

# 拟康氏木霉菌剂对黄瓜幼苗生长、抗氧化系统及枯萎病防效的影响

马光恕<sup>1</sup>, 张 婷<sup>1</sup>, 李润哲<sup>1</sup>, 李 梅<sup>2</sup>, 廉 华<sup>1</sup>

(1. 黑龙江八一农垦大学园艺园林学院, 黑龙江 大庆 163319; 2 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100081)

**摘 要:**于2019年5—8月采用前期筛选出的对黄瓜枯萎病菌有较好拮抗作用的拟康氏木霉 *Trichoderma pseudokoningii* 886 菌株,通过盆栽实验,测定不同菌剂施用量对黄瓜幼苗生长、抗氧化系统以及对黄瓜枯萎病防效的影响。结果表明:拟康氏木霉不同施用量均能提高对黄瓜枯萎病的防效,其中  $10^5$  cfu · g<sup>-1</sup> 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂应用效果最好,对黄瓜枯萎病的防效达到 83.98%;与 CK (只接种病原菌)相比,拟康氏木霉不同施用量均能提高黄瓜幼苗株高、茎粗、叶面积、根体积、根冠比和壮苗指数,其中  $10^5$  cfu · g<sup>-1</sup> 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗形态建成的促进效果最好;拟康氏木霉不同施用量均能提高黄瓜幼苗叶片中 CAT、POD、SOD、APX、PPO 活性和 Pro 含量,降低叶片中的 MDA 含量和质膜透性,其中  $10^5$  cfu · g<sup>-1</sup> 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗抗氧化系统促进效果最好;在播种后 30 d,黄瓜幼苗叶片中 CAT、POD、SOD、APX、PPO 活性和 Pro 含量分别比 CK 提高了 119.96%、213.75%、139.29%、97.53%、101.15%、70.38%,相对电导率、MDA 含量则分别比 CK 下降了 46.10%、60.28%。研究表明拟康氏木霉 886 厚垣孢子菌剂通过提高黄瓜幼苗抗氧化系统能力,促进了幼苗形态建成,提高了对黄瓜枯萎病的防治效果。

**关键词:**黄瓜;拟康氏木霉菌剂;枯萎病;抗氧化能力;防治效果

**中图分类号:**S476 **文献标志码:**A

## Effects of *Trichoderma pseudokoningii* agents on growth, antioxidant system and control effect against fusarium wilt of cucumber seedlings

MA Guangshu<sup>1</sup>, ZHANG Ting<sup>1</sup>, LI Runzhe<sup>1</sup>, LI Mei<sup>2</sup>, LIAN Hua<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** *Trichoderma pseudokoningii* 886 strain with good control effect against cucumber fusarium wilt selected in our previous studies was used in this experiment. The effects of *Trichoderma pseudokoningii* 886 agents on seedling growth, antioxidant system and control effects against fusarium wilt of cucumber seedlings were evaluated through a pot experiment from May to August 2019. The results showed that application concentrations of *Trichoderma pseudokoningii* agents effectively improved the control effect of cucumber fusarium wilt, and the treatment of  $10^5$  cfu · g<sup>-1</sup> was the most effective one, with disease control efficacy of 83.98%. Different application concentrations of *Trichoderma pseudokoningii* agents effectively improved the plant height, stem diameter, leaf area, root volume, root shoot ratio and strong seedling index of cucumber seedlings compared with CK (application only the pathogen of fusarium wilt). The treatment of  $10^5$  cfu · g<sup>-1</sup> had the best promoting effect on the morphological formation of cucumber seedlings. Application of *Trichoderma pseudokoningii* agents increased protective enzymes including catalase activity (CAT), peroxidase activity (POD), superoxide dismutase activity (SOD), ascorbate peroxidase activity (APX), polyphenol oxidase activity (PPO) and proline (Pro) content of cucumber seedlings leaf and decreased relative conductivity and malondialdehyde (MDA) content. The treatment of  $10^5$  cfu · g<sup>-1</sup> had the best promoting effect on the antioxidant system of cucumber seedlings. Compared with CK, catalase activity (CAT), peroxidase

activity (POD), superoxide dismutase activity (SOD), ascorbate peroxidase activity (APX), polyphenol oxidase activity (PPO) and proline (Pro) content of cucumber seedlings leaf increased 119.96%, 213.75%, 139.29%, 97.53%, 101.15% and 70.38%, and relative conductivity and malondialdehyde content of cucumber seedlings leaf decreased 47.74% and 41.40% at 30 days after sowing. The results showed that *Trichoderma pseudokoningii* agents in this study increased the ability of antioxidant capacity, promoted the morphological formation of cucumber seedlings, and improved the control efficiency of Fusarium wilt in cucumber.

**Keywords:** cucumber; *Trichoderma pseudokoningii* agents; Fusarium wilt; antioxidant capacity; control efficiency

黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 属葫芦科甜瓜属植物, 是我国具有最大种植面积和最广泛栽培范围的主要蔬菜作物之一<sup>[1]</sup>。据联合国粮食及农业组织数据显示, 2020 年全球的黄瓜总生产面积达 225 万  $\text{hm}^2$ , 我国达到 127 万  $\text{hm}^2$ , 占全球的 56.4%; 全球的黄瓜总产量为 9035 万 t, 我国达到 7336 万 t, 占全球的 81.2%<sup>[2]</sup>。而且我国黄瓜种植面积、产量持续呈现正增长趋势, 目前在蔬菜种植面积中占比约 6%、产量占比近 10%。随着种植面积逐年增加, 特别是设施生产中, 持续连作造成的土传病害加重逐渐成为影响我国设施黄瓜生产的最大障碍<sup>[3]</sup>, 黄瓜枯萎病就是其中影响最大的病害之一。黄瓜枯萎病是由尖孢镰孢黄瓜专化型 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerium* Owen, FOC) 侵染引起的真菌病害, 发病周期涉及黄瓜整个生长期, 发病率通常为 10% ~ 30%, 严重年份可达 50%; 产量损失 10% ~ 50%, 甚至绝收<sup>[4]</sup>。长期连作、土壤肥力下降、微生物菌群失衡是导致该病害日渐严重的主要原因<sup>[5]</sup>。目前, 黄瓜枯萎病的防治趋向低毒、低残留及绿色生态型发展, 生物防治因其安全、友好、成本低、来源广等优点, 逐渐成为当今枯萎病防治的研究热点<sup>[6]</sup>, 木霉 (*Trichoderma* spp.) 是目前研究和应用最为广泛的生防真菌类型之一。

木霉菌是真菌界、双核菌门、半知菌亚门、丝孢纲丛梗孢目、丛梗孢科、木霉属一种真菌<sup>[7]</sup>, Ahmad 等<sup>[8]</sup>研究表明, 木霉菌通过分泌植物生长激素等物质, 具有促进植物生长的功能。Harman<sup>[9]</sup>研究表明, 木霉菌通过分泌细胞壁降解酶类和次级代谢产物, 可以诱导植物抗性提高。植物抗性主要通过防御酶系统的应答体系表现出来, 防御酶系统主要包括过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT)、多酚氧化酶 (PPO)、超氧化物歧化酶 (SOD) 等, 防御酶活性大小与植物抗病性之间呈一定正相关关系<sup>[10]</sup>。当植物受病原菌侵染后, 木霉等生防微生物能够诱导植物抗病相关防御酶发生变化, 增强植物体的抗病防御功能, 而防御反应与各种保护性酶活性的提

高关系密切<sup>[11]</sup>。同时, 当植物感病后, 会造成细胞内电解质大量外渗, 丙二醛 (MDA) 和质膜透性均可以作为膜脂过氧化作用强弱的指标, 在植物的抗病应答中发挥重要作用<sup>[12]</sup>。关于木霉促进植物生长、提高抗病性以及改善植物体内抗氧化系统功能方面的研究报道较多, 如 Mohamed 等<sup>[13]</sup>研究了阴沟肠杆菌 PS14 与棘孢木霉 (*Trichoderma asperellum*) T34 对马铃薯青枯病的防治效果, 结果表明二者联合施用后提高了植株 POD、脂肪氧合酶和 PPO 活性, 青枯病的温室发病率下降幅度达 10.7% ~ 26.5%, 大田发病率下降幅度达 26.6% ~ 36.6%。李玲等<sup>[14]</sup>研究表明, 绿木霉 (*Trichoderma viride*) DB14、加纳木霉 (*Trichoderma ghanense*) DB35 孢子悬浮液对盆栽小麦白粉病的防效分别可达 68.63%、66.67%; 喷施 2 种木霉菌均提高了小麦叶片叶绿素含量和 SOD、POD、CAT 活性, 分别提高 69.06%、96.64%、60.38%、54.46% 和 66.79%、86.43%、34.97%、37.62%; 同时降低了 MDA 含量, 分别降低 32.97% 和 32.43%, 说明喷施木霉可增强小麦抗逆性。宋明霞等<sup>[15]</sup>研究了绿色木霉和枯草芽孢杆菌对番茄幼苗生长的影响, 结果显示施加混合菌液处理番茄株高、茎围、叶片 SPAD 值分别比单施绿色木霉增加了 23.95%、6.90%、14.69%, 番茄叶片 PSII 最大光化学效率 ( $F_v/F_m$ )、光化学猝灭系数 ( $qP$ )、电子传递速率 ( $ETR$ ) 分别比单施绿色木霉增加了 13.43%、98.20%、29.93%, 说明混合菌液更能激活番茄光合系统的活性, 提高光合速率, 促进番茄幼苗的生长。

木霉菌在其生命过程中可以产生菌丝体、分生孢子和厚垣孢子 3 种繁殖体, 目前国内外已经有 50 多种木霉商品化制剂<sup>[16]</sup>, 这些制剂均为木霉菌分生孢子制剂或分生孢子与菌丝体混合制剂。厚垣孢子是木霉菌抵抗逆境条件而产生的细胞壁加厚的孢子, 与分生孢子相比, 具有耐干燥、对土壤抑菌作用不敏感、存活期长、对病原微生物的生防效果不易受环境影响等优点, 因此木霉菌厚垣孢子制剂的

商品化开发将成为木霉菌制剂的发展趋势<sup>[17]</sup>,开发性能稳定的木霉菌厚垣孢子制剂,对于保证植物高产和优质生产具有重要意义。本试验选择的拟康氏木霉菌(*Trichoderma pseudokoningii*)886,在前期对黄瓜枯萎病菌平板对峙试验中抑制率达到 74.17%且田间防治效果达到 78.64%,所以本试验以其为试验菌种,选择拟康氏木霉 886 厚垣孢子菌剂,系统研究其对黄瓜幼苗生长、抗氧化系统及黄瓜枯萎病防治效果的影响,深化木霉菌剂提高黄瓜抗枯萎病侵染的生理机制,为“农药化肥双减”和“农药零增长”的推行提供技术支持,为木霉菌剂未来研发和推广提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

1.1.1 供试黄瓜品种 供试黄瓜品种为‘长春密刺’,购买于山东新泰市裕园种业有限公司。

1.1.2 供试培养基 马铃薯葡萄糖琼脂固体培养基(PDA)和马铃薯葡萄糖液体培养基(PD)参照 Li 等<sup>[18]</sup>方法;尖孢镰刀菌选择培养基参照张树生等<sup>[19]</sup>方法;木霉选择性培养基(PDA<sub>m</sub>)参照 Masunaka 等<sup>[20]</sup>方法;木霉厚垣孢子发酵培养基参照张林<sup>[21]</sup>方法。

1.1.3 供试菌株 拟康氏木霉菌 *Trichoderma pseudokoningii* 886,由中国农业科学院植物保护研究所木霉菌研究组提供。

1.1.4 供试基质材料 试验中所使用的基质材料是草炭和蛭石的混合物,草炭:蛭石(体积比)=2:1(基质基本农化性状如下:pH 6.92,有机质 34.5%,碱解氮 760 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 53 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 157 mg·kg<sup>-1</sup>)。基质过筛(1 mm)后于烘箱中 160℃ 高温灭菌 2 h,自然冷却后继续在 160℃ 烘 2 h 后放凉备用。

### 1.2 尖孢镰刀菌粉剂和木霉孢子粉剂的制备

1.2.1 尖孢镰刀菌粉剂的制备 将黄瓜枯萎病原菌接种于马铃薯葡萄糖琼脂固体培养基(PDA)上,28℃ 下培养 3 d,从菌落边缘取直径 5 mm 的菌饼 5 块,接种在含有 100 mL 马铃薯葡萄糖液体培养基(PD)的 250 mL 的三角瓶中,28℃、120 r·min<sup>-1</sup> 摇床振荡培养 7 d,用双层纱布过滤去除菌丝,滤液经 5 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 10 min,沉淀后的孢子重新悬浮于与发酵液等量的无菌水中,加入 3% 硅藻土,混匀、抽滤、干燥,制成病原菌孢子粉剂。为计算粉剂中病原菌孢子含量,将粉剂用无菌水梯度稀释后,涂布于尖孢镰刀菌选择培养基,放置 1 h 后将培养

平板倒置于 28℃ 培养箱培养 3~4 d,计菌落数,计算孢子含量为 1.9×10<sup>7</sup> cfu·g<sup>-1</sup>,按照试验要求计算应用剂量。

1.2.2 拟康氏木霉厚垣孢子粉剂的制备 将拟康氏木霉菌 886 接入到灭菌的木霉菌厚垣孢子发酵培养基中,于 28℃、200 r·min<sup>-1</sup> 摇床中发酵 7 d。发酵液用双层纱布过滤后,将滤液离心得到厚垣孢子,用无菌水反复冲洗 3 次,即得干净的木霉菌厚垣孢子。用无菌水配制成孢子悬浮液,涂布于木霉选择培养基上,在 25~28℃ 下倒置培养 1~2 d,记录菌落数,计算木霉厚垣孢子含量。发酵液加入 3% 硅藻土,混匀、抽滤、干燥,碾碎成粉末,获得木霉厚垣孢子粉剂。平板计数法测得木霉菌 886 粉剂浓度为 4.7×10<sup>7</sup> cfu·g<sup>-1</sup>,按照试验要求计算应用剂量。

### 1.3 试验方法

2019 年 5—8 月,在黑龙江八一农垦大学教学基地塑料大棚内开展相关试验研究。将灭菌基质材料装入塑料材质的育苗盘(34.5 cm×24 cm×11 cm)中,每盘基质重 2.5 kg。试验在施用 10<sup>4</sup> cfu·g<sup>-1</sup> 浓度的尖孢镰刀菌粉剂基础之上,其分别与不同浓度拟康氏木霉菌厚垣孢子菌剂拌入装有灭菌土的育苗盒中,以不施用拟康氏木霉菌剂为对照。2019 年 5 月 20 日,播种催芽处理后的黄瓜种子,每盘播 80 粒,出苗后选留 50 株。播种后每隔 2 d 浇施一次无菌水,每盘浇施 1 000 mL,保持黄瓜正常生长状态。

试验在接种 10<sup>4</sup> cfu·g<sup>-1</sup> 浓度的尖孢镰刀菌粉剂基础上,共设置 6 个不同浓度的拟康氏木霉菌剂处理,即 10<sup>3</sup>、10<sup>4</sup>、10<sup>5</sup>、10<sup>6</sup>、10<sup>7</sup> cfu·g<sup>-1</sup>,分别记为 T1、T2、T3、T4、T5,并以不施用拟康氏木霉菌剂为对照(CK)。采用随机区组设计,每个处理 4 盘,重复 3 次。

在黄瓜播种后 15 d,测定防病效果;在黄瓜播种后 30 d 取其植株,每个处理选取 30 株(每个重复 10 株),用于测定黄瓜幼苗形态指标和物质积累量指标,计算根冠比和壮苗指数;在黄瓜播种后 15 d 和 30 d 取其植株,每个处理选取 30 株,用于测定黄瓜幼苗抗氧化系统相关指标。

### 1.4 试验测定指标与方法

1.4.1 形态指标测定 株高:植株的茎基部到生长点之间的距离,用直尺测定;茎粗:植株子叶节下 1 cm 处粗度,用游标卡尺测定;叶面积:用剪纸称重法测定。

1.4.2 物质积累量指标测定 利用清水反复冲洗植株,再用吸水纸吸干,按照地上部与地下部分开

后测其鲜重;而后将鲜样在 105℃ 杀青 15 min 后,在 70℃ 烘至恒重,用 1/1 000 电子天平分别测定地上部与地下部干重。

根冠比计算:根冠比=地下部鲜重/地上部鲜重

壮苗指数计算:壮苗指数=(茎粗/株高+地下部干重/地上部干重)×全株干重

1.4.3 抗氧化系统相关指标测定 丙二醛(MDA):硫代巴比妥酸法;脯氨酸(Pro):酸性茚三酮显色法;质膜透性:相对电导率法;超氧化物歧化酶(SOD)活性:氮蓝四唑光化还原法;抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性:抗坏血酸法;过氧化氢酶(CAT)活性:紫外吸收法;过氧化物酶(POD)活性:愈创木酚法;多酚氧化酶(PPO)活性:参照 Zhao 等<sup>[22]</sup>的方法。

1.4.4 抗病性指标测定方法 抗病性指标包括植株发病率、病情指数、防治效果。黄瓜播种后 15 d,调查发病株数占调查总株数的百分比,计算各处理的发病率。黄瓜苗期枯萎病参照张素平<sup>[23]</sup>的分级标准,病情指数参照宗兆锋等<sup>[24]</sup>的计算方法,具体如下:0级:无症状;1级:真叶、子叶黄化或萎蔫面积不超过总面积的 50%;2级:真叶、子叶黄化或萎蔫面积超过总面积的 50%;3级:叶片萎蔫或枯死,仅生长点存活;4级:全株严重萎蔫,以致枯死。

病情指数 =  $[\sum(\text{病级株数} \times \text{代表级数}) / (\text{植株总数} \times \text{最高代表级值})] \times 100\%$

防治效果 =  $(\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}) / \text{对照病情指数} \times 100\%$

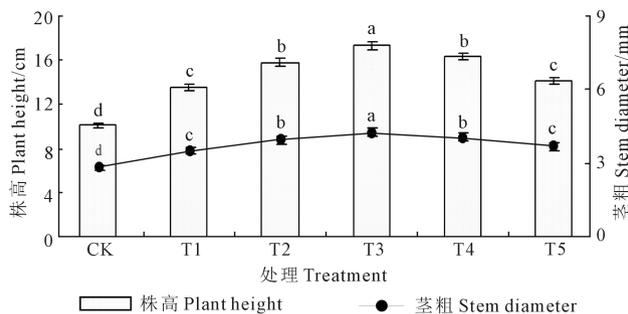
## 1.5 数据分析

采用 Excel 2007 软件进行数据处理,用 DPS 7.05 软件进行数据统计和方差分析,不同处理间数据的多重比较采用 Duncan 新复极差法检验( $P < 0.05$ );采用 Excel 2007 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗形态指标的影响

2.1.1 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗株高和茎粗的影响 如图 1 所示,在黄瓜播种后 30 d, T3 处理黄瓜幼苗株高和茎粗均最高,分别为 17.28 cm 和 4.24 mm;且显著高于其他处理,株高和茎粗分别比 CK、T1、T2、T4、T5 高 70.93%、27.78%、9.43%、5.82%、22.28% 和 50.76%、20.18%、7.56%、4.28%、15.37%;T2 黄瓜幼苗株高和茎粗和 T4 之间差异不显著,但二者均显著高于 CK、T1、T5, T2 分别高 56.19%、16.77%、11.74% 和 40.17%、11.73%、



注:CK,不施用拟康氏木霉菌剂;T1,  $10^3$  cfu · g<sup>-1</sup>拟康氏木霉菌剂;T2,  $10^4$  cfu · g<sup>-1</sup>拟康氏木霉菌剂;T3,  $10^5$  cfu · g<sup>-1</sup>拟康氏木霉菌剂;T4,  $10^6$  cfu · g<sup>-1</sup>拟康氏木霉菌剂;T5,  $10^7$  cfu · g<sup>-1</sup>拟康氏木霉菌剂。图中正负误差线表示标准差大小,不同小写字母表示在同一时期各处理之间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Note: CK, 0 cfu · g<sup>-1</sup> *Trichoderma pseudokoningii* agents; T1,  $10^3$  cfu · g<sup>-1</sup> *Trichoderma pseudokoningii* agents; T2,  $10^4$  cfu · g<sup>-1</sup> *Trichoderma pseudokoningii* agents; T3,  $10^5$  cfu · g<sup>-1</sup> *Trichoderma pseudokoningii* agents; T4,  $10^6$  cfu · g<sup>-1</sup> *Trichoderma pseudokoningii* agents; T5,  $10^7$  cfu · g<sup>-1</sup> *Trichoderma pseudokoningii* agents. Values in the chart are standard error. Different lowercase letters in the same period indicate that the difference reach a significant level ( $P < 0.05$ ) among different treatments. The same below.

图 1 拟康氏木霉菌剂对黄瓜幼苗株高和茎粗的影响

Fig. 1 Effect of *Trichoderma pseudokoningii* agents on plant height and stem diameter of cucumber seedlings

7.26%, T4 分别比 CK、T1、T5 高 61.53%、20.76%、15.56% 和 44.58%、15.25%、10.64%; T5 黄瓜幼苗株高和茎粗和 T1 之间差异不显著,但二者均显著高于 CK, T5 分别比 CK 高 39.78% 和 30.68%, T1 分别比 CK 高 33.76% 和 25.45%; CK 黄瓜幼苗的株高和茎粗最低,分别为 10.11 cm 和 2.81 mm。说明适量木霉菌剂处理即 T3 对黄瓜幼苗株高和茎粗具有更好促进效果,为以后幼苗物质积累和壮苗形成提供基础条件。

2.1.2 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗叶面积和根体积的影响 如图 2 所示,在黄瓜播种后 30 d, T3 黄瓜幼苗叶面积和根体积最高,分别为 37.84 cm<sup>2</sup> 和 0.51 cm<sup>3</sup>; T3 黄瓜幼苗叶面积与 T4 之间差异不显著,但均显著高于 CK、T1、T2、T5, 分别高 105.41%、55.44%、15.50%、42.99% 和 92.30%、45.52%、8.13%、33.87%; T3 黄瓜幼苗根体积显著高于 CK、T1、T2、T4、T5, 分别高 200.00%、54.55%、21.43%、15.91%、37.84%; T4 黄瓜幼苗叶面积和根体积与 T2 之间差异不显著,但均显著高于 CK、T1、T5, 叶面积分别高 92.30%、45.52%、33.87% 和 77.84%、34.58%、23.80%, 根体积分别高 158.82%、33.33%、18.92% 和 147.06%、27.27%、13.51%; T1 黄瓜幼苗叶面积和根体积与 T5 之间差异不显著,但

均显著高于 CK, 分别高 32.15%、43.65% 和 94.12%、117.65%; CK 黄瓜幼苗的叶面积和根体积最低, 分别为 18.42 cm<sup>2</sup> 和 0.17 cm<sup>3</sup>。说明适量木霉菌剂处理对黄瓜幼苗叶面积和根体积具有促进效果, 为以后黄瓜壮苗形成提供保证。

2.1.3 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗根冠比和壮苗指数的影响 如图 3 所示, 在黄瓜播种后 30 d, T3 黄瓜幼苗根冠比和壮苗指数最高, 分别为 0.103 和 0.108; T3 黄瓜幼苗根冠比和壮苗指数显著高于其他处理, 分别比 CK、T1、T2、T4、T5 高 51.47%、43.06%、10.75%、8.42%、37.33% 和 68.75%、30.12%、13.68%、10.20%、21.35%; T4 幼苗根冠比和壮苗指数与 T2 之间差异不显著, 但均显著高于 CK、T1、T5, 根冠比分别高 39.71%、31.94%、26.67% 和 36.76%、29.17%、24.00%, 壮苗指数分别高 53.13%、18.07%、10.11% 和 48.44%、14.46%、6.74%; T1 黄瓜幼苗根冠比和壮苗指数与 T5 之间差异不显著, 但均显著高于 CK, 分别高 5.88%、29.69% 和 10.29%、39.06%; CK 黄瓜幼苗根冠比和壮苗指数最低, 分别为 0.068 和 0.064。说明适量木霉菌剂处理对黄瓜根冠比和壮苗指数具有促进效果, 为提高黄瓜抗逆性提供了基础保证。

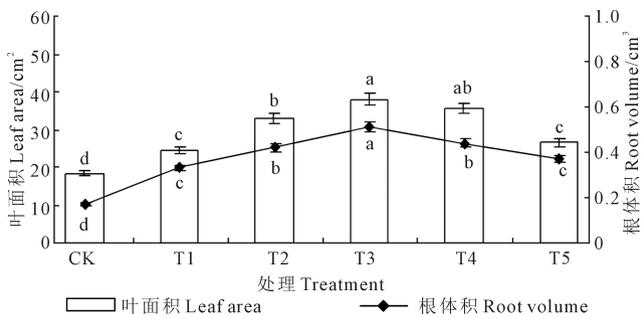


图 2 拟康氏木霉菌剂对黄瓜幼苗叶面积和根体积的影响

Fig.2 Effect of *Trichoderma pseudokoningii* agents on leaf area and root volume of cucumber seedlings

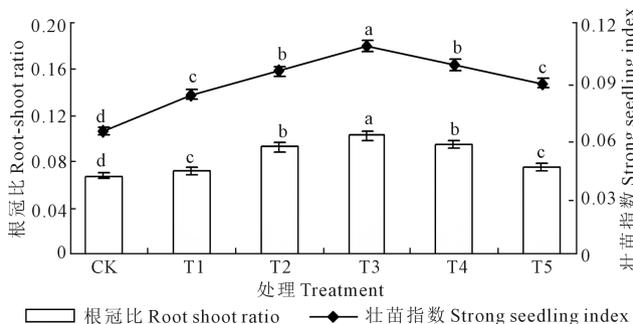


图 3 拟康氏木霉菌剂对黄瓜根冠比和壮苗指数的影响

Fig.3 Effect of *Trichoderma pseudokoningii* agents on root shoot ratio and strong seedling index of cucumber

## 2.2 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗抗氧化指标的影响

2.2.1 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗叶片过氧化氢酶活性的影响 如图 4 所示, 在黄瓜播种后 15 d 和 30 d, 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂不同处理下黄瓜幼苗叶片过氧化氢酶活性均显著高于 CK。在黄瓜播种后 15 d 和 30 d, 黄瓜幼苗叶片过氧化氢酶活性随处理浓度增加呈先升高后降低趋势, 且 T3 最高, 分别为 113.87 U · g<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup> 和 167.22 U · g<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>; 黄瓜播种后 30 d, 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂不同处理下黄瓜叶片过氧化氢酶活性均比播种后 15 d 有所提高。T3 显著高于其他处理, 在黄瓜播种后 15 d 分别比其他处理 (CK、T1、T2、T4、T5) 高 160.95%、33.86%、26.49%、9.88%、47.77%, 在黄瓜播种后 30 d 分别比其他处理 (CK、T1、T2、T4、T5) 高 119.96%、56.49%、15.87%、6.16%、69.88%; 其次, T4 对叶片过氧化氢酶活性促进效果表现较好, 显著高于 CK、T1、T2、T5, 在黄瓜播种后 15 d 分别比 CK、T1、T2、T5 高 137.50%、21.83%、15.12%、34.49%, 而在黄瓜播种后 30 d 则分别高 107.20%、47.42%、9.15%、60.03%; 在黄瓜播种后 15 d 和 30 d, T1、T2、T5 幼苗叶片过氧化氢酶活性与 CK 之间均呈现显著性差异, 以 CK 最低, 分别为 43.64 U · g<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup> 和 76.02 U · g<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>, 分别比 T1、T2、T5 低 94.95%、106.31%、76.59% 和 40.56%、89.84%、29.48%。说明适量木霉菌剂处理对黄瓜幼苗叶片过氧化氢酶活性具有促进效果, 进而有助于提高黄瓜幼苗对枯萎病的抗性。

2.2.2 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗叶片过氧化物酶活性的影响 如图 5 所示, 在黄瓜播种后 15 d 和 30 d, 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂不同处理下黄瓜幼苗叶片过氧化物酶活性均显著高于 CK。在黄瓜播种后 15 d 和 30 d, 黄瓜幼苗叶片过氧化物酶活性随处理浓度增加呈先升高后降低趋势, 且 T3

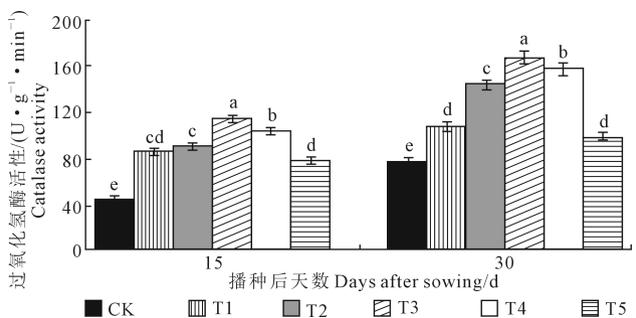


图 4 拟康氏木霉菌剂对黄瓜幼苗过氧化氢酶活性的影响

Fig.4 Effect of *Trichoderma pseudokoningii* agents on catalase activity of cucumber seedlings

最高,分别为  $145.67 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  和  $248.33 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ; 黄瓜播种后 30 d, 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂不同处理下黄瓜叶片过氧化物酶活性均比播种后 15 d 有所提高, 随浓度增加, 各处理的增加幅度分别为 105.77%、61.65%、39.43%、70.47%、34.58%、73.34%。T3 显著高于其他处理, 在黄瓜播种后 15 d 分别比其他处理 (CK、T1、T2、T4、T5) 高 278.72%、93.55%、15.33%、6.77%、137.41%, 在黄瓜播种后 30 d 分别比其他处理 (CK、T1、T2、T4、T5) 高 213.75%、104.12%、41.01%、35.25%、133.49%。其次, T4 对叶片过氧化物酶活性促进效果表现较好, 在黄瓜播种后 15 d, T4 显著高于 CK、T1、T2、T5, 分别高 254.70%、81.27%、8.01%、122.35%; 在黄瓜播种后 30 d, T4 与 T2 之间差异不显著, 但二者均显著高于 CK、T1、T5, T4 分别高 131.98%、50.92%、72.63%, T2 分别高 122.51%、44.76%、65.58%。在黄瓜播种后 15 d 和 30 d, T1、T5 幼苗叶片过氧化物酶活性与 CK 之间均呈现显著性差异, 以 CK 最低, 分别为  $38.46 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  和  $79.15 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , 分别比 T1、T5 低 95.67%、59.52% 和 53.71%、34.38%。同样说明, 适量木霉菌剂处理对黄瓜幼苗叶片过氧化物酶活性具有促进效果, 有助于提高黄瓜幼苗对枯萎病的抗性。

**2.2.3 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗叶片超氧化物歧化酶活性的影响** 如图 6 所示, 在黄瓜播种后 15 d 和 30 d, 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂不同处理下黄瓜幼苗叶片超氧化物歧化酶活性均显著高于 CK。在黄瓜播种后 15 d 和 30 d, 黄瓜幼苗叶片超氧化物歧化酶活性均随处理浓度增加呈先升高后降低趋势, 且 T3 最高, 分别为  $323.85 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$  和  $429.82 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在黄瓜播种后 15 d, T3 显著高于其他处理, 分别比其他处理 (CK、T1、T2、T4、T5) 高 235.77%、82.44%、39.02%、19.29%、94.56%; T4 显著高于 CK、T1、T2、T5, 分别高 181.47%、52.94%、16.54%、63.10%; T2 显著高于 CK、T1、T5, 分别高 141.53%、31.23%、39.95%; T1 与 T5 之间差异不显著, 但二者均显著高于 CK, 分别高 84.04%、72.58%; CK 叶片超氧化物歧化酶活性最低, 为  $96.45 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在黄瓜播种后 30 d, T3 显著高于其他处理 (CK、T1、T2、T4、T5), 分别高 139.29%、36.86%、24.36%、17.29%、68.60%; T4 与 T2 之间差异不显著, 但二者均显著高于 CK、T1、T5, T4 分别高 104.02%、16.69%、43.75%, T2 分别高 92.42%、10.05%、35.58%; T1、T5、CK 之间均呈现显著性差异, 以 CK 最低, 为  $179.62 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ , 分别比 T1、T5 低

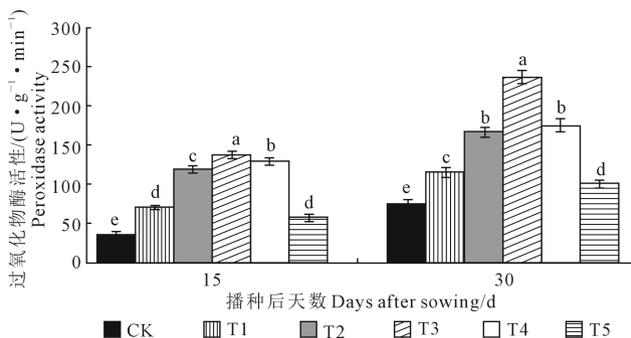


图 5 拟康氏木霉菌剂对黄瓜幼苗过氧化物酶活性的影响

Fig.5 Effect of *Trichoderma pseudokoningii* agents on peroxidase activity of cucumber seedlings

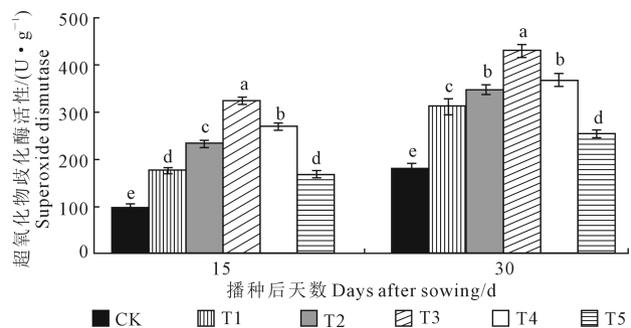


图 6 拟康氏木霉菌剂对黄瓜幼苗

超氧化物歧化酶活性的影响

Fig.6 Effect of *Trichoderma pseudokoningii* agents on superoxide dismutase of cucumber seedlings

74.84%、41.93%。同样说明, 适量木霉菌剂处理对黄瓜幼苗叶片超氧化物歧化酶活性具有促进效果, 进而提高了黄瓜幼苗对枯萎病的抗性。

**2.2.4 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗叶片抗坏血酸过氧化物酶的影响** 如图 7 所示, 在黄瓜播种后 15 d 和 30 d, 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂不同处理下黄瓜幼苗叶片抗坏血酸过氧化物酶均显著高于 CK。在黄瓜播种后 15 d 和 30 d, 抗坏血酸过氧化物酶均随处理浓度增加呈先升高后降低趋势, 且 T3 最高, 分别为  $192.16 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  和  $259.61 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。在黄瓜播种后 15 d, T3 与 T4 之间差异不显著, 但二者均显著高于 CK、T1、T2、T5, T3 分别高 107.45%、15.51%、10.70%、48.93%, T4 分别高 102.37%、12.68%、7.98%、45.28%; T2 与 T1 之间差异不显著, 但二者均显著高于 CK、T5, T2 分别高 87.41%、34.54%, T1 分别高 79.60%、28.93%; T5 较 CK 显著高 39.30%; CK 抗坏血酸过氧化物酶最低, 为  $92.63 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。在黄瓜播种后 30 d, T3 显著高于其他处理 (CK、T1、T2、T4、T5), 分别高 97.53%、38.36%、17.12%、9.80%、63.73%; T4 与 T2 之间差异不显著, 但二者均显著高于 CK、T1、T5, T4

分别高 79.90%、26.01%、49.12%，T2 分别高 68.65%、18.13%、39.79%；T1、T5、CK 之间均呈现显著性差异，以 CK 最低，为  $131.43 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，分别比 T1、T5 低 42.77%、20.64%。这也说明，适量木霉菌剂处理对黄瓜幼苗叶片抗坏血酸过氧化物酶具有促进效果，进而提高了黄瓜幼苗对枯萎病的抗性。

**2.2.5 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗叶片多酚氧化酶活性的影响** 如图 8 所示，在黄瓜播种后 15 d 和 30 d，拟康氏木霉厚垣孢子菌剂不同处理下黄瓜幼苗叶片多酚氧化酶活性均显著高于 CK。在黄瓜播种后 15 d 和 30 d，多酚氧化酶活性均随处理浓度增加呈先升高后降低趋势，且 T3 最高，分别为  $3.72 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  和  $5.61 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。在黄瓜播种后 15 d 和 30 d，T3 显著高于 CK、T1、T2、T4、T5，分别高 137.65%、22.22%、12.03%、8.67%、25.77% 和 101.15%、16.60%、12.53%、11.14%、17.72%；在黄瓜播种后 15 d 和 30 d，T4 与 T2 之间差异不显著，但二者均显著高于 CK、T1、T5，T4、T2 在黄瓜播种后 15 d 分别高 118.70%、12.47%、15.74% 和 112.13%、9.09%、12.26%，T4、T2 在黄瓜播种后 30 d 分别高 80.98%、4.91%、5.92% 和 78.76%、3.62%、4.62%；在黄瓜播种后 15 d 和 30 d，T1 与 T5 之间差异不显著，但二者均显著高于 CK，在黄瓜播种后 15 d 分别高 94.45%、88.96%，在黄瓜播种后 30 d 分别高 72.52%、70.86%；在黄瓜播种后 15 d 和 30 d，CK 均最低，分别为  $1.57 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  和  $2.79 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。结果说明，适量木霉菌剂处理对黄瓜幼苗叶片多酚氧化酶活性具有促进效果，进而提高了黄瓜幼苗对枯萎病的抗性。

**2.2.6 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜幼苗叶片生理指标的影响** 表 1 表明，黄瓜播种后 15 d，拟康氏木霉厚垣孢子菌剂不同处理下黄瓜幼苗叶片丙

二醛含量、质膜透性均显著低于 CK，T1、T2、T3、T4、T5 丙二醛含量分别低 29.70%、41.70%、60.82%、49.76%、21.94%，质膜透性分别低 9.44%、34.46%、50.91%、36.61%、6.56%。T1、T5 之间丙二醛含量差异不显著，但二者均显著高于 T2、T3、T4，分别高 20.59%、79.44%、39.93% 和 33.89%、99.23%、55.36%；T2、T4 之间差异不显著，但二者均显著高于 T3，分别高 48.80% 和 28.24%；T3 丙二醛含量最低，为  $10.41 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。T1、T5 之间质膜透性差异不显著，但二者均显著高于 T2、T3、T4，分别高 38.18%、84.46%、42.87% 和 42.58%、90.33%、47.42%；T2、T4 之间差异不显著，但二者均显著高于 T3，分别高 33.49% 和 29.11%；T3 质膜透性最低，为 37.65%。T3 脯氨酸含量最高，为  $123.62 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ，显著高于 CK、T1、T2、T4、T5，分别高 70.18%、43.46%、31.16%、15.16%、48.58%；T4 显著高于 CK、T1、T2、T5，分别高 47.78%、24.58%、13.90%、29.03%；T2 显著高于 CK、T1、T5，分别高 29.75%、9.38%、13.28%；T1 与 T5 之间差异不显著，但二者均显著高于 CK，分别高 18.63%、14.54%；CK 脯氨酸含量最低，为  $72.64 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

黄瓜播种后 30 d，拟康氏木霉厚垣孢子菌剂不同处理下黄瓜幼苗叶片丙二醛含量、质膜透性均比播种后 15 d 有所增高，且 T1、T2、T3、T4、T5 丙二醛含量、质膜透性均显著低于 CK，丙二醛含量分别低 34.84%、45.07%、60.28%、50.46%、27.35%，质膜透性分别低 15.39%、29.30%、46.10%、32.86%、11.16%。T5 丙二醛含量显著高于 T1、T2、T3、T4，分别高 11.49%、32.25%、82.88%、46.65%；T1 显著高于 T2、T3、T4，分别高 18.61%、64.03%、31.53%；T2、T4 之间差异不显著，但二者均显著高于 T3，高 38.29% 和 24.71%；T3 丙二醛含量最低，为  $15.54 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

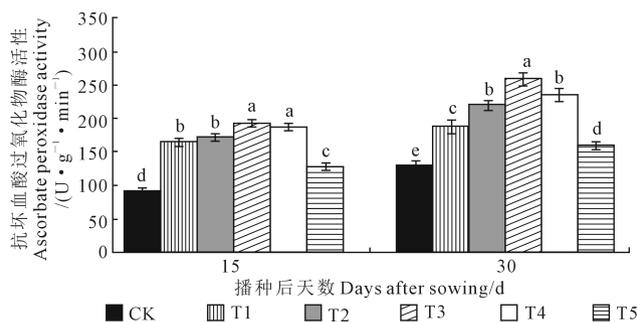


图 7 拟康氏木霉菌剂对黄瓜幼苗抗坏血酸过氧化物酶活性的影响

Fig.7 Effect of *Trichoderma pseudokoningii* agents on ascorbate peroxidase activity of cucumber seedlings

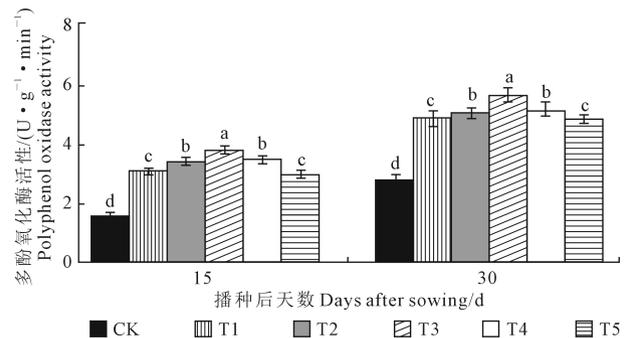


图 8 拟康氏木霉菌剂对黄瓜幼苗多酚氧化酶活性的影响

Fig.8 Effect of *Trichoderma pseudokoningii* agents on polyphenol oxidase activity of cucumber seedlings

T1、T5 之间质膜透性差异不显著,但二者均显著高于 T2、T3、T4,分别高 19.68%、56.96%、26.02% 和 25.67%、64.81%、32.32%; T2、T4 之间差异不显著,但二者均显著高于 T3,高 31.15% 和 24.56%; T3 质膜透性最低,为 51.84%。在播种后 30 d 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂不同处理下黄瓜幼苗叶片脯氨酸含量比播种后 15 d 有所增高,T3 脯氨酸含量最高,为 157.47  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著高于 CK、T1、T2、T4、T5,分别高 70.39%、43.74%、32.93%、24.87%、47.86%;

T4 显著高于 CK、T1、T2、T5,分别高 36.45%、15.12%、6.46%、18.41%; T2 显著高于 CK、T1、T5,分别高 28.18%、8.13%、11.23%; T1 与 T5 之间差异不显著,但二者均显著高于 CK,分别高 18.53% 和 15.23%; CK 脯氨酸含量最低,为 92.42  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

综上所述,适量木霉菌剂处理可以降低黄瓜幼苗叶片中的丙二醛和质膜透性,提高脯氨酸含量以及 CAT、POD、SOD、APX、PPO 等酶活性,增强了抗氧化系统的功能,提高了黄瓜幼苗对枯萎病的防治效果。

表 1 拟康氏木霉菌剂对黄瓜幼苗生理指标的影响

Table 1 Effect of *Trichoderma pseudokoningii* agents on physiological indexes of cucumber seedlings

处理 Treatment	播种后 15 d 15 days after sowing			播种后 30 d 30 days after sowing		
	丙二醛含量 Malondialdehyde content /( $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ )	质膜透性 Plasma membrane permeability/%	脯氨酸含量 Proline content /( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	丙二醛含量 Malondialdehyde content /( $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ )	质膜透性 Plasma membrane permeability/%	脯氨酸含量 Proline content /( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )
CK	26.57±1.32a	76.69±2.61a	72.64±3.65e	39.12±1.43a	96.17±2.36a	92.42±3.62e
T1	18.68±0.69b	69.45±3.13b	86.17±1.37d	25.49±0.85c	81.37±1.65b	109.55±5.61d
T2	15.49±0.68c	50.26±1.69c	94.25±2.65c	21.49±0.65d	67.99±2.61c	118.46±6.35c
T3	10.41±0.81d	37.65±4.62d	123.62±6.31a	15.54±0.81e	51.84±3.20d	157.47±7.61a
T4	13.35±0.65c	48.61±2.70c	107.35±6.16b	19.38±0.72d	64.57±3.46c	126.11±6.52b
T5	20.74±0.92b	71.66±1.69b	83.20±3.54d	28.42±1.15b	85.44±2.62b	106.50±7.51d

注:表中的数值分别代表平均值±标准差,同列不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ ),下同。

Note: Values are mean values±standard error in the table. Different lowercase letters mean significant difference at 0.05 probability level within the same column. The same as following.

### 2.3 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜枯萎病盆栽试验防治效果的影响

在黄瓜播种后 15 d,调查拟康氏木霉厚垣孢子菌剂处理下的黄瓜幼苗的发病率、病情指数和防治效果,结果如表 2 所示。不同拟康氏木霉菌剂处理下的发病率和病情指数均显著低于 CK,其中 T3 发病率和病情指数最低,分别为 6.32% 和 8.27。T3 与 T4、T4 与 T2 发病率差异均不显著; T1、T5 发病率差异不显著但二者均显著高于 T2、T3、T4,分别高 126.56%、198.26%、152.68% 和 88.46%、148.10%、110.19%。T1、T5 病情指数差异不显著但二者均显著高于 T2、T3、T4,分别高 45.06%、137.85%、61.36% 和 30.97%、114.75%、45.69%; T2、T4 之间差异不显著但二者均显著高于 T3,分别高 63.97% 和 47.40%。T3 防治效果最好,为 83.98%; T3 显著高于 T1、T2、T4、T5,分别高 35.69%、13.90%、9.95%、28.04%; T2 与 T4、T1 与 T5 之间差异均不显著; T1 防治效果最低,为 61.89%。

## 3 讨论

随着黄瓜规模化、基地化、专业化的不断发展和生态环境的变化,使得黄瓜病害问题十分突出,危害程度日趋严重,其中枯萎病是黄瓜生产中一种

表 2 拟康氏木霉菌剂对黄瓜枯萎病防效的影响

Table 2 Effect of *Trichoderma pseudokoningii* agents against cucumber *Fusarium* wilt

处理 Treatment	发病率/% Incidence ratio	病情指数 Disease index	防治效果/% Control efficacy
CK	95.36±7.12a	51.61±4.61a	
T1	18.85±1.27b	19.67±0.84b	61.89±1.32c
T2	8.32±0.34c	13.56±0.56c	73.73±5.21b
T3	6.32±0.25d	8.27±0.73d	83.98±2.16a
T4	7.46±0.74cd	12.19±0.71c	76.38±3.22b
T5	15.68±0.90b	17.76±0.81b	65.59±4.36c

危害严重的土传真菌性病害<sup>[25]</sup>。长期以来,黄瓜枯萎病的防治主要依靠化学农药,化学农药的应用虽然取得了一定的效果,但其对人畜健康的影响以及对生态环境的危害日益严重并受到广泛关注<sup>[26]</sup>,生产出对人类身体健康有益、对环境友好的绿色无公害产品是一项非常重要的任务。因此,制定对生态友好且高效的植物病害管理战略显得尤为必要<sup>[27]</sup>。

木霉作为广泛应用的植病生防真菌,对植物病原真菌有广谱的拮抗作用,如镰刀菌 *Fusarium spp.*、腐霉菌 *Pythium spp.*、疫霉菌 *Phytophthora spp.*、立枯丝核菌 *Rhizoctonia solani* 等。利用生防木霉菌防治镰刀菌引起的植物土传病害已有较多的研究报道:如毕卉<sup>[28]</sup>利用绿色木霉 *Trichoderma viride* 的 TV 菌株对黄瓜枯萎病的防效为 47.49%;长枝木霉 *Tri-*

*choderma longibrachiatum* 对黄瓜枯萎病的防效达到 75.74%, 而绿色木霉 *Trichoderma viride* 的防效为 70.76%。本研究中的 T3 处理即施用  $10^5$  cfu · g<sup>-1</sup> 拟康氏木霉菌剂, 对枯萎病的防治效果最好, 为 83.98%; T3 的病情指数则降为 8.27, 远远低于 CK 即不施用拟康氏木霉菌剂。

此外, 木霉不仅能够防治植物病害, 还对植物具有良好的促生作用, 如张树武等<sup>[29]</sup> 研究表明, 深绿木霉发酵液对黑麦草幼苗的生长具有明显的促生作用, 尤其是 100 倍稀释液处理的黑麦草幼苗根系长度、株高、鲜重、干重和根冠比的相对增长率分别为 16.95%、13.33%、40.57%、73.68% 和 36.36%; 赵玳琳等<sup>[30]</sup> 研究发现, 生防木霉 GYXM-1p1 菌株对甘蓝的促生作用最明显, 处理后甘蓝植株的总鲜重和总干重分别较清水对照增加 417.60% 和 762.69%。本研究中 T3 即  $10^5$  cfu · g<sup>-1</sup> 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂处理的株高、茎粗、叶面积、根体积、根冠比和壮苗指数均在各处理中为最高, 分别为 17.284 cm、4.241 mm、37.843 cm<sup>2</sup>、0.510 cm<sup>3</sup>、0.103、0.108, 分别比 CK 高 70.93%、50.76%、105.41%、200.00%、51.47%、68.75%, 表现出拟康氏木霉处理对黄瓜幼苗的促生作用。这可能是因为木霉通过调节植物生理生化代谢过程, 影响到植物的生长状态, 起到了促进生长的作用<sup>[31]</sup>。

木霉菌与植物互作过程中木霉菌诱导植物分泌 CAT、POD、APX、SOD、PPO、PAL(苯丙氨酸解氨酶)等次生代谢产物, 影响 MDA、质膜透性、Pro 等生理物质含量, 这些物质既能抑制病原菌也能诱导植物系统抗性<sup>[32]</sup>。前人的许多研究报告中均指出抗氧化酶和膜脂氧化的主要产物均与植物的抗病性密切相关, 如蔺泽荣等<sup>[33]</sup> 研究表明, 多孢木霉 HZ-31 菌株侵染藜后, POD 活力、PAL 活力、SOD 活力一直高于对照组, 分别增加 46.44%、72.21% 和 8.12%。随着防御酶活性升高, 植物防御能力也逐渐增强, CAT 活力、PPO 活力和 MDA 含量先升高后降低, 说明藜受菌株 HZ-31 侵染后防御酶被激活, 增强了对侵染的防御能力; 王继雯等<sup>[34]</sup> 研究表明, 施加 0.5 g · kg<sup>-1</sup> 棘孢木霉 SFC-3 菌剂可以有效提高小麦叶片中 SOD 和 POD 活性, 当施用量达 1.0 g · kg<sup>-1</sup> 时能显著降低 MDA 含量, 当施用量为 1.5 g · kg<sup>-1</sup> 时对小麦孢囊线虫病的防效可达到 88.68%; 侯雪月等<sup>[35]</sup> 利用哈茨木霉 T8 进行浸种和浇根处理, 结果表明, T8 组无论是叶鲜重、叶干重还是根鲜重、根干重、根长指标均显著高于同茬 CK 组, 第 3 茬 T8 组芸芥的 SOD、POD、PPO 和脯氨酸含量分别比 CK

组高 9.89%、130.00%、13.89% 和 59.05%, 这或许与木霉诱导植物提高局部和系统抗性有关。本研究结果表明, 在黄瓜播种后 15 d 和 30 d, 各浓度拟康氏木霉厚垣孢子菌剂均对黄瓜幼苗叶片 CAT、POD、SOD、APX、PPO 活性具有影响作用, 且黄瓜播种后 30 d 的 CAT、POD、SOD、APX、PPO 活性均比播种后 15 d 有所提高。在黄瓜播种后 30 d, T3 的促进作用最强, CAT、POD、SOD、APX、PPO 分别比 CK 提高了 119.96%、213.75%、139.29%、97.53%、101.15%。同时, 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂均对黄瓜幼苗叶片 MDA 含量、质膜透性、Pro 含量具有一定影响, 在黄瓜播种后 30 d, T3 丙二醛含量和质膜透性最低, 分别为 15.536 μmol · g<sup>-1</sup> 和 51.842%, 分别比 CK 低 46.10% 和 60.28%; T3 脯氨酸含量最高, 为 157.467 μg · g<sup>-1</sup>, 比 CK 高 70.38%。这些均与前人研究结果相类似, 这可能是因为拟康氏木霉通过与黄瓜互作, 诱导病原菌侵染条件下黄瓜植株产生 CAT、POD、SOD、APX、PPO 等保护性酶, 清除了植物体内活性氧(ROS)<sup>[36]</sup>, 降低了 MDA 含量, 增加了 Pro 含量<sup>[37]</sup>, 缓解了病害胁迫下膜脂过氧化作用对细胞膜的伤害, 但本研究中仅对叶片中相关抗氧化指标进行了研究, 在后续试验中, 将对根系相关生理指标进行系统研究, 进一步充实拟康氏木霉厚垣孢子菌剂对黄瓜生长的促生抗病机理。

## 4 结 论

拟康氏木霉 886 厚垣孢子菌剂通过提高黄瓜幼苗保护酶活性, 改善了生理活性, 促进了幼苗形态建成, 增强了黄瓜对枯萎病的抗性。其中以 T3 即  $10^5$  cfu · g<sup>-1</sup> 拟康氏木霉厚垣孢子菌剂应用效果最好, 在黄瓜播种后 30 d, 黄瓜幼苗叶片中 CAT、POD、SOD、APX、PPO 分别比 CK 提高了 119.96%、213.75%、139.29%、97.53%、101.15%, MDA 含量、质膜透性分别比 CK 降低 46.10% 和 60.28%, Pro 含量比 CK 高 70.38%。同时, T3 处理黄瓜幼苗株高、茎粗、叶面积、根体积、根冠比和壮苗指数分别比 CK 高 70.93%、50.76%、105.41%、200.00%、51.47%、68.75%, 对黄瓜枯萎病的防效达到 83.98%。

### 参 考 文 献:

- [1] 郑涵, 王丹, 杨再强, 等. 花期高温高湿对设施黄瓜叶片光合特性和保护酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2021, (5): 48-55.  
ZHENG H, WANG D, YANG Z Q, et al. Effects of high temperature and humidity on photosynthetic characteristics and protective enzyme activities of cucumber leaves in greenhouse[J]. Northern Horticulture, 2021, (5): 48-55.
- [2] 周杰, 夏晓剑, 胡璋健, 等. “十三五”我国设施蔬菜生产和科技进

- 展及其展望[J]. 中国蔬菜, 2021, (10): 20-34.
- ZHOU J, XIA X J, HU Z J, et al. Technological development and production of protected vegetable in China during 'The Thirteenth Five-year Plan' and future prospect[J]. China Vegetables, 2021, (10): 20-34.
- [3] ZHOU X G, GAO D M, LIU J, et al. Changes in rhizosphere soil microbial communities in a continuously monocropped cucumber (*Cucumis sativus* L.) system[J]. European Journal of Soil Biology, 2014, 60: 1-8.
- [4] AHAMMED G J, MAO Q, YAN Y R, et al. Role of melatonin in arbuscular mycorrhizal fungi-induced resistance to Fusarium wilt in cucumber[J]. Phytopathology, 2020, 110(5): 999-1009.
- [5] CHANG C L, FU X P, ZHOU X G, et al. Effects of seven different companion plants on cucumber productivity, soil chemical characteristics and *Pseudomonas* community [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(10): 2206-2214.
- [6] 廉华, 陈玉蓉, 李梅, 等. 木霉分生孢子和厚垣孢子对黄瓜幼苗生理特性及枯萎病防效的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(2): 227-235.
- LIAN H, CHEN Y R, LI M, et al. The effect of *Trichoderma* conidia and chlamydo-spores on physiological characteristics of cucumber seedlings and control effect against *Fusarium* wilt [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(2): 227-235.
- [7] JAKLITSCH W M, VOGLMAYR H. Biodiversity of *Trichoderma* (*Hypocreaceae*) in southern Europe and macaronesia[J]. Studies in Mycology, 2015, 80: 1-87.
- [8] AHMAD P, HASHEM A, ABD-ALLAH E F, et al. Role of *Trichoderma harzianum* in mitigating NaCl stress in Indian mustard (*Brassica juncea* L) through antioxidative defense system[J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 868.
- [9] HARMAN G E. Overview of mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp [J]. Phytopathology, 2006, 96(2): 190-194.
- [10] SINGH U B, MALVIYA D, WASIULLAH, et al. Bio-protective microbial agents from rhizosphere eco-systems trigger plant defense responses provide protection against sheath blight disease in rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Microbiological Research, 2016, 192: 300-312.
- [11] MAŁOLEPSZA U, NAWROCKA J, SZCZECH M. *Trichoderma virens* 106 inoculation stimulates defence enzyme activities and enhances phenolic levels in tomato plants leading to lowered *Rhizoctonia solani* infection [J]. Biocontrol Science and Technology, 2017, 27(2): 180-199.
- [12] SZCZECH M, NAWROCKA J, FELCZYNSKI K, et al. *Trichoderma atroviride* TRS25 isolate reduces downy mildew and induces systemic defence responses in cucumber in field conditions[J]. Scientia Horticulturae, 2017, 224: 17-26.
- [13] MOHAMED B F F, SALLAM N M A, ALAMRI S A M, et al. Improving the biocontrol method of potato wilt caused by *Ralstonia solanacearum* (Smith) using *Enterobacter cloacae* PS14 and *Trichoderma asperellum* T34[J]. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 2020, 30(1): 61.
- [14] 李玲, 杨凯, 陈凯, 等. 木霉菌对小麦白粉病防治效果研究[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(7): 9-13.
- LI L, YANG K, CHEN K, et al. Study on control efficiency of *Trichoderma* strains against wheat powdery mildew[J]. China Plant Protection, 2021, 41(7): 9-13.
- [15] 宋明霞, 张晓婷, 樊航, 等. 绿色木霉和枯草芽孢杆菌对番茄幼苗促生效应的研究[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2021, 42(3): 100-104.
- SONG M X, ZHANG X T, FAN H, et al. Study on the effect of *Trichoderma viride* and *Bacillus subtilis* on the growth promotion of tomato seedlings[J]. Jilin Normal University Journal (Natural Science Edition), 2021, 42(3): 100-104.
- [16] WOO S L, SCALA F, RUOCCO M, et al. The molecular biology of the interactions between *Trichoderma* spp., phytopathogenic fungi, and plants[J]. Phytopathology, 2006, 96(2): 181-185.
- [17] 冀颖. 哈茨木霉 Th-323ThChsC 基因的克隆及功能初步分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- JI Y. Cloning and functional characterization of ThChsC gene of *Trichoderma harzianum* Th-33[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011.
- [18] LI M, MA G S, LIAN H, et al. The effects of *Trichoderma* on preventing cucumber fusarium wilt and regulating cucumber physiology [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2019, 18(3): 607-617.
- [19] 张树生, 杨兴明, 茆泽圣, 等. 连作土灭菌对黄瓜 (*Cucumis sativus*) 生长和土壤微生物区系的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1809-1817.
- ZHANG S S, YANG X M, MAO Z S, et al. Effects of sterilization on growth of cucumber plants and soil microflora in a continuous monocropping soil[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(5): 1809-1817.
- [20] MASUNAKA A, HYAKUMACHI M, TAKENAKA S. Plant growth-promoting fungus, *Trichoderma koningi* suppresses isoflavonoid phytoalexin vestitol production for colonization on/in the roots of *Lotus japonicus*[J]. Microbes and Environments, 2011, 26(2): 128-134.
- [21] 张林. 防治土传病害的几种主要化学农药对木霉菌厚垣孢子的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- ZHANG L. Effects of several chemical pesticides for controlling soil-borne diseases on chlamydo-spores of *Trichoderma* spp[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [22] ZHAO X T, SONG L Y, JIANG L W, et al. The integration of transcriptomic and transgenic analyses reveals the involvement of the SA response pathway in the defense of chrysanthemum against the necrotrophic fungus *Alternaria* sp [J]. Horticulture Research, 2020, 7(1): 80.
- [23] 张素平. 毛壳菌菌肥对黄瓜的生长、品质、产量及防病效果的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- ZHANG S P. Effect of Chaetomium microbial fertilizers on the growth, quality, production and disease control of cucumber [D]. Tian: Shandong Agricultural University, 2016.
- [24] 宗兆锋, 康振生. 植物病理学原理[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- ZONG Z F, KANG Z S. Principles of plant pathology[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2010.
- [25] LI M Z, SENDA M, KOMATSU T, et al. Development of real-time PCR technique for the estimation of population density of *Pythium intermedium* in forest soils[J]. Microbiological Research, 2010, 165(8): 695-705.
- [26] PANTH M, HASSLER S C, BAYSAL-GUREL F. Methods for management of soilborne diseases in crop production [J]. Agriculture, 2020, 10(1): 16.
- [27] 赛牙热木·哈力甫, 邓勋, 宋小双, 等. 木霉菌生物防治及促进植物生长机制研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42(3): 237-247.
- HALIFU S Y R M, DENG X, SONG X S, et al. Research progress in the mechanism of biocontrol and plant growth promotion of *Trichoderma*[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2020, 42(3): 237-247.