

## 과채류 시설재배지 식물기생선충 분포 및 효소표현형을 이용한 뿌리혹선충의 동정

### Distribution of Plant-parasitic Nematodes in Fruit Vegetable Production Areas in Korea and Identification of Root-knot Nematodes by Enzyme Phenotypes

조명래 · 이봉춘 · 김동순 · 전홍용 · 임명순 · 이정운

Cho, Myoung Rae, Bong Choon Lee, Dong Soon Kim, Heung Yong Jeon,  
Myoung Soon Yiem and Jeang Oon Lee

**Abstract** – This study was conducted to analyse the distribution of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in fruit vegetable production areas in Korea. Soil samples were collected from greenhouses in Sungju (Kyungpook), Yeosu (Kyungki), Haman (Kyungnam), and Chungwon (Choongpook) provinces in 1997~1999. Plant parasitic nematodes were separated for density counting and some of the root-knot nematodes were identified using enzyme phenotypes of malate dehydrogenase (MDH) and esterase (EST). Among the 185 farms in Sungju province, *Meloidogyne* spp. were detected from 99 farms (53.5%). Other plant parasitic nematodes detected were; *Helicotylenchus* spp. from 7 farms, *Aphelenchus* spp. from 43 farms, and Criconematids from 26 farms. Using the female enzyme phenotypes of MDH and EST, the four major root-knot nematodes in Korea, *M. incognita* (MI), *M. arenaria* (MA), *M. hapla* (MH), and *M. javanica*, could be identified. In the enzyme phenotype identification of 13 populations collected from Sunnam in Sungju province, 6 populations were identified as MA, 5 populations were identified as MI, and 2 populations were mixed with MI and MA. Among the 6 populations from Choju in Sungju province, 4 populations were MA, one population was MI, and one population showed enzyme phenotypes of unknown species. Among the 14 populations of Yeosu province, 11 populations were MH and 3 populations were MA.

**Key Words** – *Meloidogyne* spp., Oriental melon, Watermelon, Pumpkin, Taxonomy

**초 록** – 국내 과채류 재배단지의 뿌리혹선충 발생에 관한 조사를 위해 1997년부터 1999년까지 경북 성주군을 중심으로 경기 여주군, 경남 함안군, 충북 청원군 등에서 과채류재배지의 토양을 채집하여 식물기생선충 종류와 밀도 조사, 뿌리혹선충 암컷의 효소표현형에 의한 종 동정을 실시하였다. 경북 성주군의 185개 참외재배 포장 중 99개 포장 (53.5%)에서 뿌리혹선충이 검출되었고 나선선충류 (*Helicotylenchus* spp.)는 7개, 둥근꼬리선충류 (*Aphelenchus* spp.)는 43개, 환선충류 (Criconematid)는 26개 포장에서 검출되었다. 뿌리혹선충 암컷의 Malate dehydrogenase 및 Esterase 등 2가지 효소표현형을 이용하여 한국에 분포하는 주요 4종의 동정이 가능하였다. 효소표현형을 이용하여 성주군 선남면에서 채집된 13개 시료 중 땅콩뿌리혹선충으로 동정된 것이 6포장, 고구마뿌리혹선충 5포장이었으며 2개 포장은 두 종이 혼재하는 것으로 나타났다. 성주군 초전면의 6개 포장 시료 중 4개가 땅콩뿌리혹선충, 1개가 고구마뿌리혹선충으로 동정되었으며 1포장의 뿌리혹선충은 효소표현형이 미동정 종으로 나타났다. 경기도 여주군의 참외재배단지에서는 14개 조사대상 중 당근뿌리혹선충이 11개 포장, 땅콩뿌리혹선충이 3개 포장으로 당근뿌리혹선충

이 우점종인 것으로 나타났다.

### 검색어 - 시설재배, 참외, 수박, 호박, 분류, 선충

국내의 과채류 재배면적은 76,453 ha로 최근까지 꾸준히 증가하는 추세를 나타내고 있으며 그 중 시설재배면적이 52,949 ha로 전체 재배면적의 69.2%에 달한다(Ministry of Agr. & For., 1999). 온실시설이 과거 벼와 윤작하던 체계와는 달리 고정화, 대형화되면서 동일장소에서의 단일작목 연작년수가 늘어남에 따라 각종 연작장해가 발생하고 있다. 여러 가지의 연작장해 요인 중 특히 뿌리혹선충에 의한 수량감소 및 조기고사 피해는 1980년대 이후 계속 증가하는 추세에 있어 뿌리혹선충에 대한 효과적인 방제대책의 수립이 시급한 실정이다(Choi and Choi, 1982; Park *et al.*, 1995a).

시설에서 재배되는 과채류 중 수박(19,189 ha), 참외(9,365 ha), 오이(5,722 ha), 호박(3,271 ha), 토마토(3,833 ha), 풋고추(4,808 ha), 가지(300 ha) 등 뿌리혹선충의 피해를 받기 쉬운 작목의 재배면적이 46,488 ha로 전체 시설재배면적의 약 88%를 점하고 있다(Ministry of Agr. & For., 1999). 참외 주산단지인 경북 성주군의 경우 뿌리혹선충 포장감염율은 85%에 이르며 포장내 감염주율은 60.5%로 뿌리혹선충이 시들음병과 함께 연작장해의 중요한 요인중의 하나로 보고된 바 있다(Park *et al.*, 1995b, c). 국내 시설재배지에 대한 전체적인 뿌리혹선충의 피해정도와 선충분포에 관한 연구는 아직 이루어지지 못하였으나 성주군의 예를 볼 때 상당한 면적이 뿌리혹선충의 피해를 받고 있을 것으로 추정된다. 뿌리혹선충의 방제방법으로는 3~4년 주기의 토양개량, 수도재배를 통한 침수, 태양열 소독 등이 제시되고 있으나(Park *et al.*, 1995a; Chon *et al.*, 1996) 재배기간이 늘어나고 토양개량 비용이 증가함에 따라 이러한 물리적인 방법의 실용성이 낮아지고 있다. 저항성 대목이나 품종을 이용하는 방법이 장기적으로는 매우 바람직한 뿌리혹선충에 대한 방제대책이 될 수 있다(Sasser and Kirby, 1979). 과채류 작물의 뿌리혹선충 저항성에 대한 검정 연구가 이루어져 왔으나 특히 박과류에서 뿌리혹선충에 대해 강한 저항성을 가진 계통은 없는 것으로 보고되고 있다(Park *et al.*, 1995d; Cho *et al.*, 1997; Han and Kim, 1997). 박과류에서는 세계적으로 뿌리혹선충류, 특히 고구마뿌리혹선충 등에 대한 저항성품종이 드문 실정이며(Sasser and Kirby, 1979) 작목별로 저항성품종 육성을 통한 방제체계의 도입을 위해서는 국내 시설 과채류 재배지에서 문제되는 뿌리혹선충의 종류와 분포에 대한 정밀한 조사 및 연구가 먼저 이루어져야 할 것이다. 최근 약효가 우수한 살선충제의 등장으로 비교적 약제방제가 잘

이루어지고 있기는 하지만 과채류재배단지 지역 전체 농가가 뿌리혹선충에 감염된 상태일 경우에는 토양 및 물의 이동, 과채류 유묘, 농기구 등에 의한 재오염이 계속적으로 이루어지기 때문에 근본적인 방제대책은 되지 못하고 있다.

국내 시설재배지에서는 고구마뿌리혹선충(*M. incognita*)과 당근뿌리혹선충(*M. hapla*)의 피해가 크다고 보고되어 있으며(Choi, 1978; Choi and Choi, 1982) 국내에 분포하는 뿌리혹선충류는 땅콩뿌리혹선충(*M. arenaria*), 자바뿌리혹선충(*M. javanica*) (Choi, 1978; Choi and Choo, 1978) 외에 양다래에서 분포가 확인된 *M. cruciani*와(Choo 1985) 기주식물이 확인되지 않은 *M. hispanica* (Hirschmann, 1986) 등 6종이 보고되어 있다. 그러나 아직도 시설재배단지 별로 어떤 종이 분포하는지에 대한 연구가 부족하여 최근 과채류 재배단지에서 피해가 확산되고 있는 뿌리혹선충의 종합적인 방제대책 수립을 위한 기초자료가 충분하지 못한 상태이다.

특히 뿌리혹선충의 분류를 위해서는 선충의 각 태별 형태적 특성 뿐만 아니라 판별식물을 이용한 기주범위 검정까지 이루어져야 하므로 정확한 종의 동정에는 많은 시간과 노력이 소요된다. 최근에는 이러한 단점을 극복하기 위하여 PCR에 의한 유충 종 동정 및 효소표현형을 이용한 동정법이 개발되어 널리 이용되고 있다(Esbenshade and Triantaphyllou, 1985; Hyman and Powers, 1991; Hyman and Whipple, 1996). 2~3가지의 효소표현형을 이용하면 대부분의 뿌리혹선충 암컷의 동정이 가능하였으며 특히 esterase가 주요 뿌리혹선충의 동정에 유용하다고 보고되어 있다(Esbenshade and Triantaphyllou, 1985, 1987). Orui *et al.* (1996)은 esterase, malate dehydrogenase 등 2가지 효소표현형을 이용하여 일본 내 담배포장에 분포하는 당근뿌리혹선충, 땅콩뿌리혹선충, 고구마뿌리혹선충, 자바뿌리혹선충의 분포지도를 작성하였다. 일본에 분포하는 자바뿌리혹선충의 esterase 표현형은 미국 분포종과 다르며 세가지의 암컷 perineal pattern을 나타낸 군집들에서 3가지의 esterase 효소표현형을 나타내었다고 하였다(Narabu, 1985; Narabu *et al.*, 1989). 지금까지 국내에서는 뿌리혹선충의 동정에 주로 암컷의 perineal pattern과 기주판별법을 사용하였으며(Choi, 1978; Choo, 1985) PCR 등 최근 기술을 이용한 분류에 관한 연구는 시작단계에 있다.

본 연구에서는 뿌리혹선충 방제를 위한 기초자료

제공을 위하여 과채류 재배단지에서 문제가 되고 있는 선충의 종류와, 특히 뿌리혹선충의 조사시기별 밀도에 대해 조사하였으며 뿌리혹선충의 정밀동정을 위하여 효소표현형을 이용한 동정을 시도하였다.

### 재료 및 방법

국내 과채류 재배지에서 문제가 되고 있는 선충의 종류 및 밀도 조사를 위하여 1997년부터 1999년까지 3년간 경북 성주군 참외재배단지를 중심으로 경기 여주군 참외재배단지, 경남 함안군 수박재배단지, 충북 청원군 호박재배단지 등의 토양시료를 채집하였다. 농가별로 채집한 토양은 실험실에서 Combined sieving & centrifugation method를 이용하여 선충을 분리하였다. 선충의 종류 및 밀도 조사는 해부현미경하에서 실시하였으며 대부분 토양시료의 경우 뿌리혹선충류 외에는 검출빈도가 높은 식물기생선충류가 없었으므로 밀도조사는 주로 뿌리혹선충 유충을 중심으로 하였다.

뿌리혹선충의 정밀동정을 위하여 효소표현형을 이용한 동정을 실시하였는데 그 과정은 다음과 같다.

1999년에 성주군 초전면과 선남면 및 여주군 이포면 참외재배단지에서 채집한 토양을 실험실로 가져와 일부는 선충을 분리하고 일부는 바로키상토와 1:1로 혼합하여 화분에 담은 후 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill. "영광")를 정식하였다. 2개월 이상 온실에서 재배한 후 뿌리를 물로 잘 씻은 후 뿌리혹 및 난낭이 형성된 뿌리를 해부현미경하에서 핀셋으로 해부하여 신선한 암컷을 채집하였다.

암컷 크기에 따라 2~5마리를 마이크로튜브에 넣고 추출용액(20% sucrose, 2% Triton X-100)을 첨가한 후 약한 열로 끝을 둥글게 만든 피펫팁을 이용하여 잘 마쇄하였다. 추출액은 7.5% Tris-Glycerin gel (12 wells, 10×10 cm, 두께 1 mm)을 사용하여 4°C에서 100 V, 20 mA의 전원을 지속적으로 공급하면서 약 90분간 전기영동하였다. 전기영동 후 gel을 용기에 담은 후 상온에서 약 10분간 Malate dehydrogenase (MDH) 염색을 실시한 후 물로 세척하여 Esterase (EST) 염색은 35°C 정온기 내에서 약 45분간 실시하였다. 초기 시험 단계에서는 뿌리혹선충 종별로 형성되는 밴드의 위치를 상대비교하였으나 후기 시험에서는 Esterase 밴드

Table 1. Detection of plant parasitic nematodes and root-knot nematode density in oriental melon cultivation farms in Sungju, Gyungsook-do, Korea

Locations	Dates of collection	No. of farms sampled	No. of farms plant parasitic nematodes detected				
			<i>Meloidogyne</i> spp.		<i>Helicotylenchus</i> spp.	<i>Aphelenchus</i> spp.	Criconematid
			No. of farms	Density/300 ml soil AVG (min.~max.)			
Chojun-myon	97. 9. 24	8	5	— <sup>a</sup>	—	—	—
	98. 2. 12	16	8	36 (3~138)	4	5	4
	98. 7. 22	10	4	8,913 (60~33,984)	1	3	1
	98. 8. 24	12	5	816 (24~2,928)	—	2	1
	99. 12. 18	10	5	1,869 (12~11,700)	1	5	0
Wolhang-myon	97. 9. 24	7	4	—	—	—	—
	98. 3. 17	10	4	17 (3~39)	0	3	0
	98. 7. 22	10	5	1,646 (96~3,744)	0	4	3
Sunnam-myon	97. 9. 24	10	3	—	—	—	—
	99. 7. 11	22	12	2,249 (12~19,000)	1	9	—
Sungju-eup	98. 2. 12	20	14	26 (3~132)	0	3	7
	98. 5. 21	14	10	214 (12~1,200)	0	2	2
Byukjin-myon	97. 9. 24	6	4	—	—	—	—
	98. 8. 24	11	4	150 (12~384)	0	6	1
Daega-myon	97. 9. 24	9	7	—	—	—	—
Yongam-myon	98. 7. 22	10	5	3,384 (192~12,144)	0	1	1
<b>Total (Average)</b>	-	<b>185</b>	<b>99</b>	<b>1,756 (39~7,763)</b>	<b>7</b>	<b>43</b>	<b>26</b>

a : Nematode densities were not counted.

가 뚜렷이 나타나는 자바뿌리혹선충의 암컷을 Marker 로 사용하였다.

### 결과 및 고찰

경북 성주군의 참외재배농가를 대상으로 1997년부터 1999년까지 3년간 185개 포장의 토양을 채취하여 선충을 분리하여 조사한 결과는 표 1과 같다. 조사대상 포장 185개 중 99개에서 뿌리혹선충이 검출되었고 나선선충류(*Helicotylenchus* spp.)는 7개, 둥근꼬리선충류(*Aphelenchus* spp.)는 43개, 환선충류(*Cricone-matid*)는 26개 포장에서 검출되었다. 따라서 성주 참외재배단지에서 가장 문제가 되는 선충은 이미 알려진 바와 같이 뿌리혹선충류로 나타났고 검출포장 비율은 53.5%로 매우 높았으며 토양 300 cc당 유충의 밀도는 조사시기에 따라 다르게 나타났다. 1998년 2월 조사에서는 초전면, 월항면, 성주읍 등 3개 조사지역에서의 뿌리혹선충 유충 평균 밀도가 각각 36, 17, 26마리로 비교적 낮았으나 1998년 7월 조사에서는 초전면, 월항면, 용암면의 평균밀도가 각각 8,913, 1,646, 3,384마리로 조사되어 참외 생육초기의 밀도는 낮더라도 생육 후기에는 매우 높은 밀도로 증가되는 것으로 조사되었다. 초전면의 한 농가의 경우 유충 밀도가 토양 300 ml당 33,984마리로 조사되었는데 이것은 당근뿌리혹선충의 경제적피해밀도가 토양 300 cc당 300마리라는 보고와(Olthof and Potter, 1973) 비교할 때 100배 이상에 달하였으며 이 농가에서는 참외가 이미 고사상태에 도달한 것을 관찰할 수 있었다.

나선선충류의 검출비율은 185개 포장 중 7개로 약 4%의 비율이었으며 밀도도 대체로 낮아 문제가 되지 않을 것으로 사료된다. 둥근꼬리선충류는 식물기생성 이기는 하나 퇴비 등 유기물에서도 흔히 검출되며 종류에 따라서는 식균성선충이므로 43개 포장에서 검출되었지만 참외에 대한 피해는 역시 없을 것으로 추정된다. 주로 목본성 작물 및 수목에서 주로 검출되는 환선충류가 26개 포장에서 검출되었는데 밀도는 보통 토양 300 ml 당 10마리 이하로 낮았다. 환선충류가 참외재배지에서 검출되는 이유는 농가에서 객토 및 복

토 시 산흙을 많이 사용하였기 때문으로 생각된다 (Park *et al.*, 1995b).

경남 함안의 수박재배단지에서는 11개 포장 중 2개 포장에서만 뿌리혹선충이 검출되었고 충북 청원의 호박재배단지에서는 24개 포장 중 2개 포장에서 검출되어 성주군에 비해서는 뿌리혹선충 감염율이 상대적으로 낮았다(Table 2). 이러한 검출율은 Choi *et al.* (1982) 이 국내 시설재배지 토양에서 뿌리혹선충 검출율이 91.4%라고 한 것에 비하면 매우 낮은 비율인데 이것은 조사시점 및 대상 농가의 수에 따라 차이가 있을 수 있으며 연작년수, 후작물로 벼를 재배하는지 여부에 따라 다르게 나타날 수 있는 것으로 보인다. 함안과 청원지역의 재배형태는 일반적으로 논에 비닐하우스를 지어 재배하는 형태였다. 그러나 여주군의 참외 재배단지에서는 17개 조사대상 농가 중 14개 농가에서 뿌리혹선충이 검출되어 문제가 심각한 것으로 나타났다. 이 지역은 평균 연작년수가 10년 정도였으며 강변의 사질양토로서 뿌리혹선충이 서식하는데 좋은 환경을 갖추고 있었다. 특히 여주의 경우 뿌리썩이선충류(*Pratylenchus* spp.)가 17개 농가중 5개 농가에서 검출되었는데 농가에 따라서는 토양 300 ml 당 432마리로 밀도가 높은 경우가 있어 이 선충에 의한 피해도 상당할 것으로 추정되었다. 따라서 과채류 연작지의 식물기생성 선충 피해에 관한 금후 조사, 연구에서 뿌리썩이선충류에 대한 관심이 필요한 것으로 생각된다. 나선선충류, 둥근꼬리선충류, 환선충류도 농가에 따라 검출되었으나 높은 밀도로 검출되는 경우는 없었다.

1999년의 조사에서 뿌리혹선충이 검출된 농가의 토양에 토마토를 심어 선충을 증식시킨 후 암컷의 효소표현형을 이용한 종 동정 결과는 Table 3과 같다. 시험에 사용된 뿌리혹선충 근집들은 EST, MDH 등 2종의 효소표현형에 의해 땅콩뿌리혹선충, 고구마뿌리혹선충, 당근뿌리혹선충 등 주요 3종으로 구분이 가능하였다(Figs. 1~4).

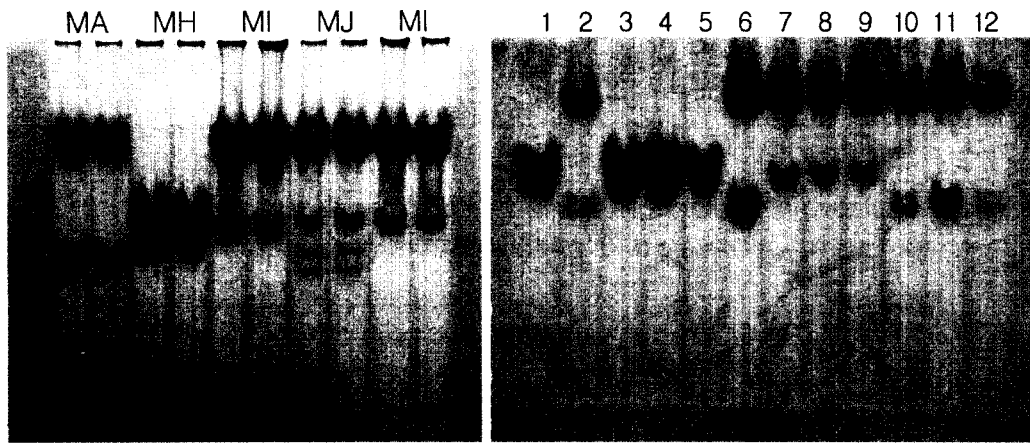
성주군 선남면에서 채집된 13개 중 땅콩뿌리혹선충으로 동정된 것이 6농가, 고구마뿌리혹선충 5농가였으며 2개 농가는 두 종이 혼재하는 것으로 나타났다.

Table 2. Detection of plant-parasitic nematodes in fruit vegetable cultivation areas

Locations	Crops	Dates of collection	No. of farms sampled	No. of farms				
				<i>Meloidogyne</i> spp.	<i>Helicotylenchus</i> sp.	<i>Aphelenchus</i> sp.	<i>Cricone-matids</i>	<i>Pratylenchus</i> sp.
Haman	Watermelon	'98. 3. 17	11	2	0	8	1	0
Yeoju	Oriental melon	'99. 5. 18	17	14	1	10	3	5
Chungwon	Pumpkin	'99. 10. 7	24	2	0	2	0	0
Total			52	18	1	20	4	5

Table 3. Identification of root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp., by enzyme phenotypes of esterase and malate dehydrogenase

Locations	Dates of collection	No. of populations identified					Unknown sp.
		Total	<i>M. arenaria</i>	<i>M. incognita</i>	<i>M. hapla</i>	MA & MI mixed	
Sunnam, Sungju	'99. 7. 1	13	6	5	—	2	—
Chojun, Sungju	'99. 12. 18	6	4	1	—	—	1
Yipo, Yeosu	'99. 5. 18	14	3	—	11	—	—

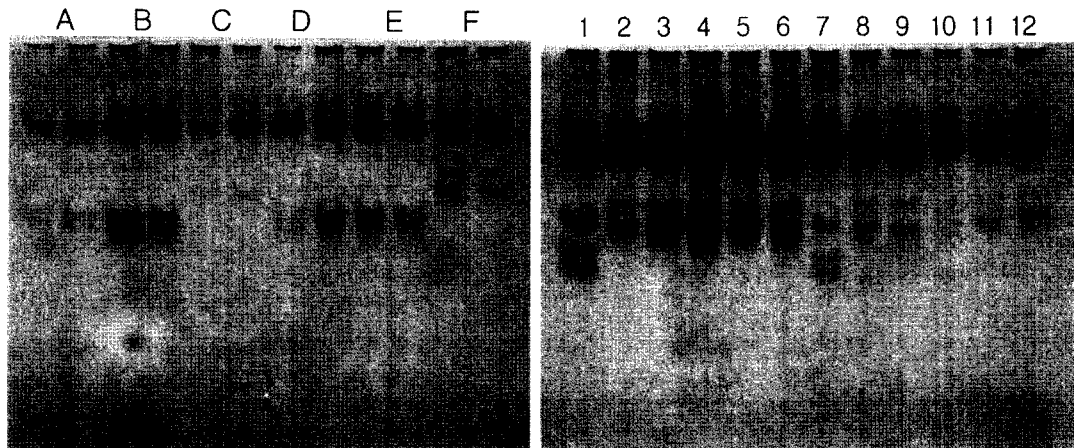


Figs. 1-2. 1. Malate dehydrogenase and esterase phenotypes detected in 4 major root-knot nematode species of *Meloidogyne arenaria* (MA), *M. hapla* (MH), *M. incognita* (MI), and *M. javanica* (MJ) which were maintained in National Horticultural Research Institute, Suwon, Korea. 2. Malate dehydrogenase and esterase phenotypes detected in populations collected from Yeosu province (lanes 1~6) and from Sunnam, Sungju province (lanes 7~12). Lanes 1, 3, 4, and 5 : *Meloidogyne hapla*. Lanes 2, 6, 10, 11, and 12 : *M. arenaria*. Lanes 7, 8, and 9 : *M. incognita*.

성주군 초전면의 6개 농가 중 4개 농가가 땅콩뿌리혹선충, 1개 농가가 고구마뿌리혹선충으로 동정되었으며 1개 농가에서 분리된 암컷의 효소표현형은 국내에 분포하는 주요 4종의 표현형과 다르게 나타났다. 성주군과는 달리 경기도 여주군의 참외재배농가에서는 14개 조사대상 중 당근뿌리혹선충이 11개 농가, 땅콩뿌리혹선충이 3개 농가로 당근뿌리혹선충이 우점종인 것으로 나타났다. 전체 33개 조사대상 농가 중 땅콩뿌리혹선충으로 동정된 농가가 13개, 고구마뿌리혹선충이 6개, 당근뿌리혹선충이 11개 농가였는데 이러한 결과는 기존에 국내 시설재배지에서 문제되는 선충 중 고구마뿌리혹선충과 당근뿌리혹선충이 주요종이라는 보고(Choi, 1978; Choi and Choi, 1982)와는 매우 다르게 나타났다. 특히 성주군의 경우 19개 농가 중 10개 농가가 땅콩뿌리혹선충, 6개 농가가 고구마뿌리혹선충으로 동정되었고 2개 농가는 혼재하는 것으로 조사되었다. 이러한 결과로 볼 때 성주지역 참외재배단지에서 과거에는 고구마뿌리혹선충이 우점종이었다

가 최근 땅콩뿌리혹선충이 우점종으로 변해 나가는 과정이 아닌가 하는 추정을 가능케 한다. 여주군의 경우는 성주군과 달리 당근뿌리혹선충이 우점종이었는데 이것은 여주군이 성주군보다는 위도가 높아 연중 상대적인 온도가 낮고 시설재배라 하더라도 가온시설이 없으므로 북방성인 당근뿌리혹선충이 우점하고 있는 것으로 생각된다. 지금까지는 참외의 뿌리혹선충 방제대책에 관한 연구가 고구마뿌리혹선충 위주로 이루어져 왔으나(Cho *et al.*, 1998) 앞으로 땅콩뿌리혹선충 및 당근뿌리혹선충에 대한 대목 및 품종의 저항성 연구와 함께 뿌리혹선충 종별 분포에 대한 보다 광범위한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

뿌리혹선충 암컷의 EST와 MDH 효소표현형을 이용하여 원예연구소에서 유지, 증식하던 주요 뿌리혹선충 4종의 암컷을 대상으로 효소표현형을 검정한 결과 기존에 알려져 있던 각 종별 효소표현형과 동일한 결과를 얻었다(Fig. 1). Esbenshade and Triantaphyllou (1985)는 전세계 291 군집의 뿌리혹선충을 대상으로



Figs. 3-4. 3. Malate dehydrogenase and esterase phenotypes detected in populations collected from Chojun, Sungju province. Lanes A, B, D, E : *Meloidogyne arenaria*. Lane C : *M. incognita*. Lane F : unknown *Meloidogyne* species. 4. Malate dehydrogenase and esterase phenotypes detected in population F of Fig. 3 collected from Chojun, Sungju province. Lanes 1 and 3 : *Meloidogyne javanica* for size marker. Lanes 2~6 : 5 females of population F. Lanes 8~12 : 3 females of population F.

효소표현형을 조사한 결과 EST에서 18가지의 주요밴드형을 나타냈으며 세계적으로 분포도가 높은 4종의 밴드형을 당근뿌리혹선충은 H1, 고구마뿌리혹선충은 I1, 자바뿌리혹선충은 J3, 땅콩뿌리혹선충은 A1, A2, A3 등으로 구분하였다. 그들은 한국에서 채집된 뿌리혹선충들이 당근뿌리혹선충은 H1, 땅콩뿌리혹선충은 A1 및 A2, 자바뿌리혹선충은 J3, *M. hispanica*는 S2M1 밴드형을 나타내었다고 하였다 (Esbenshade and Triantaphyllou, 1985; Hirschmann, 1986). 원예연구소에서 유지하던 4종의 뿌리혹선충도 땅콩뿌리혹선충에서 A2밴드형만 나타난 것을 포함하여 나머지 3종에서 동일한 표현형을 나타내었다 (Fig. 1). 당근뿌리혹선충의 MDH 효소표현형은 Esbenshade and Triantaphyllou (1985)의 분류형과 같이 H1형 밴드를 나타내었다. 따라서 국내에 분포하는 뿌리혹선충 주요 4종은 EST, MDH 두가지의 효소표현형을 이용하면 분류가 가능한 것으로 나타났다.

경기도 여주 및 경북 성주군 선남면에서 채집한 뿌리혹선충을 토마토에서 증식하여 효소표현형을 검정한 결과는 Fig. 2와 같다. Lanes 1~6은 여주 채집군으로 2번과 6번은 땅콩뿌리혹선충 A2형 밴드, 3, 4, 5번은 당근뿌리혹선충의 H1형 밴드형을 나타내었다. Lanes 7~12는 성주군 선남면 채집군으로 7~9번은 고구마뿌리혹선충의 I1형 밴드, 10~12번은 땅콩뿌리혹선충의 A2형 밴드형을 나타내었다. 선남면 채집군들에 대해 여러차례의 검정을 통해 표 3과 같은 결과를 얻었는데 2개 농가에서는 고구마뿌리혹선충과 땅콩뿌리혹선충의 밴드형이 같이 검출되기도 하여 2종의 뿌리혹선충이 혼재하는 것을 확인할 수 있었다.

성주군 초전면에서 채집한 뿌리혹선충군의 효소표현형은 Fig. 3과 같다. Lanes A, B, D, E는 땅콩뿌리혹선충의 A2형 밴드, C는 고구마뿌리혹선충의 I1형 밴드형을 나타내었다. Lane F는 국내에 분포하는 주요 뿌리혹선충 4종의 효소표현형 (Fig. 1)과는 다른 표현형을 나타내었는데 이 표현형은 Esbenshade and Triantaphyllou (1985)의 표현형 분류에 따르면 세계적으로 미동정된 뿌리혹선충류와 일부 비전형적인 땅콩뿌리혹선충에서 나타나는 S1-M1형 밴드형과 같았다. Fig. 4는 Lane F 군집의 암컷을 5마리 (lanes 2~6) 또는 3마리 (lanes 8~12) 마쇄하여 재검정한 결과로 marker로 사용한 자바뿌리혹선충 (lanes 1, 7)과 비교했을 때 Fig. 3과 같이 모두 동일한 밴드형을 나타내었다. 이 효소표현형은 국내에서 채집되어 S2-M1형 밴드를 나타내었고 (Esbenshade and Triantaphyllou, 1985) 나중에 *M. hispanica*로 동정된 군집 (Hirschmann, 1986)과는 다른 표현형이며 암컷의 perineal pattern도 dorsal arch가 높고 뚜렷이 각진 모양이 국내에 분포하는 주요 뿌리혹선충 4종과는 매우 다른 형태를 나타내었다. 따라서 이 군집에 대해서는 국내 분포 조사, 각 태별 형태적 특징, 기주범위, 판별기주 검정, PCR 특성 등의 연구를 통해 정밀한 동정작업이 이루어져야 할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 경북 성주군을 중심으로 일부 과채류 재배단지에서 뿌리혹선충의 분포와 종 동정에 관해 조사하여 땅콩뿌리혹선충이 성주지역에서 분포가 확산된 사실과 여주지역에서 당근뿌리혹선충이 우점종인 것을 확인할 수 있었다. 또한 뿌리혹선충의 동정을 위해 형태적 특징 조사, 판별기주 조사 등 복잡하고 시간이 많이 소요되는 방법 대신 EST, MDH 등

2가지 효소표현형을 이용하여 빠르고 정확하게 국내에 분포하는 주요 4종에 대한 분류동정이 가능하였다.

국내 과채류 재배지역에서 연작장애의 중요한 요인으로 문제가 되고 있는 뿌리혹선충의 방제대책 수립을 위해서는 일차적으로 뿌리혹선충 종별로 분포가 명확하게 밝혀져야 할 것이다. 최근 시설재배면적이 증가하고 연작연수가 늘어나면서 작목도 과거와 비교하면 훨씬 다양화되었으므로 뿌리혹선충의 종별 분포도 과거와는 다른 양상으로 바뀌어질 것으로 전망된다. 따라서 작목별로 문제되는 뿌리혹선충의 종류에 따라 이에 대한 종합적인 방제대책 수립, 즉 저항성품종의 육성, 작부체계 개선, 생물적방제제 개발을 위해서는 전국적인 과채류 재배단지의 뿌리혹선충 분포에 대한 조사연구가 시급히 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## 인용문헌

- Cho, M.R., H.Y. Jeon, K.D. Ko, D.S. Kim, S.Y. Na and M.S. Yiem. 1997. Screening of oriental melon rootstock cultivars for resistance to *Meloidogyne incognita*. RDA J. Crop Protec. 39(1): 47~51.
- Choi, Y.E. 1978. Studies on root-knot nematodes in Korea. The Kasetsart J. 12(1): 31~35.
- Choi, D.R. and Y.E. Choi. 1982. Survey on plant parasitic nematodes in cropping by controlled horticulture. The Korean J. Plant Protec. 21(1): 8~14.
- Choi, Y.E. and H.Y. Choo. 1978. A study on the root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) affecting economic crops in Korea. The Korean J. Plant Protec. 17(2): 89~98.
- Chon, H.S., H.J. Park, S.G. Yeo, S.D. Park and Y.E. Choi. 1996. Technical development for control on soil nematodes (*Meloidogyne* spp.) of oriental melon in plastic film house. RDA J. Agri. Sci. 38(2): 401~407.
- Choo, H.Y. 1985. A note on root-knot nematodes from Chinese gooseberry. Korean J. Plant Protec. 24(2): 115.
- Esbenshade, P.R. and A.C. Triantaphyllou. 1985. Use of enzyme phenotypes for identification of *Meloidogyne* species. J. Nematol. 17(1): 6~20.
- Esbenshade, P.R. and A.C. Triantaphyllou. 1987. Enzymatic relationships and evolution in the genus *Meloidogyne* (Nematoda: Tylenchida). J. Nematol. 19(1): 8~18.
- Han, S.C. and Y.G. Kim. 1997. Screening resistant red pepper varieties to *Meloidogyne hapla* and their resistance mechanisms. Korean J. Appl. Entomol. 36(2): 185~191.
- Hirschmann, H. 1986. *Meloidogyne hispanica* n. sp. (Nematoda: Meloidogynidae), the 'Seville root-knot nematode'. J. Nematol. 18(4): 520~532.
- Hyman, B.C. and L.E. Whipple. 1996. Application of mitochondrial DNA polymorphism to *Meloidogyne* molecular population biology. J. Nematol. 28(3): 268~276.
- Hyman, B.C. and T.O. Powers. 1991. Integration of molecular data with systematics of plant-parasitic nematodes. Ann. Rev. Phytopathol. 29: 89~107.
- Ministry of Agriculture and Forestry. 1999. Vegetable production in 1998. 150 pp.
- Narabu, T. 1995. Improved identification methods of root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp., and a review of their distribution in Japan. Proceed. Kanto-Tosan Plant Protect. Soc. No. 42: 9~14.
- Narabu, T., S. Namba, S. Yamashita and T. Tsuchizaki. 1989. Use of enzyme phenotypes for identification of *Meloidogyne* species in Japan. Japanese J. Nematol. 19: 46~51.
- Olthof, T.H.A. and J.W. Potter. 1973. The relationship between population densities of *Meloidogyne hapla* and crop losses in summer-maturing vegetables in Ontario. Phytopathol. 62: 981~986.
- Orui, Y., T. Nishi and H. Matsuzawa. 1996. Geographical distribution of *Meloidogyne* species (Nematoda: Tylenchida) in tobacco fields of Japan. Appl. Entomol. & Zool. 31(2): 225~231.
- Park, S.D., S.D. Park, T.Y. Kwon, B.S. Choi, W.S. Lee and Y.E. Choi. 1995a. Study on integrated control against root-knot nematode of fruit vegetables (Oriental melon and cucumber) in vinyl house. Korean J. Appl. Entomol. 34(1): 75~81.
- Park, S.D., S.D. Park, T.Y. Kwon, H.S. Jun and B.S. Choi. 1995b. The occurrence and severity of damage by root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in controlled fruit vegetable field. RDA J. Agri. Sci. 37(1)(C.P.): 318~323.
- Park, S.D., S.D. Park, T.Y. Kwon, Y.S. Im, and B.S. Choi. 1995c. Effect of early infection by *Meloidogyne incognita* on fruit vegetables. RDA J. Agri. Sci. 37(1)(C.P.): 309~312.
- Park, S.D., S.D. Park, and J.S. Lee. 1995d. Resistance test for rootstocks of fruit vegetable to disease and pest. J. Appl. Sci. Res. Inst., Taegu Hyosung Catholic Univ. 4: 63~70.
- Sasser, J.N. and M.F. Kirby. 1979. Crop cultivars resistant to root-knot nematodes, *Meloidogyne* species. A cooperative publication of the Department of Plant Pathology, N. C. S. U. and U. S. A. I. D. 24 pp.

(2000년 3월 6일 접수, 2000년 7월 26일 수리)