

小麦禾谷孢囊线虫生防真菌的筛选与鉴定

袁虹霞 陈 莉 张飞跃 李洪连*

(河南农业大学植物保护学院, 郑州 450002)

摘要: 禾谷孢囊线虫病是我国黄淮流域小麦主产区的重要病害, 为寻找小麦禾谷孢囊线虫病的生防菌株, 采用组织分离法对河南各地小麦孢囊线虫孢囊上的寄生真菌进行分离, 共获得 42 株分离物, 并进行盆栽防治效果测定。结果显示, F03、F04、F08、F11、F13、F15、F20、F25、F26、F33 和 F37 等 11 个菌株对小麦禾谷孢囊线虫具有较好的防治效果, 平均防治效果均在 50% 以上。2008—2009 年在河南许昌县的大田防治试验结果表明, F04、F08、F20、F26 和 F37 等 5 个菌株表现出较好的防病作用, 灌浆期平均防治效果均达到 35% 以上。通过形态学和 rDNA-ITS PCR 分子鉴定, 这些菌株分别属于毛壳菌 *Chaetomium* sp.、茄病镰刀菌 *Fusarium solani*、草酸青霉 *Penicillium oxalicum*、茄葡柄霉属 *Stenophyllum solani* 和层出镰刀菌 *Fusarium proliferatum*。

关键词: 小麦禾谷孢囊线虫; 生防真菌; 筛选; 鉴定

Isolation and identification of fungal parasites of cyst nematodes in *Heterodera avenae* group

Yuan Hongxia Chen Li Zhang Feiyue Li Honglian*

(College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan Province, China)

Abstract Cereal cyst nematodes (CCN) in the *Heterodera avenae* group are recognised as the important pest of wheat in Huanghuai area. So far, there is no effective control method for CCN in this area. In order to seek for the biocontrol agents for CCN, 42 parasitic fungi were isolated from CCN cysts from different locations in Henan. The biocontrol potential of these isolates was evaluated in pots and in the field (Xuchang, 2008–2009). Eleven isolates (F03, F04, F08, F11, F13, F15, F20, F25, F26, F33, and F37) provided good control of CCN in pots, with average control efficacy more than 50% (based on disease index value). Five isolates provided good control in the field with control efficacy of over 35%. Based on morphology and rDNA-ITS PCR sequence analyses, five isolates (F04, F08, F20, F26, and F37) can be identified as *Chaetomium* sp., *Fusarium solani*, *Penicillium oxalicum*, *Stenophyllum solani*, and *F. proliferatum*, respectively.

Key words wheat cereal cyst nematode; biocontrol fungi; screening; identification

小麦禾谷孢囊线虫病 (cereal cyst nematode, CCN) 是一种世界性小麦病害^[1], 可危害小麦、大麦、燕麦、黑麦等多种禾谷类作物和牧草。自 1989 年在湖北首次报道以来, 该病害已广泛分布于我国湖北、河南、河北、山东、山西、陕西、甘肃、内蒙、青

海、安徽、北京等 10 多个省市自治区, 以黄淮麦区发病最重^[2–3]。2007—2008 年在我国小麦主产区河南省进行小麦禾谷孢囊线虫病普查, 发现郑州、安阳、许昌等 15 个地市均有不同程度发生, 发病面积达 120 万 hm^2 , 其中重病田面积在 10 万 hm^2 以上。

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (200903040-4), 科技部中澳特别基金项目 (2010DFA31380)

作者简介: 袁虹霞, 女, 1966 年生, 副教授, 研究方向为小麦土传病害, email: yhx2156@163.com

* 通讯作者 (Author for correspondence), email: honglianl@sina.com

收稿日期: 2010-04-06

王振跃等^[4]报道, 该病一般减产 20% ~ 30%, 有些地块甚至高达 50% 以上, 并有不断蔓延之势。

针对小麦孢囊线虫的防治方法国内外已做了一些研究, 并摸索出了一些有效的防控措施。澳大利亚通过培育和种植抗病小麦品种, 已经有效地控制了孢囊线虫病的危害^[5]; Brown^[6]研究表明, 轮作和适当调整播期可有效控制该病害。吴绪金等^[7]研究发现, 涕灭威、灭线磷等杀线剂具有一定的防治效果。但是, 国内大面积种植的小麦品种多数表现感病, 轮作等农业措施在我国广大麦区难以实施, 且化学杀线剂毒性大、成本较高, 因此, 尚缺乏有效的防治手段^[8-9]。

国内外已有许多植物线虫病害生物防治方面的研究, 并筛选出大量的生防微生物, 如细菌^[10]、真菌(捕食性真菌、线虫内寄生真菌、卵寄生真菌、产毒真菌、菌根真菌等)^[11-14]、放线菌、原生动物、捕食性线虫、杀线植物等^[15-16], 有些生防微生物如淡紫拟青霉 *Paecilomyces lilacinus*、厚垣轮枝孢菌 *Verticillium chlamydosporium* 已经开发出相应产品并在生产上推广使用^[14-17], 但有关小麦禾谷孢囊线虫病生物防治则鲜有报道, 为此, 本试验对小麦禾谷孢囊线虫生防真菌进行了筛选和鉴定。

1 材料与方法

1.1 病土采集与孢囊分离

病田土样采自河南省郑州市郊区、荥阳市、安阳县、许昌县等地小麦孢囊线虫病发生比较严重的地块, 采用土钻多点取样。取土时将表层干土去除, 取 0~20 cm 层的土壤, 将土样装入封口塑料袋, 带回实验室备用。将取来的样品在室内风干 2~3 周, 先用直径 3 mm 的筛子除去较大土块和残根, 然后采用 Fenwick-Oostenbrink 改良漂浮法分离孢囊。预先将漂浮器和筛子淋湿, 漂浮筒内灌满清水, 将风干土样放入顶筛中, 用水流冲洗, 使土壤全部淋洗到漂浮筒内, 并从环颈水槽流到 60 目筛子中。挑取筛子上的孢囊放入培养皿中备用。

1.2 生防真菌的分离

将孢囊用无菌水冲洗 3 次, 放在洁净培养皿里。在体视镜下将孢囊刺破, 然后移入马丁氏培养基平板上 25℃ 培养, 发现孢囊上长出菌落后, 挑取少许菌落边缘的菌丝移入 PDA 平板上培养。采用单孢分离法进行纯化, 并将纯化的真菌菌株移入 PDA 斜面并编号, 在 25℃ 恒温培养箱培养 7 天后移到 4℃

冰箱中保存。

1.3 不同菌株对小麦孢囊线虫病室内防治效果

生防菌扩繁: 将分离到的真菌菌株接种到经过高温灭菌处理的麦粒砂培养基中, 在 25℃ 条件下培养 15 天备用。

小麦播种及生防菌接种: 供试小麦品种为感病品种温麦 19, 种子由河南省农业科学研究院小麦研究所提供。从没有发生过小麦禾谷孢囊线虫病的砂壤土田块中采集土壤, 过筛后 160℃ 烘箱处理 2 h, 每钵 (约 300 g) 加入 5 g 培养好的生防真菌麦粒砂培养物, 将培养物与经过灭菌处理的无病土混合均匀, 装入培养钵并轻轻压实, 并设不接种处理作为对照。每处理 6 次重复。将催芽的小麦种子放入上述培养钵中, 每钵种 5 粒种子, 然后覆盖 1~2 cm 过筛灭菌土, 放入铝托盘中, 盘中浇透水后放在 15~20℃ 人工气候室内培养。

线虫孵化和接种: 先用低温刺激法孵化小麦孢囊线虫 2 龄幼虫 (J2)。方法: ①将收集的孢囊放于离心管中, 在 4℃ 的冰箱中低温处理 30 天, 再放于 15℃ 恒温培养箱中培养 30 天以孵化幼虫; ②用组织破碎器芯在离心管中轻轻扭动 1~2 次后加入 5~10 mL 无菌水, 用三角瓶收集破碎孢囊及 J2 幼虫悬浮液; ③将悬浮液倒入 200 目筛子中, 用无菌水轻轻洗下 200 目筛子上的 J2 幼虫, 用三角瓶收集 J2 幼虫; ④定容至 50 mL, 摇匀后取 1 mL 滴入计数皿, 在解剖镜下计数, 确定线虫浓度。出苗 7 天后开始接种 J2 线虫, 先用玻璃棒在营养钵中小麦幼苗根部附近插入 3~6 cm 深小洞, 同时将已制备好的 J2 幼虫悬浮液 200 条/株用移液枪注入小洞内, 再用细土封口。每隔 3 天接种 1 次, 共接种 3 次, 每株共接种 600 条幼虫。

病情调查: 接种 60 天后, 调查小麦根部根结形成情况。将植株连根挖出, 并尽可能保持根系完整。将取出的植株根系用自来水冲洗干净, 放在盛有清水的塑料盘中进行病情调查, 计算防治效果。病情分级标准^[8]: 0 级: 根部无根结; 1 级: 每株根部有 1~5 个根结; 2 级: 每株根部有 6~10 个根结; 3 级: 大部分根上有根结, 单株 10 个根结以上; 4 级: 根结相连成须根团, 难以计数。

1.4 不同菌株对小麦孢囊线虫病的田间防治效果

根据室内试验结果, 选取 F37、F15、F33 等 11 个对小麦禾谷孢囊线虫初筛防控效果较好的菌株, 在许昌县小麦孢囊线虫病发生严重地块进行大田防

治效果测定。供试生防菌株采用麦粒砂培养基扩繁后以每米行长施入 5 g 的剂量进行沟施,即取适量细干土与揉碎的生防菌培养物混合,撒施于播种沟内,与周围土壤混匀后再进行播种。另设不处理的小区作为空白对照。

分别在苗期和灌浆期调查小麦根部根结和孢囊形成情况,计算病情指数和防治效果。田间取样方法采取随机 3 点取样,每样点取 20 株,用小铁铲连同植株根系土壤挖出,带回室内调查。苗期调查分级标准及计算方法同 1.3 小麦灌浆期病情分级标准及计算方法参照吴绪金等^[7]。即 0 级:根部无孢囊,无病;1 级:感染极轻微,1~5 个孢囊/株;2 级:轻度发生,6~20 个孢囊/株;3 级:中度发生,20~40 个孢囊/株;4 级:严重发生,单株孢囊在 40 个以上。病情指数 = $[\sum \text{各级发病株数} \times \text{各级代表值}] / (\text{调查总株数} \times \text{最高级别代表值}) \times 100$ 防治效果 (%) = $[(\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}) / \text{对照病情指数}] \times 100$ 。不同分离菌株的防治效果采用 SPSS 13.0 软件进行方差分析和显著性检验。

1.5 生防真菌的形态学与分子生物学鉴定

1.5.1 形态学鉴定:分别挑取待测真菌菌丝于 PDA 培养基上,在 25℃ 条件下培养 7 天后,肉眼观察菌株生长速度、菌落颜色及表面特征等,测量菌落大小,用番红染色后在显微镜下进行菌丝、孢子形态观察,记载菌株的形态特征。参照魏景超^[18]、Booth^[19]、孔华忠^[20]等进行形态学鉴定。

1.5.2 分子生物学鉴定:分别称取 50~100 mg 待鉴定菌株的菌丝体,加液氮充分研磨后,迅速转移至 1.5 mL 离心管中,用上海生工生物工程技术服务有限公司的通用 DNA 纯化试剂盒提取菌株基因组 DNA,并利用该公司合成的通用引物 ITS1 5'-TCC GTA GGT GAA CCT GCG G 3'和 ITS4 5'-TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC 3'进行 PCR 扩增。扩增产物经琼脂糖凝胶回收纯化后,将 DNA 片段连接到 pMD19,然后将连接产物转化到感受态细胞中,进行阳性克隆的筛选。将白色克隆挑入 LB 培养液中,菌液送上海英骏生物技术有限公司测序,采用 DNAMAN 软件进行序列分析,并在 NCBI 数据库上通过 BLAST 比对分析。

2 结果与分析

2.1 不同分离菌株对小麦孢囊线虫病盆栽防治效果

结果表明,42 个菌株中以 F37 和 F15 防治效果

最好,均为 64.7%,F33、F04、F26、F08、F03、F13、F11、F20 和 F25 等 9 个菌株对小麦禾谷孢囊线虫病的防治效果均达到 50% 以上,显示出较好的生防潜力;F19、F22、F16 和 F41 等 4 个菌株达到 45% 以上。以上 15 个菌株处理后病情指数均显著低于对照。F24、F28 等 18 个菌株虽然也有一定的防治效果,但病情指数与对照差异不显著。而 F12、F35 等 8 个菌株处理后病情指数甚至高于对照,说明无防治效果(表 1)。

2.2 不同分离菌株对小麦孢囊线虫病的田间防治效果

结果显示,各菌株大田苗期防治效果普遍较低,11 个供试菌株虽病情指数均显著低于对照,但对病害的防治效果均低于 40%,且各菌株之间差别不大。灌浆期调查发现,F26、F04、F20 和 F08 等 4 个菌株田间防治效果大于 40%,F37 菌株防治效果也在 35% 以上,这 5 个菌株处理病情指数均与对照差异显著,而其它供试菌株防治效果均低于 30%(表 2)。

2.3 生防菌株的鉴定

2.3.1 菌株培养性状及形态学特征

F20 菌株:在 PDA 培养基上 25℃ 培养 7 天后,菌落直径为 35~60 mm,暗绿色或灰绿色,质地绒状;分生孢子大量产生,易分散;菌丝体白色或近于白色;分生孢子椭圆形或长椭圆形,壁光滑;分生孢子梗帚状,帚状枝通常双轮生,偶有三轮生或单轮生,梗基每轮 2~3 个,彼此通常较紧贴;瓶颈每轮 5~8 个或更多(图 1)。初步鉴定为半知菌青霉属的草酸青霉 *Penicillium oxalicum*。

F37 菌株:在 PDA 培养基上 25℃ 培养 7 天,菌落直径为 70 mm,菌落正面紫红色,气生菌丝较发达,呈密绒状或絮状,产生紫红或紫黑色色素,随菌龄的增加而变深;小型分生孢子链状着生在分枝的分生孢子梗上,卵圆形、椭圆形或肾形,单细胞,大型分生孢子少见,未见厚垣孢子(图 2)。初步鉴定为半知菌类镰刀菌属 *Fusarium* 的一种真菌。

F04 菌株:在 PDA 培养基上 25℃ 培养 7 天后,菌落直径 70 mm,菌落正面白色,生长均匀,背面初期白色,后期变浅黄色;菌丝致密平铺,成地毯状。长时间生长后基质产生淡黄色斑块。由于不产孢,无法进行形态学鉴定。

F08 菌株:在 PDA 培养基上 25℃ 培养 7 天,菌落直径 80 mm,菌落白色,卷毛状,边缘平铺,均匀生

表 1 不同生防菌株对小麦孢囊线虫病盆栽防治效果

Table 1 Control efficacy of different strains to CCN in pots

菌株编号	平均病情指数	防治效果 (%)	菌株编号	平均病情指数	防治效果 (%)
No. of fungus	Disease index	Control efficacy	No. of fungus	Disease index	Control efficacy
F37	16.67 i	64.70	F27	30.56 ghi	35.28
F15	16.67 i	64.70	F40	30.56 ghi	35.28
F33	19.44 hi	58.83	F36	33.33 eghi	29.42
F04	19.44 hi	58.83	F38	33.33 eghi	29.42
F26	19.44 hi	58.83	F17	33.34 eghi	29.39
F08	19.45 hi	58.81	F34	36.11 defghi	23.53
F03	19.45 hi	58.81	F06	36.11 defghi	23.53
F13	22.22 hi	52.94	F07	38.89 cdefgh	17.64
F11	22.22 hi	52.94	F39	38.89 cdefgh	17.64
F20	22.22 hi	52.94	F10	44.44 bcdefg	5.89
F25	22.22 hi	52.94	F29	44.44 bcdefg	5.89
F19	25.00 ghi	47.06	F21	47.22 bedef	0.00
F22	25.00 ghi	47.06	CK	47.22 bedef	—
F16	25.00 ghi	47.06	F02	52.78 bcde	— 11.77
F41	25.00 ghi	47.06	F18	52.78 bcde	— 11.77
F24	27.78 ghi	41.17	F30	55.55 abcd	— 17.64
F28	27.78 ghi	41.17	F32	55.56 abcd	— 17.66
F31	27.78 ghi	41.17	F14	58.33 abc	— 23.53
F42	27.78 ghi	41.17	F01	61.11 ab	— 29.42
F05	30.55 ghi	35.30	F35	68.89 ab	— 45.89
F09	30.55 ghi	35.30	F12	75.00 a	— 58.83
F23	30.56 ghi	35.28	—	—	—

注: 数据后不同小写字母表示差异显著 ($P=0.05$)。Note: Data followed by different letters mean significantly different at $P=0.05$ level.

表 2 不同生防菌株对小麦孢囊线虫病大田防治效果

Table 2 Control efficacy of different strains to CCN in the fields

菌株编号	苗期 Seedling stage		灌浆期 Milk filling stage	
	平均病情指数	防治效果 (%)	平均病情指数	防治效果 (%)
	Disease index	Control efficacy	Disease index	Control efficacy
F20	45.83 b	35.30	38.35 d	44.03
F37	47.50 b	32.94	42.61 cd	37.82
F04	49.17 b	30.58	37.18 d	45.74
F08	49.17 b	30.58	40.65 d	40.67
F25	50.00 b	29.41	57.51 abc	16.07
F11	50.83 b	28.24	49.65 bcd	27.54
F13	50.83 b	27.24	45.15 cd	34.11
F33	50.83 b	27.24	50.19 bcd	26.76
F15	51.67 b	27.05	64.09 ab	6.47
F26	51.67 b	27.05	36.98 d	46.03
F03	55.00 b	22.35	74.31 a	— 8.44
CK	70.83 a	—	68.52 a	—

注: 数据后不同小写字母表示差异显著 ($P=0.05$)。Note: Data followed by different letters mean significantly different at $P=0.05$ level.

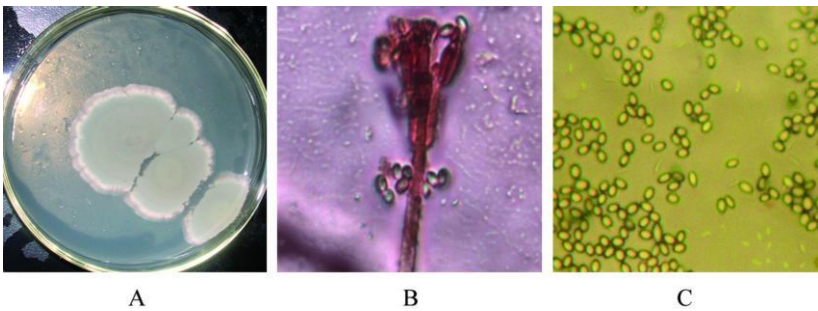


图 1 F20菌株的培养性状及形态特征

Fig 1 Colonial characterization and morphology of F20 strain

注: A 培养性状; B 分生孢子梗; C 分生孢子。Note: A: Colonial characterization; B: conidiophore; C: conidia

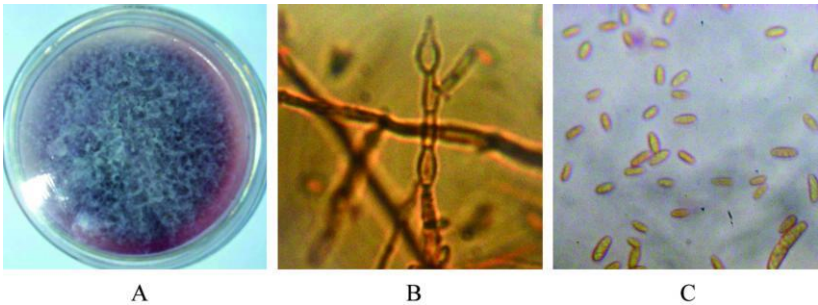


图 2 F37菌株的培养性状及形态特征

Fig 2 Colonial characterization and morphology of F37 strain

注: A 培养性状; B 分生孢子梗; C 分生孢子。Note: A: Colonial characterization; B: conidiophore; C: conidia

长,背面白色至淡黄色;分生孢子梗粗短,无色,光滑;产孢细胞瓶梗状,无色,光滑;大型分生孢子呈镰刀形或纺锤形,无色,光滑,两头渐细,有的顶端喙状,足细胞明显,1~4隔;小型分生孢子数量少,呈

圆形或肾形,大多数单细胞,少数1个分隔,无色;厚垣孢子形成于菌丝及分生孢子中,球形,单生或成串(图3)。初步鉴定为半知菌镰刀菌属的茄病镰刀菌 *Fusarium solani*。

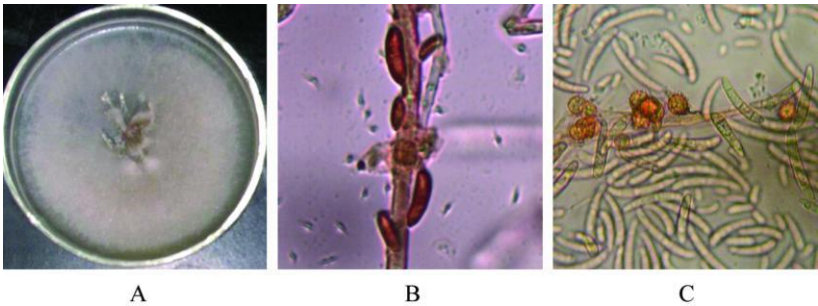


图 3 F08菌株的培养性状及形态特征

Fig 3 Colonial characterization and morphology of F08 strain

注: A 培养性状; B 分生孢子梗; C 分生孢子和厚垣孢子。Note: A: Colonial characterization; B: conidiophore; C: conidia and chlamydospore

F26菌株:在PDA培养基上25℃条件下培养7天后呈淡褐色或褐色,绒毛状,菌落直径50~70 mm,背面黑褐色,菌丝体大量表生,少数埋生,菌丝淡褐色至中褐色,光滑,有分隔,单生或有分枝;分生

孢子梗直立或略弯曲,侧生于菌丝上或直接着生于菌丝顶端,产孢处形成膨大的囊状体,分生孢子单生,长方形或宽椭圆形,淡褐色至中褐色,具1~3个横隔膜,1~4个纵隔膜,大部分纵隔膜连续贯穿于

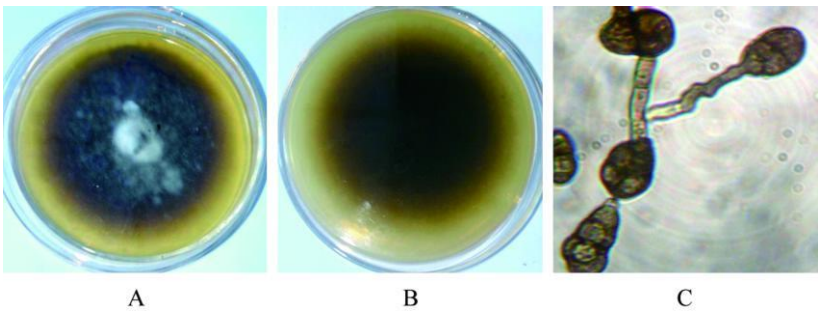


图 4 F26菌株的培养性状及形态特征

Fig 4 Colonial characterization and morphology of F26 strain

注: A 菌落正面; B 菌落背面; C 分生孢子梗和分生孢子。Note: A: Face of colony; B: inverse of colony; C: conidiophore and conidia

横隔膜之间,在横隔膜处有轻微的缢缩现象(图 4)。初步鉴定为半知菌匍柄霉属 *Stenphylium* 的一种真菌。

2 3 2 ITS序列分析

分别测定了 F04、F08、F2Q、F26和 F37等 5个菌株的 ITS序列,并登录 GenBank,登录号分别为 GU055594、EU733633、FJ977097、EU807938 和 EF589878。经与 NCBI数据库进行 BLAST比对分析,5个菌株相似性最高的属种分别为毛壳菌 *Chaetmium* sp、茄病镰刀菌 *F. solani*、草酸青霉 *P. oxalicum*、茄匍柄霉 *Stenphylium solani*和层出镰刀菌 *Fusarium proliferatum*,序列相似度分别达到 99.61%、99.82%、99.83%、100.00%和 99.47%。除了 F04菌株因人工培养难以产孢无法进行形态鉴定并与分子生物学鉴定结果比对外,其它菌株形态学与分子生物学方法鉴定结果均一致。

3 讨论

小麦禾谷孢囊线虫病已经成为我国黄淮麦区重要土传病害,在目前缺乏有效防治措施的情况下,探索新的防治方法十分必要。本试验结果表明,多数生防菌株室内防治效果与田间防治效果基本一致,但也有些菌株室内试验结果与大田试验不尽一致,如 F15菌株在室内盆栽试验中防治效果达到 60%以上,而在大田试验中灌浆期防病只有 6.47%,这可能与该菌株在自然土壤中定殖能力较差有关。有研究发现,一些生防菌株在无菌土中可以很好地定殖和生长,但在自然土壤中由于多种土壤微生物的相互竞争或对土壤理化环境适应性较差,难以大量定殖^[21-23]。本试验中 F37、F20和 F04等菌株的防治效果比较稳定,其作用机制和利用途径还有待深入

研究。

匍柄霉属和毛壳菌属真菌可防治一些真菌病害^[24-25],草酸青霉 *P. oxalicum* 和茄病镰刀菌 *F. solani*可寄生于其它植物线虫,林茂松^[26]从大豆孢囊线虫的卵上分离到了草酸青霉 *P. oxalicum*; Molina & Davile^[27]研究发现,草酸青霉对根结线虫也具有很高的活性。本试验发现茄病镰刀菌 *F. solani*在小麦孢囊线虫上具有很高的寄生率,而孙漫红等^[14]发现该菌是大豆孢囊线虫上常见寄生菌,刘国坤等^[28]则发现该菌对南方根结线虫的卵亦具有很高的寄生率。

植物寄生线虫的生物防治因子相当广泛,本试验发现,从小麦禾谷孢囊线虫的孢囊和卵上可以分离到大量细菌和放线菌菌株,其防病效果有待于进一步研究。鉴于我国小麦禾谷孢囊线虫病发生范围很广,尚需从更多发病地点采集和分离孢囊生防真菌。

参 考 文 献 (References)

[1] Nicol JM, Rivoal R. Global knowledge and its application for the integrated control and management of nematodes on wheat // Ciancio A, Mukerji K G. Integrated management and biocontrol of vegetable and grain crops nematodes. New York: Springer Press, 2008: 251-294

[2] 齐淑华,彭德良,张东生,等. 禾谷孢囊线虫在我国的新寄主及新分布区初报. 植物保护, 1994, 20(4): 52

[3] 阎乃红,陈静,余懋群. 小麦禾谷孢囊线虫及抗线虫性基因研究进展. 麦类作物学报, 2003, 23(1): 91-94

[4] 王振跃,李洪连,袁虹霞. 小麦孢囊线虫病的发生危害与防治对策. 河南农业科学, 2005(12): 54-55

[5] 郑经武. 澳大利亚的小麦孢囊线虫病及其防治. 世界农业, 1995(3): 36-37

- [6] Brown R H. Ecology and control of cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) in southern Australia. Journal of Nematology, 1984, 16(3): 216–222
- [7] 吴绪金, 杨卫星, 孙炳剑, 等. 不同药剂处理对小麦禾谷孢囊线虫的防治效果. 河南农业科学, 2007(5): 57–60
- [8] 王振跃, 高书峰, 李洪连, 等. 不同小麦品种(系)对禾谷孢囊线虫病的抗性鉴定. 河南农业科学, 2006(5): 50–52
- [9] 高军, 王朝华, 张书敏. 小麦禾谷孢囊线虫病研究进展. 中国植保导刊, 2007, 27(5): 10–13
- [10] Becker J O, Zavaleta Mejia E, Colbert S F, et al. Effects of rhizobacteria on root knot nematodes and gall formation. Phytopathology, 1988, 78(11): 1466–1469
- [11] Cump D H, Sayre R M, Young L D. Occurrence of nematophagous fungi in cysts. Plant Disease, 1983, 67: 63–64
- [12] Chen S Y, Dickson D W. Fungal penetration of the cyst wall of *Heterodera glycines*. Phytopathology, 1996, 86: 319–327
- [13] 汪来发, 杨宝君. 南方根结线虫寄生真菌的分离和鉴定. 云南农业大学学报, 1999, 6(5): 78–81
- [14] 孙漫红, 刘杏忠, 晋治波. 淡紫拟青霉对大豆孢囊线虫卵及2龄幼虫的影响. 植物保护学报, 2002, 29(1): 57–61
- [15] 孙漫红, 刘杏忠, 廖作清. 大豆孢囊线虫病生物防治研究进展. 中国生物防治, 2000, 16(3): 136–141
- [16] 张飞跃, 孙炳剑, 李洪连, 等. 植物寄生线虫生防因子研究进展. 河南农业科学, 2008(8): 14–19
- [17] 卢明科, 潘沧桑, 李舟. 厚垣轮枝孢菌 (*Verticillium dahliaedorsporium*) 防治植物线虫研究进展. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(4): 103–107
- [18] 魏景超. 真菌鉴定手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1979
- [19] Booth C. 镰刀菌属. 陈其煊译. 北京: 农业出版社, 1988
- [20] 孔华忠. 中国真菌志. 第三十五卷: 青霉属及其相关有性型属. 北京: 科学出版社, 2007
- [21] 庄敬华, 杨长城, 牟连晓, 等. 土壤不同处理对木霉菌定殖及其生防效果的影响. 植物保护, 2005, 31(6): 42–44
- [22] 刘健, 李俊, 姜昕, 等. 荧光假单胞菌 AS1867和 3-PHB的 luxA B基因标记及其在小麦根际的定殖. 华东理工大学学报, 2002(6): 42–45
- [23] 杨合同, 陈凯, 李纪顺, 等. 重组巨大芽孢杆菌在小麦根际的定殖及其对植物真菌病害的防治效果. 山东科学, 2003, 16(3): 12–17
- [24] 岳会敏, 杨谦, 宋金柱. 两种毛壳菌对几种植物病原菌的生物防治效果分析. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2009, 25(5): 593–596
- [25] Aggarwall R, Tewari A K, Srivastava K D, et al. Role of antibiosis in the biological control of spot blotch (*Cochliobolus sativus*) of wheat by *Chaetomium globosum*. Mycopathologia, 2004, 157(4): 369–377
- [26] 林茂松. 真菌寄生大豆孢囊线虫的初步研究. 生物防治通报, 1990, 6(1): 38–41
- [27] Molina G C, Davide R G. Evaluation of microbial extracts for nematocidal activity against plant parasitic nematodes *Meloidogyne incognita*. Philippines, 1986, 69(1): 173–186
- [28] 刘国坤, 肖顺, 洪彩凤, 等. 镰刀菌对南方根结线虫卵的寄生特性. 福建农林大学学报, 2006, 35(5): 459–462