

## 선충잡이곰팡이의 생태: 토양 생물 및 화학적 요인의 영향

김동근\* · 김종수 · 최예훈 · 최성국 · 윤재탁  
경북농업기술원

### Ecology of Nematophagous Fungi: Effects of Biotic and Abiotic Soil Factors

Dong-Geun Kim\*, Jong-Soo Kim, Ye-Hoon Choi, Sung-Kuk Choi and Jae-Tak Yoon

Department of Agr. Environ., Gyeongbuk Agr. Tech. Admin., Daegu 702-708, Korea

(Received on August 14, 2001)

The effects of biological and chemical soil factors on the distribution of nematophagous fungi were evaluated by comparing their concentrations of elements in 37 soil samples collected from uplands, greenhouses, and mountains in southern parts of Korea. A total of 11 species of nematophagous fungi, nine predatory and two endoparasitic fungi, were isolated from 84% of soil samples. *Arthrobotrys oligospora*, capturing nematodes by adhesive network was the most frequently isolated at 25.5%. Nematophagous fungi were more diverse in soil with more number of saprophytic nematodes, and high density was found in soil with fewer number of plant-parasitic nematodes. Stepwise logistic regression analysis indicated that the presence of endoparasites in soil were associated with pH, while net-forming species including *Arthrobotrys oligospora* as representative species were largely independent of soil elements, although generally they were isolated from soils with high phosphate. Constricting ring and adhesive knob forming predators were influenced by pH and K<sup>+</sup> conc., while species with adhesive hyphae were associated with Mg<sup>++</sup> conc. and more frequently isolated from poor soils containing low organic matter. Among species, *A. conoides*, *A. arthrobotryoides*, *M. thumasiium* were affected by pH and Ca<sup>++</sup> conc. pH which was positively correlated with Ca<sup>++</sup> conc., appears one of the most important elements determining the presence of nematophagous fungi in soil.

**Keywords** : endoparasitic fungi, nematophagous fungi, soil chemicals, soil ecology, soil microorganisms, nematodes, predatory fungi

선충잡이곰팡이(Nematophagous fungi)는 식물계인 곰팡이가 동물계인 선충을 잡아먹는 독특한 현상으로 인하여 오래 전부터 많은 연구자들의 주목을 받아 왔으며, 근래에는 이들 곰팡이를 이용하여 식물기생성선충을 방제하고자 하는 생물적 방제연구도 활발하게 진행되고 있다(Cayrol, 1983; Kerry, 1990; Lee *et al.*, 2000; Mankau, 1980). 이들 곰팡이를 식물기생성선충의 천적으로 이용하기 위해서는 우수한 균주 선별과 함께 그들의 토양내 생태에 대한 이해가 필수적이다.

이 곰팡이들은 세계적으로 거의 모든 지역에 분포되어 있고, 매우 다양한 조건에서 발견되고 있으나, 곰팡이의 종류나 밀도는 서식지에 따라 다르다(Dixon, 1952;

Drechsler, 1937; Srivastava, 1986). 토양 미생물과 토양 이화학성은 상호 밀접한 관련이 있으며, 이들은 복합적으로 토양내 선충잡이곰팡이의 서식과 밀도에 영향을 미칠 것이다. 토양 이화학성, 토양 유기물, 토양 세균, 토양 선충 밀도 등이 선충잡이곰팡이의 분포에 영향을 미치며(Dackman *et al.*, 1987; Dixon, 1952; Duddington, 1954; Gray, 1985, 1988; Mittal, *et al.*, 1989), 선충잡이곰팡이의 포식기관 형성은 주로 양분, pH, 온도, 빛, 습도 등의 영향을 받는다(Nordbring-Herts, 1988).

국내의 선충잡이곰팡이 연구는 기초단계로서 몇몇 포식성곰팡이의 분류, 동정 및 이들을 이용한 포식능력 비교시험(Jeong, 1987; Kim *et al.*, 1997, 2001; Lee *et al.*, 2000) 등이 수행되었으나, 토양 이화학성과 미생물이 선충잡이곰팡이의 서식에 미치는 영향을 조사한 보고는 없다. 따라서 이 논문에서는 국내 남부지방의 여러 토양으로부터 선충잡이곰팡이를 분리하고, 선충잡이곰팡이가 서

\*Corresponding author  
Phone)+82-53-320-0233, Fax)+82-53-321-7730  
E-mail)kimdgr@naver.com

식하고 있는 토양과 없는 토양의 이화학적, 생물적 특성을 상호 비교 분석함으로써, 앞으로 선충잡이곰팡이 연구에 기초를 제공코자 실시하였다.

### 재료 및 방법

**토양 채집.** 1999년 7-8월 사이, 경상남북도의 시설재배지, 밭, 산 토양 총 37점을 채집하였다(Table 1). 시설재배지는 성주, 남지등 낙동강 유역에서 겨울철 참외, 오이를 재배하는 농가형 비닐하우스를 중심으로 하였고, 밭은 산기슭의 약간 경사지로 벼나 하우스 재배는 할 수 없고 콩이나 참깨를 재배한 흔적이 있는 곳이었다고, 산은 소나무, 풀밤나무 등이 자라는 지역이었다. 토양 채집방법은 표토를 5 cm 정도 제거한 후 깊이 15 cm까지 약 2 kg 정도 채집하였으며, 채집한 토양은 비닐봉투에 넣고 즉시 실험실로 운반하여 선충 분리, 토양 미생물 조사, 선충잡이곰팡이 분리 및 토양 이화학적 분석에 사용하였다.

**선충의 분리 및 동정.** 채집한 토양으로부터 굵은 돌과 식물 뿌리 등을 골라내고 3번 이상 잘 섞은 다음, 토양 300 cm<sup>3</sup>를 취하여 원심분리법(Southey, 1986)으로 선충을 분리하였다. 분리된 선충은 counting dish에 두고 해부현미경하에서 선충의 밀도를 조사하였으며, 400배 광학현미경을 이용하여 속까지 동정하였다.

**토양내 미생물상 조사.** 미생물 조사는 토양을 잘 섞은 후, 2 mm 체로 치고, 약 10 g의 토양을 이용하여 dilution plate법으로 조사하였으며, 대상 미생물에 따라 사용된 각 배지의 조성은 다음과 같다(Cappuccino and Sherman, 1996). 토양 방선균은 glycerol yeast extract agar(GYA: glycerol 5.0 ml, yeast extract 2.0 ml, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 1.0 ml, agar 15 g, DW 1 l), 세균은 tryptic soy agar(TSA: tryptone 15 g, soytone 5 g, sodium chloride 5 g, agar 15 g, DW 1 l), 곰팡이는 rose bengal 0.033 g과 streptomycin 30 mg/l을 첨

가한 sabouraud dextrose agar(SDA: peptone 10 g, dextrose 40 g, agar 15 g, DW 1 l)를 사용하였다. 항생제인 streptomycin은 SDA 배지 살균 후 첨가하였다. 직경 9 cm Petri dish에 각 희석배수별로 3반복 접종하였으며, 접종한 Petri dish는 25°C 항온기에 두고, 방선균 및 세균은 3-5일후, 곰팡이는 7일후 Petri dish 상에 나타난 colony 수를 조사하였다.

**선충잡이곰팡이 분리 및 동정.** 토양으로부터 선충잡이곰팡이의 분리는 Kim등(1997, 2001)의 방법을 응용하였는데, 분리배지는 GYA와 1.5% Water agar(WA)등 2종류를 사용하였다(Barron, 1977). 토양을 올려놓은 Petri dish는 실온(18-25°C)에 보관하였고, 접종 7일 후부터 2-3일간격으로 2개월 간 선충잡이곰팡이의 출현을 관찰하였다. 해부현미경에서 선충잡이곰팡이가 발견되면 400배 광학현미경으로 옮겨 동정하였고, 직접적인 동정이 어려운 곰팡이는 순수분리하여 cornmeal agar(Difco; CMA)에 옮기고 25°C에서 배양한 후 동정하였다(Barron 1977; Cooke and Godfrey, 1964; Van Oorschot, 1985). 각 배지 당 6반복으로 하여 토양 한점당 총 12개의 Petri dish를 조사하였다.

**토양 이화학적 분석.** 토양 이화학적 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법(2000)에 따랐으며, 토양을 풍건한 후 2 mm 체를 통과시켜 조제하였다. 산도는 1:5 토양 침출액을 pH meter(초차전극)로 측정하였고, 유기물함량은 Tyurin법으로, 유효인산은 Lancaster법, 치환성 양이온은 1N-NH<sub>4</sub>OAc(pH 7.0)으로 추출하여 원자흡광분석기(Perkin-Elmer, AAS 3300)로 분석하였다. 그리고 토양의 염류농도는 토양 10 g에 증류수 50 ml을 넣고 1시간 진탕 후 여과하여, 여액을 전기전도계(E. C.)로 측정하여 25°C로 온도 보정하였다.

**통계분석.** 토양 곰팡이의 서식에 영향을 미치는 토양 조건들은 대부분 비정규분포를 하며(Kent, 1972), 이러한 조건하의 두 집단을 상호 비교 할 때에는 주로 비모수

**Table 1.** Biological soil characteristics of three different sampling sites in Gyeongbuk and Gyeongnam province, Korea

Sampling sites	No. of soils	Predatory fungi		Number of nematodes/300 cm <sup>3</sup> soil				Soil microorganisms/g soil (×1,000)		
		Diversity index <sup>a</sup>	Density index <sup>b</sup>	Plant-parasitic		Non-parasitic		Fungi	Actinomycetes	Bacteria
				Root-knot	Other	Predator	Saprobis			
Upland	9	1.4	1.9	15	165	31	749	265	2,410	14,257
Greenhouse	20	1.7	2.3	1,850	89	11	475	219	3,463	40,891
Mountain	8	1.4	1.6	142	470	14	451	166	3,016	15,911
	<i>p</i> <sup>c</sup>	0.1657	<b>0.0209</b>	<b>0.0034</b>	0.3267	0.7508	0.4896	<b>0.034</b>	0.2219	<b>0.0283</b>

<sup>a</sup>Diversity Index: number of species isolated from a soil sample: 1=0~1, 2=2~4, 3=5~8.

<sup>b</sup>Density index: number of Petri dishes found with nematophagous fungi from a soil sample: 1=0~1, 2=2~4, 3=5~8, 4=9~12.

<sup>c</sup>*p* value is based on Kruskal-Wallis Test (Chi-Square Approximation).

(non-parametric)통계분석을 이용한다(Dickinson and Kent, 1972; Gray, 1985; Kent, 1972). 따라서 이 논문에서도 토양내 선충잡이곰팡이의 서식에 미치는 토양 이화학적 및 토양 미생물의 영향을 비모수통계분석법인 윌콕슨 서열합검정(Wilcoxon rank-sum test; 두 집단 비교)과 크루스칼-왈리스 검정(Kruskal-Wallis test; 세 집단 이상 비교)을 이용하여 분석하였다(SAS, 1990).

또 토양내 선충잡이곰팡이의 분포에는 한 개의 토양조건보다는 여러 토양조건이 복합적으로 관여할 것임으로, 여러 개의 토양조건을 복합적으로 분석할 수 있는 다변량 분석법이 필요하다. 이번 조사처럼 적은 표본수의 다양한 토양 조건을 분석하는데는 정상적인 회귀분석보다는, 여러 토양 조건을 대입하여 그 조건이 토양내 선충잡이곰팡이의 서식여부를 더 정확하게 예측하는지 아닌지

를 보고, 아닐 경우에는 제거하는 방식으로 가장  $p$  값이 높은 토양조건을 선택하는 로지스틱 회귀분석(Stepwise logistic regression)이 적합하다(Gray, 1985). 이 논문에서도 로지스틱 회귀분석법을 이용하여 선충잡이곰팡이의 서식에 미치는 토양 미생물 및 이화학성의 복합적 영향을 분석하였다(SAS, 1990).

## 결 과

**수집토양의 특성.** 밭, 산, 시설재배지 토양 등 총 37 점을 조사한 결과, 채집지역에 따라 토양 특성에 큰 차이가 있었으며, 특히 온실지역은 다른 지역에 비해 뿌리혹 선충 밀도, 곰팡이 및 세균 밀도가 높았고( $p < 0.05$ )(Table 1), 유효인산,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  함량 및 염류농도(Electrical

**Table 2.** Chemical soil characteristics of three different sampling sites in Gyeongbuk and Gyeongnam province, Korea

Sample site	No. of samples	pH (1:5)	Organic matter (g/kg)	Av. $P_2O_5$ (mg/kg)	Ex. cation (cmol <sup>+</sup> /kg)			E.C. <sup>a</sup> (dS/m)
					K	Ca	Mg	
Upland	9	5.5	16	394	0.26	2.64	1.8	0.3
Greenhouse	20	6.0	15	659	0.67	4.23	3.1	2.4
Mountain	8	5.7	28	146	0.46	2.54	1.5	0.5
	$p^b$	0.1940	0.1694	<b>0.0013</b>	<b>0.0332</b>	<b>0.002</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0001</b>

<sup>a</sup>Electrical conductivity of the saturation extract of the soil. A measure of salt content.

<sup>b</sup> $p$  value is based on Kruskal-Wallis Test (Chi-Square Approximation).

**Table 3.** Isolation frequency of groups and species of nematophagous fungi from soils sampled in Gyeongbuk and Gyeongnam province, Korea

Groups <sup>a</sup>	Mode of infection	Species	Frequency of isolation (%) <sup>c</sup>
Endoparasites	Conidia ingested	<i>Harposporium</i> sp.	3.5
	Adhesive conidia	<i>Meristacrum</i> sp.	3.5
Predators	Adhesive nets	<i>Arthrobotrys oligospora</i>	31.2
		<i>A. conoides</i>	12.7
		<i>A. arthrobotryoides</i>	2.5
		<i>A. superba</i>	0.8
		<i>Monacrosporium thaumasium</i>	5.3
		<i>Monacrosporium</i> spp.	3.8
	Adhesive knob	<i>M. elliposporum</i>	7.7
	Adhesive hyphae	<i>Cystopage lateralis</i>	12.0
	Constricting ring	<i>A. dactyloides</i>	6.3

<sup>a</sup>Grouping were made according to the mode of infection of endoparasites or the trapping mechanism of predators.

<sup>b</sup>Nematophagous fungi were isolated from thirty-seven soil samples using both 1.5% water agar and Glycerol yeast extract agar.

<sup>c</sup>Frequency of isolation(%) =  $\frac{\text{Number of Petri dishes with fungus}}{\text{Number of Petri dishes observed}} \times 100$

A total of 12 Petri dishes(water agar and glycerol yeast extract agar, 6 of each) were examined per soil sample.

conductivity)가 높았다( $p < 0.05$ )(Table 2).

**선충잡이곰팡이의 분리 및 동정.** 선충잡이곰팡이는 조사 토양으로부터 총 11종이 분리되었는데, 포식성곰팡이가 9종, 내부기생성곰팡이가 2종이었다. 이들 곰팡이에 대한 분류동정은 논문으로 발표되었다(Kim *et al.*, 2001). 균종별 분리빈도는 *Arthrobotrys oligospora*가 가장 높았고(25.5%), 다음은 *A. conoides* 9.5%, *Cystopage lateralis* 9.1%, *Monacrosporium elliposporum* 5.8% 순이었다(Table 3). 포식성곰팡이 중 포식기관별로는 끈끈이그물(Adhesive nets)을 이용하여 선충을 포식하는 종이 6종으로 가장 많았고, 끈끈이봉(adhesive knob), 수축성올가미(constricting ring), 끈끈이균사(adhesive hyphae)를 이용하는 것은 각 1종씩이었으며, 내부기생성곰팡이 중에서는 부착성 포자를 가진 *Meristacrum* sp. 1종, 내부발아성 포자를 가진 *Harposporium* sp. 1종이었다(Table 3).

**선충잡이곰팡이와 토양 요인간 통계분석.** 이번 조사

가 실시된 국내 토양의  $Ca^{++}$  함량은 1.18~7.03  $cmol^+/kg$  범위였고, 염류농도는 0.12~4.67  $dS/m$ 이었으며, pH는 4.1~7.0 범위였는데, pH와 토양의  $Ca^{++}$  함량 및 염류농도 사이에는 상호 높은 정의 상관관계가 있었다( $p=0.0001$ , 0.038)(Table 생략). 윌콕슨서열합검정(Wilcoxon rank-sum test) 또는 크루스칼-왈리스 검정(Kruskal-Wallis test)을 이용하여 토양 이화학적 및 토양 미생물이 토양내 선충잡이곰팡이의 서식 유無에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 토양 중에 가장 많은 끈끈이그물형 곰팡이는 토양내 유효인산 함량이 많고( $p=0.017$ ), 토양 pH가 중성에 가까우며( $p=0.026$ ), 세균밀도가 많은 곳( $p=0.035$ )에 많았고, 수축성올가미를 가진 *A. dactyloides*는  $K^+$ 함량이 많은 곳( $p=0.0027$ ), 끈끈이균사를 가진 *Cystopage lateralis*는  $Ca^{++}$ 가 많고( $p=0.003$ ), pH가 중성에 가깝고( $p=0.026$ ), 유기물 적은 곳( $p=0.011$ )에 주로 서식하고 있었으며 내부기생성곰팡이는 토양 조건에 따른 차이가 없었다.

**Table 4.** Comparison of biotic and abiotic factors in soils where nematophagous fungi were isolated or not, and with different diversity and density of the fungus (Parameters are shown only those with at least one is significantly different between category)

Parameters	Category	No. of obs.	Nematodes/300 $cm^3$ soil				Bacteria/g soil ( $\times 1,000$ )	
			Plant-parasitic		Saprophytic		Mean	<i>p</i>
			Mean	<i>p</i>	Mean	<i>p</i>		
Fungus with adhesive nets	Absent	13	216	0.4146	636	0.5667	25,106	<b>0.0350</b>
	Present	24	175		482		31,860	
= <i>Arthrobotrys oligospora</i>	Absent	17	202	0.3994	470	0.1899	25,282	0.1079
	Present	20	179		592		32,733	
= <i>A. conoides</i>	Absent	28	225	0.7086	473	0.1235	30,458	0.1765
	Present	9	78		734		26,312	
= <i>A. arthrobotryoides</i>	Absent	34	205	0.1704	501	<b>0.0394</b>	29,767	0.5290
	Present	3	13		939		25,623	
Fungus with adhesive hyphae	Absent	26	199	0.2630	468	0.1782	27,040	0.2430
= <i>Cystopage</i> sp.	Present	11	167		698		34,833	
Fungus with constricting ring	Absent	33	210	0.2792	518	0.1559	29,594	0.2368
= <i>Arthrobotrys dactyloides</i>	Present	4	18		689		28,041	
Diversity of nematophagous fungi <sup>b</sup>	1	20	183	0.4511	402	<b>0.0365</b>	24,485	0.1128
	2	14	236		652		36,536	
	3	3	18		890		27,481	
Density of nematophagous fungi <sup>c</sup>	1	13	217	<b>0.0217</b>	521	0.0508	28,074	0.1394
	2	13	314		680		19,362	
	3	7	6		184		52,329	
	4	4	17		738		26,068	

*p* values represent the level of statistical significance in the Wilcoxon rank-sum test or Kruskal-Wallis test.

<sup>b</sup>Diversity Index represents number of species of nematophagous fungi isolated from each soil sample: 1=0~1, 2=2~4, 3=5~8.

<sup>c</sup>Density index represents number of Petri dishes observed nematophagous fungi from each soil sample: 1=0~1, 2=2~4, 3=5~8, 4=9~12.

Table 4. Continue

Parameters	Group	No. of obs.	pH (1:5)		Organic matter (g/kg)		Av. phosphorus (mg/kg)		Ex. cation (cmol <sup>+</sup> /kg)				Electric conductivity (dS/m)	
									Potassium		Calcium			
			Mean	p	Mean	p	Mean	p	Mean	p	Mean	p	Mean	p
Fungus with adhesive nets	Absent	13	5.42	<b>0.0260</b>	18.4	0.869	286	<b>0.0169</b>	0.44	0.8176	2.88	0.0651	1.60	0.6566
	Present	24	6.00		18.3		599		0.58		3.85		1.47	
= <i>Arthrobotrys oligospora</i>	Absent	17	5.53	0.0644	15.9	0.301	320	<b>0.0247</b>	0.45	0.7622	3.34	0.3008	1.89	0.7262
	Present	20	6.00		20.2		619		0.59		3.63		1.22	
= <i>A. conoides</i>	Absent	28	5.64	<b>0.0309</b>	18.6	0.855	471	0.4648	0.47	0.0733	3.13	<b>0.0095</b>	1.53	0.8551
	Present	9	6.24		17.5		531		0.72		4.61		1.49	
= <i>A. arthrobotryoides</i>	Absent	34	5.75	0.3299	19.1	0.144	494	0.8862	0.51	0.5102	3.26	<b>0.0118</b>	1.36	<b>0.0393</b>
	Present	3	6.27		9.2		397		0.81		6.14		3.23	
Fungus with adhesive hyphae	Absent	26	5.62	<b>0.0265</b>	20.9	<b>0.0110</b>	511	0.9043	0.52	0.7834	3.04	<b>0.0031</b>	1.16	0.0523
	= <i>Cystopage</i> sp.	Present	11	6.18		12.3		430		0.56		4.55		2.33
Fungus with constricting ring	Absent	33	5.75	0.4804	16.8	0.4502	489	0.8601	0.44	<b>0.0027</b>	3.34	0.1128	1.46	0.2791
	= <i>Arthrobotrys dactyloides</i>	Present	4	6.09		30.2		459		1.24		4.74		2.01
Diversity of nemato phagous fungi <sup>b</sup>	1	20	5.52	<b>0.0409</b>	17.2	0.9925	460	0.5921	0.40	<b>0.0276</b>	2.92	<b>0.0078</b>	1.25	0.1889
	2	14	6.04		20.4		501		0.55		3.86		1.67	
	3	3	6.38		15.7		577		1.24		5.50		2.52	
Density of nematophagous fungi <sup>c</sup>	1	13	5.34	0.0779	17.9	0.2996	274	<b>0.0358</b>	0.49	0.0545	3.03	0.1314	1.56	0.5578
	2	13	6.03		14.0		497		0.34		3.64		1.64	
	3	7	5.89		27.3		697		0.70		3.26		0.91	
	4	4	6.23		18.0		718		0.99		4.87		2.08	

포식성곰팡이 종별로는 *A. oligospora*는 유효인산 함량이 많은 곳에 ( $p=0.025$ ), *A. conoides*는  $Ca^{++}$ 가 많고 ( $p=0.01$ ) pH가 높은 곳 ( $p=0.031$ ), *A. arthrobotryoides*는  $Ca^{++}$  함량 ( $p=0.012$ )과 염류농도가 높고 ( $p=0.039$ ) 부식선충이 많은 곳 ( $p=0.039$ )이었다. 그 외 선충잡이곰팡이들은 토양 조건에 따른 차이가 없었다 (Table 4). 선충잡이곰팡이의 종류가 다양하게 나타나는 곳은 토양중  $K^+$ 와  $Ca^{++}$  함량이 많고 ( $p=0.028, 0.008$ ), pH가 높으며 ( $p=0.041$ ) 부식선충이 많은 곳 ( $p=0.037$ ) 이었고, 선충잡이곰팡이의 밀도가 높은 토양은 유효인산 함량이 많고 ( $p=0.036$ ) 식물기생선충이 적은 곳 ( $p=0.022$ )이었다. 토양 조건중 총 곰팡이 밀도, 포식성선충 (predatory nematodes) 및 방선균의 밀도는 선충잡이곰팡이의 서식에 전혀 영향을 미치지 않았다.

선충잡이곰팡이의 서식에 영향을 미치는 토양요인들의 복합적 영향을 판단하기 위하여 로지스틱회귀분석을 실시한 결과는 Table 5와 같다. 내부기생성곰팡이는 pH와  $Ca^{++}$  함량이 각각 중요 요인이었고, 토양중 가장 분리빈도가 높은 끈끈이그물형 곰팡이 (*A. oligospora*, *A. conoides*, *A.*

*arthrobotryoides*, *A. superba*, *M. thaumasium*, *Monacrosporium* spp.)들은 유효인산 함량과 높은 유의성을 보였으며, 끈끈이균사 (*Cystopage lateralis*)는 유기물 함량이 낮은 토양, 끈끈이봉 (*M. ellipso sporum*)과 수축성올가미형 포식기관을 가진 종 (*A. dactyloides*)은 pH와 토양  $K^+$  함량이었다. 곰팡이의 종류별로는 *A. conoides*, *A. arthrobotryoides*, *M. thaumasium* 등이 토양 pH와  $Ca^{++}$  함량과 유의성이 있었고, 토양 우점종인 *A. oligospora*는 토양 조건과 유의성이 없었다. 결과로 보아, 토양 적응력이 뛰어나며 전세계적 우점종인 *A. oligospora*를 제외하고는 대부분의 선충잡이곰팡이들은 직, 간접적으로 pH와 관련이 있는 것으로 나타났다.

## 고찰

전체적으로 토양중 선충잡이곰팡이의 서식에 가장 큰 영향을 미치는 조건은 토양 pH로서 토양중  $Ca^{++}$  함량이 많고 pH가 6.0 이상인 토양에서 선충잡이곰팡이의 서식

**Table 5.** Soil factors(independent variables) affected groups and species of nematophagous fungi(dependent variables) proved by stepwise logistic regression analysis

Terms entered into model at each step ( $p < 0.05$ )			Improvement in prediction (p-value)
Dependent variable	Step	Independent variable	
Endoparasites <sup>a</sup>	1	pH	0.0004
Adhesive nets <sup>b</sup>	1	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0082
<i>Arthrobotrys oligospora</i>	n.s. <sup>c</sup>	n.s.	n.s.
<i>A. conoides</i>	1	pH	0.0076
	2	Ca <sup>++</sup>	0.0357
<i>A. arthrobotryoides</i>	1	pH	0.0357
	2	Ca <sup>++</sup>	0.0074
<i>A. superba</i>	NA <sup>d</sup>	NA	NA
<i>Monacrosporium thaumasium</i>	1	pH	0.0078
	2	Ca <sup>++</sup>	0.0465
<i>Monacrosporium</i> sp.	NA	NA	NA
Constricting ring ( <i>A. dactyloides</i> )	1	pH	0.0062
	2	K <sup>+</sup>	0.0114
Adhesive knob ( <i>M. ellipso sporum</i> )	1	pH	0.0013
	2	K <sup>+</sup>	0.0293
Adhesive hyphae ( <i>Cystopage lateralis</i> )	1	Organic matter	0.0042
	2	Mg <sup>++</sup>	0.0258

<sup>a</sup>Endoparasites: *Harposporium* sp. and *Meristacrum* sp.

<sup>b</sup>Adhesive nets: *Arthrobotrys oligospora*, *A. conoides*, *A. arthrobotryoides*, *A. superba*, *Monacrosporium thaumasium*, and *Monacrosporium* spp.

<sup>c</sup>n.s.: not significantly different ( $p = 0.05$ ).

<sup>d</sup>NA: not analysed because of too small sample size.

이 많았다. 선충잡이곰팡이의 분포에 미치는 pH의 중요성은 다른 연구자들에 의해서도 보고되었는데(Gray, 1985; Gupta, 1988), Gray(1985)는 206점의 토양으로부터 31종의 선충잡이곰팡이를 분리하고, 이들 곰팡이와 토양 습도, pH, 유기물 함량, 선충의 밀도와 관계를 조사하고, 선충잡이곰팡이의 분포에는 토양 습도와 pH가 가장 중요한 요인이라고 보고하였다. 그러나 Gray(1985)의 연구에서 선충잡이곰팡이의 분포가 많았던 토양은 이번의 조사와는 반대인 pH 6.0보다 낮은 pH 5.5였다. 반면 Gupta 등(1988)은 81점의 토양에서 7종의 포식성곰팡이를 분리하면서, pH 7.6보다는 pH 8.2에서 더 많은 포식성곰팡이가 발견된다고 보고하였다. 이러한 사실로 미루어 선충잡이곰팡이의 분포에 미치는 pH의 중요성은 인정되나, 각 연구자에 따라 선충잡이곰팡이의 서식 적정 pH 범위가, 산성, 중성, 알칼리로 서로 다르므로, 그 이유 혹은 적정 pH

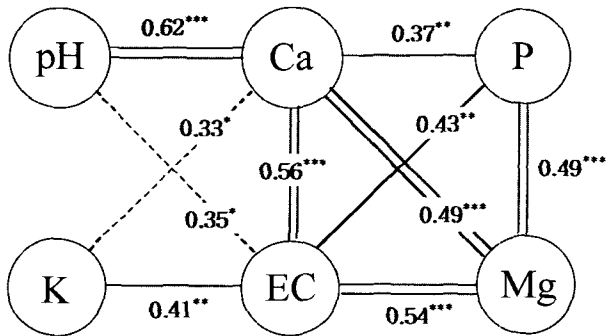
범위에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

선충잡이곰팡이중 끈끈이봉을 가진 *M. ellipso sporum* 종과 수축성올가미를 가진 *A. dactyloides* 종은 pH의 토양내 K<sup>+</sup>함량이 높은 토양에서(1.24 cmol<sup>+</sup>/kg soil) 자주 발견되었는데( $p = 0.003$ ), 영국에서도(Gray, 1988) K<sup>+</sup> 함량이 많은(1.43 cmol<sup>+</sup>/kg soil) 토양에 수축성올가미를 가진 종이 주로 발견되어 이번의 연구 결과와 일치하고 있다. 하지만 수축성올가미를 가진 종은 선충을 유인하지 않음으로(Jansson and Nordbring-Hertz, 1979), *A. dactyloides*의 선충 포식은 전적으로 토양내 선충의 밀도에 달려있다고 하고, 토양내 K<sup>+</sup> 함량이 많을수록 부식성선충 밀도가 높다고 하였다(Gray, 1988). 그러나 본 조사에서는 K<sup>+</sup> 함량과 선충의 밀도사이의 전혀 통계적 유의성이 없었다( $r = -0.017$ ,  $p = 0.92$ ).

토양에 신선유기물, 즉 파인애플 잎, 줄기 등을 첨가하면 이 유기물이 분해되는 과정에서 세균 밀도가 증가하고, 이 세균을 먹이로 하는 부식성선충의 밀도가 증가하며, 아울러 이 선충들을 잡아먹기 위해 포식성곰팡이의 밀도가 높아진다고 한다(Duddington *et al.*, 1960; Linford, 1937). 이번 조사에서 토양 유기물 함량과 선충잡이곰팡이 사이에는 유의성이 발견되지 않았고, 오히려 끈끈이균사를 가진 *Cystopage lateralis*종은 유기물이 많은 곳보다(20.9 g/kg) 적은 곳에(12.3 g/kg) 많았다( $p = 0.01$ ). 이러한 차이점이 유기물의 종류(완숙, 미숙) 때문인지 혹은 외국과 국내의 토양 유기물함량 차이 때문인지는 추후 검정이 필요하다.

부식성선충이 많은 곳에 선충잡이곰팡이의 종류가 다양하였고 특히 *A. arthrobotryoides*의 검출률이 높았으며, 선충잡이곰팡이의 밀도가 높은 곳에는 식물기생성충 밀도가 낮았다. 그러나 선충잡이곰팡이의 먹이가 되는 선충 밀도가 모든 선충잡이곰팡이의 서식에 결정적인 요인은 아니었는데, 아마 선충잡이곰팡이의 종류에 따라 각각의 영양 조건이 다르기 때문으로 생각된다(Cooke, 1963). 토양에 미숙 유기물을 첨가하면 끈끈이그물을 가진 종이 가장 먼저 나타나고, 이 종이 줄어들기 시작하면 끈끈이격자를 가진 *M. cionopagym*이 나타나는데, 수축성올가미를 가진종은 가장 마지막에 나타나고 기생성곰팡이류는 거의 역할이 미미하다. 토양내 경쟁력이 강한 *A. oligospora*는 세계적 우점종인데(Dixon, 1952; Duddington, 1954; Kim *et al.*, 1997; Srivastava, 1986), 이번 조사에서 토양중의 유효인산 함량의 다른 토양조건과는 거의 관계없이 독립적으로 서식하고 있었다.

토양과 관련된 미생물 생태조사는 제한된 토양 점수에 비해 다양한 토양 조건, 그리고 다양한 미생물상이 관련



**Fig. 1.** Diagrammatic drawing of main soil chemical elements with significant correlation coefficients. Number indicates correlation coefficients (\*=0.05, \*\*=0.01, \*\*\*=0.001) and double lines indicate the strongest correlation between elements.

되어 조사지역이나 조사시기에 따라 결과가 다르게 나타나는 경우가 있음으로 일정한 결론을 내리기가 어렵다. 단, 이번 조사에 국한하여 결론을 내린다면,  $\text{Ca}^{++}$  함량은 pH와 높은 정의 상관관계에 있었고( $r=0.62^{***}$ , Fig. 1), 대부분 선충잡이곰팡이의 서식은 pH와 높은 유의성을 보여, 토양 pH가 선충잡이곰팡이의 서식에 중요 요인중 하나가 아닐까 생각된다.

## 요 약

시설재배지, 밭, 산 토양 총 37점을 채집하여, 토양 이화학적과 토양 미생물이 선충잡이곰팡이의 서식에 미치는 영향을 조사하였다. 선충잡이곰팡이는 조사토양의 84%에서 총 11종이 분리되었고, 이 중 포식성곰팡이가 9종, 내부기생성곰팡이가 2종이었다. 포식성곰팡이중 *Arthrobotrys oligospora*의 분리빈도는 25.5%로 가장 높았으며, 선충잡이곰팡이의 종류는 부식성선충이 많은 곳에, 밀도는 식물기생성선충 밀도가 적은 곳에 높았다. 로지스틱 회귀분석법에 의하면, 내부기생성곰팡이(endoparasites)는 토양 pH, 끈끈이그물형 곰팡이(adhesive network)들은 유효인산 함량, 끈끈이균사형(*Cystopage lateralis*)은 낮은 유기물 함량과  $\text{Mg}^{++}$ 함량, 끈끈이봉(*Monacrosporium ellipsosporum*)과 수축성올가미형 포식기관을 가진 종(*A. dactyloides*)은 pH와  $\text{K}^+$ 함량이 주요 요인이었다. 곰팡이의 종류별로 *A. conoides*, *A. arthrobotryoides*, *M. thaumasium* 등은 토양 pH와  $\text{Ca}^{++}$  함량과 유의성이 높았고, 토양 우점종인 *A. oligospora*는 토양 조건에 전혀 영향을 받지 않았다.  $\text{Ca}^{++}$  함량은 pH와 정의 상관관계에 있고 대부분 선충잡이곰팡이의 서식은 pH와 높은 유의성을 보여, 토양 pH가 선충잡이곰팡이의 서식에 중요 요인중 하나가 아닐까 생각된다.

## 참고문헌

- Barron, G. L. 1977. *The Nematode-trapping Fungi*. Canadian Biological Publications, Guelph, Ontario, Canada. 140pp.
- Cappuccino, J. G. and Sherman, N. 1996. *Microbiology. A Laboratory Manual*. The Benjamin/Cummings Publ. Co. New York. 477pp.
- Cayrol, J. C. 1983. Biological control of *Meloidogyne* by *Arthrobotrys irregularis*. *Rev. Nematol.* 6: 265-273.
- Cooke, R. C. 1963. Succession of nematophagous fungi during the decomposition of organic matter in the soil. *Nature*. 4863: 205.
- Cooke, R. C. and Godfrey, B. E. S. 1964. A key to the nematode-destroying fungi. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 47: 61-74.
- Dackman, C., Olsson, S., Jansson, H.-B., Lundgren, B. and Nordbring-Hertz, B. 1987. Quantification of predatory and endoparasitic nematophagous fungi in soil. *Microbiol. Ecol.* 13: 89-93.
- Dickinson, C. H. and Kent, J. W. 1972. Critical analysis of fungi in two sand dune soils. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 58: 269-280.
- Dixon, S. M. 1952. Predacious fungi from rotten wood. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 35: 144-148.
- Drechsler, C. 1937. Some hyphomycetes that prey on free-living terricolous nematodes. *Mycologia* 29: 447-552.
- Duddington, C. L. 1954. Nematode-destroying fungi in agricultural soils. *Nature* 173: 500-501.
- Duddington, C. L. and Duthoit, C. M. G. 1960. Green manuring and cereal root eelworm. *Plant Pathology* 9: 7-9.
- Gray, N. F. 1985. Ecology of nematophagous fungi: effect of soil moisture, organic matter, pH and nematode density on distribution. *Soil Biol. Biochem.* 17: 499-507.
- Gray, N. F. 1988. Ecology of nematophagous fungi: effect of soil nutrients N, P and K, and seven major metals on distribution. *Plant and Soil.* 108: 286-290.
- Gupta, N., Saxena, G., Singh, V. P. and Mukerji, K. G. 1988. Factors affecting distribution of nematophagous fungi in Delhi. *Acta Botanica Indica* 16: 46-50.
- Jansson, H.-B. and Nordbring-hertz, B. 1979. Attraction on nematodes to living mycelium of nematophagous fungi. *J. Gen. Microbiol.* 112: 89-93.
- Jeong, M. J. 1987. Isolation of nematophagous fungi and evaluation of their biological control potential against *Meloidogyne hapla* Chitwood in pepper. M.S. Thesis. Gyeongsang Nat. Univ. JinJu, Korea
- Kent, J. W. 1972. Application of statistical techniques to the analysis of fungal populations. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 58: 253-268.
- Kerry, R. B. 1990. An assessment of progress toward microbial control of plant-parasitic nematodes. *Suppl. J. Nematol.* 22: 621-631.
- Kim, D. G., Bae, S. G. and Shin, Y. S. 2001. Distribution of

- nematophagous fungi under different habitats. *Korean J. Mycol.* 29: 123-126.
- Kim, D. G., Lee, J. K., Lee, Y. K., Choi, Y. C. and Kim, Y. K. 1997. Description on five species of *Arthrobotrys* (Corda) Schenck, Kendrick & Pramer in Korea and their key. *RDA. J. Crop Protection* 39: 33-41.
- Lee, J. K., Kim, D. G. and Lee, Y. K. 2000. Comparison of predacity of nematode predatory fungi against *Meloidogyne incognita*. *Korean J. Applied Entomology* 39: 111-115.
- Linford, M. B. 1937. Stimulated activity of natural enemies of nematodes. *Science* 85: 123-124.
- Mankau, R. 1980. Biological control of nematode pests by natural enemies. *Ann. Rev. Phytopathol.* 18: 145-440.
- Mittal, N., Saxena, G. and Mukerji, K. G. 1989. Ecology of nematophagous fungi; distribution in Delhi. *J. Phytological Res.* 2: 31-37.
- Nordbring-Herts, B. 1988. Ecology and recognition in the nematode-nematophagous fungus system. In: *Advances in Microbial Ecology* Vol. 10. Ed. by K. C. Marshall, pp. 81-114. Plenum, New York.
- SAS, 1990. *SAS/STAT User's Guide*. Version 6. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Southey, J. F. 1986. *Laboratory Methods for Work with Plant and Soil Nematodes*. Her Majesty's Stationery Office. London.
- Srivastava, S. S. 1986. Distribution of nematophagous fungi in I.A.R.I. Campus soil, New Delhi. *Indian J. Nematol.* 16: 128-130.
- Van Oorschot, C. A. N. 1985. Taxonomy of the *Dactylaria* complex. V. A review of *Arthrobotrys* and allied genera. *Studies in Mycology* 26: 61-96.
- 농촌진흥청. 2000. 토양 및 식물체 분석법: 물리·화학·미생물. 농촌진흥청, 농업기술연구소.