

과채류 시설재배지의 뿌리혹선충 문제

김동근

경상북도농업기술원 성주과채류시험장

Occurrence of Root-knot Nematodes on Fruit Vegetables Under Greenhouse Conditions in Korea

Dong-Geun Kim

Seongju Fruit Vegetable Experiment Station, Kyungbuk Agricultural Research and Extension Services, Seongju 719-860, Korea

(Received on May 23, 2001)

Meloidogyne arenaria race 2 (59%) is widely distributed, followed by *M. incognita* race 1 (23%), and an unknown race of *M. incognita* (18%) in greenhouses in southern Korea. The key character to distinguish between *M. arenaria* and *M. incognita* is excretory pore in female head. When oriental melon, *Cucumis melo* L., grafted on Shintozoa (*Cucurbit maxima* x *Cu. moschata*) is transplanted in February in a plastic tunnel inside a greenhouse infested with *M. arenaria*, nematodes produced egg masses on roots at 40 days after transplanting and the soil juveniles (J2) population reach maximum in July to 3,817/100 cm³. Juveniles are distributed relatively uniform over the 180-cm-wide row horizontally and the highest density occurs at 0-25 cm soil depth. For the control of root-knot nematodes, rice rotation, solarization, and soil addition treatments are the most effective ($P=0.05$); treatments reduce number of J2 over 90% and increase yield two times. Corn rotation, fosthiazate, and soil drying treatment are moderately effective, while sesame and green onion rotations are not effective. The relationship between *M. arenaria* and yield of oriental melon is adequately described by a linear regression model. In the test with wild *Cucumis* genetic sources introduced from U. S. Dept. of Agriculture (USDA), one of *C. heptadactylus*, two of *C. anguria*, two of *C. anguria* var. *longaculeatus*, nine of *C. metuliferus* are resistant to both species of root-knot nematodes.

Keywords : breeding, control, ecology, identification, germplasm, resistance, rotation

머리말

약 500여종의 식물기생성선충 중에서, 식물의 지상부에 피해를 주는 선충은 씨알선충(*Anguina* spp.), 줄기선충(*Ditylenchus* spp.), 잎선충(*Aphelenchoides* spp.) 등이며, 그 외 대부분의 식물기생성선충은 뿌리혹선충(*Meloidogyne* spp.), 뿌리썩이선충(*Pratylenchus* spp.), 씨스트선충(*Heterodera* spp., *Globodera* spp.), 나선선충(*Helicotylenchus* spp.) 등과 같이 토양에 서식하면서 식물의 뿌리에 피해를 준다. 다

른 토양 병충해와 마찬가지로, 선충에 의한 뿌리의 피해는 뿌리를 뽑아보기 전에는 확인이 어려움으로, 그 진단이 첫째 어렵고, 따라서 중요성에 대한 인식이 매우 부족하다. 외국의 연구에 의하면, 뿌리가 선충 피해를 받은 곳은 지상부 생육은 육안상 차이가 없어 보이더라도, 열매의 크기나 충실도가 떨어져 30% 정도 수량 감소는 쉽게 일어난다고 한다(Mai, 1985).

선충의 피해는 여러 가지로 나타나는데, 선충에게 양분을 흡수당한 식물이 쇠약해져 수량이나 품질이 떨어지는 직접적인 피해와 피해받은 뿌리가 물이나 양분을 효과적으로 사용할 수 없음으로, 더 많은 비료와 관수가 투입되어 추가적인 비용이 소요되는 것, 그리고 선충 감염으로 인한 병원균 저항성품종의 저항성 파괴, 약한 병원균의 병원력 증가, 그리고 선충에 의한 바이러스 매개 등을 들 수 있다. 특히 채소류에서는 뿌리혹선충 피해가 심

본 논문에서 사용된 품종 및 농약명은 다른 제품에 비하여 월등한 품질을 뜻하는 것은 아니며, 순수한 실험목적을 위하여 선택하여 사용하였음을 밝힙니다.

*Corresponding author

Phone) +82-54-931-8129, Fax) +82-54-931-1753

E-mail) kimdgkr@chollian.net

하여 토마토 등은 뿌리혹선충이 있으면 재배가 거의 불가능하다.

뿌리혹선충(*Meloidogyne* spp.)은 1850년대 영국의 온실에서 재배중인 오이 뿌리혹에서 처음 발견되었는데, 처음에는 *Heterodera radicolica*(Greef, 1872) Müller, 1884, *H. marioni*(Cornu, 1879) Goodey, 1932 등으로 불려지다가 1949년 Chitwood(1949)에 의하여 *Meloidogyne* 속으로 정립되었고, 세계적으로는 78종이 분포하고 있으며(Jepson, 1987), 국내에는 모두 6종의 뿌리혹선충이 서식하고 있다(Cho and Han, 1986; Cho *et al.*, 2000). 뿌리혹선충에 의한 피해는 전세계적으로 나타나는데, 한대지방보다는 온도가 높아 선충의 번식횟수가 많은 열대나 아열대지방에서 특히 더 심하다. 국내 시설재배지대에는 겨울동안에도 시설을 이용하여 채소류를 연중 재배함으로써 아열대지방에 적응하는 고구마뿌리혹선충(*M. incognita*)과 땅콩뿌리혹선충(*M. arenaria*)의 발생이 심한데, 예를 들어, 성주 지역에서는 금싸라기은천 참외를 신토좌 대목에 접붙여 농가형 비닐하우스에서 재배하는데, 겨울인 1월에 심어 4월-5월까지 수확하고, 그 후 새로 순을 키워 6월-10월까지 연장재배를 한다. 성주지역에는 이러한 연장재배와 또한 제한된 경지면적으로 인한 20년 이상의 연작으로 50% 이상의 포장에 뿌리혹선충이 감염되어 있어 매년 심각한 피해를 미치고 있다.

뿌리혹선충의 방제법으로는 담수, 휴경, 건토, 깊이갈이, 열처리(스팀, 건열, 온탕침법), 약제방제, 저항성 품종 이용, 비기주작물 윤작, 객토, 유인식물 재배, 태양열처리법, Chemigation 등 여러 가지가 알려져 있는데(Heald, 1987; Heald and Robinson, 1987), 국내 시설재배지는 토양, 재배법, 시설자재 및 작부체계 등이 외국과 달라 뿌리혹선충의 종류와 생태도 외국과 다를 것임으로, 효율적인 방제방법에 대해서도 재검토가 필요하며, 연작에 의한 뿌리혹선충 피해는 앞으로 국내 다른 시설재배 지역에서도 나타날 것임으로 이에 대비한 방제체계를 세워야 할 것이다. 이러한 관점에서, 국내 시설재배지 뿌리혹선충에 대한 최근의 몇 가지 연구 결과를 종합하였다.

본 문

뿌리혹선충의 종류와 분포. 뿌리혹선충(*Meloidogyne* spp.)은 Meloidogynidae과에 속하는 선충으로 세계적으로는 78종이 분포하고 있으며(Jepson, 1987), 국내에는 모두 6종의 뿌리혹선충이 서식하는데(Cho *et al.*, 2000), 그 중에서 문제가 되는 뿌리혹선충은 *M. arenaria*(땅콩뿌리혹선충), *M. hapla*(당근뿌리혹선충), *M. incognita*(고구마뿌리

리혹선충) 등 3종이며, 이들 선충은 가지, 감자, 고추, 담배, 당근, 딸기, 땅콩, 무, 배, 상추, 수박, 시금치, 양파, 오이, 우엉, 인삼, 작약, 참깨, 참외, 콩, 토마토, 포도, 호박 등 많은 작물을 기주로 가지고 있다(Choi, 1978; Choi and Choi, 1982; Choi and Choo, 1978; Choo *et al.*, 1987).

당근뿌리혹선충은 추운 지역에 적응된 뿌리혹선충으로 국내에서 월동이 가능하며, 주로 인삼, 당근 등 노지 재배작물에 피해를 주며, 국내 시설재배지대에서 가장 중요한 뿌리혹선충은 땅콩뿌리혹선충과 고구마뿌리혹선충이다. 1970년대에는 *M. incognita*의 비율이 *M. arenaria*에 비하여 3배 이상 높았으나(Choi and Choi, 1982; Choi and Choo, 1978; Choo *et al.*, 1987), 2000년대에는 *M. arenaria*와 *M. incognita*가 거의 반반으로 *M. arenaria*의 비율이 더 높아졌는데(Kim *et al.*, 2001b), 아마 그동안의 재배 방법이나 재배 품종의 변화로 우점종이 바뀐 것이 아닌가 하며, 앞으로의 저항성품종 육종이나 윤작작물 선발을 위한 연구에는 *M. incognita*와 *M. arenaria* 2종을 동시에 고려하여야 할 것이다.

뿌리혹선충을 방제하는 방법 중에서 비기주작물을 이용한 윤작은 효과가 높고, 비용이 적게 들면서, 환경 친화적인 방법이다(Kinloch and Hinson, 1972; Rhoades, 1976). 그러나 뿌리혹선충은 기주범위가 매우 넓고, 또 뿌리혹선충의 종이나 레이스에 따라 저항성 품종에 대한 반응이 상이하기 때문에 윤작작물을 심기전에 반드시 포장에 서식하고 있는 선충의 종과 레이스를 먼저 동정하여야 한다(Taylor and Sasser, 1978).

뿌리혹선충의 종 동정에는 암컷, 수컷, 유충에 관한 약 30여 가지의 형태적 측정법, 염색체를 이용한 세포학적 방법 혹은 단백질이나 효소를 이용한 생화학적 방법 등이 이용되는데(Sasser and Carter, 1985), 중요 4종의 뿌리혹선충을 race까지 동정하기 위해서는 6종의 기주관별 품종을 이용해야 한다(Table 1) (Hartman and Sasser, 1985; Taylor and Sasser, 1978). 아래에 소개하는 방법은 이러한 복잡함을 피하고, 일반 연구자들이 국내에서 가장 흔히 발견되는 3종의 주요 뿌리혹선충을 쉽게 동정할 수 있도록 만든 간이동정법이다(Kim *et al.*, 2001b).

먼저 뿌리혹 모양을 보아 고구마 모양이면(혹에서 잔뿌리가 발생하지 않는다; Fig. 1, A), *M. arenaria* 또는 *M. incognita*인데, 이 두 종을 가장 분명하고 쉽게 구분할 수 있는 특징은 암컷 머리에 있는 excretory pore(Fig. 1, C&D 화살표)의 위치이다. 즉 excretory pore의 위치가 선충의 침 길이보다 2배 뒤쪽에 있으면(Fig. 1, C) *M. arenaria*이며, 침 길이 1배에 있으면(Fig. 1, D) *M. incognita*(구침

Table 1. Typical response of four common *Meloidogyne* species and their races to the North Carolina differential host test (Hartman and Sasser, 1985)

Species and race	Differential hosts ^a					
	Tobacco	Cotton	Pepper	Watermelon	Peanut	Tomato
<i>M. incognita</i>						
Race 1	- ^b	-	+	+	-	+
Race 2	+	-	+	+	-	+
Race 3	-	+	+	+	-	+
Race 4	+	+	+	+	-	+
<i>M. arenaria</i>						
Race 1	+	-	+	+	+	+
Race 2	+	-	-	+	-	+
<i>M. javanica</i>	+	-	-	+	-	+
<i>M. hapla</i>	+	-	+	-	+	+

^aTobacco (*Nicotiana tabacum*) cv. NC95; Cotton (*Gossypium hirsutum*) cv. Deltapine 16; Pepper (*Capsicum frutescens*) cv. California Wonder; Watermelon (*Citrullus lanatus*) cv. Charleston Grey; Peanut (*Arachis hypogaea*) cv. Florrunner; Tomato (*Lycopersicon esculentum*) cv. Rutgers.

^b+ = >31 galls/plant; - = <10 galls/plant.

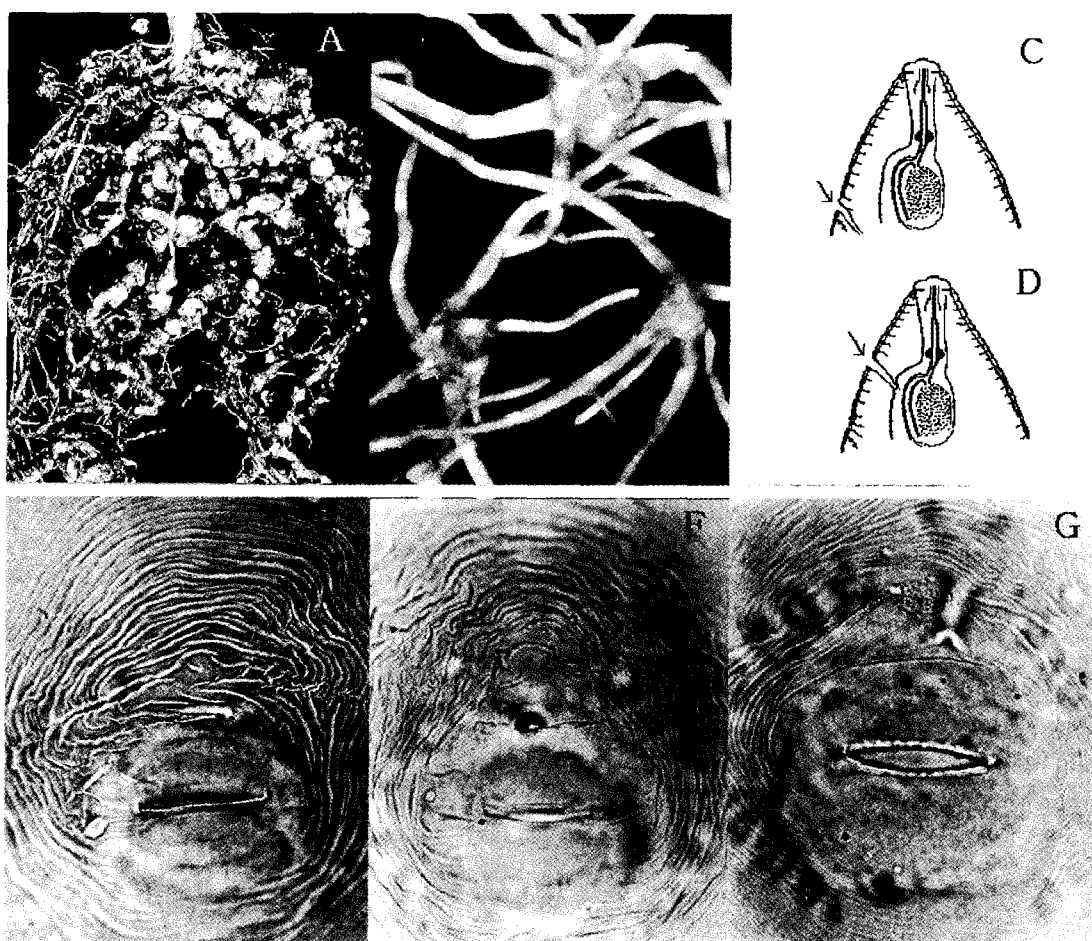


Fig. 1. Female head and perineal patterns used for a simple identification scheme of *Meloidogyne* species. **A)** Gall shapes caused by *M. arenaria* or *M. incognita*. **B)** Gall shape infested with *M. hapla*. **C)** *M. arenaria* female head. Excretory pore is about 2-stylet length posterior to head apex (arrow). **D)** *M. incognita* female head. Excretory pore is near the stylet knob (arrow). **E)** Perineal pattern of *M. arenaria*. The key character is smooth striae. **F)** Perineal pattern of *M. incognita*. The key character is wavy, angled striae. **G)** Perineal pattern of *M. hapla*. The key character is punctations in the tail terminus (Kim *et al.*, 2001b).

길이의 1배)이다. 혹에서 잔뿌리가 발생하여 “털 혹” 모양이면(Fig. 1, B) *M. hapla*로 판정하는데, 확인은 perineal pattern으로 쉽게 할 수 있다. *M. hapla*의 perineal pattern에는 꼬리 부분에 점이 나타나는데(Fig. 1, G), 이것은 다른 종에는 전혀 나타나지 않는 특징으로 쉽게 *M. hapla*를 구분할 수 있다.

뿌리혹선충의 종을 race까지 판정하려면 원래 6종의 판별품종을 이용하여야 하는 번거러움이 있으나, 위의 간이동정법으로 *M. arenaria*와 *M. incognita*를 먼저 구분하고, 추가로 race를 판정한다면 1-3 판별품종 만으로 race 구분이 가능하다. 즉 *M. arenaria*인 경우는 California Wonder 고추 1품종만 이용하면 되는데, 고추에 난낭이 생기면 *M. arenaria* race 1, 생기지 않으면 *M. arenaria* race 2이다. *M. incognita*로 밝혀진 경우에는 고추, 담배, 목화 3종을 이용하는데, 고추에만 난낭이 생기고 다른 품종에는 생기지 않으면 race 1, 담배, 고추에 난낭이 생기면 race 2, 목화, 고추에 난낭이 생기면 race 3, 담배, 목화, 고추, 모두에 난낭이 생기면 race 4이다(Table 1). 국내에서 *M. incognita* race 1, 2, 3은 발견되었으나(Cho *et al.*, 1987) race 4는 아직 발견되지 않았다.

뿌리혹선충의 피해. 선충 피해를 방지하기 위한 기본 단계는 작물을 심기 전에 토양중에 있는 뿌리혹선충 유충의 밀도를 조사하고, 이 초기 밀도와 작물의 피해 정도에 대한 상관관계를 구하는 것이다. 뿌리혹선충의 피해한계는 대단히 낮아, 수박의 경우 작물을 심기전 토양 100 cm³ 당 *M. arenaria* 유충 2-50마리이며, 토마토는 2-50마리, 담배는 1-2마리, 콩은 6-70마리, 복숭아는 2마리, 땅콩은 1-40마리이다(Barker *et al.*, 1985). 뿌리혹선충의 밀도와 시설재배 참외 수량사이에는 높은 부의 상관관계가 있는데 [총 수량 $Y=22.8 - 3.7(\text{Log}_{10}X + 1)$; 초기수량: $r=$

0.49***, 후기수량: 0.57***, 총수량: 0.65***](Fig. 2)(Kim and Ferris, 2001), 선충에 의한 수량 감수는 초기인 4-5월(40% 감수)보다 선충의 밀도가 증가된 후기인 6-7월(70% 감수)에서 더 심하다. 이 시기에는 뿌리혹선충의 피해로 인하여 하우스내 참외 포기가 70% 이상 고사하는 시기이기도 하다.

이 회귀식에 의하면, 뿌리혹선충 유충이 토양 100 cm³ 당 1,000마리 이상이면 약 49-53%($P=0.05$)의 수량 감수를 가져오는데(Fig. 2), 성주지역에는 뿌리혹선충 감염율이 53.5%이며 평균 밀도는 585 J2/100 cm³라고 하였으므로(Cho *et al.*, 2000; Kwon *et al.*, 1998), 성주지역의 참외는 뿌리혹선충으로 인하여 약 45%의 수량감수를 가져온다고 할 수 있다. 참외의 300평당 평균 수량은 2,987 kg(Ministry of Agr & For., 1999)이며 가격은 1,600원/kg(3년 평균)이고, 성주의 참외 재배면적은 4,572 ha임으로 총 손실은 약 526억원이다. 참외는 발효과, 열과 등으로 인하여 일반적으로 15-20%의 비상품과가 발생함으로(성주과채류시험장, 1999) 이것을 제외한다고 하더라도, 뿌리혹선충으로 인하여 약 420억원이 손실이 발생하는 것으로 추정된다.

시설재배지 토양에서의 뿌리혹선충 생태. 시설재배지대는 겨울에도 가온하여 작물을 재배함으로, 년중 온도가 높게 유지되어 그 환경이 거의 아열대와 비슷하므로, 뿌리혹선충의 생태도 노지와 다르다. 경북, 성주지역에서 2월중 외부 기온이 평균 $-1.6^{\circ}\text{C}(-9.0\sim-7.7^{\circ}\text{C})$ 일 때, 온실내의 온도는 평균 $7.1^{\circ}\text{C}(-7.3^{\circ}\text{C}\sim-29.0^{\circ}\text{C})$ 이었고, 터널내 온도는 평균 $17.5^{\circ}\text{C}(4.5^{\circ}\text{C}\sim-43.7^{\circ}\text{C})$ 이었으며, 토양깊이 10 cm의 온도는 평균 $14.8^{\circ}\text{C}(11.4^{\circ}\text{C}\sim-19.2^{\circ}\text{C})$ 로 외부 기온에 비해 상당히 높게 유지되고 있다(Kim and Yeon, 2001). 선충이 가장 많이 분포하고 있는 토양 10 cm 깊이의 재배기

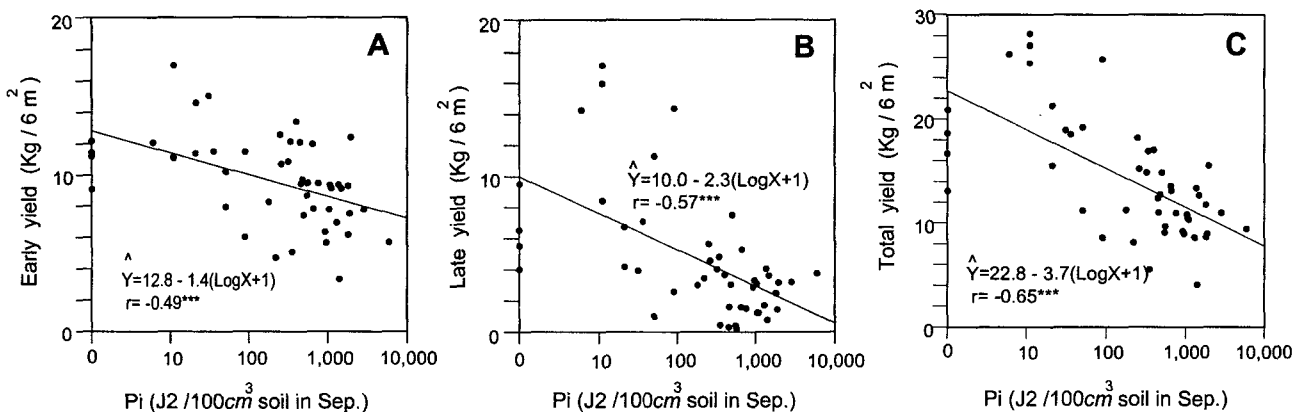


Fig. 2. Relationship of preplanting nematode population densities of *Meloidogyne arenaria* in September and yield of oriental melon in microplot. A) early yield (April-May); B) late yield (June-July); C) total yield.

간중 적산온도는 약 5,000DD₅(일평균 온도 5°C 이상)이며, 1회 발생에는 565DD₅가 요구됨으로, 뿌리혹선충은 참외 재배기간중 약 7-8회의 번식이 가능하다. 뿌리혹선충은 25-30°C의 최적 발육온도에서는 30-40일에 한 세대를 마치며, 암컷 한 마리가 최고 2,882개의 알을 낳을 수 있어, 밀도가 매우 급속하게 증가하는데, 온도가 높아지면

성숙일수는 더 짧아지고, 알은 온도와 습도가 알맞으면 거의 즉시 부화하여 가까이 있는 뿌리로 재침입하여 성장한다(De Guiran and Ritter, 1979). 뿌리혹선충 유충의 밀도는 참외 정식기인 2월 4일에는 토양 100 cm³ 당 유충 240마리였는데, 4월 15일에는 9마리/100 cm³로 낮아졌다가, 5월부터 증가하기 시작하여 7월에 최고 밀도(3,817

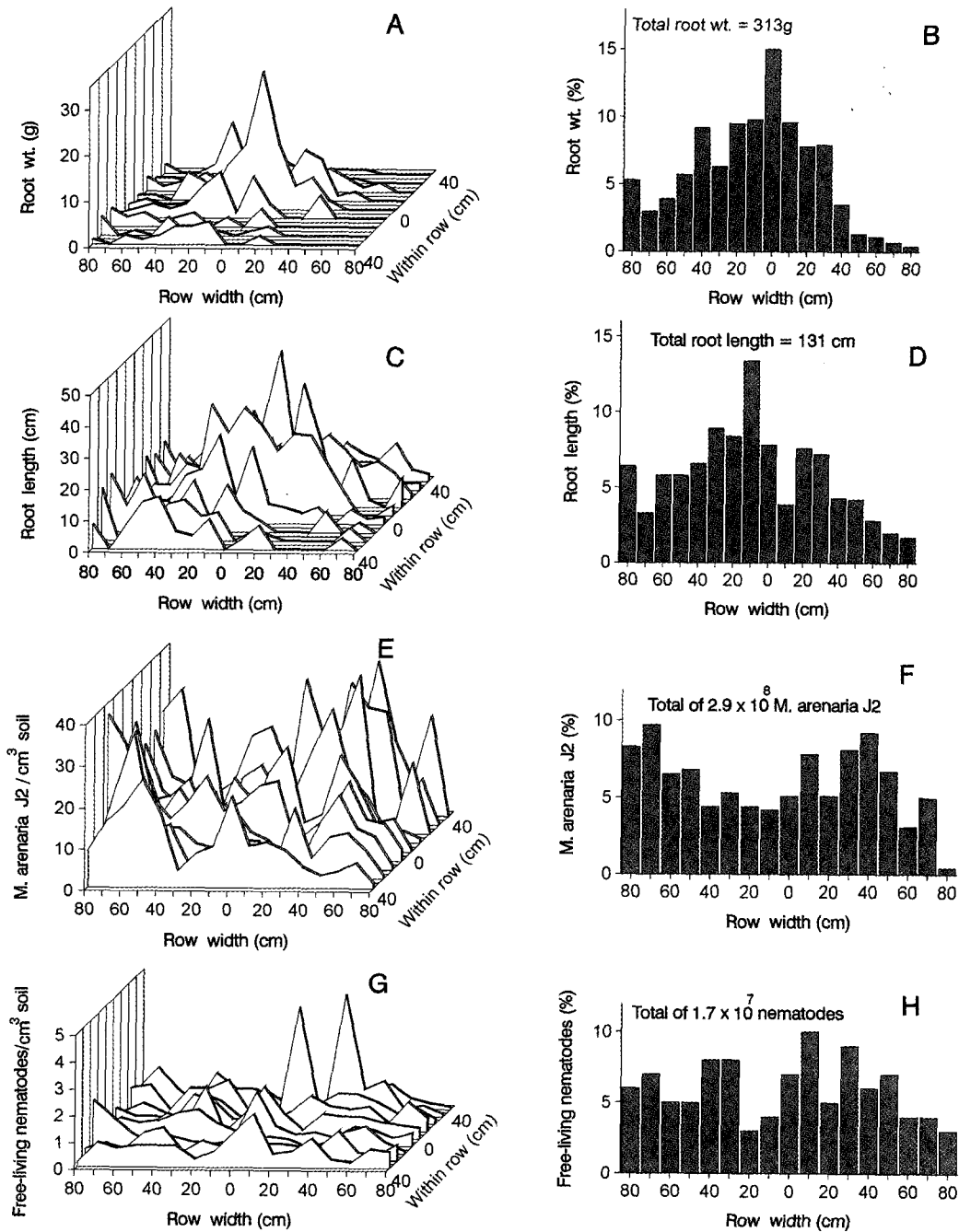


Fig. 3. Horizontal distribution of oriental melon roots and nematodes in greenhouse soil: A & B) root weight; C & D) root length; E & F) *Meloidogyne arenaria*; G & H) free-living nematodes (Kim, 2001).

J2/100 cm³)에 달하였으며, 7월 이후에는 식물이 선충의 피해로 고사함에 따라 유충의 밀도도 감소하고 있다(Kim, 2001).

시설재배지에서 참외 뿌리의 분포는 원줄기가 있는 지표면 5 cm 주위에 굵은 흙이 발달하여 가장 생체중이 높

았으며, 수직적으로는 토양 깊이 0-25 cm 사이에 대부분의 뿌리가 분포하고 있었고, 깊이 35 cm 이하에는 거의 뿌리가 없었다. 반면, 뿌리혹선충의 유충은 수평적으로 비교적 균일하였으나, 그 중에서도 원줄기로부터 40-60 cm 떨어진 곳에 가장 선충의 밀도가 높았으며(Fig. 3), 토양

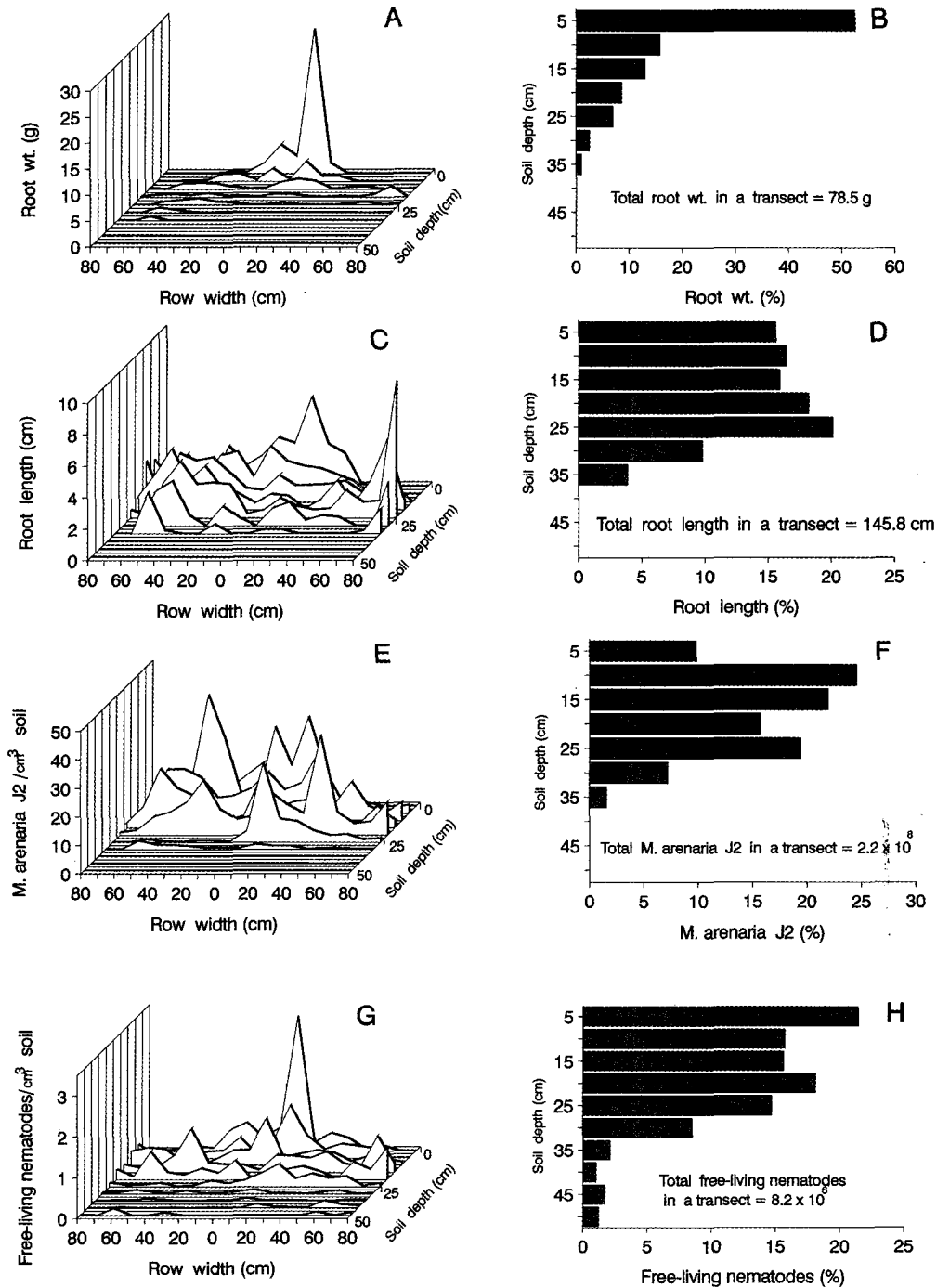


Fig. 4. Vertical distribution of oriental melon roots and nematodes in greenhouse soil: **A & B**) root weight; **C & D**) root length; **E & F**) *Meloidogyne arenaria*; **G & H**) free-living nematodes (Kim, 2001).

깊이 0-15 cm 사이에 53%의 유충이 분포하고 있었고, 40 cm 이하에는 거의 선충이 없었다(Fig. 4).

윤작. 윤작은 인류가 오랜 옛날부터 사용하여오던 병충해 방제방법으로 여러 가지 장점이 많은데, 뿌리혹선충의 경우에는 기주범위가 넓어 경제성이 높은 저항성 윤작작물을 찾기가 힘든 문제점이 있다. 국내 시설재배지에 주로 분포되어 있는 2종의 뿌리혹선충 *M. arenaria*와 *M. incognita*에 모두 저항성이면서 경제성이 있는 작물로는 고추를 들 수 있다.

국내 고추 19품종으로 국내 시설재배지에 가장 많이 분포하고있는 2종의 뿌리혹선충, *Meloidogyne arenaria*와 *M. incognita*에 대한 저항성을 검정 결과, *M. arenaria*에는 모든 고추 품종이 저항성이었으며, *M. incognita*에는 품종별로 차이가 있었다. 농우파리꽃고추와 청옥고추는 감수성이었고, 알찬고추, 대왕고추, 진미고추, 조풍고추, 태양건고추, 한샘파리꽃고추 등은 중간 저항성이었으며, 공공칠고추, 그린 No.500 피만고추, 다홍건고추, 마니따고추, 신바람고추, 퍼팩토고추, 한마음고추 등은 강한 저항성이었다(Kim and Lee, 2001). 열대지방에서 다년생 작물인 고추는 하우스 재배가 적당한데, 기존의 참외 재배 하우스를 이용하여 2기작 고추 비가림재배를 하면, 1) 새로 비가림하우스를 만드는 비용 약 600만원이 절약되며, 2) 비가림하우스 재배시의 고추 수량은 300평당 약 600 kg 정도로 일반 노지 재배에 비해 훨씬 많고, 3) 기존 참외 비닐하우스의 토양 멀칭비닐과 관수시설을 그대로 이용함으로써 빗물이 튀지 않아 고추농사의 풍흉을 결정할 정도로 중요한 병인 역병(*Phytophthora capsici* Leon.)과 탄저병(무성세대: *Colletotrichum gloeosporioides* Penz.)을 막으며, 4) 모든 발작물의 연작에는 반드시 연작장해가 발생하므로 참외만 연작하는 것보다 참외-고추 윤작은 토양의 미생물상과 이화학성 개선에도 도움이 될 것으로 생각한다(Kim and Lee, 2001). 그러므로, 참외 재배지의 뿌리혹선충 피해가 심한 포장에는 5-6월경까지 참외를 수확한 후, 선충의 증식을 조장하는 연장재배를 하기보다 뿌리혹선충 저항성 품종인 공공칠고추, 그린 No. 500 피만고추, 다홍건고추, 마니따고추, 신바람고추, 퍼팩토고추, 한마음고추 등을 재배함으로써 뿌리혹선충의 밀도를 감소시키고 동시에 고추 생산으로 부가소득도 가져올 수 있을 것으로 생각된다.

살선충제. 살선충제는 훈증제, 접촉제, 침투성살선충제 등으로 나눌 수 있는데, 1950년경부터 식물기생성선충의 방제에 주로 사용되어온 ethylene dibromide(EDB), dibromochloropropane(DBCP) 등의 훈증제들은 환경 파괴 등의 문제로 사용이 금지됨에 따라 새로운 농약의 개발

이 절실하다. 새로운 살선충제의 이상적인 조건으로는 값싸고, 효과가 높으면서, 환경 친화형이며, 침투성으로 잎에 처리하여도 신속하게 뿌리로 이행되는 성질을 들 수 있다. 그 외 선충의 감각기를 교란하여 기주로의 침입을 방해하거나, 선충의 부화 억제, 발육 억제, 혹은 유충의 노화 촉진 등의 호르몬제도 유용할 것이다.

살선충제는 작물을 심기전, 즉 선충이 뿌리 내로 침입하기 전에 미리 토양에 처리하는 것이 원칙으로, 작물재배 중에는 사용할 수 없도록 되어있다(농약사용지침서, 2000). 그러나 최근 비닐하우스의 보급과 토양 멀칭재료 및 관수자재의 발달로 많은 농가들이 점적호스를 이용하여 포장 관수를 하고 있으며, 이 점적 관수호스를 이용한 뿌리혹선충 방제법 즉, 살선충제 처리법에 대한 문의가 많다. 외국에서는 fenamiphos, aldicarb, 아조포유제, 에토프입제, oxamyl 등을 토양에 관주하거나 잎에 살포하여 토양의 뿌리혹선충이나 씨스트선충을 방제하기 위한 실험이 수행되었는데, 그 효과가 전혀 없지는 않다(Griffin, 1989; Johnson et al., 1992; Minton et al., 1981).

국내에서 구입 가능한 다조메분제, 벤즈입제, 아사자포스입제, 카두사포스입제, 카보입제, 타보입제, 포스치아제이트입제, 아조포유제 등 8종의 살선충제를 이용하여 전처리와 후처리시의 땅콩뿌리혹선충, *Meloidogyne arenaria*의 방제효과를 온실에서 토마토 및 참외를 이용하여 시험한 결과, 전처리에서 90% 이상의 높은 밀도억제 효과를 보인 것은 카두사포스입제, 다조메분제, 포스치아제이트입제였으며, 카보입제는 3배량에서 비슷한 밀도억제 효과를 나타냈고, 벤즈입제는 가장 효과가 낮았다(Kim and Choi, 2001). 후처리는 전처리에 비하여 대부분 약제들의 약효가 낮았는데, 기준량으로 후처리에서 90% 이상의 높은 뿌리혹선충 밀도 억제 효과를 보인 것은 침투성인 포스치아제이트입제(ISK Bioscience)가 유일하였다(Kim and Choi, 2001).

포스치아제이트는 aldicarb등의 약제에 비해서는 비교적 새로운 organophosphorus계 살선충제로 미국의 Georgia에서 땅콩뿌리혹선충, *M. arenaria*, 방제(Minton et al., 1993), Florida에서 담배 뿌리혹선충, *M. javanica*, 방제(Rich et al., 1994), 캐나다에서 감자 뿌리썩이선충, *Pratylenchus penetrans*, 방제(Kimpinski et al., 1997)등에 사용되어 효과가 인정된 바 있으며, aldicarb는 포유류에서 급성독성을 나타내나(Marshall, 1985) 포스치아제이트는 aldicarb보다는 독성이 약한 것으로 알려져 있어(Woods et al., 1991), 앞으로 포스치아제이트입제를 이용한 후처리 선충 방제법에 대하여 검토할 필요가 있다고 생각된다. 그러나 포스치아제이트가 후처리된 식물체에서 약해가 발생하므로

(Kim and Choi, 2001), 작물별, 생육 시기별로 약해 검정이 먼저 수행되어야 할 것이고, 이보다 더 큰 문제는 침투성 살선충제인 포스치아제이트입제는 식물체내 잔류성 문제로, 후처리로 사용시에는 반드시 이 부분에 대한 연구가 선행되어야 한다. 아마 과채류보다는 식물체내 잔류성의 문제가 적은 화훼류 등에서는 그 이용 가능성이 있을 수 있다. 외국에서는 후처리용으로도 사용이 가능하고 토양 잔류성이 거의 없으며, 살균, 살충, 살선충, 훈증제인 Enzone(<http://entekcorp.com/enzone.html>)을 개발하고 있다.

뿌리혹선충 저항성. 품종 저항성을 이용한 뿌리혹선충 방제는 가장 경제적이고 효과적이면서 사용하기 쉬운 방법인데, 특히 경제적 가치가 낮은 작물에는 비싼 살선충제 처리가 불가능함으로 저항성 품종 육종이 필수적으로 요구되며, 지금까지 고추, 담배, 옥수수, 콩, 토마토 등 15종 이상의 주요 농작물에서 250품종 이상의 저항성 품종들이 개발되었다(Fassuliotis, 1979). 뿌리혹선충에 대한 저항성 기작은 대부분 과민반응으로 나타나는데, 이것은 선충의 유충이 뿌리 내로 침입은 할 수 있으나, 선충이 침입한 조직 주위의 세포가 죽어버려 선충이 더 이상 발육을 못하고 죽게된다. 뿌리혹선충 저항성 유전자인 *Mi gene*에 대하여 여러 가지 연구가 수행되었는데, 단일 우성으로 유전되는 이 *Mi gene*은 토양 온도에 따라 저항성 반응이 달라지는 특징이 있다. 즉 토양온도 28°C 이하에서는 *M. incognita acrita*에 강한 저항성을 보이나, 29°C 이상에서는 온도가 올라갈수록 저항성이 약해진다(Dropkin, 1969).

외국에서는 1960년대부터 뿌리혹선충에 저항성인 토마토 품종이 육성되어 사용되고 있는데(Dropkin, 1969), 국내 토마토 품종들 중에서도 저항성이 발견되었다. *M. arenaria* 선충에 대해서는 선명토마토와 홍도토마토는 한 뿌리 당 280개 이상의 많은 난랑이 생겨 매우 감수성이었고 알찬토마토와 홍영토마토는 한 뿌리 당 난랑이 20개 이내로 중간정도의 저항성이었으며, *M. incognita* 선충에 대해서는 홍도토마토가 14개의 난랑으로 중간 저항성이었으며 나머지는 강한 저항성이었다(Kim and Lee, 2001). 지난 1977년 실시된 국내 토마토품종의 *M. incognita*에 대한 저항성시험(Choi, 1977)에서는 대형복수토마토 등 시험에 공시된 10품종 모두 한 뿌리 당 난랑이 150-303개 정도로 모든 품종이 매우 감수성이었는데, 그 동안 국내 토마토 품종에도 뿌리혹선충 저항성 인자가 도입된 것으로 생각된다. 알찬토마토와 홍영토마토는 두 종의 뿌리혹선충에 모두 저항성이었다.

참외, 호박에는 지금까지 뿌리혹선충 저항성으로 알려

진 품종이 없으나 야생 박과류인 *Cucumis metuliferus* 등에서 뿌리혹선충 저항성이 발견되었다. *Cucumis anguria*, *C. anguria* var. *longaculeatus*, *C. ficifolius*, *C. metuliferus* 등 77계통과 North Carolina 대학에서 개발된 뿌리혹선충 저항성 오이 5계통을 공시하여, 국내 남부 시설재배지대에 가장 많이 분포하고 있는 2종의 뿌리혹선충, *M. arenaria*와 *M. incognita*에 대한 저항성 검정을 실시한 결과, *C. heptadactylus* 1 계통, *C. anguria* 2 계통, *C. anguria* var. *longaculeatus* 2 계통, *C. metuliferus* 9 계통이 두 종류의 뿌리혹선충에 모두 저항성이었다(Kim and Do, 2001). 이 실험에서 저항성으로 밝혀진 계통들은 국내에서 박과류의 뿌리혹선충 저항성 품종을 개발하는데 육종재료로 이용될 수 있을 것이다.

가장 저항성이 높은 *C. heptadactylus*는 생긴 모양이 박과류가 아닌 풀같이 생겼으며, *C. sativus*와 야생 *Cucumis* 종간 교잡은 상호 염색체수가 달라서 일반 교잡법으로는 어렵다고 알려져 있다. 그러나 Fassuliotis와 Nelson(1988) 등은 배배양과 체세포 배양을 통하여 *C. metuliferus*와 *C. anguria*의 교잡에 성공하였고, 국내에서는 Cucurbit속 박과류 대목의 종간 교잡에 성공하였으며(Seo et al., 1991), Aminoethoxyvinylglycine 처리는 *C. metuliferus*와 *C. melo* 간 교잡 비율을 높인다는 보고도 있어(Custer and Den Nijs, 1986), 최근에 빠르게 발전하고 있는 유전 공학기술과 접목한다면 박과류의 뿌리혹선충 저항성 대목 개발도 가능하지 않을까 한다. 미국 North Carolina 대학에서 저항성 계통으로 개발된 'NC-42', 'NC-43', 'Lucia', 'Manteo', 'Shelby'는 국내 뿌리혹선충 집단 *M. arenaria* race 2에 72~90%의 흑이 생겨 모두 감수성으로 나타나, 외국과 국내의 뿌리혹선충이 서로 병원성이 다르다는 것을 알 수 있었다.

뿌리혹선충 방제법 일반. 뿌리혹선충의 방제법으로는 담수, 휴경, 건토, 깊이갈이, 열처리(스팀, 건열, 온탕침법), 약제방제, 저항성 품종 개발, 비기주작물을 이용한 윤작, 객토, 유인식물 재배, 태양열처리법, Chemigation 등 여러 가지가 알려져 있다(Heald, 1987; Heald and Robinson, 1987; Park, 2000; Park et al., 1995). 성주지역에서 농가들이 실제 사용 가능한 물리적, 재배적, 화학적 방제법을 선택하여 방제 효율 및 장단점을 비교한 결과, 가장 효과가 좋았던 것은 벼 윤작, 태양열처리, 객토였는데(Kim et al., 2001), 뿌리혹선충 밀도는 90% 감소하였고 참외 수량은 무처리에 비해 약 2배 가량 증수되었다($P=0.05$). 다음으로 효과가 높은 것은 옥수수 윤작, 건토, 포스치아제이트입제(fosthiazate 5%) 처리로 약 50% 증수되었으며, 참깨와 파 윤작은 전혀 효과가 없었다. 벼 윤작 처리구의

선충밀도는 이듬해 6월에 2,583마리로 급격히 증가하여, 처리 효과는 한 작기에만 유효하였고, 살선충제 중에서 포스치아제이트입제 처리는 초기 수량에서 유의한 증수 효과가 인정되었으나($P=0.05$) 후기 수량과 전체 수량으로 보아서는 증수 효과가 없다. 파는 흔히 농민들이 선충 피해로 작물이 죽은 곳에 보식하여 두거나, 참외나 수박 재배온실 주위에 심어두고 있으나 뿌리혹선충 방제에는 전혀 효과가 없었다.

벼 윤작은 초기수량과 상품수량의 증가와 더불어 전체 수량에서도 무처리에 비해 2배의 수량증수를 가져왔는데, 그 효과는 많은 비용이 소요되는(약 200만원/10a) 객토와 비슷하였다. 참외 재배 농민들은 6월까지 70%의 수입을 예상하고, 7-9월 연장 재배를 통하여 나머지 약 30%의 추가 수입을 기대하고 있는데, 벼 윤작을 통하여 참외 가격이 좋은 5-6월(2,670원/kg)에 2배의 증수가 가능하다면 가격이 낮은 7-9월(1,200원/kg)의 30% 수입보다 훨씬 유리할 것이다. 지금까지 토양 선충 방제에 벼 재배가 좋다는 것은 알려졌지만, 구체적으로 어느 정도의 증수를 가져오는지는 알려지지 않았는데, 이 결과처럼, 여름철 벼 재배로 뿌리혹선충을 방제할 수 있고, 이로 말미암은 참외 초기 수량의 2배 증수는 농민들에게 벼 윤작을 추천할 충분한 근거자료가 될 것이다.

또한, 벼 윤작은 토양 병해충 방제(Kim *et al.*, 1993), 염류집적 해소, 연작장해 방지(Kang *et al.*, 1993), 농약 절감, 안전 농산물 생산 등의 부수적인 효과도 있으며, 식량안보와도 관계되는 벼재배의 공익기능은 뿌리혹선충을 방제함과 동시에 토양을 영구 보전하는 방법이 될 것이다. 단 농민들이 하우스 철거 및 재조립, 모내기 등에 소요되는 일손부족으로 벼재배를 기피하고 있음으로, 앞으로 일손부족 문제에 대한 정책적 배려가 필요하다고 본다.

벼재배를 매년하기 곤란하거나, 농민이 다른 처리를 원할 경우에는 태양열처리를 추천할 수 있겠는데(Kim *et al.*, 1993, 2001), 태양열처리는 이듬해 참외 수량이 증수됨과 아울러 선충의 증식 속도가 벼보다 낮았다(Kim *et al.*, 2001). Gamliel and Katan(1991)과 Kaewruang 등(1989)에 의하면 태양열 처리구에서는 형광성 *Pesudomonas* 균이 130배 증가하고, 태양열 처리 토양은 병 발생 억제 토양이 된다는 보고가 있음으로, 태양열 소독에 의한 선충밀도 억제 효과는 고온에 의한 치사 효과 외에 토양 미생물상과도 관련이 있을 것으로 생각된다.

객토를 실시한 토양에서 6개월 후 상당한 밀도의 뿌리혹선충 유충이 검출되어 객토를 실시한 토양이 선충에 쉽게 재감염될 수 있음을 보여주는데, 외국의 온실실험에서 *M. javanica* 유충이 9일 동안에 75 cm 거리를 수직 이동

한다는 보고가 있음으로(Prot and Netscher, 1979), 객토 토양 재감염은 토양 아래층으로부터 뿌리혹선충의 유충이 올라왔을 것으로 추정된다. 실제로 농민들은 객토 후 3-5년이면 선충의 재감염으로 다시 객토를 실시하고 있으며, 지난 20년 간의 객토로 지금은 원래의 땅보다 높이가 약 150 cm 이상 높아진 포장도 있다.

뿌리혹선충은 참외수량을 50% 정도 감수시킴으로, 뿌리혹선충에 감염된 포장은 반드시 여름철에 적절한 온실 관리를 통하여 방제를 하여야 하겠으며, 뿌리혹선충의 방제법 중에서 가장 효과가 좋았던 것은 벼 윤작, 객토, 태양열처리였으며, 다음으로 옥수수 윤작, 건토, 선충탄 처리였다.

맺는말

국내 시설재배지대에서 주로 피해를 주는 뿌리혹선충은 *Meloidogyne arenaria*(땅콩뿌리혹선충; 59%)와 *M. incognita*(고구마뿌리혹선충; 41%)이며, 2종의 구분은 암컷 머리의 excretory pore의 위치로서 쉽게 할 수 있다. 성주 온실재배지에서 뿌리혹선충은 참외 정식 후 40일에 1세대를 경과하며, 토양내 밀도는 4월에 가장 낮고(유충 9마리/100 cm³ 토양), 7월에 가장 높았으며(3,817/100 cm³), 선충은 참외를 심은 곳에서 40-60 cm 떨어진 곳에 가장 많고, 깊이 0-15 cm 사이에 53%의 선충이 분포하고 있다.

선충의 밀도와 참외 수량사이에는 부의 상관관계가 성립하며 [참수량 $Y=4.7 - 0.45 (\log X+1)$; $p=0.014$, $r^2=0.22$; $x=Pi$], 경제적피해한계 수준은 9월중 토양 100 cm³ 당 뿌리혹선충 유충 24마리이다. 뿌리혹선충 유충이 토양 100 cm³ 당 1,000마리 이상이면 약 51%($P=0.05$)의 수량 감수를 가져오는데, 선충에 의한 수량 감수는 초기(40% 감수)보다 후기(70% 감수)에서 더 심하며, 성주지역은 뿌리혹선충의 밀도가 높고, 감염포장도 많아 매년 약 570억원의 손실을 가져오는 것으로 추정된다.

뿌리혹선충의 방제법 중에서 가장 효과가 좋은 것은 벼 윤작, 태양열처리, 객토로, 뿌리혹선충 밀도는 90% 감소하고, 참외 수량은 무처리에 비해 2배 증수하였다. 다음으로 효과가 높은 것은 옥수수 윤작, 건토, 선충탄입제 처리이며 참깨와 파 윤작은 효과가 없다. 방제구의 선충 밀도는 6월 이후 다시 증가하여 방제의 효과는 한 작기에만 유효하였다. 살선충제는 전처리를 하는 것이 후처리를 하는 것보다 효과가 좋은데, 침투성 살선충제인 포스치아제이트는 후처리에서 선충 밀도 억제 효과가 인정되었다.

고추 품종 중에서는 공공칠고추, 그린 No.500 피만고추, 다홍건고추, 마니따고추, 신바람고추, 퍼팩토고추, 한

마음고추가, 박과 유전자원 중에서는 *Cucumis heptadactylus* 1 계통, *C. anguria* 2 계통, *C. anguria* var. *longaculeatus* 2 계통, *C. metuliferus* 9 계통이 시설재배지에 많이 분포하고 있는 두 종류의 뿌리혹선충에 모두 저항성이다. 미국 North Carolina 대학에서 뿌리혹선충 저항성으로 개발된 오이 계통 'NC-42', 'NC-43', 'Lucia', 'Manteo', 'Shelby'는 국내 뿌리혹선충에는 감수성이었다.

세계적 인구 증가는 더 많은 식량 증산이 요구되고, 식량증산을 위해서는 제한된 면적에서의 집약적 재배는 연작재배가 필연적이며, 연작재배는 선충의 피해를 피할 수 없다. 선충에 의한 뿌리 피해는 진단이 힘들고, 따라서 중요성에 대한 재배자, 연구자, 행정가의 인식이 부족하나, 선충 피해를 받은 곳은 지상부 생육은 육안상 차이가 없어 보이더라도, 30% 정도 수량 감수는 쉽게 일어난다. 지상부의 병충해 연구는 지금까지 많은 발전을 이루었으므로, 미래에는 토양 병충해 분야에 대한 많은 발전이 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- Barker, K. R., Schmitt, D. P. and Imbriani, J. L. 1985. Nematode population dynamics with emphasis on determining damage potential to crops. In: *An Advanced Treatise on Meloidogyne*. Vol. II, ed. by K. R. Barker, C. C. Carter and J. N. Sasser, pp. 135-148. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA.
- Chitwood, B. G. 1949. Root-knot nematodes. Part 1. A revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1887. *Proc. Helminth. Soc. Wash.* 16: 90-104.
- Cho, H. J. and Han, S. C. 1986. Survey of plant parasitic nematodes on economic crops. *Korean J. Plant Prot.* 25: 175-182.
- Cho, H. J., Kim, C. H., Park, J. S. and Jeong M. G. 1987. Distribution of root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp. and their races in economic crops in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 3: 159-163.
- Cho, M. R., Lee, B. C., Kim, D. S., Jeon, H. Y., Yiem, M. S. and Lee, J. O. 2000. Distribution of plant-parasitic nematodes in fruit vegetable production areas in Korea and identification of root-knot nematodes by enzyme phenotypes. *Korean J. Appl. Entomol.* 39: 123-129.
- Choi, Y. E. 1977. Resistance of tomato variety to the root-knot nematodes, *Meloidogyne incognita* and chemical control. *Res. Rev. of Kyungpook Nat. Univ.* 24: 419-422.
- Choi, Y. E. 1978. Studies on root-knot nematodes in Korea. *Kasetsart J.* 12: 31-35.
- Choi, D. R. and Choi, Y. E. 1982. Survey on plant parasitic nematodes in cropping by controlled horticulture. *Korean J. Plant Protec.* 21: 8-14.
- Choi, Y. E. and Choo, H. Y. 1978. A study on the root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) affecting economic crops in Korea. *Korean J. Plant Prot.* 17: 89-98.
- Choo, H. Y., Kim, H. K., Park, J. C., Lee, S. M. and Lee, J. I. 1987. Studies on the patterns of plastic film house, their growing conditions, and diseases and pests occurrence on horticultural crops in southern part of Korea. Insects and nematodes associated with horticultural crops and effect of nursery soil conditions on the infection of root-knot nematode. *Korean J. Plant Prot.* 26: 195-201.
- Custer, J. B. M. and Den Nijs, A. P. M. 1986. Effects of aminoethoxyvinylglycine (AVG), environment, and genotype in overcoming hybridization barriers between *Cucumis* species. *Euphytica* 35: 639-647.
- De Guiran, G. and Ritter, M. 1979. Life cycle of *Meloidogyne* species and factors influencing their development, In: *Root-knot Nematodes (Meloidogyne Species). Systematics, Biology and Control*, ed. by F. Lamberti and C. E. Taylor, pp. 173-191. Academic Press, London.
- Dropkin, V. H. 1969. The necrotic reaction of tomatoes and other hosts resistant to *Meloidogyne*: Reversal by temperature. *Phytopathology* 59: 1632-1637.
- Fassuliotis, G. 1979. Plant breeding for root-knot nematode resistance. In: *Root-knot nematodes (Meloidogyne species)*. ed. F. Lamberti and C. E. Taylor, pp. 425-453. Academic Press. New York.
- Fassuliotis, G. and Nelson, B. V. 1988. Interspecific hybrids of *Cucumis metuliferus* × *C. anguria* obtained through embryo culture and somatic embryogenesis. *Euphytica* 37: 53-60.
- Gamliel, A. and Katan, J. 1991. Involvement of fluorescent *pseudomonas* and other microorganisms in increased growth response of plants in solarized soils. *Phytopathology* 81: 494-502.
- Griffin, G. D. 1989. Comparison of fumigant and nonfumigant nematicides for control of *Meloidogyne chitwoodi* on potatoes. *J. Nematol.* 21(4S): 640-644.
- Hartman, K. M. and Sasser, J. N. 1985. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal-pattern morphology. In: *An Advanced Treatise on Meloidogyne*. Vol. II. ed. by K. R. Barker, C. C. Carter and J. N. Sasser, pp. 69-77. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA.
- Heald, C. M. 1987. Classical nematode management practices. In: *Vistas on Nematology*, ed. by J. A. Veech and D. W. Dickson, pp. 100-105. Society of Nematology, Maryland, USA.
- Heald, C. M. and Robinson, A. F. 1987. Effects of soil solarization on *Rotylenchus reniformis* in the Lower Rio Grande Valley of Texas. *J. Nematol.* 19: 93-103.
- Jepson, S. B. 1987. *Identification of Root-knot Nematodes (Meloidogyne Species)*. CAB International, Wallingford, Oxon, United Kingdom. 265 pp.

- Johnson, A. W., Csinos, A. S., Golden, A. M. and Glaze, N. C. 1992. Chemigation for control of black shank-root-knot complex and weeds in tobacco. *J. Nematol.* 24(4S): 648-655.
- Kaewruang, W., Sivasithamparam, K. and Hardy, G. E. 1989. Use of soil solarization to control root rots in gerberas (*Gerbera jamesonii*). *Biol. Fert. Soils* 8: 38-47.
- Kang, H. W., Kang U. G. and Jung, Y. T. 1993. Influence of electric conductivity on changes of microorganisms and chemical properties of rhizosphere soils in controlled horticulture. *RDA J. Agric. Sci.* 35: 308-314.
- Kim, C. H., Lee H. S. and Ahn S. B. 1993. Disease incidence pattern on rice and upland crops in paddy-upland rotation system. *Korean J. Plant Pathol.* 9: 280-285.
- Kim, D. G. 2001. Distribution and population dynamics of *Meloidogyne arenaria* on oriental melon (*Cucumis melo* L.) under greenhouse conditions in Korea. *Russian J. Nematol.* 9(2): in press.
- Kim, D. G., Choi, D. R. and Lee S. B. 2001a. Effects of control methods on yields of oriental melon in fields infested with *Meloidogyne arenaria*. *Res. Plant Dis.* 7: 49-55.
- Kim, D. G. and Choi, S. K. 2001. Effects of incorporation method of nematicides on reproduction of *Meloidogyne arenaria*. *Korean J. Appl. Entomol.* 40: 89-95.
- Kim, D. G. and Do, H. W. 2001. Resistance to root-knot nematodes in *Cucumis* species. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 42: 278-283.
- Kim, D. G. and Ferris, H. 2001. Relationship between crop losses and initial population densities of *Meloidogyne arenaria* in winter-grown oriental melon in Korea. *J. Nematol.* 33: in press.
- Kim, D. G. and Lee, J. K. 2001. Resistance of pepper cultivars to two species of root-knot nematodes. *Korean J. Appl. Entomol.* 40: 143-147.
- Kim, D. G., Lee, Y. G. and Park, B. Y. 2001b. Root-knot nematode species distributing in greenhouses and their simple identification. *Res. Plant Dis.* 7: 49-55.
- Kim, D. G. and Yeon, I. K. 2001. Development of *Meloidogyne arenaria* on oriental melon (*Cucumis melo* L.) in relation to degree-day accumulation under greenhouse conditions. *Plant Pathol. J.* 17: 159-163.
- Kim, J. I. and Han, S. C. 1988. Effect of solarization for control of root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) in vinyl house. *Korean J. Appl. Entomol.* 27: 1-5.
- Kimpinski, J., Aresenault, W. J. and Sanderson, J. B. 1997. Fosthiazate for suppression of *Pratylenchus penetrans* in potato on Prince Edward Island. *J. Nematol.* 29(4S): 685-689.
- Kinloch, R. A. and Hinson, K. 1972. The Florida program for evaluating soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genotypes for susceptibility to root-knot nematode disease. *Proc. Soil Crop Sci. Soc. Florida* 32: 173-176.
- Kwon, T. Y., Jung, K. C., Park, S. D., Sim Y. G. and Choi B. S. 1998. Cultural and chemical control of root-knot nematodes, *Meloidogyne* sp. on oriental melon in plastic film house. *RDA J. Crop Prot.* 40: 96-101.
- Mai, W. F. 1985. Plant-parasitic nematodes: their threat to agriculture. In: *An Advanced Treatise on Meloidogyne*. Vol. 1. *Biology and Control*, ed. by J. N. Sasser and C. C. Carter, pp. 11-17. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina., USA.
- Marshall, E. 1985. The rise and decline of Temik. *Science* 229: 1369-1371.
- Ministry of Agriculture and Forestry. 1999. *Vegetable Production in 1998*. 150pp.
- Minton, N. A., Bell, D. K. and Csinos, A. S. 1981. Effects of nematicides applied at planting and postplant on peanut yields, root-knot nematodes *Meloidogyne arenaria*, and white mold *Sclerotium rolfsii*. *J. Nematol.* 13: 450-451.
- Minton, N. A., Brenneman, T. B., Bondari, K. and Harrison, G. W. 1993. Activity of fosthiazate against *Meloidogyne arenaria*, *Frankliniella* spp., and *Sclerotium rolfsii* in peanut. *Peanut Science* 20: 66-70.
- Park, D. K. 2000. Studies on injury by continuous cropping and its solutions in oriental melon (*Cucumis melo* L.) - with a special reference to root-knot nematode and soil salt stress. *Dept. of Agr. Biol., Andong Nat. Univ. Ph. D. Thesis.* 90 pp.
- Park, S. D., Kwon, T. Y., Jun, H. S. and Choi, B. S. 1995. The occurrence and severity of damage by root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in controlled fruit vegetable field. *RDA J. Agric. Sci.* 37: 318-323.
- Prot, J. C. and Netscher, C. 1979. Influence of movement of juveniles on detection of field infested with *Meloidogyne*. In: *Root-knot Nematodes (Meloidogyne Species)*. *Systematics, Biology and Control*, ed. by F. Lamberti and C. E. Taylor, pp. 193-203. Academic Press. New York.
- Rhoades, H. L. 1976. Effects of *Indigofera hirsuta* on *Belonolaimus longicaudatus*, *Meloidogyne incognita*, and *M. javanica* and subsequent crop yield. *Plant Dis. Rep.* 60: 384-386.
- Rich, J. R., Dunn, R. A., Thomas, W. D., Breman, J. W. and Tervola, R. S. 1994. Evaluation of fosthiazate for management of *Meloidogyne javanica* in Florida flue-cured tobacco. *J. Nematol.* 26(4S): 701-704.
- Seo, Y. K., Paek, K. Y. and Hwang, J. K. 1991. Micropropagation of rootstock and production of interspecific hybrids by embryo culture in *Cucurbita*. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 32: 137-145.
- Taylor A. L. and Sasser, J. N. 1978. *Biology, Identification and Control of Root-knot Nematodes (Meloidogyne Species)*. North Carolina State Univ. Graphics, North Carolina. 111 pp.
- Woods, A. C., French, J. R. and Ichinohe, M. 1991. Toxicology and spectrum of nematicidal and insecticidal activity of a new organophosphorus compound. *J. Nematol.* 23: 556(Abstr.)
- 농약공업협회. 2000. 농약사용지침서. 823pp. 대한상사. 서울.
- 성주과채류시험장. 1999. 참외재배. 성주과채류시험장. 105 pp.