

# 使用解磷细菌对小油菜产量及土壤磷含量的影响

王亚艺

(青海省农林科学院 土壤肥料研究所, 青海 西宁 810016)

**摘要:**以小油菜为试材,用自行分离出的5株解磷细菌制成液体菌剂,进行盆栽试验。结果表明:不论施磷肥与否,使用解磷细菌可以提高小油菜的产量,其中溶磷菌 w12-7 和解磷菌 y9-4 处理的小油菜的产量提高的最多,其次为溶磷菌 w5-2 处理的小油菜;作物收获后,土壤速效磷含量变化较大,不施磷肥时,使用溶磷菌 w12-7 和解磷菌 y9-4 的土壤速效磷含量降低较少,分别比对照变化值少 23.4% 和 34.8%;施磷肥后,所有处理的速效磷含量均有所增加,且溶磷菌 w5-2 和解磷菌 y9-4 处理增加较多。解磷细菌对土壤 pH 和全磷含量影响不明显;溶磷菌 w12-7、w5-2 和解磷菌 y9-4 较适用于青海省石灰性土壤中。

**关键词:**解磷细菌;小油菜;产量;土壤磷含量;土壤 pH

**中图分类号:**S 565.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)05-0155-04

磷是植物生长必需的营养元素之一,它既是植物体内许多重要有机化合物的组分,同时又以多种方式参与植物体内各种代谢过程,在人类赖以生存的土壤-植物-动物生态系统中起着不可替代的作用<sup>[1]</sup>。但磷是不可再生资源,据统计,世界磷矿资源最多只能维持 400 年。我国有 74% 的耕地土壤缺磷,土壤中 95% 以上的磷为无效磷,很难被植物利用<sup>[2]</sup>。青海省主要耕作土壤为石灰性土壤,游离碳酸钙含量高,大部分磷形成难溶性的磷酸钙盐,速效磷含量为 5~10 mg/kg,土壤严重缺磷。农业生产中为保证作物正常生长而大量施用化肥,但磷肥施入土壤后易被固定,利用率不高,青海省磷肥利用率在 5%~20%,土壤累积磷严重,造成大量磷素资源的浪费,产投比较低<sup>[3]</sup>。因此,如何开发和有效利用被土壤固定的磷,提高磷肥利用率,减少化肥用量,节约农民成

本成为青海省农业生产中亟需解决的问题。

张云翼等<sup>[4]</sup>研究发现,土壤中存在一些能够将有机磷和难溶性无机磷转化为可溶性无机磷的解磷细菌,如芽孢杆菌属(*Bacillus*)、假单胞菌属(*Pseudomonas*)、土壤杆菌属(*Agrobacterium*)等。解磷细菌施入土壤后,其生长代谢可以在植物根际形成供磷微区,从而改善植物磷素的供应,增加作物磷素吸收量,提高作物产量。接种解磷细菌还能加强土壤中硝化细菌和其它有益微生物的活动,促进植物对钾、钙、镁、铁、锌等营养元素的吸收,降低土壤 pH 值<sup>[5-6]</sup>。国内外对解磷细菌的研究较多<sup>[7-11]</sup>,早在 1958 年 Sperber<sup>[12]</sup>就发现土壤中大部分解磷微生物都存在于植物根际。Sundara 等<sup>[13]</sup>在 1963 年利用  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  作为磷源,发现几株芽孢杆菌属释放的可溶性磷达 70.52~156.80  $\mu\text{g/mL}$ ,埃希氏菌属释放的可溶性磷为 59.70~170.30  $\mu\text{g/mL}$ 。范丙全等<sup>[14]</sup>在玉米、花生、油菜等作物中接入解磷菌 PS,使得作物的产量得到明显增加。郝晶等<sup>[15]</sup>研究了不同解磷菌群对植物或作物生长及产量的影响,结果表明,施入解磷菌群能增加植株高度 16.8%~28.3%;增加茎节数 2.4%~17.9%;增长根系长度 0.22%~34.50%;增加地上鲜重 7.0%~

**作者简介:**王亚艺(1983-),女,硕士,助理研究员,现主要从事农业微生物及肥料等研究工作。

**基金项目:**青海省农业科技成果转化资助项目(2012-N-516);科技部农业科技成果转化资助项目(2012GB2G200472);青海省农林科学院创新资助项目(2011-NKY-04)。

**收稿日期:**2013-11-22

**Abstract:** 'Shengyong' is bred from *Juglans regia* L seedling populations in Yunnan as a new walnut variety. Appearance of nut is oval, base of fruit is circle, top of fruit is sharp, average fruit weight is 10.8 g. The pit on testa is dense and shallow, not smooth, suture line in middle and upper protuberant and tight, nut shell thickness 0.9 mm. Inner wall is thin, total kernels is extractable, plump, fullness; the kernel rate 58.4%, rough fat 60.6%, protein 19.8%, yellow and white kernel, taste fragrant plain. Fruits mature at late September in Yongsheng County of Lijiang. In 2012 it was identified improved varieties of tree varieties in Yunnan province Committee.

**Key words:** *Juglans regia* L; new cultivar; breeding; shengyong

44.4%。程宝森等<sup>[16]</sup>对 50 年生葡萄园解磷细菌进行了筛选研究,获得了 2 株效果突出的菌株,培养液中有效磷含量均超过 600 mg/L,接种到盆栽试验后,能明显促进葡萄扦插苗的生长和叶绿素的合成。目前,在青海省关于解磷细菌的报道较少。而由于该地区气候具有低温、干旱、日照时间长、辐射强、温差大、雨热同季等特征,农田土壤微生物为适应这种环境而形成了固有的特点。该试验对已筛选出的解磷细菌<sup>[17-18]</sup>进行盆栽试验,通过测定作物产量和土壤中磷含量及 pH 值,最终确定适合青海省推广应用的高效解磷细菌,以期未来微生物肥料开发奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试小油菜品种为“四月慢”;供试土壤采自青海大学旁西山石灰性土,土壤速效磷含量为 10.05 mg/kg,全磷含量为 1.61 g/kg, pH 8.13;供试 5 个菌株分别为:w5-2、w5-3、w12-7、y9-4、y8-4(5 株菌均由课题组自行筛选)。试验所用肥料种类为尿素含 N 46%,磷酸二铵含 N 18%,含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%,硫酸钾含 K<sub>2</sub>O 50%,纯养分用量为 N 0.2 g/kg 土, P 0.15 g/kg 土(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.34 g/kg), K 0.1 g/kg 土(K<sub>2</sub>O 0.12 g/kg)。

### 1.2 试验方法

试验于 2012 年 5 月在园艺所日光温室进行,采用盆栽方式。盆钵规格为 45 cm×35 cm×20 cm,每盆装土 12 kg,播种 50 粒,出苗后间苗,定苗 30 株/盆。试验共设 11 个处理,单施溶磷菌 w5-2、w5-3、w12-7 和单施解磷菌 y8-4、y9-4 的 5 个处理,分别记为 T1~T5;每种菌种配施磷肥的 5 个处理,分别标记为 T6~T10;单施磷肥的处理标记为 T11;以不施磷肥和菌液的处理为对照(CK)。每个处理 3 次重复,施用菌液的处理每盆装菌液 1.0 L。所有处理均施氮肥和钾肥,肥料种类为尿素(N 46%),磷酸二铵(N 18%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%),硫酸钾(K<sub>2</sub>O 50%),纯养分用量为 N 0.2 g/kg 土, P 0.15 g/kg 土(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.34 g/kg), K 0.1 g/kg 土(K<sub>2</sub>O 0.12 g/kg)。

### 1.3 项目测定

试验于 5 月份播种,定苗 1 周后开始取土样和植株样,每隔 20 d 取 1 次样,土样取 4 次,植株样共取 4 次,每个重复所取植株数量相同,直到作物收获。将取得的土壤样品及时灭菌,测定 pH、全磷和速效磷含量;植株样品烘干研磨,测定磷含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同解磷菌对小油菜株高和产量的影响

由表 1 可知,各处理小油菜株高和产量均高于对照,说明施用磷肥或解磷菌能促进小油菜的生长。解磷菌和磷肥配施处理的小油菜的株高最高。不施磷肥条

件下,溶磷菌 w12-7 和解磷菌 y9-4 对小油菜株高效果明显,使用后比对照增加 57.5%和 50.6%;施磷肥时趋势相同,与单施磷肥的处理 T11 相比,增加率为 20.5%和 35.3%。由表 1 可知,施用磷肥或解磷菌可明显提高小油菜的产量。使用溶磷菌 w12-7 可使小油菜增产 54.5%,使用解磷菌 y9-4 则增产 95.3%;施用磷肥后,使用这 2 种菌液后分别可使小油菜增产 44.4%和 66.6%。说明不论施磷肥与否,磷细菌都可使小油菜明显增产,其中溶磷菌 w12-7 和解磷菌 y9-4 增产效果最好。

表 1 施用解磷细菌对小油菜株高和产量的影响

Table 1 The effect of solubilizing bacteria on plant height and yield of the rape

处理	株高 /cm	与相应对照 相比/%	产量 /g·株 <sup>-1</sup>	与相应对照 相比/%
CK	9.82	—	19.77	—
T1	11.18	13.8	23.12	16.9
T2	12.82	30.5	27.69	40.1
T3	15.47	57.5	30.54	54.5
T4	13.93	41.9	34.49	74.5
T5	14.79	50.6	38.62	95.3
T6	13.92	-8.1	34.33	18.9
T7	17.12	13.0	33.00	14.3
T8	18.26	20.5	41.69	44.4
T9	16.80	10.9	41.86	45.0
T10	20.50	35.3	48.11	66.6
T11	15.15	—	28.87	—

### 2.2 磷细菌对植株吸收磷的影响

由表 2 可知,使用 w12-7 菌液和磷肥后,小油菜磷吸收量增加最多,比不施磷肥时多 259.7%。在不施磷肥条件下,使用溶磷菌 w5-2 可使小油菜磷吸收量增加 42.0%,使用解磷菌 y9-4 则增加 141.0%;在施磷肥前提下,使用溶磷菌 w12-7 可使小油菜磷吸收量增加 34.2%,使用解磷菌 y9-4 则增加 35.7%。以上结果证明使用解磷菌比溶磷菌更能提高植株的磷吸收量。

表 2 施用解磷细菌对小油菜磷素吸收量的影响

Table 2 The effect of solubilizing bacteria on phosphorus uptake of the rape

处理	磷吸收量/g·株 <sup>-1</sup>	与相应对照相比/%
CK	43.69	—
T1	62.06	42.0
T2	57.59	31.8
T3	52.93	21.1
T4	53.8	23.1
T5	105.32	141.1
T6	151.74	6.9
T7	133.65	-5.8
T8	190.41	34.2
T9	189.09	33.2
T10	192.64	35.7
T11	141.93	—

### 2.3 磷细菌对土壤 pH 的影响

从图 1a 可以看出,随着小油菜的生长,土壤 pH 在

整个过程中呈现逐渐上升的趋势,在小油菜生长后期,pH 值趋于稳定。比较不施磷肥的处理,结果表明,在植株生长的各个阶段,施用菌液的土壤 pH 值均小于对照,其中施用 y9-4 菌液的土壤 pH 值在植株整个生育阶段均处最低值,说明该菌液施用后可使土壤碱性降低,有利于植株的生长发育。比较施用磷肥的处理,结果显示,施用菌液后的土壤 pH 值与对照差别不大,甚至略大于对照(图 1b)。

#### 2.4 磷细菌对土壤速效磷含量的影响

从图 2a 可以看出,随着小油菜的生长发育,对照和施菌液处理的土壤速效磷含量呈下降趋势,植株收获时含量最低。从不同处理来看,整个生育期内除 w5-3 处理的土壤速效磷含量低于对照,其它处理均比对照高,其中解磷菌 y9-4 和溶磷菌 w5-2 及 w12-7 明显大于对

照。植株收获后,y9-4 菌液处理土壤速效磷含量降低值比对照降低值少 34.8%,w5-2 和 w12-7 则少 21.7%和 23.4%,说明施用这 3 种菌液后,土壤其它形态的磷部分转化成了水溶态磷,致使植株收获后土壤速效磷含量降低较少。由图 2b 可知,在小油菜整个生育期中,土壤速效磷含量呈先升后降的趋势,原因可能是前期施用磷肥后,土壤速效磷含量增加,随着植株的生长,从土壤中吸收的磷逐渐增多,土壤速效磷含量呈下降趋势。从不同菌液处理来看,使用溶磷菌 w5-2 后的土壤速效磷含量在作物收获时比对照增加了 69.1%,使用解磷菌 y9-4 后则增加 24.3%。比较各处理作物种植前后的土壤速效磷含量变化可知,对照中速效磷含量明显减少,而溶磷菌 w5-2 处理中含量增加,2 个处理的变化值相差 124.6%,解磷菌 y9-4 处理的变化值与对照相比,增加了 43.9%。

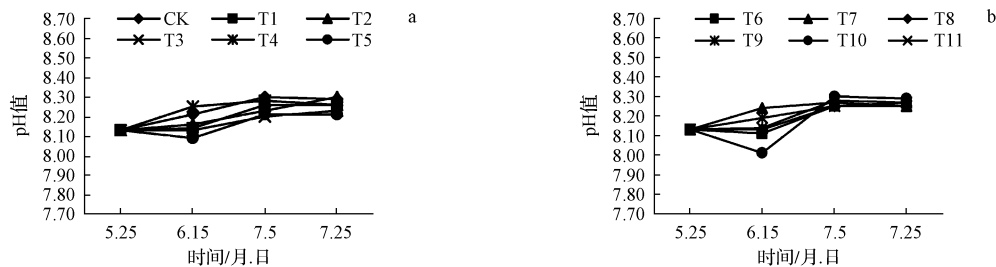


图 1 使用磷细菌对土壤 pH 值的影响

Fig. 1 The effect of solubilizing bacteria on soil pH

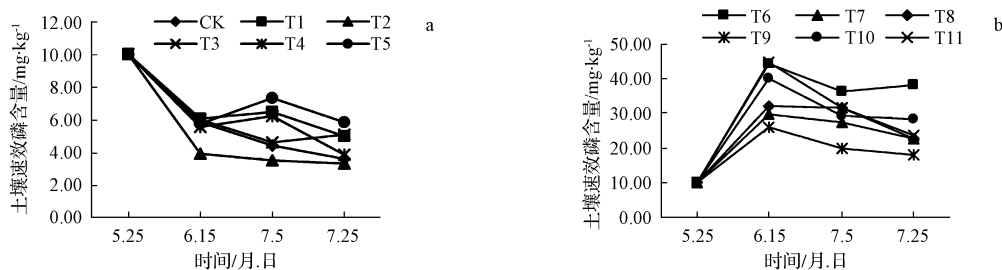


图 2 使用磷细菌对土壤速效磷含量的影响

Fig. 2 The effect of solubilizing bacteria on soil available-phosphorus

#### 2.5 磷细菌对土壤全磷含量的影响

表 3 结果表明,不施磷肥时,小油菜种植前后对照土壤全磷含量基本无变化,而使用菌液处理的土壤全磷含量都有所变化,其中 w12-7 处理增加较多,比对照增加了 5.3%;比较使用溶磷菌和解磷菌的结果可知,使用溶磷菌后土壤全磷含量相对增加,而使用解磷菌的处理土壤全磷有略微下降。这可能是由于使用解磷菌后,小油菜生物量增大,从土壤中带走的磷较多,致使土壤中的磷有所下降。施用磷肥后,土壤全磷含量都有所上升,且使用解磷细菌处理的土壤全磷含量的增加量均比对照低;比较 5 个使用解磷细菌的处理可知,使用溶磷菌 w5-2 和解磷菌 y8-4 后,土壤全磷含量增加 11.5%和 16.3%,增加幅度较大。

表 3 小油菜种植前后土壤全磷含量的变化

Table 3 The change of total phosphorus of soil before and after rape harvesting

处理	种植前/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	种植后/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	变化率/%
T1	1.61	1.63	1.0
T2	1.61	1.65	2.7
T3	1.61	1.70	5.3
T4	1.61	1.58	-1.7
T5	1.61	1.56	-3.1
T6	1.61	1.80	11.5
T7	1.61	1.65	2.3
T8	1.61	1.75	8.4
T9	1.61	1.87	16.3
T10	1.61	1.75	8.6
T11	1.61	1.94	20.2
CK	1.61	1.59	-1.3

### 3 讨论与结论

该试验结果表明,使用磷细菌能够明显增加作物株高和生物量。其中溶磷菌 w12-7 和解磷菌 y9-4 增产效果最好,增产率高,明显促进植株对磷的吸收。磷细菌对土壤 pH 无明显影响,但对土壤速效磷含量变化有作用。不施磷肥时,溶磷菌 w12-7 和解磷菌 y9-4 使用后,土壤速效磷含量降低较少,比对照变化值少 23.4% 和 34.8%,施磷肥前提下,溶磷菌 5-2 和解磷菌 y9-4 处理的土壤速效磷含量增加较多。溶磷菌 w12-7 和 w5-2 对土壤全磷含量也有一定的影响。综合以上试验结果可知,溶磷菌 w12-7、w5-2 和解磷菌 y9-4 是青海省石灰性土壤中使用效果较好的菌种,且其使用效果在不施磷肥时比使用磷肥后更佳。但因大田土壤中温度、湿度以及微生物种群之间的竞争等因素,磷细菌使用效果可能会受到影响,故还需进一步通过田间试验验证,才能确定这 3 种菌是否能得以推广应用。

#### 参考文献

- [1] 吴平,印莉萍,张立萍. 植物营养分子生理学[M]. 北京:科学技术出版社,2001.
- [2] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理和施肥[M]. 北京:化学工业出版社,1998.
- [3] 陈占全,李月梅,孙小凤,等. 青海省耕地质量现状分析及平衡施肥建议[J]. 青海农林科技,2008(2):32-36.
- [4] 张云翼,邹碧莹. 土壤解磷细菌的研究进展[J]. 现代农业科技,2008(15):182-184.
- [5] 唐勇,陆玲,杨启银,等. 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.

- [6] Rodriguez H, Goire I, Rodriguez M. Caracterización de cepas de *Pseudomonas solubilizadoras de fósforo*[J]. Rev ICIDCA, 1996(30):47-54.
- [7] 郝春花,王岗,董云中,等. 解磷菌剂盆栽及大田施用效果[J]. 山西农业科学,2003,31(3):25-28.
- [8] 蔡磊,李文鹏,张克勤. 高效解磷菌株的分离、筛选及其对小麦苗期生长的促进作用研究[J]. 土壤通报,2002(33):44-46.
- [9] 林启美,赵海英,赵小蓉. 4 株溶磷细菌和溶磷真菌解磷矿粉的特性[J]. 微生物学通报,2002,29(6):24-28.
- [10] 赵小蓉,林启美,孙焱鑫,等. 小麦根际与非根际解磷细菌的分布[J]. 华北农学报,2001,16(1):111-115.
- [11] 曾广勤,刘荣昌,张爱民,等. 磷细菌剂在小麦上应用研究[J]. 河北省科学院学报,1997(3):25-28.
- [12] Sperber J I. The incidence of apatite solubilizing organisms in the rhizosphere and soil [J]. Aust J Agric Res, 1958(9):778-781.
- [13] Sundara Rao W V B, Sinha M K. Phosphated dissolving microorganism in the rhizosphere and soil[J]. Indian J Agric Soil, 1963,33(4):272-278.
- [14] 范丙全,金继运,葛诚. 溶磷真菌促进磷素吸收和作物生长的作用研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(6):620-624.
- [15] 郝晶,洪坚平,刘冰,等. 不同解磷菌群对豌豆生长和产量影响的研究[J]. 作物杂志,2004,10(6):73-76.
- [16] 程宝森,房玉林,刘延琳,等. 渭北旱塬葡萄根际解磷细菌的筛选及其对葡萄的促生效应[J]. 西北农业学报,2009,18(4):185-190.
- [17] 王亚艺,李松龄,蔡晓剑,等. 青海解磷菌菌株的分离筛选[J]. 河北农业科学,2012,16(2):62-64.
- [18] 王亚艺,李松龄,蔡晓剑,等. 青海解磷菌菌株的分离筛选[J]. 北方园艺,2012(15):161-163.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

## Effect of P Solubilizing Bacteria on Rape Yield and the Content of Soil Phosphorus

WANG Ya-yi

(Soil and Fertilizer Institute, Qinghai Academy of Agricultural Forestry Sciences, Xining, Qinghai 810016)

**Abstract:** Taking rape as material, phosphorus inoculum was prepared by phosphorus dissolving bacteria strains which were separated by our group for rape pot experiment. The results showed that regardless of fertilizing P or not, using solubilizing bacteria could significantly increase the rape yield, which improved the production mostly were phosphorus-solubilizing bacteria w12-7 and phosphorus bacteria y9-4, followed by phosphorus-solubilizing bacteria w5-2. After harvesting, soil available-P content changed widely. When none fertilizer P, the content of soil available-P was decreased on the condition of phosphorus-solubilizing bacteria w12-7 and phosphorus bacteria y9-4, less than the control change value of 23.4% and 34.8%. Under the condition of P fertilizer, available P content of all treatments was improved, which improved the production mostly were phosphorus-solubilizing bacteria w5-2 and phosphorus bacteria y9-4. It was not obvious of the effect of P solubilizing bacteria on soil pH and total phosphorus. Tests showed that phosphorus-solubilizing bacteria w12-7, w5-2 and phosphorus bacteria y9-4 were better strains used in calcareous soils in Qinghai.

**Key words:** P solubilizing bacteria; rape; yield; content of soil P; soil pH