농약과학회지 (Korean J. Pestic. Sci.)
Vol. 26, No. 4, pp. 338-342 (2022)
Open Access https://doi.org/10.7585/kjps.2022.26.4.338
Online ISSN 2287-2051
Print ISSN 1226-6183

나무주사용 아세타미프리드 단제 및 에마멕틴벤조에이트와 합제의 솔수염하늘소에 대한 살충 활성

이호욱[1] · 이종원[1] · 최재혁[1] · Mwamula Abraham Okki[2] · 이상명[3] · 심기보[4] · 김권수[5] · 이동운[1,2]*
[1]경북대학교 생태과학과, [2]경북대학교 곤충생명과학과, [3]㈜에스엠바이오비전, [4]경상남도 산림환경연구원, [5]제주특별자치도 세계유산본부 한라산연구과

Insecticidal Activity of Trunk Injection Pesticide, Acetamiprid and Mixtures (Emamectin Benzoate and Acetamiprid) on Japanese Pine Sawyer, *Monochamus alternatus*

Ho-Wook Lee[1], Jong-Won Lee[1], Jae-Hyeok Choi[1], Abraham Okki Mwamula[2], Ki-Bo Sim[3], Kwon Su Kim[4], Dong-Woon Lee[1,2]*
[1]Department of Ecological Science, [2]Department of Entomology, Kyungpook National University, Sangju, Korea
[3]SM Biovision Co., Jinju, Korea
[4]Division of Forest Research, Gyeongsangnam-do Forest Environmental Research Institute, Jinju, Korea
[5]Hallasan Research Department, World Heritage Office, Jeju Special Self-Governing Province, Jeju, Korea

(Received on November 26, 2022. Revised on December 6, 2022. Accepted on December 8, 2022)

Abstract Pine wilt disease is caused by the pine wilt nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* transmitted by the *Monochamus* spp.. Recently, mixtures for simultaneous control of pine wood nematodes and insect vectors have been used. In this study, the insecticidal activity of a mixture of emamectin benzoate and acetamiprid against *Monochamus alternatus* was investigated. The insecticidal effect on *M. alternatus* was different between the mixture products. On the 1st day of treatment, the insecticidal effect of the mixture was higher than that of the single agent of acetamiprid, but on the 5th days of treatment, there was no difference in the insecticidal effect between the single agent and the mixture. Among tree injection agents for the prevention of pine wilt nematodes, no significant difference was found in the insecticidal activity against *M. alternatus* of mixed agents containing acetamiprid for controlling insect vectors compared to single agents.

Key words Acetamiprid, emamectin benzoate, mixture, *Monochanus alternatus*, trunk injection

서 론

농약의 혼합사용은 사용목적이나 작용이 다른 2종 이상의 약제를 혼합하여 사용하는 것으로 약제의 살포액 조제시 두 가지 이상의 약제를 혼합하거나 공장에서 하나의 제형으로 제제하여 사용하고 있다(Cloyd, 2011; Kim et al., 2020). 합제 또는 혼합사용은 해충이나 병 혹은 병해충의 동시 방제 등을 위해 사용되고 있으며 이러한 동시 방제를 함으로 인한 노동력 투입의 절감을 가져올 수 있고, 계통이 다른 약제 혼용으로 인해 저항성 발달을 억제할 수 있다(Cloyd, 2011). 이러한 합제의 사용 시에는 함께 사용하는 약제 간의 상승적 상호작용이나 부정적 영향이 없는지 고려되어야 하는데 이를 위해서는 각각의 약제와 혼합제에 대한 생물활성 검정이 필요하다(Cloyd et al., 2007; EPPO Bulletin, 2012).

현재 우리나라에서는 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*)에 의한 소나무재선충병 피해를 예방하기 위해 나무주사용 등록 농약들을 사용하고 있으며 이들 중 일부는 소나무재선충의 매개충을 대상으로 하는 살충제와 합제 형태로 제제화 되어있다(RDA, 2022). 소나무재선충과 매개충인

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

솔수염하늘소 동시 방제를 위한 나무주사용 합제들은 살충제이면서 살선충 효과를 가진 에마멕틴벤조에이트와 살충제인 아세타미프리드를 조합한 제품들과 살충 및 살선충 효과를 가진 아바멕틴과 살충제인 설폭사플로르를 조합한 제품들이 등록되어 있다(RDA, 2022).

소나무재선충 예방 나무주사 약제로 등록된 아바멕틴이나 에마멕틴벤조에이트 단제와 합제의 소나무재선충에 대한 다양한 약제반응에 대한 연구들은 이미 수행되었으며 합제 약제의 살충제 성분들의 소나무재선충에 대한 상승작용은 없는 것으로 밝혀졌다(Lee et al., 2022a, 2022b). 그러나 합제에 대한 매개충의 약제 반응에 대해서는 연구된 바 없어 우리나라에서 단제 성분들이 소나무재선충과 솔수염하늘소 나무주사 약제로 등록되어있는 에마멕틴벤조에이트와 아세타미프리드를 이용하여 단제와 합제 제품별에 따른 솔수염하늘소에 미치는 영향을 연구하였다.

재료 및 방법

솔수염하늘소는 제주의 한라수목원과 경남 진주의 경남산림환경연구원에서 전년도 매개충 산란목에서 부화한성충을 채집하여 우화 1일~3일차 성충을 암·수 구분 없이 개체별로 실험에 사용하였다.

솔수염하늘소에 대한 생물검정은 소나무 가지에 약제를 분무처리한 뒤 이를 먹이원으로 공급하면서 1, 3, 5일차에 치사유무를 조사하였다. 무처리구는 약제 살포가 없었던 소나무재선충 미감염 소나무 3년생 가지를 사용하였으며 실험에 사용한 약제는 소나무재선충병 예방나무 주사 약제로 등록되어 있는 에마멕틴벤조에이트 단제 1종과 합제 3종 및 합제의 살충제 성분인 아세타미프리드 1종을 이용하였다. 약제 처리는 기준량(1/2000배)을 기준으로 일정 배수로 희석하여 처리하였는데 약제 살포는 가정원예용 핸드 스프레이(500 mL)를 사용하여 전체에 약액이 고루 묻도록 분무하였다. 약제를 분무한 소나무 가지는 7~8 cm로 절단하여 30분간 음건하였다. 음건시킨 가지는 직경 100 mm, 높이 40 mm 크기의 곤충사육 용기에 1개씩 넣은 후 솔수염하늘소 1마리씩을 넣었다. 한 반복 당 10마리씩의 솔수염하늘소를 사용하여 3반복 처리하였다. 솔수염하늘소에 대한 각각의 약제들에 대한 치사농도는 Probit 분석을 이용하였다(PROC PROBIT, SAS 9.4 user's guide, 2011).

결과 및 고찰

실험에 사용 한 에마멕틴벤조에이트를 기반으로 하는 합제 제품은 제조사별에 따라 치사 농도 값($LC_{50, 95}$)에 차이를 보였다(Table 2, 3, 4). 처리 1일째와 5일째 반수치사농도는 에마멕틴벤조에이트 2.15% + 아세타미프리드 8% 제품이 가장 낮았고(Table 2, 4), 처리 3일 후에는 에마멕틴벤조에이트 6% + 아세타미프리드 10% 제품이 가장 낮았다(Table 3). 처리 1일과 3일 후의 아세타미프리드에 대한 LC_{50}값은 단제에 비하여 합제에서 낮았으나 5일째에는 단제와 합제간에 차이가 없었다(Table 2, 3). 반면 에마멕틴벤조에이트의 경우 단제에 비하여 합제에서의 LC_{50}값이 낮게 나타났다(Table 2, 3, 4).

Table 1. List of used pesticides

Pesticide with active ingredient (%)
Acetamiprid ME[a)] 10
Emamectin benzoate ME 2.15
Emamectin benzoate + Acetamiprid DC 2 + 8
Emamectin benzoate + Acetamiprid ME 2.15 + 8
Emamectin benzoate + Acetamiprid SL 6+10

[a)]DC; Dispersible concentrate, ME; Microemulsion concentrate, SL; Soluble concentrate.

Table 2. Lethal concentration of emamectin benzoate and mixture against Japanese pine sawyer at 1 day after treatment in laboratory

Treatment	Lethal concentration (ppm; 95% fiducial limit)			
	LC_{50}		LC_{95}	
	Emamectin benzoate	Acetamiprid	Emamectin benzoate	Acetamiprid
Emamectin benzoate (EB) 2.15% (10.75 ppm)	7.60 -	N/D	8.06 -	N/D
Acetamiprid (Ac) 10% (50 ppm)	N/D	3.56 (3.14~ 4.00)	N/D	5.00 (4.25~ 6.50)
EB 6% + Ac 10% (30 ppm + 50 ppm)	1.40 (1.24~1.55)	2.34 (2.07~2.58)	2.24 (1.94~2.99)	5.01 (4.31~6.37)
EB 2% + Ac 8% (10 ppm + 40 ppm)	0.66 (0.58~0.73)	2.63 (2.33~2.93)	1.25 (1.06~1.63)	7.28 (6.09~9.73)
EB 2.15% + Ac 8% (10.75 ppm + 40 ppm)	0.75 (0.67~0.83)	2.78 (2.49~3.09)	1.35 (1.16~1.71)	3.73 (3.23~4.98)

Table 3. Lethal concentration of emamectin benzoate and mixture against Japanese pine sawyer at 3 days after treatment in laboratory

Treatment	Lethal concentration (ppm; 95% fiducial limit)			
	LC_{50}		LC_{95}	
	Emamectin benzoate	Acetamiprid	Emamectin benzoate	Acetamiprid
Emamectin benzoate (EB) 2.15% (10.75 ppm)	2.99 (2.58 ~ 3.53)	N/D	6.43 (5.11 ~ 9.24)	N/D
Acetamiprid (Ac) 10% (50 ppm)	N/D	2.12 (1.82 ~ 2.39)	N/D	4.19 (3.55 ~ 5.55)
EB 6% + Ac 10% (30 ppm + 50 ppm)	1.14 (0.84 ~ 1.31)	2.15 (1.85 ~ 2.43)	2.07 (1.76 ~ 3.16)	4.25 (3.60 ~ 5.64)
EB 2% + Ac 8% (10 ppm + 40 ppm)	0.53 (0.45 ~ 0.60)	2.49 (2.08 ~ 2.83)	1.05 (0.89 ~ 1.39)	5.16 (4.33 ~ 7.06)
EB 2.15% + Ac 8% (10.75 ppm + 40 ppm)	0.58 (0.50 ~ 0.65)	2.36 (1.99 ~ 2.68)	1.14 (0.97 ~ 1.44)	4.54 (3.85 ~ 6.11)

Table 4. Lethal concentration of emamectin benzoate and mixture against Japanese pine sawyer at 5 days after treatment in laboratory

Treatment	Lethal concentration (ppm; 95% fiducial limit)			
	LC_{50}		LC_{95}	
	Emamectin benzoate	Acetamiprid	Emamectin benzoate	Acetamiprid
Emamectin benzoate (EB) 2.15% (10.75 ppm)	2.41 2.08 ~ 2.85	N/D	5.91 4.60 ~ 8.71	N/D
Acetamiprid (Ac) 10% (50 ppm)	N/D	1.80 (1.43 ~ 2.08)	N/D	3.94 (3.27 ~ 5.56)
EB 6% + Ac 10% (30 ppm + 50 ppm)	1.06 (0.69 ~ 1.25)	1.63 (1.23 ~ 1.91)	2.07 (1.74 ~ 3.31)	3.53 (2.92 ~ 5.16)
EB 2% + Ac 8% (10 ppm + 40 ppm)	0.45 (0.36 ~ 0.52)	1.78 (1.17 ~ 2.07)	0.98 (0.82 ~ 1.39)	3.22 (2.73 ~ 5.24)
EB 2.15% + Ac 8% (10.75 ppm + 40 ppm)	0.44 (0.33 ~ 0.51)	1.77 (1.15 ~ 2.09)	0.95 (0.79 ~ 1.39)	3.45 (2.89 ~ 5.51)

제조사별로 에마멕틴벤조에이트와 아세타미프리드의 함량에 차이가 있었지만 아세타미프리드의 함량이 높은 제품들의 반수치사농도 값이 높은 경우도 있어 합제 내 아세타미프리드의 함량에 비례하여 살충효과가 나타나지 않았다. 한편 아세타미프리드 10% 단제와 함량이 같거나 낮은 합제들의 치사약량이 더 낮게 나타나는 것은 에마멕틴벤조에이트에 의한 약효 상승작용 가능성이 있을 것으로 생각되지만 동일 약제의 경우에도 부재나 제형의 차이에서 나타나는 약효 차이도 있기 때문에(Kim et al., 2020) 이러한 부분도 검토되어야 할 것으로 생각된다. 솔수염하늘소 성충에 대해 아세타미프리드 미탁제는 액제에 비하여 비교적 높은 살충활성을 보였다(Cho et al., 2017). 그러나 에마멕틴벤조에이트 합제의 경우 소나무재선충에 대한 살선충 효과나 증식억제 효과에 있어 단제에 비하여 대체적으로 떨어지는 경향을 보였던 것(Lee et al., 2022a, 2022b)과는 달리 솔수염하늘소에 대한 살충 효과는 합제와 단제간에 큰 차이가 없어, 혼합에 의한 살충제 성분의 매개충에 대한 살충력에 부정적인 영향은 없는 것으로 판단된다.

에마멕틴벤조에이트 합제에 의한 솔수염하늘소 치사 농도가 단제에 비하여 낮게 나타나는 것은 합제에 포함 된 에마멕틴벤조에이트에 의한 상승효과보다 합제로 조합된 아세타미프리드에 의한 영향으로 판단되는데 아세타미프리드는 솔수염하늘소나 북방수염하늘소(*Monochamus saltuarius*) 성충에 모두 살충효과가 높았고, 충체 처리법이나 가지 침지법 모두에서 높은 살충활성을 보였다(Cho et al., 2017a; 2017b). 그러나 본 연구에서는 제조사별로 단제와 합제 제품이 모두 판매되고 있지 않아 기존에 등록된 제품을 대상으로 약제반응을 조사하여 개별 단제와 합제의 효과를 검토할 수 없어 에마멕틴벤조에이트와 아세타미프리드 약제 간 직접적인 상호작용이나 상승효과를 확인할 수 없어 향후 이러한 부분에 대해서는 부가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

This study was carried out with the support of 'R&D Program for Forest Science Technology (Project No. "2021333D10-2223-CD02")' provided by Korea Forest Service (Korea Forestry Promotion Institute).

Author Information and Contributions

Ho-wook Lee, Jae-hyuk Choi: Kyungpook National University, Master student

Jong-won Lee: Kyungpook National University, Doctor student

Mwamula Abraham Okki: Kyungpook National University, PhD.

Sang Myeong Lee, SM Biovision Co., PhD.

Ki-Bo Sim: Gyeongsangnam-do Forest Environmental Research Institute, PhD.

Kwon Su Kim: World Heritage Office, Researcher.

DongWoon Lee, Kyungpook National University, Professor, ORCID http://orcid.org/0000-0001-9751-5390.

Research design; Lee DW, Lee SM, Sim KB, Kim KS, Investigation; Lee HW, Lee JW, Choi JH, Okki MA, Lee DW, Data analysis; Lee JW, Lee DW, Writing – original draft preparation; Lee DW, Writing – review & editing; Lee HW, Lee JW, Choi JH, Okki MA, Lee SM, Sim KB, Kim KS, Lee DW.

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literate Cites

Cho WS, Jeong DH, Kim HK, Kim MG, Han JH, et al., 2017a. Insecticidal activity of Sakhalin pine sawyer (*Monochamus saltuarius*) using 5 kinds of insecticides. Korean J. Pestic. Sci. 21(3):241-245.

Cho WS, Jeong DH, Lee JS, Kim HK, Seo ST, et al., 2017b. Insecticidal activity of Japanese pine sawyer (*Monochamus alternatus*) and toxicity test of honeybee (*Apis mellifera*) using 5 kinds of neonicotinoids. Korean J. Pestic. Sci. 21(1): 33-41.

Cloyd RA, 2011. Pesticide mixtures, pp.69-80. (ed. Stoytcheva M.), Pesticides-formulations, effects, fate. InTech Europe. Rijeka, Croatia.

Cloyd RA, Galle CL, Keith SR, 2007. Greenhouse pesticide mixtures for control of silverleaf whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) and two spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). J. Entomol. Sci. 42(3):375-382.

EPPO Bulletin, 2012. Insecticide co-formulated mixtures. 42(3):353-357.

Kim JE, Kim JH, Lee YD, Lim CH, Heo JH, et al., 2020. New agricultural chemistry (second edition), Sigma-press Ltd., Seoul, Korea, Pp60

Lee JW, Mwamula AO, Choi JH, Lee HW, Kim YS, et al., 2022. Comparative bioactivity of emamectin benzoate formulations against the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. Plant Pathol. J. In press

Mayer FL, Ellersieck MR, 1986. Manual of acute toxicity: interpretation and data base for 410 chemicals and 66 species of freshwater animals (No. 160). US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.

Rural Development Administration (RDA), 2022. Pesticide safety information system. http://psis.rda.go.kr (Accessed Mar. 21, 2022).

SAS/STAT® 9.3 user's guide, 2011. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

나무주사용 아세타미프리드 단제 및 에마멕틴벤조에이트와 합제의 솔수염하늘소에 대한 살충 활성

이호욱[1] · 이종원[1] · 최재혁[1] · Mwamula Abraham Okki[2] · 이상명[3] · 심기보[4] · 김권수[5] · 이동운[1,2]*

[1]경북대학교 생태과학과, [2]경북대학교 곤충생명과학과, [3]㈜에스엠바이오비전, [4]경상남도 산림환경연구원, [5]제주특별자치도 세계유산본부 한라산연구과

요 약 소나무 시들음병은 *Monochamus*속 하늘소류에 의해 전파되는 소나무재선충에 의해 발병된다. 최근에 소나무재선충과 매개충 동시방제를 위해 합제들이 사용되고 있다. 본 연구는 에마멕틴벤조에이트와 아세타미프리드 혼합제들의 솔수염하늘소에 대한 살충력을 조사하였다. 솔수염하늘소에 대한 살충효과는 제품 간에 차이가 있었으며 약제처리 1일차에는 아세타미프리드 단제에 비하여 합제의 살충효과가 높았으나 처리 5일차에는 단제와 합제간에 살충효과의 차이가 없었다. 소나무재선충 예방 나무주사 약제들 중에서 매개충 방제용으로 아세타미프리드가 포함된 혼합제들의 솔수염하늘소에 대한 살충력은 단제와 큰 차이가 확인되지 않았다.

색인어 아세타미프리드, 에마멕틴벤조에이트, 혼합제, 솔수염하늘소, 나무주사