

북방수염하늘소의 산란부위 및 식이 선호성

박용철^{1,2} · 김종국³ · 조세열⁴ · 신상철⁵ · 정영진⁵ · 원대성^{3*}

¹강원대학교 B.T. 특성화 학부, ²강원대학교 생명공학연구소,
³강원대학교 산림환경과학대학, ⁴미국 미시간 대학교, ⁵국립산림과학원

Oviposition and Feeding Preference in *Monochamus Saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae)

Yong Chul Park^{1,2}, Jong Kuk Kim³, SaeYoull Cho⁴, Sang-Chul Shin⁵,
Yeong-Jin Chung⁵ and Dae-Sung Won^{3*}

¹Department of Plant Biotechnology Program, Division of Biotechnology, School of Biotechnology,
Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

²Institute of Bioscience and Biotechnology, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

³Department of Forest Resources Protection, College of Forest and Environmental Sciences,
Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

⁴Division of Metabolism, Endocrinology, and Diabetes, University of Michigan 1150 West Med.
Center Dr. Ann Arbor MI 48109, USA

⁵Division of Forest Insect Pests and Disease, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요 약: 북방수염하늘소의 산란흔은 잣나무의 산란가지 상부(햇빛을 바로 받는 부위)에서 3.3 ± 3.6 개, 하부(지면을 향하는 부위)에서 16.3 ± 13.9 개로 하부를 선호하여 산란하는 것으로 나타났다. 산란흔과 실제 부화 유충 수를 비교 한 결과 실험실 산란목의 산란흔은 64.7 ± 23.8 개였고, 유충 수는 18.8 ± 10.0 마리였다. 반면, 야외 산란목의 산란흔은 63.6 ± 31.1 개 였고, 유충 수는 2.0 ± 2.6 마리 였다. 잣나무 내수피와 목질부를 함께 공급한 유충들은 체중이 증가 하며 발육상태가 정상이었으나 목질부만 공급한 유충들의 경우 체중이 감소 하며 발육상태는 불량 하였다. 그러나 목질부만 급여한 유충들에게 잣나무 내수피를 함께 공급한 결과 몸무게와 발육상태가 회복 되는 것을 관찰 할 수 있었다. 지방체를 이용한 Esterase 활성 실험에서는 잣나무 내수피와 목질부를 함께 먹인 유충에서 Est1이 강한 활성을 나타냈다.

Abstract: The average number of oviposition scars in lower (facing the Land) and upper part (facing the Sun) of *P. koraiensis* logs were 16.3 ± 13.9 and 3.3 ± 3.6 , respectively. Oviposition preference of *Monochamus saltuarius* adults was lower part of *Pinus koraiensis*. Estimated average number of larvae and egg from oviposition scars (64.7 ± 23.8) in *P. koraiensis* logs was 18.8 ± 10.0 in the laboratory condition. However, oviposition scars were 63.6 ± 31.1 and average number of larvae and egg was 2.0 ± 2.6 in field condition. When we fed with inner bark (phloem) and xylem of *P. koraiensis*, body weight of *M. saltuarius* larvae was normal. However, when we only fed xylem of *P. koraiensis*, body weight and size were reduced but they were recovered after feeding inner bark (phloem). Esterase isozymes were assessed from larvae fat body of *M. saltuarius* and Est1 were specifically activated when we fed with inner bark (phloem) and xylem.

Key words : *Monochamus saltuarius*, Oviposition preference, oviposition scars, *Pinus koraiensis*, Esterase

서 론

소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*)은 북미에서 유래된 이래 일본을 거쳐 현재 국내 산림에 극심한 피해를 주고 있다(Chung *et al.*, 2003). 소나무재선충병은 우리

나라의 산림에서 첫 번째로 방제 하여야 할 산림 병해충으로 현재 40개국 이상의 나라에서 검역대상해충으로 선정 되어있으며(Schrader and Unger, 2003), 소나무재선충은 스스로 이동능력이 없으므로 매개충에 의해 전파 되는 것으로 알려져 있다. 매개충으로는 *Monochamus*속 하늘소로서 일본, 중국, 대만에서는 솔수염하늘소(Mamiya, 1988), 북미지역에서는 *M. carolinensis*, *M. mulator*, *M.*

*Corresponding author
E-mail: dsw470@kangwon.ac.kr

scutellatus, *M. titillator*(Linit, 1988)등이 주요 매개충으로 알려져 있다. 특히 일본 동북지방에는 북방수염하늘소(*M. saltuarius*)가 소나무재선충을 매개하는 것으로 보고되었다(Kobayashi *et al.*, 2003; Takizawa and shoji, 1982). 국내에서 솔수염하늘소(*M. alternatus*)는 남부지방에 주로 분포하는 것으로 알려져 있고 강원도를 비롯한 북부지방에서는 북방수염하늘소(*M. saltuarius*)가 이들 지역에 주요 매개충으로 의심되고 있는 상태이다.

솔수염하늘소의 수명은 수컷이 61.2 ± 6.5 , 암컷이 64.0 ± 6.3 일로 차이가 없으며 한 마리의 암컷이 일반적으로 약 90개의 알을 산란하고 몸집이 큰 성충일수록 산란율과 수명이 긴 것으로 보고 되었다(Anbutsu and Togashi, 2001). 산란시기가 된 암컷성충은 잣나무나 소나무 수피에 상처를 낸 후 구멍을 만들어 그 속에 한 개의 알을 산란한다(Anbutsu and Togashi, 2000). 유충은 35~45일까지 수피와 목질부를 먹고 자라다가 7월 하순 또는 8월부터 침입공을 만들어 목재 내부로 들어가며 3령이나 4령 유충상태에서 월동을 시작한다(Chung *et al.*, 2003; Togashi, 1986). 다음해 유충은 용화한 후 5월 중순부터 우화하기 시작한다(Kim *et al.*, 2003). 지금까지 솔수염하늘소의 생태 및 가해특성, 즉 교미, 산란행동, 산란율, 산란공 형성, 유충과 성충의 생존기간, 소나무재선충밀도 등에 대해서는 많은 연구가 이루어지고 있으나(Naves *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 1990) 북방수염하늘소에 대한 국내연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 북방수염하늘소의 산란선호부위와 먹이에 따른 유충의 발육과 소화효소 등을 조사하여 향후 연구와 방제체계 개발에 필요한 기초 자료를 제공하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 산란 선호부위와 실제 부화한 유충의 개체수 비교

북방수염하늘소가 선호하는 산란부위를 조사하기 위해 2006년 6월 26일 강원도 춘천시 상걸리에서 고사된 잣나무 입목의 가지를 절단하여 산란흔을 조사하였다. 무작위로 가지(길이 30 cm, 둘레 10.7 ± 2.72 cm)를 절단하여 상부(하늘을 향하는 면)와 하부(지면을 향하는 면)를 균등하게 나눠 산란흔의 수를 비교하였다. 한편, 이를 재확인하기 위하여 2007년 5월 중순경 강원도 춘천시 가정리에서 잣나무를 우물 정(井)자형으로 쌓은 후 북방수염하늘소의 산란을 유도하고 2007년 6월 8일에 산란흔의 수를 조사하였다(길이 99.4 ± 16.0 cm, 둘레 28.0 ± 3.0 cm). 산란흔과 실제부화유충의 개체수를 비교하기 위하여 야외에서 수거한 산란유인목(길이 30 cm, 둘레 10.6 ± 2.7 cm)과, 실험실에서 사육하는 북방수염하늘소 5쌍으로부터 15일 간격으로 교체해준 산란유인목(길이 19.7 ± 4.1 cm, 둘레 26.1

± 5.1 cm) 각각 15개를 이용하였다. 산란 흔적에 따른 실제 산란 여부는 직접 산란 흔 주변의 수피를 벗겨서 유충의 존재를 확인하였다. 수피는 핀셋을 이용하여 조심스럽게 벗겨내었고, 실제 얻어진 유충은 일정 수분이 함유된 잣나무 수피를 넣은 1.5 ml tube에 넣어 사육하였다.

2. 식이조건에 따른 유충의 체중변화

2령기 이후의 유충은 수피 밖으로 식혼을 배출하는데, 이 과정에서 목질부를 섭식하였을 경우 소화여부 및 먹이 조건에 따른 발육상태조사를 실시하였다. 북방수염하늘소의 1령 유충은 1.5 ml tube에 넣어 사육하였고 2령 기가 되면 50 ml tube로 옮겨 사육 후 식이조건을 잣나무 내수피와 목질부를 함께 공급하는 그룹과 잣나무 목질부만 공급하는 그룹으로 나누어 섭식하게 하여 체중의 변화를 1주 간격으로 조사 하였다.

3. 먹이 조건에 따른 Esterase 활성 비교

생리적인 현상에 직 간접적으로 영향을 주는 지방체(fat body)를 이용한 esterase 효소활성도의 비교실험을 수행하기 위해 일주일 이상 상기의 서로 다른 먹이를 공급한 유충의 지방체를 추출 한 후 마쇄하고 4°C에서 12,000 rpm으로 30분간 원심 분리하여 상층액을 수거하여 사용하였다. 12% Native-PAGE에 80V, 15 mA로 두 시간 동안 전기영동 하였고 기질은 α -naphthyl acetate를 사용하였으며, Fast Blue RR Salt로 염색 하였다.

결과 및 고찰

강원도 춘천시 상걸리 소재의 고사한 잣나무 입목의 가지를 2006년 6월 중순경 무작위로 절단 하여(길이 30 cm, 둘레 10.6 ± 2.7 cm)조사 한 바, 북방수염하늘소의 산란흔은 상부에서 3.3 ± 3.6 개, 하부에서 16.3 ± 13.9 개로 나타났다(Figure 1). 2007년 5월 중순경 성충 출현 밀도가 높은 강원도 춘천시 가정리에서 잣나무를 우물 정(井)자형으로 쌓은 후 북방수염하늘소의 산란을 유도하고 2007년 6월 8일에 산란흔을 조사한 결과 상부에서 평균 44.7 ± 18 개 하부에서 평균 96.7 ± 35 개의 산란흔을 관찰 할 수 있었다(Table 1). 상부와 하부에 존재하는 산란흔의 평균 비율은 31대 69로 나타나 북방수염하늘소의 산란은 지면을 향하는 부위를 선호한다는 것을 확인 할 수 있었다.

이 결과는 2006년의 조사결과와 수치에서 다소 차이가 있으나 이는 잣나무의 수형과 수령, 북방수염하늘소 성충의 밀도 등의 생물적요인과 조사장소, 시기, 온도 등의 다양한 무생물적요인에 영향을 받은 결과라 생각된다. 일반적으로 산란장소를 찾는 곤충들은 이미 산란된 주위를 회피 하여 산란하는데 이러한 회피는 암컷 혹은 유충에서

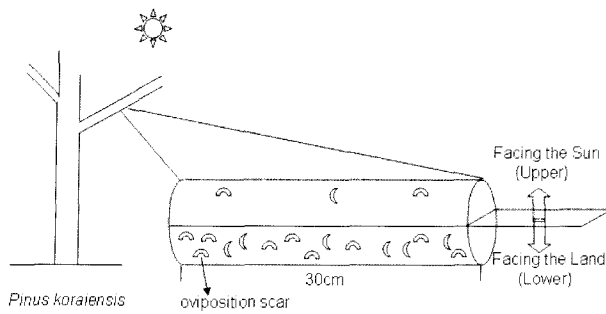


Figure 1. Oviposition preference of *M. saltuarius*. The length of *Pinus koraiensis* logs was 30.0 cm. The average size of circumference of logs was 10.6 ± 2.7 cm. The average number of oviposition scars on upper part (facing the Sun) and lower part (facing the Land) was 3.3 ± 3.6 and 16.3 ± 13.9 . The examined numbers of *P. koraiensis* logs were 58.

분비, 배설되는 다양한 화학물질에 의해 결정된다(Prokopy, 1972; Dempster, 1992). 그 이유는 먹이의 부족과 유충들이 서로 포식하는 경우가 아주 빈번히 발생하기 때문인데 솔수염하늘소 유충의 경우도 서로 마주치면 일반적으로 몸이 큰 유충이 작은 유충을 포식하는 것으로 보고되었다(Anbutsu and Togashi, 1997). 북방수염하늘소가 이미 산란밀도가 높은 특정 부위를 산란처로 선호(Figure 1과 Table 1)하는 이유는 명확하지 않으나, 산란 시 자외선에 과도하게 노출되는 것을 방지하거나 또는 새와 같은 천적의 시야를 피하기 위한 생존전략으로 사료된다.

산란흔의 수와 실제 산란된 알(부화한 유충 포함)의 수를 알아보기 위하여 실험실에서 산란을 유도한 산란목과 자연 상태에서 채집한 산란목을 비교 조사하였다. 실험실 산란목의 산란흔은 64.7 ± 23.8 개, 유충수는 18.8 ± 10.0 마리였고, 야외 산란목의 산란흔은 63.6 ± 31.1 개, 유충수 (알 포함)는 2.0 ± 2.6 마리로 나타나(Table 2), 두 산란목 모두 산란흔과 유충 수가 크게 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 야외 산란목의 유충수가 적은 이유는 안전한 실험실 산란목과 비교하여 천적 또는 산란목을 선점해버린 나무좀류나 바구미류의 밀도 등 여러 가지 생물적인 요인이 영향을 준 것으로 생각되며, 실제 박피하는 과정에서 개미붙이의 유충이나 풍뎅이붙이와 같은 포식성 천적이 발견되기도 하였다. 실험실 산란목에서도 산란흔에 비교하여 유충수가 적게 발견되었는데 이 원인 중에 하나는 암컷 뿐 만 아니라 수컷도 산란흔과 유사한 표식을 하기 때문인 것으로 생각된다. 본 종과 같은 속인 *M. galloprovincialis*의 경우도 암컷 한 마리당 산란하는 알의 개수는 약 90개 정도이며

Table 2. Average numbers of larvae or egg and oviposition scars in *P. koraiensis* logs.

Origin	mean (number \pm S.D.)	
	Oviposition scars	Larvae or egg)
Laboratory (n=15)	64.7 ± 23.8	18.8 ± 9.9
Field (n=15)	63.6 ± 31.0	2.0 ± 2.6

^{a)}Values of larvae or egg are significantly different from each other ($p < 0.05$; SPSS test).

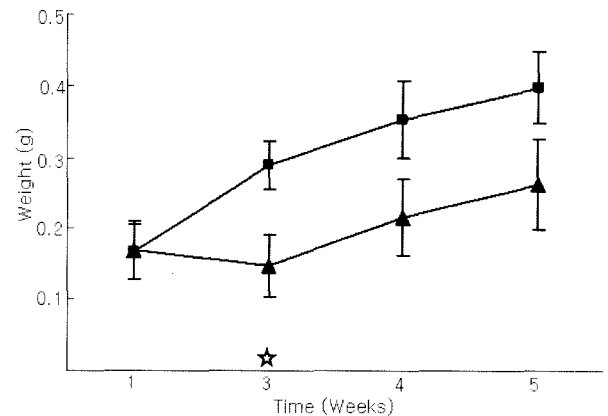


Figure 2. Comparison of *M. saltuarius* larvae body weight fed singly xylem and fed with inner bark (phloem) and xylem of *P. koraiensis*. ■; fed with inner bark (phloem) and xylem, ▲; fed xylem only then, fed with inner bark (phloem) and xylem at 3 week (☆). n=10.

그 부화율은 약 92%정도로 조사 되었으나, 부화한 유충의 22% 정도가 성충으로 되지 못하고 1령 혹은 2령 초기에 죽는 것으로 보고 되었다(Naves et al., 2006).

내수피와 목질부를 함께 섭취시킨 경우 유충들의 체중은 증가 하며 발육이 정상적으로 이루어지는 것으로 조사 되었으나, 목질부만 공급한 유충들은 체중의 감소, 발육지하, 활동량 감소가 이어지며 3주차에 폐사되는 개체가 관찰 되었다(Figure 2). 그러나 3주 이후 목질부만 공급한 유충들에게 내수피를 함께 공급하였을 시 체중은 증가 하였으며 발육은 정상적으로 회복되는 것으로 나타났다(Figure 2). 결론적으로 북방수염하늘소 유충의 정상적인 성장을 위해서는 내수피에 포함된 영양원이 필수적이며, 유충은 목질부를 소화시켜 이로부터 필요한 영양소를 흡수하지 못 하거나 유독물질을 제거할 수 있는 소화기능과 효소체계의 발달이 미흡한 것으로 판단 된다.

한편, 소나무류에 널리 존재하는 terpene류를 포함한 지질의 대사에 중요한 역할을 하는 esterase를 표지자로 이

Table 1. Oviposition preference of *M. saltuarius* on the *Pinus koraiensis* log piled parallel to the ground (n=10).

Length (cm)	Circumference (cm)	Number of oviposition scars ^{a)}		Average ratio of upper/lower
		Facing the sun(upper)	Facing the land (lower)	
99.4 ± 16.0	8.0 ± 3.0	44.7 ± 18	96.7 ± 35	31/69

^{a)}Number of oviposition scars are significantly different from each other ($p < 0.05$; SPSS test).

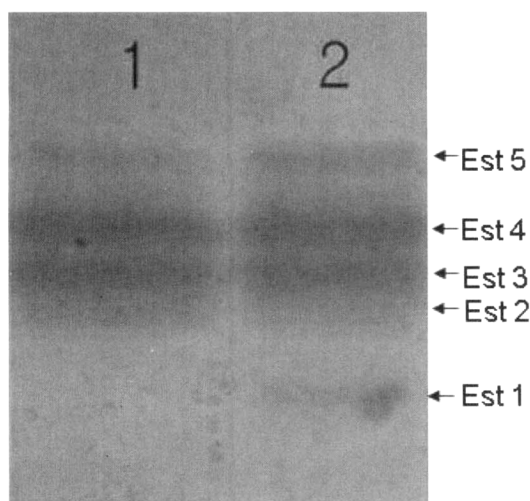


Figure 3. Esterase activities of fat body *M. saltuarius* on α -naphthyl acetate. Samples were separated on 12% Native-PAGE. General esterase activity was assessed and stained with Fast blue RR salt for 30 min. 1; fat body of the pine sawyer larva fed xylem of *P. koraiensis*, 2; fat body of the pine sawyer larva fed xylem and inner bark (phloem) together of *P. densiflora*.

용하여 소화액내 효소활성에 대한 비교실험을 계획하였으나 목질부만 섭식한 유충은 소화액이 적어 시료채취가 용이하지 않았다. 따라서 지방체(fat body)를 이용한 esterase 효소활성도의 비교실험을 수행한 결과 5개의 bands가 나타났다(Figure 3). 전기영동 이동순서에 따라 Est1, Est2, Est3, Est4 및 Est5로 명명 하였다. 내수피와 목질부를 함께 먹인 유충에서 Est1이 강한 활성이 나타나는 것으로 보아 Est1은 내수피의 특정물질과 관련이 되어 있거나, 또는 정상적인 생리활동을 위한 필수적인 아이소자임일 가능성이 높음을 암시하고 있다(Figure 3). 곤충들의 소화액에는 단백질가수분해효소와 함께 지질대사에 관여하는 esterase가 존재하는 경우가 많다(Geering and Freyvogel, 1975). Esterase는 음식물의 소화(Hipps and Nelson, 1974), 살충제에 대한 저항성(Cook and Forgash, 1965), juvenile hormone (JH) 농도의 조절(Zera, 2006; Park *et al.*, 1993)등에 관여하며 특히 간의 aliesterase가 amides 나 amino acid ester를 가수분해 할 수 있다는 것을 통해서 esterase가 단백질의 소화 대사에도 관여하는 것으로 보고되고 있다(Myers and Slater, 1957). 지방체에서 발견되는 Est1의 기능적 특성은 금후 여러 종류의 esterase 저해제들과 함께 Est1의 순수분리에 따른 효소의 특성 연구가 선행되어야 파악될 것으로 생각된다.

인용문헌

1. Anbutsu, H. and Togashi, K. 1997. Effect of spatio-temporal intervals between newly-hatched larvae on larval

survival and development in *M. alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Researches on Population Ecology*. 39: 181-189.

2. Anbutsu, H. and Togashi, K. 2000. Deterred oviposition response of *M. alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) to oviposition scars occupied by eggs. *Agricultural and Forest Entomology*. 2: 217-223.
3. Anbutsu, H. and Togashi, K. 2001. Oviposition deterrent by female reproductive gland secretion in Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*. *Journal of Chemical Ecology*. 27(6): 1151-61.
4. Chung, Y.J., Lee, S.M., Kim, D.S., Choi, K.S., Lee, S.G. and Park, C.G. 2003. Measurement and within-tree distribution of larval entrance and adult emergence holes of Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Korean Journal of Applied Entomology*. 42(4): 315-321.
5. Cook, B.J. and Forgash, A.J. 1965. The identification and distribution of the carboxylic esterases in the american cockroach, *Periplaneta americana*. *Journal of Insect Physiology*. 11: 237-250.
6. Dempster, J.P., 1992. Evidence of an oviposition-detering pheromone in the orange-tip butterfly, *Anthocharis cardamines* (L). *Ecological Entomology*. 17: 83-85.
7. Geering, K. and Freyvogel, T.A. 1975. Lipase activity and stimulation mechanism of esterases in the midgut of female *Aedes aegypti*. *Journal of Insect Physiology*. 21(6): 1251-1256.
8. Hipps, P.P. and Nelson, D.R. 1974. Esterases from the midgut and gastric caecum of the American cockroach, *Periplaneta americana* (L.). *Isolation and characterization*. *Biochimica et Biophysica Acta*. 25: 341(2): 421-436.
9. Kim, D.S., Lee, S.M., Chung, Y.J., Choi, K.S., Moon, Y.S. and Park, C.G. 2003. Emergence Ecology of Japanese Pine Sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a Vector of Pinewood Nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. *Korean Journal of Applied Entomology*. 42(4): 307-313.
10. Kobayashi, H., Yamane, A. and Iwata, R. 2003. Mating behavior of the pine sawyer, *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae). *Applied Entomology and Zoology*. 38(1): 141-148.
11. Lee, S.M., Choo, H.Y., Park, N.C., Moon, Y.S. and Kim, J.B. 1990. Nematodes and insects associated with dead trees, pine wood nematode detection from the part of *Monochamus alternatus*. *Korean Journal of Applied Entomology*. 29(1): 14-19.
12. Myers, D.K. and Slater, E.C. 1957. Hydrolysis of adenosine triphosphate by mitochondrial preparations. *Nature*. 16: 179(4555): 363-364.
13. Naves, P. de Sousa, E. and Quartau, J.A. 2006. Reproductive traits of *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera: Cerambycidae) under laboratory conditions. *Bulletin of*

- Entomological research. 96(3): 289-294.
14. Park, Y.C., Tesch, M.J., Toong, Y.C. and Goodman, W.G. 1993. Affinity purification and binding analysis of the hemolymph juvenile hormone binding protein from *Manduca sexta*. *Biochemistry*. 1993 10:32(31):7909-7915.
 15. Prokopy, R.J. 1972. Evidence for a marking pheromone deterring repeated oviposition in apple maggot flies. *Environmental Entomology* 1: 326-332.
 16. Takizawa, Y. and Shoji, T. 1982. Distribution of *Monochamus saltuarius* Gebler, and its possible transmission of pinewood nematodes in Iwate Prefecture. *Forest Pests* 31: 4-6.
 17. Togashi, K. 1986. Effects of the initial density and natural enemies on the survival rate of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae), in pine logs. *Applied Entomology and Zoology* 21: 244-251.
 18. Zera A.J. 2006. Evolutionary genetics of juvenile hormone and ecdysteroid regulation in *Gryllus*: a case study in the microevolution of endocrine regulation.
-

(2007년 6월 12일 접수; 2007년 8월 20일 채택)