韓應昆誌 47(2): 133~139 (2008)
Korean J. Appl. Entomol.

하늘소류에 기생하는 개미침벌(*Sclerodermus harmandi*)의 생물적 특성

홍정임 · 고상현 · 정영진 · 신상철 · 김길하[1] · 최광식*

국립산림과학원 산림병해충과, [1]충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과

Biological Characteristics of *Sclerodermus harmandi* (Hymenoptera: Bethylidae) Parasitized on Cerambycid

Jung-Im Hong, Sang-Hyun Koh, Yeong Jin Chung, Sang Chul Shin, Gil-Hah Kim[1] and Kwang-Sik Choi*

Division of Forest Insect Pests and Diseases, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea
[1]Department of Plant Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

ABSTRACT : This study was performed to investigate the immature development period, fecundity, emergence rate and sex ratio of *Sclerodermus harmandi* against different host insects, *Monochamus alternatus*, *M. saltuarius* and *Psacothea hilaris*. Full grown larvae and pupae of host insects were provided with foods. The mean larval period of *S. harmandi* female was 29.2±0.93 and 25.1±0.47 days in larvae and pupae of *M. alternatus*, 27.1±0.41 and 26.0±0.69 days in *M. saltuarius*, and 26.3±0.38 and 31.2±0.24 days in *P. hilaris*, respectively. *S. hilaris* adults were emerged at 12.9±0.2 days in female and 11.9±0.2 days in male after pupation when hosted *M. alternatus* pupa. Development period in male showed shorter one day than in female. Success rate of oviposition against different hosts was higher as 98.6 and 97.5% on full grown larva and pupa of *M. saltuarius*. Emergence rate was higher as 90.1 and 87.3% on *M. saltuarius* larvae and pupae. Sex ratio of emerged *S. harmandi* adults was approximately 10:1 (Female : Male), females showed higher emergence rate than males. The period until first oviposition after emergence in *S. harmandi* female was the shortest in 4.6±0.1 days on *M. saltuarius* pupa. When three females of *S. harmandi* were inoculated on *M. saltuarius* larva, the number of laid eggs was the highest 62.7±2.5 per female.

KEY WORDS : *Sclerodermus harmandi*, *Monochamus alternatus*, *Monochamus saltuarius*, Parasitoid, natural enemies, *Bursaphelenchus xylophilus*

초 록 : 하늘소류 기생천적으로 알려진 개미침벌의 발육, 산란과 우화, 성비를 조사하기 위해 기주곤충인 솔수염하늘소, 북방수염하늘소, 울도하늘소의 노숙유충과 번데기를 먹이로 제공하였다. 개미침벌 암컷의 발육은 솔수염하늘소 유충과 번데기에서 29.2±0.93일, 25.1±0.47일, 북방수염하늘소 유충과 번데기에서는 27.1±0.41일, 26.0±0.69일, 울도하늘소 유충과 번데기에서는 26.3±0.38일, 31.2±0.24일이 각각 소요되었다. 개미침벌 성충은 솔수염하늘소 번데기를 기주로 하였을 때, 용화된 이후 암컷은 12.9±0.2일, 수컷은 11.9±0.2일 후 우화하였고, 수컷의 발육기간은 암컷보다 1일 정도 더 빨랐다. 기주곤충에 대한 산란율은 다른 기주곤충에 비해 북방수염하늘소 유충과 번데기에서 98.6%와 97.5%로 제일 높았으며, 우화율도 북방수염하늘소의 유충과 번데기에서 90.1%와 87.3%로 제일 높았다. 우화한 개미침벌의 성비는 대략 10:1의 비로 암컷이 우세하였고, 기주곤충에 대한 첫 산란은 북방수염하늘소 번데기에서 가장 짧아 우화한지 4.6±0.1일에 산란 하였다. 기주곤충의 유충에 개미침벌 암컷 성충을 3마리 접종하였을 때 산란수도 북방수염하늘에서 암컷 1마리당 62.7±2.5개로 가장 많았다.

검색어 : 개미침벌, 솔수염하늘소, 북방수염하늘소, 포식기생성, 천적, 소나무재선충

*Corresponding author. E-mail: choiks99@forest.go.kr

소나무재선충은 매개충의 후식과 산란으로 인한 상처 부위를 통하여 매개한다고 알려져 있으며(Sato *et al.*, 1987) 전 세계적으로 기주곤충으로는 *Monochamus*속의 하늘소가 많으며, 소나무재선충의 매개충으로 기록되어 있다(Kobayashi *et al.*, 1984). 한국, 일본, 중국에서는 솔수염하늘소가 가장 우수한 매개 능력을 가지며(Yi *et al.*, 1989; Morimoto and Iwasaki, 1972), 미국에서는 *M. carolinensis* (Linit *et al.*, 1983), 포르투갈에서는 *M. galloprovincialis*가 높은 소나무재선충의 매개율을 보인다고 하였다(Sousa *et al.*, 2001). 또한 북방수염하늘소는 제2의 매개충으로 일본에서 기록되어 있고(Takizawa and Shoji, 1982), 한국에서는 2006년 12월과 2007년 경기, 강원지역의 잣나무림에서 소나무재선충의 매개충으로 확인되었다. 그 외 매개충으로 일본에서 14종, 미국에서 10종이 기록되어 있다(Kishi, 1995).

솔수염하늘소의 천적곤충으로는 벌목의 고치벌류(Braconid), 맵시벌과(Ichneumonidae), 딱정벌레목의 큰쌀도적(*Trogossita japonica*), 개미붙이(*Thanasimus lewisi*), 밤나무방아벌레(*Stendgostus umbratilis*), *Dastarcus longulus* (colydiidid beetle)와 민집게벌레과의 *Carcinophora marginalis*이 알려져 있다(Kobayashi *et al.*, 1984; Togashi, 1990). 그러나 대량 생산에 의한 생물적 방제에 관한 보고는 아직 없었다.

침벌과(Bethylidae)는 딱정벌레목과 나비목의 유충을 공격하며 특히 수피 내에 또는 나뭇잎을 말아 그 속에서 서식하는 유충을 공격하였다. 외부기생 하는 종들이 확인되면서 생물학적 방제에 이용할 수 있는 종으로 보고되었는데(Waage and Greathead, 1986), 커피나무의 천공성해충인 나무좀류인 *Hypothenemus hampei*에 기생하는 *Cephalonomia stephanoderis*와 *Prorops nasuta*, 그리고 아몬드 과수원에 피해를 주는 명나방류 navel orangeworm, *Amyelois transitella*에 기생하는 *Goniozus legneri*를 대량 사육하여 방사함으로서 밀도를 조절하는 효과를 얻었다(Abraham *et al.*, 1990; Legner and Gordh, 1992).

개미침벌과(Berthylidae)에 속하는 개미침벌(*Sclerodermus harmnadi*)은 한 기주에 많은 알을 낳는 군서기생봉(gregarious parasitoid)이면서 외부기생봉(ectoparasitoid)으로 일본에서 솔수염하늘소의 기생봉으로 기록되어 있고(Maeta and Kitamura, 2003), 숙주곤충으로는 천공성 딱정벌레류인 빗살수염벌레과(Anobiidae), 개나무좀과(Bostrychidae), 나무좀과(Scolytidae), 하늘소과(Cerambicidae)가 보고되었다(Terayama, 2006). 중국에서는 하늘소류를 방제하는데 *Scleroderma guani*를 이용하여 매우 효과적인 결과를 얻었고(Zhang *et al.*, 1989; Xu *et al.*, 2004), 우리나라에는 중국 강소성 임업과학연구원의 Xu *et al.* (2004)에 의해 *S. guani*가 솔수염하늘소의 중요 천적임을 알았고, 2005년 전국 10개의 소나무 숲에 Malaise trap을 설치하여 천적을 조사하였다. 서울, 오산, 춘천, 청원, 공주, 정읍, 나주, 경주, 진주, 제주에서 *S. harmandi*가 발견되어 우리나라 각지에 서식하는 것으로 확인되었고, 중국의 *S. guani*와 우리나라에서 발견된 *S. harmandi*는 같은 종인 것으로 동종이명(Synonym) 처리 되었다(Lee *et al.*, 2006).

본 연구는 우리나라에 큰 피해를 주고 있는 소나무재선충을 방제하기 위하여 이 선충의 매개충으로 알려진 솔수염하늘소, 북방수염하늘소의 기생성 천적으로 유망한 개미침벌의 생물적 특성을 밝히고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험곤충

솔수염하늘소와 울도하늘소는 강원대학교 부설연구소인 킨섹트에서 인공사료로 사육중인 유충을 분양받아 시험에 사용하였다. 북방수염하늘소는 2007년 1월 경기도 도척면 궁평리 잣나무림에서 월동중인 유충을 채집하여 25℃의 온도에서 유충의 활성을 확인 후 시험에 사용하였다. 개미침벌은 2005년 10월 경북 포항에서 채집하여 솔수염하늘소와 울도하늘소 유충을 먹이로 누대사육 하였고, 온도 25±1℃, 광주기 16L/8D, 상대습도 60±10%의 실험조건에서 사육되었다.

개미침벌의 기주공급방법

새로 태어난 개미침벌의 교미확인을 위해 수벌의 생사유무를 판단하여 수벌이 죽은 뒤 살아있는 암컷만을 흡충관(Ø25 × H70, Ø4 mm, 220 mesh)에 이식시켜 실험에 이용하였다. 분봉한 뒤 기생봉의 사육을 위해 솔수염하늘소, 북방수염하늘소, 울도하늘소의 유충을 기주로 공급하여 실험하였다. 실험에 사용되는 하늘소유충은 전자저울을 이용하여 무게를 측정한 뒤 지름 1 cm × 길이 5 cm의 vial 안에 1마리씩 넣고 붓을 이용하여 개미침벌을 각각 1, 2, 3, 4, 5마리를 넣어 솜으로 밀봉하고 매 실험시마다 30반복으로 수행하였다.

형태관찰

형태 관찰은 개미침벌은 2005년 10월 경북 포항에서 채집하여 북방수염하늘소 유충을 먹이로 1세대 누대 사육한 것을 이용하였다. 개미침벌의 알, 유충, 번데기의 크기를 각태별, 영기별 30개체를 Image analyzer를 이용하여 측정하였다. 알은 길이와 폭을 조사하였고, 유충은 1령부터 6령까지 각령기별 길이를 조사하였고, 번데기도 길이를 조사하여 평균과 표준편차 값을 구했다.

발육기간과 산란수 조사

개미침벌의 알기간과 유충기간 및 산란수는 기주곤충인 솔수염하늘소, 북방수염하늘소 그리고 울도하늘소 유충을 먹이로 공급하여 조사하였다. 기주곤충의 충체에 개미침벌이 산란한 알의 매일 산란수와 산란한 알의 부화수 그리고 부화유충이 번데기가 되기까지 실체현미경(Olympus Optical. JP/SZ×12)하에서 관찰하여 발육기간을 산출하였다. 번데기기간은 종령 유충이 되어 기주에서 떨어져 나와 개미침벌 어미에 의해 옮겨지게 되면서부터 고치를 탈출하기까지의 기간을 측정하였고, 매일 30개체를 측정하여 성장단계별 평균성적을 얻었다. 새로 태어난 기생봉은 흡충관을 이용하여 분봉하고 기주 곤충에 따른 자손 수(life time fecundity)와 성비(sex ratio)를 조사하였다.

통계 분석은 SAS프로그램(SAS Institute, 2001)의 PROC GLM을 이용하여 one-way ANOVA를 실시하였으며, Tukey's Studentized Range Test를 사용하여 평균간 차이를 비교하였다.

결과 및 고찰

형태관찰

북방수염하늘소 유충을 기주로 한 개미침벌의 외부형태 및 크기는 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 개미침벌은 체외 기생봉으로 기주유충의 마비 후 개미침벌 암컷 성충

Table 1. Size of *Sclerodermus harmandi* reared on larvae of *M. saltuarius* (n = 30)

Stage		Length	Width
Egg		0.55±0.04	0.23±0.02
Larva	1st instar	0.55±0.04	-
	2nd instar	0.83±0.08	-
	3rd instar	1.59±0.18	-
	4th instar	2.73±0.17	-
	5th instar	2.87±0.24	-
	6th instar	3.10±0.26	-
Pupa		3.06±0.22	-

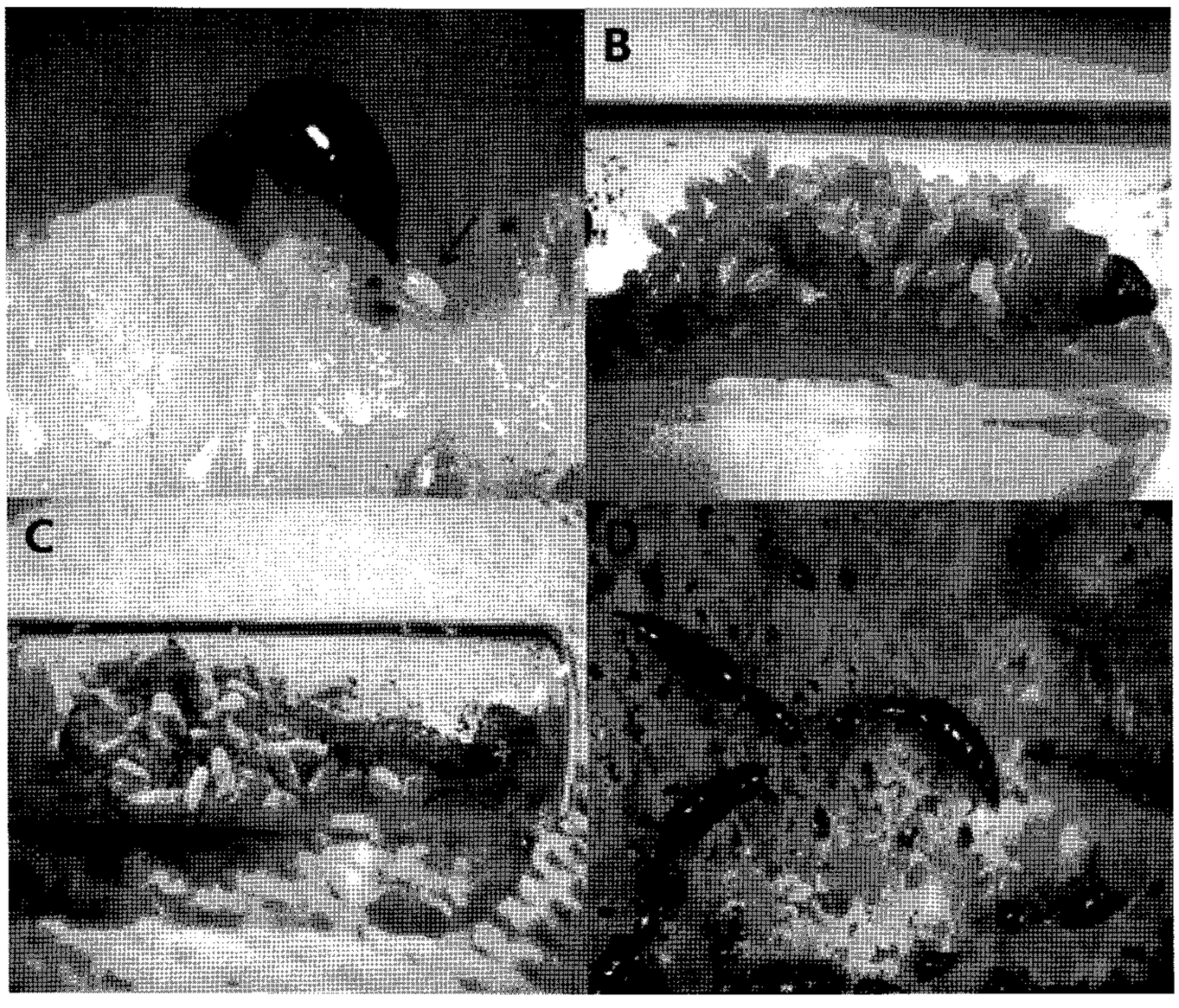

Fig. 1. Each stage of *Sclerodermus harmandi*. (A: egg, B: larva, C: pupa, D: adult).

은 수일간의 영양 흡수 후 알집이 발달되면 기주유충의 체표피 주름진 곳을 중심으로 산란하였다. 알은 긴 타원형이며 유백색이고 장경은 평균 0.55 mm, 단경 0.23 mm이었다. 산란된 알은 부화하여 기주 유충의 체표피에 머리 부분을 밀착하여 구기를 체내에 넣어 기주로부터 체액을 흡즙하며 외부기생 하였고, 유충이 발육함에 따라 체표면의 흰색 반점이 뚜렷해지며 광택도 증가하였다. 유충은 충분히 발육 할 때 까지 기주에서 떨어지지 않고 있는데 종령이 되면 기주에서 떨어져 암컷 성충에 의해 한 쪽으로 옮겨져 고치를 짓고 그 안에서 용화하였다. 번데기의 체장은 평균 3.06 mm이었다. Okutani and Kawai (1985)는 기주가 작아서 체액이 고갈되면 유충이 떨어져 나가기도 하며 또한 기주가 너무 작을 경우 충분히 성숙하지 못하고 사망할 때도 있다고 하였다. *Scleroderma*의 경우 산란 후 유충의 발육기간 동안 암컷 성충이 계속 보살핀다고 하였다(Stehr, 1995; Zhang *et al*., 1989).

기주별 발육기간

야외에서 채집한 개미침벌에 솔수염하늘소, 북방수염하늘소, 울도하늘소 유충과 번데기를 기주로 공급하였을 때 관찰된 발육기간은 Table 2에 나타내었다. 현재 솔수염하늘소 유충에서 사육한 개미침벌의 충태별 발육기간은 알 5.2일, 유충 7.4일이었고, 번데기는 암수 각각 16.7일, 15.7일이 소요되었다. 우화 직전까지 총발육기간은 암컷이 29.2일, 수컷이 28.2일로 나타나 수컷이 암컷보다 약 1~2일 먼저 우화하였다. 중부지방의 잣나무에서 매개충으로 알려진 북방수염하늘소 유충에서는 솔수염하늘소보다 다소 발육이 빨라 알 4.4일, 유충 6.9일, 번데기에서 암컷 15.8일, 수컷 14.7일이 소요되었으며 우화직전까지의 발육기간은 암컷 27.1일, 수컷 26.5일이었다. 번데기에서 암컷 26.0일, 수컷 24.9일로 유충에서 보다 발육이 빨랐다. 개미침벌의 발육기간이 가장 짧은 것은 솔수염하늘소 번데기에서 사육된 것으로 암수 각각 25.1일, 24.2일이었으며, 울도하늘소 번데기에서 사육된 것이 암수 각각 31.2일, 30.0일로 가장 길었다. 기주곤충을 직접 포식하는 개미침벌의 유충 발육기간은 북방수염하늘소에서 사육된 개미침벌의 발육기간이 유충과 번데기에서 각각 6.9일, 솔수염하늘소는 유충에서 7.4일, 번데기에서 7.9일이나 3종의 하늘소류에서 개미침벌 유충의 발육기간의 차이는 없었다.

산란율과 우화율 및 성비

개미침벌의 기주산란 성공율은 북방수염하늘소의 유충에서 98.6%, 번데기에서 97.5%로 매우 높은 비율을 보였으며(Table 3), 울도하늘소 번데기에서도 100% 산란율을 보였다. 번데기에서의 산란율은 3종의 기주곤충 모두에

Table 2. Developmental period of *S. harmandi* reared on larvae and pupae of *M. alternatus*, *M. saltuarius* and *Psacothea hilaris*

Host		Period (Days) (mean±SE)					
		Egg	Larva	Pupa		Total	
				Female	Male	Female	Male
M. alternatus	Larva	5.2±0.30$^{a1)}$	7.4±0.33^{a}	16.7±0.79^{b}	15.7±0.79^{b}	29.2±0.93^{ab}	28.2±0.93^{ab}
	Pupa	4.3±0.19^{b}	7.9±0.37^{a}	12.9±0.21^{d}	11.9±0.21^{d}	25.1±0.47^{c}	24.2±0.47^{c}
M saltuarius	Larva	4.4±0.16^{b}	6.9±0.22^{a}	15.8±0.35^{bc}	14.7±0.35^{bc}	27.1±0.41^{bc}	26.5±0.50^{bc}
	Pupa	4.0±0.12^{b}	6.9±0.57^{a}	15.1±0.22^{c}	14.0±0.23^{c}	26.0±0.69^{c}	24.9±0.70^{c}
P. hilaris	Larva	4.4±0.10^{b}	7.0±0.25^{a}	15.01±0.29^{c}	14.0±0.29^{c}	26.3±0.38^{c}	25.3±0.38^{c}
	Pupa	4.3±0.10^{b}	7.6±0.17^{a}	19.21±0.26^{a}	18.0±0.28^{a}	31.2±0.24^{a}	30.0±0.26^{a}

[1)] Within a column, means with the same letter significantly different at P = 0.05 by Tukey,s Studentized Range Test (SAS, 2001).

Table 3. Success rate (%) of oviposition by two *S. harmandi* copulated females inoculated on larvae and pupae of *M. alternatus*, *M. saltuarius* and *P. hilar*

Oviposition rate (%)					
M. alternatus		*M. saltuarius*		*P. hilaris*	
Larva	Pupa	Larva	Pupa	Larva	Pupa
54.7	95.5	98.6	97.5	83.2	100
(106)[1)]	(22)	(142)	(40)	(173)	(25)

[1)] number of investigated individuals used in experiment.

서 90%이상의 높은 비율을 보였지만 유충에서의 산란율은 북방수염하늘소 98.6%, 울도하늘소 83.2%, 솔수염하늘소 54.7%로 차이가 있었다. 개미침벌의 기생 특성은 기주곤충의 완전한 마취가 이루어져야 개미침벌의 산란이 이루어졌다. 본 실험에서 활동이 활발한 유충보다는 움직임이 약한 번데기에서의 산란율이 높았던 것은 기주 마비가 쉽기 때문이라고 생각된다. Lauziere 등(2001)은 *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethylidae)의 기주단계별 산란 선호성 실험에서 기주곤충인 *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae)의 유충과 번데기 단계에서 번데기에서의 기주선호율이 높게 나타난다고 했다. 기주의 마비 비율을 높이기 위해서는 기주 하늘소의 발육 단계에 따른 변화과정에서 개미침벌에 대한 방어행동이 취약한 단계를 찾는 실험이 추가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

산란에 성공한 개체 중 무사히 자라 성충으로 우화한 비율을 솔수염하늘소 등 3개의 기주에서 조사한 결과 Table 4와 같이 북방수염하늘소 유충(90.1%)과 번데기(87.3%)가 솔수염하늘소 유충(47%)와 울도하늘소(유충 60.9%, 번데기 78.8%)보다 우화율이 높게 나타났다. 이상의 우화율로 볼 때 개미침벌의 기주로 북방하늘소가 다른 2종보다 우수한 것으로 나타났다.

개미침벌로부터 우화된 암수의 성비를 조사한 결과는 표 5와 같이 솔수염하늘소 10:0.95, 북방하늘소 10:1.4, 울도하늘소 10:1로 3종에서 약 10:1의 성비를 보였다(Table 5). 중국에서는 솔수염하늘소 기생천적으로 알려진 *S. guani*를 향나무하늘소(*Semanotus bifasciatus*) 유충을 기주곤충으로 사육하였을 때 암수 비율이 암컷(17.7) : 수컷(1)로 출현한다고 하였고, *S. guani*의 경우 차세대 개체가 100마리 이상이면 25% 이상의 수컷이 출현한다는 보고도 있다(Xiao와 Xu, 1983).

기주곤충별 산란

개미침벌의 북방수염하늘소 등 3종의 기주에서 산란전 기간은 표 6과 같이 북방수염하늘소의 번데기에서 4.6일로 가장 짧았고, 솔수염하늘소는 번데기에서 11.9일로 가장 길게 나타났다. Xiao (1991)는 25~30℃의 온도조건에

Table 4. Emergence rate (%) (mean±SE) of *S. harmandi* reared on larvae and pupae of *M. alternatus*, *M. saltuarius* and *P. hilaris*

Oviposition rate (%)					
M. alternatus		*M. saltuarius*		*P. hilaris*	
Larva	Pupa	Larva	Pupa	Larva	Pupa
47.0±5.76^{c} [1)]	-	90.1±1.58^{a}	87.3±2.36^{a}	60.9±5.32^{bc}	78.8±4.12^{ab}
(42)[2)]	-	(26)	(19)	(34)	(17)

[1)] Values within species followed by same letter asignificantly different at P = 0.05 by Tukey,s Studentized Range Test (SAS, 2001).
[2)] number of investigated individuals used in experiment.

Table 5. Sex ratio of *S. harmandi* adults reared from larvae and pupae of *M. alternatus*, *M. saltuarius* and *P. hilaris*

Host insects	*M. alternatus*		*M. saltuarius*		*P. hilaris*	
	Larva	Pupa	Larva	Pupa	Larva	Pupa
No. of females	62.6±12.54	62.6±7.48	87.0±4.72	66.7±7.43	63.5±6.07	66.0±6.31
No. of males	5.6±1.71	6.7±1.45	7.9±0.71	8.9±1.65	7.4±1.27	4.9±0.51
Sex ratio (F : M)[1)]	100 : 9.5		100 : 13.9		100 : 10.0	

[1)] F = female, M = male

Table 6. Period (days) until first oviposition after emergence in *S. harmandi* female reared on larvae and pupae of *M. alternatus*, *M. saltuarius* and *P. hilaris*

Preovipositional period (days)					
M. alternatus		*M. saltuarius*		*P. hilaris*	
Larva	Pupa	Larva	Pupa	Larva	Pupa
9.6±0.60^{b} [1)]	11.9±1.56^{a}	7.4±0.15^{c}	4.6±0.11^{d}	6.5±0.14^{cd}	6.0±0.22^{cd}

[1)] Values within species followed by same letter are significantly different at P = 0.05 by Tukey,s Studentized Range Test (SAS, 2001).

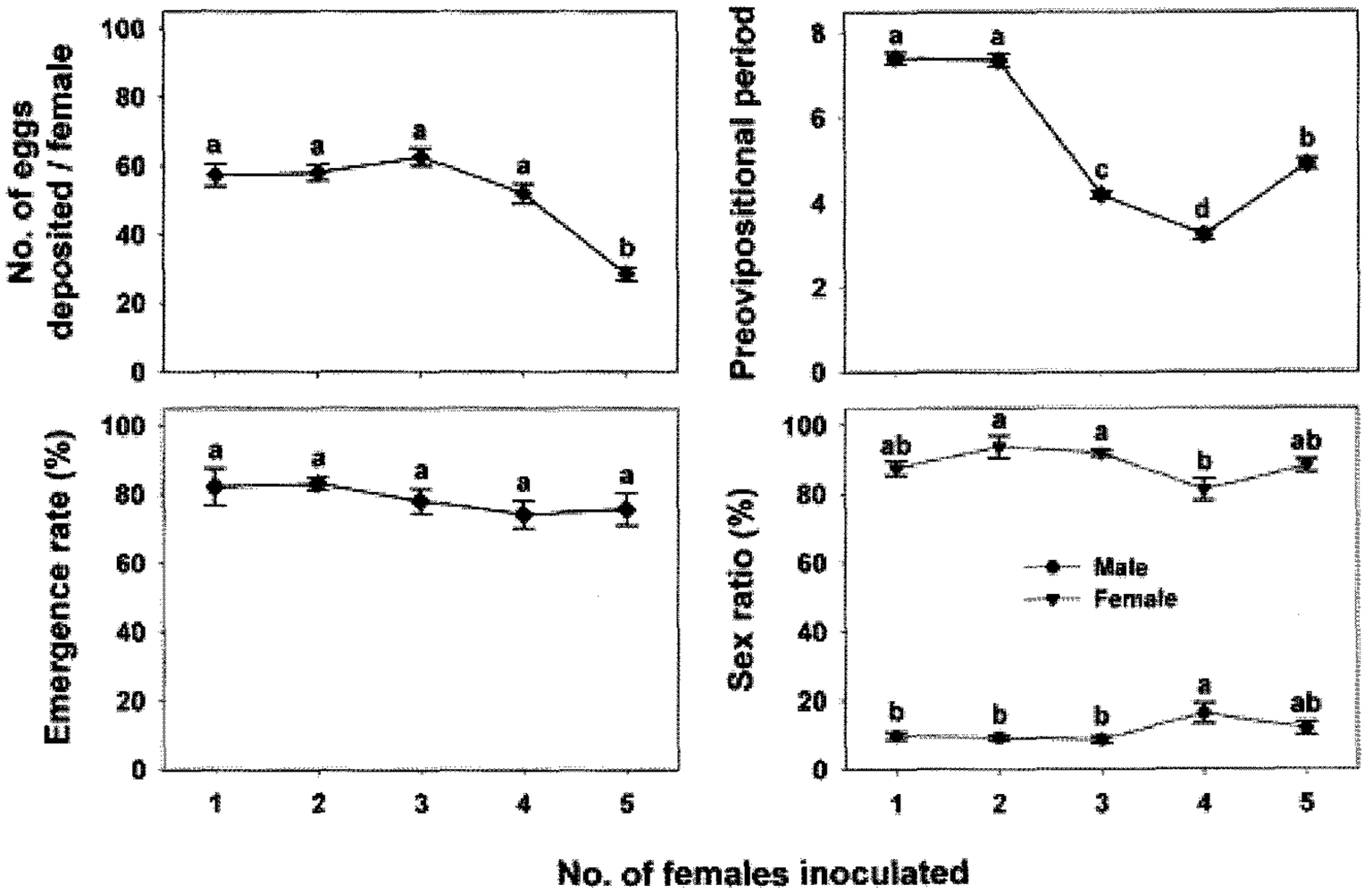

Fig. 2. Number of deposited eggs, preovipositional period, emergance rate and sex ratio by inoculated two *S. harmandi* copulated females on larva and pupa of *M. saltuarius*. Mean followed by the different letter are significantly different at P = 0.05 by Tukey's Studentized Range Test (SAS, 2001).

서 *S. guani*가 기주를 찾아서 산란하기까지 4~5일이 소요되어 본 실험에서 북방수염하늘소를 기주로 하였을 때와 결과가 비슷하였다. 기주곤충의 체중은 솔수염하늘소 유충 1027.9 mg, 북방수염하늘소 번데기 227.6 mg로 차이가 많이 났다. 대체로 솔수염하늘소의 유충과 번데기의 체중이 약 1000 mg 정도인 반면 북방수염하늘소와 울도하늘소는 솔수염하늘소의 약 1/3의 무게였다. 솔수염하늘소에서 개미침벌이 우화 후 산란까지의 기간이 다른 기주에 비해 긴 것은 솔수염하늘소 개체가 다른 기주곤충에 비해 월등히 크기 때문에 마비되는 시간이 많이 소요되기 때문일 것으로 생각된다.

*Parasierola swirskiana*를 나방류 유충에 접종하여 실험하였을 때, 기주의 무게에 따라 한 배에 낳는 알의 수가 증가하였고(Eitam, 2001), 개미침벌 암컷이 산란하는 알은 기주체의 크기 및 기주의 신선도와도 밀접한 관계가 있다는 보고가 있다(Xiao, 1991). 교미한 암컷의 접종수에 따른 산란능력을 알아보기 위해 북방수염하늘소 유충 1마리에 개미침벌을 1, 2, 3, 4, 5마리로 구분하여 접종하고 이들로부터 우화 후 첫 산란까지의 기간과 기주곤충 체표피에 산란된 알의 수를 조사하였다(Fig. 2). 하늘소유충 1마리에 개미침벌 1~2마리 접종시 우화하여 산란까지 소요되는 기간은 각각 7.41일, 7.35일로 가장 길었고 4마리 접종시 3.23일로 가장 짧았다. 이는 개미침벌이 여러 마리일 때 보다 1마리일 때 기주곤충을 마비시키는데 소요되는 시간이 많이 걸리는 것으로 판단된다. 북방수염하늘소 유충에서 개미침벌의 산란수는 3마리 접종에서 암컷 1마리당 62.7개로 가장 많은 산란수를 보였으나 4마리 접종까지는 유의성이 없었다. 오히려 5마리 접종에서는 22.3개로 산란수가 현저히 떨어졌다. 따라서 5마리 이상이 되면 자손의 번식을 위한 종간경쟁이 과도하게 되어 서로의 산란을 방해하는 것으로 생각된다. 그리고 우화율과 성비는 접종마리수와 관계없이 비슷한 경향을 나타내었다. 이상의 결과로 보면 개미침벌 생산을 위하여 기주에 개미침벌 접종량은 1마리면 충분하다고 보며, 혹시 치사 가능성을 감안하여 2마리 접종이 적합한 것으로 생각된다.

우리나라에서 소나무재선충 발생초기에는 효과적인 방재법이 밝혀지지 않았으나, 솔수염하늘소에 의해 매개되어지는 것은 확인되었다(Yi *et al.*, 1989). 따라서 매개충인 솔수염하늘소의 방제 기술의 확립은 해결해야 할 중요한 연구과제이다. 솔수염하늘소는 산림해충으로 화학적인 방제가 쉽지 않고 그 대안은 생물적 방제에서 찾아야 한다고 본다. 천적을 활용한 생물적 방제로 본 과제를 수행하여 솔수염하늘소의 우수 천적으로 확인된 개미침벌의 발육기간, 산란, 우화율 등 생물적 특성을 밝혔고, 대량사육을 위한 기반을 마련하였다.

사 사

본 연구의 아낌없는 조언과 분석에 도움을 주신 국립산림과학원 산림병해충과의 최원일 박사와 김준헌 박사께 감사를 드립니다. 본 논문은 국립산림과학원과 충북대학교의 학·연협동연구에 의해 수행되었다.

Literature Cited

Abraham, Y.J., D. Moore and G. Godwin. 1990. Rearing and aspects of biology of *Cephalonomia stephanoderis* and *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethylidae) parasitoids of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Bulletin Entomol. Res. 80: 121-128.

Eitam, A. 2001. Oviposition behavior and development of immature stages of *Parasierola swirskiana*, a parasitoid of the lesser date moth *Batrachedra amydraula*. Phytoparasitica. 29: 405-412.

Kishi, Y. 1995. The pine wood nematode and the Japanese pine sawyer. 302pp. Thomas Company Limited, Tokyo.

Kobayashi, F., A. Yamane and T. Ikeda, 1984. The Japanese pine sawyer beetle as the vector of Pine Wilt Disease. Ann. Rev. Entomol. 29: 115-135

Lausiere, I., J. Bradeur and G. Perez-Lachaud, 2001. Host stage selection and suitability in *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethylidae), a parasitoid of the coffee berry borer. Biological control. 21: 128-133.

Lee, S.H., J.O, Lim, D.P. Lyu, K.S. Choi, Y.J. Jeong and S.C. Shin. 2006. A taxonomic note on *Sclerodermus harmandi*, ectoparasite of stem and wood boring insect larvae (Hymenoptera: Chrysidoidea: Bethylidae) in south Korea. J. Asia-Pacific Entomol. 9: 115-119.

Legner, E.F. and G. Gordh. 1992. Lower navel orangeworm (Lepidoptera: Phycitiidae) population densities following establishment of *Goniozus legneri* (Hymenoptera: Bethylidae) in California. J. Eco. Entomol. 85: 2153-2160.

Linit, M.J., E. Kondo and M.T. Smith. 1983. Insects associated with the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae), in Missouri. Environ. Entomol. 12: 467-470.

Maeta, Y. and K. Kitamura. 2003. Host record and some bionomical notes on the bethylid wasp, *Sclerodermus* sp. (Hymenoptera, Bethylidae). Jpn. J. Syst. Entomol. 9: 263-265.

Morimoto, K. and A. Iwasaki. 1972. Role of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Aphelenchoididae). J. Jpn. For. Soc. 54: 177-183.

Okutani, T. and H. Kawai. 1985. Note on the life-history of *Sclerodermus nipponicus* Yuasa. House and household insect pests. (23-24): 39-43.

Sato, H., T. Sakuyama, and M. Kobayashi, 1987. Transmission of *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et buhrer) Nickle (Nematoda, Aphelenchoididae) by *Monochamus salturarius* (Gebler) (Coleoptera, Cerambycidae). J. Jpn. For. Soc. 69: 492-496.

Sousa, E., M.A. Bravo, J. Pires, P. Naves, A.C. Penas, L. Bonifacio and M.M. Mota. 2001. *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) associated with *Monochamus gallo-provinciallis* (Coleoptera: Cerambycidae) in Portugal. Nematol. 3: 89-91.

Stehr, F.W. 2005. Immature Insects. 768pp. Kendall Hunt Pub. Co.

Takizawa, Y. and T. Shoji. 1982. Distribution of *Monochamus saltuarius* Gebler and its possible transmission of pine wood nematodes in Iwate Prefecture. Shinrin Boeki (Forest Pests) 31: 4-6.

Terayama, M. 2006. The Insects of Japan. Vol. 1. Bethylidae (Hymenoptera). 319pp. Touka Shoho Co. Ltd., Fukuoka.

Togashi, K. 1990. Life table for *Monochamus alternatus* (Coleoptera, Cerambycidae) within dead trees of *Pinus thunbergii*. Jpn. J. Entomol. 58: 217-230.

Waage, J. and D. Greathead. 1986. Insect Parasitoids. 13th. Symposium of the Royal Entomological Society of London. 18-19. September. 1985. 389pp. Academic press, London.

Xiao, G. and J. Wu. 1983. A new Species of *Scleroderma* from China. Scientia Silvae Sinicae. M. Forest Entomol. 8: 81-84.

Xiao, G. 1991. Forest insects of China. 1362pp. Forest research institute Chinese academy of forestry, Beijng.

Xu, F., M. Ge, K. Xu, P. Zhang and C. Xie. 2004. Studies on the techniques of integrated management to PWN in Jiangsu. pp.63-75. *In* International Symposium. Ecology and management of pine wilt disease. Korea forest research institute, 7-9, 2004, Seoul.

Yi, C.K., B.H. Byun, J.D. Park, S.I. Yang and K.H. Chang. 1989. First finding of the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhrer) Nickle and its insect vector in Korea. Res. Reports Forestry Res. Inst. 38: 141-149.

Zhang, L., S. Song, H. Huang, X. Li and L. Qui. 1989. Biological control of a wood borer in China-The parasitoid also attracks borers in fruit, nut, and arnamental trees grown throughout the world. IPM Practitioner. 11: 5-7.

(Received for publication April 5 2008;
revised June 12 2008; accepted June 23 2008)