

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2023.06.006

2株耐盐碱芽孢杆菌对盐胁迫下葡萄的促生作用研究

荣子惠^{1,2}, 赵卫松², 张晓云², 李社增²

1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000

2. 河北省农林科学院 植物保护研究所, 河北 保定 071000

摘要: 为评价耐盐碱微生物对盐胁迫下植物的促生效应, 本文以1年生“阳光玫瑰”葡萄为试验材料, 利用盆栽试验评估2株耐盐碱芽孢杆菌菌株(HMB38720和HMB38667)对葡萄生长及生理特性的影响. 研究表明, 与对照相比, 在盐胁迫末期(44 d, 6次灌施后10 d), 灌根使用2株耐盐碱芽孢杆菌菌株后, 葡萄新梢相对生长幅度显著提高了77.37%和198.69%, 叶面积显著提高了50.61%和38.35%, 葡萄叶片SPAD值显著提高了22.40%和16.60%, 而叶片相对电导率显著降低了30.00%和23.50%, 施用菌株HMB38720后叶片丙二醛(MDA)含量显著降低18.10%; 菌株HMB38720处理对育苗基质电导率和pH值无影响, 而菌株HMB38667处理后这2种指标显著下降了19.17%和0.32. 同时芽孢杆菌菌株均能明显或显著增加葡萄叶片中防御酶(SOD, POD, PAL, PPO)的活性. 冗余分析表明, 植物生长表型(叶片面积和叶片SPAD值、新梢相对生长幅度)与叶片的4种防御酶活性呈正相关. 研究表明, 2株耐盐碱芽孢杆菌菌株均能够缓解葡萄植株遭受盐胁迫的损害, 具有生产应用潜力.

关键词: 耐盐碱微生物; 葡萄; 盐胁迫;

促生作用; 生理特性

中图分类号:S663.1

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号:2097-1354(2023)06-0043-11

Growth-Promoting Effects of Two Saline-alkali-tolerant Bacillus Isolates on Grape under Salt Stress

RONG Zihui^{1,2}, ZHAO Weisong², ZHANG Xiaoyun², LI Shezeng²

收稿日期: 2023-10-31

基金项目: 河北省农林科学院科技创新专项(2022KJCXZX-ZBS-1).

作者简介: 荣子惠, 硕士, 主要从事森林保护相关方面的研究.

通信作者: 李社增, 研究员; 共同通信作者: 赵卫松, 研究员.

1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding Hebei 071000, China;

2. Institute of Plant Protection, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Baoding Hebei 071000, China

Abstract: In order to evaluate the growth-promoting effects of salinity-tolerant microorganisms on plants under salt stress, the effects of two strains of *Bacillus subtilis* (HMB38720 and HMB38667) on the growth and physiological characteristics of grapes under salt stress were evaluated by pot experiment with 1-year-old Sunshine Rose grapes as the test material. The results showed that compared with the control, at the end of salt stress treatment (44 d, 10 d after 6 times of irrigation), after the use of 2 salinity-tolerant *Bacillus* strains in the irrigations, the relative growth rate of new shoots, the leaf area, the SPAD value of grape leaves was significantly increased by 77.37% and 198.69%, 50.61% and 38.35%; 22.40% and 16.31%, respectively, while leaf relative conductivity was significantly reduced by 30.00% and 23.50%, respectively, and leaf malondialdehyde (MDA) content was significantly reduced by 18.10% after the application of strain HMB38720. The treatment of strain HMB38720 had no effect on the seedling substrate conductivity and pH, while these two indexes were significantly reduced by 19.17% and 0.32, respectively after the treatment with strain HMB38667. Meanwhile, all *Bacillus* strains obviously or significantly increased the activities of defense enzymes (SOD, POD, PAL, PPO) in grape leaves. Redundancy analysis showed that plant growth phenotypes (leaf area and leaf SPAD values, relative growth rate of new shoots) were positively correlated with the activities of four defense enzymes in leaves. The results of the study indicated that both salinity-tolerant *Bacillus* strains were able to alleviate the damage of grapevine plants subjected to salt stress, and have potential for application in grape production.

Key words: salt-alkali-tolerant microorganisms; grapes; salt stress; growth-promoting; physiological characteristics

我国盐碱地面积约为 9 900 万 hm^2 ^[1], 盐碱地含有大量氯化物及重碳酸盐等成分, 导致土壤板结、土壤肥力下降等, 致使农作物减产, 是阻碍我国盐碱地农业可持续发展的重要影响因素^[2]. 针对盐碱地土壤物理结构差、肥力低、含盐量高等缺点, 研究学者提出了多种治理措施, 主要分为物理改良措施、化学改良措施和生物改良措施^[3], 其中生物改良具有脱盐持久、无污染且有利于生态平衡的优点, 被认为是最具生态效益的措施^[4]. 当前, 利用生物修复改良盐碱地的技术研究不断加强^[5], 主要措施包括耐盐植物品种的选育、种植以及微生物的利用. 黄毓程等研究微生物菌肥对盐碱地燕麦生理特性以及土壤养分的影响, 发现施加微生物菌肥后, 燕麦的生长有了明显提高, 土壤养分也得到提升^[6]. 汪立梅等的研究发现施用微生物菌肥后可增加盐碱土壤的速效养分和有机质等含量, 提高土壤脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶等活性, 使土壤总盐含量降低^[7]. Anam 等筛选出一株耐高盐碱的木霉菌不仅能降低土壤中的 EC 值和 pH 值, 而且还可促进苏丹草生长^[8]. 王丽丽等的研究表明微生物菌肥通过改善土壤性质、增加土壤养分有效性和调节土壤微生物区系结构来提高土壤生物活性, 使盐碱土壤向健康方向发展^[9]. 因此, 盐碱地生物改良技术具有广阔的应用前景和高效的经济价值.

近年来, 葡萄种植在我国发展迅速, 到 2022 年, 年产量达到 1 544.65 万 t ^[10], 是全球第二大葡萄生产国, 也是第一大鲜食葡萄生产国^[11]. 我国葡萄产区主要集中在西北、华北以及沿海地区等地, 该地区均有大面积盐渍化土壤, 严重制约葡萄产业的发展^[12]. 葡萄属于耐盐性中性敏感的果树, 在盐胁迫下, 葡萄树体的生长会被严重削弱, 成熟果实的含糖量会显著下降, 产量也会降低^[13]. 因此, 在葡萄生产上亟需开发经济有效的缓解盐胁迫的措施. 其中通过使用微

生物改变植株生理特性和土壤微生物区系进而改善盐碱地葡萄的耐盐性是一条可行的途径^[14]. 我们前期研究采用选择性培养法筛选到 2 株耐盐碱芽孢杆菌菌株 HMB38720 和 HMB38667, 前者可以耐受 10% NaCl 盐量、pH 值 11 的生长环境, 后者可以耐受 5% NaCl 盐量、pH 值 9 的生长环境, 并且二者对中度盐土中小麦和玉米具有显著的促生作用, 经分子生物学方法将这两株菌鉴定为贝莱斯芽孢杆菌. 但是, 这 2 种耐盐碱芽孢杆菌菌株是否可作为葡萄盐碱地土壤改良微生物菌肥还不得而知. 因此, 为探究其对盐碱地葡萄生产的应用价值, 本研究以 1 年生“阳光玫瑰”葡萄为试验材料, 通过盆栽试验评估了 2 种菌株培养液的灌根使用对外源盐胁迫下葡萄生长及植株生理特性的影响, 为耐盐碱微生物在盐地葡萄上应用提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 供试材料

植物材料为葡萄品种“阳光玫瑰”(Vitislabrusca × vinifera ‘Shine Muscat’), 由润升葡萄种苗繁育场提供. 供试耐盐碱菌株为贝莱斯芽孢杆菌 (Bacillus velezensis) (HMB38720 和 HMB38667), 由河北省农林科学院植物保护研究所提供.

1.2 试验药剂和仪器

仪器名称	型号	生产厂家
超净工作台	SW-CJ-2FD	苏净集团安泰公司制造
电子天平	HR-2000	上海奥豪斯仪器有限公司
旋涡振荡器	VX200	美国 Labnet 公司
立式超低温保存箱	DW-86L626	青岛海尔股份有限公司
恒温培养摇床	ZHWY-2102C	上海知楚仪器有限公司
培养/干燥(两用)箱	PH-030A	上海柏欣仪器设备厂
酶标仪	5118650 型	美国 Thermo Fisher Scientific
全自动高压灭菌锅	HVE-50	日本 HIRAYAMA 生产公司
高速落地离心机	Sorvall LYNX6000	Himac
电导率仪	DDSJ-308F	上海仪电科学仪器股份有限公司

1.3 耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液制备

将-80℃保存的供试耐盐碱芽孢杆菌菌株 HMB 38720 和 HMB 38667 通过划线稀释法转接于 LB 平板培养基(胰蛋白胨 10 g, 酵母粉 5 g, NaCl 5 g, 琼脂 15 g, 蒸馏水 1 000 mL, pH 值 7.0~7.2)上, 并在(30±2)℃下过夜培养, 然后分别挑取单菌落接种于 LB 液体培养基(LB 平板培养基不加琼脂)中, (30±2)℃、180 r·min⁻¹振荡培养 48 h 获得供试菌株的培养液, 并检测其中菌含量, 用无菌水稀释到 1.0×10⁸ cfu·mL⁻¹, 备用.

1.4 耐盐碱芽孢杆菌菌株对葡萄生长的影响

试验于 2023 年 3—6 月在河北省农林科学院植物保护研究所温室内进行, 试验期间温室气温为 25~29℃. 将 1 年生葡萄植株移栽于含有育苗基质(蛭石: 中性田园土壤=1: 1, 混匀, 育苗基质 1.5 kg)的塑料花盆(下底直径 12 cm, 上底直径 15 cm, 高 14 cm)中, 每盆 1 株, 培养 21 d 后, 选取苗木生长正常、长势一致且无病虫害为害的植株进行相关试验, 每盆浇入 300 mL 的 200 mmol·L⁻¹ NaCl 溶液. 为防止盐分流失, 处理时将花盆放置于带有底盘的盒子中, 保证渗出的溶液会再次从花盆底部吸收, 24 h 后, 浇灌耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液(菌含量 1.0×10⁸ cfu·mL⁻¹)作为耐盐碱芽孢杆菌菌株功效评价的试验处理, 而浇灌 LB 液体培养基作为对

照. 每处理共灌施6次, 每次100 mL, 间隔期7 d. 每处理重复4次, 每重复为1盆. 分别在灌施芽孢杆菌培养液初期(0 d, 第1次灌施)、中期(21 d, 3次灌施后7 d)和末期(44 d, 6次灌施后10 d)测定植株的新梢长度、叶片SPAD值; 在末期分别测定叶片面积、叶片相对电导率并收集叶片样本用于测定叶片中的丙二醛(MDA)含量及多种防御酶活性; 在初期和末期分别测定育苗基质EC值和pH值. 其中, 按照下列公式计算葡萄新梢相对生长幅度.

$$\text{新梢相对生长幅度}(\%) = \frac{\text{调查时的新梢长度} - \text{初期新梢长度}}{\text{初期新梢长度}} \times 100\%$$

1.5 叶片表型指标测定

叶片相对电导率测定: 取完整葡萄叶片1份, 用3 mm打孔器避开主叶脉打孔, 放入干净的试管中, 加入10 mL去离子水, 在25℃下用电导率仪(DDSJ-308F, 上海仪电科学仪器股份有限公司)测定电导率T1. 再将试管放入沸水中10 min, 冷却至25℃, 再测定电导率T2. 叶片相对电导率(\%) = (T1/ T2) × 100^[15]. 每重复测定叶数3片, 共4次重复.

叶面积测定: 采用叶面积测量仪(HYMJ-B, 浙江托普云农科技股份有限公司)进行测定. 测定方法详见说明书. 每重复测定叶数3片, 共4次重复.

叶片叶色值(Soil and Plant Analyzer Development, SPAD)测定: 采用SPAD便携式叶绿素测定仪(SY-S02, 石家庄世亚科技有限公司)进行测定. 测定方法详见说明书. 每重复测定叶数3片, 共4次重复.

1.6 葡萄叶片中的丙二醛含量及防御酶活性测定

将收集到的叶片样本用蒸馏水冲洗2遍后进行测定葡萄叶片中的丙二醛(MDA)含量以及超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, PAL)和多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)的活性. 其中, MDA含量用硫代巴比妥酸^[16]测定, SOD活性采用NBT还原法^[17], POD采用愈创木酚比色法^[18], PAL活性采用采用苯丙氨酸比色法^[19], PPO采用邻苯二酚法^[20]测定.

1.7 育苗基质电导率EC值和酸碱度pH值测定

采用中华人民共和国农业行业标准. 准确称取过40目筛的风干育苗基质(精确到0.1 g), 加入蒸馏水(水土比5:1), 磁力搅拌器震荡10 min至土粒充分分散, 静置3 h后, 利用pH数显式酸度计(PHS-25, 上海仪电科学仪器股份有限公司)测定pH值, 利用电导率仪测定EC值.

1.8 数据分析

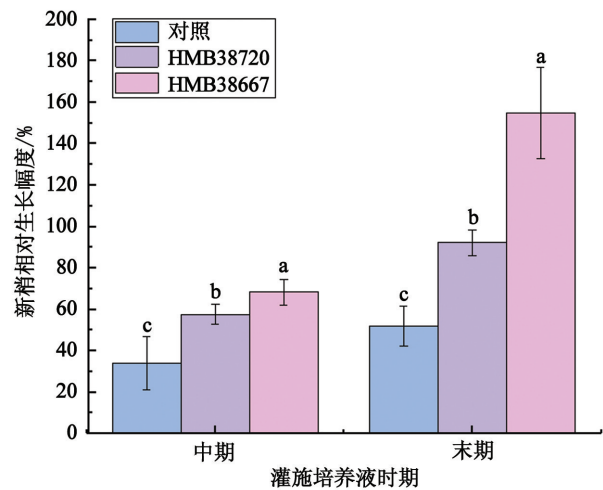
采用Microsoft Excel 2016进行数据初步处理, 采用SPSS 27.0软件对数据进行显著性比较, 数据以平均值±误差表示. 用Origin 2019软件作图. 植物生长表型和植物体内酶活性的相关性用Canoco5的冗余分析(redundancy analysis, RDA)进行判定.

2 结果与分析

2.1 耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液对盐胁迫下葡萄新梢生长的影响

在灌施2个供试菌株培养液初期, 对照组新梢长度13.68 cm, 菌株HMB 38720处理组新梢长度14.25 cm, 菌株HMB 38667处理组新梢长度13.63 cm, 各处理间的葡萄新梢长度没有显著性差异. 试验结果表明, 在灌施供试菌株培养液中期(3次灌施后7 d), 处理的葡萄新梢相对生长幅度显著高于对照, 菌株HMB38720和菌株HMB 38667的新梢相对生长幅度分别为57.35%和69.72%, 较对照(33.99%)分别提高68.73%和100.76%; 在灌施供试菌株培养液末

期(6 次灌施后 10 d), 2 个供试菌株培养液处理的葡萄新梢相对生长幅度仍显著高于对照, 同时菌株 HMB 38667 处理显著高于菌株 HMB 38720 处理; 菌株 HMB 38720 和菌株 HMB 38667 的葡萄新梢相对生长幅度分别为 91.95% 和 154.84%, 比对照(51.84%)分别提高 77.37% 和 198.69%(图 1).

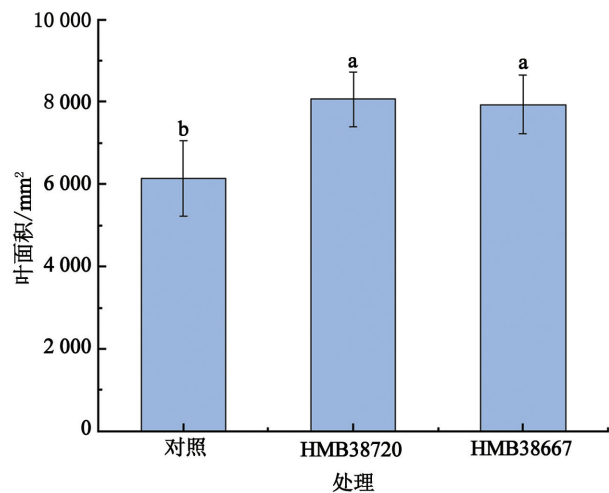


不同小写字母表示不同处理间差异显著($p<0.05$).

图 1 供试耐盐碱芽孢杆菌菌株对盐胁迫下葡萄新梢生长的影响

2.2 耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液对盐胁迫下葡萄叶面积的影响

对灌施 2 个耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液末期的盐胁迫下葡萄叶面积进行了测定, 结果表明 2 个供试菌株处理后的叶面积均显著高于对照, 但 2 菌株处理间差异不显著(图 2). 菌株 HMB 38720 和菌株 HMB 38667 处理的叶面积分别为 8 063.21 mm² 和 7 932.56 mm², 较对照叶面积 (6 134.51 mm²) 分别提高 50.61% 和 38.35%.



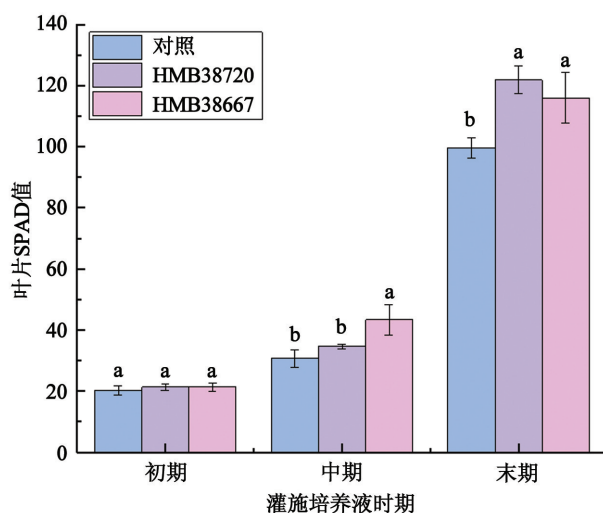
不同小写字母表示不同处理间差异显著($p<0.05$).

图 2 供试耐盐碱芽孢杆菌菌株对盐胁迫下葡萄叶面积的影响

2.3 耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液对盐胁迫下葡萄叶片 SPAD 值的影响

在灌施 2 个供试菌株培养液初期、中期和末期 3 个时期, 分别测定了各处理的叶片中

SPAD 值. 结果表明, 初期: 对照的叶片 SPAD 值为 20.79, 菌株 HMB38720 和菌株 HMB38667 的叶片 SPAD 值分别为 22.33 和 22.39, 处理间没有显著差异. 中期(3 次灌施后 7 d): 菌株 HMB38720 处理的葡萄叶片 SPAD 值与对照差异不显著, 而菌株 HMB38667 处理后叶片 SPAD 值显著高于对照, 提高了 41.98%. 末期(6 次灌施后 10 d): 供试的 2 个耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液处理的葡萄叶片 SPAD 值显著高于对照, 但 2 菌株处理间差异不显著, 菌株 HMB38720 和菌株 HMB38667 处理后葡萄叶片 SPAD 值比对照分别提高 22.40% 和 16.60%(图 3).

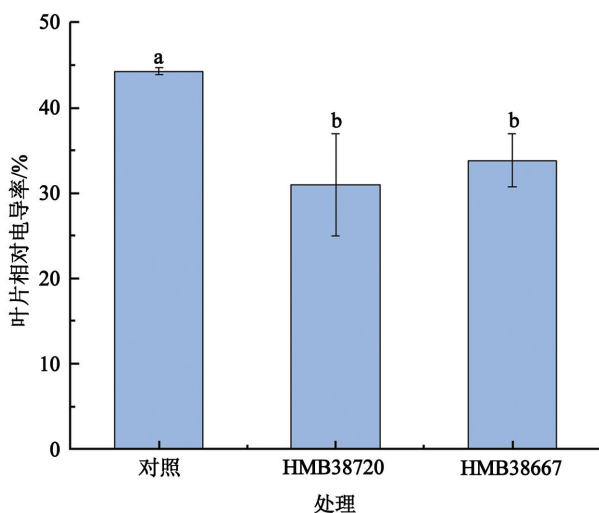


不同小写字母表示不同处理间差异显著($p < 0.05$).

图3 供试耐盐碱芽孢杆菌菌株对盐胁迫下葡萄叶片 SPAD 值的影响

2.4 耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液对盐胁迫下葡萄叶片相对电导率的影响

试验对灌施 2 个耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液末期的盐胁迫下葡萄叶片相对电导率进行了测定, 结果表明, 供试的 2 个菌株处理后的葡萄叶片相对电导率均显著低于对照, 但 2 菌株间差异不显著. 其中, 菌株 HMB38720 和菌株 HMB38667 处理后的葡萄有叶片相对电导率分别为 30.97% 和 33.84%, 较对照(44.24%)分别降低 30.00% 和 23.50%(图 4).



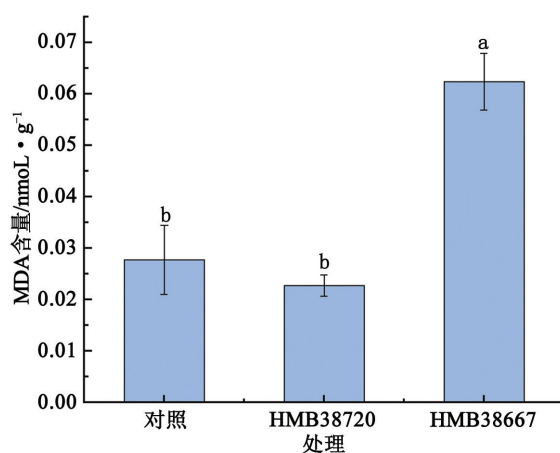
不同小写字母表示不同处理间差异显著($p < 0.05$).

图4 供试耐盐碱芽孢杆菌菌株对盐胁迫下葡萄叶片相对电导率的影响

2.5 耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液对盐胁迫下葡萄叶片中 MDA 含量的影响

试验对灌施 2 个耐盐碱芽孢杆菌菌株末期的盐胁迫下葡萄叶片中 MDA 含量进行了测定, 结果表明, 菌株 HMB38720 处理后叶片中 MDA 与对照间差异不显著, 但降低了 18.10%; 而

施用菌株 HMB38667 后,叶片的 MDA 含量显著高于对照处理,提高 121.42%(图 5)。

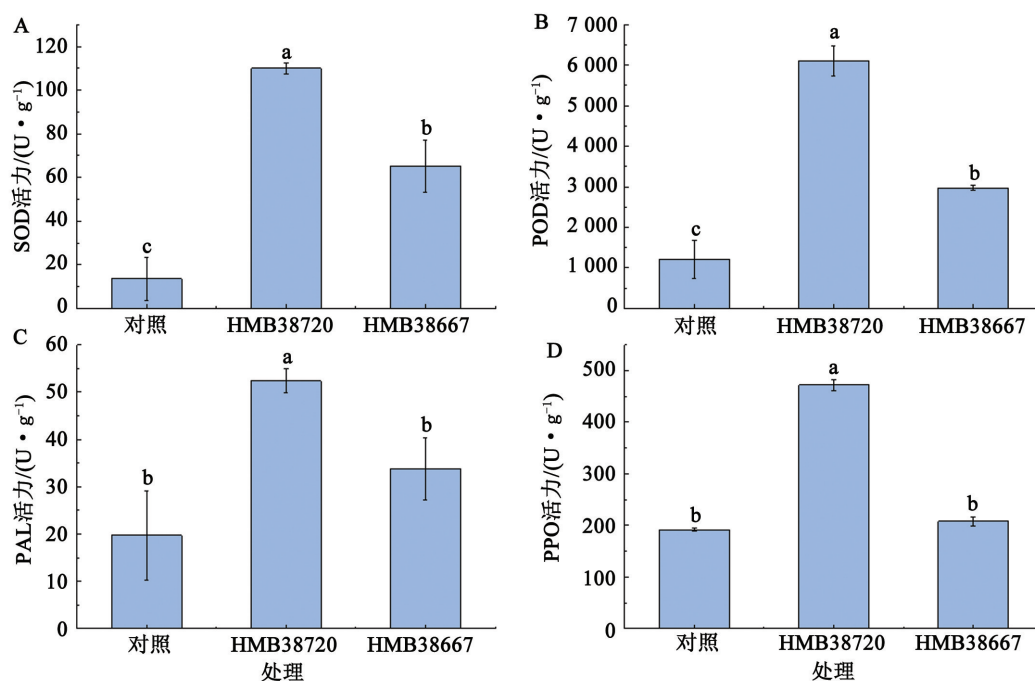


不同小写字母表示不同处理间差异显著($p < 0.05$)。

图 5 供试耐盐碱芽孢杆菌菌株对盐胁迫下葡萄叶片丙二醛含量的影响

2.6 耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液对盐胁迫下葡萄叶片中防御酶活力的影响

试验对灌施 2 个耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液末期的盐胁迫下葡萄叶片中 SOD, POD, PAL, PPO 等 4 种防御酶的活性进行了测定. 结果表明, 供试的 2 个菌株处理后 4 种防御酶的酶活力均明显高于对照. 其中, 菌株 HMB38720 处理叶片中的各项酶活均显著高于对照. 与对照相比, 菌株 HMB38720 和菌株 HMB38667 处理后的葡萄叶片的 SOD 酶活力分别提高 707.82%和 379.10%, POD 酶活力分别提高 405.41%和 91.90%, PAL 酶活力分别提高 165.54%和 71.17%, PPO 酶活力分别提高 146.55%和 8.35%(图 6)。



不同小写字母表示不同处理间差异显著($p < 0.05$)。

图 6 供试耐盐碱芽孢杆菌菌株对盐胁迫下葡萄叶片酶活性影响

2.7 耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液对盐胁迫下育苗基质 EC 值、pH 值的影响

试验对灌施芽孢杆菌培养液末期的育苗基质 EC 值、pH 值进行了测定, 结果表明, 菌株

HMB38720 处理的育苗基质 EC 值、pH 值分别为 $4\ 401.67\ \mu\text{s}/\text{cm}$ 和 6.63, 与对照处理 ($4\ 412.5\ \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ 和 6.80) 差异不显著; 菌株 HMB38667 处理的育苗基质 EC 值、pH 值分别为 $3\ 566.67\ \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ 和 6.48, 显著低于对照处理, EC 值和 pH 值分别下降了 19.17% 和 0.32; 同时菌株 HMB38667 处理的育苗基质 EC 值显著低于菌株 HMB38720 处理(图 7)。

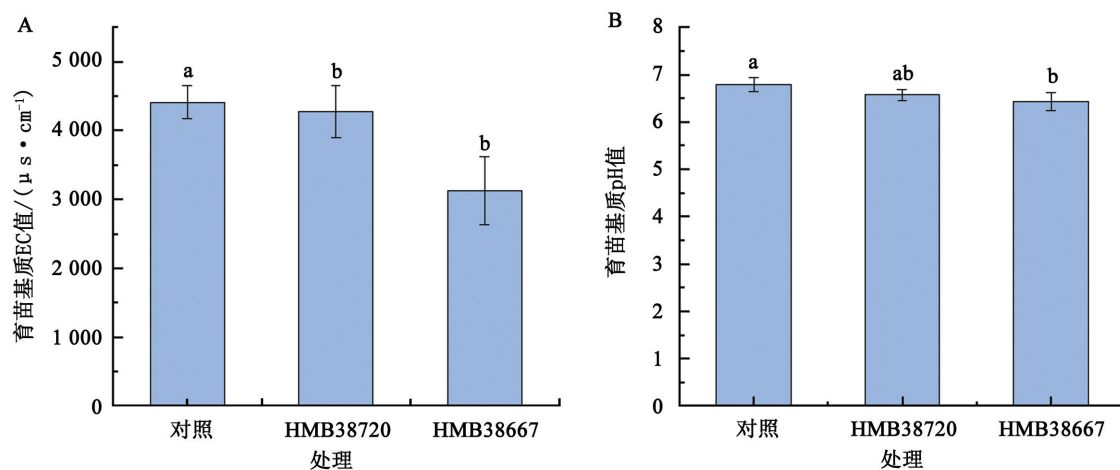


图7 供试耐盐碱芽孢杆菌菌株对育苗基质 EC 值(A)和 pH 值(B)的影响

2.8 植物生长表型与酶活力的冗余分析

通过对植物生长表型与酶活性的相关性分析表明, 冗余分析图第一轴和第二轴的特征值分别为 60.25% 和 14.06%。2 个耐盐碱芽孢杆菌菌株处理后改变了植物生长表型与生理生化特性, 植物生长表型(叶片面积和叶片 SPAD 值、新梢相对生长幅度)与叶片的 SOD, POD, PAL, PPO 酶活力呈正相关, 其中与叶片 SPAD 值相关性最高, 与叶片相对电导率相关性不强(图 8)。

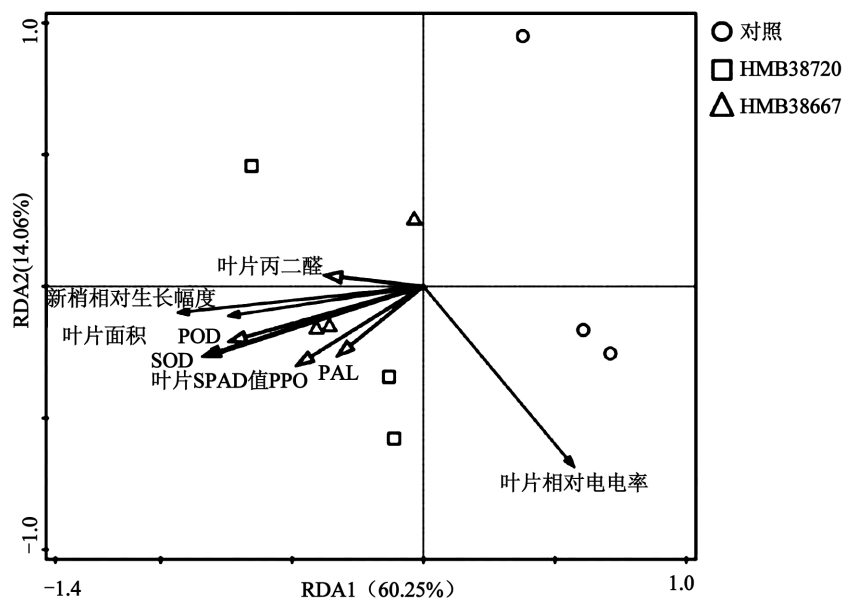


图8 植物生长表型与酶活力的冗余分析

3 结论与讨论

有关微生物菌株对盐胁迫下作物的促生作用早有报道, 但对盐胁迫下葡萄生长影响的相关

报道较少. 逢焕成等的研究表明, 在轻、重不同盐胁迫条件下苜蓿生长发育过程中施加复合微生物菌剂, 可使得苜蓿生物量增加, 进而促进植物生长^[21]. 王国丽等的研究表明, 土壤含盐量 $6.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的盐胁迫下, 在向日葵田施加解淀粉芽孢杆菌 ACCC19743 能够显著促进植物生长^[22]. 王明等的研究表明, 在质量分数为 0.42% 的复合盐碱胁迫下, 在葡萄根部灌施宛式拟青霉菌剂 WS 和侧孢短芽孢杆菌剂 YB 能够显著提高叶片叶绿素含量 11.43% 和 32.27%, 增加葡萄植株生物量, 促进植株生长^[14]. 本研究结果表明, 盐胁迫下葡萄根部灌施 HMB38720 和 HMB38667 两种耐盐碱芽孢杆菌菌株, 能够显著提高葡萄的新梢相对生长幅度 (77.37% 和 198.69%), 显著提高叶面积 (50.61% 和 38.35%) 和叶片 SPAD 值 (22.40% 和 16.60%). 这一结果证明供试的 2 个耐盐碱芽孢杆菌菌株对盐胁迫下葡萄健康生长具有调节功能.

植物在逆境下往往发生质膜过氧化作用, 破坏膜结构, 积累有害的过氧化物, MDA 和叶片相对电导率是反映胁迫条件下植物受害程度的重要指标^[23], 同时为了应对逆境胁迫, 植物会产生防御酶进行抵抗, 比如 SOD, POD, PAL 和 PPO^[24]. 王丹等的研究表明, 在盐胁迫条件下, 在小麦幼苗根部土壤滴加菌剂 WP-8 后显著降低了小麦幼苗根部 MDA 含量 29.55%, 同时叶片中的 POD 含量显著提高^[5]. 袁海等的研究表明, 在 1.5% NaCl 胁迫下, 在玉米根部灌施枯草芽孢杆菌 NY-06 能够降低玉米叶片相对电导率 11.1%^[25]. 田洁等的研究表明, 施用微生物菌剂能够显著提高菊花叶片的 SOD 和 POD 活力^[26]. 张立恒等的研究表明, 施用淡紫拟青霉 DZ 和木霉菌剂 MM 后葡萄叶片中的 PAL 和 PPO 活性升高, 且对植物生长有明显促进作用^[27]. 本研究结果表明, 盐胁迫下葡萄根部灌施菌株 HMB38720 可显著降低葡萄叶片 MDA 含量 (18.1%) 和叶片相对电导率 (30.00%), 这说明该菌株处理后增加了叶片细胞膜的完整性, 减轻了电解质及其他小分子有机物的泄露. 灌施菌株 HMB38667 后, 叶片中的 MDA 含量显著增加, 造成该结果的原因不明. 但和田方等研究微生物菌剂与植物耐旱性的关系及抗旱机理时相似, 发现施用生防微生物菌剂的剂量不当时也会出现这样的结果^[28]. 本研究出现的这样结果是否与使用菌株 HMB38667 剂量不当有关, 需进一步研究证明. 灌施 2 种耐盐碱芽孢杆菌菌株都显著提高了葡萄叶片中的 4 种酶活力, 这一结果说明供试的 2 种耐盐碱芽孢杆菌菌株均对植物细胞起到了保护作用, 抵抗了盐胁迫.

土壤 CE 值和 pH 值是衡量土壤盐碱情况的重要指标. 张晓丽等的研究表明施用复合微生物菌剂 BL 处理可明显降低食葵根际土壤 EC 值 9.34%、pH 值 0.14 个单位^[29]; 王明等的研究表明在葡萄根部灌施宛式拟青霉菌剂 WS 和侧孢短芽孢杆菌剂 YB 可以显著降低土壤 EC 值 26.32% 和 pH 值 0.09 个单位^[14]. 本研究结果表明, 在盐胁迫下, 于葡萄根部灌施 2 种供试耐盐碱芽孢杆菌菌株时, 菌株 HMB38667 处理能显著降低育苗基质 EC 值 19.17%、pH 值 0.32, 但菌株 HMB38720 处理两个指标也有一定减小效果但影响不显著, 说明两个供试耐盐碱芽孢杆菌菌株在降低育苗基质的含盐量和酸碱度效果方面存在明显的差异.

通过对植物生理指标和植物体内酶活力相关性分析发现, 各个指标并非独立作用, 而是各指标间相互关联进行作用. 本研究结果表明, 在盐胁迫下, 在葡萄根部灌施灌施供试的 2 种耐盐碱芽孢杆菌菌株后植物叶片 SPAD 值、叶片面积与植物体内的 SOD, POD, PAL 和 PPO 活性呈正相关, 这一结果说明在盐胁迫下, 供试的 2 个耐盐碱芽孢杆菌菌株可能通过增加葡萄叶片内防御酶活力来加强植株内部生长, 提高葡萄植株的耐盐性.

综上所述, 在盐胁迫下, 在葡萄根部灌施供试的 2 株耐盐碱芽孢杆菌菌株培养液 44 d 后均能显著提高葡萄新梢长度、叶片叶面积、叶片 SPAD 值, 显著或明显降低叶片 MDA 含量和叶

片电导率,维持细胞膜系统稳定,提高葡萄防御酶活性,增强葡萄植株抗盐能力,同时能够降低土壤机制的EC值和pH值,缓解葡萄根系的生长环境.

参考文献:

- [1] 朱建峰,崔振荣,吴春红,等.我国盐碱地绿化研究进展与展望[J].世界林业研究,2018,31(4):70-75.
- [2] 梁翔宇,顾欣,刘文辉,等.盐碱地盐生植物根际耐盐促生菌的筛选及鉴定[J].农业科学研究,2021,42(4):1-6,11.
- [3] 葛汉勤,秦光蔚,韩建均.滨海盐碱地生物改良措施在内陆盐碱地改良中的应用效果研究[J].现代农业科技,2022(3):165-169.
- [4] 高惠敏,王相平,屈忠义,等.不同改良剂对河套灌区土壤盐碱指标及作物产量的影响研究[J].土壤通报,2020,51(5):1172-1179.
- [5] 王丹,赵亚光,张风华.耐盐促生菌筛选、鉴定及对盐胁迫小麦的效应[J].麦类作物学报,2020,40(1):110-117.
- [6] 黄铨程,刘景辉,杨彦明.生物菌肥对盐碱地燕麦生理特性及土壤速效养分的影响[J].北方农业学报,2018,46(5):57-61.
- [7] 汪立梅,桂丕,李化山,等.改良剂与微生物菌剂联合施用对盐碱地土壤和耐盐植物的影响[J].江苏农业科学,2018,46(17):264-269.
- [8] ANAM G B, REDDY M S, AHN Y H. Characterization of *Trichoderma asperellum* RM-28 for Its Sodic/Saline-Alkali Tolerance and Plant Growth Promoting Activities to Alleviate Toxicity of Red Mud[J]. Science of the Total Environment, 2019, 662: 462-469.
- [9] 王丽丽,石俊雄,袁赛飞,等.微生物有机肥结合土壤改良剂防治烟草青枯病[J].土壤学报,2013,50(1):150-156.
- [10] 中国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2022.
- [11] 刘俊,晁无疾,亓桂梅,等.蓬勃发展的中国葡萄产业[J].中外葡萄与葡萄酒,2020(1):1-8.
- [12] 张亚冰,刘崇怀,潘兴,等.盐胁迫下不同耐盐性葡萄砧木丙二醛和脯氨酸含量的变化[J].河南农业科学,2006,35(4):84-86.
- [13] 赵攀,李芬,韩伟伟,等.盐碱胁迫对酿酒葡萄“赤霞珠”果实品质形成的影响[J].北方园艺,2019(2):35-41.
- [14] 王明,徐鲁成,高振,等.宛式拟青霉和侧孢短芽孢杆菌对盐碱胁迫下‘赤霞珠’葡萄盆栽苗生长发育的影响[J].植物生理学报,2022,58(7):1317-1326.
- [15] 王英姿,黄建安,刘仲华,等.外源NO在低温胁迫下对茶树幼苗叶片相对电导率的影响[J].湖南农业科学,2014(17):7-9,12.
- [16] 刘鹏程,王辉,程佳强,等.NO对小麦叶片干旱诱导膜脂过氧化的调节效应[J].西北植物学报,2004,24(1):141-145.
- [17] 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.
- [18] 白宝璋,王景安.植物生理学测试技术[M].北京:中国科学技术出版社,1993.
- [19] 赵进红,王玉山,冯殿齐,等.药物处理对疯枣枝过氧化物酶和苯丙氨酸解氨酶活性的影响[J].山东农业大学学报(自然科学版),2010,41(3):360-364.
- [20] 代卓毅,李洪亮,姚怡帆,等.编辑烤烟多酚氧化酶基因NtPPO8后的效应分析[J].中国烟草学报,2022,28(5):73-83.
- [21] 逢焕成,李玉义,于天一,等.不同盐胁迫条件下微生物菌剂对土壤盐分及苜蓿生长的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(6):1403-1408.
- [22] 王国丽,张晓丽,张晓霞,等.施用功能微生物菌剂对重度盐碱地向日葵生长及土壤微生物的影响[J].中国土壤与肥料,2021(5):133-139.

- [23] PETROV P, PETROVA A, DIMITROV I, et al. Relationships between Leaf Morpho-Anatomy, Water Status and Cell Membrane Stability in Leaves of Wheat Seedlings Subjected to Severe Soil Drought [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2018, 204(3): 219-227.
- [24] WEI Y L, CHEN H Z, WANG L, et al. Cold Acclimation Alleviates Cold Stress-Induced PSII Inhibition and Oxidative Damage in Tobacco Leaves [J]. Plant Signaling & Behavior, 2022, 17(1): 25-34.
- [25] 袁海, 何鹏飞, 吴毅歆, 等. 盐胁迫下益生菌对玉米的促生效应研究 [J]. 玉米科学, 2019, 27(1): 69-74.
- [26] 田洁, 唐有林, 王启璋, 等. 植物根际促生菌 *Pseudomonas putida* UW4 对菊花扦插苗生长及生理特性的影响 [J]. 植物生理学报, 2023, 59(1): 179-190.
- [27] 张立恒, 郭修武, 李坤, 等. 微生物菌剂对连作土壤中贝达葡萄的生长和防御酶活性的影响 [J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2012(6): 14-17.
- [28] 田方, 陈锡, 王普昶, 等. 微生物菌剂对白刺花苗期抗旱酶系及生理生化指标的影响 [J]. 植物生理学报, 2022, 58(2): 435-446.
- [29] 张晓丽, 王国丽, 常芳弟, 等. 生物菌剂对根际盐碱土壤理化性质和微生物区系的影响 [J]. 生态环境学报, 2022, 31(10): 1984-1992.

责任编辑 王新娟