植物营养与肥料学报 2017, 23(6): 1602–1613
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer
doi: 10.11674/zwyf.17335
http://www.plantnutrifert.org

我国生物肥料研究与应用进展

范丙全
（中国农业科学院农业资源与农业区划研究所，北京 100081）

摘要: 我国生物肥料研究始于 20 世纪 50 年代，最初只有提供有效氮、磷、钾元素的细菌肥料。经过 60 年的发展，逐步成为拥有 11 类产品，年产 1000 万吨生物肥料的庞大产业体系。本文从四方面对近 10 年我国生物肥料研究、应用以及产业发展取得的成就进行了简要总结，以期为其今后研究和创新发展提供借鉴。1) 介绍了根瘤菌、联合固氮菌、溶磷菌、解钾菌和促生菌高效菌种资源筛选、应用效果、关键技术问题与重点突破方向；2) 总结了不同类型生物肥料包括微生物菌剂、生物有机肥料、有机无机生物复合肥的应用效果；3) 分析了生物肥料发展中存在的问题以及市场规模；4) 对我国生物肥料发展趋势进行了展望。

关键词: 生物肥料；研究进展；发展趋势

Advances in biofertilizer research and development in China

FAN Bing-quan
(*Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: The study and application of biofertilizers started in 1950s in China. The very early biofertilizer researches were mainly focused on N-fixation bacteria, P-solubilizing bacteria and K-decomposing bacteria, with the purpose of providing more nitrogen, phosphorous, potassium. After 60 years' development, biofertilizer has grown to a enormous industry in China, possessing more than 1000 manufacturing enterprises and containing 11 kinds of products, of which multi-functional strains account for a large proportion. In this paper, the scientific research, agricultural application and industrial development of biofertilizer in the recent 10 years of China were reviewed from the following four aspects, that will be useful for reference of biofertilizer research and development in near future. 1) Briefly introducing the isolation, inoculum effects and main problems existed in rhizobium, associative N-fixation, P-solubilizing, K-decomposing, and plant growth promoting microbes; 2) Reviewing the application efficacy of inoculant, bioorganic fertilizer and compound biofertilizer; 3) Analyzing the development obstacles and market scale of biofertilizer industry; 4) Outlooking some development trends of biofertilizers.

Key words: biofertilizer; research progress; development tendency

1 我国生物肥料研究现状

生物肥料就其肥效功能而言，在我国农业生产中使用最为普遍的主要有 5 类：1) 根瘤菌生物肥料；2) 联合固氮菌生物肥料；3) 溶磷菌生物肥料；4) 解钾菌生物肥料；5) 促生菌生物肥料。

1.1 根瘤菌生物肥料

1.1.1 根瘤菌资源筛选　中国农业科学院建院 50 周年之际，笔者对我国根瘤菌资源筛选工作取得的成绩进行了介绍[1]。近些年来，我国十分重视根瘤菌高效菌株筛选，期望获得固氮能力强的菌种资源。

大豆根瘤菌一直是我国筛选的主要菌种资源，研究人员获得的主要菌株有辽宁慢生根瘤菌 (*Bradyrhizobium liaoningense*) 4345 和费氏中华根瘤菌 (*Sinorhizobium fredii*) 4338[2]，豆科根瘤菌 (*Rhizobium leguminosarum*) YR3 和中华根瘤菌

收稿日期：2017–08–22　　**接受日期：**2017–09–24
基金项目：国家高技术研究发展计划（863 计划）资助项目（2013AA102802-4）；农业部“948”重点项目（2011-G25）资助。
作者简介：范丙全（1956—），男，河北武强人，博士，研究员，主要从事溶磷微生物与生物肥料研究。E-mail：fanbingquan@caas.cn

(*Sinorhizobium* sp.) YR6[3]，耐旱大豆根瘤菌株 *Bradyrhizobium japonicum* 4788 和 *B. japonicum* 4792[4]以及 2 株优良大豆根瘤菌 AMH2B 和 AB192[5]。

豆科牧草根瘤菌资源一直受到研究人员的重视，已经筛选了 6 株与拄花草最佳匹配的根瘤菌[6–7]，包括白三叶草根瘤菌 YA1121 和 CD1105[8]、田菁根瘤菌 YIC5077[9]、苜蓿根瘤菌菌株 SWF67523[10]、苜蓿根瘤菌菌株 HBU75002 和 HBU03701[11]。

根瘤菌具有耐受不良环境的能力，如筛选到的苜蓿根瘤菌菌株 S0713 对 Al^{3+} 耐受性好，在 pH 4 条件下可生长正常[12]；中华根瘤菌 (*Sinorhizobium Meliloti*) 菌株 TC-Y 耐盐能力达 5% NaCl[13]；抗铜的苜蓿中华根瘤菌 CCNWSX0020 可耐受 Cu^{2+} 1.4～3.5 mmol/L[14–15]；根瘤菌菌株 W20 耐铝[16]；大豆根瘤菌 AWC13-4 耐酸、耐盐和耐抗生素[17]；6 株紫花苜蓿根瘤耐酸性土壤[18]。

1.1.2 根瘤菌应用效果　中国农业科学院土壤肥料研究所于 20 世纪 50 年代开展了豆科根瘤菌菌剂研究[19]，20 世纪 60～70 年代，应用面积不断扩大，接种根瘤菌的豆科作物增产 10% 以上[1]。

2007 年至今的 10 年间，根瘤菌微生物的应用推广从未间断。进入 21 世纪以来，尽管豆科作物种植面积有所减少，根瘤菌的使用面积相应下降，根瘤菌的研究与应用工作仍然继续，并取得了较好的试验效果。减少氮肥施用量条件下，商品化根瘤菌菌剂可提高大豆、花生产量 13%～15%[20–21]。大豆栽培生产中采用常规施肥接种根瘤菌肥增产 15.0%[22]。大豆接种耐铝根瘤菌 W20 菌株地上和地下部分生物量分别比对照增加了 60.9% 和 14.8%[16]。大豆接种根瘤菌 *B. diazoeffciens* SCAUs8 可增产 21.4%～29.7%[23]。接种菌株 ACCC16101 后，豌豆的产量比对照增加了 48.76%[24]。苜 1 号紫花苜蓿接种根瘤菌 ACCC17544 后，干草重、粗蛋白质含量分别比对照增加 3.8%～26.12% 和 2.39%～8.5%[25]。紫花苜蓿接种苜蓿中华根瘤菌菌株 TC-Y 可显著增加生物量[13]。15 个品种的紫花苜蓿接种根瘤菌后，鲜草和干草产量分别增加 21% 和 32%[26]。南苜蓿接种根瘤菌菌株 SWF67523，根系浸染根瘤的数量相比于土著根瘤浸染数量 (占瘤率) 增加了 93.33%，干重增幅 100%[10]。紫花苜蓿接种 ACCC17558 和 ACCC17617 后，地上部分干重分别比对照提高 91.4% 和 8.6%[27]。紫花苜蓿接种根瘤菌菌株 HBU75002 增产 36.8%[11]。

1.1.3 根瘤菌技术突破方向　1) 氮肥阻遏和竞争结瘤能力差是限制根瘤菌效果的重要因素，研究如何提高根瘤菌接种剂与土著根瘤菌的竞争结瘤、增强根瘤菌剂抗氮肥阻遏的能力是提高其高效固氮能力需要突破的关键技术；

2) 根瘤菌与土壤、豆科植物品种的有效匹配，有助于增强根瘤菌对土壤环境的适应性和固氮能力；

3) 加强高效根瘤菌生物肥料保活材料研究，提高根瘤菌的货架期和土壤中的存活能力。

1.2　联合固氮菌生物肥料

1.2.1 联合固氮菌资源筛选　近 10 年来，我国联合固氮微生物的筛选工作持续开展，取得了较大进展，为我国生物肥料产品和产业发展提供了充足的菌种资源。已经分离筛选的联合固氮菌 X4 菌株，固氮酶活性高达 180.20 nmol/(mL·h)[28]，还有固氮的佛莱辛草螺菌、中型假食酸菌、恶臭假单胞菌、荧光假单胞菌、越南伯克氏菌、阴沟肠杆菌、路德维希肠杆菌[29]、弯曲假单胞菌 NFR19、产酸克雷伯氏菌 NFL28 与 NFSt18、节杆菌 NFR7、纤维化纤维菌 NFR10 等。首次分离并证实具有固氮活性的纤维化纤维菌[30]。短小芽孢杆菌 B402 的固氮活性为 C_2H_4 156.32 nmol/(mL·h)[31]，芽孢杆菌 N4、假单胞菌 N6 的固氮酶活性 > 300 C_2H_4 nmol/(mL·h)[32]，以及假单胞菌属 hnN2 和固氮菌属 hnN6 均具有较高的固氮酶活性[> 200 C_2H_4 nmol/(mL·h)][33]。

最令人兴奋的一项研究获得了 6 株联合固氮菌，其固氮酶活性都超过 1000 nmol/(mL·h)。其中，菌株克雷伯氏菌属 ASN004 的固氮酶活性最高，达到了 1765.66 nmol/(mL·h)，其他 5 株固氮酶活性为 1055.35～1598.69 nmol/(mL·h)[34]。农业生产迫切需要泌铵量比较高的固氮微生物的筛选也有报道，李琼杰等[35]获得一株泌铵固氮菌 *Kosakonia radicincitans* GXGL-4A，固氮酶活性为 232.94 nmol/(mL·h)，发酵液中铵态氮含量达到了 2.5 mg/L。

1.2.2 联合固氮菌应用效果　近 10 年间，联合固氮菌的应用研究较以往明显减缓[1]，但仍有一些报道，如抑制桉树青枯病菌的一株联合固氮菌，桉树接种后苗木死亡率降至 38.24%，桉树苗地上部干重增加 123.23%[36]。^{15}N 标记尿素研究显示，联合固氮菌肥与氮肥配合施用可节省近一半的氮肥用量[37]。小白菜接种固氮鞘氨醇单孢菌 GD542，植株干重增加 206%，含氮量增加 230%[38]。青海 2014 年试验示范推广联合固氮菌菌剂 7080 km^2，川水地区小麦增产 8.45%～16.8%，脑山地区增产 4.77%～22.9%，沙地、薄地小麦拌种固氮菌增产 33%，青稞上应用联合固氮菌 (拌种) 增产 13.0%～18.4% [39]。

1.2.3 联合固氮菌突破重点 固氮效率不高是困扰我国联合固氮菌生物肥料施用推广的技术瓶颈。需要从以下三方面进行技术突破：

1) 选育耐受氮素阻遏的高效联合固氮菌，力争固氮能满足作物生长所需氮素的30%以上；

2) 加强高效泌铵菌突变株的筛选和选育研究，尤其培育抵御氮素阻遏的泌铵菌，增强泌铵菌对作物根际的趋化性；

3) 加强高效联合固氮菌与不同地域土壤、不同寄主作物的最佳适配技术研究，这也是提高其固氮效应的重要因素。

1.3 溶磷生物肥料

1.3.1 溶磷菌资源筛选 我国溶磷微生物研究始于20世纪50年代，无论是细菌，还是真菌研究取得多项成果[1]。目前，溶磷微生物筛选更加重视溶解多种难溶磷、提高作物产量以及与土壤作物适配性强的菌株。近些年报道的溶磷细菌有草生欧文氏菌菠萝变种P21[40]、伯克霍尔德菌属 (*Burkholderia* sp.) T4[41]、德氏嗜酸菌D86[42]、荧光假单胞菌K4和胶质芽孢杆菌K7[43]、嗜气芽孢杆菌B3-5-6、虫内生沙雷氏菌M-3-01和艾博丽肠杆菌T1-4-01[44]、洋葱伯克霍尔德氏菌P0417[44]、脂环酸芽孢杆菌A1[46]、枯草芽孢杆菌PSM[47]、弯曲芽孢杆菌YC4[48]、阴沟肠杆菌RW8菌株[49]；溶磷真菌包括棘孢青霉菌菌株Z32[50]、黑曲霉PSFM菌株[51]、黑曲霉菌11107[52]、曲霉属真菌ZG-15和ZG-34[53]、斜卧青霉菌P83[54]、产黄青霉PSM-1[55]、草酸青霉菌P4和黑曲霉菌P85[56]。

1.3.2 溶磷菌应用效果 溶磷微生物肥料或制剂在室内模拟试验以及在粮食和蔬菜等经济作物上的田间试验取得了可喜的进展。含有草生欧文氏菌菠萝变种P21菌株的生物菌剂培养试验，磷酸三钙和羟基磷灰石的溶磷量 (P_2O_5) 分别高达1206.20 mg/L和529.67 mg/L[40]。土壤接种构巢曲霉Zh菌株，其有效磷含量比不接种对照提高了37.04%，玉米产量提高13.22%[50]。接种卧斜青霉菌P83，土壤的有效磷含量增加40.5 mg/kg，玉米增产35.3%[54]。黄瓜接种溶磷菌qzr14，地上部干重可提高98.46%、鲜重57.01%[57]。洋葱伯克霍尔德氏菌P0417液体培养溶解的有效磷达791.84 μg/mL[45]；脂环酸芽孢杆菌A1对中低品位磷矿石的浸磷率高达77.22%[46]；菌株P4和P85接种液体培养基 $Ca_3(PO_4)_2$ 释放的有效磷分别为1862.9和1413.7 μg/mL，玉米接种菌株P4、P85菌剂增产15.3%和12.6%[56]。

化肥尤其是磷肥的大量使用，影响了接种溶磷微生物提高土壤难溶磷有效性。国家应重视高效溶磷微生物菌种的筛选与产品开发，提高土壤中磷素资源的有效利用。

1.3.3 溶磷菌生物肥料技术突破方向

1) 筛选和培育适应我国典型农业土壤、主要作物的高效溶解土壤多种难溶磷的菌种资源；

2) 不断增强溶磷生物肥料活化土壤难溶磷的能力、减少土壤对磷肥固定、提高磷肥利用率；

3) 研制适合大量化肥投入的农田环境下，与土壤和作物适配的溶磷生物肥料，实现养分资源的高效循环利用。

1.4 解钾生物肥料

1.4.1 解钾菌资源筛选 我国研究解钾微生物最早开始于20世纪50年代，范云六从施用混合肥料后的土壤中分离到硅酸盐细菌[58]。随后，硅酸盐细菌的筛选工作进展很快，分离出的分解钾矿物的菌株有环状芽孢杆菌、硅酸盐细菌、胶质芽孢杆菌、邻单胞菌属、多粘芽孢杆菌、土壤芽孢杆菌、阪崎氏肠杆菌[1]。

最近10年，解钾微生物筛选取得了较大进展，获得了一批高效菌株，分别是硅酸盐细菌菌株2#[59]、硅酸盐细菌菌株F1[60]、硅酸盐细菌菌株K56[61]、芽孢杆菌属C1和Y3[62]、芽孢杆菌QL21[63]、链霉菌M3-4[64]、嗜线虫赛雷氏菌MY-1[65]、弯曲芽孢杆菌YC4[66]、恶臭假单胞菌JT-K21[67]、巨大芽孢杆菌b6和胶质芽孢杆菌b7[68]、泡盛曲霉MQ013、黑曲霉MQ039[69]。

1.4.2 解钾菌株应用效果 解钾能力是衡量解钾菌株效能的重要指标。一些解钾菌株具有较好的活化难溶钾的作用，如硅酸盐细菌菌株F1接种土壤60 d，土壤有效钾净增20%[60]；芽孢杆菌属C1和Y3接种到土壤中，解钾量比对照提高了44.8%和26.2%[62]；芽孢杆菌QL21解钾率为25.1%[63]；链霉菌M3-4解钾率为20%[64]；弯曲芽孢杆菌YC4对无机磷、难溶性钾的溶解量分别达到286.33、17.90 mg/L[48]；恶臭假单胞菌JT-K21液体培养基中可溶性钾高达132.68 mg/L[67]。

硅酸盐菌株还显示了良好的增产和抑病作用。接种硅酸盐细菌C1和Y3，盆栽玉米植株地上部干重分别提高了31.9%和26.7%[62]；接种硅酸盐细菌菌株K56，对镰刀菌抑制效果达到85.9%[61]；接种泡盛曲霉MQ013和黑曲霉MQ039，能有效提高玉米植株的磷、钾含量和生物量[68]；弯曲芽孢杆菌YC4接种的烟草鲜重提高2倍[66]；巨大芽孢杆菌b6、胶质

芽孢杆菌 b7 对山毛豆促生效果显著[68]。

1.4.3 解钾菌肥料技术突破方向　解钾菌株虽然有一定的解钾作用，但总的来讲，解钾能力，特别是活化土壤难溶钾的效果尚不如人意，因此，解钾细菌肥料的研究和制备需在以下几方面加强工作：

1) 继续筛选高效解钾菌，培育解钾效率高、定殖生存效果好、不易退化的解钾菌菌种资源；

2) 研发高效活化土壤难溶钾、增强生物有效性、提高钾肥和土壤钾利用效率的生物肥料，尤其研究开发适应南方酸性土壤、北方石灰性土壤的解钾生物肥料；

3) 建立解钾生物肥料在不同地域的高效使用和调控技术，确保解钾生物肥料发挥解钾、增产、促进钾素吸收的作用。

1.5　促生菌生物肥料

1.5.1 促生菌资源筛选　为适应农产品商品化生产带来的土壤环境问题，我国农业微生物研究人员筛选了一些产生植物促生物质的菌株，主要是一些可以分泌 IAA 的菌株，并检测了他们合成 IAA 的效率。如剑菌属 JSc B 菌株 IAA 产量可达 73.28 mg/L[70]，短小芽孢杆菌 YM4 为 37.18 mg/L[66]，巨大芽孢杆菌 JX1 菌株为 22.55 mg/L[71]，短小芽孢杆菌 SGM7 为 23.59 mg/L[72]，巨大芽孢杆菌 ZH5 菌株为 43.18 mg/L[73]，菌株 P17 为 30.48 mg/L [74]，菌株 NXP17 的分泌量为 31.33 mg/L[75]，同温层芽孢杆菌 SC-12 菌株，IAA 产量为 73.97 mg/L[76]。已经报道的 2 株高产 IAA 细菌菌株，一株为氯酚节杆菌 L4，IAA 产生量达 135.67 mg/L[77]，一株阴沟肠杆菌菌株 JP6，IAA 产量为 128.9 mg/L[78]。

1.5.2 促生菌应用效果　有促生作用的微生物种类非常广泛，以芽孢杆菌类最为普遍，包括巨大芽孢杆菌、短小芽胞杆菌、枯草芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌、蕈状芽孢杆菌、多粘芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、荧光假单孢菌[79]。通过对这些菌株的优化组合，研制出了一些抗病促生的功能性生物肥料。如枯草芽孢杆菌 BCL-8 与克雷伯氏菌 Rs-5 联合使用对棉花立枯病的防治效果为 55.37%，棉花产量提高 10.51%[80]；短芽孢杆菌菌株接种小麦，地上部鲜重比对照增加 10.64%[81]；接种巨大芽孢杆菌 JX15 菌液，花生植株鲜重显著增加[71]；苜蓿接种粘质沙雷氏菌 LJL-11 菌肥，干草产量提高 15.69%～40.38%，苜蓿粗蛋白质含量增加 7.67%～16.11%[82]；花生接种巨大芽孢杆菌 ZH5 菌株，鲜重增加 49.8%，植株全磷增加 21.84%[73]；促生菌菌株 003PWXZ6 和 NXP17 接种披碱草，披碱草生理指标和养分含量显著增加[74]。

1.5.3 促生菌技术突破方向

1) 筛选高效分泌植物激素的微生物菌种资源，优选高效促生增产菌种，在促生菌耐养分胁迫、高效增产的关键技术方面获得突破；

2) 研究各种促生菌与不同作物品种、不同土壤类型最佳匹配的高效稳定组合，研制与我国典型土壤、主要作物最佳适配高效促生增产生物肥料产品。

2　我国生物肥料应用现状

2.1　生物菌剂应用效果

生物菌肥作为生物肥料的初始名称一直沿用至今。试验证明，微生物菌剂 (或者说生物肥料) 对粮食、棉花、油料作物增产效果非常明显。玉米施用生物菌肥不仅能够减少化肥用量，提高氮磷肥料的利用率，还可提高玉米产量[83–84]；有机水稻上使用微生物菌肥增产 14.7%～24.9%[85]；百农矮抗 58 小麦品种使用光合菌肥增产 24.19%[86]；施用复合微生物肥料 M-14，小麦增产 14.3%，胞囊线虫侵染率减少 43.4%～70.8%[87]；花生使用微生物菌肥比对照增产 9.93%～11.56%[88]；根瘤菌菌肥接种花生产量增加 7.9%～15.2%[89]；生物肥料‘宁盾’对大豆疫霉病防效为 36.54%，产量增加 89.32%[90]，田间试验防治效果高达 81.55%，增产率高达 57.61%[91]；大豆施用根瘤菌肥增产 15.0%[22]；菜豌豆施生物菌肥产量提高 15.02%[92]。

施用枯草芽孢杆菌 Tu-100 生物肥料，油菜产量增加 7.90%[93]。接种枯草芽孢杆菌肥、哈茨木霉菌剂，棉花黄萎病降低了 47.45%～57.31%[94]，接种复合微生物菌肥棉花黄萎病防治效果达 82%，籽棉产量提高 22.8%[95]。马铃薯接种微生物菌肥，产量增加 40.6%～43.7%[96]。番茄接种固氮菌肥产量提高 18.81%～30.2%[97–98]。大棚施用 5406 抗生菌肥，辣椒产量提高 44.63%[99]。生防菌剂接种黄瓜增产 60.4%～68.1%[100]。球毛壳菌 ND35 菌肥接种黄瓜，产量提高 21.85%[101]。抗病促生菌剂提高魔芋产量 27.15%[102]；枯草芽孢杆菌和解淀粉芽孢杆菌的复合微生物菌肥，使甘蔗干物质积累量增加 59.4%[103]。

2.2　生物有机肥应用效果

进入 21 世纪，在有机肥堆制或生产过程中，将功能性微生物菌剂接种其中，生产出了既有微生物的抗逆促生效果，也有有机肥维持化肥养分持续稳定释放等功能的生物有机肥。近十年来，生物有机

肥迅速发展，许多有机肥生产企业转向生物有机肥的生产，生物有机肥的应用效果也受到肯定。如玉米施用生物有机肥增产 7.7%[104]；生物有机肥配施氮素化肥比常规施肥增产，早稻增产 12.1%～20.5%，晚稻增产 7.5%～17.9%[105]；化肥和生物有机肥配合施用比只施用化肥水稻产量增加 47.3%[106]；常规施肥条件下，施用生物有机肥比对照增产 11.7%～12.7%[107]；田间马铃薯施用生物有机肥比不施生物有机肥增产 15.54%～24.58%[108]；生物有机肥配合化肥的马铃薯产量比常规施肥提高 16.09%[109]；莴苣施用生物有机肥比对照增产 30.5%[110]；温室大棚黄瓜生物有机肥作基肥增产 17.47%～27.71%[111–112]；以 3 种生防细菌制备的生物有机肥，香蕉枯萎病防治效果达 53.8%～61.5%[113]；西瓜接种生物有机肥料，比普通有机肥处理和当地习惯施肥处理产量分别提高了 14.5% 和 17.9%[114]；生物有机肥在番茄上的应用效果表明，与常规施肥相比增产 9.2%[115]；生物有机肥与混施处理中的果实可溶性糖分别增加了 15.58% 和 17.75%，果实中 VC 含量分别增加 15.18% 和 13.84%[116]；常规施肥配合基施生物有机肥料烟叶产量最高，增产率 12.2%[117]。

2.3 有机无机生物肥料应用效果

有机无机生物肥料是指含有化肥、有机肥、微生物的复合肥料，要求氮磷钾、有机质和微生物数量必须符合国家 (部颁) 标准的最低值。此类肥料最早报道出现在 2001 年，2004～2010 年有机无机生物肥料的报道陆续见诸于期刊[118–120]。使用有机无机生物肥料，能显著增加土壤中微生物数量、土壤有效磷和有机质含量，产量较无机复合肥的处理增加了 5.8%[121]；施用有机无机生物肥，苹果产量增加 13.71%，梨产量增加 30.37%，温室桃子产量增加 28.77%[122]。尽管与其他肥料相比研究报道很少，许多生物肥料企业已经或者正在准备生产有机无机生物肥料。

3 我国生物肥料存在问题与发展趋势

3.1 生物肥料发展中存在的问题

1) 微生物活性保护剂亟待加强研究　迄今，我国生物肥料活性保护技术研究较少，国外在生物肥料保活材料方面报道较少，即便开展了研究其结果也是秘而不宣。由于菌体活性保持时间和货架期短，导致了生物肥料的高成本和质量不稳，严重影响我国生物肥料的产业发展。

2) 载体灭菌技术与装备亟待加强研究　载体灭菌是否彻底关系到生物肥料货架期、土壤存活能力以及应用效果。目前，利用钴源 γ-射线辐照技术进行载体灭菌是当前各国认同的最佳技术，微波技术以其价格低廉有望成为 21 世纪最佳辅助技术。研究和开发移动型、小型化的核辐照 (^{60}Co) 载体灭菌装备，以满足我国生物肥料企业的迫切需要。

3) 高效菌种资源挖掘亟待解决　经过 60 年的不断发展，生物肥料产业依然缺乏抗氮素阻遏、与土著根瘤菌竞争力强的根瘤菌；缺乏高效溶解土壤各种难溶磷、耐受磷肥胁迫、提高磷肥利用率的特性溶磷菌菌种；缺乏耐氮素阻遏、高效固氮的联合固氮菌菌种；缺乏高效活化土壤难溶钾、提高钾肥利用效率的解钾菌菌种；缺乏高效产生生长素、赤霉素、细胞分裂素的高效促生菌菌种。

4) 生物肥料企业亟待更新高效菌种　我国生物肥料产品与农业生产需求相差甚远，主要问题有 2 个方面：一是，大多数企业依然使用传统的甚至退化严重的固氮、溶 (解) 磷、解钾、促 (抗) 生菌，有些企业以芽孢杆菌为生产菌种，有些则以其他菌作为生产菌种；二是，各家企业使用的菌种相同或者相近，产品缺乏针对性，农业生产需要的生物肥料产品严重缺乏。

3.2 生物肥料市场潜在规模

20 世纪 90 年代初期，成立了农业部生物肥料质量监督检验测试中心，负责全国生物肥料产业的登记、质检和监督工作。目前，全国生物肥料企业增加到 1000 家、产品 11 类、生物肥料产量 1200 万 t[1]。

生物肥料产业在粮食安全、节约肥料资源方面具有其他资源不可替代的地位。随着化肥减肥增效行动的开展和不断推进，农田土壤质量修复和地力不断提升，农田土壤污染的治理和不断改善，必然加速我国生物肥料应用市场的扩展。全国现有 16 亿亩耕地，按照全部使用生物肥料、每亩使用 50 kg 计算，每年需要生物肥料至少 8000 万 t，这是一个巨大的生物肥料市场。

3.3 生物肥料发展趋势

1) 生物肥料向着节约化肥资源方向发展　使用耐受氮肥的根瘤菌、耐氮联合固氮菌、耐磷肥胁迫的溶磷菌、耐受化肥胁迫的硅酸盐细菌以及促生菌等生产的多种功能生物肥料，改善土壤生态功能，提高化肥利用效率，减少化肥使用量。

2) 生物肥料向着绿色和有机农业需要发展　为了保障农产品质量，我国加快了有机农业发展，生

物肥料以其特有的功能促进了我国有机农业的蓬勃兴起。截至 2017 年底，全国获得有机产品认证的企业 1009 家，有机农业示范基地面积已超 2000 万亩。预计未来 10 年，我国有机农业面积将不断增加。

3) 生物肥料向着修复土壤环境的需要发展　我国农田土壤受到重金属、多环芳烃、石油、抗生素、农药、塑料污染的面积达 10 亿亩, 严重威胁农产品安全和人民健康。每年因污染导致粮食减产 2000 万吨，直接损失 200～250 亿元[79]。从根本上治理土壤污染已经刻不容缓，利用专用型生物肥料，降解土壤中的有机有毒物质，钝化重金属，确保农田生态和农产品安全。

4) 生物肥料向着荒漠化治理需要发展　利用微生物肥料产品，加速荒漠化土壤表层的治理恢复，加速风化成土过程，提高土壤颗粒粘结力，快速形成土壤结构和抗风蚀能力，恢复荒漠化土壤生产力，为我国粮食安全提供支撑。

5) 生物肥料向着连作障碍防治需要发展　随着我国社会经济飞速发展，耕地面积已经减少至 16 亿亩。为了满足国家发展对粮食增长的需求，连作在我国农业生产中已不可避免。作物连作导致土传病害加重、产量和品质下降，给我国粮食安全造成巨大隐患。研究、开发和生产防治主要作物连作障碍的生物肥料，对于我国粮食增产、保障农产品安全作用巨大。

6) 生物肥料向着提高土壤保水抗旱能力发展　近些年来，我国旱灾形势严峻，引起大面积减产，每年旱灾造成 250 亿 kg 粮食损失。研究开发具有保水功能的微生物肥料，增强土壤蓄水能力，提高土壤保水抗旱能力，是目前我国迫切需要发展的生物肥料产品。

4　结束语

近十年来，我国微生物肥料和开发获得了长足的发展，不仅筛选出一些功能性高效菌株，还在微生物菌株的联合协同施用开发中积累了宝贵的经验，为我国生物肥料的升级和快速发展奠定了一定基础。目前多株联合固氮微生物的固氮酶活性超过 1000 nmol/(mL·h)，最高达 1765.66 nmol/(mL·h)。根瘤菌的耐氮肥能力有所增强，可以与氮肥一起使用，且增产明显。溶磷微生物的溶磷量达到 1000 μg/mL 以上，最高达 1862.9 μg/mL。获得了高产促生物质的菌株 IAA 产生量高达 135.67 μg/mL，作物增产高达 30%。但是，短板也是显而易见的，如所获得的解钾菌株的解钾能力不高，有待进一步分离筛选高效菌株。高效菌株还没有真正进入产业化。生物肥料企业需要加快高效菌种的更新换代，充分发挥生物肥料产品应有的功效。生物肥料的研究范围还需要进一步拓展，尤其是针对荒漠化土壤修复、保水抗旱、盐碱土壤改良等功能性生物肥料的研究与开发。用于土传病害防治、土壤污染修复的生物肥料研究与创新亟待加强。

参 考 文 献：

[1] 范丙全, 龚明波. 应用农业微生物学的研究回顾、现状与展望[A]. 中国农业科学院. 科技创新成就辉煌—中国农业科学院建院50周年学术文集[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007. 325–335.
Fan B Q, Gong M B. Review, status and prospect of applied agricultural microbiology[A]. Chinese Academy of Agriculrual Sciences. Brivilliant Achievements in Science and Technology Innovation—Proceedings of the 50 Annervasry of Chinese Academy of Agriculrual Sciences[M], Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2007. 325–335.

[2] 张红侠, 冯瑞华, 关大伟, 等. 黄土高原地区优良大豆根瘤菌的筛选与接种方式研究[J]. 大豆科学, 2010, 29(6): 996–1002.
Zhang H X, Feng R H, Guan D W, *et al*. Screening of superior soybean rhizobial strains and analyzing of different inoculation methods in loess plateau region of China[J]. Soybean Science, 2010, 29(6): 996–1002.

[3] 郑丹丹, 田琴, 周丹平, 李维平. 大豆根瘤菌抗性菌株的筛选及鉴定[J]. 干旱地区农业研究, 2012, (6): 157–161.
Zheng D D, Tian Q, Zhou D P, Li W P. Screening and indentification of resistance strains of soybean rhizobium[J]. Agricultural Research in the Arid Area, 2012, (6): 157–161.

[4] 裴晓峰, 关大伟, 李俊, 等. 耐旱大豆根瘤菌的筛选及其接种效应[J]. 大豆科学, 2012, (3): 421–424.
Pei X F, Guan D W, Li J, *et al*. Screening of drough resistant soybean rhizobium and innoculation effect[J]. Soybean Science, 2012, (3): 421–424.

[5] 吴萍, 何庆元, 李正鹏, 等. 皖北地区优良大豆根瘤菌的筛选[J]. 安徽科技学院学报, 2015, 29(4): 18–22.
Wu P, He Q Y, Li Z P, *et al*. Screening of high quality soybean rhizobium in North Anhui[J]. Journal of Anhui Science and Technology University, 2015, 29(4): 18–22.

[6] 卢外强, 吴金山. 红壤中热研2号柱花草高效固氮根瘤菌的筛选[J]. 华中师范大学学报 (自然科学版), 2017, 51(2): 203–207.
Lu W Q, Wu J S. Selection of highly efficient rhizobia for *stylosanthes guianensis* cv. Reyan No.2 in acid red soil[J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences Edition), 2017, 51(2): 203–207.

[7] 董荣书, 张洁, 黄艳霞, 等. 热研2号柱花草高效固氮根瘤菌的筛选[J]. 热带作物学报, 2013, 34(7): 1247–1251.
Dong R S, Zhang J, Huang Y X, *et al*. Screen of efficient nitrogen-fixing rhizobium strains matching *stylosanthes guianensis* cv. Reyan

II[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 34(7): 1247–1251.

[8] 凌瑶, 潘明洪, 彭燕. 四川高效白三叶根瘤菌筛选及16S rDNA鉴定[J]. 草地科学, 2015, 23(6): 1265–1271.
Ling Y, Pan M H, Peng Y. Selection of efficient rhizobium from *Trifolium repens* L. and identification of 16SrDNA in Sichuan[J]. Pratacultural Science, 2015, 23(6): 1265–1271.

[9] 李项岳, 李岩, 姜南, 等. 如东田菁根瘤菌遗传多样性及高效促生菌株筛选[J]. 微生物学报, 2015, 55(9): 1105–1116.
Li X Y, Li Y, Jiang N, *et al*. Genetic diversity of the rhizobia and screening of high-efficient growth-promoting strains isolated from Sesbaniacannabina in Rudong County[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2015, 55(9): 1105–1116.

[10] 刘晓云, 郭晓叶, 魏爽, 等. 应用BOX分子标记技术筛选南苜蓿高效根瘤菌菌株[J]. 微生物学通报, 2012, (2): 172–179.
Liu X Y, Guo X Y, Wei S, *et al*. Screening effective rhizobial strains associated with *Medicago polymorpha* by BOX molecular fingerprint[J]. Microbiology China, 2012, (2): 172–179.

[11] 陈俊杰, 刘晓云, 肖猛, 等. 河北坝上草原紫花苜蓿根瘤菌高效共生体的筛选[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(10): 110–112.
Chen J J, Liu X Y, Xiao M, *et al*. Screening the rhizobia-alfalfa symbiont in Bashang region of Hebei[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(10): 110–112.

[12] 刘卢生, 江杨, 肖书磊. 耐酸耐铝毒苜蓿根瘤菌的筛选[J]. 湖北农业科学, 2009, (4): 827–830.
Liu L S, Jiang Y, Xiao S L. Selection of sinorhizobium meliloti with acid and aluminum tolerance[J]. Hubei Agricultral Sciences, 2009, (4): 827–830.

[13] 熊志锐, 张新宇, 王永宝, 等. 新疆耐盐苜蓿根瘤菌的分离和高效菌株的筛选[J]. 新疆农业科学, 2009, (6): 1301–1306.
Xiong Z R, Zhang X Y, Wang Y B, *et al*. Isolation of salt- tolerant *Sinorhizobiun meliloti* in Xinjiang and screening for high-efficient strains[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2009, (6): 1301–1306.

[14] 樊连梅, 李哲斐, 韦革宏. 一株抗铜根瘤菌的分离鉴定及其16SrDNA 序列分析[J]. 华北农学报, 2011, 26(2): 7–12.
Fan L M, Li Z F, Wei G H. Isolation, identification and 16S rDNA sequences analysis of a rhizobium strain resistant to copper[J]. Acta Agriculturea boreali-Sinica, 2011, 26(2): 7–12.

[15] 龚秀会, 缪福俊, 赵平, 等. 云南东川铜矿区豆科植物-根瘤菌对铜的耐受性[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(6): 312–314.
Gong X H, Liao F J, Zhao P, *et al*. Tolerance of rhizobium leguminosarum to copper in Dongchuan copper mine in Yunnan[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(6): 312–314.

[16] 李秀平, 王瑞鹏, 年海, 牟英辉. 耐铝根瘤菌的筛选及耐性菌株特性的研究[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(4): 50–55.
Li X P, Wang R P, Nian H, Mu Y H. Screening for Al-tolerance rhizobium and a study on its characters[J]. Journal of South China Agricultural University, 2014, 35(4): 50–55.

[17] 吴萍, 何庆元, 李正鹏, 等. 皖北地区大豆根瘤菌优良抗逆性菌株的筛选[J]. 安徽科技学院学报, 2014, 35(4): 50–55.
Wu P, He Q Y, Li Z P, *et al*. Screen of rhizobium from soybean in Anhui for strong resistance to stresses[J]. Journal of Anhui Science and Technology University, 2014, 35(4): 50–55.

[18] 王瑞, 陈俊杰, 刘梦涵, 等. 盐碱土高效固氮蚕豆根瘤菌的筛选[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(15): 3846–3849.
Wang R, Chen J J, Liu M H, *et al*. Screen of high efficient nitrogen-fixing rhizobium from fava beans in saline-alkali soil[J]. Hubei Agricultral Sciences, 2016, 55(15): 3846–3849.

[19] 胡济生, 祖文. 自制根瘤菌剂(夏、秋大豆)[J]. 农业科学通讯, 1956, (5): 324.
Hu J S, Zu W. Self-preparation of rhizobial inoculant (Summer and zutume soybean)[J]. Communication of Agricultural Science, 1956, (5): 324.

[20] 吴显峰. 大豆应用富思德大豆根瘤菌剂效果研究[J]. 现代农业科技, 2012, (5): 79.
Wu X F. Effect of Fuside soybean rhizobial strains on soybean[J]. Morden Agricultural Sciences and Technology, 2012, (5): 79.

[21] 张红艳, 张长生, 燕炳辰. 连作花生应用根瘤菌剂的效果研究[J]. 辽宁农业科学, 2014, (2): 68–69.
Zhang H Y, Zhang C S, Yan B C. Effect of rhizobia inoculant on continuos cropping peanut[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2014, (2): 68–69.

[22] 万玉萍, 向往, 万勇. 根瘤菌肥在大豆栽培中的应用效果初报[J]. 湖南农业科学, 2015, (6): 56–57.
Wan Y P, Xiang W, Wan Y. Effect of rhizobial containing fertilizer on soybena planting[J]. Hunan Agricultral Sciences, 2015, (6): 56–57.

[23] 衡楠楠, 陈远学, 徐开未, 等. 大豆根瘤菌SCAUs8的接种效果、促生性及系统发育研究[J]. 微生物学通报, 2016, (8): 1708–1714.
Heng N N, Chen Y X, Xu K W, *et al*. Field assessment of symbiotic efficiency, growth-promoting abilty and phylogeny of soybean rhizobial strain SCAUs8[J]. Microbiology China, 2016, (8): 1708–1714.

[24] 谢军红, 黄高宝, 郭丽琢, 等. 豌豆根瘤菌高效菌株的筛选及共生匹配性研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2009, (1): 102–106.
Xie J H, Huang G B, Guo L Z, *et al*. Matching ability and screening of high efficient rhizobium on pea[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2009, (1): 102–106.

[25] 康俊梅, 张丽娟, 郭文山, 等. 中苜1号紫花苜蓿高效共生根瘤菌的筛选[J]. 草地学报, 2008, 16(5): 497–500.
Kang J M, Zhang L J, Guo W S, *et al*. Screening of high efficient symbiotic rhizobium for Zhongmu No.1 alfafa[J]. Acta Agretir Sinica, 2008, 16(5): 497–500.

[26] 王跃栋, 刘自学, 刘艺杉. 15个紫花苜蓿品种接种根瘤菌的试验效果[A]. 中国畜牧业协会. 第五届中国苜蓿发展大会论文集[C]. 内蒙古赤峰: 2013. 148–154.
Wang Y D, Liu Z X, Liu Y S. Effects of rhizobium inoculation on 15 alfalfa varieties[A]. China Animal Husbandry Association. Proceedings of the fifth China alfalfa development conference[C]. Chifeng City in Inner Mongolia, China: 2013. 148–154.

[27] 石茂玲, 邓波, 刘忠宽, 等. 5株根瘤菌接种紫花苜蓿的效果[J]. 草业科学, 2015, 32(1): 101–106.
Shi M L, Deng B, Liu Z K, *et al*. Inoculation effects of five rhizobial stains to alfalfa[J]. Pratacultural Science, 2015, 32(1): 101–106.

[28] 田宏, 张德罡, 姚拓. 单播草地匍茎翦股颖根际联合固氮菌筛选及部分特性初探[J]. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(3): 112–116.

Tian H, Zhang D G, Yao T. Preliminery study on isolation and characteristics of associative nitrogen fixation bacteria from single - sowing *Agrostis stolonifera* turf[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2009, 44(3): 112–116.

[29] 赵现伟, Javed C H, 何玉梅, 等. 先锋牧草–香根草联合固氮菌多样性[J]. 微生物学报, 2009, 49(11): 1430–1437.
Zhao X W, Javed C H, He Y M, *et al*. Diversity of associated nitrogen-fixing bacteria isolated from the pioneer plants-*Vetiver zizanioides*[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2009, 49(11): 1430–1437.

[30] 张多英, 张淑梅, 蔡柏岩. 玉米内生联合固氮菌的分离与鉴定[J]. 东北农业大学学报, 2010, (2): 6–10.
Zhang D Y, Zhang S M, Cai B Y. Isolation and identification of associative nitrogen-fixing endophytic bacteria in maize[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, (2): 6–10.

[31] 凌娟, 董俊, 张燕英, 等. 一株红树林根际固氮菌的分离、鉴定以及固氮活性测定[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(5): 149–153.
Ling J, Dong J, Zhang Y Y, *et al*. Isolation and characterization of a N_2-fixing bacterium from the mangrove rhizosphere and study on its nitrogen-fixing ability[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(5): 149–153.

[32] 张晓波, 赵艳. 结缕草根际联合固氮菌的分离及初步鉴定[J]. 草原与草坪, 2011, 31(1): 37–41.
Zhang X B, Zhao Y. Isolation and identification of associative nitrogen-fixing bacteria in the rhizosphere of *Zoysia japonica*[J]. Grassland and Turf, 2011, 31(1): 37–41.

[33] 樊俊华, 张晓波, 赵艳. 地毯草根际固氮菌的分离及鉴定[J]. 东北农业大学学报, 2012, 43(8): 105–109.
Fan J H, Zhang X B, Zhao Y. Isolation and identification of associative nitrogen-fixing bacteria in the rhizosphere of *Axonopus Compressus*[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2012, 43(8): 105–109.

[34] 陈河龙, 李庆洋, 易克贤, 等. 剑麻根际联合固氮菌的分离及固氮活性测定[J]. 热带作物学报, 2011, (6): 1097–1101.
Chen H L, Li Q Y, Yi K X, *et al*. Isolation of endophytic diazotrophic bacteria from sisal and determination of their nitrogenase activity[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2011, (6): 1097–1101.

[35] 李琼洁, 程杰杰, 孙帅欣, 陈云鹏. 玉米联合固氮菌*Kosakonia radicincitans* GXGL-4A的分离鉴定与固氮特性研究[J]. 微生物学通报, 2016, 43(11): 2456–2463.
Li Q J, Cheng J J, Sun S X, Chen Y P. Isolation, identification and characterization of associative nitrogen-fixing endophytic bacterium *Kosakonia radicincitans* GXGL-4A in maize[J]. Microbiology China, 2016, 43(11): 2456–2463.

[36] 马海宾, 康丽华, 江业根, 郑翠梅. 联合固氮菌对桉树青枯病菌的抑制作用研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(4): 473–476.
Ma H B, Kang L H, Jiang Y G, Zheng C M. Inhibiting effect of associative nitrogen-fixation bacteria on bacteria wilt disease of eucalyptus[J]. Forest Research, 2007, 20(4): 473–476.

[37] 张堃, 姚拓, 张德罡, 等. 不同剂型联合固氮菌肥对青稞促生效应和固氮能力研究[J]. 草地学报, 2010, 18(3): 426–430.
Zhang K, Yao T, Zhang D G, *et al*. Effect of associative nitrogen-fixing biofertilier produced with different carriers on growth and nitrogen fixing ability of *Hordeum Vulgare var. Nudum* Hook. f.[J]. Acta Agretir Sinica, 2010, 18(3): 426–430.

[38] 孙建光, 张燕春, 徐晶, 胡海燕. 玉米根际高效固氮菌*Sphingomonas* sp. GD542的分离鉴定及接种效果初步研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 89–93.
Sun J G, Zhang Y C, Xu J, Hu H Y. Isolation, identification and inoculation effect of nitrogen-fixing bacteria *Sphingomonas* GD542 from maize rhizosphere[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(1): 89–93.

[39] 杨咏. 小麦根际联合固氮菌试验示范推广技术结果分析[J]. 青海农技推广, 2014, (4): 13–18.
Yang Y. Summery of extension and demonstration of rhizosphere nitrogen-fixing bacteria in wheat[J]. Qinghai Agro-Technology Extension, 2014, (4): 13–18.

[40] 杨慧, 范丙全, 龚明波, 李全霞. 一株新的溶磷草生欧文氏菌的分离、鉴定及其溶磷效果的初步研究[J]. 微生物学报, 2008, 48(1): 51–56.
Yang H, Fan B Q, Gong M B, Li Q X. Isolation and identification of a novel phosphate dissolving strain P21[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2008, 48(1): 51–56.

[41] 戴沈艳, 申卫收, 贺云举, 等. 一株高效解磷细菌的筛选及其在红壤性水稻土中的施用效果[J]. 应用与环境生物学报, 2011, (5): 678–683.
Dai S Y, Shen W S, He Y J, *et al*. Screen of an efficient phosphorous-dissolving bacterium and its application in paddy soil rooted from red soil[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2011, (5): 678–683.

[42] 马焕, 解复红, 权淑静, 等. 解磷细菌德氏嗜酸菌D86菌株的分离、筛选及鉴定[J]. 河南科学, 2015, (9): 1544–1548.
Ma H, Xie F H, Quan S J, *et al*. Isolation, screening and identification of a phosphate solubilizing bacterium *Acidovorax Delaifeldii* strain D86[J]. Henan Science, 2015, (9): 1544–1548.

[43] 田多, 王修俊, 周沅洁, 等. 磷尾矿表层土壤解磷菌的筛选及鉴定[J]. 贵州农业科学, 2015, (7): 202–205.
Tian D, Wang X J, Zhou Y J, *et al*. Screening and identification of phosphate dissolving bacteria in surface soil of phosphate tailings[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2015, (7): 202–205.

[44] 柯春亮, 陈宇丰, 周登博, 等. 香蕉根际土壤解磷细菌的筛选、鉴定及解磷能力[J]. 微生物学通报, 2015, (6): 1032–1042.
Ke C L, Chen Y F, Zhou D B, *et al*. Isolation, identification and phosphate-solubilization ability of phosphate-solubilizing bacteria derived from banana rhizosphere soil[J]. Microbiology China, 2015, (6): 1032–1042.

[45] 黄达明, 李倩, 管国强, 等. 一株解磷细菌的筛选、鉴定及其溶磷培养条件的优化[J]. 生物技术通报, 2015, 31(2): 173–178.
Huang D M, Li Q, Guan G Q, *et al*. Selection, identification and medium optimization of a phosphate-solubilizing bacterium[J]. Biotechnology Bulletin, 2015, 31(2): 173–178.

[46] 李凌凌, 吕早生, 杨忠华, 等. 脂环酸芽孢杆菌A1的分离鉴定及其对中低品位磷矿的溶磷研究[J]. 生物技术通报, 2016, 32(11): 224–234.
Li L L, Lü Z S, Yang Z H, *et al*. Isolation and identification of

alicyclobacillus A1 and its bio-solubilization of middle- and low-grade rock phosphates[J]. Biotechnology Bulletin, 2016, 32(11): 224–234.

[47] 邢芳芳, 高明夫, 禚优优, 等. 玉米根际高效溶磷菌的筛选、鉴定及溶磷特性研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(9): 119–124.
Xing F F, Gao M F, Zhuo Y Y, *et al*. Screening and identification of phosphate solubilizing bacteria in maize rhizosphere and their characteristics of phosphate solubilizing[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(9): 119–124.

[48] 万兵兵, 刘晔, 吴越, 等. 烟草根际解磷解钾菌的筛选鉴定及应用效果研究[J]. 河南农业科学, 2016, (9): 46–51.
Wan B B, Liu Y, Wu Y, *et al*. Screening, indentification of phosphate- and potassium-solubilizing PGPR and its growth-promoting effect on tobacco[J]. Henan Agricultural Sciences, 2016, (9): 46–51.

[49] 蔡璐, 马培杰, 王小利, 等. 百脉根根际高效溶磷菌LC15的特性研究及菌株鉴定[J]. 草原与草坪, 2017, 37(2): 27–34.
Cai L, Ma P J, Wang X L, *et al*. Characteristics and identification of phosphate-solubilizing bacteria LC15 isolated from rhizosphere of Lotus corniculatus[J]. Grassland and Turf, 2017, 37(2): 27–34.

[50] 龚明波, 范丙全, 王洪媛. 一株新的溶磷棘孢青霉菌Z32的分离、鉴定及其土壤定殖与溶磷特性[J]. 微生物学报, 2010, 50(5): 580–585.
Gong M B, Fan B Q, Wang H Y. Isolation and identification of a novel phosphate-dissolving strain Penicillium aculeatum Z32 and its colonization and phosphate-dissolving characteristics in soil[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2010, 50(5): 580–585.

[51] 梁艳琼, 雷照鸣, 贺春萍, 等. 一株溶磷真菌的分离鉴定及其溶磷能力的初步研究[J]. 热带作物学报, 2011, 32(6): 1116–1121.
Liang Y Q, Lei Z M, He C P, *et al*. Phophate solubilizing mechanism of PSFM and preliminary study on the solubilization capacity of insoluble phaphates[J]. Journal of Tropical Crops, 2011, 32(6): 1116–1121.

[52] Wang H J, Liu S, Zhai L M, *et al*. Preparation and utilization of phosphate biofertilizers using agricultural waste[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(1): 158–167.

[53] 侯姣姣, 布芳芳, 余仲东, 康永祥. 古国槐叶片溶磷内生真菌的筛选及其促生潜力初探[J]. 西北植物学报, 2016, 36(7): 1456–1463.
Hou J J, Bu F F, Yu Z D, Kang Y X. Screening of phosphate-solubilizing endophytic fungi from ancient sophora japonica leaves and their potential for plant growth-promoting[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2016, 36(7): 1456–1463.

[54] 史发超, 殷中伟, 江红梅, 范丙全. 一株溶磷真菌筛选鉴定及其溶磷促生效果[J]. 微生物学报, 2014, 54(11): 1333–1343.
Shi F C, Yin Z W, Jiang H M, Fan B Q. Screening, identification of P-dissolving fungus P83 strain and its effects on phosphate solubilization and plant growth promotion[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2014, 54(11): 1333–1343.

[55] 李海云, 牛世全, 孔维宝, 等. 猪粪堆肥中一株溶磷菌的筛选鉴定及溶磷能力初步测定[J]. 环境科学学报, 2015, 35(5): 1464–1470.
Li H Y, Niu S Q, Kong W B, *et al*. Screening and identification of a phosphate solubilizing strain isolated from pig manure compost and determination of its phosphate capacity[J]. Acta Scientia Circumstantiae, 2015, 35(5): 1464–1470.

[56] Yin Z W, Shi F C, Jiang H M, *et al*. Phosphate solubilization and promotion of maize growth by *Penicillium oxalicum* P4 and *Aspergillus niger* P85 in a calcareous soil[J]. Canadian Journal of Microbiology, 2015, 61(12): 913–923.

[57] 银婷婷, 王敬敬, 柳影, 等. 高效解磷菌的筛选及其促生机制的初步研究[J]. 生物技术通报, 2015, 31(12): 234–242.
Yin T T, Wang J J, Liu Y, *et al*. The screening of efficient phosphorus-solubilizing bacteria and the primary study on its mechanism of plant-growth-promoting[J]. Biotechnology Bulletin, 2015, 31(12): 234–242.

[58] 范云六. 从施用混合肥料后的土壤中分离硅酸盐细菌及其分解磷矿石粉的能力[J]. 土壤微生物通讯, 1955, 5(6): 28–31.
Fan Y L. Isolation of silicate bacteria and their ability to solubilize phosphate rock powder from the soil after applying compound fertilizer[J]. Bulletin of Soil Microbiology, 1955, 5(6): 28–31.

[59] 熊艳枝, 杨洪英, 佟琳琳, 崔日成. 硅酸盐细菌的筛选及脱硅能力研究[J]. 贵金属, 2007, (S1): 89–92.
Xiong Y Z, Yang H Y, Tong L L, Cui R C. Screening of silicate bacteria and bio-leaching silicon from silicate ore[J]. Precious Metals, 2007, (S1): 89–92.

[60] 徐亮. 土钵培养法筛选硅酸盐细菌[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2009, 26(5): 468–471.
Xu L. Screening of silicate bacteria by the cultivation of earthen bowl[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2009, 26(5): 468–471.

[61] 周国英, 苟志辉, 郝艳, 李河. 油茶根际硅酸盐细菌拮抗菌筛选及稳定性分析[J]. 中南林业科技大学学报(自然科学版), 2010, 30(3): 118–122.
Zhou G Y, Gou Z H, Hao Y, Li H. Screening antagonistic silicate bacteria from *Camellia oleifera* rhizosphere against *Fusarium proliferatum* and stability of bacteria[J]. Journal of Central South Unversity of Forest and Technology (Natural Science Edition), 2010, 30(3): 118–122.

[62] 韩梅, 王东, 林荣峰, 韩晓日. 具有拮抗作用的硅酸盐细菌的分离与筛选[J]. 土壤通报, 2011, (1): 77–80.
Han M, Wang D, Lin R F, Han X R. Isolation and screening of antagonistic silicate bacterium[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, (1): 77–80.

[63] 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.
Li H L, Gu J, Zhang H B, *et al*. Isolation, screening and elementary identification of silicate bacteria from Qinling Mountains[J]. Acta Agriculturea Boreali-Occidentalis Sinica, 2011, 20(4): 194–199.

[64] 陈宇丰, 柯春亮, 周登博, 等. 香蕉根际土壤解钾放线菌的筛选鉴定及解钾特性研究[J]. 生物技术通报, 2015, (6): 129–137.
Chen Y F, Ke C L, Zhou D B, *et al*. Screening and identification of potassium-dissolving characteristics of potassium-dissolving antinomycate in banana rhizosphere soil[J]. Biotechnology Bulletin, 2015, (6): 129–137.

[65] 张妙宜, 陈宇丰, 周登博, 等. 蓖麻根际土壤解钾菌的筛选鉴定及发酵条件的优化[J]. 热带作物学报, 2016, 37(1): 2268–2275.
Zhang M Y, Chen Y F, Zhou D B, *et al*. Screening and

identification of potassium-dissolving bacteria in rhizosphere soil of caster and fermentation condition optimization[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(1): 2268–2275.

[66] 万兵兵, 刘晔, 吴越, 等. 一株玉米根际多功能促生菌的筛选鉴定及效应研究[J]. 生物技术通报, 2016, (8): 169–176.
Wan B B, Liu Y, Wu Y, *et al*. Screening and identification of maize growth-promoting rhizobacteria and its promoting effects on maize[J]. Biotechnology Bulletin, 2016, (8): 169–176.

[67] 罗娜, 周德明, 徐睿, 周国英. 降香黄檀、檀香根际解钾菌的筛选与活性研究[J]. 热带作物学报, 2016, 379(5): 964–970.
Luo N, Zhou D M, Xu R, Zhou G Y. Screening and identification of potassium bacteria in the rhizosphere of dalbergia odorifera, *Santalum album* and the activity assay[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 379(5): 964–970.

[68] 宋凤鸣, 刘建华, 史正军, 等. 解磷解钾根际促生菌的分离鉴定和筛选应用[J]. 广东农业科学, 2017, (3): 94–100.
Song F M, Liu J H, Shi Z J, *et al*. Identification and screening of plant growth-promoting rhizobacteria(PGPR)with ability of phosphate solubilizing or potassium-solubilizing[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2017, (3): 94–100.

[69] 詹寿发, 卢丹妮, 毛花英, 等. 2株溶磷、解钾与产IAA的内生真菌菌株的筛选、鉴定及促生作用研究[J]. 中国土壤与肥料, 2017, (3): 142–151.
Zhan S F, Lu D N, Mao H Y, *et al*. Isolation of two phosphate/potassium-solubilizing and IAA-producing strains of endophytic fungi and their plant promoting function[J]. Soil and Fertilizer Science in China, 2017, (3): 142–151.

[70] 崔晓双, 王伟, 张如, 张瑞福. 基于根际营养竞争的植物根际促生菌的筛选及促生效应研究[J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(6): 958–966.
Cui X S, Wang W, Zhang R, Zhang R F. Screening of plant growth-promoting rhizobacteria based on rhizosphere nutrition competiveness and investigation of their promoting effects[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2015, 38(6): 958–966.

[71] 徐文思, 姜瑛, 李引, 等. 一株植物促生菌的筛选、鉴定及其对花生的促生效应研究[J]. 土壤, 2014, 46(1): 119–125.
Xu W S, Jiang Y, Li Y, *et al*. Isolation, identification of plant growth-promoting bacteria and its promoting effects on peanuts[J]. Soils, 2014, 46(1): 119–125.

[72] 葛春辉, 孟阿静, 马彦茹, 等. 一株黄瓜根际促生菌的筛选、鉴定及其发酵特性[J]. 生物技术通报, 2014, (3): 94–99.
Ge C H, Meng A J, Ma Y R, *et al*. Selection, identification and characteristics of a cucumber growth-promotion strain of rhizobacteria[J]. Biotechnology Bulletin, 2014, (3): 94–99.

[73] 郑文波, 申飞, 闫小梅, 等. 红壤中产吲哚乙酸并具解磷作用的促生菌筛选鉴定及促生效果研究[J]. 土壤, 2015, (2): 361–368.
Zheng W B, Shen F, Yan X M, *et al*. Isolation and identification of the IAA-producing and phosphate-dissolving bacteria and its promoting effects on red soil[J]. Soils, 2015, (2): 361–368.

[74] 崔松松, 白莉敏, 周可金, 等. 油菜亲和性根际菌株的筛选及其促生效果[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, (1): 91–96.
Cui S S, Bai L M, Zhou K J, *et al*. Screening of affinity rhizosphere bacteria and its growth promotion effect on rape[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Sciencee Edition), 2016, (1): 91–96.

[75] 马骢毓, 张英, 孙广正, 等. 披碱草根际促生菌筛选及其接种剂的促生作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(4): 1039–1048.
Ma C Y, Zhang Y, Sun G Z, *et al*. Identification of plant growth promoting rhizobacteria *Elymus dahuricus* and their effectives[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(4): 1039–1048.

[76] 王小兵, 叶赛克, 汪晓丽, 等. 江苏沿海滩涂植物根际促生菌的筛选鉴定及其耐盐促生特性[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2016, (2): 81–86.
Wang X B, Ye S K, Wang X L, *et al*. Screening and identification of plant-growth-promoting Rhizobacteria from coastal tidal growth-promoting flats in Jiangsu province and its characterization under salt stress[J]. Journal of Yangzhou University(Agricultural and Life Science Edition), 2016, (2): 81–86.

[77] 李引, 虞丽, 李辉信, 等. 一株花生根际促生菌的筛选鉴定及其特性研究[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(4): 416–421.
Li Y, Yu L, Li H X, *et al*. Isolation, identification and characteristics of a peanut growth-promoting strain of rhizobacteria[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2012, 28(4): 416–421.

[78] 刘虎, 侯贞, 易建华, 等. 一株烟草根际溶磷细菌的筛选鉴定及其培养基优化[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2016, 47(4): 514–519.
Liu H, Hou Z, Yi J H,*et al*. Isolation and identification of tobacco rhizosphere phosphate solubilizing bacteria and optimization of medium[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2016, 47(4): 514–519.

[79] 范丙全. 生物肥料[A]. 国家发展和改革委员会高技术产业司, 中国生物工程学会: 中国生物产业发展报告2015[M]. 化学工业出版社, 2016. 143–149.
Fan B Q. Biofertilizers[A]. Division of High Technology Industry, Natioanl Development and Reform Committee, Chinese Bio-Engineering Association. Annual report on bioindustry in China 2015[M]. Beijing: Chemical Industrial Press, 2016. 43–149.

[80] 赵雅峰, 陶晶, 武占省, 等. 组合生防菌与解盐促生菌复配对棉花的促生效应[J]. 中国农业科学, 2010, 44(22): 4754–4760.
Zhao Y F, Tao J, Wu Z S, *et al*. Effects of combination of biocontrol bacteria complex with salt stress-relieving strain on promotion of cotton growth[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 44(22): 4754–4760.

[81] 张爱民, 张双凤, 赵钢勇, 张瑞英. PGPR芽孢杆菌B-1菌株的鉴定及其应用效果[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2011, 31(3): 294–298.
Zhang A M, Zhang S F, Zhao G Y, Zhang R Y. Applied effect and the identification of PGPR *Bacillus* B-1 strain[J]. Journal of Hebei University (Natural Science Edition), 2011, 31(3): 294–298.

[82] 管鹏, 周璇, 刘佳莉, 等. 两种菌肥对大田苜蓿生长和品质的影响[J]. 中国草地学报, 2014, (4): 60–64.
Guan P, Zhou X,Liu J L, *et al*. Effect of bacterial manures on growth characteristics and quality of alfalfa in the field[J]. Chinese Journal of Grassland, 2014, (4): 60–64.

[83] 黄鹏, 何甜, 杜娟. 配施生物菌肥及化肥减量对玉米水肥及光能利

用效率的影响[J]. 大众科技, 2011, 27(3): 76–79.
Huang P, He T, Du J. Effect on water, fertilizer and light use efficiency of maize under biological bacterial fertilizer and chemical fertilizer reduction[J]. Popular Science and Techonolgy, 2011, 27(3): 76–79.

[84] 朱云娜, 刘建国. 生物菌肥在玉米栽培上的效果[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(28): 11354–11356.
Zhu Y N, Liu J G. Effect of biological fertilizer on maize cultivation[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(28): 11354–11356.

[85] 姚爱国, 周奶弟, 顾慧芬, 泮建富. 微生物菌肥在有机水稻上的应用技术研究[J]. 农业科技通讯, 2011, (4): 19–20.
Yao A G, Zhou N D, Gu H F, Pan J F. Applying technology of microbial fertilizer on organic rice[J]. Bulletin of Agricultual Science and Technology, 2011, (4): 19–20.

[86] 王春虎, 张胜利, 王俊平, 李辉. 不同浓度光合菌肥对小麦生长和产量的影响[J]. 广东农业科学, 2011, (16): 48–50.
Wang C H, Zhang S L, Wang J P, Li H. Different concentrations of photosynthetic bacterial fertilizer on wheat growth and yield[J]. Journal of Guangdong Agriculrual Sciences, 2011, (16): 48–50.

[87] 王继雯, 赵俊杰, 刘莉, 等. M-14复合生物肥料抗小麦孢囊线虫及增产效果[J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(5): 676–680.
Wang J W, Zhao J J, Liu L, *et al*. Yield-increasing effect and resistance against wheat cereal cyst nematode of M-14 composite biological fertilizer[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2016, 32(5): 676–680.

[88] 薛宏德, 刘向阳, 金建猛. 微生物菌肥对花生主要性状及产量的影响[J]. 陕西农业科学, 2012, (3): 98–100.
Xue H D, Liu X Y, Jin J M. Effect of microbial fertilizer on the main characters and yield of peanut[J]. Journal of Shaanxi Agriculrual Sciences, 2012, (3): 98–100.

[89] 杨庆锋, 杜迎辉, 刘峰. 根瘤菌肥对花生主要农艺性状及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2014, 46(5): 93–95.
Yang Q F, Du Y H, Liu F. Effect of peanut rhizobia fertilizer on main agronomic charcters and yield of peanut[J]. Journal of Shandong Agriculrual Sciences, 2014, 46(5): 93–95.

[90] 彭震, 王春娟, 陈庆河, 等. 生物肥料‘宁盾’对大豆疫霉病的防效及对毛豆的促生作用[J]. 上海农业学报, 2014, 30(6): 95–98.
Peng Z, Wang C J, Chen Q H, *et al*. Effect of bio-fertilizer ‘Ningdun’ on controlling *phytophthora sojae* and promoting soybean growth[J]. Acta Agricultura Shanghai, 2014, 30(6): 95–98.

[91] 邢卫峰, 于侦云, 陈刘军, 等. 生物肥料‘宁盾’对甜瓜枯萎病的防治效果[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(3): 78–81.
Xing W F, Yu Z Y, Chen L J, *et al*. Effect of bio-fertilizer‘Ningdun’ on controlling sweet melon wilt[J]. Journal of Jiangsu Agriculrual Sciences, 2014, 42(3): 78–81.

[92] 豆俊波. 生物菌肥在菜豌豆上的应用研究[J]. 云南农业, 2017, (2): 43–45.
Dou J B. Effect of applying bio-fertilizer on garden bean[J]. Yunnan Agriculture, 2017, (2): 43–45.

[93] 胡小加, 余常兵, 李银水, 等. 生物肥料对油菜的促生及菌核病防治的研究[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(4): 540–543.
Hu X J, Yu C B, Li Y S, *et al*. Study of bio-fertilizer on growth promotion of oilseed rape and prevention of *Sclerotinia*[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2009, 31(4): 540–543.

[94] 石磊, 侯振安, 尹飞虎, 陈云. 随水滴施3种生物菌肥对棉花黄萎病的防治效果[J]. 新疆农垦科技, 2017, (2): 37–40.
Shi L, Hou Z A, Yin F H, Chen Y. Controlling effect of applying three bio-fertilizers with drip irrigation on cotton verticillium wilt[J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 2017, (2): 37–40.

[95] 林云. 神锄复合微生物功能菌肥防治棉花枯黄萎病试验[J]. 农村科技, 2017, (1): 38–39.
Lin Y. Experimental summary of controlling cotton verticillium wilt by applying ‘Shenchu’ compound microbial founctional fertilizer[J]. Rural Science and Technology, 2017, (1): 38–39.

[96] 方玉川, 孙利军, 李建红, 鲁瑞文. 亚联微生物菌肥对马铃薯生长发育的影响[J]. 农业科技通讯, 2012, (1): 39–41.
Fang Y C, Sun L J, Li J H, Lu R W. Effect of sub-allied microbial fertilizer on the growth and development of potato[J]. Bulletin of Agricultral Science and Technology, 2012, (1): 39–41.

[97] 姜莉莉, 武玉国, 王开运. 丰田宝微生物菌肥在温室番茄上的应用效果[J]. 农业科技通讯, 2015, (12): 171–172.
Jiang L L, Wu Y G, Wang K Y. Effect of applying ‘Fengtianbao’ microbial fertilizer on tomato in greenhouse[J]. Bulletin of Agricultral Science and Technology, 2015, (12): 171–172.

[98] 曾卫东, 热西代·乃吉米丁, 巴哈尔古力·艾西热甫, 等. 神锄复合微生物菌肥对番茄田列当的防效及增产试验[J]. 现代农业科技, 2016, (11): 97.
Zeng W D, *et al*. Effect of compound microbial fertilizer on broomrape in field and tomatoyield[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2016, (11): 97.

[99] 胡丽可, 胡远亮, 胡咏梅, 梁运祥. 连作辣椒大棚施用5406抗生菌肥的效果[J]. 华中农业大学学报, 2016, 35(3): 61–65.
Hu L K, Hu Y L, Hu Y M, Liang Y X. Effects of 5406 antibiotic fertilizer on greenhouse of continuous cropping *Capsicum annuum*[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2016, 35(3): 61–65.

[100] 马玉琴, 魏偲, 茆振川, 等. 生防型菌肥对黄瓜生长及根结线虫病的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(15): 2945–2954.
Ma Y Q, Wei C, Mao Z C, *et al*. Effects of bioorganic fertilizers with compound microbes on cucumber and root-knot nematode[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(15): 2945–2954.

[101] 张素平, 田叶韩, 王建明, 等. 毛壳菌肥对黄瓜生长、产量和品质及氮磷钾吸收的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(11): 35–42.
Zhang S P, Tian Y H, Wang J M, *et al*. Effect of *Chaetomium* fungal fertilizer on growth, production, quality of cucumber and its absorption of nitrogen, phosphorus and kalium[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(11): 35–42.

[102] 崔鸣, 李建国, 陈浩, 等. 魔芋抗病促生专用放线菌肥的抑病增产效应[J]. 陕西农业科学, 2016, 62(9): 25–26.
Cui M, Li J G, Chen H, *et al*. Effects of actinomyces biofertilizer on disease suppression and yield of Konjac[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2016, 62(9): 25–26.

[103] 周文灵, 卢颖林, 敖俊华, 等. 复合微生物菌肥对甘蔗生长的影响[J]. 甘蔗糖业, 2016, (6): 14–17.

Zhou W L, Lu Y L, Ao J H, *et al*. Effect of compound bacterial manure on the growth of sugarcane[J]. Sugarcane and Canesugar, 2016, (6): 14–17.

[104] 田艳洪, 刘文志, 王北兰, 等. 生物有机肥在大豆和玉米上应用效果研究[J]. 现代化农业, 2011, (2): 8–10.
Tian Y H, Liu W Z, Wang B L, *et al*. Effect of applying bio-fertilizer on soybean and maize[J]. Modernized Agriculture, 2011, (2): 8–10.

[105] 杨群芳, 潘绍东, 陶世兴, 刘传治. 生物有机肥配施氮素化肥对水稻产量的影响[J]. 广西农学报, 2009, (2): 9–12.
Yang Q F, Pan S D, Tao S X, Liu C Z. The application impact of bioorganic manure plus nitrogen fertilizer on rice yield[J]. Journal of Guangxi Agriculture, 2009, (2): 9–12.

[106] 张浩, 汪明春, 徐根华, 燕志. 生物有机肥: 农业可持续发展之本-以生物有机肥在水稻上的高效应用为研究视角[J]. 淮海工学院学报 (人文社会科学版), 2014, 12(6): 94–96.
Zhang H, Wang M C, Xu G H, Yan Z. Bio-organic fertilizers as the foundation of agricultural sustainable development: on the application of bio-organic fertilizers on rice cropping[J]. Journal of Huaihai Institute of Techonology (Humanities and Social Science Edition), 2014, 12(6): 94–96.

[107] 路宪春, 于文清, 刘文志, 等. 生物有机肥与化肥配施对大豆生物性状及产量的影响[J]. 现代化农业, 2014, (1): 17–19.
Lu X C, Yu W Q, Liu W Z, *et al*. Effect of bio-organic and chemical fertilizer combination on biological character and yield of soybean[J]. Modernized Agriculture, 2014, (1): 17–19.

[108] 王文丽, 李娟, 赵旭. 3种生物有机肥对马铃薯生长发育和品质的影响[J]. 甘肃农业科技, 2014, (9): 10–12.
Wang W L, Li J, Zhao X. Effect of three bio-fertilizers on the growth and quality of potato[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2014, (9): 10–12.

[109] 史书强, 赵颖, 何志刚, 娄春荣. 生物有机肥配施化肥对马铃薯土壤养分运移及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(6): 154–157.
Shi S Q, Zhao Y, He Z G, Lou C R. Effects of of combined application of bio-organic fertilizer with chemical fertilizer on soil nutrient migration and yield of potato[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, 44(6): 154–157.

[110] 姜春月, 姜伟锋, 吕芬华. 莴苣施用生物有机肥的效果[J]. 浙江农业科学, 2009, (6): 1082–1083.
Jiang C Y, Jiang W F, Lü F H. Effect of bio-organic fertilizer on lettuce[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2009, (6): 1082–1083.

[111] 高亮, 丁春明, 史卓强. 晨雨生物有机肥对枸杞的增产效应[J]. 山西农业科学, 2010, 38(8): 45–49.
Gao L, Ding C M, Shi Z Q, *et al*. Application effect of Chenyu biological organic fertilizer on ‘Wolfberry’[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2010, 38(8): 45–49.

[112] 刘艳荣, 常永辉. 生物有机肥在黄瓜上的肥效田间试验效果研究[J]. 农业开发与装备, 2017, (3): 85.
Liu Y R, Chang Y H. Effect of bio-organic fertilizer on cucumber yields in field experiment[J]. Agricultural Development and Equipments, 2017, (3): 85.

[113] 张志红, 李华兴, 韦翔华, 等. 生物肥料对香蕉枯萎病及土壤微生物的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2421–2425.
Zhang Z H, Li H X, Wei X H, *et al*. Influence of biological fertilizers on banana wilt disease and microoganisms in soil[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(6): 2421–2425.

[114] 李亚娟, 邱慧珍, 高启发, 邓宝强. 生物有机肥对保护地西瓜生长、产量和品质的影响[J]. 土壤与作物, 2017, 6(2): 127–131.
Li Y J, Qiu H Z, Gao Q F, Deng B Q. Effects of biological organic fertilizer on watermelon growth, yield and quality under protected cultivation[J]. Soil and Crop, 2017, 6(2): 127–131.

[115] 刘龙. 科邦生物有机肥在番茄上的试验效果[J]. 安徽农学通报, 2017, (7): 87–88.
Liu L. Experimental effect of ‘ Kebang’bio-organic fertilizer on tomato[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2017, (7): 87–88.

[116] 徐超, 巴热江·买买提, 古丽皮叶·艾乃吐拉, 等. 生物肥对库尔勒香梨产量和品质的作用[J]. 新疆农业科学, 2017, 7(11): 87–88.
Xu C, Barijiang Maimaiti, Zulipiye Ainaitula, *et al*. Effects of bio-organic fertilizer on the yield and quality of Korla fragrant pear[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 7(11): 87–88.

[117] 殷红清, 杨永康, 万海英, 等. 烟叶施用生物有机肥的肥效试验[J]. 湖北民族学院学报 (自然科学版), 2013, (4): 401–403.
Yin H Q, Yang Y K, Wan H Y, *et al*. The application of bio-organic fertilizer in tobacco[J]. Journal of Hubei Nationality Institute (Natural Science Edition), 2013, (4): 401–403.

[118] 周培校. 酵素菌大三元复合肥在棉花上的应用[J]. 农村科技, 2004, (8): 10.
Zhou P J. Effects of inorganic and bio-organic compound fertilizer on cotton yields[J]. Rural Science and Technology, 2004, (8): 10.

[119] 孙家驹, 纪雪洋. 茶园施用‘大三元’生物肥试验初报[EB/OL]. http://cpfd.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-FZSH200512001049.htm, 2005-12-19.
Sun J J, Ji X Y. Preliminary study on the effects of ‘Dasanyuan’ inorganic and bioorganic compound fertilizer in tea crop[EB/OL]. http://cpfd.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-FZSH200512001049.htm, 2005-12-19.

[120] 李桂娟. 水稻施用大三元复合肥试验总结[J]. 垦殖与稻作, 2006, (6): 68–69.
Li G J. Effects of inorganic and bio-organic compound fertilizer on rice yields[J]. Reclaiming and Rice Cultivation, 2006, (6): 68–69.

[121] 张毅民, 胡静, 吕学斌, 等. 一种新型生物有机复混肥的肥效研究[J]. 化工进展, 2005, (10): 1176–1180.
Zhang Y M, Hu J, Lü X B, *et al*. Study on efficiency of new biological-organic compound fertilizer[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2005, (10): 1176–1180.

[122] 易卿, 赵跃进, 赵跃民, 等. 龙飞大三元有机无机生物肥在果树上的应用研究[J]. 农业科技通讯, 2010, (9): 85–89.
Yi Q, Zhao Y J, Zhao Y M, *et al*. Effects of ‘Longfei’ inorganic and bio-organic compound fertilizer on fruit trees[J]. Bulletin of Agricultural Sciences and Technology, 2010, (9): 85–89.