

선충 포식성 곰팡이의 선발 및 뿌리혹 선충의 생물학적 방제

박현철* · 이현옥**

(*밀양대학교 농학과 교수 · **경상남도농업기술원 연구원)

Isolation of nematophagous fungi and biological control of a root-knot nematode, *Meloidogyne hapla*

Hyeon-Cheal Park* · Hyun-Uk Lee**

*Dept. of Agronomy, Miryang National University, Miryang 627-702, Korea

**Kyongnam Provincial Research and Extension Services, Chinju 660-360, Korea

적 요

경남 밀양 일대의 당근 재배지를 중심으로 뿌리혹 선충의 방제를 위해 선충의 발생실태, 포식성 곰팡이의 선발, 몇 가지 유기물의 첨가에 따른 포식성 곰팡이의 효과 및 그 활용 가능성을 조사하고자 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

조사지역에서의 선충분포 및 밀도를 조사한 결과, 식물기생성 선충으로서 뿌리혹 선충 (*Meloidogyne* spp.)이 가장 많이 분포하였고, 나선선충 (*Helicotylenchus* spp.), 참선충 (*Tylenchus* spp.), 뿌리썩이선충 (*Pratylenchus* spp.)의 순으로 분포하고 있었으나, 전체 개체수에서는 작물에 전혀 피해를 주지 않는 부식성 선충 (*Rhabditis* spp.)이 가장 많이 분포하고 있었다. 가장 많이 분포하고 있는 식물기생성 선충인 뿌리혹 선충을 분류방법에 따라 동정한 결과, 당근 뿌리혹 선충 (*Meloidogyne hapla*)로 동정되었다. 토심에 따른 선충의 분포는 표토 5cm까지는 토양토양 300g 당 300마리였고, 5~10cm, 10~15cm 깊이에서 각각 1325, 1124마리로 높은 밀도를 보이다가, 30cm 이상의 깊이에서는 개체수가 급격히 떨어져 결국 50cm 이상의 깊이에서는 선충의 개체수가 15마리로 그 수가 아주 적었으나, 선충이 50cm 이상의 깊은 곳까지 분포하고 있었다.

선충의 생물학적 방제를 위해 포식성 곰팡이인 *Arthrobotrys cladodes*를 선발하였으며, 실험실내 포식력 검정에서 WA배지를 이용하여 부식성 선충을 접종한 경우에는 10일 이내에 90% 이상의 포식력을 보여 거의 모든 선충을 포식하였다. 뿌리혹 선충을 접종하였을 때는 80% 정도의 포식력을 보여 뿌리혹 선충을 접종 했을 때가 부식성 선충을 접종했을 때 보다 포식력이 낮게 나타났다. 온실내 검정에서는 뿌리혹 선충으로 감염된 토양에서 곰팡이 접종원을 처리한 처리구와 대조구사에는 유의적인 차이가 없었으나, 곰팡이 접종원을 처리하는 경우 기주식물의 생육이 다소나마 증진되었는데 이는 뿌리혹의 형성이 억제되어 대조구에 비해 부화된 유충의 수가 현저히 감소되었기 때문이다. 훈증제 처리구의 경우 다른 처리구와 뚜렷한 차이를 보였으며, 특히 뿌리에 선충에 의한 뿌리혹이 전혀 형성되지 않아 상대적으로 기주식물이 선충에 의한 피해를 입지 않아 곰팡이 접종원을 처리한 경우보다 우수한 효과를 보이고 있었다

I. 서론

편형동물문에 속하는 선충은 일반적으로 토양 중에는 약 75만 마리/m²가 서식하고 있는데, 대부분은 부식성 선충(bacteria-feeding nematodes)으로 토양 유기물이 분해되는 곳에 서식하면서, 세균 포식, 세균 분산, 유기물의 분해 및 생성, 또는 피포식자로서 토양 생태계의 영양 순환에 중요한 역할을 한다. 그러나, 일부 선충은 동식물 및 곤충에 기생하며, 특히 식물 기생선충에 의해 식물 중에서 다소간이나마 피해를 받지 않는 식물은 거의 없다고 한다¹³⁾. 이들 식물 기생선충 중에서 뿌리혹 선충(*Meloidogyne halpa*)은 경제적으로 매우 중요한 식물 기생선충으로서 약 550여종의 식물이 기주식물로 기록되어 있으며, 온도에 대한 적응력이 높아 추운 지방에서도 생존이 가능하기 때문에 분포범위가 넓은 편이다¹⁵⁾. 우리나라에서는 고추, 땅콩, 들깨, 딸기, 토마토, 참외, 작약 등의 과채류, 약초 및 기타 중요 경제작물들이 많은 피해를 받고 있다^{4,6,9,10)}. 특히, 최근 들어 농가 소득 증대를 위해 시설 재배되고 있는 고소득 작물과 화훼작물들이 선충에 의하여 극심한 피해를 받고 있지만 이렇다 할 방제법이 마련되어 있지 않은 실정이다. 현재, 선충의 방제를 위해 살선충제를 이용한 화학적 방제법이 사용되고 있으나, 시설재배지 안의 제한된 공간에서의 살선충제 사용은 약효보다는 작물약해 등의 부작용 뿐만 아니라 농민들의 건강 및 환경오염 등의 부정적 요인으로 보다 안전하고 효과적인 새로운 대체방법이 절실한 실정에 있다.

선진외국의 경우 오래 전부터 식물 기생선충을 포획하여 먹이로 삼는 선충 포식성 곰팡이(Nematorphagous nematodes)에 관한 연구가 진행되어져 왔으며, 이를 실용화하여 선충 방제에 적극 이용하는 경우가 많다. 이들 포식성 곰팡이는 거의 모든 유기물이 있는 장소에 존재하면서, 기주 특이성 없이 여러 종류의 선충을 무차별 포식한다. 포식성 곰팡이를 이용한 식물 기생선충의 생물학적 방제 연구는 Linford 등(1937)에 의하여 하와이에서 실시되었는데, 그는 파인애플의 잎, 순들을 잘게 잘라 토양에 넣고, 토양

내에서의 선충과 포식성 곰팡이의 밀도 변화를 관찰하였다. 초기에는 유기물의 첨가로 인해 부식성 선충의 밀도가 매우 높게 증가하였고, 그 후 이 선충들을 포식하기 위해 포식성 곰팡이의 밀도가 증가하였는데, 증가된 포식성 곰팡이들은 부식성 선충뿐 아니라 기생성 선충까지도 포식하여, 결과적으로 시험구내 기생성 선충의 밀도가 원래보다 더 낮아졌다. 이후 Linford 등의 연구에 고무되어 많은 연구가 진행되었으며, 이들 연구들의 결과 곰팡이를 이용한 생물 농약으로 상품화되기도 하였는데 버섯 기생선충 방제를 위한 *Athrobotrys robusta*를 이용한 'Royal 300'이 있다. 그러나, 국내 포식성 곰팡이 연구역사는 불과 약 16년으로 외국의 145년에 비해 매우 짧다고 하겠다. 우리나라와 육지로 붙어 있는 이웃 중국에는 *Arthrobotrys*, *Dactylella*, *Monacrosporium* 등 총 24종의 포식성 곰팡이가 보고되어 있어 국내에도 더 많은 종의 포식성 곰팡이가 서식하고 있을 것으로 생각되며, 또 지난 10년간 전세계적으로 약 210편의 포식성 곰팡이 관련 논문이 발표되었는데 비하여 국내에서는 전 세계에서 발표된 논문의 10%에도 채 미치지 못하고 있는 실정이다. 이러한 여러 가지 사실로 볼 때 포식성 곰팡이 연구는 미개척 연구분야로서 흥미 있는 연구 재료가 많을 것으로 사료된다. 본 연구는 경남 밀양 일대의 당근 재배지를 중심으로 뿌리혹 선충의 방제를 위해 선충의 발생실태, 포식성 곰팡이의 선발 및 그 활용 가능성을 조사하고자 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 선충 분리 및 발생 현황

당근 뿌리혹 선충의 피해가 심한 밀양시 상동면 당근 재배지 3곳을 임의 선정하여 포장당 10개 지점씩 5~30cm 깊이에서 토양을 채취하여 잘 혼합한 후 300ml씩 3반복으로 Centrifugal sugar flotation (CSF)법으로 선충을 분리하였고, 선충의 종류별로 발생밀도를 조사하였다. 또한, 토양을 표토(0~15cm)와 심토(15~30cm)로 나누어 선충의 밀도를 조사하였고, 토양 심도별 선충 밀도조사는 5cm 간격으로 50cm 깊

이까지 층위별 토양에서 선충을 분리하여 조사하였다. 또한, 포식성 곰팡이의 포식능력을 검정하기 위해 공시선충으로서 부식성 선충과 뿌리혹 선충을 각각 준비하였다. 부식성 선충은 시장에서 구입한 썩은 감자로부터 분리하여 Nutrient broth (NB)에서 액체 배양하여 실험에 사용하였으며, 뿌리혹 선충은 위에서 언급한 방법대로 포장에서 채취한 토양에서 일차 분리한 다음 온실에서 토마토를 이용 증식시켜 실험에 사용하였다. 접종에 사용한 난낭은 토마토의 뿌리를 물로 씻고, 뿌리에 붙어있는 난낭을 해부 현미경하에서 검경하면서 핀셋으로 떼어내어 사용하였고, 알의 분리는 토마토 뿌리를 물로 조심스레 씻은 다음 1cm 길이로 자른 후 뿌리 100g을 1% Sodium hypochlorite (NaOCl) 용액 500ml가 들어 있는 Blender 용 유리병에 넣어 Homogenizer로 강하게 40초동안 회전시켰다. 부서진 뿌리와 알이 섞인 용액은 100mesh 체로 걸러 뿌리는 제거하고 500mesh 체에 모인 알을 실험에 이용하였다. 채집된 알은 해부 현미경하에서 μm 당 개체수를 조사하였다.

2. 포식성 곰팡이의 분리 및 동정

당근 뿌리혹 선충의 피해가 심한 밀양시 상동면 당근 재배지 3곳을 임의 선정된 포장에서 토양을 채취하여 이 토양에서 분리된 포식성 곰팡이 1균주를 실험에 사용하였다. 토양으로부터의 곰팡이 분리는 이중으로 체에 거른 토양시료를 1.5% water agar (WA) 배지 위에 뿌려 놓고 2주간 매일 관찰하면서 나타난 곰팡이를 분리하였으며, 분리된 곰팡이는 Corn meal agar (CMA)에 이식하여 25°C에서 순수 배양하였다. 분리된 곰팡이는 분류체계에 따라 동정하였다.

3. 포식성 곰팡이 접종원

CMA 배지에서 순수 배양된 균주에서 직경 10mm의 균사절편을 떼어내고 미리 준비된 접종원 배양기에 접종하였다. 접종원 배양기는 20mesh 체를 통과한 모래와 양토를 1 : 1로 섞고, 이 토양에 잘게 썬 감

자(1~5mm cube)와 Potato dextrose broth (PDB, 24g potato dextrose broth per 1 l water)를 각각 4 : 1 : 0.6 (w:w:v)으로 혼합하여 500ml 삼각 플라스크에 250g 썩 넣은 후, 121°C에서 30분간 2회 autoclave하여 만들었다. 접종된 배양기는 25±1°C 항온기에 두고, 2일 간격으로 흔들며 주면서 14일간 배양하였다. 배양 후 서늘한 실내에서 7일간 서서히 건조시켜 잘게 부수고 18mesh 체를 통과한 것을 접종원으로 사용하였다.

4. 포식성 곰팡이의 포식력 검정

배지내 검정을 위해 1.5% WA 배지의 가운데에 곰팡이 접종원을 0.5g 접종하고 1차 검정을 위해 시장에서 구입한 썩은 감자로부터 분리하여 Nutrient broth (NB)에서 액체 배양한 부식성 선충 (*Rhizoglyphus* spp.) 500마리를 올려 놓고 실험하였다. 또한, 토양을 채취하여 분리한 뿌리혹 선충을 토마토에서 증식시킨 후 토마토 뿌리에 붙어 있는 난낭을 해부 현미경하에서 핀셋을 이용해 떼어내었다. 2차검정을 위해 1차검정때와 마찬가지로 1.5% WA 배지의 가운데에 곰팡이 접종원을 0.5g 접종하고 토마토 뿌리에서 떼어낸 난낭 3개를 올려 놓고 실험하였다. 접종된 petri dish는 실온 (24±5°C)에 두었으며, 10일 후 살아있는 선충의 마리수를 해부 현미경으로 조사하였다. 대조구는 곰팡이 없이 선충만을 접종하였으며, 실험은 2반복으로 하였다.

실험실에서의 포식효과를 검정한 후 포장에서도 그 효과가 있는지를 검정하기 위해 포장과 유사한 환경 조건을 갖춘 온실에서 포식효과가 있는지를 검정하였다. 우선 이식할 토마토는 살균한 부식토가 담긴 육묘 Pot용 (3×9cm)에서 4주간 키웠다. 곰팡이 접종원 10g, 뿌리혹 선충 및 살균한 토양을 비닐 봉지에 넣어 잘 섞은 다음, 섞인 흙은 육묘용 Pot에 담고 흙이 젖을 정도로만 관수한 후 준비된 토마토를 이식하였다. 시비는 하이포넥스 500배 용액을 한 Pot 당 10ml씩 10일 간격으로 살포하였다. 훈증제 처리구로서 선충으로 감염된 토양을 Pot에 담고 Telone (18 ml/m²)을 관주하고 밀봉한 다음 1주일간 방치하였으

며, 훈증 1주일 후 밀봉한 비닐을 제거하여 3주동안 공기 순환이 되도록 방치하였으며, 그 후에 토마토를 이식하였다. 대조구로서는 살균한 토양에 선충만을 접종시킨 Pot에 토마토를 이식하였으며, 3처리구의 시비는 하이포넥스 500배 용액을 한 Pot당 10ml씩 10일 간격으로 살포하였다. 각 처리구는 10반복으로 하였으며, 각 처리구는 20°C의 성장상에 6주일간 방치하여 기주의 성장, 뿌리에 형성된 gall의 수, 뿌리 안에서의 유충수 등을 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 선충 분리 및 발생 현황

경남 밀양시 상동면 일대의 당근포장에서 채취한

토양에서 선충을 분리하여 조사한 결과(Table 1), 식물기생성 선충으로서 뿌리혹 선충(*Meloidogyne* spp.)이 가장 많이 분포하였고, 나선선충(*Helicotylenchus* spp.), 참선충(*Tylenchus* spp.), 뿌리썩이선충(*Pratylenchus* spp.)의 순으로 분포하고 있었으나, 전체 개체수에서는 작물에 전혀 피해를 주지 않는 부식성 선충(*Rhabditis* spp.)이 가장 많이 분포하고 있었다. 가장 많이 분포하고 있는 식물기생성 선충인 뿌리혹 선충을 분류방법에 따라 동정한 결과, 당근 뿌리혹 선충(*Meloidogyne hapla*)으로 동정되었다.

토양심도별 당근 뿌리혹 선충 (*M. hapla*)의 밀도를 조사하기 위해 당근포장의 토양시료를 채취하여 분석한 결과(Table 2), 표토 5cm까지는 토양토양 300g 당 300마리였고, 5~10cm, 10~15cm 깊이에서 각각 1325, 1124마리로 높은 밀도를 보이다가, 30cm 이상의

Table 1. Occurrence of plant parasitic nematodes in the soil collected from the sampling plots.

Plant parasitic nematodes	Sampling plot		
	M1	M2	M3
<i>Meloidogyne</i> spp.	1872a	974	420
<i>Helicotylenchus</i> spp.	312	38	12
<i>Tylenchus</i> spp.	0	12	0
<i>Pratylenchus</i> spp.	11	0	10

^anumber of nematodes isolated from 300g of soil

Table 2. Population of *Meloidogyne hapla* according to the soil depth in the sampling plot.

Soil depth (cm)	No. of nematodes per 300g of soil
< 5	300
5~10	1325
10~15	1124
15~20	980
20~30	750
30~40	257
40~50	111
> 50	15

깊이에서는 개체수가 급격히 떨어져 결국 50cm 이상의 깊이에서는 선충의 개체수가 15마리로 그 수가 아주 적었으나, 선충이 50cm 이상의 깊은 곳까지 분포하고 있음을 알 수 있었다. 선충이 주로 심토(15~30cm)에 비해 표토(0~15cm)에 많이 분포하고 있는 것은 토양의 이화학적 특성 및 유기물의 함량과 관련이 있을 것으로 사료된다. Park 등(1994)은 작약재 배지에서의 선충분포와 토양의 화학적 특성과의 관계를 조사하였는데, 전반적으로 심토보다 표토에서 2배 이상의 많은 선충이 분포하였으며, 표토의 경우 심토에 비해 유기물 함량이 많았고 토양 pH도 5.8로서 중성에 가까웠으며, 인산함량 및 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 NO_3 함량도 표토가 심토보다 다소 높았다고 보고하여 선충의 분포와 토양의 이화학적 특성 및 유기물 함량은 서로 관련이 있을 것으로 추정하였다.

2. 포식성 곰팡이의 분리 및 동정

당근 뿌리혹 선충의 피해가 심한 밀양시 상동면 당근 재배지 3곳을 임의 선정하여 포장에서 토양을 채취하여 이 토양에서 분리된 곰팡이 중 1개의 분리균

주가 배지 상에서 부식성 선충을 포식하는 능력을 보였다(Fig. 1).

비록 분리된 포식성 곰팡이가 배지 상에서 포식능력을 보이는 하였으나, 이들 곰팡이의 포식능력은 곰팡이의 배양조건이나 선충의 상태에 따라 다르게 나타났다. 분리된 선충 포식성 곰팡이를 분류체계에 따라 분리한 결과, *Arthrobotrys cladodes*로 동정되었으며, *A. cladodes*는 1~2개의 결 가지를 생성하는 분생포자병(conidiospore)을 형성하였다. 분생포자병(conidiospore)의 크기는 200~400 μm 였으며, 개개의 분생포자병(conidiospore)은 대략 30개 정도의 분생포자(conidia)를 생성하였다. 각각의 분생포자(conidia)는 하나의 격막을 가지고 있으며 알 모양이나 타원형으로서, chlamydospore는 가지고 있지 않다(Fig. 2).

*A. cladodes*는 끈끈이 그물(adhesive network)을 이용하여 선충을 포획하여 영양분을 섭취하게 되는데, 포식기관인 끈끈이 그물의 형성은 선충이 균사 가까이에서 활동을 하면 선충이 분비하는 물질의 자극으로 인해 포식기관이 형성되기 시작하며, 처음에는 영양균사에서 가지가 생기고, 가지의 끝이 둥글게 굽어 영양균사와 접합되어 고리 형태로 된다. 그 고리에서

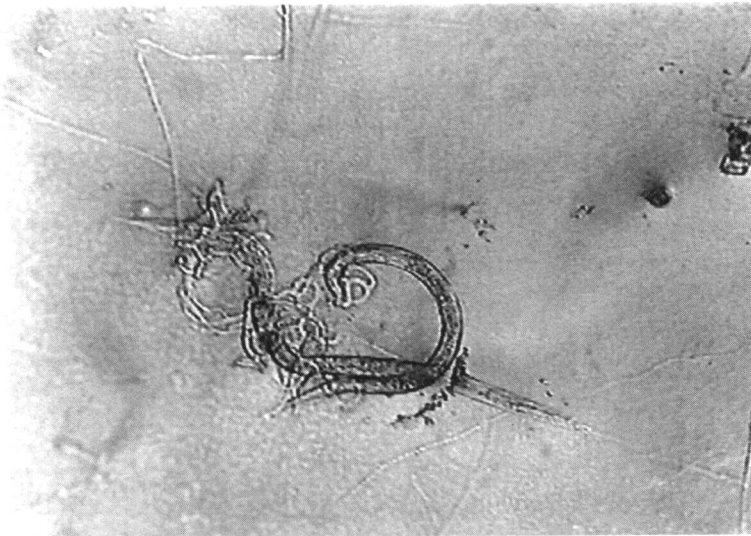


Fig. 1. Illustration of infected nematodes by a nematophagous fungus, *Arthrobotrys cladodes*, on water agar.

(혹은 주위의 영양균사에서) 다시 고리가 생기고 마침내 여러 개의 고리들이 서로 연결되어 3차원의 그물모양이 된다 (Fig. 3).

3. 포식성 곰팡이의 포식력 검정

실험에 사용한 *A. cladodes*는 CMA 및 접종원 배양기에서 잘 자랐으며, 배양 14일 후 삼각 플라스크 안에 포자가 많이 형성되어 있는 것을 관찰할 수 있었으며, 건조시켜 조제한 접종원 1g에는 대략 10⁴개의 포자가 함유되어 있었다. 접종원으로 사용된 부식성 선충은 활발하게 살아 있었고, 당근 뿌리혹 선충은

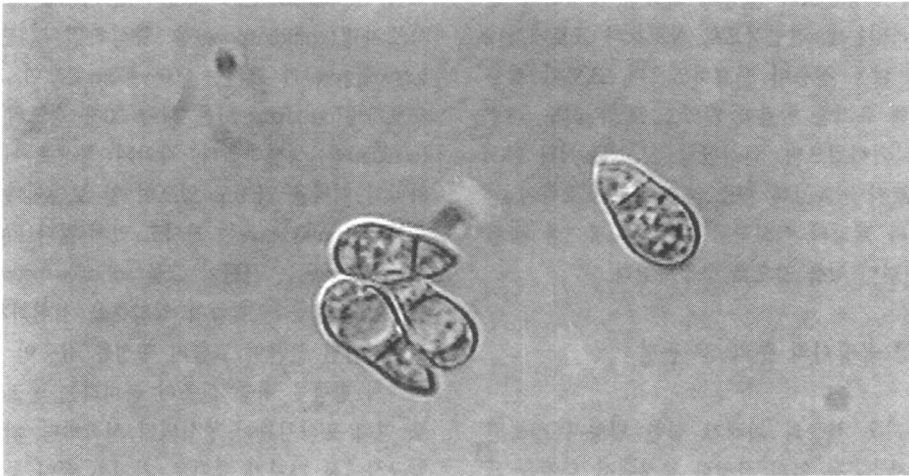


Fig. 2. Conidia of *Athrobotrys cladodes* which has obovoidal to ellipsoidal with one septum.

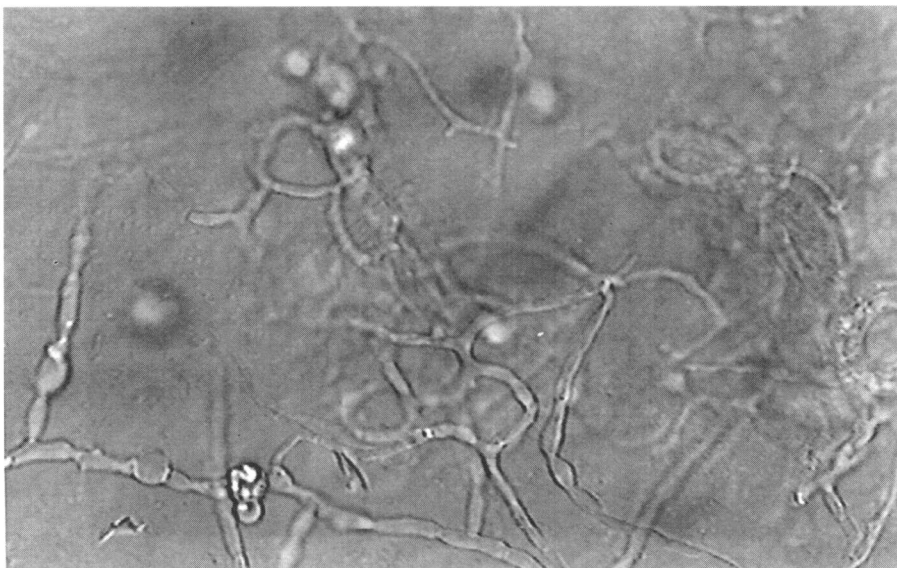


Fig. 3. Adhesive networks produced by *Athrobotrys cladodes* on water agar.

난랑에서 대략 280마리의 유충이 부화하였다.

*A. cladodes*의 포식능력을 실내 실험을 통해 검정한 결과, 실험방법 및 접종원에 따라 포식능력에 차이를 보였는데, WA배지를 이용하여 부식성 선충을 접종한 경우에는 10일 이내에 90% 이상의 포식력을 보여 거의 모든 선충을 포식하였다. 뿌리혹 선충을 접종하였을 때는 80% 정도의 포식력을 보여 뿌리혹 선충을 접종했을 때가 부식성 선충을 접종했을 때보다 포식력이 낮게 나타났다(Fig. 4). 이상의 결과에서, 접종원에 따른 포식성 곰팡이의 포식력 차이는 선충의 활동력과 관련이 있는 것으로 사료되는데, 이는 선충 포식성 곰팡이의 경우 선충의 움직임과 선충이 분비하는 물질에 반응하여 포식기관을 형성하기 때문이다. 포식기관을 형성할 수 있는 물질로서는 선충 자체말고도 선충의 배양 여과액, 사람의 혈청, 눈 녹은 물, 1~2%의 알콜 등이 포식기관의 형성에

관여하는 것으로 알려져 있으며, 이들 포식기관의 형성에 관여하는 물질을 nemin이라고 불리워지고 있다⁵⁾. 선충의 활동력과 관련하여, 일반적으로 부식성 선충의 경우 움직임이 활발한 반면 뿌리혹 선충의 경우에는 움직임이 느리기 때문에 부식성 선충을 접종한 배지에서 더 많은 nemin이 분비되어 더 많은 포식기관이 형성되었기 때문일 것이다. 또한, 진화론적으로 보면, 포식성 곰팡이가 일생의 대부분을 뿌리혹 속에 숨어 있고 생활사가 30일인 뿌리혹 선충보다 평생을 토양에 서식하면서도 생활사가 3일에 불과하여 아마도 뿌리혹 선충보다 상대적으로 풍부한 먹이감인 부식성 선충을 선택하였기 때문에 뿌리혹 선충보다는 부식성 선충을 더 선호할 가능성이 높다. 따라서, 포식성 곰팡이의 이러한 기주 비선택성으로 인해 선충의 방제에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

온실실험에서 뿌리혹 선충으로 감염된 토양에서

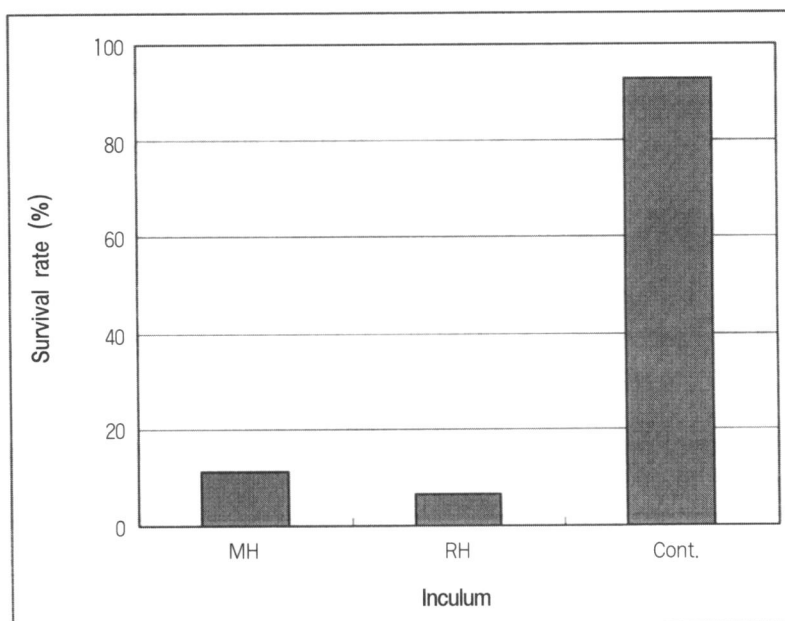


Fig. 4. Survival rate (%) of test nematodes on water agar medium inoculated with nematophagous fungi, *Athrobotrys cladodes*, for 10 days at room temperature ($24 \pm 5^\circ\text{C}$). MH: *Meloidogyne hapla*+nematophagous fungus, RH: *Rhabditis* spp.+nematophagous fungus, Cont.: *Rhabditis* spp. only.

곰팡이 접종원을 처리한 처리구와 대조구사에는 유의적인 차이가 없었으나, 곰팡이 접종원을 처리하는 경우 기주식물의 생육이 다소나마 증진되었는데 이는 뿌리혹의 형성이 억제되어 대조구에 비해 부화된 유충의 수가 현저히 감소되었기 때문이다(Table 3). 훈증제 처리구의 경우 다른 처리구와 뚜렷한 차이를 보였으며, 특히 뿌리에 선충에 의한 뿌리혹이 전혀 형성되지 않아 상대적으로 기주식물이 선충에 의한 피해를 입지 않아 곰팡이 접종원을 처리한 경우보다 우수한 효과를 보이고 있었다(Table 3). 실내에서 배지를 이용한 검정에서는 포식력이 뛰어난데 비해 온실에서 토양을 이용하는 경우 포식력이 떨어지는 것은 토양내에 존재하는 다른 미생물과의 경쟁 및 기타 환경요인에 영향을 받기 때문일 것이다¹⁾. Barron (1977)에 의하면 끈끈이 그물을 형성하는 포식성 곰팡이는 agar 배지에서는 경쟁요인이 단순하여 포식기관을 잘 형성하나, 토양에서는 다른 미생물이 분비하는 여러 물질에 의해 영향을 받거나, 영양분 경쟁으로 곰팡이의 정착 및 정착 후 포식기관의 형성이 저조하였다고 보고하여 실험실에서 우수한 균주를 선발 하더라도 포장에서 실용화하기에는 많은 어려움이 따르며, 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

IV. 결론

본 실험결과는 포식성 곰팡이를 이용한 선충의 생물학적 방제는 균주의 선발이 무엇보다 중요하다는

것을 보여주었으며, 선충의 방제효과를 검정하기 위해서는 균주를 선발한 다음 가능한한 포장과 유사한 상태에서 포식성 곰팡이의 포식능력을 검정하는 것이 무엇보다도 중요할 것이다. 또한, 포식성 곰팡이의 실용화를 위해서는 우선 곰팡이의 대량 생산이 필요할 것이며, 이를 위해서는 포식성 곰팡이의 안정적인 생산을 위한 적정배지의 선발 및 배양조건 등을 조사해야 하며, 포식성 곰팡이만을 단독으로 처리하였을 때보다 유기물을 첨가해줌으로서 우수한 효과가 있다는 여러 보고가 있어^{11,12,14)} 유기물 첨가에 따른 포식능력의 향상에 관한 연구가 집중적으로 연구되어야 할 것이다. 일반적으로 토양에 있는 곰팡이의 포자는 온도와 습도가 적당하여도 발아하지 않는데, 이는 토양내에 존재하는 fungistasis 때문인 것으로 알려져 있다²⁾. 거의 모든 토양에는 수용성인 포자 발아 억제 물질이 존재하고 있는데⁸⁾, 실험에 의하면 15종의 포식성 곰팡이 중 14종의 곰팡이가 토양 내에서 균사의 성장 및 발아가 억제되어³⁾, 이러한 결과로 보아 토양 내에서 포식성 곰팡이의 경쟁력은 아주 낮으며 포자의 인위 접종에 의해 그 밀도를 증가시키는 힘들 것으로 생각된다. 따라서, 효과적인 생물학적 방제를 위해서는 위에서 언급한 여러 관점에서의 집중적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Barron, G. L., 1977, The nematode destroying

Table 3. Growth of host plants after applying inoculum of *Meloidogyne hapla* and fumigant to the root systems.

Parameters	Treatments		
	Inoculum	Fumigant	Control
Shoot wt. (g/pot)	73.8	80.7	67.3
Root wt. (g/pot)	24.7	29.1	19.8
Galls/root system	680	0	1350
Galls/g root	28	0	68
Juvenile/g root	2940	4	7208

- fungi, Can. Biol. Pub. Guelph.
2. Cook, R. C., 1963, Ecological characteristics of nematode-trapping Hyphomycetes, I. Preliminary studies. Ann. Appl. Biol. 52: pp.431-437.
 3. Cooke, R. J. and Baker, K. F., 1983, The nature and practice of biological control of plant pathogens, Am. Phytopathol. Soc. p.539.
 4. Jeong, M. J. and Kim, H. K., 1989, Isolation of nematophagous fungi against nematode and their growth in vitro, Kor. J. Appl. Entomol. 27 (3): pp.149-158.
 5. Kerry, B. R. and Crump, D. H., 1991, Methods for studying nematophagous fungi, IOBC/WPRS Bulletin XIV (2), p.64.
 6. Kim, D. G. and Riggs, R. D., 1991, Characteristics and efficacy of a sterile Hypomycete (ARF 18), a new biocontrol agent for *Heterodera glycines* and other nematodes, J. Nematology 23: pp.275-282.
 7. Linford, M. B., Yap, F. and Oliveira, J. M., 1938, Reduction of soil populations of the root-knot nematode during decomposition of organic matter, Soil Science 45: pp.127-141.
 8. Mankau, R., 1980, Biological control of nematode pests by natural enemies, Ann. Rev. Phytopathology 18: pp.415-440.
 9. Park, S. D., Choi, B. S. and Choi, Y. E., 1994, Annual phenology of root-knot nematode in the medicinal herb (*Paeonia lactiflora*) field, Kor. J. Appl. Entomol. 33 (3): pp.159-162.
 10. Park, S. D., Kim, K. J., Kim, J. H., You, O. J. and Ryu, J. K., 1998, Occurrence of *Meloidogyne hapla* in Peony fields, Kor. J. Appl. Entomol. 37 (2): pp.123-125.
 11. Powell, K. A. and Faull, J. L., 1989, Commercial approaches to the use of biological control agents, in Biotechnology of fungi for improving plant growth (eds J. M. Whipps and R. D. Lumsden), Cambridge University Press, Cambridge. pp.259-275.
 12. Racke, J. and Sikora, R. A., 1992, Isolation, formulation and antagonistic activity of rhizobacteria toward the potato cyst nematode, *Globodera pallida*, Soil Biol. Biochem. 24: pp.521-526.
 13. Sasser, J. N. and Karter, C. C. C., 1985, An advanced treatise on *Meloidogyne*, Vol. I: Biology and Control pp.166-193.
 14. Schlang, J., Steudel, W. and Muller, J., 1988, Influence of resistant green manure crops on the population dynamics of *Heterodera schachtii* and its fungal egg parasites, Nematologica 34: p.193.
 15. Tayer, A. L. and Sasser, J. N., 1978, Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne species*), pp.1-106.