

哈茨木霉菌剂对当归产量和品质的影响

王文丽¹, 王卓¹, 赵向东², 赵永吉³

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070;
2. 山东长泰生物科技有限公司, 山东 济宁 272008; 3. 甘肃拽耙扶犁
农业科技有限公司, 甘肃 渭源 748201)

摘要: 通过研究哈茨木霉菌剂对当归产量和品质的影响, 为哈茨木霉菌剂在甘肃当归道地产区大面积推广应用提供科学依据。通过田间对比试验, 研究了哈茨木霉菌剂对当归产量、品质、根腐病和麻口病病情的影响, 并对各指标进行了相关性分析。结果表明, 与对照不接菌剂相比, 接种哈茨木霉菌剂可使当归的芦头直径、鲜根重、干根重、产量分别增加 13.98%、13.03%、14.95%、71.54%; 当归中的醇溶性浸出物、挥发油、阿魏酸含量分别提高 3.44%、12.77%、8.33%; 对当归根腐病、麻口病的防效分别为 57.12%、26.78%。当归的芦头直径、根干重、产量均与醇溶性浸出物和阿魏酸含量呈正相关, 芦头直径、根干重、产量、醇溶性浸出物含量、阿魏酸含量均与根腐病和麻口病病情指数呈负相关。综上所述, 在当归种植时接种哈茨木霉菌剂能显著提升当归的产量和品质, 降低当归主要土传病害的病情。

关键词: 哈茨木霉; 当归; 产量; 品质; 阿魏酸; 挥发油; 根腐病; 麻口病

中图分类号: S567.239

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)11-1059-06

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2025.11.014

Effects of *Trichoderma harzianum* Agent on the Yield and Quality of *Angelica sinensis*

WANG Wenli¹, WANG Zhuo¹, ZHAO Xiangdong², ZHAO Yongji³

(1. Institute of Soil Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China;
2. Shandong Changtai Biotechnology Co., Ltd., Jining Shandong 272008, China; 3. Gansu Zhuaipa Fuli
Agricultural Technology Co., Ltd., Weiyuan Gansu 748201, China)

Abstract: This study investigated the effects of a *Trichoderma harzianum* inoculant on the yield and quality of *Angelica sinensis*, providing scientific evidence for its large-scale application in the genuine production areas of Gansu. Through comparison experiments in the field, its impacts were studied on the yield, quality, incidence of root rot disease and *Ditylenchus destructor* infection, as well as the correlations among these factors. Results showed that compared with the uninoculated control, inoculation with *T. harzianum* increased the root collar diameter, fresh root weight, dry root weight, and yield of *A. sinensis* by 13.98%, 13.03%, 14.95%, and 71.54%, respectively. Contents of alcohol-soluble extracts, volatile oil, and ferulic acid increased by 3.44%, 12.77%, and 8.33%, respectively, compared to the control. Furthermore, the application of the inoculants reduced the disease indices of root rot and *D. destructor* infection by 57.12% and 26.78%, respectively. The root collar diameter, root dry weight, and yield were positively correlated with the contents of alcohol-soluble extracts and ferulic acid, while root collar diameter, dry root weight, yield, alcohol-soluble extract content, and ferulic acid content were all negatively correlated with the disease indices of root rot and *D. destructor* infection. In conclusion, inoculation with *T. harzianum* significantly improves the yield and quality of *A. sinensis* and reduces the severity of its major soil-borne diseases.

Key words: *Trichoderma harzianum*; *Angelica sinensis*; Yield; Quality; Ferulic acid; Volatile oil; Root rot; *Ditylenchus destructor* infection

当归 [*Angelica sinensis* (Oliv) Diels] 为伞形科多年生草本植物, 当归的根具有重要药用价值^[1]。当归成药性温味甘辛^[2], 具有补血、活血、止痛、

润肠通便、保护心脑血管和增强免疫的作用^[3]。当归中所含的药理核心成分主要为多糖、阿魏酸和挥发油^[4]。甘肃是我国当归的道地产区, 2019

收稿日期: 2025-8-25; 修订日期: 2025-09-18

基金项目: 甘肃省科技计划(22CX8NA022)。

作者简介: 王文丽(1968—), 女, 甘肃民勤人, 研究员, 主要从事农业废弃物肥料化利用技术研究工作。Email: wang_wenli@sina.com。

年全省当归种植面积在 3.33 万 hm^2 以上,栽培面积及产量均占全国的 70%以上^[5]。随着科学技术的不断发展,当归的药用价值和营养价值逐渐被发现,有力地推动了当归的产业发展,使得栽培面积不断扩大,道地产区有限的耕地面积和气候因素限制下的稀少的能够轮作的作物类型,导致当归连作现象日趋严重。多年的连作导致当归病虫害逐年加重,品质下降,产量徘徊不前^[6],严重影响着当归产业的可持续发展。单一的用化学药剂防治会导致病菌产生耐药性,加重环境污染,甚至严重威胁人类健康^[7],有益微生物菌剂的应用展现出环境友好、效果持久、提高作物质量等优势^[8],对推进当归产业可持续发展具有重要意义。哈茨木霉菌剂是目前市场上常见的生防及促生菌剂之一,该类菌剂可以有效地控制植物病害,促进植物生长,提高植物对非生物胁迫的耐受性^[9]。有研究表明,哈茨木霉易于在土壤中定殖,接种 60 d 后在土壤水分适宜的情况下,最大定殖半径能达到 24 cm,在土壤中的最大存活数量能达到 $3.38 \times 10^7 \text{ cfu/g}$ ^[10],而且对烟草的黑胫病、马铃薯腐病、草莓的根腐病等多种植物的真菌性病害具有显著的生物防治效果^[11-13]。但有关哈茨木霉对当归的促生作用和内在品质的研究较少。为此,我们以哈茨木霉菌剂为试验材料,通过田间试验,研究哈茨木霉菌剂对当归生长发育、品质以及产量构成因子、品质指标与当归根腐病和麻口病的相关性,以期为哈茨木霉菌剂在甘肃当归道地产区大面积推广应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试当归品种为岷归 1 号,市售;供试菌剂为哈茨木霉菌剂,有效活菌数 3 亿 /g,用量 150 kg/hm^2 ,市售;地膜为幅宽 35 cm、厚 0.08 mm 的黑色地膜,市售。

1.2 试验区概况

试验设在甘肃省定西市渭源县会川杨庄哈地窝村($35^\circ 05' 11'' \text{ N}$ 、 $104^\circ 02' 76'' \text{ E}$)。试验地海拔 2 321 m,年均气温 5°C ,最冷月平均气温 -12°C ,最热月平均气温 15°C ,年均降水量 566.4 mm,无霜期 131 d。试验地耕层土壤含有机质 36.80 g/kg 、全氮 2.06 g/kg 、全磷 1.00 g/kg 、全钾 20.8 g/kg 、碱

解氮 106 mg/kg 、有效磷 72.87 mg/kg 、速效钾 77 mg/kg , pH 6.57。前茬作物为当归。

1.3 试验设计

试验共设 2 个处理,处理 1:不接菌剂(CK);处理 2:接种哈茨木霉菌剂。采用随机区组设计,3 次重复,试验区面积 300 m^2 。试验采用膜侧栽培。株距 20 cm,行距 45 cm,种植密度 $11\,167 \text{ 株/hm}^2$ 。于 2024 年 4 月 21 日结合整地施有机肥 $2\,400 \text{ kg/hm}^2$ 、N 150 kg/hm^2 、 P_2O_5 120 kg/hm^2 ,每个处理施肥量相同,耙耱后于 4 月 22 日移栽种苗,将菌剂施入种苗沟内后,摆苗、覆土、覆膜。于 7 月 10 日追施 N 60 kg/hm^2 ,10 月 26 日收获。

1.4 测定方法

1.4.1 土壤样品采集 基础土样于施肥前采集,采用“S”形采样方法采集,采样深度 20 cm。

1.4.2 土壤养分 参考鲁如坤^[14]的方法测定土壤养分,采用酸度计法(水土比为 2.5:1)测定 pH;采用电导法(水土比为 5:1)测定 EC;采用重铬酸钾氧化-油浴加热法测定土壤有机质;采用半微量凯氏法测定全氮;采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法测定全磷;采用 NaOH 熔融-火焰光度法测定全钾;采用碱解扩散法测定速效氮;采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定有效磷;采用醋酸铵浸提-火焰光度法测定速效钾。

1.4.3 当归根生长指标 分别用米尺和游标卡尺测定当归的根长和芦头直径,芦头直径是指当归主根顶端最粗的地方,用十字交叉法测定,取其平均值。每小区随机选取当归 20 株,将当归根洗净后,置于阴凉的通风处风干后称根干重。

1.4.4 当归产量 除去边行,全区收获当归的根,用高压水冲洗干净,风干后称根鲜重和根干重,计算干鲜比,小区单收计产。

1.4.5 当归品质 采用《中华人民共和国药典》2020 版一部中的高效液相色谱法测定阿魏酸含量^[15];采用《中华人民共和国药典》2020 版四部通则 2201 中的热浸法测定醇溶性浸出物含量^[16];采用《中华人民共和国药典》2020 版四部通则 2204 中的乙法测定挥发油含量^[16]。

1.4.6 当归根腐病病情调查 当归成熟收获后,每小区取 20 株,用流动的清水冲去根表面的泥土

后, 调查根腐病在根部的发病情况。当归根腐病评价等级采用辛中尧等^[17]的方法, 具体分级见表 1。

病情指数=Σ (各病级调查样本数×病级代表值)/(调查样本总数×最高病级代表值)×100%

防治效果= [(对照的病情指数-处理的病情指数)/对照的病情指数]×100%

表 1 当归根腐病病情严重度分级标准

病情严重度 级别	发病程度	代表 数值
1	不发病	0
2	病斑面积占根表面积1%~5%	1
3	病斑面积占根表面积6%~10%	2
4	病斑面积占根表面积11%~20%	3
5	病斑面积占根表面积22%~40%	4
6	病斑面积占根表面积41%~60%	5
7	病斑面积占根表面积61%~80%	6
8	病斑面积占根表面积80%以上	7

1.4.7 当归麻口病病情调查 当归成熟收获后, 每小区随机取样 20 株, 用流动的清水冲去根表面的泥土后, 调查麻口病在根部的发病情况, 当归麻口病评价等级参照王立等^[18]的等级评价方法, 当归麻口病的严重度分级按照病斑面积占单根面积的大小分为 6 级, 具体分级见表 2。当归麻口病的病情指数和防治效果计算方法同根腐病。

表 2 当归麻口病病情严重度分级标准

病情严重度 级别	发病程度	代表 数值
1	不发病	0
2	病斑面积占根表面积1%~10%	1
3	病斑面积占根表面积11%~30%	2
4	病斑面积占根表面积31%~50%	3
5	病斑面积占根表面积51%~70%	4
6	病斑面积占根表面积70%以上	5

表 3 哈茨木霉菌剂对当归根系及产量的影响^①

处理	芦头直径 /mm	根长 /cm	根鲜重 /(g/株)	根干重 /(g/株)	干鲜比	折合产量 /(kg/hm ²)
不接菌剂(CK)	30.62±0.27 b	25.44±0.55 a	118.08±0.72 b	30.90±0.79 b	0.26±0.01 a	1 756.88 b
接种哈茨木霉菌剂	34.90±0.56 a	26.55±0.22 a	133.46±1.09 a	35.52±0.30 a	0.27±0.01 a	3 013.73 a

①同列不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

表 5 哈茨木霉菌剂对当归根腐病和麻口病病情的影响

处理	根腐病		麻口病		%
	病情指数	防效	病情指数	防效	
不接菌剂(CK)	43.75±1.89 a		63.11±2.77 a		
接种哈茨木霉菌剂	18.76±0.99 b	57.12±3.85	46.21±4.09 b	26.78±3.07	

1.5 数据处理

采用 Excel 2021、SPSS Statistics 26 软件对试验数据进行统计分析并作图。

2 结果与分析

2.1 哈茨木霉菌剂对当归根系和产量的影响

由表 3 可知, 接种哈茨木霉菌剂对当归芦头直径、根鲜重和根干重有显著的促进作用, 与 CK 相比, 接种哈茨木霉菌剂处理可使当归的芦头直径、根鲜重、根干重分别显著增加 13.98%、13.03%、14.95%($P<0.05$); 接种哈茨木霉菌剂处理对当归的根长和干鲜比没有显著的促进作用。接种哈茨木霉菌剂对当归产量有显著的增产作用。接种哈茨木霉菌剂处理的当归折合产量为 3 013.73 kg/hm², 较 CK (1 756.88 kg/hm²)显著增产 1256.85 kg/hm², 增产率达 71.54%($P<0.05$)。

2.2 哈茨木霉菌剂对当归品质的影响

由表 4 可知, 接种哈茨木霉菌剂可以显著提升当归的内在品质。与 CK 相比, 接种哈茨木霉菌剂处理可使当归中的醇溶性浸出物含量显著提高 3.44%、挥发油含量显著提高 12.77%、阿魏酸含量显著提高 8.33%($P<0.05$)。

表 4 哈茨木霉菌剂对当归品质的影响

处理	醇溶性浸出物 含量	挥发油 含量	阿魏酸 含量
不接菌剂(CK)	596.0±3.0 b	4.7±0.3 b	1.32±0.02 b
接种哈茨木霉菌剂	616.5±6.5 a	5.3±0.3 a	1.43±0.02 a

2.3 哈茨木霉菌剂对当归根腐病和麻口病的影响

由表 5 可知, 与 CK 相比, 接种哈茨木霉菌剂处理可以显著降低当归根腐病的病情指数, 防效可以达到 57.12%; 同时, 接种哈茨木霉菌剂处

理也可以显著降低当归麻口病的病情指数，防效为 26.78%，弱于对根腐病的防效。

2.4 接种哈茨木霉菌剂后当归各指标与其根腐病和麻口病病情指数的相关性

应用皮尔逊法对当归各指标芦头直径、根长、根干重、干鲜比、产量、醇溶性浸出物含量、挥发油含量、阿魏酸含量以及根腐病病情指数、麻口病病情指数之间的相关性进行了分析(表 6)，结果表明，当归的芦头直径与根干重、产量、醇溶性浸出物含量、阿魏酸含量显著正相关；根干重与芦头直径、产量、醇溶性浸出物含量、阿魏酸含量显著正相关；当归的产量与芦头直径、根干重、醇溶性浸出物含量、挥发油含量、阿魏酸含量显著正相关；当归的芦头直径、根干重、产量、醇溶性浸出物含量、阿魏酸含量均与麻口病病情指数和根腐病病情指数显著负相关；当归的根腐病病情指数与麻口病病情指数之间显著正相关；当归的根长与芦头直径、根干重、干鲜比、产量、醇溶性浸出物含量、挥发油含量、阿魏酸含量呈正相关，与麻口病病情指数和根腐病病情指数呈

负相关；当归的干鲜比与芦头直径、根长、根干重、产量、醇溶性浸出物含量、挥发油含量、阿魏酸含量呈正相关，与麻口病病情指数和根腐病病情指数呈负相关。

2.5 哈茨木霉菌剂对当归经济效益的影响

由表 7 的经济效益核算可见，当归接种哈茨木霉菌剂后虽然增加了总生产成本，但是通过提高产量，显著提高了当归种植的经济效益，与 CK 相比，接种哈茨木霉菌剂处理总产值增加 75 411.00 元/hm²、净增利润 73 911.00 元/hm²，经济效益十分显著。

3 讨论与结论

哈茨木霉属于子囊菌门半知菌亚门丝孢纲肉座菌目肉座菌科木霉属^[19]，是广泛存在于植物根部及土壤的一种真菌，对环境有较强的适应性和极高的繁殖能力^[20]。木霉菌产生的次生代谢产物有植物激素和激素类似物 2 种，这些次生代谢产物可有效调节植物的生长发育，并改善其生理代谢^[21]。李春等^[22]用哈茨木霉菌剂浇灌黄瓜苗，结果表明，哈茨木霉菌剂可以显著促进黄瓜苗地上部

表 6 当归各指标与其根腐病和麻口病病情指数相关性分析^①

指标	芦头直径	根长	根干重	干鲜比	产量	醇溶性 浸出物含量	挥发油 含量	阿魏酸 含量	根腐病病情 指数	麻口病病情 指数
芦头直径	1.000	0.574	0.971**	0.576	0.964**	0.973**	0.738	0.913*	-0.976**	-0.936**
根长	0.574	1.000	0.705	0.041	0.769	0.494	0.805	0.706	-0.725	-0.743
根干重	0.971**	0.705	1.000	0.604	0.978**	0.906*	0.782	0.892*	-0.990**	-0.924**
干鲜比	0.576	0.041	0.604	1.000	0.442	0.492	0.295	0.229	-0.496	-0.282
产量	0.964**	0.769	0.978**	0.442	1.000	0.924**	0.843*	0.943**	-0.991**	-0.973**
醇溶性浸出物含量	0.973**	0.494	0.906*	0.492	0.924**	1.000	0.693	0.904*	-0.922**	-0.925**
挥发油含量	0.738	0.805	0.782	0.295	0.843*	0.693	1.000	0.679	-0.780	-0.756
阿魏酸含量	0.913*	0.706	0.892*	0.229	0.943**	0.904*	0.679	1.000	-0.945**	-0.993**
根腐病病情指数	-0.976**	-0.725	-0.990**	-0.496	-0.991**	-0.922**	-0.780	-0.945**	1.000	0.966**
麻口病病情指数	-0.936**	-0.743	-0.924**	-0.282	-0.973**	-0.925**	-0.756	-0.993**	0.966**	1.000

①* 表示显著，** 表示极显著。

表 7 哈茨木霉菌剂对当归经济效益的影响^①

处理	产量 /(kg/hm ²)	总产值 /(元/hm ²)	生产成本 /(元/hm ²)	菌剂成本 /(元/hm ²)	总成本 /(元/hm ²)	净利润 /(元/hm ²)	净增利润 /(元/hm ²)
不接菌剂(CK)	1 756.88 b	105 412.80 b	50 349.33	0	50 349.33	55 063.47	
接种哈茨木霉菌剂	3 013.73 a	180 823.80 a	50 349.33	1 500	51 849.33	128 974.47	73 911.00

①当归成药单价 60.00 元/kg。当归总生产成本为如下各项之和：种苗费 13 500.00 元/hm²(1 125 kg/hm²×12.00 元/kg)、地膜费 1 620.00 元/hm² (135 kg/hm²×12.00 元/kg)、农药费 900.00 元/hm²、人工费 32 400.00 元/hm² (播种+收获+整地+打农药+除草，每个工每日按 80 元计算)、尿素 938.10 元/hm²(354 kg/hm²×2.65 元/kg)、磷酸二铵 991.23 元/hm²(260.85 kg/hm²×3.80 元/kg)、菌剂费 1 500.00 元/hm² (10.00 元/kg)。

分生长和根系生长发育。杨海艳等^[23]发现, 波斯菊幼苗喷施哈茨木霉菌剂后, 不仅有显著的促生效应, 而且提高了波斯菊的耐盐能力。哈茨木霉还能促进红海棠幼苗的光合作用, 诱导红海棠幼苗的抗逆性, 促进生长^[24]。本研究结果亦表明, 哈茨木霉菌剂能显著促进当归的根系发育, 进而提高当归的产量和品质, 而且当归的产量和其内在品质的有效成分呈显著正相关。这与张钰^[25]、王洪旭等^[26]和宋正熊等^[27]的研究结果一致, 哈茨木霉菌剂不仅能提高作物的产量还能提高作物的品质。

木霉菌还是迄今为止研究最广泛的生防真菌^[28], 哈茨木霉是其中最常见的一种。哈茨木霉能够产生抑制病原菌的抑菌活性物质(Harzianic acid), 破坏病原菌菌丝的细胞膜, 抑制病原菌生长^[29]。大量的研究表明, 哈茨木霉菌剂对多种作物病害具有显著的防效, 如李超等^[30]利用哈茨木霉菌液对半夏进行灌根, 结果表明, 灌根处理的半夏茎腐病发病率较不灌根对照降低了 50% 以上, 哈茨木霉菌剂防治半夏茎腐病是通过抑制半夏根际土壤中镰刀菌属真菌的增殖来实现的。王美丽等^[31]的室内抑菌试验结果也表明, 哈茨木霉对辣椒疫病、根腐病与枯萎病病原菌的抑菌十分显著。哈茨木霉菌剂单独施用对马铃薯黑痣病的防效可达 63.62%, 协同有机物料秸秆对马铃薯黑痣病的防效高达 70.26%^[32]。张武等^[33]使用哈茨木霉菌剂进行大豆种子拌种, 对大豆根腐病的防治效果在 40% 以上。本研究结果也证实了哈茨木霉菌剂在甘肃当归道地产区当归生产中应用, 对当归根腐病和麻口病具有显著的防治效果, 且根腐病和麻口病会引起当归有效成分降低和减产, 直接影响到药农的经济效益。因此, 应用环保的生物菌剂防病和提质增效的效果非常显著, 是未来中药材道地产区中药材种植中最适绿色投入品之一。

在甘肃当归道地产区当归种植中, 施用哈茨木霉菌剂, 能显著促进当归生长、提高当归的产量和品质, 减轻当归根腐病和麻口病的病情, 与不接菌剂的对照处理相比, 可使当归的芦头直径、鲜根重、干根重、产量分别增加 13.98%、13.03%、14.95%、71.54%; 接种哈茨木霉菌剂可使当归中

的醇溶性浸出物、挥发油、阿魏酸含量分别提高 3.44%、12.77%、8.33%; 接种哈茨木霉菌剂对当归根腐病、麻口病的防效分别为 57.12%、26.78%。当归的产量和产量构成因子(根长、芦头直径、根干重、干鲜比)与当归的有效成分(醇溶性浸出物含量、挥发油含量、阿魏酸含量)之间呈正相关, 当归的有效成分和产量与麻口病病情指数和根腐病病情指数呈负相关。哈茨木霉菌剂在当归种植中的应用还能显著提高当归种植的经济效益, 对促进甘肃当归道地产区当归的绿色发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 郭向艳, 余学庆, 徐莉莉, 等. 当归及其药对的药理作用研究进展[J]. 中医导报, 2025, 31(6): 139-145.
- [2] 徐晓娟, 毛洁, 段莹, 等. 熟地和生荒地当归种苗质量比较[J]. 中国野生植物资源, 2025, 44(4): 48-57.
- [3] 冯慧敏, 李玥, 罗旭东, 等. 当归化学成分和药理作用研究进展及质量标志物的预测分析[J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(4): 159-166.
- [4] 吴国泰, 王瑞琼, 杜丽东, 等. 当归挥发油药理作用研究进展[J]. 甘肃中医药大学学报, 2018, 35(4): 87-92.
- [5] 康天兰, 刘学周, 曹占凤, 等. 甘肃中药材生产形势分析及发展对策[J]. 甘肃农业科技, 2019(1): 90-94.
- [6] 唐湛文, 杨涛, 彭桐, 等. 连作当归叶际、根际土细菌多样性及不同病害防控技术[J]. 2025, 31(15): 199-207.
- [7] 龚成文, 米永伟, 邵武平, 等. 当归化肥农药减施增效栽培技术规程[J]. 寒旱农业科学, 2023, 3(4): 384-387.
- [8] 聂云霞, 刘军乐, 刘洪波, 等. 微生物菌剂在农业科学施肥中的应用与前景[J]. 河北农机, 2022(9): 98-105.
- [9] 张晓尘, 张红杰, 李生兵, 等. 哈茨木霉 EMF910 对宁夏盐碱地区黄芪根腐病致病菌的防治作用[J]. 微生物学通报, 2024, 51(10): 4162-4180.
- [10] 杜婵娟, 付岗, 潘连富, 等. 哈茨木霉 gz-2 菌株在土壤中的定殖规律研究[J]. 西南农业学报, 2016, 29(1): 138-142.
- [11] 危潇, 黎妍妍, 姚经武, 等. 哈茨木霉 WF2 菌株鉴定及对烟草黑胫病的防效[J]. 中南农业科技, 2023,

- 44(11): 12–15.
- [12] CHOWDHURY M R, AHMED S F, KHALID B, et al. Biocontrol efficiency of microencapsulated *Trichoderma harzianum* coupled with organic additives against potato stem rot caused by *Sclerotium rolfsii*[J]. Plant Stress, 2023, 9: 100181.
- [13] 齐素敏, 冉新炎, 韩广泉, 等. 哈茨木霉 NBL-Z1 定殖动态及对草莓根腐病防治效果[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(17): 124–127.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 (1999)[M]. 北京: 中国农业科技出版社: 2000.
- [15] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- [16] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 四部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- [17] 辛中尧, 徐红霞, 程秀蓉. 枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*) B1、B2 菌株对当归、黄芪的防病促进生长效果[J]. 植物保护, 2008, 34(6): 142–144.
- [18] 王立, 惠娜娜, 马永强, 等. 不同颗粒剂撒施防治当归麻口病的效果[J]. 中国植物导报, 2015, 35(6): 70–71; 66.
- [19] 李婷, 王洪旭, 崔广禄, 等. 哈茨木霉在植物应用上的研究进展[J]. 中国农学通报, 2023, 39(21): 57–61.
- [20] 李玥, 罗丽芬, 王烜东, 等. 三七根际耐皂苷木霉菌的分离鉴定及其拮抗促生活性评价[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(8): 133–143.
- [21] ILLESCAS M, PEDRERO-MÉNDEZ A, PITORINI-BOVOLINI M, et al. Phytohormone production profiles in *Trichoderma* species and their relationship to wheat plant responses to water stress[J]. Pathogens, 2021, 10(8): 991.
- [22] 李春, 潘宇, 徐洪伟, 等. 枯草芽孢杆菌和哈茨木霉对黄瓜幼苗根系构型及生长的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2024, 60(2): 187–194.
- [23] 杨海艳, 杨雨伦, 罗中泽, 等. 哈茨木霉对盐胁迫下波斯菊的促生效应[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(24): 166–173.
- [24] 淡振荣, 王洁琼, 刘子贤, 等. 哈茨木霉与枯草芽孢杆菌对海红果幼苗生长、光合特性和抗氧化酶活性的影响[J]. 北方农业学报, 2024, 52(4): 103–112.
- [25] 张钰. 哈茨木霉对基质袋培西瓜生长发育、品质及糖代谢的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2024.
- [26] 王洪旭, 曲明山, 杨明宇, 等. 哈茨木霉菌剂处理对网纹甜瓜生长及品质的影响[J]. 山西农业科学, 2024, 52(2): 44–49.
- [27] 宋正熊, 刘健豪, 李正辉, 等. 不同剂型哈茨木霉对洛阳烤烟生长发育和产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(21): 29–36.
- [28] 李雨欣, 戴欣宇, 曹雪梅, 等. 生防菌在植物病害领域的研究进展[J]. 湖南生态科学学报, 2023, 10(2): 109–116.
- [29] 李心芄, 宋瑞轲, 高琦, 等. 哈茨木霉菌活性物质 harzianic acid 的异源合成及其抑菌机制研究[J]. 南京农业大学学报, 2025, 48(4): 880–891.
- [30] 李超, 杨宽, 李孟芝, 等. 哈茨木霉对半夏根际微生物群落及茎腐病发生的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(9): 165–172.
- [31] 王美丽, 郑荣, 赵娟, 等. 不同生物药剂对辣椒主要病原菌的抑菌效果研究[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(8): 769–773.
- [32] 郭成瑾, 沈瑞清, 张丽荣, 等. 哈茨木霉协同秸秆对马铃薯黑痣病及根际土壤微生态的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(7): 1447–1455.
- [33] 张武, 杨树, 项鹏, 等. 哈茨木霉拌种对大豆生长及大豆根腐病的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2023(7): 41–46.