

促烟草种子萌发的细菌菌株筛选及促生特性研究

彭玉龙¹, 张乾申², 韩丽珍^{2*}, 孟源¹

(1.贵州省遵义市烟草公司, 贵州 遵义 563000; 2.贵州大学生命科学学院, 贵阳 550025)

摘要:以芽孢杆菌属、贪铜菌属、假单胞菌属及土壤杆菌属的7株细菌菌株对烟草K326种子进行浸种处理,通过测定发芽率、发芽势、发芽指数及活力指数筛选到能够促进种子萌发的2株菌株;以钼蓝比色法测定培养液可溶磷含量, Salkowski法测定产IAA能力, CAS法测定分泌铁载体能力,对筛选出的2株菌的促生特性进行分析。结果表明,从贵州烟区土壤分离的2株高效氮化芽孢杆菌菌株可显著提高烟草种子的发芽指标,幼苗苗长显著高于未浸种处理。促生特性分析显示 *Bacillus toyonensis* AMM-2 和 *Bacillus mobilis* AMM-5 菌株的溶磷量分别为 26.26 和 26.80 mg/L, 产 IAA 的能力分别为 21.57 和 7.40 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 铁载体分泌活性分别为 35.08% 和 8.64%。研究显示,2株高效氮化细菌菌株具有优良的促生特性及显著的促种子萌发效应,可应用于烟草漂浮育苗,为促生有机肥的研制提供依据。

关键词: 氮化芽孢杆菌; 烟草; 种子萌发; 促生特性

Screening for Bacterial Strains Promoting Seed Germination of Tobacco and Study of Their Growth-Promoting Characteristics

PENG Yulong¹, ZHANG Qianshen², HAN Lizhen^{2*}, MENG Yuan¹

(1. Zunyi Company of Guizhou Provincial Tobacco Corporation, Zunyi, Guizhou 563000, China; 2. College of Life Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to screen for bacterial strains which promote seed germination, seeds of tobacco K326 were soaked with seven bacterial strains, which come from *Bacillus* sp., *Cupriavidus* sp., *Pseudomonas* sp. and *Agrobacteria* sp., and germination related indexes, including germination rate, germination potential, germination index and vigor index, were measured. Growth-promoting characteristics of two strains were determined. Soluble phosphorus contents were measured by molybdenum blue colorimetry. IAA contents and siderophore secreting capacity were measured by the methods of Salkowski and CAS, respectively. The results showed that germination related indexes of tobacco seeds were obviously increased after treated with two highly effective ammonifying *Bacillus* strains isolated from tobacco-planting soil in Guizhou. Bud length of these two treated groups was much higher than control. Phosphorus-dissolving contents of *Bacillus toyonensis* AMM-2 and *Bacillus mobilis* AMM-5 were 26.26 and 26.80 mg/L, IAA contents were 21.57 and 7.40 $\mu\text{g}/\text{mL}$, and siderosphere relative contents were 35.08% and 8.64%, respectively. So these two highly effective ammonifying *Bacillus* strains had good growth-promoting characteristics and significant effects on increasing seed germination of tobacco. They could be used for floating system and providing basis for developing growth-promoting organic fertilizers.

Keywords: ammonifying *Bacillus* strains; tobacco; seed germination; growth-promoting characteristics

烟草是我国重要的经济作物,种植面积已经超过 130 万 hm^2 , 居世界首位^[1]。在烟草栽培中,提高烟苗素质、培育无病壮苗是优质烟叶生产的基础;而如今烤烟育苗普遍存在烟苗参差不齐、移栽缓苗时间较长的状况。因而,提高烟草种子萌发率、增强幼苗生长能力对提高烟叶质量意义重大。从不同植物组织、根际或土壤中分离的有益细菌可以通过合成促进植物根系生长发育的吲哚乙酸 (Indole-3-acetic acid, IAA) 和与植物根际营养相关的铁载体,溶解土壤中的难溶性磷钾等促进幼苗

的生长^[2]。芽孢杆菌具有分泌 IAA 等促生特性,已作为重要的微生物资源,在生物肥料领域备受关注。闫寒等^[3]发现从吉烟 9 号烤烟的根、茎、叶分离到的优势内生细菌菌株为芽孢杆菌属,这与黄智华等^[4]、刘晓璐等^[5]的报道相一致。而从攀枝花烤烟分离到的 62 株内生固氮菌中,有 6 株芽孢杆菌菌株还具有产 IAA 的能力^[6]。本项目组在前期研究中,为了解决贵州植烟土壤黏重、增施有机肥后土壤氮素生物有效性不高的问题,从贵州烟区土壤中已经筛选到 2 株高效的氮化芽孢杆菌菌株 *Bacillus*

基金项目: 贵州省烟草公司科技项目“原位氮代谢功能菌肥的研发与运用”(201707)

作者简介: 彭玉龙(1988-),男,农艺师,研究方向为烟叶栽培技术研究。E-mail: 357307973@qq.com。*通信作者, E-mail: hanlizhen11@163.com

收稿日期: 2020-03-31

修回日期: 2020-10-18

toyonensis AMM-2 和 *B. mobilis* AMM-5^[7]，但其是否具有促生能力尚未可知。此外，实验室前期从茶树根际分离获得可促进白菜、花生生长的 5 株细菌菌株。本文拟利用 7 株细菌菌株对烟草种子进行浸种处理，筛选可促进种子萌发的菌株，并进一步研究其促生特性，为获得高质量无病烟苗提供菌种资源。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 供试种子 供试烟草种子为烤烟主栽品种 K326。

1.1.2 供试菌株 7 株细菌菌株均为本实验室分离，包括 *Bacillus toyonensis* AMM-2，*Bacillus mobilis* AMM-5，放射性土壤杆菌 (*Agrobacterium radiobacter*) KKS-6-N1，贝莱斯芽孢杆菌 (*Bacillus velezensis*) HP9，坚强芽孢杆菌 (*Bacillus firmus*) HP10，贪铜菌属 (*Cupriavidus* sp.) WP9，恶臭假单胞菌 (*Pseudomonas putida*) HGD3。

1.1.3 培养基 LB 培养基、NBRIP 培养基、MKB 培养基及 CAS 检测平板。

1.2 方 法

1.2.1 烟草种子萌发试验 将 7 株菌株活化、转接入 LB 液体培养基中，30 ℃、150 r/min 摇床振荡培养 24 h，调节菌悬液 OD₆₀₀ 值至 0.5 (活菌数约 10⁸ cfu/mL) 备用。选择大小一致均匀饱满的烟草种子，经 0.2% CuSO₄ 溶液消毒 15 min，去离子水冲洗，于不同菌株的菌悬液中浸泡 2 h，无菌滤纸吸干后，置于铺有湿润滤纸的培养皿中，每皿放置 20 粒种子，每菌株设 3 个重复，以 LB 培养基为对照。光照培养箱中培养 14 d^[8]，补充无菌水保持滤纸湿润。每天统计种子发芽粒数，计算发芽势、发芽率和发芽指数；于 14 d 时测定每个发芽幼苗的苗长并计算活力指数^[9]。

1.2.2 菌株溶磷能力测定 挑取各菌株的单菌落点种于 NBRIP 培养基平板上，30 ℃培养 3 d，观察是否有溶磷圈。将具溶磷能力的菌株转接至 NBRIP 液体培养基中，摇床振荡培养 7 d，以不接菌培养基为对照，每处理重复 3 次。培养液经 4000 r/min 离心 25 min、取适量上清液以钼蓝比色法测定可溶磷含量，溶磷量为培养 7 d 与 1 d 可溶性磷含量之差^[10]。

1.2.3 菌株产 IAA 能力测定 将活化菌株接种于含 L-色氨酸 (100 mg/L) 的 LB 培养基中、振荡培养 24 h 后，取 100 μL 培养液加入等体积 Salkowski 比色液、避光 30 min 进行定性分析，颜色变红者为阳性。定量测定时，取离心的 24 h 菌株培养液上清，按上述方法反应并测定 OD₅₃₀ 值，根据 IAA 标准曲线计算培养液的 IAA 含量，每菌株 3 个重复^[11]。

1.2.4 菌株分泌铁载体能力测定 取 10 μL 菌悬液滴加至平铺于 CAS 平板的灭菌滤纸上、28 ℃培养 48 h 进行定性分析，能分泌铁载体的菌落周围出现橙黄色透明圈^[12]。定量测定时，挑取菌落接种于 MKB 培养基中，28 ℃振荡培养 48 h 后，离心收集上清，与 CAS 检测液等体积混匀后静置 1 h，测定 630 nm 处的吸光值 (A_s)，以超纯水为对照；MKB 培养基相应反应的 OD₆₃₀ 值为参比值 (A_r)，铁载体分泌活性=[(A_r-A_s)/A_r] × 100%^[13]。

1.3 数据统计分析

以 SPSS 20.0 软件分析数据，使用 Duncan 法进行组间差异显著性检验。

2 结 果

2.1 不同细菌菌株浸种对烟草种子萌发的影响

表 1 结果显示，烟草种子发芽势显著高于对照的是 AMM-2 和 AMM-5 处理，显著降低的为 WP9 和 HGD3 处理；且 AMM-2 及 AMM-5 发芽率较对照分别提高 10.41% 和 12.50%。发芽指数表征发芽速率和种子活力，活力指数是种子发芽速率和生长量的综合反映，可更好地反映种子活力。就这两个指数而言，HGD3 菌株处理最低，而 AMM-2 和 AMM-5 菌株处理则显著高于对照，芽长较对照分别增长 11.99% 和 12.50%。可见 AMM-2 和 AMM-5 可以明显促进烟草种子萌发。

2.2 两株氯化芽孢杆菌菌株浸种对烟草种子发芽动态及幼苗形态的影响

对 AMM-2 和 AMM-5 菌株浸种处理的烟草种子发芽数进行动态追踪 (图 1)，发现对照组和浸种处理组均在第 4 天开始萌发，之后菌株浸种显著加快了种子的萌发速度，发芽数急剧上升，于处理后 7 d 达到最大萌发数，而对照组至 10 d 达到最大值，且发芽数远低于 2 株菌株的处理组。萌发前期

表 1 不同细菌菌株对烟草种子萌发相关指标的影响

Table 1 Effects of different strains on germination related indexes of tobacco seeds

处理	发芽势	发芽率	发芽指数(GI)	活力指数(VI)	芽长
Treatments	Germination potential/%	Germination rate/%	Germination index	Vigor index	Bud length/mm
CK	60.00±12.58b	80.00±7.64ab	16.02±1.62b	210.13±21.49b	11.68±2.00c
AMM-2	88.33±1.67a	88.33±3.33a	19.37±0.55a	253.84±15.09a	13.08±0.73b
AMM-5	86.67±3.33a	90.00±5.00a	20.30±0.96a	265.80±3.06a	13.14±0.86b
HP9	66.67±4.41ab	66.67±6.01b	15.50±0.93b	214.56±23.22b	13.76±1.19b
HP10	78.33±1.67ab	83.33±1.67ab	17.45±0.10b	234.82±4.03ab	13.45±0.30b
KKS-6-N1	71.67±13.64ab	78.33±10.93ab	17.61±2.67b	252.94±31.14a	14.51±0.88a
WP9	41.67±22.42c	91.67±3.33a	15.88±2.82b	225.09±59.89b	13.59±2.87b
HGD3	38.33±19.65c	65.00±0.00b	10.74±3.14c	131.76±44.16c	11.70±2.00c

注：同一列数据后不同字母表示处理间差异显著 ($p < 0.05$)，下同。

Note: Different letters in the same line are significant among treatments ($p < 0.05$), the same below.

AMM-5 浸种的烟草发芽数略高于 AMM-2，6 d 后已基本无差别。萌发 14 d 时，2 个菌株处理组的幼苗较对照发育更为均匀一致（图 2）。

体的能力上存在差别，AMM-2 菌株产生更高的 IAA 和铁载体。

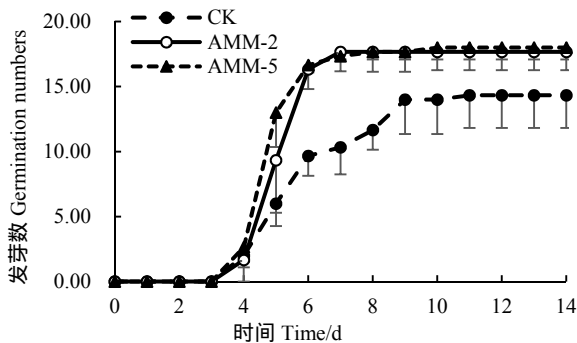


图 1 两株氨化芽孢杆菌菌株浸种的烟草种子发芽数变化
Fig. 1 Dynamic variation of germinated seed numbers of tobacco soaking with two ammonifying *Bacillus* strains



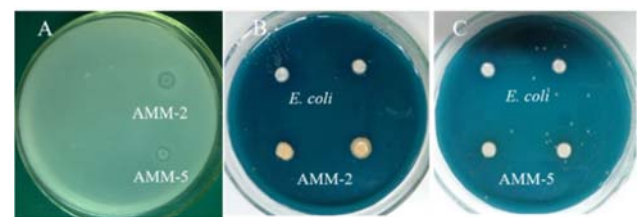
注：空 B：空白对照；2A：AMM-2；5B：AMM-5。

Note: 空 B: CK; 2A: AMM-2; 5B: AMM-5.

图 2 两株氨化芽孢杆菌菌株浸种 14 d 时的烟草幼苗形态
Fig. 2 Seedling morphology of tobacco soaked with two ammonifying *Bacillus* strains for 14 days

2.3 两株氨化芽孢杆菌菌株促生特性的分析

结果显示，AMM-2 和 AMM-5 菌株均可在含 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 的 NBRIP 平板上生长，且在菌落周围有明显的溶磷水解圈，表明菌株具有溶磷能力（图 3A）；在 CAS 平板上，与不产铁载体大肠杆菌菌株相比，2 个菌株均可分泌铁载体，尤以 AMM-2 菌株更为明显（图 3B、3C）。定量测定结果表明（表 2），2 个菌株的溶磷水平相当，在分泌 IAA 及产生铁载



注：A，NBRIP 平板上的溶磷水解圈；B 和 C 为 CAS 检测平板上的菌落；*E. coli* 为不产嗜铁素的大肠杆菌菌株（阴性对照）。

Note: A, phosphorus-dissolving halo of NBRIP plate; B and C, colony of CAS plate; *Escherichia coli* (*E. coli*) is negative control.

图 3 两株氨化芽孢杆菌菌株的溶磷及铁载体定性分析
Fig. 3 Quality analysis on phosphorus solubilization and siderophore of two ammonifying *Bacillus* strains

表 2 不同细菌菌株的促生特性

Table 2 Growth-promoting characteristics of different strains

菌株	溶磷量	IAA 含量	铁载体相对含量
Strain	Phosphorus-dissolving contents/(mg·L ⁻¹)	IAA contents/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	Siderophore relative contents/%
AMM-2	26.26±1.24a	21.57±0.21a	35.08±1.20a
AMM-5	26.80±1.01a	7.41±0.31b	8.64±0.74b

注：同一列数据后不同字母表示处理间差异显著 ($p < 0.05$)。

Note: different letters in the same line are significant among treatments ($p < 0.05$).

3 讨论

本研究利用 7 株不同种属的细菌菌株进行种子萌发试验，包括 4 株芽孢杆菌属菌株（HP9、HP10、AMM-2 和 AMM-5）、1 株贪铜菌属菌株（WP9）、1 株假单胞菌属菌株（HGD3）及 1 株土壤杆菌属菌株（KKS-6-N1）。这 7 株菌株除 AMM-2 和 AMM-5 分离自烟区土壤，对其是否具有促生特性未知外；其余 5 株菌均分离自茶树根际，前期研究已经表明 KKS-6-N1 具有固氮及分泌铁载体的特性，对白菜、

空心菜及苋菜有促生效应^[14]；具溶磷能力的 HP9 和 HP10 可以显著促进花生幼苗的生长^[15]。本试验中 5 株具有促生特性的菌株对烟草种子萌发的影响不一，HGD3 抑制了种子的发芽、WP9 浸种的种子发芽势也显著低于对照，其余菌株的处理则与对照并无显著差异；明显促进烟草种子萌发的菌株仍是来源于烟区土壤的 AMM-2 和 AMM-5 菌株。相似报道在大豆内生芽孢杆菌菌株、苕麻根围的伯克霍尔德氏菌菌株，及青稞根际分离菌株对来源植物的促种子萌发试验中被证实^[16-18]。这些结果均表明本土土著微生物具有更好的促生作用，而其他环境来源的菌株由于其生态适应性不同^[19]，对烟草的促生效果不同。

对烟草的促生研究大多利用盆栽试验。从贵州烟草根际分离的 7 株产植物激素菌株对烟草有促生效果，其中 3 株为芽孢杆菌属^[20]。从烟草根际筛选的解钾 PGPR 菌株也可显著促进幼苗的根系发育^[2]。弯曲芽孢杆菌菌株提高了盆栽土壤的有效磷钾含量，促进了烟草生长^[1]。而对于烟草种子萌发的影响研究则较少。席淑雅等^[21]将烤烟根际分离的溶磷菌株加入育苗基质中用于烤烟漂浮育苗，发芽率较对照提高 1.8%、烟苗生长指标高于对照。吴翔等^[8]从四川烟区根际筛选到产 IAA、铁载体和 HCN 能力的促生菌，由 *Bacillus tequilensis*, *Enterobacter xiangfangensis*, *Klebsiella variicola* 以及肠杆菌科等 4 株菌株构建的促生菌系可显著提高烟草种子的发芽率。本研究中，来自贵州烟区土壤的 2 株芽孢杆菌菌株的浸种处理可显著提高种子的发芽势，较未接种对照提前 3 d 达到最大萌发数，且 14 d 时的幼苗表现更为均一，可明显减轻烟草萌发时参差不齐的状况，具有应用于漂浮育苗的潜力。而且，由于 2 株菌株具有较强的分解有机氮能力及优良的促生特性，可考虑菌剂与有机肥复配，不仅可提高有机肥的氮素有效性，对于促进烟草的生长也有潜在的应用前景。

此外，研究表明可产生 IAA 的菌株通过与植物的互作，能显著促进植株的生长^[22]。从不同环境及植物根际分离的菌株产 IAA 能力存在差异。据报道从棉花根际分离的 8 株固氮菌，其 IAA 产量为 6.62~22.83 $\mu\text{g/mL}$ ^[23]；从水稻中分离的 55 株菌产 IAA 的能力介于 1~10 $\mu\text{g/mL}$ ^[24]；而花生根际的 10

株固氮菌可分泌 1.36~17.80 $\mu\text{g/mL}$ 的 IAA^[25]。本研究获得的 2 株氨化细菌菌株均可分泌 IAA，其中 AMM-2 菌株可产生 21.57 $\mu\text{g/mL}$ 的 IAA，是一株产 IAA 较高的菌株，其对烟草幼苗的生长及根系发育的影响有待于进一步研究。

4 结 论

利用 5 株分离自茶树根际的 PGPR 菌株、2 株分离自贵州烟区土壤的高效氨化细菌菌株浸种进行烟草种子萌发试验，发现来自烟区土壤的芽孢杆菌菌株 *Bacillus toyonensis* AMM-2 和 *B. mobilis* AMM-5 具有显著的促萌发作用，发芽势、发芽率、发芽指数及活力指数均显著高于未浸种处理，且在处理后 7 d 即达到最大发芽数，较对照提前了 3 d。促生试验表明，AMM-2 和 AMM-5 菌株具有溶磷、分泌 IAA 及铁载体的能力，是 2 株具有优良促生特性的高效氨化芽孢杆菌菌株，且 AMM-2 具有更高的产 IAA 和铁载体能力。

参考文献

- [1] 万兵兵, 刘晔, 吴越, 等. 烟草根际解磷解钾菌的筛选鉴定及应用效果研究[J]. 河南农业科学, 2016, 45(9): 46-51.
WAN B B, LIU Y, WU Y, et al. Screening, identification of phosphate and potassium-solubilizing PGPR and its promoting effect on tobacco[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2016, 45(9): 46-51.
- [2] 龚文秀, 曹媛媛, 倪海婷, 等. 烟草亲和性解钾 PGPR 菌株筛选及其促生效果研究[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(1): 55-63.
GONG W X, CAO Y Y, NI H T, et al. Screening of affinity PGPRs from tobacco root and their growth-promotion effects on tobacco[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2016, 22(1): 55-63.
- [3] 闫寒, 李虎林, 郎彬, 等. 吉烟 9 号内生细菌的分离及多样性分析[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(1): 75-81.
YAN H, LI H L, LANG B, et al. Isolation and diversity analysis of endophytic bacteria in Jiyan 9[J]. Chinese Tobacco Science, 2019, 40(1): 75-81.
- [4] 黄智华, 崔永和, 计思贵, 等. 云南烤烟根际土壤 PGPR 菌株的筛选与鉴定[J]. 中国烟草科学, 2017, 38(5): 18-23.
HUANG Z H, CUI Y H, JI S G, et al. Isolation and identification of PGPR strains from rhizosphere soil of Yunnan flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2017, 38(5): 18-23.
- [5] 刘晓璐, 杨柳青, 吕乐, 等. 烟草根际固氮菌的筛选、鉴定及优化培养[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(1): 89-94.
LIU X L, YANG L Q, LYU L, et al. Screening, identification and culture optimization of nitrogen-fixing bacteria in tobacco rhizosphere[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2015, 21(1): 89-94.
- [6] 陈静, 李斌, 曾庆宾, 等. 攀枝花地区烤烟可培养内生固氮菌的多样性[J]. 微生物学通报, 2017, 44(2): 428-437.
CHEN J, LI B, ZENG Q B, et al. Diversity of culturable endophytic diazotrophic bacteria in flue-cured tobacco in Panzhihua[J]. Microbiology China, 2017, 44(2): 428-437.
- [7] 刘尚, 张红, 张乾申, 等. 烟区土壤高效氨化芽孢杆菌菌株的筛选鉴定及特性研究[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(2): 15-20.
LIU S, ZHANG H, ZHANG Q S, et al. Screening, identification and ammoniation features of high effective ammonifying *Bacillus* strains

- isolated from tobacco-planted soils[J]. Chinese Tobacco Science, 2020, 41(2): 15-20.
- [8] 吴翔, 甘炳成, 唐亚, 等. 四川烟草主栽区根际促生菌筛选及促生菌系构建[J]. 烟草科技, 2019, 52(3): 1-9.
WU X, GAN B C, TANG Y, et al. Screening growth-promoting rhizobacteria from main tobacco-growing areas in Sichuan and construction of growth-promoting rhizobacteria groups[J]. Tobacco Science and Technology, 2019, 52(3): 1-9.
- [9] 叶协锋, 张晓帆, 郑宪滨, 等. 复合盐碱处理下烤烟品种发芽特性及耐盐性评价[J]. 中国烟草科学, 2017, 38(3): 37-43.
YE X F, ZHANG X F, ZHENG X B, et al. Germination characteristics of flue-cured tobacco varieties under mixed salt-alkali stresses and evaluations of their saline-alkali tolerance[J]. Chinese Tobacco Science, 2017, 38(3): 37-43.
- [10] ELIZABETH P, MIGUEL S, MARIA M, et al. Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(11): 2905-2914.
- [11] SHAHAB S, AHMED N, KHAN N S. Indole acetic acid production and enhanced plant growth promotion by indigenous PSBs[J]. African Journal of Agricultural Research, 2009, 4(11): 1312-1316.
- [12] HAN D, WANG L, LUO Y. Isolation, identification, and the growth promoting effects of two antagonistic actinomycete strains from the rhizosphere of *Mikania micrantha* Kunth[J]. Microbiological Research, 2018, 208(1): 1-11.
- [13] MACHUCA A, MILAGRES AMF. Use of CAS-agar plate modified to study the effect of different variables on the siderophore production by *Aspergillus*[J]. Letters in applied microbiology, 2003, 36(3): 177-181.
- [14] 王欢, 韩丽珍. 4株茶树根际促生菌菌株的鉴定及促生作用[J]. 微生物学通报, 2019, 46(3): 548-562.
WANG H, HAN L Z. Identification of four plant growth-promoting rhizobacteria isolated from tea rhizosphere[J]. Microbiology China, 2019, 46(3): 548-562.
- [15] 韩丽珍, 周静, 王欢. 两株对花生促生的芽孢杆菌的鉴定及溶磷特性研究[J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 38(9): 4066-4076.
HAN L Z, ZHOU J, WANG H. Identification and phosphorus-dissolving characteristics of two *Bacillus* strains promoted on peanut growth[J]. Genomics and Applied Biology, 2019, 38(9): 4066-4076.
- [16] 周怡, 毛亮, 张婷婷, 等. 大豆内生芽孢杆菌的分离和促生菌株的筛选及鉴定[J]. 大豆科学, 2009, 28(3): 502-506.
ZHOU Y, MAO L, ZHANG T T, et al. Isolation of endophytic *Bacillus* from soybean seed and screening and identification of promoting strain[J]. Soybean Science, 2009, 28(3): 502-506.
- [17] 谭石勇, 易永健, 汪洪鹰, 等. 苕麻促生菌的筛选、鉴定及其促生效应[J]. 微生物学通报, 2015, 42(3): 525-533.
TAN S Y, YI Y J, WANG H Y, et al. Isolation and identification of plant growth-promoting bacteria (PGPB) from ramie (*Boehmeria nivea* L. Gaud) rhizosphere and their promoting growth effects[J]. Microbiology, 2015, 42(3): 525-533.
- [18] 赵伟进, 王孝先, 杨洋, 等. 黑青稞根际促生菌筛选及其对种子萌发的影响[J]. 种子, 2018, 37(12): 1-10.
ZHAO W J, WANG X X, YANG Y, et al. Selection of rhizotrophic bacteria from rhizosphere and its effect on seed germination of black barley[J]. Seed, 2018, 37(12): 1-10.
- [19] LUCY M, REED E, GLICK B R. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria[J]. Antonie van Leeuwenhoek, 2004, 86(1): 1-25.
- [20] 李想, 刘艳霞, 夏范讲, 等. 烟草根际促生菌 (PGPR) 的筛选、鉴定及促生机理研究[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(3): 111-118.
LI X, LIU Y X, XIA F J, et al. Screening, identification and plant growth-promoting mechanism of tobacco plants rhizobacteria[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(3): 111-118.
- [21] 席淑雅, 毕庆文, 王豹祥, 等. PGPR 菌肥在烤烟漂浮育苗中的应用[J]. 中国烟草学报, 2009, 15(6): 53-57.
XI S Y, BI Q W, WANG B X, et al. Application of PGPR fertilizer in flue-cured tobacco seedling production using floating system[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2009, 15(6): 53-57.
- [22] 姜云, 田磊, 陈长卿, 等. 一株人参内生产吲哚乙酸细菌的筛选及鉴定[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(2): 213-217.
JIANG Y, TIAN L, CHEN C Q, et al. Screening and identification of indoleacetic acid producing endophytic bacterium in *Panax ginseng*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2015, 40(2): 213-217.
- [23] 席琳乔, 李德锋, 王静芳, 等. 棉花根际促生菌固氮和分泌生长激素能力的测定[J]. 干旱区研究, 2008, 25(5): 690-694.
XI L Q, LI D F, WANG J F, et al. Measurement of nitrogen fixation capability and excreted IAA capability of PGPB isolated from cotton rhizosphere in salina[J]. Arid Zone Research, 2008, 25(5): 690-694.
- [24] 韩如月, 李睿瑞, 杨帆, 等. 一株水稻根内生拮抗细菌 SM13 的分离及鉴定[J]. 微生物学通报, 2019, 46(5): 1030-1040.
HAN R Y, LI R R, YANG F, et al. Isolation and identification of an endophytic and antagonistic bacterium from rice roots[J]. Microbiology China, 2019, 46(5): 1030-1040.
- [25] 姜焕焕, 祁佩时, 王通, 等. 花生根际多功能固氮菌的分离及其耐盐碱特性研究[J]. 生物技术学报, 2019, 35(3): 24-30.
JIANG H H, QI P S, WANG T, et al. Screening of multi-functional nitrogen-fixing bacteria in peanut rhizosphere and their tolerances to saline[J]. Biotechnology Bulletin, 2019, 35(3): 24-30.