

토양중 유기물함량 차이에 따른 고구마뿌리혹선충 (*Meloidogyne incognita*)에 대한 Carbofuran과 Ethoprophos의 효력변동, 수직이동성 및 잔효성 조사

Effect of Soil Organic Matter Content on Activity Change, Vertical Migration, and Persistence of Two Nematicides, Carbofuran and Ethoprophos, to Root-Knot Nematode, *Meloidogyne incognita*

송 철 · 황인택 · 장경수 · 조광연

Cheol Song, In Taek Hwang, Kyoung Soo Jang and Kwang Yun Cho

Abstract - Effects of organic matter content in soil on activity, vertical migration, and persistence of two nematicides, carbofuran and ethoprophos, to root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, were investigated. As the organic matter content increased, activity of the nematicides tended to be reduced. Both nematicides exhibited control values of more than 80% to *M. incognita* in 0~2 cm depth soil layer from the surface, regardless of organic matter content in soil. In 2~4 cm depth soil layer, however, the control value of the nematicides varied with the organic matter content in soil. The control value of carbofuran in the soil layer was ranged from 10 to 30%, depending on the soil organic matter content. In contrast, ethoprophos had no control value against *M. incognita* in the soil layer, except that the nematicide had a control value of 30% when the organic matter content was 0.4%. Furthermore, ethoprophos had no effect on controlling *M. incognita* in soil layer of below 4 cm, whereas control values of carbofuran were approximately from 5 to 20% in all test soils having different organic matter contents. These results indicate that carbofuran has more vertical migration effect than ethoprophos. Persistence of the two nematicides was also decreased with increasing soil organic matter content. Half life of carbofuran was 2~3 weeks in soil containing 0.4% organic matter, whereas it was found to be 1 week in soils containing 0.8 and 1.6% of organic matter. On the other hand, activity of ethoprophos was reduced to half in 3~4 weeks and in 2~3 weeks in soil containing 0.4 and 0.8%, and 1.6% of organic matter, respectively. However, no activity of the both nematicides was found in soil containing 3.2% of organic matter.

Key Words - Soil organic matter, Vertical migration, Persistence effect, Nematicide, *Meloidogyne incognita*

초 록 - 토양중 유기물 함량 차이에 따른 토양내에서 carbofuran과 ethoprophos의 약효 변화, 수직이동성 및 잔효성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 고구마뿌리혹선충 (*Meloidogyne incognita*)을 공시하여 실험하였다. 두 약제 모두 토양중 유기물 함량이 많을수록 약효는 감소하였다. 약제의 수직이동성은 토양 표면에서 0~2 cm 층에서는 유기물의 함량에 관계없이 두 약제 모두 80% 이상의 높은 방제가를 보였으나, 2~4 cm 층에서는 두 약제의 방제가가 다르게 나타났다. Carbofuran의 경우 유기물 함량에 따라 10~30%의 방제가를 나타냈으나, ethoprophos는 0.4% 유기

물 토양에서만 약 30%의 방제가를 나타냈으며, 나머지 유기물 토양에서는 효과가 거의 없었다. 또한 4cm 이하의 토양에서는 carbofuran은 대부분의 토양에서 5~20%의 내외의 약효를 나타냈으나, ethoprophos는 거의 나타내지 않았다. 따라서, 두 약제 중에서 토양중 이동성은 carbofuran이 더 큰 것으로 나타났다. 토양중 유기물 함량은 두 약제의 잔효지속기간에 큰 영향을 주었으며, 유기물 함량이 증가함에 따라 약효지속기간이 감소하였다. 약효의 반감기는 carbofuran의 경우 유기물 함량이 0.4%인 토양에서는 2~3주로 나타났으나, 0.8%, 1.6% 토양에서는 1주 정도였다. 한편, ethoprophos의 경우 0.4, 0.8%의 토양에서는 3~4주, 1.6%인 토양에서는 1~2주로 나타났다. 그러나 두 약제 모두 3.2%의 유기물함량 토양에서 약제의 효과가 거의 나타나지 않았다.

검색어 - 토양유기물, 수직이동성, 잔효성, 살선충제, *Meloidogyne incognita*

대부분의 살선충제는 입제나 혼중제의 형태로 토양에 처리되어 목표로 하는 식물 기생선충에 작용하여 효력을 발생시킨다. 또 경엽처리형 살선충제라 하더라도 약제의 많은 부분이 토양에 떨어져 토양 표면으로부터 토양내로 침투되기 마련이다 (Chun *et al.*, 1986). 따라서 화학적 방제수단으로 토양에 처리되는 살선충제는 토양의 성질, 구성 조건, 환경 등에 의해 그 효과가 달라지게 된다 (Dropkin, 1980). 그러므로 토양의 특성과 관련지어 살선충제의 특성을 파악하는 것은 대단히 중요하다고 생각된다.

토양 내에서 약제에 관여하는 환경인자로서는 토양의 온도, 수분 함량, 토양의 구성비, 토양내의 교질에 의한 흡착, 토양 내에서의 용탈, 휘발 등의 물리적 요인과 미생물에 의해 분해되어지는 생물적 요인, 광분해에 의한 화학적 요인 등이 있다. 이런 과정들에 의해 약제는 그 특성을 상실하기도 하고, 그 활성이 소실되기도 한다 (Heald and Self, 1967; Chun *et al.*, 1986). 토양 처리형 살선충제이건 경엽처리형 살선충제이건 간에 토양에 혼입된 약제는 토양의 성질에 따라 많은 영향을 받으며 또한 토양의 온도나 습도, 재배 양식, 기타 조건 등에 따라 약효가 달라진다 (Johnson and Lear, 1969). 특히 토양에 처리된 약제의 수직이동성은 약제의 물리적 소실 과정중 하나로서 물 또는 gas상태로 토양중으로 이동한다. 이때 약제는 토양의 성질에 따라 흡착되는 정도가 다르게 나타나는데 토양중에 다량으로 흡착되는 약제는 약제의 이동폭이 좁고, 반대로 흡착되는 정도가 적은 약제는 토양 내에서의 약제의 이동폭이 넓다 (Bromilow, 1973). 따라서 토양에 처리된 약제가 토양중 어느 범위까지 이동하는가 하는 것은 약제들의 살선충 효과를 좌우하며 나아가서 토양중의 잔효기간에도 영향을 미치는 중요한 요소가 된다 (Apt and Caswell, 1988). 토양중의 점토는 0.002mm 이하의 미세한 입자로 되어 있어, 물과 양분을 흡착하는 힘이 클 뿐 아니라 음전하를 띠고 있어서 양이온과 잘 흡착한다고 한다. 특히 토양유기물에는 -OH, -O-, -OCH₃ 등의 작용기를 가지고 있기 때문에 대부분의 유기농약과 치환이 가능하여 농약이 잘 흡착되어, 결국 약효가 감소한다 (Kim, 1985).

이와 같이 토양내의 여러 조건들이 토양내로 유입된 약제들의 활성에 직, 간접적으로 영향을 주고 있으므로, 국내에서 살선충제로 사용중인 carbofuran과 ethoprophos의 경우를 조사하고자 본 실험을 실시하였다. 즉, 토양내의 유기물이 토양에 처리되어진 살선충제에 대해 어떠한 영향을 미치는지 몇몇 생물학적인 실험 방법을 통하여 조사하였다.

재료 및 방법

공시선충

본 실험에 사용된 고구마뿌리혹선충 (*Meloidogyne incognita*)은 1988년 경남 남지 지역의 비닐하우스에서 고추 뿌리로부터 채집하여 100 ppm의 streptomycin으로 24시간 멸균후 화학연구소내의 온실에서 약제의 도태없이 토마토 (홍농 대형복수)를 기주식물로 하여 누대 사육하여 온 것을 이용하였다.

공시약제

Carbofuran (76.5%, 2, 3-dihydro-2, 2-dimethyl-7-benzofuranyl methylcarbamate)과 ethoprophos (90%, O-ethyl S, S-dipropyl phosphorodithioate) 원제를 농약회사로부터 분양받아 사용하였다.

선충 접종 및 유기물 토양의 준비

선충의 접종 방법은 *M. incognita*가 감염된 토마토 뿌리를 깨끗이 씻은 후, 0.5%의 sodium hypochlorite solution (NaOCl)을 이용하여 뿌리혹선충의 난낭 (egg mass)으로 부터 알들을 분리하였고, Baermann funnel (Townshend, 1963)법으로 *M. incognita*의 침투 충태인 2령 유충으로 부화시킨 후 접종원으로 사용하였다. 지름이 5.5 cm인 포트에, 파종 후 6일된 오이 (한농 하우스스백다다기)유묘를 이식하면서 오이의 뿌리 근처에 2령 유충을 300마리/pot씩 접종하였다.

유기물 토양의 조제는 유기물원으로 peat moss를 dry oven에서 6시간 동안 건조시킨 후, 마쇄기를 이용하여 잘게 부수고 뿌리혹선충의 피해가 큰 사질토 (sand 77%, silt 11%, clay 12%)에 중량비로 peat moss

을 첨가하여 토양의 유기물 함량이 각각 0.4%, 0.8%, 1.6%, 3.2%가 되도록 하였다 (Shane and Barker, 1986).

유기물 함량별 약효조사

토양중의 유기물 함량이 살선충 효과에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 유기물 함량별로 carbofuran과 ethoprophos 두 살선충제를 파종 후 6일된 오이 유묘와 함께 뿌리혹선충이 접종된 토양에 처리하였다. 약제의 처리량은 25 g a.i./ha, 100 g a.i./ha, 400 g a.i./ha 이었고, 처리구 마다 각각 5 반복으로 하였으며, 약제처리 2주 후에 뿌리에 형성된 gall 수를 무처리구와 비교하여 방제가로 나타내었다.

유기물함량별 약제의 수직이동성 조사

토양에 처리된 약제들이 수직으로 이동되는 정도를 조사하기 위하여 토양컬럼크로마토그래피법, 토양박층크로마토그래피법, 토양후층크로마토그래피법 등이 사용되어지는데, 본 실험에서는 토양컬럼크로마토그래피법을 택하여 Hwang 등이 제작한 토양컬럼set을 이용하였다 (Hwang et al., 1990). 유기물의 함량별로 토양을 컬럼set에 충전시킨 후, 토양내의 수분의 함량을 일정하게 하기 위하여 저면관수에 의한 방법으로 컬럼set내의 토양 표면까지 완전히 적신 후에 24시간 동안 자연 누수를 시켰다. 약제의 처리는 spary에 의한 방법으로 carbofuran과 ethoprophos을 400 g a.i./ha 씩 4반복으로 처리하였고, 24시간 후 약제의 이동을 돕기 위하여 20 mm/day의 인공강우를 하였다. 또 24시간 후 컬럼set을 분해하여 2 cm씩 10 cm까지 5단계의 깊이의 토양을 취토하여, 지름이 5.5 cm인 포트에 기주식물과 함께 선충을 접종하여 2주 후 뿌리에 형성된 gall의 수와 약제를 처리하지 않은 무처리구의 뿌리에 형성된 gall의 수와 비교하여 방제가로 나타내었다.

유기물 함량별 약제의 잔효성조사

약제를 처리하였을 때 토양중의 유기물이 carbofuran과 ethoprophos의 잔효에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위하여, 각각의 유기물 토양에 약제처리 당일 (0주째)부터 5주일 동안 1주일 간격으로 6회에 걸쳐 약제의 잔효성을 조사하였다. 살선충제의 처리 방법은 유기물 토양에 400 g a.i./ha의 carbofuran과 ethoprophos의 수용액을 토양관주법으로 미리 일괄 처리한 후 약제가 처리된 포트에 매주마다 오이를 파종하였고, 파종 후 6일이 경과된 오이 유묘에 뿌리혹선충의 2령 유충을 접종하였다. 선충의 접종은 약제 처리한 토양의 표면 상태를 보존하기 위하여 가는 바늘을 이용하여 포트마다 세 곳의 흙을 파서 약 300마리씩 접종하였다. 또 수분의 공급은 토양 표면이 파괴되지

않고, 처리된 약제가 포트 밑으로 흐르지 않도록 wash bottle을 이용하여 소량씩 공급하였다. 모든 실험은 온도 25°C, 16L:8D의 광조건의 실험실에서 수행하였으며, 처리구마다 5반복으로 실시하였다. 약효 검정은 선충 접종 2주후에 오이의 뿌리에 형성된 gall의 수를 조사하여 약제 무처리구와 비교하여 방제가를 나타내어 약제의 잔효성을 판단하였다.

결과 및 고찰

유기물함량별 약효조사

토양중 유기물 함량에 따른 뿌리혹선충에 대한 carbofuran, ethoprophos의 약효를 그림 1에 나타내었다. 두 약제 모두 유기물의 함량이 많을수록 약효가 감소하였고, 약제의 농도가 높아질수록 유기물 함량 변화에 따른 약효의 차이는 현저하였다. 25 g/ha 처리구에서는 0.4%의 유기물 토양과 3.2% 유기물 토양 사이에 약 20%의 방제가 차이를 보여주었고, 100 g 처리구에서는 40~50%의 차이를 나타내었다. 또, 400 g 처리구에서는 0.4%의 유기물 토양의 경우 두 약제 모두 100%의 방제가를 나타낸 반면, 0.8% 토양에서는

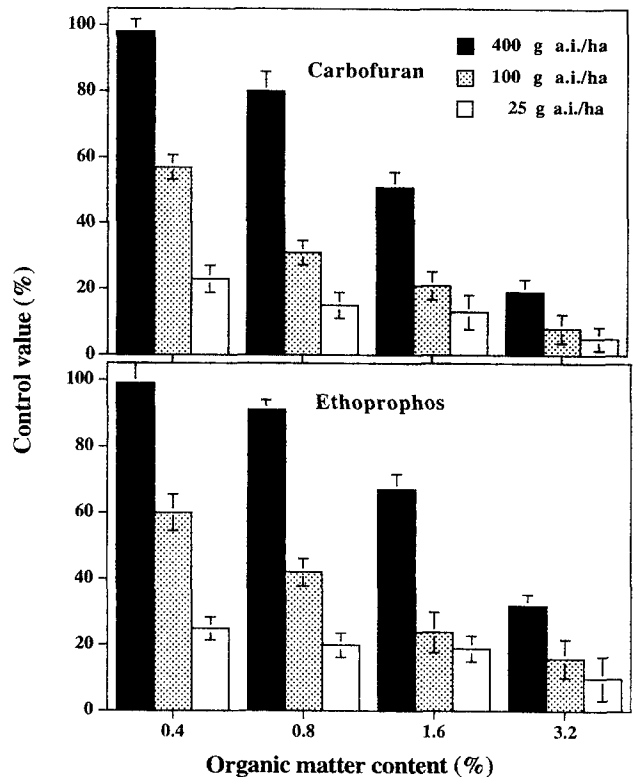


Fig. 1. Effect of soil organic matter content on control value of *Meloidogyne incognita* by the amount of carbofuran and ethoprophos. Bars indicate standard error of the mean.

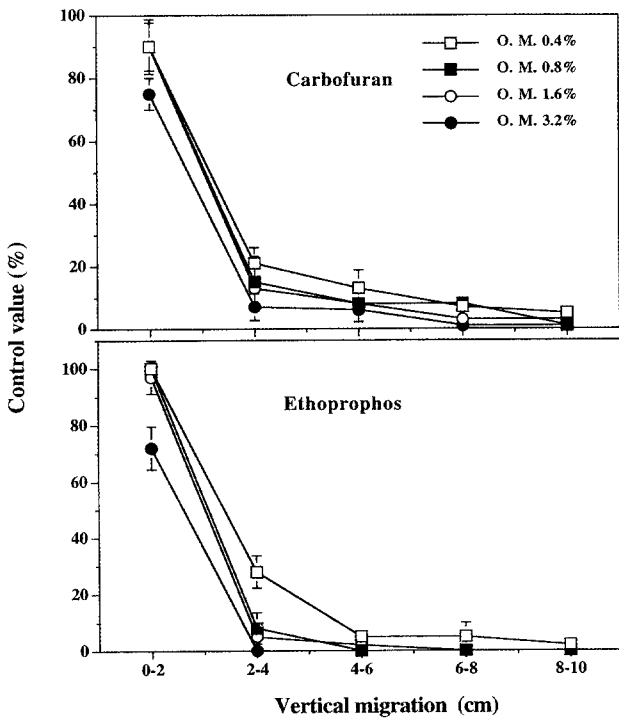


Fig. 2. Effect of soil organic matter (O.M.) content on vertical migration of carbofuran and ethoprophos for the control of *Meloidogyne incognita*. Bars indicate standard error of the mean.

80~90%의 방제가를 나타내었고, 1.6%의 토양에서는 50~70%의 방제가를 나타내었다. 3.2% 토양에서는 10~30%의 방제가를 나타내어 0.4%의 토양과 비교하였을 때 70~90%의 차이를 나타내어 토양의 유기물 함량이 많을수록 농도간의 약효의 차가 큰 것으로 나타났다. 이것은 토양의 유기물 함량이 많을수록 토양에 처리되어진 대부분의 살충제, 살균제들의 성분들이 유기물에 의해 흡착됨으로써 약효가 감소한다는 보고와 일치하였다 (Cowles and Villani 1994; Valverde-Gracia *et al.*, 1988). 한편, carbofuran과 ethoprophos의 유기물 토양내에서 약제간에 효과의 차이는 비슷한 경향을 나타내었고, carbofuran쪽의 약효가 ethoprophos보다 동일 처리량, 동일한 유기물 함량에서의 약효가 약간 우수한 것으로 나타났다.

유기물함량별 약제의 수직이동성 조사

토양에 처리되어진 약제들이 유기물의 함량에 따라 토양내에서 수직으로 이동하는 것을 조사하기 위하여 *M. incognita*에 대해 독성을 조사한 결과를 그림 2에 나타내었다. 두 약제 모두 약제가 처리된 토양의 표면에서 2 cm 깊이 (0~2 cm)에서는 *M. incognita*에 대해 80% 이상의 높은 방제효과를 나타낸 반면, 나머지 깊

이 (2~10 cm)에서는 *M. incognita*에 대한 방제효과가 낮아 토양의 깊이에 따라 독성의 차이가 크게 나타났다. 한편, 처리된 두 약제의 수직이동성 비교 결과, 유기인제인 ethoprophos의 경우 0.4%의 유기물 토양에서는 2~4 cm의 깊이에서 30%의 이상의 방제가를 나타냈지만, 그 이하의 토양에서는 방제가가 현저하게 낮아지는 경향을 보였다. 또, 유기물의 함량이 0.8%, 1.6%, 3.2% 토양에서는 2 cm 이하에서 거의 약효를 나타내지 않았다. 카바메이트계의 carbofuran은 2~4 cm의 깊이에서 유기물 함량에 따라 10% 이상의 방제가를 보였고, 4~10 cm의 깊이에서도 유기물 함량에 관계없이 ethoprophos보다는 조금 나은 약효를 나타내었다. Goring (1967)의 보고에 의하면 살선충제의 토양표면의 처리시 선충을 가장 효과적으로 방제하기 위해서는 downward movement의 중요성을 제시하였는데, 본 실험에서는 두 약제 모두 토양의 표면으로부터 2 cm 부위에서만 약효를 나타내었다. 또, Brodie (1971)는 Goring (1967)의 보고를 인용하여 토양내에서 살선충제의 약효는 토양내의 수분 1g에 녹아 있는 약제의 량과 유기물 1g에 흡착되어 있는 약량과 반비례하여 결정된다고 하였는데 본 실험의 결과에 있어서도 토양내의 유기물이 많을수록 흡착에 의한 약효의 저하가 나타났다. 한편 Bromilow (1973)는 토양의 partition coefficient를 Q라 하였을 때

$$Q = \frac{\text{Chemical concentration in the soil organic matter}}{\text{Chemical concentration in the soil water}}$$

의 식을 나타내며, 유기인계 화합물인 fenamiphos의 경우는 Q값이 100 이상의 높은 값을 나타낸 반면, 카바메이트계 화합물인 aldicarb, oxamyl은 10 이하의 낮은 값을 나타내어 카바메이트계 화합물이 유기인계 화합물보다 토양에서의 이동성의 폭이 크음을 시사하였는데 본 실험에서는 두 약제 사이에 큰 차이는 없었으나 카바메이트계의 carbofuran이 다소 이동폭이 큰 것으로 나타났다.

유기물함량별 약제의 잔효성조사

유기물 함량 변화에 따라 처리되어진 두 살선충제의 잔효성을 조사한 결과를 그림 3에 나타내었다. carbofuran의 경우, 0.4%, 0.8%, 1.6%의 유기물 토양들은 약제 처리 후 첫 주에 비교적 급격히 약효가 감소하였으며 2주째 부터는 완만한 약효 감소를 보이다가 5주째는 거의 약효를 나타내지 않았다. 3.2%의 유기물 토양은 약제 처리 첫 주부터 나머지의 유기물 토양에 비해 현저한 약효 저하를 나타냈으며 거의 효과가 없었다. ethoprophos의 경우 0.4%, 0.8%의 유기물 토양에서 약제처리 후 3주 동안은 약효를 보였으나 4주째부터는 현저하게 약효가 감소하였고, 5주째는 전

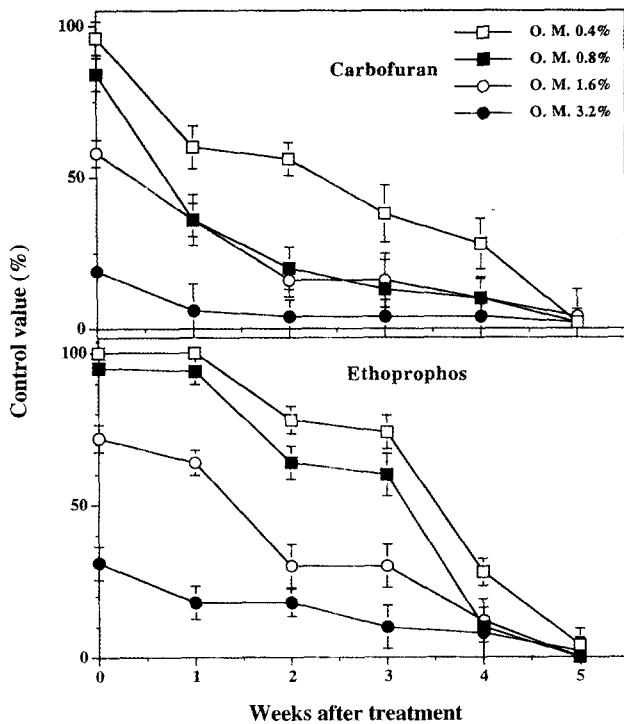


Fig. 3. Effect of soil organic matter (O. M.) content on the persistence of carbofuran and ethoprophos. Bars indicate standard error of the mean.

혀 약효를 나타내지 않았다. 1.6%의 유기물 토양의 경우는 2주째 부터 약효가 비교적 많이 감소하였으며, 4주째는 거의 약효를 나타내지 않다가 5주째는 0.4%, 0.8%의 유기물 토양들과 마찬가지로 전혀 약효를 나타내지 않았다. 또, 3.2%의 유기물 토양은 약제 처리 첫 주부터 0.4%, 0.8%의 유기물 토양에 비해 현저한 약효 저하를 나타내었다. 한편, 약효반감기는 carbofuran의 경우, 0.4% 유기물 토양은 2~3주 사이로 나타났으며, 0.8%, 1.6%의 유기물 토양은 약제처리 후 1주일 이내에 나타났다. ethoprophos의 경우 0.4%, 0.8% 유기물 토양은 3~4주째 약효반감기가 나타났으며, 1.6%의 유기물 토양의 경우는 1~2주 사이에 나타났다. 따라서 유기물 함량에 따른 약제의 잔효력과 약효반감기는 두 약제 모두 유기물의 함량이 많을수록 짧게 나타났다. 이것은 화합물이 토양내의 유기물이 많을수록 강하게 흡착되어 약효를 나타내지 않은 것으로 생각된다. Apt and caswell (1988)에 의하면 살선충제들은 화학적으로 다르기 때문에 처리시기, 처리량, 처리방법 등에 따라 그 효과가 달라지며, 토양 내에서의 살선충제의 약효 반감기는 토양내의 유기물과 깊은 관계가 있음을 보고하였다. 한편, ethoprophos는 20일 이상의 비교적 긴 약효반감기를 나타냈는데, 이것은 Lee (1987)의 보고에 의하면 같은 유기물계의

fenamiphos가 토양 유기물에 흡착되어 그 이동이 제한적이지만 살선충력을 가지는 fenamiphos sulfoxide는 반감기가 45~70일의 긴 반감기를 가지는 것과 비슷한 결과를 나타내었다.

이상의 결과, 본 실험에서 살선충제들은 토양내에서 유기물 함량의 차이에 따라 약효, 약제의 이동성 및 잔효성의 차이가 있음을 나타냈으며, 이것은 유기물 함량의 차이와 같은 soil type의 변화는 동일한 살선충제 및 동일 농도 일지라도 선충의 침투력이나 선충의 방제에 많은 영향을 줄 수 있음을 나타내었다.

인용문헌

Apt, W.J. and E.P. Caswell. 1988. Application of nematicides via drip irrigation. *Annals of Applied Nematology* 2: 1~10

Brodie, B.B. 1971. Differential vertical movement of nonvolatile nematicides in soil. *Journal of Nematology* 3(3): 292~295.

Bromilow, R.H. 1973. Breakdown and fate of oximecarbamate nematicides in crop and soils. *Ann. Appl. Biol.* 75: 473~479.

Chun, J.C., H.S. Ryang, J.C. Kim and B.H. Kang. 1986. Research on herbicide behavior in soil and plants in Korea. *Korean J. of Weed Science* 6(s): 149~155.

Cowles, R.S. and M.G. Villani. 1994. Soil interactions with chemical insecticides and nematodes used for control of Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) Larvae. *J. Econ Entomol.* 87(4): 1014~1021.

Dropkin, D.H. 1980. Nematode control. *In* Introduction to plant nematology pp. 257~278.

Goring, C.A.I. 1967. Physical aspects of soil in relation to the action of soil fungicides. *Ann. Rev. Phytopathol.* 5: 285~318.

Heald, C.M. and R.L. Self. 1967. Control of root-knot nematodes on dwarf Japanese holly and Japanese boxwood with phosphophate nematicides. *Plant Dis. Rep.* 51: 1035~1038.

Hwang, I.T., S.J. Koo, K.S. Hong and K.Y. Cho. 1990. Evaluation of vertical migration of herbicides in soil. *Korean J. of Weed Science* 10: 30~36.

Jhonson, D.E. and B. Lear. 1969. The effect of temperature on the dispersion of 1, 2-dibromo-3 chloopropane in soil. *J. of Nematol.* 1: 116~121.

Kim, G.U. 1985. Soil types, cultivation method and crop injury of herbicide (1). *Korean Agrochemical News magazine* 11: 28~37.

Lee, C.C. 1987. Sorption and degradation parameters for modeling nematicide fate in soil. Ph.D. thesis, University of Hawaii, Honolulu, HI.

Shane, W.W. and K.R. Barker. 1986. Effects of temperature, plant age, soil texture, and *Meloidogyne incognita* on early growth of soybean. *J. of Nematol.* 18(3): 320~327.

Townshend, J.L. 1963. A modification and evaluation of the apparatus for the Oostenbrink direct cottonwool filter extraction method. *Nematologica* 9: 106~110.

Valverde-Gracia, A., E. Gonzalez-Paradas, M. Villafranca-Sanchez, F.D. Rey-Bueno and A. Garcia-Rodriguez. 1988.

Adsorption of thiram and dimethoate on Almeria soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1571~1574.

(1998년 4월 1일 접수, 1999년 1월 8일 수리)