

북방수염하늘소 유충의 이목 침엽수 종류에 따른 성장과 발육 및 생식

황인천¹ · 김주현 · 박종빈 · 신상철² · 정영진² · 조세열³ · 박용철*강원대학교 BT특성화학부대학 생명공학부, ¹(주)경농 중앙연구소, ²국립산림과학원, ³강원대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부Growth, Development, and Reproduction of *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) on Conifers Fed to LarvaeIn Cheon Hwang¹, Ju Huyn Kim, Jong Bin Park, Sang-Chul Shin², Young-Jin Chung², Saeyoull Cho³ and Yong Chul Park*

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

¹Central research institute Kyung Nong Corporation. 226, Guhwang Dong, Gyeong Ju, Gyeong Buk 780-110, Korea²Division of Forest Insect Pests and Disease, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea³Department of Bio-resource of Technology, Division of Applied Biology, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

ABSTRACT : Larvae of *Monochamus saltuarius* showed normal growth and development on conifers of *Pinus koraiensis*, *P. densiflora*, *Abies holophylla*, *Larix leptolepsis*, *P. bungeana*, and *P. rigida*, respectively, but the conifers influenced significantly the body weight and the survival rate of larvae. Though the larval body weights were in a wide spectrum among treatments, growth curves of them were very similar from each other, showing continuous increase from the early larval stage to about 3 months old. The body weight was decreased slightly after the feeding period of the early 3 months. The size of larvae and adults became the largest from *P. bungeana* fed larvae. The mid-sized ones were from *P. koraiensis*, *P. densiflora* and *A. holophylla*. Small ones came from *L. leptolepsis* and *P. rigida*. The larval growth was retarded without water supply. Overall survival rates from the early stage of a larva to a fertile adult were 53.6% from *P. koraiensis*; 51.8%, *P. densiflora*; 34.7%, *A. holophylla*; 17.8%, *P. bungeana*; 16.7%, *L. leptolepsis*; and 12.3%, *P. rigida*. Adults from larvae fed the 6 species of conifers, respectively, were grown into the reproductively potent adults, which laid viable eggs. A few of overwintered larvae did not pupate and remained still as a larva until the late October of the year. Data from the field survey, the head width emerged from *P. koraiensis* was larger than that of *L. leptolepsis*. The adult emergence hole in *P. koraiensis* was larger also. While, the size of the emergence hole was larger in the artificially inoculated log of *P. koraiensis*, which was kept for a larva to be with a minimized food competition and sufficient water supply, than that of the field.

KEY WORDS : *Monochamus saltuarius*, Conifers, Growth, Development, Reproduction

초 록 : 북방수염하늘소의 유충은 먹이로 공급된 잣나무, 소나무, 젓나무, 일본잎갈나무, 백송, 그리고 리기다소나무 각각을 식이하여 성장할 수 있다. 이목의 종류는 유충의 크기와 생존력에 큰 영향을 준다. 처리구 모두 유충의 성장곡선은 사육 3개월 동안 계속 증가하며, 이 후에는 약간 감소한다. 유충과 성충의 크기는 백송에서 가장 크게 나타났다. 다음으로 소나무, 잣나무, 젓나무에서 비슷한 크기로 자랐다. 가장 작은 것은 일본잎갈나무와 리기다소나무를 급여한 것이었다. 유충은 적당한 양의 수분이

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

공급되어야 성장할 수 있다. 유충에서 생식 활동이 가능한 성충으로 우화할 시기까지 생존율은 잣나무 식이구 53.6%, 소나무 51.8%, 젓나무 34.7%, 백송 17.8%, 일본잎갈나무 16.7%, 그리고 리기다소나무 12.3%로 나타났다. 각 처리구에서 우화한 성충은 산란을 하였으며, 알은 부화하여 정상적인 유충으로 성장하였다. 실내 사육(2007년 6월부터)되어 월동시킨 노숙유충의 일부는 용화하지 않고 2008년 10월 말 현재까지 유충상태로 남아있다. 야외에서 자연 감염된 잣나무와 일본잎갈나무 각각에서 우화한 성충의 두쪽은 암·수 모두 잣나무 개체군이 크게 나타났다. 탈출공의 크기도 잣나무에서 크게 나타났다. 탈출공의 크기는 자연에서의 것보다 먹이 경쟁을 최소화하고 적당량의 수분을 공급한 실내 잣나무 접종목에서 크게 형성되었다.

검색어 : 북방수염하늘소, 침엽수, 성장, 발육, 산란

북방수염하늘소(*Monochamus saltuarius*)는 솔수염하늘소(*Monochamus alternatus*)와 함께 소나무재선충병을 매개하는 해충으로 알려지고 있다(Korea Forest Research Institute, 2007). 남부지방에는 솔수염하늘소가 분포하여 소나무를 가해하고, 중부지방에는 북방수염하늘소가 주로 잣나무와 소나무에 서식하면서 가해하는 것으로 알려져 있다(Kwon *et al.*, 2006). *Monochamus*속의 종들은 한국, 일본, 대만, 중국, 서유럽, 북미 등의 지역에서 소나무에 심각한 피해를 주고 있다(Chung *et al.*, 2003; Linit, 1988; Makihara, 1988; Makihara, 2004; Mota, 2002; Takizawa and Shoji, 1982).

지금까지 소나무재선충병에 대한 대부분의 연구는 솔수염하늘소를 대상으로 이루어져 왔다. 솔수염하늘소의 기주 가해특성, 생식활동을 포함한 기초적인 생물학적 특성, 그리고 방제에 대한 많은 연구 결과가 있다(Anbutsu and Togashi, 1997a; Anbutsu and Togashi, 2000; Anbutsu and Togashi, 2001; Chung *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 1990; Naves *et al.*, 2006; Togashi, 1986; Togashi, 1995). 반면, 북방수염하늘소에 대한 연구는 기초적인 생리와 생태적 연구를 위주로 수행되어 왔다(Anbutsu and Togashi, 1997b; Cho *et al.*, 2007; Park and Cho, 2007; Jikumaru *et al.*, 1994; Jikumaru and Togashi, 1996; Kobayashi *et al.*, 2003; Nakayama *et al.*, 1998; Park *et al.*, 2007).

일반적으로 매개충과 선충 그리고 기주식물 간에는 독특한 종 특이적인 관계가 형성된다. 이는 북방수염하늘소에 의한 선충의 전파양상과 기존에 알려져 있는 솔수염하늘소의 경우와 다를 가능성이 있으므로 국내에 존재하는 주요 침엽수를 대상으로 북방수염하늘소의 기주범위와 기주 적응도에 대한 연구가 필요하다. 기주의 적합 여부는 산란유도 물질의 유무, 유충의 성장도, 우화성충의 산란능

력 등과 같은 종의 번식을 위한 기본적인 요건의 만족도에 따르며, 기주가 되는 침엽수는 종류와 수령에 따라 곤충의 유인 또는 기피를 유도하는 terpenes을 포함한 여러 종류의 방어 물질을 달리 생산하는 것으로 알려져 있다(Hong *et al.*, 2004; Hwang *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2005). 이러한 물질의 종류와 조성의 차이는 기주의 범위를 제한하는 요인이 되어 곤충의 성장과 생식, 특히 유충의 성장과 발육에 결정적인 영향을 미치게 된다.

북방수염하늘소의 유충은 고사목의 내수피를 섭식하여 영양분을 취하며 목질부만을 급여시킬 경우에는 성장을 멈추고 폐사하게 된다(Park *et al.*, 2007). 따라서 유충의 성장은 내수피의 물리·화학적 특성과 보습력 등에 의해 좌우된다고 볼 수 있다. 본 연구에서 북방수염하늘소의 기주 또는 대체기주의 이용에 대한 효율을 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 내수피의 물리·화학적 특성에 차이가 있을 것으로 예상되는 잣나무를 포함한 침엽수 6종을 섭식시켜 유충의 성장곡선 등 몇 가지 생물학적인 지표에 대한 비교 연구를 하였다. 야외 관찰과 조사를 병행하여 실내 실험 결과의 보완 및 증거 자료로 활용하였으며, 향후 북방수염하늘소 방제를 위한 기초 자료로 활용코자 한다.

재료 및 방법

이목의 종류와 유충의 성장

공시 유충의 확보를 위하여 2006년 야외에서 포획한 북방수염하늘소의 성충으로부터 산란을 유도하여 부화된 유충을 잣나무의 가지를 급여하여 실내 사육하였다(Park *et al.*, 2007). 노숙유충은 약 7개월간 4°C에서 저온 저장하였다. 익년 5월부터 성충으로 우화시켜 상온에서 산란

을 유도한 후 부화한 유충을 실험에 사용하였다. 산란 유도를 위해 길이 25 cm 직경 7-15 cm의 잣나무를 유인목으로 이용하였으며, 성충의 먹이로는 잣나무 가지의 신초가 있는 부위를 위주로 하여 주 2회 공급하였다. 성충은 50 cm × 50 cm × 50 cm 플라스틱 용기에 암·수 5쌍을 사육하였다. 산란 유인목은 2개씩 공급하였으며 1주일 간격으로 새로운 것으로 교체하였다. 부화된 유충은 6월 말부터 7월 초 사이에 산란목의 수피를 제거하여 수거한 후 개별 사육하였다. 실험은 상온에서 실시하였다. 사육 유충의 먹이로는 잣나무, 소나무, 일본잎갈나무, 잣나무, 리기다소나무, 백송의 가지(직경 0.5-2 cm, 길이 5 cm)를 이용하였다. 일주일 간격으로 사육용기(50 ml 플라스틱 튜브)에 증류수 500 μ l를 공급하여 적당한 양의 수분이 공급되도록 하였다. 각 처리구별 20개체의 체중 변화를 1주일 간격으로 측정하였다. 실험 중 치사한 개체는 제거하였으며 새로운 개체로 보완하지 않았다. 실험 기간(체중 측정)은 16(2007.6-2007.10)주간 실시하였다. 별도의 실험으로 수분이 유충 성장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 이목을 물에 불리거나 햇빛에 완전히 건조시킨 후 먹이로 공급하였다. 상온에서 사육하면서 1주일 간격으로 2회 체중의 변화를 비교하였다.

저온관리 후 유충의 체중, 생존율 및 발육

침입수 6종 각각으로 사육된 유충은 동절기가 시작되는 11월부터 익년인 2008년 5월 21일까지 4°C에서 저온 관리하였다. 광주기는 동절기의 주기와 비슷한 8L:16D로 유지하였다. 용실을 형성한 유충이 있을 경우 용실에서 꺼내어 15 ml 튜브에 넣어 저온 관리 하였다. 저온저장 기간부터 익년 우화기까지 작성된 자료는 상기 성장곡선(체중) 측정용 유충 이외에 여분으로 사육되어온 개체를 혼합한 것으로 작성하였다. 저온관리 종료일에 유충의 체중과 생존율을 조사하였다. 용화하지 않고 유충 상태로 발육을 중지한 생존 개체는 2008년 10월 현재까지 27°C에서 관리하였다.

이목별 사육유충의 전용기, 용화율, 우화율 및 두폭과 체장

약 7개월간의 저온관리 후 2008년 5월 22일부터 27°C에서 관리하면서 전용기, 용화율, 용기간 그리고 우화율을 조사하였다. 광주기는 하절기 조건인 16L:8D로 유지하였다. 성충은 암수 구분하여 두폭과 체장을 측정하였다. 우화 직후 사망한 개체는 암컷과 수컷으로 구분하지 않았으

며, 두폭과 체장 측정에서 제외시켰다.

이목별 사육유충에서 우화한 성충의 산란여부 및 부화 유충 생존 여부

유충 이목의 종류별 우화성충의 산란여부와 부화 유충의 생존 여부를 확인하였다. 모든 실험은 실온에서 실시하였다. 각 처리구별로 우화한 성충은 50 cm × 50 cm × 50 cm 플라스틱 용기 1개 내에서 사육하였다. 잣 우화한 성충은 3일 동안 단독으로 격리시켜 체벽이 완전히 굳은 후 합사하였다. 길이 25 cm 직경 7-15 cm의 잣나무로 된 산란목 2개를 첨가하여 북방수염하늘소의 산란을 유도하였다. 산란목은 1주일 간격으로 교체하였다. 산란이 이루어진 산란목은 2주 간격으로 수분을 공급하여 유충의 성장에 지장이 없도록 하였다. 산란과 부화된 유충의 생존 여부를 확인을 목적으로 하였으므로 산란력에 대한 정량적인 조사는 실시하지 않았다. 성충의 먹이로는 잣나무 가지의 신초가 있는 부위를 위주로 하여 주 2회 공급하였다. 산란목은 1주일 간격으로 새로운 것으로 교체하였다. 부화 유충은 7월부터 10월 사이의 기간에 수피를 제거하여 확인하였다.

자연 고사 일본잎갈나무와 잣나무에서 우화한 성충의 두폭과 탈출공 크기

춘천시 가정리 소재 야산의 잣나무와 일본잎갈나무로 이루어진 혼합림에서 2007년 4월부터 5월 중 북방수염하늘소의 침입공이 형성된 고사목의 주간부를 길이 1-1.5 m(직경 5-15 cm)로 절단하였다. 실내에서 보관하면서 잣나무 또는 일본잎갈나무에서 우화한 성충의 두폭을 조사하였다. 타원형인 성충의 탈출공은 장경과 단경으로 나누어 크기를 측정하였다. 실내에서 보관 중인 고사목의 지나친 건조를 방지하기 위하여 2주일 간격으로 스프레이를 이용하여 수분을 공급하였다. 비교실험으로 실내에서 유충을 인공접종한 후 우화한 성충의 탈출공 크기를 조사하였다. 잣나무의 주간부(직경 5-15 cm, 길이 1.5 m)의 내수피와 목질부 사이에 2령 유충을 2006년 6월 이식하여 동년 10월 말까지 실험실에서 관리하였다. 유충접종 밀도는 직경 10 cm, 길이 1.5 m의 이목을 기준으로 2령 총 15마리로 하였다. 접종목은 나무종류와 같은 이종의 먹이경쟁자 또는 포식자가 선점하지 않은 것을 사용하였다. 2주 간격으로 내수피 까지 물이 스며들도록 충분한 양의 물을 스프레이로 살포하였다. 동절기에는 이목을 야외에 방치하여 월동시킨 후 익년 7월에 성충의 탈출공의 크기를 측정하였다.

통계처리

북방수염하늘소의 월동 전·후 무게, 전용기간, 용기간, 두께, 체장, 탈출공 크기 비교 분석은 SAS software를 이용하였다.

결과 및 고찰

이목의 종류와 유충의 성장

북방수염하늘소의 유충은 공시된 이목 모두에서 성장과 발육이 가능하다. 이목의 종류는 사육유충의 체중에 큰 영향을 주는 것으로 나타나고 있다. 이목으로 이용된 6종의 침엽수 중에 백송이 유충성장에 가장 적합한 것으로 나타나고 있다. 그 다음 순서로 소나무, 잣나무, 젓나무, 일본잎갈나무, 리기다소나무 순으로 나타나고 있다. 체중 측정 마지막 주인 16주째의 유충 몸무게는 백송의 경우

0.30 g, 소나무 0.23 g, 잣나무 0.22 g, 젓나무 0.22 g, 일본잎갈나무 0.16 g 그리고 리기다소나무 0.13 g 순으로 나타났다(Table 1). 유충의 성장만으로 판단해 보면 이목으로서의 적합도를 상, 중, 하 3가지로 나눌 수 있다. 상으로 백송, 중으로 소나무, 잣나무, 젓나무이며, 하는 일본잎갈나무와 리기다소나무이다. 체중의 차이는 주된 먹이가 되는 이목의 내수피(Park *et al.*, 2007)의 화학적 조성(Hong *et al.*, 2004; Hwang *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2005)과 물리적 특성의 차이에 의한 것으로 생각된다.

각 처리구당 20개체로 시작하여 16주째까지 생존한 유충의 생존율은 80-95%로 나타났다(Table 2). 생존한 유충의 수는 소나무와 젓나무 처리구에서 각각 19마리였다. 일본잎갈나무는 18, 잣나무 17, 그리고 리기다소나무와 백송에서 각각 16마리로 나타났다. 유충의 높은 생존율은 안전한 실내 조건에서 사육되었기 때문이다. 야외에는 동충포식, 기생, 포식자 등 유충의 생존에 부정적인 영향을 주는 것이 많이 있다(Anbutsu and Togashi, 1997a; Park *et al.*, 2007). 야외 고사목의 경우 산란혼의 수에

Table 1. The body weight (g) of *Monochamus saltuarius* larva before and after the low temperature (4°C) storage for about 7 months

Host plant	Body weight (g) (mean±SD, n)	
	Before	After ^{a)}
<i>Pinus koraiensis</i>	0.22±0.05a ^{b)} (20)	0.20±0.05a (40)
<i>P. densiflora</i>	0.23±0.04a (20)	0.20±0.05a (31)
<i>Larix leptolepsis</i>	0.16±0.03b (20)	0.18±0.04a (18)
<i>Abies holophylla</i>	0.22±0.06a (20)	0.22±0.06a (30)
<i>P. rigida</i>	0.13±0.04b (20)	0.14±0.04b (18)
<i>P. bungeana</i>	0.30±0.04c (20)	0.26±0.06a (26)

^{a)} Additional individuals were supplied just before initiating the low temperature storage.

^{b)} Means followed by the same letter are not significantly different ($p=0.05$; DMRT).

Table 2. Survival rates of *Monochamus saltuarius* larva before, during, and after the low temperature (4°C) storage

Host plant of larva	Low temperature storage						Overall survival rate of larva (%)
	Before (RT)		During (4°C)		After to prior to pupation (27°C)		
	No. of survived/ No. of started	Survival rate (%)	No. of survived/ No. of started	Survival rate (%)	No. of survived/ No. of started	Survival rate (%)	
<i>Pinus koraiensis</i>	17/20	85.0	40/40	100.0	36/40	90.0	76.5
<i>P. densiflora</i>	19/20	95.0	31/35	88.6	30/31	96.8	80.3
<i>Larix leptolepsis</i>	18/20	90.0	18/30	60.0	8/18	44.4	25.1
<i>Abies holophylla</i>	19/20	95.0	30/36	83.3	20/30	66.7	52.0
<i>P. rigida</i>	16/20	80.0	18/25	72.0	10/18	55.6	31.7
<i>P. bungeana</i>	16/20	80.0	26/30	86.7	16/26	61.5	42.0

비하여 확인되는 유충의 수는 매우 적은 것으로 나타나고 있다(Park et al., 2007).

유충의 성장곡선은 처리구 모두 비슷한 양상을 보이고 있다(Fig. 1). 유충 사육 개시일로부터 약 3개월 동안은 섭식 기간으로 몸무게가 꾸준히 증가하게 된다. 이 후에는 섭식을 중지하는 시기로 몸무게가 완만한 속도로 감소하게 된다. 외관 또는 해부한 상태로 볼 때 유충은 소화관 내의 먹이와 이물질을 깨끗이 비우게 된다. 체수분의 양도 감소시켜 월동을 준비하는 시기가 된다.

이목에 적절한 양의 수분을 유지하며 사육한 개체와 건조한 이목만을 급여한 개체 간의 성장에는 현격한 차이가 나고 있다. 사육 2주째에 수분 처리구는 무처리구에 비하여 체중이 6배 정도 증가하였다. 무처리구의 유충은 시간이 지나면서 사육 개시일 보다 체중이 오히려 감소하는 현상을 나타냈다(Fig. 2). 사육 2 주째에 수분이 결핍된 처리구의 유충은 가슴과 복부 부위가 정상적인 개체와는 달리 심하게 축소되어 있었으며 아사직전의 상태였다. 북방수염하늘소의 유충의 성장을 위해서는 적당한 양의 수분이 절대적으로 필요하다는 것을 알 수 있다. 자연에서 유충의 주된 성장 시기는 6-7월로 비가 많이 오는 장마철과 일치한다. 연도에 따라 이 시기의 강우량과 강우 횟수는 유충, 특히 어린 유충의 성장력과 생존율에 커다란 영향을 줄 것으로 생각된다. 유충의 성장기에 건조한 시기가 오랫동안 지속될 경우에 성장이 불량하거나 치사하는

개체가 다수 발생할 가능성도 있다.

저온관리 후 유충의 체중, 생존율 및 발육

저온저장 7개월 후의 평균 몸무게는 백송 처리구의 경우 0.26 g, 잣나무 0.22 g, 잣나무 0.20 g, 소나무 0.20 g, 일본잎갈나무 0.18 g 그리고 리기다소나무 0.14 g 순으로 나타났다(Table 1). 일본잎갈나무와 리기다소나무를 제외한 모든 처리구에서 저온저장 개시 전보다 체중이 감소하였다. 일종의 동면기인 저온보관 기간을 보내면서 주로 수분 손실과 영양물질의 대사로 인하여 체중이 감소한 것으로 생각된다. 일본잎갈나무와 리기다소나무 처리구의 경우 저온 보관 이전 보다 체중이 약간 증가하였다. 이에 대한 이유는 저장기간 중에 비교적 체중이 가벼운 유충이 치사하였거나 또는 별도로 사육된 유충의 첨가가 평균값의 상승에 영향을 준 것으로 생각된다.

저온 저장기간 동안 유충의 생존율이 가장 높은 것은 잣나무 급여구로 100%로 나타났다. 그 다음 생존율이 높은 순서는 소나무 88.6%, 백송 86.7%, 잣나무 83.3%, 리기다소나무 72.0% 그리고 일본잎갈나무 60.0%로 나타났다. 저온 저장 후 27°C에서 용화전까지 생존한 유충의 생존율은 소나무 96.8%, 잣나무 90.0%, 잣나무 66.7%, 백송 61.5%, 리기다소나무 55.6% 일본잎갈나무 44.4% 순으로 나타났다. 종합적으로 유충에서 용화되기 전까지

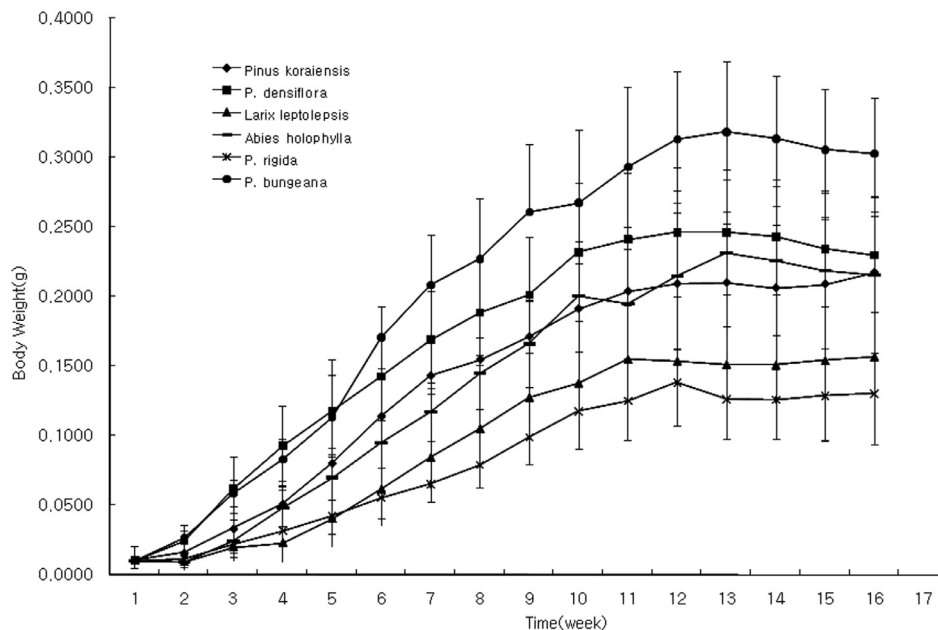


Fig. 1. The growth curves of *Monochamus saltuarius* larva. Twigs of 6 conifer species of *Pinus koraiensis*, *P. densiflora*, *Abies holophylla*, *Larix leptolepis*, *P. bungeana*, and *P. rigida*, were provided to larvae, respectively, at room temperature. n=20.

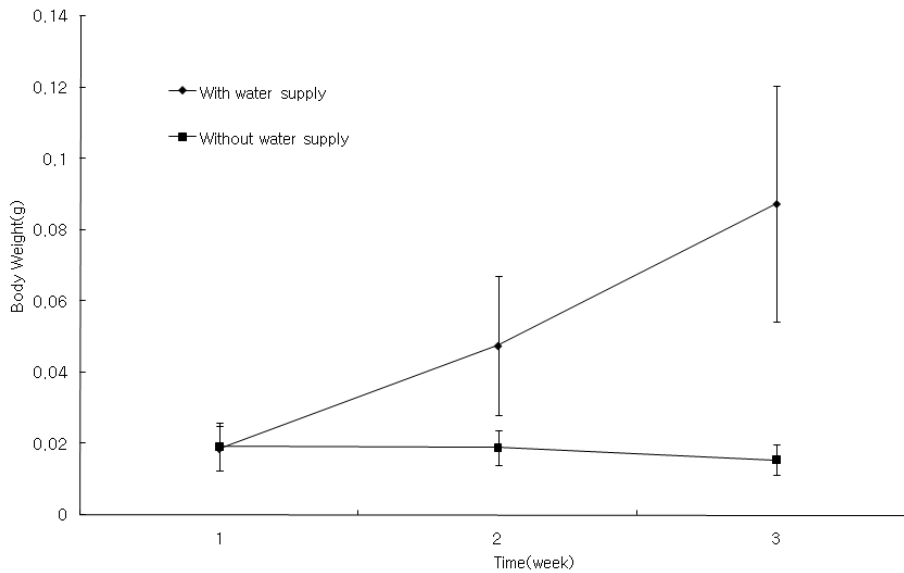


Fig. 2. The larval body weight of *Monochamus saltuarius* with or without a water supply. The larva was fed twigs of *Pinus koraiensis* at room temperature. n=20.

Table 3. The number and body weight of the larva of *Monochamus saltuarius* remaining at the last larval stadium after the winter dormancy

Host Plant	No. of larva remaining as larva ^{a)} / No. of larva tested ^{b)}	Body weight in May (g)
<i>Pinus densiflora</i>	1/40	0.25
<i>Larix leptolepis</i>	1/18	0.16
<i>P. bungeana</i>	3/26	0.23±0.05

^{a)}The animal is still alive until the late October, 2008.

^{b)}The number indicates the survived larva after the low temperature storage at 4°C.

생존한 유충의 생존율은 소나무 80.3%, 잣나무 76.5%, 젓나무 52.0%, 백송 42.0%, 리기다소나무 31.7% 그리고 일본잎갈나무 25.1%로 나타났다(Table 2).

섭식기와 월동기 그리고 월동 후 용기 이전의 생존율 (Table 2)로 비교하여 보면 북방수염하늘소의 유충의 생존에 가장 적합한 이목은 잣나무이고 그 다음으로 소나무가 됨을 알 수 있다. 젓나무와 백송은 중간 정도이고 일본잎갈나무와 리기다소나무는 하로 분류될 수 있다. 중부지방에서 북방수염하늘소의 주된 기주는 잣나무와 소나무 (Kwon *et al.*, 2006)이지만 산란처에 대한 경쟁이 심할 경우 상기 두 종의 수종 이외에 공시된 4종의 침엽수에 산란을 할 가능성도 있다. 젓나무, 백송, 일본잎갈나무 그리고 리기다소나무의 경우 유충의 생존율은 비교적 낮으나 일단 산란이 이루어지면 자연에서 개체군의 밀도를 어느 정도 유지시킬 수 있을 것으로 생각된다. 북방수염하늘소는 일본 동북부지역에서 재선충의 매개자로 보고되고 있으며(Takizawa and Shoji, 1982), 우리나라에서도

최근 중부지방에서 잣나무에 재선충병을 옮기는 것으로 알려지고 있다(Korea Forest Research Institute, 2007). 재선충병의 효과적인 방제를 위해서는 북방수염하늘소의 주된 기주 이외에 산림에 혼재하는 일본잎갈나무를 비롯한 침엽수류의 관리에 주의를 기울여야 할 것으로 생각된다.

실내 사육(2007년 6월 말부터 시작)되어 완숙한 종령 유충 상태로 월동을 마친 유충 중에 일부는 2008년 10월 현재까지 1년이 지나도록 용화하지 않은 개체도 있다. 이목 처리구별로 백송 3개체, 소나무 1개체 그리고 일본잎갈나무 1개체가 유충상태로 머물러 있다(Table 3). 각 처리구의 평균 체중과 비교해 보면 유충 상태로 남아있는 개체의 체중은 정상이라는 것을 알 수 있다(Tables 1 and 3). 이에 대한 이유는 분명하지 않으나 북방수염하늘소의 환경 적응에 대한 다양성을 보여주는 것으로 해석될 수도 있다. Togashi (1991)의 연구결과에 의하면 솔수염하늘소는 상황에 따라 생활환(life cycle)을 1년 또는 2년으로 하게 된다. 북방수염하늘소의 유충도 발육상태와 환경조

건에 따라 생활환을 1년 1-2세대 또는 2년을 주기로 가질 가능성이 높다고 할 수 있다. 본 논문에서 자료에 첨가하지 않았지만 실내 사육된 소수의 북방수염하늘소의 유충은 월동을 하지 않고 곧바로 성충으로 우화하는 경우가 있었다.

이목별 사육유충의 전용기, 용화율, 우화율 및 두폭과 체장

약 7개월간의 4°C 저온관리를 한 후에 27°C에서 용화되는 기간을 조사하였다. 전용기간은 유충시기의 이목처리구별로 약간의 차이를 보이고 있다. 월동(저온저장) 후 27°C에서 전용기간은 전체적으로 8-17일 정도 소요되었다(Table 4). 전용기간이 가장 짧은 것부터 일본잎갈나무, 잣나무, 젓나무, 소나무, 백송, 리기다소나무 순으로 나타나고 있다. 용 기간은 전체적으로 균일하게 7-8일 정도 소요되었다(Table 4). 용화율은 이목 처리구 간에 커다란 차이가 나타나고 있다. 용화율이 높은 순서로부터 잣나무 90.0%, 젓나무 76.7%, 일본잎갈나무 72.2%, 소나무 67.7%, 리기다소나무 50.0%, 그리고 백송 46.2%로 나타났다(Table 4). 우화율은 용화율과는 달리 처리구 간에 차이가 거의 없으며 높게 나타났다. 즉 모든 처리구에서 95-100%를 보였다(Table 4). 우화 후 1-3일 사이에 사망하는 성충이 발생했다. 갓 우화한 성충(우화 후 3일 이내)의 사망률은 잣나무 22.2%, 리기다소나무 22.2%, 젓나무 9.1%, 백송 8.3%, 일본잎갈나무 7.7% 그리고 소나무는 0%로 나타났다(Table 4). 갓 우화한 성충이 사망하는 경우는 야외 조사 결과에서도 나타난다.

야외 관찰 결과에 의하면 성충의 형태로 용실에서 또는

탈출공 형성 초기 단계에서 치사한 성충이 발견된다. 심한 경우에는 탈출공을 형성하고 난 후 머리 또는 몸통이 탈출하지 못한 상태로 사망한 경우가 있다(Fig. 3). 원인은 분명하지 않으나 우화과정과 탈출공의 형성 시기에는 많은 양의 에너지가 소모되어 탈진한 상태에 있다가 사망하는 것으로 추론된다. 질병과 기생자 또는 갑작스런 기상 변화에 기인되었을 가능성도 배제할 수 없다.

총괄적으로 초기유충(1-2령) 단계에서 활동 가능한 성충(우화 후 3일이 지난 개체)으로까지 생존한 생존율은 잣나무 급여구 53.6%, 소나무 51.8%, 젓나무 34.7%, 백송 17.8%, 일본잎갈나무 16.7%, 그리고 리기다 12.3%로 나타났다. 본 결과는 실내에서 수행한 것으로, 실제 야외의



Fig. 3. A dead young adult of *Monochamus saltuarius* before escaping from the emergence hole.

Table 4. The duration and survival rate of the prepupa, pupa, and adult of *Monochamus saltuarius* at 27°C

Host plant of larva	Prepupa ^{a)}			Pupa			Death rate of adult within 3 days after emergency (%)	Overall survival rate from lava to 4 day old adult (%)
	Term (mean±SD, day)	No. of pupated/ No. of prepupa	Pupation rate (%)	Term (mean±SD, day)	No. of emerged/ No. of pupa	Emergency rate (%)		
<i>Pinus koraiensis</i>	10.53±3.75ab ^{b)}	36/40	90.0	7.83±0.85a	36/36	100.0	22.2	53.6
<i>P. densiflora</i>	11.80±4.87ab	21/31	67.7	7.70±1.34a	20/21	95.2	0.0	51.8
<i>Larix leptolepsis</i>	8.54±1.98b	13/18	72.2	7.62±0.65a	13/13	100.0	7.7	16.7
<i>Abies holophylla</i>	11.55±4.10ab	23/30	76.7	8.05±0.95a	22/23	95.7	9.1	34.7
<i>P. rigida</i>	17.44±7.52c	9/18	50.0	7.44±0.53a	9/9	100.0	22.2	12.3
<i>P. bungeana</i>	12.50±4.66a	12/26	46.2	8.25±1.42a	12/12	100.0	8.3	17.8

^{a)}Meaning of prepupa, here, indicates a larva of the last instar conditioned only at 27°C. The last instar has spend previously nearly 7 month's dormancy at 4°C.

^{b)}Means followed by the same letter are not significantly different (p=0.05; DMRT).

것과는 매우 다를 것으로 생각된다. 포식자를 포함한 생물적요인(Anbutsu and Togashi, 1997a; Park *et al.*, 2007; Togashi 1986)과 강우량 등의 무생물적 요인으로 인하여 생존율은 다소 떨어질 것으로 예상된다. 효과적인 재선충병의 방제법을 개발하기 위해서는 자연에서 공시목 6종 모두에게 성충이 유인되어 산란을 하는지에 대한 여부를 밝혀야 할 것이다. 또한 재선충병의 매개여부와 발병양상에 대한 연구도 병행되어야 할 것이다.

암컷 성충의 두폭의 크기는 백송, 잣나무, 소나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 리기다소나무 처리구 순으로 작아졌다. 수컷은 백송, 소나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 잣나무, 리기다소나무 순으로 작아진다. 체장의 경우 암컷은 백송, 잣나무, 잣나무, 소나무, 일본잎갈나무, 리기다소나무 순으로, 수컷은 백송, 소나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 잣나무, 리기다 순으로 작아진다. 이러한 결과에 의하면 성충의 크기는 약간의 차이는 있으나 유충의 체중과 일치하는 경향을 보여 상으로 백송, 중으로 소나무, 잣나무, 잣나무이며 하는 일본잎갈나무과 리기다소나무 급여구로 분류될 수 있다(Table 5). 북방수염하늘소의 경우 성충의 크기와 생식력 사이에는 정의 상관관계가 있는 것으로 알려지고 있다(Jikumaru *et al.*, 1994). 따라서 백송과 같은 큰 성충을 생산할 수 있는 이목으로부터 산란력이 우수한 개체가 많이 생산된다고 볼 수 있다.

이목별 사육유충에서 우화된 성충의 산란여부 및 부화 유충 생존 여부

저온저장 기간에 생존한 유충으로부터 우화된 모든 처리구의 성충은 잣나무로 된 산란 유인목에 산란을 하는 것을 관찰할 수 있었다. 산란된 알은 부화하여 건강한 유충상태를 유지하였다. 잣나무를 먹이로 한 유충에서 우화된 성충은 산란목에 다량의 알을 산란하였으며, 이로부터 총 106마리의 1-3령 유충을 수거할 수 있었다. 소나무, 일본잎갈나무, 잣나무, 리기다소나무, 백송 처리구에서 각각 69, 98, 150, 11, 178 개체의 유충을 확인 하였다(Table 6). 결론적으로 북방수염하늘소의 유충은 잣나무를 포함한 총 6종의 공시목을 먹이로 하여 생식활동이 가능한 성충으로 자랄 수 있다는 것을 알 수 있다. 본 실험에서는 산란여부와 부화한 유충의 생존 여부를 확인하기 위한 것에 목적을 두었다. 산란에 대한 정량적인 분석 연구가 요구된다. 야외에서 성충이 상기 모든 공시목에 유인되어 산란을 하는가의 여부는 금후 연구되어야 할 과제로 생각된다.

유충의 성장곡선과 월동유충의 생존율 그리고 성충의 크기와 우화율로 판단해 보면 북방수염하늘소에게 가장 적합한 기주는 잣나무와 소나무인 것으로 추정할 수 있으나 확증을 위해서는 산란력과 부화 유충의 생존율에 대한

Table 5. The head width and body length of *Monochamus saltuarius* adults developed from the laboratory-reared larva

Host plant of larva	Head width (mean±SD, mm)		Body length (mean±SD, mm)		n	
	Female	Male	Female	Male	Female	Male
<i>Pinus koraiensis</i>	2.90±0.02ab ^{a)}	2.58±0.36ab	14.06±0.96abc	12.69±1.23a	20	8
<i>P. densiflora</i>	2.92±0.08ab	2.88±0.28a	13.45±0.91bc	13.30±1.19a	11	9
<i>Larix leptolepsis</i>	2.79±0.22b	2.78±0.32a	13.24±0.73cd	12.70±1.54a	8	4
<i>Abies holophylla</i>	2.98±0.08a	2.85±0.10a	14.51±0.48ab	13.22±0.52a	14	6
<i>P. rigida</i>	2.48±0.28c	2.23±0.23b	12.28±2.44d	10.80±0.96b	4	3
<i>P. bungeana</i>	3.05±0.01a	2.96±0.17a	14.72±0.60a	13.88±1.40a	6	5

^{a)}Means followed by the same letter are not significantly different (p=0.05; DMRT).

Table 6. The number of *Monochamus saltuarius* larva hatched from eggs laid by the adult^{a)} emerged from the laboratory reared larva

Host plant of larva	Larva (1st-3rd instar)
<i>Pinus koraiensis</i>	106
<i>P. densiflora</i>	69
<i>Larix leptolepsis</i>	98
<i>Abies holophylla</i>	150
<i>P. rigida</i>	11
<i>P. bungeana</i>	178

^{a)}The reproductive adults were fed twigs of *P. koraiensis* at room temperature. Oviposition was induced on the log of *P. koraiensis*.

정량적인 분석이 필요하다. 또한 북방수염하늘소의 정량적 그리고 정성적인 생물학적 특성을 변화시킬 수 있는 기후와 같은 무생물적 요인과 질병과 기생자 등의 생물학적인 요인에 대한 체계적인 조사와 분석이 요구된다.

자연 고사 일본잎갈나무와 잣나무에서 우화된 성충의 두폭과 탈출공 크기

자연 상태에서 북방수염하늘소의 침입공이 형성된 잣나무와 일본잎갈나무의 주간부를 수거하여 실험실에서 격리시켜 관리한 결과 두 이목 모두에서 성충이 우화하였다. 잣나무에서 출현한 개체의 크기가 일본잎갈나무의 것보다 다소 큰 것으로 조사되었다(Table 7). 잣나무에서 우화한 성충의 두폭의 크기는 암컷의 경우 3.6 mm, 수컷은 3.5 mm로 측정되었다. 일본잎갈나무의 경우 두폭은 암컷이 3.0 mm, 수컷이 3.1 mm로 나타났다. Han *et al.* (2007)은 이목에 대한 언급은 없으나 두폭은 암컷이 3.4 mm, 수컷이 3.3 mm로 보고하였다. 솔수염하늘소의 경우에도 이목의 종류가 유충의 크기에 영향을 준다(Togashi *et al.*, 2008). 자연에서 발육한 성충이 실내에서 유충시기부터 잔가지로 된 이목으로 사육한 개체의 두폭(3 mm 이하)보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있다(Tables 5 and 7). 원인 중에 하나는 본 실험에서 실내사육 개체에게는 내수피가 매우 얇아 유충의 먹이로서 질이 떨어지게 되는 직경 0.5-2 cm, 길이 5 cm의 이목이 공급되었기 때문인 것으로 생각된다.

자연에서 발육한 성충의 탈출공은 두폭의 크기와 비례

하여 잣나무에서 더 크게 형성되었다. 잣나무의 경우 탈출공의 크기는 장경 6.3 mm, 단경 6.1 mm였다. 일본잎갈나무에서는 장경 5.3 mm, 단경 5.1 mm로 나타났다(Table 8). 실내에서 인위적으로 잣나무의 주간부에 유충을 이식한 경우에는 탈출공의 크기가 장경 7.2 mm, 단경 6.9 mm로 나타났다(Table 8). 자연 조건에서 형성된 탈출공의 크기보다 인공접종한 것이 더 크게 형성되었다. 가능한 이유 중에 하나는 인공접종의 경우 이식 유충의 수를 제한하게 되며 정기적으로 충분한 양의 수분을 공급하게 된다. 또한 나무줄과 같은 이종의 발생을 차단하여 충분한 양의 먹이를 섭취 할 수 있는 조건이 주어지게 된다. 이에 따라 유충이 최대한으로 성장할 수 있게 되었고 결과적으로 큰 성충으로 우화하여 탈출공을 크게 형성할 수 있었던 것으로 생각된다. 자연에서 북방수염하늘소의 탈출공 밀도가 높은 고사목 주변에 이목을 쌓아두면 유인되는 성충의 크기가 비교적 작은 것을 목격하게 된다. 자연에서는 북방수염하늘소가 소나무, 잣나무, 곰솔(Kwon, 2006) 그리고 일본잎갈나무에 서식한다는 것이 확실시 된다. 효과적인 소나무재선충병의 방제체계를 확립하기 위해서는 자연에서 상기 4종 이외에 여러 종류의 침엽수에 대한 기주 또는 대체기주의 가능성에 대한 추가적인 조사가 요구된다.

Literature Cited

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

Table 7. Comparison of the head width of *Monochamus saltuarius* adults emerged from *Pinus koraiensis* and *Larix leptolepis*

Host plant ^{a)}	n	Head width (mean±SD, mm)	
		Female	Male
<i>Larix leptolepis</i>	10	2.97±0.28a	3.05±0.21a ^{b)}
<i>Pinus koraiensis</i>	20	3.57±0.23b	3.46±0.17b

^{a)}Host plant with the entrance hole of a larva was collected from the field.

^{b)}Means followed by the same letter are not significantly different (p=0.05; DMRT).

Table 8. Comparison of the width of the emergence hole marked by adults of *Monochamus satuarius* in the bark of *Pinus koraiensis* and *Larix leptolepis*

Source	Host plant	n	Width (mean±SD, mm) of adult emergency hole	
			Long	Short
Field	<i>Larix leptolepis</i>	31	5.26±0.57a ^{a)}	5.06±0.56a
	<i>Pinus koraiensis</i>	33	6.29±0.34b	6.08±0.35b
Innoculated in Lab.	<i>P. koraiensis</i>	32	7.23±0.32c	6.93±0.27c

^{a)}Means followed by the same letter are not significantly different (p=0.05; DMRT).

- development in *M. alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Researches on Population Ecology. 39: 181-189.
- Anbutsu, H. and K. Togashi. 1997b. Oviposition behavior and response to the oviposition scars occupied by eggs in *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae). Appl. Entomol. Zool. 32(4): 541-549.
- Anbutsu, H. and K. Togashi. 2000. Deterred oviposition response of *M. alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) to oviposition scars occupied by eggs. Agricultural and Forest Entomology. 2: 217-223.
- Anbutsu, H. and K. Togashi. 2001. Oviposition deterrent by female reproductive gland secretion in Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*. Journal of Chemical Ecology. 27(6): 1151-1161.
- Cho, S.Y., J.H. Kim and Y.C. Park. 2007. Change in esterase isozyme activity after selective diets and insecticides in *Monochamus saltuarius* (Gebler) larva. The Korean Journal of Pesticide Science. 11(3): 171-178.
- Chung, Y.J., S.M. Lee, D.S. Kim, K.S. Choi, S.G. Lee and C.G. Park. 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.
- Han, J.H., C.H. Yoon, S.C. Shin and G.H. Kim. 2007. Seasonal occurrence and morphological measurements of pine sawyer, *Monochamus saltuarius* adults (Coleoptera: Cerambycidae). J. Asia-Pacific Entomol. 10(1): 63-67.
- Hong, E.J., K.J. Na, I.G. Choi, K.C. Choi and E.B. Jeung. 2004. Antibacterial and antifungal effects of essential oils from coniferous trees. Biol. Pharm. Bull. 27(6): 863-866.
- Hwang, B.H., J.H. Cho, S.S. Ham and H.Y. Kang. 2000. Chemical analysis of Pinus leaves. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 29(1): 6-9.
- Jikumaru, S., K. Togashi, A. Taketsune and F. Takahashi. 1994. Oviposition biology of *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) at a constant temperature. Appl. Entomol. Zool. 29(4): 555-561.
- Jikumaru, S. and K. Togashi. 1996. Effect of temperature on the post-diapause development of *Monochamus saltuarius* (Gebler) (Coleoptera: Cerambycidae). Appl. Entomol. Zool. 31(1): 145-148.
- Kim, D.S., S.M. Lee, Y.J. Chung, K.S. Choi, Y.S. Moon and C.G. Park. 2003. Emergence ecology of Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a vector of pine-wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. Korean Journal of Applied Entomology. 42(4): 307-313.
- Kim, J. C., K.J. Kim, D.S. Kim and J.S. Han. 2005. Seasonal variations of monoterpene emissions from coniferous trees of different ages in Korea. Chemosphere. 59(11): 1685-1695.
- Kobayashi, H., A. Yamane and R. Iwata. 2003. Mating behavior of the pine sawyer, *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae). Appl. Entomol. Zool. 38(1): 141-148.
- Korea Forest Research Institute. 2007. Annual report of monitoring for forest insect pests and diseases in Korea. Korea Forest Research Institute, Seoul. p23-26.
- Kwon, T.S., J.H. Lim, S.J. Sim, Y.D. Kwon, S.K. Son, K.Y. Lee, Y.T. Kim, J.W. Park, C. H. Shin, S.B. Ryu, C.K. Lee, S.C. Shin, Y.J. Chung and Y.S. Park. 2006. Distribution patterns of *Monochamus alternatus* and *M. saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) in Korea. Jour. Korean For. Soc. 95(5): 543-550.
- Lee, S.M., H.Y. Choo, N.C. Park, Y.S. Moon and J.B. Kim. 1990. Nematodes and insects associated with dead trees, pine wood nematode detection from the part of *Monochamus alternatus*. Korean J. Appl. Entomol. 29(1): 14-19.
- Linit, M.J. 1988. Nematode-vector relationships in the pine wilt disease system. J. Nematol. 20: 227-235.
- Makihara, H. 1988. Kinds and life history of vector insects; History of and current research on pinewood nematode. National Association for Forest Pest control. Tokyo, Japan. 44-64.
- Makihara, H. 2004. Two new species and a new species of Japanese Cerambycidae (Coleoptera). Bull. FFPRI. 390: 15-24.
- Mota, M.M. 2002. Occurrence of the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* in Portugal and in Europe. Nematol. 1: 727-734.
- Nakayama, Y., S. Jikumaru and K. Togashi. 1998. Reproductive traits and diel activity of adult *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) at two different temperatures. Journal of Forest research 3(1): 61-65.
- Naves, P, E. de Sousa and J.A. Quartau. 2006. Reproductive traits of *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera: Cerambycidae) under laboratory conditions. Bulletin of Entomological research. 96(3): 289-294.
- Park, Y.C., J.K. Kim, S.Y. Cho, S.C. Shin, Y.J. Chung and D.S. Won. 2007. Oviposition and feeding preference in *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae), Jour. Korean For. Soc. 96(4): 414-418.
- Park, Y.C. and S.Y. Cho. 2007. Changes in esterase isozyme activity after pesticides treatment in digestive juice of *Monochamus saltuarius* (Gebler) adult. The Korean Jour. Pesticide Science. 11(3): 179-185.
- Takizawa, Y. and T. Shoji. 1982. Distribution of *Monochamus saltuarius* Gebler, and its possible transmission of pinewood nematodes in Iwate Prefecture. Forest Pests 31: 4-6.
- 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. Appl. Entomol. Zool. 21: 244-251.
- Togashi, K. 1991. Different developments of overwintered larvae of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) under a constant temperature. Jpn. J. Entomol. 59: 149-154.
- Togashi, K. 1995. Interacting effects of temperature and photoperiod on diapause in larvae of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Jpn. J. Entomol. 63: 243-252.
- Togashi, K., H. Kasuga, H. Yamashita and K. Iguchi. 2008. Effect of host tree species in larval body size and pupal-chamber turner of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Appl. Entomol. Zool. 43(2): 235-240.

(Received for publication November 13 2008;
revised November 13 2008; accepted December 6 2008)