

长枝木霉 T6 菌株对小麦耐盐性的影响

张树武, 徐秉良, 刘 佳, 李 萍

(甘肃农业大学植物保护学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 利用 NaCl 溶液模拟盐胁迫条件, 测定了长枝木霉 T6 菌株耐盐性及其对小麦耐盐性的影响。结果表明: 当 NaCl 溶液浓度为 30~50 mg·mL⁻¹ 时, 其对长枝木霉 T6 菌株生长具有显著的抑制作用, 并且其影响作用随着 NaCl 溶液浓度的升高而增强, 随着处理后培养时间的增加而逐渐减小, 但当 NaCl 溶液浓度为 10、20 mg·mL⁻¹ 时, 与对照相比其对长枝木霉 T6 菌株生长无显著影响, 且表现出较强的耐盐性; 长枝木霉 T6 菌株对 NaCl 溶液胁迫下小麦种子的发芽率、发芽势、萌发指数、胚芽和胚根长度具有明显的促生作用, 且与对照相比分别增加了 3%~15%、6%~14%、4%~16%、9%~34% 和 9%~31%。因此, 长枝木霉 T6 菌株具有较强的耐盐性和解盐促生作用。

关键词: 木霉菌; 小麦; 耐盐性; 解盐促生作用

中图分类号: S512.1; Q939.9 **文献标志码:** A

Effect of the strain of *Trichoderma longibrachiatum* T6 on wheat salinity tolerance

ZHANG Shu-wu, XU Bing-liang, LIU Jia, LI Ping

(College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: This research aimed to determine the effect of *Trichoderma longibrachiatum* T6 on wheat salinity tolerance. The salinity tolerance of *T. longibrachiatum* T6 and its effect on wheat salinity tolerance were determined and simulated by different concentrations of NaCl solutions. Results showed that NaCl solutions had significant effect on growth of *T. longibrachiatum* T6 under the concentrations ranging from 30 to 50 mg·mL⁻¹, with the effect increasing as NaCl concentration increased. But as the incubation time prolonged, the effect decreased gradually. However, compared with control, there existed no significant effect with NaCl concentrations of between 10 and 20 mg·mL⁻¹. In addition, the strain of *T. longibrachiatum* T6 had significant promoting effect on wheat seed germination rates, germination potential, germination index, plumule and radicle length by NaCl treatments, increased by 3%~15%, 6%~14%, 4%~16%, 9%~34% and 9%~31%, respectively. Therefore, *T. longibrachiatum* T6 has a stronger salinity tolerance and promoting effect on plant growth under salt stress.

Keywords: *Trichoderma* spp.; salt stress; salt tolerance; wheat; plant growth promotion under salt stress

近年来,土壤盐渍化已成为一个世界性问题,日益威胁着人类赖以生存的土地资源和农业生产^[1-2]。据统计,全世界盐碱土面积约占土地总面积的 7% 左右,并有逐年增加的趋势^[3]。我国盐渍化土壤面积约为 1.0 × 10⁸ hm², 约占土地总面积 37%^[4]。张金盛等^[5]研究表明温室中黄瓜 (*Cucumis sativus*) 根际土壤盐含量为 0.2%~0.6%, 已达到中高度盐渍化水平。同时,土壤盐渍化是影响植物生长的主要逆境因素之一,不仅影响植物代谢和光合作用,而且能够降低植物对土壤养分和微量元素的摄入^[6]。已有研究表明,NaCl 是盐渍化土壤最主要

的成分,在其胁迫下植物会出现营养失衡、渗透功能受损和活性氧过量,进而导致膜完整性破坏、光合电子传递系统失活、激素平衡破坏、生物量积累下降、蛋白质变性和核酸断裂,甚至细胞死亡^[7-8]。因此,如何改良盐碱化土壤已成为目前急需解决的问题之一。

目前,对于土壤盐渍化主要采用农业措施、水利工程和化学改土等传统措施,但这些措施均存在投入大、周期长和见效慢等缺点^[9-11]。鉴于此,近年来利用植物根际有益微生物提高植物耐盐性和改良土壤盐碱化水平已有相关研究,表明根际有益微生物不仅可以促进植物生长发育和提高产量,而且可

收稿日期: 2015-10-20
基金项目: 甘肃省农牧厅生物技术专项 (GNSW-2009-04, GNSW-2013-19); 甘肃省教育厅项目 (042-03)
作者简介: 张树武 (1986—), 男, 甘肃庆阳人, 博士研究生, 研究方向为植物病原学及植物病害。E-mail: zhangsw704@126.com。
通信作者: 徐秉良 (1962—), 女, 浙江桐乡人, 教授, 主要研究方向为植物病原学及植物病害。E-mail: xubl@gsau.edu.cn。

以提高作物耐受逆境条件的能力,但目前研究较多的植物根际有益微生物为假单胞菌属(*Pseudomonas* spp.)^[12-13]。另外,有关真菌方面的研究,Rouphael 等^[14]研究发现盐碱条件下,接种菌根真菌(*Glomus intreradices*)能够促进黄瓜植株生长,但是目前国内在此方面研究较多的为根际促生菌的筛选,而有关提高作物在逆境下生长的专用微生物制剂较罕见。

木霉菌(*Trichoderma* spp.)是自然界中广泛分布的一类生防真菌,有关其对植物病原菌拮抗方面已有较多研究^[15],并且已有研究表明木霉菌是一类能够刺激作物生长并增强其抗生物和非生物胁迫的多功能益生菌,如哈茨木霉(*T. harzianum*) 1295-22 能够提高氧化胁迫下甜玉米(*Zea mays* L. ssp. *saccharata*)种子活力^[16],但目前国内外有关长枝木霉 T6 菌株耐盐性及其对小麦耐盐性的影响等方面研究较少。因此,本试验通过利用 NaCl 溶液模拟盐胁迫逆境条件,测定长枝木霉 T6 菌株耐盐性,以及其对小麦种子耐盐性的影响,将为进一步完善长枝木霉 T6 菌株与植物的互作奠定理论基础,同时对于进一步扩大生防木霉菌的应用范围具有重要的实践意义。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌株 长枝木霉(*Trichoderma longibrachiatum*) T6 菌株由甘肃农业大学植物病理实验室分离筛选并保存。

1.1.2 供试小麦品种 小麦(*Triticum aestivum*)品种为永良 4 号,该品种具有抗青枯早衰,适应性强和稳产性好等特性,购买于甘肃省农科院种子有限责任公司。

1.2 试验方法

1.2.1 分生孢子悬浮液制备 向在 PDA 平板上培养 6 d 的长枝木霉 T6 菌株加入一滴土温-80(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,并利用血球计数板计数原液浓度,使其浓度为 1.0×10^8 cfu·mL⁻¹。

1.2.2 NaCl 溶液胁迫对长枝木霉 T6 菌株生长的影响 待 PDA 培养基冷却至 50℃时,分别加入不同质量 NaCl 分析纯 AR(无色晶体,国药集团化学试剂有限公司生产),使培养基中 NaCl 溶液浓度分别为 10、20、30、40 mg·mL⁻¹和 50 mg·mL⁻¹,充分摇匀后,均匀倒入培养皿中制成平板。然后,将培养 5 d 的长枝木霉 T6 菌株经打孔器制取直径为 5 mm 菌饼,移植于含有不同浓度 NaCl 溶液的平板中央,并置于 25℃和 16 h 光照条件的恒温培养箱内培养。试验以无菌水作为对照,每个处理和对照均为 6 个重复。

待培养 3 d 时采用“十字交叉法”测量菌落直径并观察其形态,并于培养第 7 天时利用血球计数板测定其产孢量。

1.2.3 种子处理 挑选饱满且大小一致的小麦种子,经 5% NaClO 消毒 5 min,无菌水冲洗 5 次,然后将其置于长枝木霉 T6 菌株孢子悬浮液(1.0×10^8 cfu·mL⁻¹)或无菌水中浸种(对照),并置于温度为 25℃和光照为 16 h 的恒温箱中进行处理 12 h,每个处理和对照均重复 6 次。

1.2.4 NaCl 溶液胁迫下长枝木霉 T6 菌株对小麦种子萌发和幼苗生长的影响 将经过长枝木霉 T6 菌株分生孢子悬浮液和无菌水处理的小麦种子均匀摆放于铺有一层吸水棉和滤纸的培养皿($d = 9$ cm)内,每个培养皿 50 粒,重复 6 次。然后,向培养皿中分别加入 10 mL 浓度为 0(无菌水)、10、20、30、40 mg·mL⁻¹和 50 mg·mL⁻¹ NaCl 溶液进行长枝木霉 T6 菌株对小麦种子萌发和幼苗生长影响的测定,并置于 25℃和 16 h 光照恒温箱中进行发芽处理,发芽过程中如果缺水及时补充无菌水和 NaCl 溶液。以胚根超过种子长度一半为标准开始计数,每隔 24 h 记录各处理和对照的发芽数,并计算其发芽率、发芽势和萌发指数^[17]。同时,处理后第 5 天分别随机从各处理和对照的每个重复中抽取 30 粒供试种子,洗净并吸干水分后测定其胚芽和胚根长度^[18]。

发芽势(%) = (处理后前 3 天内发芽种子数/参试种子总数) × 100

发芽率(%) = (全部发芽种子数/参试种子总数) × 100

萌发指数(%) = G_t/D_t (式中 G_t 为发芽后 t 日内发芽数, D_t 为相应的发芽天数)

1.3 数据统计

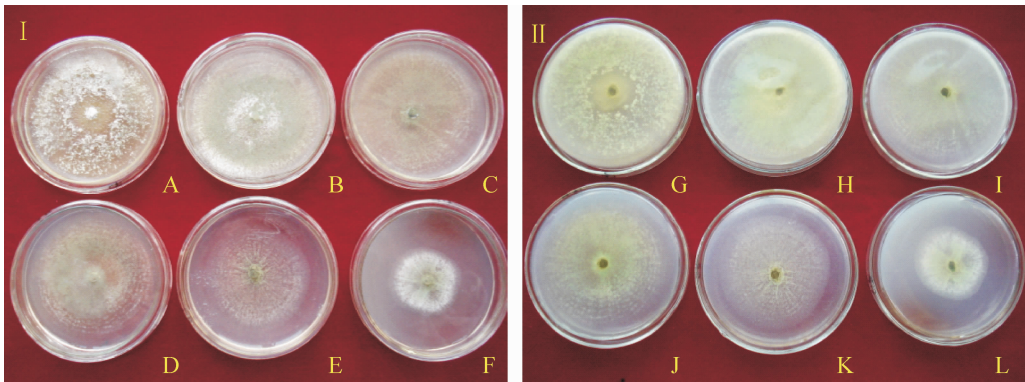
采用 SPSS16.0 软件和单因素方差分析统计各处理平均值差异,并利用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 NaCl 溶液胁迫对长枝木霉 T6 菌株生长的影响

结果表明,不同浓度 NaCl 溶液处理对长枝木霉 T6 菌株生长具有不同程度的影响,尤其在处理后第 3、4 天内对其生长影响较大,但随着处理时间增加,对其生长的影响作用逐渐减小,尤其处理后第 5、6 和 7 天,浓度为 10、20 mg·mL⁻¹ NaCl 溶液处理对其生长无显著影响,并表现出较强的耐盐性,但浓度为 40、50 mg·mL⁻¹ NaCl 溶液处理后对长枝木霉 T6 菌株生长具有显著的抑制作用(图 1 和表 1)。同时,处

理后第 7 天浓度为 10 mg·mL⁻¹ NaCl 溶液处理后对长枝木霉 T6 菌株产孢量具有显著的影响,且其产孢量显著高于对照,而其它浓度 NaCl 溶液处理后其产孢量低于对照(表 1)。



注 Note: I :处理后 5 天菌落正面形态 The front colony morphology on 5th day after treatment; A—CK, B—10 mg·mL⁻¹, C—20 mg·mL⁻¹, D—30 mg·mL⁻¹, E—40 mg·mL⁻¹, F—50 mg·mL⁻¹. II :处理后 5 天菌落反面形态 The back colony morphology on 5th day after treatment; G—CK, H—10 mg·mL⁻¹, I—20 mg·mL⁻¹, J—30 mg·mL⁻¹, K—40 mg·mL⁻¹, L—50 mg·mL⁻¹。

图 1 不同浓度 NaCl 溶液对长枝木霉 T6 菌株菌落生长的影响

Fig.1 Effect of NaCl solutions on the colony growth of *Trichoderma longibrachiatum* T6

表 1 不同浓度 NaCl 溶液对长枝木霉 T6 菌株生长的影响

Table 1 Effect of NaCl solutions on the strain of *Trichoderma longibrachiatum* T6 growth

盐浓度 Salt concentrations /(mg·mL ⁻¹)	菌落直径/cm					产孢量/(10 ⁶ cfu·mL ⁻¹) Number of spores production
	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	
CK	6.83 a	9.00 a	9.00 a	9.00 a	9.00 a	27.27 b
10	5.02 ab	7.25 ab	9.00 a	9.00 a	9.00 a	29.25 a
20	3.82 b	5.48 b	8.35 a	9.00 a	9.00 a	14.97 c
30	2.43 c	3.60 c	5.32 b	6.50 b	7.10 b	4.48 d
40	1.43 cd	1.93 d	2.45 c	2.97 c	3.53 c	0.13 e
50	0.88 d	1.35 d	1.82 c	2.05 c	2.65 d	0.07 e

注:表中数据均为 6 个重复的平均值,其中产孢量为处理后第 7 天数据。同列数据后不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著,下同。

Note: The data in the table are means of six replicates, and the number of spore production was determined on 7th day after treatment. Different lowercase letters in the same column mean significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test, respectively. The same below.

2.2 NaCl 溶液胁迫下长枝木霉 T6 菌株对小麦种子萌发的影响

与无菌水处理相比,不同浓度 NaCl 溶液模拟盐溶液胁迫条件下,长枝木霉 T6 菌株处理对小麦种子发芽率、发芽势和萌发指数都有不同程度的提高,但处理后其发芽率、发芽势和萌发指数随着 NaCl 溶液浓度的增加而减小;处理后第 5 天其发芽率和萌发指数最高,且与无菌水处理相比,小麦种子发芽率、发芽势和萌发指数分别提高了 3% ~ 15%、6% ~ 14%和 4% ~ 16%(表 2)。

2.3 NaCl 溶液胁迫下长枝木霉 T6 菌株对小麦种子生长的影响

结果表明,与对照相比,长枝木霉 T6 菌株对 NaCl 溶液胁迫下小麦种子生长具有显著的影响,尤其不同盐浓度处理第 7 天后,与无菌水处理相比,经

长枝木霉 T6 菌株处理过的小麦种子胚芽和胚根长度明显高于无菌水处理(图 2)。长枝木霉 T6 菌株处理后其胚芽长度的增长率为 9% ~ 34%,胚根长度的增长率为 9% ~ 31%(图 3)。

3 讨 论

Henk 等^[19]研究表明,少量盐分能够刺激木霉菌生长,而过多盐分能够抑制木霉菌的生长。本试验研究表明,不同浓度 NaCl 溶液胁迫对长枝木霉 T6 菌株生长具有不同程度的影响,轻度盐胁迫条件 (≤ 20 mg·mL⁻¹) 对其生长无显著影响,但是高浓度盐胁迫对其生长具有显著的抑制作用。林振亚等^[20]研究表明,在含盐量为 0.6% 的 PDA 培养基上木霉菌分生孢子数量相对较高,且明显高于无盐培养条件下的产孢量,而在其它含盐量培养基上分生

表 2 NaCl 溶液处理后长枝木霉 T6 菌株对小麦种子萌发的影响

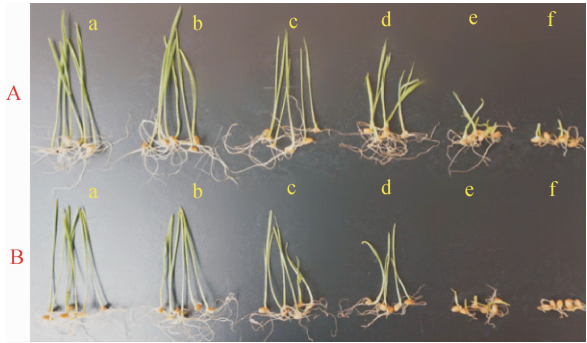
Table 2 Effect of the strain of *Trichoderma longibrachiatum* T6 on wheat seed generation after treated with NaCl solution

处理 Treatments	盐浓度 Salt concentrations /(mg·mL ⁻¹)	发芽率 Germination rates /%	发芽势 Germination potential /%	萌发指数 Germination index /%
长枝木霉 T6 菌株 <i>Trichoderma longibrachiatum</i> T6	CK	96.0 a	89.0 a	74.2 a
	10	83.3 b	65.0 b	52.2 b
	20	68.3 c	51.3 c	40.2 bc
	30	53.0 d	35.0 d	27.0 c
	40	48.3 de	28.0 e	19.2 c
	50	38.0 e	19.0 f	12.3 c
无菌水 Sterile water	CK	93.3 a	82.0 a	68.1 a
	10	78.0 b	61.3 b	44.9 b
	20	63.3 c	47.0 c	38.0 bc
	30	50.0 d	33.0 d	24.9 cd
	40	42.0 d	25.0 e	18.5 d
	50	33.3 e	16.7 f	11.4 d

注:表中数据均为 6 个重复的平均值,其中发芽率和萌发指数为处理后第 5 天数据。

Note: The data in the table are means of six replicates, and the germination rates and index were determined on 5th day after treatment.

孢子产量呈降低趋势。本试验研究发现当盐浓度为 10 mg·mL⁻¹时,其产孢量显著高于无盐培养,但随着盐浓度的增加其产孢量显著降低,进而表明盐浓度为 10 mg·mL⁻¹时对长枝木霉 T6 菌株生长无显著影响,且能促进其产生大量的孢子,表现出较强的耐盐性。

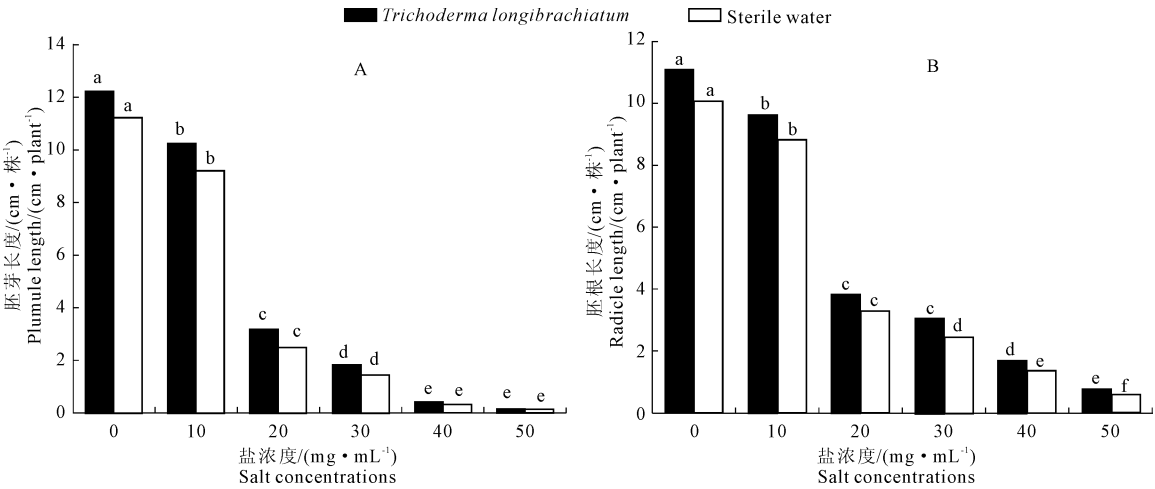


注:A 和 B 分别表示长枝木霉 T6 菌株和无菌水处理;a、b、c、d、e 和 f 分别表示 NaCl 浓度为 0、10、20、30、40、50 mg·mL⁻¹。

Note: A and B represent *Trichoderma longibrachiatum* T6 and sterile water treatment; a, b, c, d, e and f represent 0, 10, 20, 30, 40, 50 mg·mL⁻¹ of NaCl solution.

图 2 NaCl 溶液胁迫下长枝木霉 T6 菌株对小麦种子生长的影响

Fig.2 Effect of the strain of *Trichoderma longibrachiatum* T6 on wheat seed growth under NaCl solution stress



注:图中数据均为 6 个重复平均值,其中胚芽(A)和胚根(B)长度为处理后第 7 天数据。

Note: The data in the table are means of six replicates, and the plumule(A) and radicle(B) length were determined on 7th day after treatment.

图 3 NaCl 溶液处理后长枝木霉 T6 菌株对小麦种子生长的影响

Fig.3 Effect of the strain of *Trichoderma longibrachiatum* T6 on wheat seed growth after treated with NaCl solution

另外,相关文献表明,木霉菌具有提高和缓解植物耐受干旱、盐碱、低温和重金属污染等能力^[21-23],如 Azarmi 等^[24]研究表明,木霉菌能够显著降低土壤中 Na⁺ 浓度,进而促进番茄 (*Solanum lycopersicum*) 的生长和降低盐害对其生长的影响。同时,Rawat 等^[25]和 Brotman 等^[26]研究发现木霉菌不仅可

以降低盐害对植物的影响,而且可以促进植物生长,如 Mastouri 等^[27]研究发现,多种非生物胁迫如渗透压、冷或热压力和盐碱等条件下,哈茨木霉 T22 可以提高种子的萌发率,减少渗透胁迫或脂质过氧化物的含量,从而缓解氧化性损伤。然而,目前已发现的木霉菌株其中以哈茨木霉 (*T. harzianum*) T-22 菌

株研究最为深入,其可促进玉米(*Zea mays*)等多种植物的根系发育及植物生长^[28]。本试验通过不同浓度 NaCl 溶液模拟盐胁迫条件,发现长枝木霉 T6 菌株不仅能够显著提高小麦种子的发芽率、发芽势和萌发指数,而且能够促进其胚根和胚芽的生长,进而表明长枝木霉 T6 菌株具有较强的解盐促生作用,且其解盐促生作用明显高于前期研究结果,其原因可能与不同菌株耐盐性和解盐促生作用能力的强弱有关。

因此,本试验发现长枝木霉 T6 菌株具有较强的耐盐性和解盐促生作用,但目前对于其解盐促生作用机理,以及盐分胁迫对其生防效果有无显著的影响等方面尚需进行深入和系统的研究。

参 考 文 献:

[1] Ramoliya P J, Pandey A N. Effect of salinization of soil on emergence, growth and survival of seedlings of *Cordia rothii*[J]. Forest Ecology and Management, 2003,176:185-194.

[2] Tang D, Shi S, Li D, et al. Physiological and biochemical responses *Scytonema javanicum* (cyanobacterium) to salt stress[J]. Journal of Arid Environments, 2007,71:312-320.

[3] Ruiz Lozano J M, Azcon R, Gomez M. Alleviation of salt stress by arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species in *Lactuca sativa* plants[J]. Physiologia Plantarum, 1996,98(4):767-772.

[4] 房 朋,任丽丽,张立涛,等.盐胁迫对杂交酸模叶片光合活性的抑制作用[J].应用生态学报,2008,19(10):2137-2142.

[5] 张金盛,任顺荣,赵振达.蔬菜保护地土壤硝酸盐积累及盐分变化[J].天津农业科学,1998,4(4):36-39.

[6] 戚玮真.生防木霉菌对植物的解盐促生作用及其机制的研究[D].济南:山东师范大学,2012,1-2.

[7] Katsuhara A M, Kawasaki T. Salt stress induced nuclear and DNA degradation in meristematic cells of barley roots[J]. Plant & Cell Physiology, 1996,37(2):169-173.

[8] Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005,60(3):324-349.

[9] 牛东玲,王启基.盐碱地治理研究进展[J].土壤通报,2002,33(6):450-455.

[10] 张艳敏,郭北海,蒋春志,等.转甜菜碱醛脱氢酶(BADH)基因小麦的耐盐耐旱性[J].华北农学报,2003,18(1):29-32.

[11] 高吉寅,关建平,王明珍,等.小麦幼苗盐胁迫蛋白研究[J].作物品种资源,1994,1:25-27.

[12] Saravanakumar D, Samiyappan R. ACC deaminase from *Pseudomonas fluorescens* mediated saline resistance in groundnut (*Arachis hypogaea*) plants[J]. Journal of Applied Microbiology, 2007,102(5):1283-1292.

[13] Egamberdieva D, Lugtenberg B. Use of Plant Growth-promoting Rhizobacteria to Alleviate Salinity Stress in Plants[C]//Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses. New York: Springer, 2014:73-96.

[14] Rouphael Y, Cardarelli M, Di M E, et al. Enhancement of alkalini-

ty tolerance in two cucumber genotypes inoculated with an arbuscular mycorrhizal biofertilizer containing *Glomus intraradices* [J]. Biology and Fertility of Soils, 2010,46(5):499-509.

[15] 李 哲,郭 凯,吴晓青,等.哈茨木霉 LTR-2 对椒样薄荷耐盐生理特性的影响[J].山东科学,2014,27(4):17-25.

[16] Bjorkman T, Blanchard L M, Harman G E. Growth enhancement of shrunken-2 (sh2) sweet corn by *Trichoderma harzianum* 1295-22: effect of environmental stress[J]. Journal of American Society for Horticultural Science, 1998,123(1):35-40.

[17] 吴 楠,王 飞,田治国,等.NaCl 胁迫对变异紫叶三叶草种子萌发及保护酶活性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(2):117-122.

[18] 张树武,徐秉良,程玲娟.深绿木霉发酵液对黑麦草促生作用及生理生化特性的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(2):157-162.

[19] Henk G A, Cuppers M L. A model for the combined effects of temperature and salt concentration on growth rate of food spoilage molds [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1997,63(10):3764-3769.

[20] 林振亚,马 佳,衣思瑶,等.盐分对生防木霉菌株 SH2303 的影响[J].上海交通大学学报(农业科学版),2012,30(5):51-53.

[21] Bae H, Sicher R C, Kim M S. The beneficial endophyte *Trichoderma hamatum* isolate DIS 219b promotes growth and delays the onset of the drought response in *Theobroma cacao*[J]. Journal of Experimental Botany, 2009,60(11):3279-3295.

[22] Qi W Z, Zhao L. Study of the siderophore-producing *Trichoderma asperellum* Q1 on cucumber growth promotion under salt stress[J]. Journal of Basic Microbiology, 2013,53(4):355-364.

[23] Hermosa R, Botella L, Keck E, et al. The overexpression in *Arabidopsis thaliana* of a *Trichoderma harzianum* gene that modulates glucosidase activity, and enhances tolerance to salt and osmotic stresses [J]. Journal of Plant Physiology, 2011,168(11):1295-1302.

[24] Azami R, Haijegrari B, Giglou A. Effect of *Trichoderma* isolates on tomato seedling growth response and nutrient uptake[J]. African Journal of Biotechnology, 2011,10(31):5850-5855.

[25] Rawat L, Singh Y, Shukla N, et al. Salinity tolerant *Trichoderma harzianum* reinforces NaCl tolerance and reduces population dynamics of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceri* in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under salt stress conditions[J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2013,46(12):1442-1467.

[26] Brotman Y, Landau U. *Trichoderma*-plant root colonization: escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance[J]. PLOS Pathogens, 2013,3(9):1-15.

[27] Mastouri F, Björkman T, Harman G E. Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings[J]. Phytopathology, 2010,100(11):1213-1221.

[28] Harman G E, Petzoldt R, Comis A, et al. Interactions between *Trichoderma harzianum* strain T22 and maize inbred line Mo17 and effects of these interactions on diseases caused by *Pythium ultimum* and *Colletotrichum graminicola* [J]. Phytopathology, 2004,94(2):147-153.