Original article KOREAN JOURNAL OF APPLIED ENTOMOLOGY

한국응용곤충학회지
Korean J. Appl. Entomol. 52(3): 215-225 (2013)
DOI: http://dx.doi.org/10.5656/KSAE.2013.06.0.033

ⓒ The Korean Society of Applied Entomology
pISSN 1225-0171, eISSN 2287-545X

지역별 시설재배지에서 식물기생선충의 살선충제에 대한 밀도억제 효과 비교

김세희 · 박상은 · 고나연 · 류태희 · 신효섭 · 권혜리 · 서미자 · 유용만 · 윤영남*
충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과

Comparison of the Inhibitory Effects of Nematicides on Nematode Populations in a Regional Vinyl Plastic House

Sae-Hee Kim, Sang-Eun Park, Na-Yeon Ko, Tae-Hee Ryu, Heo-Seob Shin, Hye-Ri Kwon, Mi-Ja Seo, Yong-Man Yu and Young-Nam Youn*
Department of Applied Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

ABSTRACT: To assess the efficacy of nematicides for the control of plant-parasitic nematodes in fruit and vegetables fields, soil samples were collected from a cucumber field at Gongju; from strawberry fields at Buyeo, Nonsan, and Jinju; and from a melon field at Gocksung in Jeonnam Province, Korea. Plant-parasitic nematodes were separated from each soil sample and identified. The susceptibilities of the nematodes to abamectin 1.68% SC, cadusafos 3% GR, dazomet 98% GR, fosthiazate 30% SL and BA12011 SL were examined under laboratory and field conditions. The average population density of plant-parasitic nematodes was generally reduced after the treatment with nematicides; however, there was increase in the population of *Pratylenchus* spp. in soil after treatment with fosthiazate at Buyeo and Gocksung. Furthermore, there were increased populations following treatment with abamectin, cadusafos, and dazomet at Gocksung. The control effects of BA12011 treatment on plant-parasitic nematodes were confirmed to be similar to those of the other 4 nematicides evaluated, although its control effect was higher than that of fosthiazate in cucumber-growing soil at Gongju. The effects of nematicide treatment on egg mass formation in each of the collected soils differed according to the region of soil origin. Abamectin was effective in reducing the degree of egg mass formation in Buyeo and Jinju soil, whereas BA12011 was effective in Nonsan and Gocksung soil. Dazomet was found to inhibit egg mass formation in Gongju soil. To evaluate the effect of the newly developed nematicide, BA12011, experiments were conducted in a cucumber-growing greenhouse. The average population densities of *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., and *Helicotylenchus* spp. after the first treatment were reduced to a greater extent than after the second treatment. It is thus suggested that early nematicide treatment is important for effective control of plant-parasitic nematodes.

Key words: Plant-parasitic nematodes, Plastic vinyl house, Susceptibility, Nematicides

초 록: 과채류 재배지에서 발생하는 식물기생성 선충의 방제를 위해 충남 공주의 오이 재배지와 충남 부여와 논산, 경남 진주의 딸기 재배지, 전남 곡성의 메론 재배지역에서 시설재배와 노지 재배를 하고 있는 농가토양을 채취하여 선충을 분리, 동정한 후 각 지역별 토양에서 abamectin 1.68% SC, cadusafos 3% GR, dazomet 98% GR, fosthiazate 30% SL, BA12011 SL 등 약제들의 선충에 대한 밀도억제 효과를 알아보기 위하여 실내실험과 포장실험을 실시하였다. 대부분의 지역에서 채취한 토양 시료에 분포하고 있는 식물기생성 선충의 평균밀도가 약제처리 후 감소하는 것으로 확인되었지만, 부여의 경우 fosthiazate 처리시 *Pratylenchus* spp.가, 곡성의 경우 fosthiazate, abamectin, cadusafos, dazomet 처리시 *Pratylenchus* spp.에 대하여 토양 내 평균 밀도가 상승하였다. 또한 BA12011 처리시 약제처리 후 다른 약제와 비슷한 수준의 개체군 평균밀도를 보였으며, 특히 공주 토양에서는 fosthiazate의 약제처리 효과보다 모든 종에서 높은 방제효과를 확인하였다. 각 지역에서 채취한 토양에 약제처리를 한 후 난낭 형성을 확인한 결과, abamectin의 경우 부여와 진주의 토양에서 효과를 보였고, BA12011은 논산과 곡성, dazomet는 공주에서 난낭 형성을 억제하는 효과를 확인하였다. BA12011을 가지고 오이재배지에서의 방제효과를 살펴본 결과, *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., *Helicotylenchus* spp.의 평균 밀도가 감소하였고, 2차 처리시보다 1차 처리시 평균 밀도의 감소율이 높은 것으로 보아 초기 단계의 방제의 중요성을 확인할 수 있었다.

검색어: 식물 기생성선충, 시설재배지, 감수성, 살선충제

***Corresponding author:** youngnam@cnu.ac.kr
Received May 20 2013; **Revised** June 13 2013
Accepted June 25 2013

The Korean Society of Applied Entomology (KSAE) retains the exclusive copyright to reproduce and distribute for all KSAE publications.
The journal follows an open access policy.

분류학상 선형동물문(Nematoda)에 속하는 선충은 크기가 1mm 가량인 아주 미세한 동물로 주로 토양에 서식하는 경우가 많은데, 종이 매우 다양하고 개체수 또한 엄청나게 많아 토양생태계 내에 형성되는 먹이망에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다(Neher, 2001; Thorne, 1961). 토양에 서식하는 선충은 주로 유기물이 풍부한 토양에 널리 분포하고 있는 것으로 알려졌으며, 대부분이 부식성인 식성을 가지고 있지만, 동물이나 식물에 기생하는 기생성, 곰팡이나 세균 혹은 다른 선충이나 작은 절지동물을 잡아먹는 포식성인 식성을 가지고 있는 것도 있다. 이들 가운데 식물의 뿌리에 구침을 찔러 넣어 영양분을 섭취하거나, 식물뿌리의 조직 안으로 들어가 식물체에서 서식하는 식물기생성 선충들이 주요 경제적 농작물에 문제시 되고 있다(Taylor and Sasser, 1978; Thorne, 1961). 작물의 경제적 피해의 원인부분에서도 결코 적지 않은 비율을 차지하는 식물기생성 선충은 전 세계적으로 약 2,000여종이 보고되어 있으며(Boina et al., 2008; Jung and Wyss, 1999), Abad et al.(2008)에 의하면 이들 식물기생성 선충에 의한 농작물 손실액이 1,570억 US$에 이를 것으로 추정하였다. 뿐만 아니라, 식물기생성 선충의 경우 주로 토양에서 식물에 기생하여 피해를 주기 때문에 외관상으로 보았을 때 주로 양분의 부족이나 생리적인 장애로 진단되는 경우가 많다.

우리나라에서는 농작물에 피해를 주는 식물기생성 선충류는 12과 42속 132종이 기록되어 있으며(Choi, 2001), 그 중 경제적인 면에서 중요하게 여겨지는 선충은 *Meloidogyne*속에 속하는 뿌리혹선충류, *Pratylenchus*속에 속하는 뿌리썩이선충류, *Aphelenchoides*속에 속하는 잎선충류를 포함한 선충이 대표적이다(Kim, 1989). 특히, *Meloidogyne*속에 속하는 뿌리혹선충류는 토마토와 오이, 딸기, 멜론을 포함한 수많은 작물에 기생을 하여 수확량의 감소와 상품질의 저하를 가져와 경제적으로 많은 손실을 주는 중요한 식물기생성 선충의 한 종류이다. 이들의 피해는 열대, 아열대를 포함한 온대지방에서도 만연되고 있다(Wesemael et al., 2011). 더불어 뿌리혹선충류는 토양병원균들의 식물체 침입을 도와주기 때문에 병으로 인한 식물의 피해를 더욱 증가시키게 된다(van der Putten et al., 2006).

한편, 최근에 국내에서는 시설재배지의 규모가 대형화 되면서 동일한 장소에서의 동일한 작물의 연작 년수가 길어지고, 연중재배의 원인으로 인하여 시설재배지 토양 내 선충의 밀도가 증가하고 그에 따른 경제적 피해가 증가하고 있음이 보고되어 있다(Kim and Han, 1998; Kim et al., 1998; Cho et al., 2000a, b). 이에 따른 방제 방법으로 침수 및 태양열을 이용한 물리적 방제(Heald and Robinson, 1987)와 3-4년 주기의 토양개량, 저항성 품종의 육종, 윤작, 답전윤환, 객토, 비기주 작물 윤작, 유인식물 재배 등을 이용한 경종적방제, 살선충제를 이용한 화학적 방제, 포식성 곰팡이 등을 이용한 생물학적 방제 등 다양한 방법 등이 있으나(Chen et al., 1996; Kim and Han, 1998; Park et al., 1995b; Han and Kim, 1997), 이러한 방제방법들 가운데에서 물리적방제는 작물, 토양이나 환경, 재배방법에 따른 재배조건에 따라 다르고(LaMondia, 1999; Johnson et al., 1998, 2000; Kwon et al., 1998; Smittle and Johnson, 1982; Weaver et al., 1995), 높은 비용과 많은 인력과 시간의 필요성 등의 이유로 이 방법의 실용성이 감소하고 있다. 따라서 대다수의 농민들은 그들의 포장상태, 방제효율성, 경제성 등을 비교하여 필요에 따라 한두 가지의 방법을 선택하여 방제를 실시하고 있다(Park et al., 1995a, b; Chen et al., 1996). 그렇지만, 이들은 주로 화학적 방제를 이용하고 있어, 살선충제에 대한 독성과 토양 중의 잔류기간이 길고, 토양 미생물에 대해 영향을 미치는 범위가 넓기 때문에 토양 생태계의 불균형과 같은 환경 문제를 유발할 가능성도 있다(Birch et al., 1993; Kim and Choi, 2001).

식물기생성 선충은 살선충제를 이용하여 방제하는 방법이 대중화되어 있지만, 환경문제와 소비자들의 건강을 생각하기 시작하면서 저항성 품종을 재배하든가, 천적을 이용한 생물적 방제, 경종적 방제 등의 사용이 점차 증가되고 있다(Boina et al., 2008). 식물기생성 선충에 대하여 많은 양의 살선충제가 사용되고 있어 많은 국가들에서는 친환경적이고 특이한 작용기작을 가진 새로운 살선충물질의 탐색에 많은 공을 들이고 있다(Gurr, 1992). 또한, 장기적인 방제 대책으로는 저항성 품종을 이용하는 것을 들 수 있는데(Sasser and Kirby, 1979), 과채류 작물에서의 뿌리혹선충의 저항성 품종 연구가 이루어지긴 하지만 강한 저항성을 가진 계통은 그리 많지 않은 것으로 보고되어 있다(Park et al., 1995a; Cho et al., 1986; Han and Kim, 1997). 현재까지 작물에서의 저항성을 이용한 식물기생성 선충 방제에 관한 연구방법은 약제에 대한 저항성이 아닌 뿌리혹선충 방제를 위한 저항성 토마토 품종 스크리닝을 통해 저항성 작물을 이용한 윤작의 방법으로 친환경적 방제에 대한 연구가 이루어지고 있다(Rhoades, 1976; Choi et al., 2006; Kim, 2001). 뿐만 아니라, 식물 추출물을 이용한 식물기생성 선충에 대한 살선충 물질은 낮은 독성을 가지며 저항성 출현 가능성이 낮아 선충을 비롯한 다양한 해충에 대하여 대체방제제로서의 역할을 할 것이라 주목받고 있으며(Prakash and Rao, 1997), 이를 탐색하는 연구는 우리나라에서도 이미 이루어져왔다. 예를 들면, 만수국추출물이나 잔디, 양파 추출액 등을 처리하여 뿌리혹선충의 친환경 방제제로서의 가능성을 연구한바 있으며(Kim et al,, 1998), 인삼포에서의 뿌리혹선충에 대한 살선충 활성 효과를 시험하였고(Yang et al., 1996), 더덕재배지에서의 당근뿌리혹선충에 대한 증식 효과 억제에 관한 연구도 수행된

바 있다(Lim et al., 2006).

식물기생성 선충의 방제에 사용되는 abamectin은 살선충제는 물론, 살충제와 살비제로 광범위하게 사용되고 있는 약제이며, 주요 성분인 avermectin은 토양세균인 *Streptomyces avermitilis*에서 유래한 물질로서 비슷한 독성을 가지고 있는 avermectin $B_{1a}(C_{48}H_{72}O_{14})$와 $B_{1b}(C_{47}H_{70}O_{14})$가 일정비율로 함유되어 있다. Cadusafos(S,S-di-sec-butyl O-ethyl phosphorodithioate)는 유기인계 살충제로서 선충과 토양서식 해충을 방제하기 위한 약제로 개발되었다. 토양에 처리하기 위하여 주로 입제 형태로 만들어져 시판되고 있으며, 유제나 마이크로에멀젼 형태로 만들어지기도 한다. Dazomet(3,5-dimethyl-1,3,5-thiadiazinane-2-thione 혹은 tetrahydro-3,5-dimethyl-1,3,5-thiadiazine-2-thione)는 dithiocarbamate계통의 비선택성 토양훈증제로 살균제, 제초제, 살선충제로 사용되고 있다. 다른 훈증제들과는 달리 dazomet는 입제형태로 만들어져 토양표면에 뿌린 후에 물을 뿌려주면 토양 속으로 이동하여 활성을 보이게 된다. 훈증제이기 때문에 토양에 잔류할 가능성은 거의 없는 것으로 보고되어 있다. Fosthiazate[*O*-Ethyl *S*-(1-methylpropyl)(2-oxo-3thiazolidinyl) phosphonothioate)]는 유기인계 살선충제로 주로 토마토에 발생하는 주요 선충들을 방제하기 위하여 사용되지만, 진딧물과 응애, 총채벌레 등에도 살충효과를 가지고 있는 약제이다. Fosthiazate는 신경계에서 주로 acetylcholine esterase의 저해를 통하여 살충효과를 보이고 있으며, 식물체 내에서의 침투이행 능력이 좋아 잎을 가해하는 해충에도 살충력을 나타내게 된다.

우리나라에서는 토양의 오염과 관계수의 오염 혹은 농기구로 인한 재오염이 계속적으로 이루어지고 있으며, 이것으로 인해 식물기생성 선충의 피해가 증가함에 따라서 이러한 선충을 효과적으로 방제하기 위한 다각적인 측면의 연구가 간헐적으로 이루어지고 있다. 그렇지만, 이러한 노력에도 불구하고 과채류를 포함한 시설재배지에서 발생하는 식물기생성 선충에 대한 피해 및 분포에 관한 기초자료도 상당히 부족하여, 근본적인 방제대책을 세우지 못하고 있는 것이 사실이다. 따라서 본 연구는 국내 과채류재배지에서 발생하는 식물기생성 선충의 발생현황과 피해에 대하여 조사하고, 그 중에서 식물기생성 선충인 뿌리혹선충류와 뿌리썩이선충류에 효과적인 방제 방법을 수립하기 위한 약제의 선발을 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

토양 채집 및 선충분리

선충을 분리하기 위한 토양은 2012년 4월부터 9월 사이에 충남의 공주와 부여, 논산지역과 경남의 진주, 전남의 곡성 지역에서 시설재배와 노지 재배를 하고 있는 농가토양을 채취하였다. 4월에는 전남 곡성에서 메론을 재배하는 농가토양을 채취하였으며, 5월에는 경남 진주의 딸기재배 농가의 토양을 채취하였고, 6월에는 충남 논산에서 딸기와 수박을 윤작 재배하는 농가와 부여에서는 딸기를 노지재배하는 토양에서 채취하였고, 9월에는 충남 공주에서 유묘기의 오이가 심겨진 토양에서 시료를 채취하였다.

각각의 농가에서 선충 발생여부를 확인하기 위해서 채취하는 토양 시료는 시료당 500 g 이상의 토양을 농가별로 8점 이상씩 총 52개의 토양 시료를 채취하였고, 채취한 토양시료는 비닐봉지에 넣어 밀폐시킨 후 직사광선을 피해 실험실로 가져와 선충을 분리하기 전까지 실험실 내의 서늘한 곳에 보관하였고, 채취한 토양 시료 모두 1개월 내 실험에 사용하였다.

선충을 분리하기 위하여 채취한 토양 시료들을 각각 골고루 섞은 다음 300 g씩 덜어서 15 L의 통에 넣고 물을 10 L정도 채운 후, 흙과 물을 섞어준 다음, 60 mesh와 400 mesh 체를 이용하여 선충을 모았다. 모은 선충들을 Baerman-funnel 법을 이용하여 선충을 분리하였다. 토양에서 분리된 선충은 냉장고에서 24시간 침전시킨 후 해부현미경에서 검경하였다(Southey, 1970; Viglierchio and Schmitt, 1983).

지역별 식물기생성 선충의 약제처리

위의 5개 지역에서 식물기생성 선충을 대상으로 약제에 대한 효과를 알아보기 위하여, 단일 성분으로 구성된 약제를 선발하였다. 시험에 사용한 약제들은 abamectin 1.68% 액상수화제(SC), cadusafos 3% 입제(GR), dazomet 98% 입제(GR), fosthiazate 30% 액제(SL) 등 시판되고 있는 4종의 약제와 친환경방제제로 개발하고자하는 BA12011 액제(SL)를 포함하여 총 5종의 약제를 시험하였다. 처리농도는 추천농도를 사용하였으며, 각 약제의 추천 농도는 다음과 같다. Abamectin 1.68% SC는 6.7ml/20L, cadusafos 3% GR은 6Kg/10a, dazomet 98% GR은 30Kg/10a, fosthiazate 30% SL은 5ml/20L, BA12011 SL은 10ml/20L이다. 또한 각각의 약제 처리는 위 5개 지역에서 채취한 토양시료를 이용하여 3반복으로 수행하였다. 처리 후 평균 밀도 조사는 가느다란 도구를 이용하여 걸러진 선충을 건드려보았을 때, 움직이는 수를 생충수로 확인하였다. 또한 약제별로 약제처리의 방법에 따라 관주처리와 토양 혼화처리를 사용하여 약제를 처리하였다.

토양 관주처리 방법을 사용한 약제는 abamectin 1.68% SC와 fosthiazate 30% SL, BA12011 SL를 사용하였다. 각 지역별 토

양을 화분에 옮겨 1차로 약제를 처리하고 약제 처리 후 20-30시간이 경과된 다음 2-4엽기의 토마토 묘를 옮겨 심었으며, 1차 약제 처리를 한 후 7일이 경과된 다음에 2차로 약제처리를 실시하였다. 약제 처리시 화분에 있는 토양이 흠뻑 적실 정도로 충분하게 약액을 처리하였다. 선충에 대한 약제 처리 효과는 2차 약제처리 7일 후 화분토양에서 선충을 분리하여 선충의 살충율과 개체수를 조사하였다. 토양 혼화처리 방법에 사용한 약제로는 cadusafos 3% GR과 dazomet 98% GR를 사용하였으며, 약제와 각 지역에서 채취한 토양을 일정 비율로 잘 혼합한 후 2-4엽기의 토마토 묘를 이식하고, 이식 후 14일째 되는 날에 화분토양에서 선충을 분리하여 선충의 살충율과 개체수를 조사하였다. 대조구로서 관주처리의 경우 동일양의 물을 처리하였고, 토양 혼화처리의 경우에는 약제와 같은 양의 물을 토양을 혼합하여 처리하였다.

난낭지수

각 지역의 채취한 토양을 이용하여 토마토 뿌리의 난낭지수를 조사를 위한 약제 처리의 방법은 각 약제의 특성에 맞게 위의 약제처리 방법과 동일하게 실시하였다. 최종 약제 처리를 한 토양에 2-3엽의 토마토 유묘를 정식하고, 5-6주의 시간이 경과된 후에 토마토의 뿌리를 잘 씻어내고 0.0015%의 Phloxine B 용액(15 mg/L)에 15-30분간 담군 후 난낭이 붉게 변하면 난낭의 수를 세었다. 각 실험은 3반복 수행하였다.

BA12011의 포장적용

선충을 방제하기 위한 새로운 친환경농자재를 개발하기 위하여, BA12011 약제를 2012년 9월에 식물기생성 선충의 감염밀도가 높은 것으로 판단된 충남 공주의 오이포장을 선정하여 실험을 수행하였다. 시험장소는 2011년도에 오이를 재배하였던 포장으로 약제를 처리하기 전 각 처리구에서 토양 500 g 이상씩을 채취하여 약제 처리 전의 식물기생성 선충의 밀도를 조사하였다. 이후 오이의 정식과 동시에 1포기당 500 cc의 양으로 포기관주가 이루어졌으며, 정식 10일 후 총 200평의 크기의 포장에 물 2 t과 1 L의 약제를 섞어 1차적인 토양관주 처리를 하였고, 무처리구의 경우에는 약제와 같은 양만큼의 물을 관주처리하였다. 또한, 2차 토양관주 처리 사이에 토양 내 식물기생성 선충의 밀도를 알아보기 위해서 2차 밀도조사를 수행하였다. 1차 토양관주 처리 10일 후 1차와 동일하게 2차 토양관주처리가 이루어졌으며, 2차 토양관주 처리 10일 후에 토양시료를 채취하여 토양 내 식물기생성 선충의 밀도를 조사하였다. 각 실험은 3반복으로 실시하였다.

통계 분석

각 약제를 처리한 처리구와 무처리구는 총 14일간 3회 반복실험을 수행하였고, 약제를 처리한 지역별 토양에서 검출된 식물기생성 선충의 평균 밀도, 주요 식물기생성 선충 2종의 지역별 처리전후 실험 결과는 SPSS(PASW Statistics 18.0) 일원배치분산분석을 통해 각 기록 결과를 분석하였으며, Duncan 분석을 통해 유의차를 확인하였다.

결 과

실내에서 약제에 대한 살선충 효과

충남의 공주와 부여, 논산지역과 경남의 진주, 전남의 곡성 지역 등 총 5개 지역의 시설 재배지 토양에 존재하고 있는 식물기생성 선충을 분리하여 속을 확인한 결과, *Helicotylenchus* spp.(나선선충류)가 우점종으로 나타났으며, 그 다음이 *Meloidogyne* spp.(뿌리혹선충류)와 *Pratylenchus* spp.(뿌리썩이선충류)가 검출되었다. 그 외에도 *Ditylenchus* spp.(줄기선충류)와 *Aphelenchoides* spp.(잎선충류) 등이 검출되었다. 이들 분리된 선충들 가운데서 높은 비율로 검출된 선충을 대상으로 약제에 대한 감수성을 각각의 지역에서 채취한 시료를 대상으로 실내에서 조사한 결과는 다음과 같다.

공주에서 채취한 시료를 대상으로 약제를 처리하였을 경우, 약제 처리 후 모든 종의 개체군 평균 밀도가 감소하였으나, fosthiazate 처리시 *Helicotylenchus* spp.와 기타 종에 대하여 처리 후 밀도가 감소하였으나 다른 약제와 비교하였을 때 약간 높게 나타났음을 알 수 있었다(Table 1).

부여 지역의 토양에서는 모두 약제 처리 전 밀도보다 감소하였으나, 예외적으로 fosthiazate 약제 처리시 *Pratylenchus* spp.의 개체군 평균 밀도가 2.0에서 6.7로 증가하였음을 확인하였다. 반면에 cadusafos와 dazomet 처리시 *Pratylenchus* spp.에 대하여 100%의 살선충효과를 나타나는 것을 확인하였고, BA12011를 처리하였을 경우에도 fosthiazate보다 좋은 효과를 나타냄을 확인하였다(Table 2).

논산 지역의 토양에서 채집한 토양에 약제를 처리하였을 경우에도 모든 약제에서 평균 밀도가 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 그 중에서도 약제 처리전 평균 밀도가 118마리로 가장 높았던 *Helicotylenchus* spp.를 포함하여 다른 모든 종에서 비슷한 개체군 밀도를 보여주고 있다. 또한 부여지역에서 채집한 선충들과 마찬가지로 cadusafos와 dazomet의 경우 *Pratylenchus* spp.에 대하여 100% 살충효과를 보이는 것을 확인하였다(Table 3).

진주 지역의 토양에서 채집한 선충 개체군의 경우에도 약제 처리 시 평균 밀도가 감소한 것을 알 수 있었으며 BA12011의 경우에도 다른 약제들과 비슷한 수준의 효과를 확인하였다. 또한, fosthiazate처리 시 *Pratylenchus* spp.종에 대하여, cadusafos의 경우 *Meloidogyne* spp.와 *Pratylenchus* spp.에서 100%의 살충효과를 보이는 것을 확인하였다(Table 4).

곡성 지역의 토양에서 채집한 선충 개체군의 경우에도 약제 처리 후 대부분 평균 개체군 밀도가 감소하였지만 *Pratylenchus* spp.의 경우 약제처리전 평균 밀도(1.0)와 비교를 하여 보면, abamectin, cadusafos, dazomet, fosthiazate 처리 후 평균 밀도를 조사한 결과 각각 1.3, 2.3, 1.3, 5.3로 상승한 것을 확인하였고, BA12011 약제 처리 시 다른 약제 처리 후와 비슷한 밀도를 보여 효과를 확인하였으며, fosthiazate 처리 시 *Helicotylenchus* spp.와 기타 종에 대하여서는 밀도 감소의 효과가 현저히 떨어짐을 확인하였다(Table 5).

지역별로 채취한 토양 시료에 분포하고 있는 주요 식물기생성 선충 가운데서 뿌리혹선충류인 *Meloidogyne* spp.에 대한 약제 처리 전후의 개체군 변화를 살펴보면, abamectin처리 시 모든 지역에서 평균 밀도가 감소하였다. 그 중 부여, 논산, 곡성에서 채취한 시료에 있는 *Meloidogyne* spp.의 평균 밀도는 비슷하였고, 공주와 논산 토양에 있는 *Meloidogyne* spp.가 abamectin에 대하여 가장 감수성을 가지고 있는 것으로 보인다. Cadusafos를 처리한 후 전반적으로 낮은 평균밀도를 확인하였으며 그 중 곡성 토양에 있는 *Meloidogyne* spp.의 평균밀도가 가장 높게 나타났지만 이 결과도 다른 약제의 처리 후와 비교한 결과 낮은 밀도임을 확인하였다. 공주와 진주 토양의 *Meloidogyne* spp.에 대해서는 cadusafos를 처리하여 100% 방제가를 보였고, 초기 밀도와 비교해 보았을 때 공주 토양에 가장 큰 효과를 보였다. Dazomet의 경우, 곡성에서 채취한 토양에 있는 *Meloidogyne* spp.의 처리 후 개체군 평균 밀도가 가장 높게 나타났으며 공주에서 채취한 토양의 *Meloidogyne* spp.의 평균 밀도가 가장 낮게 나타난 것을 확인하였다. 처리 전후의 개체군 평균 밀도 변

Table 1. Changes in the population densities of plant-parasitic nematodes in soil samples treated with 5 different nematicides (10 ml/300 g). The soil was collected from a cucumber field in Gongju and treated under laboratory conditions

Nematicides	Population density of nematodes in sample soil collected from Gongju before treatment			
	Meloidogyne spp.	*Pratylenchus* spp.	*Helicotylenchus* spp.	Others
	46.7±10.6a[1)]	41.3±26.3a	171.7±53.5b	19.0±16.6a
Abamectin 1.68% SC	1.3±1.2a	1.7±2.9a	2.7±1.2a	4.3±4.0a
Cadusafos 3% GR	0±0.0a	1.0±1.0a	4.00±3.61a	1.7±2.1a
Dazomet 98% GR	0.3±0.6a	0±0.0a	0.3±0.6a	1.3±1.2a
Fosthiazate 30% SL	6.7±1.2a	6.7±4.2a	12.0±10.6a	10.0±5.3a
BA12011 SL	3.3±2.3ab	0.7±1.2a	3.0±1.0c	7.7±3.1bc
Control	42.3±9.1a	38.7±24.0a	167.7±50.1b	18.0±15.7a

[1)] Different letters means that these value have a significantly different among them. Represent by Mean±SD, **P*<0.050; test by duncan in SPSS 18.0.

Table 2. Changes in the population densities of plant-parasitic nematodes in soil samples treated with 5 different nematicides (10 ml/300 g). The soil was collected from a strawberry field in Buyeo and treated under laboratory conditions

Nematicides	Population density of nematodes in sample soil collected from Buyeo before treatment			
	Meloidogyne spp.	*Pratylenchus* spp.	*Helicotylenchus* spp.	Others
	27.7±18.3a	2.0±1.7a	94.3±36.7b	11.0±19.1a
Abamectin 1.68% SC	2.0±0ab	1.3±1.2a	8.0±1.0c	4.0±2.0b
Cadusafos 3% GR	0.3±0.6a	0±0.0a	3.7±1.6b	1.3±1.9ab
Dazomet 98% GR	1.0±1.0a	0±0.0a	2.0±1.0a	2.3±2.1a
Fosthiazate 30% SL	6.0±2.0a	6.7±4.2a	5.3±4.2a	6.7±3.1a
BA12011 SL	5.0±3.6a	1.3±1.2a	3.7±2.9a	4.7±3.1a
Control	26.7±19.3a	1.7±1.5a	92.0±37.2b	9.7±16.7a

[1)] Different letters means that these value have a significantly different among them. Represent by Mean±SD, **P*<0.050; test by duncan in SPSS 18.0.

화정도를 관찰한 결과, 공주 토양에서 채취한 *Meloidogyne* spp.이 dazomet에 대하여 가장 감수성이 높은 것으로 나타났다. Fosthiazate를 처리한 경우, 부여와 공주의 개체군 평균 밀도가 비슷하게 나타났으며, 곡성, 논산, 진주 순으로 낮게 나타

Table 3. Changes in the population densities of plant-parasitic nematodes in soil samples treated with 5 different nematicides (10 ml/300 g). The soil was collected from a cucumber field in Nonsan and treated under laboratory conditions

Nematicides	Population density of nematodes in sample soil collected from Nonsan before treatment			
	Meloidogyne spp.	*Pratylenchus* spp.	*Helicotylenchus* spp.	Others
	46.7±6.5ab	12.7±9.6a	118.0±81.9b	55.3±56.5ab
Abamectin 1.68% SC	2.0±1.0b	0.3±0.6a	2.7±1.2b	2.3±0.6b
Cadusafos 3% GR	0.3±0.6ab	0a	2.7±1.5b	2.7±2.1b
Dazomet 98% GR	0.7±0.6a	0a	3.3±1.5ab	4.3±3.2b
Fosthiazate 30% SL	2.0±2.0a	0.7±0.6a	5.0±2.0b	2.3±0.6ab
BA12011 SL	3.3±1.6a	1.3±1.2a	4.7±3.1a	5.7±3.8a
Control	45.3±13.5ab	12.0±7.8a	116.0±76.4b	54.0±44.7ab

[1] Different letters means that these value have a significantly different among them. Represent by Mean±SD, *P<0.050; test by duncan in SPSS 18.0.

Table 4. Changes in the population densities of plant-parasitic nematodes in soil samples treated with 5 different nematicides (10 ml/300 g). The soil was collected from a cucumber field in Jinju and treated under laboratory conditions

Nematicides	Population density of nematodes in sample soil collected from Jinju before treatment			
	Meloidogyne spp.	*Pratylenchus* spp.	*Helicotylenchus* spp.	Others
	14.3±2.5ab	7.0±7.2a	144.0±28.8c	28.3±26.0b
Abamectin 1.68% SC	0.3±0.6a	1.7±2.1a	4.0±4.6a	4.3±3.2a
Cadusafos 3% GR	0±0.0a	0±0.0a	2.0±1.0b	1.3±1.5ab
Dazomet 98% GR	1.0±0a	1.7±0.6a	3.0±2.7a	0.3±6.6a
Fosthiazate 30% SL	1.7±1.5ab	0±0.0a	3.0±1.0b	3.3±1.5b
BA12011 SL	1.7±2.9a	0.7±1.2a	1.0±1.7a	3.7±3.1a
Control	14.0±2.0a	6.0±5.3a	138.0±32.4b	38.3±11.5a

[1] Different letters means that these value have a significantly different among them. Represent by Mean±SD, *P<0.050; test by duncan in SPSS 18.0.

Table 5. Changes in the population densities of plant-parasitic nematodes in soil sample treated with 5 different nematicides (10 ml/300 g). The soil was collected from a cucumber field in Gocksung and treated under laboratory conditions

Nematicides	Population density of nematodes in sample soil collected from Gocksung before treatment			
	Meloidogyne spp.	*Pratylenchus* spp.	*Helicotylenchus* spp.	Others
	19.0±8.9a	1.0±1.7a	72.0±30.2b	14.7±9.1a
Abamectin 1.68% SC	2.0±2.0ab	1.3±1.2a	7.3±4.7c	6.7±1.2bc
Cadusafos 3% GR	1.0±1.0a	2.3±1.5a	10.3±3.5b	4.3±4.5a
Dazomet 98% GR	2.0±1.0a	1.3±1.5a	2.3±2.1a	2.7±2.9a
Fosthiazate 30% SL	4.0±0a	5.3±3.1a	22.7±14.1b	12.0±6.9ab
BA12011 SL	3.3±2.3a	0.7±1.2a	3.0±1.0a	7.7±3.1b
Control	18.3±11.9a	0.7±1.2a	68.0±27.1b	17.7±4.7a

[1] Different letters means that these value have a significantly different among them. Represent by Mean±SD, *P<0.050; test by duncan in SPSS 18.0.

Table 7. The control effect of BA12011 against several plant-parasitic nematodes in a cucumber field, using two rounds of treatment

	Mean(±SD) number of nematodes in 10ml/300g			
	Pre-treatment	10 days after first treatment	12 days after second treatment	*P*
Meloidogyne spp.	91.0±59.4a	6.7±4.6a	6.0±0a	0.036
Pratylenchus spp.	221.7±40.5b	14.3±10.4a	12.0±5.3a	0.000
Helicotylenchus spp.	659.3±231.1b	50.7±40.1a	49.3±9.5a	0.002
Others	76.0±37.2b	18.3±11.5ab	27.3±2.3a	0.041

Values represent by Mean±SD, $*P < 0.050$; *T*- test in SPSS 18.0.

났다. 평균 밀도 감소 정도를 확인하였을 때, 공주와 논산 토양에 분포하는 *Meloidogyne* spp.에서 가장 효과가 뛰어난 것을 확인하였다. 반면에, BA12011 처리 후 나타나는 *Meloidogyne* spp.의 개체군 평균 밀도를 확인한 결과, 모든 토양에 대하여 전반적으로 밀도가 감소함을 확인할 수 있었고, 그 중 논산과 공주의 토양에 분포하는 *Meloidogyne* spp.이 BA12011에 대하여 가장 감수성임을 확인하였다.

뿌리썩이선충류인 *Pratylenchus* spp.에 대한 약제 처리 전후의 개체군 밀도 변화의 경우, abamectin 처리 후 평균 밀도는 진주에서 채취한 토양에서 가장 높은 경향을 나타내었고, 논산에서 채취한 토양에서 가장 낮은 평균 밀도를 보였다. 반면에, abamectin 처리 후 밀도 감소비율은 공주지역에서 채취한 토양에서 가장 큰 것을 확인하였다. Cadusafos 약제 처리 후 선충의 개체군 평균 밀도를 조사한 결과, 딸기 재배지인 부여, 논산, 진주 토양에서 채취한 *Pratylenchus* spp. 개체군의 평균 밀도는 0으로 100%의 살선충율을 나타냈다. 반면에 곡성 토양에서 채취한 *Pratylenchus* spp.의 경우, 처리 전보다 처리 후의 평균 밀도가 상승하여 이 지역의 *Pratylenchus* spp.는 cadusafos에 대하여 저항성을 가지고 있을 것으로 추정된다. Dazomet 약제를 처리하였을 경우, 진주와 곡성 지역을 제외한 부여, 논산, 공주 지역에서 채취한 토양에 있는 *Pratylenchus* spp.의 평균 밀도가 0으로 100% 살선충율을 나타내었다. 진주와 곡성 지역에서 채취한 토양에 있는 *Pratylenchus* spp.도 dazomet를 처리한 후 낮은 밀도를 보이긴 하지만, 곡성의 경우 처리 전보다 처리 후가 *Pratylenchus* spp.의 평균 밀도가 약간 상승한 것을 확인하여 이 지역에서도 dazomet에 대한 저항성을 가지고 있을 것으로 추정된다. Fosthiazate의 경우 약제 처리 후 *Pratylenchus* spp.의 평균 밀도를 보면, 부여와 곡성 지역에서 채취한 토양에 있는 선충은 처리 전보다 처리 후의 개체군 평균 밀도가 상승한 것을 확인하였으며, 공주 지역 역시 감소하였지만 부여, 공주 지역의 처리 후 평균 밀도와 비교한 결과와 비슷한 수준을 나타냈으며, 논산, 진주 지역의 처리 후 평균 밀도와 비교시 높은 수준임을 알 수 있다. 한편, BA12011 약제 처리 후 평균 밀도의 변화를 확인한 결과, 약제 처리 후 *Pratylenchus* spp.의 평균밀도를 확인한 결과 공주, 부여, 논산 순이며 진주와 곡성은 비슷한 평균밀도를 보이는 것을 확인하였다. 약제 처리 전후 평균 밀도를 비교해보았을 때 공주 지역의 *Pratylenchus* spp.에 대한 살선충 효과가 가장 큰 것으로 확인하였다.

난낭지수

선충의 발생 유무가 확인된 각 지역에서 채취한 토양을 이용하여 약제를 처리한 후, 약제를 처리한 토양에 2-4엽의 토마토 묘를 심고 5-6주 후 토마토 뿌리를 씻어 Phloxine B 용액으로

Table 6. The average egg masses of plant-parasitic nematodes after nematicide treatment, using soil samples collected from 5 different areas

	Gongju	Buyeo	Nonsan	Jinju	Gocksung
Abamectin 1.68% SC	4.5±2.5	0.5±1.0	2.3±2.7	0.3±0.5	6.5±4.5
Cadusafos 3% GR	1.3±1.0	0.5±0.6	0.8±1.0	1.0±0.8	1.0±0.8
Dazomet 98% GR	0.3±0.5	1.75±2.1	0	1.5±1.3	1.5±1.3
Fosthiazate 30% SL	0.8±1.0	1.0±0.8	0.3±0.5	0.5±0.6	1.3±1.0
BA12011 SL	1.3±0.5	1.0±0.8	0.3±0.5	0.5±1.0	0.5±1.0
Control	21.3±5.6	32.3±15.2	25.3±7.4	13.3±5.6	24.8±8.2

염색한 후 난낭의 수를 세어 평균값을 통해 조사를 실시한 결과이다(Table 6). 공주의 오이재배 농가에서 채취한 토양을 이용한 결과로는 dazomet 처리시 가장 적은 수의 난낭을 형성하였으며 abamecitn의 경우 4.5개로 가장 많은 수의 난낭을 형성한 것을 확인하였다. 부여의 딸기 재배농가의 토양을 이용하였을 경우에는 abamectin과 cadusafos를 처리하였을 경우에 평균 0.5개로 가장 적은 수의 난낭을 형성하였다. 논산의 딸기와 수박을 윤작 재배하는 농가토양의 경우, BA12011과 fosthiazate 처리시 0.25개로 가장 적은 수의 난낭을 형성하였으며 abamectin 처리시 2.3개의 가장 많은 수의 난낭을 형성한 것을 제외하고는 비슷한 수준으로 난낭이 형성되었다. 진주 지역의 딸기재배 농가토양의 경우 abamectin 처리시 0.3개로 가장 적은 수의 난낭을 형성하였고, 곡성의 메론을 재배하는 농가토양의 경우 BA12011 처리시 0.5개의 난낭을 형성하였고, abamectin 처리시 6.5개로 비교적 많은 난낭을 형성한 것을 확인하였다.

오이재배포장에서 BA12011에 대한 살선충 효과

BA12011 약제의 효과검정을 위해 충남 공주 지역의 오이재배지를 선정하여 포장적용 실험을 실시하였다. 약제 처리 전 1회, 처리 후 2회 토양 내 식물기생성 선충의 밀도를 조사하였다. 약제 포장실험 결과 약제 살포 전 토양 내의 식물기생성 선충의 개체군 평균 밀도는 *Meloidogyne* spp.가 91.0, *Pratylenchus* spp.가 221.7, *Helicotylenchus* spp.가 659.3, 기타 선충이 76.0을 보였으며, 1차 약제처리 후 각 선충의 평균 밀도는 *Meloidogyne* spp.가 6.7, *Pratylenchus* spp.가 14.3, *Helicotylenchus* spp.가 50.7, 기타 선충이 18.3의 평균 밀도를 나타냈다. 2차 약제처리 후 토양 내 선충의 평균 밀도는 *Meloidogyne* spp.가 6.0, *Pratylenchus* spp.가 12.0, *Helicotylenchus* spp.이 49.3, 기타선충이 27.3의 비율을 보였다(Table 7). 각 종별 약제에 대한 평균 밀도 감소 정도를 확인한 결과 2차 처리 후 평균 밀도는 *Helicotylenchus* spp., *Pratylenchus* spp., *Pratylenchus* spp.순으로 나타났으며, 모든 종에 대하여 초기 처리시 방제 효과가 2차 처리시보다 높게 나타났음을 확인하였다.

고 찰

본 실험에서 사용된 지역별 토양 내에서 발생한 식물기생성 선충은 모든 지역에서 *Helicotylenchus* spp.의 경우 90.4%로 우점종으로 나타났으나 그에 따른 피해는 보고되어 있지 않은 것으로 보아 *Meloidogyne* spp.와 *Pratylenchus* spp.와는 다르게 외부기생성 선충이기에 보다 피해 발생력이 적은 것으로 사료된다. 토양 내 식물기생성 선충의 감염률을 조사한 결과 *Meloidogyne* spp.의 경우 86.5%, *Pratylenchus* spp.의 경우 63.5%, 그 외 선충으로 분류한 구침을 가지고 있는 식물기생성 선충의 감염률 또한 86.5%로 높은 비율을 보였다. *Meloidogyne* spp.와 *Pratylenchus* spp.가 차지하는 비율을 조사해본 결과, 공주를 제외한 모든 지역에서 *Meloidogyne* spp.의 비율이 높은 것으로 나타났고, 진주의 딸기 재배지에서는 다른 지역보다 *Meloidogyne* spp.와 *Pratylenchus* spp.의 비율이 현저히 낮게 나왔다. 작물별 토양 내 식물기생성 선충의 발생을 관찰한 결과, *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., *Helicotylenchus* spp.와 같은 대표 종들은 대부분의 토양시료에서 발견되었으나, 딸기재배지역에서는 기타 종으로 분류한 *Aphelenchoides* spp.가 나타났는데, 이는 딸기 재배지에서 주로 검출되는 딸기 잎선충으로 사료된다. 각 지역별 토양 시료에서 발생하는 식물기생성 선충의 종에 따른 약제별 처리 전후 평균 밀도 조사 후 비교한 결과, 토양을 채취한 지역별 각 종에 대한 약제의 방제효과가 다르게 나타난 것은 농가별로 작물의 차이에 의한 재배방법의 차이, 연작 년수의 차이, 그 동안 처리한 약제의 차이로 인한 결과로 사료된다. 대표적인 살선충제에 해당되는 fosthiazate의 경우 유기인계 살선충제로서 이미 미국의 Georgia에서 땅콩뿌리혹선충, *M. arenaria* 방제에서 효과를 검증한 바 있고(Minton et al., 1993), Florida에서 담배 뿌리혹선충, *M. javanica*(Rich et al., 1994), 캐나다에서 감자 뿌리썩이선충(Kimpinski et al., 1997) 등에서 이미 효과가 검증된 바 있으며, 땅콩뿌리혹선충의 밀도에 대한 방제효과가 상대적으로 높게 나타난 보고가 이루어진 바 있으며(Zhu et al., 2005), 이는 fosthiazate가 선충의 체내에 들어간 후 작용점인 cholinesterase를 저해하여 효과적으로 치사시키는 침투성 약제이기 때문이라고 유추할 수 있는데(Tomlin, 2003), 화학 약제를 통한 선충의 방제는 단기간 높은 효과를 나타내기에 시간대비 높은 효율성을 보이지만, 선충 방제와 더불어 천적 역할을 하는 다른 미생물의 감소로 인하여 선충의 밀도가 다시 높아질 가능성이 높다는 보고가 있다(Carpenter, 1981). 각 지역별 5가지 약제 처리 전후의 평균 밀도를 살펴본 결과 fosthiazate의 약제에 대한 처리 후의 식물기생성 선충 종별 밀도가 다른 약제 처리 후의 밀도보다 높게 나타났는데, fosthiazate의 유효성분의 약제가 수년간 걸쳐서 효과가 좋은 약제로 선발되어 주기적으로 처리해왔기에 다른 유효성분의 약제에 비하여 토양 내 선충에 대한 내성의 발달로 인한 결과로 사료된다. 다른 성분인 cadusafos의 경우 저독성 농약이나 미국에서는 사용이 금지되어 있고, 멕시코, 과테말라, 온두라스 등 중남미 지역의 바나나 생산국에서 많이 사용하며, 미국 내 수입하는 바나나에 대한 잔류허용기준치는 0.01ppm이다(EPA, 1999). Cadusafos는 접촉성 살선충제로서 토양에 오랜 기간

잔류하면서 선충의 부화를 억제하고, 이동을 방해하고, 뿌리로의 침입을 방해하는 작용을 가진다(Ibrahim and Haydock, 1999). 따라서 선충이 뿌리 내로 침입하기 전에 효과가 높다는 보고가 된 바 있다(Kim and Choi, 2001). 각 지역별 토양을 가지고 약제의 처리 전후의 평균밀도를 살펴본 결과 cadusafos의 유효성분을 가진 약제 처리 후의 밀도가 전남 곡성의 *Pratylenchus* spp.에 대하여만 초기 밀도보다 후기 밀도가 상승하였고 다른 부분에서는 감소함을 확인하였다. 곡성 메론 재배지의 경우 *Pratylenchus* spp.에 대한 처리 전후 평균 밀도가 소폭 상승함을 확인하였는데, 이는 전년도와 비교했을 때 메론 재배지에 대한 식물기생성 선충의 피해 보고가 많아짐에 따른 결과로 사료된다. 따라서 *Pratylenchus* spp.의 세밀한 분자학적 동정을 통해 발생 종의 변화 혹은 메론 작물에 대한 저항성 발현 가능성에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

각 지역의 토양을 사용하여 난낭을 형성하는데 각 약제의 방제 효율을 알아보기 위한 실험에서는 논산, 곡성, 공주 지역의 토양을 사용한 결과, abamectin 처리시 난낭의 억제의 정도가 가장 낮게 나타났으나 부여의 토양을 이용한 경우에는 abamectin 처리시 가장 높은 난낭의 억제 효율을 나타냈다. 이는 앞서 말한 것처럼 각 토양에서 뿌리혹선충에 대한 좀 더 정밀한 동정을 필요로 하며, 그에 따른 약제의 저항성 유무를 파악할 필요가 있을 것으로 사료된다. BA12011약제에 대한 효과를 검정한 결과, 다른 유효 성분의 약제와 비슷한 수준의 방제 효과를 보이는 것을 확인하였다. 이미 *Pratylenchus* spp. 종에 대한 다른 약제의 저항성 여부가 확인되는 곡성의 지역에 대하여 높은 방제효과를 보이므로 친환경 방제제로서의 역할이 기대된다. BA12011 뿐만 아니라 이미 사군자, 여로, 멀구슬, 생강 등과 같은 한약재를 혼합한 추출물의 효과 상승에 대한 연구 결과(Jung and Han, 2004; Elbadri et al., 2008)를 토대로 추후 고삼추출물과 함께 처리하였을 때 상승효과를 나타내는 혼합 물질의 선택 및 적절한 조성에 관한 연구, 추출부위나 추출 방법에 따른 살선충 효과 비교를 통한 효과가 높아지는 친환경적 방제제의 개발의 필요성이 대두되는 바이다.

사 사

본 논문은 2013년 농촌진흥청 공동연구사업 [PJ008976012013] 연구 과제를 수행하는 과정에서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었습니다.

Literature Cited

Abad, P, Gouzy, J., Aury, J.M., Castagnone-Sereno, P., Danchin, E.G.J., Deleury, E., 2008. Genome sequence of the metazoan plant-parasitic nematode *Meloidogyne incognita.* Nat. Biotechnol. 26, 909-915.

Birch, A.N.E., Robertson, W.M., Fellows, L.E., 1993. Plant products to control plant parasitic nematodes. Pestic. Sci. 39, 141-145.

Boina, D.R., Lewis, E.E., Bloomquist, J.R., 2008. Nematicidal activity of anion transport blockers against *Meloidogyne incognita*, *Caenorhabditis elegans* and *Heterorhabditis bacteriophora*. Pest Manage. Sci. 64, 646-653.

Carpenter, S.R., 1981. Effect of control measures on pest population subject to regulation by parasites and pathogens. Theoret. Biol. 92(2), 181-184.

Chen, Z.X., Dickson, D.W., McSorley, R., Mitchell, D.J., Hewlett, T.E., 1996. Suppression of *Meloidogyne arenaria* race 1 by soil application of endospores of *Pasteuria penetrans*. J. Nematol. 28, 159-168.

Cho, H.J., Han, S.C., Choi, D.R., 1986. Screening peanut, pepper, cucumber, and tomato varieties for resistance to root-knot nematode, *Meloidogyne hapla*. Res. Rept. RDA. (P. M&U). 28, 94-97.

Cho, M.R., Lee, B.C., Kim, D.S., Jeon, H.Y., Yiem, M.S., Lee, J.O., 2000a. Distribution of plant-parasitic nematodes in fruit vegetable production areas in Korea and identification of root-knot nematodes by enzyme phenotypes. Korean J. Apple. Entomol. 39(2), 123-129.

Cho, M.R., Na, S.Y., Yiem, M.S., 2000b. Biological control of *Meloidogyne arenaria* by *Pasteuria penetrans.* J. Asia-Pacific Entomol. 3, 71-76.

Choi, D.R, J.K. Lee, B.Y. Park and M.N. Chung. 2006. Occurrence of root-knot nematodes in sweet potato fields and resistance screening of sweet potato cultivars. Kor. J. Appl. Entomol. 45(2): 211-216.

Choi, Y.E., 2001. Economic insects of Korea 20. Nematoda (Tylenchida, Aphelenchida). Insecta Koreana Suppl. 27. Nat. Inst. Agr. Sci. & Tech. Junghaeng-sa, Suwon, Korea. 391pp.

Elbadri, G.A.A., Lee, D.W., Park, J.C., Choo, H.Y., Kim, H.H., 2008. Inhibition of *Meloidogyne incognita* egg hatching by herbal extracts. Korean J. Pesticide Sci. 12, 155-161.

EPA. 1999. Cadusafos (Rugby, Apache) availability of revised risk assessment 6/99. Federal Register. 64, 36683-36685.

Gurr, G.M., 1992. Control of potato cyst nematode (*Globodera pallida*) by host plant resistance and nematicide. Ann. Appl. Biol. 121, 167-173.

Han, S.C, Kim, Y.G., 1997. Screening resistant red pepper varieties to *Meloidogyne hapla* and their resistance mechanisms. Korean J. Appl. Entomol. 36(2), 185-191.

Heald, C.M., Robinson, A.F., 1987. Effects of soil solarization of

Rotylenchus reniformis in the Lower Rio Grande Valley of Texas. J. Nematol. 19, 93-103.

Ibrahim, S.K., Haydock, P.P.J., 1999. Cadusafos inhibits hatching, invasion, and movement of the potato cyst nematode *Globodera pallida*. J. Nematol. 31, 201-206.

Johnson, A.W., Dowler, C.C., Handoo, Z.A., 2000. Population dynamics of *Meloidogyne incognita, M. arenaria,* and other nematodes and crop yields in rotations of cotton, peanut, and wheat under minimum tillage. J. Nematol. 32, 52-61.

Johnson, A.W., Minton, N.A., Brenneman, T.B., Todd, J.W., Herzog, G.A., Gascho, G.J., Baker, S.H., Bondari, K., 1998. Peanut-cotton-rye rotations and soil chemical treatment for managing nematodes and thrips. J. Nematol. 30, 211-255.

Jung, C., Wyss, U., 1999. New approaches to control plant parasitic nematodes. Appl. Microbiol. Biotechnol. 51, 439-446.

Jung, D.C., Han, S.C., 2004. Biological control of the nothern root-knot nematode, *Meloidogyne hapla* in the fields of *Codonopsis lanceolata*. Korean J. Appl. Entomol. 43, 27-34.

Kim, D.G., 2001. Occurrence of root-knot nematodes on fruit vegetables under greenhouse conditions in Korea. Res. Plant Dis. 7, 69-79.

Kim, D.G., Choi, S.K., 2001. Effects of incorporation method of nematicides on reproduction of *Meloidogyne arenaria.* Korean J. Appl. Entomol. 40, 89-95.

Kim, H.H., Choo, H.Y., Park, C.G., Lee, S.M., Kim, J.B., 1998. Biological control of the northern root-knot nematode, *Meloidogyne hapla* with plant extract. Korean J. Appl. Entomol. 37, 199-206.

Kim, J.I., Han, S.C., 1998. Effect of solarization for control of root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.). Korean J. Appl. Entomol. 27(1), 1-5.

Kim, Y.J., 1989. Nematodes associated with ornamental plants in Korea. Thesis on Doctor's degree, Graduate School, Kyungpook National University. 93pp.

Kimpinski, J., Aresenault, W.J., Sanderson, J.B., 1997. Fosthiazate for suppression of *Pratylenchus penetrans* in potato on Prince Edward Island. J. Nematol. 29(4S), 685-689.

Kwon, T.Y., Jung, K.C., Park, S.D., Sim, Y.G., 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.

LaMondia, J.A., 1999. Influence of rotation crops on the strawberry pathogens *Pratylenchus penetrans, Meloidogyne hapla,* and *Rhizoctonia fragaiae.* J. Nematol. 31(4S), 650-655.

Lim, J.R., Hwang, C.Y., Ryu, J., Choi, Y.G., 2006. Some medicinal plants suppressed reproduction of *Meloidogyne hapla* in *Codonopsis lanceolata* Trautv. Korean J. Appl. Entomol. 45, 339-346.

Minton, N.A., Brenneman, T.B., Bondari, K., Harrison, G.W., 1993. Activity of fosthiazate against *Meloidogyne arenaria*, *Frankliniella* spp., and *Sclerotium rolfsii* in peanut. Peanut Science 20, 66-70.

Neher, D.A., 2001. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. J. Nematol. 33, 161-168.

Park, S.D., Kwon, T.Y., Choi, B.S., Lee, W.S., Choi. Y.E., 1995a. Studies on integrated control against root-knot nematode of fruit vegetable (oriental melon and cucumber) in vinyl house. Korea J. Appl. Entomol. 34, 75-81.

Park, S.D., Kwon, T.Y., Jun, H.S., Choi, B.S., 1995b. The occurrence and severity of damage by root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in controlled fruit vegetable field. RDA. J. Agric. Sci. 37, 318-323.

Prakash, A., Rao, J., 1997. Botanical pesticides in agriculture. CRC Press Inc. Boca Raton. 461pp.

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., Tervola, R.S., 1994. Evaluation of fosthiazate for management of *Meloidogyne javanica* in Florida flue-cured tobacco. J. Nematol. 26(4S), 701-704.

Sasser, J.N., Kirby, M.F., 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.

Smittle, D.A., Johnson, A.W., 1982. Effects of management practices on *Meloidogyne incognita* and snap bean yield. J. Nematol. 14, 63-68.

Southey, J.F., 1970. Laboratory methods for work with plant and soil nematodes. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (Ed.), Technical Bulletin No. 2. London: Her Majesty's Stationary Office.

Taylor, A.L., Sasser, J.N., 1978. Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). North Carolina State University Graphics. Raleigh, USA. 111pp.

Thorne, G., 1961. Principles of nematology. McGraw-Hill Book Co. Inc. New York, Toronto, London. 553pp.

Tomlin, C.D.S., 2003. The pesticide manual. British Crop Protection Council. 502, BCPC, Surrey.

van der Putten, W.H., Cook, R., Costa, S., Davies, K.G., Fargette, M., Freitas, H., Hol, W.H.G., Kerry, B.R., Maher, N., Mateille, T., Moens, M., de la Pena, E., Piskiewicz, A.M., Raeymaekers, A.D.W., Rodriguez-Echeverria, S., van der Wurff, A.W.G., 2006. Nematode interactions in nature: models for sustainable control of nematode pests of crop plants? Adv. Agron. 89, 227-260.

Viglierchio, D.R. and Schmitt, R.V., 1983. On the methodology of Nematode Extraction from field samples: Baerman funnel modifications. J. Nematol. 15(13), 438-444.

Weaver, D.W., Rodriguez-Kabana, R., Garden, E.L., 1995. Comparison of crop rotation and fallow for management of *Heterodera glycines* and *Meloidogyne* spp. in soybean. J. Nematol.

27(4S), 585-591.
Wesemael, W.M.L., Viaene, N., Moens, M., 2011. Rootknot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Europe. Nematol. 13(1), 3-16.
Yang, K.J., Doh, E.S., Kim, K.H., 1996. Screening and utilization of antagonistic plants to control northern root-knot nematode in ginseng fields. Korean J. Ginseng Sic. 20, 331-338.
Zhu, Y.Z., Park, D.S., Cho, M.R., Hur, J.H., Lim, C.K., 2005. Suppression of Meloidogyne arenaria by different treatments of *Pasteuria penetrans*. J. Pesticide Science. 9(4), 437-441.