DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.05.010

一株具紫色土亲和性解钾菌的筛选及促生效应①

陈　易[1]，　程永毅[1]，　郭　涛[1]，　申　鸿[1,2]

1. 西南大学 资源环境学院，重庆 400716；2. 农业部重庆紫色土生态环境重点野外科学观测试验站，重庆 400716

摘要： 解钾菌能改善土壤钾素有效性. 为筛选具紫色土适应能力的土著解钾菌应用于专用微生物肥料，以实现替代钾肥的不当使用和提高钾素的利用率. 本研究从重庆市北碚区紫色土中筛选出 1 株解钾菌(XD-K-2). 结合菌体及菌落形态学特征、生理生化试验结果，以及基于 16S rDNA 的系统发育分析，该菌被鉴定为环状芽孢杆菌(*Bacillus circulans* sp.)，并命名为 *B. circulans* XD-K-2. 测定其对钾长石的解钾能力，XD-K-2 解钾量达到 12.8 mg/L，与不接种对照相比，可溶性钾含量增加 124%. 小白菜促生试验表明，接种 XD-K-2 能显著促进小白菜的生长，在提高小白菜株高、总根长、地上部鲜/干质量等植物营养指标和紫色土可溶性钾素养分方面达到了施用钾肥的效果. 综上，菌株 XD-K-2 是一株具紫色土高亲和性的解钾菌，可作为微生物钾肥研究候选菌株.

关　键　词： 紫色土；解钾菌；环状芽孢杆菌；钾素营养

中图分类号： Q938.1+3；S154.3　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1673-9868(2016)05-0058-08

钾是植物必需的三大营养元素之一[1]，可促进植物的生长发育，参与细胞渗透作用和物质运输，提高酶活性，增强植物对氮素的利用，促进蛋白质和糖类物质的合成等. 紫色土包含的中层状硅酸盐矿物种类繁多[2]，其全钾含量约高于地壳平均含钾量，在全国各类土壤中含钾量居中上水平，但紫色土的速效钾含量并不高，平均仅 79 mg/kg[3]. 土壤中的钾主要以钾长石、云母等硅铝酸盐含钾矿物形式存在，难被植物吸收利用[4]. 为弥补钾素不足，化肥被大量应用于农业生产，但化肥的长期施用，不仅影响作物品质，破坏土壤结构，降低有机质含量[5]，还会破坏生态平衡，不利于农业的可持续发展[6]. 因此，需要寻求一条既能缓解紫色土钾素亏缺，又着眼于农业生态环境保护，同时亦能达到农业高产、稳产的生物途径.

解钾菌即硅酸盐细菌，1912 年 Bassalik 首先从蚯蚓肠道中分离出 1 株解钾菌，1939 年研究人员从土壤中分离出这种细菌并命名为硅酸盐细菌(*Silicate bacterium*). 自 1950 年前苏联学者亚历山大罗夫[7]从土壤中分离出具有释放铝硅酸盐矿物中钾元素能力的硅酸盐细菌后，人们便试图利用其改善土壤中严重缺乏有效态钾的状况. 解钾菌能通过分泌柠檬酸、草酸、酒石酸、乙酸等有机酸分解土壤中的硅铝酸盐矿物，是土壤中的一种特殊功能菌[8]. 它不仅能补充土壤中的速效钾含量[9]，有些解钾菌还具有溶磷固氮能力，改善植物的氮磷营养[10]. 由于解钾细菌的独特作用，已广泛应用于微生物肥料、冶金、采矿和饲料工业上[11]，尤其是微生物肥料由于能提高农作物品质和产量[12]，增加土壤生物多样性等特点，其发展和应用受到人们的日益关注. 富钾的紫色土钾素形态分配及其转化研究相当薄弱[13]，若能利用对紫色土具有亲和性的解钾菌的特殊代谢功能加速紫色土中钾的释放，为作物提供有效钾，可能是解决紫色土钾素缺乏的一个可行途径. 但解钾菌作为一种微生物接种剂，其有效性一直是人们争议的热点[14].

① 收稿日期：2014-09-01
基金项目：国家自然科学基金项目(41573104).
作者简介：陈　易(1989-)，女，重庆垫江人，硕士研究生，主要从事农业微生物学的研究.
通信作者：申　鸿，副教授，硕士研究生导师.

小白菜(*Brassica rapa* L. Chinensis Group.)作为人们主食的蔬菜之一，其生长速度快、生物量大[15]. 重庆地区小白菜种植面积广、品种多，且小白菜对土地肥力状况反应较敏感，是一种可行的肥效试验材料. 本研究从重庆地区紫色土中筛选得到了1株解钾菌，检测其解钾活性，进行了形态学、生理生化鉴定和16S rDNA鉴定. 并测定其对小白菜的促生效应，为开发紫色土资源，充分发挥紫色土钾素的潜力，进一步研究紫色土中解钾菌的分类地位和高亲和性微生物钾肥的开发利用提供了理论依据.

1 试验材料与方法

1.1 供试土壤

采集重庆市北碚区紫色土，取样地点为种植蔬菜10 a以上，且蔬菜产量和质量都较高的种植区. 将土样混匀，置于冰桶内，带回实验室于4 ℃冰箱保存备用. 土壤基本理化性质见表1，测定方法见参考文献[16].

表1 供试土壤基本理化性质

供试土壤	pH	有机质/($g \cdot kg^{-1}$)	全氮/($g \cdot kg^{-1}$)	全磷/($g \cdot kg^{-1}$)	全钾/($g \cdot kg^{-1}$)	碱解氮/($mg \cdot kg^{-1}$)	速效磷/($mg \cdot kg^{-1}$)	速效钾/($mg \cdot kg^{-1}$)
紫色土	7.5	8.44	0.920	0.539	16.7	43.2	11.0	65.3

1.2 培养基

解钾菌选择培养基[17]：蔗糖10.0 g；酵母粉0.5 g；0.5 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$；1.0 g $(NH_4)_2SO_4$；2.0 g Na_2HPO_4；1.0 g $CaCO_3$；钾长石粉1.0 g；琼脂15 g；去离子水1 000 mL；pH 7.0.

LB (Luria-Bertani)培养基：胰蛋白胨10 g；酵母粉5 g；10 g NaCl；琼脂15 g；去离子水1 000 mL，pH 7.0.

1.3 解钾菌的分离、纯化

称取10g紫色土溶于90 mL无菌水中，28 ℃、120 r/min振荡2 h，选择稀释梯度为10^{-5},10^{-6}和10^{-7}，分别取100 μL涂于解钾菌选择培养基上，28 ℃培养3 d. 挑取周围有透明圈的菌株，使用划线法于解钾菌选择培养基分离纯化，直至纯培养后转接至LB斜面培养，−80 ℃保存菌种.

1.4 解钾菌的鉴定

1.4.1 形态学及生理生化鉴定

将保藏的菌种经解钾菌选择培养基活化后，观察其菌落形态特征；然后再挑取菌株进行革兰氏染色、荚膜染色和芽孢染色后于显微镜下观察菌体形态[18]. 并参照《常见细菌鉴定手册》[19]，对解钾菌进行生理生化测定.

1.4.2 16S rDNA分子生物学鉴定

菌种活化后，接种于LB液体培养基，28 ℃，120 r/min振荡培养24 h，再采用TAKARA MiniBEST Bacteria Genomic DNA Extraction Kit Ver.3.0提取细菌全基因组DNA，以此为模板进行聚合酶链式反应(PCR). 使用通用引物27F：5'-AGAGTTTGATCATGGCTCAG-3'，1492R：5'-TACGGTTACCTTGTTACGACTF-3'. PCR反应体系(50 μL)为：Premix Taq(Takara Taq TM Version 2.0 plus dye)25 μL，引物27F和1492R各2 μL，模板DNA1.0 μL，去离子水20 μL. 扩增条件为：95 ℃预变性5 min，95 ℃变性60 s，55 ℃退火60 s，72 ℃延伸2 min，循环30次，然后72 ℃延伸10 min，得到扩增后的DNA样品. 将PCR扩增产物送交上海英潍捷基贸易有限公司纯化、测序. 所得测序结果在NCBI进行BLAST比对，以MEGA6.06软件的Neighbor-join法构建系统发育树.

1.5 解钾菌的解钾能力测定

首先配制LB液体培养基，取100 mL培养基分装于250 mL三角瓶中. 高压灭菌后，接种筛选菌株，28 ℃、120 r/min培养24 h，调整发酵液菌体浓度至10^8 cfu/mL，备用[20].

再配制解钾菌选择液体培养基，取100 mL选择培养基分装于250 mL三角瓶中，121 ℃，30 min灭菌

后，试验组接种解钾菌发酵液 2 mL，对照组加 2 mL 未接菌的 LB 液体培养基，每个处理重复 3 次. 28 ℃、120 r/min 培养 7 d. 用稀释平皿菌落计数法(解钾菌选择培养基，28 ℃培养 3 d)测定发酵终止的菌数；用 pH 计测定发酵终止的 pH；取发酵液 5 000 r/min 离心 10 min，收集 10 mL 上清液，加入 2 mL 6% H_2O_2 消煮 1 h，定容至 10 mL，采用火焰光度法[7]测定发酵液中可溶性钾含量.

1.6　解钾菌对小白菜的促生效应

试验共计 4 个处理，每个处理重复 4 次，试验设计见表 2. 肥料用量为 N：0.2 g/kg、P_2O_5(P)：0.15 g/kg、K_2O(K)：0.2 g/kg，按底肥一次性施入，肥源依次为尿素、过磷酸钙和氯化钾.

紫色土(土壤基本理化性质见表 1)经灭菌(121 ℃，120 min)风干后，取花盆装土 1.5 千克/盆，按试验设计用量施入肥料.

试验材料为超纯四季小白菜；试验地点设置于西南大学资源环境学院盆栽场；试验时期为 2014 年 4 月至 2014 年 6 月.

表 2　解钾菌对小白菜的促生效应实验设计

试验设计	不同处理	肥料处理	接种处理(10 mL/株)
对照组	CK1	不施肥	LB 液体培养基
	CK2	N,P	LB 液体培养基
	CK3	N,P,K	LB 液体培养基
试验组	XD-K-2	N,P	XD-K-2 菌悬液

施肥 10 d 后，取若干小白菜种子，用 10% H_2O_2 浸泡 10 min，无菌水冲洗 3～5 次，风干后，按每盆 10～15 粒播种. 出苗后分次间苗，三叶期预定苗(5 株/盆)，5 d 后依生长势一致间苗，每盆定苗 3 株. 定苗后灌根接种：对照组为每盆 30 mL LB 液体培养基；试验组分别灌根等体积的 XD-K-2 菌悬液(活菌数为 10^8 cfu/mL). 随机放置.

接种 30 d 后，采样测定各项指标包括：株高、茎粗(游标卡尺测量)、总根长(EPSON V700 Photo 扫描根系)、最大叶片叶面积和地上部/地下部鲜质量；于 105 ℃杀青 10 min 后，80 ℃烘干至恒重，分别测定植株地上部/地下部干质量；采集土壤，风干后，用于土壤全钾和速效钾含量的测定[16].

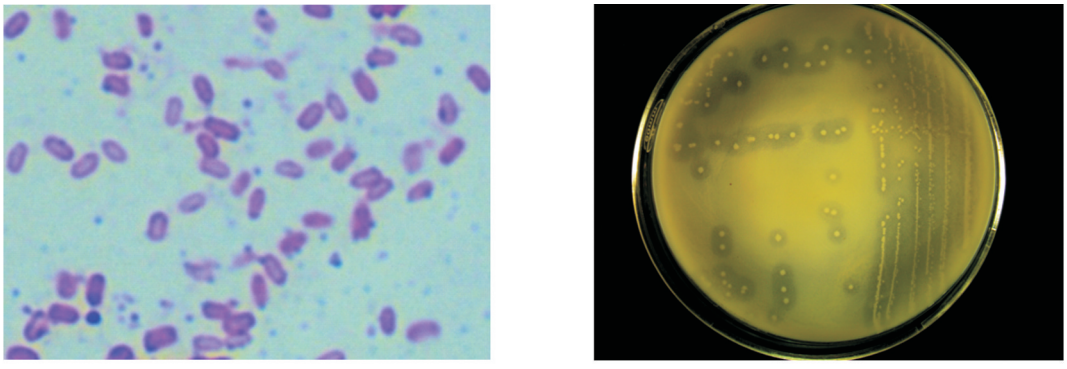
1.7　数据处理

使用 SPSS18.0 进行单因素方差统计分析，应用 Duncan 多重分析法对试验数据进行多重比较分析.

2　结果与分析

2.1　解钾菌的分离结果

通过解钾菌选择培养基的筛选，分离纯化得到 1 株(XD-K-2)能在解钾菌培养基上生长(图 1)，且产生溶钾圈的解钾菌.



(a) XD-K-2菌株芽孢染色(100×16)　　(b) XD-K-2在钾细菌选择性培养基上形成的解钾圈

图 1　XD-K-2 菌株芽孢染色及培养基解钾图

2.2 菌株的鉴定结果

2.2.1 形态及生理生化特征

该菌株在固体解钾菌选择培养基(35 ℃)上的形态为菌落湿润凸起、乳白色、边缘整齐. 革兰氏染色为阳性，孢子呈椭圆型，孢子囊明显膨胀，生长位置为中生到次端生，荚膜肥厚. 培养1～2 d的菌落直径为1～2 mm，3～5 d为5～7 mm. XD-K-2生理生化特征表明：菌株接触酶、氧化酶、硝酸盐还原及柠檬酸盐利用等试验呈现阳性，能水解淀粉、液化明胶(表3).

表3 菌株XD-K-2生理生化特征

特 征	菌株XD-K-2	特 征	菌株XD-K-2
接触酶试验	+	D-葡萄糖产酸	+
氧化酶试验	+	D-木糖产酸	+
V-P试验	−	明胶液化	+
M-R试验	+	葡萄糖产气	−
淀粉水解	+	吲哚试验	−
硝酸盐还原	+	柠檬酸盐利用	+
苯丙氨酸脱氨酶	−		

注："+"表示反应为阳性，"−"表示反应为阴性.

2.2.2 16S rDNA系统发育分析

对分离出的1株解钾菌进行16S rDNA测序，将测序结果提交GenBank. 通过NCBI的GenBank数据库进行Blast比对，从结果中选取具有代表性的菌株，用MEGA6.06软件程序中的Neighbor-Joining法构建基于16S rDNA序列的系统发育树. 基于16S rDNA系统发育分析结果表明，XD-K-2菌株与登录号为HQ003414的环状芽孢杆菌处于同一最小分枝，且与多株芽孢杆菌属菌株相似度达到98%以上(图2). 结合形态学及生理生化分析判断，本次研究筛选的解钾菌属于环状芽孢杆菌(*Bacillus circulans* sp.)，将其命名为*B. circulans* XD-K-2.

自从亚历山大罗夫[7]从土壤中分离出解钾菌并获得纯培养，并对该菌进行了较为详细的形态学研究以来，国内外对解钾菌也进行了大量的研究. 已有研究表明，从紫色土中成功分离出包括胶冻样芽孢杆菌(*Bacillus mucilaginosus*)[21−22]和蜡质芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)[22]等解钾菌，而直接从紫色土中分离出较强解钾能力的环状芽孢杆菌(*B. circulans*)则鲜有报道.

2.3 解钾菌的解钾能力

XD-K-2在摇瓶条件下表现出较强的分解钾长石的能力(表4). 以钾长石为底物，该菌能分解钾长石释放出可溶性钾. 培养7 d，菌株可以从钾长石中分别释放23.2 mg/L钾，较对照高出124%，解钾率达到1.80%，高于钮旭光等[14]分离的6株解钾菌的解钾能力；与盛下放[23]的研究结果基本保持一致.

表4 XD-K-2菌株的解钾能力

菌株	可溶性钾含量/(mg·L^{-1})	增加量/%	pH值	菌体浓度/(cfu·mL^{-1})
CK	10.3±0.15b	−	6.7a	−
XD-K-2	23.2±0.79a	124	4.7b	7.42×10^{7}

注：同一列中不同字母表示不同处理间差异有统计学意义 $p\leqslant0.05$，下同.

关于解钾菌解钾机理的报道较多，贺积强[21]等研究表明硅酸盐细菌溶磷、解钾量与pH值的降低呈正相关；盛下放[23]等对解钾菌解钾机理探讨表明，解钾作用是通过NBT菌株产生的有机酸、氨基酸的酸溶以及有机酸、氨基酸和荚膜多糖的络合作用共同实现的. 本次研究处理组接种解钾菌后，溶液pH值显著降低，表明XD-K-2分解钾长石可能与其生长过程中分泌有机酸有关.

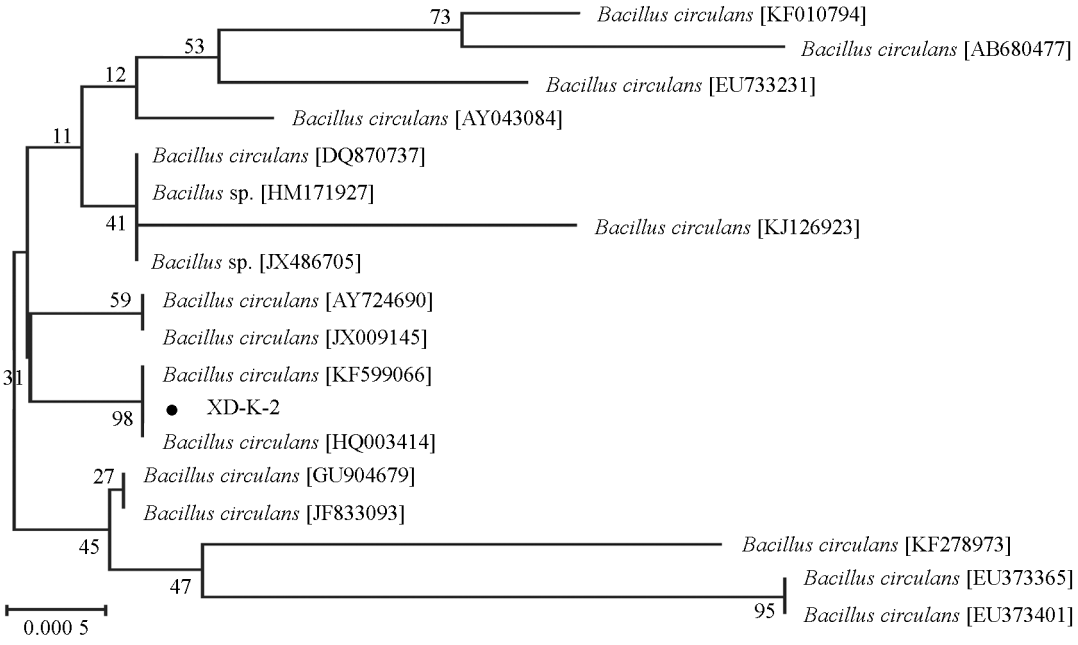


图 2　基于 16S rDNA 序列同源性的解钾菌系统发育树

2.4　解钾菌对小白菜和土壤的影响

2.4.1　小白菜生物量

小白菜的株高，茎粗，单株总根长和单株叶面积生物量指标测定结果见表 5. 接种 XD-K-2 处理的小白菜生物量指标均显著高于 3 个对照处理($p \leqslant 0.05$). 尤其值得注意的是，与施全量 K 肥的 CK3 相比，XD-K-2 提高小白菜的株高、茎粗、总根长和叶面积分别达 22.61%，13.99%，177.70%和 72.32%.

表 5　接种解钾菌对小白菜农艺性状的影响

处理	株高/cm	茎粗/mm	总根长/cm	叶面积/cm^2
CK1	16.83±0.76d	1.84±0.12b	275.36±48.66c	58.07±10.99d
CK2	20.33±1.25c	1.82±0.09b	142.02±14.72c	112.50±39.55c
CK3	24.33±1.89b	1.93±0.09b	410.91±96.39b	168.94±20.24b
XD-K-2	29.83±1.89a	2.20±0.03a	619.18±68.81a	291.12±15.82a

2.4.2　小白菜干物质积累情况

小白菜的干物质积累情况见表 6. 与小白菜生物量指标测定结果一致，接种 XD-K-2 处理的小白菜干物质量积累均显著高于 CK1 和 CK2 处理($p \leqslant 0.05$)；与施全量 K 肥的 CK3 相比，XD-K-2 提高小白菜的地上部鲜质量、干质量分别达 92.02%，50.84%；XD-K-2 处理与 CK3 对提高小白菜地下部干质量差异不显著.

上述结果说明，接种 XD-K-2 能显著促进小白菜的生长，在提高小白菜株高、叶面积、总根长、地上部鲜质量、干质量等植物营养指标方面，达到了施用钾肥的效果.

表 6　接种解钾菌小白菜的干物质积累状况

处理	地上部鲜质量/g	地上部干质量/g	地下部鲜质量/g	地下部干质量/g
CK1	7.04±1.46d	0.86±0.10c	0.56±0.13c	0.12±0.04b
CK2	17.19±0.65c	1.24±0.13c	0.52±0.10c	0.07±0.02b
CK3	39.61±3.52b	2.99±0.49b	1.31±0.13b	0.21±0.04a
XD-K-2	76.06±6.79a	4.51±0.46a	1.92±0.64a	0.28±0.08a

2.4.3 土壤钾素养分变化

土壤全钾、速效钾测定含量见表7. 如图所示，接种XD-K-2后，土壤全钾含量与其他处理差异不显著；接种XD-K-2后，土壤速效钾含量显著高于其他处理，且与施全量K肥的CK3相比，可溶性钾含量提高34.06%. 说明本试验中XD-K-2菌株定植于植物根际，其生长代谢过程有利于紫色土中钾离子的释放，能有效弥补紫色土钾素供应不足.

表7 接种解钾菌对土壤钾素的影响

处理	全钾/(g·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})	处理	全钾/(g·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})
CK1	15.4±1.4a	45.4±4.5b	CK3	16.6±1.0a	51.6±6.6b
CK2	15.7±0.9a	45.6±1.8b	XD-K-2	16.8±0.4a	61.8±3.4a

自1912年以来，解钾菌备受关注，人们在高效解钾菌的筛选、解钾能力测定、解钾作用机制和优良菌株的选育等方面进行了广泛研究[24]. 虽然它们对矿物中元素有特殊的利用能力，能在以钾长石、云母为钾源的培养液中生长得很好[25]. 但是，其依然存在解钾效率低、解钾速度慢、解钾成本过高等问题，大大限制了其推广与应用. 钾细菌的解钾作用和肥效研究，一直存在争议：一方面，易浪波等[1]从土壤中筛选得到4株高效解钾菌；钮旭光等[14]研究了解钾菌的解钾活性，并在电镜下观察了解钾菌对钾长石结构的改变，发现解钾菌对含钾矿物确有溶解作用，能使固定钾转化为可溶性钾，对油菜的生长及产量提高均有促进作用；林启美等[26]将解钾菌接种到种植有番茄的土壤中，发现解钾菌能在番茄的根际和非根际大量繁殖，还能增加番茄的产量. 另一方面，亦有研究表明解钾菌没有明显的解钾效果[27]，这可能与解钾菌筛选培养基的选择[28]、是否驯化[29]、接种浓度的控制[30]、不同生存条件[31]、季节变化[32]以及对病原菌是否有拮抗作用[33]等有关.

本研究结果证明，在盆栽条件下接种XD-K-2能显著促进小白菜的生长，达到施用钾肥的效果.

解钾菌本身并不是肥料，该菌只有在植物根部形成优势菌落时其解钾能力才能体现. 我国生产的微生物肥料种类繁多，不少品牌宣传其含有的有益微生物种类数多，这种宣传是不合理的，只有针对植物和土壤适宜的菌种搭配才能取得良好的效果[34]. 因此，研究解钾菌对供试土壤是否具有亲和性、在根际环境中的成活率、定殖情况及与土著细菌和其他微生物的竞争尤为重要. 另外微生物肥料的目的在于改善植物营养成分，刺激生产和抑制病菌等综合作用，而非单纯的解钾效果. 本研究在液体培养条件下测定了XD-K-2的解钾能力，并在盆栽条件下分析了接种XD-K-2对小白菜的促生效应. 我们还将在后续试验中继续研究如何保持菌种的稳定性和解钾能力的持续性、测定液体培养条件下溶液中有机酸种类和含量，以进一步揭示其解钾机制以及XD-K-2对紫色土地区其它农作物是否具促生作用和稳定的生态适应性等. 本研究有望为紫色土高亲和性解钾菌的筛选和微生物肥料的应用提供理论依据和物质基础.

3 结 论

研究采用选择培养基从紫色土中筛选出1株解钾菌(XD-K-2)，经鉴定为环状芽孢杆菌(*Bacillus circulans* sp.)，并命名为*B. circulans* XD-K-2.

实验室条件下，XD-K-2能分解钾长石，与不接种对照相比，发酵液中可溶性钾含量提高达124%.

盆栽条件下，接种XD-K-2能显著促进小白菜的生长，XD-K-2在提高小白菜株高、总根长、地上部鲜/干质量等植物营养指标，以及提高紫色土可溶性钾素等方面优于施全量K肥的CK3处理，达到了施用钾肥的效果. 因此，接种XD-K-2能有效缓解紫色土钾素供应不足.

本试验最为重要的是，所分离的解钾菌在紫色土中表现出极高的亲和能力和促生效应，有望成为紫色土专用微生物钾肥生产的备选菌株.

参考文献：

[1] 易浪波，彭清忠，何齐庄，等. 高效钾长石分解菌株的筛选、鉴定及解钾活性研究 [J]. 中国微生态学杂志，2012，24(9)：773－774.

[2] 程永毅，严宁珍，陈　慧，等. 热梯度处理-XRD 法鉴定紫色母岩中层状硅酸盐矿物 [J]. 西南大学学报(自然科学版)，2014，36(3)：86－93.

[3] 李忠明. 中国紫色土(上篇) [M]. 北京：科学出版社，1991，214－221.

[4] 赵晨曦，刘前刚，张志元. 磷钾细菌解磷解钾能力的研究 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版)，2004，30(6)：519.

[5] 马光庭. 生态有机肥与农业可持续发展 [J]. 中国生态农业学报，2004，12(3)：191 - 193.

[6] 蒋宝贵，赵　斌. 解磷解钾自生固氮菌的分离筛选及鉴定 [J]. 华中农业大学学报，2005，24(1)：43－48.

[7] ALEXANDROV B T，TRANSLATED B Y，YE W Q. Silicate Bacteria. Bios Scientific Publishers Limited，1955.

[8] 陈廷伟. 钾细菌 [M]. 北京：农业出版社：1959，5－11.

[9] 池景良，葛英华. 硅酸盐细菌解钾活性的研究 [J]. 微生物学杂志，1999，19(2)：43－51.

[10] 陈廷伟. 胶质芽孢杆菌分类名称及特性研究(综述) [J]. 土壤肥料，2002，5(4)：5－10.

[11] 盛下放，黄为一. 硅酸盐细菌 NBT 菌株生理特性的研究 [J]. 土壤学报，2001，38(4)：569－574.

[12] ZAHRA M K，MONI M，ABDEL-AL SI. Significance of Soil Inoculation with Silicate Bacteria [J]. Zentralbatt fur Mikrobiologie，1984，139 (5)：349－357.

[13] 游　翔，朱　波，谢尚春，等. 紫色土的钾素形态转化 [J]. 山地学报，2001，19(增刊)：46－49.

[14] 钮旭光，华秀英，何随成. 硅酸盐细菌解钾活性的研究 [J]. 土壤通报，2005，36(6)：950－953.

[15] 方晓航，曾晓雯，于方明，等. Cd 胁迫对小白菜生理特征及元素吸收的影响研究 [J]. 农业环境科学学报，2006，25(1)：25－29.

[16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析法 [M]. 北京：中国农业科技出版社，1999：1－638.

[17] 吴　凡，刘训理，张　楠，等. 桑树根际硅酸盐细菌的分离鉴定及解钾能力测定 [J]. 蚕业科学，2010，36(2)：323－329.

[18] 杜连祥，路福平. 微生物学实验技术 [M]. 北京：中国轻工业出版社，2008，99－109.

[19] 东秀珠，蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册 [M]. 北京：科学出版社，2001，364－398.

[20] 张成省，陈　雪，王　静，等. 烟草根际土壤中解钾细菌的分离与多样性分析 [J]. 中国生态农业学报，2013，21(6)：737－743.

[21] 贺积强，李登煜，张小平，等. 紫色土硅酸盐细菌的表型特征及溶磷解钾能力 [J]. 应用与环境生物学报，2003，9(1)：71－77.

[22] 胡　桦，陈　强，李登煜，等. 38 株紫色土硅酸盐细菌的遗传多样性和分类地位 [J]. 武汉大学学报(理学版)，2008，54(2)：239－243.

[23] 盛下放，黄为一. 硅酸盐细菌 NBJ 菌株释钾条件的研究 [J]. 中国农业科学，2002，35(6)：673－677.

[24] 李　莎，李福春，程良娟生物风化作用研究进展 [J]. 矿产与地质，2006，20(6)：577－582.

[25] MONIB，ZAHRA，ABDEL EL-AI，et al. Role of Silicate Bacteria in Releasing K and Si from Biotite and Orthoclase [J]. Soil Biology and Conservation of the Biosphere，1984，733－743.

[26] 林启美，饶正华，孙焱鑫，等. 硅酸盐细菌的筛选及其对番茄营养的影响 [J]. 中国农业科学，2002，35(1)：59－62.

[27] 何琳燕，殷永娴，黄为一. 一株硅酸盐细菌的鉴定及其系统发育学分析 [J]. 微生物学报，2003，42(2)：162－168.

[28] VASANTHI N，SALEENA L M，ANTHONI RAJ S. Evaluation of Media for Isolation and Screening of Silicate Solubilising Bacteria [J]. International Journal of Current Research，2013，5(2)：406－408.

[29] 王康林，韩效钊，张雪琴，等. 硅酸盐细菌的选育与解钾性能研究 [J]. 化工矿物与加工，2005(2)：25－27.

[30] 占新华，徐阳春. 硅酸盐细菌的生物效应和根际效应 [J]. 农业环境科学学报，2003，22(4)：412－415.

[31] 盛下放，冯　阳. 不同条件下硅酸盐细菌对含钾矿物分解作用的研究 [J]. 土壤，2005，37 (5)：572－574.

[32] 汪小兰，蒋先军，曹良元，等. 季节变化对不同形态氮素在土壤团聚体中分布的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版)，2013，35(3)：133－138.

[33] 刘光烨，林 洋，黄昭贤. 硅酸盐细菌解钾兼拮抗活性菌株的筛选 [J]. 应用与环境生物学报，2001，7(1)：66－68.
[34] 邱 勤，张 磊，韩光等. 使用PGPR菌剂及苜蓿培肥新垦地土壤研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版)，2011，33(5)：109－115.

Screening and Identification of a Potassium-Solubilizing Bacterium Strain with Affinity for Purplish Soil and Its Plant-Promoting Effects

CHEN Yi[1], CHENG Yong-yi[1], GUO Tao[1], SHEN Hong[1,2]

1. *School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;*
2. *National Monitoring Station for Soil Fertility and Fertilizer Efficiency, Chongqing 400716, China*

Abstract: Potassium-solubilizing bacteria can improve the availability of soil potassium. In order to screen out indigenous K-solubilizing bacteria that can be applied as the special microbial fertilizer of purplish soil and improve the utilization of potassium, one K-solubilizing strain, XD-K-2, was isolated from the purplish soil of Beibei, Chongqing. Based on its morphological, physiological and biochemical characteristics and the results of 16s rDNA sequence analysis, it was identified as a strain of *Bacillus circulans* Jordan, and named as *B. circulans* XD-K-2. XD-K-2 was shown to have efficient ability of K releasing. Under pure-culture conditions with potassium feldspar as the substrate, the amount of released K was as high as 12.84 mg/L, an increase of 124% compared with the control. Inoculated in a pot experiment of Chinese cabbage, XD-K-2 significantly promoted the growth of the plant, its effects on plant height, total root length, fresh/dry weight of the shoot, and the increase in soluble potassium of the soil being comparable to those of K fertilizer application. Based on the above results, XD-K-2 is a K-releasing bacterium that has a high affinity with purplish soil, and might be used as a candidate strain for microbial potash fertilizer.

Key words: purplish soil; potassium-solubilizing bacteria; *Bacillus circulans*; potassium nutrient

责任编辑 陈绍兰