

陈宣文,危志锋,林 锐,等. 铜尾矿优势先锋植物根际联合固氮特性[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):488-492.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.139

# 铜尾矿优势先锋植物根际联合固氮特性

陈宣文<sup>1</sup>, 危志锋<sup>1</sup>, 林 锐<sup>1</sup>, 张恩仁<sup>2</sup>, 朴 哲<sup>1</sup>

(1. 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225127; 2. 扬州大学化学化工学院, 江苏扬州 225127)

**摘要:**为了探明尾矿先锋植物的根际联合固氮特性,对安徽铜陵林冲新弃置铜尾矿主要优势先锋植物香蒲(湿生)、白茅(旱生)根际联合固氮特性进行系统性研究。研究表明:香蒲、白茅根际土柱固氮活性分别为 32.43、19.27  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,二者差异明显。分析 2 种植物根系和根际土固氮活性发现,香蒲根系和根际土的固氮活性大于白茅,表明植物根际联合固氮活性与植物种类有关。尾矿先锋植物不同部位固氮活性排序为:根系 > 根际土 > 根外土 > 空白,表明植物根系是植物重要的固氮部位。从尾矿不同样品中共分离 12 株具有固氮活性的菌株,固氮活性在 7.15 ~ 3 416.98  $\text{nmol}/(\text{mL} \cdot \text{h})$  之间。对其中 2 株高活性的菌株 ATWG5、ATWG9 进行 16S r DNA 序列分析,结果表明 ATWG5 号菌株与 *Azorhizobium caulinodans* 亲源关系最近,相似性达到 100%,ATWG9 号菌株与 *Klebsiella oxytoca* 亲源关系最近,相似性达到 98.75%。

**关键词:**铜尾矿;先锋植物;根际联合固氮;固氮活性;香蒲;白茅

**中图分类号:** X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0488-04

尾矿是经矿石粉碎、浮选后余下的微粒状固体,绝大多数尾矿被堆置在尾矿库内,丢弃后的尾矿库形成了尾矿废弃地,这不仅占有和破坏大量土地,还给周边地区带来诸如空气、水污染,生态系统退化,农作物产量、品质降低等一系列问题<sup>[1]</sup>。

植被恢复是治理尾矿污染的一种较为理想的方法<sup>[2-3]</sup>,但尾矿所具有的如物理结构性差、异常贫瘠(如有机质、氮素含量几乎为零)、极端 pH 值、重金属浓度过高等特性,对植被恢复极为不利。尽管如此,随着弃置年限的增加,尾矿原生环境中先锋植物开始定居。实地考察发现,林冲尾矿未复垦废弃地先锋植物以非豆科植物为主,表明尾矿极端生境中非豆科植物先锋植物生长过程中具有稳定而可靠的氮源,认为这些氮源主要来自先锋植物根际联合固氮<sup>[4]</sup>。

联合固氮是自由生活的固氮菌定植于植物根表细胞和根际土壤中形成的特殊固氮作用。当固氮微生物定植在植物根际,并与之形成一种松散的联合固氮状态时,植物根系就为其提供良好的固氮环境,与自生固氮相比表现出更高的固氮效率<sup>[5]</sup>。研究表明,联合固氮菌通过固氮作用除了为宿主植物提供氮素营养之外,还可以通过分泌植物生长激素类物质等多种途径促植物生长<sup>[6]</sup>。目前,有关根际联合固氮的认识,主要关于普通环境及生长在普通环境的植物上,而关于尾矿极端生境的先锋植物根际联合固氮的信息明显缺乏。

本研究通过对安徽铜陵林冲新弃置的铜尾矿 2 种具有代

表性的优势先锋植物香蒲(湿生)、白茅(旱生)根际联合固氮活性的分析,可为明确铜尾矿生态系统氮素的积累和植被的生态恢复提供基础数据和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与处理

2014 年 7 月,于安徽省凤凰山林冲新弃置未复垦尾矿,采集尾矿裸露地(空白)、结皮、香蒲、白茅根际土柱,同时采集香蒲、白茅根、根外土(距离根部较远,根系没有影响的地方)及空白(未生长植被的裸露地),装入自封采样袋中带回实验室于 4℃ 冰箱中保存,待测。

**1.1.1 土柱取样** 用直径为 4.8 cm、长度为 12 cm 的 PVC 管子套住植物,从上到下打入土中,上部留有 1 cm 左右的间隙,用铲子将土柱完整铲出,放入自封袋中带回实验室待测。

**1.1.2 土柱处理** 将取回的土柱放入体积约为 450 mL、带有换气孔的玻璃瓶中,用 50 mL 注射器通过橡皮塞抽出 35 mL 的气体(约为放入样品之后剩余体积的 10%),同时充入同体积的纯  $\text{C}_2\text{H}_2$  气体。培养 36 h 后用气相色谱仪测量  $\text{C}_2\text{H}_4$  的生成量。每个样品重复 3 次。

**1.1.3 根系、根际土、根外土和空白处理** 将植物的根系(完全去除根表面土壤)、根际土(根表面 5 mm 内土壤)、根外土(距根系较远,根系影响不到的地方)与空白对照放入体积约为 35 mL 试管中,用胶塞封闭试管口,用 5 mL 注射器通过橡皮塞抽出 2 mL 气体(约为放入样品之后剩余体积的 10%),同时充入同体积的纯  $\text{C}_2\text{H}_2$  气体,每个样品做 3 个重复。培养 24 h 后用气相色谱仪测量  $\text{C}_2\text{H}_4$  浓度,并换算成 1 g 样品 1 h 内乙烯生成量。

### 1.2 培养基

Dobereiner 改良无氮培养基配方:蔗糖 5.0 g、甘露醇 5.0 g、苹果酸 5.0 g、乳酸钠 0.5 mL、 $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  0.1 g、 $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  0.4 g、NaCl 0.1 g、 $\text{FeCl}_3$  0.01 g、 $\text{NaMoO}_4$

收稿日期:2015-06-29

基金项目:扬州大学科技创新培育基金(编号:2011CXJ030);国家自然科学基金(编号:21173184)。

作者简介:陈宣文(1988—),男,江苏新沂人,硕士研究生,研究方向为土壤修复。E-mail:84331863@qq.com。

通信作者:朴 哲,教授,主要从事土壤微生物教学与研究。  
E-mail:piaozhe@yzu.edu.cn。

0.002 g、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.2 g (单独灭菌)、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.02 g (单独灭菌), 用蒸馏水补足至 1 000 mL, 调节 pH 值至  $7.0 \pm 0.2$ 。

### 1.3 固氮菌的分离与测定

分别准确称取 10 g 香蒲、白茅的根系(表面带有土壤)于无菌研钵中, 加无菌水研磨成糊状, 转移定容至 100 mL; 继续稀释制成系列稀释样品, 空白土壤直接梯度稀释, 分别从  $10^{-4}$ 、 $10^{-5}$  稀释液中取 0.1 mL 均匀涂布在 Dobereiner 改良无氮培养基平板上,  $28^\circ\text{C}$  倒置培养, 2 d 后计数。挑取单菌落划线纯化后, 保存。

分离得到的菌株用乙炔还原法确定其是否具有固氮活性, 具体操作将分离得到的菌株接种到装有 5 mL Dobereiner 改良无氮培养基的试管斜面中培养 1 d 后, 将试管剩余空间的 10% 置换为  $\text{C}_2\text{H}_2$  (约为 2 mL) 后换上胶塞封闭试管口, 于  $28^\circ\text{C}$  培养 1 d 后, 用气相色谱仪测定其固氮活性。

### 1.4 测定方法

**1.4.1 固氮活性测定方法** 采用乙炔还原法测定联合固氮活性<sup>[7]</sup>。采用 Agilent GC7890A 气相色谱仪, 检测器为 FID 检测器, 毛细管柱子型号: PLOT SILICAPLOT  $30 \times 32$ ; 测定样品 [用 1 mL 试管抽取 0.5 mL 气体和标气 (乙烯标气浓度为 49 mg/L) 中  $\text{C}_2\text{H}_4$  的峰面积。

计算样品固氮活性公式:

$$NA = \frac{A_1}{A_2} \times C \times V \times \frac{1}{22.4} \times \frac{1}{t} \times \frac{1}{S} \times \frac{273}{273 + T} \times \frac{P}{760}$$

式中:  $NA$  为  $\text{C}_2\text{H}_4$  气体的生成速率,  $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;  $A_1$  为样品中  $\text{C}_2\text{H}_4$  的峰面积;  $A_2$  为标气中  $\text{C}_2\text{H}_4$  的峰面积;  $C$  为  $\text{C}_2\text{H}_4$  标气的浓度;  $V$  为培养起的体积, L;  $t$  为培养时间;  $S$  为样品的垂直投影面积,  $\text{m}^2$ ;  $T$  为向培养器中注入  $\text{C}_2\text{H}_2$  气体时的环境温度,  $^\circ\text{C}$ ;  $P$  为向培养器中注入  $\text{C}_2\text{H}_2$  气体时的大气压, mmHg。

**1.4.2 理化性状测定** pH 值、尾矿土壤全氮含量、有效磷含量、有效钾含量按《土壤理化分析》中描述的方法<sup>[8]</sup>测定。全铜含量采用国家标准分析方法<sup>[9]</sup>测定。

腐殖质碳含量的测定: 由于铜矿尾矿中含有大量金属硫化物 (即  $\text{S}^{2-}$ ), 不能用重铬酸钾法直接测定, 而改用焦磷酸钠-氢氧化钠浸提重铬酸钾法测定<sup>[7]</sup>腐殖质含碳量。

**1.4.3 总 DNA 提取** 使用天根生化科技 (北京) 有限公司的细菌基因组 DNA 提取试剂盒 (目录号 DP302-02) 对固氮菌基因组 DNA 进行提取, 最后用 TE 缓冲液溶解 DNA 至浓度为  $50 \sim 100 \text{ ng}/\mu\text{L}$ , 于  $-20^\circ\text{C}$  保存。

**1.4.4 16S rDNA 序列测定及分析** 使用细菌 16S rDNA 的通用引物 27F、1492R 进行 PCR 扩增。引物序列: 27F,  $5' - \text{AGAGTTTGATCTCTGCTCAG} - 3'$ ; 1492R,  $5' - \text{GGTTACCTTGTTACGACTT} - 3'$ 。PCR 反应体系为 50  $\mu\text{L}$ , 组成: 32.75  $\mu\text{L}$  灭菌超纯水, 5  $\mu\text{L}$   $10 \times \text{buffer}$ , 5  $\mu\text{L}$  BSA, 4  $\mu\text{L}$  dNTP, 27F、1492R 引物各 1  $\mu\text{L}$ , 0.25  $\mu\text{L}$  *rTaq* 酶, 1  $\mu\text{L}$  DNA 模板。PCR 反应条件:  $94^\circ\text{C}$  5 min;  $94^\circ\text{C}$  45 s,  $64^\circ\text{C}$  1 min,  $-0.5^\circ\text{C}/\text{循环}$ ,  $72^\circ\text{C}$  1 min, 32 个循环;  $72^\circ\text{C}$  20 min。

扩增产物经 1% 琼脂糖凝胶电泳检验后, 确定目的条带单一, 即送至生工生物工程 (上海) 股份有限公司进行序列测定。使用 EzTaxon server 2.1 基因库对测序序列进行比对, 并下载相近的序列; 然后使用 CLUSTAL X 软件进行对比分

析<sup>[10]</sup>; 最后用 MEGA version 4.1<sup>[11]</sup> 将测序得到的序列和基因库已知的相近序列, 以 Kimura 2 - Parameter 为模型, 采用邻近法 (Neighbor - Joining, NJ) 构建系统发育树。

## 2 结果与分析

### 2.1 理化性质

尾矿土壤理化性质: pH 值 7.9, 铜含量 1 675.53 mg/kg, 铬含量 79.93 mg/kg, 铅含量 476.71 mg/kg, 全氮含量 0.28 mg/kg, 速效磷含量 0.48 mg/kg, 速效钾含量 49.98 mg/kg, 腐殖质碳含量 0.73 mg/kg。尾矿土壤中铜含量为 1 675.53 mg/kg, 严重超出 400 mg/kg 的 GB 15618—1995 《土壤环境质量标准》三级标准, 这与凤凰山的林冲尾矿库的矿砂主要来自铜矿有关。尾矿裸露地土壤的全氮含量为 0.28 mg/kg, 而当土壤全氮含量在 0.03% ~ 0.08% 范围内, 就很难满足植物正常生长的需求。植被的枯枝落叶是土壤有机质的主要来源, 尾矿土壤腐殖质碳含量主要与尾矿表层上的植被状况有关, 导致裸露地的腐殖质炭含量较低, 仅为 0.73 mg/kg。表明尾矿土壤环境恶劣, 不利于植物的定居生长。

### 2.2 固氮活性

**2.2.1 土柱固氮活性** 用乙炔还原法测定香蒲、白茅根际土柱, 空白、结皮土柱 (尾矿不同部位土柱) 的固氮活性, 测定结果见图 1。

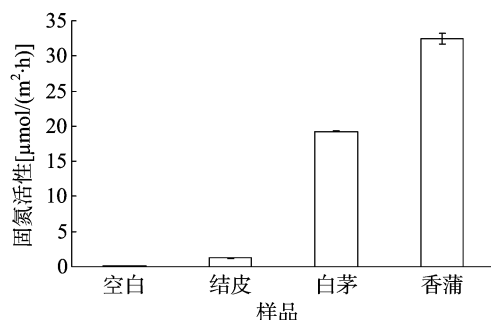


图1 不同样品土柱固氮活性

由图 1 可见, 尾矿废弃地不同部位土柱都具有一定的固氮活性, 固氮活性范围在  $0.09 \sim 32.43 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 不同样品有明显差异。香蒲、白茅根际土柱固氮活性远远大于结皮  $1.30 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  和空白  $0.09 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。2 种植物白茅、香蒲的根际土柱固氮活性相差很大, 湿生植物香蒲的固氮活性可以达到  $32.43 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 而陆生植物白茅仅有  $19.27 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 表明湿生地更有利于植物根际联合固氮作用。在结皮和空白土柱样品中也测到固氮活性, 但明显低于植物根际固氮活性。认为在尾矿环境中存在可以自由固氮的微生物。尾矿结皮固氮活性低于沙漠生物结皮的固氮活性<sup>[12]</sup>, 与尾矿理化性质比沙漠更加恶劣有关。有研究表明, 固氮活性受水分的影响<sup>[12]</sup>, 在一定水分范围内, 固氮活性随着水分的增加而增高, 本研究结果也表现出相同趋势 (图 2)。

**2.2.2 根际不同部位固氮活性** 为了进一步确定植物联合固氮活性的差异, 用乙炔还原法测定植物根际不同部位 (根系、根际土、根外土) 的固氮活性的大小, 测定结果见图 3。

由图 3 可见, 香蒲、白茅根际不同部位固氮活性都有相同变化趋势, 即根系 > 根际土 > 根外土, 这可能与不同部位有机

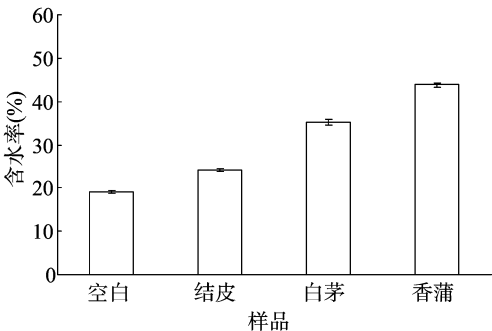


图2 不同样品含水率

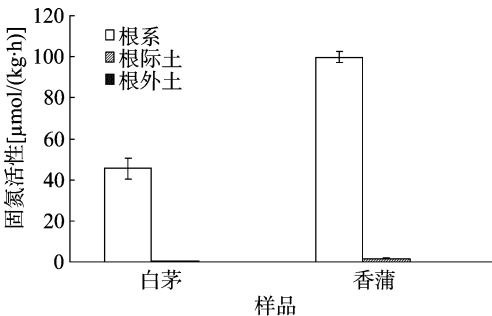


图3 植物根际不同部位固氮活性

物含量有关,即有机物含量极度贫乏的尾矿原生环境中,有机物含量越高,固氮活性就越高,反之亦然。尾矿中有机物主要来源植物根系分泌物、根系老化组织的脱落物<sup>[13]</sup>,含量分布以根系为中心向外依次降低,这种变化趋势与植物根际不同部位固氮活性变化趋势相一致。香蒲根系和根际土的固氮活性均大于白茅,表明尾矿植被固氮活性与植物种类有关。植物生长发育过程中不断地向根际土壤释放有机物(如根系分泌物、表皮脱落物、根系死亡残体等),不同种类植物及不同生育进程,植物向根际释放的有机物化学组分及总量会不尽相同,这决定了根际微生物的选择性分布,也就是说不同植物种类及其生育进程可以影响根际联合固氮。香蒲和白茅的土柱固氮活性也反映这一点。

2.3 固氮菌数量

针对香蒲、白茅根际及未生长植物的裸露土壤(空白)进行固氮菌的分离,分离结果见图 4。尾矿裸露土壤、白茅根际和香蒲根际都能分离到固氮菌,数量在  $8.42 \times 10^5 \sim 2.27 \times 10^6$  个/g 干质量之间。香蒲、白茅的固氮菌的数量( $\times 10^6$  数量级)略高于空白样品中的固氮菌的数量( $\times 10^5$  数量级)。这与植物根际有机物浓度高于空白有关。尾矿固氮微生物数量远远低于正常土壤微生物数量( $\times 10^8$  数量级)<sup>[14]</sup>,表明尾矿极端生境不利于微生物的生长。香蒲、白茅的固氮活性却相差很大,香蒲、白茅根际固氮菌的数量相差不大( $\times 10^6$  数量级),至少表明可分离的固氮菌数量不是影响根际联合固氮活性的主要因素。

2.4 固氮菌菌株种类及固氮活性

对分离得到的 21 株菌株用乙炔还原法测定其固氮活性。结果共得到 12 株具有固氮活性的菌株,分析结果见表 1。ATWG1、ATWG2、ATWG3 号 3 株菌株在所有样品中都存在,具有普遍性。而 ATWG8、ATWG9 号 2 株菌株只在香蒲样品中存在,ATWG5 号菌株只在白茅样品中存在,具有专一性。12 株

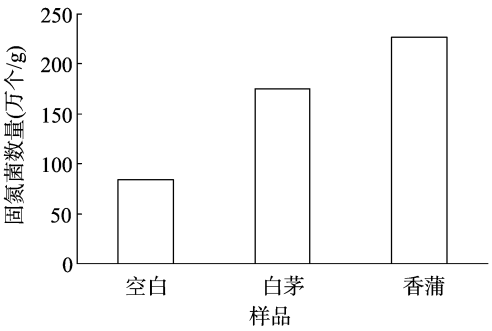


图4 植物根际固氮菌数量

菌株固氮活性在  $7.15 \sim 3\,416.98 \text{ nmol}/(\text{mL} \cdot \text{h})$ ,不同菌株的固氮活性差异很大。固氮活性最高和最低之间相差了近 478 倍。从白茅样品中分离的 ATWG5 号菌株、香蒲中分离的 ATWG9 号菌株固氮活性远高于何福恒等从水稻、玉米、甘蔗根际分离获得的固氮菌活性[分别为  $2 \sim 819$ 、 $880 \sim 894$ 、 $299 \sim 934 \text{ nmol}/(\text{mL} \cdot \text{h})$ ]<sup>[15]</sup>,也高于田宏等从草坪草根际分离的固氮菌活性 $[37.78 \sim 180.20 \text{ nmol}/(\text{mL} \cdot \text{h})]$ <sup>[16]</sup>、田颖等从小麦根际分离的固氮菌活性 $[30.14 \sim 100.77 \text{ nmol}/(\text{mL} \cdot \text{h})]$ <sup>[17]</sup>,表明白茅根际分离得到的 ATWG5 号固氮菌株、香蒲根际分离得到的 ATWG9 号固氮菌株具有较高固氮活性。尾矿先锋植物根际联合固氮,归根到底是根际固氮菌与其周围环境共同作用的结果,固氮菌是内因。固氮菌活性的大小可以影响植物根际联合固氮能力的大小。从香蒲样品中分离得到 1 株高固氮活性的菌株也说明了这点。

表 1 不同固氮菌固氮活性

编号	固氮活性 [nmol/(mL·h)]	分离部位
ATWG 1	13.72e	空白、香蒲、白茅
ATWG 2	8.82e	空白、香蒲、白茅
ATWG 3	9.28e	空白、香蒲、白茅
ATWG 4	7.15e	香蒲、白茅
ATWG 5	973.17b	白茅
ATWG 6	7.27e	空白、白茅
ATWG 7	12.24e	香蒲、白茅
ATWG 8	54.16d	香蒲
ATWG 9	3 416.98a	香蒲
ATWG 10	133.13c	香蒲、白茅
ATWG 11	17.29e	空白、香蒲
ATWG 12	28.91de	香蒲、白茅

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

对菌株的固氮活性用 SPSS 19.0 进行统计分析,可以得出 ATWG1、ATWG5、ATWG8、ATWG9、ATWG10 5 种菌株固氮活性差异显著。

2.5 系统发育树构建

对具有高固氮活性的 2 株菌株 ATWG5、ATWG9 进行总 DNA 提取、PCR 扩增,将扩增得到的产物送生工生物工程(上海)股份有限公司进行序列测定,用 EzTaxon server 2.1 基因库对测序序列进行比对,并下载相近的序列,构建系统发育树。

在 EzTaxon server 2.1 基因库选取与 ATWG5 号菌株同源性最近的 3 株菌株序列构建系统发育树(图 5),从图 5 可以

看出,ATWG5 号菌株与 *Azorhizobium caulinodans* 亲源关系最近,16S rDNA 序列同源性为 100%。研究发现,*Azorhizobium caulinodans* 与长喙田菁 (*Sesbania rostrata*) 共生,既可以形成根瘤,又可以形成茎瘤,具有较高的固氮活性<sup>[18]</sup>。

在 EzTaxon server 2.1 基因库选取与 ATWG9 号菌株同源

性最近的 4 株菌株序列构建系统发育树(图 6)。从图 6 可以看出,ATWG9 号菌株虽然单独为 1 支,但是与 *Klebsiella oxytoca* 亲源关系最近,16S rDNA 序列同源性为 98.75%。李树品等从小麦根系分离得到产酸克雷伯菌,并通过乙炔还原法证明其具有高固氮活性<sup>[19]</sup>。

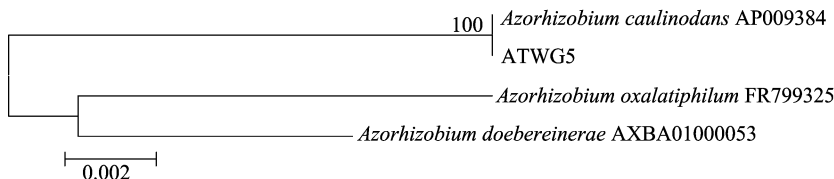


图5 ATWG5 号固氮菌及其高同源种系统进化树

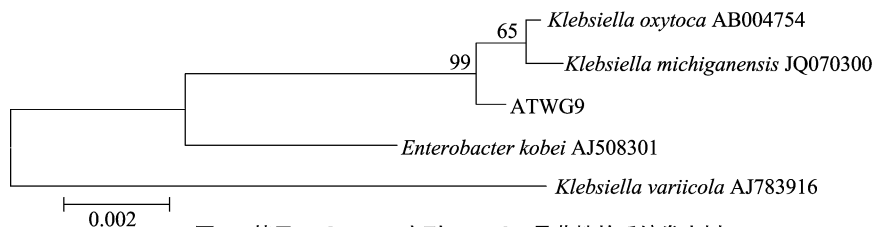


图6 基于 16S rDNA 序列 ATWG9 号菌株的系统发育树

### 3 结论与讨论

林冲尾矿不同部位都具有生物固氮活性,固氮活性大小为香蒲 > 白茅 > 结皮 > 空白,尾矿不同部位的固氮作用,有效提高了铜尾矿表层基质的总氮含量,有利于后期植物生长。尾矿先锋植物不同部位固氮活性大小为根系 > 根际土 > 根外土,表明植物根系是植物重要的固氮部位,根际的生物固氮,对尾矿的先锋植物固氮有效性最直接。

从植物根际分离得到的固氮菌数量明显高于裸露土壤,但小于正常土壤的微生物含量。从尾矿不同部位样品中共分离 12 株具有固氮活性的菌株,固氮活性范围在 7.15 ~ 3 416.98 nmol/(mL · h);植物种类影响了固氮菌的选择性分布,这些固氮菌固氮直接参与植物的联合固氮作用,进而影响植物联合固氮活性。

针对 2 株高活性菌株进行 16S rDNA 测序比对表明,ATWG5 号菌株与 *Azorhizobium caulinodans* 亲缘关系最近,相似性达到 100%,ATWG9 号菌株与 *Klebsiella oxytoca* 亲源关系最近,相似性达到 98.75%。

在氮素极其匮乏的尾矿极端环境中,优势先锋植物主要是非豆科植物,这些先锋植物并不能进行类似豆科植物共生固氮作用,只能进行联合固氮作用,为植物提供生长所必需的氮素。而植物联合固氮作用归根到底是联合固氮微生物的作用,固氮微生物与宿主植物有密切关系。有研究表明,不同联合固氮菌的固氮活性有明显差异,相差几十倍甚至更多<sup>[20]</sup>,本研究结果也证明了这点。在本研究中,可以得出尾矿先锋植物的固氮活性不同,根际固氮微生物的数量不尽相同;同时也得出不同植物根际固氮微生物的种类也不尽相同,不同固氮微生物的固氮活性差异很大。固氮微生物这种数量活性的差异共同影响了植物的联合固氮作用。然而,关于固氮微生物对宿主植物联合固氮活性的影响机理还须进一步研究。

在尾矿自然条件下,先锋植物存在联合固氮菌株,但是相对于庞大的根际微生物来说其种群数量较少,与其他微生物

竞争力有限,固氮量甚微<sup>[21]</sup>。对于尾矿生态修复,可以将来源于尾矿先锋植物根际的高效固氮菌进行扩大培养,以接种剂的形式施入先锋植物根际,提高根际固氮菌种群数量,增强群竞争力,增加根际微生物固氮总量。本研究获得的固氮菌菌株大多数生长速度较快,在土壤中存活定居可能性大,将这些固氮菌株应用于尾矿的生态修复具有良好应用前景。

### 参考文献:

- [1] 刘海龙. 采矿废弃地的生态恢复与可持续景观设计[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 323 - 329.
- [2] 蓝崇钰, 束文圣. 矿业废弃地植被恢复中的基质改良[J]. 生态学杂志, 1996, 15(2): 55 - 59.
- [3] 黄益宗, 郝晓伟, 雷 鸣, 等. 重金属污染土壤修复技术及其修复实践[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(3): 409 - 417.
- [4] Belnap J. Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah, USA[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(2): 128 - 135.
- [5] Verma S C, Ladha J K, Tripathi A K. Evaluation of plant growth promoting and colonization ability of endophytic diazotrophs from deep water rice[J]. Biotechnology, 2001, 91(2/3): 127 - 141.
- [6] Cheplick G P. Host genotype overrides fungal endophyte infection in influencing tiller and spike production of *Lolium perenne* (Poaceae) in a common garden experiment[J]. American Journal of Botany, 2008, 95(9): 1063 - 1071.
- [7] López - Hernández D. Santaella S, Chacón P. contribution of nitrogen fixing organisms to the N budget in trachypogon savannas [J]. European Journal of Soil Biology, 2006, 42: 43 - 50.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [9] 中国环境监测总站. GB/T 17138—1997 土壤质量 Cu、Zn 的测定[M]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [10] Larkin M A, Blackshields G, Brown N P, et al. Clustal W and clustal X version 2.0[J]. Bioinformatics, 2007, 23(21): 2947 - 2948.

官利兰,陈锐浩,程凤娟,等. 不同灌水量对 2 种盐碱土的洗盐效果比较[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):492-494.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.140

# 不同灌水量对 2 种盐碱土的洗盐效果比较

官利兰<sup>1</sup>, 陈锐浩<sup>2</sup>, 程凤娟<sup>1</sup>, 杨依彬<sup>1</sup>, 邓兰生<sup>2</sup>, 刘海萍<sup>3</sup>

(1. 广州一翔农业技术有限公司, 广东广州 510650; 2. 华南农业大学农学院, 广东广州 510642; 3. 华南农业大学资源环境学院, 广东广州 510642)

**摘要:**为研究盐碱土中不同灌水量对盐分的洗盐效果,选取滨海盐土、半漠境内陆盐土,通过回填土柱模拟试验分别灌水 1.25、2.50、3.75、5.00 L,对 2 种盐碱土进行淋洗。结果表明:随着灌水量的增加,2 种盐碱土的淋洗液和不同层次土壤 pH 值、EC 值呈下降趋势;当灌水量与土壤质量比超过 1.5:1 时,增加灌水量,土壤盐分淋洗效果差异不明显,特别是盐分含量较低的滨海盐土。结合土壤淋洗液和土壤的 pH 值、EC 值,灌水量与土壤质量比为(1.0~1.5):1 为较适宜的洗盐用水量。盐分较高的半漠境内陆盐土土壤 EC 值的降幅高于盐分较低的滨海盐土,同时 pH 值降幅也较大。

**关键词:**灌水量;盐碱土;土柱;洗盐效果;电导率(EC 值)

**中图分类号:** S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0492-03

我国的盐碱土地面积较大,且次生盐碱地面积正逐年增加,使我国成为受盐渍危害较严重的国家之一<sup>[1-2]</sup>。在全国 0.35 亿  $\text{hm}^2$  盐碱土中,已开垦种植的仅为 576.84 万  $\text{hm}^2$ ,尚有 0.17 亿  $\text{hm}^2$  潜在盐碱化土壤主要集中在华北、西北、东北这些干旱、半干旱地区。由于盐渍土分布地区生物气候等环境因素的差异,大致可将我国的盐渍土分为滨海盐土与滩涂、黄淮海平原盐渍土、东北松嫩平原盐土和碱土、半漠境内陆盐土、青新极端干旱的漠境盐土等 5 大片区。土壤盐渍化不但造成了资源的破坏、农业生产的巨大损失,而且对生物圈、生态环境构成威胁,表现出对环境、经济 2 个方面的危害<sup>[3-4]</sup>。正如“盐随水来,盐随水去;盐随水来,水散盐留”所说,盐分

的运动和水分的运动具有较大的相关性,盐分以水分为载体,随着水分在土壤中发生时间、空间的变化。

因受生物气候环境的影响,山东、新疆地区土壤盐渍化面积较广,山东省盐渍土面积占总面积的 6.75%,占耕地面积的 14.1%,而山东省是我国重要的耕作区,近年来由于重灌轻排的灌溉方式,加重了其盐渍化程度<sup>[5]</sup>。山东省为滨海盐土,土体盐分重,盐分组成以氯化物为主,主要改良方式有暗管排水<sup>[6]</sup>、节水型盐碱滩地物理-化学-生态综合改良及植被构建技术<sup>[7]</sup>、水利工程、化学改良、生物改良等,0~60 cm 土壤平均脱盐率达 71.78%,表层土壤含盐量降低 79.54%<sup>[8]</sup>。新疆地区盐碱地约占耕地总面积的 1/3<sup>[9]</sup>,新疆地区为半漠境内陆盐土,盐土积盐量高,盐分组成复杂,大部分为氯化物、硫酸盐或硫酸盐、氯化物<sup>[10]</sup>,新疆地区各改良措施均能够有效降低耕层土壤盐分,根区隔盐、暗管排盐处理在 0~80 cm 耕层的脱盐率分别为 61.33%、59.37%,优于其他处理;化学改良处理在 0~40 cm 土层脱盐效果优于底层,其脱盐率为 55.32%,明显高于农业改良处理的脱盐率 45.42%;但在 0~80 cm 土层,脱盐率在 2 个处理间差异不大<sup>[11]</sup>。

本试验以滨海盐土、半漠境内陆盐土为材料,采用室内土

收稿日期:2016-01-05

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(编号:201103003);广西壮族自治区水利科学研究院项目(编号:桂科攻 1222014-3);国家科技支撑计划(编号:2013BAD05B00)。

作者简介:官利兰(1988—),女,广东梅州人,硕士,主要从事养分资源管理研究。E-mail: g\_llan@126.com。

通信作者:邓兰生,硕士,讲师,主要从事作物营养与施肥理论和技术研究。E-mail: lshdeng@scau.edu.cn。

[11] Tamura K, Dudley J, Nei M, et al. MEGA4: molecular evolutionary genetics analysis (MEGA) software version 4.0 [J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2007, 24(8): 1596-1599.

[12] 苏廷桂, 李新荣, 赵 昕, 等. 不同类型生物土壤结皮固氮活性及对环境因子的响应影响研究[J]. *地球科学进展*, 2011, 26(3): 332-338.

[13] 吴林坤, 林向民, 林文雄. 根系分泌物介导下植物-土壤-微生物互作关系研究进展与展望[J]. *植物生态学报*, 2014, 38(3): 298-310.

[14] 高美英, 乔永胜. 秸秆覆盖对苹果园土壤固氮菌数量年变化的影响[J]. *果树科学*, 2000, 17(3): 185-187.

[15] 何福恒, 章锦秋, 金世芳, 等. 水稻、玉米、甘蔗根系联合固氮菌的分离和鉴定[J]. *微生物学通报*, 1986, 13(1): 2-6.

[16] 田 宏, 张德罡, 姚 拓, 等. 禾本科草坪草固氮菌株筛选及部

分特性初步研究[J]. *中国草地*, 2005, 27(5): 47-52.

[17] 田 颖, 李宏高, 牛育华, 等. 关中地区小麦根际联合共生固氮菌的初步研究[J]. *陕西科技大学学报: 自然科学版*, 2005, 23(1): 31-34.

[18] Dommergues D B. Nitrogen fixing nodules induced by rhizobium on the stem of tropical legume *Sesbania rostrata* [J]. *FEMS Letters*, 1981, 10: 313-317.

[19] 李树品, 蒋千里, 楚 杰, 等. 产酸克雷伯氏杆菌(*Klebsiella oxytoca*)的分离及其特性研究[J]. *山东科学*, 1991, 4(3): 19-25.

[20] 胡春锦, 林 丽, 史国英, 等. 广西甘蔗根际高效联合固氮菌的筛选及鉴定[J]. *生态学报*, 2012, 32(15): 4745-4752.

[21] 陈 倩, 高 森, 胡海燕, 等. 一株拮抗病原真菌的固氮菌 *Paenibacillus* sp. GD812 [J]. *中国农业科学*, 2011, 44(16): 3343-3350.