

东北地区大豆胞囊线虫卵定殖真菌的多样性研究

孙玉秋^{1,2}, 许艳丽¹, 李春杰¹, 潘凤娟¹, 张 原³

(1 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 黑土区农业生态国家重点实验室, 海伦农田生态系统国家野外观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150081; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3 黑龙江省植检植保站, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 采用蔗糖梯度离心法及形态与分子方法相结合的真菌鉴定技术, 对黑龙江、吉林和辽宁 3 省的大豆田根际土进行分离鉴定, 分析土壤中大豆胞囊线虫卵定殖真菌种类及多样性。研究结果显示, 采自黑龙江、吉林和辽宁 38 个县市大豆田根际的 122 份土样中, 共分离获得真菌菌株 3 937 株, 鉴定出 24 个不同的属。Paecilomyces spp., Verticillium spp 和 Fusarium spp 的菌株数量最多, 分别占总菌株数量的 37.9%, 14.2% 和 7.4%。黑龙江省的卵定殖真菌以 Paecilomyces spp 和 Fusarium spp 为优势种类, 辽宁和吉林省以 Verticillium spp 为优势定殖真菌。连作 5 年以上的 17 份大豆田土壤样品中, 有 10 份卵优势真菌均为 Paecilomyces lilacinus(淡紫拟青霉), 6 份为 Verticillium dahliae(厚孢轮枝菌), 1 份为 Fusarium spp

关键词: 东北地区; 大豆胞囊线虫; 卵; 定殖真菌

中图分类号: S476⁺.15 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2011)02-0233-06

Mycofloras in Eggs of the Soybean Cyst Nematode in Northeast China

SUN Yuqiu^{1,2}, XU Yan-li¹, LI Chun-jie¹, PAN Feng-juan¹, ZHANG Yuan³

(1 Key Laboratory of Mollisols Agroecology National Observation Station of Hailun Agroecology System Northeast Institute of Geography and Agroecology Chinese Academy of Sciences Harbin 150081, China
2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences Beijing 100049 China
3 Plant Quarantine and Plant Protection Station of Heilongjiang Province Harbin 150090)

Abstract: During 2007 - 2008 mycofloras in eggs of the soybean cyst nematode (SCN), *Heterodera glycines* were investigated in 122 fields from 38 counties in Heilongjiang, Jilin and Liaoning province, China. Sucrose gradient centrifugation and morphological and molecular identification of fungi technology were used. The results showed that 3 937 strains of fungi isolated and identified 24 genera from the nematode. Paecilomyces spp., Verticillium spp and Fusarium spp were accounted for 37.9%, 14.2% and 7.4%, respectively. Paecilomyces spp and Fusarium spp were the dominant species in Heilongjiang Province while Verticillium spp was the dominant colonizing fungi in Liaoning and Jilin. More than 5 years of continuous cropping soybean field soil samples 17 were examined, the dominant colonizing fungi was Paecilomyces lilacinus in 10 fields, Verticillium dahliae in 6 fields, Fusarium spp in 1 field.

Key words: Northeastern; Soybean cyst nematode; Egg Fungi

大豆胞囊线虫病害 (*Heterodera glycines*) 是世界大豆产区的一种重要病害, 在美国、巴西、加拿大和中国等大豆主产国, 大豆胞囊线虫病引起的损失比任何一种单一病害所造成的损失都大, 轻则使大豆减产可达 30% ~ 50%, 甚至高达 70% 左右^[1-3]。由于大豆胞囊线虫防治困难, 有效防治的化学药剂毒性大, 且污染环境, 使近年人们更加关注生物防

治, 生防因子中, 研究最深入且最具生防潜力的是食线虫真菌, 食线虫真菌是大豆胞囊线虫重要的天敌之一, 过去, 人们研究最多的是捕食线虫真菌, 但它们对靶标线虫是非选择性的, 不能有效地阻止土壤中线虫群体的增加, 由此人们开始转向对线虫具有寄生作用的机会真菌的研究^[4-5]。机会真菌可专性或兼性寄生植物固着性的线虫卵、雌虫和胞囊等, 或

收稿日期: 2011-02-14

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30971900); 黑龙江科技攻关项目 (GA09B103-10); 黑龙江省自然科学基金项目 (C200630)

作者简介: 孙玉秋 (1971-) 女, 黑龙江克东人, 在读博士, 主要从事大豆胞囊线虫病研究。

通讯作者: 许艳丽 (1958-) 女, 辽宁本溪人, 研究员, 博士生导师, 主要从事植物线虫病、作物病虫害发生、生物生态控制和土壤微生物研究。

寄生游离线虫的卵。根据对线虫的侵染方式不同可将机会真菌分为两种：卵寄生菌和胞囊寄生菌，这些真菌一般都属于土壤习居菌，在农业土壤中具有较强的竞争能力，因而成为大豆胞囊线虫生防菌中最具生防潜力的生防菌物。目前从大豆胞囊线虫的卵、二龄幼虫（J2）、胞囊上分离到的真菌全世界已有 115 个属，232 个种，我国也已报道了 30 个属，51 种真菌^[6-14]。孙漫红等^[15]在东北黑龙江省的双河农场和宝泉岭农场及吉林省的白城调查结果显示，大豆多年连作引起大豆胞囊线虫种群数量的减少，空胞囊率达 80%，胞囊上真菌分离频率高，有的土样中有明显的优势真菌—淡紫拟青霉（*Paecilomyces lilacinus*）和厚孢轮枝菌（*Verticilium chlamydosporium*）。人们称此类土为大豆胞囊线虫抑制性土壤，将此抑制性土壤灭菌后，原有的抑制特性丧失，因此

认为连作土壤中大豆胞囊线虫种群数量减少的主要原因是食线虫真菌的作用。

以往研究主要集中于大豆胞囊线虫胞囊和雌虫定殖真菌的分离和鉴定，我国对东北大豆主产区大豆胞囊线虫卵的定殖真菌多样性研究鲜为报道。因此，对中国东北大豆主产区大豆胞囊线虫卵定殖真菌进行研究，以期进一步揭示大豆胞囊线虫病抑制性土壤的抑制机制，为线虫生态学和利用天敌控制大豆胞囊线虫病提供参考。

1 材料和方法

1.1 土壤样品采集地点

采自黑龙江、吉林和辽宁 38 个县市大豆田根围土样 122 份（表 1）。

表 1 东北地区土壤样品采集地点

Tab 1 Distribution of soybean soil samples

采集地点 Sites	样品编号 No	样品数量 Amount	采集地点 Sites	样品编号 No	样品数量 Amount
辽宁昌图 Liaoningchangtu	LN01	4	黑龙江巴彦 Heilongjiangbayan	HL20	2
辽宁清原 Liaoningqingyuan	LN02	4	黑龙江穆陵 Heilongjiangmuling	HL21	3
辽宁开原 Liaoningkaiyuan	LN03	5	黑龙江依安 Heilongjiangyian	HL22	3
辽宁阜新 Liaoningfuxin	LN04	4	黑龙江牡丹江 Heilongjiangmudanjiang	HL23	4
辽宁和平 Liaoningheping	LN05	3	黑龙江甘南 Heilongjianggannan	HL24	3
辽宁郝官屯 Liaoninghaoguantun	LN06	3	黑龙江嫩江 Heilongjiangnenjing	HL25	3
辽宁抚顺 Liaoningfushun	LN07	4	黑龙江齐齐哈尔 Heilongjiangqihar	HL26	1
辽宁法库 Liaoningfaku	LN08	3	黑龙江克山 Heilongjiangkeshan	HL27	4
辽宁康平 Liaoningkangping	LN09	4	黑龙江海伦 Heilongjianghailun	HL28	3
辽宁彰武 Liaoningzhangwu	LN10	5	黑龙江依兰 Heilongjiangyilan	HL29	3
辽宁吉岗子 Liaoningjigangzi	LN11	3	黑龙江木兰 Heilongjiangmulan	HL30	3
辽宁东梁 Liaoningdongliang	LN12	2	黑龙江绥化 Heilongjiangsuihua	HL31	2
黑龙江宝清 Heilongjiangbaoqing	HL13	3	黑龙江宁安 Heilongjiangningan	HL32	4
黑龙江拜泉 Heilongjiangbaiquan	HL14	3	黑龙江桦川 Heilongjianghuachuan	HL33	3
黑龙江哈尔滨 Heilongjiangharbin	HL15	2	吉林扶余 Jilinifyu	JL34	3
黑龙江讷河 Heilongjiangnehe	HL16	4	吉林榆树 Jilinyushu	JL35	3
黑龙江克东 Heilongjiangkedong	HL17	3	吉林梨树 Jilinheshu	JL36	3
黑龙江通河 Heilongjiangtonghe	HL18	3	吉林大坡 Jilindapo	JL37	3
黑龙江鸡东 Heilongjiangjiodong	HL19	4	吉林长岭 Jilinchangling	JL38	3

1.2 土壤样品采集方法

于 2007—2008 年间采集土样。采集时，去掉 0 ~5 cm 表土，拔出大豆根，取 5 ~20 cm 耕层根际土壤，“Z”字形法取样。每块地取样 10 ~20 个点，每点取 100 g 将土样充分混合，用四分法取 500 g 放入新的塑料袋中封好后运回实验室，于 4℃冰箱中保存待用。

1.3 胞囊分离

取出冰箱中保存的土样，每份称取 200 g 置于 250 mL 烧杯中，加水 300 mL 浸泡 1 h 并转移至 1 000 mL 的塑料烧杯中，1 750 r/min 搅拌 3 min 用强水流冲洗土样混浊液，静止 30 s 后过 20、60 目套

筛，收集 60 目筛上物于 50 mL 离心管中，2 500 r/min 离心 3 min 弃上清，再加入 45 mL 的 70% 蔗糖溶液，充分混匀，2 500 r/min 离心 3 min 上清液过 60 目筛，用水轻轻冲洗筛上物，洗去残留的蔗糖，冲洗到放有滤纸的漏斗中，过滤后取出滤纸晾干，收集大豆胞囊线虫的胞囊。

1.4 卵悬液制备

将收集待用的胞囊 0.5% NaClD 表面消毒 3 min 后，经橡胶塞在 200 目筛上研磨后，收集 200 目和 500 目筛上物于 50 mL 离心管中，35% 蔗糖梯度 2 500 r/min 离心 3 min 含卵的上清液再过 500 目筛，无菌水冲洗后，收集于 50 mL 离心管中，保存于

4℃冰箱中备用。

1.5 卵寄生真菌分离

参照 Jaffee 等的方法:将制备的大豆胞囊线虫卵悬液 0.5%NaClO 表面消毒 3 min 后,无菌水冲洗后,制成卵浓度为 500 个/mL 的卵悬液,每皿 100 μL 置于加有抗生素的 PDA 平板上(链霉素 100 mg/L 四环素 50 mg/L),25℃条件下培养,分离纯化卵定殖真菌。

1.6 形态鉴定

将斜面保存的菌株接种到 PDA 平板上,在 25℃条件下进行培养。先根据菌落形态特征对菌株进行初步分组,然后进行显微特征观察。对能产生分生孢子等分类鉴定特征的菌株,依据形态学特征进行鉴定。对不易产生形态鉴定特征的菌株,通过改变培养基和培养条件(如温度、光照)以及采用黑光灯照射等方法诱导产孢。真菌分类鉴定参考的书目主要有《Compendium of Soil Fungi》、《Illustrated Genera of Imperfect Fungi》、《Genera of Hyphomycetes》和《中国食线虫真菌的分类学及生态学研究》等。真菌学名的使用参考《Dictionary of the Fungi》^[16-18]。

1.7 分子鉴定

对于不易产孢的菌株,用引物对 ITS1/ITS4 扩增并测序核糖体 DNA 内转录间隔区(rDNA-ITS)序列,用 Blast 搜索软件从 GenBank、欧洲分子生物学实验室(EMBL)和日本 DNA 序列资料库(DDBJ)等公共数据库中进行相似性搜索,以获得的有显著相似性的序列作为鉴定参考。

真菌 ITS 扩增采用的通用引物,正向引物 ITS1: 5'-GTTCCCCTTGAACGAGGAATTC-3',反向引物 ITS4: 5'-CGCATTTTCGCTGCGTCGTTCTTC-3'。

1.8 数据统计分析

采用 DPS2.0 和 Excel2003 进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 东北地区大豆胞囊线虫卵定殖真菌多样性
共分离获得真菌菌株 3 937 株。根据形态特征,将所得菌株鉴定到 24 个不同的属。Paecilomyces spp Verticillium spp 和 Fusarium spp 的菌株数量最多,分别占总菌株数的 37.9%, 14.2%, 7.4%(表 2)。分离频率=某种卵定殖真菌菌株数量/所有卵定殖真菌菌株数量。

表 2 东北地区大豆胞囊线虫卵定殖真菌种类和发生频率
Tab 2 Species and frequency of fungicobnizing eggs of Heterodera glycines in northeastern China

序号 No	分类地位 Taxonomic status	菌株数 Quantity	分离频率/% Percentage
1	Paecilomyces	1 493	37.9
2	Verticillium	558	14.2
3	Fusarium	292	7.4
4	Cladosporidium	169	4.3
5	Stibella	157	4.0
6	Neonectria	138	3.6
7	Chrysosporium	137	3.5
8	Acremonium	114	2.9
9	Trichodeima	94	2.4
10	Colleobtrichum	92	2.3
11	Penicillium	79	2.0
12	Septoria	75	1.9
13	Cylindrocarpon	71	1.8
14	Phoma	59	1.5
15	Alternaria	59	1.5
16	Geomyces	59	1.5
17	Aspergillus	51	1.3
18	Mucor	51	1.3
19	Paecilomyces marquandii	47	1.2
20	Gliocladium	43	1.1
21	Chaeromium	40	1.0
22	Heteroconium	35	0.9
23	MortiereIIa	20	0.5
24	Phialophora	4	0.1
菌株总数 Total		3 937	100

2 2 分子鉴定结果

将测序菌株的基因序列提交后进行相似性搜索,与最相似菌株的亲缘关系见表 3, 23 株分离菌

株的 ITS rDNA 序列长度为 533 ~641 bp不等,分别与 4 个已知属的 5 种已知菌的序列同源性都在 98%以上。

表 3 分离菌株与亲缘关系最近菌株的序列相似性

Tab. 3 Phylogenetic relation to nearest neighbors of strains isolated from northeast China

菌株编号 NQ	片段长度 Length	参考物种 Reference	登录号 Accesspm No	序列相似性 Sequence similarity
0101	540	青霉 <i>Penicillium</i> sp.	EU497955	99
0102	540	青霉 <i>Penicillium</i> sp.	EU497955	99
0103	540	青霉 <i>Penicillium</i> sp.	EU497955	99
0104	540	青霉 <i>Penicillium</i> sp.	EU497955	99
0105	540	青霉 <i>Penicillium</i> sp.	EU497955	99
0106	536	枝孢霉 <i>Cladosporium</i> sp.	AY251072	99
0107	536	枝孢霉 <i>Cladosporium</i> sp.	AY251072	99
0108	536	枝孢霉 <i>Cladosporium</i> sp.	AY251072	99
0109	533	镰孢菌 <i>Fusarium</i> sp	DQ657854	99
0110	533	镰孢菌 <i>Fusarium</i> sp	DQ657854	99
0111	533	镰孢菌 <i>Fusarium</i> sp	DQ657854	99
0112	533	镰孢菌 <i>Fusarium</i> sp	DQ657854	99
0113	533	镰孢菌 <i>Fusarium</i> sp	DQ657854	99
0114	540	尖镰孢 <i>Fusarium oxysporum</i>	DQ452447	99
0115	540	尖镰孢 <i>Fusarium oxysporum</i>	DQ452447	99
0116	540	尖镰孢 <i>Fusarium oxysporum</i>	DQ452447	99
0117	540	尖镰孢 <i>Fusarium oxysporum</i>	DQ452447	99
0118	540	尖镰孢 <i>Fusarium oxysporum</i>	DQ452447	99
0119	540	尖镰孢 <i>Fusarium oxysporum</i>	DQ452447	99
0120	641	被孢霉 <i>Mortierella</i> sp	EU240119	98
0121	641	被孢霉 <i>Mortierella</i> sp	EU240119	98
0122	641	被孢霉 <i>Mortierella</i> sp	EU240119	98
0123	641	被孢霉 <i>Mortierella</i> sp	EU240119	98

2 3 东北地区大豆胞囊线虫卵优势定殖真菌种类
黑龙江省的卵定殖真菌以 *Paecilomyces* spp 和

Fusarium spp 为优势种类, 辽宁和吉林省以 *Verticillium* spp 为优势定殖真菌 (表 4)。

表 4 东北地区大豆胞囊线虫卵优势定殖真菌分离频率

Tab. 4 Species and frequency of dominant fungicolonizing eggs of *Heterodera glycines* in northeast China

样品编号 No	分离物总数、个 Quantity	<i>Paecilomyces</i>		<i>Verticillium</i>		<i>Fusarium</i>		其他类群 个体 /个 Others
		数量 /个 Quantity	分离频率 /% Percentage	数量 /个 Quantity	分离频率 /% Percentage	数量 /个 Quantity	分离频率 /% Percentage	
LN01	46	1	2.2	0	0	4	8.7	41
LN02	11	0	0	1	9.1	1	9.1	9
LN03	22	0	0	0	0	4	18.2	18
LN04	22	0	0	5	22.8	3	13.6	14
LN05	45	0	0	24	53.3	3	6.7	18
LN06	22	0	0	2	9.1	0	0	20
LN07	5	0	0	0	0	2	40	3
LN08	2	0	0	2	1	0	0	0
LN09	36	1	2.8	5	13.9	2	5.6	28
LN010	67	0	0	12	18.0	4	6.0	51
LN11	54	0	0	20	37.3	9	16.7	25
LN12	242	0	0	85	35.1	14	5.8	143
HL13	172	16	9.3	0	0	27	15.7	129
HL14	210	160	76.2	0	0	3	1.4	47
HL15	95	50	52.6	0	0	12	12.6	33
HL16	170	89	52.4	0	0	6	3.5	75
HL17	378	320	84.7	0	0	50	13.2	7
HL18	30	5	16.7	0	0	1	3.3	24
HL19	21	9	42.9	2	9.5	0	0	10
HL20	25	12	48.0	0	0	9	36.0	4
HL21	450	130	28.9	4	0.9	52	11.6	264

续表 4

样品编号 No	分离物总数、个 Quantity	Paecilomyces		Verticillium		Fusarium		其他类群 个体 / 个 Others
		数量 / 个 Quantity	分离频率 / % Percentage	数量 / 个 Quantity	分离频率 / % Percentage	数量 / 个 Quantity	分离频率 / % Percentage	
HL22	267	115	43.1	23	8.6	46	17.2	83
HL23	100	75	75.0	3	3.0	0	0	22
HL24	130	90	69.2	10	7.7	0	0	30
HL25	19	5	26.3	3	15.8	0	0	11
HL26	400	153	38.3	0	0	5	1.3	242
HL27	20	2	10.0	0	0	0	0	18
HL28	90	40	44.4	0	0	0	0	50
HL29	90	52	57.8	4	4.4	0	0	34
HL30	270	53	19.6	207	76.7	0	0	10
HL31	140	21	15.0	91	65.0	4	2.9	24
HL32	56	24	42.9	20	35.7	1	1.8	11
HL33	3	0	0	1	33.3	0	0	2
JL34	43	0	0	28	65.1	0	0	15
JL35	22	0	0	2	9.1	2	9.1	18
JL36	9	0	0	0	0	1	11.1	8
JL37	123	70	56.9	0	0	16	13.0	37
JL38	30	0	0	4	13.3	1	3.3	25

2.4 大豆连作土壤卵优势定殖真菌

对连作 5 年以上的 17 份大豆田土壤样品分离卵寄生真菌, 17 份土壤样品中, 有 10 份卵优势真菌均为 *Paecilomyces* spp., 6 份为 *Verticillium* spp., 1 份

为 *Fusarium* spp.。经进一步鉴定, *Paecilomyces* spp 是 *Paecilomyces lilacinus* (淡紫拟青霉), *Verticillium* spp 是 *Verticillium chlamydosporium* (厚孢轮枝菌) (表 5)。

表 5 大豆连作土壤卵优势定殖真菌

Tab 5 Species and frequency of dominant fungi colonizing eggs of *Heterodera glycines* in monoculture fields

样品编号 No	采集地点 Sites	连作年限 Years of monoculture	分离物总数 Quantity	优势菌学名 Dominant	优势菌数量 Quantity	分离频率 / % Percentage
HL1501	黑龙江哈尔滨	8	46	<i>Paecilomyces</i>	24	52.2
HL1702	黑龙江克东	6	126	<i>Paecilomyces</i>	106	84.1
HL2201	黑龙江依安	6	100	<i>Paecilomyces</i>	75	75.0
HL2403	黑龙江甘南	5	39	<i>Paecilomyces</i>	29	74.4
HL1402	黑龙江拜泉	10	72	<i>Paecilomyces</i>	53	73.6
HL2301	黑龙江牡丹江	9	98	<i>Paecilomyces</i>	72	73.4
HL3001	黑龙江木兰	7	94	<i>Verticillium</i>	69	73.4
HL2802	黑龙江海伦	17	25	<i>Paecilomyces</i>	16	64.0
HL2901	黑龙江依兰	5	31	<i>Paecilomyces</i>	17	54.8
HL1601	黑龙江讷河	8	57	<i>Paecilomyces</i>	31	54.4
JL3702	吉林榆树	7	43	<i>Verticillium</i>	23	53.5
LN0502	辽宁和平	5	16	<i>Verticillium</i>	8	50.0
HL3101	黑龙江绥化	18	73	<i>Verticillium</i>	36	49.3
HL2001	黑龙江巴彦	11	13	<i>Fusarium</i>	6	46.2
LN1201	辽宁东梁	5	123	<i>Verticillium</i>	49	39.8
HL2602	黑龙江齐齐哈尔	6	106	<i>Paecilomyces</i>	37	34.9
HL2102	黑龙江穆陵	9	151	<i>Paecilomyces</i>	43	28.5

3 结论与讨论

东北黑龙江、吉林和辽宁共分离鉴定出大豆胞囊线虫卵定殖真菌 24 个属。 *Paecilomyces* spp., *Verticillium* spp 和 *Fusarium* spp 的数量最多。黑龙江省的卵定殖真菌以 *Paecilomyces* spp 和 *Fusarium* spp 为优势种类, 辽宁和吉林省以 *Verticillium* spp 为优势定殖真菌。连作 5 年以上大豆田优势真菌种

类以 *Paecilomyces lilacinus* (淡紫拟青霉) 最多, *Verticillium chlamydosporium* (厚孢轮枝菌) 次之。

美国农业部线虫实验室内 1990、1992 年两次来我国采集大豆胞囊线虫上的天敌, 伊利诺斯大学对 69 个种的定殖真菌研究发现, 大豆胞囊线虫发病严重的田块中, 胞囊上寄生真菌以茄孢镰刀菌 (*Fusarium solani*), 异皮壳多孢菌 (*Stagonospora heteroderae*) 为主; 而连作的衰退土壤胞囊中尖孢镰刀

菌 (*F. oxysporum*)、根状类茎点霉 (*Paraphoma radicina*) 最多。Chen等^[19]分离得 16个属 21株大豆胞囊线虫卵定殖真菌, 表明在美国明尼苏达南部, 大豆胞囊线虫卵优势定殖真菌是 *Cylindrocarpon destructans*(28%)。王克宁等^[20]从辽宁省的抚顺、彰武县和辽中县, 吉林省的白城, 黑龙江省的富拉尔基、安达和密山等 20个地区采集大豆根际土样 100个, 采用多种方法和多种培养基从有病胞囊上共分离出 510个真菌分离物, 初步鉴定出 19个属, 27个种, 结果认为, *Paecilomyces lilacinus*(淡紫拟青霉) 和 *Verticillium chlamydosporium* (厚孢轮枝菌) 都是大豆胞囊线虫的胞囊寄生真菌。

研究结果表明, 连作 5 年以上大豆田土壤样品中卵优势定殖真菌是 *Paecilomyces lilacinus*(淡紫拟青霉)、*Verticillium chlamydosporium* (厚孢轮枝菌) 和 *Fusarium spp.*, 而这几类真菌也是大豆胞囊线虫胞囊上和根结线虫卵囊上的寄生真菌。传统上的生物防治, 通常都是从外部引入有害生物的天敌从而达到减少有害生物种群大小的目的, 但生物防治的成功率都相对很低。其中缺乏对天敌与寄主生态上的相互作用和协同进化关系的了解, 可能是一个重要的因素, 因此真菌及其代谢物与寄主线虫相互作用和协同进化关系还有待于进一步的研究。

致谢: 中国科学院微生物研究所真菌地衣实验室为线虫寄生真菌鉴定提供了大量支持, 杨恩策博士参与并协助了真菌的分离, 刘杏忠研究员和孙丙达博士协助菌株的鉴定, 谨表诚挚谢意。

参考文献:

- [1] 段玉玺. 植物线虫病害防治技术 [M]. 北京: 金盾出版社, 2005
- [2] Riggs R D, Schmitt D P, Noel G R. Variability in race tests with *Heterodera glycines* [J]. *Journal of Nematology* 1988 20(4): 565—572
- [3] 许艳丽, 温广月. 大豆主要病虫害研究概况 I 大豆线虫病 [J]. *大豆通报*, 2005 1: 5—7
- [4] 陈立杰. 大豆胞囊线虫病的生防因子研究进展 [J]. 西

- 北农林科技大学学报, 2005 33(1) 190—193
- [5] 刘杏忠. 中国食线虫真菌的分类及生态学研究 [D]. 北京: 北京农业大学, 1991
- [6] 刘维志. 植物病原线虫学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [7] 马承铸, 段玉玺, 吴 刚. 植物线虫病害防治 [J]. 北京: 中国农业科技出版社, 2002 122—130
- [8] 林茂松. 真菌寄生大豆胞囊线虫的初步研究 [J]. *生物防治通报*, 1990 6 38—41.
- [9] 刘杏忠, 张东升, 武修英, 等. 定殖于大豆胞囊线虫胞囊内真菌的初步研究 [J]. *北京农业大学学报*, 1991 17(3): 87—91.
- [10] 李天飞, 张克勤, 刘杏忠. 食线虫菌物分类学 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2000
- [11] 范圣长. 大豆胞囊线虫胞囊内寄生真菌研究 [M]. 北京: 科学技术出版社, 2000
- [12] 范圣长. 大豆胞囊线虫胞囊寄生真菌分类及其致病性研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2004
- [13] 刘大伟, 段玉玺, 陈立杰, 等. 灰皮支黑豆抗大豆胞囊线虫 3号生理小种的生化机制研究 [J]. *华北农学报*, 2009 24(1): 165—168
- [14] 卢为国, 袁道华, 李金英, 等. 大豆抗胞囊线虫基因不同世代遗传率的变化 [J]. *河南农业科学*, 2010(2): 24—27.
- [15] 孙漫红, 刘杏忠. 连作土壤中大豆胞囊线虫种群数量减少的原因探讨 [J]. *植物病理学报*, 2000 30(4): 354—356
- [16] Domsch K H, Gams W, Anderson T H. *Compendium of soil fungi* [M]. 2nd edition. JHW-Verlag 2007: 1—672
- [17] Barnett H L, Hunter B B. *Illustrated genera of imperfect fungi* [M]. 4th edition. APS Press 1998: 1—218
- [18] Carmichael J W, Kendrick W B, Corners I L, et al. *Genera of Hyphomycetes* [M]. The University of Alberta Press 1980: 1—386
- [19] Fajun Chen, Senyu Chen. Mycofloras in cysts, females, and eggs of the Soybean cyst nematode in Minnesota Field [J]. *Applied Soil Ecology* 2002 19 35—50
- [20] 王克宁. 定殖于大豆胞囊线虫胞囊上的真菌分类研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 1995