# 2025年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

## 项目一

**一、项目名称：**小麦赤霉病菌有性生殖调控理论创新与初侵染控制关键靶点发掘

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该“小麦赤霉病菌有性生殖调控理论创新与初侵染控制关键靶点发掘”项目围绕小麦赤霉病初侵染源控制这一重大农业需求，聚焦小麦赤霉病菌有性生殖调控机制，开展了系统性、原创性研究，取得了多项突破性科学发现。首次在真菌中报道 A-to-I mRNA 编辑现象，揭示其通过增强蛋白组多样性驱动病菌适应性进化，为表观遗传学开辟了新方向；率先开展病原真菌膜受体组系统研究，鉴定出调控有性生殖起始的关键 GPCR 受体及信号通路；全面解析蛋白激酶组功能，发现真菌 CDK 家族新成员及特有细胞周期调控机制。研究成果不仅深化了对真菌有性生殖的认识，更发掘出多个控制初侵染源的关键靶点，为赤霉病源头防控提供了重要理论依据和新策略。五篇代表性论文均发表在国际顶尖期刊上，总被引 536 次，获 F1000 最高等级推荐和《PNAS》期刊专评，受到国内外同行高度评价。项目组成员多次受邀在国际权威期刊发表综述并进行大会报告，显著提升了我国在该领域的学术影响力。提名该项目为陕西省自然科学奖一等奖。

三、**项目简介：**

小麦赤霉病由禾谷镰刀菌引发，是我国“一类”农作物病害：不仅致小麦大幅减产、威胁国家粮食安全，还让粮料中积累 DON 毒素等，损害人畜健康。赤霉病初侵染源是病菌在病残体上通过有性生殖产生的子囊孢子；而病菌有性生殖会增加遗传多样性，助推抗药性。近年受全球气候变暖和耕作制度改变影响，田间病菌变多、初侵染源过量，病菌抗药性突出，导致小麦赤霉病在我国频繁暴发、危害加重。目前因缺乏高抗性或免疫的小麦品种，防控难度很大。本项目聚焦小麦赤霉病病害循环的关键环节——病菌有性生殖（初侵染源产生过程），揭示赤霉病菌有性生殖的调控机制，找到控制初侵染源的关键靶点，为从源头防控赤霉病提供理论支撑和有效靶点。已取得的重要科学发现如下：

**1.发现真菌有性生殖中的全新表观遗传学现象——A-to-I mRNA 编辑，并证明其对赤霉病菌有性生殖及适应性进化具有关键调控作用。**A-to-I mRNA 编辑是一种改变遗传信息传递的表观遗传学现象，相当于 RNA 水平发生的 A 到 G 突变，此前科学界普遍认为该现象仅存在于动物界。项目组在赤霉病菌中发现这一现象，也是动物界之外的首次发现。研究证实，该现象特异发生在有性生殖阶段，能改变近五千个基因编码的蛋白序列，且其发生机制与动物中的不同，属于一种全新机制（代表作 1）。进一步研究发现，A-to-I mRNA 编辑在丝状子

囊真菌中普遍存在，并揭示了其在有性生殖过程中的发生动态，证实其通过增加蛋白组多样性，提升真菌有性生殖过程的环境适应性，是病菌适应性进化的重要驱动力（代表作 2）；证明 A-to-I mRNA 编辑对赤霉病菌等真菌有性生殖至关重要，若单个位点不发生编辑，有性后代便无法正常产生。发现 A-to-I mRNA 编辑相比 DNA 上的 A 到 G 突变，具有“杂合子”优势，为 RNA 编辑的适应性意义提供了首个实验证据（代表作 3）该发现不仅为真菌有性生殖调控及表观遗传学研究开辟了新方向，也为赤霉病初侵染源的控制提供了关键靶点。

**2.率先开展病原真菌膜受体组研究，深入解析 G 蛋白偶联受体功能，成功发现控制赤霉病菌有性生殖的关键受体。**真菌有性生殖的启动以及不同阶段的转换，都依赖膜受体介导的分子识别过程，而 G 蛋白偶联受体（GPCR）是生物体内最大的一类膜受体家族，在信号传递中发挥核心作用。项目组率先对赤霉病菌中全部 105 个 GPCR 基因进行基因敲除。通过系统研究，成功筛选出 1 个调控有性生殖起始阶段信号识别的关键受体，并阐明了其下游信号传导途径（代表作 4）。这是首次在病原真菌中系统开展膜受体功能研究，不仅为真菌信号识别机制建立了新模式，也为小麦赤霉病初侵染源的精准控制提供了关键靶点。

**3.系统解析小麦赤霉病菌蛋白激酶组的调控功能，成功挖掘出多个控制病害初侵染源的关键靶点。**蛋白激酶介导的磷酸化对细胞分裂、形态发育具有关键调控作用，但此前对其的系统性研究仅局限于模式酵母，在病原真菌领域尚未开展。项目组率先针对小麦赤霉病菌基因组中编码的 116 个蛋白激酶基因进行系统性功能验证，最终鉴定出 26 个对有性生殖有重要调控作用的蛋白激酶基因。发现赤霉病菌中存在两个细胞周期蛋白依赖性激酶（CDK），且二者在有性生殖阶段具备独特功能，揭示了病菌有性生殖特异的细胞周期调控机制（代表作 5）。这是首次在丝状真菌中系统开展蛋白激酶组功能研究，打破了“真菌 CDK 仅有一个”的传统认知，且挖掘出多个控制病害初侵染源的关键靶点。

本项目 5 篇代表性论文总被引频次达 536 次，其中他引 413 次，获国内外同行高度认可与关注。代表作 1 获国际权威推荐至全球知名学术评价系统 F1000，国际著名真菌遗传学家在专题评述中称 “该发现对真菌遗传学研究具有重大意义”；代表作 2 获微生物学、细胞生物学领域权威专家共同推荐至 F1000，均获最高等级（Exceptional）评价，认为其“对本领域发展具有重要推动作用”；代表作 3 获《PNAS》期刊特别配发的专家评述高度认可，被评价为“为 RNA 编辑的适应性进化提供首个实验证据，革新对真核生物蛋白组复杂性的认知”；代表作 4 被国内外知名小麦赤霉病领域专家撰文一致认为“是赤霉病研究领域的重要进展”；代表作 5 获植物病理学顶级综述期刊《Annual Review of Phytopathology》称赞，被评价为“在病原真菌蛋白激酶研究上迈出重要一步”。此外，项目组凭借在 RNA 编辑、膜受体功能及蛋白激酶信号转导领域的突破性研究，多次受邀在国际权威期刊发表综述，或在重要国际学术会议上作

成果报告。本项目部分成果获第十六届中国青年科技奖，2023 年度陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖—特等奖，陕西省第十四届、十五届自然科学优秀学术论文一等奖。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

**发现点 1 客观评价：**

引用情况检索证明参见附件 11，F1000 评价参见附件 6 及附件 7，代表性引文参见附件 8。

围绕该发现点，在《Genome Research》《PNAS》（2 篇）等权威期刊发表代表作论文 3 篇，被《Nature Reviews Genetics》《Nature Communications》《Nucleic Acids Research》《PLoS Pathogens》等顶级综述及期刊论文他引 162 次。其中：代表作 1 获陕西省第十四届自然科学优秀学术论文一等奖，被《Genome Research》选为当期封面论文，获国际分子生物学领域权威 Xiaorong Lin 与 Alexander Idnurm 教授推荐至 F1000 并获高度评价；印度科学院院士、真菌遗传学家 Durgadas P. Kasbekar 教授在《Journal of Biosciences》发表专题评述，指出该论文对真菌遗传学研究意义重大，认为 A-to-I mRNA 编辑的发现可解释模式真菌中诸多此前费解的现象。代表作 2 获微生物学权威 Patrick Shiu 教授与细胞生物学权威 Matthew Sachs 教授推荐至 F1000，均获最高等级（Exceptional）评价，被认为对领域发展有重要推动作用。代表作 3 被《PNAS》配发专家评述，称其 “为 RNA 编辑的适应性演化提供首个实验证据，革新了对真核生物蛋白组复杂性的认知”。此外，德国波鸿大学遗传学家 Ines Teichert 与韩国首尔大学植物病理学家 Junhyun Jeon 在综述中，高度评价真菌 RNA 编辑的发现，认为真菌特异 RNA 编辑是防控以有性孢子为主要侵染源的植物真菌病害的优良靶标。本项目主要完成人受邀在《RNA Biology》《Cellular and Molecular Life Sciences》《BioEssays》发表综述介绍真菌 A-to-I RNA 编辑现象，并参编 2021 年 Springer 图书《RNA Editing》。

**发现点 2 客观评价：**

引用情况检索证明参见附件 11，代表性引文参见附件 9。

在《Nature Microbiology》发表代表性论文 1 篇，获陕西省第十五届自然科学优秀学术论文一等奖。论文总他引 49 次。被《Molecular Plant》《Nature Communications》《New Phytologist》等知名期刊论文引用作为观点的重要支撑。真菌-昆虫互作研究权威专家王成树教授在《Science China Life Sciences》上发表论文，多次引用并与本研究进行系统比较，指出植物病原真菌与昆虫病原真菌中 G 蛋白偶联受体的功能和作用模式具有一致性。我国赤霉病研究权威马正强教授在《Theoretical and Applied Genetics》发表的综述中，将赤霉病菌 G 蛋白偶联受体的鉴定列为近年来小麦赤霉病研究的重要进展之一。韩国首尔大学的镰刀菌研究专

家 Hokyoung Son 在其发表的 3 篇赤霉病菌功能基因组学论文中，均提到以 G 蛋白偶联受体为对象的反向遗传学研究是探索真菌识别元件的新途径。真菌受体研究专家 Yen-Ping Hsueh 教授在《Nature Microbiology》撰文，认为揭示 G 蛋白偶联受体适应性对科学认识致病真菌尤为重要。英国资深病原真菌学者 Kim E Hammond-Kosack 在《Nucleic Acids Research》发文，将本研究作为赤霉病菌基因系统敲除的范例，并将相关表型数据整合在其建立的 PHI-base 公共数据库中。加拿大渥太华大学的 Michele Loewen 教授评价道，利用小麦粗提物处理以模拟侵染过程并研究信号通路的激活很“有趣”。鉴于在病原真菌受体识别和信号传导领域的突出贡献，本项目主要完成人受邀在《PLoS Pathogens》《Current Opinion in Plant Biology》等期刊撰写综述。

**发现点 3 客观评价：**

引用情况检索证明参见附件 11，代表性引文参见附件 10。

围绕该发现点，在《PLoS Pathogens》发表代表性论文 1 篇，总他引 202 次，被《Annual Review of Phytopathology》《FEMS Microbiology Reviews》《Nature Communications》《Genome Research》《Plant Cell》《Nucleic Acids Research》等领域顶级综述及期刊论文引用。其中：植物病理学顶级期刊《Annual Review of Phytopathology》综述称其 “在蛋白激酶研究上迈出重要一步”。国际蛋白激酶研究权威 Antonio Di Pietro 教授发表在《Annual Review of Phytopathology》上的综述及人体病原菌研究专家 Yong-Sun Bahn 教授团队发表在《Nature Communications》上的论文均认为，本项目的蛋白激酶研究是植物病原真菌功能激酶组的开创性工作，推动了病原真菌功能基因组学研究，具有引领性。英国洛桑研究所 Martin Urban 教授在《Nucleic Acids Research》论文中，将本项目鉴定的关键激酶信息收录至 PHI-base 公共数据库，作为该数据库的重要更新。

**五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)**

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Genome-wide A-to-I RNA editing in fungi independent of ADAR enzymes | Genome Research | Liu H, Wang Q, He Y, Chen L, Hao C, Jiang C, Li Y, Dai Y, Kang Z, Xu JR | 26, 4, 499-509 | 2016 年 3 月 2 日 | 许金荣 | 刘慧泉 | 刘慧泉 王秦虎 贺 怡 陈凌峰 郝超峰 江聪 代亚峰 康振生 | 76 | SCIE | 是 |
| 2 | A-to-I RNA editing is developmentally regulated and generally adaptive for sexual | PNAS | Liu H, Li Y, Chen D, Qi Z, Wang Q, Wang J, Jiang C, Xu JR | 114, 37, E7756-e7765 | 2017 年 8 月 28 日 | 刘慧泉 许金荣 | 刘慧泉 | 刘慧泉 陈代朋 齐朝妹 王秦虎 江 聪 | 58 | SCIE | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Experimental evidence for the functional importance and adaptive advantage of A-to-I RNA editing in fungi | PNAS | Xin K, Zhang Y, Fan L, Qi Z, Feng C, Wang Q, Jiang C, Xu JR, Liu H | 120, 12, e2219029120 | 2023 年 3 月 14 日 | 刘慧泉 | 辛凯芸 | 辛凯芸 张洋 范立刚 齐朝妹 冯婵婧 王秦虎 江聪 刘慧泉 | 28 | SCIE | 是 |
| 4 | An expanded subfamily of G-protein-coupled receptor genes in Fusarium graminearum required for wheat infection | Nature Microbiology | Jiang C, Cao S, Wang Z, Xu H, Liang J, Liu H, Wang G, Ding M, Wang Q, Gong C, Feng C, Hao C, Xu JR | 4,9, 1582-1591 | 2019 年 6 月 3 日 | 许金荣 | 江聪 | 江聪 曹淑琳 王泽一 徐怀键 梁洁 刘慧泉 王光辉 丁明玉 王秦虎 巩晨 冯婵婧 郝超峰 | 49 | SCIE | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | Functional analysis of the kinome of the wheat scab fungus *Fusarium graminearum* | PLoS Pathogens | Wang C, Zhang S, Hou R, Zhao Z, Zheng Q, Xu Q, Zheng D, Wang G, Liu H, Gao X, Ma J, Kistler H, Kang Z, Xu JR | 7, 12, e1002460 | 2011 年 12 月 22 日 | 康振生 许金荣 | 王晨芳 | 王晨芳 张世杰 侯瑞 赵中涛 郑倩 徐齐君 郑大伟 王光辉 刘慧泉 高旭利 马继文 康振生 | 202 | SCIE | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 刘慧泉 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学 | 在真菌中发现新的表观遗传现象 A-to-I mRNA 编辑，阐明其发生机制及对真菌有性生殖与适应性进化的关键调控作用；发现单一真菌含两种细胞周期蛋白依赖性激酶，揭示了其介导的有性生殖特异的细胞周期调控机制。这为真菌有性生殖调控和表观遗传研究开辟新方向，也为病害初侵染源控制提供关键靶点。对创新点 1 做出突出贡献，是代表作 1 和 2 的第一作者、代表 3 的通讯作者；对创新点 2 和 3 做出重要贡献，是代表作 4 的第 6 作者、代表作 5 的第 9 作者。 |
| 江聪 | 2 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 率先在病原真菌中对 G 蛋白偶联受体进行系统功能研究，发现了决定小麦赤霉病菌有性发育起始的关键受体并揭示了其下游信号传导途径，打破了对真菌有性生殖信号识别的传统认知，为开发基于受体干扰的菌源控制技术提供了理论依据。对创新点 2 做出突出贡献，是代表作 4 的第一作者。对创新点 1 做出重要贡献，是代表作 1 的第 6 作者，代表作 2 的第 7 作者，代表作 3 的第 7 作者。 |
| 康振生 | 3 | 教授 | 西北农林科技大学 | 推动了小麦赤霉病菌蛋白激酶组的系统性功能研究，并参与了 A-to-I mRNA 编辑在其有性生殖及初侵染源产生中关键功能的发现。对发现点 3 做出突出贡献，是代表作 5 的共同通讯作者；对发现点 1 做出重要贡献，是代表作 1 第 9 作者。 |
| 王晨芳 | 4 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 系统解析小麦赤霉病菌蛋白激酶组的调控功能，鉴定出 26 个对小麦赤霉病菌有性生殖起重要调控作用的蛋白激酶基因，这些基因成为初侵染控制的关键靶点。对发现点 3 做出突出贡献，是代表作 5 的第一作者。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 王秦虎 | 5 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 完成了真菌 A-to-I mRNA 编辑位点的序列与结构分析，证实其具备进化适应性；鉴定小麦赤霉病菌全基因组范围内的 G 蛋白偶联受体基因，明确其进化关系。对创新点 1 和 2 做出重要贡献，是代表作 1 的第 2 作者、代表作 2 的第 5 作者、代表 3 的第 6 作者、代表作 4 的第 9 作者。 |
| 王光辉 | 6 | 副研究员 | 西北农林科技大学 | 参与了 G 蛋白偶联受体及蛋白激酶组的功能验证，在初侵染控制关键靶点基因的表型分析中贡献显著。对创新点 2 和 3 做出重要贡献，是代表作 4 的第 7 作者、代表作 5 的第 8 作者。 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学是本成果的唯一完成单位，承担了本成果的整体设计、组织实施和总结等，也是本成果中 5 篇代表性论文和三个发现点的第一完成单位。西北农林科技大学下属的“作物抗逆与高效生产全国重点实验室”、“西北农林科技大学一普度大学联合研究中心”和“陕西省农业分子生物学重点实验室”等平台为本项目提供了良好的硬件设施和科研条件，保障了项目的顺利完成。西北农林科技大学前期通过大量投入建立了“小麦病害”双一流建设团队，并组建了“作物病原真菌功能基因组学创新团队”，为本成果的实施提供了大量的人力、物力和财力支持。同时西北农林科技大学在项目过程管理、科研经费管理、科技奖励申报，科研论文、专利等知识产权管理等方面提供了全面的保障。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 论文合著 | 刘慧泉（1）、江聪（2）、康振生（3）、王秦虎（5） | 刘慧泉与江聪于 2012 年开始合作，刘慧泉与康振生于 2011 年开始合作，刘慧泉与王秦虎于 2015 年开始合作。 | 与三位完成人合作至今 | Genome-wide A-to-I RNA editing in fungi independent of ADAR enzymes | 代表作 1（见附件 1）.pdf |
| 2 | 论文合著 | 刘慧泉（1）、江聪 （2）、王秦虎（5） | 刘慧泉与江聪于 2012 年开始合作，刘慧泉与王秦虎于 2015 年开始合作。 | 与两位完成人合作至今 | A-to-I RNA editing is developmentally regulated and generally adaptive for sexual reproduction in *Neurospora crassa* | 代表作 2（见附件 2）.pdf |
| 3 | 论文合著 | 刘慧泉（1）、江聪 （2）、王秦虎（5） | 刘慧泉与江聪于 2012 年开始合作，刘慧泉与王秦虎于 2015 年开始合作。 | 与两位完成人合作至今 | Experimental evidence for the functional importance and adaptive advantage of A-to-I RNA editing in fungi | 代表作 3（见附件 3）.pdf |
| 4 | 论文合著 | 刘慧泉（1）、江聪（2）、王秦虎（5）、王光辉（6） | 刘慧泉与江聪于 2012 年开始合作，刘慧泉与王秦虎于 2015 年开始合作，刘慧泉与王光辉于 2011 年开始合 | 与三位完成人合作至今 | An expanded subfamily of G-protein-coupled receptor | 代表作 4（见附件 4）.pdf |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 作。 | | genes in *Fusarium graminearum* required for wheat infection | |
| 5 | 论文合著 | 刘慧泉（1）、康振生（3）王晨芳（4）、王光辉（6） | 刘慧泉与康振生于 2011 年开始合作，刘慧泉与王晨芳于 2011 年开始合作，刘慧泉与王光辉于 2011 年开始合作。 | 与三位完成人合作至今 | Functional analysis of the kinome of the wheat scab fungus *Fusarium graminearum* | 代表作 5（见附件 5）.pdf |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

项目完成人刘慧泉（第一完成人）、江聪（第二完成人）、康振生（第三完成人）、王晨芳（第四完成人）、王秦虎（第五完成人）和王光辉（第六完成人）具有多年坚实合作的基础，六人均为西北农林科技大学植物保护学院教师。刘慧泉教授为“作物病原真菌功能基因组学创新团队”负责人，江聪研究员、王晨芳研究员、王秦虎副教授和王光辉副研究员均为该团队核心成员。在“作物病原真菌功能基因组学创新团队”的研究过程中，六人合作发表多篇高水平研究论文。康振生院士是小麦病害研究团队的首席专家，他与项目其他完成人合作发表了多篇研究论文，是代表作 5 的共同通讯作者、代表作 1 的主要贡献作者，同时，其在“作物病原真菌功能基因组学创新团队”建立和发展过程中给予了极大的支持和帮助，并与本团队有着密切的交流和合作。

# 项目二

**一、项目名称：**棉子糖调控玉米耐旱、耐热及种子活力的机理及其应用研究

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目“棉子糖调控玉米耐旱、耐热及种子活力的机理及其应用研究”将基础研究与应用研究紧密结合，发现了棉子糖是调控玉米耐旱、耐热和种子活力的关键因素并解析其作用机理；运用生物育种手段，获得了耐旱耐热玉米新材料。该项目创制的耐旱耐热玉米新材料连续三年（2022-2024）在甘肃景泰进行了大田试验，表现出显著的增产效果，目前该材料已获批农业农村部转基因生物新品种环境释放阶段的安全审批书，项目成果创新性达到国际领先水平。近 15 年来，赵天永教授研究团队围绕棉子糖代谢调控玉米耐旱、耐热及种子活力的分子机理及其应用开展了长期系统研究，发现棉子糖代谢在玉米耐旱、耐热和种子活力中的关键作用，克隆了具有自主知识产权的玉米棉子糖代谢关键酶基因 *ZmGOLS2* 和 *ZmRAFS*，解析了其表达调控网络，并通过生物育种技术创制了一系列超表达棉子糖代谢关键酶基因 *ZmGOLS2* 和 *ZmRAFS* 耐旱、耐热及种子活力显著提高的玉米自交系和杂交种。连续三年（2022-2024）的大田试验结果表明，在干旱胁迫条件下，所创制的转基因玉米新品系较我国主栽品种郑单 958 增产逾 40%；在常规栽培条件下，转基因品系未出现减产。这些具有自主知识产权的耐旱、耐热玉米自交系和杂交种的应用，将大幅度提高我国玉米产量，对保障国家粮食安全具有重要意义，为玉米生物育种的理论研究和实践做出了突出贡献。提名该项目为陕西省自然科学奖一等奖。

三、**项目简介：**

玉米是世界和我国第一大作物，2024 年我国玉米种植面积约 6.71 亿亩，产量约 2.95 亿吨，约占我国粮食总产量的 42%，对保障我国粮食安全和国家安全具有极其重要的意义。随着全球气候变化和极端天气频发，干旱和高温等不利环境因素严重制约玉米生产。因此，揭示玉米耐旱和耐热的生化与分子机制，利用生物育种技术培育耐旱、耐热玉米新种质并用于生产实践具有重大科学和社会意义。

植物响应干旱和高温的分子机制一直是国际植物生物学的热点和前沿领域之一，已有研究揭示了一系列重要调控基因的作用机制，包括脱落酸（ABA）等相关激素代谢酶、转录因子、激酶等，极大地拓展了对植物响应高温干旱机制的理解。

通过调控这些基因的表达，能够提高植物的耐旱耐热能力，但是，由于植物抗逆和生长平衡的内在调控机制，超表达上述调控蛋白基因往往抑制植物生长，限制了这类基因在作物育种实践中的应用。针对这一问题，项目组聚焦玉米耐旱耐热的分子机理研究，揭示了棉子糖代谢调控玉米耐旱耐热及种子活力的分子机制，并通过生物育种技术创制了耐旱耐热玉米新种质，在生产实践中已被证实具有广阔的应用潜力。

棉子糖家族寡糖是由蔗糖逐级添加半乳糖苷基团而形成的一类游离寡糖，在植物界中普遍存在。棉子糖的生物合成过程首先由肌醇半乳糖苷合成酶（Galactinol synthase, GOLS）催化肌醇（*myo*-inositol）与 UDP-半乳糖（UDP-galactose）合成肌醇半乳糖苷（Galactinol），之后在棉子糖合成酶（Raffinose synthase, RAFS）催化下将蔗糖和肌醇半乳糖苷合成棉子糖。项目组前期工作发现玉米中的 *ZmGOLS2* 和 *ZmRAFS* 基因均受干旱和高温等逆境胁迫诱导。项目组经过长期研究，克隆了具有自主知识产权的玉米棉子糖代谢关键酶基因 *ZmGOLS2* 和 *ZmRAFS*，并阐明了这两个关键酶通过棉子糖合成调控玉米耐旱、耐热和种子活力的分子机制。进一步揭示了转录因子 ZmDREB2A、ZmHSFA2 和 ZmHSBP2 通过调控这两个关键酶基因表达控制玉米耐旱、耐热和种子活力的分子调控网络。

在理论创新的基础上，利用生物育种技术创制了一系列超表达 *ZmGOLS2* 或 *ZmRAFS* 的玉米自交系和杂交种，获得了在干旱和高温胁迫条件下产量极大提高的玉米优异新品系。2022 年及 2023 年，甘肃五谷种业有限公司的大田测产试验结果表明，项目组创制的玉米杂交种材料较主栽品种郑单 958 在耐旱和耐热能力上显著提高。在干旱条件下，转基因玉米杂交种的产量较郑单 958 提高 40%以上；在正常条件下，转基因品系未出现减产。这些具有自主知识产权的耐旱、耐热玉米自交系和杂交种的应用与推广，对我国玉米生产具有重要意义。

项目组的研究成果不仅揭示了棉子糖代谢在玉米耐旱、耐热及种子活力中的关键作用，还通过生物育种技术创制了具有显著耐旱、耐热能力的玉米新材料，为玉米耐旱耐热生物育种提供了重要的理论依据和实践基础。这些成果的应用将显著提升我国玉米的抗逆性和产量，对应对全球气候变化、保障粮食安全具有重要意义。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

本项目聚焦玉米耐旱和耐热的分子调控机制，系统揭示了玉米棉子糖合成关键酶基因 *ZmGOLS2* 和 *ZmRAFS* 调控玉米耐旱、耐热及调控种子活力的分子机制，取得了一系列创新性成果，创制了耐旱和耐热性显著提高的玉米育种新材料和新品系。获得了国内外同行的广泛认可和肯定性评价，研究论文被 Molecular Plant 专题评述，获陕西省第十四届自然科学优秀学术论文二等奖，相关研究成果于 2021 年被编入科学出版社的《种子学》教材，获得 2025 年陕西省高等学校科学技术研究优秀成果二等奖。

**1. 学术引用与评价**

- 本项目的研究成果在学术界产生了重要影响，研究成果 2018 年被 Molecular Plant 专题评论，于 2020 年获陕西省第十四届自然科学优秀学术论文二等奖。
- 关于 ZmGOLS2 基因功能的研究论文（Gu et al., 2016），多位学者在 Plant Physiology、Journal of Experimental Botany 等期刊发表的论文中引用并正面评价该研究。其中作者 Joana Rodrigues 在 Trends in Plant Science 发表评论 “Indeed, galactinol synthase (GOL), which is involved in the synthesis of osmoprotectants of the raffinose family oligosaccharide class, is a direct target of dehydration responsive element binding (DREB)2A（Gu et al., 2016）”，肯定本项目“揭示了 ZmGOLS2 在玉米抗旱中的关键作用”。
- 关于棉子糖系列寡糖调控种子活力调控机制的研究（Li et al., 2017），Molecular Plant 发表题为“Live Long and Prosper: Roles of Sugar and Sugar Polymers in Seed Vigor”的专题评述，被评价为“为作物种子活力改良提供了新思路”（Wang et al., 2018, Molecular Plant）。棉子糖在种子抗衰老中的作用已于 2021 年入编“十四五”普通高等教育本科规划教材——《种子学》主编：张红生、王州飞，科学出版社出版，详见教材第 148 页，相关证明材料见附件。
- 关于 *ZmRAFS* 基因功能的研究（Li et al., 2020），被 Nature Communications 等期刊引用并评价“揭示了单双子叶植物中棉子糖代谢的进化差异”（Chen et al., 2021）。

**2. 学术媒体专题报道**

本项目的研究成果获得了学术媒体的广泛关注和专题报道：

- 2020 年 5 月，《中国科学报》对本项目进行了专题报道，并被科学网转载（ https://news.sciencenet.cn/htmlnews/2020/5/439555.shtm ）。报道指出：“棉子糖家族寡糖（RFOs）在植物种子脱水耐受性及种子活力以及温度、干旱等胁迫中发挥重要作用，但其作用机制尚不清楚。西北农林科技大学赵天永实验室系统研究了棉子糖代谢相关基因在植物抗旱、抗热、抗寒、抗盐以及种子活力中的功能及其表达调控机制。”
- 2020 年 6 月，国家自然科学基金委员会科学传播与成果转化中心对本项目进行了专题报道（ https://www.nsfc.gov.cn/csc/20340/20343/53403/index.html ）。

**3. 学术会议报告**

项目负责人赵天永教授受邀在多个重要学术会议上报告本项目研究成果：

- 2020 首届中国玉米产业链大会及国际玉米科技论坛（北京，特邀报告）
- 2021 第五届全国玉米生物学年会（成都，大会报告）
- 2023 第六届全国玉米生物学年会（哈尔滨，大会报告）
- 2024 第三届三亚国际种业科学家大会（三亚，大会报告）

**4. 项目验收评价**

2018 年 5 月，农业部科技发展中心组织专家对本项目"转基因生物新品种培育科技重大专项-玉米耐旱相关基因的克隆与功能研究（2014ZX0800920B）"进行了验收。验收专家组一致认为：该课题完成了合同书规定的任务目标和考核指标，为培育耐旱抗逆的玉米种质奠定了基础。具体评价如下：

- 成功鉴定了转座子 Mu 插入失活的 ZmGOLS1 突变系的抗逆表型；
- 克隆了 *ZmGOLS2* 基因及其响应干旱胁迫的转录因子基因 ZmDREB2A；
- 构建了相关基因载体并转化玉米，获得转基因植株；
- 明确了上述基因的表达特征及响应逆境胁迫的机制；

- 发表论文 3 篇，申请专利 4 项；

**5 耐旱耐热玉米新品系大田表现优异，获批转基因作物新品种环境释放阶段的安全审批书**

本项目创制的耐旱耐热玉米新材料在甘肃景泰连续三年（2022-2024）进行了大田试验，表现出显著的增产效果。业内专家评价：“该研究将基础理论研究与育种实践紧密结合，为解决玉米生产中的干旱和高温胁迫问题提供了切实可行的技术方案。”（详见附件，甘肃五谷种业有限公司五谷研究院测产证明），所创制的耐旱耐热转基因玉米已获批农业农村部转基因生物新品种环境释放阶段的安全审批书（见附件）。

综上所述，本项目在棉子糖代谢调控植物抗逆性的分子机制研究方面取得了系统性创新成果，相关研究处于国际领先水平，为作物抗逆育种提供了重要的理论依据和技术支撑。

**五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)**

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ZmGOLS2, a target of transcription factor ZmDREB2A, offers similar protection against abiotic stress as ZmDREB2A | Plant Molecular Biology | Lei Gu, Yumin Zhang, Mingshuai Zhang, Tao Li, Lynnette M.A. Dirk, Bruce Downie, Tianyong Zhao | 2016，90，157-170 | 2015 年 11 月 19 日 | 赵天永 | 谷雷 | 谷雷、张玉民、张明帅、李涛、赵天永 | 47 | Web of Science | 是 |
| 2 | Regulation of seed vigor by manipulation of raffinose family oligosaccharides (RFOs) in maize and Arabidopsis | Molecular Plant | Tao Li, Yumin Zhang, Dong Wang, Ying Liu, Lynnette Dirk, Jack Goodman, Bruce Downie, Jianmin Wang, Guoying Wang, Tianyong Zhao | 2017，10，1540-1555 | 2017 年 1 月 6 日 | 赵天永，王国英 | 李涛 | 李涛、张玉民、王东、刘应、王建明、王国英、赵天永 | 86 | Web of Science | 是 |
| 3 | Raffinose synthase enhances drought tolerance through | Journal of Biological Chemistry | Tao Li, Yumin Zhang, Ying Liu, Xudong Li, Guanglong Hao, | 2020, 295:8064-8077 | 2020 年 5 月 4 日 | 赵天永，王国英 | 李涛，张玉民 | 李涛、张玉民、刘应、李旭东、郝广 | 91 | Web of Science | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | raffinose synthesis or galactinol hydrolysis in maize and Arabidopsis plants | | Qinghui Han, Lynnette M. Dirk, A Bruce Downie, Yong-Ling Ruan, Jianmin Wang, Guoying Wang, Tianyong Zhao | | | | | 龙、韩庆辉、王建明、王国英、赵天永 | | | |
| 4 | ZmDREB2A regulates ZmGH3.2 and ZmRAFS, shifting metabolism towards seed aging tolerance over seedling growth | The Plant Journal | Qinghui Han, Kelu Chen, Dong Yan, Guanglong Hao, Junlong Qi, Chunmei Wang, Lynnette M. Dirk, A. Bruce Downie, Jianhua Gong, Jianhua Wang, Tianyong Zhao | 2020，104，268-282 | 2020 年 7 月 13 日 | 王建华、赵天永 | 韩庆辉 | 韩庆辉，陈珂璐、闫栋、戚俊龙、王春梅、龚建华、王建华、赵天永 | 23 | Web of Science | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | Maize HSFA2 and HSBP2 antagonistically modulate raffinose biosynthesis and heat tolerance in Arabidopsis | The Plant Journal | Lei Gu, Tao Jiang, Chunxia Zhang, Xudong Li, Chunmei Wang, Yumin Zhang, Tao Li, Lynnette Dirk, Bruce Downie, Tianyong Zhao | 2019，100，128-142. | 2019 年 6 月 10 日 | 赵天永 | 谷雷 | 谷雷、蒋涛、张春霞、李旭东、王春梅、张玉民、李涛、赵天永 | 53 | Web of Science | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 赵天永 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 近 15 年来，赵天永教授领导团队聚焦玉米耐旱和耐热的分子调控机制开展了长期系统研究，克隆了具有自主知识产权的玉米棉子糖代谢关键酶基因 *ZmGOLS2* 和 *ZmRAFS*，阐明了这两个关键酶通过棉子糖合成调控玉米耐旱、耐热和种子活力的分子机制。进一步揭示了转录因子 ZmDREB2A、ZmHSFA2 和 ZmHSBP2 通过调控这两个关键酶基因表达控制玉米耐旱、耐热和种子活力的分子调控网络，取得了一系列原创性发现，相关成果发表在 Molecular Plant、Plant J、J Biol Chem 等学术期刊（代表性论文 1 至 5）。利用生物育种技术获得了在干旱和高温胁迫条件下产量极大提高的玉米优异新品系，实现了从基础理论研究到玉米生物育种实践的跨越。 |
| 张玉民 | 2 | 副教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 1.发现拟南芥中棉子糖代谢提高植物耐旱的分子机制。拟南芥中，蔗糖转运蛋白对蔗糖的亲和力高于棉子糖合成酶，超表达棉子糖合成酶降解肌醇半乳糖苷，产生了肌醇，提高了拟南芥的耐旱性（发现一，代表性论文 3）。2.参与发现调控棉子糖代谢可以提高种子活力，负责创制超表达棉子糖合成酶基因 ZmRAFS 的拟南芥材料并鉴定其种子活力，发现拟南芥中 RFOs 成员与 Sucrose 之间的碳分配比例控制种子活力高低（发现三，代表性论文 2）。3.参与发现超表达棉子糖合成关键酶基因可显著提高玉米在干旱和高温条件下的产量，负责改良的转基因郑单 958 大田耐旱耐热能力的鉴定与评测（发现四，代表性论文 5）。 |
| 李涛 | 3 | 副教授 | 河南农业大学/西北农林科技大学 | 1. 发现玉米棉子糖合成酶基因突变体 *zmrafs* 对干旱胁迫敏感，超表达 *ZmRAFS* 基因提高了拟南芥的耐旱能力（发现一，代表性论文 3）。 2. 利用玉米 *ZmRAFS* 基因突变体和拟南芥超表达材料研究了棉子糖调控种子活力的分子机制，发现了棉子糖和蔗糖的比例是调控玉米种子活力的关键因素，通过调控棉子糖代谢可以提高种子活力（发现三，代表性论文 2）。 |
| 韩庆辉 | 4 | 讲师 | 浙江农林大学/西北农林科技大学 | 1. 发现 ZmDREB2A 在调控棉子糖合成，提高玉米种子活力和植株耐逆性的同时，也激活了生长素降解酶基因 *ZmGH3.2* 的表达，超表达 ZmDREB2A 提高了 *ZmGH3.2* 的表达，降低了生长素的含量，抑制了植物的生长（发现一，代表性论文 4）。 |
| 谷雷 | 5 | 副教授 | 贵州师范大学/西北农林科技大学 | 1. 发现转录因子 ZmDREB2A 结合在 *ZmGOLS2* 基因启动子的 DRE 元件上调控该基因在干旱条件下的表达；同时发现超表达 *ZmGOLS2* 基因提高植物的耐旱性且对植物在 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 正常条件下的生长没有负作用（发现一，代表性论文 1）。 2. 发现转录因子 ZmHSFA2 和热激蛋白 ZmHSBP2 互作，拮抗调控玉米 *ZmGOLS2* 表达，调控热激条件下棉子糖合成，调控植物的耐热性（发现二，代表性论文 5）。 |
| 刘应 | 6 | 讲师 | 昭通学院/西北农林科技大学 | 1. 发现超表达棉子糖合成酶基因 *ZmRAFS* 提高拟南芥和玉米的耐旱耐热能力（发现一，代表性论文 3）。 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 项目依托作物抗逆与高效生产全国重点实验室和西北农林科技大学生命科学学院完成。该成果的第一完成人赵天永教授为西北农林科技大学作物抗逆与高效生产全国重点实验室 PI，生命科学学院教授。赵天永自 2011 年 3 月全职到西北农林科技大学工作以后即专注于棉子糖代谢调控玉米耐逆的分子机理研究工作。赵天永及其指导的博士研究生发现通过调控棉子糖的合成可以提高玉米的耐旱、耐热能力和种子活力，且对植物在正常条件下的生长和结实没有负作用。赵天永教授和相关博士研究生鉴定了棉子糖合成关键酶基因 *ZmGOLS2* 和 *ZmRAFS* 基因启动子上响应干旱、高温的顺式作用元件以及结合在这些元件上调控基因表达的转录因子。相关研究结果发表在植物科学国际主流杂志。在项目实施过程中，主要试验均在西北农林科技大学完成，所涉及的玉米材料种植、鉴定、繁代、表型测定等实验主要在西北农林科技大学教学科研农场和曹新庄试验农场转基因基地完成。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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** | 论文合著 | 张玉民/2 | 2013 | 2020 | 代表性论文 1、2、4 | 论文检索证明 |
| **2** | 论文合著 | 李涛/3 | 2012 | 2019 | 代表性论文 2、4 | 论文检索证明 |
| **3** | 论文合著 | 韩庆辉/4 | 2012 | 2020 | 代表性论文 4、5 | 论文检索证明 |
| **4** | 论文合著 | 谷雷/5 | 2011 | 2020 | 代表性论文 1、3 | 论文检索证明 |
| **5** | 论文合著 | 刘应/6 | 2014 | 2020 | 代表性论文 2、4 | 论文检索证明 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

第 1 完成人赵天永教授与第 2 完成人张玉民副教授现属于西北农林科技大学同一课题组，张玉民在硕士和博士研究生期间的导师为第 1 完成人，参与完成了科学发现的第 1、2、3、4 项内容，发现棉子糖在玉米抗逆及种子活力方面的功能，并解析其调控网络，合作撰写研究论文。

第 3 完成人李涛博士，2012-2017 年在西北农林科技大学攻读博士学位，第 1 完成人为其导师，共同完成了主要科学发现第 1 项和第 3 项内容，发现玉米棉子糖合成酶基因突变体 *zmrafs* 对干旱迫敏感，超表达 *ZmRAFS* 基因提高了拟南芥的耐旱能力，发现棉子糖和蔗糖的比例是调控玉米种子活力的关键因素，通过调控棉子糖代谢可以提高种子活力。

第 4 完成人韩庆辉博士，2012-2020 年在西北农林科技大学攻读硕士和博士学位，第 1 完成人为其导师，共同完成了主要科学发现第 1 项内容，发现 ZmDREB2A 在调控棉子糖合成的同时，也同时调控生长素降解酶基因 *ZmGH3.2* 的表达，超表达 ZmDREB2A 提高了 *ZmGH3.2* 的表达，降低了生长素的含量，抑制了植物的生长。

第 5 完成人谷雷博士，2011-2018 年在西北农林科技大学攻读硕士和博士学位，第 1 完成人为其导师，共同完成了主要科学发现第 1 项和第 2 项内容，发现转录因子 ZmDREB2A 结合在 *ZmGOLS2* 基因启动子的 DRE 元件上调控该基因在干旱条件下的表达；同时发现超表 *ZmGOLS* 基因提高植物的耐旱性且对植物在正常条件下的生长没有负作用；2. 发现转录因子 ZmHSFA2 和热激蛋白 ZmHSBP2 互作，拮抗调控玉米 *ZmGOLS2* 表达，调控热激条件下棉子糖合成，调控植物的耐热性。

第 6 完成人刘应博士，2014-2022 年在西北农林科技大学攻读博士学位，第 1 完成人为其导师，参与完成了主要科学发现第 1 项和第 2 项内容，发现超表达棉子糖合成酶基因 *ZmRAFS* 提高拟南芥和玉米的耐旱耐热能力。

# 项目三

**一、项目名称：**中国西北水蚀风蚀区生物结皮对坡面水土过程的调控机制

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**土壤侵蚀与水土流失是生态系统退化的关键诱因，这一点在植被稀疏的干旱半干旱区表现尤甚。生物结皮是该区重要的地表生物覆被，是遏制土壤侵蚀和水土流失的重要因子。然而，这一覆被层长期被土壤侵蚀与水土保持研究忽视，生物结皮影响下的土壤侵蚀、水土流失规律及调控机制不明，相关科学理论缺乏。项目经 20 余年研究，率先将生物结皮纳入土壤侵蚀科学框架，取得三项突破性进展：（1）阐明了区域环境因子耦合驱动的生物结皮形成发育机理，明确了我国西北水蚀区和风蚀区生物结皮的赋存状态。提出了生物结皮“表现面积”概念及量化方法，为生物结皮科学观察提供了方法论。（2）系统揭示了生物结皮通过调控土壤养分、结构、抗蚀性、渗透性及水文循环，重塑坡面径流“源—汇”格局、打断坡面土壤侵蚀链式耦合过程的内在减蚀机制，发现生物结皮“保土不保水”的水土流失新模式，突破了该领域长期仅关注林草植被的传统范式。（3）厘定了生物结皮与坡面径流和泥沙量间的量化关系，构建了生物结皮盖度和坡面径流量和土壤流失率间的量化关系，为将其纳入径流和土壤流失预报模型提供了核心支撑。相关成果在本领域主流期刊发表论文 150 余篇，其中 SCI 论文 64 篇，出版专著 2 部，相关成果他引 4900 余次。项目创新了生物结皮与环境互馈、水文响应及抗蚀机制的理论认知，建立了生物结皮抗侵蚀理论体系，丰富了土壤侵蚀学科内涵，为我国西北水土保持与生态修复提供了关键科学依据和技术支撑。提名该项目为陕西省自然科学奖一等奖。

三、**项目简介：**

土壤侵蚀与水土流失是导致生态系统退化的关键诱因，在植被稀疏的干旱半干旱气候区的水蚀区和风蚀区（简称水蚀风蚀区）表现更为突出。生物结皮是水蚀风蚀区广泛发育的生物地被物，是土壤侵蚀与水土流失不可忽略的影响因子。然而，这一关键覆被层长期被忽视，水土保持与荒漠化防治学、生态学、土壤学等学科理论均未将其纳入研究框架，生物结皮影响下的土壤侵蚀和水土流失规律及调控机制不明，生物结皮生态效应难以评估，加之我国水蚀风蚀区生物结皮赋存状态不明，致使区域水土流失治理和生态恢复决策难以考虑生物结皮的影响，

是新时期水土保持与荒漠化防治的重大科技需求和前沿科学问题。

项目在国家自然科学基金项目（9 项，含 2 项重点项目）和中国科学院“西部之光”项目等的资助下，系统研究了我国西北水蚀风蚀区生物结皮的形成过程和分布特征，探讨了生物结皮对土壤养分和结构、水分入渗、坡面产汇流过程的影响，解析了生物结皮对土壤抗蚀性和土壤流失过程的影响及机制，取得如下重要科学发现点。

1、阐明了我国西北水蚀风蚀区生物结皮的物种组成、群落结构及胶结机理，完整揭示了其演替过程、驱动机制与阶段划分。完善了生物结皮分布特征的指标体系，实现了生物结皮分布特征从定性描述到定量化表征的跨越，为量化研究其生态功能奠定了基础。针对生物结皮生态功能尺度效应的难题，创新性提出了生物结皮“表现面积”的概念（即能够准确反映其特征的最小面积），构建了测定表现面积的“移动网格法”，并应用于实践，厘定了区域不同降水量带不同误差水平的表现面积值，为生物结皮科学采样和观测提供了关键方法论。明确了我国西北水蚀风蚀区生物结皮的组成、盖度及空间分布格局，填补了区域生物结皮本底资料的系统性空白，并将其纳入水蚀风蚀区的关键生态因子。

2、系统研究了生物结皮对西北水蚀风蚀区土壤水分入渗、产汇流过程的影响，揭示了生物结皮组成、盖度和分布格局影响土壤水分渗透性机制，明确了其影响坡面产汇流过程的方式和程度，发现藓结皮（抑制）与藻结皮（促进）调控径流量的相反效应。明确了生物结皮导致土壤水分浅层化分布格局的机制和程度。创新性地将景观生态学中的“源-汇”理论应用于坡面生物结皮-植被系统，明确了生物结皮作为“源”（产生、输出径流）和维管植物作为“汇”（接收、截留、入渗径流）的径流功能角色，为水蚀风蚀区生物结皮坡面水文过程提供了全新的理论框架。解析了生物结皮调控水文循环过程的路径和程度，为准确理解水蚀风蚀区土壤水分平衡提供了科学依据。构建了生物结皮盖度与 SCS-CN 径流模型参数初损率λ（$R^2$=0.6012）和 CN 的量化关系（$R^2$=0.778），为将生物结皮纳入水文模型并进行生态水文预测奠定了基础。

3、系统阐释了水蚀风蚀区生物结皮如何以及可多大程度抑制土壤侵蚀这一关键问题。从内因（改良土壤：提升碳氮含量、改善团聚结构，使土壤可蚀性 K 值降低 21%）与外因（削弱外力：削减 99%以上雨滴动能、通过降低流速削减径流侵蚀力）两个维度，完整揭示了生物结皮增强土壤抗侵蚀性的科学原理。明

确了在风蚀区生物结皮通过提高表层土壤团聚体稳定性和地表抗剪强度抑制土壤风蚀的机制；在水蚀区，生物结皮通过增强表层土壤抗雨滴打击和水流分离能力、削减雨滴和水流有效功率，形成以增加抗蚀能力和降低输沙动力为核心的双元抗蚀机制，并确定了其通过增强土壤抗蚀性（41.8%）和降低输沙（51.8%）对抑制坡面产沙的贡献，创新了水蚀风蚀区土壤抗侵蚀性的认知。明确了坡面尺度生物结皮通过重塑水沙连通性，打破水蚀过程中水土耦合关系，形成“保土不保水”的水土流失新格局，并确定了引发该格局的临界盖度阈值（43%），为生物结皮影响下生态措施的精准管理和效益评估提供了至关重要的科学依据。构建了水蚀和风蚀条件下生物结皮盖度与土壤流失率的定量关系，实现了生物结皮抑制土壤侵蚀从定性描述到定量预测的跨越，为将生物结皮纳入土壤侵蚀预报模型提供了核心支撑。

上述发现系统回答了我国西北水蚀风蚀区生物结皮的赋存状态及其在土壤侵蚀与水土流失过程中扮演的角色，证实生物结皮是可与林草植被并列的重要的侵蚀防控生物因子，突破了土壤侵蚀与水土保持领域长期仅关注林草植被的传统范式。为准确评估生物结皮影响下的水土环境效应提供了理论依据，为土壤侵蚀与水土流失防治提供了新选项。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

项目在 Global Change Biology、Soil Biology and Biochemistry、Soil & Tillage Research、Catena、水土保持学报、生态学报等领域主流期刊发表论文 150 余篇，其中 SCI 论文 60 余篇，中文核心期刊 90 余篇，相关成果他引 4900 余次。提交的 5 篇代表作被 Natural Hazards、Global Change Biology、Journal of Experimental Botany、Soil Biology and Biochemistry 等期刊他引 460 余次（WOS）。其中一篇代表性论文单篇 SCI 他引 173 次，是 ESI 1%高被引论文。一部代表性专著入选 2013 年度国家新闻出版广电总局 “三个一百”原创图书出版工程名单。项目成果中一篇论文入选中国精品科技期刊顶尖学术论文（F5000），多篇论文的成果被有关生物结皮生态功能综述引用，成为生物结皮水文功能和土壤抗侵蚀性的关键支撑文献。

在 2000 年前，WOS 与 CNKI 未见我国西北水蚀区有关生物结皮的研究报道，

该领域空白。本项目首次系统阐明该区生物结皮物种组成、演替阶段与环境阈值，将其提升为与林草植被并列的关键生态因子。项目成果被国内学者广泛关注。如北京师范大学张光辉教授团队多篇论文引用本项目多篇成果，用以证实生物结皮是土壤分离、水土流失的关键影响因素。其次，在黄土高原土壤碳循环过程中，中国科学院水利部水土保持研究所邓蕾研究员引用本项目成果论证生物结皮是土壤碳流失的关键影响因子，张加琼研究员引用本项目多篇论文阐释水蚀风蚀交错区生物结皮对土壤侵蚀的影响。我国南方亚热带地区和喀斯特地区亦开始重视生物结皮对土壤侵蚀和水土流失的影响，引用本项目研究结果用于对比该区生物结皮对水土流失的影响。华中农业大学蔡崇法教授团队发表于 Geoderma 上的综述，引用本项目 24 篇论文用于论述生物结皮对土壤水文过程和侵蚀动力影响的研究。风蚀区方面，孙鸿烈院士认为代表性专著 1 的出版“将进一步推动我国生物土壤结皮的研究，为荒漠地区沙害和生态恢复发挥重要作用”。

本项目的成果也引起国际同行的广泛关注。典型的有西班牙环境科学领袖奖获得者 Leopoldo Sancho 教授（D-index 48）和西班牙皇家科学院院士、阿利坎特大学的 Fernando Maestre 教授（H-index 108）认为项目有关生物结皮对土壤抗蚀性影响的研究结果（代表作 2）为修订土壤侵蚀模型提供了可靠依据。美国科学院院士 Jayne Belnap 教授在专著 Biological Soil Crusts: An Organizing Principle in Drylands 的多个章节引用本项目论文阐述生物结皮对旱区水土过程的影响；Fernando Maestre 教授发表于 Journal of Experimental Botany 上的综述论文，引用本项目的 19 篇论文论述藓类植物对旱区侵蚀防控和水文过程的影响。本项目 5 篇论文（3 篇代表作）被德国国家科学与工程院院士、德国土壤学会前主席、蒂宾根大学 Thomas Scholten 教授引用，以论证亚干旱区生物结皮研究的重要性。美国国家工程院院士、瑞士联邦理工学院 Dani Or 教授联合以色列希伯来大学 Giora Kidron 教授在 Earth-Science Reviews 发表的综述中，引用本项目的 7 篇论文（2 篇代表作）用于解释生物结皮调节降雨产流的机制（如改变孔性和斥水性，土壤类型差异与区域分异等）。

五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Biological soil crusts decreaseerodibility by modifying inherent soil properties on the Loess Plateau, China | Soil Biology and Biochemistry | LiqianGao, MatthewA. Bowker, Mingxiang Xu, Hui Sun, Dengfeng Tuo,Yunge Zhao | 2017 年 105 卷 49-58 页 | 2017 年 02 月 01 日 | 赵允格 | 高丽倩 | 高丽倩，许明祥，孙会，脱登峰，赵允格 | 173 | Webof Science | 是 |
| 2 | Response of biological soil crusts to raindrop erosivity and underlying influences in the hilly Loess Plateau region, China | Biodiversity and Conservation | Yunge Zhao, NingqiangQin,Bettina Weber, MingxiangXu | 2014 年 23 卷 1669-1686 页 | 2014 年 04 月 05 日 | 赵允格 | 赵允格 | 赵允格，秦宁强，许明祥 | 74 | Webof Science | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Runoff and Soil Loss from Revegetated Grasslands in Hilly Loess Plateau Region,China: Influence of Biocrustand Plant Patches | Journalof Hydrologic Engineering | Yunge Zhao, MingxiangXu | 2013 年 18 卷 387-393 页 | 2013 年 04 月 01 日 | 赵允格 | 赵允格 | 赵允格，许明祥 | 64 | Webof Science | 是 |
| 4 | Linkages between biocrust developmentand water erosion and implications for erosion model implementation | Geoderma | Liqian Gao,Matthew A. Bowker,HuiSun, Jun Zhao, YungeZhao | 2020 年 357 卷 113973 | 2020 年 01 月 01 日 | 赵允格 | 高丽倩 | 高丽倩，孙会，赵军，赵允格 | 64 | Webof Science | 是 |
| 5 | Biocrusts reducesurfacesoil infiltrability and impede soil water infiltration under tensionand ponding conditions indryland ecosystem | Journalof Hydrology | Bo Xiao, FuhaiSun, Kelin Hu,Giora J. Kidron | 2019 年 568 卷 792-802 页 | 2019 年 01 月 01 日 | 肖波 | 肖波 | 肖波，孙福海，胡克林 | 86 | Webof Science | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 荒漠生物土壤结皮生态与水文学研究 | 专著 | 李新荣 | 2012 年高等教育出版社 | 2012 年 09 月 01 日 | | 李新荣 | 李新荣 | 95 | | 是 |
| 7 | 黄土高原生物结皮的生态功能及培育恢复 | 专著 | 卜崇峰 | 2022 年科学出版社 | 2022 年 01 月 01 日 | | 卜崇峰 | 卜崇峰 | 6 | | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 赵允格 | 1 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 负责项目的总体设计和组织实施，包括立项、实施、阶段总结及结题验收，负责年度报告、结题验收报告的编写。是支撑项目 1-5 的主持人，对主要科学发现 1-3 项做出创造性贡献。是代表论文 2、3 的第一作者，代表论文 1-4 的通讯作者。 |
| 肖波 | 2 | 教授 | 中国农业大学 | 开展水蚀风蚀区生物结皮对坡面土壤水分入渗、蒸发过程的影响研究，揭示生物结皮对水热过程的协同调控机制，构建了生物结皮土壤水分入渗和蒸发模型，是支撑项目 6-8 的主持人，是科学发现 1、2 的主要完成人，代表论文 5 的第一作者和通讯作者。 |
| 李新荣 | 3 | 研究员 | 中国科学院西北生态环境资源研究院 | 系统研究了风蚀区生物结皮形成机理、对水文过程和土壤抗侵蚀的影响，揭示了生物结皮增强土壤稳定性和改变地表粗糙度的内在机制。是支撑项目 11 的主持人，是科学发现 1、2 的主要完成人，代表性专著 1 的第一作者。 |
| 卜崇峰 | 4 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 开展了水蚀风蚀区生物结皮发育和时空分布研究，揭示了藓结皮对土壤水分的生态适应性。是支撑项目 9 的负责人，科学发现 1、2 的主要完成人，代表著作 2 的第一作者。 |
| 高丽倩 | 5 | 副研究员 | 西北农林科技大学 | 开展了黄土高原水蚀风蚀区生物结皮抗侵蚀机理研究，揭示了生物结皮通过改变土壤可蚀性因子进而影响土壤抗蚀性的作用机制。是支撑项目 10 的主持人，支撑项目 1 的主要参与人，科学发现 1、3 的主要完成人，代表论文 1、4 的第一作者。 |
| 许明祥 | 6 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 开展了生物结皮形成发育、时空分布、对土壤水分入渗产流、对土壤抗侵蚀性等方面的研究，揭示了生物结皮对土壤质量的影响机制。是支撑项目 1 的主要参与人，是代表论文 1、2、3 的共同作者。 |

## 七、主要完成单位情况

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
| --- | --- | --- |
| 西北农林科技大学 | 1 | 负责项目的总体计划实施，在本研究的立项、实施、总结等整个过程中，学校均给予了人力、物力和财力的支持，揭示了黄土高原水蚀区和风蚀区生物结皮形成发育、时空分布、对坡面水土过程的影响机制，构建了生物结皮盖度与坡面径流和土壤流失率的量化关系。 |
| 中国农业大学 | 2 | 开展了黄土高原水蚀和风蚀区土壤生物结皮对水分入渗、蒸散发、产汇流过程的影响，揭示生物结皮对水分循环过程的调控机制。 |
| 中国科学院西北生态环境资源研究院 | 3 | 系统研究了西北风蚀区生物结皮形成机理、对水文过程和土壤抗侵蚀的影响，揭示了生物结皮增强土壤稳定性和改变地表粗糙度的内在机制。揭示了沙地生物结皮对水文循环的影响机理，发现生物结皮调控土壤水分垂直和水平入渗、导致沙地土壤水分浅层化分布。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 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 | 共同立项、研究任务分担、论文合著 | 赵允格、肖波/第1、第2 | 2007.1. | 2023.8 | 论文6、7、122 | 附件1 |
| **2** | 论文合著 | 赵允格、李新荣/第1、第3 | 2009.1 | 2023.8 | 论文116 | 附件1 |
| **3** | 论文合著 | 赵允格、卜崇峰/第1、第4 | 2020.7 | 2023.8 | 论文22 | 附件1 |
| **4** | 共同立项、研究任务分担、共同总结成果、论文合著 | 赵允格、高丽倩/第1、第5 | 2012.1 | 2023.8 | 代表性论文1、4 | 附件1 |
| **5** | 论文合著 | 赵允格、许明祥/第1、第6 | 2006.5 | 2023.8 | 代表性论文2、3 | 附件1 |

**完成人合作关系说明（限1000字）**

本项目完成人及工作单位包括：赵允格（西北农林科技大学）、肖波（中国农业大学）、李新荣（中国科学院西北生态环境资源研究院）、卜崇峰（西北农林科技大学）、高丽倩（西北农林科技大学）、许明祥（西北农林科技大学）。

西北农林科技大学的赵允格、卜崇峰、高丽倩、许明祥是一个长期稳定的科研团队，其中，高丽倩师从赵允格研究员。该研究团队在科研项目、论文发表等方面有着密不可分的合作关系，长期以来在生物结皮发育、分布及其抗侵蚀功能方面开展了深入的合作研究。共同完成了主要科学发现第 1、2、3 项内容，揭示了生物结皮的形成过程及分布特征，探讨了生物结皮对土壤养分和结构、土壤水分入渗、坡面产汇流过程的影响，解析了生物结皮对土壤抗蚀性和侵蚀流失过程的影响和机制。共同撰写发表论文1-5、8-11、22。

中国农业大学的肖波师从赵允格研究员，工作后一直保持着与赵允格团队的密切合作关系，共同进行项目立项申报、论文撰写。依托陕西神木侵蚀与环境国家野外科学观测研究站，多年来合作开展了水蚀区和风蚀区生物结皮对水分入渗、蒸散发、产汇流过程的影响，揭示生物结皮对水热过程的协同调控机制，构建了生物结皮土壤水分入渗和蒸发模型。共同完成了主要科学发现第 1、2 项内容。合作发表论文6、7、122。

中国科学院西北生态环境资源研究院李新荣研究员与项目完成单位长期开展生物结皮合作研究和学术交流，系统研究了西北风蚀区生物结皮形成机理、对水文过程和土壤抗侵蚀的影响，揭示了生物结皮增强土壤稳定性和改变地表粗糙度的内在机制。共同完成了主要科学发现第 1、2 项内容。合作发表论文 116。

# 项目四

**一、项目名称：**黄土区水蚀类型演变过程机制

**二、提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目紧扣各类水蚀演变过程产生大量泥沙输入河道造成流域水沙关系不协调的根本问题，着眼于沟蚀演变过程难以量化、且水蚀类型演变过程机制尚不明确的科学问题，基于30余年科学探索和研究，以创新水蚀演变过程动态监测方法为突破，以片蚀-细沟-浅沟-切沟侵蚀演变过程为主线，创建了量化水蚀类型演变过程研究的新方法，揭示了坡面不同水蚀类型的侵蚀过程机理，阐明了不同水蚀类型演变过程及驱动机制，进而揭示了黄土区水蚀类型演变过程机制。以上成果发表论文194篇，其中SCI论文65篇，出版学术专著8部。学术成果得到了业界高度评价，产生了积极的学术影响，加深了对水蚀类型演变本质的认识，丰富了土壤水蚀基础理论，推动了水土保持学科发展，为嵌套沟蚀的流域侵蚀预报模型研发提供了重要理论指导，也为流域水沙关系不协调调控和区域水土流失精准治理提供了重要科学依据。基于相关研究成果提交的有关建议得到时任中央政治局常委的重要批示，部分成果被国家相关行业标准和规范采纳，整体成果支撑了中-美、中-法、中国-南非国际合作，提升了我国的国际学术地位。提名该项目为陕西省自然科学奖一等奖。

**三、项目简介：**

水土流失是我国头号环境问题，其对粮食安全和生态安全造成严重威胁，我国每年因水土流失造成的经济损失相当于年GDP总量的3.5%。黄土高原是我国乃至世界土壤侵蚀最严重的地区之一，区域片蚀和细沟侵蚀严重，浅沟和切沟侵蚀异常活跃，且各水蚀类型（片蚀-细沟-浅沟-切沟）演变过程不仅导致土壤质量严重退化和地形破碎，也使侵蚀治理的难度加大和投资增加；尤其是各类水蚀演变过程造成的大量泥沙输入河道是导致流域水沙关系不协调的根源。因此，阐明水蚀类型演变过程机制，可为流域水沙调控和黄河流域高质量发展提供重要科学依据。

前人研究证实了黄土区水蚀类型可划分为雨滴击溅、片蚀、细沟、浅沟、切沟侵蚀等类型，且其在空间上具有分带性或“链状”特征；但片蚀-细沟-浅沟-切沟侵蚀类型之间水沙传递关系是什么，其演变动力机制如何，哪一个阶段造成的侵蚀最强烈，以及流域减沙重点治理部位在哪里等问题一直是困扰土壤侵蚀理论深化和支撑

生态治理的主要科学难题。本项目在国家自然科学基金重大、重点和面上项目支持下，经过 30 余年的探索和研究，以创新水蚀演变过程动态监测方法为突破，以黄土区片蚀-细沟-浅沟-切沟侵蚀演变过程为主线，创建了量化水蚀类型演变过程研究的新方法，揭示了坡面不同水蚀类型的侵蚀过程机理，阐明了不同水蚀类型演变过程及驱动机制，进而揭示了黄土区水蚀类型演变过程机制，加深了对水蚀过程机理和规律的认识，丰富和拓展了土壤侵蚀基础理论，推动了水土保持学科发展，为嵌套沟蚀的流域侵蚀预报模型研发提供了重要理论指导，也为流域水沙关系不协调调控和区域生态治理提供了重要科学依据。取得如下重要科学发现：

第一，创建了量化水蚀类型演变过程研究的新方法：创建了基于立体摄影测量技术的侵蚀沟形态及水流参数测定方法；构建了融合立体摄影测量与三维激光扫描技术的水蚀类型演变过程监测方法；提出了基于稀土元素示踪片蚀-细沟-浅沟侵蚀过程的研究方法，突破了水蚀过程量化研究的技术瓶颈，为深化侵蚀动力学理论研究提供了方法支持。

第二，揭示了坡面不同水蚀类型的侵蚀过程机理：阐明了片蚀和细沟侵蚀动力机制，明晰了雨滴击溅、壤中流与地表径流耦合作用影响片蚀和细沟侵蚀过程机理，破解了壤中流对坡面侵蚀的作用机制；定量表征了细沟发育各主导侵蚀过程及其对坡面侵蚀产沙的贡献，攻克了细沟发育各主导侵蚀过程数学表达的难题，深化了其沟壁扩张侵蚀理论；揭示了坡面浅沟和切沟发育过程，突破了沟蚀过程中坡面纵向和侧向汇流耦合作用机制的理论瓶颈，为嵌套沟蚀的水蚀预报模型研发提供了理论基础。

第三，阐明了不同水蚀类型演变过程及驱动机制：提出了判定细沟、浅沟、切沟发生的地形临界，填补了切沟发生地形因子判别的空白；反演再现了水蚀类型演变过程并确定了其临界动力参数变化区间，发现水蚀类型演变引起的产沙量受演变阶段制约；阐明了片蚀-细沟-浅沟-切沟侵蚀链的水沙传递关系及关键影响因子，提出了表征坡面侵蚀链水沙传递关系的判别式，突破了坡面侵蚀链水沙传递关系定量表达的瓶颈，科学论证了流域减沙重点治理部位；构建了侵蚀沟演变过程动态模型，攻克了水蚀类型演变过程模拟的卡点问题。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

项目执行期间，发表相关学术论文 194 篇，其中 SCI 论文 65 篇，出版学术专

著 8 部。研究成果受到国内外同行专家的广泛重视和认可，5 篇代表性论文/3 部代表性著作总他引 1410 次，单篇 SCI 论文最高他引 422 次，单篇专著最高他引 203 次。发表在 Soil & Tillage Research 的代表作 2 为 ESI 前 1%高被引论文。

1）对科学发现 1 创建了量化水蚀类型演变过程研究的新方法的客观评价

项目发表在 Soil & Tillage Research（Qin et al., 2018）上有关立体摄影测量法监测坡面沟道变化的研究论文他引 61 次。国内外土壤侵蚀领域和地貌知名专家，荷兰瓦赫宁根大学 van de Vijsel Roeland 教授、英国利兹大学 Joseph Holden 教授、西班牙高等科研理事会 Jose Alfonso Gómez 博士、华中农业大学蔡崇法教授、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所陈剑刚研究员的团队，分别发表在 Nature Reviews Earth & Environment（van de Vijsel et al., 2024）、Earth-Science Reviews（Johnston et al., 2021；Hayas and Gómez., 2024）、Geoderma（Ni et al., 2023）、Water Resources Research（Wang et al., 2022）上的论文引用，充分肯定了本科学发现对立体摄影测量技术在坡面沟道演变研究中的应用，并对研究中的“沟道内向下侵蚀速率降低直至低于横向侵蚀速率”的结论进行了印证，同时肯定了本发现在农业生产中的重要性。世界水土保持学会名誉主席李锐认为本研究“成功地应用三维激光扫描等技术动态监测了水蚀类型演变过程，推动了水蚀类型演变过程定量研究”（李锐, 2011），该方法在国内外土壤侵蚀动态监测研究领域得到了广泛应用。本项目出版的专著《黄土高原沟蚀演变过程与侵蚀产沙》对高精度 GPS 和三维激光扫描（LiDAR）对沟蚀演变动态监测的可行性和精度进行了详细探讨，并利用这些新技术新方法对细沟、浅沟、切沟的形态演变过程进行了定量研究。土壤侵蚀领域世界著名专家美国农业部国家土壤侵蚀研究实验室前主任 Chihua Huang 高级研究员和国际知名专家美国农业部国家泥沙实验室前主任 Matt Römkens 高级研究员，在对中美合作研究的官方评价中强调了本项目开展的高精度 GPS、三维激光扫描、立体摄影测量等技术的对比研究，高度评价了本研究创建的水蚀类型演变过程研究方法，并指出该研究对沟蚀过程揭示具有重要的里程碑意义，解决了沟蚀过程量化研究这一世界性难题。中国科学院力学研究所刘青泉研究员团队发表在 2013 年中国力学大会上的论文（李妍敏等, 2013）引用了该成果，充分肯定了本项目的研究方法，并对细沟侵蚀演变过程这一研究发现进行了验证。华中农业大学郭忠录教授团队发表在农业工程学报（郝好鑫等, 2017）的论文也引用了该成果，指出本科学发现可为土壤侵蚀预报模型研发提供重要理论基础。

2）对科学发现 2 坡面不同水蚀类型的侵蚀过程机理的客观评价

本项目发表在 Soil & Tillage Research（Shen et al., 2016）上关于细沟与细沟间侵蚀水力学机理的研究论文被他人引用 365 次，为 ESI 前 1%高被引论文。土壤侵蚀领域著名专家澳大利亚堪培拉大学 Peter Kinnell 教授发表在 Journal of Hydrology（Kinnell, 2020）的特邀综述论文中评价了该成果，认为本科学发现中所采取的研究方法有效地模拟了不同下垫面条件下的坡面细沟和细沟间侵蚀过程，区分了雨滴打击和地表径流对坡面侵蚀的相对贡献；瑞士巴塞尔大学 Philip Greenwood 博士发表在 Soil & Tillage Research（Greenwood and Zhang, 2019）的论文也评价了该成果，充分肯定了本研究中关于细沟侵蚀动力机制的科学发现。本项目发表在 Journal of Hydrology（Liu et al., 2019）上关于雨滴打击和壤中流对坡面侵蚀耦合作用机理的研究论文被他人引用 55 次。国内外土壤侵蚀领域知名专家，包括西班牙著名国际学者 Artemi Cerda、美国国家土壤侵蚀实验室 Dennis Flanagan 高级研究员、华中农业大学蔡崇法教授、中国科学院亚热带农业生态研究所陈洪松研究员团队分别在 Journal of Hydrology（Wang et al., 2020）、Land Degradation & Development（Wang et al., 2024）、Journal of Hydrology: Regional Studies（Ao et al., 2024）发表论文，肯定并重点引用了该成果，认为本科学发现明确了雨滴打击和壤中流对坡面产流产沙各自的贡献，并揭示了二者对坡面侵蚀的耦合作用机制。本项目出版的专著《黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟》对黄土坡面细沟间侵蚀与细沟侵蚀发生发展过程、侵蚀搬运机制、影响因素及其防治进行了详细阐述，被他人引用 203 次。国内土壤侵蚀领域知名专家中国科学院地理科学与资源研究所蔡强国研究员、中国科学院南京土壤研究所史学正研究员、西北农林科技大学吴发启教授等团队分别在应用基础与工程科学学报（盛贺伟等, 2017）、水土保持学报（刘柳松等, 2009）、农业工程学报（郑子成等, 2009）发表论文，肯定并重点引用了本研究中对坡面侵蚀过程的一系列重要发现，如“细沟侵蚀主要有溯源侵蚀、沟底下切和沟壁扩张 3 种形式”、“在裸露休闲地，雨滴打击作用是水流剥蚀作用的几倍至数十倍”、“黄土坡面细沟发育在降雨 13 min 内趋于稳定”等。

3）对科学发现 3 不同水蚀类型演变过程及驱动机制的客观评价

本项目出版的专著《水蚀过程与预报模型》以翔实的资料和鲜明的观点论述了溅蚀、细沟间侵蚀与细沟侵蚀、坡面汇流汇沙与细沟侵蚀和浅沟侵蚀过程、墚坡与沟坡系统侵蚀产沙过程与动力学机理、坡面汇流汇沙与坡面侵蚀方式演变，被他人

引用 116 次。中国水利水电科学研究院王浩院士团队在水利学报（蔡静雅等, 2020）发表论文证实了本研究的发现，认为“水蚀类型演变的临界动力阈值确定”和“水蚀类型演变引起的产沙量受演变阶段制约”等科学论点具有重要价值。国内水土保持领域著名专家福建农林大学黄炎和教授团队在森林与环境学报（黄炎和等, 2015）发表的论文中充分肯定了本研究的发现“输沙率随着流速呈线性函数增加，说明随着流量和坡度的增大，坡面水流流速增大，挟沙能力增强，产沙量增大”。本项目发表在地理学报（郑粉莉和康绍忠, 1998）上关于黄土坡面不同侵蚀带侵蚀产沙关系及其机理的研究论文被他人引用 173 次。黄河水利科学研究院教授级高级工程师姚文艺团队发表在水利水电科技进展（姚文艺和肖培青, 2015）、农业工程学报（王玲玲等, 2015）的论文，充分肯定了本科学发现中对不同水蚀类型演变过程及驱动机制的研究结论。本项目发表在 Pedosphere（Zheng, 2006）上有关水蚀类型演变影响的研究论文被他人引用 422 次，捷克共和国 Silva Tarouca 研究所的 Pavel Samonil 研究员发表在 Geomorphology（Samonil et al., 2023）上的论文，印证了有关“森林破坏会加剧侵蚀演变”的结论，中国科学院生态环境研究中心傅伯杰院士团队发表在 Water Resources Research（Zhang et al., 2019）、Hydrological Processes（Wei et al., 2009）上的论文和国家杰出青年基金获得者中国科学院南京土壤研究所张甘霖研究员团队发表在 Soil & Tillage Research（Yang et al., 2009）上的论文，也印证了有关“植被破坏加剧了水蚀类型演变过程”的结论。

**五、代表性论文专著目录（不超过 8 条，其中代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序）**

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Effect of vegetation changes on soil erosion on the Loess Plateau | Pedosphere | Zheng, FL | 2006 年 16 卷 4 期 420-427 页 | 2006 年 8 月 1 日 | Zheng, FL | Zheng, FL | 郑粉莉 | 422 | 《科学引文索引》扩展版数据库(SCIE)、《CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope | Soil & Tillage Research | Shen, HO; Zheng, FL; Wen, LL; Han, Y; Hu, W | 2016 年 155 卷 429-436 页 | 2016 年 1 月 1 日 | Zheng, FL | Shen, HO | 沈海鸥，郑粉莉，温磊磊，韩勇，胡伟 | 365 | 《科学引文索引》扩展版数据库(SCIE)、《CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |
| 3 | Interactive effects of raindrop impact and groundwater seepage on soil erosion | Journal of Hydrology | Liu, G; Zheng, FL; Lu, J; Jia, Y F; Zhang, XC; Hu, FN; Zhang, JQ | 2019 年 578 期 124066 | 2019 年 11 月 1 日 | Zheng, FL | Liu, G | 刘刚，郑粉莉，卢嘉，胡斐南，张加琼 | 55 | 《科学引文索引》扩展版数据库(SCIE)、《CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | A laboratory study of channel sidewall expansion in upland concentrated flows | Soil & Tillage Research | Qin, C; Zheng, FL; Wells, Robert R; Xu, XM; Wang, B; Zhong, KY | 2018 年 178 卷 22-31 页 | 2018 年 05 月 01 日 | Zheng, FL | Qin, C | 覃超，郑粉莉，徐锡蒙，王彬，钟科元 | 61 | 《科学引文索引》扩展版数据库(SCIE)、《CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |
| 5 | 黄土坡面不同侵蚀带侵蚀产沙关系及其机理 | 地理学报 | 郑粉莉康绍忠 | 1998 年 5 期 40-46 页 | 1998 年 9 月 23 日 | 郑粉莉 | 郑粉莉 | 郑粉莉, 康绍忠 | 188 | 《 CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |
| 6 | 水蚀过程与预报模型 | 专著 | 郑粉莉江忠善 高学田 | 2008 年, 科学出版社 | 2008 年 1 月 1 日 | | 郑粉莉 | 郑粉莉, 江忠善, 高学田 | 116 | 《CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |
| 7 | 黄土高原沟蚀演变过程与侵蚀产沙 | 专著 | 郑粉莉，肖培青 | 2009 年，科学出版社 | 2009 年 12 月 1 日 | | 郑粉莉 | 郑粉莉, 肖培青 | 15 | 《CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟 | 专著 | 郑粉莉 高学田 | 2000 年, 陕西人民出版社 | 2000 年 5 月 1 日 | | 郑粉莉 | 郑粉莉, 高学田 | 203 | 《CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 郑粉莉 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 负责项目总体技术方案设计与组织实施，对主要科学发现内容中 1-3 项做出创造性贡献，创建了量化水蚀类型演变过程研究的新方法，揭示了坡面不同水蚀类型的侵蚀过程机理，阐明了不同水蚀类型演变过程及驱动机制。是代表作 1、5、6、7、8 的第一作者，代表作 2、3、4 的通讯作者。 |
| 刘刚 | 2 | 研究员 | 西北农林科技大学/中国科学院水利部水土保持研究所 | 与第一完成人共同完成了项目主要科学发现第 1、2 项内容，提出了基于稀土元素示踪片蚀-细沟-浅沟侵蚀过程的研究方法，揭示了片蚀与细沟侵蚀动力学机制，明晰了降雨击溅、壤中流与地表径流耦合作用影响片蚀和细沟侵蚀过程机理。是代表作 3 的第一作者。 |
| 沈海鸥 | 3 | 副教授 | 吉林农业大学/西北农林科技大学 | 与第一完成人共同完成了主要科学发现第 2 项内容，明晰了下垫面特征对细沟和细沟间侵蚀过程的影响，揭示了细沟与细沟间侵蚀过程的水动力学机制。是代表作 2 的第一作者。 |
| 王彬 | 4 | 教授 | 北京林业大学/西北农林科技大学 | 与第一完成人共同完成了主要科学发现第 1、3 项内容，创建了水蚀类型演变过程研究方法，量化了细沟沟壁扩张发育过程，揭示了坡面片蚀与细沟侵蚀动力机制。是代表作 4 的共同作者。 |
| 覃超 | 5 | 副研究员 | 中国科学院地球环境研究所/西北农林科技大学 | 与第一完成人共同完成了主要科学发现第 1、3 项内容，创建了基于立体摄影测量技术的侵蚀沟形态及水流参数测定方法，量化细沟发育各主导侵蚀过程，深化了沟壁扩张侵蚀理论。是代表作 4 的第一作者。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 徐锡蒙 | 6 | 副研究员 | 中国科学院地理科学与资源研究所/西北农林科技大学 | 与第一完成人共同完成了主要科学发现第 2、3 项内容，量化了细沟沟壁扩张发育过程，阐明了浅沟发育过程，构建了浅沟侵蚀量与侵蚀动力和地形因子复合指标，阐明了坡面纵向汇流和侧向汇流耦合作用对浅沟侵蚀的影响作用。是代表作 4 的共同作者。 |

## 七、主要完成单位情况

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学作为项目主要完成单位，给予该项目必要的人力、物力支持和必备的支撑条件，为本项目提供了相关的仪器设备和研究平台，保证了项目的顺利实施和完成。全面负责项目的设计、立项、分工、实施与成果鉴定。在本项目中，重点开展了坡面不同水蚀类型的侵蚀过程机理、不同水蚀类型演变过程及驱动机制和水蚀类型演变过程研究方法创建等方面工作。 |
| 中国科学院水利部水土保持研究所 | 2 | 中国科学院水利部水土保持研究所作为项目主要完成单位，协助开展了片蚀与细沟侵蚀动力机制、水蚀类型演变过程及驱动机制、稀土元素示踪土壤侵蚀量的通用模型等方面工作。同时协助开展项目的设计、立项、实施与成果鉴定等工作，给予该项目必要的人力物力支持和必备的支撑条件，为该项目的顺利开展做出了重要贡献。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况表 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **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** |
| **1** | 论文合著 | 郑粉莉/第 1，刘刚/第 2 | 2014 年 7 月 1 日 | 2018 年 1 月 22 日 | 代表作 3 |
| **2** | 论文合著 | 郑粉莉/第 1，沈海鸥/第 3 | 2009 年 9 月 1 日 | 2017 年 7 月 1 日 | 代表作 2 |
| **3** | 论文合著 | 郑粉莉/第 1，王彬/第 4，覃超/第 5，徐锡蒙/第 6 | 2006 年 7 月 1 日 | 2018 年 5 月 1 日 | 代表作 4 |

完成人合作关系说明（限 1000 字）

第 1 完成人郑粉莉教授与第 2 完成人属西北农林科技大学/中国科学院水利部水土保持研究所的同一课题组，共同开展项目的研究工作，完成了主要科学发现第 1、2 项内容，提出了基于稀土元素示踪片蚀-细沟-浅沟侵蚀过程的研究方法，揭示了片蚀与细沟侵蚀动力学机制，明晰了降雨击溅、壤中流与地表径流耦合作用影响片蚀和细沟侵蚀过程机理。共同撰写发表论文（代表作 3）。

第 3 完成人沈海鸥副教授，2009-2015 年在西北农林科技大学攻读博士学位，第 1 完成人为其导师，共同完成了主要科学发现第 2 项内容，明晰了下垫面特征对细沟和细沟间侵蚀过程的影响，揭示了细沟与细沟间侵蚀过程的水动力学机制。合作撰写发表论文（代表作 2）。

第 4 完成人王彬教授，2006-2013 年在西北农林科技大学攻读硕士、博士学位，第 1 完成人为其导师，共同完成了主要科学发现第 1、3 项内容，创建了水蚀类型演变过程研究方法，量化了细沟沟壁扩张发育过程，揭示了坡面片蚀与细沟侵蚀动力机制。合作撰写发表论文（代表作 4）。

第 5 完成人覃超副研究员，2012-2018 年在西北农林科技大学攻读硕士、博士学位，第 1 完成人为其导师，共同完成了主要科学发现第 1、3 项内容，创建了基于立体摄影测量技术的侵蚀沟形态及水流参数测定方法，量化细沟发育各主导侵蚀过程，深化了沟壁扩张侵蚀理论。合作撰写发表论文（代表作 4）。

第 6 完成人徐锡蒙副研究员，2012-2018 年在西北农林科技大学攻读学士、博士学位期间，第 1 完成人为其导师，共同完成了主要科学发现第 2、3 项内容，量化了细沟沟壁扩张发育过程，阐明了浅沟发育过程，提出了浅沟侵蚀量与侵蚀动力和地形因子复合指标，阐明了坡面纵向汇流和侧向汇流耦合作用对浅沟侵蚀的影响作用。合作撰写发表论文（代表作 4）。

# 项目五

**一、项目名称：**种猪高效繁育关键技术创新与应用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**种猪高效繁育关键技术创新与应用项目，紧扣我国种猪繁殖力低下的瓶颈问题，开展技术攻关与集成，破解了生猪产业发展关键技术难题，形成了生猪产业高质量发展新质生产力。项目研发集成种猪分子选育-测膘调料-大批次生产-子宫内输精-精准饲养-综合安全防控等关键技术组成的种猪高效繁育与饲养管理体系，开发了系列精液常温保存稀释粉和公母猪精准饲料产品，有力挖掘了种猪繁殖潜力；利用全基因组关联技术（GWAS）与基因组选择技术（GS）打造了种猪基因组高效选育平台，鉴定与母猪繁殖力性状相关的 7 个关键候选基因，建立了 2400 头 PSY 平均达到 31.05 的高繁殖力纯繁群体；健全了生猪综合防控生物安全体系；构建了种猪高效繁育体系，形成了“PSY31+/ TCP300-高繁殖力低生产成本”应用模式（PSY>31，仔猪全成本<300 元/头），项目成果不仅助推脱贫攻坚和乡村振兴，而且社会效益、经济效益、生态效益显著。提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

三、**项目简介：**

“种猪高效繁育关键技术创新与应用”项目由西北农林科技大学主持，联合陕西正能农牧科技有限责任公司、农业农村部西北生猪良种繁育重点实验室以及陕西省畜牧产业试验示范中心、陕西省畜牧技术推广总站等相关单位，围绕“高 PSY、低生产成本”目标，开展关键核心技术联合攻关并集成应用，其成果来源于“畜禽福利饲养关键技术研发”（2017YFD0502003），“种猪高效繁殖技术研究”（2018ZDCXL -NY-02-06），“陕西生猪产业技术体系育繁推一体化”（NYKJ-2022-YL（XN）32），“陕西省畜禽种质资源库建设项目”（2022NY-36），“种猪精准饲养及测膘调料技术研发”（研试字〔2021〕第 02 号）共 5 个国家级、省部级以及企业自设项目。自 2016 年开始，2024 年结束，为期 9 年。

项目主要获得六方面成果：

（1）优化了全基因组关联技术（GWAS）与基因组选择技术（GS），打造了种猪基因组高效选育技术平台，挖掘与母猪繁殖力性状相关的 7 个关键候选基因，组建了 2400 头 PSY 平均达到 31.05 的高繁殖性能种猪资源群体。

（2）利用低损伤冷冻保存技术，保存了 4 个地方猪种共 2125 份精液、胚胎及体细胞，建立了高繁殖性能地方猪种基因库，不仅多维度保护了优异地方猪种的遗传资源，而且为新品种培育提供了育种素材。

（3）研发了猪精液常温保存系列稀释粉，创新集成了精液保存、子宫内输精、大批次生产、妊娠期背膘精准调控等系列技术，母猪人工授精时精液用量减少了 50%以上，精子有效存活时间由 3±0.6 天延长至 8±0.5 天，母猪受胎率提高了 4.55%，分娩率提高了 4.25%，PSY 增加了 8.72。

（4）开发了强哥牌种公猪专用饲料和适用于母猪不同生理阶段的妊娠宝、攻胎宝和泌乳宝专用饲料，种猪生产效率提升了 12%以上，断奶仔猪成活率达到 95.6%，妊娠母猪饲料成本降幅超过 25%，断奶仔猪全成本（TCP）降至 300 元以内。

（5）健全了生猪生物安全管理技术体系，优化了大批次生产技术、免疫技术与抗原检测技术，猪蓝耳病、猪瘟、猪伪狂犬病等主要疾病检测时间缩短 50%，准确率达到 99%，监测覆盖率达到 100%。

（6）创建了“PSY31+/TCP300-高繁殖力低生产成本”种猪繁育模式（PSY31.05，仔猪全成本 279 元），构建了种猪高效繁育关键技术体系，仔猪全成本下降 14.9%，形成了生猪产业高质量发展新质生产力。

项目实施以来登记科技成果 2 项，获陕西省科技工作者创新创业大赛一等奖 1 项、二等奖 1 项、三等奖 2 项；授权国家发明专利 5 项，发布团体标准 5 项；发表学术论文 18 篇，培养研究生 31 人，培训技术人员 2267 人，编写《母猪人工授精技术》《生猪养殖技术手册》等培训材料 2 部；开发种猪精准饲料系列产品 4 种、精液常温保存系列稀释粉 3 种，创新集成种猪高效繁育技术体系 1 套；种猪 PSY 增加了 8.72 头，平均达到 31.05；仔猪全成本降低至 300 元以内；建立了种猪“分子选育-测膘调料-大批次生产-子宫内输精-精准饲养-综合安全防控”等六大关键技术组成的高效繁育体系，形成“PSY31+/TCP300-高繁殖力低生产成本”推广应用模式。项目成果累计辐射能繁母猪 82.38 万头，生产优质仔猪 2555.43 万头，实现新增良种仔猪销售 43.70 亿元，新增利润 12.52 亿元。项目成果在通过生猪产业脱贫攻坚与乡村振兴中发挥了重要作用，具有显著的经济效益、社会效益和生态效益。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

**1. 与国内外同类研究比较**

目前关于利用 GWAS 方法对猪繁殖性能进行选育的研究主要集中在对不同猪种重要繁殖性能相关的候选基因位点的筛选，其中部分研究采用基因芯片对猪进行基因分型。通过单基因座 GWAS 和单步 GWAS（ssGWAS）筛选对猪繁殖性能具有显著影响的候选基因位点，另有部分研究采用全基因组测序的方法对猪进行基因分型，进而通过 GWAS 筛选全新且与猪繁殖性能相关的候选基因位点。本项目通过基于卷积神经网络深度学习模型进行全基因组关联分析，并挖掘出 7 个与繁殖性状相关的关键候选基因，构建适用于繁殖性状的高准确性基因组选择技术平台。

关于精液保存和稀释粉的研究，主要集中在探索不同添加剂的保存效果，如褪黑素、赖氨酸、肌醇、虾青素、原花青素、迷迭香酸和牛磺酸等抗氧化剂以及中草药提取物对精子活力和理化指标的影响。本项目通过研究茶多酚、壳聚糖和五味子乙素等在猪精液常温保存中的作用，开发出“毓丰”牌猪精液常温保存短效、中效、长效系列稀释粉，精子有效存活时间由 3±0.6 天延长至 8±0.5 天。关于种猪精准营养，目前研究主要集中在猪精准营养数学模型、具有豆粕替代潜力的原料有效养分动态预测模型和猪精准营养配方三方面，主要针对猪生长发育性状，而针对繁殖性状的精准营养技术较为缺乏。本项目深度探索精氨酸等影响公猪精子发生的机制，开发“强哥牌”公猪专用饲料，显著改善了精液品质；针对母猪不同生理阶段营养需求差异，开发“妊娠宝”、“攻胎宝”、“泌乳宝”母猪精准饲料，母猪便秘率降低至 2%以内，仔猪断奶窝重增加 10%，实现母壮仔优。

关于生猪生物安全防控，现有研究主要集中在猪场选址布局，调整饲养密度、免疫程序建立，人流、物流管理，疾病净化等方面，在单项技术上均有突破，但技术集成度不够，没有形成合力，防控效果不佳。本项目通过优化免疫技术、抗原检测技术，健全猪场生物安全防范措施，并集成生物安全防控技术，构建完善的生物安全体系，并针对猪蓝耳病、猪瘟、猪伪狂犬病等高致病性疾病检测技术攻关，检测时间缩短 50%，准确率达到 99%，检测阴性率达到 99.98%。

**2. 项目验收意见**

（1）2024 年 5 月 24 日，陕西省科技厅组织专家对“种猪高效繁殖技术研究（2018ZDCXL -NY-02-06）”项目进行验收。验收委员会验收意见如下：项目开发了 3 种常温精液稀释液配方，研制出 1 种低温精液保存液，解决了精液在体外存活时间短、活力下降过快的问题。

（2）2024 年 12 月 12 日，杨凌示范区现代农业和乡村发展局组织有关专家对“陕西生猪产业技术体系繁育推一体化(NYKJ-2022-YL（XN）32)”项目进行了验收。专家组认为该项目组建纯种核心群，种猪数量达 5400 头；实现年选育二元后备母猪 20000 头，商品仔猪 40000 余头。建立了陕西省生猪产业繁育推一体化技术体系，优化了 ASF 病原检测技术，建立场外生物安全和场内生物安全规范。

（3）2024 年 10 月 30 日，陕西正能农牧科技有限责任公司组织有关专家对陕西正能农牧养猪研究院承担的“种猪精准饲养及测膘调料技术研发（研试字[2021]第 02 号）”项目进行了验收。专家组认为项目建立“测膘调料精准饲喂技术标准”1 套，大幅提升了种猪群体况均匀度。项目成功研发妊娠宝、泌乳宝优化配方 2 套，并匹配精准饲喂方案。项目研发生产的正能种公猪配合饲料强哥 558 在提高种公猪精子密度和增加种公猪总精子数，提高 DNA 完整性和降低精子畸形率、提高线粒体活性等方面效果明显；常温保存时能够显著延长种公猪精液保存时间。

**3. 科技查新结论**

（1）目前基于基因组选择开展种猪选育的文献，主要涉及采用基因芯片对猪进行基因分型，通过全基因组关联技术（GWAS）和基因组选择技术（GS）筛选对猪繁殖性能具有显著影响的候选基因位点[51, 53]，以及通过全基因组测序进行基因分型，进而利用 GWAS 筛选全新的未被鉴定到的候选基因位点[1-9, 53, 54, 55]。文献[51, 53]主要通过单基因座 GWAS、单步 GWAS 及全基因组关联研究 GWAS 筛选母猪繁殖性状相关基因；文献[1-9, 52, 54, 55]主要采用全基因组测序方法进行猪基因分型，再用 GWAS 筛选与母猪繁殖性状相关的候选基因位点。但是，基于 SV 数据的 DNNGP 基因组选择和 GWAS 挖掘出 *PTPRN2*、*LINGO2*、*MNX1*、*UBE3C*、*DGCR8*、*DNMT3L*、*MFSD14B* 等繁殖性状相关基因，除项目组文献[50]外未见其他相关中英文文献报道。

（2）关于种猪精准营养及生物安全防控，饲料和猪精液的相关文献，现有中英文文献主要集中在通过在饲粮中添加生理调节剂、抗氧化剂[13,18,35-44,56,58,63]、酶类物质[11-14]或一些理化因素[16-19]等提升种公猪的繁殖性能和猪体健康度[19-31]。文献[11-14]通过在日粮中补充不同生理调节剂、复合酶等生产优质猪精液；文献[14-17]主要通过抗氧化剂、抗菌剂和中草药添加剂，提升精液常温保存效果；文献[13,18,35-44,56,58,63]主要通过在饲料中添加蛋白质、微量元素、多不饱和脂肪酸、维生素、有机硒、褪黑素、肌醇、虾青素、原花青素、牛磺酸等，提升猪精液品质。关于利用妊娠期母猪背膘营养调控、大批次生产技术、精准营养与精液高效利用技术体系，创建“PSY31+/ TCP300-高繁殖力低生产成本”种猪高效繁育技术体系，综合提高种猪繁殖性能，除项目组文献[10,34,45-47,50,57,59-62]外未见其他相关中英文文献报道。

## 五、应用情况

（1）创制了高繁种猪资源群体。利用现代分子育种技术挖掘鉴定总产仔数、产活仔数、出生窝重以及木乃伊数等与繁殖力性状相关的关键候选基因 7 个，选育组建了 2400 头 PSY 达到 31.05 的高繁种质资源群体。

（2）创新了种猪精准化饲养体系。基于精子发生原理开发种公猪专用饲料，粗蛋白≥15%，赖氨酸≥0.8%。饲喂 30 天精液量增加，60 天精液品质显著改善；依据母猪不同生理阶段营养需求差异，开发妊娠宝、攻胎宝和泌乳宝三阶段精准饲料，配合测膘调料营养调控技术，实现母猪精细化饲养，哺乳期母猪采食量提高 20%，便秘率降低到 2%以内，仔猪断奶窝重增加 10%以上。

（3）创立了种猪高效繁育体系。研发毓丰牌猪精液常温保存短、中、长效稀释粉，精子有效存活时间延长至 8 天左右；开发母猪子宫内深部输精技术，精液利用效率提高了 50%以上；建立 5 周大批次生产模式并集成应用高效繁育技术，实现母猪受胎率提升 5.36%达到了 94.59%，分娩率提升 5.23%达到了 92.46%，PSY 增加 8.72 达到 31.05，断奶仔猪全成本下降 14.9%，降低至 279 元。

（4）创建了种猪生物安全综合防控体系。通过优化免疫技术及抗原检测方法等，猪蓝耳病、猪瘟、猪伪狂犬病等主要疾病检测时间缩短 50%，准确率达到 99%，检测阴性率达到 99.98%，建立了种猪生物安全综合防控体系。基于此，陕西正能农牧科技有限责任公司被农业农村部评为“农业产业化国家重点龙头企业”“西北生猪良种繁育重点实验室”“国家级生猪产能调控基地”以及“饲料质量安全管理规范示范企业”，其中宝鸡正能农牧科技有限公司、黄龙正能农牧科技有限公司分别被评为“无非洲猪瘟小区”（第二批）和“国家级猪伪狂犬病净化场”。陕西顺鑫种猪选育有限公司被农业农村部评为“无非洲猪瘟小区”（第一批）、“国家级猪繁殖与呼吸综合征（非免疫）净化场”和“国家级伪狂犬净化场”。

（5）形成了一批可转化可应用的先进技术成果。项目实施以来登记科技成果 2 项，获陕西省科技工作者创新创业大赛一等奖 1 项、二等奖 1 项、三等奖 2 项；授权国家发明专利 5 项，发布团体标准 5 项；发表学术论文 18 篇，培养研究生 31 人，培训技术人员 2267 人。开发种猪专用系列饲料产品 4 种、精液常温保存稀释粉 3 种。

（6）建立了可复制可推广的产业发展创新模式。通过有效组合陕西正能农

牧科技有限责任公司、陕西顺鑫种猪选育有限公司、温氏集团秦晋养猪公司等示范企业优势，形成了覆盖陕西、甘肃、山西等区域的种猪高效繁育技术推广网络。项目实施以来，母猪 PSY 增加了 8.72，平均达到 31.05；仔猪头均生产成本下降 14.9%，降低至 300 元以内；建立了种猪“分子选育-测膘调料-大批次生产-子宫内输精-精准饲养-综合安全防控”种猪高效繁育体系，形成“PSY31+ /TCP300-高繁殖力低生产成本”推广应用模式。项目成果累计辐射能繁母猪 82.38 万头，生产优质仔猪 2555.43 万头，实现新增良种仔猪销售额 43.70 亿元，新增利润 12.52 亿元。

**六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)**

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 团体标准 | 猪精液常温保存技术规范 | 中国 | T/SXSL14-2024 | 2024-12-29 | 陕西省饲料协会 | 西北农林科技大学、陕西正能农牧科技有限责任公司、杨凌衍数生物科技有限公司、陕西省畜牧技术推广总站、陕西省畜牧产业试验示范中心、大荔县畜牧发展中心、富平县畜牧发展中心 | 胡建宏、高磊、连星、梁国栋、张毅、李胜、于太永、温飞、李宇、张曼、贾永宏、陈辉、杨晓茹、胡张涛、王义辉、邱小为、白萍莉、席华明、吴强、李迎鸽、赵彩会 |
| 2 | 团体标准 | 猪冷冻精液生产技术规范 | 中国 | T/SXSL15-2024 | 2024-12-29 | 陕西省饲料协会 | 西北农林科技大学、陕西正能农牧科技有限责任公司、杨凌衍数生物科技有限公司、山西荷澜育种有限公司、陕西省畜牧技术推广总站、陕西省畜牧产业试验示范中心、泾阳县畜牧产业服务中心、铜川市新区动物卫生监 | 高磊、胡建宏、连星、李胜、李智、张毅、褚瑰燕、王佳伦、温飞、胡张涛、杨公社、贾永宏、陈辉、张曼、杨晓茹、邱小为、白萍莉、 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 督所、富平县畜牧发展中心 | 席华明、吴强、郭洁、赵彩会 |
| 3 | 团体标准 | 猪用配合饲料 | 中国 | T/SXSL13-2024 | 2024-12-29 | 陕西省饲料协会 | 陕西正能农牧科技有限责任公司、西北农林科技大学、杨凌职业技术学院、陕西省农产品质量安全中心、陕西省畜牧产业试验示范中心、陕西省畜牧技术推广总站、延安市畜牧技术推广中心、陕西秦云农产品检验检测股份有限公司、大荔县畜牧发展中心 | 连星、王莺、张毅、王义辉、白万礼、胡建宏、高磊、张曼、贾永宏、陈辉、肖红年、李胜、杨晓茹、蔺治海、杨汉卿、刘妩妍、刘冬霞、刘姚、孙丽媛 |
| 4 | 团体标准 | 猪用浓缩饲料 | 中国 | T/SXSL12-2024 | 2024-12-29 | 陕西省饲料协会 | 陕西正能农牧科技有限责任公司、西北农林科技大学、杨凌职业技术学院、陕西省农产品质量安全中心、陕西省畜牧产业试验示范中心、陕西省畜牧技术推广总站、延安市畜牧技术推广中心、大荔县畜牧发展中心、陕西秦云农产品检验检测股份有限公司 | 连星、王莺、王义辉、白万礼、高磊、张曼、张毅、贾永宏、陈辉、肖红年、李胜、杨晓茹、蔺治海、杨汉卿、刘妩妍、刘冬霞、孙丽媛、刘姚 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 发明专利 | 花旗松素和山奈酚配伍用于制备家畜冷冻保存剂的应用 | 中国 | ZL202010548946.7 | 2022-02-18 | 4940689 | 西北农林科技大学 | 李青旺、刘定帮、杨丽、吴琳 |
| 6 | 发明专利 | 根皮素用于制备猪、羊或牛精液冷冻保存剂的应用 | 中国 | ZL202010550189.7 | 2021-12-28 | 4868644 | 西北农林科技大学 | 李青旺、刘定帮、杨丽、吴琳 |
| 7 | 发明专利 | 番茄红素和芝麻粉配伍在家畜精液冷冻保存剂 | 中国 | ZL201610841222.5 | 2019-07-19 | 3459757 | 西北农林科技大学 | 李青旺、王捷、杨丽、江中良 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 中的应用 | | | | | | |
| 8 | 发明专利 | 猪冷冻精液基础稀释液及其制备方法和应用 | 中国 | ZL202011321304.X | 2023-08-22 | 6260454 | 青岛农业大学 | 张国梁、宋俊霖 |
| 9 | 文章 | Isorhamnetin protects porcine oocytes from zearalenone-induced reproductive toxicity through the | 中国 | 2023;14(1):22 | 2023-02-03 | Journal of Animal Science and Biotechnology | 1. College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University<br>2. College of Animal Science and Technology, Shanxi Agricultural University<br>3. School of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology<br>4. College of Pharmacy, Shenzhen Technology University | Xiaoya Li, Jiaxin Duan, Shiyou Wang, Jianyong Cheng, Huali Chen, Zelin Zhang, Li Yang, Rongmao Hua, Qingwang Li |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PI3K/Akt signaling pathway | | | | | | |
| 10 | 团体标准 | 猪耳缘成纤维细胞培养技术规范 | 中国 | T/SXSL 16-2024 | 2024-12-29 | 陕西省饲料协会 | 西北农林科技大学、陕西正能农牧科技有限责任公司、杨凌衍数生物科技有限公司、陕西省畜牧产业试验示范中心、陕西省畜牧技术推广总站、大荔县畜牧发展中心 | 胡建宏、温飞、冯贤辀、高磊、张毅、陈辉、连星、李胜、陈晓旭、郭松茂、田佳卉、韩帅琪、胡张涛、贾永宏、于太永、张曼、杨晓茹、席华明、赵彩会、罗强 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 胡建宏 | 1 | 无/教授 | 西北农林科技大学 | 作为项目负责人，负责项目的全面组织实施以及成果的示范推广，主要负责公猪精液保存与高效利用、遗传资源保存、母猪 PSY 提升等，形成了种猪高效繁育“PSY31+ /TCP300-高繁殖力低生产成本”模式，对公猪精液保存、母猪深部输精等关键技术进行集成、示范与推广，主要贡献集中在科技创新 1.2、1.3、1.4 和 1.5。 |
| 高磊 | 2 | 无/副教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目种猪的精准营养、遗传资源保存、大批次生产、生物安全防控等关键技术研发方面的工作，并进行集成、示范与推广工作，主要贡献集中在科技创新 1.2、1.3、1.4 和 1.5。 |
| 王义辉 | 3 | 董事长兼总裁/助理工程师 | 陕西正能农牧科技有限责任公司 | 负责项目高繁母猪纯繁群体构建与推广工作，组织协调人力、场地、物力等，并积极进行成果推广与示范，主要贡献集中在科技创新 1.1、1.2、1.4 和 1.5。 |
| 于太永 | 4 | 无/教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目母猪高繁性状基因组选择技术优化和高繁群体构建等关键技术研发方面的工作，并进行成果推广与示范，主要贡献集中在科技创新 1.1、1.4 和 1.5。 |
| 李青旺 | 5 | 无/教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目精液稀释粉、母猪深部输精等高效扩繁技术研发工作，并进行成果推广与示范，主要贡献集中在科技创新 1.2 和 1.5。 |
| 张毅 | 6 | 科长/农艺师 | 陕西省农产品质量安全中心 | 负责项目种猪饲料原料质量检测、生物安全综合防控等关键技术研发和团体标准制定等方面的工作，主要贡献集中在科技创新 1.3 和 1.4。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 陈辉 | 7 | 科长/高级兽医师 | 陕西省畜牧产业试验示范中心 | 负责项目母猪大批次生产、遗传资源保存、测膘调料等关键技术成果集成、试验示范和应用等方面的工作，主要贡献集中在科技创新 1.2 和 1.4。 |
| 张国梁 | 8 | 无/教授 | 青岛农业大学 | 负责项目猪精液稀释粉开发、母猪大批次管理等关键技术研发工作，并积极进行成果推广与示范，主要贡献集中在科技创新 1.2 和 1.5。 |
| 连星 | 9 | 无/未取得 | 陕西正能农牧科技有限责任公司 | 负责项目种猪精准营养、公猪繁殖力提升等关键技术研发方面工作，并进行成果推广与示范，主要贡献集中在科技创新 1.3、1.4 和 1.5。 |
| 李胜 | 10 | 科长/正高级畜牧师 | 陕西省畜牧技术推广总站 | 负责项目种猪饲料产品开发、饲料质量检测以及测膘调料技术的集成与推广应用方面工作，主要贡献集中在科技创新 1.3 和 1.5。 |
| 贾永宏 | 11 | 无/正高级畜牧师 | 陕西省畜牧产业试验示范中心 | 负责项目母猪大批次生产、遗传资源保存、生物安全防控等关键技术研发方面工作，并进行成果的集成、试验示范与推广，主要贡献集中在科技创新 1.2 和 1.5。 |
| 杨晓茹 | 12 | 无/高级畜牧师 | 大荔县畜牧发展中心 | 负责项目母猪人工授精技术、生物安全防控等关键技术的试验示范与推广工作，主要贡献集中在科技创新 1.4 和 1.5。 |
| 张眉 | 13 | 科长/高级畜牧师 | 陕西省畜牧技术推广总站 | 负责项目种猪饲料原料质量检测、生物安全综合防控等关键技术试验示范与推广应用方面的工作，主要贡献集中在科技创新 1.3 和 1.4。 |
| 梁海军 | 14 | 副秘书长/高级畜牧师 | 中国饲料工业协会 | 负责项目强哥牌公猪饲料和母猪妊娠宝、攻胎宝、泌乳宝等饲料的开发工作，并进行成果推广与示范，主要贡献集中在科技创新 1.3。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 刘妩妍 | 15 | 项目部总监/初级技术经理人 | 陕西秦云农产品检验检测股份有限公司 | 项目饲料原料质量检测与评定等方面的工作，并积极进行成果推广与示范，主要贡献集中在科技创新 1.3。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学作为项目主持单位，负责整个项目的策划、统筹规划、组织管理和实施完成；研发并优化种猪高繁性状基因组高效选择、精液保存、子宫内输精、大批次生产、精准营养、遗传资源保存、生物安全防控等关键技术，形成种猪高效繁育技术体系，组织项目组合作企业应用理论和技术成果研制出具有自主知识产权的毓丰牌猪精液常温保存稀释粉，强哥牌公猪专用饲料，妊娠宝、攻胎宝、泌乳宝等母猪专用饲料；有效组合陕西正能农牧科技有限责任公司、宝鸡正能农牧科技有限公司、大荔县众康家畜良种繁育有限公司等示范企业的优势，组建了特色鲜明的种猪高效繁育技术体系和技术服务队伍，形成了种猪高效繁育技术推广“PSY31+ /TCP300-高繁殖力低生产成本”模式。 |
| 陕西正能农牧科技有限责任公司 | 2 | 陕西正能农牧科技有限责任公司作为项目参与单位，负责部分项目的研发、场地、人力和物力支持，项目试验的组织实施完成；研发并优化大批次生产、精准营养、生物安全防控等关键技术，协助开展研发试验并做好统计工作，参与研发出强哥公猪专用饲料，妊娠宝、攻胎宝、泌乳宝等母猪专用饲料，并进行实地运用和大范围推广，覆盖 25 万头以上母猪；对推广“PSY31+/TCP300-高繁殖力低生产成本”模式起到了示范和很好的推广作用。 |
| 陕西省畜牧产业试验示范中心 | 3 | 陕西省畜牧产业试验示范中心作为项目参与单位，主要负责项目成果的试验示范与推广应用工作，主要集中猪精液保存、子宫内输精、大批次生产等关键技术试验示范，猪种质遗传材料采集与基因保存，优良种猪资源挖掘与利用，猪遗传资源基因库及疫病防控生物安全体系建设，对加快生猪产业化良种提速，推动生猪产业的高质量发展发挥了巨大作用。 |
| 陕西省畜牧技术推广总站 | 4 | 陕西省畜牧技术推广总站作为项目参与单位，主要负责项目成果的试验示范与推广应用工作，主要集中负责项目饲料产品开发、饲料质量检测以及测膘调料技术、生物安全防控技术的集成与推广应用方面工作及生物安全综合防控技术体系建设，对开发种猪营养新质生产力，保障粮食安全，推动生猪产业的高质量发展发挥了巨大作用。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 共同参与制定标准规范 | 胡建宏/1、高磊/2、连星/9、张毅/6、李胜/10、于太永/4、贾永宏/11、陈辉/7、杨晓茹/12、王义辉/3 | 2022.1.1 | 2024.12.29 | 猪精液常温保存技术规范 | 团体标准（主要知识产权和标准规范目录第 1 项） |
| 2 | 共同参与制定标准规范 | 高磊/2、胡建宏/1、连星/9、李胜/10、张毅/6、贾永宏/11、陈辉/7、杨晓茹/12 | 2022.1.1 | 2024.12.29 | 猪冷冻精液生产技术规范 | 团体标准（主要知识产权和标准规范目录第 2 项） |
| 3 | 共同参与制定标准规范 | 连星/9、张毅/6、王义辉/3、胡建宏/1、高磊/2、贾永宏/11、陈辉/7、李胜 10、杨晓茹/12、刘妩妍/15 | 2022.1.1 | 2024.12.29 | 猪用配合饲料 | 团体标准（主要知识产权和标准规范目录第 3 项） |
| 4 | 共同参与制定标准规范 | 连星/9、王义辉/3、高磊/2、张毅/6、贾永宏/11、陈辉/7、李胜/10、杨晓茹/12、刘妩妍/15 | 2022.1.1 | 2024.12.29 | 猪用浓缩饲料 | 团体标准（其它-代表性标准 1） |
| 5 | 共同参与制定标准规范 | 胡建宏/1、高磊/2、张毅/6、贾永宏/11、于太永/4、杨晓茹/12 | 2022.1.1 | 2024.12.29 | 猪耳缘成纤维细胞培养技术规范 | 团体标准（其它-代表性标准 2） |
| 6 | 共同立项 | 陈辉/7、胡建宏/1、高磊/2 | 2023.5.18 | 2023．12.31 | 陕西省畜禽种质资源库建设项目 | 项目合同及验收书 |
| 7 | 共同立项 | 胡建宏/1、高磊/2、张 | 2021.1.1 | 2023.12. | 种猪精准饲养 | 项目合同及 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 眉/13、张毅/6、张国梁/8、陈辉/7、李胜/10、贾永宏/11、梁海军/14、连星/9、刘妩妍/15、杨晓茹/12 | | 31 | 及测膘调料技术研发 | 验收书 |

完成人合作关系说明（限 1000 字）

胡建宏（第 1 完成人）与高磊（第 2 完成人）、连星（第 9 完成人）、张毅（第 6 完成人）、李胜（第 10 完成人）、于太永（第 4 完成人）、贾永宏（第 11 完成人）、陈辉（第 7 完成人）、杨晓茹（第 12 完成人）、王义辉（第 3 完成人）等自 2022 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 29 日以共同参与制定标准规范方式合作，制定团体标准《猪精液常温保存技术规范》。

高磊（第 2 完成人）、胡建宏（第 1 完成人）、连星（第 9 完成人）、李胜（第 10 完成人）、张毅（第 6 完成人）、贾永宏（第 11 完成人）、陈辉（第 7 完成人）、杨晓茹（第 12 完成人）等自 2022 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 29 日以共同参与制定标准规范方式合作，制定团体标准《猪冷冻精液生产技术规范》。

连星（第 9 完成人）、张毅（第 6 完成人）、王义辉（第 3 完成人）、胡建宏（第 1 完成人）、高磊（第 2 完成人）、贾永宏（第 11 完成人）、陈辉（第 7 完成人）、李胜（第 10 完成人）、杨晓茹（第 12 完成人）、刘妩妍（第 15 完成人）等自 2022 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 29 日以共同参与制定标准规范方式合作，制定团体标准《猪用配合饲料》。

连星/9、王义辉/3、高磊/2、张毅/6、贾永宏/11、陈辉/7、李胜/10、杨晓茹/12、刘妩妍/15 等自 2022 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 29 日以共同参与制定标准规范方式合作，制定团体标准《猪用浓缩饲料》。

胡建宏（第 1 完成人）、高磊（第 2 完成人）、张毅（第 6 完成人）、贾永宏（第 11 完成人）、于太永（第 4 完成人）、杨晓茹（第 12 完成人）等自 2022 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 29 日以共同参与制定标准规范方式合作，制定团体标准《猪耳缘成纤维细胞培养技术规范》。

胡建宏（第 1 完成人）作为项目负责人与高磊（第 2 完成人）、张眉（第 13 完成人）、张毅（第 6 完成人）、张国梁（第 8 完成人）、陈辉（第 7 完成人）、李胜（第 10 完成人）、贾永宏（第 11 完成人）、梁海军（第 14 完成人）、连星（第 9 完成人）、刘妩妍（第 15 完成人）、杨晓茹（第 12 完成人）等自 2021 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日完成“种猪精准饲养及测膘调料技术研发”项目。

陈辉（第 7 完成人）作为项目负责人与胡建宏（第 1 完成人）、高磊（第 2 完成人）等自 2023 年 5 月 18 日至 2023 年 12 月 31 日完成“陕西省畜禽种质资源库建设项目”。

# 项目六

**一、项目名称：**

优质抗赤霉病小麦新品种西农 511 的选育与应用

**二、提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**黄淮麦区是我国重要的小麦生产区，但近十年来，冬春气候变化剧烈，冻害、倒春寒、干热风等气象灾害频发，多种病害如条锈病、赤霉病常发、重发，生产上急需高产、抗病、抗逆、优质的小麦新品种。西农 511 于 2018 年 5 月通过国家审定后，在陕西、河南、安徽、江苏等省大面积推广，累计推广 3619.0 万亩，受到农民和粮食收购企业的欢迎。该品种具备了高产、优质、抗逆、抗病和稳产等优良性状，满足了市场需求。在育种技术和方法上，该品种在充分挖掘基因资源的基础上，通过优质、高产、抗病、抗逆等性状的遗传累加，实现了优质强筋、抗病抗逆、高产稳产等育种目标性状的有效聚合。结合现代分子、生化标记技术，构建了低世代多性状综合鉴定的后代选择体系，集成运用“个体+群体协同选优”、“田间表型鉴定与实验室基因检测”和“多生态环境适应性联合鉴定”等高效育种技术，培育出适宜黄淮麦区种植的优质强筋、抗病抗逆、高产稳产的小麦新品种西农 511，通过研究了西农 511 的优质强筋多抗的栽培生理基础，制订了标准化优质高产栽培技术规程，实现了新品种良种良法配套。创建了多元一体化全产业链优质小麦产业化推广模式，加快了新品种的应用与推广。该项目为优质强筋、抗病抗逆、高产稳产小麦新品种的选育与应用奠定了基础和范例。提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

**三、项目简介：**

小麦是我国的主要口粮作物之一，其产量和品质的提高关系到国家的粮食安全和人民生活水平的提升。黄淮麦区是我国的重要的小麦生产区，但近十年来，冬春气温、湿度变化剧烈，多种病害如条锈病、赤霉病（小麦的癌症）常发、重发，倒春寒、干热风等频发，急需高产、抗病、优质的小麦新品种。项目组围绕高产、优质强筋、多抗小麦新品种的重大需求，通过构建早代多性状综合鉴定与的后代选择体系，精准高效的抗病、优质、高产性状的遗传累加和聚合技术，把优质强筋、抗病高产等育种目标性状有效聚合，培育出适宜黄淮麦区种植的优质强筋、抗病高产的小麦新品种西农 511，促进了我国小麦生产的发展。

1.构建了早代多性状综合鉴定的后代选择体系。通过早代连续的条锈病、赤霉病接种鉴定、品质等生化和分子标记辅助筛选，形成了早代品质检测和多性状综合鉴定的后代选择体系，提高了育种的选择效率。

2.通过优质、抗病、高产性状的累加，把优质、抗病、高产等育种目标性状有效聚合，培育出适宜陕西关中和黄淮麦区种植的优质强筋、抗病高产的小麦新品种。西农 511 优质强筋，达到国家中强筋小麦标准；抗条锈病、中抗赤霉病（河南南阳连续两年鉴定)，综合抗病性好，适应性广；株型紧凑，茎秆弹性好，抗倒伏能力较强。

3.研究了西农 511 的优质强筋多抗的栽培生理基础，制订了西农 511 标准化优质高产栽培技术规程，实现了新品种良种良法配套。通过“高校+种子企业+合作社+加工企业”的优质小麦产业化推广模式，加快了品种的应用与推广。

西农 511 通过审定后， 是农业部发布的第一批绿色抗病品种（2018 年），连续四年（2022 年-2025 年）为农业农村部发布的粮油生产主导品种，2023 年入选农业农村部首次发布的《国家农作物优良品种推广目录》（成长型品种），2025 年又入选《国家农作物优良品种推广目录》（骨干型品种）。在 2022 和 2023 年全国农业技术推广服务中心发布的主要粮油和重要特色作物前十大品种中，“西农 511”是陕西省小麦推广面积前两位品种，位列全国小麦推广面积前 6 名。在陕西、河南、安徽、江苏等省推广，累计种植面积 3619.0 万亩（截止 2024 年），累计新增产量 90475.0 万公斤， 累计新增社会经济效益 149464.70 万元。

西农 511 具有优质强筋、抗条锈病和赤霉病、落黄好等特点，先后提供给省内外多个育种单位作为亲本在育种中应用，已培育出西农 5813、瑞华麦 511 和许科 12 共三个省审品种，以及郑麦 2166、永丰 286、丰工 41 和 KT2021 四个新品系。制定地方标准 2 项，发表论文 5 篇。项目对行业科技进步的促进作用十分显著。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

**1.科技查新结论**

教育部科技查新工作站(N04)文献情报中心查新结论表明：项目创建的“低世代品质检测和多性状综合鉴定后代选择体系”与“精准高效的优质、抗病、高产、耐逆等性状的遗传累加和聚合技术”相结合的方法国内鲜有报道。西农 511 同时

具有优质强筋、抗赤霉病和条锈病、抗倒伏、耐干热风、高产稳产等优点，国内未见类似推广品种的报道（附件 12）。

**2. 国家相关部门检测、鉴定报告及公告**

2.1 品种审定和植物新品种权：西农 511 于 2018 年 5 月通过国家审定，审定编号：国审麦 20180040（附件 5）；2018 年 1 月获得植物新品种权保护，品种权号：CNA20161795.5(附件 1)。

2.2 品质检测报告：籽粒容重 815 克/升、820 克/升，蛋白质含量 14.00%、14.68%，湿面筋含量 28.2%、32.2%，稳定时间 11.2 分钟、13.6 分钟。2017 年主要品质指标达到强筋小麦标准(附件 14，附件 24)。

2.3 抗病性鉴定报告：中抗条锈病，中感叶锈病、纹枯病，高感白粉病、赤霉病(附件 15-1)。

2.4 2018 年 5 月，农业部小麦良种重大科研联合攻关组在河北石家庄发布国家第一批绿色抗赤霉病品种，西农 511 中抗赤霉病，入选适宜黄淮麦区种植的九个品种之一(附件 15-2)。

2.5 西农 511 具有耐盐碱特性，2023 年入选农业农村部发布的首批 711 份耐盐碱优异作物种质资源名单(附件 20)；

2.6 西农 511 品质优良，2019 年“首届黄淮麦区优质强筋小麦品种质量鉴评会”评定为面包、面条、馒头优质强筋小麦品种(附件 19)；

2.7 西农 511 连续四年（2022 年、2023 年、2024 年、2025 年）入选农业农村部发布的国家粮油生产主导品种名单(附件 17-1，-2)；

2.8 西农 511 在 2023 年入选农业农村部首次发布的《国家农作物优良品种推广目录》（成长型品种）(附件 17-3)；西农 511 在 2025 年入选农业农村部发布的《国家农作物优良品种推广目录》（骨干型品种） (附件 17-4)；

2.9 陕西省和河南省品种利用与布局意见中，西农 511 自 2020 年起被列为陕西省（附件 16-1）和河南省的主栽品种（附件 16-2）；

2.10 西农 511 作为亲本，已培育出西农 5813（陕审麦 20241010 ，附件 10-1）、瑞华麦 511（苏审麦 20220013，附件 10-2）和许科 12（鄂审麦 20251012，附件 10-3）三个品种，永丰 286（附件 10-4）、郑麦 2166（附件 10-5）、丰工 41（附件 10-6）和 KT2021（附件 10-7）等 4 个新品系。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写)**

西农 511 通过审定后，通过联合陕西大唐种业、河南许科种业、江苏徐州大华种业、南阳情满丹江农业（河南想念食品下属公司）等种业公司、粮食收储与面粉加工企业，积极开展西农 511 田间观摩和技术培训等宣传推广活动，西农 511 在陕西、河南、安徽、江苏等省大面积推广，累计推广 3619.0 万亩，累计新增产量 90475.0 万公斤，累计新增社会经济效益 149464.70 万元。

西农 511 具有优质强筋、抗赤霉病和条锈病、高产稳产、抗倒伏和耐倒春寒、落黄好等特点，育成后先后被国内众多研究者作为研究对象开展了性状评价、遗传分析和优异基因发掘等研究，已发表相关研究论文 26 篇。作为育种亲本被多个育种单位在育种中应用，已培育出西农 5813、瑞华麦 511 和许科 12 三个品种，永丰 286、郑麦 2166、丰工 41 和 KT2021 等 4 个新品系。

项目对行业科技进步的促进作用十分显著。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 植物新品种权 | 西农 511 | 中国 | CNA20161795.5 | 2018.01.02 | 2018010229 | 西北农林科技大学 | 吉万全，张荣琦，陈春环，田增荣，朱建峰，蔡东明，张宏，王长有，王亚娟，刘新伦 |
| 2 | 品种审定证书 | 西农 511 | 中国 | 国审麦 20180040 | 2018 年 5 月 1 日 | 2018-1-0040 | 西北农林科技大学 | 西北农林科技大学 |
| 3 | 标准 | 小麦—西农 511 | 中国 | T/YLNK14-2020 | 2020 年 10 月 20 日 | T/YLNK14-2020 | 西北农林科技大学 | 吉万全，张荣琦，陈春环，田增荣，朱建峰，张 宏，王长有，王亚娟，刘新伦 |
| 4 | 标准 | 西农 511 优质 高产栽培技术 规程 | 中国 | T/YLNK15-2020 | 2020 年 10 月 20 日 | T/YLNK15-2020 | 西北农林科技大学 | 吉万全，张荣琦，陈春环，田增荣，朱建峰，张 宏，王长有，王亚娟，刘新伦 |
| 5 | 论文 | 普通小麦-十倍体长穗偃麦草衍生新品种抗赤霉病基因的分子鉴别 | 中国 | 中国农业科学 | 2017.07.23 | 50(20):3908-3917 | 西北农林科技大学 | 刘新伦，王超，牛丽华，刘志立，张录德，陈春环，张荣琦，张宏，王长有，王亚娟，田增荣，吉万全 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 论文 | Cytogenetic identification and molecular mapping for the wheat-Thinopyrum ponticum introgression line with resistance to Fusarium head blight | 英国 | Theoretical and Applied Genetics | 2024.07.24 | (2024)137：191 | 西北农林科技大学 | Xiaoying Yang, Xiaofang Cheng, Guangyi Wang, Siyuan Song, Xu Ding, Hui Xiong, Changyou Wang, Jixin Zhao, Tingdong Li, Pingchuan Deng, Xinlun Liu, Chunhuan Chen & Wanquan Ji |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 吉万全 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学 | 项目主持人，负责项目的总体设计、课题的立项、项目组织实施，改良育种技术、培育新品种，并组织示范与推广工作。 |
| 赵继新 | 2 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 参与项目的设计和课题立项，实施方案的制定和组织落实工作，参与西农 511 新品种的培育、示范与推广工作。 |
| 雷军 | 3 | 高级农艺师 | 西北农林科技大学 | 参与西农 511 新品种的示范与推广工作。 |
| 张荣琦 | 4 | 高级农艺师 | 西北农林科技大学 | 参与实施方案的制定和实施，参与西农 511 新品种的培育、示范与推广工作。 |
| 陈春环 | 5 | 高级农艺师 | 西北农林科技大学 | 参与实施方案的实施，参与西农 511 新品种的培育、示范与推广工作。 |
| 王长有 | 6 | 副研究员 | 西北农林科技大学 | 参与西农 511 新品种的培育、示范与推广工作。 |
| 刘新伦 | 7 | 副研究员 | 西北农林科技大学 | 参与西农 511 新品种的培育、示范与推广工作。 |
| 邓平川 | 8 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 参与西农 511 新品种的示范与推广工作。 |
| 李停栋 | 9 | 教授 | 西北农林科技大学 | 参与西农 511 新品种示范与推广工作。 |
| 安萌 | 10 | 农艺师 | 西北农林科技大学 | 参与西农 511 新品种的示范与推广工作。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 1.全面组织项目实施，开展项目立项、协调与管理工作，为各项研发任务的顺利完成提供保障。<br>2.创建作物育种平台， 提升育种效率，优化育种方法，选育出具有自主知识产权的小麦新品种“西农 511”。<br>3.组织开展“西农 511”的优质高产生理、逆境生理研究，集成优质高产技术。<br>4.在“西农 511”的示范推广方面，制定推广目标、规划示范和推广区域，保障育种家种源。在黄淮麦区建立了 25 个新品种示范园，组织地方农业部门，联合河南许科种业、陕西大唐种业、江苏徐州大华种业、河南想念集团等多家单位共同建立大面积示范基地和繁殖基地，共同宣传推广等。至 2024 年，累计推广 3619.0 万亩，实现了成果的快熟转化和生产应用。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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** | 共同立项 | 吉万全/1，赵继新/2，张荣琦/3，陈春环/4，王长有/5，刘新伦/6 | 2006 | 2023 | 国家 863 计划课题，杨凌示范区农业科技示范推广能力提升项目等 | 项目验收材料（附件 4） |
| **2** | 共同知识产权 | 吉万全/1，张荣琦/2，陈春环/3，王长有/4，刘新伦/5，赵继新/6 | 2006 | 2018 | 新品种西农 511，西农 511 植物新品种权 | 品种审定证书（附件 5）<br>新品种权证书（附件 1） |
| **3** | 共同制定标准 | 吉万全/1，张荣琦/2，陈春环/3，王长有/4，刘新伦/5 | 2006 | 2020 | 西农 511 品种标准，西农 511 优质高产栽培技术规程 | 地方标准（附件 2 和 3） |
| **4** | 论文合著 | 吉万全/1，刘新伦/2，陈春环/3，张荣琦/4，王长有/5,赵继新/6 | 2006 | 2018 | 西农 511 抗赤霉病基因的分子鉴别等研究 | 研究论文（附件 22） |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **5** | 产业合作 | 吉万全/1，赵继新/2，雷军/3，张荣琦/4，陈春环/5，王长有/6，刘新伦/7，邓平川/8，李停栋/9，安萌/ /10 | 2018 | 2025 | 西农 511 示范推广 | 西农 511 推广应用证明（附件 8,9,16-18） |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目 2006 年开始实施，经过 5 年的杂交选育，于 2011 年育成。分别于 2012 年和 2015 年参加陕西省和国家小麦品种审定试验，2015 年和 2018 年分别通过陕西省和国家农作物品种审定委员会审定，定名西农 511；2015 年至 2024 年主要开展西农 511 的栽培技术研究，重要性状遗传研究以及种子生产、品种示范、提纯复壮和宣传推广工作。项目完成人在品种选育和推广方面各有侧重，合作开展各项工作，在项目运行的各个时期参加了相应的工作。吉万全是项目主持人，全面负责、协调统筹。陈春环、张荣琦、雷军、赵继新、王长有、刘新伦、邓平川和李停栋等在 2006 至 2021 年不同时间加入项目执行和品种选育推广工作中。品种审定之后，持续开展品种改良和特性的遗传研究，兼顾品种的推广和生产应用等工作。合作方式为共同立项、共同知识产权、共同制定标准、论文合著以及产业合作，合作成果是西农 511 小麦新品种育成和推广种植、研究论文、发明专利等，证明材料为品种审定证书、团体标准、研究论文等。安萌从 2018 年起在品种示范推广工作中，从事了品种适应性评价、栽培技术研究、种植技术示范、种子生产、品种布局和推广等工作。合作方式为产业合作及其他。合作成果是西农 511 的推广面积和社会贡献。

全体完成人责任分工，相互协作，保障了项目的顺利进行。

# 项目七

**一、项目名称：**连作障碍土壤的放线菌修复关键理论技术与产业化应用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**研究成果针对我国连作障碍引发的土传病害频发、作物抗逆性降低及产量品质下降等重大瓶颈问题，从放线菌资源生态特征、农用新功能挖掘、作用机制解析及产业化应用关键技术突破等方面进行了系统研究，获国家发明专利 7 件，实用新型 4 件，发表学术论文 123 篇（SCI 论文 24 篇），制定企业标准 1 项，取得产品登记证 9 个。

关键创新点有：1.系统探明了西北极端生境放线菌资源生态特征，建立了西北农用放线菌资源库，将放线菌的生态功能和应用拓展至作物生产领域。2.系统揭示了放线菌通过改善根际微生态、激活植物免疫、调控代谢网络等多维途径对作物的防病-促生-抗逆-提质机制。3.突破高密度固态发酵技术及关键生产设备，研制放线菌制剂产品 5 类；创建了以放线菌制剂为核心的“根际微生态-植物光合免疫”协同调控施肥模式；在多年多点多作物上具有良好的应用效果，显著降低对化肥、农药的依赖，为我国连作障碍土壤的修复提供可复制的"放线菌修复方案"。

成果在陕西、新疆、内蒙古等 8 个省区 28 种作物上示范应用，防病促生、增产提质效果显著。近三年累计推广 84 万亩，直接经济效益达 8.8 亿元，经济、社会和生态效益显著，应用前景广阔。经我单位鉴定（评审），项目在土壤连作障碍修复与农用微生物技术领域取得突破性成果，相关的理论突破及技术研发为国内外学术界所公认和引用，达到了国际领先水平，极大地推动了本学科和多项分支学科的发展。对照《陕西省科学技术奖励办法实施细则》，提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

三、**项目简介：**

**连作障碍是我国种植业集约化面临的重大共性难题，所导致的土壤微生态失衡、土传病害频发、作物抗逆性降低、农产品品质不断下降等严重制约我国粮食安全生产和农业可持续发展。团队二十多年来，系统挖掘了西北极端生境放线菌资源及诸多农用新功能；解析了放线菌通过重塑根际微生态、激活植物免疫、调控代谢网络等多维途径对作物的防病-促生-抗逆-提质机制；创新突破**

**了放线菌高密度固态发酵工艺、关键生产设备研制等关键技术瓶颈；并创建了以放线菌调控为核心的连作障碍土壤“根际健康恢复-植物免疫激活”协同修复模式，多点多作物应用效果显著。通过“资源发掘-机制解析-技术研发-模式应用”路径，为农田连作障碍提供了先进的微生物解决方案，显著提升了“土壤-植物”系统健康水平，有效推动了农业绿色发展。主要创新成果如下：**

**1. 系统探明西北极端生境可培养放线菌资源生态特征并发现了放线菌的诸多农用新功能。**

**（1）创建极端环境放线菌分离技术并解析其生态分布规律：**创新样品预处理与培养基及培养条件优化，建立了极端环境可培养放线菌分离方法体系，大幅度提升了分离效率及菌属丰富度（最多达 38 属）；系统解析了西北不同生境（高原-草甸-盐湖-秦岭）可培养放线菌种群结构、分布规律及其影响因子，累计获得极端环境放线菌纯培养 10600 余株。**（2）发现了放线菌诸多农用新功能，建立了西北农用放线菌种质资源库：**获得 3000 余株对农作物土传根系病害病原菌有广谱抗性的拮抗菌；系统研究了 200 余株放线菌农用功能及应用效果，并首次发现了放线菌提高作物系统抗性、抗旱抗寒、降解自毒物质、优化根际微生物群落结构及改善农产品品质等重要功能，并据此建立国内首个农用放线菌资源库；完成了两株具有产业化前景的多功能放线菌（*Streptomyces pactum* Act12 和 *Streptomyces rochei* D74）的基因组解析，发现多种潜在参与农用功能调控的关键代谢物，部分代谢物已在发酵产物中得到验证。**该成果从技术方法、生态理论及资源应用等方面填补了我国西北极端生境放线菌资源研究的空白，并为破解连作障碍难题、开发绿色生物肥料/农药、减少化学投入品使用、保障粮食安全与农产品质量提供了重要的放线菌种质资源。**

**2. 深入揭示了放线菌增强作物抗病抗胁迫多维作用路径并阐明其促生提质互作机制。**

**（1）解析了放线菌的“植物免疫激活-病原直接拮抗-根际微生态改善”多维抗病机制：**激活植物系统抗性，显著上调抗病基因（*PR-1* 等）表达，增强作物对病原菌及病毒的综合抗性；合成抑菌活性物质，直接抑制病原菌及线虫；优化根际土壤微生物群落结构，提升假单胞菌、芽孢杆菌等有益菌比例，抑制病原菌，增强微生物网络模块化与稳定性。**（2）阐明了放线菌通过“基因表达调控**

**-代谢物合成驱动-微生态协同”三重互作提升抗逆性机制：**通过上调渗透/抗氧化物质合成基因表达，增加其合成积累；并增加根际有益菌丰度（假单胞菌）丰度协同提升作物抗逆性。**（3）揭示了放线菌“代谢驱动-菌群协作-光合增效-根际改良”协同促生机制：**密旋链霉菌 Act12 可合成 6 大类共 32 种植物激素（生长素占 96.7%）；显著提升作物净光合速率、光饱和点，缓解光合午休现象；通过增强根际有益菌韩国假单胞菌的运动性和生物被膜形成，促进其根际高效定殖并促进植物生长（激活激素信号通路）；通过根际“菌群-酶活-养分”正反馈循环提高作物产量。**（4）解析了放线菌通过“重塑根际-代谢重编程”双通道改善作物品质的机制：**通过优化根际菌群结构及功能基因表达，协同激活果实“类黄酮生物合成”、“糖酵解”等通路提升果实品质。**研究成果丰富了植物-微生物互作的理论，为放线菌介导的作物土传根系病害绿色协同防治、“单一抗逆”向“系统性抗逆”的作物调控技术及高产优质农业生产提供了坚实的科学基础。**

**3. 突破放线菌固态发酵工艺及关键设备研制并实现产业化应用，创新性构建了以放线菌制剂为核心的“根际微生态-植物光合免疫” 协同调控施肥模式**

**（1）建立了放线菌活性孢子高密度固态发酵工艺并研发系列产品：**①通过优化基质组成、浓度、配比和生长因子等关键参数，**创建了高密度固态发酵工艺（活性孢子数≥$10^{10}$ CFU/g）**，实现了发酵菌数、孢子活性与功能性状的稳定。②基于放线菌防病、促生与系统抗性诱导等多种农用功能，成功研制出种子生态包衣剂、高活性孢子制剂及代谢产物制剂等 5 个系列共 9 款新登记产品，并**制定了《放线菌剂生产质量标准》（Q/SXBQ 01—2017）**，系统规范了从菌种鉴定、生产工艺控制、产品检验及贮存稳定性监测的全流程规范，实现了从菌种筛选、工业化发酵及产品系列化的全链条技术创新。**（2）自主研制关键核心设备，实现智能化固态发酵生产：创新研制全自动固态发酵仓、低温烘干系统、自动上料拌料设备、旋风分离放线菌孢子收集器等核心装备，**通过系统集成与智能化控制，攻克了固态发酵过程中传热、传质效果差、温湿度精准调控难、干燥过程中活性物质易失活及孢子连续高效分离效果差等技术瓶颈，**建成智能化全自控连续固态制剂生产线**，孢子及功能物质的活性保持率达 92%以上；全面实现了放线菌制剂的高稳定性、高活性与标准化工业生产。**（3）构建“根际微生态-植物光合免疫”协同调控施肥模式，实现大面积应用：**聚焦连作土壤障碍，

集成“土壤-植物”系统健康调控研究成果，通过菌剂施用方式优化及与其他农艺措施的结合，提出以放线菌制剂为核心、以根际微生态-植物光合-免疫协同调控为目标的绿色种植模式。大田作物采用“土壤有机质提升+放线菌促根保苗+生长及抗性调控+智能水肥一体化”模式；设施作物采用“放线菌育苗+夏闲季绿肥翻压+根系病虫害放线菌防控+光合免疫调控+农药减量+机械化精准施肥+水肥一体化”种植模式。以上模式有效实现了防病控药与增产提质，近二十年来在陕西、内蒙、新疆等地的 28 种作物上的示范应用效果表明：可实现化肥减量 20%~30%、减药 30%~50%，病害防控率 60%~70%，粮食作物增产 10%~15%，园艺作物增产 25%以上，产品品质显著提升。**该成果突破了放线菌固态发酵技术瓶颈，构建了集核心装备、生产工艺与质量标准于一体的产业化技术体系，显著提升了我国农用放线菌制剂产业化水平。创建的“根际微生态-植物光合免疫”协同调控施肥模式，为解决连作障碍问题提供了可复制推广的“放线菌修复方案”，为推进化肥农药减施、保障粮食安全生产提供了关键的技术支撑和产业化路径。**

**成果共发表论文 123 篇（SCI 检索论文 24 篇），授权发明专利 7 件，实用新型专利 4 件，制定企业标准 1 项，培养硕博士生 105 名。项目产品在博秦生物工程有限公司工业化生产，近 3 年应用推广面积累计 84 万亩，菌剂生产及应用推广新增效益总计 8.8 亿元，经济、社会和生态效益显著。**

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

**1. 整体评价**

2025 年 7 月 30 日，中国农学会组织有关专家，对项目“西北旱区放线菌资源挖掘与农用关键技术创建及应用”所获成果进行了评价。验收专家组认真听取了课题主持人的汇报，审查了有关材料，经过质疑和充分讨论，形成如下验收意见：

**针对我国土壤生物退化引发的土传病害频发、作物抗逆性降低及产量品质下降等重大瓶颈问题，从放线菌资源生态特征、农用新功能挖掘、作用机制解析及产业化应用关键技术突破等方面进行了系统研究，取得的成果达到国际领先水平。**

（1）构建了极端环境放线菌分离方法体系，系统揭示了西北极端生境放线

菌资源生态特征，获得可培养放线菌 10,600 余株；首次发现放线菌多种农用新功能并筛选出 3,000 余株优良农用拮抗菌株，建立了西北农用放线菌资源库；将放线菌的生态功能和应用拓展至作物生产领域，为作物健康调控及绿色生产提供了丰富的种质资源。

（2）系统揭示了放线菌通过改善重塑根际微生态、协同抗病机制、抗逆提升及细胞水平抗衰的协同机制，深化了植物-微生物互作理论；阐明了放线菌通过合成植物激素、光合增效、根际菌群协作实现协同促生；揭示了“放线菌→类黄酮→溶杆菌→亚精胺→维生素”级联通路，为从“植物分泌物-根际微生物代谢串扰”角度研究功能微生物提升作物品质提供新范式。

（3）创建了以放线菌调控为核心的“根际健康恢复-植物免疫激活”协同调控施肥模式；突破 $10^{10}$CFU/g 高密度固态发酵技术，研制放线菌制剂产品 5 类；在多年多点多作物上具有良好的应用效果，显著降低对化肥、农药的依赖，为我国连作障碍修复提供可复制的“放线菌修复样板”。

成果获国家发明专利 9 件，实用新型 8 件，发表学术论文 150 篇（SCI 检索论文 29 篇），制定企业标准 3 项，取得产品登记证 9 个。成果在陕西、新疆、内蒙古等 8 个省区 28 种作物上示范应用，防病促生、增产提质效果显著。近三年累计推广 84 万亩，新增经济效益达 8.8 亿元，经济、社会和生态效益显著，应用前景广阔。

**2. 技术创新性评价**

通过陕西省科学技术情报研究院对本成果进行科技创新性查询（编号：CX20250701101），形成如下结论：

（1）相关文献报道表明：在放线菌提升作物抗旱性方面，未见明确述及放线菌调控作物“基因-代谢物-微生态”三重互作提升农作物抗旱性；在放线菌提升作物抗病性方面，未见明确述及提升植物系统抗性-调节根际活性氧水平的抑制农作物（如番茄）病害研究；在放线菌促进作物生长方面，未见明确述及放线菌通过分泌生长素类物质、招募根际有益菌（如韩国假单胞菌）促进作物（如番茄）生长；在放线菌提高作物品质方面，未见明确述及放线菌通过根际微生物群落结构重塑及作物代谢重编程提高作物（如番茄、辣椒）品质。

（2）相关文献未明确述及同时含密旋链霉菌 Act12、娄彻氏链霉菌 D74 的生物有机肥接种放线菌制剂（固态发酵）产品配方；未明确述及同时采用含

密旋链霉菌 Act12、娄彻氏链霉菌 D74 代谢产物的放线菌活性代谢产物（液态发酵）制剂产品配方；未明确述及含密旋链霉菌 Act12、娄彻氏链霉菌 D74 或其代谢产物的放线菌制剂对（退化）土壤的生态修复及土壤肥力进行的提升调控；未明确述及含密旋链霉菌 Act12、娄彻氏链霉菌 D74 放线菌的生物活性调理剂对其提高作物产量、抗病性以及改善作物品质的效果评价；未明确述及含密旋链霉菌 Act12、娄彻氏链霉菌 D74 的微生物种子包衣剂对加快种子发芽、促进成苗、提高作物抗逆性的效果评价；未明确述含密旋链霉菌 Act12、娄彻氏链霉菌 D74 的放线菌制剂对作物种植中减少化肥、农药用量，降低成本，减轻环境的效果评价。

**3. 对重要科学发现与技术的评价**

（1）通过教育部查新工作站对本成果发表论文进行引用检索，证明 24 篇代表性 SCI 论文被他引 639 次。对放线菌改善根际微生态、增加有益菌分子机制研究在《Soil Biology Biochemistry》上发表，检索 SCIE 和 CCD 数据库，他引次数为 76 次；对放线菌提高植物抗旱性研究在《Journal of Plant Growth Regulation》上发表，他引次数为 40 次；对放线菌介导根际微生物重塑及作物代谢重编程提高作物品质机制研究发表在《Food Research International》，被 SCI 收录期刊引用为 26 次；对功能放线菌的筛选评价研究在《Crop Protection》上发表，他引次数为 151 次，肯定了本研究成果的理论价值和科学意义。

（2）相关成果“土壤生物退化及连作障碍的微生物修复”获 2021 年中国高等教育学会典型案例奖；“基于生物技术的土壤修复与作物品质提升技术集成及产业化示范”获 2020 年全国大学生生命科学创新创业大赛特等奖；“基于微生物调控技术的作物绿色高效生产”获得 2024 年第四届全国农业资源与环境专业大学生实践技能竞赛一等奖；充分肯定本成果：土壤生物退化及连作障碍的微生物修复技术的科学性和适用性。

**4. 国内外相关技术的比较**

（1）国内外放线菌资源研究现状表明，云南大学姜成林教授团队对云南地区放线菌资源的系统研究，是我国该领域的重要代表；在西北地区极端生境放线菌资源的系统研究方面，本研究首次发现了放线菌的诸多农用新功能，实现了放线菌资源在农业种植业领域的应用拓展，填补了国内相关研究的空白。

（2）在放线菌制剂产业化方面，目前面临培养周期长、易污染，固态发酵工艺及设备的研发滞后等技术瓶颈，导致其产业化进程缓慢。放线菌活性孢子高密度培养及构建稳定的固态发酵生产工艺是本领域长期未解决的核心难题。本研究在固态发酵工艺及关键设备方面取得突破，创建了放线菌活孢子高密度（孢子密度≥$10^{10}$ CFU/g）固态发酵工艺，生产的放线菌活菌孢子性状功能稳定，成功实现了多功能放线菌从实验室菌种到工业化生产的转化，推进了我国放线菌研究的产业化。

（3）国内在耕地质量提升及科学施肥、水肥药一体等方面已取得了突破性进展，但以“土壤-植物”生态系统健康调控相关产品和技术的应用仍很薄弱。针对连作土壤障碍这一中国农业的突出难题，仍需要大量研究与示范应用。本成果创新性提出以放线菌及代谢产物调控为核心、以根际微生态-植物光合-免疫系统改善为目标的协同调控施肥模式，为解决连作土壤障碍提供了可复制推广的“放线菌修复方案”，也为实现“土壤-植物”生态系统健康调控提供了有效途径。

**五、应用情况**

我国农业土地利用因长期采用单一作物高强度、大面积区域化连作模式（如甘肃、内蒙古地区 6000 万亩马铃薯，新疆地区 4000 万亩棉花），及 4000 万亩设施土壤的高度集约化种植，导致土壤连作障碍问题日益突出。具体表现为土壤中作物根系分泌的自毒物质不断积累，有害生物（包括病原微生物、根结线虫及恶性寄生杂草如列当等）大量繁殖，致使病虫草害逐年加重。目前，农药使用量居高不下，土壤生态严重失衡，仅依靠农药和化肥等传统农艺措施难以有效控制现状。

针对这一严峻挑战，本团队从中国西部极端生境中分离并筛选出了大量具有农用潜力的放线菌菌株资源。部分菌株兼具产抗生素、植物激素、抗旱抗寒、提高作物抗性、降解自毒物质及抗根结线虫等能力。至今，团队已筛选出对十余种主要农作物土传病害病原菌具有广谱拮抗作用的放线菌 200 余株。50 余株表现出包括分泌特定抗生素、产植物生长激素、降解自毒物质、增强作物光合速率及提高抗逆性等综合特性。

目前，密旋链霉菌和娄彻氏链霉菌 2 株优秀的放线菌菌株已成功研发成兼具肥料、农药和免疫调节功能的放线菌活菌制剂及其代谢产物产品，产品活菌

数均达到≥20 亿/g 的标准。该类产品在我国设施农业以及内蒙古、新疆、陕西等干旱半干旱地区的大田及轻度盐碱土壤中，均显示出对连作障碍的修复功效。其代谢产物叶面喷施能够有效增强叶片光合功能，改善作物生理状态。

应用实践表明，放线菌技术可通过提高作物的系统抗性和免疫力，显著减轻病虫害发生，从而减少农药使用量；通过促进根系发育，增强作物对水分和养分的吸收能力，提高化肥利用率，实现减肥增效。该技术对防治土传病害、减轻病毒病及线虫危害、抑制列当杂草、增强作物抗逆性以及提升水肥利用率等方面均具有良好效果。二十年来，放线菌产品在 8 省份 40 余点、28 种作物上应用，覆盖辣椒、草莓、番茄、黄瓜、西芹、西甜瓜、魔芋等园艺作物，人参、丹参、附子等中药材，以及小麦、玉米、水稻、马铃薯等大田作物。实现减肥 20%~30%、减药 30%~50%，病害防控率达 60%~70%，粮食与园艺作物分别增产 10%~15%和 25%以上，品质显著提升，为应对集约化农业带来的连作障碍问题提供了行之有效的解决方案，也为大规模推广奠定了坚实基础。

近年来，团队通过多途径推广放线菌产品及配套技术，依托科技小院、专家工作站及大学生实践教学开展科技示范；编写并发布《连作土壤障碍与放线菌修复技术》培训教材；通过行业协会、农业部门组织的科技活动加强宣传，并组织了多次“土壤生物质量提升”、“协同调控施肥与绿农业生产”等主题讲座；并直接面向基层农技人员、合作社、种植企业及农户开展技术培训与实地指导，年培训人数超过 1000 人次。典型应用案例的显著效果也得到了宁夏日报、宁夏新闻、农林卫视、农业科技报等多家媒体报道。

**各省市推广应用的主要作物如下：**

内蒙：葵花（五原，土默特左旗）；辣椒（杭后旗，乌审旗，鄂托克前旗）；加工番茄（临河区）；打瓜（临河）；玉米（乌审旗，土默特左旗）；水稻（乌审旗）；马铃薯（乌审旗，乌兰察布）。

青海：辣椒（乐都）。

新疆：棉花（库尔勒）；番茄（库尔勒）；辣椒（库尔勒，阿克苏）；枣（和田）；草莓（乌鲁木齐县）。

甘肃：马铃薯（定西，武威）。

陕西：小麦（宝鸡岐山）；玉米（铜川宜君）；猕猴桃（眉县）；草莓（鄠邑

区、眉县）；西甜瓜（杨凌）；冬枣（渭南大荔，咸阳泾阳）；马铃薯（榆阳区）。

宁夏: 马铃薯（固原，西吉，海原）；玉米（吴忠，固原彭阳）；甜瓜（灵武市）。温室辣椒（吴忠红寺堡）。

云南：烟草（红河）；蓝莓（建水县）。

中药材：人参（黑龙江省铁力市）；丹参（商洛，铜川耀州）；附子（汉中南郑）；魔芋（安康岚皋县）；西洋参（汉中留坝县）；黄芩（渭南蒲城县）；柴胡（汉中略阳县）。

**主要应用单位情况表**

| 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 | 陕西博秦生物工程有限公司 | 菌剂研发与生产设备研制 | 菌剂和肥料生产 | 2013-2024 | 杨博/13891007511 |
| 2 | 内蒙古重茬土壤改良技术开发有限责任公司 | 放线菌制剂为核心的协同调控施肥模式及应用 | 玉米、食葵、加工番茄、辣椒、哈密瓜与小甜瓜 26.3 万亩 | 2020-2024 | 李立/1533489391 |
| 3 | 内蒙古沣盛科技发展有限公司 | 放线菌制剂为核心的协同调控施肥模式及应用 | 玉米和水稻 16 万亩 | 2020-2024 | 李彦平/13904778033 |
| 4 | 陕西周塬沃土生态农业专业合作社 | 放线菌制剂为核心的协同调控施肥模式及应用 | 小麦 10 万亩 | 2020-2024 | 李军/15825879333 |
| 5 | 新疆格瑞思农业科技有限责任公司 | 放线菌制剂为核心的协同调控施肥模式及应用 | 小麦 6 万亩 | 2022-2024 | 王爽/18099359476 |
| 6 | 新疆盛世华强农业科技有限公司 | 放线菌制剂为核心的协同调控施肥模式及应用 | 红枣 16 万亩 | 2022-2024 | 侯彦华/17881243333 |
| 7 | 铜川市农业科 | 放线菌制剂为核 | 黄芩 9.2 万亩 | 2020-2024 | 武阿锋/18509199612 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 学研究所 | 心的协同调控施肥模式及应用 | | | |
| 8 | 西安鄠邑区金益致和种植农民专业合作社 | 放线菌制剂为核心的协同调控施肥模式及应用 | 草莓 4900 亩 | 2020-2024 | 马凯锋/15829727509 |

2022~2024 年，放线菌产品累计生产 4.5 万吨，产值为 25000 万元；放线菌菌剂推广应用面积累计 84 万亩，经济效应为 62865.7 万元。近三年，放线菌制剂生产与应用推广带来直接经济效益总额为 87865.7 万元。

**近 3 年直接经济效益**

单位：万元人民币

| 类别 | 产能（万吨）/面积（万亩） | 产值/效益 | 总新增效益 |
|---|---|---|---|
| 菌剂产业化 | 4.5 | 25000 | 87865.7 |
| 菌剂应用推广 | 83.99 | 62865.7 | |

经济效益的有关说明及各栏目的计算依据：

**1）菌剂产业化生产**

2022~2024 年，放线菌产品累计生产 4.5 万吨，其中放线菌活性孢子制剂（20 亿/g）6000 吨，放线液水溶肥 10000 吨，生物有机肥（0.2 亿/g）30000 吨。总产值为 25000 万元。

**2）菌剂应用推广**

①在内蒙古巴彦淖尔粮油作物和园艺作物种植中累计应用面积 26.3 万亩，新增经济效益为 27614 万元；

②在内蒙古乌审旗玉米和水稻种植中累计应用面积 16 万亩，新增经济效益为 7810 万元；

③在陕西省宝鸡市岐山县小麦种植中累计应用面积 10 万亩，新增经济效益为 3000 万元；

④在新疆和田小麦种植中累计应用面积 6 万亩，新增经济效益为 1900 万元；

⑤在新疆和田红枣种植中累计应用面积 16 万亩，新增经济效益为 12800 万元；

⑥在陕西铜川黄芩种植中累计应用面积 9.2 万亩，新增经济效益为 7237.8 万元；

⑦在西安市鄠邑区草莓种植中累计应用面积 0.49 万亩，新增经济效益为 2503.9 万元；

2022~2024 年，放线菌菌剂推广应用面积累计 83.99 万亩，新增经济效益为 87865.7 万元。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家（地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | SCI 论文 | The biocontrol agent *Streptomyces pactum* increases *Pseudomonas koreensis* populations in the rhizosphere by enhancing chemotaxis and biofilm formation | 国际期刊: Soil Biology and Biochemistry | DOI：10.1016/j.soilbio.2020.107755 | 2020-1-11 | | 西北农林科技大学 | Guo Qiao; Shi Mengdi; Chen Lin; Zhou Jinhua; Zhang Lixin; Li Yulong; Xue Quanhong; Lai Hangxian |
| 2 | 发明专利 | 放线菌及应用 | 中国 | ZL 2021 1 1074048.3 | 2021-09-14 | 5918818 | 西北农林科技大学 | 郭俏；李进；张梅琳；肖莉；来航线；薛泉宏 |
| 3 | 企业标准 | 放线菌剂质量要求 | 中国 | Q/SXBQ01—2017 | 2017-03-24 | | 陕西博秦生物工程有限公司 | 薛泉宏；来航线；靳立志；甘家铭；杨博 |
| 4 | 发明专利 | 基于放线菌的种子包衣剂及其制备方法和包衣方法 | 中国 | ZL 2016 10356308.9 | 2016-05-26 | 3428587 | 陕西博秦生物工程有限公司；西北农林科技大学 | 薛泉宏；马军妮；李玉龙；来航线 |
| 5 | 发明专利 | 绿肥翻压在连作种植草莓中的应用 | 中国 | ZL 2022 1 1525132.7 | 2024-12-03 | 7575535 | 西北农林科技大学；西安市鄠邑 | 来航线；孙晨瑜；郭俏；肖莉；李进；张梅琳；符慧晶；舒小 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 区金益致和种植农民专业合作社 | 龙；马凯锋 |
| 6 | 实用新型专利 | 一种新型发酵仓筛板装置 | 中国 | ZL 2015 2 0297089.2 | 2015-09-02 | 4590373 | 陕西博秦生物工程有限公司 | 杨博 |
| 7 | 实用新型专利 | 一种用于微生物固态发酵的发酵装置 | 中国 | ZL 2021 20625371.4 | 2021-11-02 | 14539208 | 陕西博秦生物工程有限公司 | 杨博；王凯；杨研 |
| 8 | SCI 论文 | *Streptomyces pactum* Act12 controls tomato yellow leaf curl virus disease and alters rhizosphere microbial communities | 国际期刊: Biology and Fertility of Soils | DOI：10.1007/s00374-019-01339-w | 2019-1-14 | | 西北农林科技大学 | Li Yulong; Guo Qiao; Li Yunzhou; Sun Yifan; Xue Quanhong; Lai Hangxian |
| 9 | SCI 论文 | Application of Streptomyces pactum Act12 Enhances Drought Resistance in Wheat | 国际期刊:Journal of Plant Growth Regulation | DOI:10.1007/s00344-019-09968-z. | 2019-5-16 | | 西北农林科技大学 | Li Haiyang; Guo Qiao; Jing Yuexi; Liu Zhe; Zheng Zehao; Sun Yifan; Xue Quanhong; Lai Hangxian |
| 10 | 中文核心期刊 | 土壤生物退化及其修复技术研究进展 | 中国农业科技导报 | 2008(04):28-35. | 2008-07-07 | 1008-0864（2008）04-0028- | 西北农林科技大学 | 薛泉宏；同延安 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 08 | | |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 来航线 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目设计和总体统筹，提出项目主要创新思路、技术路线和方案、项目总结等。对科技创新第 1、2、3 项均做出重要贡献：以通讯作者发表放线菌作用机制论文（代表性成果 1、8 和 9）；以主要发明人获批放线菌相关专利授权（代表性成果 2）；制定企业标准 1 项（代表性成果 3）。 |
| 郭俏 | 2 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 对科技创新第 2、3 项做出重要贡献：完成放线菌改善根际微生态、提高作物抗病性等机制研究工作（代表性成果 1、8 和 9）；以第一发明人获批放线菌国家发明专利授权 1 项（代表性成果 2）；构建设施草莓的放线菌协同调控施肥技术模式（代表性成果 5）。 |
| 薛泉宏 | 3 | 教授 | 西北农林科技大学 | 对科技创新第 1、2、3 项做出重要贡献：指导功能放线菌资源挖掘、新功能发现及作用机制研究（1、8 和 9）；制定放线菌生产企业标准（代表性成果 3），参与放线菌产业化设备设计及产品剂型研发；提出土壤生物退化理论（代表性成果 10）。 |
| 杨博 | 4 | 高级工程师 | 陕西博秦生物工程有限公司 | 对科技创新第 3 项做出重要贡献：为放线菌产业化提供硬件设备支撑，参与制定了放线菌剂生产企业标准（代表性成果 3）。以主要发明人之一获放线菌生产及关键设备相关国家发明专利授权（代表性成果 6 和 7）。 |
| 李立 | 5 | 无 | 内蒙古重茬土壤改良技术开发有限责任公司 | 对科技创新第 3 项做出重要贡献，自 2022 年 5 月开始，在内蒙古推广西北农林科技大学科研团队与陕西博秦生物工程有限公司联合研发的放线菌套餐技术及产品，在巴彦淖尔市、鄂尔多斯市玉米、食葵、加工番茄、辣椒及哈密瓜与小甜瓜 5 种作物上开展示范应用工作（代表 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 性成果未列出）。 |
| 李海洋 | 6 | 无 | 商洛学院 | 项目主要参与者，对科技创新第 2 项做出重要贡献，主要完成放线菌提高作物抗旱性机理研究（代表性成果 9）。 |
| 李玉龙 | 7 | 讲师 | 陕西师范大学 | 项目主要参与者，对科技创新第 2 项做出重要贡献，主要完成放线菌生防效果及抗病机制研究。以第一作者发表放线菌作用机制论文（代表性成果 8）。 |
| 刘玉涛 | 8 | 生物中级工程师 | 陕西博秦生物工程有限公司 | 对科技创新第 3 项做出重要贡献：主要参与放线菌产品研发，工艺优化及放线菌产品的推广应用（代表性成果未列出）。 |
| 张梅琳 | 9 | 无 | 西北农林科技大学 | 项目主要参与者，对科技创新第 1、3 项做出重要贡献：主要完成放线菌农用资源挖掘相关研究内容，筛选草莓炭疽病拮抗放线菌以及参与构建设施草莓的放线菌协同调控施肥技术模式（代表性成果 2 和 5）。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学作为第一完成单位，负责总体研究方案制定、研究内容分析、可行性研究、技术路线确定，研究方法和手段的优选和选择等。针对我国种植业面临的土传病害日趋严重、作物抗逆性降低及产量品质下降等重大瓶颈问题，深耕西北极端生境放线菌资源及生态研究，筛选出一批具有防病促生功能、具有重要农用价值的放线菌优秀菌株；首次发现了放线菌的诸多农用新功能；系统揭示了放线菌通过重塑根际微生态、激活植物免疫、调控代谢网络等多种途径对作物防病、促生、抗逆及提质的作用机制；与陕西博秦生物工程有限公司开展合作，共同研发并创新突破放线菌高密度固态培养、制剂生产及田间应用等关键技术瓶颈，第一完成单位为上述研究的开展提供了研究人员，主要的实验平台，包括主要实验设备装置、检测仪器，同时也为项目的顺利开展提供科研经费支撑。 |
| 陕西博秦生物工程有限公司 | 2 | 创新性研制了包括全自动固态发酵仓、低温烘干系统、自动 |

| | | |
|---|---|---|
| | | 上料拌料设备、旋风分离放线菌孢子收集器在内的一套关键核心设备；通过系统集成与智能化控制，攻克了固态发酵过程中基质传热和传质效果差、温湿度精准调控难、干燥过程中菌及代谢产易失活及孢子连续高效分离效果差等技术难题；建立了智能化全自控连续固态制剂生产线；获国家专利 5 件，实现了固态孢子及功能物质的活性保持率达 92%以上，全面实现了放线菌制剂的高稳定性、高活性与标准化工业生产，为我国农业微生物制剂产业化提供了关键装备支撑与成熟解决方案。<br>创建了放线菌活性孢子高密度（孢子密度≥$10^{10}$ CFU/g）固态发酵工艺，该工艺生产的放线菌活菌孢子性状和功能稳定；依据放线菌农用功能，成功研制出种子生态包衣剂、高活性孢子制剂及放线菌代谢产物等 5 个系列共 9 款新登记产品，并制定了放线菌剂生产质量标准（Q/SXBQ 01—2017）。<br>先后承担了陕西省科技厅“新型生物肥料创制技术及产品研发与示范（2016-2019）、咸阳市科技局“土壤修复与植物健康调理功能放线菌刘与菌肥研发及生产”（2022-2023）科研项目；企业先后获得陕西省高新技术企业（2022）、陕西省中小企业创新研发中心（2016）及咸阳市生物工程技术研究中心（2016）等荣誉。 |
| 内蒙古重茬土壤改良技术开发有限责任公司 | 3 | 内蒙古重茬土壤改良技术开发有限责任公司作为项目的第三完成单位，为项目中放线菌技术及模式推广工作提供了坚实的支撑，具体而言，自 2022 年 5 月开始，在内蒙古推广西北农林科技大学科研团队与陕西博秦生物工程有限公司联合研发的放线菌套餐技术及产品，在巴彦淖尔市、鄂尔多斯市玉米、食葵、加工番茄、辣椒及哈密瓜与小甜瓜 5 种作物上应用，推广总面积 26.3 万亩。其中，粮油作物(玉米、食葵)16.8 万亩，园艺作物(番茄辣椒及瓜类)9.5 万亩，3 年 5 种作物累计增收 25134 万元，累计节支 2480 万元，二者合计 27614 万元。<br>典型案例：<br>1.针对内蒙古地区加工辣椒和番茄连年种植，重茬严重，种 |

| | | |
|---|---|---|
| | | 植成本不断增长问题，从 2019 年起，在内蒙古巴彦淖尔临河区首次将放线菌有机肥用于辣椒和番茄种植，增产 10%-15%，商品率提高至 95%以上；农药使用次数减少 2/3。<br>2.2023 年在内蒙古鄂托克前旗和乌审旗将放线菌用于玉米种子包衣，玉米单产提高 10%-15%，秸秆可溶糖提高 21%，总蛋白提高 3%，粗纤维含量降低 4%。<br>3.2024 年，将放线菌用于鄂托克前旗含盐碱沙地辣椒种植，辣椒长势旺盛，鲜椒亩产 7000-8000 斤，品相在当地辣椒评比中获得第一等奖。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 论文合著 | 来航线（1）<br>郭俏（2）<br>薛泉宏（3）<br>李玉龙（7） | 2014 | 2024 | The biocontrol agent Streptomyces pactum increases Pseudomonas koreensis populations in the rhizosphere by enhancing chemotaxis and biofilm formation | 代表性成果 1 |
| 2 | 共同知识产权 | 来航线（1）<br>郭俏（2）<br>薛泉宏（3）<br>张梅琳（9） | 2021 | 2024 | 放线菌及应用 | 代表性成果 2 |
| 3 | 共同参与制定标准规范 | 来航线（1）<br>薛泉宏（3）<br>杨博（4） | 1999 | 2024 | 放线菌剂质量要求 | 代表性成果 3 |
| 4 | 共同知识产权 | 来航线（1）<br>郭俏（2）<br>张梅琳（9） | 2021 | 2024 | 绿肥翻压在连作种植草莓中的应用 | 代表性成果 5 |
| 5 | 论文合著 | 来航线（1）<br>郭俏（2）<br>薛泉宏（3）<br>李玉龙（7） | 2014 | 2024 | Streptomyces pactum Act12 controls tomato yellow leaf curl virus disease and alters rhizosphere microbial communities | 代表性成果 8 |
| 6 | 论文合著 | 来航线（1）<br>郭俏（2）<br>薛泉宏（3）<br>李海洋（6） | 2014 | 2024 | Application of Streptomyces pactum Act12 Enhances Drought Resistance in | 代表性成果 9 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Wheat | |
| 7 | 产业合作 | 来航线（1）<br>薛泉宏（3）<br>李立（5） | 1999 | 2024 | 放线菌技术的应用推广 | 应用证明 |
| 8 | 产业合作 | 来航线（1）<br>薛泉宏（3）<br>杨博（4）<br>刘玉涛（8） | 1999 | 2024 | 放线菌制剂的研发与生产 | 应用证明 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目涉及的九位完成人主要来自西北农林科技大学资源环境学院、陕西博秦生物工程有限公司、内蒙古重茬土壤改良技术开发有限责任公司等单位，形成了产学研紧密结合的合作团队，具有长期稳定的合作基础，在项目设计、科技攻关、成果转化、推广应用、论文发表、知识产权申报和人才培养等多个方面保持了密切合作关系。

第一完成人与第二完成人共同发表了多篇学术论文，包括本项目代表性论文（代表性成果 1、8 和 9），并合作指导多名研究生（包括第六及第九完成人）；两人共同参与了多项放线菌筛选及应用相关发明专利的研发与申报（代表性成果 2 和 4）。

第一完成人与第三完成人长期合作指导研究生（第七完成人）、撰写论文（代表性成果 8 和 9）、共同制定企业标准（代表性成果 3），并合作申请多项专利（附件代表性成果 4）。

第一完成人与第四完成人在放线菌产业化方面合作紧密，共同制定企业标准（代表性成果 3），第四完成人自主研发生产设备并获得相关专利（代表性成果 6 和 7）。

第一完成人、第三完成人、第四完成人与第八完成人在放线菌产品研发及产业化等方面也做出重要贡献（应用证明）。

第一完成人、第三完成人与第五完成人在内蒙古地区推广放线菌技术，实现大面积应用与显著经济效益（应用证明）。

第二完成人与第六完成人、第七完成人、第九完成人等也在放线菌作用机制、资源筛选及论文发表方面有直接合作（如代表性成果 1、2、8 和 9）。

第三完成人与第四完成人在企业标准制定有紧密合作（代表性成果 3）。

整个团队通过多年紧密协作，形成了基础研究、技术开发、中试孵化、产业化应用与推广一体化的高效合作网络，共同推动了项目成果的产出与转化。

# 项目八

**一、项目名称**

旱地小麦测土配方化肥减施绿色增产技术创新与应用

**二、提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目针对制约旱地小麦绿色生产的重大理论与技术难题，立足旱地降水少但季节分布集中，易造成农田氮素淋失，土壤有机质含量低、养分供应能力差的生产实际，联合多家科研、技术推广单位及企业，开展了 20 年协同攻关，系统揭示了旱地小麦产量形成的养分需求规律，首次明晰了旱地小麦品种的养分需求差异和高产高蛋白品种的养分需求特征；深入探明了旱地土壤和还田有机物料的养分供应与作物利用特征，首次定量了施肥过量与不足引起的旱地土壤磷钾供应能力变化；全面阐明了旱地麦田水肥运移规律，首次提出了旱地麦田硝态氮残留安全阈值；构建了旱地小麦测土配方化肥减施绿色增产技术模式，通过技术示范、技术培训和技术指导在旱地得到大面积推广应用，实现了小麦科学有效减施化肥，增产增效和节肥增收效果显著，解决了小麦绿色生产和粮食增产的重大难题，支撑了国家测土配方施肥和化肥零增长行动。提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

**三、项目简介**

粮食安全是“国之大者”。进入 21 世纪以来，国际粮食危机频发，以习近平同志为核心的党中央把粮食安全作为治国理政的头等大事。西北旱区约占我国国土面积的三分之一，农业发展潜力巨大，是保障我国粮食安全的战略后备基地。小麦是主粮作物，超过 25%种植在旱地，又以西北旱地为主。西北旱区降水少、旱地土壤肥力差，粮食生产严重依赖化肥，过量和不合理施肥现象严重。随着全球气候变暖，农业生产对地表和地下水消耗加剧，小麦限灌或旱作面积不断扩大。“耕地是粮食生产的命根子”。旱区如何提升地力、科学减施化肥，实现肥水高效，确保小麦绿色高效生产，一直是制约旱地粮食生产的重大难题。在国家和省部级多个科研项目资助下，项目组联合多家科研和技术推广单位及企业，历经 20 年开展了旱地小麦测土配方化肥减施增产增效技术攻关，取得了如下创新成果：

1. 系统揭示了旱地小麦产量形成的养分需求规律，首次明晰了旱地小麦品种的养分需求差异和高产高蛋白品种的养分需求特征，为旱地小麦化肥减施绿色增

产生产提供了重要的作物需肥参数。①首次定量了旱地小麦养分需求与施肥的关系，确定了小麦不同产量水平的养分需求量。②首次明晰了旱地小麦品种的养分需求差异，确定了高产高蛋白品种的养分需求特征。

2. 深入探明了旱地土壤和还田有机物料的养分供应与作物利用特征，首次定量了施肥过量与不足引起的旱地土壤磷钾供应能力变化，为旱地小麦化肥减施绿色增产生产提供了重要的磷钾调控参数。①明确了旱地麦田还田秸秆和绿肥的氮磷钾养分转化与利用效率，为通过秸秆还田和种植绿肥实现化肥减施奠定了基础。②首次定量了旱地麦田施肥过量与不足引起的土壤磷钾供应能力变化，确定了旱地小麦化肥减施绿色增产的磷钾施肥系数。

3. 全面阐明了旱地麦田水肥运移规律，首次提出了旱地麦田硝态氮残留安全阈值，为旱地小麦化肥减施绿色增产提供了重要的氮肥调控参数。①查明了旱地麦田硝态氮残留、淋溶与氮肥用量及夏季降水的关系，首次提出了旱地麦田硝态氮残留安全阈值和化肥减施绿色增产的氮肥调控参数。②确定了 1 m 土层硝态氮残留与 0~20 cm 表层土壤硝态氮、有机质含量的定量关系，优化了小麦化肥减施绿色增产的氮肥调控参数，减少了田间取样和测定工作量。

4. 结合生产实际需求，创新旱地小麦测土配方与施肥评价方法，形成了旱地小麦测土配方化肥减施增产技术模式。①基于土壤养分测试结果，结合实现小麦目标产量的氮磷钾养分需求特征和麦田硝态氮残留安全阈值以及磷钾施肥系数，首次提出了旱地小麦测土配方施肥技术，可减少氮肥用量 25%、磷肥用量 40%以上。②首次构建了“以水定产、因产施肥”的旱地小麦定量施肥技术，基肥用量和小麦播种量由夏闲期降水确定，春季是否追肥取决于夏闲期至拔节前的降水情况。③首次提出了旱地小麦“种侧膜下、定位施肥”技术，并改进施肥播种机械，实现了播种施肥一体化。④首次构建了基于产量需求的农户施肥评价方法，提出“氮肥减施重点是中低产农户，磷肥普遍需要减施，钾肥以增施和用量优化为主”的科学减施指导意见。

5. 通过试验示范、技术培训、现场观摩、科技扶贫等开展技术推广，研究成果在西北等地大面积应用，实现了旱地小麦化肥减施绿色增产生产。2004 年开始，与陕西、甘肃、山西等地高校、科研院所、农技推广部门合作，通过试验示范、技术培训、现场观摩、科技扶贫等开展技术推广。制定了《渭北旱地冬小

麦高产栽培技术规程》（2013）、《农田土壤培肥技术规范》（2015）、《小麦氮磷钾化肥施用限量规范》（2021）3 项陕西省地方标准和《全国小麦产区氮肥定额用量（试行）》（2020）；与企业合作开发了小麦智能监控施肥专家系统获国家发明专利；研发的“旱地小麦测土监控氮磷钾定量施肥技术”2017、2018、2022 年被农业农村部推介为农业主推技术，使项目成果在西北旱地和其他麦区落地应用。技术累计推广 5399 万亩，新增小麦 130.2 万吨，节肥（纯养分）36.7 万吨，增收 51.02 亿元，减少 $CO_2$ 排放 150.0 万吨。近三年累计推广应用 1794 万亩，新增小麦 63.6 万吨，氮磷钾肥平均减量 22.7%，节肥（纯养分）14.2 万吨，新增效益 23.4 亿元。项目还获授权发明专利 5 项，新型实用专利 4 项，软件著作权 2 项，出版专著 2 部，发表论文 289 篇（SCI 收录 104 篇），论文他引 8871 次；培养研究生 70 名，培训农技人员和农户 12.4 万人次。经济、社会和生态效益显著，有力支撑了旱地小麦产业绿色发展。

**四、客观评价**

**1. 第三方评价认为旱地小麦氮磷钾定量施肥技术建立达到国际领先水平**

2022 年 4 月，中国农学会组织专家进行项目成果评价，张福锁院士任组长、周卫院士任副组长的专家组认为：“西北旱地小麦测土监控定量施肥技术创新与应用”成果总体达到同类研究国际先进水平，在旱地土壤养分供应、麦田硝态氮残留安全阈值与氮磷钾定量施肥技术建立等方面达到国际领先水平。成果在西北等麦区大面积应用，经济、社会与生态效益显著，为国家测土配方施肥、化肥零增长等重大行动和计划的实施提供了有力支撑。

2010 年 9 月，中国农业科学院刘旭院士任组长的验收专家组认为，项目组主持完成的“西北干旱区高效施肥技术关键技术研究与示范”课题，提出了“西北旱地小麦高产培肥 1 米土层硝态氮监控施肥技术”等高效施肥技术，并用于指导农业生产实践，方式方法创新性强，成效显著。

2018 年 10 月，中国农业科学院赵明研究员任组长的验收专家组认为项目组主持完成的“黄土高原雨养农田水分高效利用技术研究与示范”项目，创新了小麦“以水定产、以产定肥”等系列技术，有效提高了黄土高原雨养农田作物水肥利用效率，成果的社会、经济和生态效益显著，具有广阔的推广应用前景。

2018-2021 年项目组主持完成的国家重点研发计划项目“北方小麦化肥农药减施技术集成研究与示范”在北方 5 个区域推广应用，示范推广 800 万亩，化肥减施 17.3%、效率提高 16.7%，小麦平均增产 7.5%。绩效考评为“优秀”。

**2. 查新结果显示项目成果具有多项创新**

教育部科技查新工作站（N04）查新认为，与国内外同类研究综合比较，该成果的主要理论创新和技术先进性如下：

| 技术内容 | 本项目成果 | 国内外同类技术 |
| --- | --- | --- |
| 1.旱地土壤养分供应 | 定量了绿肥氮素释放和对小麦籽粒的贡献；定量了施肥与旱地土壤有效磷钾含量变化的关系。 | 国内外未见定量施用化肥引起的土壤磷钾变化和绿肥氮在小麦籽粒中累积的报道。 |
| 2.旱地小麦养分需求 | 定量了旱地小麦氮磷钾养分需求量与施肥量的关系；首次明确了覆膜栽培小麦养分需求特征。 | 国内外未见覆膜栽培小麦氮磷钾需求和定量施肥引起的小麦养分需求变化的报道。 |
| 3.旱地硝态氮淋移 | 首次提出旱地硝态氮残留安全阈值；定量 1 m 硝态氮与 20 cm 表土硝态氮、有机质含量关系。 | 国内外已有关于土壤残留硝态氮淋移的研究，但无旱地安全阈值、定量关系报道。 |
| 4.旱地小麦定量施肥技术 | 率先构建了基于测土监控的旱地小麦氮磷钾定量施肥技术体系。 | 国内外有基于土壤测试的施肥技术，但无基于硝态氮调控和降水的定量施肥技术。 |

**3. 项目成果为国家和地方政府部门决策提供了理论和技术支撑**

项目团队扎根西北，服务三农，2012 年获批农业农村部“旱地土壤培肥与高效施肥”科研创新团队。项目成果“旱地小麦监控施肥技术”2017、2018、2022 年被农业农村部推介为农业主推技术，牵头制定农业农村部种植业司 2021 年发布的《全国小麦产区氮肥定额用量（试行）》，指导全国小麦施肥。提出的《构建长效机制持续科学肥药减施，解决北方麦区肥药过量施用难题》报告，得到国务院主管部门领导批示。与企业合作，完成的《基于田小二 APP 的小麦监控施肥技术示范与应用》被农业农村部推介为 2021 数字农业农村新技术新产品新模式优秀案例。经陕西省农业农村厅推荐，项目成果获陕西省地方标准《渭北旱地冬小麦高产栽培技术规程》、《农田土壤培肥技术规范》、《小麦氮磷钾化肥施用限量规

范》，指导陕西农田土壤培肥和小麦化肥减施。

**4. 项目相关成果得到国内外学术和企业同行的广泛认可**

先后受全国农业技术推广服务中心、中国植物营养与肥料学会、土壤学会、中化化肥等邀请，作科学施肥报告和专题讲座 30 余次，牵头组织小麦科学施肥技术培训 60 余次，主办承办国内外学术会议 6 次。

查引显示，2008~2022 年共收录项目组论文 289 篇（中文 185 篇、英文 104 篇），他引 8871 次。在“旱地小麦施肥”研究方面的中文论文发表量全国机构排名第一，SCI 收录论文发表量全球作者发文排名第一。

**5. 技术成果被国家知识产权部门认定并被企业采纳应用**

项目实用新型专利“一种两垄八行小麦覆膜施肥播种机”被山西闻喜德华农机加工有限责任公司采纳应用；“小麦智能监控施肥专家系统”计算机软件著作与发明专利被武汉禾大科技有限公司应用。

**6. 项目技术受到用户好评，团队建设得到社会赞扬**

陕西永寿永红农业合作社评价“测定土壤、指导施肥，小麦穗粒数多、籽粒饱满，减了化肥、增了产量”。“好麦农业服务联盟”理事长王世成评价“西北农林王老师团队治学严谨、技术过硬，研发的小麦测土监控定量施肥技术为我们服务各地麦农提供了最好的技术支撑”。

因在农田土壤培肥、作物科学施肥、增产提质增效方面研究与推广方面的突出表现，2023 年，成果第一完成人王朝辉获评为农业农村部“神农领军人才”；2024 年 5 月，项目团队入选 2024 年第十二届“陕西好青年”集体；团队“深入田间搞科研，扎实实践育人才”事迹入选教育部“担当教育新使命，奋进强国新征程”示范微党课，新华网、光明网、央视网等媒体，2024 年 10 月 18 日播出。

**五、应用情况**

项目组扎根西北，主动对接测土配方施肥、化肥施用量零增长等国家重大行动，针对不同种植区域、栽培模式和不同需求，与农技推广部门、农服企业及小麦种植户紧密合作，通过试验示范、技术培训、土壤测试、推荐施肥等，服务小麦生产。

**1）对接各地农技部门，扎实开展技术推广。**2008 年开始，先后与全国农业技术推广服务中心、陕西省耕地质量与农业环境保护工作站、各地农技推广中心合作在陕西合阳、大荔、耀州、蒲城、乾县、永寿、彬州、长武、岐山、凤翔等

地，与山西农业大学合作在山西闻喜、洪洞、襄汾等地，与甘肃农业大学、甘肃农业科学院合作在甘肃定西、通渭、清水等地，开展多年多点试验示范，结合现场观摩、技术培训，以测土监控、配方定量为抓手，结合应用小麦覆膜施肥播种一体机等高产高效培栽机械，通过种植大户和种植能手示范带动，由点到面实现小麦化肥科学减施、增产增效、节本增收。

**2）开展涉农企业合作，转化成果、强化应用。**2010 年开始，先后与北京新禾丰农化资料有限公司、中化化肥有限公司、湖北新洋丰肥业股份有限公司、武汉禾大科技有限公司等合作，研发高氮中磷低钾旱地小麦一次性施肥专用肥配方（25-15-5）和营养高效套餐肥，合作开发小麦智能监控施肥专家系统，成立好麦农业服务联盟，解决企业遇到的小麦测土配方和科学施肥问题，服务范围遍及西北五省、山西、内蒙、河南、河北、山东、四川、湖北等地。

**3）助力西北脱贫攻坚，服务全国小麦生产。**2015 年开始，项目组与陕西、甘肃、宁夏、青海等地农技推广部门合作，开展技术扶贫，通过科学施肥技术，助力当地小麦节肥增效、增产增收。与国家小麦产业技术体系岗位专家、试验站长合作成立了小麦种植大户协作网，开展小麦测土监控定量施肥技术试验示范，支撑全国各地小麦科学施肥，到 2023 年累计免费为全国 18 个省区 1803 个农户和种植大户提供土壤测试、施肥评价和定量施肥服务。

**4）提供政府政策依据，对接国家行动，推广应用。**2017、2018 和 2022 年，项目成果“旱地小麦监控定量施肥技术”被农业农村部推介为农业主推技术。2020 年受全国农业技术推广服务中心委托，基于小麦测土监控定量施肥技术，牵头制定《全国小麦产区氮肥定额用量（试行）》，由农业农村部种植业司发布，进一步促进项目成果在小麦生产中大面积应用，助力小麦化肥科学减施。

自示范推广以来，项目成果以陕西为中心，在西北和其他小麦种植区累计 5467 万亩（其中陕西 2186 万亩），新增小麦 130.2 万吨，节肥（纯养分）34.1 万吨，增收 50.6 亿元，减少 $CO_2$ 排放 138.2 万吨。近三年累计推广应用 1862 万亩（其中陕西 542 万亩），新增小麦 65.4 万吨，氮磷钾肥平均减量 22.6%，节肥（纯养分）11.6 万吨，新增效益 22.4 亿元，减少 $CO_2$ 排放 46.3 万吨。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | 一种小麦施肥方案推荐方法 、装置及系统 | 中国 | ZL202010047260.X | 2023 年 11 月 07 日 | 证书号第6469147号 | 西北农林科技大学、武汉禾大科技有限公司 | 王朝辉、邱炜红、党海燕、雷盼、徐琪、刘世生、王仁宗 |
| 2 | 标准规范 | 小麦氮磷钾化肥施用限量规范 | 中国 | DB61/T 1414-2021 | 2021 年 01 月 19 日 | 陕西省市场监督管理局 | 西北农林科技大学、陕西省耕地质量与农业环境保护工作站等 | 王朝辉、邱炜红、刘金山、石美、石磊、徐文华、杜明叶、梁永强、杨珍珍、蒲岳建、师渊超、吕辉 |
| 3 | 标准规范 | 渭北旱地冬小麦高产栽培技术规程 | 中国 | DB61/T587-2013 | 2013 年 09 月 26 日 | 陕西省质量技术监督局 | 西北农林科技大学、长武县农业技术推广中心 | 王朝辉、曹群虎、张睿、段长林、赵护兵、郑险峰 |
| 4 | 标准规范 | 农田土壤培肥技术规范 | 中国 | DB61/T966-2015 | 2015 年 05 月 25 日 | 陕西省市场监督管理局 | 陕西省肥料工作站、西北农林科技大学 | 石磊、王朝辉、郑险峰、高亚军、翟丙年 |
| 5 | 软件著作权 | 小麦智能监控施肥专家系统 V1.0 | 中国 | 2020SR0221431 | 2019 年 12 月 01 日 | No.05410546 | 西北农林科技大学、武汉禾大科技有限公司 | |
| 6 | 论文 | Long-term high-P fertilizer input decreased the total bacterial diversity but not *phoD*-harboring bacteria in wheat rhizosphere soil with available-P deficiency | 欧洲 | DOI: 10.1016/j.soilbio.2020.107918 | 2020 年 07 月 07 日 | Soil Biology and Biochemistry | 西北农林科技大学 | 刘金山、马琴、惠晓丽、马清霞、王星舒、王朝辉 |
| 7 | 论文 | Soil testing at harvest to enhance productivity and | 欧洲 | DOI: 10.1016/j. | 2017 年 08 月 01 日 | Field Crops | 西北农林科技大学 | 黄明、王朝辉、罗来超、 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | reduce nitrate residues in dryland wheat production | | fcr.2017.07.011 | | Research | | 王森、惠晓丽、何刚、曹寒冰、赵护兵、刘金山等 |
| 8 | 论文 | Tailoring NPK fertilizer application to precipitation for dryland winter wheat in the Loess Plateau | 欧洲 | DOI: 10.1016/j.fcr.2017.04.014 | 2017 年 05 月 05 日 | Field Crops Research | 西北农林科技大学 | 曹寒冰、王朝辉、何刚、戴健、黄明、王森等 |
| 9 | 论文 | Winter wheat grain yield and summer nitrate leaching: Long-term effects of nitrogen and phosphorus rates on the Loess Plateau of China | 欧洲 | DOI: 10.1016/j.fcr.2016.06.020 | 2016 年 07 月 09 日 | Field Crops Research | 西北农林科技大学 | 戴健、王朝辉、李孟华、何刚、李强、曹寒冰等 |
| 10 | 专著 | 北方小麦化肥农药减施技术 | 中国 | ISBN978710927623-9 | 2021 年 05 月 01 日 | 中国农业出版社 | 西北农林科技大学等 | 王朝辉、曹世勤、陈署晃、石美等 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 王朝辉 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目总体设计，研究方案制定，组织项目实施。开展了旱地麦田土壤夏闲季节的硝态氮淋移特性、土壤和还田有机物料的养分供应特征、旱地小麦产量与品质协同提升的养分需求规律等研究工作，构建了旱地小麦化肥减施绿色增产技术模式，组织实施了试验示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 1、2、3、4、5。 |
| 刘金山 | 2 | 教授 | 西北农林科技大学 | 参与项目研究方案制定和实施。主要开展了旱地麦田夏闲季节的硝态氮淋移特性、土壤养分供应特征等研究工作，参与构建了旱地小麦化肥减施绿色增产技术模式，参与了试验示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 2、3、4、5。 |
| 邱炜红 | 3 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 参与项目研究方案制定和实施。主要开展了旱地麦田土壤养分供应特征等研究工作，参与构建了旱地小麦化肥减施绿色增产技术模式，参与了试验示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 1、4、5。 |
| 石美 | 4 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 参与项目研究方案制定和实施。主要开展了旱地小麦产量与品质协同提升的养分需求规律等研究工作，参与构建了旱地小麦化肥减施绿色增产技术模式，参与了试验示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 1、4、5。 |
| 张宪法 | 5 | 高级农艺师 | 全国农业技术推广服务中心 | 组织全国科学施肥专家组开展小麦等作物肥料利用率测试分析工作，负责小麦科学施肥技术在山东、甘肃、河北、山西等省的应用与示范推广。主要贡献表现在创新点 4、5。 |
| 傅国海 | 6 | 农艺师 | 全国农业技术推广服务中心 | 组织全国科学施肥专家组开展小麦等作物肥料利用率测试分析工作，负责小麦科学施肥技术在山东、甘肃、河北、山西等省的应用与示范推广。主要贡献表现在创新点 4、5。 |
| 何刚 | 7 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 参与项目研究方案制定和实施。主要开展了旱地麦田土壤和还田有机物料的养分供应特征等研究工作，参与构建了旱地小麦化肥减施绿色增产技术模式，参与了试验示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 2、4、5。 |
| 赵护兵 | 8 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 参与项目研究方案制定和实施。主要开展了旱地麦田土壤和还田有机物料的养分供应特征等研究工作，参与构建了旱地小麦化肥减施绿色增产技术模式，参与了试验示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 3、4、5。 |
| 石磊 | 9 | 高级农艺师 | 陕西省耕地质量与农业环境保护工作站 | 参与了旱地小麦化肥减施绿色增产技术的区域多点试验建立、验证示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 5。 |
| 杜明叶 | 10 | 农艺师 | 合阳县农业技术推广中心 | 参与制定地方标准，参与了旱地小麦化肥减施绿色增产技术的区域多点试验建立、验证示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 4、5。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 梁永强 | 11 | 农艺师 | 蒲城县农业技术推广中心 | 参与制定地方标准，参与了旱地小麦化肥减施绿色增产技术的试验建立、验证示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 4、5。 |
| 雷盼 | 12 | 无 | 武汉禾大科技有限公司 | 参与发明专利、计算机软著开发，开展了旱地小麦化肥减施绿色增产技术应用软件开发等研究工作，参与了技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 5。 |
| 吕辉 | 13 | 农艺师 | 宝鸡市凤翔区农业技术推广服务中心 | 参与制定地方标准，参与了旱地小麦化肥减施绿色增产技术的区域多点试验建立、验证示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 4、5。 |
| 牛卫兵 | 14 | 高级农艺师 | 岐山县农业技术推广服务中心 | 参与了旱地小麦化肥减施绿色增产技术的试验建立、验证示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 4、5。 |
| 马茹凤 | 15 | 农艺师 | 彬州市农业技术推广中心（陕西省农业广播电视学校彬州市分校） | 参与了旱地小麦化肥减施绿色增产技术的区域多点试验建立、验证示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 4、5。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 在项目立项、基地建设、成果鉴定、推广和应用过程中，发挥了重要的组织协调、管理和落实作用，保证了项目任务顺利实施。主要支持项目组开展了旱地麦田土壤夏闲季节的硝态氮淋移特性、土壤和还田有机物料的养分供应特征、产量与品质提升的养分需求规律研究，旱地小麦化肥减施绿色增产技术模式建立，特别是重点支持了在陕西、西北旱区和全国其他麦区的试验示范和技术培训、推广应用，支持了研究生和青年人才培养等工作，推动了项目团队研究水平和技术推广能力提升，推动和促进了小麦产业发展。 |
| 全国农业技术推广服务中心 | 2 | 组织全国科学施肥专家组开展小麦等作物肥料利用率测试分析工作，负责小麦科学施肥技术在山东、甘肃、河北、山西等省的应用与示范推广。 |
| 陕西省耕地质量与农业环境保护工作站 | 3 | 长期坚持与西北农林大学研究团队紧密合作，参与制定小麦生产和科学施肥标准规范，设计旱地小麦化肥减施绿色增产技术试验示范方案，在陕西渭北等地开展技术培训和试验示范，指导各项目县建立技术示范区，示范推广旱地小麦化肥减施绿色增产技术，取得了显著的经济、社会和生态效益。 |

| | | |
|---|---|---|
| 合阳县农业技术推广中心 | 4 | 参与制定标准规范，长期坚持开展旱地小麦化肥减施绿色增产技术田间试验，制定旱地小麦化肥减施绿色增产技术示范方案，依托现代农业示范园、专业合作社等新型生产主体，在合阳县建立技术示范区，示范旱地小麦化肥减施绿色增产技术模式，开展技术培训、指导和推广，取得了显著的经济、社会和生态效益。 |
| 蒲城县农业技术推广中心 | 5 | 参与制定标准规范，长期坚持开展实施旱地小麦化肥减施绿色增产技术田间试验，制定旱地小麦化肥减施绿色增产技术示范方案，依托现代农业示范园、专业合作社等新型生产主体，在蒲城县建立技术示范区，示范旱地小麦化肥减施绿色增产技术模式，开展技术培训、指导和推广，取得了显著的经济、社会和生态效益。 |
| 武汉禾大科技有限公司 | 6 | 与西北农林科技大学研究团队合作，基于研究团队研发的旱地小麦化肥减施绿色增产技术，开发了小麦智能监控施肥专家系统 V1.0，依托“田小二”APP 在全国各麦区示范推广旱地小麦化肥减施绿色增产技术，开展技术培训和指导工作。 |
| 宝鸡市凤翔区农业技术推广服务中心 | 7 | 参与制定标准规范，长期坚持开展旱地小麦化肥减施绿色增产技术田间试验，制定旱地小麦化肥减施绿色增产技术示范方案，依托现代农业示范园、专业合作社等新型生产主体，在合阳县建立技术示范区，示范旱地小麦化肥减施绿色增产技术模式，开展技术培训、指导和推广，取得了显著的经济、社会和生态效益。 |
| 岐山县农业技术推广服务中心 | 8 | 长期坚持开展旱地小麦化肥减施绿色增产技术田间试验，制定旱地小麦化肥减施绿色增产技术示范方案，依托现代农业示范园、专业合作社等新型生产主体，在合阳县建立技术示范区，示范旱地小麦化肥减施绿色增产技术模式，开展技术培训、指导和推广，取得了显著的经济、社会和生态效益。 |
| 彬州市农业技术推广中心（陕西省农业广播电视学校彬州市分校） | 9 | 长期坚持开展旱地小麦化肥减施绿色增产技术田间试验，制定旱地小麦化肥减施绿色增产技术示范方案，依托现代农业示范园、专业合作社等新型生产主体，在合阳县建立技术示范区，示范旱地小麦化肥减施绿色增产技术模式，开展技术培训、指导和推广，取得了显著的经济、社会和生态效益。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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** | 论文合著、专著合著 | 王朝辉（1）、刘金山（2）、邱炜红（3）、石美（4）、何刚（7）、赵护兵（8） | 2006 | 2024 | 发表论文、出版专著 | 其他附件：2 其他 |
| **2** | 共同参与制定标准规范 | 王朝辉（1）、石磊（9） | 2010 | 2024 | 标准规范《小麦氮磷钾化肥施用限量规范》、《农田土壤培肥技术规范》、《渭北旱地冬小麦高产栽培技术规程》 | 必备附件 1 |
| **3** | 共同参与制定标准规范 | 王朝辉（1）、刘金山（2）、邱炜红（3）、石美（4）、石磊（9）、杜明叶（10）、梁永强（11）、吕辉（13） | 2017 | 2024 | 标准规范《小麦氮磷钾化肥施用限量规范》 | 必备附件 1 |
| **4** | 共同知识产权 | 王朝辉（1）、刘金山（2）、邱炜红（3）、雷盼（12） | 2018 | 2024 | 计算机软件著作权 | 其他附件：2 其他 |
| **5** | 共同知识产权 | 王朝辉（1）、邱炜红（2）、雷盼（12） | 2018 | 2024 | 发明专利 | 必备附件 1 |
| **6** | 产业合作 | 王朝辉（1）、刘金山（2）、邱炜红（3）、杜明叶（10）、梁永强（11）、雷盼（12）、吕辉（13）、牛卫兵（14）、马茹凤（15） | 2012 | 2024 | 关键技术研发、应用、示范、推广 | 其他附件：1 应用情况和效益佐证材料 |
| **7** | 共同立项 | 王朝辉（1）、刘金山（2）、邱炜红（3）、石美（4）、何刚（7）、赵护兵（8） | 2018 | 2021 | 国家重点研发计划专项项目北方麦区小麦化肥农药减施技术集成研究与示范（2018YFD0200400） | 未列入附件 |
| **8** | 共同立项 | 王朝辉（1）、刘金山（2） | 2013 | 2018 | 公益性行业（农业）科研专项“黄土高原雨养农田水分高效利用技术研究与示范（201303104） | 未列入附件 |
| **9** | 共同立项 | 王朝辉（1）、张宪法（5）、傅国海（6） | 2020 | 2024 | 西北区中低产田种养结合地力提升关键技术研究与示范（2023YFD1900400） | 未列入附件 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **10** | 产业合作 | 王朝辉（1）、张宪法（5）、傅国海（6） | 2020 | 2024 | 组织全国科学施肥专家组开展小麦等作物肥料利用率测算，开展小麦科学施肥技术应用与示范 | 未列入附件 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本成果完成单位有西北农林科技大学、全国农业技术推广服务中心、陕西省耕地质量与农业环境保护工作站、合阳县农业技术推广中心、蒲城县农业技术推广中心、武汉禾大科技有限公司、宝鸡市凤翔区农业技术推广服务中心、岐山县农业技术推广服务中心、彬州市农业技术推广中心（陕西省农业广播电视学校彬州市分校）。成果第一完成单位（西北农林科技大学）先后主持国家科技支撑计划课题“西北干旱区高效施肥关键技术研究与示范”，公益性行业（农业）科研专项“农作物最佳养分管理技术研究与应用”和“黄土高原雨养农田水分高效利用技术研究与示范”、国家重点研发计划专项项目课题“北方麦区小麦化肥定量减施共性技术研究”、国家小麦产业技术体系等项目。其他 8 个单位均为项目实施的主要合作单位。各单位在确定旱地各麦区麦田土壤养分供应状况和供应能力、小麦养分需求特性，建立旱地小麦测土监控化肥减施增产技术模式、成果推广应用等方面建立了长期合作关系，开展了紧密合作，并共同申报和完成项目相关成果，包括标准规范、发明专利、论文著作等知识产权及技术示范应用等。

项目完成人共 15 人，包括西北农林科技大学 6 人（王朝辉、刘金山、邱炜红、石美、何刚、赵护兵）共同参加了项目的研发与实施，在理论研究、技术研发与推广示范等方面开展了一系列创新工作，共同参与论文发表、撰写专利与专著。陕西省耕地质量与农业环境保护工作站 1 人（石磊）与项目第一完成人共同制定了标准规范，协助旱地小测土监控施肥技术的推广与应用。全国农业技术推广服务中心 2 人（张宪法、傅国海）与项目第一完成人共同参与国家重点研发计划项目实施，组织全国科学施肥专家组开展小麦等作物肥料利用率测试与测算工作，负责小麦科学施肥技术在山东、甘肃、河北、山西等省的应用与示范推广。合阳县农业技术推广中心 1 人（杜明叶）、蒲城县农业技术推广中心 1 人（梁永强）、宝鸡市凤翔区农业技术推广服务中心 1 人（吕辉）、岐山县农业技术推广服务中心 1 人（牛卫兵）、彬州市农业技术推广中心（陕西省农业广播电视学校彬州市分校）1 人（马茹凤）与项目第一单位完成人王朝辉、刘金山、邱炜红共同开展了田间试验与示范，进行施肥技术的创新与验证应用，并与项目第一完成人共同制定了标准规范。武汉禾大科技有限公司 1 人（雷盼）与项目第一单位完成人王朝辉、邱炜红共同开发了应用软件系统，申请获得计算机软件著作权，开展技术研发并获发明专利。同时，各完成人之间均在项目实施期间在试验开展、论文发表、标准规范制定、产业应用等方面进行了长期和广泛合作。

# 项目九

**一、项目名称：**集体林权制度改革赋能乡村全面振兴的理论创新与实践探索

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目紧密围绕国家重大战略需求，以连续 22 年中央“一号文件”持续关注的集体林权制度改革为核心研究对象，选题具有极强的理论价值与现实意义。研究团队以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，历时十年，深入陕西、浙江、福建等十省开展大规模、长周期的跟踪调查，获取了涵盖 8855 个农户和 351 个新型林业经营主体的海量一手数据，构建了国内领先的森林经营微观数据库，为深入研究奠定了坚实的数据基础。所构建的“非农就业-林地流转”双内生决策模型、符合国情的木材供给预测模型等，研究方法先进，理论创新显著。成果实践导向鲜明，政策贡献突出。多项咨政报告被中办、国办采纳并获党和国家领导人重要批示，相关观点被《人民日报》等权威媒体报道，产生了广泛而积极的社会影响，充分体现了研究成果的高层次决策支撑价值。团队科研实力雄厚，组织有力。依托国家社科重大项目和省级创新团队，汇聚了多位国家级人才，与国家林草局发展研究中心建立了深度合作，成果丰硕，在《Nature Communications》、《中国农村经济》等国内外顶级期刊发表高水平论文 140 余篇，授权发明专利 25 项，获得了国内外同行的高度认可。提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

**三、项目简介：**

连续 22 年的中央“一号文件”都将集体林权改革列为重要内容。集体林是提升碳汇能力的重要载体，是维护生态安全的重要基础，是实现乡村振兴的重要资源。集体林权制度改革对于巩固和完善农村基本经营制度、促进农民就业增收、建设生态文明、推动绿色发展具有重要意义。在此背景下，本成果以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，从集体林权制度改革与乡村振兴的内在关联视角切入，以产权理论、交易成本理论、新劳动力迁移理论等主流理论为基础，选择陕西、浙江、福建等 10 个省份 8855 个农户样本和 351 个新型林业经营主体为研究对象，历时 10 年攻关，比较了十省集体林权制度改革与乡村振兴的实践探索，从城乡融合、脱贫攻坚、非农就业、社会化服务等维度，探索了集体林权制度改革的经济—社会—生态综合效益明晰了产权制度调整对农户微观决策行为

的影响机制，并进一步剖析了巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接的难点、堵点和痛点。在此基础之上提出了基于政府治理—市场激励—产权制度的“三位一体”配套方案，为促进“两山”转化和生态产品价值实现、深化集体林权制度改革提供了全方位的理论和政策支持，为接续推动拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接高质量发展提供了决策支撑和优化路径。创新性成果如下。

**（一）识别了集体林权制度改革的演化逻辑和学理依据**

**1、构建了“产权制度→市场激励→森林资源”的互动逻辑和动态演化机制。**从产权改革视角提出森林资源的治理转型之道。创新性地从城乡融合视角出发，识别了集体林权制度改革与其嵌入的制度政策、市场、环境因素构成的循环与累积因果联结，发现集体林改绩效不佳的主要原因是林权制度变迁与其所嵌入的社会制度结构不匹配，难以实现协同演化，据此提出应坚持顶层设计与“摸着石头过河”相结合，实现政府目标和集体林经营主体目标的耦合与协同。**2、提出了“集体林改—非农就业—营林投入”理论分析框架**。阐述了非农就业程度不同的农户在面对集体林改时的行为选择差异及经济学机理，验证了非农就业的调节效应会导致产权的正向激励机制受限，指出了集体林权制度改革提供了农户营林积极性提高的制度环境，但并非充分条。**3、揭示了林业投入被锁定在劳动集约状态的成因**。明晰了农户营林要素投入关系，发现了林地投入要素结构的固化问题，并进一步为提高农户营林积极性、促进林地经营向资本集约演进提供决策参考。**4、预测了不同集体林权制度改革情境下木材供给的趋势和动态**。基于省级面板数据构建了集体林权制度改革对中国木材供给的影响，量化了木材供给弹性，将政策性因素纳入了 Binkley 木材供给函数，构建了符合中国国情的木材供给模型，揭示了中国木材供给具有政府和市场共同作用的双重属性特点，基于 GFPM 的模拟结果提出了通过集体林权制度改革缓解木材供需矛盾的有益思路。

**（二）明晰了集体林权制度改革的综合效益及其内在机理**

**1、构建了“非农就业——林地流转”双内生农户决策模型。**揭示了集体林改、非农就业和林地流转三者的内在作用机理，为农户林地流转行为的科学认知提供了理论依据。本成果在农户效用最大化框架下，对农户劳动力配置、林地流转决策进行 Kuhn-Tucker 求解，从而使非农就业、林地流转行为共同内生于农户最优化决策中，弥补了已有研究关于非农就业外生性的缺陷。**2、发现了非农就业对**

**林地流转行为的二重属性。**本成果从林地流转契约的长期性、林地生计保障功能、禀赋效应等多个视角进行解释，突出强调了林地流转和农地流转的差异性，明晰了非农就业对林地流出不显著的经济学原因。发现农地流转和林地流转的内在成因存在重要差异，已有的农地流转的方针政策未必适用于林地流转。**3、提出了"产权重构→林地面积调整→细碎化调整→投入强度变动"逻辑框架。**量化了该调整对农户投入的处理效应，发现了农户异质性对上述处理效应的差异性影响，由此构建了目标瞄准机制，以提高政策指向性和有效性。本成果利用 PSM 反事实分析框架解决内生性难题，甄别出了对集体林权制度改革更为敏感的农户类型，发现了 Kuznets 倒 U 型关系，为深化集体林权制度改革的政策着眼点和目标指向性提供了决策参考。

**（三）提出了集体林区巩固拓展脱贫攻坚成果与乡村振兴有效衔接的优化路径**

**1、厘清了现有集体林权制度安排与乡村治理现代化的目标要求之间的适配性。**阐明了二者的关联交集及矛盾焦点，从"稳定—共享—均衡"三个维度，构建集体林权制度与乡村治理现代化关联的理论框架。**2、识别了集体林区乡村治理的三大矛盾焦点**。围绕"人地资源错配与乡村治理稳定性的矛盾"、"精英俘获与乡村治理共享性的矛盾"、"城乡土地市场二元分割与乡村治理均衡性的矛盾"等三个方面，探讨三组矛盾产生的成因及内在机理，剖析其对乡村治理的影响及作用渠道，进而揭示集体林权制度改革对乡村治理现代化的关键堵点和障碍。**3、提出了统筹集体林权制度与乡村治理现代化的优化路径。**在凝练国内外典型模式和经验案例的基础上，从制度创新、技术赋能、政策保障等方面提出统筹集体林权制度与乡村治理现代化的实现路径，为探寻具有中国特色的集体林区乡村治理实现道路提供了理论洞见和科学依据。**4、为地方实现"两山转化"、完善林权配套改革相关政策提供了决策支持。**本成果提出了包括以规模化经营为政策导向，推动集体林区商品林经营；通过完善财政金融政策扶持和建立现代林业管理机制，加大集体林区营林要素投入并提升营林效益；促进"规模经济"向"分工经济"、"土地规模化经营"向"服务规模化经营"的转变；强化集体林区"山水林田湖草"系统治理与国家公园体制机制完善等多方面的政策建议，为地方政府相关政策的制定提供了决策支持。

基于上述成果，**主持国家社科重大项目 3 项**，授权发明专利 25 项，在 CSSCI/SCI/SSCI 期刊发表高水平论文 140 余篇。包括《中国农村经济》5 篇、《农业经济问题》2 篇、《农业技术经济》3 篇、《改革》、《林业科学》3 篇、《中国人口•资源与环境》等权威期刊；英文包括**《Nature Communications》**、《Journal of Rural Studies》、《Land Use Policy》、《Environmental Science and Policy》、《Earth's Future》、《Resources, Conservation and Recycling》、《Forest Policy and Economics》等中科院 1 区/Top 期刊。相关论文成为 **ESI 高被引论文或被中国人民大学复印报刊资料全文转载**。以第一或通讯作者完成的咨政报告 12 次被中办、国办采纳，**7 次获得党和国家领导人肯定性批示**。《改进巩固拓展脱贫攻坚成果考核评估工作的几点建议》、《多重冲击下脱贫人口持续增收的困境及化解策略》、《巩固易地搬迁成果仍存不少风险隐患需进一步增强后续扶持针对性有效性》，分别被国务院研究室《送阅件》（2023 年，总第 3745 号）（2022 年，总第 3654 号）（2021 年，总第 3517 号）采纳，并获得中央政治局委员、国务院副总理的肯定性批示。申请人撰写的专题研究报告《脱贫人口持续增收问题研究》，被国家乡村振兴局刘焕鑫局长主编的《巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接研究》（中国农业出版社，2023 年）全文收录，产生了积极的社会影响。相关成果获得**美国艺术与科学院 Jianguo Liu 院士等专家学者的肯定性评价**。组建了由 5 位国家级人才作为核心骨干的科研团 队，获批陕西省高校青年创新团队。与国家林草局发展研究中心合作，**联合构建了国内样本量最大、连续监测时间最长的森林经营微观数据库**，覆盖 8855 个农户、351 个新型林业经营主体，并向学界开放使用。2023 年 11 月 10 日，《人民日报》围绕"适度规模经营促进林区发展"主题，对成果完成人进行了专题采访和咨询，**相关学术观点被《人民日报》公开报道并被人民网、光明网等主流媒体转载**。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

本成果经过多年深入研究，在理论创新、学术影响、实践应用等方面取得了显著成果，充分展现了其在集体林权制度改革领域的重要性和综合价值。以系统性、科学性为导向，围绕林权制度改革的理论探索与实践推动，提出了一系列具有学术前瞻性和现实指导意义的研究成果，为集体林区经济发展与乡村全面振兴

提供了坚实的理论支撑与政策参考。围绕集体林权制度改革、乡村全面振兴等相关领域，本成果主要完成人**主持国家社科重大项目 3 项**、国家自然科学基金 15 项，**授权发明专利 25 项**，发表 CSSCI/SCI/SSCI 收录论文 140 余篇，包括《中国农村经济》7 篇、《农业经济问题》2 篇、《农业技术经济》3 篇、《改革》、《林业科学》3 篇、《中国人口•资源与环境》、《中国土地科学》、《自然资源学报》等权威期刊；英文包括《Environmental Science and Technology》、《Nature Communications》、《Journal of Rural Studies》、《Land Use Policy》、《Environmental Science and Policy》、《Earth's Future》、《Resources, Conservation and Recycling》、《Forest Policy and Economics》等中科院 1 区/Top 期刊，获批全国重点实验室创新团队、陕西省高校青年创新团队。近五年，在国际林联全球大会（IUFRO）、欧洲环境与资源经济学家协会（EAERE）年会、加拿大农业经济学会（CAES）年会等进行特邀和专题报告 40 余场次。

**1. 相关成果得到诺贝尔奖获得者等国内外权威专家积极引用**

**本成果得到**诺贝尔奖获得者、**院士/会士、国家级人才、权威期刊编辑等百余位著名专家学者的认可与引用。包括**中国科学院院士朴世龙、中国工程院院士王浩、中国工程院院士吴义强、美国科学院院士 Jianguo Liu、发展中国家科学院（TWAS）院士、国际农业经济学家协会（IAAE）终生荣誉会士、美国农业和应用经济学会（AAEA）会士黄季焜、中国环境科学学会会士高吉喜、发展中国家科学院院士张林秀、挪威科学与文学技术学院院士 Helge Brattebø、英国皇家化学会会士王树涛、罗马尼亚科学院院士 Dumitru-Mircea Duşcu 等。例如，团队在《Nature Communications》（2024，15，9708）上发表的成果获得诺贝尔奖共同获得者、美国 Woods Hole 研究中心原执行主任 Richard A. Houghton、中国科学院院士朴世龙等国内外权威专家学者引用。诺贝尔和平奖共同获得者 Richard A. Houghton 在其文章（Earth System Science Data，2025，preprint）中指出："As revealed by Yue et al. (2024), land management has played a crucial role in China's land-carbon balance since 1980"。中国科学院院士朴世龙在其文章（National Science Review，2025，nwaf069）中指出："A recent study suggested that approximately 72.7% of the increase in land carbon sinks can be attributed to these ecological restoration programs [32], highlighting the significant role of active land

management in achieving carbon neutrality in China”。团队在《Land Use Policy》上发表的论文（2023，125，106466）获得多位国内外知名学者引用，包括中国工程院院士王浩、中国科学院大学王树涛（教育部长江学者特聘教授、万人计划科技创新领军人才）、南京大学杜培军（教育部长江学者特聘教授、《遥感学报》副主编）、清华大学龙笛（国家杰青）等学者。斯坦福大学 Yingjie Li 在其文章（Sustainable Production and Consumption，2024，50）中指出： Given the increasingly prominent negative impact of non-grain cultivation on food production stability in China (Zhang et al.,2023a), our analysis considers six main crop types in China: maize, wheat, soybeans, rice, rapeseed, and groundnut”。专著《集体林权制度改革对中国木材供给的影响——基于省级面板数据的实证分析与 GFPM 预测》得到了威斯康辛大学麦迪分校森林和野生动物生态系 Class of 1933 Bascom、John N.McGovern WARF 名誉教授 Joseph Buongiorno 的高度评价，认为该研究深入剖析了中国集体林权制度改革对木材供给的长远影响，采用了前沿的面板数据分析方法和 GFPM 模型，提出的政策建议具有重要的实践意义，为未来中国林业政策调整和木材供给保障提供了科学依据。其研究创新性和理论深度，得到了国际林业经济学界的广泛认可。

**2. 相关成果得到多部门高度评价**

（1）2022 年 12 月 9 日，时任国家乡村振兴局局长刘焕鑫听取了课题组成果“脱贫人口持续增收研究”，对项目成果进行了高度评价，认为本成果不仅为脱贫攻坚后期增收政策提供了理论支持，还为农村经济持续增长和脱贫人口的稳定增收提供了具体路径。将研究成果全文收录《巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接研究》一书。（2）2019 年 7 月 10 日，在新疆维吾尔自治区林业草原发展“十四五”规划前期调研总结会上，来自国家林业和草原局经济发展研究中心与自治区林业和草原局的专家对本成果给予了充分肯定，为新疆荒漠化防治、草原保护与修复、林业与草原融合发展等关键领域提供了重要支撑，相关观点被引入《维吾尔自治区林业和草原发展“十四五”规划战略研究》。（3）撰写的报告《林草领域 2035 年应对气候变化目标研究报告》，2024 年被生态环境部应对气候变化司评价“为我国 2035 年国家自主贡献目标制定提供了重要的科学依据”。（4）相关成果得到了国家林草局发展研究中心、中共杨凌示范区工委政策研究室的采

纳，进一步证明了该成果在学术界和政策研究中的影响力。这些研究成果充分体现了本成果在林业经济管理领域的学术贡献和实践价值，为林业经济发展和集体林权制度改革提供了重要的理论支持和政策建议。

**3. 相关成果得到社会各界广泛关注**

**七次获得党和国家领导人肯定性批示。**以第一主笔人撰写的 12 项研究报告被中办、国办采纳，为相关政策的实施提供了决策参考。**撰写的案例被中共中央组织部**“贯彻落实习近平新时代中国特色社会主义思想在改革发展稳定中攻坚克难案例”（生态文明建设）编选，于 2019 年在党建读物出版社出版。**学术观点被《人民日报》公开报道。**《人民日报》围绕“森林生态产品价值实现与高质量发展”主题，对首席专家进行了专题采访和咨询，并于 2023 年 11 月 10 日正式发布评论文章。相关工作被《中国青年报》、《中国教育报》等进行公开报道，被人民网、光明网、中国农网等主流媒体转载，产生了积极的社会影响。**相关论文成为 ESI 高被引论文或被转载。**第一完成人在《Land Use Policy》上发表的论文获得同行积极评价，成为 ESI 高被引论文。在《改革》上发表的学术论文“集体林权制度改革进程、效应与演化：2002—2022 年”**被《人大报刊复印资料》2024 年第 1 期全文转载**。研究成果得到美国人文与科学院院士 Jianguo Liu、耶鲁大学资源管理顶级专家 Julie B. Zimmerman、剑桥大学气候变化经济学家 Francesco Pompni 等国际著名科学家多次引用和肯定评价，相关成果研究结论被联合国粮农组织（FAO）专家组 P. J. Verkerk 等作为**《联合国 2030 年可持续发展目标》子报告的重要科学数据引用并推广中国绿色低碳成功经验。**

**4. 相关成果荣获多项科研成果奖**

研究成果“集体林权制度改革助力乡村全面振兴的理论与实践研究”获得**陕西高等学校科学技术研究优秀成果特等奖**。《多重冲击下脱贫人口持续增收的困境及化解策略》荣获 2022 年度全省“三农”工作优秀调研成果一等奖。《我国新一轮集体林产权制度改革及配套改革对农户生产行为策略选择的影响》获第九届梁希林业科学技术奖科技进步二等奖（2019 年）。《集体林权制度改革对中国木材供给影响的研究》获陕西高等学校人文社会科学研究优秀成果奖一等奖（2021 年）。这些奖项体现了本成果在推动乡村振兴、林业改革和农户发展等方面的深入研究与突出贡献。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写)**

集体林权制度改革赋能乡村全面振兴的理论创新和实践探索赋有强烈的时代特色，既是党和国家关注的重要农村改革议题，也是学界研究的热点和焦点。在积极开展研究的基础上，本成果注重项目的推广应用工作。聚焦“中央关心、社会关注、人民关切”的热点难点问题，秉持“科研服务社会”的理念，构建起“问题导向 — 学术攻关 — 成果转化”的完整链条。通过跨学科协作、田野调查、大数据分析等手段，将前沿学术理论与实践需求紧密结合，全力推动研究成果向咨政报告的高质量转化，并取得了重要应用进展。

1. 咨政报告与政策应用。作为第一主笔人，累计形成 24 项研究报告，获中办、国办、国务院研究室等多部委采纳，其中 **7 项成果获党和国家领导人肯定性批示**，助力相关政策优化完善。其中 3 项报告被国务院研究室《送阅件》采纳（2021-2023 年），直接支撑脱贫攻坚成果评估体系优化；4 项建议获农业农村部、国办采用，转化为低收入群体帮扶、蔬菜尾菜循环利用等专项政策；第一作者报告《脱贫人口持续增收研究》被收录于原国家乡村振兴局局长主编的权威著作，成为衔接脱贫攻坚与乡村振兴的理论参考。这些建议涵盖了促进规模化经营、推进林地流转机制、建立和完善林业社会化服务体系等内容，为中央及地方政府相关政策的制定提供了决策支持。相关政策建议形成了《巩固易地搬迁成果仍存在不少风险隐患 需进一步增强后续扶持针对性有效性》《多重冲击下脱贫人口持续增收的困境及化解策略》《陕西省白河县农村低收入人口增收调研报告》《巩固拓展脱贫攻坚成果与乡村振兴有效衔接的相关建议》《我国农村土地制度改革推进现状、存在的主要问题及对策建议》《“退林还耕”不当表述的成因及对策建议》《关于进一步提升丹凤县林地流转规模的政策建议》等 7 个政策要报，其中《巩固易地搬迁成果仍存在不少风险隐患 需进一步增强后续扶持针对性有效性》和《多重冲击下脱贫人口持续增收的困境及化解策略》得到中共中央政治局委员、国务院副总理胡春华同志的重要批示，《陕西省白河县农村低收入人口增收调研报告》得到中央领导同志肯定性批示，《巩固拓展脱贫攻坚成果与乡村振兴有效衔接的相关建议》得到中共中央政治局委员、国务院副总理刘国中同志的重要批示，《我国农村土地制度改革推进现状、存在的主要问题及对策建议》得到教育部采用并获上级部门综合采用，《“退林还耕”不当表述的成因及对策建议》被人

民日报内参部采用。研究成果被农业农村部、林草局等政府部门采纳，并转化为实际政策，同时相关研究成果被人民日报、中国农网等媒体广泛宣传。成果中关于规模化经营、林权流转机制完善、林业社会化服务供给优化等方面的政策建议，已应用于浙江、福建等多个试点地区，为深化林权改革提供了科学依据。研究的实际应用和广泛传播，不仅推动了集体林区的经济发展，为集体林区林权改革配套政策和管理体制的完善提供了决策依据，还通过政策实践展现了其社会价值。

2. 国家级权威媒体应用与世界传播

2023 年 11 月 10 日《人民日报》刊发了对项目组的专题采访，核心学术观点被以“适度规模经营促进林区发展”为题进行公开报道，并被人民网、光明网等主流媒体转载。同时，积极参与陕西省政府与世界银行合作实施的产业扶贫项目，承担了项目社会稳定性风险评估咨询服务等工作。世界银行独立开展的项目评估结果认定：该项目为"非常满意"项目，这是世行项目的最高评价。同时，该项目入选 2024 年度“第五届全球减贫案例征集活动”最佳减贫案例，助力中国智慧和中国减贫方案的国际传播。通过“学界—政府—媒体”三方联动，有效提升了该成果的集成应用。

| 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 | 国务院研究室 | 巩固易地搬迁成果仍存不少风险隐患需进一步增强后续扶持针对性有效性 | 政策决策人士、上级领导和政策执行者 | 2021 年 11 月 12 日——至今 | 张伟宾 010-64963106 |
| 2 | 国务院研究室 | 近期脱贫人口收入增长明显放缓需加强有针对性的帮扶防治返贫 | 政策决策人士、上级领导和政策执行者 | 2022 年 9 月 15 日——至今 | 张伟宾 010-64963106 |
| 3 | 国务院研究室 | 改进巩固拓展脱贫攻坚成果考核评估工作的几点建议 | 政策决策人士、上级领导和政策执行者 | 2023 年 8 月 3 日——至今 | 张伟宾 010-64963106 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 国务院办公厅 | 从“生态包袱”到“振兴资源”：蔬菜尾菜循环利用的对策建议 | 政策决策人士、上级领导和政策执行者 | 2024年8月30日——至今 | 刘铂 010-66180114 |
| 5 | 国务院办公厅 | 关于加强粮食产后服务的建议 | 政策决策人士、上级领导和政策执行者 | 2024年1月3日——至今 | 刘铂 010-66180114 |
| 6 | 国务院办公厅 | 有关推动生猪养殖行业健康发展的决策咨询信息 | 政策决策人士、上级领导和政策执行者 | 2024年8月30日——至今 | 刘铂 010-66180114 |
| 7 | 农业农村部 | 陕西省白河县农村低收入人口增收调研报告 | 政策决策人士、上级领导和政策执行者 | 2023年9月23日——至今 | 达亚彬 010-59193366 |
| 8 | 人民日报社 | 森林火灾保险的实施困境及国际经验借鉴 | 政策决策人士、上级领导和政策执行者 | 2024年12月12日——至今 | 张子晗 010-65368114 |
| 9 | 人民日报社 | 适度规模经营促进林区发展 | 政策决策人士、上级领导和政策执行者 | 2023年11月10日——至今 | 张子晗 010-65368114 |
| 10 | 世界银行 | 产业扶贫的社会稳定性风险评估 | 政策决策人士、上级领导和政策执行者 | 2025年4月9日——至今 | 董琰 029-87082985 |

主要应用单位情况表

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 著作 | 集体林权制度改革对中国木材供给的影响——基于省级面板数据的实证分析与 GFPM 预测 | 中国 | ISBN 978-7-5038-8654-6 | 2016.08.01 | | 中国林业出版社 | 张寒 |
| 2 | 发明专利 | 基于点云数据和计算机图形学的林分辐射通量计算方法 | 中国 | CN114663786B | 2024.03.22 | 第 6820492 号 | 南京林业大学 | 云挺，蓝春晓，张怀清，薛鑫波 |
| 3 | 论文 | 劳动力成本上升对农户营林投入结构的影响——基于林业社会化服务供给约束的视角 | 中国 | | 2022.04.15 | | 《中国农村经济》 | 张寒，周正康，杨红强，刘璨 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 发明专利 | 基于端到端深度学习方法的单株树冠检测方法 | 中国 | CN112907520B | 2024.09.17 | 第 7384214 号 | 南京林业大学 | 云挺，张宇，朱天乐，王丽文，曹林 |
| 5 | 发明专利 | 晶格投影的深度学习网络阔叶树枝叶分离与骨架重建方法 | 中国 | CN114494486B | 2024.3.19 | 第 6804154 号 | 南京林业大学 | 薛联凤;云挺;袁星月;张博 |
| 6 | 软件著作 | 农民专业合作社组织化绩效评价数据系统 V1.0 | 中国 | 2018SR276188 | 2017.12.30 | 第 2605283 号 | 西北农林科技大学 | 李敏，杨涛，陈宝燕，王礼力，崔磊，王西和 |
| 7 | 团体标准 | 天地空一体化森林碳汇监测技术规程 | 中国 | T/CCPEF 080-2024 | 2024.05.30 | T/CCPEF 080-2024 | 中国林业与环境促进会 | 云挺，田元，刘妙燕，杨建荣，扈光，李超等 |
| 8 | 著作 | 脱贫人口持续增收问题研究 | 中国 | ISBN 978-7-109-30745-2 | 2023.05.01 | | 中国农业出版社 | 张寒，刘金典，陈晓楠，郑伟伟，靳亚亚，张永旺 |
| 9 | 论文 | 集体林权制度改革进程、效应与演化：2002—2022 年 | 中国 | | 2023.08.30 | | 改革 | 刘璨，张寒 |
| 10 | 论文 | 商品林种植结构的“趋经济林化”——基于劳动力成本效应及相对收益效应的成因分析 | 中国 | | 2021.07.15 | | 林业科学 | 程钰，刘璨，杨红强，张寒 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 张寒 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目的专题设计和技术路线规划，进行专题技术研究，组织协调专题方案的实施与成果转化，对项目储备人才进行系统培养。围绕“集体林区高质量发展”等专题,尤其关注了农户的林地流转行为和营林投入行为两个主题，构建了农户微观行为决策模型、木材宏观市场运行模型等。从理论与实证两个维度出发，揭示了产权改革与农户营林投入内在逻辑关联、木材市场响应机制等，识别了农户营林投入积极性的关键影响因素与约束条件。以第一作者的多项研究成果被中办、国办、《人民日版》内参采纳,获得党和国家领导人肯定性批示。评估了集体林权制度改革的综合效益及其内在机理，为实现森林可持续经营提供了有益的决策参考。 |
| 刘璨 | 2 | 研究员 | 北京农学院 | 负责项目的专题设计，进行专题技术研究。围绕“集体林权制度改革进程、效应与演化”等方面展开系统的研究。完成人强化了政策制度和市场等环境条件对新集体林权制度改革的影响研究，在梳理我国新集体林权制度改革进程的基础上，利用林农和新型林业经营主体的跟踪调研数据进行了分析，丰富了制度经济学变迁实证分析研究成果，尤其是林业产权制度变迁的实证研究成果。更为深刻、准确地认识和理解我国新集体林权制度改革环境条件和机理机制，以及推进集体林权制度演化和效应动态变化的动因和因素，为深化新时代集体林权制度改革提供镜鉴。识别了集体林权制度改革的演化逻辑和学理依据。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 杨红强 | 3 | 教授 | 南京林业大学 | 对林地流转和非农就业行为做出了技术贡献。构建林地流转、非农就业多方程系统估计模型，有效的反映了林地流转、非农就业这两个决策变量的双内生性和交互影响。已有研究多假设非农就业是农户的外生行为，这一假设与现实不符，同时带来了参数估计结果的偏误问题。完成人采用多方程系统 Tobit 估计方法，利用了林地流转面积的定性和定量信息，弥补了现有研究的不足。明晰了林地流转和非农就业行为的关系及林地流转的决定因素，评估了集体林权制度改革的综合效益及其内在机理，为促进林地流转市场的发展提供决策参考。 |
| 云挺 | 4 | 教授 | 南京林业大学 | 通过提出并应用《天地空一体化森林碳汇监测技术规程》，本规程的核心在于构建一个严谨且可操作的天地空一体化数据融合框架，以实现对森林碳汇的精准、动态监测。它不仅将高空间分辨率的星载遥感影像、高密度点云数据的机载激光雷达以及高时间分辨率的地面碳通量塔三类数据进行系统性整合，更在关键技术环节上实现了深度创新。 |
| 李敏 | 5 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 立足中国集体林权制度演进历程与乡村振兴战略需求，构建了具有鲜明本土特色的林权变迁理论分析框架。完成人从产权制度嵌入社会结构的理论视角出发，系统考察了城乡统筹进程、政府制度供给、市场资源配置、森林多功能利用方式演变以及农户生计策略转型等多重要素对林权制度变迁的复合影响，阐明了集体林权改革赋能乡村产业振兴、生态宜居与治理有效的内在逻辑与实践路径，为持续深化集体林改、全面推进乡村振兴提供了坚实的学理依据和前瞻性的政策建议。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 刘浩 | 6 | 副研究员 | 国家林业和草原局发展研究中心 | 构建适合中国林权变迁的理论分析框架，聚焦中国城乡关系的动态变化以及集体林区的历史与现实。完成人基于产权制度变迁过程视角，把林权变迁置于社会制度结构中，研究不同城乡关系、政府的制度政策、市场、森林资源利用形式、集体林对农户生计的贡献等对林权变迁的影响。识别了集体林权制度改革的演化逻辑和学理依据，为党的二十大后继续深化集体林改提供前瞻性政策思路。 |
| 高建中 | 7 | 教授 | 西北农林科技大学 | 牵头撰写林草发展政策研究专题报告，提出了解决问题的基本思路和政策建议。积极探索生态优先、绿色发展为导向的高质量发展新路子，坚持生态绿疆、产业兴疆、科技强疆、文化润疆，为新疆林草事业发展提供了基础支撑。政策报告被《新疆林业和草原发展“十四五”规划战略研究》收录，对新疆地区林草事业瞄准发展前沿、发挥特色优势、统筹规划布局、释放林草发展活力具有重要指导作用。提出了集体林区巩固拓展脱贫攻坚成果与乡村振兴有效衔接的优化路径。 |
| 陈晓楠 | 8 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 带队深入重点帮扶县、易地扶贫搬迁安置点进行实地调研，就脱贫人口持续增收的现状、问题及风险进行分析，并在此基础上提出促进脱贫人口持续较快增收的政策建议。在借鉴可持续能力分析框架和生计恢复力概念的基础上，提出增收可持续的概念内涵。在对比分析发达国家和发展中国家促进农村居民可持续增收的做法基础上，得到相应的经验总结及政策启示。提出了集体林区巩固拓展脱贫攻坚成果与乡村振兴有效衔接的优化路径。国家乡村振兴局将研究成果《脱贫人口持续增收问题研究》收录在《巩固拓展脱贫攻坚成果向乡村振兴有效衔接研究》。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
| --- | --- | --- |
| 西北农林科技大学 | 1 | 本单位负责项目的申报、审批、实施及人才培养相关工作，包括制定项目计划、组织项目管理、项目数据的收集、处理和分析、项目的成果管理及储备人才培养。作为项目的承担单位，本单位主动组织相关人员深入开展调查研究，并积极推进成果的推广与应用。项目研究期间，共发表学术成果 70 余篇，包括 5 部专著，其中 SSCI 收录 40 余篇，完成的 27 份成果要报中，有 14 份获得国家级领导肯定性批示，研究成果被中办、国办、农业农村部、教育部等单位采纳，并受到《人民日报》、《光明日报》等媒体的广泛报道。依托该课题，培养了 28 名研究生，其中 12 人获国家奖学金，显著推动了学术成果传播和人才培养。同时，通过构筑高水平的研究平台，学校为相关研究和推广工作提供了坚实支持。 |
| 北京农学院 | 2 | 本单位在承担相关项目研究中，通过专题设计和科学规划技术路径，构建了系统化的理论分析框架，深入探讨林业发展的关键议题。围绕“集体林权制度改革”“林地流转”“城乡融合”等专题，通过采用多模型实证分析和广泛的数据验证，全面揭示了劳动力成本上升与非农就业对营林投入结构优化的复杂影响机制，特别是在资源配置、要素替代和制度约束方面的重要作用。在研究中，本单位特别关注集体林权制度改革对乡村全面振兴的助力作用。通过深化林权改革，林权确权明晰和流转机制的完善，不仅提升了林农的产权安全感和生产积极性，还促进了农村劳动力的有效配置和林业规模化经营的发展。这一改革激发了乡村地区的生态经济潜力，推动了农户收入增长与乡村产业多元化，为乡村振兴提供了稳定的经济基础。这些研究成果不仅丰富了林业经济和政策领域的理论基础，还为政策制定和改革方向提供了重要的决策支持。本单位在研究和推广应用中发挥了重要的学术支持作用，为项目研究提供了坚实的理论基础和科学的研究路径。 |

| | | |
|---|---|---|
| 南京林业大学 | 3 | 本单位在项目研究中主要负责提供人才支持与对项目储备人才进行系统性培养。本单位通过围绕“森林资源可持续管理与高效利用”“集体林权制度改革助力乡村全面振兴”等核心专题，构建了森林生态功能评估模型、林产品价值链优化模型与农户经济行为响应模型，从理论研究与应用实践双重视角，深入分析了资源利用效率、生态保护政策与产业升级之间的内在关系，揭示了集体林权制度改革对提升农户经济效益、优化资源配置以及推动乡村生态经济融合发展的积极作用。通过项目实施，培养了一批具有创新能力的青年研究人才，其中多名研究生发表了高水平论文，形成了林业科学领域人才培养与科学研究相互促进的良好局面。这些研究成果为优化森林资源管理政策、深化集体林权制度改革、促进乡村振兴与生态经济协同发展提供了科学依据与决策支持。 |
| 国家林业和草原局发展研究中心 | 4 | 本单位在项目研究中通过构建森林生态功能综合评价模型、林产品价值链优化分析框架以及农户经济行为响应机制模型，系统阐释了生态保护、产业发展与政策创新之间的内在联系，揭示了林权改革对激发林农积极性、提升资源利用效率以及推动乡村生态与经济协同发展的重要作用；研究成果不仅深化了对林业可持续经营与乡村振兴实现路径的理论认识，更为优化集体林权制度配套政策、完善生态补偿机制、促进林业产业融合与乡村振兴战略的有效实施提供了扎实的学术依据和可操作的决策支持，实现了从理论探索到政策实践的有效转化。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 | 专著合著 | 张寒，排名第1 | 2014.08.15 | 2024.12.01 | 集体林权制度改革对中国木材供给的影响——基于省级面板数据的实证分析与 GFPM 预测 | 附件材料 |
| 2 | 论文合著 | 张寒，排名第1 | 2014.09.01 | 2024.04.01 | 劳动力成本上升对农户营林投入结构的影响——基于林业社会化服务供给约束的视角 | 附件材料 |
| 3 | 论文合著 | 张寒，排名第1 | 2016.08.01 | 2020.08.01 | 集体林权制度改革提高了农户营林积极性吗——基于非农就业调节效应和内生性双重视角 | 附件材料 |
| 4 | 论文合著 | 张寒，排名第1 | 2016.05.01 | 2023.05.01 | 劳动力成本上升对商品林种植结构的影响——基于林业社会化服务的调节效应分析 | 附件材料 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 论文合著 | 张寒，排名第1 | 2014.10.01 | 2019.10.01 | 资本异质性视角下林业投入劳动集约的成因分析——基于9省区林农数据的联立方程MVTobit估计 | 附件材料 |
| 6 | 论文合著 | 张寒，排名第1 | 2015.08.01 | 2018.08.01 | 非农就业对林地流转的影响——基于双内生视角的MVTobit估计 | 附件材料 |
| 7 | 论文合著 | 刘璨，排名第2 | 2015.10.01 | 2023.10.01 | 城乡关系背景下中国集体林权制度变迁分析 | 附件材料 |
| 8 | 论文合著 | 刘璨，排名第2 | 2020.08.01 | 2023.08.01 | 集体林权制度改革进程、效应与演化：2002—2022年 | 附件材料 |
| 9 | 论文合著 | 刘璨，排名第2 | 2017.04.01 | 2020.04.01 | 劳动力成本上升对农户营林投入结构的影响——基于林业社会化服务供给约束的视角 | 附件材料 |
| 10 | 论文合著 | 刘璨，排名第2 | 2016.08.01 | 2020.08.01 | 集体林权制度改革提高了农户营林积极性吗——基于非农就业调节效 | 附件材料 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 应和内生性双重视角 | |
| 11 | 论文合著 | 刘璨，排名第 2 | 2014.10.01 | 2019.10.01 | 资本异质性视角下林业投入劳动集约的成因分析——基于 9 省区林农数据的联立方程 MVTobit 估计 | 附件材料 |
| 12 | 论文合著 | 刘璨，排名第 2 | 2015.08.01 | 2018.08.01 | 非农就业对林地流转的影响——基于双内生视角的 MVTobit 估计 | 附件材料 |
| 13 | 论文合著 | 杨红强，排名第 3 | 2017.04.01 | 2020.04.01 | 劳动力成本上升对农户营林投入结构的影响——基于林业社会化服务供给约束的视角 | 附件材料 |
| 14 | 论文合著 | 杨红强，排名第 3 | 2016.08.01 | 2020.08.01 | 集体林权制度改革提高了农户营林积极性吗——基于非农就业调节效应和内生性双重视角 | 附件材料 |
| 15 | 论文合著 | 杨红强，排名第 3 | 2014.10.01 | 2019.10.01 | 资本异质性视角下林业投入劳动集约的成因分析——基 | 附件材料 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 于 9 省区林农数据的联立方程 MVTobit 估计 | |
| 16 | 论文合著 | 杨红强，排名第 3 | 2015.08.01 | 2018.08.01 | 非农就业对林地流转的影响——基于双内生视角的 MVTobit 估计 | 附件材料 |
| 17 | 共同立项 | 云挺，排名第 4 | 2016.10.01 | 2025.10.01 | 深化集体林权制度改革背景下林业生态产品价值实现机制和生态补偿制度研究 | 附件材料 |
| 18 | 论文合著 | 李敏，排名第 5 | 2016.07.01 | 2022.07.01 | Community Governance, Financial Awareness, and Willingness to Participate in National Park Development: Evidence from the Giant Panda National Park | 附件材料 |
| 19 | 论文合著 | 刘浩，排名第 6 | 2015.10.01 | 2023.10.01 | 城乡关系背景下中国集体林权制度变迁分析 | 附件材料 |
| 20 | 论文合著 | 刘浩，排名第 6 | 2015.08.01 | 2018.08.01 | 非农就业对林地流转的影响——基于双内生视角的 MVTobit 估计 | 附件材料 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 共同知识产权 | 高建中，排名第 7 | 2015.10.01 | 2023.10.01 | 新疆林业和草原发展“十四五”规划战略研究 | 附件材料 |
| 22 | 共同知识产权 | 陈晓楠，排名第 8 | 2016.10.01 | 2023.10.01 | 巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接研究 | 附件材料 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字论文合著）**

本项目完成人具体合作情况如下：

一、核心理论创新团队的合作（张寒、刘璨、杨红强）

三人通过深度合作，共同构建了集体林权制度改革赋能乡村振兴的理论框架。张寒与刘璨重点合作研究了集体林权制度改革的演进路径与制度变迁机理，共同揭示了产权改革与乡村治理的内在关联；张寒与杨红强合作开展了农户行为响应机制的实证研究，创新性地构建了农户微观行为决策模型；三人共同完成了集体林权制度改革综合效益评估的重要研究，从理论创新与实证验证两个维度，系统阐明了林权改革赋能乡村振兴的内在逻辑与作用路径。

二、政策研究与理论深化团队的合作（张寒、李敏、刘浩）

张寒与刘浩聚焦林权制度变迁的政策效应，共同构建了适合中国情境的林权变迁理论分析框架；张寒与李敏、刘浩通过深度合作，进一步丰富了集体林权制度嵌入社会结构的理论视角，系统揭示了林权改革促进乡村产业振兴、生态保护与社区治理的多重机制，为项目提供了重要的学理支撑和政策启示。

三、研究方法创新与实证验证团队的合作（张寒、杨红强、云挺）

张寒、杨红强创新性地构建了林地流转与非农就业多方程系统估计模型，为解决变量内生性问题提供了方法论突破；云挺构建了一个严谨且可操作的天地空一体化数据融合框架，以实现对森林碳汇的精准、动态监测。它不仅将高空间分辨率的星载遥感影像、高密度点云数据的机载激光雷达以及高时间分辨率的地面碳通量塔三类数据进行系统性整合，为项目贡献了重要的方法创新和实证支撑。

四、乡村振兴实践应用团队的合作（张寒、高建中、陈晓楠）

高建中带队在新疆等地开展的实地调研，为张寒的理论模型提供了重要的实证数据支撑；陈晓楠基于实地调研完成的脱贫人口持续增收研究，与张寒的农户行为研究形成深度对话，共同提出了集体林区巩固拓展脱贫攻坚成果与乡村振兴有效衔接的优化路径，推动了项目研究成果的实践转化和应用推广。

本项目完成人通过上述多层次、多维度的论文合著与科研合作，形成了理论创新、方法突破、政策研究和实践应用四位一体的科研合作网络，共同推动了集体林权制度改革与乡村全面振兴领域的理论创新和实践探索。所有合作成果均以共同署名的学术论文形式公开发表，真实有效。

# 项目十

**一、项目名称：**黄土高原降雨径流调控与高效利用关键技术产品及应用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目针对制约黄土高原农业生产的干旱频发和水资源短缺难题，历时 17 年，系统开展了黄土高原降雨径流调控与高效利用关键技术及应用研究，取得了重大创新与突破。阐明了现阶段黄土高原主要作物适水时空格局，明确了降雨径流调控利用的潜力；揭示了小流域坡沟坝地复合系统降雨径流转化机制及其伴生效应；明晰了典型主粮作物和经济林果水分利用策略，构建了主粮作物和经果林降雨径流多界面联合调控技术；研发出“拦提蓄补”四位一体绿色智慧集雨补灌技术与产品。2 项技术入选农业农村部重大引领性技术，2 项技术入选农业农村部农业主推技术，进行了大面积推广应用，取得显著的经济、生态和社会效益。

项目成果技术创新性突出，技术经济指标先进，在推动农业水土工程和水土保持等相关学科发展及行业科技进步等方面有重大贡献，符合陕西省科学技术进步奖提名条件。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

三、**项目简介：**

干旱频发、水资源短缺是全球旱区农业和生态环境建设所面临的瓶颈性难题，以我国黄土高原最具有代表性。黄土高原占黄河流域面积的 80%以上，是我国主要旱作农业区，农业用水主要依靠自然降水，但该区降雨量少且时空分布不均，集中降雨期产生大量地表径流，是产生水土流失的主要源动力，如果加以利用又将能够成为农业抗旱的重要水源。因此，以降雨径流科学调控实现高效利用保障农业生产与生态协同提升就成为该区亟需破解的国家需求。为充分挖潜利用该区降雨径流，项目组历时 10 余年，在厘清区域降雨径流调控利用潜力和小流域坡沟系统降雨径流转化机制基础上，研发出系列降雨径流高效利用关键技术与产品，主要创新成果如下：

（1）**明确了黄土高原不同类型区降雨径流调控与利用潜力。**建立同步考虑作物光谱和物候特征的种植结构识别方法，构建了黄土高原主要作物种植结构空间分布高精度数据集，总体精度达 0.82 以上；创建了农田适水度评价新指标，

研发了高分辨率农田水平衡过程模拟模型，明晰了黄土高原主要作物适水时空格局，发现适水度低值区主要分布在黄土丘陵沟壑区；耦合考虑空间分布的长系列作物蒸散发数据集，建立黄土高原降雨径流拦蓄利用适配模型，明确降雨径流拦蓄最佳窗口期（8-10 月）和潜在发展面积（5460 万亩），采用水分生产函数对 7 种作物增产潜力预测，粮食平均增产 36.7%、经济作物增产 67.6%，为其规模化发展提供理论依据。

（2）**揭示了小流域坡沟坝地复合系统降雨径流转化机制及其伴生效应**。开发了能反映小流域地表径流侵蚀及土壤水运动过程的流域模型，给出暴雨径流及土壤水分运动相似的几何、运动及动力相似比尺，构建了小流域降雨径流侵蚀调控过程模拟体系，发现坡沟水流运动过程损失坡面径流约 22.7%-49.2%；提出氘同位素示踪和染色示踪联合解析坡沟系统降雨径流过程方法，发现峁坡和沟道边坡贡献沟道土壤水分来源的 67.1%；通过典型小流域坡沟系统多年多地多点土壤水碳定位观测，沟道土壤含水量和土壤有机碳含量分别较坡面平均高 39.3%和 19.4%；得出坡面降雨径流调控重点在上部，小流域在上游，为小流域坡沟系统降雨径流高效利用提供了理论基础。

（3）**构建了黄土高原主粮作物和经济林果降雨径流多界面联合调控技术**。采用稳定同位素示踪和土壤水及蒸腾高频连续定位观测方法，明晰了主粮作物（小麦、玉米和马铃薯）和经济林果（苹果和红枣）水分利用来源与利用策略；以有效降低非生产性耗水和奢侈性蒸腾耗水为目标，研发出适用于旱作小麦、玉米、马铃薯等粮食作物降雨径流多界面联合调控技术（根-土界面“有机物深施-土壤扩蓄-促根提水”；土-气界面“微地形集雨-耕层蓄水-地表覆盖抑蒸”；气-植界面“调密降蒸-优化株行距-降低水分竞争”），以及适用于苹果、红枣等经济林果的降雨径流多界面联合调控技术（根-土界面“深层引流-根域入渗-补水增碳”；土-气界面“绿肥还田-水分协同-促渗固碳”；气-植界面“侧枝调控-降耗增效”），根区土壤有效水含量平均提高 7.3%和 10.1%。

（4）**研发出“拦提蓄补”四位一体绿色智慧集雨补灌技术与产品**。建立基于跨流域迁移学习的无资料地区降雨径流预测新方法，构建基于改进粒子群算法的光伏提水系统碳-经济协同优化模型，提出系统参数优化配置方案；研制出高分子复合织物一体成型大容量防蒸发蓄水池及沉砂装置，创制出绿色自适应陶瓷灌

水器及生产装备、智慧集雨补灌控制平台等新产品新装备。以上述产品装备为核心，集成构建出“拦提蓄补”四位一体绿色智慧集雨补灌技术，实现了“秋雨春用、丰雨旱用”，大幅度提高了粮食和经济林果产量及水分利用效率。

在 *Science Bulletin*、*Water Resources Research*、中国科学：地球科学等期刊发表论文 117 篇，其中 SCI 收录 95 篇；授权国家发明专利 23 件、实用新型和软著 27 件，制定农业农村部行业和陕西省地方标准 7 项。入选农业农村部重大引领性技术 2 项、主推技术 2 项，首批“一带一路”科技减贫先进适用技术 1 项，被写入陕西省委一号文件和“十四五”农业节水行动方案。项目成果综合效益显著，应用前景广阔。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

**1. 鉴定意见**

2010 年，以田均良研究员为组长的专家组对主持完成的国家科技支撑计划课题“坡面降雨径流调控及高效利用技术（2006BAD09B01）”进行了会议验收，认为该课题研发了具有自主知识产权的固化剂等调控材料，建立坡面径流调控优化模型，研制并推广应用场窖一体化等多种蓄水装置；构建了适用于黄土高原多区域和作物的调控模式，其中“水平梯田苹果+水窖+节水灌溉模式”已在安塞等地推广应用，综合效益显著。

2021 年，以康绍忠院士为组长的专家组对主持完成的国家重点研发计划课题“陕北黄土高原特色经济林节水增效技术研究与集成应用”进行了会议验收，认为课题揭示了黄土高原苹果和红枣等经济林果水分利用策略，创新了不同界面适水降耗增效调控技术，研发出微孔陶瓷根灌技术及系列产品，形成了针对不同经营主体的技术模式，并进行了大面积应用，综合效益显著。

**2. 国内外同行评价**

美国工程院院士、得州农工大学杰出教授（Distinguished Professor）Vijay P. Singh 在世界水土保持学会会刊 International Soil and Water Conservation Research 发表论文，20 次引用项目完成人发表在 Catena（2011, 87: 357-367）、Journal of Hydrology（2013, 476: 28-41）和 Geoderma（2016, 261: 1-10）的研究成果，肯定了项目坡沟系统土壤水分时空分布格局研究成果的先进性和系统性。

中国科学院生态环境研究中心傅伯杰院士在 Catena 上发表论文，认为项目关于植被水分利用策略受生长环境调控（Agricultural and Forest Meteorology, 2023, 336: 109484）的研究结果，为优化田间管理措施提供了理论依据。瑞士联邦森林研究所 Arthur Gessler 教授在 Global Change Biology 发表论文将项目关于经济林果土壤水分利用策略（Hydrology Earth System Science, 2023, 27: 123-137）的研究结果作为长期灌溉促进根系扩展，致使灌溉地与对照地土壤水分差异减小的关键证据。

中科院西北生态环境资源研究院冯起院士和阿根廷国家科学院院士、国际生态协会（INTECOL）杰出贡献奖获得者 Jobbagy Esteban 教授，在 Plant Physiology and Biochemistry 和 Agricultural and Forest Meteorology 发表论文认为项目组关于经济林果根-土界面深层土壤水缺失显著影响果树生长的研究结果（Journal of hydrology, 2023, 617: 129161），为“深层土壤水是旱地生态系统树木生存的保命水”这一结论提供了强有力的证据。European Journal of Soil Science 期刊副编辑、英国土壤科学学会杰出贡献奖获得者 Daniel Evans 教授在英国土壤学会会刊 European Journal of Soil Science 发表论文，认为项目组关于土-气界面调控研究是雨水集蓄利用的重要进展，并为新的调控技术研发奠定了基础。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写)**

自项目实施以来，项目组以“同步缓解干旱缺水与水土流失并存瓶颈性难题”为目标，以“充分挖潜降雨径流”为核心的降雨径流调控与高效利用关键技术，可以有效削弱水土流失的主要原动力，同时实现了降雨径流资源高效利用，显著提升主粮作物、经济林果水分利用效率、降水利用率和产量，并在黄土高原大面积推广应用，为我国旱作农业绿色高质量发展提供了有力的理论指导和科技支撑，也有效提高了我国旱作农业的经济效益和技术水平。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | 一种灌溉用水集雨器 | 中国 | ZL202210957591.6 | 2024 年 8 月 16 日 | 7294602 | 西北农林科技大学 | 高晓东、宁少雄、蔡耀辉、赵西宁 |
| 2 | 发明专利 | 一种河流径流量的研究方法 | 中国 | ZL201811355723.8 | 2022 年 10 月 11 日 | 5506860 | 西北农林科技大学 | 高学睿、闫程晟、吴普特、赵西宁、王玉宝、鲁仕宝、孙淼、焦梦妍、王爱、王纪超、安婷莉、韩昕雪琦 |
| 3 | 发明专利 | 一种秸秆木质陶瓷根灌管及其制备方法与应用 | 中国 | ZL202010769091.0 | 2022 年 3 月 15 日 | 4997390 | 西北农林科技大学 | 蔡耀辉、吴普特、张林、朱德兰、赵西宁、葛茂生、高晓东、丁艳宏、周伟、聂一品 |
| 4 | 发明专利 | 果园降水集蓄促渗保墒增碳方法、系统及其果园智能补灌系统 | 中国 | ZL202210354681.6 | 2023 年 3 月 24 日 | 5816770 | 西北农林科技大学 | 宋小林、赵西宁、马锋旺、高晓东、蔡耀辉、石雨峰、张宇飞、倪文乐、李昌见、邹养军 |
| 5 | 发明专利 | 一种柔性环保橡塑水窖及其制备方法 | 中国 | ZL200510096014.9 | 2009 年 8 月 5 日 | 532634 | 西北农林科技大学;青岛华海环保工业有限公司、中国科学院水利部水土保持研究所、国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心 | 高建恩、张芳海、朱德兰、郭建伟、李少斌、丁蕊、肖克飚 |
| 6 | 发明专利 | 用于山地果园的集雨补灌促渗排涝综合系统及其实施方法 | 中国 | ZL202210575889.0 | 2023 年 9 月 15 日 | 6326886 | 西北农林科技大学;河南科技大学 | 蔡耀辉、代智光、赵西宁、高晓东、杨世伟、宋小林、李昌见、高学睿、刘珂瑶 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 行业标准 | 旱作农业 术语与定义 | 中国 | NY/T 4177-2022 | 2022 年 11 月 11 日 | 中华人民共和国农业农村部 | 全国农业技术推广服务中心、中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所、西北农林科技大学、甘肃省耕地质量建设保护总站 | 吴勇、张赓、陈广锋、沈欣、周阳、何文清、赵西宁、龚道枝、刘少君、崔增团、赵建明、刘永忠、李昊儒、高丽丽 |
| 8 | 地方标准 | 黄土高原苹果园光伏提水集雨微灌技术规范 | 中国 | DB61/T 1791-2023 | 2023 年 12 月 22 日 | 陕西省质量监督局 | 西北农林科技大学、陕西省耕地质量与农业环境保护工作站、西安市质量与标准化研究院、兰州大学、陕西崇仁水利工程有限公司、杨凌现代农业产业标准化研究推广服务中心 | 赵西宁、高晓东、蔡耀辉、徐文华、王迁、宋小林、张宝庆、杨世伟、李昌见、高学睿、任利宇、文明宜、于流洋、王绍飞、杨敏、范兴科、文立红 |
| 9 | 地方标准 | 半干旱区苹果园间作豆菜技术规范 | 中国 | DB61/T 1360-2020 | 2020 年 12 月 28 日 | 陕西省质量监督局 | 西北农林科技大学、陕西省杂交油菜研究中心、西安市质量与标准化研究院、延安市果业中心、全国农技推广服务中心、杨凌现代农业产业标准化研究推广服务中心 | 赵西宁、杨建利、宋小林、高晓东、吴普特、王迁、王春丽、吴勇、路树国、贺春祥、刘光东、凌强、霍高鹏、李会科、蔡耀辉、周永明、高建恩 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 地方标准 | 黄土丘陵沟壑区沟道土地整治及控制工程技术规范 | 中国 | DB61/T 1746-2023 | 2023 年 11 月 14 日 | 陕西省质量监督局 | 西北农林科技大学、中国科学院水利部水土保持研究所、中国科学院地理科学与资源研究所、陕西省土地工程建设集团有限责任公司、延安市治沟造地领导小组办公室、水利部水土保持生态工程技术研究中心（杨凌）、国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心、杨凌职业技术学院、西安市质量与标准化研究院、杨凌现代农业产业标准化研究推广服务中心 | 高建恩、樊恒辉、刘国彬、刘彦随、田堪良、韩剑桥、罗林涛、卜崇峰、赵西宁、刘刚、张根广、高哲、张星辰、李兴华、窦少辉、强敏敏、龙韶博、张强、李军、王光东、贺春雄、王迁、周永明 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 赵西宁 | 1 | 研究员 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 负责项目总体技术方案设计与组织实施，对项目创新成果 1-4 均做出重要贡献 |
| 高晓东 | 2 | 研究员 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 项目重要执行人，在项目创新成果 2 和 3 中做出重要贡献，参与完成创新成果 1 和 4 研究 |
| 吴普特 | 3 | 教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 在项目创新成果 2 和 3 中做出重要贡献，参与完成创新成果 1 和 4 研究 |
| 高建恩 | 4 | 研究员 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 在项目创新成果 2 中做出重要贡献 |
| 吴　勇 | 5 | 高级农艺师 | 全国农业技术推广服务中心/全国农业技术推广服务中心 | 参与项目创新成果 3 和 4 研究，在技术成果应用推广中做出重要贡献 |
| 蔡耀辉 | 6 | 副研究员 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 在项目创新成果 4 中做出重要贡献，参与完成创新成果 1 研究 |
| 孙世坤 | 7 | 教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 在项目创新成果 1 和 4 中做出重要贡献 |
| 高学睿 | 8 | 研究员 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 在项目创新成果 1 中做出重要贡献 |
| 任小龙 | 9 | 教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 在项目创新成果 3 中做出重要贡献 |
| 刘恩科 | 10 | 研究员 | 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 | 在项目创新成果 3 中做出重要贡献 |
| 任利宇 | 11 | 高级工程师 | 陕西崇仁水利工程有限公司/陕西崇仁水利工程有限公司 | 在项目创新成果 4 中做出重要贡献，参与技术成果应用推广 |
| 战国隆 | 12 | 正高级工程师 | 大禹节水集团股份有限公司/大禹节水集团股份有限公司 | 在项目创新成果 4 中做出重要贡献，参与技术成果应用推广 |
| 高　哲 | 13 | 讲师 | 陕西农林职业技术大学/陕西农林职业技术大学 | 参与完成项目创新成果 2 研究 |
| 刘忠雄 | 14 | 高级农艺师 | 榆林市农业技术服务中心/榆林市农业技术服务中心 | 在技术成果应用推广中做出重要贡献 |
| 路树国 | 15 | 高级农艺师 | 延安市果业中心/延安市果业中心 | 在技术成果应用推广中做出重要贡献 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
| --- | --- | --- |
| 西北农林科技大学 | 1 | 项目主持单位，统筹组织管理项目实施，为项目实施提供了必要的科研信息咨询、人员保障、资金、试验基地、仪器设备和设施，田间示范应用等必要条件，为项目的申报、验收、成果材料撰写等多方面提供支持和保障，是项目创新成果 1-4 的主要完成单位 |
| 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 | 2 | 参与完成项目创新成果 3 的研究 |
| 陕西崇仁水利工程有限公司 | 3 | 参与完成项目创新成果 4 的研究，参与技术成果应用推广 |
| 大禹节水集团股份有限公司 | 4 | 参与完成项目创新成果 4 的研究，参与技术成果应用推广 |
| 全国农业技术推广服务中心 | 5 | 参与项目创新成果 3 和 4 研究，在技术成果应用推广中做出重要贡献 |
| 陕西农林职业技术大学 | 6 | 参与完成项目创新成果 2 研究 |
| 榆林市农业技术服务中心 | 7 | 在技术成果应用推广中做出重要贡献 |
| 延安市果业中心 | 8 | 在技术成果应用推广中做出重要贡献 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 | 共同制定标准 | 赵西宁/1<br>高晓东/2<br>吴普特/3<br>高建恩/4<br>吴勇/5<br>蔡耀辉/6<br>路树国/15 | 2006 | 2020 | 陕西省地方标准：半干旱区苹果园间作豆菜技术规范 | 标准 |
| 2 | 共同制定标准 | 赵西宁/1<br>高晓东/2<br>蔡耀辉/6<br>高学睿/8<br>任利宇/11 | 2013 | 2023 | 陕西省地方标准：黄土高原苹果园光伏提水集雨微灌技术规范 | 标准 |
| 3 | 共同制定标准 | 赵西宁/1<br>高建恩/4<br>高哲/13 | 2015 | 2023 | 陕西省地方标准：黄土丘陵沟壑区沟道土地整治及控制工程技术规范 | 标准 |
| 4 | 共同发表论文 | 赵西宁/1<br>吴普特/3<br>孙世坤/7 | 2013 | 2023 | 论文：Evaluation of agricultural water demand under future climate change scenarios in the Loess Plateau of Northern Shaanxi, China | 论文 |
| 5 | 共同发表论文 | 赵西宁/1<br>高晓东/2<br>蔡耀辉/6<br>任小龙/9 | 2013 | 2023 | 论文：A shift from isohydric to anisohydric water-use strategy as a result of increasing drought stress for young apple trees in a semiarid agroforestry system | 论文 |
| 6 | 共同申报专利 | 孙世坤/7<br>战国隆/12 | 2016 | 2023 | 发明专利：一种基于强化学习算法的微灌单元管网布置优化设计方法 | 专利 |
| 7 | 共同发表论文 | 任小龙/9<br>刘恩科/10 | 2013 | 2023 | 论文：Continuous ridge-furrow film mulching enhances maize root growth and crop yield by improving soil aggregates characteristics in a semiarid area of China: An eight-year field experiment | 论文 |
| 8 | 共同完成科技成果 | 任利宇/11<br>刘忠雄/14 | 2015 | 2023 | 陕西省科技成果：旱作农业“四位一体”补灌关键技术及应用 | 科技成果 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

赵西宁为项目第一完成人，提出项目总体思路与方案，主持项目实施和总结。

赵西宁、高晓东、吴普特、高建恩、吴勇、蔡耀辉、路树国等完成人针对黄土高原半干旱区苹果园无效土壤蒸发大并且降雨径流资源难以利用的问题，开展合作研究，通过多年多地试验和数据分析，明晰了苹果园果树与大豆、油菜等绿肥作物种间水分关系主要以协同为主，进而提出了半干旱区苹果园间作豆菜的技术参数，并共同制定陕西省地方标准，给出了具体技术实施细节。

赵西宁、高晓东、蔡耀辉、高学睿、任利宇等完成人针对黄土高原山地苹果园春旱严重而秋季降雨径流水资源丰富的特征，开展合作研究，在厘清黄土高原小流域坡沟系统降雨径流过程基础上，通过多年多地试验和数据分析，明确了山地苹果园光伏提水进行集雨补灌的技术参数，并共同制定了陕西省地方标准，给出了山地果园光伏提水集雨补灌的技术实施细节。

赵西宁、高建恩、高哲等完成人针对黄土高原坡沟系统水土流失问题，开展合作研究，通过多年多地试验和数据分析，明确了黄土丘陵沟壑区沟道土地整治的技术参数，并共同制定了陕西省地方标准，给出沟道土地整治和控制工程的技术实施细节。

赵西宁、吴普特、孙世坤等完成人针对未来气候变化背景下陕北黄土高原农业用水变化不清晰的问题，开展合作研究，通过模型模拟的手段，明确了 3 种未来气候变化情景下陕北黄土高原的农业用水需求，共同发表了学术论文。

赵西宁、高晓东、蔡耀辉、任小龙等完成人针对黄土高原果农复合系统中深根系果树水分利用策略不明晰问题，开展合作研究，通过长期定位观测和数据分析，明确了复合系统果树水分利用策略及其对干旱响应机制，共同发表了学术论文。

孙世坤、战国隆等完成人针对补灌单元灌溉水利用效率不高的问题，开展合作研究，基于强化学习算法，发明出一种补灌单元管网布置优化设计方法，共同申报了发明专利。

任小龙、刘恩科等完成人针对农田土-气界面微地形调控作物生长及产量效应不清的问题，开展合作研究，通过多年定位试验和数据分析，揭示了土-气界面垄沟覆膜增产的机理，共同发表了学术论文。

任利宇、刘忠雄等完成人针对黄土高原秋季降雨径流资源难以有效利用问题，合作开展旱作农业集雨补灌关键技术研究，共同完成科技成果。

# 项目十一

**一、项目名称：**杜仲丰产培育模式构建及资源高效利用关键技术研发

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**杜仲是一种集橡胶、树脂、油脂及药物活性成分于一体的名贵经济植物，我国杜仲资源自然分布在陕、川、鄂、湘、黔、豫等地，占世界杜仲资源总量的98%以上，陕西杜仲占全国总量的1/8。本项目针对杜仲丰产栽培技术与规范不健全、次生代谢产物积累过程不明晰、采收与加工机械化程度低、高值利用技术落后等问题，团队以杜仲资源细胞壁结构形成和主成分生物合成积累规律为切入点，从资源培育、高效利用、功效开发和全产业链效益等方面，多维度解析资源集约化、采收智能化、利用精细化、过程绿色化和产品高值化的基础机制和产业实践路径，相关成果推广应用于陕西省、河南省、江西省、新疆自治区等多个地区，产生了显著的经济和社会效益，有力推动了杜仲产业提质增效和行业科技进步，助力“两山”和“双碳”战略。提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

三、**项目简介：**

杜仲（*Eucommia ulmoides* Oliver）单科单属单种，为中国特有的名贵药用经济植物。据古代医药典籍的记载，我国对杜仲的利用已超过2500年。《神农本草经》和《本草纲目》记载其功效：久服轻身耐老，主腰脊痛，强志，坚筋骨，补中，益精气。杜仲资源集橡胶、药、油、花、树脂、蛋白质、木质纤维素于一体，被誉为“植物黄金”。《全国杜仲产业发展规划（2016-2030）》指出到2030年杜仲新增种植面积5000万亩。由于杜仲丰产栽培技术与规范不健全、次生代谢产物积累过程不明晰、采收与加工机械化程度低、高值利用技术落后等问题，严重制约了杜仲产业的快速发展。因此，项目针对以上问题，开发了杜仲丰产栽培模式、揭示了杜仲次生代谢物合成积累机制、研发了杜仲机械化采收与加工装备、构建杜仲系列产品精深加工技术体系，满足杜仲产业可持续发展的重大科技需求。

因此，针对以上问题，以杜仲资源细胞壁结构形成和主成分生物合成积累规律为切入点，历时30余年攻关研究，从资源培育、高效利用、功效开发和全产业链效益等方面，多维度解析资源集约化、采收智能化、利用精细化、过程

绿色化和产品高值化的基础机制和产业实践路径，有力推动了杜仲产业提质增效和行业科技进步，助力“两山”和“双碳”战略，同时有效弥补我国天然橡胶原料短缺的困境。

**1. 杜仲丰产培育模式构建**

通过丰产栽培技术研究，基于选育出的秦仲 4~8 号杜仲良种，显著提高了杜仲生物量和有效成分含量。首次提出了杜仲叶林丰产栽培模式，该模式是按照市场对杜仲叶、皮和木材的需求，以 2000 株/亩的密度种植，每年秋天平茬收获，春天再萌发新的枝条，适合机械采收，具有“当年栽植，当年收益；一次栽植，年年收益”的特点，每年每亩可收获杜仲干叶约 1.0~1.5 吨、干皮约 0.5 吨、木材约 1.5 吨。与乔林相比，叶林植株叶片的最大净光合效率提高了 128.4%、叶片中的桃叶珊瑚苷、绿原酸和京尼平苷酸含量分别提高了 75.8%、39.0%和 94.2%，杜仲年均产量和固碳量均提高了 3 倍以上。开发出“杜仲+三叶草”，“杜仲+苜蓿”和“杜仲+麦冬”的林下种植方式，提出“林草间作，以草养地”的思路，增加了土壤孔隙度和土壤肥力，改善了土壤通气性和透水性，促进杜仲的生长。揭示了外源激素微量元素、剥皮强度与栽培方式对杜仲次生代谢物的协同调控规律，为实现杜仲次生代谢物积累与时效协同优化提供理论参考。明确了环境因子、时空变化和组织培养等因素调控杜仲不同器官次生代谢物的合成积累机制，为杜仲丰产栽培技术的全面推广和合理采收时间提供了科学依据。

**2. 杜仲机械化采收和加工装备研发**

针对杜仲“叶-皮-果”器官形态差异大、产物时空分布与理化特性各异，规模化采收、加工难度大等问题，开发了杜仲叶、皮、木、籽机械化采收及加工装备。首次创制了基于柔性排种技术的杜仲翅果播种机，适配杜仲翅果扁平特性的柔性精量排种方案，实现了翅果精量无损播种，播种机作业效率是人工作业的 3 倍。创新性的构建了杜仲叶林机械化采收模式，研制了平茬机与脱叶剥皮机，实现了杜仲叶林采收全程机械化连续作业，以及叶、皮和木的精准分离，显著提升了杜仲资源的机械化采收水平。提出多级筛分-风力耦合的杜仲籽仁/壳分离方案，研发了锤片冲击式杜仲籽剥壳装备，壳、仁分离率 98%以上，突破了杜仲籽壳、仁难分离的技术瓶颈。建设完成了微波热风加工生产线，有效

保留了杜仲叶、花等生物活性成分，提高了产业经济效益，推动杜仲产品工业化生产。

**3. 杜仲生物活性成分提取分离及产品精深加工技术**

针对杜仲叶、花在加工过程中色泽褐变、活性成分易损失的问题，建立了杜仲叶、花的“蒸汽杀青-微波干燥”的工艺体系，构建了不同干燥方式对高品位杜仲叶、花活性成分保留模型，开发了具有抗疲劳、提高免疫力等功效的杜仲茶产品。创建了基于“油粕联产-高效利用”的杜仲籽资源化利用模式，开发出具有降血脂、提高免疫力的杜仲籽油系列功能产品。提出“多级耦合协同精炼”新方法，实现了杜仲提取物高效分离，揭示了杜仲活性组分解离机理，开发出杜仲功能食品、保健品等系列功能产品，推动杜仲叶列入我国药食同源目录。提出了“物-化-生”协同杜仲胶绿色分离技术体系，研制出电磁屏蔽、形状记忆、耐磨损、柔性电子等杜仲胶基系列功能材料。基于杜仲叶成分特性，创新性的开发出杜仲微生物生长促进剂，复配出杜仲饲料及饲料添加剂，实现了无抗鸡蛋等系列产品的规模化生产。解析了杜仲木材结构并进行了组分分析，建立了高压水热、蒸汽爆破、有机溶剂协同处理方法，开发了杜仲基食用菌工厂化生产配方，创制了杜仲木材炭气液油联产设备，实现了木材原料化、肥料化、基料化和能源化高效利用。

**4. 建立了杜仲全产业链开发过程的技术经济分析与生命周期评价方法**

依据杜仲全产业链生产流程的物料流、能量流清单、ecoinvent 3.6 数据库和 IPCC 模型，建立了杜仲全产业链开发过程的技术经济分析与生命周期评价方法，通过计算杜仲全周期生产过程的产品成本、内部收益率以及二氧化碳排放当量，分别评估生产单位质量的杜仲精粉、杜仲多糖、杜仲胶、杜仲活性炭、医用植物酸的二氧化碳排放当量($kgCO_2$-eq/kg 产品)，分析对二氧化碳排放当量具有显著贡献的流程模块或元素，找到了可能降低二氧化碳排放量的关键步骤。5~7 月份每公顷杜仲叶林每天二氧化碳的固定量分别为 176 kg、252 kg 和 353 kg，基于杜仲全产业链开发思路，提出了以生态助推杜仲林健稳经营，以经济效益维护生态环境可持续发展的管理模式。

项目执行期间，项目组发起成立了杜仲国家林业和草原局重点实验室、参与成立了国家杜仲资源高值化利用产业技术创新联盟，发表研究论文 149 篇，

申报专利 39 项，出版著作 11 部，制订地方标准 1 项，培养硕/博士研究生 29 名。项目成果已在陕西、新疆、甘肃、河南等省区进行示范和推广，共建立试验示范站（基地）8 个。自成果应用来，近三年累计新增销售额 15.7 亿元，新增利润 4.3 亿元。培训技术人员和林农 2 万余人次，技术辐射杜仲主产区，有效地解决了杜仲丰产栽培技术落后、机械化采收装备落后、资源利用率低的难题，带动了近万名群众脱贫增收，产生了良好的社会和经济效益，推动了杜仲产业的持续健康发展。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

**1. 学术性评价**

项目组发起成立了杜仲国家林业和草原局重点实验室、参与成立了国家杜仲资源高值化利用产业技术创新联盟，发表研究论文 149 篇，申报专利 39 项，授权专利 19 项，出版著作 2 部。其中 SCI 收录 63 篇，共被引用 1925 次，其中他引 1789 次；中文核心期刊 78 篇，共被引用 2617 次，其中他引 2513 次。

（1）两种种植模式下杜仲光合特性及化学成分的动态变化理论：发表在《Industrial Crops And Products》上的论文“Dynamic changes of photosynthetic properties and chemical compositions of *Eucommia ulmoides* Oliver under two planting models”得到了中国林业科学研究院孙志强教授的肯定，其认为种植三年后的杜仲叶林模式，其叶片、树皮和枝干的年产量分别可达约每公顷 10.0~15.0 吨、5.0 ~7.5 吨和 18.0 ~22.5 吨。在根龄超过三年的杜仲叶林中，杜仲叶中的杜仲胶含量大于 4%。并且无论是人工还是机械采收，从杜仲叶林中收获杜仲叶和树皮的成本都更低。同时，江苏大学生物质能源研究院院长朱道辰教授在《Microbiological Research》期刊上发表了论文，对关注不同生长模式下杜仲木质素及其衍生芳香化合物相关的代谢途径所做的研究工作给予了积极肯定，北京林业大学文甲龙教授等人发表在《Industrial Crops and Products》期刊上的论文对研究工作给予了充分肯定，认为积极关注杜仲种植模式与杜仲胶的关系对获取和利用天然橡胶杜仲胶至关重要。

（2）基于绿色化学分离理念的 “橡胶优先”的协同分离技术：相关成果发表于《Chemical Engineering Journal》等期刊，受到国际同行的广泛认可。波兰

Łukasiewicz 研究与创新中心主任 Rafal Marcin Lukasik 在《Bioenergy Research》中肯定了团队所提出的植物细胞壁屏障溶解策略，认为绿色低共熔溶剂是一种选择性去除植物细胞壁的有效手段，并有助于实现其组分的综合利用。此外，团队所提出的杜仲非胶组分解离方法已被发表在《ACS Sustainable Chemistry & Engineering》、《Journal of Cleaner Production》、《International Journal of Biological Macromolecules》等期刊的多项研究借鉴应用，显著提升了杜仲胶的分离效率。通过结合机械研磨与低共熔溶剂预处理技术，实现了杜仲胶的绿色高效提取，并系统阐明了非胶组分在机械力与溶剂处理过程中的解离机制。该工作通过物理-化学协同作用有效破坏植物细胞壁的天然屏障，为杜仲胶的绿色提取提供了新途径。基于生物炼制的理念，协同水热萃取、汽爆解离、生物酶解、绿色溶剂等多种“物-化-生”炼制方法，开展了杜仲主要组分的清洁分离以及资源化利用工作，阐明了生物活性组分解离规律和机理，开发的新方法已被广泛用于杜仲生物活性组分的研究领域，为杜仲资源转化为功能食品和生物材料提供了有效的途径。相关成果发表在《Green Chemistry》等期刊上并入选热点论文，获得日本杜仲研究会国际优秀青年成果奖，得到了国际同行的高度评价，加拿大萨斯喀彻温大学的 Ajay K. Dalai 教授在 Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020, 119, 109546 文中专门肯定了团队在植物资源高效转化方面的创新性探索。

（3）基于团队提炼的高纯度杜仲胶制备复合结构功能材料及性能调控技术：团队进一步将其与一步热压成型、真空辅助冷冻干燥等技术结合，创新性地将其应用于制备聚合物基电磁屏蔽、阻尼隔声等材料，并通过理论计算与有限元仿真揭示了复合材料在电磁屏蔽、阻尼隔声方面作用机制。相关研究成果发表在《Industrial Crops and Products》等期刊上，加拿大西北大学 Hafezeh Nabipour 教授、广西大学童张法教授等学者在《Separation and Purification Technology》、《Industrial Crops and Products》等期刊上肯定了团队在复合材料构效关系解析中所采用的模拟方法，指出通过分子动力学模拟与结构仿真能有有效指导复合材料结构与性能的调控，并大幅缩短研发周期。本研究的理论成果（论文）受到了国内外的关注，对杜仲丰产栽培和资源高效果利用提供了重要的理论依据，获得国内外学者积极肯定。

**2. 验收报告评价**

1．构建了杜仲丰产培育技术体系。首次创制了杜仲叶林丰产栽培模式；提出“林草间作，以草养地”的思路，开发出“杜仲+三叶草”，“杜仲+苜蓿”和“杜仲+麦冬”的林草间作技术，促进了杜仲的生长，解析了外源激素微量元素、剥皮强度、栽培方式、环境因子与次生代谢的时空调控规律。

2．研发了杜仲机械化采收和加工装备。开发了杜仲柔性精量播种机，创制了的杜仲叶林平茬机与脱叶剥皮机采收，构建了杜仲籽仁/壳分离多级筛分与风力耦合技术，建成的微波热风干燥生产线使杜仲叶活性成分保留率提升 5 倍以上，显著提升了杜仲产业发展的机械化、标准化、规模化和高效化水平。

3．系统性开发了杜仲全组分高值化利用技术路线。研发了"蒸汽杀青-微波干燥"工艺体系，创建了"油粕联产-高效利用"模式，推动杜仲雄花、籽油和杜仲叶列入药食同源目录；解析了不同含胶器官含胶细胞超微结构演化规律与高分子量杜仲胶分子合成机制；首次开发了"物-化-生"多级耦合协同分离杜仲有效成分的方法，创制了杜仲胶基功能材料；开发的杜仲微生物生长促进剂并将其在动物养殖产业中应用推广；构建了杜仲活性成分绿色提取与精深加工技术体系，促进了杜仲全产业链高值化发展。

4．建立了杜仲全产业链开发过程的技术经济分析与生命周期评价方法。量化评估了叶林杜仲碳汇能力，基于杜仲全产业链开发思路，提出了以生态助推杜仲林健稳经营，以经济效益维护生态环境可持续发展的管理模式，推动了杜仲产业由传统粗放向精准定向培育转型。

**3．教育部科技查新工作站查新结论**

本项目围绕杜仲产业开展系统研究，通过筛选杜仲优良种源并构建多维评价体系，依据有效成分含量、生长量等指标选育优良无性系；开发矮化叶林栽培模式，以提高生物量和次生代谢物含量；同时明确生长调节剂、微量元素等因素对杜仲次生代谢物的调控机制。研制杜仲翅果剥壳机、籽壳仁分选机等专用装备，实现精量播种及叶、皮、木、籽的高效分离；并解析雄花采后干燥工艺特性，构建全树资源智能采收与原料预处理体系。应用超临界 $CO_2$萃取、球磨与低共熔体系协同处理等先进技术，提取杜仲籽油与杜仲胶，研究其心脑血管保护作用及抑菌机制，在此基础上开发杜仲茶、饲料及杜仲胶基功能材料（如

敷料、分离膜、电磁屏蔽材料等），实现全组分高值化利用。最后对全产业链进行技术经济与生命周期评价，提出“生态-经济”协同发展模式，推动杜仲产业绿色转型与可持续发展。除项目委托方公开文献外，国内外公开的中英文文献中，未见与其查新点研究内容完全相同的文献报道。

**4. 新闻报道**

2020 年 8 月 3 日，中央电视台中文国际频道（CCTV-4）19:02-19:04 以《中国减贫方略：产业选对头 脱贫有奔头》为题，专题报道了朱铭强带领的杜仲研究团队在陕西省绥德县高家沟村实施的杜仲产业扶贫助力乡村振兴可持续发展的优秀案例。在高家沟村建成杜仲叶林丰产栽培基地，量身定制“一键式”烘干设备，最大程度保留有效成分，提升产品溢价。该模式被央视评价为“因地制宜、精准扶贫、造血为主”的样板，体现了“产业选对头，脱贫有奔头”的中国减贫方略实践。

2020 年 10 月 22 日，中央电视台新闻频道 CCTV-13 报道了 2020 世界青年科学家峰会暨大学创业世界杯全球活动，其中西北农林科技大学杜仲团队荣获 GREEN TECH TOP-3，并向青年科学家们讲述了杜仲树和杜仲人的故事。

2020 年度 5 月 2 日 CCTV-17 套共青团中央书记处傅振邦书记在乡村振兴面对面活动中专门就西北农林科技大学朱铭强博士负责的杜仲产业扶贫工作给予高度赞扬。

**5. 社会影响情况**

2014 年 8 月，时任中共中央政治局委员、国务院副总理刘延东同志在人民大会堂向朱铭强博士领衔的“杜仲资源高值化利用研发团队授予全国首批“小平科技创新团队称号”。

2017 年 7 月 10 日，时任中共中央政治局常委、国务院总理李克强同志听取朱铭强博士汇报杜仲团队在成果转化方面的研发情况，表示将对该产业从政策等方面大力支持。

2017 年 9 月 16 日，新华社报道了团队《“农桑创客”朱铭强的杜仲梦》。

2017 年 9 月 19 日，时任中共中央政治局委员、国务院副总理刘延东同志在杨凌视察杜仲团队的研究成果，鼓励朱铭强博士带领团队践行科技兴农，实现产业助力乡村振兴，健康中国。

2020 年 3 月 12 日，在团队相关研究工作的推动下，国家卫健委[2019]311 号文件批准将杜仲树叶列入既是食品又是中药材的物质管理试点工作。基于此，团队指导新疆思仲生物科技有限公司开发的杜仲饮料系列产品获得了国家食品药品监督管理局颁发的生产许可证，为杜仲在功能食品领域的快速发展奠定了基础。

2020 年 3 月 12 日，撰写的《研发杜仲精粉，助力康养产业发展》新闻材料，从科技层面助力疫情攻坚战，被人民日报-融媒体等媒体宣传，同时入选人民日报当日十大热点新闻。

2020 年 5 月 19 日，在中国网-融媒体发表《杜仲叶林栽培丰产林助力产业化开发》的报道，受到行业一致好评，在线点赞累计 2 万次。

2020 年 5 月 27 日，中国高校众创空间联盟“互联网+”大赛国赛金奖项目活动中就《杜仲精粉茶及系列产品产业化开发》项目进行点评和分享，实时观看累计 39897 人次，点赞累计 151863 次。

2020 年 9 月 28 日，19：30 在中国青年报《创青春云讲堂：青创聚力三农》节目中，朱铭强就杜仲系列产品精深加工产业化路上立足专业知识助力青山绿水和医养健康方面的工作进行了讲述，网络点击率累计 5.4 万人。

2020 年 10 月 17 日，在联合国开发计划署和中国全国青年联合会主办的亚太青年扶贫故事会暨亚太青年领导力与创新创业论坛中，朱铭强分享了《杜仲深加工产业》报告，同时被评为优秀项目，在线网络点击率累计 7.1 万人。

2021 年 2 月 8 日，人民网《汇聚千万小我梦想，激发城乡巨大活力》新闻报道了朱铭强带领的杜仲青年创业者在乡村振兴中的相关工作。

2021 年 9 月 23 日，在联合国开发计划署和中国全国青年联合会主办的《2021 未来之桥-中国东盟青年创业云讲堂》节目中，朱铭强就杜仲系列产品精深加工产业化路上立足专业知识助力青山绿水和医养健康方面的工作进行了分享。

2022 年 5 月 27 日，陕西省科技活动周农技云课堂朱铭强分享了《杜仲产业促进乡村振兴》，在线观看累计 5.4 万。

2022 年 9 月，杜仲团队参加中国-老挝青年发展云讲堂活动，朱铭强博士分享科技创新助力杜仲产业发展，受到共青团中央以及老挝共青团中央相关领导的表扬和鼓励。

2023 年 8 月 3 日，时任科技部部长王志刚同志率团出席第十一届金砖国家科技创新部长会议和青年科学家峰会时，团队负责人朱铭强向金砖国家青年分享了在杜仲研发领域做出的相关成绩。

2023 年 12 月 26 日，科技日报报道了杜仲团队《我国橡胶资源短缺难题有望解决》的科研进展。

2024 年 1 月 9 日，中国绿色时报正版报道团队成果《杜仲：植物黄金神奇橡胶》。

2024 年 5 月 30 日，陕西省科技活动周农技云课堂朱铭强分享了《杜仲胶促进天然橡胶产业绿色低碳高质量发展》，在线观看累计 8.26 万。

2025 年 2 月 18 日中国科学报对杜仲团队《让哪吒战力翻倍的中国特有植物——杜仲》进行了报道。

2017 年至今朱铭强团队在杜仲叶林栽培模式创新、专用机械装备（包括杜仲播种机、平茬机、脱叶剥皮机以及锤片式翅果剥壳机）研发、翅果规模化加工技术突破，以及杜仲胶高效提取与提纯等关键技术方面取得的系列成果，获得了中央广播电视总台、光明网、国际在线、科学网、科技日报和中国农科新闻网等媒体的广泛报道。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写)**

项目面向天然橡胶、健康中国和生态安全国家战略，在国家乡村振兴政策引领下、“碳中和、碳达峰”目标背景下，核心技术成果已在河北、陕西、新疆、甘肃、河南、山东、贵州等 10 余个省（区）进行示范和推广，共建立试验示范基地 8 个，制定 1 项地方标准。全国杜仲面积约 500 万亩，陕西占全国总量的 1/8，但 95%以上为天然乔林，生长在丘陵沟壑区域。在新疆、河南和陕西等地区推广杜仲丰产基地 14.1 万亩及低产林良种改良 20 万亩，其中在新疆和田、昌吉种植抗寒抗旱型良种 6.5 万亩，助力新疆锁边工程。过去乔林杜仲栽植 15~20 年以后, 每 5~7 年可以剥皮 1 次，剥皮周期长，效益低。项目创新性地推广的杜仲叶林栽培模式，实现了“当年栽植、当年收获，一次栽植、连年收获”，可连续使用 20 年以上。叶林杜仲栽植三年后产量稳定，每亩可产 1 吨干叶、0.5 吨干皮、1.5 吨木材，从 1.5 吨叶、皮中可提取杜仲浸膏粉（提取绿原酸、京尼平苷酸等药品原料和动物饲料添加剂原料）200 多公斤。项目建立的杜仲胶提

取副产物生物质资源深度加工技术体系，使杜仲胶产率与纯度分别达到91.0%和99.0%以上，实现全组分资源化利用。依托成果在新疆建成国际上第一条吨级杜仲精粉生产线，可年利用杜仲树叶4000吨；在略阳建成年产杜仲胶300吨生产线，目前在投产中；在宝鸡建成杜仲蛋鸡养殖生态园等10余家企业。通过应用情况统计，近三年累计新增销售额15.7亿元，新增利润4.3亿元，培训技术人员和林农2万余人次。

项目成果辐射全国主要杜仲主产区，有效地解决了杜仲栽培技术落后、机械化采收装备缺乏、资源利用率不高的难题，带动了近万名群众脱贫增收，在杜仲产业生产技术支撑及社会服务方面取得了引领性示范推广，推动了杜仲产业的绿色、健康、循环及持续发展，产生了良好的社会和经济效益，推广成效显著。

**六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限10条)**

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | 一种杜仲精粉、杜仲多糖及杜仲胶联产提取分离方法 | 中国 | ZL201410499693.3 | 2016.10.19 | 2279775 | 西北农林科技大学 | 朱铭强; 苏印泉; 邹吉祥; 张强; 朱亚红; 王俊淇; 尉芹; 赵宏志 |
| 2 | 发明专利 | 一种杜仲精粉及其制备方法 | 中国 | ZL201410499418.1 | 2018.05.15 | 2926089 | 西北农林科技大学 | 朱铭强; 苏印泉; 张强; 王丽; 孙润仓; 王俊淇; 尉芹; 邹吉祥 |
| 3 | 发明专利 | 一种从杜仲翅果中提取分离杜仲籽油和杜仲胶的方法 | 中国 | ZL201410503740.7 | 2016.10.05 | 2258074 | 西北农林科技大学 | 朱铭强; 苏印泉; 朱亚红; 李飞舟; 赵宏志; 尉芹 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 发明专利 | 一种提取分离杜仲胶的方法 | 中国 | ZL201410500227.2 | 2016.11.16 | 2294153 | 西北农林科技大学 | 朱铭强；苏印泉；李飞舟；朱亚红；孙润仓；尉芹；王丽；任钊 |
| 5 | 发明专利 | 微生物生长促进剂、其制备方法及用途 | 中国 | ZL201310431882.2 | 2015.08.19 | 1760432 | 西北农林科技大学 | 朱铭强；苏印泉；邹吉祥；昝长会；亢福仁；尉芹 |
| 6 | 发明专利 | 饲料添加剂、其制备方法及应用 | 中国 | ZL201310435902.3 | 2015.06.24 | 1705331 | 西北农林科技大学 | 朱铭强；苏印泉；邹吉祥；符景明；尉芹；亢福仁 |
| 7 | 发明专利 | 一种杜仲叶林萌生枝条剥皮后枝木制取活性炭的方法 | 中国 | ZL201010252991.4 | 2012.06.20 | 974971 | 西北农林科技大学 | 苏印泉；李秀红；朱铭强；苑子夜；丁奋霞；张强；杨芳霞；徐金娟；秦琳 |
| 8 | 发明专利 | 一种细枝木剥皮机及其应用方法 | 中国 | ZL201410016009.1 | 2016.02.24 | 1958088 | 西北农林科技大学 | 朱铭强；苏印泉；张强；尉芹；任昭；朱新华 |
| 9 | 发明专利 | 一种测定聚合物结晶度、介晶度和无定型度的方法 | 中国 | ZL201710607146.6 | 2020.09.04 | 3972144 | 北京化工大学 | 张继川；张立群；张天鑫；刘根实；董梦杰 |
| 10 | 发明专利 | 一种快速且准确的杜仲含胶量测定方法 | 中国 | ZL201710791683.0 | 2020.06.02 | 3833600 | 北京化工大学 | 张继川；刘根实 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 朱铭强 | 1 | 副院长/教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目的整体组织、示范和推广工作，在杜仲细胞壁结构解析、丰产栽培模式分析和全产业链开发方面开展了研究。 |
| 苏印泉 | 2 | 教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目的总体规划与实施工作，在资源培育、高效利用、功效开发和全产业链发展方面均作了重大创造性贡献。 |
| 解加庆 | 3 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目部分技术研发，在杜仲胶基柔性传感/微流体器件与系统开发、橡胶精密成形理论与装备研发等方面做出了重要贡献。 |
| 谷芳 | 4 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目的组织实施和技术研发工作，主持/参与杜仲机械化采收装备研发项目并结题，主要负责杜仲叶林收获和干燥加工装备研发和示范。 |
| 高锦明 | 5 | 教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目部分技术研发和成果推广，在杜仲活性物质提取分离、精深加工和检测等方面做出了重要贡献。 |
| 董娟娥 | 6 | 教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目部分技术研发，在杜仲资源培育、有效成分提取分离方面做出了重要贡献。 |
| 张继川 | 7 | 教授 | 北京化工大学 | 负责项目部分技术研发，聚焦杜仲胶以及超聚态天然橡胶的高性能绿色化制备，在弹性体材料结构与性能研究，以及产业化开发方面做出了重要贡献。 |
| 张强 | 8 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目部分技术研发，在杜仲栽培技术、杜仲产品开发方面做出了重要贡献。 |
| 朱琳 | 9 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 主持/参与杜仲机械化采收装备研发项目并结题，主要进行杜仲叶采收、杜仲籽粒剥皮分离装备研发和推广。 |
| 朱亚红 | 10 | 工程师 | 陕西省林业调查规划院 | 负责项目资源数据采集与示范推广，在杜仲资源动态监测、示范林建设方面做出了贡献。 |
| 胡凤成 | 11 | 高级工 | 陕西省略阳 | 负责项目示范推广与基地建设，在杜仲 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 程师 | 县林木种苗工作站 | 良种选育、丰产栽培、示范林建设等方面做出了贡献。 |
| 张兴海 | 12 | 高级工程师 | 陕西省略阳县林木种苗工作站 | 负责项目示范推广与基地建设，在杜仲良种选育、丰产栽培、示范林建设等方面做出了贡献。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学负责该项目的总体设计和组织实施，协调陕西省林业调查规划院、略阳县林木种苗工作站，依托杜仲国家林业和草原局重点实验室、陕西省经济植物资源开发利用重点实验室、西北农林科技大学杜仲研究所等平台。在人力、物力、财力等方面给予了大力支持，提供了实验室和实验设备，在该项目中起主导作用。<br>提出了基于良种杜仲的叶林丰产栽培模式，开发出“林草间作，以草养地”种植方法，提高了杜仲优质丰产栽培技术水平；确了外源刺激、环境因子、时空变化等调控对杜仲次生代谢物的合成积累机制的影响，显著提高了杜仲生物量和有效成分含量；首次提出了杜仲叶林丰产栽培模式，开发了杜仲机械化采收和加工装备，率先实现了杜仲种植、采收与加工的全程机械化；提出“多级耦合协同精炼”方法，建立了“物-化-生”协同的杜仲胶绿色分离技术体系，实现了杜仲提取物的高效分离；构建了杜仲全产业链开发过程的技术经济分析与生命周期评价模式。在应用推广方面，基于杜仲良种建立推广示范基地，推动杜仲种植、管理、采收和加工向规模化、标准化、现代化发展，为特色农林资源高值化开发提供了示范。 |
| 陕西仲欣生态农业有限公司 | 2 | 陕西仲欣生态农业有限公司在本项目中完成杜仲栽培丰产技术推广示范与关键技术应用转化等方面工作。参与杜仲叶林丰产栽培技术研究开发与示范推广；参与杜仲高值利用技术产业化转化。公司自 2015 年以来公司已建成 500 亩杜仲优良品种育苗基地。在新疆、陕西、内蒙、安徽等地推广杜仲叶林栽培基地，同时开发杜仲精粉功能食品和杜仲鸡蛋等产品，推进杜仲资源高效利用及产业转化。通过项目的实施，为我国杜仲产业提质增效、转型升级发挥了重要的引领作用，促进杜仲资源综合高值利用， |

| | | |
|---|---|---|
| | | 有效增加农民收入，其社会、经济、生态效益显著。 |
| 略阳县林木种苗工作站 | 3 | 略阳县林木种苗工作站（县杜仲推广发展服务中心）负责杜仲良种引进、选育、推广；略阳县国家杜种良种基地建设与管理；开展杜仲科学研究和试验，从事与杜仲生产经营有关的技术、信息、设施建设运营等服务，以及略阳杜仲品牌打造、产品推介和协助营销等职能。选育的杜仲秦仲 5、6、7、8 号林木良种，通过杜仲良种的推广，辐射带动了全县以杜仲为主要原材料的加工企业生产杜仲胶、杜仲油、杜仲雄花茶、杜仲挂面、杜仲酱油、杜仲醋、杜仲啤酒等 30 多个产品，改良、稳定、巩固了略阳县 58.6 万亩杜仲丰产栽培的地存量，有力推动了县域经济高质量发展、农民增收致富和乡村产业振兴，为当地生态保护与特色农业协同发展树立了示范。 |
| 陕西省林业调查规划院 | 4 | 陕西省林业调查规划院负责杜仲良种示范推广过程中资源的调查监测，制定技术方案和操作细则，开展技术指导培训，杜仲碳汇计量监测工作；杜仲种植生态保护修复、防沙治沙、森林康养等生态领域规划和成效评价、评估工作；统计分析种植区生态综合监测结果，构建了“监测中心、智库中心、数据中心、碳汇中心”四位一体的杜仲高质量监测体系，在杜仲良种示范推广过程中做出了重要贡献。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 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** | 专利合作/学业指导 | 苏印泉/2 | 2009 | 至今 | 专利，论文 | 专利证书/论文首页 |
| **2** | 项目合作 | 解加庆/3 | 2019 | 至今 | 论文 | 项目验收证书 |
| **3** | 项目合作 | 谷芳/4 | 2017 | 至今 | 专利，论文 | 专利证书、论文首页、项目验收证书 |
| **4** | 论文合著 | 高锦明/5 | 2019 | 至今 | 论文 | 论文首页 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **5** | 论文合著 | 董娟娥/6 | 2022 | 至今 | 论文 | 论文首页 |
| **6** | 项目合作 | 张继川/7 | 2022 | 至今 | 专利，论文 | 项目验收证书 |
| **7** | 专利合作 | 张强/8 | 2009 | 至今 | 专利，论文 | 专利证书 |
| **8** | 论文合著 | 朱琳/9 | 2017 | 至今 | 专利，论文 | 论文首页 |
| **9** | 专利合作 | 朱亚红/10 | 2013 | 至今 | 专利，论文 | 专利证书 |
| **10** | 产业合作 | 胡凤成/11 | 2005 | 至今 | 秦仲 5~8 号杜仲良种 | 单位出具的参与项目示范推广的证明材料 |
| **11** | 产业合作 | 张兴海/12 | 2018 | 至今 | 秦仲 5~8 号杜仲良种 | 单位出具的参与项目示范推广的证明材料 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

项目核心研究成员苏印泉、解加庆、谷芳、高锦明、董娟娥、张继川、张强、朱琳依托西北农林科技大学杜仲国家林业和草原局重点实验室、陕西省经济植物资源开发利用重点实验室及西北农林科技大学杜仲研究所等平台，围绕杜仲产业发展的关键科学与技术问题开展协同攻关。在资源培育方面，构建了叶用林丰产栽培技术体系，解析了次生代谢产物合成与调控规律，明确了杜仲胶细胞分布与积累机制；在机械化装备研发中，创制了柔性精量播种机、叶用林采收及籽壳分离装备，搭建了微波—热风联合加工生产线；在精深加工领域，建立了多产物联产加工等关键工艺，开发出杜仲茶、杜仲籽油、胶基材料等系列产品，并推动杜仲叶、花、籽油纳入药食同源目录；在产业优化方面，推进杜仲胶的产业化应用，建立了全产业链技术经济与生态效益评价体系，提出了可持续发展管理模式，相关成果已形成系列学术论文和专利。

陕西省林业调查规划院（陕西省森林资源监测中心）朱亚红与陕西省略阳县林木种苗工作站技术骨干胡凤成和张兴海深度参与了成果转化与产业化应用工作。聚焦杜仲资源动态监测、种苗繁育、良种选育及示范林体系建设，协同推进在新疆、陕西、河南等地的杜仲叶用林栽培基地与优良品种育苗基地建设，为杜仲原料的标准化与稳定供应奠定基础；

同时参与植物繁育技术攻关，推动杜仲丰产栽培模式优化，促进技术方案在规模化生产场景中的实际应用，并完成杜仲产品加工生产线的建设，助力实现从原料培育到精深加工的全产业链衔接，为杜仲产业落地、标准化发展与高值化利用提供了系统支撑。

# 项目十二

**一、项目名称：**作物根层水肥供需时空耦合调控技术及配套机械创新与应用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目面向国家粮食安全与农业绿色发展的重大战略需求，针对我国粮食生产中水肥资源利用率低、绿色生产能力不足等关键问题，通过二十年持续攻关，在小麦-玉米水肥精准调控理论与技术方面取得重大突破，创建了国际领先的根层水肥时空耦合调控技术体系。

项目首创"根层水肥时空耦合调控"理论方法，发明了按比例分层施肥技术，实现了肥料空间分布与作物根系动态吸收的精准匹配；创建了作物按需补灌方法，基于播种墒情和生育期降水实现智能灌溉决策；研发了水肥一体化智能管理决策支持系统，实现了水肥管理的数字化、智能化。项目还创制了双旋耕按比例分层施肥精量播种机、专用型微喷带、固态肥连续溶注一体机和便携式智能施肥机等系列装备，攻克了大田作物水肥精准调控的技术瓶颈。

项目集成创新了三种适应不同生态区的技术模式，实现"一地一策"精准适配，为解决我国不同生态类型区水肥管理问题提供了系统解决方案。项目技术在实际应用中表现出色，近三年在黄淮海地区累计推广 8194 万亩，增产粮食 455.5 万吨，节水 31.5 亿方，减少化肥用量 31.4 万吨，新增经济效益 70.7 亿元，经济、社会、生态效益显著。

该项目创新性突出，技术先进，实用性强，推广应用规模大，中国农学会评价该项目达到同类研究国际领先水平，为保障国家粮食安全、推动农业绿色发展提供了重要的科技支撑，完全符合陕西省技术发明一等奖的评选条件。提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。

三、**项目简介：**

本项目面向国家农业新质生产力发展战略和粮食安全重大需求，针对我国粮食生产中水肥利用效率低、绿色生产程度不高等卡脖子问题，通过二十年系统攻关，在作物根层水肥供需时空耦合调控原理、关键技术及配套装备方面取得重大突破，创立了具有自主知识产权的作物根层水肥供需时空耦合调控技术体系。

项目首创"根层水肥时空耦合调控"理论方法，发明了 1-2-1 分层施肥技术，

将肥料按 1:2:1 比例精准施于 8cm、16cm、24cm 土层，实现肥料空间分布与作物根系动态吸收的高度匹配；创建了作物按需补灌方法，基于播种墒情和生育期降水实现精准灌溉决策；研发了水肥一体化智能管理决策支持系统，实现水肥精准管理的数字化、智能化。

项目创制了系列化水肥精准管控装备，包括双旋耕按比例分层施肥精量播种机、专用型微喷带、固态肥连续溶注一体机和便携式智能施肥机等核心装备，攻克了大田作物水肥精准调控的技术瓶颈。

项目集成创新了作物根层水肥供需时空耦合调控技术体系，构建了三种适应不同生态区的技术模式：高产灌区"耕层优化分层调控-精量补灌水肥一体"模式、高产限水区"耕层优化分层调控+半精补灌水肥一体"模式和贫水少灌区"耕层优化分层调控+抗旱补灌水肥一体"模式，实现"一地一策"精准适配。

项目获授权专利 54 件（其中中国发明专利 31 件、国际专利 1 件），软件著作权 1 件，制定行业/地方标准 10 项，发表论文 90 篇，出版专著 7 部，8 项技术被农业农村部和相关省列为主推技术。技术成果在山东、河南、河北、安徽、陕西、山西等地累计推广 8194 万亩，增产粮食 455.5 万吨，节水 31.5 亿方，减少化肥用量 31.4 万吨，新增经济效益 70.7 亿元，经济、社会、生态效益显著。

本项目突破了国际同类技术局限于单一环节的瓶颈，创建了从耕层优化、智能决策到精准装备和模式集成的系统解决方案，为实现粮食绿色生产与资源高效利用提供了强有力的科技支撑，对保障国家粮食安全、推动农业绿色发展具有重要意义。中国农学会评价该项目达到同类研究国际领先水平。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

本项目面向国家粮食安全与农业绿色发展的重大战略需求，针对我国粮食主产区水肥利用效率低、资源约束趋紧等核心问题，通过二十年系统攻关，在小麦-玉米水肥精准调控理论与技术方面取得重大突破，创建了国际领先的根层水肥时空耦合调控技术体系。

项目首创"根层水肥时空耦合调控"理论方法，发明了 1-2-1 分层施肥技术，实现了肥料空间分布与作物根系动态吸收的精准匹配；创建了作物按需补灌方法，基于播种墒情和生育期降水实现智能灌溉决策；研发了水肥一体化智能管理决策支持系统，实现了水肥管理的数字化、智能化。项目还创制了双旋耕按比例分层

施肥精量播种机、专用型微喷带、固态肥连续溶注一体机和便携式智能施肥机等系列装备，攻克了大田作物水肥精准调控的技术瓶颈。

与国内外同类技术相比，本项目技术在多个方面具有显著优势：水分利用效率达到 19.0-21.5 kg $ha^{-1}$ $mm^{-1}$，提高 12.1-20.5%；氮肥利用率达到 49.6%-54.3%，提高 9-14 个百分点；在减氮 20%条件下，产量仍提高 10.8%-13.1%；氨挥发和 $N_2O$ 排放分别降低 26%和 19%，土壤有机碳年均增幅达 2.7%。项目研发的专用型微喷带田间灌溉均匀度达到 90.5%-91.2%，高出普通微喷带 22 个百分点以上；固态肥连续溶注一体机溶解效率≥150 $kg \cdot h^{-1}$，省工 90%以上；便携式智能施肥机价格仅为国外同类产品的 1/5-1/10，流量控制误差＜3%。

项目集成创新了三种适应不同生态区的技术模式，实现"一地一策"精准适配。在高产灌区实现每季每亩节水 39.2 方，节肥 4.4 公斤；在高产限水区实现每季每亩节水 32.6 方，节肥 3.7 公斤；在贫水少灌区实现每季每亩节水 30.8 方，节肥 3.2 公斤。

项目获授权专利 54 件（其中中国发明专利 31 件、国际专利 1 件），软件著作权 1 件，制定行业/地方标准 10 项，发表论文 90 篇，出版专著 7 部，8 项技术被农业农村部和相关省列为主推技术。近三年在黄淮海地区累计推广 8194 万亩，增产粮食 455.5 万吨，节水 31.5 亿方，减少化肥用量 31.4 万吨，新增经济效益 70.7 亿元。

该项目创新性突出，技术先进，实用性强，推广应用规模大，经济、社会、生态效益显著，中国农学会评价该项目达到同类研究国际领先水平，为保障国家粮食安全、推动农业绿色发展提供了重要的科技支撑，建议加大推广力度，充分发挥其在我国农业现代化进程中的重要作用。

**五、应用情况**

项目通过试验研究与技术示范相结合、技术培训与实践指导相结合的推广体系进行成果应用。研发的“作物根层水肥供需时空耦合调控技术体系”集成了作物根层水肥供需时空耦合调控方法、作物按需补灌方法等发明专利，配套应用小麦玉米周年生产变量肥水一体化灌溉系统、水肥一体化远程控制和智能管理系统、便携式溶肥注肥机等专利产品，建立了高产灌区“耕层优化分层调控+精量补灌水肥一体”模式、高产限水区“耕层优化分层调控+半精补灌水肥一体”模式和贫水少灌区“耕层优化分层调控+抗旱补灌水肥一体”模式，解决了生产中

水肥均匀供给和规模差异化应用的难题，形成了农机农艺深度融合的完整解决方案。项目组主要通过农技推广中心、土肥站、农业企业和农场等进行推广应用，开展多种形式的技术培训与服务，通过举办现场会、观摩会、培训会，在农技人员、种植大户及果农中进行技术推广，利用网络、电视、广播、直播、报纸等媒体资源和试验示范技术规程，提高技术普及率，扩大成果的应用规模。据项目示范区相关省农业推广部门统计，近三年在小麦生产上推广应用 4362.5 万亩，平均每亩增产 35.8 公斤，节本增效 93.2 元；在玉米生产上推广应用 3831.5 万亩，平均每亩增产 78.1 公斤，节本增效 150.3 元；共计推广应用 8194 万亩，新增经济效益 70.7 亿元，节水 31.5 亿立方米，减少化肥用量 31.4 万吨，经济、社会和生态效益显著。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)

| 序号 | 知识产权<br>类别 | 知识产权<br>具体名称 | 国家<br>(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | 冬小麦-夏玉米复种连作根层水肥供需时空耦合调控方法 | 中国 | ZL201610592081.8 | 2019-10-22 | 第 3565126 号 | 山东农业大学 | 王东，林祥，赵阳 |
| 2 | 发明专利 | 一种固态肥连续溶注一体机及其控制方法 | 中国 | ZL201911251373.5 | 2024-01-23 | 第 6642055 号 | 山东东禾农业科技有限公司，山东农业大学，淄博禾丰种业科技股份有限公司 | 王东，刘立钧，张刚，王宇辉，王小溢，朱俊科 |
| 3 | 发明专利 | 水肥一体化远程控制和智能管理系统 | 中国 | ZL201610387766.9 | 2017-12-05 | 第 2724516 号 | 山东农业大学 | 王东，刘立钧，李文建 |
| 4 | 发明专利 | 小麦—玉米“吨半粮”高效栽培管理方法 | 中国 | ZL202310224869.3 | 2024-07-02 | 第 7151305 号 | 西北农林科技大学 | 王东，殷复伟，李令伟 |
| 5 | 发明专利 | 一种作物按需补灌方法 | 中国 | ZL201610594680.3 | 2019-08-06 | 第 3482148 号 | 山东农业大学 | 王东，林祥，赵阳 |
| 6 | 发明专利 | 冬小麦水肥一体化节水节肥方法 | 中国 | ZL201610884913.3 | 2019-07-23 | 第 3467157 号 | 山东农业大学 | 王东，宋兆云，尹笑笑，林祥 |
| 7 | 发明专利 | 小麦玉米周年生产变量肥 | 中国 | ZL2014104 | 2015-12-30 | 第 1881010 号 | 山东农业大学 | 王东，苑进 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 水一体化灌溉系统 | | 99375.7 | | | | |
| 8 | 发明专利 | 适用于地面灌溉水肥一体化的便携式溶肥注肥机 | 中国 | ZL201610592055.5 | 2018-03-27 | 第 2859385 号 | 山东农业大学，山东东禾农业科技有限公司 | 王东，刘立钧，李文建 |
| 9 | 发明专利 | 一种微喷带铺放卷收两用机 | 中国 | ZL201510011424.2 | 2016-08-24 | 第 2209456 号 | 山东农业大学 | 王东 |
| 10 | 发明专利 | 双旋耕按比例分层施肥宽苗幅精量播种机 | 中国 | ZL201510989379.8 | 2017-08-04 | 第 2576357 号 | 山东农业大学 | 王东，温樱 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 王东 | 1 | 副院长/教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 主持制定技术路线和研究方案并组织实施，负责根层水肥时空耦合调控理论方法的创新与配套机械研发，取得发明专利并推动专利产品产业化生产，集成构建适应不同生态区的水肥精准调控模式，同时组织开展技术培训、生产指导与推广服务，促进成果大面积应用。 |
| 刘立钧 | 2 | 总经理 | 山东东禾农业科技有限公司/山东东禾农业科技有限公司 | 开展专用型微喷带、固态肥连续溶注一体机、便携式智能施肥机等系列精准灌溉与水肥一体化设备的研发、产业化生产及示范推广，推动成果在大田作物生产中的广泛应用。 |
| 林祥 | 3 | 副教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 承担根层水肥时空耦合调控理论方法创新，阐明小麦/玉米高产高效的水氮耦合调控机理，提出作物按需补灌与水肥一体化节水节肥新方法，参与专利技术与装备在小麦、玉米主产区大规模应用。 |
| 钟永红 | 4 | 副处长/正高级农艺师 | 全国农业技术推广服务中心/全国农业技术推广服务中心 | 组织开展作物根层水肥供需时空耦合调控技术及配套装备的试验示范，形成农机农艺深度融合的水肥精准调控解决方案，制定农业行业标准《华北平原冬小麦微喷带水肥一体化技术规程》，组织标准化技术模式和专利产品的示范和推广应用。 |
| 胡芹远 | 5 | 高级农艺师 | 安徽省土壤肥料总站/安徽省土壤肥料总站 | 制定适于安徽省不同区域水资源条件的水肥精准调控解决方案，并组织标准化技术模式和专利产品的示范和推广应用。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 郭瑞 | 6 | 总经理 | 杨凌中灌润茵农业工程有限公司/杨凌中灌润茵农业工程有限公司 | 开展小麦/玉米专用微喷带、固态肥连续溶注一体机、便携式智能施肥机、集雨蓄水装置的规模化生产与推广应用 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 项目核心完成单位，首创“根层水肥时空耦合调控”理论方法，发明 1-2-1 分层施肥技术、作物按需补灌方法和水肥一体化智能管理决策支持系统，创制双旋耕分层施肥精量播种机、专用微喷带、固态肥连续溶注一体机和便携式智能施肥机等专利产品，集成创新了三种适应不同生态区的技术模式，并组织技术成果大面积示范应用。 |
| 山东东禾农业科技有限公司 | 2 | 项目协作完成单位，开展专用型微喷带、固态肥连续溶注一体机、便携式智能施肥机等系列精准灌溉与水肥一体化设备的研发、生产与推广应用，推动项目核心装备实现产业化落地与规模化应用，为技术成果在大田作物生产中的推广提供了装备保障和企业化支撑。 |
| 全国农业技术推广服务中心 | 3 | 项目协作完成单位，负责组织作物根层水肥供需时空耦合调控技术及配套装备的试验示范，提出农机农艺深度融合的水肥精准调控解决方案，并组织标准化技术模式和专利产品在主产区的示范应用，推动了项目成果在全国范围内的推广普及与规范化发展。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 | 王东 1, 刘立钧 2 | 2013-01-01 | 2024-01-23 | 一种固态肥连续溶注一体机及其控制方法, ZL201911251373.5, 发明专利 | 专利证书 |
| 2 | 共同知识产权 | 王东 1, 刘立钧 2 | 2013-01-01 | 2017-12-05 | 水肥一体化远程控制和智能管理系统, ZL201610387766.9, 发明专利 | 专利证书 |
| 3 | 共同知识产权 | 王东 1, 刘立钧 2 | 2013-01-01 | 2018-03-27 | 适用于地面灌溉水肥一体化的便携式溶肥注肥机, ZL201610592055.5, 发明专利 | 专利证书 |
| 4 | 共同知识产权 | 王东 1, 林祥 3 | 2013-09-01 | 2019-10-22 | 冬小麦-夏玉米复种连作根层水肥供需时空耦合调控方法, ZL201610592081.8, 发明专利 | 专利证书 |
| 5 | 共同知识产权 | 王东 1, 林祥 3 | 2013-09-01 | 2019-08-06 | 一种作物按需补灌方法, ZL201610594680.3, 发明专利 | 专利证书 |
| 6 | 共同知识产权 | 王东 1, 林祥 3 | 2013-09-01 | 2019-07-23 | 冬小麦水肥一体化节水节肥方法, ZL201610884891 | 专利证书 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 3.3, 发明专利 | |
| **7** | 共同制订标准规范 | 王东 1, 钟永红 4 | 2014-01-01 | 2020-07-01 | 华北平原冬小麦微喷带水肥一体化技术规程，NY/T 3553-2020, 农业行业标准 | 农业行业标准 |
| **8** | 技术成果应用 | 王东 1, 钟永红 4 | 2014-01-01 | 2024-12-31 | 技术成果在山东、河南、河北、安徽、陕西、山西等省份示范和推广应用。 | 应用证明 |
| **9** | 技术成果应用 | 王东 1, 胡芹远 5 | 2017-01-01 | 2024-12-31 | 技术成果在安徽省示范和推广应用。 | 应用证明 |
| **10** | 产业合作 | 王东 1, 刘立钧 2 | 2013-01-01 | 2024-12-31 | 专利产品产业化 | 应用证明 |
| **11** | 产业合作 | 王东 1, 郭瑞 6 | 2019-09-01 | 2024-12-31 | 专利产品产业化 | 应用证明 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

项目团队由高等院校科研骨干、企业技术中坚和农业技术推广精英组成，成员既是研究攻关的核心力量，也是成果转化与推广的关键推动者。所有完成人在技术研发、专利创新、装备研制和示范推广等方面均作出实质性、创新性贡献，形成了紧密协作、优势互补的合作格局。

完成人王东、刘立钧长期聚焦大田作物系列化水肥精准管控技术装备研发，先后获得“一种固态肥连续溶注一体机及其控制方法”、“水肥一体化远程控制和智能管理系统”、“适用于地面灌溉水肥一体化的便携式溶肥注肥机”等多项授权发明专利，组织小麦/玉米专用微喷带、固态肥连续溶注一体机、便携式智能施肥机等专利产品实现产业化生产与大面积推广应用。

完成人王东、林祥合作开展作物根层水肥供需时空耦合调控理论创新与应用研究，先后获得“冬小麦-夏玉米复种连作根层水肥供需时空耦合调控方法”、“一种作物按需补灌方法”、“冬小麦水肥一体化节水节肥方法”等多项授权发明专利，组织关键技术与专利装备在小麦、玉米主产区开展大规模应用。

完成人王东、钟永红合作开展作物根层水肥供需时空耦合调控技术及配套装备应用研究，针对山东、河南、河北、安徽、陕西、山西等省份不同灌溉条件，形成农机农艺深度融合的水肥精准调控解决方案，制定农业行业标准《华北平原冬小麦微喷带水肥一体化技术规程》，组织标准化技术模式和专利产品的示范和推广应用。

完成人王东、胡芹远合作开展作物根层水肥供需时空耦合调控技术及配套装备应用研究，形成了适于安徽省不同区域水资源条件的水肥精准调控解决方案，组织标准化技术模式和专利产品的示范和推广应用。

完成人王东、郭瑞在专利产品产业化环节，组织了小麦/玉米专用微喷带、固态肥连续溶注一体机、便携式智能施肥机、集雨蓄水装置的规模化生产与推广应用。

# 项目十三

**一、项目名称：**牛羊胚胎生物育种技术创新与应用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**种业是国家战略性基础性核心产业，畜禽良种已成为畜牧业高质量发展的核心要素。当前我国牛羊种业“卡脖子”问题严重。以体细胞克隆、体外胚胎生产和基因编辑技术为代表的新一代生物育种技术能够大幅缩短育种周期、快速创制性状突出的新种质，已成为家畜种业科技创新的研究前沿和战略制高点。该项目在国家科技重大项目、国家自然科学基金重点项目和面上项目等资助下，以提高牛羊育种效率、创制牛羊新种质为目标，聚焦破解牛羊胚胎生物育种技术的关键卡点，集成建立标准化牛羊体外胚胎生产技术体系，显著提升牛羊良种繁育效率；建立了牛羊体细胞克隆胚胎表观遗传修饰技术，进一步提升克隆动物的存活率，创制了一批牛羊顶级种质资源；研发高效安全的牛羊基因编辑工具与策略，创制了一批抗结核病、乳腺炎牛羊育种新材料，并获得多个生物安全评价证书。该项目成果总体达到国际先进水平，其中牛羊基因编辑抗病育种技术达到国际领先水平。项目获批发明专利 14 项、软件著作权 3 项，发表 SCI 论文 35 篇，编制著作 1 部，相关成果得到新闻媒体的广泛报道以及同行的高度评价。研究成果对提升牛羊育种效率和种质创新水平发挥了重要作用，产生了显著的经济和社会效益。提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。

三、**项目简介**

种业是国家战略性和基础性核心产业。习近平总书记指出，“种源安全关系到国家安全，必须下决心把我国种业搞上去，实现种业科技自立自强、种源自主可控”。我国是畜产品生产和消费大国，畜禽良种是产业核心竞争力，对畜牧业发展的贡献率超过 40%。然而，牛羊育种周期长、繁育效率低，种业“卡脖子”问题突出。牛羊一般每年只能繁育 1~2 胎，传统杂交育种培育一个牛的品种大约需要 30 年，培育一个羊的品种需要 15 年。我国奶牛年均单产为 9.4 吨，低于美国等发达国家的 10.8 吨，规模化牛场进口冷冻精液占比超过 70%；羊生产性能与国际先进水平存在较大差距，平均胴体重和产奶量只有国外先进水平的 50%~60%。在日益严峻的资源环境约束下，通过牛羊胚胎生物育种技术创新与应用，缩短品种培育周期、提升繁育效率，快速培育性状突出的牛羊新种质，对加快实现国家种业振兴的战略目标、保障畜产品稳定供给具有重要意义。

本项目针对我国牛羊育种周期长、繁育效率低、缺乏具有国际竞争力自主品种的重大产业需求和科技问题，聚焦牛羊胚胎生物育种技术创新与应用，创

建良种牛羊体外胚胎规模化生产技术并带动产业化应用，创新牛羊体细胞克隆技术并将其效率提升到应用水平，集成基因编辑技术快速定向创制抗乳腺炎、结核病等牛羊育种新材料，显著提升了牛羊育种效率和良种覆盖率。主要发明点如下：

**（1）集成创新牛羊卵母细胞成熟、胚胎体外培养和胚胎筛选等技术，创建标准化牛羊体外胚胎生产技术体系，大幅提升繁育效率、缩短育种周期。**集成创新牛羊活体采卵、卵母细胞体外成熟、性控冻精体外受精、胚胎体外培养、规模化胚胎移植等牛羊体外胚胎标准化生产全链条核心技术。发明了无血清卵母细胞体外成熟培养体系，建立了提高体外胚胎发育质量的培育体系和筛选方法，建立的标准化体外胚胎生产技术体系在内蒙古赛科星家畜种业与繁育生物技术研究院有限公司、天津力牧生物科技有限公司等企业进行了示范应用，年平均繁育效率比自然繁殖提升 50~60 倍、比超数排卵胚胎移植技术提升 4~5 倍。

**（2）基于单细胞多组学技术系统解析了牛羊体细胞克隆胚胎发育异常的重编程机制，建立牛羊体细胞克隆胚胎表观修饰调控技术，将体细胞克隆牛羊技术推进到应用水平。**绘制了牛羊体细胞克隆胚胎和正常胚胎的单细胞转录组和表观组多组学图谱，发现 DNA 甲基化、组蛋白 H3K4、H3K27、H3K9 和 H4K16 的异常表观修饰是限制克隆胚胎发育的核心因素，筛选到 ZFP57、miR-125b、KDM4E、Tet3、KDM5B、KDM6A 等关键调控因子。通过调控上述因子表达，纠正克隆胚胎异常重编程模式，提升了克隆动物的存活率和健康状况，为牛羊生物育种提供了重要底盘技术和研发平台。与多家企业合作，克隆获得了一批顶级牛羊种质资源，大幅提升了高水平核心育种群的组建速度。

**（3）鉴定出一批牛羊重要抗病基因，开发高效牛羊基因编辑技术和策略，创制了抗结核病、乳腺炎牛羊生物育种新材料。**鉴定 *NRAMP1*、*IL32e*、*SP110* 等 8 个牛羊结核病或乳腺炎抗病基因，并解析了牛羊抗病育种的先天免疫机制；开发高效安全的牛 CRISPR/Cas9 切口酶和羊 ISDra2-TnpB 基因编辑工具，创建 HMEJ 介导的外源基因整合策略与炎症调控启动子编辑策略；整合牛羊体细胞克隆技术，创制了抗结核病奶牛、抗乳腺炎奶山羊和新冠病毒抗体乳腺生物反应器。部分材料已完成中间试验与环境释放，具有良好的应用前景，推动我国牛羊抗病育种领域达到国际领先水平。

本项目获得国际发明专利 2 件、国内发明专利 12 件、软件著作权 3 项，在 Genome Biology、Advanced Science 和 Development 等国内外知名期刊发表 SCI 论文 35 篇，编写著作 1 部。相关成果被新华社、中央电视台、中国日报、科技日报和 BBC 新闻等报道和认可，基因编辑抗乳腺炎奶牛入选国家“十三五”科技创新成就展。与多家企业联合进行了技术推广应用，创制了一批顶级牛羊种质

资源和育种新材料，推动了牛羊生物育种的产业化进程，抢占国际家畜生物育种战略制高点，对提升牛羊育种效率和种质创新水平，推动牛羊产业高质量发展发挥了引领作用，产生了显著的经济和社会效益。

**四、客观评价**

项目相关成果在 Genome Biology、Advanced Science、Development、Autophagy、Journal of Biological Chemistry 等国际知名期刊上发表论文 35 篇，总被引 1210 次，单篇最高被引 300 次，其中被引超过 100 次的论文 3 篇，超过 50 次的 7 篇。其中发表在 Genome Biology 上的论文《Single Cas9 nickase induced generation of NRAMP1 knockin cattle with reduced off-target effects》受到来自中国、美国、英国、俄罗斯、德国、法国、澳大利亚等 43 个国家学者的肯定与积极评价，总被引 300 次，并获评为 2019 年陕西省优秀博士学位论文；发表在 Development 上的论文《H3K9 demethylase KDM4E is an epigenetic regulator for bovine embryonic development and a defective factor for nuclear reprogramming》总被引 153 次，被国内外 200 余机构的专家及各界人士关注和肯定评价。

发表于 Genome Biology 的论文《Single Cas9 nickase induced generation of NRAMP1 knockin cattle with reduced off-target effects》首次应用 Cas9 Nickase 技术进行基因编辑，成功将 NRAMP1 基因敲入牛基因组，以提高抗结核病免疫力。相比传统 Cas9 技术，Nickase 显著降低了脱靶效应，提高了基因编辑的精准性与安全性，拓展了精准基因编辑技术的应用潜力，研究成果受到了包括 BBC 新闻、Newsweek、BioQuick News、ISAAA 网站、BMC 出版社、凤凰网、搜狐网等国内外多个知名媒体和学术平台的广泛报道。中国科学院神经科学研究所孙强团队发表在 Cell（2018, DOI: 10.1016/j.cell.2018.01.020）的研究论文充分肯定并多次引用了本论文的研究成果，认为“该技术为制备遗传一致的灵长类动物模型、推动人类疾病机制研究和治疗策略开发提供了关键路径”。美国辛辛那提儿童医院医学中心 Q. Richard Lu 团队发表在 Nature Cell Biology（2023, doi: 10.1038/s41556-022-01069-6）的研究论文，参考该论文的关键技术方法，采用 CRISPR/Cas9n 介导的 YAP 融合敲入策略用于实现高效、精准的基因编辑，证实了“YAP 融合蛋白通过形成核凝聚体驱动室管膜瘤发生”。英国爱丁堡大学 Mick Watson 团队发表在 Genome Biology（2018, doi: 10.1186/s13059-018-1583-1）的研究论文高度评价并引用了该论文的研究成果，认为“Gao 等利用 CRISPR-Cas9 将抗性 NRAMP1 等位基因插入牛基因组中，在体外和体内研究中均显著抑制了牛分枝杆菌的生长及干扰素反应，为抗病育种提供了重要突破”。日本东海大学 Masato Ohtsuka 团队发表在 Nature Protocols（2018, doi: 10.1038/nprot.2017.153）的权威方法学论文高度认可并引用了该论文的研究成

果，将本团队在牛等大动物中成功应用 Easi-CRISPR 的策略列为关键范例，明确指出“该高效方法已成功扩展至包括牛在内的重要畜禽物种的基因组编辑，为基因组编辑动物制备提供了可靠、跨物种适用的技术方案”。美国斯坦福大学医学院 Andrew Z Fire 团队发表在 Nature Microbiology（2019, doi: 10.1038/s41564-019-0382-0）的论文中，对该论文的研究成果给予了高度评价和引用，明确指出“尤为重要的是，多项研究（包括 Gao et al.）发现核酸酶‘切口’活性在基因组编辑中展现出显著优势”，该论文将本团队工作列为证明 CRISPR/Cas9n 系统可显著提升编辑效率和安全性的关键证据之一。法国波尔多大学 François Moreau-Gaudry 团队发表在 Nature Communications（2019, doi: 10.1038/s41467-019-09006-2）论文中，对该论文的研究成果给予了肯定，指出“尽管核酸酶系统仍是基因组编辑的金标准，但近期多项研究（包括 Gao et al.）提出的 Cas9D10A 切口酶可作为替代方案有效降低 NHEJ 发生率”，将本团队针对 Cas9n 系统的优化工作列为提高编辑精准性的重要技术路径。

发表于 Autophagy 的论文《BAG2 ameliorates endoplasmic reticulum stress-induced cell apoptosis in Mycobacterium tuberculosis-infected macrophages through selective autophagy》将 BCL2 相关 athanogene 2（BAG2）基因与结核分枝杆菌感染期间的内质网应激和自噬相联系，揭示 BAG2 能够保护细胞免受内质网应激所诱导的细胞死亡，并有效诱导自噬发生，表明 BAG2 在内质网应激和自噬介导的抗菌防御中起着关键的连接作用。瑞士弗里堡大学的 Jörn Dengjel 团队在后续研究（Cell Reports, doi: 10.1016/j.celrep.2024.114689）中引用本成果，进一步明确了 BAG2 在结核分枝杆菌感染过程中通过与选择性自噬受体 SQSTM1/p62 相互作用诱导被感染细胞自噬的机理。

发表于 Advanced Science 的论文《Generation of Anti-Mastitis Gene-Edited Dairy Goats with Enhancing Lysozyme Expression by Inflammatory Regulatory Sequence using ISDra2-TnpB System》利用新型基因编辑工具 ISDra2-TnpB，将筛选获得的炎性调控序列靶向整合到抗乳腺炎溶菌酶基因的启动子区域，利用体细胞克隆技术获得基因编辑奶山羊。所获个体未引入任何外源基因和新的蛋白表达，生物安全性大幅提升。该成果受到陕西省畜牧兽医学会的认可，并被今日头条、搜狐网、腾讯网等重要媒体广泛报道，引起了积极的社会反响。

发表于 Development 的论文《H3K9 demethylase KDM4E is an epigenetic regulator for bovine embryonic development and a defective factor for nuclear reprogramming》发现，H3K9 去甲基化酶 KDM4E 的表达缺陷是克隆胚胎重编程失败的关键原因，而过表达 KDM4E 可显著提高克隆效率，该发现为攻克动物克隆技术中的表观遗传重编程难题提供了关键靶点。霍华德·休斯医学研究所

Yi Zhang 团队在 Cell Stem Cell 发表的综述论文（2018, doi: 10.1016/j.stem.2018.06.018）中强调了 KDM4E 在牛体细胞核移植重编程中的关键作用，并肯定了其处理策略对提升克隆效率的重要意义。乔治·华盛顿大学的 Edward Seto 团队在 Nucleic Acids Research（2019, doi: 10.1093/nar/gkz292）发表的综述论文也进一步肯定了 KDM4E 在 H3K9 去甲基化过程中的重要作用。

通过技术推广应用，将活体采卵-胚胎体外生产技术和高效体细胞克隆技术辐射到陕西、内蒙古、宁夏、甘肃、青海和四川等地，培育顶级种用牛羊和地方品种，成果受到新华社、中央电视台、科技日报、中国日报和人民网等多家媒体的广泛报道和肯定评价。

**五、应用情况**

项目组成员围绕牛羊胚胎生物育种技术创新与应用，与地方政府和企业开展了深度合作，签订横向项目经费逾 1100 万元，实现了核心技术的广泛应用和产业化推广。与陕西、内蒙古、宁夏、甘肃等地的畜牧龙头企业合作，建立了牛羊胚胎工厂化生产与移植示范基地，逐步形成了在西北重点牧区具有辐射带动作用的技术推广体系。依托这些示范基地，成果实现了由实验室研究向规模化产业应用的跨越，推动了核心技术在不同生态区的适应性验证与应用。累计克隆获得顶级牛羊良种 100 多头/只，体外胚胎良种牛羊群体达到 2 万多头/只。该成果的推广显著提升了牛羊育种效率，加快了优良种畜的扩繁进程，降低了种质引进和育种成本，为不同生态区畜牧业的良种化发展提供了可复制、可持续的技术路径，对提升我国牛羊种业的整体水平和竞争力发挥了重要示范作用。

体细胞克隆技术在内蒙古赛科星家畜种业与繁育生物技术研究院有限公司和杨凌科元克隆股份有限公司进行了推广应用，克隆顶级种公牛 5 头、顶级母牛 35 头、奶山羊 61 只。

体外胚胎生产技术在内蒙古赛科星家畜种业与繁育生物技术研究院有限公司、天津力牧生物科技有限公司、甘肃祁牧乳业有限责任公司、宁夏兴源达农牧有限公司、杨凌科元克隆股份有限公司、甘肃元生农牧科技有限公司、甘肃华瑞农业股份有限公司、布拖农投山谷养殖有限公司等 8 家企业进行了应用，均在 2023 年 8 月之前签订了技术服务协议，转化应用均满二年以上，获得良种奶牛 15000 多头、良种山羊 380 多只、良种绵羊 6000 多只，有效解决了我国牛羊良种资源不足、育种效率低的关键问题，大幅提升了品种培育进程。

利用本项目技术生产的牛羊群体合计直接经济价值达到 4.2 亿元。

**主要应用单位情况表**

| 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 | 内蒙古赛科星家畜种业与繁育生物技术研究院有限公司 | 体细胞克隆及体外胚胎生产技术 | 克隆顶级种公牛 5 头，顶级母牛 15 头，体外胚胎良种奶牛 1520 头 | 2022.01-2024.12 | 包向男/18548163596 |
| 2 | 天津力牧生物科技有限公司 | 体外胚胎生产技术 | 体外胚胎良种奶牛 8720 头 | 2020.01-2023.12 | 郭春明/18910355988 |
| 3 | 甘肃祁牧乳业有限责任公司 | 体外胚胎生产技术 | 体外胚胎良种奶牛 4120 头 | 2022.01-2024.12 | 郎昌兵/18693776131 |
| 4 | 宁夏兴源达农牧有限公司 | 体外胚胎生产技术 | 生产胚胎 2000 多枚，扩繁高产奶牛 832 头 | 2022.01-2024.12 | 马佳军/13259663331 |
| 5 | 杨凌科元克隆股份有限公司 | 体细胞克隆、体外胚胎生产技术 | 克隆顶级母牛 20 头，克隆高产奶山羊 61 只，体外胚胎良种奶山羊 388 只 | 2020.08-2024.12 | 向成荣/13572556324 |
| 6 | 甘肃元生农牧科技有限公司 | 体外胚胎生产技术 | 扩繁良种奶绵羊 3218 只 | 2019.01-2023.12 | 张金生/13993593669 |
| 7 | 甘肃华瑞农业股份有限公司 | 体外胚胎生产技术 | 扩繁良种奶绵羊 1156 只 | 2021.01-2023.12 | 武秀海/13629364282 |
| 8 | 布拖农投山谷养殖有限公司 | 体外胚胎生产技术 | 扩繁布拖黑绵羊 2000 只 | 2021.01-2024.12 | 胡维华/15881509363 |

## 六、主要知识产权和标准规范目录

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | Serum-free culture medium for in vitro maturation of bovine oocytes and a method for culture of oocytes | 美国 | US 11,098,282 B1 | 2021.08.24 | | 西北农林科技大学 | 张景程、黄玥萌、张敏、王德宝、王永、张涌 |
| 2 | 发明专利 | 基于供体细胞 DNA 甲基化水平的修饰提高山羊克隆效率的载体、细胞及方法 | 中国 | CN107988257B | 2019.02.01 | ZL201711322629.8 | 西北农林科技大学 | 张涌、刘军、韩成全、苏建民、毛廷超、王勇胜、康健 |
| 3 | 发明专利 | 一种提高牛体外受精胚的发育质量的培养液和培养方法 | 中国 | CN109628382B | 2019.10.29 | ZL201910049351.4 | 西北农林科技大学 | 张涌、王永、张敏、张景程、王勇胜 |
| 4 | 发明专利 | 一种牛卵母细胞体外成熟培养液及培养方法 | 中国 | CN108103011B | 2019.02.01 | ZL201810134698.4 | 西北农林科技大学 | 张景程、张涌、马晓楠、张敏、王勇胜 |
| 5 | 发明专利 | 一种挑选牛体外可移植胚胎的方法 | 中国 | CN111157710B | 2021.12.31 | ZL202010047929.5 | 西北农林科技大学 | 张景程、张涌、黄玥萌、张敏、王永、李赫强、王勇胜 |
| 6 | 发明专利 | 一种利用微小核糖核酸提高牛克隆效率的方法 | 中国 | CN106086080B | 2018.12.04 | ZL201610537461.1 | 西北农林科技大学 | 张涌、张景程、屈鹏翔、王勇胜 |
| 7 | 发明专利 | 一种通过诱导表达 zfp57 提高牛体细胞克隆效率的方法 | 中国 | CN110042123B | 2023.01.17 | ZL201910307633.X | 西北农林科技大学 | 苏建民、张涌、张成图、孙洪政、陈永忠、孟茹、安全利、程宇尧、王勇胜、权富生 |
| 8 | 发明专利 | 通用 RGEN 基因编辑靶位点快速筛选系统 | 中国 | CN107145767B | 2018.09.25 | ZL201710250569.7 | 西北农林科技大学 | 张涌、陈奇、佟琪 |
| 9 | 发明专利 | 一种获取转基因牛胎儿成纤维细胞的方法 | 中国 | CN 106591364 B | 2018.12.25 | ZL 2016 1 1001075.7 | 西北农林科技大学 | 张涌、高元鹏、陈琳琳、刘鑫、吴海波、袁梦珂 |
| 10 | 发明专利 | Monoclonal antibody or derivative generated based on transgenic goat and application thereof | 卢森堡 | LU503556 | 2023.03.01 | | 西北农林科技大学 | 刘旭、郑小曼、王凡、张倩 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 刘 军 | 1 | 副院长、教授 | 西北农林科技大学 | 对技术发明点 1、2、3 均有重要贡献。主要从事胚胎工程和生物育种技术研究，系统解析牛羊克隆胚胎发育异常的分子机制，筛选到提升克隆胚胎发育效率的重要蛋白和非编码 RNA，克隆获得高产牛羊群体；系统优化了体外胚胎生产技术和精液分离保存技术；研发抗乳腺炎基因编辑育种新技术，创制诱导型调控序列基因编辑奶山羊育种新材料。 |
| 张景程 | 2 | 教授 | 西北农林科技大学 | 对技术发明点 1、2 有重要贡献。主要从事牛胚胎发育和胚胎工程技术研究，利用多组学技术系统解析牛胚胎发育调控机制，揭示克隆胚胎发育异常的关键机制，建立了多种提高牛克隆胚胎发育的表观遗传调控技术；系统优化了牛卵母细胞成熟、胚胎体外培养和胚胎移植等技术，为牛标准化体外胚胎生产技术体系建立做出重要贡献。 |
| 张 涌 | 3 | 教授 | 西北农林科技大学 | 对技术发明点 1、2、3 均有重要贡献。长期从事家畜胚胎工程和生物育种理论和技术研究，系统解析牛羊胚胎发育调控机制，创建牛羊高效体细胞克隆技术体系、克隆了一批顶级牛羊种质资源；建立了标准化体外胚胎生产技术体系，大幅提升牛羊良种培育效率；创新牛羊基因编辑育种技术，创制了一批基因编辑牛羊新种质。 |
| 苏建民 | 4 | 教授 | 西北农林科技大学 | 对技术发明点 1、2 有重要贡献。主要从事绵羊和牦牛胚胎工程技术研究，系统解析绵羊克隆胚胎发育异常的分子机制，鉴定出牛羊早期胚胎发育关键调控因子，建立了绵羊和牛高效克隆胚胎体外发育技术，系统优化了绵羊精液冷冻保存技术，建立标准化的绵羊活体采卵-胚胎体外生产技术体系，利用体外胚胎生产技术快速扩繁绵羊群体，提升了绵羊新品种培育速度。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 刘 旭 | 5 | 教授 | 西北农林科技大学 | 对技术发明点 1、3 有重要贡献。主要从事牛羊基因编辑育种技术研究，利用 CRISPR-Cas13d 靶向调控 *ABI2* 和 *ZNF106* 前体 mRNA 剪接，可减少异常转录本约 50%，显著提高克隆胚胎成活率，为提升 SCNT 效率提供新策略；利用基因编辑和体细胞克隆技术，创制高效表达功能抗体的奶山羊乳腺生物反应器。 |
| 高元鹏 | 6 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 对技术发明点 3 有重要贡献。主要从事牛抗逆抗病生物育种技术的研究，围绕抗结核病筛选了一批抗病基因，通过 single Cas9 nickase (Cas9n) 技术诱导基因在特定位点的插入，该方法具有更低的脱靶效应，创制了对结核病具有抵抗力的 *NRAMP1* 基因编辑奶牛。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学作为项目唯一完成单位，全面负责项目的设计、立项、实施和成果审核，为本项目实施提供了必要的平台条件、人员保障和政策支持，保证了项目的顺利实施和完成。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 共同立项 | 张涌、刘军、苏建民、刘旭 | 2016 | 2020 | 联合申报多项发明专利和发表多篇研究论文 | 国家科技重大专项：抗病转基因牛新品种培育（2016ZX08007-003） |
| 2 | 共同知识产权 | 张涌、刘军、张景程、苏建民 | 2016 | 2024 | 发明专利 | 见主要知识产权和标准规范目录 |
| 3 | 论文合著 | 张涌、刘军、高元鹏、刘旭、张景程、苏建民 | 2016 | 2024 | 研究论文 | 1.Yuanpeng Gao, Haibo Wu, Yongsheng Wang, Xin Liu, Linlin Chen, Qian Li, Chenchen Cui, Xin Liu, Jingcheng Zhang, Yong Zhang. Single Cas9 nickase induced generation of NRAMP1 knockin cattle with reduced off-target effects. Genome Biology, 2017, 18(13):1-15.<br>2.Rui Feng, Jianglin Zhao, Qian Zhang, Zhenliang Zhu, Junyu Zhang, Chengyuan Liu, Xiaoman Zheng, Fan Wang, Jie Su, Xianghai Ma, Xiaoyu Mi, Lin Guo, Xiaoxue Yan, Yayi Liu, Huijia Li, Xu Chen, Yi Deng, Guoyan Wang, Yong Zhang, Xu Liu, and Jun Liu. Generation of Anti-Mastitis Gene-Edited Dairy Goats with Enhancing Lysozyme Expression by Inflammatory Regulatory Sequence using |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | ISDra2-TnpB System. Advanced Science, 2024, 11(38):2404408.<br>3.Jingcheng Zhang, Pengxiang Qu, Chuan Zhou, Xin Liu, Xiaonan Ma, Mengyun Wang, Yongsheng Wang, Jianmin Su, Jun Liu, Yong Zhang. MicroRNA-125b is a key epigenetic regulatory factor that promotes nuclear transfer reprogramming. Journal of Biological Chemistry, 2017, 292(38):15916–15926. |
| 4 | 专著<br>合著 | 张涌、刘军、苏建民、刘旭、高元鹏 | 2023 | 2024 | 著作 | 畜禽种业科技创新战略研究，主编邓小明、张涌、张松梅、葛毅强、王文月，执行主编郑筱光、戴毅超、孙康泰、刘军、王小龙、李转见、刘旭、高元鹏，出版单位：科学出版社，出版年：2024 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目完成人包括：刘军、张涌、张景程、苏建民、刘旭、高元鹏，项目所有完成人均属西北农林科技大学动物医学院教师、农业部动物生物重点实验室核心骨干。所有完成人隶属同一个研究团队，团队由张涌院士领衔，刘军、张景程、苏建民、刘旭、高元鹏均为团队核心成员，团队围绕牛羊胚胎工程和生物育种紧密合作，联合完成项目立项、论文发表、专利申报和编写著作等工作，其合作成果体现在主要知识产权证明目录及附件、以及发表的研究论文和编写的著作中。按照团队的任务分工，刘军教授负责总体设计和布局，主要从事牛羊胚胎工程和基因编辑育种研究、张景程负责牛胚胎发育和胚胎工程技术方向、苏建民主要负责绵羊胚胎工程方向、刘旭和高元鹏负责基因编辑和抗病育种方向。

# 项目十四

**一、项目名称：旱区林木抗旱速生的水力学机制及评价体系**

**二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会**

**提名意见：**在我国广袤的干旱、半干旱地区，水分是限制植物生存与生长的最主要环境因子。然而，当前关于林木抗旱与速生的水分生理机制仍属基础研究中的薄弱环节，并且缺乏高效、精准的抗旱性与速生性评估体系，导致植被恢复与重建中树种选择、经营目标确定及植被抚育管理缺乏系统理论指导，严重制约了该区域生态修复工程的科学实施，也影响了林业可持续发展及国家“碳中和”战略的推进。

针对以上问题，本项目依托两项国家自然科学基金面上项目，采用植物水力学研究方法，开展了长达十余年的持续研究。项目阐明了旱区林木抗旱性的木质部结构基础，揭示了其抗旱的水力学机制，解析了林木速生的水力学原理，系统评价了基于栓塞脆弱性测定技术的抗旱评估方法的准确性与适用范围，建立了更高效、可靠的抗旱性评价体系；同时，提出了基于水力学指标的林木速生性筛选新方法。项目成果具有显著的理论与应用创新价值。在理论层面，提出了新机制、新理论、新方法、新指标，深化了我们对树木抗旱与速生机制的认知，拓展了植物水力学的学科边界与研究范式。在实践层面，使得林业科研工作者可以通过在短时间内准确测定栓塞脆弱性，高效判定林木的抗旱性，在林木生长的苗期，通过测定水力效率高效确定其长期速生潜质。相关成果可为旱区选育抗旱、速生的林木品种，恢复植被，保护环境，维持生态平衡提供重要指导。提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

**三、项目简介：**

在优良林木选育中，抗旱性与速生性一直是关键目标性状。然而，其内在生理机制尚未系统阐明，高效、准确的抗旱与速生性评价体系仍不完善，制约了抗旱速生型林木的精准选育与推广应用。近年来，植物水力学作为树木水分生理研究的前沿领域，为从水分输运效率与安全性角度揭示林木抗旱与速生机制提供了新路径。本项目依托两项国家自然科学基金面上项目，以植物水力学为核心研究手段，围绕以下三个关键科学问题展开长达十余年的系统研究：（1）林木抗旱与速生的水力学机制是什么？（2）如何准确测定栓塞脆弱性以高效评

估抗旱性？（3）何种水力学指标可用于速生林木的高效选育？主要科学发现如下：

**1.量化了旱区常见树种的栓塞脆弱性，阐明了树木抵抗栓塞的木质部结构特征，推动了我们对于树木抗旱机制的新认知**

（1）明确了影响林木抗旱性的关键木质部导管结构特征。通过离心机与染色技术相结合的新颖实验设计，创造性地构建了基于导管直径径级的栓塞脆弱性曲线，率先精确量化了导管直径与栓塞脆弱性之间的关系，使学者们对于导管直径—栓塞脆弱性关系的认识迈出了重要一步。

（2）提出了“纤维桥”假说，解析了纤维管胞在水分输导中的重要作用。首次发现影响水分运输的效率与安全性的“纤维桥”结构。水分可经由“纤维桥”高效运输，同时导管被多个纤维管胞分隔，极大阻碍了栓塞在导管间的传播，因此“纤维桥”可能是比纹孔更为安全的水分输导结构。以上创新性发现揭示了林木抗旱的新机制，挑战了导管间水分运输必须经过纹孔的传统观点，为非导管组织在水力功能中的作用研究开辟了新方向。

（3）明晰了决定栓塞脆弱性的关键纹孔膜结构特征。构建了导管直径与纹孔膜面积的函数关系，揭示了导管直径大的树种拥有更大纹孔膜表面积的规律，为“纹孔膜面积”假说提供了有力证据。通过电子显微镜实测纹孔膜上的孔洞大小，发现栓塞脆弱性小的树种减小了最大孔洞的发生概率和尺寸，并加大了纹孔膜的厚度，提高了人们对于导管—纹孔结构联系的认知水平。

**2.系统评估了目前主流栓塞脆弱性测定技术的准确性和局限性，明确了准确评估栓塞脆弱性的技术手段，开辟了高效、准确判定林木抗旱性的新途径**

（1）证实离心机法所获“r 形”栓塞脆弱性曲线为人为假象。首次结合树木自然水分状态动态验证曲线准确性，明确该类曲线不能真实反映林木抗旱能力。

（2）揭示离心机法“r 形”曲线成因并提出“微气泡”假说。通过巧妙的实验设计，证明了诱发开口导管栓塞假象的是导管中的微气泡而非杂质微粒。首次推导了离心过程中微气泡在“开口导管”中的膨胀过程及栓塞假象的诱发条件，明确了气泡稳定性的临界张力与气泡半径的关系，挑战了“粒子填充假说”， 更新了学者们对离心法错误测定栓塞脆弱性机制的认识。

（3）提出了注气法错误评估栓塞脆弱性的新机理。创新性地提出了“加压

气体干燥纹孔膜”和“溶解气体溢出”两种假说，有效阐明了注气法产生错误栓塞脆弱性曲线的原因，使得水力学者们开始重视注气法的可靠性问题。

（4）确立了离心机法在短导管树种栓塞脆弱性测定中的高效性与准确性，为林木抗旱性评估开辟了新途径。

**3.解析了林木速生的水力学原理，丰富了林木速生的生理学理论；确立了高效筛选速生林木品种的水力学指标体系，为快速评价林木的速生潜质提供了新手段**

（1）解析了林木速生的水力学原理。研究发现，树木各部分（如根、茎、叶）的水力效率之间存在高度协同关系，共同保障水分在植株体内的高效、稳定传输。木质部水分运输能力与叶片气孔结构及气体交换能力显著匹配，表明水分输导效率直接制约叶片光合碳同化与蒸腾耗水之间的平衡。同时，茎与叶之间栓塞脆弱性的分割程度显著影响林木的整体生长速率，并且速生型林木多采用等水型气孔调节策略，保持气孔开放以维持碳同化，而慢生型林木则倾向于异水型策略，以牺牲部分光合为代价增强水力安全。以上发现从水分生理角度揭示了林木速生的内在机制。

（2）确立了小枝、根系和整株的水力效率作为苗期筛选速生林木品种的关键水力学指标。研究发现，小枝、根系和整株的水力效率与生长速率之间存在显著且稳定的正相关性，该关系在不同年份间均得以保持，表现出良好的时间延续性。相比之下，茎段水力效率与生长速率之间的关联较弱，稳定性不足，难以作为可靠预测指标。本研究首次明确提出，可在苗期通过测定小枝、根系及整株水力效率，准确评估林木的长期速生潜力，从而大幅缩短育种周期，为速生型林木的高效选育提供了切实可行的早期鉴定手段。

以上成果具有理论与实践创新性。在理论层面，项目新机制、新理论、新方法、新指标的提出推动了我们对于树木抗旱和速生机制的认知，开拓了水力研究的思维。在实践层面，使得林业科研工作者可以通过在短时间内准确测定栓塞脆弱性，高效判定林木的抗旱性，在林木生长的苗期，通过测定水力效率高效确定其长期速生潜质。这些成果可为干旱、半干旱地区选育抗旱、速生林木品种，恢复植被，保护环境，维持生态平衡提供重要指导。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

项目研究成果在 Plant Cell and Environment、Forest Ecology and Management、Physiologia Plantarum、Trees、《林业科学》、《植物生态学报》等国内外著名学术刊物发表论文 26 篇，其中 SCI 论文 15 篇（包括 7 篇 Plant Cell and Environment，1 篇 Forest Ecology and Management，4 篇 Physiologia Plantarum 等）。5 篇代表性论文总被引 426 次，他引 413 次。研究成果得到了国内外同行的高度赞同和积极评价。

（一）重要发现一：量化了旱区常见树种的栓塞脆弱性，阐明了树木抵抗栓塞的木质部结构特征，推动了我们对于树木抗旱的水分生理基础新认知，获得了国内外知名专家教授团队的积极认可和高度肯定。

（1）现任荷兰 Naturalis 生物多样性中心博物馆研究员的著名木质部解剖学家 Frederic Lens 曾于 2011 年在植物学顶刊 New Phytologist 上发文，引用了代表性论文 1 中的“宽导管更容易栓塞”的结论。该文作为高被引论文，扩大了我们学术成果的影响力。

（2）智利塔尔卡大学的 Alex Fajardo 教授是研究植物生长与气候关系的著名学者，他于 2018 年在 Cell 子刊 Trends in Ecology & Evolution 发表了观点性论文，他在文中提出了矮小树种相比于高大树种更有能力应对干旱和全球变暖的观点，因为它们适应能力更强，对干旱引起的栓塞具有更强的抵抗力。支持其观点的重要论据之一是矮小树种的导管更窄，栓塞脆弱性更小。此条论据引用了代表性论文 1 在种内水平得出的“宽导管栓塞脆弱性更大”的实验结果。这说明我们的研究为宏观生态学中的现象解释以及未来气候变化下的植被组成预测提供了良好的实验性证据。

（3）国际著名植物水力学专家 Hervé Cochard 教授于 2013 年发表在植物学顶刊 Journal of Experimental Botany 上的文章指出“对茎段进行染色以确认栓塞的存在或定位无导水功能的树轮的位置始终是一种很好的做法。比如，Cai 和 Tyree（2010）结合了染色和离心技术，以证明导管直径对栓塞脆弱性的影响”。这说明代表性论文 1 创造性使用染色和离心两种手段结合定位量化栓塞的技术，得到了业内权威的认可，体现了广泛影响力。

（4）国际著名植物水力学专家 Mark E. Olson 教授于 2018 年在 PNAS 发文，探究了树高与水力脆弱性的关系，提出了“高树比矮树拥有更宽的导管，致使其栓塞脆弱性更大”的观点，从而揭示了同种内高树在干旱胁迫下更易遭受死亡威胁的原因。代表性论文 1 在种内水平得出的“宽导管栓塞脆弱性更大”的实验结果为其观点提供了有力佐证。

（5）国际著名植物叶片水力学专家、美国加利福尼亚州大学洛杉矶分校教授 Lawren Sack 的团队于 2018 年在植物学顶刊 New Phytologist 上发表的文章引用了我们的结论，其在叶片水平探究了叶脉导管直径与叶片栓塞脆弱性的关系，发现叶脉和叶柄的窄导管比宽导管更能抵抗叶片水力导度的下降，这说明代表性论文 1 在木质化枝条茎段上发现的“宽导管栓塞脆弱性更大”的实验现象可以推广演绎至叶片水平，从而为植物水力连续体理论提供了有力支撑。

（6）加拿大艾尔伯塔大学教授、植物水力学专家 Uwe G. Hacke 于 2017 年在生物类 TOP 期刊 Plant Cell and Environment 上发文，写到“狭窄的管道也可以作为毗邻导管之间的水力桥梁，可以提供更大的安全性以防止栓塞的传播（Cai et al. 2014）”，对代表性论文 2 提出的“纤维桥”水分运输模式给予了高度认同。

（7）美国哈佛大学教授、著名植物生理生态学专家 N. Michele Holbrook 课题组于 2014 年发表在 Plant Physiology 的文章引用了代表性论文 2，写到“纤维除机械功能外，作为水分储存的场所，以及作为水分在导管间运动的通道，影响木质部的功能，值得更多的关注”，这意味着学者们应该重新审视纤维细胞在木质部中的作用。

（8）德国乌尔姆大学教授、木质部解剖学专家 Steven Jansen 于 2019 年在生物类 TOP 期刊 Journal of Experimental Botany 上发文，写到“机械功能和水力功能之间的相互作用是因为纤维的结构支撑有助于防止水力功能障碍（Jacobsen et al., 2005; Lens et al., 2016），并且由纤维–管胞的水力桥连接孤立的导管，从而作为水分输送的安全辅助通道（Cai et al., 2014）”，高度认同了代表性论文 2 提出的“纤维桥”假说。

（二）重要发现二：评估了目前主流栓塞脆弱性测定技术的准确性和局限性，明确了准确评估栓塞脆弱性的技术手段，开辟了高效、准确判定林木抗旱性的新途径。

（1）美国加州州立大学 H. Jochen Schenk 博士、比利时根特大学 Kathy Steppe 教授以及德国乌尔姆大学 Steven Jansen 教授于 2015 年在 Cell 子刊 Trends in Plant Science 上发文，引用并评价了代表性论文 3 的结果，写到“在最近的一项实验中发现，在离心机中缓慢旋转长导管植物的茎数小时可以产生栓塞。对这一发现的一种解释是：已经存在于导管中的纳米气泡在离心力的作用下缓慢地向张力最高的茎段中心移动，纳米气泡聚集在一起，并扩大成为栓塞”。这表明我们提出的微气泡聚集成核引发栓塞的推断，得到了认可，并且引发了深层次的学术讨论。

（2）Plant Cell and Environment 副主编、哈佛大学教授 N. Michele Holbrook 于 Plant Cell and Environment 同期发表了代表性论文 3 的评论文章。她在文章的开篇写到：该文对于理解水分在木质部张力下的稳定性及目前对于对该问题的争议有重要意义且提供了一个重要进展。在行文中，Holbrook 教授从文章的实验方法和研究结论等方面展开评述，高度赞扬了该文所作的工作，并藉此提出了当前水力学研究的建议。

（3）澳大利亚西悉尼大学教授 Brendan Choat 于 2016 年在 Plant Physiology 上发文，引用了代表性论文 3 的重要结论，高度赞同了本文的发现。除此之外，多项关于脆弱性曲线假象的研究引用了本文的“微气泡”假说，这说明该假说得到了越来越多研究的支持。

（4）代表性论文 3 通过植物水分关系的研究，探究了刺槐的日栓塞变化规律，发现刺槐并没有经历其离心机脆弱性曲线预测的严重栓塞，从而推断刺槐离心机脆弱性曲线是错误的。植物生理生态领域国际知名学者曹坤芳教授课题组于 2017 年在 Functional Ecology 上发文，认同了这一重要结论。

（5）2014 年在德国乌尔姆大学举行的国际植物水力学技术研讨会上，汇集了 57 位专家，其中包括来自全球 16 个国家的主要研究人员。会议关于栓塞脆弱性曲线建立方法的讨论结果由 Steven Jansen、Bernhard Schuldt 和 Brendan Choat 三位有影响力的学者整理发表在植物学顶刊 New Phytologist 的 Meetings 专栏。我们发表的代表性论文 3 为会议的讨论提供了重要素材。

（6）活跃于 Plant Physiology 的剑桥大学学者 Uri Hochberg 博士充分肯定了代表性论文 4 对于气种假说的进一步验证，认为本研究提出的“溶解气体溢出”

假说有效解释了注气法产生错误栓塞脆弱曲线的原因。

（7）广西大学朱师丹教授、曹坤芳教授、中国科学院华南植物园叶清研究员发表在 Tree Physiology 上的文章充分肯定了代表性论文 4 提出的“溶解气体溢出”假说，认可了注气法存在的“开口导管”问题。

（8）Luciano Pereira 在 Plant Cell and Environment 的发文也积极引用与评价了代表性论文 4 对于“冒泡假象是造成栓塞高估的原因”的研究结果。

（9）中国科学院西双版纳热带植物园陈亚军研究员、张教林研究员发表在 New Phytologist 的文章引用并认同代表性论文 4 对于“研究人员在使用注气法测定脆弱曲线时应考虑其可靠性问题”的观点。

（三）重要发现三：揭示了林木速生的水力学机制，确立了高效筛选速生林木品种的水力学指标体系，为快速评价林木的速生高产潜质提供了新手段。

（1）北京林业大学席本野教授团队于 2022 年在 Agricultural Water Management 上发文，旨在论证不同灌溉方式对杨树人工林水分利用性状的影响，从而可指导我们根据植物水分生理需求进行灌溉管理。该论文引用了代表性论文 5 的结论，认同了“植物水分关系对碳获取过程存在极大影响”的观点。

（2）华盛顿州立大学博士后宋彦君 2023 年在 Tree Physiology 上发文，旨在论证生长表现方面进行了遗传改良的林木是否发生了抗旱性改变，从而指导育种实践。该论文在前言背景论述中引用了代表性论文 5，以支持其通过遗传改良方式改善林木生长的观点。

（3）中科院西双版纳热带植物园张树斌研究员 2022 年在 Tree Physiology 上发文，旨在论证西南干热河谷地区树木的水力效率与机械力之间是否存在权衡关系。该论文在前言中引用了代表性论文 5，以引出水力效率与生产力相关的研究背景。

**五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)**

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | The impact of vessel size on vulnerability curves: data and models for within-species variability in saplings of aspen, Populus tremuloides Michx. | Plant, Cell and Environment | Jing Cai; Melvin T. Tyree | 2010 年 33 卷 1059-1069 页 | 2010-06-09 | Melvin T. Tyree | 蔡靖 | 蔡靖 | 230 | SCIE CNKI | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Recalcitrant vulnerability curves: methods of analysis and the concept of fibre bridges for enhanced cavitation resistance | Plant, Cell and Environment | Jing Cai; Shan Li; Hai xin Zhang; Shuo xin Zhang; M. T. Tyree | 2014 年 37 卷 35-44 页 | 2013-12-04 | M. T. Tyree | 蔡靖 | 蔡靖；李姗；张海昕；张硕新 | 58 | SCIE CNKI | 是 |
| 3 | Water relations of *Robinia pseudoacacia* L.: do vessels cavitate and refill diurnally or are R-shaped curves invalid in Robinia? | Plant, Cell and Environment | Rui qing Wang; Ling ling Zhang; Shuo xin Zhang; Jing Cai; M. T. Tyree | 2014 年 37 卷 2667-2678 页 | 2014-03-03 | 蔡靖；M. T. Tyree | 王瑞庆 | 王瑞庆；张玲玲；张硕新；蔡靖 | 99 | SCIE CNKI | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | New possible mechanisms of embolism formation when measuring vulnerability curves by air injection in a pressure sleeve | Plant, Cell and Environment | Peng xian Yin; Jing Cai | 2018 年 6 卷 1361-1368 页 | 2018-02-09 | 蔡靖 | 尹鹏先 | 蔡靖；尹鹏先 | 17 | SCIE CNKI | 是 |
| 5 | Hydraulic efficiency at the whole tree level stably correlated with productivity over years in 9 poplar hybrids clones | Forest Ecology and Management | Han Zhao; Zaimin Jiang; Youjing Zhang; Bo Jiang; Jing Cai | 2021 年 496 卷 119382 页 | 2021-05-29 | 蔡靖 | 赵涵 | 赵涵；姜在民；张友静；姜博；蔡靖 | 9 | SCIE CNKI | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 蔡靖 | 1 | 高级 | 西北农林科技大学 | 负责项目总体设计，方案制定，组织实施。创造性地构建了基于导管直径径级的栓塞脆弱性曲线，率先精确量化了导管直径与栓塞脆弱性之间的关系。提出了“纤维桥“假说，证明了“纤维桥”是比纹孔更为安全的水分输导结构，揭示了林木抗旱的新机制；明晰了影响栓塞脆弱性大小的关键纹孔膜结构特征；揭示了植物在干旱及复水过程中的水力学变化特征；厘清了栓塞脆弱性快速测定方法的准确性和局限性；提出了苗期筛选速生林木品种的水力学指标。对应代表作 1~5，对重要科学发现一、二、三具有创新性贡献。 |
| 赵涵 | 2 | 中级 | 西北农林科技大学 | 评价了离心机法建立沙棘栓塞脆弱性曲线的可靠性，从木质部解剖结构，尤其是纹孔膜超微结构层面，阐释了沙棘的抗旱木质部结构特征，并利用电子显微镜证实了“纤维桥”结构的存在。揭示了杨树速生的水力学机制，提出了小枝、根系和整株的水力效率可作为在林木生长的苗期筛选速生品种的快速有效指标。对应代表作 5，对重要科学发现一、二、三具有创新性贡献。 |
| 姜在民 | 3 | 高级 | 西北农林科技大学 | 探明了旱区抗旱树种木质部解剖结构与栓塞脆弱性的关系，揭示了抗旱树种木质部导管的解剖结构特征，营造了不同生长速率杨树无性系测定林。对应代表作 1、2，对重要科学发现一、二具有创新性贡献。 |
| 尹鹏先 | 4 | 中级 | 西北农林科技大学 | 重点评估了注气法与离心机法建立的栓塞脆弱曲线的准确性，提出了“加压气体干燥纹孔膜”和“溶解气体溢出”两种假说，揭示了注气法中栓塞形成的新机理。对应代表作 4，对重要科学发现二具有重要贡献。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 王瑞庆 | 5 | 副高级 | 西北农林科技大学 | 重点评估了离心机法建立的栓塞脆弱曲线的准确性，从植物水分关系角度有力证明“r 形”栓塞脆弱性曲线是人为造成的栓塞假象，阐明了离心机法产生“r 形”栓塞脆弱性曲线的根本原因，使用数学和物理建模手段首次推导了离心过程中微气泡在“开口导管”中的膨胀过程及栓塞假象的诱发条件，明确了气泡稳定性的临界张力与气泡半径的关系，使植物水力学者对于栓塞假象形成了新认知。对应代表作 3，对重要科学发现二具有重要贡献。 |
| 张硕新 | 6 | 高级 | 西北农林科技大学 | 从物理学角度对“r 形”栓塞脆弱性曲线的准确性进行了论证，揭示了离心过程中气泡在“开口导管”中的快速膨胀填充是离心机法错误评估长导管树种栓塞脆弱性的根本原因。发现了旱区树种发挥抗旱功能的关键木质部结构特征。对应代表作 2、3，对重要科学发现一、二具有贡献。 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学作为项目主要完成单位，负责支撑项目的立项申请申报和资金争取；对项目的实施给予试验条件、设施、经费、人力、物资等方面的保障和支持。同时，负责项目进展总体管理，包括计划制订、实施、总结等的跟踪督促、检查，保证了项目任务顺利实施和目标的全面实现。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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** | 共同立项 | 蔡靖/1，姜在民/3，张硕新/6 | 2010 年 01 月 01 日 | 2021 年 05 月 29 日 | 国家自然科学基金“限流耐旱树种木质部结构与耐旱性关系研究”的立项 | 立项申请书 |
| **2** | 共同立项 | 蔡靖/1，姜在民/3 | 2010 年 01 月 01 日 | 2021 年 05 月 29 日 | 国家自然科学基金“杨树无性系水力学特性与其生物量、生长率相关性研究”的立项 | 立项申请书 |
| **3** | 论文合著 | 蔡靖/1，赵涵/2，姜在民/3 | 2015 年 09 月 01 日 | 2021 年 06 月 01 日 | 代表性论文 5 | 代表性论文 5 全文 |
| **4** | 论文合著 | 蔡靖/1，王瑞庆/5，张硕新/6 | 2012 年 01 月 01 日 | 2016 年 06 月 01 日 | 代表性论文 3 | 代表性论文 3 全文 |
| **5** | 论文合著 | 蔡靖/1，尹鹏先/4 | 2015 年 09 月 01 日 | 2018 年 06 月 01 日 | 代表性论文 4 | 代表性论文 4 全文 |
| **6** | 论文合著 | 蔡靖/1，张 | 2012 年 01 月 01 日 | 2021 年 05 | 代表性论 | 代表性论 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 硕新/6 | | 月 29 日 | 文 2 | 文 2 全文 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目涉及的 6 位完成人均来自西北农林科技大学。在项目实施、论文发表、登记成果等方面开展了紧密合作，为项目目标达成均做出了重要的贡献。在广泛征求意见的基础上，根据每个人实际贡献大小，确定了最终完成人员名单及排序。主要合作关系介绍如下：

（1） 第一完成人蔡靖负责项目总体设计，制定研究方案，统筹项目实施。开展了林木水力学抗旱机制研究，率先精确量化了导管直径与栓塞脆弱性之间的关系，提出了“纤维桥”假说，发表代表论文 1、2。

（2） 第一完成人蔡靖与第二完成人赵涵、第三完成人姜在民共同完成了杨树速生的水力学机制探究，提出了选育速生杨树品种的水力学指标，合作发表代表论文 5。

（3） 第一完成人蔡靖与第三完成人姜在民、第六完成人张硕新合作，完成了国家自然科学基金面上项目“限流耐旱树种木质部结构与耐旱性关系研究”（31270646）的申请立项工作。

（4） 第一完成人蔡靖与第三完成人姜在民合作完成了国家自然科学基金面上项目“杨树无性系水力学特性与其生物量、生长率相关性研究”（31570588）的申请立项工作。

（5） 第一完成人蔡靖与第四完成人尹鹏先共同完成了注气法建立栓塞脆弱性曲线的可靠性检验，合作发表代表论文 4。

（6） 第一完成人蔡靖与第五完成人王瑞庆、第六完成人张硕新共同完成了离心机法建立栓塞脆弱性曲线的可靠性检验，合作发表代表论文 3。

（7） 第一完成人蔡靖与第六完成人张硕新共同研究了沙棘木质部结构特征，提出“纤维桥”假说，合作发表代表论文 2。

# 项目十五

**一、项目名称：**小麦-华山新麦草远缘杂交衍生后代种质创新与应用研究

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**陈新宏研究员团队长期开展的小麦-华山新麦草远缘杂交衍生后代种质创新与应用研究，利用远缘杂交和染色体工程技术将华山新麦草的优异基因导入到普通小麦中，创制了 300 余份抗病、抗逆、优质、早熟等优异特性的新种质；对从华山新麦草导入普通小麦的抗全蚀病、纹枯病和茎基腐病等抗性基因进行精细定位、基因克隆和功能验证，开发出 SNP 分子标记；成功分离、鉴定出小麦-华山新麦草全套二体异附加系，并系统分析了该全套异附加系的品质特性，全面解析了华山新麦草蛋白亚基对小麦品质的影响，克隆和鉴定了华山新麦草的 y-型 HMW-GS 基因；利用所创制的种质材料 H24-6、H18-5、H59-11 等结合常规育种技术培育了 5 个小麦新品种。该项研究充分挖掘华山新麦草抗病、优质等优异基因，拓宽小麦的遗传基础, 丰富小麦抗病、优质种质资源，为培育高产优质多抗广适重大小麦新品种奠定了技术和材料基础。该项研究在国内外处于领先水平，提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、**项目简介：**

农作物种质资源被喻为农业科技原始创新、现代种业发展的“芯片”，大量育种实践表明，每次作物产量突破都有赖于特异种质资源的发现和利用。华山新麦草（Psathyrostachys huashanica Keng.2n=14）是分布在秦岭山脉华山段的一个我国特有种，为国家一级珍稀濒危植物和急需保护的农作物野生亲缘种；具有抗寒、抗旱、耐瘠薄、早熟、优质、矮杆、抗病等特点。应用远缘杂交、染色体工程的方法, 可以将华山新麦草中的优异基因导入到普通小麦中, 创制新种质资源, 拓宽小麦的遗传基础, 进而培育出高产优质多抗广适小麦新品种。

1、利用远缘杂交和染色体工程技术将华山新麦草的优异基因导入到普通小麦中，创制了 300 余份抗病、抗逆、优质、早熟等优异特性的新种质。

2、综合利用基因组原位杂交、分子标记、芯片分析、经典细胞遗传学鉴定等手段，对所创制小麦新种质进行系统分析，明确新种质外源染色体的同源群归属、所携带优异性状的遗传效应及应用价值，定位、克隆华山新麦草可用的优异基因，明确其在小麦背景中的功能效应，充分挖掘和利用优异基因、丰富普通小麦遗传资源，破解小麦遗传改良突破性优异种质资源匮乏的局面。相关研究发表论文 55 篇，其中 SCI 论文 31 篇，累计他引次数 488 次。培养博士生 7 名、硕士研究生 23 名。

3、利用细胞学、基因组原位杂交（GISH）、聚丙烯酰胺凝胶电泳（PAGE）、分子标记和农艺性状评估等方法对小麦-华山新麦草衍生后代进行遗传分析，成功分离、鉴定出小麦-华山新麦草全套二体异附加系(1Ns–7Ns，2n=44=22II)，并对全套异附加系进行了抗性、品质等农艺性状评价，为进一步研究华山新麦草染色体遗传、进化、结构和功能具有重要意义。开发了检测小麦背景中华山新麦草全套染色体的分子标记体系，为华山新麦草杂交后代早期筛选提供了依据，加快了华山新麦草研究步伐。

4、通过实施完成 2 项国家基金面上项目，分别对高抗小麦全蚀病和纹枯病的种质材料构建抗病材料的遗传分离群体，通过基因芯片扫描、KASP 标记开发、转录组测序和遗传图谱构建，对全蚀病和纹枯病抗性基因进行精细定位，发掘与抗病基因紧密连锁或共分离的 SNP 分子标记，明确了全蚀病和纹枯病抗性基因的遗传最优模型，建立高效的分子标记辅助选择体系，发现并克隆全蚀病抗性候选基因，并进行功能验证，持续利用杂交、自交、回交、辐射诱变等方法创制抗全蚀病和纹枯病新种质。

5、系统分析了小麦-华山新麦草 1Ns-7Ns 全套异附加系的品质特性，明确华山新麦草不同同源群染色体对小麦品质的差异，全面解析了华山新麦草蛋白亚基对小麦品质的影响，华山新麦草的 y-型 HMW-GS 基因克隆和功能的鉴定，丰富小麦种质资源，扩大麦类作物品质基因库。

6、利用创制的小麦-华山新麦草新种质材料 H24-6、H18-5、H59-11 等，结合常规育种技术培育了 5 个小麦新品种通过了陕西省审定：

小偃 23：杂交组合：H59-11/西农 509，（陕审麦 2018004 号）

西农 936：杂交组合：中育 9037/H24-6，（陕审麦 20210010 号）

西农 921：杂交组合：H18-5/周麦 26，（陕审麦 20210011 号）

西农 68：杂交组合：周麦 18/H24-6，( 陕审麦 20230023 号)。

西农 812：杂交组合：新麦 0401/H6-11，( 陕审麦 20241006 号)。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

1、相关国家基金项目的实施、验收和成果登记，取得一系列研究成果。

2、创制的部分种质资源进行国内同行共享，得到了普遍认可。

3、发表相关论文他引次数 488 次。

4、利用小麦-华山新麦草新衍生种质培育的 5 个小麦新品种在抗性、品质等方面有较大优势，这些品种在生产中开始大面积示范种植。

**五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)**

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Addition of Psathyrostachys huashanica HMW glutenin subunit expresses positive contribution to protein polymerization and gluten microstructure of receptor wheat | Food Chemistry | Jiaojiao Li,Jiachuang Li,Shaowei Jiang,Li Zhao, Linrun Xiang, Yu Fu,Shuhui Liu, Qunhui Yang, Jun Wu,XinHong Chen | 405（2022）134739 | 2022 年 8 月 | 陈新宏，武军 | 李娇娇 | 李娇娇 李家创 蒋少威 赵李符宇 刘淑会 杨群慧 武军 陈新宏 | 8 | 《科学引文索引》扩展版数据库(SCIE)、《CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |
| 2 | Genome-wide analysis of type III polyketide synthases in wheat and possible roles in wheat sheath blight resistance | International Journal of Molecular Sciences | Xingxia Geng, Yihua Chen, Shufa Zhang, Zhen Gao, Shuhui Liu, Qunhui Yang, Jun Wu, Xinhong Chen | 2022, 23, 7187 | 2022 年 3 月 | 陈新宏 | 耿兴侠 | 耿兴侠 陈溢华 张书发 郜振 刘淑会 杨群慧 武军 陈新宏 | 9 | 《科学引文索引》扩展版数据库(SCIE)、《CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |
| 3 | Characterization of the Wheat-Psathyrostachys huashania Keng 2Ns/2D Substitution Line H139: A Novel Germplasm With Enhanced Resistance to Wheat Take-All | Frontiers in Plant Science | Bai Sheng Sheng, Yuan Feng Ping, Zhang Han Bing, Zhang Zhen Yue, Zhao Ji Xin, Yang Qun Hui, Wu Jun*, Chen Xin Hong* | 2020，11:233 | 2020 年 12 月 | 陈新宏、武军 | 白升升 | 白升升 袁凤平 张寒冰 张珍悦 赵继新 杨群慧 武军 陈新宏 | 24 | 《科学引文索引》扩展版数据库(SCIE)、《CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |
| 4 | Molecular cytogenetic characterization of a novel wheat–Psathyrostachys huashanica Keng 5Ns (5D) disomic substitution line with stripe rust resistance | Mol Breeding | Jiachuang Li,Xiaoni Yao,Zujun Yang,Xueni Cheng,Fengping Yuan,Yang Liu,Jun Wu,Qunhui Yang,Jixin | 2019，39: 109 | 2019 连月 | 陈新宏、赵继新 | 李家创 | 李家创 姚小妮 杨足军 程雪妮 袁凤平 刘洋 武军 杨群慧 | 15 | 《科学引文索引》扩展版数据库(SCIE)、《CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |
| 5 | Molecular characterization of a wheat-Psathyrostachys huashanica Keng 2Ns disomic addition line with resistance to stripe rust | Molecular Genetics and Genomics | Wanli Du，Jing Wang，Liangming Wang，Jun Wu，Jixin Zhao，Shuhui Liu，Qunhui Yang，Xinhong Chen | 2014，289:735-743 | 2014 年 2 月 | 陈新宏 | 杜万里 | 杜万里 王婧 王亮明 武军 赵继新 刘淑会 杨群慧 陈新宏 | 35 | 《科学引文索引》扩展版数据库(SCIE)、《CNKI 中国引文数据库》(CCD) | 是 |

**六、主要完成人情况**

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 陈新宏 | 1 | 研究员 | 西北农林科技大学农学院 | 项目负责人、参与主要成果 |
| 武军 | 2 | 副研究员 | 西北农林科技大学农学院 | 种质创新、种质鉴定、品种选育 |
| 王军 | 4 | 讲师 | 西北农林科技大学农学院 | 种质鉴定与品种选育 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 作为项目主持单位，给予该项目必要的人力、物力支持和必备的支撑条件，为该项目提供了相关的仪器设备和研究平台，保证了项目的顺利实施和完成。 |

## 八、完成人合作关系情况

**完成人合作关系情况表**

| 序号 | 合作方式 | 合作者/项目排名 | 合作时间 | 合作成果 | 证明材料 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 共同立项 | 陈新宏/1<br>武军/2 | 2016.1.1-2019.12.31 | 发表核心论文14篇 | 共同完成国家基金面上项目“小麦-华山新麦草新种质抗小麦全蚀病新基因及其分子标记的发掘” |
| 2 | 共同立项 | 陈新宏/1<br>武军/2 | 2018.1-2021.12 | 发表核心论文16篇 | 共同完成国家基金面上项目“小麦-华山新麦草衍生后代抗纹枯病新基因的发掘及分子标记开发” |
| 3 | 共同研究论文合著 | 陈新宏/1<br>武军/2 | 1998-2023 | 共同通讯作者SCI论文7篇 | 代表性论文1,3 |
| 4 | 共同研究 | 陈新宏/1<br>王军/2 | 2022-2024 | 共同通讯作者SCI论文4篇 | 品种选育 |

**完成人合作关系说明（限1000字）**

该项目第2完成人武军副研究员曾作为第1完成人陈新宏研究员的科研助手，第3完成人王军讲师近年为第1完成人陈新宏研究员的科研助手，协助完成国家基金等相关项目研究，协作指导研究生，合作撰写发表代表性论文。

# 项目十六

**一、项目名称：**水流交汇区复杂水域水动力特征与污染物输移机制

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目聚焦黄河流域干支流交汇区水质调控与生态修复的重大科学与工程问题，紧扣国家水安全与生态文明建设战略需求，系统开展了从机理探索到模型构建、从预测预警到工程调控的多层次研究。项目创新性强、技术路线合理、研究方法先进，取得了显著突破：

(1) 在水流交汇区水动力建模方面，系统对比多种湍流模型的适用性，建立了基于 RNG 紊流模型的交汇区三维水动力与污染物输移耦合模型，并量化了交汇区中分离区与二次流的演化过程；

(2) 在水流交汇区污染物输移机制研究上，构建了交汇区 TDG 输运释放方程与 TDG 低饱和区域面积预测模型，突破了天然交汇区观测难与模拟难的技术瓶颈；

(3) 在水流交汇区等复杂水域的水质预测方法上，融合机理模型与深度学习，形成了具备高精度、强推广性的复杂水域水质预测新方法；

(4) 在工程生态调控上，提出了系列适宜水流交汇区水生物栖息的水力和水质优化措施，实现了交汇区的生态功能利用。

提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、**项目简介：**

水流交汇区是国家水网水质调控与生态修复的关键节点，该区域水动力条件复杂，污染物输移过程直接影响该处水生境结构与生态恢复效果。随着城市化与工业化推进，长江黄河的部分支流水质已劣于 V 类，水环境形势严峻。国家陆续出台《国家水网建设规划纲要》《重点流域水生态环境保护规划》等政策，明确提出加强干支流水系联通与水质风险防控，推动流域生态保护高质量发展。然而，现有研究难以在复杂水文条件下，精准解析交汇区水动力演变与污染物输移机制，特别是在污染物的赋存形态、界面行为及累积效应方面仍缺乏系统认识。上述问题已成为制约交汇区科学治理与工程应用的关键瓶颈。本项目聚焦水流交汇区核心科学问题，采用“水槽机理实验—原型观测分析—智能模拟预测”多尺度协同研究路径，系统揭示了水动力结构特征及其对污染物输移、水质演化与生态调控的影响机制，取得了系列创新成果：

**1 量化分析了水流交汇区水动力结构特征**

干支流交汇区水动力特性是影响污染物输运和流域环境与生态治理的决定性所在，为明晰干支流交汇区水动力特性演变机制，采用室内水槽实验、原型观测、数值模拟、理论分析方法：(1) 开展了标准 $k$-$\varepsilon$ 模型、RNG $k$-$\varepsilon$ 模型与 RSM 模型三种湍流模型的对比研究，克服了传统湍流模型对交汇区水动力模拟精度不足的问题，定量揭示了不同湍流模型对交汇区水动力特征的模拟差异，填补了传统研究中对交汇区湍流模型适用性系统对比研究的空白。(2) 打破传统研究中二维模型的局限，建立了干支流交汇区三维水动力数学模型，定义了分离区、二次流的尺寸及形状参数，揭示了汇流比、交汇角对分离区、二次流形成与演化的影响机制。明确二次流的产生位置与干支流的动量传递的关系，二次流强度随着交汇角和汇流比的增加而增强。(3) 在考虑天然交汇区水力调控设施应用的基础上，建立了脚木足河与磨子沟河交汇区水动力数学模型，分析了河床开挖、设置阻力障碍物等工程措施下天然交汇河流的水动力特性变化，系统分析了河道形态实体干预对交汇区水深、流速等水动力学行为的影响程度。

**2 精准捕捉了水流交汇区水质输运混合传质过程**

(1) 建立了交汇区总溶解气体(TDG)输运模型，精准解析传质释放过程，提出适用于交汇区的 TDG 耗散系数，并进行了实验验证，克服了水气传质过程量化困难的难题。(2) 阐明 TDG 浓度下降受耗散和混合作用共同控制机制，并定量刻画汇流比对不同水平面和横断面 TDG 低饱和度水域面积的影响。(3) 针对 TDG 低饱和度区域特征难以明晰的关键问题，构建 TDG 低饱和度区域的面积比与汇流比和交汇角的回归模型，采用实测数据进行了验证，并量化交汇角和汇流比对 TDG 浓度变化的贡献。 (4) 打破了“原型观测采样难”这一技术壁垒，预测了长江流域邵女坪库区交汇区和金沙江-岷江交汇区的低饱和度区域面积，克服了天然河道交汇区因地形复杂、水流条件多变导致的 LTS 区域分布规律多变的关键问题。

**3 形成了基于机理-智能融合的水质多维预测方法**

(1) 解决了传统 CFD 方法难以达成的 TDG 三维释放过程高精度建模与定量机制分析的问题，基于 OpenFOAM 开源平台构建了交汇区 TDG 浓度场与湍流场耦合计算模型，优化了湍流模型对二次流的模拟能力，提出 TDG 释放系数解析方程，揭示了交汇区 TDG 扩散的微观机理。 (2) 构建了 SOD-VGG-LSTM 混合深度学习模型，融合物理机制模拟、空间特征提取与时间序列预测，突破了传统水质模型推广适应性不足的限制，显著提升了复杂水域的水质预测性能。(3) 突破了传统方法“难以实现小时或分钟级水质预测”的局限，实现了对流域水

质的短时高精度预报，引入模拟-观测差分（SOD）与 LSTM 误差修正方法，有效解决了水质预测过程中“极值预测不准确”的关键问题，显著提升了 DO、COD、Mn、NH3-N、TP 浓度的预测精度，为复杂水域多情景下污染物输移过程提供了新型预测方法。

**4 有效提出了水流交汇区水生境空间格局的水力调控措施**

(1) 建立了基于水流交汇区 TDG 耗散的深度平均二维数学模型，预测了脚木足河交汇区及磨子沟河交汇区 TDG 耗散趋势，明确了 TDG 低饱和度区域的范围。(2) 考虑了天然河流交汇区的水动力差异及工程实际影响效果，提出了布设整流桩、修建顺坝、开挖河床维护鱼类适宜水深等一系列交汇河流鱼类回避空间营造与维护措施。(3) 克服了水流交汇区水动力水质要素多、生境保护难度大这一难题。因地制宜开展工程措施，将 TDG 饱和度小于 110%、115%和 120%的区域面积分别扩大约 180 倍、47 倍和 30 倍，为鱼类提供足够避难空间以避开 TDG 过饱和损害的预期效果，为交汇区鱼类保护提供了重要参考。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

该项目 5 篇代表性论文总他人引用 107 次，先后被 Environ. Sci. Technol.、Water Res.、Water Resour Res.、J. Hydrol.、Nat. Resour. Res.、J. Clean. Prod.、Ecotox Environ Safe.、Artif Intell Rev.、J. Hydrol. Eng.、Ecol. Indic.、Comput. Electron. Agric.、Agr Water Manage.、和 Chem Eng J.等 20 多个国际知名期刊和中国科学院、国家自然科学基金委等重要机构引用，先后被美国、俄罗斯、英国、法国、意大利、加拿大、日本等 15 个国家的学者积极引用与肯定。

**1 对水流交汇区水动力结构特征研究的客观评价**

伊朗塞姆南大学 Mousavi, Sayed-Farhad 课题组、国内水土保持领域著名专家西安理工大学李占斌教授课题组发表在 Water Resources Management（Mousavi et al., 2024）、Journal of Hydrology（Zhang et al., 2025）上的论文对代表论文 1 中“RNG k-ε模型预测交汇区三维水流数值模拟的方法以及分离区和二次流作用机制”的研究成果进行了积极地评价与引用，提到我们的研究为流体动力学领域的研究提供了一个强有力的分析工具，填补了相关领域的理论空白。环境科学领域世界著名专家美国国家科学院院士斯坦福大学 Mignot, Emmanuel 教授和流体力学领域世界著名专家里昂第一大学 Riviere, Nicolas 教授在 Water Resources Research（Mignot et al., 2023）上发表的综述性文章中肯定了我们所选湍流施密特数（Sct）范围的合理性（代表作 2），为提升复杂水动力系统模拟的准确性与

实用性奠定了关键基础。同时国内河流动力学领域著名专家河海大学唐洪武院士课题组发表在 Water Resources Research（Yan et al., 2024）、Journal of Hydrology（Li et al., 2022）上的两篇论文对我们的研究进行积极引用（代表作 1、代表作 3），提到他们的研究中采用了我们所提出的横截面内二次流形状指数的方法，深化了他们对二次流特性的认识，提高了对交汇区水流动力学和河床形态复杂三维变化的理解。

**2 对水流交汇区水质输运混合传质过程的客观评价**

水资源领域世界著名专家世界排名前 2% 科学家 20 Août 1955 Skikda 大学 Heddam, Salim 教授课题组在 Natural Resources Research（Heddam et al., 2020）发表论文对代表论文 2 中利用交汇区内 TDG 低饱和庇护所保护鱼类的方法表示肯定，认为本科学发现为大坝泄流期水生生态保护提供了重要技术参考。代表论文 3 被阿尔伯塔大学的加拿大工程院院士 Zhu, David Z.课题组、国内河流动力学领域著名专家河海大学唐洪武院士课题组发表在 Journal of Cleaner Production（Li et al., 2023）、Water Resources Research（Qiu et al., 2025）上的论文引用，提到我们的研究表明河流交汇处不仅是生物多样性高度富集的热点区域，更是缓冲上游水力条件改变对下游生态系统影响的关键屏障，为流域生态保护与可持续管理提供了关键的科学指引。同时河流水利学领域著名专家爱荷华大学 Constantinescu George 教授和环境水力学领域著名专家那不勒斯费德里科二世大学 Gualtieri Carlo 教授在 Environmental Fluid Mechanics（2024）上发表的论文中明确肯定，本研究中关于交汇区总溶解气体分布影响因素的研究结果，对保护水生生物多样性、维护河流生态系统具有重要实际意义。

**3 对机理-智能融合的水质多维预测方法客观评价**

代表论文 4 被 3 篇 Web of Science 认定的 ESI 高被引论文中多次引用，分别为水科学领域世界著名专家美国得克萨斯农工大学 Mishra, Ashok K 课题组 Journal of Hydrology（Tripathy et al., 2024）、国内生态环境领域著名专家哈尔滨工业大学李朝林教授课题组 Chemical Engineering Journal（Zhang et al., 2023）、国内生态水利领域著名专家河南水投集团研究院院长华北水利水电大学郭磊教授课题组 Journal of Water Process Engineering（Tian et al., 2024）。这些研究不仅肯定了文中 “基于深度学习的水质预测模型”，还指出该高效模型已成为领域核心工具，我们研发的混合深度学习模型在极值捕获任务中，预测精度显著优于其他主流模型，充分验证了技术优势。代表论文 2 被生态水力学领域专家同济大学付小莉副教授课题组发表在 Physics of Fluids（Liu et al., 2025）上的论文引用，该课题组在研究中采用了我们湍流模型中的施密特数（$S_{ct}$），以此表征其湍流运动中对溶解氧扩散的贡献，这一引用不仅验证了我们模型参数设定的科学

性与适用性，更为水质模拟研究提供了可靠的参数参考，助力提升相关生态水力学问题分析的准确性。

**4 对水流交汇区水生境空间格局水利调控措施的客观评价**

代表论文 5 被环境生态领域世界著名专家马林加州立大学 Agostinho Angelo Antonio 教授课题组发表在 Neotropical Ichthyology（Agostinho, 2021）的综述性论文中引用了该成果，提到我们提出的工程措施（如开挖河床，或在支流河口附近修建障碍物），能够进一步扩大水生生物的庇护区域，这一措施为受损河流生态系统中的生物种群提供了生存保障。同时被环境管理领域著名专家爱德华王子岛大学 Farooque Aitazaz Ahsan 教授和水文水资源领域世界著名专家拉齐大学 Khabat Khosravi 教授课题组发表在 Journal of Hydrology（Farooque, 2024）的论文中引用了该成果，认为我们所构建的 TDG 耗散的二维深度平均模型提高了对 TDG 形成和消散过程的理解，为水质管理提供了一种新的、更具成本效益的工具，对于推进 TDG 预测的科学理解和实际应用都具有重要的意义。

五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Characteristics of secondary flow and separation zone with different junction angle and flow ratio at river confluences | Journal of Hydrology | Xia Shen, Ran Li, Huangjie Cai, Jingjie Feng, Hang wan | 2022,614:128537 | 2022.10.17 | Xia Shen，Huangjie Cai | Xia Shen | 谌昱含，李然，蔡焕杰，冯镜洁，万航 | 19 | SCI | 是 |
| 2 | Experiment and simulation of supersaturated total dissolved gas dissipation: Focus on the effect of confluence types | Water Research | Xia Shen, Ran Li, Ben R.Hodeges, Jingjie Feng,Huanjie Cai,Xiaoyi Ma | 2019,155:320-322 | 2019.05.15 | Ran Li | Xia Shen | 谌昱含，李然，冯镜洁，蔡焕杰，马孝义 | 10 | SCI | 是 |
| 3 | Factors Influencing Distribution Characteristics of Total Dissolved Gas Supersaturation at Confluences | Water Resources Research | Xia Shen, Ben R. Hodges, Ran Li, Zhi Li, Junliang Fan, Ningbo Cui, Huangjie Cai | 2021,15(6):1-25 | 2021.06.11 | Xia Shen，Huangjie Cai | Xia Shen | 谌昱含，李然，李质，范军亮，崔宁博，蔡焕杰 | 7 | SCI | 是 |
| 4 | A novel model for water quality prediction caused by non-point sources pollution based on deep learning and feature extraction methods | Journal of Hydrology | Hang Wan, Rui Xu, Meng Zhang, Yanpeng Cai, Jian Li, Xia Shen | 2022,612:128081 | 2022.09.01 | Rui Xu | Hang Wan | 万航，许睿，张梦，蔡宴朋，李建，谌昱含 | 64 | SCI | 是 |
| 5 | Shelter construction for fish at the confluence of a river to avoid the effects of total dissolved gas supersaturation | Ecological Engineering | Xia Shen, Ran Li, Juping Huang, Jingjie Feng, Ben R.Hodeges, Kefeng Li, Weilin Xu | 2016,97:642648 | 2016.12.21 | Ran Li | Xia Shen | 谌昱含，李然，黄菊萍，冯镜洁，李克锋，许唯临 | 7 | SCI | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 谌昱含 | 1 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 项目主要完成人，全面负责项目理论研究和应用研究工作，负责项目组织和实施。建立项目的实施方案，统筹安排人员、设备等各项资源，主持和参与项目各个创新成果的主要研究工作，是创新成果一、二、三、四的主要提出和贡献人。 |
| 蔡焕杰 | 2 | 教授 | 西北农林科技大学 | 项目主要完成人，指导项目在西北农林科技大学实施期间的总体理论和技术统筹工作，并指导创新成果三、四对应科研成果的应用工作，是创新成果一、二、四的重要贡献人。 |
| 李然 | 3 | 研究员 | 四川大学 | 项目主要完成人，指导项目在四川大学实施期间的总体理论和技术统筹工作，并指导创新成果四对应科研成果的转化的实际应用工作，是创新成果二、三、四的重要贡献人。 |
| 冯镜洁 | 4 | 研究员 | 四川大学 | 项目主要完成人，合作完成项目有效提出了交汇区水生境空间格局的水力调控措的推广应用工作，是创新成果二、四的重要贡献人。 |
| 万航 | 5 | 副研究员 | 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州） | 项目主要完成人，合作完成项目创新成果交汇区水动力结构特征和复杂流域水质短时高效预测模型的专题工作，是创新成果一、三的重要贡献人。 |
| 范军亮 | 6 | 教授 | 西北农林科技大学 | 项目主要完成人，合作完成项目创新成果水流交汇区水质输运混合传质过程的专题工作，是创新成果一、二的重要贡献人。 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
| --- | --- | --- |
| 西北农林科技大学 | 1 | 作为项目主持单位，是创新成果一、二、三和四的主要贡献者。负责本项目组织管理、统筹协调。对项目的前期论证、项目实施、结题验收等工作进行组织和管理。在人才培养和梯队建设方面，鼓励和支持青年学者加入项目，以老带新，提升项目团队的科研能力。依托单位的黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室、旱区农业水土工程教育部重点实验室、河库水工大厅，投入大量经费，开展项目的理论研究与实验探索，为项目的运转提供后勤保障和资源调配，推动项目的有序进行。 |
| 四川大学 | 2 | 作为项目的合作单位，是创新成果二和四的重要贡献者，依托单位的山区河流保护与治理全国重点实验室、原型试验基地、野外实验台站，推进了交汇区总溶解气体传质过程和交汇区水生境空间格局的水力调控措施在长江流域多个交汇区中的应用实践，具有良好的示范效应，为项目的顺利完成做出了重要贡献。 |
| 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州） | 3 | 作为项目的合作单位，是创新成果一、三的重要贡献者，给予该项目必要的人力、物力支持和必备的支撑条件，为该项目提供了相关的部分仪器设备和研究条件。在复杂流域水质短时高效预测模型的应用实践中发挥了重要的作用，为项目的顺利完成做出了重要贡献。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 论文合著 | 谌昱含/1，蔡焕杰/2，李然/3，冯镜洁/4，万航/5 | 2016 年 01 月 | 2023 年 6 月 | 代表性论文 1 | 代表性论文 1 |
| 2 | 论文合著 | 谌昱含/1，蔡焕杰/2，李然/3，冯镜洁/4 | 2016 年 01 月 | 2022 年 12 月 | 代表性论文 2 | 代表性论文 2 |
| 3 | 论文合著 | 谌昱含/1，蔡焕杰/2，李然/3，范军亮/6 | 2016 年 01 月 | 2023 年 3 月 | 代表性论文 3 | 代表性论文 3 |
| 4 | 论文合著 | 谌昱含/1，万航/5 | 2016 年 01 月 | 2023 年 6 月 | 代表性论文 4 | 代表性论文 4 |
| 5 | 论文合著 | 谌昱含/1，李然/3，冯镜洁/4 | 2012 年 12 月 | 2023 年 6 月 | 代表性论文 5 | 代表性论文 5 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

项目第 1 完成人谌昱含、第 2 完成人蔡焕杰、第 6 完成人范军亮属西北农林科技大学水利与建筑工程学院的同一科研组，共同开展项目的研究工作，合作撰写发表论文。

项目第 1 完成人谌昱含曾于 2012 年 9 月至 2018 年 6 月在四川大学全日制攻读第 3 完成人李然的硕博士研究生，2018 年 6 月毕业，期间共同开展水流交汇区水动力特性和总溶解气体传质输运机制项目的实施工作，并长期保持合作关系。

项目第 1 完成人谌昱含与项目第 4 完成人冯镜洁于 2012 年 9 月至 2018 年 6 月在四川大学属同一课题组，在项目实施、论文发表等方面开展了长期合作研究，并长期保持合作关系。

项目第 1 完成人谌昱含与项目第 5 完成人万航于 2015 年 9 月至 2018 年 6 月在四川大学属同一课题组，在项目实施、论文发表等方面开展了长期合作研究，并长期保持合作关系。

# 项目十七

**一、项目名称：**功能性糖质的创制及作用机理

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目契合国家"面向人民生命健康"的科技战略导向，紧密围绕国家"应对细菌耐药性"和"创新药物递送系统"重大战略需求，在功能性糖质的结构修饰与功能调控领域取得系统性原创成果。（1）揭示多糖老化修饰新机制：首次阐明糖胺聚糖去乙酰化修饰通过 TLR2/MyD88 途径弱化免疫应答（对比未修饰多糖的 TLR4 途径），并发现其吸湿保湿性能下降的分子基础，为衰老相关生理现象提供理论解释。（2）首创多糖-抗生素协同抗感染策略：构建壳聚糖-链霉素复合物，首次通过共价修饰破坏革兰氏阳性菌生物被膜；开发透明质酸-抗生素靶向递送系统，通过 CD44 受体增强胞内菌清除效率，显著降低肾毒性。（3）开拓功能化多糖精准应用，设计微环境响应型多糖载体，实现抗生素靶向递送及肝素抗凝活性光控调节，推动多糖在药物递送领域的革新。项目通过多学科交叉研究，不仅深化了多糖结构-功能的理论认知，更为解决细菌耐药性、胞内菌感染治疗及药物精准递送等临床难题提供新思路。

该项目聚焦行业前沿，为多糖物质在生物医药行业的应用提供了理论创新和机制解析，在 Nature Communications、Glycobiology、Carbohydrate Polymers 等顶级期刊和糖生物学类专业期刊发表相关论文 35 篇，多次应邀在本学科领域有重要影响的学术会议上作邀请报告，被多国学者在系列国内外高影响力期刊文章就研究创新性和理论重要性等方面进行了高度评价，符合陕西省科学技术奖的奖励条件。

提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

**三、项目简介：**

随着全球细菌耐药性问题加剧（WHO 列为“21 世纪公共卫生最大威胁之一”），我国《遏制细菌耐药性行动计划》明确要求“发展增效减毒型抗生素替代策略”。同时，“十四五”生物经济发展规划强调"开发智能药物递送系统"是生物医药前沿突破重点。本项目立足国家重大需求，围绕天然多糖的结构修饰与功能调控，通过多学科交叉研究，在克服抗生素耐药性、创新药物递送技术及解析内源性多糖老化机制三大方向取得系统性突破，为生物医药与功能食品产业提供核心理论和技术支撑。

科学发现一：糖胺聚糖去乙酰化修饰的生物学效应与机制创新。内源性糖胺聚糖（如透明质酸、硫酸软骨素）随年龄增长发生去乙酰化修饰，但其对免疫调节及生理功能的影响未知。首次证实去乙酰化修饰通过 TLR2/MyD88 途径弱化免疫应答，降低巨噬细胞炎症因子 TNF-α/IL-6 分泌，揭示去乙酰化导致多糖吸湿保湿性能显著降低，为衰老性皮肤干燥提供分子机制解释（代表性论文 1），创制新型两性离子化多糖，可特异性激活脾细胞增殖，成为免疫调节剂新候选，填补内源性多糖老化修饰功能调控的理论空白。

科学发现二：首创多糖-抗生素复合物增效机制，破解耐药性行业难题。细菌胞内菌逃逸机制导致抗生素临床失效。首次构建壳聚糖-链霉素共价复合物，破坏革兰氏阳性菌生物膜基质结构，增强抗生素渗透性，系统阐明其作用机制（代表性论文 2）；透明质酸-抗生素复合物通过 CD44 受体介导高效内吞，显著增强对胞内病原菌的清除率，并降低肾毒性，为免疫缺陷人群的胞内菌感染提供安全治疗方案（代表性论文 3）。

科学发现三：功能化多糖的精准应用，驱动药物递送技术革新。传统多糖载体存在靶向性差、不可控释放、生物活性不稳定等局限。通过构建特定的响应基团，设计了系列环境响应型多糖药物载体，以病原菌靶向的低聚木糖载体，实现肠道沙门氏菌感染精准治疗（代表性论文 4）；构建光响应的多糖衍生物，实现其活性精准调控，解决如肝素长期用药出血风险（代表性论文 5），推动多糖从“天然材料”向“智能功能分子”的升级。

通过上述研究，项目申请人在本学科领域有重要影响的国际/国内学术会议上做邀请报告 10 次，发表相关 SCI 论文 35 篇，获批专利 3 项。其中 5 篇代表作发表在 Nature 子刊 Nature Communications、专业糖生物学期刊 Glycobiology 和顶级多糖类期刊 Carbohydrate Polymers 上，被腾讯、新浪、搜狐、中搜网等国内外媒体广泛，同时被 Nature Reviews Microbiology、Cell Stem Cell、Advanced Drug Delivery Reviews 等国内外高影响力期刊文章就研究创新和理论重要性的各方面进行了高度评价。

本项目的研究成果系统性的为现阶段多糖物质的生物医学应用及生物学功能机制提供了理论创新解析，进一步丰富了多学科交叉下的糖质的功能化创制体系，为多糖资源高值化利用提供了技术和理论支撑。主要完成人段金友教授作为

首席科学家获批 2024 年陕西省“科学家+工程师”队伍（2024QCY-KXJ-064），陕西省“百人计划”（2012 年），教育部新世纪优秀人才（2013 年），团队申请获批专利 5 项，获批国家自然科学基金 4 项。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

申报团队一直从事多糖类物质的功能化应用及制研究，首次解析了内源性糖胺聚糖去乙酰化后的免疫效应差异，首次提出了多糖-抗生素增效理论并阐明其作用机制，系统构建了多种功能化多糖衍生物并探究了其应用潜力，突破了多糖类物质的应用局限，完善了其在生物医学领域应用的关键理论及作用机制。5 篇代表作主要发表于 Nature Communications、Glycobiology、Carbohydrate Polymers 等权威期刊。研究成果被多国学者在 Nature Reviews Microbiology、Cell Stem Cell、Advanced Drug Delivery Reviews 等高影响力期刊（代表性引文 1-8）就研究创新性和理论重要性等方面进行了高度评价，相关进展被腾讯、新浪、搜狐等多家媒体广泛报道。本项目科学发现的原创性、科学价值和认可度得到了高度评价。

（1）对科学发现一的客观评价：关于内源性糖胺聚糖去乙酰化后的免疫效应差异的研究成果被广泛引用，印度国家药物教育研究所 NIPER 的 Sanyog Jain 教授在 *Carbohydrate Polymers* 的论文中高度评价并引用了本研究中硫酸软骨素去乙酰化产物对免疫细胞的效应机制（代表性引文 1）；中国科学院遗传与发育生物学研究所再生医学研究中心主任戴建武研究员在干细胞顶级期刊 *Cell Stem Cell* 的论文中引用了本研究中硫酸软骨素去乙酰化免疫效应的部分研究成果（代表性引文 2）。

（2）对科学发现二的客观评价：关于“多糖-抗生素”增效理论方面的研究成果被广泛引用，国家杰青、云南大学罗晓东教授在药学期刊 *Journal of Controlled Release* 的论文中高度评价了本研究通过增加胞内有效浓度来达到增效目的的作用机制（代表性引文 3）。因斯布鲁克大学的 Andreas Bernkop-Schnürch 教授在 *Advanced Healthcare Materials* 的论文中高度评价了本研究提出的“多糖-抗生素”对胞内菌的增效理论（代表性引文 4）。南澳大利亚大学的 Clive A. Prestidge 教授在药学类权威综述期刊 *Advanced Drug Delivery Reviews* 中高度评价并引用了部

分构效关系研究数据，认为本研究结果有助于解决日益严峻的抗生素耐药危机（代表性引文 5）

（3）对科学发现三的客观评价：鉴于多糖功能化的复杂性，构建系列功能化多糖衍生物方面的研究成果得到了国内外同行学者的高度认可。其中英国牛津大学威廉邓恩爵士病理学院的 Mathew Stracy 教授在微生物类顶级综述 *Nature Reviews Microbiology* 的论文中高度评价了本研究提出的沙门氏菌响应的多糖药物载体，认为该结果提出的病原体特异性药物/给药方法有助于减轻对其他微生物的扰动，为减轻抗生素副作用提供了一条有希望的途径（代表性引文 6）。青年长江学者、华南农业大学孙坚教授在 *Journal of Nanobiotechnology* 的论文中肯定了本研究提出的糖益生元囊泡能够感知沙门氏菌产生的硫化氢并就地释放抗生素，能够以高特异性消除沙门氏菌感染，同时作为重要理论依据引用了相关理论设计（代表性引文 7）。同时，此部分关于沙门氏菌响应的多糖药物载体的研究亦被新浪、搜狐、腾讯等媒体关注报道。南京工业大学生物材料研究所所长顾忠伟教授在 *Carbohydrate Polymers* 的论文中高度评价了本研究通过光照调控多糖生物活性的研究，并作为多糖水凝胶的理论参考进行了引用（代表性引文 8）。

**五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)**

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Mechanistic insights into cellular immunity of chondroitin sulfate A and its zwitterionic N-deacetylated derivatives | Carbohydrate Polymers | Wuxia Zhang , Feifei Sun , Hong Niu , Qingjie Wang , Jinyou Duan | 2015 年 123 卷 331-338 页 | 2015 年 06 月 05 号 | 段金友 | 张武霞 | 张武霞，孙菲菲，牛红，王清洁，段金友 | 19 | Web of science 核心合集 | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Synthesis of hyaluronan-amikacin conjugate and its bactericidal activity against intracellular bacteria in vitro and in vivo | Carbohydrate Polymers | Zhaojie Wang , Yuanhao Qiu , Chunyan Hou , Dongdong Wang , Feifei Sun 1, Xiaojun Li, Feng Wang , Hong Yi , Haibo Mu , Jinyou Duan | 2018 年 181 卷 132-140 页 | 2018 年 02 月 01 日 | 段金友，母海钵 | 王兆杰 | 王兆杰，邱渊皓，侯春彦，王冬冬，孙菲菲，李晓军，王凤，伊虹，母海钵，段金友 | 16 | Web of science 核心合集 | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Chitosan conjugation enables intracellular bacteria susceptible to aminoglycoside antibiotic | Glycobiology | Haibo Mu , Hong Niu , Dongdong Wang , Feifei Sun , Yuelin Sun , Jinyou Duan | 2016 年 26 卷 11 期 1190-1197 页 | 2016 年 11 月 14 日 | 段金友 | 母海钵 | 母海钵，牛红，王冬冬，孙菲菲，孙月林，段金友 | 11 | Web of science 核心合集 | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | Pathogen-targeting glycovesicles as a therapy for salmonellosis | Nature Communications | Haibo Mu , Hu Bai , Feifei Sun , Yinyin Liu , Chunbo Lu , Yuanhao Qiu , Peng Chen , Yu Yang , Lili Kong , Jinyou Duan | 2019 年 10:4039 | 2019 年 09 月 06 日 | 段金友 | 母海钵 | 母海钵，白虎，孙菲菲，刘印寅，路春波，邱渊皓，陈朋杨雨，孔莉莉，段金友 | 27 | Web of science 核心合集 | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | Novel moisture-preserving derivatives of hyaluronan resistant to hyaluronidase and protective to UV light | Carbohydrate Polymers | Feifei Sun , Hong Niu , Dongdong Wang , Yuanyuan Wu , Haibo Mu , Lili Ma , Jinyou Duan | 2017 年 157 卷 1198-1204 页 | 2017 年 02 月 10 日 | 马丽黎，段金友 | 孙菲菲 | 孙菲菲，牛红，王冬冬，吴圆圆，母海钵，马丽黎，段金友 | 8 | Web of science 核心合集 | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 段金友 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学 | 项目总负责人，承担项目总体架构设计工作，负责拟定研究实施方案，主导推进项目组织与执行。主持开展了内源性糖胺聚糖去乙酰化修饰所产生的生物学效应及分子机制、创新性多糖-抗生素复合物增效的理论构建和机制以及功能化多糖的精准应用。对本申报项目所列举的科学发现一、二、三均有全面的贡献，是代表性论文 1、2、3、4、5 的通讯作者。 |
| 母海钵 | 2 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 参与项目的实施，主要负责创新性多糖-抗生素复合物增效的理论构建和机制以及构建病原菌靶向的低聚木糖载体，实现肠道沙门氏菌感染精准治疗，主要贡献对应所列科学发现二和三，主要完成人，对应代表性论文 2、3、4、5。 |
| | | | | |
| | | | | |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 于项目整体运营与技术研发工作开展期间，凭借高效的组织协调能力、系统的管理能力及扎实的落实能力发挥重要作用，确保项目各项任务按计划顺利实施。主要支持项目组开展了内源性糖胺聚糖去乙酰化修饰所产生的生物学效应及分子机制、创新性多糖-抗生素复合物增效的理论构建和机制以及运用响应基团共价修饰功能性多糖，调控其功能，深入拓展其在药物递送等领域的应用研究。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 | 论文合著 | 母海钵/2 | 2016 年 | 2020 年 | Synthesis of hyaluronan-amikacin conjugate and its bactericidal activity against intracellular bacteria in vitro and in vivo；Chitosan conjugation enables intracellular bacteria susceptible to aminoglycoside antibiotic；Pathogen-targeting glycovesicles as a therapy for salmonellosis；Novel moisture-preserving derivatives of hyaluronan resistant to hyaluronidase and protective to UV light | 代表性论文专著 2、3、4、5 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

母海钵作为项目的第二完成人，2016 年 6 月入职西北农林科技大学化学与药学院，加入段金友教授团队，主要负责创新性多糖-抗生素复合物增效的理论构建和机制以及构建病原菌靶向的低聚木糖载体，实现肠道沙门氏菌感染精准治疗，是代表性论文 3 和 4 的第一作者，代表性论文 2 的共同通讯作者，代表性论文 5 的参与作者。

# 项目十八

**一、项目名称：**淤地坝水土保持碳汇效益评价与机理解析

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**水土保持是增强陆地碳汇能力、巩固与提升生态系统碳中和潜力不可或缺的重要环节，对于实现国家“双碳”目标、建设美丽中国具有深远的战略意义。2023 年两办《关于加强新时代水土保持工作的意见》中，明确强调“将水土保持碳汇纳入温室气体自愿减排交易机制”、“制定完善水土保持碳汇能力评价指标和核算方法”。淤地坝作为黄土高原地区水土流失综合治理的重要工程措施，在拦沙固碳方面发挥着重要作用，是实现水土保持与生态系统碳汇功能协同提升的关键措施。然而，当前对淤地坝水土保持碳汇的形成机制和碳汇效益定量核算仍缺乏系统认知，极大限制了对水土保持碳汇能力的评价。该成果基于野外采样与室内分析，结合地理信息技术、无人机摄影测量、放射性碳同位素混合模型等方法，明确了复杂景观下流域泥沙/有机碳的来源及组成特征，解析了侵蚀产沙中的有机碳在搬运-沉积-输出过程中迁移转化规律，揭示了淤地坝减排、增汇的效益及机制，为水土保持碳汇核算提供理论支撑。5 篇代表性论文引起了国内外同行广泛的关注和引用，目前已被 SCI 他引 221 次，单篇最高 SCI 他引 96 次；相关研究成果被水利部采纳，作为淤地坝监测、拦沙固碳效益分析的重要支撑和解释黄河水沙变化的主要依据；受水利部水土保持司委托完成淤地坝碳汇方法学编制，是水土保持碳汇进入中国核证自愿减排量（CCER）的第一个方法学。提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

**三、项目简介：**

黄土高原作为黄河流域的重要组成部分，是我国重要的生态屏障，也是国家“黄河流域生态保护和高质量发展”战略的核心区域。淤地坝作为黄土高原水土流失治理和生态保护的关键工程措施，通过拦截泥沙、抬高侵蚀基准面，有效控制了沟道侵蚀，同时其沉积区富集了大量有机碳，成为潜在的陆地碳库，发挥了积极的固碳增汇功能。然而，目前对淤地坝碳汇功能的量化研究仍处于起步阶段，其固碳机制、长期稳定性及区域贡献尚未明确，严重制约了水土保持工程在“双碳”战略中的价值挖掘。2020 年，我国提出“碳达峰、碳中和”目标，明确要求加强生态系统碳汇能力。2023 年中共中央办公厅、国务院办公厅联合发布的《关

于加强新时代水土保持工作的意见》明确提出：“将水土保持碳汇纳入温室气体自愿减排交易机制”“制定完善水土保持碳汇能力评价指标和核算方法”。此外，联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告指出，陆地生态系统碳汇对缓解全球变暖至关重要，但干旱半干旱区碳循环研究仍是国际薄弱环节。黄土高原作为典型干旱-半干旱区，其淤地坝碳汇功能的系统评估，不仅能为我国“双碳”目标提供科学支撑，还可填补全球碳循环模型在干旱区沉积环境的数据空白，具有国际学术价值。然而淤地坝水土保持碳汇的形成涉及侵蚀-搬运-沉积多过程耦合，目前对这些复杂过程中有机碳的来源、组成、收支、埋藏效率及环境驱动因子的定量解析不足。因此，项目组从 2012 年开始，在国家自然科学基金青年科学基金项目（A 类）、国家自然科学基金重点项目、国家自然科学基金面上项目等项目/课题的持续支持下，系统开展了淤地坝水土保持碳汇效益评价与机理解析研究，以期为水土保持碳汇核算提供重要数据支撑，服务黄河流域生态保护和高质量发展、“双碳”等国家战略。取得如下重要科学发现：

**（1） 提出了基于生物标志物的泥沙/有机碳来源识别方法，明确了复杂景观下流域泥沙/有机碳的来源及组成特征**

针对黄土高原景观破碎，泥沙/有机碳来源变异较大，地球化学元素等传统示踪方法适用性差的科学问题，申请人系统采集分析了 86 个小流域 1850 个源地样品和 110 个沉积剖面 2121 个泥沙样品，提出了以正构烷烃为关键指纹因子的泥沙/有机碳示踪方法。构建了沉积层的发生序列与降雨事件的对应关系，将沉积物赋存信息与景观变迁过程相结合，阐明了流域侵蚀产沙及有机碳的来源及时空分布规律。分析淤地坝沉积剖面有机碳含量及组成的垂直分布特征，量化其生物源有机碳和化石源有机碳占比；结合淤地坝沉积序列和复合指纹示踪技术，确定典型降雨事件、不同降雨特征下沉积泥沙来源，阐明沉积有机碳含量及组成对降雨特征和泥沙来源的响应。

**（2） 解析了侵蚀产沙中的有机碳在搬运—沉积—输出过程中迁移转化规律，阐明了水土保持措施对土壤有机碳动态变化的影响机制**

采用无人机遥感和地理信息建模技术，结合探地雷达、高密度电阻仪等多种勘测方法，准确估算了典型流域淤地坝沉积泥沙，明确了淤地坝的沉积泥沙旋回特征，构建了沉积层的发生序列与降雨事件的对应关系，将淤地坝沉积物的赋存

信息与景观变迁相结合，阐明了流域景观时空异质性对侵蚀产沙的非线性作用机制；基于（1）中泥沙/有机碳来源识别技术，结合碳收支平衡模型等方法，解析了泥沙搬运-沉积过程中有机碳矿化分解特征，明确了侵蚀影响下的流域土壤有机碳空间分布特征和收支，阐明了淤地坝等水土保持措施对泥沙和有机碳输移过程的影响机制。

**（3） 明晰了淤地坝沉积区有机碳埋藏稳定机理，揭示了淤地坝水土保持碳汇效益及机制。**

结合云遥感和机器学习方法，构建了黄土高原首套高分辨率淤地坝数据库，结合大范围实地采样调查估算淤地坝碳储量及对应的有机碳沉积速率，确定干旱沉积环境下的有机碳埋藏效率，阐明流域侵蚀、沉积环境以及有机碳组成等特征对有机碳沉积速率和埋藏效率的影响，识别影响有机碳沉积速率和埋藏效率的关键影响因子。基于以上研究结果，利用碳同位素混合模型和结构方程模型等方法，分析降雨特征、泥沙来源及关键沉积环境因子共同作用下的沉积有机碳稳定特征，阐明淤地坝在搬运-沉积-输出过程中的固碳机制，在区域尺度评估淤地坝水土保持工程在防治水土流失过程中发挥的碳汇效益。

该项目 5 篇代表性论文引起了国内外同行的广泛关注，被美国、英国、德国、法国、西班牙等 30 多个国家的著名机构和学者引用与评价，目前已在 Reviews of Geophysics、Earth-Science Reviews、Communications Earth & Environment、Agriculture Ecosystems & Environment、Scientific Data、Journal of Hydrology 等国际顶级期刊他引 221 次，单篇最高 SCI 他引 96 次，体现了研究成果在相关领域具有较好的参考价值和一定学术影响。相关成果已被行业主管部门采纳，水利部水土保持监测中心基于我们的方法和数据阐明黄土高原淤地坝储碳效益及机制，并委托本团队作为《淤地坝碳汇方法学》的主要编制团队，该方法学是水土保持碳汇进入 CCER 的第一个方法学。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

该项目 5 篇代表性论文被包括美国、英国、德国、法国、西班牙等 30 多个国家的学者引用与评价，总 SCI 他人引用共 221 次，单篇最高 SCI 他引 96 次，包括 Reviews of Geophysics、Earth-Science Reviews、Communications Earth &

Environment、Agriculture Ecosystems & Environment、Scientific Data、Journal of Hydrology 等国际顶级刊物。相关成果已被行业主管部门采纳，水利部水土保持监测中心基于我们的方法和数据阐明黄土高原淤地坝储碳效益及机制，并委托本团队作为《淤地坝碳汇方法学》的主要编制团队，该方法学是水土保持碳汇进入 CCER 的第一个方法学。

**（一）土壤侵蚀和生态水文领域多个国内外著名研究团队充分肯定和引用基于复合指纹示踪的泥沙/有机碳来源识别方法：**

（1）国际水文学会国际大陆侵蚀委员会和国际水文科学协会副主席、英国国家和国际水文委员会成员 Adrian Collins 教授在 Science China Earth Sciences（2019, 62: 2017-2030）发表综述文章，充分认可代表性论文 4 提出的新泥沙来源示踪标志物的示踪性能，认为其弥补了传统示踪元素在均质流域中示踪性能较差的缺点。

（2）英国皇家化学学会院士 Manish Kumar 教授在 Journal of Environmental Management（2022, 313: 114996）的文章多次引用代表性论文 4，充分肯定了其中关于生物标志物正构烷烃在溯源有机污染物及保护水生生态系统方面的方法贡献与应用价值。

（3）巴塞尔大学环境地球科学系 Christine Alewell 教授在 Biogeosciences（2020, 17: 2169-2180）和 Science of The Total Environment（2021, 755: 142916）发表的研究中，多次引用并高度评价本项目的代表性论文 4，明确指出该成果显著推动了不同土地利用背景下泥沙来源解析方法的发展，为该领域的科学进展提供了重要支撑。

**（二）比利时鲁汶大学、北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室、中国科学院地理科学与资源研究所等国内外著名学者和机构多次引用关于侵蚀产沙中的有机碳在搬运-沉积-输出过程中迁移转化规律的研究成果。**

（1）比利时鲁汶大学 FNRS 研究室主任、Soil Science Society of America Journal 副主编 Kristof Van Oost 教授，在地球科学知名期刊 Biogeosciences（2023, 20: 635-646）发表的研究中，引用了代表性论文 2 中有关淤地坝碳埋藏速率的估算结果，将其作为设置土壤侵蚀—碳循环模型的关键参数，有效提升了模型对侵蚀背景下碳循环过程的模拟精度，为全球碳循环研究提供了关键数据支持。

（2）北京师范大学长江学者特聘教授缪驰远团队在地学领域顶刊 Reviews of Geophysics（2025, 63: e2023RG000829）的综述中，高度肯定了代表性论文 2 所估算的流域淤地坝碳埋藏速率，并强调淤地坝在捕获和保存侵蚀碳方面具有重要生态功能，认为其在全球碳循环中表现出显著的固碳潜力与价值。

（3）北京师范大学张光辉教授发表在 Catena（2019, 174: 24-35）、Soil & Tillage Research（2021, 211: 105027）上的文章多次引用代表性成果 3，指出土壤团聚体稳定性是衡量土壤抗侵蚀能力的重要指标，并强调土壤侵蚀通过迁移富碳的表层土壤从而影响土壤碳氮含量。

（4）中国科学院地理科学与资源研究所邵明安院士团队在 Agriculture Ecosystems & Environment（2021, 307: 107232）文章中多次引用代表性成果 3，利用相关数据论证了淤地坝有机碳的来源与组成特征，并肯定了“土壤团聚体对维持土壤结构、增强抗蚀能力及调控土壤有机碳通量具有重要作用”的观点。

**（三）国内外同行充分肯定了关于淤地坝沉积区有机碳埋藏稳定机理，揭示淤地坝水土保持碳汇效益及机制的研究成果。**

（1）魁北克大学终身教授、美国科学促进会会士彭长辉教授在 Environmental Reviews（2025, 33: 0078）发表的综述中引用了代表性论文 1，强调了风化和侵蚀过程与碳周转的密切关联，并赞同本研究提出的“淤地坝埋藏有机碳构成重要陆地碳汇”的核心观点。

（2）英国格拉斯哥大学社会与环境可持续发展学院研究主任史晓刚教授团队发表在 Catena（2025, 258: 109310）上的文章肯定了代表性论文 1 中关于淤地坝在减少土壤有机碳横向迁移以及拦截侵蚀泥沙方面发挥着重要作用的观点。

（3）埃塞俄比亚梅克尔大学气候与社会研究所所长 Amanuel Zenebe 教授团队在 Journal of the Indian Society of Remote Sensing（2025, 53: 435-449）发表的文章中，多次引用代表性论文 5，充分肯定了该研究提出的无人机低空遥感技术在沉积泥沙量精确评估方面的应用潜力，并在埃塞俄比亚典型流域开展实证研究，进一步验证了该技术方法的有效性与推广价值。

五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Substantial role of check dams in sediment trapping and carbon sequestration on the Chinese Loess Plateau | Communications Earth & Environment | Nufang Fang, Yi Zeng, Lishan Ran, Zhen Wang, Xixi Lu, Zhengang Wang, Xiankun Yang, Jinshi Jian, Qiang Yu, Lingshan Ni, Chun Liu, Chao Yue, Zhihua Shi | 2023 年 4 卷 65 | 2023 年 3 月 9 日 | Lu Xixi, Shi Zhihua | Fang Nufang, Zeng Yi | 方怒放，曾奕，冉立山，王真，王振刚，杨现坤，简金世，于强，倪玲珊，刘春，岳超，史志华 | 20 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |
| 2 | Effects of human activities on soil organic carbon redistribution at an agricultural watershed scale on the Chinese Loess Plateau | Agriculture Ecosystems & Environment | Yi Zeng, Nufang Fang, Zhihua Shi | 2020 年 303 卷 107112 | 2020 年 11 月 1 日 | Fang Nufang, Shi Zhihua | Zeng Yi | 曾奕，方怒放，史志华 | 33 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Aggregate stability and associated organic carbon and nitrogen as affected by soil erosion and vegetation rehabilitation on the Loess Plateau | Catena | Yixia Wang, Lishan Ran, Nufang Fang, Zhihua Shi | 2018 年 167 卷 257-265 页 | 2018 年 5 月 12 日 | Fang Nufang, Shi Zhihua | Wang Yixia | 王义霞，冉立山，方怒放，史志华 | 96 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |
| 4 | Using biomarkers as fingerprint properties to identify sediment sources in a small catchment | Science of the Total Environment | Fangxin Chen, Nufang Fang, Zhihua Shi | 2016 年 557-558 卷 123-133 页 | 2016 年 3 月 17 日 | Fang Nufang | Chen Fangxin | 陈方鑫，方怒放，史志华 | 53 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |
| 5 | Estimation of the volume of sediment deposited behind check dams based on UAV remote sensing | Journal of Hydrology | Yi Zeng, Xiangdong Meng, Yan Zhang, Wei Dai, Nufang Fang, Zhihua Shi | 2022 年 612 卷 128143 | 2022 年 7 月 8 日 | Fang Nufang | Zeng Yi, Meng Xiangdong | 曾奕，孟祥冬，张妍，戴伟，方怒放，史志华 | 19 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 方怒放 | 1 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 提出了基于生物标志物的泥沙/有机碳来源识别方法，解析了侵蚀产沙中的有机碳在搬运—沉积—输出过程中迁移转化规律，揭示了淤地坝水土保持碳汇效益及机制，是代表性论文 1 的共同第一作者，是论文 2、3、4、5 的通讯作者，对重要科学发现点一、二、三均有贡献；研究成果被水利部水保司采用。 |
| 曾奕 | 2 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 构建了高精度淤地坝基础数据库，量化了淤地坝的拦沙储碳效益，是代表性论文 1 的共同第一作者，是论文 2、5 的第一作者，对重要科学发现点二、三有贡献。 |
| 倪玲珊 | 3 | 副研究员 | 西北农林科技大学 | 解析了复杂景观下流域泥沙/有机碳的来源，提高了泥沙/有机碳来源示踪精度，是论文 1 的共同作者，对重要科学发现点一有贡献。 |
| 史志华 | 4 | 研究员 | 中国科学院水利部水土保持研究所 | 阐明了水土保持措施对土壤有机碳动态变化的影响，是论文 1、2、3 的共同通讯作者，是论文 4、5 的共同作者，对重要科学发现点二有贡献。 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
| --- | --- | --- |
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学作为本项目第一完成单位，全面负责了项目的顶层设计、任务分工、组织实施与成果总结鉴定工作，在人力、物力和财力方面提供了坚实保障。依托学校完善的野外观测网络和先进的室内分析平台，项目组有效开展了系统性的观测与实验工作，确保了研究的顺利推进与完成。在学校的支撑下，项目组明确了复杂景观下流域泥沙/有机碳的来源，解析了侵蚀产沙中的有机碳在搬运—沉积—输出过程中迁移转化规律，揭示了淤地坝水土保持碳汇效益及机制。 |
| 中国科学院水利部水土保持研究所 | 2 | 中国科学院水利部水土保持研究所作为本项目的重要参与单位，为研究的顺利实施提供了关键的野外观测与室内分析平台支持。在项目推进过程中，该单位协助完成了总体方案设计、任务协调与成果总结等多项工作，系统阐明了水土保持措施对土壤有机碳动态变化的影响机制，并协助构建了高精度淤地坝基础数据库，为实现拦沙与储碳效益的精准量化提供了重要数据与方法支撑。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 论文合著 | 方怒放/1 | 2012 | 2025 | 代表性论文 1、2、3、4、5 | 公开发表的相关学术论文 |
| 2 | 论文合著 | 曾奕/2 | 2017 | 2025 | 代表性论文 1、2、5 | 公开发表的相关学术论文 |
| 3 | 论文合著 | 倪玲珊/3 | 2018 | 2025 | 代表性论文 1 | 公开发表的相关学术论文 |
| 4 | 论文合著 | 史志华/4 | 2012 | 2025 | 代表性论文 1、2、3、4、5 | 公开发表的相关学术论文 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

该项目第 1 完成人方怒放研究员全面负责制定项目的总体方案、技术路线、实施计划与成果总结，第 2 完成人（曾奕副教授）和第 3 完成人（倪玲珊副研究员）均为方怒放研究员的团队成员，共同开展本项目的科学研究工作，合作撰写论文并公开发表。第 4 完成人史志华研究员，曾是方怒放研究员的研究生导师，长期指导该项目的相关试验，合作撰写论文并公开发表。

# 项目十九

**一、项目名称：**典型西北区域土壤微塑料的污染特征、环境行为及生态风险

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目精准把握西北区域特点，在污染特征研究方面，通过大量实地采样与分析，建立了复杂土壤介质中微塑料的分析提取方法，明确了微塑料在土壤中的丰度、类型及空间分布规律；在环境行为探究上，项目针对土壤环境中微塑料的环境界面行为，系统探讨了微塑料与不同土壤介质的交互作用过程，揭示了不同环境因素影响下土壤活性物质对微塑料老化的影响机制；生态风险评估方面，项目阐明土壤微塑料对复合污染物环境行为的影响，全面评估了微塑料对土壤生态系统能的影响。该研究成果不仅为土壤微塑料的污染防控提供了关键基础数据，还为微塑料的环境行为和综合效应评估提供新见解。提名者认真审阅了项目材料，内容真实，在典型西北区域土壤微塑料研究领域成果丰硕，研究方法科学严谨，成果具有创新性与实用性，对推动区域土壤环境保护和农业可持续发展意义重大。因此，提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、**项目简介：**

随着极端天气的频发和食品需求的增加，农业生产对塑料产品依赖程度剧增。据统计全球每年农用塑料使用量达 1250 万吨，我国约使用 520 万吨，占比约 41.6%。然而，农用塑料因回收利用率低，导致农田土壤中塑料污染日益严峻。西北地区作为我国重要的农业种植区和自然生态脆弱区之一，在区域经济发展过程中，由于人类活动所引起的人地关系矛盾十分突出，塑料残膜污染问题严重。相较于东部区域的化学品污染和西南地区的重金属污染问题，塑料地膜污染作为西北区域突出的环境问题，近年来受到了广泛关注。进入到农业土壤中的塑料地膜会在西北特有的环境条件下发生迁移转化，该过程受光热及干旱的影响，使得西北区域土壤中微塑料的环境行为具有其独特性。此外，微塑料因比表面积大、粒径小、难降解、毒性强、可长距离运输等特性，对土壤生态系统和农产品安全构成严重威胁，已被我国生态环境部列为新污染物。自2020年以来，国家高度重视塑料污染防治工作，先后出台了《土壤污染防治行动计

划》、《农用薄膜管理办法》、《新污染物治理行动方案》等政策法规，对土壤微塑料污染风险评估与防治提出一系列规划。目前，关于西北旱区微塑料的污染特征、环境行为及生态风险的研究还相对缺乏，因此，评估西北区域农业土壤中微塑料的污染特征、解析土壤中微塑料的环境界面化学过程以及评估微塑料的生态效应，对提高农业面源污染治理水平、保障我国西北农业安全生产具有重大意义。

本团队围绕西北区域经济快速发展过程中面临的微塑料污染问题，以“污染特征—界面过程—环境效应”为研究主线，系统地开展了“典型微塑料的环境地球化学行为”的前沿基础研究，取得了系列创新成果：1）建立了复杂土壤介质中微塑料的分析提取方法，明确了西北区域农业土壤微塑料的污染特征，解析了微塑料污染的“源汇”关系及关键控制因子；2）针对土壤环境中微塑料的环境界面行为，系统探讨了微塑料与不同土壤介质的交互作用过程，揭示了不同环境因素影响下土壤活性物质对微塑料老化的影响机制；3）阐明了土壤微塑料对土壤生物的生态毒性效应及作用机制，揭示了土壤微塑料对复合污染物环境行为的影响。该研究成果为微塑料的环境行为和综合效应评估提供新见解。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

该项目 5 篇代表性论文被环境科学主流期刊 Environmental Science & Technology、Water Research 等他引 614 次，单篇最高引用 195 次。

（1）代表性论著 1 和代表性论著 2 揭示了土壤及土壤活性物质（土壤矿物和有机质）对微塑料老化的影响过程与作用机制。国家杰出青年基金获得者、国家重点研发计划首席科学家李辉研究员在 Environmental Science & Technology（2023, 57 (41), 15656-15666）的文章中积极评价本研究，肯定了溶解性有机质对微塑料老化行为的影响；中国工程院院士任南琪教授在 Water Res 上评价：“微塑料与微塑料的结合过程中，其官能团当 x 轴波长对应的官能团按外部变量的顺序覆盖 y 轴波长对应的官能团时，异步光谱的交叉峰为正”，肯定了我们工作中溶解性有机质与微塑料的结合过程（Water Research., 2024., 259, 121851）；中国科学院生态环境研究中心刘刚教授引用本研究阐释关于土壤活性

物质对微塑料老化行为的贡献及作用机制（Environmental Science & Technology, 2023, 57(48), 20138-20147）。

（2）代表性论著 3 明确了探讨了微塑料上生物膜定植的动态演变，揭示了其对微塑料相关磺胺甲嗪（SMT）生物可利用性的影响和机制。国家优秀青年科学基金获得者浙江大学俞萍锋研究员在关于“细菌-噬菌体共生促进了细菌病原体和耐药细菌在塑料圈中的富集”的研究中肯定了本研究的结果（Environmental Science & Technology, 2025, 59(6), 2948–2960）；国家自然科学杰出青年基金、优秀青年基金获得者、青年长江学者和国家万人计划“青年拔尖人才”浙江大学何艳教授在其发表文章中引用了我们关于微塑料上生物膜定植对微塑料相关磺胺甲嗪（SMT）生物可利用性影响的结论（Environmental Science & Technology, 2024, 58(36), 16164–16174）；国家“万人计划”青年拔尖人才、山东大学“齐鲁青年学者”和“杰出中青年学者吴海明教授在解析复合环境压力诱导人工湿地微塑球生物膜微生物群落形成独特的组合模式的研究中采纳了相关研究结论（Water Research, 2024, 260, 121958）。

（3）代表性论著 4 阐明了微塑料与土壤及其组分（土壤矿物）之间的交互作用机制。中国科学院生态环境研究中心刘刚教授在其综述文章中系统总结了本研究关于微塑料与土壤矿物的交互作用（Environmental Science & Technology., 2024, 58(2), 991-1009）；联合国国际土壤污染合作组织（INSOP）副主席、清华大学土壤与地下水教研所所长侯德义教授团队在探究中国北京不同土地利用的底土与表土中微塑料的聚合物类型、氧化、尺寸和丰度的研究中使用了申请人有关微塑料和环境介质交互作用的研究结果（Environmental Science & Technology., 2025, 59(25), 12933-12946）；国家杰出青年基金获得者、国家重点研发计划首席科学家上海大学李辉研究员在微塑料在土壤和地下水中的迁移建模：对分散和颗粒特性影响的见解的研究中引用了“微塑料与土壤矿物的交互作用”的研究结果来验证其结论（Environmental Science & Technology., 2024, 58(34), 15224-15235）

（4）代表性论著 5 优化建立了复杂土壤介质中微塑料的分析提取方法，明确了不同的土地利用类型、农业种植模式及人为活动对农业土壤中微塑料积累的影响。法国佩皮尼昂大学 Lisa Weiss 教授在 (Science. 2021. 373. 107-111) 杂

志上发表的论文中引用了我们提供的西北微塑料数据以及相关结论帮助计算以研究不同环境中微塑料排放的巨大差异问题；联合国国际土壤污染合作组织（INSOP）副主席、Soil Use and Management 杂志主编、清华大学土壤与地下水教研所所长侯德义教授团队在论文（Environmental Science & Technology., 2021, 55(9), 6012-6021）中对申请人关于自然界树木会干扰微塑料的分布，且有利于塑料破碎的观点进行了肯定。山东大学环境研究院环境生态学研究所所长刘建教授团队在论文（Water Research., 2021, 188, 116574）中对西北区域微塑料的数据表示肯定，在包括该数据在内的一系列数据的基础上，建立了微塑料多样性综合指数的数学模型，助力于微塑料风险评估。

**五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)**

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Dissolved Organic Matter Promotes the Aging Process of Polystyrene Microplastics under Dark and Ultraviolet Light Conditions: The Crucial Role of Reactive Oxygen Species | Environmental Science & Technology | Xinran Qiu, Sirui Ma, Jianxiang Zhang, Linchuan Fang, Xuetao Guo, and Lingyan Zhu | 2022 年 56(14)卷 10149-10160 页 | 2022 年 6 月 24 日 | 郭学涛 | 仇欣然 | 6 | 195 | web of science | 是 |
| 2 | Insight into the Photodegradation of Microplastics Boosted by Iron(Hydr)oxides | Environmental Science & Technology | Ling Ding, Xuetao Guo, Shengwen Du, Fengyi Cui, Yaping Zhang, Peng Liu, Zhuozhi Ouyang, Hanzhong Jia, and Lingyan Zhu | 2022 年 56(24)卷 17785-17794 页 | 2022 年 11 月 22 日 | 郭学涛、祝凌燕 | 丁玲 | 9 | 59 | web of science | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Bioaccessibility of microplastic-associated antibiotics in freshwater organisms: Highlighting the impacts of biofilm colonization via an in vitro protocol | Environmental Science & Technology | Liu Peng, Dai Jiamin, Bie Chunyao, Li Huang, Zhang Zixuan, Guo Xuetao, Zhu Lingyan | 2022 年 56 卷 12267-12277 页 | 2022 年 9 月 6 日 | 郭学涛 | 刘鹏 | 7 | 59 | web of science | 是 |
| 4 | Charge mediated interaction of polystyrene nanoplastic (PSNP) with minerals in aqueous phase | Water research | Yangyang Zhang, Yuanyuan Luo, Xuetao Guo, Tianjiao Xia, Tiecheng Wang, Hanzhong Jia, Lingyan Zhu | 2020 年 178 卷 115861-115871 页 | 2020 年 4 月 21 日 | 郭学涛、祝凌燕 | 张杨洋 | 7 | 135 | web of science | 是 |
| 5 | The occurrence of microplastic in Mu Us Sand Land Soils in northwest China: Different soil types, vegetation cover and restoration years | Journal of Hazardous Materials | Ling Ding, Xinglei Wang, Zhuozhi Ouyang, Yanhua Chen, Xuexia Wang, Dongsheng Liu, Shasha Liu, Xiaomei | 2021 年 403 卷 123982-123988 | 2020 年 9 月 9 日 | 郭学涛 | 丁玲 | 10 | 166 | web of science | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 郭学涛 | 1 | 无/教授 | 西北农林科技大学 | 全面负责项目组织实施 |
| 丁玲 | 2 | 无/青年教授 | 西北农林科技大学 | 共同开展项目的研究工作，合作撰写发表论文 2 和论文 5 |
| 仇欣然 | 3 | 无/助理研究员 | 西北农林科技大学 | 共同开展项目的研究工作，合作撰写发表论文 1 |
| 王铁成 | 4 | 副院长/教授 | 西北农林科技大学 | 共同开展项目的研究工作，合作撰写发表论文 4 |
| 刘鹏 | 5 | 无/副教授 | 西北农林科技大学 | 共同开展项目的研究工作，合作撰写发表论文 3 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 该成果由西北农林科技大学独立完成。西北农林科技大学作为项目完成单位，全面负责项目的设计、分工、实施与成果鉴定等工作。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 论文合著 | 郭学涛/1 | 2020 | 2023 | 代表性论文1、2、3、4、5 | 代表性论文1、2、3、4、5 |
| 2 | 论文合著 | 丁玲/2 | 2020 | 2023 | 代表性论文2、5 | 代表性论文2、5 |
| 3 | 论文合著 | 仇欣然/3 | 2020 | 2023 | 代表性论文1 | 代表性论文1 |
| 4 | 论文合著 | 王铁成/4 | 2020 | 2023 | 代表性论文4 | 代表性论文4 |
| 5 | 论文合著 | 刘鹏/5 | 2020 | 2023 | 代表性论文3 | 代表性论文3 |

**完成人合作关系说明（限1000字）**

第2完成人丁玲，是西北农林科技大学青年教师，是成果第1完成人郭学涛教授的学生，共同开展项目的研究工作，合作撰写发表研究论文2和研究论文5；

第3完成人仇欣然，属西北农林科技大学博士后科研流动站研究人员，是成果第1完成人郭学涛教授的学生，共同开展科研工作，合作撰写发表研究论文1；

第4完成人王铁成教授与第1完成人郭学涛教授为西北农林科技大学的同一个团队，共同开展项目的研究工作，合作撰写发表研究论文4；

第5完成人刘鹏副教授与第1完成人郭学涛教授为西北农林科技大学的同一个团队，共同开展项目的研究工作，合作撰写发表研究论文3。

# 项目二十

**一、项目名称：**苹果有机酸含量遗传调控及种质创新与利用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**苹果是我国栽培面积最大，产量最高的落叶果树，目前已经成为陕西省地区主栽果树，是该地区农民致富、乡村振兴的主导产业，但是苹果果实品质提升是我国苹果育种及苹果产业健康可持续发展的关键问题。针对我国苹果产业中这一关键问题，依托国家自然科学基金、国家重点研发计划，以影响苹果果实品质关键因素之一苹果果实中有机酸为研究主题，系统解析了苹果果实中有机酸代谢、转运、调控及含量的分子遗传机制，阐明了苹果果实中有机酸调控的关键基因及主要调控途径。研究成果一方面从理论机制方面出发系统阐明了苹果中 Ma1 依赖/非依赖的苹果果实酸度调控机制及苹果中抗化血酸在不同组织含量的差异的机制，证实了 MdMYB123、MdMYB21 及 MdWRKY126 等基因在调控果实有机酸积累中的作用。另一方面基于有机酸调控关键基因开发分子标记，并在苹果种质资源和杂家后代中对分子标记的有效性进行了验证。研究成果不仅从不同角度上解释了苹果中有机酸含量高低差异的机制，同时也为其他果树中有机酸机制研究提供了参考与借鉴，相关研究成果发表在 Plant Physiology、Plant Journal 及 Horticulture Research 等国际植物学主流期刊上。此外，该项目组收集并评价了苹果资源的有机酸含量，筛选出了一批有机酸含量特异的种质，同时引进‘美味’及 ‘蜜脆’等苹果新品种，创制了‘秦蜜’等一批苹果优异新种质，为陕西苹果优质新品种奠定了理论与材料基础。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、**项目简介：**

苹果是我国广泛栽植的经济果树之一，其栽培面积及产量均居世界首位。陕西是联合国粮农组织认定的世界苹果最佳优生区，是全球集中连片种植苹果最大区域。苹果产业覆盖了陕西省 48 个县，拉动全省 200 万农户近 1000 万农业人口从业，而且苹果产业目前是陕西延安等地区重要的支柱产业之一，在延安等地区的脱贫攻坚战中提供新的动力，在农民致富、农村稳定及发展等方面发挥着重要作用。2022 年 10 月 26 日，习近平总书记在延安市安塞区南沟村考察时指出，“大力发展苹果种植业可谓天时地利人

和，这是最好的、最合适的产业，大有前途。2024 年 9 月，习近平总书记在考察花牛苹果基地时勉励大家要把苹果产业做的更大。

近年来，虽然我国苹果产业取得了巨大的成就，但是果实品质下降严重制约着我国苹果产业的可持续、高质量健康发展。因此苹果果实品质的遗传改良及提升成为我国苹果产业升级、提升苹果产业的国际竞争力的关键任务之一。有机酸含量是决定果实风味品质的关键因素之一，苹果中主要的有机酸为苹果酸，其含量决定着苹果果实的酸度。抗坏血酸作为植物体内重要的抗氧化剂，在苹果中含量较低，但是在各种生理过程中发挥重要作用。项目组一直从事苹果有机酸品质形成和遗传调控研究，针对苹果品质提升中有机酸性状遗传改良的重大需求，系统研究了苹果有机酸代谢、转运与含量遗传调控的关系，丰富了苹果有机酸含量调控的理论研究，同时引进并创制了一批苹果新品种（种质），取得一系列的创新成果。主要成果如下：

**1.开展了苹果种质资源有机酸含量评价，筛选并创建出不同有机酸含量遗传控制种质材料**

对苹果种植资源中有机酸含量进行测定及分析，发现在栽培苹果中，主要的有机酸为苹果酸，其中其含量占总有机酸含量的 95%以上。16 号染色体上 *Ma1* 基因是控制苹果酸度的主要基因，但对苹果种质资源中苹果酸控制基因 *Ma1* 的基因型进行分析发现，同类型 *Ma1* 的基因型中苹果酸含量存在显著差异，且在不同的 *ma1ma1* 隐形纯合突变体中，苹果酸含量存在显著，这表明在苹果中存在 *Ma1* 非依赖及依赖型的苹果果实酸度调控途径，为此项目组筛选出如‘秦冠’和‘蜜脆’，‘嘎啦’和‘美味’，并创建‘秦冠’和‘蜜脆’等杂交群体。相关研究成果 Metabolites（2018）等期刊上发表，引育了‘蜜脆’、‘美味’等苹果新品种，这为后期酸度遗传调控奠定了理论基础和研究材料。

**2. 鉴定了 MdMYB123 和 MdMYB21 等调控 *Ma1* 表达的转录因子，明确了 *Ma1* 依赖型苹果果实酸度不同的分子遗传调控机制**

①在 *Ma1* 基因型苹果材料中，鉴定到了控制苹果果实酸度候选基因 *MdMa11*（$P_{3A}$-ATPase）、*MdMa13*（$P_{3B}$-ATPase）及 *MYB123*，进一步研究

发现，苹果中 *MdMYB123* 编码区最后一个外显子上的 SNP 变异能够导致翻译的提前终止，进而差异调控 *MdMa1* 及 *MdMa11* 的表达，差异调控苹果果实中苹果酸的积累。针对液泡膜上质子泵进一步分析发现，MdMa13 能够与 MdMa11 在蛋白水平上存在互作关系进而增强 MdMa11 液泡膜上 $H^+$的转运活性。②首次在苹果中将 QTL 定位与关联分析的方法结合起来（区间关联分析：Region-based association mapping），并成功在控制苹果果实酸度的主效 QTL（*Ma* 区间）内筛选出控制苹果果实酸度的候选基因 *MdMYB21*，进一步研究发现该基因能够负调控 *MdMa1* 的转录进而负调控苹果果实酸度。对 *MdMYB21* 序列分析发现，该基因的启动区的一个 SSR motif 的缺失能够影响该基因的转录活性进而通过影响 *MdMa1* 的表达而影响果实酸度。③系统阐明了苹果中有机酸代谢和可溶性糖代谢之间的相互调控，解析了苹果酸脱氢酶（MdcyMDHs）在控制苹果酸含量和蔗糖含量中的作用。相关研究成果在 Plant Physiology（2023），Plant Journal（2023），Scientia Horticulturae（2022），Horticulture Research（2022）及 Foods（2021）等期刊上。

**3. 阐明了线粒体有机酸分配和胞质有机酸代谢在其含量调控中的作用机制，明确了 *Ma1* 非依赖型苹果果实酸度不同的分子遗传调控机制**

①通过对苹果种质资源的分析，筛选 *Ma1* 基因纯合隐形突变体并进行转录组测序，挖掘出控制苹果果实酸度的关键基因：*MdMa10*（$P_{3A}$-ATPase）、*MdWRKY126* 及 *MdMa12*（焦磷酸质子泵）；②首次发现线粒体上焦磷酸质子泵（*MdMa12*）在苹果果实酸度的控制作用，解析出线粒体中的焦磷酸质子泵通过影响线粒体的苹果酸脱氢酶（*MdMDH12*）的表达水平进而影响苹果果实中苹果酸的含量;③在苹果中发现酸度调控基因 *MdWRKY126*，并解析出该基因通过调控细胞质中的苹果酸脱氢酶（*MdcyMDH5*）的表达进而调控苹果中有机酸的积累。相关研究成果发表在 Plant Physiology（2022）及 Horticulture Research（2022）等期刊上。

**4. 探明了苹果中抗坏血酸形成途径，挖掘了关键基因，明确了糖信号和光调控苹果 ASA 含量的分子机制**

针对抗坏血酸作为评价苹果营养品质的关键有机酸物质，项目组开展了苹

果 ASA 含量形成调控研究， 明确了苹果果实中 AsA 形成的主要原因是自身的生物合成，且 L-半乳糖途径是关键途径，明确了光条件是影响苹果 AsA 含量的关键环境因子提出了改善光条件来提高果实 ASA 含量主要栽培措施。进一步研究证实苹果中受蔗糖调控的 F-box 蛋白 MdAMR1L1 通过泛素化途径与 ASA 合成酶蛋白 MdGMP1 互作，负调控 Vc 合成，其在果实的高度表达是苹果果实低 Vc 的原因之一。这些发现加深了对苹果 Vc 生物合成调节机制的认知，探明了苹果果实低 Vc 含量的主要原因，获得了一系列与 Vc 有关的基因资源，为高 Vc 含量的果品培育奠定了基础。相关研究结果发表在 Plant Physiology（2021）、Planta（2009），Plant Science 等期刊发表文章 12 篇。

**5. 开发了酸度相关分子标记 4 个，创制出了苹果有机酸含量不同新种质和新品种**

通过对苹果果实中苹果酸含量的分子机制研究及关键基因的功能解析，依托与酸度调控的关键基因的等位变异：*MdMYB123* 外显子的点突变及 *MdMYB21* 启动子区的变异，开发酸度分子标记，相关分子标记获批国内外发明专利 4 项，该标记能够为苹果果实酸度的筛选、分子设计育种等提供合适的工具。结合已经公开的分子标记，成功筛选出一批酸度特异的苹果新种质如高酸型、低酸型及无酸型等，利用 ‘秦冠’和‘蜜脆’等杂交群体选育了风味浓郁的‘蜜脆’‘秦蜜’等苹果新品种。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

研究成果系统解析并阐明了苹果果实有机酸调控关键基因、主要途径及遗传变异对酸度的影响。研究从苹果种质资源出发，筛选特殊酸度个体并解析出 *Ma1* 依赖及非依赖型的苹果果实有机酸调控的关键基因，证实了 *MdMYB123*、*MdMYB21* 及 *MdWRKY126* 等基因在调控 *Ma1* 依赖及非依赖型的苹果果实有机酸积累中的作用，解析相关基因的遗传变异对果实中有机酸积累的影响，并根据研究成果筛选出酸度相关的核心种质。其次，揭示了 F-box 蛋白 MdAMR1L1 在调控抗坏血酸生物合成中的重要作用，探明了苹果果实和叶片中抗坏血酸含量显著差异的分子机制。相关研究成果发表在 Plant Physiology、Plant Journal 及 Horticulture Research 等国际植物学领域主流期期刊上，被 Plant Cell、Plant

Communication、Nature Plants、Advanced Science 等国际知名期刊引用，为其他果树中有机酸代谢相关基因的筛选和鉴定提供了理论支撑。其中关于 MdWRKY126 调控 *Ma1* 非依赖型酸度形成机制的论文为高被引论文。相关研究多次受邀在国际苹果大会、全国果树分子育种学术研讨会、园艺青年学术研讨会、苹果分会学术研讨会等作学术报告。引用情况如下：

（1）项目负责人长期从事苹果品质调控研究，2012 年至 2023 年 8 月在 PNAS、Plant Biotechnology Journal、Plant Physiology 及 Plant Journal 等期刊共发表相关 SCI 论文 112 篇，其中他引 3937 次，H 指数 40，高被引论文 4 篇（代表性论文 3），受邀为 Horticulture research、Fruit Research、园艺学报等撰写果实有机酸相关综述文章 3 篇。

（2）引进并审定苹果优质品种‘蜜脆’、‘黄冠’在陕西广泛种植，推广面积 10 万多亩。同时，‘蜜脆’已作为多个单位的高品质苹果育种的核心亲本，本项目组以‘蜜脆’为亲本，已杂交选育出了 10 个优质新品种。

（3）代表性论文 1 和 2 主要解析了苹果中 *Ma1* 依赖的果实酸度调控的分子遗传机制。相关研究分别被 Plant Cell、Advanced Science 等期刊论文引用，相关研究成果为其他果树中有机酸代谢、转运等关键基因的鉴定及分子遗传机制解析提供了依据，他引次数分别为 10 和 7 次。

（4）代表性论文 3 和 5 系统解析了苹果中 *Ma1* 非依赖的果实酸度调控的分子机制。其中代表性论文 5 首次揭示了苹果中线粒体中的焦磷酸质子泵在控制苹果果实酸度的作用，代表性论文 3 受到国内外同行的广泛关注，发表至今已经被 Nature Plants、New Phytologist 及 Plant Communications 等期刊引用 67 次，其中他引 40 次，为高被引论文。为葡萄、梨等果实中有机酸含量关键控制基因的挖掘提供了支撑条件。

（5）代表性论文 4 解析苹果不同组织（叶片/果实）中抗坏血酸含量差异的机制，系统阐明了苹果叶片高抗坏血酸含量与果实低抗坏血酸含量的这一现象形成的机理。相关研究成果被 Plant Cell、Nature Plants 等期刊论文广泛引用及关注，其中引用 35 次，其中他引 26 次。

**五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)**

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Allelic variation of MdMYB123 controls malic acid content by regulating MdMa1 and MdMa11 expression in apple | Plant Physiology | 郑丽桐；廖燎；段晨博；马文芳；彭云静；袁阳阳；韩月彭；马锋旺；李明军；马百全 | 2023;192:1877-1891 | 2023-06-03 | 李明军；马百全 | 郑丽桐；廖燎 | 郑丽桐；廖燎；段晨博；马文芳；彭云静；袁阳阳；韩月彭；马锋旺；李明军；马百全 | 10 | Web of Science | 是 |
| 2 | Transcriptional repression of MdMa1 by MdMYB21 in Ma Locus decreases malic acid content in apple fruit | Plant Journal | 彭云静；袁阳阳；常雯静；郑丽桐；马文芳；任行；刘佩佩；祝令成；苏静；马锋旺；李明军；马百全 | 2023;115:1231-1242 | 2023-05-23 | 李明军；马百全 | 彭云静；袁阳阳 | 彭云静；袁阳阳；常雯静；郑丽桐；马文芳；任行；刘佩佩；祝令成；苏静；马锋旺；李明军；马百全 | 7 | Web of Science | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | MdWRKY126 modulates malate accumulation in apple fruit by regulating cytosolic malate dehydrogenase (MdMDH5) | Plant Physiology | 张立华；马百全；王长智；陈星宇；阮勇凌；袁阳阳；马锋旺；李明军 | 2022;188(4)：2059-2072 | 2022-05-28 | 李明军 | 张立华；马百全； | 张立华；马百全；王长智；陈星宇；阮勇凌；袁阳阳；马锋旺；李明军 | 40 | Web of Science | 是 |
| 4 | F-box protein MdAMR1L1 regulates ascorbate biosynthesis in apple by modulating GDP-mannose pyrophosphorylase | Plant Physiology | 马松亚；李慧霞；王兰；李白云；王正阳；马百全；马锋旺；李明军 | 2022;188:653-669 | 2022-01-05 | 李明军 | 马松亚，李慧霞 | 马松亚；李慧霞；王兰；李白云；王正阳；马百全；马锋旺；李明军 | 35 | Web of Science | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | Overexpression of apple Ma12, a mitochondrial pyrophosphatase pump gene, leads to malic acid accumulation and the upregulation of malate dehydrogenase in tomato and apple calli | Horticulture Research | 高萌；赵海艳；郑丽桐；张立华；彭云静；马文芳；田蕊；袁阳阳；马锋旺；李明军；马百全 | 2022; 9: uhab053 | 2022-01-05 | 李明军；马百全 | 高萌；赵海艳 | 高萌；赵海艳；郑丽桐；张立华；彭云静；马文芳；田蕊；袁阳阳；马锋旺；李明军；马百全 | 15 | Web of Science | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 李明军 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 研究项目的设计者、组织者和主要实施者，长期从事苹果糖酸含量的调控研究，是代表性论文 1-5 的通讯作者及 3 个发明专利的拥有人。苹果新品种黄冠、美味的第 5 和第 10 选育人 |
| 马百全 | 2 | 副教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 主要开展苹果果实中有机酸代谢、转运及含量的分子遗传机制研究，是代表性论文 1,2,5 的通讯作者、代表性论文 3,4 的主要参与者及 4 个专利的第一拥有人。 |
| 马锋旺 | 3 | 教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 苹果抗逆与品质改良团队总负责人，指导参与了研究项目的设计、组织和实施，是代表性论文 1-5 的参与者；是‘蜜脆’‘美味’的第一选育人和‘黄冠’的第二选育人。 |
| 祝令成 | 4 | 教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 团队青年骨干，参与了项目的研究工作，是代表性论文 2 的参与人。 |
| 郑丽桐 | 5 | 研究生 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 代表性论文 1 的第一完成人 |
| 彭云静 | 6 | 研究生 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 代表性论文 2 的第一完成人 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学作为项目独立完成单位，负责支撑项目的立项申请申报和资金争取；对项目的实施给予试验条件、设施、经费、人力、物资等方面的保障和支持。同时，负责项目进展总体管理，包括计划制订、实施、总结等的跟踪督促、检查。在项目成果发表和登记过程中，发挥了重要的组织协调、管理和落实作用，保证了项目任务顺利实施和目标的全面实现。系统开展了苹果果糖含量遗传调控研究，探明了调控机制，筛选除了高果糖含量新种质，审定了‘美味’等新品种，助推了陕西苹果产业高质量发展。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 共同论著 | 马百全/2 | 2016 年 | 至今 | 以并列通讯作者/共同作者发表论文 10 余篇，获批专利 3 项。 | 论文和专利 |
| 2 | 共同论著 | 马锋旺/3 | 2012 年 | 至今 | 以并列通信发表论文 5 篇，以共同作者参与发表论文 40 余篇，品种 2 个。 | 论文和品种 |
| 3 | 共同论著 | 祝令成/4 | 2016 年 | 至今 | 以第一作者/共同作者发表论文 5 篇，获批专利 1 项 | 论文和专利 |
| 4 | 共同论著 | 郑丽桐/5 | 2021 年 | 至今 | 以第一作者/共同作者发表论文 2 篇，获批专利 1 项 | 论文和专利 |
| 5 | 共同论著 | 彭云静/6 | 2021 年 | 至今 | 以第一作者/共同作者发表论文 2 篇，获批专利 1 项 | 论文和专利 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目在西北农林科技大学完成，西北农林科技大学均是代表性论文的第一完成单位，发明专利的拥有单位。

项目第一完成人李明军是西北农林科技大学苹果抗逆与品质改良创新团队成员，主要从事苹果糖酸品质调控研究，团队负责人是马锋旺教授（第三完成人），他是第一完成人李明军研究生期间的导师，主要对第一完成人研究方向、科学和产业问题及项目实施进行指导，为项目的研究提供了试验材料、场地及仪器设备，联合指导了祝令成等博士研究生。近五年，马锋旺教授与李明军教授以共同通信作者在 PNAS、Plant Biotechnology Journal 等发表高水平论文多篇，共同发表论文 40 余篇，系统阐明了苹果糖酸含量调控的生物学机制。

第二完成人马百全副教授为团队成员，主要协助李明军教授管理实验室和指导研究生，开展苹果有机酸含量分子遗传调控机制研究。近五年，李明军教授与马百全副教授以共同通讯作者在 Plant Physiology、Plant Journal 及 Horticulture Research 等期刊上发表多篇关于苹果果实有机酸分子遗传机制解析的原创性论文，系统阐明了苹果中有机酸含量积累的分子遗传机制。

第四完成人祝令成教授为李明军教授的研究生，受李明军和马锋旺教授的共同指导，主要从事苹果果实糖酸代谢研究，同时协助李明军教授进行实验室管理和研究社指导。

第五、第六完成人为马百全副教授的研究生，受李明军教授和马百全副教授联合指导培养，期间主要从事苹果果实中苹果酸代谢及含量的分子遗传机制研究，研究成果在 Plant Physiology 及 Plant Journal 期刊上发表。

# 项目二十一

**一、项目名称：**生态修复与气候变化下径流的响应解耦与趋势预估

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**黄土区发生了显著的植被变化，与气候变化共同影响该区河川径流，进而扰动可用地表水资源。此背景下，亟需明确径流演变的机制和未来趋势，但环境变化解析、生态修复和气候变化的效应解耦、气候变化情景建立等方面存在较大不确定性。针对此问题，该项目在国家自然科学基金的支持下，开展了环境变化解析与植被变化适宜性、径流变化归因方法优化与机制揭示、气候情景建立技术开发与径流变化预估等方面的研究，为气候变化下水资源管理提供了技术支持和理论依据。该项目的成果受到广泛关注，5 篇代表性论文被大量引用，部分成果获陕西高等学校科学技术研究优秀成果自然科学一等奖。提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、**项目简介：**

受生态修复和全球变暖影响，黄土高原植被-气候-水文互馈机制复杂，多数流域环境状况与水文过程的非线性和异质性增强。作为重要的地表水资源，河川径流趋向总体减少但近年来增多的趋势。径流演变的机制是什么？全球变暖背景下径流变化的趋势如何？这是影响黄河战略实施的关键科学问题之一。要解决上述问题，需在径流变化归因和水文情景预估等方面开展技术攻关，但生态修复与气候变化效应的解耦、气候变化情景建立等方面存在较大不确定性，是水文学领域的关键技术问题。

本项目开展环境变化解析与植被变化适宜性、水沙变化归因方法优化与机制揭示、气候情景建立技术开发与径流变化预估等方面的研究工作，取得了三个主要进展。扩展了植被变化因子识别的残差趋势法，首次实现了植被变化的统计学定量归因，明确了植被变化的特征与驱动。构建了基于分布式水文模型的单因子变化法，揭示了水文变异时空异质性的机理。开发了高效的区域尺度气候变化情景建立方法，情景预估发现了径流均值与可用水资源的不匹配性，强调了开展水文变异性研究的重要性。

该研究主要在国家自然科学基金等项目的支持下完成，成果受到广泛关注。5 篇代表性论文被 SCI 论文他引 1733 次；其中 3 篇代表性论文分别被 SCI 论文

他引 919、509 和 217 次，入选 ESI 前 1%高被引论文。项目部分成果获陕西高等学校科学技术研究优秀成果自然科学一等奖。项目第一完成人入选国家级青年人才计划(2018)、获陕西省青年科技奖(2018)，第三完成人入选中科院青促会会员(2023)、获批甘肃省杰出青年科学基金(2025)。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

植被变化定量归因的成果(Agr Forest Meteorol, 2017)被 SCI 论文他引 217 次，是 ESI 前 1%高被引论文。方法被应用于几十个地区的植被变化研究，如西南部(Liu et al., Agr Forest Meteorol, 2018)、长江流域(Qu et al., Remote Sens, 2020)、东北(Li et al., Agr Forest Meteorol, 2020)、黄土高原(Fang et al, Remote Sens Environ, 2019)、中国(Jiao et al., J Hydrol, 2022)和中亚(Liu et al., J Environ Manage, 2023)等，对于揭示植被变化机理起到了很好的方法支撑。国内知名研究团队，如傅伯杰院士团队 Sci Total Environ (2021)、冯起院士团队 Ecol Inform (2021)、清华大学杨大文教授 Agr Forest Meteorol (2021)等应用了我们的方法或者引用了我们的结果。如西安理工大学李占斌教授团队在白尼罗河上游的研究中评价我们的方法，“This method considers the impact of human activities before and after the change in vegetation and contains all potential factors that dominate vegetation change in every period. Therefore, it is reliable to use this method to quantify the attribution of vegetation change in the UWNR”，指出该方法充分考虑了人类活动的影响，用于植被变化归因具有很高的可信度。

基于分布式水文模型的单因子变化法的开发和在水文变异归因中的应用(J Hydrol, 2009)，被 SCI 论文他引 509 次，是 ESI 前 1%高被引论文。开发的方法被广泛应用，获得的结果也被作为水文变异研究的参照。南方科技大学郑一教授 J Hydrol (2018)论文详细介绍我们的方法“Li et al. (2009) built a Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model for an agricultural catchment on the Loess Plateau of China and simulated different climate and land use scenarios. …This modeling-based approach can address the interaction between these two factors ...”。伊朗 Toosi University of Technology 的 Farsi and

Mahjouri 博士在 J Hydrol (2019)的文章用大段介绍我们的方法，“Li et al. (2009) assessed the impacts of land use change and climate variability on surface hydrology (runoff, soil water, and evapotranspiration)… To evaluate the effect of land use change and climate variability on streamflow variations, they used the approach of one factor at a time (i.e., changing one factor at a time while holding others constant)...”，认为该方法可有效识别影响水文的关键参数。对流域水热平衡模拟优化和径流变化归因的研究，积极推动了对水文过程变异性的认识。加拿大 UBC 流域生态水文首席科学家 Adam Wei 教授在 Water Resour Res (2021)中 14 次引用和介绍我们相关成果，如“The choice of appropriate watershed parameters varies with the aim and timeframe of the study (Ning et al., 2019)”和“A correlation matrix was used to ensure there were no strong correlations between the predictor variables chosen to deal with potential multicollinearity problems as identified in Ning et al. (2019)”。

TSWG 受到广泛的关注和正面评价。加拿大多伦多大学 Srivastav 和 Simonovic 教授 Clim Dynam (2014)指出“Recently, Li (2013) proposed a two-stage weather generator (TSWG)……. The method is able to reproduce the statistical characteristics including the spatial correlations of multi-site precipitation data quite well.”，认为 TSWG 很好地保留了降水的统计参数。世界知名水文学家 Beven Keith 的综述(Hydrol Process, 2021)专门强调“… and Li et al. (2017) suggest that the assumptions about the spatial structure of the generated fields can have an important effect on the outputs of hydrological models”，指出我们的方法验证了天气发生器空间结构对水文模拟有影响的假设。武汉大学陈杰教授在 Clim Dynam (2019)中 5 次大篇幅介绍我们的 4 篇论文，应用我们建议的自由分布法重建气候变量相关性，Another approach reconstructs the intervariable correlations along with spatial correlations, using a distribution-free shuffling approach (Li et al. 2017a, 2017b)。关于水文变异对水资源影响的发现被肯定，如 Indian Institute of Technology 的 Uday Bhadoriya 教授在 J Hydrol (2020)、Atatürk University 的 Gökhan Arslan 教授在 Oceanol Hydrobiol St (2020)都提到“These changes are affecting interannual and seasonal streamflow variability leading to changes in

regional water availability…”。

生成气候数据集被广泛认可和应用。代表性论文 5(Earth Sys Sci Data, 2019)被 SCI 论文他引 919 次，是 ESI 前 1‰热点和前 1%高被引论文，入选 2025 年中国高影响力数据论文。获国家青藏高原科学数据中心首届“十佳数据”奖(2021 年)。在国家青藏高原科学数据中心和国家地球系统科学数据中心发布后，累计下载量约 24.9 万人次，服务国家重大项目 239 项、国家自然/社会科学基金项目 307 项、学术期刊论文和学位论文 6762 篇、大学生竞赛项目 822 项。支撑了多学科领域的研究工作，如城市热岛(Hou et al., Phys Chem Earth, 2020)、湖泊演变(Zhang et al., Earth Syst Sci Data, 2021)、融雪变化趋势(Yang et al., Hydrol Earth Syst Sc, 2022)、玉米物候(Niu et al., Earth Syst Sci Data, 2022)、叶片 $^{15}N$ 变化机制(Tang et al., Global Change Biol, 2022)、水分利用效率(Zhao et al., J Hydrol, 2023)等。

**五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)**

| 序号 | 论文专著<br>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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Detecting and attributing vegetation changes on China’s Loess Plateau | Agricultural and Forest Meteorology | Li Jingjing, Peng Shouzhang, Li Zhi | 2017, 247: 260-270 | 2017 年 12 月 | Li Zhi | Li Jingjing | 李京京，彭守璋，李志 | 217 | SCIE | 是 |
| 2 | Interaction of vegetation, climate and topography on evapotranspiration modelling at different time scales within the Budyko framework | Agricultural and Forest Meteorology | Ning Tingting, Zhou Sha, Chang Feiyang, Shen Hong, Li Zhi, Liu Wenzhao | 2019, 275: 59-68 | 2019 年 9 月 | Liu Wenzhao | Ning Tingting | 宁婷婷，常斐杨，沈红，李志，刘文兆 | 63 | SCIE | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China | Journal of Hydrology | Li Zhi, Liu Wenzhao, Zhang Xunchang, Zheng Fenli | 2009, 377: 35-42 | 2009 年 10 月 | Li Zhi | Li Zhi | 李志, 刘文兆, 郑粉莉 | 509 | SCIE | 是 |
| 4 | Evaluating climate change impacts on streamflow variability based on a multisite multivariate GCM downscaling method in the Jing River of China | Hydrology and Earth System Sciences | Li Zhi, Jin Jiming | 2017, 21: 5531-5546 | 2017 年 11 月 | Li Zhi, Jin Jiming | Li Zhi | 李志, 金继明 | 25 | SCIE | 是 |
| 5 | 1 km monthly temperature and precipitation dataset for China from 1901 to 2017 | Earth System Science Data | Peng Shouzhang, Ding Yongxia, Liu Wenzhao, Li Zhi | 2019, 11: 1931-1946 | 2019 年 12 月 | Li Zhi, Liu Wenzhao | Peng Shouzhang | 彭守璋, 丁永霞, 刘文兆, 李志 | 919 | SCIE | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 李志 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 负责整个项目的总体设计、方案制定和组织实施。对科学发现一、二、三均做出重要贡献。就环境变化解析、径流演变机理和趋势预估方面，开展了系统研究工作。获得 1 项国家自然科学基金支持本项目。是代表作 1、2、3、4、5 的作者。 |
| 彭守璋 | 2 | 研究员 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 对科学发现一、三做出重要贡献。在植被变化归因方法建立和气候变化情景数据生成方面发挥重要作用。是代表性论文 1 和 5 的作者。 |
| 宁婷婷 | 3 | 副研究员 | 中国科学院西北生态环境资源研究院/中国科学院西北生态环境资源研究院 | 对科学发现二做出重要贡献。对流域尺度水平衡变异进行归因分析，阐释了流域水文过程的演变机理。是代表性论文 2 的作者。 |
| 刘文兆 | 4 | 研究员 | 西北农林科技大学/中国科学院水利部水土保持研究所 | 对科学发现二、三做出重要贡献。在流域尺度水文变异归因与机理方面开展了系统工作。获得 1 项国家自然科学基金支持本项目。是代表性论文 2、3、5 的作者。 |
| 李京京 | 5 | 工程师 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 对科学发现一做出重要贡献。对植被变化的特征和归因进行了系统分析。是代表性论文 1 的作者。 |
| 金继明 | 6 | 教授 | 长江大学/西北农林科技大学 | 对科学发现三做出重要贡献。在流域尺度气候变化下水文变异预估方面开展了系统工作。是代表性论文 4 的作者。 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 1. 为本项目提供了良好的科研平台，为科研团队建设提供了重要的政策支撑。<br>2. 获得 1 项国家自然科学基金项目，支撑本项目的实施。<br>3. 为 5 篇代表性论文的发表和重要科学发现一、二、三均做出了重要贡献。 |
| 中国科学院水利部水土保持研究所 | 2 | 1. 获得 1 项国家自然科学基金项目，支撑本项目的实施；<br>2. 为重要科学发现二和代表性论文 2、3 做出了重要贡献。 |
| 中国科学院西北生态环境资源研究院 | 3 | 为重要科学发现二和代表性论文 2 做出了重要贡献。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 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 | 论文合著 | 李志/1、李京京/5、彭守璋/2 | 2014.9 | 2017.12 | Detecting and attributing vegetation changes on China's Loess Plateau | 代表性论文 1 |
| 2 | 论文合著 | 李志/1、宁婷婷/3、刘文兆/4 | 2004.9 | 2024.12 | Interaction of vegetation, climate and topography on evapotranspiration modelling at different time scales within the Budyko framework | 代表性论文 2 |
| 3 | 论文合著 | 李志/1、刘文兆/4 | 2004.9 | 2024.12 | Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China | 代表性论文 3 |
| 4 | 论文合著 | 李志/1、金继明/6 | 2014.9 | 2024.12 | Evaluating climate change impacts on streamflow variability based on a multisite multivariate GCM downscaling method in the Jing River of China | 代表性论文 4 |
| 5 | 论文合著 | 李志/1、彭守璋/2、刘文兆/4 | 2015.7 | 2024.12 | 1 km monthly temperature and precipitation dataset for China from 1901 to 2017 | 代表性论文 5 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

第一完成人，李志教授，负责项目总体设计、方案制定和组织实施，与其他五名完成人协作分工，共同完成项目，合作发表了 5 篇代表性论文。

第二完成人，彭守璋研究员，2015 年进入西北农林科技大学工作后，与第一完成人开展合作研究，共同完成了植被变化归因和气候变化情景数据生成等工作，合作发表代表性论文 1 和 5。

第三完成人，宁婷婷副研究员，2014-2017 年在中科院水利部水土保持研究所攻读博士，开展气候和植被变化对流域水平衡方面的研究，导师为第四完成人刘文兆研究员，期间第一完成人参与指导。2017 年，进入中科院西北生态环境资源研究院工作后，继续与第一和第四完成人开展合作研究。三者合作发表了代表性论文 2。

第四完成人，刘文兆研究员，是第一完成人的博士生导师，2004-2007 年指导第一完成人开展气候变化水文效应评估方面的研究，并在第一完成人于 2007 年就职西北农林科技大学后，继续与第一完成人开展多站点多变量的气候模式降尺度方法开发。二者合作发表了代表性论文 2 和 3。

第五完成人，李京京，2014-2017 年在第一完成人指导下攻读硕士研究生，就黄土高原植被变化特征与归因进行，期间与第二完成人合作植被变化归因方法的开发，三者合作发表了代表性论文 1。

第六完成人，金继明教授，2014 年被聘为西北农林科技大学特聘教授，之后一直与第一完成人开展合作研究，二者合作发表了代表性论文 5。

# 项目二十二

**一、项目名称：**基于日光诱导叶绿素荧光的植物生产力估算机制

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**日光诱导叶绿素荧光（SIF）是植物在光合作用过程中释放的微弱能量，前期研究已表明其与植被生产力密切相关。近年来，利用卫星遥感手段观测植被 SIF 已成为大尺度植被生产力与碳循环研究的重要前沿方向。然而，SIF 与植被生产力之间的内在机理联系仍缺乏系统而深入的研究。针对这一科学问题，该项目自主研发了“荧光–光合–光谱”三合一观测装置，为深入揭示 SIF 与光合速率的机理联系提供了严谨的实验平台。在此基础上，该项目团队提出了 SIF 与光合速率之间的机理性模型，并建立了模型关键变量与参数的估算方案，使得利用卫星 SIF 数据直接进行机理性植被生产力估算成为可能，显著提升了基于 SIF 估算光合速率的研究水平。该项目研究成果已成功应用于黄土高原大规模生态工程实施后的植被恢复生产力效益评估，以及大尺度农作物产量估算，在科学研究与实际应用两方面均取得了突破性进展。5 篇代表作共被他引 126 次，单篇最高他引 61 次，代表作发表在 Nature Food 和 Remote Sensing of Environment 等著名期刊。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、**项目简介：**

日光诱导叶绿素荧光(SIF)是植物在光合作用过程中释放的一种微弱能量，与农林生态系统的光合速率密切相关。近年来，基于卫星和地面台站的 SIF 观测技术迅速发展，SIF 在生态研究中的应用潜力受到广泛关注。然而，SIF 与陆地生态系统光合速率之间的定量关系仍缺乏全面深入的研究。本项目以荧光遥感 SIF 为主要手段，围绕“设备研发—机理构建—应用探索”的主线开展系统性研究。目前，各研究环节均取得了标志性成果，在陕科研主要成果形成了一条具有递进性和完整性的“故事线”，展现了从理论创新到实际应用的系统性科学贡献和应用价值。

**研发“荧光-光合-光谱”三合一同步观测系统：**在控制主要环境因子的条件下，准确获取 SIF，植被总初级生产力(GPP)及影响 SIF-GPP 关系的潜在相关变量是深入研究 SIF-GPP 关系的前提。申请人组织力量，经过长时间攻关，成功自主研发了“荧光-光合-光谱”同步观测系统。该设备为国内首创，可在控制环境因子（如光照，叶\气温、湿度）的条件下，精确测量 SIF 信号、光合速率、羧化速

率以及光合作用中一系列关键参数等重要变量。该创新点的科学价值和实用性在于：(1)“荧光-光合-气体交换”观测系统是深入揭示 SIF 与光合速率之间机理性联系的有力工具，为后续 SIF 机理性相关研究提供了坚实的数据基础；(2)借由该系统可对不同植被类型（叶片）人为“再现”各种环境条件对 SIF-GPP 关系的影响，这不仅能够加快相关模型或方法的研究进展，还为模型和方法的严格验证提供了可靠保障。

**构建 SIF 机理性估算生态系统生产力方法：**建立 SIF 与 GPP 之间的机理性关系是充分发挥 SIF 在 GPP 估算中潜力的关键。尽管已有 SIF-GPP 机理性模型被提出，但卫星或地面台站获取的 SIF 数据（$SIF_{TOC}$）包含植物内部光系统 1 和 2 的共同贡献，但仅光系统 2 的 SIF 适用于机理性模型；卫星（或地面台站）观测只能在特定吸收波段（如 760 纳米）获取 SIF 数据，而 SIF 能量分布覆盖 640-850 纳米。此外，由于冠层散射和吸收，$SIF_{TOC}$ 主要反映冠层部分叶片发射的荧光，无法全面代表整个冠层的荧光信号。为了准确估算生态系统的光合速率，必须使用来自冠层所有叶片的荧光数据。

为解决上述问题，我们提出了将 $SIF_{TOC}$ 转化为满足机理性模型需求的 SIF 变量的方法：(1)利用“三合一”同步观测系统系统，确定了中国典型旱区作物在不同环境条件下光系统 1 和 2 在常见 SIF 观测波段的贡献比例；(2)提出了将单波段 SIF 转换为全波段 SIF 的方法。该方法无需依赖站点数据建立的统计关系，摆脱了对通量观测数据的依赖，适用于大尺度范围内基于 SIF 估算 GPP，开辟了新途径。尽管已有研究提出了通过反射率数据估算冠层散射和吸收对 SIF 信号传输影响（逃逸系数 $f_{esc}$），但其准确性缺乏严格评估。我们基于野外实测数据，系统分析了太阳-冠层-传感器几何关系、主要环境变量及冠层茂密度对 $f_{esc}$ 估算的影响，并深入探讨了现有方法的局限性，为有效利用 SIF 机理性方法估算 GPP 提供了重要的实验证据。在此基础上，我们还提出了一套基于激光雷达估算 $f_{esc}$ 的方法，能精确模拟 SIF 光子在传播过程中因散射和碰撞导致的能量损失。相比于反射率数据，激光雷达可以更加准确地量化叶片或枝条的聚集特性，树木主干和枝条和以及冠层下方植被对 SIF 信号传输的影响。

基于上述 SIF-GPP 机理性模型研究成果，我们进一步将 SIF 发射功能引入作物模型，使这些模型在模拟植物（农作物）光合速率的同时，也能同步模拟

对应的 SIF 发射信号。这一创新为更加机理性地将模型与 SIF 观测数据相结合开辟了新途径。

该创新点的科学价值和实用性在于：对 SIF-GPP 机理性模型中多个重要变量（参数）给出了计算方法或者实测数据，丰富了 SIF 研究的理论和实验手段；使 SIF-GPP 机理性模型向实际应用迈出了实质性步伐，为充分发挥 SIF 的潜力做出贡献。

**应用 SIF-GPP 机理性模型评估植被生产力**：我们还将发展出的 SIF-GPP 机理性模型应用于黄土高原大规模生态工程实施后植被恢复区域的生产力效益评估。研究发现，恢复的林地区域在光合能力和生产力水平上均低于原有林地，而恢复的草地区域则表现出较原有草地更高的生产力。总体上看，尽管生态工程显著提高了黄土高原的植被覆盖面积和生物量，但植被生产力（尤其是林地生产力）并未得到相应程度的恢复。

我们还将 SIF-GPP 机理性模型应用于农作物产量估算。传统的农作物估产通常需要大量高质量的输入数据，如施肥量和管理措施等，但这些数据往往难以获取或缺失。而 SIF 与农作物光合速率具有直接的机理性关联，通过农作物光合速率可以方便地推算出产量，从而大大降低了对输入数据的依赖。在大面积估产中，仅需卫星提供的 SIF 数据、气温和土壤湿度（均可免费获取），便可完成估算。我们已成功将这一方法用于估算朝鲜的农作物产量，相关研究成果发表于 Nature Food。

以上三方面科研成果有代表性文章 5 篇，均为最近 5 年发表，其中含遥感类顶级刊物 *Remote Sensing of Environment* 2 篇，Nature Food 1 篇，*ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing* 1 篇，总计他引 126 次数。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

针对创新点：SIF 机理性估算植被生产力所需要的关键参数逃逸系数（代表作 1， Comparison of total emitted solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) and top-of-canopy (TOC) SIF in estimating photosynthesis. Remote Sensing of Environment, 251, 112083.），国内外同行在高水平学术期刊有积极的评价。

Morozumi 等人在农林领域顶刊 **Agricultural and Forest Meteorology** 中指出：

Lu et al. (2020) 通过分析太阳-冠层-传感器几何关系，包括太阳天顶角的变化，解释了落叶林中观测到的冠层 SIF 及全冠层总 $SIF_{total}$（即冠层 SIF/fesc）的昼夜变化规律。原文内容: Lu et al. (2020) explained diurnal patterns of observed canopy SIF and $SIF_{total}$ (= canopy SIF/fescape) by sun-canopy-sensor geometry, including SZA variation, in a deciduous forest.

**代表性引文 1:** Morozumi, T., et al. (2023). Row orientation influences the diurnal cycle of solar-induced chlorophyll fluorescence emission from wheat canopy, as demonstrated by radiative transfer modeling. Agricultural and Forest Meteorology, 339, 109576.

Yang 等人在欧洲地理学会的期刊 **Biogeosciences** 中指出：Lu et al. (2020)发现，冠层 GPP 与冠层单波段总荧光 $F_{tot\ 760}$ 的相关性优于与冠层顶 $F_{760}$ 的相关性。而且不仅证实了冠层总发射 SIF 相比 TOC SIF 更能准确估算 GPP，还进一步强调了使用 NIRv 或 FCVI 时，fAPARcanopy 在估算 fesc 中的重要性。**引文内容:** Lu et al. (2020) found that canopy GPP was better correlated with F tot 760 than with F760；The study of Lu et al. (2020) not only confirms that canopy total emitted SIF is a better estimate of GPP than TOC SIF but also supports the importance of fAPARcanopy in estimating fesc when using either NIRv or FCVI.

**代表性引文 2:** Yang, P., et al. (2021). Unraveling the physical and physiological basis for the solar-induced chlorophyll fluorescence and photosynthesis relationship using continuous leaf and canopy measurements of a corn crop. Biogeosciences, 18(2), 441-465.

Kim 等人在环境遥感领域顶刊 **Remote Sensing of Environment** 表明: Lu et al. (2020)证明了全冠层发生的 SIF 与 GPP 具有更强的相关性，因为无法忽略阴影叶片的贡献。引文内容: Total emitted SIF could have stronger correlation with GPP than canopy escaping SIF because shade leaves could not be ignored (Lu et al. 2020).

**代表性引文 3:** Kim, J., et al. (2021). Solar-induced chlorophyll fluorescence is non-linearly related to canopy photosynthesis in a temperate evergreen needleleaf forest during the fall transition. Remote Sensing of Environment, 258, 112362.

针对创新点：SIF 机理性估算植被生产力的模型构建（代表作 2，Direct estimation of photosynthetic CO2 assimilation from solar-induced chlorophyll

fluorescence (SIF). Remote Sensing of Environment, 271, 112893），同行在顶级学术期刊发表了积极评价。

Beauclaire 等人在 **Remote Sensing of Environment** 中指出：Liu et al. (2024) 的研究表明了 SIF 与 GPP 关联的机理模型 MLR 在估算 GPP 方面具有较大潜力。引文内容: These findings should be considered in the light of previous studies, which already highlighted the promising capacities of the MLR model for predicting GPP at the canopy scale of an irrigated winter wheat crop (Liu et al., 2022b),

**代表性引文 4:** Beauclaire, Q., et al., (2024). Modeling gross primary production and transpiration from sun-induced chlorophyll fluorescence using a mechanistic light-response approach. Remote Sensing of Environment, 307, 114150.

四川大学学者 Liu 等人在农林顶刊 **Agricultural and Forest Meteorology** 指出：Liu et al. (2024) 构建了过程机理模型，在冬小麦实验室利用 SIF 实现了 GPP 的机理性估算。**引文内容:** Based on the MLR model, Liu et al. (2022) developed a process-based model (nMLR-SIF model) which mechanistically estimated GPP of winter wheat (Triticum aestivum, cv. Xinong 979) using SIF measurements at the canopy scale.

**代表性引文 5:** Liu, Y. et al., (2024). The applicability of a SIF-based mechanistic model for estimating GPP at the canopy scale. Agricultural and Forest Meteorology, 356, 110192.

针对创新点：SIF-GPP 机理性模型应用研究（代表作 4 和 5，黄土高原生态工程实施下基于日光诱导叶绿素荧光的植被恢复生产力效益评价, 植物生态学报, 46(10) 1289-1304; Building social resilience in North Korea can mitigate the impacts of climate change on food security. Nature Food, 3(7), 499–511.），国内外同行在重要学术期刊发表积极评价。

国内知名生态学者刘玲莉研究员和苏艳军研究员在《植物生态学报》发表文章，指出我们提出的 SIF-GPP 机理性估算方法能够准确评估生态工程的生态效益(薛金儒和吕肖良(2022)正是利用日光诱导叶绿素荧光这一技术手段精准估算了黄土高原植被总初级生产力的空间分布，…。)

**代表性引文 6:** 苏艳军等（2022）生态遥感新方法及其在自然保护地天空地

一体化监测中的应用, 植物生态学报 2022, 46(10): 1125-1128

Zhang et al. (2023)在重要学术期刊 **Land Degradation & Development** 发表评论指出，Shi et al. (2022)研究表明，尽管朝鲜获得了国际粮食援助，但粮食安全形势依然十分严峻，粮食生产难以实现自给自足，这将对人类福祉产生不利影响。**引文内容:** Unlike China's policy implementation, although the DPRK obtained international food aid, food security is still very serious and the food production is hard to be self-sufficient which will adversely affect human wellbeing (Shi et al., 2022).

**代表性引文 7：** Zhang, D. et al., (2023). Indirect impacts of future urban expansion on ecosystem services in the transnational area of China, North Korea, and Russia. Land Degradation & Development, 34(8), 2334-2348.

Zi et al. (2024)在国际知名期刊**Frontiers in Sustainable Food Systems**中指出：Shi et al. (2022)研究表明快速城市化和工业化以及对自然资源的不可持续开发与利用，导致生态环境恶化，并对人类社会产生了负面影响。**引文内容:** The rapid urbanization and industrialization in the last two centuries and the unsustainable exploitation and use of natural resources have led to the deterioration of the ecological environment and negatively affected human societies (Matricardi et al., 2020; Xie et al., 2020; Betts et al., 2022; Shi et al., 2022; Zhang et al., 2022).

**代表性引文 8：** Zi, C. et al., (2024). Strategies for building edible green infrastructure in traditional villages and insights into bio-districts: a case study of Dong villages in Huanggang, China. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 8,1305094.

**五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)**

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Comparison of total emitted solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) and top-of-canopy (TOC) SIF in estimating photosynthesis | Remote Sensing of Environment | Lu, Xiaoliang<br>Liu, Zhunqiao<br>Zhao, Feng<br>Tang, Jianwu | 2020年251卷 112083页 | 2020.9.28 | 唐剑武 | 吕肖良 | 吕肖良，刘准桥，赵峰,唐剑武 | 61 | SCI | 是 |
| 2 | Direct estimation of photosynthetic $CO_2$ assimilation from solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) | Remote Sensing of Environment | Liu, Zhunqiao<br>Zhao, Feng<br>Liu, Xinjie<br>Yu, Qiang<br>Wang, Yunfei<br>Peng, Xiongbiao<br>Cai, Huanjie<br>Lu, Xiaoliang | 2022年271卷 112893页 | 2022.1.17 | 吕肖良 | 刘准桥 | 刘准桥，赵峰，刘新杰，于强，王云霏，彭雄标，蔡焕杰，吕肖良 | 39 | SCI | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Simulation of solar-induced chlorophyll fluorescence in a heterogeneous forest using 3-D radiative transfer modelling and airborne LiDAR | ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing | Gao, Sicong Huete, Alfredo Kobayashi, Hideki Doody, Tanya M Liu, Weiwei Wang, Yakai Zhang, Yongguang Lu, Xiaoliang | 2022年191卷1-17页 | 2022.7.12 | 吕肖良 | 高思聪 | 高思聪，刘伟伟，王亚凯，张永光，吕肖良 | 11 | SCI | 是 |
| 4 | 黄土高原生态工程实施下基于日光诱导叶绿素荧光的植被恢复生产力效益评价 | 植物生态学报 | 薛金儒，吕肖良 | 2022年46卷10期1289-1304 | 2022.11.19 | 吕肖良 | 薛金儒 | 薛金儒，吕肖良 | 2 | 中国引文数据库 | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | Building social resilience in North Korea can mitigate the impacts of climate change on food security | Nature Food | Shi, Yu<br>Zhang, Yajie<br>Wu, Bingyan<br>Wang, Bin<br>Li, Linchao<br>Shi, Hao<br>Jin, Ning<br>Liu, De Li<br>Miao, Ruiqing<br>Lu, Xiaoliang<br>Geng, Qingling<br>Lu, Chaoqun<br>He, Liang<br>Fang, Nufang<br>Yue, Chao<br>He, Jianqiang<br>Feng, Hao<br>Pan, Shufen<br>Tian, Hanqin<br>Yu, Qiang | 2022 年 3 卷 7 期 499-511 页 | 2022.7.21 | 田汉勤，于强 | 施宇 | 施宇，张亚捷，毋冰艳，李林超，石浩，靳宁，吕肖良，耿庆玲，何亮，方怒放，岳超，何建强，冯浩，于强 | 13 | SCI | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 吕肖良 | 1 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 围绕日光诱导叶绿素荧光在生态系统碳水循环研究中的难题，指导研发“荧光-光合-光谱”同步观测系统奠定了本研究的试验基础；构建荧光遥感机理性估算植被生产力的机制与框架，创新性地将荧光辐射传输理论、光合电子传递原理和气体扩散理论耦合，解决荧光估算光合与蒸腾依赖站点观测的难题，为生态安全及智慧农业发展建设提供了理论借鉴与实践经验。 |
| 刘准桥 | 2 | 教授 | 西北农林科技大学 | 在项目第一完成人的指导下，设计研发了“荧光-光合-光谱”三合一同步观测系统，为研究日光诱导叶绿素荧光对不同气象环境要素下的植被光合与蒸腾响应特征提供了高精度的试验观测数据；结合光合荧光关联理论，分离光系统 II 荧光，解决了荧光遥感直接估算植被生产力的技术难题，进一步拓展了荧光遥感在生态系统碳水循环和智慧农业产量估算等方面的应用研究。 |
| 于强 | 3 | 教授 | 西北农林科技大学 | 指导并建议第一和第二完成人，围绕荧光遥感与植被生产力耦合关系为研究方向，通过分析荧光与光合及蒸腾的对环境及生物要素的共同响应特征，发展荧光与光合关联机制，并指导探索荧光遥感在在森林、农田等生态系统中的应用。 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学承担并完成了本项目的全部研究，为本成果相关的项目提供了强有力的人力，物力和经费保障。这些支持不仅确保项目团队成员能够积极探索荧光遥感与光合蒸腾同步观测方法及设备搭建、精准获取旱地农业多尺度荧光与碳水通量的观测数据，还能够高效统筹了项目组在设备研发、植被定量遥感及粮食作物模型构建等多层次的生态系统模拟与冠层研究工作，推动了相关任务的有序开展，为项目的顺利实施奠定了坚实基础 |

## 八、完成人合作关系情况

| 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 | 论文合著 | 吕肖良/1<br>刘准桥/2 | 2019 年 | 2020 年 | Comparison of total emitted solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) and top-of-canopy (TOC) SIF in estimating photosynthesis | 代表论文 1 |
| 2 | 论文合著 | 吕肖良/1<br>刘准桥/2<br>于强/3 | 2019 年 | 2022 年 | Direct estimation of photosynthetic CO2 assimilation from solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) | 代表论文 2 |
| 3 | 论文合著 | 吕肖良/1<br>于强/3 | 2019 年 | 2022 年 | Building social resilience in North Korea can mitigate the impacts of climate change on food security | 代表论文 5 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目完成人及工作单位包括：吕肖良（西北农林科技大学）、刘准桥（西北农林科技大学）、于强（西北农林科技大学）共 3 人。

项目第一完成人吕肖良研究员负责项目总体设计与研究方向确定，围绕日光诱导叶绿素荧光（SIF）在生态系统碳水循环研究中的关键科学问题，提出了“设备研发—机理构建—应用探索”的总体技术路线，指导研发“荧光-光合-光谱”同步观测系统，建立荧光遥感机理性估算植被生产力的理论与方法，并推动模型在生态安全与智慧农业中的应用。

第二完成人刘准桥教授在第一完成人指导下，主持“荧光-光合-光谱”三合一同步观测系统的设计与集成，实现了 SIF 信号、光合速率及关键环境变量的同步高精度观测；结合光合荧光关联理论，分离光系统 II 荧光，解决了 SIF 直接估算植被生产力的关键技术难题，并将相关方法应用于农作物产量估算和区域生态系统生产力评估。

第三完成人于强教授长期指导并参与 SIF 与光合及蒸腾耦合机制的研究，提出基于多环境与生物要素共同响应特征的分析思路，为机理模型构建提供理论支持，并推动荧光遥感方法在农田、森林等不同生态系统的应用验证与推广。

三位完成人在本项目中形成了紧密的合作关系：吕肖良负责总体布局与机理创新，刘准桥负责核心设备研发与关键技术攻关，于强负责机理深化与应用拓展。三人共同完成了从观测系统研发、SIF-GPP 机理模型构建到多类型生态系统生产力与产量评估的完整研究链条，成果发表在 Remote Sensing of Environment、Nature Food 等国际高水平期刊，相关研究为 SIF 在生态系统碳水循环监测和智慧农业中的应用提供了理论基础与技术支撑。

# 项目二十三

**一、项目名称：**家禽免疫营养机制解析与靶向调控

**二、提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目在国家自然科学基金、国家重点研发计划子课题等项目的支持下，以家禽免疫营养分子机制解析及免疫稳态的营养调控为方向，原创性挖掘了一批调控机体免疫状态的关键基因并解析了其分子机制，同时将基础研究与家禽饲养实践相结合，创制了诸如益生菌雾化、代际间营养调控等新的免疫稳态干预模式，是家禽免疫营养调控的基础研究和技术的重要创新，为提高肉鸡的机体稳态和环境适应性，减少抗生素的应用，走好家禽业的绿色发展之路奠定了理论基础。项目在 Nature Communications、Cell Reports 等国际知名期刊发表论文 70 余篇，获批国家发明专利 4 件。提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

**三、项目简介：**

1、主要研究内容

现代化养殖过程中，对肉鸡高效生产性状的密集遗传选择弱化了禽类的免疫系统，商业化、集约化的养殖方式增加了肉鸡多种疾病的发生。80%的畜禽疾病与环境和应激导致的免疫稳态失衡直接或间接相关，直接影响养殖效率。提高肉鸡的机体稳态和环境适应性，可减少肉鸡生产过程中环境应激和疫病的发生，减少抗生素的应用，走好绿色发展之路，更好地满足人民群众日益多元化的食物消费需求。

自 2016 年起，团队紧密围绕国家家禽产业重大需求，持续开展家禽免疫营养调控机制及应用研究。相关研究得到了国家重点研发项目-青年科学家项目、国家自然科学基金面上项目、陕西省杰出青年科学基金等 40 余项省部级基金的支持。项目团队入选陕西省科技创新团队（2021 年），主要完成人孙青竹荣获陕西省杰出青年科学基金、陕西省青年科技新星、仲英青年学者、西北农林科技大学“卓越新星”等荣誉；成员刘艳利获陕西省青年科技新星、奥特奇青年科学家挑战赛冠军，任陕西省饲料和饲料添加剂生产许可证审核专家、陕西省“四主体一联合”维生素营养工程技术研究中心副主任等。

本项目聚焦家禽免疫营养的分子机制解析及免疫稳态的营养调控，原创性发掘出一批调控机体免疫状态的关键基因并阐明其作用机制。团队将基础研究与养

殖实践紧密结合，创新提出了益生菌雾化、代际营养调控等新型免疫稳态干预策略，为家禽营养调控的基础理论创新与技术应用奠定了重要基础。

2、科学发现和价值

科学发现一、系统解析了肉鸡在不同生理状态下的免疫特征及肠-肺微生物组成。肺部和肠道作为与外界直接相通的空腔脏器，最易受到病原菌与环境的影响。团队通过构建不同应激和炎症模型，在描绘机体免疫状态变化的基础上，引入肠道和肺部微生物，绘制了肺部菌群定植规律图谱，高分辨率揭示了肠-肺微生物组—宿主免疫细胞—机体稳态的协同演化规律。

科学发现二、揭示了表观遗传调控在肺部炎症中的新机制，为家禽肺部炎症的干预提供了理论依据。团队研究以表观遗传修饰、重要转录因子、关键基因和细胞行为为核心，系统研究了肺部炎症发生发展过程中的表观遗传调控机制，逐步明确了明星分子间的影响及其互作关系。探索了染色质重塑、超强子、PRMT1、非编码 RNA、METTL3 等关键表观遗传调控分子或表观遗传修饰模式在上皮细胞炎症、巨噬细胞功能转换中的作用。研究成果明晰了表观遗传调控在炎症过程中的关键作用，也为免疫调控相关功能性添加剂的研发提供了新的作用靶点。

科学发现三、解析了肉鸡肠道炎症和脂质代谢调控中的机制，为家禽肠道炎症和代谢异常的干预提供新的靶点。团队在国际上首次成功构建了肠道类器官-固有层淋巴细胞-细菌多层次共培养系统，通过高通量筛选发现罗伊氏乳杆菌的代谢产物吲哚-3-甲醛能够促进 Lgr5+肠道干细胞再生，以保护炎症状态下肠道粘膜的完整性。ORM2 作为急性期反应蛋白家族成员，与肉鸡低生产性能密切相关；团队进一步明确了 ORM2 基因的缺失可显著加剧高脂饮食诱导的小鼠脂肪肝病理进程，并伴随着肠道局部炎症的异常累积。研究为肠道炎症的研究和干预建立了新的模型和靶点。

科学发现四、创新了肺部益生菌雾化的技术体系；为免疫调控型添加剂的应用提供了技术支撑。项目团队创新性地完成了禽肺乳酸菌的分离纯化，并开发了家禽益生菌雾化技术，有效提升了肉鸡的生产性能和抗应激能力。通过结合营养表观遗传调控策略，利用黄芪多糖改变父代种公鸡肠道中的免疫微环境，揭示了免疫营养调控的代际间分子机制；系统评估了黄芪多糖、维生素 D、丁酸盐等营养干预措施的免疫调节效应及其在改善肉鸡免疫性能方面的应用潜力。

3、同行引用和评价

围绕家禽免疫营养机制解析与靶向调控，团队发表相关论文 70 余篇，获批国内/国际发明专利 4 项，应邀在本学科领域有重要影响的国际/国内学术会议上作邀请报告 20 余次。其中 5 篇代表作发表在 Nature Communications（2021）、Journal of Allergy & Clinical Immunology（2017）、Cell Reports（2023）、Cell Death and Differentiation（2018）等免疫学、分子生物学领域的经典期刊。研究成果被 Nature、Gut、Nature Reviews Drug Discovery 等多个期刊引用并进行了亮点评价。肺部炎症的相关研究（科学发现二）获得欧洲呼吸学会颁发的“最佳摘要奖”和“青年科学家奖”；肠道炎症和肠道类器官相关的研究（科学发现三）入选高被引论文，被 F1000prime 收录并 2 星推荐，国际同行鉴定该研究为“有趣的假说”和“新发现”。

项目成果的创新和发现加深了对家禽免疫营养调控网络分子机制的认识，从炎症网络、表观遗传调控、宿主免疫-微生物等角度深入解析了家禽炎症发生发展过程中的调控机制，并开发了多种基于免疫稳态的营养调控模式，为免疫营养的理论和实践提供了新思路和新资源。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

该项目立足于家禽免疫营养表观遗传调控机制研究，期望通过发现调控机体炎症和免疫过程中的关键表观遗传分子，提升家禽免疫性能和环境适应性，减少机体免疫反应对蛋白质和能量的损耗，促进家禽营养素的高效利用。研究成果加深了对家禽免疫应激机制的认知，扩宽了功能性营养素和营养表观遗传调控的研究内容和研究方法，为家禽免疫功能和环境适应性的提升制定策略、具有免疫调控作用的饲料添加剂筛选提供了依据，为产业提质增效升级提供了重要保障。

1. 专利情况

依托本项目成果，形成发明专利 4 件（其它附件-专利）。1）一种提高家禽生产性能和抗环境应激的方法 申报号：202410911434（中国，已申报）2）一种植物乳杆菌及其应用 专利号：ZL201811283478.4（中国）3）A feed additive for improving fatty liver in laying hens and its application 专利号：PT/NC/O/2024/15130（尼日利亚）4）A feed for reducing the abdominal fat percentage of broilers

专利号：F/PT/NC/2024/12475（尼日利亚）。以上专利基于团队相关的基础研究，开发了具有缓解应激、提高生产性能、抗炎、减少脂质沉积的多种免疫营养干预模式。

2. 论文引用情况

申报团队专注于家禽免疫营养的机制研究和实践应用，创新性地发现了多个具有免疫调控家禽营养干预模式，特别是解析了多个表观遗传调控因子在肺部炎症及肠道炎症中的调控作用机制。通过营养学与生物学、医学等多学科交叉研究手段揭示了家禽免疫系统干预的新靶点和具有免疫调控作用的应用干预策略。5篇代表性论文发表后，研究成果不仅被多次引用，同时也被国内外知名网站、新媒体广泛报道。近年来，主要完成人多次在国内外重要影响的学术会议上交流相关成果。

在科学发现一、二中，团队在高分辨率揭示了肠-肺微生物组—宿主免疫细胞—机体稳态的协同演化的基础上，揭示了多种表观遗传修饰在肺部炎症中的作用机制（代表性论文 1、4、5），相关论文被多个期刊多次引用，分别从上皮细胞炎症（Cell）、染色质重塑（Nature）、组蛋白修饰（Chest）、巨噬细胞极化（Respiratory Research）、纤维化（European Respiratory Review）等多个角度证明了表观遗传修饰在炎症中的作用。Alan J.Knox 教授发表于 Chest（2018）的论文大篇幅的引用了我们的 3 项研究，认为 PRMT1 作为一种蛋白质精氨酸甲基转移酶，通过组蛋白甲基化修饰，为平滑肌细胞参与气道炎症和重塑过程提供了新的表观遗传修饰证据；主要完成人孙青竹获得欧洲呼吸学会颁发的“最佳摘要奖”和“青年科学家奖”。美国 Francisca Vazquez 教授 2025 年在 Nature 工作中引用了团队 Nature Communications（代表性论文 4）上发表的有关表观基因组技术体系的研究成果，肯定了我们在验证增强子-启动子环调控靶基因中的技术体系；哈佛医学院 Myles Brown 教授在其团队研究成果中也肯定了我们优化的 HiChiP 技术，认为其可以更加直观地鉴定增强子-启动子互作强度。

在科学发现三、四中，团队解析了关键免疫分子在肠道炎症、代谢炎症中的调控机制，构建了微生物-肠道炎症互作研究的新模型（代表性论文 2、3、5）。团队发表于 Cell Reports 的研究论文（代表性论文 2）被 Gut、Advanced Science、Protein & Cell、Trends in Endocrinology and Metabolism、Genes & Diseases 等多个领域内权威期刊引用，且得到国内外知名高校教授学者的亮点点评。Adrien

Guillot 教授于 2025 年 Enis Kostallari 教授在 Gut 发表评述、上海交通大学医学院的陆炎教授于 2025 年在 Protein & Cell 发表综述，均指出 ORM2 是能量稳态、炎症、免疫反应和氧化应激的关键调节因子，有望成为代谢炎症和肠道炎症的治疗靶点。团队在国际上首次成功构建了肠道类器官-固有层淋巴细胞-细菌多层次共培养系统，通过高通量筛选发现罗伊氏乳杆菌的代谢产物吲哚-3-甲醛能够促进 Lgr5+肠道干细胞的增殖进而维护肠黏膜屏障完整性。该成果发表在 Cell Death and Differentiation（代表性论文 3）上，并入选高被引论文，被 F1000prime 收录并 2 星推荐，认为研究中发现的吲哚-3-甲醛是治疗肠炎的潜在治疗药物；Nature Reviews Drug Discovery、ACS Nano、Signal Transduction and Targeted Therapy 等领域顶刊在探讨“益生菌抗炎机制”“肠屏障修复新策略”时，均明确指出该研究减轻肠道炎症、激活肠道干细胞增殖的机制。

3. 人才培养情况

在本项目支撑下，项目所在团队“动物营养与健康养殖科技创新团队”入选陕西省科技创新团队（2021 年），主要完成人孙青竹荣获陕西省杰出青年科学基金、陕西省青年科技新星、仲英青年学者、西北农林科技大学“卓越新星”；成员刘艳利获陕西省青年科技新星、奥特奇青年科学家挑战赛冠军等。项目也助力获批陕西省高等学校学科创新引智基地——陕西省畜禽生产力可持续发展创新引智基地的获批，孙青竹任基地副主任，承担了基地运行的日常工作。本项目成果支持了 20 余名研究生毕业，其中博士毕业生 4 名，学生中 10 人次获得研究生国家奖学金，1 人次获陕西省优秀毕业生，毕业生主要入职西北农林科技大学、宁夏大学及陕西、宁夏等政府涉农部门和事业单位工作。

**五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)**

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Constitutive high expression of protein arginine methyltransferase 1 in asthmatic airway smooth muscle cells is caused by reduced microRNA-19a expression and leads to enhanced remodeling | Journal of Allergy and Clinical Immunology | Sun Qingzhu , Liu Li ,WangHui, Mandal Jyotshna , Khan Petra, Hostettler Katrin E, Stolz Daiana, Tamm Michael, Molino Antonio, Lardinois Didier, Lu Shemin, Roth Michael | 2017 年 140 卷 510-524 页 | 2017 年 1 月 9 日 | Michael Roth | 孙青竹，刘莉 | 孙青竹，刘莉，吕社民 | 98 | Web of science 核心合集 | 是 |
| 2 | Mitigation of non-alcoholic steatohepatitis via recombinant Orosomucoid 2, an acute phase protein modulating the Erk1/2-PPARγ-Cd36 pathway | Cell Reports | Li Li, Haoming Sun, Jionghao Chen, Xiaojun Yang, Hua Han, Qingzhu Sun | 2023 年 42 卷 112697 页 | 2023 年 7 月 25 日 | 孙青竹 | 李丽 | 李丽，孙皓明，陈炯昊，杨小军，韩骅，孙青竹 | 19 | Web of science 核心合集 | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Lactobacillus accelerates ISCs regeneration to protect the integrity of intestinal mucosa through activation of STAT3 signaling pathway induced by LPLs secretion of IL-22 | Cell Death and Differentiation | Hou Qihang, Ye Lulu, Liu Haofei, Huang Lulu, Yang Qian, Turner J. R., Yu Qinghua | 2018 年 25 卷 1657-1670 页 | 2018 年 09 月 27 日 | 庾庆华 | 侯起航 | 侯起航 叶露露 刘浩飞 黄璐璐 杨倩 庾庆华 | 339 | Web of science 核心合集 | 是 |
| 4 | A predominant enhancer co-amplified with the SOX2 oncogene is necessary and sufficient for its expression in squamous cancer | Nature Communications | Liu Yanli, Wu Zhong, Zhou Jin, Ramadurai Dinesh K. A., Mortenson Katelyn L., Aguilera-Jimenez Estrella, Yan Yifei, Yang Xiaojun, Taylor, Alison M., Varley Katherine E., Gertz, Jason, Choi Peter S., Cherniack Andrew D., Chen Xingdong, Bass Adam J., Bailey Swneke D., | 2021 年 12 卷 7139 页 | 2021 年 12 月 8 日 | Bailey Swneke D.，张晓阳 | 刘艳利 | 刘艳利，吴忠，陈兴栋，周锦，严亦菲，杨小军，张晓阳 | 30 | Web of science 核心合集 | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Zhang Xiaoyang | | | | | | | | |
| 5 | Single Treatment of Vitamin D3 Ameliorates LPS-Induced Acute Lung Injury through Changing Lung Rodentibacter abundance | Molecular Nutrition & Food Research | Jin Ai, Zhao Yan, Yuan Ye, Ma Shulan, Chen Jian, Yang Xiaojun, Lu Shemin, Sun Qingzhu | 2022 年 66 卷 e210095 2 页 | 2021 年 12 月 11 日 | 孙青竹 | 靳艾 | 靳艾，赵艳，袁野，马舒蓝，陈剑，杨小军，吕社民，孙青竹 | 12 | Web of science 核心合集 | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 孙青竹 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学 | 项目主持人，设计项目整体方案，统筹规划项目的实施，对应“四、重要科学发现”中的发现点 1、2 和 3，支持本人贡献成立的证明材料在附件中的编号为“必备附件 1.代表性论文 1、2、4、5”。 |
| 李丽 | 2 | 助理研究员 | 西北农林科技大学 | 协助负责项目的执行，ORM2 在肠道炎症和营养代谢中的调控作用，对应“四、重要科学发现”中的发现点 2 和 3，支持本人贡献成立的证明材料在附件中的编号为“必备附件 1.代表性论文 2”。 |
| 侯起航 | 3 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 完成验证了罗伊氏乳杆菌对肠上皮细胞的保护作用的机制解析，构建了肠道炎症体外研究的类器官模型，对应“四、重要科学发现”中的发现点 3、4，支持本人贡献成立的证明材料在附件中的编号为“必备附件 1.代表性论文 3”。 |
| 刘艳利 | 4 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 完成染色质重塑、超强子在细胞增殖中的机制解析，揭示了叶酸、黄芪多糖等干预模式对肉鸡免疫系统的调控作用，对应“四、重要科学发现”中的发现点 2、3、4，支持本人贡献成立的证明材料在附件中的编号为“必备附件 1.代表性论文 4”。 |
| 刘莉 | 5 | 讲师 | 西安医学院 | 完成表观遗传调控在气道炎症中的机制解析，揭示了 PRMT1 和 microRNA-19a 的上皮细胞炎症的调控作用，对应“四、重要科学发现”中的发现点 2、3，支持本人贡献成立的证明材料在附件中的编号为“必备附件 1.代表性论文 1”。 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 设计项目整体方案，统筹规划项目的实施。 |
| 西安医学院 | 2 | 协助项目的实施。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 | 论文合著 | 李丽 2 | 2019.01.01 | 2023.10.12 | Mitigation of non-alcoholic steatohepatitis via recombinant Orosomucoid 2, an acute phase protein modulating the Erk1/2-PPARγ-Cd36 pathway | 必备附件—代表性论文专著—代表性论文 1 |
| 2 | 论文合著 | 刘艳利 4 | 2017.01.01 | 2022.06.13 | Folic Acid Reduced Triglycerides Deposition in Primary Chicken Hepatocytes | 附件-其他 |
| 3 | 论文合著 | 刘莉 5 | 2017.01.01 | 2021.08.17 | Constitutive high expression of protein arginine methyltransferase 1 in asthmatic airway smooth muscle cells is caused by reduced microRNA-19a expression and leads to enhanced remodeling | 必备附件—代表性论文专著—代表性论文 3 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目五名完成人孙青竹、李丽、侯起航、刘艳利、刘莉围绕研究任务形成了紧密且稳定的合作关系，具体关联如下：

项目第一完成人孙青竹，西北农林科技大学教授，动物营养与健康养殖科技创新团队核心成员，致力于家禽免疫与脂质代谢的表观遗传调控机制研究。提出表观遗传调控角度解析家禽脂质代谢、菌群与宿主交互作用过程中的分子机制，发现调控机体脂代谢和免疫过程中的关键表观遗传分子，是支持本项目实施的国家重点研发计划-青年科学家项目“肉鸡机体稳态和环境适应性的肠-肺微生物调控网络”、陕西省杰出青年科学基金项目“家禽免疫营养”、“仲英青年学者”项目等的主持人。

项目第二完成人李丽，动物营养与健康养殖科技创新团队核心成员，作为第一完成人的博士毕业生，留校工作。与第一完成人孙青竹合作发表代表性论文 2。

项目第三完成人侯起航，动物营养与健康养殖科技创新团队核心成员，与第一完成人孙青竹共同培养硕士研究生 1 名，与第四完成人刘艳利共同申请专利 1 项。

项目第四完成人刘艳利，动物营养与健康养殖科技创新团队核心成员，是第一完成人孙青竹主持重点研发-青年科学家项目“肉鸡机体稳态和环境适应性的肠-肺微生物调控网络”骨干人员；与第一完成人孙青竹共同培养硕士研究生 2 名，合作发表 SCI 论文 4 篇，申请专利 1 项。

项目第五完成刘莉，与第一完成人孙青竹共同师从西安交通大学吕社民教授，长期从事气道炎症的表观遗传调控机制研究，与第一完成人孙青竹共同发表 SCI 论文 5 篇，合作发表代表性论文 1。

# 项目二十四

**一、项目名称：**植物锰运输机制解析及其在作物镉积累阻控中的应用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**由西北农林科技大学王存教授领衔的研究团队，针对我国耕地镉污染严重威胁粮食安全和国民健康的重大战略需求，聚焦植物锰/镉吸收转运调控机制，取得了一系列原创性发现：成功发掘并鉴定了关键锰转运体的生物学功能，阐明锰/镉吸收转运的分子机制，创新性地提出“保锰阻镉”分子设计策略，颠覆了长期以来对植物矿质元素吸收的传统认知局限，突破了锰营养调控中效率与产量难以协同提升的技术瓶颈。在 Molecular Plant、PNAS 等国际权威期刊发表高水平论文 13 篇，授权发明专利 2 项，为作物安全生产提供了重要的理论支撑、基因资源和技术路径。

项目的成果创新总体达到国际领先水平。申报人王存教授遵纪守法，爱岗敬业，师德师风良好，学术诚信良好。对照省科技厅自然科学奖授奖条件，推荐该成果申报 2025 年度省科技厅自然科学奖。

提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、**项目简介：**

我国耕地重金属污染问题严峻，全国约 3 亿亩耕地受到污染威胁，点位超标率达 19.4%，其中镉污染尤为突出。每年造成约 1000 万吨粮食减产和超 200 亿元经济损失，更严重的是重金属通过食物链对人体健康构成严重威胁。针对这一重大国家战略需求，本项目基于植物中镉主要通过锰转运系统“搭便车”吸收的特点，成功鉴定了关键锰转运体的生物学功能，阐明了锰/镉吸收转运的分子机制，创新性地提出“保锰阻镉”分子设计策略，颠覆了长期以来对植物矿质元素吸收的传统认知局限，突破了锰营养调控中效率与产量难以协同提升的技术瓶颈，为作物安全生产提供了重要的理论支撑、基因资源和技术路径。

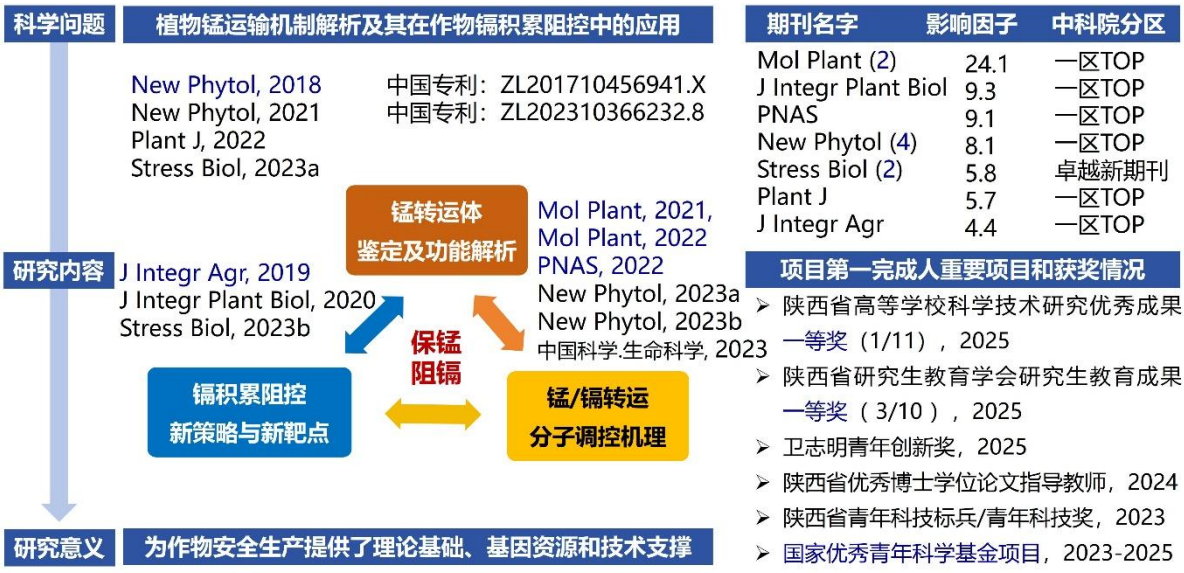
**学术成果一：鉴定并解析了关键锰转运体的生物学功能，颠覆了长期以来对锰吸收利用的传统认知局限，为作物锰营养效率的遗传改良提供了重要基因资源和理论依据。**研究发现顺式高尔基体定位的锰转运体 PML3 将锰从细胞质转运至高尔基体，激活甘露糖苷酶以促进蛋白质糖基化；反式高尔基体定位的锰转运体 NRAMP2 则将锰转运回细胞质供叶绿体等细胞器再利用，二者协同构成高尔基体“输入-利用-输出”的锰循环利用核心机制，并确立了锰利用过程中优先保障

高尔基体功能的策略；揭示了锰转运体 NRAMP6 在介导低锰胁迫下根-茎间长距离信号传导中的核心作用，其功能缺失会阻碍锰从根向茎的转运，确保植物对锰营养的有效获取与分配；发掘了小麦中的关键锰转运体 TaNRAMP3 并解析了其生物学功能，过量表达 *TaNRAMP3* 可以显著提高植株对低锰胁迫的耐受性。

**学术成果二：阐明了植物锰/镉吸收转运的分子调控机制，揭示了植物通过“油门/刹车”双向调控维持锰稳态的新模式，为作物安全生产提供了全新思路。**研究发现钙信号是植物感知锰/镉胁迫的核心枢纽，低锰、高锰及镉胁迫均能触发植物体内特异性钙信号。在低锰胁迫下，钙信号通过钙感受器 CPK21/23 磷酸化修饰质膜定位的锰转运体 NRAMP1，显著提高其转运活性，促进植物对锰的吸收利用；在高锰胁迫下，钙信号通过“加油/刹车”式调控机制，由两类钙感受器 CPK4/5/6/11 和 CBL2/3-CIPK3/9/26 差异磷酸化修饰液泡膜定位的锰转运体 MTP8，以实现植物锰稳态的精细调控；揭示了钙信号通过 CBL1/9-CIPK23 复合体磷酸化修饰锰转运体 NRAMP1，介导 NRAMP1 内吞进而减少对锰的吸收；阐明了钙信号通过CPK21/23磷酸化修饰锰/镉转运体NRAMP6，有效抑制NRAMP6的转运活性，进而降低植物对镉的吸收。

**学术成果三：创新性地构建了作物镉积累阻控的新策略与新靶点，突破了传统锰营养调控中效率与产量难以协同提升的技术瓶颈，为农田重金属镉污染治理提供了切实可行的解决方案。**本项目提出靶向 *OsNRAMP5* 基因调控区精准编辑的“部分功能保留”策略，通过精细调控基因表达水平而非完全敲除（传统完全敲除导致锰吸收降低 70-80%、株高降低 15-20%、结实率下降 10-15%），成功解决了传统基因编辑导致的锰营养缺陷与产量损失难题，在保持锰吸收和产量不变的同时，实现籽粒镉含量降低 35-50%；解析了 *OsHMA3* 启动子关键变异驱动籼粳稻镉积累差异的遗传基础，发现籼稻普遍携带低表达/高镉等位基因，通过导入粳稻高表达/低镉等位基因成功实现籼稻背景籽粒镉显著降低 36.9%且不影响农艺性状。

综上所述，本项目围绕植物锰运输机制解析及其在作物镉积累阻控中的应用，在 Molecular Plant、PNAS 等重要期刊发表研究论文 13 篇，其中 2 论文篇入选 ESI1%高被引论文，4 篇论文获 Highlight/Spotlight/Commentary 专题点评，授权发明专利 2 项。第一完成人主持国家自然科学基金委优秀青年科学基金项目、面上项目和国家科技重大专项子课题等，获陕西省高等学校科学技术研究优秀成果一等奖、卫志明青年科技创新奖、陕西省青年科技标兵/青年科技奖、陕西省研究生教育学会研究生教育成果一等奖等荣誉（图 1）。兼职陕西省植物学会副理事长、中国植物生理与分子生物学学会理事/植物修复专委会副主任委员，Journal of Integrative Plant Biology 编委，共同主办或承办全国植物逆境生物学研讨会等国内会议 5 次，受邀在国际植物钙信号大会、全国植物生物学大会等国内外重要学术会议作报告 30 余次。




1.学术成果概况图

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

本项目在植物锰运输机制解析及其在作物镉积累阻控研究领域取得了突破性进展，研究成果具有重要的理论创新价值和实际应用意义。相关研究成果受到国内外同行专家的高度关注与广泛认可，**并获陕西省高等学校科学技术研究优秀成果一等奖、卫志明青年科技创新奖、陕西省青年科技标兵/青年科技奖和陕西省优秀博士学位论文等**（附件 1-4）。具体同行评价如下：

**1、植物锰转运体鉴定及生物学功能解析。**关于细胞内锰再分配机制（如

NRAMP2 在反式高尔基体网络调控胞质锰库的关键作用），德国慕尼黑大学的 Anja Schneider 教授认为，NRAMP2 作为细胞内锰再分配的关键转运体，定位于反式高尔基体膜上，通过调控胞质锰库的动态平衡，为细胞器提供锰源，进而参与抵抗氧化胁迫和维持光合作用（Eisenhut, Molecular Plant, 2018，附件 1-3-5）。

**2、植物锰/镉吸收转运的分子调控机制。**关于细胞内锰稳态调控机制方面，Anja Schneider 教授同期为我们发表在 Molecular Plant 的论文撰写了 Spotlight 文章，认为研究成果推进了研究人员对 $Ca^{2+}$信号如何调控液泡锰含量以应对环境中锰浓度变化的理解（Schneider, Molecular Plant, 2022, 附件 1-3-3）；德国明斯特大学的 Jörg Kudla 教授认为研究成果对认识 $Ca^{2+}$信号在植物某些细胞和细胞类型的时空特异性提供了案例（Dong et al, Journal of Integrative Plant Biology, 2022, 附件 1-3-4）；日本冈山大学的马建锋教授大篇幅（300 多字）介绍并肯定了我们在植物锰元素信号转导领域的研究成果（Huang et al., Annual Review of Plant Biology, 2024, 附件 1-3-1）；华中农业大学的李春龙教授认为我们的研究揭示了液泡锰转运蛋白 MTP8 存在一种依赖钙离子的连续磷酸化介导的精细激活/失活调节机制，以维持锰稳态（Li et al., Journal of Integrative Plant Biology, 2025, 附件 1-3-2）。

**3、作物镉积累阻控的新策略与新靶点。**针对项目提出的创新性“部分功能保留”策略（如修饰 *OsNRAMP5* 启动子），德国波茨坦-戈尔姆市马克斯·普朗克分子植物生理学研究所 Alisdair Fernie 教授认为，研究成果通过 CRISPR/Cas9 技术对 *OsNRAMP5* 基因调控区进行突变，可在不影响锰元素积累和谷物产量的前提下，降低 OsNRAMP5 蛋白的翻译水平，从而减少稻米中镉的积累，这一发现为培育既保持锰营养又不积累镉的水稻品种提供了可行方案（Yu, Plant Biotechnology Journal, 2024, 附件 1-3-6）；Alisdair Fernie 教授还肯定了我们的研究成果，指出 *OsNRAMP5* 可以降低水稻对镉的吸收，此外 *OsHMA3* 启动子等位基因的差异导致籼稻和粳稻籽粒中镉的分布存在差异。研究成果通过标记辅助育种技术，将粳稻品种中 *OsHMA3* 基因的强等位基因导入籼稻品种以替代其弱等位基因，结果发现谷物中镉的积累显著减少了 30%-40%，且未对产量造成负面影响（Yu, Plant Biotechnology Journal, 2024, 附件 1-3-6）。

日本冈山大学马建锋教授肯定了项目在镉阻控方面的遗传基础研究，认为研究成果鉴定了调控镉含量变异的数量性状位点（QTL）及相关基因，将为通过标记辅助回交育种选育低镉积累水稻品种提供重要材料。目前，研究者已利用低镉与高镉品种构建的群体定位到多个镉积累相关 QTL，并成功应用于育种实践。例如，当将粳稻品种中高表达水平的 *OsHMA3* 等位基因导入籼稻品种后，稻米镉含量可降低 40-50%。*OsNRAMP5* 功能缺失导致水稻籽粒镉积累减少 90%以上，然而敲除该基因通常会导致生长抑制和产量损失，特别是在锰亏缺条件下（Yu, Nature Food, 2022, 附件 1-3-7）；此外，马建锋教授认为该研究采用了多种转基因技术手段调控镉转运蛋白，例如通过敲除 *OsNRAMP5*、*OsHMA2* 和 *OsCd1* 等基因，可显著降低稻米中的镉含量（Huang et al., Annual Review of Plant Biology, 2024, 附件 1-3-1）；湖南杂交水稻研究中心袁定阳研究员认为我们的研究成果表明无论是通过 CRISPR/Cas9 靶向敲除 *OsNRAMP5* 基因的第 1、7、9 外显子，还是利用甲基磺酸乙酯诱变改变其第 7 外显子，均能大幅降低水稻籽粒、根系以及茎叶中的镉积累，且未显著降低产量（Lv et al., Nature Communications, 2020, 附件 1-3-8）。

五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $Ca^{2+}$-dependent phosphorylation of NRAMP1 by CPK21 and CPK23 facilitates manganese uptake and homeostasis in Arabidopsis | Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America | Fu Dali，Zhang Zhenqian，Wallrad Lukas，Wang Zhangqing，Ju Chuanfeng，Huang Panpan，Wang Lei，Peiter Edgar，Kudla Jöerg，Wang Cun | 2022 年 119 卷 e2204574119 | 2022-10-04 | Kudla Jöerg, Wang Cun | Fu Dali， Zhang Zhenqian， Wallrad Lukas | 傅大利，张振乾，王章庆，琚传凤，黄盼盼，王磊，王存 | 22 | SCI-Expanded | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | $Ca^{2+}$-dependent successive phosphorylation of vacuolar transporter MTP8 by CBL2/3-CIPK3/9/26 and CPK5 is critical for manganese homeostasis in Arabidopsis | Molecular Plant | Ju Chuanfeng，Zhang Zhenqian，Deng Jinping，Miao Cuicui，Wang Zhangqing，Wallrad Lukas，Javed Laiba，Fu Dali，Zhang Ting，Kudla Jörg，Gong Zhizhong，Wang Cun | 2022 年 15 卷 419-437 页 | 2022-03-07 | Wang Cun | Ju Chuanfeng，Zhang Zhenqian，Deng Jinping | 琚传凤，张振乾，邓金萍，苗翠翠，王章庆，傅大利，张庭，巩志忠，王存 | 34 | SCI-Expanded | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Tonoplast-associated calcium signaling regulates manganese homeostasis in Arabidopsis | Molecular Plant | Zhang Zhenqian，Fu Dali， Sun Zhihui，Miao Cuicui, Ju Chuanfeng，Wang Zhangqing，Xie Dixiang，Ma Liang，Gong Zhizhong，Wang Cun | 2021 年 14 卷 805-809 页 | 2021-05-03 | Wang Cun | Zhang Zhenqian, Fu Dali, Sun Zhihui | 张振乾，傅大利，孙志慧，琚传凤，苗翠翠，王章庆，谢地香，马亮，巩志忠，王存 | 33 | SCI-Expanded | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | NRAMP2, a trans-Golgi network localized manganese transporter, is required for Arabidopsis root growth under manganese | New Phytologist | Gao Huiling, Xie Wenxiang, Yang Changhong, Xu Jingyi, Li Jingjun, Wang Hua, Chen Xi, Huang Chaofeng | 2018 年 217 卷 179-193 页 | 2018-01-01 | Huang Chaofeng | Gao Huiling | 高会玲，谢文香，杨常洪，许静宜，李景俊，王华，陈熙，黄朝锋 | 100 | SCI-Expanded | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | Reduction in cadmium accumulation in japonica rice grains by CRISPR/Cas9-mediated editing of OsNRAMP5 | Journal of Integrative Agriculture | Yang Changhong, Zhang Yang, Huang Chaofeng | 2019年,18卷，688–697页 | 2019-03-01 | Huang Chaofeng | Yang Changhong, Zhang Yang | 杨常洪，张阳，黄朝锋 | 54 | SCI-Expanded | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 王存 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学 | 第 1 完成人王存教授全面负责项目组织实施。挖掘了关键锰转运体，揭示了植物锰/镉吸收转运的分子机制，相关研究成果发表在 Molecular Plant、PNAS、New Phytologist 等期刊。此外，作为第一完成人授权小麦相关发明专利一项。 |
| 黄朝锋 | 2 | 研究员 | 中国科学院分子植物科学卓越创新中心/南京农业大学 | 第 2 完成人黄朝锋研究员鉴定并阐明了关键锰转运体的功能分工，为理解植物锰营养高效利用的分子机制奠定了研究基础，开发并验证了基于关键基因如 *OsNRAMP5* 和 *OsHMA3* 等调控区编辑的创新策略，成功实现籼稻籽粒镉含量的显著降低且保障产量稳定，为解决镉污染问题提供了新途径。 |
| 琚传凤 | 3 | 青年教授 | 西北农林科技大学 | 第 3 完成人琚传凤，属于第 1 完成人王存教授课题组的青年教授（博士研究生和博士后均师从王存教授），共同开展项目的研究工作，协助第 1 完成人完成植物吸收转运锰的分子机制的解析，合作撰写发表论文等。 |
| 张振乾 | 4 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 第 4 完成人张振乾，属于第 1 完成人王存教授课题组的副教授（博士后师从王存教授），共同开展项目的研究工作，协助第 1 完成人完成植物吸收转运锰的分子机制的解析，合作撰写发表论文等。 |
| 高会玲 | 5 | 副教授 | 西北农林科技大学/南京农业大学 | 第 5 完成人高会玲，属于第 1 完成人王存教授课题组的副教授（博士研究生师从第二完成人黄朝锋研究员，博士后师从王存教授），共同开展项目的研究工作，协助第 1、2 完成人完成锰转运体 NRAMP2 的功能鉴定和机制解析，合作撰写发表论文等。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 傅大利 | 6 | 无 | 香港大学/<br>西北农林科技大学 | 第 6 完成人傅大利，属于第 1 完成人王存教授的博士研究生，共同开展项目的研究工作，协助第 1 完成人发现了高锰胁迫和低锰胁迫均能产生钙信号，完成了钙信号调控植物锰吸收转运的分子机制解析，合作撰写发表论文等。 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学作为项目主要完成单位，全面主导了项目的设计、任务分工、具体实施与成果鉴定工作。学校在项目实施过程中发挥了核心支撑作用，具体体现在以下三个方面：（1）人才支撑：项目核心团队由 2 名教授、1 名青年教授、2 名副教授和 1 名博士后组成，充分体现了学校在相关领域的人才储备与培养成效。（2）资金保障与管理：项目全过程得到了多项国家自然科学基金的资助；学校在资金筹措、高效使用和规范管理方面发挥了关键作用，确保了经费精准投入并保障项目顺利推进。（3）平台与技术支撑：西北农林科技大学的校级大型仪器设备共享平台和学院的技术平台为该成果的实施提供了必要的技术支持，保障了项目的顺利完成。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 论文合著 | 黄朝锋（2） | 2017 | 至今 | 发表研究论文 | 代表作 4、5 |
| 2 | 论文合著 | 琚传凤（3） | 2017 | 至今 | 发表研究论文 | 代表作 2 |
| 3 | 论文合著 | 张振乾（4） | 2017 | 至今 | 发表研究论文 | 代表作 3 |
| 4 | 论文合著 | 高会玲（5） | 2017 | 至今 | 发表研究论文 | 代表作 4 |
| 5 | 论文合著 | 傅大利（6） | 2017 | 至今 | 发表研究论文 | 代表作 1 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

第 1 完成人王存教授与第 2 完成人黄朝锋研究员为合作关系，第 5 完成人高会玲属于第 1 完成人王存教授课题组的副教授（博士研究生师从第 2 完成人黄朝锋研究员，博士后师从王存教授）。第 2 完成人黄朝锋研究员参与完成科学发现的第 1 和 3 项内容，鉴定并阐明了关键锰转运体的功能分工，为理解植物锰营养高效利用的分子机制奠定了研究基础，开发并验证了基于关键基因如 OsNRAMP5 和 OsHMA3 等调控区编辑的创新策略，成功实现籼稻籽粒镉含量的显著降低且保障产量稳定，为解决镉污染问题提供了新途径，合作指导学生撰写研究论文，发明专利等。

第 3 完成人琚传凤博士，属于第 1 完成人王存教授课题组的青年教授（博士研究生和博士后均师从王存教授）。共同开展项目的研究工作，协助第 1 完成人完成了科学发现的第 2 项内容，发现钙感受器 CBL/CIPK 和 CPK 差异磷酸化修饰锰转运体 MTP8 拮抗调控植物锰稳态的分子机制，合作撰写发表论文等。

第 4 完成人张振乾博士，属于第 1 完成人王存教授课题组的副教授（博士后师从王存教授），共同开展项目的研究工作，协助第 1 完成人完成了科学发现的第 2 项内容，发现高锰胁迫能够激发植物钙信号，并阐明了钙依赖激酶 CPK 磷酸化修饰锰转运体 MTP8 激活其转运活性，进一步提高植物高锰耐受性的分子机制，合作撰写发表论文等。

第 5 完成人高会玲博士，属于第 1 完成人王存教授课题组的副教授（博士研究生师从第二完成人黄朝锋研究员，博士后师从王存教授），在第 1 和 2 完成人的指导下，共同开展项目的研究工作，完成了科学发现的第 1 项内容，完成锰转运蛋白 NRAMP2 的功能鉴定和机制解析，合作撰写发表论文，发明专利等。

第 6 完成人傅大利博士，属于第 1 完成人王存教授的博士研究生，共同开展项目的研究工作，协助第 1 完成人完成了科学发现的第 2 项内容，发现高锰胁迫和低锰胁迫均能产生钙信号，钙依赖蛋白激酶 CPK21/23 通过磷酸化修饰质膜定位锰转运体 NRAMP1 激活其转运活性，促进植物在低锰胁迫下吸收锰的分子机制，合作撰写发表论文等。

# 项目二十五

**一、项目名称：**世界山羊驯化改良的优异基因挖掘及数据库建设

**二、提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**项目以山羊为研究对象，聚焦“驯化-改良-适应”这一国际前沿科学问题，综合运用古 DNA、群体基因组学、功能基因组学等前沿技术，首次系统阐明了山羊驯化的遗传学基础，解析了绒毛性状关键基因的进化机制，揭示了基因渗入在山羊驯化改良中的重要作用，构建了国际上最大规模的反刍动物功能与进化基因组学数据库，为山羊的育种改良提供了重要资源。研究成果发表于 Science Advances、Molecular Biology and Evolution、Journal of Genetics and Genomics 等国际顶级期刊，被 Science 正刊采访报道，并被 Cell、Nature Communications 等广泛引用，推动了国际山羊基因组学研究进入新阶段，为陕西省乃至全国山羊种业振兴与遗传改良提供了重要理论依据和技术支撑。项目面向国家种业振兴与特色畜牧业发展战略需求，围绕动物遗传育种学科前沿，在科学研究、人才培养和成果产出等方面均取得了重要进展，为推动我国家畜遗传育种研究作出突出贡献。主要完成人长期坚守教学科研一线，治学严谨，勇于创新，已培养多名优秀研究生。提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

**三、项目简介：**

山羊是全球最重要的家畜之一，为人类提供肉、奶、绒、皮等多种产品。然而，长期以来，山羊从野生到驯化并进一步选育形成优良地方品种的遗传机制尚不清楚，严重制约了山羊种业振兴与遗传改良进程。在国家自然科学基金（31822052、32002140）等项目支持下，本项目综合运用古基因组、群体遗传学与功能基因组学等前沿技术，首次系统解析了山羊驯化和选育改良的遗传学基础，取得了以下重要科学发现：

（一）首次阐明山羊驯化的遗传学基础，揭示驯化关键基因的演化历程。

（1）利用全球范围内的现代、古代及野生山羊全基因组数据，首次系统描绘了山羊如何在新月沃地被驯化，并在随后的几千年内迁徙传播进入中国，并进一步形成不同地方品种的演化历史；

（2）首次证实了源于西高加索北山羊渗入的 MUC6 基因的特定单倍型可以提高山羊胃肠道抗寄生虫能力。该发现不仅强调了野生遗传资源的重要性同时为山羊抗病育种提供了新的功能标记。

（3）结合多组学分析、基因编辑小鼠模型的构建以及多种行为学实验验证，揭示了在山羊驯化过程中，RRM1 I241V 基因变异对山羊行为产生重大影响。这是首次将驯服行为和具体的基因突变关联起来，对研究动物的行为改变具有启示意义，或对人类精神疾病的治疗有借鉴意义。

（二）首次解析绒毛性状关键基因的演化机制，为精准育种提供分子标记。

（1）首次发现绒山羊特有的 FGF5 下游 504bp 缺失变异，通过功能实验证实该缺失为增强子变异，显著促进羊绒产量；

（2）系统鉴定了与毛色、体型、绒毛性状及高原适应相关的选择区域，明确了 ASIP、KITLG、FGF5、TBX15、CDK2 等关键候选基因。

（三）首次揭示基因渗入在山羊驯化改良中的重要作用，为理解家畜适应性进化提供新范式。

（1）首次发现来自西高加索北山羊的 MUC6 基因古老渗入事件，通过功能实验证实该渗入显著提高了山羊对胃肠道病原体的抗性，揭示了基因渗入对于家畜驯化的重要作用；

（2）系统鉴定了 112 个来自野生近缘种的渗入片段，明确了这些渗入事件对山羊环境适应与生产性能改良的重要贡献。

（四）构建反刍动物功能与进化基因组学数据库（RGD），为山羊遗传育种研究提供重要公共平台。

（1）构建了国际上最大规模的反刍动物功能与进化基因组学数据库（RGD），通过多算法多层次的组学数据全面解析和注释了反刍动物功能元件，为家畜育种位点筛选提供了重要资源。数据库中包含了 110 个物种的基因组共线性比对；利用 1053 个表观数据拿到的近一百万个顺式调控元件；1936 个转录组数据分析得到的基因表达数据；以及收集到的 155174 条表型数据。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

本项目的研究成果先后在 Science Advances、Molecular Biology and Evolution、Nucleic Acids Research、Scientific Reports 等知名期刊发表多篇高水平论文，获得国内外同行广泛引用与认可。代表性成果被 Science 采访报道，并被 Cell、Nature Communications、Microbiome 等国际权威期刊引用，充分展示了本项目在山羊驯化起源、遗传育种、古基因组学及基因组变异数据库建设等领域的重要影响力。

代表性论文 1、2 对山羊驯化的遗传机制进行了系统解析，分别于 2020 年和 2023 年发表于 Science Advances 期刊。其中，论文 1 被选为 Science Advances 当期封面论文。Science 杂志正刊以“Ancient hanky panky gave modern goats their iron stomachs”为题，对该发现进行了采访和报道。该研究首次系统解析了山羊驯化基因的起源及演化历史。通过全球家山羊及野生近缘种基因组分析，发现高加索野生近缘种的古代基因渗入事件，并在 MUC6 基因中检测到强选择信号，对家山羊适应性及抗病能力至关重要。该研究为家山羊驯化的遗传机制提供了重要证据，史密斯研究所国家自然历史博物馆考古学家 MelindaZeder 在 Science 杂志正刊发表评价说：“这项发现强调了在驯化初期与野生种群进行杂交的重要性，并为我们提供了一个关于被驯化的农作物和家畜如何提高适应能力，从而广泛传播的范例。”中国科学院古脊椎动物与古人类研究所付巧妹教授团队在 Cell 上发表的论文 “Bronze Age cheese reveals human-Lactobacillus interactions over evolutionary history”中，引用了我们的山羊线粒体基因组，反映了本研究所提供的宝贵资源能被用于更广泛研究领域中。中国农业大学李孟华教授团队在发表于 Nature Communications 的文章“Telomere-to-telomere genome assembly of a male goat reveals variants associated with cashmere traits”和发表于 Genome Biology 的文章“Structural variant landscapes reveal convergent signatures of evolution in sheep and goats”中都对本文进行了引用，肯定了本文在山羊遗传结构和受选择基因鉴定方面的重要贡献。

代表性论文 3 首次利用古代山羊基因组揭示中国山羊的起源与演化历史，以封面论文的形式发表于 Molecular Biology and Evolution 期刊。研究发现，中国山羊起源于新月沃地东部，古今基因组遗传连续性高，而现代南北群体分化明显，与气候差异密切相关。我们识别出与毛发及绒毛性状相关的 FGF5 和 EDA2R 基因在南北方群体中高度分化，揭示了中国山羊的遗传适应机制。该研究被

Genome Biology、 Current Biology 等期刊引用，为山羊基因组学研究提供重要基础。中国农业大学李孟华教授团队在 Genome Biology 文章“Structural variant landscapes reveal convergent signatures of evolution in sheep and goats”中利用本项目提供的古基因组数据研究了绵羊和山羊演化过程中的趋同结构变异。中国农科院北京畜牧兽医研究所蒋琳研究员团队在 Current Biology 文章“A single-nucleotide mutation within the TBX3 enhancer increased body size in Chinese horses”中引用了本项目的古基因组处理方法。

代表性论文 4 构建了国际上最大规模的反刍动物功能与进化基因组学数据库（RGD v2.0），通过多算法多层次的组学数据全面解析和注释了反刍动物功能元件，为家畜育种位点筛选提供了重要资源。本研究论文于 2022 年发表于 Nucleic Acids Research 期刊。同年该期刊文章“The 2022 Nucleic Acids Research database issue and the online molecular biology database collection”进一步肯定了本项目在分子生物学数据库更新与改进中的贡献。2024 年 Nucleic Acids Research 期刊发表的论文“COG database update 2024”引用并肯定了本研究在构建直系同源基因簇方面的贡献。

代表性论文 5 首次对 8 个山羊群体进行全基因组测序，发现与产绒、抗病、体型及高原适应相关的选择信号区域。研究揭示不同群体在环境适应性方面的遗传基础，包括毛色、体型、绒毛等重要性状。论文于 2016 年发表于 Scientific Reports ，在 Web of Science 核心合集中的被引频次为 108 次。Molecular Biology and Evolution 期刊上发表的文章“The Genome Landscape of Tibetan Sheep Reveals Adaptive Introgression from Argali and the History of Early Human Settlements on the Qinghai–Tibetan Plateau”引用了我们在藏绵羊群体中检测到的 SOCS2 基因受选择结果。 Science China Life Sciences 期刊发表的综述文章“Genetic advancements and future directions in ruminant livestock breeding: from reference genomes to multiomics innovations”也引用了我们的受选择基因检测结果。

五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | The origin of domestication genes in goats | Science Advances | Zhuqing Zheng, Xihong Wang, Ming Li, Yunjia Li, Zhirui Yang, Xiaolong Wang, Xiangyu Pan, Mian Gong, Yu Zhang, Yingwei Guo, Yu Wang, Jing Liu, Yudong Cai, Qiuming Chen, Moses Okpeku, Licia Colli, Dawei Cai, Kun Wang, Shisheng Huang, Tad S. Sonstegard, Ali Esmailizadeh, Wenguang Zhang, Tingting Zhang, Yangbin Xu, Naiyi Xu, Yi Yang, Jianlin Han, Lei Chen, Joséphine Lesur, Kevin G. Daly, Daniel G. Bradley, Rasmus Heller, Guojie Zhang, Wen Wang, Yulin Chen, Yu Jiang | 2020年6卷21期eaaz5216页 | 2020年03月20日 | 姜雨、陈玉林 | 郑竹清、王喜宏、李鸣、李运嘉、杨祉睿、王小龙 | Zhuqing Zheng, Xihong Wang, Ming Li, Yunjia Li, Zhirui Yang, Xiaolong Wang, Xiangyu Pan, Mian Gong, Yu Zhang, Yingwei Guo, Yu Wang, Jing Liu, Yudong Cai, Qiuming Chen, Wen Wang, Yulin Chen, Yu Jiang | 81 | 《科学引文索引》扩展版（SCI-Expanded）数据库 | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | A missense mutation in RRM1 contributes to animal tameness | Science Advances | Mingle Dou, Ming Li, Zhuqing Zheng, Qiuming Chen, Yongji Wu, Jinxin Wang, Huiquan Shan, Fei Wang, Xuelei Dai, Yunjia Li, Zhirui Yang, Guanghui Tan, Funong Luo, Lei Chen, Yun Stone Shi, Jiang Wei Wu, Xiong-Jian Luo, Hojjat Asadollahpour Nanaei, Zhannur Niyazbekova, Guojie Zhang, Wen Wang, Shanting Zhao, Wenxin Zheng, Xihong Wang, Yu Jiang | 2023年9卷25期eadf4068页 | 2023年07月23日 | 姜雨、王喜宏、郑文新、赵善廷 | 窦鸣乐、李鸣、郑竹清 | Mingle Dou, Ming Li, Zhuqing Zheng, Qiuming Chen, Yunjia Li, Zhirui Yang, Guanghui Tan, Funong Luo, Lei Chen, Yun Stone Shi, Jiang Wei Wu, Xiong-Jian Luo, Guojie Zhang, Wen Wang, Shanting Zhao, Wenxin Zheng, Xihong Wang, Yu Jiang | 3 | 《科学引文索引》扩展版（SCI-Expanded）数据库 | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Ancient Genomes Reveal the Evolutionary History and Origin of Cashmere-Producing Goats in China | Molecular Biology and Evolution | Yudong Cai, Weiwei Fu, Dawei Cai, Rasmus Heller, Zhuqing Zheng, Jia Wen, Hui Li, Xiaolong Wang, Akil Alshawi, Zhouyong Sun, Siqi Zhu, Juan Wang, Miaomiao Yang, Songmei Hu, Yan Li, Zhirui Yang, Mian Gong, Yunan Hou, Tianming Lan, Kui Wu, Yulin Chen, Yu Jiang, Xihong Wang | 2020年37卷7期2099-2109页 | 2020年04月23日 | 王喜宏、姜雨 | 蔡钰东、付玮玮、蔡大伟 | Yudong Cai, Weiwei Fu, Dawei Cai, Zhuqing Zheng, Jia Wen, Hui Li, Xiaolong Wang, Siqi Zhu, Juan Wang, Miaomiao Yang, Songmei Hu, Yan Li, Zhirui Yang, Mian Gong, Yunan Hou, Tianming Lan, Kui Wu, Yulin Chen, Yu Jiang, Xihong Wang | 33 | 《科学引文索引》扩展版（SCI-Expanded）数据库 | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | RGD v2.0: a major update of the ruminant functional and evolutionary genomics database | Nucleic Acids Research | Weiwei Fu, Rui Wang, Hojjat Asadollahpour Nanaei, Jinxin Wang, Dexiang Hu, Yu Jiang | 2021年50卷D1期D1091-D1099页 | 2021年10月13日 | 姜雨 | 付玮玮、王睿 | Weiwei Fu, Rui Wang, Jinxin Wang, Dexiang Hu, Yu Jiang | 29 | 《科学引文索引》扩展版（SCI-Expanded）数据库 | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | Whole-genome sequencing of eight goat populations for the detection of selection signatures underlying production and adaptive traits | Scientific Reports | Xiaolong Wang, Jing Liu, Guangxian Zhou, Jiazhong Guo, Hailong Yan, Yiyuan Niu, Yan Li, Chao Yuan, Rongqing Geng, Xianyong Lan, Xiaopeng An, Xingui Tian, Huangkai Zhou, Jiuzhou Song, Yu Jiang, Yulin Chen | 2016年6卷1期38932页 | 2016年12月12日 | 陈玉林 | 王小龙、刘靖 | Xiaolong Wang, Jing Liu, Guangxian Zhou, Jiazhong Guo, Hailong Yan, Yiyuan Niu, Yan Li, Chao Yuan, Rongqing Geng, Xianyong Lan, Xiaopeng An, Xingui Tian, Huangkai Zhou, Jiuzhou Song, Yu Jiang, Yulin Chen | 89 | 《科学引文索引》扩展版（SCI-Expanded）数据库 | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 王喜宏 | 1 | 无/副教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 本成果的总设计和牵头人，代表性论文 1、2、3 的主要作者，代领团队解析了山羊驯化和改良的遗传基础，发现了基因渗入在山羊选育中发挥的重要作用，揭示了 MUC6、RRM1、FGF5 等基因在驯化改良中的演化历史。 |
| 陈玉林 | 2 | 教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 代表性论文 5 的通讯作者，进行了山羊的受选择分析，鉴定了一系列与山羊重要性状相关的受选择基因，包括毛色相关基因（ASIP、KITLG、HTT、GNA11、OSTM1）、体型相关基因（TBX15、DGCR8、CDC25A、RDH16）等。 |
| 姜雨 | 3 | 院长/教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 代表性论文 1、2、3、4 的主要作者，构建了国际上最大规模的反刍动物功能与进化基因组学数据库，通过多算法多层次的组学数据全面解析和注释了反刍动物功能元件，为家畜育种位点筛选提供了重要资源。 |
| 蔡钰东 | 4 | 无/助理研究员 | 陕西省动物研究所/西北农林科技大学 | 代表性论文 3 的第一作者，分析了中国古代山羊基因组，揭示了山羊如何从新月沃地被驯化，然后扩散到中国并适应南北方不同气候的历史过程和遗传机制。揭示了 FGF5 和 EDA2R 基因对于山羊适应北方寒冷环境的重要作用。 |
| 郑文新 | 5 | 副校长/研究员 | 新疆农业大学/新疆维吾尔自治区畜牧科学院 | 代表性论文 4 的共同通讯作者，开展了野山羊与家山羊的杂交育种，获得了上千只规模的国内最大的 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 野山羊与家山羊杂交的群体，并利用这一独特的杂交群体验证了STIM1-RRM1 基因座与山羊驯服行为之间的关系。 |
| 王小龙 | 6 | 处长/教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 代表性论文 5 的第一作者，鉴定出一系列与山羊重要经济性状相关的基因，包括绒用特性相关基因（LHX2、FGF9、WNT2）以及缺氧适应相关基因（CDK2、SOCS2、NOXA1、ENPEP）等。 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学是本成果的第一完成单位，承担了项目的整体组织实施和绝大部分研究工作，也是 5 篇代表性论文的第一完成单位。 |
| 新疆维吾尔自治区畜牧科学院 | 2 | 承担了代表性论文 4 的部分工作，构建了野山羊与家山羊的杂交群体，并利用该杂交群体验证了 STIM1-RRM1 基因座与山羊驯服行为之间的关系。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 论文合著 | 王喜宏(1)、姜雨(3)、蔡钰东(4)、王小龙(6) | 2018-01-01 | 2022-05-20 | The origin of domestication genes in goats | 代表性论文 1 |
| 2 | 论文合著 | 王喜宏(1)、姜雨(3)、郑文新(5)、王小龙(6) | 2018-01-01 | 2020-06-01 | A missense mutation in RRM1 contributes to animal tameness | 代表性论文 2 |
| 3 | 论文合著 | 王喜宏(1)、陈玉林(2)、姜雨(3)、蔡钰东(4)、王小龙(6) | 2018-01-01 | 2020-07-01 | Ancient Genomes Reveal the Evolutionary History and Origin of Cashmere-Producing Goats in China | 代表性论文 3 |
| 4 | 论文合著 | 姜雨(3) | 2018-01-01 | 2021-11-01 | RGD v2.0: a major update of the ruminant functional and evolutionary genomics database | 代表性论文 4 |
| 5 | 论文合著 | 陈玉林(2)、姜雨(3)、王小龙(6) | 2013-06-30 | 2016-12-30 | Whole-genome sequencing of eight goat populations for the detection of selection signatures underlying production and adaptive traits | 代表性论文 5 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目第一完成人王喜宏负责人教授是本项目总设计和牵头人，是代表性论文 1、2、3 的第一或通讯作者。完成人陈玉林和王小龙分别是代表性论文 5 的通讯作者和第一作者，与第一完成人王喜宏共同就职于西北农林科技大学动物科技学院。完成人姜雨以通讯作者参与完成了代表性论文 1、2、3、4，与第一完成人王喜宏隶属于同一课题组。完成人蔡钰东是代表性论文 3 的第一作者，是完成人姜雨的硕博连读研究生，于 2016 年入学，2022 年博士毕业。

# 项目二十六

**一、项目名称：**黄土高原柳枝稷的水分生态适应性研究

**二、提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**项目以引种 C4 禾草柳枝稷为研究材料，揭示了模拟干旱胁迫条件下柳枝稷的种子发芽特性和苗期生长特征，阐明了不同水分、立地、种植条件下柳枝稷光合生理生态特征，首次量化了土壤自然干旱过程中柳枝稷苗期非水力和水力信号出现时的土壤含水量阈值，明确了黄土丘陵区不同种植行距下柳枝稷土壤水分利用、水分利用效率与根冠生物量累积动态，首次报道了柳枝稷与典型豆科栽培草种和乡土草种间关系及其随水肥供应条件的变化。研究结果为这一优良禾草的栽培利用和大范围种植提供了系统的生物学依据，也为其他优良引进草种的适应性评价和乡土草种的驯化研究提供了参考和借鉴。相关研究结果被国内外学者在重要学术期刊文章上作了重要性和创新性的评价。

项目主要完成人一直奋斗在教学和科研的第一线，思想政治素质好，理想信念坚定，具有优良的工作作风和求真务实的奋斗精神。主要完成人热爱高等教育事业，恪守教师的职业道德规范，为人师表，已培养毕业 10 名博士，26 名硕士。

提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

**三、项目简介：**

项目围绕黄土高原半干旱区人工草地建设中优良栽培草种缺乏的问题，特别是具有区域适应性和生产适用性的优良禾本科草种，以引进禾草柳枝稷为研究对象，系统开展了从种子萌发、苗期生长，到不同立地条件下生物量积累与分配、生理生态适应性，以及不同水肥条件下与栽培草和乡土草种间关系的研究，揭示了柳枝稷在不同生长阶段的水分生态适应特性，为该优良禾草的栽培利用与大范围种植提供了系统的生物学依据，同时也为其他引进草种的适应性评价及乡土草种的驯化研究提供了参考和借鉴。项目取得了一系列原创性成果，具体包括：

1. 明确了模拟干旱胁迫下柳枝稷种子的发芽特性与苗期生长特征，提出雨季播种更有利于柳枝稷建植；确认其种子萌发存在深度休眠现象，导致成苗困难，这一特性既限制其自然扩张，也降低了生物入侵风险。

2. 系统揭示了不同水分、立地、种植条件及叶位下柳枝稷的光合生理生态

特征，指出柳枝稷与谷子具有相似的水分适应策略，表现为高光合、低蒸腾和高水分利用效率，抗旱类型属于高水势延迟脱水型；其强大根系与灵敏的气孔调节能力形成“开源节流”的水分利用策略，是形成高生物量和强抗旱性的生物学基础。

3. 首次量化了在土壤自然干旱过程中，柳枝稷（引种禾草）、谷子（栽培禾草）与白羊草（乡土禾草）在苗期非水力和水力信号出现时的土壤含水量阈值及其差异，为制定苗期栽培与管理措施、提高柳枝稷成苗率提供了理论依据。

4. 明确了黄土丘陵区不同行距种植下柳枝稷的光合生理特性、土壤水分利用特征、水分利用效率及根冠生物量积累动态，为选择适宜栽培行距与密度提供了生物学依据。

5. 首次报道了柳枝稷与半干旱区典型豆科栽培草种（沙打旺和红豆草）及优良乡土草种（白羊草和达乌里胡枝子）的种间关系，及其随水肥供应条件的变化，表明柳枝稷具有一定竞争能力但自然扩展风险较低，为其大规模种植与利用提供了依据，也为评估全球气候变化（特别是氮沉降增加和降雨格局改变）下柳枝稷的潜在扩展风险提供了实验支持。

6. 培养博士毕业生 10 名、硕士毕业生 26 名。

2024 年由科学出版社出版学术专著《黄土高原柳枝稷的生产力与生态适应性》，该著作获得 2023 年度国家科学技术学术出版基金资助；在《European Journal of Agronomy》，《Weed Biology and Management》，《Environmental Management》,《Journal of Integrative Agriculture》,《Photosynthetica》,《Journal of Arid Land》等国际学术期刊上发表 SCI 收录论文 13 篇，在《生态学报》,《应用生态学报》，《草业学报》，《应用与环境生物学报》等国家核心期刊上发表学术论文 20 篇。

截止 2025 年 6 月 3 日，通过检索 SCIE 数据库，发表的 13 篇 SCIE 数据库收录论文共被引 199 次，其中他引 169 次（单篇最高 46 次），自引 30 次；在 CCD 数据库中共被引 85 次，其中他引 67 次（单篇最高 24 次），自引 18 次；发表的 13 篇英文论文共计被引 284 次，其中他引 236 次（单篇最高 70 次）。发表的 20 篇中文期刊论文中 19 篇中文论文被 CCD 数据库收录，共被引用 629 次，其中他引 581 次（单篇最高 104 次），自引 48 次。发表的中英文学术论文

总共被引 913 次，其中他引 817 次（具体见附件检索证明）。

项目执行期间，完成人徐炳成受邀分别于 2009 年在美国田纳西大学和 2010 年在北京中国科学院植物研究所举行的 China-US Workshop “Biotechnology of Bioenergy Plants”（中美生物能源植物的生物技术研讨会）做大会报告，题目分别为“Seedling biomass partition and water use efficiency of switchgrass and milkvetch under monoculture and mixture in response to various water availabilities（变化水分条件下柳枝稷与沙打旺苗期生物量分配与水分利用效率）”和“Eco-adaptation and Biomass Production of Switchgrass in the Semiarid Region on Loess Plateau（黄土高原半干旱区柳枝稷的生态适应性与生物量）”。2010 年与 2014 年举行的 Yangling International Agri-Science Forum（杨凌国际农业科学论坛）分别做“Biomass Production of Switchgrass (Panicum Virgatum L.) Intercropping with Legumes in the Semiarid Region on the Loess Plateau(黄土高原半干旱地区柳枝稷与豆科牧草间作下的生物量)”和“Prospects and Challenges of Developing Bioenergy Crop on Loess Plateau and Switchgrass Eco-adaptation（黄土高原发展生物能源植物的潜力和挑战以及柳枝稷生态适应性）”的学术报告。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

**1.** 该项目在国际上首次报道了柳枝稷在黄土高原半干旱地区与栽培豆科草本植物沙打旺间作下的生产力、水分利用及种间关系的研究成果，相关论文也是国内较早发表于《European Journal of Agronomy》关于草本植物间作研究的代表性成果（代表性论文 1）。自 2008 年发表以来，该论文已被包括《European Journal of Agronomy》，《Biofuels Bioproducts & Biorefining》、《Global Change Biology Bioenergy》、《Scientific Reports》、《Industrial Crops and Products》、《Field Crops Research》、《Plant and Soil》、《Biological Agriculture & Horticulture》、《Frontiers in Sustainable Food Systems》、《Journal of Integrative Agriculture》、《Agricultural Water Management》、《Journal of Cleaner Production》、《Scientia Horticulturae》《Biomass & Bioenergy》、《New Phytologist》、《Applied Soil Ecology》、《Science China-Life Sciences》、《Crop Science》、《Soil Biology & Biochemistry》等国际专业期刊引用 46 次，并被《应用生态学报》、《中国生态农业学报》、《草

业科学》等国内期刊，以及兰州大学、中国农业大学、华南农业大学、甘肃农业大学、四川农业大学、山西农业大学等高校的硕士和博士学位论文他引 24 次。英国 James Hutton Institute 生态学方向负责人 Rob W. Brooker 直接引用了本研究关于间作有助于提高水分和资源利用效率的结论；中国农业大学李子忠教授课题组的研究支持了本研究中提出的植物间作优势与年份及间作比例相关，以及间作中存在遮阴影响的观点；兰州大学南志标院士课题组认可了本研究中柳枝稷与沙打旺间作可提高产量以及水分利用效率的结论；美国爱荷华州立大学荣誉教授 David Parrish（美国能源部最早倡议将柳枝稷作为能源植物进行研究的倡议者）课题组的综述支持了本研究的另一结论，即豆科植物在间作当年可为禾本科植物提供庇护，并在后期通过提供氮素营养以维持系统生产力。

**2.** 该项目在苗期柳枝稷适应性方面的研究亮点突出，尤其是柳枝稷与乡土草种白羊草和栽培作物谷子的苗期根冠生长特征与水分利用差异。在自然干旱条件下三种禾草苗期根系水力信号和非水力信号出现的土壤水分阈值及其差异研究方面（代表性论文 2），提出了“柳枝稷苗期根信号水分阈值宽度最小”等重要结论获得广泛关注，先后被《Crop Science》、《Environmental and Experimental Botany》、《Restoration Ecology》、《Planta》、《Acta Oecologica》、《Renewable & Sustainable Energy Reviews》、《Global Change Biology Bioenergy》、《Agricultural Water Management》、《Biomass & Bioenergy》、《Ecosphere》、《Bioenergy Research》、《Annals of Botany》等期刊他引 41 次，被兰州大学、长安大学、山东农业大学、中南林业科技大学、福建农林大学、西北农林科技大学等高校的研究生学位论文他引 14 次。国际上引用的来自美国、希腊、匈牙利、波兰、南非、爱尔兰、西班牙、土耳其、伊朗、意大利、澳大利亚、苏丹、突尼斯、德国、印度、奥地利、卢森堡、以色列等科研机构和高校。其中美国俄克拉荷马州立大学植物与土壤科学系 Tyson Ochsner 教授关于柳枝稷水分利用效率的研究结果与本研究接近，并认为要显著低于 ALAMANAC 模型结果；印度维马纳大学 Shaik Sha Valli Khan Patan 教授在综述谷粟类抗旱性时，支持我们关于光合作用受到物种、基因型、生长阶段尤其是 $C_4$ 光合亚型影响的结论；日本东海大学和鸟取大学得出同样结论，即水分亏缺条件下谷子苗期水分利用效率不会出现显著降低；匈牙利伊斯特万·洛兰大学 Andrea Mojzes 博士认可我们得出的白羊草处于引进种

和栽培种中间的气孔敏感性；阿根廷国家科学技术委员会 Paula Marchelli 博士认同我们关于苗期根系生物量分配比例增加有利于提高后期干旱胁迫下植物抗旱性的结论。

**3.** 项目从生物量形成与累积过程的角度，阐释了柳枝稷对黄土高原半干旱地区的适应性，是国内最早系统开展该方向的研究（代表性论文 3）。相关成果发表于《生态学报》，并被兰州大学、东北师范大学、南京农业大学、宁夏大学、中国农业大学、吉林农业大学、四川农业大学、华中农业大学、北京化工大学、中国科学院大学、北京林业大学、海南大学、等 17 家科教单位的硕士、博士学位论文，以及《自然科学进展》、《生态学报》、《草地学报》、《草业科学》、《中国农业大学学报》等学术期刊累计他引 83 次。

**4.** 该项目在柳枝稷成苗阶段的根冠生长与水分利用方面产生了显著影响，其中，围绕引进种和乡土种差异及其生物学机制展开的研究（代表性论文 4），不仅被《中国科学：D 辑：地球科学》、《生态学报》、《草业科学》、《中国农业大学学报》、《草业学报》、《草地学报》、《植物资源与环境学报》等 48 家学术期刊引用，还被兰州大学、北京林业大学、南京农业大学、宁夏大学、中国农业大学、吉林农业大学、四川农业大学、华中农业大学、东北农业大学、北京化工大学、中国科学院大学、东北师范大学、中国地质大学（北京）、海南大学等高校，以及山东农业大学、福建农林大学、甘肃农业大学、西安理工大学、安徽大学、河北大学、贵州师范大学、沈阳农业大学、云南农业大学、内蒙古农业大学、山西师范大学、青海大学、新疆师范大学、中国林业科学研究院、内蒙古师范大学等高校（科研机构）的 38 家科教单位的硕士、博士学位论文引用，累计他引 104 次。

**5.** 该项目在柳枝稷与不同草种的种间关系及其对水肥供应条件的响应方面取得了重要进展。其中，有关柳枝稷与乡土草种白羊草在不同水氮条件下的种间关系结论（代表性论文 5），已被《Global Ecology and Conservation》、《Atmosphere》、《Microorganisms》 等期刊以及西北农林科技大学博士学位论文合计他引 4 次。

五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过 8 条，其中，代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部，按重要程度排序)

| 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 | 知识产权是否归国内所有 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Switchgrass and milkvetch intercropping under 2:1 row-replacement in semiarid region, northwest China: Aboveground biomass and water use efficiency | European Journal of Agronomy | Bingcheng Xu, Fengmin Li, Lun Shan | 2008, 28:485-492 | 2008 年 4 月 1 日 | 徐炳成 | 徐炳成 | 徐炳成,山仑,李凤民 | 70 | SCIE+CCD | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Gas exchange, biomass partition, and water relations of three grass seedlings under water stress | Weed Biology and Management | Bingcheng Xu, Fengmin Li, Lun Shan, Yongqing Ma, Nobumasa Ichizen, Jin Huang | 2006, 6:79-88 | 2006 年 5 月 17 日 | Nobumasa Ichizen（一前宣正） | 徐炳成 | 徐炳成,李凤民,山仑,马永清,黄瑾 | 55 | SCIE+CCD | 是 |
| 3 | 黄土丘陵半干旱区引种禾草柳枝稷的生物量与水分利用效率 | 生态学报 | 徐炳成,山仑,李凤民 | 2005,25(9):2206-2213 | 2005 年 9 月 1 日 | 徐炳成 | 徐炳成 | 徐炳成,山仑,李凤民 | 83 | CCD | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 柳枝稷和白羊草苗期水分利用与根冠比的比较 | 草业学报 | 徐炳成,山仑,黄瑾,黄占斌 | 2003, 12(4):73-77. | 2003 年 8 月 1 日 | 徐炳成 | 徐炳成 | 徐炳成,山仑,黄瑾,黄占斌 | 104 | CCD | 是 |
| 5 | Effects of water and nitrogen on growth and relative competitive ability of introduced versus native C4 grass species in the semi-arid Loess Plateau of China | Journal of Arid Land | Wenli Ding, Weizhou Xu, Zhijuan Gao, Bingcheng Xu | 2021, 13(7):730-743 | 2021 年 7 月 15 日 | 徐炳成 | 丁文利 | 丁文利,徐伟洲,高志娟,徐炳成 | 4 | SCIE+CCD | 是 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 徐炳成 | 1 | 研究员 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 为本项目第 1 完成人，为代表性论文 1、2、3、4 的第一作者，代表性论文 1、3、4、5 的通讯作者。在本项目的 5 个主要发现点中，明确了柳枝稷种子萌发和成苗特征，阐明了柳枝稷的光合生理生态适应性特征，诠释了柳枝稷生物量累积过程，揭示了柳枝稷与豆科栽培饲草以及两种典型乡土草种的种间关系及其随水肥供应条件的变化规律。 |
| 山仑 | 2 | 研究员 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 为本项目第 2 完成人，是本项目的设计、指导与直接参与者，是代表性论文 1、2、3、4 的合作作者。在项目 5 个主要发现点中，提出了针对引进种水分生态适应性的研究思路，揭示了柳枝稷抗旱生理生态适应性特征和类型，明确了柳枝稷种植栽培的生物学依据。 |
| 李凤民 | 3 | 教授 | 南京农业大学/南京农业大学 | 为本项目第 3 完成人，是代表性论文 1，2 和 3 的合作作者。对发现点 1,3 和 4 的学术贡献：明确了柳枝稷成苗阶段的水力和非水力信号出现时的土壤含水量阈值，阐明了柳枝稷在黄土丘陵区不同立地条件下生物量累积过程与差异，揭示了柳枝稷与沙打旺间作下的种间关系与水分利用特征。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 徐伟洲 | 4 | 副院长/教授 | 榆林学院/榆林学院 | 为本项目第 4 完成人，是代表性论文 5 合作作者。对发现点 5 的学术贡献：明确了不同水分和氮肥供应条件下柳枝稷与白羊草的根冠生长与水肥利用及其种间关系。 |
| 黄瑾 | 5 | 高级实验师 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 为本项目第 5 完成人，是代表性论文 2、4 的合作作者。对发现点 1 的学术贡献：量化了柳枝稷与谷子和白羊草苗期在土壤自然干旱过程中非水力和水力信号出现时的土壤含水量；对发现点 2 的学术贡献：明确了柳枝稷和白羊草苗期水分利用与根冠比差异；揭示了干旱及复水条件下氮素对分蘖期柳枝稷光合生理特性的影响；对发现点 3 的学术贡献：阐明了不同种植行距下柳枝稷生产力与水分利用效率及其内在联系。 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 作为本项目的第 1 完成单位，本单位培养了完成人徐炳成（排名 1）、徐伟洲（排名 4）和黄瑾（排名 5），并为完成人山仑（排名 2）和李凤民（排名 3）提供了研究条件支持。项目系统开展了柳枝稷从种子萌发、苗期生长与水分利用，到田间生物量累积过程与动态的研究，并对其在不同水肥供应条件下与栽培草种及乡土草种的种间关系进行了深入探讨。本单位对所有 5 个发现点均作出了创新性贡献：明确了柳枝稷 |

| | | |
|---|---|---|
| | | 种子萌发和成苗特性及其与不同作物、草本和灌木的差异；阐明了柳枝稷在不同生长阶段、叶位及立地条件下的生理生态适应性特征；诠释了不同立地条件和种植行距下柳枝稷生物量累积过程及其水分利用特性；揭示了柳枝稷与两种豆科栽培饲草（沙打旺和红豆草）及两种典型乡土草种（白羊草和达乌里胡枝子）的种间关系，以及该关系随水肥供应条件变化的规律。 |
| 南京农业大学 | 2 | 作为本项目的第 2 完成单位，本单位对完成人李凤民（排名 3）在中国科学院“百人计划”期间及后续研究提供了研究时间与研究条件支持。本单位对发现点 1、3 和 4 作出了学术贡献，主要包括：明确了柳枝稷成苗阶段的水力与非水力信号出现时的土壤含水量阈值；阐明了柳枝稷在黄土丘陵区不同立地条件下的生物量累积过程及其差异；揭示了柳枝稷与沙打旺在间作模式中的种间关系及水分利用特征。 |
| 榆林学院 | 3 | 作为本项目的第 3 完成单位，本单位在徐伟洲（排名 4）自西北农林科技大学博士毕业后入职榆林学院期间，为其提供了研究时间与研究条件支持。本单位主要对发现点 5 作出了创新性贡献：通过对比研究，明确了不同水分和氮素供应条件下柳枝稷与白羊草的生长、水肥利用及种间关系，为揭示柳枝稷在降雨格局变化与氮沉降增加等气候变化背景下的潜在生态风险提供了理论依据。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 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 | 论文合著 | 徐炳成/1 | 2000 | 2024 | 论文 | 代表性论文 1-5 |
| 2 | 论文合著 | 山　仑/2 | 2000 | 2024 | 论文 | 代表性论文 1,2,3,4 |
| 3 | 论文合著 | 李凤民/3 | 2004 | 2024 | 论文 | 代表性论文 1,2,3 |
| 4 | 论文合著 | 徐伟洲/4 | 2008 | 2024 | 论文 | 代表性论文 5 |
| 5 | 论文合著 | 黄　瑾/5 | 2000 | 2024 | 论文 | 代表性论文 2,4 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

项目完成人徐炳成/1、山仑/2 和黄瑾/5 就职于西北农林科技大学水土保持科学与工程学院，李凤民/3 先后就职于兰州大学生命科学学院和南京农业大学农学院，徐伟洲/4 就职于榆林学院现代农学院，已进行了长期合作。

完成人山仑/2 是完成人徐炳成/1 的博士导师，完成人徐炳成/1 自 1999 年开展博士学位论文研究，研究方向是旱区草本植物生理生态适应性，其中柳枝稷是主要研究材料之一。完成人黄瑾/5 自 1993 年参加工作开始，主要从事饲草植物的引种和栽培研究。自 2000 年开始，完成人徐炳成/1、山仑/2 和黄瑾/5 开始重点关注柳枝稷从种子萌发、苗期生长和建植后的生态适应性等研究。2004 年始，完成人李凤民/3 入选中国科学院“百人计划”，到水土保持研究所从事旱区植物生理生态领域的研究，其中柳枝稷是主要研究对象之一，并一直与徐炳成/1、山仑/2 和黄瑾/5 保持紧密的学术合作关系。2008 年 8 月，完成人徐伟洲/4 师从徐炳成/1 攻读硕士和博士学位，主要从事乡土草种与引进草种的抗旱适应性对比研究，2014 年 7 月于西北农林科技大学获得博士学位后，以专任教师身份入职榆林学院生命科学学院，学院于 2023 年 7 月更名为现代农学院，也一直与徐炳成/1、山仑/2、李凤民/3 和黄瑾/5 保持紧密的学术合作关系。

作为该项目的正式研究成果，代表性论文 1、2、3、4、5 发表于 2003 年到 2022 年间。其中，完成人徐炳成/1 为代表性论文 1-5 的第一作者，代表性论文 1、3、4、5 的通讯作者；山仑/2 是代表性论文 1、2、3、4 的合作作者；李凤民/3 是代表性论文 1、2、3 的合作作者；徐伟洲/4 为代表性论文 5 的合作作者；黄瑾/5 是代表性论文 2、4 的合作作者。

依托本项目成果，2024 年由科学出版社出版学术专著《黄土高原柳枝稷的生产力与生态适应性》，该著作获得 2023 年度国家科学技术学术出版基金资助；徐炳成/1 获 2024 年度 CNKI 前 5%高被引科学家，先后担任植物生理与分子生物学学会植物生物质与生物能源专业委员会委员（2019-2024）和植物碳汇与生物质专业委员会委员（2024-2029），任《Frontiers in Plant Science》植物生理栏目副主编，《山西农业大学学报》（自然科学版）和《grasses》编委。

# 项目二十七

**一、项目名称：**樱桃高抗逆砧木、优良品种选育及配套矮化密植栽培技术研究与推广

**二、提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目聚焦于我国樱桃生产中优良品种和高效管理技术匮乏以及根癌病危害严重所导致的产量和优果率偏低等突出问题。经过多年系统研究，项目团队揭示了樱桃根癌病的发生机理，成功选育并审定出抗根癌性强的樱桃砧木品种“CDR-2”，并在生产中示范推广“马哈利 CDR-2”和“CDR-1”两种抗根癌病砧木，栽植三年内根癌病发病率为零。与此同时，培育出优良樱桃新品种“玫蕾”和“奥杰”，并对引进的国外品种进行了品质评价与适应性鉴定，筛选出适合我国栽培的优良品种。在栽培技术方面，项目研究了樱桃砧木与主栽品种的嫁接亲和性，亲和力超过 98%，提出了“品种/CDR-1”和“品种/CDR-2/CDR-1”等 4 套优良砧穗组合。同时，深入研究了甜樱桃不同树形与冠层结构的光截获效率和光合作用规律，明确了不同树形对果实品质和产量的影响。在抗逆机理方面，项目团队探究了樱桃的抗旱与抗寒机制，并持续 10 年在延安、榆林等干旱寒冷地区开展区试，将樱桃的适栽区向北拓展 500 余公里。该成果显著提高了樱桃的经济效益和生态效益，对推动樱桃产业发展和乡村振兴发挥了重要支撑作用。

该项目获国家授权发明专利 2 项，审定品种 3 项，出版专著 3 部。研究成果受到央视等多家主流媒体专题报道，社会影响力显著。项目主要完成人政治立场坚定、爱岗敬业，赢得了广大师生的高度赞誉。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

**三、项目简介：**

（一）项目所属技术领域

经济林产业技术。

（二）主要内容

针对我国樱桃产业在生产上缺少樱桃优良品种和高效管理技术，根癌病发病率高、缺乏优良加工型酸樱桃品种等突出问题。在科技部、国家林业和草原局、陕西省科技厅等部门项目的资助下，项目组自 2004 年起开展了樱桃优良品种、抗根癌砧木选育及关键矮密栽培技术研究与推广，主要内容如下：

1.率先选育审定耐盐碱、抗根癌性强的樱桃砧木‘马哈利 CDR-1’和‘马哈利 CDR-2’，使根癌病发生率减少 95%以上；选育出大粒、优质、鲜食加工兼用酸樱桃新品种‘奥德’、‘奥杰’、‘玫丽’和‘玫蕾’，弥补了我国缺乏优良加工型酸樱桃品种的不足；选育出‘秦樱一号’甜樱桃早熟品种，大粒、中熟、优质甜樱桃品种‘短枝艳阳’，晚熟、耐贮运甜樱桃品种‘吉美’，为老旧园区改造、樱桃丰产园建园提供了升级换代的高产优质良种。

2.开展了樱桃抗性的基础研究。对樱桃抗旱、耐盐性、抗黑斑病及根癌病进行评价，并探明了樱桃相应抗性的机理；进一步挖掘出了抗根癌关键抗性基因 Pm4CL2，以及关键调控途径—木质素合成途径；筛选出对黑斑病抗性最强的樱桃品种‘奥德’，并挖掘出抗黑斑病的关键基因 PcMYB63，阐明了 PcMYB63 通过直接调控木质素合成途径的关键基因 PcCCoAOMT 提高木质素含量增强抗病性的机理。

3.研发了配套的樱桃矮化密植集约化管理技术，集成并示范推广了樱桃超细长纺锤形、V 字型、多主干篱壁式栽培模式；研究了不同树形冠层结构的光截获效率和光合作用，探明了不同树形对果实品质产量的影响，结合水肥一体化管理技术、树体营养检测、果园枝干还田、病虫害防治、授粉受精及花果管理等技术，达到了提质增效的目的。

4.引进了匈牙利加工型酸樱桃加工技术，并试验研究樱桃果酒加工工艺，最终研发出一套樱桃果酒加工工艺，开发出两种产品樱桃白兰地和樱桃利口酒，填补了我国樱桃果酒的空白。

（三）应用推广及效益情况

引进樱桃品种 34 个，选育樱桃砧木 2 个，甜樱桃品种 3 个，酸樱桃品种 4 个。获得发明专利 3 项，培养研究生 38 人，发表科技论文 50 余篇，出版专著 5 部。樱桃优良品种、抗根癌砧木选育及关键矮密栽培技术研究与推广，扩展了樱桃栽培区域，率先在陕北延安市安塞、延川等地发展樱桃 1 万余亩，榆林市靖边发展大樱桃 5000 余亩，樱桃亩收入 2-3 万元，将樱桃栽培地区向北推进了 500 余公里；项目依托大学成立了樱桃产业国家创新联盟和省现代樱桃产业技术体系，建立起了高校、推广单位、果农和企业推广联盟平台，将“产-学-研”有机融合；采用“示范基地+推广单位（公司）+农户”、“以大学为技术依托示范

推广”和“科研单位+企业+合作社+电商”的示范推广模式，以点带面，采用从省、市、县、乡（镇）、村、高素质农民逐层网状培训方法；年培训果农技术骨干6540余人，在陕西西安、渭南、铜川、汉中等8个主产区累计推广64.486万亩，新增总纯收益741405.252万元。促进了当地科技进步，经济、社会、生态效益非常显著。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

经科技成果鉴定，该项目在樱桃优良品种选育、抗根癌砧木培育、矮化密植栽培技术创新及果品加工工艺研发等方面取得了系统性、原创性成果，整体达到国内先进水平，其中抗根癌砧木选育与抗性机理解析等成果处于国内领先。项目有效解决了长期制约我国樱桃产业发展的关键技术瓶颈，显著提升了樱桃生产效率和优果率。该项目相关研究成果在国内外权威期刊上发表50余篇论文，部分成果被国际同行在果树病害防控、抗性育种和高效栽培等研究中引用和借鉴，具有较高的学术影响力。研发的新品种、新砧木及配套技术在陕西、甘肃、山东、辽宁、新疆等地大面积推广应用，在陕西西安、渭南、铜川、汉中等8个主产区累计推广64万余亩，新增经济效益超过74亿元，得到行业广泛认可。成果多次被中央电视台及多家媒体专题报道，社会反响强烈。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写）**

项目培育选育审定了抗根癌病性强的‘CDR-2’樱桃砧木以及‘玫蕾’、‘奥杰’优良樱桃品种3个，引进优质大樱桃新品种34个，筛选出示范优良大樱桃‘秦樱1号’、‘瑞特’、‘瓦列里’、‘含香’、‘吉美’、‘柯迪亚’、‘凯美’等品种10余个；并在西安、铜川、杨凌建立樱桃种质资源圃100亩，在兴平建立酸樱桃栽培示范园200亩、渭南市合阳县建立产业扶贫示范园区8000亩、榆林市靖边县建立高寒贫瘠条件下樱桃示范园100亩；

试验研究示范了马哈利CDR-2和CDR-1抗根癌病砧木，栽植3年根癌病发病率为零，抗病性极显著高于对照大青叶；研发示范了樱桃根癌病综合防治技术；探明了樱桃抗根癌机理，发现其抗性与木质素合成途径相关，筛选出了抗根癌病基因 *Pm4CL2*；研究了樱桃砧木和本地主栽品种的嫁接亲和性，亲和力达到98%以上，并提出了“品种/CDR-1”和“品种/CDR-2/CDR-1”等优良砧穗组

合 4 套。获得相关国家发明专利 2 个，发表樱桃根癌病、抗旱性、栽培模式等相关研究论文 18 篇。根据国内樱桃发展现状，开展了矮密栽培技术、贮藏保鲜与樱桃加工技术研究、樱桃根癌病田间调查与防治技术研究、樱桃砧木抗根癌病性与抗旱性研究、樱桃品种抗病性等相关试验研究工作，并开发出樱桃加工产品 2 种。集成与示范推广了樱桃超细长纺锤形、“V”字形和多主干篱壁式栽培模式及配套的整形修剪、肥水管理、果园枝干还田、病虫害防治及花果管理等矮密集约化栽培关键技术 12 余项，完善了樱桃全产业链。

依托大学成立了樱桃产业国家创新联盟和省现代樱桃产业技术体系，建立起了高校、推广单位、果农和企业推广联盟平台，将“产-学-研”有机融合。采用“示范基地+推广单位（公司）+农户”、“以大学为技术依托示范推广”和“科研单位+企业+合作社+电商”的示范推广模式，以点带面，采用从省、市、县、乡（镇）、村、高素质农民逐层网状培训方法。项目年培训果农技术骨干 6540 余人。并率先在陕北延安市安塞、延川等地发展樱桃 1 万余亩，榆林市靖边发展大樱桃 5000 余亩，樱桃亩收入 2-3 万元，将樱桃栽培地区向北推进了 500 余公里。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | 一种樱桃超细长纺锤形矮化密植栽培方法 | 中国 | ZL201510208938.7 | 2018.02.02 | 2804280 | 西北农林科技大学 | 蔡宇良，冯瑛，宛甜，阮小凤，王安柱 |
| 2 | 发明专利 | 一种利用 MSAP 方法鉴定樱桃矮化砧木的方法 | 中国 | ZL201710221548.2 | 2020.10.30 | 4063651 | 西北农林科技大学 | 蔡宇良，李向南 |
| 3 | 植物新品种 | 玫蕾 | 中国（陕西） | 陕 S-SV-PM-009-2015 | 2016.01.05 | （陕 S）第 129 号 | 西北农林科技大学 | 蔡宇良 |
| 4 | 植物新品种 | 奥杰 | 中国（陕西） | 陕 S-SV-PA-010-2015 | 2016.01.05 | （陕 S）第 130 号 | 西北农林科技大学 | 蔡宇良 |
| 5 | 植物新品种 | 马哈利 CDR-2 | 中国（陕西） | 陕 S-SC-PMC-003-2019 | 2020.01.21 | （陕 S）第 165 号 | 西北农林科技大学 | 蔡宇良 |
| 6 | 专著 | 《经济林栽培学各论》-樱桃篇 | 中国 | / | 2022 | / | 西北农林科技大学 | 蔡宇良 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 专著 | 《樱桃病虫害防治技术与农药安全使用常识》 | 中国 | / | 2019 | / | 西北农林科技大学 | 蔡宇良，仵均祥 ，周靖华 |
| 8 | 专著 | 《樱桃》 | 中国 | / | 2008 | / | 西北农林科技大学 | 蔡宇良，付润民 |
| 9 | 论文 | Comparative transcriptome and metabolome analyses of cherry leaves spot disease caused by Alternaria alternata | 中国 | / | 2023 | / | 西北农林科技大学 | Liu-Yi Pan , Jing Zhou , Yan Sun , Bai-Xue Qiao , Tian Wan ,Rui-Quan Guo |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 论文 | Evolutionary and phylogenetic analyses of 11 Cerasus species based on the complete chloroplast genome | 中国 | / | 2023 | / | 西北农林科技大学 | Tian Wan , Bai-Xue Qiao , Jing Zhou , Ke-Sen Shao , Liu-Yi Pan , Feng An , Xu-Sheng He , Tao Liu , Ping-Ke Li , Yu-Liang Cai |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 蔡宇良 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学 | 全面负责项目实施、管理与协调工作 |
| 安峰 | 2 | 博士 | 西北农林科技大学 | 区域试验，技术培训 |
| 宛甜 | 3 | 讲师 | 陕西理工大学 | 种质资源收集，樱桃新品种筛选与品质评价 |
| 单冬茜 | 4 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 新品种杂交试验，种质资源圃建设，种质抗性评价及研究 |
| 李保艳 | 5 | 中级农艺师 | 勉县农业技术推广与培训中心 | 区域试验，技术培训 |
| 张永翊 | 6 | 站长 | 铜川市园艺工作站 | 种质资源收集 |
| 岳琳 | 7 | 主任/中级农艺师 | 铜川市果业发展中心 | 区域试验及品质评价，技术培训 |
| 周巧红 | 8 | 主任/中级农艺师 | 澄城县果业发展中心 | 樱桃苗木繁殖技术研究及栽培管理推广 |
| 郭璞 | 9 | 中级农艺师 | 西安市农业技术推广中心 | 技术示范推广 |
| 李建宏 | 10 | 主任/高级农艺师 | 靖边县园艺技术推广中心 | 区域试验，技术培训 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
| --- | --- | --- |
| 西北农林科技大学 | 1 | 全面负责，建立了渭河樱桃试验站和铜川果树试验示范站，开展新品种选育、品种杂交试验和示范推广工作，研究樱桃抗根癌及矮密栽培技术，学校智能温室、组培室和经农业部批准组建的“农业部西北园艺植物种质资源与遗传改良重点开放实验室”为该项目提供了根癌病抗性试验、砧木抗性评价、品质分析、分子鉴定、脱毒苗木繁殖及土样分析等工作所需要的各种仪器和相应的计算机分析软件。西北农林科技大学分析测试中心还有各种大型仪器设备已提供给本项目研究使用。同时西北农林科技大学在财力物力方面为该项目提供了大力支持。 |
| 陕西理工大学 | 2 | 负责汉中市樱桃品种引进试验示范，生产调查及技术指导，关键技术集成推广，高效栽培及推广模式创新等工作。并在项目实施关键时期深入第一线进行技术指导和咨询。 |
| 铜川市果业发展中心 | 3 | 建立了铜川果树试验示范站，包括种质资源圃、新品种示范园、新技术示范园、砧穗组合试验等园区。开展了根癌病抗性试验、砧木抗性评价、品质分析、分子鉴定、脱毒苗木繁殖及土样分析等工作。 |
| 澄城县果业发展中心 | 4 | 负责樱桃新品种引进试验、老园改造、技术推广和培训等项目，推动澄城樱桃提质增效、转型升级。 |
| 靖边县园艺技术推广中心 | 5 | 试验研究沙漠区域大樱桃栽培管理技术，技术培训，示范推广。 |
| 岐山县果树桑蚕工作站 | 6 | 试验研究与示范推广大樱桃栽培管理技术，区域性试验，技术培训，示范推广。 |
| 西安市农业技术推广中心 | 7 | 调查与收集陕西省秦岭山脉樱桃种质资源，开展品种引进与筛选、技术推广和培训等项目，推动西安市樱桃提质增效、转型升级。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 项目主持 | 蔡宇良（1） | - | - | 全面负责项目组织、实施与协调 | 项目书、责任声明等 |
| 2 | 共同立项 | 安峰（2） | 2023 年 | 进行中 | 西安市科技计划项目、陕西省重点研发计划 | 立项文件、任务书 |
| 3 | 共同研发 | 宛甜（3） | 2016 年 | 2021 年 | 发明专利“一种超细长纺锤形矮化密植栽培方法” | 立项文件、任务书 |
| 4 | 共同立项与研究 | 单冬茜（4） | 2019 年 | 2024 年 | 陕西省科技统筹创新工程计划、西安市科技计划等 | 立项文件、任务书 |
| 5 | 共同立项 | 李保艳（5） | 2021 年 | 2025 年 | 樱桃抗根癌砧木与矮密栽培技术示范推广 | 合作协议 |
| 6 | 新品种示范与推广 | 张永翊（6） | 2021 年 | 2025 年 | 樱桃新品种示范与推广 | 推广协议 |
| 7 | 新技术示范与推广 | 岳琳（7） | 2021 年 | 2025 年 | 樱桃栽培新技术示范与推广 | 推广协议 |
| 8 | 新品种示范与推广 | 周巧红（8） | 2021 年 | 2025 年 | 樱桃新品种示范与推广 | 推广协议 |
| 9 | 砧木与品种推广 | 郭璞（9） | 2021 年 | 2025 年 | 抗根癌砧木与优质新品种示范推广 | 推广协议 |
| 10 | 栽培技术推广 | 李建宏（10） | 2021 年 | 2025 年 | 矮密栽培技术与优质新品种示范推广 | 推广协议 |

**完成人合作关系说明：**

项目主持人为蔡宇良教授，其他参与者与蔡宇良教授有参与同一项目或发表同一专利等合作关系。蔡宇良教授和安峰 2023 年关于西安市科技计划项目‘樱桃多抗性砧木、优良品种筛选及配套矮密栽培

技术研究与示范推广’共同立项；2024 年陕西省重点研发计划“加工型优良樱桃品种筛选及樱桃果酒加工技术研究与示范”共同立项。蔡宇良教授和宛甜于 2016-2021 年合作，共同发表发明专利“一种超细长纺锤形矮化密植栽培方法”，2023 年关于西安市科技计划项目‘樱桃多抗性砧木、优良品种筛选及配套矮密栽培技术研究与示范推广’共同立项；2024 年陕西省重点研发计划“加工型优良樱桃品种筛选及樱桃果酒加工技术研究与示范”共同立项。蔡宇良教授和单冬茜于 2019-2021 年，关于陕西省科技统筹创新工程计划“大樱桃抗根癌砧木选育”共同立项；2023 年关于西安市科技计划项目‘樱桃多抗性砧木、优良品种筛选及配套矮密栽培技术研究与示范推广’共同立项；2024 年陕西省重点研发计划“加工型优良樱桃品种筛选及樱桃果酒加工技术研究与示范”共同立项。蔡宇良教授和李保艳于 2024 年陕西省重点研发计划“加工型优良樱桃品种筛选及樱桃果酒加工技术研究与示范”共同立项。蔡宇良教授和张永翊于 2021-2025 年进行樱桃新品种示范与推广合作，社会效益及经济效益均显著。蔡宇良教授和岳琳于 2021-2025 年进行樱桃栽培新技术示范与推广合作，社会效益及经济效益均显著。蔡宇良教授和周巧红于 2021-2025 年进行樱桃新品种示范与推广合作，社会效益及经济效益均显著。蔡宇良教授和郭璞于 2021-2025 年进行樱桃抗根癌砧木和优质新品种示范与推广合作，社会效益及经济效益均显著。蔡宇良教授和李建宏于 2021-2025 年进行樱桃矮密栽培技术和优质新品种示范与推广合作，社会效益及经济效益均显著。

# 项目二十八

**一、项目名称：**陕西地方马品种遗传资源挖掘、保护及利用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**本项目属于畜牧学科动物遗传资源保护与利用领域。畜禽良种是畜牧业的核心，种质资源是新品种选育的基础，是农业科技创新的硬性保障，也是传承中华农耕文明的载体。马产业是当前一个具有广阔发展前景的产业，不仅有助于推动乡村振兴和农牧民增收，还能培育体育和文旅产业新业态、新模式，满足群众物质和精神文化需求，弘扬中华马文化。挖掘国内优异地方马种质资源，开展科学保护并向适合当前经济社会需要方向进行选育具有重要意义。本项目自上个世纪八十年代开始，挖掘了陕西省内宁强马这一珍贵的矮马资源，引起国家重视并设立了国家级保种场，通过提供科学的保种方案，使宁强马得以保存至今并得到广泛推广，取得巨大的经济和社会效益。针对上个世纪陕西省内育成的挽乘兼用型关中马品种，根据当前社会需求的不断变化，通过调整保种方案和选育方向，使关中马初步符合运动型用马的要求，填补了国内运动型用马品种的空白，改变了以前只能从国外进口的趋势，也取得了显著的经济和社会效益。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

**三、项目简介：**

（1）挖掘了宁强马珍贵品种遗传资源并进行资源保护

上个世纪八十年代，本项目完成人之一侯文通教授等通过深入考察，在陕西宁强县发现了体高 106cm 以下的宁强原始矮马，1990 年在燕子砭镇寨子沟建立了矮马保种核心群，2003 年 5 月在宁强县良种场建立了陕西省宁强矮马保种场。2006 年被列入国家级保种名录。2008 年，中华人民共和国农业部第 1058 号公告，宁强马保种列为第一批国家级畜禽遗传资源保种场名单。

（2）利用分子生物学技术从遗传多样性分析、起源进化及特色基因挖掘等方面对宁强马进行了系统研究

①宁强矮马微卫星 DNA 遗传多样性和线粒体 DNA 遗传多样性分析，建立了宁强矮马遗传资源评价体系，发现宁强马具有丰富的遗传多样性。②基于线粒体 DNA 和 Y 染色体微卫星 DNA 开展宁强马起源进化研究，弄清宁强马的起源，阐明宁强马的分子系统学地位。③利用分子标记技术和全基因组重测序技

术开展宁强马生长性状相关基因研究，筛选了宁强马体高性状相关的 6 个基因与 SNPs，为宁强马的选育与开发利用提供了依据。④理论与实践结合，与宁强县良种繁育中心（国家宁强马保种场）联合制定宁强马保种、选育和开发的工作思路和方案，建立了国家标准。

（3）为关中马保种制订了科学保种方案及新的选育方向和策略

关中马是 1982 年由董光明教授主持，历时三十多年培育的全国知名的挽乘兼用型品种，在当时的农业及运输业中发挥了重要作用。随着经济社会发展的变迁，关中马数量急剧下降。自 2003 年起，关中马保种场由于多年来自群繁育，近交系数过大，出生马驹无法站立、歪嘴、视力差、死胎、存活率低等近交危害凸显。通过科学评估，制订策略，引入外血公马，包括奥尔洛夫马和纯血马，降低近交系数，改良马匹体型，提高运动性能，避免了关中马遗传资源的灭失。同时，根据社会需求的变化，制订了挽乘用马向运动用马转变的新选育方向。通过引进英纯血杂交产生 F1 代后与关中马进行回交，马匹的关中马血统占比恢复到 75%-87.5%，实现了体型高大、气质灵敏、结构良好的育种目标，初步育成运动型新关中马品种，填补了国内运动型用马品种的空白，改变了以前只能从国外进口运动用马的趋势。

（4）对关中马采用现代分子生物学技术进行了系统的研究

通过微卫星 DNA 和线粒体 DNA 分析，建立了关中马的遗传资源评价体系，与宝鸡柳林骏逸农业发展有限公司合作，制定关中马的保种、选育和开发方案，使关中马更符合现代社会的需求，特别是在马术教学与运动中的应用。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

（1）科技成果鉴定意见

自上世纪八十年代以来，随着农业机械化及交通运输业的快速发展，马产业逐渐萎缩，科研投入相对薄弱，限制了我国现代马业的转型发展。然而，当前马产业已转向运动休闲、伴侣用及产品用马方向，前景广阔。宁强马体格小、性格温顺、毛色多样，种质特征符合现代马业中旅游与娱乐的产业需求。宁强矮马的发现不仅丰富了我国矮马品种，对研究我国矮马的形成生态、地缘分布、历史演变具有重要意义。宁强矮马的发现，使中国大陆最北端的矮马分布地区

北移了 600 公里，为人类学家研究古代民族迁移史和羌族及西南地区其他少数民族世代的迁移分布路线提供了直接的活证据。

关中马具有良好的品种特性，是国内最适合向运动用马方向选育的品种。因此，在对宁强马、关中马遗传资源评价分析的基础上，揭示其起源、进化历程，弄清其在中国及世界马品种系统中的地位，挖掘特色性状相关基因，制订合理的保种和选育方案，为陕西乃至全国马种的资源保护、品种选育和产业转型发展提供理论和技术支持，为马产业健康发展提供了种质基础。

（2）国内外对本项目研究成果的引用情况

国内外关于宁强马和关中马的研究报道主要集中在本项目团队。本项目共发表论文 21 篇，其中 CSCD 收录 9 篇，SCI 收录 7 篇，论文被引用 100 多次。本研究将理论成果应用于宁强马生产，促进了国家级宁强矮马保种场的建设和品种保护，保种场占地 380 亩，固定资产 3500 万元，现有矮马种群 5 个家系，共 117 匹马，包括种公马 7 匹、后备种公马 10 匹、基础母马 56 匹。本项目的研究成果得到了社会的广泛关注，提升了宁强马的知名度，多家电视台对宁强马现状进行了报道。

关中马的育种过程及技术方案接近欧洲温血马，具有温血马的体型和气质，是我国分布纬度最低的乘挽兼用型马，也是欧亚大陆最耐湿热的挽乘兼用型马品种之一。关中马见证了我国育马业的艰辛历程和辉煌成就，背负着“丝路唐马”这一厚重的历史文化符号，具有独特的运动资源价值和历史文化价值，是我国培育马种的杰出代表。通过十多年的保种和选育，关中马神经系统非常稳定，性格温顺，气质优雅，在马术训练和休闲骑乘中的表现优于很多西方马种，在马术竞赛中独具优势。陕西几乎所有马术俱乐部使用的马匹都有关中马，因而关中马为我国马术运动的发展提供了源源不断的优秀马匹支持，为陕西省的马术运动发展做出了不可磨灭的贡献。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写)**

当前，马产业已转向运动休闲、伴侣用及产品用马方向，前景广阔。宁强马体格小、性格温顺、毛色多样，种质特征符合现代马业中旅游与娱乐的产业要求。宁强矮马的发现不仅丰富了我国矮马品种，而且对研究我国矮马的形成生态、地缘分布、历史演变都有十分重要的意义。宁强马在旅游市场推广较多。

宁强马经外售后全国范围内广阔分布，仅陕西地区宁强马在景区从事旅游的地点有五六十处，经多处调研，每匹马每月游乐场收入在3、4千元至1万元不等，多数平均收入在6—8千元。每个景区以2匹宁强马计算，每年收入在15-20万之间，依此推算目前陕西省内50—60家宁强马服务的景点，年收入累计在750-1200万元，以售出全国范围内的宁强马存栏数量200匹保守估算，至少年产值在3000—4000万元。

关中马具有良好的品种特性，是国内最适合向运动用马方向选育的培育品种。陕西省内几乎所有马术俱乐部使用的马匹都有关中马，因而关中马为我国马术运动的发展源源不断地提供了优秀的马匹支持，为陕西省的马术运动发展做出了不可磨灭的贡献。关中马在马术运动及休闲骑乘、旅游方面使用范围广、影响力大，经济效益好，带动当地农民群众致富效果显著。关中马目前每年向社会推出商品马约200-300匹左右，眉县关中马场舍饲型的马主要流向各省马术运动队及高端的马术俱乐部，陇县关山牧场的山地型关中马主要流向马术俱乐部、马场及旅游景区。这些马运动性能好、性格温驯易调教、价格低易被接受（2-3万元内）。陕西境内目前大大小小近四十多家马场俱乐部，每个马场俱乐部里都有关中马在进行马术教学，其中陕西省马术队用于马场马术及障碍训练就有十多匹纯种关中马。省内专业马术俱乐部服役的关中马目前有200匹以上，年纪最大的马超过二十岁仍在使用且性能良好。关中马在北京、上海、广州及各省、市的马场及马术俱乐部均有分布，具有良好的口碑。自2000年至今，据不完全统计，仅从眉县关中马场及关山军马场出售的马匹记录统计总数约近6000匹（不含其他牧场及私人养马大户和农村散养马匹）。

陕西是旅游文化大省，数百处旅游文化景点中，2021年终统计，省内的国家4A级景点有95处，其中58处有马的游乐项目。游乐马匹超过400匹的有1处（陇县关山牧场景区），超过50匹的有6处（宝鸡大水川景区、乾县乾陵景区、宝鸡向阳川森林公园景区、西安周至楼观台景区、大荔沙苑景区、宝鸡太白山景区），超过30匹的有7处（西安南五台景区、西安翠华山景区、咸阳市昭陵袁家村景区、西安市白鹿塬景区、西安市阎良区中华郡景区、渭南市合阳县处女泉景区、渭南市潼关县风陵渡景区）。10匹以下的小型马术游乐场数量众多无法逐个统计，代表性的如富平陶艺村景区（习仲勋同志陵园旁）、咸阳

市马栏革命旧址（习仲勋西北局及陕西省委工作旧址）、铜川照金香山景区（习仲勋甘陕革命根据地旧址）等均有小型马场作为配套游乐设施运营。上述有马术游乐项目的58处中有56个景区均有使用关中马游乐骑乘。最典型的是依托于关山军马场的陕西关山牧场景区，5-10月旅游旺季每日参与骑马旅游经营的山地型关中马有600-800百多匹，年骑马接待游客超过90万人次，该景区年骑马收入5000万以上。其他景区骑马年收入在数十至数百万不等，目前陕西全省景区游乐场使用的游乐用关中马存栏在1100匹以上，骑马游客接待量年260万人次以上。疫情前2019年统计，全省大小景区年马匹骑乘游乐产值1.2亿元以上。关中马长期以来对于带动群众脱贫致富起到了良好的作用。

本项目研究成果先后获汉中市自然科学优秀论文二等奖、陕西理工大学校级优秀科研成果一等奖，受邀在全国动物遗传育种大会、陕西省生物化学与分子生物学年会、陕西省遗传学会年会等学术会议上做学术报告，获得学术会议优秀论文奖，受到专家一致好评。

**六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限10条)**

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 标准规范 | 宁强马 | 中国 | GB/T 24881-2010 | 2010.06.30 | | 中国农业大学马研究中心、陕西省畜牧技术推广总站、西北农林科技大学、陕西省宁强县农业局 | 韩国才、吴常信、赵春江、原积友、王永军、李勤荣、邓亮、杜丹 |
| 2 | 标准规范 | 种畜 关中马 | 中国 | 陕QB3147-85 | 1985.3.26 | | 西北农学院养马教研组 | 董光明、侯文通、雷天富 |
| 3 | 论文 | 宁强矮马 | 中国 | CNKI: | 1989.12.1 | | 侯文通、 | 侯文通、 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 考察报告 | | SUN:XBNY.0.1989-04-011 | | | 李广忙、席增奇 | 李广忙、席增奇 |
| 4 | 论文 | 应用血清LDH 同工酶对宁强矮马亲缘关系的分析 | 中国 | CNKI:SUN:XBNY.0.1993-04-009 | 1993.10.1 | | 侯文通、李相运、李勤荣 | 侯文通、李相运、李勤荣 |
| 5 | 论文 | 陕西马种血液蛋白遗传标记特征及聚类分析 | 中国 | CNKI:SUN:XMSZ.0.1996-04-000 | 1996.4.1 | | 侯文通 | 侯文通 |
| 6 | 论文 | 宁强矮马生长激素基因(GH)的遗传变异分析 | 中国 | 10.3864/j.issn.0578-1752.2009.12.040 | 2009.12.10 | | 张涛、路宏朝、陈锐、周建军 | 张涛、路宏朝、陈锐、周建军 |
| 7 | 论文 | Y-Single Nucleotide Polymorphisms Diversity in Chinese Indigenous Horse | 中国 | 10.5713/ajas.14.0784 | 2015.8.1 | | Haoyuan Han, Qin Zhang, Kexin Gao, Xiangpeng Yue, Tao Zhang, Ruihua Dang, Xianyong Lan, Hong Chen , | Haoyuan Han, Qin Zhang, Kexin Gao, Xiangpeng Yue, Tao Zhang, Ruihua Dang, Xianyong Lan, |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Chuzhao Lei | Hong Chen , Chuzhao Lei |
| 8 | 论文 | Single nucleotide polymorphisms of myostatin gene in Chinese domestic horses | 中国 | 10.1016/j.gene.2013.12.027 | 2014.3.15 | | Ran Li, Dong-Hua Liu, Chun-Na Cao, Shao-QiangWang, Rui-Hua Dang, Xian-Yong Lan, Hong Chen, Tao Zhang, Wu-Jun Liue,Chu-Zhao Lei | Ran Li, Dong-Hua Liu, Chun-Na Cao, Shao-QiangWang, Rui-Hua Dang, Xian-Yong Lan, Hong Chen, Tao Zhang, Wu-Jun Liue,Chu-Zhao Lei |
| 9 | 论文 | The DMRT3 gene mutation in Chinese horse breeds | 中国 | 10.1111/age.12292 | 2015.6.2 | | Haoyuan Han, Lulan Zeng, Ruihua Dang, Xianyong Lan, Hong Chen, Chuzhao Lei | Haoyuan Han, Lulan Zeng, Ruihua Dang, Xianyong Lan, Hong Chen, Chuzhao Lei |
| 10 | 论文 | Single nucleotide | 中国 | 10.14943/jjvr. | 2016.2.18 | | Haoyuan Han, | Haoyuan Han, |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | polymorphisms of Kit gene in Chinese indigenous horses | | 64.1.81 | | | Chunchun Mao, Ningbo Chen, Xianyong Lan, Hong Chen, Chuzhao Lei, Ruihua Dang | Chunchun Mao, Ningbo Chen, Xianyong Lan, Hong Chen, Chuzhao Lei, Ruihua Dang |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 党瑞华 | 1 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目的全面实施；在第 2、3、4 条宁强马和关中马的分子生物学研究和保种策略制定及选育、技术推广上作出了重大贡献。 |
| 张 涛 | 2 | 教 授 | 陕西理工大学 | 在第 2、4 条宁强马和关中马的分子生物学研发方面作了重要贡献。 |
| 雷初朝 | 3 | 教 授 | 西北农林科技大学 | 在第 2、3、4 条宁强马和关中马的分子生物学研究和保种策略制定方面作出了较大贡献。 |
| 侯文通 | 4 | 教 授 | 西北农林科技大学 | 负责项目的技术咨询工作；在第 1、2、3、4 条宁强马和关中马的品种鉴定、分子生物学研究和保种策略制定上作出了重大贡献。 |
| 雍兴钰 | 5 | 场长 | 宁强县良种繁育中心 | 负责宁强马保种方案执行；在第 2 条宁强马保种策略的执行方面做出重要贡献。 |
| 李勤荣 | 6 | 高级畜牧师 | 宁强县良种繁育中心 | 在第 2 条宁强马保种策略的执行方面做出重要贡献。 |
| 郭全胜 | 7 | 技术场长 | 宝鸡柳林骏逸农业发展有限公司 | 负责关中马保种方案执行；在第 3、4 条关中马保种策略的执行、技术推广方 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 面做出重要贡献。 |
| 韩浩圆 | 8 | 博士 | 西北农林科技大学 | 在第 2、4 条宁强马和关中马的分子生物学研究方面作出了重要贡献。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学作为本项目的主持单位，给予该项目必要的人力、物力支持和必备的支撑条件，为本项目提供了相关的仪器设备和研究平台，保证了项目的顺利实施和完成。 |
| 陕西理工大学 | 2 | 陕西理工大学张涛、路宏朝教授在项目实施期间，给予了相当重要的技术支持，并负责了一部分的分子生物学研究，保证了项目的顺利实施和完成。 |
| 宁强县良种繁育中心 | 3 | 宁强县良种繁育中心作为本项目的合作单位，给予该项目必要的人力、物力支持和必备的畜牧资源，保证了项目的顺利实施和完成。 |
| 宝鸡柳林骏逸农业发展有限公司 | 4 | 宝鸡柳林骏逸农业发展有限公司关中马保种场作为本项目的合作单位，给予该项目必要的人力、物力支持和必备的畜牧资源，保证了项目的顺利实施和完成。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况表 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 序号 | 合作方式 | 合作者/项目排名 | 合作时间 | 合作成果 | 证明材料 |
| 1 | 论文合著 | 侯文通/4<br>李勤荣/6 | 1991.01-1993.12 | 发表论文：应用血清 LDH 同工酶对宁强矮马亲缘关系的分析 | 论文 4 |
| 2 | 论文合著 | 韩浩圆/8<br>党瑞华/1<br>张　涛/2<br>雷初朝/3 | 2014.01-2015.12 | 发表论文：Y-Single Nucleotide Polymorphisms Diversity in Chinese Indigenous Horse | 论文 7 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 论文合著 | 党瑞华/1<br>雷初朝/3 | 2012.01-2014.12 | 发表论文：Single nucleotide polymorphisms of myostatin gene in Chinese domestic horses | 论文 8 |
| 4 | 论文合著 | 韩浩圆/8<br>党瑞华/1<br>雷初朝/3 | 2014.01-2016.12 | 发表论文：The *DMRT3* gene mutation in Chinese horse breeds | 论文 9 |
| 5 | 论文合著 | 韩浩圆 8<br>雷初朝/3<br>党瑞华/1 | 2014.01-2016.12 | 发表论文：Single nucleotide polymorphisms of Kit gene in Chinese indigenous horses | 论文 10 |
| 6 | 共同推广 | 党瑞华/1<br>侯文通/4<br>雍兴钰/5<br>李勤荣/6 | 2013.01-2023.12 | 通过在保种场应用保种方案，选种选配技术等使宁强马遗传资源得以良好保存，良种得以推广 | 技术应用证明 1 |
| 7 | 共同推广 | 党瑞华/1<br>侯文通/4<br>郭全胜/7 | 2013.01-2023.12 | 通过在保种场应用保种方案，选种选配技术等使关中马遗传资源得以良好保存并向运动型用马转型，良种得以推广 | 技术应用证明 2 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

党瑞华（1）、雷初朝（3）、侯文通（4）是西北农林科技大学动物科技学院马属动物遗传资源研究团队的主要人员，侯文通教授从上世纪八十年代开始一直从事马属动物领域研究，最早发掘了宁强马遗传资源并推动鉴定为地方品种，建立国家级保种场。对关中马选育工作也一直提供方案、建议和指导，对本项目做出重要贡献。雷初朝教授从线粒体、Y 染色体、功能基因多态角度对宁强马、关中马进行了较系统研究，对制订宁强马、关中马保种方案发挥了重要作用。党瑞华（1）副教授接续了侯文通（4）教授退休后的工作，在宁强马、关中马保种方案、选育方向制订及技术推广上做了大量工作，对两个保种场开展技术指导多年，取得重大成绩。张涛（2）为西北农林科技大学动物科技学院毕业生，后赴陕西理工大学工作，作为主要研发人员参与并主导了本项目中宁强马的分子生物学研究工作。韩浩圆（8）是雷初朝教授（3）的硕博连读研究生，在读期间参与了关中马、宁强马的分子生物学研究工作，为本项目做出贡献。雍兴钰（5）、李勤荣（6）是宁强县良种繁育中心工作人员，和党瑞华（1）、侯文通（4）长期合作，推广宁强马保种和繁育技术。郭全胜（7）是宝鸡柳林骏逸农业发展有限公司关中马保种场技术场长，长期和党瑞华（1）、侯文通（4）合作，负责关中马保种和选育技术推广工作，对本项目做出较大贡献。

# 项目二十九

**一、项目名称：**禽肉制品风险因子快速识别及质量安全控制关键技术创新与应用

**二、提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**项目聚焦禽肉制品生产加工及销售全过程中对化学性污染、掺假检测、微生物风险控制等关键质量安全控制需求，针对现有化学性风险识别方法成本高、掺假成分复杂多样难以定性定量、产销全过程微生物污染风险大等问题，基于自主研发的转基因发光菌可视化化学性危害物识别、近红外光谱及电子鼻技术快速经济掺伪识别、纳米与绿色抑（杀）菌及新型包装保鲜提质增效的技术原理及突破，结合产销全过程质量控制规范与标准的构建，实现禽肉制品危害物快速识别、掺假快速鉴别、微生物污染防控以及质量安全全过程控制体系的构建及应用，为禽肉制品的生产及深入开发利用提供了技术支撑。

项目发表研究论文 65 篇，培养博士及硕士研究生 20 名。授权国家发明专利 12 件、实用新型专利 20 件、计算机软件著作权 15 件，陕西好邦食品股份有限公司、陕西蒲城好邦食品有限公司进行了应用，并在禽类冰鲜品、盒装锁鲜产品、调理制品及熟食等产品的生产中进行技术推广。结合现代农产品加工技术，制定了产品标准，为企业产业化生产提供指导。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

**三、项目简介：**

禽肉制品是我国重要的肉类产品之一，消费量将持续增长。随着消费需求的提升，禽肉制品行业将发挥越来越重要的作用。然而，该行业面临以下主要问题：（1）中小规模散户化养殖加工比例高：普遍的“公司+农户”模式导致禽肉生产存在非法和过度使用抗生素、农药残留过多、饲料添加剂投入过多等问题，影响禽肉制品安全。传统检测技术不适用于大批量禽肉原料的风险因子初步筛查，亟需高通量低成本的快速筛查技术。（2）微生物污染问题：国内冰鲜鸡肉常采用预冷和低温贮运，冷链“断链”时微生物污染风险显著增加。绿色抑（杀）菌技术结合冷链对于冰鲜禽肉产销具有重要的科研和生产价值。（3）中小企业质量安全控制不足：许多中小禽肉加工企业质量安全控制规范、标准、工艺不完善；设备落后，提升改善力度弱；安全追溯体系不完善。中小企业亟需构建

适合自身实际生产的质量安全全链条监管控制体系。

为解决上述问题，本项目聚焦禽肉制品生产加工及销售全过程中对化学性污染、掺假检测、微生物风险控制等关键质量安全控制需求，针对现有化学性风险识别方法成本高、掺假成分复杂多样难以定性定量、产销全过程微生物污染风险大等问题，基于自主研发的转基因发光菌可视化化学性危害物识别、光谱及电子鼻技术快速经济掺伪识别、纳米与绿色抑（杀）菌及新型包装保鲜提质增效的技术原理及突破，结合产销全过程质量控制规范与标准的构建，实现禽肉制品危害物快速识别、掺假快速鉴别、微生物污染防控以及质量安全全过程控制体系的构建及应用。

**（1）构建了基于转基因发光菌的兽药残留可视化筛检技术。**

首先基于发光细菌发光原理，建立了发光菌测定磺胺类、呋喃类、喹诺酮类等常见兽药的方法，方法满足对畜产品中磺胺类兽药的检测要求。然后开发了能够满足生物毒性快速检测的要求并便于工业化生产的直投式亮度发光菌粉真空冷冻干燥技术。其次，利用转基因技术，构建了多组抗生素敏感性重组发光菌。最后，从分子生物学角度，系统研究了发光菌发光特性、发光基因及荧光素酶特性，揭示了抗生素作用下发光菌代谢及细胞壁（膜）变化，初步形成了基于发光菌的兽药残留可视化筛检技术理论基础。

**（2）研发了禽肉制品纳米、绿色抑（杀）菌及新型包装保鲜提质增效技术。**

构建了多种天然提取物、山梨酸（钾）纳米粒，明显改善冷却肉贮藏品质，保质期延长了 3-7 天，同时揭示了纳米粒对菌体形态的影响；在此基础上，进一步比较了辐照、冷等离子体、超声波等绿色抑（杀）菌技术在冰鲜肉、调理制品和熟食制品中的应用效果，重点评估了各类技术对产品微生物安全性、理化特性与感官品质的影响，深入探讨了新型智能包装膜在延长肉制品货架期方面的潜力与作用机制。研究发现，电子束辐照可通过氧化修饰改善鸡肉肌原纤维蛋白的功能特性，提升其加工品质，与真空包装协同使冰鲜鸡肉货架期延长至 15 天；冷等离子体结合碳酸氢钠处理可优化鸭肉肌原纤维蛋白的结构，增强其乳化特性与流变性能，从而改善鸭肉制品的质量特性；超声辅助腌制促进了腌腊肉制品中醛类、酯类等风味物质的形成，增加了其风味属性与整体可接受性。同时，开发的黑大豆花青素智能包装膜通过增强阻隔性与 pH 响应性变色，

实现了对肉制品品质的实时监测与控制。在应用转化方面，陕西好邦食品股份有限公司和陕西蒲城好邦食品有限公司成功开发了涵盖无骨禽肉、带骨禽肉及禽副产品的3大类10种非真空盒装冰鲜产品，自2018年上市以来累计销售448万盒，销售额达8960万元，新增税前利润500万元，净利润400万元，取得了良好的经济效益。冰鲜品系列自2016年推广以来深受市场欢迎，近三年累计销售9.07万吨，实现销售额3.2亿元，新增税前利润1440万元，净利润1395万元，经济效益显著。

**（3）开发了近红外光谱、电子鼻技术快速识别原料肉掺伪方法。**

以近红外光谱、电子鼻为手段，结合化学计量学方法，建立了原料肉掺水、低价肉等多种类别掺假定性、定量判别方法。相比于传统理化指标检测，上述方法更加快速、经济。

**（4）构建了禽肉制品质量安全全链条监管控制体系。**

结合企业实际流程，构建了集合收购、加工、多渠道销售全流程的管理体系文件；建立了产品全环节可追溯体系。体系建设与生产工艺完善、设备升级相辅相成，互相促进，累计授权设备改造专利和计算机软件著作权28项，有效提升了生产效率和产品合格率。

项目成果在陕西好邦食品股份有限公司、陕西蒲城好邦食品有限公司进行了示范与推广。在2022-2024三年，累计新增销售收入9.51亿元，新增税前利润5262万元，新增税金183万元，增收利润总额5237万元。

**四、客观评价：**

本项目部分成果获得中国食品工业协会科学技术二等奖（证明材料：附件获奖证明材料）。本项目相关的四个项目（国家自然科学基金“益生菌转 Lux 基因生物发光模型的构建及功能性研究”（31172236）、国家自然科学基金“（Lux）基因检测模型的创建及其在食品安全监测中的应用”（30600135）、陕西省自然科学基金“发光菌快速检测原料乳中抗生素的研究”（2013K3-04-10）、陕西省重点研发“肉品纳米防腐保鲜及质量控制技术研究”（2021NY-153））已按有关规定已审核完毕，准予项目结题。根据相关验收意见，形成以下评价：

**创新性：**

（1）兽药残留可视化筛检技术开发了基于转基因发光菌的兽药残留可视化筛检技术。通过转基因技术构建具有独立知识产权的系列发光工程菌，并建立了完整的工程菌保存、复壮及多种兽药评价技术。这种技术能够在普通实验室条件下对禽肉制品中多种类兽药进行检测，适用于大批量原料的快速、低成本筛查，并显著提升了原料质量，降低了兽药残留风险。（2）非真空密封盒装冰鲜加工技术开发了三类共十种非真空密封盒装冰鲜产品，拓展了市售冰鲜加工保鲜的产品范围，并总结出了禽肉制品冰鲜加工的主要原则。这种创新技术显著提高了冰鲜品的市场占有率。（3）近红外光谱和电子鼻技术开发了快速识别原料肉掺伪的方法，结合化学计量学方法，建立了掺水、低价肉等多种类别掺假定性、定量判别方法。相比于传统理化指标检测，上述方法更加快速、经济。（4）创新性地集成纳米技术、多种绿色抑（杀）菌及智能包装膜技术，构建了禽肉制品保鲜提质增效技术体系，实现了货架期显著延长与品质实时监控。

**应用效益：**

（1）经济效益：在项目应用的过程中，陕西好邦食品股份有限公司和陕西蒲城好邦食品有限公司近三年累计新增销售收入 9.51 亿元，新增税前利润 5262 万元，新增税金 183 万元，增收利润总额 5237 万元。通过设备改良升级，节约支出 1000 万元。（2）市场推广和占有率：项目产品获得了显著的市场认可，近三年累计销售冰鲜品 9 万吨，销售额达 2.5 亿元，净利润为 1100 万元。此外，该项目产品在陕西好邦食品股份有限公司和陕西蒲城好邦食品有限公司的推广应用，使得这些企业在市场上具有较强的竞争力。（3）技术标准和体系建设：项目通过建立生产流程规范、产品质量标准、质量管理体系和溯源体系，构建了适合中小禽肉制品加工企业的质量安全全链条监管控制体系。这种体系的建设不仅提升了产品质量和生产效率，也保障了产品的可追溯性和安全性。

经济社会价值：（1）就业和收入提升：项目直接带动了年均 1200 余人的就业，并为上下游供应商和养殖户带来显著的经济效益。通过“公司+园区+农户”的模式，项目间接带动了相关从业人员的增收致富。（2）社会效益和产业带动：项目推动了冰鲜品的市场发展和高端产品的推广，带动了地方畜牧业、养殖业、物流业、餐饮业、服务业等相关产业的发展。陕西好邦食品股份有限公司 2024 年销售收入达到 3.84 亿元，相关产业的发展带动了大量就业机会。

本项目围绕禽肉制品化学性污染、掺假检测、微生物风险控制等核心研究方向，针对关键技术突破与质量安全控制体系构建形成的学术成果，已由项目主要完成人在《Food Hydrocolloids》、《Food Chemistry》、《Ultrasonics Sonochemistry》、《International Journal of Biological Macromolecules》、《Food Control》、《食品科学》等领域权威期刊发表相关论文 65 篇。根据 Web of Science 核心合集、中国知网等权威工具检索，近三年论文累计被引用约 200 余次，充分彰显出本项目成果在国内外禽肉制品质量安全领域的学术认可度。

综上所述，本项目在技术创新、应用效益和经济社会价值方面均取得了显著成果。通过创新技术的研发和应用，项目不仅提升了禽肉制品的质量和安全性，也带来了显著的经济效益和社会效益，为行业和相关产业的发展作出了重要贡献。

**五、应用情况**

本项目整体成果在陕西好邦食品股份有限公司、陕西蒲城好邦食品有限公司公司进行了应用。核心包括基于转基因发光菌的兽药残留可视化筛检、禽肉制品非真空密封盒装冰鲜加工技术、绿色抑（杀）菌及纳米冰鲜禽肉保藏技术、新型包装保鲜提质增效等多项技术、近红外光谱/电子鼻快速识别掺伪方法、禽肉制品质量安全全链条监管控制体系，解决了大批量禽肉原料兽药残留筛查成本高、禽肉制品保质期短等技术瓶颈，产品质量得到显著改善产生了显著的经济效益。项目研究成果主要在陕西好邦食品股份有限公司和陕西蒲城好邦有限公司进行了推广应用。近 3 年，陕西好邦食品股份有限公司累计新增销售收入 5.85 亿元，新增税前利润 3043 万元，新增税金 88 万元，增收利润总额 3043 万元。在 2022-2024 三年，陕西蒲城好邦食品有限公司累计新增销售收入 3.66 亿元，新增税前利润 2219 万元，新增税金 95 万元，增收利润总额 2194 万元。优化调理制品生产线一条，设备改良升级数十台套，近三年由此累计节约支出 1000 万元。同时也为上下游供应商和养殖户带来经济效益，间接带动经销商、商超、养殖户增收 5000 余万元。此外，直接带动就业及相关产业就业年均 1200 人。陕西好邦食品股份有限公司鸡肉相关产品先后获得第十四届全国运动会、陕西省第十七届运动会、中国-中亚五国峰会鸡肉专供企业，陕西省放心消费示范单位、渭南市老字号品牌等百余项荣誉。

| 序号 | 单位名称 | 应用技术 | 应用对象及规模 | 启用起止时间 | 单位联系人电话 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 陕西好邦食品股份有限公司 | 兽药残留可视化筛检技术、近红外光谱和电子鼻技术、全链条质量安全监管控制体系 | 禽肉制品大批量筛查、禽肉制品掺假检测、禽肉制品全流程质量控制 | 2022-2024 | 韩春元/13369179696 |
| 2 | 陕西蒲城好邦食品有限公司 | 非真空密封盒装冰鲜加工技术、纳米和辐照等保藏技术 | 三类共十种非真空密封盒装冰鲜产品、冰鲜禽肉制品保鲜 | 2022-2024 | 王小乐/13629202203 |
| 3 | 陕西好邦食品股份有限公司 | 近红外光谱和电子鼻技术 | 禽肉制品掺假检测 | 2022-2024 | 韩春元/13369179696 |
| 4 | 陕西蒲城好邦食品有限公司 | 纳米和辐照等保藏技术 | 冰鲜禽肉制品保鲜 | 2022-2024 | 姚建楠/18602905990 |
| 5 | 陕西好邦食品股份有限公司 | 全链条质量安全监管控制体系 | 禽肉制品全流程质量控制 | 2022-2024 | 韩春元/13369179696 |

## 六、主要知识产权和标准规范目录

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 论文 | Integrated proteomics and metabolomics analysis revealed the mechanisms underlying the effect | 中国 | 10.1016/j.foodchem.2023.135385 | 2023 年 02 月 03 日 | Food Chemistry | 西北农林科技大学 | 张驹，王甜，杨春杰，吴锐霄，习林杰，丁武* |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | of irradiation on the fat quality of Chinese bacon | | | | | | |
| 2 | 发明专利 | 一种原料肌肉注水快速判别方法 | 中国 | ZL2010 10289153.4 | 2013 年 03 月 06 日 | 1143707 号 | 西北农林科技大学 | 丁武，杨公社，寇莉萍，杨志敏 |
| 3 | 实用新型专利 | 一种微生物培养箱 | 中国 | CN 21177122 4 U | 2020 年 10 月 27 日 | 1175411 7 号 | 陕西泾河好邦食品有限公司 | 姚建楠 |
| 4 | 论文 | Modifying duck myoffbrillar proteins using sodium bicarbonate under cold plasma treatment: Impact on the conformation, emulsiffcation, and rheological properties | 中国 | 10.1016/j.foodhyd.2023.109682 | 2023 年 12 月 21 日 | Food Hydrocolloids | 西北农林科技大学 | 蒋圣启，杨春杰，白荣，李子薇，张琳璐，陈娅，丁武* |
| 5 | 论文 | Application of the Luminescent luxCDABE Gene for the Rapid Screening of Antibacterial | 中国 | 10.3390/foods12020392 | 2023 年 02 月 13 日 | Foods | 西北农林科技大学 | 彭悦，王倩，朱凯翔，丁武* |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Substances Targeting | | | | | | |
| 6 | 论文 | Evaluation of effects of ultrasound-assisted curing on the ffavor of Chinese bacon | 中国 | 10.1016/j.ultsonch.2023.106424 | 2023 年 04 月 29 日 | Ultrasonics Sonochemistry | 西北农林科技大学 | 习林杰，孙亚男，蒋圣启，文春露，丁武* |
| 7 | 论文 | Improvement on gel properties of chicken myoffbrillar protein with electron beam irradiation: Based on protein structure, gel quality, water state | 中国 | 10.1016/j.ijbiomac.2024.135806 | 2024 年 09 月 21 日 | International Journal of Biological Macromolecules | 西北农林科技大学 | 白荣，韩金澄，叶翔，蒋圣启，张琳璐，杨春杰，陈娅，王思滢，丁武* |
| 8 | 论文 | Preparation of sodium alginate/pectin/cellulose nanoffbrils fflms containing black soybean seed coat anthocyanins for monitoring goat meat freshness | 中国 | 10.1016/j.foodcont.2024.111096 | 2024 年 12 月 07 日 | Food Control | 西北农林科技大学 | 王思滢，韩新月，陈娅，邵奕凯，宋嘉庆，杨春杰，丁武* |
| 9 | 论文 | Antimicrobial effect of sorbic acid-loaded chitosan/tripolyphosphate nanoparticles on Pseudomonas aeruginosa | 中国 | 10.1016/j.ijbiomac.2022.11.220 | 2022 年 11 月 28 日 | International Journal of Biological Macromolecules | 西北农林科技大学 | 王倩，彭悦，柴丽娜，丁武* |
| 10 | 计算机软 | 鸡肉成品切割设备管理系统 V1.0 | 中国 | 2021SR03 | 2021 年 03 | 7115485 | 陕西 | 陕西蒲城好邦 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 件著作权 | | | 93258 | 月 15 日 | 号 | 蒲城好邦食品有限公司 | 食品有限公司 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 丁武 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学 | （1）负责项目申报、立项和结题工作；<br>（2）主持完成构建基于转基因发光菌的兽药残留可视化筛检技术研究；<br>（3）主持完成近红外光谱、电子鼻技术快速识别原料肉掺伪方法研究；<br>（4）主持完成禽肉制品纳米、绿色抑（杀）菌及新型包装保鲜等提质增效技术研究；<br>（5）主持完成相关冰鲜、调理制品及熟食制品产品开发研究；<br>（6）主持相关国家自然基金 2 项，陕西省科技计划项目 2 项，发表相关论文65篇，申请专利 4 项。 |
| 寇莉萍 | 2 | 副教授 | 西北农林科技大学 | （1）负责项目申报、立项、结题。<br>（2）负责相关产品开发和生产技术指导。<br>（3）协助完成构建基于转基因发光菌的兽药残留可视化筛检技术研究；<br>（4）协助完成近红外光谱、电子鼻技术快速识别原料肉掺伪方法研究；<br>（5）协助完成禽肉制品纳米、绿色抑（杀）菌及新型包装保鲜等提质增效技术研究；<br>（6）协助完成相关冰鲜、盒装、调理制品产品开发研究；<br>（7）参与相关国家自然基金 2 项，陕西省科技计划项目 2 项，申请专利 3 项。 |
| 韩金澄 | 3 | 博士研究生 | 西北农林科技大学 | （1）协助完成项目申报、立项和结题工作；<br>（2）协助完成相关产品开发和生产技术指导；<br>（3）利用青海弧菌Q67（发光菌）建立线性模型，成功预测混合物毒性；<br>（4）开发了一种简单、快速、低成本的农产品和食品农药残留初筛检测方法。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 白荣 | 4 | 博士研究生 | 西北农林科技大学 | （1）负责相关产品开发和技术指导；<br>（2）协助完成构基于转基因发光菌的兽药残留可视化筛检技术研究；<br>（3）协助完成禽肉制品纳米、绿色抑（杀）菌保鲜技术研究；<br>（4）协助完成相关冰鲜、盒装、调理制品产品开发研究。 |
| 席静 | 5 | 硕士研究生 | 西北农林科技大学 | （1）协助完成项目申报、立项、结题。<br>（2）负责相关产品开发和生产技术指导；<br>（3）协助完成冷等离子体、超声波、辐照等抑（杀）菌保鲜技术研究； |
| 韩春元 | 6 | 董事长 | 陕西好邦食品股份有限公司 | 负责该项目主要创新工作的成果应用和推广等工作，申请授权专利 3 项。 |
| 王小乐 | 7 | 人事行政部经理 | 陕西好邦食品股份有限公司 | 负责该项目主要创新工作的成果应用和产品技术推广等工作。 |
| 姚建楠 | 8 | 品管副总经理 | 陕西蒲城好邦食品有限公司 | 负责该项目主要创新工作的成果应用和推广等工作。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 负责该项目主要创新工作的开发 |
| 陕西好邦食品股份有限公司 | 2 | 负责该项目主要创新工作的成果应用和推广等工作。 |
| 陕西蒲城好邦食品有限公司 | 3 | 负责该项目主要创新工作的成果应用和推广等工作。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 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 | 共同研发 | 丁武/1 寇莉萍/2 韩金澄/3 白荣/4 席静/5 | 2022-2024 | 2023 | 专利、论文 | 共同研发 |
| 2 | 成果应用和推广 | 韩春元/6 王小乐/7 姚建楠/8 | 2022-2024 | 2022 | 专利 | 成果应用和推广 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）：**

韩春元作为陕西好邦食品股份有限公司的董事长，依托西北农林科技大学提供的食品安全加工与保鲜应用技术，通过产学研紧密结合，生产各种鸡肉产品 100 多种，其中主营鸡肉冰鲜品系列，盒装锁鲜产品系列，调理制品及熟食系列。公司生产的产品，通过了 ISO9001 质量管理体系认证和ISO2200 食品安全管理体系认证，好邦鸡肉获得了“第二十六届杨凌农高会后稷奖”、“第十二届中国西安国际食品博览会金奖”。2020 年企业获得了“国家级高新技术企业”，2021 年，得到十四运专家组的一致认可，获得了“第十四届全运会专供鸡肉产品”供应商，编号007。公司通过产学研的结合，获得授权了 15 项实用新型专利发明及5 件计算机软件著作权登记证书。2019 年申报了两项发明专利：肉鸡屠宰分割生产工艺及设备系统（申请号：201911372019.8）；一种冷冻鸡肉生产工艺及其生产用净风设备（申请号：201911373284.8）进入第二次实质审查阶段。

姚建楠和王小乐分别作为陕西蒲城好邦食品有限公司和陕西好邦食品股份有限公司的副总经理和人事行政部经理，通过产学研紧密结合，生产各种鸡肉产品 100多种，其中新增鸡肉冰鲜品系列，精品小包装系列。公司生产的产品，通过了ISO9001 质量管理体系认证和ISO2200食品安全管理体系认证，获得了“渭南市放心消费产品”，2021年，得到十四运专家组的一致认可，获得了“第十四届全运会专供鸡肉产品”供应商，编号009，获得了 10 件计算机软件著作权登记证书。

丁武和寇莉萍作为西北农林科技大学食品科学与工程学院畜产品加工团队的负责人和骨干教师，带领团队负责项目申报、立项、结题，相关产品的开发和生产技术指导，完成构建基于转基因发光菌的兽药残留可视化筛检技术研究，完成近红外光谱、电子鼻技术快速识别原料肉掺伪方法研究，完成禽肉制品纳米、绿色抑（杀）菌和新型包装保鲜技术研究，完成相关冰鲜、盒装、调理制品以及熟食等产品的开发研究。

韩金澄、白荣和席静作为西北农林科技大学食品科学与工程学院畜产品加工团队的博士和硕士研究生，协助完成项目申报、立项、结题，协助完成相关产品的开发和生产技术指导，协助完成构建基于转基因发光菌的兽药残留可视化筛检技术研究，协助完成近红外光谱、电子鼻技术快速识别原料肉掺伪方法研究，协同完成禽肉制品纳米、绿色抑（杀）菌及新型智能包装保鲜技术研究。

# 项目三十

**一、项目名称：**食用菌安全生产及高值化加工关键技术产业化开发

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**食用菌袋料栽培技术凭借产量稳定和经济效益高等优势被大面积推广，然而，栽培料多为果树修剪枝条，其在种植过程中因施肥和使用农药等，极易导致食用菌中化学污染物超标。此外，食用菌栽培及加工还面临生产不规范、加工产品单一等诸多挑战。因此，本项目围绕食用菌质量安全及功能化加工开展了系统研究：（1）明晰了化学污染物本底值，揭示了黑木耳栽培基质中农药残留、重金属及抗生素的迁移转化规律。（2）解析了栽培过程中黑木耳内源性甲醛的产生机制，揭示了其与黑木耳品质形成的互作关系；阐明了 $SO_2$ 处理对黑木耳颜色变黑发亮的作用机制。（3）成功建立了黑木耳栽培中重金属离子的竞争吸附控制技术；利用超声-电解水、等离子体水、脉冲强光等非热处理技术，有效降低了农药残留、抗生素、内源性甲醛及残留 $SO_2$ 含量，建立了食用菌标准化生产的 HACCP 体系，制定了质量安全控制规范。（4）开发了益生菌发酵黑木耳酱及香菇汁等系列新产品。

该项目立足产业发展的关键问题，紧密结合理论研究与技术突破。提名者认真审阅了项目材料，内容真实，科技应用意义重大，逻辑严密、系统性强、可靠性高。技术成果在秦巴山区食用菌栽培及加工企业推广应用，取得了显著的经济、社会和生态效益。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、**项目简介：**

秦巴山区是食用菌种质资源保护地和主产区之一。随着封山育林工作的推进，食用菌椴木栽培的方式逐渐被袋料栽培取代。黑木耳袋料栽培的原料主要来源于果树修剪的枝条，由于果树在栽培过程中，需要施肥及喷洒农药，导致果树枝条中农药及重金属残留。使用农残及重金属超标的枝条栽培食用菌，最终导致食用菌中农药残留及重金属超标。此外，黑木耳袋料栽培也存在生产过程不规范、黑木耳产品中内源性甲醛及 $SO_2$ 超标、加工产品单一等问题。为了保障袋料栽培黑木耳产品的安全，项目以黑木耳的化学污染物控制及产品高值化开发为主线，以贯穿化学污染物迁移规律解析—栽培过程中污染物控制—产

品中化学污染物去除—高值化加工的关键技术问题为研究对象，建立黑木耳中化学污染物控制技术，构建食用菌从种植、加工到最终产品的整个产业链的化学污染物控制及加工体系，为食用菌安全生产及加工提供技术保障。

技术成果获批2024年度陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖1项、陕西省登记成果1项。授权专利6项、出版著作1部、编写培训教材2本；制定地方标准2项；发表论文17篇；培养博硕士研究生5名。培训质量安全检测人员214人次及生产者1052人次。技术成果在6家企业推广应用，经济效益总额5.19亿元、新增利润1.942亿元。社会、经济和生态效益显著。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

1 国家“十三五”重点研发计划课题——秦巴山区食用菌中化学污染物识别控制技术研究验收评价

2023年3月29日，大连工业大学朱蓓薇院士担任专家组组长对国家“十三五”重点研发计划“秦巴山区食用菌质量安全保障技术研究与示范”项目的课题“秦巴山区食用菌中化学污染物识别控制技术研究”（2019YFC1606701）进行了课题绩效评价，课题绩效评价会一致认为：“研发黑木耳中内源性甲醛控制、黑木耳中$SO_2$降解、黑木耳中残留抗生素控制等新技术3项（电解水-超声协同技术、等离子体水溶液处理技术、脉冲强光处理技术），研发益生菌发酵香菇汁等产品1个；解析了黑木耳生产过程中农药残留及重金属的迁移规律，建立了黑木耳中农药残留及重金属的控制措施2项。成果在柞水县科技投资发展有限公司示范应用，与传统技术相比，采用玉米芯生物炭竞争吸附等新技术去除黑木耳中内源性甲醛，其去除率达49.32%、残留二氧化硫去除率达83.45%、农残溴氰菊酯的降解率为80.76%、对As和Cd的抑制率达90%以上。”

2 项目获科技奖励情况

西北农林科技大学及商洛市农产品质量安全中心共同承担的“食用菌安全生产及高值化加工关键技术产业化开发”项目围绕食用菌安全生产及高值化利用，解决了食用菌袋料栽培相关安全问题，建立了益生菌发酵黑木耳酱及香菇汁技术，开发出发酵黑木耳酱及发酵香菇汁功能性产品。该项目产生了良好的经济及社会效益，2024年6月，项目获得“陕西高等学校科学技术研究优秀成

果一等奖”。

3 论文发表及著作出版情况

在 *Carbohydrate Polymers*、*Food Chemistry*、*Food Control*、*Food Science and Human Wellness*、*Food Bioscience*、*Journal of Food Composition and Analysis* 等学术期刊上发表学术论文数篇。出版著作《食用菌质量安全控制技术》1 部。

4 核心成果授权国家知识产权情况

核心技术授权国家发明专利 3 项、实用新型专利 3 项。专利中涉及的黑木耳化学污染物控制关键技术及高值化加工技术在食用菌行业得到转化应用。

5 制定标准情况

起草制定发布陕西省地方标准《黑木耳生产管理规范》（DB 61/T 1670—2023）1 项。该地方标准的发布对陕西省黑木耳的规范化生产及安全生产具有指导作用，推动了陕西食用菌产业的发展。制定了陕西省商洛市地方标准《香菇质量控制技术规范》（DB 6110/T 015-2022）1 项，该标准推动了香菇栽培的规范化及质量的标准化。

6 编写培训教材及培训情况

编写食用菌检测人员及技术人员培训教材《秦巴山区食用菌中化学污染物检验检测技术》、《秦巴山区黑木耳栽培质量安全管理技术》2 本。开展食用菌相关的技术推广和示范工作，对食用菌专业技术人员、食用菌规模化生产企业、食用菌农民专业合作社和食用菌家庭农场等相关企业技术负责人、管理人员、职业农民进行培训，带动了当地贫困人口的脱贫致富。中国农业新闻网、陕西省农业厅网站等媒体对食用菌全产业链标准化生产技术培训进行了报道。

7 国内外对本项目研究成果的引用和评价

该项目发表的论文被多个高水平期刊引用：2024 年发表在 *Food Science and Human Wellness*（2024,13：421-433）期刊上“Structure and immunomodulatory activity of Lentinus edodes polysaccharides modified by probiotic fermentation”论文，被 *Trends in Food Science & Technology* 等期刊引用，并评论此发酵产品中丰富的香菇多糖具有显著的免疫调节活性。2022 年发表在 *Food Chemistry*（2022,385: 132685）期刊“Effects of sulfite treatment on the quality of black fungus”论文，被 *Food Chemistry* 等期刊引用并称赞此研究对于重视食品中 $SO_2$

的检测具有重要意义。2022 年发表在 *Food Control*（2022，142：109235）期刊 “Non-thermal treatments for the control of endogenous formaldehyde from Auricularia auricula and their effects on its nutritional characteristics”论文，被 *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 等期刊引用。

8 新闻媒体对项目进展和成果进行了报道

项目关键技术在食品放大镜、食品资讯中心、网易、食品互联等媒体报道。如食品放大镜作了题为“非热处理对黑木耳内源性甲醛的控制及其对营养特性的影响”、“二氧化硫处理对黑木耳品质及色泽影响机制解析方面取得进展”等报道。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写)**

通过关键技术的系统集成组装，建立食用菌质量控制及产品高值化开发全产业链解决方案，支撑了陕西诚惠生态农业有限公司等生产企业，带动了陕西等地的食用菌栽培及加工，为提高菇农经济收入奠定了基础。成果新增经济效益总额为 5.19 亿元，新增利润 1.942 亿元，推动了食用菌安全生产及加工产业发展，加速了我国食用菌行业科技进步和产业发展整体进程。

**六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)**

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | 一种具有免疫调节活性的益生菌发酵香菇汁 | 中国 | CN 115644423 B | 2024 年 06 月 04 日 | 第 7069213 号 | 西北农林科技大学，宁夏农产品质量标准与检测技术研究所 | 高振鹏、王周利、张美娜、赵子丹、蔡瑞、刘晓爽、郭天敏 |
| 2 | 地方标准 | 黑木耳生产管理规范 | 陕西省地方标准 | DB61/T 1670-2023 | 2023.6.25 | DB61/T 1670-2023 | 商洛市农产品质量安全中心、西北农林科技大学、陕西省农产品质量安全中心、西安市质量与标准化研究院、安康市农产品质量安全中心、柞水县农产品质量安全站、商洛盛泽农林科技发展有限公司 | 董照锋、王迁、李俊、曹秀荣、高振鹏、刘斌、翟建红、张蓉、王周利、许亚丽、徐盼、任岗、聂淼、赵瑞丰、乔怡木 |
| 3 | 著作 | 食用菌质量安全控制技术 | 中国 | ISBN978-7-5116-6537-9 | 2023.11 | ISBN978-7-5116-65 | 中国农业科学技术出版社 | 董照锋、曹秀荣、李俊、李亚青、高振鹏 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 37-9 | | |
| 4 | 地方标准 | 香菇质量控制技术规范 | 商洛市地方标准 | DB6110/T 015-2022 | 2022.12.15 | DB6110/T 015-2022 | 商洛市农产品质量安全中心、商洛市农业科学研究所、商洛市农业技术推广站、商州区农产品质量安全站、商洛盛泽农林科技发展有限公司 | 董照锋、李俊、曹秀荣、翟建红、李拴曹、张蓉、王静之、赵宇、李娟、路康、宋爽、姬文宇、刘欢、杨乔、王惠玲 |
| 5 | 论文 | Effects of sulfite treatment on the quality of black fungus | 中国 | 2022, 385:13268 5 | 2022.3.11 | Food Chemistry，2022,385:132685 | 西北农林科技大学 | 任毅晨、黄锦涛、王兴楠、王亚琴、李宏才、岳田利、高振鹏（通讯作者） |
| 6 | 论文 | Non-thermal treatments for the control of endogenous | 中国 | 2022, 142:10923 5 | 2022.7.7 | Food Control，2022，142： | 西北农林科技大学 | 王兴楠、杨思琪、李宏才、任毅晨、王亚琴、黄锦涛、王周利、岳田利、高振鹏（通 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | formaldehyde from Auricularia auricula and their effects on its nutritional characteristics | | | | 109235 | | 讯作者） |
| 7 | 论文 | Effect of microwave-puffed on Auricularia auricula polysaccharide and probiotic fermentation on its biotransformation and quality characteristics during storage period | 中国 | 2024, 281:13644 8 | 2024.10.9 | International Journal of Biological Macromolecules，2024，281：136448 | 西北农林科技大学 | 李宏才，谭佩，雷文智，杨思琦，范玲嘉，杨雪，梁静静，龙芳羽，赵旭博（通讯作者），高振鹏（通讯作者） |
| 8 | 论文 | Structure and immunomodulatory | 中国 | 2024, 13:421 433 | 2022.8.25 | Food Science | 西北农林科技大学 | 梁静静、张美娜、李晓涵、岳袁、王晓伟、 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | activity of Lentinus edodes polysaccharides modified by probiotic fermentation | | | | and Human Wellness，2024,13：421-433. | | 韩梦珍、岳田利、王周利、高振鹏（通讯作者） |
| 9 | 论文 | Non-thermal technologies for the degradation of sulfur dioxide from black fungus and their effects on its appearance profiles and nutritional properties | 中国 | 2023,121: 105383 | 2023.5.1 | Journal of Food Composition and Analysis，2023,121: 105383 | 西北农林科技大学 | 任毅晨、王兴楠、王亚琴、黄锦涛、王瑜、李宏才、高振鹏（通讯作者） |
| 10 | 论文 | Investigation the nutritional properties of Auricularia | 中国 | 2024, 104(4):2502-2517 | 2023.12.8 | Journal of the Science of | 西北农林科技大学 | 李宏才，谭佩（共同第一），雷文智，杨思琪，范玲嘉，杨太 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | auricula pulp fermented with Lactobacillus strains and their effects on gut microbiota | | | | Food and Agriculture，2024:104（4）:2502-2517. | | 浩，郭春锋，高振鹏（通讯作者） |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 高振鹏 | 1 | 无/教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 对创新点 1、2、3、4 做出贡献 |
| 董照锋 | 2 | 主任/研究员 | 商洛市农产品质量安全中心/商洛市农产品质量安全中心 | 对创新点 1、2、3 做出贡献 |
| 李鸣雷 | 3 | 无/研究员 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 对创新点 4 做出贡献 |
| 祁建钊 | 4 | 无/副教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 对项目的推广工作做出贡献 |
| 刘斌 | 5 | 无/副教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 对创新点 1、2 做出贡献 |
| 聂淼 | 6 | 无/农艺师 | 商洛市农产品质量安全中心/商洛市农产品质量安全中心 | 对创新点 1、2、3 做出贡献 |
| 王兴楠 | 7 | 无 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 对创新点 2、3 做出贡献 |
| 李宏才 | 8 | 无 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 对创新点 2、3、4 做出贡献 |
| 梁静静 | 9 | 无 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 对创新点 4 做出贡献 |
| 任毅晨 | 10 | 无 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 对创新点 2、3 做出贡献 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 对创新点 1、2、3、4 做出贡献 |
| 商洛市农产品质量安全中心 | 2 | 对创新点 1、2、3 做出贡献 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 | 共同参与制定标准规范、专著合著、共同立项 | 高振鹏/1、董照锋/2 | 2017.1 | 2024.12 | 标准：黑木耳生产管理规范<br>著作：食用菌质量安全控制技术 | （1）必备附件 1 主要知识产权和标准等目录 1.2-地方标准<br>（2）必备附件 1 主要知识产权和标准等目录 1.3-著作-食用菌质量安全控制技术<br>（3）必备附件 2 应用满两年的佐证材料-立项合同 |
| 2 | 论文合著、共同立项 | 高振鹏/1、李鸣雷/3、祁建钊/4 | 2019.12 | 至今 | 研究论文：Edible fungus-derived bioactive components as innovative and sustainable options in health promotion | （1）研究论文未列入附件<br>（2）其他附件 2.14-省级财政农业专项资金项目 |
| 3 | 共同参与制定标准规范 | 高振鹏/1、董照锋/2、刘斌/5 | 2019.12 | 2024.12 | 标准：黑木耳生产管理规范 | 必备附件 1 主要知识产权和标准等目录 1.2-地方标准 |
| 4 | 共同参与制定标准规范、专著合著 | 高振鹏/1、董照锋/2、聂淼/6 | 2017.1 | 2024.12 | 标准：黑木耳生产管理规范<br>著作：食用菌质量安全控制技术 | （1）必备附件 1 主要知识产权和标准等目录 1.2-地方标准<br>（2）必备附件 1 主要知识产权和标准等目录 1.3-著作-食用菌质量安全控制技术 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 论文合著 | 高振鹏/1、王兴楠/7、李宏才/8 梁静静/9、任毅晨/10 | 2019.12 | 至今 | 研究论文：Structure and immunomodulatory activity of Lentinus edodes polysaccharides modified by probiotic fermentation | 其他附件代表性论文 2.2-2.7 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）：**

高振鹏负责项目总体设计、实施方案制定及任务分工落实。高振鹏，董照锋，李鸣雷，祁建钊，刘斌，聂淼，王兴楠，李宏才，梁静静，任毅晨等以分工协作方式开展基础理论研究和技术研发、试验示范及推广应用工作。

高振鹏与董照锋、刘斌、聂淼通过合作，完成陕西地方标准《黑木耳生产管理规范》的制定及推广工作。高振鹏与董照锋、聂淼合作编写了《食用菌质量安全控制技术》。高振鹏与董照锋共同立项国家重点发计划课题及制定标准及技术推广。

高振鹏与李鸣雷、祁建钊通过共同立项，开展食用菌的安全生产推广工作。高振鹏与李鸣雷通过合作筛选出适合食用菌发酵的功能益生菌，对益生菌发酵香菇汁、发酵黑木耳酱的原料进行系统评价，开发出功能化加工技术，制备得到系列营养干预食用菌产品。共同发表了论文。

高振鹏与王兴楠，李宏才，梁静静，任毅晨通过合作，解决了食用菌安全生产问题，开发出系列食用菌安全控制技术。共同发表论文以及申请了专利。

# 项目三十一

**一、项目名称：**玉米高质量播种关键技术创新及装备应用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目针对传统玉米播种机存在的排种均匀性不高、播种深度一致性差、智能化程度低等问题，创新了玉米高速精量排导种关键技术，构建了“种带清理-分层施肥-播深控制-镇压力主动调控”播种全过程质量提升方法，发明了作业参数监测与智能显控技术。提高了高速工况下排种质量，播种粒距均匀性，免耕播种通过性及播种质量，实现了玉米机械化播种作业参数的精准监测和在线调控。授权发明专利 8 件，其他知识产权 16 件；发表 SCI/EI 收录论文 17 篇。成果在西安亚澳、郑州龙丰、杨凌鲁力、武功秦牛等 4 家农机企业得到应用，形成 6 个系列 21 种玉米精量播种机，全部列入购机补贴目录。近三年累计销售 3562 台，在陕西、河南、安徽、黑龙江等地推广应用，作业面积 317 余万亩，企业新增销售额 8629.95 万元、新增利润 1404.69 万元。社会经济效益显著。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、**项目简介：**

玉米是陕西省第一大粮食作物，近 5 年播种面积和产量分别占全省粮食生产的 40%和 50%左右，而单产较全国平均水平低近 20%。播种是玉米机械化生产中最重要的环节之一，播种质量直接影响玉米产量。针对传统玉米播种机存在的排种均匀性差、播种深度一致性差、智能化程度低等问题，本成果在国家自然科学基金、国家重点研发计划、陕西省重点研发计划等项目资助下，历经 10 余年校企联合攻关，创新了高速精量排导种均匀性调控、播种全过程质量提升、作业参数监测与智能显控等关键技术，创制了系列玉米精量播种装备，促进了播种装备的技术进步和播种质量的全面提升，取得如下创新成果：

（1）创新了 4 种玉米高速精量排导种关键技术，发明了正弦曲线型指夹式排种器、姿控驱导式高速排种器、离心力动态补偿气力式排种器和汇聚引导式导种装置，解决了高速工况下充携种不稳定、投种点位不一致、导种管内种子碰撞弹跳等导致的播种粒距均匀性不佳的问题，提升了高速作业下排种质量和粒距均匀性。

（2）构建了“种带清理-分层施肥-播深控制-镇压力主动调控”播种全过程质

量提升方法，发明了切抛组合式种带清理、种肥混施-基肥分层深施、播深稳定性协同调控与镇压力主动调控等关键技术，解决了高速工况下免耕播种易堵塞、苗带草土混杂易晾种、肥料利用率低、播深稳定性及地形适应性差、镇压强度一致性差等问题，全面提升了玉米机械化播种质量。

（3）发明了作业参数监测与智能显控技术，研发了排种器转速调控系统。通过北斗 GPS、雷达以及地轮测速融合算法实时精确测得前进速度，建立了播种粒距随速自适应调控数学模型，播种粒距合格率由不足 90%提升至 95%以上，变异系数由 30%降低到 18%左右；提出了基于光纤传感器的开关信号+模拟信号重叠种子判别算法；开发了“智能导航、实时显示、堵塞报警、面积计算、参数设置”播种过程智能监测控制系统，实现了玉米机械化播种作业参数的精准监测和在线调控，保证了播种效果的全程可视可调。

成果在西安亚澳农机股份有限公司、郑州市中兴龙丰农机装备有限公司、杨凌鲁力农机装备有限公司、武功秦牛农机科技有限公司等 4 家农机企业应用，形成 2BYF、2BMG、2BYMF、2BJY、2BJQ、2BMF 等 6 个系列 21 种玉米精量播种机，全部列入购机补贴目录。近 3 年累计销售 3562 台，在陕西、河南、安徽、黑龙江等地推广应用，作业面积 317 余万亩，企业新增销售额 8629.95 万元、新增利润 1404.69 万元。

授权发明专利 8 件，其他知识产权 16 件；发表 SCI/EI 收录学术论文 17 篇。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

1.成果鉴定与评价意见

2024 年 3 月 19 日，中国农业机械化协会组织有关专家对西安亚澳农机股份有限公司研发的“指夹式排种器（玉米）”进行成果评价。专家组评价认为：优化了排种盘设计，创新了渐变式盘面结构，优选了表面处理材料，改进了指夹凹型与角度，有效地提高了排种精度和可靠性，降低了种子损伤率。达到国内同类产品先进水平。

2.查新报告

第三方查新报告认为：在玉米高速精量排导种、播深与播量控制等方面，本项目创新的正弦曲线型指甲式排种、高速姿控驱导排种、动态补偿气力式排种、

高速高频种子流汇聚导种等高速精量排导种技术，组合式种带清理技术、播深稳定性协同调控等播种全过程质量提升技术，粒距自适应调控电驱排种系统等作业过程智能显控技术，除项目组报道的文献外，在所查国内外文献成果中均未见相同报道，具有原始创新性。

3.验收意见

（1）2022 年 3 月 9 日，农业农村部科技发展中心对西北农林科技大学参与承担的国家重点研发计划“智能化精准施肥及肥料深施技术及装备（2016YFD0200600）”进行了验收。验收委员会一致认为：项目研发了玉米基肥分层变量施用技术，研制了玉米分层施肥播种机，化肥减量施用 10%~25%，化肥利用率提高 5%以上。

（2）2024 年 4 月 19 日，陕西省科技厅组织专家对西安亚澳农机股份有限公司承担的陕西省重点研发计划重点产业链项目“粮食精准播种技术与智能装备研发”（项目编号：2019ZDLNY02-03）进行了验收。验收委员会一致认为：项目突破了 4 项粮食精准播种关键技术，部分技术应用在玉米系列播种机上；研发了 2BMF-4/6 玉米免耕精量播种机，进入国家购置补贴目录；组织起草了玉米机械化主推技术和规范，形成陕西省粮食播种机械化生产体系和路径。

4.国家知识产权及技术部门认定

获发明专利 8 件，实用新型专利 15 件，软件著作权 1 件。

5.论著论文

本项目在国内外本领域重要学术刊物《Journal of Cleaner Production》、《Computers and Electronics in Agriculture》、《农业机械学报》等期刊发表 SCI/EI 收录论文 17 篇。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写）**

成果在西安亚澳农机股份有限公司、郑州市中兴龙丰农机装备有限公司、杨凌鲁力农机装备有限公司、武功秦牛农机科技有限公司等 4 家农机企业应用，形成 2BYF、2BMG、2BYMF、2BJY、2BJQ、2BMF 等 6 个系列 21 种玉米精量播种机，全部列入购机补贴目录。近 3 年累计销售 3562 台，在陕西、河南、安徽、黑龙江等地推广应用，作业面积 317 余万亩，企业新增销售额 8629.95 万元、新增利润 1404.69 万元。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填，限 10 条)

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | 一种气压辅助式导种管 | 中国 | ZL202310121169.1 | 2024-08-27 | 7321464 | 西北农林科技大学 | 黄玉祥，贾宪，陈旭辉，刘芳，巨晓腾，王玮 |
| 2 | 发明专利 | 一种干湿土分层开沟覆土免耕播种装置 | 中国 | ZL202010322529.0 | 2024-10-15 | 7443047 | 西北农林科技大学 | 赵宏波，黄玉祥，郑智旗，朱瑞祥，闫小丽，杨玉婉，付作立 |
| 3 | 实用新型专利 | 一种改进型高合格率排种指夹装置 | 中国 | ZL202323490021.X | 2024-10-01 | 21783592 | 西安亚澳农机股份有限公司 | 史江涛，黄玉祥，史炳直，任盈军，史世昱，史晨阳 |
| 4 | 发明专利 | 行星轮系秸秆逆向差速有支撑切割防堵装置 | 中国 | ZL202010824333.1 | 2022-12-13 | 5646538 | 西北农林科技大学 | 赵宏波，黄玉祥，郑智旗，李卫、付作立，刘正道，刘文政，周建东，何晋普，卫武权 |
| 5 | 发明专利 | 一种凸轮推杆式精量排种器 | 中国 | ZL201910139799.5 | 2024-07-26 | 7236568 | 西北农林科技大学 | 黄玉祥，高鹏洋，张恒榜 |
| 6 | 发明专利 | 一种控种斜充式双排适速精量排种器 | 中国 | ZL202210174623.5 | 2024-04-23 | 6930361 | 西北农林科技大学 | 黄玉祥，陈旭辉，解正雄，刘研，伍景涛，许兴时，郭坪彧 |
| 7 | 软件著作权 | 安卓播种软件 V1.0 | 中国 | 2023SR0796787 | 2023-07-04 | 13188952 | 杨凌科丰农业科技有限公司 | 杨凌科丰农业科技有限公司 |
| 8 | 实用新型专利 | 一种智能电驱精量播种机 | 中国 | ZL202323231356.X | 2024-08-13 | 21505776 | 郑州市中兴龙丰农机装备有限公司 | 李登坤，王强，赵季，冯二伟 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 论文 | Discrete element modeling and shear properties of the maize stubble-soil complex | 中国 | https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107519 | 2022-11-28 | Computers and Electronics in Agriculture, 2023,204(01):107519 | Northwest A&F University; Henan University of Science and Technology | Shilin Zhang, Xuhui Chen, Hongbo Zhao, Fang Liu, Xuezhen Wang, Yuxiang Huang |
| 10 | 论文 | 免耕播种机切茬导草组合式草土分离装置设计与试验 | 中国 | DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.05.007 | 2020-05-25 | 农业机械学报，2020,51(05):67-78. | 西北农林科技大学机械与电子工程学院；陕西省农业装备工程研究中心；西安亚澳农机股份有限公司 | 黄玉祥，高鹏洋，张庆凯，沈浩，朱瑞祥，史江涛 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 黄玉祥 | 1 | 院长/教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目总体设计，组织实施项目计划。组织研发高速精量排导种、播种质量控制方法，协同企业研发精量播种机。对创新点 1、2、3 有重要贡献。 |
| 史江涛 | 2 | 高级工程师 | 西安亚澳农机股份有限公司 | 主持开展高速精量排种、免耕播种防堵技术开发，完成 2BYF/2BMYF/2BMG 3 个系列 10 种玉米精量播种机的产业化。对创新点 1、2 有重要贡献。 |
| 苏光远 | 3 | 站长/高级工程师 | 陕西省农业机械鉴定推广总站 | 主要负责对 2BYF、2BMG、2BYMF、2BMF 等系列玉米精量播种机的试验鉴定，对播种机进行示范推广。对创新点 1、2、3 有重要贡献。 |
| 付作立 | 4 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 主要开展分层施肥、播深稳定性协同调控与镇压力主动调控等关键技术研究，参与玉米精量播种机样机的制作与试验。对创新点 1、2 有重要贡献。 |
| 王强 | 5 | 研发中心总监/工程师 | 郑州市中兴龙丰农机装备有限公司 | 主要开展电驱排种、作业参数监测等技术开发，完成了 2BJY、2BJQ 两个系列 9 种玉米精量播种机的产业化。对创新点 2、3 有重要贡献。 |
| 刘少平 | 6 | 研发部长/无 | 杨凌鲁力农机装备有限公司 | 主要开展免耕播种防堵、种床整理关键技术开发，完成了 2BMF-4 玉米精量播种机的产业化。对创新点 1、2 有重要贡献。 |
| 孙松 | 7 | 总经理/无 | 杨凌科丰农业科技有限公司 | 主要开展玉米精量播种机电驱控制系统、智能监测系统研发，完成了播种软件系统开发。对创新点 2、3 有重要贡献。 |
| 赵宏波 | 8 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 主要开展免耕播种防堵、种床整备关键技术研究，参与玉米精量播种机样机的制作与试验。对创新点 1、2 有重要贡献。 |
| 郑智旗 | 9 | 讲师 | 西北农林科技大学 | 主要开展分层施肥、播深稳定性关键技术研究，参与玉米精量播种机样机的制作与试验。对创新点 1、2 有重要贡献。 |
| 鲁雯琦 | 10 | 副总经理/无 | 武功秦牛农机科技有限公司 | 主要开展免耕播种防堵、种床整理关键技术开发，完成了 2BMF-4 玉米精量播种机的产业化。对创新点 1、2 有重要贡献。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
| --- | --- | --- |
| 西北农林科技大学 | 1 | 创新高速精量排导种、播种全过程质量提升方法、作业参数监测与智能显控技术，校企合作，为 2BYF、2BMG、2BYMF、2BJY、2BJQ、2BMF 等 6 个系列玉米精量播种机研发提供技术支撑。 |
| 西安亚澳农机股份有限公司 | 2 | 完成精量排种、种床整理等技术开发，完成 2BYF、2BMG、2BYMF 3 个系列 10 种玉米精量播种机的产业化。 |
| 陕西省农业机械鉴定推广总站 | 3 | 完成 2BYF、2BMG、2BYMF、2BMF 系列玉米精量播种机的试验鉴定，组织开展技术培训与机具示范推广。 |
| 郑州市中兴龙丰农机装备有限公司 | 4 | 完成电驱排种、作业参数监测等技术开发，2BJY、2BJQ 2 个系列 9 种玉米精量播种机的产业化。 |
| 杨凌鲁力农机装备有限公司 | 5 | 完成 2BMF 玉米精量播种机的产业化。 |
| 杨凌科丰农业科技有限公司 | 6 | 完成玉米精量播种机电驱控制系统、智能监测系统、播种软件系统开发。 |

| | | |
|---|---|---|
| 武功秦牛农机科技有限公司 | 7 | 完成 2BMF 玉米精量播种机的产业化。 |

## 九、完成人合作关系情况

黄玉祥负责项目总体设计、实施方案制定及任务分工落实。史江涛、苏光远、付作立、王强、刘少平、孙松、赵宏波、郑智旗、鲁雯琦以分工协作方式开展关键技术与机具研发、试验示范及推广应用工作。

黄玉祥是西安亚澳农机股份有限公司的技术顾问，通过共同项目立项的方式，与史江涛合作开展玉米精量播种关键技术与装备开发，并合作获批专利《一种改进型高合格率排种指夹装置》，合作发表论文《免耕播种机切茬导草组合式草土分离装置设计与试验》。

黄玉祥、郑智旗是杨凌鲁力农机装备有限公司、武功秦牛农机科技有限公司的技术顾问，双方共同建设了“智能农机装备研究院”，通过共同项目立项的方式，合作开发了 2BMF 玉米精量播种机。黄玉祥与苏光远、王强、孙松、鲁雯琦通过共同项目立项合作，共同开展玉米精量播种机试验示范和技术规范的修订。黄玉祥、苏光远协助西安亚澳农机股份有限公司、杨凌鲁力农机装备有限公司、武功秦牛农机科技有限公司完成系列玉米精量播种机的试验鉴定，并组织开展技术培训与机具示范推广。

黄玉祥与付作立、赵宏波、郑智旗在西北农林科技大学工作，通过共同项目立项的方式，开展玉米精量播种关键技术与装备开发，合作发明一种干湿土分层开沟覆土免耕播种装置、行星轮系秸秆逆向差速有支撑切割防堵装置等。

# 项目三十二

**一、项目名称：**奶山羊全混合日粮饲养关键技术研发与应用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**奶山羊产业是陕西省的优势特色产业，但奶山羊养殖长期存在泌乳效率低下、饲草料资源缺乏、饲喂模式落后等问题。为攻关上述制约奶山羊产业发展的技术瓶颈，西北农林科技大学联合陕西省畜牧技术推广总站、陕西农林职业技术大学、陕西康达尔农牧科技有限公司、富平县畜牧发展中心、陕西康构草业科技有限公司组建了研发与推广团队。依托陕西省饲料饲草产业技术体系、农业农村部饲料和饲料添加剂有效性评价机构、陕西省“四主体一联合”饲料工程技术研究中心等平台，在陕西省重点研发计划项目（2020NY-029；2017TSCXL-NY-04-01）、陕西省农业科技创新驱动资金计划项目（NYKJ-2019-YL15）等项目的资助下，结合奶山羊营养需要量和饲料原料数据库不完善、饲喂模式落后，甚至“有啥喂啥”的养殖现状，项目组开发了奶山羊日粮淀粉高效利用技术，构建了奶山羊关键生理阶段营养需要量和精准营养调控技术，创建了奶山羊全混合日粮中央厨房生产与配送体系等关键技术，最终形成了一套适宜不同生产阶段、不同养殖规模的奶山羊全混合日粮饲养关键技术。该项目成果在大面积示范推广中显著提高了奶山羊的泌乳效率和饲料利用率，有效缓解了饲草料资源缺乏现状，大幅提升了奶山羊养殖的标准化、规范化水平，降低了甲烷、粪污的排放污染。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

**三、项目简介：**

发展奶山羊产业对保障粮食安全和健康中国的国家战略均具有重要意义。奶山羊是我省的优势特色产业，但我省乃至我国奶山羊养殖长期存在泌乳效率低下、饲草料资源缺乏、饲喂模式落后等产业难题。针对上述瓶颈问题，在陕西省重点研发计划项目（2020NY-029；2017TSCXL-NY-04-01）和陕西省农业科技创新驱动资金计划项目（NYKJ-2019-YL15）等项目的资助下，项目组研发出一套以营养高效和机体健康为核心的奶山羊全混合日粮饲养关键技术，并进行了大面积示范推广，攻克了制约奶山羊产业发展的关键技术难题，为我省乃至我国奶山羊产业高质量发展提供了强有力的技术支撑。本项目取得以下创新性成果：

**1. 开发了日粮淀粉高效利用技术，为改善奶山羊泌乳效率提供了技术支撑。**

研发了调控淀粉消化位点和速率的原料加工和日粮配制措施，并形成了以亮氨酸和苯丙氨酸为核心的小肠淀粉消化率调控策略，显著提高了奶山羊的饲料转化率和泌乳效率。

**2. 构建了关键生理阶段营养需要量和精准营养调控技术，为奶山羊全生命周期高效健康养殖提供了技术方案。**结合不同生理阶段消化道和机体代谢特征，项目组确定了基于动态营养供应的奶山羊关键生理阶段需要量，以保障消化道健康和养分高效利用为目标形成了覆盖胎儿期、幼龄期、青年期、围产期、泌乳期的奶山羊全生命周期精准营养调控技术方案，显著提高了生产性能，有效降低了营养代谢性疾病发生率，并大幅减少了甲烷和粪污排放污染，实现奶山羊精准营养与健康养殖。

**3. 创建了全混合日粮中央厨房生产与配送体系，为奶山羊的日粮供应提供了整体解决方案。**以营养均衡和高效利用为核心目标，项目组研发了奶山羊饲料原料数据库和精准日粮配方，规范了全混合日粮加工技术，开发了全混合日粮裹包和保存期延长技术，创建了中央厨房生产与配送体系，有效缓解了饲草料资源短缺和营养不平衡问题，大幅提升了奶山羊养殖的标准化、规范化水平，保障了奶山羊生产潜力的高效发挥。

项目实施期间，在全国 10 个省市推广“奶山羊全混合日粮饲养关键技术”。据不完全统计，项目技术覆盖 100 万余只奶山羊，增加鲜奶 2.3 万吨，增加经济效益 1.4 亿元，提高饲料转化率 4%以上，减少甲烷排放 16%以上，节约饲料费、医药费和排泄物处理费 1.3 亿元，累计增加经济效益 2.7 亿元。本项目显著提升奶山羊产业的社会、经济和生态效益，助推我省乃至我国奶山羊产业高效、健康高质量发展。

项目实施期间，授权国家发明专利 3 件、实用新型专利 7 件、软件著作权 4 件，发布国家标准 2 项、农业行业标准 1 项、陕西省地方标准 2 项、团体标准 1 项、企业标准 28 项，培养博士、硕士研究生 36 名，发表学术论文 49 篇，培训奶山羊全混合日粮配方设计、日粮制作与饲喂技术人员 410 余名。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

**1. 项目验收意见**

2021 年 9 月 4 日，杨凌示范区现代农业和乡村发展局组织有关专家对西北农林科技大学承担的陕西省农业科技创新驱动资金计划项目“奶山羊高效健康养殖和综合配套技术集成示范（项目编号：NYKJ-2019-YL15）”进行了验收。专家组在听取汇报、审阅资料、质询和讨论后，认为该项目制定了奶山羊小肠代谢蛋白质、物理有效中性洗涤纤维等关键营养素适宜需要量建议标准；研发了奶山羊甲烷、氮素、磷素减排机理和调控措施；优化完善了奶山羊日粮碳水化合物平衡指数体系；探索了奶山羊高效养殖关键技术。该项目在千阳县种羊场等 4700 头奶山羊饲养中推广了四项奶山羊高效饲养轻量化技术，新增直接经济效益约2000万元。

2022 年 6 月 1 日，陕西省科技厅组织有关专家对西北农林科技大学承担的陕西省科技计划项目“基于动态营养供应的奶山羊围产期精准饲养技术研究（项目编号：2020NY-029）”进行了验收。验收委员会审阅了项目组提交的有关资料，经讨论，认为该项目通过研究围产期奶山羊营养代谢规律，形成了精准饲喂技术。

2023 年 6 月 2 日，陕西省科技厅组织有关专家对西北农林科技大学承担的陕西省科技计划项目“饲料养分高效利用的营养代谢与调控机制（项目编号：2017TSCXL-NY-NY-0401）”进行了验收。验收委员会在认真听取课题主持人的汇报、审阅有关材料的基础上，经过质询和充分讨论后，认为项目系统研究了奶畜日粮结构、粗饲料种类、饲料加工方法和多种甲烷抑制剂组合对甲烷排放和碳水化合物利用效率的影响，提出了脉冲式添加甲烷抑制剂的技术措施；形成了以亮氨酸和苯丙氨酸为核心的奶畜小肠淀粉高效利用调控技术；集成了饲料养分高效利用调控技术。

**2. 科技查新报告**

2022 年 5 月 13 日，教育部科技查新工作站（N04）对“饲料养分高效利用的营养代谢与调控机制”进行了科技查新，查新点为“亮氨酸和苯丙氨酸调控小肠胰腺消化酶分泌促进淀粉消化吸收的分子机制”，查新结论为（报告编号：202236000N040027）“国内外未见与本课题查新点内容相同的文献报道”。

**3. 重要学术刊物的学术性评价意见**

本项目形成的“奶山羊饲养关键技术”推动了奶山羊产业的高质量发展，同时促进了奶山羊营养基础研究的大幅进步。本项目研究成果的科学价值和对生产的

指导意义得到国内外同行的认可。国内权威奶畜营养研究团队浙江大学刘建新教授团队、中国农业大学李胜利教授团队、中国农业科学院北京畜牧兽医研究所王加启研究员团队、扬州大学王洪荣教授团队、山东农业大学王中华教授团队的硕博士研究生学位论文对本项目碳水化合物高效利用的相关成果进行了多次引证。本项目实施过程中以英文形式发表的论文或相关国际会议的报告得到国际动物营养学同行的广泛讨论。国际知名反刍动物营养学家 Daivid L. Harmon（University of Kentucky）和 Kendall C. Swanson 教授（North Dakota State University）团队联合发表题为“ Nutritional and physiological constraints contributing to limitations in small intestinal starch digestion and glucose absorption in ruminants”的综述，对本项目发表的系列文章进行点评，充分肯定了本项目在奶山羊小肠淀粉高效利用方面的成绩。全球微生物学领域的顶级期刊 Microbiome 对本项目在奶山羊亚急性瘤胃酸中毒机制解析的相关研究进行了深度点评，认为该研究成果为动物消化道健康领域的研究提供了新的思路和方向。

**五、应用情况**

依托陕西省饲料饲草产业技术体系、陕西省饲料产业技术创新战略联盟和陕西省饲料工程技术研究中心，项目组主要在优势饲料企业（如，陕西康构草业科技有限公司、西安禾丰饲料科技有限公司、陕西华秦农牧科技有限公司、陕西康达尔农牧科技有限公司、杨凌迪高维尔生物科技有限公司等）以及不同规模奶山羊养殖场（如，陕西关中奶山羊专业合作社、陕西和氏高寒川牧业有限公司、陕西澳尼克奶山羊育种有限公司、千阳县种羊场、富平县海燕奶山羊养殖专业合作社等）推广本项目的技术成果。同时，据不完全统计，2017 年至 2024 年在全国 10 余个省市推广上述技术，辐射奶山羊超过 100 万只，其中泌乳奶山羊 50 万只以上，成果的实施提高饲料转化率 4%以上，减少甲烷排放 16%以上，增加鲜奶 2.3 万吨，增加经济效益 1.4 亿元，节约饲料费、医药费和排泄物处理费 1.2 亿元，累计增加经济效益 2.7 亿元。同时，项目研发成果的推广应用有效降低了奶山羊养殖的甲烷和粪污排泄污染，创造了较高的环保价值。

**六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)**

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | 一种奶山羊专用泌乳期能量重分配的饲料添加剂 | 中国 | ZL201610952171.3 | 2019 年 07 月 26 日 | 3471506 | 西北农林科技大学 | 曹阳春、姚军虎、李宗军、王腊梅、蔡传江、王砀砀、赵聪聪、张涛、乔雨、郑辰、尹清艳 |
| 2 | 发明专利 | 一种增强羔羊抗氧化和免疫功能的方法 | 中国 | ZL201810581999.1 | 2021 年 3 月 16 日 | 4298388 | 西北农林科技大学 | 曹阳春、姚军虎、王腊梅、魏筱诗、赵会会、何家俊、尹清艳、蔡传江、徐秀容 |
| 3 | 标准规范 | 饲料中总砷的测定 | 中国 | GB/T 13079-2022 | 2022 年 12 月 30 日 | 国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会 | 四川威尔检测技术股份有限公司；陕西省畜牧技术推广总站；陕西秦云农产品检验检测有限公司 | 李宏、张凤枰、马川、杨海燕、晁娟娟、刘均、高勤叶、宋涛、皇甫凯 |
| 4 | 发明专利 | 一种养殖场用饲料前发酵系统 | 中国 | ZL202211560554.8 | 2024 年 12 月 03 日 | 7575407 | 陕西康达尔农牧科技有限公司；西北农林科技大学 | 刘洋；刘玉瑞；孙瑞涛；姚军虎；杨小军；雷新建；任周正；武胜儒；刘云鹏 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 标准规范 | 反刍动物全混合日粮中碳水化合物平衡指数（CBI）的测定 | 中国 | DB61/T1262-2019 | 2019 年 08 月 23 日 | 陕西省市场监督管理局 | 西北农林科技大学、杨凌现代农业产业标准化推广服务中心 | 曹阳春、姚军虎、蔡传江、徐秀容、龚月生、雷新建、杨静 |
| 6 | 标准规范 | 反刍动物全混合日粮中瘤胃降解淀粉（RDS）的测定——尼龙袋法 | 中国 | T/YLSL2-2020 | 2020 年 01 月 01 日 | 杨凌饲料工业协会 | 西北农林科技大学 | 曹阳春、姚军虎、蔡传江、徐秀容、龚月生、王建国、雷新建 |
| 7 | 标准规范 | 奶山羊全混合日粮生产技术规程 | 中国 | Q/KGCY-001-2023 | 2023 年 09 月 18 日 | 陕西康构草业科技有限公司 | 西北农林科技大学、陕西省畜牧产业试验示范中心、富平县畜牧产业发展中心、白水县畜牧产业发展中心、蒲城县畜牧产业发展中心、陕西康构草业科技有限公司 | 姚军虎、雷新建、肖红年、贾永宏、李芳娥、王平、魏安民、聂林文、吴强、李延华、梁军青、贾军虎、宋永喜、刘冬、令幸幸、陈辉、张勇、唐永峰、杨椰子、刘煜 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 专著 | 家畜饲养学 | 中国 | 229869 | 2020 年 11 月 | 中国农业出版社 | 西北农林科技大学 | 姚军虎、谯仕彦等 |
| 9 | 计算机软件著作权 | 饲料加工生产工艺智能控制系统 | 中国 | 2019SR0222806 | 2018 年 11 月 06 日 | 软著登字第 3643563 号 | 陕西康达尔农牧科技有限公司 | |
| 10 | 论文 | Multi-omics revealed the long-term effect of ruminal keystone bacteria and the microbial metabolome on lactation performance in adult dairy goats | 中国 | https://doi.org/10.1186/s40168-023-01652-5 | 2023 年 09 月 29 日 | Microbiome | 西北农林科技大学 | 王砀砀、陈鲁豫、唐光福、于君健、陈捷、李宗军、曹阳春、雷新建、邓露、武圣儒、Le Luo Guan、姚军虎 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 雷新建 | 1 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 项目主持人，提出项目总体思路，全面负责方案设计和实施。研究了奶山羊关键生理阶段的营养需要量和养分高效利用的调控措施，创建了全混合日粮中央厨房生产与配送体系。对本项目主要科技创新点的第 1、2、3 点均有重要贡献。 |
| 姚军虎 | 2 | 教授 | 西北农林科技大学 | 项目实施总体指导，参与研究了日粮淀粉高效利用技术、关键生理阶段营养需要量和精准营养调控技术，指导了全混合日粮中央厨房生产与配送体系的示范推广，对本项目主要科技创新点的第 1、2、3 点均有重要贡献。 |
| 晁娟娟 | 3 | 畜牧师 | 陕西省畜牧技术推广总站 | 负责部分项目的实施，规范了饲料中总砷的测定，参与了全混合日粮中央厨房生产与配送体系的示范推广。对所列主要科技创新点 3 有重要贡献。 |
| 曹阳春 | 4 | 副院长/教授 | 西北农林科技大学 | 负责项目部分方案设计、实施，规范了日粮碳水合物指数和瘤胃可降解淀粉的测定方法，参与研究了碳水化合物高效利用的营养调控措施，并开展了全混合日粮饲养技术的推广应用。对本项目主要科技创新点的第 1、2、3 点有重要贡献。 |
| 李宇 | 5 | 讲师 | 陕西农林职业技术大学 | 负责项目部分内容的实施和推广应用，参与构建奶山羊全混合日粮生产和配送体系，对本项目主要科技创新点的第 3 点有重要贡献。 |
| 王砀砀 | 6 | 助理研究员 | 西北农林科技大学 | 负责项目部分方案设计、实施和成果总结，筛选了决定奶山羊生长速度和泌乳性能的关键微生物，建立了奶山羊饲料原料数据库，参与了全混合日粮中央厨房生产与配送体系的示范推广。对本项目主要科技创新点的第 2、3 点有重要贡献。 |
| 刘洋 | 7 | 总经理 | 陕西康达尔农牧科技有限公司 | 负责项目部分内容的实施和推广应用，参与研究了饲料养分高效利用技术和全混合日粮生产技术，对本项目主要科技创新点的第 1、3 点有重要贡献。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 吴强 | 8 | 畜牧师 | 富平县畜牧发展中心 | 负责项目部分内容的实施和推广应用，参与开发全混合日粮中央厨房生产与配送体系，在本项目主要科技创新点的第 3 点有重要贡献。 |
| 刘煜 | 9 | 高级工程师 | 陕西康构草业科技有限公司 | 负责项目部分内容的实施和推广应用，参与构建奶山羊全混合日粮中央厨房生产与配送体系，对本项目主要科技创新点的第 3 点有重要贡献 |
| 李延华 | 10 | 高级兽医师 | 富平县畜牧发展中心 | 负责部分项目的实施，参与开发奶山羊关键生理阶段营养需要量和精准营养调控技术以及全混合日粮中央厨房生产与配送体系，对本项目主要科技创新点的第 2、3 的推广应用有重要贡献。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学为本项目第一完成单位，负责项目整体设计、实施和总结，为项目的顺利实施和推广应用必要的经费、科研人员、仪器设备等。依托陕西省饲料饲草产业技术体系、陕西省“四主体一联合”饲料工程技术研究中心等平台，与陕西省畜牧技术推广总站、陕西农林职业技术大学、陕西康达尔农牧科技有限公司、富平县畜牧发展中心和陕西康构草业科技有限公司共同完成“奶山羊全混合日粮饲养技术”的研发和推广应用。西北农林科技大学对本项目主要科技创新点的第 1、2、3 点均有重大贡献。 |
| 陕西省畜牧技术推广总站 | 2 | 协助西北农林科技大学完成全混合日粮中央厨房生产与配送体系的研发和推广应用。陕西省畜牧技术推广总站对本项目主要科技创新点的第 3 点有重要贡献。 |
| 陕西农林职业技术大学 | 3 | 参与项目的实施和推广应用，开展了部分试验协助西北农林科技大学完成全混合日粮中央厨房和配送体系的研发和构建，同时协助本项目形成的“奶山羊全混合日粮饲养关键技术”进行示范推广。陕西农林职业技术大学对本项目主要科技创新点的第 3 点有重要贡献。 |
| 陕西康达尔农牧科技有限公司 | 4 | 协助西北农林科技大学完成奶山羊饲料养分高效利用技术以及全混合日粮中央厨房生产与配送体系的研发和推广应用。陕西康达尔农牧科技有限公司对本项目主要科技创新点的第 1、3 点有重要贡献。 |
| 富平县畜牧发展中心 | 5 | 协助西北农林科技大学完成奶山羊关键生理阶段需要量和精准调控技术研发以及混合日粮中央厨房生产与配送体系的推广应用，并组织多次技术培训和技术推广。富平县畜牧发展中心对本项目主要科技创新点的第 2、3 点有重要贡献。 |
| 陕西康构草业科技有限公司 | 6 | 为本项目的顺利实施提供了试验场地和设备，协助西北农林科技大学优化全混合日粮生产工艺和技术流程，协助构建全混合日粮中央厨房和配送体系，在陕西省中小规模奶山羊养殖户开展应用推广，并及时反馈应用数据。陕西康构草业科技有限公司对本项目主要科技创新点的第 3 点有重要贡献。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 论文合著 | 雷新建/1<br>姚军虎/2<br>曹阳春/4<br>王旸旸/6 | 2014 | 2024 | Multi-omics revealed the long-term effect of ruminal keystone bacteria and the microbial metabolome on lactation performance in adult dairy goats | 主要知识产权和标准规范目录 10 |
| 2 | 产业合作 | 雷新建/1<br>姚军虎/2<br>晁娟娟 3<br>刘煜/9 | 2020 | 2024 | 推广应用项目形成的奶山羊全混合日粮饲养关键技术 | 合作协议 |
| 3 | 产业合作 | 雷新建/1<br>姚军虎/2<br>曹阳春/4<br>李宇/5<br>王旸旸/6<br>吴强/8<br>刘煜/9<br>李延华/10 | 2018 | 2024 | 推广应用项目形成的奶山羊全混合日粮饲养关键技术 | 合作协议 |
| 4 | 共同知识产权 | 雷新建/1<br>姚军虎/2<br>刘洋/7 | 2017 | 2024 | 一种养殖场用饲料前发酵系统 | 主要知识产权和标准规范目录 2 |
| 5 | 共同参与制定标准规范 | 雷新建/1<br>姚军虎/2<br>刘煜/6<br>吴强/8<br>李延华/10 | 2018 | 2024 | 奶山羊全混合日粮生产技术规程 | 主要知识产权和标准规范目录 7 |
| 6 | 共同立项 | 雷新建/1<br>姚军虎/2<br>曹阳春/4<br>王旸旸/6<br>李延华 10 | 2019 | 2024 | 奶山羊高效健康养殖与综合配套技术集成示范 | 陕西省农业科技创新驱动资金计划项目验收证书（杨农验[2021]第 15 号） |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目由西北农林科技大学与陕西省畜牧技术推广总站、陕西农林职业技术大学、陕西康达尔农牧科技有限公司、富平县畜牧发展中心和陕西康构草业科技有限公司等单位共同完成。各参与单位分工明确、优势互补、联合攻关，针对奶山羊养殖长期存在产奶效率低下、饲草料资源短缺、饲喂模式落后等问题进行了深入合作，开发了奶山羊全混合日粮饲养关键技术，并进行大面积推广应用。第一完成人雷新建、第二完成人姚军虎、第四完成人曹阳春和第六完成人王砀砀是西北农林科技大学动物科技学院动物营养与健康养殖科技创新团队的核心成员，进行核心技术开发及试验研究工作，有共同立项、共同知识产权、示范推广、论文合著若干。第三完成人晁娟娟所在的陕西省畜牧技术推广总站为本项目产学研合作方，与第一完成人在奶山羊全混合日粮饲养技术的的研发和示范推广进行产业合作。第五完成人李宇为西北农林科技大学动物科技学院研究生，在攻读学位期间参与了该项目的执行，博士毕业后在陕西农林职业技术大学工作，继续与第一完成人在奶山羊全混合日粮饲养技术的示范推广进行产业合作。第七完成人刘洋所在的陕西康达尔农牧科技有限公司为该项目产学研合作方，与第一完成人针对饲料养分高效利用技术的研发开展合作研究，与第一完成人在奶山羊全混合日粮饲养技术的示范推广进行产业合作。第八完成人吴强和第十完成人李延华所在的富平县畜牧发展中心为该项目产学研合作方，与第一完成人在奶山羊关键生理阶段精准营养调控与健康养殖技术以及全混合日粮饲养技术的示范推广进行产业合作，与第一完成人共同参与制定标准规范。第九完成人刘煜所在的陕西康构草业科技有限公司为该项目产学研合作方，与第一完成人在奶山羊全混合日粮饲养技术的示范推广方面进行产业合作。

# 项目三十三

**一、项目名称：**端云协同的农作物病害智能诊断防治关键技术

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**农作物病害会严重影响作物的产量和质量，进而严重威胁相关产业的可持续发展。近年来随着人工智能、物联网、联邦学习、大语言模型等技术的飞速发展，为农作物病害智能诊断防治方法开拓了新思路，同时为农业产业的健康可持续发展带来了新的机遇和挑战。项目以信息智能感知、智能精准诊断以及高效防治过程中的部分瓶颈问题为核心，提出了多源异构数据智能采集传输管理技术，研究了空地协同一体化智能诊断模式，设计了基于知识引导的防治措施智能推荐系统。该项目属于技术研发与应用基础研究，是新一代人工智能技术与农业病害诊断的交叉融合，同时也是智慧植保领域的学科前沿，具有重要的学术意义和实际应用价值。研究成果已经在陕西多地进行示范应用推广，并取得了显著的经济效益和推广价值，有力的推动了示范地区相关产业的健康可持续发展。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、**项目简介：**

农作物病害智能诊断能够有效降低病害对农产品产量及质量的影响，促进农业产业健康可持续发展。然而由于当前我国农作物病害诊断防治过程中存在自动化程度低、检测精度不足等问题导致农业生产过程中病害诊断防治效率低下、智能化水平不足等问题，项目紧扣“理论突破-技术创新-集成应用”的主线，系统研究了基于病害智能诊断及防治等关键科学问题：探明了农业生产场景下多源异构数据的高效传输及存贮机制，研制了基于物联网的多源异构数据采集传输及存储系统；突破了单一尺度单一模态病害诊断方法的局限性，研发“空天地”一体化病害诊断技术；深入分析云端大模型与边缘端设备模型部署间的互作机制，提出基于端云协同的病害模型优化部署方案，并设计病害智能巡检机器人；构建面向不同农作物的病害防治知识图谱，并研究知识驱动的防治处方推荐系统，实现对病害防治处方的精准推荐。最终设计构建面向“病害诊断-防治推荐”的病害防治全链条技术体系。

本成果由西北农林科技大学、陕西省农村科技开发中心、杨凌极飞农业智能装备有限公司共同研发完成，能够有效提升对农作物病害的诊断精度及诊断效率，

提升病害诊断的自动化、智能化水平。成果的应用与示范对推动信息技术与智慧农业、智慧植保的全面融合具有重要意义，能够促进我省农业产业健康可持续发展，同时对于加强相关产业的技术转型具有十分重要的意义。其创新性成果如下：

（1）**提出了“空天地”一体化协同的病害智能诊断技术。**面向不同生产场景下的病害自动化、智能化诊断需求，探究不同尺度下的病害智能诊断框架，分别针对不同尺度的数据设计相应的病害诊断框架。挖掘多源数据与病害发病规律之间的关联规律，实现多源多模态病害特征的有效融合，同时挖掘病害特征与病害之间的精准判别关系，设计精准检测模型，实现空天地一体化协同病害智能诊断，有效提升田间病害诊断的精度及智能化水平。

（2）**设计基于端云协同的病害模型优化部署方案。**探明病害诊断大模型的优化机制，设计基于云端高性能服务器的并行优化框架，实现云端大模型的高效优化。同时针对算力及资源受限的边缘端设备，实现提出组件协同设计的模型轻量化方法，同时研发面向边缘端设备的高效推理方法，实现边缘端设备的模型高效部署及推理，同时挖掘云端与边缘端之间的模型互作机理，实现云端与边缘的信息高效传输，有效提升农业生产场景下的模型优化及部署效率。

（3）**构建了知识驱动的病害防治处方推荐系统。**针对苹果、红枣、猕猴桃等作物开展防治措施知识图谱构建，同时基于大语言模型研究知识嵌入框架，实现专业知识与人工智能技术的高效结合，同时研发面向不同农作物的病害防治处方推荐系统。该系统以农业大数据平台为基础，为不同层级的用户提供相应的服务架构。

该项目授权发明专利 2 项，软件著作权 7 项，发表高水平论文 20 余篇，其中高被引论文 1 篇。项目成果已经在陕西省周至县、白水县以及宁夏省的固原市等省市进行了示范应用推广，累计辐射耕地面积 5 万余亩，培训技术人员和新型职业农民 1 万余人次以上，病害智能诊断精度达 90%以上，防治处方推荐精度达 85%以上。根据部分应用证明统计结果显示，本项目为相关单位带来直接经济效率 3000 余万元，为农民带来增收 1 亿元，取得了良好的经济效益及社会效益。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

（一）项目验收报告

陕西省重点产业创新链项目（“互联网+农业科技资源”服务技术集成与应用），项目验收意见表明，开发了陕西省科技特派员服务与管理系统和陕西省农业科技资源服务平台，实现了陕西省科技特派员规范化管理和农业科技资源信息共享。

陕西省科技计划项目“基于人工智能的苹果叶部病虫害早期监测预警研究与巡检装备研发”，项目验收意见表明，通过云计算技术建立苹果叶部病虫害样本集与大数据平台，构建了新型苹果叶部早期病虫害诊断模型；研究机器人自动巡迹与图像数据获取技术，融合轻量级深度学习模型研制巡检机器人与监测预警平台，实现苹果叶部早期病虫害实时检测。

（二）论文引用情况

在农作物病虫害智能诊断防治关键技术方面，研究团队已经发表相关论文14篇，其中SCI期刊论文10篇，在WOS数据库中被引507次，其中他引246次，包括高被引论文2篇。研究成果受到国内外同行广泛关注，成果同时受到国内外知名专家学者关注及引用。同时，《农业工程学报》《农业机械学报》等农业权威领域期刊多次引用本项目成果论文，表明项目研究成果对于农作物病害智能诊断方面具有指导意义，为后续研究提供了技术参考与借鉴。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写)**

项目建立了农作物病害信息感知传输系统、“空天地”一体化智能病害诊断系统、基于端云协同的模型优化部署架构以及基于知识引导的农作物防治处方推荐系统。研发的平台及技术已经在全国多个省市进行示范应用推广，具体应用如下：

（1） 农作物病害信息感知传输系统应用情况

陕西珠机罗盘信息科技有限公司自2020年起，将农作物病害信息智能感知传输系统应用于农业数据采集、管理等应用中，并且在农业数据采集、农业数据传输、农业数据管理等三个方面进行应用。

（2） “空天地”一体化智能病害诊断系统应用情况

杨凌极飞农业智能装备有限公司自2021年起，联合西北农林科技大学，将“空天地”一体化智能病害诊断系统进行应用，将系统与公司的农业智能装备进行联合应用部署，并且将该系统应用于林间植保任务以及田间智慧植保任务。

（3） 基于端云协同的模型优化部署架构应用情况

该系统与病害诊断系统协同进行部署应用，目前在陕西珠机罗盘信息科技有

限公司、杨凌极飞智能农业装备有限公司中的系统与农业智能装备中都得到了应用。

（4） 基于知识引导的农作物防治处方推荐系统应用情况

陕西省农村科技开发中心自 2019 年起与西北农林科技大学合作进行农作物防治处方推荐系统的研发，目前该成果已经集成到陕西省农村信息服务平台，并且在白水、周至等地进行应用，并且对当地农户与相关技术人员进行培训。

表 2 主要应用单位情况表

| 序号 | 单位名称 | 应用的技术 | 应用规模 | 应用起止时间 | 单位联系人/电话 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 泾阳蔬菜产业服务中心 | 端云协同的农作物病害智能诊断防治关键技术 | 3000 亩 | 2020-2023 | 张万/13909108254 |
| 2 | 周至县周一村 | 端云协同的农作物病害智能诊断防治关键技术 | 1000 亩 | 2020-2023 | 史立业/18092166427 |
| 3 | 杨凌职业农民培训管理中心 | 端云协同的农作物病害智能诊断防治关键技术 | 123 个地市，296 个县 | 2015.08-至今 | 苏志国/029-87036420 |
| 4 | 汉阴县 | 端云协同的农作物病害智能诊断防治关键技术 | 3.5 万亩 | 2019-2023 | 蒲亚峰/18391578528 杨昌宽/15929005352 |
| 5 | 陕西珠机罗盘信息科技有限公司 | 端云协同的农作物病害智能诊断防治关键技术 | 3000 亩 | 2019-2023 | 马哲/17702960936 |

**六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)**

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 论文 | MEAN-SSD: A Novel Real-Time Detector for Apple Leaf Diseases Using Improved Light-weight Convolutional Neural Networks | 中国 | DOI：10.1016/j.compag.2021.106379 | 2021/8/5 | Computer and Electronics in Agriculture | 西北农林科技大学 | 孙赫男、徐皓伟、刘斌、何东建、何进荣、张海曦、耿楠 |
| 2 | 论文 | MCDCNet: Multi-scale constrained deformable convolution network for apple leaf disease detection | 中国 | DOI：10.1016/j.compag.2024.109028 | 2024/5/8 | Computer and Electronics in Agriculture | 西北农林科技大学 | 刘斌、黄旭蕾、孙雷茗、卫星、纪泽宇、张海曦 |
| 3 | 软件著作权 | 基于 INAR-SSD 算法的苹果叶片病害检测系统 V1.0 | 中国 | 2019SE0384523 | 2019/3/1 | 软著登字第 3805280 号 | 西北农林科技大学 | 刘斌、田靓靓、胡琪琳、张嘉琦 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 软件著作权 | 智能物联网管理系统V1.0 | 中国 | 2024SR1243884 | 2024/8/6 | 软著登字第13647757号 | 陕西省农村科技开发中心;西北农林科技大学 | 刘斌、刘运松、卫星、张海曦、陈毅杰、冯伟 |
| 5 | 软件著作权 | 识病君——苹果树病虫害识别系统 [简称：识病君] 1.0 | 中国 | 2024SR0334267 | 2024/2/29 | 软著登字第12738140号 | 西北农林科技大学 | 刘斌、韩家齐、郝景新、张海曦 |
| 6 | 软件著作权 | 农业环境监控系统[简称：农业监控系统] V1.0 | 中国 | 2024SR0237537 | 2024/2/6 | 软著登字第12641410号 | 陕西省农村科技开发中心;西北农林科技大学 | 刘斌、刘运松、卫星、刘敬敏 |
| 7 | 软件著作权 | 基于知识图谱的苹果病虫害防治推荐系统[简称：西农智能推荐系统]V1.0 | 中国 | 2023SR1667712 | 2023/12/18 | 软著登字第12254185号 | 西北农林科技大学 | 刘斌、韩家齐、李世君、张海曦、纪泽宇 |
| 8 | 软件著作权 | 耘夫优品苹果叶部病害诊断预警及防治决策支持系统 V1.0 | 中国 | 2021SR1340911 | 2021/9/8 | 软著登字第8063537号 | 西北农林科技大学 | 刘斌、张海曦、田靓靓 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 软件著作权 | 基于 MEAN-SSD 算法的移动端苹果叶片病害检测系统[简称：苹果病害检测] V1.0 | 中国 | 2021SR0489208 | 2021/3/1 | 软著登字第7211834号 | 西北农林科技大学 | 刘斌、张海曦、孙赫男、田靓靓 |
| 10 | 地区标准 | 智慧农业园区数据处理技术规范 | 中国/杨凌示范区 | DB6111/T 197-2023 | 2023/4/27 | | 杨凌示范区农业标准化技术委员会 | 刘斌、耿楠、蒲攀、周兆永、张宏鸣、李书琴、黄铝文、刘运松、耿耀君、李梅、张海曦、卫星、邓希廉、李皓、马军妮、文立红 |

## 六、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 刘斌 | 1 | 无/教授 | 西北农林科技大学 | 对本项目主要创新点中所列第 1 个创新点、第 2 个创新点和第 3 个创新点做出了创造性贡献。主要负责提出总体思路与方案，主持项目实施和总结；挖掘多源数据与病害发病规律之间的关联规律，提出“空天地”一体化协同的病害智能诊断技术；探明病害诊断大模型的优化机制，设计基于端云协同的病害模型优化部署方案；基于大语言模型研究知识嵌入框架，构建了知识驱动的病害防治处方推荐系统。 |
| 李书琴 | 2 | 无/教授 | 西北农林科技大学 | 对本项目主要创新点中所列第 1 个创新点和第 2 个创新点做出了创造性贡献。主要负责研究基于深度学习的目标检测算法，研发对病虫害进行实时监测与预警平台；构建一套数据多种形式送达的推荐服务体系，研发基于农业用户画像的信息个性化推荐系统；提出异质数据统一管理方法，创制异构系统集成技术， |
| 卫星 | 3 | 无/助理工程师 | 陕西省农村科技开发中心 | 对本项目主要创新点中所列第 3 个创新点做出了创造性贡献。主要负责研发作物生长元数据语义动态关联决策系统，实现生产跨环节、多成因关联分与精准调控决策；建立面向农业行业的本体库，在语义本体推理引擎的基础上结合用户的参与，根据用户的查询请求进行语义扩展和推理；提出面向 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 农业感知数据的稀疏向量采集与空间调合方法，有效降低节点之间的传输能耗，提高整个网络的传输效率和实用性。 |
| 张海曦 | 4 | 无/副教授 | 西北农林科技大学 | 对本项目主要创新点中所列第 1 个创新点和第 3 个创新点做出了创造性贡献。主要负责开展病虫害智能诊断技术研究，聚焦设施蔬菜、苹果等作物，挖掘多源数据与病虫害发病规律的关联机制；探索基于深度学习的大规模植物识别及病害诊断模型优化方法，推动“空-谱-时”特征融合、新型卷积网络等模型架构创新；参与卫星全色与多光谱图像融合、媒体大数据深度分析等技术研究，为跨模态智能分析提供方法支撑。 |
| 刘运松 | 5 | 陕西省农村科技开发中心副主任/高级工程师 | 陕西省农村科技开发中心 | 对本项目主要创新点中所列第 2 个创新点做出了创造性贡献。主要负贵研究农田无线传感网络最优节点配置、网络优化及自组织技术，提升农情监测设备的运行时间和可持续性；研制地面车载移动式土壤信息装置，实现农田信息的长期监测与动态采集；明晰作物生长、病害发生等与温室温度、灌流量、水汽质量平衡间的耦合关系，归纳典型作物不同生长阶段的最佳环境参数。 |
| 田高斌 | 6 | 杨凌极飞农业智能装备有限公司总经理/无 | 杨凌极飞农业智能装备有限公司 | 对本项目主要创新点中所列第 3 个创新点做出了创造性贡献。主要负责根据用户画像标签信息，综合采用大数据、地理信息、AI 模型、云计算技术，构建农业产销信息共 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 享服务系统，全面提升农业供给侧产销信息服务的效率和精准性；以农业大数据云平台为支撑，创制农业信息服务平台，为 PC、移动端、多点触摸等终端提供信息服务。 |
| 牛当当 | 7 | 西北农林科技大学信息化管理处副处长/副教授 | 西北农林科技大学 | 对本项目主要创新点中所列第 3 个创新点做出了创造性贡献。主要负责对 YOLO 算法进行改进，提出某于特征增强机制的幼苗获取检测模犁，基于无人机正射影像，实现对幼苗株数的快速获取，为苗期管理提供技术支持；通过添加并行注意力机制，设计农业领域文本词典构造方法，提出新的深度学习模型，从非结构化文本中抽取实体，提高农业领域文本信息抽取的效率，降低人工成本，为基于农业领域知识库的个性化服务与智能决策奠定良好基础。 |
| 纪泽宇 | 8 | 无/讲师 | 西北农林科技大学 | 对本项目主要创新点中所列第 2 个创新点做出了创造性贡献。主要负责开展大规模模型训练 Pipeline 复用、异构 GPU 集群高效分布式学习、卷积加速等方法研究；探索农作物病害检测模型云边协同框架及主要粮食作物病虫害监测预警技术，推动农业智能监测与高性能计算的交叉融合，为高性能计算在农业领域融合应用提供技术支撑。 |
| 冯伟 | 9 | 无/教授 | 西北农林科技大学 | 对本项目主要创新点中所列第 2 个创新点做出了创造性贡献。主要负责聚焦区块链、分布式计算与人工智能交叉领域，开展基于区块链 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 的数据传输控制、隐私保护、联邦多视图聚类与模糊聚类、跨视图子空间聚类等方法研究；探索区块链在物联网、社交网络、多媒体等领域的信任评估与应用创新，提出多类分布式学习与隐私保护融合的技术方案，为区块链与分布式智能系统的理论发展及跨领域应用提供支撑。 |
| 陈毅杰 | 10 | 无/讲师 | 西北农林科技大学 | 对本项目主要创新点中所列第 2 个创新点做出了创造性贡献。主要负责开展复杂结构神经网络的结构化修剪方法研究，聚焦资源受限平台的神经网络优化提出多阶段全局通道剪枝、高比例通道剪枝等技术，助力实时目标检测；探索基于模型修剪与量化的复杂神经网络模型协同压缩方法，以及多模态多任务神经网络模型的设计与轻量化技术，为资源受限场景下神经网络的高效部署提供支撑。 |

## 七、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 单位贡献：西北农林科技大学在项目中发挥了重要的技术支撑与科研引领作用，主要负责规划整体思路与方案。研制“空天地”一体化协同的病害智能诊断技术，实现空天地一体化协同病害智能诊断，有效提升田间病害诊断的精度及智能化水平；设计端云协同的病害模型优化部署方案，实现云端大模型的高效优化，有效提升农业生产场景下的模型优化及部署效率；研发病害防治处方推荐模型，基于病 |

| | | |
|---|---|---|
| | | 害知识和深度学习模型，研发病害防治处方推荐模型，为用户提供相应的服务。此外，西北农林科技大学在项目实施过程中发表高水平论文 4 篇，获批发明专利 3 项，软件著作权 5 项，制定标准 1 项。 |
| 陕西省农村科技开发中心 | 2 | 单位贡献：陕西省农村科技开发中心在项目中主要承担了项目的组织协调与成果推广任务。充分发挥其在农村科技服务与资源整合方面的优势。中心负责推动项目在陕西省内重点农业区域的落地应用，确保技术成果在实际生产中的有效转化。同时，中心积极参与项目方案的可行性评估与应用反馈收集，提出具有实践指导意义的改进建议，为项目的优化迭代提供了重要依据。通过其广泛的农村科技推广网络，有效促进了项目技术在区域内的辐射与推广，增强了项目的社会服务能力与应用价值。此外，中心和西北农林科技大学合作获批发明专利 2 项，软件著作权 2 项，制定地方标准 1 项。 |
| 杨凌极飞农业智能装备有限公司 | 3 | 单位贡献：杨凌极飞农业智能装备有限公司在本项目中主要负责智能装备的现场部署、系统调试等工作，充分发挥其在农业智能化设备应用与服务方面的丰富经验。公司承担病害智能诊断模型部署、防治处方推荐系统部署以及病害诊断相关设备的安装实施任务，确保设备在实际农田环境中的稳定运行与作业效果。同时，组织开展了多轮针对农户与技术人员的操作培训与实地演示，提升了用户对系统的认知与使用能力，推动技术成果在生产一线的落地应用。通过完善的售后服务与技术支持体系，杨凌极飞农业智能装备有限公司为项目的持续运行与技术推广提供了坚实保障，助力智能农业装备的规模化应用与普及。 |

## 八、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 共同立项 | 刘斌、李书琴/1、2 | 2017 年 7 月 1 日 | 2019 年 12 月 1 日 | 自治区重点研发课题 | 必备附件 2.1 |
| 2 | 共同立项 | 刘斌、李书琴、牛当当/1、2、7 | 2017 年 7 月 1 日 | 2020 年 12 月 31 日 | 国家重点研发计划子任务 | 必备附件 2.1 |
| 3 | 知识产权合作 | 刘斌、卫星、张海曦、刘运松、冯伟、陈毅杰/1、3、4、5、9、10 | 2024 年 8 月 6 号 | 2024 年 8 月 6 号 | 共同授权软著 1 项 | 其他附件 2.1 |
| 4 | 知识产权合作 | 刘斌、卫星、刘运松/1、3、5 | 2023 年 10 月 8 日 | 2023 年 10 月 10 日 | 共同授权软著 1 项 | 其他附件 2.2 |
| 5 | 知识产权合作 | 刘斌、卫星、张海曦、田高斌/1、3、4、6 | 2022 年 2 月 8 日 | 2022 年 4 月 8 日 | 共同授权软著 1 项 | 其他附件 2.3 |
| 6 | 知识产权合作 | 刘斌、卫星、张海曦、纪泽宇/1、3、4、8 | 2024 年 5 月 23 日 | 2024 年 5 月 23 日 | 共同发表论文 1 篇 | 其他附件 2.4 |
| 7 | 知识产权合作 | 刘斌、张海曦、/1、4 | 2021 年 8 月 5 日 | 2021 年 8 月 5 日 | 共同发表论文 1 篇 | 其他附件 2.5 |
| 8 | 知识产权合作 | 刘斌、张海曦/1、4 | 2024 年 9 月 24 日 | 2024 年 9 月 24 日 | 共同发表论文 1 篇 | 其他附件 2.6 |
| 9 | 知识产权合作 | 刘斌、李书琴/1、2 | 2020 年 5 月 15 日 | 2020 年 5 月 15 日 | 共同发表论文 1 篇 | 其他附件 2.7 |
| 10 | 知识产权合作 | 刘斌、牛当当/1、7 | 2021 年 3 月 16 日 | 2021 年 3 月 16 日 | 共同发表论文 1 篇 | 其他附件 2.8 |
| 11 | 知识产权 | 刘斌、纪泽宇/1、 | 2025 年 5 月 5 日 | 2025 年 5 月 5 | 共同发表论 | 其他附件 2.9 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 合作 | 8 | | 日 | 文 1 篇 | |
| 12 | 知识产权合作 | 刘斌、纪泽宇、陈毅杰/1、8、10 | 2024 年 7 月 29 日 | 2024 年 7 月 29 日 | 共同发表论文 1 篇 | 其他附件 2.10 |
| 13 | 知识产权合作 | 刘斌、张海曦/1、4 | 2023 年 5 月 9 号 | 2023 年 5 月 9 号 | 共同发表论文 1 篇 | 其他附件 2.11 |
| 14 | 知识产权合作 | 刘斌、张海曦/1、4 | 2022 年 9 月 9 日 | 2022 年 9 月 9 日 | 共同发表论文 1 篇 | 其他附件 2.12 |
| 15 | 知识产权合作 | 刘斌、纪泽宇/1、8 | 2024 年 2 月 9 日 | 2024 年 2 月 9 日 | 共同发表论文 1 篇 | 其他附件 2.13 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

李书琴与本人负责项目相关的设计、实施方案及任务分工落实。李书琴、卫星、张海曦、刘运松、田高斌、牛当当、纪泽宇、冯伟、陈毅杰以分工协作方式开展基础理论研究、技术研发、试验示范及推广应用工作。

本人与李书琴、张海曦、陈毅杰、刘运松、田高斌围绕空天地智能一体化的病害智能诊断合作开展研究工作。研发了多个硬件设备，可用于农业多源信息采集，基于深度学习搭建了“空天地”一体化协同的病害智能诊断框架，研发了空、天、地不同尺度的病害诊断模型，可用于病害智能诊断，提高了病害自动化智能诊断性能。

本人与纪泽宇、陈毅杰、冯伟围绕端云协同的病害模型优化部署等开展合作研究。设计了基于云端高性能服务器的并行优化框架，实现云端大模型的高效优化。同时针对算力及资源受限的边缘端设备，实现提出组件协同设计的模型轻量化方法，有效提升农业生产场景下的模型优化及部署效率。

本人与牛当当、陈毅杰、张海曦、田高斌围绕农业病害防治处方智能推荐开展合作研究。设计了基于大模型的病害防治处方智能推荐模型，同时，搭建了防治处方智能推荐系统，为病害的防治处方智能推荐提供了新思路

本人与刘运松、卫星围绕病害智能诊断、示范推广等工作开展合作，在陕西省周至县、白水县以及宁夏省的固原市等省市进行了示范应用推广，累计辐射耕地面积 5 万余亩。

本人与田高斌、卫星、张海曦、纪泽宇、陈毅杰围绕病害智能诊断模型部署开展研究工作，在多个地区进行了病害诊断模型的部署，培训技术人员和新型职业农民 1 万余人次以上。

# 项目三十四

**一、项目名称：**食源性营养功能因子稳态化递送技术创新及其在健康产品中的应用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**现代食品工业越来越注重消费者对营养和健康的需求，因此食源性营养功能因子，包括不饱和脂肪酸、多酚和类胡萝卜素等因具有优异的生理活性如清除自由基、抗氧化、抗炎、降血脂和降血糖等而被广泛应用于各类食品体系。然而，大多数营养功能因子与食品基质的相容性差，在加工、贮藏及胃肠环境中不能维持较高的稳定性，生物利用率低，这一直是制约营养健康食品发展的重大难题。为了提高营养功能因子在食品生产加工过程中的稳定性及消化后的生物利用率，本项目在国家自然科学基金、陕西省重点研发计划等课题支持下，经过多年产学研技术攻关，创制了多项营养功能因子稳态化关键技术，突破了单一食品组分稳定性差、包埋和递送效率低的技术瓶颈，有效构建了基于蛋白质-多酚-多糖的功能性纳米递送体系；基于界面调控技术，全面阐明了乳液的稳定机理，设计并开发了多种负载营养功能因子的结构化乳液体系；系统探究了多元营养功能因子的共包封和稳态化，实现了不同极性功能营养因子的协同增效；建立了营养功能因子“体外-细胞-动物”的构效、量效的多维评价方法，开发了番茄红素软胶囊、水溶性叶黄素等营养健康食品十余种。该项目获批发明专利 12 项，发表高质量论文 50 余篇，部分相关成果已转化应用，取得了良好的经济和社会效益。提名该项目为陕西省科技进步奖二等奖。

**三、项目简介：**

食源性营养功能因子是开发功能食品的关键。为了提高营养功能因子与食品基质的相容性，确保营养功能因子在食品生产加工过程中的稳定性及消化后具有较高的生物利用率，通常需要借助稳态化递送体系将其添加到食品中。目前，营养功能因子的稳态化关键技术一直被少数国外公司垄断，严重制约我国功能食品行业发展。因此，开发具有自主知识产权的营养功能因子稳态化技术并实现产业化应用是促进我国功能食品行业发展亟待解决的问题。本项目联合西北农林科技大学、陕西功能食品工程中心有限公司和晨光生物科技集团股份有限公司，在国家自然科学基金、陕西省重点研发计划等课题支持下，经过多年产学研技术攻关，

突破了多项关键技术，包括构建分子互作型壁材、诱导自上而下的胶体物质层层自组装和运用界面工程优化体系稳定性、促进多营养因子协同增效等。该项目主要取得以下主要成果：

1. 发明了分子自组装与共价结合制备功能性纳米载体技术，探明了不同分子复合物的形成规律，突破了单一食品组分稳定性差、包埋和递送效率低的技术瓶颈，有效构建了基于蛋白质-多酚-多糖的类胡萝卜素及多酚递送体系，为功能化纳米递送体系的设计、功能食品开发以及蛋白质-多酚-多糖三元复合物在功能性食品领域中的应用提供科学依据和理论指导。

2. 设计了结构化食品乳液体系，解析了乳液界面性质与功能之间的构效关系。同时，利用乳液设计原理，发明了发酵/高压均质协同界面修饰技术，有效地提高了类胡萝卜素的稳定性和生物利用率，生物利用率最高可达 61.5%。相关技术成功获得多项发明专利授权，为提高营养功能因子生物利用率提供了有效方法。这为推动我国富含多酚和类胡萝卜素功能食品产业的发展开辟了新途径。

3. 开发了多元食源性营养功能因子共递送体系，包括纳米颗粒、乳液等，系统探究了多元营养功能因子的共包封和稳态化，实现了姜黄素与茶多酚、姜黄素与白藜芦醇、鱼油（二十二碳六烯酸，DHA）与益生菌的协同增效，为进一步拓展功能因子在食品、医药卫生、功能材料等领域的应用奠定基础。

4. 建立了食物功能组分“体外-细胞-动物”的构效、量效的多维评价技术，创制了具有改善认知和记忆功能的纳米乳液、纳米颗粒及微胶囊等产品，实现了产品功能设计与组效、量效创新。

本项目围绕不饱和脂肪酸、多酚和类胡萝卜素等营养功能因子，应用多种技术手段构建了不同形式的具有良好生物相容性和稳定性的递送载体，有效提高了营养功能因子的水溶性、稳定性和生物利用率，突破了疏水性营养功能因子在健康功能食品开发上的应用限制。研究成果获授权专利 12 项，完成人近 5 年以第一或通讯作者在 Annual Review of Food Science and Technology、Journal of Agricultural and Food Chemistry、Biomaterials、Food Hydrocolloids、中国食品学报等期刊发表论文 50 余篇，其中 ESI 高被引论文 8 篇，封面论文 5 篇。第一完成人多次入围全球前 2%顶尖科学家榜单及 Clarivate 全球高被引学者榜单，先后入选农业部神农青年英才、人社部香江学者、陕西省青年科技新星。项目开发了

10 余款特色营养健康食品（番茄红素软胶囊、叶黄素越橘胡萝卜素软胶囊、姜黄葛根胶囊、鱼油软胶囊等），在全国多家单位成功应用转化，取得了良好的经济效益和社会效益，有力推动了功能食品行业的发展。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

**1. 项目验收意见**

2023 年 10 月，陕西省科学技术厅组织有关专家，对西北农林科技大学承担的陕西省青年科技新星计划项目“蛋白质-多糖乳液凝胶的构建及应用（项目编号: 2020KJXX-034）”进行了验收，与会专家一致认为：本项目针对疏水性食品功能因子（如番茄红素、姜黄素、白藜芦醇）水溶性差和稳定性低的问题，通过构建蛋白质和多糖乳液凝胶，有效地提高了这些功能因子的分散性、稳定性和缓释性质。研究采用酶促和物理法制备乳清蛋白乳液凝胶，并通过对蛋白质和多糖分子的控制组装，制备具有特定结构的食品凝胶。研究结果表明双交联乳液凝胶能有效提高功能因子的生物可及性。

2024 年 5 月，陕西省科技厅组织有关专家，对西北农林科技大学承担的陕西省科技计划项目“富含多酚的植物基仿生复乳凝胶的创制与其改善认知记忆的功效评价（项目编号: 2022NY-009）”进行了验收，并形成如下验收意见：（1）该项目聚焦于设计和构建新型 W/O/W 复乳体系，旨在实现对不同极性功能因子姜黄素和 EGCG 的有效包埋和传递，以提升其在食品中的应用效率和生物利用率；采用热诱导和酶交联方法制备豌豆分离蛋白微胶囊颗粒，探究其与海藻酸钠之间的非共价和共价相互作用。通过优化界面组成和结构，成功构建了具有优异环境稳定性和 pH 响应性复乳体系，实现了对姜黄素和 ECCG 的高效共递送和控释。同时，通过 LPS 诱导的炎症小鼠模型评估了姜黄素和 EGCG 复乳体系对炎症小鼠认知记忆障碍和神经炎症的干预效果，结果显示姜黄素和 EGCG 复乳体系具有优异的神经保护效果；（2）掌握了复乳形成的关键技术，为具有改善记忆和认知的功能性食品提供了依据和技术支持；获国家专利 3 项；发表学术论文 14 篇；荣获教育部自然科学奖二等奖，陕西省高等学校科学技术奖一等奖。

**2. 查新结果显示项目成果具有多项创新**（教育部科技查新工作站（N04）查新）

**通过对相关文献的阅读、分析和比较，结论如下：**

① 关于利用蛋白质、多糖、多酚分子自组装与共价结合技术制备纳米颗粒体系，目前已有研究方向有：蛋白质、多糖和多酚三者中两两结合来制备递送体系，以多糖、多酚结合制备二元复合物，以蛋白、多糖结合制备纳米颗粒载体，用于功能因子的包埋和递送，以提高功能因子的稳定性。关于利用蛋白质、多糖、多酚之间的非共价和共价相互作用，制备蛋白质-多酚-多糖三元复合物纳米颗粒，探究载体组分之间构效关系，并利用其递送营养功能因子，与二元复合物体系相比基于三元复合物制备的递送体系可显著提高功能因子稳定性及生物可及性。目前在检索范围内，除了项目组的文献外，未见到相关的中英文文献报道。

② 关于基于结构化乳液，设计双交联食品乳液凝胶体系，解析双交联乳液凝胶性质与功能之间的构效关系，现有文献大多集中以乳液体系包封功能因子（如鱼油），该类乳液体系包封的鱼油浓度（5%）较低且只着重于提高鱼油的稳定性和抗氧化性；或以乳液为基础制备双交联乳液凝胶，探究乳液凝胶的空间网络结构、持水性、稳定性等，并将其用于植物基制品、医学材料或作为脂肪替代品，对于成凝胶前的乳液结构的研究相对较少。关于利用高压均质协同界面修饰技术制备不同界面层乳液，利用技术生产出物理稳定性好且鱼油浓度（30 wt%或 40 wt%）高的乳液，在此基础上通过 TG 酶和 $Ca^{2+}$双交联制备了乳液凝胶，用于递送功能因子。目前在检索范围内，除了项目组的文献外，未见到相关的中英文文献报道。

③ 关于开发多元营养功能因子（鱼油、姜黄素、EGCG 等）共包埋体系（纳米颗粒、乳液），明确共包埋体系的稳定性及功能因子协同增效的研究，现有文献大多集中于实现多元营养功能因子的共包埋，以改善其环境稳定性，并通过体外实验探究其生物可及性，通过动物实验及细胞实验评估不同功能因子协同增效的研究相对较少。关于在制备多功能因子（姜黄素和 EGCG、鱼油和益生菌）共递送体系的基础上，从体外、细胞、动物层面多维度探究了不同功能因子生物活性存在的协同效果，探究益生菌与鱼油共包封体系协同改善肠道健康，明确“体外-细胞-动物”技术评价共包封体系稳态化及功能因子协同增效的研究，目前在检索范围内，除项目组文献外，未见到相关中英文文献报道。

**3. 国内外对本项目研究成果的引用和评价**

该项目的研究成果先后在 Journal of Agricultural and Food Chemistry、Food Hydrocolloids、Biomaterials 等国际高水平期刊上发表，并得到国内外知名学者的高度评价和引用。其中，题为“Co-encapsulation of epigallocatechin gallate (EGCG) and curcumin by two proteins-based nanoparticles: Role of EGCG”的论文获选 **Journal of Agricultural and Food Chemistry 前封面论文**，被 Advanced Functional Materials 等国际知名期刊引用 **121** 次。2020 年发表在 Food Hydrocolloids 期刊的论文“Structure, rheology and functionality of whey protein emulsion gels: Effects of double cross-linking with transglutaminase and calcium”被 Trends in Food Science & Technology，Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 等国际知名期刊引用 **299** 次，属于**高被引论文**。2021 年发表在 Biomaterials 期刊的论文“Tailoring the properties of double-crosslinked emulsion gels using structural design principles: Physical characteristics, stability, and delivery of lycopene”被 Advances in Colloid and Interface Science，Food Chemistry 等期刊引用 **97** 次。2023 年发表的论文“Lactoferrin-based ternary composite nanoparticles with enhanced dispersibility and stability for curcumin delivery”获选 **ACS Applied Materials & Interfaces 封面论文**，并被 Small 等期刊引用 **51** 次。比利时根特大学的国际知名科学家 Paul Van der Meeren 教授在国际食品顶级期刊“Trends in Food Science & Technology, 2022, 119, 272-287.”发表的综述论文中充分肯定了本项目关于谷氨酰胺转氨酶结合钙离子交联制备乳液凝胶的有关结果“由热处理结合钙离子交联制备得到的水包油乳液填充式凝胶颗粒在控释亲脂分子方面非常有潜力。然而，一些热敏成分容易在加热过程中受到破坏。因此，酶交联是一种制备水凝胶可供替代的方法”：“However, it should be noted that some sensitive ingredients can be vulnerable during heat treatment. Alternatively, the enzymatic cross-linking reaction can be used to fabricate hydrogels.”。

**4. 主流媒体宣传报道**

本项目相关成果先后受到《科学网》、ScienceDaily、《人民网》《中国食品报》《中国组织人事报》等 10 余家国内平台广泛报道，并被多个平台转载，得到社会各界的普遍认可和好评。其中《中国食品报》报道称：西北农林科技大学刘夫国教授团队成功开发了一种豌豆蛋白-多酚-铁离子复合物，并应用于β-胡萝卜素

高内相乳液的制备，为疏水性活性物质的体内递送提供了一种稳定且有效的策略。相关研究成果已相继发表在国际学术刊物 Food Hydrocolloids 上发表，标志着豌豆蛋白及其衍生复合物在食品科学领域的应用取得了重要进展。这项研究不仅发掘了豌豆蛋白基功能性食品的巨大潜力，还为豌豆蛋白更广泛、更深层次的应用创造了新契机。《中国组织人事报》报道称：西北农林科技大学博士生导师刘夫国所在的西北功能食品博士后科研创新团队围绕食品营养和功能食品开展应用基础研究和产品创制工作，破解了食品功能因子递送技术难题，促进了中西部食品营养学学科发展。

**5. 获奖情况**

① 刘夫国、王玉堂等申报的“食品营养因子稳态化技术及功效评价研究”获 2023 年陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖。

② 依托该项目指导的大学生创新创业竞赛项目获评多项国家级和省部级奖励，代表性奖励如下：项目“稳中求精——功能食品精准稳态化递送技术助力国民营养大健康”获中国国际大学生创新大赛（2024）国赛金奖、项目“两种蛋白纳米颗粒对 EGCG 和姜黄素实现共包埋：EGCG 的作用”获全国一等奖（教育部高等学校食品科学与工程类专业教学指导委员会）；项目“pH 偏移和超声联合辅助美拉德反应制备豌豆蛋白-菊粉复合物及其对藻油乳液理化性质稳定性的影响”获全国一等奖（全国大学生生命科学竞赛委员会）；项目“利用乳液设计原理提高番茄红素在均质番茄浆中的稳定性和生物可及性”获全国一等奖（全国大学生生命科学竞赛委员会）。

③ 项目第一完成人刘夫国获香江学者奖、先后获评陕西省青年科技新星和农业部神农青年英才。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写)**

项目团队历经近五年的协同创新合作与技术攻关，成功提升了多种蛋白质的功能特性，设计了先进的蛋白质递送体系，并开发了多种食源性营养功能因子（如多酚和类胡萝卜素等）的稳态化递送技术。此外，团队先后优化了类胡萝卜素、多酚纳米颗粒、乳液和微胶囊以及多元功能因子共递送体系的制备工艺，并系统评价了这些产品在调节肠道健康、降血脂、降血糖、改善神经炎症、增强记忆和认知能力等方面的生理功能。项目获批中国发明专利 10 项，国际专利 2 项，解

决了自主知识产权富含营养因子功能食品的产业化关键技术，为技术转化和应用打下了坚实基础。

该项目的技术成果已成功应用于多个大型功能食品和保健品企业，包括西安金牛生物工程有限公司、陕西瑞绿园银杏科技有限公司、陕西今正药业有限公司和晨光生物科技集团股份有限公司等。项目的实施不仅延长了食源性营养功能因子行业的产业链，提升了产品附加值，还对农业结构调整、产业结构优化和产品技术升级起到了重要的推动作用。

上述企业应用本项目技术，具体如下：

**主要应用单位情况表**

| 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 | 西安金牛生物工程有限公司 | 番茄红素微囊化技术 | 应用项目技术转化的盛坤牌番茄红素软胶囊（保健食品），截止2024年末，新增销售额4601.1万元，新增利润461.7万元。 | 2021-2024年 | 涂伟 15002977912 |
| 2 | 陕西瑞绿园银杏科技有限公司 | 人参活性因子稳态化递送技术 | 应用项目技术转化的珠尘缘牌灵芝人参胶囊（保健食品），截止2024年末，新增销售额5264.2万元，新增利润542.3万元。 | 2022-2024年 | 杨越鹏 15319034800 |
| 3 | 陕西今正药业有限公司 | 鱼油稳态化加工技术 | 应用项目技术转化的鱼油稳态化技术生产的辅美牌鱼油软胶囊（保健食品），截止2024年末，新增销售额2048.51万元，新增利润167.98万元。 | 2022-2024年 | 景建利 15829296613 |
| 4 | 晨光生物科技集团股份有限公司 | 类胡萝卜素稳态化递送技术 | 在项目实施过程中对所创新的类胡萝卜素稳态化递送技术进行推广应用，实现规模化生产。2022-2024年共新增销售额7575.55万元，新增利润795.43万元，经济效益明显。 | 2022-2024年 | 焦争亮 17713009167 |

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | Methods for improving lycopene release rate and lycopene bioavailability in tomatoes | 澳大利亚 | AU2021104594A4 | 2021-09-08 | 2021104594 | 西北农林科技大学 | 刘夫国<br>马翠翠<br>陆玉言<br>刘学波 |
| 2 | 发明专利 | 一种酶促交联α-乳白蛋白纳米颗粒及其制备方法与应用 | 中国 | ZL202211711738.X | 2024-02-02 | 6673744 | 西北农林科技大学 | 刘夫国<br>郭思齐<br>马翠翠<br>顾青卓<br>刘学波 |
| 3 | 发明专利 | 一种辅助降低血糖的紫锥菊功能饮料 | 中国 | ZL201710046091.6 | 2021-03-26 | 4319527 | 西北农林科技大学 | 刘学波<br>牛雅杰<br>王玉堂 |
| 4 | 发明专利 | 一种水溶叶黄素及其制备方法和应用 | 中国 | ZL202211338972.2 | 2023-12-12 | 6549025 | 晨光生物科技集团股份有限公司 | 徐建中<br>齐立军<br>卢颖<br>张笑颖 |
| 5 | 发明专利 | 一种高浓度鱼油纳米乳液的制备方法 | 中国 | ZL201811357373.9 | 2022-08-05 | 5365025 | 西北农林科技大学 | 刘夫国<br>刘学波<br>马翠翠<br>刘志刚<br>王玉堂 |
| 6 | 论文 | Tailoring the properties of double-crosslinked emulsion | 荷兰 | Doi: 10.1016/j. | 2021-12-18 | Biomaterials, 2022, | 西北农林科技大学 | 刘夫国<br>梁秀萍 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | gels using structural design principles: Physical characteristics, stability, and delivery of lycopene | | biomaterials.2021.121265 | | 280, 121265 | | 晏珺<br>赵涉良<br>李思琪<br>刘学波<br>McClements David Julian<br>魏涛 |
| 7 | 论文 | Lactoferrin-based ternary composite nanoparticles with enhanced dispersibility and stability for curcumin delivery | 美国 | Doi: 10.1021/acsami.2c20816 | 2023-03-09 | ACS Applied Materials & Interfaces, 2023, 15, 14, 18166-18181 | 西北农林科技大学 | 李雪琪<br>何翼洋<br>张赛睿<br>顾青卓<br>McClements David Julian<br>陈帅<br>刘学波<br>刘夫国 |
| 8 | 论文 | Co-encapsulation of epigallocatechin gallate (EGCG) and curcumin by two proteins-based nanoparticles: Role of EGCG | 美国 | Doi: 10.1021/acs.jafc.9b04415 | 2019-12-04 | Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67, 13228-13236 | 西北农林科技大学 | 闫晓佳<br>张鑫璐<br>McClements David Julian<br>邹立强<br>刘学波<br>刘夫国 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 论文 | Structure, rheology and functionality of whey protein emulsion gels: Effects of double cross-linking with transglutaminase and calcium | 荷兰 | Doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105569 | 2020-05-01 | Food Hydrocolloids, 2020, 102, 105569 | 西北农林科技大学 | 梁秀萍<br>马翠翠<br>闫晓佳<br>曾焕煌<br>McClements David Julian<br>刘学波<br>刘夫国 |
| 10 | 论文 | 清热利湿颗粒的安全性毒理学评价 | 中国 | Doi: 10.16421/j.cnki.1002-3127.2023.06.007 | 2023-12-25 | 毒理学杂志, 2023, 37, 543-545 | 陕西功能食品工程中心有限公司 | 乔青莲<br>王萌<br>贾曼<br>吴凯<br>翟瑞雪 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 刘夫国 | 1 | 教授 | 西北农林科技大学 | 主要负责总体技术方案设计与组织实施。系统阐明了食品体系蛋白质、多糖、多酚的自组装与共价结合机理；设计并开发多元食品功能因子递送体系，实现了不同极性功能因子的协同增效等；创制了具有改善认知和记忆功能的纳米乳液、纳米颗粒、微胶囊等产品 |
| 王玉堂 | 2 | 教授 | 西北农林科技大学 | 利用高效液相色谱、质谱等手段，深入分析了不同递送体系对营养功能因子生物利用度的改善效果 |
| 马翠翠 | 3 | 高级实验师 | 西北农林科技大学 | 系统阐明了食品体系中蛋白质、多糖、多酚的相互作用机理，探索了乳液及乳液凝胶微结构调控功能因子稳定性的途径 |
| 乔青莲 | 4 | 工程师 | 陕西功能食品工程中心有限公司 | 对食源性营养功能因子的毒理学及生物活性进行了评估，为营养功能因子稳态化技术的落地转化搭建了平台 |
| 徐建中 | 5 | 高级工程师 | 晨光生物科技集团股份有限公司 | 开发了水溶性叶黄素制剂，实现了叶黄素相关产品的落地转化 |
| 卢颖 | 6 | 副总经理/工程师 | 晨光生物科技集团股份有限公司 | 优化配方和工艺参数，实现了叶黄素相关产品的规模化生产和市场转化 |
| 赵涉良 | 7 | 无 | 西北农林科技大学 | 设计开发多元食品功能因子递送体系，实现了多元营养功能因子的协同增效 |
| 顾青卓 | 8 | 无 | 西北农林科技大学 | 开发蛋白质-多糖-多酚纳米颗粒递送体系，明晰了功能因子的稳态化机制 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
| --- | --- | --- |
| 西北农林科技大学 | 1 | 系统阐明了食品体系蛋白质、多糖、多酚的自组装与共价结合机理，设计并开发营养功能因子递送体系，实现了不同极性功能因子的协同增效等，创制了具有良好健康功效的结构化乳液、纳米颗粒、微胶囊等产品。 |
| 陕西功能食品工程中心有限公司 | 2 | 建立了食物功能组分“体外-细胞-动物”的构效、量效的多维评价技术，创新了食源性功能因子毒理学及生物活性的评价方法，进行健康产品技术推广和产业化实施工作。 |
| 晨光生物科技集团股份有限公司 | 3 | 主导创新天然类胡萝卜素应用制剂制备关键技术与装备集成，在高含量天然类胡萝卜素应用制剂产业化制备关键技术项目实施、技术创新和应用方面均做出了较大贡献。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 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 | 刘夫国 1<br>王玉堂 2 | 2017 | 2024 | 专利：一种高浓度鱼油纳米乳液的制备方法 | 专利证书 |
| 2 | 共同知识产权<br>论文合著 | 刘夫国 1<br>马翠翠 3 | 2017 | 2024 | 专利：Methods for improving lycopene release rate and lycopene bioavailability in tomatoes<br>专利：一种高浓度鱼油纳米乳液的制备方法<br>论文：Structure, rheology and functionality of whey protein emulsion gels: Effects of double cross-linking with transglutaminase and calcium | 专利证书<br>论文 |
| 3 | 产业合作 | 刘夫国 1<br>乔青莲 4 | 2018 | 2024 | 产业合作：开发番茄红素软胶囊、灵芝人参胶囊等功能食品 | 应用证明 |
| 4 | 产业合作<br>共同立项 | 刘夫国 1<br>徐建中 5<br>卢颖 6 | 2018 | 2024 | 产业合作：开发叶黄素功能食品<br>共同立项：叶黄素制剂产品开发及评价 | 应用证明<br>项目合同书 |
| 5 | 论文合著 | 刘夫国 1<br>赵涉良 7 | 2020 | 2024 | 论文：Tailoring the properties of double-crosslinked emulsion gels using structural design principles: Physical characteristics, stability, and delivery of lycopene | 论文 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 论文合著 | 刘夫国 1<br>顾青卓 8 | 2021 | 2024 | 论文：Lactoferrin-based ternary composite nanoparticles with enhanced dispersibility and stability for curcumin delivery<br>专利：一种酶促交联α-乳白蛋白纳米颗粒及其制备方法与应用 | 论文<br>专利证书 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

刘夫国、王玉堂、马翠翠、赵涉良、顾青卓同属西北农林科技大学食品科学与工程学院；乔青莲隶属于陕西功能食品工程中心有限公司；徐建中、卢颖同属于晨光生物科技集团股份有限公司，8 位完成人共同开展项目的研究工作。刘夫国主要负责总体技术方案设计与组织实施。其余完成人以分工协作方式开展基础理论研究、技术和产品开发以及技术推广应用。

刘夫国与陕西功能食品工程中心有限公司乔青莲合作进行了番茄红素等功能因子稳态化技术的落地转化。刘夫国与王玉堂共同研制了一种高浓度的鱼油纳米乳液，该乳液可用于开发具有改善大脑认知记忆的功能食品，共同授权专利 1 项。刘夫国与晨光生物科技集团股份有限公司的徐建中、卢颖共同合作开展了“叶黄素制剂产品开发及评价”项目。通过该项目创新的技术应用，显著提高了叶黄素制剂的稳定性和生物利用率，使产品的市场占有率大幅提升，带来了可观的经济效益。刘夫国与马翠翠合作阐明了食品体系中蛋白质、多糖、多酚的相互作用机理，探索了乳液及乳液凝胶微结构对营养功能因子生物利用度的影响，共同授权专利 3 项，合作发表论文 1 篇。刘夫国与赵涉良合作开展多元食品功能因子递送体系的研究工作，合作发表论文 1 篇。刘夫国与顾青卓共同开展纳米颗粒递送体系的研究工作，共同授权专利 1 项，合作发表论文 1 篇。

# 项目三十五

**一、项目名称：**猪重要经济性状活体精准测定与智能化管理关键技术研发与应用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目属于现代农业生物技术领域畜牧学中猪重要经济性状测定与智能化养殖方向的应用研究。针对我省猪重要经济性状活体精准测定与智能化养殖水平不高导致育种及养殖效率低的关键问题，该项目组综合运用现代化图像信息处理手段和 CT 等高精设备，研发了生猪信息溯源与重要经济性状活体测定技术，实现了生猪个体信息的快速采集与全链条溯源管理及猪瘦肉率、脂肪率和肌内脂肪含量等重要经济性状的活体精准测定，加快了生猪育种与优质新品种培育进程；研发了生猪体尺信息非接触采集与母猪发情智能鉴定技术，实现了生猪体尺信息的快速采集与生猪体温数据的实时获取，实现了母猪发情精准判断，提高了母猪利用效率；开发了猪舍环境监测与智能调控技术，提升了猪舍远程管理和智能调控水平，实现了生猪产业节能增效和高质量发展；开发了生猪管理信息系统，推动了生猪产业信息化与智能化发展。以上生猪养殖智能化关键技术在省内外大型猪场集成应用，取得了良好的经济效益和社会效益，提升了我省生猪养殖的智能化管理水平，促进了我省生猪产业高质量发展。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

**三、项目简介：**

猪重要经济性状活体精准测定与智能化管理关键技术是现代规模化生猪养殖的发展趋势与重要方向。针对我省猪育种效率低、养殖智能化水平不高、高耗能及信息化管理不足等关键问题，该项目组历经多年的研究与实践，取得了以下主要创新性成果：

**1. 生猪信息溯源与重要经济性状活体精准测定技术的智能化创新与集成应用**

整合 RFID 电子耳标与二维码标识技术，配合批量读写设备，实现了生猪个体信息的快速采集与全链条溯源管理。进一步结合 CT 活体扫描图像与屠宰后胴体组成数据的比对分析，构建了猪胴体脂肪率与瘦肉率的活体预测数学模型。同时，采用索氏提取法测定关键部位肌内脂肪含量，并与 CT 活体评估结果进行相

关性建模，实现了肌内脂肪含量的活体精准评估。该技术体系显著提升了生猪育种数据的精准度和育种效率，加快了优良品种的选育进程。

**2. 生猪体尺信息非接触采集与母猪发情智能鉴定技术的研发与应用**

利用图像处理技术，实现了生猪体尺性状的非接触、无感精准采集与分析，开发了专用体尺测量软件，推进了生产数据的信息化管理。利用红外热成像摄像技术，以非接触方式持续监测生猪体表温度，建立体温变化与母猪发情状态的关联模型，实现发情期精准判断，为适时配种与人工授精提供科学依据，显著提升母猪繁殖效率和使用效益。

**3. 猪舍环境多参数智能监测与调控系统的构建与应用**

依托 ZigBee 无线传感网络，集成多类环境传感器与控制器，实时采集猪舍内温度、湿度、氨气等环境数据，构建猪舍环境参数数据库，并实现环控设备状态的动态监控与异常预警。结合生猪不同生长阶段的生理需求，实现对环境参数的精细化智能调节。在此基础上开发了基于 ZigBee 与 GPRS 的远程环境管理系统，支持猪舍环境的无人化值守与远程智能调控，有效促进养殖节能、减排与生产性能提升。

**4. 生猪智能化管理信息系统的开发与应用**

基于 Python 开发语言，QT5 开发客户端界面，MySQL 数据库和 Windows 系统运行环境，研发了生猪智能化管理信息系统，实现了猪舍环境和生猪行为信息的录入、更新、查询和删除等功能，该系统具有高安全性、可维护性、可靠性及灵活性等特点，且该系统具有良好的交互性、界面简洁友好、便于操作，保证了系统信息安全，推动了生猪产业智能化发展。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

**1. 项目验收意见**

**（1）国家重点研发计划课题验收意见**

2021 年 07 月 28 日，项目主持单位华中农业大学组织国内知名专家，在武汉对国家重点研发计划课题“种畜禽重要经济性状精准测定技术研发”（课题编号：2017YFD0502002）进行了综合绩效评价与验收。形成验收意见如下：研发了 CT 扫描种猪胴体组成和肌内脂肪含量的活体精准测定技术 2 种，相关技术已示范或

广泛推广应用。项目组织管理规范，技术先进，成果应用前景良好，完成了合同规定的研究内容与任务。

**（2）陕西省重点研发计划项目验收意见**

2021 年 07 月 02 日，陕西省科技厅组织有关专家对陕西省重点研发计划项目“生猪养殖智能化关键技术研发与示范”（项目编号：2018ZDCXL-NY-02-03）进行了验收。该项目验收意见如下：实现了种猪体尺参数非接触智能化测量及生猪体温数据的实时获取；开发了猪舍环境监测与智能控制 APP 1 套；建立了可活体精确测定胴体瘦肉率、脂肪率和肌内脂肪含量的数学模型；开发了猪活体背膘厚和眼肌面积测定技术，以及猪瘦肉率、脂肪率和肌内脂肪含量的活体精准测定技术。建立了生殖智能化养殖示范点 1 个。验收委员会认为，该项目完成了任务书规定指标，同意通过验收。

**2. 科技查新结论**

2025 年 09 月，教育部科技查新工作站（N04）对“猪重要经济性状活体精准测定与智能化管理关键技术研发与应用”进行了科技查新，查新点为“运用 CT 高精设备对生猪胴体脂肪率和瘦肉率的活体精准测定与采集技术；运用 RFID 与二维码的方式来进行生猪个体识别与数据采集，并使用红外摄像技术获取母猪的精准体温，以判断发情与否；开发了基于 ZigBee 与 GPRS 的猪舍环境智能化管理系统，实现猪舍坏境的远程管理和智能调控；开发了基于 Python 开发语言，QT5 开发客户端界面，MySQL 数据库和 Windows 系统运行环境，研发了生猪智能化管理信息系统”。查新结论为：该项目组研究内容创新性较强，除项目组文献外未见其他相关文献报道。

**五、 应用情况（发明奖和进步奖填写)**

该项目组研发的生猪养殖智能化关健技术成果，目前已经在陕西阳晨牧业有限公司、河南省精美种业有限公司正阳分公司和陕西宏德天御农牧有限公司 3 家大型规模化生猪养殖企业进行了应用。在该项目组专家指导下，成立了推广应用专项小组，由项目组推广技术负责人李爱赟、张俊、彭峰和来振衡总体负责，按照项目组的要求，分别在 3 家公司不同猪场安装了重要经济性状活体精准采集设备、个体识别与数据采集系统、猪舍环境监测与智能调控系统及生猪管理信息系统。

CT 技术是一种新型性状测定育种技术，该技术测定的背膘厚、胴体组成和肌内脂肪含量等数据具有较高的准确性，同时避免了生猪屠宰工序，在育种和生产中应用效果良好。

利用猪体尺测量和体温测量相关设备，开展无接触猪体尺测量、无接触发情排卵预测等工作。体尺测定省时省力，在节约 3 个人的基础上，平均测定每头猪节约 3.3 分钟。通过红外摄像仪监测母猪体表温度预测母猪发情排卵时间，提高发情检出率 7.5 个百分点，减少母猪非生产时间并提高母猪年产胎次，对生猪生产和育种具有很强的实用性，尤其在非洲猪瘟常态化，减少进圈频次，减少与猪接触机会，对疫病防控具有重大意义。

环境智能化控制与生猪管理系统，经过应用，环境温度、湿度得到自动、有效、稳定控制，空气质量明显改善，产房仔猪成活率提高 4.2 个百分点，保育猪生长速度提高提高；

该项目成果在应用过程中，通过培训、实操和应用，培养了陕西阳晨牧业有限公司杨大平、唐晓番和王德文，河南省精美种业有限公司正阳分公司彭峰、邹小军和李武章，陕西宏德天御农牧有限公司张俊、陈鹏和唐旭波共 9 名生猪养殖智能化领域的专业技术人员。除以上 3 家负责主要推广应用该技术的公司外，陕西省安康市秦阳晨原种猪有限公司、汉阴金硕现代农业有限公司和宝鸡扶风晨牧业有限公司等多个现代化猪场在项目组的指导下也推广应用了生猪信息溯源与数据采集技术、猪舍环境监测与智能调控技术及重要经济性状活体精准采集技术。

**六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)**

| 序号 | 知识产权<br>类别 | 知识产权<br>具体名称 | 国家<br>（地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | 一种利用 CT 扫描数据检测猪活体胴体组成的方法 | 中国 | ZL201910501878.6 | 2023-06-02 | 6017107 | 西北农林科技大学 | 庞卫军<br>蔡瑞 |
| 2 | 发明专利 | 利用计算机断层扫描活体检测猪肉质性状的方法 | 中国 | ZL202110837951.4 | 2024-09-13 | 7373624 | 西北农林科技大学 | 庞卫军<br>蔡瑞 |
| 3 | 论文 | 运用计算机断层扫描技术活体评估种公猪瘦肉率、脂肪率和肌内脂<br>肪含量 | 中国 | doi:10.3864/j.issn.0578-1752.2023.09.014 | 2023-05-01 | ***中国农业科学. 2023, 56(09): 1787-1799.*** | 西北农林科技大学 | 蔡瑞<br>杨公社<br>庞卫军 |
| 4 | 论文 | 非接触式测温鉴定母猪典型<br>生理状态 | 中国 | doi：10.11975/j.issn.1002-6819.2022.20.017 | 2022-10-23 | ***农业工程学报. 2022, 38(20): 149-155.*** | 西北农林科技大学 | 李爱赟<br>庞卫军 |
| 5 | 论文 | Identification of porcine fast/slow myogenic exosomes and their regulatory effects on lipid accumulation in intramuscular adipocytes | 中国 | doi:10.1186/s40104-024-01029-0 | 2024-06-2 | ***Journal of Animal Science and Biotechnology. 15(1), 73.*** | 西北农林科技大学 | 蔡瑞<br>庞卫军 |
| 6 | 论文 | Differences between porcine longissimus | 中国 | doi:10.1016/j.meat | 2019-01-01 | ***Meat Science.*** | 西北农林科技大学 | 蔡瑞<br>杨公社 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | thoracis and semitendinosus intramuscular fat content and the regulation of their preadipocytes during adipogenic differentiation | | sci.2018.09.002 | | ***147. 116–126*** | | 庞卫军 |
| 7 | 实用新型专利 | 基于 6LoWPAN 技术的移动式生猪养殖环境监测装置 | 中国 | ZL201920007952.4 | 2019-09-24 | 9416222 | 西北农林科技大学 | 唐晶磊<br>张志勇 |
| 8 | 实用新型专利 | 一种牲畜目标检测识别标记装置 | 中国 | ZL202021449281.6 | 2020-12-25 | 12203498 | 西北农林科技大学 | 于意<br>唐晶磊 |
| 9 | 软件著作权 | 猪体尺测量软件 V2.0 | 中国 | 2021SR0914948 | 2021-01-10 | 7637574 | 西北农林科技大学 | 庞卫军 |
| 10 | 软件著作权 | 猪胴体组成预测系统 V1.0 | 中国 | 2019SR0058882 | 2018-11-17 | 3479639 | 西北农林科技大学 | 唐晶磊<br>庞卫军 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 庞卫军 | 1 | 无/教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 负责项目的全面工作；在主要科技创新点的第 1、2、3、4 均作了创造性和重大贡献。 |
| 蔡　瑞 | 2 | 无/副教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 负责项目的组织实施和技术研发工作；在主要科技创新点的第 1、2 作了重要贡献。 |
| 唐晶磊 | 3 | 无/教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 负责项目的组织实施和技术研发工作；在主要科技创新点的第 1、3、4 作了重要贡献。 |
| 李爱赟 | 4 | 技术总监/研究员 | 陕西阳晨牧业股份有限公司/陕西阳晨牧业股份有限公司 | 负责项目成果应用示范；在主要科技创新点的第 1、2、3 作了主要贡献。 |
| 来振衡 | 5 | 无/副教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 负责项目部分技术应用与示范；在主要科技创新点的第 1、2、3、4 作了部分贡献。 |
| 褚瑰燕 | 6 | 无/教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 负责项目部分方案的实施；在主要科技创新点的第 1 作了部分贡献。 |
| 杨公社 | 7 | 无/教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 负责项目的组织实施与示范；在主要科技创新点的第 1、2 作了部分贡献。 |
| 彭　峰 | 8 | 总经理/研究员 | 河南省精美种业有限公司正阳分公司/河南省精美种业有限公司正阳分公司 | 负责项目部分方案的实施与示范；在主要科技创新点的第 1 作了部分贡献。 |
| 张　俊 | 9 | 总经理/无 | 陕西宏德天御农牧有限责任公司/陕西宏德天御农牧有限责任公司 | 负责项目部分技术成果应用与示范；在主要科技创新点的第 4 作了部分贡献。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 负责整个项目的策划、统筹规划、组织管理和实施完成；研发生猪重要经济性状活体精准测定技术与养殖智能化技术，并组织项目组合作企业应用相关的理论和技术成果并推广应用。 |

| | | |
|---|---|---|
| 陕西阳晨牧业股份有限公司 | 2 | 负责集成项目理论和技术成果，应用相关生猪智能化养殖技术，并将项目成果大力推广。 |
| 河南省精美种业有限公司正阳分公司 | 3 | 负责应用项目组部分理论和技术成果，应用相关性状测定及智能化养殖技术，并将技术成果和研制的产品大力推广。 |
| 陕西宏德天御农牧有限责任公司 | 4 | 负责参与实施与该项目相关的部分示范与推广项目，并将项目成果大力推广应用。 |

## 九、完成人合作关系情况

**完成人合作关系情况汇总表表**

| 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 | 庞卫军/1<br>蔡　瑞/2<br>杨公社/7 | 2017.07 | 2025.08 | 合作发表论文“运用计算机断层扫描技术活体评估种公猪瘦肉率、脂肪率和肌内脂肪含量.***中国农业科学***2023,56(9):1787-1799”与“Differences between porcine longissimus thoracis and semitendinosus intramuscular fat content and the regulation of their preadipocytes during adipogenic differentiation. ***Meat Science***, 147, 116–126” | 论文（**主要知识产权和标准规范目录3、6**） |
| 2 | 共同立项 | 庞卫军/1<br>蔡　瑞/2<br>唐晶磊/3<br>李爱赟/4<br>褚瑰燕/6 | 2018.01 | 2024.12 | 共同立项陕西省重点研发计划项目“生猪养殖智能化关键技术研发与示范” | 项目结题验收证明 |
| 3 | 产业合作 | 李爱赟/4<br>来振衡/5<br>彭　峰/8<br>张　俊/9 | 2021.01 | 2024.12 | 应用项目组研发的生猪重要经济性状活体测定及养殖智能化关键技术成果，并建立示范点 | 项目应用证明 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

庞卫军（1）、蔡瑞（2）、来振衡（5）、褚瑰燕（6）和杨公社（7）是西北农林科技大学动物科技学院生猪产业科技创新团队的核心成员；唐晶磊（3）是西北农林科技大学信息工程学院智能化技术研发领域的技术骨干；李爱赟（4）是陕西阳晨牧业有限公司的技术骨干；彭峰（8）是河南省精美种业有限公司正阳分公司的技术骨干；张俊（9）是陕西宏德天御农牧有限责任公司的技术骨干。项目完成人庞卫军、蔡瑞、李爱赟、唐晶磊与褚瑰燕共同立项陕西省重点研发计划项目“生猪养殖智能化关键技术研发与示范”；项目完成人

庞卫军、蔡瑞与杨公社在“***中国农业科学***. 2023, 56(9): 1787-1799”与“***Meat Science.*** 147, 116–126”合作发表论文；李爱赟是陕西阳晨牧业股份有限公司的技术骨干，主要负责集成示范并推广应用生猪溯源与数据采集技术、猪舍环境检测与智能调控技术等，旨在提升生猪养殖的智能化管理水平，提高我省规模化生猪养殖效率。此外，与第一完成人庞卫军有长期的合作关系，共同立项陕西省重点研发计划项目“生猪养殖智能化关键技术研发与示范”，为优质安全猪肉生产全产业链提供了新的智能化管理平台；项目完成人来振衡、李爱赟、彭峰、张俊共同应用项目组研发的生猪信息溯源与重要经济性状活体精准测定技术、体尺体温数据采集技术、猪舍环境检测与智能调控技术及生猪智能化管理信息系统，并建立生猪养殖智能化关键技术示范点。彭峰是河南省精美种业有限公司正阳分公司的技术骨干，负责提供实验猪群、性状测定和关联分析等工作。此外，应用项目组研发的生猪重要经济性状活体精准测定技术，促进了企业的生猪种业创新发展，并创造了巨大的经济和社会效益。张俊是陕西宏德天御农牧有限责任公司的技术骨干，充分依托项目组的理论和技术成果，应用项目组研发的生猪智能化管理信息系统，实现了猪舍环境和生猪行为信息的录入、更新、查询和删除等功能，提高了生猪养殖效益，带动了生猪产业升级。

此外，西北农林科技大学动物科技学院生猪产业科技创新团队与陕西阳晨牧业有限公司、河南省精美种业有限公司正阳分公司及陕西宏德天御农牧有限责任公司有着长期的研究推广应用合作关系，共同着眼于生猪产业发展的难点问题，完成了系列科研项目，在生猪智能化养猪技术方面取得了重要突破。3 家公司充分依托项目组的理论和技术成果，应用生猪养殖智能化技术，进行大力推广，创造了良好的经济和社会效益。

各方在技术创新研发与推广应用等方面的合作成效以专利、论文、软件著作权及应用示范点等形式体现。

# 项目三十六

**一、项目名称：**三个高产优质抗逆国审油菜品种的选育及应用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目针对我国油菜产业对耐盐碱、抗寒、抗旱、高产等多抗性优良品种的迫切需求，历时 25 年系统攻关，围绕耐逆、高产、优质等性状，开展了大规模种质筛选、基因挖掘、分子机制解析与育种材料创制等研究。通过分子标记辅助选择、小孢子培养和回交转育等现代生物技术手段，成功聚合优质、高产、抗逆、宜机收等多个优良性状，创制出 10 个高配合力的恢复系和 6 个波里马细胞质雄性不育系，并培育出通过国家审定的三个油菜新品种“陕油 0913”“陕油 16”和“陕油 107”，有效缓解了我国黄淮地区耐逆高产油菜品种短缺的局面，为国家油菜产能提升和种植区域拓展提供了重要的品种支撑。在关键技术与理论创新方面，项目对 2000 余份甘蓝型油菜种质进行了系统抗逆性鉴定，获得 92 份耐盐碱、抗寒及抗旱优良种质；挖掘并克隆耐盐碱、抗寒、抗旱关键基因 16 个，开发相关分子标记 21 个；深入解析了耐盐碱、抗寒基因的分子机制，为抗逆育种提供了重要理论依据与技术支撑。在推广与产业化方面，项目集成优质高产栽培与机械化生产技术，构建“育—繁—推”一体化应用模式，实现良种配套良法。累计推广面积 1500 万亩，新增油菜籽总产 26130.42 万公斤，增加纯收益 15.69 亿元，经济效益与社会效益显著，为保障国家食用油供给安全、推动油菜产业可持续发展作出了突出贡献。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

**三、项目简介：**

油菜是我国最重要的油料作物，兼具油用、菜用、蜜源、绿肥和饲料等多重经济价值，是国产食用植物油的主要来源，对国家粮油安全具有重要战略意义。随着油菜籽消费持续增长，我国食用油对外依存度高，产业安全面临严峻挑战。但是油菜单产提升缓慢，高产、抗逆、易机收的品种缺乏。在此背景下，提升国内油菜单产、拓展种植空间尤为紧迫，开发利用北方寒旱区土地资源成为关键突破口。针对高产、耐盐碱、抗寒、抗旱等油菜品种的迫切需求。

本项目在科技厅、农业厅及杨凌示范区等多个项目的长期支持下，历时 25 年持续攻关，围绕高产、耐盐碱、抗寒、抗旱等性状，系统开展了种质资源鉴定、关键基因挖掘、分子标记开发与功能解析等研究。通过分子标记辅助选择、小孢

子培养和回交转育等技术手段，创制出一批聚合优质、高产、抗寒、抗旱、耐盐碱、抗裂荚、抗病、易机收等优异性状的新种质。在此基础上，成功培育出国审油菜新品种“陕油 0913”“陕油 16”和“陕油 107”，有效缓解了我国黄淮地区耐逆高产油菜品种短缺的局面，为国家油菜产能提升和种植区域拓展提供了坚实的品种支撑。

1. 高产、耐盐碱、抗寒、抗旱种质筛选与基因挖掘：对 2000 余份甘蓝型油菜种质资源开展产量、耐盐碱、抗寒及抗旱性系统筛选，鉴定出 92 份高产、耐盐碱（耐受 300 mM NaCl 与 100 mM $NaHCO_3$）、抗寒（耐受-20℃低温）及抗旱种质；基于强耐盐碱种质 2205，定位到 20 个耐盐碱相关 QTL，成功克隆 6 个耐盐碱关键基因并开发 6 个配套分子标记；利用强抗寒种质 GZH，定位 14 个抗寒 QTL，克隆 7 个抗寒基因并开发 10 个分子标记；通过强抗旱种质 895，定位 6 个抗旱 QTL，克隆 3 个抗旱基因并开发 5 个分子标记；通过全基因组关联分析和 QTL 扫描，定位了 6 个与产量相关的 QTL。

2. 耐盐碱与抗寒分子机制解析：深入揭示了耐盐碱关键基因 *BnBBX22.A07* 的功能机制，该基因与转录因子 BnHY5.C09 互作，激活下游 BnWRKY33.C03 的表达，进而调控活性氧清除系统，形成复杂调控网络，共同增强油菜的耐盐碱能力。揭示了抗寒关键基因 BnaA04.GRP7 通过与 CBF 基因互作，影响植物体内活性氧的积累来调控油菜的抗寒性；BnaC07.CBL1 通过与与 BnaC01.CIPK6 互作来调控油菜的抗寒性。

3. 高产优质抗逆种质创制与品种选育：综合运用杂交、回交转育、分子标记辅助选择及小孢子培养等技术，将耐盐碱种质 2205、抗寒种质 GZH 和抗旱种质 895 中的优良抗逆基因，与高产、优质、抗裂荚、抗病等性状进行高效聚合，快速创制 10 个高配合力的恢复系（包括 Z1927C、1039C、Z1039C、530C、Z2433C、Z716C、ZQ203C、Z2000C 等）及 6 个波里马细胞质雄性不育系（包括 256A、P73-1A、Z061A、Z066A、Z9A 和 P73 北 2A-1）。在此基础上，通过三系杂交育种技术育成通过国家审定的油菜品种“陕油 0913”“陕油 16”和“陕油 107”，有效缓解了我国黄淮地区耐逆高产油菜品种短缺的局面，为国家油菜产能提升和种植区域拓展提供了坚实的品种支撑。

4. 配套技术集成与产业化推广：围绕“陕油 0913”“陕油 16”和“陕油 107”三个国审品种，系统开展栽培生理研究，集成优质高产栽培技术及机械化生产关键技

术，实现良种良法配套。构建“品种选育单位+种子企业+制种企业+农技推广部门”四位一体的产业化推广模式，显著加速新品种转化与应用。累计推广面积1500万亩，新增油菜籽总产26130.42万公斤，增加纯收益15.69亿元，经济与社会效益显著。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

**(一) 项目科技成果鉴定意见**

该项目审定的品种“陕油0913”“陕油16”和“陕油107”具有以下特性：

1、生长势强，丰产性好。区域试验中，“陕油0913”在2009～2010年度参加黄淮区油菜品种区域试验，平均亩产190.6千克，比对照秦油7号增产4.9%；2010～2011年度续试，平均亩产230.3千克，比对照增产8.1%。两年平均亩产210.4千克，比对照增产6.6%。“陕油16”在2008～2009年度参加黄淮区油菜品种区域试验，平均亩产202.7kg，比对照秦优7号增产9.8%；2009～2010年度续试，平均亩产185.7kg，比对照品种增产5.9%。两年平均亩产194.2kg，比对照品种增产7.9%。2009～2010年度生产试验，平均亩产188.3kg，比对照品种增产6.9%。“陕油107”在2010～2011年度参加黄淮区油菜品种区域试验，平均亩产222.9千克，比对照秦优7号增产4.4%；2011～2012年度续试，平均亩产222.1千克，比秦优7号增产6.0%；两年平均亩产222.5千克，比对照品种增产5.2%；2011～2012年度生产试验，平均亩产202.6千克，比秦优7号增产5.9%。适宜安徽和江苏两省淮河以北，河南，陕西关中，山西运城，甘肃陇南的冬油菜区种植。

2、抗寒、抗旱、耐盐碱等抗性好。陕西、河南、甘肃、陕西等多个地点区域试验和示范，该品种表现较当地品种抗寒、抗旱性、耐盐碱好、抗病性好，发病率明显低于当地品种。

“陕油0913”“陕油16”和“陕油107”来源清楚，遗传性状稳定，具有应用价值。推荐国家品种委员会审定推广。该品种适宜在陕西、河南、甘肃陇南、山西、安徽、江苏等地种植。

**（二）国内外对本项目研究成果的引用情况**

1、自2005年以来，课题组先后向华中农业大学、中国农科院油料作物研究

所、四川农科院、贵州省农科院、浙江省农科院、淮阴师范学院等 10 多个单位提供抗寒、抗旱、耐盐碱种质进行种质创新及基础研究利用，各单位均取得了良好效果，培育成抗逆油菜种质 10 多份。

2、该项目研究期间在国内外本领域重要学术刊物共发表论文 98 篇，其中 SCI 收录 37 篇，该研究的理论成果（论文）受到了国内外的关注，先后被引用 260 多次。其中 SCI 引用 120 次。如关于耐盐碱、抗寒、抗旱基因的定位、分子标记的开发被引用高达 122 次，其中 69 次为国外其它 SCI 论文引用。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写)**

该项目选育的国审油菜品种“陕油 0913”“陕油 16”和“陕油 107”，分别转化给杨凌农业高科技发展有限公司、杨凌金诺种业有限公司以及杨凌国瑞农业科技有限公司，自 2010 年通过国家审定以来，在陕西、河南、山西、甘肃、江苏和安徽北部等冬油菜区推广种植，累计推广面积 1500 万亩，新增油菜籽总产 26130.42 万公斤，增加纯收益 15.69 亿元。同时这些品种的推广种植增加了我国北方油菜种植面积，实现了油菜北移，并且提高了土地绿色覆盖率，一方面改良了土壤结构，另一方面改善了当地的生态环境。

**六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)**

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | 一种锌指蛋白基因、合成方法及用途 | 中国 | ZL 202010246772.9 | 2023-07-21 | 2897843 | 西北农林科技大学 | 黄镇、张燕、郎丽娜、徐爱遐、陶顺仙 |
| 2 | 油菜新品种 | 陕油 0913 | 中国 | 国审油 2011029 | 2011-11-18 | 2011-2-50 | 西北农林科技大学 | 徐爱遐、黄镇、 |
| 3 | 油菜新品种 | 陕油 16 | 中国 | 国审油 2010022 | 2010-12-23 | 2010-2-44 | 西北农林科技大学 | 徐爱遐、黄镇、 |
| 4 | 油菜新品种 | 陕油 107 | 中国 | 国审油 2012012 | 2012-12-24 | 2012-1-105 | 西北农林科技大学 | 徐爱遐、黄镇、 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 徐爱遐 | 1 | 无/研究员 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 项目的总设计负责：品种选育、推广、栽培技术 |
| 李可琪 | 2 | 无/讲师 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 主要参与示范推广、栽培；负责耐盐碱、抗寒、抗旱机理的研究 |
| 黄镇 | 3 | 副院长/教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 主要参与品种选育、示范推广、栽培；负责耐盐碱、抗寒、抗旱机理研究、抗逆种质的创制 |
| 于澄宇 | 4 | 无/副研究员 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 主要参与品种选育、示范推广、栽培 |
| 陈西 | 5 | 无/副研究员 | 陕西省种子管理站/西北农林科技大学 | 参与新品种示范推广、制种、宣传工作 |
| 许伟 | 6 | 无/研究员 | 汉中市勉县良种场/西北农林科技大学 | 参与新品种示范推广、制种、宣传工作 |
| 高小健 | 7 | 无/研究员 | 蓝田县种子管理站/西北农林科技大学 | 参与新品种示范推广、制种、宣传工作 |
| 秦梦凡 | 8 | 无/研究生 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 主要参与抗寒分子机理研究 |
| 张燕 | 9 | 无/研究生 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 主要参与耐盐碱分子机理研究 |
| 徐宇 | 10 | 无/研究生 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 主要参与耐盐碱分子机理研究 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 品种选育、推广、栽培技术研究；三个国审油菜品种的评价和研究；耐盐碱、抗寒、抗旱机理剖析及种质创制；项目设计、申报、结题等。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 | 共同立项 | 李可琪/2 | 2023.1 | 2024.12 | 抗旱、耐盐碱基因挖掘与机理解析 | SCI 论文 |
| 2 | 共同获奖 | 黄镇/3 | 2008.10 | 2024.12 | 抗寒、抗旱、耐盐碱基因挖掘与机理解析 | SCI 论文、发明专利 |
| 3 | 共同获奖 | 于澄宇/4 | 2008.1 | 2024.12 | 高产基因挖掘与机理解析 | SCI 论文 |
| 4 | 合作推广 | 陈西/5 | 2010.1 | 2018.12 | 品种推广 | 推广面积 |
| 5 | 合作推广 | 许伟/6 | 2010.1 | 2023.12 | 品种推广 | 推广面积 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

李可琪 2023-2024 年作为项目主要参加人参与该项目工作。主要协助完成了油菜新品种“陕油 0913”“陕油 16”和“陕油 107”的推广工作；对耐盐碱、抗旱基因的标记开发和基因定位进行了研究并发表相关论文 3 篇。

黄镇 2008-2024 年作为项目主要参加人参与该项目工作。主要协助完成了油菜新品种“陕油 0913”“陕油 16”和“陕油 107”的选育和推广工作；完成了 1 项发明专利“一种锌指蛋白基因、合成方法及用途”；对耐盐碱、抗寒、抗旱基因的标记开发和基因定位进行了研究并发表相关论文 75 篇。

于澄宇 2008-2024 年参与本项目工作，主要负责完成了油菜新品种的选育、区试、生产试验及新品种的示范和推广工作。

秦梦凡 2016-2023 年参与本项工作，主要完成抗寒基因的挖掘及机制解析工作。

张燕 2016-2023 年参与本项工作，主要完成耐盐碱基因的挖掘及机制解析工作。

徐宇 2017-2024 年参与本项工作，主要完成耐盐碱基因的挖掘及机制解析工作。

陈西 2010-2018 年参与本项目工作，主要负责完成了油菜新品种的示范和推广工作。

许伟 2010-2023 年参与本项目工作，主要负责完成了油菜新品种的示范和推广工作。

高小健 2010-2024 年参与本项目工作，主要负责完成了油菜新品种的示范和推广工作。

# 项目三十七

**一、项目名称：**韩城四系花椒鸭的养殖技术研发

**二、提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**该项目将北京鸭养殖与韩城大红袍花椒种植两大优势产业有机结合，创新性地利用花椒籽粉作为饲料添加剂，成功探索出“种养结合、循环利用”的新模式。项目通过在北京鸭饲料中添加 1.5%花椒籽粉，显著改善了鸭的生产性能和肠道健康，提升了肉鸭肉质红度和风味品质。研究首次揭示花椒籽中亚麻酸通过调控成肌细胞凋亡、促进脂肪酸氧化、抑制脂肪合成的机理，为畜禽脂肪代谢与肉质提升提供了科学依据，体现出鲜明的理论创新性和国际先进水平。

技术应用方面，项目成果已在陕西富强宏图牧业有限公司等多家养殖企业推广应用，形成了“花椒鸭”特色品牌。实践表明，该技术有效降低饲料成本 2-3%，减少抗生素依赖，提高屠宰性能和肉质评分，市场售价得到明显提升，显著增加了养殖户收益。与此同时，花椒籽副产物得到高值利用，带动花椒种植户增收，促进花椒产业链延伸。截止 2024 年 12 月，项目已取得 2 篇 SCI 论文、3 项专利、培养研究生 3 名，本科生 2 名，展现出较强的科技成果转化力。

该项目在行业层面具有重要示范作用：推动了陕西省畜牧业由“人畜争粮”向资源循环利用转变，提升了养殖业的可持续发展能力，促进了农户增收和乡村产业振兴；为畜禽营养与健康养殖开辟了新路径，对陕西省渭北旱原地区种养结合模式起到示范引领作用；开发出韩城市特色花椒鸭肉品及蛋品，拓展了韩城市北京鸭更高层次消费市场。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

**三、项目简介：**

韩城大红袍花椒以其颗粒丰满、香味浓郁而闻名，且花椒籽产量巨大。近年来，花椒种植面积不断扩大，花椒籽作为主要副产物，其开发利用程度仍然较低。与此同时，随着畜牧产业转型及健康养殖观念的推广，花椒籽在畜禽饲料中的潜力逐渐被重视。研究表明，花椒籽油和蛋白质的含量较高，可以为家禽提供优质的营养来源。同时，随着南鸭北养的决策性产业格局调整，北方已经逐渐成为鸭养殖的重要阵地，为陕西省养鸭产业提供了政策保障。目前，韩城市已经成为陕

西省北京鸭养殖规模最大、最具特色的养殖基地。

以此为契机，本项目通过将花椒籽粉添加到四系北京鸭的饲料中，改进饲料配方，提高了肉鸭和蛋鸭的生产性能，提升了鸭肉及鸭蛋品质，优化了免疫系统功能。这一技术创新打造了北京鸭特色肉品及特色蛋品，增强了韩城市北京鸭产品的市场竞争力，满足市场对高质量农产品的需求。通过本项目实施将花椒产业和鸭产业有机结合，形成了韩城市新的种养结合模式。不仅提升了花椒籽的附加值，推动花椒产业的发展，并且在北京鸭养殖产业中实现资源的最大化利用。此外，通过将花椒籽粉替代部分玉米作为饲料，企业能够有效降低养殖成本。玉米价格波动较大，使用花椒籽粉替代玉米，并提升企业的盈利空间。

截止 2024 年 12 月，项目已取得 2 篇 SCI 论文、3 项专利、培养研究生 3 名，本科生 2 名。2025 年基于本项目相关的理论研究，继续发表了 1 篇 SCI 论文（Journal of Agricultural and Food Chemistry（中科院 1 区，影响因子 6.2））和 1 篇中文核心论文（中国畜牧杂志），为持续推进花椒产业和北京鸭产业协同发展奠定了坚实的理论基础。

通过本项目的技术推广优化四系北京鸭的养殖模式，为陕西渭北平原的养殖业注入了新的活力。随着养殖效益的提高，带动当地农业的发展，促进农民增收，助力乡村振兴。最终，将北京鸭养殖产业链和花椒种植产业链有效结合起来，为陕西省渭北旱塬地区种养结合养殖模式起到示范引领作用。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

**课题验收意见：**在**韩城四系花椒鸭的养殖技术研发**项目执行期内，通过系列的试喂试验研究，优化了饲料生产配方，形成了高效养殖技术，使生产性能和产品质量有明显提高。发表高水平 SCI 论文 2 篇，中文核心期刊论文 2 篇，获得实用新型专利 3 项，撰写技术总结报告 1 份，培养研究生 3 名，已通过验收。

2025 年基于本项目相关的理论研究，又相继发表了 1 篇 SCI 论文（Journal of Agricultural and Food Chemistry（中科院 1 区，影响因子 6.2））和 1 篇中文核心论文（中国畜牧杂志）。为花椒产业和鸭产业的同步发展提供了坚实的理论基础。

在家禽养殖生产相关的国内外研究中，饲料添加花椒籽粉中未见报道。本项目首次尝试将花椒籽粉应用于北京鸭养殖生产中，取得了一系列有创新意义和应用前景的研究成果。花椒籽作为花椒产业的副产品，长期以来因工艺技术受限而缺乏深加工利用，市场价值极低，一斤只能卖到一两毛，大多被废弃或用作肥料。

随着加工工艺的突破和花椒籽在北京鸭饲料中的推广应用，这一资源逐渐实现了“变废为宝”。据 2024 年 4 月 1 日澎湃新闻《韩城：科技创新赋能新质生产力》报道，昔日被称为“黑豆豆”的花椒籽，如今已成为“金豆豆”，价格从原来的几毛钱一斤提升至 1700 元/吨，不仅拓展了花椒产业链，也显著提升了市场关注度与应用价值。

结合韩城市得天独厚的自然资源，本项目成功推动了地方农业与畜牧业的融合发展。花椒种植与北京鸭养殖的协同发展，不仅提高了花椒籽的附加值，还推动了当地经济的高质量发展。此举不仅提升了韩城花椒的产业链附加值，也为陕西省种养结合模式提供了可借鉴的经验。此外，通过减少对常规饲料资源的依赖，采用花椒籽粉作为饲料添加剂，不仅具有显著的成本优势，而且有助于减少养殖业对环境的负担，解决了“人畜争粮”问题。本项目的推广有助于推动绿色养殖模式的普及，为中国畜牧业的可持续发展作出积极贡献。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写)**

该项目整体技术应用是从 2023 年 1 月份开始，分别在陕西富强宏图牧业有限公司、韩城市富强宏图牧业专业合作社、合阳天惠荣畅农业有限公司、澄城县达利农业有限公司等养殖场和相关养殖农户对鸭的养殖进行了推广应用，并已经成形成了韩城特色花椒鸭的肉品供应于消费市场，已取得良好的效果，研究成果的转化前景广阔。随着项目的持续推进，预计该技术能够实现大规模推广，对养殖业的可持续发展产生积极的推动作用。

**六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)**

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 实用新型专利 | 一种北京鸭智能化屠宰装置 | 中国 | ZL 2021 2 3101780.3 | 2022 年 05 月 10 日 | 16449096 | 西北农林科技大学 | 贺花；刘小林；刘永峰；张海强；张建勤；黄永震 |
| 2 | 实用新型专利 | 一种北京鸭活体采血装置 | 中国 | ZL 2021 2 2973517.7 | 2022 年 06 月 24 日 | 16784213 | 西北农林科技大学 | 贺花；刘小林；刘永峰；张海强；张建勤；黄永震 |
| 3 | 实用新型专利 | 一种北京鸭智能化饲料精准投放装置 | 中国 | ZL 2021 2 3032873.5 | 2022 年 06 月 10 日 | 16707130 | 西北农林科技大学 | 贺花；刘小林；刘永峰；张海强；张建勤；黄永震 |
| 4 | 论文 | Effects of adding a kind of compound bio-enzyme to the diet on the production performance, serum immunity, and intestinal health of Pekin ducks | 美国 | 2025 年 104 卷 104506 页 | 2024 年 11 月 2 日 | Poultry Science | 西北农林科技大学 | 李雨笑，周洁，郭瞳，张慧雅，曹敞，蔡瑛婕，张纪桥，李涛，张建勤 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 论文 | Characterization and comparative transcriptomic analysis of skeletal muscle in female Pekin duck and Hanzhong Ma duck during different growth stages using RNA-seq | 美国 | 2023 年 102 卷 103122 页 | 2023 年 9 月 13 日 | Poultry Science | 西北农林科技大学 | 曹敞，蔡瑛婕，李雨笑，李涛，张纪桥，胡志刚，张建勤 |
| 6 | 论文 | 鸭 SPP1 基因的生物信息学分析、原核表达及其在鸭胚胎期骨骼肌中表达规律研究 | 中国 | 2023 年 59 卷 147-154 页 | 2023 年 7 月 13 日 | 中国畜牧杂志 | 西北农林科技大学 | 曹敞，职卓，蔡瑛婕，李雨笑，张纪桥，张淑雅，刘小林，胡志刚，张建勤 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 张建勤 | 1 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 主持项目，对科技创新 1,2,3,4 均有重大贡献；<br>制定花椒籽粉添加到北京鸭饲料的相关试验方案；<br>主导建立花椒籽粉替代部分玉米饲料的生产工艺，饲料配方；<br>负责花椒籽粉应用推广。 |
| 胡志刚 | 2 | 助理研究员 | 西北农林科技大学 | 对本项目科技创新 1,2 项有重要贡献；<br>参与项目，负责试验设计的优化，部分试验内容的实施以及数据处理。 |
| 贺花 | 3 | 中级实验师 | 西北农林科技大学 | 对本项目科技创新 1,2 项有重要贡献；<br>参与项目，协助部分实验数据测定和推进花椒籽饲料的推广。 |
| 江中良 | 4 | 教授 | 西北农林科技大学 | 对本项目科技创新 1,2 项有重要贡献；<br>参与项目，主要负责协调实验室工作。 |
| 刘小林 | 5 | 教授 | 西北农林科技大学 | 对本项目科技创新 1,2 项有重要贡献；<br>参与项目，负责协调学校和企业及地方政府，协同推进花椒籽饲料的推广。 |
| 张建华 | 6 | 兽医师 | 定边县盐场堡镇农牧综合服务站 | 对本项目科技创新 3，4 项有重要贡献；<br>参与项目相关技术的推广，数据收集反馈。 |
| 张志涌 | 7 | 畜牧师 | 佳县动物疫病预防控制中心 | 对本项目科技创新 3，4 项有重要贡献；<br>参与项目相关技术推广，数据收集反馈。 |
| 薛东峰 | 8 | 兽医师 | 韩城市畜牧技术推广中心 | 对本项目科技创新 3，4 项有重要贡献。<br>参与项目，负责北京鸭饲料和花椒加工工艺、市场动态等的产业调研；<br>北京鸭养殖过程中的主要技术指导；<br>花椒籽粉替代玉米的饲料推广。 |
| 唐耀松 | 9 | 畜牧师 | 陕西富强宏图牧业有限公司 | 对本项目科技创新 3，4 项有重要贡献；<br>参与项目，负责实验鸭群养殖、生产数据收集和技术应用推广。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 王二云 | 10 | 高级畜牧师 | 韩城市畜牧技术推广中心 | 对本项目科技创新 3，4 项有重要贡献；<br>参与项目，协助研究生完成样品采集以及生产数据测定。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | **实现了花椒副产物的高效利用：**通过将花椒籽作为能量饲料，替代部分玉米饲料，有效解决了花椒籽的无效利用问题。花椒籽本身具有丰富的营养成分，但传统应用主要集中在花椒籽油的提取，而未曾充分开发其在畜禽饲料中的潜力。本项目突破了这一瓶颈，通过微生物组学、代谢组学、转录组学联合生产数据、血清生化指标，系统评估和探究了花椒籽粉对北京鸭生长、生产性能以及肠道健康的影响，最终确定 1.5%的最适添加量来进行产业应用和推广，这一理论成果也为花椒籽的高效利用提供了新的方向。<br>**创制出韩城特色北京鸭养殖饲料配方：**本项目研发了基于韩城特有花椒籽粉的北京鸭专用饲料配方，探索了不同添加剂量的效果，并通过一系列的养殖试验和生化分析，优化了饲料配方，从而提高了北京鸭的生产性能、屠宰性能、免疫能力及肉品质。这一创新为提高北京鸭养殖效益提供了强有力的技术支撑。<br>**构建了花椒籽粉提升北京鸭肉品及生产性能的理论体系：**项目中采用了微生物测序、代谢组学等先进技术，系统评估了花椒籽粉对北京鸭生长及健康的多方面影响。通过对鸭肠道微生物群落、代谢产物及氨基酸组成的分析，深入探讨了花椒籽粉对北京鸭体内生物过程的调节作用，推动了花椒籽粉在鸭养殖中的应用发展，填补了国内外相关研究的空白。<br>**促进地方产业高质量发展：**结合韩城市得天独厚的自然资源，本项目成功推动了地方农业与畜牧业的融合发展。花椒种植与北京鸭养殖的协同发展，不仅提高了花椒籽的附加值，还推动了当地经济的高质量发展。此 |

| | | |
|---|---|---|
| | | 举不仅提升了韩城花椒的产业链附加值，也为陕西省种养结合模式提供了可借鉴的经验。<br>**维护了环境及生物资源可持续发展：**通过减少对常规饲料资源的依赖，采用花椒籽粉作为饲料添加剂，不仅具有显著的成本优势，而且有助于减少养殖业对环境的负担。本项目的推广有助于推动绿色养殖模式的普及，为中国畜牧业的可持续发展作出积极贡献。 |
| 陕西富强宏图牧业有限公司 | 2 | 项目主要的合作单位，协助主持单位完成饲养试验部分以及技术推广工作。公司利用韩城市丰富的花椒种植资源，确保了花椒籽粉作为饲料添加剂的稳定供应。该项目于 2022 年开始通过在鸭日粮中添加不同剂量花椒籽粉，系统评估对鸭生产性能、屠宰性能、免疫性能、机体抗氧化、肉品质、肠道健康和鸭肝脏的影响等，筛选出了最适添加量，证明添加花椒籽粉的有效性和安全性，为花椒籽粉在鸭饲料中的推广应用以及替抗提供科学理论依据。该项目整体技术应用是从 2023 年 1 月份开始，以陕西富强宏图牧业有限公司为核心，在韩城市富强宏图牧业专业合作社、合阳天惠荣畅农业有限公司、澄城县达利农业有限公司等养殖场和相关养殖农户对鸭的养殖进行了推广应用，并已经形成了完整的韩城特色花椒鸭的肉品供应市场，取得了显著的经济效益和社会效益。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 张建勤/1、贺花/3、刘小林/5 | 2022 年 1 月 | 2023 年 1 月 | 一种北京鸭智能化屠宰装置 | 专利 1 |
| **2** | 共同知识产权 | 张建勤/1、贺花/3、刘小林/5 | 2022 年 1 月 | 2023 年 1 月 | 一种北京鸭活体采血装置 | 专利 2 |
| **3** | 共同知识产权 | 张建勤/1、贺花/3、刘小林/5 | 2022 年 1 月 | 2023 年 1 月 | 一种北京鸭智能化饲料精准投放装置 | 专利 3 |
| **4** | 论文合著 | 张建勤/1 | 2022 年 1 月 | 2024 年 11 月 2 日 | Effects of adding a kind of compound bio-enzyme to the diet on the production performance, serum immunity, and intestinal health of Pekin ducks | 期刊论文 1 |
| **5** | 论文合著 | 张建勤/1、胡志刚/2 | 2022 年 1 月 | 2023 年 9 月 13 日 | Characterization and comparative transcriptomic analysis of skeletal muscle in female Pekin duck and Hanzhong Ma duck during different growth stages using RNA-seq | 期刊论文 2 |
| **6** | 论文合著 | 张建勤/1、胡志刚/2、刘小林/5 | 2022 年 1 月 | 2023 年 7 月 13 日 | 鸭 SPP1 基因的生物信息学分析、原核表达及其在鸭胚胎期骨骼肌中表达规律研究 | 期刊论文 3 |
| **7** | 产业推广 | 张建华/6、张志涌/7 | 2023 年 1 月 | 2024 年 12 月 | 花椒籽粉饲料的陕北地区产业推广 | 产业应用证明 |
| **8** | 产业推广 | 薛东峰/8、唐耀松/9、王二 | 2023 年 1 月 | 2024 年 12 月 | 花椒籽粉饲料的韩城市产业推广 | 产业应用证明 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 云/10 | | | | |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

1.“韩城四系花椒鸭的养殖技术研发”项目由第一完成人张建勤负责，其他完成人共同参与，根据研究目标，合作分工、相互配合，合理有序的保障项目的顺利完成。

2. 第一完成人张建勤与第二、三、四、五完成人胡志刚，贺花，江中良，刘小林为项目主要完成单位人员，主要负责实验室各项实验的开展以及数据分析，共同完成了花椒籽粉添加到北京鸭饲料后，样品采集，实验室分析、测定，数据分析，整理，学术论文和科技报告的撰写。

3. 第六、七项目完成人张建华、张志涌负责花椒籽粉饲料在陕北地区的小规模应用推广，以及其他家畜、家禽上进行花椒籽粉饲料的尝试应用。

4. 第八、九、十项目完成人共同完成花椒籽粉饲料在韩城地区的产业推广，北京鸭养殖技术指导以及生产数据的收集整理。

# 项目三十八

**一、项目名称：**新型生防芽孢杆菌资源挖掘及其微生物农药研发与应用

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**微生物是一种重要的战略资源，对于促进农业可持续发展意义重大。作物土传病害发生严重、防控困难，包括烟草在内的农业种植业对有益微生物资源需求巨大，现有微生物菌剂远不能适应农业发展需求。为解决农业种植对微生物资源的需求，项目组自 2007 年起，通过系统深入研究：①建立发展了生防芽孢杆菌筛选研究体系、芽孢杆菌微生物农药研发体系，解析了陕西烟草土传病害发生规律及致病关键因子；②鉴定获得了多种具有抗病促生活性的生防芽孢杆菌新菌株，优选了高活性广适应生防菌，探明了其作用特性，评估了其应用潜力，解析明确了生防菌的作用机理及定殖效应；③研发创制了新型芽孢杆菌微生物农药，构建了烟草土传病害防控配套技术，提出了烟草土传病害防控策略并制定了防治规程。项目解决了烟草土传病害生物防控药剂缺乏等核心技术难题并取得技术突破，解决了生防芽孢杆菌研发体系构建、微生物源农药研发、土传病害防控配套技术等关键问题。项目成果经过多年示范推广应用，有效控制了该类病害在我国大范围的暴发和流行，取得了显著的经济社会效益，提升了我国该类病害理论研究和防控技术水平。提名该项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。

三、**项目简介：**

该项目属农业科学植物保护学科领域。

微生物是重要的战略资源。在农业领域，微生物能够改良土壤结构，促进植物生长，更重要的是能开发为微生物农药，且具有环保、低毒、高效等优点，是绿色农业的重要组成部分。我国是世界最大的烟草生产国，烟草栽培面积和产量均居世界首位。陕西烟草栽培在全国烟草产业中占据重要地位，随着陕西烟草“北烟南移”战略的实施，烟叶种植区域发生改变。由于气候变化和病原变异，烟草土传病害逐年加重发生，严重制约着烟叶生产持续稳定发展。传统农药使用是目前烟草土传病害防控的主要措施。根据世卫组织公布的毒理性 I 级农药清单、CORESTA 发布的高风险农药指南和各大国际烟草公司公布的高风险农药清单，目前在我国烟草上注册并仍在使用有多菌灵等多种农药。我国微生物资源丰富，但研究、开发和利用的

技术与产品非常有限，远不能满足农业生产需求。如何挖掘有益微生物资源，研制微生物农药产品，建立病害防控技术体系，保障包括烟草在内的农作物安全和可持续生产，是我国农业面临的重大课题。针对以上问题，项目组从2007年开始，与中国烟草总公司陕西省公司等单位联合攻关，开展了系统深入研究，取得如下创新性成果：

1. 建立发展了生防芽孢杆菌研究体系及生物农药开发体系，解析了陕西烟草土传病害发生规律及致病关键因子。从多生境分离获得微生物资源，建立了生防菌挖掘与研发菌库。分析鉴定有益生防菌，发现根际土壤中丰度高、抗逆性强是筛选生防芽孢杆菌的首要因素，提出生防芽孢杆菌研究体系主要包括样品采集与菌株分离，发酵条件与发酵工艺优化，抗逆与促生分析等36项研究内容。基于该体系筛选获得了多种有益微生物资源。建立了快速、高通量的烟草促生作用分析体系，构建了生物菌剂活性测定、菌体制备、剂型研发、安全评估等全流程微生物源生物农药开发体系。利用该体系探明了LW-6、B7900等新型芽孢杆菌菌株的抗病活性、最优剂型、最优施用方式，优化了固体发酵工艺流程，明确了LW-6、B7900等菌株的遗传稳定性和生态与环境完全性。明确了陕西烟区烟草主要土传病害的类型与发生流行规律，探明了陕西烟区主要土传病害灾变的关键因素。发现了多种植物源和微生物源的抗病活性物质。

2. 鉴定获得了多种具有高效抗病促生活性的生防芽孢杆菌新菌株，解析明确了作用机理及定殖效应。分离土壤根际候选生防菌株13万余株，优选PGPR生防菌新种16株，研发生防菌剂7种。明确了16株PGPR生防菌的抗病和促生活性、抗逆活性、作用方式、抑菌范围、定殖能力等生防菌研发应用潜力。构建了生防芽孢杆菌发酵体系、发酵生产工艺流程、发酵生产线和检测平台。探明了生防芽孢杆菌田间应用的递送方式和递送载体，实现了生防菌剂田间复杂生态系统的“性能验证”。解析了生防芽孢杆菌抗病和促生的作用机理，发现甲基营养型芽孢杆菌LW-6等分泌小分子调控植物生长素合成，促进植物生长发育；通过固氮、溶磷、根际被膜、菌根共生等方式提升土壤养分有效性，改善植物营养。LW-6等以抗生作用、资源竞争等机制形成“抑病土壤”抑制病原菌生长；揭示了LX-29等编码的多种次级代谢基因簇导致病原菌内容物泄露，破坏病原菌生长发育。探明了DY-6-6等通过介导信号传导，在植物激素途径中通过调节多种酶活和抗病基因表达，同时诱导钙离子内流，激发寄主免疫反应，增强寄主抗病性。分析解释了生防菌的入侵与定殖

障碍效应，发现 LW-6 等对环境的高抗逆性和适应性有利于在复杂的土著微生物群落中竞争、存活和定殖。明确了解淀粉芽孢杆菌 B7900 等可突破土壤微生物群落“优先效应”的阻碍，并能快速、良好地适应由宿主遗传背景、土壤和气候等环境因子对微生物群落的塑造作用。

3. 创制了新型芽孢杆菌微生物农药，构建了烟草土传病害防治技术体系，有效控制了病害流行危害。基于生防芽孢杆菌研究体系及生物农药开发体系，研发创制了甲基营养型芽孢杆菌 LW-6 和解淀粉芽孢杆菌 B7900 等 2 种新型生物农药，登记了生物农药 5 件。建立了新型芽孢杆菌生产质量标准和产业化生产体系。依据病害发生区域特点和发生规律，提出了“栽培改善+土壤改良+带菌壮苗+全程防控”的烟草土传病害防控策略。针对基于新型微生物农药的烟草土传病害防控需求，构建了基质带菌育苗技术、免疫壮苗技术、“定根水”技术和“一喷三防”技术的“四位一体”烟草土传病害绿色防控技术体系，并制定了病害防控技术规程。该防控技术体系在多个烟区试验示范并推广应用，有效控制了烟草土传病害在我省大范围暴发和流行。

项目实施期间，相关成果示范推广到延安、汉中、安康等烟区，近三年累计推广应用 59.95 万亩，总经济效益 17841.90 万元，新增税收 8638.09 万元；项目成果的应用有效控制了我省烟草主要土传病害的发生流行，促进了陕西烟区农业可持续健康发展，同时提升了我国在微生物源新农药创制领域的理论研究水平和研发创制水平。项目共发表学术论文 36 篇，其中 SCI 源刊物 11 篇，出版教材 4 部，获得发明专利 7 件，实用新型专利 2 件，登记软件著作权 3 件，成功登记新型生物农药 5 件，其中母药 2 件，颁布企业标准 2 件，培养技术人员 2 万余名，培养研究生 20 余人。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

1. 科技成果评价：认为该成果整体达到国际先进国内领先水平。

陕西省植物病理学会组织专家组对“新型生防芽孢杆菌资源挖掘及其微生物农药研发与应用”进行了科技成果评价，专家组一致认为：该项目针对我国烟草等作物病害发生严重，防控困难，微生物农药研发远不能满足农业生产需求等问题，经过系统深入研究，在有益微生物资源发掘、病害及病原靶标鉴定、生物农药研发体系构建、生防菌作用机理解析、病害防控技术体系集成、新型微生物农药创制等方

面取得了重要的研究成果。该研究以土壤根际微生物为研究对象，筛选了生防芽孢杆菌，获得了 16 株优选生防菌，解析了其抗病促生作用机理及定殖效应；建立了芽孢杆菌微生物农药研发体系，研发创制了 2 种新型芽孢杆菌微生物农药，登记了 2 种新农药母药和 3 种新剂型；提出了基于生物农药防治理念的烟草土传病害防控策略，集成创制了烟草土传病害绿色防控规程，并在生产上大面积应用，取得了显著的社会经济效益。多项研究成果在国内外为首次报道，在研究领域内取得了突破性创新。

2. 科技查新报告：该成果具有原始创新性。

教育部科技查新工作站（N04）科技文献信息中心对该成果进行了查新检索。查新结果认为，该项目所研究的：（1）关于芽孢杆菌（包括贝莱斯芽孢杆菌、埃吉类芽孢杆菌、甲基营养型芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、索诺拉沙漠芽孢杆菌等）菌株的筛选、鉴定，已有中文文献报道。除项目组文献外，未见鉴定获得多种具有高效抗病促生的甲基营养型芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌等生防菌株的中文文献报道。（2）关于芽孢杆菌在土壤微生物群落中的抗病与促生作用研究，已有中文文献报道，但未见关于甲基营养型芽孢杆菌 LW-6 等芽孢杆菌能够激活烟草防御系统响应，代谢产物能促进根际土壤腐殖酸形成，调控植物中生长素合成，促进植物健康生长的中文文献报道。（3）关于微生物农药的研发，已有中文文献报道。除项目组文献外，未见关于研发多种高效抗病促生微生物农药用于防止烟草、柑橘、水稻等作物病害的中文文献报道。

3. 农业农村部农药检定所农药登记认证。

创制了生物农药 2 种：分别为“甲基营养型芽孢杆菌 LW-6”和“解淀粉芽孢杆菌 B7900”，获批农业农村部新农药登记证书。甲基营养型芽孢杆菌 LW-6 包括母药（800 亿芽孢/克，登记证号 PD20181620），可湿性粉剂（80 亿芽孢/克，登记证号 PD20181621）和可湿性粉剂（200 亿芽孢/克，登记证号 PD20211957）；解淀粉芽孢杆菌 B7900 包括母药（100 亿芽孢/克，登记证号 PD20160355），可湿性粉剂（10 亿芽孢/克，登记证号 PD20160356）。

**五、应用情况（发明奖和进步奖填写）**

烟草土传病害在我省安康、汉中、商洛、延安、宝鸡、咸阳等烟区常年普遍发生，对烟草生长造成重大威胁。针对烟草重要土传病害，项目组筛选获得了多种具有高效抗病促生活性的生防菌株，明确了其抗病作用，解析了其作用机理，创制了

甲基营养型芽孢杆菌 LW-6 等生物农药。自项目成果在上述地区大面积应用以来，目前已累计推广面积为 59.95 万亩，增产烟叶 5553.7 吨，新增纯收益 18321.51 万元，总经济效益 17841.90 万元，新增税收 8638.09 万元。在获得重大经济效益的同时，还取得了明显的生态和社会效益。该成果的应用有效控制了我省烟草重大病害的暴发流行。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条)

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 发明专利 | 一种甲基营养型芽孢杆菌生物菌剂及其制备方法和应用 | 中国 | ZL201210579899.8 | 2015-12-09 | 1876103 | 陕西恒田化工有限公司 | 唐满仓，翠枫，马玉明，安德荣 |
| 2 | 发明专利 | 一种甲基营养型芽孢杆菌的可湿性粉剂及其制备方法 | 中国 | ZL201210579898.3 | 2013-12-27 | 1320516 | 陕西恒田化工有限公司 | 唐满仓，沈小英，马玉明，安德荣 |
| 3 | 发明专利 | 一种解淀粉芽孢杆菌 GLD-191 及其菌剂、制备方法和应用 | 中国 | ZL201910473124.4 | 2023-05-19 | 5980583 | 陕西绿顿生物科技有限公司 | 同中平，安航，同高鹏，同小蕊，安德荣 |
| 4 | 发明专利 | 采用反转录环介导等温扩增技术检测烟草病毒的方法 | 中国 | ZL201110205107.6 | 2013-10-16 | 1286716 | 陕西省烟草研究所；西北农林科技大学 | 成巨龙，赵磊，胡翠华，郝兴安，满建云，吴云锋 |
| 5 | 发明专利 | 一种来源于坚强芽孢杆菌的发酵产物免疫蛋白及其制备工艺 | 中国 | ZL201510814555.4 | 2019-01-22 | 3225556 | 宝鸡西姆现代生物技术工程有限公司 | 杨文军，安天赐，杨登，安德荣 |
| 6 | 发明专利 | 采用反转录环介导等温扩增技术检测芜菁 | 中国 | ZL201310659524.7 | 2016-08-24 | 2193519 | 西北农林科 | 赵磊，郝兴安，吴云锋 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 花叶病毒的方法 | | | | | 技大学 | |
| 7 | 发明专利 | 微生物发酵法生产枯草芽孢杆菌碱性蛋白酶的生产工艺 | 中国 | ZL200810231714.8 | 2011-03-30 | 751764 | 西北农林科技大学 | 安德荣，刘双发 |
| 8 | 农药登记 | 甲基营养型芽孢杆菌LW-6（母药） | 中国 | PD20181620 | 2018-04-23 | | 陕西恒田化工有限公司 | |
| 9 | 农药登记 | 解淀粉芽孢杆菌B7900（母药） | 中国 | PD20160355 | 2016-02-29 | | 陕西先农生物科技有限公司 | |
| 10 | 企业标准 | 烤烟病毒病综合防治技术规程 | 中国 | Q/BJYC.JS.05.56-2024 | 2024-03-08 | | 宝鸡市烟草专卖局（公司） | 张世杰，艾绥龙，郝兴安，张强，刘云，王平平，李涛，张喜峰，赵洋洋，蒋东来 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
|---|---|---|---|---|
| 郝兴安 | 1 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 负责制定研究项目的总体方案、技术路线和具体实施计划，对项目研究的全过程进行管理。对该项目主要科技创新点（1）、（2）、（3）均做出实质性贡献。在生防菌资源挖掘、抗病性鉴定、作用机理解析等方面做出了创新性工作。发表相关研究论文 12 篇，获批专利及软件著作权 5 件，主编教材 2 部，参编 1 部，制定企业标准 2 项。该项目工作占本人工作量的 70%。 |
| 艾绥龙 | 2 | 所长/高级农艺师 | 中国烟草总公司陕西省公司 | 参与项目的具体实施，负责田间试验规划、田间药效评价等工作，对主要科技创新点（3）做出了实质性贡献。参与制定企业标准 2 项，发表文章 2 篇。该项目工作占本人工作量的 70%。 |
| 安德荣 | 3 | 教授 | 西北农林科技大学 | 参与制定研究项目的总体方案、技术路线和具体实施计划，负责生防菌挖掘、鉴定等工作，对主要科技创新点（1）、（2）做出了实质性贡献。获批专利 6 件，发表文章 28 篇。该项目工作占本人工作量的 70%。 |
| 张强 | 4 | 高级农艺师 | 中国烟草总公司陕西省公司 | 参与项目的具体实施，负责病毒靶标位点鉴定、抗性资源挖掘及利用等工作，对主要科技创新点（2）、（3） |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 做出了实质性贡献。参与制定企业标准 2 项，发表文章 2 篇。该项目工作占本人工作量的 70%。 |
| 赵磊 | 5 | 副院长/教授 | 西北农林科技大学 | 参与本项目的具体实施计划，负责生防菌抗病作用机理解析等工作，对主要科技创新点（1）、（2）做出了实质性贡献。发表文章 10 篇。该项目工作占本人工作量的 70%。 |
| 王平平 | 6 | 高级农艺师 | 中国烟草总公司陕西省公司 | 参与项目的具体实施，负责绿色防控配套技术研发、技术培训与示范推广等工作，对主要科技创新点（3）做出了实质性贡献。参与制定企业标准 2 项，发表文章 2 篇。该项目工作占本人工作量的 80%。 |
| 唐少燃 | 7 | 总经理/高级农艺师 | 陕西恒田生物农业有限公司 | 参与项目的具体实施，负责生防菌剂剂型开发、发酵优化，生产工艺优化，药物登记及示范推广等，对主要科技创新点（3）做出了实质性贡献。参与登记药物 3 项。该项目工作占本人工作量的 70%。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称 | 排名 | 主要贡献 |
|---|---|---|
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学在本项目中主要负责项目的策划、实施，对项目所形成的研究成果进行凝练和提升。项目实施过程中，在实验条件、工作人员的工作时间及其实验设备、试验土地等方面予以重点保障，管理部门按照课题管理办法进行检查、监督和组织协调，确保项目的顺利实施 |

| | | |
|---|---|---|
| | | 和完成。同时，在本项目开展过程中，校计财处、科研院、推广处等部门一直为项目给予专业指导和科学管理，并在项目成果鉴定等方面提供大力支持与协助。 |
| 中国烟草总公司陕西省公司 | 2 | 中国烟草总公司陕西省公司在本项目中主要从事烟草抗病育种及烟草土传病害绿色防控技术的推广应用工作。项目实施过程中，全面深入解析了陕西烟区烟草土传病害的发生流行规律和灾变关键因子，合作构建了“四位一体”烟草土传病害绿色防控技术体系，同时开展了技术推广应用。在项目经费、实验条件、工作人员的工作时间及其实验设备等方面予以必要保障，管理部门积极组织协调，确保项目的顺利实施和完成。 |
| 陕西恒田化工有限公司 | 3 | 陕西恒田化工有限公司在本项目中主要负责药物剂型研发、生产与推广等工作。项目实施过程中，开展了生防菌剂的大田试验、药物登记等工作。在实验条件、工作人员的工作时间及其实验设备等方面予以必要保障，管理部门积极协助申报课题和组织协调，确保项目的顺利实施和完成。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况汇总表表 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **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 | 示范推广 | 艾绥龙/2 | 2007 年 10 月 | 2024 年 12 月 | 示范推广：烤烟病毒病综合防治技术规程 | 其他附件 4.1，4.2 |
| 2 | 论文合著 | 安德荣/3 | 2007 年 9 月 | 2022 年 12 月 | 论文：Yufeng Ying, Nuoni Zhang, Bin Li, Dongyang Liu, Qiang Zhang, Zhao Yang, **Derong An**, **Xingan Hao**. Biocontrol Potential of Bacillus velezensis ZF-10 Inhibiting Potato Virus Y and Promoting Growth of Tobacco Plant. Journal of Phytopathology. 2024.<br>安依凡，杨照，林波，张斌，**郝兴安**，**安德荣**，文俊明，黑茎病烟株真菌分离鉴定与芽孢杆菌拮抗比较，黑龙江农业科学，2023. | 其他附件 2.1，2.2 |
| 3 | 示范推广/论文合著 | 张强/4 | 2010 年 1 月 | 2024 年 12 月 | 示范推广：烤烟病毒病综合防治技术规程；论文：Yufeng Ying, Nuoni Zhang, Bin Li, | 其他附件 4.1，4.2，2.1 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Dongyang Liu, **Qiang Zhang**, Zhao Yang, erong An, **Xingan Hao**. Biocontrol Potential of Bacillus velezensis ZF-10 Inhibiting Potato Virus Y and Promoting Growth of Tobacco Plant. Journal of Phytopathology. 2024. | |
| 4 | 论文合著/共同知识产权 | 赵磊/5 | 2017 年 9 月 | 202 4 年 4 月 | 专利：采用反转录环介导等温扩增技术检测烟草病毒的方法，ZL201110205107.6，成巨龙，**赵磊**，胡翠华，**郝兴安**，满建云，吴云锋；论文：**Lei Zhao**, **Xingan Hao**, Yunfeng Wu. Inhibitory effect of polysaccharide peptide (PSP) | 其他附件 1.2，2.3 |

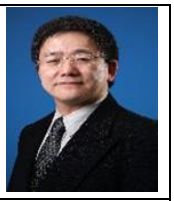
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | against Tobacco mosaic virus (TMV). International Journal of Biological Macromolecules. 2015；**Lei Zhao**, Chaohong Feng, Kuan Wu, Wenbao Chen,Yujia Chen, **Xingan Hao**, Yunfeng Wu. Advances and prospects in biogenic substances against plant virus: A review. Pesticide Biochemistry and Physiology. 2017 | |
| 5 | 示范推广 | 王平平/6 | 2017年8月 | 2024年12月 | 示范推广：烤烟病毒病综合防治技术规程 | 其他附件4.1，4.2 |
| 6 | 产品登记 | 唐少燃/7 | 2018年9月 | 2021年4月 | 应用推广，农药登记：甲基营养型芽孢杆菌LW-6 | 必备附件3.2 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

艾绥龙高级农艺师和安德荣教授是项目研究方案共同设计和实施者，共同完成了生防菌筛选、防控技术研发、专利申请、示范推广和防治规程制定等。赵磊教授是课题组成员和论文合著者，共同开展了生防菌活性鉴定、作用机理解析、应用潜力评估等研究，共同完成了论文发表、专利申请等工作。张强、王平平高级农艺师是本项目共同实施者，合作开展了病害灾变规律、病害防控技术、示范应用推广等研究，共同完成了论文合著、技术培训、防治规程制定等工作。唐少燃总经理是本项目共同实施者，合作开展了农药安全性评价，农药登记、技术培训、示范应用推广等工作。

# 项目三十九

## 一、候选人基本情况

<table>
<tr><td rowspan="2">候选人姓名<br>或组织名称</td><td>英文名或英文译名</td><td colspan="4">CHANGHUI　PENG</td><td rowspan="2">  </td></tr>
<tr><td>中文译名</td><td colspan="4">彭长辉</td></tr>
<tr><td>出生日期</td><td>1960.12.15</td><td>国　籍</td><td>加拿大</td><td>性　别</td><td>男</td></tr>
<tr><td>职　务</td><td colspan="3">生态建模与碳科学实验室主任</td><td>职　称</td><td>特聘教授</td></tr>
<tr><td>专业、专长</td><td colspan="3">全球变化生态学</td><td>学　位</td><td>博士</td></tr>
<tr><td rowspan="2">学科分类名称</td><td>1</td><td colspan="2">生态系统生态学</td><td>代　码</td><td>1804445</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">森林生态学</td><td>代　码</td><td>2201060</td></tr>
<tr><td>工作单位</td><td colspan="5">西北农林科技大学</td></tr>
<tr><td>通讯地址</td><td colspan="3">陕西省咸阳市杨陵区西农路 3 号</td><td>邮　编</td><td>712100</td></tr>
<tr><td>联系电话</td><td colspan="3">029-87082851</td><td>传　真</td><td></td></tr>
<tr><td>电子信箱</td><td colspan="5">peng.changhui@uqam.ca</td></tr>
<tr><td>合作方向</td><td colspan="5">全球气候变化与碳循环</td></tr>
<tr><td>与省内合作的主要单位</td><td colspan="5">西北大学</td></tr>
<tr><td>与国内合作的开始时间</td><td colspan="5">2011 年 1 月 1 日</td></tr>
<tr><td>获奖情况</td><td colspan="5">□中国政府友谊奖（时间：xx 年）　　□陕西省三秦友谊奖（时间：xx 年）</td></tr>
</table>

**二、提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**彭长辉（Changhui Peng）教授自 2011 年以国家特聘专家身份来陕工作以来，长期与我省科研单位保持密切合作，为推动我省生态学领域国际科研合作、学科建设与人才培养作出持续而卓越的贡献。经审查，所报材料真实有效，彭教授一贯对华友好，积极投身于我省科技能力提升。

彭长辉教授是全球变化生态学领域具有重要国际影响力的科学家，学术成就

卓著，现任美国科学促进会会士（AAAS Fellow）并曾担任美国生态学会亚洲分会主席，国际学术声誉显著。在与本省合作中，他聚焦碳循环与生态预测研究，开发全球湿地甲烷模型（TRIPLEX-GHG），合作发表包括 Nature 系列在内的高水平论文 217 篇，出版专著多部，承担多项重大科研项目，总经费逾 1900 万元，为我省生态治理与双碳目标实现提供了关键科学支撑。

他积极推动本省单位与国外科研机构深度合作，共同发起举办 7 次国际会议，成功申报国家高端外国专家项目 2 项，有效提升我省在国际生态学界的能见度和话语权。在陕期间，彭教授牵头创建陕西省生态预测与全球变化中心，助力国家重点实验室和野外台站建设，显著促进林学与生态学学科融合与平台提升；通过联合培养、博士后指导等多种方式，为我省培养了一支具备国际视野的创新团队和 50 余名高层次人才，为学科可持续发展奠定坚实基础。

彭长辉教授的合作成果显著推动了我省在生态保护与绿色发展领域的科技进步，社会与生态效益突出，完全符合陕西省国际科学技术合作奖的授奖条件。特此郑重提名彭长辉教授为陕西省国际科学技术合作奖。