

곰솔(*Pinus thunbergii*)에서 소나무재선충병 예방을 위한 나무주사용 약제선발

이상명 · 김동수 · 이상길¹ · 박남창 · 이동운^{2*}

국립산림과학원 남부산림연구소, ¹국립산림과학원, ²경북대학교 생물응용학과

(2009년 9월 30일 접수, 2009년 10월 7일 수리)

Selection of Trunk Injection Pesticides for Preventive of Pine Wilt Disease, *Bursaphelenchus xylophilus* on Japanese Black Pine (*Pinus thunbergii*)

Sang Myeong Lee, Dong Soo Kim, Sang Gil Lee¹, Nam Chang Park and Dong Woon Lee^{2*}

Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju, Gyeongnam, 660-300, Korea, ¹Korea Forest Research Institute, Seoul, 130-712, Korea, ²Department of Applied Biology, Institute of Agricultural Sciences, Kyungpook National University, Sangju, 742-711, Korea

Abstract

This study was carried out to select effective preventive pesticides against pine wilt disease caused by pinewood nematode (PWN), *Bursaphelenchus xylophilus* on trunk injection. 1,000 fold aquatic solution of abamectin 1.8% EC and emamectin benzoate 2.15% EC were lower mortality (7.3% and 8.3% respectively) against PWN on 1 day after treatment. However effects of abamectin 1.8% EC, emamectin benzoate 2.15% EC, fosthiazate 30% SL and fenitrothion 30% SL were inhibited the reproduction of PWN over 99.6% in *Botrytis cineria* media. Effect of trunk injection of abamectin 1.8% EC and emamectin benzoate 2.15% EC at the rate of 10 ml per 10 cm in diameter of breast height (DBH) on mortality of Japanese black pine, *Pinus thunbergii* by inoculated PWN was 0% and 3.3%, respectively at the applied year however when injection of fosthiazate 30% SL were treated with the rate of 5 ml per 10 cm tree DBH, mortality of tree was 63.3%. Abamectin 1.8% EC and emamectin benzoate 2.15% EC was showed high preventive efficacy representing >90% against PWN at the following year. PWN preventing efficacy of trunk injection was lower in naturally occurred area (mortality of pine tree in control was 11.7% at the first year) of PWN than artificially infected site (mortality of pine tree in control was >76.7% at the first year), PWN preventing efficacy of trunk injection of abamectin 1.8% EC and emamectin benzoate 2.15% EC at the rate of 10 ml per 10 cm in DBH was 91.5% and 82.9%, respectively, at the applied year and 89.5% and 82.6% respectively at the following year in PWN naturally occurred site. Control efficacy by trunk injection of abamectin 1.8% EC and emamectin benzoate 2.15% EC was more higher in 10 fold dilution with 10 fold high amount of aquatic solution than no dilution with 10 fold less amount of aquatic solution. The preventive effect of trunk injection of abamectin 1.8% EC and emamectin benzoate 2.15% EC at the rate of 5 ml per 10 cm in DBH was showed 100% at the applied year in PWN inoculated tree.

Key words Pine wilt disease, *Bursaphelenchus xylophilus*, abamectin, emamectin benzoate, trunk injection

*연락처 : Tel. +82-54-530-1212, Fax. +82-54-530-1218

E-mail: whitegrub@knu.ac.kr

서 론

소나무재선충병은 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*) 이 매개충인 하늘소류에 의해 전파되는 병으로 우리나라를 비롯하여, 일본, 대만, 포르투갈 등지의 *Pinus* 속 소나무류에 치명적 피해를 유발하고 있다(Cheng 등, 1983; Tzean and Jan, 1985; Mamiya, 1988; Yi 등, 1989; Mota 등, 1999). 소나무재선충은 미국이나 캐나다, 멕시코 등 북미지역이 원산지이다(Steiner와 Buther, 1934; Knowles 등, 1983; Dwinell, 1997) 이 지역의 소나무류는 저항성 계통으로 대부분 피해를 받고 있지 않으나(Dwinell과 Nickle, 1989) 우리나라에 주로 서식하고 있는 소나무(*Pinus densiflora*)와 곰솔(*P. thunbergii*)은 감수성 계통으로 소나무재선충에 감염되면 100% 고사되고 있다(Takeuchi, 2008).

우리나라에서 소나무재선충병은 1988년 부산에 최초로 발생하였으며, 2005년 피해면적이 급증하여 7,811 ha의 피해면적이 발생하였으며 2008년 현재는 6,015 ha의 피해면적을 보이고 있다(Yi 등, 1989; 산림청, 2009). 특히 우리나라는 국토의 63.9%인 6,375천ha가 산림으로 구성되어 있고, 이들의 42.0%인 2,680천ha가 침엽수림으로 구성되어 있으며 소나무재선충의 주요기주인 소나무림이 침엽수림의 55.0%인 1,473천ha로 구성되어 있어(산림청, 2009) 소나무재선충을 방제하지 않을 경우 전체 산림의 24.5%에 달하는 면적이 위협에 직면하게 된다. 일본의 경우 1905년 Nakasaki 지역에서 소나무재선충에 의한 피해가 처음 발생한 후(Yano, 1913) 현재는 Aomori와 Hokkaido를 제외한 전역에 확산되었고, 피해량도 1932년에 11,700 m³에서 매년 증가하여 1979년에는 2,432,700 m³에 이르고 있는데 1980년대 이후로 매년 1,000,000 m³이상의 피해가 발생하고 있다(Mamiya, 1988; Kishi, 1995; Futai, 2008).

소나무재선충병의 방제는 임업적 방제와 화학적 방제, 생물적 방제법 등이 있는데 화학적 방제법으로는 소나무재선충을 매개하는 솔수염하늘소와 같은 매개충을 방제하기 위하여 항공살포나 피해목 훈증과 같은 방법이 있으며 소나무재선충을 대상으로 하는 방법으로는 나무주사와 토양관주법 등이 있다(국립산림과학원, 2006).

나무주사는 피해선단지 주변이나 확산 역제가 필요한 지역 또는 고가의 조경수나 보호수 등을 소나무재선충병 감염으로부터 예방할 수 있는 방법으로 환경이나 사람에게 대한 영향이 적고, 항공방제나 지상부 약제살포의 경우 강우나 바람 등 기상조건의 영향을 받는데 비하여 나무주사는 영향을 받지 않는다. 그러나 노동력의 집약적 투입이 필요하고, 비용이 많이

들어 대규모 산림에 적용하기는 어려운 단점이 있다(Kamata, 2008). 이러한 장단점에도 불구하고, 나무주사는 소나무재선충병의 피해를 예방할 수 있는 가장 유력한 방법으로 소나무재선충에 살선충 효과가 있는 약제로는 GABA 수용체 작용물질들인 abamectin이나 ivermectin, emamectin benzoate, milbemectin, milbemycin-5-oxime 및 아세틸콜린에스트라제의 저해제인 mesulfenfos, 근활동 저해제인 morantel tartrate, levamisol hydrochloride 등이 알려져 있고(Takai 등, 2000), 이들 중 morantel tartrate나 levetimisol hydrochloride, mesulfenfos, nemadectin등이 일본에서 소나무재선충 예방약제로 등록되어 있다(Kamata, 2008).

따라서 본 연구에서는 소나무재선충에 효과가 있으면서 경제적인 방제제를 선별하기 위하여 실내생물검정과 야외적용효과를 수행하였다.

재료 및 방법

소나무재선충과 시험약제

소나무재선충은 소나무재선충병의 피해지역인 경남 진주 지역에서 소나무재선충에 감염된 해송 시료를 채취하여 실험실에 가져와 깔때기법으로 분리한 후 *Botrytis cineria*(갯빛곰팡이병)균을 이용하여 배양하였다(Kishi, 1995; 산림청, 2005). 실험에 이용한 약제들은 농약판매점에서 시판중인 제품을 이용하여 수행하였다.

실내 살선충활성 검정

1) 현탁액 침지 실험

직경 5 cm 1회용 petri dish에 각각의 농약을 20 ml 씩 넣고 소나무재선충현탁액 0.5 ml(선충200마리)를 접종하여 25°C에 보관하였다. 처리 24시간 후 해부현미경에서 선충치사수를 조사하였으며, 치사율은 전체 선충수에 대한 치사된 선충수의 비율로 계산하였다. 치사의 유무는 가는 대나무 막대로 충체를 자극하여 반응이 없는 것을 기준으로 하였는데 실험에 사용한 약제는 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15%를 이용하였으며 선충 접종 후 최종 농도가 1,000백억이 되도록 처리하였고, 무처리구는 살균수만 처리하였다.

2) 약제첨가 배지에서의 살선충활성

PDA(24 g Potato dextrose agar, 증류수 1 l, Difco)배지에 공식약제를 첨가하여 살균한 후 직경 9 cm 1회용 petri dish에 20 ml씩 분주하였다. 그리고 PDA배지에서 7일간 배

양한 잣빛곰팡이병 균총 disc(5 mm)를 떼어내어 25°C에서 7일간 배양하였다. 무처리 배지에서 증식된 5 mm 잣빛곰팡이병 균총 disc에 소나무재선충 3령충 70마리/0.2 ml를 접종하여 배양된 균총 위에 올려놓고, 25°C에서 7일간 배양한 뒤 갈때기법으로 선충을 분리하여 증식된 선충수를 계수하였다. 실험은 3반복으로 수행하였으며 대조구는 약제를 첨가하지 않은 PDA배지를 사용하여 선충의 증식수를 조사하였다. 실험에 이용한 약제는 abamectin 1.8% 유제, fosthiazate 30% 액제, fenitrothion 30% 액제, emamectin benzoate 2.15% 유제를 이용하였는데 1,000배로 희석하여 사용하였다.

소나무재선충 예방약제 나무주사 실험

1) 소나무재선충 인공접종지에서 소나무재선충 예방약제 효과 실험

소나무재선충 예방약제를 선별하기 위하여 약제의 종류별에 따른 효과실험과 효과가 우수한 약제를 대상으로 약량별 효과 실험을 수행하였다. 약제의 종류별에 따른 소나무재선충병 예방효과를 알아보기 위하여 소나무재선충 피해지인 경남 진주시 금산면 장사리에서 조경용으로 식재된 곰솔을 대상으로 2004년 2월 19일에 abamectin 1.8% 유제, emamectin benzoate 2.15% 유제, fosthiazate 30% 액제, morantel tartrate 8% 액제를 나무주사하고 다음날 약제가 정상적으로 주입되지 않은 나무를 대상으로 반복해서 약제를 주입하였다. 실내실험에서 선충 증식 억제 효과가 높았던 fenitrothion은 예비실험에서 나무주사 시 수체 내 이행효과가 없어 실험에서 제거하였다. 효과가 나무주사는 지상으로부터 50 cm 높이 수간에 직경 6 mm 드릴 날로 천공하고, 220 ml 주입병을 이용하여 처리하였는데(이 등, 2008) 약제별 처리 약량은 흉고직경 10 cm당 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제는 원액을 10 ml와 20 ml를 처리하였으며, 10배 희석액을 100 ml와 200 ml를 처리하였고, fosthiazate 30% 액제는 원액 3 ml와 5 ml 및 10배 희석액 50 ml를 처리하였다. Morantel tartrate 8% 액제는 흉고직경 10 cm당 220 ml를 나무주사하였다. 곰솔의 흉고직경은 평균 8.6 cm였다. 소나무재선충 접종은 2004년 4월 19일과 20일 하였으며 1본당 2-3년생 가지에 진주시에서 소나무재선충에 의해 고사된 곰솔에서 분리한 소나무재선충 5,000마리/0.5 ml를 두 가지에 접종하였다. 선충접종은 실험 대상 나무의 수피부를 벗긴 후 직경 5 mm 탈지면을 올려놓고 선충현탁액을 접종하여 수분건조를 방지하기 위해 주방용 호일 1겹으로 접종 부위를 피복하였다. 각 처리마다 10분을 1반복으로 3반복 처리하였다. 효과조사는

선충접종 5개월 후까지 엽의 변색이나 처짐 여부 및 고사유무를 조사하였으며 증상이 나타난 소나무는 시험목에서 피해가지를 채취하여 선충을 분리한 후 검경하여 소나무재선충 감염여부를 판별하였다. 처리 약제의 2년차 효과 지속성을 알아보기 위하여 2005년 4월 25일 1년차 실험에서 생존한 나무를 대상으로 소나무재선충을 재접종 하였다. 이후 2005년 9월 13일까지 재선충에 의한 치사유무를 조사하였다.

소나무재선충 예방약제 실험을 수행한 경남 진주시 금산면 장사리에서 1차 실험결과 예방효과가 우수한 두 약제를 대상으로 약량을 줄여 예방효과 유무를 조사하였다. 나무주사는 2005년 2월 17일 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제를 흉고직경 10 cm당 원액 5 ml와 10 ml씩을 주입병에 넣어 처리하였는데 방법은 1)항목과 동일하게 처리하였다. 2005년 6월 19일과 20일에 전술한 방법으로 감염목에서 분리된 소나무재선충을 접종하고, 외관상 소나무재선충병에 의한 피해증상 발현 유무를 확인한 다음 엽 변색이 있는 시험목에서 피해가지를 채취하여 선충을 분리한 후 검경하여 소나무재선충 감염여부를 판별하였다. 10분을 한 반복으로 3반복 처리하였으며 아무런 처리를 하지 않은 무처리를 설정하여 조사하였다.

2) 소나무재선충 자연발생지 내 나무주사 실험

경남 진주시 문산면 옥산리 일대의 소나무재선충 자연발생 임지 내에서 나무주사 실험을 수행하였는데 흉고직경은 평균 8.5 cm였다. 나무주사는 2004년 2월 17일 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제, fosthiazate 30% 액제, morantel tartrate 8% 액제를 조경소재용 곰솔에 대한 실험과 동일한 방법으로 하였는데 morantel tartrate 8% 액제는 흉고직경 10 cm당 220 ml를 주입병에 넣어 처리하였으며 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제는 원액과 10배 희석액을 이용하였는데 원액은 흉고직경 10 cm당 20 ml씩 처리하였고, 10배 희석액은 200 ml씩 주입병에 넣어 처리하였다. Fosthiazate 30% 액제는 흉고직경 10 cm당 원액 3 ml와 5 ml 및 10배 희석액 50 ml를 나무주사하였다. 효과조사는 선충 접종 후 당년과 다음 해에 걸쳐 지속적으로 외관상 소나무재선충병에 의한 피해증상 발현 유무를 확인한 다음 엽 변색이 있는 시험목에서 피해가지를 채취하여 선충을 분리한 후 검경하여 소나무재선충 감염여부를 판별하였다. 100분을 한 반복으로 3반복 처리하였으며 아무런 처리를 하지 않은 무처리를 설정하여 조사하였다.

통계분석

실내와 야외에서의 치사율 조사 결과는 arcsin√% 변환하여 Duncan's multiple range test로 처리평균간 차이를 분산 분석 하였다(PROC ANOVA)(조, 2006). 모든 분석결과는 변환전의 값으로 하였고, 평균 ± 표준편차로 나타내었다.

결 과

실내 살선충활성

1) 현탁액 침지 실험

소나무재선충에 대해 살충활성을 조사한 결과 실험에 사용한 두 약제 모두 살선충 활성은 매우 낮았다($df=2,6, F=8.18, P<0.0193$)(Table 1).

2) 약제첨가 배지에서의 살선충활성

소나무재선충에 대한 증식억제 효과가 있는 약제를 선발하기 위하여 침투이행이 가능한 몇 가지 약제를 대상으로 실내에서 생물검정 한 결과 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제, fenitrothion 30% 액제 처리구에서는 선충접종 7일 후 증식된 선충이 없었으며 fosthiazate 30% 액제 처리구에서는 133.3마리의 선충이 생존하여 무처리구의 36,000마리에 비하여 소나무재선충 증식억제가 매우 높은 것으로 나타났다($df=4, 10, F=26.95, P<0.0001$)(Table 2).

소나무재선충 예방약제 나무주사

1) 소나무재선충 예방약제 효과

2004년 2월에 나무주사를 수행한 후 소나무재선충을 인공적으로 접종한 뒤 당해 1년차와 다음 해 2년차의 소나무재선충 감염 고사주율을 조사한 결과는 Table 3과 같았다.

나무주사 당년도 소나무재선충 예방효과는 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제 모두 우수하여 30분 중 1본이하만 발병하였다($df=15, 26, F=167.73, P<0.0001$). 반면 실내 증식실험에서 증식 억제 효과가 높았던 fosthoazate의 경우 33.3-73.3%의 고사율을 보였다. 1년차에서 생존한 나무들을 대상으로 2005년에 소나무재선충을 재접종하여 예방효과의 2년차 지속성을 조사한 결과 1년차에 효과가 있었던 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제 모두 90% 이상의 방제효과를 보였다($df=15, 26, F=263.31, P<0.0001$).

2004년도 실험에서 소나무재선충병 예방효과가 높았던 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제를 1년차 실험에서보다 낮은 약량인 흉고직경 10 cm당 원액 5 ml를 나무주사하여 흉고직경 10 cm당 원액 10 ml씩 주사한 것과 비교한 결과 당년도에 모든 처리구에서 고사된 나무가 발생하지 않았으며 소나무재선충을 인공접종한 대조구에서는 모든 나무가 고사하였다.

Table 1. Effect of 1,000 fold dilution aquatic solution of abamectin 1.8% emulsifiable concentration and emamectin benzoate 2.15% emulsifiable concentration on mortality of pine wood nematode in Petri dish

Treatment	Mean mortality (%) ± SD
Abamectin 1.8% soluble concentration	7.3 ± 1.2
Emamectin benzoate 2.15% emulsifiable concentration	8.3 ± 1.2
Control	4.0 ± 0.8

Table 2. Nematicidal effect of some pesticides on pine wood nematode in Botritis cyneria media

Treatment	Active ingredient (%)	Fomulation type	Dilution (×fold)	Mean no. of alive nematodes /plate±SD	Inhibition efficacy (%)
Abamectin	1.8	Emulsifiable concentration	1,000	0 a	100
Emamectin benzoate	2.15	Emulsifiable concentration	1,000	0 a	100
Fenitrothion	30	Soluble concentration	1,000	0 a	100
Fosthiazate	30	Soluble concentration	1,000	133.3±68.7 a	99.7
Control	-	-	-	36,000±12,000 b	-

Pinewood nematode was inoculated in *Botritis cyneria* media at 25°C and counted 7 days after inoculation.

*Means within a column followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple Range Test ($P<0.05$).

Table 3. Preventive effect of some pesticides on pine wood nematode (PWN) in Jinju, Gyeongsangnam-do

Treatment	Dilution (×fold)	Amount of injection (ml /10 cm DBH*)	No. of treatment tree		Cumulative PWN infection rate(%)±SD	
			2004	2005	1 year	2 years
Abamectin 1.8% EC**	1	10	30	29	0 d***	3.3±5.7 e
		20	30	29	3.3±5.8 d	6.7±5.8 e
	10	100	30	30	0 d	0 e
		200	30	30	0 d	0 e
Emamectin benzoate 2.15% EC	1	10	30	29	3.3±5.7 d	3.3±5.7 e
		20	30	30	0 d	6.7±5.8 e
	10	100	30	30	0 d	0 e
		200	30	30	0 d	0 e
Fosthiazate 30% SL	1	3	30	8	73.3±5.8 ab	86.7±5.8 b
		5	30	11	63.3±5.8 b	66.7±5.8 c
	10	50	30	20	33.3±5.8 c	50±5.8 d
Morantel tartrate SL	1	220	30	30	0 d	0 e
Pine wood nematode	-	-	30	20	76.7±5.8 a	100 a
Control	-	-	30	30	0 d	0 e

Insecticides were injected with trunk injection on February 19, 2004.

PWN were injected tree on April 19 and 20, 2004 and alive tree were re-inoculated PWN on April, 25, 2005.

*DBH; breast height diameter.

**EC; emulsifiable concentration, SL; soluble concentration,

***Means within a column followed by different letters are significantly different by Duncan’s multiple Range Test ($P<0.05$).

Table 4. Preventive effect of some insecticides on pine wood nematode (PWN) in naturally infected area of PWN in Jinju, Gyeongsangnam-do

Treatment	Dilution (×fold)	Amount of injection (ml /10 cm DBH*)	Cumulative PWN infection rate(%)±SD	
			1 year	2 years
Abamectin 1.8% EC**	1	20	1.0±0.0 a***	2.0±1.0 ab
	10	200	0.3±0.6 a	0.7±0.6 a
Emamectin benzoate 2.15% EC	1	20	2.0±1.0 a	3.3±0.6 ab
	10	200	0.3±0.6 a	0.3±0.6 a
Fosthiazate 30% SL	1	5	2.7±0.6 a	6.0±1.0 b
	10	50	3.3±0.6 a	4.0±1.0 ab
Morantel tartrate SL	1	220	1.0±0.0 a	1.3±0.6 ab
Control	-	-	11.7±4.7 b	19.0±4.6 c

Insecticides were injected with trunk injection on February 17, 2004.

*DBH; breast height diameter.

**EC; emulsifiable concentration, SL; soluble concentration.

***Means within a column followed by different letters are significantly different by Duncan’s multiple Range Test ($P<0.05$).

2) 소나무재선충 자연발생지 내에서 나무주사

소나무재선충이 발생하고 있는 지역에서 소나무재선충을 인공적으로 접종하지 않고, 소나무재선충 인공접종 처리 지역에서와 동일한 약제를 나무주사하여 소나무재선충병 예방 효과를 조사한 결과처리 약제 모두 무처리구에 비하여 낮은

고사주율을 보였다(Table 4).

나무주사 당해연도의 무처리구에서 소나무재선충 감염에 의한 고사주율은 11.4%였는데, 이에 비하여 약제 처리구에서는 0.3-3.3%의 고사주율을 보였다($df=9, 14, F=11.57, P<0.0001$). 동일한 유효성분량이 나무주사 되었지만 모든 약제 처리에

서 희석액의 양이 많은 처리에서 고사주율이 낮게 나타났다. 나무주사 2년차의 무처리구 자연 고사주율은 19.0%였으며 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제 10배 희석액을 흉고직경 10 cm당 200 ml씩 주입한 처리구의 고사주율이 가장 낮게 나타났다($df=9, 14, F=28.7, P<0.0001$).

고 찰

Abamectin과 emamectin benzoate는 나무주사 시 소나무 재선충에 대한 예방효과가 매우 우수한 것으로 확인되었다. 두 약제 모두 GABA 수용체 작용물질들로 실내에서 살선충 효과가 높은 것으로 판명된 약제로서(Takai 등, 2000) 특히 emamectin benzoate는 소나무 수체 내에서 잔류와 소나무 재선충병 방제 효과에 관하여 연구가 수행된 바 있다(Takai 등, 2003a, 2003b). 그러나 야외에서 나무주사 실험 시 비록 지역을 달리하였으나 10본에서 13본의 나무를 처리 대상으로 하여 충분하지 못한 실험 규모와 재적(m^3)당 10 g의 약량으로 처리하여 적정 처리량에 대한 정보가 부족한 편이다(Takai 등, 2003a). 또한 abamectin에 대한 나무주사 실험에 대한 효과는 이루어지지 못하였다.

본 연구에서는 살선충 활성에 대한 실험을 실내에서 우선 수행한 후 야외 나무주사를 통하여 효과를 검증하였는데 실내 병원성 검정에서는 abamectin과 emamectin benzoate 모두 낮은 효과를 보였다. 이는 Takai 등이 2000년 실내 실험의 결과와 많은 차이를 보이는 것으로 잣빛곰팡이균 배지를 이용하여 증식에 미치는 영향을 재조사한 결과 99% 이상의 증식억제를 확인 할 수 있었다. 이러한 실험 결과는 선충을 대상으로 살선충 활성 검정 시 실험 방법에 대한 충분한 고려가 있어야 한다는 것을 의미한다. 본 실험에서는 약제 현탁액에 직접 처리하여 1일 후 치사유무를 조사하는 방법과 잣빛곰팡이균 증식 배지에 약제를 첨가한 후 소나무재선충을 접종시켜 증식수를 조사하였는데 전자는 빠른 시간 내에 간단한 방법으로 활성을 검정할 수 있는 장점이 있으나 증식에 미치는 영향은 고려할 수 없다. 현탁액에 선충을 접종하여 살선충 활성을 검정하는 것은 소나무재선충(Kong 등, 2006; Elbadri 등, 2008)이나 곤충병원성선충(Hara와 Kaya, 1983; Zimmerman과 Cranshaw, 1990) 등에서 일반적으로 사용하고 있는 방법이지만 본 실험의 결과처럼 효과의 실제성과는 차이가 있어 추후 실내에서 소나무재선충에 대한 효과 평가 시 살선충 활성과 증식억제 여부에 대한 평가가 동시에 이루어져야 할 것으로 생각된다. 또한 fosthiazate의 경우처럼 배지상에서 소나무재선충 증식억제 효과는 높았으나 실제 나무주사 시 낮

은 효과를 보이는 경우들이 많기 때문에(Observation data) 실내에서 소나무 수체로의 이동과 관련 된 효과 검정 실험을 효율적으로 할 수 있는 실험 방법의 강구도 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 야외에 식재되어 있는 조경수나 자연림 내의 해송을 대상으로 실험을 수행하였는데 소나무재선충 발생지에서만 실험을 수행하여야 하는 실험 장소의 제약과 겨울철에만 가능한 나무주사 시기의 제한성, 산악지역에서 실험을 수행하기 때문에 안전사고의 위험성과 나무주사나 소나무재선충 접종 시 많은 노동력의 필요성 및 실험 후 고사목의 벌채와 훈증작업 시행 등과 같은 실험을 수행하기 위한 부수적 제약과 노력이 과도하게 드는 단점이 있었다.

나무주사가 가지는 이러한 제한점으로 인하여 나무주사는 고농도의 적은 약량 처리가 작업 상 편의성을 가진다. 따라서 본 연구에서는 유효성분 약량별에 따른 효과와 동일유효 성분량을 희석배수를 달리하여 물량별 효과검정을 수행하였는데 동일 유효성분량에서는 희석을 하여 처리 물량을 증가시키는 것이 상대적으로 방제효과가 높은 경향을 보였다. 이는 물의 공급이 용이한 지역 내에서는 효과적인 방법이지만 많은 양을 나무주사하기 위해서는 수체 내에 천공 구멍을 많이 뚫거나 주입병의 크기를 늘려야 하는 부가적인 문제도 발생할 수 있다. Emamectin benzoate의 경우 3년간 약효가 지속되고(Takai 등, 2003b), 본 실험의 결과 abamectin의 경우 최소 2년간 약효가 지속되었는데 흉고 높이 부근의 구간 부분을 3-4년에 1회씩 드릴로 천공할 경우 강풍이나 폭설에 의한 나무의 부러짐과 같은 피해를 받을 수도 있다. 따라서 현실적으로는 약량이나 물량 모두를 줄이는 것이 바람직한 방법인데 abamectin이나 emamectin benzoate 모두 흉고직경 10 cm당 5 ml를 처리하여도 소나무재선충 예방효과가 있었다. 한편 Takai 등(2003a)은 emamectin benzoate의 나무주사 시 재적(m^3)당 10 g의 약량을 처리하여 3년 동안 예방효과가 있었다고 하였는데 본 연구에서는 흉고직경 당 처리 약량만을 설정하여 이들의 연구와 직접적인 비교가 어렵지만 흉고직경 10 cm, 수고 10 m의 나무는 Takai 등(2003a)의 경우 0.44 g의 약량이 처리되었고, 본 연구에서는 0.1075 ml의 유효성분량이 주입되어 상대적으로 적은 양이 주입되고도 소나무재선충병 예방효과를 나타내었다.

현재 우리나라에서는 abamectin 1.8% 유제나 emamectin benzoate 2.15% 유제의 경우 흉고직경 10 cm당 10 ml의 기준이 설정되어 있는데(한국작물보호협회, 2009) 본 실험결과에 의하면 흉고직경 10 cm당 5 ml의 약량으로도 예방효과를 볼 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 소나무의 흉고직경과 수고와

의 상관관계가 임분의 구조나 지역에 따라 상이한 점(한 등, 2007; 박 등, 2009)을 감안하면 Takai 등(2003a)의 연구에서처럼 나무의 재적에 근거한 효과 연구와 지속성 및 수체 내 잔류와 관련된 부가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 이 등(2008)은 abamectin이나 emamectin benzoate를 흉고직경 1 cm당 1 ml를 나무주사 할 경우 솔잎혹파리(*Thecodiplosis japonensis*)나 솔껍질깍지벌레(*Matsucoccus thunbergiana*)에 대한 방제효과가 높아 소나무재선충병과의 동시 방제 가능성을 언급하였는데 본 실험결과를 종합해 보면 동시방제가 가능할 것으로 생각된다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

국립삼림과학원 (2006) 산림병해충 기술교본. 300pp.
 박종민, 김성원, 박성학 (2009) 고창 구시포 해안 곰솔림의 생장특성에 관한 연구. 한국환경생태학회지. 23:365~375.
 산림청 (2005) 소나무재선충병 효율적 방제 실무매뉴얼. 228pp.
 산림청 (2009) 2008 임산물 생산 통계. <http://www.forest.go.kr>
 이상명, 김동수, 김철수, 추호렬, 이동운 (2008) 곰솔(*Pinus thunbergii*)에서 abamectin과 emamectin benzoate를 이용한 소나무재선충과 솔잎혹파리 및 솔껍질깍지벌레의 동시방제 가능성. 농약과학회지 12:363~367.
 조인호 (2006) SAS 강좌와 통계컨설팅. (주)영진닷컴. 805pp.
 한국작물보호협회 (2009) 2009 농약사용지침서. 1135pp.
 한상익, 강규석, 전병환, 김장수 (2007) 해송 수형목 품매차대의 수고, 직경, 재적생장에 대한 유전력 및 개량효과. 한국육종학회지. 39:15~19.
 Cheng, H. R., M. Lin, W. Li and Z. Fang (1983) The occurrence of a pine wilting disease caused by a nematode found in Nanjing. Forest Pest and Disease 4:1~5.
 Dwinell, L. D (1997) The pinewood nematode: regulation and mitigation. Ann. Rev. Phytopathol. 35:153~166.
 Dwinell, L. D. and W. R. Nickle (1989) An overview of the pinewood nematode ban in North America. General Technical Report SE-55, North America Forestry Commission Publication No. 2, Southeastern Forest Experimental Station, Forest Service, United States Department of Agriculture.
 Elbadri, G. A. A., D. W. Lee, J. C. Park, H. B. Yu, H. Y. Choo, S. M. Lee and T. H. Lim (2008) Nematicidal screening of essential oils and herbal extracts against *Bursaphelenchus xylophilus*. Plant Pathol. J. 24:178~182.
 Futai, K (2008) Pine wilt in Japan: from first incidence to the present. pp.5~25, In Pine wilt disease. (eds. Zhao, B. G., F. Futai, J. R. Sutherland and Y. takeuchi), Springer, Tokyo.
 Hara, A. H. and H. K. Kaya (1982) Effects of selected insecticides and nematodes on the in vitro development of entomogenous nematode *Neoaplectana carpocapsae*. J. Nematol.

14:486~494.
 Kamata, N (2008) Intergrated pest management of pine wilt disease in Japan: tactics and strategies. pp.304-322, In Pine wilt disease. (eds. Zhao, B. G., F. Futai, J. R. Sutherland and Y. Takeuchi), Springer, Tokyo.
 Kishi, Y (1995) The pinewood nematode and Japanese pine sawyer. Thomas, Tokyo, p302.
 Knowles, K., Y. Beaubien, M. J. Wingfield, F. A. Baker and D. W. French (1983) The pinewood nematode new in Canada. For. Chron. 59:40.
 Kong, J. O., S. M. Lee, Y. S. Moon, S. G. Lee and Y. J. Ahn (2006) Nematicidal activity of plant essential oils against *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae). J. Asia-Pacific Entomol. 9:173~178.
 Mamiya, Y (1988) History of pine wilt disease in Japan. J. Nematol. 20:219~226.
 Mota, M., H. Braasch, M. A. Bravo, A. C. Penas, W. Burgermeister, K. Metge and E. Sousa (1999) First report of *Bursaphelenchus xylophilus* in Portugal and in Europe. Nematology 1:727~734.
 Steiner, G. and E. M. Buhner (1934) *Aphelenchoides xylophilus* n. sp., a nematode associated with blue stain and other fungi in timber. J. Agric. Res. 48:949~951.
 Takai, K., T. Soejima, T. Suzuki and K. Kawazu (2000) Emamectin benzoate as a candidate for a trunk-injection agent against the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. Pest Manag. Sci. 937~941.
 Takai K., T. Suzuki and K. Kawazu (2003a) Development and preventative effect against pine wilt disease of a novel liquid formulation of emamectin benzoate. Pest Manag Sci. 59:365~370.
 Takai K., T. Suzuki and K. Kawazu (2003b) Distribution and persistence of emamectin benzoate at efficacious concentrations in pine tissues after injection of a liquid formulation. Pest Manag. Sci. 60:42~48.
 Takeuchi, Y (2008) Host fate following infection by the pine wood nematode. pp.235~249, In Pine wilt disease(eds. Zhao, B. G., K. Futai, J. R. Sutherland, and Y. takeuchi), Springer, Japan.
 Tzean, S. and S. Jan (1985) The occurrence of pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* in Taiwan. pp.38~39, In Proceedings of the 6th ROC symposium of electron microscopy.
 Yano, M (1913) Investigation on the causes of pine mortality in Nagasaki prefecture. Sanrinkoho 4:1~14.
 Yi, C. K., B. H. Byun, J. D. Park, S. I. Yang and K. H. Chang (1989) First finding of the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhner) Nickle and its insect vector in Korea. Res. Rep. For. Res. Inst. 38:141~149.
 Zimmerman, R. J. and W. S. Cranshaw (1990) Compatibility of three entomogenous nematodes (Rhabditida) in aqueous solutions of pesticides used in turfgrass maintenance. J. Econ. Entomol. 83:97~100.

곰솔(*Pinus thunbergii*)에서 소나무재선충병 예방을 위한 나무주사용 약제선발

이상명 · 김동수 · 이상길¹ · 박남창 · 이동운^{2*}

국립산림과학원 남부산림연구소, ¹국립산림과학원, ²경북대학교 생물응용학과

요 약 나무주사를 통한 소나무재선충병 예방 효과가 우수한 약제를 선별하기 위하여 실험을 수행하였다. Abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제 현탁액에서 소나무재선충은 1일 후에 7.3%와 8.3%의 낮은 치사율을 보였다. 그러나 잣빛곰팡이균 배지상에서 소나무재선충 증식억제 효과는 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제, fosthiazate 30% 액제, fenitrothion 30% 액제에서 99.7% 이상을 나타내었다. 곰솔에 대한 나무주사 실험 결과 소나무재선충인공 접종지에서는 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제의 경우 흉고직경 10 cm당 10 ml 주입 시 당년도 고사주율이 0%와 3.3%였으나 fosthiazate 30% 액제를 흉고직경 10 cm당 5 ml 주입 시 63.3%의 고사주율을 보였다. 2년째에도 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제는 90%이상의 방제효과가 있었다. 무처리구의 발병율이 낮은 소나무재선충병 자연 발생지에서 나무주사 효과는 소나무재선충을 인공접종 시킨 곳에 비하여 방제가가 낮게 나타났으나 흉고직경 10 cm당 20 ml 주입 시 나무주사 당 년도에 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제의 방제가는 91.5%와 82.9%로 나타났고, 2년차에도 89.5%와 82.6%의 방제가를 보였다. Abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제를 원액으로 처리한 것과 10배 희석하여 원액처리보다 10배 많은 양을 나무주사한 경우 물량이 많은 처리에서 방제효과가 높았다. 소나무재선충 인공접종 처리지에서 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제는 흉고직경 10 cm당 5 ml 주입 시에도 소나무재선충병 예방효과가 100%있었다.

색인어 소나무재선충병, 소나무재선충, abamectin, emamectin benzoate, 나무주사