

곰솔(*Pinus thunbergii*)에서 Abamectin과 Emamectin benzoate를 이용한 소나무재선충과 솔잎혹파리 및 솔껍질깍지벌레의 동시방제 가능성

이상명 · 김동수 · 김철수 · 추호렬¹ · 이동운^{2*}

국립산림과학원 남부산림연구소, ¹경상대학교 응용생물환경학과, 농업생명과학연구원, ²경북대학교 생물응용학과

(2008년 9월 21일 접수, 2008년 10월 4일 수리)

Possibility of simultaneous control of pine wilt disease and *Thecodiplosis japonensis* and or *Matsucoccus thunbergianae* on black pine (*Pinus thunbergii*) by abamectin and emamectin benzoate

Sang Myeong Lee, Dong Soo Kim, Chul Su Kim, Ho Yul Choo¹ and Dong Woon Lee^{2*}

Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju, Gyeongnam, 660-300, Korea, ¹Department of Applied Biology and Environmental Sciences, Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea, ²Department of Applied Biology, Institute of Agricultural Sciences, Kyungpook National University, Sangju, 742-711, Korea

Abstract

Abamectin 1.8% EC and emamectin benzoate 2.15% were evaluated the simultaneous control effect of both insect pests on black pine (*Pinus thunbergii*) against *Thecodiplosis japonensis* and *Matsucoccus thunbergianae*. Abamectin 1.8% EC was highly effective against *T. japonensis* and *M. thunbergianae*, however, emamectin benzoate was highly effective against only *M. thunbergianae* when abamectin and emamectin benzoate were applied through trunk injection against *T. japonensis* and *M. thunbergianae* at the rate of 1 ml per cm in diameter of breast height. The rate of gall formation of *T. japonensis* was 0% at the applied year, but 85% at the following year. However, the rate of gall formation was over 90% at the treatment of emamectin benzoate showing no difference compared with control. Abamectin 1.8% EC and emamectin benzoate 2.15% showed high control efficacy representing 89.1% and 91.4% against *M. thunbergiana*, respectively.

Key words Forest insect pests, pine wilt disease, *Thecodiplosis japonensis*, *Matsucoccus thunbergianae*, abamectin, emamectin benzoate

서 론

우리나라는 국토의 64%인 6,389천 ha가 산지로 구성되어 있는데, 2006년 현재 침엽수림이 2,695천 ha(42.2%)로 가장 많다. 침엽수림에서 주요 수종별 구성비는 천연 소나무림이 1,481천 ha(54.9%)를 차지한다(산림청, 2007). 이들 소나무

류에는 147종에 달하는 많은 종류의 해충들이 기록되어 있다 (임업연구원, 1995). 이들 중 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*)과 솔잎혹파리(*Thecodiplosis japonensis*), 그리고 솔껍질깍지벌레(*Matsucoccus thunbergianae*)가 가장 문제 시 되고 있다.

소나무재선충은 매개충인 솔수염하늘소(*Monochamus alternatus*) 등 몇몇 하늘소에 의하여 매개되어 소나무를 고사시키는 치명적인 병으로 1905년 일본의 Nakasaki에서 처음으로 피해

*연락처 : Tel. +82-54-530-1212, Fax. +82-54-530-1218
E-mail: whitegrub@knu.ac.kr

가 확인된 후, 1980년대에는 Aomori와 Hokkaido지역을 제외한 전 일본 지역의 소나무림을 황폐화시키고 있다(Futai, 2008). 우리나라에서는 1988년 부산에서 최초로 발생이 확인된 후(최와 문, 1989) 경상남북도와 강원도, 전라남도, 경기도 지역까지 피해가 확산되고 있는데(Shin, 2008), 2006년 말 기준으로 피해면적은 7,871 ha이고 피해목제거수는 1,369,085 본에 이른다(산림청, 2006). 소나무재선충병의 방제는 주로 고사목을 벌채하여 소각, 훈증, 파쇄하였으나 2006년 말부터는 아바멕틴과 에마멕틴벤조에이트를 이용하여 1~2월 사이에 수간주사하여 예방하고 있다(산림청, 2008).

한편, 솔잎혹파리는 유충이 솔잎의 기부에 충영을 형성하여 수액을 흡즙함으로써 솔잎을 일찍 고사케 하고, 임목 성장을 저해하는 해충이다(이와 정, 1997). 1929년 전남목포와 서울의 비원에 최초로 발생한 후 1997년 전국으로 확대되어 2006년 현재 195,759 ha의 소나무림에 피해를 주고 있다(산림청, 2007). 솔잎혹파리 방제는 솔잎혹파리먹좀벌이나 혹파리살이먹좀벌, 혹파리등빨먹좀벌, 혹파리반빨먹좀벌과 같은 기생성 천적을 도입·방사하는 생물적 방제와 침투이행성 약제인 포스파미돈(phosphamidon) 액제나 이미다클로프리드 분산성 액제, 아세타미프리드 액제, 치아메톡삼 분산성 액제를 이용한 수간주사와 다수진 입제와 에토프 입제의 토양처리에 의한 화학적 방제를 실시하고 있다(산림청, 2007).

남해안 해안지역의 해송에 주로 피해를 주고 있는 솔껍질까지벌레는 1963년 전남 고흥에서 최초로 피해가 발생하여 경남 남해안과 부산, 울산지역으로 점차 확산되어 2005년의 피해 면적은 11,404 ha에 이르고 있다. 솔껍질까지벌레의 방제는 주로 포스파미돈을 후약층에서 성충으로 발달하는 과정에 수간주사하는 방법과 뷰프로페진 액상수화제를 수관 살포하는 방법을 이용하고 있다(국립산림과학원, 2007).

이들 병해충 중 솔껍질까지벌레와 소나무재선충병은 남부 지방 해안가를 중심으로 곰솔(*Pinus thunbergii*)에서 동시에

발생하는 경우가 많고, 소나무에서는 솔잎혹파리와 소나무재선충병 피해가 동시에 발생하는 특성을 가지고 있다(국립산림과학원, 2007). 그러나 방제방법은 동일기주임에도 불구하고 발생하는 해충이 다르다는 이유로 각각 달리 적용하고 있어 많은 인력과 방제비용이 소요되고 있으며 산림 내에서의 방제작업도 쉬운 편이 아니다. 따라서 동일기주에 동시발생하고 있는 이들 병해충에 대한 방제법 개선이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 동일기주에 발생하는 2종 이상의 해충을 동시에 방제 할 수 있는 방제법의 개발을 위해 소나무재선충병에 등록되어 있는 아바멕틴과 에마멕틴벤조에이트를 이용하여 솔잎혹파리와 솔껍질까지벌레에 대한 방제효과를 알아보기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

시험약제

실험에 이용한 약제는 우리나라에서 소나무재선충병 방제약제로 등록되어 있는 약제로서(한국작물보호협회, 2008) *Streptomyces avermitilis*의 배양액으로부터 추출한 천연성분 유도체인(Tomilin, 2006) mectine계열의 abamectin 1.8% 유제와 emamectin benzoate 2.15% 유제를 시중에서 구입하여 사용하였다.

솔잎혹파리 방제 실험

- 1) 대상수목 : 경남 진주시 금산면에 있는 곰솔(*Pinus thunbergii*) 조림목 10년생을 대상으로 공시목을 선정하였는데, 흉고 직경은 평균 8.5 cm였다.
- 2) 수간주사 : 2004년 2월 17일과 2005년 2월 19일 지표면으로부터 50 cm부위에 hand drill(직경 7 mm)로 천공 한 후 아바멕틴 1.8% 유제와 에마멕틴벤조에이트 2.15% 유제를 소나무 흉고직경 cm당 0.5 ml와 1 ml씩을 주입하였

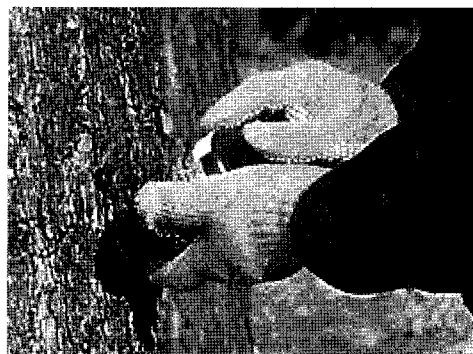


Fig. 1. Trunk injection (left: drilling, right: injection of chemicals).

다. 약제주입은 100 ml 주입병에 각 공시목의 흉고직경에 해당하는 약량을 담아 천공구에 주입구를 꽂아 약제가 흘러내리지 않도록 하였다(Fig. 1).

주입 1일후 약제가 정상적으로 주입되지 않은 경우에는 다른 시험목에 재 주입하여 약제가 완전히 주입되도록 하였다. 무처리구는 수간주사를 하지 않은 나무를 임의로 선정하였으며 각 처리별로 30주의 나무에 대하여 수행하였다.

3) 방제효과 조사 : 2004년과 2005년에 수간주사를 실시한 임지 내에서 2006년 4월 3일 약효조사를 실시하였다. 약효조사는 각각의 처리를 수행한 단목 10주를 임의로 선정하여 솔잎혹파리의 피해가 많은 수관 상부의 가지를 고절 가위를 이용하여 채취하였다. 채취한 가지는 1년생 신초 부분을 3가지 이상 채취하여 지퍼 팩에 넣어 실험실로 가져와 총 엽수와 솔잎의 길이가 건전엽에 비하여 1/2 수준인 피해엽의 수를 조사하여 피해엽율을 조사하였다(Fig. 2). 이후 길이가 짧은 엽들 중 100엽을 무작위로 선정하여 솔잎혹파리 충영형성 유무를 3반복으로 조사하였다.

2) 수간주사 : 2005년 2월 7일 지표면으로부터 50 cm부위에 hand drill(직경 7 mm)로 천공한 후 시험약제 원액을 흉고직경 1 cm당 1 ml 수준으로 100 ml 주입병에 넣어 주입하였다. 약제 주입은 솔잎혹파리 방제실험과 동일하게 수행하였으며 각 10주의 단목을 한 반복으로 하여 3반복으로 수행하였다. 무처리구는 수간주사를 실시하지 않은 30주의 단목을 임의로 선정하였다.

3) 방제효과 조사 : 약효조사를 위하여 2005년 4월 10일 각 처리목별로 시료를 채취하였다. 시료채취는 수관부를 상부, 중부, 하부로 나눈 뒤 중부에서 한 가지를 선택하여 채취하였는데, 10주를 대상으로 10개의 가지를 채취하였다. 채취한 시료는 25×30 cm 저밀도 폴리에틸렌 지퍼 팩에 넣어 실험실로 가져와 해부현미경(Olympus SZX7, Japan)하에서 치사유무를 판별하였다. 50배 배율에서 후약층이 치사하여 죽은 것은 사충수로, 후약층으로부터 탈출하였거나 후약층으로 건전하게 남아 있는 것은 생충수로 계산하여 방제효과를 조사하였다(Fig. 3).

솔껍질깍지벌레 방제 실험

1) 대상수목 : 경남 사천시 실안동 일대의 솔껍질깍지벌레 자연발생지 곰솔림에서 수령 6-7년생, 평균 근원경 10.3 cm인 나무를 대상으로 실험하였다.

통계분석

처리별 솔잎혹파리의 피해엽율과 충영형성을, 솔껍질깍지벌레 생충율은 $\arcsin\sqrt{\%}$ 변환하여 Tukey's HSD test로 처리평균간 차이를 분석하였다(조, 2006). 모든 분산분석의 유

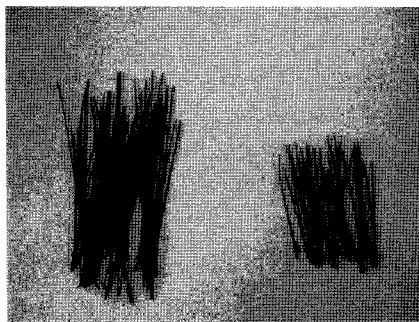


Fig. 2. Damage (right) and undamaged (left) leaves of *Pinus thunbergii* by *Thecodiplosis japonensis*.

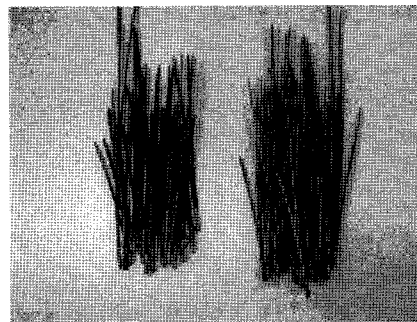


Fig. 3. Dead (left) and living (right) *Matusucoccus thunbergianae* in *Pinus thunbergii*.

의성은 $P=0.05$ 에서 검정하였으며 결과는 변환전의 값으로 하였고, 평균 \pm 표준편차로 나타내었다.

결과 및 고찰

아바멕틴 1.8% 유제와 에마멕틴벤조에이트 2.15% 유제를 곰솔 흉고직경 cm당 1 ml를 수간주사 결과 솔잎혹파리 피해율과 충영형성율은 Table 1과 같았다.

피해율은 모든 처리구에서 무처리구와 차이를 보이지 않았다. 그러나 충영형성율은 차이를 보여 아바멕틴 1.8% 유제 처리구에서 처리 당해년도의 솔잎혹파리 충영은 1.3%만 형성되었고, 2년차에는 충영 형성율이 82.0%였다. 반면 에마멕틴 벤조에이트 2.15% 유제는 처리 당년의 충영 형성율이 86.0%로 무처리구와 차이가 없었다($df=4, 10, F=105.96, P<0.0001$)(Table 1).

솔잎혹파리의 피해율과 방제효과는 주로 충영 형성율을 이용하여 조사하고 있는데(산림청, 2007) 솔잎혹파리에 의한 피해는 충영형성이나 엽의 왜화가 대표적인 병징이다(이와정, 1997). 본 실험에서는 잎의 왜화가 솔잎혹파리 피해의 대표적 병징이고, 상대적으로 충영 내 유충의 치사유무를 조사하는 것보다 간편한 방법이기 때문에 왜화 된 잎의 비율을 조사하여 피해율을 산정하였으나 처리별로 차이를 보이지 않았다. 반면 왜화 된 잎에 형성된 충영의 경우 아바멕틴 1.8% 유제 처리구에서 현저히 낮았다. 현재 솔잎혹파리 방제용으로 사용되고 있는 이미다클로프리드 20% 분산성 액제의 경우 소나무 흉고직경 1 cm당 0.3 ml를 수간주사 하였을 때, 경급별

로 차이는 있었으나 83.8-94.5%(임업연구원, 1994)로 본 연구의 아바멕틴 처리 당해년도 방제기와 유사하여 기존의 솔잎혹파리 방제 약제처럼 사용이 가능할 것으로 생각된다.

한편 약제 처리 2년이 경과한 후에는 충영 형성율이 무처리구와 차이가 없었는데 이는 소나무 수체 내 약제 잔효량이 솔잎혹파리의 충영 형성 억제에 미치는 농도이하로 감소하였기 때문인 것으로 생각된다. 에마멕틴벤조에이트의 경우 소나무재선충에 대한 수간주사 효과는 3년간이나 지속된다는 보고가 있는데(Takai 등, 2003a) 이는 2-3년생 소나무 가지의 수체 내에서 에마멕틴벤조에이트의 잔류농도가 27주째에도 IC₉₅값 이상을 유지하기 때문이다(Takai 등, 2003b).

울산이나 경남 및 부산 일부 지역에서는 소나무재선충 피해지와 솔잎혹파리 피해지가 혼재하여 두 해충의 피해가 상존하고 있는데, 솔잎혹파리 방제는 주로 이미다클로프리드 등 침투이행성이 높은 약제를 수간주사 하여 방제하고, 소나무재선충병 방제는 따로 실시하고 있다. 따라서 본 실험에서 솔잎혹파리에 효과가 확인된 아바멕틴의 경우 이미 소나무재선충 방제에 등록되어 있는 약제이기 때문에 1회의 수간주사로 두 해충을 동시방제 할 수 있을 것으로 기대된다.

아바멕틴 1.8% 유제와 에마멕틴벤조에이트 2.15% 유제 원액을 해송 흉고직경 cm당 1 ml로 수간주사 하였을 때, 솔껍질각지벌레 후약충의 방제기는 아바멕틴 1.8% 유제 처리에서 88.5%, 에마멕틴벤조에이트 2.15% 유제 처리구에서 90.0%였다($df=2, 27, F=407.52, P<0.0001$)(Table 2).

솔껍질각지벌레 방제를 위하여 사용하고 있는 약제는 수간주사용으로 이미다클로프리드 분산성 액제와 포스파미돈 액제

Table 1. Control efficacies of abamectin and emamectin benzoate by trunk injection against *Thecodiplosis japonensis* in 10 year old *Pinus thunbergii* in Jinju, Gyeongnam province

Treatment	Year after	% damaged leaves \pm SD	% gall formation \pm SD
Abamectin 1.8% EC	1	4.1 \pm 2.6	1.3 \pm 0.6 ^{a*}
	2	5.8 \pm 3.1	82.0 \pm 3.0 ^b
Emamectin benzoate 2.15% EC	1	4.7 \pm 2.7	86.0 \pm 3.6 ^b
	2	4.8 \pm 2.9	83.0 \pm 7.0 ^b
Control		5.3 \pm 1.9	80.0 \pm 10.1 ^b

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

Table 2. Control efficacies of abamectin and emamectin benzoate by trunk injection against *Matsucoccus thunbergianae* in 6~7 year old *Pinus thunbergii* in Sacheon, Gyeongnam province

Treatment	Emergence rate (%) \pm SD	Control efficacy (%) \pm SD
Abamectin 1.8% EC	11.0 \pm 5.4 ^{a*}	88.5
Emamectin benzoate 2.15% EC	9.6 \pm 3.7 ^a	90.0
Control	95.9 \pm 4.1 ^b	-

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

>> 인 / 용 / 문 / 헌

가 등록되어 있다(한국작물보호협회, 2008). 포스파미돈의 경우 고독성 농약으로 분류되어 있으며 고독성 농약에 대한 사회적 인식이나 불안 등으로 인한 규제들이 강화되고 있는 현실을 감안하면 보통독성이나 저독성 대체 약제의 사용이 바람직 할 것으로 생각된다. 또한 실험에 사용한 두 약제는 모두 솔껍질 깍지벌레에 대한 방제효과가 높아 남해안 해송림에서 소나무 재선충병과 동시방제를 위해 적용이 가능할 것으로 생각된다.

실험에 이용한 아바멕틴 1.8% 유제는 솔잎혹파리와 솔껍질 깍지벌레에 대해 방제효과가 높았으며 에마멕틴벤조에이트 2.15% 유제도 솔껍질깍지벌레에 대해서는 방제효과가 높았다. 따라서 소나무재선충병 방제제로 등록되어 있는 이들 약제를 이용하여 소나무재선충이나 솔잎혹파리 동시발생 지역에서는 아바멕틴 유제를 이용하거나, 소나무재선충과 솔껍질깍지벌레가 혼재하여 발생했을 경우에는 아바멕틴이나 에마멕틴벤조에이트 1회 수간주사만으로도 이들 해충의 동시방제가 가능할 것으로 생각된다. 산림 내에서 해충을 방제하거나 수고가 높은 수목을 대상으로 하는 경우는 방제 대상지로의 접근이나 방제제의 적용이 일반 농작물에 비하여 제한적이며 위험성과 노동력이 많이 따른다. 그리고 수간주사를 위해 해당 나무에 천공을 하여야 하기 때문에 잦은 방제는 현실적으로 수목의 생장적인 측면을 고려할 때 한계가 있다. 따라서 본 실험의 결과와 같이 특정해충을 동시방제 할 수 있는 약제의 선발과 적용은 방제효과를 충분히 얻으면서 방제비의 경감과 작업자의 안전성 확보라는 측면에서 매우 실용적인 방법이다.

국립산림과학원 (2007) 신 산림해충도감. 웃고문화사. 458pp.
 산림청 (2006) 산림병해충 발생 및 방제 통계. 393pp.
 산림청 (2007) 솔잎혹파리 예찰·방제 실무매뉴얼. pp.56. 금강인쇄사.
 산림청 (2008) 산림병해충 방제 세부지침서. 15pp.
 이범영, 정영진 (1997) 한국수목해충. 성안당. 457pp.
 임업연구원 (1994) 임업연구보고서(4-II). 247-273.
 임업연구원 (1995) 한국수목해충목록집. 계문사. 360pp.
 조인호 (2006) SAS 강좌와 통계컨설팅. (주)영진닷컴. 805pp.
 최영연, 문일성 (1989) 한국에 있어서 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*)의 분포와 병원성. 한국식물병리학회지 5:277~286.
 한국작물보호협회 (2008) 2008 농약사용지침서. 1078pp.
 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.
 Shin, S. C. (2008) Pine wilt disease in Korea. pp.26~32, In Pine wilt disease. (eds. Zhao, B. G., F. Futai, J. R. Sutherland and Y. takeuchi), Springer, Tokyo.
 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.
 Tomlin, C. D. S (2006) The pesticide manual. BCPC. 1349pp.

곰솔(*Pinus thunbergii*)에서 Abamectin과 Emamectin benzoate를 이용한 소나무재선충과 솔잎혹파리 및 솔껍질깍지벌레의 동시방제 가능성

이상명 · 김동수 · 김철수 · 추호렬¹ · 이동운^{2*}

국립산림과학원 남부산림연구소, ¹경상대학교 응용생물환경학과, 농업생명과학연구원, ²경북대학교 생물응용학과

요 약 소나무재선충병 방제용으로 등록되어 있는 아바멕틴 1.8%유제와 에마멕틴벤조에이트 2.15%유제를 이용하여 소나무에 피해를 주고 있는 솔잎혹파리(*Thecodiplosis japonensis*)와 솔껍질깍지벌레(*Matsucoccus thunbergiana*)에 대한 동시방제 효과를 알아보았다. 아바멕틴 1.8%유제는 솔잎혹파리와 솔껍질깍지벌레에 대하여 매우 높은 방제효과를 나타내었고, 에마멕틴벤조에이트 유제는 솔껍질깍지벌레에 대해서만 높은 방제효과를 보였다. 시험 약제를 소나무 흉고직경 1 cm 당 1 ml 수준으로 수간주사하여 대상해충별 방제효과를 조사한 결과, 솔잎혹파리에 대해서는 아바멕틴 1.8%유제 처리구에서의 당해년도 충영형성율이 0%였다가 2년차에서는 85%의 충영형성율을 보였고, 에마멕틴벤조에이트 2.15%유제 처리구에서는 90%이상의 충영형성율을 보여 무처리구와 차이가 없었다. 그리고 아바멕틴 1.8%와 에마멕틴벤조에이트 2.15%유제를 솔껍질 깍지벌레에 처리하였을 때는 방제가가 각 각 89.1%와 91.4%로서 높은 살충효과를 나타내었다.

색인어 산림해충, 소나무재선충, 솔잎혹파리, 솔껍질깍지벌레, 아바멕틴, 에마멕틴벤조에이트