DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2026.0275

一株耐盐促生菌 SX2 的分离鉴定及应用

杨政伟[1],郭宇辰[2],李正男[2],张　磊[2],孙平平[2]

(1.鄂尔多斯市农牧业科学研究院　内蒙古鄂尔多斯　017200;　2.内蒙古农业大学园艺与植物保护学院　呼和浩特　010018)

摘　要:植物根际促生菌在促进作物生长及提高非生物胁迫能力方面具有重要作用。本文从陕西矿场土壤样品中分离获得一株耐盐促生菌株 SX2,该菌株可在 12% NaCl 培养基上生长,具有固氮、溶有机磷、络合铁等多重促生功能。以不加菌 LB 液体培养基为对照(CK),菌株 SX2 在 pH 5.0~9.0 条件下能够正常生长,在含 0.5%NaCl 条件下能够显著促进甜瓜种子的萌发。盆栽试验表明,和 CK 相比,SX2 处理可显著提高甜瓜和辣椒的生长指标及耐盐碱能力:非胁迫下甜瓜株高和茎粗分别提高 31.74%和 13.01%,盐碱胁迫下分别显著提高 46.58%和 21.32%;辣椒幼苗鲜质量和干质量在非胁迫下分别显著增加 45.51%和 45.07%,盐碱胁迫下分别显著增加 71.47%和 60.56%。SX2 与模式菌株 WS40 的 OrthoANI 值为 96.43%,形态学观察及 16S rRNA 与全基因组序列分析鉴定结果表明,菌株 SX2 为指示性寡养单胞菌(*Stenotrophomonas indicatrix*)。全基因组测序显示,SX2 基因组大小为 4 502 727 bp,GC 含量为 66.31%,共预测 4010 个基因。功能注释分析揭示该菌株富含转录、信号转导及细胞壁/膜生物发生相关基因。本研究结果为开发高效耐盐微生物菌剂提供了优良菌株资源及技术支撑。

关键词:甜瓜;辣椒;指示性寡养单胞菌;全基因组测序

中图分类号:S652+S641.3　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1673-2871(2026)10-223-08

Isolation, identification, and application of SX2, with salt-tolerance and growth-promoting activity

Yang Zhengwei[1], Guo Yuchen[2], Li Zhengnan[2], Zhang Lei[2], Sun Pingping[2]

(*1. Ordos Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Ordos 017200, Inner Mongolia, China; 2. College of Horticulture and Plant Protection, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, Inner Mongolia, China*)

Abstract: Plant growth-promoting rhizobacteria(PGPR)play an important role in promoting crop growth and enhancing tolerance to abiotic stress. In this study, a salt-tolerant PGPR SX2 was isolated from soil samples collected from a mining site in Shaanxi province. The strain exhibited growth on medium containing 12% NaCl and possessed multiple plant growth-promoting functions, including nitrogen fixation, organic phosphorus solubilization, and siderophore production. The LB liquid medium without SX2 was used as the control(CK), the strain SX2 demonstrated optimal growth at 5.0-9.0 of pH. Pot experiments revealed that, compared to CK, SX2 treatment significantly enhanced the growth and salt stress tolerance of melon and pepper plants: Under non-stress conditions, melon plant height and stem diameter increased by 31.74% and 13.01%, respectively; while under salt-alkali stress, these parameters significantly increased by 46.58% and 21.32%, respectively. For pepper, both fresh and dry mass significantly increased by 45.51% and 45.07% under non-stress conditions, and by 71.47% and 60.56%, respectively under salt stress. Morphological observation combined with 16S rRNA and whole-genome sequencing analysis identified strain SX2 as *Stenotrophomonas indicatrix*, with an OrthoANI value of 96.43% compared to the type strain WS40. Whole-genome sequencing revealed a genome size of 4 502 727 bp, GC content of 66.31%, and 4010 predicted genes. Functional annotation indicated enrichment of genes related to transcription, signal transduction, and cell wall/membrane bio-genesis. The results of this study provide a promising bacterial resource and technical support for developing efficient salt-tolerant microbial agents.

Key words: Melon; Pepper; *Stenotrophomonas indicatrix*; Whole-genome sequencing

收稿日期:2026-04-04;**修回日期:**2026-05-26

基金项目:内蒙古鄂尔多斯市重点研发计划项目(YF20250258);内蒙古自治区自然科学基金(2024MS03056);青年科技英才支持项目(NJYT23079);内蒙古自治区直属高校基本科研业务费(BR230128);内蒙古自治区现代农牧业产业技术体系(IMAHRS-15)

作者简介:杨政伟,男,正高级农艺师,研究方向为种子工程。E-mail:864663736@qq.com

通信作者:孙平平,女,副教授,研究方向为园艺作物病害防控及促生微生物资源发掘。E-mail:sunpingping@imau.edu.cn

随着现代农业的集中化生产，化学肥料的长期施用，加之灌溉不当及气候因素影响，导致农业生产成本增加，土壤盐碱化等问题凸显，严重威胁农业可持续发展[1]。辣椒和甜瓜作为全球广泛种植的经济作物，对农业增收至关重要，然而这两种作物对盐分胁迫较为敏感，盐碱土壤会显著抑制其种子萌发、幼苗发育及果实形成，已成为限制其高效生产的关键因素之一[2-3]。

植物根际促生菌（plant-growth promoting rhizobacteria，PGPR）是一类在植物根系土壤中生长繁殖的微生物，这些微生物大多数拥有适应各种生物和非生物胁迫的能力，PGPR 通过改善土壤环境，间接或直接促进植物生长，并在植物抗逆中起媒介作用[4-5]。PGPR 能够通过合成植物激素，或通过生物固氮、溶磷和解钾等途径，提高植物对土壤矿物质营养的吸收效率，从而减轻胁迫对植物的伤害，并直接促进植物生长[6]。在盐胁迫下，通过接种 PGPR，可以激发植物的生长反应，并对其代谢途径产生影响，从而提升植物对盐分胁迫的适应性和抵抗力[7]。

利用 PGPR 提升辣椒和甜瓜的耐盐性与生长性能已成为一个重要的研究方向。目前，已有研究表明，芽孢杆菌属、假单胞菌属等 PGPR 菌株对作物的促生、增产及诱导抗盐性具有积极效果[8-10]。然而，这些研究大多侧重于单一促生特性（如仅溶磷或仅产激素）或仅在理想条件下的评估，而在模拟实际田间的盐碱胁迫环境中，能够同步发挥促生、耐盐碱多重功能的 PGPR 菌株对辣椒和甜瓜的系统促生效应与机制研究仍较为匮乏。

目前，具有多重环境适应与促生潜力的寡养单胞菌属在辣椒和甜瓜上的应用研究及其在盐碱逆境中的综合促生潜力还未见报道。因此，本研究旨在系统评价一株筛选自矿区生境的寡养单胞菌株，在模拟盐碱胁迫条件下，探究其对辣椒和甜瓜的促生效果，以期为开发适用于盐渍化地区的作物专用多功能微生物接种剂提供新的菌种资源和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 *土壤样品采集* 土壤样品于 2023 年 8 月采自陕西渭南下峪口矿场长势良好的植物根际，采集样品时去除地表 5 cm 土层，用土壤采样器取 25 cm 以内土壤样品，混合均匀后置于牛皮纸袋中密封、编号，置于 4 ℃环境中保存备用。

1.1.2 *主要培养基和试剂* LB 培养基：蛋白胨 10.0 g，酵母粉 5.0 g，氯化钠 2.0 g，蒸馏水 1000 mL，pH 为 7.0（固体培养基 LBA 添加琼脂粉 18.0 g）。蒙金娜有机磷培养基：葡萄糖 10.0 g，NaCl 0.3 g，KCl 0.3 g，$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.03 g，$(NH_4)_2SO_4$ 0.5 g，$MnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.03 g，$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.3 g，卵磷脂 0.2 g，$CaCO_3$ 5 g，酵母膏 0.4 g，蒸馏水 1 L，pH 为 7.0~7.5。Ashby 固氮培养基：KH_2PO_4 0.2 g，NaCl 0.2 g，$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2 g，$K_2SO_4 \cdot 2H_2O$ 0.2 g，$CaCO_3$ 5.0 g，葡萄糖 5.0 g，甘露醇 5.0 g，pH 为 7.0。CAS 固体培养基购自北京酷来搏科技有限公司（PM0821）。

1.1.3 *植物材料* 供试甜瓜品种辉煌和辣椒品种甜灯笼种子均购买自当地育苗市场。

1.2 耐盐菌株分离及溶磷、固氮和耐酸碱能力测定

1.2.1 *耐盐菌株分离* 采用逐级稀释法分离土壤样品中的细菌，利用含 12% NaCl 的 LBA 培养基筛选耐盐菌。称取土样 10 g，溶于 90 mL 无菌水中，加入无菌玻璃珠，150 $r \cdot min^{-1}$ 摇床上振荡 30 min，制成土壤悬浮液，用梯度稀释法稀释至 10^{-4}~10^{-1} 倍，分别取 100 μL 稀释液涂于含 12% NaCl（质量分数）的 LBA 培养基上，28 ℃ 培养 2 d，记录菌株生长情况，然后挑取单个菌落在 LBA 培养基上进行纯化和培养。

1.2.2 *促生能力筛选* 将分离纯化的菌株分别点接于 Ashby 固氮培养基（固氮）、蒙金娜有机磷培养基（溶磷）和 CAS 培养基（络合铁）上，28 ℃ 培养 7~10 d，观察是否形成生长圈。测量透明圈直径（*D*）与菌落直径（*d*），计算 *D*/*d* 值以评价固氮、溶磷与络合铁的能力。

1.2.3 *耐酸碱能力* 在 250 mL 三角瓶中各装 100 mL 的 LB 液体培养基，用 HCl 和 NaOH 溶液调节培养基的初始 pH，将 pH 分别设为 3、4、5、6、7、8、9、10、11，接种筛选菌株 100 μL，28 ℃ 培养 72 h 后采用紫外分光光度计测定 OD_{600}，以无菌水调 0，评价分离菌株对不同 pH 的耐受度。

1.3 筛选菌株对甜瓜种子的耐盐及萌发能力测定

将通过以上方法筛选出的菌株 SX2 转入 LB 液体培养基中，28 ℃、180 $r \cdot min^{-1}$ 培养 48 h，调整 OD_{600} 至 1.0，制成菌悬液（约 10^8 $CFU \cdot mL^{-1}$）。选择颗粒饱满、种皮完整的甜瓜种子，用 75%的乙醇浸泡 5 min 进行消毒，无菌水冲洗 5 次。选取清洗好的甜瓜种子放入 SX2 菌悬液（处理）或不加菌的 LB 液体培养基（CK）中浸泡 24 h，催芽备用。

在直径 9 cm 的培养皿中铺上 3 层无菌滤纸，滴入含 0.5% NaCl 的无菌水浸湿滤纸，选催芽处理的甜瓜种子放入培养皿中。每皿放置 20 粒种子，每个处理重复 6 皿。处理后的培养皿放置于温度 25 ℃、湿度 75%、12 h 光照/12 h 黑暗的光照培养箱中培养。观察甜瓜长势，记录发芽情况，并及时补充无菌水，保持滤纸湿润。10 d 后测定甜瓜的发芽率和根长。

1.4　菌株SX2对甜瓜和辣椒的盆栽促生和耐盐碱能力测定

盆栽促生试验于 2024 年 6 月在内蒙古农业大学植物病原及病害防控实验室进行。按照 1.3 方法准备 SX2 发酵液。将催芽后的甜瓜和辣椒播种在细沙和蛭石（质量比 1∶2）混合的苗钵中，待种子破土发芽后移栽。活体测定共分成 4 个处理：CK、SX2、CK+盐碱、SX2+盐碱。其中的 SX2 处理分别在出芽和 14 d 每盆加入 50 mL SX2 菌液，对照处理在同一时间加入等量的 LB 液体培养基，盐碱处理为将 NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$ 按照质量比 1∶2∶1 配置模拟盐碱条件，在移栽后 2 周灌入盆中，使终浓度达到 150 mmol·L^{-1}。不同处理的盆栽放置温室中 25 ℃培养，30 d 后将植株从盆中移出，采用直尺和游标卡尺测量株高、茎粗，冲洗干净后自然晾干，称量鲜质量，105 ℃烘箱杀青 10 min，再于 60 ℃烘干至恒质量，称量植株干质量。

1.5　菌株鉴定

1.5.1　*形态特征鉴定*　将菌株 SX2 接种于 LBA 培养基上，28 ℃下黑暗培养 2 d，观察菌株的菌落形态。挑取少量菌体利用扫描电镜（SU8100 扫描电子显微镜，日本日立公司）观察菌体形态，观察 3~5 个视野，测量菌体大小。

1.5.2　*全基因组序列鉴定*　将菌株接种于 LB 液体培养基，置于 180 r·min^{-1} 摇床上，28 ℃振荡培养 24 h，取 1 mL 菌液 10 000 r·min^{-1} 离心 1 min，用 Ezup 柱式细菌基因组 DNA 抽提试剂盒提取细菌总 DNA。采用 Illumina +PacBio 对全基因序列进行测定，组装的基因序列采用 Type Strain Genome Server 在线服务（https://tygs.dsmz.de）中的基因组比对距离进化法（genome BLAST distance phylogeny approach，GBDP）计算基因组之间的进化距离，利用得到的基因组间最小进化距离，采用 FASTME 2.1.6.1 构建本试验筛选菌株与这 10 株菌株的 16S rRNA 和全基因序列系统发育进化树[11]，每个分支的数字表示 1000 次自展（bootstrap 检验）的置信率。

1.6　数据分析

采用 Excel 2000 对数据进行整理和作图，利用 SPSS 25.0 软件进行单因素方差分析，采用 Duncan's 进行多重比较（P<0.05）。

2　结果与分析

2.1　菌株分离、皿内促生活性及耐酸碱特性

用梯度稀释法结合含 12%NaCl 的 LBA 平板从土壤样品中分离耐盐细菌，利用 Ashby 固氮培养基、蒙金娜有机磷培养基、CAS 培养基对分离菌株的固氮、溶磷和络合铁活性进行测定，并测定其在不同 pH 下的生长状况，结果表明，从陕西矿场分离筛选获得 1 株能在 12% NaCl 培养基上生长、具有固氮（D/d=1.65）、溶有机磷（D/d=1.41）、络合铁（D/d=1.85）活性的菌株（图 1- A~C），命名为 SX2，该菌株可以在 pH 5.0~9.0 的培养条件正常生长（图 1-D）。

2.2　SX2对甜瓜种子萌发及耐盐能力的测定

观察 SX2 菌液处理甜瓜种子在含盐条件下的萌发状况，结果表明，SX2 处理能够显著提高甜瓜种子的耐盐能力。在含 0.5%的 NaCl 模拟盐条件下，对照发芽率为 67.0%，SX2 处理为 78.0%，幼苗

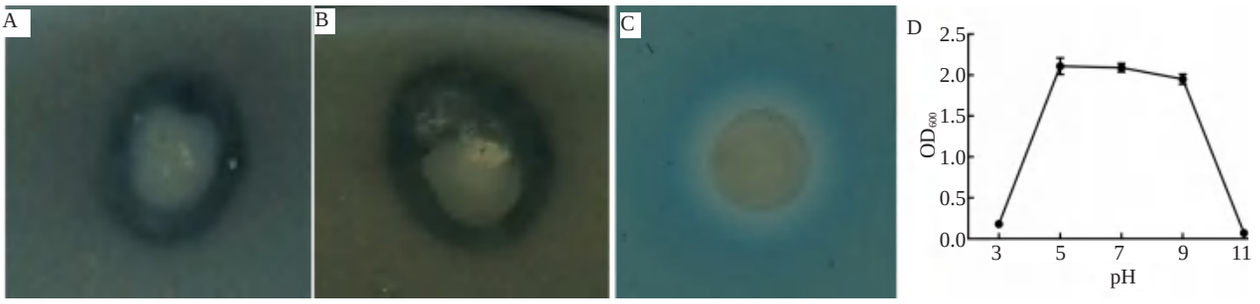


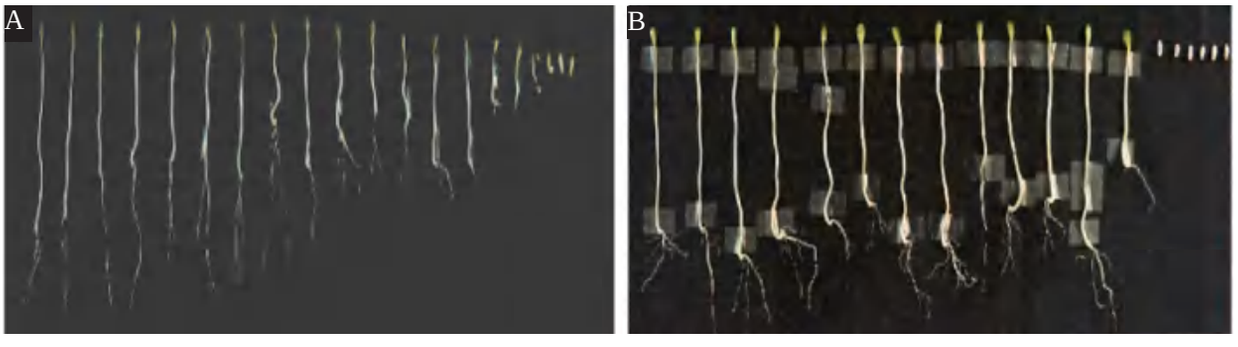
图 1　SX2 在 Ashby 固氮培养基（A）、蒙金娜有机磷培养基（B）、CAS 络合铁培养基（C），以及不同 pH 条件下（D）的生长状况

Fig. 1　Growth status of SX2 on Ashby nitrogen-fixing medium（A）, Menkina phosphate-solubilizing medium（B）, CAS assay medium（C）, and different pH conditions（D）

总长、根长和平均须根数在接种 SX2 后与 CK 相比分别显著提高了 19.55%、9.48%和 1.97%（图 2，表 1）。以上结果说明，利用 SX2 菌液对甜瓜进行催芽处理能够显著提高甜瓜种子的萌发能力。

2.3　SX2 对甜瓜和辣椒的盆栽促生及耐盐碱能力测定

由表 2 和图 3 可知，SX2 能够显著促进甜瓜和辣椒的生长及提高耐盐胁迫水平。SX2 处理能够增加甜瓜的株高和茎粗：非盐碱胁迫下甜瓜株高和茎粗较 CK 分别增加了 31.74%和 13.01%，在盐碱胁迫下 SX2 处理甜瓜的株高和茎粗分别显著提高了 46.58%和 21.32%。SX2 处理的辣椒在非盐碱胁迫条件下的株高和茎粗与 CK 相比无显著差异，但鲜质量和干质量较 CK 分别显著增加了 45.51%和 45.07%，同时盐碱胁迫下 SX2 能够显著促进辣椒的株高、茎粗、鲜质量和干质量增加，其中鲜质量和干质量分别增加了 71.47%和 60.56%。以上结果表明，菌株 SX2 对甜瓜和辣椒的生长和耐盐碱胁迫能力有显著的促进和提升效果。



注：A 为 CK+0.5%NaCl 处理，B 为 SX2+0.5%NaCl 处理。

Note: A. CK+0.5% NaCl treatment; B. SX2+0.5% NaCl treatment.

图 2　甜瓜种子在 SX2 处理 10 d 后的萌发情况

Fig. 2　Germination status of melon seeds after 10 days of SX2 treatment

表 1　SX2 处理对盐胁迫下甜瓜种子萌发的影响

Table 1　Effects of SX2 treatment on the germination of melon seed under salt stress

处理 Treatment	发芽率 Germination rate/%	芽总长 Total bud length/mm	根长 Root length/mm	平均须根数 Average number of fibrous roots
CK+0.5% NaCl	67.0±0.15 b	101.99±18.6 b	30.45±9.98 b	3.57±1.89 b
SX2+0.5% NaCl	78.0±0.08 a	121.30±21.9 a	39.93±9.43 a	5.54±1.87 a

注：同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2　SX2 处理对盆栽甜瓜和辣椒幼苗生长的影响

Table 2　Effects of SX2 on the growth of potted melon and pepper seedlings

材料 Material	处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g
甜瓜 Melon	CK	9.83±2.84 b	1.46±0.19 a		
	SX2	12.95±1.88 a	1.65±0.08 a		
	CK+盐碱胁迫 CK+ saline-alkali stress	8.03±2.33 b	1.36±0.20 b		
	SX2+盐碱胁迫 SX2+ saline-alkali stress	11.77±1.75 a	1.65±0.14 a		
辣椒 Pepper	CK	21.30±1.40 a	3.47±0.24 a	6.46±1.61 b	0.71±0.22 b
	SX2	21.50±3.00 a	3.31±0.42 a	9.40±0.71 a	1.03±0.31 a
	CK+盐碱胁迫 CK+ saline-alkali stress	20.38±1.44 b	3.17±0.13 b	6.24±0.92 b	0.71±0.09 b
	SX2+盐碱胁迫 SX2+ saline-alkali stress	22.37±1.57 a	3.57±0.47 a	10.70±1.63 a	1.14±0.22 a

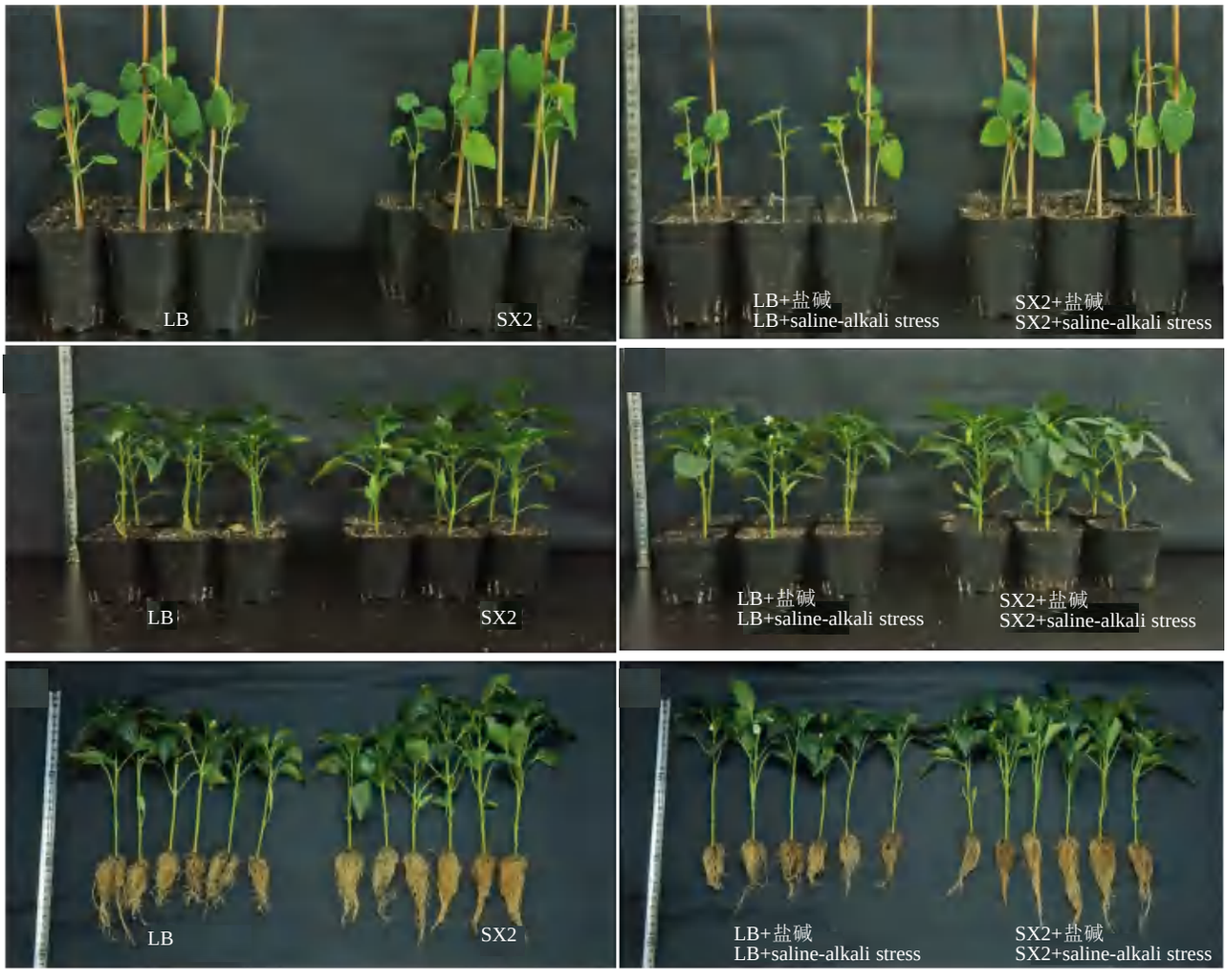


图 3　SX2 处理对盆栽甜瓜和辣椒的促生效果

Fig. 3　Promoting effect of SX2 treatment on potted melon and pepper

2.4　菌株SX2鉴定

2.4.1　*形态鉴定*　观察筛选的促生菌株 SX2 形态，结果如图 4 所示，菌株 SX2 在 LB 上呈棕黄色菌落，菌落表面扁平、湿润，菌落边缘光滑、整齐，为典



注：A 为 SX2 在 LBA 培养基的菌落特征；B 为扫描电镜观察菌体形态。

Note: A. The colony characteristics of SX2 on LBA medium; B. The cell morphology observed under scanning electron microscope.

图 4　菌株 SX2 皿内培养特征及扫描电镜形态

Fig. 4　Culture characteristics（plate）and scanning electron microscopy morphology of strain SX2

型的细菌菌落特性，扫描电镜结果表明，菌体为球状至短棒状，长 0.8~2.5 μm，宽 0.4~1.3 μm。

2.4.2　SX2 全基因序列鉴定　基于 16S rRNA 与全基因组序列构建的系统发育树显示，SX2 与指示性寡养单胞菌 *Stenotrophomonas indicatrix* WS40 聚为一支，置信度 100%（图 5）。

比较基因组学分析结果显示，菌株 SX2 与指示性寡单胞菌 *Stenotrophomonas indicatrix* WS40 的 OrthoANI 值为 96.43%，与其他菌株的 OrthoANI 值介于 83.90%~92.40%之间（表 3）。菌株 SX2 与 9 株菌株之间的 dDDH 值在 29.10%~76.00%之间，其中与 *Stenotrophomonas indicatrix* WS40 的 dDDH 值为 76.00%。由于菌株 SX2 与指示性寡单胞菌的 OrthoANI 值大于 95.00%，dDDH 值大于 75.00%，因此结合比较基因组、系统发育进化树以及形态特征，确定菌株 SX2 属于指示性寡单胞菌[12]。

2.5　SX2 的全基因序列注释及抗性基因预测

采用二代+三代 Illumina +PacBio 对细菌 SX2 的全基因组进行测序，结果表明，SX2 基因组序列的总长度为 4 502 727 bp，预测了 4010 个基因，GC 含量为 66.31%，预测的 tRNA 数量为 71，并且有 13 个 rRNA、4 个 16sRNA、45 个 sRNA、31 个看家基因、144 个串联重复序列（图 6）。

将 *S. indicatrix* SX2 基因组序列提交到 KEGG

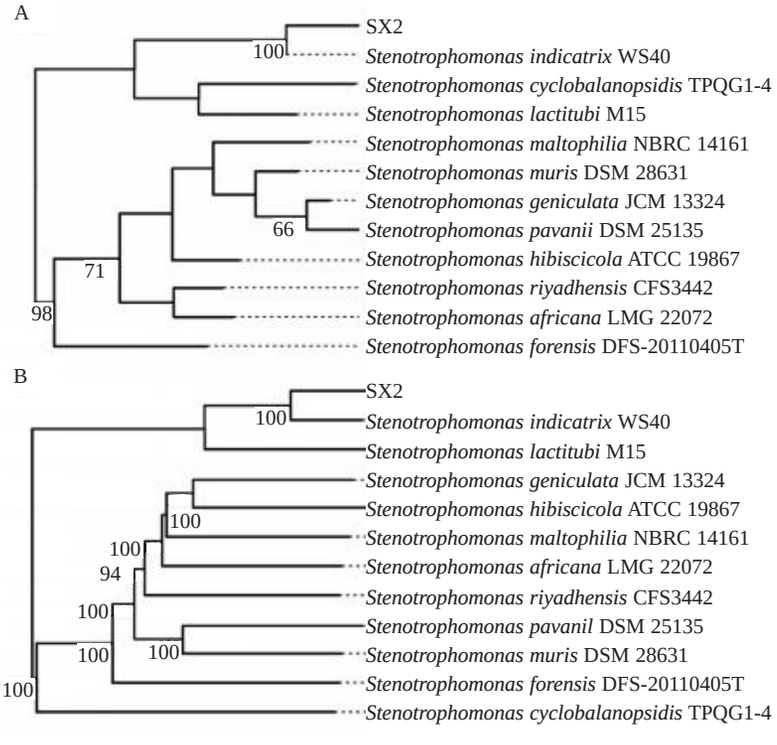


图 5　基于 16SrRNA（A）与全基因序列（B）构建的 SX2 进化树

Fig. 5　Phylogenetic tree of SX2 constructed based on 16S rRNA（A）and whole genome sequence（B）

表 3　10 株菌株全基因序列间的 dDDH、ANI 值

Table 3　dDDH and ANI value among the whole gene sequences of 10 strains　%

ANI＼dDDH	SX2	WS40	M15	NBRC 14161	LMG 22072	CFS3442	DSM 25135	DSM 28631	DFS-20110405T	TPQG1-4
SX2	*	76.00	58.80	33.30	29.10	31.80	34.70	32.10	61.80	31.80
WS40	96.43	*	71.50	29.80	28.70	32.00	34.90	31.20	56.30	31.90
M15	92.40	92.96	*	30.60	29.00	32.10	34.40	31.30	51.90	31.80
NBRC 14161	86.48	84.89	83.07	*	12.90	36.20	57.20	43.80	37.80	28.20
LMG 22072	83.90	83.27	83.52	0	*	39.80	12.90	12.90	37.10	12.90
CFS3442	87.08	86.99	86.91	65.07	66.28	*	59.00	20.40	43.20	28.30
DSM 25135	88.18	88.31	88.10	62.07	0	64.22	*	50.50	44.80	27.60
DSM 28631	86.52	86.25	85.66	90.36	57.26	73.39	70.96	*	40.10	23.00
DFS-20110405T	86.53	86.10	85.92	84.85	85.15	87.87	87.11	86.23	*	33.40
TPQG1-4	85.72	85.89	86.26	62.67	61.63	70.52	68.87	62.59	86.89	*

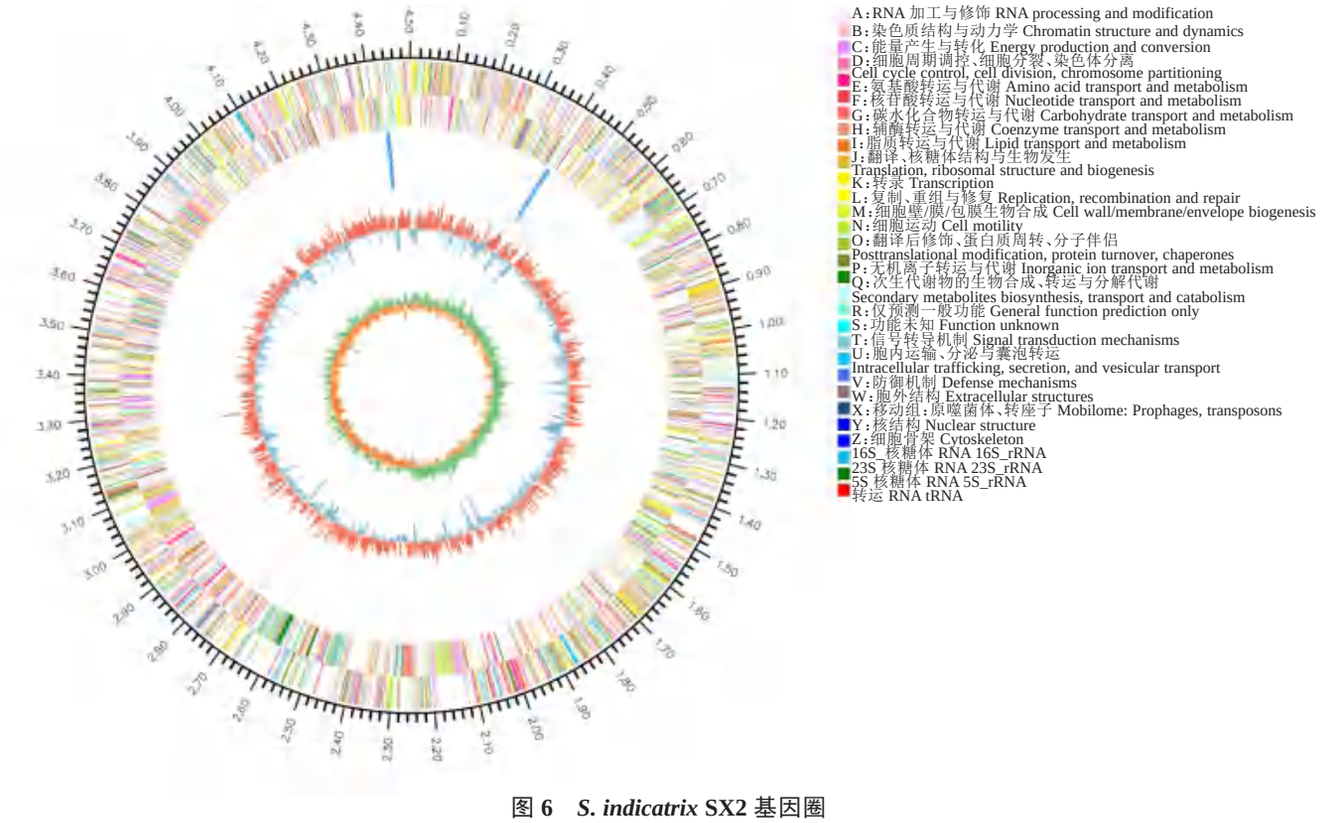


图 6　*S. indicatrix* SX2 基因圈

Fig. 6　Genomic locus of *S. indicatrix* SX2

数据库进行比较，结果如图 7 所示，基因组中有2925 个相应的基因，根据功能可分为 6 类：细胞过程（129 个相应基因）、环境信息处理（330 个相应基因）、遗传信息处理（193 个相应基因）、人类疾病

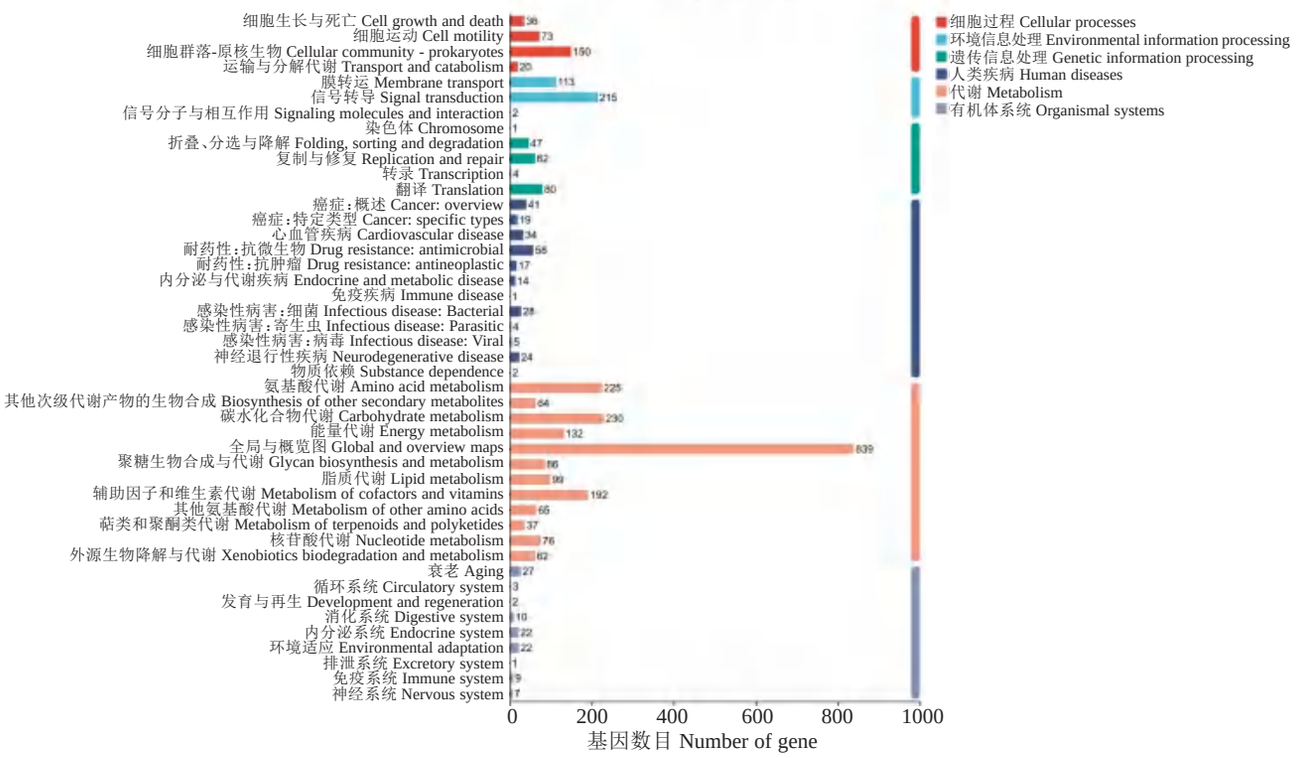


图 7　*S. indicatrix* SX2 基因组 KEGG 功能分类

Fig. 7　KEGG functional classification of *S. indicatrix* SX2 genome

（247 个相应基因）、代谢（2107 个相应基因）和生物系统（103 个相应基因）。

3 讨论与结论

笔者从陕西矿场土壤中分离获得的菌株 SX2 表现出较强的耐盐和促生能力，可在 12% NaCl 培养基上正常生长，同时 SX2 兼具固氮、溶磷和络合铁等多重促生功能，表明其在养分贫瘠的盐碱土壤中具有较大的生存竞争力和促生应用潜力。菌株 SX2 的耐酸碱范围为 pH 5.0~9.0，能够适应我国北方盐碱地普遍存在的碱性环境条件。种子萌发试验和盆栽试验结果证实，SX2 处理可显著提高甜瓜种子的耐盐萌发能力及促进幼苗根系发育，且在盐碱胁迫条件下的促生效果优于非胁迫条件，辣椒幼苗的鲜质量和干质量分别显著增加 71.47% 和 60.56%，提示该菌株可能存在宿主特异性促生机制，其在不同作物上的应用效果值得进一步探索。

基于 16S rRNA 和全基因组序列的系统发育分析，将菌株 SX2 鉴定为指示寡养单胞菌（*Stenotrophomonas indicatrix*）。关于寡养单胞菌属（*Stenotrophomonas* sp.）的研究多集中于该属的模式种嗜麦芽寡养单胞菌（*S. maltophilia*）。嗜麦芽寡养单胞菌作为人类和动物的条件致病菌被广泛研究，从土壤、植物体内等环境中分离的其他寡养单胞菌均未被检测出具有致病潜力。*S. acidaminiphila* 4-1 具有修复铬污染土壤的功能[13]，*S. tumulicola* 与 *Serratia marcescens* 共培养可有效降解水体中有机污染物[14]，*S. chelatiphaga* 以及嗜麦芽寡养单胞菌具备产生蛋白酶和铁载体的能力，对植物具有促生功能[15]。目前针对指示性寡养单胞菌的应用研究较少，仅见 Lara-Moreno 等[16]分离到的 *S. indicatrix* CPHE1 可矿化土壤中的石油污染物。笔者通过 OrthoANI（96.43%）和 dDDH（76.00%）分析 SX2 的分类地位，深化了该物种的功能多样性认识。近年来，对于植物根际促生菌（PGPR）的研究不断深入，其中，筛选出能够耐盐并具有促进生长特性的寡养单胞菌，并将其转化为生物菌剂的开发，已逐渐受到广泛关注，成为研究的焦点。笔者筛选出的具备促生耐盐性能的 SX2，可作为解决盐碱化土地造成的一系列问题及促进盐碱土壤中作物生长的菌株资源。同时，本研究结果也为推动耐盐促生菌株在田间进一步开发和应用提供了有力的理论支撑。

全基因组测序揭示了 SX2 的遗传基础，基因组大小为 4.5 Mb，预测有 4010 个基因，GC 含量为 66.31%。KEGG 注释中代谢类基因占比最高（2107 个），其中全局概览通路基因达 839 个，表明 SX2 具有复杂的代谢调控网络。此外，检测到 58 个抗菌素耐药性相关基因，提示在田间应用时需关注该菌株的潜在生态风险，后续将开展安全性评价。

综上所述，笔者在本研究中初步阐明了菌株 SX2 的促生特性及遗传背景，为辣椒和甜瓜促生菌的筛选奠定了基础，后续需要利用田间试验验证其促生功能，对其促生机制和长期生态安全性评价还须进一步研究。

参考文献

[1] 裴晓明，周雪燕. 化肥过量使用的环境污染及防治[J]. 农民致富之友，2020（12）：30.

[2] 徐珊珊. 辣椒对盐碱胁迫的生理反应及适应性机理研究[D]. 长春：吉林农业大学，2007.

[3] 赵丽娜，张芙蓉，莫霏，等. 甜瓜盐碱逆境生理响应及相关基因研究进展[J]. 上海农业学报，2016，32（6）：176-180.

[4] 马雪晴，冀傲冉，郑娇莉，等. 植物根际促生菌促生机制及其应用研究进展[J]. 中国农业科技导报（中英文），2025，27（2）：13-23.

[5] 潘晶，黄翠华，彭飞，等. 植物根际促生菌诱导植物耐盐促生作用机制[J]. 生物技术通报，2020，36（9）：75-87.

[6] 张梦琦，陈云云，张熙，等. 多功能植物根际促生菌 DD3 的功能特性及对大蒜幼苗的促生效果[J]. 植物营养与肥料学报，2017，23（3）：748-756

[7] 陈露，马南楠，陈宁，等. 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[J]. 草原与草坪，2024，44（4）：197-203.

[8] 蔡学清，何红，胡方平. 内生菌 BS-2 对辣椒苗的促生作用及对内源激素的影响[J]. 亚热带农业研究，2005，1（4）：49-52.

[9] 沈萍，闫淑珍，陈双林，等. 具 ACC 脱氨酶活性的植物内生细菌对辣椒的促生作用和对疫霉病的防治作用[J]. 植物保护学报，2008，35（1）：28-32.

[10] 李婷，张静，曲明山，等. 浇灌不同促生菌剂对网纹甜瓜生长发育及果实品质的影响[J]. 北方园艺，2023（21）：36-42.

[11] Meier- Kolthoff J P，Göker M. TYGS is an automated high-throughput platform for state-of-the-art genome-based taxonomy[J]. Nature Communications，2019，10（1）：1-10.

[12] Yoon S H，Ha S M，Lim J，et al. A large-scale evaluation of algorithms to calculate average nucleotide identity[J]. Antonie van Leeuwenhoek，2017，110（10）：1281-1286.

[13] Li L，SHANG X F，SUN X J，et al. Bioremediation potential of hexavalent chromium by a novel bacterium *Stenotrophomonas acidaminiphila* 4- 1[J]. Environmental Technology & Innovation，2021，22：101409.

[14] Ibrahim M A，Hamada M M H，Bahaa-Eldin A A，et al. Biodegradation of 17 *β*-estradiol by *Serratia marcescens* and *Stenotrophomonas tumulicola* co- culture isolated from a sewage treatment plant in Upper Egypt[J]. Iranian Journal of Microbiology，2023，15（3）：448-455.

[15] Ulrich K，Kube M，Becker R，et al. Genomic analysis of the endophytic *Stenotrophomonas* strain 169 reveals features related to plant- growth promotion and stress tolerance[J]. Frontiers in Microbiology，2021，12：687463.

[16] Lara-Moreno A，Merchán F，Morillo E，et al. Genome analysis for the identification of genes involved in phenanthrene biodegradation pathway in *Stenotrophomonas indicatrix* CPHE1. Phenanthrene mineralization in soils assisted by integrated approaches[J]. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology，2023，11：1158177.