



5종의 약제에 대한 북방수염하늘소의 살충활성

조우성 · 정대훈 · 김현경 · 김명기¹ · 한주환¹ · 서상태² · 김길하*

충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, ¹충청북도산림환경연구소, ²국립산림과학원

Insecticidal Activity of Sakhalin Pine Sawyer (*Monochamus saltuarius*) using 5 Kinds of Insecticides

Woo Seong Cho, Dae-Hoon Jeong, Hyun Kyung Kim, Myeong-Gi Kim¹, Ju-Hwan Han¹, Sang-Tae Seo² and Gil-Hah Kim*

Department of Plant Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

¹Chungcheongbuk-do Forest Environment Research Institute, Cheongwon 28199, Korea

²Korea Forest Research Institute, Seoul 02455, Korea

(Received on June 26, 2017. Revised on August 25, 2017. Accepted on September 5, 2017)

Abstract Susceptibility and persistence of Sakhalin pine sawyer, *Monochamus saltuarius* were evaluated by body spray method and twig dipping method using 2 kinds of neonicotinoid and 3 kinds of diamide insecticides. Two neonicotinoid insecticides showed no difference in susceptibility between the 2 experimental methods, and all of them showed 100% mortality at the recommended concentration after 72 h. All of the three diamide insecticides showed very low (<60%) insecticidal activity in the body spray method and twig dipping method, but only 100% in the twig dipping method in the cyantraniliprole. As a result of the residual experiment using 3 insecticides with high insecticidal activity, thiacloprid, acetamiprid showed 80% mortalities respectively, but cyantraniliprole showed 0% mortality. These results suggest that thiacloprid and acetamiprid can be used as a used for controlling *M. saltuarius* adults as vector of pine wilt disease.

Key words *Monochamus saltuarius*, Insecticide, Insecticidal activity, Residual toxicity

서 론

소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*)은 소나무(*Pinus densiflora*)를 말라 죽게 하는 소나무재선충병을 유발하는데 한국, 일본, 중국, 대만을 포함한 동아시아 지역 산림에 심각한 문제를 일으키고 있으며, 최근에는 유럽의 포르투갈과 스페인에도 소나무재선충병이 발생하고 있는 것으로 보고되고 있다(Ichihara et al., 2000; KFRI, 2013a). 소나무재선충은 자체 이동력이 없어 매개충을 통한 감염이 이루어지는데 이들이 소나무의 물관과 수지도에 기생하면서 수분이동을 방해하여 소나무재선충병을 일으키게 된다(Agrios, 2005; KFRI, 2013b).

솔수염하늘소(*Monochamus alternatus*)는 한국, 일본, 중

국, 대만에서 소나무재선충을 매개하는 주요 매개충으로 알려져 있으며 북방수염하늘소(*Monochamus saltuarius*)도 일본의 동북지방과 국내에서도 소나무재선충을 매개하는 것으로 알려졌다(Sato et al., 1987; Kishi, 1995; Kim et al., 2003; KFRI, 2007).

일본에서는 1900년대부터 소나무재선충에 대한 피해가 보고되기 시작했으며, 그 피해가 점차 확산되어 소나무(*Pinus densiflora*)와 곰솔(*P. thunbergii*)이 거의 전멸되었다(Kishi, 1995). 국내에서도 1988년 부산 금정산의 소나무와 곰솔에서 소나무재선충이 처음으로 발견된 이후 소나무재선충병은 계속 확산되어 경상남도에서 전라남도, 경상북도, 강원도, 제주도까지 전파 되어 피해면적이 점점 증가하고 있는 추세이다(Yi et al., 1989; Kwon et al., 2006; KFRI, 2013a).

현재 소나무재선충병의 방제방법으로는 감염목 벌채 후

*Corresponding author
E-mail: khkim@cbnu.ac.kr

훈증처리 또는 소각, 항공살포, 수간주사 등의 화학, 물리, 생태학적 방법들이 시행되고 있다(KFRI, 2010). 그 중에서도 화학적방제방법이 가장 널리 이용되고 있는데 솔수염하늘소와 북방수염하늘소에 대한 약제방제실험과 살충제의 침투이행 · 잔효성 시험, 유인실험, 살충제 처리에 따른 소화효소의 활성변화, 항공방제 등에 관한 연구가 진행되었다(Kishi, 1995; Lee et al., 2003; Park et al., 2007; Ahn et al., 2008; Han et al., 2008; Yu et al., 2016).

그러나 아직까지 북방수염하늘소에 대한 효과적인 약제 선정이 이루어지지 않았기에 본 연구에서는 북방수염하늘소에 대한 총체분무와 가지침지처리 방법을 이용하여 네오니코티노이드계 2종과 디아미이드계 3종 살충제의 살충활성과 야외처리시 약제잔효성을 평가하였다.

재료 및 방법

실험곤충

실험에 사용된 북방수염하늘소(*Monochamus saltuarius*)는 2017년에 충북 옥천군, 괴산군, 단양군, 보은군, 청주시, 충주시의 잣나무림과 소나무림에서 벌채해 놓은 나무를 공시목으로 수집하였다. 수집된 공시목은 충청북도 산림환경연구소 야외 우화상 내에 우물정(井)자로 쌓아두고 16 mesh 철망을 씌운 후 우화한 성충을 채집하였다. 성충은 잣나무 신초를 먹이로 공급하면서 페트리디쉬(Ø 10 × 4 cm)에 한 개체씩 사육하였다. 실내사육조건은 온도 25 ± 2°C, 광주기 16L:8D, 상대습도 45~75%로 하였다.

실험약제

본 실험에서는 네오니코티노이드계 2종(thiacloprid, acetamiprid)과 디아미이드계 3종(chlorantraniliprole, cyantraniliprole, flubendiamide)의 약제를 사용하였다. 실험약제들의 일반명과 제형, 유효성분함량 및 추천농도는 Table 1과 같다(KCPA, 2017).

북방수염하늘소 살충제 감수성 평가실험

총체분무법(body spray method)

5종의 약제에 대한 급성접촉독성을 알아보기 위하여 북방수염하늘소를 1마리씩 개체 사육한 페트리디쉬(Ø 10 × 4 cm)에 소형분무기(0.12 cc/1회)를 이용하여 3가지농도(표준 살포량의 2배, 1배, 1/2배 희석)로 희석된 약액을 총체에 직접 5회 분무 살포하였다. 이후 성충을 꺼내어 새로운 페트리디쉬에 넣고 잣나무 신초 부근 가지를 5~6 cm로 잘라 먹이로 공급하고 25 ± 2°C 조건에서 처리 후 24시간, 48시간, 72시간 후의 사충수를 조사하였다. 음성대조구는 동일한 방법으로 증류수를 처리하였고 모든 실험은 5마리를 한 반복으로 3반복 수행하였다.

Table 1. List of 5 insecticides tested

Insecticides	AI ^{a)} (%) and formulation ^{b)}	Dilution (X)
<i>Neonicotinoids</i>		
Acetamiprid	10 ME	2000
Thiacloprid	10 SC	1000
<i>Diamides</i>		
Chlorantraniliprole	5 WG	2000
Cyantraniliprole	18.66 SC	400
Flubendiamide	20 SC	2000

^{a)} Active ingredient.

^{b)} ME=microemulsion, SC=suspension concentrate, WG=water dispersible granule.

가지침지법(twig dipping method)

가지침지법은 잣나무(*Pinus koraiensis*) 신초(1년생) 부근 가지 5~6 cm를 잘라 약액에 30초간 침지처리하고 음지에서 30분 건조시킨 후 페트리디쉬에 1개씩 공시충과 함께 넣어 주었다. 표준 살포량을 기준량(1배)으로 2배, 1/2배 희석액으로 처리하였다. 처리된 충은 25 ± 2°C 조건에서 처리 후 24시간, 48시간, 72시간 후의 사충수를 조사하였다. 음성대조구는 동일한 방법으로 증류수를 처리하였고 모든 실험은 5마리를 한 반복으로 3반복 수행하였다.

잔효성시험(residual test)

높은 살충활성을 보인 3종의 약제(thiacloprid, acetamiprid, cyantraniliprole)를 야외환경에서 잣나무 가지에 소형분무기(0.12 cc/1회)를 이용하여 약제처리 후, 약제처리 0일, 1일, 3일, 5일 후에 각각 가지를 잘라 페트리디쉬에 공시충 1마리와 함께 넣고, 25 ± 2°C 조건에서 24시간, 48시간 후의 사충수를 조사하였다. 약제 처리농도는 각 농약별로 표준 살포량의 기준량 1가지 희석배수로 하였다. 모든 실험은 5마리를 한 반복으로 3반복 수행하였다.

데이터분석

북방수염하늘소에 대한 살충률 분석과 잔효성에 대한 날짜별 차이에 관한 실험결과 분석은 Tukey's studentized range test로 비교하였다(SAS Institute, 2009).

결과 및 고찰

북방수염하늘소 살충제 감수성

5종의 살충제(네오니코티노이드계 2종, 디아미이드계 3종)를 북방수염하늘소 성충에 대한 총체 분무법을 이용하여 급성접촉독성을 검정하였다(Table 2). 총체분무법으로 처리한 지 48시간 후 기준량 처리에서 네오니코티노이드계 2종의 약제 모두 100%의 살충효과를 보였으며 3종의 디아미이드

Table 2. Comparative toxicity of 5 insecticides against *M. saltuarius* adults by body spray treatment

Insecticide	Dilution (X)	Mortality (%; mean \pm SD) ^a		
		24 h	48 h	72 h
<i>Neonicotinoids</i>				
Acetamiprid	1000	100 \pm 0.0 a	100 \pm 0.0 a	100 \pm 0.0 a
	2000	86.7 \pm 13.3 a	100 \pm 0.0 a	100 \pm 0.0 a
	4000	73.3 \pm 13.3 a	93.3 \pm 6.7 a	93.3 \pm 6.7 ab
Thiacloprid	500	100 \pm 0.0 a	100 \pm 0.0 a	100 \pm 0.0 a
	1000	100 \pm 0.0 a	100 \pm 0.0 a	100 \pm 0.0 a
	2000	100 \pm 0.0 a	100 \pm 0.0 a	100 \pm 0.0 a
<i>Diamides</i>				
Chlorantraniliprole	2000	0.0 \pm 0.0 b	0.0 \pm 0.0 c	13.3 \pm 6.7 c
	200	13.3 \pm 6.7 b	46.7 \pm 13.3 b	60.0 \pm 11.6 bc
Cyantraniliprole	400	0.0 \pm 0.0 b	40.0 \pm 11.6 b	46.7 \pm 13.3 c
	800	0.0 \pm 0.0 b	26.7 \pm 6.75 b	40.0 \pm 11.6 c
Flubendiamide	2000	0.0 \pm 0.0 b	13.3 \pm 6.7 bc	20.0 \pm 11.6 c
<i>df</i>		10	10	10
<i>F</i> -values		47.80	45.49	21.45

^aMeans followed by the same letter within a column are not significantly different at $p < 0.05$ by Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 2009).

Table 3. Comparative toxicity of 5 insecticides against *M. saltuarius* adults by twig dipping treatment

Insecticide	Dilution (X)	Mortality (%; mean \pm SD) ^a		
		24 h	48 h	72 h
<i>Neonicotinoids</i>				
Acetamiprid	1000	86.7 \pm 6.7 ab	93.3 \pm 6.7 a	100 \pm 0.0 a
	2000	80.0 \pm 0.0 ab	93.3 \pm 6.7 a	100 \pm 0.0 a
	4000	66.7 \pm 6.7 bc	93.3 \pm 6.7 a	93.3 \pm 6.7 a
Thiacloprid	500	100 \pm 0.0 a	100 \pm 0.0 a	100 \pm 0.0 a
	1000	86.7 \pm 6.7 ab	100 \pm 0.0 a	100 \pm 0.0 a
	2000	60.0 \pm 0.0 bcd	86.7 \pm 6.7 a	100 \pm 0.0 a
<i>Diamides</i>				
Chlorantraniliprole	2000	13.3 \pm 6.7 e	20.0 \pm 11.6 b	53.3 \pm 6.7 b
	200	26.7 \pm 6.7 cde	93.3 \pm 6.7 a	100 \pm 0.0 a
Cyantraniliprole	400	20.0 \pm 11.6 de	93.3 \pm 6.7 a	100 \pm 0.0 a
	800	0.0 \pm 0.0 e	86.7 \pm 13.3 a	100 \pm 0.0 a
Flubendiamide	2000	0.0 \pm 0.0 e	20.0 \pm 11.6 b	26.7 \pm 6.7 b
<i>df</i>		10	10	10
<i>F</i> -values		25.77	7.37	42.77

^aMeans followed by the same letter within a column are not significantly different at $p < 0.05$ by Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 2004).

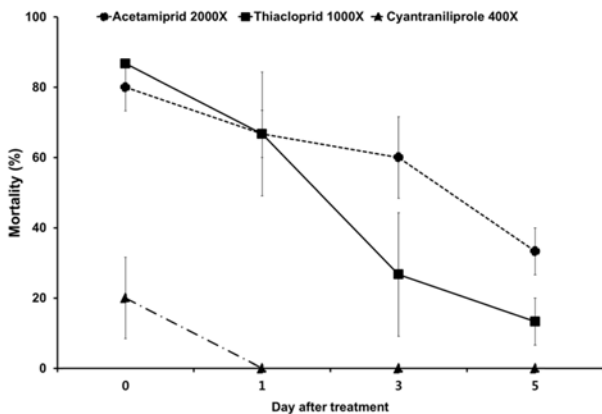
계 약제 모두 50% 이하의 살충활성을 나타내었다. 이 중 thiacloprid와 acetamiprid는 솔수염하늘소에 대해서도 80% 이상의 높은 살충효과를 나타냈으며, 북방수염하늘소에도 90% 이상의 살충효과를 나타냈다(Han et al., 2008; Cho et al., 2017).

5종의 살충제를 북방수염하늘소 성충에 대한 가지침지법

을 이용한 섭식독성을 검정하였다(Table 3). 가지침지법으로 처리한지 48시간 후 기준량 처리에서 90% 이상의 살충효과를 보인 약제는 3종(thiacloprid, acetamiprid, cyantraniliprole)이었으며, 나머지 2종의 디아미드계 약제에서는 20% 이하의 매우 낮은 살충활성을 나타내었다.

북방수염하늘소에 대한 5종의 약제 실험결과 2종의 네오

(A) 24 h after experiment



(B) 48 h after experiment

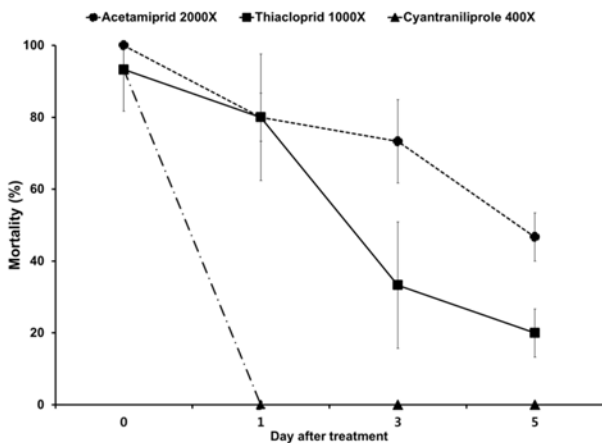


Fig. 1. Residual effects of 3 insecticides against *M. saltuarius* adults under the field condition. The values are presented as the mean \pm SE.

니코티노이드 약제는 총체분무법과 가지침지법에서 모두 높은 살충활성을 보였으나 디아미드계 살충제 중 활성을 보인 cyantraniliprole은 총체분무법에서 보다는 가지침지법에서 더 높은 활성을 보였다. 이는 디아미드계 약제가 곤충의 라이아노딘 수용체(ryanodine receptor)와 결합하여 해충의 근육을 과도하게 수축시켜 죽게하고 섭식을 억제하는 약제로 접촉독성보다는 섭식독성을 갖는 특성을 갖기 때문이다(Sattelle et al., 2008; Kim et al., 2014).

잔효성

북방수염하늘소 성충에 대하여 가지침지법으로 처리한지 48시간 후 기준량 처리에서 90% 이상의 살충효과를 보인 약제 3종에 대한 잔효성을 검정하였다(Fig. 1). 24시간후 약제활성을 확인한 결과, 약제처리 직후의 나뭇가지를 넣은 처리구에서는 cyantraniliprole을 제외한 2종의 네오니코티노이드계 약제에서 80~100%의 살충효과가 나타났으나 시간이 지날수록 효과가 감소하여 약제처리 1일 후의 가지치

리구부터는 80% 이하의 살충활성이 나타났다. 그러나 48시간후에 조사한 결과 3종의 약제 모두에서 약제처리 직후 80% 이상의 살충활성을 보였다. 또한 약제처리 1일이상 경과하였을 경우 모든 약제 처리구에서 살충활성이 감소하는 것을 알 수 있었으나 thiacloprid 처리구의 경우 약제처리 5일이 경과하였을 경우에도 50% 이상의 살충활성을 보여 가장 활성이 높았다. Cyantraniliprole이 조사 시간에 따른 활성차이를 보이는 것은 디아미드계인 이 약제의 특성상 섭식독으로 작용하여 활성이 급성으로 나타나지 않는 것으로 본 실험의 분무실험과 가지침지법의 결과가 이를 뒷받침해 준다. 그러나 cyantraniliprole의 경우 약제처리 1일 후의 가지에서는 살충효과가 보이지 않아 잔효성이 전혀 없는 것으로 보인다. 이와 같은 결과는 약제를 야외환경의 가지에 처리하고 그대로 노출시키면 약제 활성이 외부환경에 영향을 받아 감소하는 것으로 보이며 이는 약제의 구조적 특성과 제형에 따라 차이가 나타날 수 있다(Choi et al., 1989; Cho et al., 2017).

이상의 결과를 종합하여 볼 때 thiacloprid와 acetamidrid 약제가 가장 효과적인 약제이며, 북방수염하늘소 방제에 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 2016년 산림과학연구원 과제(FE0702-2016-01-2016)의 지원으로 수행되었습니다.

Literature Cited

- Agrios, G. (2005) Plant Pathology (5th ed.). Academic Press, Burlington, USA. pp. 922.
- Ahn, H. G., M. K. Kim, J. O. Yang, D. J. Noh, S. H. Kang and G. H. Kim (2008) Attractive efficacy of ipsenol and ipsdienol against *Monochamus saltuarius* Gebler (Coleoptera: Cerambycidae). Korean J. Pestic. Sci. 12:391-396.
- Cho, W. S., D. H. Jeong, J. S. Lee, H. K. Kim, S. T. Seo and G. H. Kim (2017) Insecticidal activity of Japanese pine sawyer (*Monochamus alternatus*) and toxicity test of honeybee (*Apis mellifera*) using 5 kinds of neonicotinoids. Korean J. Pestic. Sci. 21:33-41.
- Choi, S. Y., Y. S. Kim, M. R. Lee, H. W. Oh and B. K. Jeong (1989) Studies on the acute and chronic toxicities of pesticides to the honeybees, *Apis mellifera*. Korean J. Apicul. 4:85-89.
- Han, J. H., J. H. You, E. H. Kim, J. O. Yang, D. J. Noh, C. M. Yoon and G. H. Kim (2008) Susceptibility of pine sawyer, *Monochamus saltuarius* adults (Coleoptera: Cerambycidae) to commercially registered insecticides. Korea. J. Pestic. Sci. 12:262-269.
- Ichihara, Y., K. Fukuda and K. Suzuki (2000) Early symptom

- development and histological change associated with migration of *Bursaphelenchus xylophilus* in seeding tissues of *Pinus thunbergii*. *Plant Disease* 84:675-680.
- Korea Crop Protection Association (2017) Agrochemicals user's guide book. Seoul, Korea.
- Kim, D. S., S. M. Lee, I. S. Moon, Y. J. Chung, K. S. Choi and J. G. Park (2003) Emergence ecology of Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a vector of pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. *Korean J. Appl. Entomol.* 42:307-313.
- Kim, G. H., S. H. Lee and Y. J. Ahn (2014) Principles and applications in insect toxicology. Worldscience, Seoul, Korea. pp. 39.
- Kishi, Y. (1995) The pine wood nematode and the Japanese pine sawyer. Thomas Company Ltd, Tokyo, Japan. pp. 302.
- Korea Forest Research Institute (2007) Damage characteristics and control strategies of pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* in Korean white pine forest. Korea Forest Research Institute, Seoul. pp. 1-12.
- Korea Forest Research Institute (2010) Development of mechanism and control system of pine wilt disease. pp. 13.
- Korea Forest Research Institute (2013a) Annual Report of Monitoring for Forest Insect Pests and Diseases in Korea.
- Korea Forest Research Institute (2013b) Study of ecological characteristics and natural enemy utilization of pine wilt disease vector. pp. 5.
- Kwon, T. S., J. H. Lim, S. J. Sim, 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. saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) in Korea. *J. Korean For. Soc.* 95:543-550.
- Lee, S. M., Y. J. Chung, S. G. Lee, D. W. Lee, H. Y. Choo and C. G. Park (2003) Toxic effect of some insecticides on the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*. *J. Korean For. Soc.* 92:305-312.
- Park, Y. C and S. Cho (2007) Changes in esterase isozyme activity after pesticides treatment in digestive juice of *Monochamus saltuarius* (Gebler) adult. *Korean J. Pestic. Sci.* 11:179-185.
- SAS Institute (2009) SAS user's guide; statistics, version 9.1 ed. SAS Institute, Cary, NC.
- Sato, H., T. Sakuyama and M. Kobayashi (1987) Transmission of *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhner) (Nematoda, Aphelenchoididae) by *Monochamus saltuarius* (Gebler) (Coleoptera, Cerambycidae). *J. Jpn. For. Soc.* 69:492-496.
- Sattelle, D. B., D. Cordova and T. R. Cheek (2008) Insect ryanodine receptors: molecular targets for novel pest control chemicals. *Invert Neurosci.* 8:107-119.
- Yi, C. K., B. H. Byun, J. D. Park, S. I. Yang and K. H. Chang (1989) First finding of the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhner) Nickle and its insect vector in Korea. *Res. Rep. For. Res. Inst.* 38:141-149.
- Yu, H. B., Y. H. Jung, S. M. Lee, H. Y. Choo and D. W. Lee (2016) Biological control of Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) using Korean entomopathogenic nematode isolates. *Korean J. Pestic. Sci.* 20:361-368.

5종의 약제에 대한 북방수염하늘소의 살충활성

조우성 · 정대훈 · 김현경 · 김명기¹ · 한주환¹ · 서상태² · 김길하*

충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, ¹충청북도산림환경연구소, ²국립산림과학원

요약 5종의 살충제를 사용하여 북방수염하늘소(*Monochamus saltuarius*) 성충에 대한 가지침지법과 충체분부법에 의한 약제 감수성과 야외에서 잔효성을 조사하였다. Acetamiprid와 thiacloprid는 생물검정법간의 약제 감수성 차이는 없었으며, 추천농도에서 모두 100%의 살충률을 보였다. 그러나 3종의 디아미드계 약제 중 chlorantraniliprole과 flubendiamide는 낮은 살충활성을 보였고, cyantraniliprole은 충체분부에서는 낮은 살충활성을 보였으나 가지침지법에서는 100%의 살충활성을 보였다. 살충효과를 보인 3종 약제를 이용하여 잔효성 실험을 한 결과, 약제처리 1일째의 가지를 넣은 처리구에서 48시간 후에는 thiacloprid와 acetamiprid는 80%의 살충활성을 나타내었으나 cyantraniliprole은 0%였다. 이상의 결과로 thiacloprid와 acetamiprid는 북방수염하늘소 방제에 이용이 가능할 것으로 생각된다.

색인어 북방수염하늘소, 살충제, 살충활성, 잔효성