



附表 1

完成人合作关系说明

李伟娜是本项目第一完成人，作为项目核心负责人、博士生导师，合作方式包括统筹整体研发进程、核心技术攻关、共同知识产权申报、产学研协同协调及论文合著，合作时间为 2021 年 7 月 1 日至 2024 年 6 月 30 日。合作成果有：论文：《Residue Effect-Guided Design: Engineering of *S. solfataricus* β -glycosidase for Enhanced Thermostability and Bioproduction of Ginsenoside Compound K》(J. Agr. Food Chem.) 等 4 篇 SCI 论文；发明专利：《一种糖基转移酶 BS-YjiC 突变体及其构建方法和应用》(ZL202310299778.6)、《一种用于修饰人参皂苷的 β -糖苷酶 SS-BGL 突变体及其应用》(ZL202310625368.6、ZL202311285240.6) 等 5 项中国专利，及《Construction Method and Applications of Glycosyltransferase BS-YjiC Mutant.》(US12,134,789 B2)、《 β -glycosidase SS-BGL Mutant for Modifying Ginsenoside and Application Thereof.》(US12,258,598B2) 2 项美国专利；技术贡献：牵头构建“高效酶催化剂-绿色反应介质-可循环工艺”技术体系，推动 CK 转化率提升至 85%，指导技术在宁夏贵合源等企业落地；获奖：2016 年获“陕西省科技新星”称号，作为核心成员参与完成“石化联合会技术发明一等奖”（排名 7/10），参与通过“成果鉴定 1 项（产品填补国际空白，排名 6/17）”。

申文凤是本项目第二完成人，合作方式包括 β -糖苷酶 SS-BGL 定向进化、突变体文库构建、高通量筛选及工艺适配验证，合作时间为 2021 年 7 月 1 日至 2024 年 6 月 30 日。合作成果有：发明专利：《一种用于修饰人参皂苷的 β -糖苷酶 SS-BGL 突变体及其应用》(ZL202310625368.6、ZL202311285240.6)、《Construction Method and Applications of Glycosyltransferase BS-YjiC Mutant.》(US12,134,789B2) 等（署名发明人）；技术贡献：采用易错 PCR、DNA 改组等技术构建含 5000 株突变体的文库，通过高通量筛选获得热稳定性与催化活性双重提升的 SS-BGL 突变体（60℃ 下活性保留率较野生型提升 60%）；确定突变体最适反应条件，在河南永安应用中延长酶使用寿命至 15 天，突破底物抑制瓶颈。

徐茹是本项目第三完成人，为陕西巨子生物技术有限公司高级工程师，合作方式包括酶发酵工艺优化、中试放大验证、工艺数据支撑、企业技术指导及产业化落地，合作时间为 2021 年 7 月 1 日至 2024 年 6 月 30 日。合作成果有：优化糖苷酶 Bs-YjiC 与 SS-BGL 发酵工艺，通过调控温度、pH 等参数，使前者产量提升 22 %、后者活性提升 18 %，降本超 15 %，活性回收率达 82 %-85 %；破解中试放大难题，确定工业化发酵参数，保障酶活性保留率超 90 %，形成标准化操作规范；为合作企业提供定制化适配服务，助力产能、转化率提升，年节约成本 210 万元，其工作串联起实验室成果与产业化应用，与其他完成人形成紧密合作链条。

范代娣是本项目第四完成人，以西北大学副校长、化工学院院长身份参与合作，合作方式包括科研平台资源整合、技术指导、产学研协同推动、研究生培养



及论文合著，合作时间为 2021 年 7 月 1 日至 2024 年 6 月 30 日。合作成果有：论文：参与《Ginsenoside CK production by Commercial Snailase Immobilized onto Carboxylated Chitosan-coated Magnetic Nanoparticles》等 4 篇 SCI 论文（署名作者）；技术贡献：整合“西部资源创新药物绿色智造”工程研究中心等国家级、省部级平台资源，指导突破传统工艺底物抑制、酶循环利用难等瓶颈，推动与陕西巨子生物技术有限公司、宁夏贵合源等企业协同，把控研发方向与成果转化路径；获奖：2024 年获何梁何利基金创新奖，作为第一完成人曾获 2013 年国家技术发明奖二等奖、2016 年中国专利金奖，多次获陕西省科学技术奖一等奖（2011、2017、2021）。

郭花是本项目第五完成人，合作方式包括糖基转移酶 Bs-YjiC 分子改造、突变体表达与功能验证、酶学基础研究及数据支撑，合作时间为 2021 年 7 月 1 日至 2024 年 6 月 30 日。合作成果有：论文：《Enhancement of thermal stability of Bacillus subtilis 168 glycosyltransferase YjiC based on PoPMuSiC algorithm and its catalytic conversion of rare ginsenoside PPD》（Process Biochemistry, 署名作者）；发明专利：《一种糖基转移酶 BS-YjiC 突变体及其构建方法和应用》（ZL202310299778.6, 署名发明人）；技术贡献：通过同源建模与分子对接技术，预测 Bs-YjiC 关键活性位点与氨基酸残基，设计 12 套定点突变方案；构建突变体表达载体并实现高效表达，筛选出催化速率较野生型提高 50% 的突变体，为“高效双酶-绿色体系”技术平台提供核心酶源。

董雪是本项目第六完成人，合作方式包括糖基转移酶 Bs-YjiC 突变位点设计、蛋白纯化、实验验证及报告整理，合作时间为 2022 年 7 月 1 日至 2024 年 6 月 30 日。合作成果有：发明专利：《一种用于转化生成人参皂苷的 BS-YjiC 突变体及其应用》（ZL2024113850012, 署名发明人）；技术贡献：协助设计 15 个 Bs-YjiC 突变位点，构建突变体表达系统，优化蛋白纯化工艺（采用镍柱亲和和层析法获得纯度达 92% 以上的蛋白）；开展体外催化反应测试，筛选出产物转化率提升 35% 的突变体，研究突变体在绿色催化体系中的适应性，整理完整实验报告，为酶分子改造方案完善提供支撑。

周子桐是本项目第七完成人，合作方式包括人参皂苷 CK 转化工艺优化、成本分析、市场调研及企业效益核算，合作时间为 2022 年 7 月 1 日至 2024 年 6 月 30 日。合作成果有：技术贡献：通过正交实验设计，研究底物浓度、酶用量等 6 项参数对转化效率的影响，确定最优工艺组合，助力 CK 转化率从 65% 提升至 85%；建立经济效益评估模型，测算技术应用后成本降低幅度超 20%、利润增长空间达 30%；调研下游市场，推动部分保健品价格降低 12%。

宋林淼是本项目第八完成人，合作方式包括糖苷酶突变体构建、酶活测定方法建立、专利实验验证及数据支撑，合作时间为 2024 年 4 月 1 日至 2024 年 6 月 30 日。合作成果有：技术贡献：采用基因定点突变技术，设计并构建 Bs-YjiC 与 SS-BGL 系列突变体，筛选出高活性突变株（Bs-YjiC 突变体催化效率较野生型提升 40%）；建立精准酶活测定方法，系统检测不同突变体在不同温度、pH



条件下的催化效率；协助优化绿色催化体系，解决传统工艺底物抑制问题，参与中试阶段酶活稳定性监测，为 CK 转化率从 65%提升至 85%及专利（如 ZL202310625368.6）实验验证提供重要依据。

雷佳驹是本项目第九完成人，合作方式包括酶固定化载体筛选、工艺标准建立、中试工艺验证及工业化技术支撑，合作时间为 2023 年 7 月 1 日至 2024 年 6 月 30 日。合作成果有：技术贡献：对比树脂、纳米材料等 8 种载体，筛选出高载酶量（每克载体载酶超 20 mg）且重复使用性好（重复使用 10 次活性保留 75% 以上）的载体；建立酶固定化工艺标准，实现酶循环利用以降低成本；搭建中试实验装置，模拟工业生产条件，优化反应参数，在河北秋林应用中助力反应周期缩短 35%，解决工艺放大中的传质、传热问题，推动技术工业化落地。

第一完成人签名：李伟娜

2025年度提名书正式版



完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/ 项目排名	合作 起始 时间	合作完 成时间	合作成果	证明材 料
1	共同知 识产 权、 科研 合作	申文凤/2	2021-0 7-01	2024-0 6-30	发明专利：（1）《一种用于修饰人参皂苷的 β -糖苷酶 SS-BGL 突变体及其应用》；（2）《 β -glycosidase SS-BGL Mutant for Modifying Ginsenoside and Application Thereof.》 构建 5000 株突变体文库，筛选 60℃ 活性保留率提升 60% 的 SS-BGL 突变体，在河南永安延长酶使用寿命至 15 天	附件 11 发明（2） 未列入 附件
2	技术 适 配、 产业 化落 地	徐茹 / 3	2021-0 7-01	2024-0 6-30	（1）生物酶催化反应装置（河南永安应用）：提升多酶催化体系底物利用率与产物纯度，已推广至多家高校 / 机构；累计新增销售额节支 140.97 万元。	附件 8
3	共同 知 识 产 权、 论 文 合 著、 科 研 合 作	范代娣 / 4	2021-0 7-01	2024-0 6-30	发明专利：（1）《一种糖基转移酶 BS-YjiC 突变体及其构建方法 and 应用》；（2）《一种用于修饰人参皂苷的 β -糖苷酶 SS-BGL 突变体及其应用》；（3）《一种用于修饰人参皂苷的 β -糖苷酶 SS-BGL 突变体及其应用》；（4）《一种生物酶催化反应装置》；（5）《一种用于转化生成人参皂苷的 BS-YjiC 突变体及其应用》；（6）《Construction Method and Applications of Glycosyltransferase BS-YjiC Mutant.》；（7）《 β -glycosidase SS-BGL Mutant for Modifying Ginsenoside and Application Thereof.》 1. 论文：（1）Residue Effect-Guided Design: Engineering of <i>S. solfataricus</i> β -glycosidase	附件 1 附件 2 附件 3 附件 11 附件 12 附件 13 发明（7） 未列入 附件 附件 14 附件 15 附件 16



					for Enhanced Thermostability and Bioproduction of Ginsenoside Compound K (2) Enhancement of thermal stability of Bacillus subtilis 168 glycosyltransferase YjiC based on PoPMuSiC algorithm and its catalytic conversion of rare ginsenoside PPD (3) Ginsenoside CK production by Commercial Snailase Immobilized onto Carboxylated Chitosan-coated Magnetic Nanoparticles (4) Engineered β -glycosidase from Hyperthermophilic Sulfolobus solfataricus with Improved Rd-hydrolyzing Activity for Ginsenoside Compound K Production	附件 17
4	共同 知识 产 权、 论 文 合 著、 科 研 合 作	郭花/5	2021-0 7-01	2024-0 6-30	发明专利：《一种糖基转移酶 BS-YjiC 突变体及其构建方法 and 应用》 论文：(1) Enhancement of thermal stability of Bacillus subtilis 168 glycosyltransferase YjiC based on PoPMuSiC algorithm and its catalytic conversion of rare ginsenoside PPD	附件 2 附件 16
5	共同 知识 产 权、 科 研 合 作	董雪 6	2022-0 7-01	2024-0 6-30	发明专利：《一种用于转化生成人参皂苷的 BS-YjiC 突变体及其应用》	附件 12
6	共 同 知 识 产 权、 科 研 合 作	周子桐/7	2022-0 7-01	2024-0 6-30	发明专利：《一种用于转化生成人参皂苷的 BS-YjiC 突变体及其应用》 优化 CK 转化工艺，确定最优参数，助力转化率达 85%	附件 12
7	科研	宋 林 淼	2024.-	2024-0	1 构建 Bs-YjiC 与 SS-BGL 系列突变体，	附件 1



	合作	/8	01-01	6-30	Bs-YjiC 突变体催化效率较野生型提升 40%; 2.建立精准酶活测定方法,系统检测突变体催化效率; 3.协助优化绿色催化体系,解决底物抑制问题,支撑 CK 转化率从 65%提升至 85%。	附件 2
8	科研合作	雷佳驹/9	2023-07-01	2024-06-30	预测 Bs-YjiC 关键活性位点,设计 12 套突变方案,构建表达载体,筛选催化速率提升 50%的突变体	附件 2

承诺: 本人作为项目第一完成人,对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责,特此声明。

第一完成人签名: 李伟娜

2025年度提名书正式版本