해바라기침선충(*Paratylenchus projectus*) 피해 경감을 위한 윤작작물 탐색

Searching for Rotationable Vegetables for *Paratylenchus projectus* in Lettuce Greenhouse

*Corresponding author

Tel: +82-55-350-5692

Fax: +82-55-350-5509

E-mail: ichoi@pusan.ac.kr

[†]These authors contributed equally to this work.권기윤^{1†} · 서종민^{1†} · 박소희¹ · 강헌일¹ · 박남숙² · 최인수^{1,2*}¹부산대학교 생명자원과학대학 식물생명과학과, ²부산대학교 생명산업융합연구원 선충연구센터Giyeon Kwon^{1†}, Jongmin Seo^{1†}, Sohee Park¹, Heonil Kang¹, Namsook Park², and Insoo Choi^{1,2*}¹Department of Plant Bioscience, College of Natural Resources and Life Science, Pusan National University, Miryang 50463, Korea²Nematode Research Center, Life and Industry Convergence Research Institute, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

The severe lettuce damage caused by *Paratylenchus projectus* was first reported in 2019 in Korea. To find high-value rotation crops for the control of *P. projectus*, nine vegetables, *Brassica juncea* (leaf mustard), *B. rapa* subsp. *nipposinica* (kyona), *B. oleracea* var. *italica* (broccoli), *B. rapa* subsp. *chinensis* (bok choy), *B. oleracea* var. *viridis* (kale), *B. oleracea* var. *gongylodes* (kohlrabi), *Cichorium endivia* (endive), *C. intybus* (chicory), *Ipomoea aquatica* (morning glory) were planted in d-10-cm clay pots in greenhouse. The growth of vegetables was compared between inoculated with 3,000 *P. projectus* per 100 cm³ of soil and non-inoculated. Treatments were replicated 10 times. After 100 days, the reduction of fresh top weight was 30.4% in *C. intybus*, 35.1% in *I. aquatica*, 36.9% in *B. oleracea* var. *acephala*, 40.5% in *C. endivia*, 42.1% in *B. rapa*, 47.5% in *B. rapa* subsp. *nipposinica*, 50.4% in *B. oleracea* var. *gongylodes*, 56.3% in *B. oleracea* var. *italica*, and 66.0% in *B. juncea*. Nematode multiplication rates (Pf/Pi) were lower in *I. aquatica* (0.64) and *C. endivia* (1.1), but higher in *B. oleracea* var. *gongylodes* (2.54). Considering these results, *I. aquatica* is suitable for the rotation crop with lettuce until better rotation crops developed.

Keywords: Leafy vegetable, Lettuce, *Paratylenchus projectus*, Pin nematode, Rotation crop

Received September 29, 2020

Revised December 14, 2020

Accepted December 14, 2020

서 론

침선충(*Paratylenchus* spp.)은 주름선충 상과에 속하는 뿌리 외부에 기생하는 선충으로서 체장에 비해 긴 구침을 가지는

특징이 있다. 침선충은 전 세계적으로 분포하며 지금까지 77과 350여종 이상의 식물로부터 침선충이 발견되었다(Nemaplex, 2020). 외부기생성선충인 침선충의 피해 정도는 내부기생성선충인 뿌리혹선충이나 뿌리썩이선충에 비하여 깊지 연구되지 않았다. 현재까지 알려진 바로는 목초지(Wood, 1973), 오차드 그라스(Braun과 Lownsbery, 1975), 완두, 옥수수(Rhoades와 Linford, 1959), 바나나(Tanimola 등, 2013) 등에서 피해가 보고

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

되었다.

국내의 침선충은 *Paratylenchus aquaticus*, *P. elachistus*, *P. lepidus*, *P. padnus*, *P. projectus* 등 5종이 발견되었으며 *P. projectus*는 1975년 수원의 해바라기에서 처음 발견되어 해바라기침선충으로 명명되었다(Choi, 2001; Pinochet과 Raski, 1977).

Kwon 등(2019)은 상추를 4년 이상 연작한 유기농업 시설재배 농가에서 *P. projectus*에 의한 피해를 보고하였다. 이 시설에서는 토양 100 cm³당 약 3,000마리의 *P. projectus*가 검출되었는데, 시중에 출하 가능한 상품성이 있는 상추가 거의 없을 정도였다.

식물 기생성선충의 밀도를 낮추는 방법은 살선충제 사용, 태양열소독, 밀기울소독, 스팀처리, 건토, 휴경, 물대기, 객토, 윤작 등 다양한 방법이 있는데 유기농업에서는 살선충제를 사용할 수 없다. 윤작은 연작에 따른 병해 발생을 비롯한 각종 생리장해를 극복할 수 있는 친환경적인 방법으로 예전부터 잘 알려져 있으며, 윤작에 의한 선충방제에 대하여 많은 연구보고가 있다(Long과 Todd, 2001). 그러나 현재까지 상추 침선충에 대한 윤작작물 연구는 전혀 이루어지지 않았다.

최근 샐러드가 대중화되고 해외음식에 대한 경험이 누적된 소비자들이 늘어나면서 우리나라에서 재배되지 않았던 외국산 채소인 '특수 채소'의 수요가 늘어나고 있다. 한국농촌경제연구원(Korea Rural Economic Institute, 2017)에 따르면, 2000-2015년까지 국내 서양채소 재배면적은 연평균 6.5% 증가했고, 국내 채소 생산액 중 서양채소의 비중은 2000년 2.0%에서 2015년 7.1%로 증가되었다고 하였다. 국내의 경기 남양주, 경기도 여주군, 충북 제천, 강원 평창, 횡성, 제주 등지에도 특수 채소를 전문으로 다루는 영농 조합 법인이 있으며, 또한 특수 채소는 일반 채소에 비해 단가가 높은 편으로 특수채소가 윤작작물로 개발된다면 농업인에게 새로운 소득원이 될 수 있을 것이다.

십자화과(Brassicaceae)의 갓(leaf mustard, *Brassica juncea*)은 서늘한 기후에 잘 자라며 특유의 톡 쏘는 매운 맛이 있으며 채소로 그냥 먹기도 하나 갓김치로도 많이 담가 먹는다. 갓김치는 보통 김치보다 맛이 훨씬 강하며 처음 먹어보는 사람은 좀 거부감이 들 수도 있을 정도이지만 익숙해지면 그냥 김치는 싱거워서 별로라고 하는 사람도 있다. 이것의 씨앗을 곱게 갈아서 양념으로 만든 것이 겨자이다. 경수채(kyona, *B. rapa* subsp. *nipposinica*)는 십자화과의 새싹채소로 일본의 교토에서 예로부터 재배되어왔으며, 비료를 주지 않고도 물과 흙만으로 재배되는 채소라고 하여 경수채라는 명칭이 붙여졌다. 잎은 매우 가늘고 수분이 많으며, 잘라내면 다시 자라 계속 수확할 수 있다. 씹는 맛이 아삭아삭하여 쌈채소로도 이용되고, 특유의 향이 고기의 누린내를 없애준다. 브로콜리(broccoli, *B. oleracea* var. *italica*)는 양배추의 일종으로 두툽한 줄기 끝에 무수히 달린 어

린 꽃을 식용으로 한다. 웰빙 열풍 이후 대중매체에서 브로콜리를 건강에 아주 좋은 식품으로 소개한 뒤부터 소비가 증가하였다. 100 g당 비타민E 함량도 높고 베타카로틴이나 비타민A도 상당히 많은 편이다. 청경채(bok choy, *B. rapa* subsp. *chinensis*)는 중국 배추의 품종 중 하나로 중국 화중 지방이 원산지이다. 중국 요리에서 자주 사용되는 채소로, 날로 먹기보다는 기름에 볶거나 물에 데치는 등 열을 약간 가해서 색깔을 돋우고 줄기의 아삭한 식감을 살리는 방식으로 요리한다. 케일(kale, *B. oleracea* var. *viridis*)은 십자화과의 2년생 또는 여러해살이식물로 곱슬케일, 싹케일, 꽃케일 등의 종류가 있다. 지구상에서 가장 영양소가 밀집한 음식 중 하나라고 하며 채소로 위장한 비타민과 미네랄 알약이라고 불릴 정도로 비타민류와 무기염류가 많다. 2010년대 들어서 급격하게 인기를 얻은 야채로 2007년에서 2012년 사이 케일 생산량이 60%나 상승하였다. 콜라비(kohlrabi, *B. oleracea* var. *gongylodes*)는 십자화과의 저온성 2년생 채소로 유럽 서남부가 원산지이다. 독일어로 'kohl'은 양배추이고, 'rabi'는 순무이다. 실제로 양배추와 같은 종이나 순무와도 비슷하게 생겼다. 콜라비는 열량이 낮고 섬유질이 풍부해서 다이어트와 변비 개선에 탁월하고 비타민C도 풍부해서 피로 해소, 노화 방지, 혈압 조절, 당뇨 예방에도 효과적이다. 잎은 쌈을 싸 먹거나 녹즙·샐러드 재료로 쓰이고, 줄기 부분은 단맛이 나기 때문에 날로 먹거나 다른 과일과 함께 갈아서 주스로 만들며, 채 썰어서 피클이나 물김치로 먹기도 한다. 제주도가 주요 산지이지만, 2010년부터는 전라남도 해남 지방에서도 가을배추 대체 작목으로 키우고 있다.

국화과(Asteraceae)에 속하는 엔다이브(endive, *Cichorium endivia*)는 꽃상추의 일종으로 벨기에의 대표적인 샐러드 채소이다. 지중해 동부 원산으로 마치 작은 배추처럼 생겼으며, 배추의 아삭한 식감과 치커리의 씹쓸한 맛이 합쳐져 샐러드나 카나페에 주재료이다. 치커리(chicory, *C. intybus*)는 북유럽이 원산으로 생육이 왕성하고 다양한 환경에 잘 적응하는 채소로 뿌리는 약간 익혀서 버터를 발라먹고, 잎은 샐러드로 먹는데, 뿌리에서 자라는 어린잎을 봄에 채취해 이용한다. 식물체는 사료나 목초로 쓰고 꽃은 중추신경계통의 흥분제 및 심장 활동을 증강시키는 약으로 쓰인다. 유럽이나 미국에서는 굵은 뿌리를 가루로 만들어 커피 대용의 음료를 만드는 데에 이용하거나 커피의 색과 맛을 짙게 하는 첨가제로 사용되기도 한다.

공심채(morning glory, *Ipomoea aquatica*)는 중국 남부에서 동남아시아에 분포하는 반수생적 열대 식물로 매꽃과(Convolvulaceae), 미국나팔꽃속(*Ipomoea*)에 속한다. 1년생 초본으로 물을 좋아하여 땅이 마르지 않도록 수시로 물을 주는 노력이 필요하며 물을 주는 회수에 따라서 수확량이 크게 달라진다.

고온다습한 조건을 좋아하여 생육적온이 25–32°C 정도이고, 일조량이 풍부한 곳이 좋고 온실에서는 연중 수확이 가능하다.

이 논문에서는 상추 시설재배지에서 *P. projectus* 밀도를 낮출 수 있는 고소득 윤작작물을 탐색하고자 위에서 언급한 9종의 엽채류를 이용하여 시험을 실시하였다.

재료 및 방법

윤작작물 선정. 실험에 사용된 채소는 모두 엽채류로서 십자화과(Brassicaceae)에서 6종; 갓, 경수채, 브로콜리, 청경채, 케일, 콜라비, 국화과(Asteraceae)의 2종; 엔다이브, 치커리, 매꽃과의 1종인 공심채 등 총 9종을 윤작시험에 사용하였다(아시아종묘). 이들 모두 국내 시설재배지에서 재배가 가능하거나 이미 재배되고 있으며 경제성도 높아 선정되었다.

침선충 분리와 접종. 실험에 사용된 선충은 Kwon 등(2019)이 보고한 밀양시 하남읍의 침선충 피해가 발생했던 상추 시설재배지에서 채집하였다. 채집한 토양에서 큰 돌과 식물 뿌리 등을 골라내고 물과 섞어 현탁액을 만들어 140 mesh sieve와 325 mesh sieve를 이용하여 거른 다음, 개량된 Baermann funnel법으로 선충을 분리하여 실체현미경(SZX2-ILLB, Olympus, Tokyo, Japan)을 통해 침선충의 밀도를 확인하고 *P. projectus* 만 얇은 막대로 건져내어 분리한 뒤 실험에 사용하였다(Kang 등, 2016). 채집한 토양에서는 *P. projectus*를 제외한 다른 식물기생선충은 발견되지 않았다. 실험은 직경 10 cmx높이 11 cm 토화분에서 실시하였으며, 각 엽채류별로 침선충 접종 포트(3,000 *P. projectus*/100 cm³ soil)와 비접종 포트 2 처리를 두었고, 각 처리는 10반복, 난괴법으로 배치하였다. 침선충 접종 밀도는 Kwon 등(2019)에 의하여 상추 재배포장의 침선충 평균밀도 2,056 (16–8,000)/100 cm³ 토양을 기준으로 하였다.

작물 파종 및 재배. 각 채소들을 포트당 20립씩 직파하였다. 단, 공심채의 경우 종자의 크기를 감안하여 포트당 5립씩 직파하였다. 직파 10일 후 모든 포트에서 식물체 3주를 남기고 솎아 주었고 15일 후 1주를 남기고 모두 솎아내었다. 재배 중 기비는 하지 않았으며 정식 30일 후 제 4종 복합비료 하이포넥스(Hyponex 6-10-5, Hyponex, Osaka, Japan)를 1,000배 희석하여 각 포트당 10 ml씩 추비하였다. 본 실험은 부산대학교 밀양캠퍼스 내 첨단온실에서 진행되었으며 실험기간 중 온실 내부 온도는 22–28°C로 유지되었다.

생육 및 수량 특성. 실험은 100일 후 식물의 생육, 초장, 무

게, 엽수, 뿌리무게, soil plant analysis development 등을 조사하였으며 생육조사법은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준(Rural Development Administration, 2012)을 참고하였다. 엽록소 측정은 엽록소계(SPAD-502, KONICA MINOLTA, Inc., Tokyo, Japan)를 이용하였다. 선충 밀도는 포트 내부의 뿌리를 제거한 후, 포트 전체 흙으로부터 선충을 분리하고 실체현미경(SZX2-ILLB, Olympus)을 이용하여 선충의 밀도를 조사하였다(Kang 등, 2016). Pf/Pi (Pf, 최종 선충 밀도; Pi, 최초 선충 접종 밀도) 공식을 이용하여 증식률(Rf, reproduction factor)을 나타내었다.

통계처리. 대조구와 처리구의 작물 생육 차이는 SAS version 9.4 (SAS Institute Inc., 2019) 프로그램의 t-test ($P=0.05$, $P=0.01$)로 분석하였다.

결과 및 고찰

이 실험은 온실에서 포트를 이용하여 100일 동안 실시되었으며 십자화과(Brassicaceae) 6종, 국화과(Asteraceae) 2종, 매꽃과 1종 등 총 3과 9종의 엽채류를 시험에 사용하였다. *P. projectus*를 접종한 모든 작물은 무처리에 비하여 생육 상태가 좋지 않았고 선충의 증식률도 높아 모두 *P. projectus*의 감수성 기주로 판단되었다(Tables 1, 2, Fig. 1).

수량 감수 정도에서는 작물별로 차이를 보였는데, 지상부 무게를 기준으로 하여, 브로콜리와 갓이 56–66%로 가장 감수율이 컸고 치커리와 공심채의 수량 감수가 30–35%로 비교적 감수율이 적었다. 또한 선충의 증식률(Pf/Pi 비율)도 콜라비의 2.54에 비하여 엔다이브는 1.1, 치커리는 1.35, 공심채는 0.64로 비교적 낮게 나타났다(Table 1). 따라서 이번 실험에 의하면, 상추 재배지의 윤작작물로는, 비록 충분하지는 않지만 효과적인 윤작작물을 찾기 전까지는, 다른 엽채류에 비하여 수량 감수가 비교적 적고, 선충의 증식률이 가장 낮은 공심채가 상추재배지의 윤작작물 대안일 것으로 판단된다.

침선충인 *Paratylenchus*는 뿌리혹선충과 마찬가지로 77과 350여종 이상의 대단히 넓은 기주식물을 가지고 있어(Nemaplex, 2020) 거의 대부분의 식물에서 발견된다. 십자화과의 *Brassica acephala*, *B. oleracea*, *B. rapa*는 이미 침선충의 기주로 기록되어 있으나(Nemaplex, 2020), 갓, 엔다이브, 치커리, 공심채 등은 이번에 *P. projectus*의 새로운 기주로 확인되었다.

작물 생육 조사. 실험에 사용된 채소들은 모두 지상부를 이

Table 1. *Paratylenchus projectus* population density at harvest (Pf) and reproduction factor (Rf=Pf/Pi) by different rotation crops

Crops	Pf	Pf/Pi
<i>Brassica juncea</i>	6,695	2.23
<i>B. oleracea</i> var. <i>gongylodes</i>	7,610	2.54
<i>B. oleracea</i> var. <i>italica</i>	5,899	1.97
<i>B. oleracea</i> var. <i>viridis</i>	6,902	2.30
<i>B. rapa</i> subsp. <i>chinensis</i>	6,549	2.18
<i>B. rapa</i> subsp. <i>nipposinica</i>	7,604	2.53
<i>Cichorium endivia</i>	3,285	1.10
<i>C. intybus</i>	4,060	1.35
<i>Ipomoea aquatica</i>	1,907	0.64

Each of two weeks old seedlings was inoculated with 3,000 *Paratylenchus projectus* per 100 cm³ of soil.

Each value is a mean of 10 replications.

용하는 채소들로 *P. projectus* 접종 구에서 평균 지상부 45.1%, 지하부 62.6%의 생육감소가 발생하였다(Table 2, Fig. 1). 침선충을 접종한 작물에서의 피해 정도는 뿌리에서 가장 피해 정도가 컸고(63%), 다음으로 지상부 무게(45%)였으며 초장, 엽수, 줄기직경의 피해는 22–25% 정도였다(Table 2). 작물의 키는 갓(45%), 브로콜리(32%)가 가장 영향을 많이 받았고 케일(11%), 치커리(16%), 공심채(16%)는 상대적으로 영향을 적게 받았다. 지상부 무게는 갓(66%), 브로콜리(56%)가 가장 영향을 많이 받았고 치커리(30%), 공심채(35%)는 상대적으로 영향을 적게 받았다. 줄기직경은 침선충을 접종한 작물에서 19–34% 감소되었으며 작물별로 차이가 적은 편이었다. 엽록소함량도 작물별로 차이가 적은 편이었는데, 그중에서 경심채(30%), 갓(24%)이 가장 영향을 많이 받았고 케일(4%), 콜라비(4%), 공심채(0%)는 상대적으로 영향을 적게 받았다. 엽수는 작물별로 차이가 적은 편이었는데, 엔다이브(40%), 갓(35%)의 엽수가 적었고 치커리(6%), 케일(10%)은 영향을 적게 받았다(Table 1).

Table 2. Comparison in growth of nine rotation crops seedlings inoculated and non-inoculated with *Paratylenchus projectus*

Crops	Inoculation	No. of leaves	Plant		Root weight (g)	Stem diameter (cm)	SPAD
			Height (cm)	Weight (g, % reduction)			
<i>Brassica juncea</i> (leaf mustard)	Non-inoculated	14.1*	28.1**	20.3**	11.2**	5.7**	37.6**
	Inoculated	9.2	15.4	6.9 66	2.3	3.9	28.5
<i>B. oleracea</i> var. <i>viridis</i> (kale)	Non-inoculated	7.9	21.1	13.8**	7.1	4.3**	42.1
	Inoculated	7.1	18.8	8.7 37	2.8	3.4	40.3
<i>B. oleracea</i> var. <i>italica</i> (broccoli)	Non-inoculated	9.1**	23.8**	17.4**	6.4**	5.5**	57.8*
	Inoculated	7.4	16.3	7.6 56	2.9	3.6	47.4
<i>B. oleracea</i> var. <i>gongylodes</i> (kohlrabi)	Non-inoculated	8.6	17.6**	16.3	10.0*	4.8	39.6
	Inoculated	7.4	14.4	8.1 51	3.5	3.7	38.0
<i>B. rapa</i> ssp. <i>chinensis</i> (bok choy)	Non-inoculated	17.5**	16.2**	22.3**	4.5**	5.9**	36.6
	Inoculated	13.2	12.9	12.9 42	2.4	4.6	32.0
<i>B. rapa</i> subsp. <i>nipposinica</i> (kyona)	Non-inoculated	42.9*	27.3**	18.9*	9.5*	10.2	32.9**
	Inoculated	28.2	19.7	9.9 48	4.3	8.2	23.0
<i>Cichorium endivia</i> (endive)	Non-inoculated	33.3*	18.9**	28.7	18.9**	6.9**	23.4
	Inoculated	19.9	15.2	17.1 41	5.0	5.5	19.0
<i>C. intybus</i> (chicory)	Non-inoculated	12.6	31.2*	14.4*	15.0**	5.6*	35.8
	Inoculated	11.8	26.2	10.0 30	4.3	3.7	31.7
<i>Ipomoea aquatica</i> (morning glory)	Non-inoculated	31.3*	38.1*	19.6**	25.6*	7.0**	33.9
	Inoculated	27.4	32.0	12.7 35	10.9	5.6	34.2

Significantly different by t test (least significant difference) (* $P=0.05$ and ** $P=0.01$, respectively).

Each value is a mean of 10 replications.

SPAD, soil plant analysis development.

Fig. 1. Comparison of the growth of nine vegetables non-inoculated (left) and inoculated (right) with 3,000 *Paratylenchus projectus* per 100 cm³ soil in d-10-cm clay pot and grown for 100 days in a greenhouse: *Brassica rapa* subsp. *nipposinica* (kyona) (A), *Ipomoea aquatica* (morning glory) (B), *Cichorium intybus* (chicory) (C), *Brassica oleracea* var. *italica* (Broccoli) (D), *Brassica oleracea* var. *viridis* (kale) (E), *Brassica juncea* (leaf mustard) (F), *Cichorium endivia* (endive) (G), *Brassica rapa* subsp. *chinensis* (bok choy) (H), and *Brassica oleracea* var. *gongylodes* (kohlrabi) (I). Scale bars=1 cm.

이번 *P. projectus* 접종시험의 결과로 보면, 특히 뿌리 무게가 가장 크게 영향을 받았는데(비접종 작물에 비하여 47–80% 감소), 피해 정도는 갓(80%), 엔다이브(75%), 치커리(71%), 콜라비(65%), 케일(60%), 공심채(57%), 경심채(55%), 브로콜리(55%), 청경채(47%) 순이었다. 이것으로 미루어 침선충 접종에 의한 지상부 생육 감소는 뿌리의 피해로 기인된 것임을 알 수 있다. 실험에 사용된 9가지 채소 중 지상부 무게 감소가 가장 작은 작물은 치커리로 약 29.4%의 지상부 무게 감소가 발생하였고 다음으로 공심채(35.1%)였다(Tables 1, 2, Fig. 1).

접종 밀도별 선충 밀도의 변화(Pf/Pi). 채소별 선충 밀도 증가율은 Pf/Pi 값으로 나타내었다(Table 1). 공심채를 제외한 8개의 채소를 정식한 포트에서는 *P. projectus* 밀도가 변화가 없거나 증가하여 *P. projectus* 피해 발생 농가에서 윤작작물로서의 가치는 떨어지는 것으로 판단된다. 반면 공심채를 파종한 포트

의 Pf/Pi값은 0.64로 본 시험에 사용된 채소 중 유일하게 *P. projectus* 밀도가 감소되었다(Table 1). 공심채 등 메꽃과에서 생성되는 선충 억제 물질인 propenylphenols, piperidin, pyrrolidinamides 등의 존재와(Mackeen 등, 1997) 공심채의 뿌리가 다른 작물들에 비해 표피가 단단하고 더 굵게 뻗는 특성을 가진 점으로 인해 *P. projectus*의 증식에 불리하였던 것으로 보인다(McSorley 등, 1984).

겨울철 시설재배 상추는 일반적으로 10월경에 정식하여 이듬해 4월에 수확을 종료한다. 반면 공심채는 5월경에 정식하여 9월에 수확을 종료하는 여름채소로서 시설 상추의 작기를 피해 재배가 가능하다. 따라서 이러한 상추 시설재배지에서 여름철 휴경기에 공심채를 재배하면 다음 작기 상추재배까지 토양 내 *P. projectus* 밀도를 낮게 유지함으로써 그 피해를 줄일 수 있지 않을까 기대해본다.

공심채는 kg당 약 15,000원의 가격대를 형성하고 있는데, 이

는 겨울철 상추 작기에 생산되는 상추의 가격(12,000원/kg)보다 더 높은 수준이다. 수량 감소율이 다른 엽채류에 비하여 낮았고 선충밀도가 감소되었던 점과 공심채 가격 및 상추 재배 작기와의 유연성 등을 종합하면, *P. projectus* 피해를 입은 상추 재배지에 적합한 윤작작물은 공심채인 것으로 판단된다. 공심채를 여름철 윤작작물로 사용한다면, 기대되는 효과로는 침선충 밀도 경감, 이에 따른 겨울철 상추 수량 증수, 공심채를 통한 추가적인 수입, 과거 다른 작물의 윤작을 통한 토양 환경 개선 등 다양한 이점이 있을 것이다. 그러나 윤작에 의해 선충밀도가 경감되더라도 이후 감수성인 기존 작물을 재배할 경우 다시 선충 밀도가 증가한다는 여러 보고(Byeon 등, 2014; McSorley와 Gallaher, 1993)가 있으므로 윤작 작물 재배지의 선충 밀도 변동 상황에 면밀한 검토가 필요하다.

이 실험에 사용된 작물들은 대부분 공심채를 제외하면 15–20°C에서 잘 자라는 저온성 채소이다. 반면 *P. projectus*는 22–32°C에서 빨리 번식되고 낮은 온도인 18–20°C에서는 번식에 더 오랜 기간이 필요하다(Rhoades와 Lindford, 1961). 이번 실험에서 온실 재배조건은 20–28°C이었으므로 *P. projectus* 번식에는 유리하고 공심채를 제외한 다른 채소들의 생육은 불리한 환경이었다. 따라서 화분이라는 제한된 뿌리발육 공간, 작물의 생육적온보다 높은 온도는 이 실험에 사용된 작물들에 미치는 *P. projectus* 피해가 평소보다 더 높아졌을 가능성이 있다.

작물의 생육과 수확량은 주로 최초 선충밀도(Pi)와 큰 연관성이 있다(Fourie 등, 2010). 이는 기존 선충 밀도가 지나치게 높아 윤작 이후에도 절대 밀도가 높을 경우 윤작에 의한 효과를 기대하기 어려울 수 있음을 의미한다. 이와 같은 경우 객토, 토양 태양열 소독 등 추가적인 선충 방제 노력이 필요하다. 태양열 소독은 병해충, 잡초, 선충 밀도 경감에 높은 효과를 보였다(Kim 등, 2001). 따라서 병해충 예찰 전문가는 재배 토양의 선충 종류 및 밀도와 작물 수의 등을 종합적으로 고려하여 농업인에게 가장 효율적인 방제 방법을 추천해야 할 것이다.

지금까지 침선충은 내부기생성선충인 뿌리혹선충이나 뿌리썩이선충에 비하여 별로 중요하게 취급되지 않았고 연구논문도 적다. 그러나 이번 연구를 통하여 작물에 따라서, 또한 재배 환경에 따라서 작물에 큰 피해를 가져올 수 있는 선충이라는 것이 확인되었다. *P. projectus*는 뿌리에 침입하여 기형 발생, 상피세포 파괴 등 식물의 생육 저해 유발뿐만 아니라 불량 환경에 대한 저항력을 약하게 만들고(Eck, 1972), *P. projectus* 밀도가 높은 토양에서 상추의 뿌리 코르크화를 발생시키고 생육이 저조하였다(Kwon 등, 2019). 밀양의 온실 들깨재배지대에서도 침선충이 자주 발견되고 밀도도 상당히 높게 나타나고 있다(unpublished data).

식물 기생성선충은 일단 토양에 발생되면 완전 박멸은 불가능하므로 사전 예방이 매우 중요하다. 대부분의 식물 기생성선충은 스스로의 이동속도가 1년에 1 m로 매우 느리기 때문에 인위적인 전파가 없다면 다른 포장으로의 빠른 확산은 일어나지 않는다(Castillo와 Vavlas, 2007). 그러나 감염된 토양이 묻은 농기구나 신발, 관개수 등을 통하여 빠르게 확산될 수 있으므로 농경지가 밀집되어 있고 중앙 관개수와 농기구를 공동으로 사용하는 경우가 많은 국내 농업 특성상 인위적인 전파 가능성을 막을 대책이 필요하다.

이번 실험을 통하여 온실에서 재배되는 엽채류들이 침선충에 감수성이며 그 피해도 심한 것을 알 수 있었다. 따라서 채소류 재배지역에서는 식물기생성선충 예찰이 필요하며 침선충에 대한 검사를 강화해야 할 것이고, 적절한 선충 방제를 위해서는 재배하기 최소 1-2개월 전에 토양을 채집하고 분석해야 적절한 사전 방제가 가능하다. 상추에 등록된 살선충제는 abamectin (g), fluoryam 0.5% (g), dimethyl disulfide 94.56% (g), fluen-sulfone 10% (g) 등이 있다

요 약

2019년 *Paratylenchus projectus*에 의한 심각한 상추 피해를 국내 처음으로 보고하였다. 상추 시설재배지에서 *P. projectus* 밀도를 낮출 수 있는 고소득 윤작작물을 탐색하고자 십자화과(Brassicaceae)에서 6종; 갓(leaf mustard, *Brassica juncea*), 경수채(kyona, *B. rapa* subsp. *nipposinica*), 브로콜리(broccoli, *B. oleracea* var. *italica*), 청경채(bok choy, *B. rapa* subsp. *chinensis*), 케일(kale, *B. oleracea* var. *viridis*), 콜라비(kohlrabi, *B. oleracea* var. *gongylodes*), 국화과(Asteraceae)의 2종; 엔다이브(endive, *Cichorium endivia*), 치커리(chicory, *C. intybus*), 매꽃과(Convolvulaceae)의 1종인 공심채(morning glory, *Ipomoea aquatica*) 등 총 9종을 윤작시험에 사용하였다. 각 엽채류를 직경 10 cm 토화분에 심고 침선충 접종(3,000 *P. projectus*/100 cm³ soil) 및 비접종으로 나누고 각 처리별 10반복으로 하여 온실에서 재배하고, 100일 후 식물의 생육, 초장, 무게, 엽수, 뿌리무게, soil plant analysis development, 선충 밀도를 조사하였다. *P. projectus*를 접종한 모든 작물은 무처리에 비하여 생육이 감소하였다. 지상부 무게를 기준으로 하여, 브로콜리와 갓이 56–66%로 가장 감수율이 컸고 치커리와 공심채의 수량 감수가 30–35%로 비교적 감수율이 적었다. 또한 선충의 증식률(Pf/Pi 비율)도 콜라비의 2.54에 비하여 엔다이브는 1.1, 치커리는 1.35, 공심채는 0.64로 비교적 낮게 나타났다. 따라서 이번 실험에 의하면, 상추 재배지의 윤작작물로는, 비록 충분하지는 않지만 효과적

인 윤작작물을 찾기 전까지는, 다른 엽채류에 비하여 수량 감소가 비교적 적고, 선충의 증식률이 가장 낮은 공심채가 상추재배지의 윤작작물 대안일 것으로 판단된다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgments

This research was supported by a fund (Project. Making an identification manual and species list of *Meloidogyne* distributed in Korea (PQ20180B018)) by Research of Animal and Plant Quarantine Agency, Republic of Korea.

References

- Braun, A. L. and Lownsbery, B. F. 1975. The pin nematode, *Paratylenchus neoamblycephalus*, on Myrobalan plum and other hosts. *J. Nematol.* 7: 336-343.
- Byeon, I.-S., Suh, S.-Y., Lee, Y.-S. and Chung, J.-B. 2014. Effect of double-cropping systems on nematode population in plastic film house soils of oriental melon cultivation. *Korean J. Environ. Agric.* 33: 17-23. (In Korean)
- Castillo, P. and Vovlas, N. 2007. *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, Biology, Pathogenicity and Management. Brill, Leiden, The Netherlands. 529 pp.
- Choi, Y. E. 2001. Economic insects of Korea 20, Insecta Koreana Supplement 27. Nematoda (Tylenchida, Aphelenchida). National Institute of Agricultural Science & Technology, Suwon, Korea. 391 pp. (In Korean)
- Eck, J. A. 1972. The host-parasite relationship and control of *Paratylenchus projectus* on *Iris germanica*. M.S. thesis. Oklahoma State University, Stillwater, OK, USA. 55 pp.
- Fourie, H., Mc Donald, A. H. and Waele, D. D. 2010. Relationships between initial population densities of *Meloidogyne incognita* race 2 and nematode population development in terms of variable soybean resistance. *J. Nematol.* 42: 55-61.
- Kang, H., Eun, G., Ha, J., Lee, J., Kim, D., Kim, Y. et al. 2016. Screening of tissue papers for nematode extraction for the baermann funnel method. *Korean J. Appl. Entomol.* 55: 377-381. (In Korean)
- Kim, D.-G., Choi, D.-R. and Lee, S. B. 2001. Effects of control methods on yields of oriental melon in fields infested with *Meloidogyne arenaria*. *Res. Plant Dis.* 7: 42-48. (In Korean)
- Korea Rural Economic Institute. 2017. URL <https://www.krei.re.kr/krei/index.do> [17 December 2020].
- Kwon, G., Kang, H., Seo, J., Yun, E., Park, N. and Choi, I. 2019. First report of corky roots of lettuce (*Lactuca sativa*) associated with *Paratylenchus projectus*. *Res. Plant Dis.* 25: 237-242. (In Korean)
- Long, J. H. and Todd, T. C. 2001. Effect of crop rotation and cultivar resistance on seed yield and the soybean cyst nematode in full-season and double-cropped soybean. *Crop Sci.* 41: 1137-1143.
- Mackeen, M. M., Ali, A. M., Abdullah, M. A., Nasir, R. M., Mat, N. B., Razak, A. R. et al. 1997. Antinematodal activity of some Malaysian plant extracts against the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. *Pest. Manag. Sci.* 51: 165-170.
- McSorley, R. and Gallaher, R. N. 1993. Effect of crop rotation and tillage on nematode densities in tropical corn. *J. Nematol.* 25(4 Suppl): 814-819.
- McSorley, R., Parrado, J. L. and Dankers, W. H. 1984. A quantitative comparison of some methods for the extraction of nematodes from roots. *Nematropica* 14: 72-84.
- Nemaplex. 2020. THE «NEMATODE-PLANT EXPERT INFORMATION SYSTEM». A virtual encyclopedia on soil and plant nematodes. URL <http://nemaplex.ucdavis.edu/> [17 December 2020].
- Pinochet, J. and Raski, D. J. 1977. New records of nematodes from Korea, including *Paratylenchus pandus* n.sp. (Paratylenchidae nematoda). *J. Nematol.* 9: 243-247.
- Rhoades, H. L. and Linford, M. B. 1959. Molting of preadult nematodes of the genus *Paratylenchus* stimulated by root diffusates. *Science* 130: 1476-1477.
- Rhoades, H. L. and Linford, M. B. 1961. Biological studies on some members of the genus *Paratylenchus*. *Proc. Helminthol. Soc. Wash.* 28: 51-59.
- Rural Development Administration. 2012. Analysis and Research Standard of Agricultural Science Technology. 5th ed. Rural Development Administration, Suwon, Korea. 1135 pp. (In Korean)
- Tanimola, A. A., Asimeaa, A. O. and Ofuru-Joseph, S. 2013. Status of plant-parasitic nematodes on plantain (*Musa parasidiaca* (L.)) in Choba, Rivers State, Nigeria. *World J. Agric. Sci.* 9: 189-195.
- SAS Institute Inc. 2019. SAS/STAT Software for PC. Release 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Wood, F. H. 1973. Biology and host range of *Paratylenchus projectus* Jenkins, 1956 (Nematoda: Criconematidae) from a sub-alpine tussock grassland. *New Z. J. Agric. Res.* 16: 381-384.