

项目公示信息表

一、项目基本情况

奖 种	国家科技进步奖
项目名称	新一代柠檬酸发酵制备关键技术创制及产业化
完成单位	江南大学、江苏国信协联能源有限公司
完成人	刘龙、陈坚、石贵阳、李由然、李江华、堵国成、胡志杰、蒋小东、孙福新、金赛
提名单位	中国轻工业联合会
提名单位意见	<p>柠檬酸是全球产量最大的食品酸味剂，主要通过黑曲霉液体深层发酵制备。经过六十余年的不断发展，目前我国柠檬酸产量占全球70%，总体技术水平在全球处于领跑地位。如何利用现代工业生物技术创制新一代柠檬酸发酵制备关键技术，实现我国柠檬酸发酵技术水平的全球持续领跑地位是一个艰巨挑战。</p> <p>该项目利用以生物信息学、系统生物学、自动控制理论为基础的现代工业生物技术开展了从柠檬酸发酵原料水解、菌种代谢、过程控制到提取精制的系统技术创新，建立了淀粉原料水解过程精准控制技术，揭示了柠檬酸关键代谢调控机制，创制了柠檬酸浓醪发酵技术和分割连续发酵技术，建立了柠檬酸变温色谱绿色提取精制技术，实现了传统柠檬酸发酵工艺的全流程重构与系统创新。</p> <p>项目成果已在江苏国信协联能源有限公司进行了工业化应用，产酸水平、发酵周期、综合能耗等关键技术参数均优于国际先进指标，对维持我国的柠檬酸发酵制备技术持续领先和生产强国地位提供了坚强保障。近三年累计实现销售总额 42.21 亿元，新增利润 5.23 亿元。项目获授权发明专利 24 项(其中国际专利 1 项)；发表论文 52 篇，其中 SCI 论文 37 篇；主编出版中文著作 1 部，参编出版英文著作 1 部；3 项成果均被鉴定达到国际领先水平。成果获 2018 年中国轻工业联合会科技进步奖一等奖和 2016 年中国发明专利优秀奖。</p> <p>提名该项目为国家科学技术进步奖 二 等奖。</p>

二、项目简介

柠檬酸是全球产量最大的食品酸味剂，主要通过黑曲霉液体深层发酵制备。目前我国柠檬酸产量占全球 70%，总体技术水平在全球处于领跑地位。但由于历史条件和技术条件所限，在本项目开展前，我国柠檬酸发酵制备仍存在原料利用率差、菌种代谢调控机制不清楚、发酵过程自动化程度低以及提取精制工艺环境污染严重等问题。近十年来，以生物信息学、系统生物学和自动控制理论为基础的现代工业生物技术发展十分迅速。如何利用现代工业生物技术对柠檬酸发酵工艺进行全流程重构和系统创新，创制新一代柠檬酸发酵制备关键技术，持续保持我国柠檬酸发酵制备技术的国际核心竞争力和全球领先地位是一项艰巨挑战。

本项目围绕如何实现柠檬酸发酵原料水解的精细化、菌种代谢调控的理性化、发酵过程控制的自动化以及提取精制工艺的绿色化等关键技术难题，历时十余年，完成了柠檬酸发酵制备关键技术的系统创新。**(1)**进行了基于计算机模拟设计的淀粉酶定向进化，获得催化性能显著提升的酶突变体，提高了工业条件下的淀粉液化效率，并进一步揭示了糖化酶与液化糊精的构效关系，建立了以糊精结构为关键控制参数的自整定连续液化智能控制系统，通过糊精结构的精确控制显著提高了原料水解精度；**(2)**开展了基于第三代测序技术的工业黑曲霉比较基因组学分析，绘制了工业黑曲霉的精细基因图谱，系统解析了近 1 万个黑曲霉基因家族及功能，确定了柠檬酸合成关键基因，并进一步基于比较转录组学首次揭示了柠檬酸高效合成的能量调控机制和葡萄糖转运蛋白及动力学；**(3)**创制了基于糖转运蛋白动力学和近红外光谱糖浓度自动控制的柠檬酸浓醪发酵技术，产酸水平显著提高；基于黑曲霉细胞分化机制，开发了菌丝体适度分散技术与装备，直接用菌丝体进行循环培养，并建立了细胞循环培养与分割发酵耦合技术，实现了生产过程的连续化，生产强度显著提高；**(4)**建立了基于柠檬酸与色谱介质吸附动力学的变温色谱连续分离技术，替代了沿用六十余年的柠檬酸传统钙盐提取技术，并建立了废水回流发酵和资源化利用技术，实现了柠檬酸高收率、低污染、低能耗的绿色制备。

本项目成果在江苏国信协联能源有限公司年产 20 万吨柠檬酸生产线进行了工业化应用，产酸水平由 160 g/L 提高到 187 g/L，发酵周期由 72 h 缩短至 59 h，糖酸转化率由 97%提高至 102%，综合能耗降低 30%。近三年累计实现销售总额 42.21 亿元，新增利润 5.23 亿元。新技术的应用使国信协联公司成为柠檬酸发酵制备技术水平国际领先的上市公司。基于本项目成果，国信协联公司正在吉林琿春市新建年产 50 万吨的柠檬酸工厂，由此将成为全球规模最大的柠檬酸生产企业，对维持我国的柠檬酸发酵制备技术全球持续领跑和生产强国地位提供了坚强保障。

本项目获授权发明专利 24 项(其中国际专利 1 项)，申请发明专利 23 项(其中国际专利 5 项)；发表论文 52 篇，其中 SCI 收录论文 37 篇；主编出版中文著作 1 部，参编出版英文著作 1 部；3 项成果均被鉴定达到国际领先水平。

本项目成果获 2018 年中国轻工业联合会科技进步一等奖、2016 年中国发明专利优秀奖。本项目所建立的技术与方法，对于引领其他传统大宗发酵产品的技术水平、实现产业升级和可持续发展，具有重大的科学意义和工业应用价值。

三、客观评价

1、项目成果鉴定

本项目 3 项成果(柠檬酸高效合成机制的系统生物学解析、发酵原料水解过程的精细控制和发酵过程的自动化控制、废水回流发酵和资源化利用技术)通过由中国轻工业联合会组织的鉴定,与国内外同类技术相比,均达到国际领先水平。

序号	完成人	成果名称	组织鉴定单位	结论
1	刘龙、陈坚、石贵阳、李由然、胡志杰、宗伟刚、蒋小东、孙福新、王宝石、李江华、金赛	基于系统生物学解析的柠檬酸先进发酵技术	中国轻工业联合会(鉴字[2018]第 021 号)	国际领先
2	胡志杰、陈坚、宗伟刚、石贵阳、蒋小东、孙福新、王宝石、刘龙、李江华、金赛、李由然、王莉	柠檬酸高效创制关键技术及工业化应用	中国轻工业联合会(鉴字[2016]第 015 号)	国际领先
3	张梁、胡志杰、蒋小东、孙福新、金赛、石贵阳、李江华、彭艳红、顾正华、王宝石、张杰、蒋敏、赵华平、周天宇、苗茂栋	柠檬酸废水回流发酵生产柠檬酸工艺技术	中国轻工业联合会(鉴字[2013]第 023 号)	国际领先

2、创新性检索

教育部科技查新工作站(L08)对本项目成果进行了国内外检索,认为项目建立的柠檬酸发酵原料精细水解技术、柠檬酸高效合成机制的组学解析技术、柠檬酸分割连续发酵技术、柠檬酸废水回流发酵技术在国内外未见完全相同的文献报道。

在国家知识产权局网站进行发明专利检索,结果表明,本项目组拥有柠檬酸发酵原料精细水解技术 4 项授权专利中的 2 项;柠檬酸发酵过程自动化控制技术 3 项授权专利中的 2 项和柠檬酸连续色谱提取技术全部 3 项授权专利。此外,近十年全球仅有三个项目组(本项目组、荷兰 Wageningen University 和美国 Battelle Memorial Institute)获得柠檬酸发酵制备技术相关的国际授权专利。同时,本项目组是全球唯一拥有覆盖了柠檬酸发酵原料精细水解、产酸代谢调控机制、发酵过程自动控制和色谱绿色提取精制的系统专利群的团队。

3、学术论文与著作

本项目提出的通过改善细胞膜通透性提高酶分泌效率和通过嵌合蛋白的淀粉结合域提高酶催化效率的方法(Yang et al., Appl Microbiol Biotechnol. 2014, 98: 23-29; Liu et al., Appl Environ Microbiol. 2014. 80: 798-807; Yang et al., Appl Environ Microbiol. 2018. 84: e01382-18)对其他工业酶的分子改造具有重要借鉴意义。国际著名催化专家 Jan-E. Bäckvall 教授在其发表的关于酶蛋白理性设计的综述(Verho et al., J Am Chem Soc, 2015, 137: 3996-4009) 中将本项目组论文(Yang et al., Appl Microbiol Biotechnol, 2014, 98: 23-29)作为“Excellent”论文推荐读者重点阅读。关于黑曲霉低 pH 诱导启动子 P_{gas} 机制分析的工作(Yin et al., Appl Environ Microbiol, 2017, 83: e03222-16)被主编推荐为亮点文章(Spotlight Paper), 普林斯顿大学 Jose L Avalos 教授重点评述了本研究成果,认为这是微生物自发代谢调控(autoregulation)的一个典型案例(Lalwani et al., Curr Opin Biotechnol, 2018, 52: 56-65)。

目前全球共有 7 株工业黑曲霉实现了全基因组测序,其中有 3 株来自于本项

目组，且均采用第三代基因组测序技术进行高精度测序。基于基因组和转录组分析的柠檬酸过程优化的研究(Yin et al., Sci Rep, 2017, 7: 41040)被韩国工程院院士 Kim Byung-Gee 教授在其论文(Kim et al., Curr Opinion Biotechnol, 2018, 54: 26-32)中作为基于系统生物学提升工业微生物发酵性能的案例进行介绍；微生物权威专家 Michael Sauer 对本项目发现的柠檬酸转运蛋白的功能进行了验证，并通过强化柠檬酸的转运效率提高了其合成效率(Steiger et al., Metab Eng, 2019. 52: 224-231)。

本项目开发的基于菌丝体形态控制的黑曲霉发酵技术(Wang et al., Biopro Biosyst Eng, 2017, 40: 45-53; Wang et al., Biopro Biosyst Eng, 2017, 40: 891-899)被国内外同行高度评价(Veiter et al. Appl Microbiol Biotechnol, 2018, 102: 2997-3006; Yu et al., J Biotechnol, 2018, 276: 1-9)，并被国外学者借鉴应用于黑曲霉发酵生产苹果酸的工艺优化，效果显著(Iyyappan J. et al., Bioresour Technol, 2018, 269: 393-399)。

鉴于项目组在新一代柠檬酸发酵制备关键技术所取得的系列创新成果，期刊 Biotechnology Advances(IF: 11.452)邀请项目组撰写了综述(Yin et al., Biotechnol Adv, 2015, 33: 830-841)，系统总结了近十年全球有机酸发酵技术的进展。围绕本项目研究成果，出版著作《新一代柠檬酸发酵技术》，并受邀参与出版英文著作 1 部。

4、成果奖励

本项目成果获得 2018 年中国轻工业联合会科技进步奖一等奖、2016 年中国发明专利优秀奖。部分研究成果支撑项目完成人刘龙荣获国家优秀青年基金资助(2016 年)，并入选教育部青年长江学者(2017 年)。鉴于在江苏省传统产业转型升级中所做出的突出贡献，刘龙获得江苏省有突出贡献的中青年专家(2018 年)、江苏省青年科技奖暨江苏省十大青年科技之星(2018 年)等荣誉称号。

5、学术报告

近五年，项目组主要完成人员应邀在美国 AIChE 年会、欧洲生物技术大会、国际工业生物过程高峰论坛等国内外本领域重要会议上作有关柠檬酸发酵技术的学术报告共 30 次，其中担任大会主席/分会主席 10 人次。完成人刘龙 2014 年应邀在第六届国际工业生物过程高峰论坛(IFIBiop)上做了关于柠檬酸合成调控机制的大会报告，受到与会者的广泛关注，并获 IFIBiop 优秀青年科学家奖。

6、权威部门检测报告和标准制订

经江苏省产品质量监督检验研究院对国信协联的柠檬酸产品进行检测，得出如下结论：样品符合 GB 1886.25-2016《食品安全国家标准 食品添加剂》的要求。

参与制订国家标准 2 项，分别为《食品添加剂-柠檬酸钠》(GB 6782-2009)和《发酵有机酸良好生产规范》(GB/T 32690-2016)。制订企业标准 4 项。

7、行业影响力

基于本项目的技术成果以及东北玉米深加工产业转型升级的国家重大需求，江苏国信协联能源有限公司已与吉林省延边州签约，正在珲春市新建年产 50 万吨的柠檬酸工厂，由此将成为全球规模最大的柠檬酸生产企业，并拥有定价权。此外，由于技术全球领先，美国最大的农产品加工公司—ADM 于 2018 年专程到江苏国信协联能源有限公司，商讨合资在美国重建柠檬酸生产工厂。

四、应用情况

1. 应用情况

本项目技术成果在江苏国信协联能源有限公司年产 20 万吨柠檬酸生产线进行了工业化应用。应用单位是中国生物发酵产业协会和中国五矿化工进出口商会柠檬酸分会副理事长单位。

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	江苏国信协联能源有限公司	新一代柠檬酸发酵制备关键技术	柠檬酸 20 万吨/年	2014-至今	孙福新 /13861508499

通过项目的实施，江苏国信协联能源有限公司成为全球第一家实现柠檬酸色谱法提取精制的企业，于 2016 年被中国生物发酵产业协会授予“节能环保示范企业”(全国 15 个)。柠檬酸产品先后通过 ISO9001:2008 质量管理体系认证(证书编号: 00114Q24544R4M/3200)、ISO14001:2004 环境管理体系认证(证书编号: 00114E21110R4M/3200)、FSSC22000 食品安全体系认证(证书编号: CN12/84984)、FAMI-QS 欧洲饲料添加剂和预混合饲料质量体系认证(证书编号: NL10/23574205)、IP 认证(非转基因认证)，并被评为江苏省高新技术产品、江苏省名牌产品、江苏省重点培育和发展的国际知名品牌。产品供应商包括可口可乐、百事、宝洁、雀巢、娃哈哈等国际知名品牌。应用单位主要意见是：新一代柠檬酸发酵制备技术水平先进，提取工艺环保，综合成本低，产品质量高。

2. 经济效益和社会效益

本技术在江苏国信协联能源有限公司年产 20 万吨柠檬酸生产线进行了工业化应用，生产周期由 72 h 缩短到 59 h，平均产酸水平由 160 g/L 提高到 187 g/L，最高产酸水平达到 210 g/L，糖酸转化率由 97% 提高到 102%，产品提取总得率由 87% 提高至 92%，吨产品粮耗减少 8.6%，节电 31.2%，节水 52%，节约蒸汽 26.3%，综合能耗降低 30%。近三年累计实现销售总额 42.21 亿元，新增利润 5.23 亿元，出口创汇 5323 万美元，经济效益显著。

本技术成果的应用还产生了具有显著影响力的社会效益：

保障了我国柠檬酸发酵工业技术水平全球领先的强国地位。虽然我国柠檬酸发酵技术水平在全球处于领跑地位，但近年来以生物信息学、系统生物学和自动控制理论为基础的现代工业生物技术发展十分迅速，若不能及时应用现代工业生物对现有柠檬酸发酵工艺进行改革创新，则我国柠檬酸发酵制备技术的全球领先水平和生产强国地位将受到国际同行的严峻挑战。本项目综合应用生物信息学、系统生物学和自动控制理论对柠檬酸发酵原料水解、菌种代谢调控机制、发酵过程控制和提取精制工艺进行了全流程的变革重构，创制了新一代柠檬酸发酵制备关键技术，保障了我国柠檬酸发酵工业技术水平全球领先的强国地位。

对我国传统发酵产业的绿色转型升级具有重要指导意义。我国以柠檬酸为代表的传统发酵产业对国民经济的发展具有重要支撑作用，但也同时存在资源消耗高、

环境污染重等问题，如何对传统发酵产业进行升级换代以实现绿色转型和可持续发展一直是我国发酵行业面临的一个巨大困难。本项目应用现代工业生物技术对柠檬酸发酵原料、菌种、过程和提取进行了系统创新，尤其是通过应用模拟移动床色谱提取技术替代了沿用六十余年的钙盐提取工艺，并通过提取废水回流发酵和资源化利用显著降低了废水、废渣的排放，能耗、水耗明显降低，这对传统发酵产业的绿色转型升级具有重要指导意义。

五、主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）

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	Promoter and Use thereof	美国	US 15/349,025	2018.3.27	US 009926569B2	江南大学	刘龙、陈坚、堵国成、殷娴、李江华	有效
发明专利	一种在酸性条件下诱导表达的启动子	中国	ZL 201510812316.5	2018.1.16	2781595	江南大学	刘龙、殷娴、陈坚、堵国成、李江华	有效
发明专利	一种用两阶段溶氧控制技术提高发酵生产柠檬酸产量的方法	中国	ZL 201310225029.5	2016.3.23	1992493	江南大学、江苏国信协联能源有限公司	陈坚、李江华、堵国成、刘龙、李佳伟、胡志杰、孙福新	有效
发明专利	一种热稳定性提高的淀粉酶突变体及其制备方法和应用	中国	ZL 201310422992.2	2015.5.13	1660782	江南大学	陈坚、刘龙、邓壮梅、堵国成、杨海泉	有效
发明专利	一种热稳定性提高的淀粉酶突变体及其制备方法和应用	中国	ZL 201410461796.0	2017.2.15	2381577	江南大学	陈坚、刘龙、邓壮梅、堵国成、杨海泉	有效
发明专利	糊精分子量特征在检测淀粉液化效果上的应用	中国	ZL 201510324346.1	2018.6.19	2964709	江南大学、江苏国信协联能源有限公司	石贵阳、陈坚、王宝石、李由然、胡志杰、蒋小东、孙福新、张杰、张梁、丁重阳、李赢、顾正华	有效
发明专利	黑曲霉连续发酵生产柠檬酸的方法	中国	ZL 201410329786.1	2017.8.8	2579332	江南大学、江苏国信协联能源有限公司	石贵阳、陈坚、王宝石、张杰、胡志杰、蒋小东、孙福新、张梁、李由然、丁重阳、李赢、顾正华	有效

发明专利	基于菌丝球分散技术的柠檬酸黑曲霉种子连续培养方法	中国	ZL 201410329 652.X	2016.7.6	2138032	江南大学、江苏信协能源有限公司	石贵阳、陈坚、王宝石、张杰、胡志杰、蒋小东、孙福新、张梁、李由然、丁重阳、李赢、顾正华	有效
发明专利	柠檬酸废水回流发酵生产柠檬酸的方法	中国	ZL 201410321 671.8	2016.7.8	2112317	江南大学、江苏信协能源有限公司	石贵阳、陈坚、胡志杰、蒋小东、孙福新、金赛、王宝石、张杰、李赢	有效
发明专利	柠檬酸色谱提取法废液的处理和再利用方法	中国	ZL 201210381 749.6	2013.11.13	1304866	江苏信协能源有限公司	胡志杰、蒋小东、孙福新、毛鸿浩、赵华平、金赛、彭艳红、张兰	有效

六、主要完成人情况表

姓名	刘龙	排名	1	技术职称	教授
工作单位	江南大学			行政职务	副院长
完成单位	江南大学				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目的组织者。13 项授权发明专利的共同发明人，28 篇论文的通讯作者或共同作者。主要的创造性贡献在于：技术创新 1：淀粉质原料液化、糖化过程的精准控制；技术创新 2：黑曲霉高产柠檬酸关键基因及代谢调控机制解析；技术创新 3：柠檬酸发酵过程工艺自动化、连续化重构；技术创新 4：柠檬酸绿色高效制备技术；产业化实施的指导。</p>					
姓名	陈坚	排名	2	技术职称	教授
工作单位	江南大学			行政职务	校长
完成单位	江南大学				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目的组织者。12 项授权发明专利的共同发明人，25 篇论文的通讯作者或共同作者。主要的创造性贡献在于：技术创新 1：淀粉质原料液化、糖化过程的精准控制；技术创新 2：黑曲霉高产柠檬酸关键基因及代谢调控机制解析；技术创新 3：柠檬酸发酵过程工艺自动化、连续化重构。产业化实施的指导。</p>					
姓名	石贵阳	排名	3	技术职称	教授
工作单位	江南大学			行政职务	无
完成单位	江南大学				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主要参与人员。8 项授权发明专利的共同发明人，17 篇论文的通讯作者或共同作者。主要的创造性贡献在于：技术创新 1：淀粉质原料液化、糖化过程的精准控制；技术创新 3：柠檬酸发酵过程工艺自动化、连续化重构；技术创新 4：柠檬酸绿色高效制备技术。产业化实施的指导。</p>					
姓名	李由然	排名	4	技术职称	副教授
工作单位	江南大学			行政职务	无
完成单位	江南大学				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主要参与人员。5 项授权发明专利的共同发明人，16 篇论文的通讯作者或共同作者。主要的创造性贡献在于：技术创新 1：淀粉质原料液化、糖化过程的精准控制；技术创新 2：黑曲霉高产柠檬酸关键基因及代谢调控机制解析；技术创新 3：柠檬酸发酵过程工艺自动化、连续化重构。</p>					

姓名	李江华	排名	5	技术职称	教授
工作单位	江南大学			行政职务	无
完成单位	江南大学				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主要参与人员。部分授权发明专利的共同发明人，部分论文的共同作者。主要的创造性贡献在于：技术创新 1：淀粉质原料液化、糖化过程的精准控制；技术创新 3：柠檬酸发酵过程工艺自动化、连续化重构；技术创新 4：柠檬酸绿色高效制备技术；产业化实施的指导。</p>					
姓名	堵国成	排名	6	技术职称	教授
工作单位	江南大学			行政职务	院长
完成单位	江南大学				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主要参与人员。部分授权发明专利的共同发明人，部分论文的共同作者。主要的创造性贡献在于：技术创新 1：淀粉质原料液化、糖化过程的精准控制；技术创新 2：黑曲霉高产柠檬酸关键基因及代谢调控机制解析；技术创新 3：柠檬酸发酵过程工艺自动化、连续化重构。</p>					
姓名	胡志杰	排名	7	技术职称	高级工程师
工作单位	江苏国信协联能源有限公司			行政职务	副总经理
完成单位	江苏国信协联能源有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目的组织者。项目主要参与人员。部分授权发明专利的共同发明人，部分论文的共同作者。主要的创造性贡献在于：技术创新 1：淀粉质原料液化、糖化过程的精准控制；技术创新 3：柠檬酸发酵过程工艺自动化、连续化重构；技术创新 4：柠檬酸绿色高效制备技术；产业化实施的指导。</p>					
姓名	蒋小东	排名	8	技术职称	工程师
工作单位	江苏国信协联能源有限公司			行政职务	生化事业部长
完成单位	江苏国信协联能源有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目的组织者。项目主要参与人员。部分授权发明专利的共同发明人，部分论文的共同作者。主要的创造性贡献在于：技术创新 1：淀粉质原料液化、糖化过程的精准控制；技术创新 3：柠檬酸发酵过程工艺自动化、连续化重构；技术创新 4：柠檬酸绿色高效制备技术；产业化实施的指导。</p>					

姓名	孙福新	排名	9	技术职称	工程师
工作单位	江苏国信协联能源有限公司			行政职务	研发中心主任
完成单位	江苏国信协联能源有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主要参与人员。部分授权发明专利的共同发明人，部分论文的共同作者。主要的创造性贡献在于：技术创新 1：淀粉质原料液化、糖化过程的精准控制；技术创新 3：柠檬酸发酵过程工艺自动化、连续化重构；技术创新 4：柠檬酸绿色高效制备技术；产业化实施的指导。</p>					
姓名	金赛	排名	10	技术职称	工程师
工作单位	江苏国信协联能源有限公司			行政职务	研发项目组长
完成单位	江苏国信协联能源有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>项目主要参与人员。部分授权发明专利的共同发明人，部分论文的共同作者。主要的创造性贡献在于：技术创新 3：柠檬酸发酵过程工艺自动化、连续化重构；技术创新 4：柠檬酸绿色高效制备技术；产业化的实施</p>					

七、主要完成单位及创新推广贡献

主要完成单位情况表

单位名称	江南大学
排 名	1
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献	
<p>基于计算机模拟设计进行了淀粉酶高通量筛选与分子改造，基于比较基因组分析对柠檬酸生产菌种进行了产酸代谢调控机制解析，通过比较转录组分析解析了葡萄糖转运蛋白及动力学，建立了近红外葡萄糖模糊预测模型，并开发了糖浓度自动控制的同步糖化浓醪发酵工艺；协助完成了柠檬酸的发酵中试生产等。</p>	
单位名称	江苏国信协联能源有限公司
排 名	2
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献	
<p>结合种子循环培养与分割循环发酵建立了柠檬酸连续生产工艺；应用模拟移动床实现了柠檬酸发酵液连续分离提纯及废水资源再利用，提高了柠檬酸提取收率，实现了柠檬酸的绿色化生产；项目的中试与产业化设计实施。</p>	

八、完成人合作关系说明

本项目组自 2005 起开始进行紧密合作，共同承担了国家 863 项目、江苏省重点研发计划等国家和省部级科研项目。项目完成人中，刘龙教授、陈坚教授、石贵阳教授、李由然副教授、李江华教授与堵国成教授为江南大学生物工程学院专任教师，深入参与了该项目的原料精细水解、产酸代谢机制解析和发酵过程自动控制等技术的研究。相关技术成果在江苏国信协联能源有限公司进行中试放大及工业化推广应用，公司副总经理胡志杰、生产与研发骨干蒋小东、孙福新、金赛等为项目的产业化应用做出了重要贡献。胡志杰兼任江南大学生物工程学院研究生导师，石贵阳被江苏省委组织部任命为江苏国信协联能源有限公司科技副总。合作双方共建了“国信协联—江南大学联合研发中心”，项目完成人刘龙、陈坚、石贵阳、李由然、李江华、堵国成、胡志杰、蒋小东、孙福新和金赛均为中心骨干研发人员，中心每季度定期召开一次工作推进会，研讨如何攻克黑曲霉发酵制备柠檬酸关键技术难题，历时十余年，最终创制了新一代柠檬酸发酵制备关键技术，为保障我国的柠檬酸发酵制备技术全球领先地位做出了重要贡献。此外，在项目研发过程中，合作双方在江苏国信协联能源有限公司共建了院士工作站、国家级博士后科研工作站、江苏省优质柠檬酸发酵制造工程技术研究中心、江苏省食品生物技术工程中心等一批国家和省级科研平台，这种历时长、融合深、全方位的合作模式被业内誉为“江南大学-宜兴协联”产学研合作模式。

基于项目有关原料精细水解、产酸代谢机制解析和发酵过程优化控制研究的成果，刘龙、陈坚、石贵阳、李由然、李江华、胡志杰、蒋小东、孙福新和金赛先后于 2016 年和 2018 年共同完成了由轻工业联合会组织的技术鉴定 2 项；基于项目有关产物绿色提取方面的成果，石贵阳、胡志杰、蒋小东、孙福新和金赛于 2013 年共同完成了由轻工业联合会组织的技术鉴定 1 项。刘龙、石贵阳、李由然、李江华、胡志杰、宗伟刚、蒋小东、孙福新、堵国成、金赛共同获得 2018 年中国轻工业联合会科技进步奖一等奖。

刘龙、陈坚和堵国成在原料精细水解方面共同获得授权专利 11 项；刘龙、陈坚、堵国成和李江华在产酸代谢机制解析方面共同获得授权专利 2 项；石贵阳、陈坚、李由然、胡志杰、蒋小东、孙福新在原料精细化处理及发酵过程自动化连续化方面共同获得授权专利 4 项；胡志杰、蒋小东、孙福新和金赛在产物绿色提取方面共同获得授权专利 2 项。刘龙、陈坚、堵国成等共同发表论文 23 篇；石贵阳、李由然等共同发表论文 16 篇；石贵阳、陈坚、李由然和孙福新共同发表论文 2 篇。刘龙、陈坚、石贵阳、李由然共同出版著作 1 部。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果
1	共同成果	刘龙、陈坚、石贵阳、李由然、李江华、胡志杰、蒋小东、孙福新、金赛	2005.1-2018.12	成果鉴定 2 项
2	共同成果	石贵阳、胡志杰、蒋小东、孙福新、金赛	2005.1-2018.12	成果鉴定 1 项
3	共同知识产权	刘龙、陈坚、堵国成	2005.1-2018.12	授权专利 11 项
4	共同知识产权	刘龙、陈坚、堵国成、李江华	2007.1-2018.12	授权专利 2 项
5	共同知识产权	石贵阳、李由然、胡志杰、蒋小东、孙福新	2005.1-2018.12	授权专利 4 项
6	共同知识产权	胡志杰、蒋小东、孙福新、金赛	2008.1-2018.12	授权专利 2 项
7	论文合著	刘龙、陈坚、堵国成	2007.1-2018.12	论文 23 篇
8	论文合著	石贵阳、李由然	2007.1-2018.12	论文 16 篇
9	论文合著	石贵阳、陈坚、李由然、孙福新	2006.1-2018.12	论文 2 篇
10	著作出版	刘龙、陈坚、石贵阳、李由然	2005.1-2018.12	著作 1 部