



배추에서 이미시아포스 액제 처리 시기와 횟수에 따른 씨스트선충, *Heterodera* spp.,의 방제효과

김정은[†] · 정문기[†] · 김영준 · Md. Faisal Kabir · Mwamula Abraham Okki · 안현정 · 김현국 · 이재국¹ · 권순배² · 이동운*
 경북대학교 생태과학과, ¹국립농업과학원 작물보호과, ²강원도 농업기술원 산채시험장

Efficacy of Imicyafos SL against Cyst Nematode, *Heterodera* spp., Depending on Time and Periodic Number of Applications in Chinese Cabbage

Jeongeun Kim[†], Mun Gi Jeong[†], Yeongjun Kim, Md. Faisal Kabir, Mwamula Abraham Okki, Hyunjung Ahn, Hyunguk Kim, Jae-Kook Lee¹, Soon-Bae Kwon² and DongWoon Lee*

Department of Ecological Science, Kyungpook National University, Sangju 37224, Korea

¹Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Wild Vegetable Research Institute, Gangwondo Agricultural Research & Extension Services, Pyeongchang 25300, Korea

(Received on November 19, 2017. Revised on November 22, 2017. Accepted on November 27, 2017)

Abstract This research was conducted to test the efficacy of a non-fumigant nematicide against the cyst nematode, *Heterodera* spp., a pathogen which severely damages Chinese cabbage in highland areas of Korea. 4000 folds diluted imicyafos 30% SL was applied at a rate of 2 L/m² in laboratory and field experiments based on two parameters; treatment time (treated on transplanting day, 10, 20 and 30 days after transplanting), and periodic number of treatments (2, 3, and 4 times of treatment). Early application of imicyafos 30% SL exhibited the best efficacy against *Heterodera* spp., and the 4 time periodic treatment was more efficient in lowering cyst nematode population at 40 and 70 days after transplanting, in both laboratory and field conditions. Soil drenching with imicyafos SL could be effectively used for cyst nematode control in highland Chinese cabbage fields.

Key words Chinese cabbage, Cyst nematode, Highland, Nematode control, Treatment time

<< ORCID

Dong Woon Lee

<http://orcid.org/0000-0001-9751-5390>

서 론

우리나라에서 배추(*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*)는 무(*Raphanus sativus*), 양파(*Allium cepa*), 마늘(*Allium sativum* L.), 파(*Allium fistulosum*)와 함께 경제적으로 중요한 작물이

다(Kim et al., 2014; KREI, 2012). 배추재배는 전국적으로 이루어지고 있으며 배추는 재배시기에 따라 봄배추, 여름배추, 가을배추, 겨울배추 네 가지로 구분 할 수 있는데 총 배추재배 면적은 2016년을 기준으로 23,093 ha이다(KOSIS, 2016). 봄 배추의 경우 580 ha (32.2%)로 경상북도에서 가장 많이 재배되고 있으며 가을배추와 겨울배추는 전라남도에서 가장 많이 재배하고 있다. 반면 여름배추는 대부분 강원도 고령지 지역에서만 3,940 ha (90.2%)가 재배되고 있다(KOSIS, 2016).

우리나라에서 해발 600 m 이상의 고령지면적은 16,492ha

*Corresponding author

E-mail: whitegrub@knu.ac.kr

[†]These authors contributed equally to this work.

이며 강원도에 99.8%가 위치해 있다(Jeon, 1997). 강원도의 고랭지대는 연평균 기온이 낮고 다습한 기후를 가지고 있어 배추, 양배추(*Brassica oleracea*), 시금치(*Spinacea oleracea*) 등의 엽채류를 재배하기 적당한데 특히 배추는 타 지역에서 배추를 출하하기 힘든 여름에 출하가 가능하여 다른 작물에 비해 재배면적이 넓은 주요 고랭지 경작 작물이다(National Institute of Highland Agriculture, 2002).

배추 재배지에는 무사마귀병(*Plasmodiophora brassicae*), 파밤나방(*Spodoptera exigua*), 배추좀나방(*Plutella xylostella*) 등 다양한 병해충이 발생하는데, 2011년 7월 검역규제 선충인 클로버씨스트선충(*Heterodera trifolii*)이 강원도 태백시 창죽동, 원동, 하사미동 일대의 배추 재배지에서 발생하였는데(Park et al., 2011) 이 후 rDNA ITS 염기서열 분석을 통하여 클로버씨스트선충과 유사한 *Heterodera* spp.의 사탕무씨스트선충(*Heterodera schachtii*)으로 동정하였고, 이들은 2013년에 삼척시, 태백시, 정선군 등 약 70개포장에서 38 ha가 추가 발생하여 고랭지 배추재배지의 문제선충으로 부각되었다(Lee et al., 2013). 하지만 근래에 이들 고랭지 배추 재배지에서 분리한 씨스트선충의 동정결과는 사탕무씨스트선충과 클로버씨스트선충이 혼재하고 있는 것으로 나타나고 있다(Okki et al., 2017).

*Heterodera*속에 속하는 씨스트선충류는 세계전역에 넓게 분포하고 있는데 클로버씨스트선충은 유럽, 미국, 캐나다, 호주, 인도 등의 전역에 분포하고, 110종이상의 기주식물에 피해를 주고 있으며 사탕무씨스트선충도 유럽지역을 비롯하여 미국, 멕시코, 세네갈 등 다양한 지역에 분포하면서 넓은 기주범위를 가지고 있다(Evans and Rowe, 1998).

씨스트선충을 관리하는 방법에는 저항성 품종 재배, 휴경, 윤작 및 화학적 방제와 같은 다양한 방법들이 있다(Griffin, 1987; Turner and Rowe, 2006). 일반적으로 살선충제는 반응성이 높은 할로겐화물이 선충의 -SH, -OH기 등과 반응하면서 활성을 저해하고, 생체기능을 저하시켜 죽이는 작용기작을 가지고 있다(Woods et al., 1999; Jung et al., 2004). 국내에는 2017년 기준 선충 방제용 약제 32품목이 등록되어 있으며 그 중 뿌리를 가해하는 뿌리혹선충과 뿌리썩이선충에 등록된 약제가 26품목으로 주종을 이루고 있고, 씨스트선충 방제제로는 훈증제인 다조멧 입제와 메탐소듐 액제만이 등록되어 있다(KCPA, 2017). 따라서 현재까지 우리나라 고랭지에서 문제시 되고 있는 씨스트선충류의 방제는 토양훈증제를 처리 후 비닐피복을 하거나 휴경과 유인작물인 화이트머스타드(*Sinapis alba*)를 이용하고 있는 실정이다.

화이트머스타드는 이들이 분비하는 뿌리 삼출액에 의해 사탕무씨스트선충이 부화는 되지만 화이트머스타드에 침입 후 다음 세대로 발육하지 못하기 때문에 선충의 밀도를 낮추는데 효과가 있다(Gardner and Caswell-Chen, 1993; Lee et al., 2016). 하지만 이러한 화이트머스타드와 같은 유인

녹비작물을 이용하는 방법은 선충을 박멸 할 수 있는 것이 아니고, 밀도를 조절하여 경제적 피해수준 이하로 낮추는 것뿐이며 설치비용과 휴경보상 비용이 상당하다는 문제가 있다(Griffin, 1981; Gardner and Caswell-Chen, 1993). 또한 훈증제를 이용하여 선충 방제를 하기 위해서는 토양에 훈증제를 처리 한 후 비닐로 피복을 해야만 충분한 효과를 볼 수가 있는데 강원도 고랭지 농경지의 경우 경사도가 높은 산지에 위치하고 있어, 피복작업이 어려운 곳들이 많다. 따라서 고랭지 농경지에서 선충을 방제하기 위해서는 피복을 하지 않는 방제제 적용이 현실적인 방법이다. 비훈증성 살선충제들 중 이미시아포스는 고무마뿌리혹선충(*Meloidogyne incognita*)과 땅콩뿌리혹선충(*M. hapla*)과 같은 뿌리혹선충류 뿐만 아니라 사탕무씨스트선충에 대한 높은 살선충 활성과 부화억제 효과가 실내 실험에서 입증된바 있다(Kim et al., 2015, 2016b).

따라서 본 연구에서는 선행연구에서 사탕무씨스트선충에 대한 살선충 활성이 실내 실험을 통해 검증 된 이미시아포스를 이용하여 포트와 야외에서 효과를 조사하였는데 비닐 피복을 하지 않고 작기 중에도 처리할 수 있는 제형인 액제를 이용하여 처리시기와 처리횟수별에 따른 방제효과를 연구하였다.

재료 및 방법

씨스트선충의 분리와 씨스트선충 알 확보

실험에 사용된 씨스트선충은 강원도 정선군 임계면 돈들길 50-3(N 37°26'23.20", E128°51'23.80")과 태백시 삼수동 6-3(N 37°25'58.26", E128°98'30.96")의 씨스트선충 감염포장에서 토양을 채취하여 실내에서 분리 하여 사용하였는데 씨스트선충은 사탕무씨스트선충과 클로버씨스트선충이 혼재하고 있어(Okki et al., 2017) 두 선충을 구분하여 실험하지는 않았다. 씨스트 분리는 10 L 비이커에 고루 섞은 토양을 300 cc 넣고, 물을 500 ml 채운 다음, 고루 섞은 뒤 20, 60, 325, 400 mesh 체로 걸렀는데 씨스트는 60 mesh 체를 통과하지 못하고 걸리게 된다(Eisenback and Sipes, 1998). 지름 8 cm 유리깔때기에 지름 150 mm 여과지(ADVANTEC 2)를 4등분으로 접어 깔때기에 삽입한 뒤 60 mesh 체에 걸린 부유물을 부여준 후 현미경을 통해 씨스트를 분리하였다. 분리 한 씨스트는 해부현미경 하에서(Nikon SM1000, Japan) 알이 가득 차있는 건전한 씨스트 만을 선별하여 사용하였다.

씨스트선충의 알은 수집 된 건전한 씨스트를 1.5 ml 코니칼튜브(conical tube, SPL, Korea)에 넣고, Homogenizer (PT 1300 D, Kinematica, USA)를 이용하여 8000 rpm으로 3초간 씨스트겉질을 깎 다음 알만을 모아 실험에 사용하였다.

포트실험

포트에서 이미시아포스 액제 처리 효과 실험은 처리 시기

별 실험과 처리 횟수별 실험을 수행하였다. 두 실험 모두 imicyafos 30% 액제를 L당 0.25 ml 농도로 희석하여 사용하였다.

포트실험은 직경 14 cm × 높이 10 cm 크기의 플라스틱 포트에 살균한 밭 토양 800 g씩을 넣은 뒤 파종 20일 된 춘광 배추묘를 심고, 물을 충분히 관주하였다. 다음날 물이 적당히 마른 것을 확인 한 후 Griffin (1981)이 제시 한 경제적 피해허용 수준인 토양 1 g당 씨스트선충 알 2개의 밀도로 각 포트 당 1,600개의 알을 접종하였다. 접종은 옮겨 심은 배추의 뿌리 주변 네 방향에 10 ml 피펫팁으로 2 cm 깊이의 구멍을 내고, 피펫을 이용하여 접종하였다.

처리시기별 효과실험

처리시기별 실험은 위에서 언급한 방법으로 포트에 선충 알을 접종한 후 정식 당일과 정식 10일 및 20일 후로 처리시기를 나누어 각각 1회씩 이미시아포스 액제를 처리하였다 (Table 1). 4000배로 희석한 이미시아포스 액제는 각 포트 당 30.8 ml씩 처리하였다. 30.8 ml (4 L/m² 기준)씩 표면에 관주처리하였다. 무처리구는 물만 처리하였고, 하나의 포트를 한 반복으로 10반복으로 처리하였다.

처리횟수 별 효과실험

처리횟수 별 실험은 선충 알을 접종한 포트에 Table 1과 같이 이미시아포스 액제를 처리횟수를 달리하여 처리하였다.

Table 1. Number of treatment and treatment schedule of imicyafos 30% SL in pot experiment

No. of treatment	Day of treatment	Date of treatment
4	0/10/20/30*	5.31/6.10/6.20/6.30
3	10/20/30	6.10/6.20/6.30
2	10/30	6.10/6.30
2	10/20	6.10/6.20

*0: application on the day of transplanting; 10: 10 days after transplanting; 20: 20 days after transplanting; 30: 30 day after transplanting.

Table 2. Number of treatment and treatment schedule of imicyafos 30% SL in field experiment

Experiment	No. of application time	Time of treatment (days)	Treatment date
Number of treatment	4	0/10/20/30*	5.20/5.30/6.09/6.19
	3	10/20/30	5.30/6.09/6.19
	2	10/30	5.30/6.19
	2	10/20	5.30/6.09
Treatment time	1	0	8.7
	1	10	8.17
	1	20	8.27
	1	30	9.6

*With reference to Table 1.

즉 정식 당일과 정식 10, 20, 30일 후 등 총 4회(0, 10, 20, 30) 처리와 3회(10, 20, 30), 2회(10, 30일 후와 10, 20일 후) 처리를 하였는데 무처리구는 각 처리횟수 별로 물만 처리하였다. 하나의 포트를 한 반복으로 10반복 처리하였다.

각각의 포트들은 완전임의배치법으로 25 ± 4°C 실험실 내 생육대에 올려 놓고, 형광램프(FL 40PG EAGLITE, NAMYUNG, Korea) 광원하에서 생육시켰는데 관수는 40일 묘까지는 포트당 매일 30 ml씩 관주하였고, 이 후부터 조사일 전까지는 60 ml씩 관주 하였다.

두 실험의 효과 조사는 처리 40일 후에 포트 내 토양으로부터 배추 뿌리를 조심스럽게 들어내어 배추뿌리에 기생하고 있는 암컷 씨스트선충 수와 씨스트 및 씨스트 내 알 수를 조사하였고, 토양 속에 있는 선충과 씨스트 및 알 수도 별도로 조사하였다.

야외실험

이미시아포스 액제처리 야외 실험도 포트 실험과 같이 처리시기별과 처리횟수 별로 구분하여 두 번의 실험을 수행하였다. 두 실험 모두 imicyafos 30% 액제를 기준량(0.25 ml/L)으로 관주 처리하였는데 실험은 태백시 삼수동의 밭(N 37°25'58.26", E128°98'30.96")에서 사전조사로 씨스트선충의 발생여부를 확인 후 수행하였다. 시험포장은 폭 50 cm × 길이 20 m의 고랑을 만든 뒤 시중에서 구입한 춘광배추 20 일묘를 30 cm간격으로 정식한 후 실험하였다.

처리시기에 따른 방제효과

처리시기별 실험은 Table 2와 같이 정식 당일인 8월 7일 (0) 처리와 10일 후(10), 20일 후(20), 30일 후(30)로 나누어 수행하였는데 1개의 고랑을 한 반복으로 난괴법 3반복 처리하였다. 약제를 처리하지 않은 무처리구를 두었는데 씨스트 선충 조사는 정식 전 토양 내 씨스트 수와 씨스트 내 알 수를 조사하였고, 정식 40일 후와 70일 후에 토양과 배추뿌리에서 암컷 씨스트선충 수와 씨스트 수 및 알 수를 각각 조사하였다. 조사는 각각의 고랑에서 배추 10포기를 조사하였

는데 각 배추별로 씨스트와 씨스트 내 알 수를 조사하였고, 토양 내 씨스트선충 조사는 각 반복 내에서 배추 뿌리 채취 시 주변에 붙어 있던 흙들을 모두 모아 고루 섞은 뒤 300 cc를 취하여 씨스트선충 수와 씨스트 수 및 알 수를 조사하였다.

처리횟수에 따른 방제효과

이미시아포스 처리 횟수 별 실험은 Table 2와 같이 횟수를 4회(0, 10, 20, 30), 3회(10, 20, 30), 2회(10, 30일 후와 10, 20일 후)로 구분하여 처리하였는데 배추 정식은 5월 20일에 하였으며 1개의 고랑을 한 반복으로 난괴법 3반복 처리하였다. 약제를 처리하지 않은 무처리구를 두었으며 씨스트선충 조사는 처리시기별 실험과 동일하게 정식 전 토양 내 씨스트 수와 씨스트 내 알 수를 조사하였고, 정식 40일 후와 70일 후에 토양과 배추뿌리에서 암컷 씨스트선충 수와 씨스트 수 및 알 수를 각각 조사하였다. 조사방법도 처리시기별 실험과 동일하게 하였다.

통계처리

각 처리별 씨스트선충 수와 씨스트, 알 수 등은 처리 평균 간 차이를 Tukey's Studentized Range (HSD) Test를 이용하여 분산분석 하였는데 알 수는 log변환하여 분석하였다 (SAS 9.3 user's guide, 2011). 알 수 자료의 결과는 log변환 전의 값으로 표기하였으며 모든 자료는 평균 ± 표준편차로 표기하였다

결 과

포트실험

처리시기별 효과실험

Imicyafos의 처리시기에 따른 방제효과 실험 결과 정식 직후 관주처리에서 전체 씨스트수(df=3, 36, F=3.1, P=0.0386)와 전체 알 수(df=3, 36, F=25.43, P<0.0001)가 각각 1.7개와 0.6개로 무처리에 비해 밀도가 현저히 감소하였고 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 3).

처리회수 별 효과실험

Imicyafos의 처리회수에 따른 방제효과를 포트에서 실험한 결과 처리횟수가 많을수록 씨스트 수(df=4, 45, F=8.11, P<0.0001) 암컷씨스트선충 수(df=4, 45, F=5.42, P=0.0012), 전체 씨스트 수(df=4, 45, F=5.91, P=0.0007), 씨스트 내 알 수(df=4, 45, F=10.67, P<0.0001), 암컷 씨스트선충 내 알 수(df=4, 45, F=14.53, P<0.0001), 전체 알 수(df=4, 45, F=17.75, P<0.0001) 모두 통계적으로 유의하게 감소하는 경향을 보였다(Table 4).

야외실험

처리시기에 따른 방제효과

야외에서 이미시아포스의 처리시기에 따른 씨스트선충 방제효과를 검정을 한 결과 정식 40일차 조사에서는 정식직후와 정식 10일 후 관주 처리구에서 전체 씨스트 수(df=4, 10,

Table 3. Efficacy of imicyafos 30% SL against cyst nematode depending on treatment time in potted Chinese cabbage

Treatment	Time of treatment (days)*	Number					
		Cysts	Females	Total population	Eggs in cyst	Eggs in female	Total eggs
Imicyafos	0	0.5 ± 0.7b**	1.2 ± 2.1b	1.7 ± 2.1b	0.0 ± 0.0b	0.6 ± 1.0c	0.6 ± 1.0c
	10	14.4 ± 16.6ab	8.3 ± 7.7ab	22.7 ± 22.4ab	2.2 ± 1.2a	2.0 ± 1.4b	2.5 ± 1.3b
	20	20.5 ± 13.2a	14.4 ± 16.6ab	34.9 ± 19.9ab	2.7 ± 1.0a	2.8 ± 0.8ab	3.3 ± 0.4ab
Control	-	11.1 ± 14.4ab	76.4 ± 116.2a	87.5 ± 127.7a	2.3 ± 1.0a	3.7 ± 0.5a	3.7 ± 0.5a

Surveys were made on day 40 after treatment.

*With reference to Table 1.

**Means followed by same letters within the column are not significantly different (Tukey's Studentized Range Test, P<0.05).

Table 4. Efficacy of imicyafos 30% SL against cyst nematode depending on number of treatment in potted Chinese cabbage

Treatment	Time of treatment (days)*	Number					
		Cysts	Females	Total population	Eggs in cyst	Eggs in female	Total eggs
Imicyafos	0/10/20/30	0.0 ± 0.0b**	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b
	10/20/30	0.1 ± 0.3a	0.0 ± 0.0a	0.1 ± 0.3a	19.1 ± 60.4a	0.0 ± 0.0b	19.1 ± 60.4a
	10/30	0.3 ± 0.7a	0.1 ± 0.3a	0.4 ± 0.7a	74.0 ± 158.2a	12.6 ± 39.8a	86.6 ± 156.6a
	10/20	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0b
Control	-	6.0 ± 6.5a	23.4 ± 31.7a	29.4 ± 38.1a	817.5 ± 1016.0a	2028.6 ± 2531.2a	2846.1 ± 3526.7a

Surveys were made on day 40 after treatment.

*With reference to Table 1.

**Means followed by same letters within the column are not significantly different (Tukey's Studentized Range Test, P<0.05).

Table 5. Efficacy of imicyafos 30% SL against cyst nematode depending on treatment time in Chinese cabbage field

Treatment	Time of treatment*	Number					
		Before transplanting		30 days after transplanting		70 days after transplanting	
		Cysts	Total eggs	Cysts	Total eggs	Total cysts	Total eggs
Imicyafos	0	40.9 ± 6.4a**	73.8 ± 78.8a	3.0 ± 2.5a	503.3 ± 150.6a	10.4 ± 2.9a	850.7 ± 207.1a
	10	41.7 ± 10.1a	189.2 ± 198.7a	4.6 ± 2.8a	606.1 ± 425.6a	11.2 ± 1.5a	835.7 ± 408.4a
	20	44.7 ± 17.6a	261.8 ± 340.1a	3.2 ± 4.2a	1687.8 ± 2008.7a	29.6 ± 16.2a	2374.1 ± 2809.3a
	30	36.0 ± 8.7a	72.1 ± 102.1a	9.1 ± 10.3a	782.0 ± 873.7a	20.9 ± 15.2a	1495.8 ± 1824.1a
Control	-	35.6 ± 7.5a	85.9 ± 45.0a	7.8 ± 3.5a	2233.0 ± 799.3a	31.4 ± 13.9a	3181.2 ± 535.5a

Surveys were made on day 40 after treatment.

* With reference to Table 1.

**Means followed by same letters within the column are not significantly different (Tukey's Studentized Range Test, P<0.05).

Table 6. Control efficacy of imicyafos 30% SL against cyst nematode depending on number of treatment in Chinese cabbage field

Treatment	Time of treatment*	Number					
		Before transplanting		30 days after transplanting		70 days after transplanting	
		Cysts	Females	Total eggs	Cysts	Females	Total eggs
Imicyafos	0/10/20/30	51.1 ± 22.3a**	1.3 ± 0.5b	18.5 ± 6.3b	12.3 ± 4.9b	0.3 ± 0.1a	78.4 ± 34.9a
	10/20/30	44.0 ± 16.4a	7.3 ± 2.4ab	186.4 ± 77.4a	7.2 ± 6.0b	2.8 ± 1.8a	262.8 ± 203.5a
	10/30	67.8 ± 7.8a	8.9 ± 2.6a	187.5 ± 75.9a	11.7 ± 5.4b	4.0 ± 2.0a	257.0 ± 244.7a
	10/20	53.3 ± 3.5a	6.9 ± 2.6ab	185.5 ± 181.9a	23.9 ± 5.3ab	2.3 ± 2.0a	303.7 ± 52.2a
Control	-	65.2 ± 24.0a	8.3 ± 3.5a	187.4 ± 43.7a	39.1 ± 15.8a	5.1 ± 6.9a	674.2 ± 763.6a

Surveys were made on day 40 after treatment.

*With reference to Table 1.

**Means followed by same letters within the column are not significantly different (Tukey's Studentized Range Test, P<0.05).

F=0.77, P=0.5674)와 전체 알 수(df=4, 10, F=0.44, P=0.7788)가 무처리에 비해 감소하였으나 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 5). 70일차 조사에서도 정식 직후와 정식 10일 후 관주 처리구에서 전체 씨스트 수(df=4, 10, F=2.1, P=0.1559)와 전체 알 수(df=4, 10, F=0.65, P=0.6369)가 무처리에 비해 전체 씨스트의 수와 알의 수가 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 5).

처리횟수에 따른 방제효과

이미시아포스 액제 처리횟수에 따른 방제효과는 4회 처리구에서 정식 후 40일차 조사 시 전체 알 수가 감소하였고 (Table 6), 통계적으로 유의하였지만(df=4, 10, F=7.38, P=0.0049) 70일차 조사 시에는 전체 알 수는 통계적으로 차이는 없었고(df=4, 10, F=1.37, P=0.3131), 씨스트 수만 통계적으로 차이가 있었다(df=4, 10, F=6.84, P=0.0064).

고 찰

2011년도 강원도 태백에서 사탕무씨스트선충에 의한 고랭지 배추 피해가 국내에 처음 보고 된 이후 매년 피해면적이 증가하고 있는데(Lee et al., 2013) 이를 방제하기 위해 휴경과 화이트머스타드 재배를 주로 이용하고 있으나(Lee

et al., 2016) 이러한 방법은 시간적으로 오래 걸리고, 충분한 방제효과를 기대하는데 한계가 있는 실정이다. 따라서 사탕무씨스트선충이 발생하고 있는 지역에서는 비기주 작물의 재배도 대안으로 제시되고 있으나 고랭지 특성상 재배할 수 있는 작물의 종류가 제한적이고, 사탕무씨스트선충의 기주식물 범위가 넓어 실제로 대체할 수 있는 작물이 가지, 토마토, 상추 등 일부 작물에 국한되고 있다(Kim et al., 2016a). 또한 고랭지 지역은 다른 지역에서는 기상여건으로 인해 재배가 안 되는 시기에 배추와 같은 채소류의 노지 재배가 가능하기 때문에 상대적으로 소득이 높은 배추를 비롯한 고랭지 채소 재배에 대한 요구도가 매우 높은 편이다. 따라서 휴경이나 윤작과 같은 작부체계의 조절을 통한 방제보다 살선충제 처리를 통해 단시간 내에 작물 재배가 가능한 방법에 대한 요구도가 높다. 그러나, 현재까지 씨스트선충 방제제는 비닐피복처리가 필요한 토양훈증제만이 등록되어 있는데(KCPA, 2017) 경사도가 심하고, 높은 산지에 위치하고 있어 경작지 내에 돌들이 많은 고랭지 농경지의 경우 비닐피복작업이 불가능한 곳들이 대부분이다. 따라서 본 연구는 고랭지에 보편적으로 적용할 수 있는 살선충제를 알아보기 위하여 실내에서 씨스트선충에 살선충 및 부화억제 효과가 입증된 imicyafos (Kim et al., 2016b)를 이용하여 실용적인 방제제로의 사용가능성을 알아보려고 수행되었는데 특정 시

기에 1회 관주처리보다는 반복처리 시 방제효과를 높일 수 있었다.

실내실험과 야외실험 모두에서 약제의 처리시기가 늦어질수록 씨스트 형성수나 알 수가 증가되는 경향을 보여주었고, 특히 야외실험에서는 통계적인 유의성은 없었지만 정직직후 처리와 정식 10일후 관주처리가 정식 40일과 70일 조사 모두에서 무처리나 20일, 30일 후 처리보다 낮은 씨스트선충 밀도와 알 수를 보여 실제 포장에서 적용 시 정식 초기에 처리하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

클로버씨스트선충이나 사탕무씨스트선충 유충의 부화는 기주의 뿌리 삼출액에 의해 자극되는데(Sen, 1963; Kabir et al., 2015) 사탕무씨스트선충은 배추뿌리 삼출액 처리 시 4일만에 부화가 시작되었으며 유묘의 묘령이 오래 될수록 부화 최성일이 단축되는 경향을 보였는데 20일묘의 경우 10일을 전후 한 시기에 최대 우화를 보였다(Kabir et al., 2015). 따라서 정식 초기 처리에서 씨스트선충 밀도 억제 효과가 높은 이유는 씨스트선충의 부화가 뿌리 삼출액 노출 20일 이내에 대부분 이루어지기 때문에(Kabir et al., 2015) 이 시기의 약제 처리가 약제 감수성이 높은 부화 된 어린 유충에 대한 치사효과를 높여주었기 때문으로 생각된다.

클로버씨스트선충은 부화한 뒤 수분을 타고 이동하여 뿌리에 침투하는데 침입 후에는 뿌리 피질 속으로 깊숙이 들어가서 탈피 후 3령충으로 성장하고, 4령충 탈피까지 약 26일이 소요된다(Sen, 1963; Oosetenbrink, 1967). 따라서 씨스트선충을 효과적으로 방제하기 위해서는 뿌리 삼출액에 의해 부화 된 유충이 뿌리 피질 속으로 들어가기 전에 방제하는 것이 상대적으로 효과적일 것으로 생각되며 씨스트선충의 부화가 기주식물 뿌리 삼출액에 의해 유도되기 때문에 액상형 제제를 관주처리 할 경우 작물 주변부를 중심으로 처리하는 것이 토양 전면에서 처리하는 것보다 실용적일 것으로 판단된다.

이미시아포스의 처리횟수 별 실험에서는 통계적 차이의 유무가 존재하지만 약제 처리회수가 증가 될수록 씨스트선충이나 씨스트 및 알 수의 감소를 확인할 수 있었는데 포트 실험에서는 10일과 30일차 관주처리구를 제외한 모든 처리구에서 뿌리에 형성 된 암컷 씨스트가 없어 매우 높은 방제효과를 보였다. 또한 포장실험에서는 70일차 조사 시 뿌리에 기생되어 있는 암컷 씨스트 수의 경우 4회 처리 시 94.1%가 낮게 형성되었다. 따라서 처리 된 약제의 식물체내 잔류 문제가 고려 된다면 배추 정식 후 이미시아포스 액제 처리를 통한 사탕무씨스트선충과 클로버씨스트선충의 방제에 실용적으로 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 특히 4월 하순이나 5월 상순에 배추를 정식할 경우 강우가 부족하고, 산간 경사지에 위치한 재배지의 특성으로 주기적인 물 관수를 하고 있는 실정이기 때문에 약제 살포를 위한 추가적인 작업 없이 병행하여 처리할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업 “기후변화에 따른 고랭지 배추 사탕무씨스트선충 확산방지 기술개발(과제번호: PJ010774)”의 지원에 의해 수행되었습니다. 실험에 도움을 준 차윤석, 나희빈에 감사합니다.

Literature Cited

- Eisenback, J. D. and U. Zunke (1998) Extraction, culturing and microscopy. In *The cyst nematodes*; Sharma, S. B. Ed; Kluwer Academic Publishers, Boston, USA. pp. 141-155.
- Evans, K. and J. A. Rowe (1998) Distribution and economic importance. In *The cyst nematodes*; Sharma, S. B. Ed; Kluwer Academic Publishers, Boston, USA. pp. 1-30.
- Gardner, J. and E. P. Caswell-Chen (1993) Penetration, development and reproduction of *Heterodera schachtii* on *Fagopyrum esculentum*, *Phacelia tenacetifolia*, *Raphanus sativus*, *Sinapis alba* and *Brassica oleracea*. *J. Nematol.* 25(4):695-702.
- Griffin, G. D. (1981) The relationship of plant age, soil temperature, and population density of *Heterodera schachtii* on the growth of sugarbeet. *J. Nematol.* 13:184-190.
- Griffin, G. D. (1987) Efficacy of using split and post plant applications of aldicarb for control of *Heterodera schachtii* on sugarbeet. *J. Nematol.* 19 (Annals 1):119.
- Jeon, U. S. (1997) Changes and characteristics of agricultural structure in Gangwon area. In *Understanding of Gangwon Society*; Gangwon Society Study Group Ed; Hanul Academy: Korea, pp. 256-270.
- Jung, Y. H., J. E. Kim, J. H. Kim, Y. D. Lee, C. H. Lim and J. H. Huh (2004) The latest pesticide science. Sigma Press: Seoul, Korea, pp.173-179.
- Kabir, M. F., H. H. Shin, O. G. Kwon and D. W. Lee (2015) Temperature and root extract effect on egg hatching and development of sugar beet cyst nematode, *Heterodera schachtii*. *Korean J. Soil Zool.* 19(1-2):22-27.
- Kim, D. H., M. R. Cho, C. Y. Yang, H. H. Kim, T. J. Kang and J. B. Yun (2016a). Host range screening of the sugar beet nematode, *Heterodera schachtii* Schmidt. *Korean J. Appl. Entomol.* 55(4):389-403.
- Kim, H. H., Y. H. Jung, D. H. Kim, T. K. Ha, J. B. Yoon, C. G. Park and H. Y. Choo (2015). Control effects of imicyafos GR against two species of the root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita* and *Meloidogyne hapla*). *Korean J. Pestic. Sci.*, 19(2):101-105.
- Kim, H. I., C. P. Hong, S. Im, S. R. Choi and Y. P. Lim (2014) Development of molecular markers and application for breeding in Chinese cabbage. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 32(6):745-752.
- Kim, J., A. O. Mwamula, F. Kabir, J. H. Shin, Y. H. Choi, J. K. Lee and D. W. Lee (2016b). Efficacy of different nematicidal

compounds on hatching and mortality of *Heterodera schachtii* infective juveniles. Korean J. Pestic. Sci., 20(4): 293-299.

Korea Crop Protection Association (KCPA) (2017) 2017 pesticide manual. Korea Crop Protection Association. Seoul, Korea. pp.1-1568.

Korea Rural Economic Institute (KREI) (2012) 2012 Food balance sheet. Seoul, Korea.

Korean Statistical Information Service (KOSIS) (2016). 1975-2017 Agricultural area survey: Area of cultivated vegetables. http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0013&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=F1G&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=E1

Lee, J. K., B. Y. Park and M. R. Cho (2013). Sugarbeet cyst nematode occurrence and prevention of diffusion, 2013 Annual Meeting on the Korean Society of Pesticide Science. p. 60. (Abstr.)

Lee, J. K., S. J. Kim, H. L. Go and E. H. Kim (2016) The inhibitory effect of white mustard and buckwheat on the egg hatching inducing density of sugar beet cyst nematode. 2016 Korean Society of Applied Entomology Extra General Conference and Autumn Conference, pp. 69-69. (Abstr.)

National Institute of Highland Agriculture (2002) Highland vegetable growing technology, revision. pp. 1-561.

Okki, M. A., Y. Kim, Y. H. Kim, J. K. Lee, H. R. Ko and D. W. Lee (2017) Morphological and molecular characterization of *Heterodera schachtii* and *H. trifolii*; with comments on coexistence in Chinese cabbage fields of Korea. The 2017 fall conference of the Korean Society of Applied Entomology and international symposium. p. 148. (Abstr.)

Oostenbrink, M. (1967) Studies on the emergence of encysted *Heterodera* larvae. Meded. Rijks. Landb. Gent. 32:503-539.

Park, B. Y., J. K. Lee, M. L. Cho, J. Y. Jeon and D. W. Kim (2011) Detection of *Heterodera trifolii*. Proceedings of the Korean Society of Applied Entomology, pp. 104-104. (Abstr.)

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

Sen, A. K. (1963) Bionomics of the clover cyst nematode, *Heterodera trifolii* (Goffart, 1932) Oostenbrink, 1949 (Nematoda: Heteroderidae). Ms Diss., Oregon State Univ.

Turner, S. J. and J. A. Rowe (2006) Cyst nematodes. In Plant Nematology; Roland N. P. Eds; CABI: Wallingford, UK, pp. 91-122.

Woods, S. R., P. P. J. Haydock and C. Edmunds (1999) Mode of action of fosthiazate used for the control of the potato cyst nematode *Globodera pallida*. Ann. Appl. Biol. 135:409-415.

● ●

배추에서 이미시아포스 액제 처리 시기와 횟수에 따른 씨스트선충, *Heterodera* spp.,의 방제효과

김정은[†] · 정문기[†] · 김영준 · Md. Faisal Kabir · Mwamula Abraham Okki · 안현정 · 김현국 · 이재국¹ · 권순배² · 이동운*

경북대학교 생태과학과, ¹국립농업과학원 작물보호과, ²강원도 농업기술원 산채시험장

요 약 본 연구는 고랭지배추 재배지에서 문제시 되고 있는 씨스트선충을 비훈증제를 이용한 방제 가능성을 알아 보기 위하여 imysiafos 30% 액제를 이용하여 수행하였다. 4000배 농도로 희석한 imysiafos 30% 액제를 2 L/m² 농도로 처리하였는데 처리시기별(정식직후, 정식 10, 20, 30일 후) 효과와 처리회수 별(2회, 3회, 4회) 효과를 실내와 고랭지 배추밭에서 수행하였다. 처리시기별로는 처리시기가 빠를수록 씨스트선충 밀도 억제 효과가 높았으며 처리회수 별 실험에서는 처리 회수가 많을수록 씨스트선충 밀도 억제 효과가 높았다. 고랭지 배추재배지에서 imysiafos액제의 관주처리를 통해 씨스트선충 방제에 실용적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

색인어 고랭지, 배추, 씨스트선충, 선충방제, 처리회수

