

2株耐盐碱根际促生细菌对盐碱胁迫下紫花苜蓿生长及生理的影响

陈露¹, 马楠楠¹, 陈宁¹, 曲善民^{1,2,3*}, 苗阳阳^{1,2,3**}

(1. 黑龙江八一农垦大学动物科技学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 北大荒现代农业产业技术协同创新中心, 黑龙江 大庆 163319; 3. 黑龙江省寒区饲料资源高效利用与营养调控重点实验室, 黑龙江 大庆 163319)

摘要:【目的】研究接种耐盐碱根际促生细菌嗜麦芽寡养单胞菌JT4、普城沙雷氏菌JG1对盐碱胁迫条件下紫花苜蓿生长和生理特性的影响,为根际促生细菌JT4、JG1在植物抗盐碱中的应用提供理论依据。【方法】采用室内盆栽试验,以紫花苜蓿为供试植物,以实验室前期筛选鉴定得到的耐盐碱及促生能力均较好的根际促生细菌JT4、JG1为供试菌株,设置盐碱胁迫及非盐碱胁迫处理,测定接种根际促生细菌JT4、JG1后紫花苜蓿幼苗生长和生理特性指标。【结果】与对照相比,盐碱胁迫下接种JT4、JG1紫花苜蓿幼苗的株高分别提高了31.64%和43.50%,根长分别提高了32.78%和7.05%,鲜重分别提高了100%和60%,抗坏血酸过氧化物酶活性分别提高了27.67%和200.58%,过氧化氢酶活性分别提高了33.33%和22.73%,可溶性蛋白含量分别提高了126.94%和118.88%,叶绿素a含量分别提高了11.12%和16.32%。【结论】耐盐碱根际促生细菌JT4、JG1能较好地缓解盐碱胁迫对紫花苜蓿造成的损伤。

关键词:根际促生细菌;紫花苜蓿;盐碱胁迫;抗氧化活性

中图分类号:S541 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)04-0197-07

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2024.04.022



松嫩平原现有盐碱化土地373万hm²,是我国盐碱地集中分布的主要区域^[1]。土壤盐碱化严重影响植物的光合作用、相关酶活性及代谢途径,使作物减产甚至死亡^[2-4]。目前盐碱地治理方法主要有节水灌溉、

淋洗、土壤深翻和化学手段等,但这些方法存在经济成本高、见效慢等问题^[5]。因而,用环保高效的微生物方法改良盐碱地,是修复生态环境的重要措施。微生物方法即利用对植物有益的菌群,如植物根际促生细菌提高植物的营养状况或者改变植物体内的激素水平来促进盐碱胁迫下植物的生长,提高植物对逆境的抵御能力。植物根际促生细菌能定殖在植物根际,可通过溶磷、解钾、固氮、产生植物激素及产生ACC脱氨酶等直接或间接地促进盐碱胁迫下植物的生长^[6]。齐玉玺等^[7]研究发现,筛选得到的S4菌具有解磷、解钾、产IAA的功能,可有效促进盐碱胁迫下水稻的生长。梁焯等^[8]研究发现,接种含ACC脱氨酶的根际促生细菌 *Variovorax paradoxus* 5C-2能促进盐碱胁迫下植物的生长,并且在较高pH值条件下其作用效果更明显。闫伟^[9]研究发现,接种根际促生细菌能提高盐碱胁迫下苜蓿的生物量。朱金滔^[10]研究发现,根际促生

收稿日期:2023-06-04; **修回日期:**2023-08-23

基金资助:黑龙江八一农垦大学学成、引进人才科研启动计划项目(XYB201813);黑龙江八一农垦大学三横三纵支持计划项目(ZRCPY201908);黑龙江八一农垦大学教学研究课题(NDJY2141);大庆市新能源领域“揭榜挂帅”科技攻关项目(2021BD05);黑龙江省科技厅省院合作项目(YS16B12)

作者简介:陈露(1998-),女,黑龙江大庆人,硕士研究生。

E-mail:2251131678@qq.com

*通信作者。E-mail:64311742@qq.com

**通信作者。E-mail:1046309525@qq.com

细菌 *Serratia marcescens* LJL-11 可促进盐碱胁迫下紫花苜蓿的生长,提高紫花苜蓿对盐碱胁迫的抗性。由此可见,植物根际促生细菌对缓解植物盐碱胁迫和促进植物生长有着积极作用。

紫花苜蓿是一种优质高产的多年生豆科牧草,具有中等强度的抗盐碱特性。盐碱地种植紫花苜蓿,一方面可提高盐碱地的利用率,缓解与粮食作物争地的矛盾,同时能够为草地畜牧业的发展提供优质饲草;另一方面能够改良盐碱地,提高土壤肥力^[11]。因此,探究盐碱胁迫下植物根际促生细菌对紫花苜蓿生长及生理的影响,对明确根际促生细菌缓解紫花苜蓿盐碱胁迫、提高紫花苜蓿产量来说是必要的。

本研究以课题组前期筛选得到的能促进盐碱胁迫

下紫花苜蓿生长的耐盐碱根际促生细菌 JT4、JG1 为研究对象,通过盆栽试验探究其对盐碱胁迫下紫花苜蓿生长、生理的影响,以期为提高紫花苜蓿耐盐碱性和盐碱地改良提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 供试苜蓿 试验用紫花苜蓿品种龙牧 801 由黑龙江省畜牧研究所提供,保存于黑龙江八一农垦大学草业科学实验室。

1.1.2 菌株来源 盆栽试验中接种的菌株 JT4、JG1 来源于黑龙江八一农垦大学草业科学实验室,其他信息见表 1。

表 1 供试菌株
Table 1 Test strains

菌株编号	拉丁名	中文名	分离部位
JG1	<i>Serratia plymuthica</i>	普城沙雷氏菌	碱蓬根内
JT4	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	嗜麦芽寡养单胞菌	碱蓬根际土壤

1.1.3 供试土壤 用于紫花苜蓿盆栽试验的盐碱土壤采集自大庆市盐碱地草原,pH 值 8.67、碱解氮 173.23 mg/kg,速效磷 5.67 mg/kg,速效钾 176.54 mg/kg,有机质为 0.22 g/kg;非盐碱土壤采集自试验田大田土,pH 值 7.79,碱解氮 179.62 mg/kg、速效磷 5.96 mg/kg、速效钾 182.13 mg/kg,有机质为 0.27 g/kg。

1.2 试验方法

1.2.1 菌液制备 将菌株 JT4、JG1 分别接种于 LB 液体培养基中,28 °C、180 r/min 摇床培养,血球计数板检验菌体浓度,培养 24 h,待菌液浓度达到 10⁶ cfu/mL 时终止培养。

1.2.2 试验设计 于 2023 年 4 月 14 日在实验室进行室内盆栽,将供试盐碱土、非盐碱土 121 °C 高温灭菌 1 h,待冷却到室温后将盐碱土、非盐碱土分别装入高 11 cm,直径 8.3 cm 的统一规格圆形花盆中,每盆装土 560 g,紫花苜蓿种子经 75% 酒精浸泡 30 s,用无菌水冲洗 4—5 次后,20 mL 上述菌液浸种 2 h 后播种于花盆中,每处理重复 3 次。待紫花苜蓿幼苗长出真叶后,每盆定苗 10 株,出苗 15 d 后补浇菌液 1 次,用移液枪

吸取菌液,滴加到幼苗根部,每株苗加 2 mL,每盆接种量为 20 mL,对照浇灌等量蒸馏水。30 d 后测定相关指标。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 紫花苜蓿生长指标测定 紫花苜蓿生长至 30 d 时随机选取 8 株植株测定其绝对株高、根长以及鲜重^[12]。

1.3.2 紫花苜蓿生理指标测定 测定整株植株的过氧化氢酶活性、抗坏血酸过氧化物酶活性以及可溶性蛋白含量。过氧化氢酶活性测定参考李合生^[13]的方法进行;抗坏血酸过氧化物酶活性测定参考高俊凤^[14]的方法进行;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定^[15];叶片叶绿素含量测定采用 95% 酒精直接浸提法。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2007 软件对数据进行计算与处理,采用 SPSS 22.0 软件中的 Duncan 法对数据进行均值比较与方差分析,柱形图的制作使用 GraphPad Prims 9.5 软件。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫下2株根际促生细菌对紫花苜蓿生长的影响

盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿株高均显著高于CK ($P<0.05$), 分别提高43.50%和31.64%, 说明2株根际促生细菌均能显著提高盐碱胁迫下紫花苜蓿的株高, 其中JG1处理效果最好(表2)。非盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿株高显著高于CK ($P<0.05$), 分别提高35.63%和35.19%, 说明2株根际促生细菌均能显著提高非盐碱胁迫下紫花苜蓿的株高, 其中JG1处理效果较好。

盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿根长均

显著高于CK ($P<0.05$), 分别提高7.05%和32.78%, 说明2株根际促生细菌均能显著提高盐碱胁迫下紫花苜蓿的根长, 其中JT4处理效果最好。非盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿根长高于CK, 但与CK无显著性差异 ($P>0.05$)。

盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿鲜重均显著高于CK ($P<0.05$), 分别提高60%和100%, 说明盐碱胁迫下2株根际促生细菌均对紫花苜蓿鲜重有极为明显的促进作用, 其中JT4处理效果最好。非盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿鲜重显著低于CK ($P<0.05$), 分别降低40.48%和26.19%, 说明根际促生细菌均能显著降低非盐碱胁迫下紫花苜蓿的鲜重。

表2 盐碱胁迫下根际促生细菌对紫花苜蓿生长的影响

Table 2 Effects of rhizosphere growth-promoting bacteria on alfalfa growth under saline-alkali stress

处理	株高/cm		根长/cm		鲜重/g	
	盐碱胁迫	非盐碱胁迫	盐碱胁迫	非盐碱胁迫	盐碱胁迫	非盐碱胁迫
CK	1.77±0.11 ^b	4.49±0.46 ^b	2.41±0.18 ^b	4.09±0.04 ^a	0.10±0.03 ^b	0.42±0.11 ^a
JT4	2.33±0.19 ^a	6.07±0.54 ^a	3.20±0.06 ^a	4.63±0.48 ^a	0.20±0.01 ^a	0.31±0.05 ^{ab}
JG1	2.54±0.20 ^a	6.09±0.53 ^a	2.58±0.35 ^a	4.67±0.70 ^a	0.16±0.04 ^a	0.25±0.08 ^b

注:表中数据为平均数±标准误/标准差,不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$),下同。

2.2 盐碱胁迫下2株根际促生细菌对紫花苜蓿生理的影响

2.2.1 盐碱胁迫下2株根际促生细菌对紫花苜蓿抗坏血酸过氧化物酶活性的影响 盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿抗坏血酸过氧化物酶活性均高于CK, 其中经JG1处理后紫花苜蓿抗坏血酸过氧化物酶活性显著高于CK ($P<0.05$), 提高200.58%; 经JT4处理后紫花苜蓿抗坏血酸过氧化物酶活性高于CK ($P<0.05$), 提高27.67%(图1), 说明2株根际促生细菌均能提高盐碱胁迫下紫花苜蓿抗坏血酸过氧化物酶活性, 其中JG1处理效果最好。非盐碱胁迫下经JT4处理后紫花苜蓿抗坏血酸过氧化物酶活性显著高于CK ($P<0.05$), 提高50.40%, 说明根际促生细菌JT4能够显著提高非盐碱胁迫下紫花苜蓿的抗坏血酸过氧化物酶活性。

2.2.2 盐碱胁迫下2株根际促生细菌对紫花苜蓿过氧化氢酶活性的影响 盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿过氧化氢酶活性均显著高于CK ($P<$

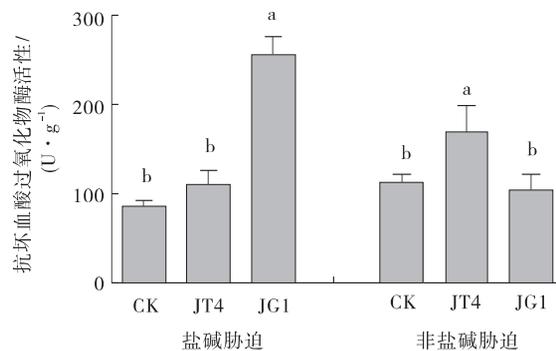


图1 盐碱胁迫下根际促生细菌对紫花苜蓿抗坏血酸过氧化物酶活性的影响

Fig. 1 Effects of rhizosphere growth-promoting bacteria on APX of alfalfa under saline-alkali stress

注:图中不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$),下同。

0.05), 分别提高22.73%和33.33%, 且经JT4处理后紫花苜蓿过氧化氢酶活性高于JG1处理后的紫花苜蓿过氧化氢酶活性(图2), 说明2株根际促生细菌均能显著提高盐碱胁迫下紫花苜蓿过氧化氢酶活性, 其中

JT4处理效果最好。非盐碱胁迫下经JG1处理后紫花苜蓿过氧化氢酶活性显著高于CK($P<0.05$),说明JG1处理效果最好;经JT4处理后紫花苜蓿过氧化氢酶活性与CK无显著性差异。

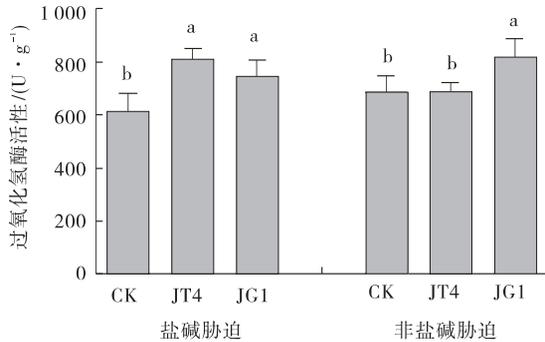


图2 盐碱胁迫下根际促生细菌对紫花苜蓿过氧化氢酶活性的影响

Fig. 2 Effects of rhizosphere growth-promoting bacteria on alfalfa SP under saline-alkali stress

2.2.3 盐碱胁迫下2株根际促生细菌对紫花苜蓿可溶性蛋白含量的影响 盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿可溶性蛋白含量均显著高于CK($P<0.05$),分别提高118.88%和126.94%,且经JT4处理后紫花苜蓿可溶性蛋白含量高于JG1处理后紫花苜蓿可溶性蛋白含量(图3),说明2株根际促生细菌均能显著提高盐碱胁迫下紫花苜蓿可溶性蛋白含量,其中JT4处理效果最好。非盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿可溶性蛋白含量与CK相比无显著性差异。

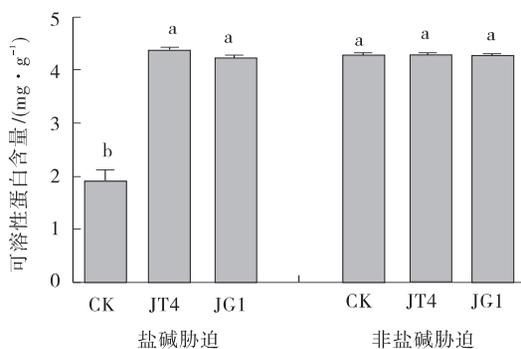


图3 盐碱胁迫下根际促生细菌对紫花苜蓿可溶性蛋白含量的影响

Fig. 3 Effects of rhizosphere growth-promoting bacteria on alfalfa SP under saline-alkali stress

2.2.4 盐碱胁迫下2株根际促生细菌对紫花苜蓿叶绿素a含量的影响 盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿叶绿素a含量均显著高于CK($P<0.05$),分别提高16.32%和11.12%,且经JG1处理后紫花苜蓿叶绿素a含量高于JT4处理后紫花苜蓿叶绿素a含量(图

4),说明2株根际促生细菌均能显著提高盐碱胁迫下紫花苜蓿叶绿素a含量,其中JG1处理效果最好。非盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿叶绿素a含量与CK相比无显著性差异。

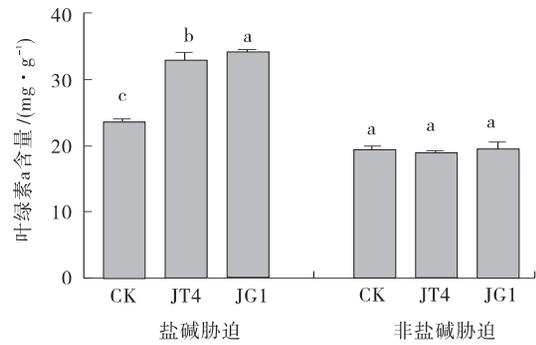


图4 盐碱胁迫下根际促生细菌对紫花苜蓿叶绿素a含量的影响

Fig. 4 Effects of rhizosphere growth-promoting bacteria on chlorophyll a of alfalfa under saline-alkali stress

2.2.5 盐碱胁迫下2株根际促生细菌对紫花苜蓿叶绿素b含量的影响 盐碱胁迫下经JG1、JT4处理后紫花苜蓿叶绿素b含量均显著低于CK($P<0.05$),分别降低44.49%和39.47%(图5),说明2株根际促生细菌均能显著降低盐碱胁迫下紫花苜蓿叶绿素b含量。非盐碱胁迫下经JT4处理后紫花苜蓿叶绿素b含量高于CK,但与CK相比无显著性差异。

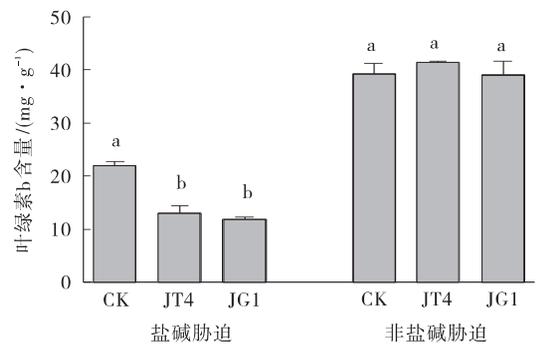


图5 盐碱胁迫下根际促生细菌对紫花苜蓿叶绿素b含量的影响

Fig. 5 Effects of rhizosphere growth-promoting bacteria on chlorophyll b of alfalfa under saline-alkali stress

3 讨论

3.1 根际促生细菌对盐碱胁迫下紫花苜蓿生长特性的影响

研究表明,接种JG1、JT4均能促进盐碱胁迫下紫花苜蓿的生长,这与李章雷^[16]、王秋平^[17]及周妍等^[18]研究发现盐碱环境下接种植物根际促生细菌能够显

著提高植物的根长及鲜重,缓解盐碱胁迫对植物生长的抑制的研究结果相一致。在无盐碱胁迫时,JG1、JT4对紫花苜蓿株高有显著促进作用,但对根长无明显促进作用且降低了鲜重,说明在正常生长环境下菌株对紫花苜蓿的促生长作用不明显。原因可能是JG1、JT4分离自盐碱环境,而正常处理时的环境不适宜菌株生长,从而未发挥促生长作用,这与苗阳阳等的研究结果一致^[19]。Larimer等^[20]研究也发现并不是所有的接菌处理都对植物生长有协同作用,这种作用是正面的、负面的或是无影响的,这主要取决于生物和非生物环境。

3.2 根际促生细菌对盐碱胁迫下紫花苜蓿生理特性的影响

盐碱胁迫会破坏植物活性氧产生与清除系统,积累大量活性氧,如果清除不及时,则会对植物细胞造成氧化损伤,导致细胞内的蛋白质、膜系统等受到直接破坏。提高抗氧化酶活性可有效帮助植物抵御盐碱胁迫造成的损伤。过氧化氢酶、抗坏血酸过氧化物酶是主要的抗氧化酶类。研究表明,接种JG1、JT4后紫花苜蓿的CAT和APX活性均升高,说明促生细菌可诱导抗氧化酶CAT和APX活性,减轻盐碱胁迫对紫花苜蓿生长的不利影响,提高紫花苜蓿对盐碱胁迫的耐受性这与刘佳莉^[21]及刘鹏^[22]的研究结果一致。

盐碱胁迫下,植物可以通过渗透调节维持细胞膨胀和渗透平衡来稳定亚细胞结构^[18]。可溶性蛋白是重要的渗透调节物质。研究表明,盐碱胁迫下接种JG1、JT4后紫花苜蓿的可溶性蛋白含量显著高于对照组,说明根际促生细菌可促进盐碱胁迫下紫花苜蓿渗透调节物质的累积。这与王艳宇^[23]及陆叶^[24]的研究结果一致。

逆境胁迫下,植物可通过提高叶绿素含量抵御逆境胁迫带来的伤害。植物叶绿素含量越高,其转化光能的效率就越高。本试验测定了叶绿素a、叶绿素b含量。研究表明,盐碱胁迫下,接种JG1、JT4后紫花苜蓿的叶绿素a含量比对照组的紫花苜蓿叶绿素a含量高,说明接种根际促生细菌可有效促进盐碱胁迫下紫花苜蓿叶片光合色素的合成,抑制叶片中活性氧的产生,从而减少氧化损伤,减缓盐碱胁迫引起的渗透胁迫。这可能是因为接种促生细菌激活了植物的抗氧化系统,从而使盐离子对叶绿素酶的刺激作用减轻,

叶绿素分解减少。另一方面,根际促生细菌可能诱导光合色素生物合成所需酶类的活性,促进光合色素的生物合成过程。常萌^[25]的研究发现,盐胁迫下接种促生细菌H5后,植株光合作用提高,叶绿素a含量增加,帮助其有效抵抗盐碱胁迫。梁洪榜等^[26]的研究及李丽艳等^[27]的研究也发现,盐碱胁迫下接种植物根际促生细菌显著提高了植物叶绿素a含量,这与本研究的结果一致。但盐碱胁迫下,接种JG1、JT4后紫花苜蓿的叶绿素b含量比对照组的紫花苜蓿叶绿素b含量低,可能是因为叶绿素酶降解叶绿素b引起的,盐胁迫破坏了类囊体的排列顺序,并使得基粒的排列方向发生改变,导致类囊体膜受损或消失,进而导致叶绿素和类囊体膜上的叶绿体蛋白结合松弛,致使更多的叶绿素被解离或叶绿素的合成场所被破坏,生物合成受阻^[28]。

4 结论

盐碱胁迫下接种JT4、JG1能有效缓解盐碱胁迫对紫花苜蓿的伤害,增强紫花苜蓿抗氧化酶活性及叶片的光合作用,提高紫花苜蓿耐盐碱性能。

参考文献:

- [1] 云雪雪,陈雨生. 国际盐碱地开发生态及其对我国的启示[J]. 国土与自然资源研究,2020(1):84-87.
- [2] Sagar A, Rai S, Sanyal N. Halotolerant thiazobacteria for salinity-stress mitigation: diversity, mechanisms and molecular approaches[J]. Sustainability, 2022, 14(1):490.
- [3] Vimal S R, Singh J S, Arora N K, et al. Soil-plant-microbe interactions in stressed agriculture management: a review[J]. Pedosphere, 2017, 27(2):177-192.
- [4] Sunita K, Mishra I, Mishra J, et al. Secondary metabolites from halotolerant plant growth promoting rhizobacteria for ameliorating salinity stress in plants[J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 11:567768.
- [5] 黄臣,韩玲娟,梁银萍,等. 达乌里胡枝子四株耐盐碱根际促生菌的鉴定及其促生作用[J]. 草地学报, 2023, 31(4): 1036-1047.
- [6] 穆文强,康慎敏,李平兰. 根际促生菌对植物的生长促进作用及机制研究进展[J]. 生命科学, 2022, 34(2): 118-127.
- [7] 齐玉玺,张琇,杨国平,等. 耐盐碱促生菌S4的鉴定及其提高水稻耐盐碱作用研究[J]. 山东农业科学, 2023, 55

- (4):147–154.
- [8] 梁焯,何楚婷,杨悦,等. 碱胁迫条件下含ACC脱氢酶的根际细菌对大豆生长的影响[J]. 生物技术通报,2020,36(9):100–108.
- [9] 闫伟. 土默川平原盐碱化区域苜蓿根际促生菌的筛选及应用研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2023.
- [10] 朱金滔. 根际促生菌 *Serratia marcescens* LJL-11 缓解紫花苜蓿盐碱胁迫作用的分子机制研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨师范大学,2021.
- [11] 赵力兴,王琳,温丽,等. 盐碱地紫花苜蓿的适应机制与栽培策略[J]. 草原与草坪,2022,42(1):142–149.
- [12] 王亚东. 北京地区滴灌条件下不同灌水量对秋播紫花苜蓿冬前生长的影响[D]. 北京:北京林业大学,2016.
- [13] 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.
- [14] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [15] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [16] 李章雷. 耐盐碱促生细菌对红小豆的促生作用及其对根际微生态的影响[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2021.
- [17] 王秋平. 根际促生菌的筛选及其对盐碱胁迫下水稻生长的促进作用[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2020.
- [18] 周妍,王丽娜,张美珍,等. 耐盐碱解磷菌的筛选鉴定及对绿豆的促生作用[J]. 西北农业学报,2022,31(4):488–497.
- [19] 苗阳阳,张艳蕊,宋标,等. 碱蓬根际和内生细菌菌株对盐碱胁迫下苜蓿生长的影响[J]. 草业学报,2022,31(9):107–117.
- [20] Larimer A L, Clay K, Bever J D. Synergism and context dependency of interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia with a prairie legume [J]. Ecology, 2014,95(4):1045–1054.
- [21] 刘佳莉. 植物根际促生细菌的筛选及其缓解紫花苜蓿盐碱胁迫的作用研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨师范大学,2017.
- [22] 刘鹏,毕江涛,罗成科,等. 耐盐菌对盐胁迫下水稻种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 农业环境科学学报,2022,41(2):246–256.
- [23] 王艳宇. 耐盐碱促生菌对绿豆生长及根际微生态的影响[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2021.
- [24] 陆叶. 枯草芽孢杆菌对盐胁迫下紫花苜蓿的缓解研究[D]. 扬州:扬州大学,2022.
- [25] 常萌. 星星草根际促生菌的筛选及其在盐胁迫下对水稻生长的促进作用[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2022.
- [26] 梁洪榜,赵丽,周云鹏,等. 盐碱地应用根际促生菌对土壤改良、作物产量与品质的影响—基于Meta分析[J]. 土壤,2022,54(6):1257–1264.
- [27] 李丽艳,谭海霞,李婧,等. 耐盐促生芽孢杆菌的筛选及其对盐胁迫下燕麦生长的影响[J]. 浙江农业学报,2022,34(6):1268–1276.
- [28] 李娇. 碱蓬内生菌对 Na_2CO_3 胁迫下水稻幼苗生长的缓解作用[D]. 沈阳:沈阳师范大学,2014.

Effects of two saline-tolerant rhizosphere growth-promoting bacteria on growth and physiology of *Medicago sativa* under saline-alkali stress

CHEN Lu¹, MA Nan-nan¹, CHEN Ning¹, QU Shan-min^{1,2,3*}, MIAO Yang-yang^{1,2,3**}

(1. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. Heilongjiang Province Cultivating Collaborative Innovation Center for The Beidahuang Modern Agricultural Industry Technology, Daqing 163319, China; 3. Key Laboratory of Efficient Utilization of Feed Resources and Nutrition manipulation in Cold Region of Heilongjiang Province, Daqing 163319, China)

Abstract: [Objective] In this experiment, the effects of inoculation of halotolerant rhizosphere growth-promoting bacteria, *Stenotrophomonas maltophilia* JT4 and *Serratia plymuthica* JG1, on plant growth and physiological charac-

teristics of *Medicago sativa* under saline-alkali stress were studied, so as to provide theoretical basis for the application of rhizosphere growth-promoting bacteria JT4 and JG1 in saline-alkali resistance of plants. 【Method】 In indoor pot experiment, alfalfa was used as the test plant, and rhizosphere growth-promoting bacteria JT4 and JG1 with good saline-alkali tolerance and growth-promoting ability were used as the test strains. The effects of inoculation of rhizosphere growth-promoting bacteria JT4 and JG1 on the growth and physiological characteristics of alfalfa seedlings were studied under saline-alkali stress and non-saline stress. 【Result】 Compared with the control, the plant height, root length, fresh weight, ascorbic acid peroxidase activity and catalase activity of alfalfa seedlings inoculated with JT4 and JG1 increased by 31.64% and 43.50%, 32.78% and 7.05%, 100% and 60%, 27.67% and 200.58%, and 33.33% and 22.73% respectively, soluble protein content increased by 126.94% and 118.88%, and chlorophyll a content increased by 11.12% and 16.32%, respectively. 【Conclusion】 Saline-alkali tolerant rhizosphere growth-promoting bacteria JT4 and JG1 can better alleviate the damage of alfalfa caused by saline-alkali stress.

Key words: rhizosphere growth-promoting bacteria; alfalfa; saline-alkali stress; antioxidant activity

(责任编辑 刘建荣)