농약과학회지 (Korean J. Pestic. Sci.)
Vol. 21, No. 3, pp. 261-268 (2017)
Open Access https://doi.org/10.7585/kjps.2017.21.3.261
ORIGINAL ARTICLES

Online ISSN 2287-2051
Print ISSN 1226-6183

분재에서 식물기생선충의 화학적방제

최진영[1] · 정영학[2] · 이동운[3]* · 추호렬[4] · 박정규[4]

[1]㈜농경, [2]㈜에스엠바이오, [3]경북대학교 생태환경관광학부, [4]경상대학교 응용생명과학부

Chemical Control of Plant-parasitic Nematodes in Export Bonsai

Jin Young Choi[1], Young Hack Jung[2], Dong Woon Lee[3]*, Ho Yul Choo[4] and Chung Gyoo Park[4]

[1]Nongkyung LTD, Jincheon, 27851, Republic of Korea, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea
[2]SM Bio Co, Jinju, 52828, Republic of Korea
[3]School of Ecological Environment and Tourism, Kyungpook National University, Sangju 37224, Republic of Korea
[4]Division of Applied Life Science (BK21 Plus), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

(Received on July 25, 2017. Revised on September 7, 2017. Accepted on September 12, 2017)

Abstract Bonsai is one of the major forestry products and thus, bonsai farmers increasingly desire to boost its export to generate more revenue. However, there is a critical need to eliminate the quarantine pests associated with bonsai, including plant-parasitic nematodes. Therefore, we aimed at developing control strategies suitable for elimination of plant parasitic nematodes in export bonsai. For the control of endoparasitic nematodes, the pine wood nematode (PWN), *Bursaphelenchus xylophilus* was experimented on 6 year old-*Pinus densiflora* bonsai. Nematode infected bonsai were socked in four nematicides (fosthiazate, abamectin, imicyafos and emamectin benzoate) and one fungicide (tebuconazole). Fosthiazate exhibited the highest nematicidal effect against PWN. Root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* was 100% controlled by socking the soil for 12 hours in 4,000 ppm abamectin, fosthiazate and imicyafos suspensions. Additionally, Fosthiazate and other chemicals (sodium dichloroisocyanurate, sodium hypochlorite and 1-undecanol) were highly effective against nematodes present in soils detached from roots of bonsai trees (*Acer palmatum*, *Carpinus turczaninovii*, *Ligustrum obtusifolium*, *Malus sieboldii*, *Pinus densiflora*, and *Zinnia elegans*). These compounds can therefore be used as practical control measures against nematodes in export bonsai.

Key words Bonsai, Control, Nematode, Quarantine, Undecanol

서 론

우리나라의 분재는 삼국시대 이래로 조경용 또는 실내관상용으로 이용되고 있는데(Korea Forest Research Institute, 2009) 분재 생산량은 분재소재와 완재를 합쳐 2015년도에 578,966본으로 200억원대의 시장을 형성하고 있다(Forest Service, 2016). 1만 본 이하의 분재를 생산하고 있는 경영주가 대부분이며 토지를 임차하여 경영하는 영세한 구조를 가지고 있는 실정이지만 고급화 된 분재기술이나 소재 생산기술을 발전시킨다면 수출 잠재력이 큰 품목인데 산업화 기반이 약하여 수출 증가에 애로 사항이 많이 있다(Korea Forest Research Institute, 2009). 뿐만 아니라 2009년에는 수출 대상국으로부터 병해충 유입 우려로 인하여 수입 금지 품목으로 지정되기까지 하였는데 장애요인 중의 하나가 식물기생선충이다.

식물기생선충은 생장점과 잎, 줄기, 뿌리 등 식물의 내외부에 기생하여 가해함으로서 식물을 황변시키거나 기형화를 유발하기도 하고, 괴저나 괴사를 일으키기도 하며 지상부나 지하부에 혹이나 시스트를 형성하며 결국은 작물의 생육을 부진케 하여 수확을 감소시킨다(Bridge and Starr, 2010). 또한 피해가 심한 경우는 작물이 생육도중 죽기도 하는데 선충들은 주로 토양 속이나 식물 조직의 내부에 기생하는 현미경적 동물이기 때문에 발견이 어려워 다른 병이나 생리적 피해로 오인하는 경우가 많다. 또한 선충의 주 서식처인 토양은 농약 등이 침투하기 어려워 방제가 용이하지 않는 편

*Corresponding author
E-mail: whitegrub@knu.ac.kr

이다. 모든 종류의 작물들은 최소한 한 종 이상의 식물기생선충에 감수적이기 때문에 잠재적으로 모든 재배 작물들은 식물기생선충의 감염 위험에 직면해 있고(Bridge and Starr, 2010), 이들 식물기생선충에 의한 작물의 경제적 손실은 전 세계적으로 년 780억$ 이상으로 추정되고 있다(Weischer and Brown, 2000). 수목도 예외는 아니어서 많은 종류의 식물기생선충이 가해하고 있는데 Moon (1995)은 우리나라의 묘포장과 산지의 수목을 대상으로 식물기생선충을 조사하여 32속 79종을 보고한 바 있다. 따라서 수목을 이용하는 분재는 식물기생선충의 피해를 받고 있고, 또 받을 가능성이 높아 검역대상이 되고 있다.

우리나라에 발생하는 선충들 중 미국의 검역대상 선충은 한국껍질선충(*Hemicycliophora koreana*), 콩침선충(*Paratylenchus pandus*), 소나무나선선충(*Rotylenchus pini*), 동양나선선충(*Rotylenchus orientalis*) 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*) 등이고(University of Nebraska-Lincoln, 2017), EU 검역선충은 감자썩이선충(*Ditylenchus destructor*), 벼이삭선충(*Aphelenchoides besseyi*), 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*), 미국검선충(*Xiphienma americanum*), 콩시스트선충(*Heterodera glycines*) 등이다(Q-bank, 2017). 한편 이러한 식물기생선충의 검역적 중요성으로 인하여 분재에 대한 수입규제도 강화되었기 때문에 원활한 분재 수출을 위하여 병해충 무감염 분재생산이 중요하고, 식물기생선충을 비롯한 장애 요인 등을 미리 없앨 필요가 있다. 따라서 본 연구는 선충무감염 분재를 생산관리하고 수출하기 위하여 분재를 대상으로 선충의 효과적인 방제법을 개발하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

대상 선충과 시험약제

분재의 성공적인 수출을 위해서는 선충 무감염 분재를 생산하여야 하기 때문에 선충을 100% 치사 시킬 수 있는 방법을 개발하여야 한다. 따라서 선충 무감염 분재를 생산하기 위한 여러 가지 방법들 중 실용적이고 이용이 용이한 화학적 방법을 선택하였다. 살선충제인 fosthizate 30% 액제, abamectin 1.8% 유제, imicyafos 30% 액제, emamectin benzoate 2.15% 유제와 살균제인 tebuconazole 20% 액상수화제 등을 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*)과 고구마뿌리혹선충(*Meloidogyne incognita*)을 대상으로 효과를 검정하였고, 분재 뿌리부분의 흙 제거 후 잔존하는 선충 제거를 목적으로 선행 실험에서 효과가 높았던 fosthizate 외에 추가적인 예비 실험에서 살선충 효과가 높았던 알콜계 향미성분의 undecanol (1-undecanol, 99%) 염소계 소독제인 이염화아이소사이아누르산나트륨(NaDCC, 96%), 살균 · 소독제인 차아염소산나트륨(NaOCl, 5%)을 이용하여 추가적으로 효과 검정을 수행하였다.

각각의 농약은 농약판매점에서 구입하여 사용하였고, 1-undecanol과 이염화아이소사이아누르산나트륨은 Sigma-Aldrich에서 구매하여 사용하였으며 차아염소산나트륨은 유한크로락스사(경기 화성)의 제품을 이용하였다.

한편 두 선충을 방제 대상으로 선택한 것은 분재소재에 기생하는 선충들이 한국껍질선충(*Hemcylicopora koreana*)이나 미국검선충(*Xiphinema americanum*) 외 다양한 선충들이 있지만(unpublished data) 실험에 필요한 수준의 감염목을 확보하기 어려워 확보가 쉬우면서 실험의 모델로서 적용이 가능하여 선택하였다.

소나무 분재에서 소나무재선충에 대한 약효 검정

6년생 소나무(*Pinus densiflora*) 분재에 소나무재선충을 접종하여 수체 내에서 증식한 후 약제 처리 효과를 검정하였는데 접종은 Lee et al. (2009)의 방법을 응용하여 수행하였다. 화분 지제부에서 5 cm 떨어진 곳의 수피 부분을 칼로 2 cm 찢고, 찢은 부위에 솜을 넣은 뒤 소나무재선충 1,000마리/0.2 ml를 접종하였다. 그런 다음 수분증발을 방지하기 위하여 파라필름으로 접종 부위를 둘러싸고, 자외선 차단을 위하여 주방용 알루미늄 호일로 파라필름을 감은 부분을 덮어 씌웠다. 소나무재선충이 수체 내에서 증식할 수 있도록 15일 동안 온실에 보관하면서 분재원에서 행하는 방법대로 일반적인 수분관리를 하였다. 15일 후 20 L 용적의 플라스틱 용기에 1,000 ppm 농도로 희석한 fosthizate, abamectin, imicyafos, emamectin benzoate와 4,000 ppm 농도로 희석한 tebuconazole을 18 L씩 채우고, 소나무 분재를 화분에서 조심스럽게 꺼낸 뒤, 전체가 잠기도록 24시간 동안 침지 처리하였다. 처리 농도는 예비 실험을 통하여 설정하였다. 침지 처리 후 소나무재선충 접종부위에서 5 cm 떨어진 곳부터 3 cm 크기로 세 토막을 톱이나 전정가위로 자른 뒤, 토막의 무게를 측정하였다. 잘려진 토막은 Shin et al. (2015)의 소나무재선충 분리 방법에 준하여 전정가위와 도끼를 이용하여 나무토막을 5 mm 이하의 폭으로 잘게 잘라 깔데기법으로 선충을 분리하여 해부현미경(Nicon SMZ-20, Japan)으로 살아있는 선충수를 조사하였다. 실험은 한 주의 분재를 한 반복으로 3반복 처리하였으며 완전임의배치하였다.

가장 살선충 효과가 높았던 fosthizate를 이용하여 침지시간과 농도별로 약효를 분석하였다. 농도는 각각 1,000, 2,000, 4,000 ppm으로 처리하였으며 침지시간은 3, 6, 12, 24시간 침지하였다. 실험의 방법은 전술한 방법과 동일하게 수행하였으며 한 주를 한 반복으로 3반복 완전임의배치 하여 수행하였다.

고구마뿌리혹선충에 대한 약효 검정

토양 중에 서식하면서 수체 내로 침입하여 피해를 주는

분재선충의 모델 선충으로 고구마뿌리혹선충에 대한 약효 검정을 하였는데 고구마뿌리혹선충에 감염된 토양을 마사토와 1:1로 혼합한 뒤 사전밀도를 조사하였다. 그리고는 화분에 500 g씩 넣고, 1,000 ppm 농도로 희석한 fosthizate, abamectin, imicyafos, emamectin benzoate와 4,000 ppm 농도로 희석 한 tebuconazole 희석액에 3, 6, 12, 24 시간 동안 침지 처리하였다. 침지는 소나무재선충에 대한 효과 실험에서와 동일하게 20L 용적의 플라스틱 통을 이용하여 수행하였다. 효과는 침지처리 후 일주일이 경과한 뒤 토양 속의 생존 선충수를 조사하였다. 처리는 완전임의법 4반복으로 하였다. 처음 실험에서 뿌리혹선충에 대한 살선충 효과가 높은 fosthizate와 abamectin, imicyafos를 이용하여 2,000 ppm과 4,000 ppm 농도에서 2차 실험을 수행하였다. 실험의 방법은 첫 번째 실험과 동일한 방법으로 처리하였으며 완전임의법 4반복으로 수행하였다.

약해 조사

4종의 살선충제(fosthizate, abamectin, imicyafos, emamectin benzoate)에 대한 소나무와 단풍나무(*Acer palmatum*) 분재의 약해정도를 조사하였다. 각각의 약제들을 1,000, 2,000, 4,000 ppm 농도로 희석한 뒤 소나무재선충에 대한 효과 검정과 동일한 방법으로 처리 한 뒤 0에서 5까지의 살충제 약해평가 기준에 따라 약해를 조사하였다(KCPA, 2016a). 소나무에 대한 약해 유무는 소나무재선충에 대한 약효 조사 시 처리 한 시험목을 대상으로 조사하였으며 단풍나무 분재에 대한 약해 조사는 소나무재선충 약효 조사 시 희석 한 각각의 살선충제에 3년생 단풍나무 분재를 침지 한 뒤 조사하였다. 약해 조사는 침지처리 7, 14, 21, 28일 후 외관상 약해유무를 달관 조사하였다. 한편 선행 실험에서 두 선충에 대해 모두 효과가 좋았던 fosthizate와 abamectin에 대해서는 10,000 ppm 농도로 희석한 후 24 h 침지 처리한 후 잎에서의 반점과 반문의 유무, 황변 또는 엽소 여부, 경엽의 위조 여부와 고사 여부 등도 육안으로 관찰하였다. 하나의 분재화분을 한 반복으로 3반복 처리하였다.

분재목 뿌리 흙 제거 후 뿌리부분 잔존 선충에 대한 살선충 효과

수출용 분재의 경우 분재목 뿌리에 흙이 잔존해 있으면 안 되기 때문에 흙을 제거한 뿌리부분에 잔존할 가능성이 있는 식물기생선충을 방제하기 위하여 3년생 수출용 분재 6종[소나무 100본, 단풍나무 60본, 백일홍(*Zinnia elegans*) 80본, 쥐똥나무(*Carpinus turczaninoviii*) 40본, 소사나무(*Ligustrum obtusifolium*) 50본, 애기사과 120본(*Malus sieboldii*)]들 중 수종별로 각각 무작위로 6본을 선택하여 뿌리에 있는 흙을 1차적으로 제거한 후 fosthiazate 4,000 ppm, undercanol 1,000 ppm, NaDCC 2,000 ppm, NaOCl 1,000 ppm에 12시간, 24시간 침지 처리 후 침지시간과 농도에 따른 뿌리부분에 있는 선충들의 살선충 효과를 조사하였다. 처리는 소나무재선충에 대한 실험에서와 동일 한 방법으로 약제 희석액에 침지처리 하였다. 무처리구는 물에만 침지처리 하였다. 효과는 처리 후 시험목의 뿌리들 사이를 실험실 씽크대에서 물의 수압을 이용하여 뿌리주변을 세밀하게 씻어 낸 후 325 mesh, 400 mesh 체를 이용하여 살아있는 선충의 수를 조사하였다. 뿌리부분에 잔존해 있을 선충의 제거가 목적이었기 때문에 별도로 선충의 종류는 확인하지 않았으며 처리는 완전임의법 3반복으로 하였다.

통계분석

실험결과들은 처리평균간 차이를 SAS 프로그램을 이용하여 Tukey's HSD Test로 분산분석하였다.

결 과

소나무 분재소재에서 소나무재선충에 대한 약효 검정

소나무분재에서 소나무재선충에 대한 처리 약제들의 살선충 효과는 처리별로 차이를 보였다(df=5, 12, F=7.04, P= 0.0027)(Fig. 1). Fosthiazate 처리에서는 생존 해 있는 소나무재선충이 없었으며 imysiafos를 제외한 세 처리에서는 무처리에 비하여 현저히 적은 생충수를 보였다(Fig. 1).

살선충 효과가 가장 좋았던 fosthiazate를 농도별, 시간별로 처리한 결과, 4,000 ppm으로 12시간 이상 침지 처리할 때 소나무재선충이 검출되지 않았고(df=3, 8, F=54.83, P= 0.0001), 2,000 ppm에서는 24시간 침지 처리에서 소나무재선충이 검출되지 않았다(df=3, 8, F=13.14, P=0.0019)(Table 1).

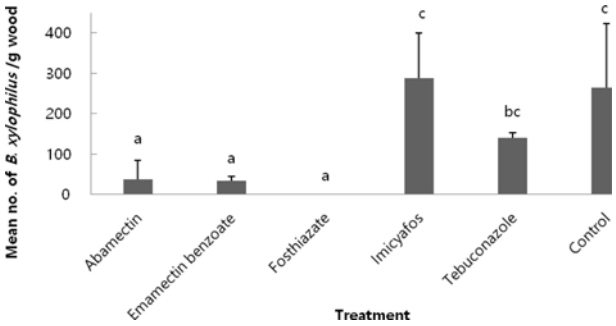

Fig. 1. Efficacy of nematicides on survival of pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* in bonsai of 6 years old pine tree. Bonsai tree was socked in 1,000 ppm of abamectin, emamectin benzoate, imysiafos and fosthiazate and 4,000 ppm of tebuconazol aquatic suspension at 24 hours. Pine wood nematode was inoculated at 15 days before the socking treatment. The same lowercase letter on the bars indicate that there is no significant difference among means based on Tukey's HSD Test (P<0.05).

Table 1. Efficacy of fosthiazate on survival of *Bursaphelenchus xylophilus* depending on different concentration and socking time in bonsai of 6 years old pine tree

Treatment	Concentration (ppm)	Mean no. of live *Bursaphelenchus xylophilus* at socking time (hr)			
		3	6	12	24
Fosthiazate	4,000	0.5 ± 0.87b[a)]	1.5 ± 2.6b	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0b
	2,000	104.5 ± 99.4ab	88.0 ± 32.0b	8.3 ± 1.5c	0.0 ± 0.0b
	1,000	139.5 ± 89.3ab	130.7 ± 86.5b	121.7 ± 22.5b	121.3 ± 78.7ab
Control	-	281.7 ± 22.5a	271.3 ± 46.5a	250.0 ± 50.0a	224.0 ± 67.0a

Pine wood nematode was inoculated at 15 days before the socking treatment.
[a)]The same lowercase letter within the column indicate that there is no significant difference among means based on Tukey's HSD Test (P<0.05).

Table 2. Efficacy of some nematicides on survival of *Meloidogyne incognita* depending on different concentration and socking time in soil

Treatment	Concentration (ppm)	Mean no. of live *Meloidogyne incognita* at socking time (hr)			
		3	6	12	24
Abamectin	4,000	0.3 ± 0.3c[a)]	0.3 ± 0.3c	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0c
	2,000	0.3 ± 0.3c	0.0 ± 0.0c	0.3 ± 0.3c	0.0 ± 0.0c
Fosthiazate	4,000	1.0 ± 0.4c	0.5 ± 0.3c	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0c
	2,000	0.8 ± 0.3c	1.5 ± 0.3c	0.8 ± 0.5c	0.0 ± 0.0c
Imicyafos	4,000	0.8 ± 0.3c	0.3 ± 0.3c	0.0 ± 0.0c	0.8 ± 0.3c
	2,000	12.5 ± 3.3c	8.3 ± 1.3c	1.8 ± 0.8c	0.3 ± 0.3c
Water control	-	51.5 ± 5.3b	71.3 ± 7.5b	46.5 ± 4.8b	52.5 ± 6.9b
Untreated control	-	97.0 ± 11.2a	97.0 ± 11.2a	97.0 ± 11.2a	97.0 ± 11.2a

[a)]The same lowercase letter within the column indicate that there is no significant difference among means based on Tukey's HSD Test (P<0.05).

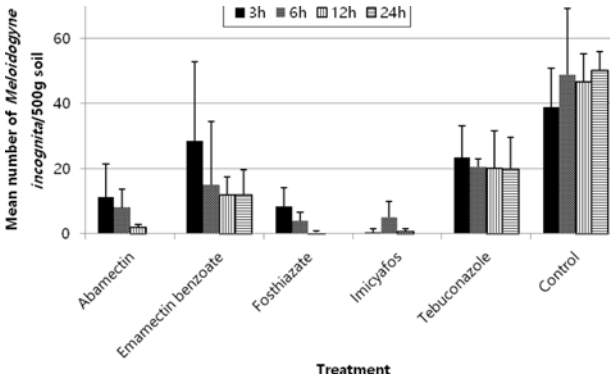

Fig. 2. Efficacy of nematicides on survival of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* in soil. Soil with *Meloidogyne incognita* was sock into 1,000 ppm of abamectin, emamectin benzoate, imysiafos and fosthiazate and 4,000 ppm of tebuconazol aquatic suspension at 24 hours. Bars on the graph represent standard deviation.

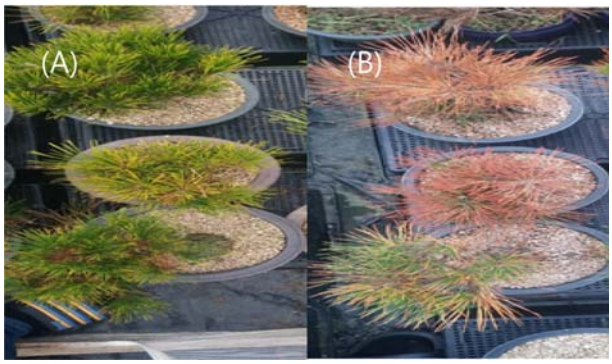

Fig. 3. Phytotoxic effects of nematicides in bonsai of pine tree at 14 days after treatment. Bonsai tree was socked in 10,000 ppm of abamectin (A) and fosthiazate (B) aquatic suspension at 24 hours.

고구마뿌리혹에 대한 약효 검정

고구마뿌리혹선충에 감염된 토양을 각각의 농약 현탁액에 침지 처리한 결과 약제 처리구에서는 전체적으로 시간이 경과할수록 선충의 밀도가 떨어졌는데(Fig. 2) fosthiazate와 abamectin, imicyafos 처리에서는 24시간 후에 100% 치사되었다(df=5, 18, F=48.97, P=0.0001) (Fig. 2).

1,000 ppm 처리에서 효과가 뛰어났던 fosthiazate, abamectin, imicyafos 3종을 2,000 ppm과 4,000 ppm 농도에서 침지시간별에 따른 고구마뿌리혹선충 생충수를 조사한 결과, fosthiazate와 abamectin 2,000 ppm 처리에서는 24시간 침지 시 100%의 치사율을 보였으나(df=7, 24, F=60.89, P=0.0001) (Table 2) 4,000 ppm 처리에서는 12시간 침지 처리구에서도 100% 치사되었다(df=7, 24, F=67.7, P=0.0001)(Table 2).

약해 조사

소나무와 단풍나무 분재를 대상으로 4종의 살선충제에 대한 약해를 조사한 결과, 1,000 ppm과 2,000, 4,000 ppm에서는 약해가 발생하지 않았으나 abamectin과 fosthiazate 10,000 ppm 처리에서는 14일 후부터 잎이 갈변하는 약해가 소나무에서 발생하였고(Fig. 3), 단풍나무는 낙엽이 지는 피해가 발생하였다.

분재목 뿌리 흙 제거 후 뿌리부분 잔존 선충에 대한 살선충 효과

분재 수종별 뿌리부분에 남아있는 생존 선충 수는 분재 수종이나 처리 물질 및 침지시간 별에 따라 차이가 있었다(Fig. 4). 물에 침지시킨 처리에서 수종별로는 소나무(Fig. 4E)와 소사나무(Fig. 4B) 분재에서 잔존 선충수가 다른 수종들에 비하여 상대적으로 많았으며 쥐똥나무(Fig. 4C)에서 가장 잔존 선충 수가 적었다. 모든 처리에서 12시간 침지보다 24시간 침지 시 생존 선충 수가 감소하였는데 undecanol에 침지 한 소사나무에서는 24시간 침지 시 생존 선충이 발견되지 않았다(Fig. 4B).

소나무 분재에서 12시간 침지처리를 제외하고 모든 처리에서 분재목 뿌리부분에 잔존하는 선충 제거효과가 통계적으로 유의하게 높게 나타났는데 효과가 상대적으로 높은 물질들은 분재목에 따라 차이를 보였으나 통계적 유의성은 없었다(Fig. 4). 단풍나무 분재에서는 NaDCC 12시간 침지 시 99%의 사충율을 보였고(df=4, 10, F=21.89, P<0.0001), 24시간처리에서는 NaDCC, undecanol, NaOCl 처리 모두에서 99.5% 이상의 사충율을 나타내었다(df=4, 10, F=16.72, P<0.0002) (Fig. 4A). 소사나무에서는 12시간 처리 시 NaDCC

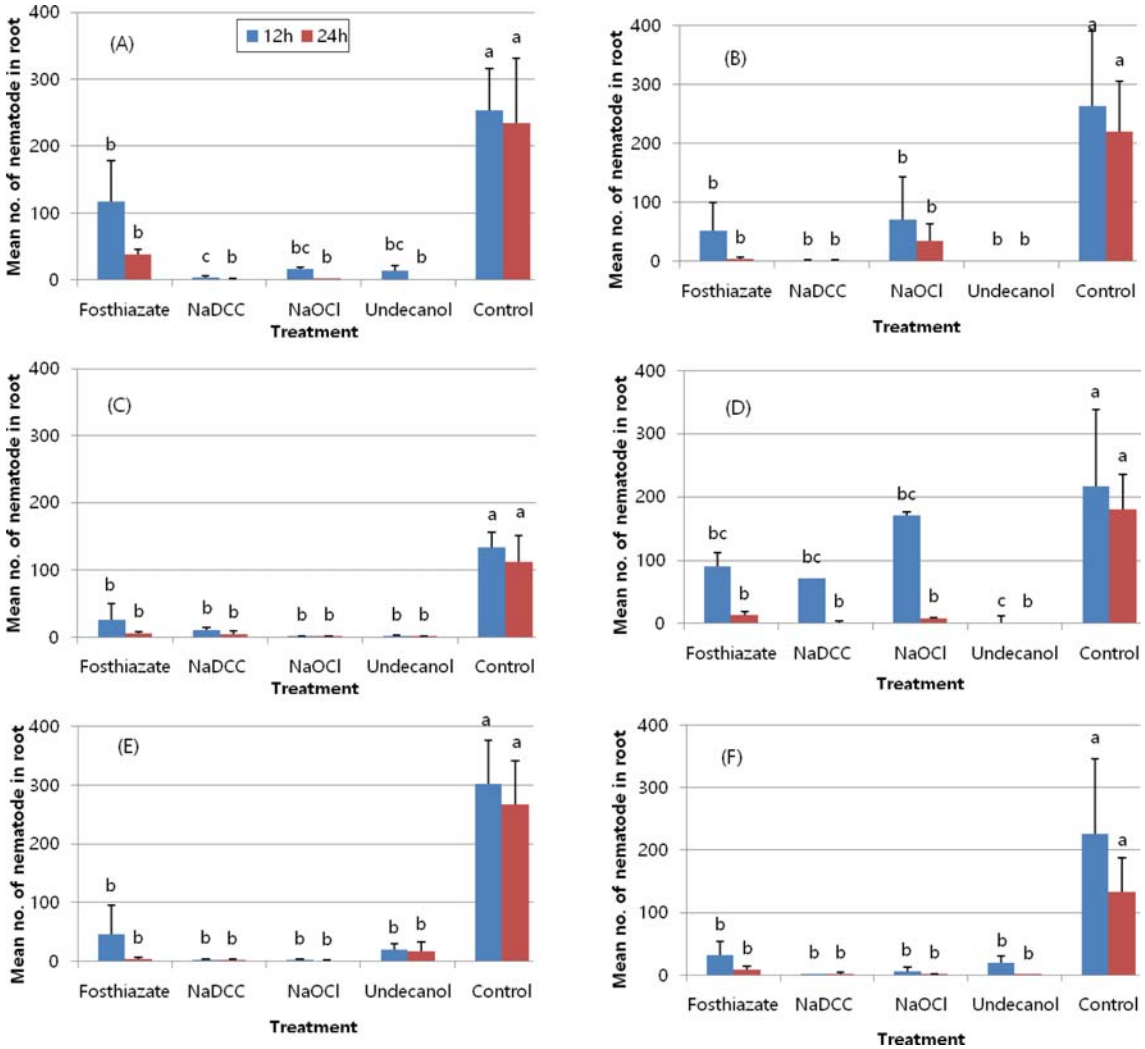

Fig. 4. Effect of fosthiazate and other chemicals on the survival of nematodes associated with bonsai tree roots. (A) *Acer palmatum*, (B) *Carpinus turczaninovii*, (C) *Ligustrum obtusifolium*, (D) *Malus sieboldii*, (E) *Pinus densiflora*, and (F) *Zinnia elegans*. Tree was socked in each aquatic suspension (4,000 ppm of fosthiazate, 2,000 ppm of NaDCC, 1,000 ppm of NaOCl and undercanol) at 12 and 24 hours. The same lowercase letter on the bars in each socking time indicate that there is no significant difference among means based on Tukey's HSD Test (P<0.05).

와 undecanol 처리에서 99% 이상의 사충율을 보였고(*df*=4, 10, *F*=7.33, *P*<0.0005), 24시간 처리에서는 undecanol 처리에서 100%의 사충율을 보였다(*df*=4, 10, *F*=17.01, *P*<0.0002) (Fig. 4B). 쥐똥나무 분재에서는 12시간 처리에서는 NaOCl 처리의 사충율이 99%로 가장 좋았고(*df*=4, 10, *F*=45.87, *P*< 0.0001), 24시간 처리에서는 undecanol과 NaOCl 처리에서 사충율이 99% 이상이었다(*df*=4, 10, *F*=23.32, *P*<0.0001) (Fig. 4C).

애기사과 분재에서는 처리 시간과 상관없이 undecanol 처리에서 99% 이상의 사충율을 보였다(24시간 처리: *df*=4, 10, *F*=24.54, *P*<0.0001) (Fig. 4D).

소나무 분재에서는 NaDCC와 NaOCl 처리에서 처리 시간과 관계없이 99% 이상의 사충율을 나타내었으며(Fig. 4E), 백일홍 분재에서는 NaDCC 처리에서 처리 시간과 관계없이 99% 이상의 사충율을 나타내었다(Fig. 4F).

고 찰

우리나라의 분재 생산액은 200억원대의 시장을 형성하고 있으며(Forest Service, 2016) 분재 시장의 수출 잠재력이 비교적 큰 편이다. 그러나 소규모 영세 생산 임가의 비중이 높아 산업화 기반이 약하기 때문에 수출 증가에 어려움이 있었는데 2009년 EU 위원회의 분재 수입 규제 강화로 수출이 제한되었다. 이들 제한 요인 중 가장 중요한 것은 식물기생선충으로 실제 분재소재에서는 미국이나 EU의 검역대상 선충인 한국껍질선충(*Hemcylicopora koreana*)과 미국검선충(*Xiphinema americanum*)이 확인 되었다(Unpublished data). 이와 같이 분재에서 선충들이 검출된다는 것은 분재 수출에 큰 장애 요인이 될 수 있다. 따라서 분재에 문제될 수 있는 선충을 완전히 제거할 수 있는 방법이 개발되어야 하고, 아울러 검역에 대한 약제 처리의 기준도 필요하다. 따라서 분재수출의 주 위협요인을 제거하기 위하여 분재목에 기생하는 선충의 완전 제거 방법을 살선충제와 다수의 화학물을 이용하여 실용적인 측면에서 방제 방법을 강구하였다.

살선충제인 fosthiazate와 abamectin는 나무주사 시 소나무재선충의 증식억제 효과가 있는 침투이행성 약제로 알려져 있는데(Lee et al., 2009), 소나무 분재목 침지처리에서도 방제효과가 우수 하였다. 즉, 소나무재선충을 대상으로 fosthiazate를 농도별로 처리한 효과에서 4,000 ppm에는 12시간 이상 침지하였을 때 소나무재선충이 검출되지 않았고, 반량인 2,000 ppm에서는 24시간 침지 처리에서 소나무재선충이 검출되지 않았다. Fosthiazate는 소나무재선충에 대한 직접치사효과도 우수하고 침투이행 효과도 있음에도 불구하고, 소나무재선충 방제를 위한 나무주사 시 약해 발생으로 인해 소나무재선충 방제용으로는 관주처리제로 등록되어 있는데(KCPA, 2016b), 본 실험에서처럼 나무전체를 침지 처리 할 경우 4,000 ppm 농도까지 약해는 발생하지 않았다. 반면 10,000 ppm 농도 처리 시 약해가 발생하여 4,000 ppm 농도로 12시간 침지 처리가 실용적일 것으로 생각된다.

각종의 분재소재목들을 분재에 올리기 전에는 토양에서 나무를 키워야 하고, 이 기간 동안에 토양 속에 서식하는 외부기생선충들이 나무뿌리에 기생할 수 있기 때문에 이들 선충의 방제 효과를 검정하기 위하여 고구마뿌리혹선충을 대상으로 실험한 결과 기존에 뿌리혹선충 약제로 등록되어 있는 3종의 살선충제(fosthiazate와 abamectin, imicyafos)는 1,000 ppm 농도에서도 그 약효가 뛰어났다. 따라서 이를 다시 고구마뿌리혹선충을 100% 치사 시킬 수 있는 최소 시간대를 알아보기 위하여 2000 ppm과 4000 ppm 농도에서 침지시간대별로 살선충율을 조사한 결과 세 살선충제 모두 12시간 처리 시에도 4,000 ppm 농도에서는 100% 치사시켰다. 따라서 이들 세 살선충제는 토양에서 키운 분재소재목을 분재에 올리기 전 12시간 동안 4,000 ppm 농도에 침지시키는 처리를 하면 토양에 있는 선충들을 검역적으로 문제가 되지 않는 수준으로 방제가 가능할 것으로 생각된다.

분재를 수출하기 위해서는 흙이 묻어있지 않는 상태이어야 하기 때문에 수출용 분재는 분재목 뿌리주변에 있는 마사토를 비롯한 흙을 모두 제거해야 하고, 흙이 제거 된 이후에도 뿌리에 잔존하는 선충이 없어야 한다. 따라서 마지막 실험은 이러한 상황에 실용적으로 대처하기 위하여 1차적으로 흙을 제거한 분재목에 예비 실험에서 살선충 효과가 있는 몇 가지 물질들을 대상으로 생존 선충 제거효과를 실험하였는데 NaDCC와 undecanol은 대부분의 분재소재에서 높은 살선충 효과를 보였다. NaDCC는 배검은별무늬병에 발병억제 효과가 있는 것으로 알려져 있고(Nam, 2013), 딸기의 병원성 진균류에 대한 균사생장 억제나 포자발아 억제 효과와 세균성모무늬병원균에 대한 증식억제 및 병 방제효과가 있는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2015). 따라서 이 물질은 살균효과 외에도 살선충 효과가 있는 것으로 입증되어 분재목에서 선충 제거를 위한 목적으로 실용적 사용이 가능할 것으로 생각된다. 아울러 이 물질은 실험한 분재목에 대하여 2,000 ppm 농도에서 약해를 보이지 않았다.

살균이나 가정 위생용으로 일반적으로 사용하는 차아염소산나트륨(NaOCl)의 경우 선행연구에서 5.25% NaOCl을 물과 1:5 비율로 희석하여 선충이 있는 슬라이드글라스상에 점적 할 경우 10분 경과 시 100% 치사되고, 대부분의 선충들은 4분 이내에 치사된다고 하였는데(Esser, 1972) 흙을 제거한 분재에 NaOCl를 처리한 본 실험에서도 효과가 뛰어나 1,000 ppm 농도의 24시간 처리에서 소사나무를 제외한 5수종에서 95%이상의 사충율을 나타내었고, 실험 식물체에 대해 약해를 나타내지 않아 실용성이 있을 것으로 생각된다. Undecanoic acid는 소나무재선충에 효과가 있는 akylamine류의 하나로 실내 유리시험관 검정에서 17 ppm의 농도에서

도 100%의 활성을 보였는데(Nagase et al., 1982) 본 실험에서도 소나무 분재를 제외하고 모든 분재 수종에서 24시간 침지처리 시 매우 높은 살선충 활성을 보여 분재소재 뿌리 주변에 잔존할 수 있는 선충류 방제에 실용적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

분재의 수출을 위해서는 분재소재의 내외부에 기생하는 선충류의 제거가 검역적으로 필수적이다. 본 연구에서는 선충 무감염 수출분재 생산을 목적으로 식물 내부기생선충과 외부기생선충의 제거 기술의 일환으로 살선충제와 선충 활성 물질들의 효과를 검정하였는데 내부기생선충인 소나무재선충의 경우 fosthiazate 침지처리가 효과적이었으며 분재소재의 지하부에 서식할 수 있는 외부기생선충이나 부생성선충의 제거를 위해서는 NaDCC와 undecanol과 같은 물질처리가 효과적일 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 검역검사본부의 '수출분재의 식물기생선충 조사 및 방제방법 개발' 과제의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

Literature cited

Bridge, J. and J. L. Starr (2010) Plant nematodes of agricultural importance a color handbook. Academic Press; San Diego, CA, pp. 1-152.

Esser, R. P. (1972) Effect of sodium hypochlorite concentrations on selected genera of nematodes. Proceeding of the Helmithological Society of Washington, 39(1):108-114.

Kim, D. R., G. H. Gang, H. J. Cho, H. S. Yoon and Y. S. Kwak (2015) Evaluation of antimicrobial activity and disease control efficacy of Sodium dichloroisocyanurate (NaDCC) against major strawberry diseases. Korean J. Pestic. Sci. 19(1):47-53.

Korea Crop Production Association (KCPA). (2016a) 2016 education of pesticide test person in charge. KCPA; Seoul, Korea. pp. 178-181.

Korea Crop Production Association (KCPA). (2016b) 2016 guide book of pesticides. KCPA; Seoul, Korea. pp. 1-1503.

Korea Forest Research Institute. (2009) Development of management technique and culture methods of bonsai. Korea Forest Research Institute; Seoul, Korea. pp. 3-5.

Forest Service. (2016) 2015 survey of forestry product. Forest Service; Daejeon, Korea. pp. 1-617.

Lee, S. M., D. S. Kim, S. G. Lee, N. C. Park and D. W. Lee (2009) Selection of trunk injection pesticides for preventive of pine wilt disease, *Bursaphelenchus xylophilus* on Japanese black pine (*Pinus thunbergii*). Korean J. Pestic. Sci. 13(4):267-274.

Moon, I. S. (1995) Distribution of nematodes associated with forest trees and control of pine wood nematode, *Bursaphenchus xylophilus* in Korea. PhD Diss., Kyungpook National Univ., Daegu, Korea.

Nagase, A., Y. Kuwahara, Y. Tominaga and R. Sugawara (1982) Nematicidal activity of akylamine against the pine wood nematode, *Bursaphelenchus lignicolus*. Agric. Bioi. Chern., 46(1):167-172.

Nam, K. W., M. K. Han and D. H. Yoon (2013) Control effect of sodium dichloroisocyanurate for pear scab (*Venturia nashicola*) on Niitaka pear during flowering period. Kor. J. Organic Agri. 22:347-357.

Q-bank. (2017) European quarantine nematodes. http://www.q-bank.eu/Nematodes/DefaultInfo.aspx?Page=InfoQuarantine. Accessed 22 July 2017.

Shin, W. S., Y. H. Jung, S. M. Lee, C. M. Lee, C. J. Lee, D. S. Kim, I. S. Mun and D. W. Lee (2015) Development of effective screening method for efficacy test of trunk injection agents against pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* in Japanese black pine, *Pinus thunbergii*. Korean J. Pestic. Sci. 19(4):440-449.

University of Nebraska-Lincoln. (2017) A list of exotic nematode plant pests of agricultural and environmental significance to the United States. http://nematode.unl.edu/pesttables.htm. Accessed 22 July 2017.

Weischer, B. and D. J. F. Brown (2000) An introduction to nematodes: general nematology. Pensoft; Sofia, Bulgaria. pp. 37-70.

분재에서 식물기생선충의 화학적방제

최진영[1] · 정영학[2] · 이동운[3]* · 추호렬[4] · 박정규[4]

[1]㈜농경, [2]㈜에스엠바이오, [3]경북대학교 생태환경관광학부, [4]경상대학교 응용생명과학부

요 약 분재는 주요 산림생산물의 하나로 분재재배 농가에서는 수출 확대를 원하고 있으나 수출을 위해서는 식물기생선충과 같은 검역적 위험요소를 제거해야 한다. 본 연구는 분재에 발생하는 식물기생선충을 방제하여 수출의 장애요인을 제거하기 위하여 수행하였다. 식물내부기생선충 방제를 위하여 소나무재선충 감염 소나무 분재목을 4가지 살선충제(fosthiazate, abamectin, imicyafos, emamectin benzoate)와 살균제인 tebuconazole 현탁액에 침지시킨 결과 fosthiazate의 효과가 가장 높았다. 분재토양에 서식하는 선충 방제를 위하여 고구마뿌리혹선충을 접종 한 토양을 5가지 약제에 침지처리한 결과 침지시간이 길어질수록 방제효과가 높았으며 4,000 ppm 처리에서는 12시간 침지 시 abamectin, fosthiazate와 imicyafos 처리에서 100% 방제되었다. 포스티아제이트와 차아염소산나트륨, 이염화아이소사이아누르산나트륨, 운데카놀은 흙을 제거한 5종 분재소재목(단풍나무, 쥐똥나무, 소사나무, 소나무, 애기사과, 백일홍) 뿌리에서 선충 방제 효과가 높았다. 이들 물질들은 수출분재의 선충방제에 실용적으로 사용할 수 있을 것이다.

색인어 분재, 방제, 선충, 검역, 운데카놀