

长枝木霉对禾谷胞囊线虫卵的寄生和 毒杀作用及其机制

张树武 徐秉良* 古丽君 薛应钰

(甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室,
中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 兰州 730070)

摘要: 为了明确长枝木霉 *Trichoderma longibrachiatum* 对小麦禾谷胞囊线虫 *Heterodera avenae* 卵的防治潜力和作用机制, 在室内测定了长枝木霉分生孢子悬浮液对小麦禾谷胞囊线虫卵的寄生和毒杀作用, 并通过温室盆栽试验测定了长枝木霉分生孢子悬浮液对小麦禾谷胞囊线虫卵的防治效果。室内试验中 1.5×10^7 CFU/mL 的长枝木霉分生孢子悬浮液处理 12 d 对小麦禾谷胞囊线虫卵的寄生率和卵孵化的相对抑制率分别为 91.33% 和 88.35%。温室盆栽试验中 1.5×10^7 CFU/mL 处理对土壤中胞囊、线虫和根系中线虫的相对防治效果分别为 89.84%、92.67% 和 88.30%; 接种卵悬浮液和长枝木霉分生孢子悬浮液后, 小麦幼苗株高、根系长度、地上部鲜重和根系鲜重的增长率分别为 66.72%、159.31%、169.09% 和 170.19%; 叶绿素总量和根系活力显著高于对照, 分别为 17.52 mg/g 和 $356.25 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。研究表明长枝木霉可作为小麦禾谷胞囊线虫的生防制剂。

关键词: 长枝木霉; 小麦禾谷胞囊线虫; 寄生和毒杀作用

The mechanism, parasitic and toxic effects of *Trichoderma longibrachiatum* on the eggs of *Heterodera avenae*

Zhang Shuwu Xu Bingliang* Gu Lijun Xue Yingyu

(Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu Province, China)

Abstract: To determine the potential and mechanism of *Trichoderma longibrachiatum* in the control of *Heterodera avenae*, the parasitic and toxic effects of *T. longibrachiatum* on the eggs of *H. avenae* were studied *in vitro*, and the control effects of *T. longibrachiatum* on the eggs of *H. avenae* was determined under greenhouse conditions. The results showed that the hatching and parasitism of eggs were inhibited by 91.33% and 88.35%, respectively, after 12 days of inoculation with the conidial suspension of 1.5×10^7 CFU/mL *in vitro*. The greenhouse experiment results showed that when treated with the conidia suspension of *T. longibrachiatum* at 1.5×10^7 CFU/mL, the cysts and nematodes in soils were controlled by 89.84% and 92.67%, and the nematodes in roots of wheat plants were reduced by 88.30%. The height, root length, the fresh weight of the above ground parts, and root fresh weight of wheat plants were also increased by 66.72%, 159.31%, 169.09% and 170.19%, respectively, in the conidial suspen-

基金项目: 草业生态系统教育部省部共建重点实验室项目(CY-GG-2006-013), 甘肃省农牧厅生物技术专项(GNSW-2009-04), 甘肃省教育厅项目(042-03)

作者简介: 张树武, 男, 1986年生, 硕士研究生, 研究方向为植物病原学及植物病害, E-mail: zhangsw704@126.com

* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: xubl@gsau.edu.cn

收稿日期: 2013-01-09

sion of *T. longibrachiatum* at 1.5×10^7 CFU/mL after inoculated with *H. avenae* eggs suspension. The chlorophyll content and root activity of wheat seedlings treated with the conidia suspension of *T. longibrachiatum* at 1.5×10^7 CFU/mL were 17.52 mg/g and $356.25 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectively, when compared with the control. Therefore, *T. longibrachiatum* could be considered to have high potential as an agent for control of *H. avenae*.

Key words: *Trichoderma longibrachiatum*; *Heterodera avenae*; parasitic and toxic effects

植物寄生线虫是引起植物病害、影响植物生长潜能的重要因子。据报道,全世界因为线虫危害造成的损失每年超过 1 000 亿美元^[1]。其中大豆胞囊线虫 *Heterodera glycines*、小麦禾谷胞囊线虫 *H. avenae* (又称燕麦胞囊线虫)、甜菜胞囊线虫 *H. schachtii*、马铃薯金线虫 *Globodera rostochiensis*、马铃薯白线虫 *G. pallida* 和根结线虫 *Meloidogyne* spp. 是危害农作物的重要线虫^[1-2]。近年来,禾谷胞囊线虫对小麦危害日益严重^[3]。我国自 1989 年在湖北首次报道禾谷胞囊线虫以来,该线虫已广泛分布于河北、河南、北京、湖北、安徽等 8 省 40 多个县、市,危害小麦面积达百万公顷以上,一般可引起产量损失 15% ~ 20%,严重者高达 50%^[4-6]。同时,小麦禾谷胞囊线虫还可加重土壤丝核菌 *Rhizoctonia solani* 的危害,造成作物苗期烂根,进而引发多种真菌性病害^[7]。

目前,对小麦禾谷胞囊线虫主要采取杀线虫剂化学防治,但因高残留、毒性大、易杀死土壤中的有益微生物^[8]、对人畜有毒害作用,以及在土壤中难以降解、污染地下水源和环境等一系列问题^[9]而具有一定的局限性。一些生防菌如淡紫拟青霉 *Paecilomyces lilacinus*、厚垣轮枝孢菌 *Verticillium chlamydosporium* 已经在生产上推广使用^[10-11],但对土壤中的微生物存在一定抑制作用^[12]。因此,寻找安全而高效的防治植物线虫的生防制剂已成为国内外线虫生物防治的热点。

木霉 *Trichoderma* spp. 是一类分布广泛的土壤习居菌^[13],对一些土传植物病原菌具有拮抗作用,如丝核菌属 *Rhizoctonia*、镰刀菌属 *Fusarium*、腐霉属 *Pythium* 等^[14]。徐同和柳良好^[15]研究了哈茨木霉 *T. hatzianum* 和绿色木霉 *T. viride* 对植物病原菌的拮抗作用。国外许多学者已将哈茨木霉用于防治水稻纹枯病,且已有商品化的哈茨木霉制剂问世^[16],如美国的哈茨木霉 T22 菌株 Topshield、以色列的哈茨木霉 T39 菌株 Trichodex^[17]。但有关长枝木霉的研究报道较少,尤其对线虫卵的寄生和毒杀作用尚未见报道。为此,本试验测定了长枝木霉分生孢子悬浮液对小麦禾谷胞囊线虫卵的寄生和毒杀作用及其

机制,以期新型、高效的微生物型杀线剂的研制和应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株:长枝木霉 *Trichoderma longibrachiatum* 菌株由甘肃农业大学植物病理学实验室提供。

供试土样:病田土样于 2010 年 7 月采自甘肃省定西市渭源县和武威市民勤县等地小麦禾谷胞囊线虫发生较严重的地块。五点取样法采集土样,取土时将表层干土去除,取 0 ~ 20 cm 层的土壤,将土样装入自封袋,带回实验室备用。

供试线虫:小麦禾谷胞囊线虫,由甘肃农业大学植物病理学实验室提供,保存于 4 °C 冰箱。

供试小麦:品种为永良 4 号,由甘肃省农业科学院种子有限责任公司提供。

1.2 方法

1.2.1 长枝木霉分生孢子悬浮液的制备

向在 PDA 平板上培养 6 d 的长枝木霉菌中加入 1 滴 Tween-80 和 5 mL 无菌水,充分震荡使其分生孢子脱落在无菌水中,即得到长枝木霉分生孢子悬浮液的原液,用血球计数板计数原液的浓度为 1.5×10^7 CFU/mL,然后依次稀释成 1.5×10^6 、 7.5×10^5 、 3.0×10^5 和 1.5×10^5 CFU/mL 备用。

1.2.2 线虫卵的分离和卵悬浮液的制备

将消毒后的胞囊放入组织研磨器内,轻轻扭动芯柄 1 ~ 2 次,将胞囊挤碎,释放出胞囊内的卵和幼虫,并把胞囊碎皮及卵粒转入 250 mL 烧杯内。然后,将破碎的胞囊悬浮液倒入 200 目和 500 目筛子上,用自来水轻轻洗下 200 目筛上的卵,收集 500 目筛上的卵于 250 mL 烧杯内,并定容至 100 mL。最后,将其搅拌均匀,用吸管吸取 0.5 mL 卵悬浮液移入盛有 4.5 mL 自来水的烧杯内摇匀,并立即取 0.5 mL 稀释的卵悬浮液于计数皿中,使卵粒随机落在计数皿底。在解剖镜下记录计数皿底上的卵粒数,重复 3 次,计算其平均值,最终使卵悬浮液的浓度为 100 ± 5.06 CFU/mL。

1.2.3 长枝木霉对卵的寄生和毒杀作用

对卵寄生和毒杀作用过程的显微观察:在高温灭菌的直径 6 cm 培养皿中加入 1 mL 制备好的小麦禾谷胞囊线虫卵悬浮液,然后再加入 5 mL 浓度为 1.5×10^7 CFU/mL 长枝木霉分生孢子悬浮液,以加入 5 mL 无菌水作为对照,每个处理 3 次重复。试验在 25℃ 下进行,每隔 2 d 在显微镜下观察 1 次长枝木霉对卵的寄生和毒杀作用。

对卵的寄生和毒杀作用测定:在高温灭菌的直径 6 cm 培养皿中加入 1 mL 制备好的小麦禾谷胞囊线虫卵悬浮液,并且向各处理中分别加入 5 mL 不同浓度长枝木霉分生孢子悬浮液,以加入 5 mL 无菌水作为对照。试验在 25℃ 下进行,并将各处理培养皿用封口膜封严,以便减少污染和防止水分蒸发,8 d 后镜检各处理中长枝木霉对卵的寄生作用和卵孵化情况,并计算寄生率和卵孵化的相对抑制率。卵寄生率(%) = 处理卵的寄生数量/供试卵的数量 $\times 100$;卵孵化的相对抑制率(%) = (对照孵化的线虫数量 - 处理孵化的线虫数量)/对照孵化的线虫数量 $\times 100$ 。

1.2.4 室内盆栽防治试验

土壤中胞囊、线虫分离分别采用漂浮法^[18]和浅盘分离法^[19]。根系中线虫的分离采用组织捣碎法^[17]。叶绿素含量和根系活力测定采用樊颖伦等^[20]方法。在直径为 10 cm 的塑料钵中装入灭菌的砂土 500 g,种植小麦 10 苗。待小麦幼苗长到 10 cm 高时向各处理中分别接种小麦禾谷胞囊线虫卵悬浮液,每钵接种 15 mL。在接种后 20 d 分别施入不同浓度的长枝木霉分生孢子悬浮液,每钵施入量为 20 mL,以施卵悬浮液和自来水作为对照处理,以只施自来水作为正常处理,共设置 7 个处理,每个处理 3 次重复。试验在 25℃ 下进行,65 d 后测定小麦根系鲜重、地上部鲜重、土壤中胞囊和线虫数量、根系中线虫数量、根系长度、株高、叶绿素含量和根系活力等指标。

1.3 数据统计

采用 Excel 2003 进行数据处理,并采用 SPSS 16.0 软件进行单因素方差分析,Duncan 氏新复极差法进行处理间差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 长枝木霉对卵的寄生和毒杀作用

显微观察发现,长枝木霉分生孢子悬浮液对小

麦禾谷胞囊线虫卵具有强烈的寄生和毒杀作用。处理后 8 d,长枝木霉菌的分生孢子吸附或粘着于卵的体表,并且萌发长出大量的菌丝穿透卵壳(图 1-a);处理后 9 d 使卵内容物消解(图 1-b),并在其体内繁殖,整个卵被茂密的菌丝所包围(图 1-c);在处理 10 d 卵的胚胎停止发育并分解,产生液泡,甚至出现畸形(图 1-c);而在对照组中则无液泡和菌丝的形成,胚胎发育良好(图 1-d)。

不同浓度长枝木霉分生孢子悬浮液对小麦禾谷胞囊线虫卵的寄生率与对照相比均存在显著差异,但 1.5×10^7 CFU/mL 与 1.5×10^6 CFU/mL 处理后 8 d 无显著差异。寄生率随着处理天数的增加而增加,处理后 12 d 浓度 1.5×10^7 CFU/mL 和 1.5×10^6 CFU/mL 处理对小麦禾谷胞囊线虫卵的寄生率分别达 91.33% 和 90.33%,而对照始终没有任何杂菌寄生(表 1)。

与对照相比,不同浓度的长枝木霉分生孢子悬浮液对小麦禾谷胞囊线虫卵孵化的相对抑制率随着浓度的增大而增大,并且在处理后 8 d 和 9 d 的相对抑制率较高,尤其是 1.5×10^7 CFU/mL 处理对小麦禾谷胞囊线虫卵孵化的相对抑制率分别高达 100% 和 99.22%(表 2)。

2.2 室内盆栽防治效果

2.2.1 对幼苗生长的影响

不同浓度的长枝木霉分生孢子悬浮液对小麦禾谷胞囊线虫均具有较好的防治效果,并且随着浓度的增大防治效果相对增强。 1.5×10^7 CFU/mL 处理的小麦幼苗株高和根系长度分别为 33.41 cm 和 10.58 cm,地上部鲜重和根系鲜重分别为 0.28 g/株和 0.15 g/株,与对照相比,其相对增长率分别为 66.72%、159.31%、169.09% 和 170.19%。正常处理的小麦幼苗株高和根系长度分别为 29.84 cm 和 8.02 cm,地上部鲜重和根系鲜重分别为 0.20 g/株和 0.11 g/株,其相对增长率分别为 48.90%、96.57%、96.57% 和 95.80%(图 2)。

2.2.2 对根系和土壤中胞囊和线虫数量的影响

不同浓度长枝木霉分生孢子悬浮液处理小麦幼苗后,土壤和根系中分离的胞囊、线虫数量均随着浓度的增加而减少。与对照相比, 1.5×10^7 、 1.5×10^6 和 7.5×10^5 CFU/mL 处理均具有较好的防治效果, 1.5×10^7 CFU/mL 处理后的土壤中分离的胞囊和线虫数量分别为 12.67 个/200 g 和 12.20 条/20 g,根系中分离的线虫数量为 11.00 条/g,其相对防治效

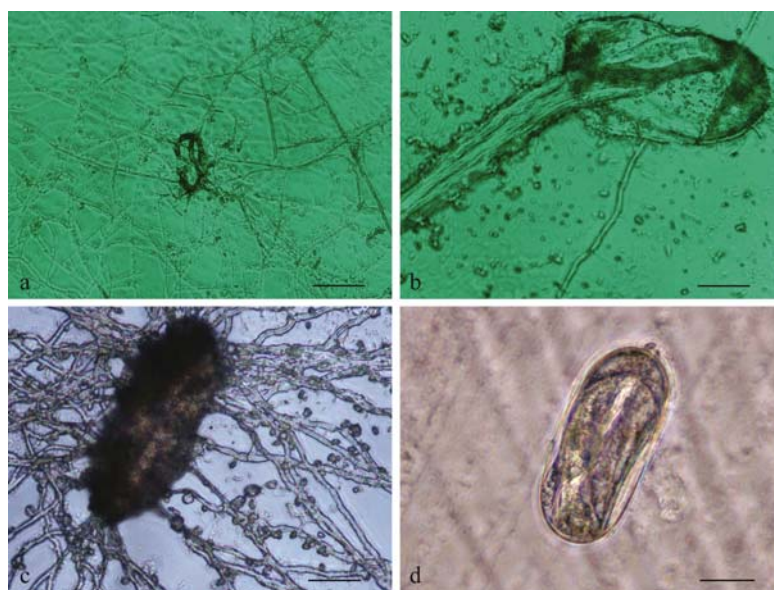


图1 小麦禾谷胞囊线虫卵被长枝木霉分生孢子悬浮液侵染后的形态特征

Fig. 1 The morphological characteristics of *Heterodera avenae* eggs infected by the conidia suspension of *Trichoderma longibrachiatum*

a: 被菌丝穿透卵壳的卵; b: 处理后被溶解的卵; c: 被寄生和畸形的卵; d: 对照。标尺为 100 μm 。 a: The egg shell was penetrated by the conidial suspension of *T. longibrachiatum*; b: the egg and egg shell were dissolved by the conidial suspension of *T. longibrachiatum*; c: the egg was parasitized with wrinkled and shrunken appearance; d: control. Scale bar = 100 μm .

表1 长枝木霉对小麦禾谷胞囊线虫卵的寄生率

Table 1 Effects of *Trichoderma longibrachiatum* on the parasitism of *Heterodera avenae* eggs

%

处理 (CFU/mL) Treatment	处理后时间 Time after treatment (d)				
	8	9	10	11	12
1.5×10^7	70.67 $\pm$ 2.19 aA	77.33 $\pm$ 2.03 aA	84.67 $\pm$ 2.96 aA	90.33 $\pm$ 2.19 aA	91.33 $\pm$ 2.03 aA
1.5×10^6	63.67 $\pm$ 4.06 bB	77.67 $\pm$ 4.91 aA	87.67 $\pm$ 2.40 aA	87.33 $\pm$ 1.45 aA	90.33 $\pm$ 0.88 aA
7.5×10^5	48.67 $\pm$ 3.18 cC	56.67 $\pm$ 2.60 bB	64.67 $\pm$ 3.48 bB	71.33 $\pm$ 3.18 bB	79.33 $\pm$ 2.60 bB
3.0×10^5	39.67 $\pm$ 4.26 dD	43.00 $\pm$ 3.06 cC	50.67 $\pm$ 3.53 cC	60.00 $\pm$ 2.08 cC	68.67 $\pm$ 1.86 cC
1.5×10^5	16.33 $\pm$ 2.33 eE	23.67 $\pm$ 4.18 dD	27.67 $\pm$ 3.76 dD	38.00 $\pm$ 3.79 dD	40.67 $\pm$ 2.60 dD
对照 Control	0.00 $\pm$ 0.00 fF	0.00 $\pm$ 0.00 eE	0.00 $\pm$ 0.00 eE	0.00 $\pm$ 0.00 eE	0.00 $\pm$ 0.00 eE

表中数据为平均数 $\pm$ 标准误。同列数据后不同大小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 水平差异显著。The data in the table are mean $\pm$ SE. Different uppercase and lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ levels by Duncan's new multiple range test, respectively.

果分别达 89.84%、92.67% 和 88.30%，而正常处理的土壤和根系中未分离到胞囊和线虫(图3)。

2.2.3 对叶绿素含量和根系活力的影响

与正常的小麦幼苗相比,接种卵悬浮液后小麦幼苗叶绿素总量和根系活力明显降低,但用不同浓度长枝木霉分生孢子悬浮液处理接种的小麦幼苗后,其叶绿素含量和根系活力明显增加,并且随着浓度的增大而增加。其中浓度为 1.5×10^7 和 1.5×10^6 CFU/mL 处理的小麦幼苗叶绿素总量和根系活力明显高于正常处理(表3)。

3 讨论

本试验结果显示,不同浓度长枝木霉分生孢子悬浮液对小麦禾谷胞囊线虫卵的寄生和毒杀作用随着浓度的增大而增强,且寄生率随着处理天数的增加而增大,而毒杀作用则随着处理天数的增加而减弱。这与刘霆等^[21]报道的结果基本一致。杨树军等^[22]研究表明,厚垣轮枝孢 LZ1 菌株对烟草南方根结线虫 *Meloidogyne incognita* 卵孵化的相对抑制率较低,仅为 27.15%。这与本试验结果不同,可能与

表 2 长枝木霉对小麦禾谷胞囊线虫卵孵化的相对抑制率

Table 2 Effects of *Trichoderma longibrachiatum* on the relative inhibition rate of the hatching of *Heterodera avenae* eggs

%

处理(CFU/mL)	处理后时间 Time after treatment (d)				
Treatment	8	9	10	11	12
1.5×10^7	100.00 $\pm$ 3.21 aA	99.22 $\pm$ 4.16 aA	92.07 $\pm$ 4.26 aA	88.41 $\pm$ 5.21 aA	88.35 $\pm$ 2.60 aA
1.5×10^6	100.00 $\pm$ 2.31 aA	95.35 $\pm$ 3.53 bB	91.46 $\pm$ 5.51 aA	84.55 $\pm$ 4.10 bB	84.96 $\pm$ 3.61 bB
7.5×10^5	97.44 $\pm$ 1.76 bB	86.82 $\pm$ 3.53 cC	75.00 $\pm$ 3.76 bB	67.38 $\pm$ 2.60 cC	66.92 $\pm$ 2.33 cC
3.0×10^5	89.74 $\pm$ 0.33 cC	77.52 $\pm$ 2.85 dD	68.29 $\pm$ 3.53 cC	63.52 $\pm$ 3.84 dD	60.15 $\pm$ 4.67 dD
1.5×10^5	69.23 $\pm$ 0.56 dD	63.57 $\pm$ 2.00 eE	48.78 $\pm$ 1.86 dD	55.36 $\pm$ 1.53 eE	49.25 $\pm$ 0.67 eE
对照 Control	—	—	—	—	—

表中数据为平均数 $\pm$ 标准误。同列数据后不同大小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 水平差异显著。The data in the table are mean $\pm$ SE. Different uppercase and lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ levels by Duncan's new multiple range test, respectively.

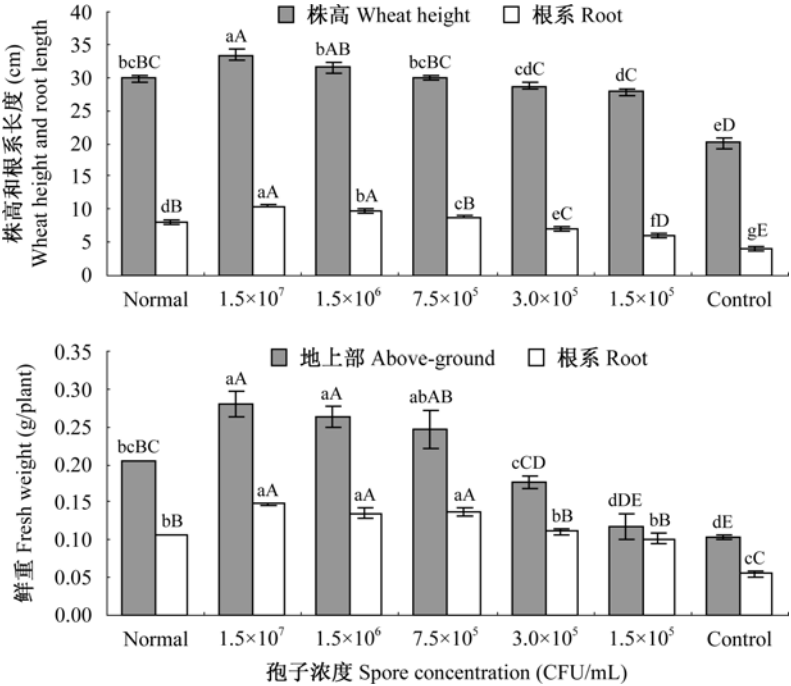


图 2 长枝木霉对接种卵悬浮液后小麦幼苗生长的影响

Fig. 2 Effects of *Trichoderma longibrachiatum* on wheat seedling growth after inoculated with egg suspension

图中数据为平均数 $\pm$ 标准误,不同大小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 水平差异显著。The data in the figure are mean $\pm$ SE. Bars with different uppercase and lowercase letters indicate significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ levels by Duncan's new multiple range test, respectively.

生防菌的种类、作用机制、加入剂量,以及寄主范围等有关^[23]。本试验结果表明,长枝木霉菌对卵的寄生和毒杀作用主要通过与卵相互识别后,分生孢子萌发产生大量菌丝穿透卵壳使卵的内容物溶解,这可能是该菌产生的某种毒素致使卵生理活性发生变化^[24]。这与孙漫红等^[25]报道的一些食线虫真菌和细菌体外可以产生具有杀线活性的代谢产物基本一致,如淡紫拟青霉发酵液中含有一定浓度的乙酸,能

够抑制线虫卵的生长发育,而厚孢轮枝菌本身可以产生毒素,当线虫卵与其接触时,便停止孵化和发育。

de la Peña 等^[26]研究表明在马兰草 *Ammophila arenaria* 根际接种丛枝菌根真菌后显著地抑制穿刺短体线虫 *Pratylenchus penetrans* 的侵入。Tam 等^[27]研究证明尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporum* 能够诱导香蕉树产生系统抗性,抵抗香蕉穿孔线虫 *Radopho-*

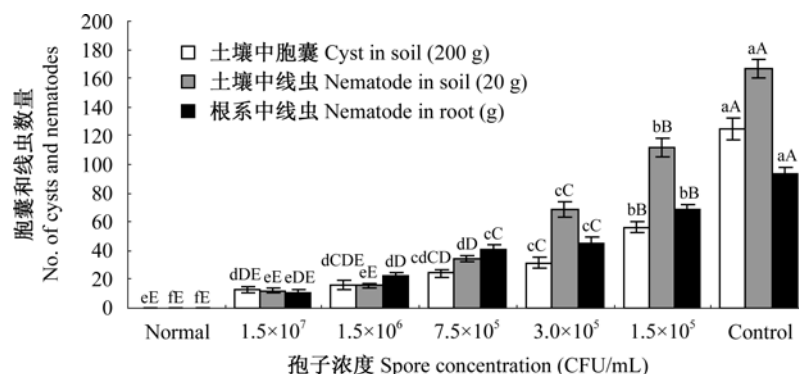


图3 长枝木霉对小麦幼苗根系及土壤中胞囊和线虫数量的影响

Fig. 3 Effects of *Trichoderma longibrachiatum* on the number of cysts, nematodes in soils and roots

图中数据为平均数±标准误,不同大小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 水平差异显著。The data in the figure are mean ± SE. Bars with different uppercase and lowercase letters indicate significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ levels by Duncan's new multiple range test, respectively.

表3 长枝木霉对接种卵悬浮液后小麦幼苗叶绿素总量和根系活力的影响

Table 3 Effects of *Trichoderma longibrachiatum* on the total chlorophyll content and root activity of the wheat seedlings after inoculated with egg suspension

处理 (CFU/mL) Treatment	叶绿素总量 (mg/g) Total content of chlorophyll	根系活力 ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) Root activity
正常 Normal	16.00 ± 0.08 bB	238.75 ± 0.81 dD
1.5 × 10 ⁷	17.52 ± 0.13 aA	356.25 ± 1.94 aA
1.5 × 10 ⁶	16.33 ± 0.18 bB	323.75 ± 1.91 bB
7.5 × 10 ⁵	15.75 ± 0.17 cC	285.42 ± 2.70 cC
3.0 × 10 ⁵	13.58 ± 0.05 dD	224.58 ± 0.57 dD
1.5 × 10 ⁵	13.27 ± 0.04 eE	132.43 ± 1.68 eE
对照 Control	12.12 ± 0.10 fF	60.00 ± 1.08 fF

表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同大小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 水平差异显著。The data in the table are mean ± SE. Different uppercase and lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ levels by Duncan's new multiple range test, respectively.

lus similis 的侵入。本试验结果表明,不同浓度长枝木霉分生孢子悬浮液处理接种卵悬浮液的小麦幼苗后,显著降低线虫的侵染、促进了小麦幼苗的生长、提高其对线虫的抗性,且不同浓度长枝木霉分生孢子悬浮液处理接种卵悬浮液的小麦幼苗后,其叶绿素含量和根系活力随着浓度的增大而增加,7.5 × 10⁵ CFU/mL 处理的小麦幼苗叶绿素含量和根系活力可达到正常处理的水平。因此,长枝木霉分生孢子悬浮液在防治植物线虫病害方面具有广阔的应用前景,但目前长枝木霉的研究还处于初级阶段,诸如其对线虫作用的有效物质、对人畜及植物的安全性和持久性等问题,还有待进一步研究。

参考文献 (References)

- [1] 陈品三,王明祖,彭德良. 我国小麦禾谷胞囊线虫 (*Heterodera avenae* Wollenweber) 鉴定研究. 植物病理学报,1992,22 (4):339-343
- [2] 王振跃,王守正,李洪连,等. 河南省小麦禾谷胞囊线虫病的初步研究. 华北农学报,1993,8(增刊):105-109
- [3] 袁虹霞,张福霞,张佳佳,等. CIMMYT 小麦种质资源对菲利普胞囊线虫 (*Heterodera filipjevi*) 河南许昌群体的抗性. 作物学报,2011,37(11):1956-1966
- [4] 陈品三,王明祖,彭德良. 我国小麦禾谷胞囊线虫 (*Heterodera avenae* Wollenweber) 的发现与鉴定初报. 中国农业科学,1991,24(5):29
- [5] 齐淑华,彭德良,张东升,等. 禾谷胞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
- [6] 袁虹霞,陈莉,张飞跃,等. 小麦禾谷胞囊线虫生防真菌的筛选与鉴定. 植物保护学报,2011,38(1):52-58
- [7] 彭德良, Subbotin S, Moens M. 小麦禾谷胞囊线虫 (*Heterodera avenae*) 的核糖体基因 (rDNA) 限制性片段长度多态性研究. 植物病理学报,2003,33(4):323-329

- [8] 许长青, 吴柏荣, 卢跃文, 等. 几种药剂对芹菜根结线虫病防治试验. 浙江农业科学, 2006(4): 452 - 453
- [9] Jatala P. Biological control of plant-parasitic nematodes. Annual Review of Phytopathology, 1986, 24: 453 - 489
- [10] 孙漫红, 刘杏忠, 晋治波. 淡紫拟青霉对大豆胞囊线虫卵及 2 龄幼虫的影响. 植物保护学报, 2002, 29(1): 57 - 61
- [11] 卢明科, 潘沧桑, 李舟. 厚垣轮枝孢菌 (*Verticillium chlamydosporium*) 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
- [12] 祝明亮, 张克勤, 李天飞, 等. 三种生物制剂对烟草根结线虫病防效研究. 云南大学学报, 2000, 22(5): 369 - 372
- [13] 徐同, 钟静萍, 李德葆. 木霉对土传病原真菌的拮抗作用. 植物病理学报, 1993, 23(1): 63 - 67
- [14] 柳良好, 徐同. 哈茨木霉几丁质酶诱导及其对水稻纹枯病菌的拮抗作用. 植物病理学报, 2003, 33(4): 359 - 363
- [15] 徐同, 柳良好. 木霉几丁质酶及其对植物病原真菌的拮抗作用. 植物病理学报, 2002, 32(2): 97 - 102
- [16] Baker R. Diversity in biological control. Crop Protection, 1991, 10: 85 - 94
- [17] 王未民, 陈建爱. 六种土传病原真菌被木霉抑制作用机理的初步研究. 中国生物防治, 1999, 15(3): 142 - 143
- [18] 方中达. 植病研究方法(3 版). 北京: 中国农业出版社, 1998
- [19] 毛小芳, 李辉信, 陈小云, 等. 土壤线虫三种分离方法效率比较. 生态学杂志, 2004, 23(3): 149 - 151
- [20] 樊颖伦, 吕山花, 李守国, 等. 康宁木霉对根结线虫的防治研究初报. 北方园艺, 2008(7): 234 - 236
- [21] 刘霆, 王莉, 段玉玺, 等. 绿色木霉对北方根结线虫的作用. 江西农业大学学报, 2007, 29(4): 567 - 569
- [22] 杨树军, 夏振远, 李天飞, 等. 两种生防菌剂对南方根结线虫卵孵化的影响. 西南农业大学学报, 2001, 23(3): 247 - 248
- [23] 陈书霞, 姜永华, 刘宏久, 等. AM 真菌和根结线虫互作对黄瓜生长及生理特征的影响. 植物保护学报, 2012, 39(3): 253 - 258
- [24] Djian C, Pijarowski L, Ponchet M, et al. Acetic acid: a selective nematocidal metabolite from culture filtrates of *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson and *Trichoderma longibrechiatum* Rifai. Nematologica, 1991, 37: 101 - 112
- [25] 孙漫红, 刘杏忠, 缪作清. 大豆胞囊线虫病生物防治研究进展. 中国生物防治, 2000, 16(3): 136 - 141
- [26] de la Peña E, Echeverría S R, van der Putten W H, et al. Mechanism of control of root-feeding nematodes by mycorrhizal fungi in the dune grass *Ammophila arenaria*. New Phytologist, 2006, 169: 829 - 840
- [27] Tam V, Hauschild R, Sikora R A. *Fusarium oxysporum* endophytes induced systemic resistance against *Radopholus similis* on banana. Nematology, 2006, 8(6): 847 - 852

(责任编辑: 高峰)