

충남지역 두류작물 재배지 식물기생선충 감염현황*

고형래*** · 박은형** · 김은화** · 이재국**

Incidence of Plant-parasitic Nematodes from Legume Fields in Chungnam Province

Ko, Hyoung-Rai · Park, Eun-Hyoung · Kim, Eun-Hwa · Lee, Jae-Kook

To survey the incidence of plant-parasitic nematodes, 187 soil samples from leguminous plant fields in Chungnam province, Korea were assessed from June to August 2018. As the result, four nematode genera — the cyst nematode (*Heterodera* spp.), root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.), root-lesion nematode (*Pratylenchus* spp.), spiral nematode (*Helicotylenchus* spp.) — were detected. Among them, the incidence of cyst nematode was the highest in Taeaeon (73%) and lowest in Hongseong (10%). The cyst nematode was detected from the adzuki and kidney bean fields as well as soybean fields. The incidence of cyst nematode in upland fields was higher than in paddy fields. In addition, the extracted cyst nematodes consisted of two species, which was identified as *Heterodera glycines* and *H. sojae*. The incidence of *H. glycines* (22%) was higher than *H. sojae* (10%), and a few of the fields (5%) was mixed with two cyst nematodes. This result suggested that we should consider that the cyst nematode is the major plant-parasitic nematode when controlling the nematodes in soybean fields in Chungnam province.

Key words : *chungnam*, *cyst nematode*, *incidence*, *legume*, *plant-parasitic nematode*

* 이 연구의 수행은 농촌진흥청 국립농업과학원 기관고유 연구사업(PJ01342805)의 지원으로 이루어졌다.

** 농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과

*** Corresponding author, 국립농업과학원 작물보호과 농업연구사(reachsg@korea.kr)

I. 서 론

콩은 우리나라 원산으로 재배면적은 2018년 기준 45,556 ha로 전국 각지에서 재배되고 있는 중요한 식량 작물 가운데 하나이다(Jo et al., 2006; MAFRA, 2018). 최근에는 콩이 함유하고 있는 다양한 기능성 물질이 밝혀짐에 따라 건강기능식품으로도 재조명되고 있다(Kim, 2006). 그러나 콩은 씨스트선충, 톱다리개미허리노린재, 파밤나방, 불마름병 등 다양한 병해충의 발생으로 수확량 감소, 품질 저하 등 경제적 피해를 받고 있다(Goh et al., 1991; Oh et al., 2009; Hong et al., 2011; Kim et al., 2013a). 이 중에서 씨스트선충은 미국, 캐나다 등 콩을 대규모로 생산하는 국가에서 가장 문제시 되고 있는 병해충으로 잘 알려져 있다(Allen et al., 2017).

콩에 피해를 일으키는 씨스트선충은 콩씨스트선충(*Heterodera glycines*)과 반짝이콩씨스트선충(*Heterodera sojae*) 2종이 알려져 있다(Kim et al., 2013a; Kang et al., 2016). 콩씨스트선충은 러시아인 Jaczewski, 일본인 Hori에 의해 중국(1899), 일본(1915)에서 각각 콩의 씨스트선충 피해와 동일한 ‘yellow dwarf’ 증상을 관찰했다는 기록이 있으며, 1952년 Ichinohe가 형태적 특성을 기반으로 씨스트선충의 종을 분류하면서 콩씨스트선충으로 명명되었다. 콩씨스트선충은 주로 콩과식물(Fabaceae)을 기주로 하며, 이외에도 지치과(Boraginaceae), 석죽과(Caryophyllaceae), 명아주과(Chenopodiaceae), 배추과(Brassicaceae), 꿀풀과(Lamiaceae) 등 콩과 식물이 아닌 다양한 잡초에도 발생하는 것으로 알려져 있다(Subbotin et al., 2010). 이 선충은 이탈리아, 미국, 캐나다, 이집트, 브라질, 한국, 중국 등 전 세계 각지에 분포하고 있으며(Subbotin et al., 2010), 국내에서도 Kim 등(2013a)에 의해 전국 단위 분포가 조사된 바 있다. 한편, 반짝이콩씨스트선충은 2016년 국내에서 발견된 신종 씨스트선충으로 장류 콩에서 처음 검출되었으며, 기주범위는 아직 알려져 있지 않다. 반짝이콩씨스트선충은 한국, 중국에 분포하고 있으며(Kang et al., 2016; Haoyang et al., 2018), 국내 분포 조사는 Kim과 Lee (2019)에 의해 강원, 충북 지역을 대상으로 수행된 바 있다. 분자생물학의 발달로 선충의 종 동정은 주로 PCR-RFLP, real-time PCR, DNA barcode 등에 의해 이루어지고 있으나, 콩씨스트선충과 반짝이콩씨스트선충은 형태적 차이가 뚜렷하여 씨스트의 음문부(vulval cone)의 각도 차이를 통해서도 쉽게 구분할 수 있는 것으로 알려져 있다(Kang et al., 2016; Kang et al., 2018).

반짝이콩씨스트선충은 세계적으로 처음 발견된 씨스트선충으로 농경지에 문제될 소지가 있는지 여부를 판단하기 위한 국내 분포, 기주 범위, 피해한계밀도, 생리·생태적 특성 등의 연구 데이터가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 충남지역의 두류작물 재배지를 대상으로 식물기생선충의 감염 실태를 조사하고 종을 동정함으로써 문제 선충의 위험성 평가 및 방제를 위한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 토양 채취 및 선충 분리

충남지역 콩 재배지 문제 선충의 발생 실태 조사를 위해 2018년 6월 7일부터 8월 31일까지 17개 지역의 두류작물 주산지에서 총 187점(세종 11점, 대전 10점, 공주 16점, 논산 11점, 청양 12점, 부여 13점, 서천 11점, 계룡 11점, 금산 10점, 홍성 10점, 보령 10점, 당진 10점, 서산 10점, 태안 11점, 천안 10점, 예산 11점, 아산 10점)의 토양 시료를 채취하였다 (Table 1). 토양 시료는 100평당 10개 지점을 기준으로 채취하였으며(Barker, 1985), 시료 채취 시 주소, 작물종류, 포장유형, 고도 정보를 함께 기록하였다. 채취한 토양은 가로 20 cm, 세로 70 cm 크기의 비닐봉투에 담아 8°C 저온창고에 보관하면서 수시로 꺼내어 분석에 이용하였다.

토양 내 선충 분리는 체법과 Baermann 깔때기법을 이용하여 분리하였다(Barker, 1985). 토양 시료는 채취 시 사용한 비닐봉투를 이용하여 골고루 섞은 다음, 100 cm³ 토양 계량용 컵을 이용하여 정량하였다. 정량한 토양은 8 L의 수돗물이 들어있는 플라스틱 물통에 넣어 현탁액을 만들고 20, 60 mesh와 400 mesh 체에 순서대로 걸렀다. 60 mesh 체 위에 남은 찌꺼기는 100 ml 비커에 모은 다음 직경 150 mm 필터페이퍼에 걸러 토양 내 씨스트선충의 씨스트(cyst)만 따로 분리하였다. 400 mesh 체 위에 남은 찌꺼기는 100 ml 비커에 모아 Baermann 깔때기 장치에서 48시간 배양하여 토양 내 존재하는 식물기생선충을 분리하였다.

Table 1. Incidence of plant-parasitic nematodes in legumes cultivated fields in Chungnam province by location

Location	No. of samples	No. of detected samples (Mean density, Min. ~ Max. / 100 cm ³ soil)			
		<i>Heterodera</i> (cyst)	<i>Meloidogyne</i>	<i>Pratylenchus</i>	<i>Helicotylenchus</i>
Sejong	11	4 (18, 1~37)	0	1 (13a)	1 (2)
Daejeon	10	4 (19, 2~31)	0	0	0
Gongju	16	6 (6, 1~19)	1 (2)	4 (3, 1~6)	4 (6, 1~13)
Nonsan	11	2 (6, 1~10)	0	0	5 (15, 1~36)
Cheongyang	12	5 (11, 2~44)	0	0	3 (7, 2~13)
Buyeo	13	4 (9, 1~12)	2 (5, 4~5)	0	4 (24, 6~73)

Location	No. of samples	No. of detected samples (Mean density, Min. ~ Max. / 100 cm ³ soil)			
		<i>Heterodera</i> (cyst)	<i>Meloidogyne</i>	<i>Pratylenchus</i>	<i>Helicotylenchus</i>
Seocheon	11	4 (12, 3~28)	1 (1)	2 (13, 1~25)	1 (33)
Gyeryong	11	3 (12, 1~22)	1 (1)	4 (3, 1~6)	5 (2, 1~3)
Geumsan	10	6 (7, 1~29)	0	0	2 (9, 2~15)
Hongseong	10	1 (2)	0	1 (1)	1 (1)
Boryeong	10	6 (6, 1~10)	0	1 (1)	2 (8, 4~12)
Dangjin	10	4 (13, 1~30)	0	0	0
Seosan	10	4 (39, 4~113)	1 (2)	0	0
Taeon	11	8 (40, 4~107)	0	0	0
Cheonan	10	6 (76, 1~229)	0	0	0
Yesan	11	4 (10, 1~22)	1 (114)	0	3 (2, 1~2)
Asan	10	7 (73, 9~257)	0	1 (1)	2 (1, 1)
Total	187	78 (26, 1~257)	7 (19, 1~114)	14 (5, 1~25)	33 (10, 1~73)

2. 충남지역 두류작물 재배지 식물기생선충 감염 밀도 조사 및 종 동정

체법과 Baermann 깔때기법을 이용하여 분리한 선충 시료는 실체현미경(MZ12; Leica, Wetzlar, Germany) 아래서 8~50배율로 관찰하면서 식물기생선충의 종류와 밀도를 확인하였다. 또한, 선충 밀도 검정 결과를 바탕으로 토양 채취 시 확보한 조사 지역, 작물 종류, 포장 유형, 고도별 식물기생선충 감염률을 분석하였다. 체법(60 mesh)만 이용하여 분리한 씨스트 시료는 밀도 검정 후 핀셋을 이용하여 씨스트만 따로 골라내어 직경 3 cm 크기의 60 mesh 미니체(micro-sieve)에 별도 보관하였다. 콩 재배지에서 검출된 식물기생선충의 종 동정은 감염 빈도와 감염 밀도가 가장 높은 문제 선충을 대상으로 수행하였으며, 문제 선충의 암컷 생식기 부위인 vulval cone의 형태적 차이와 실체현미경(MZ12; Leica, Wetzlar, Germany)으로 관찰하였을 때의 알(egg) 색깔 차이를 이용하여 문제 선충의 종을 동정하였다(Kang et al., 2016).

3. 충남지역 두류작물 문제 선충 정밀 분포 지도 작성

충남지역 콩 재배지에서 검출된 식물기생선충 가운데 감염 빈도와 감염 밀도가 가장 높은 식물기생선충 속을 문제 선충으로 선정하여 시군별 감염률 지도와 분포 지도를 작성하였다. 감염률 지도는 통계청에서 제공하는 통계지도체험서비스(<http://sgis.kostat.go.kr/statexp/view/index>)를 이용하여 작성하였고, 분포 지도는 구글에서 제공하는 지도서비스(<http://www.google.co.kr/maps>)를 이용하여 작성하였다. 분포 지도 작성 시 조사한 해당 주소지의 문제 선충 감염 유무와 감염 밀도를 확인할 수 있도록 검정 결과 데이터를 함께 입력하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 충남지역 두류작물 재배지 식물기생선충 감염 현황

충남지역 17개 시군의 두류작물 주산지 187개 포장에 대상으로 식물기생선충 감염 현황을 조사한 결과, 토양 내 식물기생선충의 감염 포장 수는 씨스트선충(*Heterodera*), 나선선충(*Helicotylenchus*), 뿌리썩이선충(*Pratylenchus*), 뿌리혹선충(*Meloidogyne*) 순으로 높은 것으로

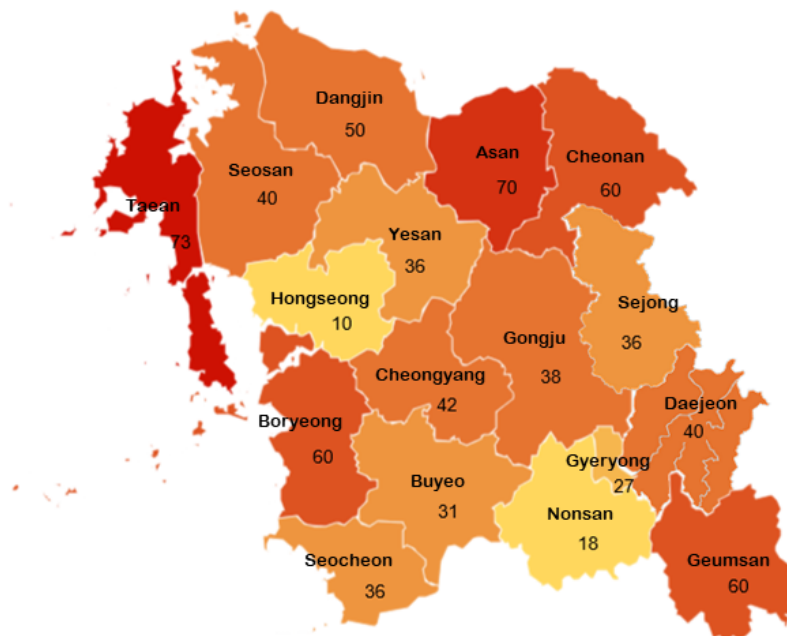


Fig. 1. Incidence (%) of *Heterodera* spp. on pulse crops in Chungnam province.

나타나, 이중 감염 밀도가 가장 높은 씨스트선충 속이 문제 선충인 것으로 확인되었다 (Table 1). 두류작물 재배지 문제 선충으로 확인된 씨스트선충의 감염률은 충남지역 17개 시·군(편의상 세종특별시, 대전광역시도 충남지역으로 포함) 가운데 태안군이 73%로 가장 높은 것으로 나타났고, 홍성군이 10%로 가장 낮은 것으로 나타났다(Fig. 1).

충남지역에서 재배되는 두류작물 종류에 따른 식물기생선충 감염 포장 수는 Table 2와 같다. 콩은 씨스트선충, 나선선충, 뿌리썩이선충, 뿌리혹선충 순으로 감염 포장 수가 높은 것으로 나타났다. 조사 작물이었던 콩, 팥, 강낭콩, 땅콩 모든 작물의 재배 토양에서 문제 선충으로 확인된 씨스트선충이 검출되었으나 조사 시료 수가 적어 선충 종류별 감염 정도를 비교하기에는 어려움이 있었다. 한편, 콩 재배 포장의 유형에 따른 식물기생선충의 감염 포장 수를 조사한 결과 밭에서는 씨스트선충, 나선선충, 뿌리썩이선충, 뿌리혹선충 4종의 선충이 모두 검출되었으며, 씨스트선충의 감염 포장수가 가장 높은 것으로 나타났다(Table 3). 반면 논에서는 씨스트선충과 나선선충 2종의 선충만 검출되었으며 밭과 마찬가지로 씨스트선충의 감염 포장 수가 가장 높았다.

두류작물 문제 선충으로 나타난 씨스트선충의 암컷 생식기 부위 vulval cone의 형태적 차이와 알의 색깔 차이를 이용하여 종 동정을 수행한 결과는 Table 4와 같다. 충남지역 17개 시·군 78개 포장에서 검출된 씨스트를 대상으로 종 동정을 수행한 결과, 콩씨스트선충 단독 감염률은 22%, 반짝이콩씨스트선충 단독 감염률은 10%로 나타났고, 10개 포장(5%)에서는 2종의 씨스트선충이 모두 검출되어 복합 감염되어 있는 것으로 나타났다. 한편, 9개 포장(11.5%)에서 검출된 씨스트는 형태가 불분명하거나 씨스트 내부에 알이 들어있지 않아 종 동정이 불가능했다.

Table 2. Incidence of plant-parasitic nematode in Chungnam province by crops

Crop	No. of samples	No. of detected samples (Mean density, Min. ~ Max. / 100 cm ³ soil)			
		<i>Heterodera</i> (cyst)	<i>Meloidogyne</i>	<i>Pratylenchus</i>	<i>Helicotylenchus</i>
Soybean	162	70 (28, 1~257)	4 (3, 1~5)	11 (5, 1~25)	30 (10, 1~73)
Red bean	7	2 (7, 1~12)	1 (4 ^a)	2 (3, 2~3)	2 (4, 2~6)
Kidney bean	4	1 (1)	0	1 (6)	1 (17)
Peanut	11	4 (5, 1~13)	2 (58, 2~114)	0	0
Complex ^b	3	1 (1)	0	0	0

^a It represents mean density of a field which is detected one sample by location.

^b It represents the sample which of being mixed two legume crops.

Table 3. Incidence of phyto-nematodes in legume crops cultivated fields in Chungnam province by field types

Field type	No. of samples	No. of detected samples (Mean density, Min. ~ Max. / 100 cm ³ soil)			
		<i>Heterodera</i> (cyst)	<i>Meloidogyne</i>	<i>Pratylenchus</i>	<i>Helicotylenchus</i>
Upland	156	70 (23, 1~113)	7 (19, 1~114)	14 (5, 1~25)	32 (10, 1~73)
Paddy	31	9 (48, 1~100)	0	0	1 (1 ^a)

^a It represents mean density of a field which is detected one sample by location.

Table 4. Incidence of *Heterodera* spp. in legumes cultivated fields in Chungnam province

Total no. of samples	No. of detected samples (Incidence ^a : %)			
	<i>H. glycines</i>	<i>H. sojae</i>	<i>H. glycines</i> + <i>H. sojae</i>	<i>Heterodera</i> spp. ^b
187	41 (22)	18 (10)	10 (5)	9 (5)

^a Incidence : No. of detected samples / Total no. of samples × 100

^b The samples could not be identified because the cyst shaep was crushed and was transformed.

2. 충남지역 두류작물 문제 선충 정밀분포지도

충남지역 두류작물 문제 선충으로 나타난 씨스트선충의 정밀분포지도를 작성한 결과는 Fig. 2와 같다. 충남지역 두류작물 재배지의 씨스트선충 감염 현황에 대한 정밀분포지도는 윈도우 운영체제의 Internet explorer 프로그램 주소창에 <http://cncyst.na.to> (https://www.google.co.kr/maps/d/edit?mid=19m8O0MhuN_8e3hQq1oFoz_t-RU1foLwX&ll=36.509281580443414%2C126.55848223168095&z=9) 주소를 입력하면 접속이 가능하며, 물방울 모양의 화살표를 클릭하면 Fig. 2의 네모박스과 같이 해당 포장의 주소와 씨스트선충 감염 정보를 확인할 수 있다.

IV. 고 찰

우리나라에서 콩씨스트선충은 Yokoo에 의해 1936년 처음 보고되었으며(Yokoo, 1936), Kim 등(1999)과 Choi (2000)에 의해 국내 전역에 분포하고 있는 것으로 확인되었다(Kim et al., 1999; Choi, 2000). 당시 연구 자료에는 충남지역의 콩씨스트선충 감염율이 나타나 있지 않아 현재의 콩씨스트선충 감염율과는 비교가 어려웠다. Kim 등(2013a)의 연구에서는 콩기생선충의 중요도 등급이 1) 씨스트선충 2) 뿌리혹선충 3) 뿌리썩이선충 순으로 나타났다. 본 연구에서도 2013년과 마찬가지로 충남지역 두류작물 재배지에서의 씨스트선충 감염 포

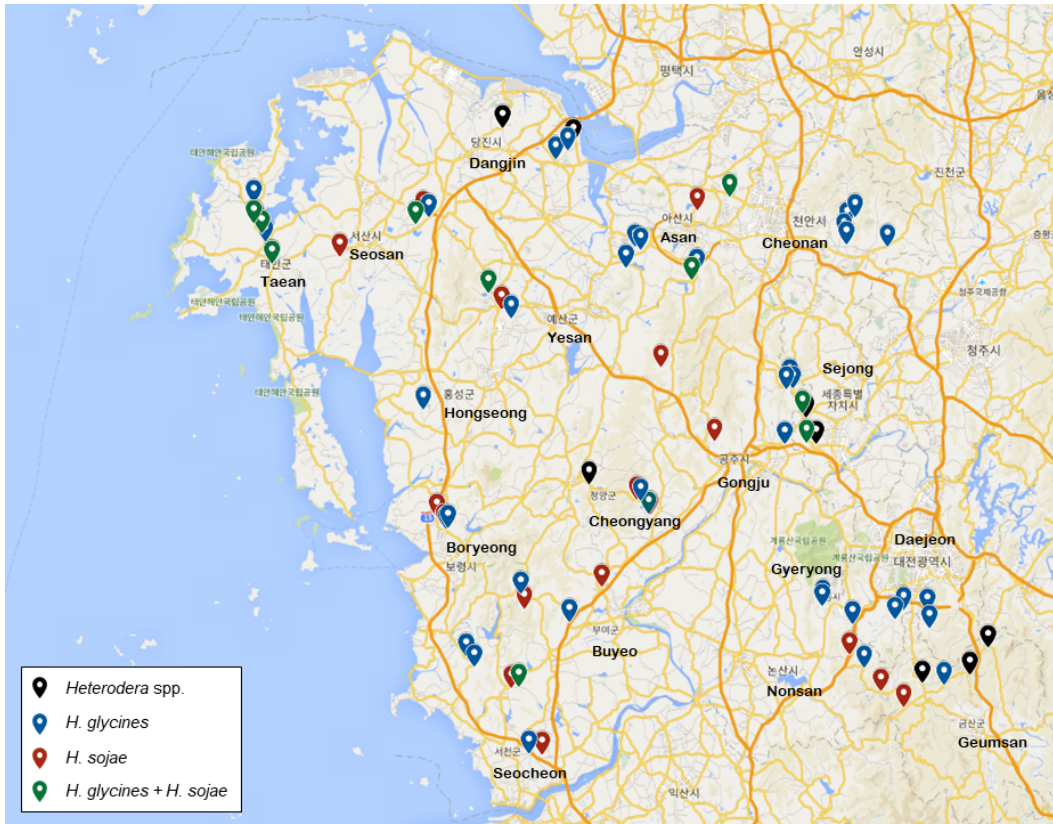


Fig. 2. Distribution map of the cyst nematodes (*Heterodera* spp.) from leguminous plant fields in Chungnam province.

장수와 밀도가 가장 높았으며, 뿌리혹선충과 뿌리썩이선충의 감염 포장수는 뿌리썩이선충이 더 높았지만 뿌리썩이선충의 평균 감염밀도가 토양 100 cm³당 5마리로 피해한계밀도보다 낮아 큰 피해를 주지 않을 것으로 보인다(Dickerson et al., 2000). 따라서, 충남지역 두류작물 기생선충의 중요도는 씨스트선충 1등급, 뿌리혹선충 2등급, 뿌리썩이선충 3등급으로 보는 것이 좋을 것으로 판단된다.

충남지역 두류작물 재배지의 씨스트선충 평균 감염밀도는 토양 100 cm³ 당 씨스트 26개로 나타났다(Table 1). 이는 콩의 유묘기 콩씨스트선충 피해한계밀도인 토양 100cm³ 당 씨스트 4개 이상의 밀도이며(Han and Cho, 1980), 충남지역에서 씨스트선충에 감염된 것으로 나타난 대부분의 두류작물 재배지는 씨스트선충에 의한 수량 손실 피해를 받고 있을 것으로 판단된다. 그러나 반작이콩씨스트선충은 아직 피해한계밀도에 관한 연구 결과가 없으므로 이들 선충이 감염된 포장의 피해 여부는 판단할 수 없으며, 추가 연구가 수행되어야 정확한 판단이 가능할 것으로 보인다. 시군별로는 홍성을 제외한 모든 시군의 콩밭에서 씨스트선충이 피해한계밀도 이상으로 검출되어 대부분 시군의 두류작물 재배지에서 선충 피해가 클

것으로 생각된다.

두류작물 종류별 식물기생선충의 감염 현황 분석 결과 콩에서는 씨스트선충의 감염 포장수와 밀도가 가장 높아 중요도 1등급 선충으로 판단된다(Table 2). 뿌리혹선충, 뿌리썩이선충, 나선선충은 콩을 가해하는 선충이지만 평균 감염밀도가 피해한계밀도보다 낮아 큰 피해는 없을 것으로 생각된다(Dickerson et al., 2000). 콩 이외에도 강낭콩, 땅콩, 팥 재배지에 씨스트선충이 감염되어 있는 것으로 나타났다(Table 2). 선행 연구에 따르면 강낭콩, 팥은 콩씨스트선충의 기주식물로 알려져 있으며(Poromarto and Nelson, 2009; Ye, 2018), 국내에서도 강낭콩과 팥은 씨스트선충 피해가 있을 것으로 판단된다. 땅콩은 콩씨스트선충의 비기주식물로 알려져 있어 씨스트선충은 감염되어 있어도 피해가 없을 것으로 보인다. 반면 뿌리혹선충의 감염밀도는 피해한계밀도인 토양 100 cm³ 당 50마리 이상으로 검출되어 뿌리혹선충이 감염된 땅콩 재배지에서는 피해가 있을 것으로 판단된다(Dickerson et al., 2000). 한편, 반쪽이콩씨스트선충에 대해서는 기주식물에 대한 정보가 없어 이들에 의한 피해 여부를 판단하기 어려워 기주식물에 대한 추가 연구가 필요하다.

콩 재배 포장의 유형에 따른 식물기생선충의 감염 포장수는 밭이 논보다 더 높은 것으로 나타났다(Table 3). Kim and Lee (2019)의 연구에 따르면 점토나 미사 함량이 높은 토양보다 모래 함량이 높은 사질토에서 씨스트선충의 감염율이 더 높았다. 일반적으로 밭이 논보다 모래 함량이 더 높기 때문에 밭에서의 씨스트선충 감염율이 더 높게 나타났을 것으로 생각된다. 반면, 씨스트 평균 감염밀도는 밭보다 논에서 더 높은 것으로 나타났다(Table 3). 태안, 서산 지역은 지목이 논으로 되어 있으나 10년 이상 밭처럼 이용되고 있고 콩과 마늘을 오랫동안 연작하고 있어 논에서의 씨스트선충 감염 밀도가 높게 나타난 이유 중의 하나로 판단된다.

2013년 발생 조사 시 충남지역에서는 콩씨스트선충 감염율이 42%로 비교적 높게 나타났다(Kim et al., 2013a). 본 연구에서는 2018년 충남지역의 콩씨스트선충 감염율이 22%로 당시보다 낮았으나, 이는 2016년 국내에서 신종 반쪽이콩씨스트선충의 발생이 확인됨에 따라 콩 가해 씨스트선충이 2종으로 구분되어 나타난 결과로 생각된다. 2018년 충남지역의 콩씨스트선충과 반쪽이콩씨스트선충 단독, 복합 감염의 비율을 합하면 전체적으로는 2013년과 비슷한 피해를 주고 있는 것으로 판단된다(Table 4, Fig. 1).

국내에서는 콩씨스트선충에 대한 정밀분포지도가 만들어진 사례가 없다. 선행연구에서도 시군과 같은 지역명만 표기되어 있을 뿐 감염포장의 지번이나 GPS 좌표가 수록되지는 않았는데 배지의 지번과 지번에 해당되는 선충 감염정보를 확인할 수 있는 정밀분포지도를 작성하였다(Fig. 2). 이는 연구자와 일반인 모두 접속이 가능하여 향후 국내 두류작물 문제 씨스트선충의 레이스 분포 조사, 저항성 품종 육성 연구 등을 위한 실험 설계의 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

콩씨스트선충은 포장내 집단의 변이를 나타내는 HG type이 존재하는 것으로 알려져 있

으며 국내에는 총 6개의 HG type이 존재하는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2013b). 그러나 본 연구에서는 충남지역 콩밭에서 검출된 콩씨스트선충의 레이스나 HG type 분석은 수행되지 않았다. 콩씨스트선충은 HG type에 따라 재배 가능한 콩 품종이 다르므로(Kim et al., 2013c), 향후에는 저항성 콩 품종 육성을 위한 기초자료 마련을 위해 씨스트선충의 HG type 추가 분석 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

[Submitted, September. 10, 2019 ; Revised, November. 9, 2019 ; Accepted, November. 11, 2019]

References

1. Allen, T. W., C. A. Bradley, A. J. Sisson, E. Byamukama, M. I. Chilvers, C. M. Coker, A. A. Collins, J. P. Damicone, A. E. Dorrance, N. S. Dufault, P. D. Esker, T. R. Faske, L. J. Giesler, A. P. Grybauskas, D. E. Herschman, C. A. Hollier, T. Isakeit, D. J. Jardine, H. M. Kelly, R. C. Kemerait, N. M. Kleczewski, S. R. Koenning, J. E. Jurle, D. K. Malvick, S. H. Markell, H. L. Mehl, D. S. Mueller, J. D. Mueller, R. P. Mulrooney, B. D. Nelson, M. A. Newman, L. Osborne, C. Overstreet, G. B. Padgett, P. M. Phipps, P. P. Price, E. J. Sikora, D. L. Smith, T. N. Spurlock, C. A. Tande, A. U. Tenuta, K. A. Wise, and J. A. Wrather. 2017. Soybean yield loss estimates due to diseases in the United States and Ontario, Canada, from 2010 to 2014. *Plant Health Progress* 18: 19-27.
2. Barker, K. R. 1985. Nematode extraction and bioassay.: Barker, K. R., C. C. Carter, J. N. Sasser (eds). *An advanced treatise on Meloidogyne Volume II: Methodology*, North Carolina State University Graphics, US. pp. 19-35.
3. Choi, Y. E. 2000. Economic insects of Korea 20. Nematoda (Tylenchida, Aphelenchida). *Insecta Koreana Suppl.* 27. National Institute of Agricultural Science & Technology. pp 110-111.
4. Dickerson, O. J., J. H. Blake, and S. A. Lewis. 2000. Nematode guidelines for South Carolina. *Clemson Extension*, Clemson, SC, USA. pp 7-9.
5. Goh, H. G., J. D. Park, Y. M. Choi, K. M. Choi, and I. S. Park. 1991. The host plants of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner), (Lepidoptera: Noctuidae) and its occurrence. *Korean J. Appl. Entomol.* 30(2): 111-116.
6. Han, S. C. and H. J. Cho. 1980. Influence of soybean cyst nematode on growth and yield of soybean. *Korean. J. Pl. Prot.* 19(1): 31-34.

7. Haoyang, Z., P. Huan, K. Ligan, H. Baoyuan, Z. Guilan, W. Ruihui, P. Deliang, and W. Yanhua. 2018. *Heterodera sojae*, a New cyst nematode record in China and its parasitism to legume crops. *Scientia Agricultura Sinica* 51(15): 93-104.
8. Hong, S. J., Y. K. Kim, H. J. Jee, C. K. Shim, M. J. Kim, J. H. Park, E. J. Han, and B. C. Lee. 2011. Influence of disease severity of bacterial pustule caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* on soybean yield. *Res. plant Dis.* 17(3): 317-325.
9. Jo, Y. H., M. S. Yoon, J. Lee, H. J. Baek, C. Y. Kim, T. S. Kim, E. G. Cho, and H. B. Lee. 2006. Diversity and geographical relationships by SSR marker in subgenus *Soja* originated from Korea. *Korean J. Crop Sci.* 51(3): 239-247.
10. 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(4): 280-289.
11. Kang, H., G. Han, N. Park, E. Yun, D. Kim, I. Choi, and Y. H. Kim. 2018. Comparison of body wall cuticle of cyst of *H. glycines* and *H. sojae*. 2018 International Joint Conference on Plant Protection, Korea. pp. 295. (abstract)
12. Kim, D. G., I. Choi, Y. Ryu, C. Huh, and Y. Lee. 2013a. Plant parasitic nematodes in soybean in Korea and their importance rating. *Korean J. Appl. Entomol.* 52(4): 327-333.
13. Kim, D. G., J. K. Lee, and Y. K. Lee. 1999. Distribution of races of soybean cyst nematode in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 38(3): 239-253.
14. Kim, D., I. Choi, W. Han, Y. Ryu, M. Kim, C. Bae. 2013b. Studies on HG type of *Heterodera glycines* in Korea. *Res. Plant Dis.* 19(1): 31-35.
15. Kim, M. S., M. K. Sung, M. W. Kim, H. J. Seo, D. H. Kim, and J. I. Chung. 2013c. Investigation of soybean cyst nematode *Heterodera glycines* type and evaluation of resistance on soybean varieties and germplasm in Korea. *Korean J. Crop Sci.* 58(2): 161-168.
16. Kim, S. 2006. Research and industrial trend of the functional components of soybean. *Food Science and Industry.* 39(1): 2-10.
17. Kim, Y. and D. W. Lee. 2019. Plant parasitic nematode fauna of *Heterodera glycines* and *H. sojae*, and soil characteristics of soybean fields in Gangwon-do and Chungcheongbuk-do. *Korean J. Appl. Entomol.* 58(1): 37-47.
18. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2018. Agriculture, food and rural affairs statistics yearbook. MAFRA, Sejong, Korea. p. 73.
19. Oh, Y. J., S. K. Cho, K. H. Kim, C. H. Paik, Y. Cho, H. S. Kim, and T. S. Kim. 2009. Responses of growth characteristics of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars to *Riptortus clavatus* Thunberg (Hemiptera: Alydidae). *Korean J. Breed. Sci.* 41(4): 488-495.

20. Poromarto, S. H. and B. D. Nelson. 2009. Reproduction of soybean cyst nematode on dry bean cultivars adapted to North Dakota and Northern Minnesota. *Plant Dis.* 93(5): 507-511.
21. Subbotin, S. A., M. Mundo-Ocampo, and J. G. Baldwin. 2010. Identification of *Heterodera* species.: Subbotin, S. A., M. Mundo-Ocampo, J. G. Baldwin (eds). *Systematics of cyst nematodes (Nematoda: Heteroderinae)* 8B, Koninklijke Brill NV, Netherlands. pp. 9-34.
22. Ye, W. 2018. Nematodes of agricultural importance in North and South Carolina.: Subbotin, S. A., J. J. Chitambar (eds). *Plant parasitic nematodes in sustainable agriculture of North America.* Springer, Cham, Switzerland. pp. 247-276.
23. Yokoo, T. 1936. Host plants of *Heterodera schachtii* Schmidt and some instructions. *Korea Agric. Exp. Stn. Bull.* 8: 47-174.