

북방수염하늘소(딱정벌레목: 하늘소과)의 성적 성숙에 따른 포획 효율의 변화

정종국^{1*} · 권혁준^{1,2} · 김 황^{1,3} · 김준현¹ · 남영우¹ · 김동수¹ · 정찬식^{1,4}

¹국립산림과학원 산림병해충연구과, ²(주)유에프씨, ³국립생태원 멸종위기종복원센터, ⁴산림청 남북산림협력사업단

Changes in Catch Rate of *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) Relation to Sexual Maturation

Jong-Kook Jung^{1*}, Hyeokjun Kwon^{1,2}, Hwang Kim^{1,3}, Junheon Kim¹, Youngwoo Nam¹, Dongsoo Kim¹ and Chansik Jung^{1,4}

¹Division of Insect Pests and Disease, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

²Urban Forest Clinic Inc., Boryeong 33455, Korea

³Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology, Youngyang 36531, Korea

⁴Inter-Korean forest cooperation Division, Korea Forest Service, Daejeon 35208, Korea

ABSTRACT: In this study, we aimed to investigate the changes in the catch rate of *Monochamus saltuarius*, based on sexual maturation by using aggregation-sex pheromone traps. Ovariole development of caught *M. saltuarius* females was compared to that of the ones not caught using traps. In a mesh cage set up at the Hongneung experimental forest, we placed a multi-funnel trap with or without an aggregation-sex pheromone lure. *M. saltuarius* adults, which emerged from pine logs, were grouped in four according to the emergence dates (0, 1, 7, and 10 days after emergence [DAE]). We released beetles into the mesh cage to investigate the catch rate using the traps. In each group, a total of 80 beetles (20 beetles × 4 replications) were tested, making it a total of 320 beetles. Among the four groups, *M. saltuarius* adults in the 7 DAE group were caught more frequently using the traps, especially with a pheromone lure; the other groups showed a low catch rate. A similar number of female and male beetles were caught using the traps. Regarding ovariole development, all the female adults in the 0 and 1 DAE groups were immature, while those in the other two groups were completely developed. Therefore, aggregation-sex pheromone traps might have a limitation in the prevention of pine wilt disease because of the transmission of pine wood nematode during maturation feeding of newly emerged *M. saltuarius* adults. However, aggregation-sex pheromone traps can be effective for collecting sexually mature *M. saltuarius* adults, for the investigation of seasonal occurrence of beetles in forests.

Key words: Pine wilt disease, *Monocamus* beetles, Pheromone trap, Ovariole development

초 록: 본 연구는 북방수염하늘소 성충이 집합-성 페로몬 트랩에 유인되는 시기를 명확하게 규명하기 위해 수행하였다. 또한 집합-성 페로몬에 유인된 개체의 난황 성숙도를 조사하여 집합-성 페로몬 트랩에 유인되지 않은 개체와 비교하였다. 이를 위해 홍릉시험림 내 망실 안에 유인제인 집합-성 페로몬을 매단 다중갈매기트랩과 집합-성 페로몬을 매달지 않은 다중갈매기 트랩을 각각 1개씩 배치하고, 우화망실에서 채집한 북방수염하늘소 성충을 우화시기별(우화 직후, 후식 1일차, 후식 7일차, 후식 10일 경과 후 교미)로 그룹화한 후 트랩이 배치된 망실 안에 방사하여 트랩에 포획 여부를 조사하였다. 각각의 시기별로 80개체(20개체씩 4반복)를 대상으로 실험하여 총 320개체를 망실 내에 방사하였다. 조사 결과, 우화 후 7일 동안 섭식한 개체들의 유인 포획률이 가장 높았으며, 교미 후에는 유인 포획률이 급격히 낮아지는 경향이 있었다. 또한 집합-성 페로몬이 있는 경우에만 후식 7일차 그룹의 유인 포획률만 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 성별에 따른 유인 포획률의 경우, 암컷이 수컷에 비해 많이 포획되긴 하였으나, 암컷과 수컷 간의 유인 포획률 차이는 없는 것으로 확인되었다. 우화 직후와 후식 1일차에는 모든 개체에서 난황이 미성숙한 상태였으나, 후식 7일차와 교미 후에는 모든 개체에서 성숙한 난황을 확인할 수 있었다. 따라서 페로몬트랩은 우화 후 초기에 후식을 통한 소나무재선충전파가 가능하므로 소나무재선충병의 확산 억제 막기에는 제한적인 가능성이 있다. 반면, 성적으로 성숙한 성충을 포획하고, 야외 발생을 조사하는 등으로는 활용 가능성이 있을 것이다.

검색어: 소나무재선충병, 수염하늘소류, 페로몬 트랩, 난황 성숙도

*Corresponding author: jk82811@korea.kr

Received August 13 2020; Revised September 3 2020

Accepted September 17 2020

소나무재선충의 침입으로 시들음병을 유발하여 소나무류를 급격하게 고사시키는 소나무재선충병은 1988년 부산 금정산을 시작으로 2020년 4월 기준 124개 시·군·구에서 발생하고 있다. 소나무재선충병 피해를 줄이기 위해 연간 약 833억원(최근 3년 평균)이 투입되고 있는데, 소나무재선충병에 감염되어 고사한 나무의 수는 감소하고 있지만, 피해 면적은 줄어들고 있지 않고 있다. 피해 면적은 고사목 중심 반경 2 km를 대상으로 소나무류 반출금지구역 설정하게 되는데, 2020년 7월 기준 약 3,295천 ha에 이르고 있다(KFS, 2020).

소나무재선충병의 피해를 줄이기 위해서는 소나무재선충을 매개하는 솔수염하늘소와 북방수염하늘소의 발생 조사와 방제가 핵심이라 할 수 있다(Jung et al., 2018). 우화상에 매개충이 산란한 나무를 두고 우화상황을 조사하는 방법이나 집합-성 페로몬을 이용한 야외 성충 발생 조사는 소나무재선충병 매개충이 언제 활동하는지를 확인하는데 있어 매우 유용한 방법이다. 이러한 방법을 통해 얻은 매개충 활동 시기에 대한 정보는 유인 항공기 등을 이용한 살충제의 살포 시기 및 소나무재선충병 감염 고사목을 제거하는 시기를 결정하는데 활용되고 있다. 유인 항공기 등을 이용한 살충제 살포는 통상적으로 북방수염하늘소가 출현하는 4월 하순부터 시작하여 8월 하순 중에 2~3회 시행하고 있으며, 고사목의 제거는 매개충의 2종의 활동이 완전히 종료되는 11월부터 이듬해 3월(북방수염하늘소) 혹은 4월(솔수염하늘소)까지 집중적으로 이뤄지고 있다.

북방수염하늘소는 주로 우리나라의 중부지방을 중심으로 활동하는 것으로 알려져 있으며(Kwon et al., 2006), 봄철 기온에 따라 달라지긴 하지만 4월 중 하순~5월 초순부터 성충이 우화하기 시작하여 5월 중순경 우화 최성기를 보인다(Jung et al., 2015; NIFoS, 2019). 이후에는 임내 환경이나 개체군 밀도에 따라 우화 종료 시점이 달라지는데, 소나무림 또는 잣나무림 내에서 북방수염하늘소 성충의 활동시기는 통상적으로 5월 초순부터 6월 중순까지이나 환경에 따라 8월까지도 활동한다(Jung et al., 2020). 북방수염하늘소와 같은 *Monochamus*속 성충의 임내 활동은 모노카몰을 기본으로 하는 집합-성 페로몬을 이용하여 조사할 수 있지만(Pajares et al., 2010; Lee et al., 2017, 2018), 전국을 대상으로 조사가 수행되고 있지는 않고 있다. 다만, 북방수염하늘소와 솔수염하늘소에 대해서 전국 9개 도의 산림환경연구기관에서 우화상을 이용하여 두 종의 우화 상황을 조사하여 성충의 발생 시기를 확인하고 있다(NIFoS, 2019). 우화상에서의 성충 발생 시기만을 조사하는 이유는 야외 조사의 어려운 측면에 더해서, 우화상에서 성충의 발생 정보를 안다면 야외 발생 상황도 추정할 수 있기 때문이라 할 수 있다.

그러나 우화상에서의 우화 시기와 야외에서의 집합-성 페로몬트랩에 유인 포획 효율에 대해서는 명확하게 알려진 바가 없다. 보통 *Monochamus*속에 속하는 종들의 후식(maturation feeding) 기간은 종에 따라 다른데, 솔수염하늘소 30일(Mamiya and Enda, 1972), *M. galloprovincialis*는 평균 20.4일(Naves et al., 2006), *M. carolinensis*는 평균 9.3일(Walsh and Linit, 1985)로 보고되어 있으며, 북방수염하늘소는 25°C에서 평균 9.8일(Nakayama et al., 1998)인 것으로 알려져 있다. 한편, 다수의 연구(Pajares et al., 2010; Lee et al., 2017, 2018)에서 우화 후 14일을 성적으로 성숙한 시점으로 산정하여 집합-성 페로몬을 동정하고 있는데, 이는 성충으로 우화 후 집합-성 페로몬에 유인되면 성적 성숙 및 이동을 위한 에너지원 축적이 선행되어야 하기 때문(Etxebeste et al., 2016)으로 여겨지고 있다. 그러나 아직까지 야외에서 집합-성 페로몬 트랩의 포획 효율과 성적 성숙의 연관성에 대해서는 조사된 바가 없다. 후식 기간이 집합-성 페로몬 트랩을 사용한 야외 포획 시기에 영향을 주지 않는다고 가정한다면, 우화상에서의 성충 발생 시기와 실제 야외에서 포획되는 시기는 차이가 없을 것이고, 집합-성 페로몬 트랩을 이용한 매개충 포획은 매개충의 밀도를 줄이는 동시에 소나무재선충병의 확산 방지에도 도움이 될 수 있을 것이다. 그러나 우화상에서 성충이 발생하는 시기와 실제 임내에서 포획되는 시기의 차이가 있다면, 이는 소나무재선충병의 확산을 억제하기 위한 측면에서 집합-성 페로몬의 효과를 떨어트리는 원인이 될 수 있다. 즉, 소나무재선충을 보유한 매개충이 성충으로 우화한 뒤 집합-성 페로몬 트랩에 포획되지 않고 성적 성숙을 위한 섭식을 한다면, 소나무재선충을 건강한 소나무에 전파한 후에 집합-성 페로몬 트랩에 포획될 수 있음을 의미하기 때문이다.

따라서 본 연구는 소나무재선충을 매개하는 매개충 중 하나인 북방수염하늘소 성충이 집합-성 페로몬 트랩에 유인되는 시기를 명확하게 규명하기 위해 수행하였다. 또한 난황 성숙도 관련 정보는 *Monochamus*속의 성충의 후식에 따른 성적 발육 상태를 알 수 있는 지표가 될 수 있기 때문에, 집합-성 페로몬에 유인된 개체의 난황 성숙도를 조사하여 집합-성 페로몬 트랩에 유인되지 않은 개체와 비교하였다. 만일 집합-성 페로몬 트랩에 포획되지 않은 개체들의 난황 성숙이 진행되지 않았다면, 집합-성 페로몬은 난황 성숙도와 밀접한 연관이 있을 것이다. 반대로 집합-성 페로몬 트랩에 포획되지 않은 개체들의 난황 성숙이 충분히 진행된 상태라면, 집합-성 페로몬에 반응하기 위해서는 다른 조건들, 예를 들어 개체별 성향, 수컷과의 교미 등이 중요하게 작용하였을 가능성이 있다.

재료 및 방법

공시목 및 실험곤충의 준비

강원도 홍천군 및 경기도 양평군 소재의 국유림 내 잣나무 숲가꾸기 산물(2016년 상반기 시행) 중 북방수염하늘소 유충의 서식 흔적이 있는 잣나무 이목을 선정하였다. 선정된 잣나무 이목은 2017년 2월에 수집하여 국립산림과학원 홍릉시험림 내 우화망실로 이동 배치한 후, 5월부터 우화하는 암컷과 수컷 성충을 매일 확인하여 포획하였다. 우화한 성충은 포획 즉시 개체별로 분리하여 폴리프로필렌 재질의 사육통(SPL Life Sciences, 직경 120 mm, 높이 80 mm, 환기구멍 직경 40 mm)에 넣은 후, 잣나무 가지를 먹이와 물을 적신 탈지면을 제공하였다.

조사 방법

집합-성 페로몬 트랩을 이용한 유인포획률 조사를 위해서 북방수염하늘소 성충은 후식 기간을 4단계(우화 직후, 후식 1일차, 후식 7일차, 후식 10일 경과 후 교미)로 달리하여 준비하였다. 모든 실험 곤충은 우화 직후부터 개별 사육을 하였다. 그러나 후식 10일 경과 후 교미한 개체의 경우, 우화 후 10일차까지 개별로 사육하며 후식을 시키고 10일이 지난 시점에 암컷과 수컷을 1쌍씩 합사하여 교미 행동을 확인하였다. 각 후식 기간별로 성충 20개체(♀:♂=10:10)를 방사하여 4반복 실험하였으

며, 총 320개체의 북방수염하늘소 성충을 대상으로 유인포획률을 조사하였다.

국립산림과학원 홍릉시험림 내 소형 우화망실(가로 500 cm × 세로 500 cm × 높이 1750 cm, 중앙부 최고높이는 2800 cm)에 유인제를 매단 다중깔때기트랩과 유인제를 매달지 않은 다중깔때기 트랩을 각각 1개씩 배치하였다. 각 트랩의 위치에 따라 북방수염하늘소의 유인 포획률이 달라질 가능성을 고려하여 반복별로 트랩의 배치는 다르게 하였다(Fig. 1). 트랩을 배치한 후 후식 기간별 준비한 북방수염하늘소 성충을 우화망실에 방사하였고, 1일 후 트랩을 확인하여 유인 포획률을 조사하였다. 각 실험이 종료되면 유인 포획되었거나 포획되지 않은 개체 모두 채집하여 실험실로 운반한 후 암컷의 경우 해부하여 난황 성숙 상태 및 성숙한 알의 수를 조사하였다.

집합-성 페로몬 트랩으로는 검은색의 다중깔때기 트랩(KIP, Daejeon, Korea)을 사용하였고, 유인제로는 모노카몰(monochamol), 알파피넨(α -pinene), 에탄올(EtOH)(KIP, Daejeon, Korea)을 사용하였다.

자료 분석

집합-성 페로몬의 유무, 우화 후 후식기간별, 그리고 성별에 따른 유인 포획률의 차이를 비교 분석하였다. 유인 포획률은 다중깔때기 트랩에 포획된 개체를 각각의 실험에 투입한 총 개체수인 20개체(♀:♂=10:10)로 나누어 계산하였다. 유인 포획률 자료는 이항분포를 따르고, 각각의 고정효과에 대해 여러 임의 효과가 존재하기 때문에 일반화된 선형혼합모형(GLMMs, generalized linear mixed models)을 적용하여 통계 분석을 수행하였다. GLMMs을 이용한 유인 포획률의 비교를 위해서 고정 효과와 임의 효과를 다음과 같이 구분하였다. 먼저 집합-성 페로몬의 유무에 따른 유인 포획률 비교 시에는 우화 후 후식기간, 성, 그리고 반복을 임의 효과로 적용하였다. 그리고 우화 후 후식기간에 따른 유인 포획률 비교 시에는 집합-성 페로몬의 유무, 성, 그리고 반복을 임의 효과로 적용하였다. 마지막으로 성별에 따른 유인 포획률 비교 시에는 집합-성 페로몬의 유무, 우화 후 후식기간, 그리고 반복을 임의 효과로 적용하였다. 각각의 실험 종료 후 다중깔때기 트랩에 포획된 암컷과 포획되지 않은 암컷을 해부하여 얻은 성숙한 난황의 수를 t검정법을 이용하여 비교하였다.

통계분석을 위해서 오픈소스 프로그램인 R v3.3.3(R Core Team, 2017)을 이용하였으며, 라이브러리는 car, MASS 및 lme4를 이용하여 GLMMs 분석을 수행하였고, 다중비교가 필요한 경우에는 lmerTest와 multcompView를 이용하여 분석을



Fig. 1. Test designed to determine the collecting efficacy of *Monochamus saltuarius* by using multi-funnel traps with (C) or without pheromone lures (P).

수행하였다. 난황의 수를 비교하기 위해서 't.test' 명령어를 이용하여 t검정을 수행하였다.

결과

집합-성 페로몬 유무 및 후식기간에 따른 유인 포획률 차이

집합-성 페로몬의 유무에 따른 유인 포획률은 집합-성 페로몬 유인제가 설치된 다중깔때기 트랩에서 유의미하게 높았다($\chi^2 = 15.60$, d.f. = 1, $P < 0.001$)(Fig. 2a). 우화 후 후식기간에 따른 차이의 경우, 우화 후 7일 동안 섭식한 개체들의 유인 포획률이 가장 높았고 교미 후에는 유인 포획률이 급격히 낮아지는 경향이었는데, 집합-성 페로몬의 유무에 따른 유인 포획되는 개체의 비율은 차이가 있었으나 경향은 유사하였다(Fig. 2b). 그러나 집합-성 페로몬이 있는 경우에만 후식 7일차 개체군의 유인 포획률만 통계적으로 유의미한 차이를 보였고($\chi^2 = 21.48$, d.f. = 3, $P < 0.001$), 집합-성 페로몬이 없는 경우에는 후식기간에 따른 유인 포획률의 차이는 없었다($\chi^2 = 4.38$, d.f. = 3, $P = 0.224$).

유인 포획률의 성별 차이

성별에 따른 유인 포획률의 경우, 암컷(27개체)이 수컷(21개체)에 비해 많이 포획되긴 하였으나, 암컷과 수컷 간의 유인 포획

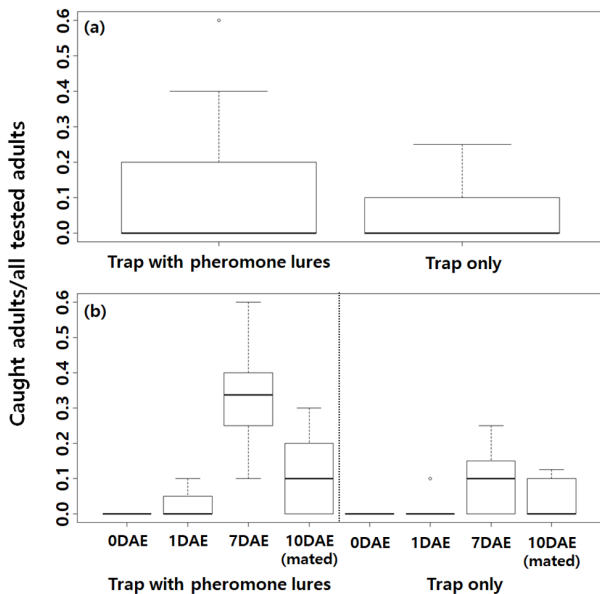


Fig. 2. Comparison of catch ratio of caught adult beetles per all tested adult beetles according to (a) treatments (with or without pheromone lures) and (b) changes in catch ratio based on days after adult emergence (DAE) with or without pheromone lures.

를 차이는 없는 것으로 확인되었다. 집합-성 페로몬 유무에 따라 비교하였을 때, 암컷과 수컷 모두 집합페로몬 트랩에 유인되는 경향이었으나, 집합-성 페로몬이 있는 경우에 암컷이 수컷보다 통계적으로 유의미하게 많이 포획되었고($\chi^2 = 5343.80$, d.f. = 1, $P < 0.001$), 집합-성 페로몬이 없는 경우에는 성별에 따른 차이는 없었다($\chi^2 = 0.96$, d.f. = 1, $P = 0.327$)(Fig. 3a).

우화 직후에는 성별과 집합-성 페로몬 유무에 관계없이 트랩에 유인되는 개체는 없었으며, 후식 1일차에는 소수의 암컷과 수컷만이 유인 포획되었다. 후식 7일차에는 집합-성 페로몬이 있는 경우 암컷 41.9%, 수컷 25.0%가 유인되어 유인포획률이 급격하게 증가하였으나 암컷의 경우에만 통계적 유의성을 보였다(암컷, $\chi^2 = 17.08$, d.f. = 3, $P < 0.001$; 수컷, $\chi^2 = 5.94$, d.f. = 3, $P = 0.115$)(Fig. 3b). 집합-성 페로몬이 없는 경우에는 암컷 13.8%, 수컷 5.0%로 암컷과 수컷 모두 후식 기간에 따른 유인

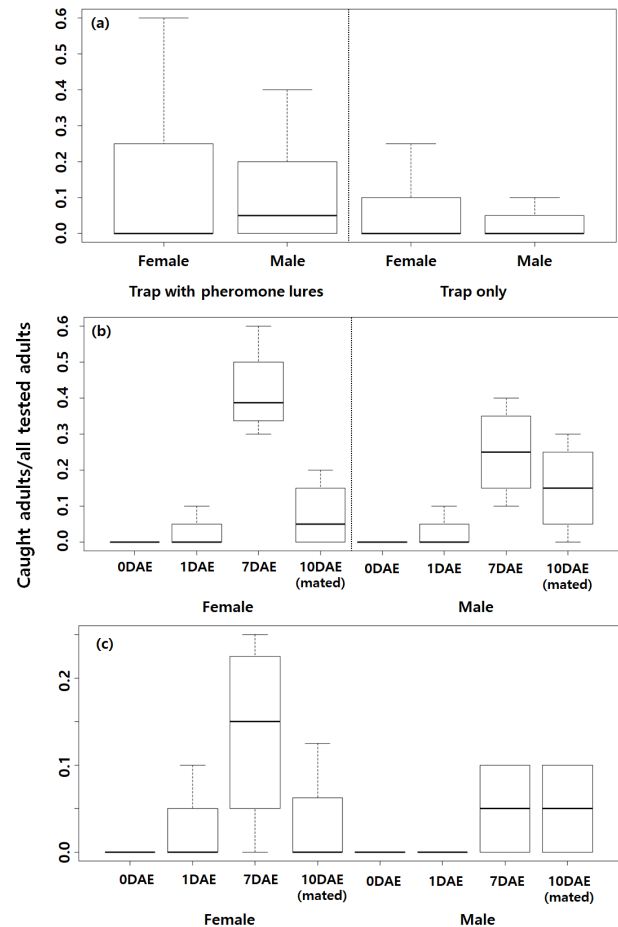


Fig. 3. Comparison of catch ratio of caught adult beetles per all tested adult beetles (a) between sexes in each treatment (with or without pheromone lures). In each sex, changes in catch ratio based on days after adult emergence (DAE) in multi-funnel trap (b) with pheromone lures or (c) without pheromone lures.

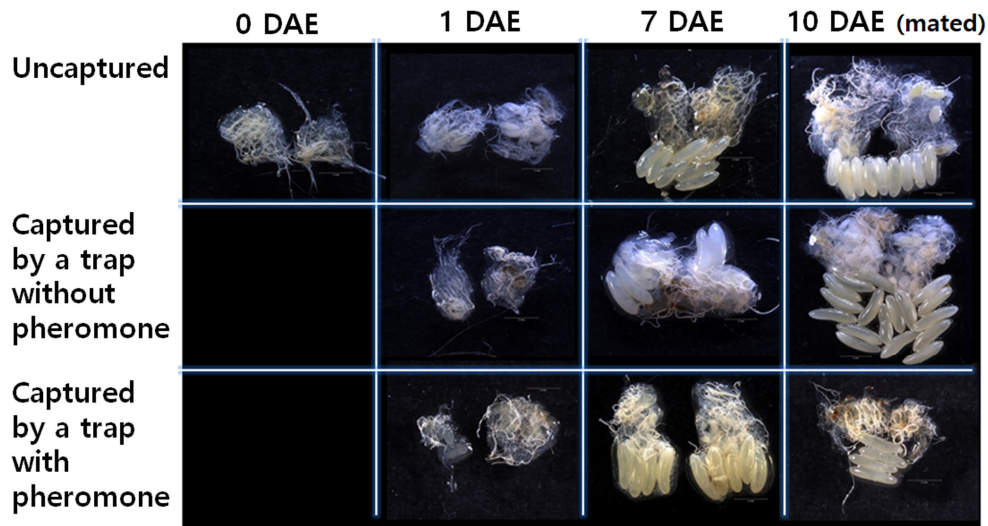


Fig. 4. Comparison of ovariole development of *Monochamus saltuarius* females based on days after adult emergence (DAE).

포획률 차이는 없었다(암컷, $\chi^2 = 4.12$, d.f. = 3, $P = 0.249$; 수컷, $\chi^2 = 0.00$, d.f. = 3, $P = 1.000$)(Fig. 3c).

후식 기간에 따른 성적 성숙 변화

후식 기간별 북방수염하늘소 암컷 성충의 성적 성숙 여부를 확인하기 위하여 포획 및 미포획된 개체를 해부하여 비교한 결과, 우화 직후와 후식 1일차에는 모든 개체에서 난황이 미성숙한 상태였으나, 후식 7일차와 교미 후에는 모든 개체에서 성숙한 난황을 확인할 수 있었다(Fig. 4). 후식 7일차에는 6.3 ± 4.55 (평균 \pm 표준편차)개, 후식 10일차에는 8.3 ± 5.31 개의 성숙한 난황이 확인되었는데, 트랩에 포획되지 않은 후식 7일차와 10일차 개체들도 각각 4.2 ± 3.96 개와 6.6 ± 4.89 개의 성숙한 난황이 발견되었다. 후식 7일차와 10일차 모두, 트랩에 포획된 개체의 평균 난황의 수가 많았지만, 트랩에 포획 여부에 따른 난황의 수는 통계적으로 차이가 없었다(t -test: 후식 7일차, $t = -1.4176$, $P = 0.1677$; 후식 10일차, $t = -0.5039$, $P = 0.6446$).

고찰

집합-성 페로몬에 대한 우화 후 시기별 반응

본 연구 결과, 북방수염하늘소 성충은 우화 후 1주일 정도가 지난 시점에서 성적으로 성숙하고, 이들이 집합-성 페로몬에 더 많이 유인되어 트랩에 포획되는 경향이 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 북방수염하늘소가 우화 후 집합-성 페로몬에 유인되려면

성적 성숙 및 이동을 위한 에너지원 축적이 선행되어야 한다는 가정(Etxebeste et al., 2016)을 뒷받침하는 것이라 판단된다.

일반적으로 *Monochamus*속에 속하는 종들의 후식기간은 9 ~ 30일 정도로 알려져 있지만(Mamiya and Enda, 1972; Walsh and Linit, 1985; Nakayama et al., 1998; Naves et al., 2006), 본 연구 결과 북방수염하늘소는 1주일이면 난황이 발달하여 집합-성 페로몬에 유인 포획되는 것이 확인되었다. 앞선 연구(Nakayama et al., 1998)에서는 25°C에서 9.8일이면 성숙한다고 보고되어 있는데, 이는 집합-성 페로몬 트랩을 이용한 것이 아니기 때문에 본 연구와는 차이가 있다. 따라서 본 연구를 통해 우화상에서 관찰되는 북방수염하늘소의 우화 시기와 야외에서 집합-성 페로몬 트랩에 유인 포획되는 시기의 차이가 나타나는 이유를 설명할 수 있다고 생각된다. 또한 이러한 결과는 북방수염하늘소 등 매개충 2종을 포획하는데 있어 집합-성 페로몬 트랩을 사용하는 것은 북방수염하늘소의 우화 초기 소나무재선충병 확산을 억제하는데 한계가 있음을 시사한다.

북방수염하늘소가 우화 후 1주일 이 지난 시점에 집합-성 페로몬 트랩에 유인 포획되는 것은 이들의 생태와도 관련이 높은 것으로 생각된다. 북방수염하늘소에 대한 비행능력은 성충으로 우화한 직후에 거의 없는 것으로 보여지며 3~4일 정도가 경과하면 비행하기 시작하여 1주일 이 경과하는 시점에 급증한 후 유지되는 경향을 보인다(Kwon et al., 2018). 이는 북방수염하늘소가 비행하기 위해서는 후식을 통한 에너지원 확보가 매우 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 즉, 소나무재선충을 보유한 북방수염하늘소가 비행과 성적 성숙을 위한 후식 과정이 선행되어야 이들이 집합-성 페로몬 트랩에 유인 포획된다는 의

미이므로 후식 과정에서 전파되는 소나무재선충을 막기는 어렵다고 판단된다. 솔수염하늘소의 경우, 소나무재선충이 주로 이탈하는 시기를 우화 후 10~40일(Togashi, 1985) 또는 2~6주 사이(Kim et al., 2009)인 것으로 보고된 바 있다. 그러나 북방수염하늘소의 경우에는 우화 후 1주일차에도 상대적으로 많은 소나무재선충이 이탈하며(Kim et al., 2009), 유럽에 분포하는 *Monochamus galloprovincialis*의 경우에도 우화 후 1주일차부터 소나무재선충을 전파하기 시작하여 2~6주차 사이에 가장 활발하게 소나무재선충을 전파하는 것(Naves et al., 2007)으로 보고되고 있다. 따라서 집합-성 페로몬 트랩에 유인되기 이전에 얼마나 많은 건전 소나무에 소나무재선충을 전파할 수 있을지에 대해서는 추가 검토가 필요하다. 또한 소나무재선충을 매개한 이후라고 할지라도 북방수염하늘소 성충을 포획한다는 것은 다음 세대의 증식을 억제할 수는 있기 때문에 차년도에 발생할 북방수염하늘소의 밀도 억제에는 어느 정도 기여할 가능성은 있다.

집합-성 페로몬에 대한 성별 반응

북방수염하늘소를 대상으로 하는 집합-성 페로몬(monochamol + EtOH + α -pinene 조합)에 대한 암수간의 유인력은 차이가 없다는 보고(Kim et al., 2016)와 암컷이 수컷에 비하여 2.54배 더 많이 유인·포획된다는 보고(Lee et al., 2017)가 있다. 본 연구에서는 암컷과 수컷의 유인 포획률은 큰 차이가 없었다. 이러한 차이는 야외 조건에서 이뤄진 선행 연구(Lee et al., 2017)와 준야외 조건인 본 연구의 환경적 차이점 때문에 발생했을 가능성이 높다. 그리고 야외 실험에서는 모수를 알지 못하기 때문에 다른 방법(예, 조사대상지에서 하늘소 서식이 확인된 벌채목을 우화상 등으로 운반 후 우화하는 성충의 성비 조사)을 이용하여 암컷과 수컷의 성비를 추정할 수 밖에 없는데(Lee et al., 2017), 본 연구에서는 성비를 1:1로 고정하였기 때문에 포획률 결과도 다르게 나타났을 가능성이 있다. *M. galloprovincialis*의 경우에도 집합-성 페로몬트랩에 포획된 성충의 성비가 비슷하다는 야외 연구결과(Rassati et al., 2012)가 있는데, 이는 종이나 유인제 성분 등에 의한 차이일 수도 있어 추가 검증이 필요하다고 생각된다. 한편, 소규모의 우화상 내 유인제가 설치된 트랩은 1개 뿐이었으므로 동일 트랩에 암컷 성충이 포획되면 수컷 성충이 유인 포획될 가능성도 증가할 수 있으며, 트랩에 포획되기 전에 교미가 이뤄져 집합-성 페로몬트랩에 유인·포획되는 확률이 달라졌을 가능성도 있다. 따라서 집합-성 페로몬의 효과 검증과 함께 성별 유인력에 대한 측정을 하기 위해서는 보다 규모가 큰 망실 내에서 매개충을 방사하여 포획되는 개체의 비율과

성별 포획률을 조사하는 것이 필요하다고 생각된다.

집합-성 페로몬 트랩의 활용방안

집합-성 페로몬의 사용방법과 포획 효율에 대해서는 다소 논란이 있다. 먼저, 집합-성 페로몬 유인제를 설치한 트랩을 이용하면 소나무재선충병 매개충인 북방수염하늘소와 솔수염하늘소를 대량으로 포획할 수 있기 때문에 임내 밀도 저감과 성충 발생 모니터링에 도움이 되고, 동시에 암컷 성충을 더 많이 유인 포획할 수 있으므로 차세대 밀도 저감 효과도 있다는 주장이 있다(Lee et al., 2017, 2018; Teale et al., 2018). 이에 반해 잣나무림이나 소나무림 내 존재하는 북방수염하늘소와 솔수염하늘소의 밀도를 정확히 모르는 상태에서는 집합-성 페로몬 트랩의 유인·포획률에 대해서는 정확하게 측정하기가 어렵다는 주장도 있다(J. Kim and J.K. Jung's personal communication). 야외 밀도 추정을 위해서는 표지-방사-재포획법을 이용할 수 있는데, 표지 후 방사를 통한 야외 실험에서 북방수염하늘소의 재포획률이 매우 낮아(NIFoS, 2020) 집합-성 페로몬 트랩의 유인·포획률을 야외에서 평가하기에는 매우 어려운 측면이 있다. 따라서 규모가 큰 망실에서 밀도를 조절하여 집합-성 페로몬 트랩의 포획 효율을 조사할 필요가 있다. 또한 특정 시기(예, 우화 후 후식 기간이 7일 정도 지난 시기)의 북방수염하늘소 성충이 많이 포획된 결과를 볼 때, 집합-성 페로몬 트랩은 북방수염하늘소 야외 발생 생태 조사나 교미 시기의 성충 밀도를 줄여 2세대 증가를 일부 억제하는 방법 등으로 활용이 가능하다고 판단된다.

저자 직책 & 역할

- 정종국: 국립산림과학원, 임업연구사; 자료 분석, 원고 작성 및 검토
- 권혁준: 국립산림과학원(현소속: (주)유에프씨), 석사연구원; 실험 수행(포획 실험) 및 자료 정리
- 김 황: 국립산림과학원(현소속: 국립생태원), 석사연구원; 실험 수행(난황 성숙) 및 자료 정리
- 김준현: 국립산림과학원, 임업연구사; 실험 진행상황 점검 및 원고 검토
- 남영우: 국립산림과학원, 임업연구사; 자료 검토 및 원고 검토
- 김동수: 국립산림과학원, 임업연구관; 실험 결과 점검 및 원고 검토
- 정찬식: 국립산림과학원(현소속: 산림청), 임업연구관; 실험 설계 및 원고 검토

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

- Etxebeste, I., Sanchez-Husillos, E., Álvarez, G., Mas i Gisbert, H., Pajares, J., 2016. Dispersal of *Monochamus galloprovincialis* (Col.: Cerambycidae) as recorded by mark-release-recapture using pheromone traps. *J. Appl. Entomol.* 140, 485-499.
- Jung, C.S., Koh, S.H., Nam, Y., Ahn, J.J., Lee, C.Y., Choi, W.I., 2015. A model for predicting spring emergence of *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) from Korean white pine, *Pinus koraiensis*. *J. Eco. Entomol.* 108, 1830-1836.
- Jung, J.K., Jung, C.S., Koh, S.H., 2018. Lethal and sublethal effects of thiacloprid on non-target carpenter ant, *Camponotus japonicus* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *J. Asia-Pacific Entomol.* 21, 1321-1325.
- Jung, J.K., Kim, M., Nam, Y., Koh, S.H., 2020. Changes in spatial and temporal distributions of *Monochamus* beetles along the fire severity in burned *Pinus densiflora* forests. *J. Asia-Pacific Entomol.* 23, 404-410.
- Kim, D.S., Lee, S.M., Huh, H.S., Park, N.C., Park, C.G., 2009. Escape of pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, through feeding and oviposition behavior of *Monochamus alternatus* and *M. saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) adults. *Korean J. Appl. Entomol.* 48, 527-533.
- Kim, J., Lee, S.-H., Jung, Y.H., Kwon, Y.-D., Kim, D.-S., Lee, D.W., Park, C.G., 2016. Field evaluation on the synergistic attractiveness of 2-(1-undecyloxy)-1-ethanol and ipsenol to *Monochamus saltuarius*. *Entomol. Res.* 46, 31-35.
- KFS, 2020. Designation status of transfer closed area of pine trees nationwide, Korea Forest Service. <http://www.forest.go.kr/> (accessed on 23 July, 2020).
- Kwon, H.J., Jung, J.K., Jung, C., Han, H., Koh, S.H., 2018. Dispersal capacity of *Monochamus saltuarius* on flight mills. *Entomol. Exp. Appl.* 166, 420-427.
- Kwon, T.S., Lim, J.H., Sim, S.J., Kwon, Y.D., Son, S.K., Lee, K.Y., Kim, Y.T., Park, J.W., Shin, C.H., Ryu, S.B., Lee, C.K., Shin, S.C., Chung, Y.J., Park, Y.S., 2006. Distribution patterns of *Monochamus alternatus* and *M. saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) in Korea. *J. Korean For. Soc.* 95, 543-550.
- Lee, H.R., Lee, S.C., Lee, D.H., Choi, W.S., Jung, C.S., Jeon, J.H., Kim, J.E., Park, I.K., 2017. Identification of the aggregation-sex pheromone produced by male *Monochamus saltuarius*, a major insect vector of the pine wood nematode. *J. Chem. Ecol.* 43, 670-678.
- Lee, H.R., Lee, S.C., Lee, D.H., Jung, M., Kwon, J.H., Huh, M.J., Kim, D.S., Lee, J.E., Park, I.K., 2018. Identification of aggregation-sex pheromone of the Korean *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) population, the main vector of pine wood nematode. *For. Entomol.* 111, 1768-1774.
- Mamiya, Y., Enda, N., 1972. Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Nematol.* 18, 159-162.
- Nakayama, Y., Jikumaru, S., Togashi, K., 1998. Reproductive traits and diel activity of adult *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) at two different temperatures. *J. For. Res.* 3, 61-65.
- Naves, P., Camacho, S., de Sousa, E.M., Quartau, J.A., 2007. Transmission of the pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* through feeding activity of *Monochamus galloprovincialis* (Col., Cerambycidae). *J. Appl. Entomol.* 131, 21-25.
- Naves, P., de Sousa, E., Quartau, J.A., 2006. Reproductive traits of *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera: Cerambycidae) under laboratory conditions. *Bull. Entomol. Res.* 96, 289-294.
- NIFoS, 2019. Annual report of monitoring for forest diseases and insect pests in Korea.
- NIFoS, 2020. Development of pre-emptive and tailored management strategies and technologies for pine wilt disease.
- Pajares, J.A., Álvarez, G., Ibeas, F., Gallego, D., Hall, D.R., Farman, D.I., 2010. Identification and field activity of a male-produced aggregation pheromone in the pine sawyer beetle, *Monochamus galloprovincialis*. *J. Chem. Ecol.* 36, 570-583.
- R Core Team, 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Rassati, D., Petrucco Toffolo, E., Battisti, A., Faccoli, M., 2012. Monitoring of the pine sawyer beetle *Monochamus galloprovincialis* by pheromone traps in Italy. *Phytoparasitica* 40, 329-336.
- Teale, S.A., Wickham, J.D., Zhang, F., Su, J., Chen, Y., Xiao, W., Hanks, L.M., Millar, J.G. 2018. A male-produced aggregation pheromone of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a major vector of pine wood nematode. *J. Econ. Entomol.* 104, 1592-1598.
- Togashi, K., 1985. Transmission curves of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) from its vector, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), to pine trees with reference to population performance. *Appl. Entomol. Zool.* 20, 246-251.
- Walsh, K.D., Linit, M.J. 1985. Oviposition biology of the pine sawyer, *Monochamus carolinensis* (Coleoptera: Cerambycidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 78, 81-85.