

북방수염하늘소의 살충제 감수성

한주환 · 유종현 · 김은희 · 양정오¹ · 노두진¹ · 윤창만¹ · 김길하^{1*}

충청북도산림환경연구소, ¹충북대학교 농업생명환경대학 식물외과학과

(2008년 8월 15일 접수, 2008년 8월 25일 수리)

Susceptibility of Pine Sawyer, *Monochamus saltuarius* Adults (Coleoptera: Cerambycidae) to Commercially Registered Insecticides

Ju-Hwan Han, Jong-Hyun You, Eun-Hee Kim, Jeong-Oh Yang¹, Doo-Jin Noh¹, Changmann Yoon¹ and Gil-Hah Kim^{1*}

Chungcheongbuk-do Forest Environment Research Institute, Cheongwon, 363-874, Korea, ¹Dept. of Plant Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

Abstract

This study was performed to investigate the toxicity of 39 registered insecticides to the susceptibility, systemic effect, and residual effect and control effect against Pine sawyer beetle, *Monochamus saltuarius*. Eleven kinds of chemicals such as fenitrothion, fenthion, phenthoate, phosphamidon, dinotefuran, actamiprid, clothianidin, thiacloprid, thiamethoxam, esfenvalerate+fenitrothion, and fipronil were showed 100% insecticidal activity both in body spray and twig dipping bioassay. Among these chemicals, fenitrothion and fenthion were showed 100% insecticidal activity when sprayed at 4000 times diluted solutions, and phenthoate, thiacloprid, thiamethoxam and fipronil were showed 100% insecticidal activity when sprayed at 2000 times diluted solution. Root systemic effect was showed 100% mortality in phosphamidon, clothianidin, thiamethoxam, and 77.7% in thiacloprid. In residual effect, fenitrothion and thiamethoxam were showed 80% mortality fifteen days after treatment (DAT), and fenthion, phosphamidon, clothianidin were showed 80% mortality ten DAT, fenitrothion, thiamethoxam, fipronil showed 100% mortality in seven DAT, thiacloprid was showed 100% mortality in three DAT. Fenthion and phenthoate were showed 100% mortality one DAT. In the control effect, 6 kinds of chemicals were showed 100% mortality one DAT and all chemicals showed 100% mortality three DAT.

Key words *Monochamus saltuarius*, pine sawyer, insecticide, susceptibility, systemic effect, residual effect, control effect

서 론

북방수염하늘소(*Monochamus saltuarius*(Gebler))는 한국의 중부지역에 널리 분포 하며 솔수염하늘소(*M. alternatus*)와 같이 소나무수림에 있어서 가장 심각한 위협중 하나인 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhner)

(Nematoda: Aphelenchoididae))의 매개충으로 알려져 있다 (Sato 등, 1987; Kobayashi 등, 2003; KFRI, 2007). 성충은 건전한 소나무(*Pinus densiflora* Sieb et Zucc. and *P. thunbergii* Parl)의 가지의 수피를 갉아먹으며, 암컷은 수피를 찢고 그 상처 아래로 산란을 한다. 소나무재선충은 스스로 다른 나무로 이동할 능력이 없기 때문에 매개충이 섭식과 산란할 때 생기는 상처를 통해 건전한 나무로 옮겨간다(Sato 등, 1987; Mamiya와 Enda, 1972; Evans 등, 1996). 이렇게 감염된 소

*연락처 : Tel. +82-43-261-2555, Fax. +82-43-271-4414
E-mail: khkim@chungbuk.ac.kr

나무는 보통 3개월 안에 죽게 된다(Kim 등, 2003).

소나무재선충은 북미로부터 1900년대에 일본으로 유입이 된 것으로 여겨지며(Mamiya, 1984), 특히 일본으로 유입된 후 솔수염하늘소(*M. alternatus*)의 매개를 통해서 급격히 퍼져 나갔다(Evans 등, 1996). 1980년대에는 중국, 대만, 한국 등의 동남아시아 지역으로 전파되었으며(Kishi, 1995; Yi 등, 1988), 최근에는 포르투갈에서도 발견되었다(Mota 등, 2002). 우리나라에서는 1988년 10월에 부산에서 발견된 이래(Yi 등, 1989) 2006년 12월에 경기 광주, 2007년에는 강원 춘천·원주, 경기 남양주·포천, 2008년에는 경북 상주, 경남 산청에서도 소나무재선충이 발생하였다(KFRI, 2007).

현재까지 소나무재선충을 매개하는 *Monochamus* 속의 곤충에는 북미지역에서는 *M. carolinensis*, *M. mutator*, *M. scutellatus*, *M. titillator*(Limit, 1988), 일본, 중국, 대만, 및 한국에서는 솔수염하늘소(*M. alternatus*)(Makihara, 1988), 일본의 동북 지방에서는 북방수염하늘소(*M. saltuarius*)가 소나무재선충을 매개하는 것으로 알려져 있고(Takizawa와 Shoji, 1982), 한국에서도 2006년 2월과 2007년 경기, 강원지역의 잣나무림에서 북방수염하늘소가 소나무재선충의 매개충으로 판명되었다(Sin 등, 2007).

현행의 소나무재선충의 방제방법은 소나무와 하늘소류의 유연관계를 끊는 방법을 주로 사용하고 있으며, 하늘소류 방제를 위한 항공살포나 예방을 위한 병든 소나무류의 파쇄, 병든 소나무에 약제살포 및 순간주사법 등이 사용되고 있다(KFRI, 2007). 여기에 초점을 맞춘 방제방법으로 솔수염하늘소에 대한 약제실험은 처리약제나 처리방법 등에 대한 연구(Kishi, 1995)와 fenitrothion과 cypermethrin, carbaryl의 약효잔류기간을 조사한 연구(Moon 등, 1995), 7종의 살충제를 이용한 실내 검정과 지상방제, 항공방제에 대한 연구가 이루어 졌으나(Lee 등, 2003), 북방수염하늘소에 대한 방제연구는 미비한 실정이다. 본 연구는 국내 등록된 39종의 살충제를 북방수염하늘소 성충에 약제 감수성을 조사하여 살충활성이 높은 살충제를 선별하고 침투이행성, 잔효성 및 방제효과를 통하여 이 해충의 방제약제 선별에 기초 자료로 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

실험곤충

실험에 사용된 북방수염하늘소(*M. saltuarius*)는 2008년에 충북 청원군과 진천군 잣나무림에서 벌채해 놓은 것을 공시목으로 수집하여 청원군 미원면 미원리 충청북도 산림환경연구소 내에 철망(16 mesh)을 씌운 야외 우화상(① 길이 590

×넓이 490×높이 210 cm, ② 길이 800×넓이 230×높이 180 cm)내에 우물정(井)자로 쌓아두고 우화한 성충(2008. 5~6월)을 매일 채집하여 잣나무 신초를 먹이로 공급하면서 개체 사육하였다. 실내사육조건은 온도 23~25°C, 광주기 16L : 8D, 상대습도 50~60%로 하였다.

실험약제

본 실험에 사용된 약제는 유기인계 9종, 카바메이트계 6종, 합성피레스로이드계 7종, 네오니코티노이드계 6종, 항생제 3종, 혼합제 5종, 그리고 기타 3종으로 모두 39종이며, 시판되고 있는 제품을 사용하였다. 실험약제들의 일반명, 제형, 유효성분량 및 추천농도는 표 1과 같다(KCPA, 2008).

약제처리방법

살충활성검정: 성충에 대한 약제 감수성 실험은 충체 분무법과 가지 침지법으로 하였다. 충체 분무법은 북방수염하늘소 1마리씩 개체 사육한 용기(Ø 10×높이 5 cm)에 추천농도로 희석된 약액을 살포하고 성충을 꺼내어 용기(Ø 12×높이 8 cm)에 놓고 신초 부근 가지를 6 cm로 자른 잣나무를 먹이로 공급하였다. 가지 침지법은 잣나무 신초 부근 가지 6 cm를 잘라 약액에 30초간 침지처리하고 음지에서 1시간 건조시킨 후 용기(Ø 12×높이 8 cm)에 넣고 북방수염하늘소를 1마리씩 접종하였다. 충체 분무와 가지 침지 처리에서 모두 90% 살충율을 보인 11종에 대하여 2000배, 4000배액으로 희석된 약액을 충체 분무법과 가지침지 처리법과 같은 방법으로 실험하였다. 모든 실험은 5마리씩 3반복으로 수행하였다.

침투이행시험: 약액(50 ml)을 잣나무가 식재된 화분(Ø 28×높이 30 cm)내 토양에 관주처리 하였으며, 24시간 방치한 후 잣나무에 nylon 재질의 망(폭 40×길이 50 cm)을 씌운 후 그 안에 성충을 6마리씩 접종하고 끈으로 묶어 성충이 망 밖으로 나오지 못하도록 처리하였다. 사충율은 처리 후 6일 동안 조사하였다. 모든 실험은 3반복으로 하였다.

잔효성 시험: 성충에 대하여 90%이상의 살충율을 보인 11 약제를 야외에서 잣나무에 분무기를 이용하여 약제처리 후 1, 3, 5, 7, 10, 15일 후에 잎을 잘라 용기(Ø 12×높이 8 cm)에 넣고, 북방수염하늘소 성충 1마리씩 접종하였으며 48시간 후에 사충수를 조사하였다. 실험은 5마리씩 3반복으로 수행하였다.

방제효과 시험: 방제효과 시험은 야외에서 잣나무에 nylon 재질의 망(폭 40×길이 50 cm)를 씌운 후 그 안에 성충을 각각 5마리씩 접종하고 끈으로 묶어 성충이 망 밖으로 나오

Table 1. Comparative toxicity of 39 insecticides against *M. saltuarius* adults by body spray and twig dipping treatment

Insecticide	AI ^{a)} (%)and formulation ^{b)}	Dilution (X)	n	Mortality (%) (Mean±SD)	
				Body spray	Twig dipping
<i>Organophosphates</i>					
Acephate	50WP	1,000	15	0.0 ± 0.0 i ^{c)}	73.3 ± 23.1 bcd
Chlorpyrifos	25WP	1,000	15	86.7 ± 11.5 abc	40.0 ± 20.0 ef
Diazinon	34EC	1,000	15	0.0 ± 0.0 i	73.3 ± 11.5 bcd
EPN	45EC	1,000	15	86.7 ± 11.5 abc	60.0 ± 20.0 de
Fenitrothion	50EC	1,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
		2,000	15	100.0 ± 1.0 a	100.0 ± 0.0 a
		4,000	15	100.0 ± 1.0 a	100.0 ± 0.0 a
Fenthion	50EC	1,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
		2,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
		4,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
Phenthoate	47.5EC	1,000	15	100.0 ± 0.0 a	93.3 ± 11.5 ab
		2,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
		4,000	15	93.3 ± 11.5 ab	93.3 ± 11.5 ab
Phosphamidon	50LP	1,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
		2,000	15	100.0 ± 0.0 a	93.3 ± 11.5 ab
		4,000	15	100.0 ± 0.0 a	93.3 ± 11.5 ab
Pyraclufos	35WP	1,000	15	73.3 ± 11.5 cd	93.3 ± 11.5 ab
<i>Carbamates</i>					
Benfuracarb	30EC	1,000	15	26.7 ± 11.5 gh	100.0 ± 0.0 a
Bensultap	50WP	1,000	15	0.0 ± 0.0 i	100.0 ± 0.0 a
Carbaryl	50WP	1,000	15	0.0 ± 0.0 i	93.3 ± 11.5 ab
Furathiocarb	10WP	1,000	15	0.0 ± 0.0 i	80.0 ± 20.0 abcd
Methomyl	24.1LP	1,000	15	73.3 ± 11.5 cd	100.0 ± 0.0 a
Thiodicarb	40WP	1,000	15	0.0 ± 0.0 i	86.7 ± 11.5 abc
<i>Pyrethroids</i>					
Bifenthrin	2WP	1,000	15	73.3 ± 11.5 cd	93.3 ± 11.5 ab
Cypermethrin	5EC	1,000	15	60.0 ± 0.0 de	93.3 ± 11.5 ab
Deltamethrin	1EC	1,000	15	53.3 ± 11.5 ef	73.3 ± 23.1 bcd
Esfenvalerate	1.5EC	1,000	15	0.0 ± 0.0 i	60.0 ± 20.0 de
Etofenprox	20EC	1,000	15	6.7 ± 11.5 i	100.0 ± 0.0 a
Fenpropathrin	5WP	1,000	15	13.3 ± 11.5 hi	100.0 ± 0.0 a
λ-cyhalothrin	1EC	1,000	15	80.0 ± 20.0 bc	26.7 ± 11.5 fg
<i>Neonicotinoids</i>					
Acetamiprid	8WP	1,000	15	93.3 ± 11.5 ab	100.0 ± 0.0 a
		2,000	15	93.3 ± 11.5 ab	93.3 ± 11.5 ab
		4,000	15	73.3 ± 11.5 cd	93.3 ± 11.5 ab
Clothianidin	8SC	1,000	15	93.3 ± 11.5 ab	100.0 ± 0.0 a
		2,000	15	100.0 ± 0.0 a	80.0 ± 20.0 abcd
		4,000	15	93.3 ± 11.5 ab	80.0 ± 0.0 abcd
Dinotefuran	10WP	1,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
		2,000	15	93.3 ± 11.5 ab	93.3 ± 11.5 ab
		4,000	15	40.0 ± 0.0 gf	80.0 ± 20.0 abcd
Imidacloprid	10WP	1,000	15	80.0 ± 20.0 bc	40.0 ± 40.0 ef
Thiacloprid	10WP	1,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
		2,000	15	100.0 ± 0.0 a	93.3 ± 11.5 ab
		4,000	15	93.3 ± 11.5 ab	73.3 ± 11.5 bcd
Thiamethoxam	10WP	1,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
		2,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
		4,000	15	80.0 ± 20.0 bc	100.0 ± 0.0 a

Table 1. continued

Insecticide	AI ^{a)} (%)and formulation ^{b)}	Dilution (X)	n	Mortality (%) (mean±SD)	
				Body spray	Twig dipping
<i>Antibiotics</i>					
Emamectin benzoate	2.15EC	2,000	15	0.0 ± 0.0 i	33.3 ± 23.1 f
Milbemectin	1EC	1,000	15	0.0 ± 0.0 i	0.0 ± 0.0 h
Spinosad	10WG	2,000	15	0.0 ± 0.0 i	6.7 ± 11.5 gh
<i>Others</i>					
Chlorfenapyr	10SC	2,000	15	13.3 ± 11.5 hi	80.0 ± 20.0 abcd
Fipronil	5SC	1,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
		2,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
		4,000	15	86.7 ± 23.1 abc	93.3 ± 11.5 ab
Pyridalyl	10SC	1,000	15	13.3 ± 11.5 hi	20.0 ± 20.0 fgh
<i>Mixtures</i>					
Esfenvalerate+fenitrothion	1.25+15 EC	1,000	15	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
		2,000		60.0 ± 20.0 de	100.0 ± 0.0 a
		4,000		26.7 ± 11.5 gh	93.3 ± 11.5 ab
Chlorpyrifos+α-cypermethrin	10+1EC	1,000	15	86.7 ± 11.5 abc	86.7 ± 11.5 abc
Ethofenprox+diazinon	8+25WP	1,000	15	0.0 ± 0.0 i	66.7 ± 30.6 cd
Acetamiprid+spinetoram	6+4SC	1,000	15	100.0 ± 0.0 a	80.0 ± 0.0 abcd
Indoxacard+spinosad	7+7WG	1,000	15	6.7 ± 11.5 i	100.0 ± 0.0 a

a) Active ingredient.

b) WP=wettable powder, EC=emulsifiable concentrate, SC=suspension concentrate, WG=water dispensible granule, SL=soluble concentrate.

c) Means followed by the same letter within a column are not significantly different at p=0.05 by Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 1991).

지 못하도록 처리하고 분무기를 이용하여 선발된 약제를 처리하였다. 1, 3일 후 사충율을 조사하였고 실험은 3반복으로 하였다.

데이터 분석: 실험결과 분석은 Tukey's studentized range test로 비교하였다(SAS Institute, 1991).

결과 및 고찰

성충에 대한 약제 감수성

시판하고 있는 39종의 살충제를 추천농도로 북방수염하늘소 성충에 대한 충체 분무법과 가지 침지법으로 검정하였으며, 살충활성은 Table 1과 같다. 약제 처리방법에 관계없이 성충에 대해 90%이상의 살충율을 보인 약제는 유기인계의 fenitrothion, fenthion, phenthoate, phosphamidon과 네오니코티노이드계 acetamiprid, clothianidin, dinotefuran, thiacloprid, thiamethoxam, 혼합제 esfenvalerate+fenitrothion, 기타 fipronil 등의 11종 이었다. 가지 침지법에서만 100% 살충효과를 보인 약제는 카바메이트계 benfuracarb, bensultap, methomyl, 피레스로이드계 etofenprox, fenpropathrin, 네오니코티노이드계 clothianidin, 혼합제 indoxacard+spinosad 등의 7종 이었다. 항생제계통 약제들은 처리방법에 관계없이 살충효과가

낮았다. 카바메이트계 bensultap, 피레스로이드계 etofenprox, fenpropathrin, 혼합제 indoxacard+spinosad는 충체분무에서는 효과가 거의 없었으나 엽침지에서는 100%의 살충효과를 나타내었다(Table 1). 이는 접촉에 의한 독작용보다는 섭식에 의한 식독작용이 강하게 작용한 결과라 생각된다. 이와 같이 처리방법에 따라 살충제 감수성이 차이를 나타내고 있는 것은 살충제의 작용경로와 작용부위의 차이에 의한 것으로 생각된다(會田, 1983).

솔수염하늘소 방제용으로 등록되어 있는 fenitrothion, acetamiprid, clothianidin, thiacloprid, thiamethoxam 등에 대하여 북방수염하늘소에서는 fenitrothion, thiacloprid, thiamethoxam의 경우 약제처리방법에 관계없이 100% 살충효과를 보였으며, clothianidin는 가지 침지에서 100% 살충효과를 나타냈다. Acetamiprid는 충체분무와 가지 침지에서 93.3%로 다소 높은 살충효과를 나타냈다. 솔수염하늘소의 약제시험에서 fenitrothion, imidachloprid, phosphamidon 약제처리시 1일차부터 100% 효과가 chlorpyrifos-methyl, cyloprothrin은 처리 5일차부터 사충율이 100% 효과가 나타났다고 보고하였다(Lee 등, 2003). 북방수염하늘소에서는 chlorpyrifos-methyl, fenitrothion, phosphamidon처리시 살충효과가 높게 나타나 솔수염하늘소와 유사한 결과를 나타냈으나 imidachloprid 약제처리시 북방수

염하늘소에서는 다소 낮은 치사율을 보였다. 또한 황철나무 알락하늘소 방제용으로 사용되는 chlorpyrifos도 북방수염하늘소에서는 다소 낮은 살충효과를 나타냈다. Fenitrothion의 경우 Lee 등(2003)은 솔수염하늘소에 기주침지법으로 처리 1일째부터 100% 치사율을 보여 약효가 뛰어난 것을 보고한 바 있으며, 미량국소처리법으로 100% 살충율을 보였으며, 특히 초미립자분무기를 이용하여 살포시 방제에도 효과적이라 하였다. 털두꺼비하늘소에는 benfuracarb와 λ -cyhalothrin을 처리한 후 5일째와 10일째에 100% 방제효과가 있는 것으로 보고하였는데(Yoo 등, 2001), 북방수염하늘소에서의 경우 benfuracarb는 가지 침지처리에서 100% 살충효과를 나타내 유사한 결과를 나타낸 반면, λ -cyhalothrin는 다소 낮은 살충율을 보였다. 총체 분무와 가지 침지 처리에서 모두 90% 살충율을 보인 11종에 대하여 2000배, 4000배액으로 희석된 약액을 총체 분무와 가지 침지 처리한 결과 처리농도와 상관없이 모두 100% 살충효과를 보인 약제는 유기인계의 fenitrothion, fenthion 2종이고 2000배액에서 총체분무와 앞침지 모두 100% 살충율을 보인 약제는 phenthoate, thiacloprid, thiamethoxam, fipronil 등 4종이었다(Table 1).

침투이행성

북방수염하늘소 성충에 대해 17종약제(fenitrothion, fenthion, phenthoate, phosphamidon, dinotefuran, benfuracarb, bensultap, methomyl, acetamiprid, etofenprox, fenpropathrin, clothianidin, thiacloprid, thiamethoxam, fipronil, esfenvalerate+fenitrothion, indoxacard+spinosad)를 잣나무가 식재된 화분 내 토양 관주 처리 결과는 Table 2와 같다. 성충에 대해 100% 살충율을 보인 약제는 유기인계 phosphamidon, 네오니코티노이드계 clothianidin, thiamethoxam이고 thiacloprid는 77.7%의 침투이행 효과를 나타냈다. Fenitrothion, acetamiprid, esfenvalerate+fenitrothion은 50.0%, 61.6%, 55.5%의 살충효과로 중간정도 보였으며, 나머지 약제들은 침투이행이 낮았다. 이 결과로 볼 때 침투이행성 약제간에는 차이가 있으나 효과는 높지 않았다. 따라서 이들 약제는 처리된 후 침투되어 수관이나 체관계를 따라 각 부위로 이동할 수 있는 이행능력이 약한 것으로 생각된다.

북방수염하늘소는 우화한 직후 살아있는 소나무로 비상하여 신초 부분으로 이동한 후 후식을 한다. 성성숙을 하는 동안 북방수염하늘소는 생리적으로 약해진 소나무의 냄새에 유인이 되어 후식을 하게 된다(Hanks, 1999; Kobayashi 등, 2003). 솔수염하늘소가 농약에 대해서 경구독성이 경피독성에 비해 감수성이라 보고된 바 있다(Kishi, 1975). 따라서 침투이행성 약제들은 식물체에 이행된 후 약효를 발휘하기 때

Table 2. systemic effects of insecticides against *M. saltuarius* adults

Insecticide	n	Mortality (%) (Mean±SD)
<i>Organophosphates</i>		
Fenitrothion	18	50.0 ± 16.7 bcd ^{a)}
Fenthion	18	0.0 ± 0.0 e
Phenthoate	18	27.8 ± 9.6 cde
Phosphamidon	18	100.0 ± 0.0 a
<i>Carbamates</i>		
Dinotefuran	18	44.4 ± 9.6 bcd
Benfuracarb	18	0.0 ± 0.0 e
Bensultap	18	0.0 ± 0.0 e
Methomyl	18	22.2 ± 19.2 de
<i>Pyrethroids</i>		
Acetamiprid	18	61.6 ± 9.6 bc
Etofenprox	18	44.4 ± 19.3 bcd
Fenpropathrin	18	33.3 ± 16.7 cde
<i>Neonicotinoids</i>		
Clothianidin	18	100.0 ± 0.0 a
Thiacloprid	18	77.8 ± 9.6 ab
Thiamethoxam	18	100.0 ± 0.0 a
<i>Others</i>		
Fipronil	18	0.0 ± 0.0 e
<i>Mixtures</i>		
Esfenvalerate + Fenitrothion	18	55.6 ± 9.4 bcd
Indoxacard + spinosad	18	0.0 ± 0.0 e
<i>Control</i>	18	0.0 ± 0.0 e

^{a)} Means followed by the same letter within a column are not significantly different at p=0.05 by Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 1991).

문에 자연환경에 안정되고 직접 약제로 처리되지 않는 부위에서도 살충효과가 있으며 처리된 식물을 식해하는 해충에만 선택적으로 작용하는 등의 장점을 가지고 있다(Kim 등, 2000).

잔효성

북방수염하늘소에 성충에 대한 잔효성 실험은 살충활성 검정에서 90%이상의 살충효과가 있는 11종의 살충제에 대하여 추천농도로 잣나무 가지에 분무 처리하고 15일까지 조사한 결과는 그림 3과 같다. Fenitrothion, thiamethoxam, fipronil은 처리 후 7일째까지 100%의 살충율을 나타냈으며, thiacloprid은 처리 후 3일째까지, fenthion, phenthoate은 처리 후 1일째까지 100% 살충율을 보였다. Fenitrothion, thiamethoxam은 15일째까지 80%이상의 잔효성을 나타냈고, fenthion, phosphamidon, clothianidin은 10일째까지 80%이상의 방제가를 나타냈다. Fenitrothion, fenthion, phosphamidon, clothianidin, thiamethoxam은 약제처리 5일째에 14.3mm, 10일째에 6.6mm의 강우가 있음에도 높은 치사율을 보여 산림이나 공원지

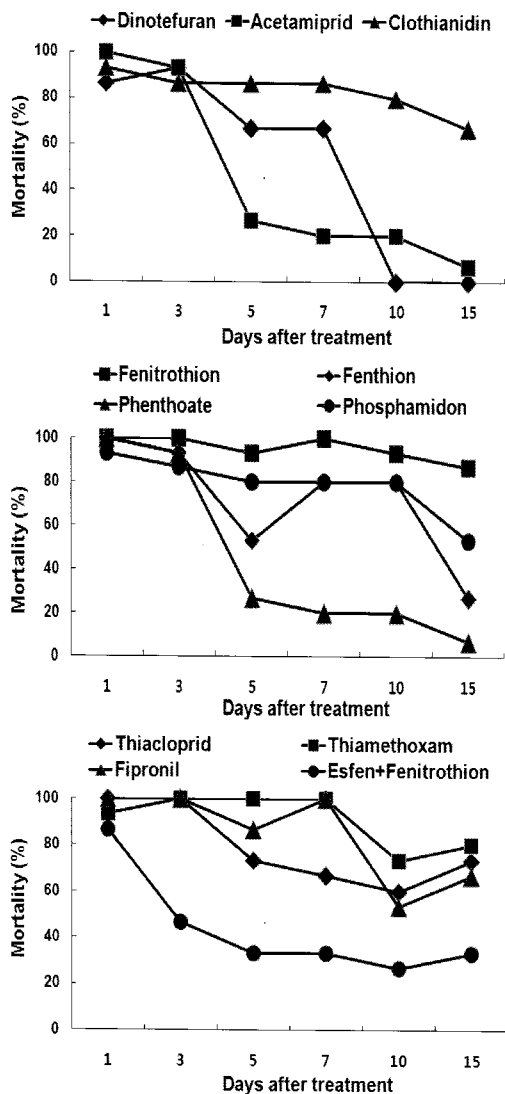


Fig. 1. Residual effects of 11 insecticides against *M. saltuarius* adults under the field condition.

등에서의 활용이 가능하다고 생각되며, 다만 phosphamidon은 고독성 농약이어서 방제용으로 이용하기에는 다소 부적당할 것으로 생각된다. Fenitrothion은 약제 살포시 가치가 건조해 있지만 하면 폭우에도 씻겨 소실되지 않는데(Kishi, 1995), 본 실험에서도 같은 결과였다. 반면 잔효성이 우수한 살충제는 지속적인 방제효과를 보이기 때문에 경제성이 있지만 잔류성이 길어 환경에 미치는 부작용이 나타날 수 있다.

Kim 등(2000)은 실내에서 털두꺼비하늘소 성충에 대한 13종 살충제의 잔효성 조사에서 acetamiprid, benfurcarb, endosulfan, fenitrothion, λ-cyhalothrin 등 5종이 21일째까지 100%의 살충활성을 나타내었음을 보고하였고, Yoo 등(2001)은 털두꺼비하늘소에 대한 잔효성은 benfurcarb가 15일째까지 90% 이상의 살충활성을 나타내었다고 보고하였다. 북방수염하늘소의 경우 acetamiprid는 5일째까지 80.0%, benfurcarb는 1일째까지 86.7%, fenitrothion 15일째까지 86.7%의 잔효성을 나타냈다.

방제효과

살충활성 검정에서 효과가 좋은 11종의 살충제에 대하여 잣나무에서 북방수염하늘소의 방제효과를 조사한 결과 Table 3과 같다. Fenitrothion, fenthion, phenthoate, phosphamidon, fipronil, esfenvalerate+fenitrothion 6종은 처리 1일째에 100%의 방제효과를 나타내었고, 처리 3일째에는 모두 100% 방제효과를 나타냈다.

이상의 결과를 종합해보면 북방수염하늘소의 방제시험에서 높은 효과를 나타낸 약제는 유기인계 4종(fenitrothion, fenthion, phenthoate, phosphamidon), 네오니코티노이드계 5종(acetamiprid,

Table 3. Control effect of 11 insecticides against *M. saltuarius* adults

Insecticide	Dilution (X)	n	Control value (%)	
			1 DAT ^a	3 DAT
Acetamiprid	1,000	15	93.3±11.5 a ^b	100.0±0.0 a
Clothianidin	1,000	15	80.0±0.0 c	100.0±0.0 a
Dinotefuran	1,000	15	86.7±11.5 bc	100.0±0.0 a
Fenitrothion	1,000	15	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a
Fenthion	1,000	15	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a
Phenthoate	1,000	15	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a
Phosphamidon	1,000	15	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a
Fipronil	1,000	15	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a
Thiacloprid	1,000	15	93.3±11.5 ab	100.0±0.0 a
Thiamethoxam	1,000	15	86.7±11.5 bc	100.0±0.0 a
Esfenvalerate + fenitrothion	1,000	15	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a

^aDays after treatment.

^bMeans followed by the same letter within a column are not significantly different at P=0.05 by Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 1991).

clothiandin, dinotefuran, thiacloprid, thiamethoxam), 혼합 제 1종(esfenvalerate+fenitrothion) 기타 1종(fipronil)등 11종으로 북방수염하늘소의 방제에 효율적으로 이용 될 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 산림청 지정 소나무재선충연구사업단의 연구비 지원과 교육인적자원부의 제2단계 두뇌한국 21사업으로 수행한 결과이다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

- Evans, H. F., D. G. McNamara, H. Braash, J. Chadoeuf and C. Magnusson (1996) Pest risk analysis (PRA) for the territories of the European Union (as PRA area) on *Bursaphelenchus xylophilus* and its vectors in the genus *Monochamus*. *OEPP / EPPO Bull.* 26:199~249.
- Hanks, L. M. (1999) Influence of the larval host plant reproductive strategies of cerambycid beetles. *Annu. Rev. Entomol.* 44: 483~505.
- Kim, G. H., J. S. Yoo, S. G. Lee and J. D. Park (2000) Susceptibility of oak longicorn beetle, *Moechotypa diphysis* Pascoe (Coleoptera: Cerambycidae), infesting the oak mushroom bed logs to commercial insecticides. *Korean J. Appl. Entomol.* 39:207~209.
- Kim, D. S., S. M. Lee, Y. J. Jung, G. S. Choi, I. S. Moon and J. G. Park (2003) Emergence ecology of Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), A vector of pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. *Korea J. Appl. Entomol.* 42:307~313.
- Kishi, Y. (1975) Comparison of toxicity between organophosphorus toxicants and ethylen dibromide, alone and in combination to *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) (1) The oral and the contact toxicity to the adults. *J. Jpn. For. Soc.* 57:334~338.
- Kishi, Y. (1995) The pine wood nematode and the Japanese pine sawyer. Thomas Company Limited, Tokyo, Japan. pp. 302.
- Kobayashi, H., A. Yamane and R. Iwata (2003) Mating behavior of the pine sawyer, *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) *Appl. Entomol. Zool.* 38:141~148.
- Korea Forest Research Institute (2007) Annual report of monitoring for forest insect pests and diseases in Korea (in Korean). 23-26pp. Korea Forest Research Institute, Seoul.
- Korea Crop Protection Association (2008) Agrochemicals User's Guide Book.
- Lee, S. M., Y. J. Chung, S. G. Lee, D. W. Lee, H. Y. Choo, and C. G. Park (2003) Toxic effect of some insecticides on the japaness pine sawyer, *Monochamus alternatus*. *Jour. Korean For. Soc.* 92(4):305~312.
- 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. pp. 44~64
- Mamiya, Y. and N. Enda (1972) Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoidea) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Nematologica* 18:159~162.
- Mamiya, Y. (1984) The pine wood nematode. In: Plant and Insect Nematodes. Ed. by Nickle, W.R. New York. Marcel Dekker, pp. 589~626.
- Moon, Y. S., S. M. Lee, J. D. Park and W. H. Yeo (1995) Distribution and Control of the Pine Wood Nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* and its Vector Japanese Pine Sawyer, *Monochamus alternatus*. *FRI. J. For. Sci* 51:119~126.
- Mota, M. M. (2002) Occurrence of the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* in Portugal and in Europe. *Nematol.* 1:727~734.
- Sin, J. H., C. S. Chung, H. R. Han, S. H. Koh, J. Y. Chung and S.C. Shin (2007) Characteristics and control strategies of the Pine Wood Nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* at *Pinus koraiensis*. 12pp. KFRI. Seoul.
- SAS institute (1991) SAS/STAT user's guide: statistics, version 6.04. pp. 125~154. SAS Institute, Cary, N. C., U.S.A.
- Sato, H., T. Sakuyama and M. Kobayashi (1987) Transmission of *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhner) Nickle (Nematode, Aphelenchoidea) by *Monochamus saltuarius* (Gebler) (Coleoptera, Cerambycidae). *J. Jpn. For. Soc.* 69: 492~496 (in Japanese with English Summary).
- 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.
- Yoo, J. S., G. H. Kim, S. G. Lee and J. D. Park (2001) Control effects of benfuracarb and λ -cyhalothrin to oak longicorn beetle, *Moechotypa diphysis*, infesting the oak mushroom bed logs. *Pestic. Sci* 5:47~49.
- 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 Buhner) Nickle and its insect vector in Korea. *Res. Rep. For. Res. Inst.* 38:141~149 (in Korean).
- 會田重光 (1983) *In vitro* 檢定法, pp. 232~271. 最新農藥生物檢定法(細込豊二編). 全國農村教育協會. 東京.

북방수염하늘소의 살충제 감수성

한주환 · 유종현 · 김은희 · 양정오¹ · 노두진¹ · 윤창만¹ · 김길하^{1*}

충청북도산림환경연구소, ¹충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과

요 약 시판하고 있는 39종의 살충제에 대한 북방수염하늘소(*Monochamus saltuarius*) 성충에 대한 약제 감수성, 침투이행성, 잔효성 및 방제효과를 조사하였다. 두가지 검정법(충체분무와 가지침지)으로 성충에 대해 100% 살충율을 보인 약제는 fenitrothion, fenthion, phenthoate, phosphamidon, dinotefuran, actamiprid, clothianidin, thiacloprid, thiamethoxam, esfenvalerate+fenitrothion, fipronil 등 11종이었으며, 방제효과가 좋은 11종에 대해 2000배, 4000배액으로 희석된 약액을 성충에 처리한 결과 처리농도에 상관없이 모두 100% 살충효과를 보인 약제는 fenitrothion, fenthion이고 2000배액에서만 100% 살충율을 보인 약제는 phenthoate, thiacloprid, thiamethoxam, fipronil 등 4종이었다. 뿌리 침투이행성 효과는 phosphamidon, clothianidin, thiamethoxam이 100%, thiacloprid는 77.7%의 침투이행 효과를 나타냈다. 잔효성에서는 fenitrothion, thiamethoxam은 15일째까지 80%이상, fenthion, phosphamidon, clothianidin은 10일째까지 80%이상, fenitrothion, thiamethoxam, fipronil은 처리 후 7일까지, thiacloprid는 처리 후 3일까지, fenthion, phenthoate은 처리 후 1일째까지 100% 살충율을 보였다. 방제효과에서는 11약제중 6약제(fenitrothion, fenthion, phenthoate, phosphamidon, fipronil, esfenvalerate+fenitrothion)가 처리 1일째에 그리고 3일째에는 시험약제 모두 100% 방제효과를 나타냈다.

색인어 북방수염하늘소, 살충제, 감수성, 침투이행, 잔효성, 방제효과