

【项目名称】

γ -聚谷氨酸高效生物合成及其在肥料增效中的产业化应用

【提名单位】

中国科学院成都分院

【提名意见】

该项目针对我国肥料利用率低，农业面源污染形式严峻的现状，瞄准提高肥料转化利用效率、降低化肥使用量、源头减控农业面源污染的目标，项目联合科研院所、大型上市企业进行跨行业产学研合作，围绕“ γ -聚谷氨酸高效合成菌种创制与发酵体系构建”、“ γ -聚谷氨酸高效工业化生产技术”和“ γ -聚谷氨酸与肥料稳定耦合关键技术”三个方面内容开展联合攻关，利用重离子诱变及合成生物学技术创制了 γ -聚谷氨酸高效合成菌种，摆脱传统菌种选育的桎梏，打破国外专属菌种垄断；成功对中试 γ -聚谷氨酸发酵技术进行工艺放大，实现了 60 吨发酵罐的 γ -PGA 生产；实现了 γ -PGA 与肥料稳定耦合，规模化生产 γ -PGA 尿素与 γ -PGA 复合肥等新型化肥产品。

项目执行期间，选育出高效具有自主知识产权的专属菌株 4 株，共获授权专利 15 项，其中发明专利 10 项，实用新型专利 5 项，发表论文 18 篇，制定团体标准 2 项，企业标准 2 项。项目研究成果已经落地应用，建成年产 1000 吨以上 γ -聚谷氨酸生产线 3 条，年产 10 万吨 γ -PGA 新型肥料生产线 1 条，实现直接经济效益 4.03 亿元，带动地方投资 2.05 亿元，实现间接效益近 12 亿元。项目产出的 γ -PGA 新型肥料已累计推广 308.5 万亩，同等条件下普遍可以增产 10% 左右，其中辣椒增产显著，增产达 13%，显著降低了农业生产过程中的化肥投入，从源头上削减了农业面源污染，同时提升了种植产品的产量和品质，促进了农民增收，有力地推动了四川乃至我国农业的绿色可持续发展。

推荐材料真实有效，填写栏目符合填写要求。经评审，提名该项目为四川省科技进步奖。

【项目简介】

化肥过量使用是我国农业面源污染的主要原因之一，在国家农业发展减施增效

战略和农业绿色低碳高质量发展的内在要求背景下，通过技术手段研发绿色投入品，是改善农业面源污染、实现化肥减施增效与农业绿色可持续发展的有效途径。我国年产化肥约 7000 万吨，用量约 6600 万吨，用肥强度是世界平均值的 3.75 倍，但肥料利用率世界最低，仅有 25-35%，因此，通过添加绿色肥料增效剂，延长肥料持效期、提高肥料转化利用效率，可以达到降低化肥使用量、源头减控农业面源污染的目的。基于此，项目团队以生物发酵制备的高分子物质 γ -聚谷氨酸(γ -PGA)为核心，围绕“ γ -聚谷氨酸高效合成菌种创制与发酵体系构建”、“ γ -聚谷氨酸高效工业化生产技术”和“ γ -聚谷氨酸与肥料稳定耦合关键技术”三个方面内容开展联合攻关，创制绿色肥料增效剂并进行产业化应用。主要内容和成果如下：

1. 利用重离子诱变及合成生物学技术创制 γ -PGA 高效合成菌种，摆脱传统菌种选育的桎梏，打破国外专属菌种垄断。同时针对 γ -PGA 高效合成菌种特性，构建适配的发酵体系，为工业化生产奠定基础。①重离子诱变菌株 JJ-2 的 γ -PGA 产量达 50 g/L，较原始菌株提升 20%；利用 CRISPR/Cas9 改造菌种 JX-6 提升发酵原料适应性，可利用农业废弃物进行 γ -PGA 合成。②全面解析 γ -PGA 发酵过程供氧变化与产量关系，确定以比好氧速率(qO_2)为核心指标调控 γ -PGA 发酵过程； γ -PGA 中试发酵产量提升至 52.6 g/L，较调控前提升 83.88%。③研发以玉米秸秆为原料的 γ -PGA 同步糖化发酵工艺，实现零排放制备 γ -PGA；研发以玉米秸秆和豆粕为原料的 γ -PGA 固体发酵工艺，产量达 116.88 g/kg，达到国内领先水平。

2. 成功对中试 γ -PGA 发酵技术进行工艺放大，针对工业发酵的工艺流程过程和技术难点进行攻关，实现了 60 吨发酵罐的 γ -PGA 生产。①通过尾气氧含量水平实时监测计算比好氧速率，保证发酵过程罐体供氧水平，以流加补料方式进行发酵营养控制，全面提升发酵过程调控精度，规模化发酵产量达 40-50 g/L，培养基成本投入降低 50%。②多手段综合运用实现 γ -PGA 浓缩和分级提纯利用，通过筛选防腐剂和固相载体，实现 γ -PGA 液体及 γ -PGA 固体的长效保存，其中液态下保存期超过 6 个月，固态下保存期超过 2 年。

3. 完善 γ -PGA 与化肥混合造粒技术，实现 γ -PGA 与肥料稳定耦合，规模化生产 γ -PGA 尿素与 γ -PGA 复合肥等新型化肥产品。①通过造粒喷头孔径优化和 γ -PGA 与熔融化肥原料混合比例、混合时间调整，改善喷头堵塞现象，提升 γ -PGA 化肥造粒

均一度。②研发 γ -PGA 直混技术，借助加强通风缩短造粒时间，降低了 γ -PGA 损失，提升了 γ -PGA 在肥料中的有效含量。

项目执行期间，选育出自主知识产权的专属菌株 4 株，共获授权专利 15 项，其中发明专利 10 项，实用新型专利 5 项，发表论文 18 篇，制定团体标准 2 项，企业标准 2 项。项目研究成果已经落地应用，建成年产 1000 吨以上 γ -PGA 生产线 3 条，年产 10 万吨 γ -PGA 新型肥料生产线 1 条，实现直接经济效益 4.03 亿元，带动地方投资 2.05 亿元，实现间接效益近 12 亿元。项目产出的 γ -PGA 新型肥料已累计推广 308.5 万亩，同等条件下普遍可以增产 10%左右，其中辣椒增产显著，增产达 13%，显著降低了农业生产过程中的化肥投入，从源头上削减了农业面源污染，同时提升了种植产品的产量和品质，促进了农民增收，有力地推动了四川乃至我国农业的绿色可持续发展。

【主要知识产权和标准规范目录】

知 识 产 权 (标准)类 别	知 识 产 权 (标 准) 具 体 名 称	国 家 (地 区)	授 权 号 (标 准 编 号)	授 权 (标 准 发 布) 日期	证 书 编 号 (标准 批 准 发 布 部 门)	权 利 人 (标准 起 草 单 位)	发 明 人 (标准 起 草 人)	发 明 专 利 (标 准) 有 效 状 态
发明专利	高 产 γ -PGA 菌 株 及 应 用 其 生 产 γ -PGA 的 方 法	中国	ZL201 71036 3002.0	2020- 03-27	3731738	中国科学院成 都生物研究所	闫志英; 姬高 升; 许力山; 房俊楠; 刘晓风	有效
团体标准	超 高 分 子 量 聚 谷 氨 酸 发 酵 工 艺 规 程	中国	T/SOF IDPA 0005-2 023	2023- 05-26	四 川 省 有 机 肥 料 产 业 发 展 促 进 会	中国科学院成 都生物研究 所、四川省自 然资源科学研 究院、四川省 农业科学院农 业资源与环境 研究所、成都 大学、成都医	闫志英、姬高 升、许力山、 吕青阳、涂卫 国、李森、秦 鱼生、王新 惠、陈朝琼、 乔长晟、雷 珂、曾茂、杨 志刚、李镇	有效

						学院、天津科技大学、四川金象赛瑞化工股份有限公司、四川百川金开生物工程有限公司	江、刘元兴、庞孝勇、孙竞、刘文、武红帽	
团体标准	含聚谷氨酸有机水溶肥料（微量元素型）	中国	T/SOF IDPA 0006-2023	2023-05-26	四川省有机肥料产业发展促进会	中国科学院成都生物研究所、四川省自然资源科学研究院、四川省农业科学院农业资源与环境研究所、成都大学、成都医学院、天津科技大学、四川金象赛瑞化工股份有限公司、四川百川金开生物工程有限公司	闫志英、姬高升、许力山、吕青阳、涂卫国、李森、秦鱼生、王新惠、陈朝琼、乔长晟、雷珂、曾茂、杨志刚、李镇江、刘元兴、庞孝勇、孙竞、刘文、武红帽	有效
发明专利	一种增加 γ -聚谷氨酸发酵液溶氧的方法	中国	ZL201710362797.3	2020-05-19	3806099	中国科学院成都生物研究所	闫志英；姬高升；许力山；房俊楠；刘晓风	有效
发明专利	γ -聚谷氨酸产生菌及生产 γ -聚谷氨酸有机肥的方法	中国	ZL201511028765.7	2019-05-21	3385756	中国科学院成都生物研究所	闫志英；袁月祥；许力山；李志东；代玉梅；李东；廖银章；刘晓风	有效

发明专利	一株高产 γ -PGA 的枯草 芽孢杆菌及其 应用	中国	ZL201 911142 617.6	2022- 04-26	5112644	中国科学院成 都生物研究所	闫志英; 李海 红; 赵琪琪; 许力山; 姬高 升; 刘杨	有效
发明专利	一种 γ -聚谷氨 酸生物有机 肥的制备及 应用方法	中国	ZL201 911142 514.X	2022- 02-08	4920184	中国科学院成 都生物研究所	闫志英; 房俊 楠; 刘杨; 许 力山; 姬高升	有效
企业标准	农用 γ -聚谷氨 酸	中国	Q/CD BC3-2 021	2021- 12-15	四川百 川金开 生物工 程有限 公司	四川百川金开 生物工程有限 公司、中国科 学院成都生物 研究所、四川 活升元生物科 技有限公司、 四川绿微生物 科技有限公司	闫志英; 李镇 江; 庞孝勇; 李生祥; 许力 山; 吕青阳; 姬高升; 刘 杨; 杨志刚; 乔长晟; 唐晓 芳	有效
企业标准	农用 γ -聚谷氨 酸发酵生产 工艺	中国	Q/CD BC2-2 021	2021- 11-24	四川百 川金开 生物工 程有限 公司	四川百川金开 生物工程有限 公司、中国科 学院成都生物 研究所、四川 活升元生物科 技有限公司、 四川绿微生物 科技有限公司	闫志英; 李镇 江; 庞孝勇; 李生祥; 许力 山; 吕青阳; 姬高升; 刘 杨; 杨志刚; 乔长晟; 唐晓 芳	有效
发明专利	一种生产高 塔硝基复合 肥的方法及 装置	中国	ZL201 51001 5664. X	2017- 07-18	2558316	四川美丰化工 股份有限公司	周泉水; 刘心 强; 伍照全; 詹荣; 夏秀 茂; 陈洋	有效

【论文专著目录】

序号	论文（专著）名称/刊名/作者	年卷页码 （xx 年 xx 卷 xx 页）	发表时间（年月日）	通讯作者（含共同）	第一作者（含共同）	国内作者	他引总次数	检索数据库	论文署名单位是否包含国外单位
1	Bioconversion of agricultural waste into poly-gamma-glutamic acid in solid-state bioreactors at different scales / Waste Management / Fang Junnan, Huan Chenchen, Liu Yang, Xu Lishan, Yan Zhiying	2020 年 102 卷 939-948 页	2020-02-01	Zhiying Yan	Junnan Fang	ChenChen Huan; Yang Liu; Lishang Xu; Zhiying Yan	13	Science Citation Index Expanded	否
2	Poly-gamma-glutamic acid production by simultaneous saccharification and fermentation using corn straw and its fertilizer synergistic effect evaluation / Bioprocess and Biosystems Engineering / Ji Gaosheng, Xu Lishan, Lyu Qingyang, Liu Yang, Gong Xuefeng, Li Xudong, Yan Zhiying	2021 年 44 卷 10 期 2181-2191 页	2021-06-04	Zhiying Yan	Gaosheng Ji; Lishang Xu; Qingyang Lyu	Yang Liu; Xuefeng Gong; Xudong Li; Zhiying Yan	3	Science Citation Index Expanded	否
3	Comparison of poly-gamma-glutamic acid production between sterilized and non-sterilized	2020 年 255 卷 120248 页	2020-05-10	Zhiying Yan	Junnan Fang	Yang Liu; ChenChen Huan;	9	Science Citation Index Expanded	否

	solid-state fermentation using agricultural waste as substrates /Journal of Cleaner Production / Fang Junnan, Liu Yang, Huan Chenchen, Xu Lishan, Ji Gaosheng, Yan Zhiying					Lishang Xu; Gaosheng Ji; Zhiying Yan			
4	一株高产 γ -聚谷氨酸菌株的筛选、鉴定及其发酵培养基优化 / 应用与环境生物学报 / 李海红, 赵琪琪, 许力山, 姬高升, 闫志英	2020 年 26 卷 06 期 1451-1459 页	2020-03-23	闫志英	李海红	赵琪琪; 许立山; 姬高升; 闫志英	0	中国科学引文库 (CSCD)	否
5	微生物发酵生产 γ -聚谷氨酸研究进展 / 应用与环境生物学报 / 房俊楠, 雷娟, 许力山, 姬高升, 刘杨, 闫志英	2018 年 24 卷 05 期 1041-1049 页	2018-10-25	闫志英	房俊楠	雷娟; 许立山; 姬高升; 刘杨; 闫志英	2	中国科学引文库 (CSCD)	否
合 计							27		

【主要完成人】(按排名顺序)

闫志英、李镇江、涂卫国、吕青阳、姬高升、陈朝琼、刘心强、许力山、杨志刚、谭善兵

【主要完成单位】(按排名顺序)

中国科学院成都生物研究所、四川百川金开生物工程有限公司、四川省自然资源科学研究院、四川美丰化工股份有限公司、成都医学院