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：农林特色真菌代谢产物挖掘与功能机制探索

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

微生物在惠及人类健康与生态守护方面发挥了举足轻重的作用，其中真菌来源的天然产物（如著名抗生素青霉素等）是人类预防和治疗疾病不可或缺的物质基础，是创新药物和农药先导化合物发现的重要源泉，在创新性药物研发中发挥了无法替代的作用和地位。

项目组历时20年，在多项国家及省部级科研基金资助下，从拓展天然产物与活性相关的“化学空间”多样性视角出发，围绕农林特色真菌（与昆虫、苔藓、植物共生的真菌）活性代谢产物挖掘与表征、先导的结构改造与构效关系，以及重要活性分子的作用机制开展系统性研究工作，获得了重要科学发现：

1）发现一批结构复杂新颖聚酮类、鸟巢烷二萜类及羊毛甾烷三萜类活性天然产物，解析了多种真菌复杂代谢物分子结构；2）创新了高效构建四元环的方法，基于多样性导向的活性化合物的结构优化，阐明了构效关系；3）揭示了多个活性化合物的神经保护作用机制，创建了新资源-新成分-新功能-新靶点-新机制的研究体系。同时，项目取得的重大科研成果反哺高校教学，出版3部专著作为优质教材在全国90余所著名高校使用，对于我国高等教育发挥了重大作用；开发的高效创建四元环的新方法被12个国家，37所知名大学/研究所广泛应用。该项目的实施不仅丰富了我国农林特色真菌资源信息和认知，具有重要的理论价值，尤其为深度开发、利用该资源提供了科学依据。

提名该项目为陕西省自然科学奖一等奖。

三、项目简介：

农林特色真菌（以下简称真菌）新结构活性天然产物资源十分丰富，但迄今高药理作用的化合物的产出却极低；全球学者针对该类活性化合物结构的优化及其关键结构单元的合成研究鲜见报道；表征其生物功能及其作用机制更是本领域的重大瓶颈问题。阿尔茨海默病（AD，又称老年痴呆症）患者近1000万，严重威胁老年人的身体健康；骨质疏松及骨质疏松性骨折发病率呈逐年递增的趋势，骨质疏松的预防及治疗已经成为我国面临的重大公共健康问题。上述疾病目前尚无高效低毒治疗药物。基于上述重大科学问题和创新药物研发的需求，团队集中精锐优势力量和系统研究了真菌活性代谢产物的结构与功能，为推动健康中国战略的顺利实施做出贡献。主要科学发现包括：

（1）发现银杏内生球毛壳菌中含氯原子的聚酮型氯代嗜氮酮天然产物和苦楝内生镰刀菌中第一个嗜氮酮型异喹啉骨架生物碱；发现青海苔藓内生真菌中具有独特环系骨架的十元大

环内酯低聚体，采用同位素标记阐明新骨架形成机制，揭示其体内外强效抗骨质疏松活性；发现秦岭药用昆虫共生真菌中 2 个骨架新颖的分子间[4+2]环加成聚酮产物。采用残留偶极耦合等量子计算方法表征了独特 6/6/6/6/3 环系结构，显示其具有很强的抗神经炎症活性；发现 Sarcodon 等担子菌中高度氧化的 80 余种鸟巢烷型二萜（包括 50 个新化合物），特别是 4,9-裂环 9/7 新骨架，占全世界天然鸟巢烷型二萜总数的 15%。由上述新化合物首次构建我国鸟巢烷化合物库；发现灵芝等担子菌中 100 余个羊毛甾烷骨架三萜类活性物质，其中 27 个新结构，4 个新骨架类型，结构类型涉及多个环系如 6/6/6/5/5，6/4/6/5/8/5，6/4/6/5/5 和 6/3/6/5/5 环系，揭示自由基中间体参与羊毛甾烷新骨架中四元环的形成机制。

（2）系统表征了鸟巢烷二萜类化合物库中 40 个天然产物能促进 PC12 细胞突起生长及抑制神经炎症活性及合成了 3 个系列 50 个新的鸟巢烷型二萜衍生物并明确其构效关系；首次发现灵芝等担子菌中 50 个具有神经营养及抗神经炎症活性；阐明灵芝 ganoderterpene A 及桦褐孔菌 2α-HI 等三萜神经保护机制，以及抑制神经炎症的构效关系。

（3）创建金催化未活化的烯烃环加成反应高效构建四元环新方法，实现了四元环的双官能团化，克级规模制备的环丁烯产物易转化成多样化的官能团产物。该方法突破传统的[2+2]环加成方法，为含多取代四元环关键核心药效团药物分子合成提供简洁高效策略。

四、客观评价：

（1）新骨架聚酮 Tricrilactone A、Herpotrichone A 和三萜 Ganorbifates A/B 被入选《Natural Product Reports》(2023, 2020）热点化合物；Herpotrichone A 被《中国科学基金》列为研究亮点（Research Highlights）进行点评和报道《Science Foundation in China》（2020）。

（2）韩国科学技术院 Sunkyu Han 教授（Organic Letters 副主编）对我们发现的新骨架 Herpotrichones A–C 进行大篇幅点评，并基于我们提出的生源假说，对该结构进行了仿生全合成，其合成过程需同时克服同源二聚化、区域和立体选择性相互竞争等巨大挑战《Journal of the American Chemical Society》（2025）。

（3）Sarcodonin G 及 scabronine M 的神经营养活性，被作为未来真菌抗老年痴呆活性成分研究开发方向的依据《Fungal Diversity》（2013）。

（4）我们开发的[2+2]环加成反应工作被《Chemical Reviews》（2021）大篇幅报道。该方法已被世界 12 个国家 37 所知名大学/研究所广泛应用。

五、应用情况：

（1）中国科学院孙汉董院士为《植物化学》教材赐序，高度评价教材内容具有“可读性、系统性、前瞻性”。科研成果中，来源于植物和微生物的 38 个结构实例，其中微生物 6 个，

写入规划教材《植物化学》及《天然产物结构解析》。以《植物化学》规划教材作为关键支撑点，由我们领衔的教学成果“基于化学与生物学交叉的应用化学专业创新人才培养体系探索与实践”荣获 2015 年陕西省高等教育教学成果奖特等奖；2021 年，以这两部教材主导的系列教材为依托，获首批“天然产物化学”国家级一流（线下）本科课程。

我们主导编写的国家级规划教材《植物化学》（2003, 2012, 2017, 科学出版社，再版 3 次），作为国家精品课程《植物化学》配套教材、已经累计出版发行 20,000 余册，被吉林大学、天津大学、中国农业大学、南京农业大学等 90 余所院校本科生、研究生使用，使用单位高度评价。并出版配套规划教材《天然产物结构解析》（2017，科学出版社）。

（2）我们创建的基于金催化未活化的烯烃[2+2]环加成反应高效构建四元环的新方法：受到英国皇家化学学会会士，世界著名有机化学家 Antonio M. Echavarren 等国际知名学者的高度评价，并被世界 12 个国家 37 所知名大学/研究所广泛应用，包括德国慕尼黑大学、美国德克萨斯大学、新加坡国立大学、南开大学等。

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）

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	Azaphilones: Chemistry and Biology	Chemical Reviews	Jin-Ming Gao, Sheng-Xiang Yang, Jian-Chun Qin	2013 年 113 卷 4755–4811 页	2013-04-12	Jin-Ming Gao	Jin-Ming Gao	高锦明，杨胜祥，秦建春	350	《科学引文索引》扩展板	是

2	Au-catalyzed intermolecular [2+2] cycloadditions between chloroalkynes and unactivated alkenes	Journal of the American Chemical Society	Yu-Bin Bai, Zaigang Luo, Yuguang Wang, Jin-Ming Gao, Liming Zhang	2018年140卷5860–5865页	2018-04-04	Jin-Ming Gao, Liming Zhang	Yu-Bin Bai	白育斌，高锦明	90	《科学引文索引》扩展板	是
3	Tricrilactones A–H, Potent Antiosteoporosis Macrolides with Distinctive Ring Skeletons from Trichocladium crispatum, an Alpine Moss-Associated Fungus	Angewandte Chemie International Edition	Wen-Bo Han, Yi-Jie Zhai, Rong Zhang, Xu-Shun Gong, Jia-Qian Li, Gong Xu,Xinxiang Lei, Liangcheng Du, and Jin-Ming Gao	2023年62卷e202300773	2023-03-06	Wen-Bo Han, Gong Xu, Jin-Ming Gao	Wen-Bo Han, Yi-Jie Zhai	韩文博，翟怡杰，张荣，公绪顺，李家乾，徐功，雷新响，高锦明	20	《科学引文索引》扩展板	是

4	Herpotrichones A and B, two intermolecular [4+2] adducts with anti-neuroinflammatory activity from a *Herpotrichia* species	Organic Letters	Wen-Bo Han, Guang-Yi Wang, Jiang-Jiang Tang, Wen-Ji Wang, Han Liu, Roberto R. Gil, Armando Navarro-Vázquez, Xinxiang Lei, Jin-Ming Gao	2020年22卷405–409页	2019-12-24	Xinxiang Lei, Jin-Ming Gao	Wen-Bo Han	韩文博，王光义，汤江江，王文己，刘晗，雷新响，高锦明，	25	《科学引文索引》扩展板	是
5	Ganoderterpene A, a New Triterpenoid from Ganoderma lucidum, Attenuates LPS-Induced Inflammation and Apoptosis via Suppressing MAPK and TLR-4/NF-κB Pathways in BV-2 Cells	Journal of Agricultural and Food Chemistry	Rong-Wei Kou, Yu-Qi Gao, Bing Xia,Jia-Yun Wang, Xiao-Ning Liu, Jiang-Jiang Tang, Xia Yin, Jin-Ming Gao	2021年69卷12730–12740页	2021-10-20	Jiang-Jiang Tang, Xia Yin, Jin-Ming Gao	Rong-Wei Kou, Yu-Qi Gao	寇融威，高宇琪，夏冰，王佳运，刘小宁，汤江江，尹霞，高锦明	50	《科学引文索引》扩展板	是

6	《植物化学》（第三版）		高锦明		2017-11			高锦明			是
7	《天然产物结构解析》		高锦明，田均勉		2017-06			高锦明，田均勉			是
8	《高等真菌代谢产物》		高锦明		2003-12			高锦明			是

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献
高锦明	1	教授	西北农林科技大学	总体负责制定项目方案和具体实施。对本项目创新科研成果 1，2，3，4 全部做出重要贡献。致力于解析特色微生物活性代谢产物结构，阐明重要活性成分生物学功能及机制，作为第一或通讯作者发表相关代表性论文 5 篇，出版专著 3 部。
韩文博	2	教授	西北农林科技大学	协助第一完成人完成本项目的组织实施工作，致力于抗神经炎症/抗骨质疏松新骨架化合物的发现，结构鉴定及生物功能研究。对本项目创新科研成果 1，2 做出重要贡献。作为第一作者发表代表性论文 3，4。
尹霞	3	副教授	西北农林科技大学	协助第一完成人完成本项目的组织实施工作，致力于灵芝等药食同用真菌新颖三萜类化合物及神经保护作用的构效关系和机制研究。对本项目创新研究成果 1，2 做出重要贡献。作为通讯作者发表代表性论文 5。
汤江江	4	教授	西北农林科技大学	协助第一完成人完成本项目的组织实施工作，致力于具有重要生物活性的天然产物

				构效关系和药理机制研究。对本项目创新研究成果 1，2 做出重要贡献。作为通讯作者发表代表性论文 5。
白育斌	5	其他	西北农林科技大学	协助第一完成人完成本项目的组织实施工作，致力于金催化[2+2]环加成反应高效构筑四元环的新方法研究。对本项目创新研究成果 2 做出重要贡献。作为第一作者发表代表性论文 2。
翟怡杰	6	副教授	西北农林科技大学	协助第一完成人完成本项目的组织实施工作，致力于抗骨质疏松新骨架大环内酯的发现，结构鉴定及生物功能研究。对本项目创新科研成果 1，2 做出重要贡献。作为第一作者发表代表性论文 3。

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
西北农林科技大学	1	西北农林科技大学高度重视高锦明团队“西北特色药用微生物功能代谢产物的表征及其作用机制系统研究”相关研究，不仅在空间、经费上全力支持，而且配备相关设备和管理人员，协调科研院、图书馆、研究生院全力配合。学校双一流建设及人才队伍建设等都将本项目作为重点支持项目，大大加快了本项目的顺利实施和推广。

八、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	高锦明/1 韩文博/2 翟怡杰/6	2023	代表性论文 3	Angewandte Chemie International Edition, 2023, 62(15), e202300773
2	论文合著	高锦明/1 韩文博/2 汤江江/4	2020	代表性论文 4	Organic Letters, 2020, 22(2): 405‑409
3	论文合著	高锦明/1 尹霞/3 汤江江/4	2021	代表性论文 5	Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69 (43):

					12730－12740
4	论文合著	高锦明/1 白育斌/5	2018	代表性论文 2	Journal of the American Chemical Society, 2018, 140(17): 5860－5865

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

项目完成人高锦明、韩文博、尹霞、汤江江、翟怡杰均为西北农林科技大学化学与药学院教师，白育斌为高锦明教授已毕业博士生，同时韩文博、尹霞、汤江江、翟怡杰均为高锦明教授团队核心成员，已进行了长期的科研合作。

完成人高锦明是本项目负责人，5 篇代表性论著的通讯作者，《植物化学》（第三版）和《天然产物结构解析》2 部普通高等教育“十三五”规划教材主编，2015 年陕西省高等教育教学成果奖特等奖“基于化学与生物学交叉的应用化学专业创新人才培养体系探索与实践”的第 1 完成人，首批“天然产物化学”国家级一流（线下）本科课程第 1 负责人。

完成人韩文博是本项目的主要技术骨干，负责或参与了本项目若干课题的研究，是代表性论文 3，4 的第 1 作者，首批“天然产物化学”国家级一流（线下）本科课程主要参与人之一。

完成人尹霞是本项目的主要技术骨干，负责或参与了本项目若干课题的研究，是代表性论文 5 的共同通讯作者，首批“天然产物化学”国家级一流（线下）本科课程主要参与人之一。

完成人汤江江是本项目的主要技术骨干，负责或参与了本项目若干课题的研究，是代表性论文 4 和 5 的第 3 和共同通讯作者。

完成人白育斌是本项目的技术骨干，参与了本项目若干课题的研究，是代表性论文 2 的第 1 作者。

完成人翟怡杰是本项目的技术骨干，参与了本项目若干课题的研究，是代表性论文 3 的共同第 1 作者。

项目二

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 57 篇，其中 SCI 论文 33 篇，累计他引次数 518 次。培养博士生 9 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 518 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	Genome-wide analysis and characterization of the TaTLP gene family in wheat and functional characterization of TaTLP44 in response to Rhizoctonia cerealis	Plant Physiology and Biochemistry	Zhen Gao, Miao Sun, Chunyu Shao, Yihua Chen, Linrun Xiang, Jun Wu, Jun Wang, Xinhong Chen	2024, 207, 108323	2024 年 2 月	Jun Wang, Xinhong Chen	Zhen Gao	郜振 孙苗 邵春雨 陈益华 项林润 武军王 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
2	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	Jun Wu，XinHong Chen	Jiaojiao Li	李娇娇 李家创 蒋少威 赵李符宇 刘淑会 杨群慧 武军 陈新宏	13	《科学引文索引》扩展版数据库(SCIE)、《CNKI 中国引文数据库》(CCD)	是

3	Comparative transcriptome analysis of resistant and susceptible wheat in response to Rhizoctonia cerealis	BMC Plant Biology,	Xingxia Geng, Zhen Gao, Li Zhao, Shufa Zhang, Jun Wu, Qunhui Yang, Shuhui Liu, Xinhong Chen	2022, 22, 235	2022年5月	Xinhong Chen	Xingxia Geng	耿兴侠郜振赵李张书发武军杨群慧刘淑会陈新宏	34	《科学引文索引》扩展版数据库(SCIE)、《CNKI中国引文数据库》(CCD)	是
4	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	Wu Jun，Chen Xin	Bai Sheng Sheng	白升升袁凤平张寒冰张珍悦赵继新杨群慧武军陈新宏	22	《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	Xinhong Chen	Wanli Du	杜万里王婧王亮明武军赵继新刘淑会杨群慧陈新宏	27	《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	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	种质创新、种质鉴定与品种选育
王军	3	讲师	西北农林科技大学	种质创新、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 武军/2	2016-2019	共同通讯作者发表论文 2 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 武军/2	2018-2021	共同通讯作者发表论文 2 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 武军/2	1998-2023	共同通讯作者发表论文 2 篇	代表性论文 2 和 4、新品种选育
4	共同研究论文合著	陈新宏/1 王军/3	2022-2024	共同通讯作者 SCI 论文 1 篇	代表性论文 1、新品种选育

完成人合作关系说明（限 1000 字）

第 1 完成人陈新宏研究员作为项目的负责人，主持完成 2 项国家基金，以通讯作者发表 5 篇代表作，代表作的第一作者皆为陈新宏所指导的博士生。

第 2 完成人武军副研究员 1998 年-2021 年作为第 1 完成人陈新宏研究员的科研助手，协助完成 2 项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 2 和 4，并参加小麦新品种选育。

第 3 完成人王军讲师从 2021 年起至今为第 1 完成人陈新宏研究员的科研助手，协助完成省部级相关项目研究，协作指导研究生，合作撰写发表代表性论文 1，并参加小麦新品种选育。

第 2 完成人武军副研究员和第 3 完成人王军讲师一前一后在我的团队从事研究，2021 年同在我的团队，3 人共同发表代表性论文 1，第 2 完成人武军副研究员 2022 年从我的团队独立出去。

项目三

一、项目名称：关中麦玉复种系统氮高效技术优化及其增产减排协同机制

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：

该项目面向关中麦玉复种系统氮肥用量大、利用效率低和损失风险高的问题，在国家自然科学基金和陕西省重点研发计划等项目支持下，持续开展氮素高效利用技术创新及其增产减排协同机制研究，取得如下重要科学发现和创新成果：

一是明确了控释尿素与普通尿素配施、生物炭与氮肥配施提升作物氮素利用率的最优配比参数，率先构建了关中麦玉复种系统氮高效管理技术模式。二是阐明了氮高效技术通过“供氮”和“保氮”途径实现作物增产稳产的生理生态机制，明确了控释供氮通过改善氮素供需匹配、根冠协调和茎秆性状促进作物抗倒稳产，并揭示了生物炭通过增强土壤保氮、改善根际环境和调节微生物群落促进作物氮素吸收的土壤—微生物—作物协同机制。三是揭示氮高效技术优化氮素调控降低农田温室气体排放的机制，阐明了减氮配施生物炭通过降低无机氮供应、增强 N_2O 还原潜力抑制 N_2O 排放；并明确了优化控释尿素与普通尿素配施通过降低施用环节温室气体排放并增强土壤碳固定，降低系统碳足迹。项目成果形成了氮高效管理模式—增产稳产原理—温室气体减排机制协同耦合的研究体系，深化了对麦玉复种农田氮素高效利用及增产减排协同机制的认识。代表性论文发表于本领域高水平期刊，相关成果受到国内外同行关注和引用。项目科学问题明确、研究体系完整、创新性显著，对麦玉复种区氮肥高效管理与农业绿色低碳发展具有重要科学意义和借鉴价值，符合陕西省自然科学奖提名条件。

提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、项目简介：

关中麦玉复种系统作为陕西省粮食生产的核心种植模式，是保障区域粮食稳定供给的重要基石。但长期以来，该生产系统存在氮素供需时空匹配度不高、氮肥利用效率偏低、活性氮损失风险高等问题，制约了区域粮食绿色优质高效生产。在国家粮食安全和农业绿色发展战略深入推进的背景下，如何通过合理的氮素管理实现作物增产稳产的同时，提高氮肥利用效率、降低氮损失，并阐明其调控机制是服务区域粮食稳产和农业绿色发展亟待解决的科学问题。为此，该项目自 2018 年以来，在国家自然科学基金和陕西省重点研发计划等项目支持下，以麦玉复种系统高产、氮高效与低排放协同为研究主线，首先围绕控释尿素与普通尿素配施（10 年田间定位试验）、生物炭与氮肥配施（15 年田间定位试验）开展氮高效管理技术优化，明确关键调控参数；在此基础上，分别从作物生理生态和土壤氮循环角度，解析优化氮素管理促进作物增产稳产和降低温室气体排放的作用机制，逐步形成了技术模式—增产机制—减排机制相互衔接的研究体系。主要科学发现如下：

（1） 确立了麦玉复种农田氮高效管理的技术途径及适宜技术参数。针对普通尿素前期供氮过快、后期供氮不足以及高氮投入效率不高的问题，研究提出了控释氮与速效氮配合基

施、适度减氮的优化模式。多年田间试验表明，中等施氮量下控释尿素与普通尿素配施，可达到与普通尿素高施氮处理相当的小麦和玉米产量，实现节氮 20%；整合分析进一步表明，控释尿素一次基施可使作物产量提高 10.1%，氮肥利用效率提高 47.6%，从更大尺度验证了缓释供氮提高作物产量和氮肥利用效率的普适效应。针对减氮条件下土壤氮素保存能力不足及作物氮素供应受限的问题，提出“降氮施炭”的调控途径。减氮 38%配施生物炭后，小麦产量较相同减氮条件下不施生物炭处理提高 9.9%–33.3%，氮吸收提高 24.3%–34.9%；并明确 5–10 t ha^{-1} 生物炭用量能够较好协调土壤氮素滞留与作物氮素吸收。上述研究明确了控释供氮与生物炭保氮两类氮素调控途径及其适宜参数，建立了由优化氮素供需与增强土壤保氮共同驱动的麦玉复种农田氮高效管理模式。

（2） 阐明了氮高效技术促进作物增产稳产的生理生态机制。控释尿素与普通尿素配施通过形成前期速效供氮和后期缓释补氮的供氮模式，改善土壤供氮与作物需氮的匹配关系。研究证实，该配施方式既能满足作物前期生长需求，又能维持生育中后期氮素供应，促进小麦花后光合生产、干物质积累和氮素向籽粒转运；同时改善根冠协调关系，增强小麦基部节间和玉米茎秆、根系的机械特性，降低小麦茎倒和玉米茎倒、根倒风险。生物炭则通过改善根际微环境强化土壤水分和养分固持，缓解减氮后作物氮素供应不足。具体而言，生物炭可提高土壤氮素滞留能力，使硝态氮淋失降低 14.7%–38%；并重塑与养分转化有关的根际微生物群落，促进小麦地上部生物量积累和根系氮素吸收 5.1%–17.8%。整体而言，缓释供氮保障作物全生育期氮素需求，生物炭保氮促吸收缓解减氮后的养分限制，二者分别从土壤供氮和保氮环节支撑作物增产稳产。

（3） 揭示了氮高效技术降低农田温室气体排放的作用途径及机制。长期定位研究发现冬小麦田的土壤 N_2O 排放主要发生在施氮后，表明施肥后是调控麦田减排的关键节点；减氮 38%可使土壤 N_2O 排放较常规施氮降低 18.7%–36.8%，配施 5 t ha^{-1} 生物炭可使累计土壤 N_2O 排放较单纯减氮进一步降低 11.8%–20.4%。减氮配施生物炭通过减少土壤无机氮供给、提高 N_2O 还原功能基因 *nosZ* 丰度，削弱施肥后土壤 N_2O 排放高峰；且生物炭施入初期抑制本地土壤碳矿化而间接降低麦田 CO_2 排放。在麦玉复种系统中，研究发现控释尿素包膜延缓尿素水解和氮素释放，避免施肥后土壤无机氮浓度迅速升高，减少硝化和反硝化过程可利用的氮底物，从而削弱施肥后的土壤 N_2O 排放峰；配施还使氨挥发降低 16.7%，并促进作物生物量形成和秸秆碳归还，增加土壤有机碳固定，最终降低系统净温室气体排放和单位产量碳足迹。

基于上述发现发表多篇相关 SCI 论文，其中 5 篇代表性论文发表于 *Field Crops Research*、*Soil Biology and Biochemistry* 等国内外学术 TOP 期刊。项目研究得到国家自然科学基金和陕西省重点研发计划等项目持续支持，形成了从田间氮素调控技术探索、作物响应到土壤氮循环和温室气体排放的系统研究成果。研究丰富了麦玉复种农田氮素高效利用技术体系机及其增产减排机制的理论认识，为麦玉复种区优化氮肥管理、保障粮食生产和推进农业绿色低碳发展提供了科学依据。

四、客观评价：

截至 2026 年 8 月，5 篇代表性论文经 Web of Science Core Collection（SCI-Expanded）检索，他引次数共计 203 次，已排除代表性论文全部作者自引。相关研究受到国内外同行的持续关注，表现如下：

（一）对科学发现一的客观评价

发表于 *Field Crops Research* 关于全国控释尿素替代普通尿素分次施用的整合分析结论，已被后续全球和区域尺度氮肥增效与环境减损研究采用；例如，中国科学院沈阳应用生态研究所与新西兰 AgResearch 等单位的研究团队在 *Global Change Biology* 发表的全球整合分析中，将该研究作为评价控释肥增产、提高氮肥利用效率及降低环境损失的重要依据之一。河北农业大学华北作物改良与调控国家重点实验室相关团队在研究控释尿素与普通尿素配施调控玉米生产及土壤微生物过程时，在 JCR Q1 区期刊 *Frontiers in Microbilogy* 的文章中多次引用本项目研究成果，并据此指出适宜比例配施能够通过避免氮素快速损失、协调氮素供应与作物需求，提高玉米氮肥农学效率和偏生产力；同时肯定了项目关于控释肥效应受区域环境条件调控的认识。

（二）对科学发现二的客观评价

扬州大学作物栽培与生理领域知名专家杨建昌教授参与的研究团队在本学科高水平期刊 *Field Crops Research* 发表长江下游稻茬麦氮素高效管理研究，直接引用本项目关于控释尿素和普通尿素配施的增产增效机制的代表性成果。该研究在分析控释氮肥优化供氮及提高小麦生产力的过程中，指出控释尿素与普通尿素合理配施能够协同提高小麦产量和氮肥利用效率，并将本项目关于不同施氮水平下控释尿素与普通尿素配施效应的研究作为重要依据，用于比较和解释不同区域、不同氮素管理条件下作物产量和氮肥利用效率的响应差异。杨建昌教授长期从事作物栽培生理、产量形成及作物营养调控研究，其团队对本项目成果的引用，表明项目关于优化氮素供应、协调土壤供氮与作物需氮关系以及实现作物增产增效的研究认识得到了国内作物栽培与生理领域同行的关注和认可。

（三）对科学发现三的客观评价

项目关于生物炭调控农田碳氮循环及温室气体排放的研究受到国内外土壤学和农业生态学领域同行关注。项目在土壤学领域国际权威期刊 *Soil Biology and Biochemistry* 发表的研究基于 329 个土壤样品和 5720 个同位素示踪观测数据，系统揭示了生物炭输入后土壤原有有机碳矿化激发效应的时空变化规律及主要驱动因素，生物炭与土壤属性可共同解释 73%的激发效应变异，并据此提出雨养农田施用高温热解木质生物炭具有较高土壤固碳潜力。浙江大学杨景平教授与加拿大阿尔伯塔大学 Scott X. Chang 教授等组成的研究团队在生物炭与环境领域高水平国际期刊 *Biochar*（IF = 13.1）发表论文，引用本项目关于生物炭土壤碳激发的整合分析成果，将其作为生物炭改变原有土壤有机质矿化速率的重要依据，并在此基础上进一步解析植物—生物炭—微生物互作驱动根际激发效应的机制，表明本项目成果为后续土壤碳矿化机

制研究提供了理论基础。沈阳农业大学水稻研究所和辽宁省农业科学院研究团队在 *Frontiers in Plant Science* 发表的 ^{15}N 示踪研究中，引用本项目关于减氮配施生物炭调控 N_2O 排放的成果，指出中、高施用量生物炭具有不同的 N_2O 减排潜力，其研究结果与本项目发现相一致。该团队据此进一步分析了生物炭施用量、老化过程和氮肥分次施用对 N_2O 排放及土壤氮素留存的影响，说明本项目关于生物炭减排剂量边界的核心发现得到不同作物系统研究的关注和验证。

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）

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	Can controlled-release urea replace the split application of normal urea in China? A meta-analysis based on crop grain yield and nitrogen use efficiency	Field Crops Research	Guangxin Zhang，Dehao Zhao，Shju Liu，Yuncheng Liao，Juan Han	2022，275，108343	2022 年 1 月 1 日	Yuncheng Liao，Juan Han	Guangxin Zhang	张光鑫，赵德豪，刘世举，廖允成，韩娟	99	《科学引文索引》扩展版（SCI-Expanded）数据库	是
2	Response of N_2O emissions to N fertilizer reduction combined with biochar application in a rain-fed winter wheat ecosystem	Agriculture, Ecosystems & Environment	Wei Li，Huanxin Xie，Zhangheng Ren，	2022，333，107968	2022 年 8 月 1 日	Juan Han，Yuncheng	Wei Li	李伟，谢焕鑫，任张恒，李彤，温晓霞，韩	30	《科学引文索引》扩展版（SCI-Expanded）数据库	是

			Tong Li，Xiaoxia Wen，Juan Han，Yuncheng Liao			Liao		娟，廖允成			
3	A synthesis of soil organic carbon mineralization in response to biochar amendment	Soil Biology and Biochemistry	Yeye Zhang，Yuteng Dang，Jinxia Wang，Qiu Huang，Xiukang Wang，Liru Yao，Nangia Vinay，Kailiang Yu，Xiaoxia Wen，Youcai Xiong，Yuncheng Liao，Juan Han，Fei Mo	2022，175，108851	2022年11月22日	Juan Han，Fei Mo	Yeye Zhang	张叶叶，党宇腾，王金霞，黄秋，王秀康，姚丽茹，熊友才，廖允成，韩娟，莫非	35	《科学引文索引》扩展版（SCI-Expanded）数据库	是
4	Combining controlled-release urea and normal urea with appropriate nitrogen application rate to reduce wheat stem lodging risk and increase grain yield and	Journal of Integrative Agriculture	Guangxin Zhang,Dehao Zhao，Hengzhi Fan，Shiju Liu，Yuncheng Liao，Juan Han	2023，22，3006-3021	2023年10月1日	Juan Han，Yuncheng Liao	Guangxin Zhang	张光鑫，赵德豪，樊恒志，刘世举，廖允成，韩娟	18	《科学引文索引》扩展版（SCI-Expanded）数据库	是

	yield stability										
5	Mixed application of controlled-release urea and normal urea can improve crop productivity and reduce the carbon footprint under straw return in winter wheat-summer maize cropping system	European Journal of Agronomy	Guangxin Zhang，Shiju Liu，Xiangyang Wang，Xufang Wang，Yan Zhang，Dehao Zhao，Xiaoxia Wen，Juan Han，Yuncheng Liao	2023，151，127002	2023年7月10日	Juan Han，Yuncheng Liao	Guangxin Zhang，Shiju Liu	张光鑫，刘世举，王向阳，王旭芳，张燕，赵德豪，温晓霞，韩娟，廖允成	21	《科学引文索引》扩展版（SCI-Expanded）数据库	是

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献
1	韩娟	研究生院常务副院长/教授	西北农林科技大学	负责项目设计和总体统筹，提出项目的主要创新思路、方案，全面负责氮高效技术优化及增产减排机制研究，5 篇代表作的通讯作者。
2	莫非	副院长/教授	西北农林科技大学	负责生物炭氮高效技术优化及固碳机制研究等相关工作，代表性论文 3 通讯作者。
3	张光鑫	系副主任/副教授	山西农业大学	负责控释氮肥氮高效技术优化及其增产机制研究等相关工作，代表性论文 1、4 和 5 的第一作者以及支撑项目参与人。
4	张叶叶	助理研究员	西北农林科技大学	负责生物炭氮高效技术优化及增产机制解析等相关工作，代表性论文 3 第一作者。
5	温晓霞	教授	西北农林科技大学	负责控释氮肥和生物炭氮高效技术优化及其增产固碳机制研究等相关工作，代表性论文 2 和 5 的合著作者。
6	刘世举	助理研究员	河南农业大学	负责控释氮肥氮高效技术优化及其固碳机制研究等相关工作，代表性论文 1、4 和 5 的合著作者。

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献

1	西北农林科技大学	是本成果的第一完成单位，负责总体研究方案制定、研究内容分析、技术路线和研究方案确定等，也是 5 篇代表性论文的第一完成单位。
2	山西农业大学	在科学发现（2）和（3）方面，以本单位为主要完成单位揭示了氮高效技术优化调控促进作物增产固碳的生理生态机制，相关成果见代表性论文 4 和 5。同时，在项目实施过程中，本单位提供了研究条件方面的保障，为项目的顺利开展和高质量完成奠定了坚实基础。
3	河南农业大学	合作完成代表性论文 1，4，5，负责控释氮肥氮高效技术提效减排机制相关的研究工作，对应科学发现（1）和（3）。

八、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	韩娟 1，张光鑫 3，刘世举 6	2022 年 1 月	Can controlled-release urea replace the split application of normal urea in China? A meta-analysis based on crop grain yield and nitrogen use efficiency	代表性论文 1
2	论文合著	韩娟 1，温晓霞 5	2022 年 8 月	Response of N2O emissions to N fertilizer reduction combined with biochar application in a rain-fed winter wheat ecosystem	代表性论文 2
3	论文合著	韩娟 1，莫非 2，张叶叶 4，温晓霞 5	2022 年 12 月	A synthesis of soil organic carbon mineralization in response to biochar amendment	代表性论文 3
4	论文合著	韩娟 1，张光鑫 3，刘世举 6	2023 年 10 月	Combining controlled-release urea and normal urea with appropriate nitrogen application rate to reduce wheat stem lodging risk and increase	代表性论文 4

				grain yield and yield stability	
5	论文合著	韩娟 1，张光鑫 3，温晓霞 5，刘世举 6	2023 年 11 月	Mixed application of controlled-release urea and normal urea can improve crop productivity and reduce the carbon footprint under straw return in winter wheat-summer maize cropping system	代表性论文 5
6	共同立项	韩娟 1，莫非 2，张光鑫 3、张叶叶 4，温晓霞 5，刘世举 6	2021 年 7 月-2025 年 12 月	晋陕黄土旱塬区有机旱作增碳扩容高效用水技术模式与应用	国家重点研发计划项目课题

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

本项目第一完成人韩娟教授是本项目总设计和牵头人，是 5 篇代表性论文的通讯作者。完成人莫非是代表性论文 3 的通讯作者，完成人温晓霞是代表性论文 2，3，5 的合作作者，与第一完成人韩娟教授隶属于同一课题组。完成人张光鑫是代表性论文 1，4，5 的第一作者，是完成人韩娟指导的硕士研究生，于 2017 年入学，2022 年 6 月博士毕业。完成人张叶叶是代表性论文 3 的第一作者，2018 年开始在本课题组攻读硕士研究生，于 2025 年博士毕业并作为博士后继续在本课题组工作。完成人刘世举是代表性论文 1，4，5 的合作作者，是完成人韩娟指导的博士研究生，于 2025 年博士毕业。完成人韩娟、莫非、张光鑫、张叶叶和刘世举是完成人温晓霞主持的国家重点研发计划项目课题参与人。

项目四

一、项目名称：艰难梭菌感染微生态失调及宿主营养免疫调控机制

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：该项目围绕艰难梭菌感染（CDI）这一重要人畜共患病，针对“感染有症状和无症状携带难以区分”及“微生态失调驱动感染的内在机制不清”两大核心科学问题，开展了原创性研究。项目首次揭示了肠道真菌群落在 CDI 中的关键作用，发现子囊菌门/担子菌门比例及念珠菌属/酵母菌属比例可作为反映 CDI 病理状态的“真菌失调指数”，并构建了基于 4 个真菌 OTU 与 6 种宿主免疫因子的联合诊断模型（AUC 达 0.924），为 CDI 精准诊断提供了理论依据和生物标志物体系。

在理论创新方面，项目突破传统单一关注细菌的局限，阐明了“肠道微生态失调—氨基酸营养感知信号改变—宿主 mTOR 通路异常—免疫屏障功能紊乱”的级联调控网络，提出 CDI 进程中真菌-细菌-宿主三方互作的“微生态-营养感知-免疫调控”闭环理论框架。该理论将氨基酸通过 mTORC1 信号通路调控肠上皮屏障（免疫屏障）修复的分子机制，与微生态失调导致的局部氨基酸代谢微环境改变相关联，为 CDI 从无症状携带向活动性感染转化的驱动机制以及 CDI 的防治提供了全新视角。上述成果发表于《Gastroenterology》《iMeta》《Journal of Animal Science and Biotechnology》等本领域权威期刊，5 篇代表作已被国内外同行广泛引用和正面评价，达到国际先进水平，得到国内外认可。项目成果推动微生态学、营养代谢与感染免疫交叉学科发展，为 CDI 诊疗新策略提供理论支撑和转化前景。对照授奖条件，科学发现具有原创性，理论体系完整，学科推动显著；符合陕西省自然科学奖提名条件，提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、项目简介：

艰难梭菌（Clostridioides difficile）是重要的人畜共患病，会导致人类和奶畜（奶山羊等）等发生腹泻，影响人类和奶畜健康。CDI 的发病始于抗生素使用后肠道微生态平衡的破坏，但临床长期面临两大核心困惑：其一，为何部分携带产毒艰难梭菌的患者仅表现为无症状定植，而另一部分则进展为严重腹泻甚至中毒性巨结肠——当前缺乏能有效区分活动性感染与无症状携带的精准诊断手段；其二，肠道微生态失调如何驱动 CDI 发病，包括细菌和真菌群落及宿主营养感知系统在此过程中的角色，长期以来知之甚少；本项目围绕“微生态失调如何通过影响宿主营养感知与免疫应答驱动 CDI”这一核心科学问题，以队列分析结合微生物共线分析为基础，以细菌和真菌组学为切入点，以氨基酸-mTOR 营养免疫信号轴为理论纽带，开展了历时多年的系统性研究，主要科学发现如下：

一、揭示肠道真菌群落失调是 CDI 微生态紊乱中被长期忽视的关键组分。本研究在国际上率先基于大样本、临床特征明确的临床队列，采用 ITS2 测序技术系统描绘了不同临床表型下的肠道真菌组图谱。研究发现，CDI 有症状者肠道真菌的α多样性和β多样性均显著低于无症状携带者，子囊菌门/担子菌门比例和念珠菌属/酵母菌属比例在 CDI 中显著升高，提示其可

作为反映 CDI 病理状态的“真菌失调指数”。真菌共现网络分析显示，CDI 组真菌间相关性网络明显弱于携带者组，提示真菌群落的结构性瓦解可能是疾病进展的重要标志。上述发现将 CDI 微生态研究从单一细菌视角拓展至跨界微生物互作层面。同时，在细菌层面，粪杆菌属（Faecalibacterium）和琥珀酸弧菌属（Succinivibrio），是塑造后肠微生物群的关键调节因子，并且与直肠短链脂肪酸（SCFA）产量和血清免疫球蛋白 G（IgG）密切相关，有助于肠道健康，预防 CDI 导致的腹泻。

二、构建“真菌-免疫”联合诊断模型，为 CDI 与无症状携带的临床鉴别提供了全新解决方案。研究筛选出能够有效区分 CDI 与无症状携带者的关键真菌 OTU 分类单元（如曲霉菌属、枝孢霉菌属），并结合宿主血清中 6 种免疫因子（GCSF、IL-6、IL-8、IL-10、TNF-α、IL-4），利用随机森林算法构建了联合诊断模型。该模型曲线下面积（AUC）达 0.924，远优于单一真菌标志物或单一免疫因子，实现了对活动性感染与无症状携带者的高精度区分。这是迄今国际上首次报道的基于“真菌-免疫”组合标志物的 CDI 鉴别诊断模型，为临床精准决策提供了具有转化潜力的新工具。

三、提出“微生态-营养感知-免疫调控”闭环理论框架，系统阐释 CDI 发病的深层机制。本研究通过整合氨基酸营养感知信号通路的研究成果，首次提出 CDI 进程中存在“肠道微生态失调—局部氨基酸代谢微环境改变—宿主 mTOR 信号通路异常—免疫与屏障功能紊乱”的级联调控网络。具体而言，微生态崩塌导致肠道氨基酸（尤其是亮氨酸、精氨酸）的供给与代谢模式发生改变，进而影响肠上皮细胞和免疫细胞中 mTORC1 的活性，干扰其下游 4EBP1/eIF4E 翻译起始复合物的组装及 S6K1 介导的核糖体生物合成，最终表现为紧密连接蛋白合成减少（屏障受损）。无症状携带者因保留了一定的微生态结构与功能，其 mTOR 信号相对稳态得以维持，从而促进了保护性抗毒素抗体的产生和肠道上皮的修复。这一理论框架将真菌组学发现的宏观现象与氨基酸-mTOR 信号通路的微观机制有机贯通，为 CDI 的发病机理提供了全新的系统性解释。

本项目 5 篇代表作发表于 Gastroenterology、Microbiology Spectrum、iMeta、Journal of Animal Science and Biotechnology 及 Nutrition Research Reviews 等本领域权威期刊，研究成果受到国内外同行广泛关注与正面评价。项目所建立的 CDI 队列及细菌/真菌组数据库，为后续转化研究和多中心验证提供了宝贵资源。项目成果推动了微生态学、营养代谢与感染免疫交叉学科的发展，为 CDI 的精准诊断、风险分层及营养免疫干预策略的制定提供了坚实的理论基础和新的研究方向。

四、 客观评价：

本项目围绕艰难梭菌感染（CDI）中“微生态失调—营养感知—免疫调控”这一核心科学问题，产出了一系列具有原创性的研究成果。以下从科学发现点的原创性、公认度和科学价值三个方面进行客观评价。

一、科学发现点的原创性

发现点一：肠道微生物群落失调是 CDI 微生态紊乱中长期被忽视的关键组分

本项目在国际上率先以大规模、临床特征明确的 CDI 队列为基础，采用 16S 和 ITS2 测序技术系统描绘了 CDI 患者、无症状携带者及非 CDI 腹泻对照的肠道细菌/真菌组图谱。研究首次发现子囊菌门/担子菌门比例在 CDI 患者中显著高于无症状携带者和对照（P<0.05），并提出该比例可作为反映 CDI 病理状态的“真菌失调指数”。真菌共现网络分析进一步揭示，CDI 组真菌间相关性网络明显弱于非 CDI 组，提示真菌群落的结构性瓦解可能是疾病进展的重要标志。差异丰度分析鉴定出曲霉菌属（Aspergillus）和枝孢霉菌属（Cladosporium）在无症状携带者中显著富集，提示这些真菌可能发挥保护性作用。同时，在细菌层面，、粪杆菌属（Faecalibacterium）和琥珀酸弧菌属（Succinivibrio），是塑造后肠微生物群的关键调节因子，并且与直肠短链脂肪酸（SCFA）产量和血清免疫球蛋白 G（IgG）密切相关，有助于肠道健康，预防 CDI 导致的腹泻。这一发现将 CDI 微生态研究从单一细菌视角拓展至跨界微生物互作层面。

发现点二：构建“真菌-免疫”联合诊断模型，实现 CDI 与无症状携带的高精度鉴别

基于真菌组差异分析，研究进一步筛选出能够有效区分 CDI 与无症状携带者的关键真菌 OTU（OTU657: Aspergillus proliferans、OTU252: unclassified_g_Cladosporium 等），并创新性地将其与 6 种宿主血清免疫因子（GCSF、IL-6、IL-8、IL-10、TNF-α、IL-4）结合，利用随机森林算法构建联合诊断模型。该模型 AUC 达 92.38%，远优于单一真菌标志物或单一免疫因子。在区分 CDI 与非 CDI 腹泻对照时，联合模型 AUC 同样达到 95.0%，展现出卓越的诊断性能。同时，Spearman 相关分析揭示 CDI 组中真菌属与宿主免疫因子间的相关性显著弱于无症状携带组，提示 CDI 状态下真菌-免疫之间的信号对话可能发生了解耦联。这是国际上首次报道的基于“真菌-免疫”组合标志物的 CDI 鉴别诊断模型，为临床精准区分活动性感染与无症状携带提供了全新的解决方案。

发现点三：提出“微生态-营养感知-免疫调控”闭环理论框架

项目将氨基酸（特别是亮氨酸、精氨酸）通过 mTORC1 信号通路调控蛋白质合成与细胞功能的分子机制，与微生态失调导致的局部氨基酸代谢微环境改变相关联，首次系统提出 CDI 进程中存在“肠道微生态失调—氨基酸代谢微环境改变—宿主 mTOR 信号通路异常—免疫与屏障功能紊乱”的级联调控网络。该理论框架将真菌组学发现的宏观现象与氨基酸-mTOR 信号通路的微观机制有机贯通，为 CDI 发病机理提供了全新的系统性解释，推动了微生态学、营养代谢与感染免疫交叉学科的发展。

二、国内外自然科学界公认度

（一）代表性论文发表于本领域顶级期刊

核心代表作发表于消化疾病领域国际顶级期刊 Gastroenterology（2021 年，第 160 卷第 7 期），该期刊是消化病学领域影响因子最高的学术期刊之一（最新 IF 约 29.7），对稿件创新性和科学价值要求极为严格，论文发表体现了国际同行对研究成果原创性和学术水平的高度认

可。同时，针对细菌群落与肠道健康的研究发表于畜牧领域顶级期刊 Journal of Animal Science and Biotechnology。后续针对微生物与宿主互作机制的研究发表于美国微生物学会旗舰期刊 Microbiology Spectrum（2022 年，第 10 卷第 4 期）和 iMeta（2024，第 3 卷 e200），该期刊在微生物学领域具有重要影响力，其中 iMeta 是我国微生态学领域首个具有国际影响力的高水平期刊，最新影响因子 44.4。另外，关于微生态-营养感知-免疫调控的研究发表于营养学权威期刊 Nutrition Research Reviews，最新影响因子 7.5。以上论文发表当年均属于中科研一区 Top 期刊。

（二）研究成果获国际同行广泛引用与正面评价

据 Google Scholar 及 Web of Science 统计，5 篇代表作近 5 年累计被引用 150 余次，引用者涵盖美国、英国、德国、法国、意大利、加拿大、中国等多个国家的研究团队，体现了该成果的广泛国际影响力。近 5 年来，Nutrition Research Reviews 论文已被引用 55 次、Journal of Animal Science and Biotechnology 论文已被引用 40 次，Gastroenterology 论文已被引用 35 次，其中包括 Gut Microbes、The Lancet Microbe、The Journal of Clinical Investigation、Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology 等本领域权威期刊的正面引用和述评。引用者充分肯定了肠道真菌组和细菌组在 CDI 发病和肠道健康维持中的重要作用，认为该研究“首次在大样本临床队列中系统评估了真菌标志物在 CDI 诊断中的应用潜力”。研究内容获得了中国科学报、光明网等媒体报道。另外，iMeta 和 Microbiology Spectrum 论文已被国际同行在 International Journal of Molecular Sciences、Advances in Nutrition、Advanced Science、eBioMedicine 等期刊的综述中正面引用。

（三）研究成果的潜在转化价值获得认可

研究所建立的“真菌-免疫”联合诊断模型因其卓越的诊断性能（AUC 92.38%），已被认为具有明确的实践意义。该模型为 CDI 精准诊断提供了全新的思路，未来经多中心大样本验证后有望转化为临床检测产品，推动 CDI 诊断从经验性判断向精准分子分型迈进。

三、科学价值

（一）理论价值

本项目突破了传统 CDI 微生态研究仅关注细菌的局限，首次系统揭示了肠道真菌在 CDI 从无症状携带向活动性感染转化中的关键作用，填补了该领域的理论空白。所提出的“真菌失调指数”（子囊菌门/担子菌门比例、念珠菌属/酵母菌属比例）为衡量肠道真菌群落健康状态提供了可量化的新指标。“微生态-营养感知-免疫调控”闭环理论框架将微生物组学、营养代谢与免疫学三个维度有机整合，为理解 CDI 的发病机制提供了全新的系统性视角，对推动微生态学与感染免疫学的交叉融合发展具有重要的理论意义。

（二）应用价值

研究所建立的“真菌-免疫”联合诊断模型（AUC 达 92.38%），为临床解决“活动性感染与无症状携带难以区分”这一长期困扰的难题提供了具有转化潜力的新工具。当前临床实践中，无

症状携带者常被误诊为活动性感染而接受不必要的抗生素治疗，既增加了患者痛苦和医疗负担，又加重了抗生素耐药风险。该模型若经多中心大样本验证并转化为临床检测产品，将有效指导抗生素的精准使用、减少过度治疗、降低医疗资源浪费，具有明确的临床转化前景和社会经济效益。

（三）学科推动作用

项目成果推动了 CDI 研究向“跨界微生物互作”的范式转变，引领了肠道真菌组学在感染性疾病研究中的应用。所建立的临床队列和真菌组数据库为后续研究提供了宝贵资源，所提出的理论框架为 CDI 的营养免疫干预策略（如氨基酸补充、mTOR 通路调节、益生真菌筛选）提供了新的研究方向，为开发 CDI 的新型治疗手段奠定了理论基础。

四、综合评价

综上所述，本项目在肠道真菌组学与 CDI 发病机制研究方面取得了具有鲜明原创性的科学发现，核心成果发表于本领域顶级期刊，受到国际同行的广泛关注和正面引用，理论价值和应用前景明确。对照陕西省自然科学奖授奖条件，该项目科学发现具有显著的原创性和系统性，学科推动效应突出，符合陕西省自然科学奖二等奖的授奖要求

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）

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	Fecal Mycobiota Combined with Host Immune Factors Distinguish Clostridioides difficile Infection from Asymptomatic Carriage	Gastroenterology	Yangchun Cao, Lamei Wang, Shanlin Ke, Javier A. Villafuerte Gálvez, Nira R. Pollock, Caitlin Barret, Rebecca Sprague, Kaitlyn Daugherty, Hua Xu, Qianyun Lin, Junhu Yao, Yulin Chen, Ciaran P. Kelly, Yang-Yu Liu, Xinhua Chen	2021 年 160 卷 2328-2339.e6 页	2021 年 3 月 5 日（在线发表）	Yang-Yu Liu, Xinhua Chen	Yangchun Cao, Lamei Wang, Shanlin Ke	曹阳春、王腊梅、姚军虎、陈玉林	29 次	Web of Science	是
2	Analysis of Intestinal Mycobiota of Patients with Clostridioides difficile Infection among a Prospective Inpatient Cohort	Microbiology Spectrum	Yangchun Cao, Lamei Wang, Shanlin Ke, Ciaran P. Kelly, Nira R. Pollock, Javier A. Villafuerte Gálvez, Kaitlyn Daugherty, Hua Xu, Junhu Yao, Yulin Chen,	2022 年 10 卷 4 期 e01362-22	2022 年 7 月 14 日（在线发表）	Yangchun Cao, Xinhua Chen	Yangchun Cao, Lamei Wang, Shanlin Ke	曹阳春、王腊梅、姚军虎、陈玉林	12 次	Web of Science	是

3	Potential roles of the rectum keystone microbiota in modulating the microbial community and growth performance in goat model	Journal of Animal Science and Biotechnology	Dangdang Wang, Guangfu Tang, Lichao Zhao, Mengya Wang, Luyu Chen, Congcong Zhao, Ziqi Liang, Jie Chen, Yangchun Cao, Junhu Yao	2023 年 14 卷 55	2023 年 4 月 7 日（在线发表）	Yangchun Cao	Dangdang Wang	唐光福、赵立超、王梦雅、陈鲁豫、赵聪聪、梁子琪、陈捷、姚军虎	39 次	Web of Science	是
4	Understanding host immune responses in Clostridioides difficile infection: Implications for pathogenesis and immunotherapy	iMeta	Lamei Wang, Javier A. Villafuerte Gálvez, Christina Lee, Shengru Wu, Ciaran P. Kelly, Xinhua Chen, Yangchun Cao	2024 年 3 卷 3 期 e200	2024 年 5 月 11 日	Xinhua Chen, Yangchun Cao	Lamei Wang, Javier A. Villafuerte Gálvez	王腊梅、武圣儒、曹阳春	9 次	Web of Science	是
5	Molecular mechanisms relating to amino acid regulation of protein synthesis	Nutrition Research Reviews	Yangchun Cao, Shimin Liu, Kai Liu, Imtiaz Hussain Raja Abbasi, Chuanjiang Cai, Junhu Yao	2019 年 32 卷 2 期 183-191 页	2019 年 5 月 17 日（在线发表）	Junhu Yao	Yangchun Cao	曹阳春、刘凯、蔡传江、姚军虎	44 次	Web of Science	是

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献
1	曹阳春	副院长/教授	西北农林科技大学	提出核心科学假说，主导研究设计、国际合作与论文撰写，揭示氨基酸通过mTORC1调控蛋白质合成的分子机制，提供重要理论基础
2	武圣儒	教授	西北农林科技大学	指导论文数据分析，提出试验设计方案，解析氨基酸-mTOR与艰难梭菌感染直接的关系，主要负责数据分析
3	王腊梅	高级实验师	西北农林科技大学	完成ITS2测序、生物信息学分析与真菌-免疫相关性研究，主要负责实验室工作

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
1	西北农林科技大学	西北农林科技大学作为第一完成单位，提供实验平台与国际合作支撑，协助差异表型队列构建，完成真菌组和微生物组测序及机制研究，发表5篇代表作，是全部创新点的产出单位。

八、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	曹阳春1，武圣儒,2	2020年—2024年	共同发表代表作4（iMeta，2024）	代表作4论文
2	论文合著	曹阳春1，王腊梅3	2016年—2024年	共同发表代表作1（Gastroenterology，2021）、代表作2（Microbiology Spectrum，2022）、代表作4（iMeta，2024）	代表作1、2、4论文
3	论文合著	武圣儒2，王腊梅3	2020年—2014年	共同发表代表作4（iMeta，2024）	代表作4论文
4					
完成人合作关系说明（限1000字）： 本项目3位完成人均为西北农林科技大学教师，在同一单位长期共事，围绕“艰难梭菌感染微生态失调及宿主营养免疫调控机制”开展了持续深入的协同攻关。团队成员在研究方向、技术路线和人才培养等方面深度融合，形成了分工明确、优势互补的紧密合作关系。各完成人之间的具体合作方式如下：					

一、论文合著

本项目全部 5 篇代表作均为 3 位完成人完成的成果。

（一）曹阳春与王腊梅的论文合著。曹阳春（排名 1）与王腊梅（排名 3）自 2016 年起在肠道微生态研究领域开展紧密合作，共同发表了本项目核心代表作 1（Gastroenterology，2021）和代表作 2（Microbiology Spectrum，2022）。曹阳春作为第一作者（含并列）负责研究设计、数据分析和论文撰写，王腊梅负责 ITS2 测序实验和生物信息学分析，两人分工协作完成了“真菌-免疫”联合诊断模型的构建工作。

（二）曹阳春、武圣儒与王腊梅的论文合著。曹阳春（排名 1）、武圣儒（排名 2）与王腊梅（排名 3）共同发表了代表作 4（iMeta，2024）。武圣儒在该论文中系统总结了 CDI 发病中的宿主免疫应答规律及其对免疫治疗的指导意义，王腊梅负责论文撰写，曹阳春负责定稿。

（三）全体完成人的综合合作。3 位完成人共同参与讨论了本项目全部 5 篇代表作的实验设计、数据分析和论文撰写工作，所有论文均以西北农林科技大学为第一署名单位，体现了团队协作的完整性和系统性。

二、长期稳定的合作关系

3 位完成在同一个科研团队中长期共事。曹阳春作为团队负责人，统筹全局；武圣儒在队列构建的指导、宿主免疫调控机制、生物信息分析指导方面提供关键支撑；王腊梅负责真菌组学实验与生物信息学分析。团队成员之间形成了稳定的合作机制和高效的协同模式。

综上所述，本项目 3 位完成人通过论文合等多种方式建立了长期、紧密、稳定的合作关系，所有合作均有公开论文署等材料为证，合作关系真实可靠。

项目五

一、项目名称：DHA 抑制草鱼腹腔脂肪蓄积的分子机制研究与应用

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：该项目针对水产养殖中鱼类脂质过度沉积这一产业共性问题，以我国重要淡水养殖鱼类草鱼为研究对象，系统开展了二十二碳六烯酸（DHA）抑制草鱼腹腔脂肪蓄积的分子机制研究，并验证了从理论发现到饲料化应用技术转化的可行性。项目首次构建了草鱼原代前体脂肪细胞分离、培养与诱导分化体系，揭示了 DHA 通过脂肪细胞脂解和脂肪细胞凋亡两种路径抑制腹腔脂肪蓄积的分子机制。上述研究发现为淡水鱼类脂肪细胞生物学及脂肪酸营养调控提供了新的理论依据。

项目成果在 Science Bulletin、Animal Nutrition、Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids、General and Comparative Endocrinology、Aquaculture Research 等国内外权威期刊发表，研究体系完整、逻辑严密，具有鲜明的系统性和原创性。在此基础上，项目完成了富含 DHA 的裂壶藻油替代鱼油的应用验证，证实了其抑制脂肪组织过度蓄积的可行性，实现了基础研究向应用实践的有效转化。

该项目研究内容属于基础研究和应用基础研究范畴，符合陕西省自然科学奖注重前瞻性、理论性的授奖条件。项目成果丰富了鱼类脂质营养学基础理论，为水产功能性饲料的精准研发提供了科学支撑。提名材料真实有效，相关栏目符合填写要求。

提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、项目简介：

水产养殖中普遍存在鱼类脂质过度沉积的现象。脂肪组织作为鱼类重要的能量储存器官，其脂质过度蓄积不仅影响鱼体健康，还降低商品品质。脂肪组织主要由脂肪细胞组成，脂肪细胞的发育、分化、脂解与凋亡等命运决定过程直接调控整个机体的能量收支与脂质稳态。当前，研发靶向鱼类脂肪细胞的功能性营养素是调控养殖鱼类脂质蓄积的重要解决途径。长链多不饱和脂肪酸是公认的脂质代谢活性调控因子，其中二十二碳六烯酸（Docosahexaenoic Acid, DHA）因抑制鱼类脂肪组织过度蓄积的生物学功能备受关注。然而，该作用的的具体分子机制尚未见系统阐明，其从理论发现到饲料应用转化的路径也亟待建立。

本研究以我国重要淡水养殖鱼类草鱼（*Ctenopharyngodon idellus*）为研究对象，以腹腔脂肪组织及原代前体脂肪细胞为模型，综合运用离体细胞培养与在体养殖试验，采用分子生物学、细胞生物学、转录组学及生物信息学等手段，系统解析了 DHA 调控草鱼脂肪细胞命运、抑制腹腔脂肪蓄积的分子机制，并在此基础上完成了从理论发现到饲料应用可行性的在体验证。主要科学发现如下：

（一）揭示了 DHA 抑制脂肪细胞分化的分子基础。项目首次构建了完善的草鱼原代前体脂肪细胞分离、培养与诱导分化体系，发现 DHA 能够抑制脂肪细胞分化进程，其机制与线粒体发育调控及成脂相关基因表达谱的重编程密切相关，为后续机制研究奠定了模型基础。

（二）阐明了 DHA 通过内质网应激-cAMP/PKA 信号轴促进脂肪细胞脂解的新机制。项目发现 DHA 可诱导脂肪细胞内质网应激，进而激活 cAMP/PKA 信号通路，磷酸化下游关键脂解酶，促进甘油三酯水解，加速脂肪酸氧化利用，从而减少腹腔脂肪蓄积。

（三）首次发现 DHA 通过 PPARγ-LC3-BNIP3 通路介导线粒体自噬，诱导脂肪细胞凋亡的级联机制。项目突破性地发现 DHA 能够同时靶向前体脂肪细胞和成熟脂肪细胞：一方面，DHA 通过 PPARγ依赖途径诱导前体脂肪细胞凋亡，从源头减少脂肪细胞数量；另一方面，DHA 通过激活 PPARγ-LC3-BNIP3 信号轴，触发脂肪细胞线粒体自噬，进而启动内源性凋亡通路，实现腹腔脂肪的过度蓄积。

（四）完成了 DHA 源裂壶藻油替代鱼油的应用验证与饲料创制技术转化可行性的评估。在上述机制研究的基础上，项目进一步以富含 DHA 的裂壶藻油为添加组分，开展了草鱼在体养殖验证。结果表明，裂壶藻油替代鱼油能够有效改善草鱼生长性能、调节脂质代谢相关基因表达、增强抗氧化能力，并显著降低腹腔脂肪蓄积，证实了 DHA 及其天然来源作为靶向脂肪组织的功能性饲料添加组分的可行性。

综上，本项目从脂肪细胞分化、脂解、凋亡三个维度，系统揭示了 DHA 抑制草鱼腹腔脂肪蓄积的分子机制，构建了从分子靶点发现到饲料化应用的完整转化链条。研究成果丰富了淡水鱼类脂肪细胞生物学及脂肪酸营养调控的基础理论，为水产功能性饲料的研发提供了科学依据，对推动精准营养调控策略在水产养殖中的应用具有重要意义。

四、 客观评价：

本项目围绕二十二碳六烯酸（DHA）抑制草鱼腹腔脂肪蓄积的分子机制开展系统研究，在脂肪细胞分化调控、脂解信号通路、脂肪细胞凋亡与线粒体自噬偶联机制以及饲料应用转化等方面取得了一系列原创性发现。以下从原创性、公认度和科学价值三个方面进行客观评价。

（一）原创性

1. 首次构建草鱼原代前体脂肪细胞体外分化培养体系，揭示鱼类脂肪细胞分化与线粒体发育的偶联特征；

2. 首次阐明 DHA 通过内质网应激-cAMP/PKA 信号轴促进草鱼脂肪细胞脂解的新机制；

3. 首次揭示 DHA 通过 PPARγ-LC3-BNIP3 通路介导线粒体自噬诱导草鱼脂肪细胞凋亡的级联机制；

4. 首次在草鱼上完成 DHA 源裂壶藻油替代鱼油的应用验证

项目在系统阐明 DHA 分子机制的基础上，以富含 DHA 的裂壶藻油为添加组分开展在体养殖验证，证实裂壶藻油替代鱼油能够有效改善草鱼生长性能、调节脂质代谢、增强抗

氧化能力并显著降低腹腔脂肪蓄积。该研究完成了从分子靶点发现到饲料化应用的完整转化链条。

综上，本项目系统揭示了 DHA 抑制草鱼腹腔脂肪蓄积的分子机制，形成了完整的理论体系，并以此理论为指导，创制了该功能性因子的饲料化应用技术，具有鲜明的系统性和原创性。

（二）公认度

1. 代表性论文发表于领域内权威期刊

五篇代表性论文分别发表于 Science Bulletin（国内综合性旗舰期刊）、Animal Nutrition（动物营养学 TOP 期刊）、Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids（脂质代谢领域经典期刊）、General and Comparative Endocrinology（比较内分泌学权威期刊）和 Aquaculture Research（水产养殖领域专业期刊），体现了研究成果的学术水平和国际影响力。

2. 研究成果获得广泛学术引用与关注

本项目相关结果已被引用 76 次，其中 DHA 诱导前脂肪细胞凋亡的结果被水产动物营养学领域权威专著 Fish Nutrition（第四版，2021）引用；关于 DHA 通过 PPARγ-LC3-BNIP3 通路介导线粒体自噬诱导脂肪细胞凋亡的研究成果，已被艾春香等学者在营养学领域 TOP 期刊《The Journal of Nutrition》（2026）上发表的最新综述《A Review of the Latest Advances in Aquaculture Nutrition Research》中作为重要文献予以引用。

3. 前期成果获得厅局级科技奖励认可

项目前期相关成果“长链多不饱和脂肪酸对草鱼脂质蓄积的调控作用及机制研究”已获陕西高等学校科学技术奖二等奖（年代？），体现了同行专家对项目团队在该领域持续、系统研究工作的高度认可。

4. 研究获得国家级科研项目资助

本项目研究成果受国家自然科学基金等项目资助，表明研究方向和学术价值得到了国家层面科技管理部门的认可。

（三）科学价值

1. 丰富了鱼类脂肪细胞生物学的基础理论

项目系统建立了草鱼脂肪细胞离体研究模型，揭示了鱼类脂肪细胞分化、脂解与凋亡的分子调控规律，填补了淡水鱼类脂肪细胞生物学研究的诸多空白。研究成果为理解鱼类脂肪组织发育与脂质代谢调控提供了重要的基础资料。

2. 拓展了多不饱和脂肪酸生理功能的理论认知

项目首次在鱼类模型中阐明了 DHA 通过“内质网应激-cAMP/PKA 脂解通路”和“PPARγ-LC3-BNIP3 线粒体自噬-凋亡通路”双重机制调控脂肪细胞命运的分子图谱，为理解 n-3 多不饱和脂肪酸在脊椎动物中的脂质代谢调控功能提供了新的理论框架。

3. 为水产功能性饲料的精准研发提供了科学依据

项目完成了从分子靶点发现到裂壶藻油饲料应用的全链条验证，证实了 DHA 及其天然来源作为靶向脂肪组织的功能性饲料组分的可行性。研究成果对解决水产养殖中鱼类脂质过度沉积的产业共性问题具有重要的应用指导价值，为鱼类脂质营养精准调控策略的研发提供了新的思路。

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）

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	Morphology, mitochondrial development and adipogenic-related genes expression during adipocytes differentiation in grass carp (Ctenopharyngodon idellus)	Science bulletin	Liu Pin, Ji Hong, Li Chao, Chen Liqiao, Du Zhenyu	2015 年 60 卷 1241-1251 页	2015 年 7 月 5 日	Ji Hong	Liu P	刘品，吉红，李超，陈立侨，杜震宇	21	Web of Science	是
2	DHA induces adipocyte lipolysis through endoplasmic reticulum stress and the cAMP/PKA signaling pathway in grass carp (Ctenopharyngodon idella)	Animal Nutrition	Huang Xiaocheng , Bian Chenchen , Ji Hong, Ji Shanghong, Sun	2023 年 13 卷 185-196 页	2023 年 6 月 10 日	Hong Ji	Huang Xiaocheng	黄小城，边晨晨，吉红，纪尚红，孙健	27	Web of Science	是

3	Docosahexaenoic acid (DHA) inhibits abdominal fat accumulation by promoting adipocyte apoptosis through PPARγ-LC3-BNIP3 pathway-mediated mitophagy	Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids	Bian chenchen, Yuan Xiangtong, Zeng Caihong, Sun Jian, Gen Kaneko, Ji Hong	2024 年 1869 卷 159425 页	2023 年 11 月 11 日	Ji Hong	Bian chenchen	边晨晨，袁想通，曾彩虹，孙健，吉红	13	Web of Science	是
4	Docosahexaenoic acid induces PPARγ-dependent preadipocytes apoptosis in grass carp Ctenopharyngodon idella	General and comparative endocrinology	Jin Ai, Shi Xiaochen, Liu Ynagyang, Sun Jian, Ji Hong	2018 年 266 卷 211-219 页	2018 年 9 月 15 日	Ji Hong	Jin Ai	靳艾，史小晨，刘阳洋，孙健，吉红	11	Web of Science	是
5	Effect of dietary Schizochytrium sp. oil as an n-3 long-chain polyunsaturated fatty acid source on growth performance, lipid metabolism and antioxidant status in juvenile grass carp (Ctenopharyngodon idellus): A comparative study with fish oil	Aquaculture research	Xing Junxia, Xiao Fenfen, Luo Xiaolong, Sun Jian, Li Handong, Yuan Xiangtong, Ji Hong	2020 年 51 卷 4551-4564 页	2020 年 11 月 1 日	Ji Hong	Xing Junxia	邢君霞，肖芬芬，罗小龙，孙健，李汉东，袁想通，吉红	4	Web of Science	是

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献

1	吉红	教授	西北农林科技大学	项目负责人，负责本项目研究内容、研究目标及技术路线的制定，对项目实施和完成起到关键组织领导和技术指导作用。在项目各个关键问题上均提供了重要的创新思路，对于项目中草鱼前体脂肪细胞培养体系的建立、DHA 抑制草鱼脂质蓄积机理的提出起到了重要作用。是本项目代表性论文 1、2、3、4 和 5 的通讯作者
2	孙健	副研究员	西北农林科技大学	参与项目研究方案的设计与实施，在草鱼脂肪细胞培养技术的优化及脂质代谢相关基因表达调控研究中作出重要贡献。参与揭示了 DHA 通过内质网应激-cAMP/PKA 信号轴促进脂肪细胞脂解的分子机制，以及 DHA 通过 PPARγ-LC3-BNIP3 通路介导线粒体自噬诱导脂肪细胞凋亡的级联机制。在裂壶藻油替代鱼油的应用验证中承担了关键实验工作。是本项目代表性论文 2、3、4 和 5 的共同作者。
3	刘品	讲师	咸阳师范学院/西北农林科技大学	主要负责草鱼原代前体脂肪细胞分离、培养与诱导分化体系的建立与优化工作，系统描述了脂肪细胞分化过程中形态学变化、脂滴积累规律及线粒体超微结构的动态演变，揭示了成脂相关基因与线粒体发育相关基因在分化过程中的协同表达模式，为本项目后续机制研究奠定了关键的方法学基础和理论框架。是本项目代表性论文 1 的第一作者。
4	靳艾	副教授	山西医科大学/西北农林科技大学	主要负责 DHA 诱导草鱼前体脂肪细胞凋亡的分子机制研究，首次发现 DHA 通过 PPARγ依赖途径诱导前体脂肪细胞凋亡，揭示了 DHA 从源头减少脂肪细胞数量的作用模式，为本项目后续揭示 DHA 通过线粒体自噬诱导成熟脂肪细胞凋亡的级联机制研究提供了重要的前期基础。是本项目代表性论文 4 的第一作者。
5	边晨晨	博士后	中国水产科学研究院黄海水产研究所/西北农林科技大学	主要负责 DHA 诱导草鱼脂肪细胞凋亡的分子机制研究，首次揭示了 DHA 通过激活 PPARγ-LC3-BNIP3 信号轴触发线粒体自噬、进而启动内源性凋亡通路的级联机制，阐明了 DHA 同时靶向前体脂肪细胞和成熟脂肪细胞的双重作用模式。是本项目代表性论文 3 的第一作者。

6	黄小城	讲师	河南农业大学/西北农林科技大学	主要负责DHA诱导草鱼脂肪细胞脂解的分子机制研究，首次阐明了DHA通过诱导内质网应激进而激活cAMP/PKA信号通路、磷酸化下游关键脂解酶、促进甘油三酯水解的完整信号传导途径，揭示了内质网应激与cAMP/PKA脂解信号通路之间的功能联系。是本项目代表性论文2的第一作者。

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
西北农林科技大学	1	1.主导项目研究工作，并为本项目提供经费支持； 2.主导项目研究方案、研究技术路线及项目的鉴定等工作； 3.学校、学院及水产学科的各级科研平台，为本研究提供实验所需要的营养、生物化学、细胞生物学和分子生物学等仪器设备。建立安康水产试验示范站,满足本项目所有饲养试验材料获取的要求。并开展多次交流会议，使得本课题组能够及时准确地了解和掌握本领域科学发展动态和先进的实验技术，为项目的完成提供了雄厚的后备支持。

八、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	吉红1、孙健2	2014年-2024年	代表性论文2、3、4、5	代表性论文2、3、4、5
2	论文合著	吉红1、刘品3	2010年-2015年	代表性论文1	代表性论文1
3	论文合著	吉红1、孙健2、靳艾4	2015年-2022年	代表性论文4	代表性论文4
4	论文合著	吉红1、孙健2、边晨晨5	2017年-2024年	代表性论文3	代表性论文3
5	论文合著	吉红1、孙健2、边晨晨5、黄小城6	2017年-2023年	代表性论文2	代表性论文2
6	同属课题组/技术传承	孙健2、刘品3、靳艾4、边晨晨5、黄小城6	2014年-2024年	草鱼原代脂肪培养体系共享与传承	代表性论文1、2、3、4
7	同属课题组/学术承接	靳艾4、边晨晨5	2017年-2024年	凋亡机制研究学术接力	代表性论文3、4

8	同属课题组/并行研究	靳艾 4、黄小城 6	2017 年-2023 年	脂解与凋亡并行机制	代表性论文 2、4

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

各完成人之间的具体合作关系如下：

（一）项目负责人与各完成人的合作关系

项目第一完成人吉红教授作为团队带头人，与项目其他五位完成人均存在直接的论文合著关系，是五篇代表性论文的通讯作者。

（二）论文合著关系

孙健与靳艾（论文 4）、孙健与边晨晨（论文 2、3）、孙健与黄小城（论文 2）、边晨晨与黄小城（论文 2）之间存在直接论文合著。

（三）非合著形式的实质性合作关系

孙健（排名 2）与刘品（排名 3）：两人均为吉红教授指导的博士研究生，先后在课题组从事草鱼脂肪细胞研究。刘品建立的草鱼原代前体脂肪细胞培养体系，为孙健后续开展 DHA 调控脂肪细胞脂解与凋亡的信号通路研究提供了关键方法学基础和技术支撑，属于同一课题组框架内的实质性合作。

刘品（排名 3）与靳艾（排名 4）、边晨晨（排名 5）、黄小城（排名 6）：刘品作为本项目最早开展草鱼脂肪细胞研究的成员，建立的体外培养体系被后续所有成员直接沿用，构成了本项目系列发现的共同方法学基础，体现了技术的纵向传承与团队的协同攻关。

靳艾（排名 4）与边晨晨（排名 5）：靳艾发现 DHA 通过 PPARγ依赖途径诱导前体脂肪细胞凋亡后，其研究思路直接传承给边晨晨，边晨晨在此基础上进一步揭示了线粒体自噬介导成熟脂肪细胞凋亡的深层机制（代表性论文 3），二者构成完整的逻辑链条和研究接力。

靳艾（排名 4）与黄小城（排名 6）：黄小城揭示的 DHA 诱导内质网应激-cAMP/PKA 信号轴促进脂解的机制（代表性论文 2），与靳艾发现的 PPARγ依赖凋亡途径（代表性论文 4），共同构成了 DHA 抑制腹腔脂肪蓄积的两条并行的分子通路，两项成果在同一课题组框架内同期开展、相互印证。

边晨晨（排名 5）与刘品（排名 3）、靳艾（排名 4）：边晨晨的研究直接依托刘品建立的脂肪细胞培养体系，并承接了靳艾发现的 PPARγ依赖凋亡途径的研究基础，最终在成熟脂肪细胞中揭示了线粒体自噬-凋亡偶联的全新机制，完成了从早期探索到深层机制揭示的学术接力。

综上所述，本项目六位完成人以西北农林科技大学为共同平台，通过论文合著、同一课题组、技术传承、方法共享等方式，形成了以吉红教授为核心、覆盖基础机制研究到应用验证全链条的完整合作网络。全体完成人合作关系真实有效，合作成果清晰可查。

项目六

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。

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，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。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。

提名者认真审阅了项目材料，成果材料齐全、内容真实、符合规范，科技应用意义重大，无知识产权纠纷，完成人排名无异议，符合陕西省自然科学奖提名条件，提名推荐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：

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（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）

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷页码（xx 年 xx	发表时间（年	通讯作	第一作	国内作	他引总	检索数据	知识产权是否

				卷 xx 页）	月日）	者（含共同）	者（含共同）	者	次数	库	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	Jing Cai	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	Jing Cai	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	Jing Cai;; M. T. Tyree	Ruiqing Wang	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	Jing Cai	Pengxian Yin	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	Jing Cai	Han Zhao	赵涵；姜在民；张友静；姜博；蔡靖	9	SCIE CNKI	是

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献
1	蔡靖	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。
2	赵涵	副高级	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。
3	姜在民	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。
4	姜博	高级	西北大学/西北农林科技大学	负责构建多尺度水力效率与生长性状之间的统计模型，参与制定数据处理与归一化方案，为揭示茎段、小枝、根系及整株水平水力效率与杨树无性系生产力之间的稳定相关性提供了关键计算方法，为代表作 5 中"水力效率可稳定预测生产力"的核心结论提供了重要统计支撑。
5	尹鹏先	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。
6	王瑞庆	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。

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
1	西北农林科技大学	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、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	蔡靖/1，姜在民/3	2010.1.1-2021.5.29	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”、“杨树无性系水力学特	立项计划书

				性与其生物量、生长率相关性研究”的立项	
2	论文合著	蔡靖/1，赵涵/2，姜在民/3，姜博/4	2015.9.1-2021.5.29	Hydraulic efficiency at the whole tree level stably correlated with productivity over years in 9 poplar hybrids clones	代表性论文 5 全文
3	论文合著	蔡靖/1，尹鹏先/5	2015.9.1-2018.6.1	New possible mechanisms of embolism formation when measuring vulnerability curves by air injection in a pressure sleeve	代表性论文 4 全文
4	论文合著	蔡靖/1，王瑞庆/6	2012.1.1-2016.6.1	Water relations of Robinia pseudoacacia L.: do vessels cavitate and refill diurnally or are R-shaped curves invalid in Robinia?	代表性论文 3 全文
5	共同获奖	蔡靖/1，赵涵/2，姜在民/3，尹鹏先/5，王瑞庆/6	2010.1.1-2021.5.29	陕西林业科技成果一等奖“半干旱地区树种耐旱性的水力学机制及有效评估”	获奖证书

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

本项目涉及的 6 位完成人在项目实施、论文发表、登记成果等方面开展了紧密合作，对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。蔡靖与第三完成人姜在民，共同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）、“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。蔡靖与第二完成人赵涵、第三完成人姜在民、第四完成人姜博，提出了选育速生林木品种的水力学指标，合作发表代表论文 5。蔡靖与第五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。蔡靖与第六完成人王瑞庆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。

（2） 第二完成人赵涵与第三完成人姜在民在杨树无性系测定林营造、田间采样及多年生长数据收集中密切配合。赵涵与第四完成人姜博在数据处理与统计分析方面深度协作，共同为项目重要科学发现三提供了核心证据支撑。赵涵与尹鹏先共同参与了注汽法交叉验证工作。赵涵与王瑞庆共同验证了离心机法测定误差的诱发条件。

（3） 第三完成人姜在民与第四完成人姜博在生长性状与水力效率的关联分析中开展合作，共同支撑了代表作 5 中水力-生长稳定关联的核心发现。姜在民与第五完成人尹鹏先在旱区抗旱树种木质部解剖结构研究中共同完成了木质部解剖特征与抗栓塞能力之间关系的关联分析。姜在民与第六完成人王瑞庆在旱区树种水分关系及木质部水力学特性研究中开展了合作。

（4） 第四完成人姜博与第五完成人尹鹏先在统计建模与实验数据的交叉验证方面开展了合作，为注气法栓塞形成新机理的提出提供了重要统计支撑。姜博与第六完成人王瑞庆在数学建模与物理机制分析方面开展了深度合作，二人共同为“r 形”栓塞脆弱性曲线成因的科学解释提供了数学与物理双重维度的证据支撑。

（5） 第五完成人尹鹏先与第六完成人王瑞庆在方法学比对研究中分工协作，分别从注气法和离心机法两个角度共同验证了栓塞脆弱性曲线测定方法的准确性与局限性，其交叉验证结果为项目重要科学发现二提供了核心证据支撑。

项目七

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；在生态风险评估方面，项目阐明微塑料对土壤溶解性有机质的扰动，全面评估了微塑料对土壤生态系统的影响。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。项目成果对推动区域土壤环境保护和农业可持续发展意义重大，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自然科学二等奖。

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。

本项目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）阐明了微塑料对土壤溶解性有机质的扰动，揭示了微生物对微塑料释放溶解性有机质的代谢过程和潜在机制。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：

该项目 5 篇代表性论文被环境科学与生态学主流期刊 The ISME Journal、 Environmental Science & Technology、Water Research 等被引用 705 次，他引 644 次，单篇最高引用 233 次。

（1）代表性论著 1 探讨了微塑料进入后对土壤溶解性有机质的扰动，揭示了这一过程中微生物对微塑料释放溶解性有机质的代谢过程和潜在机制。中国科学院朱永官院士在其发表文章中引用了我们关于在塑料圈中微生物不仅加速了微塑料的风化过程，还影响着化学物质的溶出的结论(Nature Reviews Microbiology, 2026, online)；中国科学院焦念志院士在关于“不同地理区域河口细菌介导的溶解性有机质转化具有相似的驱动因素”的研究中对本研究在微生物对于微塑料源溶解性有机质转化作用的研究表示认可(Environmental Science & Technology, 2025, 59 (50): 27411－27424.)；国家高层次人才计划青年拔尖人才获得者南京土壤所单军教授和南京大学季荣教授在关于“生物基可降解微塑料暴露下真菌驱动的土壤溶解性有机质分子组成变化”的研究中肯定了本研究的结果(Environmental Science & Technology,2026, 60 (15): 11702－11714)；欧洲科学院 Matthias C. Rillig 院士、杨玉义教授和刘文治教授发表的 Nat.Geosci.肯定了我们在微塑料释放溶解性有机物微生物转化及其对土壤溶解性有机物影响方面的研究（Nature Geoscience, 2026, 19, 384－389）。

（2）代表性论著 2 和代表性论著 3 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）。

（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（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）

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	Microbial metabolism influences microplastic perturbation of dissolved organic matter in agricultural soils	The ISME Journal	Xinran Qiu, Sirui Ma, Jianrui Pan, Qian Cui, Wei Zheng*, Ling Ding, Xujun Liang, Baile Xu, Xuetao Guo*, Matthias C. Rillig	2024 年第 18(1)卷 wrad017	2024 年 1 月 10 日	Wei Zheng、Xuetao Guo	仇欣然	仇欣然、马思睿、潘建睿、崔倩、郑伟、丁玲、梁旭军、许百乐、郭学涛	90	SCIE 数据库	是

2	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	Xuetao Guo	Xinran Qiu，	仇欣然、马思睿、张健翔、方临川、郭学涛、祝凌燕	223	SCIE 数据库	是
3	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	Xuetao Guo，Lingyan Zhu	Ling Ding	丁玲、郭学涛、杜晟文、崔丰毅、张亚萍、刘鹏、欧阳卓志、贾汉忠、祝凌燕	72	SCIE 数据库	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	Xuetao Guo*、Lingyan Zhu	Yangyang Zhang	张杨洋、骆媛媛、郭学涛、夏天娇、王铁成、贾汉忠、祝凌燕	127	SCIE 数据库	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 Yang, Hanzhong Jia, Xuetao Guo*	2021 年 403 卷 123982-123988	2020 年 9 月 9 日	Xuetao Guo	Ling Ding	丁玲、王兴蕾、欧阳卓志、陈艳华、王雪霞、刘东生、刘莎莎、杨晓梅、贾汉忠、郭学涛	132	SCIE 数据库	是

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献
1	郭学涛	无/教授	西北农林科技大学	全面负责项目组织实施
2	丁玲	无/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 和论文 5

3	仇欣然	无/副研究员	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 和论文 2
4	马思睿	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，合作撰写发表发表论文 1 和论文 2
5	梁旭军	无/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 1

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
1	西北农林科技大学	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、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	郭学涛 1，丁玲 2，仇欣然 3，马思睿 4，梁旭军 5	2020-2024	代表性论文 1	代表性论文 1
2	论文合著	郭学涛 1,仇欣然 3，马思睿 4	2020-2024	代表性论文 2	代表性论文 2
3	论文合著	郭学涛 1，丁玲 2	2020-2024	代表性论文 3 和代表性论文 5	代表性论文 3 和代表性论文 5

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

第 1 完成人郭学涛，与丁玲、仇欣然、马思睿、梁旭军依托西北农林科技大学同一科研团队，围绕同一环境科学研究方向开展持续性科研攻关。五位完成人依托共同的科研平台共享实验条件、研究思路与测试数据，人员之间形成多层次、网络化的协作关系，相互交流、彼此支撑，分工协同完成代表性论文 1 的试验实施、数据分析、机理探讨以及论文撰写发表全过程。

第 2 完成人丁玲，是西北农林科技大学青年教师，是第 1 完成人郭学涛教授的学生，主要负责代表性论文 3 和 5 的试验方案搭建、样品检测与初稿撰写，与第 1 完成人郭学涛教授围绕微观作用机制开展研讨，吸收相关研究思路，为多篇论文的顺利推进提供重要支撑，合作撰写发表代表性论文 3 和 5；

第 3 完成人仇欣然和第 4 完成人马思睿，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，重点承担代表性论文 2 的科研任务，分工完成样品制备、理化指标测定与原始数据解析，与第 1 完成人郭学涛教授针对试验现象开展讨论，优化结果分析

思路，提升论文结论可靠性，合作撰写发表代表性论文 2；

第 5 完成人梁旭军教授与第 1 完成人郭学涛教授为西北农林科技大学的同一个团队，深度参与代表性论文 1 的研究工作，分别与完成人丁玲、仇欣然、马思睿和郭学涛教授开展常态化学术交流，在试验设计、结果讨论、论文修改等多个环节提出建设性意见，推动系列研究成果不断完善，合作撰写发表代表性论文 1。

综上，五位完成人并非简单两两配对开展研究，而是构建起互联互通的合作网络，人员之间跨论文、跨课题持续开展学术协作，依托团队资源联合攻关，共同完成上述全部代表性学术论文，形成本项系列研究成果。

项目八

一、**项目名称：**氮肥驱动的农田土壤无机碳损失过程及调控机制

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：

该项目历时近二十年系统研究了农田无机碳变化规律、主要驱动因子及调控机制，定量了氮肥驱动的石灰性土壤释放二氧化碳来自无机碳源的比例，查明了 40 年来我国农田表层土壤无机碳储量变化规律，发现氮肥施用和降水与潜在蒸散比值（干旱指数）是驱动农田表层土壤无机碳储量下降的两大主导因素，建立了基于气候-施肥耦合效应的无机碳损失敏感区判别理论，并首次提出了我国农田无机碳损失敏感区分布。研究成果被 Science、National Science Review 及 PNAS 等知名期刊引用，得到了同行高度评价，产生了积极的学术影响，推动了农业生产对土壤无机碳影响研究进展，丰富了土壤碳转化及农田土壤酸化机制及防控理论基础，为我国耕地质量保护及固碳减排作用提供了重要科学依据。

提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、**项目简介：**

土壤碳库由有机碳和无机碳构成，但现有研究对土壤肥力、耕地质量及固碳减排的研究更多聚焦在有机碳库，主要原因在于传统观点认为土壤无机碳更新周期漫长、性质稳定，对现代碳循环的贡献可忽略不计。项目完成人在早期开展黄土高原土壤有机碳分解与稳定性研究时观察到，采用氯化汞灭菌抑制土壤有机碳分解，由于其呈酸性显著增加了培养过程中土壤无机碳（以碳酸钙为主）源二氧化碳释放。鉴于上世纪八十年代以来我国农田氮肥施用量持续攀升，项目先后提出了三个递进式科学问题：大量施用氮肥硝化作用伴随的酸化过程是否同样诱发土壤无机碳的释放？这种释放是否导致近年来我国农田土壤无机碳库发生损失？主导这一变化的关键因素是什么？经过近二十余年系统研究，回答了上述问题，查明了我国农田无机碳储量的时空变化规律、主要驱动因子及其调控机制，肯定了其在维系土壤肥力、提升耕地质量和支撑固碳减排中的重要作用，为评估土壤碳循环过程及农田管理策略提供了科学依据。取得的重要科学发现包括：

（1）查明了 40 年来我国农田表层土壤无机碳贮量整体下降的变化规律，提出土壤酸化驱动下的无机碳损失将削弱土壤固碳以应对气候变化的努力。

项目以全国第二次土壤普查近 1000 个土壤剖面数据为基础，根据 1980-2020 年间全国施用氮肥的种类、数量及大气沉降氮产生的氢离子消耗无机碳数量，并预测了不同情景下到 2100 年我国农田无机碳贮量的变化。发现到 2020 年全国农田 0-40 cm 土层无机碳贮量损失了约 7%，约 700 万公顷农田无机碳消耗殆尽，提出这是我国一些地方土壤酸化问题加剧

的主要因素之一。为验证上述理论估算结论，进一步收集国内已发表的近年来全国不同区域农田土壤无机碳数据，以及分别在我国无机碳含量相对较低的一些区域（包括河南、安徽、山东、黑龙江等）采样测定，结果验证了过去 40 年我国农田表层土壤无机碳贮量降低的结论。查明了 40 年来我国农田表层土壤无机碳贮量变化规律，明确了集约化农田土壤无机碳脆弱特性，提出土壤酸化驱动下的无机碳损失将削弱土壤固碳以应对气候变化的努力。研究结果先后被 Science、National Science Review 等刊物文章证实，推进了国内外氮肥驱动农田无机碳损失机制方面研究。向有关部门提交了“应重视无机碳在我国耕地质量及固碳减排作用”的建议，为我国农田固碳减排提供了一定的科学理论。

（2）发现氮肥施用及干旱指数是驱动农田表层土壤无机碳贮量下降的两大主导因素，建立了基于气候-施肥耦合的无机碳损失敏感区判别理论，首次提出了我国农田无机碳损失敏感区分布范围。

项目研究发现，氮肥施用及干旱指数（P/PET）是驱动农田表层无机碳贮量变化的两大主导因素。氮肥硝化酸化使土壤无机碳溶解后，其去向受气候和施肥耦合调控：在干旱地区，蒸散显著大于降水及灌水，钙镁等离子难以从表层淋失，深层离子随毛管水上移可形成更多次生碳酸盐，表层无机碳含量增加；在降水及灌水量高于蒸散的地区，钙镁等离子随水分淋失，导致表层无机碳含量降低；若溶解损失与新形成的无机碳数量相当，则含量保持稳定。据此，首次提出我国农田无机碳损失敏感区分布，主要包括“秦岭—淮河”非石灰性土壤与石灰性过渡区、山东半岛棕壤与潮土过渡区、东北黑土与黑钙土过渡区等。上述区域无机碳含量相对较低，氮肥用量较高且降水量较大，长期农业生产易导致表层无机碳损失。该理论为我国耕地潜在酸化预判提供了科学依据，丰富了农田土壤酸化机制及防控理论；给第三次全国土壤普查领导小组办公室提交了“应测定‘三普’石灰性土壤表层样碳酸盐含量”的建议，为完善全国“三普”土壤性质测定指标体系提供了重要依据。

（3）查明施用氮肥引起的土壤酸化作用促进了无机碳源 CO_2的释放，并利用 ^{14}C 同位素示踪技术准确定量了不同种类氮肥诱导的土壤 CO_2释放中无机碳源的贡献比例。

石灰性土壤施用氮肥后释放二氧化碳同时来自有机碳及无机碳，如何区分其来源，是定量施用氮肥对土壤无机碳去向影响的前提。虽然可以采用施用硝化抑制剂等方法研究这一问题，但这些方法均为间接方法，难以准确定量这一过程。另外，铵态氮肥产生的 H^+加速了土壤无机碳的溶解及 CO_2 的产生；溶解产生的 CO_2 可在土壤液相（HCO_3^-和 CO_3^{2-}）、固相（$CaCO_3$ 再沉淀）和气相（CO_2）间分配，如何定量施用氮肥后溶解的土壤无机碳以 CO_2 形态排放进入大气的数量是一个具有挑战性的问题。项目采用给土壤加入 ^{14}C 标记碳酸钙方法准确定量了不同种类氮肥诱导的土壤 CO_2释放中无机碳源的贡献比例；通过对比基于氮肥

硝化作用释放 H^+溶解无机碳理论模型估算的无机碳源 CO_2 排放量和实际测定值，首次定量施用不同种类氮肥对室内密闭培养土壤无机碳释放 CO_2 的数量，查明若忽略石灰性土壤中无机碳对大气 CO_2 排放的贡献，不仅高估了土壤呼吸，而且会掩盖非生物碳排放在农田碳循环中的重要作用。

5 篇代表性论文总他人引用 924 次，其中 SCI 引用共 533 次，单篇最高他引 574 次，ESI 前 1%高被引论文 1 篇，论文被 Science、National Science Review 及 PNAS 等知名期刊正面引用和评价，得到了国内外同行的广泛关注。

四、 **客观评价：**

项目发表的论文被 Science（1 篇次，下同）、Nature Communication（3）、National Science Review（2）、Nature Food（1）、Science China: Earth Sciences（1）、PNAS（3）、Trends in Ecology & Evolution（1）、Global Change Biology（8）、Earth’s Future（3）及土壤学报等国际及国内知名期刊正面引用。5 篇代表性论文累计他人引用 924 次，其中 SCI 他引 533 次；单篇最高他引 574 次，该文也为土壤科学与生态学领域 ESI 前 1%高被引论文。成果多次获得国内外同行在重要国际学术会议上的积极评价，完成人应邀在多个国内外学术会议作报告，受到同行重视与认可。

（1）代表作 1 及代表作 2 查明了近年来我国土壤酸化驱动农田无机碳含量降低的变化规律。这一科学发现被国际土壤科学界最高荣誉“格林卡世界土壤奖及国家科技进步二等奖获得者、中国科学院南京土壤研究所张甘霖研究员（National Science Review，2022），中国科学院地理科学与资源研究所黄元元研究员（Science，2024 年），以及中国科学院院士、天津大学刘丛强教授（Earth’s Future，2026）发表的论文验证并引用。其中张甘霖研究员 National Science Review 发表的文章全文 12 处引用代表作 1。黄元元研究员 Science（2024 年）一文利用了代表作 2（图 7）建立的 1980s 及 2020s 个时期中国农田土壤的 40 年累积氮肥投入量与相应土壤 pH 降低值（Δ pH）（$\triangle pH = -0.06Nin + 0.11$）模型，预测了“到 2050 年由氮添加驱动的全球土壤 pH 变化”；论文题目也用了代表作 2 题目中表述土壤无机碳损失的脆弱性“Vulnerability”一词。

土壤酸化导致农田土壤无机碳含量降低的研究结论也被中国科学院院士、北京大学碳中和研究院首任院长朴世龙教授（Science China: Earth Sciences, 2022），中国工程院院士、山西农业大学教授徐明岗研究员（PNAS，2026），澳大利亚科学院院士、悉尼大学土壤学 Budiman Minasny 教授（Advance in Agronomy，2023），以及复旦大学生命学院聂明教授（国家级人才、复旦大学“卓识杰出人才”）（Nature Communication，2024）等学者论文正面引用。

（2）代表作 3 及代表作 4 关于土壤无机碳损失及其驱动机制的研究结论获得进一步验证。刘丛强院士在 Cell 子刊“Earth’s Future”（2026）发表的关于土壤酸化导致 1980-2020 年中国陆地生态系统土壤无机碳损失及二氧化碳排放一文明确指出，其对土壤无机碳损耗和 CO_2排放的估算“与基于站点调查（Tao 等，2024）的证据一致”；刘丛强团队发表的“气候和人为活动对中国表土无机碳时空动态的调控作用”一文（Communications Earth & Environment，2025），也正面引用了代表作 3 及代表作 4。黄元元研究员牵头、来自中、美、法、澳等 7 个国家 27 个作者共同在 Science（2024 年）发表的论文中，4 处引用了代表作 4，认为该文为土壤无机碳驱动机制及调控方向最具综合性的几篇文章之一。

（3）代表作 5 发表于“土壤学报”新视角与前沿栏目，并作为该刊 2022 年第 59 卷第 3 期首篇论文。该栏目主要刊登土壤学及相关领域具有前瞻性、创新性的学术观点、理论思考或重大研究进展评述，旨在反映学科的最新动态和未来发展方向，为学者提供一个发表新思想、新理论和新见解的平台。

（4）研究成果得到国内外同行在重要学术会议上的肯定与重点介绍。中国科学院南京土壤研究所张甘霖研究员在“第 23 届世界土壤学大会”（2026 年 6 月 7-12 日）以及著名土壤学家、国家自然科学二等奖获得者、南京师范大学蔡祖聪教授在第三届“氮素生物地球化学循环”青年学术论坛（2021 年 8 月）特邀大会报告中，均对项目研究成果给予肯定并重点介绍。

（5）完成人先后受邀在“第 23 届世界土壤学大会”（专题邀请报告）、“2016 年亚洲大洋洲地球科学学会”（专题邀请报告）、2021 年“中国土壤学会第十四届二次理事扩大会议”（大会邀请报告）、2024 年第二十二届中国青年土壤科学工作者暨第十七届中国青年植物营养与肥料科学工作者学术会议（专题邀请报告）等国内外重要学术会议做口头报告，系统介绍了项目研究成果，受到积极评价。

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）

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	Dramatic loss of inorganic carbon by nitrogen-induced soil acidification in Chinese croplands	Global Change Biology	Raza, S;Miao, N;Wang, PZ;Ju, XT;Chen, ZJ;Zhou, JB;Kuzyakov, Y	2020年26卷6期3738-3751页	2020年3月3日	Zhou, JB；Chen, ZJ	Raza, S；Miao N	苗娜；王培周；巨晓棠；陈竹君；周建斌	574	Web of Science、《CNKI中国引文数据库》(CCD)	是
2	Vulnerability and driving factors of soil inorganic carbon stocks in Chinese croplands	Science of the Total Environment	Tao, JJ;Raza, S;Zhao, MZ;Cui, JJ;Wang, PZ;Sui, YY;Zamanian, K;Kuzyakov, Y;Xu, MG;Chen, ZJ;Zhou, JB	2022年825卷154087	2022年6月15日	Zhou, JB；Chen, ZJ	Tao, JJ;Raza, S	陶静静；赵梦真；崔娇娇；王培周；隋跃宇；徐明岗；陈竹君；周建斌	68	Web of Science、《CNKI中国引文数据库》(CCD)	是
3	Nitrification-induced acidity controls CO_2 emission from soil carbonates	Soil Biology and Biochemistry	Tao, JJ ;Fan, LC;Zhou, JB;Banfield, CC;Kuzyakov, Y;Zamanian, K	2024年192卷109398	2024年3月11日	Zhou, Jianbin;Zamanian, Kazem	Tao, JJ ;Fan, LC	陶静静；范利超；周建斌	38	Web of Science、《CNKI中国引文数据库》(CCD)	是

4	Inorganic carbon losses by soil acidification jeopardize global efforts on carbon sequestration and climate change mitigati	Journal of Cleaner Production	Raza, S;Zamanian, K;Ullah, S;Kuzyakov, Y;Virto, II;Zhou, JB	2021年315卷128036	2021年6月23日	Zhou, JB	Raza, S	周建斌	210	Web of Science、《CNKI中国引文数据库》(CCD)	是
5	农业生产对石灰性土壤无机碳库损失的影响	土壤学报	周建斌;陶静静;赵梦真;崔娇娇;刘占军;陈竹君	2022年59卷3期593-602页	2022年1月28日	周建斌	周建斌	周建斌；陶静静；赵梦真；刘占军；陈竹君	34	Web of Science、《CNKI中国引文数据库》(CCD)	是

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献
1	周建斌	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	负责项目整体方案设计与试验组织实施，对3项核心科学发现均做出创造性贡献：阐明了铵态氮肥硝化作用产酸驱动碳酸盐分解释放CO_2核心机理；量化四十年间我国农田无机碳时空损失特征，厘清水分与施氮双重驱动机制；构建多施氮情景预测模型，预判长期酸化带来的碳酸盐损耗风险，完善陆地碳循环理论体系。是代表作5的第一作者，代表作1、2、3、4、5的通讯作者。
2	陈竹君	副教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	与第一完成人共同完成项目主要科学发现第1、2项内容，揭示了我国农田无机碳时空损耗规律，阐明了不同水肥条件下土壤碳库演变差异。是代表作1、

				2 的共同通讯作者。
3	陶静静	副教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	与第一完成人共同完成项目主要科学发现第 1、2、3 项内容，厘清了长期农业活动下无机碳演变规律，阐明了水分淋溶、氮肥酸化双重驱动无机碳溶解损失机制，定量区分不同氮肥下无机碳释放占总土壤 CO_2 的比例，明确铵态氮肥硝化作用是无机碳溶解释放核心诱因。是代表作 2、3 的共同第一作者。
4	范利超	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	与第一完成人共同完成项目主要科学发现第 3 项内容，构建了 ^{14}C 同位素区分土壤有机/无机碳释放的 CO_2 定量方法，明确不同类型氮肥诱导土壤酸化的差异机制，揭示硝化产酸驱动石灰性土壤无机碳溶解损失机制。是代表作 3 的共同第一作者。
5	刘占军	副教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	与第一完成人共同完成项目主要科学发现第 2 项内容，提出了我国无机碳损失敏感区及对策。

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
1	西北农林科技大学	西北农林科技大学作为本项目主要（唯一）完成单位，为本研究提供了全方位贡献。为项目完成人提供了稳定的工作条件，支持团队吸引青年人才和研究生招生，保证了项目研究团队持续稳定发展。在项目申报、实施及管理方面也为项目组提供了有力支撑。为项目实施提供了试验场地、大型仪器平台与科研经费等全方位保障条件。为项目选题、实施及成果凝练提供了有力保障。

八、**完成人合作关系说明**（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	周建斌 1，陈竹君 2	2018 年 8 月 1 日-2022 年 1 月 1 日	论文：Dramatic loss of inorganic carbon by nitrogen-induced soil acidification in Chinese croplands；Vulnerability and driving factors of soil inorganic carbon stocks in Chinese croplands；农业生产对石灰性土壤无机碳库损失的影响	论文：Dramatic loss of inorganic carbon by nitrogen-induced soil acidification in Chinese croplands；Vulnerability and driving factors of soil inorganic carbon stocks in Chinese croplands；农业生产对石灰性土壤无机碳库损失的影响

2	论文合著	周建斌 1，陈竹君 2，陶静静 3	2018 年 9 月 1 日-2024 年 5 月 1 日	论文：Vulnerability and driving factors of soil inorganic carbon stocks in Chinese croplands；Nitrification-induced acidity controls CO_2 emission from soil carbonates；农业生产对石灰性土壤无机碳库损失的影响	论文：Vulnerability and driving factors of soil inorganic carbon stocks in Chinese croplands；Nitrification-induced acidity controls CO_2 emission from soil carbonates；农业生产对石灰性土壤无机碳库损失的影响
3	论文合著	周建斌 1，陶静静 3，范利超 4	2021 年 8 月 1 日-2024 年 5 月 1 日	论文：Nitrification-induced acidity controls CO_2 emission from soil carbonates	论文：Nitrification-induced acidity controls CO_2 emission from soil carbonates
4	论文合著	周建斌 1，陈竹君 2，陶静静 3，刘占军 5	2021 年 1 月 1 日-2022 年 12 月 1 日	论文：农业生产对石灰性土壤无机碳库损失的影响	论文：农业生产对石灰性土壤无机碳库损失的影响

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

第 1 完成人周建斌教授与第 2 完成人陈竹君副教授隶属于西北农林科技大学同一课题组，共同完成了本项目主要科学发现第 1、2 项内容，量化了近四十年我国农田无机碳损失规律，揭示了水分、氮肥驱动无机碳溶解损失机制。合作撰写发表论文（代表作 1、2、5）。

第 3 完成人陶静静副教授，2018-2022 年在西北农林科技大学攻读博士学位，2023 年-2025 年继续进行博士后工作，第 1 完成人为其博士及博士后导师，出站后留在第 1 完成人课题组，共同完成了本项目主要科学发现第 1、2、3 项内容，量化了 40 年间我国农田无机碳变化规律与空间分异特征，揭示了水分、氮肥双重驱动无机碳损失机制，阐明了无机碳溶解释放 CO_2 的比例及机制。合作撰写发表论文（代表作 2、3、5）。

第 4 完成人范利超教授与第 1 完成人隶属于西北农林科技大学同一课题组，共同完成了本项目主要科学发现第 3 项内容，构建了 ^{14}C 同位素示踪无机碳释放 CO_2 定量方法，揭示了氮肥硝化作用产酸溶解无机碳损失机制。合作撰写发表论文（代表作 3）。

第 5 完成人刘占军副教授与第 1 完成人隶属于西北农林科技大学同一课题组，共同完成了本项目主要科学发现第 2 项内容，提出了我国无机碳损失敏感区及对策，合作撰写发表论文（代表作 5）。

第 2 完成人陈竹君副教授与第 4 完成人范利超教授隶属于第 1 完成人负责的课题组，针对本项目主要科学发现第 3 项内容团队会议上进行了多次交流讨论，探明了氮肥施用溶解无机碳释放 CO_2 的机制。

第 4 完成人范利超教授与第 5 完成人刘占军副教授隶属于第 1 完成人负责的课题组，针对本项目主要科学发现第 2 项内容，团队会议上多次交流讨论了氮肥施用对无机碳溶解损失的影响及驱动机制。

项目九

一、项目名称：黄土高原旱地覆盖栽培农田土壤碳效应与周转

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：面对黄土高原旱作农田土壤有机碳储量低、周转机制不清、地力提升缓慢等突出问题，该项目通过长期定位试验与理论探究，取得如下重要科学发现：1.创新性集成原位酶谱技术、C 同位素成像与中子射线成像三种原位可视化技术，拓展了对根际碳周转过程空间异质性的认识；2.基于长期定位试验，探明长期地膜覆盖下土壤碳呈下降趋势，而长期秸秆覆盖则显著提升土壤有机碳与活性碳组分含量。3.明确了地膜与秸秆覆盖对土壤有机碳、微生物资源限制及群落特征的差异化影响，发现了地膜覆盖碳提升的微生物磷限制机制，阐明了秸秆覆盖促进微生物残体固碳、有机碳积累和团聚体保护的协同作用及调控因素。

该成果深化了覆盖栽培下土壤有机碳形成、转化与稳定的系统认知，丰富了旱作农田产能提升与地力培育理论，为旱地农田可持续管理提供了科学依据。5 篇代表性论文总被引 535 次，出版专著 3 部，成果具有创新性与实践指导性。申报材料完整、产权清晰、贡献明确，符合陕西省自然科学奖提名条件。

提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、项目简介：

1. 主要学术成绩

全球旱地生态系统约占陆地面积的 41.2%，而旱地土壤有机碳总量仅占全球土壤有机碳储量（1550 Pg）的 15.5%。我国旱作农田面积目前约为 5 亿亩，占总耕地面积的 56.8%。其中黄土高原干旱半干旱区占国土面积的 6.54%，是我国北方重要的旱作农业区。旱地农田土壤有机碳含量低且提升难，防治或延缓有机碳流失与旱地退化不但是目前土壤学领域的重要科学问题，也是满足粮食安全与农业持续发展决策与效应评价这一国家需求的重要科技支撑。

覆盖栽培广泛应用于黄土高原农业生产，但覆盖下作物高产与较好的土壤水热环境是否会加速农田地力消耗，以及土壤有机碳是以输入还是输出为主并无定论。正如徐明岗院士所指出的，“土壤健康是农业可持续发展的根基，是保障国家粮食安全和落实‘藏粮于地’战略的重大需求”，在黄土高原旱作农业区，厘清覆盖措施下的土壤健康演变机制显得尤为关键。本项目依托黄土高原多点长期定位田间试验，结合原位酶谱、高通量测序、生物标志物、meta 分析等技术，定量评价了地膜覆盖与秸秆覆盖对旱作田土壤质量、作物产量的长期影响，系统揭示了两种覆盖措施驱动土壤有机碳固存、碳代谢微生物周转及对农田养分氮磷投入的响应，取得如下主要成果：

（1）创新性地应用原位酶谱技术、C 同位素成像和中子射线成像三种原位可视化技术相结合，实现了根际酶活性空间分布、光合碳分配和土壤水分分布的同步观测，首次直观

展示了覆盖措施下根际β-葡萄糖苷酶和亮氨酸氨基肽酶活性的二维空间分布，从根际微域尺度提供了覆盖措施调控养分循环的直接可视化证据。

（2）回答黄土高原旱地农田适用的覆盖模式及其固碳效应？通过大尺度 Meta 分析，发现地膜覆盖在增温保墒、提高作物产量（尤其是低温年份）方面效果显著，而秸秆覆盖则在提升土壤有机碳和活性碳组分方面更具优势。明确了双元覆盖（地膜+秸秆）在不同水热条件下可实现产量与地力提升的协同，为优化覆盖技术提供了定量依据。

（3）针对地膜覆盖下增产增效与土壤碳耗竭矛盾如何解决？通过渭北旱塬 15 年以上定位试验，发现地膜覆盖加剧了微生物磷限制，而秸秆覆盖则通过增加碳输入缓解了碳限制，且干旱条件下根际微生物群落通过增强网络稳定性来维持酶活性。

（4）探明覆盖栽培驱动土壤有机碳周转的微生物机制？结合长期定位试验与生物标志物分析，证实秸秆覆盖主要通过增加真菌残体碳贡献土壤有机碳（SOC），而秸秆还田配施氮肥可进一步提高秸秆碳向微生物残体碳的转化效率。同时，秸秆覆盖增加的 SOC 显著促进了土壤大团聚体的形成及其水稳性，而大团聚体的物理保护又反过来延缓了 SOC 的矿化分解。由此，秸秆覆盖实现了“微生物残体固碳 → SOC 积累 → 团聚体保护 → SOC 长期保存”的协同效应，系统揭示了秸秆覆盖培肥的物理-生物学耦合机制。

（5）厘清覆盖农田碳周转的影响因素？其中突出问题为地膜覆盖农田无法实施机械追肥，缓控释肥可一次施肥满足作物全生育期养分需求，但缓控释剂施用是否抑制土壤碳代谢？在西北五省（陕西省、宁夏回族自治区、青海省、山西省、甘肃省） 构建了田间试验，分别筛选出适应西北不同旱作区白色与黑色地膜覆盖的缓控释肥，并阐明了氮抑制剂对土壤碳周转微生物群落的影响。

项目在领域主流刊物代表性论文发表于 Soil Biology and Biochemistry、Biology and Fertility of Soils、Geoderma、Soil and Tillage Research、Agriculture, Ecosystems & Environment 等农学与土壤经典 TOP 期刊。依托研究成果，构建了基于目标产量-土壤地力提升平衡原则的春玉米“两替一控”技术体系：“缓控释肥替代普通氮肥、秸秆+地膜双覆盖替代白膜，保水控产为核心”的春玉米化肥农药减量增效技术，实现了增收增效。研究成果完善了旱作土壤培育、丰产优质协同提升理论，为旱地农业粮食安全、地力可持续提升提供了支撑。

项目在本领域主流期刊共发表论文 238 篇（累计被引 3489 次），其中中科院二区及以上论文 38 篇（累计被引 1536 次）、中文核心论文 119 篇（累计被引 1401 次）；5 篇代表性论文累计被引 535 次，体现出较高的研究成果质量和较为广泛的国内外学术影响力。项目成果被不同领域学者用来解释旱区碳过程的预测和有效调控，为旱地土壤碳汇的科学评估和有效管理提供了科学依据和实践指导。

四、 客观评价：

同行专家评鉴：黄土高原是重要的生态环境脆弱区，同时也是我国重点的生态环境建设区域，在区域可持续发展与生态安全中具有重要的战略地位。在西北旱区开展农田土壤

有机碳过程、格局及区域响应研究，对应对全球气候变化、保障粮食安全与促进可持续发展具有重要的理论意义和实践价值。团队依托黄土高原长期定位试验，取得了具有明确创新性成果：确立了覆盖措施下微生物残体固碳、有机碳积累到长期保存的旱区土壤固碳与地力提升物理-生物学耦合机制；明确了地膜与秸秆覆盖对土壤碳氮磷限制、微生物群落演替及活性碳组分调控的差异化路径与旱区最佳覆盖模式；阐明了根际微域水-碳-酶空间分布规律及缓控释肥调控土壤有机碳周转与减氮增产的生物学机理。

1. 研究成果影响

针对地膜及秸秆覆盖下的根际微生物响应、土壤有机碳固持、微生物碳磷限制及区域氮素调控等关键问题开展了长期试验研究。5 篇代表性研究成果分别发表于 Soil Biology and Biochemistry、Biology and Fertility of Soils、Geoderma、Soil and Tillage Research、Agriculture, Ecosystems & Environment 国际主流期刊，他引次数 535 次，其中代表性论文 1 入选 ESI 高被引论文，显示了相关发现在国际学术界的公认度。

项目建立的“土壤碳微生物资源限制评价方法体系”，利用酶化学计量法评估碳代谢微生物养分限制，被土壤学、植物营养学领域的研究者所采纳，如中国工程院周卫院士、国际著名生态学家 Josep Peñuelas 等科学家均采用了此方法支撑全球尺度土壤生态化学计量研究（Global Change Biology, 2023）。

项目研究结果促进了对旱地土壤有机碳变化机理的认识，如欧洲科学院院士/德国哥廷根大学 Yakov Kuzyakov 教授论文引用、中国工程院张福锁院士、陈新平教授等发表的论文多处引用了该成果。团队主要完成人发表于 Soil Biology & Biochemistry 期刊上的文章被选入 ESI 高被引，并被认证为热点论文。

2. 研究成果应用

项目成果《肥料研制与加工》《旱地农业高效节水与灌溉技术》等专著被西北农林科技大学等多所高校纳为教材，为土壤学科发展提供有益指导；翻译的《土壤采样与分析方法》为国家第三次土壤普查中提供了有力技术指导。

研究成果理论与方法原创性突出，深化了对旱区土壤碳循环与微生物调控的科学认知，成果兼具重要的学术创新价值与实践应用支撑能力，达到了国内外同类研究的先进水平。

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）

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	Responses of fungal–bacterial community and network to organic inputs vary among different spatial habitats in soil	Soil Biology and Biochemistry	Wei Zheng, Zhiyuan Zhao, Qingli Gong, Bingnian Zhai*, Ziyan Li**	2018,125: 54-63	2018.06.28	Bingnian Zhai, Ziyan Li	Wei Zheng	郑伟 赵志远 巩庆利 翟丙年 李紫燕	222	SCI (E)	是
2	Effects of cover crop in an apple orchard on microbial community composition, networks, and potential genes involved with degradation of crop residues in soil	Biology and Fertility of Soils	Wei Zheng, Zhiyuan Zhao, Qingli Gong, Bingnian Zhai*, Ziyan Li*	2018,54:743-759	2018.06.07	Bingnian Zhai, Ziyan Li	Wei Zheng	郑伟 赵志远 巩庆利 翟丙年 李紫燕	119	SCI (E)	是
3	Effects of plastic and straw mulching on soil microbial P limitations in maize fields: Dependency on soil organic carbon demonstrated by ecoenzymatic stoichiometry	Geoderma	Zizong Ma, Xucheng Zhang, Bangyu Zheng, Shanchao Yue, Xuechen Zhang, Bingnian Zhai, Zhaohui Wang, Wei Zheng*, Ziyan Li*, Kazem Zamanian, Bahar S. Razavi	2021,388: 114928	2021.01.05	Wei Zheng, Ziyan Li	Zizong Ma	马子宗 张绪成 郑邦玉 岳善超 张雪辰 翟丙年 王朝辉 郑伟 李紫燕	101	SCI (E)	是

4	Effect of vegetation restoration on soil erosion control and soil carbon and nitrogen dynamics: A meta-analysis	Soil and Tillage Research	Ruizhe Yang, Shilong Yang, Lan-lan Chen, Ze Yang, Lingying Xu, Xianglei Zhang, Guanheng Liu, Chuanji Jiao, Ruihua Bai, Xuecheng Zhang, Bingnian Zhai, Zhaohui Wang, Wei Zheng*, Ziyan Li*, Kazem Zamanian	2023,230:105705	2023.03.14	Wei Zheng,Ziyan Li*	Ruizhe Yang	杨睿哲 杨世龙 陈兰兰 杨泽 徐灵颖 张祥磊 刘冠亨 张翔雷 焦传骥 白芮华 张雪辰 翟丙年 王朝辉 郑伟 李紫燕	63	SCI (E)	是
5	Long-term straw and plastic film mulching have divergent effects on maize rhizosphere enzyme activity and bacterial community structure.	Agriculture Ecosystems & Environment	Yan Li, Xuechen Zhang, Na Yang, Hongyu Hao, Nataliya Bilyera, Xucheng Zhang, Tingliang Li, Shanchao Yue, Bingnian Zhai, Kazem Zamanian, Ziyan Li*, Bahar S. Razavi	2024,364:108894	2024.01.12	Ziyan Li	Yan Li ,Xuechen Zhang	李彦 张雪辰 杨那 郝红玉 张绪成 李廷亮 岳善超 翟丙年 李紫燕	30	SCI (E)	是
6	肥料研制与加工	中国农业大学出版社	徐卫红 翟丙年 李冰 毛小云 李紫燕 郑伟 郭再华 王昌全 黄成东 徐智 钱恒 李振轮 刘敦一 袁军 廖宗文 陈娴 张海波 王正银	—	2011.06	主编：徐卫红	徐卫红	徐卫红 翟丙年 李冰 毛小云 李紫燕 郑伟 郭再华 王昌全 黄成东 徐智 钱恒 李振轮 刘敦一 袁军 廖宗文 陈娴 张海波 王正银	—	著作	是
7	土壤采样与分析方法	电子工业出版社	M.R Carter, E.G.Gregorich（主编） 李保国 李永涛 任图生 王朝辉 徐建明（主译） 李紫燕 李小涵（译第二十二章）	—	2022.03	主编：M.R Carter	M.R Carter 李保国	主译： 李保国 李永涛 任图生 王朝辉 徐建明 第二十二章： 李紫燕 李小涵	—	著作	是

8	玉米化肥农药减施增效绿色生产技术	中国农业出版社	何康来 米国华 （主编） 李紫燕 （参编）	—	2021．06	主编： 何康来 米国华	主编： 何康来 米国华	何康来 米国华 （主编） 李紫燕 （参编）	—	著作	是

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/ 技术职称	工作单位/ 完成单位	对本项目主要学术贡献
1	李紫燕	教授	西北农林科技大学	第一完成人。主持总体设计与实施。在旱区覆盖农田土壤地力提升、碳效应周转微生物机制方面做出系统性贡献，是代表性论文的主要作者及专利、标准的核心完成人。
2	张雪辰	副教授	西北农林科技大学	负责根际微生物生态、土壤酶动力学和干旱胁迫响应研究，在根毛调控微生物效率、干旱条件下根际微生物活性空间分布和微生物网络稳定性方面做出了重要贡献。
3	王力	研究员	西北农林科技大学	参与基于长期定位试验的土壤健康评价与演变机制研究，在农田土壤健康指标体系构建、土壤有机碳长期固持机理以及培肥调控技术构建方面做出积极贡献。
4	许淼平	副教授	西北农林科技大学	负责土壤改良剂效应研究，在铝硫酸盐、生物炭及其配施提升土壤持水、导水和水分储存能力方面做出了重要贡献。
5	李廷亮	教授	山西农业大学	参与覆盖栽培旱作农业土壤培肥研究，在覆盖措施优化、土壤有机碳提升及技术示范推广方面做出积极贡献。
6	孟祥天	副教授	西北农林科技大学	负责农田土壤有机碳固持及地力提升，阐明了施氮秸秆还田土壤中微生物源碳固持的影响及机制，为旱区农田固碳增效与地力提升提供了核心理论依据。

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
1	西北农林科技大学	在旱区地膜与秸秆覆盖效应、土壤微生物响应机制及土壤有机碳固存等核心领域做出了系统性、主导性贡献，并全面推进成果凝练以及在旱作农业区的推广与示范应用。
2	山西农业大学	参与旱作农业覆盖栽培、秸秆还田和土壤培肥相关研究与技术交流，在覆盖措施优化、土壤有机碳提升和区域应用示范方面提供了协同支撑。

八、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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
	论文合著	李紫燕 1 张雪辰 2	2021	Effects of plastic and straw mulching on soil microbial P limitations in maize fields: Dependency on soil organic carbon demonstrated by ecoenzymatic stoichiometry.Geoderma.（张雪辰为合作作者，李紫燕为通讯作者）	附件 3
	论文合著	李紫燕 1 张雪辰 2	2023	Effect of vegetation restoration on soil erosion control and soil carbon and nitrogen dynamics: A meta-analysis.Soil and Tillage Research（张雪辰为合作作者，李紫燕为通讯作者）	附件 4

1	论文合著	李紫燕 1 张雪辰 2 李廷亮 5	2024	Long-term straw and plastic film mulching have divergent effects on maize rhizosphere enzyme activity and bacterial community structure. Agriculture Ecosystems & Environment.（张雪辰为并列第一作者，李廷亮为合作作者，李紫燕为通讯作者）	附件 5
2	论文合著	李紫燕 1 许淼平 4	2024	Optimization of soil hydrological properties in degraded grasslands by soil amendments. Journal of Hydrology.（许淼平为第一作者，李紫燕为通讯作者）	附件 7
3	论文合著	李紫燕 1， 张雪辰 2 孟祥天 6	2026	Legacy of cropping history reduced energy investments by plants and microorganisms under subsequent drought. Science Bulletin.（张雪辰，孟祥天并列第一作者，李紫燕为通讯作者）	附件 6
4	论文合著	李紫燕 1 王力 3	2024	Effects of water table depth variations on canopy transpiration from Mongolian pine plantations in arid ecosystems. Journal of Hydrology.（王力与李紫燕为共同通讯作者）	附件 10
5	论文合著	张雪辰 2 孟祥天 6 李紫燕 1	2021	Resistance of microbial community and its functional sensitivity in the rhizosphere hotspots to drought. Soil Biology & Biochemistry.（张雪辰第一作者，孟祥天与李紫燕为共同作者，引用次数为76）	附件 9
6	推广应用	李廷亮 5 张雪辰 2 王力 3 许淼平 4 孟祥天 6	2023-2025	李廷亮，张雪辰，王力，许淼平，孟祥天在陕西覆膜小麦开展土壤保碳推广示范应用	附件 11
7	论文合著	孟祥天 6 张雪辰 2	2023	Nitrogen fertilizer builds soil organic carbon under straw return mainly via microbial necromass formation. Soil Biology and Biochemistry.（孟祥天为第一作者，与张雪辰合作完成高被引论文引用次数为177）	附件 8

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

本项目完成人围绕西北黄土高原旱作农田土壤有机碳周转与地力提升的核心问题，确立了“从旱区农业生产实际问题出发、依托山西、陕西、甘肃、青海、宁夏回族自治区野外长期定位试验探究土壤有机碳演变机理、最后将绿色高效技术反哺农田生产”的协同研究路径。

围绕旱区农田覆盖栽培下的土壤碳周转机制，王力研究员发挥学术引领作用，全程指导农田减碳技术路径与优化调控方案的顶层实施；李紫燕老师制定具体落实方案，带领中青年科研骨干扎实开展协同攻关。李紫燕联合张雪辰、孟祥天、李廷亮、王力等学者系统开展了覆盖模式对土壤微生物群落稳定性、根际酶活性及养分循环影响的研究，成果发表于 Soil Biology & Biochemistry、Agriculture, Ecosystems & Environment 等主流期刊。研究重点阐明了施氮秸秆还田驱动微生物源碳固持的演变过程，揭示了“微生物残体固碳 → 土壤有机碳积累 → 团聚体保护”的物理-生物学耦合机制，并深入探明了长期覆盖对根际酶活性与细菌群落结构的调控规律，为旱区农田覆盖模式下的碳库构建与地力提升提供了坚实的理论与技术支撑。

在土壤碳调控途径与技术应用方面，李紫燕与许淼平合作探究了生物炭、高分子聚合物及有机肥等不同土壤改良剂对土壤理化性质的调控效应，并深入揭示了生物质衍生多孔炭的土壤环境效应，相关成果合作发表于 Journal of Hydrology、Separation and Purification Technology 等主流期刊。

项目十

一、项目名称：复杂棚架环境下猕猴桃簇生果实视觉表征与空间解析

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：

该项目针对复杂棚架环境下猕猴桃果实簇生混叠、遮挡干扰及空间关系难以准确解析等科学问题，持续开展簇生果实视觉表征与空间解析研究。项目揭示了簇生果实视觉混叠与个体结构之间的关联特征，形成复杂环境下多层特征协同与遮挡状态表征方法，建立果实—果萼关联约束的空间感知与三维解析方法，深化了对复杂果园环境下果实视觉表征、目标状态及空间关系的认识。相关成果发表于欧洲农业工程师学会（EurAgEng）官方期刊《Biosystems Engineering》、精准农业领域权威期刊《Precision Agriculture》、农业信息与智能装备领域中科院一区 Top 期刊《Computers and Electronics in Agriculture》、中国科技期刊卓越行动计划“中文领军期刊”《农业工程学报》等期刊，代表性论文具有较高被引影响，其中部分论文曾入选 ESI 高被引论文。项目研究具有较好的系统性、原创性和学术影响，符合陕西省自然科学奖提名条件。

提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、项目简介：

猕猴桃棚架栽培环境中果实呈簇生下垂分布，果实之间相邻、重叠和遮挡现象突出，同时受到枝叶、枝条、棚架钢丝、光照和尺度变化等多重因素影响，使果实个体边界、目标状态及空间关系难以稳定表征。本项目围绕上述问题，持续开展猕猴桃簇生果实视觉表征与空间解析研究。针对簇生果实相互粘连和视觉特征混叠问题，建立不同混叠状态的视觉表征方式，研究果萼、接触边界等局部结构与簇内个体分离之间的关系，实现由果簇整体识别向簇内个体解析的拓展；针对复杂光照、尺度变化及不同遮挡来源引起的目标特征退化问题，建立多层特征协同与多类别状态表征方法，实现由单一果实检测向遮挡状态解析的拓展；进一步利用果实与果萼之间的语义和几何关联，建立双目对应与三维定位方法，实现由二维视觉表征向三维空间解析的拓展。项目形成了从果簇整体表征到簇内个体解析、从果实检测到遮挡状态表征、从二维视觉感知到三维空间解析的连续研究体系。

四、客观评价：

项目成果受到国内外同行持续关注，并被高水平期刊论文和综述广泛引用、评价与拓展。在复杂环境下猕猴桃视觉检测与特征表征方面，2023 年精准农业领域权威期刊《Precision Agriculture》发表的果园复杂背景果实检测综述，将本项目复杂光照条件下的轻量化猕猴桃检测研究列为代表性工作，并指出棚架下方仰视采集方式可减轻枝叶遮挡和果实重叠、改善检测效果。2023 年人工智能领域权威期刊《Expert Systems with Applications》

发表的油茶果实检测与双目定位研究引用本项目猕猴桃快速检测成果，将其作为复杂果园轻量化实时检测的相关研究基础之一，并进一步开展复杂光照、遮挡条件下的果实检测与空间定位研究。国内同行评价方面，代表性论文“基于卷积神经网络的田间多簇猕猴桃图像识别方法”曾获中国农业工程学会 40 周年优秀论文奖，入选“领跑者 5000—中国精品科技期刊顶尖学术论文”，并获中国科技期刊农林学科 2020 年度优秀论文二等奖。

在复杂遮挡条件下的多类别表征与果实可采性解析方面，2024 年食品科学领域权威期刊 《Trends in Food Science & Technology》发表的综述，将本项目基于遮挡来源的猕猴桃多类别状态识别纳入果蔬智能采摘障碍规避研究，列为“Obstacle avoidance”代表性成果，并给出 91.9%的识别性能，表明该研究已被跨学科综述作为机器人安全采摘中的代表性策略。

在同领域农业工程研究中的学术影响方面，2021 年欧洲农业工程师学会（EurAgEng）官方期刊《Biosystems Engineering》发表的自然环境荔枝 RGB-D 识别研究，在梳理自然环境果实视觉识别研究时引用本项目线性簇生猕猴桃个体分离成果，并将其纳入相关研究基础，表明本项目成果受到农业工程领域后续果树视觉研究的持续关注。

在研究思想的归纳方面，2025 年中国工程院院刊《Engineering》发表的农业机器人手眼协同综述将本项目成果归入被动避障策略，指出当枝条或棚架钢丝遮挡目标猕猴桃时，通过识别遮挡状态并舍弃受阻目标，可提高复杂环境下机器人作业的安全性。

在跨作物迁移方面，2025 年农业人工智能领域中科院一区 Top 期刊《Artificial Intelligence in Agriculture》发表的套袋梨研究，直接借鉴本项目依据机器人采摘策略和田间实际遮挡情况进行多类别表征的思想，并拓展至套袋梨多类别遮挡状态识别。

在三维空间感知方面，2026 年机器人领域权威期刊《Journal of Field Robotics》发表的脆弱果实采收机器人综述，引用本项目基于果实—果萼联合检测的猕猴桃双目定位研究，并将其纳入果实识别与空间定位相关研究体系，表明本项目由二维视觉表征向三维空间解析的研究成果已受到机器人领域后续综述的关注。

2026 年农业信息处理领域中科院一区 Top 期刊《Information Processing in Agriculture》发表的猕猴桃检测研究进一步引用本项目 2018 年多簇猕猴桃识别和 2021 年多类别遮挡状态解析成果：一方面将本项目多簇果实识别作为复杂遮挡与重叠条件下深度学习检测的代表性研究，另一方面系统概述了按照无遮挡、叶片、枝条、钢丝及其他果实遮挡进行五类别表征的研究思路及 91.9%的识别结果，体现了本项目研究在后续猕猴桃智能感知方法中的持续影响。

上述第三方评价表明，本项目围绕复杂棚架环境下簇生果实视觉表征、复杂光照适应、遮挡状态解析及三维空间感知形成的研究成果，已被《Precision Agriculture》、《Trends in Food Science & Technology》、《Engineering》、《Journal of Field Robotics》等权威期刊综述列为或纳

入代表性研究，并被 《Biosystems Engineering》、《Expert Systems with Applications》、《Information Processing in Agriculture》、《Artificial Intelligence in Agriculture》等后续研究引用、比较或拓展，体现出较好的学术影响、研究延续性和跨作物迁移价值。

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）

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	基于卷积神经网络的田间多簇猕猴桃图像识别方法	农业工程学报	**傅隆生**，冯亚利，Elkamil Tola，刘智豪，李瑞，崔永杰	2018，34(2)：205－211	2018 年 1 月 15 日	傅隆生	傅隆生	傅隆生、冯亚利、刘智豪、李瑞、崔永杰	292	知网	是
2	A novel image processing algorithm to separate linearly clustered kiwifruits	Biosystems Engineering	**傅隆生**，Elkamil Tola，Ahmad Al-Mallahi，李瑞，崔永杰	2019，183：184－195	2019 年 5 月 21 日	崔永杰	傅隆生	傅隆生、李瑞、崔永杰	75	Web of Science Core Collection	是
3	Fast and accurate detectio	Precision Agricul	**傅隆生**，冯亚利，吴静珠，	2021，22(3)：754－776	2020 年 9 月 13	傅隆生	傅隆生	傅隆生、	149	Web of Sci	是

	n of kiwifruit in orchard using improved YOLOv3-tiny model	ture	刘智豪，高芳芳，Yaqoob Majeed，Ahmad Al-Mallahi，Qin Zhang，李瑞，崔永杰		日			冯亚利、吴静珠、刘智豪、高芳芳、李瑞、崔永杰		ence Core Collection	
4	Improved multi-classes kiwifruit detection in orchard to avoid collisions during robotic picking	Computers and Electronics in Agriculture	索睿，高芳芳，周忠贤，**傅隆生**，宋珍珍，Jaspreet Dhupia，李瑞，崔永杰	2021，182：106052	2021年2月21日	傅隆生	索睿	索睿、高芳芳、周忠贤、傅隆生、宋珍珍、李瑞、崔永杰	67	Web of Science Core Collection	是
5	Improved binocular localization of kiwifruit in orchard	Computers and Electronics in Agriculture	高常青，江晗慧，刘小娟，李海宏，武振超，孙晓明，贺磊磊，毛吾兰，	2024，217：108621	2024年1月22日	李瑞、傅隆生	高常青	高常青、江晗慧、刘小	25	Web of Science Core Col	是

	based on fruit and calyx detection using YOLOv5x for robotic picking		Yaqoob Majeed，李瑞，**傅隆生**					娟、李海宏、武振超、孙晓明、贺磊磊、毛吾兰、李瑞、傅隆生		lection	

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献
1	傅隆生	教授	西北农林科技大学	负责项目总体研究，围绕复杂棚架环境下猕猴桃簇生果实视觉表征与空间解析开展系统研究，在簇生目标视觉混叠与个体结构解析、复杂环境多层特征协同与遮挡状态表征、果实—果萼关联约束的三维空间解析等方面作出主要学术贡献。
2	崔永杰	教授	西北农林科技大学	参与簇生猕猴桃视觉感知与结构解析研究，在簇生果实视觉混叠特征分析、个体结构分离以及复杂环境下果实识别与遮挡状态表征等方面作出主要学术贡献。
3	李瑞	正高级实验师	西北农林科技大学	参与复杂棚架环境下猕猴桃视觉感知与空间解析研究，重点开展簇生果实识别、复杂环境目标表征与遮挡状态解析，并参与果实—果萼联合检测、双目匹配与三维空间定位研究，为项目从二维视觉表征向三维空间解析的拓展作出重要贡献。

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
1	西北农林科技大学	西北农林科技大学作为本项目第一完成单位，长期开展复杂棚架环境下猕猴桃簇生果实视觉表征与空间解析研究，在簇生果实个体结构解析、复杂环境目标特征表征与遮挡状态解析、果实—果萼关联约束下三维空间解析等方面承担了主要研究工作，形成了系列代表性研究成果，对本项目主要科学发现的形成作出了主要贡献。

八、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	傅隆生 1，崔永杰 2，李瑞 3	2016 年—2018 年	基于卷积神经网络的田间多簇猕猴桃图像识别方法	代表性论文 1
2	论文合著	傅隆生 1，崔永杰 2，李瑞 3	2017 年—2019 年	A novel image processing algorithm to separate linearly clustered kiwifruits	代表性论文 2
3	论文合著	傅隆生 1，崔永杰 2，李瑞 3	2018 年—2020 年	Fast and accurate detection of kiwifruit in orchard using improved YOLOv3-tiny model	代表性论文 3
4	论文合著	傅隆生 1，崔永杰 2，李瑞 3	2019 年—2021 年	Improved multi-classes kiwifruit detection in orchard to avoid collisions during robotic picking	代表性论文 4
5	论文合著	傅隆生 1，李瑞 3	2020 年—2024 年	Improved binocular localization of kiwifruit in orchard based on fruit and calyx detection using YOLOv5x for robotic picking	代表性论文 5
完成人合作关系说明（限 1000 字）： 本项目完成人傅隆生、崔永杰、李瑞长期围绕复杂棚架环境下猕猴桃视觉感知、目标识别与空间解析					

开展合作研究，形成了较为稳定的科研合作关系。三位完成人通过论文合著等方式，围绕簇生猕猴桃目标识别与个体结构分离、复杂环境下果实视觉特征表征及遮挡状态解析等问题开展了连续研究；在此基础上，傅隆生、李瑞进一步围绕果实—果萼关联约束、双目匹配与三维空间解析开展合作研究。相关合作成果共同支撑了本项目从簇生目标视觉表征、个体结构解析到复杂环境感知与三维空间解析的研究体系，并构成本项目主要科学发现的重要基础。

项目十一

一、项目名称：热加工食品中晚期糖基化末端产物形成及其代谢机制

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：

晚期糖基化末端产物（advanced glycation end products，AGEs）是食品在热加工和贮藏过程中形成的一类常见危害物。AGEs 不仅影响食品感官品质和营养价值，其在人体的蓄积还与诸多慢性疾病的发生密切相关，对人体健康产生潜在风险。对热加工食品中 AGEs 的形成规律、调控及其代谢机制进行全面解析，是食品安全与营养健康领域亟待解决的关键科学问题。该项目系统阐明了热加工食品中 AGEs 的形成机制和调控措施，明确了膳食 AGEs 在体内的吸收规律、代谢及组织分布特征，并在国际上首次从肠道菌群及其代谢角度揭示了长期膳食摄入 AGEs 对肠道健康的影响。项目成果开辟了国际上关于膳食 AGEs 形成及其代谢机制研究的新领域，为改进食品生产加工技术和科学评价膳食 AGEs 的营养安全性奠定了理论基础，受到国内外同行广泛认可，被食品和营养领域国际知名期刊广泛引用和评述，符合陕西省自然科学奖提名条件。

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

食品中的晚期糖基化末端产物（advanced glycation end products，AGEs）是食品在热加工和贮藏过程中由美拉德反应及脂质氧化等反应形成的一类复杂且稳定的化合物，广泛存在于焙烤、油炸等热加工食品中。膳食 AGEs 进入人体后还可经胃肠道消化、吸收及转运，并在组织器官中蓄积，进而对机体健康产生潜在危害。对热加工食品中 AGEs 的形成规律、调控及其代谢机制进行全面解析，是食品安全与营养健康领域亟待解决的关键科学问题。该项目以食品中 AGEs 为研究对象，从 AGEs 的形成调控、在体内吸收、分布、代谢及排泄，及其对肠道菌群结构和功能的影响等方面进行了深入研究，并进一步研究不同结合状态的 AGEs 在肠道的蓄积及对肠道功能之间的具体关系。系统阐明了热加工食品中 AGEs 的形成机制和调控措施，明确了膳食 AGEs 在体内的吸收规律、代谢和组织分布特征，并在国际上首次从肠道菌群及其代谢角度揭示了长期膳食摄入 AGEs 对健康的影响，为改进食品生产加工技术和科学评价膳食 AGEs 的营养安全性奠定了理论依据。

2. 科学发现点

（1）阐明了热加工食品中 AGEs 的形成机制，较为系统地研究了 AGEs 的调控措施。

（2）揭示了膳食 AGEs 在实验动物体内的吸收、蓄积及在不同组织器官中的积累和分布特征，重点解析了不同结合状态的 AGEs 在肠道的蓄积及其代谢机制。

（3）明确长期摄入膳食 AGEs 会显著降低实验动物的肠道菌群多样性，改变肠道代谢产物种类和含量，同时造成肠道屏障功能受损。

3. 科学价值

申请人团队围绕热加工食品中 AGEs 形成及其代谢机制开展了系统研究，具有以下理论及应用价值：（1）系统研究食品加工和贮藏过程中 AGEs 的形成机制和调控措施，为深入评估 AGEs 的安全性提供数据和技术支撑，为降低食品加工与贮藏过程中 AGEs 的含量提供了新思路和理论依据。

（2）明确了食品中不同化学结构与不同存在状态的 AGEs 组分在体内的消化吸收、代谢及组织分布特征，阐明 AGEs 在体内的吸收方式和转运机制，为膳食 AGEs 的营养安全性评价和风险评估提供理论依据。

（3）从肠道微生态角度研究长期摄入膳食 AGEs 对健康的影响，揭示长期摄入不同结合状态 AGEs 会改变肠道菌群结构和微生物代谢产物，并使肠道屏障功能受损，进而对宿主健康产生不利影响，为研究膳食 AGEs 与肠道菌群互作的分子机制奠定了基础，也为减少加工食品危害、增强食品安全及营养健康带来新启示。综上，本项目研究成果可为热加工食品的安全控制以及食品营养与健康提供理论基础。

4. 同行引用及评价

本项目相关研究成果发表于 Molecular Nutrition & Food Research、Journal of Agricultural and Food Chemistry、Food Research International 等食品化学与营养领域国际知名期刊，相关研究成果受到国内外同行关注和引用，累计他引次数 211 次。研究成果被国内外同行评价为：（1）对油炸食品在加工和储藏过程中糖基化中间产物（乙二醛和丙酮醛）和 AGEs 的变化规律提供了科学解释和加工贮藏指导；（2）揭示了膳食 AGEs 在胃肠道消化中的动态转化特征，阐明了游离态与结合态 AGEs 长期摄入后的吸收、组织分布、代谢及排泄规律，为膳食 AGEs 肠道效应研究提供了新思路；（3）从肠道微生态角度揭示了长期膳食 AGEs 摄入对肠道菌群结构、微生物代谢及肠道屏障功能的调控作用，为科学认识膳食 AGEs 的机体生物学效应提供新的理论依据，也为其微生物菌群调控机制研究提供新视角。

四、 客观评价

本项目围绕热加工食品中晚期糖基化末端产物（AGEs）的形成、体内蓄积及健康效应开展了系统深入的研究，成果获得国内外同行的广泛关注与高度认可。在 AGEs 形成及控制机制方面，提出的荧光性 AGEs 检测方法被华中农业大学等团队直接采纳，关于油炸过程中糖基化中间产物生成的观点被马斯特里赫特大学 Casper G. Schalkwijk 教授团队（Food Chemistry）重点引用并印证。此外，该文也被南开大学王硕教授团队发表在 Foods 上的文章所引用。在体内蓄积及生理影响方面，揭示的膳食 AGEs 在胃肠道的蓄积及产生的影响被华南理工大学李琳教授和马斯特里赫特大学 Aalt Bast 教授分别在 Critical Reviews in Food Science and Nutrition 和 Nutrients 等权威综述中系统介绍与评述。在肠道微生态及机制方面，作为国内外首次探讨膳食 AGEs 对菌群与肠通透性影响的开创性工作，成果被 Gut、Food Hydrocolloids 等顶刊引用；鲁汶大学 Patrice D. Cani 教授在 Gut 综述中将其列为“新发现分

子及其靶点”核心模块；孙宝国院士团队多次引用并应用项目中的 PLS-DA 模型判定方法；哥本哈根大学 Michael J. Davies 教授等亦引用证明膳食 AGEs 会破坏肠道微生态并诱导代谢紊乱。

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）

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	Comparative study of the effects of dietary-free and -bound Nε-Carboxymethyllysine on gut microbiota and intestinal barrier	Journal of Agricultural and Food Chemistry	Xiaojin Yuan, Juan Liu, Chenxi Nie, Qingyu Ma, Chaoqi Wang, Huicui Liu, Zhifei Chen, Min Zhang, Juxiu Li	2024,72:5014-5025	2024 年 02 月 22 日	Juxiu Li	Xiaojin Yuan	袁晓金、刘娟、聂晨曦、马庆昱、王超奇、刘荟萃、陈志飞、张敏、李巨秀	8	SCI-Expanded	是

2	Comparison of tissue distribution of free and protein bound Nε-carboxymethyllysine after long-term oral administration to mice	Food Research International	Xiaojin Yuan, Yating Bai, Jing Zhang, Ruohan Zhai, Chenxi Nie, Aobai Tu, Suchen Li, Zhifei Chen, Min Zhang, Juxiu Li	2022, 161: 111787	2022年08月24日	Juxiu Li	Xiaojin Yuan	袁晓金、白雅婷、张静、翟若涵、聂晨曦、屠奥白、李素晨、陈志飞、张敏、李巨秀	14	SCI-Expanded	是
3	Dietary advanced glycation end products modify gut microbial composition and partially increase colon permeability in rats	Molecular Nutrition & Food Research	Wanting Qu, Xiaojin Yuan, Jinsong Zhao, Yingxiao Zhang, Jing Hu, Jiawei Wang and Juxiu Li	2017, 61(10): 1700118	2017年06月12日	Juxiu Li	Wanting Qu	屈婉婷、袁晓金、赵劲松、张迎晓、胡静、王嘉伟、李巨秀	100	SCI-Expanded	是

4	Microbiome-metabolomics analysis of the impacts of long-term dietary advanced-glycation-end-product consumption on C57BL/6 mouse fecal microbiota and metabolites	Journal of Agricultural and Food Chemistry	Wanting Qu, Chenxi Nie, Jinsong Zhao, Xiyang Ou, Yingxiao Zhang, Shanchun Yang, Xue Bai, Yong Wang, Jiawei Wang, and Juxiu Li	2018, 66(33): 8864-8875	2018年07月23日	Juxiu Li	Wanting Qu	屈婉婷、聂晨曦、赵劲松、欧曦阳、张迎晓、杨善春、白雪、王勇、王嘉伟、李巨秀	80	SCI-Expanded	是
5	Changes in glyoxal and methylglyoxal content in the fried dough twist during frying and storage	European Food Research and Technology	Huicui Liu, Juxiu Li	2014, 238(2): 323-331	2013年10月16日	Juxiu Li	Huicui Liu	刘荟萃、李巨秀	9	SCI-Expanded	是

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献
1	李巨秀	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	负责选定研究方向，统筹规划研究内容，设计主要研究思路和研究方法，实验数据分析及论文写

				作投稿，是列举的 5 篇代表性论文的通讯作者。
2	陈志飞	讲师	河北工程大学/西北农林科技大学	在主要科学发现 2、3 中做出了实质性贡献，支撑该科学发现的代表性论文 1、2 中，该作者分别以第七和第八作者身份完成。
3	袁晓金	讲师	甘肃农业大学/西北农林科技大学	在主要科学发现 2、3 中做出了实质性贡献，支撑该科学发现的代表性论文 1、2、3 中该作者均以第一、第一和第二作者身份完成。
4	聂晨曦	讲师	渤海大学/西北农林科技大学	在主要科学发现 2、3 中做出了实质性贡献，支撑该科学发现的代表性论文 1、2、4 中，该作者分别以第三、第五和第二作者身份完成。
5	刘荟萃	副教授	青海大学/西北农林科技大学	在主要科学发现 1、3 中做出了实质性贡献，支撑该科学发现的代表性论文 1、5 中，该作者分别以第六和第一作者身份完成。
6	屈婉婷	讲师	陕西师范大学/西北农林科技大学	在主要科学发现 3 中做出了实质性贡献，支撑该科学发现的代表性论文 3、4 中，该作者均以第一作者身份完成。

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
1	西北农林科技大学	西北农林科技大学在科研配套经费、仪器设备采购及创新团队组建方面给予了大量的支持，学校支持开展前瞻性、创新性研究，为科学发现点（1）（2）（3）提供了丰富的研究资源和设备平台，包括实验动物平台、细胞实验平台、食品化学与营养研究平台等，为科研工作的顺利展开提供了有力保障。

八、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	李巨秀 1，陈志飞	自 2021	Comparative study of the effects	代表性论文 1

		2，袁晓金 3，聂晨曦 4，刘荟萃 5	年至 2024 年 2 月	of dietary-free and -bound Nε-carboxymethyllysine on gut microbiota and intestinal barrier.	
2	论文合著	李巨秀 1，陈志飞 2，袁晓金 3，聂晨曦 4	自 2020 年至 2022 年 8 月	Comparison of tissue distribution of free and protein bound Nε-carboxymethyllysine after long-term oral administration to mice.	代表性论文 2
3	论文合著	李巨秀 1，袁晓金 3，屈婉婷 6	自 2015 年至 2017 年 6 月	Dietary advanced glycation end products modify gut microbial composition and partially increase colon permeability in rats.	代表性论文 3
4	论文合著	李巨秀 1，聂晨曦 4，屈婉婷 6	自 2016 年至 2018 年 7 月	Microbiome–metabolomics analysis of the impacts of long-term dietary advanced-glycation-end-product consumption on C57BL/6 mouse fecal microbiota and metabolites.	代表性论文 4
5	论文合著	李巨秀 1，刘荟萃 5	自 2011 年至 2013 年	Changes in glyoxal and methylglyoxal content in the fried dough twist during frying and storage.	代表性论文 5

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

李巨秀：负责选定研究方向，统筹规划研究内容，设计主要研究思路和研究方法，实验数据分析及论文写作投稿，是列举的 5 篇代表性论文的通讯作者。

陈志飞：在主要科学发现 2、3 中做出了实质性贡献，支撑该科学发现的代表性论文 1、2 中，该作者分别以第七和第八作者身份完成。

袁晓金：在主要科学发现 2、3 中做出了实质性贡献，支撑该科学发现的代表性论文 1、2 中该作者均以第一作者身份完成。

聂晨曦：在主要科学发现 2、3 中做出了实质性贡献，支撑该科学发现的代表性论文 1、2、4 中，该作者分别以第三、第五和第二作者身份完成。

刘荟萃：在主要科学发现 1、3 中做出了实质性贡献，支撑该科学发现的代表性论文 1、5 中，该作者分别以第六和第一作者身份完成。

屈婉婷：在主要科学发现 3 中做出了实质性贡献，支撑该科学发现的代表性论文 3、4 中，该作者均以第一作者身份完成。

项目十二

一、项目名称：指数和与 Dedekind 和的高次均值计算研究

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：该项目属于基础数学中数论领域的研究，聚焦于指数和与 Dedekind 和的高次均值计算这一核心问题。指数和与 Dedekind 和是解析数论中的经典研究对象，在 Weyl 均分布、Theta 函数变换及 L-函数理论中具有重要的基础性作用。该项目由王婷婷、张文鹏完成合作，围绕二项及混合指数和的高次均值、Dedekind 和相关和式的计算等问题，取得了一系列具有原创性的研究成果。首次给出了四次及六次混合指数和均值的精确计算公式，特别是提出的“转换公式”为解决高次均值问题提供了新思路。系统建立了 Dedekind 和与指数和之间的混合均值理论，给出了新的渐近公式，并将经典的高斯和与 Dirichlet L-函数方法引入该领域。创新性地定义了与 Dedekind 和相关的新和式，证明了其在特殊点上的精确恒等式，拓展了经典和式的理论边界。利用初等方法和二次剩余变换技术，首次攻克了二项指数和八次均值的计算难题，给出了完整的计算公式。上述成果均发表于《中国科学：数学》、《Finite Fields and Their Applications》等国内外重要数学期刊，受到国际同行的关注与引用。该项目在指数和及 Dedekind 和的均值计算方面取得了突破性进展，推动了相关数论分支的发展，具有重大的科学价值。经审查，申报材料真实有效，符合陕西省科学技术奖（自然科学奖）的授奖条件。提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、项目简介：指数和作为解析数论的核心研究对象，其高次均值的计算与估计，不仅关乎有限域上代数方程解的存在性、均匀分布特性及误差项精细分析，更直接反映了指数和的高阶统计结构。这些统计特性在密码学中与伪随机序列的高阶相关性、非线性度及差分均匀性等安全指标密切相关。相较于传统的上界估计方法，精确计算公式的建立为密码算法的理论安全性论证提供了更为严谨的数学工具，具有根本性的理论优势。围绕上述问题，本研究系统开展了以高次混合幂均值精确计算为核心的数论研究，涵盖经典 Dedekind 和、两项指数和、混合指数和、Cochrane 和及广义 Kloosterman 和等多个重要对象。主要创新成果包括：获得了两次、四次、六次及八次均值的精确计算公式与渐近表达式；建立了混合指数和均值的转换框架，将高次均值计算归约为同余方程解的计数问题，并由此揭示了高次混合均值与 Dirichlet L-函数四次均值之间的深层内在联系；针对不同参数情形，给出了 Cochrane 和与广义 Kloosterman 和混合均值的精确渐近公式。系列成果发表于《Science China Mathematics》、《数学学报》、《中国科学：数学》、《Finite Fields and Their Applications》及《Acta Arithmetica》等国内外权威期刊。该研究在方法上融合了解析方法、代数变换与同余方程解估计技术，形成了系统性强、创新性突出的研究体系，

获得了国内外同行的关注与引用，具有重要的学术价值。

四、客观评价：本项目围绕经典数论对象——指数和与 Dedekind 和的均值问题，取得了具有原创性和理论深度的研究成果。经审查，主要客观评价如下：1. 对“四次及六次混合指数和均值”研究的评价: 该成果提出了求解混合指数和高次均值的“转换公式”这一新方法。这一方法突破了传统仅依赖 Gauss 和精确计算的局限，为研究更一般的高次均值问题提供了可行的技术路径。这种将高次均值问题转化为同余方程解数问题的思路，在该领域具有重要的方法论价值。2. 对“Dedekind 和与指数和混合均值”研究的评价: 该成果首次系统性地研究了一类全新的混合均值：将经典的 Dedekind 和与二项指数和相结合，建立了两者之间的深刻联系。利用 Dirichlet L-函数的均值定理，给出了精确的主项估计。这一工作不仅丰富了 Dedekind 和的理论体系，也为利用解析方法研究指数和均值提供了新的视角，体现了较高的理论深度。3. 对“新和式 *H(h,q)*及二项指数和八次均值”研究的评价: 在 Dedekind 和的研究中，该成果创造性地引入了与“正则数”相关的新和式 *H(h,q)*，并利用解析方法给出了其在特殊点上的精确恒等式，拓展了 Dedekind 和的应用范围。此外，对于长期悬而未决的“二项指数和八次均值”这一难题，该成果利用初等方法与二次剩余变换技术，首次给出了完整的计算公式。这表明研究团队在经典难题的攻关上取得了实质性突破，达到了国际先进水平。综上所述，本项目在理论方法上具有原创性，在科学发现上具有显著的深度和广度，成果得到了国内外学术界的认可。

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）

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 mean value involving Dedekind sums and two-term exponential sums	SCIENCE CHINA Mathematics(Series A)	Wang Tingting, Pan Xiaowei	2012 年 55 卷 557-565 页	2012-03-15	Wang Tingting	Wang Tingting	王婷婷，潘晓玮	1	SCIE	是
2	On the hybrid mean value of Cochrane sums and generalized Kloosterman sums	Acta Arithmetica	Tingting Wang	2012 年 153 卷 191-197 页	2012-01-02-	Tingting Wang	Tingting Wang	王婷婷	4	SCIE	是
3	关于四次及六次混合指数和的均值	中国科学：数学	王婷婷，张文鹏	2011 年 41 卷 265-270 页	2011-03-20	王婷婷	王婷婷	王婷婷，张文鹏	12	CNKI	是
4	一个与 Dedekind 和相关的新和式及其在特殊点的值	数学学报	王婷婷，关雅靓	2019 年 62 卷 497-502 页	2019-05-15	王婷婷	王婷婷	王婷婷，关雅靓	1	CNKI	是
5	On the eighth power mean of the two-term exponential sums	Finite Fields their Appl.	Wang Tingting , Zhang Wenpeng	2023 年 92 卷 1-18 页	2023-09-15	Wang Tingting	Wang Tingting	王婷婷，张文鹏	1	SCIE	是

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献

1	王婷婷	教授	西北农林科技大学	作为本项目的第一完成人,对本项目的重要科学发现做出了核心贡献。提出了混合指数和均值研究中的“转换公式”方法，并主导完成了关于四次及六次混合指数和均值（代表性论文 3）和二项指数和八次均值（代表性论文 4）核心定理的推导与证明，在 Dedekind 和与二项指数和混合均值的研究中，主导了部分计算工作和渐近公式的推导（代表性论文 1）。定义了与 Dedekind 和相关的新和式，并完成了其在特殊点上的计算（代表性论文 3）。 独立完成了类 Dedekind 和与指数和混合均值的研究（代表性论文 2）
2	张文鹏	教授	西北大学	本项目的第二完成人，在“关于四次及六次混合指数和的均值”及“二项指数和八次均值”两项重要成果中，作为第二作者与合作者共同完成了理论框架的构建和论文撰写。参与了相关课题的论证，为研究提供了重要的指导。

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
1	西北农林科技大学	作为项目第一完成人的工作单位，为后续研究提供了稳定的科研平台与支持。在该单位工作期间，完成了“二项指数和八次均值”等核心成果的发表。
2	西北大学	作为该项目的第二完成单位及主要完成人所在单位，为项目提供了主要的科研条件、学术环境和人才支持。为项目的顺利实施和成果产出提供了根本保障。

八、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	王婷婷 1，张文鹏 2	2011 至今	关于四次及六次混合指数和的均值、On the eighth power mean of the two-term exponential sums	检索报告

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

项目第一完成人王婷婷与第二完成人张文鹏，自 2011 年起围绕指数和与 Dedekind 和的高次均值计算问题开展合作研究。合作期间，双方共同发表了多篇学术论文，包括《关于四次及六次混合指数和的均值》(中国科学：数学)和《On the eighth power mean of the two-term exponential sums》(Finite Fields their Appl.)。在上述合作研究中，双方共同参与了研究内容的讨论、方法的确定，并共同完成了论文的撰写与修改工作。

项目十三

一、项目名称：黄土高原植被恢复下土壤微生物群落演替与生态功能维持机制

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：黄土高原是我国水土流失最严重和生态环境最脆弱的地区之一，也是我国“三区四带”生态屏障的重要组成部分。植被恢复是该地区生态建设的重要途径，而土壤微生物功能的恢复是植被恢复的关键。该项目依托长期定位试验与室内控制实验，融合高通量测序、代谢组学和同位素示踪技术，系统研究了黄土高原林草土壤生态系统功能的微生物学驱动机制，揭示了黄土高原 30 年植被恢复过程中植物—微生物群落演替的“不同步性”，阐明了微生物对水土保持及碳氮磷循环的级联效应，明确了植物-土壤生态功能维持的微生物机制，提出了面向黄土高原生态恢复的微生物资源利用新策略。5 篇代表性论文被 SCI 他引 1154 次，其中 3 篇土壤学顶级期刊 Soil Biology& Biochemistry（IF_{2025}=12.2）为 ESI 前 1%高被引论文。项目从微生物视角深化了恢复生态学的学科内涵，对推动黄河流域生态保护和高质量发展具有重要科学价值与应用前景。

提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、项目简介：

本项目属于生态学领域，涉及土壤学、微生物学、林学等多个学科。针对黄土高原植被恢复中地下生态过程驱动机制不清、恢复效果定量评估困难关键科学问题，依托长期定位试验，以 0- 30 年林草恢复序列对象，采用高通量测序、代谢组学和$^{13}C/^{15}N$ 同位素示踪技术，以“微生物特征-生态效应-驱动机制-应用策略”为主线，系统研究了植被恢复过程中土壤微生物群落演替规律及其对生态系统功能维持的调控机制，从微生物学视角深化了恢复生态学的学科内涵，为黄河流域生态保护和高质量发展提供了重要科学依据。

1. 揭示了林草恢复下土壤微生物群落的时空分异与演替规律

基于 5-30 年恢复序列，系统解析了细菌、真菌、原生动物及固氮菌等多类群微生物的地理分布格局，绘制了黄土高原土壤微生物空间分布图谱；提出并证实微生物-植被协同演替存在“时滞效应”，即细菌、真菌演替速率明显慢于地上植物群落，且时滞幅度为 5-10 年。微生物群落演替随恢复阶段分化：5-10 年为群落重组期，15-20 年进入功能类群定型期，25-30 年趋于近稳态；明确微生物周转速率及碳氮转化功能随土壤剖面加深呈垂直递减规律，为理解深层土壤生态功能稳定性提供了新视角。

2. 阐明了微生物群落演替驱动土壤功能提升的生态效应

阐明了植被恢复对土壤生物多样性的增益效应，发现恢复 30 年后细菌、真菌及线虫多样性分别提升 43-66%、21-33%和 23-35%，显著增强了土壤食物网稳定性及物质循环效率。首次量化了微生物对水土保持功能的贡献率，为 9%-15%，揭示了其通过分泌胞外多糖促进团聚体形成的固土机制；明确了固氮菌与解磷菌等关键功能类群是驱动土壤碳氮磷提升的核心生物引擎，阐明了微生物介导的养分转化机制。

3. 解析了植被-微生物互作驱动微生物功能发挥的关键机制

揭示了凋落物输入是微生物功能发挥的物质基础，发现演替中后期（20-25 年）凋落物由难分解向易分解碳源转变，直接驱动微生物群落构建与代谢活性。提出并验证根系分泌物是地下生态过程的核心驱动力，阐明其通过重塑根际微生物群落、激发固氮、解磷及有机质矿化等关键生理过程，发挥了“根际激发效应”，从而反馈调节植物群落结构与生态系统生产力，10-15 年为植被-微生物互作由植被驱动向微生物维持的关键阶段。

4. 提出了面向生态恢复的微生物资源利用新策略与技术方案

构建基于微生物功能性状的土壤质量指数（SQIMicro），筛选出有机质转化、固氮、解磷等 6 项核心指标，并明确不同恢复阶段的性状阈值：5-10 年以功能微生物适应为主，15-20 年以功能多样性为主，25-30 年以网络稳定性为主，实现了干旱半干旱区土壤恢复效果的定量评估；筛选并解析耐旱固氮菌与解磷菌等土著功能菌种适应干旱胁迫的基因组与代谢通路机制，研创适配黄土高原逆境的微生物菌剂复配技术，为区域生态修复提供了原创性生物调控方案。

项目共发表学术论文 60 余篇，其中 SCI 收录 40 篇，ESI 高被引论文 3 篇，被引 6000 余次，100 次引用以上 8 篇，单篇最高他引 511 次；项目完成人获国家万人计划青年拔尖人才、农业农村部神农英才、国家林草局青年拔尖人才、中国水土保持学会青年科技奖、陕西省生态学会青年科技奖、陕西省科技新星等荣誉。通过近 30 年的系统研究，项目在理论上阐明了黄土高原植被恢复过程中微生物驱动林草土壤生态系统功能形成的作用机制，在实践上提出了面向生态恢复的微生物资源利用新策略，为黄土高原生态保护和高质量发展提供了科学依据和技术支撑。

四、客观评价：

该项目 5 篇代表性论文被包括美国、英国、德国、法国、加拿大、澳大利亚等 33 个国家学者引用与评价，被 SCI 他引共 1154 次，包括 4 篇土壤学领域顶级期刊 Soil Biology& Biochemistry（IF=12.2），其中 3 篇为 ESI 前 1%高被引论文，相关成果被 Science Advance、

ISME Journal、Environmental Science Technology、Global Change Biology 等国际顶级刊物和联合国粮农组织、水利部等重要机构引用。项目成果入选 2016 年中国生态系统研究网络（CERN）十佳青年优秀论文、中国林学会优秀论文一等奖，并获得了陕西高校科研优秀成果一等奖、陕西省生态学会特等奖。关于干旱区生态恢复过程中微生物与地上植被协同演替的“时滞效应”被著名生态学家 Soil Biology& Biochemistry 主编 Karl Ritz 教授认为推动了生态恢复演替学科理论，为土壤微生物与植物的反馈研究提出了新的观点。基于该成果，项目团队受邀在《水土保持通报》撰写黄土高原植被恢复微生物功能的相关研究成果，并受到科学网关注，认为我们的研究为未来黄土高原的生态恢复提供了理论参考，并在《中国科学报》进行了报道。项目成果支撑了“黄土高原生态修复与特色产业模式构建”，作为黄土高原唯一代表成果参加科技部十三五重大成就展。

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）

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	Soil bacterial community dynamics reflect changes in plant community and soil properties during the secondary succession of abandoned farmland in the Loess Plateau	Soil Biology & Biochemistry	Chao Zhang *, Guobin Liu, Sha Xue, Guoliang Wang	2016, 97: 40-49.	2016 年 3 月 2 日	Chao Zhang	Chao Zhang	张超，刘国彬，薛萐，王国梁	511 次 ESI 前 1% 高被引	Web of Science	是

2	Simplified microbial network reduced microbial structure stability and soil functionality in alpine grassland along a natural aridity gradient	Soil Biology & Biochemistry	Chao Zhang, Shilong Lei, Hongyue Wu,Lirong Liao,Xiangtao Wang, Lu Zhang, Guobin Liu, Guoliang Wang, linchuan Fang, Zilin Song*	2024, 191: 109366	2024年2月13日	Zilin Song	Chao Zhang	张超，雷石龙，吴红玥，廖李容，王向涛，张路，刘国彬，王国梁，方临川，宋籽霖	232次ESI前1%高被引	Web of Science	是
l3	Nitrogen enrichment stimulates rhizosphere multi-element cycling genes via mediating plant biomass and root exudates	Soil Biology & Biochemistry	Lirong Liao, Jie Wang, Shilong Lei, Lu Zhang, Xiaojun Wang, Guobin Liu, Chao Zhang	2024, 190: 109306	2024年1月2日	Guobin Liu，Chao Zhang	Lirong Liao	廖李容，王杰，雷石龙，张路，王小军，刘国彬，张超	89次ESI前1%高被引	Web of Science	是

4	Interactions of soil bacteria and fungi with plants during long-term grazing exclusion in semiarid grasslands	Soil Biology & Biochemistry	Chao Zhang, Guobin Liu, Zilin Song, Jie Wang, Liang Guo	2018, 124: 47-58	2018年6月2日	Liang Guo	Chao Zhang	张超，刘国彬，宋籽霖，王杰，郭梁	139次	Web of Science	是
5	Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau，China	Geoderma	Chao Zhang, Guobin Liu, Sha Xue, Zilin Song	2011, 161:115-125	2011年2月3日	Guobin Liu	Chao Zhang	张超，刘国彬，薛萐，宋籽霖	183次	Web of Science	是

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献
1	张超	研究员	西北农林科技大学/西北农林科技大学	揭示了植被恢复过程中土壤微生物的时空演替特征，阐明了林草生态系统的土壤环境及其形成机制，是代表作1、2、4、5的第一作者，代表作3的通讯作者。
2	宋籽霖	副教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	阐明了植物根系驱动微生物演变的作用机制及其生态位异化特征，是代表作2的通讯作者，代表作4、5的共同作者。
3	刘国彬	研究员	中国科学院水利部水土保持研究所/中国科学院水利部水土保持研究所	揭示了植被恢复过程中的微生物结构和功能的演变机制，明晰了人工措施对脆弱生态系统微生物功能的调控机理，是代表作3、5的通讯作者，代表作1、2、4的共同作者
4	雷石龙	博士研究生	中国科学院水利部水土保持研究所/中国科学院水利部水土保持研究所	明确了土壤微生物的根际效应对植被演替的驱动机制，量化了植物-土壤-微生物对水土保持功能的贡献，是代表作2、3的共同作者
5	张路	博士研究生	西北农林科技大学/	阐明了微生物驱动土壤养分转化的

			西北农林科技大学	作用机制，明晰了撂荒草地生态系统的微生物养分转化功能，是代表作 2、3 的共同作者。

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
西北农林科技大学	1	西北农林科技大学作为组织管理单位为项目的实施提供了必要的科研信息咨询、人员保障、资金、试验基地、仪器设备设施、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，同时该单位参与人员在在项目中主要揭示了林草生态系统恢复过程中植物-土壤-微生物的时空演替特征,阐明了土壤微生物在林草生态系统恢复过程中的生态效应,明确了土壤微生物的根际效应对植被恢复的驱动机制，揭示了黄土高原植被恢复中植物-土壤-微生物之间的协同机制，提出了基于微生物功能的土壤质量评价方法。
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协助开展了黄土高原植被恢复过程中土壤微生物结构和功能的时空演替特征，林草土壤生态系统的环境效应及其形成机制研究等方面工作。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、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	张超 1、宋籽霖 2	2011-2026	Simplified microbial network reduced microbial structure stability and soil functionality in alpine grassland along a natural aridity gradient	代表性论文 2
2	论文合著	张超 1、刘国彬 3	2010-2026	Soil bacterial community dynamics reflect changes in plant community and soil properties during the secondary succession of abandoned farmland in the Loess Plateau;	代表性论文 1 代表性论文 5

				Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau，China	
3	论文合著	张超 1、雷石龙 4	2020-2026	Nitrogen enrichment stimulates rhizosphere multi-element cycling genes via mediating plant biomass and root exudates	代表性论文 3
4	论文合著	张超 1、张路 5	2020-2026	Nitrogen enrichment stimulates rhizosphere multi-element cycling genes via mediating plant biomass and root exudates	代表性论文 3
5	论文合著	宋籽霖 2、刘国彬 3	2021-2025	Interactions of soil bacteria and fungi with plants during long-term grazing exclusion in semiarid grasslands	代表性论文 4
6	论文合著	宋籽霖 2、雷石龙 4、张路 5	2021-2026	Simplified microbial network reduced microbial structure stability and soil functionality in alpine grassland along a natural aridity gradient	代表性论文 2

7	论文合著	刘国彬 3、雷石龙 4、张路 5	2021-2026	Nitrogen enrichment stimulates rhizosphere multi-element cycling genes via mediating plant biomass and root exudates	代表性论文 3

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

本项目完成人包括：张超、宋籽霖、刘国彬、雷石龙、张路

第一完成人西北农林科技大学的张超研究员，师从中国科学院水利部水土保持研究所刘国彬研究员，在科研项目、论文发表等方面有着密不可分的合作关系，长期以来在植物-土壤-微生物互作机制、生态系统结构改善与功能提升，区域生态修复的植被恢复技术及土壤质量提升技术等方面开展了深入的合作研究，与第二完成人宋籽霖副教授合著论文 2、4、5，与第三完成人刘国彬研究员合著代表论文 1、2、3、4、5，与第四完成人雷石龙、第五完成人张路合著论文 2、3。

第二完成人宋籽霖副教授是张超研究员团队的科研骨干，从事土壤微生物效应研究，本项目中揭示了植被恢复过程中土壤质量改善和植物-土壤-微生物协同演变机制，明确了黄土高原生态修复过程中土壤质量恢复效应，与第一完成人张超、第二完成人刘国彬共同完成了代表论文 2、4、5，与第四完成人雷石龙、第五完成人张路合著论文 2。

第三完成人刘国彬研究员是第一完成人张超研究员的博士导师，合著论论文 1、2、3、4、5，与第二完成人宋籽霖副教授合著论文 2、4、5， 与第四完成人雷石龙、第五完成人张路合著论文 2、3。

第四完成人雷石龙为第一完成人张超研究员的博士研究生，本项目中参与植被恢复过程中微生物演变机制的科研工作，与第一完成人张超、第三完成人刘国彬合著代表论文 2、3，与第二完成人宋籽霖合著代表论文 2，与第五完成人张路合著代表论文 2、3。

第五完成人张路为第一完成人张超研究员的博士研究生，本项目中参与植被恢复过程中微生物功能基因分析的科研工作，与第一完成人张超、第三完成人刘国彬合著代表论文 2、3，与第二完成人宋籽霖合著代表论文 2，与第四完成人雷石龙合著代表论文 2、3。

项目十四

一、项目名称：介观尺度土壤团聚体动态多路径破碎分离与坡面泥沙分选输移机制及预测模型

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：该项目着眼于传统土壤团聚体稳定性评价仅能静态表征、多路径破碎分离过程无法定量拆分、团聚体破碎向坡面泥沙分选输移链式演化机制不清、坡面侵蚀模型缺少介观机理支撑的关键科学瓶颈，依托国家自然科学基金等项目，以自主研发恒压针头降雨动态模拟装置与多液相定量测试新方法为突破口，以介观尺度团聚体破碎分离全过程为主线，首创团聚体破碎分离定量表征方法，揭示了水-土多因子协同调控团聚体破碎分离机理，构建了团聚体分离及坡面尺度侵蚀预测模型，阐明了有机碳组分调控团聚体抗蚀及坡面泥沙输移的链式机制，完善了土壤侵蚀从团聚体破碎到坡面输移的源头过程基础理论体系。相关成果发表高水平论文 110 余篇，其中 SCI 60 余篇。系列原创成果得到国内外水土保持、土壤物理领域权威专家高度认可，形成了系统性跨尺度理论创新，填补了土壤侵蚀颗粒分离-泥沙分选链式源头过程的理论空白，丰富了土壤结构力学、土壤侵蚀、土壤化学交叉基础学科体系；为土壤侵蚀预报模型颗粒分离与泥沙输移模块参数校正提供原创理论支撑，为退化土地植被修复和流域泥沙源头精准管控提供底层科学依据。项目形成的标准化动态定量测试方法已被多家高校、科研院所推广应用；成果支撑多项中外土壤侵蚀领域国际合作研究，显著提升我国在土壤团聚体稳定与侵蚀微观机理方向的国际学术话语权与影响力。

项目成果创新性突出，学术价值显著，符合陕西省自然科学奖提名条件。提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、项目简介：

水土流失是制约我国生态安全、耕地保育与粮食稳产的核心环境问题，土壤团聚体溃散、细颗粒分离是坡面侵蚀产沙的本源起始环节。全球土壤侵蚀研究长期聚焦泥沙搬运过程，对团聚体遇水破碎、颗粒分离的源头介观（μm-mm）机制缺乏系统定量理论支撑；传统土壤结构稳定性评价仅能实现静态表征，无法定量区分浸水崩解、雨滴撞击、粘粒膨胀、理化驱散等多种破碎路径的动态贡献，难以厘清水热、土壤质地、有机质组分等多因子协同调控规律；团聚体破碎向坡面泥沙分选- 输移的链式演化机制认识不清，坡面侵蚀物理模型缺少介观团聚体破碎与泥沙分选输移的定量关联，植被恢复条件下有机碳组分调控团聚体抗蚀- 泥沙输移的跨尺度机理尚不明确，制约了土壤侵蚀理论创新与退化土地生态修复技术研发。针对上述核心科学瓶颈，本项目依托国家自然科学基金等项目，以自主研发恒压针头降雨模拟动态测试装置为技术突破口，以土壤团聚体介观尺度破碎分离过程为主线，首创多液相对照定量表征方法，搭建了介观团聚破碎- 宏观坡面产沙分选输移完整理论链条，系统揭示了多因子协同调控颗粒分离机理，构建了团聚体及坡面尺度侵蚀预测模

型，阐明了有机碳组分调控团聚体破碎分离、坡面泥沙分选输移的介观机制，填补了土壤侵蚀从团聚体破碎到坡面泥沙输移链式过程的理论空白，完善了土壤结构力学、水土保持、土壤化学交叉学科体系，为土壤侵蚀精准模拟、退化土壤植被修复、流域泥沙源头管控提供原创理论支撑。项目取得三项核心重要科学发现：

第一，创建了土壤团聚结构破碎分离动态定量表征方法，构建了介观尺度理论体系，突破了传统静态测试技术瓶颈。针对经典 Le Bissonnais 法仅能静态评价团聚体稳定性、无法区分多种破碎路径贡献的短板，首创乙醇-去离子水双液相对照定量降雨测试体系，配套自主研发便携式恒压针头降雨动态测量装置，可精准拆分消散作用、雨滴机械撞击、粘粒膨胀、物理化学驱散等主导破碎途径的动态贡献率；构建覆盖水动力、土壤属性的介观尺度定量理论框架，提出相对崩解指数（RSI）、相对机械破碎指数（RMI）判别指标，厘清不同降雨动能条件下两类破碎机制主次转换阈值，建立多路径耦合定量关系，形成标准化动态测定手段，推动团聚体稳定性研究由静态定性描述转向动态定量解析。

第二，揭示了水- 土多因子协同调控团聚体破碎分离机制，构建了团聚体分离预测模型，大幅提升了土壤颗粒分离过程的定量刻画能力。以往研究多聚焦单因子静态效应，缺少多因子协同动态量化规律。本项目选取多质地土壤开展模拟降雨试验，系统量化了降雨动能、土壤质地、前期含水率对消散作用与机械破碎路径的差异化调控效应，明确了前期土壤含水率对团聚体破碎的阈值效应，阐明 RSI/RMI 对溅蚀破碎贡献的约束关系；基于实测数据构建幂函数- 线性耦合团聚体破碎贡献预测模型，可实现不同土壤与降雨条件下团聚体多破碎途径贡献率定量估算；经多类土壤样本检验，模型可有效表征团聚体破碎分离过程，为衔接坡面侵蚀模拟提供了介观机理输入。

第三，揭示了有机碳组分- 水动力耦合约束下团聚体破碎分离及其破碎产物泥沙分选输移机制，构建了坡面侵蚀分离- 输移定量预测模型，完善了植被恢复土壤抗蚀的链式理论认识。在科学发现 1、2 团聚体介观破碎分离认识基础上，针对“团聚体破碎产物如何演化、有机碳组分与坡面水动力如何共同控制泥沙分选输移”这一关键科学问题，通过多梯度有机碳土壤系列模拟降雨试验，揭示了土壤有机碳及其轻重组分对团聚体抗消散、抗机械破碎能力的差异化调控效应；阐明了有机碳组分- 降雨动能耦合条件下团聚体破碎分离向泥沙分选演化规律；进一步在坡面尺度，解析了径流功率等水动力参数与土壤属性协同控制侵蚀泥沙颗粒分选、悬浮- 推移输移占比的内在机理，构建了耦合土壤本征属性与水动力条件的坡面侵蚀分离- 输移定量预测模型；阐释了植被恢复通过积累有机碳组分改善团聚体抗破碎能力，进而调控坡面泥沙分选输移的完整链式过程，为坡面侵蚀模型改进、植被恢复区水土流失防控提供了理论依据。

本项目打通了介观团聚体破碎分离→破碎产物泥沙分选→坡面泥沙输移的跨尺度理论通道，补齐了土壤颗粒分离- 泥沙分选输移链式源头过程理论短板；研究成果完善了水土保持基础理论体系，为水土流失源头治理、土壤侵蚀预报模型研发、植被生态修复提供了

科学支撑，对保障耕地质量、维系流域水沙平衡、推动区域生态高质量发展具有重要科学价值。

项目执行期间，发表相关学术论文 110 余篇，其中 SCI 收录 60 余篇。研究成果受到国内外同行专家的广泛重视和认可，5 篇代表性论文总他引 313 次，单篇 SCI 论文最高他引 140 次。学术成果得到了业界高度评价，产生了广泛积极的学术影响，成果完成人多次作国际学术会议特邀/大会报告，担任《European Journal of Soil Science》副主编，担任《Soil & Tillage Research》、《Science of the Total Environment》、《中国水土保持科学》、《灌溉排水学报》等国内外重要期刊编委，项目成果被用于开展中国-美国、中国-南非的国际合作，提升了我国在国际上的话语权。

四、 客观评价：

项目执行期间，发表相关学术论文 110 余篇，其中 SCI 收录 60 余篇。研究成果受到国内外同行专家的广泛重视和认可，5 篇代表性论文总他引 313 次，单篇 SCI 论文最高他引 140 次。

1）对科学发现 1 创建了土壤团聚结构破碎分离的定量表征方法，实现了团聚体溃散核心机制的动态描述，构建了介观尺度理论体系的客观评价

本项目创建了乙醇-去离子水-电解液多液相对照定量表征法，构建了介观尺度土壤团聚体破碎分离定量表征理论体系，整套方法不受土壤类型、质地及区域限制，为各类土壤侵蚀模型的颗粒分离模块参数化提供了直接理论依据，推动了水土保持学科中土壤颗粒分离过程研究从经验描述走向定量理论化。代表性成果刊发于 European Journal of Soil Science (Xiao et al., 2017)、Soil & Tillage Research (Xiao et al., 2018)、Catena (Li et al., 2023)和 Hydrological Processes (Li et al., 2021)等期刊上，创建的研究方法与理论体系在土壤物理、水土保持学科领域得到国内外顶尖科研团队的引用与公开验证。波兰科学院农业物理研究所 Andrzej Bieganowski 教授团队，国际土壤物理领域知名学者、德国亥姆霍兹环境研究中心 Ruth H. Ellerbrock 教授在 Geoderma (2021、2022) 、Journal of Hydrology (2022)，Soil & Tillage Research (2024) 等土壤、水文 Top 期刊多次引用，认为该套方法与理论体系填补了团聚体破碎定量研究的技术空白，并充分肯定了本套表征方法科学可靠、适用范围广。另外，西安理工大学李占斌教授、华中农业大学蔡崇法教授、北京师范大学张光辉教授等水土保持领域领军团队，相继在 Soil & Tillage Research (2023、2024、2025)、Catena (2021、2023)、International Soil and Water Conservation Research (2025)等高水平期刊借鉴本套研究方法，认为本研究首创的动态定量表征方法及构建的介观系统化理论，极大扩充了土壤侵蚀微观-介观机理研究体系，补齐了颗粒分离阶段长期存在的理论短板。

2）对科学发现 2 揭示了多因子协同调控土壤团聚结构破碎分离机制，构建了土壤团聚体分离预测模型的客观评价

本项目围绕多因子协同调控团聚体破碎分离机制及团聚体分离预测模型构建两大核心内容开展系统研究，核心代表性成果刊发于 European Journal of Soil Science (Xiao et al., 2017)、Soil & Tillage Research (Xiao et al., 2018)、Catena (Li et al., 2023)、Hydrological Processes (Li et al., 2021)期刊上。相关研究突破了传统土壤团聚体研究单因子分析、机理碎片化及仅总结区域性经验规律的固有局限，依托前期建立团聚体崩解定量表征技术，量化了多因子对团聚体不同破碎路径的差异化调控效应，构建了团聚体分离预测模型并优化了土壤侵蚀模型颗粒分离模块，该研究揭示的调控机理、搭建的预测模型在土壤物理、水土保持学科领域得到国内外众多顶尖科研团队的引用与公开验证。波兰科学院农业物理研究所 Andrzej Bieganowski 教授团队长期聚焦土壤结构定量研究，多次在 Geoderma (2020)、Catena (2025)引用本研究多因子调控试验方法与模型架构，充分肯定了该研究体系的普适性。国际土壤侵蚀学会前主席 Andreas Klik 教授团队、比利时根特大学 Abdul M. Mouazen 与 Erik Smolders 教授团队分别在 Catena (2021)、Soil & Tillage Research (2019、2022)、Geoderma (2025)上发表论文，证实了本研究中团聚体结构破碎的多因子调控理论严谨可靠，构建的预测模型不受土壤母质、气候环境限制的优点，为土壤侵蚀模型颗粒分离模块的参数校正提供了更多的理论参考。西安理工大学李占斌教授、华中农业大学蔡崇法教授、北京师范大学张光辉教授等国内水土保持学科顶尖领军团队，发表于 Soil & Tillage Research (2024、2025)、Catena (2021、2023)、Geoderma (2021)上的论文参考本研究水动力-土壤等多因子耦合调控土壤团聚体结构稳定性理论，证实了土壤抗蚀性的介观尺度研究应从团聚体分离的微观作用机制重点探究。西北农林科技大学吴普特教授、中国农业大学杨培岭教授、华中农业大学郭忠录教授等团队，分别在 Biosystems Engineering(2026)、Geoderma (2019)、Catena (2019)等高水平期刊发表论文，借鉴了本研究质地、有机碳、含水率等关键因子的定量分析手段与研究机理，将其应用于区域坡面侵蚀尺度的机理探究。诸多同行学者一致认为，本研究建立的多因子协同定量响应关系与构建的团聚体分离预测模型，能够实现大范围土壤团聚体溃散潜力快速定量预判，补齐了长期以来土壤侵蚀模型颗粒分离模块参数过度依赖经验拟合、模拟精度不足的学科短板，进一步完善了介观尺度土壤侵蚀完整理论体系，为各类机理型土壤侵蚀模型修正、大范围区域水土流失动态精准模拟，提供了不可或缺的理论依据与标准化技术支撑。

3）对科学发现 3 揭示了有机碳组分- 水动力耦合约束下团聚体破碎分离及其破碎产物泥沙分选输移机制，构建了坡面侵蚀分离- 输移定量预测模型，完善了植被恢复土壤抗蚀的链式理论认识的客观评价

本项目在科学发现 1、2 揭示的介观尺度土壤团聚体破碎- 分离定量机制基础上，围绕有机碳调控团聚体破碎分离和坡面侵蚀泥沙分选输移机制两大核心开展系统研究，代表性成果发表于 Hydrological Processes (Li et al., 2021)与 Journal of Hydrology (Liu et al., 2024)。针对传统坡面侵蚀研究缺少介观团聚体破碎- 分离与泥沙分选、输移之间协同量化关系的

短板，揭示了土壤属性-水动力协同控制泥沙分选输移的内在机制，构建了侵蚀速率与输移方式预测模型，阐明了有机碳组分提升团聚体抗崩解能力的作用机理。系列理论认识得到国内外同行的广泛印证、借鉴与拓展应用。波兰科学院农业物理研究所 Andrzej Bieganowski 教授核心团队、德国亥姆霍兹环境研究中心 Ruth H. Ellerbrock 等国际土壤物理知名学者，分别在 Geoderma (2024)、Soil & Tillage Research (2024) 发表研究，采纳本研究关于有机碳组分差异化调控团聚体稳定性与破碎过程的核心认识，为本领域解析有机质-团聚体结构关系、完善多因子团聚体破碎理论提供重要参考。国内水土保持领域华中农业大学史志华、西安理工大学李占斌、北京林业大学余新晓等领军科研团队，分别在 Water Resources Research (2026)、Catena (2025)、Journal of Environmental Management (2025)中将本研究泥沙输移相关机制认识应用于流域水沙响应、有机碳迁移及流域侵蚀模拟，验证了本研究机制认识良好的跨尺度适用性。意大利巴勒莫大学 Vito Ferro 与 Costanza Di Stefano 团队深耕坡面侵蚀与水流阻力研究，在 European Journal of Soil Science (2024) 引用本成果，将土壤-径流耦合作用机制引入复杂坡形细沟冲刷机理解析；西北农林科技大学张宽地教授团队在 Physics of Fluids (2024)、Earth Surface Processes and Landforms (2025) 多次引用，借鉴不同粒级泥沙选择性输移及其动力控制机制，进一步解析植被坡面水动力、非恒定含沙流颗粒分离过程，拓展了本成果在坡面侵蚀动力学领域的应用场景。该系列成果贯通了土壤内在抗蚀性-外部水动力驱动-团聚体破碎-颗粒分选-泥沙输移的完整过程链条，补齐了坡面侵蚀领域土壤属性-水动力耦合定量化不足、团聚体崩解路径难以辨识的理论短板，阐明了植被恢复依靠有机碳积累改良土壤团聚结构的内在机制；可为坡面侵蚀模型中侵蚀速率、泥沙输移方式关键参数修正提供理论基础，同时为黄土高原植被恢复、退化土壤结构改良以及区域水土流失精准防控提供重要的理论依据与定量化支撑。

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）

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	Effects of slaking and mechanical breakdown on disaggregation and splash erosion	European Journal of Soil Science	Xiao, H.; Liu, G.; Abd-Elbasit, M.A.M.; Zhang, X.C.; Liu, P.L.; Zheng, F.L.; Zhang, J.Q.; Hu, F.N.	2017 年 68 卷 797-805 页	2017 年 11 月 1 日	Liu, G.	Xiao, H.	肖海，刘刚，刘普灵，郑粉莉，张加琼，胡斐南	58	Web of Science 核心合集、CCD（中国引文数据库）	是
2	Quantifying contributions of slaking and mechanical breakdown of soil aggregates to splash erosion for different soils from the Loess plateau of China	Soil & Tillage Research	Xiao, H.; Liu, G.; Zhang, Q., Zheng, F.L.; Zhang, X.C.; Liu, P.L.; Zhang, J.Q.; Hu, F.N.; Abd-Elbasit, M.A.M.	2018 年 178 卷 150-158 页	2018 年 5 月 12 日	Liu, G.	Xiao, H.	肖海，刘刚，张琼，郑粉莉，刘普灵，张加琼，胡斐南	140	Web of Science 核心合集、CCD（中国引文数据库）	是

3	Response of soil aggregate disintegration to antecedent moisture during splash erosion	Catena	Li, H.R.; Zhang, Q.; Wu, J.J.; Zou, H.J.; Xia, X.L.; Dan, C.X.; Liu, C.; Guo, Z.; Zhang, Y.; Liu, G.	2024年234卷107633	2024年1月1日	Zhang, Q.; Liu, G.	Li, H.R.	李海茹，张琼，吴久江，邹惠杰，夏小林，淡晨希，刘畅，郭珍，张扬，刘刚	40	Web of Science 核心合集、CCD（中国引文数据库）	是
4	Response of soil aggregate disintegration to the different content of organic carbon and its fractions during splash erosion	Hydrological Processes	Li, H.R.; Liu, G.; Gu, J.; Chen, H.; Shi, H.Q.; Abd Elbasit, M.A.M.; Hu, F.N.	2021年35卷e14060	2021年2月23日	Liu, G.	Li, H.R.	李海茹，刘刚，谷举，陈鸿，师宏强，胡斐南	48	Web of Science 核心合集、CCD（中国引文数据库）	是

5	Sediment sorting and transport mechanism controlled by both soil properties and hydraulic parameters on hillslopes	Journal of Hydrology	Liu, Y.; Liu, G.; Xiao, H.; Xia X.L.; Zhang, Q.; Zhou, Z.J.; Li, H.R.; Zheng, F.L.; Guo, Z.; Liu, D.D.	2024年634卷131069	2024年5月1日	Liu, G.	Liu, Y.	刘亚，刘刚，肖海，夏小林，张琼，周宗将，李海茹，郑粉莉，郭珍，刘旦旦	27	Web of Science 核心合集、CCD（中国引文数据库）	是
6											
7											
8											

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献
1	刘刚	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，对主要科学发现内容中 1-3 项做出创造性贡献，创建了土壤团聚结构破碎分离动态定量表征方法，构建了介观尺度完整理论体系，揭示了水-土多因子协同调控团聚体破碎分离机制，构建了通用团聚体分离预测模型，揭示了有机碳组分- 水动力耦合约束下团聚体破碎分离及其破碎产物泥沙分选输移机制，构建了坡面侵蚀分离- 输移定量预测模型，完善了植被恢复土壤抗蚀的链式理论认识。是代表作 1、2、3、4、5 的通讯作者。
2	李海茹	讲师	内蒙古农业大学/西北农林科技大学	与全部完成人共同完成了项目主要科学发现第 1、2、3 项内容，创建了土壤团聚结构破碎分离动态定量表征方法，构建了介观尺度完整理论体系，揭示了水-土多因子协同调控团聚体破碎分离机制，构建了通用团聚体分离预测模型，揭示了有机碳组分- 水动力耦合约束下团聚体破碎分离及其破碎产物泥沙分选输移机制，完善了植被恢复土壤抗蚀的链式理论认识。是代表作 3、4 的第一作者，

				代表作 5 的共同作者。
3	张琼	高级实验师	西北农林科技大学/西北农林科技大学	与全部完成人共同完成了项目主要科学发现第 1、2、3 项内容，创建了土壤团聚结构破碎分离动态定量表征方法，构建了介观尺度完整理论体系，揭示了水-土多因子协同调控团聚体破碎分离机制，构建了通用团聚体分离预测模型，揭示了有机碳组分- 水动力耦合约束下团聚体破碎分离及其破碎产物泥沙分选输移机制，完善了植被恢复土壤抗蚀的链式理论认识。是代表作 3 的通讯作者，代表作 2、5 的共同作者。
4	肖海	教授	三峡大学/西北农林科技大学	与全部完成人共同完成了项目主要科学发现第 1、2、3 项内容，创建了土壤团聚结构破碎分离动态定量表征方法，构建了介观尺度完整理论体系，揭示了水-土多因子协同调控团聚体破碎分离机制，构建了坡面侵蚀分离- 输移定量预测模型。是代表作 1、2 的第一作者，代表作 5 的共同作者。
5	刘亚	无	西北农林科技大学/西北农林科技大学	与全部完成人共同完成了项目主要科学发现第 3 项内容，揭示了有机碳组分- 水动力耦合约束下团聚体破碎分离及其破碎产物泥沙分选输移机制，构建了坡面侵蚀分离-输移定量预测模型，完善了植被恢复土壤抗蚀的链式理论认识。是代表作 5 的第一作者。

七、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
1	西北农林科技大学	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，为本项目提供了室内模拟降雨试验系统、土壤理化测试平台、多类型土壤野外观测基地等相关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，重点开展了土壤团聚体多路径破碎分离的介观过程与界面作用机理、多因子协同调控颗粒分离的普适规律与植被调控机制、团聚体破碎定量表征方法与土体抗分离通用预测模型及坡面侵蚀分离- 输移定量预测模型创建等方面工作。

八、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	刘刚 1，肖海 4	2017 年 11 月 1 日-2024 年 5 月 1 日	Effects of slaking and mechanical breakdown on disaggregation and splash erosion	代表作 1
2	论文合著	刘刚 1，张琼 3，肖海 4	2017 年 11 月 1 日	Quantifying contributions of slaking and mechanical	代表作 2

			-2024 年 5 月 1 日	breakdown of soil aggregates to splash erosion for different soils from the Loess plateau of China	
3	论文合著	刘刚 1，李海茹 2，张琼 3	2018 年 9 月 1 日 -2024 年 5 月 1 日	Response of soil aggregate disintegration to antecedent moisture during splash erosion	代表作 3
4	论文合著	刘刚 1，李海茹 2	2018 年 9 月 1 日 -2024 年 5 月 1 日	Response of soil aggregate disintegration to the different content of organic carbon and its fractions during splash erosion	代表作 4
5	论文合著	刘刚 1，李海茹 2，张琼 3，肖海 4，刘亚 5	2021 年 9 月 1 日 -2024 年 5 月 1 日	Sediment sorting and transport mechanism controlled by both soil properties and hydraulic parameters on hillslopes	代表作 5

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

第 2 完成人李海茹讲师，2018-2025 年在西北农林科技大学攻读博士学位，第 1 完成人刘刚为其导师。与刘刚、张琼、肖海、刘亚共同完成了主要科学发现第 1、2、3 项内容，创建了土壤团聚结构破碎分离动态定量表征方法，构建了介观尺度完整理论体系，揭示了水-土多因子协同调控团聚体破碎分离机制，构建了通用团聚体分离预测模型，揭示了有机碳组分- 水动力耦合约束下团聚体破碎分离及其破碎产物泥沙分选输移机制，完善了植被恢复土壤抗蚀的链式理论认识。合作撰写发表论文（代表作 3、4、5）。

第 3 完成人张琼高级实验师，与第 1 完成人刘刚研究员属西北农林科技大学水土保持科学与工程学院的同一课题组，共同开展项目的研究工作，与刘刚、李海茹、肖海、刘亚共同完成了主要科学发现第 1、2、3 项内容，创建了土壤团聚结构破碎分离动态定量表征方法，构建了介观尺度完整理论体系，揭示了水-土多因子协同调控团聚体破碎分离机制，构建了通用团聚体分离预测模型，揭示了有机碳组分- 水动力耦合约束下团聚体破碎分离及其破碎产物泥沙分选输移机制，完善了植被恢复土壤抗蚀的链式理论认识。合作撰写发表论文（代表作 2、3、5）。

第 4 完成人肖海教授，2014-2017 年在西北农林科技大学攻读博士学位，第 1 完刘刚为其合作导师，与刘刚、李海茹、张琼、刘亚共同完成了主要科学发现第 1、2、3 项内容，创建了土壤团聚结构破碎分离动态定量表征方法，构建了介观尺度完整理论体系，揭示了水-土多因子协同调控团聚体破碎分离机制，构建了通用团聚体分离预测模型，构建了坡面侵蚀分离- 输移定量预测模型。合作撰写发表论文（代表作 1、2、5）。

第 5 完成人刘亚，2021 年-今在西北农林科技大学攻读博士学位，第一完成人刘刚为其导师。与刘刚、李海茹、张琼、肖海完成了主要科学发现第 3 项内容，揭示了有机碳组分- 水动力耦合约束下团聚体破碎分离及其破碎产物泥沙分选输移机制，构建了坡面侵蚀分离- 输移定量预测模型，完善了植被恢复土壤抗蚀的链式理论认识。合作撰写发表论文（代表作 5）。

项目十五

一、项目名称：基于日光诱导叶绿素荧光的生态系统碳、水循环遥感估算机制

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大尺度生态系统生产力以及全球陆地生态系统蒸腾的定量反演与时空格局解析，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 215 次，单篇最高他引 84 次，代表作发表在 Remote Sensing of Environment 和《植物生态学报》等国内外著名期刊。

提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

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。申请人团队经过攻关，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。

限制 SIF–GPP 机理模型实际应用的一个关键瓶颈，是重要参数--光系统 II 开放程度（q_L）长期缺乏可靠的定量估算方法。针对这一问题，团队依托前述“三合一”同步观测系统，系统揭示并严谨验证了光强与温度是驱动 q_L 变化的主要环境因子。在此基础上，通过同步获取不同环境条件下 q_L、光强及温度的大量观测数据，进一步建立了 q_L 关于光强与温度的显式函数表达关系，从而突破了 q_L 难以参数化的关键限制，显著提升了 SIF–GPP 机理模型的可应用性，解决了制约 SIF 机理性估算 GPP 的关键参数化难题，为该类模型由机理研究走向实际应用提供了重要支撑。

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。

SIF-GPP 机理模型在植被生产力及全球植被蒸腾机理反演中的创新应用：我们将 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，相关研究成果发表于《植物生态学报》。

植物蒸腾是陆地生态系统水循环及碳、水耦合过程中的关键变量，并通过气孔调控与光合作用紧密耦联。然而，传统蒸腾估算方法往往缺乏对光合作用过程的显式表征，难以充分刻画植被碳吸收对气孔行为及蒸腾过程的调控作用。针对这一问题，团队提出了 SIF 驱动的光合-蒸腾耦合估算新框架：首先利用 SIF-GPP 机理模型定量反演植被光合速率，进一

步将光合信息引入彭曼类蒸腾模型，实现植物蒸腾的机理性估算。该方法贯通了“SIF-光合作用-气孔调控-蒸腾”关键生理过程链条，建立了光合作用与蒸腾之间的显式机理耦合关系，突破了传统蒸腾估算中光合过程表征不足的局限，从而实现了更加符合植物生理调控机制的蒸腾定量估算。

该创新点的科学价值和实用性在于：拓展了 SIF-GPP 机理性模型的应用边界，实现了从光合速率估算向生态系统生产力及植被蒸腾等关键生态变量估算的延伸；建立了 SIF-生产力/蒸腾的内在联系，为 SIF 在植被生产力和全球水碳循环研究中的应用提供了新的技术路径。

以上三方面科研成果有代表性文章 5 篇，其中 4 篇为最近 5 年发表，其中含遥感类顶级刊物 Remote Sensing of Environment 4 篇，《植物生态学报》1 篇，总计他引 **215** 次。

四、客观评价：

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 机理性估算植生产力的模型构建（代表作 2 和 3，Direct estimation of photosynthetic CO2 assimilation from solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF). Remote Sensing of Environment, 271, 112893; A SIF-based approach for quantifying canopy photosynthesis by simulating the fraction of open PSII reaction centers (qL). Remote Sensing of Environment, 305, 114111），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. (2022)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.

南京大学学者张永光团队在 **Global Change Biology** 指出：Liu, Guo et al. (2024)通过引入 CB6F 光合机理模型，实现了对 PSII 激发能分配（β_2）和反应中心开放程度（qL）的机理表征，显著提高了 SIF 估算 GPP 的准确性和可靠性，进一步为构建 BEPS-CB6F 模型、实现 GPP 与 SIF 的机理耦合模拟提供了重要理论与方法基础。**引文内容：** It has been shown that the introduction of the CB6F model for the mechanistic characterization of the excitation energy allocation coefficient (β_2) of PSII and the proportion of open reaction centers (q_L) significantly improves the accuracy and reliability of GPP estimation based on SIF (Guo et al. 2024; Liu, Guo, et al. 2024). Based on the model structure and previous research (Johnson and Berry 2021; Liu,

Guo, et al. 2024), we selected four critical parameters: the maximum activity of Cyt b6f (V_{qmax}) and Rubisco (V_{cmax}), which represent biochemical capacity parameters that acclimate to long-term environmental conditions, and two excitation-partitioning parameters, the PSII absorption fraction (β_2) and the excitation-sharing rate constant within the PSII antenna (K_{u2}), which were treated as globally uniform.

代表性引文 6: Liu, Y., et al., (2026). Improving GPP and SIF Simulation With a Mechanistic Photosynthesis Model Integrated Into the BEPS Framework. Global Change Biology, 32: e70802.

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；Estimation of global transpiration from remotely sensed solar-induced chlorophyll fluorescence, 303, 113998），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。**引文内容：**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 7：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

国内知名生态遥感专家王绍强教授在 **Remote Sensing of Environment** 发表文章指出，我们提出的基于 SIF 的机理性蒸腾估算方法相比传统经验性方法能够有效减少估算误差。**引文内容:**The aforementioned method, while theoretically more reasonable, introduces uncertainty to the *T* estimation due to the uncertainties associated with empirical coefficients *m* and g_0 (Liu et al., 2022b; Yang et al., 2024))

代表性引文 8： Zheng, C. et al., (2025). Estimating global transpiration from TROPOMI SIF with angular normalization and separation for sunlit and shaded leaves. Remote Sensing of Environment, 319,114586.

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）

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 photosynt	Remote Sensing of Environment	Lu, Xiaoliang Liu, Zhunqiao Zhao, Feng Tang, Jianwu	2020 年 251 卷 112083 页	2020.9.28	Tang, Jianwu	Lu, Xiaoliang	吕肖良，刘淮桥，赵峰，唐剑武	83	SCI	是

2	Direct estimation of photosynthetic CO_2 assimilation from solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF)	Remote Sensing of Environment	Liu, Zhunqiao Zhao, Feng Liu, Xinjie Yu, Qiang Wang, Yunfei Peng, Xiongbiao Cai, Huanjie Lu, Xiaoliang	2022 年 271 卷 112893 页	2022.1.17	Lu, Xiaoliang	Liu, Zhunqiao	刘准桥，赵峰，刘新杰，于强，王云霏，彭雄标，蔡焕杰，吕肖良	84	SCI	是

3	A SIF-based approach for quantifying canopy photosynthesis by simulating the fraction of open PSII reaction centers (qL)	Remote Sensing of Environment	Liu, Zhunqiao Guo, Chenhui Yu, Qiang Zhu, Peng Peng, Xiongbiao Dong, Mengqi Cai, Huanjie Lu, Xiaoliang	2024 年 305 卷 114111 页	2024.5.1	Lu, Xiaoliang	Liu, Zhunqiao	刘准桥，郭晨辉，于强，朱鹏，彭雄标，董梦琪，蔡焕杰，吕肖良	18	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	12	中国引文数据库	是

5	Estimation of global transpiration from remotely sensed solar-induced chlorophyll fluorescence	Remote Sensing of Environment	Yang, Jingjing Liu, Zhunqiao Yu, Qiang Lu, Xiaoliang	2024 年 303 卷 113998 页	2024.3.15	Lu, Xiaoliang	Yang, Jingjing	杨晶晶，刘准桥，于强，吕肖良	18	SCI	是

六、主要完成人情况

排名	姓名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目主要学术贡献
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

排名	单位名称	对本项目主要学术贡献
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、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	吕肖良 1，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，刘准桥 2，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，刘准桥 2，于强 3	2019 年-2024 年	A SIF-based approach for quantifying canopy photosynthesis by simulating the fraction of open PSII reaction centers (qL)	代表论文 3
4	论文合著	吕肖良 1，刘准桥 2，于强 3	2019 年-2024 年	Estimation of global transpiration from remotely sensed solar-induced chlorophyll fluorescence	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区域生态系统生产力和植被蒸腾评估。

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蒸腾评估的完整研究链条，成果发表在 Remote Sensing of Environment 和《植物生态学报》等国内外高水平期刊，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。

项目十六

一、**项目名称：**玉米自交系 KA105 培育、利用与遗传解析

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：

该技术针对玉米品种同质化严重，核心种源过度依赖国外种质、集中于少数几个骨干亲本，缺乏持续性的玉米种质扩增改良计划等瓶颈问题，以理论创新和技术创新为支撑，构建杂种优势新模式，历经 19 年持续攻关，率先开展持续性玉米种质扩增、改良与利用计划，首创了陕 A 群、陕 B 群两个杂种优势群，创新了协同育种模式与种质选择技术，创制出突破性玉米新种质 KA105。通过系统多维度的综合评价，明确了 KA105 的育种应用价值。以 KA105 为亲本，育成陕单 650、陕单 660、陕单 659 等玉米新品种 25 个（国审品种 5 个）。通过协议许可，以 KA105 为亲本或基础种质，创制了 53 份玉米新种质，育成新品种 27 个。获植物新品种权 5 件，授权专利 3 件，发表论文 22 篇，其中 SCI 收录 14 篇。在国内率先走出一条玉米种源自主创新的新路径，扩增了陕西、西北区及全国玉米种质基础，提升了种源创新能力。

提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。

三、**项目简介**

针对当前玉米品种同质化严重，核心种源过度依赖国外种质、“修饰/模仿”育种集中于少数几个骨干亲本，缺乏持续性的玉米种质扩增改良计划等制约种业发展的瓶颈问题，以理论创新和技术创新为支撑，构建杂种优势新模式，历经 19 年持续攻关，率先实施持续性的玉米种质扩增、改良和利用计划，首创了陕 A 群、陕 B 群两个杂种优势群，创新了协同育种模式，研发了“多点高密低氮干旱逆境选择+重要性状评价+基因组预测+配合力评价”的种质选择技术，创制出突破性玉米新种质 KA105。通过系统多维度的综合评价，明确了 KA105 的育种应用价值，有效破解了种源创新的“难点”和“堵点”，取得了突破性进展。

1. **首创了陕 A 群、陕 B 群两个杂种优势群。**通过组织模式创新，联合国内 40 余家单位开展 17 轮多点协同改良，创建了“五统两分”的种质多点联合改良与持续优化升级新模式，在国内率先走出一条玉米种源自主创新的新路径；创新提出“多点高密低氮干旱逆境选择+重要性状评价+基因组预测+配合力评价”的种质选择技术体系，育成重要性状协同的突破性玉米自交系 KA105。“创新协同育种新模式，科技赋能国家粮食安全”成功入选教育部“十四五”高校科技助力乡村振兴工程项目典型案例。

2. **创建了多地点多年份多处理多性状的精准鉴定平台和多维度综合评价技术，完成了**

玉米自交系 KA105 的基因组组装，挖掘了关键功能基因/位点 156 个，KA105 聚合了 55 个优良等位基因，为多性状协同的突破性新种质，独立于国内外主要种质类群。具有农艺性状优良、耐密（> 8000 株/亩）、抗旱（抗旱系数 0.89-1.02，中等抗旱）、耐低氮（耐低氮指数 0.95，高产高效型）、抗病（茎腐病：HR；穗腐病：HR；大小斑病：R；灰斑病：R）、抗倒伏（穗位系数 0.32）、宜机收（成熟期籽粒含水量< 23%）等突出特性，整体优于郑 58、昌 7-2、PH6WC、PH4CV 等骨干自交系；聚合了抗病（*RPPM*、*RPPC* 等）、抗旱（*ZmABH2*、*ZmNAC075*）、养分高效利用（*NNR4*、*NPF3.3*、*NRT1.1B* 等）、宜机收（*qKMC&AUDDC3*）等重要性状的有利等位基因，系统揭示了多性状协同的遗传基础。玉米自交系 KA105 作为一个新种质，为培育突破性玉米新品种提供了基础种源。

3. **以 KA105 为亲本，育成陕单 650、陕单 660、陕单 659 等玉米新品种 25 个（国审品种 5 个）。**所育品种具有耐密、高产、抗逆、广适、宜机收（田间倒伏率低、籽粒含水量低、籽粒破损率低、站秆时间长）等优良特性。其中，陕单 650、陕单 660 分别入选 2023 年、2025 年农业农村部《国家农作物优良品种推广目录》，并连续多年列入陕西省玉米品种布局意见重点推广品种。以 KA105 为底盘，创制了 KA115、KA215、KA028 等 8 份玉米新种质，育成新品种 5 个。

获植物新品种权 5 件、授权专利 3 件，发表论文 22 篇，其中 SCI 收录 14 篇。以 KA105 为亲本，育成玉米新品种 25 个，主要品种已累计推广 114.9 万亩，新增社会经济效益 6935.57 万元。通过协议发放 KA105 及以 KA105 为基础的第 9 轮~16 轮陕 A 群种质，向国家重点研发计划“七大农作物育种”重点专项的“西北耐密抗旱高产玉米新品种培育”项目参与单位、陕西省玉米育种协作组，以及国内科研院所和种子企业等 118 家单位累计发放 1328 份次；协作单位利用该种质创制新种质 45 份，育成新品种 22 个，累计推广 257.5 万亩。

四、 客观评价

1.与国内外相关技术的比较

序号	技术	优点与特色	附件证明
1	种质协同创新育种新模式	**种质协同创新育种新模式。首创**了陕 A 群、陕 B 群 2 个杂种优势群，创新“五统两分”的种质多点联合改良和持续优化升级新模式，联合国内 40 余家科研院所和优势企业建立了公益性共享的种质协同改良机制，开展了 17 轮多点联合改良，形成了理论、技术、材料和信息“四位一体”种质协同创新育种新模式，在国内率先走出一条玉米种源自主创新的新路径。	附件 1：典型案例+查新报告
2	种质选择与评价技	**（1）“多点高密低氮干旱逆境选择+重要性状评价+基因组预测+配合力评价”的种质选择技术。**与传统种质选择技术相比，强化逆境选择（多点、	附件 2：22 篇发表论

	术	高密、低氮、干旱），结合重要性状协同评价与基因组预测，实现耐密抗逆宜机收优异种质的精准筛选。 **（2）多性状多维度的精准鉴定评价平台。**整合耐密、抗逆、宜机收、高配合力等多性状评价指标，首次创新建立玉米骨干自交系多性状多维度精准鉴定平台，实现“经验选择”到“数字化选择”的跃进。相较于传统依赖于较少环境条件下少量性状的简单选择，鉴定更加精准，效率更高。	文（14 篇 SCI 文章）+查新报告
3	耐密抗逆宜机收玉米新种质	**（1）突破性新种质KA105。**玉米自交系KA105具有综合农艺性状优良、耐密、抗逆（抗旱、耐低氮、抗病、抗倒）、宜机收的特点，多性状协同，整体优于郑58、昌7-2、PH6WC、PH4CV等骨干自交系。与郑58、昌7-2、PH4CV、PH6WC等类群种质存在遗传距离，明确了KA105是一个新种质。 **（2）以KA105为底盘创制的玉米新种质。**创制的KA115、KA215、KA315、KA415、KA205、KA023、KA028、KA119等优良自交系，在耐密、抗逆（抗旱、耐低氮、抗病、抗倒）、宜机收等方面表现较好。	附件 3：植物新品种权证书+查新报告
4	育成新品种	**（1）丰产性。**育成品种比对照品种增产 5%以上。 **（2）耐密性。**育成品种耐密性强，如陕单 650 适宜密植超过 6000 株/亩，耐密系数达到 2.303。 **（3）抗逆性。**育成品种抗逆性强，如陕单 650 抗旱指数为 0.94，大田和旱棚条件下鉴定为抗旱品种；中抗大斑病、茎腐病。 **（4）宜机收。**育成品种籽粒脱水快，如陕单 650 适收期籽粒含水量 25.75%，通过国家黄淮海夏玉米机收组、东北春玉米机收组区域试验，入选黄淮海夏玉米（机收）五大核心展示综合表现优良品种。 **（5）广适性。**育成品种区域适配性强，适宜春夏播种植。陕单 650、陕单 660 入选《国家农作物优良品种推广目录》，列入陕西省玉米品种布局意见重点推广品种。	附件 4：审定证书+国家农作物优良品种推广目录+省品种布局意见

2. 国家相关部门正式作出的技术检测报告、验收意见、鉴定结论

（1）本技术第一完成人主持的“十三五”国家重点研发计划“七大农作物育种”重点项目“西北耐密高产抗旱玉米新品种培育”（2018YFD0100200），项目验收结论认为：该项目总体执行良好，项目构建了陕 A 群、陕 B 群两个杂种优势群，创新了玉米种质协同创新育种模式，按照一体化实施要求组建了技术实施小组，在解决我国玉米种质资源匮乏、创新能力不足等方面取得明显进展，为玉米密植高产机械化的应用奠定了良好基础。

（2）本技术第一完成人主持的国家重点研发计划项目“西北耐密高产抗旱玉米新品种培育”课题三“西北中部旱作区耐密高产抗旱玉米新品种培育”（2018YFD0100203），课题验收结论认为：通过项目一体化实施对陕 A 群和陕 B 群进行了 3 轮的协同改良，显著提升了群体抗旱、耐密、宜机收等特性；培育的玉米自交系 KA105 具有耐密、抗病、抗旱、籽粒脱水快、配合力高的特点，组配的 4 个品种通过审定。选育的玉米品种陕单 650 具有倒伏率低、水分含量低、机收破损率低、站秆时间长等宜机收特性。课题实施提升了西北区玉米育种水平，促进了西北区玉米生产方式转型。

3. 管理部门对育成新品种的评价

（1）陕单 650，通过了陕西省春夏播区，黄淮海夏玉米区和东华北春玉米区审定，完成了西北区春玉米区审定试验，2021 年入选黄淮海宜机收核心展示品种，2023 年入选农业农村部《国家农作物优良品种推广目录》苗头型品种（全国总共入选玉米品种 32 个），连续多年（2023-2026 年）列入陕西省玉米品种布局意见重点推广品种。

（2）陕单 660，通过了陕西省春夏播区，黄淮海夏玉米区和西北春玉米区审定，2025 年入选农业农村部《国家农作物优良品种推广目录》苗头型品种（全国总共入选玉米品种 41 个），连续两年（2025-2026 年）列入陕西省玉米品种布局意见重点推广品种。

五、应用情况和效益

5.1 应用情况

（1）以 KA105 为母本，培育了陕单 650、陕单 660 为代表的 25 个耐密抗逆高产宜机收玉米新品种

针对密植高产抗逆机械化的育种目标，以 KA105 为母本，与陕 B 群优良自交系组配，截至 2025 年 12 月自主育成陕单 650、陕单 660、陕单 639、陕单 620 等优良玉米新品种 25 个（审定证书 42 份）（表 1）。其中陕单 650、陕单 659 和陕单 660 累计推广面积 114.9 万亩。

表 1　截至 2025 年 12 月以 KA105 为母本育成了 24 个品种审定情况

序号	品种	父本	审定编号	序号	品种	父本	审定编号
1	陕单 608	KB085	陕审玉 20210055 号			KB089	国审玉 20210062
2	陕单 618	KB081	陕审玉 2015006 号			KB089	国审玉 20233004
3	陕单 619	KB020	陕审玉 2018001 号	12	陕单 660	KB089	陕审玉 2020011 号
		KB020	陕审玉 2020053 号			KB089	陕审玉 2020045 号
4	陕单 620	KB106	国审玉 20200264			KB089	陕审玉 20210017 号
		KB106	陕审玉 2018020 号			KB089	陕审玉 20210041 号
5	陕单 630	KB208	陕审玉 20220008 号	13	陕单 662	KB128	陕审玉 2020012 号
		KB208	陕审玉 20230031 号			KB128	陕审玉 2020046 号
6	陕单 632	KB074	陕审玉 20220065 号	14	陕单 669	KB109	陕审玉 2020061 号
7	陕单 635	KB019	陕审玉 20220050 号	15	陕单 673	KB066	陕审玉 20220044 号
8	陕单 638	KB204	陕审玉 2018019 号	16	陕单 679	KB179	国审玉 20220397
		KB024	国审玉 20200261	17	陕单 680	KB207	国审玉 20210530
		KB024	国审玉 20220117			KB207	陕审玉 2020027 号
		KB024	陕审玉 2018011 号	18	陕单 682	KB139	陕审玉 20210049 号
9	陕单 650	KB024	陕审玉 2019013 号	19	陕单 697	KB121	陕审玉 20220063 号
		KB024	陕审玉 2019035 号	20	陕单 916	KB210	陕审玉 20230027 号
		KB024	陕审玉 20210055 号	21	陕单 919	KB076	陕审玉 20253011 号
		KB024	陕审玉 20230017 号	22	陕单 920	KB073	陕审玉 20230013 号
10	陕单 658	KB025	陕审玉 2019001 号	23	陕单 929	KB077	陕审玉 20241028 号
11	陕单 659	KB107	陕审玉 2020010 号	24	陕单 950	KB027	陕审玉 20251008 号
		KB107	陕审玉 2020042 号	25	陕单 939	KB021	陕审玉 20251017 号

（2）以 KA105 为底盘，团队创制了 8 份玉米新自交系，育成 5 个玉米新品种

以本技术发明创制的新种质 KA105 为底盘，经过轮回选择与群体改良，创制了 KA115、KA215、KA315、KA415、以及 KA205、KA023、KA028、KA119 等系列自交系 8 份。以 KA115、KA215 和 KA205 为亲本，已育成陕单 656（陕审玉 20210019 号）、陕单 690（陕审玉 20230026 号）、陕单 925（陕审玉 20241027 号）、陕单 956（陕审玉 20241019 号）、陕单 923（陕审玉 20253003 号）等 5 个优良新品种。

（3）协议单位利用 KA105 组配新品种（组合）11 个

通过协议许可，宁夏农林科学院、渭南市农科院、榆林市农科院等单位直接利用 KA105 组配了宁单 63 号、榆玉 9 号、榆玉 19 号、渭科 15、银玉 143、榆玉 8 号、宝研玉 216、宝研玉 218、安科 116、安科 212、新科 2018 等 11 个新品种（组合），其中宁单 63 号（宁审玉 20250001）、榆玉 9 号（陕审玉 2020048 号）、榆玉 19 号（陕审玉 20230016 号）、渭科 15（陕审玉 20230029 号）4 个组合通过品种审定。

（4）基于 KA105 构建的基础群体，创制种质 13 份，育成新品种（组合）28 个

通过协议许可，国内 78 家科研院所和优势企业利用 KA105 为亲本组建群体，初步统计，19 家单位创制了宝 A17062、AY168、M6 等 13 份优异种质，组配榆玉 1 号、宝研玉 226、安科 218 等 28 个品种（组合），其中渭科 12（陕审玉 20230048 号）、成单 873（川审玉 20242020）、满世通 301（蒙审玉 2024041 号）、榆玉 1 号（陕审玉 20190021 号）、榆玉 16 号（陕审玉 20220011 号）、榆玉 21 号（陕审玉 20251007 号）等 6 个通过品种审定，累计推广 98.5 万亩。

（5）以 KA105 基础种质第 9 轮~16 轮陕 A 群创制玉米新种质 32 份，组配新品种（组合）29 个

通过协议免费发放，国内 40 余家科研院所和优势企业利用以 KA105 为基础的第 9 轮~16 轮陕 A 群种质，创制了 Z39-3、NW23065、2016BJA5 等 32 份优异新种质，组配了陇单 639、银玉 2522、榆玉 3 号等 54 个新品种（组合），其中京丰 878（国审玉 20253269）、华盛 276（国审玉 20253269）、新科 851（国审玉 20241032）、新科 871（国审玉 20243455）、陇单 639（甘审玉 20230024）、安科 126（陕审玉 2020019 号）、安科 156（陕审玉 2025018 号）、榆玉 2 号（陕审玉 2018022 号）、榆玉 3 号（陕审玉 2020014 号）、榆玉 6 号（陕审玉 2019037 号）、渭科 16（陕审玉 20230014 号）、新科 811（陕审玉 20241029 号）等 12 个品种通过审定，累计推广 257.5 万亩。

5.1 效益

（1）经济效益

利用本技术创制的突破性新种质 KA105 为母本，团队自主育成陕单 650、陕单 660、陕单 659 等优良玉米品种 25 个。其中，2022 年陕单 650 以 200 万元授权杨凌秦丰种业股份有限公司品种生产、经营；2024 年陕单 660 以 100 万元授权河南东丰种业有限公司品种生产、经营；2021 年陕单 659 以 10 万元授权榆林市海丰种业有限责任公司品种生产、经营。三个品种累计推广面积 114.9 万亩，累计增产 3302.65 万公斤，新增社会经济效益 6935.57 万元。

（2）社会效益

率先实施持续性的玉米种质改良计划，创新协同育种模式，首创陕 A 群、陕 B 群两个杂种优势群。该项目率先组织实施了持续性的种质改良计划，破解了我国玉米种质遗传基础狭窄、协同创新难等瓶颈问题。2007 年开始，以郑单 958、先玉 335、农大 108 和登海 601 等 4 个优势品种为基础，通过复合杂交构建遗传基础丰富、性状互补的综合种，以理论创新、技术创新为支撑，聚焦耐密高产抗逆宜机收育种重要性状，简化杂种优势模式，实

施两向分群，首创了陕 A 群、陕 B 群 2 个杂种优势群。实施“五统两分”（统一技术方案、统一构建群体、统一选择标准、统一多点鉴定、统一交流信息，分别管理、分别选系测配），通过协议免费发放两个杂种优势群，联合国内科研院所和优势企业，建立了公益性共享的种质协同改良机制。在“十三五”国家重点研发计划“西北耐密高产抗旱玉米新品种培育”、“十四五”国家重点研发计划“西北耐密抗逆宜机收玉米新种质创制与应用”项目成员单位、陕西省玉米育种协作组和陕西省春玉米商业化育种联合体等平台发放，推进了玉米种质的实质性共享和交流，建立了良好的种质材料管理系统和联合协同创新体系。自种质改良计划实施以来，联合 40 余家科研院所和优势企业连续开展了 17 轮（2009~2025 年）多点联合改良，扩增了陕西、西北区及全国玉米种质基础，提升了种源创新能力。2024 年“创新协同育种新模式，科技赋能国家粮食安全”入选教育部“十四五”高校科技助力乡村振兴工程项目典型案例，该育种协作新模式为国内联合育种树立了标杆，提供了可复制、可推广的重要范式。

创新多性状多维度的精准评价技术。整合耐密、抗逆、宜机收、高配合力等多性状评价指标，通过多年多点分别开展密度梯度、控水、氮胁迫、病害鉴定、籽粒水分动态评价、自交系配合力测试等试验，综合第一性状（产量及其构成因子）、第二性状（耐密系数、抗旱指数、耐低氮指数、发病等级、脱水速率、一般配合力），创新建立玉米种质多性状多维度精准鉴定平台与综合评价技术，有效解决了现有种质评价中评价环境单一、评价性状偏少、选择方法简单、选择精度偏低的问题，实现了基础材料创制从“经验选择”到“数字化选择”的转型，从“单一目标”向“多维协同”的跨越，为培育综合性状优良的突破性种质提供了技术保障。该技术应用于“十三五”国家重点研发计划“西北耐密高产抗旱玉米新品种培育”、“十四五”国家重点研发计划“西北耐密抗逆宜机收玉米新种质创制与应用”项目，开展耐密抗逆宜机收新种质的鉴定评价和创制。该技术为我国玉米种质资源精准鉴定提供了重要的方法支撑。

应用多性状协同的突破性种质 KA105，创制了 53 份优异种质，育成 52 个优良品种，促进种质创新。通过多性状多维度的精准评价、基因组组装、重要性状有利等位基因富集以及专家现场鉴定（中国农业大学李建生教授等 5 位专家），明确了 KA105 是一个耐密、抗逆、宜机收、高配合力的多性状协同改良的新种质。团队以 KA105 及其改良系（8 份）为亲本，自主育成玉米新品种 30 个，其中陕单 650、陕单 660 玉米新品种具有耐密、高产、抗逆、广适、宜机收（田间倒伏率低、籽粒水分低、籽粒破损率低、站秆时间长）等优势，分别入选 2023 年和 2025 年农业农村部《国家农作物优良品种推广目录》，连续多年列入陕西省玉米品种布局意见重点推广品种，突破了玉米全程机械化生产的宜机收品种短缺的瓶颈，推动了西北区玉米生产方式的转型。

通过协议许可，向国内 78 家科研院所和优势企业发放 KA105 种质，以 KA105 为亲本组配 11 个品种（组合），其中 4 个通过审定。以 KA105 为亲本创制 13 份优异种质，组配 28 个品种（组合），其中 6 个通过审定，累计推广 98.5 万亩。通过协议免费发放，向国内 40

余家科研院所和优势企业发放以 KA105 为基础的第 9 轮~16 轮陕 A 群种质，创制 32 份优异新种质，组配 54 个新品种（组合），其中 12 个通过审定（其中 5 个国审），累计推广 257.5 万亩。这些共享种质在多个生态区表现出良好的适应性和育种潜力，显著提升了合作单位的育种效率，形成了“核心种质共享—协同创新攻关—成果转化应用”的良性循环，这一开放共享模式打破了种质资源共享壁垒，提升了种源创新能力。

（3）生态效益

该技术针对我国西北区气候干旱、土壤贫瘠、生物胁迫加剧等不利因素，创制耐密性抗逆性（抗旱、耐低氮、抗病）强的突破性新种质 KA105 及其改良系，育成耐密抗逆高产宜机收陕单系列优良新品种，有利于实现“少施肥、少打药、少灌水、机械化”的绿色高效生产目标，优化了农田生态环境，促进了农业可持续发展。

六、主要知识产权目录（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	KA105	中国	CNA20161570.6	2021 年 12 月 30 日	第 2021018260 号	西北农林科技大学	薛吉全；张兴华；郝引川；张仁和；郭东伟
2	植物新品种权	陕单 650	中国	CNA20183849.5	2020 年 7 月 27 日	第 2020014579 号	西北农林科技大学	薛吉全；张兴华；郝引川
3	植物新品种权	陕单 620	中国	CNA20184332.7	2020 年 7 月 27 日	第 2020014584 号	西北农林科技大学	薛吉全；张兴华；郝引川
4	植物新品种权	陕单 619	中国	CNA20184327.4	2020 年 7 月 30 日	第 20200145 81 号	西北农林科技大学	薛吉全；张兴华；郝引川
5	植物新品种审定证书	陕单 650	中国	国审玉 20200261	2020 年 11 月 26 日	2020-2-0808	西北农林科技大学	薛吉全；张兴华；郝引川；徐淑兔
6	植物新品种审定证书	陕单 660	中国	国审玉 20233004	2023 年 11 月 19 日	2023-2-0686	西北农林科技大学	薛吉全；张兴华；郝引川；徐淑兔
7	发明专利	玉米籽粒脱水主效 QTL 的连锁分子标记开发及其应	中国	ZL202311121963.2	2025 年 12 月 25 日	证书号第 8519246 号	西北农林科技大学	徐淑兔；薛吉全；张浩；马梁川；张兴华

		用						
8	发明专利	用于检测玉米茎腐病的核酸序列及检测方法	中国	ZL 2023 11448074 .7	2025 年 10 月 17 日	第 8371198 号	西北农林科技大学	杨琴；张智超；赵雅琪；于尧；杨晓慧；邰欢欢；王哲；毛鑫锋 薛吉全
9	发明专利	用于鉴定玉米中提高茎腐病抗性的分子标记及鉴定方法	中国	ZL 2023 11448072 .8	2025 年 10 月 17 日	第 8365771 号	西北农林科技大学	杨琴；张智超；张丁芳；于尧；李相瑛；赵子麒；邰欢欢；王哲； 薛吉全
10	论文	Genome assembly of KA105, a new resource for maize molecular breeding and genomic research	中国	11 (2023) 1793–18 04	2023 年 9 月 22 日	/The Crop Journal	西北农林科技大学	李婷；徐淑兔*；赵佳文；王亚鹏；张君；魏鑫；渠建洲；于芮苏；张兴华；马闯*；薛吉全*

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	薛吉全	教　授	西北农林科技大学	负责项目的总体设计，全过程参与项目的各项工作。首创陕 A 群、陕 B 群两个杂种优势群，组织开展多点联合改良，以第一完成人育成 KA105 自交系，培育陕单 650、陕单 660、陕单 620 等 17 个品种。
2	张兴华	研究员	西北农林科技大学	具体实施陕 A 群、陕 B 群的多点联合改良和自交系的选育工作，以第二完成人育成 KA105，陕单 650，陕单 660 等自交系和杂

				交种。以第一完成人培育陕单 679、陕单 659、陕单 638 等 6 个品种。
3	徐淑兔	副教授	西北农林科技大学	具体负责陕 A 群、陕 B 群种质的鉴定与评价，系统评价了 KA105 重要性状的遗传基础，以第一完成人培育陕单 669、陕单 697 等 2 个品种。
4	马　闯	副校长/教　授	西北农林科技大学	具体负责 KA105 基因组组装与籽粒脱水的遗传解析
5	杨　琴	教　授	西北农林科技大学	具体负责 KA105 抗病性的遗传评价与基因挖掘
6	朱万超	副教授	西北农林科技大学	具体负责 KA105 耐密性的遗传评价与基因挖掘，多性状有利等位基因的聚合

八、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	实施持续性的玉米种质扩增、改良、利用计划，首创了陕 A 群、陕 B 群两个杂种优势群、育种模式与种质选择技术，创制出突破性玉米新种质 KA105。通过系统多维度的综合评价，明确了 KA105 的育种应用价值。以 KA105 为亲本，育成陕单 650 等玉米新品种 25 个（国审品种 5 个）。通过协议许可发放 KA105，以 KA105 为亲本或基础种质，创制了 53 份玉米新种质，育成新品种 27 个。获植物新品种权 5 件，授权专利 3 件，发表论文 22 篇，其中 SCI 收录 14 篇。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	薛吉全 1，张兴华 2	2007 年 1 月-2008 年 12 月	玉米新品种选育及关键技术研究	项目任务书
2	共同立项	薛吉全 1，张兴华 2	2011 年 1 月-2013 年 12 月	陕西省“13115”科技创新工程重大科技专项“玉米新品种选育及关键技术研究	项目任务书
3	共同立项	薛吉全 1，张兴华 2，徐淑兔 3	2017 年 1 月-2019 年 12 月	优异种质资源与育种关键技术创新	项目任务书
4	共同立项	薛吉全 1，徐淑兔 3	2018 年 6 月-2021 年 6 月	西北耐密高产抗旱玉米新品种培育	项目任务书
5	共同立	薛吉全 1，张兴	2022 年 1 月	“两链融合”	项目任务书

	项	华 2，徐淑兔 3，杨琴 5	-2024 年 12 月	专项陕西省重点研发计划定向委托“玉米种业创新工程项目”	
6	共同立项	薛吉全 1，徐淑兔 3，马闯 4，朱万超 6	2024 年 10 月-2027 年 9 月	玉米耐密高产全基因组选择技术创新与应用	项目任务书
7	共同立项	徐淑兔 3，杨琴 5，朱万超 6	2024 年 10 月-2027 年 9 月	玉米高效生物育种技术整合、创新及应用	项目任务书
8	共同立项	薛吉全 1，张兴华 2，徐淑兔 3，马闯 4，杨琴 5	2022 年 5 月-2025 年 12 月	西北农林科技大学“双一流”学科群创新团队	项目申请书和任务书
9	共同知识产权	薛吉全 1，张兴华 2	2007 年-至今	KA105	植物新品种权证书
10	共同知识产权	薛吉全 1，张兴华 2	2007 年-至今	陕单 650	植物新品种权证书
11	共同知识产权	薛吉全 1，张兴华 2	2007 年-至今	陕单 620	植物新品种权证书
12	共同知识产权	薛吉全 1，张兴华 2	2007 年-至今	陕单 619	植物新品种权证书
13	共同知识产权	薛吉全 1，张兴华 2，徐淑兔 3	2007 年-至今	陕单 650	品种审定证书
14	共同知识产权	薛吉全 1，张兴华 2，徐淑兔 3	2007 年-至今	陕单 660	品种审定证书
15	共同知识产权	薛吉全 1，张兴华 2，徐淑兔 3	2013 年-至今	玉米籽粒脱水主效 QTL 的连锁分子标记开发及其应用	专利授权证书
16	共同知识产权	薛吉全 1，杨琴 5	2018 年-至今	用于检测玉米茎腐病的核酸序列及检测方法	专利授权证书
17	共同知识产权	薛吉全 1，杨琴 5	2018 年-至今	用于鉴定玉米中提高茎腐病抗性的分子标记及	专利授权证书

				鉴定方法	
18	共同知识产权	薛吉全 1，张兴华 2，徐淑兔 3，朱万超 6	2023 年-至今	自噬相关蛋白 ZmATG8c 及其编码基因在调控植物耐热性中的应用	专利授权证书，未列入附件
19	论文合著	薛吉全 1，张兴华 2，徐淑兔 3，马闯 4	2014 年-至今	Genome assembly of KA105, a new resource for maize molecular breeding and genomic research	学术论文
20	论文合著	薛吉全 1，徐淑兔 3，马闯 4	2014 年-至今	Time-resolved multiomics analysis of the genetic regulation of maize kernel moisture	未列入附件
21	论文合著	薛吉全 1，杨琴 5	2018 年-至今	Identification and validation of novel and stable QTL for Gibberella stalk rot resistance in maize inbred KA105	未列入附件
22	论文合著	薛吉全 1，徐淑兔 3，朱万超 6	2014 年-至今	QTL mapping for plant height and ear height using bi-parental immortalized heterozygous populations in maize	未列入附件

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

本项目研究全过程由第一完成人薛吉全教授统筹主持。薛吉全教授结合当前玉米种业种质同质化严重、核心种源对外依赖、种质改良体系不完善等行业现存技术瓶颈，提出本项目原始创新思路，确定玉米种质扩增改良、杂种优势群创新、突破性种质创制与品种培育的总体技术方案，主导陕 A 群、陕 B 群杂种优势群创建、KA105 新种质创制、多性状协同育种技术体系构建等各个核心发明点的构思与方案论证，负责项目技术总体集成、研究方向整体把控与国内外 118 家协作单位研究力量统筹协调，全程牵头项目 19 年持续攻关工作，是本项目技术发明与成果落地的总负责人。

项目其他完成人在第一完成人的组织指导下分工开展创造性研究工作，各司其职、协同攻关，全程深度参与项目基础研究、技术创新、种质创制与品种推广全流程：针对创新点 1（陕 A 群、陕 B 群杂种优势群创建与协同育种模式创新），张兴华研究员具体负责两大杂种优势群多点协同改良的落地实施、多轮次种质优化升级及 KA105 自交系、多个主推杂交种的选育工作，落地“五统两分”联合改良新模式；针对创新点 2（多维度精准鉴定平台搭建与 KA105 种质遗传基础解析），徐淑兔副教授全面负责种质资源多性状精准鉴定、多维度综合评价工作，系统解析 KA105 重要性状遗传基础，马闯教授专注 KA105 基因组组装、玉米籽粒脱水关键性状遗传解析工作，杨琴教授牵头开展 KA105 抗病性种质评价与抗病关键基因挖掘，朱万超副教授聚焦 KA105 耐密性遗传评价、多性状优良等位基因聚合与耐低氮、抗逆相关遗传机理研究；针对创新点 3（突破性玉米新品种培育与种质产业化应用），张兴华研究员、徐淑兔副教授分别牵头多个玉米新品种的选育、审定与推广工作，全体成员共同完成种质资源共享、试验示范、技术优化及知识产权成果凝练等工作。

研究过程中，第一完成人与各完成人定期开展技术研讨、试验复盘，针对种质改良逆境筛选、功能基因挖掘、多性状协同育种、品种适配性优化等核心技术难题共同分析研判、迭代改进；各完成人之间密切配合、优势互补，有序完成种质创制、基因鉴定、性状评价、品种选育、示范推广、知识产权申报、论文发表等全链条工作。全体完成人历经 19 年持续协同攻关，分工明确、衔接紧密，共同完成整套玉米种质创新与品种培育技术体系研发，最终形成本项目系列突破性技术成果、知识产权及产业化应用成效。

项目十七

一、**项目名称：**羊基因编辑精准育种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：种业是农业的“芯片”，是保障国家粮食安全和重要农产品供给的战略性资源。习近平总书记多次强调，要下决心把我国种业搞上去，抓紧培育具有自主知识产权的优良品种。基因编辑技术作为颠覆性、引领性、前沿性生物育种技术，应用前景广阔，已成为国际生物种业竞争的战略焦点。本项目团队针对我国动物基因编辑核心工具“卡脖子”难题和羊基因编辑育种技术瓶颈，历经十余年攻关，自主开发了系列基因编辑新工具，构建了安全高效的羊基因编辑育种技术体系，创制了世界最大规模的基因编辑羊种质资源群体，为占领羊生物育种制高点、保障我国羊种业安全提供了有力技术支撑。项目技术发明点清晰，原创性强，应用效益显著，推广前景广阔。

提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。

三、**项目简介：**

针对我国动物基因编辑工具自主化程度低、羊基因编辑育种体系不完善等瓶颈，历经十余年攻关，建立羊基因编辑精准育种关键技术体系。主要技术发明点：

1. **建立三代动物基因编辑技术平台，开发系列自主高效新工具。**国际上首次建立 CRISPR/St3Cas9 系统；深度改造 Un1Cas12f1，开发微型高效工具 enUn1Cas12f1；理性设计 NlovFz2，开发新型非 CRISPR 工具 enNlovFz2；开发 TSminiCBE 碱基编辑工具；开发增强型 eDdCBE 和 eTALED 线粒体 DNA 编辑工具；突破 PE 引导编辑技术瓶颈，开发 ePE、xrPE、uPEn 等自主高效新工具。

2. **集成三类配套技术，建立完备动物基因编辑配套技术体系。**开发多基因/多位点打靶技术；将 Rad52 引入 CRISPR/Cas9 系统，开发供体适配基因编辑技术，提升 HDR 精准编辑效率；建立双等位基因精准编辑技术；建立 SSA-RPG、HDR-USR、TLR 等系列阳性细胞报告富集筛选技术。

3. **整合五类关键技术，构建安全高效的羊基因编辑育种技术体系。**优化羊只超数排卵、胚胎注射和移植程序，建立基因编辑羊生产性能监测和快速扩繁技术体系，入选农业农村部主推技术 1 项；系统评价基因编辑羊及相关产品安全性；首次利用 RGN、BE 和 PE 技术创制 8 类综合性状优良的基因编辑羊育种新材料，是世界上规模最大的基因编辑羊育种资源群体，部分中间试验已通过农业农村部审批。

获批授权发明专利 10 余项，在 *Nature Communications*、*Cell Research* 等期刊发表高水平论文 30 余篇，技术成果达到国际领先水平。

四、**客观评价：**

1. 科技项目验收评价

项目得到转基因生物新品种培育重大专项、国家自然科学基金、陕西省重点研发计划等支持，均已完成结题验收。2020 年 12 月，"CRISPR/Cas9 介导的新型双等位无筛选标记转基因技术"通过农业农村部综合绩效评价，初步建立羊、猪和鸡等畜禽体细胞双等位无筛选标记转基因技术体系。2024 年 5 月，"羊 ABE 单碱基编辑系统的优化和安全评价"通过陕西省科技厅结题验收，获得单碱基突变且无脱靶效应的绵羊群体。

2. 学术同行引用与评价

5 篇代表性论文被 *Nature*、*Cell*、*Nature Biotechnology* 等国际期刊广泛引用，累计被引 570 余次。CRISPR/St3Cas9 系统是我国首个自主开发的 CRISPR/Cas9 基因编辑系统，被朱健康院士、韩国 Sang Yup Li（李相烨）院士等引证。ePE、xrPE 等增强型引导编辑工具被 PE 技术发明人 David Liu 等积极评价。美国加州大学 Davis 分校 Alison Eenennaam 教授在 *Nature Biotechnology* 论文中借鉴了项目组开发的基因编辑动物家系遗传变异评估方法。周琪院士、季维智院士等在 *National Science Review* 综述中对项目组基因编辑羊工作给予积极评价。ePE、St3Cas9 等相关工具载体被全球规模最大的质粒共享平台 Addgene 收录，对全球开放共享，被 30 余家科教单位申请分享。

五、 应用情况和效益

1. 应用情况

基因编辑技术体系共享：ePE、St3Cas9 等工具载体被 Addgene 收录，与瑞典卡罗林斯卡学院、清华大学等 10 余个国内外科研院所进行技术共享，涉及小鼠、猪、羊、鱼、昆虫等多个物种。

羊生物育种示范推广：在宁夏、甘肃、新疆等主产区进行关键技术示范，辐射全国 10 个省区。联合优势育种企业开展农业农村部审批的多个基因编辑羊中间试验，形成世界上规模最大、近千只的基因编辑羊育种资源群体。

人才培养与学科建设：培养国家级青年人才 4 人，博士、硕士研究生 30 余名。获批农业农村部动物生物育种国际联合研究中心、陕西省家畜基因编辑育种工程技术研究中心等平台，支撑草食家畜育种全国重点实验室（筹）和畜牧学一流学科建设。

2. 经济效益和社会效益

经济效益：基因编辑羊育种新材料可显著提升产绒量、产肉量和繁殖性能，预计每只羊平均可新增经济效益 150 元，未来绒山羊和滩羊产业中 10%的羊只被基因编辑羊替代，将产生数亿元的经济效益。基因编辑工具和技术服务已实现部分转化，未来经济效益前景广阔。

社会效益：建立独立自主的动物基因编辑技术体系，打破国外专利限制，解决核心工具"卡脖子"难题，保障我国种业安全。创制的世界最大规模基因编辑羊种质资源群体对占领

动物生物育种制高点具有重要战略意义。项目良种繁育模式促进农牧民增收和乡村振兴，显著提升了我国在动物基因编辑育种领域的国际话语权和影响力。

六、主要知识产权目录（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	一种胞嘧啶脱氨编辑器及编辑系统	中国	ZL202510042739.7	2025.06.10	第7989429号	西北农林科技大学	王小龙;宋梓虢;郭俊璠;陈炳春;黄行许
2	发明专利	一种优化的NlovFz2- ωRNA 编辑系统	中国	ZL202411627205.2	2025.08.01	第8119888号	西北农林科技大学	魏迎辉;徐坤;王小龙;郑文新;高鹏飞;李尚朴;吴伟伟; 姜鹤楠;岳阳;伍振旻;杨冲;任宇佳
3	发明专利	一种生产 FecB 基因 g.A746G 定点突变绵羊的试剂盒及其方法	中国	ZL202111586529.2	2024.07.02	第7161520号	西北农林科技大学	王小龙;周世卫;陈玉林;高亚伟;王倩;蔡蓓
4	发明专利	一种增强基因表达的自激活 Gal4/UAS 系统表达盒的建立	中国	ZL201710381327.1	2020.05.19	第3805693号	西北农林科技大学	徐坤;刘玉万;张智英;闫娜娜;雒志新;韩宝泉;李欣憶;张晓兰
5	发明专利	基于 CRISPR/Cas9 的外源基因敲入整合系统及其建立方法和应用	中国	ZL201610803246.4	2019.10.08	第3549404号	西北农林科技大学	张智英;吴芸;徐坤;白义春;吕慧娇
6	研究论文	Noncanonical target-strand cytosine base editing via engineered Un1Cas12f1 platform	中国	Nat Commun. 2025, 16(1):9499.	2025.10.28	*Nature Communications*	西北农林科技大学等	宋梓虢;郭俊璠;樊占青;黄淑泓;李广磊;赵子畅;陈炳春;黄诗圣;郑文新;魏迎辉;陈玉林;黄行许;刘江怀;吴丽娜;王小龙
7	研究论文	Enhancement of prime editing via xrRNA motif-joined pegRNA	中国	Nat Commun. 2022, 13(1):1856.	2022.04.06	*Nature Communications*	南京大学、西北农林科技大学等	张贵泉;刘尧; 黄诗圣;瞿诗媛;程道林;姚远;季泉江;王小龙;黄行许;刘江怀

8	研究论文	Enhancing prime editing by Csy4-mediated processing of pegRNA	中国	Cell Res. 2021, 31(10):1134-1136.	2021.10.01	*Cell Research*	西北农林科技大学等	刘尧;仰光;黄舒泓;李向阳;王欣;李广磊;池天;陈玉林;黄行许;王小龙
9	研究论文	Efficient generation of mouse models with the prime editing system	中国	Cell Discov. 2020, 6:27.	2020.04.28	*Cell Discovery*	西北农林科技大学等	刘尧;李向阳;何思婷;黄舒泓;李超;陈玉林;刘真;黄行许;王小龙
10	研究论文	Efficient glycosylase-mediated base editing with minimal off-target effects in mammalian embryos	中国	Genome Biol. 2025, 26(1):360.	2025.10.21	*Genome Biology*	西北农林科技大学等	魏迎辉;曹锡;黄舒泓;岳阳;罗沐华;刘祖江;刘波;张骐镜;吴阳升;汪立芹;林嘉鹏; 陈玉林;郑文新;吴伟伟;徐坤;王小龙

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	王小龙	处长/教授	西北农林科技大学	负责项目总体设计和技术攻关，对第1、3项技术发明点作出创造性贡献。主导开发了TSminiCBE碱基编辑新工具，ePE、xrPE、uPEn等PE引导编辑新工具；集成三类配套技术，构建安全高效的羊基因编辑育种技术体系；创制世界最大规模基因编辑羊育种资源群体。是发明专利1、2、3的发明人，论文6、7、8、9、10的通讯作者。
2	徐　坤	副教授	西北农林科技大学	对第1、2项技术发明点作出重要贡献。开发St3Cas9、enNlovFz2等RGN基因编辑底盘工具；开发Gal4/UAS增强激活系统、CRISPR/Cas9- Gal4BD供体适配基因编辑系统、系列报告富集筛选技术等配套技术。是发明专利2、4、5的发明人，论文10的通讯作者。
3	魏迎辉	教授	西北农林科技大学	对第1、3项技术发明点作出重要贡献。参与开发enUn1Cas12f1、enNlovFz2、TSminiCBE、eDdCBE和eTALED等基因编辑工具；创制AYBE和gGBE基因编辑羊育种新材料。是发明专利2的发明人，论文10的第一作者，论文6的作者。
4	周世卫	副研究员	西北农林科技大学	对第3项技术发明点作出重要贡献。负责基因编辑羊制备和中试，参与基因编辑羊繁育、生产性能监测和快速

				扩繁，建立基因编辑羊育种档案。是发明专利 3 的发明人。
5	刘江怀	教授	南京大学	对第 1 项技术发明点作出重要贡献。与项目团队合作开展 enUn1Cas12f1、TSminiCBE、xrPE 等基因编辑新工具研发。是论文 6、7 的通讯作者。
6	刘　尧	助理研究员	西北农林科技大学	对第 1 项技术发明点作出重要贡献。开发 ePE、xrPE 等 PE 引导编辑新工具，构建首个 PE 技术介导的哺乳动物模型。是论文 7、8、9 的共一/第一作者。

八、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	作为项目主持单位和第一完成单位，全面负责项目设计、组织实施和条件保障。依托草食家畜育种全国重点实验室（筹）等平台，在基因编辑工具自主研发、羊基因编辑育种技术体系构建、基因编辑羊创制与安全性评价等方面发挥核心作用；联合企业开展中间试验和示范推广，推动成果转化，为项目完成提供了必不可少的人力、物力和财力支持。
2	南京大学	作为合作完成单位，在 enUn1Cas12f1、TSminiCBE、xrPE 等基因编辑工具研发方面与项目组开展深度合作，提供理论指导和技术支持，合作发表 *Nature Communications* 高水平期刊论文，共同推进基因编辑技术创新。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	王小龙/1 徐　坤/2 魏迎辉/3 周世卫/4	2023.09-2025.12	农业生物育种重大专项课题	课题任务书
2	共同获奖	王小龙/1 徐　坤/2 周世卫/4 刘江怀/5 刘　尧/6	2023.01-2025.04	大北农科技奖二等奖	获奖证书
3	共同知识产权	王小龙/1 徐　坤/2 魏迎辉/3	2023.01-2025.08	发明专利：一种优化的 NlovFz2- ωRNA 编辑系统	发明专利 2
4	共同知识产权	王小龙/1 周世卫/4	2021.01-2024.07	发明专利：一种生产 FecB 基因 g. A746G 定点突变绵羊的试剂盒及其方法	发明专利 3

5	论文合著	王小龙/1 魏迎辉/3 刘江怀/5	2023.01- 2025.10	研究论文： Noncanonical target-strand cytosine base editing via engineered Un1Cas12f1 platform	研究论文 6
6	论文合著	王小龙/1 刘江怀/5 刘　尧/6	2020.01- 2022.04	研究论文： Enhancement of prime editing via xrRNA motif-joined pegRNA	研究论文 7
7	论文合著	王小龙/1 刘　尧/6	2018.01- 2021.10	研究论文： (1) Enhancing prime editing by Csy4-mediated processing of pegRNA (2) Efficient generation of mouse models with the prime editing system	研究论文 8、9
8	论文合著	王小龙/1 徐　坤/2 魏迎辉/3	2023.01- 2025.10	研究论文：Efficient glycosylase-mediated base editing with minimal off-target effects in mammalian embryos	研究论文 10
9	产业应用合作	王小龙/1 魏迎辉/3 周世卫/4 刘　尧/6	2021.01- 至今	PE 基因编辑羊	应用证明

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

项目第一完成人王小龙教授为西北农林科技大学羊遗传改良与生物育种团队负责人，徐坤、魏迎辉、周世卫和刘尧为团队骨干成员，团队长期围绕动物基因编辑技术及羊生物育种开展研究工作，并与南京大学刘江怀教授保持深度合作。王小龙教授与团队人员徐坤、魏迎辉共同开发系列基因编辑新工具及配套技术，共享发明专利，共同发表 Genome Biology 期刊论文；与团队成员周世卫、魏迎辉联合开展基因编辑羊育种应用研究，共同推进了多项基因编辑绵羊制备及中试工作；指导博士研究生刘尧与南京大学教授刘江怀合作开展 PE 基因编辑工具创新，共同发表 Nature Communications 等高水平论文。徐坤、魏迎辉在基因编辑底盘及配套技术方面与王小龙密切配合，共同完成多个基因编辑工具的自主开发。周世卫、魏迎辉在基因编辑羊制备方面与王小龙协同攻关，并负责基因编辑羊的育种应用和群体扩繁。刘尧在王小

龙、刘江怀指导下进行 PE 基因编辑工具创新，并配合周世卫、魏迎辉进行 PE 基因编辑羊创制工作。团队成员共同荣获第十三届大北农科技奖二等奖。各完成人通过共同承担国家重大专项、合著学术论文、共享知识产权、开展产业应用、共同荣获科技奖励等方式，形成了紧密的产学研合作关系网络，促进了本项目相关技术发明的形成和实施应用。

项目十八

一、项目名称：固氮抗逆微生物资源挖掘与高效利用关键技术及应用

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：

土壤微生物是提升耕地质量和保障国家粮食安全的重要战略性生物资源。我国中低产田面积大，干旱、盐渍化等环境胁迫突出，固氮抗逆功能微生物高效开发利用对促进化肥减量增效、提升耕地产能和农业绿色发展具有重要意义。项目组面向国家粮食安全和农业绿色发展重大需求，长期开展固氮抗逆功能微生物资源开发与利用技术攻关，创建了功能微生物高效发掘与精准筛选、合成菌群精准构建与根际定殖增效、菌剂高密度发酵与稳定储存等关键技术，实现了从优良菌种获取、功能菌群设计到菌剂产品创制与田间应用的系统创新。项目授权发明专利 23 件，发表 SCI 论文 37 篇，相关成果得到国内外同行高度评价，系列产品实现规模化生产和大面积推广应用，取得了显著的经济、社会和生态效益。

提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。

三、项目简介：

土壤微生物在提升耕地质量、保障国家粮食安全中发挥着重要作用，已成为国家重要战略性资源。我国中低产田面积大，干旱、盐渍化等环境胁迫制约耕地产能提升和农业可持续发展。生物固氮是农业生态系统氮素供给的重要过程，开发具有高效固氮、抗旱、耐盐等功能的微生物资源，是减少化学氮肥投入、提升中低产田产能和推动农业绿色发展的重要技术途径。长期以来，固氮抗逆功能微生物开发利用面临优良菌种资源获取效率低、功能菌群构建难、逆境根际定殖稳定性差以及菌剂产业化应用效能不足等关键瓶颈。本成果构建了从微生物资源挖掘、功能菌株精准配伍、根际定殖增效、高密度发酵到规模化应用的全链条自主技术体系，实现了从种质资源发掘到产品创制与田间应用的系统创新。主要发明如下：

1. 发明了固氮抗逆微生物资源高效挖掘技术，构建了固氮微生物基因组数据库，创建了优良固氮抗逆菌株高通量筛选技术，攻克了功能菌株筛选周期长的难题。

创制高通量土壤原位培养装置，采用稳定同位素探针技术追踪养分转化路径，发明了固氮抗逆微生物原位富集技术，实现目标功能菌株的靶向获取，建立全球规模领先的固氮微生物种质资源库。构建国际首个固氮微生物基因组与进化分析数据库，解析固氮酶催化、共生互作、渗透调节、离子稳态维持、氧化胁迫响应等与固氮和环境适应相关的功能基因，建立固氮微生物资源数字化解析平台。研发固氮微生物分类自动辨识、泛基因组比较和功能基因预测平台，为优良固氮抗逆菌株定向筛选提供了数据基础和智能分析工具。利用靶标基因设计特异性探针，结合 DNA 条形码标签和高通量测序技术，创建集菌株快速鉴定、固氮抗逆功能评价和宿主适配分析于一体的高通量筛选技术，实现优良功能菌株由传统表型筛选向分子标记辅助精准筛选转变。

2. 开发了固氮抗逆协同的关键菌株识别技术，创新了基于机器学习算法的合成菌群构

建技术，发明了类黄酮信号诱导与纳米载体缓释协同定殖技术，突破了菌群功能协同不足、环境适配性差和逆境根际定殖难的瓶颈。

解析微生物资源利用、竞争定殖、胁迫耐受、病原拮抗等关键性状，创建功能菌株多维评价和环境适应定量评估方法，发明基于功能多样性高、环境适应性强的菌群成员精准识别技术，识别出假单胞菌和芽孢杆菌是根瘤菌的关键伴生菌，实现菌群成员由经验复配选择转向数据驱动的精准识别。基于菌株信号交流、碳源利用和生态位互补，整合宏基因组和宏转录组测序技术，开发了基于机器学习算法的合成菌群智能构建技术，实现固氮、抗旱、耐盐和抑病等不同功能菌株的优化组合，提高菌群功能协同和逆境适应能力。采用机器学习模型，识别促进有益微生物向根际迁移的关键类黄酮信号物质。采用腐殖酸改性生物炭调控信号物质释放，研制负载类黄酮信号物质和纳米羟基磷灰石的复合功能载体，创建集成信号诱导、载体缓释、生物膜强化协同的根际定殖增效技术。

3. 构建了固氮抗逆微生物高密度发酵技术，创新了菌剂储存与种子包衣工艺，创制了高效微生物菌剂系列产品，建立了配套接种与施用技术体系，突破了菌剂货架期短和田间存活率低的产业化瓶颈。

创建根瘤菌和芽孢杆菌高密度发酵技术，通过培养基优化、补料调控和制剂工艺创新，显著提高菌体发酵密度。建立符合国家标准的根瘤菌生产线，创新透气膜包装、菌体浓缩和喷雾干燥工艺，提高菌剂储存稳定性和货架期。创制大豆种子包衣根瘤菌生物保护剂。研制适用于大豆、玉米等主要作物以及干旱、盐渍化和连作障碍等中低产田的固氮抗逆微生物菌剂产品，获得多项农业农村部微生物肥料登记证，配套研发规模化接种装备，形成集菌剂产品、接种装备和区域适配于一体的应用模式，推动固氮抗逆微生物菌剂的标准化生产与规模化应用。

形成了一批自主知识产权和代表性研究成果，显著提升我国固氮抗逆微生物资源创制与产业化应用能力，相关技术及产品实现规模化推广，取得显著的经济、社会和生态效益。

四、客观评价：

1. 专家评价认为成果达到国际领先水平

国家自然科学基金委对重点项目“典型大豆农田土壤中氮素循环的关键微生物过程及其驱动机制”进行考核评估，综合评价为“优”。专家组充分肯定项目在农田微生物多样性维持、氮循环过程、作物产能调控和土壤健康培育等方面取得的创新成果。

2. 成果技术获农业农村部等部门采纳

项目成果为全国农业技术推广服务中心发布的《大豆根瘤菌接种及科学施肥系列技术指导意见》提供技术支撑，集成“大豆根瘤菌接种+高效施肥技术”模式，在全国大豆主产区推广。

3. 技术转化与产品推广成效显著

系列产品入选化肥农药减量增效“创新产品”称号，生物固氮菌剂系列产品被列为农业农村部全国农业技术推广服务中心重点推广新产品序列，“大豆根瘤菌菌种资源收集、产业化生产工艺开发与推广应用”获 2024 年首届中国·雄安高价值专利大赛优秀奖。

4. 建成高水平创新团队与平台

依托成果建成陕西省重点科技创新团队、旱区土壤微生物组与土壤健康学科创新引智基地（111 基地），形成支撑固氮微生物持续创新、技术研发和成果转化的高水平人才与平台体系。

五、应用情况和效益

本成果实现了固氮与抗逆微生物菌剂的规模化生产和大面积应用，建成国内领先的固氮微生物菌剂生产平台，形成涵盖高密度发酵、菌液浓缩、喷雾干燥和自动化包装的规模化生产能力，开发固氮抗逆微生物菌剂、高浓缩功能菌原粉、复合微生物肥料等系列产品。相关产品在国内市场占有重要份额，高浓缩功能菌原粉供应国内多家微生物肥料企业，带动下游企业产品开发和产能提升。

相关技术已在西北、华北等主要农业区规模化推广，微生物菌剂颗粒、复合微生物肥料及配套施肥技术实现大面积应用，在减少氮肥投入的同时促进作物稳产增产，取得显著的经济和社会效益，并带动微生物肥料企业产品升级和产业发展。相关产品的大面积应用有效减少化学氮肥投入，降低化肥生产能源消耗和碳排放，为化肥减量增效、中低产田产能提升、农业绿色低碳发展和国家粮食安全提供了重要技术支撑。

六、 主要知识产权目录（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	根瘤菌 *Sinorhizobium meliloti* CCNWSX0020 的应用	中国	ZL201410828557.4	2017 年 11 月 28 日	第 2717911 号	西北农林科技大学	韦革宏;孔召玉;陈卫民
2	发明专利	一种复合菌群的构建方法	中国	ZL202110758994.3	2023 年 05 月 09 日	第 5955827 号	西北农林科技大学	韦革宏;白晓丽;李哲斐;金娟;李佩蓉;杨焱;吴天娥
3	发明专利	一株产几丁质酶、产吲哚乙酸的芽孢杆菌及其应用和方法	中国	ZL202110390739.8	2022 年 07 月 26 日	第 5332565 号	西北农林科技大学	韦革宏;李欣乐;史鹏
4	发明专利	一株产碱杆菌及其应用和促进大豆生长的方法	中国	ZL202110333115.2	2022 年 07 月 26 日	第 5338852 号	西北农林科技大学	韦革宏;李欣乐;史鹏
5	发明专利	一株产铁载体的产碱杆菌及其应用	中国	ZL202110645783.9	2022 年 07 月 19 日	第 5320599 号	西北农林科技大学	韦革宏;李欣乐;史鹏

6	发明专利	腐殖酸包埋生物炭-纳米羟基磷灰石复合材料及制备方法和用途	中国	ZL202010668802.5	2021 年 08 月 17 日	第 4621048 号	西北农林科技大学	陈春;胡莹玮;韦革宏;刘爽;王瀚誉;李涛;张希珂;花俊文
7	发明专利	一种防治黄芪根腐病的复合菌群及其应用	中国	ZL202110758993.9	2022 年 12 月 23 日	第 5658816 号	西北农林科技大学	李哲斐;白晓丽;韦革宏;金娟;李佩蓉;杨焱;吴天娥
8	发明专利	一种大豆根瘤菌生物保护剂及其制备方法和应用	中国	ZL202211620591.3	2024 年 11 月 19 日	第 7538346 号	领先生物农业股份有限公司	李婧;章孜亮;孙杉杉;徐延平;徐志文;葛振宇;丁秀梅
9	发明专利	一种混合微生物菌剂及其制备方法和应用	中国	ZL202310152356.6	2023 年 07 月 07 日	第 6121402 号	天津坤禾生物科技集团股份有限公司	李立培;赵晓琛;唐广辉;赵钢勇;冯美元
10	论文	Trait-based life history strategies shape bacterial niche breadth	中国	2025,12:2405947	2025 年 05 月 08 日	Advanced Science	西北农林科技大学	彭子恒;张艺冉;李晓萌;高航;刘禹;安怡凝;钱勋;韦革宏;焦硕

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	韦革宏	常务副校长/教授	西北农林科技大学	提出项目的总体任务与研究方向，制定研究目标和技术方案，组织项目实施。对技术发明点 1、2、3 均有重要贡献。建立全球规模领先的固氮微生物种质资源库，构建固氮微生物基因组数据库，发明固氮抗逆微生物高通量筛选、合成菌群构建和根际定殖增效技术，共同研发菌剂高密度发酵与稳定储存技术。附件 1-1、1-2、1-3、2-1、2-2、6-1、7-1、7-2、7-3、7-4、7-7。
2	陈春	教授	西北农林科技大学	对技术发明点 2、3 有重要贡献。创建类黄酮信号诱导与纳米载体缓释协同定殖技术，参与创建高通量筛选和合成菌群构建技术，参与创制菌剂种子包衣固定化技术。附件 2-5、6-1、7-3。
3	李哲斐	教授	西北农林科技大学	对技术发明点 1、2 有重要贡献。创建合成菌群构建技术，共同研发抗逆菌株高通量筛选技术。附件 1-2、7-4。

4	焦硕	副院长/教授	西北农林科技大学	对技术发明点 1、2 有重要贡献。发明固氮抗逆菌株原位富集与高通量筛选技术，参与创建合成菌群构建技术。附件 2-3、2-4、7-7。
5	徐志文	高级经济师	领先生物农业股份有限公司	对技术发明点 3 有重要贡献。创制菌剂种子包衣与规模化接种施用技术。附件 6-1、7-5。
6	赵晓琛	副研究员	天津坤禾生物科技集团股份有限公司	对技术发明点 3 有重要贡献。发明高密度发酵与菌剂稳定储存技术。附件 6-2、7-6。

八、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	统筹项目总体设计，牵头制定实施方案并全面组织推进，在关键技术攻关中发挥了主导作用，在技术发明点 1、2 和 3 方面做出了重要贡献。建立了全球规模领先的固氮微生物种质资源库，构建了固氮微生物基因组数据库，发明固氮抗逆微生物高通量筛选、合成菌群构建和根际定殖增效技术，研发菌剂高密度发酵与稳定储存技术。实现我国固氮抗逆微生物菌剂从资源发掘、技术突破到产品研制及应用推广的全链条自主创新。
2	领先生物农业股份有限公司	在技术发明点 3 方面做出了重要贡献。建立了符合国家 GMP 标准的根瘤菌生产线，创新透气膜包装技术，发明菌剂生物保护剂，完成固氮微生物菌剂大面积田间验证与规模化推广，取得了显著的经济、生态与社会效益。
3	天津坤禾生物科技集团股份有限公司	在技术发明点 3 方面做出了重要贡献。创建菌剂高密度发酵与稳定储存技术体系，创新菌体浓缩和喷雾干燥工艺，研发高浓缩功能菌原粉，完成菌剂产品田间大规模化应用，取得了显著的经济、社会和生态效益。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	韦革宏 1、陈春 2	2017	2025	腐殖酸包埋生物炭-纳米羟基磷灰石复合材料及制备方法和用途	附件 7-3
2	论文合著	韦革宏 1、陈春 2	2017	2025	Functionalized silica nanoparticles mitigate salt stress in soybean: comprehensive insights of physiological, metabolomic, and microbiome responses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2025, 73(18): 10814-10825.	未列入附件
3	共同知识产权	韦革宏 1、李哲斐 3	2015	2025	一种复合菌群的构建方法	附件 1-2
4	共同知识产权	韦革宏 1、李哲斐 3	2015	2025	一种防治黄芪根腐病的复合菌群及其应用	附件 7-4
5	论文合著	韦革宏 1、焦硕 4	2019	2025	Metagenomics insights into responses of rhizobacteria and their alleviation role in licorice allelopathy. *Microbiome*, 2023, 11: 109.	附件 7-7
6	论文合著	韦革宏 1、焦硕 4	2019	2025	Reduced trace gas oxidizers as a response to organic carbon availability	未列入附件

					linked to oligotrophs in desert fertile islands. *The ISME*, 2023, 17: 1257-1266.	
7	论文合著	韦革宏 1、陈春 2、李哲斐 3	2015	2025	Silica nanoparticles suppress fungal pathogenic allies to alleviate *Astragalus* root rot. *Microbiome*, 2025, 13: 209.	未列入附件
8	论文合著	韦革宏 1、陈春 2、焦硕 4	2017	2025	Soil potassium is correlated with root secondary metabolites and root-associated core bacteria in licorice of different ages. *Plant and Soil*, 2020, 456: 61-79.	未列入附件
9	论文合著	韦革宏 1、李哲斐 3、焦硕 4	2015	2025	A simplified synthetic community rescues *Astragalus mongholicus* from root rot disease by activating plant-induced systemic resistance. *Microbiome*, 2021, 9: 217.	未列入附件
10	论文合著	韦革宏 1、徐志文 5	2018	2025	The distribution of aerobic bacteria in Chinese cropland is linked to the soil texture. *Frontiers in Microbiology*, 2025, 16: 1541460.	未列入附件
11	论文合著	韦革宏 1、焦硕 4、徐志文 5	2018	2025	Microbial communities mediate the effect of cover cropping on soil ecosystem functions under precipitation reduction in an agroecosystem. *Science of the Total Environment*, 2024, 947: 174572.	未列入附件
12	产业合作	韦革宏 1、陈春 2、李哲斐 3、焦硕 4、徐志文 5	2018	2025	应用情况和效益证明-领先生物农业股份有限公司	附件 6-1
13	论文合著	韦革宏 1、陈春 2、赵晓琛 6	2017	2025	羟基磷灰石-膨润土纳米复合材料对旱区玉米生长的影响.农业环境科学学报, 2025, 44(10): 2538-2549.	未列入附件
14	产业合作	韦革宏 1、陈春 2、李哲斐 3、焦硕 4、赵晓琛 6	2017	2025	共同建立“微生物菌肥绿色智造联合实验室”	附件 7-15
	完成人合作关系说明（限 1000 字）： 本项目系西北农林科技大学（韦革宏、陈春、李哲斐、焦硕）、领先生物农业股份有限公司（徐志文）和天津坤禾生物科技集团股份有限公司（赵晓琛）联合共同完成。完成人合作关系说明如下： 项目第一完成人（韦革宏）与本项目第二完成人（陈春）、第三完成人（李哲斐）、第四完成人（焦硕）隶属同一个研究团队，团队由韦革宏教授领衔，陈春、李哲斐、焦硕均为团队核心成员。在整个项目的组织下联合攻关，韦革宏与来自同一单位第二完成人（陈春）获得共同知识产权（附件 7-3），共同发表 4 篇论文（未列入附件）；与第三完成人（李哲斐）分别获得共同知识产权（附件 1-2、附件 7-4），共同发表 2 篇论文（未列入附件）；与第四完成人（焦硕）共同发表 5 篇论文（附件 7-7，其他未列入附件）。第一完成人（韦革宏）、第二完成人（陈春）与第三完成人（李哲斐）共同发表 1 篇论文（未列入附件）；第一完成人（韦革宏）、第二完成人（陈春）与第四完成人（焦					

	硕）共同发表 1 篇论文（未列入附件）。第一完成人（韦革宏）、第三完成人（李哲斐）与第四完成人（焦硕）共同发表 1 篇论文（未列入附件）。 韦革宏自 2018 年起，带领团队成员陈春、李哲斐和焦硕，与第五完成人徐志文，在根瘤菌优良菌株筛选、发酵工艺优化与应用推广方面开展合作，共同在黑龙江、内蒙古、吉林和辽宁等地建立了推广示范基地（附件 6-1），第一完成人（韦革宏）与第五完成人（徐志文）共同发表论文 2 篇（未列入附件）。韦革宏团队第三完成人（李哲斐）与第五完成人（徐志文）负责人所在领先生物农业股份有限公司共同承担国家重点研发项目子课题（2021YFD1900702-02）。 西北农林科技大学第一完成人（韦革宏）带领团队与天津坤禾生物科技集团股份有限公司在微生物资源挖掘与产业化应用方面展开合作，共同建立“微生物菌肥绿色智造联合实验室”（附件 7-15），第一完成人（韦革宏）、第二完成人（陈春）与第六完成人（赵晓琛）共同发表论文 1 篇（未列入附件）。

项目十九

一、**项目名称：**小麦抗条锈病遗传改良前沿技术及抗性合理利用

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：条锈病是小麦上的头号生物灾害，一般年份减产 10%-30%，严重时可致绝产。条锈菌毒性变异频繁，导致小麦品种抗性不断丧失，病害频发重发，是小麦条锈病防控的重大难题。可利用的抗性基因与资源日益匮乏，成为抗病品种培育和条锈病可持续防控的瓶颈。

该项目在国家自然科学基金、陕西省科技创新团队等项目的支持下，围绕小麦条锈病“品种抗性快速丧失”的核心瓶颈，以病原菌—寄主协同进化为主线，构建了“病菌监测—基因挖掘—材料创制—合理布局”的前瞻性育种技术体系。自主研发液相芯片与育种家芯片，推动育种走向“基因型选拔”；通过打破病原菌对寄主免疫操纵，创制广谱抗性种质并应用于主栽品种改良；开发田间快检技术，建成毒性监测系统，集成“压、延、阻”绿色防控技术体系并入选农业农村部主推技术。研究成果贯通了基因发掘、抗病种质创制、抗病品种合理布局的完整技术体系，为小麦条锈病可持续治理提供了系统性解决方案。项目获国家发明专利 12 件、软件著作权 1 项，在 Molecular Plant 等国内外知名期刊发表论文 22 篇，入选农业农村部主推技术 1 项。

成果材料齐全、规范、无知识产权纠纷，人员排名无争议，符合陕西省技术发明奖提名条件，提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。

三、项目简介：

该研究属于植物保护学研究领域，主要研究成果包括：

1. 自主研发覆盖全基因组的小麦液相芯片与育种家芯片，打破国外技术垄断，实现抗病基因克隆及小麦种质的高通量鉴别，创制优良新种质，选育出省审品种西农 852，形成从抗病基因发掘到品种选育的全流程自主技术体系，为小麦抗病育种提供了重要的基因资源、技术和示范品种。

2. 系统鉴定了小麦条锈菌致病及寄主应答病原菌的关键基因，通过 RNA 干扰、过表达及基因编辑等生物技术手段修饰关键基因，打破小麦—条锈菌互作，提高小麦免疫，创制抗病新材料，开辟了抗病育种新路径。

3. 开发出田间快检试纸条，建成覆盖多生态区的菌群指纹数据库与毒性监测系统，据此精准解析病菌群体毒性结构及消长规律。在此基础上，结合条锈病流行规律与抗病种质遗传基础，提出抗病品种合理布局技术，集成构建了小麦条锈病“压、延、阻”全程绿色防控技术体系。该技术已入选农业农村部主推技术。

四、客观评价：

“压、延、阻”全程绿色防控技术体系入选农业农村部主推技术”。

1. 技术源头创新: 自主研发覆盖全基因组的小麦液相芯片及育种家芯片，打破了国外在高通量基因分型技术上的垄断，实现了核心技术工具的国产化替代。实现了抗病基因克隆与种质资源的高通量、精准鉴别，大幅缩短了传统育种中基因筛选的周期。

2. 育种路径创新: 从传统的“筛选自然抗性”转向“主动修饰互作”，通过对条锈菌致病基因和寄主应答基因的精确修饰，人为打破病菌与小麦的亲和互作。利用基因编辑技术创制出非转基因的抗病新材料，为育种提供了全新的种质资源储备。

3. 防控体系创新: 建成菌群指纹数据库与快检系统，实现病菌群体动态智能监测；结合流行规律与品种遗传基础，提出“压、延、阻”，提出“压、延、阻” 全程绿色防控技术，构建国家级主推绿色防控体系，标志着从理论到大规模实际应用的成熟转化。

五、应用情况和效益

2023-2025 年，在青海、甘肃、陕西等小麦条锈病关键流行区，开展了以抗病基因利用和合理布局为核心的小麦条锈病“压、延、阻”绿色防控技术的示范推广应用，该技术对小麦条锈病的防控效果显著，有利提升了全国小麦条锈病的防控水平。2023 年-2025 年度小麦生产季综合技术辐射 1104.2 万亩，据不完全统计，三年累计新增利润 93859.1 万元，经济、社会及生态效益显著。

自主研发“条锈卫士”检测试剂盒、16K 小麦全基因组芯片及小麦育种家芯片，2020-2025 年，累计完成检测样本 54595 个，实现销售产值 505.8 万元，利润 40.5 万元，新增税收 30.2 万元，带动务工收入 203.7 万元，累计服务 110 余家单位，经济效益和社会效益显著。

六、主要知识产权目录（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	专利	一种与小麦育种性状相关的 SNP 位点组合及其应用	中国	ZL202210833588.3	2023-05-16	第5979162 号	西北农林科技大学	曾庆东，相明杰，刘胜杰，王长发，吴建辉，郑炜君，李春莲，袁凤平，康振生，韩德俊
2	专利	一种条锈菌效应蛋白及其在抗条锈菌中的应用	中国	ZL202311368513.3	2024-1-16	第6622365 号	西北农林科技大学	王晓杰，王晓东，汤春蕾，王建锋，康振生，王宁
3	专著	小麦条锈病“压、延、阻”全程绿色防控技术	中国	北京：中国农业	2024-08	16109•5868	西北农林科技大学	王晓杰，刘万才，王保通，李跃，赵杰，康振生

				出版社				
4	专利	一种小麦胚胎发生受体激酶 TaSERK1 基因及其应用	中国	ZL202311476680.X	2024-02-20	第6717629号	西北农林科技大学	王晓杰，康振生，王建锋，汤春蕾，王宁，张珊
5	专利	一种小麦丙酮酸激酶 TaPKc 及其应用	中国	ZL202311670036.6	2024-02-27	第6744678号	西北农林科技大学	王晓杰，王宁，坤旭锋，王建锋，汤春蕾，康振生
6	专利	毒性效应蛋白及其在小麦抗病育种中的应用	中国	ZL202310653580.3	2023-09-05	第6298526号	西北农林科技大学	汤春蕾，王晓杰，王建锋，康振生，於立刚
7	专利	一种小麦抗条锈病基因 YrNP63 的功能 KASP 分子标记及其应用	中国	ZL202310200405.9	2024-07-19	第7209774号	西北农林科技大学	曾庆东，刘胜杰，王晓婷，程相瑞，相明杰，穆可卿，吴建辉 康振生，韩德俊
8	专利	一种 16K 小麦全基因组 mSNP 区段组合、基因芯片及应用	中国	ZL202210046225.5	2023-10-20	第6416352号	西北农林科技大学	曾庆东，刘胜杰，相明杰，吴建辉，王长发，郑炜君，李春莲，袁凤平，康振生，韩德俊
9	论文	Transcriptional and post-translational regulation of wheat TaWRKY40 orchestrates ROS-mediated plant resistance against stripe rust fungus	中国	Molecular Plant	2025-10-06	18(10):1688-1705	西北农林科技大学	何佳妮，李琼琼，梁晨琛，王宁，王建锋，江聪，康振生，汤春蕾，王晓杰
10	论文	A rust fungus effector directly binds plant pre-mRNA splice site to reprogram alternative splicing and suppress host immunity	中国	Plant Biotechnology Journal	2022-03-05	20(6):1167-1181	西北农林科技大学	汤春蕾，许强，赵晋仁，岳明星，王建锋，王晓东，康振生，王晓杰

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	王晓杰	作物抗逆与高效生产全国重点实验室主任/教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	主持完成该项目，揭示了条锈菌致病及小麦响应病原菌免疫机制，提出了基于打破病菌-寄主互作抗病育种新途径，研发了抗病品种合理布局技术，集成“压、延、阻”全程绿色防控技术。对技术发明点 1、2 和 3 做出突出贡献，是主要知识产权 9、10 的通讯作者；主要知识产权 2、3、4、5 的第一完成人，主要知识产权 6 的共同完成人。
2	康振生	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	在小麦抗病基因克隆、条锈菌与小麦互作机制及条锈菌群体毒性结构监测研究中提出创新性研究思路，指导团队进行系统研究。对技术发明点 1、2 和 3 做出重要贡献，是主要知识产权 9 的通讯作

				者，主要知识产权 1、2、3、4、5、6、7、8、10 的共同完成人。
3	曾庆东	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	负责在小麦抗病基因克隆及条锈菌群体毒性结构监测研究，对技术发明点 1 和 3 做出贡献，是主要知识产权 1、7 和 8 的第一完成人。
4	汤春蕾	研究员	西北农林科技大学/西北农林科技大学	负责小麦条锈菌攻击寄主免疫的作用机制解析及抗病材料创制工作，对技术发明点 2 做出贡献，是主要知识产权 6 的第一完成人，主要知识产权 9 的通讯作者，主要知识产权 10 的第一作者，主要知识产权 2、4、5 的共同完成人。
5	王建锋	副研究员	西北农林科技大学/西北农林科技大学	负责抗病材料创制，对技术发明点 2 做出重要贡献，是主要知识产权 2、4、5、6、9、10 的共同完成人
6	王宁	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	负责小麦感病基因作用机制研究，对技术发明点 2 做出贡献，是主要知识产权 2、4、5、9 的共同完成人。

八、主要完成单位情况

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	全面负责项目的设计、立项、组织实施规划和成果呈现等，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、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	共同知识产权	王晓杰（1）、康振生（2）、汤春蕾（4）、王建锋（5）	王晓杰与康振生 2001 年开始合作，王晓杰与汤春蕾 2006 年开始合作，王晓杰与王建锋 2003 年开始合作	[1] 一种条锈菌效应蛋白及其在抗条锈菌中的应用 [2] 一种小麦胚胎发生受体激酶 TaSERK1 基因及其应用 [3] 一种小麦丙酮酸激酶 TaPKc 及其应用 [4] 毒性效应蛋白及其在小麦抗病育种中的应用	知识产权 2、4、5、6
2	共同知识产权	王晓杰（1）、康振生（2）、汤春蕾（4）、王建锋（5）、王宁（6）	王晓杰与康振生 2001 年开始合作，王晓杰与汤春蕾 2006 年开始合作，王晓杰与王建锋 2003 年开始合作，王晓杰与王宁 2015 年开始合作	[1] 一种条锈菌效应蛋白及其在抗条锈菌中的应用 [2] 一种小麦胚胎发生受体激酶 TaSERK1 基因及其应用 [3] 一种小麦丙酮酸激酶 TaPKc 及其应用	知识产权 2、4、5

3	专著合著	王晓杰（1）、康振生（2）、	王晓杰与康振生2001年开始合作	小麦条锈病“压、延、阻”全程绿色防控技术	知识产权3
4	共同知识产权	康振生（2）、曾庆东（3）	康振生与曾庆东2008年开始合作	[1] 一种与小麦育种性状相关的SNP位点组合及其应用 [2] 一种与小麦抗条锈病基因Yr26紧密连锁的分子标记、引物及其应用 [3] 一种16K小麦全基因组mSNP区段组合、基因芯片及应用	知识产权1、7、8
5	论文合著	王晓杰（1）、康振生（2）、汤春蕾（4）、王建锋（5）、王宁（6）	王晓杰与康振生2001年开始合作，王晓杰与汤春蕾2006年开始合作，王晓杰与王建锋2003年开始合作，王晓杰与王宁2015年开始合作	Transcriptional and post-translational regulation of wheat TaWRKY40 orchestrates ROS-mediated plant resistance against stripe rust fungus	知识产权9
6	论文合著	王晓杰（1）、康振生（2）、汤春蕾（4）、王建锋（5）	王晓杰与康振生2001年开始合作，王晓杰与汤春蕾2006年开始合作，王晓杰与王建锋2003年开始合作	A rust fungus effector directly binds plant pre-mRNA splice site to reprogram alternative splicing and suppress host immunity	知识产权10
7	共同立项	王晓杰（1）、曾庆东（3）、汤春蕾（4）王建锋（5）、王宁（6）	王晓杰与曾庆东2008年开始合作，王晓杰与汤春蕾2006年开始合作，王晓杰与王建锋2003年开始合作，王晓杰与王宁2015年开始合作	国家重点研发计划项目“小麦条锈病灾变机制与可持续防控技术研究”	项目任务书

完成人合作关系说明（限1000字）：

完成人王晓杰、康振生、曾庆东、汤春蕾、王建锋、王宁长期围绕本成果开展协同研究，在项目组织实施、专利申请转化、学术论文发表、科技成果登记等工作中密切配合，均为项目目标达成均做出不可或缺的贡献。

项目第一完成人王晓杰教授2004年进入植物免疫研究团队攻读博士学位，2009年6月获博

士学位并入职该团队，长期牵头开展科研攻关、培养研究生等工作，取得多项突破性研究成果。

项目第二完成人康振生教授长期致力于小麦抗条锈病遗传基础、小麦与条锈菌互作机制、条锈菌群体毒性结构监测及抗病种质创制研究，统筹指导团队开展进行系统性科研工作。

项目第三完成人曾庆东教授 2016 年博士毕业后留校，加入植物免疫研究团队，协同第一完成人王晓杰教授、第二完成人康振生教授等开展联合科研攻关，共同承担国家重点研发计划项目“小麦条锈病灾变机制与可持续防控技术研究”，合力推进小麦全基因组芯片及小麦育种家芯片应用转化，在小麦抗病遗传、条锈菌群体结构监测等研究方向取得重要进展。

项目第四完成人汤春蕾研究员 2013 年博士毕业后留校，加入植物免疫研究团队，持续开展条锈菌致病机理及抗病种质创制研究，取得系列重要进展，共同合作获得国家发明专利，发表研究论文等。

项目第五完成人王建锋副研究员自 2003 年加入植物免疫研究团队，持续开展小麦抗病种质创制研究，共同合作获得国家发明专利，发表研究论文等。

项目第六完成人王宁教授于 2020 年博士毕业后留校，加入植物免疫研究团队，持续围绕小麦感条锈病基因功能及其作用机理开展研究，共同合作获得国家发明专利，发表研究论文等。

项目二十

一、项目名称：苹果抗逆优质新品种创制与应用

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： 该项目针对我国抗逆、优质和易结果自主产权苹果新品种缺乏的关键问题，从种质资源评价与筛选、抗逆优质基因挖掘和机制解析、种质创制和新品种选育、新品种配套栽培技术集成与示范应用等方面，进行联合攻关，取得了创新性成果。（1）评价筛选出25份苹果抗逆优异种质资源，挖掘抗逆和糖酸调控关键基因并阐明了其作用机制，确定了‘蜜脆’、‘凯蜜欧’、‘秦冠’等抗逆优质新品种选育的核心亲本。（2）创建了高效的抗逆优质苹果种质创制和育种体系，提高了育种效率，创制出具有知识产权的‘秦脆’等抗逆优质新品种13个。（3）研发集成了基于‘三控一补’的苹果新品种‘秦脆’配套栽培技术，建立了高标准示范园24个。直至2024年8月，新品种在陕西、甘肃、山西、四川、新疆等5省（区）种植面积共计49.9万亩，显著提高了种植者经济效益，2021至2023年新品种新增利润共计44.51亿元。项目期内审定新品种 13个，获植物新品种权 10个、授权发明专利 8件、入选农业农村部主导品种1个、制定地方标准 2 部，相关成果在PNAS、Plant Cell、Nature Plants、园艺学报等期刊发表论文 197 篇，其中 SCI 收录 165 篇，促进了我国苹果种业新质生产力发展。

成果材料齐全、规范、无知识产权纠纷，人员排名无争议，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：

中国是世界苹果生产和消费第一大国，以陕西为核心的黄土高原是全球集中连片种植苹果最大区域。抗逆、优质和易结果品种的选育是苹果高质高效生产的核心。项目团队历时20余年，突破技术瓶颈，攻克产业难题，主要创新如下：

1. 评价筛选出了25份苹果抗逆优异种质资源，挖掘抗逆优质基因并阐明其作用机制，为杂交亲本精准选择和定向改良奠定了基础。建立了旱区苹果种质资源圃，评价了抗逆（干旱、水肥利用效率、耐盐碱、褐斑病等）和品质性状，确定了‘蜜脆’、‘凯蜜欧’、‘秦冠’等抗逆优质新品种选育的核心亲本；解析了苹果响应干旱等逆境的生理和分子机制；揭示了苹果果糖和酸调控机制并明确了‘秦脆’果实甜度高的成因；挖掘了抗逆和品质性状关键基因18个，开发分子标记8个，获得转基因新种质18个。

2. 创建了苹果抗逆优质高效育种体系，选育出具有知识产权的抗逆优质新品种13个，优化了苹果品种结构并为持续培育抗逆优质新品种储备了丰富的新种质。创建了以杂交苗快速生长、早期抗性筛选（干旱和病菌侵染）、分子标记辅助选择、高位芽嫁接矮化砧木为要素的高效育种体系，使杂交苗童期由过去的5-6年缩短至3年，育种周期由过去的15年以上缩短至10年，显著提高了育种效率；建立了种间属间远缘杂交、染色体加倍、中能重碳离子束

辐射和化学诱变等育种技术，获得了优异突变体 52 份和四倍体 12 份，扩充了苹果育种基础材料；基于亲本筛选与育种方法创新，培育出‘秦脆’、‘秦玉’、‘秦霞’等 13 个自主产权的抗逆优质苹果新品种，实现了品种结构的优化，其中，国审新品种‘秦脆’实现了抗逆（耐旱、抗寒、省氮）、优质（脆甜多汁无渣）、早果丰产和易管理（极易成花、分枝角度大）的协同，于 2023 年和 2024 年被农业农村部列为农业主导品种。

3. 研发了苹果新品种配套栽培技术并大面积示范与应用，大幅度提高了果园生产效益。开展了苹果新品种砧穗组合筛选及区域适应性评价，结合砧木资源抗逆性评价，明确了综合抗逆性强的富平楸子和吴起楸子是旱区栽培‘秦脆’品种的适宜砧木；建立了楸子无性系快繁体系，提出楸子无性系高位嫁接‘秦脆’为旱地半矮化密植现代高效栽培模式；针对‘秦脆’品种缺钙易发生苦痘病的问题，提出了“三控一补”（控氮、控旺、控果个、关键期补钙）的配套栽培技术体系；依托洛川、旬邑、米脂等苹果试验站开展新品种栽培技术示范推广和培训，建立了高标准示范园 24 个，新品种在陕西、甘肃、山西、四川、新疆等 5 省种植面积共计 49.9 万亩，亩效益是‘红富士’等传统品种的 2 倍左右。

项目期内审定新品种 13 个，获植物新品种权 10 个、授权发明专利 8 件、入选农业农村部主导品种 1 个、制定地方标准 2 部，相关成果在 PNAS、Plant Cell、Nature Plants、园艺学报等期刊发表论文 197 篇，其中 SCI 收录 165 篇；2021-2023 年新品种新增利润 44.51 亿元，引领了苹果育种技术进步，促进了我国苹果高质量发展。

四、客观评价：

1. 相关科研项目通过验收，实现预期目标

相关科研项目均顺利通过主管部门组织的专家验收，实现了预期目标，并获得高度评价。

2007 年项目负责人入选国家苹果产业技术体系岗位科学家，承担育种方法与抗性育种岗位任务，2021—2024 年担任体系首席统筹攻关，该岗位 2016—2024 年年度考核连续优秀、“十三五”周期考核验收优秀。体系考评认定：项目组针对我国苹果品种结构不平衡、自主优质抗逆品种短缺的难题，构建多技术耦合种质创新体系，突破传统育种短板，育成以‘秦脆’为代表的 13 个自主知识产权苹果新品种，配套形成黄土高原适配栽培技术体系，示范推广经济生态效益显著。2024 年岗位人员更替后项目组平稳接续研究工作，持续开展育种技术优化与种质创新，为苹果种业自主可控、产区品种迭代升级提供技术与种质保障。

2019 年，陕西省组织专家对项目负责人主持完成的陕西省科技统筹创新工程计划项目“苹果抗逆优质新品种和矮化砧木的选育”（项目编号：2016KTZDNY01-01）进行了会议验收。专家组一致认为该项目创制了一批新种质，审定了‘秦脆’和‘秦蜜’2 个优质抗逆苹果新品种，为苹果产业发展提供了支撑，取得了显著的生态、经济和社会效益。

2025 年，陕西省组织相关领域专家对陕西省科技重大专项课题“苹果现代育种技术研发和特色新种质创制”（项目编号：2020zdzx03-01-02）进行了会议验收。验收专家组认

为该项目开发了分子标记辅助育种技术，建立了苹果辐射诱变和多倍体诱导育种技术规程，创制特色苹果新种质 12 份，审定苹果新品种 5 个，取得了显著的生态、经济和社会效益。

2.项目相关成果受到国内外同行的广泛认可和高度评价

在 PNAS、Nature Plants、Plant Cell、Plant Physiol、Plant Biotechnology J、Plant J、园艺学报、中国农业科学等期刊发表论文 197 篇，其中 SCI 收录 165 篇，马锋旺教授连续多年入选爱思唯尔“中国高被引学者”榜单及全球高被引科学家。对全球不同区域苹果品种水分养分利用效率（WUE）和抗旱性的评价研究，审稿人指出该研究不仅为旱区苹果生产选择品种提供了合理依据，而且对进一步改良品种，实现旱区苹果植株自身的高效用水具有非常大的潜在价值。关于苹果糖含量调控机制的研究，德国科学院院士 Neuhaus HE 指出该研究结果在果实糖积累领域具有显著意义，邓秀新院士团队指出该研究阐明了液泡糖转运蛋白协同调控苹果果实糖分积累的分子机制，为其它水果糖含量的遗传调控研究提供了依据。项目组牵头先后于 2016 年和 2025 年举办第一届世界苹果大会和 2025 国际苹果产业科技创新大会，马锋旺教授担任大会主席。联合美国、新西兰、意大利等国家的苹果科研机构，牵头成立了“国际联合苹果研究中心”，推动了国际苹果科技交流合作。

3.入选省部级荣誉和创新团队

马锋旺教授 2016 年入选陕西省“三秦学者”，2021-2024 年担任国家苹果产业体系首席科学家，2025 年荣获陕西省五一劳动奖章，2026 年获陕西省“最美科技工作者”。项目组 2023 年获神农中华农业科技奖优秀创新团队奖，2022 年入选陕西省科技创新团队，2025 年入选陕西省特支计划一流创新团队，获陕西省高等学校科学研究一等奖 2 项。

4.相关成果得到政府部门肯定与用户好评

‘秦脆’苹果新品种 2023 年、2024 年连续入选农业农村部主导品种。参加第一届世界苹果大会和国际联合苹果研究中心年会的国内外专家对‘秦脆’苹果的品质给予高度认可；美国康奈尔大学罗宾逊教授表示，‘秦脆’苹果能成为世界上最好的苹果品种。2025 年旬邑县人民政府将‘秦脆’作为“一县一果”战略的核心，全力推进其全链开发，正式发布“旬邑秦脆”区域公用品牌；山西大宁县、四川丹巴县和陕西乾县等县域主推‘秦脆’苹果品种，分别打造了“宁脆”、“美人脆”、“女皇脆”等苹果区域品牌。

五、应用情况：

项目组以洛川、旬邑、榆林等苹果试验站为依托，联合国家苹果产业体系部分综合试验站，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，与陕西省果业中心以及陕西、甘肃、山西、四川、新疆等省（自治区）苹果主产市县苹果科技推广服务职能部门紧密协作，大面积示范推广应用项目组研发的苹果新品种和配套技术。多点布局，建立‘秦脆’高标准示范园 24 个，通过举办现场会观摩、培训会等多种形式，面向农技人员、种植大户及果农开展推广与服务，并综合利用网络、电视、广播、APP 直播、示范标牌、报纸等媒体资源开展远程科技服务，有效提升新品种的影响力，扩大成果应用

规模。截止 2024 年 7 月，‘秦脆’苹果新品种在陕西、甘肃、山西、四川、新疆等地分别种植面积为 26.2、12.8、4.8、3.2 和 2.9 万亩，共计 49.9 万亩，新品种种植效益是传统‘红富士’的 2 倍左右，2021-2023 年新增利润 44.51 亿元，取得了显著的经济、生态和社会效益。

序号	应用单位	应用效果	证明人	联系电话
1	陕西省果业中心	‘秦脆’品种在陕西表现果大形美、脆甜多汁、耐贮藏、抗逆性强（抗旱、耐寒）、易成花、丰产性强等优良特性，适宜在全省苹果适宜区栽培，渭北北部和陕北山地苹果产区表现最佳，种植效益是传统富士的 2 倍以上。	王逍遥	15309299749
2	甘肃省经济作物技术推广站	2018 年开始在庆阳、平凉、天水和陇南种植‘秦脆’，表现出易成花、早果丰产、果实脆甜多汁、抗旱、节省氮肥等优良特性，适宜在甘肃各苹果各产区栽培，种植效益是传统富士的 2 倍左右。	刘学周	13834450015
3	山西农业大学果树研究所	2018 年开始在临汾等地种植‘秦脆’，表现出抗寒耐旱、早果丰产、果实脆、汁液多等优良特性，适宜在本省高海拔产区栽培，种植效益是传统富士的 2 倍左右。	蔡华成	13835487484
4	四川省农业科学院园艺研究所	2017 年开始在甘孜州和凉山州等地种植‘秦脆’，表现早果丰产、果实内在品质优异等特性，适宜本省高海拔地区栽培，种植效益是当地其他品种平均效益的 2 倍以上。	谢红江	13980836350
5	新疆维吾尔自治区农业科学院果蔬研究所	自 2017 年先后在伊犁州和南疆种植‘秦脆’，表现抗寒、早果丰产性强、果实内在品质好等优良特性，种植效益是传统富士的 2 倍以上。	梅闯	18999401993
6	延安市果业中心	自 2020 年开始在苹果更新换代过程中，先后在洛川、黄陵、富县、宜川、黄龙等南部灌溉条件较差的塬地及宝塔、吴起、延长、志丹等北部山地建立楸子无性系砧木嫁接‘秦脆’示范园，经多年观察，该砧穗组合抗旱耐寒，结果早，第三年可以达到丰产，且具有半矮化效果，无需支架，降低建园资本，在我市旱地实现了现代栽培模式，特别是采用高位嫁接的苗木，腐烂病抗性强，是我市苹果现代高效栽培的最佳组合。	郝建辉	13636723462

7	陕西第一季现代农业科技有限公司	栽植‘秦脆’1100 亩，市场销售价是‘富士’的 3 倍以上。采用项目团队提出的“三控一补”（控氮、控旺、控果个、关键期补钙）配套技术体系，有效攻克了苦痘病防控难题，实现了全园苦痘病零发生。 在本公司的示范带动下，旬邑县人民政府将‘秦脆’作为“一县一果”战略核心，发布了“旬邑秦脆苹果，中国苹果新贵”的区域品牌。	张桥	18909100157
8	陕西北帝虹光现代农业有限公司	建设苹果新品种‘秦脆’现代矮砧密植示范园示范园 150 亩，采用项目团队的“三控一补”（控氮、控旺、控果个、关键期补钙）配套技术体系，有效攻克了苦痘病防控难题，全园苦痘病发生率稳定控制在 3%以下。推行“企业+农户”托管服务模式，辐射带动周边农户种植‘秦脆’850 亩。销售价是‘富士’等普通品种的 3 倍左右。公司现已成为黄陵县苹果产业“五新”（新品种、新模式、新技术、新装备、新体制）果园建设的典范。	胡纪亮	17791521842

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	秦脆	中国	CNA20183634.4	2020-07-27	20200015181	马锋旺	**马锋旺**，符轩畅，邹养军，李翠英，党志明，安贵阳，李明军，李超，李鹏民，管清美，王建锋，杜敬斌，荆惠锋，王荣莉，陈新宝，路树国
2	植物新品种权	秦霞	中国	CNA20211007325	2024-09-18	20240035107	西北农林科技大学	**马锋旺**，李超，屈军涛，李翠英，邹养军，符轩畅，安贵阳，李明军，杜敬斌，刘长海，龚小庆，崔广鑫，安金海
3	植物新品种权	秦玉	中国	CNA20221107926	2024-09-18	20240035112	西北农林科技大学	**马锋旺**，邹养军，李超，龚小庆，张桥，张彦，鲁成，李翠英，毛柯，刘长海，符轩畅，李明军，安贵阳，管清美，李鹏民，刘发，屈军涛，杜敬斌
4	植物新品种权	秦夏	中国	CNA20221010278	2024-09-18	20240035115	西北农林科技大学	邹养军，**马锋旺**，李超，李翠英，屈军涛，符轩畅，鲁成，张桥，张彦，刘长海，龚小庆，毛柯，杜敬斌，李明军，安贵阳，管清美，李鹏民
5	植物新品种权	秦帅	中国	CNA20211007323	2024-09-18	20240035106	西北农林科技大学	李超，**马锋旺**，杜敬斌，符轩畅，邹养军，张彦，李翠英，管清美，张桥，安贵阳，毛柯，马永胜，梁微，陈新宝
6	植物新品种权	秦秀	中国	CNA20221007925	2024-09-18	20240035111	西北农林科技大学	李翠英，**马锋旺**，邹养军，李超，鲁成，张彦，梁微，符轩畅，刘长海，毛柯，龚小庆，管清美，李明军，

								安贵阳，李鹏民，屈军涛，李前进，杜敬斌，刘发，张桥
7	植物新品种权	秦丹	中国	CNA2022101027 7	2024-09-18	20240 35114	西北农林科技大学	**马锋旺**，李超，邹养军，刘长海，李翠英，毛柯，龚小庆，李明军，安贵阳，管清美，李鹏民，屈军涛，安金海，杜敬斌，鲁成，张桥，李前进，刘发
8	植物新品种权	秦绯	中国	CNA2022100792 7	2024-09-18	20240 35113	西北农林科技大学	李超，**马锋旺**，邹养军，毛柯，李翠英，龚小庆，刘长海，张桥，屈军涛，张彦，鲁成，符轩畅，安贵阳，管清美，李明军，李鹏民，安金海，李前进，杜敬斌
9	论文	*MdERDL6*-mediated glucose efflux to the cytosol promotes sugar accumulation in the vacuole through up-regulating TSTs in apple and	中国	PNAS，118(1):e2022788118. *DOI：10.1073/pnas.2022788118*	2021-01-05	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	西北农林科技大学	祝令成，李白云，吴丽敏，李会霞，王正阳，魏晓钰，马百全，张彦峰，**马锋旺***，阮勇凌*，李明军*

		tomato.						
10	论文	The MdHSC70-MdWRKY75 module mediates basal apple thermotolerance by regulating the expression of heat shock factor genes.	中国	The Plant Cell, 36(9):3631-3653. doi.org/10.1093/plcell/koae171	2024-07-20	The Plant Cell	西北农林科技大学	张志军#，杨超#，席静，王玉婷，郭晶，刘倩薇，刘宇松，马洋，张静，**马锋旺***，李超*

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	马锋旺	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	作为项目总负责人，主持项目总体方案设计与技术路线制定，提出苹果抗逆优质育种总体思路；牵头开展苹果抗逆种质资源评价、抗逆关键性状遗传解析，创制抗逆优质育种中间材料；主导亲本选配，组织新品种选育、多点区域评价与筛选，对项目创新成果 1-3 均做出重要贡献，是‘秦脆’、‘秦霞’、‘秦玉’、‘秦丹’、‘秦富’等新品种第一完成人，也是其他品种的核心育种人；攻克抗逆优质性状协同改良关键技术，指导新品种配套栽培技术研发；统筹新品种示范基地建设与技术推广应用，对项目核心创新点、新品种培育及整体成果形成做出主要创造性贡献。

2	李明军	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	系统牵头开展苹果糖酸品质调控与遗传研究，解析果实糖酸组分遗传规律，探明糖酸含量遗传调控机制，重点阐明‘秦脆’高果糖的遗传机理，开发糖酸性状分子标记，提升早代选育效率；核心参与‘秦脆’等新品种选育，牵头开展配套高效栽培技术研究与示范，在品质遗传解析、分子标记开发、品种选育及技术推广方面做出关键创造性贡献。
3	李超	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	承担新品种选育方法和技术研究，主持‘秦帅’、‘秦绯’和‘秦香玉’新品种的选育，组织开展杂交亲本筛选与优异新种质创制；致力于苹果高效育种技术体系的建立与完善，开展苹果抗逆性及调控机理解析；系统完成育种材料抗逆、品质性状鉴定评价，为新品种选育提供理论与种质支撑，对本项目新品种创制和育种技术体系构建做出重要创造性贡献。
4	邹养军	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	主持‘秦露’‘秦夏’‘秦彤’新品种选育，参与部分苹果抗逆优质新品种的杂交后代筛选、品种比较及区域评价工作；主要承担新品种示范推广方案制定，负责示范基地布局建设、技术培训与落地应用；开展配套栽培技术田间示范，收集整理新品种应用数据与生产反馈；协助完成应用证明材料归集，对新品种选育及成果规模化示范应用作出重要创造性贡献。
5	李翠英	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	主持‘秦秀’新品种选育，负责部分杂交组合配置与实生群体构建；开展苹果优异种质资源收集、鉴定评价与保存工作，系统开展优系田间性状观测与综合评价，参与开展品种抗逆机理解析，为新品种培育提供核心种质支撑，对项目新品种选育及优系综合评价做出重要创造性贡献。
6	马百全	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	主要开展苹果有机酸遗传机理研究，开发有机酸性状相关分子标记2个；参与杂交群体创制、优系综合评价等育种工作，参与‘秦脆’配套栽培技术研究，为品质育种及新品种配套技术研发提供支撑。
7	龚小庆	副教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	参与杂交群体创制、优系综合评价等育种环节，参与部分优质抗逆新品种选育；开展苹果肥水高效利用相关机理解析，为新品种配套肥水管理技术研发提供理论支撑，对新品种选育与配套栽培技术完善做出重要创造性贡献。

8	毛柯	副研究员	西北农林科技大学/西北农林科技大学	参与杂交群体创制、优系综合评价，参与部分新品种选育；开展苹果抗旱、抗寒相关机理解析，解析抗逆调控基础，为抗逆品种选育及产区栽培应用提供理论依据，对本成果的研究实施与示范应用做出贡献。
9	张志军	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	主要负责苹果抗逆基因挖掘工作，解析苹果高温应答精细调控网络取得重要理论突破，参与了新品种高效栽培技术研究与示范。
10	屈军涛	研究员	洛川县苹果产业管理局/洛川县苹果产业管理局	作为地方推广部门参与本项目实施，协助开展新品种选育配套工作，重点负责新品种区域布局、示范基地建设、技术落地推广与产业转化应用，有效推动新品种示范与规模化应用，助力区域苹果品种结构优化与产业提质增效，对本成果的产业化推广与落地应用做出重要贡献。
11	路树国	高级农艺师	延安市果业中心/延安市果业中心	作为地方果业主管单位负责人，组织开展新品种区域引种试验与示范基地建设，统筹落实产区技术示范、果农技术培训与生产推广工作，推动新品种在延安产区规模化应用，助力当地苹果产业品种结构优化与提质增效，对本成果的产业化落地推广做出重要贡献。
12	刘长海	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	参与杂交群体创制、优系综合评价工作，参与部分新品种选育；开展苹果抗病相关机制解析，为抗病品种选育及生产应用提供理论参考，对本成果研究实施与示范应用群体出贡献。
13	魏江彤	无	西北农林科技大学/西北农林科技大学	主要负责新品种田间评价和种质创制工作，筛选获得了多份优异核心亲本材料，负责杂交组合配置、优系初选与性状评价，保障育种群体扩繁与精准鉴定。
14	杜敬斌	高级农艺师	延安苹果研究院/延安苹果研究院	作为地方果业技术推广部门参与项目实施，配合开展新品种示范推广工作，同步开展苹果种质资源收集、保存与田间评价，完成资源田间鉴定及适应性观测，支撑品种筛选与区域性应用，为本成果种质资源利用及新品种落地推广做出重要贡献。
15	李前进	高级农艺师	洛川县苹果产业管理局/洛川县苹果产业管理局	作为地方果业技术推广部门参与项目实施，配合开展新品种区域适应性验证，统筹推进示范园建设、技术宣传培训与生产推广工作，加快新品种在当地的转化应用，推动区域苹果产业升级，为本成果的示范落地与产业推广做出重要贡献。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科	西北农林科技大学作为项目第一完成单位，负责支撑项目的立项

	技大学	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，发挥了主要的组织协调、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。
2	延安市果业中心	延安市果业中心作为第二参加单位，主要承担项目新品种和楸子无性系与‘秦脆’砧穗组合在延安产区的示范推广工作。依托当地苹果产业基础，开展新品种区域示范与生产评价，完成配套栽培技术的田间落地应用；提供部分项目经费支持，协调落实试验示范地块，收集品种田间表现数据，助力新品种本地化筛选与产业转化，保障项目示范任务顺利实施。
3	洛川县苹果产业管理局	洛川县苹果产业管理局作为第三参加单位，为洛川苹果试验站开展品种选育与示范工作提供有力支撑。依托试验站平台落实试验示范地块，参与新品种田间选育、大田适应性评价，开展品种性状观测与数据采集，组织技术观摩培训，推动新品种及配套技术在产区落地，保障项目选育及示范任务实施。
4	延安苹果研究院	延安苹果研究院作为第 4 参加单位，落实试验站地方配套经费，承担种质资源的保存，新品种区试评价，示范园建设工作，开展了部分资源和品种性状观测与数据采集，组织观摩培训，助力新品种及配套技术在产区落地，保障项目示范任务实施。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	共同知识产权	**马锋旺/1**，李明军/2，李超/3、邹养军/4，李翠英 5、路树国/11、杜敬斌/14	2004 年至今	秦脆	品种
2	共同知识产权	**马锋旺/1**、李明军/2 李超/3、邹养军/4、李翠英/5、龚小庆/7、屈军涛/10、刘长海/12、杜敬斌/14	2004 年至今	秦霞	品种
3	共同知识	**马锋旺/1**、李明军/2 李超/3、邹养军	2004 年	秦玉、秦夏	品种

	产权	/4、李翠英/5、龚小庆/7 毛柯/8、屈军涛/10、刘长海/12、杜敬斌/14	至今		
4	共同知识产权	**马锋旺/1**、李明军/2 李超/3、邹养军/4、李翠英/5、毛柯/8	2004 年至今	秦帅	品种
5	共同知识产权	**马锋旺/1**、李明军/2 李超/3、邹养军/4、龚小庆/7 毛柯/8、屈军涛/10、刘长海/12、杜敬斌/14、李前进/15	2004 年至今	秦秀	品种
6	共同知识产权	**马锋旺/1**、李明军/2 李超/3、邹养军/4、李翠英/5、龚小庆/7 毛柯/8、屈军涛/10、刘长海/12、杜敬斌/14、李前进/15	2004 年至今	秦丹、秦绯	品种
7	论文合著	马锋旺/1、李明军/2、马百全 6	2004 年至今	*MdERDL6*-mediated glucose efflux to the cytosol promotes sugar accumulation in the vacuole through up-regulating TSTs in apple and tomato.	论文
8	论文合著	马锋旺/1、李超/3、张志军 6	2017 年至今	The MdHSC70-MdWRKY75 module mediates basal apple thermotolerance by regulating the expression of heat	论文

				shock factor genes.	
9	论文合著	马锋旺/1、李超/3、张志军/9、魏江彤/13	2009 年至今	8 份苹果种质资源的果实品质评价	论文

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

西北农林科技大学是项目代表性论文的第一完成单位，发明专利的拥有单位。

项目第一完成人马锋旺教授是西北农林科技大学苹果抗逆与品质改良创新团队负责人，李明军、李超、邹养军、李翠英、马百全、龚小庆、刘长海、毛柯、张志军、魏江彤等完成人均为团队成员，共同开展本项目的研发工作，联合申请并完成了国家苹果产业技术体系、国家自然科学基金、国家重点研发计划等科研项目。其中马锋旺教授与第二完成人李明军以共同通信作者在 PNAS、Nature Plants，PBJ 等学生期刊发表高水平论文 12 篇，共同发表论文 50 余篇，系统阐明了苹果糖酸含量调控的生物学机制，共同审定苹果新品种 8 个，授权专利 4 件；马锋旺教授与第三完成人李超联合开展了苹果抗逆调控和育种方法研究，在 Plant Cell、PBJ、Plant Physiol 等期刊共同发表论文 40 余篇，创新了苹果育种方法，共同审定苹果新品种 12 个，授权专利 3 件。第四完成人邹养军协助第一完成人负责洛川苹果试验站材料的管理，联合开展新品种田间评价、栽培技术研发和示范推广工作，共同制定 2 部标准，共同审定苹果新品种 13 个。第五完成人李翠英主要协助第一完成人开展种质资源保存与评价和相关逆境研究，共同审定品种 8 个。第六完成人马百全主要在第一完成人指导下协助第二完成人开展苹果糖酸品质相关研究，第七、第八、第九、第十二、第十三完成人龚小庆、毛柯、张志军、刘长海、魏江彤与第一完成人合作开展苹果抗逆机制研究和品种选育，共同发表了论文，审定了苹果新品种。

第十，十一，十四和十五完成人屈军涛、路树国、杜敬斌、李前进是团队负责建设的西北农林科技大学洛川苹果试验示范站核心成员，参与了试验站的新品种选育、栽培技术研发、示范与推广工作，与第一完成人联合审定了苹果新品种和地方标准制定，联合开展了新品种示范与推广工作，对新品种在延安的推广做出了贡献。

项目二十一

一、项目名称：多能性干细胞发育分化调控技术及应用

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

三、提名意见：多能性干细胞是生物学前沿领域，在过去 20 年里获得了快速发展，在基础研究和应用转化上成果丰硕，对推动我国生物育种和保障人民健康起到了重要作用。本项目针对我国家畜和人类多能干细胞种子细胞资源匮乏、相关的基础与应用基础研究薄弱导致的家畜种质创新力不足等问题，围绕家畜和人类多能性干细胞的发育分化调控的核心科学问题开展系统性攻关：解析 20 余个关键基因及相关信号通路参与调节多能性干细胞与雄性生殖干细胞增殖与分化的调控机制，揭示内质网自噬引起的多能性干细胞的作用机制；明确多种基因及转录因子对多能性干细胞自我更新以及分化的影响；探究雄性生殖干细胞治疗繁殖障碍疾病和代谢性重大疾病及其机理；利用条件诱导、病毒载体注射以及基因编辑等方式构建了多种用于研究干细胞发育的动物模型，积累了大量干细胞发育相关的重要表型与分子数据，为干细胞发育研究领域提供关键技术支持。据不完全统计，该项目所创建的细胞及相关技术在陕西、天津、河南、宁夏等 15 个省（市、自治区）推广落地，应用单位超过 20 多家，近 5 年累计新增产值 2.6 亿元，经济和社会效益突出。获批发明专利 8 项，其中 4 项已完成成果转化；在 PNAS、Cell Death and Differentiation、Journal of Biological Chemistry 等国际高水平期刊发表原创论著 30 余篇，该项目成果在我国干细胞育种和细胞基因制药产业的可持续发展中发挥了重要推动作用，对我国农业和生物医学经济发展做出了巨大贡献。提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

四、项目简介：围绕动物多能性干细胞发育分化调控的核心科学问题，集中以下方面开展研究：探究多种关键基因、因子及相关信号通路决定多能性干细胞与雄性生殖干细胞增殖与分化；解析内质网自噬、感染引起的多能性干细胞的作用机制；阐明多种核心基因及转录因子对多能性干细胞自我更新以及分化的影响；利用雄性生殖干细胞治疗繁殖障碍疾病和代谢性重大疾病并解析其机理。创建多种用于研究干细胞发育的动物模型，积累了大量干细胞发育相关的表型与分子数据，为干细胞发育研究领域提供重要技术支持。

1. 创建稳定的胚胎干细胞、诱导多能干细胞等干细胞的分离和制备技术体系；并对人、小鼠和猪三个物种中多能性相关超级增强子（SEs）进行系统分析与验证，确认 SE-SOX2、SE-PIM1、SE-FGFR1 三个胎盘哺乳动物高度保守的超级增强子；证实 BRD4 是维持多能性相关 SEs 功能的关键分子

2. 创建多能干细胞高效分化为巨噬细胞和生殖细胞技术体系，为深入研究生殖细胞发育分化和基因编辑动物、抗病育种和动物疾病模型等等奠定了基础；采用基因编辑策略结合克隆技术获得 CD163-MSTN 双敲除猪；利用多能干细胞为猪繁殖障碍疾病和非洲猪瘟等重大疫病防控和高生产率育种奠定了基础。

3. 以多能干细胞和生殖干细胞为种子细胞，结合基因编辑技术开展功能基因挖掘，明

确 DMRT1、UCHL1 等关键基因具有维护睾丸稳态、抗感染作用，为抗布氏杆菌等重大家畜新品系培育积累了重要的种质资源材料；建立了利用干细胞治疗生殖缺陷、糖尿病、肝损伤和关节、皮肤损伤等模型，并成功研发了一批可在临床疾病治疗上具有新应用的干细胞制剂。

通过上述干细胞技术与科研进展，结合胚胎生物技术已成功构建适配家畜良种选育、人类及宠物重大疾病防控的重要研究模型和技术平台，细胞株和相关模型被国内多家研发机构使用，配套技术体系与衍生产品也在合作机构进行推广应用。本项目的研究成果为全方位解析家畜和人类多能性干细胞自我更新与减数分裂机制、推进抗病新品种培育和研发动物疾病模型等提供了重要借鉴和技术基础，所取得的成果在同领域的研究中已达到国际先进水平，在家畜良种繁育、人畜疾病防控、干细胞临床转化等相关研究领域具有重要的科学价值与应用意义。

五、客观评价：

应用情况：据不完全统计，该项目所创建的细胞及相关技术在陕西、天津、河南、宁夏等 15 个省（市、自治区）推广应用超过 20 多家，近 5 年累计新增产值 2.6 亿元，产生了显著的经济和社会效益。项目成果在我国家畜干细胞育种和制药产业的可持续发展中发挥了重要作用，产生了明显的经济、社会效益。

查找论文被著名学者引用情况：

论著【7】被引用 25 次，该论著通过对 241 种脊椎动物的基因组进行系统发育分析，首次鉴定 SOX2、PIM1、FGFR1 三个胎盘哺乳动物高度保守的多能性相关超级增强子，其可以在多能干细胞中驱动下游报告基因的表达；证实 BRD4 是维持多能性相关超级增强子功能的关键分子，并且在细胞分化或添加 BRD4 的抑制剂后失活。并在细胞分化或添加 BRD4 的抑制剂后失活。通过 CRISPR/Cas9 方法破坏这些高度保守的 SEs 严重损害了干细胞的多能性，表明这些序列保守的 SEs 在胎盘动物多能干细胞的维持中发挥着关键作用，而与多能性相关的 SEs 在不同物种的序列变化可能阐明和揭示维持干细胞多能性的外部信号的不同需求。同行高度认可此项研究对解析哺乳动物多能性维持机制的研究价值。

（1）在哺乳动物多能性维持机制方面提供了理论和技术依据。美国西北大学 Carole La Bonne 教授和俄罗斯科学院 Natalia N Orlova 教授分别在《Development》（doi: 10.1242/dev.202990）和《Cells》（doi: 10.3390/cells12081191）做出正面评价：**“表观调控因子 BRD4 能够激活 SE-SOX2、SE-PIM1、SE-FGFR1 三个哺乳动物保守多能性超级增强子，协同维持细胞多能性”，该发现为解析哺乳动物多能性调控网络提供了全新理论认识。**

（2）进一步佐证“超级增强子启动子区域染色质高度开放”的学术观点。重庆医科大学 Wei Yuan 教授在《Clinical Epigenetics》（doi: 10.1186/s13148-024-01702-1）认可超级增强子的启动子区多富集于染色质开放区域，同时证实 ATAC-seq 技术适用于监测超级增强子区域的染色质可及性。

（3）为“保守超级增强子在不同物种间进化上是保守”的理论进一步提供了研究证明。东北农业大学 Ning Wang 教授和美国圣裘德儿童研究医院 Michael A Dyer 教授分别在《 Poultry Science 》（ doi: 10.1016/j.psj.2025.105746 ） 和 《 Development 》（ doi: 10.1242/dev.202435）采纳本论著【7】的结论，均认可“超级增强子在不同物种间既具有进化上的保守性又具有物种特异性”。

（4）为“PIM1 超级增强子作为干细胞和肿瘤细胞的关键调控因子”补充实验证据。安徽医科大学 ErBao Bian 教授在《Journal Of Experimental & Clinical Cancer Research》（doi: 10.1186/s13046-023-02763-5）评论：PIM1 超级增强子敲除会抑制骨肉瘤细胞的迁移和侵袭。

（5）丰富 BRD4 参与表观遗传调控的实验证据。北京大学 Yisheng Pan 教授和中国农业大学 Guangyin Xi 教授在《Journal Of Experimental & Clinical Cancer Research》（doi: 10.1186/s13046-023-02615-2）和《Cells》（doi: 10.3390/cells15010034）均采用本论著【7】报道的“可调控细胞 H3K27ac 表观修饰的 BRD4 抑制剂-JQ1”，开展后续表观调控研究。

论著【7】评价（1）

© 2024. Published by The Company of Biologists Ltd | Development (2024) 151, dev202990. doi:10.1242/dev.202990

RESEARCH ARTICLE STEM CELLS AND REGENERATION

BET activity plays an essential role in control of stem cell attributes in *Xenopus*

Paul B. Huber[1,2], Anjali Rao[1] and Carole LaBonne[1,2,*]

2002; Shi and Vakoc, 2014). More recently, BET protein activity was shown to be required for the specification and maintenance of the epiblast lineage in mice, and BRD4 specifically was shown to activate multiple pluripotency-associated super-enhancers in three mammalian species (Tsume-Kajioka et al., 2022; Zhang et al., 2022).

Zhang, J., Zhou, Y., Yue, W., Zhu, Z., Wu, X., Yu, S., Shen, Q., Pan, Q., Xu, W., Zhang, R. et al. (2022). Super-enhancers conserved within placental mammals maintain stem cell pluripotency. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **119**, e2204716119. doi:10.1073/pnas.2204716119

美国西北大学 Carole LaBonne 《Development》（doi: 10.1242/dev.202990）

cells MDPI

Review

Experimental Validation and Prediction of Super-Enhancers: Advances and Challenges

Ekaterina V. Kravchuk [1,2,†], German A. Ashniev [1,2,3,†], Marina G. Gladkova [3,†], Alexey V. Orlov [1,*], Anastasiia V. Vasileva [1], Anna V. Boldyreva [1], Alexandr G. Burenin [1], Artemiy M. Skirda [1], Petr I. Nikitin [1] and Natalia N. Orlova [1,*]

Extensive comparative epigenomic and transcription factor binding analyses in pigs, humans, and mice proved that SEs evolve rapidly in mammals. In addition, 30 shared transcription factors and BRD4 were found to be conserved activators of mammalian pluripotency-associated SEs in parallel with three pluripotency-associated SEs (SE-SOX2, SE-PIM1, and SE-FGFR1) that are highly conserved in mammals [95]. In SE conservation

95. Zhang, J.; Zhou, Y.; Yue, W.; Zhu, Z.; Wu, X.; Yu, S.; Shen, Q.; Pan, Q.; Xu, W.; Zhang, R.; et al. Deeply Conserved Super-Enhancers Maintain Stem Cell Pluripotency in Placental Mammals. *bioRxiv* **2022**. [CrossRef]

Natalia N Orlova 俄罗斯科学院普罗霍罗夫普通物理研究所 《Cells》(doi: 10.3390/cells12081191)

论著【7】评价（2）

Zhang et al. Clinical Epigenetics (2024) 16:86
https://doi.org/10.1186/s13148-024-01702-1

RESEARCH Open Access

The chromatin accessibility and transcriptomic landscape of the aging mice cochlea and the identification of potential functional super-enhancers in age-related hearing loss

Chanyuan Zhang[1,2†], Ting Yang[1,2†], Xiaoqin Luo[3], Xiaoqing Zhou[2], Menglong Feng[1,2] and Wei Yuan[1,2*]

37. Zhang J, Zhou Y, Yue W, Zhu Z, Wu X, Yu S, Shen Q, Pan Q, Xu W, Zhang R, Wu X, Li X, Li Y, Li Y, Wang Y, Peng S, Zhang S, Lei A, Ding X, Yang F, Chen X, Li N, Liao M, Wang W, Hua J. Super-enhancers conserved within placental mammals maintain stem cell pluripotency. Proc Natl Acad Sci U S A. 2022;119: e2204716119.

induced through three distinct stressors [16]. Other studies have shown that SEs are generally enriched in regions of accessible chromatin; moreover, ATAC-seq has been widely conducted to monitor chromatin accessibility in SE regions and has confirmed that SEs are indeed associated with the phenotype studied in the active or inactive state [37]. First, we drew the peak center plots for

《Clinical Epigenetics》（doi: 10.1186/s13148-024-01702-1）

重庆医科大学 Wei Yuan

论著【7】评价（3）

Contents lists available at ScienceDirect

Poultry Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/psj

Establishing the super-enhancer landscape in chicken adipose tissue

Fang Mu[a,b,c,1], Yang Jing[a,b,c,1], Jiarui He[a,b,c], Junjie Hou[a,b,c], Jiaxin Huang[a,b,c], Jiayi Zhang[a,b,c], Fan Gao[a,b,c], Ming Lou[a,b,c], Xiaohong Yan[a,b,c], Ning Wang[a,b,c,*]

Zhang, J., Zhou, Y., Yue, W., Zhu, Z., Wu, X., Yu, S., Shen, Q., Pan, Q., Xu, W., Zhang, R., Wu, X., Li, X., Li, Y., Li, Y., Wang, Y., Peng, S., Zhang, S., Lei, A., Ding, X., Yang, F., Chen, X., Li, N., Liao, M., Wang, W., Hua, J., 2022. Super-enhancers conserved within placental mammals maintain stem cell pluripotency. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 119, e2204716119. https://doi.org/10.1073/pnas.2204716119.

Accumulating evidence indicates that SEs exhibit both evolutionarily conserved and species-specific features across species (Sethi et al., 2017; Zhang et al., 2022). Previous studies have identified SEs in the adipose tissue of multiple species, including pigs (Yu et al., 2024), mouse brown adipocytes (Lai et al., 2017), differentiating mouse brown and white

Ning Wang 东北农业大学动物科学与技术学院 《Poultry Science》 （doi: 10.1016/j.psj.2025.105746）

Evolutionary conservation of VSX2 super-enhancer modules in retinal development

Victoria Honnell[1], Shannon Sweeney[1], Jackie Norrie[1], Madison Parks[1], Cody Ramirez[1], Asha Jacob Jannu[1], Beisi Xu[2], Brett Teubner[1], Ah Young Lee[3], Claire Bell[3] and Michael A. Dyer[1,*]

(Hnisz et al., 2013). There is growing evidence that many super-enhancers important for development in vertebrates are evolutionarily conserved (Khan et al., 2018; Pérez-Rico et al., 2017; Zhang et al., 2022). Here, we demonstrate that the *Vsx2/VSX2* super-enhancer has

Zhang, J., Zhou, Y., Yue, W., Zhu, Z., Wu, X., Yu, S., Shen, Q., Pan, Q., Xu, W., Zhang, R. et al. (2022). Super-enhancers conserved within placental mammals maintain stem cell pluripotency. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **119**, e2204716119. doi:10.1073/pnas.2204716119

美国圣裘德儿童研究医院 Michael A Dyer 《Development》（doi:10.1242/dev.202435）

论著【7】评价（4）

Wang *et al. J Exp Clin Cancer Res* (2023) 42:183
https://doi.org/10.1186/s13046-023-02763-5

Journal of Experimental & Clinical Cancer Research

REVIEW Open Access

Super-enhancers complexes zoom in transcription in cancer

MengTing Wang[1,2,3†], QingYang Chen[4†], ShuJie Wang[4†], Han Xie[1,2], Jun Liu[1,2], RuiXiang Huang[1,2], YuFei Xiang[1,2], YanYi Jiang[5,6*], DaSheng Tian[1,2*] and ErBao Bian[1,2,3*]

142. Zhang J, Zhou Y, Yue W, Zhu Z, Wu X, Yu S, et al. Super-enhancers conserved within placental mammals maintain stem cell pluripotency. Proc Natl Acad Sci USA. 2022;119(40): e2204716119.

In addition, SE-driven oncogene PIM1 knockdown has been shown to substantially inhibit osteosarcoma cell migration and invasion [141, 142]. Recent studies have

安徽医科大学 ErBao Bian 《Journal Of Experimental & Clinical Cancer Research》（10.1186/s13046-023-02763-5）

论著【7】评价（5）

Feng et al. J Exp Clin Cancer Res (2023) 42:44
https://doi.org/10.1186/s13046-023-02615-2

Journal of Experimental &
Clinical Cancer Research

RESEARCH Open Access

The BRD4 inhibitor JQ1 augments the antitumor efficacy of abemaciclib in preclinical models of gastric carcinoma

Mei Feng[1†], Hao Xu[1†], Wenyuan Zhou[2] and Yisheng Pan[1*]

ulated in ABE-treated cells [44]. Meanwhile, JQ1-treated cells showed a dysfunction of epigenetic regulation [45].

45. Zhang J, Zhou Y, Yue W, Zhu Z, Wu X, Yu S, et al. Super-enhancers conserved within placental mammals maintain stem cell pluripotency. Proc Natl Acad Sci U S A. 2022;119(40):e2204716119.

北京大学 Yisheng Pan 《Journal Of Experimental & Clinical Cancer Research》

（10.1186/s13046-023-02615-2）

cells MDPI

Article

Ovulatory Signal-Driven H3K4me3 and H3K27ac Remodeling in Mural Granulosa Cells Orchestrates Oocyte Maturation and Ovulation

Furui Wang [1,†], Wenjing Wang [1,2,†], Shuai Zhang [1], Yinjuan Wang [1], Ruimen Zhang [3], Lei An [1], Jianhui Tian [1] and Guangyin Xi [1,*]

2.4. Inhibitor Treatment

We used JQ-1 (an inhibitor of the H3K27ac modification enzyme BRD4) [39,40] and Bcl-121 (an inhibitor of the H3K4me3 modification enzyme SMYD3) [41] to interfere with H3K27ac and H3K4me3 modifications to explore the effects of these two histone modifications on LH/hCG-induced MGC gene expression, follicle ovulation rate, and oocyte maturation. JQ-1 and Bcl-121, both from TargetMol (T5443 and T5322, Shanghai, China),

39. Zhang, J.; Zhou, Y.; Yue, W.; Zhu, Z.; Wu, X.; Yu, S.; Shen, Q.; Pan, Q.; Xu, W.; Zhang, R.; et al. Super-enhancers conserved within placental mammals maintain stem cell pluripotency. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2022**, *119*, e2090251177. [CrossRef]

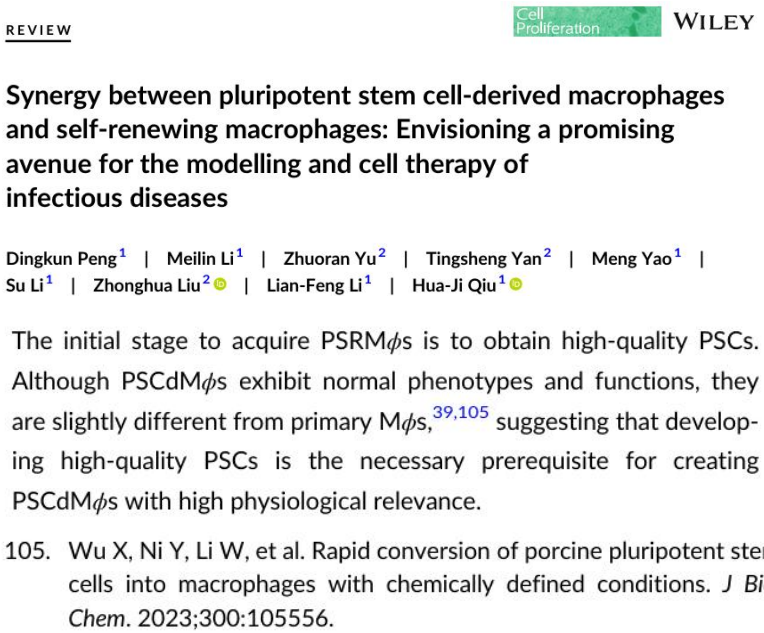
中国农业大学 Guangyin Xi 《Cells》(doi: 10.3390/cells15010034)

论著【8】被引用 6 次，该论著**首次建立了化学成分明确的二维的猪多能干细胞向猪巨噬细胞定向诱导分化体系。通过该体系可成功获得具备完整生物学功能的猪多能干细胞源巨噬细胞，其具有内吞能力、吞噬大肠杆菌能力、对 LPS 刺激的反应能力和支持 PRRSV 感染和复制的能力。该成果被广泛应用于猪多能干细胞源巨噬细胞可行性验证和家畜病毒感染模型构建等研究领域。同行总体认可其在诱导体系建立和功能性猪巨噬细胞方面的研究价值。**

（1）首次建立了化学成分明确的猪多能干细胞源巨噬细胞的诱导分化体系。本研究解决了传统原代巨噬细胞来源不稳定、批次差异大的技术难题。中国农业科学院哈尔滨兽医研究所著名学者仇华吉教授（Huaji Qiu）在《Cell Proliferation》（doi: 10.1111/cpr.13770）中做出正面评价：**“尽管与原代巨噬细胞略有不同，多能干细胞源巨噬细胞表现出正常猪巨噬细胞的表型和功能”。多能干细胞源巨噬细胞可作为稳定、可靠的细胞研究平台，为后续病原体与宿主细胞互作研究、家畜免疫调控等相关研究提供优质的种子细胞。**

（2）完善了猪等家畜细胞的发育和增殖调控理论，为大型家畜细胞的增殖分化研究提供理论和技术支持。韩国汉京国立大学在《Animals (Basel)》（doi：10.3390/ani16020213）直接引用本研究中“猪 MCM3 和 MCM10 可促进细胞增殖”的结论，证实猪体内 MCM3、MCM10 基因高表达可维持细胞基因组稳定性、促进肠道上皮细胞增殖，而基因表达下调会引发细胞周期紊乱、抑制细胞增殖。

论著【8】评价（1）



REVIEW

Cell Proliferation WILEY

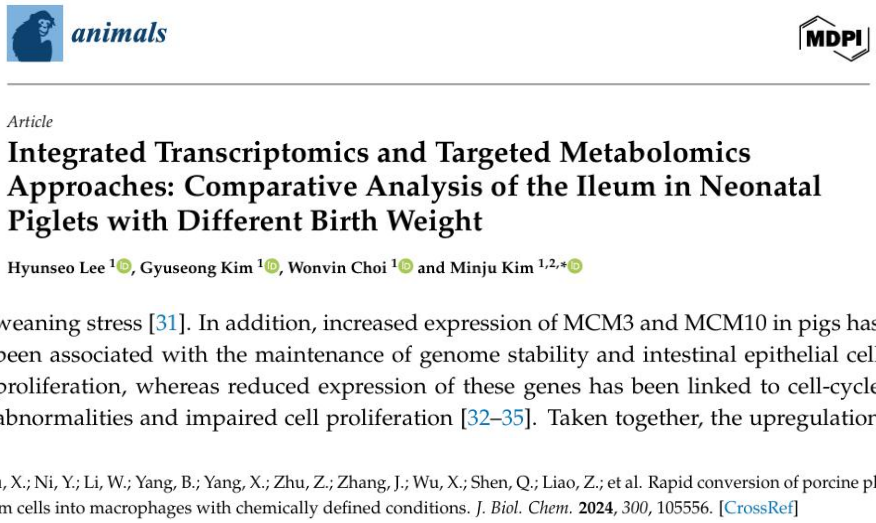
Synergy between pluripotent stem cell-derived macrophages and self-renewing macrophages: Envisioning a promising avenue for the modelling and cell therapy of infectious diseases

Dingkun Peng[1] | Meilin Li[1] | Zhuoran Yu[2] | Tingsheng Yan[2] | Meng Yao[1] | Su Li[1] | Zhonghua Liu[2] | Lian-Feng Li[1] | Hua-Ji Qiu[1]

The initial stage to acquire PSRMϕs is to obtain high-quality PSCs. Although PSCdMϕs exhibit normal phenotypes and functions, they are slightly different from primary Mϕs,[39,105] suggesting that developing high-quality PSCs is the necessary prerequisite for creating PSCdMϕs with high physiological relevance.

105. Wu X, Ni Y, Li W, et al. Rapid conversion of porcine pluripotent stem cells into macrophages with chemically defined conditions. *J Biol Chem*. 2023;300:105556.

论著【8】评价（2）



animals

MDPI

Article

Integrated Transcriptomics and Targeted Metabolomics Approaches: Comparative Analysis of the Ileum in Neonatal Piglets with Different Birth Weight

Hyunseo Lee [1], Gyuseong Kim [1], Wonvin Choi [1] and Minju Kim [1,2,*]

weaning stress [31]. In addition, increased expression of MCM3 and MCM10 in pigs has been associated with the maintenance of genome stability and intestinal epithelial cell proliferation, whereas reduced expression of these genes has been linked to cell-cycle abnormalities and impaired cell proliferation [32–35]. Taken together, the upregulation

35. Wu, X.; Ni, Y.; Li, W.; Yang, B.; Yang, X.; Zhu, Z.; Zhang, J.; Wu, X.; Shen, Q.; Liao, Z.; et al. Rapid conversion of porcine pluripotent stem cells into macrophages with chemically defined conditions. *J. Biol. Chem.* **2024**, *300*, 105556. [CrossRef]

论著【9】被引用 34 次，该论著建立了基于明确因子的小鼠胚胎干细胞向雄性生殖细胞连续分化体系，获得了具有睾丸定植、生精恢复和后代产生能力的精原干细胞样细胞，并揭示了 *Eif2s3y* 对体外生精分化的促进作用。相关成果被后续研究**广泛用于论证多能干细胞来源精原干细胞的可行性，并应用于 SSC 形成调控网络、Y 染色体生精功能、男性不育模型及家畜体外配子发生研究。同行总体认可其在培养体系简化和功能性 SSCLC 获得方面的价值。**

（1）在 ESC 向 SSC 分化体系的建立方面提供了理论和技术依据。美国威尔康奈尔医学院 Gianpiero D Palermo 教授、中国清华大学 Kehkooi Kee 教授和内蒙古大学 Haiquan Yu 教授分别在《Molecular Human Reproduction》（doi: 10.1093/molehr/gaag036）、《Human Reproduction Update》（doi: 10.1093/humupd/dmaa021）和《Frontiers in Physiology》（DOI: 10.3389/fphys.2022.949486）中做出正面评价：ESC 向 SSC 体外分化有助于研究人类 SSC 形成的替代模型；有助于理解男性不育；为进一步寻找调控 ESC 向 SSC 分化的关键因子提供了实验基础。

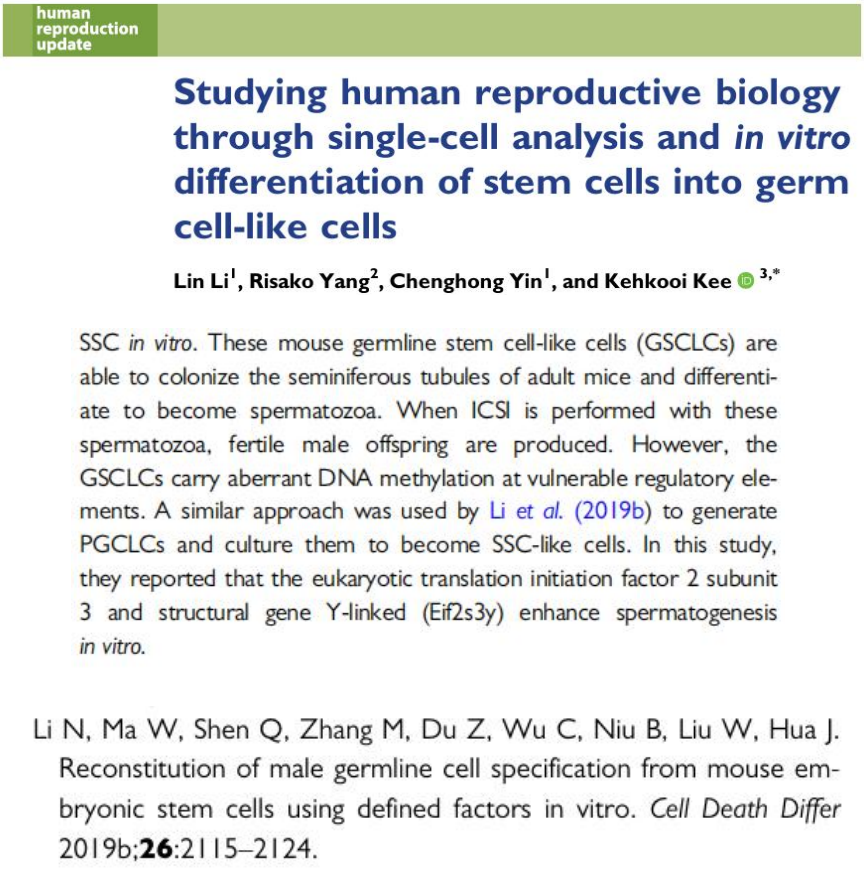
（2）为禽畜干细胞来源的生殖细胞诱导体系提供重要借鉴。阿根廷布宜诺斯艾利斯圣马丁将军国立大学 Adrián Mutto 教授、美国加州大学戴维斯分校 Anna Carolina Denicol 和 P J Ross 教授、智利圣地亚哥大学 Oscar A Peralta 教授以及中国扬州大学 Kai Jin 教授均高度认可该论著建立的诱导体系，本研究构建的诱导体系可为禽类和家畜的生殖细胞特征提供关键理论依据。本团队也在本文章的诱导方案的基础上，成功建立了猪等家畜动物的 PGCLC 的诱导方案，且已成功发表在《THERIOGENOLOGY》（DOI：10.1016/j.theriogenology.2025.117718）。

（3）被用于证明“ESC 来源 SSCLC 具有体内生精功能”。荷兰阿姆斯特丹大学的 Geert

Hamer 教授在《Stem Cell Reports》（doi: 10.1016/j.stemcr.2020.10.006）中评论小鼠 ESC 可以被诱导为 PGCLC、SSCLC 或生殖干细胞样细胞，这些细胞移植到不育小鼠曲细精管后，可以继续进行生精分化。Geert Hamer 教授认为 SSCLC 移植结果被后续研究用作评价体外诱导细胞“功能性”的重要依据。相比仅检测 VASA、DAZL、PLZF、GFRα1 等标志物，原论文进一步进行了受体睾丸移植和后代获得实验，使其在后续文献中经常被归入“功能性 SSCLC”的研究。

（4）Eif2s3y 被作为促进生殖细胞分化和精原细胞扩增的候选因子。美国密歇根州东兰辛动物科学系 Keith E Latham 教授认为，小鼠 PGCLC 可以在生长因子组合条件下形成 SSCLC，而 Eif2s3y 过表达可以进一步改善这一过程。英国弗朗西斯克里克研究所 James Turner 教授对华进联工作做出正面评论，认为 Eif2s3y 从“维持小鼠生精所必需的 Y 连锁基因”，推进为“可以人为提高 PSC 来源雄性生殖细胞诱导效率的调控靶点”。多项评论认为论著【9】为家畜体外配子发生和“体外育种”研究的理论参照。美国加利福尼亚大学 Anna Carolina Denicol 教授认为论著【9】的工作为家畜雄性体外配子发生提供了重要基础。

论著【9】评价（1）


human reproduction update

Studying human reproductive biology through single-cell analysis and *in vitro* differentiation of stem cells into germ cell-like cells

Lin Li[1], Risako Yang[2], Chenghong Yin[1], and Kehkooi Kee[3,*]

SSC *in vitro*. These mouse germline stem cell-like cells (GSCLCs) are able to colonize the seminiferous tubules of adult mice and differentiate to become spermatozoa. When ICSI is performed with these spermatozoa, fertile male offspring are produced. However, the GSCLCs carry aberrant DNA methylation at vulnerable regulatory elements. A similar approach was used by Li *et al.* (2019b) to generate PGCLCs and culture them to become SSC-like cells. In this study, they reported that the eukaryotic translation initiation factor 2 subunit 3 and structural gene Y-linked (Eif2s3y) enhance spermatogenesis *in vitro*.

Li N, Ma W, Shen Q, Zhang M, Du Z, Wu C, Niu B, Liu W, Hua J. Reconstitution of male germline cell specification from mouse embryonic stem cells using defined factors in vitro. *Cell Death Differ* 2019b;**26**:2115–2124.

中国清华大学 Kehkooi Kee 教授 《Human Reproduction Update》（doi: 10.1093/humupd/dmaa021）

frontiers | Frontiers in Physiology

TYPE Original Research
PUBLISHED 08 December 2022
DOI 10.3389/fphys.2022.949486

Check for updates

OPEN ACCESS

EDITED BY
Huan Zhang,
University of Science and Technology of China, China

REVIEWED BY
Radha Chaube,
Institute of Science, Banaras Hindu University, India
Kang Zou,
Nanjing Agricultural University, China

*CORRESPONDENCE
Haiquan Yu,

Integrated bioinformatics analysis of the transcription factor-mediated gene regulatory networks in the formation of spermatogonial stem cells

Kesong Shi†, Baoluri Wang†, Le Dou, Shu Wang, Xinrui Fu and Haiquan Yu*

available (Zhou et al., 2018). At present, both in mice and humans, several studies have found that ESCs have the ability to form putative primordial germ cells (PGCs), and these ESC-derived PGCs could further differentiate into SSCs (Nagamatsu and Hayashi, 2017; Li et al., 2019; Ishikura et al., 2021). However,

(Martin and Seandel, 2013; Sohni et al., 2019). Alternatively, studies on the differentiation of ESCs to SSCs *in vitro* might be useful to understand human SSC formation and male infertility (Martin and Seandel, 2013; Li et al., 2019). Over the past years, a wide range of mouse models and *in vitro* cell culture systems have been used to explore the formation mechanisms of SSCs, inducing ESCs into PGCs and SSCs through transgenic technologies or by adding cytokines and chemical induction reagents to the culture medium (Geijsen et al., 2004; Wan et al., 2014; Li et al., 2019). However, the low efficiency and

Li, N., Ma, W., Shen, Q., Zhang, M., Du, Z., Wu, C., et al. (2019). Reconstitution of male germline cell specification from mouse embryonic stem cells using defined factors *in vitro*. *Cell Death Differ.* 26 (10), 2115–2124. doi:10.1038/s41418-019-0280-2

内蒙古大学 Haiquan Yu

Molecular Human Reproduction, 2026, **32**(**3**), gaag036
https://doi.org/10.1093/molehr/gaag036
Advance Access Publication Date: June 4, 2026
Original Research

molecular human reproduction OXFORD

Induction of male neogametogenesis in a three-dimensional microenvironment supporting successful fertilization and proper embryo development

Eros Lari, Lily Ng, Philip Xie, Stephanie Cheung, Sabrina Bains, Zev Rosenwaks, and Gianpiero D. Palermo*

Spheres were initially submerged in epiblast-like cell (EpiLC) medium consisting of 0.02 μg/ml Activin A recombinant protein (Thermo Fisher), 0.012 μg/ml bFGF protein (Thermo Fisher), 1% KnockOut™ Serum Replacement (KSR; Thermo Fisher) for 3 days (Hayashi *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2019), media were changed every day.

Li N, Ma W, Shen Q, Zhang M, Du Z, Wu C, Niu B, Liu W, Hua J. Reconstitution of male germline cell specification from mouse embryonic stem cells using defined factors in vitro. *Cell Death Differ* 2019;**26**:2115–2124.

美国威尔康奈尔医学院 Gianpiero D Palermo 教授 《Molecular Human Reproduction》（doi: 10.1093/molehr/gaag036）

论著【9】评价（2）

Establishment and optimization of the two-step induction system for generating primordial germ cell-like cells from chicken embryonic stem cells

Zeyu Li[1,2,3], XianShuai Xu[1,2,3], GuangZheng Liu[1,2,3], XiaoQian Lv[1,2,3], JiuZhou Song[4], HongYan Sun[1,2,3], YingJie Niu[1,2,3], QiSheng Zuo[1,2,3,5], Wei Han[6], BiChun Li[1,2,3,5,7] and Kai Jin[1,2,3,5]

plasmic sperm injection (ICSI). Li [7] successfully transformed mouse adherent ESCs into spermatogonial stem cell-like cells (SSCLCs) and sperm-like cells. After transplantation into infertile male mice, these SSCLCs successfully produced healthy offspring.

7 Li N, Ma W, Shen Q, Zhang M, du Z, Wu C, Niu B, Liu W and Hua J (2019) Reconstitution of male germline cell specification from mouse embryonic stem cells using defined factors in vitro. *Cell Death Differ* **26**, 2115–2124.

中国扬州大学 Kai Jin 《FEBS Open Bio》（doi: 10.1002/2211-5463.70116）

Animal Reproduction

Thematic Section: 37th Annual Meeting of the Brazilian Embryo Technology Society (SBTE)

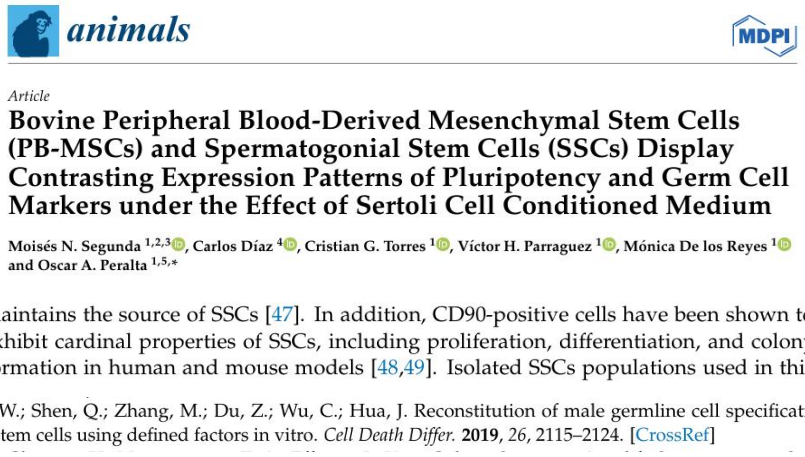
Livestock embryonic stem cells for reproductive biotechniques and genetic improvement

Micaela Navarro[1]*, Lucia Laiz-Quiroga[1], Carolina Blüguermann[1], Adrián Mutto[1]

A few years ago, the entire cycle of the mouse germ line was reconstituted *in vitro* for the first time (Hikabe et al., 2016; Li et al., 2019). Mouse ESCs were differentiated in two steps to

Li N, Ma W, Shen Q, Zhang M, Du Z, Wu C, Niu B, Liu W, Hua J. Reconstitution of male germline cell specification from mouse embryonic stem cells using defined factors in vitro. Cell Death Differ. 2019;26(10):2115-24. http://doi.org/10.1038/s41418-019-0280-2. PMid:30683919.

Anim Reprod（doi: 10.1590/1984-3143-AR2024-0029）阿根廷布宜诺斯艾利斯圣马丁将军国立大学 Adrián Mutto 教授



animals

MDPI

Article

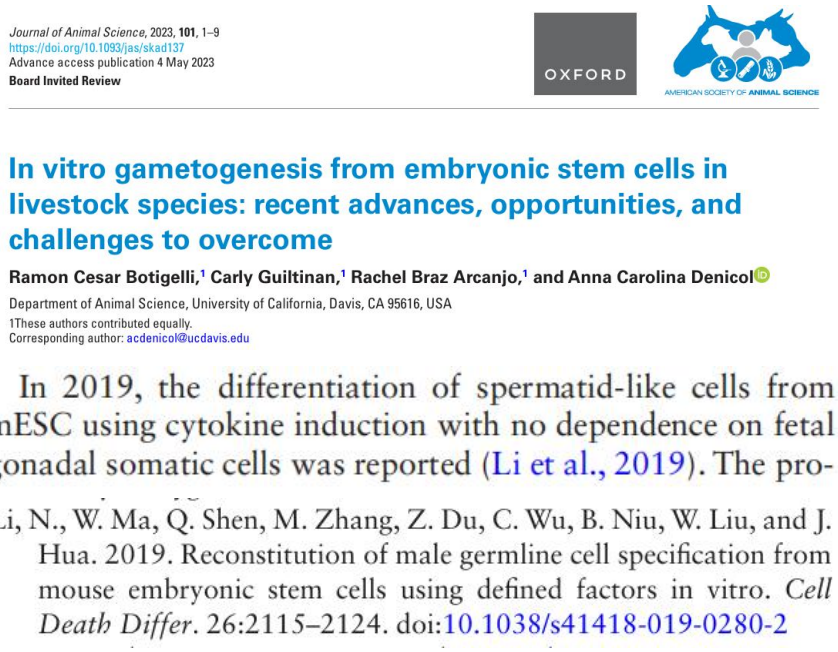
Bovine Peripheral Blood-Derived Mesenchymal Stem Cells (PB-MSCs) and Spermatogonial Stem Cells (SSCs) Display Contrasting Expression Patterns of Pluripotency and Germ Cell Markers under the Effect of Sertoli Cell Conditioned Medium

Moisés N. Segunda [1,2,3], Carlos Díaz [4], Cristian G. Torres [1], Víctor H. Parraguez [1], Mónica De los Reyes [1] and Oscar A. Peralta [1,5,*]

maintains the source of SSCs [47]. In addition, CD90-positive cells have been shown to exhibit cardinal properties of SSCs, including proliferation, differentiation, and colony formation in human and mouse models [48,49]. Isolated SSCs populations used in this

49. Li, N.; Ma, W.; Shen, Q.; Zhang, M.; Du, Z.; Wu, C.; Hua, J. Reconstitution of male germline cell specification from mouse embryonic stem cells using defined factors in vitro. *Cell Death Differ.* **2019**, *26*, 2115–2124. [CrossRef]

智利圣地亚哥大学 Oscar A Peralta Animals (Basel) （doi: 10.3390/ani14050803）



Journal of Animal Science, 2023, **101**, 1–9
https://doi.org/10.1093/jas/skad137
Advance access publication 4 May 2023
Board Invited Review

OXFORD

AMERICAN SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE

In vitro gametogenesis from embryonic stem cells in livestock species: recent advances, opportunities, and challenges to overcome

Ramon Cesar Botigelli,[1] Carly Guiltinan,[1] Rachel Braz Arcanjo,[1] and Anna Carolina Denicol

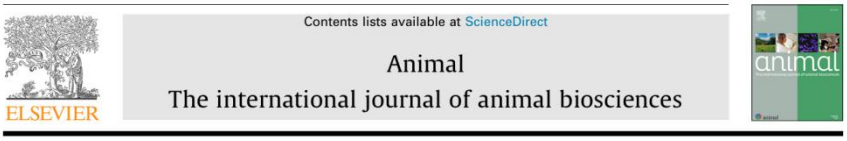
Department of Animal Science, University of California, Davis, CA 95616, USA

1These authors contributed equally.
Corresponding author: acdenicol@ucdavis.edu

In 2019, the differentiation of spermatid-like cells from mESC using cytokine induction with no dependence on fetal gonadal somatic cells was reported (Li et al., 2019). The pro-

Li, N., W. Ma, Q. Shen, M. Zhang, Z. Du, C. Wu, B. Niu, W. Liu, and J. Hua. 2019. Reconstitution of male germline cell specification from mouse embryonic stem cells using defined factors in vitro. *Cell Death Differ*. 26:2115–2124. doi:10.1038/s41418-019-0280-2

美国加州大学戴维斯分校 Anna Carolina Denicol 《J Anim Sci》（doi: 10.1093/jas/skad137）


Contents lists available at ScienceDirect

Animal

The international journal of animal biosciences

Review: Embryonic stem cells as tools for *in vitro* gamete production in livestock

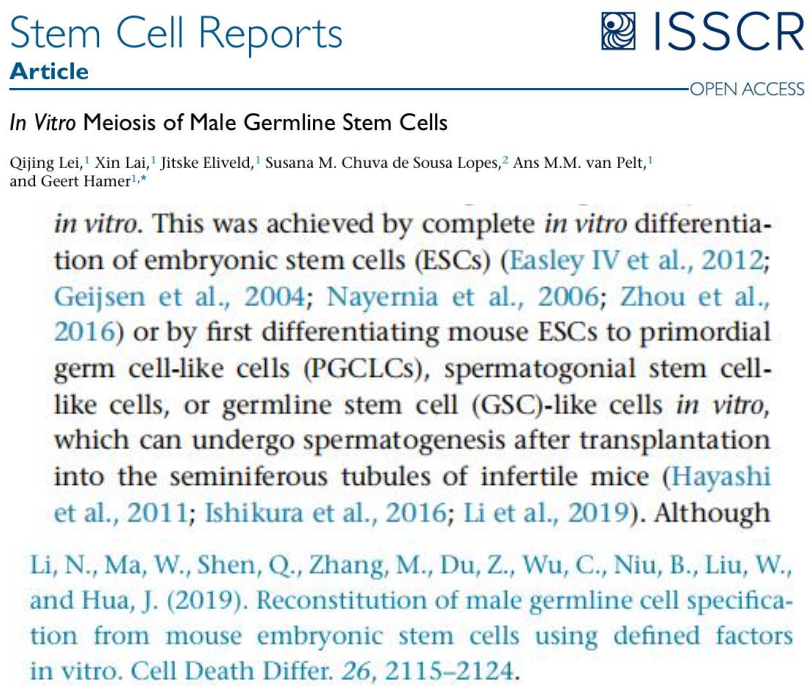
D.E. Goszczynski [a,1], M. Navarro [a,1], A.A. Mutto [a], P.J. Ross [b,c,*]

have shown different capacities for germ cell development from adult stem cells, the most substantial advances have been reported from PSCs (Hikabe et al., 2016; Yamashiro et al., 2018; Li et al., 2019; Hwang et al., 2020). In general, the procedure to produce gametes from PSCs consists of differentiating the cells to a mesodermal-like state, followed by BMP stimulation to induce differentiation to PGCLC (Hayashi et al., 2011, 2012; Hikabe et al., 2016; Li et al., 2019). Once PGCLCs are generated, several signaling

Li, N., Ma, W., Shen, Q., Zhang, M., Du, Z., Wu, C., Niu, B., Liu, W., Hua, J., 2019. Reconstitution of male germline cell specification from mouse embryonic stem cells using defined factors in vitro. Cell Death & Differentiation 26, 2115–2124.

美国加州大学戴维斯分校 P J Ross 教授 《Animal》（doi: 10.1016/j.animal.2023.100828.）

论著【9】评价（3）


Stem Cell Reports

Article

ISSCR

OPEN ACCESS

In Vitro Meiosis of Male Germline Stem Cells

Qijing Lei,[1] Xin Lai,[1] Jitske Eliveld,[1] Susana M. Chuva de Sousa Lopes,[2] Ans M.M. van Pelt,[1] and Geert Hamer[1,*]

in vitro. This was achieved by complete *in vitro* differentiation of embryonic stem cells (ESCs) (Easley IV et al., 2012; Geijsen et al., 2004; Nayernia et al., 2006; Zhou et al., 2016) or by first differentiating mouse ESCs to primordial germ cell-like cells (PGCLCs), spermatogonial stem cell-like cells, or germline stem cell (GSC)-like cells *in vitro*, which can undergo spermatogenesis after transplantation into the seminiferous tubules of infertile mice (Hayashi et al., 2011; Ishikura et al., 2016; Li et al., 2019). Although

Li, N., Ma, W., Shen, Q., Zhang, M., Du, Z., Wu, C., Niu, B., Liu, W., and Hua, J. (2019). Reconstitution of male germline cell specification from mouse embryonic stem cells using defined factors in vitro. Cell Death Differ. *26*, 2115–2124.

荷兰 阿姆斯特丹 Geert Hamer 教授在《Stem Cell Reports》（doi: 10.1016/j.stemcr.2020.10.006）

REVIEW ARTICLE OPEN ACCESS

In Vitro Gamete Production in Mammals: Decades of Pioneering Approaches in Germ Cell and Stem Cell Biology Supporting Innovative Discovery and Expansion of Human Reproductive Potential

Keith E. Latham[1,2]

ferentiation. The second common step in deriving PGCLCs employs PGCLC inducers to covert the cells from the above first step into PGCLCs. This second step commonly involves the use

of bone morphogenetic proteins BMP4 and BMP8a, Stem Cell Factor (SCF), LIF Interleukin 6 Family Cytokine (LIF), and Epidermal Growth Factors (EGF) and some form of a low-adherent or non-adherent floating cell aggregate culture system (Aflatoonian et al. 2009; Cui et al. 2023; Hayashi et al. 2017; Hayashi and Saitou 2013; Ishikura et al. 2021; Kurek et al. 2020; Li et al. 2019; Seita et al. 2023; Shirasawa et al. 2024; Shono et al. 2023; Wang et al. 2016). PGCLC formation in

Li, N., W. Ma, Q. Shen, et al. 2019. "Reconstitution of Male Germline Cell Specification From Mouse Embryonic Stem Cells Using Defined Factors In Vitro." *Cell Death & Differentiation* 26: 2115–2124. https://doi.org/10.1038/s41418-019-0280-2.

美国密歇根州东兰辛动物科学系 Keith E Latham 教授 Mol Reprod Dev.（doi: 10.1002/mrd.70072）

论著【10】被引用 78 次，该论著表明褪黑素可缓解白消安等烷化类药物带来的毒副作用。褪黑素可通过上调锰超氧化物歧化酶（MnSOD）并沉默信息调节因子 1（SIRT1）的表达，有效改善小鼠睾丸中由白消安诱发的、高活性氧与 p53 介导的精原干细胞丢失与细胞凋亡，为缓解含烷化剂的免疫抑制或抗肿瘤治疗所造成的精原干细胞损伤提供了新的治疗思路。相关成果被广泛应用于缓解活性氧介导的细胞凋亡。同行高度认可其在缓解活性氧损伤方面的研究价值。

（1）伊朗伊斯法罕医学科学大学的 Maryam Khanehzad 教授在《Stem Cell Research & Therapy》（doi: 10.1186/s13287-022-03029-1）中认可该论著【10】在长期冷冻和储存精原干细胞中的积极作用。

（2）法国克莱蒙奥弗涅大学 David H Volle 教授在《Advanced Science》（doi: 10.1002/advs.202200626）中认可该论著【10】提出的活性氧造成细胞凋亡的观点。

（3）安徽医科大学 Yunxia Cao 教授，日本广岛大学 Yumi Hoshino 和美国加州大学 D Leanne Jones 教授分别在《Cells》（doi: 10.3390/cells11101690），《Stem Cell Research & Therapy》（doi: 10.1186/s13287-017-0687-y）和《Free Radical Biology & Medicine》（doi:

10.1016/j.freeradbiomed.2021.02.001）认可该论著【10】的实验结论“褪黑素可以缓解癌症化疗过程中化疗药物对正常细胞的破坏以及活性氧造成细胞凋亡”。

（4）南京医科大学 Boxian Huang 教授和 Hong Li 教授均在《Stem Cell Research & Therapy》（doi: 10.1186/s13287-020-01803-7；doi: 10.1186/s13287-021-02275-z）使用本论著所建立的白消安老鼠模型。

论著【10】评价（1）

Kazemzadeh *et al.*
Stem Cell Research & Therapy (2022) 13:346
https://doi.org/10.1186/s13287-022-03029-1

Stem Cell Research & Therapy

RESEARCH Open Access

Melatonin in cryopreservation media improves transplantation efficiency of frozen–thawed spermatogonial stem cells into testes of azoospermic mice

Shokoofeh Kazemzadeh[1], Shahram Mohammadpour[2,3], Soheila Madadi[4], Azar Babakhani[2,3], Maryam Shabani[5] and Maryam Khanehzad[6*]

age. Therefore, isolation, culture, and freezing of SSCs for long-term storage may be a suitable method to maintain and restore future fertility in these patients before using anticancer drugs [3, 4].

4. Li B, et al. Melatonin ameliorates busulfan-induced spermatogonial stem cell oxidative apoptosis in mouse testes. Antioxid Redox Signal. 2018;28(5):385–400.

伊朗伊斯法罕医学科学大学 Maryam Khanehzad 《Stem Cell Research & Therapy》 doi: 10.1186/s13287-022-03029-1

论著【10】评价（2）

RESEARCH ARTICLE

ADVANCED SCIENCE Open Access
www.advancedscience.com

Identification of a Crosstalk among TGR5, GLIS2, and TP53 Signaling Pathways in the Control of Undifferentiated Germ Cell Homeostasis and Chemoresistance

*Laura Thirouard, Hélène Holota, Mélusine Monrose, Manon Garcia, Angélique de Haze, Christelle Damon-Soubeyrand, Yoan Renaud, Jean-Paul Saru, Alessia Perino, Kristina Schoonjans, Claude Beaudoin, and David H. Volle**

of cytochrome C and induction of apoptosis. Furthermore, Bu-treated testes exhibited an increase in lipid peroxidation after 1–2 weeks,[12,13] suggesting an increase in reactive oxygen species (ROS) production, leading to apoptosis following Bu exposure.[14]

[14] B. Li, X. He, M. Zhuang, B. Niu, C. Wu, H. Mu, F. Tang, Y. Cui, W. Liu, B. Zhao, S. Peng, G. Li, J. Hua, *Antioxid. Redox Signaling* **2018**, *28*, 385.

法国克莱蒙奥弗涅大学 David H Volle 《Advanced Science》 doi: 10.1002/advs.202200626

论著【10】评价（3）

cells MDPI

Article

Activation of MT1/MT2 to Protect Testes and Leydig Cells against Cisplatin-Induced Oxidative Stress through the SIRT1/Nrf2 Signaling Pathway

Junqiang Zhang [1,2,3], Yuan Fang [4], Dongdong Tang [1,2,3], Xingyu Xu [5], Xiaoqian Zhu [1,2,3], Shusheng Wu [6], Hui Yu [1,2,7], Huiru Cheng [1,2,3], Ting Luo [8], Qunshan Shen [1,2,8], Yang Gao [1,8,9], Cong Ma [1,8,9], Yajing Liu [1,2,9], Zhaolian Wei [1,2,8], Xiaoyu Chen [10], Fangbiao Tao [1,2,3], Xiaojin He [1,2,3,*] and Yunxia Cao [1,2,3,*]

marrow, placenta, ovaries, and testes [23]. Furthermore, melatonin inhibits the destruction of normal cells by chemotherapeutic drugs during chemotherapy for reproductive or non-reproductive cancers and amplifies the pathway associated with chemotherapeutic-drug-induced cancer cell death [24,25]. Melatonin also reduces cisplatin-induced testicular

25. Li, B.; He, X.; Zhuang, M.; Niu, B.; Wu, C.; Mu, H.; Tang, F.; Cui, Y.; Liu, W.; Zhao, B.; et al. Melatonin Ameliorates Busulfan-Induced Spermatogonial Stem Cell Oxidative Apoptosis in Mouse Testes. *Antioxid Redox Signal* **2018**, *28*, 385–400. [CrossRef]

安徽医科大学 Yunxia Cao 《Cells》doi: 10.3390/cells11101690

Navid *et al. Stem Cell Research & Therapy* (2017) 8:233
DOI 10.1186/s13287-017-0687-y

Stem Cell Research & Therapy

RESEARCH Open Access

The effects of melatonin on colonization of neonate spermatogonial mouse stem cells in a three-dimensional soft agar culture system

Shadan Navid[1], Mehdi Abbasi[1*] and Yumi Hoshino[2]

In another study, Li et al. [52] claimed that melatonin promotes manganese superoxide dismutase (*MnSOD*) and sirtuin type 1 (*SIRT1*) expression, and therefore promotes busulfan-induced SSC apoptosis in the presence of high concentrations of ROS and p53.

52. Li B, et al. Melatonin ameliorates busulfan-induced spermatogonial stem cell oxidative apoptosis in mouse testes. Antioxidant Redox Signal. 2017.

日本广岛大学　Yumi Hoshino　doi: 10.1186/s13287-017-0687-y



HHS Public Access
Author manuscript
Free Radic Biol Med. Author manuscript; available in PMC 2022 April 01.

Published in final edited form as:
Free Radic Biol Med. 2021 April ; 166: 67–72. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2021.02.001.

Redox signaling as a modulator of germline stem cell behavior: Implications for regenerative medicine

Rafael Sênos Demarco[1], **D. Leanne Jones**[1,2,3,#]

antioxidants themselves. For instance, the pineal gland hormone N-acetyl-5-methoxy-tryptamine (melatonin) has been used in a few studies related to SSC behavior [57–59].

[58]. Li B, He X, Zhuang M, Niu B, Wu C, Mu H, Tang F, Cui Y, Liu W, Zhao B, Peng S, Li G, Hua J, Melatonin Ameliorates Busulfan-Induced Spermatogonial Stem Cell Oxidative Apoptosis in Mouse Testes, Antioxid Redox Signal 28(5) (2018) 385–400. [PubMed: 28027652]

美国加州大学 D Leanne Jones 教授分《Free Radical Biology & Medicine》（doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2021.02.001）

论著【10】评价（4）

Qian *et al. Stem Cell Research & Therapy* (2020) 11:290
https://doi.org/10.1186/s13287-020-01803-7

Stem Cell Research & Therapy

RESEARCH Open Access



Human amnion mesenchymal stem cells restore spermatogenesis in mice with busulfan-induced testis toxicity by inhibiting apoptosis and oxidative stress

Chunfeng Qian[1,2†], Qingxia Meng[1,2†], Jiafeng Lu[1†], Liya Zhang[1,2], Hong Li[1,2] and Boxian Huang[1,2*]

26. Li B, He X, Zhuang M, Niu B, Wu C, Mu H, et al. Melatonin ameliorates busulfan-induced spermatogonial stem cell oxidative apoptosis in mouse testes. Antioxid Redox Signal. 2018;28(5):385–400.

nized and passaged when at 80–90% confluence. Busulfan was administered to Sertoli cells with some modifications according to the method described previously [26]. Briefly, busulfan at a concentration of

南京医科大学 Boxian Huang doi: 10.1186/s13287-020-01803-7

https://doi.org/10.1186/s13287-021-02275-z

Stem Cell Research & Therapy

RESEARCH Open Access

Human placental mesenchymal stem cells ameliorate chemotherapy-induced damage in the testis by reducing apoptosis/ oxidative stress and promoting autophagy

Jiafeng Lu[1†], Zhenxing Liu[1†], Mingkai Shu[2†], Liya Zhang[1], Wenjuan Xia[1], Liuna Tang[1], Jincheng Li[1], Boxian Huang[1*] and Hong Li[1*]

90% confluence. Busulfan was added to Sertoli cells based on a previously described approach with slight alterations [21]. Briefly, Sertoli cells were treated with

21. Li B, He X, Zhuang M, Niu B, Wu C, Mu H, Tang F, Cui Y, Liu W, Zhao B, Peng S, Li G, Hua J. Melatonin ameliorates busulfan-induced spermatogonial stem cell oxidative apoptosis in mouse testes. Antioxid Redox Signal. 2018; 28(5):385–400. https://doi.org/10.1089/ars.2016.6792.

南京医科大学 Hong Li 教授在《Stem Cell Research & Therapy》（doi: 10.1186/s13287-021-02275-z）

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	一种精原干细胞体外无饲养层长期培养方法	中国	ZL 2018 10671 361.7	2021-08-31	4647 480	西北农林科技大学	华进联，张莹，沈巧艳，祝振硕，李娜
2	发明专利	含有人脐带间充质干细胞冻干粉的抑菌水凝胶的制备方法	中国	ZL20 21 10641 566.2	2023-07-25	6172 110	西北农林科技大学	涂琴，任宇，艾力.艾尔肯，王进义，华进联，李雯，黄婷，袁茂森，李天保，许娟
3	发明专利	干细胞衍生制剂及其制备方法和应用	中国	ZL20 22 1 14665 36.3	2024-03-08	6766 715	百欧派（天津）生物技术有限公司，西北农林科技大学	华进联，艾力·艾尔肯，曹选红，赵献军，李巴仑，谭宁，寇正
4	发明专利	海藻糖和甜菜碱在冻存细胞中的应用	中国	ZL20 22 1 16312 98.7	2024-03-08	6762 897	百欧派（天津）生物技术有限公司，西北农林科技大学	华进联，李巴仑，韩苗，李琛琛，赵献军
5	发明专利	一种永生化的猪胰腺干细胞系及其构建与分化方法	中国	ZL20 10 1 02043 56.9	2012-11-21	1081 928	陕西九洲生物医药集团科技有限公司	曹晖，楚元奎，华进联，窦忠英
6	发明专利	一种靶向毛囊干细胞防治脱发的外用型日化品配方	中国	ZL20 19112 35 5676	2019-12-05	5240 603	西北农林科技大学	贺鑫; 王文娟
7	论文	Super-enhancers conserved within placental mammals maintain stem cell pluripotency	美国	119(40):e2204716119.	2022-10-4	Proceedings of the National Acad	西北农林科技大学	张炬庆，周亚琦，岳威，祝振硕，吴晓龙，于帅，沈巧艳，潘琴，徐文静，张睿，吴晓洁，

						emy of Sciences of the United States of America		李新梅, 李亚宇, 李云香, 王禹, 彭莎, 张仕强, 雷安民, 丁新宝, 杨藩, 陈兴启, 李娜, 廖明帜, 王伟, 华进联
8	论文	Rapid conversion of porcine pluripotent stem cells into macrophages with chemically defined conditions	美国	300(11):105556	2023-12-12	Journal of Biological Chemistry	西北农林科技大学	吴晓龙，倪宇，李文豪，杨玢，杨昕淳，祝振硕，张炬庆，吴筱洁，沈巧艳，廖正，袁利明，陈云龙，杜谦，王承宝，刘澎涛，苗义良，李娜，张仕强，廖明帜，华进联
9	论文	Reconstitution of male germline cell specification from mouse embryonic stem cells using defined factors in vitro	美国	26(10):2115-2124	2019-06-25	Cell Death & Differentiation	西北农林科技大学	李娜，马文涛，沈巧艳，张梦菲，都昭宇，吴崇阳，牛博文，刘文清，华进联
10	论文	Melatonin Ameliorates Busulfan-Induced	美国	28(5):385-400	2018-02-10	Antioxidants & Redox Signa	西北农林科技大学	李波，贺鑫，庄梦茹，牛博文，吴崇阳，穆海龙，唐芙蓉，崔艳华，刘维帅，赵宝

		Spermatogonial Stem Cell Oxidative Apoptosis in Mouse Testes				ling		玉，彭莎，李光鹏，华进联

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	华进联	研究员	西北农林科技大学	项目负责人围绕动物多能性干细胞自我更新、定向分化及其在动物育种和疾病防治中的应用，系统提出项目总体思路和技术路线，主导开展多能性干细胞分离培养、超级增强子调控机制、巨噬细胞和雄性生殖细胞定向分化、基因编辑与克隆繁育等关键技术研发，推动获得 CD163-MSTN 双基因敲除猪，揭示 DMRT1、UCHL1 等因子在睾丸稳态维持和抗感染中的作用，并组织建立多类干细胞疾病模型和治疗评价体系。同时，积极推进成果与企业需求对接，促进相关技术在细胞制备、外泌体应用、药物筛选和健康产品研发等领域推广应用，对本项目主要科技创新的形成及成果转化发挥了核心和主导作用。
2	李 娜	副研究员	西北农林科技大学	第二完成人围绕多能性干细胞向雄性生殖细胞分化及生殖系统抗感染机制开展了系统研究，主导建立胚胎干细胞向生殖细胞定向诱导与功能评价体系，为解析生殖细胞发育分化规律及开展基因功能研究提供了重要技术平台；以多能性干细胞和生殖干细胞为种子细胞，结合基因编辑和动物模型，参与筛选并验证 DMRT1、UCHL1 等关键转录调控因子在生殖干细胞命运调控、睾丸稳态

				维持和感染损伤防御中的作用，推动相关研究由细胞分化技术向抗病机制解析和种质创新延伸，为布氏杆菌等重大动物疫病抗病靶点挖掘及抗病家畜新品系培育积累了重要的细胞和种质资源，对本项目相关科技创新成果的形成作出了重要贡献。
3	吴晓龙	助理研究员	西北农林科技大学	第三完成人创建多能干细胞高效分化为巨噬细胞的体系，为抗病育种和动物疾病模型等等奠定了基础，形成了由多能性维持、谱系诱导、细胞成熟到功能评价的较完整技术流程，为研究免疫细胞分化提供了稳定的体外模型，同时为干细胞介导的抗病育种提供了优质的种子细胞。
4	张炬庆	助理研究员	西北农林科技大学	第四完成人鉴定了人、小鼠和猪多能性相关超级增强子，构建了跨物种多能性超级增强子调控图谱，证实 BRD4 是维持多能性相关超级增强子活性及其功能的关键调控分子，并发现 SOX2、PIM1 和 FGFR1 三个在胎盘哺乳动物中高度保守的超级增强子。相关研究从顺式调控元件和表观转录调控层面揭示了多能性干细胞自我更新与分化命运决定的新机制，为解析不同物种多能性维持规律及优化动物干细胞培养体系提供了理论依据。
5	廖明岷	教授	西北农林科技大学	第五完成人长期围绕动物生殖发育与干细胞多能性维持的基因调控机制开展研究，将超级增强子预测、转录组测序、单细胞转录组及多组学整合分析引入家畜干细胞研究。同时，推动项目形成“实验验证与计算分析双驱动”的技术模式，提升了多能性调控机制解析、干细胞质量评价及相关技术应用推广的系统性和可靠性。
6	张仕强	副教授	西北农林科技大学	第六完成人对小鼠、猪的多能干细胞建立、维持和巨噬细胞分化进行了系统研究，

				从组学层面证实诱导细胞的组织驻留巨噬细胞特征，为其替代原代肺泡巨噬细胞开展 ASFV、PRRSV 等宿主—病原互作研究提供依据。
7	涂琴	教授	西北农林科技大学	第七完成人在干细胞细胞复合功能水凝胶一体化制备工艺研发与糖尿病慢性创面诊疗应用做出重要贡献，针对糖尿病创面高糖、高氧化应激、易感染、炎症迁延的临床痛点，制备 ROS/葡萄糖双响应自修复导电复合水凝胶体系，创新将脂肪干细胞来源外泌体与功能组分动态交联复合，攻克干细胞活性载体易流失、病灶靶向释放难、敷料贴合性差等技术瓶颈，为糖尿病难愈创面提供兼具智能响应、长效干细胞活性递送、多重协同修复的新型生物材料解决方案，支撑项目再生医学转化应用体系搭建。
8	杨学义	教授	洛阳师范学院	第八完成人围绕干细胞培养与组织工程应用开展创新研究，建立皮肤表皮干细胞分离纯化及无血清培养技术，完善干细胞稳定获取与体外扩增方法。进一步建立组织工程化角膜上皮植片和真皮等同物构建技术，推动干细胞发育分化研究向组织修复与再生医学应用拓展，形成完整的干细胞培养与组织工程应用技术体系。
9	艾力·艾尔肯	助理研究员	西北农林科技大学	第九完成人负责多能性干细胞体外培养与分化相关关键实验，优化分化诱导条件，完成样本收集与分子检测；参与实验数据整理分析，协助完善多能性干细胞发育分化调控技术方案，为项目开展提供实验支撑。
10	贺鑫	助理研究员	西北农林科技大学	第十完成人积极推进成果与企业需求对接，促进相关技术在细胞制备、外泌体应用、药物筛选和健康产品研发等领域推广应用，对本项目主要科技创新的形成及成果转化发挥了重要作用。

11	杨藩	教授	西北农林科技大学	第十一完成人提出并设计了DUX-miR-344-ZMYM2/LSD1-MERVL 调控轴的在干细胞发育分化调控中中科学假说和整体研究方案，为干细胞分离培养奠定了良好的理论基础。
12	雷安民	教授	西北农林科技大学	第十二完成人围绕生殖细胞发育与动物繁育，推动干细胞发育分化研究成果向胚胎工程和种质繁育领域拓展应用。开展异体卵泡寄养、优良种质评价等研究，探索利用体内卵泡微环境促进卵母细胞成熟与胚胎发育的新途径，为提高优良种质资源利用和高效繁育提供技术基础。
13	彭莎	教授	西北农林科技大学	第十三完成人完成猪胰腺干细胞向胰岛素分泌细胞定向分化及分子机制解析工作，首次发现叶酸可同步提升猪胰腺干细胞增殖与胰岛分化效率，系统建立叶酸时序诱导工艺。解析了 SerpinB1 推动细胞周期进展的分子机制，解决分化过程细胞凋亡、扩增不足瓶颈，多层次试验完整验证两套内外源调控通路的生物学功能，构建了完整的猪胰腺干细胞向功能性胰岛细胞分化分子调控网络，形成标准化高效诱导工艺。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	西北农林科技大学作为第一完成单位，全面负责该项目的总体方案设计与统筹实施，围绕“家畜和人类多能性干细胞的发育分化调控”的核心科学问题开展系统性攻关，已成功构建适配家畜良种选育、人类及宠物重大疾病防控的重要研究模型和技术平台，细胞株和相关模型被国内多家研发机构使用，配套技术体系与衍生产品已成功在 15 个省（市、自治区）推广应用。
2	洛阳师范学院	洛阳师范学院作为第二完成单位，参与该项目中的细胞培养与推广应用部分，为推动本项目相关技术体系和衍生产品的落地转化与实际应用做出了突出贡献。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

序号	合作方式	合作者/项目排	合作时间	合作成果	证明材料

		名			
1	共同知识产权	华进联/1，李娜/2，	2012-09-07~至今	一种精原干细胞体外无饲养层长期培养方法	附件 1-1
2	共同知识产权	华进联/1，涂琴/7，艾力·艾尔肯/9	2019-01-01~至今	含有人脐带间充质干细胞冻干粉的抑菌水凝胶的制备方法	附件 1-3
3	共同知识产权	华进联/1，艾力·艾尔肯/9	2019-09-01~至今	干细胞衍生制剂及其制备方法和应用	附件 1-4
4	论文合著	华进联/1，李娜/2，吴晓龙/3，张炬庆/4, 廖明帜/5，张仕强/6，杨藩/11，雷安民/12，彭莎/13	2017-09-01~至今	Super-enhancers conserved within placental mammals maintain stem cell pluripotency	附件 2-1
5	论文合著	华进联/1，李娜/2，吴晓龙/3，张炬庆/4, 廖明帜/5，张仕强/6	2018-09-01~至今	Rapid conversion of porcine pluripotent stem cells into macrophages with chemically defined conditions	附件 2-2
6	论文合著	华进联/1，李娜/2	2012-09-07~至今	Reconstitution of male germline cell specification from mouse embryonic stem cells using defined factors in vitro	附件 2-3
7	论文合著	华进联/1，贺鑫/10，彭莎/13	2011-09-01~至今	Melatonin Ameliorates Busulfan-Induced Spermatogonial Stem Cell Oxidative Apoptosis in Mouse Testes	附件 2-4
8	产业合作	华进联/1，杨学义/8	2017-01-01~至今	“多能干细胞发育分化调控技术”的	附件 3-8, 4-7

				推广应用以及“表皮干细胞构建人工角膜临床前研究”的技术开发	
9	共同获奖	华进联/1，李娜/2，廖明帜/5，张仕强/6，贺鑫/10，雷安民/12，彭莎/13	2010-01-07~至今	动物多能性干细胞发育与分化调控创新团队	附件 5-1
10	共同立项	华进联/1，李娜/2，张炬庆/4，吴晓龙/3	2012-09-07~至今	基于单细胞转录组学解析猪 iPSCs 分化为 PAM 的分子机制	附件 5-2

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

华进联教授团队和涂琴教授、杨学义教授在多能性干细胞发育分化调控机理、应用基础科学研究以及新型细胞培育推广等领域开展长期、深入的合作交流，共同发表多篇学术论文和著作，并授权多项专利，建立了新型干细胞繁育种质资源库，大力推广干细胞新技术以及干细胞衍生制剂的落地转化（附件 4-1~4-11）。

华进联教授团队包括雷安民研究员、彭莎教授、廖明帜教授、杨藩教授、张仕强副教授、李娜副研究员、贺鑫助理研究员、吴晓龙助理研究员、张炬庆助理研究员和艾力·艾尔肯助理研究员，均在干细胞分离建系、解析核心基因对多能性干细胞自我更新以及分化的影响、阐明生殖细胞和巨噬细胞发育和分化调控机制和研发用于临床疾病治疗的干细胞制剂等方面进行系统性工作，共同合作发表代表性文章 4 篇（附件 2-1, 2-2, 2-3 和 2-4）和授权专利 5 项（附件 1-1, 1-2, 1-4, 1-5 和 1-6）；华进联教授团队和涂琴教授在研发临床疾病治疗的干细胞制剂以及本项目衍生产品的落地转化上做了大量工作，共同授权专利 1 项（附件 1-3）；华进联教授团队和杨学义教授与洛阳巴库生物科技公司合作，共同进行技术开发和推广应用（附件 3-8, 4-7）。

主要合作和参与课题项目包括：1.动物多能性干细胞发育与分化调控创新团队（陕西省重点科技创新团队：2019TD-036）（附件 5-1）；2.基于单细胞转录组学解析猪 iPSCs 分化为 PAM 的分子机制（国家自然科学基金：32072806）（附件 5-2）；3. 基因编辑介导生产抗蓝耳病猪（省重点研发计划，2022NY-044）等项目。

项目二十二

一、项目名称：陕西苹果园土壤质量提升及减肥增效技术创新与应用

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：本项目面向陕西苹果产业绿色高质量发展需求，针对主产区果园土壤有机质含量低、地力下降、肥料利用效率不高、化肥过量施用及养分不平衡等突出问题，围绕“地力提升、减肥增效”总体目标，在苹果园土壤养分丰缺指标与树体营养需肥规律、土壤修复改良、有机肥替代化肥、水肥一体化智能管理等方面开展系统研究与技术集成。项目创新形成适合陕西不同生态区、栽培模式和树龄果园的土壤质量提升及减肥增效单项与综合技术模式 6 项，研发配套农化产品 5 个，授权专利 3 件、软件著作权 3 项，发表论文 48 篇，制定地方标准 2 项，成果达到国际领先水平。项目在白水、洛川、旬邑、千阳等主产区建立示范基地 6 处，核心示范 3600 亩、示范推广 2 万亩、辐射带动 28.75 万亩，土壤有机质提高 15%～25%，化肥用量减少 30%～40%，产量增加 10%～15%，经济效益显著，为陕西苹果产业转型升级和绿色发展提供了有力支撑。

提名材料齐全、规范，经完成单位公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，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：

在国家苹果产业技术体系岗位专项（2019-2025）和陕西省苹果重大专项（2020-2025）等项目课题的资助下，研究团队紧紧围绕“地力提升、减肥增效”总体目标，针对陕西苹果主产区土壤有机质含量低、果园地力下降、肥料利用效率不高、化肥过量施用、养分严重不平衡等突出问题，重点在苹果园土壤养分丰缺指标及树体营养特性及需肥规律、果园土壤修复及改良、有机肥替代化肥减肥增效、水肥一体化智能管理等方面开展相关研究工作，创新形成了适合陕西不同生态区、不同栽培模式、不同树龄果园的土壤质量提升和减肥增效单项和综合技术模式，研发了配套农化产品，并进行大面积示范应用，为陕西苹果产业转型升级提供有力的技术支撑，为陕西苹果产业绿色发展做出应有贡献。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

四、 客观评价:

创新形成了适合陕西不同生态区、不同栽培模式、不同树龄果园的土壤质量提升和减肥增效单项和综合技术模式 6 项，研发配套农化产品 5 个，授权专利 3 件、软件著作权 3 项，发表论文 48 篇，制定地方标准 2 项。项目成果富有创新，达到国际领先水平。通过大面积示范应用为陕西苹果产业转型升级提供了有力的技术支撑，为陕西苹果产业绿色发展

做出了应有贡献。

五、 应用情况:

累计培训技术人员和果农 2425 人次，现场指导 30 场次；在白水、洛川、旬邑、千阳等主产区建立示范基地 6 处，核心示范面积 3600 亩，示范推广 2 万亩，辐射带动 28.75 万亩；通过技术实施和产品应用，苹果园土壤有机质提升 15-25%，化肥用量减少 30-40%，产量增加 10-15%。按每年各地区苹果市场售价估算，每公斤 5.0-8.0 元计算：示范推广 2 万亩，可实现直接经济效益 2400 万元；辐射带动 28.75 万亩，效益达 3.46 亿元。

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	地方标准	苹果园化肥减施技术规范	中国	DB 61/T 1669-2023	2023 年 05 月 25 日	ICS 65.020.01 CCS B 05	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、陕西省果业中心、延安市农业技术推广中心、榆林市果业发展中心、陕西汉唐农业标准化研究院、洛川县农业技术推广中心、黄陵县果业中心、白水县农业技术推广中心、旬邑	同延安、张阿凤、翟丙年、李文祥、周建斌、邹养军、黄长科、杨永春、马巧荣、霍百全、陈永锋、任福俊、王永合、鲁成、韩佳乐

							县农业技术推广中心	
2	地方标准	耕地土壤环境质量类别划分技术规范	中国	DB 61/T 1784-2023	2023 年 12 月 22 日	ICS 65.020.01 CCS B 10	陕西省农业农村厅、陕西省耕地质量与农业环境保护工作站、渭南市农业技术推广中心、西安市农业技术推广中心、榆林市乡村振兴规划发展指导中心、汉中市农业技术推广与培训中心	王晨光、景鹏娟、张俊丽、李艳、陈妮、王琤、李嘉、张丽、索龙、常小箭、李撑娟、孙喜军、郑伟、刘会茹、李少轩、杜旭光、徐娜、雒波涛
3	发明专利	一种苹果专用套餐肥及其制备方法和应用	卢森堡	LU504138	2023 年 11 月 7 日	无	西北农林科技大学	翟丙年
4	发明专利	一种旱地苹果水肥高效利用的方法	尼日利亚	F/PT/NC/O/2024/14098	2024 年 8 月 26 日	无	西北农林科技大学	翟丙年
5	发明专利	一种农田施用有机肥的方法及其应用	中国	ZL2016 1 1098731.X	2020 年 3 月 24 日	证书号第 3725985 号	西北农林科技大学	翟丙年、郑伟
6	软件著作权	苹果园测土配方养分管	中国	2022SR0244289	2022 年 02 月 18	软著登字	西北农林科技大学	蔡仕彪、翟丙年

		理专家系统V1.0			日	第9198488		
7	软件著作权	黄土高原苹果园养分管理专家系统V1.0	中国	2022SR0248441	2022年02月18日	软著登字第9202640	西北农林科技大学	蔡仕彪、翟丙年
8	软件著作权	苹果推荐施肥系统（NE）V1.0	中国	2023SR0373275	2022年11月01日	软著登字第10963446	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、西北农林科技大学、农业农村部信息中心	何萍、徐新朋、周卫、刘占军、丛小蔓、董春岩

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	翟丙年	教授	西北农林科技大学	项目主持人，负责项目总体运行；开展苹果园有机替代化肥、水肥一体化智能管理技术创新研究
2	郑　伟	副教授	西北农林科技大学	开展苹果园种植绿肥及科学施肥对土壤生物学性质改善的创新研究及技术示范推广应用
3	刘占军	副教授	西北农林科技大学	开展土壤养分丰缺指标及果树需肥规律创新研究
4	高鹏程	副教授	西北农林科技大学	开展配套农化产品研发及应用
5	毛　晖	教　授	西北农林科技大学	开展有机肥产品研发
6	曹格妮	副院长/高级农艺师	陕西陕果果育研究院有限公司	开展技术示范推广应用
7	马巧荣	经理/农艺师	陕西汉唐农业科技集团有限公司	开展农化产品开发、生产及应用
8	刘　刚	农艺师	白水县苹果产业发展中心	开展技术示范推广应用
9	郑李宏	主任/高级农艺师	洛川县苹果生产技术推广服务中心	开展技术示范推广应用
10	张　艳	农艺师	千阳县果业发展中心	开展技术示范推广应用
11	王　欢	站长/农艺师	乾县果树技术服务站	开展技术示范推广应用

12	张　彦	高级农艺师	旬邑县园艺站	开展技术示范推广应用
13	梁永强	站长/农艺师	蒲城县农业技术推广中心	开展技术示范推广应用

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	项目主持单位，负责项目总体运行；承担苹果园土壤质量提升及减肥增效技术创新集成、标准制定、配套农化产品研发及田间试验示范等任务。
2	陕西陕果果育研究院有限公司	承担技术及配套产品推广应用任务
3	陕西汉唐农业科技集团有限公司	承担农化产品开发、生产及应用任务
4	白水县苹果产业发展中心	承担技术及配套产品推广应用任务
5	洛川县苹果生产技术推广服务中心	承担技术及配套产品推广应用任务
6	千阳县果业发展中心	承担技术及配套产品推广应用任务
7	乾县果树技术服务站	承担技术及配套产品推广应用任务
8	旬邑县园艺站	承担技术及配套产品推广应用任务
9	蒲城县农业技术推广中心	承担技术及配套产品推广应用任务

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	专著 合著	郑伟/2	2019-2025	中国作物营养五大规律百科全书-果树篇（翟丙年、郑伟 待出版） 中国作物提质增效技术集成与应用-果树篇（翟丙年、郑伟 正在编辑）	未列入附件
2	论文合著	郑伟/2 刘占军/3	2019-205	发表国内外科研论文	论文首页
3	共同立项	郑伟/2 刘占军/3 高鹏程/4 曹格妮/6	2020-2025	获批项目课题	课题任务书

4	共同知识产权	郑伟/2 刘占军/3	2020-2025	获批国内外专利及软件著作权	专利及软件著作权证书
5	共同参与标准制定	郑伟/2	2020-2023	参与制定省级地方标准	标准 PDF 版
6	产业合作	曹格妮/6 马巧荣/7	2020-2025	提供配套资金，参与技术及产品研发、生产及应用工作	课题任务书

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

所有完成人均以专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同参与制定标准规范、产业合作等不同方式开展合作。除了上面特别注明合作关系以外，其他基层技术部门完成人均以技术示范推广应用方式开展合作。1、完成人中翟丙年教授、郑伟副教授、刘占军副教授、毛辉教授、高鹏程副教授为国家苹果产业技术体系岗位专项（2019-2025）主持人与参与人，共同围绕苹果园土壤地力提升、化肥减施进行相关技术及产品研发，相互之间合作紧密。2、所有完成单位及完成人均同时参与完成了陕西省科技重大专项——果园地力提升及有机替代化肥减肥增效关键技术研究与示范课题。翟丙年教授为课题主持人，刘占军副教授、毛辉教授、高鹏程副教授参与子课题，负责苹果园减肥增效关键技术与产品研发。郑伟副教授主持子课题 4——苹果园地力提升和有机替代化肥减肥增效技术集成示范与应用。项目执行期间课题主持人翟丙年教授及参与人刘占军副教授、郑伟副教授、高鹏程副教授、毛晖教授密切合作共同研发果园地力提升与化肥减施和有机替代技术及产品。同时与陕西陕果果育研究院有限公司曹格妮副院长、陕西汉唐农业科技集团有限公司马巧荣经理、白水县苹果产业发展中心刘刚农艺师、洛川县苹果生产技术推广服务中心郑李宏主任、千阳县果业发展中心张艳农艺师、乾县果树技术服务站王欢站长、旬邑县园艺站张彦高级农艺师、蒲城县农业技术推广中心梁永强站长紧密合作，共同完成了研发的产品及技术的推广示范工作。

项目二十三

一、项目名称：特色乳粉配料定向制备与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：

乳制品行业是“健康中国”战略的支柱产业之一。陕西是西北奶业大省，也是我国乳制品的重要基地。近年来，乳制品产品类型、消费渠道和市场格局都发生了明显变化，功能特色乳粉快速增长。在功能特色乳粉发展中，针对我国乳业发展中奶源质量安全检测手段滞后、功能乳粉特色配料资源匮乏、婴幼儿配方羊乳粉母乳化程度不足等突出问题，项目团队攻关13年，以羊乳、牛乳等功能特色乳粉为研究对象，系统开展乳品质安全快速检测与绿色防腐、功能配料创制与稳态化加工、婴幼儿配方羊乳粉开发研究，取得了系列创新性成果。创建了乳品质安全快速检测与绿色防腐技术体系，构建了功能乳粉特色配料创制与稳态化加工技术体系，开发了婴幼儿配方羊乳粉及加工关键技术。推广至9家乳企。近3年，新增销售额52.27亿元，新增利润10.41亿元。成果为功能乳粉生产提供了重要技术支持，提升了乳粉加工利用水平，对于推动我国乳粉产业的转型升级、提升在国际市场上的竞争力具有重要的意义。提名该项目为陕西省科学技术奖一等奖。

三、项目简介：

我国是乳制品生产与消费大国，奶山羊产业是地方特色畜牧业的重要组成部分，但当前乳业发展仍面临多重挑战：奶源质量安全检测手段滞后、现场快检能力不足，病原菌污染与化学防腐剂滥用问题突出；功能乳粉产业特色配料资源匮乏、活性成分稳定性差及递送技术不足，制约产品品质升级；婴幼儿配方羊乳粉在母乳化配方设计、功能因子机制解析及加工工艺创新方面仍需深入。在此背景下，项目团队以羊乳、牛乳等功能特色乳粉为研究对象，系统开展乳品质安全快速检测与绿色防腐、功能配料创制与稳态化加工、婴幼儿配方羊乳粉开发研究，对保障乳制品质量安全、推动乳业绿色可持续发展及提升婴幼儿营养健康水平具有重要意义。

（1）乳品质安全快速检测与生物防腐关键技术创新

针对我国牛乳品质与安全检测手段滞后、现场快速检测能力不足，以及乳制品病原菌污染与化学防腐剂滥用等突出问题，系统开展牛乳近红外光谱、介电波谱及电化学传感检测研究，解析乳成分、体细胞数、掺杂等指标与光谱及介电特性的关联机制，建立牛乳主要成分、隐性乳房炎及掺杂牛乳的精准检测模型；同步开展重金属离子、亚硝酸盐、亚硫酸盐及氨基糖苷类抗生素等危害因子的电化学传感检测研究，研制系列便携式检测装备，为

牛乳品质安全快速检测与奶源质量管控提供技术支撑；从传统发酵乳中分离筛选产细菌素乳酸菌并构建乳源菌种资源库，利用基因组学与蛋白质组学技术系统挖掘新型细菌素并解析其结构与抑菌机制，构建高效表达平台；证实细菌素显著抑制乳制品中金黄色葡萄球菌、单核细胞增生李斯特菌等病原菌并破坏生物膜的作用机理，并与 Nisin 联用有效提升液态乳和乳粉保鲜效果，为推动乳业绿色可持续发展奠定基础。

（2）功能乳粉特色配料创制与稳态化加工关键技术研究

针对我国乳粉产业中特色功能配料资源匮乏、活性成分稳定性差及高效递送技术不足等突出问题，系统开展功能配料创制与稳态化加工关键技术研究。建立乳酸菌资源挖掘、筛选鉴定与功能评价技术体系，从西部传统发酵乳品中挖掘特色乳酸菌，筛选益生功能菌株并构建菌种资源库，明确优势菌株功能特性；建立乳蛋白酶解定向切割与功能评价技术体系，获得免疫调节、抗蛋白过敏等功能活性肽，突破脱苦及稳定性控制关键技术，通过包埋与干燥实现功能肽稳态化配料制备；建立植物多糖组成和结构分析方法，创建亚临界水制备新技术，实现植物副产物高值化利用，解析多糖结构与肠道功能调节的构效关系；利用乳清蛋白、果胶、海藻酸盐等构建复合保护体系，优化喷雾干燥和水凝胶包埋工艺，提高益生菌耐酸、耐胆盐及贮藏稳定性，实现肠道靶向释放。上述研究为功能乳粉及益生菌产品开发提供了核心配料资源与关键技术支撑。

（3）功能乳粉营养评价与新产品创制

围绕婴幼儿配方羊乳粉开发及功能食品因子机制解析，系统开展喂养评价、功能因子研究与配方工艺创新。探究母乳、婴儿配方羊乳粉及二者混合喂养对 0～12 月龄婴幼儿体格发育和营养状况的影响，为科学喂养提供数据参考。建立小鼠肥胖模型，明确副干酪乳杆菌与发酵粘液乳杆菌可恢复肝功能、降低氧化应激、减少脂肪蓄积并缓解肝结肠炎症，揭示其通过调节肠道屏障蛋白及脂质代谢基因发挥作用；阐明果胶多糖结构特征与肠道屏障保护、肠 - 肝轴调控的内在作用机制；系统揭示了水苏糖调控改善抗生素引起的肠道损伤和危害的作用机制，明晰其增殖有益菌、调节肠道代谢的益生元功效，明确应用安全边界，为水苏糖在婴幼儿配方羊乳等乳制品中的合规、精准添加与产业化应用提供重要理论依据与技术支撑；采用全羊乳蛋白为蛋白来源，揭示其缓解牛乳蛋白过敏及免疫调节功能；优化乳脂肪、羊乳粉、植物油组合复原、均质、浓缩、喷雾干燥及磷脂微胶囊化工艺，使其具母乳化易吸收、增强免疫力等功效；创新 DSI 蒸汽直喷杀菌与挤压排气封口技术，有效保护脂肪球与乳糖颗粒，实现袋中氧气含量不高于 2%，产品质量稳定。

四、客观评价：

以“乳酸菌（Lactic acid bacteria）”和“细菌素（bacteriocin）”为关键词，本项目团队发表论文在全球 600 余家机构中排名第 13 位，国内第 1 位。其中细菌素的挖掘、纯化方法和抗菌机制的研究成果被 40 多种国际期刊所引用。中国工程院院士陈卫团队在双歧杆菌细菌素抑制产气荚膜梭菌及感染损伤修复研究中，引用吕欣团队 Plantarin Bio-LP1 抑制多重耐药大肠杆菌、缓解肠道炎症和调控菌群的研究成果，进一步体现了细菌素在肠道病原菌防控和健康干预中的应用价值。

爱尔兰皇家科学院院士 Paul Ross、Colin Hill 等国际细菌素领域权威专家，在细菌素多样性、功能及抗菌应用研究中引用吕欣团队关于细菌素异源表达、分离纯化、抗菌机制与应用的研究，为新型细菌素挖掘及其食品生物防控应用提供了重要参考。

中国工程院院士李兰娟团队在《Research》发表的 Akkermansia muciniphila 专题综述中引用了项目团队关于水苏糖调节肠道菌群的研究成果；奥地利格拉茨医科大学研究团队在《Nutrients》发表的肠—肝轴研究中亦引用该成果。该研究揭示了水苏糖促进 Akkermansia muciniphila 增殖、增强肠道屏障及降低炎症的作用，为益生元调节肠道菌群和肠道健康功能提供了科学依据

五、应用情况：

项目成果已应用于贝因美股份有限公司和陕西和氏乳业有限公司等多家乳品企业，为保障奶粉生产质量，为乳粉生产过程中危害因子的快速检测与质量安全控制提供了技术支撑，并开发了系列功能乳粉。

项目组积极推广成果，累计在省内外 9 家乳企得到应用，产品包括功能益生乳粉、婴幼儿配方乳粉、配方羊奶粉、驼奶粉、成人功能配方奶粉等系列乳粉产品，累计生产乳粉 80000 吨，相关技术的应用实现销售收入 52.27 亿元，产生直接经济效益约 10.41 亿元。

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	基于紫外/可见光谱的牛乳成分分析方法与装置	中国	ZL2020107973784	2025-10-28	8410427	西北农林科技大学	郭文川，杨彪，朱新华

2	发明专利	一种婴幼儿奶粉氧化稳定性的检测方法	中国	ZL201711079636.X	2021-07-13	4542971	贝因美股份有限公司；贝因美(杭州)食品研究院有限公司	庄必文；李归浦；何光华；缪小静；储小军
3	发明专利	一种苹果渣中果胶的提取、分离方法	中国	ZL201010216203.6	2011-12-14	880745	西北农林科技大学	吕欣，王欣
4	发明专利	一种婴幼儿配方奶粉的制备工艺	中国	ZL201110436033.7	2014.11.19	1522786	贝因美(杭州)食品研究院有限公司	何光华、肖功年、储小军等
5	发明专利	植物乳杆菌及其应用	中国	ZL 2022 11054545.1	2024 年 11 月 22 日	7539206	西北农林科技大学;白马未来食品研究院	伊扬磊*；张裕；刘元法；张琳煊；赵璠；吕欣*
6	发明专利	一种细菌素突变体 AM-1 及其应用	中国	ZL 2023 11794554.9	2024 年 11 月 05 日	7496357	西北农林科技大学;白马未来食品研究院	伊扬磊;张琳煊;张见;刘璐瑶;赵璠;吕欣
7	发明专利	一种细菌素突变体 BM-1 及其应用	中国	ZL 2023 11794557.2	2025 年 09 月 16 日	8262974	西北农林科技大学;白马未来食品研究院	伊扬磊;张琳煊;张见;刘璐瑶;赵璠;吕欣
8	发明专利	面包乳杆菌、抗菌肽及其应用	中国	ZL 2017 10157633.7	2020 年 11 月 06 日	4080901	西北农林科技大学	吕欣;易兰花;张晓妮
9	发明专利	一种生物复合蛋白酶解降低浓缩乳清蛋白粉中	中国	ZL201210464796.7	2012 年 11 月 16 日	1457777	贝因美(杭州)食品研究院有限公司	何光华，黄俊，储小军，魏培莲，华

		β乳球蛋白的方法						家才，尤玉如

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	吕欣	教授	西北农林科技大学	项目主持人，提出总体思路与方案，主持项目实施和总结。建立了乳源细菌素绿色防腐技术，筛选了多种益生菌和益生元，并研究其功能活性和作用机制。
2	葛武鹏	教授	西北农林科技大学	参与益生元的筛选和制备以及功能活性研究，并将其应用于功能乳粉生产中。
3	肖功年	教授	浙江科技大学	开发了乳粉蛋白脱敏技术，制备了具有抗蛋白过敏的活性小肽并应用于乳粉加工
4	李轶超	高级工程师	陕西和氏乳业集团有限公司	开发了多种功能乳粉并完成产业化。
5	李归浦	高级工程师	贝因美股份有限公司	开展了微营养重组配方乳粉配方设计及产业化。
6	伊扬磊	教授	西北农林科技大学	挖掘了西部地区乳酸菌资源，开发了本土益生菌发酵剂，建立了益生菌功能乳粉加工技术。
7	何光华	教授	浙江科技大学	开发了多种功能乳粉并完成产业化。
8	杨保伟	教授	西北农林科技大学	在乳粉质量安全控制上提供技术支持，建立多个标准品。
9	郭文川	教授	西北农林科技大学	负责奶源品质快速检测相关技术研究，系统开展牛乳介电波谱、近红外光谱及电化学传感方法研究，揭示乳成分及品质指标与光谱、介电特性的响应关系，建立牛乳主要成分、掺杂及隐性乳房炎检测模型，并参与便携式检测仪器研发。
10	杜管利	高级工程师	陕西秦龙乳业集团有限公司	在羊乳新产品研发、工艺设备提升改造、羊乳制品食品安全指标风险管控、产品标准制定方面做了大量的工作
11	李宏	无	陕西雅泰乳业有限公司	在羊乳制品关键技术研究与应用上发挥重要作用。
12	何锐	中级	陕西优利士乳业集团有限责任公司	参与制定和推广了奶山羊养殖技术规范,集成创新了婴儿配方羊乳食品加工技术规范。
13	王欣	副教授	西北农林科技大学	在乳品的开发过程中，挖掘了功能益生菌，构建西部地区发酵食品乳酸菌菌种资源库，系统考察菌株改善肠道炎症、调控肠道稳态的分子机制。
14	岳芳芳	副教授	西北农林科技大学	在本项目中，完成人主要参与功

				能益生菌的挖掘，活性探索和机制探索，如抗肥胖、抗炎和益生特性研究。提供功能益生菌以及肠道厌氧菌的分离筛选技术。
15	周元	高级实验师	西北农林科技大学	在本项目中，完成人主要参与研发羊乳粉产品，研究功能因子和加工工艺对产品品质的影响。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	作为项目主要完成单位，负责总体方案设计、关键技术攻关和任务协调，围绕乳粉加工、品质检测及安全控制开展系统研究，并与浙江科技大学及各乳粉企业共同完成方法验证、工艺优化和成果集成，推动相关技术由实验室研究向企业生产应用转化。
2	贝因美股份有限公司	结合婴幼儿配方乳粉生产实际，参与配方优化、加工过程控制和质量评价等技术验证，并与项目承担高校联合开展检测方法和工艺参数的生产适配研究，通过生产数据和应用反馈完善技术方案，促进研究成果在婴幼儿配方乳粉生产中的应用。
3	陕西和氏乳业集团有限公司	依托羊乳粉生产和奶源基础，配合项目组开展原料乳品质控制、乳粉加工工艺及成品质量评价研究，并与其他乳粉生产企业共同开展关键技术验证，为相关工艺参数的优化及研究成果在羊乳粉生产中的放大应用和示范提供支撑。
4	浙江科技大学	发挥乳品加工及乳粉研究方面的科研优势，协同西北农林科技大学开展乳粉配方、加工稳定性和品质评价研究，参与关键参数筛选及技术方案优化，并结合企业生产验证结果进一步完善相关方法，为项目技术集成及成果向生产端转化提供研究支撑。
5	陕西优利士乳业有限公司	结合羊乳粉加工生产条件，参与奶源质量控制、工艺参数优化和产品稳定性验证，与项目组高校及羊乳生产企业共同开展关键技术的中试和生产适配，及时反馈实际生产中的技术问题，为相关研究成果在羊乳粉生产线上的工程化应用提供验证依。
6	陕西雅泰乳业有限公司	围绕羊乳粉产品开发和生产质量控制，参与配方、加工工艺及品质评价技术的应用验证，并与项目组高校和其他羊乳企业协同开展不同生产条件下的技术比较，进一步完善关键工艺参数和质量控制要求，为相关成果在羊乳粉企业中的推广提供支持。
7	陕西秦龙乳业集团有限公司	结合羊乳产业链及乳粉生产基础，参与乳粉加工、质量安全控制和产品评价等技术的生产验证，与项目组开展工艺参数和生产数据对比，进一步完善相关技术的实际应用条件和质量控制方案，为项目成果在羊乳粉企业中的产业化应用和推广提供支撑。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	吕欣/第 1，葛武鹏/第 2，肖功年/第 3，王欣/第 13	2020 年	The probiotic Companilactobacillus crustorum MN047 alleviates colitis-associated tumorigenesis via modulating the intestinal microenvironment	未列入附件
2	共同获奖	吕欣/第 1，葛武鹏/第 2，伊扬磊/第 6，王欣/第 13	2010 年	陕西高等学校科学技术奖一等奖	未列入附件

3	团体标准	葛武鹏/第 2、李轶超/第 4、杜管利/第 10、何锐/第 12	2018 年	灭菌山羊乳	未列入附件
4	论文合著	吕欣/第 1，王欣/第 13，岳芳芳/第 14	2010 年	Effect of pectinase addition in juice processing on the structural characteristics, immunological activity and in vitro and in vivo prebiotic properties of apple pomace pectic polysaccharides	未列入附件
5	共同获奖	李归浦/第 5、肖功年/第 3	2011 年	技术进步奖	未列入附件
6	论文合著	吕欣/第 1，葛武鹏/第 2，杨保伟/第 8	2018 年	商品灭菌乳中常见抗生素抗性基因的筛查与定性分析	未列入附件
7	论文合著	吕欣/第 1，郭文川/第 9	2025 年	基于贝叶斯网络的某省牛羊肉中兽药残留风险预警研究	未列入附件
8	专利合作	肖功年/第 3、何光华/第 7	2014 年	一种婴幼儿配方奶粉的制备工艺	主要知识产权 4
9	项目合作	李宏/第 11，周元/第 15	2021 年 1 月	功能性羊乳粉系列产品研发与产业化	未列入附件

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

西北农林科技大学吕欣、葛武鹏、伊扬磊、杨保伟、王欣、岳芳芳、周元同在食品学院优质畜产品绿色加工与安全控制创新团队，西北农林科技大学郭文川在机械与电子工程学院，全程参与该项目的实施，分别负责该项目的不同研究内容，研究成果以共同获奖、专利、专著、论文合作等形式体现。

西北农林科技大学的葛武鹏、陕西优利士乳业集团有限责任公司的何锐、陕西秦龙乳业集团有限公的杜管利司、和氏乳业集团有限公司的李轶超在该项目的合作关系为示范生产线建设、产业化示范推广和品牌建设，分别完成了本项目技术在陕西省内的示范推广工作，研究结果以团体标准形式体现。

陕西雅泰乳业有限公司的李宏、浙江科技大学的肖功年和何光华，贝因美股份有限公司李归浦，与西北农林科技大学吕欣、葛武鹏、周元等建立合作关系，共同就乳粉加工技术、乳粉配料生产技术、乳粉安全控制技术等方面开展合作研究。研究成果以共同发表论文、项目合作、共同获奖、专利等形式体现。

和氏乳业集团有限公司的董事长刘安让是贝因美股份有限公司的股东之一。

项目二十四

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二等奖。

三、项目简介：

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，但并非充分条件。**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**。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 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。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，使非农就业、林地流转行为共同内生于农户最优化决策中。**2、发现了非农就业对林地流转行为的二重属性。**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，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效应的差异性影响，构建了目标瞄准机制，以提高政策指向性和有效性。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，构建了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。**

基于上述成果，**主持国家社科重大项目 2 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。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。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**，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：

本成果主要完成人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

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，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。

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认为课题组成果“脱贫人口持续增收研究”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。

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。**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）。

五、应用情况：

本成果聚焦“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，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

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**8项成果获党和国家领导人肯定性批示**。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；5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。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。

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，为世行项目最高评价。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。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。

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	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	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止返贫	政策决策人士、上级领导和政策执行者	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	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	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	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	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	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	张子晗 010-65368114
9	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	董琰 029-87082985
10	教育部咨询专刊	农村转移人口住房保障	政策决策人士、上级领导和政策执行者	程文景 010-66092315

六、主要知识产权和标准规范等目录（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 年 08 月 01 日	ISBN 978-7-5038-8654-6	中国林业出版社	张寒
2	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):106-125	2022 年 04 月 15 日	《中国农村经济》	西北农林科技大学，南京林业大学，国家林业和草原局发展研究中心	张寒，周正康，杨红强，刘璨
3	论文	引领式协同治	中国	2025(06	2025 年	《中国	西北农林科技	高丽，李

		理：混合产权模式何以促进集体林经营提质增效		):165-185	06 月 13 日	农村经济》	大学	桦，李树强，张寒，王博文
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 年 09 月 17 日	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	CN114494586B	2024 年 03 月 19 日	第 6804154 号	南京林业大学	薛联凤，云挺，袁星月，张博
6	论文	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	中国	2020(08):117-129	2020 年 09 月 03 日	《农业技术经济》	西北农林科技大学，国家林业和草原局经济发展研究中心，南京林业大学	许时蕾，张寒，刘璨，杨红强
7	论文	交易成本和信贷约束双重视角下集体林权制度改革对林地流转的影响	中国	2025,6(08):180-190	2025 年 05 月 23 日	《林业科学》	西北农林科技大学，北京农学院	张寒，赵炎柱，刘璨

8	著作	脱贫人口持续增收问题研究	中国	ISBN 978-7-109-30745-2	2023 年 05 月 01 日	ISBN 978-7-109-30745-2	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):140-155	2023 年 08 月 30 日	《改革》	国家林业和草原局发展研究中心，西北农林科技大学	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	2021,57(07):184-193	2021 年 07 月 15 日	《林业科学》	西北农林科技大学，国家林业和草原局经济发展研究中心，南京林业大学	程钰，刘璨，杨红强，张寒

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	张寒	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、《人民日报》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。

2	杨红强	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，有效地反映了林地流转、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。
3	云挺	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。
4	龚直文	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。
5	刘浩	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了前瞻性政策思路。

6	高建中	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。
7	陈晓楠	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

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	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。

2	南京林业大学	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。
3	国家林业和草原局发展研究中心	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、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	张寒 1，杨红强 2	2014.09.01	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 2
2	论文合著	张寒 1，杨红强 2	2016.08.01	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 17

3	论文合著	张寒 1，杨红强 2	2014.10.01	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	未列入附件
4	论文合著	张寒 1，杨红强 2，刘浩 5	2015.08.01	非农就业对林地流转的影响——基于双内生视角的 MVTobit 估计	未列入附件
5	共同立项	张寒 1，杨红强 2，云挺 3，龚直文 4，刘浩 5，高建中 6，陈晓楠 7	2016.10.01	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	未列入附件
6	共同知识产权	张寒 1，龚直文 4，高建中 6	2015.10.01	新疆林业和草原发展“十四五”规划战略研究	未列入附件
7	论文合著	张寒 1，刘浩 5	2015.10.01	城乡关系背景下中国集体林权制度变迁分析	未列入附件
8	共同知识产权	张寒 1，陈晓楠 7	2016.10.01	巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接研究	附件 19-24
9	共同获奖	张寒 1，杨红强 2，龚直文 4，刘浩 5，高建中 6，陈晓楠 7	2025.07.30	集体林权制度改革助力乡村全面振兴的理论与实践研究	未列入附件

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

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（张寒和杨红强）

两人深度合作，共同构建了集体林权制度改革赋能乡村振兴的理论框架。张寒重

点研究了集体林权制度改革的演进路径与制度变迁机理，揭示了产权改革与乡村治理的内在关联；杨红强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；两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、龚直文、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；张寒与龚直文、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、龚直文、刘浩高建中、陈晓楠）

张寒、杨红强创新性地构建了林地流转-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，也为项目贡献了重要的方法创新和实证支撑；龚直文、刘浩立足集体林权制度演进与乡村振兴，构建本土林权变迁分析框架，夯实项目学理与演化逻辑；高建中、陈晓楠提出集体林区两类战略有效衔接路径及脱贫人口增收政策建议，为项目提供了政策参考。

四、乡村振兴实践应用团队的合作（张寒、龚直文、高建中、陈晓楠）

高建中带队与龚直文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。

项目二十五

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、药、油、花、树脂、蛋白质、木质纤维素于一体的高经济价值植物资源，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，从而在资源层面为杜仲产业发展提供原料保障。但现有杜仲栽培种质混杂、种植技术与规范不健全、采收与加工机械化程度低，致使杜仲原料均一性差，达不到国际标准要求，杜仲丰产栽培模式亟需优化；另一方面，杜仲次生代谢产物积累机制不清、高值利用技术滞后，导致兼具功能食品、保健品原料价值与战略储备资源的杜仲胶产业化进程受阻，制约产业快速发展。针对以上问题，团队以杜仲细胞壁结构形成和主成分生物合成积累规律为切入点，在国家重点研发计划等项目的支持下，历时30余年从资源培育、高效利用、功效开发和全产业链效益等方面攻关，创建了高密度杜仲叶林丰产栽培模式及有效成分调控技术体系，创制了杜仲机械化种植-采收-加工装备，开发了杜仲有效成分高效提取分离技术及高附加值产品，实现资源集约化、采收智能化、利用精细化、过程绿色化和产品高值化，相关成果推广应用于新疆、河南和陕西等多个地区，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。该成果整体达到国际先进水平，胶用药用型杜仲种质资源创制、杜仲胶维管束形成发育过程研究处于国际领先水平。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：

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）》中指出到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，团队针对以上问题，开发了杜仲丰产栽培模式、揭示了杜仲次生代谢物质合成积累机制、研发了杜仲机械化采收与加工装备、创制杜仲系列产品精深加工技术成为推动杜仲产业可持续发展的重大科技需求。

针对以上问题，团队以杜仲细胞壁结构形成和主成分生物合成积累规律为切入点，在

国家重点研发计划等项目的支持下，该项目历时 30 余年攻关研究，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，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提高杜仲产品的产量和品质。基于选育出 8 个杜仲良种，显著提高了杜仲生物量和有效成分含量。首次提出了基于良种杜仲的叶林丰产栽培模式，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%，年平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，促进了杜仲的生长。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质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，精准采收、高效分离难度大等问题，提出了适配杜仲翅果扁平特性的柔性精量排种方案，首次创制了基于柔性排种技术的杜仲翅果播种机，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，研发锤片冲击式杜仲籽剥壳装备，突破了杜仲籽的壳、仁难分离的技术瓶颈。建设完成了微波热风加工生产线，有效保留了杜仲原料中的生物活性成分，提高产业经济效益，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-橡胶分离”的杜仲籽资源化利用模式，开发出具有降血脂、提高免疫力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，推动了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。项目的技术成果已在陕西、新疆、甘肃、河南等省区进行示范和技术推广示范，共建立试验示范站（基地）8 个。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，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：

1. 国内外同行评价

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）2025 年 9 月 4 日，中国林学会组织专家在北京对西北农林科技大学主持完成的“杜仲种质创制丰产栽培与产业提质增效关键技术应用与示范”成果进行了会议评价，以尹伟伦院士为主任委员的科学技术评价报告认为，该成果从杜仲资源培育、高效利用、功效开发和全产业链效益等方面整体达到国际先进水平，在胶用药用型杜仲种质资源创制、杜仲胶维管束形成发育过程研究处于国际领先水平。

（2）2023 年 7 月 4 日，中国科学技术交流中心组织专家对国家重点研发计划项目《杜仲叶林资源高值化利用关键技术研发》（编号：2018YFE0127000）进行了验收，认为该项目集成凝练了杜仲叶林丰产栽培及高值化利用关键技术，研发了适于杜仲叶林模式的机械化采收设备及相关杜仲产品。制定地方标准 1 项、企业标准 4 项；完成 1 项技术经济分析评价报告和 1 项生命周期评价报告，发表学术论文 42 篇，授权国家发明专利 6 件。

（3）2023 年 12 月 12 日，国家林业和草原局科技发展中心组织专家对《杜仲叶林丰产栽培技术及其精粉产品产业化开发》项目（编号：KJZXZZ2019005）进行了验收，认为该项目推广了杜仲叶林丰产林，开发了杜仲机械化采收设备，建成年处理 4000 吨杜仲资源综合利用生产线，开发出“仲欣源”精粉茶和“降山高”杜仲雄花饮料，申请国家发明专利 4 件。

（4）2024 年 5 月 11 日，陕西省林业科学院组织专家对《杜仲林丰产栽培提质增效关键技术集成及榆林引种示范研究》项目（编号：SXLK2021-0231）进行结题验收，认为该项目探明了不同生长期杜仲叶林土壤微生物多样性和群落结构变化规律，建立优良品种繁育圃和叶林示范基地，发表论文 2 篇，申请专利 9 件，制定企业标准 2 项。

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。

五、应用情况：

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，仅陕西略阳杜仲占全国总量的 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。项目创新性地推广了杜仲叶林栽培模式，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。依托成果在建成国际上第一条吨级杜仲精粉生产线，可年高效利用杜仲树叶 4000 吨；在略阳建成年产杜仲胶 300

吨生产线，目前在投产中；在宝鸡建成杜仲生态园等 10 余家企业。

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等目录（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	实用新型专利	一种杜仲细枝木平茬机的平茬机构	中国	ZL202322160547.5	2024.02.02	204161103	西北农林科技大学	朱铭强,杨鑫,李明卓,兰彩宁,韩东泽,朱琳,谷芳,杨选民,邱凌

7	实用新型专利	一种整形刀片锤打式杜仲剥皮机	中国	ZL202520082531.3	2025.12.23	23684365	西北农林科技大学	朱琳,王勇,邢岩,李明卓,杨鑫,朱铭强,谷芳,程焕进,韩东泽,宋明洋,杨选民
8	实用新型专利	杜仲籽粒剥壳机	中国	ZL202122954828.9	2022.12.13	17998677	西北农林科技大学	朱铭强,兰彩宁,冯腾辉,朱琳,薛瑞,蒋花,高日,郭林,李浩
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

排名	姓名	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
1	朱铭强	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均作出重要贡献。
2	解加庆	副教授	西北农林科技大学	项目重要执行人，负责项目的组织实施和技术研发工作，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均做出了重要贡献。
3	谷芳	副教授	西北农林科技大学	负责项目部分技术研发，主持/参与杜仲机械化采收装备研发项目并结题，同时在技术成果推广应用中做出重要贡献。
4	苏印泉	教授	西北农林科技大学	负责项目的规划与实施工作，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。
5	朱琳	副教授	西北农林科技大学	负责项目部分技术研发，主持/参与杜仲机械化采收装备研发项目并结题，在杜仲叶采收、杜仲籽粒剥皮分离装备研发和推广中做出重要贡献。

6	张继川	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。
7	张强	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。
8	朱亚红	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。
9	姚雪峰	博士	西北农林科技大学	负责项目技术研发和成果推广，在杜仲有效成分提取分离、精深加工和检测等方面做出了重要贡献。
10	马学峰	博士	西北农林科技大学	负责项目部分技术研发，在杜仲含胶细胞形成机制和杜仲胶提取分离方面做出了重要贡献。
11	张冠智	博士	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。
12	张兴海	副高级工程师	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。
13	胡凤成	正高级工程师	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

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
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，协调北京化工大学、陕西仲欣生态农业有限公司、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。 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。
陕西省林业调查规划院	3	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。
略阳县林木种苗工作站	4	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；略阳县国家杜仲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，有力地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。
北京化工大学	5	北京化工大学依托先进弹性体材料研究中心优势平台，聚焦杜仲胶结构改性、高效提取及高端功能材料创制关键技术，针对传统杜仲胶提取效率低、结构调控难、高端应用场景受限、复合材料性能单一等行业痛点，开展系统性基础研究与技术攻关，阐明了杜仲活性组分与基体材料的解离、复合作用机理，研发出系列杜仲胶基高端功能复合材料，创制出生物医用矫形材料、软硬一体化功能复合材料、柔性电子基材、吸声减振功能材料等系列高附加值产品，提升了我国杜仲胶新材料领域的自主研发与产业化能力，推动杜仲产业向高端化、精细化、智能化转型升级，兼具突出的科研价值、经济效益与产业示范价值。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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、论文合著	朱铭强/1 解加庆/2 谷芳/3	2019 至今	论文	项目验收评价、论文首页
2	共同知识产权、论文合著	朱铭强/1 谷芳/3 朱琳/5	2017 至今	专利，论文	专利证书，论文首页
3	共同立项、共同知识产权、	朱铭强/1 苏印泉/4 张强/7 朱亚红/8	2009 至今	专利，论文	专利证书，论文首页
4	产业合作	朱铭强/1 张继川/6	2022 至今	专利	项目验收评价
5	共同立项	朱铭强/1 苏印泉/4 张强/7	2009 至今	专利，论文	专利证书，论文首页
6	共同立项、共同知识产权、	朱铭强/1 苏印泉/4 朱亚红/8	2013 至今	专利，论文	专利证书，论文首页
7	共同立项、论文合著	朱铭强/1 谷芳/3 姚雪峰/9	2021 至今	论文	项目验收评价、论文首页
8	共同立项、论文合著	朱铭强/1 姚雪峰/9 马学峰/10	2020 至今	论文	项目验收评价、论文首页
9	论文合著	朱铭强/1 朱亚红/8 张冠智/11	2020 至今	论文	论文首页
10	产业合作	朱铭强/1 胡凤成/13 张兴海/12	2018 至今	良种	项目示范推广的证明材料
11	产业合作	朱铭强/1 朱亚红/8 胡凤成/13	2005 至今	标准，良种	项目示范推广的证明材料

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

西北农林科技大学朱铭强为项目第一完成人，提出项目总体思路与方案，主持项目实施和总结。

项目核心研究成员西北农林科技大学解加庆、谷芳、苏印泉、朱琳、张强、姚雪峰、马学峰、张冠智和北京化工大学张继川联合组建杜仲国家林业和草原局重点实验室，依托陕西省经济植物资源开发利用重点实验室及北京化工大学依托先进弹性体材料研究中心等平台，围绕杜仲产业发展的关键科学与技术问题开展协同攻关。陕西省林业调查规划院（陕西省森林资源监测中心）工程师朱亚红和陕西省略阳县林木种苗工作站技术骨干张兴海、胡凤成深度参与了项目成果转化与产业化推广应用。

朱铭强、解加庆、谷芳、苏印泉、朱琳、马学峰、张冠智等完成人在资源培育方面，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，建立了护色保鲜与多产物联产加工等关键工艺，开发出杜仲茶、杜仲籽油等系列产品，并推动杜仲叶、花、籽油纳入药食同源目录；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。

朱铭强、张继川、姚雪峰等完成人针对杜仲胶提取效率低、结构调控难、应用受限及复合材料性能单一等瓶颈，通过基础研究与技术攻关，阐明活性组分与基体材料的解离复合机理，开发出系列高附加值杜仲胶基功能材料，提升了我国杜仲胶新材料领域的自主研发与产业化能力，推进杜仲胶的产业化应用，相关成果已形成系列学术论文和专利。

朱铭强、朱亚红、张兴海、胡凤成等完成人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。

项目二十六

一、项目名称：作物根层水肥供需时空耦合调控理论和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重大战略，服务国家和陕西省千亿斤粮食产能提升对水肥高效利用的迫切需求，针对我国粮食生产中水肥资源利用率低等关键问题，经二十年攻关，在小麦-玉米根层水肥供需时空耦合调控理论、技术及配套装备方面取得重大系统性突破，创建了具有完全自主知识产权、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，率先揭示小麦、玉米根层水肥供需时空耦合调控原理；发明按比例分层施肥技术，实现肥料空间分布与作物根系动态吸收精准匹配；创建按需补灌方法，基于墒情与降水实现智能灌溉决策；研发水肥一体化智能管理决策支持系统，引领大田水肥管理数字化智能化变革。创制分层施肥精量播种机、专用微喷带、固态肥连续溶注一体机及便携式智能施肥机等系列装备，系统性突破大田作物水肥精准调控技术瓶颈。

项目集成创新三种生态适应型技术模式，“一地一策”精准适配，为我国不同生态类型区水肥管理提供了可复制推广的系统方案。近三年在黄淮海地区累计推广 7516 万亩，增产粮食 436.8 万吨，节水 29.1 亿方，节肥 31.6 万吨，新增经济效益 63.3 亿元，有力支撑陕西省及黄淮海地区粮食产能提升，经济社会生态效益显著。

成果原始创新突出、技术先进实用、推广规模宏大，中国农学会评价达同类研究国际领先水平，为保障国家粮食安全和区域农业绿色发展提供了重大科技支撑。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：

本项目紧扣国家粮食安全与农业绿色发展的重大战略，深度对接国家和陕西省新一轮千亿斤粮食产能提升行动对水肥高效利用的迫切要求，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技术瓶颈，历经二十年系统攻关，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系统性突破，创立了具有完全自主知识产权、国际领先的作物根层水肥供需时空耦合调控技术体系。

在理论方法层面，项目首创“根层水肥时空耦合调控”理论，突破百余年传统施肥理论，国际率先揭示了小麦、玉米根层水肥供需时空耦合调控原理；发明了 1-2-1 按比例分层施肥技术，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，引领了我国大田水肥管理的数字化、智能化变革。

在核心装备层面，项目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化核心装备，系统性突破了大田作物水肥精准调控的技术瓶颈。

在模式集成层面，项目集成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—精量补灌—水肥一体”模式、高产限水区“耕层优化—优化补灌—水肥一体”模式、贫水少灌区“耕层优化—抗旱补灌—水肥一体”模式，实现“一地一策”精准适配，为我国不同生态类型区水肥管理提供了可复制、可推广的系统解决方案。

项目获授权专利 59 件（其中中国发明专利 31 件、国际专利 2 件、实用新型专利 26 件），软件著作权 1 件，制定行业/地方标准 12 项，发表论文 155 篇，出版专著 9 部，13 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、安徽、陕西、山西、宁夏等地累计推广 7516 万亩，增产粮食 436.8 万吨，节水 29.1 亿方，节肥 31.6 万吨，新增经济效益 63.3 亿元——这些贡献直接转化为对陕西省及黄淮海地区粮食产能提升任务的有力支撑，经济、社会、生态效益十分显著。

本项目突破了国际同类技术局限于单一环节的瓶颈，创建了从理论原创、技术突破、装备创制到模式集成的全链条系统解决方案，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、推动陕西省乃至黄淮海地区农业绿色高质量发展具有重大战略意义。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：

（一）科技成果鉴定意见

受西北农林科技大学委托，中国农学会组织以沈其荣院士为组长、张洪程院士为副组长的专家组对该成果进行综合评价，得分 95.58 分。结论认为，该项目针对黄淮海地区小麦生产中肥水精准调控理论技术不足、单产持续提升难等瓶颈问题，历经二十年攻关，在小麦根层水-肥-土时空耦合与精准调控机制及关键技术方面取得重要创新，达到同类研究国际领先水平。

中国工程院院士张洪程教授评价指出，该成果首次在国际上明确提出并系统构建了“根层水肥供需时空耦合调控”理论，将水肥管理从“总量协同”提升至“时空匹配”新高度，实现了从“被动适应”向“主动塑造”根层水肥时空格局的范式转换，构建了“理论—技术—装备—标准”全链条创新体系，是作物栽培学与耕作学领域近二十年来最具代表性的突破之一。

中国工程院院士王立春研究员认为，该成果理论创新突出、技术链条完整、应用效益显著，推动根层水肥管理由“总量协同”迈向“时空匹配”新阶段，在同类研究中处于国际领先水平。

中国工程院院士赵春江研究员评价认为，该成果研发的“作物按需补灌水肥一体化管理决策支持系统”将传统经验管理提升至定量决策管理新水平；创制的双旋耕分层施肥精量播

种机、作物专用型微喷带、固态肥连续溶注一体机等智能装备，实现了“感知—分析—决策—执行”的闭环运行。

（二）国内外引用情况

科技查新结论：中国科学院兰州查新咨询中心（报告编号：2026-CX-1211）对国内外 75 个数据库进行检索，四个查新点——根层水肥供需时空耦合调控理论、1:2:1 根区比例分层施肥方法、按需补灌决策模型、智能化水肥管理装备体系——除该课题组成果外，国内外公开文献中均未见相同报道，确认了成果的原创性。

论文收录与引用：据中国科学院兰州查新咨询中心《论著检索报告》（报告编号：2025-YZ-9362），王东教授团队 35 篇论文被 SCI 收录，1 篇为高被引论文，49 篇被 CSCD 收录。69 篇论文共被 WOS 核心合集引用 1149 次（他引 992 次），83 篇论文共被 CNKI 引用 2694 次（他引 2570 次）。多篇代表性论文单篇被引超过 100 次，研究成果在农学、土壤学、水资源管理、生态环境等领域产生广泛学术影响。

（三）综合评价

该成果在理论创新、技术突破、装备研发、应用推广和学术影响等方面形成了完整的创新链条，整体达到同类研究国际领先水平。成果在黄淮海地区累计推广 7516 万亩，增产粮食 436.8 万吨，节水 29.1 亿方，节肥 31.6 万吨，新增经济效益 63.3 亿元，为保障国家粮食安全、推动农业绿色高质量发展提供了重要科技支撑。

五、应用情况：

项目成果通过试验示范、技术培训、现场观摩、媒体宣传等方式，在黄淮海地区山东、河南、安徽、陕西、山西、宁夏等省大面积推广应用，建立了高产灌区、高产限水区、贫水少灌区三种综合技术模式，实现了农机农艺深度融合的完整解决方案。

在山东省，近三年小麦生产上推广应用 1449 万亩，平均每亩增产 39.6 公斤，节本增效 97.2 元；玉米生产上推广应用 1040 万亩，平均每亩增产 81.6 公斤，节本增效 157.0 元；合计推广应用 2489 万亩，新增经济效益 21.3 亿元。在河南省，小麦推广应用 1251 万亩，平均每亩增产 26.5 公斤，节本增效 67.2 元；玉米推广应用 1092 万亩，平均每亩增产 75.9 公斤，节本增效 146.6 元；合计推广应用 2343 万亩，新增经济效益 17.1 亿元。在安徽省，小麦推广应用 864 万亩，平均每亩增产 49.1 公斤，节本增效 119.1 元；玉米推广应用 342 万亩，平均每亩增产 102.5 公斤，节本增效 181.4 元；合计推广应用 1206 万亩，新增经济效益 11.5 亿元。在陕西省，小麦推广应用 331 万亩，平均每亩增产 43.8 公斤，节本增效 101.6 元；玉米推广应用 375 万亩，平均每亩增产 82.9 公斤，节本增效 151.6 元；合计推广应用 706 万亩，新增经济效益 6.3 亿元。在山西省，小麦推广应用 190 万亩，平均每亩增产 40.2 公斤，节本增效 87.2 元；玉米推广应用 179 万亩，平均每亩增产 74.9 公斤，节本增效 125.8 元；合计推广应用 369 万亩，新增经济效益 2.7 亿元。在宁夏回族自治区，小麦推广应用

34 万亩，平均每亩增产 42.3 公斤，节本增效 102.6 元；玉米推广应用 369 万亩，平均每亩增产 89.4 公斤，节本增效 156.4 元；合计推广应用 403 万亩，新增经济效益 4.3 亿元。

以上六省近三年小麦生产上累计推广应用 4119 万亩，玉米生产上累计推广应用 3397 万亩，两季合计推广应用 7516 万亩，新增经济效益 63.3 亿元，节水 29.1 亿立方米，减少化肥用量 31.6 万吨。

在成果产业化方面，山东东禾农业科技有限公司近三年累计新增销售收入 3513.2 万元，新增利润 432.3 万元；郓城县工力有限公司近三年累计新增销售收入 6165.8 万元，新增利润 924.9 万元；杨凌中灌润茵农业工程有限公司近三年累计新增销售收入 1680.0 万元，新增利润 336.0 万元。三家企业合计新增销售收入 11359.0 万元，新增利润 1693.2 万元。

综上所述，该项目经济、社会和生态效益显著。

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	Nitrogen losses trade-offs through layered fertilization to improve nitrogen nutrition status and net economic benefit in wheat-maize rotation system	中国	DOI: 10.1016/j.fcr.2024.109406 312: 109406	2024-05-15	Field Crops Research	西北农林科技大学	刘长虹、庞升艳、李秀凤、李永强、李津苇、马若玲、林祥、王东
2	论文	Long-term effects of optimized fertilization, tillage and crop rotation on soil fertility, crop yield and economic profit on the	中国	143：126731	2022-12-29	European Journal of Agronomy	西北农林科技大学	李昊昱、张元红、孙元广、刘朋召、张琦、王小利、王瑞、李军

		Loess Plateau						
3	论文	补灌对黄土高原半湿润区冬小麦产量和水分利用效率的影响	中国	51(5): 1312-1325	2025-05-12	作物学报	西北农林科技大学	王东、王森、尚丽、冯浩伟、张永巧、崔佳鸣、李爽、章佳聪、车欢
4	发明专利	Precision seeding apparatus with recesses on caterpillar for arranging and distributing seeds against bottoms of seed furrows	美国	US 12219895 B2	2025-02-11	No. 17/666,597	西北农林科技大学、北京光辉财智管理咨询有限公司	王东、田文升
5	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
6	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
7	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
8	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
9	发明专利	双旋耕按比例分层施肥宽苗幅精量	中国	ZL201510989379.8	2017-08-04	第2576357号	山东农业大学	王东、温樱

		播种机						
10	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	中国	NY/T 3553-2020	2020-03-20 发布，2020-07-01 实施	中国人民共和国农业农村部	全国农业技术推广服务中心，河北省农林科学院旱作农业研究所，山东农业大学，河南省土壤肥料站	张赓、钟永红、吴勇、陈广锋、李科江、王东、刘戈、仇志军、杜森、马俊永、曹彩云、党红凯、郑春莲

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	王东	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。
2	李军	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	负责麦田合理耕层构建与培肥增效技术研究，揭示保护性轮耕改善耕层结构、增强土壤蓄水保墒与培肥能力及促进小麦节水减氮增产的作用机制，建立氮磷配施、水氮耦合和耕作—培肥协同调控方法，研制配套土壤深松机具，创建适用于关中平原和黄土旱塬的麦田高效轮耕与土壤培肥技术模式，参与技术标准制定、试验示范与推广应用。
3	钟永红	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。
4	刘立钧	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。
5	王瑞	副教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	负责黄土旱塬适水耕作、水氮状态监测与农田生产力评价研究，阐明免耕、深松和翻耕轮作在不同降水年型下对耕层结构、土壤水分、碳氮积累、水肥利

				用及小麦产量稳定性的调控规律，建立长期保护性轮耕模式综合评价与生产力模拟方法，提出兼顾蓄墒增产、培肥固碳和资源高效利用的轮耕技术方案，参与《小麦合理耕层构建技术规程》等标准制定以及区域试验、技术培训和推广示范。
6	刘杨	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	参与根层水肥时空耦合调控理论体系和小麦/玉米施肥、按需补灌关键技术的研发。
7	胡芹远	高级农艺师	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。
8	董艳红	副科长/高级农艺师	山东省农业技术推广中心	构建山东不同生态区水肥精准调控模式，组织主产区技术培训与推广落地。
9	王凯	高级农艺师/副科长	河南省土壤肥料站	制定河南省灌区和旱作区小麦水肥调控方案，组织主产区技术培训与推广落地。
10	夏军	农艺师	陕西省农业技术推广总站	负责陕西关中及渭北旱塬区水肥调控技术集成与示范，组织基层培训推广，收集整理试验数据。
11	王明国	副站长/正高级农艺师	宁夏回族自治区农业技术推广总站/宁夏回族自治区农业技术推广总站	构建宁夏引黄灌区与旱作区水肥调控模式，组织规模化示范推广，促进成果本土化应用。
12	赵耀巍	副科长/高级农艺师	山西省耕地质量监测保护中心	负责山西灌区和黄土丘陵区水肥调控技术集成与示范，组织协调多点试验监测及推广培训工作。
13	李胜才	总经理	郓城县工力有限公司	协助王东教授研发小麦三层施肥联合精密耕播机，并负责相关机型的开发、生产、示范和推广。
14	郭瑞	总经理	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。
15	周杨		西北农林科技大学/西北农林科技大学	参与作物根层水肥调控试验实施与数据采集分析，协助模型验证及技术手册编写等基础工作。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	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。
2	山东农业大学	项目协作完成单位，支持项目组开展基础理论和关键技术研究，揭示了依据自然供水补灌、利用高产冬小麦根系生长“先深后浅、两端兼长”的根构型变化，实现根层水-土及冬小麦水分供需时空耦合

		的关键机制冬小麦高效用水机制；构建了土壤底墒和生长季降水调控影响产量的数学模型，创建了冬小麦按需补灌技术，发明了微喷带等麦田微灌设施；建立冬小麦水肥一体化技术，发明一系列水肥一体化机械设施。
2	全国农业技术推广总站	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。
3	山东东禾农业科技有限公司	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。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	共同制订标准规范	王东 1，李军 2，王瑞 5	2021-01-01 至 2025-12-31	小麦合理耕层构建技术规程，DB 61/T 1644-2023，陕西省地方标准	省级地方标准
2	共同制订标准规范	王东 1，钟永红 3	2014-01-01 至 2025-12-31	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
3	共同制订标准规范	李军 2，王瑞 5	2017-01-01 至 2025-12-31	渭北旱地玉米保护性轮耕技术规程，DB61/T 1168-2018，陕西省地方标准	省级地方标准
4	共同制订标准规范	李军 2，王瑞 5	2018-01-01 至 2025-12-31	渭北旱地小麦保护性轮耕技术规程，DB61/T 1278-2019，陕西省地方标准	省级地方标准
5	共同知识产权	王东 1，刘立钧 4	2013-01-01 至 2025-12-31	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
6	共同知识	王东 1，刘立钧 4	2013-01-01 至	水肥一体化远程控制和智能管理系统，	专利证书

	产权		2025-12-31	ZL201610387766.9，发明专利	
7	共同知识产权	王东 1，刘立钧 4	2013-01-01 至 2025-12-31	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
8	共同知识产权	李军 2，王瑞 5	2018-05-27 至 2025-12-31	一种倒 V 型深松碎土机，ZL201820794603.7，实用新型专利	专利证书
9	共同知识产权	李军 2，王瑞 5	2018-05-15 至 2025-12-31	一种农业松土机用松土深度调节装置，ZL201820724737.1，实用新型专利	专利证书
10	共同知识产权	李军 2，王瑞 5	2018-05-13 至 2025-12-31	一种具有二次松土功能的且易清理的深松装置，ZL201820704573.6，实用新型专利	专利证书
11	共同知识产权	王东 1，周杨 15	2023-09-01 至 2025-12-31	Moderate deep banding of phosphorus enhanced winter wheat yield and fertilizer uptake efficiency by promoting nutrient absorption and translocation of pre-anthesis nutrient, Field Crops Research, 2025, 322: 109728	学术论文
12	技术成果应用	王东 1，李军 2，钟永红 3，刘立钧 4，王瑞 5，刘杨 6，胡	2014-01-01 至 2025-12-	技术成果在山东、河南、安徽、陕西、山西、宁夏等省份	应用证明

		芹远 7，董艳红 8，王凯 9，夏军 10，王明国 11，赵耀巍 12，李胜才 13，郭瑞 14，周杨 15	31	示范和推广应用。	
13	技术成果应用	王东 1，李军 2，钟永红 3，刘立钧 4，王瑞 5，刘杨 6，胡芹远 7，董艳红 8，王凯 9，夏军 10，王明国 11，赵耀巍 12，李胜才 13，郭瑞 14，周杨 15	2017-01-01 至 2025-12-31	技术成果在安徽省示范和推广应用。	应用证明
14	技术成果应用	王东 1，李军 2，钟永红 3，刘立钧 4，王瑞 5，刘杨 6，胡芹远 7，董艳红 8，王凯 9，夏军 10，王明国 11，赵耀巍 12，李胜才 13，郭瑞 14，周杨 15	2014-01-01 至 2025-12-31	技术成果在山东省示范和推广应用。	应用证明
15	技术成果应用	王东 1，李军 2，钟永红 3，刘立钧 4，王瑞 5，刘杨 6，胡芹远 7，董艳红 8，王凯 9，夏军 10，王明国 11，赵耀巍 12，李胜才 13，郭瑞 14，周杨 15	2017-01-01 至 2025-12-31	技术成果在河南省示范和推广应用。	应用证明
16	技术成果应用	王东 1，李军 2，钟永红 3，刘立钧 4，王瑞 5，刘杨 6，胡芹远 7，董艳红 8，王凯 9，夏军 10，王明国 11，赵耀巍 12，李胜才 13，郭瑞 14，周杨 15	2018-01-01 至 2025-12-31	技术成果在陕西省示范和推广应用。	应用证明
17	技术成果	王东 1，李军 2，钟永红 3，刘立钧 4，	2020-01-01 至	技术成果在宁夏回族自治区示范和推	应用证明

	应用	王瑞 5，刘杨 6，胡芹远 7，董艳红 8，王凯 9，夏军 10，王明国 11，赵耀巍 12，李胜才 13，郭瑞 14，周杨 15	2025-12-31	广应用。	
18	技术成果应用	王东 1，李军 2，钟永红 3，刘立钧 4，王瑞 5，刘杨 6，胡芹远 7，董艳红 8，王凯 9，夏军 10，王明国 11，赵耀巍 12，李胜才 13，郭瑞 14，周杨 15	2019-01-01 至 2025-12-31	技术成果在山西省示范和推广应用。	应用证明
19	产业合作	王东 1, 刘立钧 4	2013-01-01 至 2025-12-31	专利产品产业化	应用证明
20	产业合作	王东 1, 李胜才 13	2015-01-01 至 2025-12-31	专利产品产业化	应用证明
21	产业合作	王东 1, 郭瑞 14	2018-01-01 至 2025-12-31	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做出实质性、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、李军、王瑞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，先后制定《小麦合理耕层构建技术规程》《渭北旱地玉米保护性轮耕技术规程》等地方标准，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、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、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、安徽、陕西、山西、宁夏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。

项目二十七

一、项目名称：黄土高原典型流域生态系统结构优化与功能协同提升技术应用

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：针对黄土高原生态恢复过程中植被配置模式单一、流域农林景观布局不适宜、农林群体结构不合理以及生态功能评价体系不完善的现实问题。本项目面向黄土高原生态系统功能提升这一核心目标，通过长期野外调研取样、田间控制实验、多尺度大数据融合等多种手段，建立黄土高原生态系统功能评价指标体系，并完成配套软件研发；在厘清黄土高原典型流域生态系统功能演化特征的前提下，聚焦流域景观格局优化及配套技术、农林复合循环生产技术等关键方向开展技术攻关与创新，有效破解了陕北黄土高原典型流域系统结构失衡、功能发挥受限的现实难题。为新一轮国家退耕还林布局实施以及脆弱生态修复与可持续发展提供了理论支撑和技术支持。

基于项目研究成果，形成发明专利 5 项、著作 1 部，发表 SCI 论文 40 余篇。项目成果在米脂、宜川、吴起、安塞、定边、黄龙等典型退耕县区得到应用示范，生态和经济效益提升效果显著，有力地推动了黄土高原生态修复理论创新和技术发展，为当地生态环境改善、景观配置、荒漠化防治以及综合效益提升提供创新路径。

基于该项目为我国脆弱生态区植被修复提供了成熟创新的评价与技术方法，极大地提高了陕北黄土高原发挥国家生态屏障的内生潜力，提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介：

陕北黄土高原是我国生态环境最为脆弱的地区之一，也是国家退耕还林工程实施的重点区域。长期以来，该区域退耕还林林种配置模式单一、流域农林景观布局不适宜、林分群体结构不合理等问题，严重制约着黄土高原生态功能的巩固与提升。本项目以提升黄土高原生态系统功能为目标，构建生态系统功能评价的指标体系，开发了配套软件，在摸清黄土典型流域生态系统功能演变规律的基础上，重点开展流域景观模式与配套技术优化、农林复合循环生产技术研发等关键技术的研究和创新，切实有效地解决了陕北黄土高原典型流域系统结构不合理和功能限制的问题。项目核心技术成果目前已授权专利 5 项，发表学术论文 40 余篇，出版专著 1 部。项目主要创新点在于：

1. 构建了黄土高原典型流域生态系统功能定量化评估体系，开发了配套评估软件。

项目通过对长期定位试验和黄土高原典型流域的调查及大面积采样，结合地理学、植物生理学、林学和社会学等交叉学科技术和手段，对 5 个典型流域植被种群分布特征、微地形分布情况、土地利用现状、农林景观的构成要素和配置模式类型进行了分析，确定了兼顾生态、经济、社会效益的 8 类 19 个指标的权重以及单项评估指标的综合评价指标体系。通过计算机编程开发了小流域退耕还林综合效益评价软件，软件包括系统管理、数据管理、流域评价、资料查询、决策建议等 5 个模块，能够用于快速输入流域基础指标得到各类要

素和综合效益评价结果，并可以根据评价结果查询流域农林景观优化的技术措施。同时，软件得到了当地退耕办的推广和使用。

2. 阐明了黄土高原典型流域生态系统功能的时空演变规律和提升路径。

项目利用卫星数据和面上调查数据，结合模型模拟，发现在时间尺度（2000-2020）上，黄土高原 NPP、水源涵养和土壤保持服务的单位面积平均值增幅分别为 65.84%、78.27%和 82.82%；在空间上，黄土高原植被净初级生产力从西北到东南呈递增趋势，增值较高的区域主要位于半干旱半湿润区的交界处；水源涵养服务呈现西北地区低，西南及东南区域高的特征；土壤保持服务在空间上的分布呈现中间高、外围低的局面。其中，陕北农林景观空间配置呈现明显的“农田退缩－林地扩张”趋势，风沙丘陵、盖沙黄土丘陵及黄土宽谷丘陵区，农林空间分离严重，服务功能最低。基于黄土高原现状，提出高效农业经济主导区发展退耕还林+特色农业发展、生态服务功能提升区南推农林复合，北建防风林体系、农林生态生产过渡区融合生态生产与特色文化发展、生态旅游集约发展区依托当地资源打造融合产业体系，转化生态价值，为区域发展提供科学支撑。

3. 提出了黄土高原典型流域生态功能提升方案，建立了景观优化配置模式。

利用陕北黄土丘陵区典型退耕流域农林景观配置模式综合效益评价指标体系对典型退耕流进行了综合评价与分析，提出了包含构建多层水土流失防控工程体系、合理规划和调整农业产业结构、优化林草布局提高生态效果、适度开发提升社会经济效益、加强管护措施保障治理效果等 5 个方面的整体优化途径和低效林地改造、林地综合抚育经营、混交林经营、陡坡低产经济林地退耕、荒山荒地改造、封育经营管理、低效农田退耕、高产农田建设 8 个景观布局优化路径。同时，提出了以半阳坡中坡度刺槐山桃混交林营造模式为主的典型流域农林景观配置模式配套技术。通过农林景观布局优化，研究区域有效土地比例平均增加了 8.18%，土壤碳储量提高 6.13%、生境质量提升 5.66%、总产水量增加 1.54%，农民年人均收入平均增加 11.89%，实现了生态效应与农民增收的同步提升

4. 研发了黄土高原典型流域生态功能提升的关键技术，形成适配型循环生产模式。

项目通过调查研究区典型林－农型、林－草型、林－牧型、林－农－牧庭院兼营型等农林复合生产模式，摸清了陕北丘陵区农林复合模式构成特征，生产技术过程、生产资料投出以及产出情况。建立了农林复合生产模式的能值产出率、环境负载率、能值交换率、可更新资源能值比率、经济效益及可持续发展能力评价指标体系，并应用于核桃-紫苏、花椒－土豆和核桃－玉米的效益评估，得到核桃-紫苏系统的能值自给率最高，达到 0.31，高于陕西地区平均水平的结论；构建了油用牡丹-侧柏、花椒－金银花、蛋白桑-樟子松、绣球－柏树四种农林复合种植模式，通过存留系数、归还系数、吸收系数等养分循环评价指标的计算，发现复合种植模式相较于单一种植模式具有更高的氮素年存留量、年归还量和年吸收量。最后，通过建立不同比例农林废弃物还田试验，监测农林复合应用下土壤碳库演

变特征、肥力提升过程及生产效益，农林资源利用可提升土壤有机 6.39%—10.28%，春玉米产量提升率可达 10.91%。

四、客观评价：

本项目四项核心成果先后通过国家林草局、国家自然科学基金委及杨凌示范区主管部门验收鉴定。成果系统开展陕北黄土高原退耕植被恢复、水土资源利用与生态优化研究，布设大量监测样地与径流场，建成多处生态监测基地，揭示了区域植被土壤养分调控、水土资源互馈机制。研究构建多套生态评价指标体系与模型、配套评价软件及优化配置模式，创新水土保持与生态优化关键技术，有效提升区域土地利用效率与农户收入。项目资料齐全、管理规范，均顺利通过专家验收。

主要鉴定成果之一“陕北退耕还林区农林景观配置技术研究（编号：201304312）”于 2017 年 5 月 8—10 日由国家林业和草原局科技司组织专家组对林业行业专项项目进行了现场鉴定。评定专家组到安塞县五里湾生态效益监测基地查看了现场样地，审阅了项目研究报告，听取了项目负责人汇报，经讨论，形成以下验收意见：项目组成员建立了植被调查样地 93 个，土壤恢复观测样地 45 个，土壤水土流失观测坡面径流场 30 个，社会经济效益调查农户 243 户，摸清了退耕区典型流域系统功能的家底。项目组成员在陕北黄土高原典型流域，基于农林景观立地因子和植被调查，分析了陕北黄土高原典型流域植被恢复的生态效应：构建了陕北黄土丘陵区退耕流域农林景观配置模式综合效益评价指标体系、评价模型各 1 套，形成了评价技术规程（草案）1 套，小流域退耕还林综合效益评价软件 1 套：提出了陕北黄土高原小流域农林景观配置模式整体优化途径和方案、林分配置模式 4 套，取得了良好的生态效益和应用价值。项目组成员在安塞、吴起、米脂、宝塔和宜川等县（区）建立了 5 个退耕还林综合效益监测基地。依托项目内容发表论文 22 篇；出版专著 1 部：培养研究生 17 名；专业技术骨干 29 名。项目结果表明通过农林景观布局优化，有效土地比例可增加 8.18%，提高土地利用效率；通过农林景观布局优化，研究区域农民年人均收入平均增加 11.89%。试验地现场保存完好，原始数据资料保存完整，相关科研管理档案齐全，专家组成员一致同意通过科技成果评价。

主要鉴定成果之二“黄土丘陵区退耕植被土壤 C、N、P 化学计量特征对土壤固碳的调控机制（编号：41301601）”和“脆弱生境植被恢复过程植物－微生物－土壤碳氮磷化学计量协调机制（编号：41877543）”分别于 2017 年 3 月 1 日和 2023 年 3 月 30 日由国家自然基金委依照基金委相关规定进行审核，准予项目结题。

主要鉴定成果之三“黄土丘陵区水土保持林水分高效利用配置模式与管理研究（编号：2020132111）”于 2024 年 4 月 20 日由国家林业与草原局科技司在北京组织相关专家组对该成果以会议形式进行验收。验收专家组（名单附后）听取了项目汇报，审阅了相关材料，经过质询讨论形成如下意见：（1）该项目开展了陕北黄土丘陵区不同水土保持林配置模式的水土资源高效利用研究，揭示了陕北黄土丘陵区不同水土保持林的水土资源利用效率特

征及其生态功能效应，阐明了水土保持林植被恢复与水土资源互馈机制与效应。（2）构建了水土保持林水分利用效率影响因素评价指标体系 1 套，建立了安塞区五里湾流域水土保持林水土资源利用核心试验与监测区 1 个，提出了适宜高效水土资源利用的水土保持林配置模式。（3）项目完成黄土丘陵区水土保持林水分高效利用模式研究技术报告 1 份，发表论文 8 篇，其中 SCI 收录论文 4 篇，EI 收录论文 3 篇。培养硕士研究生 3 人，青年骨干人才 1 名。（4）项目组织管理规范，经费使用基本合理。专家组一致同意通过项目验收。

主要鉴定成果之四“陕北丘陵区农林复合生产关键技术研发及其效益研究（编号：NYKJ2022-YL(XN)16）”于 2023 年 6 月 27 日完成，2024 年 12 月 12 日杨凌示范区现代农业和乡村振兴局组织有关专家对项目进行验收。验收专家组听取了项目汇报，审阅了相关材料，经过质询讨论形成如下意见：（1）提交资料齐全，符合验收要求。（2）开展了农林复合系统生产技术体系集成及其效益研究，基本探明了陕北丘陵区农林复合类型，掌握陕北地区循环农业生产模式 5 种，农林复合生产模式 8 种，完成基础调研指标体系 1 套、提出综合评价指标体系 1 套，筛选出适宜陕北丘陵区的农林复合系统。（3）完成陕北农林废弃物还田利用技术 1 套。发表论文 6 篇，其中 SCI 收录论文 4 篇。（4）项目组织管理规范，完成项目指标任务，经费使用合理。专家组一致同意通过项目验收。

五、应用情况：

该项目研究成果摸清了陕北黄土高原典型流域生态系统功能的基本家底，从碳、水、土壤以及多功能互馈的视角，构建了陕北黄土高原农林草景观评价体系模型、结构优化方案和配置模式等技术体系 7 套，获批国家专利 5 项，形成专著 1 部和相关科技论文 40 余篇。在陕北 5 个县区布设了超过 30 个长期监测样地，示范面积超过 4 万亩。项目成果经验被延安市宝塔区退耕办采纳应用，并对相关技术骨干开展了生态效益监测和林分优化等方面的现场指导培训，技术方案服务于宝塔区约 106.8 万亩退耕林，取得了显著的社会和生态效益。同时，项目在安塞、定边、白水等地建立了 4 个应用示范基地。林下草本配置优化方案被应用于白水县传统果园。该成果的应用使得果园林下植物群落中豆科植物均匀度和覆盖度显著提升，菊科植物覆盖度下降，土壤碳汇效果提升约 1.52 倍。

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	专著	黄土丘陵沟壑区退耕还林生态效应及其评价	中国	ISBN 978-7-03-056529-7	2018 年 6 月	科学出版社	西北农林科技大学	韩新辉
2	发明专利	一种提升黄土高原撂荒地土壤固碳能力的方法	中国	ZL 2023 1 0394318.1	2025 年 5 月	7923049	西北农林科技大学	钟泽坤；王兴；王永亮；任成杰；韩新辉；杨改河
3	发明专利	内陆盐碱地土壤改良剂及牧草的	中国	ZL 2023 1 0394316.2	2025 年 8	8140789	西北农林科技	钟泽坤；刘建；魏孝荣；王永亮；

		高产种植方法			月		大学	田玉强；李伟
4	实用新型专利	一种坡地植被修复平台	中国	ZL 2023 2 1408727.4	2023 年 12 月	2012462 0	西北农林科技大学	钟泽坤；杨程惠；刘建；魏孝荣；梁成龙；王兴
5	论文	Thermal sensitivity of soil microbial carbon use efficiency across forest biomes	中国	https://doi.org/10.1038/s41467-024-50593-6	2024 年 7 月	Nature Communications	西北农林科技大学	任成杰；周正虎；Manuel Delgado-Baquerizo；Felipe Bastida；赵发珠；杨元和；张硕弘；王洁莹；张超；韩新辉；王俊；杨改河；韦革宏敬
6	论文	A Global Meta-Analysis of Land Use Change on Soil Mineral-Associated and Particulate Organic Carbon	中国	https://doi.org/10.1111/gcb.70111	2025 年 3 月	Global Change Biology	西北农林科技大学	赵雨晴；许煜麟；察心雨；张鹏；李一凡；蔡岸冬；周正虎；杨改河；韩新辉；任成杰
7	论文	Linking soil bacterial community assembly with the composition of organic carbon during forest succession	中国	https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108790	2022 年 8 月	Soil Biology and Biochemistry	西北农林科技大学	张琦；王兴；张祯皎；刘涵宇；刘颖异；冯永忠；杨改河；任成杰；韩新辉
8	论文	Decreased soil multifunctionality is associated with altered microbial network properties under precipitation reduction in a semiarid grassland	中国	https://doi.org/10.1002/imt2.106 Digital Object Identifier	2023 年 5 月	iMeta	西北农林科技大学	王兴；张琦；张祯皎；李文杰；刘伟超；肖乃佳；刘涵宇；汪乐印；李珍霞；马静；刘权永；任成杰；杨改河；钟泽坤；韩新辉
9	论文	The multifunctionality of soil	中国	10.1016/j.catena.2023.107737	2023 年 12 月	Catena	西北农林科技大学	张琦，刘涵宇，梁悦琪，梁耀悦，赵永涛，王正宸，李

		aggregates is related to the complexity of aggregate microbial community during afforestation						雨泽，刘伟超，王兴，杨改河，任成杰，张伟，韩新辉
10	论文	Divergent responses of soil glomalin and microbial necromass to precipitation reduction: New perspectives from soil aggregates and multi-trophic networks	中国	https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109638	2024年10月	Soil Biology and Biochemistry	西北农林科技大学	王兴；陈芳；曾嘉；王正宸；冯永忠；王晓娇；任成杰；杨改河；钟泽坤；韩新辉

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	韩新辉	党委书记/教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	第1完成人，统筹、主持该项目从规划、研究到推广应用的全过程，确定各专题研究负 责人选，制定项目进度安排，保障项目顺利实施，负责项目成果总体水平的把握以及核心创新点的论证与提炼。构建了适宜于黄土丘陵区农林系统水分高效和水土资源配置技术与模式，总结提出了典型生态区域科学、合理的农林景观布局结构优化方案，林分配置模式和相应的技术体系。编写完成了《黄土丘陵沟壑区退耕还林生态效应及其评价》的专著。
2	杨改河	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	第2完成人，对主要科技创新（2）、（5）、（6）、（7）、（8）、（9）（10）做出了贡献。从以生态恢复为主和社会发展为主两个方向确定了指标权重，最终建立了综合指数评价模型和等级划分表，提出了科学合理的服务功能评估方法体系。
3	任成杰	教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	第3完成人，参与了第1完成人作为项目骨干的林业公益性行业科研专项（201304312）以及国家自然科学基金项目（41877543），对主要科技创新（2）、

				（5）、（6）、（7）、（8）、（9）（10）做出了贡献。设计布置了野外观测实验，完成了对不同区域、不同类型植被-土壤协同修复理论的构建和机制解析；阐明了退耕还林对土壤碳汇功能提升的微观机理。
4	冯永忠	科技推广处处长/教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	第 4 完成人，对项目总体设计和主要科技创新，对主要科技创新（2）、（7）、（10）做出了贡献。项目成果推广、示范与技术应用的总负责人，发现并解决从基础理论到现实人工林草植被管理面临的技术性问题，为提出陕北黄土高原退耕还林区发展模式奠定应用基础。
5	钟泽坤	副教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	第 5 完成人，对主要科技创新（3）、（4）、（5）做出了贡献。参与了第 1 完成人承担的国家自然科学基金项目（41877543）和国家林业与草原局（2020132111）项目，完善了对农、林、草复合系统生态恢复机理的分析，创新开发了因地制宜的生物修复装置、碳汇提升及地力改良方法。
6	张琦	助理研究员	西北农林科技大学/西北农林科技大学	第 6 完成人，对主要科技创新（7）、（9）做出了贡献。参与了第 1 完成人承担的国家自然科学基金项目（41877543）、国家林业与草原局（2020132111）项目和省级农业专项项目（NYKJ2022-YL(XN)16）。负责不同土地利用类型的生态功能评价和驱动机制解析，发表了高质量科技论文。
7	王兴	助理研究员	西北农林科技大学/西北农林科技大学	第 7 完成人，对主要科技创新（2）、（8）、（10）做出了贡献。参与了第 1 完成人承担的国家自然科学基金项目（41877543）、国家林业与草原局（2020132111）项目和省级农业专项项目（NYKJ2022-YL(XN)16）。负责长期定位实验的管理和观测，阐明了林草生态系统碳库功能演变与微生物调控过程。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	第一完成单位，负责项目的总体计划实施。在本研究的立项、实施、总结及鉴定等整个过程中，学校均给予了人力、物力和财力的支持，为项目产生的新模式、新技术的示范应用提供了强有力的政策引导和专项资金支持。完成了陕北丘陵区典型流域生态系统的本底调查，制定了评价指标体系和软件开发，并进一步对流域景观配置进行了优化，研发了典型流域景观配置模式和农林复合关键生产技术，完成了黄土丘陵区典型流域生态系统功能提升技术的应用工作。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	共同知识	韩新辉 1；钟泽坤 5；王兴 7；任成杰	2019-202	一种提升黄土高原撂荒地土壤固碳能	授权专利 1

	产权	3；杨改河 2	5	力的方法	
2	论文合著	韩新辉 1，杨改河 2 任成杰 3，	2022-2024	Thermal sensitivity of soil microbial carbon use efficiency across forest biomes	论文 1
3	论文合著	韩新辉 1；任成杰 3；杨改河 2	2023-2025	A Global Meta-Analysis of Land Use Change on Soil Mineral-Associated and Particulate Organic Carbon	论文 2
4	论文合著	韩新辉 1；杨改河 2；冯永忠 4；任成杰 3；张琦 6；王兴 7	2021-2022	Linking soil bacterial community assembly with the composition of organic carbon during forest succession	论文 3
5	论文合著	韩新辉 1；王兴 7；张琦 6；任成杰 3；杨改河 2；钟泽坤 5	2020-2023	Decreased soil multifunctionality is associated with altered microbial network properties under precipitation reduction in a semiarid grassland	论文 4
6	论文合著	韩新辉 1；张琦 6；王兴 7；杨改河 2；任成杰 3	2021-2023	The multifunctionality of soil aggregates is related to the complexity of aggregate microbial community during afforestation	论文 5
7	论文合著	韩新辉 1；王兴 7；冯永忠 4；任成杰	2020-202	Divergent responses of soil glomalin and	论文 6

		3；杨改河 2；钟泽坤 5	4	microbial necromass to precipitation reduction: New perspectives from soil aggregates and multi-trophic networks	

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

本项目主要完成人韩新辉与钟泽坤、任成杰、杨改河，王兴合作完成专利 1；韩新辉，杨改河，任成杰合作完成论文 1 和论文 2；韩新辉与杨改河，冯永忠，任成杰，张琦，王兴合作完成论文 3；韩新辉与王兴，张琦，任成杰，杨改河，钟泽坤合作完成论文 4；韩新辉与张琦，王兴，杨改河，任成杰合作完成论文 5；韩新辉与王兴，冯永忠，任成杰，杨改河，钟泽坤合作完成论文 6，项目完成人之间合作关系紧密。

项目二十八

一、项目名称

小麦白粉病灾变机理及全程绿色防控关键技术研究与示范

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：白粉病是我国小麦三大重要病害之一，严重威胁国家粮食安全。长期以来，病害流行规律不清、监测预警手段落后、抗病品种匮乏、防治药剂单一老化等问题突出，制约了病害有效防控。针对以上重大生产难题，西北农林科技大学联合陕西省植物保护工作总站等多家单位，历经 30 余年系统研究与联合攻关，取得了一系列创新性成果：系统阐明了陕西省小麦白粉病成灾机理与流行区划，首次划定我国小麦白粉菌越夏分布区域，为病害区域性防控提供了重要理论依据。研发出我国首个小麦白粉病智能化监测预警设备与平台，构建 "田间终端—云端分析—移动预警" 一体化技术体系，实现病害智能化监测预警，可提前 15 天预判病害流行风险。明确了我国生产与后备小麦品种抗白粉病性及基因分布格局，发掘并定位抗白粉病新基因/ QTLs 18 个，开发分子辅助选择育种标记，深入解析小麦抗白粉病分子机理，为抗病育种提供了重要遗传资源和理论支撑。系统监测小麦白粉菌对三唑酮抗药性水平，研发解淀粉芽孢杆菌 CC09 可湿性粉剂，防效与三唑酮相当。集成创建 "品种布局、源头封锁、自动预警、应急防控" 小麦白粉病绿色防控技术体系，大面积示范推广，有效控制病害危害，显著减少农药用量，经济、社会和生态效益显著。该项目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二等奖。

三、项目简介：

小麦白粉病是我国小麦三大病害之一，常年发生面积 500～900 万 hm^2，占小麦播种面积的 1/3 以上；陕西省常年发生面积约 40 万 hm^2。病害流行年份可导致小麦减产 10%～30%，严重时可达 80%以上甚至绝收，对国家粮食安全构成严重威胁。针对小麦白粉病灾变规律不清、监测预警体系落后、防控技术体系不完善等突出生产问题，在农业部行业（农业）科研专项等项目资助下，西北农林科技大学联合陕西省植物保护工作总站等多家单位，历时 20 余年系统开展小麦白粉病灾变机理及绿色防控关键技术研究与示范推广，取得了一系列创新性成果，实现了病害的有效防控，为保障国家粮食安全提供了重要技术支撑。

主要技术创新点：

1. 构建了小麦白粉病预测预报技术体系，研发了我国首个小麦白粉病智能化监测预警设备与平台

对全国 9 省 31 县（市）46 套小麦白粉病历史预测模型进行系统筛选与优化，建立了陕西省等 4 省 7 市共 12 套新预测模型，模型时效性与拟合度显著提升。整合气温、降雨量、相对湿度等 10 类关键环境因子，自主研发了小麦白粉病智能化预报设备及一体化预警平台。该系统由田间智能预报终端、云端数据库、大数据分析模块和移动端可视化终端四大模块构成，依托物联网技术全天候自动采集田间环境数据，经云端模型运算后输出白粉病发病等级预警，可提前 15 天预判病害流行风险并自动推送防治提醒。目前已在陕西、河南、安徽、江苏等 7 省 22 个市（区）推广应用，预测准确率达 80%以上。

2. 系统阐明了陕西省小麦白粉菌群体毒性结构变异动态及病害成灾机理，首次探明我国小麦白粉菌越夏区域

2007-2025 年，通过大规模系统调查采样，明确了陕西省及我国主要麦区小麦白粉菌群体毒性结构与变异动态。对陕西省小麦白粉病开展多年定点系统监测，围绕病害发生动态、传播途径、致害特征及病菌越夏习性进行连续观测，厘清了该病害在陕西省的完整侵染循环路径与区域流行区划，证实闭囊壳可通过侵染田间自生麦苗参与病害周年侵染循环。通过测定陕西省及全国小麦主产区白粉病菌的温度适应性，结合历年气象数据与田间越夏调查结果开展回归统计分析，确定小麦白粉病发展终止临界温度均值为 26.65℃，明确温度是制约白粉菌越夏的核心因子；首次划定我国小麦白粉菌主要越夏分布区域，涵盖陕西南北部、甘肃东南部、宁夏南部、河南西部、山西中部、云南全境、四川南北部及河北西部山区等高海拔麦区。

3. 持续开展小麦种质资源与新品种抗白粉病鉴定与评价，发掘抗白粉病新基因/ QTLs 18 个，深入解析小麦抗白粉病分子机理

1997-2025 年，累计完成 10000 余份小麦种质资源、区试品种及高代品系的成株期抗白粉病鉴定与筛选，显著提升了陕西省小麦抗白粉病育种整体水平，助推 200 余个小麦品种通过审定。明确了陕西省及我国主要麦区小麦品种（系）的抗白粉病基因分布格局，从小麦农家品种和现代栽培品种中发掘并定位 18 个抗白粉病新基因 / QTLs，开发了分子辅助选择育种标记；育成抗白粉病小麦品种 1 个；解析了 *TaRsfS*、*TaPUB21* 等基因的抗性分子机理，为抗病育种提供了重要遗传资源和理论支撑。

4. 建立了小麦白粉菌抗药性监测技术体系，研制了解淀粉芽孢杆菌 CC09 可湿性粉剂，集成了小麦白粉病全程绿色防控技术模式并大面积推广应用

通过连续 10 年系统监测，全面阐明了我国小麦白粉菌群体对主流防治药剂三唑酮的抗药性发展态势。从健康樟树叶片中分离获得广谱抗真菌内生解淀粉芽孢杆菌 CC09，研制了其可湿性粉剂，对白粉病的防效与三唑酮相当。制定了《小麦主要病虫害全生育期综合防治技术规程》国家行业标准和《小麦白粉病防控技术规程》陕西省地方标准，为病害规范化防控提供了技术依据。在小麦白粉病智能化监测预报的基础上，因地制宜集成应用种植抗病品种、生态与农艺调控、种子处理、后期药剂防治等综合防治策略，构建了 "品种布局、源头封锁、自动预警、应急防控" 的小麦白粉病全程绿色防控技术体系，并在生产中大面积示范推广。

成果产出： 发表研究论文 44 篇，其中 SCI 收录 14 篇；制定国家行业标准 1 项、陕西省地方标准 2 项；获授权国家发明专利 1 件、软件著作权 1 件；专著 1 个；选育抗白粉病小麦品种 1 个。

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. 小麦白粉病自动化监测预警成果验收意见

2017 年 12 月 24 日，经中国农学会组织专家对小麦白粉病自动化监测预警成果进行了评价，专家一致认为该项研究相关技术整体达到国际先进水平，在自动化预报器研制和实时预警平台的研建上处于国际领先水平。并准予入选国家成果库。

2. 农业部行业科研专项(201303016)验收意见

农业农村部科技教育司组织有关专家,于 2018 年 6 月 7 日在北京对公益性行业(农业)科研专项“禾谷类白粉病和赤霉病综合治理技术研究与示范”(201303016)进行了会议验收。验收专家组认真听取了项目第一承担单位及各协作单位的汇报，审阅了有关资料，经过质疑和充分讨论，形成如下验收意见:

（1）项目根据“关键技术研发-技术集成-示范推广”的技术路线，研究了新型耕作制度和气候变化下的禾谷类白粉和赤霉病菌群体发生规律，明确了不同生态区病菌群体结构的时空变化规律，探明了小麦赤霉病致病菌和玉米穗茎腐病病菌的种类及关系;选育了一批对白粉病和赤霉病具有抗性的新种质和新品种;研发出防治病害的新药剂;开发并完善了病害预测和毒素监测技术;研发了麦类白粉病和赤霉病监测预警系统和决策支持系统;构建了适用于不同生态区的病害综合防控技术体系和模式。技术路线具有创新性。

（2）项目获得国家科技进步奖二等奖 1 项、省部级科技进步奖 4 项、国家发明专利金奖 1 项、优秀科普作品奖 1 项，省部级科技成果鉴定 3 项;已申请国家发明专利 36 件，其中获授权专利 23 件，登记软件著作权 2 项，申请并获得新品种权 2 项，制定行业标准 2 项、地方标准 3 项;审定新品种 7 个，其中国审品种 2 个、地方审定品种 5 个，授权品种 2 个，登记大麦新品种 2 个;研发并转化登记新产品 2 个;发表文章 142 篇(其中 SCI 源论文 60 篇，核心期刊 82 篇)，参编和翻译著作 3 部。通过本项目的实施，培养国家级人才计划 3 名、省(部)级人才计划 2 名，培养研究生 56 名。

（3）项目研发成果在 5 个不同生态区示范应用，累计示范面积 5 万亩，辐射面积 500 多万亩，小麦平均亩产增加 38.96 公斤、增收节支 9.2 亿元。培训技术人员 1300 余人、农民 3.5 万人次，发放技术手册 4000 余份、明白纸 30 余万份。项目建立了产学研合作机制，充分发挥国家和地方农业科研教学机构、植保和农业技术推广部门优势和特点，与小麦和大麦产业技术体系紧密结合，研究成果及时有效的在生产上得到示范应用，有力推动了禾谷类白粉病和赤霉病综合防治技术的进步，取得了明显的经济、社会和生态效益，为禾谷类作物稳产高产和食品安全提供了科技支撑。

该项目已完成任务书中规定的各项考核指标和研究任务，专家组一致同意通过业务验收。

五、应用情况（发明奖和进步奖填写）

2022-2024 年，本项目研究成果在陕西省渭南市、咸阳市、宝鸡市和西安市大，甘肃天水市和陇南市面积示范推广，通过种植抗耐病品种、病害智能化监测预报和精准防治，小麦白粉病发生面积逐年下降。3 年累计推广面积 2737.5 万亩次，共挽回小麦产量损失 35.09 万吨，折合人民币 7.03 亿元。此外，由于种植抗病品种和病害精准防控减少了农药的使用量，3 年累计减少防治面积 2295 万亩次，减少防治成本 3.45 亿元。以上增产和节支合计人民币 10.48 亿元。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	国家行业标准	小麦主要病虫害全生育期综合防治	中国	NY/T 3302-2018	2018-07-27	中华人民共和国农业农村部	全国农业技术推广服	赵中华、王保通、康振生、陈万权、武予

		技术规程					务中心、西北农林科技大学等	清、马忠华、杨立军、陈剑平、程登发、陈怀谷、王晓杰、喻大昭、张芸慧
2	陕西省地方标准	小麦白粉病防控技术规程	中国	DB61/T 1013-2016	2016-02-24	陕西省质量技术监督局	西北农林科技大学植保学院、杨凌现代农业产业标准化研究推广中心	李强、王保通、康振生、陈宏、王亚红、文耀东、王渊、周永明
3	陕西省地方标准	小麦品种抗白粉病鉴定技术规程	中国	DB61/T 1014-2016	2016-02-24	陕西省质量技术监督局	西北农林科技大学植保学院、杨凌现代农业产业标准化研究推广中心	王保通、李强、姚撑民、康振生、周永明
4	软件著作权	小麦白粉病自动化监测预警系统V1.0	中国	2019SR1065597	2019-10-21	软著登字第4486354号	西安黄氏生物工程有限公司	黄卫利，胡小平
5	国家发明	小麦白粉病	中国	ZL.2024 1	2025.11.28	第8522310	西北农	李强、任俊、

	专利	抗性基因TaGAP1、其编码蛋白及其应用		1425544.2		号	林科技大学	王保通
6	论文	Inactivation of a wheat Ribosomal silencing factor gene TaRsfS confers resistance to both powdery mildew and stripe rust	中国	48: 711-727	2025.01.10	Plant, Cell & Environment	西北农林科技大学	李若冰、汤亚琪、王峭、赵炳杰、苏文文、王保通、李强
7	论文	Glutathione S-transferase interactions enhance wheat resistance to powdery mildew but not wheat stripe rust	中国	190: 1418-1439	2022.07.25	Plant Physiology	西北农林科技大学	王峭、郭嘉、靳鹏飞、郭梦莹、程蓬、李强、王保通
8	论文	QTL mapping of adult plant resistance to powdery mildew in Chinese wheat landrace Baidatou	中国	108:1062-1072	2024.04.10	Plant Disease	西北农林科技大学	周勇超、谷雨笛、张晓梅、王文立、李强、王保通
9	论文	TaCRT3 is a positive regulator of resistance	中国	114: 641-652	2024.03.01	Phytopathology	西北农林科技大学	任俊、宋盼盼、李若冰、王峭、赵炳杰、王保

		to *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* in wheat						通、李强
10	论文	陕西省小麦白粉菌群体毒性结构及遗传多样性	中国	46(2)：282-290	2019.04.09	植物保护学报	西北农林科技大学、咸阳市植物检疫站	李强、申雪雪、杨金叶、吴蕾、邵育娟、王保通

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
李　强	1	副研究员	西北农林科技大学	1.负责项目的总体设计和实施；2. 小麦白粉病灾变规律研究；3. 小麦品种（系）抗白粉病鉴定和评价；4. 抗白粉病基因的发掘和定位；5. 小麦白粉病绿色防控技术研发与示范。主要贡献体现在科技创新 2、3、4。
张战利	2	高级农艺师	陕西省植物保护工作总站	1. 小麦白粉病发生流行情况调查；2. 小麦白粉病绿色防控技术的示范与推广。主要贡献体现在科技创新 2 和 4。
胡小平	3	馆长/教授	西北农林科技大学	1. 小麦白粉病智能化监测预报器的研制；2. 小麦白粉病预测预报模型的构建。主要贡献体现在科技创新 1。
李　玲	4	高级农艺师	兰州市农业科研推广中心	1. 抗白粉病品种陇鉴 9826 的选育。主要贡献体现在科技创新 3。
王保通	5	教授	西北农林科技大学	1. 小麦白粉菌毒性结构监测；2. 防治白粉病新药剂开发；3. 小麦白粉病绿色防控技术示范推广。主要贡献体现在科技创新 2、4。
黄卫利	6	总经理/农艺师	西安黄氏生物工程有限公司	主要负责小麦白粉病智能化监测预警器的开发和推广。主要贡献体现在科技创新 1。
白应文	7	站长/高级农艺师	宝鸡市农业技术推广服务中心	主要负责宝鸡市小麦白粉病绿色防控技术的示范与推广。主要贡献体现在科技创新 4。

赵科刚	8	主任/高级农艺师	西安市农业技术推广中心	主要负责西安市小麦白粉病绿色防控技术的示范与推广。主要贡献体现在科技创新 4。
张亚素	9	站长/高级农艺师	咸阳市植物检疫站	主要负责咸阳市小麦白粉病绿色防控技术的示范与推广。主要贡献体现在科技创新 4。
杨小强	10	主任/高级农艺师	渭南市农业技术推广中心	主要负责渭南市市小麦白粉病绿色防控技术的示范与推广。主要贡献体现在科技创新 4。

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、实施、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。主要负责小麦白粉病智能化监测预报器的研发、陕西省小麦白粉病发生流行规律、抗病白粉病基因的挖掘、生物源农药的开发以及白粉病全程绿色防控技术的示范和推广。主要贡献体现在科技创新 1、2、3、4。
陕西省植物保护工作总站	2	在成果的推广和应用过程中发挥了重要的组织协调和落实作用。制定小麦白粉病绿色防控技术试验示范方案，在陕西省主要麦区建立小麦白粉病绿色防控示范区，并开展技术示范、培训及推广工作，确保了项目的顺利实施。主要贡献体现在科技创新 4。
西安黄氏生物工程有限公司	3	主要开展了小麦白粉病智能化监测预报器的研发、试验示范和推广工作。主要贡献体现在科技创新 1。
宝鸡市农业技术推广服务中心	4	在宝鸡市建立了小麦白粉病绿色防控示范区，开展白粉病绿色防控关键技术示范、培训及推广工作。主要贡献体现在科技创新 4。
西安市农业技术推广中心	5	在西安市建立了小麦白粉病绿色防控示范区，开展白粉病绿色防控关键技术示范、培训及推广工作。主要贡献体现在科技创新 4。
咸阳市植物检疫站	6	在咸阳市建立了小麦白粉病绿色防控示范区，开展白粉病绿色防控关键技术示范、培训及推广工作。主要贡献体现在科技创新 4。
渭南市农业技术推广中心	7	在渭南市建立了小麦白粉病绿色防控示范区，开展白粉病绿色防控关键技术示范、人员培训及推广工作。主要贡献体现在科技创新 4。

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	共同立项	李　强/1 胡小平/3 王保通/5	2007-2024	立项题目：小麦白粉病菌和赤霉病菌的群体遗传结构及其	立项合同

				时空动态	
2	共同立项	李　强/1 胡小平/3 王保通/5	2012-2024	立项题目：小麦主要病虫害综合防治技术研究	立项合同
3	论文合著	李　强/1 王保通/5	2000-2024	陕西省小麦白粉菌群体毒性结构及遗传多样性	论文
4	产业合作	李　强/1 李　玲/4	2008-2024	抗白粉病品种陇鉴9826	品种审定证书
5	产业合作	李　强/1 张战利/2 白应文/7 赵科刚/8 张亚素/9 杨小强/10	2022-2024	病害绿色防控技术示范推广	应用证明
6	产业合作	张战利/2 王保通/5 白应文/7 赵科刚/8 张亚素/9 杨小强/10	2022-2024	小麦白粉病绿色防控技术示范推广	应用证明
7	共同知识产权	胡小平/3 黄卫利/6	2007-2022	小麦白粉病自动化监测预警系统 V1.0	软件著作权证书
8	产业合作	胡小平/3 张战利/2 李　玲/4 黄卫利/6 白应文/7 赵科刚/8 张亚素/9 杨小强/10	2019-2024	小麦白粉病智能化监测预警器的示范和推广	应用证明
9	产业合作	李　玲/4 王保通/5 白应文/7 赵科刚/8 张亚素/9 杨小强/10	2008-2024	小麦白粉病绿色防控技术示范推广	应用证明
10	共同立项	王保通/5 白应文/7	2022-2023	立项题目：小麦重大病害预警和绿色防控关键技术研究与示范	立项合同

完成人合作关系说明（限 1000 字）

李强负责项目总体设计、实施方案制定及任务分工落实。张战利、胡小平、王保通、黄卫利、白应文、赵科刚、张亚素和杨小强以分工合作的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，李玲负责利用本项目的开发分子标记进行新品种培育和推广。

李强与胡小平、王保通通过共同立项，围绕小麦白粉菌的发生流行与越夏规律、白粉菌毒性结构和遗传多样性、病害预测预报、抗病资源的筛选、绿色防控药剂和关键防控技术的开发等开展了合作研究。

李强与李玲通过合作，选育兼抗白粉病和条锈病小麦品种陇鉴 9826，并在甘肃天水和陇南地区进行推广应用。

李强与张战利、白应文、赵科刚、张亚素和杨小强合作，开展了小麦白粉病全程绿色防控技术的示范和推广工作。

张战利统筹安排小麦白粉病全程绿色防控技术在陕西省示范推广工作，与王保通、白应文、赵科刚、张亚素和杨小强合作，分别在宝鸡市、西安市、咸阳市和渭南市建立了示范基地。

胡小平与黄卫利合作开发了小麦白粉病智能化监测预警器，并参与了该产品的试验示范和推广工作，共同申报了软件著作权。

胡小平与张战利、黄卫利、白应文、赵科刚、张亚素和杨小强合作，在陕西省进行了小麦白粉病智能化监测预警器的示范和推广；与李玲合作，在甘肃省进行了小麦白粉病智能化监测预警器的示范和推广。

李玲与王保通、张战利、白应文、赵科刚、张亚素和杨小强合作，分别在甘肃省和陕西省进行了小白粉病绿色防控关键技术示范和推广工作。

王保通与白应文合作申报获批了陕西省重点研究计划项目，进行了小麦白粉病预警与绿色防控技术研发与示范推广工作。

项目二十九

一、项目名称：种猪精准繁育高效技术体系创建与产业化应用

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：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。

提名者认真审阅了项目材料，内容真实，科技应用意义重大，提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

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，2025 年结束，为期 10 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 2±0.6 天延长至 8±0.2 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 2±0.6 天延长至 8±0.2 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/SXSL 14-2024	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/SXSL 15-2024	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	高磊、胡建宏、连星、李胜、李智、张毅、褚瑰燕、王佳伦、温飞、胡张

							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督所、富平县畜牧发展中心	涛、杨公社、贾永宏、陈辉、张曼、杨晓茹、邱小为、白萍莉、席华明、吴强、郭洁、赵彩会
3	团体标准	猪用配合饲料	中国	T/SXSL 13-2024	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	猪用浓缩饲料	中国	T/SXSL 12-2024	2024-12-29	陕西省饲料协	陕西正能农牧科技有限责任公司、西北农林科技大	连星、王莺、王义辉、白万礼、高磊、张曼、张毅、贾永

	准					会	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	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	番茄红素和芝	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

	专利	麻粉配伍在家畜精液冷冻保存剂中的应用						
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	论文	Isorhamnetin protects porcine oocytes from zearalenone-induced reproductive toxicity through the PI3K/Akt signaling pathway	中国	2023;14(1):22	2023-02-03	Journal of Animal Science and Biotechnology	西北农林科技大学、山西农业大学、西南科技大学、深圳技术大学	李晓娅、段家昕、王仕由、程建勇、陈华丽、张泽林、杨丽、华荣茂、李青旺

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年12月29日	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、冯贤钠、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。
连星	2	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。
高磊	3	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。
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。
张毅	5	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	6	科长/高	陕西省畜牧	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

辉		级兽医师	产业试验示范中心	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。
李青旺	7	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。
杨晓茹	9	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。
刘妩妍	10	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	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

验示范中心		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。

九、完成人合作关系情况

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、连星/2、高磊/3、于太永/4、陈辉/6、张毅/5、杨晓茹/9	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/3、胡建宏/1、连星/2、张毅/5、陈辉/6、杨晓茹/9	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/2、张毅/5、胡建宏/1、高磊/3、陈辉/6、杨晓茹/9、刘妩妍/10	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/2、高磊/3、张毅/5、陈辉/6、杨晓茹/9、刘妩妍/10	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/3、张毅/5、于太永/4、杨晓茹/9	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	胡建宏/1、高磊/3、张毅/5、张国梁/8、陈辉/6、连星/2、刘妩妍/10、杨晓茹/9	2021.1.1	2023.12.31	种猪精准饲养及测膘调料技术研发	项目合同及验收书
7	论文合著	胡建宏/1、李青旺 7	2010.1.1	2014.12.31	稀释液成	未列入附件

					分对猪精液常温保存效果的影响	

完成人合作关系说明（限 1000 字）

胡建宏（第 1 完成人）与连星（第 2 完成人）、高磊（第 3 完成人）、张毅（第 5 完成人）、于太永（第 4 完成人）、陈辉（第 6 完成人）、杨晓茹（第 9 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 3 完成人）、胡建宏（第 1 完成人）、连星（第 2 完成人）张毅（第 5 完成人）、陈辉（第 6 完成人）、杨晓茹（第 9 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 2 完成人）、张毅（第 5 完成人）、胡建宏（第 1 完成人）、高磊（第 3 完成人）、陈辉（第 6 完成人）杨晓茹（第 9 完成人）、刘妩妍（第 10 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（第 2 完成人）、高磊（第 3 完成人）、张毅（第 5 完成人）、陈辉（第 6 完成人）、杨晓茹（第 9 完成人）、刘妩妍（第 10 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《猪用浓缩饲料》。

胡建宏（第 1 完成人）、高磊（第 3 完成人）、张毅（第 5 完成人）、于太永（第 4 完成人）、杨晓茹（第 9 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 3 完成人）、张毅（第 5 完成人）、张国梁（第 8 完成人）、陈辉（第 6 完成人）、连星（第 2 完成人）、刘妩妍（第 10 完成人）、杨晓茹（第 9 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。

胡建宏（第 1 完成人）与李青旺（第 7 完成人）自 2010 年 1 月 1 日至 2014 年 12 月 31 日完成“稀释液成分对猪精液常温保存效果的影响”文章。

项目三十

一、项目名称：禽类重要疫病从分子设计到栏圈边的防控技术研发与推广应用

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：

禽类重要疫病从分子设计到栏圈边的防控技术研发与推广应用项目，紧扣我省家禽产业生物安全面临的突出问题和疫病防控技术短板，开展系统技术攻关与集成推广，破解了家禽重要疫病精准诊断与绿色防控的技术瓶颈，推动了我省家禽疫病防控由经验防控向精准化、绿色化转型升级。

该项目持续十余年跟踪监测我省鸡群疫病流行态势，揭示了 AIV、FAdV、禽 HEV 等病原混合感染高发与变异风险，为疫病预警提供了科学依据；阐明了禽 HEV 和 FAdV 共感染协同致病等新机制，为新型防治技术创制奠定了理论基础；建立了家禽重要疫病病原特异性纳米抗体筛选平台，创制了 RANbody 和 Fenobody 工程化技术，实现了纳米抗体亲和力和半衰期的显著提升；研发出针对 AIV、NDV、FAdV 的精准诊断技术和中和纳米抗体防治制剂，检测时间由 4-6 小时缩短至 1-2 小时，诊断一致率达 98%以上，生产成本大幅降低；构建了“病原机制解析-纳米抗体筛选--工程化改造--诊断与防治应用”全链条技术体系，并在陕西省 10 个地市 90 余个县区规模化示范推广，免疫抗体合格率由 76.5%提高至 88.2%，疫病应急响应时间缩短 24-48 小时，有效提升了家禽产业的生物安全水平和疫病防控能力。项目经济、社会和生态效益显著。

提名该项目为陕西科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介：

“禽类重要疫病从分子设计到栏圈边的防控技术研发与推广应用”由西北农林科技大学牵头，联合陕西省动物卫生与屠宰管理站、西安职业技术学院及地方龙头企业实施。成果来源于国家重点研发计划“禽流感和新城疫病毒纳米抗体检测技术的研究”（项目编号：2016YFD0500801）、国家自然科学基金“禽 HEV ORF3 蛋白对鸡肝细胞线粒体功能的影响及机制研究”（项目编号：31602081）、“动物源戊型肝炎病毒跨种属感染的分子机制”（项目编号：2022JC-12）和省市科技计划“不同亚型禽流感病毒快速检测方法的建立与示范”（项目编号：20193033YF021NS021）、“基于纳米抗体的 H9N2 禽流感病毒新型防治药物研发（项目编号：YDWS202212）”等 5 项科研任务。自 2013 年起历经十余年协同攻关，形成了从病原机制解析、技术创制到现场应用的系统成果。

项目主要取得八方面成果：

1. 揭示陕西鸡群病毒混合感染与变异风险：长期监测显示，低致病性 AIV、FAdV、禽 HEV 在鸡群中混合感染高发、变异频繁。明确禽 HEV 协同禽 FAdV 是 2015 年陕西蛋鸡/种鸡肝脾破裂综合征的主要诱因；FAdV-1 与 FAdV-4 共感染致死亡率达 80%，为基因重组预警提供依据。

2. 阐明重要禽病病原感染致病新机制：首次发现鸡 OATP1A2 蛋白介导禽 HEV 吸附，HEV ORF3 蛋白劫持 TXNDC5 蛋白不被宿主降解促进病毒释放；系统解析 FAdV-1 与 FAdV-4 共感染协同致病，FAdV-1 通过上调 HSPA2 使 FAdV-4 复制效率提升 21 倍。

3. 建立家禽重要疫病病原纳米抗体筛选平台：以 AIV、NDV、FAdV、HEV 等家禽重要疫病病原为靶标，免疫双峰驼结合噬菌体展示技术，构建高库容免疫纳米抗体文库 9 个，筛选特异性纳米抗体 95 株，挖掘中和抗原表位 6 个，制备中和纳米抗体 8 株。

4. 搭建家禽不同病原 RANbody 工程化平台：将纳米抗体与 HRP 等报告分子 1:1 融合表达，构建稳定分泌 RANbody 的悬浮细胞系 4 个，培养上清直接用于检测试剂开发，工艺简单，易于产业化。

5. 搭建重要禽病病原 Fenobody 工程化平台：将纳米抗体与笼铁蛋白融合制备 Fenobody 23 株，实现 24 聚化改造，亲和力提高 12.2 倍，半衰期由 4-6 小时延长至 96 小时，可大肠杆菌发酵，成本低、易生产。

6. 创制家禽重要疫病纳米抗体精准诊断技术：建立 NDV、FAdV、AIV 的 RANbody 一步法竞争 ELISA 和 Fenobody-RANbody 夹心 ELISA，检测时间由 4-6 小时缩至 1-2 小时，与 IDEXX 试剂一致性＞98%；NDV 检测下限 10 ng，与血凝试验符合率 98.7%，成本为传统单抗试剂盒的 1/20。

7. 创制家禽重要疫病的纳米抗体防治制剂：构建针对 AIV、NDV、FAdV、HEV 的中和性 Fenobody 6 株，建立大肠杆菌发酵表达规程。AIV：中和纳米抗体 1 株，H9N2-HA-Fenobody 2，IC_{50}=1.189 μg/mL，鸡胚中和试验保护率 100%，显著降低鸡只排毒 10000-16000 copies/mL；NDV：中和纳米抗体 4 株，NDV-Fenobody-4，-13，-71，-95，IC_{50} 分别为为 0.037 μg/mL，0.038 μg/mL，0.028 μg/mL，0.578 μg/mL，Fenobodies 混合治疗后鸡只存活率 100%；FAdV：中和纳米抗体 1 株，FAdV-4-fiber2-Fenobody75，IC_{50}=0.6166 μg/mL，治疗后鸡只存活率 100%。

8. 示范应用与成效：项目累计检测样品 144.6 万份，免疫抗体合格率由 76.5%提至 88.2%，诊断响应时间缩短 24～48 小时；中和抗体应用后鸡群感染率降低 50%，10 个鸡场实现禽 HEV 净化。同时，培养了一批高素质禽病防控人才，显著提升家禽疫病诊断、免疫和应急处置能力。

项目实施覆盖陕西 10 个地市 90 余个县区、约 350 个规模养鸡场和 3 个禽类定点屠宰场，累计开展技术培训 30 余场、培训基层技术人员和养殖从业人员 5000 余人次，培养研究生 37 名。项目发布禽病净化、疫苗接种和无抗养殖等地方标准 3 项，授权国家发明专利 6 项，发表相关 SCI 论文 20 篇，总影响因子超过 80。通过项目实施，加速了禽类重要疫病精准检测、中和纳米抗体防治及养殖过程防控技术的推广应用，促进了家禽疫病防控由经验防控向精准化、绿色化转变，有效提升了陕西省家禽产业的生物安全水平和重大疫病防控能力。近三年来，项目新增经济效益 2600 万元，年综合经济效益超过 1000 万元，并通过降低禽只死亡与

淘汰、减少生产性能损失和不合理用药，带动养殖主体增收，推动了陕西省家禽产业绿色健康发展。

四、客观评价：

1. 与国内外同类研究比较

AIV、NDV、FAdV 及禽 HEV 等致病机制研究方面，国内外相关研究主要集中于单一病原的流行变异、致病性及宿主免疫应答，对生产现场普遍存在的多病原混合感染、协同致病及其宿主依赖机制研究相对不足。已有研究证实 FAdV 不同血清型在抗原性和致病性方面存在明显差异，但对不同血清型共感染及相互促进复制的分子机制认识有限；禽 HEV 研究则主要集中于流行病学和基因组特征，其吸附入侵、蛋白稳定及病毒释放所依赖的宿主因子尚不明确。本项目明确了陕西鸡群低致病性 AIV、FAdV 和禽 HEV 混合感染高发及持续变异的流行特征，揭示禽 HEV 与 FAdV 混合感染是鸡群肝脾破裂综合征的重要诱因；首次系统解析 FAdV-1 与 FAdV-4 共感染的协同致病机制，FAdV-1 通过上调宿主 HSPA2 使 FAdV-4 复制效率提高 21 倍；发现鸡 OATP1A2 介导禽 HEV 吸附与感染、ORF3 蛋白劫持 TXNDC5 逃逸降解并促进病毒释放，拓展了对病毒感染机制的认知。

在禽病诊断技术方面，国内外广泛应用传统 ELISA、血凝及血凝抑制试验、PCR、实时荧光定量 PCR 等方法。这些技术在病原检测、血清学诊断和免疫效果评价中发挥了重要作用。但 PCR 和实时荧光定量 PCR 依赖专业实验室、仪器设备及技术人员，难以直接用于基层现场；传统 ELISA 检测周期较长，且单克隆抗体制备、纯化及标记成本相对较高。本项目将特异性单价纳米抗体与 HRP 等标签分子 1：1 融合表达，培养上清可直接用于检测，省去传统抗体纯化、化学标记和二抗孵育等环节；建立 Fenobody 工程化平台，通过纳米抗体 24 聚化提高抗原捕获能力，并形成 Fenobody-RANbody 协同检测体系。创制的一步法竞争 ELISA 和夹心 ELISA 将检测时间由传统方法的 4-6 小时缩短至 1-2 小时，与商品化试剂盒检测结果一致性达 98%以上，NDV 检测下限达到 10 ng，与血凝试验符合率达 98.7%，成本降至传统单抗试剂盒的 1/20，为禽类重要疫病提供了快速、精准、经济的诊断技术。

在禽类病毒病防治方面，国内外对 AIV、NDV 和 FAdV 等疫病主要采取疫苗免疫与生物安全相结合的防控措施。但由于病毒持续变异、流行毒株与疫苗株匹配性不足以及不同血清型间交叉保护较差，疫苗免疫失败的情况时有发生；禽 HEV 则尚缺乏商品化疫苗，感染后缺少特异性治疗手段。传统中和单抗等生物制剂特异性好，但是生产成本高、难以在规模养殖中推广。本项目以 AIV、NDV 和 FAdV 不同流行毒株为对象开展特异性纳米抗体的体外交叉中和活性评价，筛得具有广谱中和潜力的纳米抗体 8 株，构建中和 Fenobody 候选制剂 6 株，使纳米抗体表观亲和力提高 12.2 倍、半衰期由 4-6 小时延长至 96 小时；制剂可采用大肠杆菌发酵生产，工艺简单、生产成本低。其中，H9N2 AIV Fenobody 鸡胚中和保护率达 100%，应用后鸡只排毒量显著降低；NDV 和 FAdV-4 Fenobody 治疗后鸡只存活率均达 100%。项目为疫苗免疫提供了绿色、经济的特异性防治补充手段。

2. 项目验收意见

（1）2020 年 4 月，国家自然科学基金委员会生命科学部对“禽 HEV ORF3 蛋白对鸡肝细胞线粒体功能的影响及机制研究”（31602081）准予结题。项目明确了 ORF3 蛋白调控肝细胞线粒体凋亡通路的关键机制，揭示了其在禽 HEV 致肝脏损伤中的作用，为禽 HEV 新型防治制剂的研发奠定了材料基础。

（2）2021 年 8 月，中国农业科学院哈尔滨兽医研究所组织专家对国家重点研发计划课题“家禽重大疫病诊断新技术研究”（2016YFD0500801）进行综合绩效评价，一致同意通过验收。鉴定了诊断分子标识 12 个，建立荧光 RT-PCR、试纸条等检测技术 16 种，在控制 AIV 疫情和阻断向人传播中发挥重要作用。

（3）2023 年 2 月，西安市科学技术局对“不同亚型禽流感病毒快速检测方法的建立与示范”（20193033YF021NS021）验收通过，评定等级为良好。项目筛选制备了针对 AIV 的高亲和力及中和活性纳米抗体，建立了病原学检测新技术并优化了产业化制备条件。

（4）2024 年 12 月，广东省农业科学院动物卫生研究所对“基于纳米抗体的 H9N2 禽流感病毒新型防治药物研发”（YDWS202212）结题验收通过。项目构建了库容 3.6×10^8转化子的 VHH 文库，筛选获得 Nb-2 具中和活性纳米抗体；并制备 Fenobody 显著降低排毒和脏器病毒载量；具有良好的产业化应用前景。

（5）2026 年 4 月，陕西省科学技术厅对“动物源戊型肝炎病毒跨种属感染的分子机制”（2022JC-12）验收通过。项目证明了禽、猪 HEV 和兔 HEV 可跨种属感染；阐明了 OATP1A2 和 TXNDC5 在 HEV 感染中的分子机制并建立了体外高效感染细胞系，为禽 HEV 新型防治制剂的研发奠定了材料基础。

3. 项目成果第三方评价

2025 年 4 月 15 日，项目主持单位组织省内专家对“禽类重要疫病从分子设计到栏圈边的防控技术研发与推广应用”项目进行科技成果初评。评审专家一致认为，本项目工作扎实，数据真实可靠，科技创新内容具有现实性、创新性和前瞻性，对陕西省家禽产业绿色健康发展影响意义深远。经济、社会和生态效益显著，整体技术达到国内领先水平。

3. 项目科技查新结论

对“禽类重要疫病从分子设计到栏圈边的防控技术研发与推广应用”项目进行查新，经过与本项目的技术要点对比，结论如下：

（1）关于禽 HEV ORF3 蛋白通过劫持宿主 TXNDC5 逃逸降解、促进病毒释放的致病机制，除项目组文献外，检索范围内未见相关中英文文献报道。

（2）关于禽腺病毒血清 1 型和 4 型（FAdV-1 和 FAdV-4）共感染及其协同致病机制，除项目组文献外，检索范围内未见相关中英文文献报道。

（3）关于基于纳米抗体-酶融合蛋白的一步法竞争 ELISA 和基于 Fenobody/RANbody 的双抗体夹心 ELISA 新型快速诊断技术，除项目组文献外，检索范围内未见相关中英文文献报道。

（4）关于同时覆盖 AIV、NDV、FAdV 及禽 HEV 的家禽重要疫病系统性中和纳米抗体筛选与防治研究，除项目组文献外，检索范围内未见相关中英文文献报道。

（5）关于将纳米抗体快检技术融入全省防控网络、构建覆盖“养殖-屠宰-监测-应急”全链条的禽流感等重大禽病一体化防控技术体系，检索范围内未见相关中英文文献报道。

五、应用情况：

（1）构建了家禽重要疫病基于纳米抗体的血清学及病原学诊断技术，用于 AIV、NDV、FAdV 和禽 HEV 感染病原、血清学诊断初筛和免疫效果评价，初筛。建立的技术与商品化试剂盒检测一致性达 98%以上，检测时间缩短至传统方法的 1/3，制备成本降至传统单抗试剂盒的 1/20。应用后疫病诊断与应急响应时间缩短 24-48 小时，有效提高了隐性感染和免疫薄弱鸡群的早期发现能力，显著降低了大规模样品筛查成本和疫病防控风险。

（2）创制了 AIV、NDV、FAdV 和禽 HEV 的中和纳米抗体制剂，并开展了防治技术示范应用。经过举办技术培训和知识大赛等方式，人员在动物疫病防控方面技能大幅提升，鸡群感染率降低 50-70%，病毒排毒和传播风险明显下降， 10 个鸡场实现了禽 HEV 的净化。该技术减少了鸡场经验性和非特异性用药，为养殖场降低疫病传播及生产损失提供了绿色、经济的技术手段。

（3）项目成果在陕西省 10 个地市 90 余个县区、约 350 个规模养鸡场和 3 个禽类定点屠宰场推广应用，覆盖全省规模养鸡场的 60%，项目区蛋鸡/种鸡存栏约 450 万只。示范鸡群禽流感免疫抗体合格率由 76.5%提高到 88.2%，疫病诊断符合率达 95%以上，超额完成项目设定的目标任务。

（4）项目的实施示范引领与辐射带动效果明显，全省 80%以上规模养鸡场开展了禽病净化、精准检测和科学免疫工作，纳米抗体诊断试剂和防治制剂应用数量大幅增加。项目实施后，陕西省家禽重大疫病发病率明显下降，禽流感等疫病防控能力显著提升，有力地促进了全省家禽产业的绿色健康发展。

（5）项目已授权国家发明专利 6 项，发布地方标准 3 项，发表相关 SCI 论文 20 篇（总影响因子超过 80）；通过举办各种技术培训班 30 余场，共计培训基层技术人员和养殖从业人员 5000 余人次，培养研究生 37 名，有效提升了陕西省家禽疫病诊断、疫苗免疫和疫情处置能力。

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	陕西好邦食品有限公司	新城疫、禽流感和腺病毒疫苗免疫抗体初检；禽流感、新城疫、禽戊肝等病原检测	年出栏肉鸡 1200 万只	2020 年 1 月-2024 年 12 月	韩春元/13369179696
2	陕西富强宏图牧	新城疫和禽流感抗体初检；	年出栏肉鸭	2022 年 1 月	薛小平

	业有限公司	禽流感、新城疫等病原检测	1000 万只	-2024 年 12 月	13892349620
3	陕西秦云农产品检验检测股份有限公司	禽流感、新城疫等病原检测	年检测 5 万份	2021 年 1 月-2025 年 12 月	刘妩妍 15091032831
4	陕西大匠农科产业有限公司	新城疫、禽流感等抗体水平初检；禽流感、新城疫等病原检测；禽戊肝净化；低致病性禽流感中和纳米抗体制剂进行禽流感防控等	存栏蛋鸡 300 万只	2021 年 1 月-2025 年 12 月	殷瑞行 18291590007
5	陕西石羊农业科技股份有限公司	禽流感、新城疫和腺病毒抗体水平初检；禽流感、新城疫、禽腺病毒等病原检测	年出栏量 3600 万只	2021 年 1 月-2025 年 12 月	俞海峰 13811807921
6	咸阳康大现代农业有限公司	禽流感、新城疫抗体水平初检；禽流感、新城疫、禽腺病毒等病原检测；禽戊肝净化；低致病性禽流感中和纳米抗体制剂进行禽流感防控等	存栏蛋鸡 180 万只	2021 年 1 月-2025 年 12 月	杨国胜 /13991280191
7	陕西澄城尚阳生态禽业有限公司	禽流感、新城疫和禽腺病毒抗体水平初检；禽流感、新城疫等病原检测；禽戊肝净化与配套检测；低致病性禽流感、禽腺病毒中和纳米抗体制剂进行禽流感防控等	父母代 30 万套（120 只鸡/套）	2021 年 1 月-2025 年 12 月	杨俊武 /15332234468
8	甘泉劳山吉祥农牧发展有限责任公司	禽流感、新城疫抗体初检；禽流感、新城疫、禽腺病毒等病原检测；禽戊肝净化；低致病性禽流感中和纳米抗体制剂进行禽流感防控等	存栏蛋鸡 16 万只	2021 年 1 月-2025 年 12 月	张延翔 13991772193
9	陕西中科基因检测技术有限公司	禽流感、新城疫和禽腺病毒等病原检测	年检测 3 万份	2021 年 1 月-2025 年 12 月	拓晓玲 18049245564
10	凯鸽优宠生物科技（西安）有限公司	禽流感、新城疫等病原检测	年检测 1 万份	2021 年 1 月-2025 年 12 月	王军 13609240905

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	一种检测禽戊型肝炎病毒特异性抗体的阻断 ELISA 方法	中国	ZL201310320409.7	2018 年 01 月 02 日	2775299	西北农林科技大学	赵钦；周恩民；刘宝元；孙亚妮；李爽
2	发明专利	禽和猪戊型肝炎病毒共有抗原、单克隆抗体和制备方法及应用	中国	ZL201410503871.5	2019 年 11 月 12 日	3591732	西北农林科技大学	赵钦；周恩民；王鑫杰；孙亚妮；李爽
3	发明专利	两株抗新城疫病毒纳米抗体及其表达制备方法和应用	中国	ZL201911047347.0	2022 年 02 月 08 日	4921063	西北农林科 技大学	赵钦；孙亚妮；纪品品；周恩民
4	发明专利	抗 H9N2 亚型禽流感病毒纳米抗体、制备方法和应用	中国	ZL202010104052.9	2022 年 03 月 04 日	4975939	西北农林科技大学	赵钦；孙亚妮；王坤；周恩民
5	发明专利	一种血清 4 型禽腺病毒纳米抗体及其制备方法和应用	中国	ZL202311007090.2	2024 年 07 月 30 日	7240868	西北农林科技大学	孙亚妮，赵芯钰，张昊，赵钦
6	实用专利	一种畜牧兽医用喂药装置	中国	ZL202120655252.3	2022 年 3 月 18 日	16056917	延安市动物疫病预防控制中心	闫伟硕，刘山
7	地方标准	规模养殖场无抗鸡蛋生产技术规范	中国	DB6101/T 157-2020	2020 年 11 月 12 日	西安市市场监督管理局	西安市动物疫病预防控制中心、西北农林科技大学、西安秦岭野生动物园、西安瑞尔康农牧有限公司、咸阳康大农牧业有限公	张靖飞、冯鹏、张园、闵育娜、王新、邵俊峰、吴耀丽、王向阳、冯莲英、肖 养红、白雲心

							司、西安市长安区万缘养殖专业合作社	
8	地方标准	种鸡场戊型肝炎（HEV）净化技术规范	中国	DB6101/T 158-2020	2020 年 11 月 12 日	西安市市场监督管理局	西安市动物疫病预防控制中心、西北农林科技大学、西安秦岭野生动物园、西安瑞尔康农牧有限公司、咸阳康大农牧业有限公司、西安市长安区万缘养殖专业合作社	张靖飞、张园、赵钦、冯鹏、孙亚妮、闵育娜、王新、石龙飞、邵俊峰、吴耀丽、王向阳、冯莲英、肖养红、聂娉舒
9	地方标准	家禽疫苗接种技术规范	中国	DB6101/T 190-2021	2021 年 12 月 01 日	西安市市场监督管理局	西安市动物疫病预防控制中心、西北农林科技大学、杨凌职业技术学院、周至县畜牧兽医技术推广中心、西安瑞尔康现代农牧有限公司、咸阳康大现代农业有限公司	张靖飞、冯鹏、张园、王新、张曼、严典波、吴萌萌、陈荣、王向阳、冯莲英、肖养红

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	孙亚妮	副教授	西北农林科技大学	试验设计
2	王华	高级兽医师	陕西省动物卫生与 屠宰管理站	项目实施
3	刘山	兽医师	延安市动物疫病预 防控制中心	防控关键技术集成
4	赵钦	教授	西北农林科技大学	试验设计
5	张园	讲师	西安职业技术学院	实验数据整理
6	纪品品	助理研究员	西北农林科技大学	试验数据处理
7	赵加凯	助理研究员	西北农林科技大学	样品采集与分析
8	郭蓉	兽医师	陕西省动物卫生与 屠宰管理站	技术推广
9	杨迪	助理兽医师	陕西省动物卫生与 屠宰管理站	技术推广

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	1. 项目立项申报和具体实施； 2. 开展陕西鸡群病毒监测，阐明 AIV、FAdV、禽 HEV 混合感染、变异规律及致病诱因，解析病原协同致病新机制，为产品研发提供理论支撑； 3. 搭建纳米抗体筛选、RANbody 及 Fenobody 工程化平台，筛选改造得到多株特异性、中和纳米抗体，建立低成本产业化制备工艺； 4. 创制纳米抗体精准诊断技术与防治制剂，检测速度大幅提升、成本显著降低，动物试验保护效果优异； 5. 统筹各参与单位协同，开展技术集成，产出专利与高水平论文，培养专业人才。
2	陕西省动物卫生与屠宰管理站	1. 在陕西多地规模化示范应用，实现部分鸡场疫病净化； 2. 组织相关单位和技术人员进行培训，对项目技术指导和疫病防治等发挥了巨大作用； 3. 产出地方标准，培养专业人才。
3	延安市动物疫病预防控制中心	1. 参与部分样品采集、临床病例调研，提供田间鸡场试验条件，开展诊断试剂、纳米抗体制剂的田间验证； 2. 参与基层技术培训，开展养殖主体技术指导，推广项目防控技术； 3. 推动家禽疫病精准绿色防控，取得显著经济社会效益。
4	西安职业技术学院	1. 参与部分样品检测分析； 2. 协助开展技术示范，推动成果落地应用，收集经济效益相关数据。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	共同知识产权	孙亚妮 1，赵钦 4	2013 年 2 月 21 日- 2018 年 7 月 12 日	一种检测禽戊型肝炎病毒特异性抗体的阻断 ELISA 方法	见附件
2	共同知识产权	孙亚妮 1，赵钦 4	2013 年 3 月 16 日- 2019 年 11 月	禽和猪戊型肝炎病毒共有抗原、单克隆抗体和制备	见附件

			12 日	方法及应用	
3	共同知识产权	孙亚妮 1，赵钦 4，纪品品 6	2017 年 9 月 30 日- 2022 年 02 月 08 日	两株抗新城疫病毒纳米抗体及其表达制备方法和应用	见附件
4	共同知识产权	孙亚妮 1，赵钦 4	2017 年 10 月 20 日- 2022 年 03 月 04 日	抗 H9N2 亚型禽流感病毒纳米抗体、制备方法和应用	见附件
5	共同知识产权	孙亚妮 1，赵钦 4	2022 年 9 月 10 日- 2024 年 07 月 30 日	一种血清 4 型禽腺病毒纳米抗体及其制备方法和应用	见附件
6	共同参与制定标准规范	孙亚妮 1，赵钦 4，张园 5	2018 年 1 月 1 日 -2020 年 11 月 12 日	种鸡场戊型肝炎（HEV）净化技术规范	见附件
7	共同立项	孙亚妮 1，王华 2，刘山 3，赵钦 4，张园 5，纪品品 6，赵加凯 7，郭蓉 8，杨迪 9	2021 年 4 月 12 日-2026 年 5 月 29 日	重大动物疫情应急处置及防控关键技术改进与推广	见附件
8	共同立项	孙亚妮 1，王华 2，刘山 3，赵钦 4，张园 5，纪品品 6，赵加凯 7，郭蓉 8，杨迪 9	2022 年 5 月 13 日--2026 年 5 月 29 日	布病等重点人畜共患病应急处置及防控关键技术改进与推广	见附件
9	共同立项	孙亚妮 1，张园 5，纪品品 6，赵加凯 7	2024 年 9 月 26-至今	低致病性禽流感病毒绿色新型防治药物研发和防控体系构建	见附件

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

在本次《禽类重要疫病从分子设计到栏圈边的防控技术研发与推广应用》项目完整研发周期内，所有完成人各司其职、紧密配合。第一完成人统筹项目整体技术路线规划、课题进度管控、整套成果梳理以及成果落地统筹；第二、三、五完成人产业方向成员深入省内家禽养殖场开展田间样本检测、防控技术示范、养殖户实操培训；第四完成人主攻病原基因分析、靶向抗原分子设计、疫苗与检测试剂实验室调试优化；第六和七完成人负责纳米抗体筛选与制备、试剂盒稳定性测试、家禽动物模型攻毒试验；第八和九完成人项目宣传推广工作，并在应用中实时反馈技术问题，并对项目组提出的解决方案进行实地验证和监督。

项目三十一

一、项目名称：木质产品碳标识标准体系构建及关键技术示范

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：该项目木质产品碳标识标准体系构建及关键技术示范。该项目针对我国木质林产品碳足迹评价标准缺失、生产过程能耗高、绿色低碳转型缺乏技术支撑等关键问题，系统构建了木质林产品碳足迹评价标准体系与关键技术。项目成果具有显著创新性和行业引领作用，为我国木质林产品绿色低碳转型提供了有力支撑，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二等奖。

三、项目简介：中国是全球最大的木质林产品生产国和出口国，但碳足迹评价标准缺失，产业能耗高、成本高。本项目系统建立了木质林产品碳足迹评价与技术标准体系，通过精准核算挖掘减排潜力，助力企业节本增效。在理论方法上，项目界定了碳足迹评价的系统边界，构建了覆盖人造板、木地板、木家具、木门窗及木质生物质能源的标准化体系，规范系统界限为“从摇篮到大门”；建立了从原材料采购到废弃处理的全生命周期核算数理模型，实现“从摇篮到坟墓”生命周期评价。在技术应用上，项目开发了基于生产实际的碳足迹评价技术，在七十余家企业开展示范。项目组在多地采集数据，研制了低碳全过程生产标准化技术，形成了“理论—技术—工艺—效益”的成果转化路径。

四、客观评价：项目组发布实施我国木质林产品低碳认证领域系列标准——“LY/T 3045-2018 人造板生产生命周期评价技术规范”、“LY/T 3227-2020 木地板生产生命周期评价技术规范”和“LY/T 3164-2024 木竹地板类产品生产综合能耗”，该系列标准的实施为推动我国木质林产品实现国际标准化和绿色低碳认证提供重要支撑。项目组于 2014 年开始研发木质林产品低碳分析评价模型，并在我国多地推广应用。2019 年该成果被认定为国际先进成果，入选国家林业和草原局国家级科技成果库，编号 19060462。

五、应用情况：本成果系统完善了木质林产品碳足迹评价标准化数据库，研制了基于企业实际的木质林产品碳足迹数理模型。目前，理论成果已在我国浙江升华云峰新材股份有限公司、德华兔宝宝装饰新材股份有限公司、千年舟新材科技集团股份有限公司、大自然家居有限公司、山东新港企业集团有限公司等 70 多家主要人造板和木竹地板生产基地进行产品的技术核算评估示范。

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	木地板生产生命周期评价技术规范	中国	LY/T 3227-2020	2020.12.29	80025-2021	西北农林科技大学、中国林业科学研究院木材工业研究所、陕西国防工业职业	楚杰、段新芳、许燕、张仲凤、张艳姣、邓超、

							技术学院、中南林业科技大学、中国建材检验认证集团股份有限公司、常州检验检测标准认证研究院、山东临沂出入境检验检疫技术服务中心、圣象实业(江苏)有限公司、大自然家居(中国)有限公司、德华兔宝宝装饰新材股份有限公司、巴洛克木业(中山)有限公司、德尔未来科技控股集团股份有限公司、临沂山大木业有限公司、浙江裕华木业有限公司、菲林格尔家居科技股份有限公司、浙江富得利木业有限公司、江苏森茂竹木业有限公司、肇庆市现代筑美家居有限公司	王正国、姬晓迪、姜志华、佘学彬、戴维德、林德英、张立新、王召成、金月华、刘敦银、孟荣富、刘海良、钟耀灿、史小娟、张冉、康松杰、贾亮亮、齐学敏、陈妮、王寒星
2	标准规范	实木厚芯胶合板	中国	LY/T 3301-2022	2022.09.07	89543-2023	西北农林科技大学、中国林业科学研究院木材工业研究所、临沂市检验检测中心、山东永利木业有限公司、德华兔宝宝装饰新材股份有限公司、临沂市兰山区久大板材厂、陕西佳美欧德森木业集团有限公司、江苏笨笨猫新材料有限公司、广东耀东华装饰材料科技有限公司、广州市长安粘胶制造有限公司、浙江升华云峰新材股份有限公司、北新国际木业有限公司、福建南平	楚杰、段新芳、于文吉、李晓玲、张红、解兴元、张鸿超、符连其、詹先旭、王金龙、杨国栋、王曙光、曾敏华、黄志平、沈云芳、张方文、杨大发、郑子忠、姜延红、叶德青、边国民、林海宝、林蔚、潘金闪、程洪亮、曹永建、魏

							市元乔木业有限公司、江山市新世纪木业有限公司、浙江舒福家门业有限公司、浙江锦庭装饰材料有限公司、太尔胶粘剂（广东）有限公司、广东德隆木业有限公司、大厂金隅天坛家具有限责任公司、仁化县奥达胶合板有限公司、广东省林业科学研究院、衢州市方圆林产品检验检测有限公司、陕西省林业工业产品质量监督检验站、国家林草局林产品质量检验检测中心（西安）、山东临沂出入境检验检疫技术服务中心	清峰、邱章忠、叶桂梅、李洪雷、李一博、张利、姬晓迪、齐学敏、陈妮、邓丹妮、王寒星、侯新宇
3	标准规范	木竹地板类产品生产综合能耗	中国	LY/T 3164-2024	2024.12.16	96592-2024	西北农林科技大学、苏州大卫木业有限公司、大自然家居（中国）有限公司、广东大自然家居科技研究有限公司、德华兔宝宝装饰新材股份有限公司、浙江升华云峰新材股份有限公司、山东理工大学、德尔未来科技控股集团股份有限公司、浙江菱格木业有限公司、浙江富得利木业有限公司、圣象实业（江苏）有限公司、大亚（江苏）地板有限公司、江西竺尚竹业有限公司、福建大庄竹业科技有限公司、常州市贝美家居科技有限公	楚杰、喻立春、佘学彬、杨亮庆、詹先旭、时君友、李建章、庞小仁、姚红鹏、肖亦鸿、余苗水、孟荣富、陈建军、赵保成、纪娟、高雅、王必囤、金敏、刘红征、戴月萍、刘云妹、张国红、盛春、杨大发、梁素钰、贾丹、张方文、张仲凤、雷洪、王卫任、张鸿超、

							司、浙江品阁木业有限公司、巴洛克木业（中山）有限公司、湖州申伟东环保科技有限公司、江苏欧圣新材料有限公司、山东新港企业集团有限公司、南平市华泰木竹有限公司、陕西佳美欧德森木业有限公司、湖南鲁丽木业有限公司、江西鲁丽木业有限公司、黑龙江省生态研究所、北新国际木业有限公司、国家林草局林产品质量检验检测中心（西安）、湖州衡鼎产品检测中心、中南林业科技大学、浙江农林大学	王国栋、葛立军、林德英、申伟东、徐建洪、魏明、郑冀鲁、李书磊、陈鹤予、李一博、袁洁莹、刘喆赟、张佳星、易瑶、姬晓迪、张利、牛康任、米冰冰、袁晶、谢非凡
4	标准规范	人造板生产生命周期评价技术规范	中国	LY/T 3045-2018	2018.12.29	65693-2019	西北农林科技大学、中国林业科学研究院木材工业研究所、临沂出入境检验检疫局综合技术服务中心、大亚人造板集团有限公司、中国建材检验认证集团股份有限公司、圣象集团有限公司、临沂山大木业有限公司、陕西省产品质量监督检验研究院、陕西中兴林产有限责任公司	楚杰、段新芳、路海东、程杰、陈秀兰、严川林、王正国、黄玲玲、史小娟、王召龙、王天新、关社军、马莉、张冉、张艳娇、郭继平
5	标准规范	林化类产品生产节能技术规范	中国	LY/T 3452-2025	2025.12.26	103083-2025	西北农林科技大学、千年舟新材科技集团股份有限公司、宏业生物科技股份有限公司、北华大学、德华兔宝宝装饰新材股份有限公司、山东理工大学、黑龙江	楚杰、时君友、谢小兵、房桂干、路海东、刘伟国、毕名亮、闫焱、刘千河、袁端姣、詹先旭、温

							省林业设计研究院、中国林业科学研究院林产化学工业研究所、江西鲁丽木业有限公司、山东新港企业集团有限公司、湖南福森竹木科技有限公司、黑龙江省生态研究所、宜宾纸业有限公司、福建南平青松化工有限公司、山东蔚枫生物科技有限公司、河南农业大学、陕西龙头国漆文化产业有限公司、江苏中淘家居科技有限公司、常州检验检测标准认证研究院、河南省生物基材料产业研究院有限公司、山东省产品质量检验研究院、浙江阚螺文化有限公司、南京林业大学、浙江农林大学	明宇、徐文彪、林琳、葛立军、魏明、陈灿渊、黄曹兴、杨中志、吴珽、黄晨、袁源、邓新贵、谢章红、沈灏、周霞、彭万喜、李业红、邹淼、雷洪、陈志勇、张军华、蔡红珍、梁素钰、贾丹、段喜鑫、李翔宇、张根成、陈加林、顾强、郑洪连、戴树乐、刘喆赟、李一博、张佳星、李书磊、袁洁莹、易瑶、李晶晶、党硕宇、丁帆、吴刘将、刘斌、崔倩倩、单惠琳、闫一凡、姬晓迪、张利、袁晶、陈林、贾丽丽
6	标准规范	Solid wood thick core plywood	中国	LY/T 3301-2022	2022.09.07	89543-2023	西北农林科技大学、中国林业科学研究院木材工业研究所、临沂市检验检测中心、山东永利木业有限公司、德华兔宝宝装饰新材股份有限公司、临沂市兰山区久大板材厂、陕西佳美欧德森木业集团	楚杰、段新芳、于文吉、李晓玲、张红、解兴元、张鸿超、符连其、詹先旭、王金龙、杨国栋、王曙光、曾敏华、黄志平、

							有限公司、江苏笨笨猫新材料有限公司、广东耀东华装饰材料科技有限公司、广州市长安粘胶制造有限公司、浙江升华云峰新材股份有限公司、北新国际木业有限公司、福建南平市元乔木业有限公司、江山市新世纪木业有限公司、浙江舒福家门业有限公司、浙江锦庭装饰材料有限公司、太尔胶粘剂（广东）有限公司、广东德隆木业有限公司、大厂金隅天坛家具有限责任公司、仁化县奥达胶合板有限公司、广东省林业科学研究院、衢州市方圆林产品检验检测有限公司、陕西省林业工业产品质量监督检验站、国家林草局林产品质量检验检测中心（西安）、山东临沂出入境检验检疫技术服务中心	沈云芳、张方文、杨大发、郑子忠、姜延红、叶德青、边国民、林海宝、林蔚、潘金闪、程洪亮、曹永建、魏清峰、邱章忠、叶桂梅、李洪雷、李一博、张利、姬晓迪、齐学敏、陈妮、邓丹妮、王寒星、侯新宇
7	标准规范	废弃木质材料储存保管规范	中国	LY/T 3032-2018	2018.12.29	65719-2019	中国林业科学研究院木材工业研究所、河北农业大学、久盛地板有限公司、厦门市产品质量监督检验院、河北省板材工业协会、广州市源度再生资源有限公司、德华兔宝宝装饰新材股份有限公司、南京林业大学、河北省林业产业协会、西北农林科技大学	段新芳、孙照斌、孙龙祥、杨越飞、程哲、李娜、詹先旭、翁卓元、李星、虞华强、金菊婉、李晓玲、张冉、赵英辰、安鑫、张国梁、楚杰、曲保雪

8	标准规范	刨花干燥机节能监测方法	中国	LY/T 1286-2022	2022.09.07	89518-2023	东北林业大学、广州应用科技学院、武汉数字工程研究所、云南新泽兴人造板有限公司、黑龙江格瓦拉智能科技有限公司、徐州福泰木业有限公司、哈尔滨市泽凡科技有限公司、广西林业集团崇左驰普置业公司、广西嘉邦化工有限公司、国家林业和草原局北京林业机械研究所、西北农林科技大学、哈尔滨东大林业技术装备有限公司、南京林业大学、黑龙江萨提亚教育科技有限公司	张丽莉、巴兴强、巴铁魁、杨兆金、崔海宁、朱宝全、张爱田、李梓萌、马振江、李骜、李军、张伟、楚杰、邢航、姜树海、詹长书、马丹
9	标准规范	木质门窗产品碳足迹评价与碳标签	中国	T/CNFPIA 4016-2024	2024.03.08	T/CNFPIA 4016-2024	中国林业科学研究院木材工业研究所、浙江雅迪乐家居有限公司、中林时代控股有限公司、中国林产品集团有限公司、泰森日盛集团有限公司、浙江舒福家门业有限公司、北京绿林认证有限公司、浙江金迪门业有限公司、江山市畅畅木业有限公司、浙江金迪新材科技有限公司、安英（上海）认证有限公司、西北农林科技大学、北京林业大学	劳万里、李晓玲、段新芳、吕斌、由佳、李伟光、翟东群、楚杰、姜圣波、柳凤柱、郑利云、孙浩然、王瑞娟、姜延红、王玲娟、毛恺、宋利明、崔一梅、董天星
10	标准规范	超薄纤维板	中国	LY/T 3411-2024	2024.12.16	96604-2024	中国林业科学研究院木材工业研究所、山东新港企业集团有限公司、宁丰集团股份有限公司、亳州佰世达新材料有限	李晓玲、段新芳、常亮、安鑫、唐启恒、吴乐章、赵有科、魏明、王晓明、

							公司、浙江升华云峰新材股份有限公司、山东欢哥装饰股份有限公司、广西三威林产岑溪市人造板有限公司、阜阳大可新材料股份有限公司、金华市海日家居用品有限公司、广西森工集团股份有限公司、千年舟新材科技集团股份有限公司、金木美佳（唐山）科技有限公司、寿光市鲁丽木业股份有限公司、江苏欧圣新材料有限公司、瑞金市吉泰再生资源有限公司、临沂市检验检测中心、咸宁市产品质量检验检测所（湖北省森工板材产品质量检验检测中心）、常州检验检测标准认证研究院、广西壮族自治区林业科学研究院、西北农林科技大学、北京建筑材料检验研究院股份有限公司、上海市质量监督检验技术研究院	虞华强、马青、劳万里、张冉、高黎、杨宇华、莫新谱、张怀斌、柴东、顾仲凯、姜传仓、韦盛永、陆昌余、肖少良、楚杰、王军锋、赵存华、梁杰培、陆铜华、朱长宝、李艳霞、朱甲文、徐建洪、闵德秀、吴方境、张红、施晓宏、李洪雷、汪任山、严根、顾强、郑洪连、罗书品、陈雪琦、郝玉东、李佃启、李文忠

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	楚杰	副教授	西北农林科技大学	作为第一起草人制定多项木质林产品碳足迹创新技术标准；创建了木质林产品低碳评价数理建模理论和碳足迹评价技术体系；参与了低碳生产工艺标准化改造。
2	时君友	教授	山东理工大学	参与木质林产品碳足迹评价标准体系构建，在木质生物质资源高效利用与低碳转化技术方面作出重要贡献，参与标准内容的论证与完善。

3	陆铜华	正高级工程师	千年舟新材科技集团股份有限公司	作为企业主要负责人，组织完成碳足迹评价技术标准在企业生产中的实施，推动了千年舟系列人造板产品的碳足迹核算与低碳认证实践。
4	田茂华	高级经济师	千年舟新材科技集团股份有限公司	负责企业碳足迹评价数据的监测与采集，经济性评价分析与测算，组织标准宣贯和企业低碳标准化生产示范。
5	马同华	高级经济师	千年舟新材科技集团股份有限公司	参与碳足迹评价技术标准的实施与推广，完成企业生产现场碳足迹数据采集和整理，负责企业低碳标准化生产线的改造与优化。
6	谢小兵	高级工程师	千年舟新材科技集团股份有限公司	参与木质林产品碳足迹数理模型的研制工作，负责模型的数据验证与优化，在木质林产品碳足迹定量分析与评价方面作出重要贡献。
7	段新芳	研究员	中国林业科学研究院木材工业研究所	共同参与制定并发布多项林业行业标准；参与建立了能源标准化示范基地、标准化技术的示范推广。
8	关社军	高级工程师	陕西省产品质量监督检验研究院	共同参与制定并发布林业行业标准“人造板生产生命周期评价技术规范”；负责陕西林产品企业碳足迹评价数据的监测采集。
9	李晶晶	研究生	西北农林科技大学	参与木质林产品碳足迹评价数据的采集与分析，负责林产品检验检测与标准化技术验证。
10	李书磊	研究生	西北农林科技大学	完成了木地板酸化、富营养化潜能数据的采集和计算；完成了全球暖化影响评价因子的归类及总一次能源消耗特征化因子的归类与评价。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	作为项目主持单位，负责项目的组织实施。完成了木质林产品碳足迹评价标准体系的构建，牵头制定并发布了多项林业行业标准；出版了我国木材低碳标准化专著《中国低碳木材标准化研究》；组建了陕西省木质林产品低碳认证标准化基地；创建了木质林产品低碳评价数理建模理论和碳足迹评价技术体系。
2	千年舟新材科技集团股份有限公司	作为项目主要完成单位和企业示范基地，组织完成了碳足迹评价技术标准在企业生产中的落地实施，推动了千年舟系列人造板产品的碳足迹核算与低碳认证实践，为标准的推广应用提供了重要产业支撑。
3	山东理工大学	参与木质林产品碳足迹数理模型的研制与验证工作，在木质林产品碳足迹定量分析与评价方面提供了重要的理论研究支持。
4	中国林业科学研究院木材工业研究所	作为标准制定的重要合作单位，参与制定多项林业行业标准；提出“林产品碳足迹的评价”关键技术理念；参与建立了能源标准化示范基地和标准化技术的示范推广。
5	陕西省产品质量监督检验研究院	参与制定并发布林业行业标准“人造板生产生命周期评价技术规范”;负责陕西林产品企业碳足迹评价数据的监测与采集及林产品现场基础数据的分析与整理。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	共同参与制定标准规范	楚杰 1、段新芳 7	2017.01.01-2020.11.30	LY/T 3227-2020 木地板生产生命周期评价技术规范	标准文本
2	共同参与制定标准规范	楚杰 1、段新芳 7	2019.01.01-2022.07.31	LY/T 3301-2022 实木厚芯胶合板	标准文本
3	共同参与制定标准规范	楚杰 1、时君友 2、李书磊 10	2021.01.01-2024.10.31	LY/T 3164-2024 木竹地板类产品生产综合能耗	标准文本
4	共同参与制定标准规范	楚杰 1、段新芳 7、关社军 8	2015.01.01-2018.10.31	LY/T 3045-2018 人造板生产生命周期评价技术规范	标准文本
5	共同参与制定标准规范	楚杰 1、时君友 2、谢小兵 6、李晶晶 9、李书磊 10	2022.01.01-2025.10.31	LY/T 3452-2025 林化类产品生产节能技术规范	标准文本
6	共同参与制定标准规范	楚杰 1、段新芳 7	2019.01.01-2022.07.31	LY/T 3301-2022 Solid wood thick core plywood	标准文本
7	共同参与制定标准规范	楚杰 1、段新芳 7	2015.01.01-2018.10.31	LY/T 3032-2018 废弃木质材料储存保管规范	标准文本
8	共同参与制定标准规范	楚杰 1、段新芳 7	2022.01.01-2024.01.31	T/CNFPIA 4016-2024 木质门窗产品碳足迹评价与碳标签	标准文本
9	共同参与制定标准规范	楚杰 1、段新芳 7	2022.01.01-2024.10.31	LY/T 3411-2024 超薄纤维板	标准文本

10	共同立项	楚杰 1、陆铜华 3、田茂华 4、马同华 5、谢小兵 6、李晶晶 9、李书磊 10	2025.05.01-2027.12.31	荧光/磷光新型功能人造板及其制品的研究与开发	项目合同书
11	共同立项	楚杰 1、陆铜华 3、田茂华 4、马同华 5、谢小兵 6	2026.05.14-2028.12.31	木竹复合功能人造板的碳足迹系列标准制定与产业化应用	项目合同书
12	共同参与制定标准规范	楚杰 1、时君友 2、田茂华 4、关社军 8、李晶晶 9、李书磊 10	2023.01.01-2026.06.03	人造板及其制品生产生命周期评价技术规范	标准文本
13	共同获奖	楚杰 1、段新芳 7、关社军 8、李书磊 10	2019.01.01-2022.11.01	陕西林业科技成果奖一等奖	获奖证书
14	共同参与制定标准规范	楚杰 1、时君友 2、田茂华 4、谢小兵 6、段新芳 7、关社军 8、李晶晶 9、李书磊 10	2024.01.01-2026.05.06	绿色供应链评价要求 人造板及其制品	标准报批稿
15	论文合著	楚杰 1、马同华 5、李晶晶 9、李书磊 10	2025.03.01-2025.08.29	竹木衍生碳点的制备与应用进展	文章正文
16	论文合著	楚杰 1、时君友 2、李晶晶 9	2024.08.01-2026.02.03	农业废弃物好氧堆肥高值高效利用研究进展与趋势	文章正文
17	产业合作	时君友 2、陆铜华 3、田茂华 4、马同华 5、谢小兵 6、关社军 8	2021.01.01-2025.12.31	木质林产品碳足迹评价数据采集与标准化技术产业协作	合作协议

18	共同参与制定标准规范	陆铜华 3、田茂华 4、马同华 5、谢小兵 6、段新芳 7	2021.01.01-2024.11.31	细表面人造板	标准文本
19	论文合著	关社军 8、李晶晶 9	2024.08.31-2025.07.08	典型胶合板产品的生产生命周期评价研究	文章正文

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

本项目“木质产品碳标识标准体系构建及关键技术示范”完成人均长期从事林产工业、人造板及林化产品领域标准制定、生命周期评价、碳足迹核算与节能技术研究，分工明确、长期协作，形成覆盖标准制修订与科研攻关的完整合作链条。完成人合作关系说明如下：

楚杰 1、段新芳 7 共同参与制定 LY/T 3227-2020《木地板生产生命周期评价技术规范》；楚杰 1、段新芳 7 共同参与制定 LY/T 3301-2022《实木厚芯胶合板》；楚杰 1、时君友 2、李书磊 10 共同参与制定 LY/T 3164-2024《木竹地板类产品生产综合能耗》；楚杰 1、段新芳 7、关社军 8 共同参与制定 LY/T 3045-2018《人造板生产生命周期评价技术规范》；楚杰 1、时君友 2、谢小兵 6、李晶晶 9、李书磊 10 共同参与制定 LY/T 3452-2025《林化类产品生产节能技术规范》；楚杰 1、段新芳 7 共同参与制定 LY/T 3301-2022《Solid wood thick core plywood》；楚杰 1、段新芳 7 共同参与制定 LY/T 3032-2018《废弃木质材料储存保管规范》；楚杰 1、段新芳 7 共同参与制定 T/CNFPIA 4016-2024《木质门窗产品碳足迹评价与碳标签》；楚杰 1、段新芳 7 共同参与制定 LY/T 3411-2024《超薄纤维板》；楚杰 1、时君友 2、田茂华 4、关社军 8、李晶晶 9、李书磊 10 共同参与制定 LY/T 3045-2026《人造板及其制品生产生命周期评价技术规范》；陆铜华 3、田茂华 4、马同华 5、谢小兵 6、段新芳 7 共同参与制定 LY/T 3412-2024《细表面人造板》；楚杰 1、时君友 2、田茂华 4、谢小兵 6、段新芳 7、关社军 8、李晶晶 9、李书磊 10 共同参与制定《绿色供应链评价要求 人造板及其制品》（报批稿）。

楚杰 1、陆铜华 3、田茂华 4、马同华 5、谢小兵 6、李晶晶 9、李书磊 10 共同立项“荧光/磷光新型功能人造板及其制品的研究与开发”；楚杰 1、陆铜华 3、田茂华 4、马同华 5、谢小兵 6 共同立项“木竹复合功能人造板的碳足迹系列标准制定与产业化应用”。

楚杰 1、段新芳 7、关社军 8、李书磊 10 共同获得陕西林业科技成果奖一等奖。

楚杰 1、马同华 5、李晶晶 9、李书磊 10 合作发表论文《竹木衍生碳点的制备与应用进展》；楚杰 1、时君友 2、李晶晶 9 合作发表论文《农业废弃物好氧堆肥高值高效利用研究进展与趋势》；关社军 8、李晶晶 9 合作发表论文《典型胶合板产品的生产生命周期评价研究》。

时君友 2、陆铜华 3、田茂华 4、马同华 5、谢小兵 6、关社军 8 通过山东理工大学与千年舟新材科技集团股份有限公司和陕西省产品质量监督检验研究院的产业合作，在木质林产品碳足迹评价数据采集与标准化技术验证方面开展合作。

项目三十二

一、项目名称：陕西省耕地土壤环境监测、类别划分及重金属污染耕地安全利用技术集成与示范应用

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：本项目建立了陕西省耕地土壤—农产品协同监测与风险评价技术体系，形成了涵盖监测点位优化、样品采集与制备、实验室检测、质量控制、数据审核、风险识别和类别划分等环节的技术流程，支撑了全省耕地土壤环境质量监测评价和动态管理。项目针对陕西省不同区域土壤类型、种植制度和污染特征，开展了小麦、玉米、水稻、油菜等作物低积累品种筛选及区域适应性评价，集成土壤钝化、低积累品种应用、深翻耕、叶面阻控等关键措施，形成了适宜不同生产条件的中轻度镉污染耕地安全利用技术模式。

项目成果具有较强的技术创新性和应用针对性。相关技术能够降低土壤重金属有效性和农作物可食部位重金属累积风险，并兼顾作物产量、土壤培肥和农业生产效益。经审查，项目申报材料所列主要技术成果、知识产权、试验示范和推广应用情况与相关证明材料基本一致，项目完成人对主要科技创新和应用推广作出了实质性贡献，完成人排序及完成单位排序符合项目实际合作情况。项目不存在重复申报、知识产权权属争议或成果归属不清等影响提名的情形。

提名材料齐全、规范，经完成单位公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，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二等奖。

三、项目简介：

耕地是保障粮食和重要农产品稳定供给的基础资源，耕地土壤环境质量直接关系农产品质量安全、农业绿色发展和人民群众身体健康。陕西省横跨陕北、关中和陕南，地形地貌、土壤类型、成土母质、气候条件、种植制度及主栽作物差异显著。受自然地质背景、矿产资源开发、工业生产、交通运输、农业投入品使用及灌溉等因素影响，部分农产品产地耕地土壤存在镉、铅、砷、汞、铬等重金属累积及向农产品迁移的风险。由于重金属在土壤中的赋存形态、生物有效性和作物吸收能力受土壤酸碱度、有机质、氧化还原条件、土壤质地、作物种类和品种等多因素共同影响，污染风险具有明显的区域差异和地块差异，迫切需要建立监测、评价、分类和安全利用相互衔接的技术体系。

针对陕西省耕地土壤环境质量基础数据不够系统、风险点位识别与动态更新机制不完善、耕地环境质量类别划分与生产管理衔接不紧密，以及重金属污染耕地安全利用技术区域适配性不足等问题，项目自 2018 年以来，依托国家重点研发计划、农业农村部农产品产地环境监

测、陕西省重点研发计划、农业强省建设及相关区域技术项目，围绕陕西省主要农产品产地土壤环境监测、耕地类别划分和重金属污染耕地安全利用开展持续研究与技术集成。项目由西北农林科技大学牵头，联合省级耕地质量与农业生态环境保护机构、市县农业技术推广部门及相关高校，形成了科研单位、行业管理部门和基层技术推广机构协同参与的工作机制。

在耕地土壤环境监测方面，项目以小麦、玉米、水稻、油菜、蔬菜及部分特色农产品种植区为重点，结合历史监测资料、土地利用现状、土壤类型、第三次全国国土调查和第三次全国土壤普查等基础信息，开展监测点位核实、优化布设和动态调整。项目建立了土壤-农产品协同监测指标体系，土壤样品重点检测 pH、有机质以及镉、铅、汞、铬、砷、铜、锌、镍等指标，农产品样品重点检测砷、镉、汞、铬、铅等重金属指标，并围绕点位布设、样品采集、制备、保存、流转、检测分析、数据审核和成果汇交等环节建立全过程质量控制流程。

项目按照统一的技术要求和质量控制程序，开展土壤与农产品对应采样，强化样品信息、地块信息、作物信息和检测数据之间的关联，建立监测数据审核、异常样品复核和结果追溯机制。通过整合不同年度、不同区域和不同项目形成的监测资料，构建陕西省部分农产品产地土壤环境质量及重金属风险数据库，分析土壤重金属含量、土壤理化性质与农产品重金属累积之间的关系，识别主要风险因子、重点风险区域和风险地块，为耕地土壤环境质量评价和分类管理提供基础数据。

在耕地类别划分方面，项目综合考虑土壤重金属含量、农产品重金属检测结果、土壤 pH、有机质、作物种类和地块利用状况，开展土壤—农产品协同风险评价，形成优先保护类、安全利用类和严格管控类耕地的分类评价方法及风险点位清单。针对不同类别耕地的环境风险和生产功能，提出差异化管理思路：对优先保护类耕地强化土壤环境质量保护和投入品管理；对安全利用类耕地重点采取低积累品种、土壤钝化、叶面阻控、水肥调控和耕作措施等安全利用技术；对严格管控类耕地根据污染程度和农产品风险，采取种植结构调整、非食用作物利用、植物修复或其他风险管控措施，避免污染农产品进入食物链。

在重金属污染耕地安全利用技术研究方面，项目针对中轻度镉污染耕地土壤有效态镉含量较高、作物吸收和籽粒累积风险较大、单一技术措施效果不稳定等问题，系统开展低积累品种筛选、土壤调理材料应用、深翻耕、叶面阻控和水肥管理研究。通过盆栽试验、田间试验和区域示范，比较不同作物和品种对镉等重金属的吸收、转运和累积差异，筛选适宜在安全利用类耕地种植的低积累作物品种和种质资源。

项目重点研究了生物炭、钙镁磷肥、石灰、炭基材料及土壤改良剂等材料对土壤 pH、土

壤镉形态、镉有效性和作物吸收的影响。研究表明，适量生物炭能够改善土壤酸碱环境，增加土壤对重金属的吸附和固定能力，促进部分活性态镉向相对稳定形态转化，降低土壤镉的生物有效性和作物地上部镉累积。项目同时将土壤调理与低积累品种、深翻耕及叶面阻控措施配套应用，探索不同技术措施之间的协同作用，形成了以降低作物可食部位重金属累积为目标的农艺阻控技术思路。

针对关中小麦-玉米轮作区土壤和种植制度特点，项目集成低积累品种、土壤钝化、深翻耕、关键生育期叶面阻控和水肥协同管理等措施，形成适用于旱作轮作条件的安全利用技术模式。针对陕南水稻-油菜轮作区水分条件和土壤氧化还原变化特点，项目重点集成低积累品种、播前土壤调理、分蘖期或蕾薹期叶面阻控及水分管理等措施，形成适用于水旱轮作条件的技术组合。针对部分风险较高或不宜直接生产食用农产品的耕地，项目开展伴矿景天、黑麦草等植物修复及种植结构调整研究，为严格管控类耕地分类施策提供技术储备。

在技术集成与示范应用方面，项目围绕“监测识别风险、评价划分类别、品种降低累积、农艺协同阻控、示范验证效果”的技术链条，建立了试验研究、技术集成、区域示范和效果评价相衔接的成果转化路径。项目先后在关中和陕南部分区域开展受污染耕地安全利用技术试验示范，涉及小麦、玉米、水稻、油菜、蔬菜及猕猴桃等作物，通过示范田建设、现场观摩、技术培训、田间指导和技术资料编制等方式，推动监测评价成果与基层耕地环境管理、农产品质量安全监管和农业生产技术服务相衔接。

项目形成的主要成果包括：建立土壤-农产品协同监测和全过程质量控制技术流程；形成耕地土壤环境风险评价与类别划分方法；筛选一批具有应用价值的重金属低积累作物品种和种质资源；研发和评价生物炭、炭基材料及土壤改良剂等土壤调理材料；集成关中小麦-玉米轮作区和陕南水稻-油菜轮作区安全利用技术模式；形成受污染耕地安全利用、土壤调理和农田地膜减量等相关技术资料、专利、论文和项目成果。相关成果为陕西省耕地土壤环境监测、类别划分、污染风险管控和重金属污染耕地安全利用提供了技术支撑，也为土壤类型和种植制度相近地区开展农产品产地土壤环境管理与安全生产提供了参考。

四、客观评价：

本项目面向陕西省农产品产地土壤重金属污染风险识别、耕地分类管理和受污染耕地安全利用需求，针对陕西省不同区域土壤类型、种植制度和农产品结构差异较大，部分耕地存在以镉为主、铅、砷、汞等多元素复合风险，以及土壤污染风险与农产品质量安全评价衔接不足等问题，开展了土壤-农产品协同监测、风险评价、耕地类别划分、低积累品种筛选和安

全利用技术集成研究，形成了“监测识别风险、评价划分类别、品种降低累积、农艺协同阻控、示范验证应用”的技术体系。

1. 技术创新性评价

与国内外普遍采用的单一土壤监测、单一污染因子评价或单项修复技术相比，本项目的主要特点是将土壤环境质量、农产品重金属含量、作物种类、土壤理化性质和区域种植制度纳入统一评价框架，建立了土壤-农产品协同监测与风险分类方法。项目通过土壤与农产品对应采样，结合土壤 pH、有机质、重金属含量及作物可食部位重金属含量，分析重金属从土壤向作物迁移的实际风险，为优先保护类、安全利用类和严格管控类耕地的分类管理和技术匹配提供依据。该方法与仅依据土壤重金属总量进行风险判定的方法相比，更强调农产品质量安全结果和作物生产条件，具有较强的农业应用针对性。

项目建立了覆盖点位核实、样品采集、制备、流转、检测、审核和评价的全过程质量控制流程，形成了监测数据审核和异常样品复核机制，增强了不同区域、不同批次监测数据的准确性和可追溯性。项目相关监测、评价和技术研究成果，为陕西省农产品产地土壤环境风险识别和受污染耕地分类管控提供了技术基础。

在安全利用技术方面，项目针对中轻度镉污染耕地，改变了单纯依靠土壤钝化或工程修复的技术思路，集成低积累品种、土壤调理、深翻耕、叶面阻控和水肥管理等措施，形成了适应不同种植制度的协同阻控模式。其中，针对小麦-玉米轮作区形成了“叶面阻控+土壤钝化+深翻耕”技术组合，针对水稻-油菜轮作区形成了“低积累品种筛选+叶面阻控”技术组合。项目技术突出以作物安全生产为目标，兼顾土壤有效态重金属调控、作物吸收阻控和农业生产功能保持，具有较好的区域适配性和推广可操作性。

项目围绕生物炭、钙镁磷肥、石灰及相关土壤调理材料开展了重金属形态转化和作物吸收阻控研究，揭示了适宜材料通过调节土壤 pH、增强吸附固定和促进活性态重金属向相对稳定形态转化，降低作物吸收风险的作用规律。同时，项目将低积累品种评价由单一重金属含量筛选拓展为兼顾安全性、产量、品质和区域适应性的综合评价，形成了适用于陕西省主要作物安全利用的品种筛选思路。

2. 应用效益评价

项目成果已在陕西省部分农产品产地土壤环境监测和受污染耕地安全利用工作中开展应用。项目组与省、市、县农业农村及耕地质量保护相关技术单位开展协作，参与土壤和农产品样品采集、检测分析、风险评价、点位核实、技术试验、示范建设和基层培训等工作。项

目形成的监测评价方法为风险点位识别、耕地类别划分和安全利用技术选择提供了技术支撑，低积累品种和农艺阻控措施为中轻度污染耕地安全生产提供了可操作的技术方案。项目形成的安全利用技术在相关区域应用后，对降低土壤有效态镉、减少作物籽粒镉累积和稳定作物产量具有积极作用。

项目相关技术具有材料投入相对可控、对耕地生产功能影响较小、便于与现有农业生产措施结合等特点，适用于中轻度重金属污染安全利用类耕地。与客土、淋洗等工程修复方式相比，项目技术更适合在具有农业生产需求、污染风险相对可控且污染来源基本稳定的耕地中应用，有利于降低大面积治理的实施难度和综合成本。

3. 经济社会价值评价

项目成果的社会价值主要体现在三个方面。第一，为陕西省农产品产地土壤环境监测和耕地分类管理提供了技术支撑，有助于提高污染风险识别的针对性，推动受污染耕地由粗放管理向分类管控和分区施策转变。第二，为中轻度重金属污染耕地继续开展农业生产提供了安全利用技术选择，能够在控制农产品质量安全风险的同时，减少不必要的耕地退出和过度工程修复，维护耕地生产功能。第三，通过低积累品种筛选、土壤调理和农艺阻控技术示范，促进了科研成果与基层农业技术推广体系衔接，提高了农业生产主体对污染耕地安全利用技术的认识和应用能力。

项目成果对保障粮食和重要农产品质量安全、促进耕地资源合理利用、促进农业绿色发展和服务乡村振兴具有积极意义。相关技术可为陕西省及土壤类型、气候条件和种植制度相近地区开展农产品产地土壤环境风险监测、污染耕地分类管理和安全利用提供参考。

总体来看，本项目技术成果具有明确的问题导向、较完整的技术链条和一定的区域应用基础，创新性主要体现为土壤-农产品协同监测与分类评价、低积累品种区域适应性筛选以及“品种-土壤-农艺”协同安全利用技术集成。项目成果已获得论文、专利、项目验收、科技奖励和试验示范材料等客观依据支持，具有较好的科学价值、应用价值和社会效益。需要指出的是，相关技术效果受污染程度、土壤性质、污染元素类型、作物种类和田间管理水平影响，对严格管控类耕地和污染来源持续输入地块不能替代严格管控、种植结构调整或工程修复措施，推广应用时应坚持地块调查、分类评价和效果跟踪相结合。

五、应用情况：

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	西安市农业技术推广中心	应用土壤—农产品协同监测、耕地土壤环境风险评价与类别划分、监测点位优化及动态调整技术；在中轻度重金属污染耕地应用低积累品种筛选、土壤钝化、深翻耕、叶面阻控和水肥协同管理等安全利用技术，形成关中小麦-玉米轮作区污染耕地安全利用技术模式。	以西安市涉农区县小麦、玉米、蔬菜等农产品产地耕地为主要应用对象，开展土壤-农产品协同监测和风险评价，累计完成土壤及农产品样品采集、检测和评价约 600 对（份），建设安全利用技术示范区（田）10 个以上，技术示范推广面积约 20 万亩，并在相关区县开展技术培训和现场指导。	2023 年 1 月 -2025 年 12 月	汤晓彤 /17792037089
2	汉中市农业技术推广与培训中心	应用土壤—农产品协同监测与风险识别技术，开展水稻-油菜轮作区及玉米种植区耕地土壤环境质量监测和类别划分；集成应用低积累品种筛选、土壤调理、叶面阻控、水分管理和农艺调控等技术，开展中轻度重金属污染耕地安全利用试验、示范和推广。	以汉中市水稻、油菜、玉米等作物种植区中轻度污染耕地为主要应用对象，累计开展土壤-农产品协同监测约 600 对（份），建设水稻-油菜轮作安全利用示范基地 10 个左右，技术示范推广面积约 15 万亩，开展田间试验和技术培训，服务基层农技人员、种植大户及农业生产主体 200 人次以上。	2023 年 1 月 -2025 年 12 月	余正军 /17319638122

项目成果面向陕西省农产品产地土壤环境监测、耕地风险分类管控和中轻度重金属污染耕地安全利用需求，已在西安市农业技术推广中心、汉中市农业技术推广与培训中心单位开展应用。应用过程中，按照“土壤—农产品协同监测、风险识别与类别划分、低积累品种筛选、土壤调理、叶面阻控、深翻耕及水肥管理、示范评价”的技术路径，推动监测评价与污染耕地安全利用措施精准衔接。

2023—2025 年，西安市农业技术推广中心在关中小麦—玉米轮作区及设施农业、蔬菜种植区开展土壤和农产品协同监测、风险评价及安全利用技术示范，累计完成相关样品采集和检测约 600 对（份），建设示范区（田）10 个以上，技术推广面积约 20 万亩。汉中市农业技术推广与培训中心围绕水稻—油菜轮作及玉米种植区，开展低积累品种、土壤调理、叶面阻

控和水分管理等技术试验示范，累计完成土壤—农产品协同监测约 600 对（份），建设安全利用示范基地约 10 个，技术推广面积约 15 万亩，并组织开展基层技术培训和现场指导。

通过应用项目形成的土壤—农产品协同监测及全过程质量控制流程，提升了风险点位识别、耕地类别划分和动态监管的科学性；通过集成低积累品种与土壤钝化、叶面阻控、深翻耕及水肥调控等措施，降低了作物对镉等重金属的吸收和农产品超标风险。相关技术适用于中轻度重金属污染、安全利用类耕地，在保障作物产量和农产品质量安全的同时，减少了单一治理措施实施成本高、协同难度大的问题，对陕西省关中和陕南地区受污染耕地分类管控、农业绿色生产和农产品质量安全保障具有较好的示范推广价值。

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	Dynamics of fungal and bacterial communities in different types of soil ageing with different dosages of cadmium	中国	242: 113860	2022 年 7 月 8 日在线发表（2022 年卷）	Ecotoxicology and Environmental Safety	西北农林科技大学资源环境学院；农业部西北植物营养与农业环境重点实验室（中国陕西杨凌）	刘贺翔、杨亚俊、杨一哲、钟贤宝、吕家珑
2	论文	Impacts of cadmium addition on the alteration of microbial community and transport of antibiotic resistance genes in oxytetracycline contaminated soil	中国	99: 51－58	2021 年（2020 年 4 月 8 日录用，2020 年 6 月 27 日在线，归 2021 年卷 99）	Journal of Environmental Sciences	西北农林科技大学资源环境学院（中国陕西杨凌）；中国电建西北勘测设计研究院有限公司（西安）	郭红红、薛淑红、Mubasher Nasir、顾杰、吕家珑
3	论文	Impacts of wheat straw addition on dissolved organic matter characteristics in cadmium-con	中国	193: 1027－1035	2018 年 4 月（2017-11-21 在线，归 2018 年	Chemosphere	西北农林科技大学资源环境学院；农业部西北植物营养	高佳凯、吕家珑、吴海明、代允超、Mubasher Nasir

		taminated soils: Insights from fluorescence spectroscopy and environmental implications			卷 193）		与农业环境重点实验室	
4	论文	Lead immobilization processes in soils subjected to freeze-thaw cycles	中国	192: 110288	2020 年 2 月 17 日在线发表（2020 年卷）	Ecotoxicology and Environmental Safety	西北农林科技大学资源环境学院（中国）;阿尔伯塔大学可再生资源系（加拿大）	杜丽娜、Miles Dyck、William Shotyk、何海龙、吕家珑、Chad W. Cuss、别静雅
5	论文	Establishment of a Model to Assess Soil Cadmium Uptake by BrassicaChinensis	中国	83(2): 380–387	2019 年（2018-10-19 收稿，2019-01-16 录用，2019 年卷 83）	Soil Science Society of America Journal	西北农林科技大学资源环境学院；农业部西北植物营养与农业环境重点实验室	代允超、Mubasher Nasir、张玉林、吕家珑
6	论文	New insights into the sustainable use of soluble straw humic substances for the remediation of multiple heavy metals in contaminated soil	中国	903: 166274（Science of the Total Environment, 2023, 903:166274）	2023 年 8 月 13 日在线发表（2023 年卷）	Science of the Total Environment	西北农林科技大学资源环境学院；农业部西北植物营养与农业环境重点实验室（陕西杨凌）	钟贤宝、杨亚俊、刘贺翔、方宪辉、张耀辉、崔子颖、吕家珑
7	论文	施用凹凸棒石对 Cd 污染农田土壤养分的影响	中国	38(10): 2313–2318	2019 年 10 月	农业环境科学学报（Journal of Agro-Environment Science）	西北农林科技大学资源环境学院；农业部西北植物营养与农业环境重点实	赵廷伟、李洪达、周薇、代允超、吕家珑

							验室（陕西杨凌）	
8	论文	稻壳生物炭对矿区重金属复合污染土壤中 Cd、Zn 形态转化的影响	中国	37(9):1856－1865	2018 年 9 月	农业环境科学学报（Journal of Agro-Environment Science）	西北农林科技大学资源环境学院；农业部西北植物营养与农业环境重点实验室（陕西杨凌）；陕西省农业环境保护监测站（西安）	李洪达、李艳、周薇、吕家珑
9	论文	添加生物炭对土壤镉形态和小白菜镉吸收的影响	中国	69(01):45-50	2023 年（期刊年卷；收稿 2022-03-06，修回 2022-04-25，出版年 2023）	陕西农业科学（Shaanxi Journal of Agricultural Sciences）	西北农林科技大学资源环境学院；农业农村部西北植物营养与农业环境重点实验室（陕西杨凌）；西安市农业技术推广中心（陕西西安）；陕西省水工环地质调查中心（陕西西安）	邓永玺、赵少婷、曹阳、张东明、吕家珑、代允超、陈继平
10	论文	Combined determination analysis of surface properties evolution towardsbentonite by pH treatments 10、New insights i	中国	626: 127067（Colloids and Surfaces A, 2021, 626:127067）	2021 年 6 月 24 日在线发表（2021 年卷）	Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineeri	西北农林科技大学资源环境学院；黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点	杜伟、杨亚俊、胡亮、常博坤、曹刚、Mubasher Nasir、

		nto the sustainable use of soluble straw humic substances for the remediation of multiple heavy metals in contaminated soil				ng Aspects	实验室；农业部西北植物营养与农业环境重点实验室（陕西杨凌）	吕家珑

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	吕家珑	教授	西北农林科技大学	作为项目第一完成人，负责项目总体设计、技术路线制定、任务组织实施和成果凝练。主持开展土壤重金属污染监测、风险阈值研究及分级管控，牵头制定相关国家标准，推动成果在耕地安全利用与示范应用中落地，对项目关键技术形成和整体实施作出了主导性、创造性贡献。对应科技创新 1、2、3、4、5 项。
2	代允超	副教授	西北农林科技大学	主要负责低积累品种筛选与适应性评价研究，围绕小麦、玉米、水稻及部分蔬菜开展不同品种对镉等重金属吸收、转运和籽粒累积差异分析，比较品种低积累能力、产量稳定性、品质性状和区域适应性，提出低积累品种筛选和应用思路。参与形成适用于安全利用类耕地的品种评价路径，并为后续农艺阻控技术配套提供品种基础。对应科技创新第 2 项，并参与第 1、3、4、5 项。
3	杜伟	副教授	西北农林科技大学	作为项目第三完成人，主要承担陕西省耕地土壤环境监测工作，协助开展重金属污染耕地安全利用试验

				与示范，为项目监测数据获取、技术验证及成果应用提供了支撑，作出了相应的技术贡献。对应科技创新第 1 项，参与第 3、4、5 项。
4	杨雅君	副教授	西北农林科技大学	本人主要参与了咸阳地区重金属污染耕地安全利用技术集成与示范工作，参与构建了以低积累品种筛选、土壤钝化和叶面阻控为核心的重金属污染耕地安全利用技术体系。负责安全利用类耕地治理修复集成技术核心试验区及综合治理技术模式示范点的建设工作，为技术模式的规模化应用提供了实践支撑，对应科技创新项目第 2、3 项。
5	和文祥	教授	西北农林科技大学	主要负责土壤—农产品协同监测工作的具体组织实施，完成了陕西部分地区土壤重金属分布及特征的采样调查；参与重金属类别划分等的讨论及方案的制定等，包括监测点位核实优化、样品采集安排、数据汇总审核、风险点位识别和耕地类别划分技术支撑。参与建立全过程质量控制流程和三级审核机制，协助形成年度监测成果和区域风险分布判断，对应科技创新第 1 项，并参与第 4 项成果应用整理。
6	景鹏娟	工程师	陕西省耕地质量与农业生态环境保护工作站	牵头参与了全省耕地土壤环境质量类别划分和动态调整，发布了《耕地土壤环境质量类别划分 技术规范》《农田土壤环境质量监测样品采集与制备技术规范》，分别为第二完成人、第三完成人。指导全省 7 市 47 个县（市、区）开展耕地土壤污染防治工作，完成全省耕地土壤环境监测

				评价和试点示范技术指导，推动集成技术模式与省级耕地保护业务体系融合，助力安全利用技术落地推广。对应科技创新第 1 项，参与第 5 项。
7	李艳	工程师	陕西省耕地质量与农业环境保护工作站	在项目实施中多次对基层技术人员展开技术培训，通过多种方式开展了项目技术指导，赴项目实施区进行督导检查，参与编写项目相关实施方案及技术报告。对应科技创新第 4 项。
8	赵小宁	教授	陕西理工大学	主要参与低积累品种筛选与农艺阻控技术示范，承担田间试验布设、作物生育期调查、样品采集、产量测定和检测数据整理。协助分析不同品种和不同阻控措施对重金属累积与产量的影响，对应科技创新第 2、3 项。
9	赵少婷	正高级农艺师	西安市农业技术推广中心	参与重金属污染耕地安全利用技术模式集成及研发，构建区域耕地土壤环境监测技术体系，集成区域耕地土壤环境质量类别及安全利用技术模式。参与科技创新 1、3、5 项。
10	余正军	农艺师	汉中市农业技术推广与培训中心	本人负责在汉中市开展的水稻、油菜、小麦耕地安全利用试验示范 6 组，示范 200 亩；主要进行试验管理、样品采集、技术示范。对应科技创新第 2 项。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	西北农林科技大学作为本项目第一完成单位，负责项目总体组织实施、关键技术研发与成果集成，系统开展陕西省耕地土壤环境监测、重金属污染风险识别与类别划分，协同推进污染耕地安全利用技术的试验验证、示范应用和推广。依托学校

		科研、人才和技术服务优势，项目成果在关中、陕南等区域开展了相关技术示范与应用，促进了土壤环境监测、污染耕地分类管控、安全利用措施与农产品安全生产的有效衔接。推广过程中，学校积极发挥科研单位与农业农村管理部门、基层技术推广机构及生产主体之间的桥梁纽带作用，提供技术咨询、方案指导和应用支撑，推动科研成果向生产实践转化，为陕西省耕地土壤环境保护、重金属污染耕地安全利用和农业绿色发展作出了重要贡献。
2	陕西省耕地质量与农业环境保护工作站	负责组织实施全省耕地土壤环境质量监测、耕地土壤环境质量类别划分与动态调整及耕地土壤重金属污染耕地安全利用技术示范推广应用，基本摸清我省耕地土壤环境质量状况，创建陕西省耕地土壤环境质量监测网络，建立常态化监测评估体系，构建了我省重金属污染耕地安全利用集成技术模式，在关中和陕南地区开展中轻度重金属污染耕地安全利用应用推广工作，累积推广应用面积近 90 万亩，确保全省受污染耕地安全利用安全利用率稳定在 93%以上。
3	陕西理工大学	作为本项目主要完成单位之一，参与开展陕南地区耕地土壤重金属污染风险识别、中轻度污染耕地安全利用技术试验、示范与评价工作。重点围绕汉中等地水稻—油菜轮作及粮油作物种植条件，开展低积累品种筛选、叶面阻控、水分管理和农艺调控等技术的田间验证，分析不同技术措施对作物重金属吸收、可食部位累积、产量和品质的影响，协助形成适应陕南水旱轮作条件的重金属污染耕地安全利用技术模式。
4	西安市农业技术推广中心	在本项目中西安市农技推广中心负责推广应用项目研发的相关技术，实施区域耕地土壤环境质量监测，建立监测技术体系；实施区域耕地土壤环境质量类别划分及动态调整，建设耕地土壤环境质量时空数据库系统，并在各区县推广应用；实施区域重金属污染耕地安全利用及治理修复技术试验示范，构建区域耕地土壤污染防治、安全利用及治理修复技术模式并广泛推广应用，为关中地区以及全省技术体系构建及推广作出突出贡献。

5	汉中市农业技术推广与培训中心	配合西北农林科技大学，完成在汉中市水稻、油菜、玉米中轻度污染耕地上开展安全利用技术的试验、示范和技术推广，累计开展田间试验 10 组，建立示范田 300 亩，培训基层农技员和种植大户 150 人次。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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、协同实施	吕家珑 1、代允超 2、杜伟 3、杨雅君 4、和文祥 5、景鹏娟 6、李艳 7、赵小宁 8、赵少婷 9、余正军 10	2018 年 12 月 -2025 年 12 月	共同承担陕西省耕地土壤环境监测、风险评价、类别划分、污染耕地安全利用技术研究及示范推广任务	附件材料-其他附件 1-8，10-18
2	论文合著、共同开展科研研究	吕家珑 1、代允超 2、杜伟 3、杨雅君 4、和文祥 5	2018 年 6 月 -2025 年 12 月	围绕土壤重金属污染风险、土壤—农产品协同监测、重金属形态转化、作物吸收阻控及污染耕地安全利用等内容开展研究并发表相关论文： 论文如下： 1、Dynamics of fungal and bacterial communities in different types of soil ageing with different dosages of cadmium 2、Impacts of cadmium addition on the alteration of microbial community and transport of antibiotic resistance genes in oxytetracycline contaminated soil 3、Impacts of wheat straw addition on dissolved organic matter characteristics in cadmium-contaminated soils: Insights from fluorescence spectroscopy and environmental implications 4、Lead immobilization pro	附件材料-其他附件 19-24、相关知识产权（六）成果

				cesses in soils subjected to freeze-thaw cycles 5、Establishment of a Model to Assess Soil Cadmium Uptake by BrassicaChinensis 6、施用凹凸棒石对 Cd 污染农田土壤养分的影响 7、稻壳生物炭对矿区重金属复合污染土壤中 Cd、Zn 形态转化的影响 8、Land use and metal identity govern molecular pathways of soil DOM complexation and transformation 9、Combined determination analysis of surface properties evolution towardsbentonite by pH treatments 10、New insights into the sustainable use of soluble straw humic substances for the remediation of multiple heavy metals in contaminated soil 11、Inhibition of microbially mediated total organic carbon decomposition in different types of cadmiumcontaminated soils with whea straw addition 12、添加生物炭对土壤镉形态和小白菜镉吸收的影响	
3	共同技术示范与推广合作	吕家珑 1、代允超 2、杜伟 3、杨雅君 4、和文祥 5、景鹏娟 6、	2018 年 12 月 -2025 年	共同完成受污染耕地安全利用技术试验、示范和推广，并在关中、陕南等区域开展技术应用和基层	未列入附件

		李艳 7、赵小宁 8、赵少婷 9、余正军 10	12 月	培训	

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

本项目 10 名完成人围绕陕西省耕地土壤环境监测、重金属污染风险识别、耕地类别划分及安全利用技术集成开展了长期、实质性合作，形成了“监测评价—品种筛选—农艺阻控—示范推广”相互衔接的协作关系。

吕家珑（1）负责总体技术路线设计、任务组织和成果集成，与代允超（2）、杜伟（3）、杨雅君（4）、和文祥（5）共同开展土壤重金属监测、作物低积累品种筛选、土壤调理及安全利用技术研究；共同形成相关项目成果、论文、专利及技术资料。代允超（2）重点开展低积累品种筛选与区域适应性评价；杜伟（3）承担耕地土壤环境监测及安全利用试验支撑；杨雅君（4）负责咸阳地区低积累品种、土壤钝化和叶面阻控技术集成示范；和文祥（5）组织土壤—农产品协同监测、点位优化、数据审核和风险识别。上述完成人通过共同立项、联合试验、论文合著和共同知识产权等方式，支撑了项目关键技术研发。

景鹏娟（6）与李艳（7）共同参与全省耕地土壤环境质量监测、类别划分、技术规范编制、实施方案和技术报告撰写，并与前 5 名完成人共同推进监测评价结果向分类管控和安全利用技术应用转化。赵小宁（8）与吕家珑、代允超、杨雅君等共同开展陕南地区低积累品种筛选和农艺阻控田间试验，负责试验布设、样品采集、产量测定及数据整理。赵少婷（9）与项目组共同开展关中地区监测技术体系、耕地类别划分和安全利用技术模式集成。余正军（10）与赵小宁及项目组成员共同在汉中开展水稻、油菜和小麦安全利用试验示范，承担田间管理、样品采集和技术示范。

全体完成人通过共同参与项目实施、试验示范、论文与专利成果形成、技术规范编制及成果推广，建立了明确分工、优势互补、成果共享的合作关系。相关合作可由项目任务书、验收材料、论文、专利、技术报告和示范总结等附件证明。

项目三十三

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进行了系统研究，获国家发明专利 7 件、实用新型专利 4 件，发表学术论文 122 篇（其中，SCI 论文 23 篇），制定企业标准 2 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“根际健康恢复-植物免疫激活协同调控模式；在多年多点多作物上应用效果显著，大幅度降低对化肥、农药的依赖，为我国连作障碍土壤提供可复制的“放线菌修复方案”。

成果在陕西、新疆、内蒙古等 7 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 92 万亩，直接经济效益达 9 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。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

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，其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问题严重制约我国粮食安全和农业可持续发展。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；揭示了放线菌通过重塑根际微生态、激活作物免疫、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多个技术瓶颈；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，应用效果显著；通过“资源发掘-机制解析-技术研发-模式创建”路径，显著提升了“土壤-植物”系统健康水平，为连作障碍修复提供了新的解决方案。科技创新如下：

1. **系统探明西北极端生境可培养放线菌资源生态特征；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）；系统探明了西北不同生境（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 余株农作物土传根系病害病原菌的广谱拮抗放线菌；系统研究了 200 余株放线菌农用功能及应用效果；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新功能；建成国内首个农用放线菌资源库；完成了两株在产业化应用中表现优秀的多功能放线菌（*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，并深入阐明了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（PR1 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"三级联动提升抗逆性机制。**通过上调渗透/抗氧化物质合成基因表达，增加其合成积累；增加根际有益菌（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与光饱和点，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，促进其在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）发现了放线菌通过"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-微生物互作理论，为放线菌介导的作物土传病害绿色协同防治、"单一抗逆"向"系统性抗逆"的作物调控技术研发提供了新的可靠的科学依据。**

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出系列产品。**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；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设备，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难题，建成智能化连续固态制剂生产线，实现了放线菌制剂的高稳定性、高活性与标准化工业生产，孢子活性保持率达92%以上。**（3）构建“根际微生态-植物光合免疫”协同调控施肥模式，大面积应用效果显著。**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结合，构建了以放线菌制剂为核心、根际微生态-植物光合增强-免疫提升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。双模式显著提高了防病控药与增产提质效果。近二十年来，在陕西、内蒙古、新疆等地28种作物上的示范应用效果显著：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；农产品品质显著提升。**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。创建的协同调控施肥模式：为解决土壤连作障碍提供了可复制推广的“放线菌修复方案”；为化肥农药减量增效、保障国家粮食安全提供了高效实用操作性强的土壤管理技术。**

成果共发表论文122篇（SCI检索论文23篇），授权发明专利7件，实用新型专利4件，制定企业标准2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92万亩，菌剂生产及应用推广新增效益总计9亿元，经济、社会和生态效益显著。

四、客观评价：

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10600余株；首次发现放线菌多种农用新功能并筛选出3000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 92 万亩，新增经济效益达 9 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 23 篇代表性 SCI 论文被他引 758 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 79 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 62 次；对放线菌介导根际微生物重塑及系统抗性激活提高作物抗病机制研究发表在 Biology and Fertility of Soils，被 SCI 收录期刊引用为 58 次；对功能放线菌筛选评价研究在 Crop Protection 上发表，他引次数为 156 次，肯定了本研究成果的理论价值和科学意义。

（2）相关获奖：“土壤生物退化及连 作障碍的微生物修复”获 2021 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 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 2024 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；“农用放线菌‘土壤-植物’健康调控关键理论技术与应用”获 2025 年陕西省微生物学会科学技术奖一等奖。

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：

（一）应用情况

由于人多地少，我国土地利用长期采用单一作物高强度、大面积、区域化连作（如甘肃、内蒙古地区 6000 万亩马铃薯，新疆地区 4000 万亩棉花）；4000 万亩设施土壤高度集约化种植，导致设施及露地土壤连作障碍日趋严重：土壤中有害生物（病原微生物、根结线虫及恶性寄生杂草如列当等）大量繁殖，作物根泌自毒物质不断积累，致使病虫草害逐年加重，农药用量居高不下，土地生产力持续下降，仅靠农药化肥等农艺措施难以有效解决连作障碍难题。

针对这一严峻挑战，本团队从中国西部极端生境中分离筛选出了大量具有农用潜力的放线菌株。部分菌株具有产抗生素、植物激素、抗旱抗寒、提高作物系统抗性、降解根泌自毒物质及抗根结线虫等能力。团队已从万余株生防放线菌中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，其中 50 余株表现出分泌特定抗生素、产植物

生长激素、降解自毒物质、增强作物光合速率、提高作物系统抗性及抗逆性等多种功能。团队已将其中的密旋链霉菌和娄彻氏链霉菌 2 株优秀放线菌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（≥20 亿/g）超过国家标准（≥2 亿/g）。产品在我国设施土壤及内蒙古、新疆、陕西等干旱半干旱大田及轻度盐碱土壤中，均显示出对连作障碍的显著修复能力。

应用实践表明，放线菌技术可通过提高作物系统抗性和免疫力，显著减轻病虫害发生，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。该技术对防治土传根系病害、减轻病毒病及线虫危害、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。近十余年来，放线菌产品在 7 省 40 余试验点、28 种作物（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）上应用，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提供了行之有效的解决方案，也为大规模推广奠定了扎实的基础。

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；组织了多次“土壤生物质量提升”、“协同调控施肥与绿色农业生产”等主题讲座；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：

①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）。②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）。③甘肃：马铃薯（定西，武威）。青海：辣椒（乐都）。④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）；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）。⑤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（红寺堡）。⑥云南：烟草（红河）；蓝莓（建水县）。⑦黑龙江省：人参（铁力市）。

（二）经济效益

2023~2025 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 91.99 万亩，其经济效益为 64773.7 万元。近三年，放线菌制剂生产与应用推广带来新增经济效益总额共为 89773.7 万元。

主要应用单位及新增效益

序号	应用单位名称	应用作物/产品	应用面积/产能	新增经济效益（万元）	联系人
1	陕西博秦生物工程有限公司	菌剂和肥料生产	4.5 万吨	25000	杨博
2	内蒙古重茬土壤改良技术开发有限责任公司	玉米、食葵、加工番茄、辣椒、哈密瓜与小甜瓜	26.3 万亩	27614	李立
3	内蒙古沣盛科技发展有限公司	玉米和水稻	16 万亩	7810	李彦平
4	陕西周塬沃土生态农业专业合作社	小麦	10 万亩	3000	李军
5	阿克苏信得过农资有限责任公司	棉花	14 万亩	3808	莫如全
6	新疆盛世华强农业科技有限公司	红枣	16 万亩	12800	侯彦华
7	铜川市农业科学研究所	黄芩	9.2 万亩	7237.8	武阿锋
8	西安鄠邑区金益致和种植农民专业合作社	草莓	0.49 万亩	2503.9	马凯锋
总计			91.99 万亩	89773.7	

（三）社会效益

① 科学价值方面：

本研究形成了具有重要创新意义的土壤生物退化放线菌修复系统性思路。基于团队二十余年对西北极端生境放线菌资源的系统挖掘与农用功能探索，从微生物生态调控的角度出发，将土壤生物退化的修复重点聚焦于三大核心目标：抑制作物根区有害微生物及根结线虫、降解根泌自毒物质以及增强作物自身系统抗性。确定了土壤连作障碍的修复原则：通过定向引入功能放线菌，显著增加土壤中有益微生物的数量，抑制病原微生物及根结线虫的生长与侵染，高效降解作物根泌自毒物质，同步激活作物系统抗性，多维度上协同恢复土壤健康。所创建的**“放线菌-根际微生态”协同调控技术，不仅为连作障碍的生物修复提供了新路径，还在修复机制上实现了从单一“抑病”到“微生态重塑-植物免疫-代谢调控”多元协同的理论跨越。该思路突破了传统以化学农药和肥料为主的土壤管理模式，显著促进了土壤连作障碍修复进程，为农业绿色低碳转型提供了坚实的科学依据和路径。**

② 技术体系及模式方面：

本研究创立了完整的放线菌连作障碍修复理论、技术与产业化体系。基于建立的极端生境放线菌高效分离与培养技术，系统揭示了我国西北不同生境（如青藏高原、盐碱地、秦岭、农田等）可培养放线菌的种群分布规律及关键环境影响因子，**首次建立了西北地区的农用放线菌种质资源库**，保藏有抗病、促生、抗逆等多功能菌株 3000 余株。**在功能方面，首次发现**

了放线菌除直接拮抗农作物病原外，还具有分泌植物激素、激活作物系统抗性、增强作物抗旱抗寒能力、降解作物根泌自毒物质、优化根际微生物群落结构等重要新农用功能。在理论层面，揭示了放线菌通过“免疫激活-病原拮抗-微生态重塑”多维抗病机制、“基因表达-代谢物合成-微生物互作”协同抗逆机制以及“代谢驱动-菌群协作-光合增效”促生提质机制等一系列微生物-植物互作新机制，深化了对放线菌农用功能多靶点、网络化调控的认识。在关键技术装备方面，团队突破放线菌高密度固态发酵工艺瓶颈（孢子密度≥10^{10} CFU/g），自主研发了全自动固态发酵仓、低温烘干流化床、孢子高效收集装置等核心设备，构建了智能化固态发酵生产线，实现了放线菌制剂的高活性、高稳定性及标准化生产，显著促进了我国放线菌制剂固态发酵工艺水平提升及产品的推广应用。

③ 服务政府决策与粮食安全方面：

本成果为推进可持续农业发展和国家粮食安全战略提供了新的土壤生物管理技术途径和决策参考。放线菌制剂通过多元机制重构健康根际微生态、抑制土传根系病害、提高作物系统抗性、促进养分吸收与品质提高，展现出了良好的田间应用效果和对土壤微生态失衡的修复功能。在陕西、内蒙古、新疆等多地多年多种作物上的示范推广表明，该技术可实现减肥20%~30%、减药30%~50%，病害防控率60%~70%，粮食作物平均增产10%~15%，园艺作物增产25%以上，品质指标显著提升。这不仅有助于减少化学农药与肥料使用，降低面源污染与健康风险，还可大幅度提升农产品的营养品质，实现“减投、增产、提质、绿色”多目标。**该技术体系对政府推动土壤健康管理、土壤退化修复、土壤生产力提升及农业绿色转型、实施藏粮于地战略提供了可复制可推广技术方案，具有重要的社会、生态与经济意义，应用前景广阔。**

六、主要知识产权目录（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	The biocontrol agent *Streptomyces pactum* increases *Pseudomonas koreensis* populations in the rhizosphere by enhancing chemotaxis and biofilm formation	中国	144 (5)	2020-1-11	国际期刊: Soil Biology and Biochemistry	西北农林科技大学	郭俏；石孟迪; 陈林; 周金华;张立新; 李玉龙；薛泉宏；来航线
2	发明专利	一种黄三素链霉菌和菌剂及其应用	中国	ZL 2017 1019	2020-08-04	392090	西北农林科技大学；陕西博秦生物工程有	薛泉宏;李玉龙；来航线

				8170.93			限公司	
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；杨凌现代农业标准化研究所	陕西博秦生物工程有限公司；西北农林科技大学资源环境学院、杨凌现代农业标准化研究所	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 201610356308.9	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 202211525132.7	2024-12-03	7575535	西北农林科技大学；西安市鄠邑区金益致和种植农民专业合作社	来航线;孙晨瑜；郭俏；肖莉；李进；张梅琳；符慧晶；舒小龙；马凯锋
6	发明专利	基于放线菌的农作物种子浸种剂及其制备方法和浸种方法	中国	ZL 201610356307.4	2019-06-14	3414719	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
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 202120625371.4	2021-11-02	14539208	陕西博秦生物工程有限公司	杨博；王凯；杨研
8	论文	*Streptomyces pactum* Act12 controls tomato yellow leaf curl virus disease and alters rhizosphere microbial communities	中国	55(2)	2019-1-14	国际期刊: Biology and Fertility of Soils	西北农林科技大学	李玉龙；郭俏；李云洲；孙一凡;薛泉宏;来航线
9	论文	Application of Streptomyces pactum Act12	中国	39(1)	2019-5-16	国际期刊:Journal of Plant	西北农林科技大学	李海洋；郭俏；景悦曦；刘喆；郑泽

		Enhances Drought Resistance in Wheat				Growth Regulation		浩；孙一凡；薛泉宏;来航线
10	论文	土壤生物退化及其修复技术研究进展	中国	10(4)	2008-07-07	中国农业科技导报	西北农林科技大学	薛泉宏;同延安

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	来航线	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、4 和 6）；制定放线菌生产企业标准（代表性成果 3）。
2	郭俏	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）；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）。
3	薛泉宏	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（代表性成果 2、4 和 6）；提出土壤生物退化理论（代表性成果 10）。
4	杨博	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 7）。
5	李立	无	内蒙古重茬土壤改良技术开发有限责任公	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

			司	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）。
6	李海洋	讲师	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）。
7	李玉龙	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）。
8	刘玉涛	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）。
9	张梅琳	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 5）。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
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，负责项目总体研究方案设计与技术路线制定，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，主要贡献包括：（1）系统建立了极端环境放线菌分离方法体系，建成国内首个农用放线菌资源库（保有功能菌株 3000 余株）；（2）原创性揭示了放线菌“免疫激活-病原拮抗-微生态重塑”多维抗病机制及“代谢驱动-菌群协作-光合增效”促生提质机制，深化了植物-微生物互作理论；（3）创建了以放线菌为核心的“根际健康恢复-植物免疫激活”协同调控施肥模式，并在 7 省 28 种作物上得到验证。第一完成单位为项目提供了实验平台与人才支撑，培养了硕博士生 105 名。
陕西博秦生物工程有限公司	2	陕西博秦生物工程有限公司与西北农林科技大学紧密合作，联合攻关放线菌产业化关键技术：（1）自主研制了全自动固态发酵仓、低温烘干系统、

		自动上料拌料设备、旋风分离孢子收集器等核心设备，建成智能化全自控固态制剂生产线，孢子活性保持率≥92%；（2）联合创建了放线菌活性孢子高密度（≥10^{10} CFU/g）固态发酵工艺，研制出种子包衣剂、高活性孢子制剂及代谢产物等 5 个系列 9 款登记产品；（3）联合制定了放线菌剂生产质量标准（Q/SXBQ 01-2017）。获国家专利 5 件，企业获陕西省高新技术企业等多项荣誉。
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，是成果推广的核心载体，负责放线菌技术在内蒙古地区的规模化应用推广。（1）推广规模：2022 年 5 月起，在巴彦淖尔市、鄂尔多斯市 5 种作物（玉米、食葵、加工番茄、辣椒、哈密瓜与小甜瓜）上累计推广 26.3 万亩；（2）应用效果：粮油作物增产 10%~15%，园艺作物商品率提高至 95%以上，农药使用次数减少 2/3。3 年累计新增经济效益 27614 万元。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等）

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	来航线（1） 郭俏（2） 薛泉宏（3） 李玉龙（7）	2014-2025	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） 薛泉宏（3） 李玉龙（7）	2021-2025	一种黄三素链霉菌和菌剂及其应用	代表性成果 2
3	共同参与制定标准规范	来航线（1） 薛泉宏（3） 杨博（4）	1999-2025	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） 郭俏（2） 张梅琳（9）	2021-2025	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） 郭俏（2） 薛泉宏（3） 李玉龙（7）	2014-2025	*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） 郭俏（2）	2014-2025	Application of *Streptomyces pactum* Act12 Enhances	代表性成果 9

		薛泉宏（3） 李海洋（6）		Drought Resistance in Wheat	
7	产业合作	来航线（1） 郭俏（2） 薛泉宏（3） 杨博（4） 李立（5） 李海洋（6） 李玉龙（7） 刘玉涛（8） 张梅琳（9）	1999-2025	放线菌技术的应用推广	应用证明
8	产业合作	来航线（1） 郭俏（2） 薛泉宏（3） 杨博（4） 李立（5） 李海洋（6） 李玉龙（7） 刘玉涛（8） 张梅琳（9）	1999-2025	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）：

本项目九位完成人来自西北农林科技大学、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，形成产学研合作团队，通过论文合著、共同知识产权、共同制定标准、产业合作等，建立了覆盖基础研究、技术开发与产业化应用的完整合作网络。

一、第一完成人（来航线）与其他完成人合作

与第二完成人、第三完成人长期合作，共同发表论文（代表性成果 1、8、9），合作申请专利（5）、制定企业标准（3），并合作指导第六、七、九完成人。与第四完成人共同制定企业标准（3）。与第五完成人在内蒙古推广放线菌技术（应用证明 1）。与第六完成人、第七完成人合作发表论文（8、9）。与第八完成人合作产品研发与产业化（应用证明 2）。与第九完成人共同完成发明专利（5）。

二、第二完成人与其他完成人合作

与第三完成人长期合作，共同发表论文（1、8、9），共同制定企业标准（3），合作申请专利（2、4、6）。与第四完成人共同制定企业标准（3）。与第五完成人合作推广放线菌技术（应用证明 1）。与第六完成人合作发表论文（9）。与第七完成人合作发表论文（1、8）。与第八完成人合作产品研发与产业化（应用证明 2）。与第九完成人共同完成发明专利（5）。

三、第三完成人与其他完成人合作

与第四完成人共同制定企业标准（3）。与第五完成人合作推广放线菌技术（应用证明 1）。与第六完成人合作发表论文（9）。与第七完成人合作完成专利（2、4、6）及论文（1、8）。与第八完成人合作产品研发与产业化（应用证明 2）。与第九完成人在放线菌资源挖掘及施肥技术模式构建方面直接合作（5）。

四、第四至第九完成人之间合作

第四完成人与第五完成人合作推广放线菌技术（应用证明 1），与第八完成人合作产品研发与产业化（应用证明 2）。

第五完成人与第六、七、八、九完成人在内蒙古放线菌技术推广中均有合作（应用证明 1）。第六完成人与第七完成人合作发表论文（8、9）。

第七完成人与第八完成人在产品研发方面合作；与第九完成人在资源挖掘、机制研究及应用推广方面合作。

第八完成人与第九完成人在产品研发与应用推广方面合作（应用证明 1、2）。

综上，九位完成人间存在直接或间接合作关系，形成以第一、二、三完成人为核心、覆盖基础研究、技术开发与产业化应用的合作网络，共同推动了成果产出与转化。

项目三十四

一、项目名称：羊用数智化精准养殖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：传统人工接触式作业方式效率低、成本高、易造成动物应激反应等问题日益突出，亟须借助现代信息技术实现养殖管理模式的根本性变革。该项目创新性地提出了基于深度学习与三维点云处理的非接触式体尺体重估计方法，提出了融合 RGB 图像与光流信息的多模态动物行为智能识别方法，实现了羊只关键生理行为的精准识别与自动化预警；在此基础上，融合云计算与大数据分析技术，自主研发了羊用数智化精准养殖管理平台，实现了个体识别、体尺体重估计、行为分析等多源异构数据的一体化集成与智能决策。该成果材料齐全、真实可靠，技术创新性突出，产业化应用效果显著。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二等奖。

三、项目简介

本项目属于智慧农业与畜牧信息化领域。随着我国羊产业向规模化、集约化方向加速转型，个体身份精准识别、行为状态智能监测、生长性状高效获取已成为制约现代化羊场管理水平提升的关键瓶颈。传统人工接触式作业方式普遍存在效率低、成本高、易引发动物应激反应等问题，且难以满足大规模养殖场景下数据实时化、精准化采集的迫切需求。项目瞄准这一产业共性技术难题，综合运用计算机视觉、深度学习、三维点云处理、多模态信息融合等现代信息技术，历经多年系统攻关，构建了羊只非接触式表型感知与数智化精准养殖关键技术体系，突破了体尺体重智能测量、行为智能识别、管理平台一体化集成等系列核心技术瓶颈，形成了具有自主知识产权的完整技术链条与产业化解决方案。项目已授权发明专利 3 项、实用新型专利 1 项，发表论文 13 篇，获批软件著作权 12 项，构建了较为完善的知识产权保护体系。相关技术成果已在多家养殖企业实现示范应用，产生了显著的经济效益和社会效益，为陕西省乃至全国羊产业数字化、智能化转型升级提供了重要技术支撑和可复制推广的应用范式。

（1）突破了非接触式羊只体尺体重智能测量关键技术

体尺体重是反映羊只生长发育状况、评价养殖生产效能的核心表型指标，其高效精准获取对养殖管理决策和育种工作具有重要意义。针对传统接触式测量方式效率低下、人工成本高昂、易造成动物强烈应激反应等长期困扰行业的技术难题，项目系统研究了基于深度学习与三维点云处理的体尺体重自动化估计理论与方法，发明了家畜体尺测量方法、系统、计算机设备及存储介质，创新性地提出了基于深度学习的体重估计方法，实现了仅通过图像或点云数据即可完成高精度体尺体重估算的技术突破；同时研制了与算法配套的羊用体尺测定工具，形成了从数据采集、三维重建、特征提取到体尺体重精准估计的完整技术闭环，显著提升了测量效率与数据客观性，从根本上改变了传统依赖人工接触操作的测量模式。

（2）构建了复杂场景下羊只行为智能识别与分析方法

羊只行为状态是反映其健康水平、繁殖状态及福利水平的重要指征，实时、准确的行为识别对于养殖生产管理及疫病防控具有重要预警价值。针对规模化养殖环境下背景复杂、个体密集、目标相互遮挡等因素导致的行为特征提取困难、识别精度不稳定等技术难题，项目提出了融合 RGB 图像与光流信息的多模态动物行为智能识别方法，实现了对羊只产前行为等关键生理行为的精准捕捉与自动化预警，有效弥补了传统人工巡查方式实时性差、覆盖面有限的不足；在此基础上，项目进一步将相关技术方法迁移拓展至奶羊智能化育种场景，研发了配套的视频监测分析系统，为规模化羊场的繁育管理提供了客观、连续、高效的智能决策依据，拓展了行为识别技术的产业应用边界。

（3）研发了羊用数智化精准养殖管理平台

单一技术环节的突破难以直接转化为产业实际生产力，实现多源异构技术的系统集成与工程化落地是科技成果产业化应用的关键环节。项目在体尺体重测量、行为智能识别等核心算法研究成果的基础上，深度融合云计算、大数据分析等信息技术，自主研发了集三维监控、数据分析、行为监测于一体的智能化养殖管理系统，实现了个体身份信息、体尺体重表型数据、行为状态数据等多源异构信息的统一采集、集成处理与可视化呈现，构建了数据驱动的养殖管理决策支持体系。该平台的建成实现了从底层算法模型到上层业务应用的贯通集成，为养殖企业提供了“感知—分析—决策”一体化的完整解决方案，显著提升了羊场精细化、数字化、智能化管理水平。

综上所述，本项目围绕羊只数智化精准管理这一核心科学问题，从体尺体重智能测量、复杂行为智能识别到管理平台系统集成三个层面开展了系统性、递进式的技术攻关，形成了理论方法先进、技术路线完整、知识产权自主、应用效果显著的创新技术体系，各项关键技术指标均达到国内先进水平，部分达到国际先进水平。项目通过在科研教学基地与规模化养殖企业的广泛示范应用，充分验证了技术的稳定性、适用性与经济性，探索形成了一条可复制、可推广的羊产业数智化转型技术路径，对于提升我国畜牧业智能化管理水平、推动农业新质生产力发展具有重要的示范引领作用和长远的产业价值。

四、客观评价

（1）项目技术具有显著的科学性、系统性与先进性，达到国内领先、部分技术达到国际先进水平

本项目针对复杂养殖场景下羊只数智化精准养殖这一国际农业信息化领域的前沿难题，系统构建了涵盖体尺体重智能测量、复杂行为智能识别、数智化管理平台一体化集成的完整技术体系，实现了从基础理论创新、关键技术突破到产业化应用的全链条贯通。项目在深度学习驱动的非接触式体尺体重估计、多模态融合的动物行为智能识别等核心技术方向均实现了原创性突破，相关技术方法系统性强、逻辑链条完整，与国内外同类研究相比，在测量精

度、识别效率及场景适应性等方面均处于领先地位，部分关键技术达到国际先进水平，为羊产业乃至畜牧业整体的数字化转型提供了具有引领性的技术范式。

（2）成果发表于国内外本领域高水平期刊，学术影响力显著

项目核心研究成果发表于国际农业工程领域权威期刊 《Computers and Electronics in Agriculture》、《Biosystems Engineering》，以及多媒体与计算机图形学领域知名期刊 《IEEE Transactions on Multimedia》（TMM）、《IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics》（TVCG），并亮相于人工智能顶级会议 AAAI 2024；同时，成果也见刊于国内本领域顶级期刊《农业工程学报》。上述论文提出的技术方法得到了国内外同行的广泛关注与认可。项目团队在动物表型智能感知这一前沿交叉领域持续深耕，形成了具有国际学术影响力的系列研究成果，充分体现了项目扎实的理论基础与领先的技术水平。

（3）自主知识产权体系完整，创新成果转化路径清晰

项目通过系统的技术创新，形成了覆盖核心方法、实用工具、软件系统的完整知识产权布局，授权发明专利 3 项（“一种家畜体尺测量方法、系统、计算机设备及存储介质”、“ 一种基于深度学习的体重估计方法”、“ 一种基于射线原理的三维点云数据精简方法”）、实用新型专利 1 项（“一种羊用体尺测定工具”），获批软件著作权 12 项，知识产权类型覆盖方法发明、实用工具及软件系统等多个层面，形成了从算法核心到工程实现的自主可控技术闭环，具有较高的技术原创性和知识产权保护强度，为项目成果的产业化应用及市场竞争力提供了坚实保障。

（4）项目成果经受了实际生产环境的充分检验，应用效果得到行业广泛认可

项目研究成果已在西北农林科技大学畜牧教学试验基地、陕西澳尼克奶山羊育种公司、定边县八福原生态农业有限公司、甘肃庆环肉羊制种有限公司、陕西上河三农科技（集团）股份有限公司等科研教学与规模化养殖单位实现示范应用，应用场景覆盖科研教学、良种繁育、规模化生产管理等多个维度，充分验证了相关技术在真实复杂养殖环境下的稳定性、适应性与经济性。应用单位普遍反映，项目技术有效解决了传统人工测量效率低、行为监测滞后等实际生产问题，显著提升了养殖管理的智能化、精细化水平，取得了良好的经济效益和社会效益。

（5）项目对推动行业技术进步和产业转型升级具有重要的示范引领作用

本项目形成的羊只非接触式表型感知与数智化精准养殖关键技术体系，填补了国内相关领域非接触式精准表型获取技术的部分空白，推动了畜牧养殖管理模式从传统经验驱动向数据驱动、从粗放式管理向精细化管理的根本性转变。项目成果的成功研发与推广应用，不仅为陕西省羊产业的数字化转型升级提供了关键技术支撑，也为全国范围内同类畜牧产业的智能化升级探索了可复制、可推广的技术路径与实践经验，具有重要的行业示范意义和长远的产业带动价值。综合技术水平和应用价值，达到申报陕西省科技进步奖二等奖的评审标准。

五、应用情况

项目研究成果已在西北农林科技大学畜牧教学试验基地、陕西澳尼克奶山羊育种公司、定边县八福原生态农业有限公司、甘肃庆环肉羊制种有限公司、陕西上河三农科技（集团）股份有限公司等单位实现示范推广应用，覆盖了科研教学、种业育种、规模化养殖等多个应用场景，形成了从技术验证到产业落地的完整应用链条。

在西北农林科技大学畜牧教学试验基地，项目成果作为教学科研平台的重要技术支撑，将羊只个体识别、行为分析、体尺体重估计等智能化技术引入日常教学与科研实践，一方面为动物科学相关专业师生提供了直观、真实的精准养殖技术教学场景，另一方面也作为算法迭代优化的实测验证基地，持续为项目团队积累了大量真实场景下的标注数据与应用反馈，形成了产学研深度融合的良性循环。

在陕西澳尼克奶山羊育种公司，项目成果实现了奶山羊个体身份的自动化识别与非接触式体尺体重数据的精准采集，相关数据与公司自建的奶山羊分子标记辅助育种系统、奶羊智能化育种系统实现了对接融合，为育种性状的量化评估、优良种畜的精准筛选提供了高效、客观的数据支撑，同时结合奶羊智能化泌乳信息统计系统，实现了个体身份、体尺表型与泌乳性能数据的联动分析，显著提升了育种工作的科学性与效率。

在甘肃庆环肉羊制种有限公司、定边县八福原生态农业有限公司和陕西上河三农科技（集团）股份有限公司，项目成果依托智能化羊场管理系统，实现了羊只个体识别、群体密集计数、异常行为实时监测与预警等功能的规模化落地应用。相较于传统人工巡检、人工计数及接触式体尺测量方式，项目技术显著降低了人工作业强度和用工成本，减少了因接触式测量、频繁人工干预给羊只带来的应激反应，同时提升了养殖数据采集的时效性与准确性，为养殖场的精细化生产管理和科学决策提供了可靠的数据基础。

综合来看，项目成果已从单一技术点的实验室验证，逐步扩展至涵盖科研教学、良种繁育、规模养殖等多场景、多主体的示范应用体系，充分证明了相关技术在复杂真实养殖环境下的稳定性、适用性与推广价值，为陕西省羊产业实现从传统粗放型管理向数智化、精准化管理转型升级探索出了一条切实可行、可复制推广的技术路径，具有较强的产业带动效应和社会经济效益。

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	一种家畜体尺测量方法、系统、计算机设备及存储介质	中国	ZL202411592999.3	2025 年 10 月 21 日	8385375	西北农林科技大学	王美丽;金博;王国瑞;冯敬泽;刘蕊;李琪琪;李书琴;张宏鸣；王小龙
2	发明专利	一种基于深度学习的体重估计方法	中国	ZL202211564150.6	2025 年 12 月 2 日	8536224	西北农林科技大学	王美丽;何翀;毛锐;李梅;姚志凤;王小龙

3	发明专利	一种基于射线原理的三维点云数据精简方法	中国	ZL2014 10360056.8	2014 年 7 月 24 日	2707245	西北农林科技大学学	王美丽；廖昌粟；张宏鸣；胡少军；何东健；牛晓静
4	实用新型专利	一种羊用体尺测定工具	中国	ZL2024 23010755.8	2025 年 10 月 21 日	23438682	西北农林科技大学，陕西微牧云信息科技有限公司	王美丽;张斌;何翀;曹拆;李书琴;张宏鸣;王小龙
5	论文	ROFNet：基于 RGB 和光流多模态融合的羊产前行为识别	中国	第 41(23)卷:152-161 页.	2025 年 11 月 12 日	农业工程学报	西北农林科技大学	张飞宇，王美丽,王正超
6	论文	Enhanced LiteHRNet based sheep weight estimation using RGB-D images	中国	第 206 卷 109667 页	2023 年 1 月 17 日	Computers and Electronics in Agriculture	西北农林科技大学	何翀，乔永亮，毛锐，李梅，王美丽
7	论文	PointStack based 3D automatic body measurement for goat phenotypic information acquisition	中国	第 248 卷 32-46 页	2014 年 9 月 13 号	Biosystems Engineering	西北农林科技大学	金博，王国瑞，冯敬泽，乔永亮，姚志凤，李梅，王美丽
8	软件著作权	奶羊智能化泌乳信息统计系统 V1.0	中国	2024SR0444039	2024 年 3 月 28 日	12847912	西北农林科技大学	王美丽，张磊，宋宇轩，卢瑞峰，李书琴，金博
9	软件著作权	奶羊智能化育种系统 V1.0	中国	2024SR0444037	2024 年 3 月 28 日	12847910	西北农林科技大学	王美丽，张磊，宋宇轩，何翀，张斌，卢瑞峰，姚志凤

10	软件著作权	智能化羊场管理系统V2.0	中国	2024SR0425694	2024年3月25日	12829567	西北农林科技大学	王美丽，毛锐，李梅，张磊，宋宇轩，赵宏珂，王颖楠

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	王美丽	教授	西北农林科技大学	项目总负责人，负责项目总体技术路线设计与研究方案统筹，主持构建了个体识别、行为分析、群体计数、非接触式体尺体重估计关键技术体系及管理平台总体架构，统筹项目成果发表与应用推广工作，对项目创新性和系统性做出决定性贡献。
2	何东健	教授	西北农林科技大学	合作完成“一种基于射线原理的三维点云数据精简方法”专利研发，针对点云数据噪声大、冗余度高的问题提出精简算法，为非接触式体尺体重估计提供了高质量数据基础，对项目底层点云处理技术做出重要贡献。
3	李书琴	教授	西北农林科技大学	合作参与羊只体尺测量技术研究，协助完成体尺测量方法与配套测定工具的研发及现场适配性验证工作，推动了体尺测量技术的工程化落地。
4	金博	无	西北农林科技大学	负责非接触式体尺测量核心算法研发，围绕体尺关键部位的精准定位与测量精度提升开展系统研究，对项目非接触式测量技术体系构建做出核心贡献。
5	姚志凤	正高级实验师	西北农林科技大学	合作参与非接触式体尺测量技术研究，协助开展数据采集、模型训练与效果验证工作，配合完成算法在不同场景下的适应性调优。
6	李梅	副教授	西北农林科技大学	合作参与非接触式体尺、体重估计技术研究，协助开展体重估计模型研发及体尺体重关联分析工作，推动了相关算法的训练与验证。
7	毛锐	副教授	西北农林科技大学	合作参与非接触式体尺测量技术研究，协助开展现场数据采集、标注及测量结果误差分析工作，为技术优化提供了数据支撑。
8	张磊	研究员	西北农林科技大学	合作参与奶羊智能化泌乳与育种分析、智能化管理的技术研究，拓展了项目在动物繁育管理方向的应用场景。
9	宋宇轩	研究员	西北农林科技大学	合作参与奶羊智能化泌乳与育种分析、智能化管理相关的平台研发，推动了算法成果向管理平台的转化。
10	曹拆	无	陕西微牧云信息科技有限公司	合作参与智慧养殖技术的落地应用推广工作，协助完成企业现场部署、调试及技术反馈收集，推动了项目成果的产业化转化

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	作为项目研发主体单位，西北农林科技大学承担了本项目核心关键技术的理论研究与技术创新工作，是项目科技创新的主导力量。学校依托在动物科学、计算机视觉、深度学习等学科领域的长期科研积累和多学科交叉优势，组织团队围绕复杂养殖场景下羊只个体识别难、行为监测依赖人工、群体计数误差大、

		体尺体重测量需接触式操作等产业共性技术难题开展系统性攻关，牵头完成了基于深度学习的羊只个体识别与追踪算法、融合骨骼关键点检测的行为分析模型、密集场景群体计数算法，以及基于三维点云与 RGB-D 图像的非接触式体尺体重估计等一系列核心技术的研发工作。在此基础上，学校主导完成了相关发明专利、实用新型专利的技术方案设计与撰写申报，并组织团队在国内外重要期刊发表系列研究论文，形成了较为完整、系统的自主知识产权体系。同时，学校依托自有的畜牧教学试验基地，为项目技术的现场验证、数据采集标注及算法迭代优化提供了长期稳定的实测场景支持，实现了产学研用的紧密结合，为项目技术成果的先进性、可靠性及成熟度奠定了坚实基础，对本项目的科技创新做出了主导性、决定性贡献。
2	陕西微牧云信息科技有限公司	作为项目技术落地推广单位，陕西微牧云信息科技有限公司负责项目研究成果的工程化实现与产业化推广工作。公司依托自身在信息化系统开发与运维方面的技术能力，将高校研发的核心算法转化为可稳定运行的智能化羊场管理系统，并组织完成了在陕西澳尼克奶山羊育种公司、定边县八福原生态农业有限公司、甘肃庆环肉羊制种有限公司、陕西上河三农科技（集团）股份有限公司等养殖企业的现场部署、系统调试与技术培训工作，保障了项目成果从实验室技术向实际生产场景的顺利转化，对本项目的成果转化与产业化应用做出了重要贡献。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	共同知识产权	王美丽/1，何东健/2	2013—2017	专利：一种基于射线原理的三维点云数据精简方法	专利：一种基于射线原理的三维点云数据精简方法
2	共同知识产权	王美丽/1，李书琴/3，金博/4，曹拆/10	2021—2024	专利：一种家畜体尺测量方法、系统、计算机设备及存储介质，一种羊用体尺测定工具	专利：一种家畜体尺测量方法、系统、计算机设备及存储介质，一种羊用体尺测定工具
3	论文合著和共同知识产权	王美丽/1，李书琴/3，金博/4，姚志凤/5，李梅/6，毛锐/7	2021—2025	专利：一种家畜体尺测量方法、系统、计算机设备及存储介质；论文：PointStack based 3D automatic body measurement for goat phenotypic information acquisition	专利：一种家畜体尺测量方法、系统、计算机设备及存储介质；论文：PointStack based 3D automatic body measurement for goat phenotypic information acquisition
4	论文合著和共同知识产权	王美丽/1，金博/4，姚志凤/5，李梅/6，毛锐/7	2020—2024	专利：一种基于深度学习的体重估计方法；论文：PointStack based 3D automatic body measurement for goat phenotypic information acquisition	专利：一种基于深度学习的体重估计方法；论文：PointStack based 3D automatic body measurement for goat phenotypic information acquisition
5	论文合著和共同知识产权	王美丽/1，姚志凤/5，李梅/6，毛锐/7	2020—2024	专利：一种基于深度学习的体重估计方法；论文：Enhanced LiteHRNet based	专利：一种基于深度学习的体重估计方法；论文：Enhanced LiteHRNet

				sheep weight estimation using RGB-D images，PointStack based 3D automatic body measurement for goat phenotypic information acquisition	based sheep weight estimation using RGB-D images，PointStack based 3D automatic body measurement for goat phenotypic information acquisition
6	论文合著和共同知识产权	王美丽/1，姚志凤/5，李梅/6，毛锐/7	2020—2024	专利：一种基于深度学习的体重估计方法；论文：Enhanced LiteHRNet based sheep weight estimation using RGB-D images	专利：一种基于深度学习的体重估计方法；论文：Enhanced LiteHRNet based sheep weight estimation using RGB-D images
7	共同知识产权	王美丽/1，李书琴/3，金博/4，姚志凤/5，张磊/8，宋宇轩/9	2021—2024	软件著作权：奶羊智能化泌乳信息统计系统 V1.0、奶羊智能化育种系统 V1.0	软件著作权：奶羊智能化泌乳信息统计系统 V1.0、奶羊智能化育种系统 V1.0
8	共同知识产权	王美丽/1，李梅/6,毛锐/7，张磊/8，宋宇轩/9	2022—2025	软件著作权：智能化羊场管理系统 V2.0	软件著作权：智能化羊场管理系统 V2.0
9	共同知识产权	王美丽/1，李书琴/3，曹拆/10	2021—2024	专利：一种羊用体尺测定工具	专利：一种羊用体尺测定工具

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

本项目由王美丽、何东健、李书琴、金博、姚志凤、李梅、毛锐、张磊、张宇轩、曹拆十位完成人共同完成，依托西北农林科技大学与陕西微牧云信息科技有限公司产学研平台，围绕羊用数智化精准养殖关键技术研发与产业化应用，形成了从算法研发、工程集成到产业推广的全链条合作体系。具体合作关系说明如下：

1. 王美丽：第一完成人，负责研究方案统筹，是项目研发核心。主导个体识别、行为分析、群体计数及非接触式体尺体重估计等关键技术攻关；统筹点云数据处理、体尺测量、核心算法设计、育种分析及管理平台建设；主导发明专利方案设计，统筹论文发表；统筹学校畜牧教学试验基地技术验证，推动与陕西微牧云信息科技有限公司合作，对项目创新性、完整性和成果转化做出决定性贡献。

2. 何东健：合作完成发明专利“一种基于射线原理的三维点云数据精简方法”，解决点云处理难题，为体尺体重估计提供高质量数据基础。

3. 李书琴：合作开展羊只体尺测量技术研究，共同完成实用新型专利“一种羊用体尺测定工具”结构设计与研发，实现体尺测量软硬件配套。

4. 金博：合作完成发明专利“一种家畜体尺测量方法、系统、计算机设备及存储介质”技术方案设计，围绕 RGB-D 图像及三维点云体尺关键部位定位与测量精度提升开展攻关。

5. 姚志凤：合作开展非接触式体重测量技术研究，共同申请发明专利“一种基于深度学习的体重估计方法”，协助数据采集、模型训练与效果验证，完成不同品种及场景适应性调优。

6. 李梅：合作开展非接触式体尺、体重估计技术研究，共同研发“一种基于深度学习的体重估计方法”，协助体重估计模型构建与体尺体重关联分析，完成实际数据训练与验证。

7. 毛锐：合作开展非接触式体尺测量技术研究，共同研发“一种基于深度学习的体重估计方法”，协助现场数据采集、标注及测量准确性验证与误差分析。

8. 张磊：合作开展奶羊智能化管理与育种系统的技术研究，协助完成“奶羊智能化育种系统 V1.0”、“ 奶羊智能化泌乳信息统计系统 V1.0”和“智能化羊场管理系统 V2.0”功能模块设计与开发。

9. 宋宇轩：合作开展奶羊智能化管理与育种系统的技术研发，协助完成“奶羊智能化泌乳信息统计系统 V1.0” 、“奶羊智能化育种系统 V1.0”和“智能化羊场管理系统 V2.0”功能模块设计与开发。

10. 曹拆：合作开展智慧养殖技术落地推广，协助在陕西澳尼克、甘肃庆环、定边八福、陕西上河三农等企业完成现场部署、系统调试及技术培训，推动成果转化。

项目三十五

一、项目名称：作物表型—生理—环境协同驱动的设施蔬菜高效调控技术研发与应用

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：我单位认真审阅了该成果推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目内容均符合陕西省科学技术奖的填写要求。按照要求，我单位和成果完成单位都已对该成果的拟推荐情况进行了公示，目前无异议。

本成果从作物光合积累与环境的互作关系入手，构建了作物多尺度生理-表型信息采集系统，开发了融合三维表型与光合生境信息的参数自适应设施作物生理建模方法；创新性的提出了基于离散曲率的设施多因子调控目标值获取算法，突破了现有设施环境系统由于模型缺乏，导致调控效率低、投入产出比高等瓶颈问题；开发了基于迁移学习的设施环境通用预测模型建模平台，融合多源设施信息构建了多种生境信息时序预测模型，利用小样本迁移技术实现了不同类型设施的环境精准预测；研发了模型自适应的设施生理生境监控专用装备与决策服务系统。项目取得了一系列原创性成果，经农业工程学会成果鉴定，该成果整体达到了国际先进水平，其中生理与生境信息融合的设施作物参数自适应调控建模方法达到国际领先水平。被中央电视台等知名媒体宣传报道，研究成果已在陕西、山东、河北等省市进行推广与应用，较传统生产示范提升设施环境精准化管理水平，对加强产业的转型升级具有重要意义和应用价值。该成果创新了设施农业生产理念与技术，解决了产业发展的重大难题，符合陕西省科技进步奖提名条件。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介：

我国设施种植面积世界第一，但水肥和环境协同精准调控方面与发达国家尚有差距，导致我国设施蔬菜单产较低。我国气候、设施种类及品种等方面与欧洲有明显差异，国外成套环境调控模型与装备在我国实际生产中存在模型种类不足、适用性差等问题，加之投入大、耗能高，无法应用于实际生产。因此，设施环境高效调控必须适应我国气候特征和生产需求。在充分考虑作物物质积累和多环境因子互作的前提下，如何以减少投入产出比、提升资源利用为目标，建立面向作物需求的设施环境高效智能调控模型、装备和方法，实现对主要种植蔬菜按需调控是设施农业优质高产的关键。

针对蔬菜生理模型不足、难以实现细粒度调控的产业问题，本成果力求探明作物生理与表型对多环境因子的耦合响应，实现不同生境条件下作物生理与表型特征快速、精准评估；在探明设施生产效率与产量低的原因基础上，提出数据驱动与机理驱动融合的设施多环境因子调控算法，作物光合积累和资源利用协同优化，实现设施环境高效调控；针对温室极端天气提前预警问题，开发了基于迁移学习的小样本设施环境预测模型，为不同类型、不同位置和不同作物的温室环境时序变化精准预测提供技术支持；为解决设施种植过程对系统适应性和拓展性的要求，研发了模型自适应的设施生理生境监控专用装备与决策服务系统，实现了

设施条件和作物种类差异化条件下设备和模型自动接入与更新，建立了面向作物需求的多维度智能服务模式。其主要创新性成果为：

1. 创制了面向不同尺度的作物生理-表型信息采集系统。针对现有作物生理与表型指标获取难题，构建融合三维表型、光合生理、光谱的监测框架，提出多模态图谱信息融合的生理指标监测方法，开发作物多源表型与生理特征评估模型；采用自编码与卷积网络融合建模，建立模型参数自适应的蔬菜全生长期生理建模平台，实现番茄等主要设施蔬菜生理模型构建，为设施环境精准调控提供生理依据。

2.发明了融合调控效率的多因子耦合设施环境调控方法。针对光合响应曲线在限制点前后变化显著的现象，考虑环境因子的耦合关系，将数据驱动与机理驱动相结合，基于不同环境响应曲线变化规律，创新性地提出了基于离散曲率的设施环境与水肥单一/多因子协同调控方法，实现了生产资源利用率与蔬菜产量综合优化调控。相较于饱和点调控方法，环境调控目标值降低 18%-50%。

3. 开发了基于迁移学习的设施环境通用预测模型建模平台。针对设施类型、地理位置、作物种类变化导致环境预测模型泛化能力差的问题，提出了多源生境信息融合的设施环境时序预测模型构建方法，基于深度学习与小样本迁移学习技术建立面向不同类型设施的环境预测模型，并开发云端设施环境通用预测模型建模平台，实现了不同尺度作物生境因子时序精准预测，为实现设施生产环境精准管理提供高效的服务平台。

4. 研发了模型自适应的设施生理生境监控专用装备与决策服务系统。针对设施种类多样、种植品种多变的特点，提出了模型远程更新与多传感器融合的设施环境闭环调控体系架构，开发了温、光、水、气、肥等各类作物生境智能监测、调控装备，创新性地将广域气象信息与作物需求模型融合，建立了面向作物需求的设施农业环境高效决策系统，构建了作物-环境-装备耦合的设施生产智能服务平台，可实现监控设备自主配置、内置模型自动更新，农业物联网智能化决策与服务。

成果授权发明专利 20 余项，发表高水平索引论文 70 余篇。成果已在陕西省等地进行推广应用，获陕西省高等学校科学技术研究优秀成果一等奖 1 项，有效提升设施智能化水平，提高环境调控效率，取得了良好的经济效益和社会效益。

四、客观评价：

1．具有资质的第三方机构科技成果评价报告

2023 年 2 月 3 日，中国农业工程学会组织专家对西北农林科技大学等完成的“面向作物需求的设施环境高效精准调控技术研发与应用”成果进行了会议评价，专家听取了项目组汇报，审阅了相关技术资料,经质询讨论形成如下评价意见：1.提交的技术资料齐全，符合科技成果评价要求。2.该成果针对设施蔬菜生产管理中调控效率低，投入产出比高、农药化肥使用量大、生产劳动效率低等突出问题，从作物需求入手，进行了设施环境优化调控理论方法创新、装备发明和系统研发。主要创新点如下：(1)提出了耦合植物生理和生境参量的作物光

合模型构建方法，发明了面向不同数据集的模型参数自适应获取方法，创建了生理与生境信息融合的设施作物参数自适应光合生理模型生成平台。(2)提出了融合植物生理生境需求的数据驱动与机理驱动结合的设施环境智能调控方法，实现了典型设施作物全生育期环境高效精准调控。(3)自主研发了 12 种智能监控装备，构建了多传感器融合的设施环境智能调控系统，可根据典型作物需求模型自动调控温、光、水、气、肥等设施环境,支撑了设施作物环境高效精准调控。(4)发明了广域气象信息与作物需求模型融合方法，研发了农业智慧气象广域智能生产决策与服务系统,形成了信息感知、智能决策与综合服务三位一体的设施生产多维度智能服务模式。授权发明专利 18 件，发表高水平学术论文 40 余篇。成果已在陕西、山东、河北等五省(市)大面积推广应用，取得了显著经济效益和社会效益。

专家组一致认为，该成果整体技术达到国际先进水平，其中生理与生境信息融合的设施作物参数自适应调控建模方法达到国际领先水平。综合评分 92.9。

2．科技查新报告

通过对相关文献的阅读、分析和比较，结论如下：

（1）由于植物的光合能力不仅受到环境因素的影响，自身状态的不同也会影响光合速率的预测精度，关于考虑植物自身状态的光合速率模型研究，除了项目组人员文献，未见相关中英文文献报道。

（2）考虑作物自身需求、融合调控效率的多因子耦合设施环境调控方法研究除了项目组人员文献，未见相关中英文文献报道。

（3）基于迁移学习技术建立面向不同设施类型和地理位置的设施环境预测通用建模方法研究，除项目组人员文献，未见相关中英文文献报道。

（4） 同时考虑植物生理以及调控效益研究完成模型自适应的设施生理生境专用监控装备设计，并融合了信息感知、智能决策与服务一体化设施生产决策系统，除项目组人员文献未见相关中英文文献报道。

3. 收录引用查证报告

依托该成果共发表 SCI/EI 检索论文 70 篇，其中部分核心论文数据如下：检索 SCIE 数据库，发表的 13 篇论文共被引用 212 次，他引 151 次。检索 CNKI 数据库，项目组发表的 11 篇论文共被引用 402 次，他引 377 次。

五、应用情况：

成果推动了信息技术与设施产业的全面融合，显著提升了设施农业智能化程度，项目研发的产品与系统已推广应用至陕西、山东、重庆等多个省市，增产 22%以上，减少人力投入 15%以上，开创了设施农业生产新模式，助力国家乡村振兴战略，取得了的显著社会经济效益。

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人

			区）					
1	发明专利	一种基于调控效益优先的二维联合调控目标区域的获取方法	中国	ZL201811031904.5	2021年7月20日	4556796	西北农林科技大学	胡瑾、白京华、张海辉、高攀、张仲雄、辛萍萍、来海斌、张盼
2	发明专利	一种基于叶绿素荧光技术的作物冷损伤程度分级方法	中国	ZL202111234711.1	2023年7月7日	6123259	西北农林科技大学	胡瑾、卢苗、魏子朝、雷文晔、卢有琦
3	发明专利	水分利用率与光合速率协同的温室作物需水调控方法	中国	ZL202010653535.4	2023年6月20日	4556796	西北农林科技大学	胡瑾、白京华、张海辉、高攀、张仲雄、辛萍萍、来海斌、张盼
4	发明专利	融合叶片光合潜能的光合速率预测方法	中国	ZL201910576601.X	2022年10月14日	5509167	西北农林科技大学	胡瑾、高攀、陈丹艳、张盼、李斌、张海辉
5	发明专利	茎流信号采集节点和利用该节点的基于温补偿的热源自适应茎流测量系统	中国	ZL201910940858.9	2024年3月12日	6777161	西北农林科技大学	胡瑾、冯盼、张仲雄、李斌、高攀、汪志胜
6	发明专利	一种基于小样本的设施温室温度预测方法	中国	ZL202211552061.X	2025年3月28日	7833875	西北农林科技大学	胡瑾、雷文晔、刘行行、卢有琦、魏子朝、杨永霞
7	发明专利	面向碳中和需求的效率最有温室植物调控方法	中国	ZL202109998843.5	2022年9月23日	5474104	西北农林科技大学	胡瑾、卢有琦、雷文晔、魏子朝、高攀、张瑶嘉
8	发明专利	一种面向作物整株需光差异的多通道补光调控方法与系统	中国	ZL201810304781.1	2020年11月10日	4086904	西北农林科技大学	胡瑾、来海斌、张海辉、张盼、辛萍萍、张仲雄
9	发明专利	一种设施光与二氧化碳	中国	ZL202210795688.1	2023年9月26	6357643	西北农林科技大学	胡瑾、高攀、卢苗、侯军英、

		环境协同调控方法			日			李慧敏、蒲六如
10	发明专利	一种基于QGA-SVR的冷害黄瓜PSII潜在活性预测方法	中国	ZL202110042909.3	2023年11月3日	6452808	西北农林科技大学	胡瑾、卢苗、完香蓓、袁凯凯、高攀、李斌

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
胡瑾	1	教授	西北农林科技大学	负责项目总体设计，在项目研究目标、研究内容和整体技术路线制定做出来突出贡献。主持和参与了9项发明专利研发，完成了1项成果鉴定，合作完成了4项国家级基金项目，对创新点1-4均有重要贡献，该成果研发占本人工作总量的70%。
高攀	2	教授	西北农林科技大学	主要完成了作物生理模型与设施生产智能调控模型开发，参与了5项发明专利研发，合作完成1项国家级基金项目，对创新点1、2均有重要贡献。该成果研发占本人工作总量的50%。
曹心怡	3	高级工程师	西北农林科技大学	主要开展了设施生产智能调控装备推广和应用示范工作，对创新性成果1、4设施生产决策服务系统有重要支撑。该成果研发占本人工作总量的50%。
毛罕平	4	教授	江苏大学	主要完成了设施调控算法研究与设施生产决策模型应用，合作发表论文2篇，对创新点1、2、4均有重要贡献，该成果研发占本人工作总量的50%。
卢苗	5	副教授	西安工程大学	主要完成了作物生理模型与设施生产智能调控模型开发，对创新性成果1参数自适应的光合模型方法研究、创新点2融合调控效率的目标值获取方法研究均有重要支撑。合作授权发明专利2项，发表SCI/EI论文6篇。该成果研发占本人工作总量的50%。
李焰峰	6	高级工程师	陕西顾德智农智能科技有限公司	主要完成了生理生境监控专用装备与决策服务系统研制工作，对创新点4有重要贡献，合作发表相关论文1篇，该成果研发占本人工作总量的50%。

田世杰	7	副教授	西北农林科技大学	主要开展了设施环境调控方法研究与温室环境调控体系建立工作，对创新点 1、4 有重要贡献，该成果研发占本人工作总量的 50%。
杨永霞	8	无	西北农林科技大学	主要完成了设施生境变化预测研究与环境决策控制方法研究，对创新点 2、3 有重要支撑，合作发表论文 2 篇、专利 1 项。该成果研发占本人工作总量的 50%。
孙章彤	9	无	西北农林科技大学	主要完成了温室环境变化预测研究，对创新点 3 有重要支撑，合作发表论文 2 篇。该成果研发占本人工作总量的 50%。
李慧敏	10	无	西北农林科技大学	主要开展生理模型和调控模型建模方法的研究。参与了 1 项发明专利研发，对创新点 1、2 均有重要贡献，该成果研发占本人工作总量的 50%。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	项目主持单位，承担项目的方案制定和技术研发，提出了融合生理需求和调控效益的设施温、光、水、气等多因子动态智能调控方法；研制了面向设施生理生境专用监测装备和监测系统；搭建了主动推送、个性化投放的精准智能服务的环境监控和气象物联网平台，形成了基于多传感器信息融合的设施环境动态调控技术体系，对创新性成果 1、2、3、4 均有重要支撑。
2	江苏大学	项目参与单位，重点负责智能化温室成套设施、环境调控及环境动态优化控制技术研发，融合作物需求与环境优化调控模型，创制了多源信息融合的设施环境智能调控体系，开发了作物-环境-装备耦合的设施生产智能服务平台，实现了对模型库与数据库的高效管理，对创新性成果 1、 2、4 均有重要支撑。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	共同成果	胡瑾/1 高攀/2	2011 年 4 月-2023 年 2 月	完成农业工程学会科学技术成果评价“面向作物需求的设施环境高效精准调控技术研发与应用”（含胡瑾、高攀）	成果鉴定报告
2	共同立项	胡瑾/1 高攀/2	2020 年 1 月-2022 年 12 月	完成国家重点研发计划项目子课题“新媒体多端共融专家知识培训系统研发及应用 2020YFD1100602”（含胡瑾、高攀）	项目验收证书
3	共同知识	胡瑾/1 高攀/2	2024 年 9	软件著作权： 基于荧光快速诱导曲线的作物营	相关软件著作权登

	产权	曹心怡/3 卢苗/5 李焰峰/6 田世杰/7 杨永霞/8 孙章彤/9 李慧敏/10	月-2023 年 10 月	养状态聚类分析软件（含胡瑾、高攀、曹心怡、田世杰、卢苗）； 图像 JET 颜色分级软件（含曹心怡、田世杰、李慧敏、杨永霞、孙章彤）	记公告
4	论文合著	胡瑾/1 高攀/2 毛罕平/4 卢苗/5 李焰峰/6 田世杰/7 杨永霞/8 孙章彤/9 李慧敏/10	2021 年 9 月-2025 年 11 月	论文： IPECM Platform: An open-source software for greenhouse environment regulation using machine learning and optimization algorithm（含胡瑾、高攀、卢苗、李焰峰） Greenhouse light and CO_2 regulation considering cost and photosynthesis rate using i-nsGA II（含胡瑾、高攀、卢苗、毛罕平、杨永霞） A hybrid approach using chained-SVR, MODE and DEA to optimize environmental control values in plant factories（含胡瑾、高攀、卢苗、毛罕平、李慧敏） Real-Time Nitrogen Regulation via IoT Edge Computing: A Chlorophyll Fluorescence-Driven Framework for Sustainable Plant Factories（含胡瑾、高攀、卢苗、田世杰、杨永霞、孙章彤、李慧敏）	相关科技论文
5	产业合作	李焰峰/6 田世杰/7 杨永霞/8 孙章彤/9 李慧敏/10	2024 年 8 月-今	设施果蔬生理生境监测与智能调控物联网系统	技术服务合同（合同编号：20240102304062）
6	产业合作	胡瑾/1 曹心怡/3 毛罕平/5 李焰峰/6 田世杰/7 孙章彤/9	2022 年 9 月-今	多传感器融合的设施环境闭环调控系统、作物-环境-装备协同的设施生产智能服务系统	应用证明
完成人合作关系说明（限 1000 字）： 胡瑾负责项目总体设计并统筹规划项目实施，高攀、曹心怡、卢苗、毛罕平、李焰峰、田世杰、					

杨永霞、孙章彤和李慧敏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，完成了主要知识产权列表中所有成果，以及未列入知识产权列表的相关成果。

胡瑾、高攀、曹心怡、卢苗、李焰峰、杨永霞、孙章彤和李慧敏合作开发了基于迁移学习的设施环境通用预测模型建模平台。该平台针对设施类型、地理位置、作物种类变化导致环境预测模型泛化能力差的问题，基于深度学习与小样本迁移学习技术建立面向不同类型设施的环境预测模型，并开发云端设施环境通用预测模型建模平台，实现了不同尺度作物生境因子时序精准预测，为实现设施生产环境精准管理提供高效的服务平台。

胡瑾、高攀、卢苗、毛罕平、李焰峰、田世杰、杨永霞、孙章彤、李慧敏合作创制了面向不同尺度的作物生理-表型信息采集系统、发明了融合调控效率的多因子耦合设施环境调控方法。胡瑾、田世杰等构建融合三维表型、光合生理、光谱的监测框架，提出多模态图谱信息融合的生理指标监测方法，开发作物多源表型与生理特征评估模型；高攀、卢苗等采用自编码与卷积网络融合建模，建立模型参数自适应的蔬菜全生长期生理建模平台，实现番茄等主要设施蔬菜生理模型构建，为设施环境精准调控提供生理依据；李焰峰、杨永霞等考虑环境因子的耦合关系，将数据驱动与机理驱动相结合，创新性地提出了基于离散曲率的设施环境与水肥单一/多因子协同调控方法，实现了生产资源利用率与蔬菜产量综合优化调控。

胡瑾、曹心怡、毛罕平、李焰峰、田世杰和孙章彤合作开展了多传感器融合的设施环境闭环调控系统、作物-环境-装备协同的设施生产智能服务系统等方面的应用，开发了温、光、水、气、肥等各类作物生境智能监测、调控装备，创新性地将广域气象信息与作物需求模型融合，建立了面向作物需求的设施农业环境高效决策系统，构建了作物-环境-装备耦合的设施生产智能服务平台，并完成了系统测试、验证与示范部署工作，参与产品试验与示范应用。

项目三十六

一、项目名称：农作物病害智能诊断与处方推荐关键技术及应用

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：农作物病害严重影响作物的产量及质量，进而威胁农业产业健康可持续发展。近年来人工智能、物联网、大语言模型等技术的飞速发展为农作物病害智能诊断及防治方法开拓了新思路。成果针对农业生产场景下病害诊断精度低、模型部署难度大以及防治处方推荐个性化程度低等产业问题，提出了空地协同一体化的病害诊断架构，构建了基于端云协同的病害模型优化部署方案，设计了知识驱动的病害防治处方推荐模型。该项目属于技术研发与应用研究，是人工智能技术赋能农业种植生产的新途径、新方法，也是智慧植保领域的学科前沿，具有重要的学术价值和实际应用价值。相关成果获得了地方标准、发明专利、软件著作权及学术论文等 20 项，达到了国内先进水平。项目成果已在陕西、河南、安徽等省份核心产区规模化示范应用，累计辐射耕地面积达 51.1 万亩，服务用户 7.1 万余人次，培训技术人员和新型职业农民 1.5 万余人次以上，为相关单位带来直接经济效益 8060 余万元，经济效益与社会效益实现双丰收，树立了行业标杆。取得了良好的经济和社会效益。综上，该项目技术先进、应用成熟、效益突出，提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介：

农作物病害对粮食安全与农产品品质构成严重威胁，亟需革命性防控技术。当前，我国农作物病害诊断防治面临检测精度不高、模型部署难度大、防治处方智能决策薄弱等核心瓶颈，导致生产效率不断下降、经济损失持续攀升。本项目针对上述核心技术挑战，紧扣“理论突破—技术创新—集成应用”战略主线，系统攻克农作物病害智能诊断与防治处方推荐关键技术，实现从理论到应用的全方位突破，提高农作物病害诊断自动化水平，提高生产效率、降低经济损失。

项目突破单一尺度、单一模态病害诊断方法的局限性，探究多源多尺度病害数据与病害发生之间的关联规律，创新研发出空地协同一体化病害智能诊断框架；探明病害诊断大模型的优化机制，提出端云协同的模型优化部署方案；研制农作物病害智能巡检机器人，提升病害自动化监测水平；全面构建面向多种关键农作物的病害防治知识图谱，设计基于知识驱动的病害防治处方推荐系统，揭示作物病害与防治处方之间的关联关系，构建病害防治决策系统与智能推荐服务，实现病害防治处方的精准化、智能化推荐；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，实现诊断精度与决策效率的双重飞跃。

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联合研发完成，显著提升了农作物病害诊断精度与效率，大幅增强诊断的自动化与智能化水平。成果应用与示范对推动信息技术与智慧农业、智慧植保的深度融合具有重大战略意义，

强力促进我省农业产业健康可持续发展，加速相关产业技术转型实现质的跨越。创新性成果如下：

1. 提出了空地协同一体化的病害智能诊断框架。面向多场景病害自动化、智能化诊断的迫切需求，系统探究了不同尺度下的病害智能诊断框架，针对不同尺度数据定制了适配性强的智能诊断模型；深入挖掘多源病害数据的互补机理，实现多源多模态病害特征的高效融合；发现多源病害特征与病害间的精准判别关系，设计高精度检测模型，实现空地协同一体化病害智能诊断，显著提升病害诊断精度与智能化水平。

2. 设计了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深度优化机制，设计面向云端高性能服务器的病害模型并行优化架构，实现病害诊断大模型的云端高效优化；针对边缘端设备算力与资源严重受限的痛点，创新性地提出组件协同设计的模型轻量化方法；研发面向边缘端设备的高效推理技术，实现边缘端设备的模型高效部署与推理，同时揭示云端与边缘端间模型协作机制，确保低延迟信息传输，大幅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。针对省内外主要农作物，系统性构建防治处方推荐知识图谱；基于大语言模型设计了知识嵌入框架，实现专业知识与人工智能技术的深度融合；研发面向不同农作物的病害防治处方推荐系统，以农业大数据平台为基石，为各级用户提供精准、动态、可操作的防治处方。

该成果目前已获批地区标准 1 项，授权发明专利 3 项，授权软件著作权 6 项，发表高水平论文 11 余篇，其中高被引论文 2 篇。项目成果已在陕西、河南、安徽等省份核心产区规模化示范应用，累计辐射耕地面积 51.1 万亩，服务用户 7.1 万余人次，培训技术人员和新型职业农民 1.5 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。根据应用证明统计，本项目为相关单位带来直接经济效益 8060 余万元，经济效益与社会效益实现双丰收，树立行业标杆。

四、客观评价：

（一）项目验收报告

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。

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。

（二）论文引用情况

在农作物病虫害智能诊断及防治关键技术方面，研究团队已经发表相关论文 11 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。

（三）新闻报道情况

1. 农业部种植业司司长潘文博一行赴杨凌调研智慧农业发展，现场观摩杨凌极飞智慧农业示范基地，并听取杨凌极飞田高斌总经理关于智慧农业项目平台的汇报，对公司为智慧植保领域做出的突出贡献表示了肯定和赞扬。



图 1 农业部种植业司司长潘文博在杨凌极飞现场考察

2. 原中央委员农村工作领导小组副组长袁纯清视察杨凌极飞展厅，并且与团队成员进行互动，对成员的创新精神点赞。



图 2 袁纯清副组长视察团队成果

五、应用情况：

项目建立了空地一体化智能病害诊断架构、基于端云协同的模型优化部署架构以及基于知识驱动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：

（一） 空地协同一体化智能病害诊断框架应用情况

杨凌极飞农业智能装备有限公司自 2020 年起，联合西北农林科技大学，将空地协同一体化智能病害诊断系统进行应用，将该病害诊断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，示范面积 7.81 万余亩，带来经济效益超 860 万元。

安徽智农时代信息科技有限公司自 2022 年成立起，就与西北农林科技大学开展合作，将空地协同的病害智能诊断系统进行示范应用推广，分别在辉腾农业发展有限公司、河南麦道农业服务有限公司以及柘城县鑫新粮油购销有限公司进行应用，面向大田作物进行作物病害智能诊断防治任务，累计服务农户及农业经营主体超 3 万人次，示范面积约 25 万亩，带来经济效益超 5200 万元。

（二） 基于端云协同的模型优化部署方案应用情况

杨凌葡园智人农业科技发展有限公司自成立以来，利用端云协同的模型优化部署方案开发智能巡检装备，并进行应用和推广。近年来相关技术和平台提供服务累计超 1000 人次，示范应用面积超 8000 亩次，相关技术产品及技术服务带来经济效益超 180 万元。

陕西御林稷飞生态科技有限公司通过利用相关技术成果，实现了病害智能检测算法在巡检无人机、田间机器人和边缘计算终端等设备上的部署应用。相关技术和设备已在农作物病

害监测、无人化巡检、精准植保和防治处方推荐等多个实际生产场景中开展示范应用，累计服务农业经营主体和种植户超 2.7 万人次，示范应用面积约 83700 亩，带动相关技术产品及服务经济效益超 620 万元。

陕西渭南绿盛农业科技有限责任公司通过转化应用相关技术成果，实现相关模型在智能农机装备的部署应用，并形成病害巡检机器人等一系列产品。近年来，相关技术装备和平台已累计服务农户及农业经营主体超 1.4 万人次，示范应用面积超 35800 亩次，带动技术产品及服务经济效益超 1200 万元。

（三） 基于知识驱动的农作物防治处方推荐系统应用情况

泾阳县蔬菜产业服务中心在泾阳县对该成果进行推广应用，在泾阳县建立了多元化的病害信息采集网络，并且开展了面向设施蔬菜的病害智能监测与预警技术的试点研究，取得了显著的应用效果。系统应用覆盖面积达 3000 余亩，培训农民 1500 余人，有效降低了作物病害带来的经济损失。

白水县将该成果应用于多个苹果园区，建立了果园病害信息采集网络和苹果病害智能监测预警系统，开展无人化巡检、病害智能诊断和防治处方推荐等服务应用。项目累计示范应用面积超 52400 余亩，提供病害监测预警与处方推荐服务 97985 次，培训果农、合作社成员和基层技术人员 13556 人次，有效提升了苹果病害早期发现、快速诊断和精准防控能力，减少产量与品质损失。

主要单位应用情况如表 1 所示。

表 1 主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用技术	应用规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	杨凌极飞农业智能装备有限公司	空地协同一体化病害智能诊断框架	78100 亩	2021-至今	周浩/18700024540
2	安徽智农时代信息科技有限公司	空地协同一体化病害智能诊断架构	250000 亩	2022-至今	张亮/18655102055
3	杨凌葡园智人信息科技有限公司	端云协同的模型优化部署方案	8000 亩	2024-至今	史源/19894535333
4	陕西御林稷飞生态科技有限公司	端云协同的模型优化部署方案	83700 亩	2021-至今	张美艳/13838570722
5	渭南绿盛农业科技有限责任公司	端云协同的模型优化部署方案	35800 亩	2021-至今	石宇锋/15829838886

6	泾阳县	基于知识驱动的农作物防治处方推荐系统	3000 亩	2021-至今	张万/13909108254
7	白水县	基于知识驱动的农作物防治处方推荐系统	52400 亩	2021-至今	王刚/15389628000

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	地方标准	智慧农业园区数据处理规范	杨凌示范区	DB 6111/T 197—2023	2023-5-27	杨凌示范区市场监督管理局	西北农林科技大学、陕西省农村科技开发中心、 杨凌耘尚田园网络科技有限公司、杨凌乾泰电子科技有限责任公司、杨凌现代农业产业标准化研究推广 服务中心	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
2	专利	一种基于深度学习的层级叶片病害检测方法和系统	中国	ZL 2023 10353202.3	2025-06-10	7990484	西北农林科技大学、陕西省农村科技开发中心	刘斌、杨佳慧、张海曦、刘运松、卫星、袁爱红
3	专利	一种基于卷积神经网络的苹果叶部病害诊断方法	中国	ZL 2022 10278313.8	2025-03-07	7779514	西北农林科技大学、陕西省农村科技开发中心	刘斌、张嘉琦、田靓靓、张海曦、袁爱红
4	专利	一种基于混合并行的深度卷积神经网络并行训练方法	中国	ZL 2022 10264342.9	2025-10-17	8365973	西北农林科技大学、陕西省农村科技开发中心	刘斌、胡琪琳、刘荣达、张海曦、袁爱红
5	软件著作权	智能物联网管理系统 V1.0	中国	2024SR1243884	2024-8-19	13647757	西北农林科技大学	刘斌、陈毅杰、冯伟

6	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
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	论文	GroPipe: A Grouped Pipeline Hybrid Parallel Method for Accelerating DCNNs Training	中国	2025.74(7):2487-2500	2025/5/5	IEEE Transactions on Computers	西北农林科技大学	刘斌、马永耀、胡子健、纪泽宇、何臻力、李克勤
9	论文	MEAN-SSD: A Novel Real-Time Detector for Apple Leaf Diseases Using Improved Light-weight Convolutional Neural Networks	中国	2021.189:106379	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
10	论文	MCDCNet: Multi-scale constrained deformable convolution network for apple leaf disease detection	中国	2024.222:109028	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

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	刘斌	人工智能系主任/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联规

				律，提出“空地”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。
2	冯浩	水土保持科学与工程学院党委书记/教授	西北农林科技大学	对本项目主要创新点中所列第 1 个创新点作出了创造性贡献。主要负责挖掘农作物病害的发生机理，以及病害早期呈现出的光谱特性分析，辅助设计“空-地”协同的病害智能诊断模型，实现早期农作物病害的精准、智能诊断。
3	卫星	部长/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；建立面向农业病害防治的本体库，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。
4	张宏鸣	副校长/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。主要负责研究基于深度学习的病害检测算法，研发病害实时监测与预警平台；构建一套适配不同数据体系类型的推荐服务体系，研发基于农业用户画像的信息个性化推荐系统，并设计农作物病害防治处方推荐系统。
5	张海曦	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；参与无人机红外与多光谱图像融合、农业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。
6	刘运松	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 1 个创新点做出了创造性贡献。主要负责研究生产环境下病害信息的采集，利用无人机等智能装备实现多源多尺度病害信息的自动化采集；辅助构建层级式病害智能诊断架构，针对基于无人机图像的病害区域定位任务开展研究并提供解决思路，辅 助构建面向叶冠尺度的粗粒度病害定位模型。
7	田高斌	总经理/无	杨凌极飞农业智能	对本项目主要创新点中所列第 2 个创

			装备有限公司	新点做出了创造性贡献。主要负责无人机及巡检机器人等智能装备的设计工作，并且辅助将智能诊断模型部署于移动端设备，从而实现自动化、智能化巡检。
8	纪泽宇	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。
9	冯伟	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。主要负责联邦学习、分布式计算与人工智能交叉领域，开展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；探索联邦学习在端云设备间信息传输过程中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，为端云协同架构设计提供支撑。
10	陈毅杰	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，助力实时病害诊断；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，为资源受限场景下病害智能诊断模型的高效部署提供解决方案。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	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。研制空地协同一体化协同的病害智能诊断技术，实现病害高精度智能诊断，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；研发知识驱动的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 11 篇，获批发明专利 3 项，软件著作权 6 项，制定地区标准 1 项。
2	陕西省农村科技开发中心	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申请发明专利 2 项，软件著作权 2 项，制定地方标准 1 项。
3	杨凌极飞农业智能装备有限公司	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与实施任务，确保设备在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。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	共同知识产权	刘斌 1、卫星 3、张宏鸣 4、张海曦 5、刘运松 6	2019 年 1 月 1 日至 2023 年 5 月 27 日	共同制定地区标准《智慧农业园区数据处理技术规范》	必备附件 1.1
2	共同知识产权	刘斌 1、卫星 3、张海曦 5、刘运松 6	2023 年 1 月 1 日-2025 年 6 月 10 日	共同发表发明专利《一种基于深度学习的层级叶片病害检测方法和系统》	必备附件 1.2
3	共同知识产权	刘斌 1、张海曦 5	2020 年 9 月 22 日至 2025 年 3 月 7 日	共同发表发明专利《一种基于卷积神经网络的苹果叶部病害诊断方法》	必备附件 1.3
4	共同立项	刘斌 1、冯浩 2	2021 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日	共同获批陕西省重点研发项目《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》	必备附件 1.4
5	共同知识产权	刘斌 1、张海曦 5	2020 年 9 月 22 日至 2025 年 10 月 17	共同发表发明专利《一种基于混合并行的深度卷	其他附件 2.1

			日	积神经网络并行训练方法》	
6	共同知识产权	刘斌 1、冯浩 2、卫星 3、张宏鸣 4、张海曦 5、刘运松 6、纪泽宇 8、冯伟 9、陈毅杰 10	2020 年 1 月 1 日至 2026 年 8 月 20 日	共同发表软件著作权《智能物联网管理系统 V1.0》	其他附件 2.2
7	共同知识产权	刘斌 1、冯浩 2、张宏鸣 4、张海曦 5、纪泽宇 8、冯伟 9、陈毅杰 10	2020 年 1 月 1 日至 2026 年 1 月 10 日	共同发表软件著作权《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》	其他附件 2.4
8	论文合著	刘斌 1、纪泽宇 8	2023 年 4 月 17 日至 2025 年 5 月 5 日	共同发表论文《GroPipe: A Grouped Pipeline Hybrid Parallel Method for Accelerating DCNNs Training》	其他附件 2.5
9	论文合著	刘斌 1、卫星 3、张海曦 5、纪泽宇 8	2021 年 5 月 17 日至 2024 年 5 月 8 日	共同发表论文《MCDCNet: Multi-scale constrained deformable convolution network for apple leaf disease detection》	其他附件 2.7
10	共同知识产权	刘斌 1、冯浩 2、卫星 3、张海曦 5、刘运松 6、纪泽宇 8	2021 年 1 月 1 日至 2023 年 10 月 10 日	共同发表软著《农业环境监控系统[简称农业监控系统]V1.0》	其他附件 2.8
11	论文合著	刘斌 1、卫星 3、张海曦 5、田高斌 7、陈毅杰 10	2022 年 1 月 1 日 2025 年 6 月 29 日	共同发表论文《A Pseudo-label Refinement	其他附件 2.18

				Method Based on Unified Local and Global Semantics for Semi-supervised Apple Leaf Disease Recognition》	
12	共同立项	刘斌 1、卫星 3、张海曦 5、刘运松 6、田高斌 7、纪泽宇	2024 年 1 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日	共同获批陕西省重点研发项目《主要粮食作物病虫害早期监测与预警平台研究与集成示范》	其他附件 2.19

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

本人与冯浩负责项目相关的设计、实施方案及任务分工落实。冯浩、卫星、张宏鸣、张海曦、刘运松、田高斌、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。

本人与冯浩、张宏鸣、张海曦、刘运松围绕空地协同一体化病害智能诊断合作开展研究工作。研发了集成多传感器的数据采集系统，可用于农业多源信息采集，基于深度学习搭建了空地协同一体化的病害智能诊断框架，研发了分别面向空、地尺度的病害诊断模型，实现层级式病害智能诊断，提高了病害自动化智能诊断性能。

本人与田高斌、纪泽宇、冯伟、陈毅杰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。

本人与卫星、张宏鸣、张海曦围绕知识驱动的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。

本人与张海曦、田高斌、纪泽宇、冯伟、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及相应巡检装备的部署应用，服务用户 7.1 万余人次，培训技术人员和新型职业农民 1.5 万余人次以上。

本人与卫星、刘运松、田高斌围绕病害智能诊断、示范推广等工作开展合作，在陕西省、河南省、安徽省等多个地区进行了示范应用推广，累计辐射耕地面积 51.1 万亩。

项目三十七

一、项目名称：葡萄生态化栽培与果实品质调控关键技术及应用

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：

葡萄是我国特色果业和农产品多样化供给的重要组成部分，也是陕西省特色优势产品种植、生产和加工产业。面向农业强国建设和农业绿色高质量发展的重大需求，我国葡萄产业对资源高效利用、生态环境友好、品质稳定形成和病害精准管理提出了更高要求。

该项目自 2001 年起在国内首次系统的研究了行间生草及其生态效应，结合葡萄不同生育阶段的生理需求和品质形成规律，逐步构建以生态过程调节为基础、以冠层环境优化为核心、以绿色病害防控为保障的葡萄园微环境调控生态化栽培技术体系，推动了生态化栽培技术由经验管理向技术规范应用转变，在陕西及新疆等重要葡萄产区开展应用推广，推动葡萄栽培向生态友好型转变，为我国葡萄产业绿色转型和高质量发展提供了重要技术支撑。

项目形成的相关论文、标准、软件及登记成果相互支撑，技术成果具有较强原创性、系统性和产业适用性，符合国家农业绿色发展和特色产业转型升级的战略需求。经审查，项目成果材料真实、完整，知识产权及标准规范权属清晰，主要科技创新具有较好的技术先进性和应用价值，符合陕西省科学技术进步奖授奖条件。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介：

本项目面向葡萄产业绿色高质量发展需求，以葡萄园微环境生态化调控为重要栽培手段，持续开展葡萄园行间生草与冠层微环境对果实品质形成作用的研究和葡萄园生态化栽培技术示范推广工作，形成葡萄园土壤管理、冠层环境优化、病害防控三位一体生态化调控技术成果：

（1）葡萄园土壤生态化管理技术。项目第一完成人于 2001 年起在我国首次开展葡萄园行间生草生态调控技术系统研究，揭示不同草种对土壤和冠层微环境的生态效应及其对葡萄品质形成的调控机制，形成以行间生草为核心的葡萄园土壤生态化管理技术，为葡萄园绿色生产提供理论和技术基础。

（2）葡萄冠层微环境精准调控技术。突破传统叶幕管理思路，系统研究生草对冠层微环境的影响、果际摘叶对糖分积累代谢及香气物质品质形成的影响，为果实品质定向调控提供技术依据，为果园光热资源高效利用提供支撑。

（3）葡萄病害预警与绿色防控技术。针对生态化栽培模式下葡萄园病害发生风险，开展流行病害模型分析、早期预测和绿色防控技术研究，形成病害监测预警模型一项、田间白粉病动态监测 app 一项指导生态化栽培管理、植物源药剂和菌剂使用，降低传统化学防治药剂使用频次和用量。

项目成果发表研究论文46篇、形成地方标准1项、国家发明专利1件、实用新型专利2件、计算机软件著作权1项、专著1项，登记成果3项，培养研究生18人，形成了微环境调控、品质形成、标准化应用的完整技术体系。技术成果在陕西、宁夏、云南、新疆、河南等葡萄主产区进行了示范应用，取得了良好 的经济、社会和生态效益，为我国葡萄产业绿色生产和品质提升提供了技术支撑，对推动特色果业向资源高效利用、生产方式绿色转型和品质效益协同提升方向发展具有积极作用。

四、客观评价：

项目依托国家自然基金、陕西省重点研发计划项目、宁夏回族自治区重点研发项目，在全国范围内首次系统开展葡萄园行间生草生态效应研究，从土壤生物学、养分和水分，到葡萄园微气候以及葡萄和葡萄酒品质，建立了较完整的研究体系。土壤生态化管理技术减少葡萄园地中耕的次数，促进循环经济发展，每亩节约成本60-100元。在生产中减少了肥料的使用量，每亩节约成本50元左右。在此基础上进一步向冠层结构、光热环境及品质形成机制拓展，使生态环境管理、树体管理和病害管理之间形成有机联系，从“研究生态效应”向“利用生态过程进行生产调节”转变。葡萄园行间生草项目于2007年12月22日通过教育部组织的成果鉴定，鉴定结果为国际先进水平。相关成果具有较好的科学研究基础和产业应用价值，知识产权成果涵盖土壤生态、生草管理、树体调节、光热环境和病害防控、智慧化管理等，同时转化为地方建园标准。项目技术体系在资源约束、绿色生产和品质稳定要求不断提高的背景下具有较好的应用前景。

总体而言，项目形成了以生态环境过程利用为基础、葡萄园微环境调节为主线、绿色病害防控为保障的技术体系，推动葡萄栽培管理理念由单纯追求产量和单项措施应用，向更加注重园区生态功能、环境协调和品质稳定的方向转变，对我国葡萄产业绿色转型具有积极意义。

五、应用情况：

依托24年的科学研究与积累，围绕葡萄园行间生草、土壤与水肥管理、冠层管理、葡萄园微环境调节及绿色病害防控等技术，在我国陕西、新疆、宁夏、河南等主要葡萄产区完成了示范应用和推广工作。技术应用坚持以农业绿色高质量发展需求为导向，根据葡萄生长发育和品质形成规律，形成土壤、叶幕生态化栽培方式的适应性应用，已在云南香格里拉酒业、新疆香海酒庄、陕西张裕长歌酒庄、宁夏观兰酒庄、河南李芳葡萄园、西安市灞桥绿青苑专业合作社等单位开展示范和应用。亩均增收500元以上，化肥、农药投入降低10%–15%，实现了节本增效。

在生态和社会效益方面，项目推广行间生草等生态化管理方式，可减少葡萄园频繁中耕，降低土壤扰动和水土流失风险，促进土壤生物多样性和土壤生态功能；通过冠层微环境管理，病害预测和绿色防控，促进葡萄病害防治由经验性、被动式防治向风险识别、提前干预和绿

色防控转变，减少减少劳动力的投入，节约成本，取得了良好的经济效益、社会效益和生态效益。

在葡萄产业可持续发展的前提下，进行科学的建园布局，发挥葡萄适宜种植区的生态优势，建立优质葡萄生产基地，形成《鲜食葡萄建园技术规范》，推动葡萄生产方式绿色转型，有效提升了葡萄产业的标准化、规范化水平，为乡村振兴和产业转型升级提供了有力的科技支撑。

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	葡萄园行间生草对赤霞珠干红葡萄酒质的影响	中国	37(10)：1527-1531	2004 年 10 月 20 日	中国农业科学	西北农林科技大学	惠竹梅，李华，刘延琳，房玉林.
2	论文	西北半干旱区葡萄园生草体系中土壤生物学特性与土壤养分的关系	中国	44(11):2310-2317	2011 年 6 月 1 日	中国农业科学	西北农林科技大学	惠竹梅，岳泰新，张瑾，程建梅，李华.
3	论文	行间生草对葡萄园土壤水分含量及贮水量变化的影响	中国	20(1):62-68	2011 年 2 月 20 日	草业学报	西北农林科技大学	惠竹梅，李华.周攀，岳泰新
4	论文	有机无机肥配施菌剂对葡萄园土壤、果实及葡萄酒品质的影响	中国	(1):129-140	2024 年 1 月 25 日	中国土壤与肥料	西北农林科技大学	张慧珍, 张齐, 高邦牢, 缪成鹏, 王群力, 惠竹梅, 王雪飞
5	论文	Effects of leaf removal on hexose accumulation and the expression of sugar unloading-related genes in Syrah grapes	中国	167, 108572	2021 年 9 月 20 日	Plant Physiology and Biochemistry	西北农林科技大学	王文、李丹丹、权桂荣、王雪飞、惠竹梅
6	论文	Effects of	中国	167,11	2023 年 3	Food	西北农林	尹海宁、

		ultraviolet and infrared radiation absence or presence on the aroma volatile compounds in wine grape during veraison		2662	月 9 日	Research International	科技大学	王琳、苏韩梅、梁艳英、季萍、王雪飞、惠竹梅
7	论文	Sustainable control of grapevine downy mildew: 24-epibrassonolide triggers distinct defense strategies in grapevine cultivars	中国	177(6):e70625	2025 年 11 月 5 日	Physiologia Plantarum	西北农林科技大学	吕桑、魏岚、栾雪涛、Numan Khan、王雪飞、惠竹梅
8	地方标准	鲜食葡萄建园技术规范	中国	DB 6111/T 224—2024	2024 年 12 月 10 日	杨凌示范区市场监督管理局	西北农林科技大学	孟江飞、许腾飞、张 鹏、王金锋、王雪飞、房玉林、张宗勤、惠竹梅、赵凯
9	计算机软件著作权	避雨葡萄栽培管理系统	中国	2025SR0233427	2025 年 2 月 10 日	软著登字第 14889625 号	西安市农业技术推广中心	董燕、张洪磊、张淑霞、郭璞、澎翔、王智永、孟巍
10	实用新型	一种果树修剪用新型消毒装置	中国	CN222265795U	2024 年 12 月 31 日	22253653	西安市农业技术推广中心	张淑霞、刘涛、关俊英、侯隽、李强、高洋、郝蕊平

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	惠竹梅	教授	西北农林科技大学	① 主持项目总体研究思路、技术方案设计，统筹土壤生态管理、光环境调控、果穗叶幕管理、病害绿色防控全套试验研究； ② 技术成果主要完成人，主持开展陕西、新疆、宁夏、云南、河南等产区技术示范与成果转化； ③ 投入工作量约占本人工作量的70%。 ④《发现、发明及创新点》第 1-3 点做出创造性贡献。
2	王雪飞	副教授	西北农林科技大学	① 协助项目研究，负责葡萄园土壤改良、病害防控、叶幕管理试验设计与数据分析； ② 技术成果主要完成人，协助开展陕西、新疆、宁夏、云南、河南等产区技术示范与成果转化； ③ 投入工作量约占本人工作量的70%。 ④《发现、发明及创新点》第 1-3 点做出创造性贡献。
3	孙权	教授	宁夏大学	① 开展葡萄园土壤养分高效利用、生草体系地力提升、生态碳汇相关研究和推广示范； ② 完善区域土壤生态改良技术参数，参与试验结果分析与技术体系优化； ③ 投入工作量约占本人工作量的60%。 ④《发现、发明及创新点》第 1 点做出创造性贡献。
4	张淑霞	研究员	西安市农业技术推广中心	① 开展西安市葡萄园新技术示范推广与技术效果评价； ② 参与栽培管理信息化软著研发，对接基层开展技术培训与应用验证； ③ 投入工作量约占本人工作量的60%。 ④《发现、发明及创新点》第 2 点做出创造性贡献。
5	王现行	副教授	西北农林科技大学	① 开展葡萄园微环境调控、白粉病绿色防控技术研究； ② 负责病害防控田间试验，优化绿色栽培技术体系； ③ 投入工作量约占本人工作量的50%。 ④《发现、发明及创新点》第 2、3 点做出创造性贡献。
6	谢沙	副教授	西北农林科技大学	① 开展葡萄叶幕管理、营养与类黄酮代谢研究；

				② 完善精细化栽培提质关键技术； ③ 投入工作量约占本人工作量的50%。 ④《发现、发明及创新点》第2点做出创造性贡献。
7	关俊英	高级农艺师	西安市灞桥区农业农村局	① 负责灞桥区示范基地叶幕和果穗管理技术落地、田间生产指导； ② 开展葡萄园示范地块日常管理、应用成效调研与数据收集； ③ 投入工作量约占本人工作量的50%。 ④《发现、发明及创新点》第2点做出创造性贡献。
8	孟江飞	教授	西北农林科技大学	① 开展生态栽培技术整合，主持地方标准《鲜食葡萄建园技术规范》编制； ② 完善葡萄园前期建园配套技术，补齐生态耕作前置技术链。 ③ 投入工作量约占本人工作量的50%。 ④《发现、发明及创新点》第2点做出创造性贡献。
9	刘旭	教授	西北农林科技大学	① 参与葡萄园生态耕作理论完善、栽培机理分析与试验方案论证； ② 协助开展研究成果梳理，提升整套技术体系科学性； ③ 投入工作量约占本人工作量的40%。 ④《发现、发明及创新点》第1点做出创造性贡献。
10	李超	副经理/高级工程师	陕西张裕长歌酒庄有限公司	① 负责酒庄示范基地新技术规模化生产应用与田间实施； ② 结合渭北产区生产条件开展栽培模式验证，提供产业应用数据； ③ 投入工作量约占本人工作量的40%。 ④《发现、发明及创新点》第2点做出创造性贡献。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	① 牵头组织项目立项申报，积极筹措科研经费，保障项目顺利实施； ② 统筹调配科研人员、试验场地、仪器设备等科研资源，为试验研究、样品检测、机理分析提供全面支撑； ③ 负责项目总体方案设计、试验开展、机理研究、成果凝练，开展关键技术创新； ④ 实施项目全过程管理，定期开展试验进展检查、技术研讨，及时协调解决研究难题； ⑤ 牵头论文发表、专著出版、地方标准编制、知识产权申报； ⑥ 协同各合作单位开展技术示范，统筹项目总结、材料整理与成果评价鉴定工作。

2	宁夏大学	① 参与项目论证，协同完善研究方案； ② 依托平台条件开展葡萄园土壤养分调控、生态碳汇相关基础试验与机理分析，丰富项目理论成果； ③ 配合开展试验数据交流与技术研讨，参与阶段性成果核查； ④ 协助开展技术体系优化论证，参与项目资料汇总、成果总结工作。
3	西安市农技推广中心	① 配合开展基层示范方案制定； ② 组织基层技术人员参与田间试验、示范监测； ③ 负责新技术区域示范布局、技术培训与推广宣传； ④ 开展示范效果跟踪调查，及时反馈生产应用问题； ⑤ 协助整理应用证明材料，支撑项目成果总结与验收鉴定。
4	西安市灞桥区农业农村局	① 协调落实葡萄园示范基地，保障田间试验、示范推广地块； ② 组织基层农技人员参与新技术田间实施、数据采集； ③ 在区域内开展生态栽培技术宣传、种植主体技术指导； ④ 跟踪记录示范基地土壤改良、葡萄提质等应用成效； ⑤ 协助收集示范应用佐证材料，配合项目成果总结。
5	陕西张裕长歌酒庄有限公司	① 提供规模化葡萄园试验示范基地、田间基础设施与生产用工条件； ② 按照技术方案组织田间示范实施，开展酿酒葡萄生态栽培新技术生产验证； ③ 记录新技术应用下园地、果实及原料品质相关生产数据； ④ 反馈生产实践中的技术适配问题，协助优化栽培管理工艺； ⑤ 提供产业应用证明，支撑项目推广成效总结与成果鉴定。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	产业合作	惠竹梅 1、王雪飞 2、张淑霞 4、关俊英 7	2020 年至今	西安市灞桥区酿酒葡萄品质提升配套技术试验与应用	应用证明
2	产业合作	惠竹梅 1、王雪飞 2、孙权 3、张淑霞 4、王现行 5、谢沙 6、关俊英 7、孟江飞 8、刘旭 9、李超 10	2023 年至今	葡萄园行间生草与果实品质调控技术研究与应用	应用证明
3	共同立项	惠竹梅 1、王雪飞 2、王现行 5	2022 年至 2023 年	酿酒葡萄避雨栽培提质增效关键技术集成与示范推广	项目合同
4	共同立项	惠竹梅 1、王雪飞 2、王现行 5	2023 年至 2024 年	酿酒葡萄化肥、农药安全使用和减量化施用节本增效技术研究与示范、避雨栽培下白粉病早期预测和绿色防控关键技术研究	项目合同
5	共同立项	王雪飞 2、孙权 3、王现行 5	2023 年至 2025 年	贺兰山东麓葡萄园可持续生态栽培土壤管理关键技术研究与示范	项目合同
6	共同参与制定标准	惠竹梅 1、王雪飞 2、孟江飞 8	2018 年至今	鲜食葡萄建园技术规范	地方标准

7	论文合著、共同立项	惠竹梅 1、王雪飞 2、王现行 5	2019 年至今	An AP2/ERF transcription factor VvERF63 positively regulates cold tolerance in Arabidopsis and grape leaves, 2023, 205, 105124. 酿酒葡萄化肥、农药安全使用和减量化施用节本增效技术研究与示范	论文、成果登记证明
8	论文合著	惠竹梅 1、谢沙 6	2015 年至今	Aromatic profiles of young wines from berries at different heights on grapevines. Food Science and Technology, 2015, 36, 248-258.	论文
9	论文合著	惠竹梅 1、刘旭 9	2013 年至今	调亏灌溉对酿酒葡萄生长及果实品质的影响.中国农业科学, 2013, 46(13):2730-3738.	论文

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

完成人围绕“葡萄品质调控与生态化栽培关键技术及应用”开展持续的合作研究、示范推广工作，在葡萄园土壤管理、生态调控、树体与果实品质形成、建园技术及产业应用等方面形成了较为稳定的合作关系。项目完成人之间通过共同开展产业技术试验、科研项目、标准制定及论文研究，形成了从基础研究、技术研发到标准化应用的协同创新机制。

第一完成人惠竹梅长期负责项目葡萄园生态化技术研究与产业合作，围绕葡萄品质形成和生态调控开展技术试验与应用。2020 年至今，与张淑霞等 7 人开展西安市灞桥区酿酒葡萄品质提升配套技术试验与应用，围绕产区生产实际开展技术集成与示范；与李超等 10 人开展葡萄园行间生草与果实品质调控技术研究与应用，重点推进葡萄园生态管理措施与果实品质形成的协同调控。

在科研项目合作方面，惠竹梅、王雪飞、王现行共同参与陕西省重点研发计划项目“酿酒葡萄避雨栽培提质增效关键技术集成与示范推广”、“避雨栽培下白粉病早期预测和绿色防控关键技术研究”、“酿酒葡萄化肥、农药安全使用和减量化施用节本增效技术研究与示范”；王雪飞、孙权、王现行共同参与宁夏回族自治区重点研发计划项目“贺兰山东麓葡萄园可持续生态栽培土壤管理关键技术研究与示范”。科研项目围绕葡萄园土壤生态管理、资源高效利用及品质形成开展研究，为本项目相关技术体系提供了科研和示范支撑。

在标准化应用方面，惠竹梅与王雪飞、孟江飞共同参与《鲜食葡萄建园技术规范》的制定，将葡萄生产技术研究成果向建园技术标准转化，推动相关技术由试验

研究向规范化生产应用延伸。

在基础研究方面，惠竹梅分别与王雪飞、王现行、谢沙、刘旭开展葡萄品质调控、土壤水分调控及葡萄品质形成等研究，形成论文成果、成果登记，为项目技术体系建立提供了理论和技术依据。

综上，项目完成人之间形成了以惠竹梅为核心，科研人员、产业技术人员和标准制定人员协同参与的合作模式，合作内容覆盖基础研究、技术研发、产业试验、标准制定和成果应用等环节，具有连续性和较强的产业合作基础。各完成人在相关技术研究和应用中承担了不同的研究与实施任务，共同支撑了本项目葡萄品质调控与生态化栽培关键技术的形成及应用。

项目三十八

一、项目名称：禽肉制品绿色加工高值化利用及质量安全控制技术创新与应用

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：项目聚焦禽肉制品绿色加工高值化利用，以及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、禽肉制品增值利用不足等问题，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、禽肉制品高值转化、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，为禽肉制品绿色加工、高值开发及安全生产提供了技术支撑。

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。（4）产品深加工不足、高值化利用程度低：目前国内禽肉制品多以初加工白条禽、分割鲜品等低端产品为主，产品品类单一、精深加工技术匮乏，资源利用率低，存在副产物浪费、产品附加值低、市场竞争力薄弱等问题，缺乏高效、绿色的禽肉高值转化技术体系，难以适配当下消费升级和产业提质增效的发展需求。

为解决上述问题，本项目聚焦禽肉制品绿色加工高值化利用，以及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、禽肉制品增值利用不足等问题，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、禽肉制品高值转化、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 738 万盒，销售额达 1.2 亿元，新增税前利润 820 万元，净利润 615 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 10.08 万吨，实现销售额 12.1 亿元，新增税前利润 1610 万元，净利润 1208 万元，经济效益显著。

（3）建立了多物理场辅助改性的禽肉制品绿色加工高值化利用技术体系。

针对禽肉精深加工薄弱、副产物利用率低、产品附加值不高及低盐肉制品品质不佳等行业痛点，项目联合陕西好邦食品股份有限公司、陕西蒲城好邦食品有限公司，依托超声、电子束辐照、糖基化改性等绿色加工技术，构建了适配企业规模化生产的禽肉制品绿色加工高值化利用技术体系。项目系统探明低聚糖糖基化对胶原蛋白结构、理化特性及凝胶功能的调控机制，显著提升畜禽副产物蛋白加工性能，实现禽肉副产物资源化高值利用；阐明电子束辐照改性畜禽胶原蛋白的分子机理，完善了蛋白绿色改性技术体系，为企业功能性禽肉产品

开发提供技术支撑。同时，从分子构象与水分迁移层面揭示超声协同大豆 11S 球蛋白的提质机制，有效优化低盐禽肉凝胶结构、改善保水性与质构，富集特征风味物质，大幅提升低盐禽制产品品质。相关绿色高值化加工技术已在合作企业落地应用，有效解决企业产品品类单一、副产物浪费、低端产品占比高、增值空间有限的生产难题，助力企业实现产品由初加工向精深高值加工转型，有效延伸产业链、提升产品附加值，取得了良好的产业应用效益。

（4）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。

（5）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 2023-2025 三年，累计新增销售收入 7.1 亿元，新增税前利润 5979 万元，新增税金 1762 万元，增收利润总额 4217 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）创新性构建多物理场辅助绿色改性技术体系，实现了禽肉副产物高值化资源化利用，有效提升了禽肉制品精深加工水平与产品附加值。（5）

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 7.1 亿元，新增税前利润 5979 万元，新增税金 1762 万元，增收利润总额 4217 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 10.08 万吨，销售额达 12.1 亿元，净利润为 1208 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 1370 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 2025 年销售收入达到 4.12 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、绿色加工高值化利用等核心研究方向，针对关键技术突破与质量安全控制体系构建形成的成果，已由项目主要完成人在《Food Hydrocolloids》、《Ultrasonics Sonochemistry》、《Food Research International》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。同时，项目依托研发主线完成全链条知识产权布局，围绕原料肉掺假快速判别、兽药残留检测前处理、禽肉加工清洁设备改良、屠宰加工智能管控等研发内容，形成系列发明专利、实用新型专利与计算机软件著作权，为技术产业化落地筑牢自主技术壁垒。依托长期产学研深度融合模式，整套技术体系先后应用于陕西好邦系列食品生产企业，贯穿禽肉原料验收、屠宰加工、保鲜储运、副产物精深加工全流程，搭建起完备的禽肉制品质量安全管控体系，优化冰鲜禽肉生产工艺、丰富产品结构、降低生产损耗，推动企业由传统初级屠宰加工向绿色化、智能化精深加工转型升级，科研转化成效与产业经济效益显著。

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、禽肉制品高值转化及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、副产物利用率低、产品附加值弱等技术瓶颈，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 3.77 亿元，新增税前利润 3035 万元，新增税金 894 万元，增收利润总额 2198 万元。陕西蒲城好邦食品有限公司累计新增销售收入 3.32 亿元，新增税前利润 2944 万元，新增税金 868 万元，增收利润总额 2019 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 1370 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、辐照和超声波等高值化加工技术、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（含副产物）高值加工、禽肉制品全流程质量控制	2023-2025	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	2023-2025	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	2023-2025	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	2023-2025	王小乐/13629202203
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	2023-2025	韩春元/13369179696

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	易清洁式绞肉机	中国	ZL 2025 1 0273501. 5	2025 年 06 月 10 日	7989380 号	西北农林科技大学；陕西好邦食品股份有限公司	韩金澄；丁武；韩春元
2	发明专利	一种复合净化填料、用于磺胺类药物检测的前处理方法	中国	ZL 2025 1 0279461. 5	2025 年 06 月 17 日	8009440 号	西北农林科技大学；陕西好邦食品股份有限公司	韩金澄；丁武；韩春元
3	计算机软件著作权	好邦肉鸡包装冷冻过程温度监控系统 V1.0	中国	2020SR0 282399	2019 年 9 月 10 日	5161095 号	陕西泾河好邦食品有限公司	韩春元；韩金澄；寇莉萍
4	计算机软件著作权	好邦肉鸡宰杀清洗智能控制软件 V1.0	中国	2020SR0 283698	2017 年 12 月 5 日	5162394 号	陕西泾河好邦食品有限公司	韩春元；韩金澄；寇莉萍
5	计算机软件著作权	剔骨机加工状态在线监测系统	中国	2021SR0 402004	2020 年 6 月 30 日	7124231 号	陕西蒲城好邦食品有限公司	韩春元；韩金澄；王小乐
6	计算机软件著作权	鸡肉成品切割加工工艺控制系统 V1.0	中国	2021SR0 393170	2018 年 7 月 16 日	7115397 号	陕西蒲城好邦食品有限公司	韩春元；韩金澄；王小乐
7	计算机软件著作权	兽用药品供应链采购服务系统 V1.0	中国	2021SR0 393043	2020 年 5 月 13 日	7115270 号	陕西蒲城好邦食品有限公司	韩春元；韩金澄；王小乐
8	实用新型专利	一种剔骨机	中国	ZL 2019 2 2377043. 2	2020 年 9 月 8 日	11425895 号	陕西泾河好邦食品有限公司	韩春元；雷军峰；钟铖
9	论文	Ultrasound-assisted dry-heating glycosylation with xylooligosaccharides: Enhancing the structural and functional properties of pig skin collagen	中国	10.1016/j.foodhyd.2025.112288	2025 年 11 月 22 日	Food Hydrocolloids	西北农林科技大学	蒋圣启；李琳；聂泓清；韩金澄；白荣；杨春杰；叶翔；王思滢；韩惠宇；席静；丁武*
10	论文	Modification of sheep hoof	中国	10.1016/j.foodhyd.	2025 年 10 月 1	Food Hydrocol	西北农林科技大学	韩惠宇；席静；蔚江涛；李琳，

		collagen by electron beam irradiation: Mechanistic insights into its effects on physicochemical and functional properties based on molecular structural analyses		2025.112068	日	loids		蒋圣启；白荣；叶翔；王思滢；聂泓清；王格格；丁武*

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	丁武	教授	西北农林科技大学	（1）负责项目申报、立项和结题工作； （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； （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； （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； （5）主持完成禽肉制品绿色加工高值化利用技术研究； （6）主持完成相关冰鲜、调理制品及熟食制品产品开发研究； （7）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，发明专利 3 项。
2	寇莉萍	副教授	西北农林科技大学	（1）负责项目申报、立项、结题； （2）负责相关产品开发和生产技术指导； （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； （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； （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； （6）协助完成禽肉制品绿色加工高值化利用技术研究； （7）协助完成相关冰鲜、盒装、调理制品产品开发研究； （8）参与相关国家自然基金 2 项，陕西省科技计划项目 2 项。
3	席静	无	西北农林科技大学	（1）负责相关产品开发和技术指导； （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； （3）协助完成禽肉制品纳米、绿色抑（杀）菌保鲜技术研究； （4）协助完成辐照、超声波等绿色高值化加工技术研究； （5）协助完成相关冰鲜、盒装、调理制品产品开发研究。
4	韩金澄	技术经理	陕西好邦食品股份有限公司	（1）协助完成项目申报、立项和结题工作； （2）协助完成相关产品开发和生产技术指导； （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； （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； （5）发明专利 2 项。
5	蒋圣启	讲师	南阳理工学院/西北农林科技大学	（1）协助完成项目申报、立项、结题。 （2）负责相关产品开发和生产技术指导； （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； （4）协助完成辐照、超声波等绿色高值化加工技术研究。
6	白荣	无	陕西开放大学/西北农林科技大学	（1）协助完成项目申报、立项、结题； （2）负责相关产品开发和生产技术指导； （3）协助完成辐照、超声波等绿色高值化加工技术研究。
7	韩春元	董事长	陕西好邦食品股份有限公司	将产学研紧密结合，负责该项目主要创新工作的成果应用和推广等工作，申请发明专利 2 项，实用新型专利 3 项。
8	王小乐	人事行政部经理	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产品技术推广等工作。
9	韩惠宇	无	河南安井食品有限公司/西北农林科技大学	（1）协助完成项目申报、立项、结题； （2）协助完成辐照、超声波等绿色高值化加工技术研究。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	负责该项目主要创新工作的开发
2	陕西好邦食品股份有限公司	将产学研紧密结合，负责该项目主要创新工作的成果应用和推广等工作。
3	陕西蒲城好邦食品有限公司	将产学研紧密结合，负责该项目主要创新工作的成果应用和推广等工作。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	共同获奖	丁武/1 寇莉萍/2 韩春元/7	2020 年	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	获奖证书

2	共同研发	丁武/1 席静/3 韩金澄/4 蒋圣启/5 白荣/6 韩惠宇/9	2021 年-2025 年	论文	论文
3	产业合作	丁武/1 寇莉萍/2 席静/3 韩金澄/4 蒋圣启/5 白荣/6 韩春元/7 王小乐/8 韩惠宇/9	2018 年-2025 年	专利、计算机软件著作权、成果应用及推广	成果应用、推广及产品

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

韩春元和韩金澄分别作为陕西好邦食品股份有限公司的董事长和技术经理，联合陕西蒲城好邦食品有限公司，依托西北农林科技大学，通过产学研紧密结合，共同研发及推广禽肉安全控制加工与保鲜技术，研发生产各种鸡肉产品 100 余种，其中主营鸡肉冰鲜品，盒装锁鲜产品，调理制品及熟食等系列。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 2 项发明专利、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。近 3 年，公司累计新增销售收入 3.77 亿元，新增税前利润 3035 万元，新增税金 894 万元，增收利润总额 2198 万元。

王小乐作为陕西蒲城好邦食品有限公司的相关负责人，通过与西北农林科技大学及陕西好邦食品股份有限公司紧密合作，推广应用相关技术。在本公司生产各种鸡肉产品 100 余种，其中新增鸡肉冰鲜品系列，精品小包装系列。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。近三年累计新增销售收入 3.32 亿元，新增税前利润 2944 万元，新增税金 868 万元，增收利润总额 2019 万元。

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及质量安全控制团队的负责人和骨干教师，带领团队成员席静、蒋圣启、白荣、韩惠宇与陕西好邦食品股份有限公司、陕西蒲城好邦食品有限公司紧密合作，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）菌和新型智能包装保鲜技术研究，完成禽肉制品绿色高值化加工利用技术研究，完成相关冰鲜、盒装、调理制品以及熟食等产品的开发研究。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，相关的项目成果、应用推广和生产技术指导已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应用进行，并取得良好经济效益。

项目三十九

一、项目名称：黄河中游退化草地近自然修复关键技术及应用

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：项目针对黄河中游地区退化草地修复过程中存在的修复技术单一、成效不稳定、可持续性不足、技术落地难等瓶颈问题，以近自然修复为核心理念，通过遥感解译、调查采样、实地验证和模型模拟等方法，揭示了退化草地恢复演替规律及其稳定性维持机理，明确了草地生态服务功能的权衡关系及其恢复潜力，创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术，研发了草地生态功能协同提升的近自然修复技术体系，构建了草地适应性管理与生态产品价值实现路径模式，通过试验示范形成技术标准并进行大面积推广，为黄河中游退化草地修复提供了新理念、新方法、新途径和新标准，取得了较大的经济、社会及生态效益，有广阔的应用前景。项目实施以来在陕西省科学技术厅登记成果 1 项，在国家林业和草原局登记成果 2 项，获地方标准 3 项，出版专著 3 部，授权国家发明专利 4 件，授权实用新型专利 18 件，登记软件著作权 11 项，发表学术论文 126 篇，其中 SCI 论文 81 篇，培养研究生 39 名，部分技术成果得到《陕西日报》报道，提交建议案 3 件并得到采纳，全国人大主要领导视察核心示范区。相关技术模式应用推广 56 万亩，新增经济效益 1.29 亿元，得到了当地林草主管部门认可，对服务于黄河流域生态保护和高质量发展国家战略具有重要的现实意义。

该项目成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，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技进步奖二等奖。

三、项目简介：

黄河中游地区是我国典型的生态脆弱区和水土保持关键区域，也是国家“三区四带”生态安全屏障的重要组成部分。草地作为黄河中游地区最主要的生态系统类型，不仅是农牧业发展的物质基础，也是生态文明建设的关键抓手。长期以来，受气候变化和人为活动的双重影响，黄河中游地区草地退化问题严重，水土流失加剧，生态系统功能衰退，直接威胁黄河流域生态安全和高质量发展。长期以来，该区域退化草地修复多以水土保持单一功能为目标，存在修复技术单一、成效不稳定、可持续性不足、技术落地难等瓶颈问题。为此，项目团队自 2016 年起，在国家自然科学基金（42007428）、陕西省重点研发计划（2022SF-285、2022SF-398）、陕西省林业科技创新计划专项（SXLK2022-02-14、SXLK2020-0204）等 6 项课题持续支持下，以近自然修复为核心理念，以草地生态和生产功能协同提升为目标，历经 10 年产学研联合攻关，遵循“理论机理—诊断决策—核心技术—价值实现”全链条递进与闭环逻辑，系统构建了适配黄河中游地区退化草地低成本、可复制、易推广的近自然修复技术体系，取得了显著社会经济生态效益，为黄河中游及类似地区退化草地精准修复、生态功能提升和生态产品价值转化提供了技术支持，同时为黄河流域生态保护与高质量发展提供了科技支撑和示范模式。取得如下重要科学发现：

1. 揭示了退化草地恢复演替规律及其稳定性维持机理

采用系统聚类法结合 DCA 数量排序，明确了黄河中游退化草地自然恢复的演替 6 个阶段，解析了草地恢复过程中植物群落内部各物种种间互补关系与生态位分化特征，厘清了草地恢复过程中水土资源时空分异规律，阐明了退化草地植被-土壤-微生物协同恢复效应，揭示了草地恢复过程中稳定性维持机理。

2. 明确了草地生态服务功能的权衡关系及其恢复潜力

构建了黄河中游草地生态系统服务功能评估体系和评估方法，明确了草地恢复过程中关键生态服务功能的演变趋势以及空间差异性，阐明了草地生态系统服务功能的热点区域及权衡协同关系，解析了草地关键生态系统服务功能的演变过程和驱动机制，预测了未来气候变化和人类活动情景下草地生态系统服务功能的恢复潜力。

3. 创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术

基于黄河中游多样点长期定位监测与多源遥感反演数据，揭示了区域退化草地恢复演替阈值，提出以“植被-土壤-种子库”三维指标为核心的退化程度分级指标体系与评价模型，识别出自然恢复、辅助再生、生态重建三类修复情景阈值，研发了黄河中游退化草地修复决策支持系统，解决了以往修复措施一刀切、投入产出比低等问题。

4. 研发了草地生态功能协同提升的近自然修复技术体系

系统评价了区域 300 余份乡土草种质资源，筛选出一批适应黄河中游生境的优良乡土草种和先锋物种，创建了多物种、多层次的近自然植物群落配置模式，研发了免耕补播、土壤改良、种子包衣、微生物菌剂、灌枝覆盖、微地形集雨、水肥调控等配套技术，形成了适用于不同立地条件和不同退化程度草地的近自然修复技术体系，实现了退化草地生态功能的快速恢复与可持续维持。

5. 构建了草地适应性管理与生态产品价值实现路径模式

建立了修复草地“天空地一体化”监测与预警平台，实时掌握修复草地植被长势、土壤墒情、载畜压力等关键指标，明确了不同修复草地划区轮牧、季节性休牧、留茬刈割、草光互补等适应性利用制度和技术参数，构建了基于草畜平衡的黄河中游修复草地适应性管理和适度利用模式；探索创建了"生态修复+特色产业"融合发展路径，通过发展生态草牧业、草种业、草地碳汇、草光互补等多元化经营模式，构建了黄河中游修复草地生态产品价值实现路径和技术模式，实现了生态修复成果的长效维持与价值转化。

项目实施以来在陕西省科学技术厅登记成果 1 项，在国家林业和草原局登记成果 2 项，获地方标准 3 项，出版专著 3 部，授权国家发明专利 4 件，授权实用新型专利 18 件，登记软件著作权 11 项，发表学术论文 126 篇，其中 SCI 论文 81 篇，培养研究生 39 名，部分技术成果得到《陕西日报》报道，提交建议案 3 件并得到采纳，全国人大主要领导视察核心示范区。相关乡土草种收集、免耕补播、土壤改良、种子包衣、微生物菌剂、灌枝覆盖、微地形集雨

等草地近自然修复技术应用推广 56 万亩，新增经济效益 1.29 亿元，得到了当地林草主管部门认可，有效促进了区域生态保护与草畜产业高质量发展。

四、客观评价：

项目以近自然修复为核心理念，遵循“理论机理—诊断决策—核心技术—价值实现”的思路，形成了黄河中游退化草地近自然修复关键技术体系并进行了推广应用，项目实施以来在陕西省科学技术厅登记成果 1 项，在国家林业和草原局登记成果 2 项，获地方标准 3 项，出版专著 3 部，授权国家发明专利 4 件，授权实用新型专利 18 件，登记软件著作权 11 项，发表学术论文 126 篇，培养研究生 39 名，提交建议案 3 件并得到采纳，部分技术成果得到《陕西日报》报道，全国人大主要领导视察核心示范区。相关乡土草种收集、免耕补播、土壤改良、种子包衣、微生物菌剂、灌枝覆盖、微地形集雨等草地近自然修复技术应用推广 56 万亩，新增经济效益 1.29 亿元，有效促进了区域生态保护与草畜产业高质量发展，对服务于黄河流域生态保护和高质量发展国家战略具有重要的现实意义。

2024 年 1 月 12 日，国家自然基金委依照基金委相关规定对国际爱自然科学基金项目“黄土高原恢复草地土壤团聚体氮转化及功能微生物对 N_2O 排放的协调机制”（项目编号：42007428）进行验收审核，项目发表论文 7 篇，准予项目结题。该结题项目取得的科学研究进展入选 2024 年度国家自然科学基金环境地球科学学科项目结题优秀成果。（刘羽, 吴志军, 蒲晓, 闵祥宇, 盛安旭, 李紫燕, 蔡延江, 余震, 张建军. 2024 年度环境地球科学学科项目评审与结题成果分析. 地球科学进展, 2024, 39（10）: 1060-1073.）

2026 年 1 月 8 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“黄河中游（陕西段）退化草地近自然恢复机理与技术途径（项目编号：2022SF-285）”进行了验收。验收委员会审阅了项目组提交的有关资料，经讨论后，认为该项目研究了黄河中游（陕西段）退化草地近自然恢复机理与技术途径，阐明了该区域草地稳定性维持机理与恢复制约因子，构建了草地近自然恢复模式，提出了不同区域草地恢复模式的动态调控方案和合理利用模式。

2024 年 6 月 3 日，陕西省科技厅组织有关专家对陕西省林业科学院承担的陕西省科技计划项自“陕北风沙草滩区退化草地补播修复及生产力提升技术研究（项目编号：2022SF-398）”进行了验收。验收委员会审阅了项目组提交的有关资料，经讨论后，认为本项目通过调查陕北风沙草滩区退化典型草地植被生长情况，摸清并评估不同立地条件草地质量差异，通过开展人工种草补播试验，探讨不同草种组合补播处里对退化草地群落物种组成、生物多样性和群落生产力的影响，研究了施肥对退化草地群落物种组成、生物多样性和群落生产力的影响。

2025 年 7 月 30 日，陕西省林业科学院组织专家在西安对西北农林科技大学承担的陕西林业科技创新专项项目“陕北长城沿线退化草地近自然恢复技术及质量提升关键技术研究与示范”（项目编号：SXLK2022-02-14）进行结题验收。专家组通过听取汇报、审阅资料、质询讨论后，认为该项目科学评估了不同区域草地资源状况，阐明了陕北地区草原稳定性维持机

理与质量提升制约因子，确定了陕北长城沿线地区最优草地状态，形成了陕北长城沿线退化草地近自然恢复技术，构建了陕北地区草原质量精准提升技术体系和提升模式，建立了陕北地区草原质量精准提升示范区，面积 1000 亩。

2023 年 6 月 16 日，陕西省林业科学院组织有关专家在西安对西北农林科技大学承担的 2020 年度陕西林业科技创新专项项目“黄河中游退化草地恢复与利用模式研究”（项目编号：SXLK2020-0204）进行了验收。专家组通过听取汇报，审阅资料，质询答疑和充分讨论后，认为该项目针对黄河中游退化草地开展了补播技术、水肥耦合技术、盐碱治理技术、草地收获技术、草地草产品加工利用技术研发以及草地生态和生产效益评价，形成了黄河中游退化草地恢复与利用模式 1 套。建立了 1500 亩示范基地 1 个，恢复后草地干草产量达 650 kg/亩以上，形成草地补播技术规范（企业）2 套；项目所形成的相关恢复与利用技术、模式及标准规范，为开展黄河流域草地生态系统保护、治理提供了科学方案；提交榆林市沙地首蓿建植技术及优质饲草发展战略的政策建议被榆林市榆阳区林业局采纳。

2022 年 9 月 20 日，陕西省林业科学院组织专家在西安对《陕西省草原综合监测评价项目》进行了验收。专家组听取了项目工作汇报，审阅了相关材料，经质询和讨论后，认为通过项目实施，完成了陕西省草原综合监测评价基础数据库，编制了全省及各地市草原资源分布等专题图件，形成了陕西省草原综合监测评价技术成果报告。

2022 年 11 月 10 日，陕西省林学会组织有关专家，对陕西省林业科学院主持完成的“陕西省草地资源综合监测与生态安全评价”成果进行了科技评价。专家组送过审阅资料、听取汇报和质询答疑后，认为该项目运用生态因子与遥感变量综合方法判别草原类型，首次全面系统开展了陕西草地本底调查，摸清了陕西省草地资源现状，构建了陕西省草地资源数据库，编制出陕西省及各市草地资源分布图、草原类型分布图、草原产草量分布图、草地退化分布图等专题图，形成了陕西草地资源“一张图”。采用 PSR 模型，基于熔权法和物元模型法，从白然、经济和社会等方面筛选 12 个评价指标，研究构建了陕西农牧交错带草地生态安全评价指标体系，定量评价了陕西农牧交错带草地生态功能及生态安全等级。集成创新了“豆禾混播、种肥同施、以肥促草、以草压碱”的盐碱化草地快速恢复模式，草地地上生物量增加 130%，植被覆量率提高 25%，修复效果显著。综上，该成果创新点突出，为陕西草地保护与修复提供了重要的基础资料和决策依据，总体技术水平居国内领先。

五、应用情况：

本项目针对黄河中游退化草地近自然修复开展了理论研究、技术研发和推广应用，项目研发的技术方法和技术标准已成功推广应用于陕西、内蒙古、宁夏等 5 省 12 个县（旗），被当地行业部门和企事业单位应用于生产实践，实践证明相关技术模式显著提高了区域退化草地覆盖度、生产力和多样性，减少了水土流失，增加了生态系统多功能性和稳定性，提升了区域草地质量和生态价值，得到了当地林草主管部门认可。近年来，累计修复退化草地 56 万亩，建立核心示范区 5 处、共计 10 万亩，新增产值 6.72 亿元、新增经济效益 1.29 亿元，生

态、经济与社会效益显著，为黄河中游地区草地生态修复提供了重要的理论依据和技术支撑，对服务于区域农牧民增收、乡村振兴和推进黄河流域生态保护与高质量发展具有重要的现实意义。

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	一种毛乌素沙地的补播治理方法和系统	中国	ZL 2024 1 0343533.3	2025.09.26	8305814	西北农林科技大学	张伟、郑芳欣、张志新、刘洋洋、郝洪剑、杨培志
2	地方标准	盐碱化草地生态修复技术规范	中国	DB61/T 2081-2025	2025.07.24	DB61/T 2081-2025	陕西省林业科学院、西北农林科技大学、榆林学院	李军保、谢治国、吴爱姣、俞靓、杨波、张伟、杨培志、徐伟洲、李霓雯、郜超、李联队、马志林、高娅妮、孙瑞鑫、武哲、雷秀云、白丹华、李彩虹、刘艳什、张耀红、薛纬国、马存平、杨磊、付广军
3	发明专利	一种水土保持环保土壤改良剂及应用	中国	ZL 2023 1 1216602.6	2024.07.19	7214229	西北农林科技大学	张志新、陈文青、秦涛、樊妙春、张伟、刘洋洋
4	发明专利	一种用于干旱半干旱区灌草地退化诊断与补播修复的方法	中国	ZL 2023 1 0220950.4	2024.07.16	7197136	宁夏大学	李志刚、王红梅、彭文栋、李建平
5	地方标准	河流湿地修复技术规范	中国	DB61/T 1841-2024	2024.07.02	DB61/T 1841-2024	陕西省林业科学院、陕西省林业调查规划院（陕西省森林资源监测中心）、陕西黄河湿地省级自然保护区管理处、合阳县黄	谢治国、李联队、于军胜、俞靓、高娅妮、吴爱姣、杨波、李军保、何冰、王华强、雷秀云、孙瑞鑫、刘艳什、姚遥、邓小明、乔千民、卢爱刚、王志平、张璐、田晓征

							河湿地保护中心、陕西千渭之会国家湿地公园管理处。	
6	地方标准	科尔沁沙地玉米秸秆覆盖还田防蚀生产技术规程	中国	DB15/T 4229-2025	2025.10.30	DB15/T 4229-2025	内蒙古民族大学、西北农林科技大学、内蒙古草业技术创新中心有限公司、蒙草生态环境(集团)股份有限公司、通辽市林业和草原局、扎鲁特旗林业和草原局、通辽市农牧业发展中心、科尔沁左翼后旗林业和草原局、通辽市林业和草原科学研究所、通辽市农牧业科学院	高凯、张志新、刘敏国、陈翔、张伟、陈文青、刘洋洋、张健、安海波、于铁峰、李涛、王亚东、吴迪、荆莹、高昊丹、高权波、马俊岭、李喜喜、王龙、朱鹏飞、王岩、丰洁、刘庆岩、丛百明、刘殿鹏、丛龙丽、张恩天
7	实用新型专利	一种用于草原修复的草籽喷播装置	中国	ZL 2022 2 3324398.3	2023.04.11	18836413	陕西省林业科学院	李军保、俞靓、谢治国、李联队、杨波、马志林、雷秀云
8	实用新型专利	土壤采集装置	中国	ZL 2023 2 1510180.9	2023.12.22	16181698	陕西省林业科学院	杨波、吴爱姣、俞靓、雷秀云、孙瑞鑫、高娅妮、谢治国、李联队、李军保、马志林、程敏、李彩虹、曹佩佩
9	实用新型专利	一种背负式草籽播种装置	中国	ZL 2022 2 3326563.9	2023.08.25	19564695	陕西省林业科学院	李军保、俞靓、马志林、董强、谢治国、杨波、李联队、吴爱姣
10	软件著作权	基于土壤水可持续的植被配置模式优化软件	中国	2024SR1200820	2024.08.19	13604693	西北农林科技大学	刘洋洋、温仲明、王子君、张伟、张志新

		V1.0						

七、主要完成人情况

排名	姓名	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
1	张　伟	无/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 1-5 项做出创造性贡献，揭示了退化草地恢复演替规律及其稳定性维持机理，明确了草地生态服务功能的权衡关系及其恢复潜力，创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术，研发了草地生态功能协同提升的近自然修复技术体系，构建了草地适应性管理与生态产品价值实现路径模式。是主要知识产权 1、2、3、6、10 的主要完成人。
2	谢治国	所长/正高级工程师	陕西省林业科学院/陕西省林业科学院	与第一完成人共同完成了项目主要科学发现第 3-5 项内容，创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术，研发了草地生态功能协同提升的近自然修复技术体系，构建了草地适应性管理与生态产品价值实现路径模式，通过试验示范形成技术标准并进行大面积推广。主要知识产权 2、5、7、8、9 的主要完成人。
3	李军保	副所长/高级工程师	陕西省林业科学院/陕西省林业科学院	与第一完成人共同完成了项目主要科学发现第 3-5 项内容，创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术，研发了草地生态功能协同提升的近自然修复技术体系，构建了草地适应性管理与生态产品价值实现路径模式，通过试验示范形成技术标准并进行大面积推广。主要知识产权 2、5、7、8、9 的主要完成人。
4	李建平	系主任/教授	宁夏大学/宁夏大学	与第一完成人共同完成了项目主要科学发现第 2-4 项内容，明确了草地生态服务功能的权衡关系及其恢复潜力，创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术，研发了草地生态功能协同提升的近自然修复技术体系。主要知识产权 4 的主要完成人。

5	张志新	无/副教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	与第一完成人共同完成了项目主要科学发现第 1-4 项内容，揭示了退化草地恢复演替规律及其稳定性维持机理，明确了草地生态服务功能的权衡关系及其恢复潜力，创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术，研发了草地生态功能协同提升的近自然修复技术体系。主要知识产权 1、3、6、10 的主要完成人。
6	李志刚	无/教授	宁夏大学/宁夏大学	与第一完成人共同完成了项目主要科学发现第 3-4 项内容，创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术，研发了草地生态功能协同提升的近自然修复技术体系。主要知识产权 4 的主要完成人。
7	刘洋洋	无/副教授	西北农林科技大学/西北农林科技大学	与第一完成人共同完成了项目主要科学发现第 1-3 项内容，揭示了退化草地恢复演替规律及其稳定性维持机理，明确了草地生态服务功能的权衡关系及其恢复潜力，创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术。主要知识产权 1、3、6、10 的主要完成人。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	西北农林科技大学作为项目第一完成单位，负责项目总体方案制定、技术内容分析、可行性研究、技术路线确定、立项申请申报和资金争取等；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。
2	陕西省林业科学院	陕西省林业科学院作为项目第二完成单位，协助开展了理论研究、技术研发和示范推广等方面工作。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。
3	宁夏大学	宁夏大学作为项目第三完成单位，协助开展了技术研发、成果凝练和示范推广等方面工作，在该项目的技术集成、示范推广过程中提供人员、物力及服务条件支持，对该项目在宁夏地区的实施和推广起到了全面统筹与协调、组织与实施。

九、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	共同参与制定标准规范	张伟/1、谢治国/2、李军保/3	2016-2025	盐碱化草地生态修复技术规范	标准原件
2	论文合著	张伟/1、谢治国/2	2024-2025	Assembly processes of rare and abundant taxa are closely related to the bacterial and fungal functionality during desert vegetation reestablishment; The CAZyme family regulates the changes in soil organic carbon composition during vegetation restoration in the Mu Us desert; Dynamics of SOC density and driving factors during the restoration of artificial grassland and abandoned farmland in Mu Us Desert, China.	论文原件
3	共同知识产权	张伟/1、张志新/5、刘洋洋/7	2019-2025	一种毛乌素沙地的补播治理方法和系统；一种水土保持环保土壤改良剂及应用；基于土壤水可持续的植被配置模式优化软件 V1.0	知识产权原件
4	论文合著	张伟/1、张志新/5、刘洋洋/7	2019-2025	Discriminating the impacts of vegetation greening and climate change on the changes in evapotranspiration and transpiration fraction over the Yellow River Basin; Impact of organic carbon composition on bacterial taxa assembly upon phosphorus addition in organic and mineral soil layers of a Robinia pseudoaccacia plantation；Spatiotemporal Dynamics of Global Surface and Rootzone Soil Moisture: A Comprehensive Assessment from Dominant Factors, Impact Pathways, and Deficit Probability	论文原件
5	论文合著	张伟/1、刘洋洋/7	2019-2025	Soil labile organic carbon and nitrate nitrogen are the main factors driving carbon-fixing pathways during vegetation restoration in the Loess	论文原件

				Plateau, China.	
6	共同立项	张伟/1、李建平/4、张志新/5、李志刚/6	2025-2025	宁夏荒漠草原生态系统近自然修复和生态质量综合提升技术研究	项目申请书
7	共同知识产权	李建平/4、李志刚/6	2016-2025	一种用于干旱半干旱区灌草地退化诊断与补播修复的方法	知识产权原件
8	论文合著	李建平/4、李志刚/6	2016-2025	The impacts of shrub branch shelter and nitrogen addition on soil microbial activity and plant litter decomposition in a desert steppe	论文原件
9	论文合著	张志新/5、刘洋洋/7	2019-2025	Diverse responses of grassland dynamics to climatic and anthropogenic factors across the different time scale in China	论文原件
10	共同知识产权	谢治国/2、李军保/3	2016-2025	一种蓄草青贮饲料预处理装置；一种用于草原修复的草籽喷播装置；土壤采集装置；一种背负式草籽播种装置	知识产权原件
11	共同立项	张伟/1、谢治国/2、李军保/3、张志新/5、刘洋洋/7	2022.10-2025.10	陕北长城沿线退化草地近自然恢复技术及质量提升关键技术研究与示范	项目申请书
12	产业合作	谢治国/2、李军保/3、李建平/4、李志刚/6	2022.01-.2024.12	毛乌素沙地南缘退化草地补播技术	应用证明
13	产业合作	张伟/1、李建平/4、李志刚/6、刘洋洋/7	2022.01-.2025.12	北方退化草地智能化调查与监测技术	应用证明

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

本项目涉及的 7 位完成人来自西北农林科技大学、陕西省林业科学院和宁夏大学。在项目设计、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，确定了最终完成人员名单及排序。主要合作关系介绍如下：

第 1 完成人张伟教授与第 2 完成人谢治国正高级工程师、第 3 完成人李军保高级工程师、第 5 完成人张志新副教授、第 7 完成人刘洋洋副教授，共同开展项目的研究工作，合作完成了主要科学发现第 3、4、5 项内容，创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术，研发了草地生态功能协同提升的近自然修复技术体系，构建了草地适应性管理与生态产品价值实现路径模式，通过试验示范形成技术标准并进行大面积推广。共同立项、发表论文、参与制定标准规范和获得知识产权。

第 1 完成人张伟教授与第 4 完成人李建平教授、第 5 完成人张志新副教授、第 6 完成人李志刚教授、第 7 完成人刘洋洋副教授长期开展合作，共同开展项目的研究工作，合作完成了主要科学发现第 2、3、4 项内容，明确了草地生态服务功能的权衡关系及其恢复潜力，创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术，研发了草地生态功能协同提升的近自然修复技术体系，并共同在宁夏地区进行了技术示范和推广工作。共同立项和开展产业合作。

第 1 完成人张伟教授与第 5 完成人张志新副教授、第 7 完成人刘洋洋副教授属西北农林科技大学同一课题组，共同开展项目的研究工作，合作完成了主要科学发现第 1、2、3、4 项内容，揭示了退化草地恢复演替规律及其稳定性维持机理，明确了草地生态服务功能的权衡关系及其恢复潜力，创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术，研发了草地生态功能协同提升的近自然修复技术体系。共同立项、发表论文、获得知识产权和参与制定标准规范。

第 2 完成人谢治国正高级工程师与第 3 完成人李军保高级工程师、第 4 完成人李建平教授、第 6 完成人李志刚教授长期开展合作，共同开展项目的研究工作，合作完成了主要科学发现第 3、4 项内容，创建了退化草地精准诊断与分区分类修复决策技术，研发了草地生态功能协同提升的近自然修复技术体系，共同在宁夏地区进行了技术示范和推广工作。共同开展产业合作。

项目四十

一、项目名称：新型生防芽孢杆菌资源挖掘及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：该项目针对作物土传病害防控难题及生防菌剂研发与应用的产业需求，构建芽孢杆菌研发体系，筛选生防菌株，创制微生物农药，建立配套防控技术。经示范推广，有效遏制病害流行，经济社会效益显著，提升病害研究与防控技术水平。

微生物是重要的战略资源，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，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 54.09 万亩，总经济效益 20996.61 万元，新增利税 11250.07 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 30 篇，其中 SCI 源刊物 5 篇，出版教材 3 部，获得发明专利 4 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：

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：

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 54.09 万亩，总经济效益 20996.61 万元，新增利税 11250.07 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等目录（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	一种用于防治土传性病害的可湿性粉剂及其制备方法	中国	ZL202010284604.9	2022-05-06	5136608	华阴鼎盛农林科技有限公司	吴爱茹，陈琳，李红超
5	研究论文	Biocontrol of rice blast by the phenaminomethylacetic acid producer of Bacillus methylotrophicus strain BC79	中国	2013，44:29-37	2012-11-20	Crop Protection	西北农林科技大学	单红英，赵明敏，陈德鑫，成巨龙，李静，冯芷珍，马致远，安德荣

6	研究论文	Biocontrol Potential of Bacillus velezensis ZF-10 Inhibiting Potato Virus Y and Promoting Growth of Tobacco Plant	中国	2024, 172：e70002	2024-12-25	Journal of Phytopathology	西北农林科技大学	应羽丰，张诺妮，李斌，刘东阳，张强，杨照，安德荣，郝兴安
7	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	农药登记
8	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	农药登记
9	实用新型专利	一种烟草根茎病害施药装置	中国	ZL202421914789.7	2025-05-16	22857289	中国烟草总公司陕西省公司	王平平，艾绥龙，曹尚，王阳，王聪
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）	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

排名	姓名	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
1	郝兴安	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 5 篇，其中 SCI 源刊物论文 3 篇，登记软件著作权 3 件，主编教材 1 部，参编教材 1 部，制定企业标准 2 项。 该项目工作占本人工作量的 70%。
2	艾绥龙	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，获批专利 2 件，发表文章 2 篇。该项目工作占本人工作量的 70%。

3	安德荣	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 3 件，发表文章 21 篇。该项目工作占本人工作量的 70%。
4	张强	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%。
5	王平平	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，获批专利 2 件，发表文章 2 篇。该项目工作占本人工作量的 80%。
6	唐少燃	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%。
7	陈琳	总经理/高级农艺师	华阴鼎盛农林科技有限公司	参与项目的具体实施，负责生防菌剂剂型开发、发酵优化及示范推广等，对主要科技创新点（2）、（3）做出了实质性贡献。获批发明专利 1 件。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

排名	单位名称	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
1	西北农林科技大学	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。
2	中国烟草总公司陕西省公司	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。
3	陕西恒田生物农业有限公司	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。

4	华阴鼎盛农林科技有限公司	华阴鼎盛农林科技有限公司在本项目中主要负责研发与应用等工作。项目实施过程中，开展了土传病害生防菌筛选、抗病活性室内鉴定，生防菌剂稳定性与安全性评估，生防菌剂大田试验等。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、完成人合作关系说明（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。）

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	共同参与制定标准规范	艾绥龙/2，郝兴安/1，张强/4，王平平/5	2007 年 10 月-2024 年 12 月	企业标准	烤烟病毒病综合防治技术规程
2	论文合著	安德荣/3，郝兴安/1，张强/4	2007 年 9 月-2025 年 6 月	研究论文	论文：Biocontrol Potential of Bacillus velezensis ZF-10 Inhibiting Potato Virus Y and Promoting Growth of Tobacco Plant. Journal of Phytopathology. 2024. 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.
3	共同参与制定标准规范、论文合著	张强/4，郝兴安/1，艾绥龙/2，王平平/5	2010 年 1 月-2024 年 12 月	企业标准、研究论文	标准：烤烟病毒病综合防治技术规程；论文： Biocontrol Potential of Bacillus velezensis ZF-10 Inhibiting Potato Virus Y and Promoting Growth of Tobacco Plant. Journal of Phytopathology. 2024.
4	共同参与制定标准规范、论文合著、共同知识产权	王平平/5，郝兴安/1，艾绥龙/2，张强/4，	2017 年 8 月-2024 年 12 月	企业标准、研究论文、企业标准	标准：烤烟病毒病综合防治技术规程 论文：烟草赤星病拮抗菌 YZ01 发酵条件优化及抑菌活性物质初探 专利：一种烟草根茎病害施药装置
5	产业合作	唐少燃/6，安德荣/3	2018 年 9 月-2021	农药登记	农药登记：甲基营养型芽孢杆菌 LW-6

			年 4 月		
6	产业合作	陈琳/7，郝兴安/1	2020 年 9 月-2025 年 12 月	菌株筛选与评价	企业兼职协议

完成人合作关系说明（限 1000 字）：

郝兴安、艾绥龙和安德荣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、示范推广和防治规程制定等。针对陕西烟草土传病害发生严重的生产实际，郝兴安、艾绥龙和安德荣共同探讨土传病害防控策略，提出了采用有益微生物防控烟草等作物连作障碍问题。

艾绥龙与郝兴安、张强、王平平共同建立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。艾绥龙与张强、王平平、唐少燃、陈琳共同开展了病害防控技术示范应用。其中，艾绥龙与张强、王平平共同设计并开展了陕西烟区烟草病害防控，推广实施项目成果。唐少燃负责菌剂适用性分析及药剂生产。陈琳负责烟草病害防控技术培训、示范应用推广等工作。合作成果申请了专利、发布了企业标准。

安德荣与郝兴安共同建立了芽孢杆菌筛选研究体系、芽孢杆菌微生物农药研发体系，挖掘优选了高活性芽孢杆菌，探明了其作用特性。研究结果共同发表了学术论文。安德荣与唐少燃合作开展了农药安全性评价，农药登记等工作。其中，安德荣负责技术参数优化，唐少燃负责评价与登记申请、联络，样品小试等工作。合作结果获得了农药登记。

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。张强与郝兴安合作，挖掘了高效防控菌株，研究结果共同发表了学术论文。张强、王平平与郝兴安、艾绥龙合作，开展了科技成果推广应用，合作成果发布了企业标准。王平平与艾绥龙合作，分析了菌剂活性物质对农作物品质的影响，并建立了配套防控技术。合作成果发表了学术论文。

唐少燃总经理是本项目共同实施者。唐少燃与安德荣合作，开展了生物菌剂研发。其中，安德荣负责菌剂活性分析，唐少燃负责田间生产应用与数据采集等工作。合作成果筛选鉴定了新型高效生防菌剂。唐少燃与安德荣、郝兴安合作，探索了菌剂生产工艺。其中安德荣、郝兴安负责分析微生物发酵参数优化、制剂研发，唐少燃负责工艺设计与优化。合作成果建立了菌剂生产体系。

陈琳总经理是课题组成员和本项目共同实施者。陈琳与郝兴安、安德荣合作，共同开展了生防菌筛选纯化、活性鉴定、应用潜力评估等研究。其中郝兴安负责活性筛选，安德荣负责配方设计，陈琳负责剂型测定、小试生产与示范应用。合作成果研发了新型活性菌株。在前期合作的基础上，陈琳作为负责人，聘请郝兴安为华阴鼎盛农林科技有限公司科技副总，负责病害绿色防控药剂及配套防治技术研发。

项目四十一

一、**项目名称：**设施草莓绿色高效智能生产关键技术创新及应用

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：该项目聚焦陕西省及西北地区设施草莓产业发展瓶颈，针对主产区品种退化、栽培模式老旧、设施智能化水平低、土传病害高发、水肥利用低效、化学农药依赖严重等突出问题，历经 9 年系统攻关与示范推广，形成了集种质创新、绿色栽培、智能管控、产业化推广于一体的设施草莓绿色高效智能化生产技术体系。项目建成国内首个环境智能调控草莓种质资源圃，首创 KASP-SNP 分子标记育种技术体系，选育 5 个优质草莓新品系；创新“A 型立体栽培+EM 菌生态基质+绿色防控”协同增效栽培技术，大幅提升产能与品质；研发草莓全周期物联网 AI 智能管理系统，实现生产全过程精准数字化管控。

项目成果在陕甘主产区累计推广 6300 亩，推广脱毒种苗 740 万株，累计新增总产值 13020.08 万元，实现净收益 7641.5 万元；累计开展技术培训 15.5 万人次，带动 5000 余人就业，化肥农药减量 40%以上，生态、社会、经济效益极其显著。项目获批陕西省草莓工程技术研究中心，团队入选陕西省“三秦英才”特支计划，成果获省级农业技术推广成果奖，多次获省市主流媒体宣传报道，为西北设施农业智能化、绿色化转型升级提供了可复制、可推广的标杆范式。

提名单位已严格审阅本项目提名书及全部佐证材料，确认材料真实、数据准确、手续完备。项目各完成单位已完成成果公示，无异议，特此提名该项目申报陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

（一）项目背景

草莓是西北设施农业支柱性特色经济作物，是带动农户增收、助力乡村产业振兴、推动农文旅融合发展的核心优势产业。陕西省作为西北设施草莓主产区，产业规模持续扩大，但长期以来存在诸多制约产业高质量发展的核心技术瓶颈。种质资源保存滞后、育种技术传统老旧，导致主栽品种退化严重、自主优良品种匮乏；栽培模式粗放落后，传统平地栽培光照利用率、土地利用率低，

土传病害高发，严重制约草莓产能提升；生产管理高度依赖人工经验，水肥施用粗放、病虫害防控过度依赖化学药剂，不仅造成水肥资源浪费、面源污染突出，还导致草莓果品品质参差不齐、优质果率偏低；同时设施智能化装备普及率低，缺乏适配西北气候特征的专属智能管控系统，生产效率低、人工成本高，严重限制了区域草莓产业规模化、标准化、绿色化、智能化发展。

在国家农业绿色发展、化肥农药减量增效、智慧农业转型升级的政策背景下，针对西北设施草莓产业“种质弱、栽培旧、管理粗、污染高、效益低”的行业痛点，项目组历时 9 年持续攻关，聚焦种质创新、绿色栽培、智能管控、示范推广全链条，开展关键技术研发与集成应用，旨在破解西北设施草莓产业发展技术难题，构建适配西北区域气候与种植条件的绿色高效智能化生产技术体系，推动产业由传统经验种植向数字化、绿色化、高效化转型升级，助力特色农业提质增效、农民增收致富、产业绿色可持续发展。

（二）项目主要内容

本项目立足陕西及西北设施草莓产业发展实际，紧扣绿色增效、智能提质、节本降耗的产业发展需求，整合种质育种、设施栽培、生态防控、物联网 AI、大数据管理等多学科技术，通过自主创新、技术集成、改良优化与示范推广，形成一套设施草莓绿色高效智能化生产集成技术体系。项目覆盖草莓种质资源保育、新品种选育、脱毒快繁育苗、绿色立体栽培、病虫害精准防控、全周期智能管控、产业化示范推广全产业链，突破传统生产多项关键技术瓶颈。

项目累计育成审定新品种 1 个、选育优良品系 5 个，制定地方标准 5 项，获国家发明专利 4 项、实用新型专利 9 项、计算机软件著作权 4 项。创新构建分子标记高效育种体系、生态立体栽培技术体系、AI 全周期智能管控体系三大核心技术体系，有效解决品种退化、栽培低效、管控粗放、药肥超标等行业难题，显著提升草莓产量、品质与生产效益，实现节水节肥、农药减量、绿色生产，技术整体达到国内领先水平，适配西北各类设施栽培场景，可规模化复制推广。

（三）主要技术创新点

项目历经 9 年系统攻关，突破多项关键核心技术，形成三大创新性、标志性技术成果，具体如下:

创新点 1: 建成智能调控种质资源圃，创新分子标记高效育种与脱毒育苗技术体系

建成陕西省首个、国内领先的环境因子智能调控草莓种质资源圃，累计收集保存草莓种质资源超 1000 份，填补西北草莓种质资源系统化保育空白。创新构建 KASP-SNP 分子标记育种体系，自主开发新型特异性引物，突破传统育种周期长、准确率低、性状不稳定的技术难题，结合传统杂交育种技术，成功选育“云瑞”等 5 个优质草莓新品系，其中 1 个品种顺利通过国家 DUS 审定。同时，创新优化草莓脱毒快繁育苗技术，形成多项标准化育苗技术体系及配套专利、地方标准，实现规模化工厂育苗，年育苗能力突破 1000 万株，从源头解决草莓品种退化、种苗带毒、品质下滑等核心问题，为产业优质化发展提供种质保障。

创新点 2: 首创“A 型立体槽架+EM 菌生态基质+精准绿色防控”协同增效栽培技术体系

针对传统平地栽培土地利用率低、光照不均、土传病害高发、水肥浪费严重等问题，首创适配西北设施条件的草莓 A 型立体槽架栽培模式，搭配 EM 菌生态基质改良技术，有效改善设施土壤微生态环境，破解连作障碍与土传病害难题，大幅提升土地利用率与光照利用率。配套构建病虫害精准绿色防控体系，替代传统化学农药防治模式，实现病虫害绿色高效管控。该集成技术体系彻底革新传统栽培模式，土地利用率提升 1.5 倍，农药用量大幅削减，实现化肥农药减量 40%以上; 草莓亩产大幅提升至 4500 公斤，较传统模式提升 2.1 倍，果实可溶性固形物等核心品质指标提升 20%，亩综合经济效益达 8 万元，实现生态、产量、品质、效益多维提升。

创新点 3: 自主研发草莓全周期 AI 智能精准管理系统，实现产业数字化转型升级

依托陕西省草莓工程技术研究中心平台，自主研发基于物联网与 AI 大数据的草莓全周期智能精准管理系统及配套智慧云平台。系统集成环境多参数智能

感知、自动调控、精准水肥供给、长势智能监测、病虫害预警、生产数据溯源等功能，实现草莓育苗、定植、生长、花果、采收全生育期数字化、智能化精准管控，彻底改变传统种植依赖人工经验、管理粗放、调控滞后的生产模式。通过智能系统精准调控，草莓优质果率提升至89%，水肥资源利用率显著提升，实现节水节肥40%，有效降低人工成本与生产能耗，推动陕西乃至西北地区设施草莓产业全面向数字化、智能化、现代化转型。

四、项目客观评价

陕西省园艺学会组织行业权威专家对本项目《设施草莓高效绿色智能化技术推广应用》成果进行第三方科技评价。经专家组综合评审、质询与论证，一致认定：本项目紧扣西北设施草莓产业核心痛点，技术针对性、创新性强，突破了种质育种、绿色栽培、智能管控多项关键技术瓶颈，形成了系统化、集成化、可推广的设施草莓绿色智能生产技术体系。成果示范辐射范围广、产业适配性强，经济收益高、生态社会效益显著，整体技术水平达到国内同类成果领先水平，对推动我国北方设施草莓产业高质量绿色发展具有重要示范引领作用。

五、成果应用与推广情况

项目成果技术成熟度高、适配性广，已在陕西、甘肃等西北草莓主产区规模化推广应用，落地建设标准化智能草莓示范园10个，核心示范面积6300亩，全面推广脱毒优质种苗、A型立体栽培模式、EM菌生态基质改良技术及AI智能管控系统，产业化应用成效突出。

近五年，项目累计推广脱毒草莓种苗620万株、A型立体智能栽培技术2500亩、高标准高垄绿色生产模式3800亩，覆盖陕甘多地规模化农业企业、专业合作社。技术辐射覆盖西北核心种植区域。

六、经济、社会与生态效益

（一）经济效益

经5家代表性应用单位统计核算，近五年项目成果规模化应用累计新增总产值13015.89万元，新增净收益6701.49万元，整体产业增收成效显著。项目节本增收效果突出，大幅提升了区域草莓产业经济效益与市场竞争力。

（二）社会效益

一是引领产业转型升级。项目建成10个标准化智能草莓示范园区，构建了规模化、智能化、品牌化的现代草莓产业发展模式，推动设施草莓产业与乡村文旅、休闲采摘深度融合，助力农村三产融合发展，多次获得省市领导肯定及主流媒体报道20余次，示范引领作用突出。二是搭建高端创新平台。依托项目获批陕西省草莓工程技术研究中心，团队成功入选陕西省“三秦英才”特支计划创新团队，负责人获评省级中青年科技创新领军人才，筑牢西北草莓产业科技创新根基。三是人才培育成效显著。累计开展产业技术培训15.5万人次，培育大批基层种植技术人才，直接带动5017人就业；孵化4家农业科技创业公司，斩获国家级“互联网+”创新创业奖项1项、省级金奖3项，为产业持续发展储备人才与创新力量。

（三）生态效益

项目创新绿色生态栽培与精准防控技术体系，从源头推动农业绿色低碳发展。通过A型立体栽培搭配EM菌生态基质改良，有效修复设施土壤连作障碍，土壤利用率提升1.5倍；依托绿色防控技术与AI智能精准水肥管控，实现化肥、农药减量40%以上，农药使用率大幅降低，有效减少农业面源污染；智能系统精准供水供肥，大幅提升水肥利用效率，杜绝资源浪费，同时提升果品安全品质，实现设施草莓产业生态保护、绿色生产、提质增效协同发展。

七、主要知识产权和标准规范

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	一种基于智联网技术的设施草莓种植系统	中国	ZL 202310236353.0	2024-10-29	证书号第7478710号	杨凌职业技术学院；咸阳市秦都区职业教育中心	杨振华、刘莉、张雯、缑一杰、郭俊强
2	发明专利	一种应用于草莓种植用节能灌溉结构	中国	ZL 202310389098.3	2025-1-24	证书号第7683232号	杨凌龙德盛农业科技有限公司	刘占杰、汤生明
3	地方标准	设施草莓立体化栽培技术规程	中国	DB 6111/T 173-2020	2021-10-22	杨凌示范区市场监督管理局	杨凌职业技术学院、延安新向农业科技有限公司等	杨振华、张雯、王锋、冯雷雷等
4	地方标准	草莓设施栽培技术规程	中国	DB 6111/T 191-2023	2023-03-16	杨凌示范区市场监督管理局	杨凌龙德盛农业科技有限公司、西北农林科技大学等	赵磊、李怀财、刘占杰等
5	地方标准	草莓脱毒苗育苗技术规程	中国	DB 6111/T 171-2021	2021-10-22	杨凌示范区市场监督管理局	杨凌龙德盛农业科技有限公司、西北农林科技大学等	赵磊、李怀财、刘占杰等
6	地方标准	草莓苗露地繁育技术规程	中国	DB 6111/T 193-2023	2023-03-16	杨凌示范区市场监督管理局	杨凌龙德盛农业科技有限公司、西北农林科技大学等	赵磊、李怀财、刘占杰等
7	地方标准	草莓苗穴盘繁育技术规程	中国	DB 6111/T 192-2023	2023-03-16	杨凌示范区市场监督管理局	杨凌龙德盛农业科技有限公司、西北农林科技大学	赵磊、李怀财、刘占杰等
8	实用新型专利	一种草莓种植大棚	中国	ZL 201720883257.5	2018-03-30	证书号第7141207号	杨凌职业技术学院	杨振华、郑爱泉、周济铭、刘莉
9	实用新型专利	一种阶梯式草莓种植架	中国	ZL 201720886129.6	2018-02-13	证书号第6987084号	杨凌职业技术学院	杨振华、郑爱泉、周济铭、刘莉
10	实用新型专利	一种草莓种植用防沤烂装置	中国	ZL 202023069323.6	2021-09-07	证书号第14130295号	杨凌职业技术学院	杨振华、冯雷雷、赵佳梅、王姗姗

八、主要完成人

姓 名	排名	技术职称	工作单位	对本项目技术创造性贡献
杨振华	1	教授	陕西农林职业技术大学	主持草莓种质资源库建设、草莓新品种选育与草莓智能监控系统研发工作。主要组织团队成员在陕西省草莓技术研究中心种质资源圃开展杂交与评价工作，主持申报“云瑞”参加 DUS 测试，并申报新品种登记。
郑爱泉	2	教授	陕西农林职业技术大学	参与“汇蕾”草莓智慧云平台架构设计，推动平台数据集成（环境监测、设备状态等多源数据整合）远程控制及溯源管理模块的开发，实现全产业链数字化管控。
冯雷雷	3	教授	陕西农林职业技术大学	负责草莓智能化管控系统的设计与应用，制定草莓数字化栽培技术标准，草莓绿色高效智能化生产模式推广应用。开展了脱毒草莓产业化集成体系研究
杨杰	4	副教授	陕西农林职业技术大学	参与“A”型立体栽培架和草莓智能管理系统等成果在经济效益方面的呈现，协助整理成本节约、产量提升等相关数据材料，配合完成阶段性成果申报与宣传内容编写，助力技术成果推广与转化。
陈阳	5	副教授	陕西农林职业技术大学	主要参与基于物联网与 AI 的草莓全周期智能精准管理系统及智慧云平台研发工作。一是构建“智能感知－ AI 决策－精准执行－反馈优化”闭环调控体系。二是构建 AI 驱动的病虫害智能监测体系，开发本地化生长模型与动态优化算法。
张雯	6	副教授	陕西农林职业技术大学	参与草莓新品种选育与草莓智能监控系统研发工作。一是与团队成员在陕西省草莓技术研究中心种质资源圃开展杂交与评价工作，筛选“云瑞”优系，并申报新品种登记。
薛明珂	7	副教授	陕西农林职业技术大学	参与开展社会效益评价，分析技术对提升设施草莓种植智能化水平、突破地域限制、节约水资源

				（每亩年节水 120 吨）、减少化肥农药使用（化肥减量 35%、化学农药用量减少 52．5%）等方面的贡献，评估其对农业绿色可持续发展的推动作用。进行经济效益评价，通过收集示范园数据，量化分析技术带来的产量提升、成本降低及产值增长。
缑一杰	8	讲师	陕西农林职业技术大学	参与草莓新品种选育及产品开发，在杨凌智慧农业示范园建立草莓种质资源圃，搜集保存草莓品种。牵头构建 “分子标记辅助育种+逆境定向筛选”协同体系。主导集成杂交育种与回交改良技术。
刘颖沙	9	副教授	陕西农林职业技术大学	参与创新构建了“五层九槽”式槽架，不仅增加的种植面积，同时也适应不同生长阶段草莓对光照、通风的需求，较传统结构提升空间利用率 30% 以上。在技术推广应用方面，构建了“科研 + 示范 + 培训”的三位一体推广模式。
刘占杰	10	农艺师	杨凌龙德盛农业科技有限公司	攻克了草莓种质资源保存、生物技术应用、脱毒组培、工厂化育苗、冷链冷藏等技术难题，在甘肃、陕西等地建成 13 个草莓种苗生产基地。用 5 年时间完成了《草莓三级育苗》技术体系闭环生产，并将优质种苗供应全国市场。

九、主要完成单位及创新推广贡献

单位名称	排名	主要贡献
陕西农林职业技术大学	1	陕西农林职业技术大学作为项目牵头单位，依托学科优势组建跨学科团队，统筹科研经费与实验资源，建设智能温室、分子实验室和物联网研发中心等平台，支撑种质创新、栽培技术优化与智能系统开发，建立“产学研用”协同机制与成果转化制度，构建“科研+示范+培训”推广体系，通过示范基地与线上线下培训推动技术规模化应用，带动陕甘等地草莓产业升级。
杨凌龙德盛农业科技有限公司	2	杨凌龙德盛农业科技有限公司作为核心合作单位，联合高校建成西北最大草莓种质资源库，收集 1300 余份种质资源，筛选出 30 个优异品种，突破脱毒组培与工厂化育苗技术，建立“脱毒母本圃—采穗圃—苗圃”三级繁育体系，年产能达 1000 万株脱毒苗，研发低成本基质使种苗成活率提升 20%。在西北 2 省建成 10 个示范基地，累计推广种苗 620 万

		株，辐射种植 6300 亩，带动新增总产值 13015.89 万元、新增净收益 6701.49 万元，形成“研发—繁育—推广”全产业链运营模式，成为西北草莓种苗供应枢纽。

十、完成人合作关系说明

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	共同获奖	郑爱泉/第二	2019.07	2020.04	脱毒草莓产业化技术集成研究
2	共同知识产权	郑爱泉/第二	2017.03	2018.12	一种草莓种植用的育苗槽
3	共同立项	冯雷雷/第二	2021.06	2022.10	脱毒草莓产业化集成体系应用研究
4	共同获奖	冯雷雷/第二	2022.09	2024.09	设施草莓绿色高效智能化生产模式示范与应用
5	共同知识产权	冯雷雷/第二	2021.06	2020.12	一种草莓种植用防沤烂装置
6	共同获奖	陈阳/第五	2020.07	2021.10	“莓”不胜收助振兴
7	共同立项	张雯/第三	2021.06	2022.10	脱毒草莓产业化集成体系应用研究
8	共同获奖	张雯/第六	2022.09	2024.09	设施草莓绿色高效智能化生产模式示范与应用
9	共同立项	刘颖沙/第四	2021.09	2022.11	设施栽培技术
10	共同知识产权	缑一杰/第四	2022.07	2024.10	一种基于智联网技术的设施草莓种植系统
11	共同立项	杨杰/第四	2022.09	2024.09	设施草莓绿色高效智能化生产模式示范与应用
12	共同立项	薛明珂/第五	2022.07	2024.10	设施草莓绿色高效智能化生产模式示范与应用
13	共同获奖	薛明珂/第四	2022.09	2024.09	设施草莓生产技术
14	产业合作	刘占杰/第二	2023.09	2025.03	种质资源圃建设

完成人合作关系说明（限 1000 字）

本项目全体完成人围绕“设施草莓绿色高效智能化生产技术创新与应用”核心主题，依托多项科研立项、技术研发、成果奖励及产业落地工作，形成了长期稳定、产学研深度融合

的跨学科合作体系。团队成员分工协作、优势互补，在种质创新、栽培技术优化、智能系统研发、成果示范推广等环节开展全链条协同攻关，各项合作关系及核心成果如下。

项目负责人杨振华与郑爱泉长期开展技术联合研发，双方合作研发取得知识产权“一种草莓种植用的育苗槽”，共同开展脱毒草莓产业化技术集成研究，筑牢项目草莓育苗产业化技术基础。杨振华与冯雷雷形成立项、研发、成果转化全方位合作，二人共同立项开展脱毒草莓产业化集成体系应用研究，同期联合研发获得专利“一种草莓种植用防沤烂装置”，共同完成设施草莓绿色高效智能化生产模式相关研究并成功获奖，完善了草莓绿色高效栽培技术体系。张雯深度参与项目核心研究与推广工作，参与脱毒草莓产业化集成体系应用研究项目立项和草莓种质资源圃建设，有效助力项目技术落地推广。刘颖沙参与设施栽培技术项目研究，专注草莓设施栽培配套技术研究，为项目标准化种植提供技术支撑。缑一杰聚焦智慧农业技术研发，与团队协作研发完成“一种基于智联网技术的设施草莓种植系统”专利，突破草莓智能化种植技术瓶颈。陈阳参与“‘莓’不胜收助振兴”创新创业项目，助力团队斩获国家级赛事铜奖，丰富了项目科创成果。杨杰、薛明珂积极参与设施草莓绿色高效智能化生产模式示范与应用项目和草莓种质资源圃建设工作，进一步完善项目产业化技术体系。刘占杰主要负责产学研融合与产业落地，以企业方身份与高校团队开展产业合作，牵头推进草莓种质资源圃建设，为项目种质资源创新、技术成果转化及产业化落地提供关键支撑。此外，团队成员齐悦杉协助完成技术成果经济分析与推广材料编写，保障项目成果规范化推广。

综上，以上人员为陕西省草莓工程技术研究中心和省级草莓团队核心人员。本团队整合园艺学、信息技术、农业工程等多学科优势，联动高校科研与企业产业资源，通过共同立项、技术共研、知识产权共创、成果共享、产业共建的合作模式，完成多项专利、科研成果与科技奖励，构建了从技术研发、系统优化到示范推广、产业落地的完整协同体系，团队合作紧密、分工明晰、成效显著。

项目四十二

一、**项目名称：**百合抗寒分子机制解析及绿色丰产栽培关键技术集成与示范

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：该项目针对百合产业中冷害严重影响产量和品质、连作障碍及病虫害累积等突出问题，系统开展了百合抗寒分子机制解析及绿色丰产栽培关键技术研究。主要创新点：率先解析百合抗寒分子调控网络，鉴定 C2H2 型转录因子 ZFP（c117817_g1）为百合抗寒核心调控基因；创建百合 “两绿一高”（绿色防控、绿色栽培、高产）技术体系，破解连作与病虫累积产业顽疾；研发精准栽培配套装置，实现水肥管控、根际环境可调。获得实用新型专利 2 项；出版专著 1 部。第一作者发表论文 10 篇（其中 SCI3 篇），核心论文累计被引 87 次，他引 85 次。成果得到国内外同行引用认可。

2020-2025 年，项目成果在陕西汉中和咸阳等多地进行推广应用，年均推广应用面积 6500 亩。成果推广后，当地观赏及食用百合生产企业及农户生产技术得到大幅度提高，产量和质量显著提升，五年累计提高经济效益约 1.23 亿元（直接增收 1.10 亿元，节本增效 0.13 亿元），生态、经济、社会效益显著。

综上，建议提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、**项目简介：**

百合（*Lilium*）是我国重要药食同源特色经济花卉，产业发展潜力巨大，但**低温冻害、连作障碍两大瓶颈严重制约百合在西部特别是陕西省规模化种植，冻害死苗、土传病害频发、鳞茎商品率低等问题突出**。本项目历时 12 年，依托校内自然科学基金资助，从分子机理解析、栽培技术集成、配套装备研发三个维度开展系统攻关，在陕西多地开展示范推广，显著提升食用、观赏百合产量与品质，取得良好经济、生态与社会效益。本成果在开展百合抗寒基因筛选及栽培技术研究基础上，在陕西省开展了技术应用推广，提高了当地观赏及食用百合的产量与质量，产生了良好的经济与社会效益。

1.主要技术内容

（1）百合抗寒分子机制解析与关键基因挖掘。

针对寒冷气候条件对百合栽培的限制，进行了不同百合品种的引进和抗寒性比较试验，筛选出较耐寒的兰州百合。利用转录组测序技术分析兰州百合的抗寒通路和基因，发现零上低温下抗寒关键通路为“真核生物核糖体发生”“苯丙氨酸代谢”和“光合作用”通路；零下低温下抗冻关键通路为“植物病原互作”“氨基糖和核苷酸糖代谢”和“光合作用”通路。

进一步富集和网络互作分析，发现了百合抗寒的关键转录因子及基因，即 C2H2 型转录因子 c117817_g1（ZFP）和 OLEO3 基因及 CBF 家族基因，其中 C2H2 型转录因子 c117817_g1（ZFP）基因是百合抗寒的最关键基因。

发表了多篇研究论文，其中 SCI 论文 3 篇。

（2）百合“两绿一高”绿色高产栽培技术体系集成创新。

在借鉴球根花卉栽培理论基础上，系统梳理花卉繁育、养护、环境调控、花期调控等技术要点。2017- 2019 年开展百合多点定位田间试验，系统查清主要病虫害种类、发生流行规律，剖析连作条件下病虫爆发诱因。坚持“预防为主、综合防治”植保方针，整合轮作、土壤改良、种球消毒、田园清洁等农业防治，搭配生防制剂、天敌利用等生物防治，辅以精准减量化学防控，构建百合病虫害绿色防控技术体系；进一步集成种苗繁育、水肥管理、鳞茎发育调控技术，形成完整的绿色高产栽培技术体系。**整套技术体系构建，建立在项目对百合抗逆、连作障碍机理的基础研究认知之上，实现基础理论向生产技术转化落地**。出版专著 1 部，发表相关论文 2 篇，为百合标准化绿色生产提供理论依据和实操方案。

（3）配套栽培装置研发。

针对传统栽培漫灌水肥利用率低、盆栽基质易板结通气差的生产痛点，研发 2 套实用新型装备：①可调节栽培装置（ZL201921228263.2）；②花卉自动浇水装置（ZL201720800416.0），为百合设施化、标准化栽培提供装备支撑。

专利名：可调节栽培装置；发明人：田雪慧；授权日期：2020 年 10 月 23 日；专利号：ZL201921228263.2

专利名：花卉自动浇水装置；发明人：田雪慧，曹轩峰，何瑞林，刘卫斌，韩东锋；授权日期：2018 年 2 月 27 日；专利号：ZL201720800416.0。

2.应用推广及效益

2020-2025 年，对项目研究成果在陕西多地进行推广应用，其中汉中和咸阳推广效果明显，五年来，年均推广应用面积 6500 亩。成果推广后，当地观赏及食用百合生产企业及农户生产技术得到大幅度提高，产量和质量也大幅度提高，五年累计提高经济效益约 1.23 亿元。

3.主要技术经济指标及与国内同行比较

技术经济指标	国内研究现状	本项目成果水平	先进性

百合抗寒机理研究	国内百合研究多聚焦花色育种、鳞茎营养成分分析，食用百合抗寒分子系统研究薄弱。	明确兰州百合优异抗寒特性；解析零上、零下低温两套应答通路；挖掘 ZFP 等核心抗寒基因，阐明抗寒分子机理。	国内领先
栽培配套装置研发	通用灌溉、栽培装备，缺少针对球根花卉盆栽的适配装备。	针对百合盆栽开发可调式浇水、通气松土装置，解决基质板结、灌溉不均问题。	国内领先
百合“两绿一高”栽培技术	现有防治以化学农药为主，缺少成套绿色生产方案。	集成农业-生物-减量化学防控，形成“两绿一高”栽培体系，降低农药投入，提升鳞茎商品率。	国内领先

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：经检索国内近 15 年相关文献共 55 篇，除本项目组已发表的 6 篇相关文献外，国内未见与本项目三个查新点完全相同的公开报道；现有文献虽开展过百合抗寒转录因子研究、种质筛选及常规栽培技术研究，但未见将多品种低温转录组与生理指标结合构建百合耐寒性综合评价体系、面向陕西陕北、陕南、关中三大生态区开展以抗寒为核心的百合新品种多点定向筛选与区域布局，以及围绕抗寒目标系统集成农艺调控、连作障碍治理、病虫害绿色防控的成套绿色丰产栽培技术的完整研究报道，表明本项目在国内具有技术新颖性。（见附件）。

2.学术引用评价

项目围绕百合低温胁迫开展转录组、生理解析，鉴定 C2H2-ZFP、OLEO3 等抗寒核心基因，揭示百合鳞茎耐冻分子调控机制。相关论文累计他引 85 次，被国内园艺、作物抗逆领域多篇综述与研究论文引用，分子机理研究成果得到同行认可。

3.应用实践评价

项目成套技术 2020-2025 年在咸阳、汉中产区落地应用，咸阳市园艺站、汉中园艺技术推广部门出具应用证明，技术适配山地林下生产条件，可显著降低百合冻害死亡率，减轻连作病害，提升产量与商品品质，取得显著经济、生态、社会效益。

4.与国内外同类技术比较

目前国内外对百合抗寒性的研究多集中于生理生化层面。本项目率先利用转录组测序技术系统解析了百合抗寒的分子通路，筛选鉴定了关键抗寒基因，在百合抗寒分子机制研究的系统性和深度上处于领先水平；在栽培技术方面，本项目集成的绿色防控和绿色高产栽培技术体系，秉承“预防为主、综合防治”方针，符合现代农业绿色发展方向。

五、应用情况（发明奖和进步奖填写)

本项目成套技术 2020-2025 年先后在咸阳、汉中百合主产区开展规模化推广应用。咸阳市园艺站作为应用单位，年均推广面积 3000 余亩；汉中地区年均推广 3500 余亩，两地合计年均推广 6500 余亩。针对当地百合生产存在的技术滞后、病虫害累积、产量品质下滑等突出问题，推广应用百合抗寒种质筛选、病虫害绿色防控、抗寒适配栽培等成套技术，覆盖区域内百合种植企业、专业种植大户。经应用实践表明，项目成果适应性强、技术科学先进，有效缓解百合病害高发问题，提升百合产量与商品品质，2020-2025 年咸阳区域累计增收 6000 余万元，汉中区域累计增收 7000 余万元，合计累计增收 1.2 亿元，取得显著的经济效益，同时带动区域百合产业绿色可持续发展，社会效益突出。

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
1	咸阳市园艺站	百合抗寒种质筛选、病虫害绿色防控、绿色丰产栽培成套技术	食用、观赏百合，年均推广 3000 余亩	2020-2025 年
2	汉中市农业技术推广与培训中心	百合抗寒种质筛选、病虫害绿色防控、绿色丰产栽培成套技术	食用、观赏百合，年均推广 3500 余亩	2020-2025 年

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	发明人
1	论文	Key Anti-Freeze Genes and Pathways of Lanzhou lily (_i_Lilium davidii during the Seedling Stage	中国	https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299259	2024-05-21	20240321	田雪慧 李建宁 陈思慧
2	论文	Physiological and transcriptomic responses of Lanzhou Lily (Lilium davidii, var.Unicolo）to cold stress	中国	DOI:10.1371/journal.pone.0227921	2020-02-23	20200123	田雪慧 颉建明 郁继华
3	论文	Study on Signal Induced Expression of Cold Tolerance in Edible Lily in Alpine Environment	中国	http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1802_26872701	2020-01-20	18（2）2687-2701	田雪慧 颉建明 郁继华
4	论文	骤然低温下转录组测序揭示川百合抗寒通路与相关基因	中国	DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.22.005	2020-11-20	2020 ,48 (22) : 28-36	田雪慧
5	论文	转录组测序研究兰州百合抗冻关键基因及途径	中国	DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2	2019-08-08	2019 ,46 (08) : 35-43	田雪慧 郁继华

				019.08.006			颉建明
6	论文	兰州百合病虫害绿色综合防治技术	英国	DOI:10.3969/j.issn.1004-1389.2020.07.024	2020-07-2	2020 ,66 (07) : 90-91+104	田雪慧
7	论文	兰州百合绿色高产栽培技术	中国	DOI:10.19998/j.cnki.2095-1795.2021.11.033	2020-08-05	2021 (22) : 10-11	田雪慧 任艳芬
8	论文	食用百合研究进展及展望	中国	无	2020-05-01	2020 (05) : 24-26	田雪慧 刘秀云 任艳芬
9	专利	可调节栽培装置	中国	ZL 201921228263.2	2024-05-21	11721610	田雪慧
10	专利	花卉自动浇水装置	中国	ZL 201720800416.0	2020-02-23	7024405	田雪慧 曹轩峰 何瑞林 刘卫斌 韩东锋

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
田雪慧	1	教授	陕西农林职业技术大学	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，基础及技术研究，并组织示范与推广工作。
苏勃海	2	农艺师	咸阳市园艺站	参与实施方案的制定和实施，参与技术的示范与推广工作。
胡晓望	3	高级农艺师	咸阳市园艺站	参与方案的实施，技术的示范与推广工作。
曹轩峰	4	副教授	陕西农林职业技术大学	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。
汪先菊	5	农艺师	咸阳市园艺站	参与技术的示范与推广工作。
高媛	6	正高级农艺师	汉中市农业技术推广与培训中心	组织技术的示范与推广工作。
陈思慧	7	讲师	陕西农林职业技术大学	参与方案的实施和技术的示范推广工作。
王瑶瑶	8	讲师	陕西农林职业技术大学	参与方案的实施和技术的示范推广工作。
赵朋侠	9	高级工程师	周至县水土保持工作站	参与技术的示范与推广工作。

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
陕西农林职业技术大学	1	1.全面组织项目实施，统筹项目总体设计、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。 2. 组织完成兰州百合低温胁迫生理与转录组研究，解析抗寒分子调控网络，挖掘 ZFP、OLEO3 等核心抗寒基因，发表系列学术论文、出版专著。 3. 开展多点田间试验，集成百合绿色丰产技术体系，研发 2 项实用新型

		栽培装备。联合地方农技部门，在咸阳、汉中建设示范基地，开展技术培训与现场指导，面向种植企业、大户开展规模化示范推广。 4. 完成项目科技成果登记，推动基础研究成果向产业转化，形成可复制复合经营技术方案，助力陕西特色产业提质增效与农户增收。
咸阳市园艺站	2	咸阳市园艺工作站为本项目第二完成单位，负责咸阳区域示范基地布局落实，组织当地百合种植企业、专业大户开展技术示范；开展田间生产观测，收集田间应用数据，组织技术培训与现场指导，反馈生产端问题，协助完成项目技术熟化与区域推广，为本项目第 3 个创新点的落地应用作出重要贡献。
汉中市农业技术推广与培训中心	3	负责汉中市域百合示范基地规划布设，对接当地种植合作社、种植大户开展技术落地应用；组织开展现场技术培训、田间观摩与生产技术指导，跟踪记录百合生长、病害发生、产量品质等大田实测数据，反馈山地湿润区生产实际问题，协助完善适配陕南气候条件的百合绿色丰产栽培技术参数；开展技术宣传普及，扩大项目成果在本市复合种植区域的示范辐射效应，为项目成套技术在陕南地区的熟化、规模化推广应用提供重要支撑。
周至县水土保持工作站	4	立足周至县生态条件，参与百合复合种植模式调研与生态效果观测；重点监测百合林下栽培模式下水土保持、地表植被覆盖等生态指标，评价项目栽培模式的生态效益；结合区域水土保持管控要求，对林下百合种植农艺措施提出优化建议，兼顾产业发展与生态保护，为本项目“经济- 生态协同”的复合技术体系构建提供生态层面技术支撑。

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	田雪慧/1，曹轩峰/4	2006	2025	实用新型专利	专利证书
2	共同知识产权	田雪慧/1，陈思慧/7	2021	2025	合作论文	论文

3	产业合作	田雪慧/1，高媛/6，苏勃海/2，胡晓望/3，汪先菊/5	2021	2025	技术推广	合作证明
4	产业合作	田雪慧/1，曹轩峰/4，陈思慧/7，王瑶瑶/8，赵朋侠/9	2021	2025	技术推广	合作证明

完成人合作关系说明（限 1000 字）

本项目 2014 年启动实施，针对陕西山地百合低温冻害突出、连作障碍严重、配套栽培技术匮乏等产业现实问题，开展百合抗寒分子机理解析、绿色丰产技术集成、栽培装备研发与区域示范推广研究。项目由陕西农林职业技术大学牵头，联合咸阳市园艺站、汉中市农业技术推广与培训中心、周至县水土保持工作站多方协同攻关。

田雪慧（排名 1）作为项目主持人，全面负责项目整体研究方案设计，统筹分子机理试验、田间技术研发、专利创制、论文专著撰写及示范推广整体工作。曹轩峰（排名 4）、陈思慧（排名 7）、王瑶瑶（排名 8）校内团队成员，分别参与项目方案论证、转录组与生理试验分析、栽培装备研发、系列学术论文撰写，共同完成 2 项实用新型专利及多篇研究论文产出。

苏勃海（2）、胡晓望（3）、汪先菊（5）来自咸阳市园艺站，负责咸阳片区示范基地建设，组织种植主体开展田间试验，收集生产应用数据，开展技术培训与现场指导，反馈生产实际问题；高媛（6）来自汉中市农业技术推广与培训中心，承担汉中区域技术示范落地，组织当地百合种植企业、大户开展技术应用；赵朋侠（9）来自周至县水土保持工作站，参与种植模式调研，提供生态栽培相关技术参考。

项目组主要完成人间主要合作方式包括：论文合著、共同知识产权研发、产业推广合作。合作成果包含多篇 SCI 及中文核心学术论文、2 件实用新型专利、百合绿色丰产成套技术体系，以及咸阳、汉中规模化示范推广成效。相关佐证材料为项目组发表论文、专利证书、应用效果证明等附件。

各完成人按照分工，分别从基础理论研究、装备创制、田间技术熟化、基层示范推广各环节协同开展工作，分工明确，紧密协作，共同完成本项目从基础机理研究到产业示范应用的全链条研究任务。

项目四十三

一、项目名称：多源异构数据协同驱动的耕地智能体系构建及应用

二、提名单位：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

提名意见：该成果针对传统耕地资源质量监测维度复杂、空间适用度有限、指标通用性差等问题，从耕地资源五大关键内涵出发，以提升耕地系统调查监测与科学评价水平为目标，历经 5 年的科研攻关与工程实践：

1）构建了集耕地类型、耕作系统、生态系统为一体的耕地系统调查监测指标体系，丰富了“天-空-地-谱”四位一体的快速监测理论；

2）构建了耕地多源协同立体调查监测技术体系，搭建了耕地质量监测数据库，建立了耕地资源评价体系；

3）研发了云端一体化的耕地监测成果智能发布与响应系统，开发了耕地资源信息服务体系，实现了耕地资源大尺度、长序列精准动态监测，为耕地资源的科学保护、高效利用与可持续管理提供了理论依据和技术支撑，成效显著。

成果获批实用新型专利 3 件，软件著作权 3 件，发表论文 20 篇，在宝鸡、渭南、西安等地示范应用约 18 万亩。该成果提升了信息获取的主动性、实时性和准确性，推动了耕地质量监测体系智能化发展，具有原创性和重要推广价值，在陕西乃至全国耕地保护与质量提升领域具有广阔的应用前景，对土地资源化利用与农业可持续发展具有重要意义。

同意提名申报陕西省科学技术进步奖三等奖。

三、项目简介

耕地资源是国家粮食安全和现代农业发展的基石，其数量保障、质量提升与生态维护直接关系到农产品稳定供给和农业农村可持续发展。随着我国城镇化、工业化进程加速，耕地资源保护面临严峻挑战：一方面，耕地“非农化”“非粮化”问题突出，优质耕地资源流失风险加剧；另一方面，土壤退化、污染等生态问题频发。为贯彻落实“藏粮于地、藏粮于技”战略和坚决守住 18 亿亩耕地红线的重大部署，国家持续强化耕地保护动态监测、智能监管与科学决策要求，对提升国土治理能力、服务乡村振兴战略和实施国家粮食安全工程具有重要现实意义。

传统耕地资源监测方法单一、共享融合困难、协同应用不足和更新频率低，同时存在自动化程度低、业务分散、难以实时捕捉动态变化等突出问题，严重阻碍了耕地资源的精准监管、科学治理与高效利用，制约了现代农业管理技术的创新发展，对国家粮食安全战略有效实施构成潜在风险。因此，从耕地资源五大关键内涵出发，以提升耕地系统调查监测与科学评价水平为目标，构建耕地系统调查监测指标体系、多源协同立体调查监测技术体系、耕地资源评价体系尤为重要。历经 5 年的科研攻关与工程实践，通过理论创新、技术研发、示范应用，取得如下创新成果：

1. 耦合了地理空间尺度和时间维度的多源数据契合点，构建了集耕地类型、耕作系统、生态系统为一体的耕地系统调查监测指标体系，丰富了“天-空-地-谱”四位一体的快速监测理论。

针对耕地资源监测方法单一、共享融合困难、协同应用不足和更新频率低等问题，通过整合卫星遥感、无人机低空遥感、地面传感器、移动监测终端以及地面光谱反演数据，明确了耕地资源地理空间尺度和时间维度的多源数据契合点，提出了“天-空-地-谱”四位一体的耕地资源智慧化监测理念。基于耕地“连续性、抗逆性、高产性、稳产性、生态性”五大关键内涵特性，全面分析了陕西省耕地质量提升存在的障碍性因素，耦合土体结构、养分、水质状况等自然因素，构建了涵盖耕地资源的自然质量、社会经济质量和生态质量 5 大特性、18 个耕地系统调查监测指标体系，解决了传统耕地质量评价的理论短板，推动了耕地资源的高效利用与可持续发展，助力陕西省耕地质量从“数量保障”向“质量提升”转型。

2. 耦合多源遥感、无人机、移动监测车、地面传感器和原位测量数据，构建了多参数、多时空尺度的耕地多源协同立体调查监测技术体系，搭建了耕地质量监测数据库，建立了耕地资源评价体系。

针对不同区域耕地资源监测覆盖有限、耗时费力且时效性差、自动化程度低、难以实时捕捉耕地动态变化等突出问题，耦合多源遥感、无人机、移动监测车、地面传感器和原位测量数据，构建了多参数、多时空尺度的耕地多源协同立体调查监测技术体系。耦合时空融合算法与机器学习模型，构建了统一的耕地质量监测数据库，实现了多源数据的高精度时空匹配与耕地监测指标的智能提取。构建了耕地质量监测数据库，设计“空间数据层-属性数据层-索引层”三层架构，并建立“自动筛查-交叉验证-专家审核”三级质量控制流程，保障数据库准确度高达 95%以上。建立了耕地资源监测评价体系，形成了涵盖“数量-质量-生态”3 大维度、18 项核心指标的评价体系，实现了耕地质量-数量-生态的协同评估，同时为耕地五大关键内涵特性监测理论与“天-空-地-谱”监测技术的有机衔接提供方法论支撑。

3. 研发了云端一体化的耕地监测成果智能发布与响应系统，开发了耕地资源信息服务体系，显著提升信息服务的精准性及系统协同响应效率。

针对耕地质量监测数据更新快、整合难、业务关联分散等难题，基于耕地质量监测数据库，研发了云端一体化的耕地监测成果智能发布与响应系统。首创“数据-模型-决策”三级联动，实现耕地管理全程可算、可视、可控，达成耕地质量监测数据高效、精细、可持续管理。开发了耕地资源信息服务体系，实现了数据成果的可视化交互与实时调用，为精准评估耕地质量现状及科学决策提供多维全景数据支撑，显著提升数据应用实效与落地转化能力。通过将技术能力转化为直观、便捷的服务工具，实现了耕地管理从数据到决策的无缝衔接，为各类用户提供高效、智能的解决方案，推动耕地管理工作向精准化、智能化方向持续发展。

成果获实用新型专利 3 件，软件著作权 3 件，论文 20 篇，在宝鸡、渭南、西安等地示范应用约 18 万亩，成果完善了耕地资源多源异构监测体系，实现了“天-空-地-谱”一体化监测，进一步提升了信息获取的主动性、实时性和准确性，推动耕地质量监测体系智能化、标准化发展，具有原创性和重要推广价值，在陕西乃至全国耕地保护与质量提升领域具有广阔的应用前景，对推动国家和陕西省行业科技进步具有积极引领作用，对土地资源化利用与农业可持续发展具有重要意义。

四、客观评价

1.与国内外同类技术比较

表 1 多源异构数据协同驱动的耕地智能体系与国内外相关技术的比较

比较维度	本项目	国内相关技术	国外相关技术
指标体系	构建连续性、抗逆性、高	以耕地面积、地力、利	注重作物识别与生态属性，

完整性	产性、稳产性、生态性的完整指标体系，覆盖自然、社会经济、生态等多属性，适配区域需求	用变化为主，指标较单一，缺生态与社会经济属性，无法全面评估耕地质量	但适配性差，未系统整合社会经济属性，精准判定能力有限
数据更新时效	统一调度多源数据，实时捕捉耕地动态，支持周级滚动更新，实现高频监测与实时响应	周期以季度-年度为主，多用人力，人工调查周期长，单一卫星遥感响应滞后，难以支撑实时决策	多为季节-年度尺度，数据时间同步性差，实时追踪能力弱，部分区域借助商业卫星可提升，但成本高
多源融合精度	首创多源协同融合策略，以“卫星定位-无人机诊断-地面校验-光谱反演”全链条融合，消除单一数据源误差，精度高	多源数据简单叠加，依赖规则与人工校核，缺乏统一模型，融合质量低	标准化程度高，精度稳定，但缺地面光谱校验环节，且融合模型难以适配区域特征，精度难达最优
决策支持深度	建立“监测-评价-预警-治理”全链条模型，支持多种耕地动态决策，政策制定与精准治理便捷	停留在数据统计层面，多用于统计上报与耕地保护占补平衡，决策支持层次较浅	以补贴核验与农场管理为主，侧重生产效率，服务导向明确，与我国农业需求不符，决策支持范围有限

2.验收意见

2021 年 1 月 6 日-7 日，铜川市自然资源局组织市农业农村局、市生态环境局及相关专家组成验收组，对石柱镇龙首村等 6 个土地整治项目进行了验收。验收组认为，耀州区石柱镇龙首村等 6 个土地整治项目符合土地利用总体规划调整完善成果，土地权属清晰，项目基本完成了项目批复的主要建设内容，工程质量合格，资料基本齐全，同意通过验收。

2021 年-2023 年，靖边县自然资源和规划局组织有关专家和相关股室对靖边县 2019 年第四批残次林地土地开发 80 个项目进行了分批次验收。验收组通过听取汇报、查阅资料以及实地查验，对项目进行审核评议。专家组认为，该批项目的建设使项目区内田、水、路、林得到综合治理，不仅有效的增加了耕地面积，而且提高了耕地质量和等级，对增加当地农民经济收入和提高农民生活水平起到了重要作用，一致认为初步验收合格。

2022 年 3 月 4 日，陕西省土地工程建设集团有限责任公司组织相关专家召开验收会议，对“耦合高光谱与机器学习的农田土壤有机质监测方法研究”进行了成果验收。专家组一致认为，该研究为渭河平原农田土壤有机质含量的快速、准确估测提供了重要参考，同时系统揭示了光谱特征与土壤微聚体结构及空间异质性之间的关系。项目研究内容详实，完成情况良好，全面实现了预期目标，并在结题验收中获得优秀等级。

2023 年，长安大学组织相关专家对“基于可见-近红外光谱的土壤微塑料机理探究”进行结题验收。验收组一致认为，该项目明确了微塑料与不同光谱变换间的响应关系，建立了研究区土壤微塑料光谱预测模型，为建立不同类型土壤微塑料风险评估方法和环境基准提供基础数据，对了解土壤微塑料来源、空间分布、迁移规律等方面提供技术指导。项目研究内容充实，指标完成情况良好，予以验收通过。

2023 年，陕西地建-西安交大土地工程与人居环境技术创新中心组织专家对“土地工程智能模拟与分析平台研发”(2021WHZ0088)进行验收。专家组认为，该项目通过相关数据挖掘算法挖掘多元遥感数据，综合各污染物特性以及水文、土壤、大气等多维角度，构建污染场地时空分布预测模型，对污染场的时空

分布进行可视化显示。项目已按要求完成预期研究内容及指标，且项目提供的验收资料齐全、规范，验收通过。

3.科技奖励

依托多参数、多时空尺度的多源协同立体调查监测技术，项目开展了沙区残次林地调查整治工作，该项工作对“基于砒砂岩与沙复配技术的沙区残次林地整治”项目提供了有力技术支撑。成果在2020年荣获“陕西省科技工作者创新创业大赛”二等奖。

依托多源遥感、地面监测与智能分析技术，项目构建了“土地整治生态环境质量智慧化监测”关键技术体系。该体系集成大数据、云计算与智能算法，实现了对土地整治区生态环境质量的精准监测与动态评价，显著提升了监测的时效性与智能化水平，并在陕西及周边地区开展了广泛应用，取得了良好的生态与社会效益。成果在2022年荣获“陕西省科学技术进步奖”三等奖。

依托耕地类型、耕作系统、生态系统为一体的耕地系统调查监测指标体系，丰富了滑坡空间预测影响因子指标体系。该体系进一步增强了滑坡敏感性评估模型的预测精度，提升了土地安全管理能力，并在陕南多个县区进行了方法验证，取得了显著的应用成效，为区域地质灾害防控和耕地资源可持续管理提供了有效技术支撑。成果在2023年“三新三小”创新竞赛活动中荣获三等奖。

五、应用情况

1．应用情况

该成果实现了“天-空-地-谱”四大智慧监测技术与耕地资源系统的深度融合，以多源卫星遥感和无人机低空遥感实现大范围、多尺度的耕地空间分布与变化信息监测，协同移动监测车、地面传感器对土壤温度、养分、病虫害等动态监测，实现了耕地生态环境全方位、全要素常态化动态的场景应用，为后续耕地管理与决策提供精准数据支撑。通过建立耕地资源数据要素库，形成耕地质量监测“一本账”，可实现耕地质量演变快速推演、占补平衡与生态风险分析，达到耕地质量监测数据高效、精细、可持续管理。

目前，已在西安、渭南、铜川、延安等市推广应用，累计应用约18万亩。该成果的实施与推广，有效提高了监测效率，改善了耕地资源监测方式，具有显著的社会、经济、生态效益，对促进数字化农业发展具有重大意义，具有较好的应用前景。

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	咸阳市土壤肥料工作站	多源异构数据协同驱动的耕地智能体系构建及应用	6万亩	2020-2023	李昱腾/15829901158
2	延安市甘泉县自然资源局	多源异构数据协同驱动的耕地智能体系构建及应用	3万亩	2019-2023	李俊超/18710768569
3	定边县自然资源和规划局	多源异构数据协同驱动的耕地智能体系构建及应用	1.5万亩	2019-2023	葛志宇/13319122415
4	千阳县自然资源局	多源异构数据协同驱动的耕地智能体系构建及应用	1.1万亩	2019-2023	周英/15829210557
5	旬阳市农业农村局	多源异构数据协同驱动的耕地智能体系构建及应用	9000亩	2019-2023	康鑫/13991359140

6	宝鸡市自然资源和规划局陈仓分局	多源异构数据协同驱动的耕地智能体系构建及应用	4800 亩	2019-2023	周英/15829210557
7	铜川市自然资源局耀州分局自然资源发展中心	多源异构数据协同驱动的耕地智能体系构建及应用	1.2 万亩	2019-2023	王俊杰/15209298239
8	蒲城县土地整理中心	多源异构数据协同驱动的耕地智能体系构建及应用	2000 亩	2019-2023	赵鹏飞/15202965754
9	陕西生态产业有限公司	多源异构数据协同驱动的耕地智能体系构建及应用	2 万亩	2019-2022	曲少东/15319786315
10	西安登安达地理信息科技有限公司	多源异构数据协同驱动的耕地智能体系构建及应用	7000 亩	2021-2023	马小龙/18220832556
11	中铖建设工程有限公司	多源异构数据协同驱动的耕地智能体系构建及应用	6000 亩	2020-2023	李俊芳/18066764051

2．经济效益和社会效益

多源异构数据协同驱动的耕地智能体系不仅实现了对耕地“数量-质量-生态”三位一体的全天候、全要素和全过程精准监管，显著提升了监测效率与精度。其次，显著增强了耕地管理的科学化与精细化水平，为高标准农田建设、种植结构优化、生态保护修复等重大任务提供了关键数据支撑和决策依据，全面赋能“藏粮于地、藏粮于技”战略的落地实施。同时对提升耕地治理现代化水平和保障国家粮食安全具有重大意义。

一是构建了集耕地类型、耕作系统、生态系统为一体的耕地系统调查监测指标体系，丰富了“天-空-地-谱”四位一体的快速监测理论。解决了传统耕地质量评价的理论短板，推动了耕地资源的高效利用与可持续发展，助力陕西省耕地质量从“数量保障”向“质量提升”转型。

二是构建了多参数、多时空尺度的耕地多源协同立体调查监测技术体系，搭建了耕地质量监测数据库，建立了耕地资源评价体系。实现了耕地质量-数量-生态的协同评估，同时为耕地五大关键内涵特性监测理论与“天-空-地-谱”监测技术的有机衔接提供方法论支撑。

三是研发了云端一体化的耕地监测成果智能发布与响应系统，开发了耕地资源信息服务体系，显著提升信息服务的精准性及系统协同响应效率。实现了耕地管理从数据到决策的无缝衔接，为各类用户提供高效、智能的解决方案，推动耕地管理工作向精准化、智能化方向持续发展。

六、主要知识产权和标准规范等目录

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	Estimation of soil organic matter content based on CARS algorithm coupled with random forest	中国	2021,258:119823	2021-04-01	Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy	陕西农业发展集团有限公司	Jinbao Liu, Zhenyu Dong*, Junshi Xia, Huanyuan Wang, Tingting Meng, Ruiqing Zhang, Jichang Han., Ni Wang, Jiancang Xie
2	论文	Optimizing machine learning and bagging-based hybrid models for landslide susceptibility mapping: a case study in Chenggu County, China	中国	2025，15:44211	2025-11-27	Scientific Reports	中陕高标准农田建设集团有限公司	Xin xiang Lei, Jinbao Liu, Yichun Du, Liping Liu, Yanxi Yuan, Xia Zhao, Zhenzhen Guo&Xueying Wu
3	论文	Evolutionary game analysis of government, businesses, and consumers in high-standard farmland low-carbon construction	中国	2024,16：20220593	2023-12-01	Open Geosciences	中陕高标准农田建设集团有限公司	Yuting Dai, Jinbao Liu, Yichun Du
4	论文	Toward Carbon Neutrality: Spatiotemporal Evolution and Key Influences on Agricultural Ecological Efficiency in Northwest China	中国	2025，17:20250872	2025-08-01	Open Geosciences	中陕高标准农田建设集团有限公司	Yuting Dai, Yangyang Zhao, Lintao Luo, Yafei Ji, Jian Wang
5	实用新型专利	一种测绘遥感探头	中国	CN219416190U	2023-07-25	19383163	中陕高标准农田建设集团有限公司	刘金宝，张永峰，冯亮，代玉婷，胡琴芬

6	实用新型专利	一种农业遥感监测装置	中国	ZL202222726452.0	2023-01-03	18199982	中陕高标准农田建设集团有限公司	刘金宝；张永锋；杜宜春；刘天成；杨文强；杨龙；曹锦雪
7	实用新型专利	一种地块检测采集装置	中国	CN219416778U	2023-07-25	19382227	中陕高标准农田建设集团有限公司	刘金宝，罗林涛，杜宜春，廖浩宇，张恒宇
8	软件著作权	农业物联网操控软件 V1.0	中国	2024SR0062714	2023-05-17	12466587	中陕高标准农田建设集团有限公司	刘金宝；雷新翔；师晨迪； 张恒宇；张国荣
9	软件著作权	智慧农业土壤监测系统 V1.0	中国	2025SR0909166	2025-05-30	15565364	中陕高标准农田建设集团有限公司	刘金宝；贾琼瑜；卢垟杰
10	软件著作权	土壤健康分析软件 V1.0	中国	2025SR0902787	2025-05-30	15558985	中陕高标准农田建设集团有限公司	刘金宝；代玉婷、张恒宇

七、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目（学术性/技术创造性）贡献
刘金宝	第一	中陕高标准农田建设集团有限公司党委委员、总工程师	高级工程师	中陕高标准农田建设集团有限公司	中陕高标准农田建设集团有限公司	项目第一完成人。负责总体设计与组织实施。对创新点 1、2、3 做出主要贡献。提出了“天-空-地-谱”四位一体的耕地资源智慧化监测理念，构建了集耕地类型、耕作系统、生态系统为一体的耕地系统调查监测评价指标体系，搭建了耕地质量监测数据库，建立了耕地资源评价体系；为耕地五大关键内涵特性监测理论与“天-空-地-谱”四位一体监测技术有机衔接提供重要支撑。为主要知识产权 1、2、3、5、6、7、8、9、10 完成人。
雷新翔	第二	部门副经理	工程师	中陕高标准农田建设集团有限公司	中陕高标准农田建设集团有限公司	项目主要完成人。负责关键技术的开发与集成，对创新点 3 做出主要贡献。负责耕地资源信息服务体系构建，完善系统相应目标、方法、技术等内容，参与服务体系在科技管理及工程项目上应用。为主要知识产权 2、8 完成人。
代玉婷	第三	部门副经理	工程师	中陕高标准农田建设集团有限公司	中陕高标准农田建设集团有限公司	项目主要完成人。参与项目总体设计与逻辑设计，承担多源数据时空匹配与数据库结构优化工作，推动耕地质量监测数据库的高精度融合与智能提取；在应用推广阶段负责成果验证与改进，提升了系统的实用性与推广价值，为项目科技创新与应用落地做出重要贡献。为主要知识产权 3、4、5、10 完成人。
卢垟杰	第四	/	工程师	中陕高标准农田建设集团有限公司	中陕高标准农田建设集团有限公司	项目主要完成人。负责理论体系的研究与构建，对创新点 1 做出主要贡献。参与耕地系统调查监测评价指标体系的构建，负责“天-空-地-谱”四位一体的快速监测理论，为耕地质量提升提供技术支撑。为主要知识产权 9 完成人。
贾琼瑜	第五	/	助理工程师	中陕高标准农田建设集团有限公司	中陕高标准农田建设集团有限公司	项目主要参与人。负责项目组织协调、资料归档整理工作，负责项目客观评价相关内容。为主要知识产权 9 完成人。
张国荣	第六	/	工程师	中陕高标准农田建设集团有限公司	中陕高标准农田建设集团有限公司	项目主要参与人，负责耦合多源遥感、无人机、移动监测车、地面传感器和原位测量数据的异构融合，构建多参数、多时空尺度的耕地多源协同立体调查监测技术体系，搭建耕地质量监测数据库，建立耕地资源评价体系等方面工作。为主要知识产权 8、9 完成人。
张恒宇	第七	/	工程师	中陕高标准农田建设集团有限公司	中陕高标准农田建设集团有限公司	项目主要参与人，负责项目应用情况和经济社会效益等方面工作，对接开具相关应用证明材料。为主要知识产权 7、8、10 完成人。

八、主要完成单位及创新推广贡献

排名	完成单位	单位性质	法定代表人	联系人/电话	通讯地址	邮政编码	对本项目主要贡献
1	中陕高标准农田建设集团有限公司	国有企业	侯宪东	师晨迪/17791993061	陕西省杨凌示范区杨凌大道1号	712100	中陕高标准农田建设集团有限公司成立于2021年11月，是省管国有大型企业陕西农发集团控股子公司，也是本项目第一完成单位，主要从事高标准农田建设、耕地产能提升、全域土地整治、山水林田湖草生态保护修复、耕地保护和质量提升等业务。公司紧密围绕提升国家粮食安全保障能力，推动“藏粮于地”、“藏粮于技”战略和乡村振兴战略实施，采用“一公司一中心”模式，积极打造国家级科研创新平台-中国杨凌耕地保护与质量提升创新中心，致力于耕地保护与质量提升技术的源头性创新，主要从事高标准农田建设、耕地产能提升、淤地坝、土地整治、山水林田湖草生态保护修复项目等业务，归口管理陕西农发集团高标准农田建设和产能提升业务。公司将立足陕西面向全国，加快推进我省高标准农田建设标准，逐步建设为国家级高标准农田的行业领军企业。目前依托公司设有陕西省耕地保护与质量提升产业创新中心、农村农业部耕地质量监测与保育重点实验室和陕西省第三次全国土壤普查资源库。 单位为本项目研究与应用提供了必要的人员和科技支持。同时，在项目实施过程中培养了一批高素质的科研人员、技术骨干及基层科技人员，为现代农业技术领域储备了人才

九、完成人合作关系说明

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	共同知识产权	刘金宝/1，代玉婷/2，张恒宇/3	2025年1月	2025年6月	土壤健康分析软件V1.0
2	共同知识产权	刘金宝/1,雷新翔/2，张恒宇/4，张国荣/5	2022年7月	2023年5月	农业物联网操控软件V1.0
3	共同知识产权	刘金宝/1，贾琼瑜/2,卢垟杰/3	2024年7月	2025年5月	智慧农业土壤监测系统V1.0

4	共同知识产权	刘金宝/1，张恒宇/5	2023 年 4 月	2023 年 7 月	一种地块检测采集装置

完成人合作关系说明（限 1000 字）

本项目共有 7 个完成人，就职于 1 家企业，具体如下：刘金宝/1、雷新翔/2、代玉婷/3、卢垟杰/4、贾琼瑜/5、张国荣/6、张恒宇/7(中陕高标准农田建设集团有限公司)。上述完成人在“多源异构数据协同驱动的耕地调查监测智能体系构建及应用”方面开展广泛合作研究与示范推广。

具体如下所示：

刘金宝是团队负责人，负责对本项目研究方案的制定、项目立项、人员调配、经费筹措、应用与推广进行了全程的参与、指导、协调和推动。项目组内成立 3 个小组，分别为项目设计组、技术研发组、应用推广组。

项目设计组主要包括刘金宝、雷新翔负责对项目的总体设计、概念设计以及逻辑设计提出思路，给与相关的理论支撑。

技术研发组主要包括刘金宝、代玉婷、卢垟杰、张国荣、张恒宇负责本项目中平台的关键性技术开发及相关理论研究工作，并对工程实施过程中遇到的技术问题组织论证、研究和解决。

应用推广组包括刘金宝、雷新翔、贾琼瑜、张恒宇负责与技术研发组之间进行技术沟通以及项目的推广和应用，在应用中向项目组实时反馈技术问题，并对项目组提出的解决方案进行实地验证和监督。