

果蔬退化土壤修复功能菌发掘及产业化应用

一、申报奖励类型：省科技进步奖

二、推荐单位：河北省农林科学院

三、项目简介

因不合理耕作和施肥用药，菜田和果园普遍发生土壤退化，导致病害加剧，产量、品质下降，影响产业竞争力和消费者健康。病原菌增多，根系毒素积累和次生盐渍化是土壤退化的三大因子，同时存在，防治十分困难。利用微生物防控是国内外研发热点，但因缺乏优异菌株及产业化关键技术，制约了高效稳定产品面世。本项目历经15年研究，取得如下创新成果：

1.以退化土壤三大因子为防控靶标，发明了以菌株功能检测+植物反应评测为特征的优良菌株梯次筛选方法，获得单一菌株同时具有促根、抗病、解根毒、防根结线虫和提高植物耐盐、旱、寒功能的优异菌株5株，其中链霉菌TOR3209菌株适于多种作物，毛细跟提高3.6倍，土传病和根结线虫相对防效82.0%、77%，根毒耐受浓度提高4倍。克服了同类研究因靶标单一，功能不全等导致目的菌株应用效果低、不稳定问题。

2. 阐释了单一菌株优于多菌组合的生态学和生物学机制。功能菌定殖于根际和根表，除发挥自身功能外，能召集抗病、解磷、产IAA、ACC、嗜铁素及降解纤维素和根毒等功能细菌在根际聚集，抑制肺炎杆菌、冰核菌、根结线虫等病虫的侵入；通过激活植物保护酶SOD、POD和脯氨酸合成调控基因*tomPRO₂*的高量表达，提高植物系统抗性。探明了腐熟有机肥、腐殖酸、生物炭等可保护并促进功能菌的繁殖，最佳组合可提高根际群体数量12倍，为高效应用指明了方向。

3. 创制了8种土壤修复微生物肥料，围绕产业化，突破三大关键接口技术：

3.1 创制了低温启动并具有防病促生功能的有机肥腐熟菌剂，发明了全封闭自动罐式有机肥快速发酵工艺及设备，提升了生产效率和质量。环境温度15℃下可正常启动发酵，比同类低5℃以上，并实现10小时脱害72小时熟化，比常规工艺（9-20天）增效3-7倍。

3.2 发明了高密度原菌液固两相发酵工艺。固态芽孢杆菌、链霉菌和真菌原菌的活菌数量比传统工艺提高3-9倍，成本低30.8%，且无三废产出。添加复合保护剂，非芽孢类菌剂保存24个月，存活率达88.7%。

3.3 发明了颗粒生物肥高效造粒、低温干燥、冷包膜、均一化等新工艺和新设备，

建成了国内首条6万吨颗粒生物肥全自动无尘生产线。颗粒成型率从70%提高到91.0%，活菌存活率达90.6%，能耗下降20%以上，克服了造粒难、活菌保存难、能耗高、易吸潮等生物肥行业共性难题。

系列产品在不同退化土壤上应用，根围细菌与真菌比例提高5.1倍，接近大田水平，有机质降解率提高34.6%，全磷和全氮利用率分别提高26.0%和66.2%；植物根系干重提高33%，毛细根提高2-4倍，土传病害减少60.3-90.5%、减少用药30.0-55.0%，蔬菜增产18.0-45.0%，果蔬风味和品质显著改善。

通过各级产业体系、联盟、技术推广和互联网加等平台，在全国进行了推广。近三年，累计生产微生物有机肥75.76万吨，应用454.56万亩，转化畜禽粪便393.91万吨，减排COD90599.50吨，减排氨氮2757.40吨，新增利润197442.35万元。培育出生物肥料首个中国驰名商标、2个省级龙头企业、2个省级名牌产品、1个省级优质产品；获授权专利20项，其中发明专利10项，发表论文32篇，培养研究生8名。主持单位被推举为河北省有机与生物肥料产业创新联盟理事长单位，对生物肥行业的进步发挥了引领作用。

四、主要完成单位及创新推广贡献

1、河北省农林科学院遗传生理研究所，项目第一完成单位：全面负责项目的设计、组织实施、总结，提供实验室、仪器设备、试验基地等科研和示范转化条件。研制出耐低温的高效有机物料腐熟菌剂，完成菌种发酵特性、菌剂发酵条件研究，确定应用技术规范；筛选出具有土壤生态修复，激活植物系统抗性功能的枯草芽孢杆菌 B501 和酒红土褐链霉菌 S506，研制出功能菌剂；研究探明了腐熟菌剂、功能菌剂的土壤生态调控、植物抗性调控功能机制。研制出系列微生物有机肥配方和生产工艺并组织进行推广转化。发起成立了石家庄有机与生物肥料产业技术创新战略联盟，促进成果转化，引领产业实现技术跨越。

2、石家庄金太阳生物有机肥有限公司，项目第二完成单位：负责进行了有机肥发酵、系列微生物有机肥的中间试验、生产试验、技术集成示范和技术与产品的示范推广。完成了有机肥规模发酵工艺中试和生产试验，建立年处理 10 万吨规模的有机肥发酵示范基地；完成了微生物有机肥规模生产关键工艺和设备的设计、制作和调试；发明了“多圆盘组合造粒”“双向低温干燥”“营养包膜剂”“颗粒冷包膜”“颗粒均质化”等工艺和配套设备；进行关键技术集成，建设完成国内首条以畜禽粪便为主要原料的 6 万吨级颗粒型微生物有机肥全自动无尘生产线，引领了行业向现代化迈进。

3、北京生物技术研究中心，项目第三完成单位。主要负责进行了有机肥标准化发酵、粪肥抗生素耐药基因、重金属等安全与卫生指标的检测、评估和去除技术的研究，并进行了示范和推广。完成了多个菌株的液固两相发酵，确定了技术参数，完成了有机肥发酵试验和示范，承担了发酵示范工作。

4、河北九知农业科技有限公司，项目第四完成单位，主要负责创制了低温启动并具有防病促生功能有机肥腐熟菌剂和全封闭自动化罐式有机肥快速发酵工艺及设备，建立了配套应用技术和技术推广示范。

5、石家庄开发区春雨生物工程有限公司，项目第五完成单位：负责进行了有机物料腐熟菌剂和功能微生物菌剂的发酵中试和生产示范，为项目试验、示范和推广提供菌剂供应。完成了多个菌株的液固两相发酵，确定了技术参数；完成了有机肥发酵试验和示范，承担了发酵示范工作。

五、推广应用及经济社会效益情况

采用“基地示范，联盟带动，政产学研联合推广”模式，对研制的关键技术、设备和系列产品进行了示范推广。发起成立了“有机与生物肥料产业技术创新战略联盟（石家庄）”，借力国家联盟，构建转化平台，示范推广了有机肥规模发酵配套技术和微生物有机肥生产技术，推广应用企业36家，其中河北22家。依托省市土壤肥料站和有机与生物肥料产业技术创新战略联盟，在省内外特色农产品基地，建立示范基地70家，微生物有机肥显著的防病、促生和改善品质效果，得到了广大肥料经销商和农民的认可。依托省市县畜牧站和省现代养殖产业技术创新体系，示范应用了养殖废弃物就地无害高效发酵技术，在蛋鸡、生猪和奶牛规模养殖场建立示范基地14个，推广应用规模养殖场六十多家。

通过示范推广，带动了冀、豫、辽、新、滇、渝等地有机肥产业和特色种植业的发展。近三年，累计生产微生物有机肥75.76万吨，转化养殖废弃物393.91万吨，应用面积4543.5万亩，累计新增社会纯收益197442.5万元。减少COD排放9.06万吨，减少氨氮排放2757.40吨。环境效益、生态效益和经济效益均十分显著

申请专利23项，授权专利17项，其中发明专利10项，发表论文32篇，培养研究生8名。研制出8种微生物肥料，均通过了农业部的注册登记。

该技术成果的推广应用，产生如下社会效益：

(1) 促进养殖业和种植业的可持续发展。将畜禽粪便转化为具有克服连作障碍的微生物有机肥，在为蔬菜连作障碍、果园土壤退化难题的解决提供关键技术和产品支

持的同时，还加大了养殖废弃物的高效利用力度，净化养殖环境，实现种植和养殖业的双重持续发展。

(2) 培育壮大新型生物肥料产业。项目实施以来，培育出生物肥料类产品首个国家级驰名商标、2 个省级农业产业化龙头企业、2 个省级名牌产品和 1 个省级优质产品，对有机肥产业的做强做大起到了引领作用，实现了行业技术跨越。

(3) 促进学科进步。发表论文 32 篇，申请专利 23 项，授权 17 项，其中发明专利 10 项，培养硕士研究生 8 名，促进了土壤生态学、循环农业、发酵工程等学科的技术进步。

六、代表性论文专著目录

1. Gao M, Jia R, Qiu T, Han M, Wang X*. Size-related bacterial diversity and tetracycline resistance gene abundance in the air of concentrated poultry feeding operations. *Environmental Pollution* 2017
2. Huang, X.D., El-Alawi, Y., Penrose, D. M., Glick, B. R., Greenberg, B. M. A Multi-process Phytoremediation System for Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Contaminated Soils. *Environmental Pollution* 2004.
3. Huang, X.-D., El-Alawi, Y.S., Gurska, J., Glick, B.R. and Greenberg, B.M. A multi-process phytoremediation system for decontamination of persistent total petroleum hydrocarbons (TPHs) from soils. *Microchem* 2005
4. Dong Hu, Xiaozhi Li, Yueli Chang, Huan He, Cuimian Zhang, Nan Jia, Hongtao Li, a and **Zhanwu Wang*** Genome Sequence of *Streptomyces* sp. Strain OR3209, a Rhizosphere Microecology Regulator Isolated from Tomato Rhizosphere. *Journal Bacteriology*. 2012,194(6):1627. (IF3.826,2010 年)
5. 张翠绵，贾楠，胡栋，彭杰丽，王占武*. 低温型复合发酵菌剂接种鸡粪堆肥的效应研究 *环境工程学报*,2016
6. 王素芳,王占武*,李洪涛,张翠绵,赵宝华.土壤因子对链霉菌 S506 定殖和促生功能的影响.*中国生态农业学报* 2009,17(2):335-338.
7. 穆燕魁,王占武*,张翠绵,李洪涛,田洪涛,贾楠.根际益生菌链霉菌 S506 固体发酵条件优化.*微生物学通报*, 2008,35(10):1600-1605.
8. 王占武，李晓芝，刘彦利，田洪涛.枯草芽孢杆菌 B501 在草莓根际的定殖及其动态变化.*植物病理学报*,2003,33(2):188-189

七、主要知识产权证明目录:

1、已授权发明专利

序号	已授权专利名称	国家 (地区)	专利号	专利权人	发明人	授权公告日	专利有效状态	证明材料	所支持发明点
1	一种酒红土褐链霉菌、筛选方法和应用	中国	ZL200810079468.9	河北省农林科学院遗传生理研究所	王占武、李晓芝、张翠绵、李洪涛	2012.07.04	有效	2.1.1	1
2	一种酒红土褐链霉菌菌剂及制备方法	中国	ZL200810079467.4	河北省农林科学院遗传生理研究所	王占武、张翠绵、李洪涛、李晓芝、贾楠	2012.05.23	有效	2.1.2	3
3	一种多功能高效有机物料腐熟剂及其制备方法	中国	201410765219.0	河北省农林科学院遗传生理研究所	王占武、张翠绵、胡栋、李晓芝、贾楠	待授权	有效	2.1.3	3
4	高活性颗粒型生物有机肥及其制备方法和应用	中国	201610213175.X	河北省农林科学院遗传生理研究所	王占武、胡栋、张翠绵、彭杰丽、李晓芝、贾楠	待授权	有效	2.1.4	3
5	一种规模生产颗粒有机肥的多元盘组合造粒方法	中国	201610545896.0	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	刘志军, 王占武, 李勇忠, 张翠绵, 胡栋	待授权	有效	2.1.5	3
6	植物促生菌、含有植物促生菌的微生物制剂及其制备方法	中国	ZL200810181319.3	黄晓东	黄晓东	2011.08.24	有效	2.1.6	3
7	含有植物促生菌的生物制剂及其制备方法和应用	中国	ZL200810181327.8	黄晓东	黄晓东	2011.07.06	有效	2.1.7	3
8	一种以核桃壳为原料制备活性炭的方法及应用(活菌保护)	中国	ZL201410202616.7	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	刘志军, 王占武, 李明		有效	2.1.8	2
9	一种发酵床养殖北京填鸭的方法(发酵菌剂延伸应用)	中国	ZL201410274187.4	北京农业生物技术研究中心	王旭明, 仇天雷, 高敏, 韩梅琳, 崔鑫鑫	201610.19	有效	2.1.9	3
10	用于污泥堆肥的发酵剂的制备方法(发酵菌剂延伸应用)	中国	ZL201110095254.2	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	张清敏, 刘志军, 李明, 陈亚肖, 刘少坤, 魏惠, 唐景春	2012.03.21	有效	2.1.10	3

已授权实用新型专利和外观设计专利(先填写实用新型专利, 再填写外观设计专利)

序号	已授权专利名称	国家(地区)	专利号	专利权人	发明人	授权公告日	专利有效状态	证明材料	所支持发明点
1	一种颗粒有机肥圆盘造粒设备	中国	ZL201620730866.2	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	刘志军、王占武、李勇忠	2017.01.11	有效	2.2.1	3
2	一种用于生产生物肥料的滚筒式双向低温干燥设备	中国	ZL201620731696.X	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	刘志军、王占武、李勇忠	2017.01.11	有效	2.2.2	3
3	一种生物有机肥冷包膜生产线	中国	ZL2016207314138.9	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	刘志军、王占武、李勇忠	2017.01.11	有效	2.2.3	3
4	一种畜禽粪便无害化处理设备	中国	ZL201520471434.X	河北九知农业科技有限公司	冯书妙、吴承建、李万贵、李元迎、李俊兰、苑	2016.01.13	有效	2.2.4	3
5	有机肥生产线装置	中国	ZL201620647535.2	河北九知农业科技有限公司	冯书妙	2016.11.16	有效	2.2.5	3
6	包装袋(1)	中国	ZL201030242168.4.0	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	刘志军, 王旺, 刘伟, 魏惠	2010.12.22	有效	2.2.6	3
7	包装袋(2)	中国	ZL201030242144.0	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	刘志军, 王旺, 胡灼玉, 宋礼佳	2011.01.12	有效	2.2.7	3
8	包装袋(3)	中国	ZL201030242170.3	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	刘志军, 王旺, 赵阳, 宿向阳	2011.01.12	有效	2.2.8	3
9	包装袋(4)	中国	ZL201030242132.8	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	刘志军、王旺、魏惠、宋礼佳	2011.01.26	有效	2.2.9	3
10	包装袋(地欣)	中国	ZL201530045123.2	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	刘志军、李瑞涛、刘阔、李赛非、王立业	2015-08-19	有效	2.2.10	3

九、主要完成人情况表

姓名	排名	技术职称	工作单位	完成单位	创造性贡献	曾获科学技术奖励

王占武	1	研究员	河北省农林科学院遗传生理研究所	河北省农林科学院遗传生理研究所	全面负责项目总体思路和技术路线制定、方案设计、资料整理、论文设计与修改、项目总结。主持并参加系列菌种筛选、发酵工艺研究,有机肥发酵工艺和设备的设计、选型,发酵规程起草,生物有机肥配方筛选,田间试验示范,每年的具体试验计划等。指导研究生完成本项目的机制研究内容。主持完成了第1、2、3 创新点中的模式构建、腐熟菌剂、功能微生物菌剂和生物有机肥的设计和研制,参与了第5创新点的设计。任河北省生猪产业体系粪污处理与利用岗位专家。见附件1.1.1-1.1.8、2.1.1、2.1.2	省部级科技进步二等奖2项,科技进步三等奖3项,省山区创业一等奖1项(集体奖),石家庄市科技进步二等奖1项
张翠锦	2	副研究员	河北省农林科学院遗传生理研究所	河北省农林科学院遗传生理研究所	负责发酵菌种筛选、菌剂配伍、培养基和发酵工艺优化,参加了有机肥发酵、生物肥料试验与示范等,起草有机肥生产技术规程,作为主研人参加完成了第2、3 创新点中的发酵菌系筛选、菌种发酵,功能试验。见附件:1.1.5、1.1.7、1.1.8、2.1.1、2.1.2	河北省科技进步二等奖1项
胡栋	3	助理研究员	河北省农林科学院遗传生理研究所	河北省农林科学院遗传生理研究所	负责菌株分类鉴定、发酵菌剂、功能微生物生态学机制研究,参加完成了田间试验示范,数据整理等工作,协助指导硕士研究生,完成研究论文。参加完成了第2、3 创新点中的菌种分类鉴定、固态发酵试验、田间应用效果试验。见附件1.1.4、1.1.5	
贾楠	4	助理研究员	河北省农林科学院遗传生理研究所	河北省农林科学院遗传生理研究所	负责菌剂发酵试验,产品质量检测,为田间试验示范提供试验材料。参加完成了第2、3 创新点中的菌剂发酵条件、生物肥料田间试验等工作。见附件:1.1.4-1.1.6、2.1.2	
李晓芝	5	研究员	河北省农林科学院	河北省农林科学院	负责发酵菌株、功能菌株的分离筛选、功能测试,有机肥发酵试验,数据整理等。参加完成了第1、2、3 创新点中的模式构建、腐熟菌株,筛选出功能菌S506,参加了B501菌株的发酵工艺研究。见附件:1.1.1、1.1.5、2.1.1、2.1.2	省自然科学一等奖1项,省部科技进步二等奖2项,省三等奖3项
刘志军	6	总工	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	石家庄金太阳生物有机肥有限公司	负责有机肥规模发酵试验、颗粒生物有机肥规模生产工艺与设备的选型、生产试验和技术与设备集成。负责完成了技术集成和有机肥生产线、生物肥生产示范基地的建设,以及国内首条6万吨级全自动无尘颗粒生物肥生产线的设计、建设和调试。参加完成了第2、3创新点中的有机肥规模发酵工艺与设备、微生物复合肥的研制,颗粒肥料生产工艺和设备创制。任石家庄金太阳生物有机肥有限公司董事长。见附件2.2.1-2.2.4	市科技进步一等奖1项,二等奖1项
黄晓东	7	研究员	河北省农林科学院遗传生理研究所	河北省农林科学院遗传生理研究所	完成了植物促生、耐盐菌株的筛选、菌植互动、菌剂制作等研究,进行产品应用试验。参加了第1、2创新点中的菌种筛选、菌剂发酵、菌植互动机制、生物肥料田间试验等工作。支持材料:附件中科技项目任务书、有关论文、专利等。	
高敏	8	副研究员	北京农业生物技术研究中心	北京农业生物技术研究中心	负责畜禽粪便耐药菌、耐药基因的检测、演替规律和去除技术研究,进行技术应用和推广。参加了第2创新点中耐药菌、耐药基因演替规律、高效发酵工艺、去除技术研究。支持材料:附件中有关论文、专利、合作协议等。	

冯书秒	9	助工	河北九知农业科技有限公司	河北九知农业科技有限公司	负责发酵菌剂发酵条件、罐式反应器研制、有机肥规范生产和有机肥发酵与应用技术服务。参加完成了第3创新点中的罐式反应器设计、试制，发酵菌剂和有机肥发酵试验。支持材料：附件中有关专利、合作协议等等。
范金勇	10	高级农艺师	石家庄开发区春雨生物工程有限公司	石家庄开发区春雨生物工程有限公司	负责菌剂发酵中试和生产试验，组织进行有机肥发酵试验、田间应用示范等。参加完成了第3创新点中的腐熟菌剂、功能微生物菌剂的发酵试验和示范。见附件：3.2.5

十、完成人合作关系说明

该项目涉及的关键体系，包括三大部分内容：（1）菌剂发酵与有机肥发酵工艺与设备；（2）功能微生物筛选与微生物有机肥研制；（3）颗粒型微生物有机肥产业化工艺与设备。第一完成单位河北省农林科学院遗传生理研究所负责整个项目的设计与组织实施，重点完成了菌株筛选技术和菌株筛选、有机肥发酵工艺与设备选型、两种微生物菌剂和功能型生物有机肥的研制。参与单位的合作关系说明如下：

1、石家庄金太阳生物有机肥有限公司。重点完成了有机肥发酵工艺与设备、颗粒型微生物有机肥产业化工艺与设备的研制与集成示范。

证明材料：共同完成了2个项目：（1）国家农业成果转化资金重点项目“新型颗粒四合一肥料（生物复合肥）中试与示范”（项目编号2011GB2A210002），于2013.11.20通过了专家验收（见附件3.8.1，3.2.1）。（2）河北省自主创新重大成果转化项目“新型颗粒生物复混肥的关键技术研究”（项目编号：12225501Z），于2015.3.4通过了专家验收（见附件3.8.3，3.2.3）。

2、北京生物技术中心。参与了由申报单位承担的河北省生猪产业体系2014年的工作任务，完成了有机肥快速发酵工艺和安全评价研究，建立了耐药基因检测和消除技术。正在与申报单位合作承担河北省农业科技创新工程“养殖废弃物资源化利用关键技术研究”（2017-2021）

证明材料：项目任务书

3、河北九知农业科技有限公司。共同完成了有机肥全封闭罐式快速反应器的研制，建立了配套应用技术。2013年月日双方签订合作协议，共同开展有机肥快速发酵设备和配套发酵菌剂创制和技术推广。正在合作承担河北省渤海粮仓项目成果转化项目。

证明材料：合作协议

4、石家庄开发区春雨生物工程有限公司。共同完成了两种微生物菌剂的发酵中试

与生产试验。合作证明：

(1) 合作开发微生物菌剂的协议（见附件 5.2.1）

(2) 共同完成了石家庄市科技支撑计划重点项目“农业废弃物资源化高效利用技术与示范”（09949332A-1），于 2012.05.20 通过专家验收（见附件 3.2.3）。

十一. 知情同意报奖证明

所有未列入论文以及专利权人主要完成任务人序列，知情并同意该成果报奖。（见附件 5.1.1）