

## *Pasteuria penetrans*의 처리방법에 따른 땅콩뿌리혹선충 (*Meloidogyne arenaria*) 방제효과

Yong-Zhe Zhu<sup>1</sup> · 박동식<sup>2</sup> · 조명래<sup>3</sup> · 허장현<sup>2</sup> · 임춘근<sup>4</sup>

<sup>1</sup>中國萊陽農學院 植物保護學院, <sup>2</sup>강원대학교 농업생명과학대학 자원생물환경학과, <sup>3</sup>농촌진흥청  
고령지농업연구소, <sup>4</sup>강원대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

**요약** : 본 연구는 국내토착 토양세균인 *Pasteuria penetrans* 내생포자의 처리방법에 따른 땅콩뿌리혹선충 (*Meloidogyne arenaria*) 방제효과를 파악하고자 수행하였다. 이를 위해 *P. penetrans* 내생포자의 농도( $3 \times 10^4$ ,  $3 \times 10^5$  및  $3 \times 10^6$  endospores/5 g medium)별로 500마리 땅콩뿌리혹선충에 각각 부착한 후 기주식물인 토마토 뿌리에 접종하여 14주 후 뿌리에 형성된 뿌리혹 개체 수로 농도에 따른 선충방제 효과를 파악하였다. 그 결과 80%이상 방제효과를 보인  $3 \times 10^5$  수준의 *P. penetrans* 내생포자를 500마리의 선충만을 접종한 토양과 혼합하여 처리한 시험구(토양혼화처리)와 토양표면에 처리한 시험구(토양표면처리)로 구분하여 방제효과를 비교하였다. 이 중 방제효과가 높았던 토양혼화처리방법을 이용하여 *P. penetrans*와 일본 상품인 PASTORIA® 그리고 국내에 등록된 살선충제인 선충단(fosthiazate)과의 방제효과를 상호 비교하였다. 실험결과 *P. penetrans*의 농도가 높고 토양과 혼합하여 처리할 시 방제효과가 높았으며, *P. penetrans* 처리가 일본 제품보다는 우수한 방제효과를 보였고 국내 시판 화학방제제와는 유사하였다. (2005년 11월 15일 접수, 2005년 12월 20일 수리)

key words : 살선충제, 땅콩뿌리혹선충, *Pasteuria penetrans*.

### 서 론

뿌리혹선충류(*Meloidogyne* spp.)는 1850년대 영국에서 최초로 발견되어 현재 총 78종이 세계 여러 나라에 분포되어있으며(Elekcioglu, 1995; Ko et al., 1995) 2,000여 종의 식물에 피해를 주고 있고, 이로 인해 연간 10~15%의 농작물과 원예작물의 생산량 감소로 10억 달러 이상의 피해를 준다고 보고되고 있다(Sasser and Freckmann, 1987; Jung and Wyss, 1999).

국내의 경우 시설재배지에서 동일 작물의 연중 재배로 토양 중 선충 발견이 증가하고 피해액과 피해 대상 작물이 확대되고 있으며(김과 한, 1988; 김 등, 1998; Cho et al., 2000), 이를 방제하기 위해 토양 개량, 물을 이용한 침수 및 태양열을 이용한 물리적 방제와 저항성 품종의 육종이나 윤작 등 작부체계에 따른 경종적 방제, 그리고 살선충제를 이용하는 화학적 방제 등 다양한 방제법이 사용되고 있다(Chen et al., 1996; 김과 한, 1988; 박 등, 1995; 한과 김, 1997). 그러나 이와 같은 방법들은 고가의 비용, 많은 인력과 시간의 요구 등으로 실질적 사용에는 많은 어려움이 있다. 최근 토양 세균인 *Pasteuria*

*penetrans*를 이용한 생물학적 방제법이 각광받고 있으며, 이를 실용화 하기위한 단계로 *P. penetrans*의 대량 증식법 체계확립에 대해 본 연구진들은 *P. penetrans*의 선충 부착 및 증식 실험결과를 보고한 바 있다(박 등, 2005). 이를 토대로 본 연구에서는 국내토착 토양 세균인 *P. penetrans* 내생포자의 처리방법에 따른 땅콩뿌리혹선충(*Meloidogyne arenaria*) 방제효과를 확인하기 위하여 *P. penetrans* 내생포자의 농도별 방제효과를 알아보았으며, 그 중 높은 효과를 보인 농도를 선정하여 토양혼화처리와 표면처리구로 구분하여 방제효과를 검정하였고, 효과가 좋았던 토양혼화처리를 이용하여 국내 및 일본에서 시판되고 있는 살선충제와 국내 토착 *P. penetrans*와의 선충방제효과를 비교 검정하였다.

### 재료 및 방법

*Pasteuria penetrans*와 땅콩뿌리혹선충(*Meloidogyne arenaria*)의 증식, 추출 및 부착

*P. penetrans*와 땅콩뿌리혹선충의 추출 및 증식은 박 등(2005)이 수행한 방법과 동일하였다. *P. penetrans*는 경상북도 성주지역의 시설재배지 내 참외(*Cucumis*

\*연락처

*melo* L.)뿌리에 형성된 뿌리혹에서 분리하여 강원대학교 부속농장의 온실에서 재배한 서광품종의 토마토 (*Lycopersicon esculentum* M.) 뿌리를 이용하여 증식하였으며, *P. penetrans*가 부착되어 증식된 뿌리혹선충 암컷을 수집하여 4°C 냉장고에 보관하면서 시험에 사용하였다.

땅콩뿌리혹선충은 농촌진흥청 원예연구소에서 선충이 증식된 토마토를 분양받아 그 뿌리에서 추출한 후 강원대학교 부속농장의 온실에서 재배한 서광품종의 토마토 (*Lycopersicon esculentum* M.) 뿌리에서 증식시키며 시험에 사용하였다.

*P. penetrans*의 땅콩뿌리혹선충에 대한 부착은 각각의 실험에 적합한 수준의 *P. penetrans* 내생포자와 500마리의 땅콩뿌리혹선충을 15 mL 튜브에 넣고 증류수 2 mL를 첨가한 후 5 g의 바로커®상토에 처리하여 상온에서 5일간 유지하며 *P. penetrans*가 땅콩뿌리혹선충에 부착할 수 있는 기회를 제공한 후에 각 실험의 목적에 부합되게 수행하였다.

#### *P. penetrans*의 농도에 따른 땅콩뿌리혹선충 방제효과

*P. penetrans*의 농도에 따른 땅콩뿌리혹선충 방제효과를 비교하기 위하여 위의 방법에 따라 *P. penetrans*를 땅콩뿌리혹선충에 부착하였으며, 농도는 선충수의 60배인  $3 \times 10^4$ 를 시작으로  $3 \times 10^5$  과  $3 \times 10^6$  수준의 *P. penetrans* 내생포자(endospores)를 선정하였다. *P. penetrans*가 부착된 선충이 존재하는 상토를  $5 \times 5 \times 5$  cm 포트에 정식한 4주령의 토마토 뿌리에 처리하였으며, 토마토 재배 2주 후 직경 75 mm, 높이 95 mm의 포트에 옮겨 재배하여 14주 후 뿌리에 형성된 뿌리혹수로 선충방제 효과를 파악하였다. 대조구로는 위와 같은 조건에서 *P. penetrans*의 처리 없이 뿌리혹선충만 토마토에 처리한 것을 사용하였다.

본 시험은 강원대학교 부속농장의 온실에서 15°C 이상의 온도조건을 유지하며 총 6반복으로 수행하였으며, 각 처리구 사이에는 충분한 공간을 주어 반복 간 오염을 차단하였다.

#### *P. penetrans*의 처리방법에 따른 땅콩뿌리혹선충 방제효과

*P. penetrans*의 농도별 땅콩뿌리혹선충 방제 효과 시험 중 80% 이상의 방제효과를 보인  $3 \times 10^5$  수준의 *P. penetrans* 내생포자를 이미 500마리의 선충만 접종한 토양과 혼합하여 처리한 시험구(토양혼화처리)와 토양표면에 처리한 시험구(토양표면처리)간의 처리방법에 따른

방제효과를 비교하였다.

#### 선충방제제에 따른 땅콩뿌리혹선충 방제효과

*P. penetrans*의 토양혼화처리방법을 이용하여 국내에서 분리한 *P. penetrans*와 일본에서 뿌리혹선충 방제제로 판매되는 PASTORIA® 그리고 국내 뿌리혹선충 방제제로 등록된 선충탄® (fosthiazate)과의 땅콩뿌리혹선충 방제효과를 상호 비교하였다. 상기실험에서 방제효과가 확인된  $3 \times 10^5$  수준의 *P. penetrans* 내생포자와 이에 상응하는 0.3 mg( $3 \times 10^5$  내생포자) 수준의 PASTORIA® 그리고 권장사용농도인 6 ppm 수준(농약공업협회, 2005)의 선충탄®을 각각 위의 방법에 따라 부착하여 땅콩뿌리혹선충(500 마리)에 대한 방제효과를 비교하였다.

#### 방제효과 산출을 위한 대조구 및 무처리 시험구

본 실험에서는 선충 방제효과를 산출하기 위하여 각 실험 목적에 따라 처리구를 달리하였으나, 대조구 및 무처리구의 결과는 동일하게 적용하여 산출하였다. 대조구는 *P. penetrans*를 제외하고 땅콩뿌리혹선충(5 g의 상토당 500마리) 자체만 처리한 것을 말하며, 무처리구(control)는 선충과 *P. penetrans* 두 개 모두 처리하지 않은 것을 의미한다. 이러한 두 개의 대조구 처리 비교는 선충과 *P. penetrans*의 유무 비교뿐만 아니라, 선충과 선충이 없는 무처리구의 비교가 요구되기 때문이었다.

## 결과 및 고찰

#### *P. penetrans*의 농도에 따른 땅콩뿌리혹선충 방제효과

*P. penetrans*의 농도에 따른 땅콩뿌리혹선충 방제효과를 비교한 결과  $3 \times 10^4$ ,  $3 \times 10^5$  그리고  $3 \times 10^6$  수준의 *P. penetrans* 내생포자 처리구에서 각각 뿌리 당 334개, 226개 그리고 103개의 뿌리혹이 형성되었으며, 대조구에서는 뿌리 당 1,180개의 뿌리혹이 형성되었다(표 1).

이러한 결과는 모든 처리구에서 70% 이상의 높은 방제효과와 함께 *P. penetrans* 내생포자 농도가 높아질수록 땅콩뿌리혹선충에 대한 방제효과가 높은 것을 보여주는 것으로, 토양 중 *P. penetrans* 농도가 높을수록 내생포자가 뿌리혹선충에 더욱 많이 부착되어 내생포자가 부착된 뿌리혹선충의 비율도 유의성 있게 높게 나타나기 때문인 것으로 사료된다(Chen and Dickson, 1998). 따라서 *P. penetrans*를 이용하여 뿌리혹선충의 증식과 기주 식물로의 침입을 효과적으로 억제할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1. Suppression effect of *Meloidogyne arenaria* (MA) under different number of *Pasteuria penetrans*(PP) in root of tomato<sup>a)</sup>

Treatments	No. of gall/root	Suppression effect (%)
MA J2s 5×10 <sup>3</sup> /5 g medium (N)	1,180 a	-
N + PP 3×10 <sup>4</sup> endospores/5 g medium	334 b	71.7
N + PP 3×10 <sup>5</sup> endospores/5 g medium	226 c	80.8
N + PP 3×10 <sup>6</sup> endospores/5 g medium	103 d	91.2
Control	0	-

<sup>a)</sup>Data are means of 6 replicates. Root galls were examined 14 weeks after planting. Means within a column followed by the same letter are not different according to Duncan's test (P< 0.05).

Table 2. Suppression effect of *Meloidogyne arenaria* (MA) under different treatments of *Pasteuria penetrans* (PP) in root of tomato<sup>a)</sup>

Treatments	No. of galls/root	Suppression effect (%)
MA J2s 5×10 <sup>2</sup> /5 g medium (N)	1,180 a	-
Mingled with soil (N + PP 3×10 <sup>5</sup> endospores /5 g medium)	226 c	80.8
Sprayed on soil surface (N + PP 3×10 <sup>5</sup> endospores /5 g medium)	549 b	53.4
Control	0	-

<sup>a)</sup>Data are means of 6 replicates. Root galls were counted 14 weeks after planting. Means within a column followed by the same letter are not different according to Duncan's test (P< 0.05).

***P. penetrans*의 처리방법에 따른 땅콩뿌리혹선충 방제효과**

*P. penetrans*의 처리방법에 따른 땅콩뿌리혹선충 방제효과시험 결과, '토양혼화처리' 및 '토양표면처리' 시 기주식물인 토마토에 각각 뿌리 당 226개 및 549개의 뿌리혹이 형성되어 대조구보다는 낮은 숫자의 뿌리혹이 발견되었다(표 2).

높은 방제 효과(80.8%)를 보인 '토양혼화처리'는 내생포자가 토양 중에 균일하게 분포되어 뿌리혹선충이 기주식물 뿌리로의 이동 중에 쉽게 부착할 수 있기 때문인 것으로 판단되며, '토양표면처리'는 내생포자가 물의 이동에 따라 천천히 토양내부로 유입되어 초기에 선충부착이 용이하지 못하여 선충방제효과가 낮은 것으로 사료된다.

따라서 뿌리혹선충 방제 시 작물 정식 전에 *P. penetrans*를 토양과 충분히 혼화하여 사용하면 더욱 효과적일 것으로 판단된다.

**선충방제에 따른 땅콩뿌리혹선충 방제효과**

*P. penetrans*와 시판 중인 살선충제를 이용하여 땅콩뿌리혹선충 방제효과 비교시험 결과 국내토착 *P. penetrans*를 3×10<sup>5</sup> 내생포자 수준으로 처리 시 뿌리 당 226개의 뿌리혹과 일본에서 시판 중인 PASTORIA<sup>®</sup>를 같은 수준 처리 시에는 뿌리 당 837개의 뿌리혹이 각각 발견되었다. 국내 뿌리혹선충 방제제로 등록된 선충탄(fosthiazate)을 사용권장 농도인 6 ppm 농도 처리 시에는 뿌리 당 73개의 뿌리혹이 형성되었다(표 3). 국내토착 *P. penetrans*가 일본 제품인 PASTORIA<sup>®</sup>보다 더욱 효과적으로 땅콩뿌리혹선충을 방제하는 것은 *P. penetrans*와 뿌리혹선충의 높은 선택성으로 국내 토착 *P. penetrans*가 뿌리혹선충에 효과적으로 부착되어 높은 방제효과를 나타낸 것으로 판단되며, 또한 PASTORIA<sup>®</sup>는 일본에서 서식하는 *P. penetrans*를 이용하여 상품화한 제품으로 일본토착 뿌리혹선충에 기생하면서 증식되었으므로 국내 땅콩뿌리혹선충에 대해서는 낮은 기주 특이성을 보인 결

Table 3. Comparison of suppression effect of *Meloidogyne arenaria* (MA) by three different nematocides in root of tomato<sup>a)</sup>

Treatments	No. of gall/root	Suppression effect (%)
MA J2s 5×10 <sup>2</sup> /5 g medium (N)	1,180 a	-
N + 3×10 <sup>5</sup> PP endospores/5 g medium	226 c	80.8
N + 6 ppm Fosthiazate /5 g medium	73 d	93.8
N + 3×10 <sup>5</sup> PASTORIA endospores /5 g medium	837 b	28.9
Control	0	-

<sup>a)</sup>Data are means of 6 replicates. Root galls were counted 14 weeks after planting. Means within a column followed by the same letter are not different according to Duncan's test (P< 0.05).

과라고 사료된다.

다른 처리구에 비하여 선충탄<sup>®</sup>(fosthiazate)을 이용한 땅콩뿌리혹선충 방제효과가 상대적으로 높게 나타난 결과는 선충탄<sup>®</sup>의 유효성분인 fosthiazate가 선충의 체내로 이행된 후 작용점인 cholinesterase를 저해하여 선충을 효과적으로 치사시키기 때문인 것으로 유추할 수 있다 (Tomlin, 2003). 그러나 화학 약제를 이용한 선충방제는 단기간 내에 높은 효과를 볼 수 있으나, 선충방제와 함께 먹이 경쟁대상 뿐만 아니라 천적미생물 등의 동시 감소로 선충이 재유입될 가능성이 높다(Carpenter, 1981). 따라서 선충탄의 연속적 사용이 불가피하며 이로 인해 작물 약해 또는 살포자 중독증상 유발 등 여러 가지 단점을 내포하고 있어 그 사용이 제한적이다.

본 실험을 통하여 얻은 결과는 국내토착 *P. penetrans*를 이용한 뿌리혹선충 방제가능성을 재확인한 것으로 국내 시설재배지에서 문제시 되고 있는 뿌리혹 선충의 생물학적 방제제를 위한 기초자료로 활용할 수 있으리라 사료된다.

## 인용문헌

- Carpenter, S. R. (1981) Effect of control measures on pest population subject to regulation by parasites and pathogens. *J. Theoret. Biol.* 92(2):181~184.
- Chen, Z. X. and D. W. Dickson (1998) Review of *Pasteuria penetrans*: Biology, Ecology and Biological control potential. *J. Nematol.* 30:313~340.
- Chen, Z. X., D. W. Dickson, R. McSorley, D. J. Mitchell and T. E. Hewlett (1996) Suppression of *Meloidogyne arenaria* race 1 by soil application of endospores of *Pasteuria penetrans*. *J. Nematol.* 28:159~168.
- Cho, M. R., S. Y. Na and M. S. Yiem (2000) Biological control of *Meloidogyne arenaria* by *Pasteuria penetrans*. *J. Asia-Pacific Entomol.* 3(2):71~76.
- Eleckcioglu, I. H. (1995) Occurrence of *Pasteuria* bacteria as parasites of plant-parasitic nematodes in the east Mediterranean region of Turkey. *Nematologia Mediterranean* 23:213~215.
- Jung, C. and U. Wyss (1999) New approaches to control plant parasitic nematode. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 51:439~446.
- Ko, M. P., E. C. Bernard, D. P. Schmitt and B. S. Sipes (1995) Occurrence of *Pasteuria*-like organism on selected plant-parasitic nematodes of pineapple in the hawaiian Island. *J. Nematol.* 27:395~408.
- Sasser, J. N. and D. W. Freckmann (1987) A world perspective on nematology: the role of the society. In *Vistas on nematology*(ed. Veech J. A. and Dickson D. W.) Society of Nematologists, Hyattsville, pp.7~14.
- Tomlin, C. D. S. (2003) The pesticide manual. British Crop Protection Council. 502, BCPC, Surrey.
- 김지인, 한상천. (1988) 태양열을 이용한 뿌리혹선충 (*Meloidogyne spp.*) 방제효과. *한국응용곤충학회* 27(1):1~5.
- 김형환, 추호렬, 박정규, 이상명, 김준범. (1998) 식물의 추출물을 이용한 당근뿌리혹선충의 생물적 방제. *한국응용곤충학회* 37(2):199~206.
- 농약공업협회 (2002) 농약사용지침서. p.911.
- 박동식, Yong-Zhe Zhu, 조명래, 허장현, 임춘근 (2005) *Pasteuria penetrans*의 땅콩뿌리혹선충(*Meloidogyne arenaria*)에 대한 온도와 pH별 부착 및 증식효과. *농약과학회* 9(3):268~273.
- 박소득, 박선도, 권태영, 최부술, 이원식, 최영연. (1995) 시설과채류의 뿌리혹선충 종합방제에 관한 연구. *한국응용곤충학회* 34(1):75~81.
- 한상천, 김용균. (1997) 당근뿌리혹선충(*Meloidogyne hapla*)에 대한 저항성 고추 선발 및 저항성 기작 연구. *한국응용곤충학회* 36(2):185~191.

---

**Suppression of *Meloidogyne arenaria* by different treatments of *Pasteuria penetrans***

Yong-Zhe Zhu<sup>1</sup>, Dong-Sik Park<sup>2</sup>, Myoung Rae Cho<sup>3</sup>, Jang-Hyun Hur<sup>2</sup> and Chun-Keun Lim<sup>2\*</sup> (<sup>1</sup>Laiyang Agricultural College, Qingdao, 266-109, China; <sup>2</sup>Division of Biological Environment, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Republic of Korea; <sup>3</sup>Rural Development Administration, National Institute of Highland Agriculture, Pyeongchang, 232-955, Republic of Korea)

**Abstract** : This study was investigated to compare the suppression of *Meloidogyne arenaria* by different treatments of *Pasteuria penetrans* which is known for biological control agent against *Meloidogyne spp.*. In order to select proper number of *P. penetrans* showing good suppression effect, *P. penetrans* were mixed with *M. arenaria* for attachment using three different concentration such as  $3 \times 10^4$ ,  $3 \times 10^5$  and  $3 \times 10^6$  endospores/5 g medium, followed by treating them onto the roots of tomato. After 14 weeks incubation, *P. penetrans* at  $3 \times 10^6$  endospores showed highest activity against the formation of gall caused by *M. arenaria*. At a dose of  $3 \times 10^5$  endospores/5 g medium, *P. penetrans* was treated into soil either mixing with soil or spray onto soil surface for comparing of suppressive efficacy. When the antagonistic bacterium was treated by the former method, it suppressed more effectively. Using *P. penetrans* at  $3 \times 10^6$  endospores and mixing with soil method, suppression was compared among *P. penetrans*, PASTORIA<sup>®</sup>(Japan) and Fosthiazate<sup>®</sup>(Korea). *P. penetrans* was more potent than PASTORIA<sup>®</sup>(Japan) and as similar as Fosthiazate<sup>®</sup>(Korea). Therefore, these results suggested that *P. penetrans* can be used for controlling of *M. arenaria* as biological control agent. Furthermore, these results can be provided to develop environmentally-friendly nematicide.

**Key Words** : biological control, *Meloidogyne arenaria*, nematicide, *Pasteuria penetrans*

---

\*Corresponding author (Fax : +82-33-241-6640, E-mail : chunkeun@kangwon.ac.kr)