

## 细菌肥料的研究与应用\*

杨承栋<sup>1</sup> 余进<sup>2</sup> 焦如珍<sup>1</sup> 孙启武<sup>1</sup>

(1 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091;

2 浙江科盛微生物科技有限公司, 浙江淳安 311700)

**摘要:** 重点论述了细菌肥料在我国林业生产建设中的重要性、细菌肥料发展史、国内外研究和应用细菌肥料的动态以及细菌肥料在我国林业生产建设中的应用前景。

**关键词:** 细菌肥料, 固氮菌, 磷细菌, 钾细菌, 结瘤固氮

中图分类号: S 725.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-4241(2008)06-0041-04

### Bacterial Fertilizer Can Be Widely Used in Forestry Production in China

Yang Chengdong<sup>1</sup> Yu Jin<sup>2</sup> Jiao Ruzhen<sup>1</sup> Sun Qiwu<sup>1</sup>

(1 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry,

Beijing 100091, China; 2 Ke Shen Microbial Science and Technology Company Ltd.,

Zhejiang Province, Chun'an 311700, Zhejiang, China)

**Abstract** This article mainly focuses on the importance of bacterial fertilizer in forestry production, the history of bacterial fertilizer oppilization, the research dynamic in domestic, international levels and the application and its prospect of bacterial fertilizer in forestry production.

**Key words** bacterial fertilizer; nitrogen-fixing bacteria; phosphobacteria; potassicbacteria; nodulation and nitrogen fixation

随着世界范围内工业化迅速发展, 人口不断增加, 对木材的需求量日益增长, 导致世界范围内天然林面积逐渐缩小, 人工林面积逐渐增大。由于高度集约经营, 纯林经营, 针叶树种所占比例过大, 而且倾向于短轮伐期经营, 兼之我们对一些树种特有的生物学特性尚不十分清楚, 致使世界范围内人工林地力衰退严重。施用化肥无疑是维护地力的重要经营措施之一, 但由于化学肥料容易造成环境污染, 又不利于森林土壤功能的改良, 兼之我国国情, 目前对大面积林地施用化肥尚很不现实。而微生物肥料的菌株来源于自然界, 因此, 应用微生物肥料实际上是把自然界中优良的微生物种群筛选出来扩大生产, 再返回自然界中, 显然不会对环境造成污染。现有的试验已经表明, 使用细菌肥料能使森林土壤性质得

到明显改良, 土壤主要养分含量和林木生长量提高<sup>[1-2]</sup>。

### 1 细菌肥料种类

从微生物分类的角度出发, 土壤微生物可以分为 3 大类, 即细菌、真菌和放线菌。根瘤菌、磷细菌、钾细菌、微球菌、肠杆菌肥料等均属于细菌类肥料, 世界上研究、应用最早的细菌肥料是根瘤菌肥; 外生菌根真菌 (Pi)、内生菌根真菌 (VA) 统属于真菌类肥料; “五四〇六”菌肥、Franc(弗兰克氏)菌肥等属于放线菌肥料。当然我们也可以依据微生物肥料的功能进行分类, 如能分解无效磷为有效磷的菌肥, 即命名为磷细菌肥料; 能固定空气中分子态氮的菌肥, 可命名为固氮菌肥料; 能分解土壤中无效钾为有效钾的细菌肥料,

\* 收稿日期: 2006-07-08

项目名称: 农林生物质工程

作者简介: 杨承栋 (1941-), 男, 安徽巢湖人, 中国林业科学研究院林业研究所, 研究员, 博士生导师

可命名为钾细菌肥料等。本文重点论述细菌肥料研究与应用工作的进展及其在林业生产建设中的应用前景<sup>[3-7]</sup>。

## 2 国外细菌肥料研制与应用

细菌肥料的研制、生产与应用在世界范围内具有漫长的历史,早在 19 世纪 30 年代,美国和澳大利亚等国就开始研究与试用根瘤菌肥料接种剂,法国农业化学家 J. B. Boussingault 早在 1834 年就曾论述了豆科植物固氮的经典概念,1886 年德国科学家 Hellriegel 和 Wilfarth 论述了其发现的固氮共生体,1888 年荷兰科学家 Beijerinck 在豆科植物的固氮共生体中发现了一种细菌(现在命名为根瘤菌)能固氮。1895 年美国科学家 Nobbe 和 Hiner 开始了根瘤菌接种剂生产,并将产品命名为“Nitragin”<sup>[8]</sup>。1905 年荷兰 Beijerinck 发现自生固氮菌,就在这一年加拿大开始生产微生物肥料。1912 年美国就微生物肥料的质量控制立法。1914 年澳大利亚和瑞士也开始生产微生物肥料。1925 年荷兰科学家 Beijerinck 发现固氮螺菌(*Azospirillum*)。1927 年美国科学家 Matchette 在发酵容器内大量人工培养根瘤菌。1930 年美国联邦政府为微生物肥料制造者颁发了许可证。1932 年 Fred 为根瘤菌推荐 YEMA 培养基。1939 年印度科学家 Pk Dey 在稻谷地里发现兰绿海藻也可以固氮,1948 年发现泥炭可以作为细菌培养的载体。1956 年原苏联开始使用磷细菌肥料,1958 年开始重视把由自生固氮菌培养出的产品作为生物肥料并附以商品名字“Azotobacterin”<sup>[2]</sup>。1960 年印度科学家 Pk Dey 和 R. Bhattachayya 在世界上首次分离出新的非共生固氮菌 *Dexia gummosa*, 1968 年在《根瘤菌通讯》上出版。根据 G. Hordorson 在 1991 年报导的资料,世界上至少有 70 多个国家重视细菌肥料的研制、生产和应用,其中林业发达的国家有美国、加拿大、俄罗斯、日本、澳大利亚、意大利、德国等,发展中国家有印度、越南、菲律宾和一些非洲国家<sup>[9]</sup>。近 20 多年来,随着根际微生物研究工作的进展,有关植物促生根细菌(PG-PR)的研究<sup>[10]</sup>日益引起人们的关注,国际性的 PG-PR 学术会议已召开数次,第 1 届在加拿大,第 2 届在欧洲,第 3 届在澳大利亚,第 4 届在日本,

第 5 届在南美洲,第 6 届在非洲。有关 PG-PR 的研究工作主要集中在细菌分泌的植物促生物质、对豆科植物结瘤的促生作用、促进植物发芽的作用,以及对土壤病害的“生物调控作用”等。研究工作证实,80% 的根际细菌能产生吲哚-3-乙酸(简称 IAA),其中主要有固氮螺菌、假单胞菌及根瘤菌等,IAA 的重要作用不仅在于其直接促生作用,还可以使某些有毒物质解毒,或减轻其毒害作用,目前从植物根际促生菌代谢产物中分离出的抗菌素种类有 20 种左右,很多抗生素基因已被克隆,或用于转基因菌株获得抑病作用。对固氮菌的研究已经由根瘤菌的共生固氮<sup>[11-12]</sup>,发展到对非豆科作物的联合固氮研究、游离固氮菌研究,以及对禾本科作物进行共生固氮研究<sup>[13-15]</sup>。对联合固氮菌的研究工作于最近 15~20 年在世界范围内发展起来,这种菌的特点是需要和植物共生,但又未能形成类似根瘤状稳定的共生体。科学家在研究工作中发现 *Azospirillum*, *Klebsiella*, *Arthrobacterium*, *Agrobacterium* 等联合固氮菌具有较强的固氮活性,除去固氮功能外,这些细菌还有分泌植物生长刺激素功能,并具有多种抗逆功能,然而,联合固氮菌与根瘤菌不同,不能形成类似根瘤的稳定共生体,结瘤大都聚集在根表,对根际环境因素的影响反应敏感<sup>[16-17]</sup>。游离固氮菌则无需与植物共生或结瘤,本身就具有固定空气中分子态氮的功能,并在固氮的同时,还能分泌植物生长刺激素以及抗生素等,在温带经常出现的游离固氮菌有 *Azotobacter*, *Chroococcus* 等,在热带经常出现的游离固氮菌有 *Beijerinckia indica* 等,不过由于自生固氮菌其固氮量少,难以定量,因而对其固氮作用机理的研究进展甚微。对联合固氮菌和游离固氮菌的研究,为非豆科作物固氮开辟了很好的应用前景<sup>[18]</sup>。生物固氮研究已列为“国际生物计划(BP)”的重点内容,国际上差不多隔 2 年召开 1 次生物固氮学术讨论会,近 20 多年已召开过 10 多次,第 13 次生物固氮会议于 2001 年在加拿大召开。研究者从非豆科植物 *Parasponia* 结瘤固氮研究中得到启示,通过转移结瘤基因、酶学方法(纤维素酶等),以及特殊的诱导剂等途径,实现了非豆科作物结瘤固氮尝试,并取得了明显的进展<sup>[19-20]</sup>。还有一类细菌,虽然不具有固氮功

能, 但是这类细菌能合成抗生素、对病原真菌、细菌有拮抗作用, 并能产生植物生长刺激素, 转化土壤中无效养分有效养分, 如 *Pseudomonas* sp 等具有这种功能<sup>[21]</sup>。土壤细菌对土壤中难溶性磷的转化也引起了土壤学家的关注, 多数学者认为, 这类细菌的解磷机理与其代谢产物中存在的各种有机酸(如柠檬酸、草酸、乙酸、酒石酸等)和无机酸(如硝酸、硫酸、碳酸等)有关, 因为这些酸降低了环境的 pH 值, 使难溶性磷分解为可溶性磷, 或认为由于有机酸的螯合作用, 使难溶性的有机磷转化为可溶性状态, 或认为与这类细菌代谢产物中的磷酸酶活性有关, 这类酶可使难溶性有机磷化合物转化为可溶性的磷化物<sup>[19]</sup>。硅酸盐细菌肥料对土壤中难溶性钾化合物的分解与转化也同样引起了研究者的关注<sup>[22-23]</sup>。在未来林业发展中具有良好的应用前景。

### 3 国内细菌肥料研制与应用

我国细菌肥料的研制与应用已有 50 多年的历史, 最早研制、生产与应用的是根瘤菌肥料, 当然也仅限于豆科作物, 随着微生物肥料的研究与应用的发展, 我国一些学者着手开展联合固氮菌和自生固氮菌的研制与应用。据初步统计, 我国微生物肥料每年生产量约为 10 万 ~ 40 万 t (其中也包括放线菌肥料和真菌肥料), 而我国化肥的年生产量为 1.14 亿 t<sup>[5]</sup>, 生产微生物肥料的厂家约 100 多个, 主要分布在 24 个省(市)区, 这些肥料基本上应用于农作物, 在林业上的零星研究工作主要是在竹类、杨树和桉树上的应用, 取得了较明显的增产效果。随着林业生产形势的发展, 我国林业工作者自“七五”以来一直在不间断地开展着高效优良菌株的筛选、不同菌株生理生化特性等基础性研究工作, 从第 5 个五年计划开始, 林用细菌肥料的研制与应用被列入国家攻关专题, 为我国纸浆林主要造林树种, 如桉树、杨树、马尾松、落叶松等非豆科树种研制出多功能细菌肥料制剂, 其中包括 *Bacillus* sp, *Microcococcus* sp, *Agrobacter*, *Pseudomonas* sp 等。这些细菌肥料均具有刺激林木生长、把土壤中无效磷转化为有效磷的功能, 部分菌株还具有抗病性能, 如 *Bacillus* 和 *Agrobacter* 等<sup>[21]</sup>; 有的菌株还具有固氮功能, 如 *Agrobacter* 等, 这些菌株的抗逆性能很强,

均能在 pH 值为 4.0~9.5 的培养基和 NaCl 含量为 7% 的培养基上正常生长。从对纸浆林施用细菌肥料的试验结果来看, 林木生长量的平均增幅均在 10% 以上<sup>[24-25]</sup>, 高的可达到 20% ~ 30% 以上。细菌肥料有别于化学肥料还在于该肥料具有一系列特点, 施用细菌肥料在增加林木生长量的同时, 还可有效地维护和恢复森林土壤功能<sup>[1]</sup>, 不会对环境造成污染, 属于环保型肥料, 细菌肥料用量少, 15 kg/hm<sup>2</sup> 即可, 只相当于化肥施用量的 1/50 到 1/100 施用的方法也很简单, 可以作基肥施入土壤中, 也可以作为追肥, 可穴施、蘸根, 也可喷施。

非豆科树种杨树和桉树结瘤固氮也被列入“九五”国家攻关专题之中, 研究结果发现, 在适合的诱导剂及其合适的诱导浓度作用下, 接种优良根瘤菌可以使非豆科树种杨树、桉树结瘤固氮, 并具有固氮酶活性, 不足的是固氮酶活性较低, 这方面的研究工作目前尚处于起步阶段<sup>[26-27]</sup>。“九五”攻关期间完成了杨树根际联合固氮菌的分离、筛选, 所获菌株均具有固氮酶活性, 接菌组培苗增长效果显著<sup>[5, 16-17]</sup>。

我国主要造林树种对氮肥的需求量均较大, 如果能使非豆科树种结瘤固氮, 其适用价值是巨大的, 意义也是十分深远的<sup>[24]</sup>。从目前的施用情况来看, 细菌肥料不仅可以提高林木生长量, 也可以用于改良水果的品质, 施用于苹果和柑桔, 可以提高果实含糖量 6% ~ 10%; 施用于西红柿可有效改良品质; 施用于茶叶可提高产量 25% ~ 40%, 并能明显地提高茶叶的品味, 经权威部门鉴定、检测, 可明显提高茶叶中具有抗癌功能的茶多酚的含量, 其作用机理尚有待进一步研究。

### 4 小结

展望未来, 细菌肥料的应用前景十分广阔。我国现有人工林面积 5 000 多万 hm<sup>2</sup>, 若有 1% 的林地使用细菌肥料, 每公顷林地施用 15 kg 则每年需要细菌肥料 750 万 kg 细菌肥料正在由单一菌种制剂向复合多菌种制剂发展<sup>[6, 24]</sup>。伴随着分子生物学的发展, 给高效、多功能、优质的细菌肥料研制提供了重要的理论基础, 通过转基因途径, 使定向培育多功能菌剂成为可能。可以预计, 细菌肥料在维护、恢复森林土壤功能, 提高森

林土壤生产力和林木生长量, 增强林木抗病性能, 改良水果品质等方面, 必将发挥更大的效用。细菌肥料与化肥混施, 不仅可有效地提高化肥的利用率, 还能提高林木生长量, 与单纯施用化肥相比, 可提高 10% ~ 15%, 土壤性质与功能也得到明显的改良。

### 参考文献

- [ 1 ]唐菁, 杨承栋. 细菌肥料提高杨树生长量的效应及其作用机理 [ M ] / 杨承栋, 等著. 中国主要造林树种土壤质量演化与调控机理. 北京: 科学出版社, 2008
- [ 2 ]Berezova E. F. The effectiveness of bacterial fertilizers [ J ]. *Microbiologiya (USSR)*, 1963 32 358- 361
- [ 3 ]陈建伟, 葛诚. 我国微生物肥料发展趋向 [ J ]. *土壤肥料*, 1995 ( 6 ): 16- 20.
- [ 4 ]葛诚. 微生物肥料研究、生产和应用的几个问题 [ J ]. *微生物学通报*, 1995 22 ( 6 ), 375- 379
- [ 5 ]谢明杰, 宫文红, 曹文伟. 发展我国微生物肥料的对策研究 [ J ]. *辽宁师范大学学报 ( 自然科学版 )*, 2000 23 ( 4 ): 410- 412
- [ 6 ]杨绍斌, 肖利萍, 钟显亮. 微生物肥料若干基本问题的探讨 [ J ]. *辽宁工程技术大学学报 ( 自然科学版 )*, 2002 21 ( 2 ): 252- 254
- [ 7 ]唐欣昀, 张明, 赵海泉, 等. 微生物肥料及其生产应用中的问题 [ J ]. *生物学杂志*, 2002, 18 ( 1 ), 32- 33
- [ 8 ]曹凤明, 李立, 葛诚. 日本及一些国家对微生物肥料产品的管理 [ J ]. *土壤肥料*, 1998 ( 2 ): 42- 44
- [ 9 ]Roughley R. J. Production and quality control of legume seed inoculants in Australia [ C ] // *Proceedings of Workshop on Rhizobium Legume Inoculants* Porto Alegre, Brazil 1985 37- 42.
- [ 10 ]胡江春, 薛德林, 马成新. 植物根际促生菌 ( PGPR ) 的研究与应用前景 [ C ] // *中国首届农业生物技术发展论坛*, 杭州, 2002
- [ 11 ]Beunard P. Culturing rhizobium strains [ M ] // *Technical Handbook on Symbiotic Nitrogen Fixation* Rome FAO, 1983 1- 3.
- [ 12 ]Bhatnagar R, Jambri K, Iswaran V. Survival of *Rhizobium japonicum* in charcoal bentonite based carrier [ J ]. *Current Sci* 1982, 51: 430- 432
- [ 13 ]Anon. The method of testing legume inoculant and pre-inoculated seed products [ R ]. Ottawa Canada Canada Department of Agriculture 1979 13.
- [ 14 ]Sanso S K A, Bowen G, sangina N. Biological nitrogen fixation in tree in agroecosystem [ J ]. *Plant and Soil* 1992, 141: 177- 196
- [ 15 ]Егорова С В. Азотфиксация в лесных биогеоценозах [ M ]. Москва: Издательство "наука", 1987 122- 136
- [ 16 ]赵秀云, 韩素芬. 杨树根际固氮菌的分离、筛选和鉴定 [ J ]. *南京林业大学学报*, 2000 24 ( 3 ), 17- 20
- [ 17 ]赵秀云, 韩素芬. 固氮细菌与杨树的联合固氮作用 [ J ]. *南京林业大学学报*, 2001, 25 ( 4 ), 17- 20
- [ 18 ]Shende S T, Apte R G, Singh T. Multiple action of *Azotobacter* [ J ]. *Indian J of Genetics and Plant Breeding* 1975 35: 314- 315
- [ 19 ]刘健, 李俊, 葛诚. 微生物肥料作用机理的研究新进展 [ J ]. *微生物学杂志*, 2001, 21 ( 1 ), 33- 46
- [ 20 ]Pakcijs R, Castillo M. Dynamics of the *Rhizobium genae* [ C ] // *Proceedings of the 10th International Congress on Nitrogen Fixation* St. Petersburg Russia May 28- June 3 1995.
- [ 21 ]焦如珍, 杨承栋, 孙启武. 细菌肥料菌株对无效磷的转化作用 [ J ]. *林业科学*, 2005 41 ( 4 ), 194- 198.
- [ 22 ]李健, 等. 微生物肥料作用机理的研究新进展 [ J ]. *微生物学杂志*, 2001, 21 ( 1 ), 33- 36
- [ 23 ]娄隆后, 等. 微生物在土壤养分转化中的作用 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1962
- [ 24 ]谢明杰, 程爱华, 曹文伟. 我国微生物肥料的研究进展及发展趋势 [ J ]. *微生物杂志*, 2000 20 ( 4 ), 42- 45.
- [ 25 ]杨承栋, 焦如珍, 孙启武. 关于细菌肥料促进尾叶桉生长效用的研究 [ M ] / 杨承栋主编. *森林土壤质量演化与调控*. 北京: 中国科学技术出版社, 2002
- [ 26 ]杨承栋, 焦如珍, 孙启武. 细菌肥料促进马尾松生长效应的研究 [ J ]. *林业科学研究*, 2002 15 ( 3 ) 361- 363.
- [ 27 ]聂元富. 关于诱导无根瘤植物结瘤的研究 [ J ]. *自然杂志*, 1983, 6 ( 5 ): 326- 335