

# 两株耐盐假单胞菌对盐胁迫下油菜种子萌发的影响

文 怡, 韦廷舟, 罗智健, 胡琬新, 陈 云, 代其林\*

西南科技大学生命科学与工程学院, 四川 绵阳

收稿日期: 2023年5月6日; 录用日期: 2023年7月10日; 发布日期: 2023年7月19日

## 摘 要

为了探究植物根际促生菌对盐胁迫下油菜种子萌发的影响, 本研究以甘蓝型油菜种子为研究对象, 利用源于自贡盐矿区植物根际盐渍土中耐盐细菌韩国假单胞菌(*Pseudomonas koreensis*)和维罗尼假单胞菌(*Pseudomonas veronii*)的菌悬液浸染油菜种子, 在不同浓度的NaCl (0、50、100和200 mmol/L)胁迫下进行纸上芽床发芽试验。结果显示, 在不同浓度NaCl胁迫下, ST29和ST38菌悬液都不同程度地提高了油菜种子萌发的发芽势、发芽率和发芽指数, 同时这两个菌株分别对油菜胚根和胚芽的生长都具有促进作用, 其中ST38对油菜胚根和胚芽的促进生长要高于ST29的促进作用。以上结果表明, 植物根际耐盐促生菌韩国假单胞菌和维罗尼假单胞菌能够提高油菜在盐胁迫下的萌发能力和协助油菜萌发后的抗逆促生能力。

## 关键词

甘蓝型油菜种子, 韩国假单胞菌, 维罗尼假单胞菌, 萌发, 盐胁迫

## Effects of Two Salt Tolerant *Pseudomonas* Strains on the Germination of Rapeseed Seeds under Salt Stress

Yi Wen, Tingzhou Wei, Zhijian Luo, Wanxin Hu, Yun Chen, Qilin Dai\*

College of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan

Received: May 6<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jul. 10<sup>th</sup>, 2023; published: Jul. 19<sup>th</sup>, 2023

\*通讯作者。

文章引用: 文怡, 韦廷舟, 罗智健, 胡琬新, 陈云, 代其林. 两株耐盐假单胞菌对盐胁迫下油菜种子萌发的影响[J]. 植物学研究, 2023, 12(4): 192-199. DOI: 10.12677/br.2023.124026

## Abstract

In order to investigate the effect of plant rhizosphere growth promoting bacteria on the germination of rapeseed seeds under salt stress, the germination of rapeseed seeds, which were soaked with the plant rhizosphere *Pseudomonas koreensis* and *Pseudomonas veronii* in the saline soil from the Zigong salt mining area, was studied on the paper sprout bed under different concentrations of NaCl (0, 50, 100, and 200 mmol/L) stress. The results showed that both ST29 and ST38 bacterial suspensions could increase the germination potential, germination rate, and germination index of rapeseed seeds under different concentrations of NaCl stress. At the same time, these two strains promoted the growth of rapeseed radicle and embryo, and ST38 had a higher promoting effect on the growth of rapeseed radicle and embryo than ST29. From above, it indicated that plant rhizosphere salt tolerant bacteria could improve the germination ability of rapeseed under salt stress and help to enhance the stress resistance and to promote the growth ability of rapeseed after germination.

## Keywords

*Brassica napus* Seeds, *Pseudomonas koreensis*, *Pseudomonas veronii*, Germination, Salt Stress

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

全球的盐渍化土地约有  $9.54 \times 10^8$  hm<sup>2</sup>, 其中我国盐渍化土地约占  $0.99 \times 10^8$  hm<sup>2</sup>, 土地盐碱化已成为世界性的资源与生态问题[1]。特别在我国重要的盐业生产基地, 由于盐矿旱采残渣堆存于地面和输送过程中管壁卤水渗漏等原因造成周边土壤盐渍化[2]。盐渍化引起的土壤盐分积累会降低农作物产量、牧草品质与林木成活率等[3], 影响农牧民生计选择和土地利用策略[4] [5], 进一步危及农林业的可持续发展。土壤盐渍化程度需及时采取有效措施进行控制, 否则盐渍化土地面积将会持续扩大, 对粮食安全造成巨大威胁。在这种情况下, 微生物可以发挥其独特的功能, 如遗传多样性的生物控制潜力和逆境促进植物生长, 从而发挥其关键作用[6]。基于此现状, 采用植物根际促生菌(Plant growth promoting rhizobacteria, PGPR)改善盐碱地土壤环境, 提高粮食产量方面的研究显得更加重要。

油菜是中国第一大油料作物[7], 每年的种植面积保持 66 万 hm<sup>2</sup> 以上, 其产油量约占国内食用油比例的 50% [8]。油菜属于中度耐盐植物, 但土地盐碱化导致的盐害使油菜产量降低最高达 60% [9]。而种子萌发期是决定植物在盐胁迫下生存的关键时期[10] [11] [12] [13], 因此探究耐盐 PGPR 对油菜种子萌发期的促进作用对于提高油菜的产量具有重要作用。

植物根际促生菌是指存在于植物根际土壤中能够抑制植物病害并且对植物生长的有益细菌[14], 是目前应用最为广泛的提高植物抗逆性能的微生物, 它既可提高植物的耐盐性使其适应盐渍生境, 又可利用其与宿主植物间的相互作用来改良盐渍化土地。PGPR 通常具有以下一种或多种促进生长的特性: 从大气中固定氮[15], 产生铁载体[16], 溶解矿物不溶性磷酸盐[17], 合成植物激素, 如 IAA [18], 以及合成和分泌调节植物生长的酶, 如 ACC 脱氨酶[19]。由于 PGPR 具有成本效益和环境友好性, 因此农业科学家一直在筛选高效耐盐 PGPR 用于可持续农业生产。基于此, 本研究前期从自贡盐渍化土壤中获得了 44

株耐盐菌, 筛选出 25 株可以产 ACC 脱氨酶菌株, 其中最多的是假单胞菌属(*Pseudomonas*), 对假单胞菌属的菌株进行酶活的定量测定, 发现韩国假单胞菌(*Pseudomonas koreensis*)的酶活高于其他假单胞杆菌属菌株。另外利用透明圈比色法测出 44 株菌中维罗尼假单胞菌(*Pseudomonas veronii*)同时具有解磷、解钾、产铁载体和产 ACC 脱氨酶的能力, 而韩国假单胞菌除产 ACC 脱氨酶能力外还具有较强的解钾能力。因此选用具有多种促生特性的韩国假单胞菌和维罗尼假单胞菌为供试菌株, 为明确这两株菌对植物在盐胁迫条件下是否具有促生作用, 本研究以甘蓝型油菜作为研究对象, 开展油菜种子萌发试验, 为进一步进行耐盐假单胞菌与油菜互作培养继而评价耐盐假单胞菌对油菜的促生作用提供研究基础。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验材料与菌液制备

本研究所用的实验材料为甘蓝型油菜(*Brassica napus* L.) 84100-18 (玻里马细胞质雄性不育恢复系)由四川大学遗传学实验室提供, 在本实验室温室中栽种。而浸种所用菌液为韩国假单胞菌和维罗尼假单胞菌悬液, 该供试菌株为本实验室来自贡盐矿区污染的植物根际土壤中分离获得的一批具有耐盐能力菌株, 经分离纯化保存备用。

菌液培养: LB 液体培养基按照 10 g/L NaCl、10 g/L 胰蛋白胨、5 g/L 酵母粉的配比比例进行制备(固体培养基需加入 15 g/L 的琼脂粉)。从-80℃冰箱中取出菌液进行活化培养后, 从试管中取百分之 0.1% 的培养液放入配置好的 20 mL LB 液体培养基中, 再在 30℃ 下进行振荡培养。培养好的新鲜培养菌液(20 mL)通过 4000 rpm 离心 15 min 收获; 沉淀悬浮于 20 ml 灭菌水中, 然后再次离心, 弃上清再用 20 mL 灭菌水悬浮并离心; 在灭菌水中稀释, 使用酶标仪测定菌液浓度  $OD_{600} = 0.3$  时作为浸种液备用。

### 2.2. 耐盐 PGPR 菌株特性

为了探究自贡盐矿区来源的耐盐 PGPR 对油菜种子萌发的促进作用, 选择前期已分离出的 ST29、ST38 两株耐盐菌作为试验菌株, 两株菌均为假单胞菌属成员, 其 16S rRNA 基因序列一致性为 97.2%, ST29 菌株的温度适应范围为 10℃~40℃, 最适温度为 30℃, pH 范围为 5~8; ST38 菌株温度适应范围为 24℃~42℃, 最适温度为 28℃, pH 范围为 4.5~10, 两株菌的最适 pH 均为 7。此前已测定 ST29 具有溶磷、解钾、产铁载体和产 ACC 脱氨酶的能力, ST38 具有解钾和产 ACC 脱氨酶的能力(表 1)。

**Table 1.** Characteristics of salt-resistant PGPR

**表 1.** 耐盐 PGPR 的特性

编号	英文名称	中文名称	菌株特性
ST29	<i>Pseudomonas koreensis</i>	韩国假单胞菌	溶磷、解钾、产铁载体、产 ACC 脱氨酶
ST38	<i>Pseudomonas veronii</i>	维罗尼假单胞菌	解钾、产 ACC 脱氨酶

### 2.3. 试验方法

探选取大小相同、形状均一的油菜种子, 先用 75% 乙醇消毒 2 min, 用无菌水清洗 3 次, 然后用 0.1% 的  $HgCl_2$  溶液浸泡种子 10 min, 再用无菌水连续冲洗 5 次。把消毒后的油菜种子浸泡在制备好的耐盐假单胞菌悬液中(以灭菌水作为对照), 于 100 rpm 的摇床上放置 1 h, 然后在无菌条件下干燥备用。将制备好的带菌种子和不带菌种子按照一定的规律平铺在铺有五层无菌滤纸的培养皿上( $d = 90$  mm)。在铺种之前, 向铺有滤纸的平板中倒入等量不同浓度的 NaCl 溶液(0、50、100 和 200 mmol/L), 直至在滤纸表面有一层水膜的形成。每个处理做 3 组重复, 每个培养皿中整齐平铺 50 粒油菜种子。所有培养皿在温度  $25 \pm 2^\circ C$ , 光周期 14/10 (光/暗), 相对湿度 60% 的温室中培养。

## 2.4. 测定及记录标准

盐胁迫处理后, 每 24 h 记录 1 次油菜种子的萌发数(胚根突破种皮即视为种子萌发)。3 d 后统计种子发芽势, 7 d 后统计种子发芽率。7 d 试验结束后, 随机取 8 株幼苗, 测胚芽长、胚根长并计算发芽指数。

发芽率:  $(GP) = (Gt/T) \times 100\%$  (1)

式中: T 是每个培养皿中种子的总数; Gt 是种子萌发最后一天即第 7 d 种子萌发数。

发芽势为第三天(油菜种子发芽高峰期)的发芽率。

发芽指数:  $(GI) = \sum Gt / Dt$  (2)

式中: Gt 是种子萌发试验期内每天记录的种子萌发数; Dt 是种子萌发的天数。

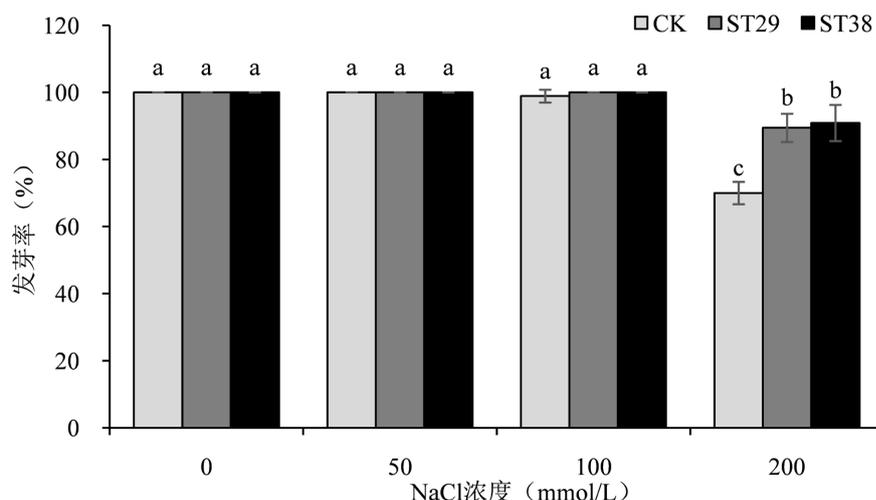
## 2.5. 数据处理

利用 SPSS 25.0 软件进行方差分析与多重比较, 用 Microsoft 365MSO 进行数据处理和图表绘制。

## 3. 结论与分析

### 3.1. 两株耐盐假单胞菌对油菜种子发芽率的影响

在 0、50 和 100 mmol/L 的 NaCl 浓度下, 对照组和接种两株耐盐假单胞菌的处理组之间没有显著性差异, 且发芽率均接近或等于 100%。在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时, 接种 ST29 和接种 ST38 的油菜种子发芽率显著高于对照组的发芽率, 且分别接种了 ST29 和 ST38 的两种处理之间的发芽率没有显著性差异, 但 ST38 菌液浸种的油菜发芽率稍微高于 ST29 的发芽率(图 1)。



注: 不同小写字母表示不同处理组之间油菜种子发芽率差异显著。ST29: 韩国假单胞菌 (*Pseudomonas koreensis*); ST38: 维罗尼假单胞菌 (*Pseudomonas veronii*)

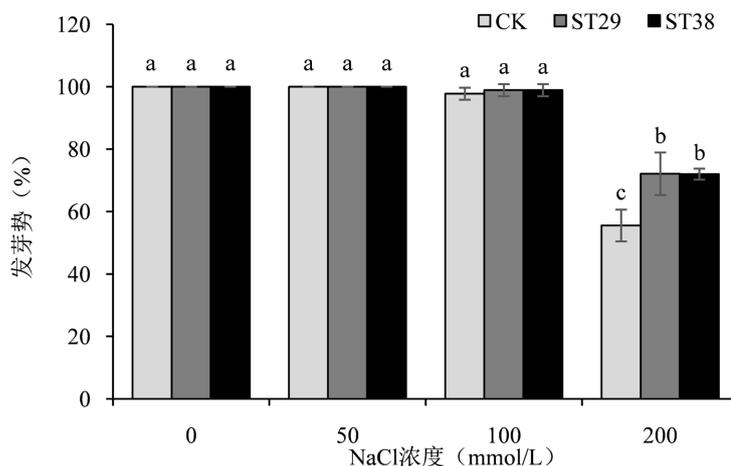
**Figure 1.** Effect of two strains of salt-tolerant *Pseudomonas aeruginosa* on the germination rate of oil seed rape at different NaCl concentrations

**图 1.** 不同 NaCl 浓度下两株耐盐假单胞菌对油菜发芽率的影响

### 3.2. 两株耐盐假单胞菌对油菜种子发芽势的影响

在 NaCl 浓度为 0、50 和 100 mmol/L 时各处理组之间油菜种子的发芽势无显著性差异, 且均接近或等于 100%。在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时最低且显著低于其他三种浓度 NaCl 胁迫下的发芽势 ( $P < 0.05$ ), 分别接种了 ST29 和 ST38 的油菜种子发芽势显著高于 CK, 且分别了接种 ST29 和 ST38 两种处理之间的

发芽势没有差异(图 2)。

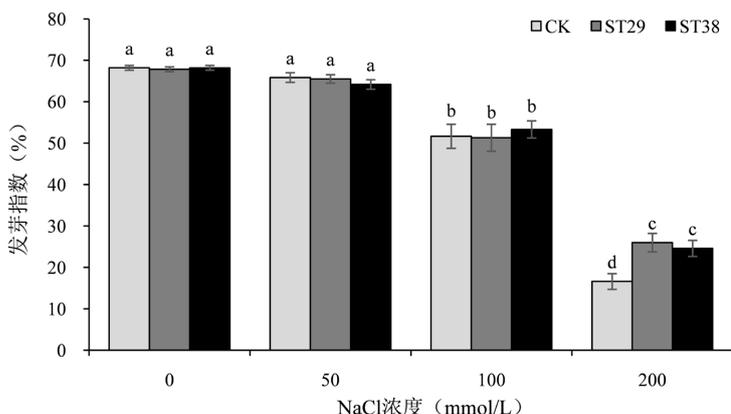


**Figure 2.** Effect of two strains of salt-tolerant *Pseudomonas aeruginosa* on the germination potential of oil seed rape at different NaCl concentrations

**图 2.** 不同 NaCl 浓度下两株耐盐假单胞菌对油菜发芽势的影响

### 3.3. 两株耐盐假单胞菌对油菜种子发芽指数的影响

在不同浓度 NaCl 胁迫下接种两株耐盐假单胞菌对于油菜种子的发芽指数均有显著影响( $P < 0.05$ )。油菜种子的发芽指数随着 NaCl 浓度的升高呈现下降的趋势, 在 200 mmol/L NaCl 浓度下最低且显著低于其他浓度的 NaCl 处理( $P < 0.05$ ), 在 0 mmol/L NaCl 浓度处理下最高。在 0、50 和 100 mmol/L NaCl 浓度下接种两株耐盐假单胞菌对油菜发芽指数作用不明显, 但在 200 mmol/L NaCl 浓度下, 接种 ST29 和接种 ST38 的油菜种子发芽指数显著高于对照, 且接种两种不同耐盐假单胞菌株处理之间没有显著差异(图 3)。



**Figure 3.** Effect of two strains of salt-tolerant *Pseudomonas aeruginosa* on the germination index of oil seed rape at different NaCl concentrations

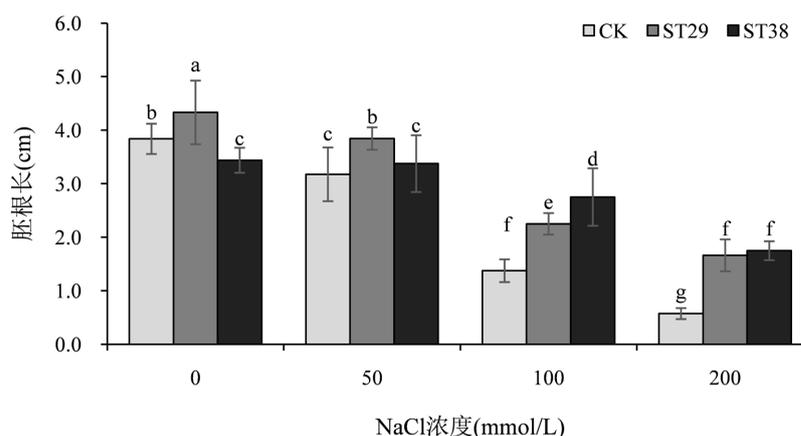
**图 3.** 不同 NaCl 浓度下两株耐盐假单胞菌对油菜发芽指数的影响

### 3.4. 两株耐盐假单胞菌对油菜种子胚根长和胚芽长的影响

在不同浓度 NaCl 胁迫下接种两株耐盐假单胞菌对于油菜种子的胚根长均有显著影响( $P < 0.05$ ) (图 4)。随着 NaCl 浓度的升高, 处理组和对照组的胚根长均呈现下降的趋势, 在 200 mmol/L NaCl 浓度处理下达到最低且显著低于其他处理( $P < 0.05$ )。在 0 和 50 mmol/L NaCl 浓度下接种 ST29 的油菜种子胚根长

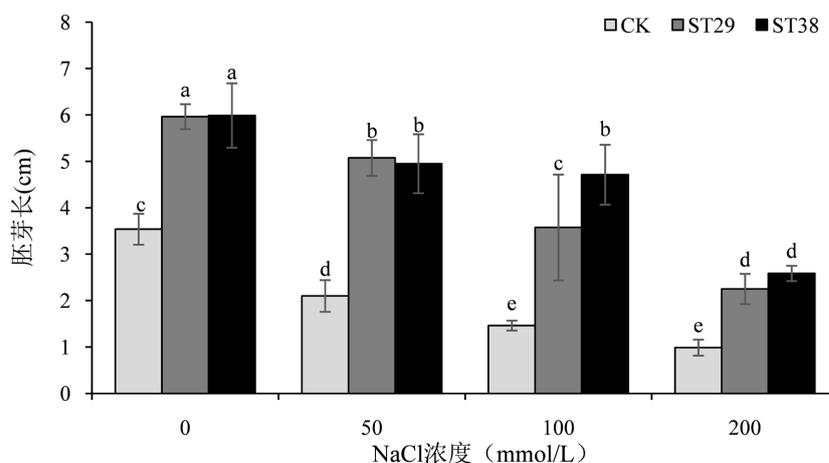
显著高于相同浓度下的其他处理组，在 100 和 200 mmol/L NaCl 浓度处理下接种 ST29 和 ST38 的油菜种子胚根长均显著高于对照组。与对照相比，经 ST29 和 ST38 菌液处理的油菜种子在 100 mmol/L NaCl 下的胚根长分别提高了 63.64 % 和 1 倍，而在 200 mmol/L NaCl 胁迫下，分别提高了 1.89 和 2.04 倍。其中 ST38 对油菜胚根的促进生长要高于 ST29 的促进作用，在 100 mmol/L NaCl 和 200 mmol/L NaCl 分别提高了 22.22 % 和 5.26 %。

在不同浓度 NaCl 胁迫下接种两株耐盐假单胞菌对于油菜种子的胚芽长也均有显著影响( $P < 0.05$ ) (图 5)。随着 NaCl 浓度的增加，油菜种的胚芽长均呈现下降的趋势，在 200 mmol/L NaCl 浓度处理下达到最低且显著低于其他处理( $P < 0.05$ )。在 0、50、100 和 200 mmol/L NaCl 浓度下，接种 ST29 和 ST38 的油菜种子胚芽长均显著高于对照组的胚芽长。在 100 mmol/L NaCl 浓度下，接种 ST29 和 ST38 处理组之间的油菜种子胚芽长有显著差异( $P < 0.05$ )。与对照相比，经 ST29 和 ST38 菌液处理的油菜种子在 100 mmol/L NaCl 下的胚芽长分别提高了 1.44 和 2.22 倍，在 200 mmol/L NaCl，分别提高了 1.28 和 1.62 倍。其中 ST38 对油菜胚芽的促进生长要高于 ST29 的促进作用，在 100 mmol/L NaCl 和 200 mmol/L NaCl 分别提高了 31.83 % 和 15.02 %。



**Figure 4.** Effect of two strains of salt-tolerant *Pseudomonas aeruginosa* on the embryonic root length of rapeseed at different NaCl concentrations

**图 4.** 不同 NaCl 浓度下两株耐盐假单胞菌对油菜胚根长的影响



**Figure 5.** Effect of two strains of salt-tolerant *Pseudomonas aeruginosa* on the germ length of rapeseed at different NaCl concentrations

**图 5.** 不同 NaCl 浓度下两株耐盐假单胞菌对油菜胚芽长的影响

## 4. 讨论与结论

### 4.1. 讨论

种子萌发阶段是植物生长发育的敏感阶段之一,是决定植物在盐胁迫下生存的关键时期[10] [11] [12] [13]。研究表明,接种耐盐 PGPR 可以通过自身的潜在促生特性提高植物的抗逆性能从而促进植物的生长。巨亚雯等[20]发现接种根际促生菌可以提高醉马草种子在 100 和 150 mmol/L NaCl 浓度处理下的发芽势、发芽率、胚根长等。沙月霞等[21]发现在 0%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%、0.30%、0.35% NaCl 溶液模拟盐胁迫下均会抑制宁粳 61 号水稻种子萌发,盐浓度越高抑制越明显,然而在采用嗜碱假单胞菌 Ej2 发酵液浸种后可以提高盐胁迫下的水稻种子萌发率,促进率在 5% 以上。这与本研究两株假单胞菌在盐胁迫下促进种子萌发的研究结果相同。

#### 4.1.1. 两株耐盐假单胞菌对油菜种子萌发的影响

高佩等[22]从青海野生中国沙棘根际土中分离出三株能高效的解有机磷、解无机磷和解钾的假单胞菌,测定其能力显示分别能溶解有机磷半径为 13.71 mm,溶解无机磷半径为 7.62 mm,解钾率为 14.33  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。这与本研究的前期研究结果一致,韩国假单胞菌(*Pseudomonas koreensis*)具有溶磷和解钾的能力,维罗尼假单胞菌(*Pseudomonas veronii*)具有解钾的能力。傅蕾等[23]研究发现接种 *Pantoea* sp. PP04 可以提高杂交狼尾草种子在 100 和 200 mmol/L NaCl 浓度下的发芽率和发芽指数。本研究也发现,在 200 mmol/L NaCl 浓度处理下,接种两株假单胞菌的油菜种子相比于对照组,其发芽势和发芽率均具有显著提高,在 100 和 200 mmol/L NaCl 浓度处理下处理组的油菜种子相较于对照组其发芽指数具有显著的提高,这说明了耐盐假单胞菌能在不同浓度 NaCl 胁迫下促进油菜种子的萌发。

#### 4.1.2. 两株耐盐假单胞菌对油菜种子胚根长和胚芽长的影响

尤红等[24]发现具有产 ACC 脱氨酶、固氮、产铁载体等能力的假单胞菌属细菌 DS3T3 能够促进丹参次生代谢物的合成,使用该菌株处理丹参后,其毛状根干重与对照相比增加 16.22%。冯健茹等[25]发现栖稻假单胞菌 NYCS1-5 同时具有溶磷、解钾和产 IAA 的能力并且该菌耐盐范围可达 7%,在 100mmol/L NaCl 浓度盐胁迫下接种栖稻假单胞菌 NYCS1-5 使玉米的生理株高和根长相较于对照组分别提高了 21.36% 和 16.64%。本研究发现,接种具有溶磷、解钾、产铁载体和产 ACC 脱氨酶能力的韩国假单胞菌 (*Pseudomonas koreensis*)显著提高了在不同浓度 NaCl 胁迫下的胚芽长和胚根长;接种具有解钾和产 ACC 脱氨酶能力的维罗尼假单胞菌(*Pseudomonas veronii*)在不同浓度 NaCl 胁迫下显著提高了油菜的胚芽长,在 100 和 200 mmol/L NaCl 浓度下显著提高了油菜的胚根长。结果说明两株耐盐假单胞菌因其自身的潜在促生能力能够显著提高油菜的胚根长和胚芽长。

### 4.2. 结论

本研究在不同浓度的 NaCl 胁迫下,利用两株具有潜在促生能力的耐盐假单胞菌处理油菜种子。结果表明,在不同浓度 NaCl 胁迫下,油菜种子的发芽势、发芽率、发芽指数、胚根长和胚芽长均随着 NaCl 浓度的升高呈现下降的趋势。但分别接种两株耐盐假单胞菌后,每株假单胞菌对油菜种子的发芽势、发芽率、发芽指数、胚根长和胚芽长均具有显著( $P < 0.05$ )的促进作用,其中在每个不同浓度 NaCl 胁迫下的胚根长和胚芽长表现最为明显,尤其在高盐胁迫下(200 mmol/L NaCl)油菜的发芽势、发芽率和发芽指数效果最好,这说明了植物根际耐盐促生菌韩国假单胞菌和维罗尼假单胞菌能够提高油菜在盐胁迫下的萌发能力和协助油菜萌发时的抗逆促生能力。

### 基金项目

大学生创新创业训练计划项目(202210619028)。

## 参考文献

- [1] 向雪纯, 张云玲, 李培英, 等. 4种藜科植物萌发期耐盐性[J]. 草业科学, 2022, 39(10): 2151-2159.
- [2] 王晨昊. 自贡盐矿区土壤理化指标、微生物量和多样性研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 四川农业大学, 2010.
- [3] Sardo, V. and Hamdy, A. (2005) Halophytes-A Previous Resource. In: Hamdy, A., El Gamal, F., Lamaddalena, N., Bogliotti, C. and Guelloubi, R., Eds., Non-Conventional Water Use: WASAMED Project, CIHEAM /EU DG Research, Bari, 119-128.
- [4] Kosová, K., Vítámvás, P.A., Urban, A.M.O., *et al.* (2013) Plant Proteome Responses to Salinity Stress—Comparison of Glycol Phytes and Halophytes. *Functional Plant Biology*, **40**, 775-786. <https://doi.org/10.1071/FP12375>
- [5] Anik, A.R. and Ranjan, R. (2018) Estimating the Impact of Salinity Stress on Livelihood Choices and Incomes in Rural Bangladesh. *Journal of International Development*, **30**, 1414-1438. <https://doi.org/10.1002/jid.3364>
- [6] Ramadoss, D., Lakkineni, V.K., Bosep, A.S., *et al.* (2013) Mitigation of Salt Stress in Wheat Seedlings by Halotolerant Bacteria Isolated from Saline Habitats. *SpringerPlus*, **2**, Article No. 6. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-6>
- [7] 王汉中. 我国油菜产业发展的历史回顾与展望[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(2): 300-302.
- [8] 刘成, 冯中朝, 肖唐华, 等. 我国油菜产业发展现状、潜力及对策[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(4): 485-489.
- [9] 龙卫华. 油菜发芽期耐盐评价、筛选与盐胁迫下根转录组分析[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- [10] Koffler, B.E., Luschin-Ebengreuth, N. and Zechmann, B. (2015) Compartment Specific Changes of the Antioxidative Status in *Arabidopsis thaliana* during Salt Stress. *Journal of Plant Biology*, **58**, 8-16. <https://doi.org/10.1007/s12374-014-0264-1>
- [11] Buy, Y., Kou, J., Sun, B., *et al.* (2015) Adverse Effect of Urease on Salt Stress during Seed Germination in *Arabidopsis thaliana*. *FEBS Letters*, **589**, 1308-1313. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2015.04.016>
- [12] Hussain, S., Morillon, R., Anjum, M.A., *et al.* (2015) Genetic Diversity Revealed by Physiological Behavior of Citrus Genotypes Subjected to Salt Stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, **37**, Article No. 1740. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1740-4>
- [13] Long, W.H., Zou, X.L. and Zhang, X.K. (2015) Transcriptome Analysis of Canola (*Brassica napus*) under Salt Stress at the Germination Stage. *PLOS ONE*, **10**, e0116217. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116217>
- [14] 康贻军, 程洁, 梅丽娟, 等. 植物根际促生菌作用机制研究进展[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1): 232-238.
- [15] Habibi, S., Djedidi, S., Prongjunthuek, K., *et al.* (2014) Physiological and Genetic Characterization of Rice Nitrogen Fixer PGPR Isolated from Rhizosphere Soils of Different Crops. *Plant and Soil*, **379**, 51-66. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2035-7>
- [16] Hassan, E., Hossein, M., Hossein, A., *et al.* (2014) Bacterial Biosynthesis of 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate (ACC) Deaminase and Indole-3-Acetic Acid (IAA) as Endophytic Preferential Selection Traits by Rice Plant Seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, **33**, 654-670. <https://doi.org/10.1007/s00344-014-9415-3>
- [17] Pereira, S. and Castro, P. (2014) Phosphate-Solubilizing Rhizobacteria Enhance Zea mays Growth in Agricultural P-Deficient Soils. *Ecological Engineering*, **73**, 526-535. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.060>
- [18] Dillfuza, E. (2009) Alleviation of Salt Stress by Plant Growth Regulators and IAA Producing Bacteria in Wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, **31**, 861-864. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0297-0>
- [19] Penrose, D.M. and Glick, B.R. (2002) Methods for Isolating and Characterizing ACC Deaminase Containing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *Physiologia Plantarum*, **118**, 10-15. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2003.00086.x>
- [20] 巨亚雯, 陈亚丽, 徐蓬等. 盐胁迫下根际促生菌对醉马草种子萌发的影响[J]. 草业科学, 2023, 40(2): 419-426.
- [21] 沙月霞, 宋双, 黄泽阳, 等. 假单胞菌浸种对盐胁迫下水稻种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 宁夏农林科技, 2022, 63(2): 4-10.
- [22] 高佩, 郭佳慧, 何永超, 等. 中国沙棘根际四株假单胞菌的分离、鉴定及促生能力的比较[J]. 北方园艺, 2023(1): 69-75.
- [23] 傅蕾, 李霞, 高璐, 等. 盐胁迫下泛菌属内生细菌对杂交狼尾草发芽及生理的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(10): 2099-2108.
- [24] 尤红, 普倩, 文芳, 等. ACC脱氨酶菌株的分离筛选及对丹参毛状根的影响[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版), 2017, 37(5): 720-726.
- [25] 冯健茹, 俄文慧, 朱秀玲, 等. 一株栖稻假单胞菌 NYCS1-5 的鉴定及其对玉米的耐盐促生功能[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2021, 52(5): 723-730.