

木醋液对滨海盐土解磷真菌 *Apophysomyces* sp. SM-1 生长代谢及其溶磷效果的影响

赵 飞^{1,2}, 宰学明³, 李思宇⁴, 钦 佩⁴, 张焕仕^{2*}

(1. 江苏省滩涂生物资源与环境保护重点建设实验室, 江苏 盐城 224003; 2. 南京野生植物综合利用研究院, 江苏 南京 210042; 3. 金陵科技学院园艺学院, 江苏 南京 210038; 4. 南京大学盐生植物实验室, 江苏 南京 210008)

摘 要: 为缓解不溶性磷酸盐累积造成的盐碱土壤板结问题, 从江苏滨海盐碱土壤中筛选到一株具有较强溶磷能力的真菌菌株 SM-1, 并初步鉴定为 *Apophysomyces* sp., 同时考察了木醋液对该菌生长及溶磷效果的影响。结果表明, 木醋液的添加能够显著影响菌株 SM-1 的生长, 添加量为 0.1% 的木醋液是其最适宜的生长浓度。菌株 SM-1 对不同磷源有着不同的分解能力, 其中对磷酸三钙的分解能力最佳, 培养基中水溶磷含量由 $93 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 提高到 $246.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。木醋液对供试磷源没有分解效果, 但添加木醋液则能够显著提高菌株对磷矿粉的分解能力, 培养基中水溶磷含量由 $79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 提高到 $115.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 而对磷酸三钙的分解能力与单独接入菌株 SM-1 的效果相当。这预示着菌株 SM-1 与木醋液混合使用在改善盐碱化土壤肥力方面具有很好的应用前景。

关键词: 盐碱土; 溶磷菌; 木醋液; 分子鉴定

中图分类号: Q939.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257 (2017) 05-0135-06

苏北沿海盐碱滩涂面积为 68 万多 hm^2 , 约占全国的四分之一, 有近 10 万 hm^2 的低效盐田。盐土有效磷含量极低, 磷素主要以磷灰石的形态存在, 难以被植物吸收利用^[1-2]。因此, 开发盐土磷素资源潜能, 提高土壤磷素利用率, 对我国盐土农业的可持续发展具有重要意义。研究表明, 溶磷微生物能够将植物难以吸收利用的磷转化为易于被吸收利用的有效磷, 从而提高土壤的供磷水平^[3-5]。盐碱土特殊的理化性质可能会导致传统非土著溶磷微生物的定殖能力、竞争力及溶磷能力降低和退化^[6]。因此, 筛选土著耐盐碱溶磷菌对于开发微生物肥料、提高盐碱土壤磷素利用率具有重要实际意义^[7]。木醋液 (Pyroligneous Acid, PA) 是通过植物热裂解得到的一种可降解有机酸, 含有酸、酚、

醛、酮、酯类等多种有机成分, 具有调节土壤 pH 值^[8-9]、降低土壤盐分和碱化度^[10-11]、提高土壤有机质^[12]及有效磷含量^[13], 同时增加土壤微生物数量^[13]、改善土壤微生物群落功能多样性及代谢活性^[14], 提高土壤酶活性, 减弱盐分对作物的胁迫作用等多方面的功能, 进而提高作物产量^[15], 是一种广泛施用的土壤改良剂。然而, 木醋液对溶磷微生物生长及其溶磷能力的影响方面的研究却鲜有报道。本研究从江苏盐城大丰滨海盐碱土壤中筛选到一株具有较强溶磷能力的溶磷真菌菌株 SM-1, 通过 18S rDNA 序列分析对其进行鉴定, 并测定木醋液对其生长及溶磷能力的影响, 不但为提高盐碱土壤磷素利用率提供优质微生物种质资源, 同时为加速盐碱土壤肥力累积、生态恢复及微生物肥料的研制提供理论和试验基础。

1 材料与方法

1.1 材料

试验用盐碱土壤采自盐城国家级珍禽自然保护区互花米草滩涂 ($33^{\circ}36' \text{E}$, $120^{\circ}36' \text{N}$), 其土质为砂壤土, pH 值 9.43, 含盐量 23.5‰, 全磷含量为 $0.67 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效磷含量为 $2.19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 属高盐碱低肥力土壤。去除约 5 mm 表层枯枝败叶等杂质后, 分

收稿日期: 2016-11-29; 最后修订日期: 2017-01-11

基金项目: 江苏省自然科学基金面上项目 (BK20141064; BK20151098); 江苏省滩涂生物资源与环境保护重点建设实验室开放基金 (JLCBE14003); 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室开放基金 (SEPR2014-04)。

作者简介: 赵飞 (1982-), 女, 山东烟台人, 博士, 助理研究员, 研究方向为土壤微生物多样性及其生态功能, E-mail: f_zhao@163.com。

通讯作者: 张焕仕, E-mail: zhanghuanshi@126.com。

别采集3个不同地点的0~10 cm表层土壤分离得到的同种解磷真菌,由南京大学盐生植物实验室分离保存,编号为SM-1,保藏于中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心(No. CGMCC 7717)。

供试木醋液是以杨木木材剩余物为原料,收集其炭化温度为550℃的冷凝液,静置后取其中部澄清的木醋液。木醋液的pH值为3.40;其主要成分相对含量为:乙酸34.62%、丙酸1.69%、醛类10.16%、酚类21.95%和酮类7.90%。

小米固体培养基:每瓶含小米7.5 g,麸皮7.5 g,两滴香油,15 mL液体。液体:酵母汁0.5 g,酒石酸钠0.1 g,谷氨酸钠0.1 g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.01 g,蒸馏水10~15 mL,自然pH值。

改良马丁液体培养基:葡萄糖10 g, $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 1.0 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g,蛋白胨5 g, NaCl 13 g,琼脂粉15~20 g,水1 000 mL,自然pH值。

1.2 方法

1.2.1 菌株SM-1形态学观察

将菌株接入含有小米固体培养基的培养皿中,再取已灭菌处理的盖玻片呈45°角插入接种的培养基中,且盖玻片与接种线垂直,盖玻片插入的深度为培养基厚度的1/3。将处理好的培养皿置入28℃恒温培养箱内培养,定期观察并做记录,待载玻片上的菌丝长势良好,取出并用光学显微镜观察并拍照,待载玻片上的菌丝开始变黄,取出处理后用扫描电镜观察并拍照。

1.2.2 菌株SM-1 18S rDNA 序列测定及系统发育树构建

采用改良马丁液体培养基对菌株SM-1进行富集培养后,参考文献[6]提取其基因组总DNA。采用真菌通用引物NS1f/NS8r(NS1f:5'-GTAGT-CATATGCTTGTCTC-3'; NS8r:5'-TCCGCAGGT-TCACCTACGGA-3')对18S rDNA基因进行扩增。扩增体系为50 μL ,包括3 μL DNA模板,5 μL 10×PCR缓冲液,4 μL MgCl_2 (25 mmol·L⁻¹),4 U dNTP混合物(各2.5 mmol·L⁻¹),2 μL NS1f(10 μmol ·L⁻¹),2 μL NS8r(10 μmol ·L⁻¹),0.5 μL Takara rTaq酶(5 U· μL^{-1}),ddH₂O补足至50 μL 。PCR反应程序为:94℃预变性5 min,94℃变性30 s,53℃退火30 s,72℃延伸1 min,30个循环,最后72℃延伸5 min。PCR产物经1%~1.2%的琼脂糖凝胶电泳检测并采用Takara胶回收试剂盒进行纯化。纯化后的PCR产物采用Takara pMD[®]18-T Vector克隆试

剂盒进行TA克隆,挑取阳性重组子送至华大基因上海分部进行测序。所测得序列通过MEGA 5.0软件采用邻接法(Neighbor-Joining Method)构建系统发育树。

1.2.3 SM-1种子液制备

挑取生长态势良好的菌丝球接种于改良马丁液体培养基中,30℃、180 r·min⁻¹恒温振荡培养2 d,得到供试菌株种子液。

1.2.4 木醋液对解磷真菌SM-1生长代谢的影响

本试验采用改良马丁液体培养基为基础培养基,按照0(PA 0)、0.01%(PA 0.01)、0.1%(PA 0.1)、0.5%(PA 0.5)、1%(PA 1)、2%(PA 2)、5%(PA 5)的木醋液浓度加入适量木醋液,每梯度6个重复,每个摇瓶150 mL培养基,按5%的接种量加入供试菌株种子液。30℃、180 r·min⁻¹恒温振荡培养7 d。试验开始后每天进行菌球计数,同时吸取10 mL测定pH值及总有机酸浓度,最后测总菌球数量。

1.2.5 木醋液对解磷真菌SM-1溶磷能力的影响

本试验采用改良马丁液体培养基为基础培养基,加入0.1%木醋液,接种量为5%,分别加入0.5 g磷矿粉(PRP)、磷酸三钙(TCP)及卵磷脂(Lecithin)作为供试磷源。每种磷源下设:CK(灭活菌液)、供试菌株SM-1(SM)、0.1%木醋液(PA)、SM-1+0.1%木醋液(SM+PA)共4个处理,30℃、180 r·min⁻¹恒温振荡培养。试验进行7 d后取上清液,硅钼蓝比色法测定其中有效磷含量,同时测定发酵液中pH值及有机酸含量。

1.2.6 总有机酸含量测定

在10 mL待测溶液中加入酚酞指示剂2滴,用标定好的氢氧化钠溶液(0.1 mol·L⁻¹)滴定至溶液显粉红色。每1 mL氢氧化钠滴定液相当于9.916 mg的水杨酸,总有机酸以水杨酸计。

1.3 数据处理

所有数据用Excel 2010软件进行整理,用SPSS 19.0软件进行处理分析。其中,菌株溶磷效果的差异用one-way ANOVA进行分析,Duncan法进行显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 菌株SM-1形态学特征

菌落呈圆状,紧密,边缘整齐无凹陷,正面初期白色,后期淡黄色,反面褐色。菌落高度可达12

cm, 有假根, 气生菌丝为白色絮状, 具明显的向外性生长, 不形成子实体, 生长茂盛的菌丝可观察到液滴流动, 具有真菌特有芳香气味。该菌与 Misra 等^[7]描述的 *Apophysomyces* 属基本特征基本一致, 如在普通培养基难以形成孢子, 有假根, 菌丝为絮状, 白色后转灰黄色, 有少量横隔壁等。

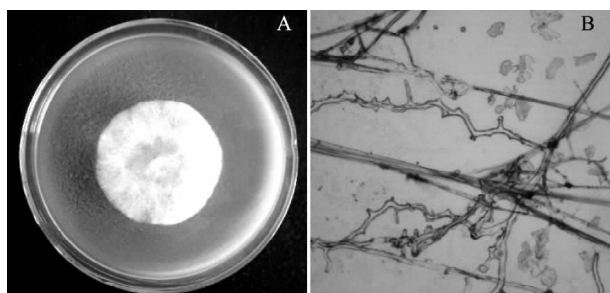


图1 菌株 SM-1 菌落 (A) 及假根 (B) 形态

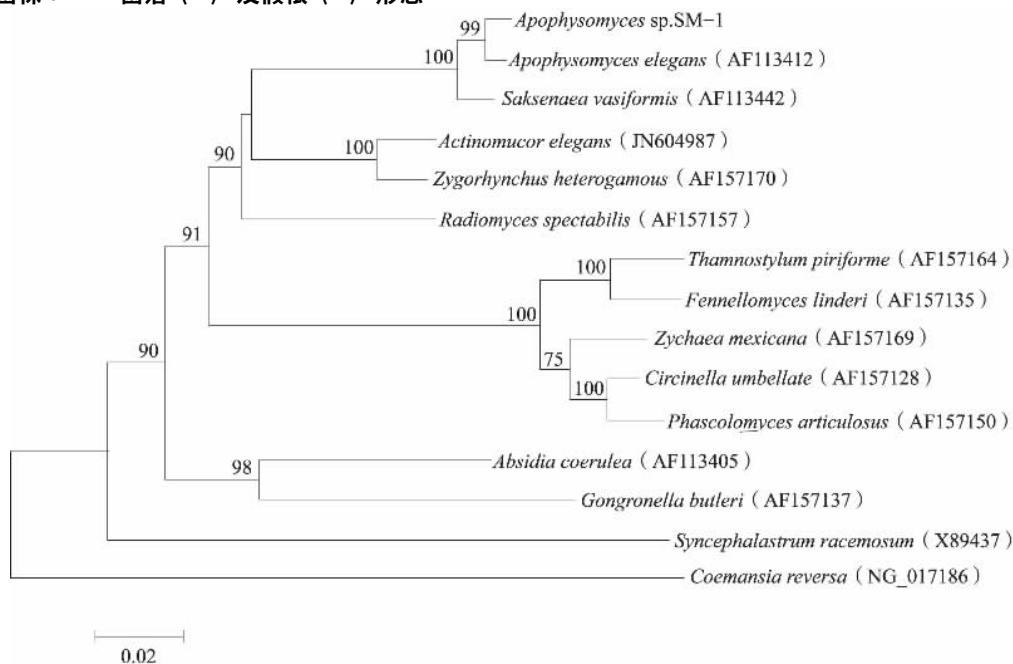


图2 基于菌株 SM-1 18S rDNA 序列的系统发育树

2.3 木醋液对菌株 SM-1 生长代谢的影响

解磷真菌菌株 SM-1 在含不同木醋液浓度的基础培养基中的生长状况见图 3。结果表明, 菌株 SM-1 在含 0.5% ~ 2% 木醋液 (PA 0.5 ~ PA 2) 处理中均无法生长。在试验开始的前 3 d, 含 0% ~ 0.01% 木醋液 (PA 0 ~ PA 0.01) 处理中 SM-1 的菌球数量均显著高于含 0.1% 木醋液 (PA 0.1) 处理。随着时间推移, 自第 4 d 起, PA 0.1 处理中 SM-1 的菌球数量急剧上升并显著高于 PA 0 和 PA 0.01 处理, 且 PA 0 处理高于 PA 0.01 处理。由此可见, 木醋液的添加能够明显影响解磷真菌 SM-1

2.2 菌株 SM-118S rDNA 序列测定及系统发育树构建

采用真菌通用引物 NS1f/NS8r 对解磷真菌菌株 SM-1 的 18S rDNA 基因进行扩增并克隆测序后得到长度为 1 577 bp 的序列片段。该结果在美国国立生物技术信息中心 (National Center for Biotechnology Information, NCBI) 上的 Genbank 数据库进行了 BLAST 同源性比对并构建系统发育树 (图 2)。结果表明, 菌株 SM-1 与 *Apophysomyces elegans* 同源性最高, 匹配程度高达 99%, 且覆盖率为 100%。结合菌落形态观察结果, 推测该菌为 *Apophysomyces* 属的一种, 即 *Apophysomyces* sp. SM-1。

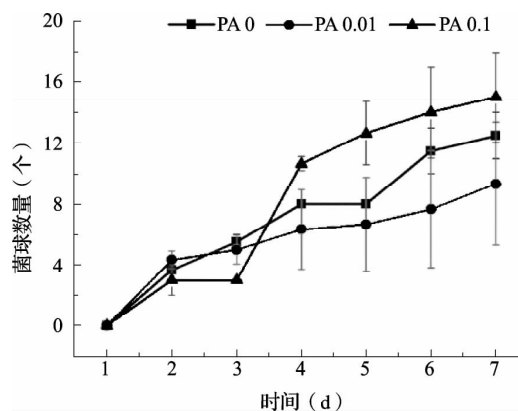


图3 不同木醋液浓度对菌株 SM-1 生长的影响

的生长, 过低或过高的木醋液浓度对菌株 SM-1 的生长均有着明显的抑制作用, 添加量为 0.1% 的木醋液浓度是最适宜菌株 SM-1 生长的浓度。

解磷真菌菌株 SM-1 在含不同木醋液浓度的基础培养基中的代谢产酸状况见图 4。结果表明, 随着时间的推移, 自第 4 d 起, 发酵液中 pH 值急剧下降, 而其中有机酸 (OA) 含量则急剧上升, 即发酵液中 pH 与有机酸含量呈现相反的变化趋势。但木醋液添加量对菌株 SM-1 代谢产酸的影响不显著。

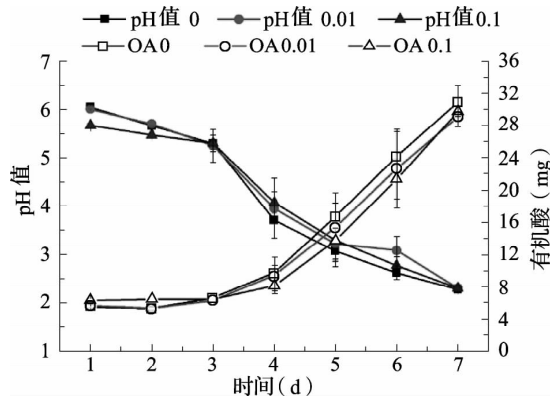


图 4 不同木醋液浓度对菌株 SM-1 代谢产酸的影响

2.4 木醋液对解磷真菌 SM-1 溶磷效果的影响

将菌株 SM-1 接种于分别含 0.5 g 磷矿粉 (PRP)、磷酸三钙 (TCP) 及卵磷脂 (Lecithin) 的改良马丁培养基中, 培养基中水溶磷含量变化趋势见图 5。从图中可以看出, 菌株 SM-1 对不同磷源有着不同的分解能力。

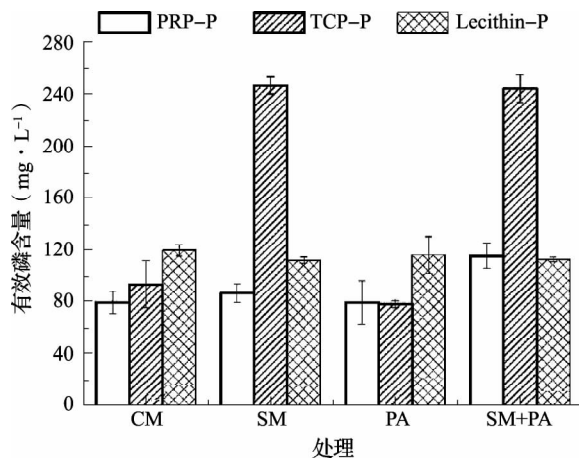


图 5 不同磷源及木醋液对菌株 SM-1 溶磷效果的影响

在含有磷矿粉的基础培养基中, 与 CK 相比, 菌株 SM-1 (SM) 对磷矿粉有一定的分解效果, 但未达到显著差异, 而木醋液 (PA) 对磷矿粉无

分解能力。菌株 SM-1 与木醋液的混合培养 (SM+PA) 则显著提高了对磷矿粉的分解能力, 水溶磷含量由 $79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 提高到 $115.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在含有磷酸三钙的基础培养基中, 与 CK 相比, 木醋液 (PA) 对磷酸三钙无分解能力, 而菌株 SM-1 对磷酸三钙则具有显著的分解效果 ($P < 0.05$), 培养基中水溶磷含量由 $93 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 提高到 $246.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。菌株 SM-1 与木醋液的混合培养对磷酸三钙的分解能力与单独接菌 SM-1 的效果相当。在含有卵磷脂的基础培养基中, 与 CK 相比, 各处理 (SM, PA, SM+PA) 培养基中水溶磷含量并无明显增加。

与此同时, 解磷真菌菌株 SM-1 在含不同磷源的基础培养基中的代谢产酸状况见图 6。由图可知, CK 与单独添加木醋液处理 (PA) 的各发酵液中 pH 值并无明显差异, 而接菌处理各发酵液中 pH 值均显著低于 CK 及 PA 处理。其中, 含磷矿粉、磷酸三钙及卵磷脂发酵液中 pH 值有依次降低的趋势, 且 SM-1 与木醋液混合培养含卵磷脂的发酵液 (SM+PA-Lecithin) 中 pH 值最低, 差异显著。发酵液中有有机酸含量与 pH 值的变化趋势相反。CK 与 PA 处理的各发酵液中有有机酸含量并无明显差异, 而接菌处理各发酵液中有有机酸含量均显著高于 CK 及 PA 处理。其中, 含磷矿粉、磷酸三钙及卵磷脂发酵液中有有机酸含量有依次升高的趋势, 且 SM+PA-Lecithin 处理发酵液中有有机酸含量最高, 差异显著 ($P < 0.05$)。

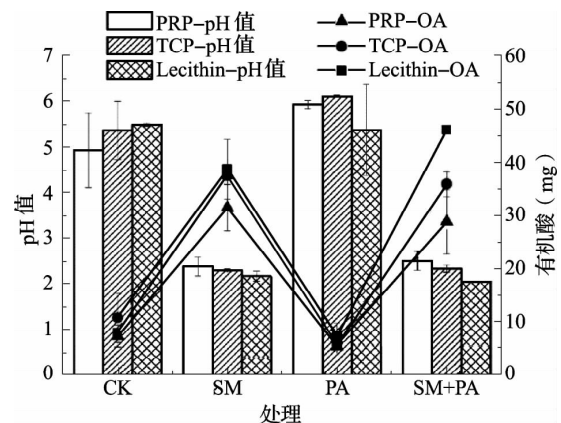


图 6 不同磷源及木醋液对菌株 SM-1 代谢的影响

3 小结与讨论

本研究通过对采自盐城滨海滩涂盐碱土壤中解磷真菌的筛分, 筛选得到 1 株溶磷效果较好的解磷

真菌 SM-1, 并对其进行了形态学及分子生物学鉴定, 命名为 *Apophysomyces* sp. SM-1。分别将菌株 SM-1 接种到含不同磷源及木醋液浓度的改良马丁氏培养基中进行代谢培养及解磷转化率的研究发现, 菌株 SM-1 对不同磷源有着不同分解能力, 其对磷酸三钙的分解能力最佳。除此之外, 菌株 SM-1 在 0.1% 木醋液的存在下生长代谢最为旺盛, 并对磷矿粉亦有着较强的溶解能力。

自 1903 年, Stalstrom^[13] 在土壤中发现溶磷微生物以来, 溶磷菌的研究一直受到广大学者的关注。据报道, 解磷真菌在数量上虽远远不及解磷细菌, 但在菌株纯化过程中有近 50% 的解磷细菌会失去解磷能力, 而大部分解磷真菌则可始终保持解磷活性^[14], 为以后解磷真菌的进一步筛选和研究提供了理论依据。目前发现的解磷真菌种类较少, 主要局限于青霉 (*Penicillium*)、曲霉 (*Aspergillus*)、镰刀菌 (*Fusarium*)、小丝核菌 (*Sclerotium*) 等几个属种。本研究首次发现了磷质霉菌 (*Apophysomyces*) 也具有较强的解磷活性, 为提高盐碱土壤磷素利用率提供了优质微生物种质资源。

木醋液作为土壤改良剂, 成本低廉, 易获得, 易降解, 不仅促进植物的生长, 而且有利于有益生物的繁殖与存活。有报道指出, 施用木醋液可显著改善土壤微生物学区系^[14], 提高土壤酶活性^[15], 改善盐碱土化学性质, 但其对盐碱土有效磷含量影响不显著^[20]。本研究首次将解磷真菌与木醋液结合起来, 研究了木醋液对解磷真菌 *Apophysomyces* sp. SM-1 生长代谢及解磷效果的影响。结果表明, 过低或过高的木醋液浓度对解磷真菌均有着明显的抑制作用, 但 0.1% 的木醋液浓度能够促进菌株 SM-1 的生长, 该结果与已有的报道一致^[21]。这可能是由于木醋液中含有酚类、酸类、酮类、呋喃类、醇类及酯类等多种有机化合物, 而这些物质大多具有一定的抗菌活性, 其在合适的浓度下对微生物的生长有抑制作用^[22]。此外, 菌株 SM-1 与 0.1% 木醋液的混合培养虽然没有增加发酵液中的有机酸含量, 但却显著提高了菌株对磷矿粉的分解能力。这可能是由于木醋液及磷矿粉中的某些微量元素能够刺激供试菌株产生更多具有溶磷效果的有机酸种类, 有待于进一步的深入研究。

综上所述, 添加木醋液后解磷真菌 *Apophysomyces* sp. SM-1 生长代谢及解磷能力的变化, 一方面与木醋液成分对微生物活性的影响有关, 另一方面

也与木醋液对其代谢途径的改变有关, 从而间接影响了菌株的解磷能力。由于木醋液成分复杂, 具有抑制与促进的双重功效, 因此在盐碱土农业应用及微生物肥料生产中, 应注意木醋液施用浓度与用量的问题。

参考文献:

- [1] 刘云华, 吴毅歆, 杨绍聪, 等. 洋葱伯克霍尔德溶磷菌的筛选和溶磷培养条件优化 [J]. 华南农业大学学报, 2015, 36 (3): 78-82.
- [2] 吴海燕, 金荣德, 范作伟, 等. 解磷巨大芽孢杆菌 (*Bacillus megaterium*) 的溶磷机理探讨 [J]. 吉林农业大学学报, 2014, 36 (2): 171-175.
- [3] 林启美, 赵小蓉, 孙焱鑫, 等. 四种不同生态系统的土壤解磷细菌数量及种群分布 [J]. 土壤与环境, 2000, 9 (1): 34-37.
- [4] 虞伟斌, 杨兴明, 沈其荣, 等. 不同碳氮源对解磷菌 K₃ 溶磷效果的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2011, 34 (5): 81-85.
- [5] Tripura C, Sashidhar B, Podile A R. Ethyl methane sulfonate mutagenesis - enhanced mineral phosphate solubilization by groundnut - associated *Serratia marcescens* GPS-5 [J]. Current Microbiology, 2007, 54 (2): 79-84.
- [6] 刘文干, 曹慧, 樊建波, 等. 一株红壤溶磷真菌的分离、鉴定及溶磷特性的研究 [J]. 微生物学报, 2012, 52 (3): 326-333.
- [7] 范延辉, 王君, 李学平. 耐盐溶磷菌 PSB7 的鉴定及溶磷效果研究 [J]. 河南农业科学, 2016, 45 (7): 56-60.
- [8] 李忠微, 王旭东. 灌施木醋液对土壤性质和植物生长的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (2): 510-516.
- [9] Benzon H R L, Rubenecia M R U, Ultra Jr V U, et al. Chemical and biological properties of paddy soil treated with herbicides and pyroligneous acid [J]. Journal of Agricultural Science, 2015, 7: 20-29.
- [10] 张亚兰, 孙金龙, 秦翠兰, 等. 南疆阿拉尔棉田盐碱化分析和木醋液改良效果 [J]. 中国棉花, 2014, 41 (3): 30-32.
- [11] 张亚兰, 孙金龙, 李治宇, 等. 木醋液对盐碱土改良效果研究 [J]. 中国农机化学报, 2014, 35 (6): 292-295.
- [12] Lashari M S, Liu Y M, Li L Q, et al. Effects of amendment of biochar - manure compost in conjunction with pyroligneous solution on soil quality and wheat yield of a salt - stressed cropland from Central China Great Plain [J]. Field Crops Research, 2013, 144: 113-118.
- [13] 胡春花, 达布希拉图. 木醋液和炭醋肥对设施蔬菜土壤肥力及蔬菜产量的影响 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (10): 218-223.
- [14] 曾婕, 海梅荣, 王晓会, 等. 木醋液对植烟土壤微生物多样性的影响 [J]. 土壤通报, 2015, 46 (1): 93-98.
- [15] Lu H F, Lashari M S, Liu X Y, et al. Changes in soil micro-

- bial community structure and enzyme activity with amendment of biochar – manure compost and pyroligneous solution in a saline soil from central China [J]. European Journal of Soil Bioloty, 2015, 70: 67 – 76.
- [6] 吴敏娜, 张惠文, 李新宇, 等. 提取北方土壤真菌 DNA 的一种方法 [J]. 生态学杂志, 2007, 26 (4): 611 – 616.
- [7] Misra P C, Srivastava K J, Lata K. *Apophysomyces*, a new genus of the Mucorales [J]. Mycotaxon, 1979, 48: 377 – 382.
- [8] Stalstrom V A. Beitrag Zur Kenntniss der einwinkigen sterilizer and in garung befindlicher straffe any dilliesheit der phosphorus are destrical cum phosphours [J]. Zbt Bakt Abt II, 1903, 11: 724 – 732.
- [9] Kucey R M N, Janzen H H, Leggett M E. Microbially mediated increases in plant available phosphorus [J]. Advances in Agronomy, 1989, 42: 199 – 228.
- [10] 周红娟, 狄玉清, 丛日春, 等. 木醋液对盐碱土化学性质、酶活性及相关性的影响 [J]. 土壤通报, 2016, 47 (1): 105 – 111.
- [11] 王稳, 朱忠贵, 李萍萍. 木醋液对金针菇液体发酵菌丝体生长的影响 [J]. 江苏农业科学, 2005, 27 (3): 117 – 118.
- [12] Wei Q, Ma X H, Dong J. Preparation, chemical constituents and antimicrobial activity of pyroligneous acids from walnut tree branches [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2009, 87: 24 – 28.

Effect of pyroligneous acid on growth, metabolism and phosphate-dissolving ability of phosphate-solubilizing fungi *Apophysomyces* sp. SM-1

ZHAO Fei^{1,2}, ZAI Xue-ming³, LI Si-yu⁴, QIN Pei⁴, ZHANG Huan-shi^{2*} (1. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Coastal Wetland Bioresources and Environmental Protection, Yancheng 224003; 2. Nanjing Institute for Comprehensive Utilization of Wild Plant, Nanjing 210042; 3. Department of Horticulture, Jinling Institute of Technology, Nanjing 210038; 4. Halophyte Research Lab, Nanjing University, Nanjing 210008)

Abstract: In order to alleviate the problem of the hardened soil due to the accumulation of insoluble phosphate, a phosphate-solubilizing fungi strain SM-1 had been isolated from the Jiangsu seashore saline soil. Strain SM-1 was identified as *Apophysomyces* sp., and how its growth, metabolism and phosphate-dissolving ability were affected by pyroligneous acid was tested. The results showed that strain SM-1 grew the best under 0.1% pyroligneous acid concentration. The strain SM-1 could decompose different phosphorus forms, especially for the tricalcium phosphate. The available phosphate was improved from 93 mg · L⁻¹ to 246.9 mg · L⁻¹. Although pyroligneous acid didn't dissolve the tested phosphate resource, but it promoted the solubilizing capability of strain SM-1 in the liquid phosphate rock powder. Strain SM-1 improved the available phosphate from 79 mg · L⁻¹ to 115.3 mg · L⁻¹. In conclusion, phosphate-solubilizing fungi strain SM-1 mixed with pyroligneous acid had great potential to improve phosphorus utilization rate in saline soil.

Key words: saline soil; phosphate-solubilizing microorganism; pyroligneous acid; molecular identification