

木霉菌对向日葵幼苗生理特性 及菌核病防治效果的影响

廉 华¹, 陈玉蓉¹, 李 梅², 李润哲¹, 张 婷¹, 马光恕¹

(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: 试验于2021年5—8月, 采用筛选出的对向日葵菌核病菌有较好拮抗作用的非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 和棘孢木霉 *T. asperellum* 573, 通过盆栽试验, 测定不同菌液施用方式对向日葵幼苗生长、生理特性以及向日葵菌核病防效的影响。结果表明: 非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 和棘孢木霉 *T. asperellum* 573 不同施用方式均能提高两者对向日葵菌核病的防效, 其中非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 的 T1 处理(播种前 5 d 用 100 mL · 盆⁻¹ 木霉菌悬浮液拌土+接种菌核病菌前 2 d 用 100 mL · 盆⁻¹ 木霉菌悬浮液灌根)应用效果最好, 对向日葵菌核病的防效达到 98.58%。与 CK1(只利用向日葵菌核病菌灌根且不施用木霉菌悬浮液)相比, 非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 和棘孢木霉 *T. asperellum* 573 不同施用方式均能提高向日葵幼苗株高、茎粗、全株鲜重和根冠比, 其中非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 的 T1 处理对向日葵幼苗形态建成和物质积累的促进效果最好, 株高、茎粗、全株鲜重、根冠比分别比 CK1 提高 58.82%、177.42%、595.17%、41.67%。非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 和棘孢木霉 *T. asperellum* 573 不同施用方式均能提高向日葵幼苗叶片中可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸和叶绿素含量, 降低叶片中的 MDA 含量、细胞膜相对透性; 其中非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 的 T1 处理对向日葵幼苗生理特性促进效果最好, 在播种后 35 d, 该处理向日葵幼苗叶片中可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸和叶绿素含量分别比 CK1 提高了 179.91%、132.10%、98.68%、129.27%, MDA 含量、细胞膜相对透性则分别比 CK1 下降了 49.44%、53.22%。研究表明, 非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 和棘孢木霉 *T. asperellum* 573 通过提高向日葵幼苗生理特性, 促进了幼苗形态建成和物质积累, 提高了对向日葵菌核病的防治效果。

关键词: 木霉; 向日葵; 菌核病; 生理特性; 防治效果

中图分类号: S435.655; S476 **文献标志码:** A

Effects of *Trichoderma* on physiological characteristics of sunflower seedlings and control efficacy against *Sclerotinia sclerotiorum*

LIAN Hua¹, CHEN Yurong¹, LI Mei², LI Runzhe¹, ZHANG Ting¹, MA Guangshu¹

(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: *T. afroharzianum* 838 and *T. asperellum* 573 with good control effect against sunflower *Sclerotinia sclerotiorum* were selected for the study. Different strains application methods on seedling growth, physiological characteristics and control effect against *Sclerotinia sclerotiorum* of sunflower through pot culture were evaluated from May to August 2021. The results showed that application methods of *T. afroharzianum* 838 and *T. asperellum* 573 effectively improved the control effect of *Sclerotinia sclerotiorum* of sunflower. T1 of *T. afroharzianum* 838 (mixing soil with 100 ml · pot⁻¹ *Trichoderma* suspension 5 days before sowing+root irrigation with 100 ml pot⁻¹ *Trichoderma* suspension 2 days before inoculation of *Sclerotinia sclerotiorum*) was the most effective one with disease control efficacy of 98.58%. Different application methods of *T. afroharzianum* 838 and *T. asperellum* 573 all improved the plant height, stem diameter, whole plant fresh weight and root shoot ratio of sunflower seedlings compared with CK1 (on-

ly using sunflower *Sclerotinia sclerotiorum* to irrigate roots without *Trichoderma* suspension). T1 treatment of *T. afroharzianum* 838 had the best promoting effect on the morphogenesis and material accumulation of sunflower seedlings. Compared with CK1, plant height, stem diameter, whole plant fresh weight and root shoot ratio of sunflower seedlings increased by 58.82%, 177.42%, 595.17% and 41.67% respectively. Different application methods of *T. afroharzianum* 838 and *T. asperellum* 573 all increased the contents of soluble sugar, soluble protein, proline and chlorophyll in the leaves of sunflower seedlings, and reduced the content of MDA and cell membrane relative permeability in the leaves. T1 treatment of *T. afroharzianum* 838 had the best effect on promoting the physiological characteristics of sunflower seedlings. Compared with CK1, the contents of soluble sugar, soluble protein, proline and chlorophyll in the leaves of sunflower seedlings increased by 179.91%, 132.10%, 98.68% and 129.27% respectively, while the content of MDA and cell membrane relative permeability decreased by 49.44% and 53.22% respectively at 35 days after sowing. The results showed that *T. afroharzianum* 838 and *T. asperellum* 573 in this study increased the physiological characteristics, promoted the morphogenesis and material accumulation of sunflower seedlings and improved the control effect of sunflower *Sclerotinia sclerotiorum*.

Keywords: *Trichoderma*; sunflower; *Sclerotinia sclerotiorum*; physiological characteristics; control efficacy

向日葵 (*Helianthus annuus* L.) 属于菊科菊亚科向日葵属植物, 其耐盐碱、耐干旱、耐瘠薄、适应性强, 在世界范围内广泛种植^[1]。向日葵是在我国栽培面积仅次于大豆、油菜和花生的油料作物, 也是我国华北北部、东北地区和西北地区具有地区特色和优势的重要经济作物^[2]。联合国粮食及农业组织对世界各国向日葵年度种植面积的数据统计结果显示, 2019 年世界向日葵年度种植面积 2 736.88 万 hm^2 , 总产量 5 607.27 万 t, 中国向日葵种植面积和总产量分别为 85.00 万 hm^2 和 242.00 万 t^[3], 居世界第 6 位, 可见我国对世界向日葵产业的发展贡献很大。随着各国人民的生活水平逐渐提高, 对向日葵籽粒及其副产品的需求也不断增加, 向日葵种植面积逐年加大。

向日葵菌核病是由病原真菌核盘菌 (*Sclerotinia sclerotiorum*) 引起的, 该病害在全球各向日葵种植地区几乎都有发生^[4]。在中国东北、内蒙古等产区, 向日葵菌核病平均发病率为 40%~60%, 最高可达 90% 以上^[5], 严重影响向日葵产量和品质, 制约向日葵产业的可持续发展。目前, 对向日葵菌核病的防治主要采用农业防治、选育抗病品种、化学防治和生物防治等措施, 但是农业防治和筛选抗病品种周期长, 耗时耗力^[6]; 化学防治虽然效果显著, 但常伴随病菌抗药性增强、农药残留、食品安全和环境污染等问题^[7]。生物防治是当前提倡的防控向日葵菌核病的重要措施^[8], 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。

木霉菌是属于真菌界、双核菌门、半知菌亚门、丝孢纲丛、梗孢目、丛梗孢科、木霉属的一种真菌^[9], Ahmad 等^[10]研究表明, 木霉菌通过分泌植物

生长激素等物质促进植物生长。利用木霉防治向日葵菌核病的研究已有少量报道, Mathews 等^[11]研究发现哈茨木霉在减少向日葵菌核形成方面具有较大潜力; 曹翠玲等^[12]通过对峙培养研究发现, 康氏木霉 (*Trichoderma koningii*) 对向日葵菌核病菌具有较强的拮抗作用, 对病原菌的抑制率达 41.4%; 于秀英等^[13]通过温室盆栽试验研究发现, 拮抗菌对向日葵幼苗期菌核病有明显防效, 成苗率达到 75%, 而对照只有 34%; 王春等^[14]研究发现, 木霉菌株 M1M2 发酵液对向日葵菌核病菌菌丝抑制率为 82.6%, 盆栽防效为 73.8%, 田间防效为 60.0%。但这些研究具有局限性, 或只研究了木霉菌对核盘菌菌丝的抑制作用, 或只进行了温室盆栽的防效试验, 研究结果不够系统。本研究拟采用平板对峙试验筛选出对向日葵菌核病有显著防治效果的木霉菌株, 系统研究木霉菌不同施用方式对向日葵幼苗生长、生理特性及对向日葵菌核病防治效果的影响, 为木霉菌剂研发和推广提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试向日葵品种 供试品种为‘丰葵杂 1 号’, 由中国农业科学院植物保护研究所廊坊试验基地提供。

1.1.2 供试培养基 马铃薯葡萄糖琼脂固体培养基 (PDA): 马铃薯 200 g, 葡萄糖 20 g, 琼脂粉 20 g, 蒸馏水 1 000 ml, pH 7.0~7.2, 121℃ 高压蒸汽灭菌 30 min, 冷却后备用。

马铃薯葡萄糖液体培养基 (PD): 马铃薯 200 g, 葡萄糖 20 g, 蒸馏水 1 000 ml, pH 自然, 121℃ 高压

蒸汽灭菌 30 min,冷却后备用。

1.1.3 供试菌株 供试菌株编号及其名称见表 1,木霉菌菌株均由中国农业科学院植物保护研究所木霉菌研究组提供。

向日葵菌核病病原菌:核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*(Lib.)de Bary),由中国农业科学院植物保护研究所土传病害生物防治研究组提供。

表 1 供试木霉菌菌株

Table 1 Test strains of <i>Trichoderma</i> spp.		
菌株编号 Strain code	木霉菌名称 <i>Trichoderma</i> name	
573	棘孢木霉 <i>T.asperellum</i>	
1000	哈茨木霉 <i>T.harzianum</i>	
525	棘孢木霉 <i>T.asperellum</i>	
1042	哈茨木霉 <i>T.harzianum</i>	
1038	哈茨木霉 <i>T.harzianum</i>	
647	棘孢木霉 <i>T.asperellum</i>	
752	哈茨木霉 <i>T.harzianum</i>	
940	棘孢木霉 <i>T.asperellum</i>	
838	非洲哈茨木霉 <i>T.afroharzianum</i>	
758	棘孢木霉 <i>T.asperellum</i>	

1.1.4 供试土壤 将营养土和蛭石按照 4 : 1 均匀混合。营养土壤基本理化性状为:全氮 183.41 mg · kg⁻¹,碱解氮 137.785 mg · kg⁻¹,全磷 13.29 mg · kg⁻¹,速效钾 198.63 mg · kg⁻¹,有机质 56.32 g · kg⁻¹,pH 值 7.31。

1.2 防治菌核病木霉菌筛选

将木霉菌株接种于 PDA 平板,28℃ 培养 3 d;将向日葵菌核病菌接种于 PDA 平板,28℃ 培养 5 d。用 6 mm 打孔器分别打取培养好的木霉菌和向日葵菌核病菌菌落边缘菌块接种于 PDA 平板,距平板边缘 1 cm 处相对放置,28℃ 培养;以单独接种向日葵菌核病原菌为对照,5 次重复。培养 5 d 后测量病原菌生长半径和对峙培养菌核病菌落生长半径,参照马文旭等^[15]的方法,计算抑制率。

抑制率(%)=(对照组菌落半径-处理组菌落半径)/对照组菌落半径×100

1.3 木霉发酵液和病原菌孢子悬浮液的制备

1.3.1 木霉发酵液的制备 将木霉菌在 PDA 培养基上 28℃ 黑暗条件培养 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,在摇床 28℃ 黑暗条件下振荡(250 r · min⁻¹)培养 7 d,制成木霉发酵液。用血球记数板测定孢子数,并将木霉发酵液的孢子数调整为 1.2×10⁷个 · mL⁻¹备用。

1.3.2 核盘菌菌丝悬浮液的制备 将向日葵病原菌在 PDA 培养基上 28℃ 黑暗条件培养 3 d,从菌落边缘取直径 5 mm 的菌饼 5 块,接种在含有 100 mL

PD 的 250 mL 三角瓶中,28℃、250 r · min⁻¹振荡培养 3 d,用双层纱布滤出菌丝团,将菌丝搅碎,用无菌水调整浓度为 1.2×10⁷ CFU · mL⁻¹的菌丝悬浮液,备用。

1.4 木霉菌对向日葵生理特性影响和菌核病防治试验

1.4.1 试验方法 试验于 2021 年 5—8 月在中国农业科学院植物保护研究所温室内开展。采用盆栽方式,将营养土和蛭石按照 4 : 1 比例均匀混合,装入塑料材质的育苗盆(11.0 cm×11.5 cm×11.5 cm)中,每盆土重 300 g。向日葵种子催芽后,每盆播种 2 粒,出苗后每盆保留 1 棵,置于阳光充足的地方,每隔 1 d 每盆浇无菌水 100 mL。待植株长出 4 片真叶(即播种后 20 d),利用向日葵菌核病病原菌菌丝悬浮液灌根,每盆 20 mL。利用 1.2 中方法筛选出的抑制率较高的 5 种木霉菌进行处理。

试验共设 5 个处理:(1)播种前 5 d 用 100 mL · 盆⁻¹木霉菌悬浮液拌土+接种菌核病菌前 2 d 用 100 mL · 盆⁻¹木霉菌悬浮液灌根,设为 T1;(2)播种前 5 d 用 200 mL · 盆⁻¹木霉菌悬浮液拌土,设为 T2;(3)接种菌核病菌前 2 d 用 200 mL · 盆⁻¹木霉菌悬浮液灌根,设为 T3;(4)单独用向日葵菌核病菌灌根且不施用木霉菌悬浮液,设为 CK1;(5)单独用无菌水灌根且不施用向日葵核病菌和木霉菌悬浮液,设为 CK2。每个处理设 60 盆,随机区组设计,3 次重复。

1.4.2 测定指标与方法 接种后 15 d 即播种后 35 d,每个处理选取 15 株植株(每个重复 5 株),用于测定向日葵幼苗形态指标和物质积累量指标,计算根冠比;同时期每个处理另取 30 株(每个重复 10 株),用于测定向日葵生理指标和抗病性指标。

(1)形态指标:株高为植株的茎基部到生长点之间的距离,用直尺测定;茎粗为植株子叶节下 1 cm 处粗度,用游标卡尺测定。

(2)物质积累量指标:清水反复冲洗植株后,用吸水纸吸干,将地上部(包括叶片、叶柄和茎)与地下部即根系部分分开后,分别测其鲜重并计算全株鲜重和根冠比。

根冠比=地下部鲜重/地上部鲜重

(3)生理指标:包括丙二醛(MDA)含量、质膜透性、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、脯氨酸(Pro)含量、叶绿素含量。丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法^[16]测定;质膜透性参照张志良等^[17]的方法,用 DDS-11A 型电导率仪测定,用细胞膜相对透性表示;取 0.5 g 新鲜的向日葵叶片组织,用无菌蒸馏水冲洗干净,滤纸吸干叶片表面水分,将叶片剪碎后置入 50 mL 小烧杯,加入 30 mL 蒸馏水,使叶片

完全浸没,静置 24 h,混匀后用电导仪测量烧杯内液体的电导率,记为 L_1 ,读取数值后,将烧杯内水分煮沸 5 min,冷却至室温,混匀后再测量电导率,记为 L_2 ,细胞膜相对透性(%) = $L_1/L_2 \times 100$;可溶性糖含量采用蒽酮比色法^[18]测定;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[19]测定;脯氨酸(Pro)含量参照闫蕾等^[20]的方法,即酸性茚三酮显色法测定;叶绿素含量采用丙酮乙醇法^[21]测定。

(4)抗病性指标:包括植株发病率、病情指数、防治效果。接种病原菌后第 6 d 开始调查植株发病情况,以后每隔 1 d 调查 1 次,连续调查 5 次。向日葵菌核病分级标准参照陈炯等^[22]的方法,分为 5 级:0 级表示无病;1 级表示病斑面积占全叶 10% 以下;2 级表示病斑面积占全叶 10%~30%;3 级表示病斑面积占全叶 31%~50%;4 级表示病斑面积占全叶 51% 以上。病情指数参照宗兆锋等^[23]的计算方法。

植株发病率为接种后 15 d 各处理发病株数占调查总株数的百分比。

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 数据统计与分析

利用 Microsoft Excel 2010 软件进行图表制作,试验数据取 5 次重复的平均值和标准差,利用 DPS 7.05(data processing system)进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 防治菌核病木霉菌筛选

如表 2 所示,平板对峙拮抗筛选法试验获得 2 株抑制率在 90% 以上的菌株,其中非洲哈茨木霉 *T.afroharzianum* 838 抑制率最高,为 91.86%;其次是棘孢木霉 *T. asperellum* 573,抑制率为 91.23%。*T.afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 之间差异不显著但二者均显著高于其他菌种,分别比哈茨木霉 *T.harzianum* 752、棘孢木霉 *T. asperellum* 940、棘孢木霉 *T. asperellum* 758、哈茨木霉 *T.harzianum* 1000、棘孢木霉 *T. asperellum* 647、哈茨木霉 *T. harzianum* 1042、棘孢木霉 *T. asperellum* 525、哈茨木霉 *T.harzia-num* 1038 高 5.82%、7.61%、9.37%、15.68%、15.93%、23.17%、33.23%、33.83%和 5.09%、6.88%、8.62%、14.88%、15.13%、22.33%、32.31%、32.91%。试验由此筛选出非洲哈茨木霉 *T.afroharzianum* 838 和棘孢木霉 *T. asperellum* 573 这 2 个木霉菌株进行木霉菌对向日葵促生和防效影响的进一步研究。

表 2 木霉菌菌株筛选			
Table 2 Screening of <i>Trichoderma</i> strains			
木霉菌株 <i>Trichoderma</i> strain	对照组菌落半径 Colony diameter of control group/cm	处理组菌落半径 Colony diameter of treatment group/cm	抑制率 Inhibiting rate/%
非洲哈茨木霉 <i>T.afroharzianum</i> 838	80.83±0.48a	6.58±0.21e	91.86±0.04a
棘孢木霉 <i>T.asperellum</i> 573	80.83±0.48a	7.09±0.02e	91.23±0.02a
哈茨木霉 <i>T.harzianum</i> 752	80.83±0.48a	10.66±0.13d	86.81±0.32b
棘孢木霉 <i>T.asperellum</i> 940	80.83±0.48a	11.83±0.17d	85.36±0.21b
棘孢木霉 <i>T.asperellum</i> 758	80.83±0.48a	12.94±0.22d	83.99±0.15b
哈茨木霉 <i>T.harzianum</i> 1000	80.83±0.48a	16.64±0.05c	79.41±0.12c
棘孢木霉 <i>T.asperellum</i> 647	80.83±0.48a	16.78±1.21c	79.24±0.11c
哈茨木霉 <i>T.harzianum</i> 1042	80.83±0.48a	20.55±0.45b	74.58±0.13d
棘孢木霉 <i>T.asperellum</i> 525	80.83±0.48a	25.10±0.11a	68.95±0.05e
哈茨木霉 <i>T.harzianum</i> 1038	80.83±0.48a	25.35±0.13a	68.64±0.08e

注:表中的数值为平均值±标准差,同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。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.

2.2 木霉菌对向日葵幼苗形态建成和物质积累的影响

向日葵播种后 35 d,非洲哈茨木霉 *T.afroharzia-num* 838 和棘孢木霉 *T.asperellum* 573 对幼苗株高和茎粗影响如图 1 所示。图 1A 为 *T.afroharzianum* 838 不同施用方式下向日葵幼苗株高和茎粗的表现,T1(播种前 5 d 用 100 mL·盆⁻¹木霉菌悬浮液拌土+接种菌核病菌前 2 d 用 100 mL·盆⁻¹木霉菌悬浮液灌根)的株高和茎粗最高,分别为 18.9 cm 和 0.86 cm。T1 与 T2(播种前 5 d 用 200 mL·盆⁻¹木霉菌悬浮液拌土)、T2 与 T3(接种菌核病菌前 2 d 用 200 mL·盆⁻¹木霉菌悬浮液灌根)之间的株高差异均不显著,但 T1、T2、T3 显著高于 CK1(单独用向日葵菌核病菌灌根且不施用木霉悬浮液)和 CK2(单独用无菌水灌根且不施用向日葵菌核病菌和木霉悬浮液),分别高 58.82%、47.90%、38.66%和 36.96%、27.54%、19.57%;CK2 株高显著高于 CK1,增幅为 15.97%。T1 茎粗显著高于 T2、T3、CK2、CK1,分别高 14.67%、26.47%、86.96%、177.42%,处理之间差异均达显著水平。图 1B 为 *T.asperellum* 573 不同施

用方式下向日葵幼苗株高和茎粗的表现,T1 的株高和茎粗最高,分别为 17.6 cm 和 0.72 cm。T1 与 T2、T2 与 T3 株高之间差异均不显著,但 T1、T2、T3 均显著高于 CK1 和 CK2,分别高 47.90%、37.82%、28.57%和 27.54%、18.84%、10.87%;CK2 株高显著高于 CK1,增幅为 15.97%。T1 茎粗显著高于 T2、T3、CK2、CK1,分别高 14.29%、24.14%、56.52%、132.26%;T2 与 T3、T3 与 CK2 之间差异均不显著。CK1 株高和茎粗最低,分别为 11.9 cm 和 0.31 cm。说明同一木霉菌不同施用方式对向日葵幼苗株高和茎粗的作用效果也有差异。

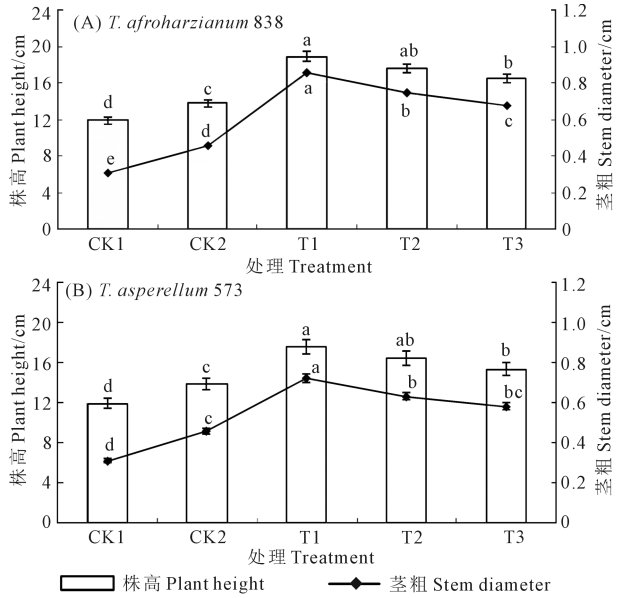
相同施用方式下,非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 的 T1、T2、T3 的株高和茎粗均高于棘孢木霉 *T. asperellum* 573 对应处理方式,分别高 7.39%、7.32%、7.84%和 19.44%、19.05%、17.24%。

向日葵播种后 35 d, *T. afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 对幼苗全株鲜重和根冠比影响如图 2 所示。图 2A 为 *T. afroharzianum* 838 不同施用方式下向日葵幼苗全株鲜重和根冠比的表现,T1 全株鲜重和根冠比最高,分别为 6.87 g 和 0.17。T1 与 T2、T2 与 T3 之间的全株鲜重差异均不显著,但 T1、T2、

T3 均显著高于 CK1 和 CK2,分别高 95.17%、78.98%、66.19%和 63.57%、50.00%、39.29%;CK2 全株鲜重显著高于 CK1,增幅为 19.32%。T1 根冠比显著高于 T2、T3、CK2、CK1,分别高 13.33%、21.43%、30.77%、41.67%;T2、T3 与 CK2 差异不显著,但显著高于 CK1,分别高 25.00%、16.67%;CK2、CK1 之间差异不显著。图 2B 为 *T. asperellum* 573 不同施用方式下向日葵幼苗全株鲜重和根冠比的表现,T1 的幼苗全株鲜重和根冠比最高,分别为 5.84 g 和 0.18。T1 全株鲜重显著高于 T2、T3、CK2、CK1,分别高 12.74%、19.92%、39.05%、65.91%;T2 和 T3 之间差异不显著,但二者均显著高于 CK2、CK1,分别高 23.33%、47.16%和 15.95%、38.35%;CK2 全株鲜重显著高于 CK1,增幅为 19.32%。T1 根冠比显著高于 T2、T3、CK2、CK1,分别高 12.50%、20.00%、38.46%、50.00%;T2 与 T3 之间差异不显著但二者均显著高于 CK1、CK2,分别高 33.33%、23.08%和 25.00%、15.38%;CK1 与 CK2 根冠比之间差异不显著。CK1 全株鲜重和根冠比最低,分别为 3.52 g 和 0.12。

相同施用方式下,非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 的 T1、T2、T3 的全株鲜重均高于棘孢木霉 *T. asperellum* 573 对应处理方式,分别高 17.64%、21.62%、20.12%;但二者之间根冠比差异很小。

综上所述,木霉不同施用方式对向日葵幼苗株高、茎粗、全株鲜重和根冠比的作用效果有所不同,



注: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: Values in the chart are standard error. Different lowercase letters in the same period indicate significant difference($P<0.05$) among different treatments. The same below.

图 1 非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 (A) 和棘孢木霉 *T. asperellum* 573 (B) 对向日葵幼苗株高和茎粗的影响
Fig.1 Effects of *T. afroharzianum* 838 (A) and *T. asperellum* 573 (B) on plant height and stem diameter of sunflower seedlings

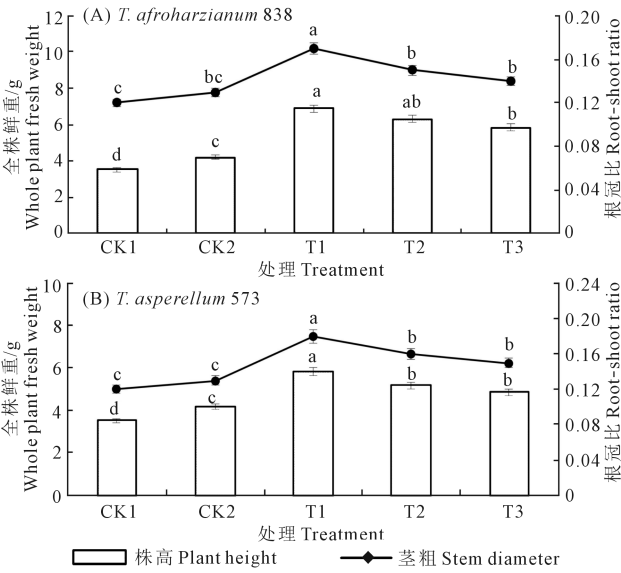


图 2 非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 (A) 和棘孢木霉 *T. asperellum* 573 (B) 对向日葵幼苗全株鲜重和根冠比的影响
Fig.2 Effects of *T. afroharzianum* 838 (A) and *T. asperellum* 573 (B) on whole plant fresh weight and root shoot ratio of sunflower seedlings

非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 的 T1 处理对向日葵幼苗形态建成和物质积累促进效果最强,为提高向日葵幼苗抗逆性提供了基础保证。

2.3 木霉菌对向日葵幼苗叶片生理特性的影响

2.3.1 木霉菌对向日葵幼苗叶片丙二醛含量的影响 *T. afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 对向日葵幼苗叶片丙二醛含量影响如图 3 所示,向日葵播种后 35 d,2 个木霉菌均以 CK1 叶片丙二醛含量最高,为 $9.31\ \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。*T. afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 处理下 CK1 显著高于 CK2、T1、T2、T3,分别高 79.38%、49.44%、30.21%、24.80%和 79.38%、37.72%、27.36%、19.05%;T2 和 T3 显著高于 CK2、T1, *T. afroharzianum* 838 处理下分别高 37.76%、14.77%和 43.74%、19.74%,*T. asperellum* 573 处理下分别高 40.85%、8.14%和 50.67%、15.68%;*T. afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 处理下 T1 显著高于 CK2,分别高 20.04%和 30.25%;CK2 丙二醛含量最低,为 $5.19\ \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。*T. afroharzianum* 838 的 T1、T2、T3 处理下丙二醛含量均低于 *T. asperellum* 573 下的对应处理,分别降低 7.84%、2.19%、4.60%。

2.3.2 木霉菌对向日葵幼苗叶片细胞膜相对透性的影响 *T. afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 对向日葵幼苗叶片细胞膜相对透性影响如图 4 所示,向日葵播种后 35 d,2 个木霉菌均以 CK1 叶片细胞膜相对透性最高,为 82.31%。*T. afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 处理下 CK1 显著高于 CK2、T1、T2、T3,分别高 88.57%、53.22%、43.35%、30.11%和 88.57%、46.75%、40.08%、25.88%。*T. afroharzianum* 838 的 T3 显著高于 T1 和 CK2,分别高 17.76%、44.93%;T2 与 T1 之间差异不显著,二者均显著高于 CK2,分别高 31.55%和 23.07%。*T. asperellum* 573 的 T3 显著高于 T2、T1、CK2,分别高 11.28%、16.58%、49.81%;T2 与 T1 之间差异不显著,均显著高于 CK2,

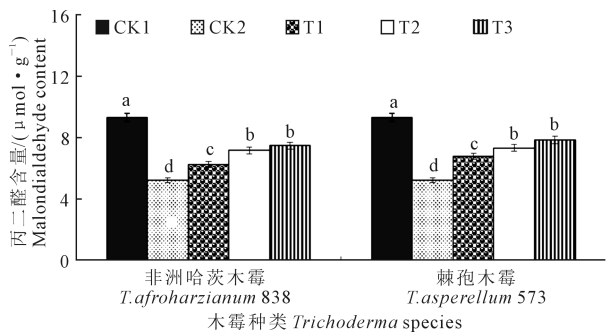


图 3 木霉菌对向日葵幼苗叶片丙二醛含量的影响
Fig.3 Effects of *Trichoderma* on malondialdehyde content of sunflower seedlings leaf

分别高 34.62%、28.50%;CK2 叶片细胞膜相对透性最低,为 43.65%。*T. afroharzianum* 838 的 T1、T2、T3 处理下叶片细胞膜相对透性均低于 *T. asperellum* 573 下的对应处理,分别降低 4.23%、2.28%、3.26%。

2.3.3 木霉菌对向日葵幼苗叶片可溶性糖含量的影响 *T. afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 对向日葵幼苗叶片可溶性糖含量的影响如图 5 所示,向日葵播种后 35 d,2 个木霉菌均以 T1 叶片可溶性糖含量最高,分别为 $42.07\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $39.60\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。*T. afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 处理下 T1 均显著高于 CK1、CK2、T2、T3,分别高 179.91%、123.06%、14.23%、37.80%和 163.47%、109.97%、20.99%、39.44%;T2、T3、CK2、CK1 之间均呈显著性差异,CK1 叶片可溶性糖含量最低,为 $15.03\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。*T. afroharzianum* 838 的 T1、T2、T3 处理下叶片可溶性糖含量均高于 *T. asperellum* 573 下的对应处理,分别高 6.24%、12.53%、7.50%。

2.3.4 木霉菌对向日葵幼苗叶片可溶性蛋白含量的影响 *T. afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 对向日葵幼苗叶片可溶性蛋白含量的影响如图 6 所示,向日葵播种后 35 d,2 个木霉菌均以 T1 叶片可溶性蛋白含量最高,分别为 $70.35\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $65.44\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

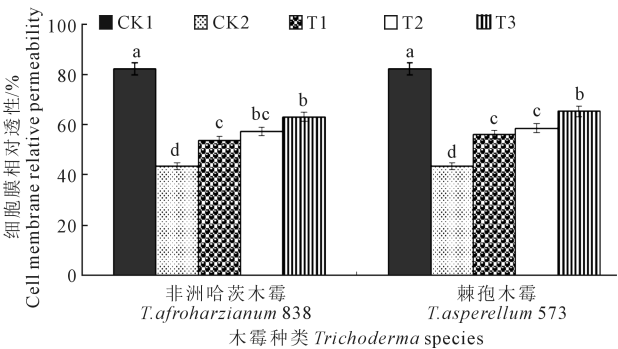


图 4 木霉菌对向日葵幼苗叶片细胞膜相对透性的影响
Fig.4 Effects of *Trichoderma* on cell membrane relative permeability of sunflower seedlings leaf

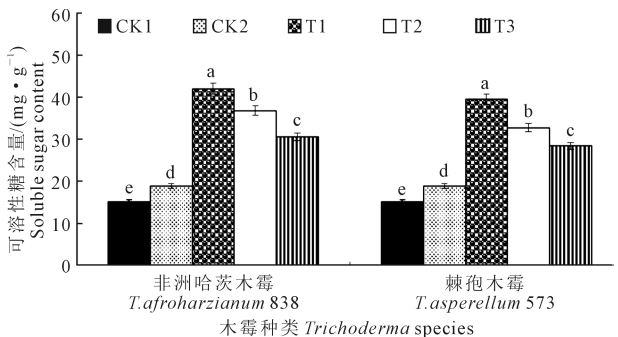


图 5 木霉菌对向日葵幼苗叶片可溶性糖含量的影响
Fig.5 Effects of *Trichoderma* on soluble sugar content of sunflower seedlings leaf

T.afroharzianum 838 和 *T.asperellum* 573 处理下 T1 均显著高于 CK1、CK2、T2、T3, 分别高 132.10%、87.05%、17.02%、34.41% 和 115.90%、74.00%、17.82%、33.41%;T2、T3、CK2、CK1 之间均呈显著性差异,CK1 叶片可溶性蛋白含量最低,为 $30.31\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。*T.afroharzianum* 838 的 T1、T2、T3 处理下叶片可溶性蛋白含量均高于 *T.asperellum* 573 下的对应处理,分别高 7.50%、8.25%、6.71%。

2.3.5 木霉菌对向日葵幼苗叶片脯氨酸含量的影响 *T.afroharzianum* 838 和 *T.asperellum* 573 对向日葵幼苗叶片脯氨酸含量的影响如图 7 所示,向日葵播种后 35 d,2 个木霉菌均以 T1 叶片脯氨酸含量最高,分别为 $142.67\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $131.85\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。*T.afroharzianum* 838 和 *T.asperellum* 573 处理下 T1 均显著高于 CK1、CK2、T2、T3, 分别高 98.68%、66.63%、16.76%、35.70% 和 83.61%、53.99%、18.21%、35.02%;T2、T3、CK2、CK1 之间均呈显著性差异,CK1 叶片脯氨酸含量最低,为 $71.81\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。*T.afroharzianum* 838 的 T1、T2、T3 处理下叶片脯氨酸含量均高于 *T.asperellum* 573 下的对应处理,分别高 8.21%、9.55%、7.67%。

2.3.6 木霉菌对向日葵幼苗叶片叶绿素含量的影响 *T.afroharzianum* 838 和 *T.asperellum* 573 对向日葵幼苗叶片叶绿素含量的影响如图 8 所示,向日葵播种后 35 d,2 个木霉菌均以 T1 的叶片叶绿素最高,分别为 $3.76\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $3.52\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。*T.afroharzianum* 838 和 *T.asperellum* 573 处理下 T1 均显著高于 CK1、CK2、T2、T3, 分别高 129.27%、62.07%、10.59%、23.68% 和 114.63%、51.72%、8.64%、27.54%;T2、T3、CK2、CK1 之间均呈显著性差异,CK1 的叶片叶绿素含量最低,为 $1.64\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。*T.afroharzianum* 838 的 T1、T2、T3 处理下叶片叶绿素含量均高于 *T.asperellum* 573 下的对应处理,分别高 6.82%、4.94%、10.14%。

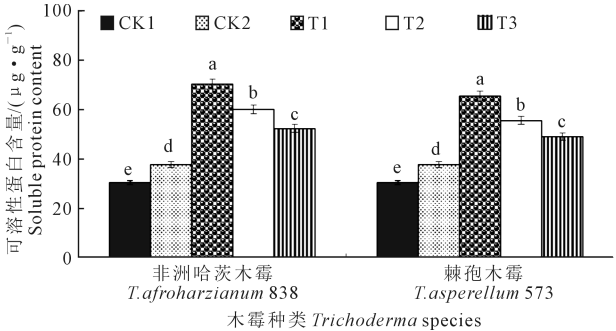


图 6 木霉菌对向日葵幼苗叶片可溶性蛋白含量的影响
Fig.6 Effects of *Trichoderma* on soluble protein content of sunflower seedlings leaf

综上可知,木霉不同施用方式对向日葵幼苗叶片细胞膜相对透性以及丙二醛、可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸和叶绿素含量的作用效果有差异,非洲哈茨木霉 *T.afroharzianum* 838 的 T1 处理通过降低向日葵幼苗叶片中的丙二醛和细胞膜相对透性,提高可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸和叶绿素含量,增强了抗氧化系统的功能和生理活性,提高了对菌核病的防治效果。

2.4 木霉菌对盆栽向日葵菌核病防治效果的影响 向日葵播种后 35 d,调查各处理菌核病的发病率,计算病情指数和防治效果,结果如表 3 所示。各处理发病率以 CK1 最高,为 97.58%;以 *T.afroharzianum* 838 的 T1 处理发病率最低,为 2.56%。病情指数与发病率的规律一致,也以 CK1 最高,为 57.50;以 *T.afroharzianum* 838 的 T1 处理最低,为 0.83。木霉菌对菌核病的防治效果以 *T.afroharzianum* 388 的 T1 处理最高,为 98.55%;*T.afroharzianum* 838 的 T1 处理与 *T.asperellum* 573 的 T1 处理之间差异不显著,但二者均显著高于 *T.afroharzianum* 838 的 T2、T3 处理、*T.asperellum* 573 的 T2、T3 处理以及 CK2,分别高 3.03%、4.62%、6.25%、7.94%、41.67% 和 1.52%、3.08%、4.69%、6.35%、39.58%;*T.afroharzianum* 838 的 T2 和 T3 处理之间差异不显著,二者均显著高于 *T.asperellum* 573 的 T2、T3 处理以及 CK2,分别高 3.13%、

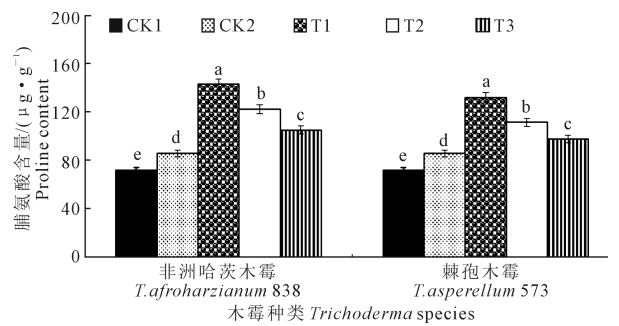


图 7 木霉菌对向日葵幼苗叶片脯氨酸含量的影响
Fig.7 Effects of *Trichoderma* on proline content of sunflower seedlings leaf

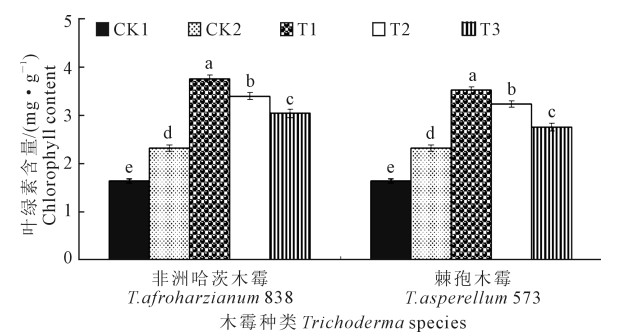


图 8 木霉菌对向日葵幼苗叶片叶绿素含量的影响
Fig.8 Effects of *Trichoderma* on chlorophyll content of sunflower seedlings leaf

表 3 木霉菌对向日葵菌核病防效的影响
Table 3 Effects of the control efficiency of *Trichoderma* against *Sclerotinia sclerotiorum* of sunflower

木霉 <i>Trichoderma</i> spp	处理 Treatment	发病率/% Disease incidence	病情指数 Disease index	防治效果/% Control efficiency
<i>T. afroharzianum</i> 838	T1	2.56±0.42e	0.83±0.01f	98.55±1.13a
	T2	9.96±1.33d	2.50±0.03de	95.65±1.67b
	T3	9.36±0.57d	3.33±0.08d	94.20±2.74b
<i>T. asperellum</i> 573	T1	3.18±1.21e	1.67±0.08e	97.10±2.27a
	T2	10.85±1.21d	4.17±0.23c	92.75±5.17c
	T3	15.36±2.17c	5.00±0.35c	91.30±2.69c
	CK1	97.58±5.22a	57.50±1.59a	
	CK2	26.12±2.19b	17.50±0.26b	69.57±2.11d

4.76%、37.50%和 1.56%、3.17%、35.42%；*T. asperellum* 573 的 T2、T3 处理之间差异不显著但二者均显著高于 CK2，分别高 33.33%和 31.25%；CK2 的防治效果最低，为 69.57%。说明木霉种类和施用方式均对向日葵菌核病的防治效果有一定影响，生产上选择适宜的木霉施用方式对提高菌核病防效具有一定积极作用。

3 讨 论

由核盘菌引起的菌核病是造成向日葵产业经济损失的主要病害之一，该病害在世界各地向日葵种植区均有发生^[24]。长期使用化学杀菌剂不仅会造成农药残留污染，还会危害果实及其加工产品的质量安全^[25]，甚至会诱导致病菌产生抗药性，影响向日葵的使用价值和商品价值。生物防治已成为向日葵菌核病防治的主要方法。如朱林等^[26]利用平板对峙试验筛选出对向日葵核盘菌有抑制作用的 NM63、JQ134、J7、Z9、J33 和 ZX6 共 6 种菌株，拮抗菌 Z9 和 ZX6 鉴定为链霉菌属 (*Streptomyces*)，拮抗菌 NM63、JQ134、J7 和 J33 鉴定为芽孢杆菌属 (*Bacillus*)；盆栽试验表明菌株 NM63、JQ134、J7、Z9、J33 和 ZX6 单菌剂的防治效果分别为 79.06%、74.10%、70.72%、67.83%、65.11%和 57.11%，复合发酵菌剂Ⅱ(Z9：NM63：JQ134：J7=1：1：1：1)和复合发酵菌剂Ⅲ(Z9：NM63：JQ134：J7=1：2：2：1)的防治效果分别为 81.43%和 85.88%，防效优于单菌剂。而本试验中筛选出的 *T. afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 木霉菌株，其 3 种不同施用方式对盆栽向日葵菌核病的防效均在 93.84%以上，高于文献报道，说明本研究筛选的木霉菌株具有一定的市场开发前景。

木霉不仅能直接拮抗植物病原微生物，还具有促进幼苗生长、提高植株生理代谢水平的作用^[27]。Zhao 等^[28]研究发现，*Trichoderma afroharzianum* TM2-4 具有产生生物活性物质和促进番茄种子萌发的作用，其培养滤液经 100 倍稀释处理后，番茄下胚轴长度、根长和活力指数分别提高了 28.7%、19.4%和

62.1%；Yani 等^[29]研究发现，利用木霉 (*Trichoderma* spp) 处理的大蒜株高、根长和块茎重量分别较对照增加 0.8%、9.0%~23.0%、21.0%~51.0%，使用木霉生物制剂可以提高大蒜产量。本研究显示，与 CK1 相比，*T. afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 的 3 种处理方式均降低了向日葵幼苗叶片丙二醛和细胞膜相对透性，降低幅度分别为 19.05%~49.44%、25.88%~53.22%；提高了叶片可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸和叶绿素含量，提高幅度分别为 88.96%~179.91%、61.83%~132.10%、35.98%~98.68%、68.29%~129.27%。同时，*T. afroharzianum* 838 和 *T. asperellum* 573 的 3 种处理方式均提高了向日葵幼苗株高、茎粗、全株鲜重、根冠比，提高幅度分别为 28.57%~58.82%、87.10%~177.42%、38.35%~95.17%、16.67%~50.00%。这是因为木霉通过调节植物生理生化代谢过程，影响了幼苗的生长状态^[30]，从而促进了植株生长^[31]。

4 结 论

非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 和棘孢木霉 *T. asperellum* 573 不同施用方式通过提高向日葵幼苗生理特性，促进了其形态建成和物质积累，增强了向日葵对菌核病的抗性。其中以非洲哈茨木霉 *T. afroharzianum* 838 的 T1 处理(播种前 5 d 用 100 mL·盆⁻¹木霉菌悬浮液拌土+接种菌核病菌前 2 d 用 100 mL·盆⁻¹木霉菌悬浮液灌根)应用效果最好，向日葵播种后 35 d，该处理植株叶片中的可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸和叶绿素含量分别比 CK1 提高 179.91%、132.10%、98.68%、129.27%，MDA 含量、细胞膜相对透性分别比 CK1 降低 49.44%、53.22%；幼苗株高、茎粗、全株鲜重、根冠比分别比 CK1 提高 58.82%、177.42%、595.17%、41.67%；其对向日葵菌核病的防效达到 98.58%。

参 考 文 献：

[1] VASHISTH A, MEENA N, KRISHNAN P. Magnetic field affects growth and yield of sunflower under different moisture stress conditions[J]. Bioelectromagnetics, 2021, 42(6): 473-483.
[2] 甄子龙. 向日葵苗期抗旱性鉴定及抗旱相关性状的全基因组关联分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
ZHEN Z L. Drought resistance evaluation and genome-wide association analysis of drought resistance-related traits in sunflower seedlings[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021.
[3] 郭树春, 李素萍, 孙瑞芬, 等. 世界及我国向日葵产业发展总体情况分析[J]. 中国种业, 2021, (7): 10-13.
GUO S C, LI S P, SUN R F, et al. Analysis on the overall development of sunflower industry in the world and China[J]. China Seed Industry, 2021, (7): 10-13.
[4] SIVAGNANAPAZHAM K, KARTHIKEYAN M, RAGUCHANDER T, et

- al. *Coniothyrium minitans* as a potential biocontrol agent for the effective management of *Sclerotinia sclerotiorum* in cabbage (*Brassica oleracea*) [J]. *Plant Disease Research*, 2019, 34(2): 196.
- [5] 张海洋, 李海燕, 孟庆林, 等. 啮酰菌胺对向日葵核盘菌生物活性的影响[J]. *农学学报*, 2021, 11(1): 71-74, 90.
ZHANG H Y, LI H Y, MENG Q L, et al. Effect of biological activity of boscalid on *Sclerotinia sclerotiorum* of sunflower[J]. *Journal of Agriculture*, 2021, 11(1): 71-74, 90.
- [6] LIU J, ZHANG Y H, MENG Q L, et al. Physiological and biochemical responses in sunflower leaves infected by *Sclerotinia sclerotiorum* [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2017, 100: 41-48.
- [7] 周洋子, 邱慧珍, 董莉, 等. 马铃薯疮痂病高效生防芽孢杆菌的筛选及发酵条件优化[J]. *干旱地区农业研究*, 2020, 38(5): 259-266.
ZHOU Y Z, QIU H Z, DONG L, et al. Screening of highly effective biocontrol *Bacillus* strains for potato scab and optimization of its fermentation conditions[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2020, 38(5): 259-266.
- [8] YANG X, HONG C X. Biological control of *phytophthora* blight by *Pseudomonas protegens* strain 14D5[J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2020, 156(2): 591-601.
- [9] JAKLITSCH W M, VOGLMAYR H. Biodiversity of *Trichoderma* (*hypocreaceae*) in southern Europe and macaronesia[J]. *Studies in Mycology*, 2015, 80: 1-87.
- [10] 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.
- [11] MATHEWS J R, SIVPARSAD B J, LAING M D. Greenhouse evaluation of *Trichoderma harzianum* for the control of *Sclerotinia* wilt (*Sclerotinia sclerotiorum*) of sunflower [J]. *South African Journal of Plant and Soil*, 2019, 36(1): 69-72.
- [12] 曹翠玲, 刘素琪, 康瑞蛟, 等. 康氏木霉对向日葵菌核病菌拮抗作用研究[J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2005, 25(2): 150-152.
CAO C L, LIU S Q, KANG R J, et al. Study on antagonism of *Trichoderma koningioud.* against fungal pathogen of sunflower *Sclerotinia rot*[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2005, 25(2): 150-152.
- [13] 于秀英, 王罡, 张宁, 等. 向日葵核盘菌一种拮抗菌的初步研究[J]. *吉林农业大学学报*, 2006, 28(5): 494-497.
YU X Y, WANG G, ZHANG N, et al. Preliminary study on an antagonistic bacterium of *Sclerotinia sclerotiorum* of sunflower [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2006, 28(5): 494-497.
- [14] 王春, 王芊, 张匀华. 木霉菌株 MIM2 对向日葵菌核病防治效果研究[J]. *宁夏农林科技*, 2015, 56(7): 51-52.
WANG C, WANG Q, ZHANG Y H. A study of effect of *Trichoderma* MIM2 on control of *Sclerotinia sclerotiorum* of sunflower [J]. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2015, 56(7): 51-52.
- [15] 马文旭, 陈如男, 刘新宇, 等. 高粱枯萎病生防菌株筛选研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2021, 39(3): 237-244.
MA W X, CHEN R N, LIU X Y, et al. Screening of biocontrol bacteria against sorghum *Fusarium* wilt [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2021, 39(3): 237-244.
- [16] SINGH H, SINGH N B. Putrescine ameliorates detrimental effects of 2, 4-D herbicide on growth and antioxidant enzymes activity of tomato[J]. *International Journal of Vegetable Science*, 2021, 27(4): 327-343.
- [17] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2009: 277-278.
ZHANG Z L, QU W J, LI X F. The experimental guide for plant physiology [M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2009: 277-278.
- [18] SONG S W, YI L Y, LIU H C, et al. Effect of ammonium and nitrate ratio on nutritional quality of flowering Chinese cabbage [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2011, 142: 188-192.
- [19] ZHENG Y J, ZHANG Y T, LIU H C, et al. Supplemental blue light increases growth and quality of greenhouse pak choi depending on cultivar and supplemental light intensity [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(10): 2245-2256.
- [20] 闫蕾, 曾柳, 吕艳, 等. 甘蓝型油菜耐低温生长生理生化响应机制 [J]. *中国油料作物学报*, 2021, 43(6): 1061-1069.
YAN L, ZENG L, LV Y, et al. Physiological and biochemical response of growth in rapeseed (*Brassica napus* L.) under low temperature [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2021, 43(6): 1061-1069.
- [21] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 130-132.
LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 130-132.
- [22] 陈炯, 李咏梅, 曾艳, 等. 油菜菌核病拮抗内生菌的筛选及其生防效果研究[J]. *湖南农业科学*, 2021, (8): 63-66.
CHEN X, LI Y M, ZENG Y, et al. Screening of antagonistic endophytic microorganisms and their efficacy against *Sclerotinia sclerotiorum* [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2021, (8): 63-66.
- [23] 宗兆锋, 康振生. 植物病理学原理 [M]. 第二版. 北京: 中国农业出版社, 2010: 247.
ZONG Z F, KANG Z S. Principles of plant pathology [M]. 2nd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2010: 247.
- [24] DAVAR R, DARVISHZADEH R, MAJD A. Changes in antioxidant systems in sunflower partial resistant and susceptible lines as affected by *Sclerotinia sclerotiorum* [J]. *Biologia*, 2013, 68(5): 821-829.
- [25] 马兴, 董星晨, 张健, 等. 黄瓜枯萎病拮抗菌的拮抗促生因子检测及生物效应研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2018, 36(3): 130-138.
MA X, DONG X C, ZHANG J, et al. Determining antagonistic and growth promoting factors of bacteria strains against cucumber *Fusarium* wilt and studies on their biological effects [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2018, 36(3): 130-138.
- [26] 朱林, 张莹, 郑晓薇, 等. 向日葵菌核病拮抗菌的筛选、鉴定及防效测定[J]. *微生物学通报*, 2021, 48(12): 4688-4695.
ZHU L, ZHANG Y, ZHENG X W, et al. Screening, identification, and biocontrol effect of antagonistic strains for control of sunflower *sclerotinia rot* [J]. *Microbiology China*, 2021, 48(12): 4688-4695.
- [27] HARMAN G E, HOWELL C R, VITERBO A, et al. *Trichoderma* species — opportunistic, avirulent plant symbionts [J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2004, 2(1): 43-56.
- [28] ZHAO J, LIU T, LIU W C, et al. Transcriptomic insights into growth promotion effect of *Trichoderma afroharzianum* TM2-4 microbial agent on tomato plants [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2021, 20(5): 1266-1276.
- [29] YANI S, OPIK T, BELINDA N, et al. Role of biological agents *Trichoderma* sp. at growth three garlic varieties (*Allium sativum*) [J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, 1402(3): 033043.
- [30] VINALE F, SIVASITHAMPARAM K, GHISALBERTI E L, et al. A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2008, 72(1/3): 80-86.
- [31] ELKELISH A A, ALHAITHLOUL H A S, QARI S H, et al. Pretreatment with *Trichoderma harzianum* alleviates waterlogging-induced growth alterations in tomato seedlings by modulating physiological, biochemical, and molecular mechanisms [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2020, 171: 103946.