

韩冰,高文瑞,孙艳军,等. 哈茨木霉菌不同接种方法对番茄种子萌发和幼苗生长生理的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(5):165-169.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.05.025

# 哈茨木霉菌不同接种方法对番茄种子萌发和幼苗生长生理的影响

韩冰<sup>1</sup>,高文瑞<sup>1</sup>,孙艳军<sup>1</sup>,郑子松<sup>1</sup>,张晓青<sup>1</sup>,韩琪<sup>1</sup>,张洪永<sup>2</sup>

(1. 江苏省农业科学院蔬菜研究所,江苏南京 210014; 2. 江苏省徐州市农业农村综合服务中心,江苏徐州 221004)

**摘要:**以番茄品种千禧为试验材料,研究 6 种哈茨木霉菌接种方法对番茄种子萌发及幼苗生长和生理特性的影响。结果表明,播种时接种哈茨木霉菌会使番茄种子发芽时间延长,早期发芽率降低,幼苗发芽指数降低,但对最终发芽率影响不大;接种 400、600 倍液和 0.05、0.10 g/株哈茨木霉菌的番茄幼苗茎粗和叶长与 CK 相比均显著增加( $P < 0.05$ ),而株高与 CK 相比显著降低( $P < 0.05$ );接种 0.05、0.10 g/株哈茨木霉菌的番茄幼苗地上部和地下部干鲜重及壮苗指数与 CK 相比均显著增加( $P < 0.05$ );接种 0.05、0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌的番茄幼苗叶片净光合速率、胞间  $\text{CO}_2$  浓度、气孔导度与 CK 相比均显著增加( $P < 0.05$ );接种 200、600 倍液和 0.10 g/株哈茨木霉菌的番茄幼苗叶片 SOD、POD、CAT 活性均显著高于 CK( $P < 0.05$ ),而叶片 MDA 含量均显著低于 CK( $P < 0.05$ );其中播种时施用哈茨木霉菌 0.05 g/株的番茄幼苗叶柄长、地下部鲜重及叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度、气孔导度均显著高于其他 5 种接种方法( $P < 0.05$ ),株高显著低于其他 5 种接种方法( $P < 0.05$ )。表明 6 种哈茨木霉菌接种方法对番茄幼苗生长和抗性均有不同程度的促进作用,其中以播种时施用哈茨木霉菌 0.05 g/株的促进作用最明显。

**关键词:**哈茨木霉菌;番茄;光合作用;抗氧化酶

**中图分类号:**S182;S641.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)05-0165-05

我国是世界上番茄种植面积最大、产量最多的国家。2021 年,我国番茄种植面积为 111.3 万  $\text{hm}^2$ ,

产量为 6 609 万 t,约占世界总产量的 1/3<sup>[1]</sup>。在番茄生产中常会因为不良环境和病虫害的影响而降低果实的品质和产量。随着生产中化学农药对生态环境及食品安全的危害加大,以及植物病害抗药性的日益增加,利用一些生物防治菌剂来防治植物病害成为了研究的热点问题。哈茨木霉菌防病机制多样,对多种病原真菌和细菌有拮抗作用<sup>[2]</sup>,对许多植物病害防治效果显著。已有研究发现,哈茨木霉菌可以有效地防治番茄白粉病、灰霉病<sup>[3]</sup>、西瓜和黄瓜枯萎病<sup>[4-5]</sup>、辣椒疫病<sup>[6]</sup>等多种蔬菜病害,有效地减少化学农药的使用。研究还发现,哈茨木

收稿日期:2023-02-13

基金项目:江苏省农业科学院探索性颠覆性项目[编号:ZX(21)1206];苏北科技专项(编号:SZ-LYG202105);国家大宗蔬菜产业技术体系徐州综合试验站项目(编号:CARS-23-G48);江苏省蔬菜产业技术体系铜山综合示范基地项目(编号:JATS-2023-059)。

作者简介:韩冰(1984—),女,山东滕州人,硕士,助理研究员,主要从事设施蔬菜逆境生理研究。E-mail:hanbing372@163.com。

通信作者:郑子松,硕士,研究员,主要从事蔬菜栽培技术与推广应用。E-mail:jaaszhs@126.com。

[21] Tadesse T, Sharma P D, Ayele T. Effect of the irrigation interval and nitrogen rate on yield and yield components of onion (*Allium cepa* L.) at Arba Minch, southern Ethiopia[J]. *Advances in Agriculture*, 2022, 2022: 4655590.

[22] 张娟,马福生,杨胜利,等. 不同灌水上下限对温室白萝卜产量、品质及 WUE 的影响[J]. *节水灌溉*, 2016(4): 31-36.

[23] 张娟,郝仲勇,杨胜利,等. 不同灌水上下限对温室白萝卜生长生理特性的影响[J]. *黑龙江水利*, 2016, 2(8): 1-7, 13.

[24] 范海燕,潘兴瑶,胡秀君,等. 基于主成分分析的露地白萝卜滴灌施肥制度研究[J]. *灌溉排水学报*, 2021, 40(增刊 1): 87-93.

[25] 张贵龙,任天志,邱建军,等. 日光温室白萝卜生产系统的氮素利用与平衡研究[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(7): 1500-1507.

[26] 刘社平. 氮肥对不同收获期白萝卜产量和水分利用效率的影响[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(10): 150-152.

[27] 韩佳芮,吴文婧,陈翀,等. 灌水量和施氮量对番茄产量、品质和氮肥利用率的影响[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(19): 145-151.

[28] 吴现兵,白美健,李益农,等. 水肥耦合对膜下滴灌甘蓝根系生长和土壤水氮分布的影响[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(17): 110-119.

霉菌可以明显地促进植物的生长,对番茄<sup>[3]</sup>、黄瓜<sup>[7]</sup>、甜瓜<sup>[8]</sup>等多种作物有促生作用。然而,目前哈茨木霉菌多用于蔬菜成株期的促生防病,将其应用于蔬菜幼苗期以培育壮苗的相关研究还较少,具体施用时期和施用浓度还有待进一步研究。

本研究采用不同的哈茨木霉菌施用方法来研究其对番茄种子萌发、幼苗生长、光合和抗氧化酶活性的影响,从而筛选出对番茄幼苗促生、增抗效果最好的哈茨木霉菌施用方法,以期为哈茨木霉菌在蔬菜育苗上的应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验于 2021 年秋季在江苏省农业科学院科研展示温室内进行。供试番茄品种为千禧,供试基质为由泥炭、蛭石体积比 3:1 组成的混合基质,采用 50 孔穴盘进行育苗。试验共设 7 个不同处理:子叶展平时分别施用哈茨木霉菌 200、400、600 倍液 20 mL/株;播种时分别施用哈茨木霉菌 0.05、0.10、0.20 g/株;CK 对照,清水 20 mL/株。

### 1.2 测定方法

育苗期进行随机取样测定光合、生长及生理指标。从出芽开始,每天统计种子发芽数,发芽率 = (发芽种子数/处理种子数) × 100%;发芽指数  $GI = \sum (G_t/D_t)$ ,式中: $G_t$  为在  $t$  日的发芽数, $D_t$  为相应的发芽日数。于 6 叶时用便携式光合仪于 09:00—11:30 测定净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )和蒸腾速率( $T_r$ )。利用公式  $WUE = P_n/T_r$  计算水分利用率;于 7 叶时进行生长指标测

量,株高为幼苗从子叶到生长点的高度,茎粗为幼苗子叶节处的粗度,叶柄长为从上往下数第 2 张复叶的根部到叶尖的长度,叶长、叶宽为从上往下数第 2 张复叶的顶部叶片的长度和宽度,壮苗指数 = (茎粗/株高 + 地下部干重/地上部干重)/总干重<sup>[9]</sup>;分别取番茄幼苗地上部和地下部,用清水冲洗表面杂物,再用去离子水冲洗干净,擦干水分后,分别称鲜重,再于 105 ℃ 杀青 15 min,75 ℃ 烘至恒质量,称干重。于 7 叶时取各处理的叶片进行超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性及丙二醛(MDA)含量等生理指标的测定,采用硫代巴比妥酸法<sup>[10]</sup>测定 MDA 含量;采用焦彦生等的方法<sup>[11]</sup>测定 SOD、POD、CAT 活性。试验重复 3 次。

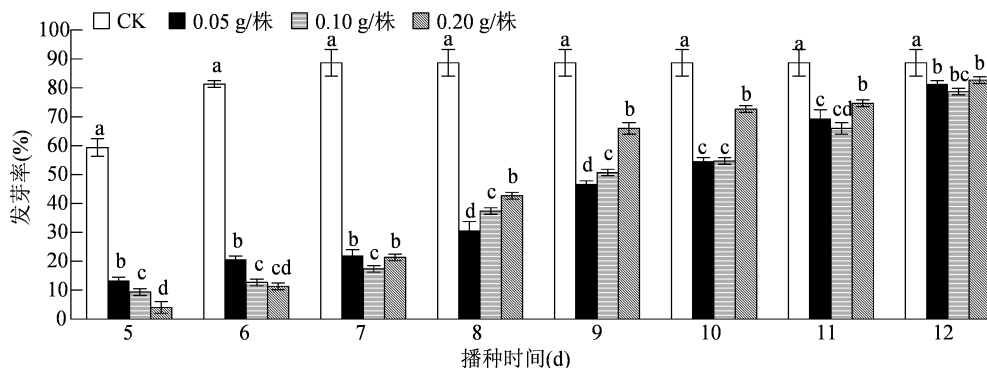
### 1.3 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件对试验数据进行处理和方差分析。不同处理平均值用 Duncan's 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同哈茨木霉菌处理方法对番茄种子发芽的影响

由图 1 可知,在播种时接种哈茨木霉菌会使番茄种子早期(11 d 前)发芽率显著低于 CK 对照,发芽时间比 CK 对照延长 7 d 左右;且随着哈茨木霉菌浓度的提高,早期(7 d 前)发芽率降低,但最终不同哈茨木霉菌接种浓度对番茄幼苗发芽率影响不大。结果表明,播种时接种哈茨木霉菌会使番茄幼苗发芽时间延长,且发芽率降低。



同一播种时间处理间不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。图 2 同

图1 不同哈茨木霉菌处理方法对番茄种子发芽率的影响

由图 2 可知,在播种时接种哈茨木霉菌会使番茄种子发芽指数显著低于 CK 对照;播种后 9 d 前,随着哈茨木霉菌浓度的提高早期发芽指数降低,但

之后播种时接种 0.20 g/株哈茨木霉菌的处理发芽指数高于播种时接种 0.05、0.10 g/株的处理。结果表明,播种时接种哈茨木霉菌会使番茄幼苗发芽指

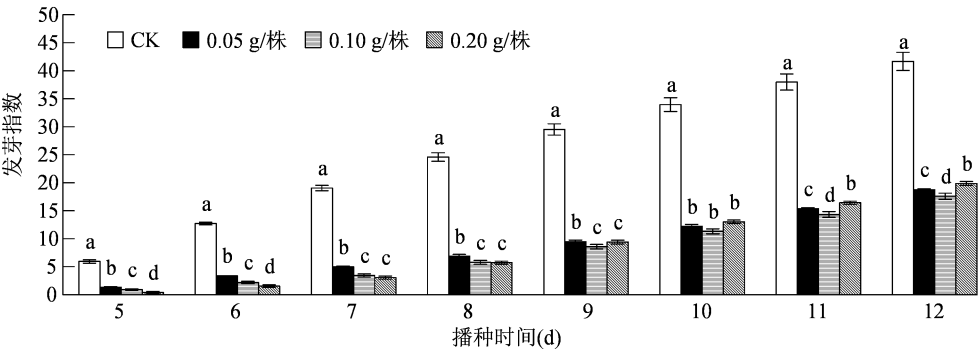


图2 不同哈茨木霉菌处理方法对番茄种子发芽指数的影响

数降低,影响番茄种子萌发。

2.2 不同哈茨木霉菌处理方法对番茄幼苗生长的影响

由表 1 可知,接种 200、400、600 倍液和 0.05、0.10 g/株哈茨木霉菌番茄幼苗的株高与 CK 相比显著降低,且接种 0.05 g/株哈茨木霉菌的最低;接种 400、600 倍液和 0.05、0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的茎粗与 CK 相比显著增加,其中接

种 0.20 g/株哈茨木霉菌的最大;接种 0.05、0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的叶柄长与 CK 相比显著增加,其中接种 0.05 g/株哈茨木霉菌的最长;接种 200、400、600 倍液和 0.05、0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的叶长与 CK 相比显著增加,其中接种 0.05 g/株和 0.20 g/株哈茨木霉菌的较大;接种 200、400、600 倍液和 0.05、0.20 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的叶宽与 CK 相比显著增加。

表 1 不同哈茨木霉菌处理方法对番茄幼苗生长的影响

处理	株高 (cm)	茎粗 (cm)	叶柄长 (cm)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)
CK	39.93 ± 0.93a	3.02 ± 0.08d	10.65 ± 0.25c	3.93 ± 0.21d	2.58 ± 0.16b
200 倍液	35.13 ± 0.57b	3.19 ± 0.10d	10.78 ± 0.15c	4.88 ± 0.11b	3.30 ± 0.12a
400 倍液	37.25 ± 0.49b	3.63 ± 0.06b	10.64 ± 0.41c	5.01 ± 0.23ab	3.13 ± 0.10a
600 倍液	36.23 ± 0.67b	3.50 ± 0.05c	10.74 ± 0.18c	4.74 ± 0.17b	3.17 ± 0.15a
0.05 g/株	29.23 ± 0.65c	3.59 ± 0.04b	12.92 ± 0.39a	5.27 ± 0.15a	3.23 ± 0.22a
0.10 g/株	35.37 ± 0.49b	3.43 ± 0.07c	11.42 ± 0.43b	4.42 ± 0.23c	2.76 ± 0.17b
0.20 g/株	41.23 ± 0.67a	4.06 ± 0.10a	11.60 ± 0.36b	5.33 ± 0.05a	3.15 ± 0.21a

处理	鲜重(g)		干重(g)		壮苗指数
	地上部	地下部	地上部	地下部	
CK	5.34 ± 0.31d	0.67 ± 0.09cd	0.45 ± 0.02d	0.062 ± 0.010bc	0.106 ± 0.005d
200 倍液	4.88 ± 0.35d	0.61 ± 0.05d	0.48 ± 0.06cd	0.047 ± 0.007c	0.099 ± 0.003d
400 倍液	6.25 ± 0.35c	0.75 ± 0.07c	0.56 ± 0.03c	0.053 ± 0.003c	0.118 ± 0.006c
600 倍液	4.41 ± 0.36d	0.61 ± 0.30d	0.37 ± 0.04d	0.053 ± 0.009c	0.102 ± 0.008d
0.05 g/株	7.11 ± 0.23b	1.31 ± 0.04a	0.73 ± 0.03b	0.127 ± 0.004a	0.253 ± 0.003a
0.10 g/株	6.20 ± 0.16c	1.08 ± 0.02b	0.71 ± 0.04b	0.135 ± 0.013a	0.243 ± 0.004a
0.20 g/株	8.59 ± 0.21a	0.82 ± 0.05c	0.84 ± 0.05a	0.080 ± 0.013b	0.178 ± 0.002b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下表同。

由表 1 还可知,接种 400 倍液和 0.05、0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的地上部鲜重与 CK 相比显著增加,且接种 0.20 g/株哈茨木霉菌的最大;接种 0.05、0.10 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的地下部鲜重与 CK 相比显著增加,且接种 0.05 g/株哈茨木霉菌的最大;接种 400 倍液和 0.05、0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌地上部干重与 CK 相比显著增加,且接种 0.20 g/株哈茨木霉菌的最

大;接种 0.05、0.10 g/株哈茨木霉菌地下部干重与 CK 对照相比显著增加;与 CK 对照相比,接种 400 倍液和 0.05、0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌可以显著提高幼苗的壮苗指数,且接种 0.05 g/株和 0.10 g/株哈茨木霉菌的较大。

2.3 不同哈茨木霉菌处理方式对番茄幼苗光合作用的影响

由表 2 可知,接种 400、600 倍液和 0.05、0.10、

0.20 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的净光合速率  $P_n$  与 CK 相比显著提高,且接种 400 倍液和 0.05 g/株哈茨木霉菌的较高;接种 600 倍液哈茨木霉菌会使番茄幼苗的蒸腾速率  $T_r$  与 CK 对照相比显著提高;接种 0.05、0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的胞间  $CO_2$  浓度  $C_i$  与 CK 相比显著提高,且接种 0.05 g/株哈茨木霉菌的最高;接种 200、

400、600 倍液和 0.05、0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的气孔导度  $G_s$  与 CK 相比显著增加,且接种 0.05 g/株哈茨木霉菌的最大;接种 200、400 倍液和 0.05、0.20 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的水分利用率 WUE 与 CK 相比显著增加,且接种 200 倍液哈茨木霉菌的最高。

表 2 不同哈茨木霉菌处理方法对番茄幼苗光合作用的影响

处理	$P_n$ [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	$T_r$ [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	$C_i$ ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	$G_s$ [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	WUE ( $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ )
CK	15.52 ± 0.77d	7.54 ± 0.38bc	302.61 ± 1.06c	96.72 ± 1.35d	2.06 ± 0.17cd
200 倍液	15.91 ± 0.47d	6.29 ± 0.43d	300.61 ± 1.62c	102.13 ± 2.04c	2.53 ± 0.15a
400 倍液	19.73 ± 0.69a	8.06 ± 0.55b	301.19 ± 1.27c	103.55 ± 1.05c	2.45 ± 0.12ab
600 倍液	18.35 ± 0.70ab	9.18 ± 0.53a	301.29 ± 0.69c	115.22 ± 2.14b	1.99 ± 0.11d
0.05 g/株	19.22 ± 0.88a	7.79 ± 0.58b	327.85 ± 2.54a	119.19 ± 1.28a	2.47 ± 0.13ab
0.10 g/株	16.13 ± 0.88bc	7.20 ± 0.38c	308.29 ± 2.45b	112.33 ± 1.63bc	2.24 ± 0.12c
0.20 g/株	17.26 ± 0.61b	7.48 ± 0.21bc	306.56 ± 2.69b	102.74 ± 2.28c	2.31 ± 0.10b

2.4 不同哈茨木霉菌处理方法对番茄幼苗抗氧化系统的影响

由表 3 可知,接种 200、600 倍液和 0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的 MDA 与 CK 相比显著降低,且接种 600 倍液和 0.10 g/株哈茨木霉菌的较小;接种 200、400、600 倍液和 0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的 SOD 活性与

CK 相比显著升高,且接种 400 倍液和 600 倍液哈茨木霉菌的较大;接种 200、400、600 倍液和 0.05、0.10 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的 POD 活性与 CK 相比显著升高,且接种 0.10 g/株哈茨木霉菌的幼苗 POD 活性最大;接种 200、400、600 倍液和 0.05、0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌会使番茄幼苗的 CAT 活性与 CK 相比显著升高。

表 3 不同哈茨木霉菌处理方法对抗氧化系统的影响

处理	MDA 含量 (nmol/g)	SOD 活性 (U/g)	POD 活性 [ $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ]	CAT 活性 [ $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ]
CK	14.05 ± 0.88a	347.36 ± 13.13d	221.91 ± 4.57d	17.94 ± 0.12d
200 倍液	11.74 ± 0.52b	439.44 ± 14.56c	260.85 ± 4.54b	47.68 ± 3.75a
400 倍液	13.56 ± 1.12a	618.63 ± 17.17a	262.57 ± 3.49b	38.91 ± 3.08b
600 倍液	11.10 ± 0.42c	632.02 ± 23.85a	245.71 ± 5.32c	50.89 ± 2.87a
0.05 g/株	12.28 ± 0.23ab	313.96 ± 18.11d	235.92 ± 5.28c	51.86 ± 4.79a
0.10 g/株	10.91 ± 0.40c	440.47 ± 28.48c	315.69 ± 3.84a	49.90 ± 1.59a
0.20 g/株	11.56 ± 0.96b	465.51 ± 8.77b	218.75 ± 1.06d	33.32 ± 2.87c

3 讨论

哈茨木霉菌作为植物根际促生菌,可以促进多种植物的生长。已有研究表明,接种哈茨木霉菌可以缩短黄瓜种子的出土时间和出齐时间<sup>[12]</sup>,提高辣椒种子的发芽率<sup>[13]</sup>。然而,本试验研究表明,播种时接种哈茨木霉菌会使番茄种子发芽时间延长,早期发芽率降低,幼苗发芽指数降低,但对最终发芽率影响不大。这可能是由于不同哈茨木霉菌菌种差异和宿主品种差异造成的。

已有研究表明,施用适量的哈茨木霉对多种作物幼苗的生长有一定的促进作用<sup>[3,7,14-15]</sup>。本试验研究了不同接种时间和接种浓度对番茄幼苗生长的影响,结果表明接种哈茨木霉菌可以降低番茄幼苗的株高,提高番茄幼苗的茎粗、叶柄长、叶长、叶宽、地上部/地下部鲜重和干重及壮苗指数,其中以接种 0.05 g/株哈茨木霉菌的促进效果最为明显。播种时接种哈茨木霉菌对番茄幼苗的促生效果优于子叶展平时灌根,这可能是由于播种时接种哈茨木霉菌可以比子叶展平时灌根早接种菌剂 10 d 左

右,从而更有利于根系生长,增强根系的水肥吸收能力,进而促进幼苗生长。

植物通过光合作用可以合成有机物,从而获得生长发育所需的能量。本试验研究发现,接种哈茨木霉菌会使番茄幼苗的净光合速率、蒸腾速率、胞间  $\text{CO}_2$  浓度、气孔导度及水分利用率显著提高,这与陈双臣等在番茄上<sup>[16]</sup>和周晓馥等在黄瓜上<sup>[7]</sup>的研究结果是一致的。其中又以接种 0.05 g/株哈茨木霉菌的幼苗净光合速率、胞间  $\text{CO}_2$  浓度和气孔导度较高。这可能是因为接种哈茨木霉菌后,可以扩大叶片的气孔导度,使胞间  $\text{CO}_2$  浓度增加,从而为光合作用提供更多的原料,增强植物的光合速率,合成更多的碳水化合物供植物生长发育使用。这与接种 0.05 g/株哈茨木霉菌对番茄幼苗生长的促进效果最为明显是一致的。

抗氧化酶系统作为植物体内重要的防御体系,可以通过合成抗氧化酶来减轻活性氧对细胞膜的损伤,降低细胞膜内不饱和脂肪酸的氧化程度,从而提高植物抗性<sup>[17-18]</sup>。已有研究发现,接种哈茨木霉菌可以提高盐胁迫下玉米的 POD、SOD 活性,降低 MDA 含量,从而提高玉米对盐胁迫的抗性<sup>[19]</sup>。接种哈茨木霉菌还可以通过提高植物体内 SOD、POD 和 CAT 活性,降低 MDA 含量,从而提高黄瓜对枯萎病的抗性<sup>[20]</sup>,以及番茄对灰霉病的抗性<sup>[21]</sup>。本试验研究发现,接种哈茨木霉菌会使番茄幼苗的 MDA 含量显著降低,SOD、POD、CAT 活性显著升高,其中又以接种 0.10 g/株哈茨木霉菌 MDA 含量最小,POD 活性最大;接种 0.05 g/株哈茨木霉菌 CAT 活性最大。说明接种哈茨木霉菌可通过提高植物体内的 SOD、POD、CAT 等抗氧化酶的活性,从而降低植物体内 MDA 的含量,降低膜质过氧化程度,进而提高植物的抗性。

综上所述,接种哈茨木霉菌可以通过促进植物的光合作用,进而促进植株的生长;通过提高抗氧化酶的活性,减少 MDA 的生成,从而提高植物的抗逆和抗病性。播种时接种 0.05 g/株哈茨木霉菌是促进番茄幼苗生长和提高抗性的最佳接种方法。

#### 参考文献:

- [1] 华经产业研究院. 2022 年中国番茄种植面积、产量、进出口及价格走势分析 [EB/OL]. (2022-11-01) [2023-02-13]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1748259202058315121&wfr=spider&for=pc>.
- [2] 郑明子,范志航,尹梦梦,等. 高效促进番茄生长的生防木霉菌的

- 筛选[J]. 黑龙江农业科学,2019(1):48-54.
- [3] 曲 薇,伍 森,王旭东,等. 哈茨木霉菌株 WY-1 对番茄的促生防病效果[J]. 江苏农业科学,2018,46(5):94-96.
- [4] 肖 密. 哈茨木霉 T2-16 对西瓜枯萎病防治效果及机理初探[D]. 长沙:湖南农业大学,2015:13-22.
- [5] 刘爱荣,陈双臣,晋文娟,等. 哈茨木霉对接种尖孢镰刀菌后黄瓜根系次生代谢物的影响[J]. 中国生物防治学报,2012,28(4):545-551.
- [6] 薛春生,何瑞珏,肖淑芹,等. 哈茨木霉菌 (*Trichoderma harzianum*) TR409 诱导辣椒防御酶活性变化及防治疫病效果[J]. 沈阳农业大学学报,2016,47(4):479-483.
- [7] 周晓馥,张欣玥,蔡汶妤,等. 哈茨木霉对黄瓜幼苗促生作用的影响[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版),2020,41(3):93-99.
- [8] 刘恩琪,张宏彦,杨合法. 2 种根际促生菌在甜瓜育苗中的应用效果[J]. 农业研究与应用,2019,32(4):11-14.
- [9] 韩素芹,王秀峰,魏 珉,等. 甜椒穴盘苗壮苗指数及其与苗期性状的相关性研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2004,35(2):187-190,195.
- [10] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2001:195-197.
- [11] 焦彦生,郭世荣,李 娟,等. 钙对根际低氧胁迫下黄瓜幼苗活性氧代谢的影响[J]. 西北植物学报,2006,26(10):2056-2062.
- [12] 齐 娟,刘蕾庆,任金立,等. 哈茨木霉菌使用方式对黄瓜砧木出苗及幼苗生长的影响[J]. 安徽农学通报,2021,27(4):46-48.
- [13] 胡 琼. 哈茨木霉 TC 对辣椒促生效果的研究[J]. 安徽农业科学,2013,41(21):8941,8943.
- [14] 刘 峰,阮盈盈. 哈茨木霉菌剂对玉米苗期生长和土壤肥力的影响[J]. 浙江农业科学,2021,62(8):1507-1510.
- [15] 魏艳丽,李红梅,扈进冬,等. 臭氧水与生防菌剂组合应用对番茄根结线虫及根际微生物群落的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(12):121-127.
- [16] 陈双臣,姬德刚,李 聪,等. 哈茨木霉诱导番茄叶片光合生理变化的研究[J]. 园艺学报,2014,41(3):489-497.
- [17] Kapoor D, Singh S, Kumar V, et al. Antioxidant enzymes regulation in plants in reference to reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS)[J]. Plant Gene, 2019, 19:100182.
- [18] Kasote D M, Katyare S S, Hegde M V, et al. Significance of antioxidant potential of plants and its relevance to therapeutic applications[J]. International Journal of Biological Sciences, 2015, 11(8):982-991.
- [19] 付 健,王玉凤,张翼飞,等. 不同木霉菌对寒地盐碱土壤玉米杂交种光合特性及活性氧代谢的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2021,33(1):7-14.
- [20] 朱森林,王丹媚,唐秀梅,等. 木霉水分散粒剂的培养条件优化及其对黄瓜枯萎病的防治效果[J]. 浙江农业学报,2020,32(6):1009-1018.
- [21] 张丽莉,杨依军,马 力,等. 一株生防木霉菌株的鉴定及其对番茄保护酶的诱导作用[J]. 东北农业大学学报,2011,42(1):89-94.