

吕睿,李博,宋凤敏,等.解钾菌的分离、鉴定及解钾能力[J].江苏农业科学,2016,44(11):471-475.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.11.135

# 解钾菌的分离、鉴定及解钾能力

吕睿<sup>1</sup>,李博<sup>2</sup>,宋凤敏<sup>3</sup>,贾凤安<sup>1</sup>,刘晨<sup>1</sup>,胡婷<sup>1</sup>,上官亦卿<sup>1</sup>,甄丽莎<sup>1</sup>,吴富强<sup>1</sup>

(1.陕西省微生物研究所,陕西西安 710043; 2.湘潭大学化工学院,湖南湘潭 411105; 3.陕西理工学院化学系,陕西汉中 723000)

**摘要:**为了开发高效微生物解钾肥,利用解钾菌选择培养基,从陕西省周至县猕猴桃园农田土壤中分离出具有解钾能力的菌株共计 12 株,通过纯化培养,筛选出 1 株高效解钾菌 JK3。利用 16S rDNA 基因序列分析方法对该菌株的分类信息进行鉴定,鉴定结果表明该菌株为胶质芽孢杆菌(*Paenibacillus mucilaginosus*),并通过试验确定该菌株的最适培养条件:初始接种量 1.5%,摇床转速 200 r/min,培养温度 30℃,初始 pH 值为 7,最佳碳源为糖蜜,最佳氮源为麸皮。试验结果可为解钾菌 JK3 的大规模工业化生产提供数据支持。

**关键词:**解钾菌;分离;筛选;鉴定;最适条件

**中图分类号:** S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)11-0471-04

钾是植物生长所必需的三大营养元素之一,一般植物体内含钾量占干物质质量的 0.3%~0.5%<sup>[1]</sup>。钾的营养功能主要表现于钾能激活多种酶的活性,目前已知的多种酶需要一价阳离子活化,其中钾离子是植物体内最有效的激活剂;钾能促进光合作用,提高二氧化碳的同化率;钾可促进作物体内物质的合成与转运<sup>[2]</sup>;钾能维持细胞膨压,促进植物生长,植物各种正常代谢过程都需要细胞维持正常的结构和形态,而细胞的正常结构和形态的维持又需要一定的渗透压,钾离子和氯离子正是维持植物细胞渗透压的主要离子;钾能增强植物抗逆性<sup>[3]</sup>,钾也能增强作物抗寒、抗旱、抗高温、抗病、抗盐、抗倒伏等的能力,从而提高其抵抗外界环境的忍耐能力。

然而,随着种植业结构的调整,农作物产量和复种指数的不断提高,土壤中的耗钾量不断增加,全国耕地土壤速效钾含量以 2 mg/kg 速度下降,南方各地土壤缺钾情况更为严重<sup>[4-5]</sup>。一方面,我国可溶性钾矿资源严重匮乏,国家每年花巨额外汇进口钾肥仍难以满足农业上对钾肥的需要<sup>[6-7]</sup>。另一方面,土壤自身含有大量的含钾矿物,只是它们主要以稳定的硅铝酸盐形式存在,其钾不能为作物吸收利用<sup>[8]</sup>。土壤中的含钾硅酸盐矿物只有在理化因素和微生物的作用下,通过分化和分解逐步释放出钾,供作物生长利用。因此,利用微生物降解含钾矿物就显得尤为重要<sup>[9]</sup>。国内外的研究表明,目前发现的解钾菌株多为胶质芽孢杆菌(*Paenibacillus mucilaginosus*)<sup>[10-11]</sup>,其在生物菌肥、生物冶金及污水处理方面有着广泛的应用前景<sup>[12]</sup>,因此,胶质芽孢杆菌的研究受到广泛

关注。

本试验以钾长石粉作为唯一钾源,通过选择性培养,从猕猴桃大田土壤中分离出 12 株解钾细菌,并通过分离、纯化、复筛,得到 1 株解钾能力较强的细菌 JK3,研究该菌株的生理生化特征及它对钾长石粉的降解特性,确定菌株的最适接种量、最适 pH 值、最适生长温度及溶氧量对解钾能力的影响,旨在确定该菌株的生长情况及解钾能力,为开发新的成本低、效果好且不污染环境的解钾菌,充分利用土壤中的钾素资源提供科学依据,对发展绿色农业具有十分重要的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 土样 土样采自陕西省西安市周至县猕猴桃园土壤,土样采集方法为 5 点采样法,去除表层土壤,用土钻取深度为 0~20 cm 的土壤,将 5 个不同点的土样混合为 1 份,装入无菌样品采集袋,标签注明采样信息,放入 4℃ 冰箱保存。

1.1.2 矿样 钾长石粉过 100 目筛,然后用无菌水浸泡 3 d,除去水溶性钾<sup>[13]</sup>。

1.1.3 培养基 分离培养基<sup>[14]</sup>:蔗糖 5.0 g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.5 g, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.5 g, CaCO<sub>3</sub> 5 g, 琼脂 20 g, 去离子水 1.0 L, pH 值 7.2~7.5, 121℃ 灭菌 20 min。

选择培养基:蔗糖 5.0 g, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.5 g, CaCl<sub>2</sub> 0.1 g, FeCl<sub>3</sub> 0.005 g, 钾长石粉 1.0 g, 琼脂 20 g, 去离子水 1.0 L, pH 值 7.2~7.5, 121℃ 灭菌 20 min。

### 1.2 方法

1.2.1 解钾菌的富集 取 3 支 250 mL 锥形瓶,各装入含无机盐液体培养基 100 mL,向锥形瓶中分别加入 1 g 土壤样品,摇床培养 3 d(温度 30℃,转速 180 r/min),吸取锥形瓶底部菌液进行转接,富集解钾菌,每次转接前将菌液涂布到平板上计数。

1.2.2 解钾菌的初筛 将富集培养基中的菌种转接到含钾长石无机盐培养基的平板上,置于 30℃ 恒温培养箱中,出现菌落后,挑取单菌落转接至新的固体培养基上,重复上述操作 3 次,将单菌落放入冰箱保存备用。

收稿日期:2015-09-25

基金项目:陕西省科学院青年专项基金(编号:2015K-20);陕西省科学院应用基础项目(编号:2014K-13);陕西省西安市科技局农业技术研发项目[编号:NC1404(2)]。

作者简介:吕睿(1987—),男,陕西延安人,硕士,研究实习员,主要从事微生物肥料的开发和利用研究。E-mail:lv1987rui@163.com。

通信作者:吴富强,男,主要从事微生物肥料方面的研究。E-mail:zhenlisha2002@163.com。

1.2.3 解钾菌的复筛 将初筛出的菌株转接到装有 100 mL 钾长石液体培养基中,恒温培养 3 d,涂布,记录菌数,同时检测钾长石的降解,在菌液中加入 4 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,121 ℃ 消解 30 min,4 000 r/min 离心 5 min<sup>[1]</sup>,取上清液,定容至 100 mL,以不接菌处理为对照,用火焰分光光度计测量速效钾含量,筛选出 1 株生长旺盛、降解能力强的菌株。

1.2.4 菌株形态学及生理生化特征 将分离纯化得到的菌株在固体平板上进行划线培养,在温度为 30 ℃ 的条件下培养 2 d,观察菌株生长状况及菌落特征。

1.2.5 菌株 16S rDNA 序列分析及比对 选用细菌 16S rDNA 通用引物 27F(5′ - AGAGTTTGATCCTGGCTCAG - 3′)、1 492R(5′ - GGTACCTTGTTACGACTT - 3′) 建立 PCR 扩增体系进行扩增。PCR 反应体系(50 μL):5 × One Taq Standard Reaction Buffer 10 μL,10 mmol/L dNTPs 1 μL,10 μmol/L Forward Primer 1 μL,10 μmol/L Reverse Primer 1 μL,One Taq DNA Polymerase 1 μL,Template DNA 2.0 μL,Nuclease - Free Water 34 μL。扩增程序:94 ℃ 预变性 10 min;94 ℃ 变性 30 s,65 ℃ 退火 30 s,72 ℃ 延伸 1 min,共 30 个循环;72 ℃ 后延伸 10 min。产物经纯化后测定基因序列,利用 BLAST 将菌株的基因序列与 GenBank 数据库中的序列进行比较,选取相似性较高的模式菌株序列,用 MEGA5.1 中 Neighbor - Joining 法比较同源性,构建系统发育树。

1.2.6 菌株解钾能力测定 配制解钾培养基(无钾)按 100 mL 每瓶分装于 250 mL 锥形瓶中,各加入 0.1 g 准确称取的钾长石粉,在 121 ℃ 条件下灭菌 20 min,每个锥形瓶接入 2% 待测菌悬液,30 ℃ 条件下摇床培养 5 d,菌液中加入 4 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,121 ℃ 消解 30 min,然后 4 000 r/min 离心 5 min,取上清液,定容至 100 mL,利用火焰分光光度计测定上清液中速效钾含量。

1.2.6.1 最适生长温度的测定 按 2% 接种量将菌株接入培养液中,调节 pH 值为 7,将菌种接入解钾液体培养基中,分别置于温度为 26、28、30、32、34 ℃ 的摇床中培养 5 d,菌液中加入 4 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,121 ℃ 消解 30 min,然后 4 000 r/min 离心 5 min,取上清液,定容至 100 mL,以不接菌处理为对照,检测速效钾含量。

1.2.6.2 最适生长转速的测定 按试验得出的最适接种量将菌液接种到解钾液体培养基中,调节 pH 值为 7,温度设置为 30 ℃,调节摇床转速分别为 140、180、200、220 r/min,培养 5 d 后,菌液中加入 4 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,121 ℃ 消解 30 min,然后 4 000 r/min 离心 5 min,取上清液,定容至 100 mL,以不接菌处理为对照,检测速效钾含量。

1.2.6.3 最适初始 pH 值的测定 配制解钾液体培养基,分组调节 pH 值为 6、7、8、9,按最适初始接种量和最适生长转速将菌液接种到解钾菌筛选培养基中,在 30 ℃ 条件下摇瓶培养 5 d,菌液中加入 4 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,121 ℃ 消解 30 min,然后 4 000 r/min 离心 5 min,取上清液,定容至 100 mL,以不接菌处理为对照,检测速效钾含量。

1.2.6.4 最适初始接种量测定 配制液体培养基,将菌液进行稀释,按 0.1%、0.5%、1%、1.5%、2% 等 5 个接种量接入到解钾培养基中,在 30 ℃ 条件下摇瓶培养 5 d,菌液中加入 4 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,121 ℃ 消解 30 min,然后 4 000 r/min 离心 5 min,

取上清液,定容至 100 mL,以不接菌处理为对照,检测速效钾含量。

1.2.6.5 碳源利用试验 被测碳源为蔗糖、玉米淀粉、马铃薯淀粉、糖蜜、葡萄糖,浓度为 1%,在配好的液体培养基中接入菌种,按前述试验确定的最适培养条件将各样品摇瓶培养 5 d,菌液经消解,离心处理,取上清液测定速效钾含量。

1.2.6.6 氮源利用试验 被测氮源为酪蛋白胨、马铃薯汁<sup>[1]</sup>、硫酸铵、大豆蛋白胨、麸皮,氮源浓度为 1%。接入菌种,按前述试验确定的最适培养条件将各样品摇瓶培养 5 d,菌液经消解,离心处理,取上清液测定速效钾含量。

1.2.7 数据处理 数据采用 Excel 2010 和 SPSS 19 统计软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 解钾菌的筛选

对土壤样品进行涂布处理,初步得到菌株 56 株,经复筛,得到具有高效解钾能力的菌株 12 株,通过火焰原子吸收分光光度计测量解钾量。由表 1 可知,12 株解钾菌的解钾能力均较强,相比于对照组均明显增强。其中,JK2 解钾效果最弱,菌液中速效钾含量为 2 mg/L,比空白对照增加 5.26%;而菌株 JK3 培养液中速效钾含量最高,达到 3.7 mg/L,比空白对照增加了 94.74%,其解钾能力最强。菌株 JK12 解钾量为 3.5 mg/L,与菌株 JK3 差异不显著,菌株 JK3 的解钾率明显高于其他菌株,本试验以 JK3 菌株为研究对象,对其菌落特征和解钾特性作进一步研究。

表 1 初筛菌株菌落平板计数结果及解钾能力测定

菌株编号	菌落数 (万个/mL)	速效钾含量 (μg/mL)	解钾率 (%)
CK	0 ± 0	1.9 ± 0.31g	—
JK1	30 ± 5.5	2.1 ± 0.35g	10.53
JK2	30 ± 7.1	2.0 ± 0.31g	5.26
JK3	210 ± 35.0	3.7 ± 0.25a	94.74
JK4	19 ± 2.5	2.3 ± 0.30fg	21.05
JK5	19 ± 4.0	2.4 ± 0.20efg	26.32
JK6	28 ± 4.1	2.7 ± 0.55def	42.11
JK7	36 ± 3.3	3.2 ± 0.30abcd	68.42
JK8	35 ± 2.5	3.1 ± 0.35bcd	63.16
JK9	37 ± 5.5	2.9 ± 0.55cde	52.63
JK10	86 ± 3.1	3.3 ± 0.15abc	73.68
JK11	14 ± 1.0	2.8 ± 0.30cdef	47.37
JK12	130 ± 9.5	3.5 ± 0.10ab	84.21

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P < 0.05)。

2.2 菌落形态及生理生化特征

采用平板划线法将 JK3 菌株进行纯化,并转接至固体培养基上,培养 2 d 后,观察菌株形态。如图 1 所示,菌株单菌落呈水滴状,菌落无色透明,边缘光滑,表面湿润且黏稠,菌落直径约为 0.5 cm。

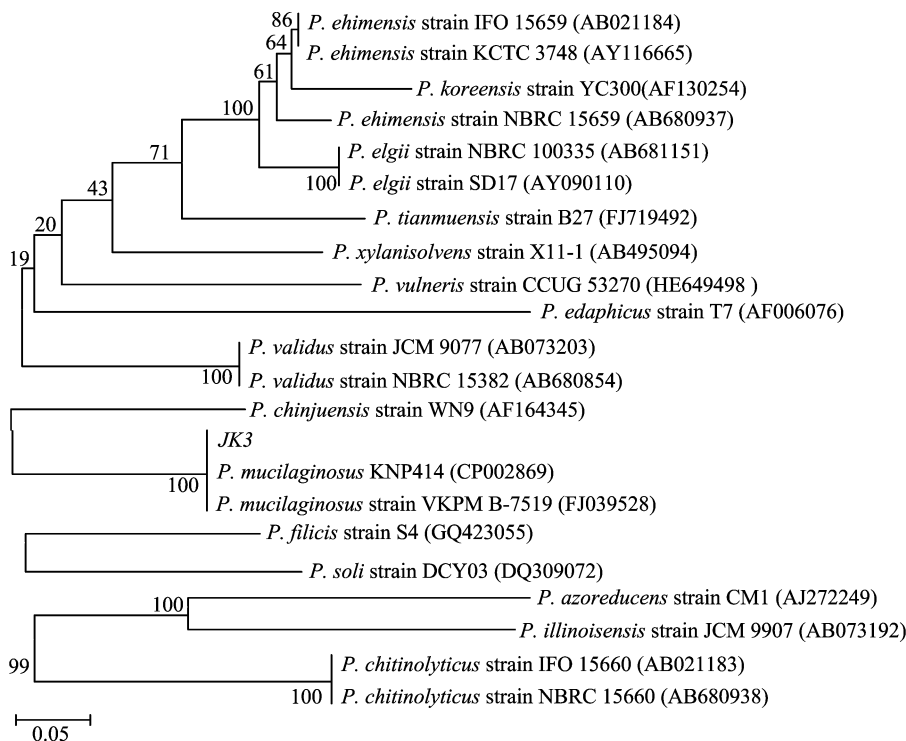
2.3 16S rDNA 测序分析

菌株 JK3 经 16S rDNA 测序获得 1 400 bp 的基因片段,将序列信息提交到 GenBank 数据库中,利用 BLAST 将菌株的基因序列进行相似性比较,结果表明,菌株 JK3 与胶质芽孢杆菌属同源性很高,从 16S rDNA 序列相似性比较结果看,菌株 JK3 与胶质芽孢杆菌相似性达到 100%,选取 21 株同源性较



图1 菌株 JK3 单菌落形态

高的胶质芽孢杆菌菌株序列与待测菌株序列构建系统发育



标尺为 0.005; 分支点为自聚值; 括号中为菌株序列号

图2 菌株 JK3 系统发育树

树,如图 2 所示。从系统发育树可以看出,菌株 JK3 与胶质芽孢杆菌相似性达到 100%,且处于同一分支,距离最近,鉴定菌株 JK3 为胶质芽孢杆菌。

## 2.4 菌株解钾能力研究

2.4.1 最适培养温度 温度的变化对菌株的生长有显著影响,由图 3 可看出,随着温度的升高,菌株解钾能力逐渐增强,当温度达到 30 ℃时,解钾量达到最高,菌液中的速效钾含量达到 5.82 mg/L,比 28 ℃时增加了 0.7 mg/L,而温度为 32 ℃时,解钾量为 5.13 mg/L,与 28 ℃时差异不显著,可能是温度升高导致菌株生长受到抑制,使解钾能力降低,因此确定菌株 JK3 的最适生长温度为 30 ℃。

2.4.2 最适培养转速 由图 4 可看出,不同摇床转速对解钾率有明显影响,当摇床转速增加时,菌株解钾能力逐渐增强,当转速达到 200 r/min 时,菌液中速效钾含量最高,菌液中的速效钾含量达到 5.36 mg/L;当转速达到 220 r/min 时,解钾能力降低,菌液中速效钾含量为 4.70 mg/L,比 200 r/min 时显著降低 0.66 mg/L。其原因可能是转速过高,产生的剪切力对菌体造成机械损伤,降低了菌株的解钾能力<sup>[15]</sup>,说明菌株 JK3 的最适培养转速为 200 r/min。

2.4.3 最适培养 pH 值 不同 pH 值对菌株生长及解钾能力有显著影响。由图 5 可看出,当 pH 值达到 7 时,解钾量达到最大,菌液中的速效钾含量达到 6.1 mg/L,与其他 pH 值时有显著差异;当 pH 值达到 9 时,解钾能力为 4.8 mg/L,与 pH 值为 6 时无显著差异,而比 pH 值为 8 时低了 0.6 mg/L,有显著差异。由此确定菌株 JK3 的最适生长 pH 值为 7,且菌株适合生长于中性或偏碱性的环境中,这对于菌株的大规模生产具有重要的指导意义。

2.4.4 最适初始接种量 由图 6 可以看出,随接种量的增

加,速效钾含量呈逐渐上升的趋势;当接种量为 1.5% 时,菌液中速效钾含量达到最大,为 5.82 mg/L,比接种量为 1.0% 时高了 1.5 mg/L,且有显著性差异;而当接种量达到 2% 时,解钾量为 5.83 mg/L,与 1.5% 时无显著性差异。因此,从经济角度考虑,选取 1.5% 为最适接种量。

2.4.5 最佳初始碳源 不同碳源对菌株 JK3 的解钾能力有显著影响,以糖蜜为碳源时,菌液速效钾含量最高,达到了 5.6 mg/L,其解钾能力最强;以淀粉为碳源时,解钾能力次之,菌液中速效钾含量达到 5.1 mg/L,比糖蜜低了 0.5 mg/L,有显著性差异;而以葡萄糖为碳源时,解钾能力最弱,速效钾含量为 4.2 mg/L,与其他碳源相比,均存在显著性差异。结果表明,该解钾菌株对碳源的利用以双糖和多糖为主,利用效率优于单糖,其最适生长碳源为糖蜜。

2.4.6 最佳初始氮源 不同氮源对菌株 JK3 的解钾能力有显著影响,以麸皮(麸皮加水煮沸后过滤,取滤液)为氮源时,菌液速效钾含量最高,达 6.1 mg/L,其解钾能力最强;以大豆蛋白胨为氮源时,解钾能力次之,菌液中速效钾含量达到

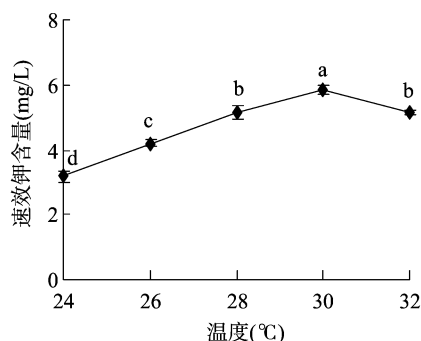


图3 菌株 JK3 最适初始温度

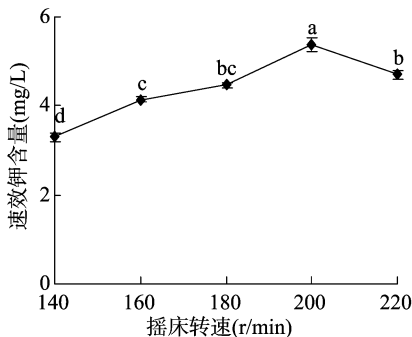


图4 菌株 JK3 最适摇床转速

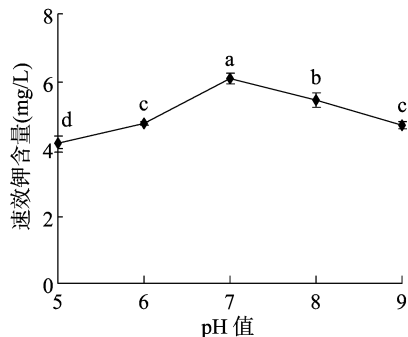


图5 菌株 JK3 最适培养 pH 值

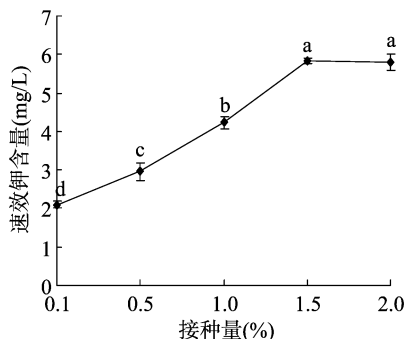


图6 菌株 JK3 最适接种量

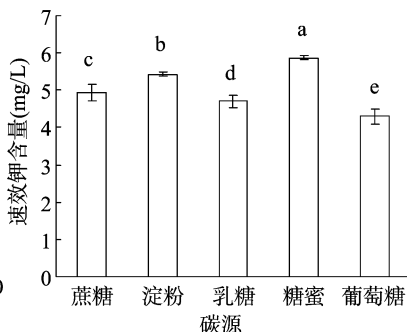


图7 不同碳源对菌株 JK3 的影响

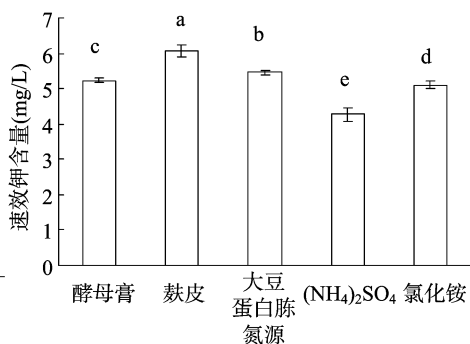


图8 不同氮源对菌株 JK3 的影响

5.4 mg/L, 比麸皮低 0.7 mg/L, 且存在显著性差异; 而以硫酸铵为氮源时, 解钾能力最弱, 速效钾含量为 4.3 mg/L, 与其他氮源相比, 均有显著性差异。结果表明, 菌株对有机氮的利用率高于无机氮, 菌株最适生长氮源为麸皮滤液。

### 3 讨论

随着种植业结构的调整, 农作物产量和复种指数的不断提高, 土壤中耗钾量的不断增加, 全国耕地土壤速效钾含量逐年下降, 南方各地土壤缺钾情况更为严重。土壤中的含钾硅酸盐矿物只有在理化因素和微生物的作用下, 才会通过分化和分解逐步释放出钾, 供作物生长利用。土壤中含有大量的解钾菌株<sup>[16]</sup>, 李海龙等从秦岭周至县土壤中筛选出 1 株高效解钾菌, 解钾率达到 25.1%<sup>[17]</sup>; 袁文功等从云南昆明白泥山土壤样品中分离获得 1 株硅酸盐细菌, 其解钾量比空白组高出 1.79 倍<sup>[18]</sup>。研究表明, 目前发现的解钾菌株多为胶质芽孢杆菌, 其在生物菌肥、生物冶金及污水处理方面有着广泛的应用前景, 因此, 胶质芽孢杆菌的研究受到广泛关注<sup>[12]</sup>。本研究从周至县猕猴桃园土壤中筛选出 1 株高效解钾菌株, 通过 16S rDNA 测序, 并对序列进行比对确定其为胶质芽孢杆菌, 命名为 JK3。

不同菌株解钾能力也不相同, 秦文旺等从钾页岩矿区分离筛选得到 1 株解钾能力强的野生型胶质芽孢杆菌, 解钾能力达到 2.8 mg/L<sup>[19]</sup>; 麻瑞阳从不同作物的土壤中筛选出 12 株解钾菌株, 解钾能力最高达到 9.61 mg/L<sup>[20]</sup>。研究表明, 菌株 JK3 在最适培养条件下培养, 解钾量可达 6.1 mg/L, 具有较强的解钾能力。而不同的菌株培养条件对菌株解钾能力也有显著影响, 试验表明, 菌株 JK3 在初始 pH 值为 7、转速 200 r/min、培养温度 30 °C 的条件下解钾能力最强。接种量的选择, 综合了菌株解钾能力及经济效益等因素, 确定最适接

种量为 1.5%, 解钾能力达到 5.82 mg/L, 与 2% 接种量时的 5.83 mg/L 无显著差异。本试验中, 菌株 JK3 以糖蜜为唯一碳源时解钾能力最强, 而以葡萄糖为唯一碳源时解钾能力最弱, 分别是 5.86/4.31 mg/L, 说明菌株对多糖的利用优于单糖。而对氮源的利用则表现为有机氮优于无机氮, 其解钾能力分别为 6.1/4.26 mg/L。

### 4 结论

本研究从猕猴桃园采集土样, 筛选到 12 株高效解钾菌, 通过鉴定和解钾能力的测定, 复筛出 1 株解钾能力最强的菌株, 利用 16S rDNA 基因序列分析方法对该菌株的分类信息进行鉴定, 鉴定结果表明该菌株为胶质芽孢杆菌, 命名为菌株 JK3, 其解钾量达 6.1 mg/L, 具有较高的解钾能力。通过试验确定该菌株的最适培养条件为: 初始接种量 1.5%, 摇床转速 200 r/min, 培养温度 30 °C, 初始 pH 值 7, 最佳碳源为糖蜜, 最佳氮源为麸皮, 为菌株的开发利用提供数据支持和理论基础。

### 参考文献:

- [1] 刘五星. 胶质芽孢杆菌解钾作用与发酵条件研究及在烟草上的应用[D]. 南京: 南京师范大学, 2003.
- [2] 郝艳淑, 姜存仓, 夏颖, 等. 植物钾的吸收及其调控机制研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 6-10.
- [3] 刘晓燕, 何萍, 金继运. 钾在植物抗病性中的作用及机理的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 445-450.
- [4] 吴振芳. 内切葡聚糖酶基因在毕赤酵母中高效表达及其结构域重构研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2009.
- [5] 李鹏章. 生物钾肥及其在农业上的应用[J]. 云南热作科技, 1999, 22(1): 45-46.
- [6] 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, 2005, 30(6): 519-521.

高锦红. 湿地植物芦苇的热值和灰分含量[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(11): 475–477.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.11.136

# 湿地植物芦苇的热值和灰分含量

高锦红

(渭南师范学院化学与生命科学学院/渭南师范学院药物中间体协同创新中心, 陕西渭南 714000)

**摘要:**利用氧弹式量热计对不同湿地芦苇的热值和灰分含量进行测定。结果表明:芦苇全株干质量热值在 22.24~29.45 kJ/g 之间,去灰分热值在 23.35~31.02 kJ/g 之间,灰分含量在 5.75%~8.12% 之间;对芦苇全株热值进行比较,样本去灰分热值均大于其干质量热值;植物芦苇的根、茎、叶和穗等器官间的热值大小规律性不显著。这说明湿地植物的热值和灰分含量与湿地地理位置、环境和气候等因素有关。

**关键词:**热值;灰分含量;湿地;芦苇;环境因子

**中图分类号:** Q947.5; S564<sup>+</sup>.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)11-0475-03

热值是评价和反映生态系统中物质循环和能量转化规律的重要指标,随着生态系统功能过程研究的深入,热值测定日益引起了人们的重视<sup>[1]</sup>。自 Long 于 20 世纪 30 年代比较系统地开展植物热值研究以来,不少学者对此展开了大量研究<sup>[2]</sup>。国外对植物热值的研究始于 20 世纪 60 年代,主要是对植物热值的测定方法进行了研究;80 年代后从植物热值的动态变化研究逐渐延伸到能量动态和能量固定等方面。国内对植物热值的研究始于 1978 年,到目前为止主要是有关草原、森林、高寒草地等植物热值的研究<sup>[3-6]</sup>。热值不仅可以作为植物生长的有效指标,还是能量生态学研究的基础之一,对生理、栽培、育种、土壤、生态等研究有重要意义<sup>[7]</sup>。

收稿日期:2015-10-10

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(编号:21503150);陕西省教育厅项目(编号:15JK1239);渭南师范学院秦东湿地保护与管理研究项目(编号:14TSXK05);渭南师范学院特色学科项目(编号:14TSXK04)。

作者简介:高锦红(1974—),女,副教授,主要从事化学计量学工作。

E-mail: gjh97@163.com.

湿地植物热值也是湿地生态系统中能量转化评价的重要指标。湿地植物芦苇的热值能反映芦苇组织各种生命活动的变化和芦苇生长状况的差异,热值的变化在一定程度上可以反映出各种环境因子对芦苇生长的影响。目前,国内有关湿地植物芦苇的研究只涉及养分吸收、N 和 P 积累动态和重金属元素含量方面<sup>[8-10]</sup>,而有关湿地植物热值方面的工作较少,本试验以湖南茶陵、渭南合阳、渭南大荔、渭河渭南城区段、渭南沈河水库等 5 个地区的植物芦苇作为分析样本。利用氧弹式量热计对芦苇各器官热值及灰分含量进行测定分析,为湿地生态系统的能流研究提供基础数据,这对湿地植物芦苇的研究和保护利用具有一定的参考价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

湿地芦苇采样区除了湖南 1 个采样点外,其他采样点均为陕西渭南湿地,渭南隶属于陕西省,地理坐标为位于 108°50′~110°38′E, 34°13′~35°52′N 之间,地处陕西关中渭河平原东部,是陕西省的“东大门”,总面积约 13 134 km<sup>2</sup>。

[7] 唐勇, 陆玲. 解磷微生物及其应用的研究进展[J]. 天津农业科学, 2001, 7(2): 1-5.

[8] 朱向东, 王宏庭. 土壤钾素管理研究进展[J]. 山西农业科学, 2013, 41(11): 1274-1281.

[9] 麻瑞阳, 张爱民, 惠小双, 等. 高效解磷解钾菌 NX-11 菌株的分离筛选, 鉴定及最佳培养条件的确定[J]. 华北农学报, 2013, 28(2): 202-208.

[10] Sugumaran P, Janarthanam B. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth[J]. World journal of agricultural sciences, 2007, 3(3): 350-355.

[11] Calvaruso C, Turpault M-P, Frey-Pettker P. Root-associated bacteria contribute to mineral weathering and to mineral nutrition in trees: a budgeting analysis[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2006, 72(2): 1258-1266.

[12] 冯雅丽, 王宏杰, 李浩然, 等. 一株产絮凝剂硅酸盐细菌的筛选及其絮凝特性[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2008, 39(5): 934-939.

[13] 何齐庄, 金迪, 彭清静. 一株钾长石分解菌的分离、鉴定及系统发育[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1): 23-25.

[14] 党雯, 邵春花, 张强, 等. 解钾菌的研究进展及其在农业生产中的应用[J]. 山西农业科学, 2014, 42(8): 921-924.

[15] 王雪, 袁晓凡, 赵兵, 等. 胶质芽孢杆菌培养条件及发酵工艺的研究进展[J]. 过程工程学报, 2010, 10(2): 409-416.

[16] Friedrich S, Platonova N, Karavaiko G, et al. Chemical and microbiological solubilization of silicates[J]. Acta biotechnologica, 1991, 11(3): 187-196.

[17] 李海龙, 谷洁, 张宏斌, 等. 秦岭山区硅酸盐细菌的分离、筛选以及初步鉴定[J]. 西北农业学报, 2011, 20(4): 194-199.

[18] 袁文功, 季秀玲, 邓伟, 等. 一株硅酸盐细菌的分离及解钾活性研究[J]. 中国微生态杂志, 2012, 24(3): 38-41.

[19] 秦文旺, 牧耀贵, 吕利华, 等. 一株解钾高活性胶质芽孢杆菌的筛选与育种[J]. 山西农业科学, 2015, 43(4): 434-439.

[20] 麻瑞阳. 高效解磷解钾菌株 NX-11 的分离筛选鉴定及作用效果分析[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.