

## 강원도 고랭지배추 재배지에서 씨스트선충의 분포 확산

권순배 · 박동권 · 원현섭 · 문윤기 · 이재홍 · 김용복 · 최병곤 · 서현택 · 고희래<sup>1</sup> · 이재국<sup>1</sup> · 이동운<sup>2\*</sup>

강원도농업기술원, <sup>1</sup>국립농업과학원 작물보호과, <sup>2</sup>경북대학교 생태환경관광학부

## Spread of Cyst Nematodes in Highland Chinese Cabbage Field in Gangwon-do

Soon-Bae Kwon, Dong-Kwon Park, Heon-Seop Won, Youn-Gi Moon, Jae-Hong Lee, Yong-Bog Kim,  
Byoung-Gon Choi, Hyun-Taek Seo, Hyoung-Rai Ko<sup>1</sup>, Jae-Kook Lee<sup>1</sup> and Dong Woon Lee<sup>2\*</sup>

Gangwon Agricultural Research & Extension Service, Chuncheon 24226, Korea

<sup>1</sup>Crop Protection Division, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

<sup>2</sup>School of Environmental Ecology and Tourism, Kyungpook National University, Sangju 37224, Korea

**ABSTRACT:** The sugar beet cyst nematode (SBCN), *Heterodera schachtii* first detected in Taebaek, Gangwon-do in 2011, is one of the major plant parasitic nematodes that cause economic damage to the Chinese cabbage in highland regions. In addition, the distribution of clover cyst nematode (CCN), *H. trifolii* was confirmed in the highland Chinese cabbage cultivated regions in 2017. In order to investigate the spread of cyst nematodes, this study has been conducted since 2013 in the highland Chinese cabbage cultivation area. In addition, in 2017, the Real-Time PCR technique with the species-specific primer was used to investigate those two cyst nematodes and the soybean cyst nematode (SCN), *H. glycines* which is known for its distribution in Korea, focusing on the main production regions of highland Chinese cabbage cultivation. The number of infected fields in the Chinese cabbage plantation in highland increased every year to confirm distribution in Taebaek, Samcheok, Jeongseon and Gangneung in 2017, and the cumulative number of infection fields reached 245 by 2017. Of the 41 possible cyst nematode samples for PCR analysis, 61% were CCN, only 9.8% of the SBCN and 29.3% of the SCN were identified. Therefore, some of the previously known SBCN or CCN discoveries are likely to have been infected with SCN. It is believed that the CCN needs to be controlled in the future as CCN have been found to be dominant species in the highland Chinese cabbage plantation regions.

**Key words:** Chinese cabbage, Cyst nematode, *Heterodera glycines*, *H. schachtii*, *H. trifolii*

**초 록:** 2011년 강원도 태백에서 최초 발생이 확인 된 사탕무씨스트선충은 고랭지 배추에 경제적 손실을 주는 주요 선충의 하나이다. 또한 2017년 고랭지 배추 재배지역에서 클로버씨스트선충도 분포가 확인 되었다. 본 연구는 씨스트선충의 확산을 조사하기 위하여 2013년부터 고랭지 배추 재배지역에서 씨스트선충의 발생지역 조사를 수행하였다. 아울러 2017년에는 종 특이 프라이머를 이용한 Real-time PCR 기법으로 이들 두 선충 이외에 국내 분포가 알려진 콩씨스트선충의 검출지를 강원도 고랭지배추 주산지를 중심으로 조사하였다. 고랭지 배추재배지에서 씨스트선충류의 감염포장은 매년 증가하여 2017년 태백, 삼척, 정선, 강릉지역에서 분포가 확인되었으며 정선지역이 2017년까지 누적 감염 포장 수가 245 개로 가장 많았다. PCR 분석이 가능한 41점의 씨스트선충들 중 61%가 클로버씨스트선충이었으며 사탕무씨스트선충은 9.8%에 불과하였고, 콩씨스트선충도 29.3% 확인되었다. 따라서 기존에 알려졌던 씨스트선충 검출 포장의 일부는 콩씨스트선충이 감염되어 있을 것으로 보이며 클로버씨스트선충이 고랭지 배추재배지에 우점하는 것으로 나타나 향후 이 종에 대한 방제 대책이 필요할 것으로 생각된다.

**검색어:** 배추, 사탕무씨스트선충, 씨스트선충, 콩씨스트선충, 클로버씨스트선충

배추(*Brassica campestris* var. *pekinensis*)는 김치의 주원료로 우리나라에서 중요한 작물이다(Kim et al., 2014). 배추는 재

배의 연중생산 체계가 확립되어 4계절 수확이 가능하지만, 해발 400~1,000 m의 강원도 고랭지 권역은 년도별로 차이가 있지만 우리나라에서 출하되는 여름배추의 90% 내외가 재배되고 있다(KOSIS, 2018).

배추에는 다양한 병해충들이 피해를 주고 있는데(Seo et al.,

\*Corresponding author: [whitegrub@knu.ac.kr](mailto:whitegrub@knu.ac.kr)

Received August 9 2018; Revised November 1 2018

Accepted November 14 2018

2009) 강원도 태백시의 고랭지 배추 재배지에서 관리병해충으로 지정된 사탕무씨스트선충(*Heterodera schachtii*)에 의한 피해가 2011년 최초로 확인되었으며(Park et al., 2011) 삼척시와 정선군의 일부 고랭지배추 재배지에서 배추에는 피해를 일으키지 않는 콩씨스트선충(*H. glycines*)도 검출되어 방제 의사결정에 정확한 종 동정의 필요성이 제기 되었다(Ko et al., 2017). 아울러 이들 고랭지 배추재배지에서는 이들 두 씨스트선충 이외에도 클로버씨스트선충(*H. trifolii*)도 혼재하여 발생하는 것으로 확인되었다(Okki et al., 2018).

사탕무씨스트선충은 사탕무(*Beta vulgaris*) 재배지에서 수량손실을 유발하는 주요 선충으로 명아주과, 십자화과, 마디풀과, 콩과 등 23과 95속 200종 이상의 식물을 기주로 하는데 전 세계적으로 61 개국에 분포한다(Steele, 1965; Subbotin et al., 2010). 우리나라에서도 17과 276품종의 식물에 대한 사탕무씨스트선충의 저항성 검정을 통해 감수성 106품종, 중감수성 40 품종을 밝힌 바 있다(Kim et al., 2016).

클로버씨스트선충도 유럽, 아프리카, 아메리카 등 세계 전역의 44 개국에 분포하며 비름과, 배추과(겨자과), 명아주과, 콩과, 꿀풀과, 마디풀과 등 110종 이상의 폭넓은 기주범위를 가지고 있다(Evans et al., 1998; Subbotin et al., 2010).

콩씨스트선충은 콩과 작물에 주로 피해를 일으키지만 22과 63종의 비 콩과 작물이나 9과 66종 이상의 잡초에도 기생을 한다(Subbotin et al., 2010). 우리나라를 비롯하여 중국, 일본, 미국, 브라질, 아르헨티나 등 전 세계 콩 주산지에서 발생이 확인되고 있으며 콩에 발생하는 병해충 중에서 가장 중요하게 취급된다(Donald et al., 2006; Subbotin et al., 2010).

*Heterodera*속 선충은 유전적으로 매우 근연관계의 종으로 형태적으로 매우 유사하다(Starr et al., 2002; Subbotin et al., 2010). 따라서 형태적 특징에 의한 구분에는 고도의 전문성이 필요하여 최근에는 신속하고 정확한 종 동정을 위하여 PCR-RFLP, SCAR-PCR 등 분자진단기술에 의한 동정법이 개발되고 있다(Cui et al., 2017).

종 특이 프라이머(Species specific primer)를 이용하면 특정 종의 선충을 신속하게 동정할 수 있는데 *Heterodera* 속 씨스트선충에 대한 종 특이 프라이머는 Amiri et al. (2002)에 의해 ITS rRNA 영역을 대상으로 연구되기 시작하였고, 최근에는 18S ribosomal RNA, Actin 1과 mitochondrial DNA의 COI 등 다양한 유전자 영역이 종 특이 프라이머 연구에 이용되고 있다(Toumi et al., 2013a, 2013b). 이러한 유전자영역의 염기서열 비교로 종 구분이 어려웠던 *Heterodera* 속 'Schachtii' group에 포함되는 사탕무씨스트선충과 콩씨스트선충, 클로버씨스트선충, *H. daverti*, *H. ciceri*의 종 동정을 간단하게 할 수 있게 되었

다(Vovlas et al., 2015). 그러나 우리나라에서는 2011년 강원도 태백의 고랭지 배추 재배지에서 발견된 씨스트선충이 사탕무씨스트선충으로 동정된 이후 분류학적 고찰 없이 매년 씨스트선충 감염 조사를 수행해 오고 있다. 따라서 본 연구는 2011년 고랭지 배추 재배지에서 발생이 확인된 씨스트선충의 확산에 대한 정보 취득과 혼재가 확인된 3종의 씨스트선충(Ko et al., 2017; Okki et al., 2018) 발생 정도를 알아보기 위하여 수행하였는데 2016년까지는 씨스트선충의 종을 고려하지 않고 감염 포장에 대한 조사를 수행하였으며 2017년에는 3종의 씨스트선충 종 구분이 가능한 종 특이 프라이머를 이용한 Real-time PCR기법으로 우리나라의 고랭지 여름배추 주산지인 강원도 배추포장에 대한 씨스트선충의 분포를 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 고랭지 배추 재배포장 토양채취

2014년부터 2017년까지 국내 여름배추 최대 주산지인 강원도 내 5개 시군(삼척시, 정선군, 태백시, 영월군 및 강릉시)의 배추포장을 대상으로 토양 시료를 채취하였다. 조사 포장은 전년도 발생지 인근을 중심으로 선정하였는데 여름배추의 생육 시기인 6월부터 8월 사이에 전년도 발생 포장 주변을 중심으로 토양 시료를 채취하였다. 토양채취는 배추 생육 중 후기에 포장당 10지점에서 배추 포기 주변 5~20 cm 깊이 토양을 지점당 약 200 g씩 모종삽을 이용하여 채취하여 포장당 2 kg의 토양을 비닐팩에 담아 실험실로 이송하여 8°C 냉장고에 보관하면서 씨스트선충을 조사하였다.

### 포장별 씨스트 분리 및 밀도 조사

선충 씨스트의 분리는 각 토양 시료별로 비닐팩 내에서 골고루 섞은 다음 10 L 비이커에 300 cm<sup>3</sup> 토양을 정량하여 담은 후 6~8 L의 수돗물을 채워서 현탁액을 만든 뒤 이 현탁액을 20 mesh 및 60 mesh체로 차례로 거른 다음, 60 mesh체에 걸러진 씨스트를 회수하여 입체현미경(LEICA-MZ75, Germany)에서 씨스트 밀도를 조사하였다. 또한 20 mesh체에 걸러진 유충의 밀도도 해부현미경 하에서 수행하였다. 씨스트 내의 알 조사는 각 시료별로 3개의 건전한 씨스트를 현미경하에서 임의로 선정한 뒤 표면이 오목한 미생물 계수용 슬라이드글라스 위에 놓고, 끝이 뾰족한 멸균 유리봉으로 씨스트를 터트리고, 증류수 1 ml로 희석한 후 나출된 알 수를 현미경 하에서 조사하였다.

## 선충 씨스트로부터 total DNA추출

선충의 게놈DNA의 추출은 AccuPrep® Genomic DNA Extraction Kit (Bioneer Corporation)를 이용하였다. 각 토양시료에서 분리한 알이 차 있는 건전한 갈색 씨스트 3개씩을 1.5 ml 마이크로튜브에 담아 잘 마쇄하고, 200 µl의 Tissue lysis buffer, 20 µl proteinase K를 첨가하여 60°C에서 3시간 동안 용해반응을 시켰다. 이어서 200 µl의 Binding buffer를 첨가하여 강하게 교반하였다. 이 반응액에 100 µl의 Isopropanol을 첨가하고, 피펫팅으로 고르게 혼합한 용액을 Binding column tube에 넣어 8,000 rpm, 1분간 원심분리를 2회 반복하여 DNA를 column에 흡착시켰다. 이어서 Ethanol을 첨가한 500 µl의 Washing buffer로 column을 원심분리하여 세척하였다. 이어서 column을 새 1.5 ml 마이크로튜브에 옮기고, 200 µl의 Elution buffer를 첨가하여 실온에서 1분간 반응시킨 후, 8,000 rpm에서 1분간 원심분리하여 선충의 정제 DNA를 회수하였다. DNA는 4°C 또는 장기간 이용시에는 -20°C에 보관하였다.

## Real-time PCR을 이용한 *Heterodera* 속(genus) 선충의 종(species) 분석

씨스트선충의 종 분석은 Species Specific Real-Time PCR Nematode diagnostic kits (ClearDetections, The Netherlands)로서 3종 선충(클로버씨스트선충 = RT-N-D-1202, 사탕무씨스트선충 = RT-N-D-1205, 콩씨스트선충 = RT-N-D-1204) 진단키트가 이용되었다. 분석에 이용된 PCR 프라이머는 *Heterodera* 속(genus)으로 분류되는 사탕무씨스트선충, 클로버씨스트선충 및 콩씨스트선충에 대하여 종 판별이 가능하도록 디자인된 종 특이 프라이머(species specific primers)이다. Real-time PCR 기기는 Exicycler™ 96 Real-Time Quantitative Thermal Block (Bioneer Corporation)을 사용하였으며, RT-PCR 분석을 위한 반응물의 조성은 SYBR Green ClearDetections PCR Mixture

15 µl에 각 토양시료의 씨스트에서 추출, 정제한 선충DNA를 멸균증류수로 10배 희석한 DNA용액 5 µl를 추가하여 총 20 µl 용액을 RT-PCR반응에 이용하였다. Real-time PCR의 반응은 enzyme activation (3 min, 95°C) → amplification (10 sec, 95°C -60 sec, 63°C-30 sec, 72°C) 35 cycles, melt curve (0.2~0.5°C steps, 72~95°C)로 하였다. Real-Time PCR의 결과는 Exicycler™ 96 (Ver.4) 분석 프로그램을 이용하여 Ct값과 melting curve를 분석하였으며, 선충 종 동정에 필요한 대조 DNA (Positive control)는 Clear Detections사에서 제공된 3종을 사용하였다. NAC (Negative amplification control)의 Ct값이 산출되지 않았으며, PAC (Positive amplification control)의 Ct값이 25 이하, template DNA의 Ct값이 35 이하일 때를 해당 종에 대한 Pass로 간주하였다.

## 결 과

### 고랭지 배추 재배지 토양 내 씨스트선충 감염 포장 수 및 발생면적

고랭지 배추 재배지역에서 씨스트선충 감염 포장은 매년 확산 되어 2017년까지 정선지역이 245개소로 가장 많았으며 강릉지역은 2017년 조사에서 1곳의 신규 감염 포장이 확인되었다(Table 1). 씨스트선충이 검출된 배추 포장 면적은 매년 증가하였는데 2013년에는 39.6 ha가 추가 되었으며, 2017년에는 31.8 ha가 추가되었다(Table 1).

### 지역별 씨스트선충 종류별 발생분포 및 포장별 씨스트 및 알 밀도조사

2017년 강원도 5개 시군 116개소 고랭지 여름배추 재배 포장에서 작물생육기 토양 내 씨스트선충의 발생상황을 조사한 결과 씨스트선충이 발생한 포장 수는 전체의 36.2%인 42개소

**Table 1.** Number and amount of cyst nematode detected field in highland vegetable cultivation area in Gangwon-do

Year	Number of detected field				Amount of detected field (m <sup>2</sup> )			
	Taebaek	Samcheok	Jeongseon	Gangneung	Taebaek	Samcheok	Jeongseon	Gangneung
2013	40	37	162	-	81,764	192,743	121,588	-
2014	50	5	38	0	113,945	8,904	52,820	-
2015	6	23	23	0	24,000	76,828	97,118	-
2016	24	14	17	0	100,000	74,000	74,000	-
2017*	7	16	5	1	79,077	152,818	80,951	5,000

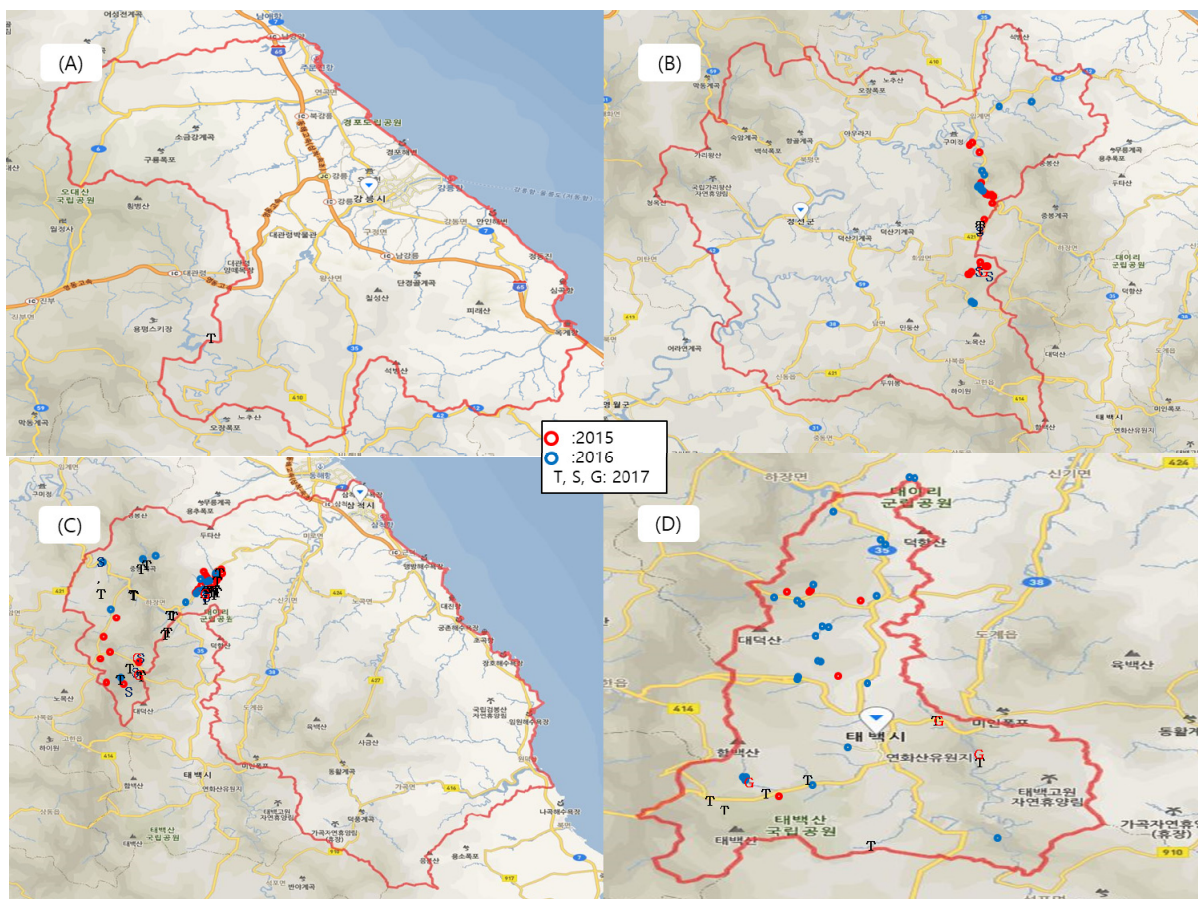
\*Only the number of *Heterodera schachtii* and *H. trifolii* detected field.

**Table 2.** Number and amount of field for survey of cyst nematode and number of cyst and egg in Chinese cabbage field in highland area of Gangwon-do, 2017

Locality	Number of field (detection rate,%)		Amount of area (m <sup>2</sup> )		Mean number ± SD	
	Sampling	With cyst	Sampling	With cyst	Cyst	Egg
Gangneung	10	1 (10)	103,000	5,000	29	1450
Jeongseon	30	5 (16.7)	259,909	77,353	94.6 ± 74.8	3405.4 ± 3149.3
Samcheok	35	23 (65.7)	370,010	251,744	217.3 ± 228.1	15006.9 ± 15594.4
Taebaek	31	8 (25.8)	358,227	85,892	37.4 ± 46.5	2956.9 ± 4426.1
Yeongwol	10	5 (50.0)	37,590	19,110	39.8 ± 59.7	2684.7 ± 3704.3
Total	116	42 (36.2)	1,128,736	439,099	-	-

**Table 3.** Number of cyst nematode positive sampling field in Chinese cabbage field in highland area of Gangwon-do, 2017

Species	Number of positive sampling field (total no. of sampling field)					
	Gangneung (10)	Jeongseon (30)	Samcheok (35)	Taebaek (31)	Yeongwol (10)	Total (116)
<i>H. glycines</i>	0	1	3	3	5	12
<i>H. schachtii</i>	0	3	1	0	0	4
<i>H. trifolii</i>	1	2	15	7	0	25



**Fig. 1.** Cyst nematode detection site in highland Chinese cabbage cultivation area, Gangwon-do from 2015 to 2017. (A) Gangneung, (B) Jeongsun, (C) Samcheok, (D) Taebaek. T, *Heterodera trifolii* detection site; S, *Heterodera schachtii* detection site; G, *Heterodera glycines* detection site.

였다(Table 2). 지역별로 씨스트선충이 검출된 포장의 비율은 차이를 보여 삼척지역이 65.7%로 가장 높았고, 강릉지역은 10%의 검출율을 보였다(Table 2). 토양 300 cc당 씨스트와 알 수는 포장별로 편차가 심하였으나 지역별 평균 수는 씨스트선충이 검출된 포장의 비율이 가장 높았던 삼척지역에서 가장 많았고, 검출율이 가장 낮았던 강릉지역이 가장 적었다(Table 2).

### Real-time PCR을 이용한 *Heterodera* 속 선충의 종별 분포 분석

Table 2에서 조사된 씨스트선충 발생포장 42곳 중에서 선충의 DNA가 확보된 38개 시료에 대하여 Real-time PCR을 이용하여 씨스트선충의 종을 구별할 수 있었다. 사탕무씨스트선충은 4개소, 클로버씨스트선충은 25개소, 콩씨스트선충은 12개소 포장에서 확인되었으며 2개의 선충 종(사탕무 + 클로버씨스트선충 또는 콩 + 클로버씨스트선충)이 혼재하고 있는 배추포장도 각각 1개소와 2개소로 조사되었다(Table 3, Fig. 1).

사탕무씨스트선충의 발생포장은 정선지역 세 곳과 삼척지역 한 곳으로 씨스트선충 감염포장의 3.4%였으며(Table 3, Fig. 1) 발생면적은 0.76 ha이었다. 이들 포장의 토양 300 cc당 밀도는 최저 33개부터 최고 400개 이상으로 발생한 모든 포장에서 고밀도의 씨스트가 존재하였으며, 이들 포장의 배추생육은 정상주에 비하여 매우 위축되고 결구불량 등 비상품율이 전체 포장의 40~50%로 조사되었다(Observation data).

클로버씨스트선충은 영월지역을 제외한 4개 시군, 25개 포장에서 확인되어 전체 조사포장의 21.6%를 차지하여 고랭지 재배지에서 확인된 선충들 중 발생빈도가 가장 높았다(Table 3). 발생면적은 2.42 ha이었으며 이들 발생포장의 토양 300 cc당 씨스트 밀도 60개 이상의 포장은 18개소(발생포장 72%)로 이들 포장의 배추생육은 사탕무씨스트선충 발생포장과 동일하게 정상주에 비하여 매우 위축되고 결구불량 등 비상품율이 전체 포장의 30~40%였다(Observation data).

콩씨스트선충은 강릉지역을 제외한 4개 시군, 12개 포장에서 검출되어 전체 조사포장의 10.3%를 차지하였다(Table 3). 발생면적은 0.92 ha이었으며, 이들 발생포장의 토양 300 cc당 씨스트 밀도 30개 이상의 포장은 6개소(발생포장 50%)로 이들 포장 중에서 태백시 통동 2개소의 포장은 클로버씨스트선충과 복합감염포장이었다(Fig. 1). 콩씨스트선충만 감염된 포장의 배추생육은 비감염주와 생육 차이를 보이지 않았다(Observation data).

## 고찰

우리나라에 분포하는 *Heterodera*속 씨스트선충류는 7종인데(Lee et al., 2018) 이들 중 경제적 피해가 심한 선충은 콩씨스트선충과 사탕무씨스트선충, 클로버씨스트선충이다(Mass and Heijbroek, 1982; Müller, 1999; Wrather et al., 2001). 특히 우리나라에서 관리병해충으로 지정되어 있는 사탕무씨스트선충과 클로버씨스트선충은 우리나라 고랭지 재배지에서 주로 재배되고 있는 배추와 양배추와 같은 십자화과 작물의 생육저하와 수량손실, 상품성 저하를 유발한다(Ko et al., 2017; Lee et al., 2018). 따라서 고랭지 배추 재배지에서 이들 씨스트선충류의 발생은 수량손실 및 상품성 저하 등으로 인해 경제적 손실이 크기 때문에 씨스트선충 발생지에서는 씨스트선충의 유인 녹비작물로 알려진 화이트머스타드를 파종하여 밀도를 줄이는 방제방법을 국가 예산으로 충당하고 있다(Lee et al., 2016; Hemayati et al., 2017). 그러나 본 조사의 결과에서와 같이 씨스트선충 감염 지역은 매년 확산되어 증가하고 있다.

2011년 사탕무씨스트선충으로 동정된 후 국가관리 병해충으로 관리되고 있음에도 불구하고 매년 감염지역이 확산되고 있는 것은 기 발생지역에서 완전방제가 되지 않아 확산원으로 작용하기 때문으로 생각된다. 사탕무씨스트선충은 수확기 때 사용하는 각종 농기계나 운송용 자동차의 바퀴 틈에 부착되는 흙이나 인접 감염 포장의 유거수를 통해 확산된다(Kwon et al., 2016). 강원도 배추 재배농가에서는 수확 전에 미리 상인과 계약하는 포전거래(밭떼기 거래) 형태를 취하는 농가의 비율이 가장 높는데(Kang, 2001) 포전거래를 하는 농가 포장의 경우 수확기 때에 상인들이 구매해 놓은 포장을 옮겨가면서 자체적으로 수확 작업을 하는데 씨스트선충의 감염지에서 비감염지로 이동하면서 작업 시 수송장비나 작업자의 신발을 통해 전파될 수 있다(Kwon et al., 2016). 또한 모든 농가들이 각자의 농기계를 이용하여 개인 포장에 대한 경운작업이나 농기계 작업을 하는 것이 아니고, 한 사람의 농기계가 여러 사람들의 포장을 관리해 주는 경우가 많기 때문에(Observation data) 씨스트선충 감염지에서 작업한 농기계를 통해 확산될 수도 있다. 따라서 매년 공적방제를 통해 사탕무씨스트선충의 신규 감염지를 관리하고 있음에도 불구하고 피해 포장 수와 면적이 증가되는 것으로 생각된다. Kwon et al. (2016)도 고랭지 배추 재배지에서 사탕무씨스트선충의 확산 방지를 위해서는 작업자의 위생이나 농기구 및 수확과 이송 장비에 대한 세척과 같은 기본적인 방지책이 강구되어야 한다고 지적한 바 있다.

고랭지 배추 재배지에서 2011년 사탕무씨스트선충의 발생과 피해가 확인된 이후 2016년까지 분류적 확인 없이 토양 내



에서 씨스트 만을 분리하여 기존에 알려진 사탕무씨스트선충으로 간주하여 발생 포장 수와 면적을 산출하였다(Table 1). 그러나 2016년과 2017년 고랭지 배추 재배 포장에서 콩씨스트선충과 클로버씨스트선충이 혼재하는 것이 분자생물학적 방법을 통해 확인되어(Ko et al., 2017; Okki et al., 2018) 2017년 조사에서는 Real-time PCR기법으로 조사를 하였더니 3종의 씨스트선충이 지역별로 다양하게 분포하였고(Table 2), 특히 배추에 피해를 주는 사탕무씨스트선충과 클로버씨스트선충의 발생 포장은 선충의 분자생물학적 종 동정이 이루어진 41 지역 토양 시료의 70.7%에 불과하였다. 따라서 기존에 2016년까지 사탕무씨스트선충 발생지로 간주하였던 조사지역들의 경우 실제 배추에 피해를 주지 않는 콩씨스트선충 발생지일 가능성도 배제할 수 없을 것으로 생각되며 추후 전반적인 실태 조사가 필요할 것으로 생각된다. 아울러 종별 분류를 실시한 2017년 조사 시 고랭지 배추 재배지에서 먼저 확인 된 사탕무씨스트선충(9.8%)보다 클로버씨스트선충 발생 비율(61%)이 6배 가량 높아 클로버씨스트선충이 우점종으로 판단되나 2017년 이전의 조사지역에서 동일한 경향을 보일지는 추가적인 조사가 필요할 것으로 생각된다. 한편 실험에 이용한 씨스트선충의 종 분석용 진단키트 중 클로버씨스트선충용 진단키트는 *H. betae*와 구별을 할 수 없는 것이었지만 Okki et al. (2018)의 선행연구에서 클로버씨스트선충으로 동정되었기에 클로버씨스트선충으로 간주하였다.

사탕무씨스트선충이나 클로버씨스트선충은 기주범위의 차이를 보이고, 특히 선호하는 잡초의 초종이 상이하기 때문에(Subbotin et al., 2010) 기존에 사탕무씨스트선충을 대상으로 종합적 방제전략을 강구하던 방식에 수정이 필요할 것으로 생각된다. 즉 기존에 사탕무씨스트선충에 국한 되어 기주범위 조사가 이루어졌던 연구(Kim et al., 2016)를 클로버씨스트선충에 대해서도 조사가 필요할 것으로 생각되며 살선충제에 대한 반응이나 생태적 특성에 대한 추가적인 연구도 필요할 것으로 생각된다. 특히 매년 씨스트선충의 발생면적이 확대되고 있는 부분에 대해서는 국가적 차원의 종합적 관리가 절실히 필요할 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업 “기후변화에 따른 고랭지 배추 사탕무씨스트선충 확산방지 기술개발(과제번호: PJ010774)”의 지원에 의해 수행되었음. 씨스트선충 현장 조사에 도움을 주신 각 시·군의 농업기술센터 관계자분들과 시료채취와 지도 작성에 도움을 준 권오경, 신진희, 정문기, 김현국에 감사사를 표합니다.

## Literature Cited

- Amiri, S., Subbotin, S.A., Moens, M., 2002. Identification of the beet cyst nematode *Heterodera schachtii* by PCR. *Eur. J. Plant Pathol.* 108, 497-506.
- Cui, J.K., Peng, H., Liu, S.M., Gul, E.O., Huang, W.K., Mustafa, I., Abdelfattah, A.D., Peng, D.L., 2017. Occurrence, identification and phylogenetic analyses of cereal cyst nematodes (*Heterodera* spp.) in Turkey. *J. Integrative Agric.* 16(8), 1767-1776.
- Donald, P.A., Pierson, P.E., St. Martin, S.K., Sellers, P.R., Noel, G.R., MacGuidwin, A.E., Faghihi, J., Ferris, V.R., Grau, C.R., Jardine, D.J., Melakeberhan, H., Niblack, T.L., Stienstra, W.C., Tylka, G.L., Wheeler, T.A., Wysong, D.S., 2006. Assessing *Heterodera glycines*-resistant and susceptible cultivar yield response. *J. Nematol.* 38, 76-82.
- Evans, K., Stafford, J., Webster, R., Halford, P., Russell, M., Barker, A., Griffin, S., 1998. Mapping potato cyst nematode population for modulated applications of nematicides. *Aspect. Appl. Biol.* 52, 1-8.
- Hemayati, S.S., Akbar, M.J., Ghaemi, A., Fasahat, P., 2017. Efficacy of white mustard and oilseed radish trap plants against sugar beet cyst nematode. *Appl. Soil Ecol.* 119, 192-196.
- Kang, T.H., 2001. A survey on the ‘Bahtegi’ contracts for alpine Chinese cabbage in Kangwondo. *Korean J. Agric. Manage. Policy* 28, 642-664.
- Kim, D.H., Cho, M.R., Yang, C.Y., Kim, H.H., Kang, T.J., Yoon, J.B., 2016. Host range screening of the sugar beet nematode, *Heterodera schachtii* Schmidt. *Korean J. Appl. Entomol.* 55(4), 389-403.
- Kim, H.I., Hong, C.P., Im, S., Choi, S.R., Lim, Y.P., 2014. Development of molecular markers and application for breeding in Chinese cabbage. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 32(6), 745-752.
- Ko, H.R., Kim, E.H., Kim, S.J., Lee, J.K., Lee, W.H., 2017. Rapid methods to distinguish *Heterodera schachtii* from *Heterodera glycines* using PCR technique. *Res. Plant Dis.* 23(3), 241-248.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS), 2018. Vegetable production (leaf vegetable). [http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1ET0028&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=F1H&seqNo=&lang\\_mode=ko&language=kor&obj\\_var\\_id=&itm\\_id=&conn\\_path=MT\\_ZTITLE#](http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0028&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=F1H&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE#). Accessed date (2018. 08. 09).
- Kweon, O.G., Shin, J.H., Kabir, F.M., Lee, J.K., Lee, D.W., 2016. Dispersal of sugar beet cyst nematode (*Heterodera schachtii*) by water and soil in highland Chinese cabbage fields. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 34(1), 195-205.
- Lee, J.K., Kim, S.J., Go, H.R., Kim, E.H., 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.).
- Lee, J.K., Ko, H.R., Lee, D.W., 2018. Efficacy of some nematicides against clover cyst nematode, *Heterodera trifolii* in Chinese cabbage field of highland area. Korean J. Pestic. Sci. 22(1), 69-77.
- Mass, P.W., Heijbroek, W., 1982. Biology and pathogenicity of the yellow cyst nematode, a host race of *Heterodera trifolii* on sugar beet in the Netherlands. Nematologica 28, 77-93.
- Müller, J., 1999. The economic importance of *Heterodera schachtii* in Europe. Helminthologia 36, 205-213.
- Okki, M.A., Ko, H.R., Kim, Y., Kim, Y.H., Lee, J.-K., Lee, D.W., 2018. Morphological and molecular characterization of *Heterodera schachtii* and the newly recorded cyst nematode, *H. trifolii* associated with Chinese cabbage in Korea. Plant Pathol. J. 34(4), 297-307.
- Park, B.Y., Lee, J.K., Cho, M.R., Jeon, J.Y., Kim, D.G., 2011. Detection of *Heterodera trifolii*. Proceedings of the Korean Society of Applied Entomology, 104 pp (Abst.).
- Seo, Y.H., Cho, B.O., Cho, J.K., Kang, A.S., Jeong, B.C., 2009. Control of disease and insects for pesticide-free cultivation of leafy vegetables. Korean J. Org. Agric. 17, 253-264.
- Starr, J.L., Cook, R., Bridge, J., 2002. Plant resistance to parasitic nematodes, in: Cook, C., Noel, G.R. (Eds.), Cyst nematodes: *Globodera* and *Heterodera* species, CABI Publishing, Egham, UK.
- Steele, A.E., 1965. The host range of the sugarbeet nematode, *Heterodera schachtii* Schmidt. J. Am. Soc. Sugar Beet Technol. 13, 573-603.
- Subbotin, S.A., Mundo-Ocampo, M., Baldwin, J.G., 2010. Systematics of cyst nematodes (Nematoda: *Heteroderinae*) 8B. Koninklijke Brill NV, Leiden, The Netherlands, 521 pp.
- Toumi, F., Waeyenberge, L., Viaene, N., Dababat, A., Nicol, J.M., Ogonnaya, F., Moens, M., 2013a. Development of a species-specific PCR to detect the cereal cyst nematode *Heterodera latipons*. Nematology 15, 709-717.
- Toumi, F., Waeyenberge, L., Viaene, N., Dababat, A., Nicol, J.M., Ogonnaya, F., Moens, M., 2013b. Development of two species-specific primer sets to detect the cereal cyst nematodes *Heterodera avenae* and *Heterodera filipjevi*. Eur. J. Plant Pathol. 136, 613-624.
- Vovlas, N., Vovlas, A., Leonetti, P., Leibanas, G., Castillo, P., Subbotin, S.A., Rius, J.E.P., 2015. Parasitism effects on white clover by root-knot and cyst nematodes and molecular separation of *Heterodera daverti* from *H. trifolii*. Eur. J. Plant Pathol. 143, 833-845.
- Wrather, J.A., Anderson, T.R., Arsyad, D.M., Tan, Y.O., Lope, L.D., Porta-Puglia, A., Ram, H.H., Hou, Y.-M., 2001. Soybean disease loss estimates for the top ten soybean-producing counties in 1998. Can. J. Plant Pathol. 23, 115-121.