

几株具有农药活性的海洋微生物菌株 诱导番茄抗盐作用与机理研究

崔金香^{1,2}, 田黎^{1,2}, 高伟^{1,2}, 史振平¹, 张久明¹

(1.青岛科技大学, 山东 青岛 266042; 2.国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要:针对目前国家对盐渍地开发利用的重大技术需求,选用8株具有农药潜力的海洋微生物菌株,以番茄为主要目标植物,在盐胁迫下对海洋微生物诱导番茄植株抗盐活性及植物体内外的 Na^+ 、 K^+ 浓度平衡进行了研究。结果表明,4株海洋微生物菌株具有较明显的诱导植物抗盐和缓解盐害的作用,但表现各有差异,其中FC02菌株对发芽率、发芽指数诱导作用最为明显,发芽指数提高了38.3%,幼苗的株高、叶长、展开叶数、茎粗分别提高82.2%、66.7%、30.76%和50%,CAT酶活性最高为 $3.03 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ FW,比对照提高了144.1%;YM菌株促使番茄幼苗叶绿素总含量增加的作用最大,比对照提高了88.9%;B9987菌株在使番茄幼苗丙二醛含量降低48.6%的同时,显著改善了植物体内的 K^+ 、 Na^+ 浓度平衡, K^+ 含量比对照提高了36.09%, Na^+ 比对照降低了39.5%。上述研究结果显示,一些海洋微生物菌株具有良好的诱导植物抗盐作用。

关键词:海洋微生物;番茄;诱导抗盐

中图分类号:X172 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)11-2100-07

Marine Microorganisms Producing Pesticide Induce Salt Tolerance in Tomato and Its Mechanism

CUI Jin-xiang^{1,2}, TIAN Li^{1,2}, GAO WEI^{1,2}, SHI Zhen-ping¹, ZHANG Jiu-ming¹

(1.Biology Department, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China; 2.First Institute of Oceanography, Qingdao 266061, China)

Abstract: The exploitation and utilization of saline soil is an urgent technical demand in China. In this study, 8 marine microorganism strains with pesticides potential were selected to investigate their inducing ability of salt tolerance in tomato under salt stress. Physiology and biochemistry changes might occur when plants under salt stress. In this study, the induced salt tolerance of tomato and Na^+ , K^+ concentration balance *in vitro* and *in vivo* by 8 marine microorganism strains was investigated. The results indicated that 4 out of the 8 strains could increase salt tolerance and relieve salt damage in different aspects. Specifically, as to strain FC02, tomato seedling germination rate, germination index, plant height, leaves length, number of leaf expansion, stem diameter increased 38.3%, 82.2%, 66.7%, 30.76% and 50% respectively and the CAT enzymatic activity reached to $3.03 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ FW, increased 144.1% compared to control. Strain YM possessed the most obvious inducing ability in augmenting seedling chlorophyll content with increase of 88.9%. Strain B9987 not only lowered 48.6% malondialdehyde content in seedling, but also ameliorated Na^+ , K^+ concentration balance *in vivo* with K^+ concentration increased 36.09% and Na^+ concentration decreased 39.5%. These results directly and indirectly confirmed the preferable capacity of marine microorganisms to induce plant salt tolerance.

Keywords: marine microorganism; tomato; induced salt tolerance

土壤盐渍化是可持续农业发展中突出的障碍因子之一,正日益在世界范围引起重视。我国现有超过0.2亿 hm^2 的盐碱地,并有逐年增加的趋势,提高盐渍

土壤的生产力是一项长期而艰巨的任务^[1-2]。国内外有关报道大多集中在使用化学物质促进盐渍土壤中植物的生长作用和应用基因克隆手段培育抗盐新品种。涉及陆地微生物提高植物抗盐研究的报道主要有:利用丛枝菌根AM真菌(Arbuscular mycorrhizal fungi)提高根系中K、Ca、Mg离子及P的浓度,缓解盐胁迫对植物造成的营养亏损状态^[3];产胞外多糖芽孢杆菌抑制植物对 Na^+ 的吸收或螯合 Na^+ ^[4];产植酸酶的芽孢杆

收稿日期:2010-04-23

基金项目:国家高技术研究发展计划(2007AA09Z435,2007AA091507,2008AA09Z407);国家自然科学基金(40776098,40976104)

作者简介:崔金香(1982—),女,山东胶南人,在读硕士研究生,从事海洋微生物的研究。E-mail:jincuijinxiang@163.com

通信作者:田黎 E-mail:wshw8@yahoo.com.cn

菌可提高小麦叶绿素和降低丙二醛含量减轻植物盐害^[2]。对于海洋微生物诱导植物抗盐,尚未见有报道。陆地微生物可提高植物抗逆性,但这些微生物在盐渍土壤较难定殖,从而影响其应用。海洋微生物本身具有抗盐的特性,因而用于提高植物抗逆性,能在盐渍土壤中更好地发挥其优势。

植物在盐胁迫条件下受害,从现象观察是由于植物体内外渗透压和离子吸收的不均衡,导致细胞的生理性缺水而引起植物叶绿素等一系列变化。但分析其本质原因主要是盐浓度增加促使植物体内的活性氧(Reactive oxygen species, ROS)的积累爆发,引发脂质的过氧化和蛋白的交联,进而损害细胞膜结构和功能的完整性^[5]。在此过程中,作为脂质过氧化作用的主要产物丙二醛含量的多少,对膜损伤程度具有重要的指示作用^[6]。在盐胁迫防御机制中细胞活性氧清除系统扮演了重要的角色,对植物有害的超氧自由基 $O_2^{\cdot-}$ 经超氧化物歧化酶(Superoxidase dismutase, SOD)催化,再经过氧化物酶(Peroxidase, POD)或过氧化氢酶(Catalase, CAT)的作用转化为无氧化活性的 H_2O 和 O_2 ,从而降低了盐害对植物细胞的损伤^[7-8]。因此,如何促进细胞活性氧清除酶系统作用,成为人们关注的焦点^[9-10]。本文以番茄为测试材料,采用课题组前期筛选到的具有抑菌和杀虫等农药潜力的海洋微生物菌株进行诱导番茄抗盐试验,为证实海洋微生物诱导植物抗盐提供理论依据,同时也为拓宽这些菌株在农业的应用提供一种新的思路。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试番茄品种

番茄(*Lycopersicon esculentum*)T2-69, 购于青岛

农科院,使用前进行消毒^[11]。

1.1.2 供试无机盐溶液

模拟沿海盐渍土无机盐成分,配制成不同浓度的盐溶液。

1.1.3 含盐土壤的配制

由青岛农科院配制的种苗土,高温灭菌后每千克土壤浇浓度为 0.6%的无机盐溶液 125 mL。

1.1.4 供试菌株

来自本实验室建立的药用微生物资源库,供试菌株及其特性见表 1。

1.1.5 培养基

上述菌株对应的海洋细菌、放线菌、真菌培养基参见文献[12-13]。

1.2 盐胁迫条件下海洋微生物对番茄种子萌发与幼苗生长的影响

1.2.1 番茄种子萌发试验

经参考有关文献和预备试验,将无机盐浓度为 0.6%作为该番茄品种盐危害临界点,在 1.2%的无机盐溶液中分别加入不同海洋微生物菌株的发酵液,比例为 1:1(发酵液中盐浓度远小于 0.6%的无机盐浓度,故忽略不计),分别以未添加微生物发酵液的盐溶液(CK1)和蒸馏水(CK)处理为对照进行发芽试验^[14]。于处理后 2、4、6、8、10、12 d 记录种子的发芽数,以公式:发芽率=每天发芽种子数/供试种子数×100%,发芽指数 $G_t=\sum(G_t/D_t)$ (G_t 为第 t d 的发芽种子数, D_t 为对应天数)计算种子的发芽率、发芽指数及根与轴长。

1.2.2 番茄幼苗生长试验

海洋细菌、放线菌、真菌菌株分别培养 48、72、96 h 后离心($6\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$, 10 min),菌体悬浮在生理盐水^[3]中待用。含盐土壤风干后灭菌放入消毒的塑料袋中分别喷洒各菌株的悬浮液充分混合(土壤中菌落总

表 1 供试菌株及特性
Table 1 The strains tested and their characteristics

菌株类别 Strains types	菌株编号 Strain No.	菌株种类 The species of strains	菌株来源 Sources of strains	具有的农药活性 Pesticide activity of strains
细菌	B9987	海洋芽孢杆菌 <i>Bacillus marinus</i>	渤海盐生植物盐地碱蓬	抑制植物病原细菌与真菌
	MIX-62	芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> sp.	白令海沉积物	对植物害虫有触杀和胃毒作用
放线菌	FC02	红橙小单孢菌 <i>Micromonospora rhodorangea</i>	舟山群岛盐生植物苔草	抑制植物病原真菌
	FX58	细黄链霉菌 <i>Streptomyces microflavus</i>	青岛盐生植物	抗多种植物病原真菌
真菌	BBY9-4	胶红酵母菌 <i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	北极沉积物	对植物害虫有强触杀和胃毒作用
	NTYM-0112Y(简称 YM)	棘孢木霉 <i>Trichoderma asperellum</i>	南极企鹅岛苔藓	抗多种植物病原真菌
	48-08	木霉 <i>Trichoderma</i> sp.	连云港盐生植物碱蓬	抑制植物病原真菌
	BL27-02	青霉 <i>Penicillium</i> sp.	白令海沉积物	抑制植物病原真菌

数达到 10^8 cfu·mL⁻¹),每营养钵中装 150 g。对照用蒸馏水处理。消毒后的番茄种子在无菌培养皿里发芽,挑选发芽程度一致的种子,经不同菌株的悬浮液浸泡 2 h 后种到相应菌株处理的土壤中,每盆 4 株,6 个重复,温度为白天(25±1)℃、晚上(20±1)℃,土壤湿度为 60%。

经过 25 d 的生长,收获完整的植株,测量幼苗茎粗(子叶节下 1 cm 处的粗度)、番茄苗的株高(子叶节到生长点之间的距离)、展开叶片数、全株鲜重、全株干重,计算壮苗指数和干重含水量。计算公式为:壮苗指数=茎粗/株高×全株干重×100,干重含水量=(全株鲜重-全株干重)/全株干重×100%^[15]。

1.2.3 番茄的生理生化指标与酶活测定

分光光度法^[16]测定叶绿素含量;硫代巴比妥酸法(TBA)显色法^[17]测定丙二醛(MDA)含量;NBT 光化还原法^[18]测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;愈创木酚比色法^[19]测定过氧化物酶(POD)活性;H₂O₂ 紫外吸收法^[20]测定过氧化氢酶(CAT)活性。

1.2.4 蕃茄根、叶中 Na⁺、K⁺含量的测定

测定方法见参考文献[21]。

1.2.5 统计分析

数据用 Excel 和 SPSS13.0 软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 海洋微生物在盐胁迫下对番茄种子萌发的促进作用

由图 1 可知,盐胁迫下番茄的种子萌发受到抑制,不同海洋微生物菌株对番茄种子的发芽率影响不

同,其中 YM 菌株对番茄种子萌发促进作用较大,最终的发芽率达到了 86.67%,比 CK1 提高了 13.04%,FC02 菌株第 4 d 至第 6 d 明显促进了番茄种子的萌发,最终萌发率达到了 83.33%,比 CK1 提高了 10.00%。

处理后第 12 d 的番茄种子胚根、胚轴、发芽指数统计结果如表 2 所示(不同字母表示差异显著, $P<0.05$)。在盐胁迫下,番茄种子的发芽指数均大幅度下降。经未添加微生物发酵液的盐溶液处理发芽指数下降 50.01%,加入海洋微生物 FC02 菌株、YM 菌株后,番茄种子的发芽指数明显高于对照,分别提高 38.27%和 16.13%。其他菌株处理发芽指数变化不明显。受盐害影响番茄胚根和胚轴长度分别缩短了 22.01%和 9.64%。加入海洋微生物菌株处理后,胚根和胚轴比 CK1 有不同程度的增长,以 FC02 菌株促进胚根作用最大,比对照提高 38.72%,差异显著;不同菌株处理对番茄胚轴促进作用不显著($P<0.05$)。通过种子萌发试验,选出作用较好的 4 株菌株做幼苗试验,4 株菌株编号分别是 FC02、YM、B9987、BBY9-4。

2.2 盐胁迫下海洋微生物对番茄幼苗生长的影响

如表 3 所示,4 株菌株在盐胁迫条件下对番茄幼苗生长有明显的促进作用,与对照相比,FC02 菌株处理作用最大,株高、叶长、展开叶数、茎粗分别提高 82.20%、66.70%、30.76%和 50.00%。同时所有菌株处理番茄幼苗壮苗指数(如图 2)均显著增高,最高为 B9987 菌株处理,增加 128.20%。与 CK 相比差异显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)。

2.3 对番茄幼苗叶绿素和丙二醛含量的影响

从图 3 可以看出,4 株海洋微生物菌株中,FC02、

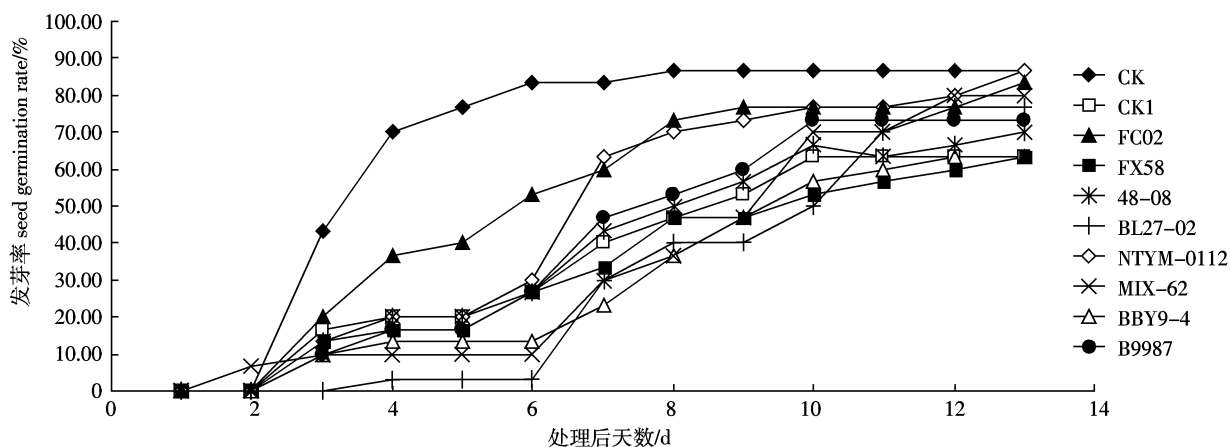


图 1 海洋微生物处理对盐胁迫下番茄种子发芽率的影响

Figure 1 Effects of different marine microorganisms on tomato seed germination rate under salt stress

表 2 海洋微生物处理对盐胁迫下番茄种子胚根、胚轴及发芽指数的影响

Table 2 Effects of marine microorganisms on the length of radicle, hypocotyl and germination index of tomato under salt stress

处理 Treatment		胚根长/cm	胚轴长/cm	发芽指数
无机盐溶液浓度 Concentration of salts/%	菌株编号 Strains No.	Radicle length	Hypocotyl length	Germination index
0	CK	2.71a*	3.40	12.40a
0.6	CK1	2.11ade	3.08	6.21b
0.6	FC02	2.96afg	3.55	8.59bc
0.6	FX58	2.93afj	3.34	5.25bd
0.6	48-08	2.06ahkl	3.10	6.00b
0.6	BL27-02	1.64bdk	3.26	3.94bd
0.6	YM	2.89am	3.44	7.21be
0.6	MIX-62	2.37a	3.64	5.31bd
0.6	BBY9-4	2.52a	2.65	4.60bde
0.6	B9987	2.90ac	2.77	6.10b

注:* 小写英文字母表示多重比较 $\alpha=0.05$ 的差异显著性,无相同字母的同列数据间差异显著。下同。

*The lowercases in the table represent the results from multiple comparisons. Different small letters indicate significant difference, $\alpha=0.05$. The same as follows.

表 3 海洋微生物处理对盐胁迫下番茄幼苗形态的影响

Table 3 Effects of marine microorganisms on tomato seedling morphosis under salt stress

处理 Treatment	株高 Height of seedling/cm	展开叶片数 Numbers of leaves expention/片	叶长 Leaves length/cm	茎粗 Stem diameter/cm
CK	4.6ad	4.33ad	5.10adf	0.32a
FC02	7.17bc	5.67bc	8.50bc	0.48b
BBY9-4	6.20bd	5.33be	8.10be	0.48b
B9987	6.00bd	5.00a	6.83bdf	0.45b
YM	6.80bd	5.67bf	7.83b	0.50b

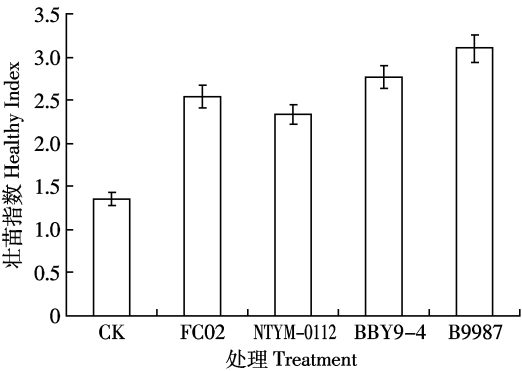


图 2 海洋微生物处理对盐胁迫下番茄幼苗壮苗指数的促进作用
Figure 2 Effects of different marine microorganisms on seedling index of tomato under salt stress

B9987 和 YM 处理的番茄叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总量均比对照组高。其中 YM 菌株处理提高的幅度最大,分别为 0.48、0.48、0.96 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$,比对照提高了 53.50%、147.70%、88.90%;而 BBY9-4 提高的幅度与对照组相比,没有明显差异。

同时菌株处理不同程度的降低了番茄幼苗叶片

组织中丙二醛(MDA)含量,如图 4 所示,与对照相比,MDA 含量的降低最大为 B9987 菌株,为 1.29 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$,比对照降低了 48.60%;FC02 菌株降低最小,MDA 含量为 1.96 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$,比对照降低了 21.70%。不同菌株之间的差异达到了显著($P<0.05$)或极显著水平($P<0.01$)。

2.4 对番茄幼苗防御酶活性的影响

图 5 显示,经不同菌株处理后,番茄幼苗防御酶活性均有不同程度的提高。B9987 菌株处理的番茄幼苗 SOD 酶活性为 37.56 $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\text{FW}$,比对照提高了 38.01%,其次是 YM 菌株,提高了 29.35%,BBY9-4 菌株处理酶活性提高的最小为 10.94%。POD 酶的变化以 YM 菌株处理的活性最高,为 9.03 $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\text{FW}$,比对照提高了 51.33%,B9987 菌株提高了 22.33%,FC02 菌株和 BBY9-4 菌株处理变化不明显。而 CAT 酶的变化则以 FC02 菌株处理的活性最高为 3.03 $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\text{FW}$,比对照提高了 144.10%,YM 菌株和 B9987 菌株分别提高 131.40%和 43.00%。

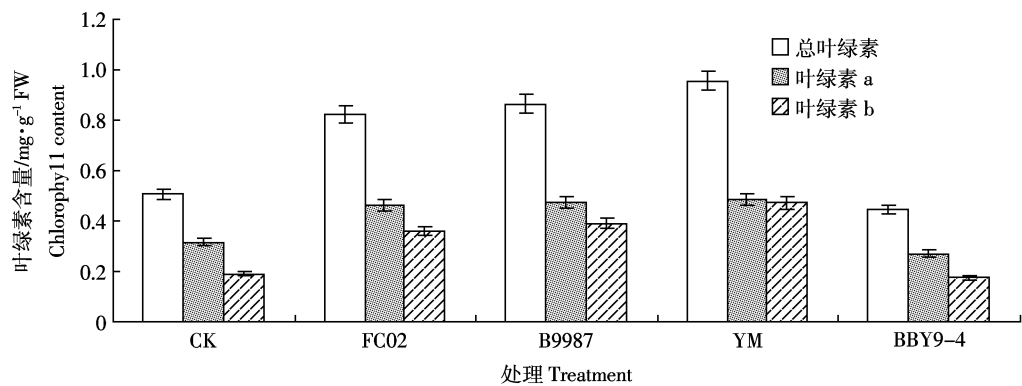


图 3 海洋微生物菌株对番茄幼苗叶绿素含量的影响

Figure 3 Effects of marine microorganisms on tomato chlorophyll content under salt stress

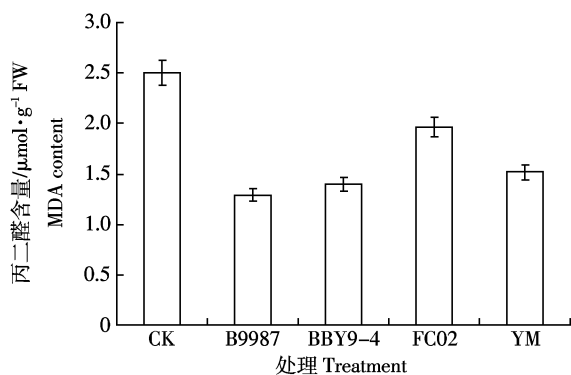


图 4 海洋微生物菌株对番茄丙二醛含量的影响

Figure 4 Effects of marine microorganisms on tomato MDA content under salt stress

2.5 对番茄根、叶内 Na⁺、K⁺含量的影响

从表 4 可以看出,在盐胁迫下,与对照相比,经海洋微生物菌株处理后,番茄根、叶内 Na⁺含量都有不同程度的降低,K⁺含量表现趋势则相反。从总体上来看,B9987 的效果最好,显著提高了叶片中 K⁺含量,与

表 4 盐胁迫下海洋微生物菌株处理对番茄根、叶内 Na⁺、K⁺含量的影响

Table 4 Effects of marine microorganisms on Na⁺, K⁺ content in tomato seedlings root and leaves under salt stress

处理 Treatment	根 Root/mg·kg ⁻¹ DW		叶 Leaves/mg·kg ⁻¹ DW	
	Na ⁺	K ⁺	Na ⁺	K ⁺
CK	17.74a	14.26a	40.78a	31.03a
B9987	10.50a	15.00b	24.67b	42.23b
BBY9-4	16.90a	15.10b	36.54c	30.93a
FC02	14.32a	15.78c	25.6d	37.22c
YM	10.34a	12.3d	26.13e	34.21d

盐胁迫下相比,提高了 36.09%,同时也降低了 Na⁺在根内的积聚,与对照相比,降低了 39.50%。

3 讨论

提高植物的抗盐性目前多采用培育耐盐植物品种和使用化学药剂降低盐害或诱导植物抗盐,但由于植物抗盐性是一个受多基因控制的复杂的数量性状,

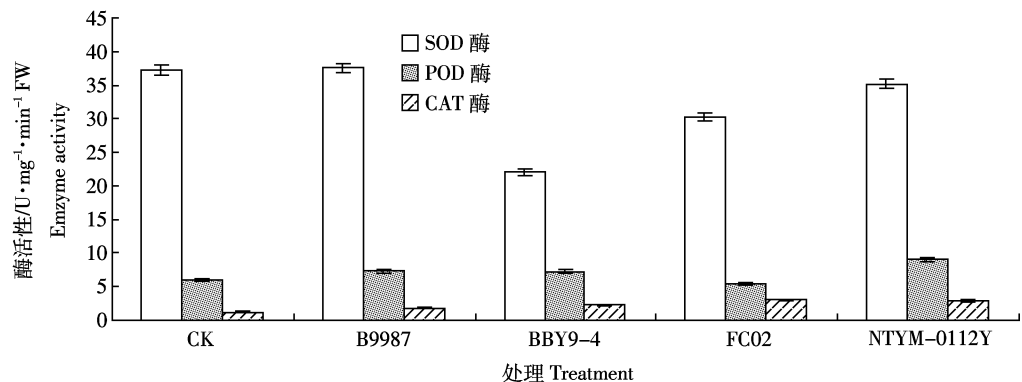


图 5 海洋微生物菌株处理对番茄保护酶活性的影响

Figure 5 Effects of marine microorganisms on the protective enzymes activity in tomato seedlings under salt stress

它受植物种类、品种基因型、形态性状和内部生理生化反应等影响,既保持植物的优良品质又能抗盐的品种很难选育^[22]。而利用化学药剂如水杨酸、脱落酸、赤霉素与高效唑等来诱导植物抗盐^[23],可能会由于这些化学试剂不易分解,造成土壤污染而形成恶性循环。有益微生物的使用既可以降解、利用土壤多余的有害物质,也可以诱导植物抵抗这些有害物质,同时,其对土壤结构和植物抗病、抗虫及生长的改善,在陆地微生物已获得证实。由于有益微生物的使用首先要保证微生物在此生境生长旺盛,面对盐渍地的高盐环境,海洋微生物显示出其耐盐的优势。

研究结果表明,与报道的陆地生境的芽孢杆菌相似,海洋生境的芽孢杆菌(*Bacillus marinus*, B9987)也具有较好的诱导植物抗盐的功能,表现为提高防御酶的活性和叶绿素的含量,降低脂质过氧化物MDA含量,提高番茄幼苗对K⁺的吸收,平衡植物的离子浓度缓解盐害。而对于酵母菌(*Rhodotorula mucilaginosa*, BBY9-4)、木霉(*Trichoderma asperellum*, YM)、小单孢菌(*Micromonospora rhodorangea*, FC02)提高植物抗盐的功能,无论在陆地还是海洋生境均未见报道。因此,本研究无论对于海洋微生物还是该属的陆地微生物诱导植物抗盐的开发,都是一个有益的探索。值得注意的是,这4株菌株中的2株都来自海洋潮间带的盐生植物,这2株菌株做抗生素标记后,显示可在栽培植物上定植而发挥抗病、抗盐的作用,另外2株来自极地极端环境,在具备诱导植物抗病、抗盐的同时,还可诱导植物抗寒(另文发表),提示海洋生境的微生物有良好的农用开发潜力。

4 结论

通过预备试验确定浓度为0.6%无机盐溶液作为试验番茄的盐危害临界点,在此盐浓度下,对8株具有农药用潜力的微生物菌株进行促进番茄种子萌发的筛选,将初筛的B9987菌株、YM菌株、FC02菌株、BBY9-4菌株,分别处理盐胁迫下的番茄种子和模拟盐渍土,测定番茄幼苗的生物量、叶绿素、丙二醛、防御酶、番茄体内Na⁺、K⁺浓度。结果显示FC02菌株、B9987菌株、TY菌株能显著提高番茄幼苗的生物量,提高番茄幼苗叶片中叶绿素、丙二醛防御酶的含量,降低丙二醛的含量;B9987菌株显著提高了番茄叶片中K⁺含量,与对照相比,提高了36.09%,同时也降低了Na⁺在根内的积聚,与对照相比,降低了39.5%。

参考文献:

- [1] 薛国希, 高辉远, 李鹏民, 等. 低温下壳聚糖对黄瓜幼苗生理生化的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(4): 44-48.
XUE Guo-xi, GAO Hui-yuan, LI Peng-min, et al. Effects of chitosan treatment on physiological and biochemical characteristics in cucumber seedlings under low temperature[J]. *Acta Photophysiological Sinica*, 2004, 30(4): 44-48.
- [2] 郭英, 刘栋, 赵蕾. 生防枯草芽孢杆菌胞外植酸酶对小麦耐盐性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15(1): 39-43.
GUO Ying, LIU Dong, ZHAO Lei. Effect of extracellular phytase produced by bacillus subtilis T2 on salt tolerance of wheat seedlings[J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2009, 15(1): 39-43.
- [3] 贺学礼, 赵丽莉, 李英鹏. NaCl胁迫下AM真菌对棉花生长和叶片保护酶系统的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(1): 188-193.
HE Xue-li, ZHAO Li-li, LI Ying-peng. Effects of AM fungi on the growth and protective enzymes of cotton under NaCl stress[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 188-193.
- [4] Muhammad A, Shahida H, Odile B, et al. Inoculating wheat seedlings with exopolysaccharide-producing bacteria restricts sodium uptake and stimulates plant growth under salt stress[J]. *Biol Fertil Soils*, 2004, 40: 157-162.
- [5] Hasegawa P M, Bressan R A, Zhu J K, et al. Plant cellular and molecular responses to high salinity [J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Bio*, 2000, 51: 463-499.
- [6] Zhu J K. Plant salt tolerance[J]. *Trends Plant Sci*, 2001, 6: 66-71.
- [7] Ashraf M, Harris P J C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants[J]. *Plant Sci*, 2004, 166: 3-16.
- [8] Hernández J A, Fetter M A, Jiménez A, et al. Antioxidant systems and O₂/H₂O₂ production in the apoplast of pea leaves: Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins[J]. *Plant Physiol*, 2001, 127: 817-831.
- [9] Yeonghoo K, Joji A, Takuji N, et al. Antioxidative responses and their relation to salt tolerance in *Echinochloa oryzicola* Vasing and *Setaria viridis* (L.) Beau[J]. *Plant Growth Regul*, 2004, 44: 87-92.
- [10] Tang W, Newton R J. Polyamines reduce salt-induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in *Virgania pine*[J]. *Plant Growth Regul*, 2005, 46: 31-43.
- [11] 孙涌栋, 罗未蓉, 李新峥, 等. Ca²⁺对黄瓜种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 西南农业学报, 2008, 21(3): 629-632.
SUN Yong-dong, LUO Wei-rong, LI Xin-zheng, et al. Effect of Ca²⁺ on seed germination and seedling physiological characteristics of cucumber[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 21(3): 629-632.
- [12] 田黎, 张久明, 孙照斌, 等. 2个海洋生境微生物菌株产生的次生代谢产物协同抗菌作用初探[J]. 植物病理学报, 2006, 36(4): 366-368.
TIAN Li, ZHANG Jiu-ming, SUN Zhao-bin, et al. Preliminary study on

- synergetic effect of secondary metabolites produced by two marine microbes[J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2006, 36(4):366-368.
- [13] 徐守健, 张久明, 田黎, 等. 海洋微生物杀虫活性筛选方法比较[J]. 华东昆虫学报, 2006, 15(1):70-74.
- XU Shou-jian, ZHANG Jiu-ming, TIAN Li, et al. Comparison on the screening methods of insecticidal activity for marine microorganisms[J]. *Entomological Journal of East China*, 2006, 15(1):70-74.
- [14] 陈淑芳, 郭军. GA 诱导 NaCl 胁迫下黄瓜种子萌发和幼苗耐盐性效应[J]. 西北植物学报, 2008, 28(7):1429-1433.
- CHEN Shu-fang, GUO Jun. Induction effect of calcium on salt tolerance of cucumber seedling [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 28(7):1429-1433.
- [15] 宋士清, 刘微, 郭世荣, 等. 化学诱抗剂诱导黄瓜抗盐性及其机理[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10):1871-1876.
- SONG Shi-qing, LIU Wei, GUO Shi-rong, et al. Salt resistance and its mechanism of cucumber under effects of exogenous chemical activators [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10):1871-1876.
- [16] 李合生, 孙群, 赵世杰, 等. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2000:134-137, 261-263.
- LI He-sheng, SUN Qun, ZHAO Shi-jie, et al. Principles and techniques of plant physiological and biochemical[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000:134-137, 261-263.
- [17] 王爱国. 丙二醛作为脂质过氧化指标的探讨[J]. 植物生理学通讯, 1986(2):55-57.
- WANG Ai-guo. Investigation of malondialdehyde as index of lipid peroxidation[J]. *Plant Physiology Communications*, 1986(2):55-57.
- [18] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutases. I. Occurrence in higher plants[J]. *Plant Physiol*, 1977, 59:309-314.
- [19] Moerschbacher B M, Noll U M, Flott B E, et al. Lignin biosynthetic enzymes in stem rust infected, resistant and susceptible near-isogenic wheat lines[J]. *Physiol Mol Plant Pathol*, 1988, 33:33-46.
- [20] Kraus T E, Fletcher RA. Paclobutrazol protects wheat seedlings from heat and paraquat injury: Is detoxification of active oxygen involved[J]. *Plant Cell Physiol*, 1994, 35:45-52.
- [21] 隋方功, 李俊良. 土壤、肥料、植物及农产品分析[D]. 莱阳:莱阳农学院, 1997:1-87.
- SUI Fang-gong, LI Jun-liang. Analysis of soil, fertilizer, plant and agricultural[D]. Laiyang: Laiyang Agricultural College, 1997:1-87.
- [22] Flowers T J, Flowers S A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders[J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 78:15-24.
- [23] 莫文萍, 郑元元, 岳海涛, 等. 棉花解盐促生菌的筛选及其作用机理的初步研究[J]. 石河子大学学报, 2006, 24(1):79-82.
- MO Wen-ping, ZHENG Yuan-yuan, YUE Hai-tao, et al. Preliminary study on action mechanism and isolation of strains for relieving-salt-stress and promoting growth of cotton[J]. *Journal of Shihezi University*, 2006, 24(1):79-82.