

# 土壤解磷微生物及其解磷机制综述

吉 蓉

(甘肃省瓜州县农业科技服务中心, 甘肃 瓜州 736100)

**摘要:** 综述了土壤中的磷素形态、解磷微生物的概况及其解磷作用机制, 分析了我国解磷微生物的应用情况及存在的问题, 并提出今后的研究方向。

**关键词:** 土壤; 解磷微生物; 解磷机制; 解磷能力

**中图分类号:** S154.3; S182 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2013)08-0042-03

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2013.08.017](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2013.08.017)

## Research Summary on Phosphate Dissolution of Phosphate Solubilizing Microorganisms

Ji Rong

(Guazhou Agricultural Science and Technology Service Center, Guazhou Gansu 736100, China)

**Abstract:** This paper summarizes the phosphorus form in soil, an overview of its phosphate solubilizing microorganisms and its of mechanism of phosphate dissolution, analyzes the application and problems of phosphate solubilizing microorganisms, and propose future research directions.

**Key words:** Soil; Phosphate solubilizing microorganisms; Phosphate solubilizing mechanism; Phosphate solubilizing capacity

磷素是肥料三要素之一, 除施磷肥为作物生长提供磷素外, 土壤中也含有丰富的磷素。尽管土壤磷素含量丰富, 但绝大部分以矿物态存在, 只有小部分存在于土壤溶液中或被土壤胶体吸附, 有效态磷数量很少。影响土壤中磷利用效率的因素很多, 其中微生物对土壤磷的转化和有效性影响非常大。大量的研究发现, 土壤中存在大量的微生物, 能将植物难以吸收利用的磷转化为可吸收利用的形态, 具有这种能力的微生物称为解磷微生物或溶磷微生物 (Phosphate-solubilizing microorganisms, PSM)<sup>[1-2]</sup>。摸清土壤中磷素的存在形态及利用、土壤解磷微生物等方面的研究进展以及土壤解磷微生物今后的研究方向, 可以为该领域的研究者提供借鉴。

### 1 土壤中磷素的存在形态及利用

#### 1.1 土壤中磷的存在形态和分布

1.1.1 无机磷 土壤中无机磷的含量约占土壤全磷量的1/3~1/2。土壤中无机磷的形态主要有原生矿物和次生矿物两种。其中原生矿物约有200多

种, 主要是磷灰石, 其主要成分为钙氟磷灰石 $[\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3]$ 和氢氧磷灰石 $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ 。次生矿物主要指化合态即沉淀态的酸盐, 可分为两种类型, 一类是闭蓄态磷, 是指磷酸铁和磷酸铝被氧化铁形成的酸膜包蔽, 闭蓄态磷活性低, 向土壤供磷能力弱; 另一类是非闭蓄态磷, 包括磷酸铁、磷酸铝和磷酸三钙3种形态。在一定条件下它们可以逐渐释放出来。我国南方的砖红壤土中, 非闭蓄态磷以磷酸铁为主, 磷酸铝和磷酸的钙盐很少, 而闭蓄态的磷酸盐占无机磷量的80%; 在北方的石灰性土壤中, 非闭蓄态磷的磷酸钙占无机磷量的60%~80%, 磷的铁和铝盐极少。

1.1.2 有机磷 土壤中除无机磷外, 约1/3~1/2是有机磷。土壤有机磷中大部分是肌醇类, 约占60%; 核酸约占5%~10%; 其它如磷脂、磷蛋白、磷酸糖各占1%~2%, 还有相当一部分有机磷的形态目前仍不十分清楚。土壤有机磷的5%~10%存在于微生物体内, 30%~50%以植酸钙镁形态存在。我国南方水稻土壤中有有机磷占30%以上, 以前

收稿日期: 2013-04-08

作者简介: 吉 蓉(1986—), 女, 甘肃瓜州人, 助理农艺师, 主要从事农业技术推广、测土配方施肥技术推广等工作。  
联系电话: (0)15293766775。E-mail: 632388470@qq.com

东北地区的黑土壤中有机磷占60%以上。

## 1.2 土壤磷素的利用现状

我国有74%的耕地缺磷,土壤中95%的磷为无效形式,植物很难直接吸收利用,其中难溶性有机磷一般占土壤全磷的20%~50%,占难溶性土壤磷总量的10%~85%。施入的磷肥该季节利用效率为5%~25%,大部分与土壤中的 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 结合形成难溶性磷酸盐。据统计,1949—1992年,我国累计施入农田的磷肥有7 880.9万t( $\text{P}_2\text{O}_5$ ),其中大约有6 000万t( $\text{P}_2\text{O}_5$ )积累在土壤中不能被利用。

## 2 土壤解磷微生物

### 2.1 种类与生态分布

解磷微生物包括细菌、真菌和放线菌,按分解底物分为两类:一类是能够分解无机磷化合物的称为无机磷微生物;一类是具有分解有机磷化合物能力的称为有机磷微生物。但解磷微生物解磷机理比较复杂,相当一部分解磷微生物既能分泌有机酸溶解无机磷盐,又能分泌磷酸酶物质分解有机磷,因而很难准确的区分无机磷和有机磷微生物。

分解无机磷的微生物有假单孢菌属的一些种(*Pseudomonas* sp.),如草生假单孢菌(*Pseudomonas herbicola*)等,无色杆菌属的一些种(*Achromobacter* sp.),黄杆菌属的一些种(*Flavobacterium* sp.)及氧化硫硫杆菌(*Thiobacillus thiooxidans*)。分解有机磷的微生物有芽孢杆菌属的一些种,如巨大芽孢杆菌(*Bacillus megatherium*)、蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)等,以及变形菌属的一种(*Proteus* sp.)和沙雷氏菌属的一些种(*Serratia* sp.)。另外,节杆菌属的一些种(*Arthrobacter* sp.)及链霉菌属的一些种(*Streptomyces* sp.),既能分解无机磷也能分解有机磷。

解磷菌的分布表现出强烈的根际效应,即根际土壤的数量比土体要多,但并不是根际微生物的优势菌落。林启美和赵小蓉等的研究表明:无论是有机磷细菌,还是无机磷细菌,小麦和玉米根际土壤的数量比非根际要多1~2个数量级<sup>[3-4]</sup>。Katznelson等发现,小麦根面的解磷细菌数量要比非根际土和根际土区高18倍和6倍;玉米、红三叶草、大麦等作物根际解磷细菌约有 $10^6 \sim 10^8$  cfu/g,比非根际土壤高1~2个数量级<sup>[5]</sup>。

### 2.2 解磷机制

微生物的解磷机制复杂多样,因菌株的不同而有所不同。解磷细菌能够增加土壤有效磷含量,一般认为主要原因有两个,即解磷细菌促进了土

壤无机磷酸盐的溶解及土壤有机磷的分解释放。

**2.2.1 难溶性无机磷化物的降解机制** 难溶性无机磷化物包括原生矿物态磷、次生矿物态磷和被土壤固体表面所吸附的吸附态磷。解磷微生物溶解难溶性无机磷化物的机制可归结为以下几类。一是通过生命代谢活动产生有机酸(细菌一般分泌乳酸、氨基酸、草酸、延胡索酸、琥珀酸和柠檬酸等,真菌主要分泌草酸、丙二酸和乳酸等),这些酸一方面直接溶解土壤中难溶性磷酸盐,另一方面则是通过螯合作用释放出土壤磷素。二是通过 $\text{NH}_4^+$ 同化作用放出质子降低pH,引起磷酸盐溶解。三是通过呼吸作用放出 $\text{CO}_2$ ,降低环境pH,从而引起磷酸盐的溶解。四是磷细菌释放 $\text{H}_2\text{S}$ ,与磷酸铁进行化学反应产生硫酸亚铁和可溶性磷酸盐。五是腐解植物残体而产生胡敏酸和富里酸,这两种酸能与复合磷酸盐中的钙、铁螯合,从而释放出磷酸根离子。六是微生物对钙离子的螯合作用,使磷酸根离子进入土壤溶液。

**2.2.2 土壤有机磷的降解机制** 土壤有机磷一般占土壤全磷的20%~50%,在森林或草原植被覆盖的土壤有机磷可占土壤总磷的1/2以上甚至可达90%。至今已查明化学结构的土壤有机磷仅占土壤有机磷总量的50%~70%,并均为有机磷酸酯(C-O-P)。微生物(尤其是真菌)对有机物的矿化作用主要是其在代谢过程中产生各种酶类,即通过分泌植酸酶、核酸酶、脱氢酶和磷酸酶等物质使有机磷酸盐矿化,成为植物可以吸收利用的可溶性磷。土壤中许多微生物都能够分泌酸性或碱性磷酸酶,将植酸盐、磷脂等含磷有机化合物转化为简单的无机化合物。酶解作用是有机磷降解的重要途径,但在有效磷浓度低于一定值使得微生物感受低磷胁迫时,胞内碱性磷酸酶会被诱导合成并不断积累,其酶量可达到胞内总蛋白的6%。

一般认为生物降解有机磷或矿物磷等非可溶性磷源的能力决定于胞内磷水平并受胞外有效磷浓度的影响,微生物对磷酸酶的分泌与胞内正磷酸盐的缺乏程度呈正相关。但在对磷脂酶PC-PLC的研究中发现,绿脓杆菌和枯草杆菌的分泌是受外源低磷水平诱导并在转录水平上进行调控的<sup>[6]</sup>。另外,在实验室条件下对磷脂酶PLC的研究还发现,某些磷脂酶PLC的基因是不受外源磷水平调控的,也有人分离到解磷能力不受胞内磷水平影响的菌株。因此,在磷细菌的应用研究中,对于特定菌株的磷细菌其降解有机磷分泌磷酸酶的行为是否属诱导反应和应激条件都必须进行仔细研究。

**2.2.3 解磷微生物的固定作用** 可溶性磷酸盐进

人生长着的微生物细胞内称为固定作用。当细胞死亡时,这种暂时被固定的磷酸盐又被释放出来,可为植物吸收利用。细菌和放线菌积累的磷(占其干重的1.5%~2.5%)略高于真菌(0.5%~1.0%)。

### 2.3 解磷微生物的解磷能力

赵小蓉等发现,解磷细菌的解磷量与培养液中的pH存在一定的相关性( $r=-0.732$ )<sup>[7]</sup>。其他一些研究也发现,解磷能力与pH和菌体数量存在相关性,菌体数量增多、酸度降低时细菌的解磷能力提高。细菌的解磷能力不仅与pH有关,而且还很可能受到底物的诱导作用。环境中过高的有效磷对磷细菌的解磷能力存在抑制作用。但是有许多研究发现,真菌的解磷能力高于细菌。Kucey报道,真菌的解磷能力一般是细菌的10倍,许多细菌在进一步的纯化中失去解磷能力,而真菌则始终保持其解磷活力<sup>[8]</sup>。后来林启美等也发现,溶解磷矿粉能力较强的细菌溶磷能力为26.92~43.34  $\mu\text{g/mL}$ ,而大多数真菌则为59.64~145.36  $\mu\text{g/mL}$ <sup>[9]</sup>。

微生物的解磷能力一般有3种测定方法:一是将解磷菌株在含有难溶性磷酸盐的固体培养基上培养,测定菌落周围产生的透明圈的大小;二是进行液体培养,测定培养液中可溶性磷的含量;三是进行土壤培养,测定其有效磷的含量。

### 2.4 解磷微生物的应用及存在的问题

我国对解磷微生物的研究起步于20世纪50年代,磷细菌应用研究始于20世纪50年代。1955年,陈廷伟从北京小麦根际土壤中分离出一种产酸性无孢子杆菌具有较强的溶解磷酸三钙能力。接种该菌的玉米及谷子沙培试验表明,玉米干物质重增加了32%~45%,谷子干物质重增加了51%<sup>[10]</sup>。郜春花等将自行分离筛选的B2和B67解磷细菌制成解磷菌剂,进行玉米、甘蓝、青菜、莜麦等的盆栽和大田对比试验表明,解磷菌剂的增产效果显著,其中甘蓝增产8 007.0~11 920.5  $\text{kg/hm}^2$ ,玉米增产961.5~1 200.0  $\text{kg/hm}^2$ ,青菜增产9 297.5~13 881.0  $\text{kg/hm}^2$ ,莜麦增产189.0~330.0  $\text{kg/hm}^2$ ,并有提高土壤速效磷含量和培肥土壤的作用<sup>[11]</sup>。有不少研究表明,具有较高的解磷效率(能力)的解磷微生物可以明显促进植物生长或提高作物产量与养分吸收。

20世纪80年代以后,国内许多单位相继开发出了由多种芽孢杆菌组成的复合解磷菌剂,但在生产上使用效果并不理想。直到近几年,随着人们环境保护意识的增强和农业可持续发展战略的实施,微生物肥料的研究及开发得到了高度重视,科学工作者通过大量的工作来研究微生物肥

料对改善土壤环境及调控土壤肥力等方面的作用,从而使微生物在提高土壤养分利用率上发挥着巨大作用。目前为止,我国已有生物肥料生产企业500多家,基本上都进行解磷肥料的生产。

解磷微生物在我国应用较早,有较好的应用前景,但应用还不普遍。目前对解磷微生物的基础和应用基础研究比较滞后,解磷微生物肥料作用机理、效果制约因素与机理研究比较落后,筛选和构建高效微生物肥料菌株的手段也比较落后,肥料菌种缺少创新,微生物肥料使用的菌种面狭窄,种类少,载体、工艺、发酵条件、多功能菌群组合等关键技术领域的基础研究落后等,限制了我国微生物肥料产业的发展。在解磷微生物肥料生产方面,产业化规模小,产品质量参差不齐,市场较乱,质量标准与质检技术有待完善。造成这种情况的出现有多种原因,其中主要是解磷微生物种类多,分解机制不尽相同,而且目前国内外对解磷菌的研究主要集中在解磷菌的解磷能力、测定方法的研究上,对解磷机制的研究还比较少。

### 3 今后的研究方向

随着我国人口日益增长,人民生活水平不断提高,对农产品的数量和质量安全都提出了更高的要求。同时,由于耕地不断减少,化学磷肥施用量增大,使生产成本直线上升,环境不断恶化。在这种情况下,解磷微生物肥料和其它微生物肥料的作用更显示出它们在农业生产中的应用优势和良好前景。此外,城市、农村对废弃物综合利用的压力愈来愈大,解磷微生物肥料在这方面同样也显示出良好的应用前景。

为了对解磷菌有更充分的认识,普及解磷微生物的应用,还应该从以下几方面加强研究。一是高效解磷微生物菌株,重点要从特定作物的根面、根际土壤中筛选,以获得与作物亲和性好、易于在根际定植的菌株,从而更有利于其解磷能力的发挥。二是要研究解磷微生物与其他功能微生物的关系,如共生固氮菌、根瘤菌、硅酸盐细菌等的相互作用,特别要注意解磷微生物与病原菌发生发展的关系,探讨解磷微生物代谢产物与植物生长的关系。三是研究解磷微生物的生态学特性。在继续筛选高效菌株的基础上,应该加强研究解磷微生物在不同土壤、不同作物、不同环境条件下的生长繁殖特点及其影响因素。四是从酶学、分子生物学方面进一步探讨解磷菌解磷机理。微生物解磷的机理目前仅发现与培养介质的酸度提高,有机酸的产生有关,并且还有不少矛盾的数据。因此,有人推测可能存在其它更重要

# 金昌市林业生态建设现状及保护性发展设想

毛雪莲

(甘肃省金昌市林业技术推广服务中心, 甘肃 金昌 737100)

**摘要:** 分析了金昌市林业生态建设现状及存在的问题, 提出了拓宽投资渠道; 强化生态保护意识; 加强林业资源保护性开发力度; 建立健全林业生态技术保障体系等保护性发展设想。

**关键词:** 林业生态; 建设现状; 发展设想; 金昌市

**中图分类号:** F326.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2013)08-0045-03

doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2013.08.018

金昌市地处河西走廊中东部, 祁连山北麓, 巴丹吉林沙漠南缘。境内高山丘陵、绿洲平原、沙漠戈壁相间分布, 多年平均降水量200 mm左右, 年均蒸发量达2 827 mm, 气候干旱, 风大沙多, 植被稀少, 水资源匮乏, 是全国108个缺水城市和13个资源性缺水城市之一, 也是全国荒漠化监控与防沙治沙的重点地区<sup>[1]</sup>。金昌市是全国最大的镍钴生产基地和铂族元素提炼中心, 生态地位十分重要。因此, 了解金昌市林业生态建设的现状, 提出合理化的设想及建议, 对优化金昌市投资软环境, 推动社会经济的可持续发展都具有重要意

义。

## 1 林业生态建设现状

### 1.1 生态林业建设基础加强

近年来, 金昌市以“活力镍都·戈壁绿城”为主题, 以林业重点工程建设为重点, 以科学发展观为指导, 以建设社会主义新农村为出发点, 摒弃以往简单造林的模式, 推广了退耕还林带间地膜套草、林药间作、风沙前沿多带一体林带林网建设等造林模式, 陆续启动实施了天然林保护、退耕还林、“三北四期”、野生动植物保护及自然保护区工程建设等国家重点林业生态工程, 以及环城

收稿日期: 2013-04-15

作者简介: 毛雪莲 (1975—), 女, 四川广元人, 工程师, 主要从事林业技术推广工作。联系电话: (0)13830576395。E-mail: 360575487@qq.com

的解磷机制, 应该从酶学、分子生物学方面进一步探讨解磷菌解磷机理。五是解磷微生物肥料生产标准化、经营企业化、管理法制化、产销一体化、产品商品化, 创建产量规模和生产群体等, 规范解磷微生物肥料市场与行业管理, 研究产品标准, 建立先进、快速、准确的质检技术体系。六是深入研究解磷菌体施入土壤后的活动和消长动态变化, 更好地挖掘微生物的解磷潜能, 通过开发高效微生物肥料减少化学肥料的使用, 提高土壤中有效磷的含量, 改善土壤环境, 降低环境污染。

### 参考文献:

- [1] 王召娜, 于雪云, 杨合同, 等. 微生物解磷机理的研究进展[J]. 山东农业科学, 2008, 40(2): 88-91.
- [2] 魏孔丽, 谢放, 陈京津, 等. 土壤质量的生物学指标研究综述[J]. 甘肃农业科技, 2009 (12): 31-34.
- [3] 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.
- [4] 赵小蓉, 林启美, 孙焱鑫, 等. 玉米根际与非根际解

磷细菌的分布[J]. 生态学杂志, 2001, 20(6): 62-64.

- [5] KATZELSON H. PETERSONE A, RCUATT JW. Phosphate dissolving microorganisms on seed and in the root zone of plants [J]. Can. J. Bot., 1962, 40: 1181-1186.
- [6] RICHARD WT. Bacterial phospholipases[J]. Microbiological Reviews, 1993, 57: 347-366.
- [7] 赵小蓉, 林启美, 孙焱鑫, 等. 细菌解磷能力测定方法的研究[J]. 微生物学通报, 2001, 28(1): 1-4.
- [8] KUCEY R M N. Phosphate solubilizing bacteria and fungi invarious cultivated and virginialberta soils [J]. Canadian Journal of Soil Science, 1983, 63: 671-678.
- [9] 林启美, 王华, 赵小蓉, 等. 一些细菌和真菌的解磷能力及其机理初探 [J]. 微生物学通报, 2001, 28(2): 26-30.
- [10] 陈廷伟. 微生物对不溶性无机磷化合物的分解能力及其接种效果[J]. 微生物, 1955, 2(5): 210-215.
- [11] 郜春花, 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): 40-43.

(本文责编: 郑立龙)