

국내 들깨 재배지 식물기생선충 감염현황

고형래^{†,*}, 강헌일[†], 김은화, 박은형, 박세근

국립농업과학원 작물보호과

Incidence of plant-parasitic nematodes in perilla in Korea

Hyoung-Rai Ko^{†,*}, Heonil Kang[†], Eun-hwa Kim, Eun-Hyung Park and Se-Geun Park

Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea

*Corresponding author

Hyoung-Rai Ko
Tel. 063-238-3317
E-mail. reachsg@korea.kr

[†]This authors contributed equally to this work.

Received: 2 March 2021
Revised: 31 March 2021
Revision accepted: 6 May 2021

Abstract: To investigate the incidence of plant-parasitic nematodes (PPNs) in perilla fields in Korea, 55 soil samples were collected from open fields and plastic-film house fields and were analyzed during January 2020 to October 2020. Root-lesion nematodes (RLNs), spiral nematodes, root-knot nematodes, and stunt nematodes were detected in perilla fields, and the incidences of RLNs (39%) and spiral nematodes (55%) were higher than those of other nematodes. Among PPNs, RLNs are very important species found on economic crops. The detection frequency of RLNs was increased due to continuous crop cultivation, and the frequency of fields that cultivated only one crop continuously for over 11 years was twice higher than the frequency of fields that cultivated only one crop for less than 5 years. The PPN species diversity and density were different between leaf-perilla cultivation fields and seed-perilla cultivation fields. In phylogenetic analysis of RLNs, *Pratylenchus penetrans*, *P. vulnus*, and *Pratylenchoides leiocauda* were identified in perilla fields. These results suggest the RLNs should be considered for establishing nematode management strategies in perilla fields in Korea.

Keywords: incidence, perilla, root-lesion nematodes, spiral nematodes

서 론

우리나라에서 들깨(*Perilla frutescens* Britten var. *Japonica* Hara)는 경제적으로 중요한 특용작물 중 하나이며, 특유의 고소한 향으로 인해 잎과 종자 모두 다양한 음식의 재료로 이용되고 있다. 들깨의 재배면적은 2018년 34,863 ha, 생산량은 40,344t으로 알려져 있다(MAFRA 2019). 들깨 중에서 잎 수확이 목적인 잎들깨 재배는 고소득을 낼 수 있어 충남 금산, 경남 밀양을 중심으로 오랫동안 연작을 해

오고 있다(Ha and Park 1999). 연작으로 인해 지상부 잿빛 곰팡이병(*Botrytis cinerea*), 균핵병(*Sclerotinia sclerotiorum*)과 기저부에는 식물기생선충(plant-parasitic nematodes)에 의한 피해로 안정적인 생산에 차질을 빚고 있다(Moon *et al.* 1998; Shin *et al.* 2006; Choi *et al.* 2008; Kim *et al.* 2013). 특히, 들깨에 피해를 주는 식물기생선충은 토양에 한번 감염되면 완전 박멸시킬 수 없어 방제를 더욱 어렵게 한다(Masler and Perry 2018).

들깨에 발생하는 식물기생선충으로는 뿌리썩이선충

(root-lesion nematode), 뿌리혹선충 (root-knot nematode), 나선선충 (spiral nematode) 등이 알려져 있다 (Choo and Choi 1979; Kim *et al.* 2000). 이 중에서 뿌리썩이선충은 뿌리혹선충, 씨스트선충 (cyst nematode)과 함께 경제적으로 중요한 식물기생선충으로 다뤄지고 있으며 (Castillo and Vovlas 2007), 미국 북서부에서는 뿌리썩이선충에 의해 연간 510억원의 경제적 피해를 받고 있는 것으로 알려져 있다 (Smiley 2010). 뿌리썩이선충은 기주범위가 넓고 다양한 기후 조건에서 생존이 가능하다 (Castillo and Vovlas 2007). 그러나 온도와 같은 환경 조건이 종내 형태적 변이를 유발하는 것으로 알려져 있어 종 동정이 어렵고, 순수 분리 및 유지 증식이 까다로워 뿌리혹선충과 씨스트선충에 비해 상대적으로 국내외에서 수행된 연구가 적다 (Doucet *et al.* 2001; Jesus *et al.* 2020).

뿌리썩이선충의 종 동정은 형태적 특성을 이용한 고전 분류, 단백질을 추출하여 isozyme polymorphic banding pattern을 이용한 동위효소 분석, PCR을 기반으로 한 제한효소절편길이다형성 (restriction fragment length polymorphism, RFLP), 종특이프라이머 (species specific primer)를 이용한 실시간 (real-time) PCR 등이 이용되어 왔다 (Yu *et al.* 2012). 최근에는 선충이 공통으로 가지는 28S ribosomal RNA, internal transcribed spacer region, mitochondrial DNA의 일부 염기서열 정보를 기반으로 한 DNA 바코드 기술도 종 동정에 널리 이용되고 있다 (Ozbayrak *et al.* 2019).

최근 국내 들깨 주산지인 연작으로 인해 식물기생선충에 의한 피해가 예상되나 감염실태가 조사된 바 없다. 따라서 본 연구는 국내 들깨 주산지를 대상으로 식물기생선충의 감염실태를 파악하고 DNA 바코드 기술을 이용하여 문제 선충의 종을 동정함으로써 방제 기술 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 토양 시료 채취

들깨 재배지의 식물기생선충 감염현황을 조사하기 위해 2020년 1월 21일부터 10월 27일까지 충남 태안, 금산, 충북 증평, 음성, 보은, 옥천, 경남 밀양, 경산 총 8개 시군의 노지, 시설 들깨 재배지에서 토양 시료를 채취하였다. 토양

시료는 직경 2 cm 토양시료 채취기를 이용하여 들깨 뿌리 주변 토양을 깊이 15 cm 정도 채취하였으며, 1개의 포장에서는 100평당 10지점을 기준으로 약 1,000 cm³의 토양을 채취하여 혼합하였다. 토양 채취 시에는 채집지의 주소, 포장유형, 재배목적, 연작연수에 대한 정보를 함께 수집하였다. 채취한 토양 시료는 선충을 분리하기 전까지 8°C 저온 창고에 보관하였다.

2. 선충 분리 및 밀도 검정

토양 시료에서 선충 분리는 체법과 깔때기법을 이용하였다 (Barker 1985; Kang *et al.* 2016). 채취한 토양을 길이 70 cm, 폭 20 cm 비닐봉투에 넣고 골고루 잘 섞은 다음 100 cm³ 계량컵을 이용하여 시료별로 정량하였다. 정량한 토양을 5 L의 플라스틱 물통에 넣고 4 L의 수도물을 첨가하여 토양 현탁액을 만들었다. 토양 현탁액을 20 mesh와 400 mesh 체에 차례로 거르고 400 mesh 체 위에 남은 물질을 wash bottle을 이용하여 100 mL 비커에 옮겨 담았다. 비커에 옮겨 담은 액체를 Baermann 깔때기에 위에 붓고 25°C에서 48시간 경과시켰다. 48시간 경과 후 깔때기 하단부에 모인 액체를 15 mL centrifuge tube로 옮겨 담았다. 피펫을 이용하여 해당 용액 1 mL을 취한 다음 유리로 된 counting dish에 옮겨 담고 실체현미경 (MZ12; Leica, Wetzlar, Germany)을 이용하여 선충의 종류와 밀도를 검정하였다.

3. 선충 DNA 추출

들깨 재배지에서 검출된 식물기생선충 중 검출 빈도가 높았던 선충은 PCR을 이용한 분자생물학적 기법으로 종 동정을 수행하였다. 선충의 DNA 추출은 변형된 Iwahori *et al.* (2000)의 방법을 이용하였다. 대상 선충을 3차 증류수 1 방울이 떨어져 있는 slide glass로 옮겼다. 이를 다시 증류수로부터 분리시키고, 가로 1 mm × 세로 1 mm의 filter paper chip을 이용하여 선충을 절단시킨 다음 으깨어 선충 체벽을 파쇄시켰다. 이때 사용한 chip을 10 µL DNA 추출용액 (2 M KCl, 10 mM Tris-HCl, 1 M MgCl₂, 10% [w/v] Triton-X 100, 20.6 mg mL⁻¹ Proteinase K)가 들어있는 0.2 mL PCR tube에 넣고 PCR 장치 (PTC-200; MJ Research, Alameda, CA, USA)를 이용하여 60°C에서 30분, 95°C에서 10분간 Lysis 과정을 거쳐 DNA를 추출하였다.

4. 중합효소연쇄반응 및 DNA 염기서열 분석

분리한 식물기생선충의 genomic DNA를 주형으로 중합효소연쇄반응 (polymerase chain reaction, PCR)을 수행하였다. 식물기생선충의 종류와 관계없이 식물기생선충의 DNA 바코드 분석에 주로 이용되고 있는 28S ribosomal RNA의 D2-D3 유전자 부위를 이용하였다. D2-D3 부위의 증폭에는 forward primer D2A (5'-ACAA GTACCGTGAGGGAAAGTTG-3')와 reverse primer D3B (5'-TCGGAAGGAACCAGCTACTA-3') 세트를 이용하였다 (Nunn 1992). PCR 반응을 위해 15 µL의 PCR premix (Ready-2X-Go with Taqplus; Namohelix™, Daejeon, Korea)가 담긴 0.2 mL PCR tube에 주형 DNA 3 µL, 10 pmol forward primer 1 µL, 10 pmol reverse primer 1 µL와 3차 증류수 30 µL를 넣어 총 50 µL의 반응액을 만들었다. 이 반응액을 PCR 장치 (PTC-200; MJ Research, Alameda, CA, USA)에 넣고 다음과 같은 조건으로 PCR 반응을 진행하였다: pre-denaturation 94°C 30초, denaturation 94°C 1분, annealing 55°C 40초, extension 72°C 1분, cycling stage 35회 반복, final-extension 72°C 5분. PCR 증폭산물은 전기영동기 (Mupid eXu; ADVANCE, Tokyo, Japan)에서 1% agarose gel, 1× TAE buffer (0.04 M Tris-Acetate, 0.001 M

EDTA), 100 V, 25 mA의 조건으로 전기영동한 다음, UV transilluminator (UVCI-1100; Major science, New Taipei City, Taiwan)를 이용하여 밴드 유무를 확인한 다음 DNA 염기서열분석은 (주)마크로젠에 의뢰하여 시퀀싱 장비 (ABI 3730xl system)를 이용한 Sanger sequencing을 수행하였고 분석 결과 파일들 (.ab1, .seq)을 제공받았다. 제공받은 분석 결과 파일들은 Chromas Lite 2.0, EditSeq 5.05와 SeqMan 5.05 프로그램을 이용하여 각 시료별 최종 염기서열을 결정하였다.

5. 분자생물학적 계통수 작성

검출 선충의 분자생물학적 계통분석을 위해 PCR 증폭산물의 염기서열을 이용하였다. 계통수 작성에 필요한 식물기생선충들의 reference sequence는 미국국립생물정보센터 (NCBI)에서 속별로 데이터를 다운로드 받았으며, 각 시료의 DNA 염기서열과 함께 dataset를 작성하여 Clustal X 1.83의 기본값으로 정렬하였다. 계통수는 베이지안 분석프로그램인 Mrbayes 3.2.6.을 이용하여 general time reversible substitution model (GTR+I+G)를 이용하여 작성하였으며 (Vovlas *et al.* 2015), Dendroscope 3.5.7을 이용하여 편집하였다. 계통분석을 위한 외집단 분류군

Table 1. Root-lesion nematodes for phylogenetic analysis in this study

Nematode	Code	Location	Date	GPS coordinate
<i>Pratylenchus</i> spp.	JD456A2	Geumsan	21 th Jan. 2020	36.18537, 127.47785
	CJ143A3	Geumsan	21 th Jan. 2020	36.18171, 127.47867
	JD693A2	Geumsan	22 th Jan. 2020	36.18330, 127.48266
	JD693A3	Geumsan	22 th Jan. 2020	36.18330, 127.48266
	GC111A1	Miryang	13 th Oct. 2020	35.49966, 128.80775
	DJ57A1	Miryang	13 th Oct. 2020	35.50388, 128.82814
	GS1374A1	Miryang	13 th Oct. 2020	35.54341, 128.77477
	GS10245A1	Miryang	13 th Oct. 2020	35.56040, 128.75856
	ID66SA1	Gyeongsan	27 th Oct. 2020	35.84747, 128.74561
	<i>Pratylenchoides</i> spp.	CJ055D1	Geumsan	21 th Jan. 2020
CJ141D2		Geumsan	21 th Jan. 2020	36.18010, 127.47594
JD410D2		Geumsan	21 th Jan. 2020	36.19055, 127.47937
JD454D2		Geumsan	21 th Jan. 2020	36.18576, 127.47914
MJ134A1		Geumsan	22 th Jan. 2020	36.19376, 127.47868
MJ465D1		Geumsan	22 th Jan. 2020	36.18823, 127.47512
MJ452A1		Geumsan	22 th Jan. 2020	36.18328, 127.48366
MJ454D1		Geumsan	21 th Jan. 2020	36.18574, 127.47919
HS657D1		Geumsan	31 th Jan. 2020	36.16202, 127.47301
HS701D1		Geumsan	31 th Jan. 2020	36.16114, 127.47632

Table 2. Incidence of plant-parasitic nematodes in perilla fields in Korea

Location	No. of fields sampled	No. of fields detected (mean density / 100 cm ³ soil, frequency: %*)			
		Root-knot nematodes	Root-lesion nematodes	Spiral nematodes	Stunt nematodes
Geumsan	19	5 (96, 26)	13 (331, 68)	15 (308, 79)	9 (289, 47)
Taeon	3	0	0	0	0
Jeungpyeong	2	1 (10, 50)	0	1 (70, 50)	0
Eumseong	7	1 (270, 14)	0	3 (7, 43)	0
Boeun	1	0	0	1 (485, 100)	0
Okcheon	1	0	0	0	0
Miryang	14	2 (13, 14)	5 (265, 36)	6 (2, 100, 43)	0
Gyeongsan	4	0	2 (10, 50)	2 (323, 50)	0
Total	51	9 (88, 18)	20 (282, 39)	28 (658, 55)	9 (289, 18)

*Frequency: No. of fields detected by nematodes/No. of fields sampled by location × 100

(outgroup)은 Palomares-Rius *et al.* (2010)의 선행연구 결과를 참고하였다.

결 과

1. 국내 들깨 재배지 식물기생선충 감염현황

국내 들깨 재배지를 대상으로 식물기생선충 감염 실태를 조사한 결과, 뿌리혹선충 (root-knot nematodes), 뿌리썩이선충 (root-lesion nematodes), 나선선충 (spiral nematodes), 위축선충 (stunt nematodes) 속의 선충이 주로 검출되었다 (Table 2). 이 중에서 뿌리썩이선충속과 나선선충속의 감염 포장 수는 20개 (39%), 28개 (55%)로 다른 선충속에 비해 상대적으로 높은 감염률을 보였다. 시군별 감염률은 시료점수가 많은 금산과 밀양에서 높게 나타났으나 다른 지역의 시료점수가 낮아 상대적 감염률 비교는 어려웠다. 한편, 잎들깨 주산지로 알려진 금산 지역은 뿌리썩이선충속과 나선선충속의 감염 포장수가 13개 (68%),

15개 (79%)로 나타났으며, 잎들깨 주산지 중 하나인 밀양 지역의 감염 포장수 5개 (36%), 6개 (43%) 보다 더 높은 것으로 나타났다.

연작연수에 따른 들깨의 식물기생선충 감염현황을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 뿌리썩이선충속과 나선선충속의 식물기생선충은 들깨의 연작연수가 증가할수록 발생 빈도가 증가하는 추세를 보였다. 특히, 뿌리썩이선충은 연작연수가 11년 이상 경과하면 감염률이 88%로 5년 미만일 때 (42%)보다 2배 이상 증가하는 것으로 나타났다.

들깨 재배포장의 유형에 따라서도 감염된 식물기생선충의 종류나 발생 빈도가 다른 것으로 나타났다 (Table 4). 시설재배지의 뿌리썩이선충속과 위축선충속 선충의 감염률 (65%, 31%)이 노지 재배지의 감염률 (12%, 4%)에 비해 현저히 높게 나타났다.

들깨의 재배 목적에 따른 식물기생선충 감염현황을 조사한 결과 (Table 5), 잎 수확을 목적으로 하는 들깨 재배지의 식물기생선충 감염률이 종자 수확을 목적으로 하는 들깨 재배지보다 더 높은 것으로 나타났다. 특히, 뿌리썩이선

Table 3. Incidence of plant-parasitic nematodes in perilla fields by the continuous cultivation period

Continuous cultivation periods (year)	No. of fields sampled	No. of fields detected (mean density/ 100 cm ³ soil, frequency: %*)			
		Root-knot nematodes	Root-lesion nematodes	Spiral nematodes	Stunt nematodes
1-5	7	2 (75, 29)	3 (163, 42)	4 (338, 57)	1 (240, 14)
6-10	5	1 (10, 20)	4 (480, 80)	4 (666, 80)	3 (463, 60)
≥ 11	8	2 (205, 25)	7 (284, 88)	7 (384, 88)	4 (135, 50)

*Frequency: No. of fields detected by nematodes/No. of fields sampled by type × 100

Table 4. Incidence of plant-parasitic nematodes in perilla fields by the field type

Field type	No. of fields sampled	No. of fields detected (mean density/ 100 cm ³ soil, frequency: %*)			
		Root-knot nematodes	Root-lesion nematodes	Spiral nematodes	Stunt nematodes
Plastic film house	26	5 (114, 19)	17 (313, 65)	17 (306, 65)	8 (271, 31)
Open fields	25	5 (62, 20)	3 (110, 12)	11 (1,179, 44)	1 (430, 4)

*Frequency: No. of fields detected by nematodes / No. of fields sampled by field type × 100

Table 5. Incidence of plant-parasitic nematodes in perilla fields by the harvest part

Harvest part	No. of fields sampled	No. of fields detected (mean density/ 100 cm ³ soil, frequency: %*)			
		Root-knot nematodes	Root-lesion nematodes	Spiral nematodes	Stunt nematodes
Leaf	34	8 (75, 24)	20 (282, 59)	22 (811, 65)	9 (289, 26)
Seed	17	2 (140, 12)	0	6 (98, 35)	0

*Frequency: No. of fields detected by nematodes / No. of fields sampled by harvest part × 100

층과 위축선충은 잎을 수확하는 잎들께 재배지에서만 높은 빈도(59%, 26%)로 검출되었다.

2. 뿌리썩이선충류의 분자생물학적 종 동정

국내 들깨 재배지에서 검출된 식물기생선충 가운데 경제적으로 중요하며 감염률이 높았던 뿌리썩이선충류의 분자생물학적 종 동정을 수행하였다. 뿌리썩이선충류의

28S ribosomal RNA D2-D3 영역 염기서열을 기반으로 한 분자생물학적 종 동정 결과는 Fig. 1과 같다. 분자생물학적 계통분석 결과에서 국내 들깨 재배지 4개 포장(JD456A2, CJ143A2, JD693A2, JD693A3), 5개 포장(GC111A1, DJ57A1, ID66SA1, GS1374A1, GS10245A1), 10개 포장(CJ055D1, CJ141D2, JD410D2, JD454D2, NJ134A1, MJ465D1, MJ452A1, MJ454D1, HS657D1, HS701D1)에서 검출된 뿌리썩이선충류는 각각 딸기뿌리썩이선충

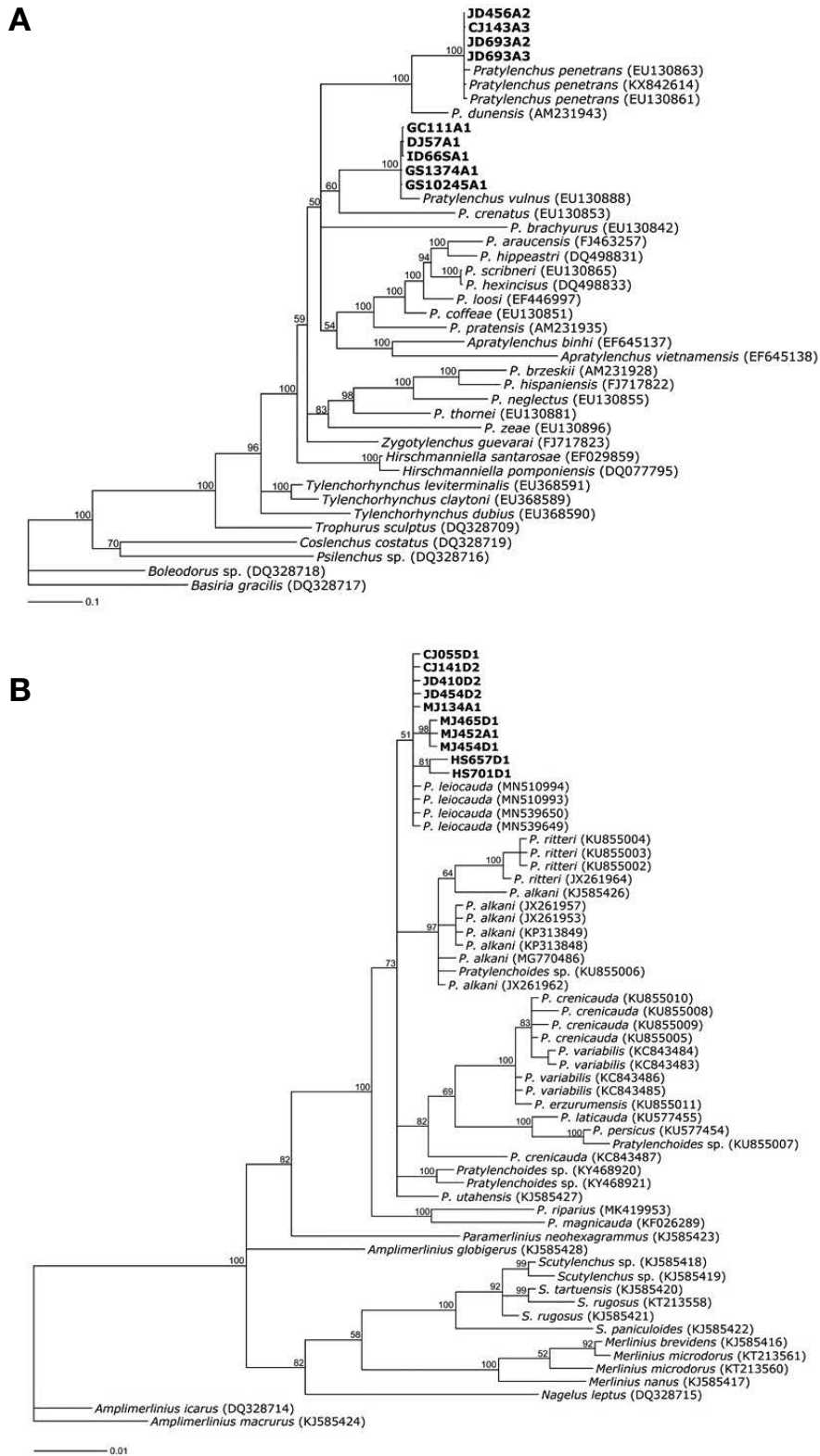


Fig. 1. Bayesian trees inferred from datasets of root-lesion nematodes, which were detected from perilla fields in Korea. A: *Pratylenchus* spp. B: *Pratylenchoides* spp. Newly obtained sequences of root-lesion nematodes are indicated in bold. The number on the node represents posterior probability.

(*Pratylenchus penetrans*), 사과뿌리썩이선충(*P. vulnus*), 잎들깨뿌리썩이선충(가칭, *Pratylenchoides leiocauda*)과 같은 clade로 클러스터링되었다. 미국국립생물정보센터(NCBI)의 database를 기반으로 blast 검색을 수행한 결과, 잎들깨뿌리썩이선충은 99.73~100%, 딸기뿌리썩이선충은 97.30~100%, 사과뿌리썩이선충은 100%의 유전적 상동성을 보였다. 분석 결과에 따라 국내 들깨 재배지에는 2속 3종(*Pratylenchus penetrans*, *P. vulnus*, *Pratylenchoides leiocauda*)의 뿌리썩이선충류가 감염되어 있는 것으로 나타났다.

고 찰

국내 들깨 재배지의 식물기생선충 감염 현황은 제주 지역을 대상으로 Choo and Choi(1979)에 의해 보고된 바 있으며, 고추나선선충(*Helicotylenchus dihystra*), 당근뿌리혹선충(*Meloidogyne hapla*) 등이 주요 선충으로 나타났다. 들깨 재배지를 대상으로 2000년대 이전 조사된 연구 결과로 지역적 차이, 시간 경과에 따른 감염현황 비교분석이 수행된다면 방제 연구계획 수립 시 좋은 근거 자료가 될 것이나 해당 연구에서는 감염 빈도, 밀도 등의 정보가 없어 본 연구 결과와 비교분석은 어려울 것으로 판단된다. Ha *et al.* (2016)의 연구에서도 뿌리혹선충(*Meloidogyne spp.*)이 들깨에 피해를 주어 저항성 검정을 수행하였다는 연구 결과만 있을 뿐 들깨 주산지별 감염 빈도, 밀도 등에 관한 연구 결과는 없었다. 뿌리썩이선충(*Pratylenchus spp.*)은 남부지방의 잎들깨 재배지에서 잎들깨의 생육 저하 및 고사 피해를 일으키는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.* 2000). 뿌리썩이선충에 의한 들깨의 피해 정도에 대한 주산지별 조사 결과는 아직까지 없었으며 본 연구에서 처음 수행되었다. 뿌리썩이선충의 평균 감염밀도는 토양 100 cm³ 당 282마리로 나타났으며, 타작물의 평균적인 경제적 피해한계밀도(1~200마리 이상/토양 100 cm³)를 고려하였을 때 경제적으로 큰 피해가 있을 것으로 예상된다(Dickerson *et al.* 2000). 현재까지 연구 결과를 종합했을 때 들깨 재배지에는 뿌리썩이선충, 나선선충이 문제 선충으로 확인되며 본 연구의 결과도 이와 일치하였다(Table 2).

고추, 참외, 부추 등 농작물의 연작연수가 증가할수록 식물기생선충에 의한 피해가 비례하여 증가한다는 많은 연구 결과가 있다(Park *et al.* 2003; Kim and Lee 2008; Ko *et*

al. 2011; Kang *et al.* 2015). 본 연구에서도 들깨의 연작연수가 증가할수록 뿌리썩이선충의 피해가 증가하는 결과를 나타냈다(Table 3). 뿌리썩이선충의 한세대 기간은 평균 54~65일이며 암컷 1마리당 평균 16~35개의 알을 낳는데(Castillo and Vovlas 2007), 뿌리썩이선충의 기주가 되는 작물을 매년 연작하면 1마리가 수십마리로 증식되고 포장 전체에 감염됨으로써 발생 조사 시 검출 빈도가 더 높아지는 것으로 판단된다.

작물이 재배되는 포장유형에 따라서도 검출되는 식물기생선충의 종류나 밀도가 다른 것으로 알려져 있다(Ko *et al.* 2017; Ko *et al.* 2019). 본 연구에서도 들깨의 식물기생선충 발생 조사지를 시설재배지와 노지재배지로 구별하여 조사하였다. 그 결과, 시설재배지는 뿌리썩이선충류와 나선선충류가 주요 검출 선충으로 나타났으며 노지재배지는 뿌리혹선충과 나선선충류가 주요 검출 선충으로 나타났다(Table 4). 일반적으로 노지에서는 들깨를 다른 작물과 함께 돌려짓기하는 재배특성을 보이나, 잎들깨를 수확하는 시설재배지에서는 매년 연작을 하기 때문에 검출되는 선충상(nematode fauna)이 다른 것으로 판단된다. 한편, 들깨를 재배하는 목적에 따라서도 검출된 식물기생선충의 종류나 밀도가 다르게 나타났다(Table 5). 잎들깨는 주로 비닐하우스에서 재배되며 장기간 연작을 해온 대표적인 작물이다. 반면, 종실용 들깨는 주로 노지에서 재배되고 윤작을 한다. 이러한 결과는 재배포장의 유형이나 작부방식의 차이에 의한 효과로 판단된다. 따라서 들깨 시설재배지에서는 답전윤환을 하면 연작으로 인한 뿌리썩이선충, 나선선충의 피해를 감소시킬 수 있을 것으로 보이며(Kim 2001), 이를 검증하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

뿌리썩이선충은 국내에서 무, 딸기 등 채소 작물과 국화와 같은 화훼류에서 피해를 주고 있는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.* 2008; Ko *et al.* 2017; Park *et al.* 2019). 본 연구에서도 뿌리썩이선충이 들깨 재배지에서 검출된 선충 가운데 검출 빈도가 가장 높은 선충으로 나타났다. 그러나, 뿌리썩이선충은 종에 따라 적용 가능한 방제 방법이 다르기 때문에 방제를 위해서는 종 동정이 반드시 선행되어야 한다(Castillo and Vovlas 2007). 본 연구에서는 들깨 재배지에서 검출된 뿌리썩이선충의 분자생물학적 종 동정을 수행하였으며, 딸기뿌리썩이선충(*Pratylenchus penetrans*), 사과뿌리썩이선충(*P. vulnus*), 잎들깨뿌리썩이선충(가칭, *Pratylenchoides leiocauda*)으로 동정되었다. 연구 결과에 따

라, 들깨 재배지의 뿌리썩이선충 피해경감 기술 개발 시에는 2속 3종의 뿌리썩이선충들이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 잎들깨뿌리썩이선충은 국내에서는 처음 발견된 선충으로 형태적인 특성 분석과 유전자 부위별 분자생물학적 특성 분석이 추가적으로 수행되어야 할 것이다. 흥미로운 점은 종 동정 결과에서 충남 금산의 들깨 재배지에서는 딸기뿌리썩이선충과 잎들깨뿌리썩이선충, 경남 밀양, 경산의 들깨 재배지에서는 사과뿌리썩이선충만 각각 검출되었다. 사과뿌리썩이선충은 딸기에 큰 피해를 주고 있는 것으로 연구된 바 있으며 (Ko *et al.* 2016), 밀양의 조사 지역 주변에서도 딸기가 재배되고 있었다. 이는 트랙터와 같은 농기계를 공동으로 사용하여 같은 지역에서 재배되는 딸기의 문제 선충이 또 다른 기주작물인 들깨에 영향을 미친 것으로 판단되나 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다. 한편, 나선선충류도 높은 빈도로 검출되었으나 들깨에 어떠한 피해를 일으키는지에 대한 연구 결과가 없다. 향후에는 들깨 작물에 대한 나선선충류와 뿌리썩이선충 (*Pratylenchoides* spp.)의 피해 해석을 위한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

적 요

국내 들깨 재배지의 식물기생선충 감염현황을 조사하기 위해 2020년 1월 21일부터 10월 27일까지 8개 시군의 노지, 시설 들깨 재배지에서 채취한 토양 시료 51점을 분석하였다. 들깨 재배지에는 뿌리썩이선충류, 나선선충류, 뿌리혹선충, 위축 선충이 감염되어 있었으며, 뿌리썩이선충(39%)과 나선선충(55%)이 다른 선충에 비해 높은 감염률을 보였다. 들깨는 연작연수가 증가할수록 뿌리썩이선충의 발생 빈도는 증가하는 추세를 보였으며, 11년 이상 연작하면 5년 미만일 때보다 발생 빈도가 2배 이상 증가하였다. 잎들깨와 종실용 들깨 재배지에 감염된 선충 종류와 밀도는 차이를 보였다. 들깨 검출 선충 가운데 경제적으로 중요한 뿌리썩이선충의 분자생물학적 종 동정 결과, 2속 3종 (*Pratylenchus penetrans*, *P. vulnus*, *Pratylenchoides leiocauda*)의 뿌리썩이선충이 감염되어 있는 것으로 나타났다. 본 연구 결과에 따라, 들깨 밭의 선충 관리 전략 수립을 위해서는 뿌리썩이선충이 문제 선충이라는 점이 고려되어야 할 것이다.

사 사

This research was supported by a grant (Project No. 013 391) from Rural Development Administration, Republic of Korea.

REFERENCES

- Barker KR, CC Carter and JN Sasser. 1985. An Advanced Treatise on *Meloidogyne* Volume II: Methodology. North Carolina State University Graphics. Raleigh, NC. p. 223
- Castillo P and N Vovlas. 2007. *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, Biology, Pathogenicity and Management. Brill. Leiden, Nederland. p. 529.
- Choi YS, DG Park, YU Yun, IS Hwang, SM Shin and KR Choe. 2008. Economic injury levels and control thresholds of *Pyrausta napanopealis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) on perilla under green-house. Korean J. Appl. Entomol. 47:149-154.
- Choo HY and YE Choi. 1979. A study on the plant parasitic nematodes (Tylenchida) in Jeju province. Korean J. Pl. Prot. 18:169-175.
- Dickerson OJ, JH Blake and SA Lewis. 2000. Nematode Guidelines for South Carolina. Clemson Extension. Clemson, SC. p. 36.
- Doucet M, P Lax, JAD Rienzo, J Pinochet and P Baujard. 2001. Temperature-induced morphometrical variability in an isolate of *Pratylenchus vulnus* Allen & Jensen, 1951 (Nematoda: Tylenchida). Nematology 3:1-8.
- Ha JH, H Kang, G Eun, J Lee, D Kim and I Choi. 2016. Resistance of sesame and perilla cultivars to *Meloidogyne arenaria* and *M. incognita* in Korea. Res. Plant Dis. 22:184-189.
- Ha SY and SI Park. 1999. Growth characteristics and change of inorganic element in the leaf of perilla by replanting. Korean J. Life Sci. 9:620-627.
- Iwahori H, N Kanzaki and K Futai. 2000. A simple, polymerase chain reaction fragment length polymorphism-aided diagnosis method for pine wilt disease. For. Pathol. 30:157-164.
- Jesus AM, EM Pedrosa, JBRDS Ries and ACF Porto. 2020. Morphological and morphometric characterization of *Pratylenchus* species in sugarcane cropping areas of Pernambuco state. Rev. Caatinga 33:599-607.
- Kang H, G Eun, J Ha, Y Kim, N Park, D Kim and I Choi. 2016. New cyst nematode, *Heterodera sojae* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae) from soybean in Korea. J. Nematol. 48:280-289.
- Kang HI, YJ Ko, NS Park, YC Kim, ST Kim, SW Kwon, TH Jun, DG

- Kim, YH Park and IS Choi. 2015. Occurrence and variation of soil nematodes at continuous plastic film house cultivation in hot pepper. *J. Agri. Life Sci.* 49:1–6.
- Kim DG. 2001. Occurrence of root-knot nematodes on fruit vegetables under greenhouse conditions in Korea. *Res. Plant Dis.* 7:69–79.
- Kim DG and JH Lee. 2008. *Allium tuberosum*, a new host of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* in Korea. *Res. Plant Dis.* 14:76–78.
- Kim SH, SE Park, NY Ko, TH Ryu, HS Shin, HR Kwon, MJ Seo, YM Yu and YN Youn. 2013. The major plant-parasitic nematodes in plastic vinyl house field. *Korean J. Agri. Sci.* 40:101–106.
- Kim SR, KH Choi, HY Choo and HD Sohn. 2000. Biological control of root-lesion nematodes (*Pratylenchus* spp.) by nematode-trapping fungi. *Korean J. Life Sci.* 10:403–407.
- Ko HR, MA Lee, EH Kim, SJ Kim and JK Lee. 2016. Incidence of major plant-parasitic nematodes in main producing areas of strawberry in Korea. *Res. Plant Dis.* 22:249–256.
- Ko HR, MA Lee, EH Kim, SJ Kim and JK Lee. 2017. Incidence of plant-parasitic nematodes in strawberry nursery and nematode dispersal by daughter plant. *Res. Plant Dis.* 23:186–192.
- Ko JY, KJ Choi, DK Hong, SB Byon, SB Bang, JK Lee and HJ Kwon. 2011. Species, density, and selection of control chemical of plant parasitism nematodes produced in sequential cropping fields of *Lilium* oriental hybrids. *J. Agri. Life Environ. Sci.* 23:81–84.
- Lee JK, BY Park, DR Choi and JW Heo. 2008. Damage and occurrence of *Pratylenchus vulnus* and *Paratylenchus* sp. on spray chrysanthemum, *Dendranthema grandiflourm* Kitamura. *Korean J. Appl. Entomol.* 47:473–478.
- MAFRA. 2019. Agriculture, Food and Rural Affairs Statistics Yearbook. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Sejong, Korea. p. 375.
- Masler EP and RN Perry. 2018. Hatch, survival and sensory perception. pp. 44–73. In: *Cyst Nematodes* (Perry RN, M Moens and JT Jones eds.). Centre for Agriculture and Bioscience International. Wallingford, UK.
- Moon BJ, SH Roh, YJ Son, HS Kang, JP Lee, BS Kim and DS Chung. 1998. Occurrence of gray mold rot of perilla caused by *Botrytis cinerea*. *Korean J. Plant Pathol.* 14:467–472.
- Nunn GB. 1992. Nematode molecular evolution. An investigation of evolutionary patterns among nematodes based upon DNA sequences. Ph.D. dissertation. University of Nottingham. Nottingham, UK. p. 187.
- Ozbayrak M, T Todd, T Harris, R Higgins, K Powers, P Mullin, L Sutton and T Powers. 2019. A COI DNA barcoding survey of *Pratylenchus* species in the great plains region of North America. *J. Nematol.* 51:e2019-81.
- Palomares-Rius JE, P stillo, G Liebanas, N Vovlas, BB Landa, JA Navas-Cortes and SA Subbotin. 2010. Description of *Pratylenchus hispaniensis* n. sp. From Spain and considerations on the phylogenetic relationship among selected genera in the family Pratylenchidae. *Nematology* 12:429–451.
- Park DK, JK Kwon, JH Lee, YH Choi, HY Kim, SG Lee and SC Han. 2003. Establishment of effective cropping system to reduce the injuries by continuous cropping in oriental melon. pp. 24–29. In: *Proceeding of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference*. Korean Society for Bio-Environment Control.
- Park SH, NR Kim and SM Kim. 2019. Efficacy of nematicides against root lesion nematode (*Pratylenchus* spp.) and their effect on the yield in radish. *Korean J. Pestic. Sci.* 23:96–101.
- Shin DB, SB Song and BJ Moon. 2006. Occurrence of Sclerotinia rot on perilla caused by *Sclerotinia sclerotiorum* under structured cultivation condition. *Res. Plant Dis.* 12:158–163.
- Smiley RW. 2010. Root-Lesion Nematodes: Biology and Management in Pacific Northwest Wheat Cropping Systems. PNW Extension Bulletin 617. Oregon State University. Corvallis, OR. p. 14.
- Vovlas N, A Vovlas, P Leonetti, G Leibanas, P Castillo, SA Subbotin and JEP Rius. 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.
- Yu YT, HL Liu, AG Zhu, G Zhang, LB Zeng and SD Xue. 2012. A review of root lesion nematode: identification and plant resistance. *Adv. Microbiol.* 2:411–416.