하기 때문에 이를 방제 전략 관리에 중요한 역할로 사용 할 수 있다. 기피물질과 시너지스트의 사용은 친환경 방제 전략에서 Push and Pull 전략을 설계 하는데 사용 할 수 있다(Borden 1997; Zhang and Schlyter 2004; Cook et al. 2007). 따라서 시너지스트와 기피물질의 선발 실험을

수행하였다. 또한 효과적인 페로몬 트랩을 선발하기 위하여 트랩 형태 및 색상별 트랩이 복숭아유리나방 수컷 성충 포획에 미치는 영향을 조사하였다.

본 연구는 생활권 주변 벚나무에 피해를 입히는 복숭아유리나방의 피해 특성 조사 및 정확한 발생 시기 조사 기법을 개발하고 이를 통해 유기합성 농약의 살포 회수 최소화와 성페로몬 트랩을 사용하여 발생 밀도를 줄이고 최적화된 대면적 방제법 개발을 위해 수행하였다. 따라서 친환경 방제를 위한 과학적 근거를 제시 하여 쾌적하고 안전한 생활권 도시 숲 환경을 조성하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

제 2 장 연구사

약 50년간의 페로몬 연구에서 곤충의 성적 의사소통에 대한 이해가 깊어지고 있다. Butenandt et al. (1959)에 의해 누에나방에서 처음으로 성페로몬을 확인 한 후 페로몬 규명, 행동 반응, 분자 수준의 연구 등이 진행되고 있다(Benton et al. 2007; Dickson 2008; Clyne et al. 1999; Vosshall et al. 1999; Witzgall et al. 2010). 그리고 최근 IPM에 의거한 해충 관리개념이 강화되면서 전세계적으로 페로몬을 이용한 모니터링과 방제 방법으로 널리 활용되고 있다(Ridgway et al. 1990b; Howse et al. 1998; Baker and Heath 2004; Hallett et al. 2009).

유리나방류의 성페로몬의 분리와 동정은 Tumlinson et al. (1974)에 의하여 *Synanthedon pictipes* (Lepidoptera: Sesiidae) (Lesser peach tree borer)와 *Sanninoidea exitiosa* (Lepidoptera: Sesiidae) (peach tree borer)의 성페로몬이 처음으로 규명되었다. 국내에서는 Kang and Park (1988)에 의하여 *Synanthedon bicingulata*의 성페로몬 2개 물질인 (*Z,Z*)-3,13-octadecadien-1-yl acetate와 (*E,Z*)-3,13-octadecadien-1-yl acetate의 합성법이 개발되었고 이후 복숭아유리나방 성페로몬의 합성 중간체인 (13*Z*)-octadecen-3-yn-1-ol을 활용한 (3*E*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate [(3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트]와 (3*Z*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate [(3*Z*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트]의 개선된 합성법이 보고되었다(Yamamoto et al. 1989).

유리나방과의 성페로몬 트랩을 이용한 우화소장의 조사 연구는 Sharp et al. (1978)이 *Synanthedon pictipes*와 *Synanthedon exitiosa* 2종에 대하여 수행하였다. 국내 유리나방류 우화소장 조사는 *S. tenuis*를 대상으로 성페로몬을 사용한 윙 트랩을 가지고 조사하였다(이규철과 박정규, 2003). Yang et al. (2011)은 국내 복숭아유리나방 성페로몬인 (3*E*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate와 (3*Z*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate의 비율별 야외 유인력을 조사하였다. 이후, 양창열(2012)등이 과

수원에서 발생하는 유리나방류 4종에 대하여 성페로몬 트랩을 가지고 우화소장 연구를 수행하였다. 이재우(2015)는 가로수 지역을 대상으로 끈끈이롤트랩을 이용한 복숭아유리나방의 친환경 방제 방법을 연구한 바 있으며 조영식(2016)등은 남부지역의 단감원에서 성페로몬 트랩을 가지고 애기유리나방과 복숭아유리나방의 우화소장 조사를 실시하였다.

Yaginuma and Kumakura (1976)는 유리나방류 성페로몬인 (3*E*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate (이하 3*E*,13*Z*)와 (3*Z*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate (이하 3*Z*,13*Z*)의 조성 비율에 대한 실험으로 3*E*,13*Z*와 3*Z*,13*Z*를 각각 0:10, 2:8, 4:6, 6:4, 8:2 그리고 10:0의 비율로 조성하여 유인력을 조사한 결과, 4:6과 6:4의 사이 비율에서 우수한 유인력을 나타낸다고 보고하였다. 또한 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*)를 0.1 mg, 0.3 mg, 1.0 mg, 3.0 mg, 10.0 mg으로 처리하여 유인력을 비교한 결과 10.0 mg 처리 처리량에서 가장 많은 포획력을 나타낸다고 보고하였다. 이후 Nielsen and Purrington (1980)는 *Synanthedon pictipes*를 대상으로 3*E*,13*Z*와 3*Z*,13*E*의 조성 비율에 따라 유인력을 실험하였으며 3*E*,13*Z*의 비율이 높을수록 포획력이 우수하다고 보고하였다. 다른 유리나방인 *Synanthedon tipuliformis*에 대하여 Voerman et al. (1984)이 3*E*,13*Z*와 3*Z*,13*E*를 1000 ㎍:0 ㎍, 1000 ㎍:30 ㎍, 900 ㎍:100 ㎍, 500 ㎍:500 ㎍, 100 ㎍:900 ㎍, 30 ㎍:1000 ㎍ 그리고 0 ㎍:1000 ㎍의 비율로 실험한 결과 3*E*,13*Z*의 비율이 높을수록 유인력이 우수하다고 보고하였다. 또한 *S. tipuliformis*의 유인력을 높이는 (*Z,Z*)-2,13- octadecadien-1-ol acetate (*ZZ*2,13-18:Ac)의 조합 시험에서도 3*E*,13*Z*가 높은 비율일수록 좋은 유인력을 나타낸다고 보고하였다. 지속적 모니터링을 통한 방제 효과를 조사한 연구에서는 Matsumoto et al. (2007)이 *S. bicingulata*에 대해 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 5:5의 비율로 2 mg처리한 성페로몬 트랩을 1995년부터 2005년까지 설치한 결과 1999년을 마지막으로 개체가 포획되지 않았다고 보고하였다. Naka et al. (2008)은 *S. bicingulata*를 대상으로 비율별 유인력을 조사한 결과, (3*E*,13*Z*)와 (3*Z*,13*Z*) 5:5의 비율이 다른 7개 조성 비율보다 우수한 유인효과가 있다고 밝혔다. 기존의 성페로몬을 구

성하는 2개 물질 외 시너지스트로서 *ZZ*2,13-18:Ac, *ZE*2,13-18:Ac를 조합한 실험에서도 동일한 결과를 보여 시너지 효과가 없음을 보고하였다. 국내에서는 Yang et al. (2011)이 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 조성한 1 mg처리 루어가 가장 좋은 유인력을 나타내는 것으로 보고하였고 이후 수원지역 과수원에서 발생하는 유리나방류 4종에 대한 성충 발생 소장연구(양창열 외, 2012)에서도 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율을 사용한 연구가 있다.

성페로몬 트랩의 색상에 관한 연구에서 Clare et al. (2000)에 의해 벌 3종과 *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Torticidae) (Codling moth)를 대상으로 하얀색, 파란색, 초록색, 노란색과 빨간색 등 5가지 색상의 끈끈이 트랩을 가지고 연구한 바가 있다. 이후 트랩의 색상과 높이에 따른 대상 곤충의 유인력 실험은 *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) (Emerald ash borer)에 대하여 삼각형의 세워진 델타 트랩 형태인 프리즘 트랩을 사용하여 파란색, 빨간색, TSU보라색, Violet, Fuchsia, YA초록색 그리고 보라색을 가지고 1.5 m의 높이와 수관층 사이인 13 m에서 실험한 연구가 있다(Francese et al. 2010). 이후 *Rhynchophours ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) (Red palm weevil)을 대상으로 검정색, 빨간색, 하얀색, 노란색 등의 불투명한 버켓 트랩을 가지고 유인력을 시험한 연구에서 검정색 트랩의 유인력이 가장 우수하다고 보고하였다(Abuagla and Al-Deeb, 2011). Gadi and Reddy (2014)는 *Cylas formicarius* (Coleoptera: Brentidae) (sweetpotato weevil)를 대상으로 검정색, 갈색, 회색, 노란색, 빨간색, 하얀색, 초록색, 파란색의 색상별 버켓 트랩을 가지고 유인력을 시험하였다. 대조군의 트랩 색상은 덮개, 연결부 그리고 하단의 포집통의 색상이 각각 초록색, 노란색, 하얀색으로 나누어진 색을 가지고 있었으며 실험에 이용된 트랩은 전체가 같은 색상을 갖는 형태였다. 실험 결과 전체가 초록색인 트랩이 가장 우수한 유인력을 보였다. *Hylastes ater* (Coleoptera: Scolytinae), *Hylurgus ligniperda* (Coleoptera: Scolytinae) 그리고 *Arhopalus ferus* (Coleoptera: Cerambycidae)를 대상으로 검정색, 초록색, 빨간색, 노란색, 하얀색 펀넬

트랩간 유인력을 비교한 결과 검정색 트랩에서 대상 3종에 대해 가장 우수한 유인력을 보인다는 연구 결과가 있다(Kerr et al. 2017). 유리나방류의 색상별 트랩 실험은 Roubos and Liburd (2008)에 의해 *Vitacea polistiformis* (Lepidoptera: Sesiidae) (Grape root borer)를 대상으로 수행되었다. 2005년에는 초록색, 노란색, 파란색 그리고 하얀색을 가지고 실험했으며 이듬해 2006년에는 초록색, 노란색, 초록색 덮개색상, 노란색 덮개 색상 그리고 노란색 덮개와 초록색 연결부 그리고 하얀색 버켓을 가지는 혼합 색상을 가지고 실험 하였다. 2005년의 실험에서 전체가 초록색인 트랩이 우수한 포획력을 보였으며 2006년의 실험에서는 혼합된 색상의 트랩이 우수한 효과를 보였다고 보고하였다. 이후 Zhang et al. (2013)은 *Synanthedon scitula* (Lepidoptera: Sesiidae)를 대상으로 성페로몬 루어의 제형과 트랩간 형태의 비교 및 색상 비교 연구를 진행하였다. 이 연구에서 성페로몬 루어의 제형에서 septa와 vials을 비교하였고 윙 트랩과 델타 트랩 그리고 하얀색 버켓 트랩과 초록색의 버켓 트랩을 비교 실험 하였다. 그 결과 제형은 vials이 우수하였고 하얀색 버켓 트랩이 대체로 우수한 유인력을 갖는다고 보고하였다.

제 3 장 재료 및 방법

1. 복숭아유리나방 피해 특성 조사

복숭아유리나방의 피해특성은 2018년도에 서울 관악구 관악로 1(37°27′29.80″N 126°57′22.91″E)에서 조사하였다. 조사된 피해흔은 중복되지 않게 하얀색 수정액으로(Morning glory, Seoul, Korea) 표기하며 조사하였다. 서울 관악구의 조사 대상목은 총 50그루였다. 조사 대상목의 흉고직경(diameter at breast height, DBH) 별 분포는 Table 1과 같다. 피해흔 수는 흉고직경별, 높이별로 조사하였으며 높이는 지면으로부터 50 cm 단위로 나누어 200 cm 까지 조사하였다. 수피 밖으로 나와 있는 번데기[Figure 2. (a)], 유충 배설물이 섞인 점질화된 수액[Figure 2. (b)], 말령 유충의 피해흔[Figure 2. (c)] 그리고 성충이 우화하고 남은 탈피각[Figure 2. (d)]을 복숭아유리나방 피해흔으로 조사하였다. 조사 위치는 Figure 1과 같다. 조사지는 인도위에 1열 혹은 2열로 식재된 가로수였으며 대상목간 거리는 5 m내외로 대부분 일정하게 식재 되어 있었다.

Figure 1. Investigation site for *Synanthedon dicingulata*'s damage wound

Table 1. The DBH of investigated cherry blossom trees

DBH(cm) / 장소(그루)	<20	20≤ ~ <40	40≤ ~ <60
서울 관악구	18	29	3

Figure 2. Types of damage wound by *Synanthedon dicingulata* at cherry blossom

2. 성페로몬 합성

2-1. (13*Z*)-octadecen-3-yn-1-ol의 합성법

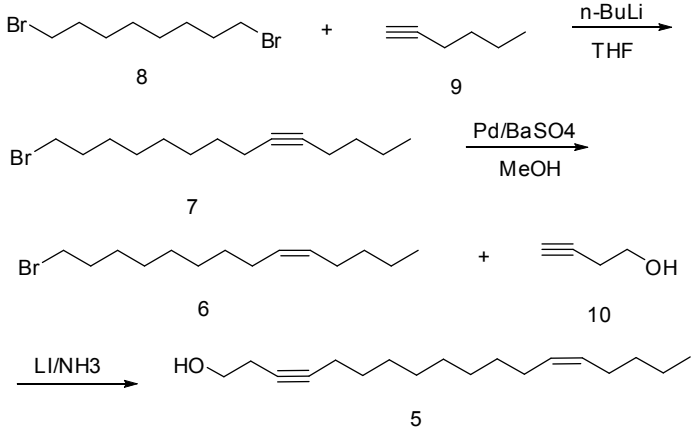


Figure 3. Synthetic scheme of (13*Z*)-octadecen-3-yn-1-ol 5

1단계) 14-브로모테트라데카-5-인(14-bromotetradeca-5-yne, 7)의 제조

250 ml 2-구 플라스크에 1-헥신(5.81 g, 70.73 mmol)를 tetrahydrofuran (이하 THF) (150 ml)와 hexamethylphosphoramide (이하 HMPA) (20 ml)에 용해시켰다. 반응온도를 -10℃에서 상기 플라스크에 n-BuLi (29.7 ml, 74.27 mmol, 2.5 M in hexane)를 가하여 온도를 0℃까지 올리며, 30분간 교반시켰다. 반응온도를 다시 -20℃로 하온 후 상기 플라스크에 1,8-디브로모헥산(1,6-dibromooctane) (25.0 g, 91.91 mmol)을 천천히 적가하고, 2시간 교반시켰다. 이때, 반응의 모니터링은 Thin layer chromatography (이하 TLC)로 관찰하였다. 반응이 완료되면 상기 플라스크에 물을 천천히 적가하고, THF를 먼저 감압증류로 제거시켰다. 이후, 에틸아세테이트를 이용하여 추출하여, 용매를 감압증류로 제거시켰다. 얻어진 혼합물을 실리카겔 컬럼 크로마토그래피 (EtOAc/hexane= 1/10)로 정제하여 14-브로모테트라데카-5-인 (17.8 g, 수율 92%)를 얻었다. ^{1}H-NMR (400 MHz, $CDCl_3$): δ 3.55-3.35 (t, 2H), 2.15-2.09 (m, 4H), 1.85-1.80 (m, 2H), 1.52-1.28 (m, 14H), 0.95-0.86 (t, 3H)

2단계)(5*Z*)-14-브로모테트라데카-5-엔 [(5*Z*)-14-bromotetradeca-5-ene, 6]의 제조

파르 반응기(Parr reaction bottle) (500 ml) 내에 메탄올(MeOH, 250 ml), 상기 1단계에서 수득된 화합물(14-브로모테트라데카-5-인) (15.0 g, 63.22 mmol), 5% Pd/$BaSO_4$(1.0 g)및 퀴놀린(25 mg)을 넣고, 파르수소화 반응기(Parr hydrogenation apparatus)를 이용하여 수소 압력 5 psi 하에서 2시간 동안 반응시켰다. 반응이 완료된 후 셀라이트를 통해 필터하고 감압 하에서 회전 증발기를 이용하여 휘발성 물질을 제거시켜 (5*Z*)-14-브로모테트라데카-5-엔 (14.5 g, 수율 83%)을 얻었다. ^{1}H-NMR (400 MHz, CDCl3): δ 5.33-5.30 (m, 2H), 3.38 (t, 2H), 2.01-1.98 (m, 4H), 1.82-1.80 (m, 2H), 1.47-1.27 (m, 12H), 0.86 (t, 3H)

3단계) (13*Z*)-옥타데센-3-인-1-올 [(13*Z*)-octadecen-3-yn-1-ol, 5]의 제조

-50℃ 이하로 유지된 500 ml 2-구 플라스크에 $Fe(NO_3)_3$・9H2O (176 mg, 0.44 mmol)를 넣고, 상기 플라스크에 암모니아 (150 ml)를 응축시켰다. 반응온도를 -50℃로 유지하면서 30분간 교반시켰다. 상기 플라스크에 리튬 금속(1.1 g, 157.3 mmol)을 천천히 가하고 30분 후에 3-부틴-1올(3.67 g, 52.31 mmol)을 THF (10 ml)에 희석하여 천천히 적가하고, 1시간 동안 교반하였다. 상기 플라스크에 상기 2단계에서 수득된 화합물 [(5*Z*)-14-브로모테트라데카-5-엔] (12.0 g, 43.59 mmol)을 THF (25 ml)에 희석시켜 천천히 적가하였다. -50℃에서 2시간 교반 후 상온(20℃)으로 자연 승온을 하면서 15 시간동안 교반시켜 암모니아가 완전히 증발된 후 포화 NH_4Cl (50 ml)를 적가하고, THF를 먼저 감압증류로 제거시켰다. 이후, 에틸아세테이트를 이용하여 추출하여, 용매를 감압증류로 제거시켰다. 얻어진 혼합물을 실리카겔 컬럼 크로마토그래피(EtOAc/hexane= 1/10)로 정제하여 (13*Z*)-옥타데센-3-인-1-올 (8.55 g, 수율 74%)를 얻었다. ^{1}H-NMR (400 MHz, $CDCl_3$):δ 5.33-5.31 (m, 2H), 3.70-3.63 (m, 2H), 2.40 (m, 2H), 2.14-2.11 (m, 2H), 2.05-1.96 (m, 4H), 1.53-1.25 (m,

14H), 0.87 (m, 3H)

2-2. (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트 (1)의 합성

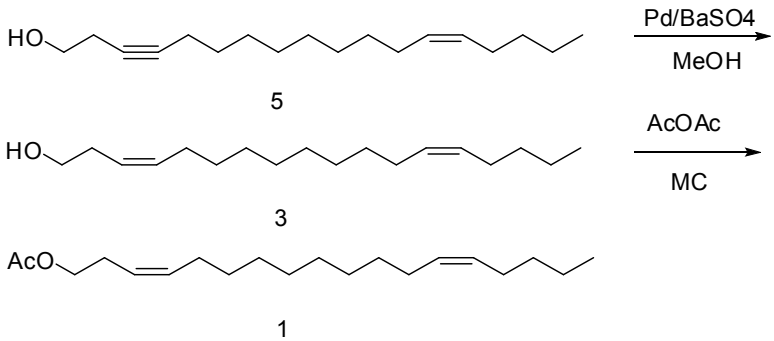


Figure 4. Synthetic scheme of (3*Z*,13*Z*)-octadecadien-1-ol, 3

1단계) (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디엔-1-올 [(3*Z*,13*Z*)-octadecadien-1-ol, 3]의 제조

250 ml 반응기에 메탄올(MeOH, 50 ml), 상기 3단계에서 수득된 화합물[(13*Z*)-옥타데센-3-인-1-올] (40 g, 15.13 mol), 5% Pd/$BaSO_4$ (0.25 g)및 퀴놀린(25 mg)을 넣고, 수소를 압력 1기압 하에서 2시간 동안 반응시켰다. 반응이 완료된 후 셀라이트를 통해 필터하고 감압 하에서 회전증발기를 이용하여 휘발성 물질을 제거시켜 (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디엔-1-올 (3.63 g, 수율 90%)을 얻었다. ^{1}H-NMR (400 MHZ, $CDCl_3$):δ 5.57-5.49 (m, 1H), 5.36-5.29 (m, 3H), 3.60 (m, 2H), 2.31-2.01 (m, 2H), 1.99-1.92 (m, 6H), 1.56-1.21 (m, 12H), 0.87-0.83 (m, 3H)

2단계) (3Z,13Z)-옥타데카디에닐 아세테이트 [(3Z,13Z)-octadecadienyl acetate, 1]의 제조

250 ml 2-구 플라스크에 무수 디클로로메탄 (120 ml)과 상기 4단계에서 수득한 화합물 [(3Z,13Z)-옥타데카디엔-1-올] (2.5 g, 9.38 mmol), 피리딘(1.12 g, 14.20 mmol), 무수 초산(1.45 g, 14.20 mmol)를 혼합한 후 질소 분위기 하 실온에서 15시간 동안 교반시켰다. 반응이 완료되면 0℃에서 물(100 mL)을 가하고 헥산(2 X 100 mL)으로 추출하였다. 유기층

은 5% $NaHCO_3$ (100 mL)로 세척하고 무수 $MgSO_4$로 건조, 여과 후 감압 하에서 농축시켰다. 유기물은 컬럼 크로마토그래피(EtOAc/hexane= 1/9)로 정제하여 목적화합물인 (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트(2.53 g, 87% yield)를 무색 액체로 얻었다. ^{1}H NMR (400 MHZ, $CDCl_3$):δ 5.49-5.44 (m, 1H), 5.33-5.29 (m, 3H), 4.04-3.99 (t, 2H), 2.37-2.31 (m, 2H), 2.00 (s, 3H), 2.01-1.96 (m, 6H), 1.29-1.22 (m, 14H), 0.86 (t, 3H). GC-MS (*m/Z*): 308, 248, 233, 219, 205, 191, 177, 163, 149, 135, 121, 109, 95, 81, 67, 55, 43.

2-3. (3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트 (2)의 합성

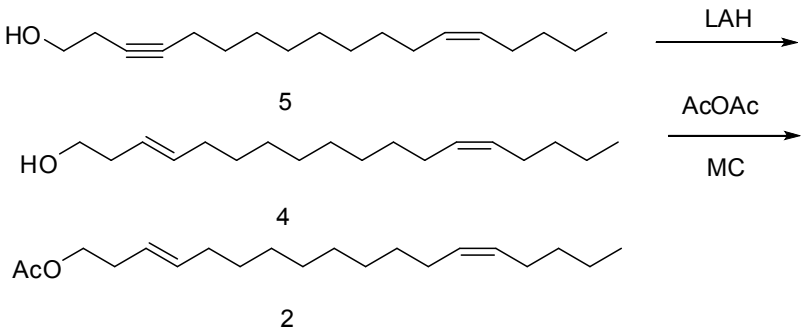


Figure 5. Synthetic scheme of Octadecadien-1-ol, 4

1단계) (3*E*,13*Z*)-옥타데카디엔-1-올 [(3*E*,13*Z*)-Octadecadien-1-ol, 4]의 제조

250 ml 2-구 플라스크에 리튬알루미늄하이드라이드(2,14 g. 56.47 mmol, 이하 LAH)와 용매 디에틸렌글리콜디메틸에테르(120 ml, 이하 diglyme)를 넣고 교반하면서 상기 실시 예 1의 단계3에서 제조된 (13*Z*)-옥타데센-3-인-1-올(40 g, 15.13 mmol)을 무수 THF (15 ml)에 희석시켜 천천히 적가하였다. 30분간 교반 후 72시간 동안 환류시켰다. 반응이 완료되면 0℃에서 포화 NH_4Cl (50 ml)를 적가하고, 에틸아세테이트를 이용하여 추출하여, 유기층을 물, 소금물로 세척하고, 무수 $MgSO_4$로 건조, 여과 후 감압하에서 농축시켰다. 유기물은 컬럼 크로마토그래피

(EtOAc/Hexane= 1/9)로 정제하여 (3*E*,13*Z*)-옥타데카디엔-1-올(2.89 g, 수율 72%)을 무색 액체로 얻었다. ^{1}H-NMR (400 MHZ, $CDCl_3$):δ 5.56-5.50 (m, 1H), 5.36-5.29 (m, 3H), 3.60 (m, 2H), 2.25-2.22 (m, 2H), 2.05-1.95 (m, 6H), 1.49-1.25 (m, 12H), 0.88-0.86 (m, 3H)

2단계) (3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트 [(3E,13Z)-Octadecadienyl acetate, 2]의 제조

250 ml 2-구 플라스크에 무수 디클로로메탄 (120 ml)과 상기 1단계에서 수득한 화합물 [(3*E*,13*Z*)-옥타데카디엔-1-올] (2.5g, 9.38 mmol), 피리딘 (1.12 g, 14.20 mmol), 무수 초산(1.45 g, 14.20 mmol)를 혼합한 후 질소 분위기 하 실온에서 15시간 동안 교반시켰다. 반응이 완료되면 0℃에서 물(100 mL)를 가하고 헥산(2 X 100 mL)으로 추출하였다. 유기층은 5% $NaHCO_3$ (100 mL)로 세척하고 무수 $MgSO_4$로 건조, 여과 후 감압하에서 농축시켰다. 유기물은 컬럼 크로마토그래피(EtOAc/Hexane= 1/9)로 정제하여 목적화합물인 (3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트(2.49 g, 86% yield)를 무색 액체로 얻었다. ^{1}H NMR (400 MHZ, $CDCl_3$):δ 5.47-5.45 (m, 1H), 5.33-5.29 (m, 3H), 4.06-4.01 (t, 2H), 2.30-2.26 (m, 2H), 2.02 (s, 3H), 2.05-1.93 (m, 6H), 1.31-1.23 (m, 14H), 0.87 (t, 3H). GC-MS (*m/Z*): 308, 248, 233, 219, 205, 191, 177, 163, 149, 135, 121, 109, 95, 81, 67, 55, 43.

3. 성페로몬 순도 측정

합성된 복숭아유리나방 2가지 성분은 가스크로마토그래피-질량분석기를 이용하여 분석하였다. 분석조건은 다음과 같다. 사용한 기기는 Gas cromatography 7890B (Santa Clara, CA, USA)-Mass spectrometer (5977B GC/MSD, Agilent, CA, USA) (GC-MS) 였으며 사용한 칼럼은 HP-5MS (30 mm×250 ㎛×0.1 ㎛) 였다. 오븐의 온도는 70℃에서 1분간 머무른 후 180℃까지 1분당 10℃씩 상승하였고 220℃까지 1분당 5℃씩, 325℃까지 1분당 25℃씩 상승시켰다. Innet온도는 250℃, Aux온도는 28

0℃였으며 운반가스로는 헬륨가스를 사용하였으며 속도는 1.0 mL/min이었다.

4. 야외 유인력 검증 시험

4-1. 넓은 범위의 복숭아유리나방 성페로몬 비율 조성 시험

성페로몬의 넓은 범위 비율 조성에 따른 유인력을 비교하기 위해 (3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트와 (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트[이하(3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*)]를 1:9, 4:6, 6:4, 9:1의 비율 조성으로 1 mg씩 조제하여 같은 무게의 항산화제 (2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol, 99.0%, BHT) (Samchun Chemicals®,Pyeongkaek, Korea)와 혼합하였다. 혼합한 성페로몬과 항산화제는 헥센에 녹인 후 마이크로피펫을 이용하여 septa (Sleeve stopper septa) (Sigma-Aldrich, MO, USA)에 처리하였다. 헥센을 증발 시킨 후 페로몬이 함유된 septa는 사용 전까지 초저온냉동고(VT-78, NIHON FREEZER CO., Tokyo, Japen)에서 -40℃로 보관하였다. 다른 실험에서도 동일한 조건으로 성페로몬을 조제 및 보관하였다. 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E)에서 2017년 4월 28일부터 6월 13일까지 대조군을 포함한 5개 조합을 5회 반복하여 총 25개의 트랩을 가지고 실험하였다. 초록색 버켓 트랩을 사용하였으며 이하 모든 실험에 사용한 트랩은 케이아이피(KIP, Daejeon, Korea)에서 제공하였다. 성페로몬 루어의 교체는 30일에 한번 교체하였으며 트랩간 거리는 15 m로 하여 약 3그루 당 1개를 설치하였다. 매 조사마다 트랩의 위치는 서로 무작위로 바꿔 설치하여 위치에 따른 포획 효과를 방지하였다. 설치 높이는 지면에서 180 cm ~ 200 cm 높이로 설치했다. 반복간 거리는 50 m로 하였다. 루어의 교체 시기, 반복간 거리, 설치 간격 및 높이는 본 연구에서 수행한 모든 실험에서 동등하게 실시하였다.

4-2. 델타 트랩과 버켓 트랩의 포획력 비교 시험

트랩 형태에 따른 야외 포획력을 비교하기 위해 본 연구에서 사용한 버

켓 트랩과 선행 연구(Yaginuma et al. 1976; Yang et al. 2011)에서 사용한 동일 형태의 델타 트랩을 비교하였다. 초록색 버켓 트랩과 노란색 델타 트랩을 사용하였으며 모든 트랩은 케이아이피(KIP, Daejeon, Korea)에서 제공하였다. 강원도 춘천시 신샘밭로1(37°55′42.49″N 127°46′27.39″E)에서 2017년 8월 9일부터 9월 25일 까지 2종의 트랩을 각각 5반복씩 총 10개의 트랩을 설치하여 조사하였다. 복숭아유리나방 성페로몬 루어의 조성은 상기 실험과 동일한 방법으로 조제하였으며 (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 1 mg 처리하여 사용하였다.

4-3. 버켓트랩 색상 비교 시험

버켓 트랩의 색상을 선발하기 위해 먼저 실시한 노란색과 초록색 비교 시험에서 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E)과 서울 영등포구 윤중로벚꽃길(37°31′57.80″N 126°55′10.29″E)에서 2018년 4월 26일부터 6월 7일까지 2개 장소에서 2개 색상에 대해 각각 4반복 하여 총 16개의 버켓 트랩을 가지고 실험 하였다. 복숭아유리나방 성페로몬 루어의 조성은 상기 실험과 동일한 방법으로 조제하였으며 (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 1 mg 처리하여 사용하였다.

4-4. 좁은 범위의 복숭아유리나방 성페로몬 비율 조성 시험

성페로몬의 비율 조성에 따른 좁은 범위에서의 실험은 강원 춘천시 부귀리(37°58′45.2″N 127°51′55.7″E)와 경기 가평군 에덴벚꽃길(37°46′57.2″N 127°28′07.3″E)에서, 2018년 8월 31일부터 9월 28일 까지 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E)에서 2018년 8월 27일부터 9월 28일 까지 그리고 경남 진주시 금산면(35°11′58.7″N 128°10′21.4″E)에서 2018년 8월 30일부터 10월 4일 까지 5개 조합을 대상으로 각각 5회 반복하여 4개 장소에서 총 100개의 노란색 버켓 트랩을 가지고 실험 하였다. 복숭아유리나방 성페로몬의 조성 비율은 (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 1:9, 2:8, 3:7, 4:6 그리고 5:5 비율로 1 mg씩 조제하여 상기의 비율실험과 동일하게 조제, 보관 후 사용하였다.

4-5. 트랩 색상 선발 시험

트랩 색상을 선발하기 위해 노란색, 초록색, 빨간색, 파란색, 하얀색, 검정색 등 6개 색상에 대한 포획력 시험은 경기 가평군 에덴벚꽃길(37°46′57.2″N 127°28′07.3″E)과 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E)에서 2018년 8월 27일부터 9월 28일 까지 6개 색상을 대상으로 각각 3회 반복하여 총 36개의 색상별 버켓 트랩을 가지고 실험하였다. 2019년에는 8월 19일부터 10월 06일 까지 강원 양구군 정림리(38°05′33.19″N 127°59′32.53″E)에서 동일한 6개 색상의 트랩을 대상으로 4회 반복하여 총 24개의 버켓 트랩을 가지고 실험하였다. 복숭아유리나방 성페로몬 루어의 조성은 상기 방법으로 조제하였으며 (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 1 mg 처리하여 사용하였다.

4-6. 성페로몬의 처리량별 시험

복숭아유리나방 성페로몬의 처리량별 유인력 시험은 경기 과천시 경마공원(37°26′35.74″N 127°00′56.76″E)과 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E)에서 2019년 4월 28일부터 6월 2일까지 4개 조합을 6반복하여 총 48개의 버켓 트랩을 사용하여 수행하였다. 성페로몬 루어의 조성은 상기 실험과 동일한 방법으로 조제하였으며 (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 1 mg, 2 mg, 3 mg, 4 mg를 각각 처리하였다.

4-7. 시너지스트 선발 조사

복숭아유리나방의 유인효과를 나타내는 물질을 선발하기 위해 참고 문헌 조사(Cuevas et al. 2016; PINO et al. 2012; Aubert et al. 2007; Wang et al. 2009)를 통해 벚나무(*Prunus*)속의 휘발물질을 선발하였고 Table 2의 4개 물질을 대상으로 실험하였다. 경기 가평군 에덴벚꽃길(37°46′57.2″N 127°28′07.3″E)에서 2019년 8월 19일부터 10월 6일 까지 실험하였고, 시너지스트 루어는 polyethylene 재질의 가로, 세로 70x100 mm, 두께 0.1 mm의 직사각형 샤쉐에 담아 사용하였다. *Z*-3-Hexenyl

acetate를 제외한 3종의 시너지스트 루어는 각각 8 g씩 제조하여 1회 교체하였으며 *Z*-3-Hexenyl acetate는 5 g씩 제조하여 15일마다 2회 교체하였다. 성페로몬 루어만 단독 처리한 대조군과 성페로몬 루어를 포함한 시너지스트 후보 물질 조합한 5개 조합을 가지고 4회 반복하여 총 20개의 트랩을 사용하였다. 모든 시너지스트 물질은 Sigma-aldrich (MO, USA)에서 구매하였다. 각 물질의 휘발량 조사는 실내 (25℃)에서 24 시간 동안 조사하였고 실외 조사는 1.5 m 높이의 나뭇가지에 각각의 물질을 케이블 타이를 이용해 걸어두고 2019년 8월 8일부터 8월 11일까지 72 시간 동안 방출량을 조사하였다. 대조군은 성페로몬만 처리한 루어를 사용하였다. (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 1 mg 처리하여 사용하였다.

Table 2. Emission amount of compounds for field test of synergistic effect

Compounds	Purity (%)	Emission amount at 25℃ (g/day)	Emission amount at field (g/day)
Benzaldehyde	≥99%	0.457	0.241
Phenylacetaldehyde	≥90%	0.277	0.020
γ-Decalactone	≥98%	0.007	0.009
Z-3-Hexenyl acetate	≥98%	0.637	0.305

5. 우화소장 조사

복숭아유리나방의 연간 발생을 조사하기 위해 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E), 경남 진주시 금산면(35°11′58.7″N 128°10′21.4″E), 강원 춘천시 신북읍(37°55′42.49″N 127°46′27.39″E), 서울 관악구 관악로1(37°27′29.80″N 126°57′22.91″E)에서 2017년 4월 초순부터 10월 말 경까지 각각의 장소에서 6개의 버켓 트랩을 가지고 실험을 진행하였으며 총 24개의 버켓 트랩을 사용하였다.

이듬해 2018년에도 연간 발생 현황을 조사하기 위해 2018년 4월 초순부터 10월 중순까지 서울 송파구 오금동(37°30′13.37″N 127°08′13.09″E), 서

울 광진구 광장동(37°33′04.38″N 127°06′30.64″E), 강원 춘천시 신북읍(37°55′42.49″N 127°46′27.39″E), 경남 진주시 금산면(35°11′58.7″N 128°10′21.4″E), 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E)에서 각 장소당 6개의 버켓 트랩을 사용하여 총 30개의 규모로 실험을 수행하였다. 사용한 복숭아유리나방 성페로몬 루어의 조성은 상기 실험과 동일한 방법으로 조제하였으며 (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 1 mg씩 처리하여 사용하였다. 2017년에는 초록색 버켓 트랩을 사용하였으며 2018년에는 노란색 버켓 트랩을 사용하였다. 실험의 모든 트랩은 케이아이피(KIP, Daejeon, Korea)에서 제공하였다.

6. 발생 예측 모델

파이썬(Python3.8.0, 2019)을 기반으로 기계학습의 앙상블 학습 방법 중 하나인 랜덤포레스트를 이용하여 예측치를 출력하여 복숭아유리나방의 2번째 발생개체군의 규모를 산정하는 모델을 개발하였다. 랜덤포레스트의 파라미터는 트리개수 25개, 깊이는 최대 10으로 산정하였다. Input값으로서 변수의 구분은 5월초부터 6월 말까지 8주간의 데이터와 5월, 6월의 최고, 최저기온, 시험지의 대상 본수, 피해율을 산정하여 설정하였다. 출력되는 Output인 결과 값은 복숭아유리나방의 2번째 출현 시기인 8월초부터 9월말까지 8주간의 합산 값 데이터로 산정하였다. 모델링에 사용한 학습데이터와 테스트 데이터는 2017년 연간 발생 조사 자료를 바탕으로 하였고 문헌에 따른 데이터를 차용하여 사용하였다(조영식 외, 2016; 양창열 외, 2012). 예측값은 2018년 조사 자료 중 충분한 개채가 조사된 춘천, 진주, 공주의 자료를 사용하여 예측 결과를 출력해 내었다. 소스코드는 부록[1]으로서 첨부하였다.

7. 색상별 트랩의 색차계 분석

복숭아유리나방의 유인력에 미치는 트랩 색상 요인을 알아보기 위해 노

1) 부록 1. 예측모델 알고리즘의 소스코드

란색, 초록색, 하얀색, 파란색, 검정색 그리고 빨간색 버켓 트랩에 대하여 색차계 분석을 실시하였다. 분석은 ㈜신코(Seoul, Korea)의 분석기기 사업부에서 실시하였다. 색차계(Color Spectrophotometer) (ColorMate, SCINCO, Seoul, Korea)를 사용하였으며 흡광도와 반사도를 측정하였고 Obsesvation System은 d/8°, Abserver angle은 10°로 하였다. Illuminant는 D65, Color Scale은 CIE $L^*a^*b^*$로 설정 하였다.

8. 통계분석

트랩의 형태 선발 실험과 색상 선발 실험, 비율 조성 시험, 용량별 시험에 있어 SPSS (IBM SPSS Statistics 23.0, 2015)를 사용하여 통계 분석을 실시하였다. 델타 트랩과 버켓 트랩을 사용한 트랩 형태 선발 실험과 노란색과 초록색을 사용한 트랩 색상 선발 실험에서는 *t*-test를 사용하여 비교하였다. 넓은 범위와 좁은 범위의 성페로몬 비율 조성 실험과 여섯가지 색상별 트랩 선발 실험에서 일원배치분산분석(ANOVA)을 사용하였고 유의 수준 $p<0.05$의 결과에 있어서 Tukey HSD test로 사후 검정 하였다. 색차계 분석 결과는 R studio (ver. 3.5.1, R development Core Team, 2013)를 사용하여 2018년과 2019년에 경기 가평, 충남 공주 그리고 강원 양구에서 시행한 트랩 색상 선발 실험의 결과를 합산 평균한 값을 색상별 차이와 지역별 차이를 알아보기 위해 이원배치분산분석(two way-ANOVA)을 실시하였고 포획된 개체수와 L, a 그리고 b의 값에 대해 다중회귀분석과 선형회귀분석을 실시하였다.

제 4 장 결과

1. 복숭아유리나방 피해특성

서울 관악구 관악로1에서 50본에 대하여 피해특성을 조사한 결과는 다음과 같다. 피해흔을 높이별로 나누어 조사한 결과는 [Figure 6. (a)]에 나타내었다. 전체 조사 본수에 대하여 0.5 m이하에서 6.70±6.53개, 0.5 m에서 1 m까지 2.13±1.16개, 1 m에서 1..5 m까지 1.94±1.17개 그리고 1.5 m에서 2.0 m까지 2.25±1.38개로 나타나 0.5 m 이하에서 피해흔 수가 가장 많았다. 흉고직경(DBH)별 피해 특성은 20 cm미만에서 5.72±8.13개, 20 cm이상 40 cm미만에서 6.37±6.89개, 40 cm이상 60 cm미만에서 5±3.6개로 나타나 흉고직경간 피해흔 수에는 큰 차이가 없었다[Figure 6. (b)].

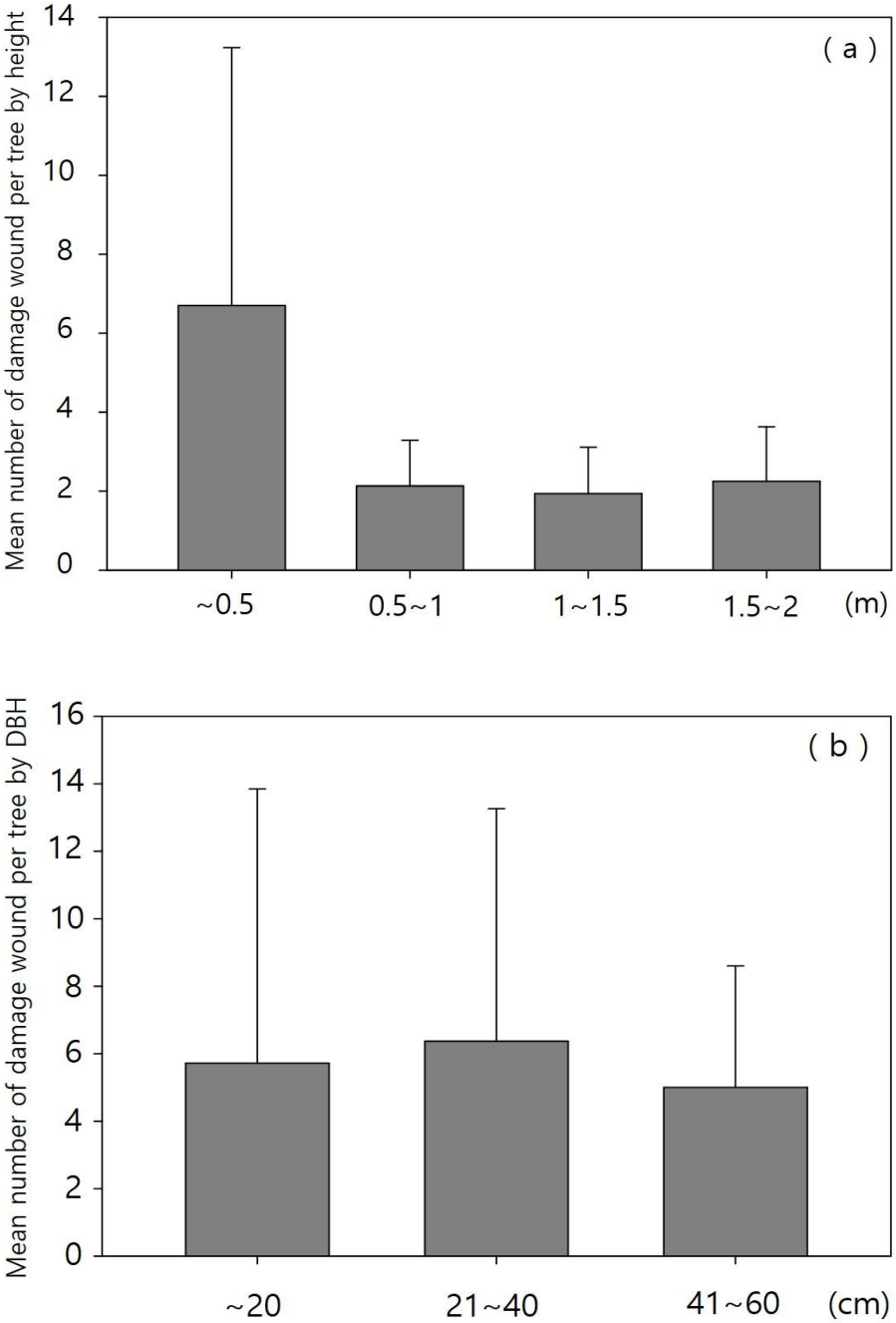


Figure 6. Number of *Synanthedon bicingulata*'s damage wound at different DBH (a) and height (b).

2. 복숭아유리나방 성페로몬의 분석

복숭아유리나방 성페로몬의 GC-MS 분석결과는 Figure 7에 나타내었다. 분석결과 (3*E*,13*Z*)-octadecadienyl acetate의 순도는 94.15%였으며 (3*Z*,13*Z*)-octadecadienyl acetate의 순도는 82.8%로 두 화합물모두 >80% 이상의 높은 순도를 나타내었다.

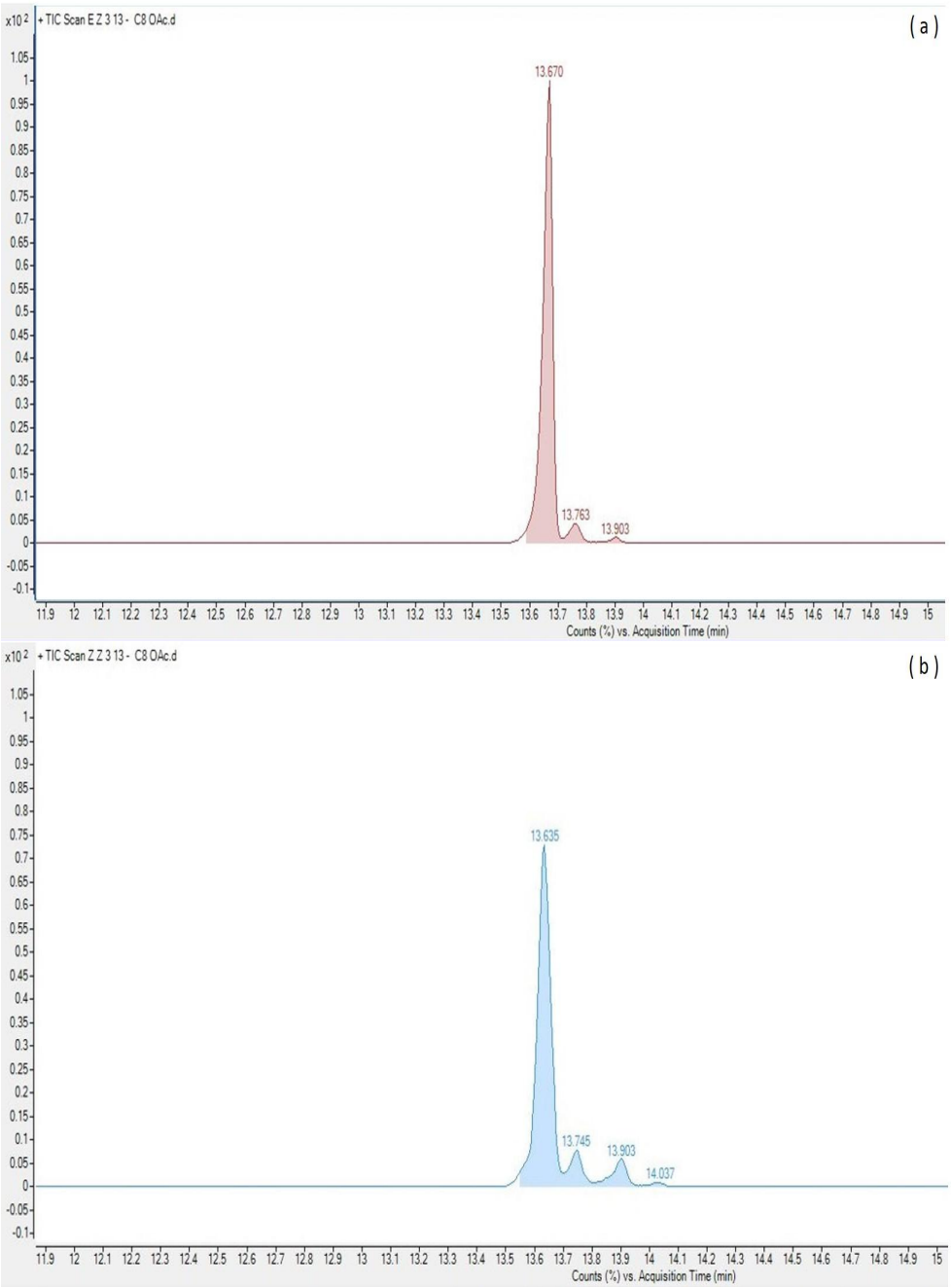


Figure 7. GC-MS chromatograms for *Synanthedon bicingulata*'s sex phromone, (3*E*,13*Z*)-octadecadienyl acetate (a) and (3*Z*,13*Z*)-octadecadienyl acetate (b).

3. 비율 조성 실험

2017년 4월부터 6월까지 충남 공주에서 실시한 넓은 범위의 페로몬 비율 조성 실험 결과는 Figure 8과 같다. 전체 실험 기간에서 포획된 총 개체수는 112마리였고 각 처리군에서 포획된 개체의 평균과 표준오차를 구한 결과 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 1:9 비율에서 8.5±2.38마리, 4:6에서 13.5±2.65마리 그리고 6:4에서 6±2.16마리가 포획되었다. (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 9:1의 비율과 무처리군에서는 포획된 개체가 없었다.

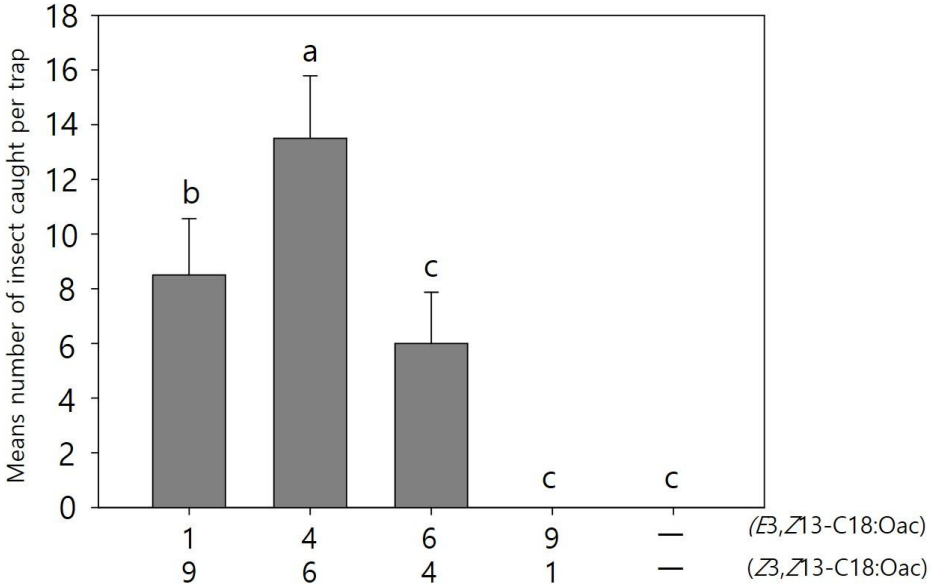
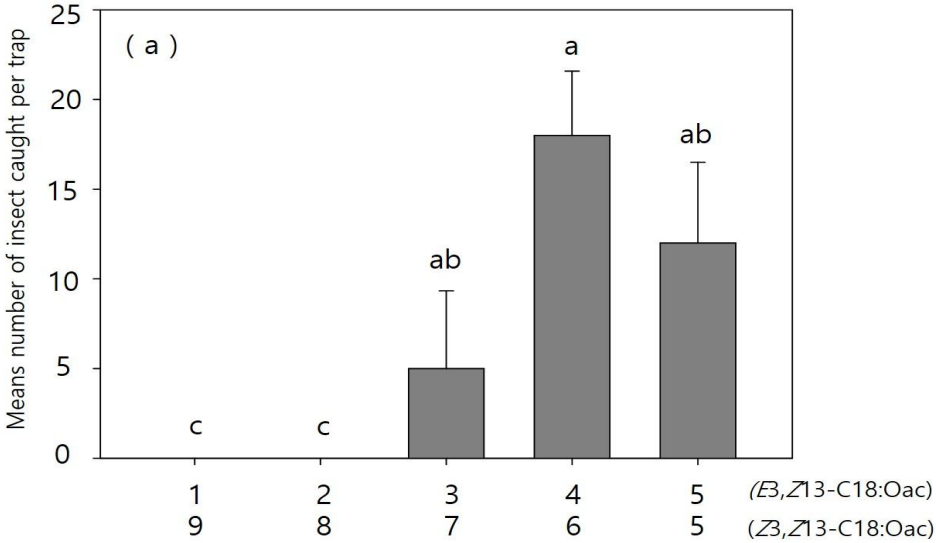


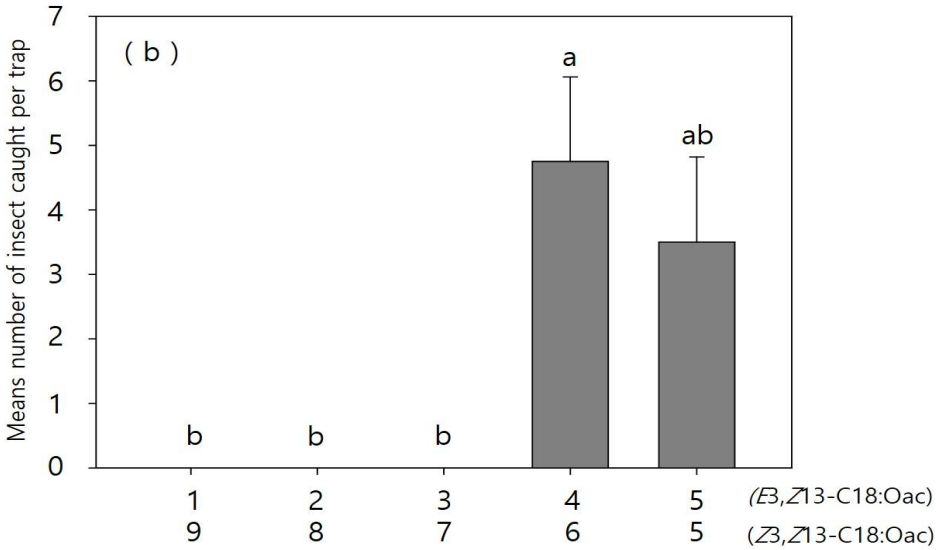
Figure 8. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at different composition ratio of sex pheromone (Gongju, Chungcheongnam-do provence) (Tukey's HSD, $F_{4,15}$=38.567,p < 0.0001).

2018년 8월부터 10월까지 실시한 좁은 범위의 페로몬 비율 조성 실험 결과는 Figure 9에 나타내었다. 모든 지역에서 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율에 가장 높은 유인력을 보였다. 그 다음으로는 5:5, 3:7의 순서로 유인력을 보였으며 1:9와 2:8 비율은 극히 낮은 유인력을 보였다.

충남 공주의 결과는 각 비율별로 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 3:7에서 평균 5±4.33마리, 4:6에서 18±3.58마리, 5:5에서 12±4.5마리였다. 나머지

(3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 1:9와 2:8의 비율에서는개체가 포획되지 않았다 [Figure 9. (a)]. 강원 춘천의 결과는 각 비율별로 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6에서 평균 4.75±1.31마리, 5:5에서 3.5±1.32마리로 나타났다. 나머지 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 1:9, 2:8 그리고 3:7에서는 포획된 개체가 없었다 [Figure 9. (b)]. 경남 진주의 결과는 각 비율별로 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 1:9에서 평균 0.25±0.25마리, 2:8에서 1.25±0.75마리, 3:7에서 4.5±1.19마리, 4:6에서 23.5±5.42마리, 5:5에서 14.5±1.55마리로 나타났다[Figure 9. (c)]. 경기 가평의 결과는 각 비율별로 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 3:7에서 평균 1±1마리, 4:6에서 8.75±3.27마리, 5:5에서 7±2.58마리로 나타났다. 나머지 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 1:9과 2:8의 비율에서는 포획되지 않았다[Figure 9. (d)].


(a)
Means number of insect caught per trap
25
20
15
10
5
0
c
c
ab
a
ab
1 9
2 8
3 7
4 6
5 5
(E3,Z13-C18:Oac)
(Z3,Z13-C18:Oac)


(b)
Means number of insect caught per trap
7
6
5
4
3
2
1
0
b
b
b
a
ab
1 9
2 8
3 7
4 6
5 5
(E3,Z13-C18:Oac)
(Z3,Z13-C18:Oac)

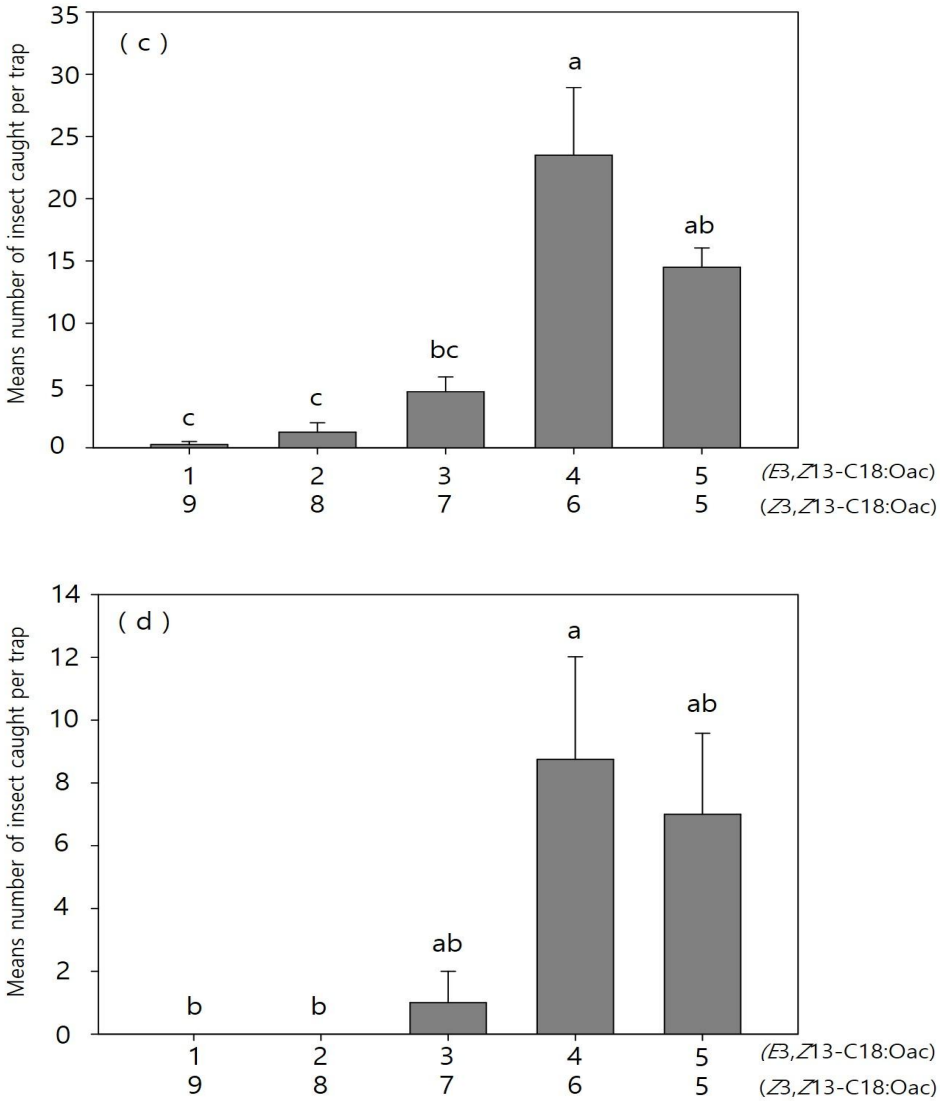


Figure 9. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at different composition ratio of sex pheromone. [Gongju, Chungcheongnam-do provence, (a), Tukey's HSD, $F_{4,19}$=5.962, p = 0.004; Chuncheon, Gangwon-do provence, (b), Tukey's HSD, $F_{4,19}$=7.617, p < 0.001; Jinju, Gyeongsangnam-do provence, (c), Tukey's HSD, $F_{4,19}$=14.656, p < 0.0001; Gapyeong, Gyeonggi-do provence, (d), Tukey's HSD, $F_{4,19}$=4.787, p = 0.011]

4. 트랩 형태 선발 실험

성페로몬 트랩의 최적 효율을 나타내는 트랩의 형태를 선발하기 위해 2017년 8월 초부터 9월 말까지 강원 춘천에서 실시한 트랩 형태 선발 시험의 결과는 Figure 10에 나타내었다. 델타 트랩과 버켓 트랩의 비교에서 전체 시험 기간 동안 버켓 트랩은 평균 13.2±2.28마리로 나타났고 델타 트랩은 7.6±2.07마리로 버켓 트랩이 더 우수한 포획력을 나타내었다.

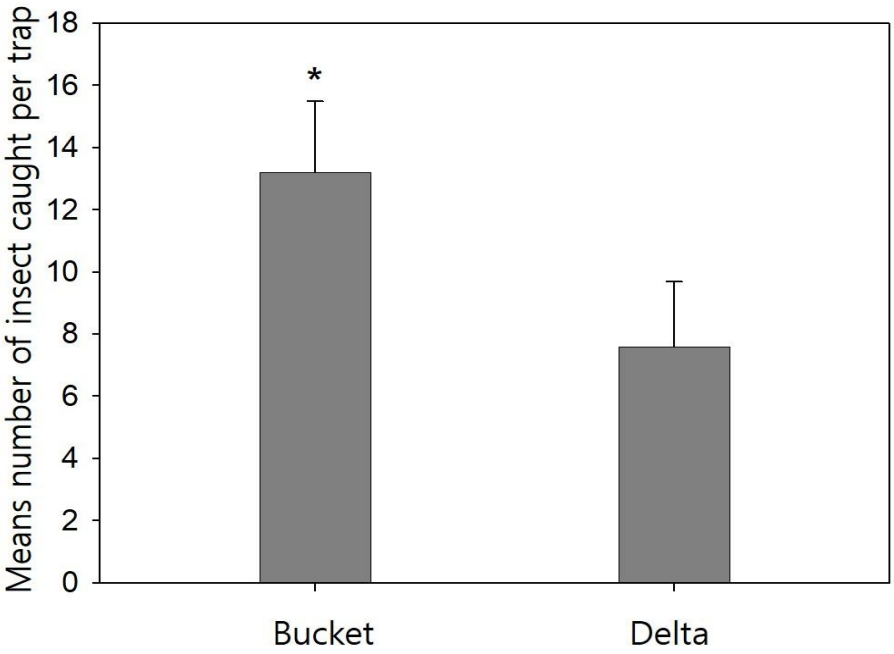


Figure 10. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at two different types of trap.
(Chuncheon, Gangwon-do provence ,*t*-test, t=4.174, p = 0.003)

5. 색상 선발 실험

복숭아유리나방 포획에 최적 효율을 나타내는 성페로몬 트랩의 색상을 선발하기 위해 초록색과 노란색의 버켓 트랩을 비교 실험한 결과는 Figure 11에 나타내었다. 충남 공주의 실험에서 전체 실험 기간 중 노란

색과 초록색 트랩에 포획된 총 개체수는 146마리였다. 노란색 트랩에 포획된 개체수는 평균 26.5±3.60마리 였으며 초록색 트랩은 10±2.9마리로 나타났다[Figure 11. (a)]. 서울 영등포구 여의도 윤중로벚꽃길에서 실시한 시험에서 전체 실험기간 중 포획된 총 개체수는 47마리 였으며 노란색에 포획된 개체수는 평균 7.75±1.5마리였으며 초록색 트랩에 포획된 평균 개체수는 4±1.82마리로 나타났다[Figure 11. (b)]. 실험을 진행한 양 장소 모두 복숭아유리나방 수컷은 노란색 트랩에서 더 많이 유인되었다.

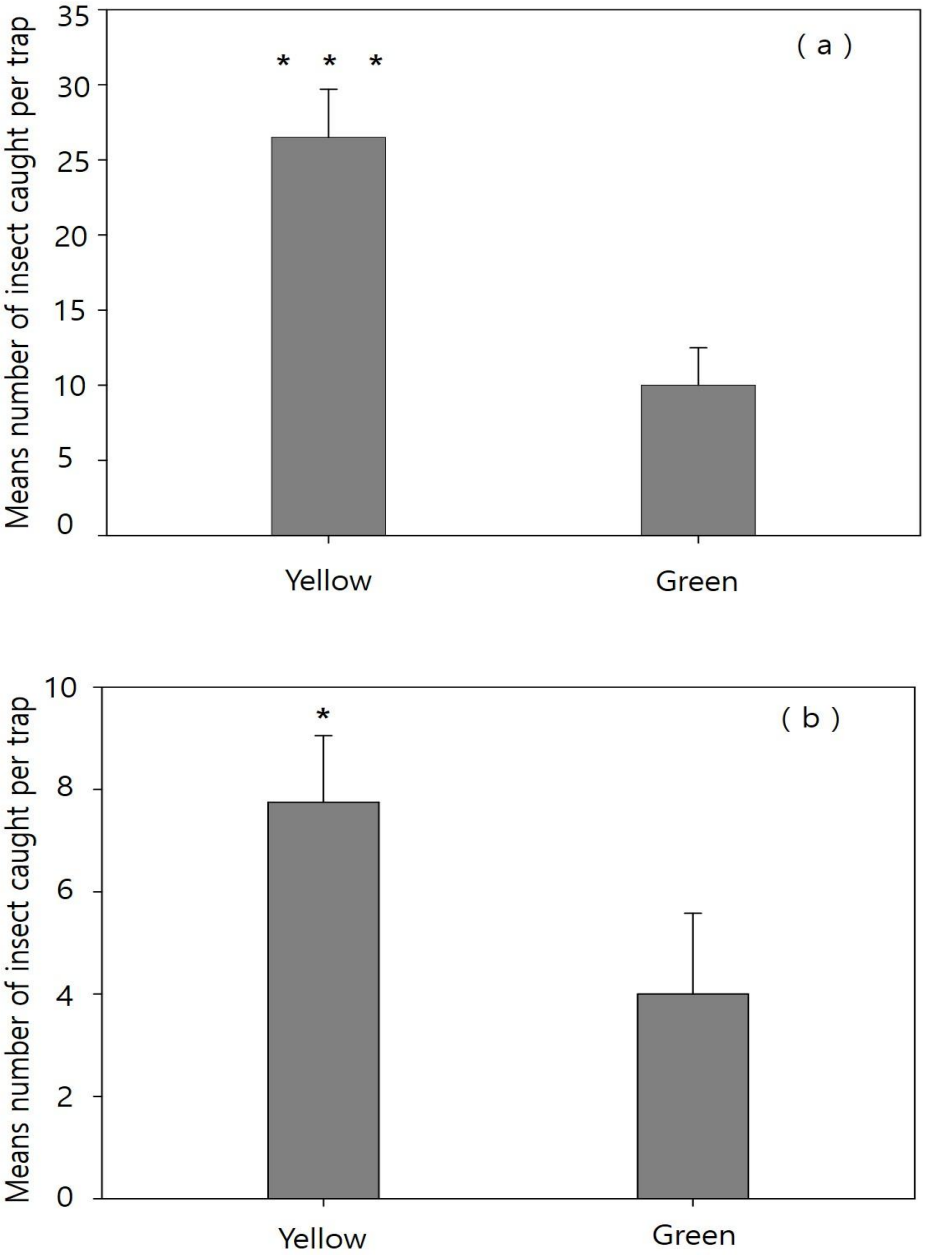
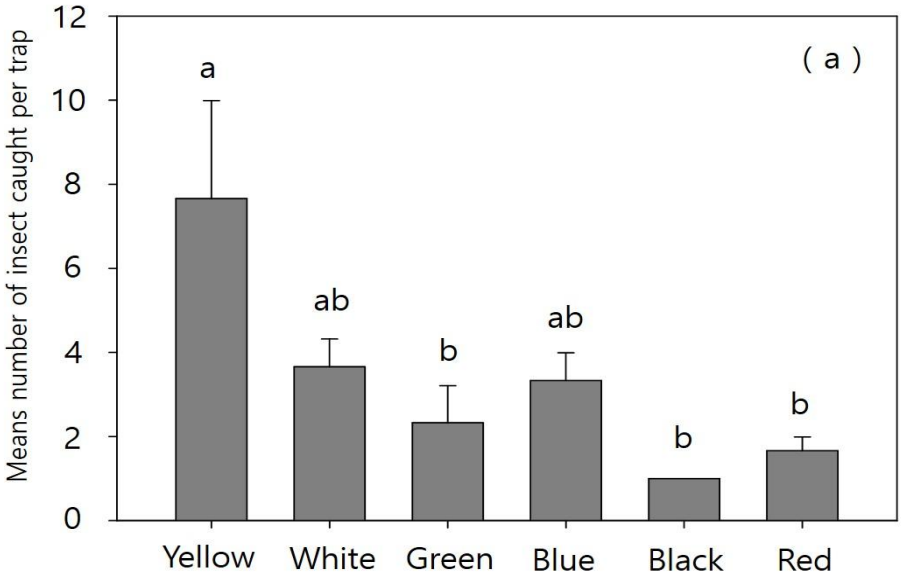


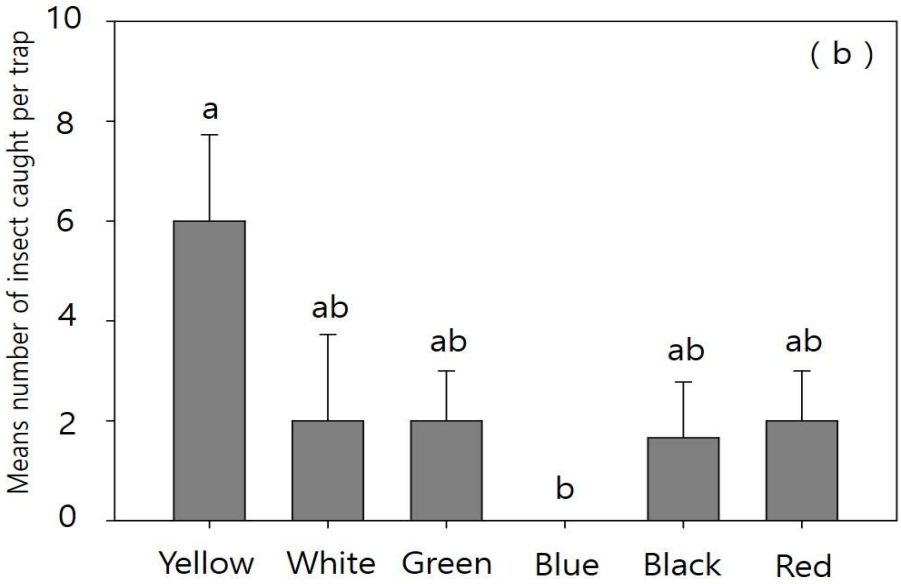
Figure 11. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at two different color traps. [Gongju, Chungcheongnam-do provence, (a), t-test, t=6.983, p<0.000;, Seoul (b); t-test, t=3.174, p=0.019]

색상 선발을 위한 실험에서 노란색과 초록색 외 다른 색상에서의 효율을 알아보기 위해 노란색, 초록색, 파란색, 빨산색, 하얀색, 검정색의 여섯 가지 색상의 버켓 트랩을 사용한 색상 선발 실험 결과는 Figure 12에 나타내었다. 경기 가평에서는 노란색 트랩에 평균 7.66±2.33마리, 하얀색 트랩에 3.66±0.66마리, 초록색 트랩에 2.33±0.88마리, 파란색 트랩에 3.33±0.66마리, 검정색 트랩에서 1마리 그리고 빨간색 트랩에 1.66±0.33마리로 나타났다[Figure 12. (a)].

충남 공주에서 포획된 결과는 노란색 트랩에 평균 6±2.08마리, 하얀색 트랩에 2±1마리, 초록색 트랩에 2±0.57마리, 검정색 트랩에 1.66±0.66마리, 빨간색 트랩에 2±0.57마리 그리고 파란색 트랩에는 포획된 개채가 없었다[Figure 12. (b)].

2019년에 진행한 강원 양구에서의 포획 결과는 노란색 트랩에서 평균 4.8±1.31마리, 하얀색 트랩에 1.4±0.6마리, 초록색 트랩에 1.4±0.87마리, 검정색 트랩에 1.6±0.81마리, 빨간색 트랩에 0.8±0.2마리 그리고 파란색 트랩에는 포획된 개채가 없는 것으로 나타났다(Figure 13.). 색상별 트랩을 비교 실험 한 결과 모든 실험에서 노란색 트랩이 가장 좋은 유인력을 보였다.


(a)
Means number of insect caught per trap
12
10
8
6
4
2
0
a
ab
b
ab
b
b
Yellow
White
Green
Blue
Black
Red


(b)
Means number of insect caught per trap
10
8
6
4
2
0
a
ab
ab
b
ab
ab
Yellow
White
Green
Blue
Black
Red

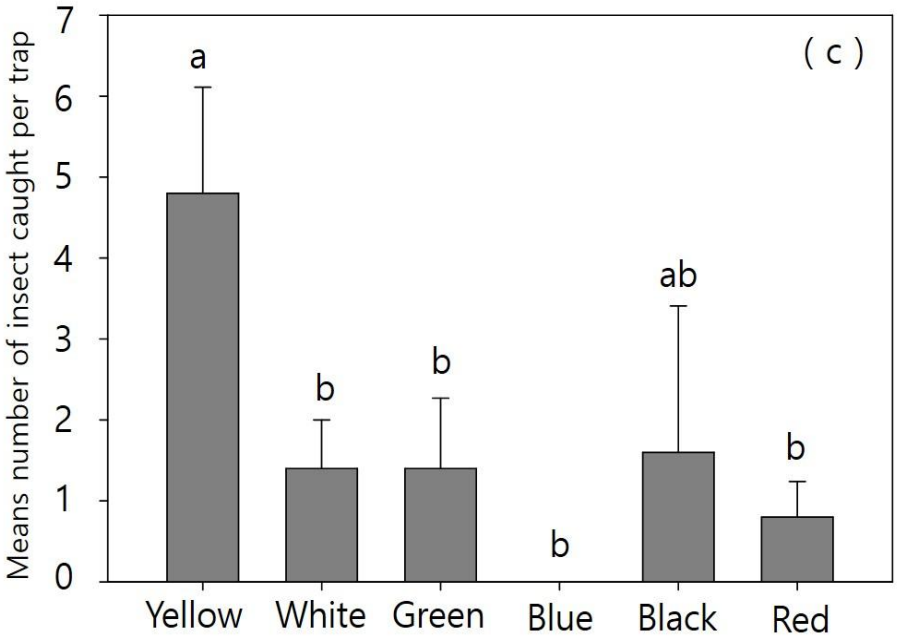


Figure 12. Number of male *Synanthedon bicingulata*'s caught at six different color traps. [Gapyeong, Gyeonggi-do provence, (a), 2018, Tukey's HSD, $F_{5,17}$=4.66, p = 0.013; Gongju, Chungcheongnam-do provence, (b), 2018, Tukey's HSD, $F_{5,17}$=3.659, p = 0.03; Yang-Gu, Gangwon-do provence, (c), 2019; Tukey's HSD, $F_{5,29}$=4.548, p = 0.005]

6. 색차계 분석 결과

가시광선 파장의 범위에서 각 트랩의 반사도는 Figure 13과 같다. 그중 색상 별 포획 실험에서 가장 좋은 효과를 보인 노란색의 파장 범위는 360 nm부터 750 nm 중 540 nm부터 710 nm까지의 범위에서 약 30% 이상의 반사도를 갖는 범위로 확인되었다. 파장 범위에 따른 각 색상의 반사도의 값은 부록2[2)]에 첨부하였다.

2) 부록 2. 가시광선 범위의 트랩 색상별 반사도 [Spectrum (%R)]

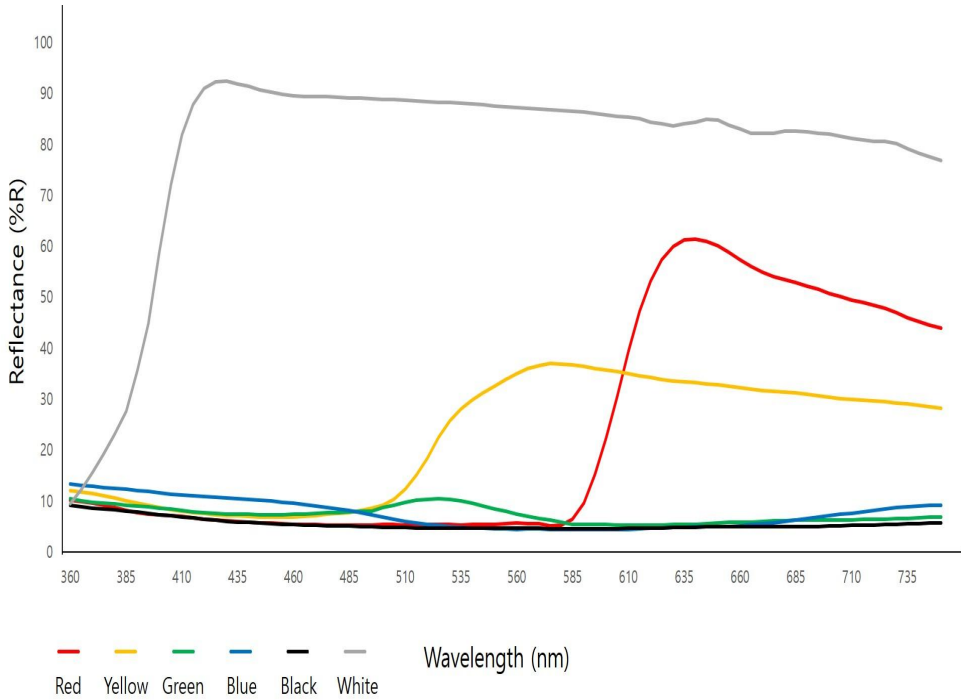


Figure 13. Reflectance rate of six color bucket traps.

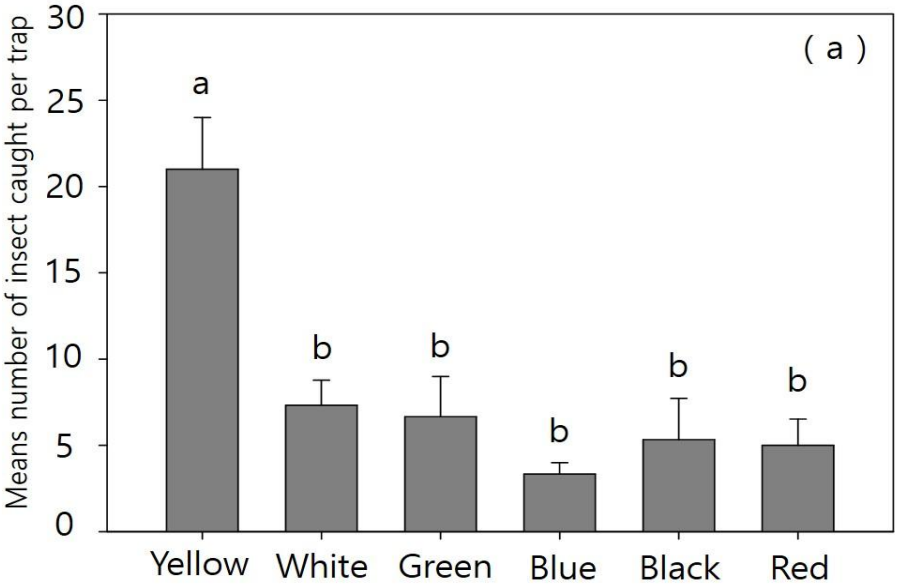
위의 반사도 값에서 색차계 분석을 통하여 나타난 각각의 색상은 Table 3의 L, a, b값을 가진다.

Table 3. Trap surface color values(L*a*b*) measured by chromameter

Name	L*	a*	b*
Red	41.2577	46.7066	21.4851
Yellow	59.2927	6.8836	45.8015
Green	33.4178	-11.2822	0.4692
Blue	27.6058	3.8195	-16.7984
Black	26.0313	1.4991	-4.2059
White	94.8931	-1.092	-1.8659

2018년과 2019년에 경기 가평, 충남 공주 그리고 강원 춘천의 데이터를

이원배치분산분석(two way-ANOVA)한 결과는 Figure 14에 나타내었다. 노란색 트랩에서 평균 21.0±3.0마리, 하얀색 트랩에 7.33±1.45마리, 초록색 트랩에 6.66±2.33마리, 파란색 트랩에 3.33±1.15마리, 검정색 트랩에 5.33±1.52마리 그리고 빨간색 트랩에 5.0±1.52마리로 나타났으며 색깔에 의한 포획력 차이는 나타났으나($F_{5,52}$=14.102, p < 0.0001), 지역간 차이는 나타나지 않았다($F_{5,52}$=2.766, p = 0.0722).



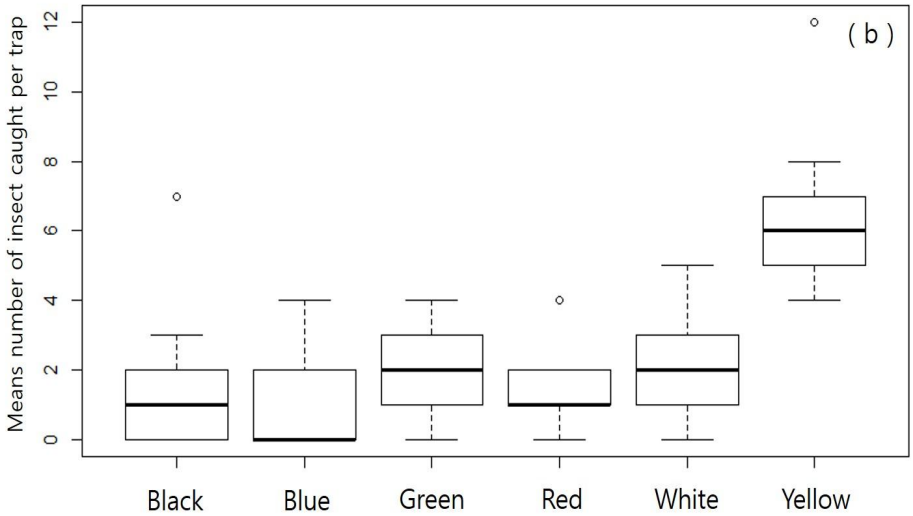


Figure 14. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at six difference color traps in Gapyeong, Gongju and Yang-Gu (a) and distribution by boxplot (b) (Tukey's HSD, $F_{5,30}$=7.889, $p < 0.0001$).

위의 결과를 바탕으로 각각의 L, a b값이 포획력과 어떤 차이를 나타내는지 알아보기 위해 Lab값과 개체수간 다중회귀분석 결과 y절편 1.84, Multiple R-squared = 0.519, $F_{3,56}$ = 20.15, p < 0.0001로 나타났으며 a와 b의 값에서 처리간 차이를 보였다. 따라서 ab값을 다시 분석한 결과 y절편 2.20, Multiple R-squared = 0.514, $F_{2,57}$ = 30.15, p < 0.0001로 나타났으며 처리간 차이를 보였다. 이후 L, a, b 값과 각각 선형회귀분석을 실시한 결과는 Figure 15에 나타내었다. L은 흑~백, a는 적~록 그리고 b는 황~청의 범위를 가진다. 개체수를 L, a, b 값과 선형회귀분석한 결과에서 분석간 차이를 보인 항목은 b값으로 나타났다. L값과의 선형회귀분석 결과 기울기는 0.030, y절편 1.08, Multiple R-squared = 0.085, $F_{1,58}$ = 5.437, p = 0.023으로 나타났다[Figure 15. (a)]. a값과의 분석 결과 기울기는 -0.010, y절편 2.57, Multiple R-squared = 0.005, $F_{1,58}$ = 0.33, p = 0.567로 나타났다[Figure 15. (b)]. b값의 분석 결과 기울기는 0.075, y절편 1.935, Multiple R-squared = 0.38, $F_{1,58}$ = 37.05, p < 0.0001 로 나타났다[Figure 15. (c)].

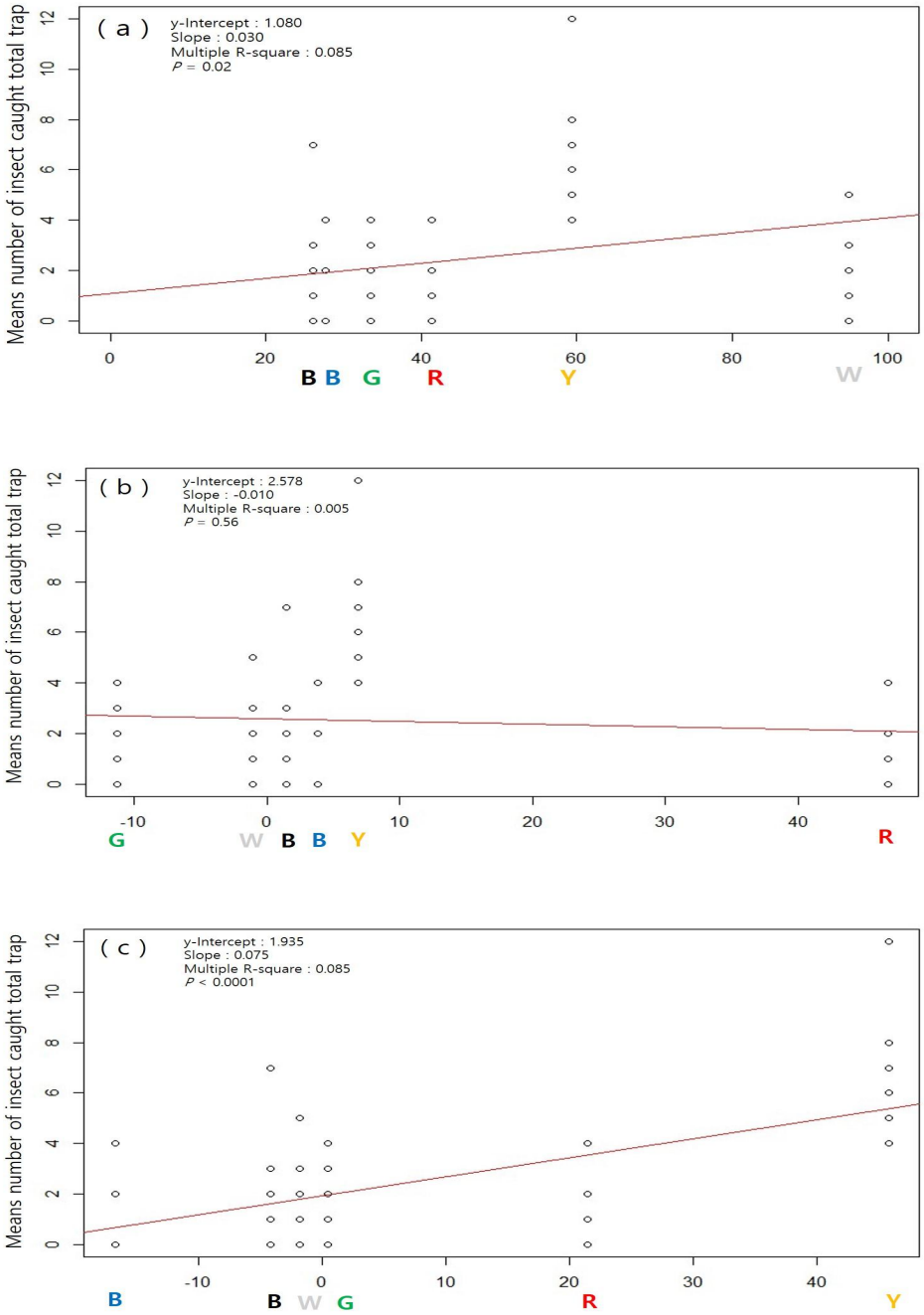
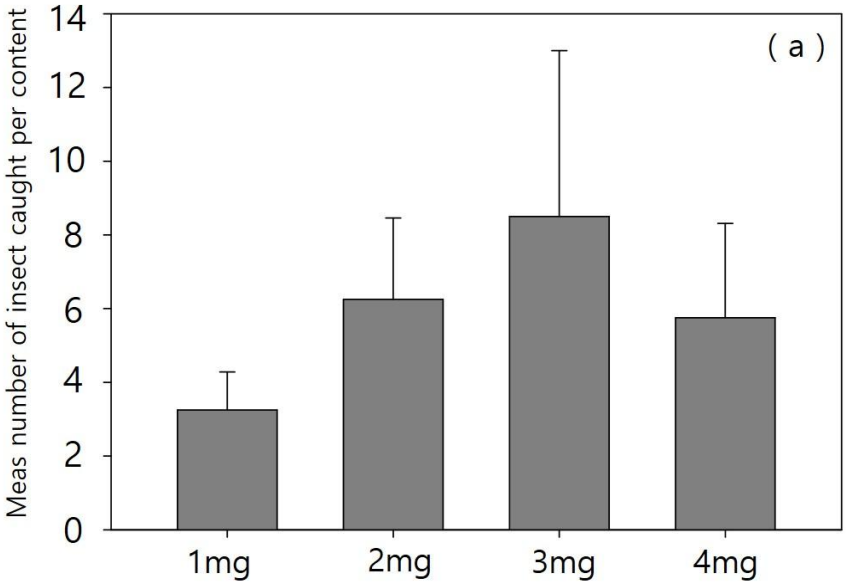


Figure 15. Linear regression model of male capture of six difference color trap for L (a), a (b), b (c).

7. 처리량별 실험

복숭아유리나방 성페로몬 루어의 처리 양별 방출 유인력을 비교한 결과는 Figure 16에 나타내었다. 경기 과천 지역에서 1 mg, 2 mg, 3 mg, 4 mg 처리한 평균과 표준오차는 각각 3.25±1.03마리, 6.25±2.21마리, 8.5±4.5마리, 5.75±2.56마리로 나타났으며[Figure 16. (a)] 충남 공주 지역에서 처리별 각각의 결과는 2.75±1.25마리, 8.5±3.61마리, 6.25±2.83마리, 5.5±3.09마리로 나타났다[Figure 16. (b)]. 경기 과천의 경우 3 mg에서 가장 많은 개체수가 포획되었고 공주의 경우 2 mg가 가장 많은 개체수가 포획되었으나 처리간의 차이가 없었다.



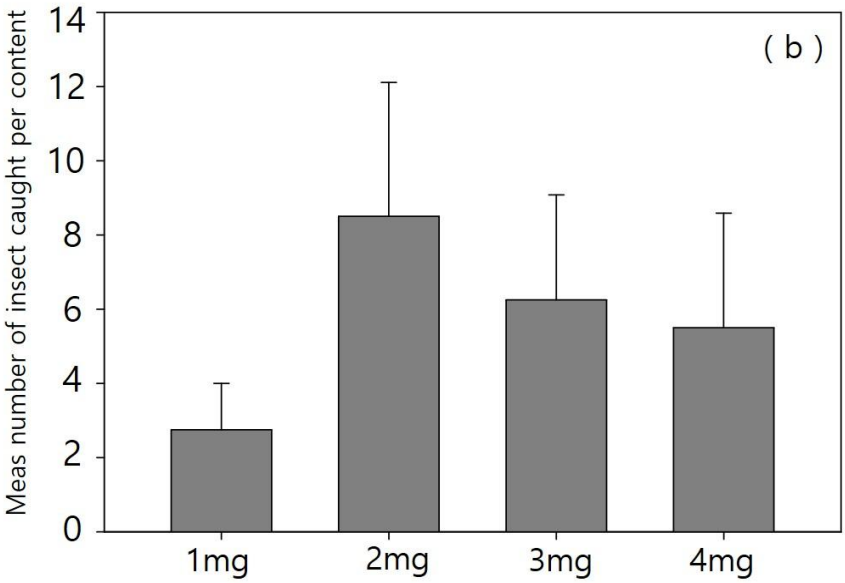


Figure 16. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at different amount of sex pheromone. Gwacheon, Gyeonggi-do provence, (a) and Gongju, Chungcheongnam-do provence, (b)

8. 시너지스트 물질 탐색

경기 가평에서 기주 휘발물질들의 페로몬에 대한 시너지 효과를 조사한 결과는 Figure 17과 같다. 페로몬만 처리한 트랩의 평균 포획수는 2.5±0.86마리, 페로몬과 benzaldehyde 조합은 4±2.34마리, 페로몬과 phenylacetaldehyde 조합은 0.75±0.75마리, 페로몬과 *Z*-3-hexenyl acetate 조합에서 7.75±1.71마리 그리고 페로몬과 γ-decalactone 조합에서 2±0.81마리가 포획되었다. *Z*-3-hexenyl acetate를 처리한 트랩에서 가장 많은 개체수가 포획되었고 phenylacetaldehyde를 처리한 트랩에서 가장 적은 개체수가 포획되어 *Z*-3-hexenyl acetate와 phenylacetaldehyde는 복숭아유리나방 성페로몬에 대하여 각각 시너지와 기피 효과가 있는 것으로 판단된다.

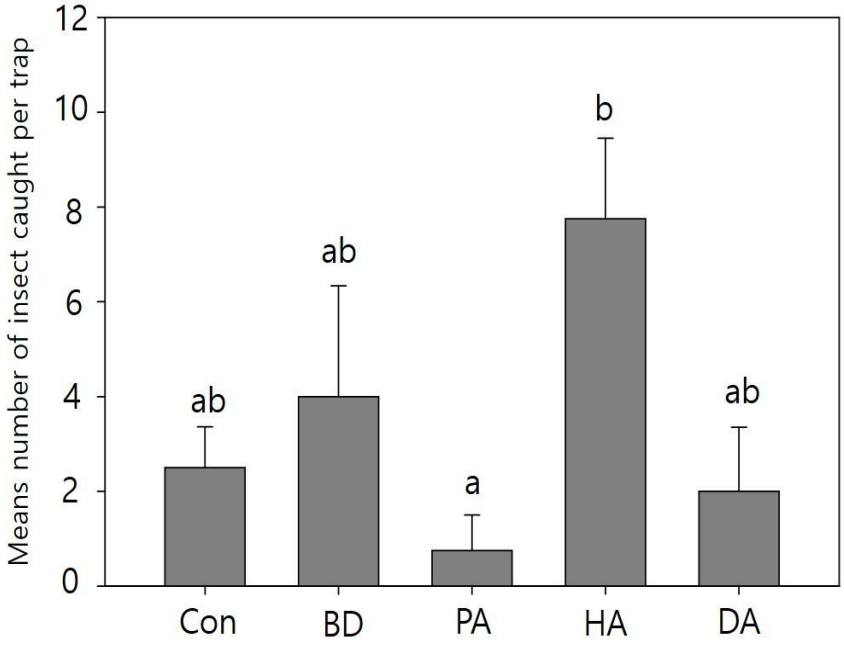
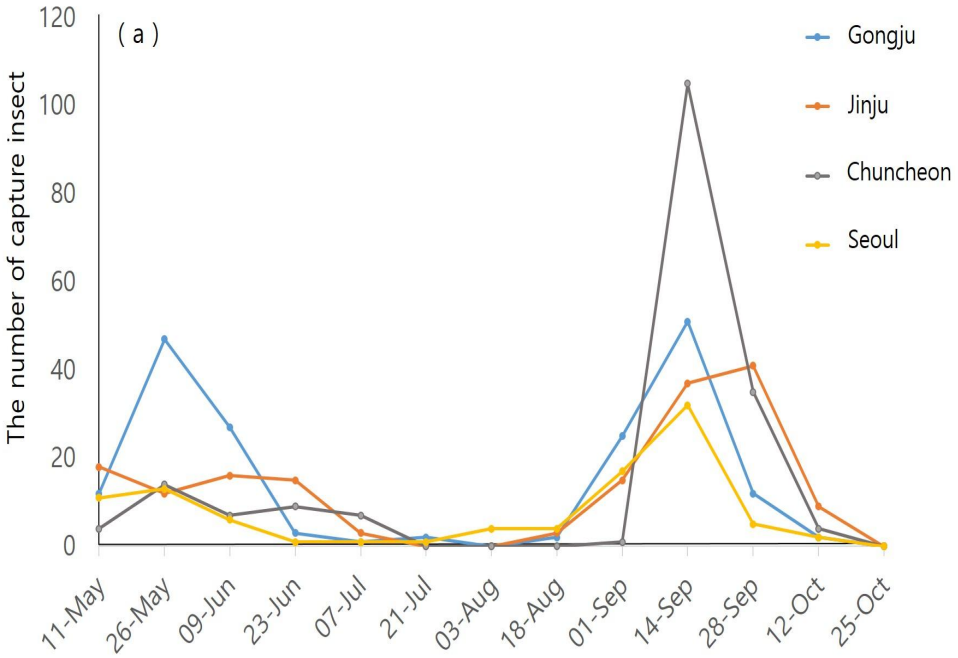


Figure 17. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at pheromone trap combined with different host volatiles(Gapyeong, Gyeonggi-do provence, Tukey's HSD, $F_{4,19}$=3.149, p = 0.046).

9. 우화소장 조사

복숭아유리나방 성페로몬 트랩을 이용하여 2017년과 2018년에 우화소장 조사 결과는 Figure 18과 같다. 포획된 개체수의 조사 결과 2017년 봄철 최초 발생 시기는 5월 1일 서울에서 발생하였다. 최대 개체수는 진주 18마리, 대전 47마리, 춘천 14마리 그리고 서울 관악구 13마리였다. 가을철 최초 발생은 서울에서 8월 16일로 나타났으며, 최대 발생 개체수는 진주 41마리, 대전 51마리, 춘천 105마리 그리고 관악구 32마리로 나타났다. 2018년 봄철 발생은 5월 4일 대전에서 관찰되었다. 최대 발생 수는 진주 49마리, 대전 34마리, 춘천 26마리, 서울 광진구 9마리 그리고 송파구 8마리 였으며, 가을철 최초 발생 8월 11일로 대전에서 조사되었다. 최대 발생 개체수는 진주 85마리, 대전 63마리, 춘천 81마리, 서울 광진구 41마리 그리고 송파구 37마리로 나타났다. 2017년 우화소장 조사 결과 봄철 발생기(5월 11일 ~ 6월 23일)의 평균 포획 개체수는 13.4마리로 나타났으며 가을철 발생기(9월 1일 ~ 10월 12일)의 평균 포획 개체수는 24.5마리로 가을철 발생개체수가 약 54% 더 많은 것으로 나타났으며, 2018년에는 봄철 발생기(5월 4일 ~ 6월 15일)의 평균 개체수는 16.7마리였고 가을철 발생기(8월 10일 ~ 9월 17일)의 발생 개체수는 평균 28.1마리로 가을철 발생개체수가 약 59% 더 많이 발생하였다. 성충은 연 2회 발생했으며 지역간의 발생 시기 차이는 거의 나타나지 않았다.



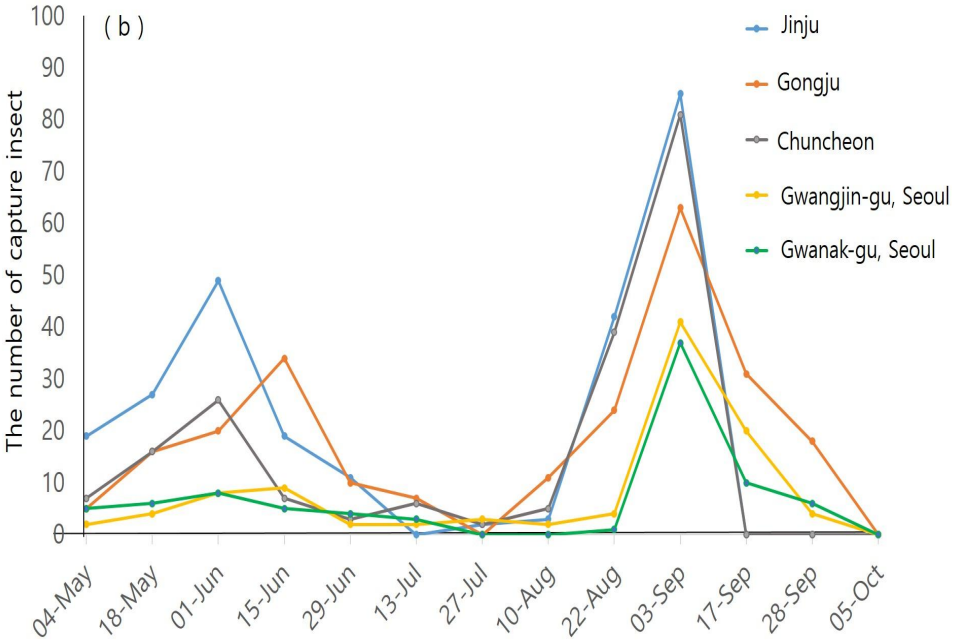
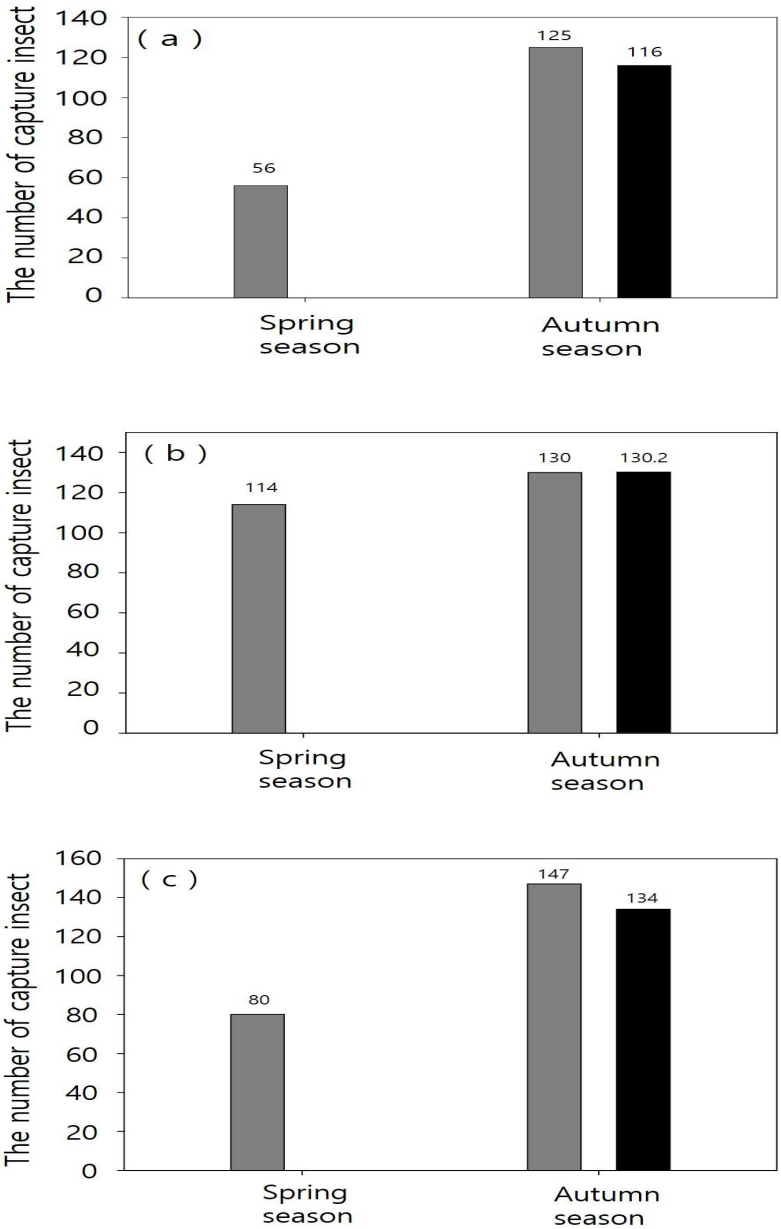


Figure 18. Seasonal occurrence of *Synanthedon bicingulata* male adult in 2017(a) and 2018(b).

10. 모델링 예측 결과

2018년의 우화소장 조사를 모델링을 통하여 예측한 결과는 Figure 19에 나타내었다. 춘천의 실제 조사된 개체수는 125마리 였으며 모델의 예측값은 116마리로 92.8%의 정확도를 가졌다[Figure 19 (a)]. 진주의 실제 조사된 개체수는 130마리로 나타났으며 모델의 예측값은 130마리로 100%의 정확도를 보였다[Figure 19 (b).] 대전의 실제 조사된 개체수는 147마리였으며 모델의 예측값은 134마리로 91.2%의 결과를 보였다 [Figure 19 (c)].



Fifure 19. Predict of *Synanthedon bicingulata* adult emerging scale to using model Chuncheon, Gangwon-do provence, (a); Jinju, Gyeongsangnam-do provence, (b); and Gongju, Chungcheongnam-do provence, (c). (Real capture : Gray, Predict : Black)

제 5 장 고찰

본 연구에서는 최근 가로수로 선호되는 벚나무에 큰 문제가 되고 있는 복숭아유리나방의 정확한 성충 발생 시기 파악 및 대량 포획을 통한 방제법 개발을 위해 성페로몬 트랩을 이용한 성충 발생 시기 모니터링 및 포획효율을 높이기 위한 페로몬 트랩 최적 조건을 개발하였다.

복숭아유리나방이 벚나무를 가해하는 특성의 파악을 위한 피해특성 조사에서 흉고직경에 따른 피해흔 수의 차이는 없었으나 높이별로는 차이가 나타나 지상부에서 50 cm이하의 범위에서 가장 집중적으로 피해가 나타났다. 광릉긴나무좀과 같은 딱정벌레류 천공성 해충의 경우도 지제부에 더 많은 피해를 준다는 보고가 있다(Lee et al. 2011). 이는 지제부에 상대적으로 많은 수피의 갈라짐, 외부 상처 등이 많아 천공이나 산란에 유리한 장소를 제공하기 때문 일 것이라 사료되며 추후 끈끈이롤트랩을 이용한 기계적 방제 시 대상 수목 50 cm이하의 높이를 대상으로 실시하는 것이 타당하다. 그러나 식재 밀도나 가로 경관 임분의 주변 환경에 따른 피해 특성에 관한 연구가 필요하다.

본 실험에 사용한 복숭아유리나방 성페로몬의 구성 성분인 (3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트와 (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트의 유기 합성은 Yamamoto 등이 (1989) 고안한 중간체를 활용하여 합성 하였으며 두 물질 모두 80% 이상의 순도를 보여 효과적인 합성법으로 판명되었다.

복숭아유리나방 성페로몬 구성 성분 간 최적 비율 선발은 페로몬 트랩 이용 연구에서 매우 중요하다. Yaginuma et al. (1976)은 일본 지역에서 (3*E*,13*Z*)와 (3*Z*,13*Z*) 5:5의 비율이 야외 유인력 시험에서 가장 우수한 효과를 가지며, 이어서 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6, 6:4의 순서로 유인력이 우수하다고 보고하였다. 그러나, 국내의 선행 연구에서는 상업적으로 구매한 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율이 유인력이 우수하다고 보고하였으며(Yang et al. 2011), 조영식(2016)등은 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 1:1 비율로

조성한 성페로몬을 사용하여 우화소장을 조사한 연구가 있다. 본 실험에서는 복숭아유리나방 성페로몬 2종을 직접 합성하여 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율 외에 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 8:2 그리고 9:1까지 다양한 조성 비율에서 실험을 진행한 결과, (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율이 유인력이 가장 우수하였다. 두 가지 물질의 페로몬의 조성 비율에 있어 일본의 선행연구와 국내의 연구에서의 차이는 두 페로몬 성분의 순도 차이, 지역적 격리 혹은 실험 시기의 시간적 괴리에 따른 변화로 볼 수도 있다. Boo and Jung (1998)의 연구에서 사과굴나방(Lepidoptera: Gracillrariidae) (*Phyllonorycter ringoniella*)의 경우 우수한 유인력을 나타내는 2가지 물질 (*Z*10-14:Ac), (*E*4,*Z*10-14:Ac)의 성페로몬 조성이 국내 조사에서는 4:6의 비율이 가장 우수한 유인력을 보였으나 일본에서는 10:3 중국에서는 7:3부터 6:4까지 우수한 유인력을 보인다고 보고하여 지리적 격리에 의한 성페로몬의 최적 비율이 차이가 나타났다. 페로몬 조성 비율간의 지역별 유인력 차이를 알아보기 위해 경남 진주, 충남 공주, 경기 가평, 강원 춘천 등의 지역별 비율 조합 시험을 한 결과, 모든 지역에서 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6 비율에서 가장 좋은 유인 효과를 얻었다. 양창열(2012)등은 수원지역에서 4:6의 비율을 사용하여 조사하였고, Yang et al. (2011)은 전주지역에서 4:6의 비율을 사용한 연구 보고가 있다. 따라서 국내 복숭아유리나방의 성페로몬 비율 조성에서 최적 비율은 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6으로 지역에 관계없이 사용 가능 할 것으로 판단되었다.

복숭아유리나방의 친환경 방제나 우화소장 조사 실험에 사용하는 트랩의 형태에 대하여 Zhang et al. (2013)은 *Synanthedon scitula*를 대상으로 4종의 트랩을 비교하였으며, 국내에서는 주로 빨간색의 델타 트랩을 사용하여 실험을 진행하였고(양창열 외, 2012) 일부 윙 트랩이나 펀넬 트랩을 사용한 경우도 있었다(이규철 외, 2003; 조영식 외, 2016). 그러나 국내에서는 트랩 간 포획력을 비교한 연구가 미흡하여 본 실험에서는 우수한 포획력을 나타내는 트랩을 선발하기 위해 끈끈이를 사용하는 노란색의 델타 트랩과 초록색의 버켓 트랩을 비교하여 초록색 버켓 트랩을

선발하였다. Boo and Jung (1998)은 사과굴나방(*Phyllonorycter ringoniella*)을 대상으로 윙, 델타 water 트랩을 가지고 포획력 실험을 한 결과 처리 간 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 그리고 Kim and Park. (2013)은 회양목명나방(Lepidoptera: Pyralidae) (*Glophdoes perspectalis*)을 대상으로 델타, 버켓, 윙 트랩을 가지고 비교한 결과 버켓 트랩이 포획력이 우수하다고 보고하였다. 본 연구에서도 같은 페로몬을 쓰더라도 트랩종류에 따라 포획력에 차이가 있음을 알 수 있었으며, 델타 트랩보다는 버켓 트랩이 포획력이 우수하다는 것을 확인하였다.

페로몬 트랩 색상이 유인력에 영향을 미친다는 많은 보고가 있다(Clare et al. 2000; Roubos and Liburd, 2009; Francese et al. 2010; Abuagl and Al-Deeb, 2011; Zhang et al. 2013; Gadi and Reddy, 2014; Kerr et al. 2017). Abuagl and Al-Deeb (2011)은 *Rhynchophorus ferrugineus* (Curculionidae: Coleoptera)를 대상으로 4종의 색상별 버켓 트랩을 가지고 포획력의 차이를 비교한 보고하였으며, Gadi and Reddy (2014)는 버켓 트랩의 상, 중, 하단부의 색상을 달리하여 포획력의 차이를 비교하였다. Roubos et al. (2008)은 나비목의 해충인 *Vitacea polistiformis* (grape root borer)를 대상으로 버켓 트랩의 색상별 유인력을 조사하였고 Suckling et al. (2005)은 Synanthedon 속을 대상으로 델타 트랩의 색상별 유인력을 비교한 연구를 진행하였다. 선행 연구에 따라 트랩 형태 선발 시 색상도 고려해야할 사항으로 판단하였다. 본 연구에서는 복숭아유리나방 수컷 성충을 대상으로 버켓 트랩의 색상에 따른 포획력을 알아보고자 색상별 실험을 진행했다. 우선 노란색과 초록색의 버켓 트랩의 포획력을 비교한 결과, 노란색 버켓 트랩이 더 우수한 포획력을 나타내었다. 이후 노란색, 초록색, 하얀색, 검정색, 파란색, 빨간색 등 6개 색상을 가지고 수행한 실험에서도 노란색 버켓 트랩의 포획력이 가장 우수한 효과를 나타내는 것을 확인하였다.

색차계 분석을 이용하여 트랩 색상의 분광학적 분석을 통해 포획된 개체수를 바탕으로 색차계 분석의 항목인 L, a, b의 각각의 값이 포획력에 미치는 영향을 알아보기 위하여 항목별 선형회귀분석을 실시 한 결과

540 nm부터 710 nm까지 노란색의 영역을 포함하는 b (황색-청색)의 값에서 가장 높은 유의성을 나타내며 앞서 수행한 색상별 포획력 실험의 결과와 분광학적 분석의 결과가 같은 것을 나타내었다. 색상 선발 시험과 그의 결과에 따른 색차계 분석 결과를 통해 복숭아유리나방이 선호하는 반사된 파장의 영역이 가시광선 파장 540 nm내지 710 nm 범위의 노란색인 것을 알 수 있었다. 딱정벌레목에서 Francese et al. (2010)은 *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae)를 대상으로 도료에 따른 트랩 색상별 반사도를 측정하여 처리 간 차이를 보고하였다. Clare et al. (2000)은 꿀벌, 호박벌 그리고 토종벌을 대상으로 색상별 트랩 시험을 수행했을때 트랩 색상이 가시광선 영역에서 가지는 반사도에 따라 다른 동일한 벌 종이라도 다른 색상의 파장을 선호한다는 것을 보고하였다. 따라서 복숭아유리나방의 성페로몬 트랩을 이용한 친환경 방제를 실시 할 때, 노란색 버켓 트랩이 가장 좋은 포획력을 가지며 본 실험이 트랩의 선정에 있어 과학적 근거를 제공할 수 있었다.

복숭아유리나방 성페로몬 루어의 조성에 대하여 유인력을 높이기 위하여 실시한 성페로몬의 처리량별 유인력 비교 결과, 처리량 간 유인력의 차이는 없었으나 2 mg ~ 3 mg 사이에서 유인력이 가장 우수하였다. 후의 연구에서 성페로몬 유인력의 포화 농도를 찾는 실험을 진행하면 교미교란제 개발 시 적정농도에 대한 기초자료를 제공 할 수 있을 것으로 판단된다.

나무좀류(Coleoptera: Scolytidae)의 기주인 소나무의 휘발물질인 monoterpene류가 나무좀류 집합 페로몬에 시너지효과를 나타내어 유인효과를 높여 준다는 많은 보고가 있다(Saybold et al., 2006; McCarty et al. 1978; Miller and Borden, 2003; Poland et al. 2003, 2004; Seybold et al. 2006). 나비목 성페로몬에 대한 시너지스트 연구로는 Witzgall et al. (2001)이 *Cydia pomonella*를 대상으로 시너지스트 후보 물질을 선발하고 야외 유인력을 검정한 연구가 있다. 따라서 본 연구에서도 복숭아유리나방의 성페로몬에 대한 시너지스트를 선발하기 위해 기주식물로 알려진 벚나무속 유래 휘발성분들을 페로몬과 같이 처리하여 유인력을 확인

하였으며, *Z*-3-hexenyl acetate를 처리한 트랩이 더 많은 개체를 포획하였다. 본 연구 결과*Z*-3-hexenyl acetate는 페로몬과 같이 처리 하였을 때 발생 시기 모니터링 데이터의 정확성 혹은 포획 효율을 높일 수 있을 것으로 판단되었다.

또한 Andersson et al. (2011)의 연구에서 기주 휘발 물질이 아닌 비기주 휘발 물질이 *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae)의 기피 효과를 가지는 것을 보고하였다. 본 연구에서 phenylacetaldehyde이 페로몬 단독 처리한 포획량 보다 낮은 포획량을 보여 기피 활성을 가지는 것으로 분석되었다. Phenylacetaldehyde는 *Asclepias*속(국; 박주가리속)의 *Asclepias speciosa*의 주요 휘발 성분으로 Eby (2006)에서 *Synanthedon myopaeformis* Borkhausen (Lepidoptera: Sesiidae)의 암컷과 수컷을 유도하는 유도물질로서 보고되었다. 또한 phenylacetaldehyde와 *β*-myrcene과 같은 다른 휘발물질로 구성된 합성 유인 물질은 일부 밤나방과에 유인 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Landolt and Alfaro 2001; Landolt et al. 2007). 추후 phenylacetaldehyde를 이용하여 복숭아유리나방 “Push and Pull” 전략에 기피물질로 사용 가능 할 것으로 판단되었다.

복숭아유리나방의 연간 우화 소장 조사에서는 1년 1회 발생하며 5월부터 9월까지 성충이 발생한다고 알려져 있다(농촌진흥청 작목기술정보, 2019). 애기유리나방(*Synanthedon tenuis*) (조영식 외, 2016)과 사과유리나방(*Synanthedon haitangvora*) (양창열 외, 2012)의 경우에도 비슷한 출현 양상을 보이는 것으로 보고되었다. 그러나, 복숭아유리나방의 경우 조영식(2016)등의 연구에서 1년에 2번의 발생이 보고되었고 이홍수와 정부근(2011)의 경남 진주 매실에 발생하는 복숭아유리나방의 우화소장조사에서도 2번의 뚜렷한 발생이 보고되었다. 수원지역에서 복숭아유리나방 성충의 봄과 가을의 발생 최성기는 각 세대의 최대 발생기인 것으로 판단되며, 이 종들은 1년에 2세대를 경과하는 것으로 추정하는 보고가 있다(양창열 외, 2012). 본 연구의 결과에서도 복숭아유리나방 수컷 성충은 연 2회 발생하며 봄철 발생 규모보다 가을철 발생 규모가 더 큰 것으로

조사되었다. 봄철 발생 성충은 5월 초순부터 발생하여 개채가 포획되었으며 7월 초순까지 약 2개월간 채집되었으며 가을철 성충은 8월 초순부터 10월 중순까지 약 2개월간 발생되어 채집되었다. 따라서 선행 연구의 결과와 동일한 경향을 보이는 우화소장의 결과를 나타내었다. 최초 발생 시기는 2017년도 봄철과 가을철 모두 서울 지역으로 나타났으며 2018년에는 봄철과 가을철 모두 공주 지역으로 나타났다. 우화소장 조사 결과로 보아 지역에 따른 발생 시기의 차이는 없는 것으로 사료된다. 그러나 피해 벚나무를 조사한 결과 연중 두폭에 따른 다양한 발육 단계의 충태가 확인되어(서울대학교, 2018) 정확한 발생 세대수를 확인하기 위해서는 복숭아유리나방의 알부터 성충까지의 발육기간과 같은 생태적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

우화소장을 통해 포획된 개체를 기반으로 다음 세대에 대한 발생 규모를 예측할 때 복숭아유리나방의 생태적 특성에 대한 충분한 이해와 기상상태 등이 필요하다. 따라서 본 연구의 생태적 피해 특성 조사 자료를 기반으로 피해목을 진단하고 피해율을 산정하여 AI 기계학습 기반의 예측 모델을 개발 하였다. 복숭아유리나방의 첫 번째 포획된 개체수를 기반으로 예측모델을 이용하여 두 번째 발생 규모를 예측한 값과 실제 포획된 개체수 값을 비교한 결과 90% 이상의 높은 정확성을 나타내었다. 추후 개발된 예측 모델의 모델링을 통해 두 번째 발생하는 복숭아유리나방의 방제 규모를 설정하고 우화 소장 조사를 바탕으로 방제 시기의 설정이 가능할 것으로 판단되었다.

본 연구에서 진행한 실험들의 종합적 결과를 근거로서 복숭아유리나방의 친환경 방제 및 모니터링을 위해 아래와 같은 복숭아유리나방 성페로몬 트랩의 최적 조건을 선발하였다. 먼저 루어로서 복숭아유리나방 성페로몬의 조성은 (3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트, (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트 4:6의 비율을 사용하고 그 처리량은 2 ~ 3 mg 사이로 선정하고 더 높은 유인력을 목표할 경우 시너지스트로*Z*-3-hexenyl acetate를 사용할 수 있다. 또한 트랩 선정은 가시광선의 영역 540 nm부터 710 nm의 반사도 영역을 갖는 노란색의 버켓 트랩을 사용할 때 가장

우수한 포획력을 나타낼 것이다. 방제 최적기는 봄철 발생기인 5월 초순부터 6월 중순까지와 가을철 발생기인 8월 초순부터 10월 중순까지로 설정하는 것이 효율적이라고 판단된다.

제 6 장 참고문헌

Aubert, C., & Milhet, C. (2007). Distribution of the volatile compounds in the different parts of a white-fleshed peach (Prunus persica L. Batsch). *Food Chemistry, 102*(1), 375-384.

Cho, Y.-S., Kim, J., Jang, S. A., & Park, C. G. (2016). Seasonal Occurrence Patterns of Synanthedon tenuis and S. bicingulata (Lepidoptera: Sesiidae) in Sweet Persimmon Orchards in the Southern Part of Korea. *Korean journal of applied entomology*, 297-301.

Clare, G., Suckling, D., Bradley, S., Walker, J., Shaw, P., Daly, J., . . . Wearing, C. J. N. Z. P. P. (2000). Pheromone trap colour determines catch of nontarget insects. *53*, 216-220.

Cornelius, M. L., Duan, J. J., & Messing, R. H. J. J. o. e. e. (2000). Volatile host fruit odors as attractants for the oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae). *93*(1), 93-100.

Cuevas, F. J., Moreno-Rojas, J. M., Arroyo, F., Daza, A., & Ruiz-Moreno, M. J. (2016). Effect of management (organic vs conventional) on volatile profiles of six plum cultivars (Prunus salicina Lindl.). A chemometric approach for varietal classification and determination of potential markers. *Food Chem, 199*, 479-484.

Eby, C., Gardiner, M. G. T., Gries, R., Judd, G. J. R., Khaskin, G., & Gries, G. (2013). Phenylacetaldehyde attracts male and female apple clearwing moths,Synanthedon myopaeformis, to inflorescences of showy milkweed,Asclepias speciosa. *Entomologia Experimentalis et Applicata, 147*(1), 82-92.

Eby, C. D. L. (2012). *Visual and olfactory cues used by the apple*

clearwing moth, Synanthedon myopaeformis (Lepidoptera: Sesiidae), to locate inflorescences of showy milkweed. Science: Biological Sciences Department, 박사학위논문.

Forno, I., Kassulke, R., & Day, M. J. B. C. (1991). Life cycle and host testing procedures for Carmenta mimosa Eichlin and Passoa (Lepidoptera: Sesiidae), a biological control agent for Mimosa pigra L.(Mimosaceae) in Australia. *1*(4), 309-315.

Francese, J. A., Crook, D. J., Fraser, I., Lance, D. R., Sawyer, A. J., & Mastro, V. C. (2010). Optimization of trap color for emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae). *J Econ Entomol, 103*(4), 1235-1241.

Gadi, N., & Reddy, G. V. P. (2014). Are Sweetpotato Weevils (Coleoptera: Brentidae) Differentially Attracted to Certain Colors? *Annals of the Entomological Society of America, 107*(1), 274-278.

Georgiev, G. (2005). Bioecological characteristics of Bracon intercessor Nees (Hymenoptera: Braconidae) as a parasitoid of the poplar clearwing moth, Paranthrene tabaniformis (Rott.) (Lepidoptera: Sesiidae) in Bulgaria. *Journal of Pest Science, 78*(3), 161-165.

Hardy, R. J. A. J. o. E. (1982). The biology and behaviour of currant borer moth, Synanthedon tipuliformis (Clerck)(Lepidoptera: Aegeriidae) in Tasmania. *21*(2), 103-109.

Horvat, R. J., Chapman Jr, G. W., Senter, S. D., Norton, J. D., Okie, W. R., Robertson, J. A. J. J. o. t. S. o. F., & Agriculture. (1992). Comparison of the volatile compounds from several commercial plum cultivars. *60*(1), 21-23.

Hoskovec, M., Kalinová, B., Konečný, K., Koutek, B., & Vrkoč, J. J. J. o. c. e. (1993). Structure-activity correlations among analogs of the currant clearwing moth pheromone. *19*(4), 735-750.

Judd, G. J. R., Gries, R., Aurelian, V. M., & Gries, G. (2012). 3Z, 13Z-octadecadienyl acetate: sex pheromone of the apple clearwing moth in British Columbia. *The Canadian Entomologist, 143*(3), 236-244.

Jurgens, A., Dotterl, S., & Meve, U. (2006). The chemical nature of fetid floral odours in stapeliads (Apocynaceae-Asclepiadoideae-Ceropegieae). *New Phytol, 172*(3), 452-468.

Kerr, J. L., Kelly, D., Bader, M. K., & Brockerhoff, E. G. (2017). Olfactory Cues, Visual Cues, and Semiochemical Diversity Interact During Host Location by Invasive Forest Beetles. *J Chem Ecol, 43*(1), 17-25.

Kwon, J. J. (2014). Development of a pheromone-based attract and kill formulation with visual cues to target the diurnally active apple clearwing moth, Synanthedon myopaeformis (Borkhausen),(Lepidoptera: Sesiidae).

Lee, C.-M., Bae, Y.-S., & Arita, Y. J. J. o. A.-P. E. (2004). Morphological description of Synanthedon bicingulata (Staudinger, 1887) in life stages (Lepidoptera, Sesiidae). *7*(2), 177-185.

Lee, K., & Park, C. J. K. J. o. A. E. (2003). Seasonal occurrence of smaller clearwing moth, Synanthedon tenuis in sweet persimmon orchards.

Levi-Zada, A., Ben-Yehuda, S., Dunkelblum, E., Gindin, G., Fefer, D., Protasov, A., . . . Mendel, Z. (2011). Identification and field bioassays of the sex pheromone of the yellow-legged clearwing Synanthedon vespiformis (Lepidoptera: Sesiidae). *Chemoecology, 21*(4), 227-233.

Matsumoto, K., Nakamuta, K., & Nakashima, T. (2017). Mating

disruption controls the cherry tree borer,Synanthedon hector(Butler) (Lepidoptera: Sesiidae), in a steep orchard of cherry trees. *Journal of Forest Research, 12*(1), 34-37.

Mohamed Abuaglala, A., & Al-Deeb, M. A. J. J. o. I. S. (2012). Effect of bait quantity and trap color on the trapping efficacy of the pheromone trap for the red palm weevil, Rhynchophorus ferrugineus. *12*(1), 120.

Montero-Prado, P., Bentayeb, K., & Nerin, C. (2013). Pattern recognition of peach cultivars (Prunus persica L.) from their volatile components. *Food Chem, 138*(1), 724-731.

Moreira, G. R. P., Gorbunov, O. G., Fochezato, J., & Goncalves, G. L. (2019). A peculiar new species of gall-inducing, clearwing moth (Lepidoptera, Sesiidae) associated with Cayaponia in the Atlantic Forest. *Zookeys, 866*, 39-63.

Naka, H., Horie, Y., Mochizuki, F., Vang, L. V., Yamamoto, M., Saito, T., . . . Ando, T. (2008). Identification of the sex pheromone secreted by Synanthedon hector (Lepidoptera: Sesiidae). *Applied Entomology and Zoology, 43*(4), 467-474.

Nielsen, D. G., & Purrington, F. F. J. J. o. C. E. (1980). Lesser peachtree borer: Influence of pheromone concentration, isomeric blend, and experimental design on trap capture. *6*(2), 361-369.

Pino, J. A., & Quijano, C. E. (2012). Study of the volatile compounds from plum (Prunus domestica L. cv. Horvin) and estimation of their contribution to the fruit aroma. *Food Science and Technology, 32*(1), 76-83.

Roubos, C. R., & Liburd, O. E. (2008). Effect of Trap Color on Captures of Grape Root Borer (Lepidoptera: Sesiidae) Males and Non-Target Insects. *Journal of Agricultural and Urban Entomology, 25*(2), 99-109.

Scott, R. R., & Harrison, R. A. (1979). The biology and life history of currant clearwing,Synanthedon tipuliformis(Lepidoptera: Sesiidae), in Canterbury. *New Zealand Journal of Zoology, 6*(1), 145-163.

Sharp, J., McLaughlin, J., James, J., Eichlin, T., & Tumlinson, J. J. F. E. (1978). Seasonal occurrence of male Sesiidae in north central Florida determined with pheromone trapping methods. 245-250.

Suckling, D. M., Gibb, A. R., Burnip, G. M., Snelling, C., de Ruiter, J., Langford, G., & El-Sayed, A. M. (2005). Optimization of pheromone lure and trap characteristics for currant clearwing, Synanthedon tipuliformis. *J Chem Ecol, 31*(2), 393-406.

Suk-Ku Kang, S.-K. P. (1988). Stereoselective_Synthesis_of_(Z,Z)-3,13-Octadecadien-1-yl_Acetate,_and_Its_(E,Z)-Isomer,_the_Sex_Pheromone_of_the_Cherry_Tree_Borer,_Synanthedon_hector_Butler. *Korean Chemical society, 9*(3).

Voerman, S., Persoons, C., & Priesner, E. J. J. o. c. e. (1984). Sex attractant for currant clearwing mothSynanthedon tipuliformis (Clerck)(Lepidoptera: Sesiidae). *10*(9), 1371-1376.

Wang, Y., Yang, C., Li, S., Yang, L., Wang, Y., Zhao, J., & Jiang, Q. (2009). Volatile characteristics of 50 peaches and nectarines evaluated by HP-SPME with GC-MS. *Food Chemistry, 116*(1), 356-364.

Yamamoto, A., Ishihara, T., Fukumoto, T. J. A., & chemistry, b. (1989). Improved synthesis of (3Z, 13Z)-and (3E, 13Z)-3, 13-octadecadienyl acetate, sex pheromone of the Synanthedon species. *53*(1), 285-287.

Yang, C. Y., Kim, S. J., & Lee, S. G. (2011). Identification and field

evaluation of the sex pheromone of Synanthedon bicingulata (Staudinger). *J Chem Ecol, 37*(4), 398-402.

Yang, C. Y., Kim, S. J., Yang, S. J., & Cho, M. R. (2012). Seasonal Adult Occurrence of Four Clearwing Moths in Suwon Orchards. *Korean journal of applied entomology, 51*(4), 443-447.

Zhang, A., Leskey, T. C., Bergh, J. C., & Walgenbach, J. F. (2005). Sex pheromone of the dogwood borer, Synanthedon scitula. *J Chem Ecol, 31*(10), 2463-2479.

Zhang, A., Leskey, T. C., Bergh, J. C., & Walgenbach, J. F. (2013). Sex pheromone dispenser type and trap design affect capture of dogwood borer. *J Chem Ecol, 39*(3), 390-397.

Bergh, J. C., Leskey, T. C., Walgenbach, J. F., Klingeman, W. E., Kain, D. P., &Zhang, A. (2009). Dogwood borer (Lepidoptera: Sesiidae) abundance and seasonal flight activity in apple orchards, urban landscapes, and woodlands in five eastern states. Environmental entomology, 38(3), 530-538.

Frank, D. L., Leskey, T. C., &Bergh, J. C. (2010). Development of a rearing methodology for the dogwood borer (Lepidoptera: Sesiidae). Annals of the Entomological Society of America, 103(1), 50-56.

Naka H., Horie Y., Mochizuki F., Vang L. V., Yamamoto M., Saito T., Watarai T., Tsuchida K., Arita Y., Ando T. (2008). Identification of the sex pheromone secreted by Synthedon hector (Lepidoptera: Sesiidae). Applied Entomology and Zoology 43(4): 467～474.

Riedl, H., Weires, R. W., Seaman, A., &Hoying, S. A. (1985). Seasonal biology and control of the dogwood borer, *Synanthedon scitula* (Lepidoptera: Sesiidae) on clonal apple rootstocks in New York.

The Canadian Entomologist, 117(11), 1367-1377.

JUNG, K. S. B. a. C. H. (1988). Field tests of synthetic sex pherom of the apple learminer moth, Phyllonoorycter ringoniella. *Journal of Chemical Ecology, 24*(12).

Kim, J., & Park, I.-K. (2013). Female sex pheromone components of the box tree pyralid, Glyphodes perspectalis, in Korea: Field test and development of film-type lure. *Journal of Asia-Pacific Entomology, 16*(4), 473-477.

Lee, H.-S., & Chung, B.-K. (2011). Occurrences of Major Pests in Japanese Apricot, Prunus mume Siebold & Zucc. in Gyeongnam Province. *Korean journal of applied entomology, 50*(1), 21-27.

Lee, H. R., Lee, S. C., Lee, D. H., Jung, M., Kwon, J. H., Huh, M. J., . . . Park, I. K. (2018). Identification of Aggregation-Sex Pheromone of the Korean Monochamus alternatus (Coleoptera: Cerambycidae) Population, the Main Vector of Pine Wood Nematode. *J Econ Entomol, 111*(4), 1768-1774.

YAGINUMA, K., Kumakura, M., Tamaki, Y., Yushima, T., Tumlinson, J. J. A. e., & zoology. (1976). Sex Attractant for the Cherry Tree Borer, Synanthedon hector BUTLER: Lepidoptera: Sesiidae. *11*(3), 266-268.

Yutaka A., (1994). The clearwing moths of Japan(Lepidoptera: Sesiidae). Holarctic Lepidopteta, 1, 69-81.Andersson, M. N., Binyameen, M., Sadek, M. M., & Schlyter, F. (2011). Attraction modulated by spacing of pheromone components and anti-attractants in a bark beetle and a moth. *J Chem Ecol, 37*(8), 899-911.

Miller, D. R., Asaro, C., Crowe, C. M., & Duerr, D. A. J. J. o. e. e. (2011). Bark beetle pheromones and pine volatiles: attractant

kairomone lure blend for longhorn beetles (Cerambycidae) in pine stands of the southeastern United States. *104*(4), 1245-1257.

Peter Witzgall, M. B., Stefan Rauscher , Ilme Liblikas, Anna-Carin Bäckman, Miryan Coracini, Peter Anderson & Jan Löfqvist. (2001). Identification of further sex pheromone synergists in the codling moth, Cydia pomonella. *Entomologia Experimentalis et Applicata, 101*, 131-141.

Ranger, C. M., Reding, M. E., Schultz, P. B., & Oliver, J. B. J. E. e. (2012). Ambrosia beetle (Coleoptera: Curculionidae) responses to volatile emissions associated with ethanol-injected Magnolia virginiana. *41*(3), 636-647.

Seybold, S. J., Huber, D. P. W., Lee, J. C., Graves, A. D., & Bohlmann, J. (2006). Pine monoterpenes and pine bark beetles: a marriage of convenience for defense and chemical communication. *Phytochemistry Reviews, 5*(1), 143-178.

Xie, S. A., & Lv, S. J. J. E. S. (2013). Effect of different semiochemicals blends on spruce bark beetle, I ps typographus (C oleoptera: S colytidae). *16*(2), 179-190.

Andersson, M. N., Binyameen, M., Sadek, M. M., & Schlyter, F. (2011). Attraction modulated by spacing of pheromone components and anti-attractants in a bark beetle and a moth. *J Chem Ecol, 37*(8), 899-911.

Leo Breiman. (1994). Bagging Predictors. *Technical Report,* 421.

Leo Breiman. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5 - 32

이재우. (2015). 왕벚나무의 벚나무빗자루병과 복숭아유리나방에 대한 피해 분석 및 친환경 방제에 관한 연구. 경상대학교. 박사학위논문.

양창열, 김성종, 양상진, 조명래. (2012). 수원지역 과수원에 발생하는 유리나방류 4종의 성충 발생소장. 한국응용곤충학회지. 51(4), 443-447.

조영식, 김준헌, 장신애, 박정규. (2016). 남부지방 단감원에서 애기유리나방과 복숭아유리나방의 발생소장. 한국응용곤충학회지. 55(3), 297-301.

이홍수, 정부근. (2011). 경남지역 매실에 발생하는 주요해충의 발생소장. 한국응용곤충학회지, 50(1), 21-27.

산림청. (2019). 임업통계연보. 산림청.

농촌진흥청. (2019). 작목기술정보. 농촌진흥청

제 7 장 부록

부록 1. 예측 모델 알고리즘의 소스코드

```
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
import numpy as np
import pdb
from sklearn.metrics import mean_squared_error
from pandas import DataFrame
fp = open('dataset','r')

x = []
y = []
while True:

    line = fp.readline()

    if line == '':
        fp.close()
        break

    line = np.array(line.split(','))

    line = line.astype(np.float32)

    x.append(line[:-1])
    y.append(line[-1])

x = np.array(x)
y = np.array(y)
```

```
testset_ratio = int(len(x)*0.85)

train_x = x[:testset_ratio]
train_y = y[:testset_ratio]

test_x = x[testset_ratio:]
test_y = y[testset_ratio:]

regressor =
RandomForestRegressor(max_depth=10,random_state=0,n_estimators=25)

regressor.fit(train_x,train_y)
pred_train = regressor.predict(train_x)
pred_test = regressor.predict(test_x)




yy = regressor.predict(x)
df =
DataFrame({'C1survey1':x[:,0],'C1survey2':x[:,1],'C1survey3':x[:,2],'C1s
urvey4':x[:,3],'MayTemp.high':x[:,4],'MayTemp.low':x[:,5],'JuneTemp.hi
gh':x[:,6],'JuneTemp.low':x[:,7],'TreeNumber':x[:,8],'ProbabillityOfDama
ge':x[:,9],'PlZInputZero':y,'output':yy})

mse = mean_squared_error(test_y,pred_test)
print(mse)
df.to_excel('output.xlsx',sheet_name='sheet1',index=False)
```

부록 2. 가시광선 범위의 트랩 색상별 반사도 [Spectrum (%R)]

Wave (nm)	Red	Yellow	Green	Blue	Black	White
360	10.26	12.12	10.42	13.42	9.25	9.48
365	9.91	11.79	10.08	13.11	8.93	12.39
370	9.58	11.43	9.82	12.86	8.67	15.63
375	9.19	11.03	9.6	12.65	8.45	19.22
380	8.75	10.58	9.41	12.47	8.26	23.22
385	8.23	10.09	9.19	12.35	8.07	27.65
390	7.79	9.64	9.03	12.11	7.88	35.54
395	7.51	9.19	8.84	11.85	7.62	44.8
400	7.37	8.77	8.63	11.59	7.37	58.98
405	7.18	8.37	8.4	11.38	7.13	72.06
410	7.01	8.04	8.16	11.2	6.91	81.84
415	6.74	7.78	7.94	11.02	6.69	87.84
420	6.49	7.56	7.77	10.86	6.46	91.03
425	6.31	7.37	7.63	10.73	6.25	92.27
430	6.13	7.22	7.5	10.6	6.07	92.36
435	5.98	7.09	7.42	10.49	5.93	91.9
440	5.88	7.01	7.38	10.35	5.81	91.35
445	5.77	6.93	7.36	10.17	5.69	90.77
450	5.69	6.87	7.35	10	5.59	90.23
455	5.59	6.83	7.37	9.83	5.49	89.83
460	5.5	6.87	7.4	9.63	5.39	89.58
465	5.43	7.01	7.49	9.38	5.3	89.45
470	5.39	7.21	7.59	9.09	5.22	89.39
475	5.35	7.4	7.68	8.77	5.18	89.37
480	5.34	7.63	7.79	8.47	5.14	89.3
485	5.34	7.79	7.91	8.11	5.11	89.18
490	5.34	8.17	8.03	7.72	5.05	89.08
495	5.35	8.58	8.09	7.31	4.98	88.97
500	5.37	9.24	8.68	6.87	4.92	88.87
505	5.37	10.36	9.21	6.45	4.86	88.76
510	5.35	12.3	9.72	6.06	4.82	88.67
515	5.39	15.12	10.14	5.72	4.78	88.53
520	5.42	18.42	10.39	5.44	4.75	88.4

525	5.39	22.4	10.46	5.22	4.73	88.31
530	5.38	25.81	10.33	5.03	4.7	88.21
535	5.35	28.09	10.03	4.87	4.68	88.13
540	5.41	29.77	9.6	4.74	4.65	87.96
545	5.46	31.2	9.08	4.64	4.65	87.76
550	5.5	32.51	8.52	4.57	4.65	87.51
555	5.55	33.8	7.97	4.52	4.66	87.32
560	5.65	34.99	7.48	4.48	4.68	87.19
565	5.55	35.98	7.04	4.5	4.71	87.09
570	5.6	36.65	6.63	4.5	4.69	87
575	5.21	36.96	6.24	4.47	4.63	86.85
580	5.27	36.95	5.87	4.46	4.59	86.69
585	6.49	36.72	5.44	4.46	4.54	86.5
590	9.57	36.43	5.47	4.45	4.53	86.31
595	15.19	36.08	5.41	4.45	4.55	86.07
600	22.28	35.75	5.36	4.43	4.58	85.82
605	30.34	35.4	5.35	4.43	4.59	85.57
610	39.41	35.01	5.3	4.46	4.64	85.4
615	47.32	34.64	5.28	4.54	4.71	85.09
620	53.25	34.25	5.28	4.64	4.74	84.41
625	57.43	33.92	5.33	4.72	4.76	84.05
630	60.01	33.62	5.39	4.8	4.82	83.67
635	61.24	33.41	5.44	4.9	4.87	83.99
640	61.45	33.24	5.5	4.96	4.91	84.36
645	61	33.05	5.58	5.02	4.93	84.97
650	60.09	32.85	5.71	5.05	4.93	84.83
655	58.8	32.57	5.8	5.04	5	83.83
660	57.37	32.23	5.83	5.19	5.01	83.08
665	56	31.94	5.89	5.4	5.03	82.23
670	54.91	31.69	6	5.58	5.03	82.18
675	54.05	31.54	6.08	5.79	5.01	82.17
680	53.44	31.37	6.17	6.02	4.97	82.64
685	52.89	31.22	6.25	6.27	4.95	82.61
690	52.23	30.92	6.33	6.52	4.99	82.43
695	51.55	30.65	6.32	6.81	5.06	82.24
700	50.78	30.36	6.27	7.11	5.09	81.98
705	50.11	30.1	6.27	7.41	5.15	81.59
710	49.46	29.9	6.33	7.66	5.22	81.13
715	48.94	29.77	6.37	7.93	5.28	80.84

720	48.36	29.68	6.41	8.16	5.33	80.64
725	47.83	29.48	6.45	8.42	5.43	80.55
730	47.05	29.28	6.56	8.71	5.47	80.18
735	45.96	29.02	6.65	8.88	5.55	79.15
740	45.21	28.74	6.75	9.03	5.61	78.3
745	44.54	28.49	6.83	9.14	5.66	77.54
750	43.93	28.26	6.92	9.23	5.72	76.85

Abstract

Research on optimization of control and monitoring method for *Synanthedon bicingulata* (Lepidoptera: Sesiidae)by using sex pheromone trap

Kwon Jun Hyeong
Major in Forest Environmental Science
Department of Forest Science
The Graduate school
Seoul National Unicersity

I investigated the characteristics of damage and seasonal occurrence of cherry tree borer (Sesiidae: *Synanthedon bicingulata*) using pheromone trap, and developed the machine learning model to predict the secondly occurred population size of cherry tree borer based on the firstly occurred population size. Two sex pheromone compounds, (3*E*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate (3*E*,13*Z*) and (3Z,13Z)-3,13-octadecadieny acetate (3*Z*,13*Z*), were synthesized in the laboratory to determine the optimal ratio and dose. Synergistic effect of volatile compounds of host plant on sex pheromone was also

investigated. To find out the effect of trap type and color on male capture of cherry tree borer, I compared to efficacy of two different trap types and six trap colors.

There was no relationship between the diameter of cherry blossom tree and degree of damage. Most damage of cherry blossom tree by cherry tree borer was found below 50 cm from the ground. Optimal sex pheromone ratio of 3*E*,13*Z* and 3*Z*,13*Z* was 4:6. Optimal ratio of 3*E*,13*Z* and 3*Z*,13*Z* was showed same result in Jinju, Gongju, Chuncheon, and Gapyeong. When I compared the male capture of two different pheromone traps, more males were attracted to bucket trap than delta trap. There was a significant difference in trap capture among trap colors. More males were attracted to yellow bucket trap compared to green, white, blue, black and red bucket traps. When I analyzed the relationship between trap capture and trap surface color values (L*a*b*), there was a positive relationship between trap capture and b value. To determine the optimal pheromone dose, I investigated male trap capture of different pheromone doses (1, 2, 3, and 4 mg/septum). Although there was no significant difference in male trap capture, 2 and 3 mg/septum attracted more males compared with 1 and 4 mg pheromone doses. I selected four host volatile compounds such as benzaldehyde, phenylacetaldehyde, *Z*-3-hexenyl acetate, and γ-decalactone to investigate the synergistic effect of host volatile compounds on sex pheromone of cherry tree borer. Traps treated with sex pheromone and Z-3-hexenyl acetate attracted more males than treated pheromone alone. This results indicated the synergistic effect of Z-3-hexenyl acetate on sex pheromone of cherry tree borer.

When I investigated seasonal occurrence of cherry tree borer using pheromone trap, this insect showed two peak times a year. The first peak time was from early May to early July, and second peak time was from early August to mid-October. Population size of secondly

occurred cherry tree borer was 1.5 times the size of firstly occurred cherry tree borer. Although there was two peak times in seasonal occurrence of cherry tree borer, this insect might have one generation per year. When I investigated the developmental stage of this insect pest in autumn, I found several mixed developmental stages.
To know the population size of insect pest is very important for planning a management strategy. Cherry tree borer occurred two times a year in our study. I developed a machine learning model to predict the secondly occurred population size of cherry tree borer based on the firstly occurred population size. I investigated the accuracy of this model at three different sites in 2018, and mean accuracy rate of this model was 94.6%. Our results indicated that this model could supply valuable information for planing a management strategy against cherry tree borer.
In this study, optimal pheromone ratio, dose, trap type and trap color was determined to use pheromone traps for monitoring and control of cherry tree borer. Furthermore, I found out the synergistic effect of host volatile compound, Z-3-hexenyl acetate, on sex pheromone. Our result can supply valuable information to use pheromone traps for monitoring and control of cherry tree borer. For future study, mating disruption by using sex pheromone is necessary. In addition, research on antenna sensilla structure and olfactory receptors could provide more valuable information for cherry tree borer control using pheromone and pheromone trap in field.

key word : Synanthedon bicingulata, Sex pheromone trap, monitoring, Control method, Machine learing
Student number : 2018-27084

creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

농학석사 학위논문

성페로몬 트랩을 이용한 복숭아유리나방 예찰 및 방제법 최적화 연구

Research on optimization of control and monitoring method for *Synanthedon bicingulata* (Lepidoptera: Sesiidae)by using sex pheromone trap

2020년 2월

서울대학교 대학원

산림과학부 산림환경학전공

권 준 형

성페로몬 트랩을 이용한 복숭아유리나방 예찰 및 방제법 최적화 연구

지도교수 박 일 권

이 논문을 농학석사 학위논문으로 제출함
2020년 2월

서울대학교 대학원
산림과학부 산림환경학전공
권 준 형

권준형의 석사학위논문을 인준함
2020년 2월

위 원 장 _____ 김 현 석 _____ (인)

부위원장 _____ 박 일 권 _____ (인)

위 원 _____ 이 우 신 _____ (인)

국문초록

본 연구는 복숭아유리나방(Lepidoptera: Sesiidae) (*Synanthedon bicingulata*)의 피해 특성과 우화소장을 조사하여 발생 시기와 발생 위치를 규명하였으며 기계학습을 이용하여 발생 개체군의 규모를 예상하는 모델을 개발하였다. 복숭아유리나방 성페로몬의 2가지 물질을 합성하고 성페로몬 루어의 비율 조성, 처리량 그리고 기주 휘발물질을 실험하여 최적 효과를 갖는 루어를 선발하였고, 성페로몬 트랩의 형태별, 색상별 비교를 통해 가장 우수한 포획력을 갖는 트랩을 선발하였다. 복숭아유리나방의 피해 특성은 흉고직경에 관계없이 고르게 가해하였고, 지면부에서 50 cm까지 높이에서 가장 많은 피해흔을 나타내었다. 성페로몬의 합성은 중간체를 이용하여 성페로몬 물질인 (3*E*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate와 (3Z,13Z)-3,13-octadecadieny acetate를 합성하였다.

성페로몬의 순도를 가스크로마토그래피-질량분석기(gas cromatography-mass spectrometer, GC-MS)로 분석한 결과 각각 94.15%와 82.8%의 높은 순도를 보였다. 성페로몬 조성 비율은 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6이 가장 우수한 유인력을 나타내었으며, 지역에 따른 페로몬 조성 비율의 차이는 없었다. 트랩의 형태 비교 시험에서는, 버켓 트랩이 델타 트랩보다 우수한 포획력을 보였다. 트랩 색상별 포획력을 알아보기 위해 노란색, 초록색, 하얀색, 파란색, 검정색 그리고 빨간색의 버켓 트랩을 비교 실험한 결과 노란색 트랩이 가장 우수한 포획력을 나타내었다. 각 색상별 트랩을 색차계 분석과 포획수와의 관계로 분석한 결과, 황~청색의 영역에서 처리 간 차이를 보였다. 처리량별 유인력의 차이는 2 mg와 3 mg사이에 처리량에서 1 mg보다 좋은 유인력을 나타냈으며 가장 좋은 유인력을 보이는 농도는 2 mg와 3 mg사이로 추정된다. 기주 유래 휘발 물질 페로몬 시너지스트 실험은 벚나무속(*Prunus*)의 휘발 물질을 문헌 조사를 통해 선발하여 4종의 물질을 성페로몬과 조합하여 실험하였다. 그 결과 기주 유래 휘발 물질 페로몬 시너지스트 물질은 *Z*-3-hexenyl acetate를 처리한 조합에서 성페로몬 단독 처리보다 우수한 유인력을 나타냈으며 시너지스트로 추정된다. 성페로몬 트랩을 이용

하여 복숭아유리나방 수컷 성충의 발생 시기를 조사한 결과 복숭아유리나방은 지역에 관계없이 연 2회 발생하며 5월 초순부터 7월 초순까지 봄철 발생기와 8월 초순부터 10월 중순까지 가을철 발생기를 가지는 것을 나타내었다. 가을철 발생 규모는 봄철 발생 규모의 약 59% 더 많이 발생 하였다. 봄철 발생 개체군의 규모를 이용하여 가을철 발생 개체군을 예측하는 기계학습 모델을 개발하였다. 본 연구에는 2018년 조사한 3개 장소를 대상으로 예측값을 추정하였고 평균 94.6%의 정확도를 보였다. 이를 이용하여 경제적인 방제 규모의 설정할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서 복숭아유리나방 성페로몬의 합성과 피해특성 그리고 우화소장을 파악하였고 복숭아유리나방 성페로몬의 최적 조성 비율, 트랩의 형태, 트랩의 색상, 시너지스트를 선발하는 실험을 진행하였다. 추후 성페로몬 트랩을 이용한 실제 방제효과, 교미교란제 개발을 위한 성페로몬의 포화 농도 조사 연구가 필요하다. 또한 페로몬과 기주 휘발물질에 대한 감각기 전기생리반응(EAG) 연구와 성페로몬에 대한 후각수용 관련 유전자 탐색 연구 등을 수행한다면 복숭아유리나방 성페로몬 트랩의 효율적인 현장적용에 기초자료를 제공해 줄 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 복숭아유리나방, 피해특성, 성페로몬 트랩, 모니터링, 친환경방제법

학 번 : 2018-27084

목 차

제 1 장 서론 ····· 1
제 2 장 연구사 ····· 4
제 3 장 재료 및 방법 ····· 8
제 1 절 복숭아유리나방 피해특성 조사 ····· 8
제 2 절 성페로몬 합성 ····· 11
제 3 절 성페로몬 순도 측정 ····· 15
제 4 절 야외 유인력 검증 시험 ····· 16
제 5 절 우화소장 조사 ····· 19
제 6 절 발생 예측 모델 ····· 20
제 7 절 색상별 트랩의 색차계 분석 ····· 20
제 8 절 통계분석 ····· 21
제 4 장 결과 ····· 22
제 1 절 복숭아유리나방 피해특성 ····· 22
제 2 절 복숭아유리나방 성페로몬의 분석 ····· 24
제 3 절 비율 조성 실험 ····· 26
제 4 절 트랩 형태 선발 실험 ····· 30
제 5 절 색상 선발 실험 ····· 30
제 6 절 색차계 분석 결과 ····· 35
제 7 절 처리량별 실험 ····· 41
제 8 절 시너지스트 물질 탐색 ····· 43
제 9 절 우화소장 조사 ····· 44
제 10 절 모델링 예측 결과 ····· 46
제 5 장 고찰 ····· 48

참고문헌 ····· 55
부록 ····· 64
Abstract ····· 69

표 목 차

[Table 1] The DBH of investigated cherry blossom trees ··· 9
[Table 2] Emission amount of compounds for field test of synergistic effect ····· 19
[Table 3] Trap surface color values(L*a*b*) measured by chromameter ····· 36

그 림 목 차

[Figure 1] Investigation site for *Synanthedon dicingulata*'s damage wound ····· 8
[Figure 2] Types of damage wound by *Synanthedon dicingulata* ····· 10
[Figure 3] Synthetic scheme of (13*Z*)-octadecen-3-yn-1-ol 11
[Figure 4] Synthetic scheme of (3*Z*,13*Z*)-octadecadien-1-ol 13
[Figure 5] Synthetic scheme of Octadecadien-1-ol ····· 14
[Figure 6] Number of *Synanthedon bicingulata*'s damage wound ····· 23
[Figure 7] GC-MS chromatograms for *Synanthedon bicingulata*'s sex phromone ····· 25
[Figure 8] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at different composition ratio of sex pheromone ····· 26

[Figure 9] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at different composition ratio of sex pheromone ····· 29
[Figure 10] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at two different types of trap ····· 30
[Figure 11] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at two different color traps ····· 32
[Figure 12] Number of male *Synanthedon bicingulata*'s caught at six different color traps ····· 35
[Figure 13] Reflectance rate of six color bucket traps ····· 36
[Figure 14] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at six difference color traps ····· 38
[Figure 15] Linear regression model of male capture of six difference color trap ····· 40
[Figure 16] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at different amount of sex pheromone ···· 42
[Figure 17] Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at pheromone trap combined with different host volatiles ····· 43
[Figure 18] Seasonal occurrence of *Synanthedon bicingulata* male adult ····· 45
[Figure 19] Predict of *Synanthedon bicingulata* adult emerging scale to using model ····· 47

제 1 장 서론

최근 가로 경관의 조경 가치와 개화 시기의 관광 가치가 증가함에 따라 벚나무 식재가 증가하고 있다. 2014년 2,835본에 불과하던 벚나무의 가로수 식재 본수는 2016년에는 최대치인 96,874본이 식재되었으며 점차 감소하여 2018년에는 7,751본이 식재 된 것으로 집계되었다. 2019년 현재 집계된 국내 벚나무 가로수의 식재 본수는 2014년부터 2018년까지 총 1,533,111본으로 국내 식재된 가로수 중 가장 많은 수가 식재되어 있다(산림청, 2019). 이러한 증가에 따라 벚나무를 가해하는 천공성 해충인 복숭아유리나방의 서식지가 과수에서 가로수로 전이되었고 그 피해가 증가하고 있다. 따라서 벚나무에 큰 피해를 주고 있는 복숭아유리나방에 대한 생태 및 피해 그리고 정확한 발생 시기를 예찰하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

유리나방(clearwing moth)으로 통칭되는 유리나방과(Sesiidae)의 복숭아유리나방 성충의 충태는 벌목을 의태한 형태로 나타난다. Arita (1994)에 의해 일본에 서식하는 유리나방류의 형태학적 분류 중 복숭아유리나방의 형태적 차이가 확립되어 보고되었고 이후 Lee et al. (2004)이 복숭아유리나방(*Synanthedon bicingulata*) (Lepidoptera:Sesiidae)의 충태별 형태학적 분류를 통해 국내 복숭아유리나방 성충의 외부 형태 및 생식기의 특성과 생활사에 따른 유충의 형태 특성을 보고하였다. Hardy (1982)는 유리나방과의 *Synanthedon tipuliformis*의 암수 성충 우화 성비는 1:1에 가까운 것으로 보고하였다. 유리나방류는 아시아, 유럽 및 북미 등 넓은 지역에 분포하며 일본에는 총 39종과 45종의 기주식물이 보고 되어있다(Arita, 1994). 국내 유리나방과는 Arita et al. (2004)이 총 9속 25종을 보고하였다. 복숭아유리나방의 학명은 *Sesia bicingulata* Staudinger (1887)로 처음 명명되었다가 이후 국내에서 Park (1983)에 의해 *Synenthedon bicingulata*로 개칭 된 후 다시 정립되어 *Synanthedon bicingulata* (Arita et al. 2004)로 명명 되었다. 기주의 범위는 국내의 벚나무속(*Prunus*)인 매실, 살구, 자두, 복숭아 외에도 배나무, 사과나무와 같은 과수 해충으로서 알려져 있으며 중부 이남에서는 살구, 복숭아 그리고 매실 등에 큰 피해를 주고 중부 이북지역에서는 사과, 배나무 등

에 피해가 큰 것으로 보고되어있다(농촌진흥청, 2019). 그러나 생활권 수목에 대한 피해 현황 및 특성은 조사되지 않은 상태이다.

복숭아유리나방은 유충기를 수목 내부에서 보내는 천공성 해충으로 생태 특성상 피해의 정도를 파악하기 어렵고 화학 방제의 효과가 크지 않다(Pereyra and Sancgez, 2006). 그러나 현재 대부분의 복숭아유리나방의 방제는 유기합성농약에 의존하고 있다. 화학적 방제법은 다양한 해충을 신속하게 죽일 수 있는 반면 생물 다양성의 감소, 환경 오염 그리고 저항성 개체 출현 등을 포함해 많은 부작용을 일으켜왔다(Lacey and Shapira-Ilan, 2008). 따라서 살충제 사용으로 인한 부작용을 최소화시키는 동시에 지속 가능한 관리 방법으로 종합적 해충 관리(Integrated Pest Management, IPM)개념이 등장하였다(Lacey and Shapira-Ilan, 2008).따라서, 종합적 해충 관리를 위해서는 해충의 정확한 발생 시기 모니터링 기법 및 환경 친화형 방제법이 필수적이다.

페로몬(pheromone)은 곤충의 종내 의사소통을 위한 화학적 신호 물질이다. 페로몬 트랩은 곤충의 발생 시기를 정확히 파악하는데 매우 유용하며, 페로몬 기반의 발생 시기 조사를 위해서는 페로몬의 최적 조합, 농도, 트랩의 종류, 트랩 설계 및 트랩의 설치 위치 등을 표준화하는 것이 중요하다(Arm et al. 1997). 이를 위해 본 연구에서는 생활권 주변의 가로수에서 복숭아유리나방의 피해 특성 및 페로몬 트랩을 이용한 지역별 발생 시기, 가장 효과적인 성페로몬의 조성 비율 그리고 성페로몬의 최적 처리량 선발 시험을 수행하였다. Lee et al. (2018)은 *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae)를 대상으로 기주식물의 휘발물질을 성페로몬과 함께 처리하였을 때 더 좋은 유인력을 나타내는 것을 보고한 반면, 어떤 곤충들은 기주 식물이 아닌 식물의 휘발물질을 기피하기 때문에 이를 방제 전략 관리에 중요한 역할로 사용 할 수 있다. 기피물질과 시너지스트의 사용은 친환경 방제 전략에서 Push and Pull 전략을 설계 하는데 사용 할 수 있다(Borden 1997; Zhang and Schlyter 2004; Cook et al. 2007). 따라서 시너지스트와 기피물질의 선발 실험을

수행하였다. 또한 효과적인 페로몬 트랩을 선발하기 위하여 트랩 형태 및 색상별 트랩이 복숭아유리나방 수컷 성충 포획에 미치는 영향을 조사하였다.

본 연구는 생활권 주변 벚나무에 피해를 입히는 복숭아유리나방의 피해 특성 조사 및 정확한 발생 시기 조사 기법을 개발하고 이를 통해 유기합성 농약의 살포 회수 최소화와 성페로몬 트랩을 사용하여 발생 밀도를 줄이고 최적화된 대면적 방제법 개발을 위해 수행하였다. 따라서 친환경 방제를 위한 과학적 근거를 제시 하여 쾌적하고 안전한 생활권 도시 숲 환경을 조성하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

제 2 장 연구사

약 50년간의 페로몬 연구에서 곤충의 성적 의사소통에 대한 이해가 깊어지고 있다. Butenandt et al. (1959)에 의해 누에나방에서 처음으로 성페로몬을 확인 한 후 페로몬 규명, 행동 반응, 분자 수준의 연구 등이 진행되고 있다(Benton et al. 2007; Dickson 2008; Clyne et al. 1999; Vosshall et al. 1999; Witzgall et al. 2010). 그리고 최근 IPM에 의거한 해충 관리개념이 강화되면서 전세계적으로 페로몬을 이용한 모니터링과 방제 방법으로 널리 활용되고 있다(Ridgway et al. 1990b; Howse et al. 1998; Baker and Heath 2004; Hallett et al. 2009).

유리나방류의 성페로몬의 분리와 동정은 Tumlinson et al. (1974)에 의하여 *Synanthedon pictipes* (Lepidoptera: Sesiidae) (Lesser peach tree borer)와 *Sanninoidea exitiosa* (Lepidoptera: Sesiidae) (peach tree borer)의 성페로몬이 처음으로 규명되었다. 국내에서는 Kang and Park (1988)에 의하여 *Synanthedon bicingulata*의 성페로몬 2개 물질인 (*Z,Z*)-3,13-octadecadien-1-yl acetate와 (*E,Z*)-3,13-octadecadien-1-yl acetate의 합성법이 개발되었고 이후 복숭아유리나방 성페로몬의 합성 중간체인 (13*Z*)-octadecen-3-yn-1-ol을 활용한 (3*E*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate [(3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트]와 (3*Z*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate [(3*Z*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트]의 개선된 합성법이 보고되었다(Yamamoto et al. 1989).

유리나방과의 성페로몬 트랩을 이용한 우화소장의 조사 연구는 Sharp et al. (1978)이 *Synanthedon pictipes*와 *Synanthedon exitiosa* 2종에 대하여 수행하였다. 국내 유리나방류 우화소장 조사는 *S. tenuis*를 대상으로 성페로몬을 사용한 윙 트랩을 가지고 조사하였다(이규철과 박정규, 2003). Yang et al. (2011)은 국내 복숭아유리나방 성페로몬인 (3*E*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate와 (3*Z*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate의 비율별 야외 유인력을 조사하였다. 이후, 양창열(2012)등이 과

수원에서 발생하는 유리나방류 4종에 대하여 성페로몬 트랩을 가지고 우화소장 연구를 수행하였다. 이재우(2015)는 가로수 지역을 대상으로 끈끈이롤트랩을 이용한 복숭아유리나방의 친환경 방제 방법을 연구한 바 있으며 조영식(2016)등은 남부지역의 단감원에서 성페로몬 트랩을 가지고 애기유리나방과 복숭아유리나방의 우화소장 조사를 실시하였다.

Yaginuma and Kumakura (1976)는 유리나방류 성페로몬인 (3*E*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate (이하 3*E*,13*Z*)와 (3*Z*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate (이하 3*Z*,13*Z*)의 조성 비율에 대한 실험으로 3*E*,13*Z*와 3*Z*,13*Z*를 각각 0:10, 2:8, 4:6, 6:4, 8:2 그리고 10:0의 비율로 조성하여 유인력을 조사한 결과, 4:6과 6:4의 사이 비율에서 우수한 유인력을 나타낸다고 보고하였다. 또한 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*)를 0.1 mg, 0.3 mg, 1.0 mg, 3.0 mg, 10.0 mg으로 처리하여 유인력을 비교한 결과 10.0 mg 처리 처리량에서 가장 많은 포획력을 나타낸다고 보고하였다. 이후 Nielsen and Purrington (1980)는 *Synanthedon pictipes*를 대상으로 3*E*,13*Z*와 3*Z*,13*E*의 조성 비율에 따라 유인력을 실험하였으며 3*E*,13*Z*의 비율이 높을수록 포획력이 우수하다고 보고하였다. 다른 유리나방인 *Synanthedon tipuliformis*에 대하여 Voerman et al. (1984)이 3*E*,13*Z*와 3*Z*,13*E*를 1000 ㎍:0 ㎍, 1000 ㎍:30 ㎍, 900 ㎍:100 ㎍, 500 ㎍:500 ㎍, 100 ㎍:900 ㎍, 30 ㎍:1000 ㎍ 그리고 0 ㎍:1000 ㎍의 비율로 실험한 결과 3*E*,13*Z*의 비율이 높을수록 유인력이 우수하다고 보고하였다. 또한 *S. tipuliformis*의 유인력을 높이는 (*Z,Z*)-2,13- octadecadien-1-ol acetate (*ZZ*2,13-18:Ac)의 조합 시험에서도 3*E*,13*Z*가 높은 비율일수록 좋은 유인력을 나타낸다고 보고하였다. 지속적 모니터링을 통한 방제 효과를 조사한 연구에서는 Matsumoto et al. (2007)이 *S. bicingulata*에 대해 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 5:5의 비율로 2 mg처리한 성페로몬 트랩을 1995년부터 2005년까지 설치한 결과 1999년을 마지막으로 개체가 포획되지 않았다고 보고하였다. Naka et al. (2008)은 *S. bicingulata*를 대상으로 비율별 유인력을 조사한 결과, (3*E*,13*Z*)와 (3*Z*,13*Z*) 5:5의 비율이 다른 7개 조성 비율보다 우수한 유인효과가 있다고 밝혔다. 기존의 성페로몬을 구

성하는 2개 물질 외 시너지스트로서 *ZZ*2,13-18:Ac, *ZE*2,13-18:Ac를 조합한 실험에서도 동일한 결과를 보여 시너지 효과가 없음을 보고하였다. 국내에서는 Yang et al. (2011)이 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 조성한 1 mg처리 루어가 가장 좋은 유인력을 나타내는 것으로 보고하였고 이후 수원지역 과수원에서 발생하는 유리나방류 4종에 대한 성충 발생 소장연구(양창열 외, 2012)에서도 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율을 사용한 연구가 있다.

성페로몬 트랩의 색상에 관한 연구에서 Clare et al. (2000)에 의해 벌 3종과 *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Torticidae) (Codling moth)를 대상으로 하얀색, 파란색, 초록색, 노란색과 빨간색 등 5가지 색상의 끈끈이 트랩을 가지고 연구한 바가 있다. 이후 트랩의 색상과 높이에 따른 대상 곤충의 유인력 실험은 *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) (Emerald ash borer)에 대하여 삼각형의 세워진 델타 트랩 형태인 프리즘 트랩을 사용하여 파란색, 빨간색, TSU보라색, Violet, Fuchsia, YA초록색 그리고 보라색을 가지고 1.5 m의 높이와 수관층 사이인 13 m에서 실험한 연구가 있다(Francese et al. 2010). 이후 *Rhynchophours ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) (Red palm weevil)을 대상으로 검정색, 빨간색, 하얀색, 노란색 등의 불투명한 버켓 트랩을 가지고 유인력을 시험한 연구에서 검정색 트랩의 유인력이 가장 우수하다고 보고하였다(Abuagla and Al-Deeb, 2011). Gadi and Reddy (2014)는 *Cylas formicarius* (Coleoptera: Brentidae) (sweetpotato weevil)를 대상으로 검정색, 갈색, 회색, 노란색, 빨간색, 하얀색, 초록색, 파란색의 색상별 버켓 트랩을 가지고 유인력을 시험하였다. 대조군의 트랩 색상은 덮개, 연결부 그리고 하단의 포집통의 색상이 각각 초록색, 노란색, 하얀색으로 나누어진 색을 가지고 있었으며 실험에 이용된 트랩은 전체가 같은 색상을 갖는 형태였다. 실험 결과 전체가 초록색인 트랩이 가장 우수한 유인력을 보였다. *Hylastes ater* (Coleoptera: Scolytinae), *Hylurgus ligniperda* (Coleoptera: Scolytinae) 그리고 *Arhopalus ferus* (Coleoptera: Cerambycidae)를 대상으로 검정색, 초록색, 빨간색, 노란색, 하얀색 펀넬

트랩간 유인력을 비교한 결과 검정색 트랩에서 대상 3종에 대해 가장 우수한 유인력을 보인다는 연구 결과가 있다(Kerr et al. 2017). 유리나방류의 색상별 트랩 실험은 Roubos and Liburd (2008)에 의해 *Vitacea polistiformis* (Lepidoptera: Sesiidae) (Grape root borer)를 대상으로 수행되었다. 2005년에는 초록색, 노란색, 파란색 그리고 하얀색을 가지고 실험했으며 이듬해 2006년에는 초록색, 노란색, 초록색 덮개색상, 노란색 덮개 색상 그리고 노란색 덮개와 초록색 연결부 그리고 하얀색 버켓을 가지는 혼합 색상을 가지고 실험 하였다. 2005년의 실험에서 전체가 초록색인 트랩이 우수한 포획력을 보였으며 2006년의 실험에서는 혼합된 색상의 트랩이 우수한 효과를 보였다고 보고하였다. 이후 Zhang et al. (2013)은 *Synanthedon scitula* (Lepidoptera: Sesiidae)를 대상으로 성페로몬 루어의 제형과 트랩간 형태의 비교 및 색상 비교 연구를 진행하였다. 이 연구에서 성페로몬 루어의 제형에서 septa와 vials을 비교하였고 윙 트랩과 델타 트랩 그리고 하얀색 버켓 트랩과 초록색의 버켓 트랩을 비교 실험 하였다. 그 결과 제형은 vials이 우수하였고 하얀색 버켓 트랩이 대체로 우수한 유인력을 갖는다고 보고하였다.

제 3 장 재료 및 방법

1. 복숭아유리나방 피해 특성 조사

복숭아유리나방의 피해특성은 2018년도에 서울 관악구 관악로 1(37°27′29.80″N 126°57′22.91″E)에서 조사하였다. 조사된 피해흔은 중복되지 않게 하얀색 수정액으로(Morning glory, Seoul, Korea) 표기하며 조사하였다. 서울 관악구의 조사 대상목은 총 50그루였다. 조사 대상목의 흉고직경(diameter at breast height, DBH) 별 분포는 Table 1과 같다. 피해흔 수는 흉고직경별, 높이별로 조사하였으며 높이는 지면으로부터 50 cm 단위로 나누어 200 cm 까지 조사하였다. 수피 밖으로 나와 있는 번데기[Figure 2. (a)], 유충 배설물이 섞인 점질화된 수액[Figure 2. (b)], 말령 유충의 피해흔[Figure 2. (c)] 그리고 성충이 우화하고 남은 탈피각[Figure 2. (d)]을 복숭아유리나방 피해흔으로 조사하였다. 조사 위치는 Figure 1과 같다. 조사지는 인도위에 1열 혹은 2열로 식재된 가로수였으며 대상목간 거리는 5 m내외로 대부분 일정하게 식재 되어 있었다.

Figure 1. Investigation site for *Synanthedon dicingulata*'s damage wound

Table 1. The DBH of investigated cherry blossom trees

DBH(cm) / 장소(그루)	<20	20≤ ~ <40	40≤ ~ <60
서울 관악구	18	29	3

Figure 2. Types of damage wound by *Synanthedon dicingulata* at cherry blossom

2. 성페로몬 합성

2-1. (13*Z*)-octadecen-3-yn-1-ol의 합성법

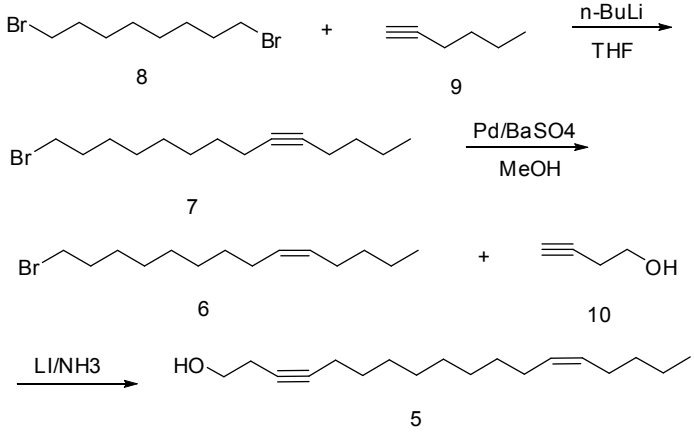


Figure 3. Synthetic scheme of (13*Z*)-octadecen-3-yn-1-ol 5

1단계) 14-브로모테트라데카-5-인(14-bromotetradeca-5-yne, 7)의 제조

250 ml 2-구 플라스크에 1-헥신(5.81 g, 70.73 mmol)를 tetrahydrofuran (이하 THF) (150 ml)와 hexamethylphosphoramide (이하 HMPA) (20 ml)에 용해시켰다. 반응온도를 -10℃에서 상기 플라스크에 n-BuLi (29.7 ml, 74.27 mmol, 2.5 M in hexane)를 가하여 온도를 0℃까지 올리며, 30분간 교반시켰다. 반응온도를 다시 -20℃로 하온 후 상기 플라스크에 1,8-디브로모헥산(1,6-dibromooctane) (25.0 g, 91.91 mmol)을 천천히 적가하고, 2시간 교반시켰다. 이때, 반응의 모니터링은 Thin layer chromatography (이하 TLC)로 관찰하였다. 반응이 완료되면 상기 플라스크에 물을 천천히 적가하고, THF를 먼저 감압증류로 제거시켰다. 이후, 에틸아세테이트를 이용하여 추출하여, 용매를 감압증류로 제거시켰다. 얻어진 혼합물을 실리카겔 컬럼 크로마토그래피 (EtOAc/hexane= 1/10)로 정제하여 14-브로모테트라데카-5-인 (17.8 g, 수율 92%)를 얻었다. ^{1}H-NMR (400 MHz, $CDCl_3$): δ 3.55-3.35 (t, 2H), 2.15-2.09 (m, 4H), 1.85-1.80 (m, 2H), 1.52-1.28 (m, 14H), 0.95-0.86 (t, 3H)

2단계)(5*Z*)-14-브로모테트라데카-5-엔 [(5*Z*)-14-bromotetradeca-5-ene, 6]의 제조

파르 반응기(Parr reaction bottle) (500 ml) 내에 메탄올(MeOH, 250 ml), 상기 1단계에서 수득된 화합물(14-브로모테트라데카-5-인) (15.0 g, 63.22 mmol), 5% Pd/$BaSO_4$(1.0 g)및 퀴놀린(25 mg)을 넣고, 파르수소화 반응기(Parr hydrogenation apparatus)를 이용하여 수소 압력 5 psi 하에서 2시간 동안 반응시켰다. 반응이 완료된 후 셀라이트를 통해 필터하고 감압 하에서 회전 증발기를 이용하여 휘발성 물질을 제거시켜 (5*Z*)-14-브로모테트라데카-5-엔 (14.5 g, 수율 83%)을 얻었다. ^{1}H-NMR (400 MHz, CDCl3): δ 5.33-5.30 (m, 2H), 3.38 (t, 2H), 2.01-1.98 (m, 4H), 1.82-1.80 (m, 2H), 1.47-1.27 (m, 12H), 0.86 (t, 3H)

3단계) (13*Z*)-옥타데센-3-인-1-올 [(13*Z*)-octadecen-3-yn-1-ol, 5]의 제조

-50℃ 이하로 유지된 500 ml 2-구 플라스크에 $Fe(NO_3)_3$・9H2O (176 mg, 0.44 mmol)를 넣고, 상기 플라스크에 암모니아 (150 ml)를 응축시켰다. 반응온도를 -50℃로 유지하면서 30분간 교반시켰다. 상기 플라스크에 리튬 금속(1.1 g, 157.3 mmol)을 천천히 가하고 30분 후에 3-부틴-1올(3.67 g, 52.31 mmol)을 THF (10 ml)에 희석하여 천천히 적가하고, 1시간 동안 교반하였다. 상기 플라스크에 상기 2단계에서 수득된 화합물 [(5*Z*)-14-브로모테트라데카-5-엔] (12.0 g, 43.59 mmol)을 THF (25 ml)에 희석시켜 천천히 적가하였다. -50℃에서 2시간 교반 후 상온(20℃)으로 자연 승온을 하면서 15 시간동안 교반시켜 암모니아가 완전히 증발된 후 포화 NH_4Cl (50 ml)를 적가하고, THF를 먼저 감압증류로 제거시켰다. 이후, 에틸아세테이트를 이용하여 추출하여, 용매를 감압증류로 제거시켰다. 얻어진 혼합물을 실리카겔 컬럼 크로마토그래피(EtOAc/hexane= 1/10)로 정제하여 (13*Z*)-옥타데센-3-인-1-올 (8.55 g, 수율 74%)를 얻었다. ^{1}H-NMR (400 MHz, $CDCl_3$):δ 5.33-5.31 (m, 2H), 3.70-3.63 (m, 2H), 2.40 (m, 2H), 2.14-2.11 (m, 2H), 2.05-1.96 (m, 4H), 1.53-1.25 (m,

14H), 0.87 (m, 3H)

2-2. (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트 (1)의 합성

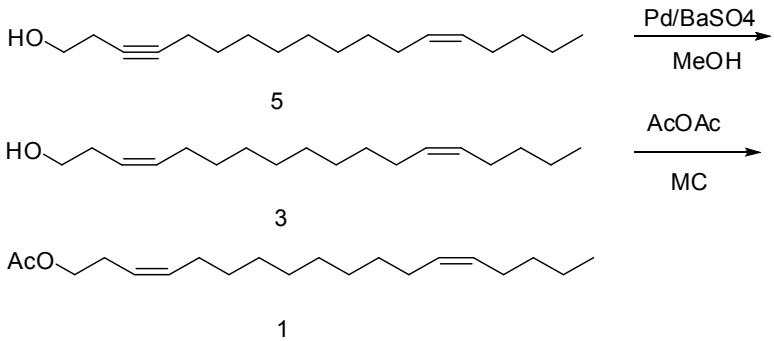


Figure 4. Synthetic scheme of (3*Z*,13*Z*)-octadecadien-1-ol, 3

1단계) (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디엔-1-올 [(3*Z*,13*Z*)-octadecadien-1-ol, 3]의 제조

250 ml 반응기에 메탄올(MeOH, 50 ml), 상기 3단계에서 수득된 화합물[(13*Z*)-옥타데센-3-인-1-올] (40 g, 15.13 mol), 5% Pd/$BaSO_4$ (0.25 g)및 퀴놀린(25 mg)을 넣고, 수소를 압력 1기압 하에서 2시간 동안 반응시켰다. 반응이 완료된 후 셀라이트를 통해 필터하고 감압 하에서 회전증발기를 이용하여 휘발성 물질을 제거시켜 (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디엔-1-올 (3.63 g, 수율 90%)을 얻었다. ^{1}H-NMR (400 MHZ, $CDCl_3$):δ 5.57-5.49 (m, 1H), 5.36-5.29 (m, 3H), 3.60 (m, 2H), 2.31-2.01 (m, 2H), 1.99-1.92 (m, 6H), 1.56-1.21 (m, 12H), 0.87-0.83 (m, 3H)

2단계) (3Z,13Z)-옥타데카디에닐 아세테이트 [(3Z,13Z)-octadecadienyl acetate, 1]의 제조

250 ml 2-구 플라스크에 무수 디클로로메탄 (120 ml)과 상기 4단계에서 수득한 화합물 [(3Z,13Z)-옥타데카디엔-1-올] (2.5 g, 9.38 mmol), 피리딘(1.12 g, 14.20 mmol), 무수 초산(1.45 g, 14.20 mmol)를 혼합한 후 질소 분위기 하 실온에서 15시간 동안 교반시켰다. 반응이 완료되면 0℃에서 물(100 mL)을 가하고 헥산(2 X 100 mL)으로 추출하였다. 유기층

은 5% $NaHCO_3$ (100 mL)로 세척하고 무수 $MgSO_4$로 건조, 여과 후 감압 하에서 농축시켰다. 유기물은 컬럼 크로마토그래피(EtOAc/hexane= 1/9)로 정제하여 목적화합물인 (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트(2.53 g, 87% yield)를 무색 액체로 얻었다. ^{1}H NMR (400 MHZ, $CDCl_3$):δ 5.49-5.44 (m, 1H), 5.33-5.29 (m, 3H), 4.04-3.99 (t, 2H), 2.37-2.31 (m, 2H), 2.00 (s, 3H), 2.01-1.96 (m, 6H), 1.29-1.22 (m, 14H), 0.86 (t, 3H). GC-MS (*m/Z*): 308, 248, 233, 219, 205, 191, 177, 163, 149, 135, 121, 109, 95, 81, 67, 55, 43.

2-3. (3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트 (2)의 합성

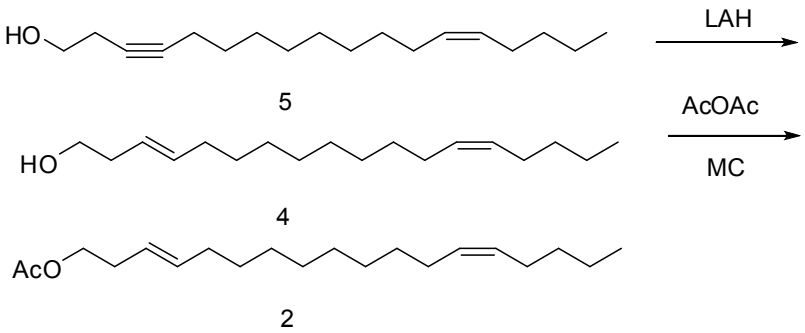


Figure 5. Synthetic scheme of Octadecadien-1-ol, 4

1단계) (3*E*,13*Z*)-옥타데카디엔-1-올 [(3*E*,13*Z*)-Octadecadien-1-ol, 4]의 제조

250 ml 2-구 플라스크에 리튬알루미늄하이드라이드(2,14 g. 56.47 mmol, 이하 LAH)와 용매 디에틸렌글리콜디메틸에테르(120 ml, 이하 diglyme)를 넣고 교반하면서 상기 실시 예 1의 단계3에서 제조된 (13*Z*)-옥타데센-3-인-1-올(40 g, 15.13 mmol)을 무수 THF (15 ml)에 희석시켜 천천히 적가하였다. 30분간 교반 후 72시간 동안 환류시켰다. 반응이 완료되면 0℃에서 포화 NH_4Cl (50 ml)를 적가하고, 에틸아세테이트를 이용하여 추출하여, 유기층을 물, 소금물로 세척하고, 무수 $MgSO_4$로 건조, 여과 후 감압하에서 농축시켰다. 유기물은 컬럼 크로마토그래피

(EtOAc/Hexane= 1/9)로 정제하여 (3*E*,13*Z*)-옥타데카디엔-1-올(2.89 g, 수율 72%)을 무색 액체로 얻었다. ^{1}H-NMR (400 MHZ, $CDCl_3$):δ 5.56-5.50 (m, 1H), 5.36-5.29 (m, 3H), 3.60 (m, 2H), 2.25-2.22 (m, 2H), 2.05-1.95 (m, 6H), 1.49-1.25 (m, 12H), 0.88-0.86 (m, 3H)

2단계) (3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트 [(3E,13Z)-Octadecadienyl acetate, 2]의 제조

250 ml 2-구 플라스크에 무수 디클로로메탄 (120 ml)과 상기 1단계에서 수득한 화합물 [(3*E*,13*Z*)-옥타데카디엔-1-올] (2.5g, 9.38 mmol), 피리딘 (1.12 g, 14.20 mmol), 무수 초산(1.45 g, 14.20 mmol)를 혼합한 후 질소 분위기 하 실온에서 15시간 동안 교반시켰다. 반응이 완료되면 0℃에서 물(100 mL)를 가하고 헥산(2 X 100 mL)으로 추출하였다. 유기층은 5% $NaHCO_3$ (100 mL)로 세척하고 무수 $MgSO_4$로 건조, 여과 후 감압하에서 농축시켰다. 유기물은 컬럼 크로마토그래피(EtOAc/Hexane= 1/9)로 정제하여 목적화합물인 (3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트(2.49 g, 86% yield)를 무색 액체로 얻었다. ^{1}H NMR (400 MHZ, $CDCl_3$):δ 5.47-5.45 (m, 1H), 5.33-5.29 (m, 3H), 4.06-4.01 (t, 2H), 2.30-2.26 (m, 2H), 2.02 (s, 3H), 2.05-1.93 (m, 6H), 1.31-1.23 (m, 14H), 0.87 (t, 3H). GC-MS (*m/Z*): 308, 248, 233, 219, 205, 191, 177, 163, 149, 135, 121, 109, 95, 81, 67, 55, 43.

3. 성페로몬 순도 측정

합성된 복숭아유리나방 2가지 성분은 가스크로마토그래피-질량분석기를 이용하여 분석하였다. 분석조건은 다음과 같다. 사용한 기기는 Gas cromatography 7890B (Santa Clara, CA, USA)-Mass spectrometer (5977B GC/MSD, Agilent, CA, USA) (GC-MS) 였으며 사용한 칼럼은 HP-5MS (30 mm×250 ㎛×0.1 ㎛) 였다. 오븐의 온도는 70℃에서 1분간 머무른 후 180℃까지 1분당 10℃씩 상승하였고 220℃까지 1분당 5℃씩, 325℃까지 1분당 25℃씩 상승시켰다. Innet온도는 250℃, Aux온도는 28

0℃였으며 운반가스로는 헬륨가스를 사용하였으며 속도는 1.0 mL/min이었다.

4. 야외 유인력 검증 시험

4-1. 넓은 범위의 복숭아유리나방 성페로몬 비율 조성 시험

성페로몬의 넓은 범위 비율 조성에 따른 유인력을 비교하기 위해 (3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트와 (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트[이하(3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*)]를 1:9, 4:6, 6:4, 9:1의 비율 조성으로 1 mg씩 조제하여 같은 무게의 항산화제 (2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol, 99.0%, BHT) (Samchun Chemicals®,Pyeongkaek, Korea)와 혼합하였다. 혼합한 성페로몬과 항산화제는 헥센에 녹인 후 마이크로피펫을 이용하여 septa (Sleeve stopper septa) (Sigma-Aldrich, MO, USA)에 처리하였다. 헥센을 증발 시킨 후 페로몬이 함유된 septa는 사용 전까지 초저온냉동고(VT-78, NIHON FREEZER CO., Tokyo, Japen)에서 -40℃로 보관하였다. 다른 실험에서도 동일한 조건으로 성페로몬을 조제 및 보관하였다. 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E)에서 2017년 4월 28일부터 6월 13일까지 대조군을 포함한 5개 조합을 5회 반복하여 총 25개의 트랩을 가지고 실험하였다. 초록색 버켓 트랩을 사용하였으며 이하 모든 실험에 사용한 트랩은 케이아이피(KIP, Daejeon, Korea)에서 제공하였다. 성페로몬 루어의 교체는 30일에 한번 교체하였으며 트랩간 거리는 15 m로 하여 약 3그루 당 1개를 설치하였다. 매 조사마다 트랩의 위치는 서로 무작위로 바꿔 설치하여 위치에 따른 포획 효과를 방지하였다. 설치 높이는 지면에서 180 cm ~ 200 cm 높이로 설치했다. 반복간 거리는 50 m로 하였다. 루어의 교체 시기, 반복간 거리, 설치 간격 및 높이는 본 연구에서 수행한 모든 실험에서 동등하게 실시하였다.

4-2. 델타 트랩과 버켓 트랩의 포획력 비교 시험

트랩 형태에 따른 야외 포획력을 비교하기 위해 본 연구에서 사용한 버

켓 트랩과 선행 연구(Yaginuma et al. 1976; Yang et al. 2011)에서 사용한 동일 형태의 델타 트랩을 비교하였다. 초록색 버켓 트랩과 노란색 델타 트랩을 사용하였으며 모든 트랩은 케이아이피(KIP, Daejeon, Korea)에서 제공하였다. 강원도 춘천시 신샘밭로1(37°55′42.49″N 127°46′27.39″E)에서 2017년 8월 9일부터 9월 25일 까지 2종의 트랩을 각각 5반복씩 총 10개의 트랩을 설치하여 조사하였다. 복숭아유리나방 성페로몬 루어의 조성은 상기 실험과 동일한 방법으로 조제하였으며 (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 1 mg 처리하여 사용하였다.

4-3. 버켓트랩 색상 비교 시험

버켓 트랩의 색상을 선발하기 위해 먼저 실시한 노란색과 초록색 비교 시험에서 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E)과 서울 영등포구 윤중로벚꽃길(37°31′57.80″N 126°55′10.29″E)에서 2018년 4월 26일부터 6월 7일까지 2개 장소에서 2개 색상에 대해 각각 4반복 하여 총 16개의 버켓 트랩을 가지고 실험 하였다. 복숭아유리나방 성페로몬 루어의 조성은 상기 실험과 동일한 방법으로 조제하였으며 (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 1 mg 처리하여 사용하였다.

4-4. 좁은 범위의 복숭아유리나방 성페로몬 비율 조성 시험

성페로몬의 비율 조성에 따른 좁은 범위에서의 실험은 강원 춘천시 부귀리(37°58′45.2″N 127°51′55.7″E)와 경기 가평군 에덴벚꽃길(37°46′57.2″N 127°28′07.3″E)에서, 2018년 8월 31일부터 9월 28일 까지 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E)에서 2018년 8월 27일부터 9월 28일 까지 그리고 경남 진주시 금산면(35°11′58.7″N 128°10′21.4″E)에서 2018년 8월 30일부터 10월 4일 까지 5개 조합을 대상으로 각각 5회 반복하여 4개 장소에서 총 100개의 노란색 버켓 트랩을 가지고 실험 하였다. 복숭아유리나방 성페로몬의 조성 비율은 (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 1:9, 2:8, 3:7, 4:6 그리고 5:5 비율로 1 mg씩 조제하여 상기의 비율실험과 동일하게 조제, 보관 후 사용하였다.

4-5. 트랩 색상 선발 시험

트랩 색상을 선발하기 위해 노란색, 초록색, 빨간색, 파란색, 하얀색, 검정색 등 6개 색상에 대한 포획력 시험은 경기 가평군 에덴벚꽃길(37°46′57.2″N 127°28′07.3″E)과 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E)에서 2018년 8월 27일부터 9월 28일 까지 6개 색상을 대상으로 각각 3회 반복하여 총 36개의 색상별 버켓 트랩을 가지고 실험하였다. 2019년에는 8월 19일부터 10월 06일 까지 강원 양구군 정림리(38°05′33.19″N 127°59′32.53″E)에서 동일한 6개 색상의 트랩을 대상으로 4회 반복하여 총 24개의 버켓 트랩을 가지고 실험하였다. 복숭아유리나방 성페로몬 루어의 조성은 상기 방법으로 조제하였으며 (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 1 mg 처리하여 사용하였다.

4-6. 성페로몬의 처리량별 시험

복숭아유리나방 성페로몬의 처리량별 유인력 시험은 경기 과천시 경마공원(37°26′35.74″N 127°00′56.76″E)과 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E)에서 2019년 4월 28일부터 6월 2일까지 4개 조합을 6반복하여 총 48개의 버켓 트랩을 사용하여 수행하였다. 성페로몬 루어의 조성은 상기 실험과 동일한 방법으로 조제하였으며 (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 1 mg, 2 mg, 3 mg, 4 mg를 각각 처리하였다.

4-7. 시너지스트 선발 조사

복숭아유리나방의 유인효과를 나타내는 물질을 선발하기 위해 참고 문헌 조사(Cuevas et al. 2016; PINO et al. 2012; Aubert et al. 2007; Wang et al. 2009)를 통해 벚나무(*Prunus*)속의 휘발물질을 선발하였고 Table 2의 4개 물질을 대상으로 실험하였다. 경기 가평군 에덴벚꽃길(37°46′57.2″N 127°28′07.3″E)에서 2019년 8월 19일부터 10월 6일 까지 실험하였고, 시너지스트 루어는 polyethylene 재질의 가로, 세로 70x100 mm, 두께 0.1 mm의 직사각형 샤쉐에 담아 사용하였다. *Z*-3-Hexenyl

acetate를 제외한 3종의 시너지스트 루어는 각각 8 g씩 제조하여 1회 교체하였으며 *Z*-3-Hexenyl acetate는 5 g씩 제조하여 15일마다 2회 교체하였다. 성페로몬 루어만 단독 처리한 대조군과 성페로몬 루어를 포함한 시너지스트 후보 물질 조합한 5개 조합을 가지고 4회 반복하여 총 20개의 트랩을 사용하였다. 모든 시너지스트 물질은 Sigma-aldrich (MO, USA)에서 구매하였다. 각 물질의 휘발량 조사는 실내 (25℃)에서 24 시간 동안 조사하였고 실외 조사는 1.5 m 높이의 나뭇가지에 각각의 물질을 케이블 타이를 이용해 걸어두고 2019년 8월 8일부터 8월 11일까지 72 시간 동안 방출량을 조사하였다. 대조군은 성페로몬만 처리한 루어를 사용하였다. (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 1 mg 처리하여 사용하였다.

Table 2. Emission amount of compounds for field test of synergistic effect

Compounds	Purity (%)	Emission amount at 25℃ (g/day)	Emission amount at field (g/day)
Benzaldehyde	≥99%	0.457	0.241
Phenylacetaldehyde	≥90%	0.277	0.020
γ-Decalactone	≥98%	0.007	0.009
Z-3-Hexenyl acetate	≥98%	0.637	0.305

5. 우화소장 조사

복숭아유리나방의 연간 발생을 조사하기 위해 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E), 경남 진주시 금산면(35°11′58.7″N 128°10′21.4″E), 강원 춘천시 신북읍(37°55′42.49″N 127°46′27.39″E), 서울 관악구 관악로1(37°27′29.80″N 126°57′22.91″E)에서 2017년 4월 초순부터 10월 말 경까지 각각의 장소에서 6개의 버켓 트랩을 가지고 실험을 진행하였으며 총 24개의 버켓 트랩을 사용하였다.

이듬해 2018년에도 연간 발생 현황을 조사하기 위해 2018년 4월 초순부터 10월 중순까지 서울 송파구 오금동(37°30′13.37″N 127°08′13.09″E), 서

울 광진구 광장동(37°33′04.38″N 127°06′30.64″E), 강원 춘천시 신북읍(37°55′42.49″N 127°46′27.39″E), 경남 진주시 금산면(35°11′58.7″N 128°10′21.4″E), 충남 공주시 반포면(36°21′29.9″N 127°14′52.0″E)에서 각 장소당 6개의 버켓 트랩을 사용하여 총 30개의 규모로 실험을 수행하였다. 사용한 복숭아유리나방 성페로몬 루어의 조성은 상기 실험과 동일한 방법으로 조제하였으며 (3*E*,13*Z*):(3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율로 1 mg씩 처리하여 사용하였다. 2017년에는 초록색 버켓 트랩을 사용하였으며 2018년에는 노란색 버켓 트랩을 사용하였다. 실험의 모든 트랩은 케이아이피(KIP, Daejeon, Korea)에서 제공하였다.

6. 발생 예측 모델

파이썬(Python3.8.0, 2019)을 기반으로 기계학습의 앙상블 학습 방법 중 하나인 랜덤포레스트를 이용하여 예측치를 출력하여 복숭아유리나방의 2번째 발생개체군의 규모를 산정하는 모델을 개발하였다. 랜덤포레스트의 파라미터는 트리개수 25개, 깊이는 최대 10으로 산정하였다. Input값으로서 변수의 구분은 5월초부터 6월 말까지 8주간의 데이터와 5월, 6월의 최고, 최저기온, 시험지의 대상 본수, 피해율을 산정하여 설정하였다. 출력되는 Output인 결과 값은 복숭아유리나방의 2번째 출현 시기인 8월초부터 9월말까지 8주간의 합산 값 데이터로 산정하였다. 모델링에 사용한 학습데이터와 테스트 데이터는 2017년 연간 발생 조사 자료를 바탕으로 하였고 문헌에 따른 데이터를 차용하여 사용하였다(조영식 외, 2016; 양창열 외, 2012). 예측값은 2018년 조사 자료 중 충분한 개채가 조사된 춘천, 진주, 공주의 자료를 사용하여 예측 결과를 출력해 내었다. 소스코드는 부록[1]으로서 첨부하였다.

7. 색상별 트랩의 색차계 분석

복숭아유리나방의 유인력에 미치는 트랩 색상 요인을 알아보기 위해 노

1) 부록 1. 예측모델 알고리즘의 소스코드

란색, 초록색, 하얀색, 파란색, 검정색 그리고 빨간색 버켓 트랩에 대하여 색차계 분석을 실시하였다. 분석은 ㈜신코(Seoul, Korea)의 분석기기 사업부에서 실시하였다. 색차계(Color Spectrophotometer) (ColorMate, SCINCO, Seoul, Korea)를 사용하였으며 흡광도와 반사도를 측정하였고 Obsesvation System은 d/8°, Abserver angle은 10°로 하였다. Illuminant는 D65, Color Scale은 CIE $L^*a^*b^*$로 설정 하였다.

8. 통계분석

트랩의 형태 선발 실험과 색상 선발 실험, 비율 조성 시험, 용량별 시험에 있어 SPSS (IBM SPSS Statistics 23.0, 2015)를 사용하여 통계 분석을 실시하였다. 델타 트랩과 버켓 트랩을 사용한 트랩 형태 선발 실험과 노란색과 초록색을 사용한 트랩 색상 선발 실험에서는 *t*-test를 사용하여 비교하였다. 넓은 범위와 좁은 범위의 성페로몬 비율 조성 실험과 여섯가지 색상별 트랩 선발 실험에서 일원배치분산분석(ANOVA)을 사용하였고 유의 수준 $p<0.05$의 결과에 있어서 Tukey HSD test로 사후 검정 하였다. 색차계 분석 결과는 R studio (ver. 3.5.1, R development Core Team, 2013)를 사용하여 2018년과 2019년에 경기 가평, 충남 공주 그리고 강원 양구에서 시행한 트랩 색상 선발 실험의 결과를 합산 평균한 값을 색상별 차이와 지역별 차이를 알아보기 위해 이원배치분산분석(two way-ANOVA)을 실시하였고 포획된 개체수와 L, a 그리고 b의 값에 대해 다중회귀분석과 선형회귀분석을 실시하였다.

제 4 장 결과

1. 복숭아유리나방 피해특성

서울 관악구 관악로1에서 50본에 대하여 피해특성을 조사한 결과는 다음과 같다. 피해흔을 높이별로 나누어 조사한 결과는 [Figure 6. (a)]에 나타내었다. 전체 조사 본수에 대하여 0.5 m이하에서 6.70±6.53개, 0.5 m에서 1 m까지 2.13±1.16개, 1 m에서 1..5 m까지 1.94±1.17개 그리고 1.5 m에서 2.0 m까지 2.25±1.38개로 나타나 0.5 m 이하에서 피해흔 수가 가장 많았다. 흉고직경(DBH)별 피해 특성은 20 cm미만에서 5.72±8.13개, 20 cm이상 40 cm미만에서 6.37±6.89개, 40 cm이상 60 cm미만에서 5±3.6개로 나타나 흉고직경간 피해흔 수에는 큰 차이가 없었다[Figure 6. (b)].

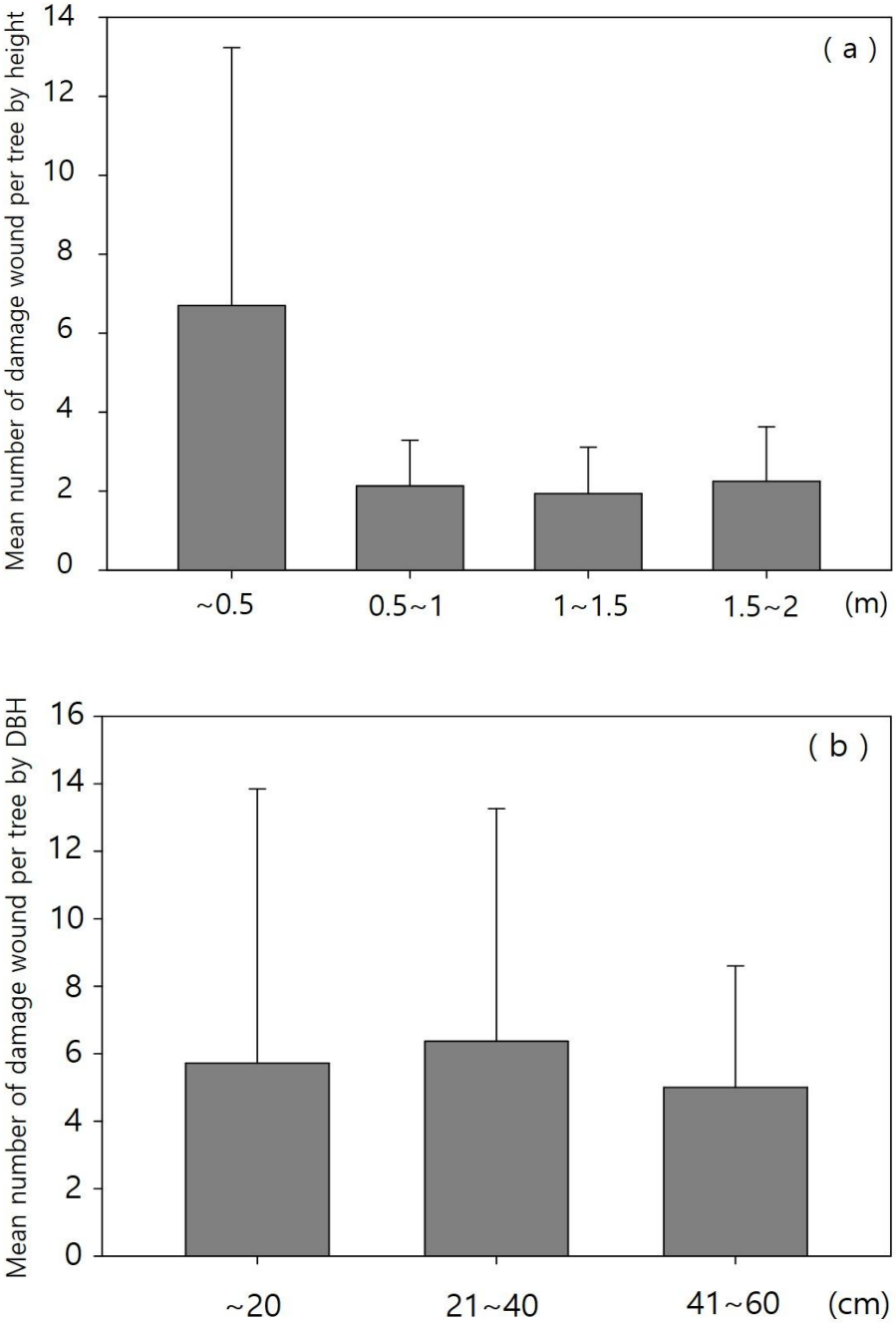


Figure 6. Number of *Synanthedon bicingulata*'s damage wound at different DBH (a) and height (b).

2. 복숭아유리나방 성페로몬의 분석

복숭아유리나방 성페로몬의 GC-MS 분석결과는 Figure 7에 나타내었다. 분석결과 (3*E*,13*Z*)-octadecadienyl acetate의 순도는 94.15%였으며 (3*Z*,13*Z*)-octadecadienyl acetate의 순도는 82.8%로 두 화합물모두 >80% 이상의 높은 순도를 나타내었다.

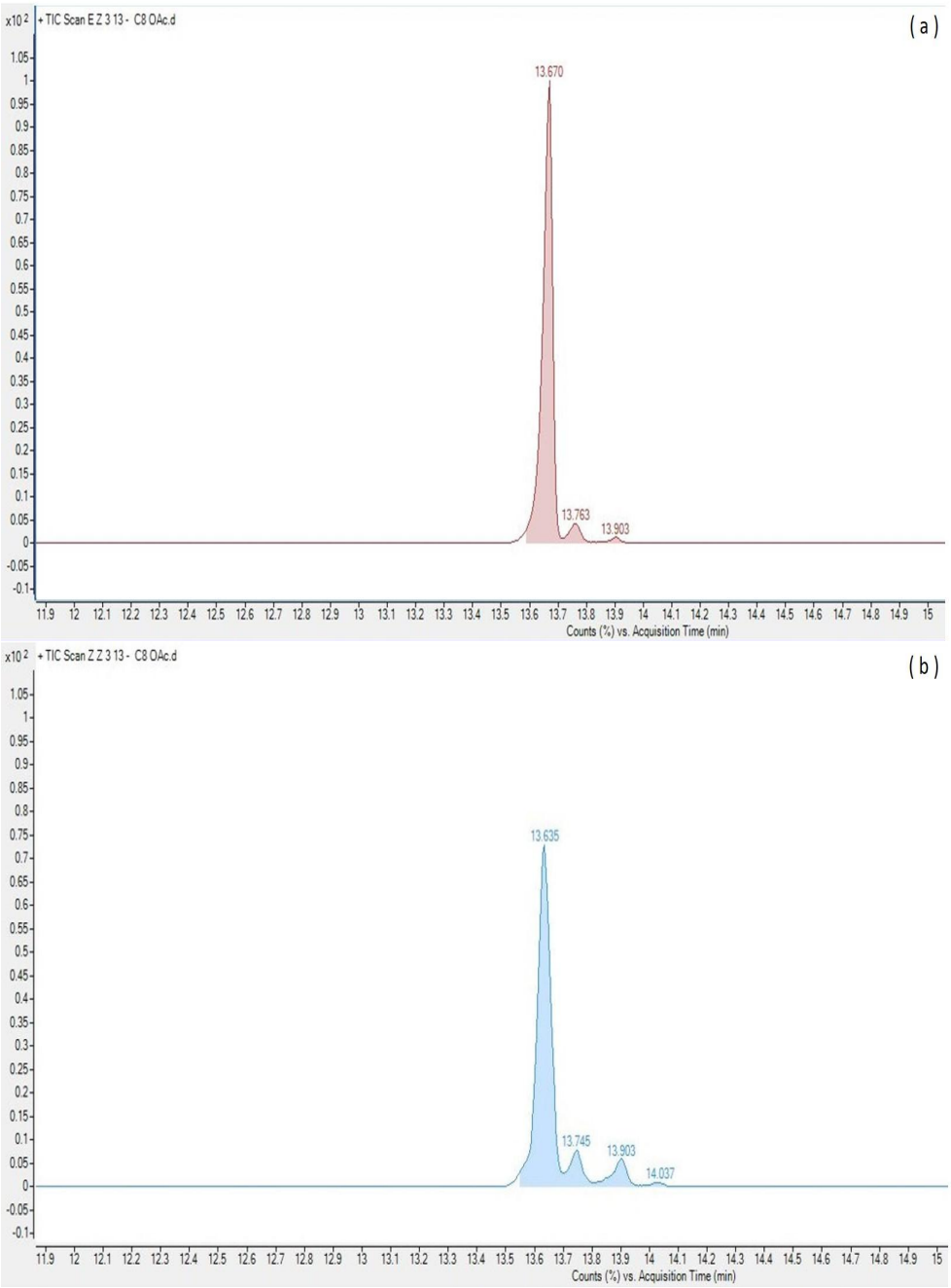


Figure 7. GC-MS chromatograms for *Synanthedon bicingulata*'s sex phromone, (3*E*,13*Z*)-octadecadienyl acetate (a) and (3*Z*,13*Z*)-octadecadienyl acetate (b).

3. 비율 조성 실험

2017년 4월부터 6월까지 충남 공주에서 실시한 넓은 범위의 페로몬 비율 조성 실험 결과는 Figure 8과 같다. 전체 실험 기간에서 포획된 총 개체수는 112마리였고 각 처리군에서 포획된 개체의 평균과 표준오차를 구한 결과 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 1:9 비율에서 8.5±2.38마리, 4:6에서 13.5±2.65마리 그리고 6:4에서 6±2.16마리가 포획되었다. (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 9:1의 비율과 무처리군에서는 포획된 개체가 없었다.

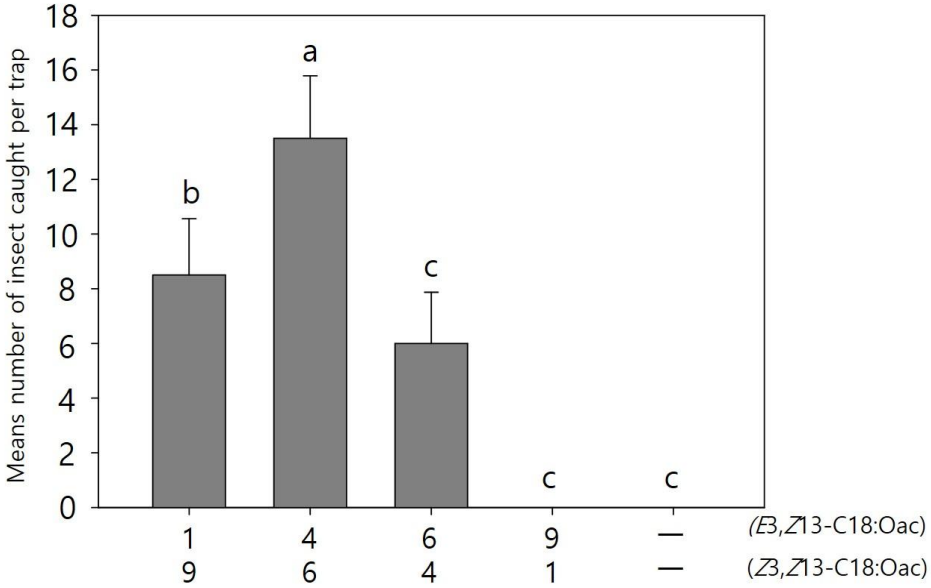
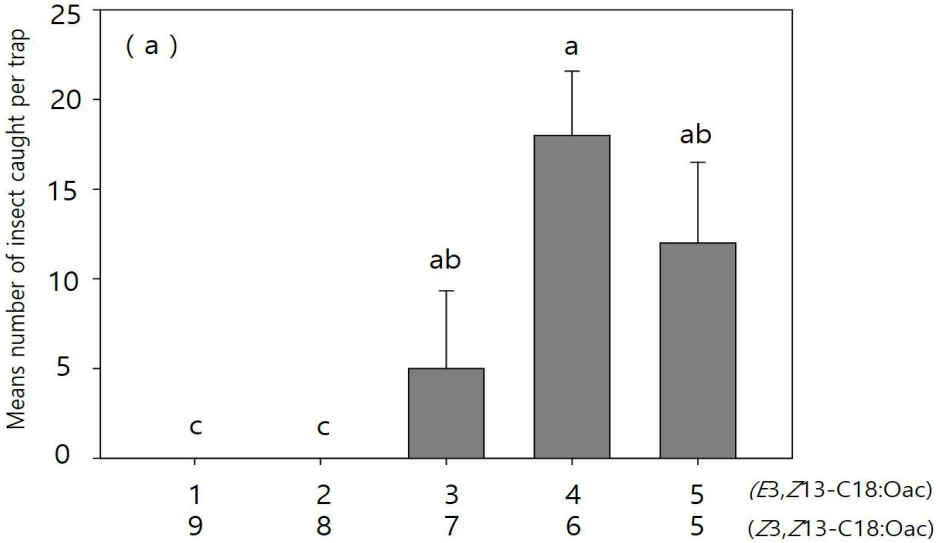


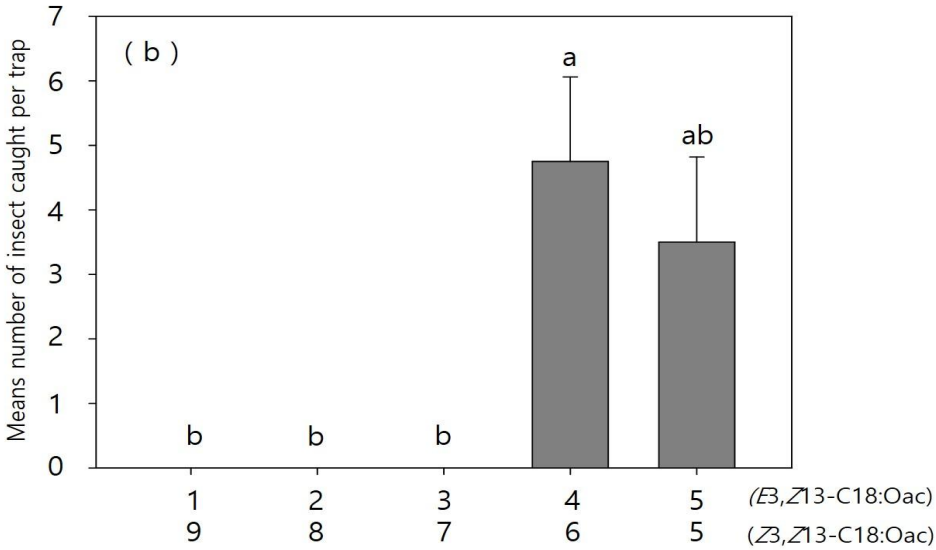
Figure 8. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at different composition ratio of sex pheromone (Gongju, Chungcheongnam-do provence) (Tukey's HSD, $F_{4,15}$=38.567,p < 0.0001).

2018년 8월부터 10월까지 실시한 좁은 범위의 페로몬 비율 조성 실험 결과는 Figure 9에 나타내었다. 모든 지역에서 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율에 가장 높은 유인력을 보였다. 그 다음으로는 5:5, 3:7의 순서로 유인력을 보였으며 1:9와 2:8 비율은 극히 낮은 유인력을 보였다.

충남 공주의 결과는 각 비율별로 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 3:7에서 평균 5±4.33마리, 4:6에서 18±3.58마리, 5:5에서 12±4.5마리였다. 나머지

(3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 1:9와 2:8의 비율에서는개체가 포획되지 않았다 [Figure 9. (a)]. 강원 춘천의 결과는 각 비율별로 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6에서 평균 4.75±1.31마리, 5:5에서 3.5±1.32마리로 나타났다. 나머지 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 1:9, 2:8 그리고 3:7에서는 포획된 개체가 없었다 [Figure 9. (b)]. 경남 진주의 결과는 각 비율별로 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 1:9에서 평균 0.25±0.25마리, 2:8에서 1.25±0.75마리, 3:7에서 4.5±1.19마리, 4:6에서 23.5±5.42마리, 5:5에서 14.5±1.55마리로 나타났다[Figure 9. (c)]. 경기 가평의 결과는 각 비율별로 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 3:7에서 평균 1±1마리, 4:6에서 8.75±3.27마리, 5:5에서 7±2.58마리로 나타났다. 나머지 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 1:9과 2:8의 비율에서는 포획되지 않았다[Figure 9. (d)].


(a)
Means number of insect caught per trap
25
20
15
10
5
0
c
c
ab
a
ab
1 9
2 8
3 7
4 6
5 5
(E3,Z13-C18:Oac)
(Z3,Z13-C18:Oac)


(b)
Means number of insect caught per trap
7
6
5
4
3
2
1
0
b
b
b
a
ab
1 9
2 8
3 7
4 6
5 5
(E3,Z13-C18:Oac)
(Z3,Z13-C18:Oac)

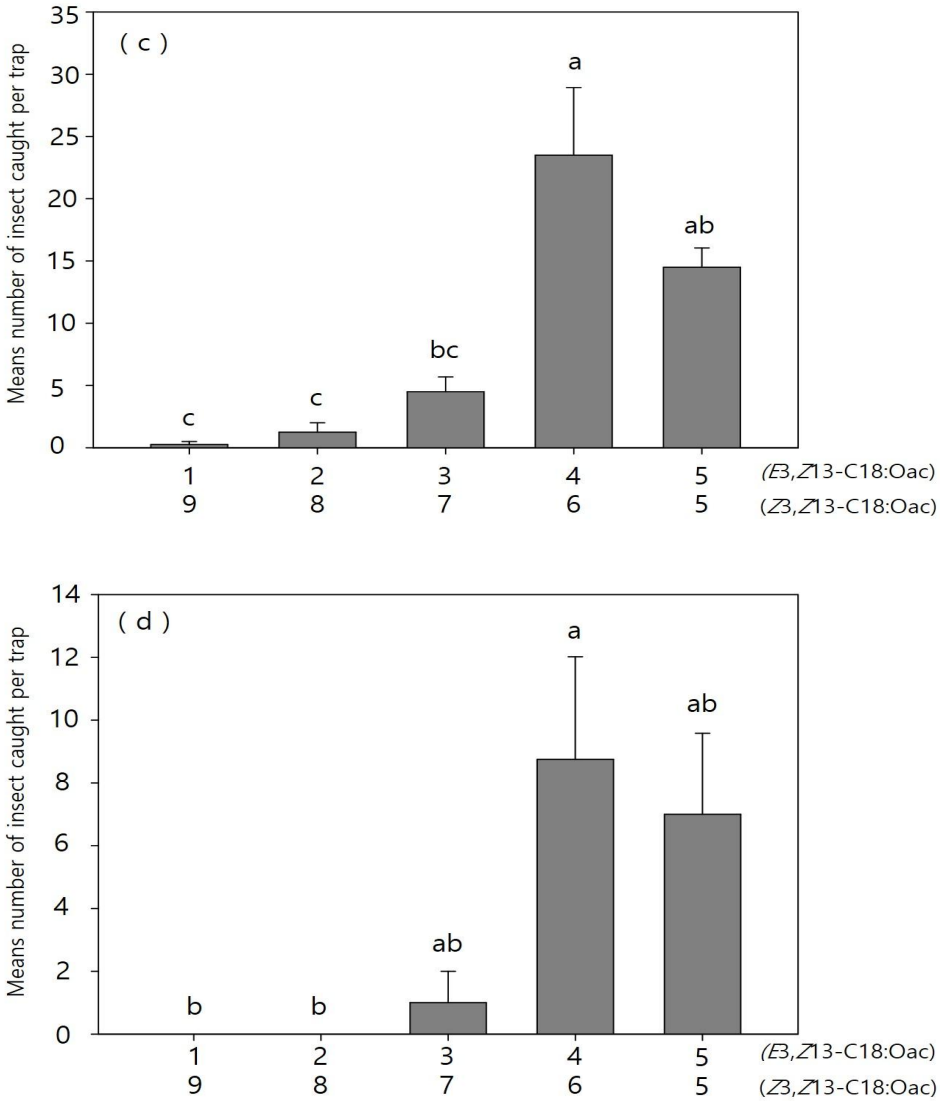


Figure 9. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at different composition ratio of sex pheromone. [Gongju, Chungcheongnam-do provence, (a), Tukey's HSD, $F_{4,19}$=5.962, p = 0.004; Chuncheon, Gangwon-do provence, (b), Tukey's HSD, $F_{4,19}$=7.617, p < 0.001; Jinju, Gyeongsangnam-do provence, (c), Tukey's HSD, $F_{4,19}$=14.656, p < 0.0001; Gapyeong, Gyeonggi-do provence, (d), Tukey's HSD, $F_{4,19}$=4.787, p = 0.011]

4. 트랩 형태 선발 실험

성페로몬 트랩의 최적 효율을 나타내는 트랩의 형태를 선발하기 위해 2017년 8월 초부터 9월 말까지 강원 춘천에서 실시한 트랩 형태 선발 시험의 결과는 Figure 10에 나타내었다. 델타 트랩과 버켓 트랩의 비교에서 전체 시험 기간 동안 버켓 트랩은 평균 13.2±2.28마리로 나타났고 델타 트랩은 7.6±2.07마리로 버켓 트랩이 더 우수한 포획력을 나타내었다.

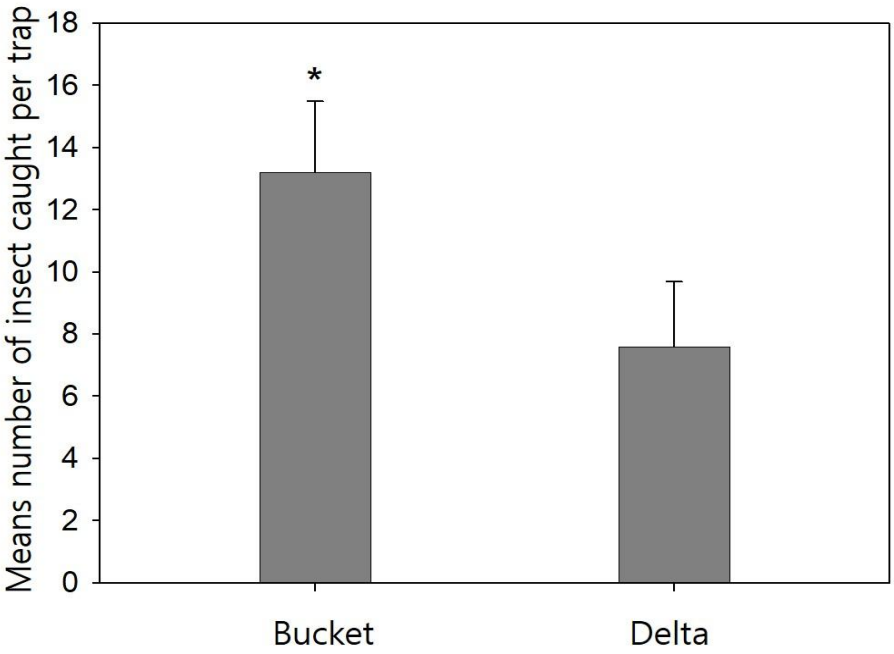


Figure 10. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at two different types of trap.
(Chuncheon, Gangwon-do provence ,*t*-test, t=4.174, p = 0.003)

5. 색상 선발 실험

복숭아유리나방 포획에 최적 효율을 나타내는 성페로몬 트랩의 색상을 선발하기 위해 초록색과 노란색의 버켓 트랩을 비교 실험한 결과는 Figure 11에 나타내었다. 충남 공주의 실험에서 전체 실험 기간 중 노란

색과 초록색 트랩에 포획된 총 개체수는 146마리였다. 노란색 트랩에 포획된 개체수는 평균 26.5±3.60마리 였으며 초록색 트랩은 10±2.9마리로 나타났다[Figure 11. (a)]. 서울 영등포구 여의도 윤중로벚꽃길에서 실시한 시험에서 전체 실험기간 중 포획된 총 개체수는 47마리 였으며 노란색에 포획된 개체수는 평균 7.75±1.5마리였으며 초록색 트랩에 포획된 평균 개체수는 4±1.82마리로 나타났다[Figure 11. (b)]. 실험을 진행한 양 장소 모두 복숭아유리나방 수컷은 노란색 트랩에서 더 많이 유인되었다.

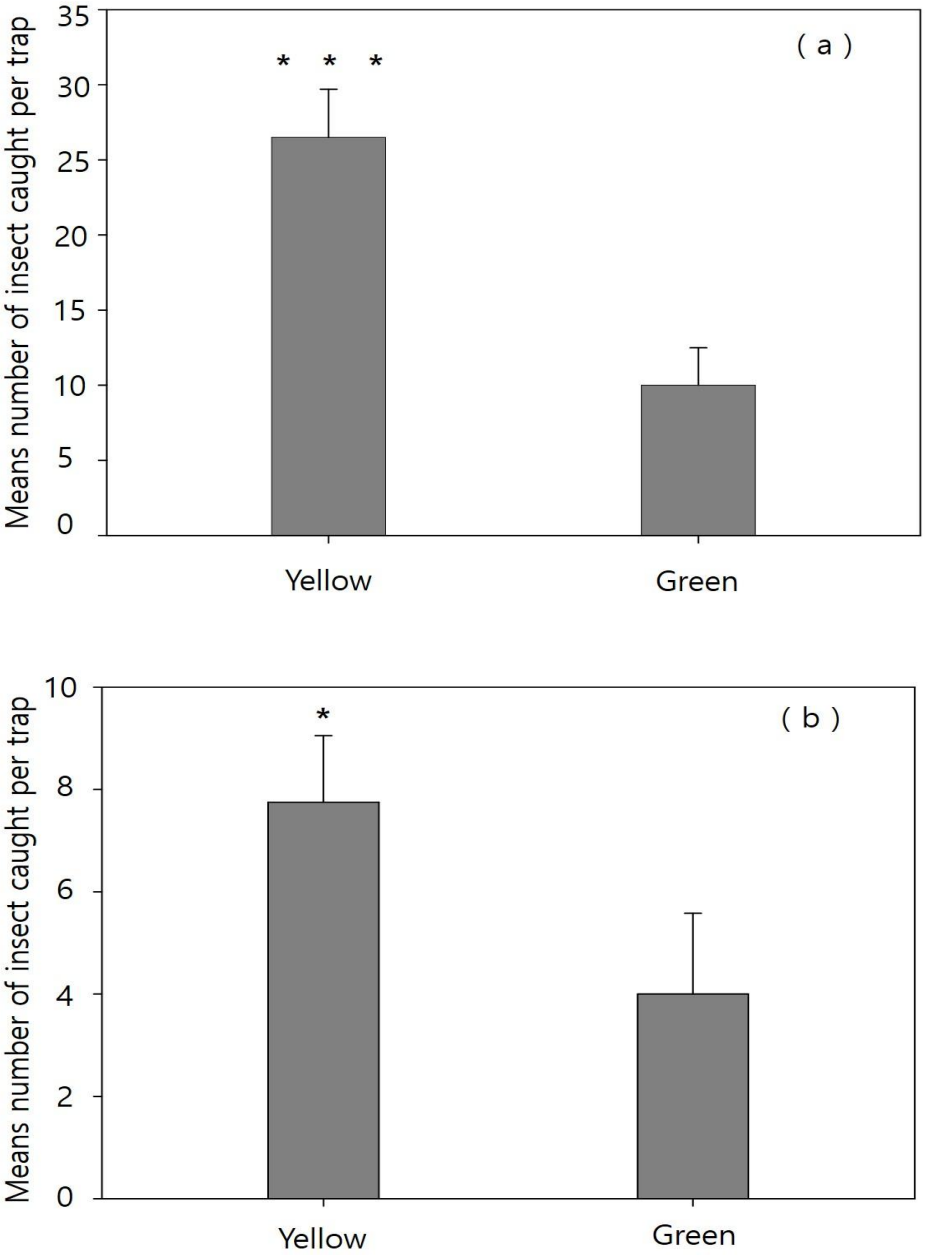
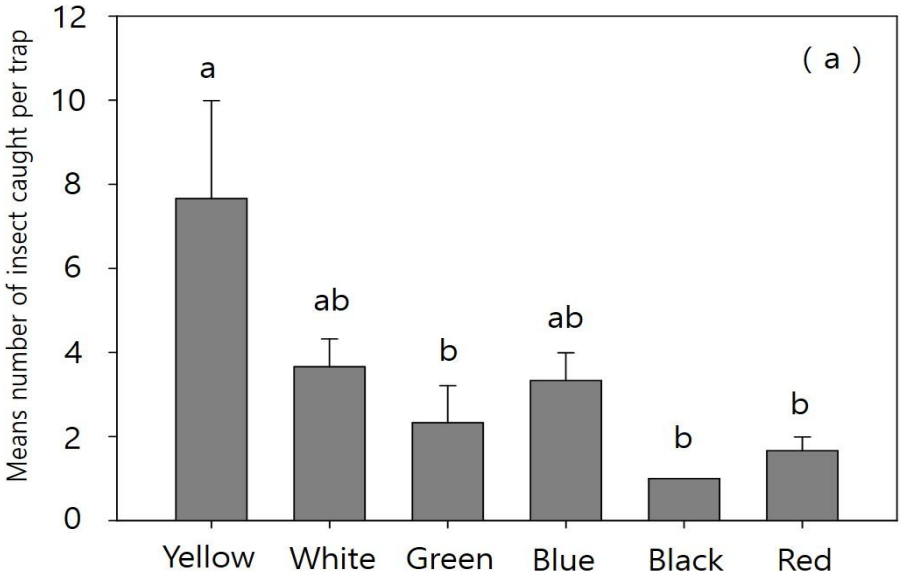


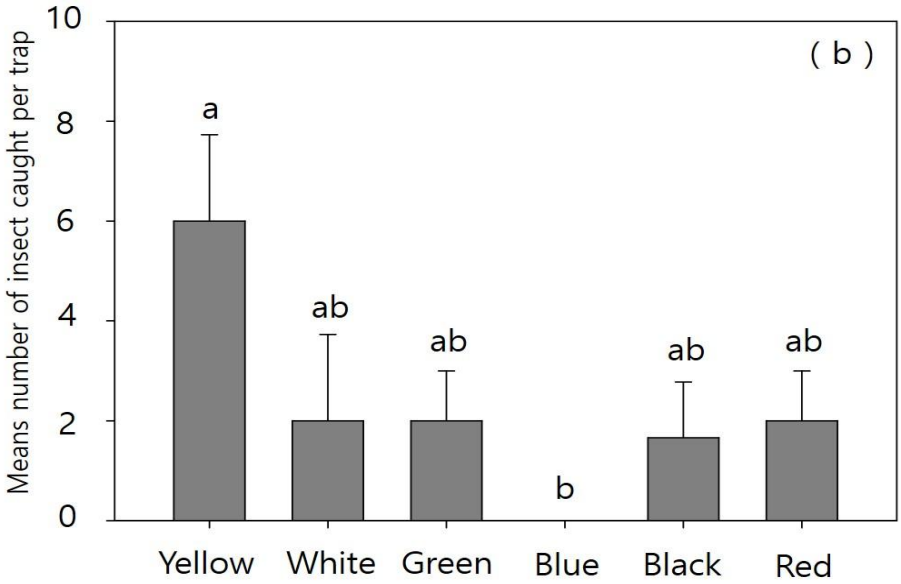
Figure 11. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at two different color traps. [Gongju, Chungcheongnam-do provence, (a), t-test, t=6.983, p<0.000;, Seoul (b); t-test, t=3.174, p=0.019]

색상 선발을 위한 실험에서 노란색과 초록색 외 다른 색상에서의 효율을 알아보기 위해 노란색, 초록색, 파란색, 빨산색, 하얀색, 검정색의 여섯 가지 색상의 버켓 트랩을 사용한 색상 선발 실험 결과는 Figure 12에 나타내었다. 경기 가평에서는 노란색 트랩에 평균 7.66±2.33마리, 하얀색 트랩에 3.66±0.66마리, 초록색 트랩에 2.33±0.88마리, 파란색 트랩에 3.33±0.66마리, 검정색 트랩에서 1마리 그리고 빨간색 트랩에 1.66±0.33마리로 나타났다[Figure 12. (a)].

충남 공주에서 포획된 결과는 노란색 트랩에 평균 6±2.08마리, 하얀색 트랩에 2±1마리, 초록색 트랩에 2±0.57마리, 검정색 트랩에 1.66±0.66마리, 빨간색 트랩에 2±0.57마리 그리고 파란색 트랩에는 포획된 개채가 없었다[Figure 12. (b)].

2019년에 진행한 강원 양구에서의 포획 결과는 노란색 트랩에서 평균 4.8±1.31마리, 하얀색 트랩에 1.4±0.6마리, 초록색 트랩에 1.4±0.87마리, 검정색 트랩에 1.6±0.81마리, 빨간색 트랩에 0.8±0.2마리 그리고 파란색 트랩에는 포획된 개채가 없는 것으로 나타났다(Figure 13.). 색상별 트랩을 비교 실험 한 결과 모든 실험에서 노란색 트랩이 가장 좋은 유인력을 보였다.


(a)
Means number of insect caught per trap
12
10
8
6
4
2
0
a
ab
b
ab
b
b
Yellow
White
Green
Blue
Black
Red


(b)
Means number of insect caught per trap
10
8
6
4
2
0
a
ab
ab
b
ab
ab
Yellow
White
Green
Blue
Black
Red

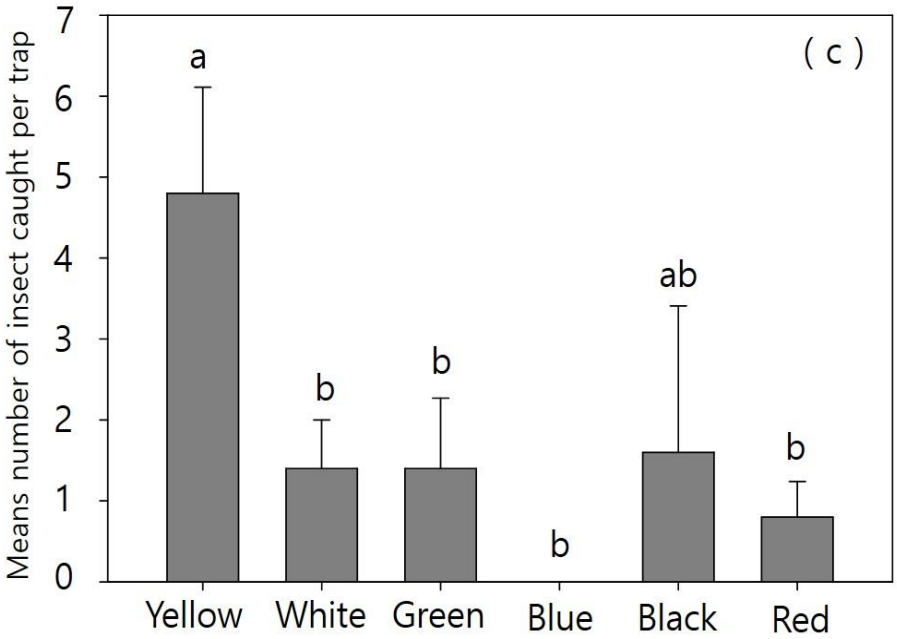


Figure 12. Number of male *Synanthedon bicingulata*'s caught at six different color traps. [Gapyeong, Gyeonggi-do provence, (a), 2018, Tukey's HSD, $F_{5,17}$=4.66, p = 0.013; Gongju, Chungcheongnam-do provence, (b), 2018, Tukey's HSD, $F_{5,17}$=3.659, p = 0.03; Yang-Gu, Gangwon-do provence, (c), 2019; Tukey's HSD, $F_{5,29}$=4.548, p = 0.005]

6. 색차계 분석 결과

가시광선 파장의 범위에서 각 트랩의 반사도는 Figure 13과 같다. 그중 색상 별 포획 실험에서 가장 좋은 효과를 보인 노란색의 파장 범위는 360 nm부터 750 nm 중 540 nm부터 710 nm까지의 범위에서 약 30% 이상의 반사도를 갖는 범위로 확인되었다. 파장 범위에 따른 각 색상의 반사도의 값은 부록2[2)]에 첨부하였다.

2) 부록 2. 가시광선 범위의 트랩 색상별 반사도 [Spectrum (%R)]

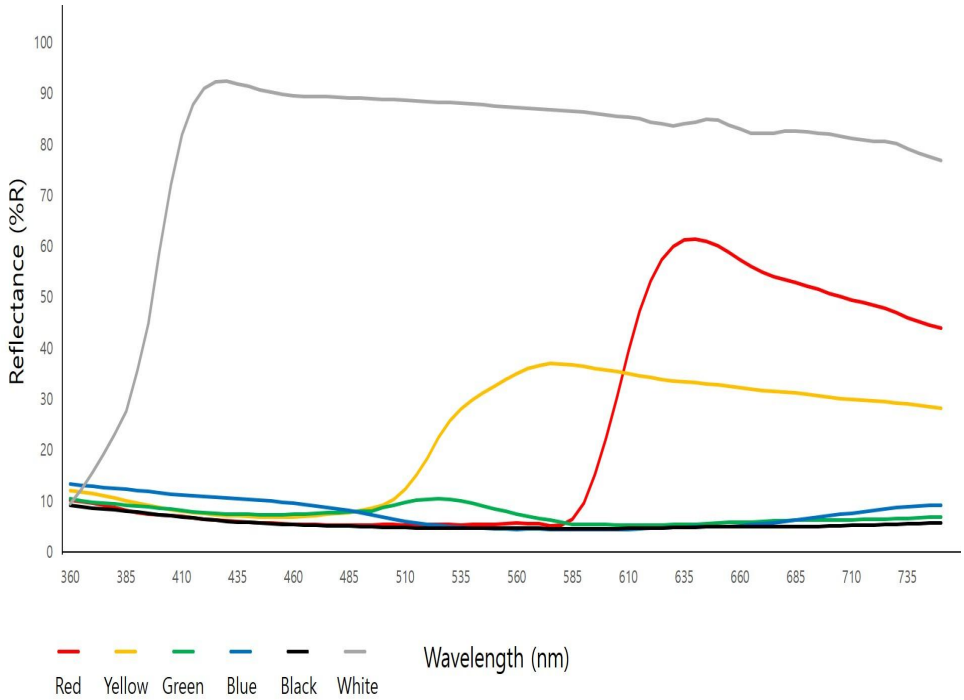


Figure 13. Reflectance rate of six color bucket traps.

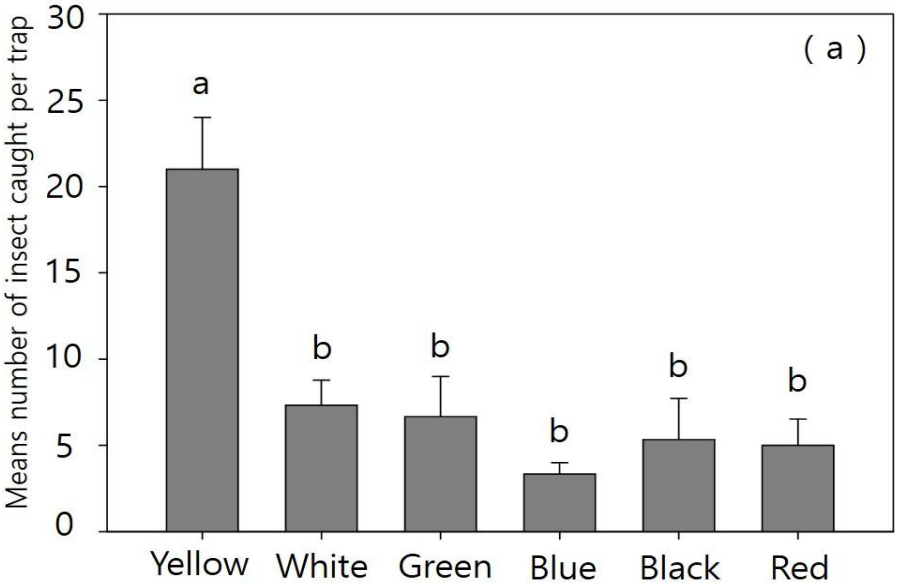
위의 반사도 값에서 색차계 분석을 통하여 나타난 각각의 색상은 Table 3의 L, a, b값을 가진다.

Table 3. Trap surface color values(L*a*b*) measured by chromameter

Name	L*	a*	b*
Red	41.2577	46.7066	21.4851
Yellow	59.2927	6.8836	45.8015
Green	33.4178	-11.2822	0.4692
Blue	27.6058	3.8195	-16.7984
Black	26.0313	1.4991	-4.2059
White	94.8931	-1.092	-1.8659

2018년과 2019년에 경기 가평, 충남 공주 그리고 강원 춘천의 데이터를

이원배치분산분석(two way-ANOVA)한 결과는 Figure 14에 나타내었다. 노란색 트랩에서 평균 21.0±3.0마리, 하얀색 트랩에 7.33±1.45마리, 초록색 트랩에 6.66±2.33마리, 파란색 트랩에 3.33±1.15마리, 검정색 트랩에 5.33±1.52마리 그리고 빨간색 트랩에 5.0±1.52마리로 나타났으며 색깔에 의한 포획력 차이는 나타났으나($F_{5,52}$=14.102, p < 0.0001), 지역간 차이는 나타나지 않았다($F_{5,52}$=2.766, p = 0.0722).



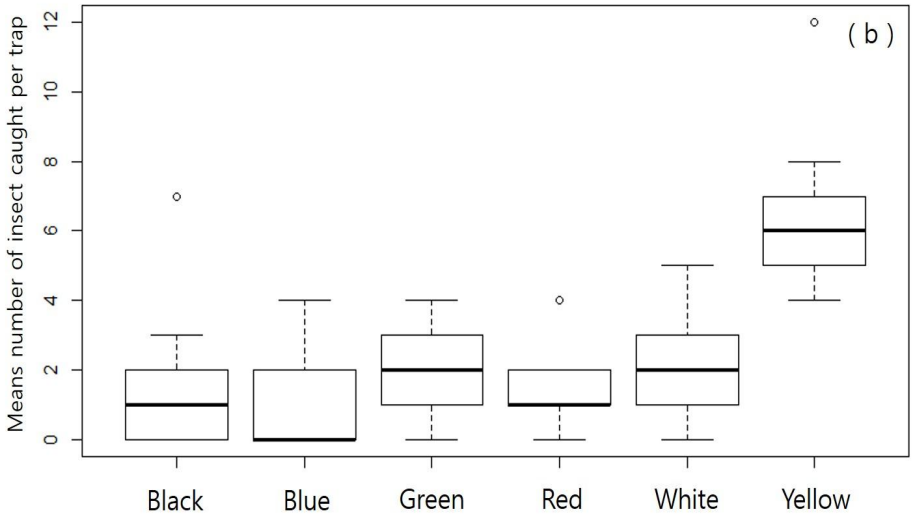


Figure 14. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at six difference color traps in Gapyeong, Gongju and Yang-Gu (a) and distribution by boxplot (b) (Tukey's HSD, $F_{5,30}$=7.889, $p < 0.0001$).

위의 결과를 바탕으로 각각의 L, a b값이 포획력과 어떤 차이를 나타내는지 알아보기 위해 Lab값과 개체수간 다중회귀분석 결과 y절편 1.84, Multiple R-squared = 0.519, $F_{3,56}$ = 20.15, p < 0.0001로 나타났으며 a와 b의 값에서 처리간 차이를 보였다. 따라서 ab값을 다시 분석한 결과 y절편 2.20, Multiple R-squared = 0.514, $F_{2,57}$ = 30.15, p < 0.0001로 나타났으며 처리간 차이를 보였다. 이후 L, a, b 값과 각각 선형회귀분석을 실시한 결과는 Figure 15에 나타내었다. L은 흑~백, a는 적~록 그리고 b는 황~청의 범위를 가진다. 개체수를 L, a, b 값과 선형회귀분석한 결과에서 분석간 차이를 보인 항목은 b값으로 나타났다. L값과의 선형회귀분석 결과 기울기는 0.030, y절편 1.08, Multiple R-squared = 0.085, $F_{1,58}$ = 5.437, p = 0.023으로 나타났다[Figure 15. (a)]. a값과의 분석 결과 기울기는 -0.010, y절편 2.57, Multiple R-squared = 0.005, $F_{1,58}$ = 0.33, p = 0.567로 나타났다[Figure 15. (b)]. b값의 분석 결과 기울기는 0.075, y절편 1.935, Multiple R-squared = 0.38, $F_{1,58}$ = 37.05, p < 0.0001 로 나타났다[Figure 15. (c)].

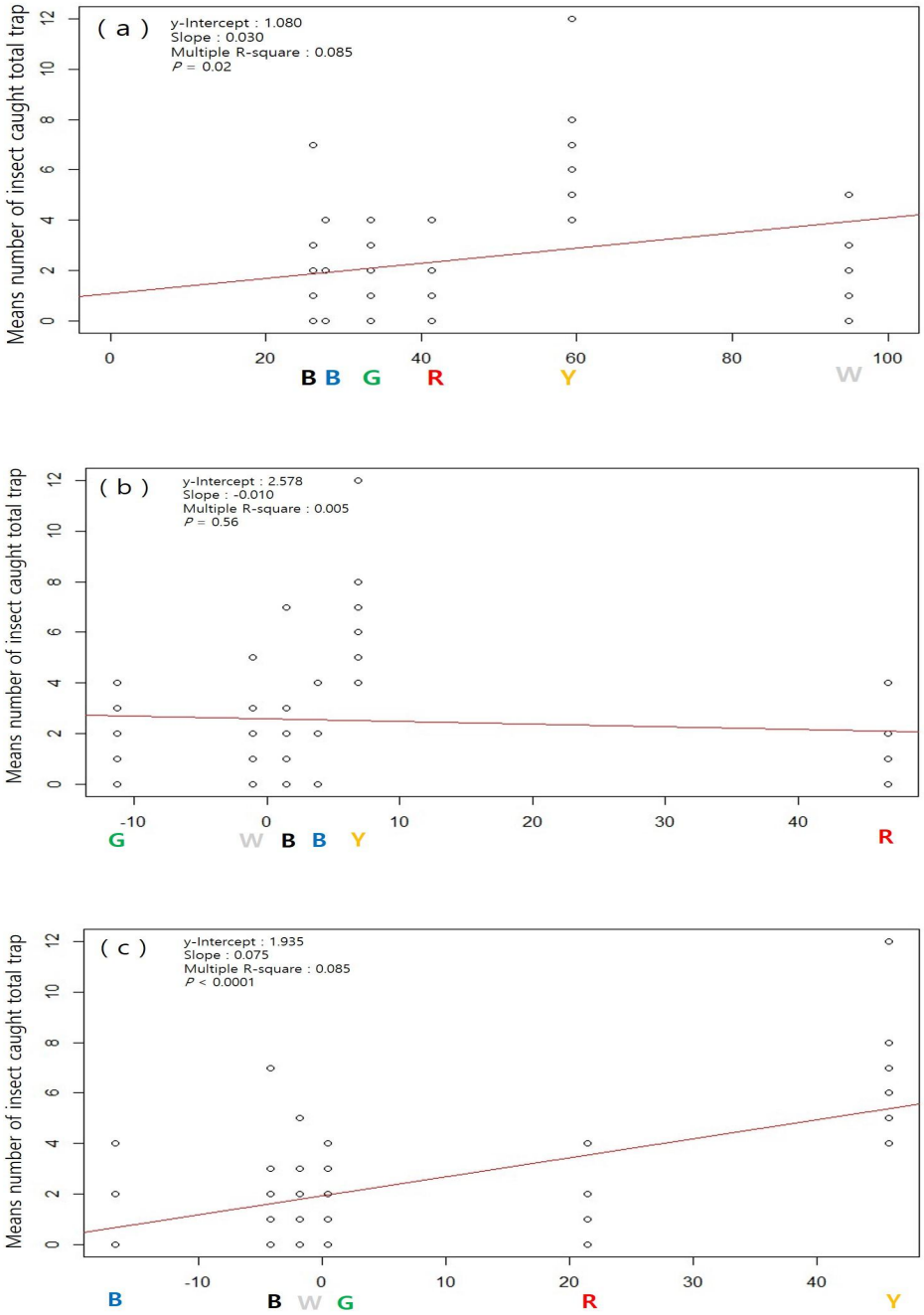
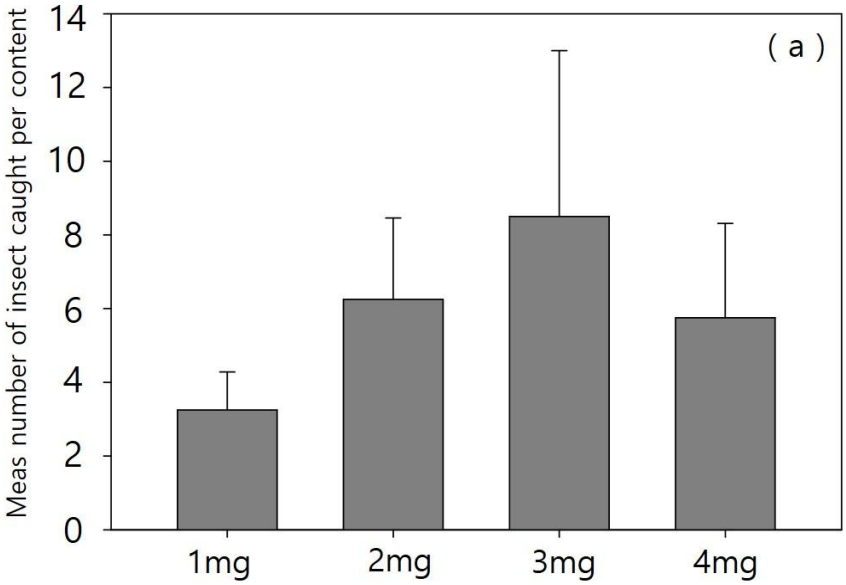


Figure 15. Linear regression model of male capture of six difference color trap for L (a), a (b), b (c).

7. 처리량별 실험

복숭아유리나방 성페로몬 루어의 처리 양별 방출 유인력을 비교한 결과는 Figure 16에 나타내었다. 경기 과천 지역에서 1 mg, 2 mg, 3 mg, 4 mg 처리한 평균과 표준오차는 각각 3.25±1.03마리, 6.25±2.21마리, 8.5±4.5마리, 5.75±2.56마리로 나타났으며[Figure 16. (a)] 충남 공주 지역에서 처리별 각각의 결과는 2.75±1.25마리, 8.5±3.61마리, 6.25±2.83마리, 5.5±3.09마리로 나타났다[Figure 16. (b)]. 경기 과천의 경우 3 mg에서 가장 많은 개체수가 포획되었고 공주의 경우 2 mg가 가장 많은 개체수가 포획되었으나 처리간의 차이가 없었다.



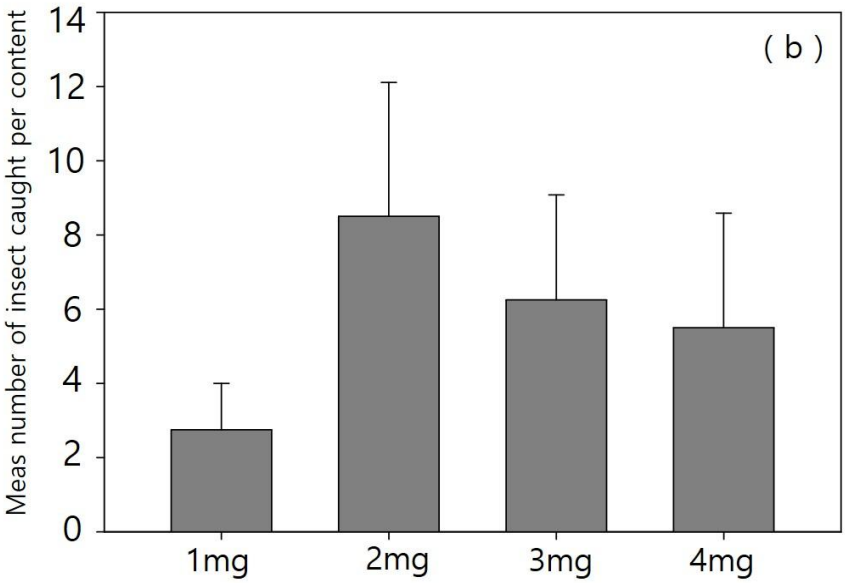


Figure 16. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at different amount of sex pheromone. Gwacheon, Gyeonggi-do provence, (a) and Gongju, Chungcheongnam-do provence, (b)

8. 시너지스트 물질 탐색

경기 가평에서 기주 휘발물질들의 페로몬에 대한 시너지 효과를 조사한 결과는 Figure 17과 같다. 페로몬만 처리한 트랩의 평균 포획수는 2.5±0.86마리, 페로몬과 benzaldehyde 조합은 4±2.34마리, 페로몬과 phenylacetaldehyde 조합은 0.75±0.75마리, 페로몬과 *Z*-3-hexenyl acetate 조합에서 7.75±1.71마리 그리고 페로몬과 γ-decalactone 조합에서 2±0.81마리가 포획되었다. *Z*-3-hexenyl acetate를 처리한 트랩에서 가장 많은 개체수가 포획되었고 phenylacetaldehyde를 처리한 트랩에서 가장 적은 개체수가 포획되어 *Z*-3-hexenyl acetate와 phenylacetaldehyde는 복숭아유리나방 성페로몬에 대하여 각각 시너지와 기피 효과가 있는 것으로 판단된다.

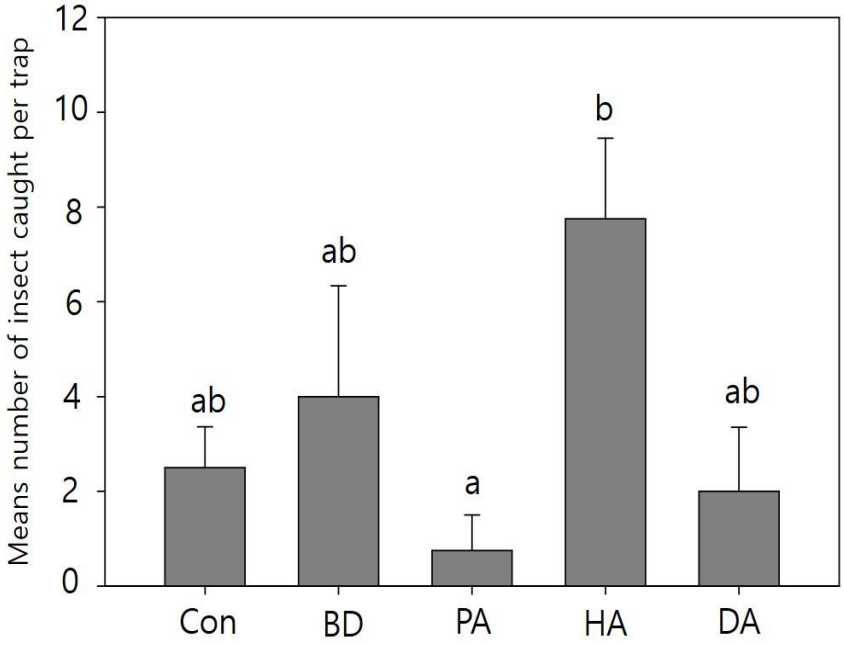
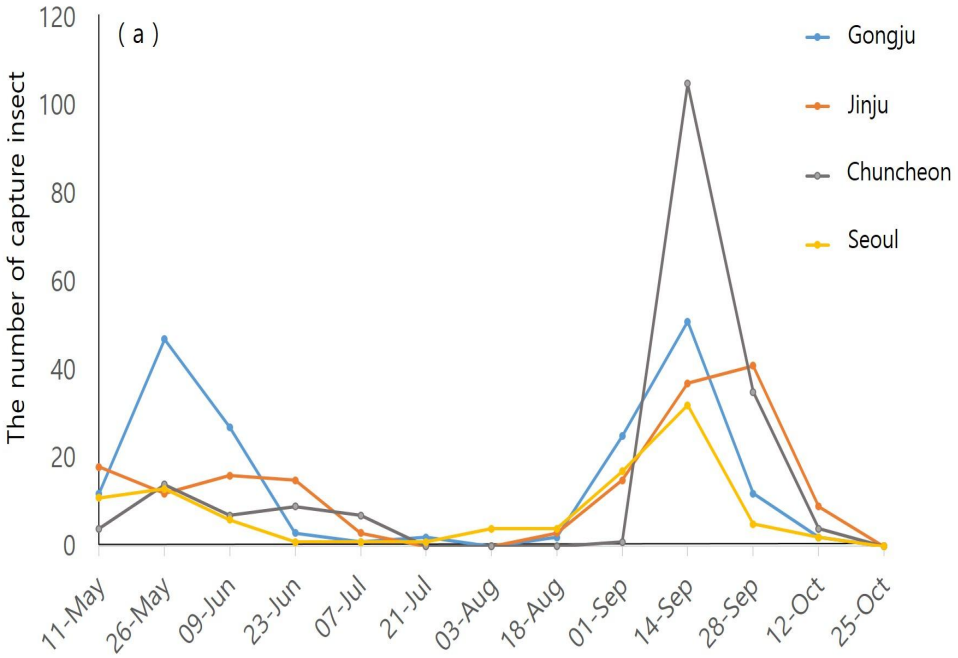


Figure 17. Number of male *Synanthedon bicingulata* adults caught at pheromone trap combined with different host volatiles(Gapyeong, Gyeonggi-do provence, Tukey's HSD, $F_{4,19}$=3.149, p = 0.046).

9. 우화소장 조사

복숭아유리나방 성페로몬 트랩을 이용하여 2017년과 2018년에 우화소장 조사 결과는 Figure 18과 같다. 포획된 개체수의 조사 결과 2017년 봄철 최초 발생 시기는 5월 1일 서울에서 발생하였다. 최대 개체수는 진주 18마리, 대전 47마리, 춘천 14마리 그리고 서울 관악구 13마리였다. 가을철 최초 발생은 서울에서 8월 16일로 나타났으며, 최대 발생 개체수는 진주 41마리, 대전 51마리, 춘천 105마리 그리고 관악구 32마리로 나타났다. 2018년 봄철 발생은 5월 4일 대전에서 관찰되었다. 최대 발생 수는 진주 49마리, 대전 34마리, 춘천 26마리, 서울 광진구 9마리 그리고 송파구 8마리 였으며, 가을철 최초 발생 8월 11일로 대전에서 조사되었다. 최대 발생 개체수는 진주 85마리, 대전 63마리, 춘천 81마리, 서울 광진구 41마리 그리고 송파구 37마리로 나타났다. 2017년 우화소장 조사 결과 봄철 발생기(5월 11일 ~ 6월 23일)의 평균 포획 개체수는 13.4마리로 나타났으며 가을철 발생기(9월 1일 ~ 10월 12일)의 평균 포획 개체수는 24.5마리로 가을철 발생개체수가 약 54% 더 많은 것으로 나타났으며, 2018년에는 봄철 발생기(5월 4일 ~ 6월 15일)의 평균 개체수는 16.7마리였고 가을철 발생기(8월 10일 ~ 9월 17일)의 발생 개체수는 평균 28.1마리로 가을철 발생개체수가 약 59% 더 많이 발생하였다. 성충은 연 2회 발생했으며 지역간의 발생 시기 차이는 거의 나타나지 않았다.



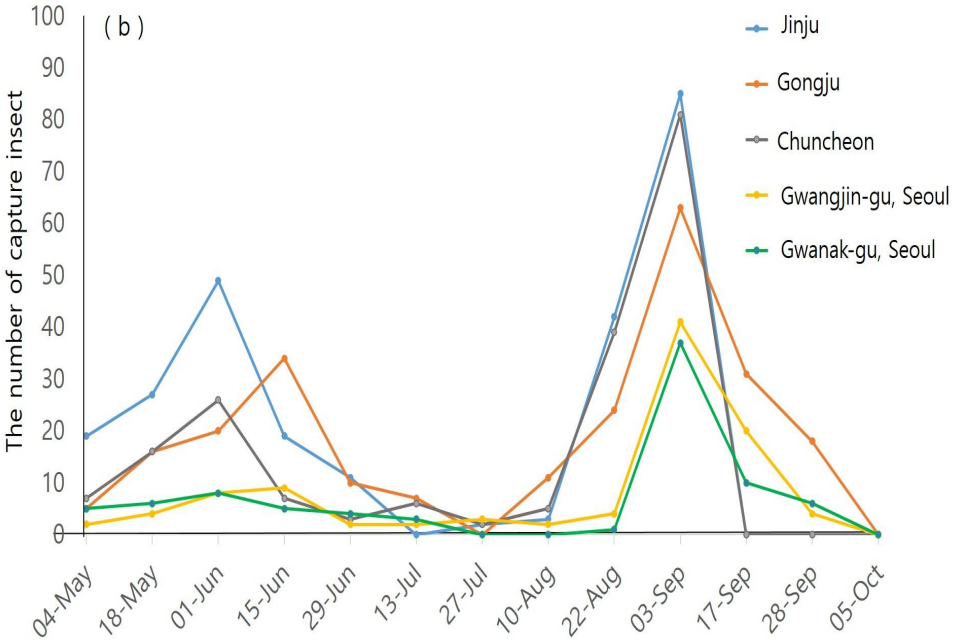
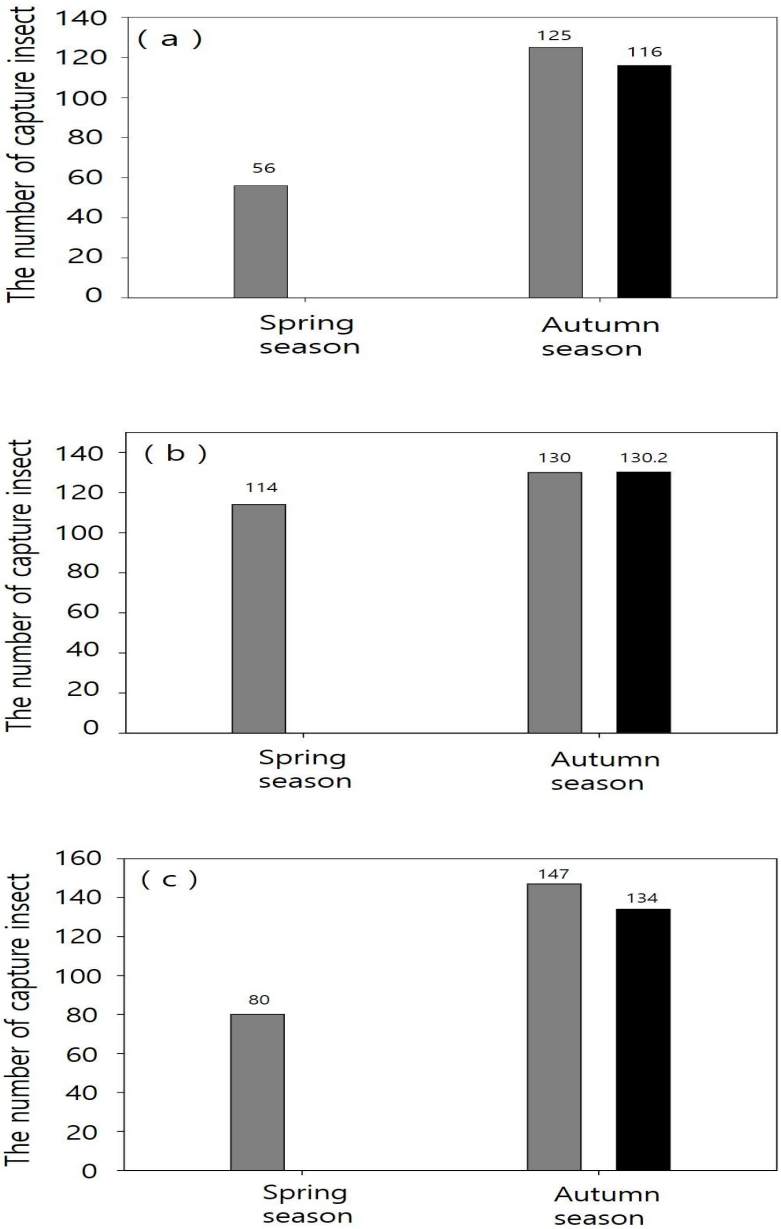


Figure 18. Seasonal occurrence of *Synanthedon bicingulata* male adult in 2017(a) and 2018(b).

10. 모델링 예측 결과

2018년의 우화소장 조사를 모델링을 통하여 예측한 결과는 Figure 19에 나타내었다. 춘천의 실제 조사된 개체수는 125마리 였으며 모델의 예측값은 116마리로 92.8%의 정확도를 가졌다[Figure 19 (a)]. 진주의 실제 조사된 개체수는 130마리로 나타났으며 모델의 예측값은 130마리로 100%의 정확도를 보였다[Figure 19 (b).] 대전의 실제 조사된 개체수는 147마리였으며 모델의 예측값은 134마리로 91.2%의 결과를 보였다 [Figure 19 (c)].



Fifure 19. Predict of *Synanthedon bicingulata* adult emerging scale to using model Chuncheon, Gangwon-do provence, (a); Jinju, Gyeongsangnam-do provence, (b); and Gongju, Chungcheongnam-do provence, (c). (Real capture : Gray, Predict : Black)

제 5 장 고찰

본 연구에서는 최근 가로수로 선호되는 벚나무에 큰 문제가 되고 있는 복숭아유리나방의 정확한 성충 발생 시기 파악 및 대량 포획을 통한 방제법 개발을 위해 성페로몬 트랩을 이용한 성충 발생 시기 모니터링 및 포획효율을 높이기 위한 페로몬 트랩 최적 조건을 개발하였다.

복숭아유리나방이 벚나무를 가해하는 특성의 파악을 위한 피해특성 조사에서 흉고직경에 따른 피해흔 수의 차이는 없었으나 높이별로는 차이가 나타나 지상부에서 50 cm이하의 범위에서 가장 집중적으로 피해가 나타났다. 광릉긴나무좀과 같은 딱정벌레류 천공성 해충의 경우도 지제부에 더 많은 피해를 준다는 보고가 있다(Lee et al. 2011). 이는 지제부에 상대적으로 많은 수피의 갈라짐, 외부 상처 등이 많아 천공이나 산란에 유리한 장소를 제공하기 때문 일 것이라 사료되며 추후 끈끈이롤트랩을 이용한 기계적 방제 시 대상 수목 50 cm이하의 높이를 대상으로 실시하는 것이 타당하다. 그러나 식재 밀도나 가로 경관 임분의 주변 환경에 따른 피해 특성에 관한 연구가 필요하다.

본 실험에 사용한 복숭아유리나방 성페로몬의 구성 성분인 (3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트와 (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트의 유기 합성은 Yamamoto 등이 (1989) 고안한 중간체를 활용하여 합성 하였으며 두 물질 모두 80% 이상의 순도를 보여 효과적인 합성법으로 판명되었다.

복숭아유리나방 성페로몬 구성 성분 간 최적 비율 선발은 페로몬 트랩 이용 연구에서 매우 중요하다. Yaginuma et al. (1976)은 일본 지역에서 (3*E*,13*Z*)와 (3*Z*,13*Z*) 5:5의 비율이 야외 유인력 시험에서 가장 우수한 효과를 가지며, 이어서 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6, 6:4의 순서로 유인력이 우수하다고 보고하였다. 그러나, 국내의 선행 연구에서는 상업적으로 구매한 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율이 유인력이 우수하다고 보고하였으며(Yang et al. 2011), 조영식(2016)등은 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 1:1 비율로

조성한 성페로몬을 사용하여 우화소장을 조사한 연구가 있다. 본 실험에서는 복숭아유리나방 성페로몬 2종을 직접 합성하여 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율 외에 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 8:2 그리고 9:1까지 다양한 조성 비율에서 실험을 진행한 결과, (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6의 비율이 유인력이 가장 우수하였다. 두 가지 물질의 페로몬의 조성 비율에 있어 일본의 선행연구와 국내의 연구에서의 차이는 두 페로몬 성분의 순도 차이, 지역적 격리 혹은 실험 시기의 시간적 괴리에 따른 변화로 볼 수도 있다. Boo and Jung (1998)의 연구에서 사과굴나방(Lepidoptera: Gracillrariidae) (*Phyllonorycter ringoniella*)의 경우 우수한 유인력을 나타내는 2가지 물질 (*Z*10-14:Ac), (*E*4,*Z*10-14:Ac)의 성페로몬 조성이 국내 조사에서는 4:6의 비율이 가장 우수한 유인력을 보였으나 일본에서는 10:3 중국에서는 7:3부터 6:4까지 우수한 유인력을 보인다고 보고하여 지리적 격리에 의한 성페로몬의 최적 비율이 차이가 나타났다. 페로몬 조성 비율간의 지역별 유인력 차이를 알아보기 위해 경남 진주, 충남 공주, 경기 가평, 강원 춘천 등의 지역별 비율 조합 시험을 한 결과, 모든 지역에서 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6 비율에서 가장 좋은 유인 효과를 얻었다. 양창열(2012)등은 수원지역에서 4:6의 비율을 사용하여 조사하였고, Yang et al. (2011)은 전주지역에서 4:6의 비율을 사용한 연구 보고가 있다. 따라서 국내 복숭아유리나방의 성페로몬 비율 조성에서 최적 비율은 (3*E*,13*Z*), (3*Z*,13*Z*) 4:6으로 지역에 관계없이 사용 가능 할 것으로 판단되었다.

복숭아유리나방의 친환경 방제나 우화소장 조사 실험에 사용하는 트랩의 형태에 대하여 Zhang et al. (2013)은 *Synanthedon scitula*를 대상으로 4종의 트랩을 비교하였으며, 국내에서는 주로 빨간색의 델타 트랩을 사용하여 실험을 진행하였고(양창열 외, 2012) 일부 윙 트랩이나 펀넬 트랩을 사용한 경우도 있었다(이규철 외, 2003; 조영식 외, 2016). 그러나 국내에서는 트랩 간 포획력을 비교한 연구가 미흡하여 본 실험에서는 우수한 포획력을 나타내는 트랩을 선발하기 위해 끈끈이를 사용하는 노란색의 델타 트랩과 초록색의 버켓 트랩을 비교하여 초록색 버켓 트랩을

선발하였다. Boo and Jung (1998)은 사과굴나방(*Phyllonorycter ringoniella*)을 대상으로 윙, 델타 water 트랩을 가지고 포획력 실험을 한 결과 처리 간 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 그리고 Kim and Park. (2013)은 회양목명나방(Lepidoptera: Pyralidae) (*Glophdoes perspectalis*)을 대상으로 델타, 버켓, 윙 트랩을 가지고 비교한 결과 버켓 트랩이 포획력이 우수하다고 보고하였다. 본 연구에서도 같은 페로몬을 쓰더라도 트랩종류에 따라 포획력에 차이가 있음을 알 수 있었으며, 델타 트랩보다는 버켓 트랩이 포획력이 우수하다는 것을 확인하였다.

페로몬 트랩 색상이 유인력에 영향을 미친다는 많은 보고가 있다(Clare et al. 2000; Roubos and Liburd, 2009; Francese et al. 2010; Abuagl and Al-Deeb, 2011; Zhang et al. 2013; Gadi and Reddy, 2014; Kerr et al. 2017). Abuagl and Al-Deeb (2011)은 *Rhynchophorus ferrugineus* (Curculionidae: Coleoptera)를 대상으로 4종의 색상별 버켓 트랩을 가지고 포획력의 차이를 비교한 보고하였으며, Gadi and Reddy (2014)는 버켓 트랩의 상, 중, 하단부의 색상을 달리하여 포획력의 차이를 비교하였다. Roubos et al. (2008)은 나비목의 해충인 *Vitacea polistiformis* (grape root borer)를 대상으로 버켓 트랩의 색상별 유인력을 조사하였고 Suckling et al. (2005)은 Synanthedon 속을 대상으로 델타 트랩의 색상별 유인력을 비교한 연구를 진행하였다. 선행 연구에 따라 트랩 형태 선발 시 색상도 고려해야할 사항으로 판단하였다. 본 연구에서는 복숭아유리나방 수컷 성충을 대상으로 버켓 트랩의 색상에 따른 포획력을 알아보고자 색상별 실험을 진행했다. 우선 노란색과 초록색의 버켓 트랩의 포획력을 비교한 결과, 노란색 버켓 트랩이 더 우수한 포획력을 나타내었다. 이후 노란색, 초록색, 하얀색, 검정색, 파란색, 빨간색 등 6개 색상을 가지고 수행한 실험에서도 노란색 버켓 트랩의 포획력이 가장 우수한 효과를 나타내는 것을 확인하였다.

색차계 분석을 이용하여 트랩 색상의 분광학적 분석을 통해 포획된 개체수를 바탕으로 색차계 분석의 항목인 L, a, b의 각각의 값이 포획력에 미치는 영향을 알아보기 위하여 항목별 선형회귀분석을 실시 한 결과

540 nm부터 710 nm까지 노란색의 영역을 포함하는 b (황색-청색)의 값에서 가장 높은 유의성을 나타내며 앞서 수행한 색상별 포획력 실험의 결과와 분광학적 분석의 결과가 같은 것을 나타내었다. 색상 선발 시험과 그의 결과에 따른 색차계 분석 결과를 통해 복숭아유리나방이 선호하는 반사된 파장의 영역이 가시광선 파장 540 nm내지 710 nm 범위의 노란색인 것을 알 수 있었다. 딱정벌레목에서 Francese et al. (2010)은 *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae)를 대상으로 도료에 따른 트랩 색상별 반사도를 측정하여 처리 간 차이를 보고하였다. Clare et al. (2000)은 꿀벌, 호박벌 그리고 토종벌을 대상으로 색상별 트랩 시험을 수행했을때 트랩 색상이 가시광선 영역에서 가지는 반사도에 따라 다른 동일한 벌 종이라도 다른 색상의 파장을 선호한다는 것을 보고하였다. 따라서 복숭아유리나방의 성페로몬 트랩을 이용한 친환경 방제를 실시 할 때, 노란색 버켓 트랩이 가장 좋은 포획력을 가지며 본 실험이 트랩의 선정에 있어 과학적 근거를 제공할 수 있었다.

복숭아유리나방 성페로몬 루어의 조성에 대하여 유인력을 높이기 위하여 실시한 성페로몬의 처리량별 유인력 비교 결과, 처리량 간 유인력의 차이는 없었으나 2 mg ~ 3 mg 사이에서 유인력이 가장 우수하였다. 후의 연구에서 성페로몬 유인력의 포화 농도를 찾는 실험을 진행하면 교미교란제 개발 시 적정농도에 대한 기초자료를 제공 할 수 있을 것으로 판단된다.

나무좀류(Coleoptera: Scolytidae)의 기주인 소나무의 휘발물질인 monoterpene류가 나무좀류 집합 페로몬에 시너지효과를 나타내어 유인효과를 높여 준다는 많은 보고가 있다(Saybold et al., 2006; McCarty et al. 1978; Miller and Borden, 2003; Poland et al. 2003, 2004; Seybold et al. 2006). 나비목 성페로몬에 대한 시너지스트 연구로는 Witzgall et al. (2001)이 *Cydia pomonella*를 대상으로 시너지스트 후보 물질을 선발하고 야외 유인력을 검정한 연구가 있다. 따라서 본 연구에서도 복숭아유리나방의 성페로몬에 대한 시너지스트를 선발하기 위해 기주식물로 알려진 벚나무속 유래 휘발성분들을 페로몬과 같이 처리하여 유인력을 확인

하였으며, *Z*-3-hexenyl acetate를 처리한 트랩이 더 많은 개체를 포획하였다. 본 연구 결과*Z*-3-hexenyl acetate는 페로몬과 같이 처리 하였을 때 발생 시기 모니터링 데이터의 정확성 혹은 포획 효율을 높일 수 있을 것으로 판단되었다.

또한 Andersson et al. (2011)의 연구에서 기주 휘발 물질이 아닌 비기주 휘발 물질이 *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae)의 기피 효과를 가지는 것을 보고하였다. 본 연구에서 phenylacetaldehyde이 페로몬 단독 처리한 포획량 보다 낮은 포획량을 보여 기피 활성을 가지는 것으로 분석되었다. Phenylacetaldehyde는 *Asclepias*속(국; 박주가리속)의 *Asclepias speciosa*의 주요 휘발 성분으로 Eby (2006)에서 *Synanthedon myopaeformis* Borkhausen (Lepidoptera: Sesiidae)의 암컷과 수컷을 유도하는 유도물질로서 보고되었다. 또한 phenylacetaldehyde와 *β*-myrcene과 같은 다른 휘발물질로 구성된 합성 유인 물질은 일부 밤나방과에 유인 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Landolt and Alfaro 2001; Landolt et al. 2007). 추후 phenylacetaldehyde를 이용하여 복숭아유리나방 “Push and Pull” 전략에 기피물질로 사용 가능 할 것으로 판단되었다.

복숭아유리나방의 연간 우화 소장 조사에서는 1년 1회 발생하며 5월부터 9월까지 성충이 발생한다고 알려져 있다(농촌진흥청 작목기술정보, 2019). 애기유리나방(*Synanthedon tenuis*) (조영식 외, 2016)과 사과유리나방(*Synanthedon haitangvora*) (양창열 외, 2012)의 경우에도 비슷한 출현 양상을 보이는 것으로 보고되었다. 그러나, 복숭아유리나방의 경우 조영식(2016)등의 연구에서 1년에 2번의 발생이 보고되었고 이홍수와 정부근(2011)의 경남 진주 매실에 발생하는 복숭아유리나방의 우화소장조사에서도 2번의 뚜렷한 발생이 보고되었다. 수원지역에서 복숭아유리나방 성충의 봄과 가을의 발생 최성기는 각 세대의 최대 발생기인 것으로 판단되며, 이 종들은 1년에 2세대를 경과하는 것으로 추정하는 보고가 있다(양창열 외, 2012). 본 연구의 결과에서도 복숭아유리나방 수컷 성충은 연 2회 발생하며 봄철 발생 규모보다 가을철 발생 규모가 더 큰 것으로

조사되었다. 봄철 발생 성충은 5월 초순부터 발생하여 개채가 포획되었으며 7월 초순까지 약 2개월간 채집되었으며 가을철 성충은 8월 초순부터 10월 중순까지 약 2개월간 발생되어 채집되었다. 따라서 선행 연구의 결과와 동일한 경향을 보이는 우화소장의 결과를 나타내었다. 최초 발생 시기는 2017년도 봄철과 가을철 모두 서울 지역으로 나타났으며 2018년에는 봄철과 가을철 모두 공주 지역으로 나타났다. 우화소장 조사 결과로 보아 지역에 따른 발생 시기의 차이는 없는 것으로 사료된다. 그러나 피해 벚나무를 조사한 결과 연중 두폭에 따른 다양한 발육 단계의 충태가 확인되어(서울대학교, 2018) 정확한 발생 세대수를 확인하기 위해서는 복숭아유리나방의 알부터 성충까지의 발육기간과 같은 생태적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

우화소장을 통해 포획된 개체를 기반으로 다음 세대에 대한 발생 규모를 예측할 때 복숭아유리나방의 생태적 특성에 대한 충분한 이해와 기상상태 등이 필요하다. 따라서 본 연구의 생태적 피해 특성 조사 자료를 기반으로 피해목을 진단하고 피해율을 산정하여 AI 기계학습 기반의 예측 모델을 개발 하였다. 복숭아유리나방의 첫 번째 포획된 개체수를 기반으로 예측모델을 이용하여 두 번째 발생 규모를 예측한 값과 실제 포획된 개체수 값을 비교한 결과 90% 이상의 높은 정확성을 나타내었다. 추후 개발된 예측 모델의 모델링을 통해 두 번째 발생하는 복숭아유리나방의 방제 규모를 설정하고 우화 소장 조사를 바탕으로 방제 시기의 설정이 가능할 것으로 판단되었다.

본 연구에서 진행한 실험들의 종합적 결과를 근거로서 복숭아유리나방의 친환경 방제 및 모니터링을 위해 아래와 같은 복숭아유리나방 성페로몬 트랩의 최적 조건을 선발하였다. 먼저 루어로서 복숭아유리나방 성페로몬의 조성은 (3*E*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트, (3*Z*,13*Z*)-옥타데카디에닐 아세테이트 4:6의 비율을 사용하고 그 처리량은 2 ~ 3 mg 사이로 선정하고 더 높은 유인력을 목표할 경우 시너지스트로*Z*-3-hexenyl acetate를 사용할 수 있다. 또한 트랩 선정은 가시광선의 영역 540 nm부터 710 nm의 반사도 영역을 갖는 노란색의 버켓 트랩을 사용할 때 가장

우수한 포획력을 나타낼 것이다. 방제 최적기는 봄철 발생기인 5월 초순부터 6월 중순까지와 가을철 발생기인 8월 초순부터 10월 중순까지로 설정하는 것이 효율적이라고 판단된다.

제 6 장 참고문헌

Aubert, C., & Milhet, C. (2007). Distribution of the volatile compounds in the different parts of a white-fleshed peach (Prunus persica L. Batsch). *Food Chemistry, 102*(1), 375-384.

Cho, Y.-S., Kim, J., Jang, S. A., & Park, C. G. (2016). Seasonal Occurrence Patterns of Synanthedon tenuis and S. bicingulata (Lepidoptera: Sesiidae) in Sweet Persimmon Orchards in the Southern Part of Korea. *Korean journal of applied entomology*, 297-301.

Clare, G., Suckling, D., Bradley, S., Walker, J., Shaw, P., Daly, J., . . . Wearing, C. J. N. Z. P. P. (2000). Pheromone trap colour determines catch of nontarget insects. *53*, 216-220.

Cornelius, M. L., Duan, J. J., & Messing, R. H. J. J. o. e. e. (2000). Volatile host fruit odors as attractants for the oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae). *93*(1), 93-100.

Cuevas, F. J., Moreno-Rojas, J. M., Arroyo, F., Daza, A., & Ruiz-Moreno, M. J. (2016). Effect of management (organic vs conventional) on volatile profiles of six plum cultivars (Prunus salicina Lindl.). A chemometric approach for varietal classification and determination of potential markers. *Food Chem, 199*, 479-484.

Eby, C., Gardiner, M. G. T., Gries, R., Judd, G. J. R., Khaskin, G., & Gries, G. (2013). Phenylacetaldehyde attracts male and female apple clearwing moths,Synanthedon myopaeformis, to inflorescences of showy milkweed,Asclepias speciosa. *Entomologia Experimentalis et Applicata, 147*(1), 82-92.

Eby, C. D. L. (2012). *Visual and olfactory cues used by the apple*

clearwing moth, Synanthedon myopaeformis (Lepidoptera: Sesiidae), to locate inflorescences of showy milkweed. Science: Biological Sciences Department, 박사학위논문.

Forno, I., Kassulke, R., & Day, M. J. B. C. (1991). Life cycle and host testing procedures for Carmenta mimosa Eichlin and Passoa (Lepidoptera: Sesiidae), a biological control agent for Mimosa pigra L.(Mimosaceae) in Australia. *1*(4), 309-315.

Francese, J. A., Crook, D. J., Fraser, I., Lance, D. R., Sawyer, A. J., & Mastro, V. C. (2010). Optimization of trap color for emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae). *J Econ Entomol, 103*(4), 1235-1241.

Gadi, N., & Reddy, G. V. P. (2014). Are Sweetpotato Weevils (Coleoptera: Brentidae) Differentially Attracted to Certain Colors? *Annals of the Entomological Society of America, 107*(1), 274-278.

Georgiev, G. (2005). Bioecological characteristics of Bracon intercessor Nees (Hymenoptera: Braconidae) as a parasitoid of the poplar clearwing moth, Paranthrene tabaniformis (Rott.) (Lepidoptera: Sesiidae) in Bulgaria. *Journal of Pest Science, 78*(3), 161-165.

Hardy, R. J. A. J. o. E. (1982). The biology and behaviour of currant borer moth, Synanthedon tipuliformis (Clerck)(Lepidoptera: Aegeriidae) in Tasmania. *21*(2), 103-109.

Horvat, R. J., Chapman Jr, G. W., Senter, S. D., Norton, J. D., Okie, W. R., Robertson, J. A. J. J. o. t. S. o. F., & Agriculture. (1992). Comparison of the volatile compounds from several commercial plum cultivars. *60*(1), 21-23.

Hoskovec, M., Kalinová, B., Konečný, K., Koutek, B., & Vrkoč, J. J. J. o. c. e. (1993). Structure-activity correlations among analogs of the currant clearwing moth pheromone. *19*(4), 735-750.

Judd, G. J. R., Gries, R., Aurelian, V. M., & Gries, G. (2012). 3Z, 13Z-octadecadienyl acetate: sex pheromone of the apple clearwing moth in British Columbia. *The Canadian Entomologist, 143*(3), 236-244.

Jurgens, A., Dotterl, S., & Meve, U. (2006). The chemical nature of fetid floral odours in stapeliads (Apocynaceae-Asclepiadoideae-Ceropegieae). *New Phytol, 172*(3), 452-468.

Kerr, J. L., Kelly, D., Bader, M. K., & Brockerhoff, E. G. (2017). Olfactory Cues, Visual Cues, and Semiochemical Diversity Interact During Host Location by Invasive Forest Beetles. *J Chem Ecol, 43*(1), 17-25.

Kwon, J. J. (2014). Development of a pheromone-based attract and kill formulation with visual cues to target the diurnally active apple clearwing moth, Synanthedon myopaeformis (Borkhausen),(Lepidoptera: Sesiidae).

Lee, C.-M., Bae, Y.-S., & Arita, Y. J. J. o. A.-P. E. (2004). Morphological description of Synanthedon bicingulata (Staudinger, 1887) in life stages (Lepidoptera, Sesiidae). *7*(2), 177-185.

Lee, K., & Park, C. J. K. J. o. A. E. (2003). Seasonal occurrence of smaller clearwing moth, Synanthedon tenuis in sweet persimmon orchards.

Levi-Zada, A., Ben-Yehuda, S., Dunkelblum, E., Gindin, G., Fefer, D., Protasov, A., . . . Mendel, Z. (2011). Identification and field bioassays of the sex pheromone of the yellow-legged clearwing Synanthedon vespiformis (Lepidoptera: Sesiidae). *Chemoecology, 21*(4), 227-233.

Matsumoto, K., Nakamuta, K., & Nakashima, T. (2017). Mating

disruption controls the cherry tree borer,Synanthedon hector(Butler) (Lepidoptera: Sesiidae), in a steep orchard of cherry trees. *Journal of Forest Research, 12*(1), 34-37.

Mohamed Abuaglala, A., & Al-Deeb, M. A. J. J. o. I. S. (2012). Effect of bait quantity and trap color on the trapping efficacy of the pheromone trap for the red palm weevil, Rhynchophorus ferrugineus. *12*(1), 120.

Montero-Prado, P., Bentayeb, K., & Nerin, C. (2013). Pattern recognition of peach cultivars (Prunus persica L.) from their volatile components. *Food Chem, 138*(1), 724-731.

Moreira, G. R. P., Gorbunov, O. G., Fochezato, J., & Goncalves, G. L. (2019). A peculiar new species of gall-inducing, clearwing moth (Lepidoptera, Sesiidae) associated with Cayaponia in the Atlantic Forest. *Zookeys, 866*, 39-63.

Naka, H., Horie, Y., Mochizuki, F., Vang, L. V., Yamamoto, M., Saito, T., . . . Ando, T. (2008). Identification of the sex pheromone secreted by Synanthedon hector (Lepidoptera: Sesiidae). *Applied Entomology and Zoology, 43*(4), 467-474.

Nielsen, D. G., & Purrington, F. F. J. J. o. C. E. (1980). Lesser peachtree borer: Influence of pheromone concentration, isomeric blend, and experimental design on trap capture. *6*(2), 361-369.

Pino, J. A., & Quijano, C. E. (2012). Study of the volatile compounds from plum (Prunus domestica L. cv. Horvin) and estimation of their contribution to the fruit aroma. *Food Science and Technology, 32*(1), 76-83.

Roubos, C. R., & Liburd, O. E. (2008). Effect of Trap Color on Captures of Grape Root Borer (Lepidoptera: Sesiidae) Males and Non-Target Insects. *Journal of Agricultural and Urban Entomology, 25*(2), 99-109.

Scott, R. R., & Harrison, R. A. (1979). The biology and life history of currant clearwing,Synanthedon tipuliformis(Lepidoptera: Sesiidae), in Canterbury. *New Zealand Journal of Zoology, 6*(1), 145-163.

Sharp, J., McLaughlin, J., James, J., Eichlin, T., & Tumlinson, J. J. F. E. (1978). Seasonal occurrence of male Sesiidae in north central Florida determined with pheromone trapping methods. 245-250.

Suckling, D. M., Gibb, A. R., Burnip, G. M., Snelling, C., de Ruiter, J., Langford, G., & El-Sayed, A. M. (2005). Optimization of pheromone lure and trap characteristics for currant clearwing, Synanthedon tipuliformis. *J Chem Ecol, 31*(2), 393-406.

Suk-Ku Kang, S.-K. P. (1988). Stereoselective_Synthesis_of_(Z,Z)-3,13-Octadecadien-1-yl_Acetate,_and_Its_(E,Z)-Isomer,_the_Sex_Pheromone_of_the_Cherry_Tree_Borer,_Synanthedon_hector_Butler. *Korean Chemical society, 9*(3).

Voerman, S., Persoons, C., & Priesner, E. J. J. o. c. e. (1984). Sex attractant for currant clearwing mothSynanthedon tipuliformis (Clerck)(Lepidoptera: Sesiidae). *10*(9), 1371-1376.

Wang, Y., Yang, C., Li, S., Yang, L., Wang, Y., Zhao, J., & Jiang, Q. (2009). Volatile characteristics of 50 peaches and nectarines evaluated by HP-SPME with GC-MS. *Food Chemistry, 116*(1), 356-364.

Yamamoto, A., Ishihara, T., Fukumoto, T. J. A., & chemistry, b. (1989). Improved synthesis of (3Z, 13Z)-and (3E, 13Z)-3, 13-octadecadienyl acetate, sex pheromone of the Synanthedon species. *53*(1), 285-287.

Yang, C. Y., Kim, S. J., & Lee, S. G. (2011). Identification and field

evaluation of the sex pheromone of Synanthedon bicingulata (Staudinger). *J Chem Ecol, 37*(4), 398-402.

Yang, C. Y., Kim, S. J., Yang, S. J., & Cho, M. R. (2012). Seasonal Adult Occurrence of Four Clearwing Moths in Suwon Orchards. *Korean journal of applied entomology, 51*(4), 443-447.

Zhang, A., Leskey, T. C., Bergh, J. C., & Walgenbach, J. F. (2005). Sex pheromone of the dogwood borer, Synanthedon scitula. *J Chem Ecol, 31*(10), 2463-2479.

Zhang, A., Leskey, T. C., Bergh, J. C., & Walgenbach, J. F. (2013). Sex pheromone dispenser type and trap design affect capture of dogwood borer. *J Chem Ecol, 39*(3), 390-397.

Bergh, J. C., Leskey, T. C., Walgenbach, J. F., Klingeman, W. E., Kain, D. P., &Zhang, A. (2009). Dogwood borer (Lepidoptera: Sesiidae) abundance and seasonal flight activity in apple orchards, urban landscapes, and woodlands in five eastern states. Environmental entomology, 38(3), 530-538.

Frank, D. L., Leskey, T. C., &Bergh, J. C. (2010). Development of a rearing methodology for the dogwood borer (Lepidoptera: Sesiidae). Annals of the Entomological Society of America, 103(1), 50-56.

Naka H., Horie Y., Mochizuki F., Vang L. V., Yamamoto M., Saito T., Watarai T., Tsuchida K., Arita Y., Ando T. (2008). Identification of the sex pheromone secreted by Synthedon hector (Lepidoptera: Sesiidae). Applied Entomology and Zoology 43(4): 467～474.

Riedl, H., Weires, R. W., Seaman, A., &Hoying, S. A. (1985). Seasonal biology and control of the dogwood borer, *Synanthedon scitula* (Lepidoptera: Sesiidae) on clonal apple rootstocks in New York.

The Canadian Entomologist, 117(11), 1367-1377.

JUNG, K. S. B. a. C. H. (1988). Field tests of synthetic sex pherom of the apple learminer moth, Phyllonoorycter ringoniella. *Journal of Chemical Ecology, 24*(12).

Kim, J., & Park, I.-K. (2013). Female sex pheromone components of the box tree pyralid, Glyphodes perspectalis, in Korea: Field test and development of film-type lure. *Journal of Asia-Pacific Entomology, 16*(4), 473-477.

Lee, H.-S., & Chung, B.-K. (2011). Occurrences of Major Pests in Japanese Apricot, Prunus mume Siebold & Zucc. in Gyeongnam Province. *Korean journal of applied entomology, 50*(1), 21-27.

Lee, H. R., Lee, S. C., Lee, D. H., Jung, M., Kwon, J. H., Huh, M. J., . . . Park, I. K. (2018). Identification of Aggregation-Sex Pheromone of the Korean Monochamus alternatus (Coleoptera: Cerambycidae) Population, the Main Vector of Pine Wood Nematode. *J Econ Entomol, 111*(4), 1768-1774.

YAGINUMA, K., Kumakura, M., Tamaki, Y., Yushima, T., Tumlinson, J. J. A. e., & zoology. (1976). Sex Attractant for the Cherry Tree Borer, Synanthedon hector BUTLER: Lepidoptera: Sesiidae. *11*(3), 266-268.

Yutaka A., (1994). The clearwing moths of Japan(Lepidoptera: Sesiidae). Holarctic Lepidopteta, 1, 69-81.Andersson, M. N., Binyameen, M., Sadek, M. M., & Schlyter, F. (2011). Attraction modulated by spacing of pheromone components and anti-attractants in a bark beetle and a moth. *J Chem Ecol, 37*(8), 899-911.

Miller, D. R., Asaro, C., Crowe, C. M., & Duerr, D. A. J. J. o. e. e. (2011). Bark beetle pheromones and pine volatiles: attractant

kairomone lure blend for longhorn beetles (Cerambycidae) in pine stands of the southeastern United States. *104*(4), 1245-1257.

Peter Witzgall, M. B., Stefan Rauscher , Ilme Liblikas, Anna-Carin Bäckman, Miryan Coracini, Peter Anderson & Jan Löfqvist. (2001). Identification of further sex pheromone synergists in the codling moth, Cydia pomonella. *Entomologia Experimentalis et Applicata, 101*, 131-141.

Ranger, C. M., Reding, M. E., Schultz, P. B., & Oliver, J. B. J. E. e. (2012). Ambrosia beetle (Coleoptera: Curculionidae) responses to volatile emissions associated with ethanol-injected Magnolia virginiana. *41*(3), 636-647.

Seybold, S. J., Huber, D. P. W., Lee, J. C., Graves, A. D., & Bohlmann, J. (2006). Pine monoterpenes and pine bark beetles: a marriage of convenience for defense and chemical communication. *Phytochemistry Reviews, 5*(1), 143-178.

Xie, S. A., & Lv, S. J. J. E. S. (2013). Effect of different semiochemicals blends on spruce bark beetle, I ps typographus (C oleoptera: S colytidae). *16*(2), 179-190.

Andersson, M. N., Binyameen, M., Sadek, M. M., & Schlyter, F. (2011). Attraction modulated by spacing of pheromone components and anti-attractants in a bark beetle and a moth. *J Chem Ecol, 37*(8), 899-911.

Leo Breiman. (1994). Bagging Predictors. *Technical Report,* 421.

Leo Breiman. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5 - 32

이재우. (2015). 왕벚나무의 벚나무빗자루병과 복숭아유리나방에 대한 피해 분석 및 친환경 방제에 관한 연구. 경상대학교. 박사학위논문.

양창열, 김성종, 양상진, 조명래. (2012). 수원지역 과수원에 발생하는 유리나방류 4종의 성충 발생소장. 한국응용곤충학회지. 51(4), 443-447.

조영식, 김준헌, 장신애, 박정규. (2016). 남부지방 단감원에서 애기유리나방과 복숭아유리나방의 발생소장. 한국응용곤충학회지. 55(3), 297-301.

이홍수, 정부근. (2011). 경남지역 매실에 발생하는 주요해충의 발생소장. 한국응용곤충학회지, 50(1), 21-27.

산림청. (2019). 임업통계연보. 산림청.

농촌진흥청. (2019). 작목기술정보. 농촌진흥청

제 7 장 부록

부록 1. 예측 모델 알고리즘의 소스코드

```
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
import numpy as np
import pdb
from sklearn.metrics import mean_squared_error
from pandas import DataFrame
fp = open('dataset','r')

x = []
y = []
while True:

    line = fp.readline()

    if line == '':
        fp.close()
        break

    line = np.array(line.split(','))

    line = line.astype(np.float32)

    x.append(line[:-1])
    y.append(line[-1])

x = np.array(x)
y = np.array(y)
```

```
testset_ratio = int(len(x)*0.85)

train_x = x[:testset_ratio]
train_y = y[:testset_ratio]

test_x = x[testset_ratio:]
test_y = y[testset_ratio:]

regressor =
RandomForestRegressor(max_depth=10,random_state=0,n_estimators=25)

regressor.fit(train_x,train_y)
pred_train = regressor.predict(train_x)
pred_test = regressor.predict(test_x)




yy = regressor.predict(x)
df =
DataFrame({'C1survey1':x[:,0],'C1survey2':x[:,1],'C1survey3':x[:,2],'C1s
urvey4':x[:,3],'MayTemp.high':x[:,4],'MayTemp.low':x[:,5],'JuneTemp.hi
gh':x[:,6],'JuneTemp.low':x[:,7],'TreeNumber':x[:,8],'ProbabillityOfDama
ge':x[:,9],'PlZInputZero':y,'output':yy})

mse = mean_squared_error(test_y,pred_test)
print(mse)
df.to_excel('output.xlsx',sheet_name='sheet1',index=False)
```

부록 2. 가시광선 범위의 트랩 색상별 반사도 [Spectrum (%R)]

Wave (nm)	Red	Yellow	Green	Blue	Black	White
360	10.26	12.12	10.42	13.42	9.25	9.48
365	9.91	11.79	10.08	13.11	8.93	12.39
370	9.58	11.43	9.82	12.86	8.67	15.63
375	9.19	11.03	9.6	12.65	8.45	19.22
380	8.75	10.58	9.41	12.47	8.26	23.22
385	8.23	10.09	9.19	12.35	8.07	27.65
390	7.79	9.64	9.03	12.11	7.88	35.54
395	7.51	9.19	8.84	11.85	7.62	44.8
400	7.37	8.77	8.63	11.59	7.37	58.98
405	7.18	8.37	8.4	11.38	7.13	72.06
410	7.01	8.04	8.16	11.2	6.91	81.84
415	6.74	7.78	7.94	11.02	6.69	87.84
420	6.49	7.56	7.77	10.86	6.46	91.03
425	6.31	7.37	7.63	10.73	6.25	92.27
430	6.13	7.22	7.5	10.6	6.07	92.36
435	5.98	7.09	7.42	10.49	5.93	91.9
440	5.88	7.01	7.38	10.35	5.81	91.35
445	5.77	6.93	7.36	10.17	5.69	90.77
450	5.69	6.87	7.35	10	5.59	90.23
455	5.59	6.83	7.37	9.83	5.49	89.83
460	5.5	6.87	7.4	9.63	5.39	89.58
465	5.43	7.01	7.49	9.38	5.3	89.45
470	5.39	7.21	7.59	9.09	5.22	89.39
475	5.35	7.4	7.68	8.77	5.18	89.37
480	5.34	7.63	7.79	8.47	5.14	89.3
485	5.34	7.79	7.91	8.11	5.11	89.18
490	5.34	8.17	8.03	7.72	5.05	89.08
495	5.35	8.58	8.09	7.31	4.98	88.97
500	5.37	9.24	8.68	6.87	4.92	88.87
505	5.37	10.36	9.21	6.45	4.86	88.76
510	5.35	12.3	9.72	6.06	4.82	88.67
515	5.39	15.12	10.14	5.72	4.78	88.53
520	5.42	18.42	10.39	5.44	4.75	88.4

525	5.39	22.4	10.46	5.22	4.73	88.31
530	5.38	25.81	10.33	5.03	4.7	88.21
535	5.35	28.09	10.03	4.87	4.68	88.13
540	5.41	29.77	9.6	4.74	4.65	87.96
545	5.46	31.2	9.08	4.64	4.65	87.76
550	5.5	32.51	8.52	4.57	4.65	87.51
555	5.55	33.8	7.97	4.52	4.66	87.32
560	5.65	34.99	7.48	4.48	4.68	87.19
565	5.55	35.98	7.04	4.5	4.71	87.09
570	5.6	36.65	6.63	4.5	4.69	87
575	5.21	36.96	6.24	4.47	4.63	86.85
580	5.27	36.95	5.87	4.46	4.59	86.69
585	6.49	36.72	5.44	4.46	4.54	86.5
590	9.57	36.43	5.47	4.45	4.53	86.31
595	15.19	36.08	5.41	4.45	4.55	86.07
600	22.28	35.75	5.36	4.43	4.58	85.82
605	30.34	35.4	5.35	4.43	4.59	85.57
610	39.41	35.01	5.3	4.46	4.64	85.4
615	47.32	34.64	5.28	4.54	4.71	85.09
620	53.25	34.25	5.28	4.64	4.74	84.41
625	57.43	33.92	5.33	4.72	4.76	84.05
630	60.01	33.62	5.39	4.8	4.82	83.67
635	61.24	33.41	5.44	4.9	4.87	83.99
640	61.45	33.24	5.5	4.96	4.91	84.36
645	61	33.05	5.58	5.02	4.93	84.97
650	60.09	32.85	5.71	5.05	4.93	84.83
655	58.8	32.57	5.8	5.04	5	83.83
660	57.37	32.23	5.83	5.19	5.01	83.08
665	56	31.94	5.89	5.4	5.03	82.23
670	54.91	31.69	6	5.58	5.03	82.18
675	54.05	31.54	6.08	5.79	5.01	82.17
680	53.44	31.37	6.17	6.02	4.97	82.64
685	52.89	31.22	6.25	6.27	4.95	82.61
690	52.23	30.92	6.33	6.52	4.99	82.43
695	51.55	30.65	6.32	6.81	5.06	82.24
700	50.78	30.36	6.27	7.11	5.09	81.98
705	50.11	30.1	6.27	7.41	5.15	81.59
710	49.46	29.9	6.33	7.66	5.22	81.13
715	48.94	29.77	6.37	7.93	5.28	80.84

720	48.36	29.68	6.41	8.16	5.33	80.64
725	47.83	29.48	6.45	8.42	5.43	80.55
730	47.05	29.28	6.56	8.71	5.47	80.18
735	45.96	29.02	6.65	8.88	5.55	79.15
740	45.21	28.74	6.75	9.03	5.61	78.3
745	44.54	28.49	6.83	9.14	5.66	77.54
750	43.93	28.26	6.92	9.23	5.72	76.85

Abstract

Research on optimization of control and monitoring method for *Synanthedon bicingulata* (Lepidoptera: Sesiidae)by using sex pheromone trap

Kwon Jun Hyeong
Major in Forest Environmental Science
Department of Forest Science
The Graduate school
Seoul National Unicersity

I investigated the characteristics of damage and seasonal occurrence of cherry tree borer (Sesiidae: *Synanthedon bicingulata*) using pheromone trap, and developed the machine learning model to predict the secondly occurred population size of cherry tree borer based on the firstly occurred population size. Two sex pheromone compounds, (3*E*,13*Z*)-3,13-octadecadienyl acetate (3*E*,13*Z*) and (3Z,13Z)-3,13-octadecadieny acetate (3*Z*,13*Z*), were synthesized in the laboratory to determine the optimal ratio and dose. Synergistic effect of volatile compounds of host plant on sex pheromone was also

investigated. To find out the effect of trap type and color on male capture of cherry tree borer, I compared to efficacy of two different trap types and six trap colors.

There was no relationship between the diameter of cherry blossom tree and degree of damage. Most damage of cherry blossom tree by cherry tree borer was found below 50 cm from the ground. Optimal sex pheromone ratio of 3*E*,13*Z* and 3*Z*,13*Z* was 4:6. Optimal ratio of 3*E*,13*Z* and 3*Z*,13*Z* was showed same result in Jinju, Gongju, Chuncheon, and Gapyeong. When I compared the male capture of two different pheromone traps, more males were attracted to bucket trap than delta trap. There was a significant difference in trap capture among trap colors. More males were attracted to yellow bucket trap compared to green, white, blue, black and red bucket traps. When I analyzed the relationship between trap capture and trap surface color values (L*a*b*), there was a positive relationship between trap capture and b value. To determine the optimal pheromone dose, I investigated male trap capture of different pheromone doses (1, 2, 3, and 4 mg/septum). Although there was no significant difference in male trap capture, 2 and 3 mg/septum attracted more males compared with 1 and 4 mg pheromone doses. I selected four host volatile compounds such as benzaldehyde, phenylacetaldehyde, *Z*-3-hexenyl acetate, and γ-decalactone to investigate the synergistic effect of host volatile compounds on sex pheromone of cherry tree borer. Traps treated with sex pheromone and Z-3-hexenyl acetate attracted more males than treated pheromone alone. This results indicated the synergistic effect of Z-3-hexenyl acetate on sex pheromone of cherry tree borer.

When I investigated seasonal occurrence of cherry tree borer using pheromone trap, this insect showed two peak times a year. The first peak time was from early May to early July, and second peak time was from early August to mid-October. Population size of secondly

occurred cherry tree borer was 1.5 times the size of firstly occurred cherry tree borer. Although there was two peak times in seasonal occurrence of cherry tree borer, this insect might have one generation per year. When I investigated the developmental stage of this insect pest in autumn, I found several mixed developmental stages.
To know the population size of insect pest is very important for planning a management strategy. Cherry tree borer occurred two times a year in our study. I developed a machine learning model to predict the secondly occurred population size of cherry tree borer based on the firstly occurred population size. I investigated the accuracy of this model at three different sites in 2018, and mean accuracy rate of this model was 94.6%. Our results indicated that this model could supply valuable information for planing a management strategy against cherry tree borer.
In this study, optimal pheromone ratio, dose, trap type and trap color was determined to use pheromone traps for monitoring and control of cherry tree borer. Furthermore, I found out the synergistic effect of host volatile compound, Z-3-hexenyl acetate, on sex pheromone. Our result can supply valuable information to use pheromone traps for monitoring and control of cherry tree borer. For future study, mating disruption by using sex pheromone is necessary. In addition, research on antenna sensilla structure and olfactory receptors could provide more valuable information for cherry tree borer control using pheromone and pheromone trap in field.

key word : Synanthedon bicingulata, Sex pheromone trap, monitoring, Control method, Machine learing
Student number : 2018-27084