

## 클로버씨스트선충에 대한 백겨자 식물자원의 저항성 스크리닝

고형래<sup>1,3,†</sup>, 김진원<sup>1,†</sup>, 박세근<sup>1</sup>, 네이트산 카르시<sup>1</sup>, 박병용<sup>1</sup>, 김선화<sup>2</sup>, 김진철<sup>2,3,\*</sup>

<sup>1</sup>국립농업과학원 작물보호과, <sup>2</sup>(주)젠153바이오텍, <sup>3</sup>전남대학교 농생명화학과

## Resistance screening of white mustard (*Sinapis alba*) plant resources against clover cyst nematode, *Heterodera trifolii*

Hyoung-Rai Ko<sup>1,3,†</sup>, Jinwon Kim<sup>1,†</sup>, Sekeun Park<sup>1</sup>, Natesan Karthi<sup>1</sup>, Byeong-Yong Park<sup>1</sup>, Seon Hwa Kim<sup>2</sup> and Jin-Cheol Kim<sup>2,3,\*</sup>

<sup>1</sup>Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

<sup>2</sup>Plant Healthcare Research Institute, JAN153BIOTECH Incorporated, Gwangju 61186, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Agricultural & Biological Chemistry, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea

### Contribution to Environmental Biology

- This research can contribute to preventing damages to Kimchi-cabbage caused by plant-parasitic nematodes by providing information on bio-control agents specifically, white mustard plant resources resistant to the clover cyst nematode.

### \*Corresponding author

Jin-Cheol Kim

Tel. 062-530-2132

E-mail. Kjinc@jnu.ac.kr

† These authors contributed equally to this work.

Received: 5 February 2024

Revised: 2 March 2024

Revision accepted: 18 March 2024

**Abstract:** Clover cyst nematode (*Heterodera trifolii*, CCN) is one of the important plant-parasitic nematodes in the Republic of Korea, causing serious damage to Kimchi-cabbage in Gangwon province since 2017. Soil fumigants are the preferred choice for managing CCN. However, cabbage fields in Gangwon province have a slope, making it challenging to apply soil fumigants and use plastic mulch. Consequently, alternative materials should be developed for managing CCN. Nematicidal cover crops and resistant cultivars are among the alternatives. We conducted resistance screening of 82 white mustard (*Sinapis alba*) resources from a genebank at RDA against CCN for use as nematicidal cover crops or breeding materials. In the first assay (1st, 2nd, and 3rd pot experiments), 15 white mustard resources were selected, while others were susceptible to CCN. To confirm the reproducibility of resistance to CCN for 13 selected resources, the second assay was performed. As a result, five white mustard resource (IT297309, IT297312, IT302951, IT302953, IT302954) demonstrated resistance to CCN. These findings indicate the potential use of these five white mustard resources as nematicidal cover crops or for breeding cultivars of Kimchi-cabbage in Republic of Korea.

**Keywords:** clover cyst nematode, resistance, white mustard

## 1. 서 론

고랭지배추는 해발 400 m 이상의 농지에서 재배되는 배

추로 강릉, 태백, 삼척, 평창, 정선 등 강원도 지역에서 재배되고 있는 우리나라 주요 채소 작물 중 하나이다(Lee and Heo 2018). 고랭지배추는 2011년부터 검역 관리 병해충

인 씨스트선충에 의한 피해를 받아왔으며(Ko *et al.* 2017; AQPA 2023), 최근에는 클로버씨스트선충이 우점하여 고랭지배추에 피해를 주고 있다(Kwon *et al.* 2018). 클로버씨스트선충(clover cyst nematode, *Heterodera trifolii*, CCN)은 경제작물에 큰 피해를 주는 주요 식물기생선충 중 하나로(Subbotin *et al.* 2010), 고랭지배추 재배 농가는 CCN에 의한 수량 감소로 인해 연간 258억 원 이상의 피해를 받고 있다(NAS 2021). CCN에 감염된 배추는 초기에는 생육이 불량하고 가장자리 잎이 황화되거나 한낮에 시들음 증상을 보이고, 생육 후기에는 배추가 결구되지 않는 피해 증상을 보인다(Mwamula *et al.* 2018).

CCN은 씨스트(cyst)라는 단단한 껍질로 된 알주머니를 형성하여 생존에 불리한 외부 환경조건으로부터 보호를 받기 때문에 토양에 한 번 감염되면 완전한 방제는 어렵다(Subbotin *et al.* 2010). 일반적으로 씨스트선충 방제는 화학적 살선충제를 처리하거나(Lee *et al.* 2018), 비기주작물을 이용한 윤작(Kim *et al.* 2016a), 선충 저항성인 품종 재배(Watson *et al.* 1996), 생물 훈증 효과가 있는 녹비작물을 이용하고 있다(Ko *et al.* 2020). 훈증성 살선충제를 처리하고 비닐을 피복하면 씨스트선충을 가장 효율적으로 방제할 수 있으나(Lee *et al.* 2018), 강원도 고랭지배추 주산지인 매봉산, 귀네미골, 안반데기 등은 대부분 경사지로 약제 처리 후 비닐 피복이 어렵다(Lee and Heo 2018). 따라서, 비기주작물 재배, 생물훈증 효과가 있는 녹비작물 처리 등의 방법을 병행하여 씨스트선충을 관리하고 있다(Kim *et al.* 2016a; RDA 2023). 이 중에서 배추과에 속하는 기름무(oil radish), 백겨자(white mustard) 등 녹비작물은 씨스트선충에 직접적인 살선충 활성을 갖는 글루코시놀레이트(glucosinolate)를 함유하고 있으며(Kim *et al.* 2016b), 경사지에서도 처리할 수 있는 장점이 있어 CCN 방제에 널리 이용되고 있다(Ko *et al.* 2020). 그러나, CCN 방제에 이용되고 있는 배추과 녹비작물의 해외 수입 의존도가 높아 안정적 공급을 위해서는 국내 생산이 가능한 녹비작물의 개발이 필요하다. 이에 갯무, 들갯 등 국내 자생 배추과 잡초의 녹비작물로의 활용이 시도되고 있다(Kim and Ko 2024). 또한, 저항성 배추품종을 이용하면 CCN을 가장 손쉽게 방제할 수 있으나, 국내에는 아직 CCN에 저항성인 배추품종이 없다. 본 연구는 CCN 방제에 활용할 수 있는 녹비작물 선발과 저항성 품종 육종용 소재 선발을 위해 국내 씨앗은행(<https://genebank.rda.go.kr>)에서 보유하고 있

는 백겨자 식물자원에 대한 클로버씨스트선충 저항성 여부를 검정하고자 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 식물자원 채집 및 육묘

씨스트선충 저항성 검정을 위해 2022년 1월 국립농업과학원 농업유전자원센터의 씨앗은행에서 백겨자 82개 자원을 분양받았다(Table 1). 직경 90 mm 페트리디쉬에 여과지 1장을 펴놓고 수돗물을 흠뻑 적신 다음 채집한 종자와 배추 종자(춘광 품종, 대조구)를 각각 20립씩 치상하였다. 실온에서 48시간 경과 후 유근이 확인된 백겨자 종자를 상토가 들어있는 288공 공정육묘 포트에 10립씩 파종하고 향온룸(25°C, LED 인공광 14D:10N)에서 본엽 4장이 나올 때까지 15~20일간 재배하여 육묘를 확보하였다.

### 2.2. 선충 접종원 준비

강원도 고랭지배추 재배지에 우점하고 있는 클로버씨스트선충(CCN)에 대한 저항성 검정을 위해 국립농업과학원에서 증식하고 있는 CCN의 알을 분양받아 CCN 알 현탁액을 준비하였다(Kwon *et al.* 2018). CCN이 감염된 토양 300 cm<sup>3</sup>를 5 L 부피의 플라스틱 물통에 넣고 약 4 L의 수돗물을 넣어 토양 현탁액을 만들었다. 토양 현탁액을 20 mesh (850 µm)와 60 mesh (250 µm) 체에 순차적으로 거르고, 60 mesh 체 위에 남은 물질은 격자가 있는 사각 페트리디쉬로 옮겨 닦았다(Barker *et al.* 1985). 실제현미경(MZ12; Leica, Wetzlar, Germany)을 이용하여 CCN의 갈색 씨스트(cyst)만 고정병(micro-container, 지름 2 cm)에 옮겨 담았다. 씨스트를 1 mL 수돗물이 들어있는 5 mL tube에 옮겨 담고 균질기(HG-15A; Daihan scientific, Wonju, Korea)를 이용하여 씨스트 껍질을 터뜨려 알 현탁액을 조제하였다. CCN 알을 충분히 확보하기 위해 5 mL tube를 60 mesh (250 µm)와 500 mesh (25 µm) 체에 순차적으로 거르고 60 mesh 위에 남은 씨꺼기를 5 mL tube에 다시 옮겨 담아 균질기로 씨스트를 다시 한 번 갈아주었다. 500 mesh 체 위에 남은 알은 250 mL 비커에 옮겨 담고 수돗물을 추가하여 부피를 100 mL로 조정하였고, 실제현미경을 이용하여 1 mL당 CCN 알 수를 측정하였다.

**Table 1.** Plant resources for this study from the genebank at Rural Development Administration, Korea

No.	IT number	Scientific name	Common name	Origin
1	IT 216701	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Netherlands
2	IT 297291	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Myanmar
3	IT 297304	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	United Kingdom
4	IT 297305	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Sweden
5	IT 297306	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Germany
6	IT 297307	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
7	IT 297308	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
8	IT 297309	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
9	IT 297310	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
10	IT 297311	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
11	IT 297312	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
12	IT 297313	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Germany
13	IT 297314	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Unknown
14	IT 297315	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Unknown
15	IT 297316	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Germany
16	IT 302928	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Turkey
17	IT 302929	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Sweden
18	IT 302930	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Puerto Rico
19	IT 302931	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Serbia
20	IT 302932	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Poland
21	IT 302933	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
22	IT 302934	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Sweden
23	IT 302935	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Sweden
24	IT 302936	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Poland
25	IT 302937	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Poland
26	IT 302938	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Sweden
27	IT 302939	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Sweden
28	IT 302940	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Canada
29	IT 302941	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Sweden
30	IT 302942	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Germany
31	IT 302943	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Germany
32	IT 302944	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Germany
33	IT 302945	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Germany
34	IT 302946	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Nepal
35	IT 302947	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Germany
36	IT 302948	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
37	IT 302949	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
38	IT 302950	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
39	IT 302951	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
40	IT 302953	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
41	IT 302954	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
42	IT 302955	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
43	IT 302956	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
44	IT 302957	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
45	IT 302958	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
46	IT 302963	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
47	IT 302964	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
48	IT 302965	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel

Table 1. Continued

No.	IT number	Scientific name	Common name	Origin
49	IT 302966	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
50	IT 302967	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
51	IT 302968	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
52	IT 302969	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
53	IT 302970	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
54	IT 302972	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
55	IT 302973	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
56	IT 302974	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
57	IT 302975	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
58	IT 302976	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
59	IT 302977	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
60	IT 302978	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
61	IT 302979	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
62	IT 302980	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
63	IT 302981	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
64	IT 302982	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
65	IT 302983	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
66	IT 302984	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
67	IT 302986	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
68	IT 302987	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
69	IT 302988	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
70	IT 302989	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
71	IT 302990	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
72	IT 302991	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Israel
73	IT 302992	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Germany
74	IT 302993	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	France
75	IT 302994	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	France
76	IT 302995	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Slovakia
77	IT 302996	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	France
78	IT 302997	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Poland
79	IT 302998	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Poland
80	IT 302999	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Poland
81	IT 303000	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	Poland
82	IT 303001	<i>Sinapis alba</i>	white mustard	United States

### 2.3. 저항성 검정

백겨자 82자원에 대한 CCN 저항성 검정 시험은 1차 시험은 1회(30개), 2회(24개), 3회(28개) 나누어 수행하였으며 저항성으로 나타난 백겨자 자원을 대상으로 2차 저항성 검정 시험을 수행하여 저항성 재현 여부를 확인하였다. 백겨자와 배추(춘광 품종) 유묘를 저항성 검정용 토양 300 cm<sup>3</sup> (강모래 8 : 황토 2 혼합토)가 들어있는 가로 5 cm, 세로 5 cm, 높이 15 cm 크기의 플라스틱 포트에 옮겨 심었다( $n=3$ ). 시험 포트에 CCN 알을 포트당 1,000개의 밀도

로 접종하고, 항온실(25°C, LED 인공광 14D : 10N)에서 CCN 암컷이 형성될 때까지 20일간 재배하였다.

### 2.4. 저항성 평가

백겨자의 CCN에 대한 저항성은 Taylor and Sasser (1978)의 방법을 참고하여 뿌리에 형성된 암컷의 개수를 이용하여 평가하였다. 암컷의 숫자가 0개는 극저항성 (highly resistance, HR), 1~10개는 저항성 (Resistance, R), 10개 초과는 감수성 (Sensitivity, S)으로 판정하였다. 선발

된 자원의 CCN 저항성 재현성 여부를 평가하기 위한 2차 시험에서도 동일한 기준으로 저항성 여부를 판정하였다. CCN 암컷 밀도 조사를 위해 저항성 검정 시험토양과 식물 뿌리가 들어있는 포트를 통째로 5 L 부피의 플라스틱 물통에 넣고 4 L의 수돗물을 넣어 토양 현탁액을 만들었다. 토양 현탁액을 20 mesh (850 µm)와 60 mesh (250 µm) 체에 순차적으로 거르고 60 mesh 체 위에 남은 물질은 격자가 있는 사각 페트리디쉬로 옮겨 닦았다. 실체현미경 아래서 사각 페트리디쉬에 담긴 클로버씨스트선충 암컷을 계수하였다.

## 2.5. 통계분석

백겨자 식물자원에 대한 CCN의 저항성 검정 및 평가를 위해 R 프로그램 (<https://www.r-project.org>)을 이용하여 처리별 암컷 밀도에 대한 일원배치 분산분석(one-

way ANOVA)을 수행하였다. 사후검정은 던컨 다중검정 (Duncan's multiple range test)을 수행하였으며, 모든 데이터는 평균과 표준편차로 나타냈다.

## 3. 결과 및 고찰

CCN에 대한 백겨자 식물자원의 저항성 검정 1차 시험 결과는 Table 2와 같다. 저항성 검정 결과 CCN 암컷이 10 개를 초과한 시험자원은 Table 작성 시 제외하였다. 1차 저항성 검정은 82개 자원을 1회, 2회, 3회로 나누어 실험하였다. 1회 실험은 총 30개의 백겨자 식물자원에 대한 저항성 검정을 수행하였으며 2개 자원(IT297309, IT297312)의 CCN 암컷이 10개 미만으로 나타나 CCN에 저항성(R)이었으나 통계적인 유의성은 없었다. 또한, 1차 실험 대조구인 배추(춘광 품종) 일부에서 클로버씨스트선충 암컷이 총

**Table 2.** Response of 15 white mustard genetic resources against clover cyst nematode, *Heterodera trifolii*

Trial	Plant resource	IT number	No. of females/pot <sup>a</sup>	Resistance rating <sup>b</sup>
1st	White mustard ( <i>Sinapis alba</i> )	IT297309	3 ± 4.6 NS	R
		IT297312	1 ± 0.0 NS	R
	Kimchi-cabbage (cv. Chunkwang)	Control	54 ± 61.7 NS	-
2nd	White mustard ( <i>Sinapis alba</i> )	IT302943	3 ± 3.1 b	R
		IT302951	1 ± 1.0 b	R
		IT302953	5 ± 3.8 b	R
		IT302954	1 ± 1.2 b	R
		IT302963	1 ± 2.3 b	R
		IT302964	1 ± 1.7 b	R
		IT302972	3 ± 3.8 b	R
	Kimchi-cabbage (cv. Chunkwang)	Control	42 ± 18.5 a	-
3rd	White mustard ( <i>Sinapis alba</i> )	IT302977	1 ± 1.0 b	R
		IT302984	0 ± 0.6 b	HR
		IT302986	6 ± 1.2 b	R
		IT302988	4 ± 4.7 b	R
		IT302991	2 ± 1.2 b	R
		IT302994	2 ± 1.5 b	R
	Kimchi-cabbage (cv. Chunkwang)	Control	41 ± 7.2 a	-

<sup>a</sup>One-way analysis of variance, Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$  (NS indicates no significance).

<sup>b</sup>Resistance rating based on the number of females was as follows:  $n = 0$ , HR (Highly resistance);  $n = 1-10$ , R (Resistance);  $n > 10$ , S (Susceptibility) (Taylor and Sasser 1978).

**Table 3.** Resistance re-evaluation of 13 white mustard (*Sinapis alba*) genetic resources to clover cyst nematode, *Heterodera trifolii*

Plant resource	IT number	No. of females/pot <sup>a</sup>	Resistance rating <sup>b</sup>
White mustard ( <i>Sinapis alba</i> ) in 1 <sup>st</sup> selected	IT297309	7 ± 6.1	R
	IT297312	7 ± 4.9	R
White mustard ( <i>Sinapis alba</i> ) in 2 <sup>nd</sup> selected	IT302943	27 ± 24.6	S
	IT302951	6 ± 1.5	R
	IT302953	7 ± 8.2	R
	IT302954	5 ± 6.9	R
	IT302964	15 ± 14.1	S
	IT302972	29 ± 7.6	S
White mustard ( <i>Sinapis alba</i> ) in 3 <sup>rd</sup> selected	IT302984	24 ± 23.1	S
	IT302986	23 ± 12.4	S
	IT302988	35 ± 38.4	S
	IT302991	17 ± 16.0	S
	IT302994	20 ± 15.3	S
Kimchi-cabbage (cv. Chunkwang)	Control	24 ± 9.6	-

<sup>a</sup>One-way analysis of variance, no significance ( $df = 13, p = 0.4$ ).

<sup>b</sup>Resistance rating based on the number of females was as follows:  $n = 0$ , HR (Highly resistance);  $n = 1-10$ , R (Resistance);  $n > 10$ , S (Susceptibility) (Taylor and Sasser 1978).

분히 증식되지 않아 표준편차가 크게 나타났으며 향후 재검정이 필요할 것으로 판단된다. 2회 실험에서는 총 24개의 백겨자 식물자원에 대한 저항성 검정을 수행하였다. 이 중에서 백겨자 7개 자원(IT302943, IT302951, IT302953, IT302954, IT302963, IT302964, IT302972)의 CCN 암컷 평균 밀도가 1~5개로 저항성(R)으로 나타났으며 통계적으로 유의미한 차이가 있었다. 3회 검정에서는 총 28개 백겨자 자원을 대상으로 저항성 검정을 수행하였고 6개 자원(IT302977, IT302984, IT302986, IT302988, IT302991, IT302994)이 CCN에 저항성으로 나타났다. CCN 저항성 검정 1~3차 시험에서 선발된 백겨자 13개 식물자원을 대상으로 저항성 재현성 확인을 위한 2차 시험을 수행하였다(Table 3). Taylor and Sasser (1978)의 기준에 따라 CCN 암컷의 평균 밀도가 10개 미만으로 나타난 5개 자원(IT297309, IT297312, IT302951, IT302953, IT302954)을 저항성으로 판정하였다. 8개 자원(IT302943, IT302964, IT302972, IT302984, IT302986, IT302988, IT302991, IT302994)은 평균 암컷 밀도가 10개 이상으로 나타나 감수성으로 판정하였다. 그러나, 각 개체별로 암컷 밀도를 관찰하였을 때 4개 자원(IT302964, IT302984, IT302991, IT302994)은 암컷이 0~2개 증식된 개체들이 확인되었다. 국립농업과학원

농업유전자원센터 씨앗은행(<https://genebank.rda.go.kr>)의 자원 기초정보에 따르면 상기 4개 자원(IT302964, IT302984, IT302991, IT302994)은 해외에서 채집된 야생종으로 선충 저항성 관련 유전형질이 고정되지 않아서 1차 검정 결과와 상이한 결과를 나타냈을 것으로 판단된다.

배추과(Brassicaceae) 식물은 글루코시놀레이트(glucosinolate, GLS)라는 2차 대사산물을 생성하는데(Kim *et al.* 2016b), GLS는 식물기생선충의 저항성에 관여하는 물질로도 잘 알려져 있다(Potter *et al.* 1998, 2000). 최종 선발된 백겨자 5개 자원(IT297309, IT297312, IT302951, IT302953, IT302954)과 2021년 CCN에 저항성인 배추과 식물 자원 중 하나인 African mustard (*Brassica tournefortii*)는 다른 백겨자 자원에 비해 전체 GLS 함량이나 특정 작용기(functional group)를 가지는 GLS의 함량이 높아서 CCN에 저항성인 것으로 판단된다(Ko *et al.* 2021). 또한, 단일 물질의 효과보다는 서로 다른 물질들의 조합에 의한 것으로 추측되며, GLS 이외에 여러 가지의 생리활성물질(bioactive compounds) 존재에 대한 보고들도 이루어져 왔다(Torrijos *et al.* 2023). 콩씨스트선충의 *rhg1*, *rhg4*와 같이 CCN에 저항성인 유전자를 보유하거나(Lian *et al.* 2023), 관련 유전자의 발현량이 일반 백겨자 자원들보다 더 높아

서 CCN에 저항성으로 나타났을 가능성도 있다(Zhang *et al.* 2017). 따라서 백겨자 IT302954 자원의 LC-MS/MS를 이용한 GLS 함량 분석, GWAS (genome wide association studies) 분석 등을 통해 CCN 저항성 검정 결과에 대한 추가 해석이 필요할 것으로 판단된다. 향후 추가 연구 결과에 따라 백겨자 5개 자원(IT297309, IT297312, IT302951, IT302953, IT302954)과 선행 연구에서 CCN에 저항성인 것으로 나타난 African mustard 1개 자원은 선충 방제용 녹비작물이나 CCN 저항성 배추 품종 육성을 위한 육종 소재로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 적 요

클로버시스트선충(*Heterodera trifolii*, CCN)은 국내에서 중요한 식물기생선충 중 하나로, 2017년부터 강원도 고랭지배추에 심각한 피해를 주고 있다. 훈증성 살선충제는 CCN 관리에 좋은 방제 방법이지만, 강원도 고랭지배추 재배지는 경사지가 많아 비닐 피복이 어렵기 때문에 훈증성 살선충제 처리가 어렵다. 이러한 이유로 CCN 관리를 위한 대체 소재의 개발이 필요한 상황이며, 살선충 피복작물과 저항성 품종이 대안 중 하나이다. 따라서, 우리는 선충 방제용 녹비작물 또는 저항성 배추 품종 육성을 위한 육종 소재로 활용하기 위해 씨앗은행의 백겨자(*Sinapis alba*) 82개 자원을 대상으로 CCN에 대한 저항성 검정을 수행하였다. 1차 시험에서는 15개의 백겨자 자원이 CCN에 저항성인 것으로 확인되었으며 나머지 자원은 CCN에 감수성이었다. 선발된 15개 자원 중 13개 자원을 대상으로 CCN 저항성의 재현성 검정을 위해 2차 시험을 수행하였다. 그 결과, 백겨자 5개 자원(IT297309, IT297312, IT302951, IT302953, IT302954)이 CCN에 저항성으로 나타났다. 최종 선발된 백겨자 5개 자원은 선충 방제용 녹비작물로 활용하거나 CCN에 저항성인 고랭지배추 품종 육성을 위한 유용한 유전자원으로 판단된다.

## CRedit authorship contribution statement

**HR Ko:** Data curation, Visualization, Writing - Original draft preparation. **S Park:** Data curation. **N Karthi:** Data curation. **J Kim:** Data curation. **BY Park:** Data curation.

**SH Kim:** Data curation. **JC Kim:** Data curation, Writing - Review and editing.

## Declaration of Competing Interest

The authors declare no conflicts of interest.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by a grant (Project No. RS-2022-RD010213) from Rural Development Administration, Republic of Korea.

## REFERENCES

- APQA. 2023. List of Plant Quarantine Pest. Animal and Plant Quarantine Agency. Gimcheon, Korea. [https://www.qia.go.kr/listqiaBing3\\_2433WebAction.do?type=3&firstname=H&pager.offset=40](https://www.qia.go.kr/listqiaBing3_2433WebAction.do?type=3&firstname=H&pager.offset=40). Accessed on December 9, 2023.
- Barker KR, CC Carter and JN Sasser. 1985. Advanced Treatise on *Meloidogyne*. Volume II: Methodology. North Carolina State University Graphics. Raleigh, North Carolina.
- Kim DH, MR Cho, CY Yang, HH Kim, TJ Kang and JB Yoon. 2016a. Host range screening of the sugar beet nematode, *Heterodera schachtii* Schmidt. Korean J. Appl. Entomol. 57:339-345. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2016.10.0.057>
- Kim HW, HC Ko, HJ Baek, SM Cho, HH Jang, YM Lee and JB Kim. 2016b. Identification and quantification of glucosinolates in Korean leaf mustard germplasm (*Brassica juncea* var. *integrifolia*) by liquid chromatography-electrospray ionization/tandem mass spectrometry. Eur. Food Res. Technol. 242: 1479-1484. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2648-6>
- Kim JW and HR Ko. 2024. Selection of weed species for green manure crop to manage clover cyst nematode (*Heterodera trifolii*). Weed Turf. Sci. 12:327-333. <https://doi.org/10.5660/WTS.2023.12.4.327>
- Ko HR, EH Kim, SJ Kim, JK Lee and WH Lee. 2017. Rapid methods to distinguish *Heterodera schachtii* from *Heterodera glycines* using PCR technique. Res. Plant Dis. 23:241-248. <https://doi.org/10.5423/RPD.201723.3.241>
- Ko HR, SJ Kim and JK Lee. 2020. Control efficacy of Brassicaceae cover crops against clover cyst nematode, *Heterodera trifolii*. Res. Plant Dis. 26:116-119. <https://doi.org/10.5423/RPD.2020.26.2.116>
- Kwon SB, DK Park, HS Won, YG Moon, JH Lee, YB Kim, BG Choi,

- HT Seo, HR Ko, JK Lee and DW Lee. 2018. Spread of cyst nematodes in highland Chinese cabbage field in Gangwon-do. Korean J. Appl. Entomol. 57:339–345. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2018.11.0.037>
- Lee JK, HR Ko and DW Lee. 2018. Efficacy of some nematicides against clover cyst nematode, *Heterodera trifolii* in Chinese cabbage field of highland area. Korean J. Pestic. Sci. 22:69–77. <https://doi.org/10.7585/kjps.2018.22.1.69>
- Lee S and I Heo. 2018. Impact of climate on yield of highland Chinese cabbage in Gangwon province, South Korea. J. Korean Geogr. Soc. 53:265–282.
- Lian Y, M Yuan, H Wei, J Li, B Ding, J Wang, W Lu and G Koch. 2023. Identification of resistant sources from Glycine max against soybean cyst nematode. Front. Plant Sci. 14:1143676. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1143676>
- Mwamula AO, HR Ko, Y Kim, YH Kim, JK Lee and DW Lee. 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. 34:297–307. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.12.2017.0262>
- NAS. 2021. Diagnosis and Management of Major Plant-Parasitic Nematodes. National Institute of Agricultural Sciences. Wanju, Korea.
- Potter MJ, K Davies and AJ Rathjen. 1998. Suppressive impact of glucosinolates in *Brassica* vegetative tissues on root lesion nematode *Pratylenchus neglectus*. J. Chem. Ecol. 24:67–80. <https://doi.org/10.1023/A:1022336812240>
- Potter MJ, VA Vanstone, KA Davies and AJ Rathjen. 2000. Breeding to increase the concentration of 2-phenethyl glucosinolate in the roots of *Brassica napus*. J. Chem. Ecol. 26:1811–1820. <https://doi.org/10.1023/A:1005588405774>
- RDA. 2023. Agricultural Information. Rural Development Administration. Jeonju, Korea. [https://nongsaro.go.kr/portal/ps/pszf/apiUnityCall.ps?menuId=PS00072&insttFlag=ATIS&apiFlag=ATIS\\_API\\_FLAG\\_FARM&currentPageNo=1&recordCountPerPage=10&pageSize=10&apiDetailInfo=&apiParamAplcnYear=&apiParamSrchType=apiParamRsltSj&apiParamSrchValue=%ED%81%B4%EB%A1%9C%EB%B2%84%EC%94%A8%EC%8A%A4%ED%8A%B8](https://nongsaro.go.kr/portal/ps/pszf/apiUnityCall.ps?menuId=PS00072&insttFlag=ATIS&apiFlag=ATIS_API_FLAG_FARM&currentPageNo=1&recordCountPerPage=10&pageSize=10&apiDetailInfo=&apiParamAplcnYear=&apiParamSrchType=apiParamRsltSj&apiParamSrchValue=%ED%81%B4%EB%A1%9C%EB%B2%84%EC%94%A8%EC%8A%A4%ED%8A%B8). Accessed on December 9, 2023.
- Subbotin SA, M Mundo-Ocampo and JG Baldwin. 2010. Systematics of Cyst Nematodes (Nematoda: Heteroderinae). Part A. Nematology Monographs and Perspectives. Volume 8A (Hunt DJ and RN Perry, eds.). Brill. Leiden, Netherlands.
- Taylor AL and JN Sasser. 1978. Biology, Identification and Control of Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species). North Carolina State University Graphics. Raleigh, North Carolina.
- Torrijos R, L Righetti, M Cirlini, L Calani, J Mañes, G Meca and C Dall'Asta. 2023. Phytochemical profiling of volatile and bioactive compounds in yellow mustard (*Sinapis alba*) and oriental mustard (*Brassica juncea*) seed flour and bran. LWT-Food Sci. Technol. 173:114221. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114221>
- Watson RN, G Dickie, FJ Neville and NL Bell. 1996. Seedling growth of nine white clover cultivars after invasion by clover nematodes. pp. 239–243. In: Proceedings of the 49<sup>th</sup> New Zealand Plant Protection Conference. The New Zealand Plant Protection Society. Nelson, New Zealand.
- Zhang H, S Kjemtrup-Lovelace, C Li, Y Luo, LP Chen and BH Song. 2017. Comparative RNA-Seq analysis uncovers a complex regulatory network for soybean cyst nematode resistance in wild soybean (*Glycine soja*). Sci. Rep. 7:9699. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09945-0>