

수간주입한 아바멕틴의 곰솔과 잣나무 내 분포와 지속성

이상명 · 김동수 · 김철수¹ · 조규성² · 추호철³ · 이동운^{4*}

국립산림과학원 남부산림연구소, ¹산림청 산림인력개발원, ²경상대학교 환경생명화학과, ³경상대학교 응용생물환경학과, 농업생명과학연구원, ⁴경북대학교 생물응용학과

(2009년 8월 17일 접수, 2009년 9월 1일 수리)

Persistence and Distribution of Trunk-Injected Abamectin in *Pinus thunbergii* and *Pinus koraiensis* Tissues

Sang Myeong Lee, Dong Soo Kim, Chul Su Kim¹, Kyu Seong Cho², Ho Yul Choo³ and Dong Woon Lee^{4*}

Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju, Gyeongnam, 660-300, Korea, ¹Forest Human Resources Development Institute, Korea Forest Service, Namyangju, Kyonggi, 472-860, Korea, ²Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea, ³Department of Applied Biology and Environmental Sciences, Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea, ⁴Department of Applied Biology, Institute of Agricultural Sciences, Kyungpook National University, Sangju, 742-711, Korea

Abstract

The residues of abamectin 1.8% EC, resisted for control of pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* in pine tree were surveyed in tissue of *Pinus thunbergii* and *P. koraiensis* after injection of a liquid formulation. Limits of detection of abamectin in tissue of *P. thunbergii* were 0.05 mg kg⁻¹ and mean recoveries at 0.5 mg kg⁻¹ trunk injection were 90.9% and 93.1% respectively in stem and trunk of *P. thunbergii*. Abamectin 1.8% EC, trunk injected in 15 m height *P. thunbergii* were detected in all stem (edible part of carrier insect of pine wood nematode, *Monochamus alternatus*) from 0.29 to 0.73 mg kg⁻¹ after 150 days injection. Amount of residue of abamectin 1.8% EC in 12.6 cm mean breast height diameter (DBH) *P. thunbergii* were variable depending on individual trees in natural forest. Amount of residues in lower and middle part of trunk were reduced with the passage of the injection time. In upper part of trunk were detected 1.84 mg kg⁻¹ on 30 days after injection however 0.65 mg kg⁻¹ on 15 days after injection and under detection limit on 100 and 180 days after injection in *P. thunbergii*. Bottom and middle parts of crown were detected 0.183 mg kg⁻¹ and 0.173 mg kg⁻¹ respectively on 180 days after injection in *P. thunbergii*. Mean residues of abamectin in crown and trunk were 0.80 mg kg⁻¹ and 0.30 mg kg⁻¹ on 170 days after trunk injection in 20 cm DBH and 9 m height *P. koraiensis*. Mean residues of abamectin in crown and trunk were 0.67 mg kg⁻¹ and 0.36 mg kg⁻¹ on 170 days after trunk injection in 15 cm DBH and 6 m height *P. koraiensis*.

Key words Abamectin, *Monochamus alternatus*, pine wood nematode, pine tree, residue

서 론

소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*)은 미국, 캐나

다, 멕시코 등 북미대륙의 토착종으로(Steiner and Buther, 1934; Knowles *et al.*, 1983; Dwinell, 1997) *Pinus*속 소나무류 39종에 대해 병원성을 나타내는 것으로 알려져 있는데 (Takeuch, 2008) 원산지의 자생 수종들은 대부분 저항성을 나타내고 있다(Dwinell and Nickle, 1989).

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

E-mail: whitegrub@knu.ac.kr

우리나라에서는 1988년 부산광역시 동래구 금정산 일원에서 처음으로 피해가 확인된 이후(Yi *et al.*, 1989) 주 기주인 소나무(*Pinus densiflora*)와 곰솔(*P. thunbergii*)을 중심으로 피해가 확대되어 2006년 현재 6개 도, 2개 광역시 8,000 ha 이상에 발생하고 있다(Shin, 2008).

소나무재선충병의 방제법으로는 소나무재선충 자체를 대상으로 하는 방법과 매개충인 솔수염하늘소를 대상으로 방제하는 방법이 있다(Kishi, 1995). 솔수염하늘소의 방제는 소나무 고사목 내에 서식하는 매개충을 방제하기 위하여 나무를 벌채한 다음 파쇄하거나 약제를 이용하여 혼중 처리하는 방법과 약제를 항공살포 하는 방법 등이 주로 사용되고 있으며 소나무재선충을 대상으로 방제하는 방법으로는 살선충제를 나무에 주사하여 선충을 죽이는 방법이 있다(산림청, 2008).

소나무재선충의 살선충제로는 GABA 수용체 작용물질들인 abamectin이나 ivermectin, emamectin benzoate, milbemectin, milbemycin-5-oxime 및 아세틸콜린에스트라제의 저해제인 mesulfenfos, 근활동 저해제인 morantel tartrate, levamisol hydrochloride 등이 알려져 있다(Takai *et al.*, 2000). 우리나라에서 소나무재선충을 방제하기 위해 사용되고 있는 나무주사 약제로는 아바멕틴과 에마멕틴벤조에이트, 모란텔타트레이트, 밀베멕틴이 있으나(한국작물보호협회, 2009) 주로 아바멕틴과 에마멕틴벤조에이트를 많이 사용하고 있다.

소나무에 나무주사한 살선충제가 효과를 나타내기 위해서는 수체 내 전 부위에 침투이행이 잘 되어야 한다. Takai *et al.*(2003b)은 에마멕틴벤조에이트를 나무주사하여 소나무내 각 부위별 분포와 지속성에 관한 연구를 수행한 바 있으나 현재 우리나라에서 소나무재선충병 예방약제로 사용되고 있는 아바멕틴에 대한 수체 내 분포와 잔류에 관해서는 연구된 바가 없다. 따라서 본 연구는 동절기에 나무주사 한 아바멕틴이 솔수염하늘소의 후식시기에 수체 내 부위별 잔류량을 알아보기 위하여 곰솔과 잣나무에서 수행하였다.

재료 및 방법

Abamectin의 추출 및 정제

곰솔과 잣나무의 가지부와 주간부에서 시료를 채취하여 각각 300 g씩 마쇄하여 이중 20 g을 취하여 acetone 200 ml (100, 50, 50 ml)를 3회 나누어 첨가한 후에 각 30분간 진탕 추출하였다. 추출액 중 100 ml를 감압 유지한 후, 이 농축액에 포화 식염수 20 ml를 첨가하고, dichloromethane 20 ml을 가한 후 30분간 진탕하여 총 60 ml의 dichloromethane을 3회 반복 분배 회수하여 농축하였다. 이를 chloroform 5 ml에

녹여 MEGA BL-FL 칼럼(Varian, 1GM, 6 ml)에 로딩한 후 chloroform 30 ml로 세척 후 methanol 30 ml로 용출하였다. 이를 acetonitrile 5 ml로 용출하여 photodiode array가 부착된 HPLC에 10 μ l를 주입, A₂₅₄ chromatogram상에 나타난 peak의 높이를 측정하여 표준 검량선에 의하여 함유농도를 산출하였다.

검량선의 작성

Abamectin(standard) 0.1 g을 100 ml acetonitrile에 녹여 1,000 ppm의 stock solution을 만든 뒤, stock solution을 희석하여 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 및 5.0 ppm working standard solution을 만든 후 각각 일정량을 photodiode array 검출기가 부착된 HPLC에 주입하여 나타난 A₂₅₄ chromatogram 상의 peak 높이를 기준으로 검량선을 작성하였다.

회수를 실험

각각의 무처리 시료 20 g에 최소검출한계의 10배, 50배인 각각 0.5 ppm, 1 ppm이 되게 abamectin 표준용액을 정확하게 가하고, 균일하게 혼합하여 30분간 방치한 후 상기의 분석과정을 행하여 회수율을 구하였다.

기기분석 조건

분석에 사용된 기기 및 시약은 Table 1과 같으며, 분석조건은 Table 2와 같았다. Table 2의 분석조건에서 abamectin의 retention time은 약 10.8분이었다.

Table 1. Used materials and instrument in this analysis

Item	Sources
Abamectin analytical standard	Dr. Ehrenstorfer (99% purity, Germany)
Acetonitrile	J. T. Baker for HPLC
Dichloromethane	J. T. Baker for HPLC
Methanol	J. T. Baker for HPLC
Chloroform	J. T. Baker for HPLC
Water	J. T. Baker for HPLC
NaCl	Duksan Chemical Co.
Na ₂ SO ₄	Junsei Chemical Co.
HPLC	Agilent 1200
Rotary vacuum evaporator	Büchi Co. (Switzerland)
Homogenizer	Hanil

Table 2. Instrument analysis condition in this analysis

Item	Source or condition
Column	Agilent XDB-C18, 4.6×150 mm
Detector	Diode array G1315B
Wavelength	Excitation 254 nm
	Emission 322 nm
Mobile phase	Acetonitrile : Water (70 : 30 v/v)
Flow rate	1.5 ml/min
Sample size	10 µl

곰솔 수관 가지별 약제 분포

우리나라에서 소나무재선충을 매개하는 매개충은 솔수염하늘소(*Monochamus alternatus*)와 북방수염하늘소(*M. saltuarius*)가 있는데 남부지방에서는 솔수염하늘소에 의해 전파된다(Kwon *et al.*, 2006). 고사목에서 우화된 솔수염하늘소 성충은 소나무류의 싹이나 가지부분의 수피를 섭식하는데 이 때 몸체에 부착되어 있던 소나무재선충이 건전한 소나무에 기생하게 된다(Kobayashi *et al.*, 1984). 그리고 우리나라에서 솔수염하늘소의 우화시기는 남부지방은 5월 중순에 시작하여 6월 중순경에 50% 우화가 이루어지고, 7월 상순에서 하순사 이까지 이루어진다(김 등, 2003). 따라서 본 실험에서는 2월에 나무주사 한 abamectin이 솔수염하늘소의 최종 우화시기까지 수체 내 특히 솔수염하늘소 성충이 후식하는 부분에 잔류하는지를 알아보기 위하여 수행하였다. 2007년 2월 1일 경남 사천의 해송 천연림지역에서 abamectin 1.8% 유제를 수고 15 m의 곰솔에 흉고직경 cm당 1 ml 수준으로 나무주사하

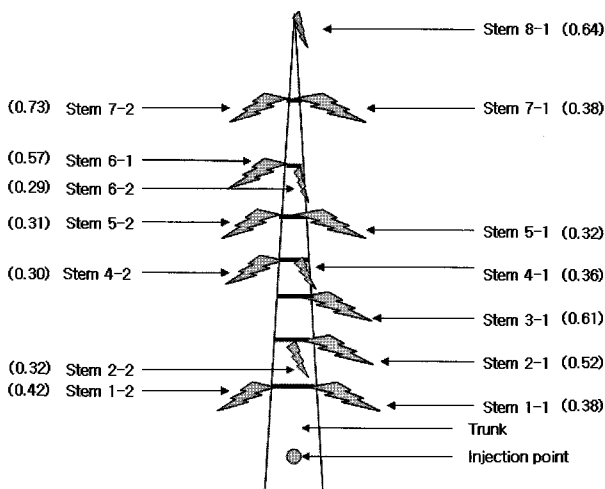


Fig. 1. Trunk injection and detection sites of abamectin in *Pinus thunbergii* and their concentration (mg/kg) in each detection sites.

여 150일째에 시료를 채취하였다. 시료 채취부위는 지하고 첫 번째 가지를 1-1로 하고 동일위치의 또 다른 가지를 1-2로 하여 상부쪽으로 순서대로 번호를 부여하여 시료를 채취하였다(Fig. 1).

분석용 시료는 1차 측지를 대상으로 1년생 가지부터 최고 수령까지를 채취하여 1차적으로 잘게 자른 다음 분쇄기(DA282-2, 대성아트론)를 이용하여 분쇄하여 500 g을 취하였다. 약제 잔류 분석은 앞의 방법과 동일하게 하였다.

곰솔의 주간부와 수관부 부위별 약제 분포 및 잔류

두 번째 실험은 나무주사 한 abamectin이 시간의 경과에 따라 수체 내 이동과 잔류량을 알아보기 위하여 수행하였다. 2008년 2월 25과 26일, abamectin 1.8% 유제를 곰솔(평균 흉고직경: 12.6±2.6 cm, 평균수고: 15 m)에 나무주사 하였다. 약제처리는 지상으로부터 50 cm 높이 수간에 직경 6 mm 드릴날로 천공하고, 220 ml 주입병을 이용하여 흉고직경 cm당 1 ml씩 주입하였다. 시료의 채취는 약제를 나무주사 한 후 15일과 30일, 100일, 180일이 경과한 후 각 부위별로 시료를 채취하였는데 수관부의 시료채취는 수관고를 기준으로 3부분으로 구분하였다(Fig. 2).

수고 1 m부분과 5 m부분, 10 m 부분의 주관을 5 cm 두께로 톱으로 잘라낸 뒤, 세절하여 분쇄기(DA282-2, 대성아트론)를 이용하여 분쇄하여 500 g을 취하였다. 주간부의 시료 채취는 가지가 있는 부분을 상부, 중부, 하부로 나누어 수행하였는데 지하고 가지를 하부, 초두부 가지를 상부, 지하고와 초두부의 중간을 중부로 하여 채취하였다(Fig. 2).

수관부의 가지는 1차 측지를 대상으로 4방향에서 1~5년생 가지를 채취하여 잘게 자른 다음 분쇄기(DA282-2, 대성아트론)로 500 g씩 마쇄하여 추출 전까지 -20℃냉장고에 보

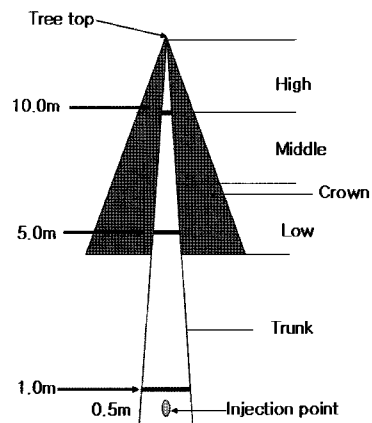


Fig. 2. Sampling parts of trunk and crown on *Pinus thunbergii*.

관하였다.

반복은 시료 채취 시기별에 따라 한 본의 나무를 1반복으로 3반복 수행하였으며 주간부와 수관부 조사목은 동일나무에서 각 부위별로 시료를 채취하여 분석에 이용하였다.

잣나무에서 abamectin의 수체 내 이동과 잔류량

2005년까지 우리나라에서 소나무재선충에 의한 피해는 소나무와 곰솔에서만 발생하였으나 2006년 잣나무의 피해가 확인되었다(Shin, 2008). 따라서 잣나무에서 abamectin의 수체 내 잔류량을 알아보기 위하여 2007년 1월 1일 경남 함양 인월에서 평균 흉고직경 12.6±2.6 cm, 평균수고 13 m인 잣나무를 대상으로 나무주사하였다. 나무주사 15일과 30일, 90일, 170일 후에 수간 7 m 높이의 한 부위에서 시료를 채취하여 전술한 방법으로 abamectin의 수체 내 잔류량을 조사하였다. 15일과 30일에는 3본의 잣나무를 대상으로 조사하였으며 90일과 170일 후에는 7본의 나무를 대상으로 하였다.

두 번째 실험은 수간주사 한 abamectin이 잣나무 수체 내 이동을 알아보기 위하여 흉고직경이 20 cm, 수고 9 m인 잣나무와 흉고직경이 15 cm, 수고 6 m인 잣나무에 2007년 2월 1일에 흉고직경 cm당 1 ml수준으로 abamectin을 전술한

방법으로 나무주사 하였다. 나무주사하여 170일이 경과한 후 나무를 잘라 수간은 지상부에서 위쪽으로 1 m간격으로 샘플을 채취하였고, 수관의 경우 상부, 중부, 하부로 나누어 각 부위에서 4가지(3~7년생)에서 샘플을 채취하여 상기의 분석방법과 동일하게 분석하였다(Fig. 3).

결 과

아바멕틴의 회수율 및 검출한계

Abamectin의 HPLC 최소검출량은 1 ng이었으며 최소 검출한계는 0.05 ppm이었고, abamectin의 회수율은 가지에서 90.9~90.47%, 주관에서 89.17~93.07%이었다(Table 3).

곰솔 가지 부분 내 abamectin 잔류량

나무주사 150일 경과 후 abamectin의 곰솔 수관 내 잔류량은 가지별에 따라 차이가 있어 10번째 가지에서 0.29 mg/kg의 최소 검출량을 보였고, 상부의 13번째 가지에서 0.73 mg/kg이 검출되어 가장 많은 양이 검출되었다(Fig. 1).

곰솔에서 약제처리 경과별 수체 내 약제 잔류량

곰솔 수체 내에서 abamectin의 잔류 및 지속성을 조사하기 위하여 나무주사를 한 다음 일정한 시기가 경과 된 후 별채하여 가지(상, 중, 하)와 주간(상, 중, 하)으로 나누어 약제의 잔류량을 분석한 결과, abamectin의 약제 주입 후 15일차에 가지에서는 0.285~1.515 mg/kg, 주간에서는 0.65~2.26 mg/kg이 검출되었고, 30일차에는 가지에서 0.22~2.025 mg/kg, 주간에서 0.87~1.84 mg/kg이 검출되었다. 그리고 약제 주입 100일이 경과한 후에는 가지에서 검출한계 이하에서부터 0.18 mg/kg이 검출되었고, 주간에서도 검출한계 이하부터 0.13 mg/kg이 검출되었으며 180일이 경과한 후에는 가지 하부에서 0.18 mg/kg, 주간 하부에서는 0.05 mg/kg이 검출되었다(Table 4).

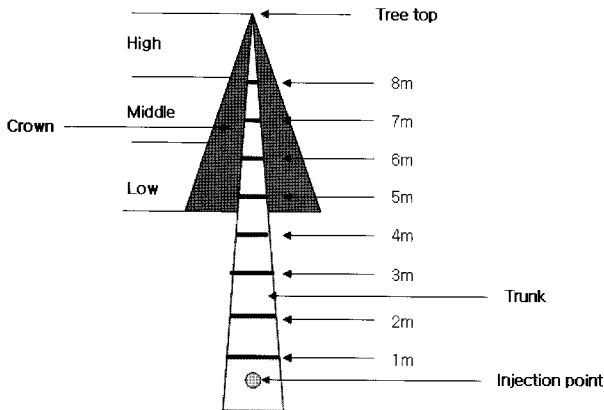


Fig. 3. Sampling sites of trunk and crown on *Pinus koraiensis*.

Table 3. Recovery ratio and detection limit of abamectin in branch and trunk of *Pinus thunbergii*

Sampling site	Treated concentration of abamectin (ppm)	Recovery (%) ± SD	Detection limit* (ppm)	Minimum detection amount (ng)
Branch	0.5	90.9±3.69	0.05	1
	1	90.5±1.96		
Trunk	0.5	89.7±2.81		
	1	93.1±3.48		

*1 ng × 5 ml/10 μl × 1/10 g.

Table 4. Residue of abamectin in the branch and trunk of *Pinus thunbergii* injected with a liquid formulation of abamectin in Jinju, Gyeongnam

Sampling part	Days after injection	Residue (mg/kg) in the sapwood of <i>P. thunbergii</i> ± SD		
		Lower part	Middle part	Upper part
Crown	15	1.515±0.775	0.357±0.145	0.285±0.015
	30	2.025±0.075	1.200±0.980	0.220±0.090
	100	<0.05	0.183±0.038	<0.05
	180	0.183±0.256	0.173±0.147	<0.05
Trunk	15	2.160±0.0330	2.260±0.430	0.650±0.490
	30	0.870±0.030	1.050±0.010	1.840±0.030
	100	0.110±0.078	0.130±0.184	<0.05
	180	<0.05	<0.05	<0.05

Table 5. Residue (mg/kg) of abamectin on 170 days after trunk injection of abamectin 1.8% EC in different parts of *Pinus koraiensis* from field in Hamyang, Gyeongnam

DBH*	Height	Residue (mg/kg) of abamectin													
		Crown				Trunk									
		Upper	Mid	Lower	Mean	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	Mean
20 cm	9 m	0.81 ± 0.16	0.96 ± 0.10	0.65 ± 0.25	0.80 ± 0.22	0.12	0.20	0.38	0.47	0.27	0.31	0.40	0.25	-	0.30 ± 0.11
		0.59 ± 0.15	0.56 ± 0.23	0.87 ± 0.25	0.67 ± 0.26	-	0.28	0.46	0.21	0.27	0.57				0.36 ± 0.13

*breast height diameter. Sample parts were see figure 3. Trunk injection point was 0.5 m height of *Pinus koraiensis*.

잣나무에서 약제처리 경과별 약제잔류량

나무주사 15일 후에는 모든 시료에서 검출 한계농도인 0.05 mg/kg이하로 검출되었고, 30일차에서는 가지에서 0.62±0.80 mg/kg이 검출되었으며 170일 후에는 0.3±0.006 mg/kg이 검출되었다.

잣나무의 부위별 abamectin 잔류량 분석을 한 결과 수관의 경우 수고 9 m 시험목에서는 평균 0.80±0.22 mg/kg, 수고 6 m 시험목에서는 평균 0.67±0.26 mg/kg이 검출되었고, 주간 부위는 수고 9 m 시험목에서는 평균 0.30±0.11 mg/kg, 수고 6 m 시험목에서는 평균 0.36±0.13 mg/kg이었다(Table 5).

고 찰

현재 소나무재선충 예방약제의 나무주사는 12월에서 2월 사이에 시행하고 있는데(산림청, 2005) 이 시기 이후에는 송진의 분비량이 많아져 약제의 주입이 저해되거나 약제의 이동이 부진하기 때문이다. 따라서 소나무재선충을 예방 또는 방제하기 위하여 사용하는 약제는 5개월 이상 수체 내에 잔류하여야 한다.

수고 15 m의 곰솔 대경목에서 모든 가지에서 0.29 mg/kg

이상의 abamectin이 잔류하였는데 소나무 내에서 소나무재선충의 치사 농도는 규명이 되어 있지 않지만 Takai *et al.* (2000)이 실내 multi well plate에서 목화솜을 이용하여 실험한 바에 의하면 IC₉₅값이 0.16 mg/kg으로 이를 근거로 하면 모든 가지에서 나무주사 150일 후까지 소나무재선충을 억제할 수 있는 농도로 abamectin이 잔류하였다. 한편 시료채취 가지별에 따라 abamectin의 잔류량은 차이를 보여 최대량이 검출된 가지(0.73 mg/kg)와 최소량이 검출된 가지(0.29 mg/kg)의 차이는 2.5배에 달하였다. Takai *et al.*(2003b)도 곰솔에서 emamectin benzoate의 수체 내 잔류량 측정 시 수간부의 위치별에 따라 잔류량이 다르고, 동일한 위치의 수간부에서도 네 등분 하여 잔류량을 조사하였을 때 가장 차이가 많이 나는 것은 360배의 잔류량 차이가 있었다. 침엽수에서 물의 이동은 가도관을 통해 이루어지는데 이를 통한 수분의 이동은 가지의 엽량에 따라 차이가 날 수 있다.

곰솔의 수간부에서 abamectin의 이동은 나무주사 후 15일째까지는 수간의 상부로의 이동이 이루어지지 않았으나 30일 후에는 상부로의 이동이 완료되어 나무주사 한 지점으로부터 1 m 나 5 m 지점에 비하여 10 m 지점에서 더 많은 양의 abamectin이 검출되었다. 그리고 수관부에서는 15일차에는 수간부에

비하여 적은 양의 abamectin이 검출되었으나 30일 이후에는 중부와 하부 가지를 중심으로 수간에 비하여 abamectin의 잔류량이 많았다. 한편 수관부에서는 180일째까지 수관 상부의 가지에서 가장 적은 양의 abamectin이 검출되었다. 따라서 곰솔에 주사된 abamectin은 주사 30일 후에 나무의 상부 수간에게까지 도달하고 이 시기에 중부와 하부 가지로의 이동이 완료되는 것으로 생각된다. 또한 수간부에서 잔류량은 나무 주사 후 15일째에 최대가 되나 수관부에서 잔류량은 30일째 최대가 되었고, 수간부에서 잔류량은 100일 후와 180일 후에는 수관부에 비하여 줄어드는 양상을 보였다. 이는 수관부에 주사된 약제가 가지 쪽으로 이행됨에 따라 잔류량의 변화가 생기는 것으로 생각된다. 한편 곰솔의 가지별 abamectin 잔류량을 조사한 결과에 비하여(Fig. 1) 주간부와 수관부를 대상으로 시기별 잔류량을 조사한 두 번째 실험에서(Table 4) 가지부분에 잔류하는 abamectin의 양이 상대적으로 적었다. 이는 잔류 분석의 조사시점이 약제주사 후 150일과 170일이라는 차이와 수고 및 엽량의 차이 등에 의해 수체 내로 이행량이나 속도가 차이가 있었기 때문으로 생각된다. 또한 본 잔류량 측정 실험에서 처리 기간별에 따라 서로 다른 나무(반복의 개체목)를 대상으로 잔류량을 측정 한 결과 나무별로도 잔류량의 차이가 많았다. 이는 앞서 언급한 엽량의 차이나 수고와 같은 나무의 생리적 조건차이와 토양 내 수분량이나 경사도 모암의 상태 등 토양 내의 다양한 요인변화에 따라 가도관을 통한 수분의 이동력이 차이를 보여 나무주사 한 abamectin의 잔류량이 개체목별로 변이가 심한 것으로 추정된다. 그러나 나무주사 시 주입병으로부터 약제가 흘러버려 수간으로 정상적으로 주입이 되지 못한 경우를 제외하고는 소나무재선충에 감염되어 고사하지 않는 것으로 보아(미발표 자료) 살선충 활성을 가지는 유효량이 곰솔이나 소나무의 수체로 이동하여 지속되는 것으로 사료된다.

잣나무 주간에서 abamectin의 검출은 처리 30일 후와 170일 후에 0.62 mg/kg과 0.3 mg/kg이 검출되었으나 처리 15일 후와 90일 후에는 검출한계 이하로 검출되었다. 이러한 차이는 앞서 곰솔에서와 마찬가지로 시험을 수행한 나무 개체별로 약제의 이행량에 차이가 있어서 인 것으로 생각된다. 한편 수고 9 m와 6 m의 단목을 대상으로 abamectin의 잔류량을 분석한 결과는 수간부의 경우 평균 0.30과 0.36 mg/kg으로 곰솔의 <0.05 mg/kg보다 많았으며, 수관부의 평균 잔류량도 평균 0.80과 0.67 mg/kg으로 곰솔의 0.44 mg/kg보다 많았다. 따라서 곰솔보다는 잣나무에서 abamectin의 잔류가 더 많이 되는 것으로 판단된다. 한편 abamectin 나무주사는 2년 후에도 소나무재선충병의 예방효과가 있는 것으로 알려

져 있는데(미발표 자료) emamectin benzoate의 경우 나무주사 27개월 후에도 IC₉₅값 이상의 잔류량을 보이고(Takai *et al.*, 2003b), 야외에서도 1회 나무주사로 3년간 소나무재선충병 예방효과가 있었다(Takai *et al.*, 2003a). 따라서 abamectin의 경우도 몇 년간 소나무재선충병 예방효과가 있는지 지속적인 조사가 필요할 것으로 생각된다. 또한 Takai *et al.*(2003b)은 나무주사 한 emamectin benzoate가 뿌리나 토양 내로는 이행되지 않아 안전하다고 하였으며 낙엽에서는 나무주사 두 달 후 최대치인 0.011-0.025 mg/kg이 검출되어 지표면으로 투입 될 수 있으나 년 중 낙엽화 되는 솔잎의 총량을 기준으로 하였을 때 타 작물의 해충방제를 위하여 사용되는 양의 50배 낮은 수준이고, 이 양은 MRL 수준 이하로 사람에게는 안전하다고 하였다. 본 연구에서는 abamectin이 솔잎이나 토양으로의 이행여부를 조사하지 않았으나 안전성 담보를 위해 추후 조사가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

- 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.
- 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.
- 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.
- Kweon, T. S., J. H. Lim, S. J. Shim, 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. slatunarius* (Coleoptera: Cerambycidae) in Korea. *J. Korean For. Soc.* 95:543~550.
- Shin, S. C. (2008) Pine wilt disease in Korea, In Pine wilt disease (eds. Zhao, B. G., K. Futai, J. R. Sutherland, and Y. takeuchi), Springer, Japan.
- Steiner, G., and E. M. Buhner (1934) *Aphelenchoides xylophilous* n. sp., a nematode associated with blue stain and other fungi in timber. *J. Agric. Res.* 48:949~951.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 김동수, 이상명, 정영진, 최광식, 문일성, 박정규 (2003) 소나무재선충의 매개충인 솔수염하늘소 성충의 우화 생태. *한양곤지.* 42:307~313.
- 산림청 (2005) 소나무재선충병 효율적 방제 실무매뉴얼. 228pp.
- 산림청 (2008) 산림병해충 방제 세부지침서. 15pp.
- 한국작물보호협회 (2009) 2009 농약사용지침서. 1135pp.

수간주입한 아바멕틴의 곰솔과 잣나무 내 분포와 지속성

이상명 · 김동수 · 김철수¹ · 조규성² · 추호렬³ · 이동운^{4*}

국립산림과학원 남부산림연구소, ¹산림청 산림인력개발원, ²경상대학교 환경생명화학과, ³경상대학교 응용생물환경학과, 농업생명과학연구원, ⁴경북대학교 생물응용학과

요 약 소나무재선충 방제제로 등록되어 사용되고 있는 abamectin 1.8% 유제를 소나무와 잣나무에 나무주사 한 뒤 수체 내에서 잔류량을 측정하였다. 소나무 수체 내에서 검출한계는 0.05 mg kg⁻¹이었으며 회수율은 가지에서는 0.5 mg kg⁻¹ 처리 시 90.9%였으며 수간에서는 93.1%였다. 수고 15 m의 곰솔에서 나무주사 된 abamectin 1.8% 유제는 처리 150일 후 소나무재선충의 매개충인 솔수염하늘소의 섭식 부분인 모든 가지부분에서 0.29-0.73 mg kg⁻¹이 검출되었다. 평균 흉고직경 12.6 cm의 곰솔 천연림에서 abamectin 1.8% 유제의 수체 내 잔류량을 조사 한 결과 개체목별로 차이가 많았다. 곰솔의 수간부분에서는 하부와 중부에서는 abamectin 수간주사 후 시간의 경과에 따라 잔류량이 감소하는 경향을 보였으며 상부에서는 주사 30일 후에 1.84 mg kg⁻¹이 검출되어 처리 15일 후의 0.65 mg kg⁻¹보다 많았으며 100일과 180일 이후에는 검출한계 이하로 검출되었다. 가지부분에서는 하부에서는 처리 180일 후에 0.183 mg kg⁻¹이 검출되었으며 중부에서는 0.173 mg kg⁻¹이 검출되었다. 흉고직경 20 cm, 수고 9 m의 잣나무에서 가지부분의 abamectin 평균 검출량은 0.80 mg kg⁻¹이었으며 수간에서는 0.30 mg kg⁻¹이었고, 흉고직경 15 cm, 수고 6 m의 잣나무에서는 가지부분 0.67 mg kg⁻¹이 검출되었고, 수간에서는 0.36 mg kg⁻¹이 검출되었다.

색인어 소나무재선충, 솔수염하늘소, abamectin, 잔류량, 소나무