

고구마 재배지의 뿌리혹선충 발생 상황 및 품종별 저항성 반응

최동로* · 이재국 · 박병용¹ · 정미남²

농업과학기술원 농업해충과, ¹작물과학원 인삼약초과, ²농촌진흥청 평가조정담당관실

Occurrence of Root-knot Nematodes in Sweet Potato Fields and Resistance Screening of Sweet Potato Cultivars

Dong-Ro Choi*, Jae-Kook Lee, Byeong-Yong Park¹ and Mi-Nam Chung²

Applied Entomology Division, National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA, Suwon 441-707

¹Ginseng & Medicinal Crop Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857

²Evaluation and Coordination office, General Service Division, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

ABSTRACT : Total of 36 sweet potato field soils were sampled to survey the occurrence of the root-knot nematodes (RKN). The 61% of sweet potato fields in Haenam, 40% in Iksan and 31% in Yeju were infested with RKN, respectively. Average population density of RKN was 324 juveniles per 300 g soil. The resistance screening of sweet potato cultivars against RKN was carried out by using clay pots in a greenhouse. Average temperature under ground 10 cm in pot was 21.5°C during the test. There was no difference in number of egg sacs among different inoculation methods, however the egg-inoculation method was easy for treatment and had stable for results. The multiplication ratio of *Meloidogyne incognita* differed from 6.3 times (Jeungmi) to 63.2 times (Yulmi) by sweet potato cultivars. There were no cultivars showing resistance to *M. incognita*, but Jinmi, Jeungmi and Borami had resistance to *M. arenaria*, *M. hapla* and *M. javanica*.

KEY WORDS : *Meloidogyne incognita*, Occurrence, Resistance, screening, Sweet potato

초 록 : 고구마 주산단지를 중심으로 36개 포장에서 뿌리혹선충 발생 상황을 조사한 결과 선충의 검출률이 해남 61%, 익산 40%, 여주 31%이었으며, 평균밀도는 토양 300 g당 324마리이었다. 고구마 뿌리혹선충 저항성 검정체계 확립 시험은 온실에서 화분을 이용하여 수행되었으며 시험기간 동안 화분내 지하 10 cm의 평균온도는 21.5°C이었다. 뿌리혹선충의 접종 방법별 시험에서 접종 방법에 따른 유의적인 차이는 인정되지 않았으나, 유충을 접종하는 것 보다 알을 접종하는 방법이 처리가 쉽고 결과가 안정적이었다. 고구마 품종에 따라 뿌리혹선충의 증식량이 다르게 나타났으며(3.7~63.2배), 저항성 품종보다 감수성 품종에서 난방 당 알의 수가 많았다. 주요 뿌리혹선충 4종에 대한 국내품종의 저항성 조사에서 고구마뿌리혹선충에 저항성을 나타내는 품종은 없었으나, 진미, 증미, 보라미는 땅콩뿌리혹선충, 자바뿌리혹선충 및 당근뿌리혹선충에 저항성을 나타내었다.

검색어 : 고구마, 뿌리혹선충, 발생상황, 저항성검정, 접종방법

서 론

우리나라는 여름철 온도가 높고 습기가 많아 비교적

북쪽까지 고구마의 재배가 가능하여 첫서리가 9월 20일 이후에 내리는 지방까지 고구마를 안전하게 재배할 수 있다. 현재 고구마 재배면적은 약 12,000 ha로 1985년도에

*Corresponding author. E-mail: drchoi@rda.go.kr

비해 약 30% 줄어든 면적이지만 최근에 재배면적이 증가되고 있는 추세이다. 과거에는 제주도, 전남 및 경남 해안 지역에서 전분가공용과 주정용 품종이 대부분 재배되어 왔는데, 남부 도서지방과 해안지대에 재배가 집중된 이유는 고구마가 타 작물에 비해 강한 바람에도 안전하게 재배 할 수 있기 때문이다. 현재 고구마는 경기도, 전남북, 경남 4개도에서 전국재배면적의 76%를 차지하고 있다.

고구마재배는 특정한 지역에서 연작되어왔으므로 토양 병해충 및 선충의 피해가 클 것으로 예상되지만 지금까지 정밀한 조사가 이루어진 바가 없다. 국내에 광범위하게 분포하며 농작물에 피해가 심한 식물기생선충은 뿌리혹선충으로 고구마뿌리혹선충(*Meloidogyne incognita*), 땅콩뿌리혹선충(*M. arenaria*), 당근뿌리혹선충(*M. hapla*) 등 3종으로 알려져 있다(Choi & Choo, 1978). 뿌리혹선충의 방제 방법으로는 약제처리, 토양열소독, 윤작, 침수, 저항성 품종 이용 등 여러 가지 방법이 있지만 방제법의 선택은 포장 조건, 경제성 등을 고려하여 결정하게 되는데 고구마는 대면적의 노지에서 재배되는 특성상 살선충제 살포 등 일반적인 방제법은 적용하기 어렵다. 일본에서는 고구마뿌리혹선충에 대해서 저항성이 높은 품종인 농림 2호, 사초마히카리 등 20여 품종을 육성하여 보급하고 있지만 국내에서는 이에 대한 연구가 매우 미흡하다.

본 연구는 국내 고구마 주요 재배단지를 중심으로 뿌리혹선충의 발생상황을 파악하고, 뿌리혹선충 저항성 검정 체계를 확립하여 고구마의 뿌리혹선충 저항성 품종을 육성을 할 수 있는 기반을 구축하고자 수행하였다.

재료 및 방법

고구마 재배포장 선충 조사

국내 주요 고구마 주산단지인 전남 해남, 전북 익산, 경기 여주지역의 36개 포장에서 고구마 수확기인 9월에 고구마 덩이뿌리와 주변의 토양을 1개 포장 10개소에서 1 kg의 토양을 채집하여 비닐봉지에 담아서 실험실로 운반하고 10°C 냉장고에 보관하면서 선충을 분리하였다. 선충 분리는 1 kg의 토양 시료를 골고루 섞어서 300 g을 취하여 Modified Baermann 법으로 선충을 분리하였고, 선충 고정은 TAF액을 80°C로 가열하여 이용하였다. 선충 조사는 50배 해부현미경하에서 선충 속별로 밀도를 조사하였다. 고구마 덩이뿌리의 뿌리혹선충 피해는 칼로 고구마를 절단하여 기생여부를 확인하였다.

뿌리혹선충의 저항성 검정 체계

농업과학기술원 농업해충과 선충연구실에서 유지·보존해오던 고구마뿌리혹선충(*Meloidogyne incognita*), 땅콩뿌리혹선충(*M. arenaria*), 자바뿌리혹선충(*M. javanica*), 당근뿌리혹선충(*M. hapla*) 등 4종을 토마토(광수)에 증식 하여 이용하였다. 뿌리혹선충의 알 분리는 난낭이 붙어있는 토마토뿌리를 2~3 cm로 자른 후 Sodium Hypochloride Solution 0.5%용액에 침지한 후 3분간 세차게 흔들어서 젤라탄을 용해시킨 후 500메쉬 체로 걸러서 농축시키고, 필요한 농도로 희석하여 사용하였다. 유충은 Baermann법으로 알을 부화시켜 사용하였으며, 감염토양은 토마토를 화분에 심고, 선충을 접종하여 1세대 증식 후 토양 속에 남아있는 뿌리혹선충 유충을 분리하여 밀도를 파악한 후 멸균토양으로 밀도를 조절하여 이용하였다. 시험에 사용된 토양은 원예용부농상토(4)+밭흙(2)+모래(1)의 무게비율로 혼합하여 멸균 후 사용하였고, 화분은 토양 500 g이 들어가는 직경 10 cm 크기를 이용하였으며, 10반복으로 온실에서 수행하였다. 뿌리혹선충 접종방법 별 시험은 선충 접종은 포기당 알은 2,000개, 유충은 1,000 마리로 하였으며, 감염토양의 선충 밀도는 토양 100 g당 200마리가 되도록 조절하였다. 선충접종은 알과 유충은 고구마삽수를 정식하고 5일후에 실시하였고, 감염토양은 선충밀도 조절후 직접 고구마묘를 이식하였다. 시험에 이용한 11개의 고구마 품종은 작물과학원 목포시험장으로부터 고구마 삽수를 분양을 받아서 이용하였다.

뿌리혹선충의 난량조사는 선충 접종 후 고구마 뿌리에 난량이 형성되면 뿌리를 깨끗하게 씻어서 Phloxin B 0.015% 용액에 15분간 침지하여 염색한 후 난량 수를 계수하였다. 저항성 판정은 G. Fassouliots (1985)가 제시한 방법으로 고구마 뿌리에 형성된 뿌리혹선충의 난량의 수가 감수성 품종과 비교하여 10% 이하이면 저항성(R), 11~25% 사이이면 중간 저항성(MR), 26% 이상이면 감수성으로 판정하였다.

결과 및 고찰

고구마 재배지 선충 피해 조사

뿌리혹선충의 포장 검출률은 표 1과 같이 전남 해남지방이 61%로 가장 높았으며, 다음이 전북 익산 40%, 경기 여주 31%순이었고, 평균밀도는 해남지역이 토양 300 g당 487마리로 가장 높게 나타났다.

선충피해는 일반적으로 연작지에서 심하게 나타났으며 전남 해남지역이 뿌리혹선충의 밀도가 가장 높은 원인은 이 지역에서 장기간 고구마를 재배하여 왔다는 것과 밀접한 관련이 있을 것으로 추정된다.

고구마의 피해증상은 그림 1과 같이 고구마 눈 부분이 검게 변하여 썩어 들어가며, 모양이 기형으로 되기도 하고, 심한 경우는 세로로 갈라진다. 고구마가 기형이 되거나 세로로 갈라지는 현상은 고구마 덩이뿌리 형성초기에 뿌리혹선충이 침입하면 그 부분의 세포를 고사시켜 생육을 정지시키고 다른 부분은 정상적으로 성장하기 때문이

라고 알려져 있다(Clark, C. A. and J. W. Moyer. 1988). 이러한 피해 증상은 일차적으로 뿌리혹선충의 밀도와 상관관계가 깊고, 2차적으로 사질토양에서 토양수분의 빈번한 과부족으로 증상이 심화된다고 보고(Tarumoto, I 1992)가 있지만 실제 포장 조사에서는 확인하기 어려웠다. 고구마 덩이뿌리의 뿌리혹선충 감염 확인은 그림 2(오른쪽)와 같이 가로로 절단하여 해부현미경하에서 보면 암컷성충과 알을 쉽게 발견할 수 있었으며, 심한 경우는 고구마 그림 2(왼쪽)와 같이 표피에서도 난량을 관찰할 수 있었다.

Table 1. Occurrence of root-knot nematode at sweet potato field by locality

Locality	No. of field	Rate of detection (%)	Nematodes/soil 300 g		
			Mean	Density	Range
Jeonnam Haenam	13	61	487		90~990
Jeonbuk Iksan	10	40	426		84~2,250
Gyeonggi Yeoju	13	31	60		24~108
Total & mean	36	47.3	324		-

※ Soil sampling date : 2001. 9. 25~28

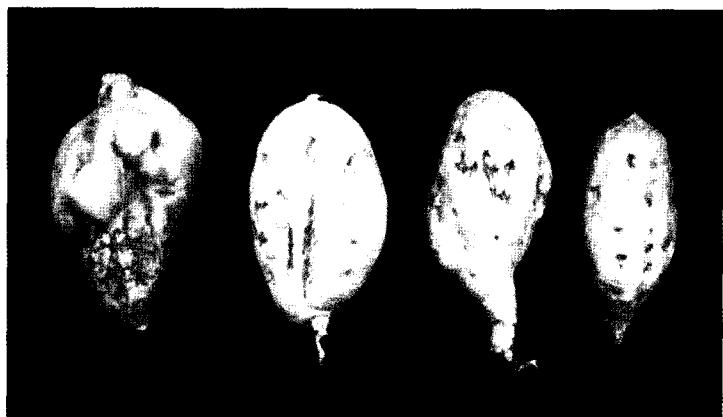


Fig. 1. Symptoms of sweet potato (Yulmi) infected by *Meloidogyne incognita*

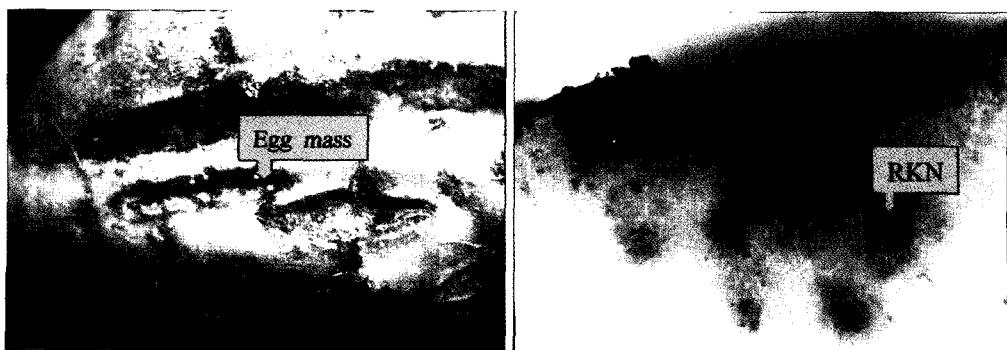


Fig. 2. Parasitism of *Meloidogyne incognita* in sweet potato (Yulmi)

뿌리혹선충의 저항성 검정 체계

뿌리혹선충의 증식은 온도와 밀접한 관련이 있는데, 일 반적으로 25°C에서 약 40~50일에 1세대를 완료하지만 온도가 낮아지면 기간이 길어지고, 온도가 높아지면 기간이 단축된다. 본 시험 기간 동안 풋트내 지하 10 cm의 평균 온도는 21.5°C, 온도 범위는 17.6~26.4°C이었다.

고구마의 뿌리혹선충 저항성 검정은 멸균토양에 고구마 삽수를 이식하여 발근시킨 후 선충을 접종하여 실시하는 것이 일반적이지만 검정해야 할 계통이 많을 때에는 뿌리혹선충 감염포장을 조성하여 실시하기도 한다.

선충 접종방법 시험에서 접종밀도를 1) 약 2,000개/주, 2) 유충 1,000마리/주, 3) 유충 1,000마리/감염토양 500 g 수준으로 처리한 결과, 접종방법간에 뿌리혹선충의 난 낭수에 다소간 차이가 있었지만 저항성 판정에는 표2와 같이 아무런 영향이 미치지 않았다. 3가지 방법 중 알을 접종하는 것이 처리가 간편하고 결과가 안정적인 것으로

나타났다. 따라서 검정해야 할 계통이 적고 정밀한 성격이 필요할 때는 알을 접종하여 실시하고, 많은 계통을 동시에 실시해야 할 경우는 뿌리혹선충 감염포장을 조성하여 그 포장에서 저항성을 검정하는 것이 바람직하다고 생각된다. 특히 뿌리혹선충은 고구마에서 증식이 잘 되기 때문에 쉽게 감염포장을 조성할 수 있을 것이다. 참고로 Bonsei & Phillis (1979)는 12개 고구마 품종을 공시하여 온실베드법, 온실화분법과 포장검정법으로 뿌리혹선충 저항성 검정을 실시한 결과 동일한 품종에서 나타나는 반응은 유의적인 차이가 없었지만 온실에서 화분을 이용하는 것이 뿌리를 제한시킴으로 선충의 접근을 쉽게 하고 뿌리의 파괴 없이 주기적으로 뿌리를 관찰 수 있어서 3 방법 중에 가장 효과적인 방법이라고 한 보고와 유사한 결과를 얻었다.

국내 품종에 대해서 고구마뿌리혹선충의 약 2000개를 접종하고 증식 정도를 조사한 결과 율미가 63.2배로 가장 높았고, 선미가 52.1배, 신천미가 28.6배, 증미가 6.3배로 낮았다(표 3). 고구마 뿌리에 침입한 뿌리혹선충의 증식

Table 2. Comparison of differential inoculation methods for the screening of sweet potato cultivars against *Meloidogyne incognita*¹⁾

Cultivar	Eggs inoculation (2,000/plant)		Larva inoculation (1000/plant)		Infected soil (1,000/plant)		Remarks
	No. of egg mass/plant	Rating ²⁾	No. of egg mass/plant	Rating	No. of egg mass/plant	Rating	
Jeungmi	68	MR	68	MR	75	MR	-
Sincheonmi	140	S	131	S	182	S	-
Seonmi	208	S	122	S	467	S	-
Yulmi	282	S	312	S	553	S	Susceptible check
Regal	1	R	0	R	1	R	Resistance check

¹⁾ Experiments were conducted in a d-12-cm clay pot in a greenhouse with five replications.

²⁾ Resistance rating was determined by number of egg masses per plant. R : <10% of a susceptible cultivar (Yulmi), MR : 11-25%, S : >26% (G. Fassuliotis, 1985)

Table 3. Multiplication of *M. incognita* to five sweet potato cultivars in greenhouse¹⁾

Cultivar	No. of egg mass/plant	Rating ²⁾	No. of egg/egg mass	Total/plant	Reproduction rate (No. of egg/2,000 ³⁾)
Jinmi	35	MR	211	7,385	3.7
Jeungmi	68	MR	184	12,512	6.3
Sincheonmi	140	S	409	57,260	28.6
Seonmi	208	S	501	104,208	52.1
Yulmi	282	S	448	126,336	63.2

¹⁾ Experiments were conducted in a d-12-cm clay pot in a greenhouse with five replications.

²⁾ Resistance rating was determined by number of egg masses per plant, R : <10% of a susceptible cultivar (Yulmi). MR : 11-25%, S : >26% (G. Fassuliotis, 1985)

³⁾ The nematodes were inoculated with 2,000 eggs per plant.

Table 4. Resistance rating of four root-knot nematodes species in 11 sweet potato cultivars in greenhouse¹⁾

Cultivar	<i>M. incognita</i>		<i>M. arenaria</i>		<i>M. javanica</i>		<i>M. hapla</i>	
	Egg mass	Rating ²⁾	Egg mass	Rating	Egg mass	Rating	Egg mass	Rating
Jinmi	35	MR	2	R	4	R	1	R
Jeungmi	52	MR	8	R	7	R	5	R
Borami	75	S	2	R	17	R	5	R
Hongmi	121	S	47	MR	56	MR	51	MR
Jinhongmi	145	S	111	S	113	S	61	MR
Sinyulmi	178	S	188	S	189	S	115	S
Sincheonmi	182	S	162	S	73	MR	157	S
Geonmi	233	S	355	S	355	S	145	S
Seonmi	234	S	68	MR	55	MR	55	MR
Sinhwangmi	467	S	202	S	206	S	89	S
Yulmi	553	S	724	S	433	S	298	S

¹⁾ Experiments were conducted in a d-12-cm clay pot in a greenhouse with five replications. Soil tested were infected with 1,000 larva per soil 500 g.

²⁾ Resistance rating was determined by number of egg masses per plant. R : <10% of a susceptible cultivar (Yulmi). MR : 11-25%, S : >26% (G. Fassuliotis, 1985).

정도는 품종이 가지고 있는 고유 특성에 따라 좌우되는데 Canto-Saenz (1985)는 뿌리혹선충은 고구마의 모든 품종에 침입하지만 침입 후 선충의 발육은 선충이 만드는 거대 세포와 관련이 있으며 저항성 품종에서는 거대세포를 만들 수 없으므로 유충은 사멸하게 된다고 하였고, Riggs & Winstead (1956)는 동일한 양의 뿌리혹선충을 토마토에 접종했을 때 감수성과 저항성 품종 모두 뿌리리를 침입 하지만 저항성 품종에서는 대부분 성충으로 성장하지 못한다고 하였으며, 뿌리혹선충에 대한 식물의 저항성은 식물자체의 저항성, 선충밀도, 환경조건 선충종류에 따라 영향을 받는다고 하였다.

뿌리혹선충은 전 세계적으로 분포하며 농작물에 피해가 심한 종류는 고구마뿌리혹선충, 땅콩뿌리혹선충, 자바뿌리혹선충, 당근뿌리혹선충 등 4종이다. 뿌리혹선충은 종류에 따라 생육적온이 다르다. 노지의 경우 남부지방에서는 고구마뿌리혹선충이 주로 분포하고, 중부 이북지방에는 땅콩뿌리혹선충과 당근뿌리혹선충이 분포하며 국내에서는 3종이 문제되고 있다(Choi & Choo, 1978).

국내에 분포하는 뿌리혹선충의 4종류에 대하여 고구마 11개의 품종에 대한 저항성을 검정한 결과 고구마뿌리혹선충에 저항성을 나타내는 품종은 없었다. 그러나 땅콩뿌리혹선충에는 진미, 보라미, 증미, 자바뿌리혹선충에는 진미와 보라미, 당근뿌리혹선충에는 진미, 보라미, 증미가 저항성으로 나타났다. 국내에 주로 재배되고 있는 고구마 품종은 올미, 신올미, 신황미 세 가지 품종인데 이들 품종은 모두 뿌리혹선충에 대해서 높은 감수성이었다.

뿌리혹선충은 노지에서 알 또는 유충상태로 월동이 가능하여 한번 증식된 선충은 다음 작기에 큰 피해를 나타냄

으로 감염된 포장에서는 감수성 품종의 연작은 피하는 것이 바람직하다. 앞으로 이러한 품종의 재배가 지속될 경우에 뿌리혹선충의 밀도가 계속 증가할 것으로 예상되며 피해도 점점 늘어나게 될 것이다. 전국적으로 고구마의 뿌리혹선충의 피해가 확산되고 있으므로 저항성 품종의 육성이 시급히 요구되고 있다.

Kondo (1972)에 의하면 고구마뿌리혹선충의 기생도가 고구마품종별로 다르게 나타났으며 피해 및 뿌리혹지수도 다르다고 하였다. 그리고 뿌리혹선충의 기생도가 높은 품종은 난량의 밀도가 높았으며 기생도가 낮은 품종은 난량의 수가 적어 암컷의 비율도 낮다고 하였다. 또한 포장에서 뿌리혹선충에 감수성인 관동 14호와 저항성인 농림 5호를 재배한 결과 토양의 선충 밀도는 감수성포장에서 매우 높았고 저항성 포장에서는 거의 선충을 찾아 볼 수 없을 정도로 낮았다고 하였다. 국내 품종 중에서도 품종과 선충 종류에 따라 뿌리혹선충의 기생률이 현저하게 다름이 확인되었다.

끝으로 고구마 육종가들이 뿌리혹선충 저항성을 검정하는 것보다 선충 전문가가 고구마저항성 품종 육종 사업에 참여하여 저항성을 평가하는 것이 바람직하다고 생각되며, 앞으로 뿌리혹선충이 고구마에 어느 정도 피해를 주는지에 대한 피해해석에 관한 연구도 앞으로 추진되어야 할 것이다.

Literature Cited

- Bonsi, C. K. & B. R. Phills. 1979. Reaction of twelve sweet potato cultivars and breeding lines to two root-knot species with three

- experimental methods. Horticulture 14(4): 539-541.
- Canto-Saenz, M. 1985. The nature of resistance to *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949. An Advanced treatise on *Meloidogyne* edited by J. N. Sasser and C. C. Carter, Vol. 1. Biology and Control p225-231.
- Choi, Y. E. & H. Y. Choo. 1978. A study on the root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) affecting economic crops in Korea. Korean J. Plant Protec., 17: 89-98.
- Clark, C. A. and J. W. Moyer. 1988. Compendium of sweet potato disease. Am. Phytopathol. Soc. p41-49.
- Fassuliotis, G. 1985. The role of nematologist in the development of resistance cultivars. An Advanced Treatise on *Meloidogyne* Vol. I: Biology and Control edited by J. N. Sasser and C. C. Carter p234-240.
- Kondo, T, I. Hayashi, S. Anazawa, T. Yamasaki, W. Yamamoto, T. Saigusa. 1972. Varietal difference of sweet potato in susceptibility to the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. Jpn. J. Nematol. 1: 14-17.
- Riggs, R. D. and N. N. Winstead. 1956. Studies on resistance in tomato to root-knot nematodes and on the occurrence of pathogenic biotype. Phytopathol. 49: 716-724.
- Tarumoto, I. 1992. Breeding of resistant varieties to root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. Senchu Kenkyu no ayumi p282-285.
- Yoshida, M. 1992. The southern root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. Senchu Kenkyu no ayumi p133-137.

(Received for publication 19 July 2006;
accepted 10 August 2006)