

마 재배지의 뿌리혹선충의 발생 실태 및 수직 분포

Occurrence and Vertical Distribution of *Meloidogyne incognita* in Chinese Yam (*Dioscorea batatas*)

*Corresponding author

Tel: +82-55-350-5692

Fax: +82-55-350-5509

E-mail: ichoic@pusan.ac.kr

권기윤¹ · 강헌일¹ · 서종민¹ · 윤을수² · 박남숙² · 최인수^{1,2*}

¹부산대학교 생명자원과학대학 식물생명과학과

²부산대학교 생명자원과학대학 선충연구센터

**Giyoon Kwon¹, Heonil Kang¹, Jongmin Seo¹, Eulsoo Yun²,
Namsook Park², and Insoo Choi^{1,2*}**

¹Plant Bioscience, College of Natural Resources and Life Science, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

²Nematode Research Center, Life and Industry Convergence Research Institute, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

The study was conducted to investigate the infestation and distribution of plant-parasitic nematodes on Chinese yam (*Dioscorea batatas*) in Andong, Korea. Root-knot nematodes, *Meloidogyne incognita* was the most prevalent nematode species which is found from 43 yam fields (81.1%) with high population densities (average of 450 juveniles/300 cm³). Other nematodes, root-lesion nematode (*Pratylenchus* spp.) and pin nematode (*Paratylenchus* spp.) were less problematic. Density of juveniles (J2) of *M. incognita* was 10 J2/300 cm³ by August, then increased to 274 in September and 624 in October. The highest J2 density was found at the soil depth between 40 and 50 cm (1,840 J2/300 cm³). *M. incognita* was able to infest yam tuber down to a depth of 70 cm and developed galls outside and brown spots inside. The highest number of females were found at 40–50 cm (79 females/10 cm piece) tuber from the top.

Keywords: Chinese yam, *Dioscorea batatas*, *Meloidogyne incognita*, root-knot nematodes, vertical distribution

Received August 8, 2019

Revised August 27, 2019

Accepted August 29, 2019

마(Yams, *Dioscorea* spp.)는 가장 오래된 식량작물 중의 하나로 전 세계적으로 약 600여종이 분포하고 있고(Coursay, 1967), 그 중 약 10여종을 식용으로 재배한다(Mudiope 등, 2012). 세계적으로 마의 생산량은 44백만톤 정도이고 주산지는 나이지리아, 가나 등이다. 우리나라에서는 경북의 안동, 영주, 경남 진주 지역에서 약 812 ha 정도의 마를 생산하고 있으며 최근 건강식품으로서 소비가 증가하면서 재배면적 또한 급격히 증가하는 추세이다.

마의 재배 시기는 4월–10월로 토양에서 약 24주간 재배되는데, 재배 적합지역이 토심이 깊은 사질토이므로 몇몇 적응 지역에서 연작하여 재배되는 경향이 크다. 연작재배에서 가장 문제가 되는 토양병은 식물기생성선충으로 마에 있어서도 선충의 피해가 많은 것으로 알려져 있다.

세계적으로 마에 피해를 주는 기생선충은 뿌리혹선충(*Meloidogyne* spp.), 뿌리썩이선충(*Pratylenchus* spp.), 바나나 뿌리썩이선충(*Radopholus* spp.) 등 10여종이 보고되어 있다(Adegbite 등, 2008; Duru Vincent 등, 2015). 이들 중 뿌리혹선충(*Meloidogyne* spp.)은 마의 생산과 저장 과정에 상당한 손실을 입히는 가장 중요한 선충인데(Bridge와 Starr, 2007), 서아프

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

리카에서는 선충 감염이 심할 경우 마 수량이 45% 감소된다고 보고되어 있다(Manyong와 Oyewole, 1997).

국내 뿌리혹선충에 관한 연구는 주로 시설재배 작물을 중심으로 연구되었으며(Kim와 Lee, 2008; Kim 등, 2013a; Hwang 등, 2014; Ko 등, 2017), 마에 관한 연구논문은 많지 않다. 마 선충 관련 연구는 등근마(*Dioscorea bulbifera*)를 가해하는 뿌리혹선충의 cytochrome oxidase subunit II (COII) 염기서열 분석(Han 등, 2007)이 있고, 농업연구 결과보고서로 마와 우엉 재배지의 뿌리혹선충 분포, 마 주산단지의 뿌리혹선충 우점종은 고구마 뿌리혹선충이라는 보고가 있다(Lee 등, 2013). 본 연구는 국내 마 주산지인 경북 안동 지역을 대상으로 식물기생성선충 종류와 밀도, 시기별 발생 실태, 토양 깊이별 분포를 조사함으로써 마에 발생하는 식물기생성선충 방제에 필요한 기초 자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

조사지역. 우리나라 마의 대표적 주산지인 경상북도 안동시 풍천면과 예천군 지보면 일대(북위 36°32'01", 동경 128°27'55") 총 53개 지점을 대상으로 조사를 실시하였다(Fig. 1B). 사지역의 위치는 국토지리정보원의 지도서비스(<http://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do>)와 온나라 지도사이트(<https://seereal.lh.or.kr/main.do>)를 참조하였고, 토양 특성은 국립농업과학원 흙토람 (<http://soil.rda.go.kr/>)을, 현황도는 GIS (Arc. Info)를 이용하였다.

토양 및 마 시료 채집. 토양 시료는 선충의 밀도가 높은 9월-10월 사이에 53개 지점을 대상으로 1개 지점 내 3개 이상의 포인트로부터 토양 약 1,000 cm³를 채집하여 선충을 분리하였다. 선충의 분리는 먼저 굵은 돌과 식물 뿌리 등을 골라내고, 3번 이상 잘 섞어 선충의 밀도를 균일하게 한 후, 그 중에서 300 cm³를 취하고 개량된 Baermann funnel법으로 분리하였다(Kang 등, 2016). 24시간 후, 분리된 선충은 counting dish에 넣고 40배 해부현미경하에서 식물기생성선충의 속별로 밀도를 조사하였다.

뿌리혹선충의 형태적 동정. 뿌리혹선충에 감염된 9지점의 마를 채집하고 해부현미경하에서 식물 뿌리를 찢어 각 지점에서 채집한 마에서 뿌리혹선충의 암컷을 10마리씩 잡아내어 45% lactic acid가 들어있는 플라스틱 Petri dish에 옮기고 Petri dish 위에서 선충 암컷의 중간 부분을 해부칼로 끊어 털바늘로 가볍게 비벼 불순물을 제거하였다. 이후 꼬리부분의 perineal

pattern 표본을 만들어 400배 광학현미경하에서 검경하였다(Taylor와 Netscher, 1974).

월별 선충의 밀도 변화. 월별 선충 발달 실태를 조사하기 위하여 안동시 풍천면의 4개 농가를 선정하고 5월부터 10월까지 매달 첫째 주에 위와 동일한 방법으로 토양을 채집하고 선충을 분리하여 검경하였다.

토양 깊이별 선충의 분포 조사. 마는 토양 1 m 이상 깊이까지 뿌리가 자라는 작물이므로, 효율적인 방제방법 검토를 위하여 토양 깊이별 선충의 분포에 대한 조사가 필요하다. 이를 위하여 수확기인 10월에 4개의 마 재배 농가를 대상으로 토양 깊이별 선충의 분포를 조사하였다. 조사방법은 마가 자라고 있는 토양에서 마의 괴경이 드러나도록 깊이 80 cm까지 흙을 파낸 후 마 괴경을 기준으로 10 cm 간격으로 토양을 채집하였다. 채집된 토양은 위와 동일한 방법으로 토양을 채집하고 선충을 분리하여 검경하였다.

마 조직 내 뿌리혹선충 감염 조사. 토양 채집과 동시에 마 괴경을 같이 채집하여(Fig. 1A) 마 조직 내 뿌리혹선충의 감염 정도를 조사하였다. 마 조직 내 뿌리혹선충의 감염 정도 조사는, 마를 위로부터 10 cm 간격으로 자르고, 각 토막마다 껍질을 0.5 mm 정도로 얇게 벗긴 후 마 괴경 내부의 갈색으로 변색된 점의 숫자를 헤아렸다(Fawole, 1988).

결과 및 고찰

조사지역의 토양 특성. 연구대상 지역은 낙동강의 중·상류에 위치한 1개의 들녘으로 구성되어 있으며 총 면적은 61.6 ha로 행정구역상 안동시 풍천면의 광덕리, 신성리 그리고 기산리를 중심으로 57.9 ha, 예천군 지보면 신평리의 3.7 ha이다. 토성은 하성층적 조립질이며 토양의 자연배수등급별로는 배수가 매우양호(somewhat excessively drained)한 토양이 21.1 ha (34.1%), 양호(well drained) 토양이 28.4 ha (46.1%)로 전체의 70.2%로 가장 많았고, 배수약간양호(moderately well drained) 토양이 약 12 ha (19.8%)이었다(Table 1).

마의 괴경은 조직이 연하고 수직으로 길게 자라는 특성을 갖고 있어 재배하는 밭의 토양조건의 영향을 많이 받는 작물로 토양의 배수 조건과 토성은 매우 중요한 요소로 알려져 있다. 물 빠짐이 나쁘면 괴경이 썩기 쉽고 찰흙이 많은 곳에서는 괴경의 비대가 나쁘고 수확에 많은 힘이 들며 또한 자갈이 많은 땅에서 재배하면 괴경의 생육과 모양이 좋지 않아 상품성이 떨어진

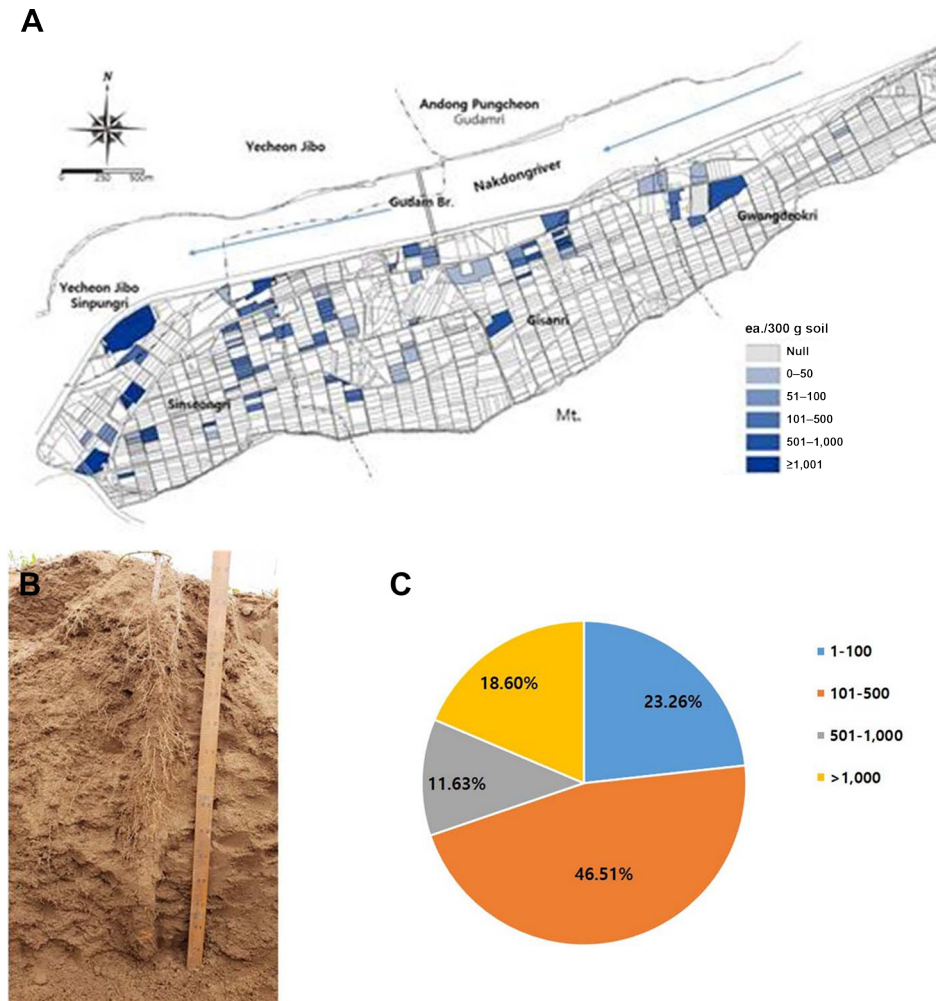


Fig. 1. Distribution and population density of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in Chinese yam (*Dioscorea batatas*) area in Andong, Korea. (A) The distribution map and population density of juveniles. (B) Growth of Chinese yam tuber. (C) Percentage distribution of densities of juveniles of *M. incognita* in Chinese yam cultivation fields (n=43).

Table 1. Drainage classes of area cultivating Chinese yam (*Dioscorea batatas*) in Andong, Korea

County	Drainage classes (ha)					
	S.E.D.	W.D.	M.W.D.	Total, n (%)		
Andong	Pungcheon-myeon	Gwangdeok-ri	6.6	4.9	1.7	13.2 (21.4)
		Gisan-ri	7.2	12.2	4.5	23.9 (38.8)
		Sinseong-ri	3.5	11.3	6.0	20.8 (33.8)
Yecheon	Jibo-myeon	Sinpung-ri	3.7	-	-	3.7 (6.0)
Total, n (%)			21.0 (34.1)	28.4 (46.1)	12.2 (19.8)	61.6 (100.0)

S.E.D, somewhat excessively drained; W.D., well drained; M.W.D., moderately well drained.

다. 안동의 마 재배지역은 조립질 모래 토양으로 자연배수가 좋은 낙동강 주변의 자연제방에 속하는 곳이었으며 배수가 양호한 토양이 전체의 80%이며 나머지는 20%는 배수약간양호 토양으로 전체적으로 마 재배에 적합한 토양이었다. 단, 배수약간양호 토양에서는 수확기에 강우량이 많을 경우, 습해가 우려되

므로 주의가 필요할 것으로 생각된다.

마 재배지 선충 종류 및 밀도. 안동 마 재배지 토양의 선충의 종류 및 밀도는 Table 2와 같다. 검출된 식물기생성선충은 뿌리혹선충(*Meloidogyne incognita*), 침선충(*Paratylenchus*

Table 2. Nematodes found from farmer’s fields for Chinese yam (*Dioscorea batatas*) cultivation at harvest time in Andong, Korea

Nematode genera	No. fields with nematode (%) ^a	Mean No. of nematodes/300 cm ³ soil (range)
Plant-parasitic nematodes		
<i>Meloidogyne</i> spp.	43 (81)	454 (12–1,680)
<i>Paratylenchus</i> sp.	4 (8)	56 (8–200)
<i>Pratylenchus</i> sp.	1 (2)	4 (4)
Free-living and predatory nematodes		
<i>Cephalobida</i>	22 (42)	203 (40–800)
<i>Rhabditida</i>	6 (11)	29 (4–80)
<i>Mononchida</i>	5 (9)	6 (4–8)
<i>Dorylaimida</i>	17 (32)	29 (4–144)

^aTotal of 53 fields were examined. $n/N \times 100$ (n =number of times individual nematodes occurred, N =each sample size).

sp.), 뿌리썩이선충 등 3개의 속이었다 (Table 2). 그중 뿌리혹선충은 53개 지점 중 43개 지점에서 검출되어(81%) 안동지역 마 재배지에서 가장 넓게 분포되고 중요한 식물기생성선충이었다. 뿌리혹선충의 밀도가 토양 300 cm³ 당 1,000마리 이상인 지점은 5개 지점(11.6%), 밀도가 100–500마리인 포장에 20개 지점(46.5%)으로 대부분 조사지점의 마 재배지에서 높은 밀도가 검출되어 마에서 뿌리혹선충의 피해가 심각한 것으로 추정된다 (Fig. 1A, C). Atu 등(1983)에 의하면 마(*Dioscorea rotundata*) 한 포기 당 뿌리혹선충 유충을 1,250마리 접종하였을 경우 40%의 수량이 감소하였다고 하였고, Mudiope 등(2012)은 뿌리혹선충에 감염되면 노지에서는 약 17%, 온실 pot 재배 시 약 30%의 수량이 감소된다고 하였다. 또한 뿌리혹선충에 감염된 괴경은 저장기간 중 정상 괴경에 비해 약 2배 더 빠르게 건조되어 저장 가능 기한이 줄어들게 된다고 보고하였다. 뿌리혹선충에 감염된 마는 마의 영양분이 파괴되고 식감을 떨어지는 등 마 품질에 악영향을 미치며, 최야 시기가 늦어지고 최야 수도 줄어들게 된다(Carneiro 등, 2002).

마를 가해하는 식물기생성선충은 뿌리혹선충, 뿌리썩이선충 (*Pratylenchus* spp.), 바나나뿌리썩이선충, 나선선충류(*Helicotylenchus* spp., *Rotylenchus* spp., *Scutellonema* spp.), 곡옥나선선충(*Rotylenchulus* spp.), 작살나선선충(*Hoploaimus* spp.), 주름선충(*Criconema* spp.), 위축선충(*Tylenchorhynchus* spp.), 궁침선충(*Trichodorus* spp.), 앞선충(*Aphelenchoides* spp.), 바늘선충(*Longidorus* spp.), 검선충(*Xiphinema* spp.) 등이 보고된 바 있다(Adegbite 등, 2008; Duru Vincent 등, 2015). 이번 조사에서 검출된 식물기생성선충 중 침선충(*Paratylenchus* sp.)과 뿌리썩이선충(*Pratylenchus* sp.)은 그 개체수가 매우 적고 분포 또한 불규칙적으로 나타나 마 괴경에 큰 영향을 미치지 않을 것으로

추정되었고 실제 채집한 마에서 뿌리혹선충 감염 증상을 제외한 다른 선충에 의한 피해증상은 나타나지 않았다. 이는 마 재배지 내에서 다른 식물기생성선충에 비해 뿌리혹선충의 가해 증상이 두드러진다는 외국의 연구 결과와 유사하였다(Adegbite 등, 2008; Mudiope 등, 2012; Duru Vincent 등, 2015).

비기생성선충의 경우는 자유생활선충 등 4속이 검출되었다. 비기생성선충의 경우 안동시 전반에 걸쳐 나타났고 밀도는 곰팡이를 먹는 자유생활선충(*Cephalobid* spp., *Rhabditidae* spp.)이 가장 높았고, 그 다음으로 잡식성선충(*Dorylaimida*)과 포식성선충(*Mononchidae* spp.) 순으로 높았다.

뿌리혹선충의 종 동정. 안동 마 재배지의 감염된 마에서 뿌리혹선충 추출하여 perineal pattern 형태적 동정 결과, *M. incognita*로 동정되었다(Fig. 2). 뿌리혹선충의 정확한 종 동정은 향후 선충 방제 대책 수립 및 윤작작물 선정 등에 있어 매우 중요한데, 예를 들어, *M. incognita*의 경우에는 참깨, 들깨, 치커리(*C. intybus*), 케일(*B. oleracea*), 잎 브로콜리(*B. oleracea* var. *botrytis italiana*) 등을 윤작작물로 심을 수 있고 고추는 심을 수 없다(Kim 등, 2013b).

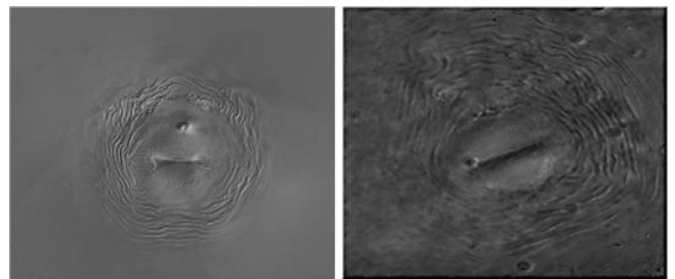


Fig. 2. Perineal pattern of *Meloidogyne incognita* from Chinese yam (*Dioscorea batatas*) in Andong, Korea.

월별 뿌리혹선충 밀도 변화. 마 재배기간 중 토양의 뿌리혹선충 선충 밀도 변화는 Fig. 3과 같다. 씨마의 정식 후 발근기인 5월과 신초가 발생하는 6월의 토양 속 뿌리혹선충 유충의 수는 토양 300 cm³ 당 10마리 이하로 밀도가 낮았으며 이러한 경향은 경엽이 신장하고 새로운 괴경이 형성되는 8월까지의 약 10마리 수준을 유지하였다. 그러나 괴경이 급격히 비대해지는 9월 이후에는 토양 300 cm³ 당 뿌리혹선충 수가 274마리로 증가하였고, 수확기인 10월에는 밀도가 624마리로 가장 높아 마의 토양 내 선충 밀도는 정식 5개월 후인 9월에 최고 밀도를 보인다는 보고와 유사하였다(Lee 등, 2013). 마는 6월 하순경부터 새 뿌리가 자라기 시작해 8-9월 하순 사이에 전체의 70% 내외로 자라고 10월까지 성숙한다.

뿌리혹선충의 1세대는 40-50일임으로 정식 후 8월까지 약 2세대가 경과하였을 것으로 추정되며, 8월 이후 뿌리혹선충 난낭으로부터 부화된 유충이 토양 속에서 나왔을 것으로 생각된다. 선

충 피해 예방과 안정적인 마 생산을 위한 마 재배지의 선충 밀도 조사는 5-8월보다는 10월경에 실시하며 또한 일반적인 토양 선충 조사(깊이 20 cm)보다 더 깊은 40-50 cm에서 이루어지는 것이 보다 쉽고 정확한 선충의 감염정도를 추정할 수 있을 것이다.

마 조직 내 뿌리혹선충 감염 조사. 뿌리혹선충에 감염된 마 괴경의 형태는 Fig. 4A와 같다. 정상 괴경에 비해 감염 괴경은 외부에 혹이 발생하였고 괴경의 내부는 갈변현상이 발생하는 특성을 보였다. 뿌리혹선충이 마 괴경에 들어가 거대세포 형태로 자리 잡으면 조직에 달라붙어 젤리와 같은 상태가 되고 주변 조직을 황색으로 변화시켜 갈색 반점으로 나타난다(Fawole, 1988). 갈색반점 주위에서 부화된 유충이 발견되며 이들 유충들은 근처에 있는 조직에 침입하여 성장을 하거나 혹은 토양으로 나오게 된다(Fig. 4B). 4개월 이상 저장된 마의 괴경에서도 뿌리혹선충 유충이 발견되므로 이러한 감염된 마는 다음해 뿌리혹선충의 주요 전염원이다(Fawole, 1988).

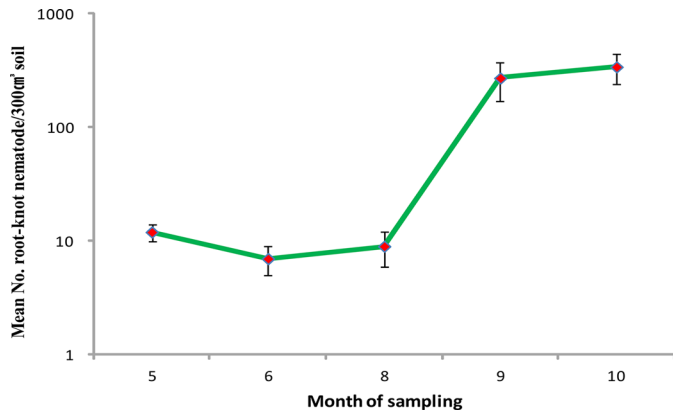


Fig. 3. Monthly changes of number of juveniles of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in soils of Chinese yam. Average of four locations. Vertical bars are presented the standard error.

깊이별 선충분포. 마 수확기 토양 깊이별 뿌리혹선충 유충수와 마 내부의 뿌리혹선충 난낭수의 분포양상은 Fig. 5와 같다. 토양의 뿌리혹선충 유충은 0-20 cm 깊이까지는 토양 300 g 당 623-768마리였고 깊어질수록 점점 밀도가 증가하다가 40-50 cm 깊이에서는 1,840마리 정도로 가장 높은 밀도를 보였으며 이후 약간 감소하였으나 토양 70 cm 깊이까지 뿌리혹선충이 발견되었다. 이는 일반적으로 대부분의 식물기생성선충은 토심 15-30 cm에 분포한다는 보고(McSorley와 Dickson, 1990)와는 확연하게 다른 양상이었다. 기주식물의 뿌리는 식물기생성선충의 수직분포에 영향을 미치는 중요한 요소임을(Brodie, 1975; Esfahani, 2009) 감안할 때 이는 뿌리가 깊이 내려가는 마 재배지 선충분포의 특성으로 생각된다.

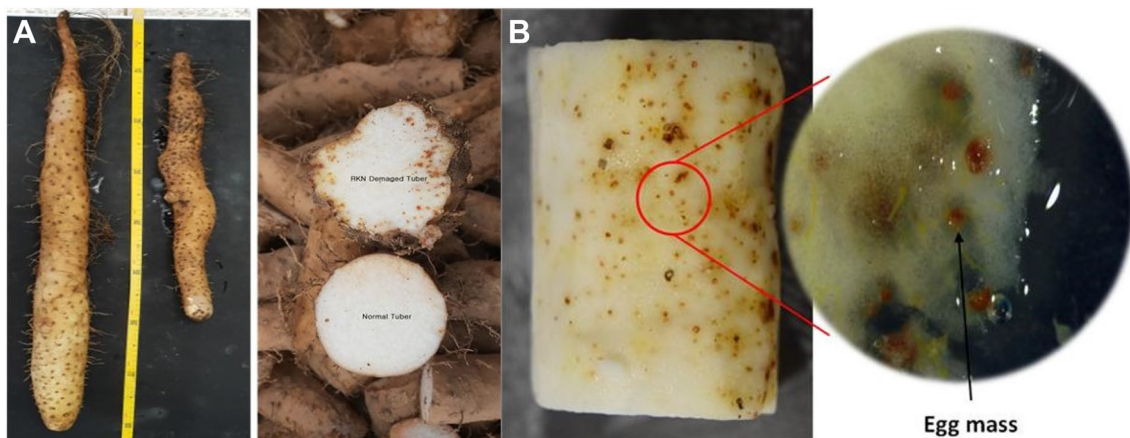


Fig. 4. Chinese yam (*Dioscorea batatas*) tuber infected with root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). (A) Comparisons of infested and uninfested. (B) Brown spots on Chinese yam tuber were infected with *M. incognita*.

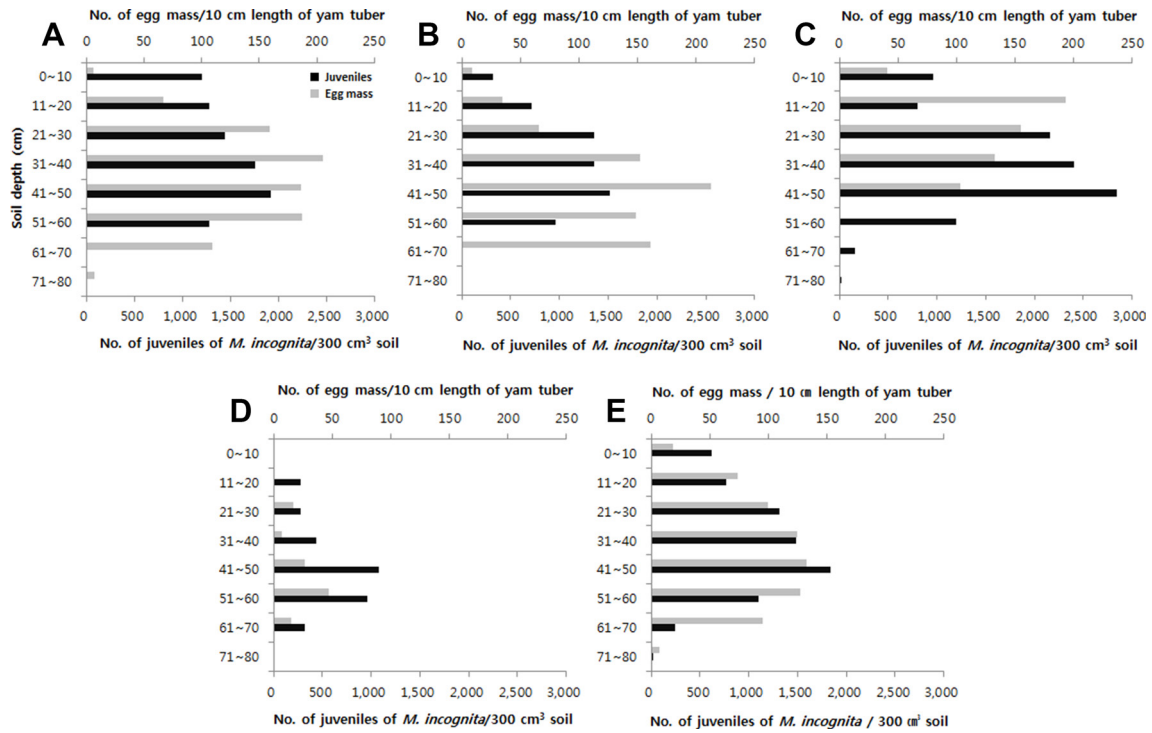


Fig. 5. Vertical distribution of juveniles in soil and female in tuber of *Meloidogyne incognita* on Chinese yam (*Dioscorea batatas*). (A–D) Sample 1–4. (E) Average of four locations.

마 수확기 토양 깊이별 마 내부의 뿌리혹선충 난양 수 조사 결과는 토양과 동일하게 31–40 cm와 41–50 cm에서 많은 선충의 난양이 발견되었다. 마의 뿌리 내 뿌리혹선충 난양의 수 분포는 최상부 0–10 cm에는 난양의 수가 10개 이하인 반면, 토심 11–20 cm에서는 난양수가 40개였고, 41–50 cm 부위가 79개로 가장 많았다.

사질토양 토마토 재배지역에서 토양 150 cm 지점까지 *M. incognita*가 존재한다는 보고와(Johnson와 McKeen, 1973) 마의 경우 괴경이 깊게 뻗어 뿌리혹선충이 기주를 따라 깊게 내려간다는 보고(Luc와 Raski, 1981)로 미루어 볼 때, 안동 마 재배지의 뿌리혹선충 유충은 사질토에서 마의 뿌리를 따라 토양 깊은 곳까지 내려갔을 것으로 추정된다. 시설재배지의 경우 살선충제 처리 시 포장 전면에 살선충제를 처리하여 15–20 cm 깊이로 갈아엎고 하우스를 밀폐하여 1개월 정도 방치하는 방법으로 식물기생성선충을 방제하고 있다. 이번 조사의 결과로 마 재배지에는 토양 깊이 50 cm 정도에 가장 많은 뿌리혹선충 유충이 분포하므로 현재 사용하고 있는 시설재배지 토양소독법과는 다른 방제 방법이 개발되어야 할 것으로 보인다.

을 대상으로 식물기생성선충 종류와 밀도, 시기별 발생 실태, 토양 깊이별 분포를 조사하였다. 검출된 식물기생성선충은 뿌리혹선충(*Meloidogyne incognita*), 침선충(*Paratylenchus* spp.), 뿌리찍이선충(*Pratylenchus* spp.) 등 3개의 속이었으며, 그중 뿌리혹선충은 53개 조사지점 중 43개 지점에서 검출되어(81%) 안동 지역 마 재배지에서 가장 중요한 식물기생성선충이었다. 시기별 토양 내 뿌리혹선충 유충의 수는 8월까지의 토양 300 cm³ 당 10마리 정도였으며 9월에는 274마리, 수확기인 10월에는 624마리로 증가되었다. 토양 깊이별로는 토양 40–50 cm 깊이에 가장 유충의 밀도가 높았으며(1,840마리/300 cm³) 토양 70 cm 깊이까지 뿌리혹선충 유충이 발견되었다. 뿌리혹선충에 감염된 괴경은 외부에 흑이 발생하였고 괴경의 내부는 갈색점으로 변색되었으며, 마의 괴경 내 침입한 뿌리혹선충의 수도 40–50 cm에서 79마리로 가장 많았다. 따라서, 마 재배지에서의 뿌리혹선충 방제를 위해서는 토양 깊이 50 cm 정도에 가장 많은 뿌리혹선충 유충이 분포하므로 현재 사용하고 있는 시설재배지 토양소독법과는 다른 방제 방법이 개발되어야 할 것이다.

요 약

Conflicts of Interest

국내 마 주산지인 경상북도 안동시 풍천면 일대 총 53개 지점

Conflict of interest relevant to this article was not reported.

Acknowledgements

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Department (Project No. PJ0134282019)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Adegbite, A. A., Saka, J. O., Agbaje, G. O. and Osuloye, F. O. 2008. Survey of plant-parasitic nematodes associated with yams in Ogun and Osun states of Nigeria. *J. Plant Prot. Res.* 48: 421-428.
- Atu, U. G., Odurukwe, S. O. and Ogbuji, R. O. 1983. Root-knot nematode damage to *Dioscorea rotundata*. *Plant Dis.* 67: 814-815.
- Bridge, J. and Starr, J. L. 2007. Plant Nematodes of Agricultural Importance: A Colour Handbook. Manson Publishing Ltd., London, UK. 152 pp.
- Brodie, B. B. 1975. Vertical distribution of three nematode species in relation to certain soil properties. *J. Nematol.* 8: 243-247.
- Carneiro, R. G., Mazzafera, P., Ferraz, L. C. C. B., Muraoka, T. and Trevelin P. C. O. 2002. Uptake and translocation of nitrogen, phosphorus and calcium in soybean infected with *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. *Fitopatol. Bras.* 27: 141-150.
- Coursay, D. G. 1967. Yams: An Account of the Nature, Origins, Cultivation and Utilisation of the Useful Members of the Dioscoreaceae. Longmans, London, UK. 230 pp.
- Duru Vincent, C., Nwankwo, E. N., Ogbonna, C. U., Onyido, A. E. and Adewuyi, O. 2015. A survey of plant-parasitic nematodes of yam farms in Awka-North local government area, Anambra state, Nigeria. *J. Appl. Biosci.* 95: 8950-8957.
- Esfahani, M. N. 2009. Distribution and identification of root-knot nematode species in tomato Fields. *Mycopath* 7: 45-49.
- Fawole, B. 1988. Histopathology of root-knot Nematode (*Meloidogyne incognita*) infection on white yam (*Dioscorea rotundata*) tubers. *J. Nematol.* 20: 23-28.
- Han, S. C., Kang, S. J. and Kim, Y. G. 2007. Cytochrome oxidase subunit II (CO II) sequence analysis of root-knot nematode, *Meloidogyne* sp. HSC, infesting Yam (*Dioscorea bulbifera*). *Korean J. Appl. Entomol.* 46: 169-173. (In Korean)
- Hwang, S. M., Jang, K. S., Choi, Y. H., Kim, J.-C. and Choi, G. J. 2014. Development of efficient screening methods for resistant cucumber plants to *Meloidogyne incognita*. *Res. Plant J.* 20: 119-125. (In Korean)
- Johnson, P. W. and McKeen, C. E. 1973. Vertical movement and distribution of *Meloidogyne incognita* (Nematoda) under tomato in a sandy loam greenhouse soil. *Can. J. Plant Sci.* 53: 837-841.
- 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. and Lee, J. H. 2008. Economic threshold of *Meloidogyne incognita* for greenhouse grown cucumber in Korea. *Res. Plant J.* 14: 117-121. (In Korean)
- Kim, D., Ryu, Y., Huh, C. and Lee, Y. 2013a. Resistance of newly introduced vegetables to *Meloidogyne arenaria* and *M. incognita* in Korea. *Res. Plant Dis.* 19: 294-299.
- Kim, S.-H., Park, S.-E., Ko, N.-Y., Ryu, T.-H., Shin, H.-S., Kwon, H.-R. et al. 2013b. The major plant-parasitic nematodes in plastic vinyl house field. *CNU J. Agric. Sci.* 40: 101-106. (In Korean)
- Ko, H. R., Kim, E. H., Kim S. J. and Lee, J. K. 2017. Incidence and identification of root-knot nematode in plastic-house fields of central area of Korea. *Res. Plant J.* 23: 348-354.
- Lee, J. K., Park, B. Y., Lee, S. Y. and Lee, Y. G. 2013. Management of Soil-Borne Diseases and Plant Parasitic Nematodes of Chinese Yam. Rural Development Administration, Suwon, Korea. 27 pp.
- Luc, M. and Raski, D. J. 1981. Status of the genera *Macroposthonia*, *Criconemoides*, *Criconemella* and *Xenocriconemella* (Criconematidae: Nematoda). *Rev. Nematol.* 4: 3-21.
- Manyong, V. M. and Oyewole, B. 1997. Spatial patterns of biological constraints to cassava and yam production in west and central Africa: implications for technology development and transfer. *Afr. J. Med. Health Sci.* 3: 15-21.
- McSorley, R. and Dickson, D. W. 1990. Vertical distribution of plant-parasitic nematodes in sandy soil under soybean. *J. Nematol.* 22: 90-96.
- Mudiopie J., Coyne, D. L., Adipala, E. and Talwana, H. A. L. 2012. Damage to yam (*Dioscorea* spp.) by root-knot Nematode (*Meloidogyne* spp.) under field and storage conditions in Uganda. *Nematropica* 42: 137-145.
- Taylor, D. P. and Netscher, C. 1974. An improved technique for preparing perineal patterns of *Meloidogyne* spp. *Nematologica* 20: 268-269.