

## 오이 시설재배시 고구마뿌리혹선충의 경제적피해한계

김동근\* · 이종환

경북농업기술원 환경농업연구과

Economic Threshold of *Meloidogyne incognita* for Greenhouse Grown Cucumber in Korea

Dong-Geun Kim\* and Joong-Hwan Lee

Department of Agricultural Environment, Gyeongbuk Agriculture Technology Administration, Daegu 702-708, Korea

(Received on March 3, 2008)

To determine the economic threshold level of *Meloidogyne incognita* on cucumber in greenhouse conditions, cucumber seedlings (*Cucumis sativa* L. cv. 'Super Manchon') grafted on 'Jangsushintoza' (*Cucurbita maxima* x *Cu. moschata*) were planted in wooden boxes (30×40×15 cm, L×W×D) under a plastic house in August 01 and harvested from Sep. 01-Oct. 30, 2006. The initial nematode population densities (Pi) in the wooden boxes were adjusted to 0, 10, 30, 100, 300, and 600 second-stage juveniles (J2)/100 cm<sup>3</sup> soil. The relationship of total fruit yield to Pi level could be adequately described by a linear regression equation,  $Y=0.82-0.04 \cdot \text{Log}_{10}(\text{Pi}+1)$ . Initial nematode densities (Pi) before planting in excess of 5 J2/1,000 cm<sup>3</sup> soil caused in total yields loss that is equivalent to the costs of granular nematicide application; Pi level in excess of 25 J2/1,000 cm<sup>3</sup> soil caused in total yields loss that exceed the costs for application of fumigants at current control costs. We propose two different management strategies depending on nematode densities, (i) application of non-fumigant granular nematicides for *M. incognita* Pi level of 5 J2/1,000 cm<sup>3</sup> soil and (ii) fumigant treatment with Pi level over 25 J2/1,000 cm<sup>3</sup> soil. Soil samples to determine population density of *Meloidogyne* spp. for advisory purposes should be taken several months before planting time, which allows a period of time enough for implementing management procedures.

**Keywords :** Cucumber, *Cucumis sativa*, Economic threshold, *Meloidogyne incognita*, Population density

뿌리혹선충은 오이 연작 재배지에서 주로 발생하여 피해를 주는데 선충이 기생하면 뿌리에 혹이 생기고 이로 인하여 양분의 흡수와 이동이 방해되어 수량 감소로 이어진다. 미국 North Carolina에서 뿌리혹선충으로 인하여 오이는 약 12% 감수를 가져온다고 하는데(Main과 Byrne, 1986), 국내 시설재배지대에는 약 54%의 포장이 뿌리혹선충에 감염되어 있고(Cho 등, 2000; Kim, 2001a) 밀도도 상당히 높아(Park 등, 1995) 피해 정도는 미국보다 높을 것으로 예상된다. Kim과 Ferris(2002)는 뿌리혹선충에 의한 참외의 경제적피해한계 연구를 통하여 참외는 뿌리혹선충에 의하여 성주지역에서만 약 300억원의 감수를 가

져오는 것으로 추정하였다.

뿌리혹선충의 방제법으로는 담수, 휴경, 건토, 깊이갈이, 열처리(스팀, 건열, 온탕침법), 약제방제, 저항성 품종 이용, 비기주작물 윤작, 객토, 유인식물 재배, 태양열처리, Chemigation 등 여러 가지가 알려져 있는데(Heald, 1987), 재배지의 토성, 농민의 재배방법, 작부체계 등에 따라 적절한 방제법이 선택될 것이고 이러한 방제방법에 따라 방제 비용 및 방제 효율도 다를 것이다. 토양 내 선충 밀도에 따른 작물별 피해 정도, 즉 경제적 피해한계가 미리 설정되어 있다면 토양 선충 밀도에 따른 적절한 방제법 선택에 많은 도움이 될 것이다.

이 연구의 목적은 (i) 시설재배 오이에서 정식 전 토양 내의 뿌리혹선충 밀도 수준과 수량과의 상관관계를 구하고 (ii) 뿌리혹선충의 피해 정도와 방제 비용을 고려한 경제적 피해한계를 구하는 것이다.

\*Corresponding author

Phone) +82-53-320-0233, Fax) +82-53-320-0295

E-mail) kimdgkr@naver.com

## 재료 및 방법

**뿌리혹선충 채집.** 고구마뿌리혹선충(*Meloidogyne incognita*)는 성주지역의 참외 재배 하우스에서 채집된 것으로 이 하우스는 토양 채집 전 7개월 동안 참외가 재배되었고, 토양 채집 시 참외 뿌리에 많은 혹이 관찰되었다. 채집지 토양의 뿌리혹선충 유충 밀도는 토양 100 cm<sup>3</sup> 당 600마리였다.

**시험구.** 시험구는 두께 0.5 cm 합판으로 30×40×15 cm (가로×세로×깊이)의 나무박스를 만들어 하우스 내 토양에 묻었으며, 이 박스 안에 뿌리혹선충 유충의 밀도를 토양 100 cm<sup>3</sup>당 0, 10, 30, 100, 300, 600마리로 조절된 토양을 넣었다. 뿌리혹선충 유충의 밀도 조절은 선충이 감염된 토양과 선충이 없는 토양을 섞어서 밀도를 조절하였다. 기비는 표준량을 토양과 섞어 정식 전에 사용하였고 추비는 수확이 시작된 후(9월 1일) 매주 간격으로 균일하게 사용하였다. 시험구 배치는 완전임의 배치 5반복으로 하였다.

**정식 및 재배.** 각 시험구에는 ‘장수신토좌’를 대목으로 한 ‘슈퍼만촌’오이 23일 육묘한 묘를 8월 1일 상자 내에 1포기씩 정식하였다. 관수는 각 상자마다 분수호스(dripper flow=1.49 liter/hour; Netafim Co.)를 이용하여 필요 시기마다 관수하였고 토양 온도는 토양 깊이 10 cm에 온도기록계(Hobo)를 묻어두고 시험기간 동안 30분 간격으로 조사하였다. 오이에 발생하는 병해충을 방제하기 위하여 살균제인 azoxystrobin+chlorothalonil과 살충제인 thiacloprid, acetamiprid와 혼용하여 1주일 간격으로 수확기까지 살포하였다.

**수확 및 조사.** 정식 4주 후인 9월 1일부터 수확이 시작되었고, 그 후 매주 오이를 수확하여 수와 무게를 측정하였다. 오이는 수확 즉시 개별 무게를 측정하였고 이들의 총무게를 합산하여 구당 수량으로 환산하였다. 11월 1일 최종 수확을 하였으며, 수확 후 오이 줄기의 길이와 무게를 측정하였다. 뿌리는 조심스럽게 채취하여 물로 씻은 후 무게를 측정하였다. 뿌리속에 있는 뿌리혹선충의 알과 유충은 개량된 sodium-hypochlorite 방법(Barker 등, 1985)을 사용하여 분리하였다. 그 방법은 먼저 뿌리 전체 무게를 측정 후 뿌리를 1 cm 길이로 잘게 잘라 잘 섞고, 그 중 10 g을 취하여 믹서기에 넣는다. 믹서기에 1% NaOCl 용액 200 ml를 넣고 고속으로 1분간 회전시킨다. 믹서된 용액에 들어있는 뿌리 찌꺼기, 알, 유충은 75 μm 체와 28 μm체를 통과시키고 28 μm 체에 걸린 알과 유충을 해부현미경하에서 관찰하였다. 토양의 선충 밀도 조사는 직경 2.5 cm의 토양채집도구를 이용하여 각 구당 약

1 kg의 흙을 채집하고, 채집한 흙은 잘 섞어 300 cm<sup>3</sup>를 취한 후 개량된 Baermann funnel법으로 선충을 분리하여 검정하였다(Southey, 1986).

**오이 뿌리혹선충 밀도와 수량간 회귀식 설정.** 통계적 분산을 줄이기 위하여 선충 밀도는 Log<sub>10</sub>(Pi+1)로 변환하여 계산하였으며(Ferris, 1974), 오이 수량과 정식전 선충 밀도 사이의 회귀식(SAS, 1990)을 구하였다. 오이 수량 감소 비율에 따른 손실액을 비교하기 위하여 2007년 오이 재배 면적, 시기별 가격, 농산물 소득자료집 등을 기준으로 하여(National Agricultural Products Quality Management Service, 2008; Seoul Agricultural & Marine Products Corp, 2008) 뿌리혹선충 방제에 소요되는 경영비(농촌진흥청, 2006)와 수량 감소에 따른 손실액을 산출하여 경제적 피해 허용 수준을 설정하였다.

## 결과 및 고찰

재배 중기에 앞굴파리의 피해가 약간 발생하였고, 재배 후기에는 노균병이 심하게 발생하였다. 앞굴파리는 방제가 가능하였고, 노균병은 실험이 거의 끝난 시기에 발생되어 이번 실험의 결과 해석에는 영향이 적었다. 이번 시험에서 토양 깊이 10 cm에서의 평균온도는 정식 시에는 27.5°C였고 4주 후인 첫 수확기에는 약 22°C였으며 수확 후기인 11월에는 20°C 정도였다(Fig. 1). 적산온도법에 의한 뿌리혹선충 발생을 계산하면 재배 기간중 약 2~3회 번식한 것으로 추정된다(Kim, 2001b; Yeon 등, 2003).

**수확 및 조사.** 뿌리혹선충 접종 밀도에 따른 오이 생육을 보면 오이의 줄기 길이 및 무게에는 차이가 없었고 뿌리의 무게는 오히려 선충을 접종한 구에서 무게가 더 무거웠다(Table 1). 이것은 뿌리혹선충 접종구는 뿌리에 혹이 발생되어 혹으로 인하여 뿌리의 무게가 무거워진 것

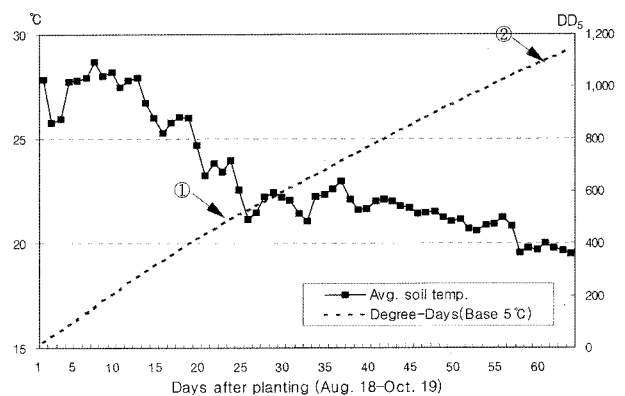


Fig. 1. Soil temperature (—■—) at depth 10 cm and degree-days (base 5°C) (----) during the experiment. ①: 1st generation, ②: 2nd generation.

**Table 1.** Effect of initial population density of *Meloidogyne incognita* and fruit yield on greenhouse growth cucumber<sup>a</sup>

Initial population density (J2/100 cm <sup>3</sup> soil)	Fruit yield (kg) <sup>b</sup> /m <sup>3</sup>				Price (W)	Stem		Fresh root weight (g)
	Early	Middle	Late	Total		Length (cm)	Weight (g)	
0	18.0 a <sup>c</sup>	13.0 a	14.7 a	45.6 a	59,144	375.2 a	403.0 a	16.0 c
10	8.3 b	10.0 a	9.7 ab	28.0 b	36,387	411.0 a	418.4 a	20.5 bc
30	9.3 b	11.3 a	9.0 b	29.6 b	38,372	343.6 a	358.0 a	43.4 abc
100	12.3 ab	9.7 a	11.7 ab	33.6 b	43,636	395.0 a	410.0 a	41.0 abc
300	9.0 b	9.3 a	8.0 b	26.3 b	33,986	378.0 a	372.4 a	51.0 ab
600	10.3 b	12.3 a	6.7 b	29.3 b	38,228	397.2 a	368.0 a	66.8 a

<sup>a</sup>Cucumber seedlings cv. 'Super Manchon' grafted on 'Jangsushintoza' (*Cucurbita maxima* x *Cu. moschata*) were planted in wooden boxes (30×40×15 cm) under a plastic house in August 1.

<sup>b</sup>Early: cucumber harvested between Sep. 01-Sep. 20, Middle: cucumber harvested between Sep. 21-Oct. 10, Late: cucumber harvested between Oct. 11-Oct. 30.

<sup>c</sup>Means followed by same letter in column are not significantly different at 5% level by DMRT.

**Table 2.** Final population densities of *Meloidogyne incognita* on greenhouse grown cucumber influenced by initial inoculum densities

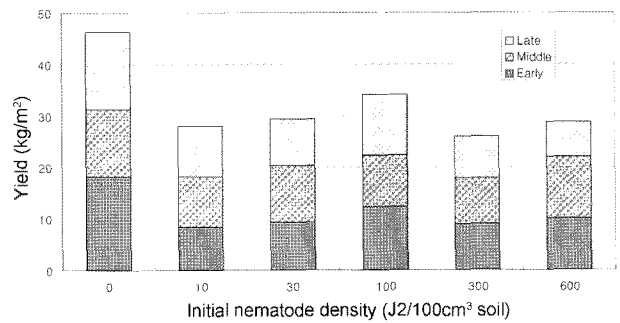
Initial population density (J2/100 cm <sup>3</sup> soil)	Final population densities		
	No. of J2/100 cm <sup>3</sup> soil	No. of eggs	
		per gram of root	per root system
0	0.0 b <sup>b</sup>	88.0 b	1,592.0 b
10	41.3 b	3,610.0 a	75,770.0 ab
30	91.6 b	4,136.0 a	212,152.0 ab
100	116.2 b	3,648.0 a	168,496.0 ab
300	315.2 a	3,256.0 a	172,392.0 ab
600	338.4 a	4,584.0 a	360,640.0 a

<sup>a</sup>Cucumber seedlings cv. 'Super Manchon' grafted on 'Jangsushintoza' (*Cucurbita maxima* x *Cu. moschata*) were planted in wooden boxes (30×40×15 cm) under a plastic house in August 1 and nematodes were examined on Nov. 1.

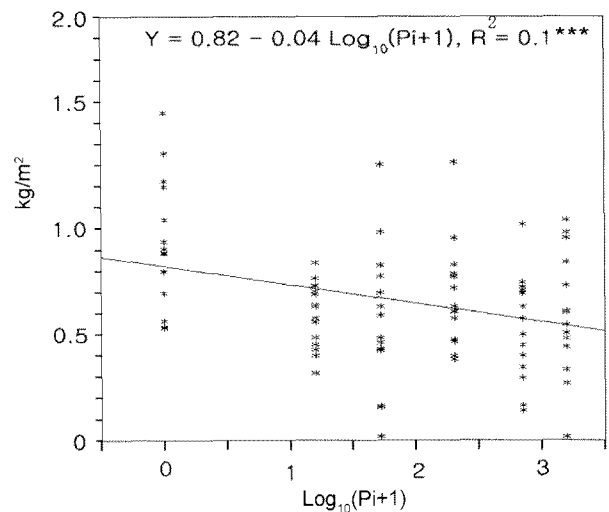
<sup>b</sup>Means followed by same letter in column are not significantly different at 5% level by DMRT.

으로 생각된다. 선충 밀도 증가는 최초 선충 접종 밀도가 높을수록 토양 및 뿌리속의 최종 선충 밀도가 높은 경향이 있었다(Table 2). 최종 수확시에 무처리에도 약간의 선충이 발견되었으나, 그 밀도는 한 식물체 당 1,600마리 정도로, 가장 높은 밀도인 식물체당 360,640마리의 0.4%로 무시할 정도였다.

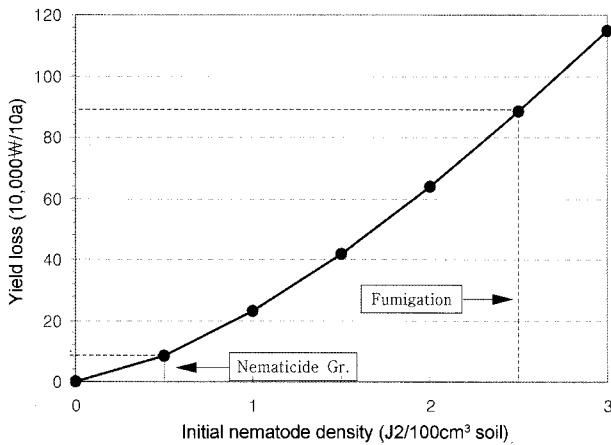
정식 전 토양 중 뿌리혹선충의 밀도와 오이 수량과의 관계를 조사한 결과(Table 1, Fig. 2~4), 뿌리혹선충이 10마리 이상일 때 수량은 약 39% 감소하였고 10마리 이상에서는 밀도가 600마리까지 높아져도 더 큰 수량차이는 없었다(Table 1). 이것은 오이가 뿌리혹선충에 매우 감수성으로 10마리 이상 밀도에서는 충분히 빠르게 증식되어 후기에는 거의 밀도가 동일해진 것으로 보인다. 일반적으



**Fig. 2.** Effect of initial population densities of *Meloidogyne incognita* on cucumber fruit yield in the microplot experiment. Early: cucumber harvested between Sep. 1-Sep. 20, Middle: cucumber harvested between Sep. 21-Oct. 10, Late: cucumber harvested between Oct. 11-Oct. 30.



**Fig. 3.** Relationship between cucumber yield and initial population densities (Pi) of *Meloidogyne incognita* in microplot experiment. Pi were transformed to log<sub>10</sub>(Pi+1) values for analysis (Linear models).



**Fig. 4.** Fruit yield loss and determination of economic threshold level by initial population densities ( $P_i$ ) of *Meloidogyne incognita* in the microplot experiment. Cucumber fruit price was determined as W1,122/kg.

로 박과류 시설재배 포장에서 발견되는 뿌리혹선충 밀도가 10마리 이상인 것을 생각할 때(Cho 등, 2000; Kim, 2001a), 오이는 뿌리혹선충에 의하여 상당한 수량감소가 있을 것으로 생각된다. 선충 무집중 처리구의 수량은 45.6 kg/m<sup>2</sup>로 가장 많았으며 선충 집중 밀도 300마리/100 cm<sup>3</sup> 토양에서는 선충 무집중구에 비하여 가장 낮은 26.3 kg/m<sup>2</sup>로 수량 감소비율이 42.3%였다.

**오이 뿌리혹선충 밀도와 수량간 회귀식 설정.** 오이 시설재배에서 정식전 뿌리혹선충의 토양 중 유충 밀도(X)와 오이 수량(Y)과의 관계를 상관분석한 결과 회귀식은  $Y=0.82-0.04 \cdot \log_{10}(P_i+1)$ 로 선충의 초기밀도와 수량은 고도의 부의 상관관계가 인정되었다( $P_i$ =초기 밀도).

뿌리혹선충 요방제수준을 살선충제 입제 사용에 맞추면(약 80,000원/300평), 수량이 1% 감소하는 시점(85,000원 손실)이 되고, 이 실험에서 산출된 회귀식에 대입한 결과 토양 1,000 cm<sup>3</sup>당 뿌리혹선충 유충 밀도는 5마리이다. 반면, 훈증제를 처리할 경우 300평당 약 90만원(훈증제+비닐피복+노동력) 정도가 소요되는데, 이것은 수량이 9% 감소하는 시점(890,000원 손실)이며, 계산하면 토양 1,000 cm<sup>3</sup>당 뿌리혹선충 유충이 25마리 정도이다. 이와 같이 토양 1,000 cm<sup>3</sup>당 뿌리혹선충 밀도 5~25마리는 뿌리혹선충의 경제적 피해 허용 수준으로 이것은 선충의 밀도에 따라서 방제방법을 달리하여 방제할 수도 있음을 보여준다. 오이의 뿌리혹선충에 의한 경제적 피해허용 수준 밀도는 매우 낮은데 이는 오이가 뿌리혹선충에 매우 감수성이고 오이가 고소득 작물이기 때문이다. 따라서 오이 시설재배 농업인을 지도할 경우에는 포장에서 뿌리혹선충이 발견되면 무조건 살선충제를 사용하는 것으로 지도

해야 할 것이다.

오이 반축성재배시 수확량은 300평당 12,021 kg이고 조수익은 1,348만원(kg당 1,122원)이다(농촌진흥청, 2006). 그러나 수확된 모든 오이가 시장에서 상품성이 있는 것은 아니며, 기형과, 비규격과, 불량과, 기타 등을 제외하여 오이는 일반적으로 6%의 과실 손실을 감안한다. 이 조수익에서 경영비 약 46%(농촌진흥청, 2006)를 제외할 때, 뿌리혹선충에 의한 39% 감수(선충 밀도 10마리/100 cm<sup>3</sup> 토양)는 300평당 약 267만원이다. 이번 시험에서 뿌리가 자랄 수 있는 면적이 박스크기(30×40×15 cm, L×W×D)로 제한된 점을 고려해야 하지만, 국내 오이 시설재배 면적이 3,799 ha이며 국내 시설재배 포장의 약 50% 정도가 뿌리혹선충에 감염되어 있다고 가정하면(Cho 등, 2000), 뿌리혹선충에 의한 수량 감수는 가격으로 환산하여 약 500억원 정도이다.

이번 시험결과를 시설재배 오이에서 정식 전 뿌리혹선충의 밀도 조사가 매우 중요함을 보여주고 있는데, 이러한 토양 뿌리혹선충 밀도조사는 적어도 정식 1~3개월 전에 실시하여야 뿌리혹선충이 발견되었을 때 적절한 방제 대책을 수립할 충분한 시간적 여유가 있을 것이다(훈증제 처리시 최소 2개월). 경제적 피해한계는 정식전 뿌리혹선충 유충의 밀도가 토양 1,000 cm<sup>3</sup>당 5마리이면 살선충제 입제 살포가 경제적이고, 유충의 밀도가 토양 1,000 cm<sup>3</sup> 당 25마리 이상이면 훈증제를 처리도 고려해 볼 수 있다.

## 요 약

고구마 뿌리혹선충(*Meloidogyne incognita*)의 시설재배 오이에 대한 경제적 피해한계를 조사하기 위하여 비닐 하우스 내에 합판으로 만든 박스(30×40×15 cm)를 묻고 박스 내 토양 100 cm<sup>3</sup>당 뿌리혹선충 유충의 밀도를 0, 10, 30, 100, 300, 600마리로 조정된 토양을 넣었다. 각 박스에는 '장수신토좌'에 접붙인 '슈퍼만촌'오이 23일 묘를 8월 1일 1포기씩 심고 11월까지 각 구당 오이 수확량을 조사하였다. 뿌리혹선충의 유충밀도와 수량과의 회귀식은  $Y=0.82-0.04 \cdot \log_{10}(P_i+1)$ 로 방제 비용을 감안한 경제적 피해 허용 수준은 정식전 뿌리혹선충 유충의 밀도가 토양 1,000 cm<sup>3</sup>당 5마리이면 살선충제 입제 살포가 경제적이고, 유충의 밀도가 토양 1,000 cm<sup>3</sup>당 25마리 이상이면 훈증제를 처리하는 것도 고려해 볼 수 있다. 오이 시설재배시 뿌리혹선충의 피해를 방지하기 위해서는 최소한 정식 수개월 전에 미리 토양 선충 밀도를 조사해야 할 것이다.

## 참고문헌

- Barker, K. R. 1982. Influence of soil moisture, cultivar, and population density of *Meloidogyne incognita* on soybean yield in plots. *J. Nematol.* 14: 429 (Abstr.).
- Barker, K. R. 1985. Nematode extraction and bioassays. In: *An Advance Treatise on Meloidogyne. Vol. II. Methodology* pp. 19-35. North Carolina State University. Raleigh, NC, USA.
- Barker, K. R., Schmitt, D. O. and Imbriani, J. L. 1985. Nematode population dynamics with emphasis on determining damage potential to crops. In: *An Advance Treatise on Meloidogyne. Vol. I. Biology* pp. 135-148. North Carolina State University. Raleigh, NC, USA.
- 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. *Kor. J. Appl. Entomol.* 39: 123-129.
- Cooke, D. A. and Thomason, I. J. 1979. The relationship between population density of *Heterodera schachtii*, soil temperature, and sugarbeet yield. *J. Nematol.* 11: 124-128.
- Ferris, H. 1978. Nematode economic thresholds: Derivation, requirements, and theoretical implications. *J. Nematol.* 10: 341-350.
- Griffin, G. D. 1981. The relationship of plant age, soil temperature, and population density of *Heterodera schachtii* on the growth of sugarbeet. *J. Nematol.* 13: 184-190.
- Heald, C. M. 1987. Classical nematode management practices. In: *Vistas on nematology*. Eds. by J. A. Veech and D. W. Dickson. pp. 100-105. Soc. of Nematol. Maryland. 509 pp.
- Kim, D. G. 2001a. Occurrence of root-knot nematodes on fruit vegetables under greenhouse conditions in Korea. *Res. Plant Pathol.* 7: 69-79.
- Kim, D. G. 2001b. Distribution and population dynamics of *Meloidogyne arenaria* on oriental melon (*Cucumis melo* L.) under greenhouse conditions in Korea. *Russian J. Nematol.* 9: 61-68.
- Kim, D. G. and Ferris, H. 2002. Relationship between crop losses and initial population densities of *Meloidogyne arenaria*. *J. Nematol.* 34: 43-49.
- Kim, J. Y., Hong, S. S., Lee, J. G., Park, K. Y., Kim, H. G. and Kim, J. W. 2006. Determinants of economic threshold for powdery mildew on cucumber. *Res. Plant Pathol.* 12: 231-234.
- Yeon, I. K., Kim, D. G. and Park, S. D. 2003. Soil temperature and egg mass formation by *Meloidogyne arenaria* on oriental melon (*Cucumis melo* L.). *Nematol.* 5: 721-725.
- Mein, S. H., Wallace, R. and Fisher, J. M. 1978. Water relations of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. early Dwarf red) infected with *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood. *Physiol. Plant Pathol.* 13: 275-281.
- Main, C. E. and Byrne, S. V. Eds. 1986. 1985 estimates of crop losses in North Carolina due to plant diseases and nematodes. Dept. of Plant Pathol. Special Publ. No. 5. North Carolina State University, Raleigh.
- National Agricultural Products Quality management Service. 2008. [http://www.naqs.go.kr/statisticsInfo/statisticsInfo\\_02\\_1\\_1.jsp](http://www.naqs.go.kr/statisticsInfo/statisticsInfo_02_1_1.jsp).
- 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. *Rural Dev. Admin., J. Crop Prot.* 37: 318-323.
- Roberts, P. A., Van Gundy, S. D. and McKinney, H. E. 1981. Effects of soil temperature and planting date of wheat on *Meloidogyne incognita* reproduction, soil populations, and grain yield. *J. Nematol.* 13: 338-345.
- SAS. 1990. SAS/STAT User's guide. Version 6. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Seoul Agricultural & Marine Products Corp. 2008. <http://www.garak.co.kr/united/index.jsp>.
- Southey, J. F. 1986. Laboratory methods for work with plant and soil nematodes. London: Her Majesty's Stationery Office.
- 농촌진흥청. 2006. 2005소득자료 전국 2 (작목별경영비 및 소득). 92 pp.