

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

李怡萍

一、项目名称：陕甘两省蔬菜重大害虫防控基础理论和关键技术创新研究与应用

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：

蔬菜是陕西省重要的经济支柱产业，武威市设施蔬菜面积居甘肃省第 1 位。小菜蛾和粉虱是蔬菜生产中毁灭性害虫，蚜虫、潜叶蝇、甜菜夜蛾、红蜘蛛等也是常发性重要害虫。这些害虫危害重、防治困难，有效防控技术缺乏，项目从昆虫中肠 Bt 受体和蛋白酶抑制剂、传感器与微波杀虫方面创新性研究了小菜蛾、甜菜夜蛾和蚜虫防控基础理论。研发了①性诱剂诱捕器、释放天敌以及生物农药相结合的小菜蛾绿色防控关键技术；②具有驱避作用的芳香植物和诱捕作用的黄色粘虫板+寄主植物挥发物组成推拉策略的防治粉虱创新技术；③黄板与生物源农药相结合的温室白粉虱和美洲斑潜蝇防治技术；④含多种糖类和植物次生物质的纯天然助剂与杀虫剂混合对设施蔬菜红蜘蛛的高效防治关键技术。组装了“清、闷、诱、粘、防、放”的蔬菜害虫绿色防控技术体系 3 套。在西安市、宝鸡市、咸阳市、渭南市、安康市和甘肃省武威市示范和推广，使化学杀虫剂减少 2 次以上，对害虫防效达 80%以上，增产 10%，化学农药减施比例达 50%以上。近四年在陕西省推广面积 401 万亩，新增销售额达 387366 万元，新增利润达 349672 万元；在武威市示范推广 15 万亩，节本增效约 15000 万元。累计培训技术人员 5000 人次。取得了一定的经济和社会效益，对陕甘两省蔬菜绿色、安全持续发展和生态平衡起到了一定的推动作用。项目发表论文 20 多篇，获得专利 3 件，标准 1 项，软件 1 项，项目获奖 2 项，个人获奖 3 项，参编著作 1 本，培养研究生 10 人。成果国内领先，国际达同类水平。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

## 三、项目简介：

蔬菜是陕西省重要的经济支柱产业，2022 年陕西省蔬菜种植面积约 807.7 万亩，蔬菜产量约 2013.8 万吨。武威市是甘肃省重要的蔬菜生产基地和全国北方大中型城市冬春设施蔬菜生产供应基地，2022 年全市日光温室设施蔬菜种植面积 19.59 万亩，产量达到 100 万吨以上，居甘肃省第 1 位。小菜蛾是危害十字花科蔬菜的世界性重大害虫，是蔬菜上头号害虫。蔬菜粉虱（温室白粉虱和烟粉虱）是蔬菜生产中毁灭性害虫。蔬菜蚜虫、潜叶蝇、甜菜夜蛾、红蜘蛛、蓟马也是蔬菜上常发性重要害虫。这些害虫危害严重时可导致蔬菜减产 30%-50%，甚至绝产。目前这些重大害虫的防治主要以化学防治为主，由于频繁使用化学农药导致抗性、残留、再猖獗问题日益严重，

防治难度加大，同时引起消费者对环境和食品安全的恐慌，这些瓶颈问题制约蔬菜的安全生产。

鉴于以上背景，项目组在承担的陕西省科学技术研究发展计划项目、甘肃省科学计划项目、甘肃省陇原青年创新创业人才项目和咸阳市推广项目等项目的资助下，探索重大蔬菜害虫防治的基础理论，研究和集成绿色防控关键技术，进一步应用和推广。经过近 10 年的研究，取得的主要创新点有：

1. 小菜蛾、甜菜夜蛾和蚜虫防控基础理论创新研究。（1）首次发现了小菜蛾中肠 Polycalin 蛋白具有与 Bt 毒素结合的特性，具有 Bt 受体功能；Bt 的 Cry1Ac 毒素对小菜蛾幼虫中肠蛋白酶和羧酸酯酶活性具有一定影响；发现大豆胰蛋白酶抑制剂对小菜蛾中肠蛋白酶有抑制作用。甜菜夜蛾幼虫中肠蛋白酶活性在不同寄主植物之间存在显著差异。上述结果为以害虫中肠 Bt 受体和蛋白酶为靶标的害虫防治理论提供重要参考价值。（2）首次发现了小菜蛾成虫口器上的 5 种感器，可为研发以感器为靶标的食诱剂害虫防治理论提供重要依据。（3）明确了小菜蛾在不同寄主植物上的适应性，为利用种植诱集品种和抗虫品种防治小菜蛾提供了理论依据。（4）首次报道了 5 500 MHz 微波照射时间为 15 s 时对桃蚜 1 日龄无翅成蚜的致死作用最强，为利用现代物理技术防治蚜虫提供了重要应用价值。

2. 重大害虫绿色防控关键技术创新研究。（1）明确了小菜蛾在陕西省太白蔬菜基地的危害程度与防治现状，研发了性诱剂诱捕器、释放天敌（螟黄赤眼蜂）以及筛选高效低毒的生物农药 3 种小菜蛾绿色防控关键技术。（2）在甘肃设施蔬菜基地，针对烟粉虱和温室白粉虱，研发了具有驱避作用的芳香植物和诱捕作用的黄色粘虫板+寄主植物挥发物组成推拉策略的防治创新技术。（3）在陕西杨凌设施蔬菜基地研发了黄板与生物源农药相结合的温室白粉虱和美洲斑潜蝇防治技术。（4）在武威蔬菜基地研发了含多种糖类和植物次生物质的纯天然助剂与杀虫剂混合使用对设施蔬菜红蜘蛛的高效防治技术。

3. 绿色防控技术集成与应用。组装了“清、闷、诱、粘、防、放”绿色防控技术体系，即以清洁田园、高温闷棚等生态调控为基础，以性诱剂和粘虫板监测为前提的精准防治为依据，集成了以性诱剂诱捕（PLT-A 信息素光源诱捕器）、生物农药防治及释放赤眼蜂为主的小菜蛾绿色防控技术 1 套，以植物源诱芯、粘虫板（彩色背景板、黄板和蓝板）、防虫网及生物源农药防治相结合的粉虱、潜叶蝇和蓟马绿色防控

技术 1 套，天然助剂及生物源农药红蜘蛛绿色防控技术 1 套。通过专家技术培训、发放宣传资料和现场技术指导等方式，由陕西省植保总站负责，在各基层农技、植保和园艺单位示范推广，在西安市、宝鸡市、咸阳市、渭南市、安康市建立示范和推广基地，开展“清、焖、诱、粘、防、放”的绿色防控关键技术。在甘肃省武威市通过“科研单位+合作社+基地+农户”的技术研发和应用推广模式。项目实施后，使化学杀虫剂减少 2 次以上，对害虫防效达 80%以上，增产 10%，化学农药减施比例达 50%以上。近四年在陕西省推广面积 401 万亩，新增销售额达 387366 万元，新增利润达 349672 万元。在武威市四年来全市累计示范带动 15 万亩，共实现节本增效约 15000 万元。近四年累计培训技术人员 5000 人次。取得了一定的经济和社会效益，对陕甘两省蔬菜绿色、安全持续发展和生态平衡起到了一定的推动作用，值得以后在全国蔬菜基地大力推广和应用。

项目获奖 2 项，个人获奖 3 项，发表论文 20 多篇，获得专利 3 件，标准 1 项，软件 1 项，参编著作 1 本，培养研究生 10 人。

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

##### **1. 成果鉴定意见**

2021 年 11 月，国家科技进步奖二等奖（排名第 1）、中国农科院“蔬菜害虫防控”首席科学家、中国农业科学院蔬菜花卉研究所所长张友军二级研究员认为，本成果发现的小菜蛾、甜菜夜蛾和蚜虫防控基础理论创新性明显，为以害虫中肠 Bt 受体、蛋白酶抑制剂、昆虫感器为靶标的害虫防治理论提供重要参考价值，首次报道了 5 500 MHz 微波照射蔬菜桃蚜 1 日龄无翅成蚜的致死作用最强，为利用现代物理技术防治蚜虫提供了重要应用价值。组装和研发的蔬菜害虫绿色防控关键技术创新性强，推广效果显著，达到国内先进水平。

2021 年 12 月，陕西省昆虫学会组织专家对计划申报的“陕甘两省蔬菜重大害虫防控基础理论和关键技术创新研究与应用”成果进行鉴定，专家们一致认为该成果理论和关键技术创新性强、应用效果突出，为我陕甘两省的蔬菜产业可持续发展提供了技术支撑，整体水平属国内领先，国际达同类水平。

##### **2. 科技查新**

第三方查新报告认为：本项目发现的小菜蛾和蚜虫防控基础理论、涉及到的性诱剂诱捕器、释放天敌（螟黄赤眼蜂）以及筛选高效低毒的生物农药 3 种小菜蛾绿色防控关键技术、利用驱避温室白粉虱的芳香植物和诱捕作用的黄色粘虫板+寄主植物挥发物组成推拉策略防治烟粉虱和温室白粉虱的创新技术和在武威蔬菜基地研发了含多种糖类和植物次生物质的纯天然助剂与杀虫剂混合使用对设施蔬菜红蜘蛛的高效防治技术。除项目组的文献外，在所查国内外文献中均未见相同报道，具有原始创新性。

### 3. 国家发明专利授权和标准情况

成果的 2 个中国发明专利“一种准确测量昆虫肠道环境真实 pH 值的方法”和“一种斜纹夜蛾的人工群体饲养方法”在蔬菜害虫的防治理论创新方法技术中具有重要作用。1 个实用新型专利“一种设施栽培蔬菜爬蔓架”设备在成果中的粘虫板（黄板、蓝板）和赤眼蜂卵卡悬挂方面，可实现多功能高效防控害虫。

### 4. 政府采纳（科技报告）情况

陕西省科学技术情报研究院提供的“蔬菜小菜蛾绿色防控技术研究及示范”成果，2021 年获批科技报告收录证书（SNSTR-2021-001649）。成果“推拉策略（Push-Pull Strategy）防治温室烟粉虱的研究技术” 2021 年登记为甘肃省科学技术厅成果（9622021Y0028）。这些登记成果在陕甘两省蔬菜害虫绿色防控技术中具有重要价值。

### 5. 项目验收情况

陕西省科技厅组织专家对西北农林科技大学承担的陕西省科学技术研究发展计划项目“蔬菜小菜蛾绿色防控技术研究及示范”进行了验收。甘肃省科技厅组织专家对武威市农业科学研究院承担的甘肃省科学计划项目“推拉策略（Push-Pull Strategy）防治温室烟粉虱的研究技术”进行了验收。武威市科学技术局对甘肃省陇原青年创新创业人才项目“武威市设施蔬菜化肥农药减施增效技术研究及示范推广”进行了验收。专家组一致认为这些项目研究工作系统，完成项目各项指标，同意结题验收。

### 6. 国内外对本项目研究成果的引用情况（论文和著作）

本成果研究的小菜蛾、甜菜夜蛾和蚜虫防控基础理论及各项绿色防控关键技术到部分在国内外本领域重要学术刊物 *Frontiers in Physiology*, *Journal of Integrative Agriculture*, 昆虫学报, 环境昆虫学报, 西北农业学报和中国瓜菜等期刊发表论文,

负责的研发的软著“农业害虫田间调查与实践技能仿真实训系统 V1.0”，参编的《蔬菜病虫害绿色防控技术》，具有一定社会影响力。

## 7. 获奖情况

①李怡萍 袁向群 刘同先 仵均祥. 申报的“基于重大果蔬害虫传感器和中肠为靶标的防治理论研究”2022年获陕西高等学校科学技术研究优秀成果“二等奖”。

②王芳 张富和 何浩 齐纯立 史党辉 王欣 南龙飞 王刚 郑党军 强大勇. 申报的“漠西大葱优质高产高效栽培技术集成与品牌建设”2021年获咸阳市农村科技进步奖“一等奖”。

③于海利 2021年度分获武威市科技特派员先进个人、全国科技活动周先进个人和武威青年五四奖章3项。

## 五、应用情况：

在陕西省科学技术研究发展计划项目、甘肃省科学计划项目、甘肃省陇原青年创新创业人才项目和咸阳市推广项目等项目的资助下，由西北农林科技大学、陕西省植物保护工作站、武威市农业科学研究院、乾县农业科技中心等单位联合研发，开展了陕甘两省蔬菜重大害虫防控基础理论和关键技术创新研究，集成了蔬菜害虫绿色防控技术体系并示范推广。本项目的主要推广措施：（1）推广模式：以陕西省植物保护总站为主要技术推广单位，其他参加单位联合，通过在陕西省的西安市、宝鸡市、咸阳市、渭南市、安康市建立示范和推广基地，各基层农技、植保和园艺单位配合，将技术示范和推广。（2）推广途径：技术培训、发放宣传资料、微信服务与现场指导等。在示范基地通过参与单位和专家，开展“清、焖、诱、粘、防、放”的绿色防控关键技术实施与推广。在甘肃省武威市通过“科研单位+合作社+基地+农户”的技术研发和应用推广模式。项目实施后，使化学杀虫剂减少2次以上，对害虫防效达80%以上，增产10%，化学农药减施比例达50%以上。近四年在陕西省推广面积401万亩，新增销售额达387366万元，新增利润达349672万元。在武威市四年来在全市累计示范带动15万亩，共实现节本增效约15000万元。近四年累计培训技术人员5000人次。取得了一定的经济和社会效益，对陕甘两省蔬菜绿色、安全持续发展和生态平衡起到了一定的推动作用，值得以后在全国蔬菜基地大力推广和应用。

主要应用单位情况表

| 应用单位名称 | 应用技术 | 应用的起止时间 | 应用单位<br>联系人/电话 | 应用情况 |
|--------|------|---------|----------------|------|
|--------|------|---------|----------------|------|

|                |                     |            |                    |   |
|----------------|---------------------|------------|--------------------|---|
| 陕西省植物保护总站      | 蔬菜重大害虫绿色防控关键技术研究与应用 | 2017-2020年 | 谢飞舟<br>13201672529 | 近四年累计负责在陕西省示范面积401万亩,新增销售额达387366万元,新增利润达349672。  |
| 宝鸡市农业技术推广服务中心  | 蔬菜重大害虫绿色防控关键技术研究与应用 | 2017-2020年 | 白应文<br>13209171016 | 近四年累计宝鸡示范面积87万亩左右,新增销售额达83085万元,新增利润达75081万元。     |
| 西安市农业技术推广服务中心  | 蔬菜重大害虫绿色防控关键技术研究与应用 | 2017-2020年 | 徐进<br>13720739933  | 近四年累计西安示范面积82万亩左右,新增销售额达86428万元,新增利润达78392万元。     |
| 咸阳市园艺站         | 蔬菜重大害虫绿色防控关键技术研究与应用 | 2017-2020年 | 董娟<br>13335415775  | 近四年累计咸阳示范面积80.3万亩,总新增收入61338万元,总新增利润55862.1万元。    |
| 渭南市农业技术推广中心    | 蔬菜重大害虫绿色防控关键技术研究与应用 | 2017-2020年 | 刘艾英<br>13379339069 | 近四年累计渭南示范面积90万亩,总新增收入85950万元,新增销售额达77670万元。       |
| 安康市农业农村局技术推广中心 | 蔬菜重大害虫绿色防控关键技术研究与应用 | 2017-2020年 | 陈友乾<br>13772227990 | 近四年累计安康示范面积61.7万亩左右,新增销售额达70565万元,新增利润达60360.9万元。 |
| 武威市农业科学研究院     | 蔬菜重大害虫绿色防控关键技术研究与应用 | 2017-2020年 | 于海利<br>17793521589 | 近四年在武威市市累计示范带动15万亩,共实现节本增效约15000万元。               |

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限10条）

| 序号 | 知识产权类别  | 知识产权具体名称             | 国家(地区) | 授权号                 | 授权日期       | 证书编号       | 权利人        | 发明人                          |
|----|---------|----------------------|--------|---------------------|------------|------------|------------|------------------------------|
| 1  | 中国发明专利  | 一种准确测量昆虫肠道环境真实pH值的方法 | 中国     | ZL 2017 1 1116143.9 | 2021.8.20  | 4628254    | 西北农林科技大学   | 李怡萍, 李引, 仵均祥                 |
| 2  | 中国发明专利  | 一种斜纹夜蛾的人工群体饲养方法      | 中国     | ZL 201410036 275.0  | 2014.1.26  | 1799673    | 西北农林科技大学   | 仵均祥、成巨龙、张南、李怡萍、许向利           |
| 3  | 实用新型专利  | 一种设施栽培蔬菜爬蔓架          | 中国     | ZL2020207 62988.6   | 2021.11.02 | 14563988   | 武威市农业科学研究院 | 于海利、苏俊平、陈婷、张仲保               |
| 4  | 陕西省地方标准 | 白菜病虫害绿色防治技术规程        | 中国     | DB61/T104 8-2016    | 2016.11.15 | 陕西省质量技术监督局 | 陕西省植物保护工作站 | 雷虹、苏小记、张战利、贾育恒、王雅丽、文耀东、曹红梅、郭 |

|   |    |                          |    |               |            |          |          |         |
|---|----|--------------------------|----|---------------|------------|----------|----------|---------|
|   |    |                          |    |               |            |          |          | 彦君      |
| 5 | 软件 | 农业害虫田间调查与实践技能仿真实训系统 V1.0 | 中国 | 2020SR1909031 | 2020.12.29 | 07134087 | 西北农林科技大学 | 李怡萍负责研发 |

六、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)

[1] Zhao, A., Li, Y., Leng, C., Wang, P., **Li, Y.** Inhibitory effect of protease inhibitors on larval midgut protease activities and the performance of *Plutellaxylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Frontiers in Physiology*, 2019.9: 1963.

[2] **LI Yi-ping**, DU Xiao, LIU Fang-fang, LIU Tong-xian. Ultrastructure of the sensilla on antennae and mouthparts of larval and adult *Plutellaxylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(6): 1409-1420.

[3]曾纪岚,孔祥东,董梓慧,仵均祥,**李怡萍**.五种寄主植物对甜菜夜蛾幼虫中肠蛋白酶活性的影响.环境昆虫学报,2019,41(1):42-49.

[4]冷春蒙,**袁向群**,周靖华,**侯伟**,**郭彦君**,时春喜,刘俊松,**李怡萍**.3种绿色防控技术对小菜蛾的防治效果.西北农业学报,2020,29(8):1278-1284

[5]李引,冷春蒙,胡迪,仵均祥,**李怡萍**.不同寄主植物对小菜蛾生长发育和繁殖的影响.西北农业学报,2019,28(3):165-170.

[6]张宣,易蓬,褚平富,**袁向群**,展恩玲,冷春蒙,李引,胡迪,**李怡萍**.微波辐射对桃蚜生长发育和繁殖的影响.昆虫学报,2020,63(10):1215-1222.

[7]**于海利**,**苏俊平**,院海英,张仲保.植物源诱芯和黄板联用防治瓜菜温室白粉虱.中国瓜菜,2019,32(10):64-67.

[9]胡作栋、何浩、胡美绒主编,**王欣**参编.蔬菜病虫害绿色防控技术.陕西科技出版社,2019.8, ISBN978-5369-76199-1

## 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  |
|-----|----|-------------|---------------|--|
| 李怡萍 | 1  | 教授          | 西北农林科技大学      | 负责项目总体设计，制定研究方案，组织实施项目计划。开展了小菜蛾、甜菜夜蛾和蚜虫防控基础理论等创新研究工作，明确了小菜蛾在陕西省太白蔬菜基地的危害程度与防治现状，研发了性诱剂诱捕器、释放天敌（螟黄赤眼蜂）以及筛选高效低毒的生物农药3种小菜蛾绿色防控关键技术。研发了防控关键技术，组织实施了试验示范、技术培训和推广。 |
| 谢飞舟 | 2  | 副科长 / 高级农艺师 | 陕西省植物保护工作总站   | 参与制定项目总体研究方案和实施计划。组装了“清、焖、诱、粘、防、放”绿色防控技术体系，全面负责组织实施了试验示范、技术培训和推广任务以及负责在安康市的具体示范和推广。对该项目陕西省的基本情况总结，重点突出项目应用后对节支成本影响、社会效益及生态效益等。                               |
| 袁向群 | 3  | 研究员         | 西北农林科技大学      | 作为项目的主要完成人，开展了小菜蛾和蚜虫防控基础理论等创新研究工作，参加了3种关键技术对小菜蛾的绿色防控研究。在陕西杨凌设施蔬菜基地研发了黄板与生物源农药相结合的温室白粉虱和美洲斑潜蝇防治技术。实施了试验示范、技术培训和推广任务。  |
| 于海利 | 4  | 副研究员        | 武威市农业科学研究院    | 作为项目在甘肃省的主要完成人，在甘肃设施蔬菜基地，针对烟粉虱和温室白粉虱，研发了具有驱避作用的芳香植物和诱捕作用的黄色粘虫板+寄主植物挥发物组成推拉策略的防治创新技术。在武威蔬菜基地研发了含多种糖类和植物次生物质的纯天然助剂与杀虫剂混合使用对设施蔬菜红蜘蛛的高效防治技术。开展了试验示范及技术推广等工作。     |
| 王欣  | 5  | 副主任 / 高级农艺师 | 乾县农业科技中心      | 为项目在乾县的主要完成人，在乾县大杨镇、灵源镇、阳洪镇、马连镇、城关镇、梁村镇、王村镇、临平镇等镇蔬菜生产基地对设施及露地蔬菜蚜虫、粉虱、蓟马、潜叶蝇、小菜蛾等害虫开展清洁田园、高温焖棚、地膜覆盖、黄板、蓝板、防虫网及生物源农药防治等绿色防控关键技术，参与标准和专著编写，进行技术培训指导、示范推广。       |
| 侯伟  | 6  | 农艺师         | 宝鸡市农业技术推广服务中心 | 参与小菜蛾关键防控技术相关研究工作，在宝鸡市开展蔬菜蚜虫、粉虱、蓟马、潜叶蝇、小菜蛾、跟蛆等害虫绿色防控等关键防治技术，进行试验示范，指导菜农绿色防控关键技术。   |
| 苏俊平 | 7  | 农艺师，        | 武威市农业科学研究院    | 在甘肃参与烟粉虱和温室白粉虱关键防控技术相关研究工作，开展了试验示范及技术推广，在设施蔬菜害虫防治技术与模式推广方便做了大量工作，取得了良好效果。  |
| 刘艾英 | 8  | 科长 / 正高级农艺师 | 渭南市农业技术推广中心   | 负责渭南市蔬菜害虫防控关键技术示范推广、技术培训与服务指导工作。   |



|     |    |           |               |   |
|-----|----|-----------|---------------|---|
| 郭彦君 | 9  | 站长 / 农艺师  | 太白县农业技术推广服务中心 | 参与小菜蛾关键防控技术相关研究工作, 负责太白县蔬菜害虫防控关键技术示范推广、技术培训与服务指导工作。 |
| 刘涛  | 10 | 副主任 / 农艺师 | 西安市农业技术推广中心   | 负责西安市蔬菜害虫防控关键技术示范推广、技术培训与服务指导工作。                    |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称       | 排名 | 主要贡献   |
|------------|----|--|
| 西北农林科技大学   | 1  | 在研发条件、实践基地、成果鉴定、推广和应用过程中, 发挥了重要的组织协调、管理和落实作用, 保证了项目任务顺利实施。主要支持项目组开展了小菜蛾、甜菜夜蛾和蚜虫防控基础理论等创新研究工作, 研发了小菜蛾性诱剂诱捕器、释放天敌(螟黄赤眼蜂)以及筛选高效低毒的生物农药3种小菜蛾绿色防控关键技术。在陕西杨凌设施蔬菜基地研发了黄板与生物源农药相结合的温室白粉虱和美洲斑潜蝇防治技术研发了防控关键技术。进行技术培训, 组织实施示范应用和推广。同时培养研究生, 我校在这一领域的研究水平, 推动和促进了行业发展。 |
| 陕西省植物保护工作站 | 2  | 通过制定防控技术试验示范方案, 组织和协调各基层农机推广单位, 在西安市、咸阳市、宝鸡市、渭南市、安康市建立防控技术示范区, 示范推广关键防控技术, 并开展技术培训、指导和推广以及在安康市的绿色防控关键技术推广, 对该项目陕西省的基本情况总结, 重点突出项目应用后对节支成本影响、社会效益及生态效益等。  |
| 武威市农业科学研究所 | 3  | 配合主持单位开展蔬菜害虫防控关键技术研发, 在武威市通过调查研究, 示范推广以及集成示范推广新技术, 加快病虫害防控绿色安全方向的转变。同时通过项目实施打造了一只专业知识过硬、实践能力过强的蔬菜害虫绿色防控人才队伍。   |
| 乾县农业科技中心   | 4  | 配合植保总站开展绿色防控关键技术, 进行示范推广, 通过集中培训、现场指导、观摩学习等方式示范推广关键防治技术应用, 发放技术书籍10000多本, 经济、社会、生态效益明显。  |

## 九、完成人合作关系情况

| 序号 | 合作方式 | 合作者/项目排名 | 合作时间   | 合作成果           | 证明材料        |
|----|------|----------|--------|----------------|-------------|
| 1  | 示范推广 | 谢飞舟/2    | 2017.1 | 推广地区和面积        | 推广效益证明      |
| 2  | 共同立项 | 袁向群/3    | 2014.1 | 关键技术研发         | 论文          |
| 3  | 科研合作 | 于海利/4    | 2016.1 | 关键技术研发、专利、推广效益 | 合作协议、推广效益证明 |
| 4  | 论文合著 | 王欣/5     | 2017.1 | 关键技术研发、标准、著作   | 论文、标准、著作    |
| 5  | 论文合著 | 侯伟/6     | 2016.1 | 关键技术研发、推广效益    | 论文、推广效益证明   |
| 6  | 科研合作 | 苏俊平/7    | 2016.1 | 关键技术研发、专利、推广效益 | 合作协议、推广效益证明 |
| 7  | 示范推广 | 刘艾英/8    | 2017.1 | 推广效益           | 推广效益证明      |
| 8  | 论文合著 | 郭彦君/8    | 2014.1 | 关键技术研发、推广效益    | 论文、推广效益证明   |
| 9  | 示范推广 | 刘涛/10    | 2017.1 | 推广效益           | 推广效益证明      |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

李怡萍负责项目总体设计、实施方案制定及任务分工落实。谢飞舟、袁向群、于海利、王欣、牛永浩、侯伟、苏俊平、刘艾英、郭彦君、刘涛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。

李怡萍与谢飞舟通过技术推广进行合作，谢飞舟又负责宝鸡、咸阳、渭南、西安、安康各地市基层的技术推广进行合作，侯伟、郭彦君、刘艾英、刘涛又是这些基层单位的负责技术推广、试验示范和技术服务工作。

李怡萍与袁向群通过合作立项，开展了小菜蛾和蚜虫防控基础理论等创新研究工作，研发了防控关键技术，参与实施了试验示范、技术培训和推广。

李怡萍与于海利、苏俊平通过项目合作，研发了防控关键技术，于海利曾是李怡萍学生，合作发表过相近文章，于海利、苏俊平是同一单位的合作关系，共同开展了防控技术在甘肃武威的应用推广工作。

李怡萍与王欣通过技术推广进行合作，共同发表论文，开展了技术研发、防治技术与试验示范推广和技术服务工作。

李怡萍与袁向群、于海利、王欣、侯伟、郭彦君都有科研合作，共同发表过论文。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

高锦明

一、项目名称：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

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

微生物天然产物是人类预防和治疗疾病的重要物质基础，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，从化学-生物多样性新视角出发，围绕西北特色药用微生物活性代谢产物发现与表征、结构改造优化、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) 发现一批新颖结构聚酮类、鸟巢烷二萜类及羊毛甾烷三萜类活性天然产物；2) 开展多种微生物化合物复杂分子结构解析、结构改造并阐明其构效关系和生物学功能；3) 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 部著作，1 部作为优质教材在全国 60 余所著名高校使用，对于我国高等教育发挥了重大作用。该项目的实施不仅丰富了我国西北特色药用微生物资源信息和认知，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：

特色药用微生物（以下简称微生物）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。胰腺癌被称为“癌中之王”，恶性程度高，5 年生存率 < 10%；阿尔茨海默病（又称老年痴呆症）患者近 1000 万，严重威胁老年人的身体健康；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微生物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；发现秦岭放线菌中系列三烯霉素类大环内酰胺化合物。其中 6 个新化合物包括新系列的 2 个结构新颖的 5/6/7/16 多环骨架，阐明其细胞毒和抑制神经炎症的构效关系和新骨架的生物合成机制；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。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 ganoderterpeneA 及桦褐孔菌 2 $\alpha$ -HI 等三萜神经保护机制，以及抑制神经炎症的构效关系；创建的金催化未活化的烯炔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。

(3) 揭示三烯霉素 A 通过抑制 STAT3 信号通路的体内外抗胰腺癌分子机制，为研发新型靶向 STAT3 的抗胰腺癌药物提供理论依据；揭示了小分子 sarcodonin G 衍生物依赖的 NGF 诱导受体 Trk A 调控神经突起分子机制及其构效关系。

上述研究成果发表学术论文 110 篇，其中 SCI 论文 100 篇，获授权中国发明专利 7 件，编写著作 3 部。研究工作受到国内外相关领域学者广泛关注，论文被引共 3000 多次，单篇最高 SCI 他引 240 多次。项目负责人连续三年入选 ESI“中

国高被引学者”，入选 2022 年全球前 2% 顶尖科学家，3 名研究生获西北农林科技大学优秀博士学位论文。

#### 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) 三烯霉素 A 抗胰腺癌系统研究创新模式被作为范例应用到生物医学研究数据库 NPASS database update 2023 的更新《Nucleic Acids Research》（2023）。

(2) 新骨架聚酮 Herpotrichone A 和三萜 Ganorbifates A/B 被入选《Natural Product Reports》(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）。

(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）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 60 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。

## 六、代表性论文专著目录

### （一）代表性论文

| 序号 | 名称  | 刊名                                       | 发表时间       | 年卷页码                           | 作者   |
|----|---|--|------------|--------------------------------|--|
| 1  | Azaphilones: Chemistry and Biology, Chemical Reviews  | Chemical Reviews                         | 2013-04-12 | 2013 年<br>113 卷<br>4755–4811 页 | Jin-Ming Gao*,<br>Sheng-Xiang Yang,<br>Jian-Chun Qin   |
| 2  | Au-catalyzed intermolecular [2+2] cycloadditions between chloroalkynes and unactivated alkenes  | Journal of the American Chemical Society | 2018-04-04 | 2018 年 140 卷<br>5860–5865 页    | Yu-Bin Bai,<br>Zaigang Luo,<br>Yuguang Wang,<br>Jin-Ming Gao*,<br>Liming Zhang*  |
| 3  | The natural product trienomycin A is a STAT3 pathway inhibitor that exhibits potent in vitro and in vivo efficacy against pancreatic cancer | British Journal of Pharmacology          | 2021-04-21 | 2021 年 178 卷<br>2496–2515 页    | Qiu-Rui He,<br>Jiang-Jiang Tang,<br>Yao Liu, Zhi-Fan<br>Chen, Huang Chen,<br>Ding Li, Zhengfang<br>Yi*, Jin-Ming Gao*  |
| 4  | Herpotrichones A and B, two intermolecular [4+2] adducts with anti-neuroinflammatory activity from a <i>Herpotrichia</i> species            | Organic Letters                          | 2019-12-24 | 2020 年 22 卷<br>405–409 页       | Wen-Bo Han,<br>Guang-Yi Wang,<br>Jiang-Jiang Tang,<br>Wen-Ji Wang, Han<br>Liu, Roberto R.<br>Gil, Armando<br>Navarro-Vázquez,<br>Xinxiang Lei*,<br>Jin-Ming Gao* |

| 序号 | 名称  | 刊名                      | 发表时间       | 年卷页码                         | 作者  |
|----|---|-------------------------|------------|------------------------------|---|
| 5  | Ganorbifates A and B from Ganoderma orbiforme, Determined by DFT Calculations of NMR data and ECD spectra | Chemical Communications | 2020-07-27 | 2020年56卷<br>10195-10198<br>页 | Xia Yin, Thi M. L. Tuong, Jun-Mian Tian, Gennaro Pescitelli*, Jin-Ming Gao* |

## (二) 代表性专著

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权名称          | 出版社      | 教材类型                       | 出版时间    | 主编         |
|----|--------|-----------------|----------|----------------------------|---------|------------|
| 1  | 著作     | 《植物化学》<br>(第三版) | 科学出版社    | 普通高等教育“十三五”规划教材·国家精品课程配套教材 | 2017-11 | 高锦明        |
| 2  | 著作     | 《天然产物结构解析》      | 科学出版社    | 普通高等教育“十三五”规划教材            | 2017-06 | 高锦明<br>田均勉 |
| 3  | 著作     | 《高等真菌代谢产物》      | 西北农林科技大学 | 专著                         | 2003-12 | 高锦明        |

## 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|---------|-----------|--|
| 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, 5 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  | 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, 致力于抗神经炎症新骨架聚酮化合物的发现, 结构鉴定及生物功能研究。对本项目创新科研成果 2 做出重要贡献。作为第一作者发表代表性论文 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 5 做出重要贡献。作为第一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 trienomycin A 的体内外靶向 STAT3 抗胰腺癌构效关系和作用机制研究。对本项目创新研究成果 3 做出重要贡献。作为第二作者发表代表性论文 3。同时, 作为第三作者发表代表性论文 4。 |
| 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。                                      |
| 何秋瑞 | 6  | 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 trienomycin A 的体内外靶向 STAT3 抗胰腺癌构效关系和作用机制研究。对本项目创新研究成果 3 做出重要贡献。作为第一作者发表代表性论文 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。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况表 |      |          |                |                     |  |
|------------|------|----------|----------------|---------------------|--|
| 序号         | 合作方式 | 合作者/项目排名 | 合作时间           | 合作成果                | 证明材料   |
| 1          | 论文合著 | 高锦明/1    | 2013.1-2021.5  | 代表性论文 1, 2, 3, 4, 5 | Chemical Reviews, 2013, 113(7): 4755-4811                          |
| 2          | 论文合著 | 韩文博/2    | 2015.1-2021.5  | 代表性论文 4             | Organic Letters, 2020, 22(2): 405-409                              |
| 3          | 论文合著 | 尹霞/3     | 2014.7-2021.5  | 代表性论文 5             | Chemical Communications, 2020, 56(70): 10195-10198                 |
| 4          | 论文合著 | 汤江江/4    | 2015.9-2021.5  | 代表性论文 3             | British Journal of Pharmacology, 2021, 178(12): 2496-2515          |
| 5          | 论文合著 | 白育斌/5    | 2010.9-2018.12 | 代表性论文 2             | Journal of the American Chemical Society, 2018, 140(17): 5860-5865 |
| 6          | 论文合著 | 何秋瑞/6    | 2015.9-2021.5  | 代表性论文 3             | British Journal of Pharmacology, 2021, 178(12): 2496-2515          |

### 完成人合作关系说明（限 1000 字）

项目完成人高锦明、韩文博、尹霞均为西北农林科技大学化学与药学院教师，白育斌和何秋瑞为高锦明教授已毕业博士生，均为天然产物化学团队核心成员，已进行了长期的合作。

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 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。

完成人汤江江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 的第 2 作者和代表性论文 4 的第 3 作者。

完成人白玉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。

完成人何秋瑞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 的第 1 作者。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名公示内容

刘宝元

一、项目名称：土壤侵蚀过程监测关键技术设备及应用

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

水土流失是我国最重要的生态环境问题之一，尤其在生态文明建设、高质量发展的背景下，土壤侵蚀防控关乎土地/土壤资源安全、粮食安全、生态安全、江河安全等诸多重大国家安全。土壤侵蚀研究新技术、新方法和新仪器设备是推动土壤侵蚀学科发展和土壤侵蚀防控的重要组成部分。自 2000 年以来，在国家各级各类多项科技项目的资助下，以创新土壤侵蚀过程监测技术、研制新型仪器设备为目标，围绕土壤水力侵蚀、风力侵蚀两种主要侵蚀类型，针对模拟设备缺乏、过程监测缺失、监测仪器设备落后、监测精度低等制约土壤侵蚀实验监测的瓶颈，创建了以自动监测取代人工监测，从总量监测拓展到过程监测，以及测量精准度、信息量和监测效率大幅度提高为特征的系统性土壤侵蚀实验监测技术和新型仪器设备。

本项目研发的土壤侵蚀监测技术与设备，提升了土壤侵蚀研究的技术水平，推动径流泥沙等监测仪器升级换代，引领土壤侵蚀过程监测技术和仪器设备研制发展，带动了国内外交流合作与新技术推广。项目成果得到了广泛的社会认同和应用，取得了巨大的社会效益和良好的经济效益。

提名该项目为陕西省技术发明奖 一 等奖。

三、项目简介：

土壤侵蚀是中国最主要的环境问题，是生态环境问题的集中反映，抓住水土保持就牵住了生态环境建设的牛鼻子，而土壤侵蚀过程监测是开展水土保持科学研究和生产实践的基础。本项目针对土壤侵蚀模拟设备缺乏、过程监测缺失、监测仪器设备落后、监测精度低等问题，历经 20 年产学研结合，围绕土壤水力、风力两种主要侵蚀类型，创建了以自动监测取代人工监测，从总量监测拓展到过程监测，以及测量精准度、信息量和监测效率大幅度提高为特征的系统性土壤侵蚀实验监测技术和新型仪器设备。本项目带动了我国水土保持监测仪器设备的国产化，推动了我国水土保持监测的自动化和信息化。主要发明点如下：

**(1) 发明了径流泥沙实时自动监测技术，研制了多场景径流泥沙实时自动监测设备，将传统的径流泥沙人工监测推向了仪器自动监测和信息化管理的新阶段。**发明了定体积测量的技术、径流泥沙连续流的离散化技术和消减泥沙粘附、沉积的技术，实现了径流泥沙过程的自动化监测，提高了含沙量、径流量监测的准确度和精确度，提升了径流泥沙监测的实时性和信息化水平。



(2) 提出了风蚀圈监测理论与技术，研制了风蚀自动监测仪，破解了无法将风沙通量和地面土壤侵蚀/沉积关联的难题，为风蚀监测奠定了理论基础和方法。根据风沙流的连续性原理，并考虑风向的不确定性，建立上下断面、多方位的风蚀监测方法；根据风沙平衡原理，建立了风蚀监测边界，实现了单位面积风蚀量的监测；以风速为控制信号，实现了风蚀监测仪自动运行。

(3) 研发了土壤侵蚀模拟实验和过程观测技术，建立了降雨-侵蚀-径流模拟和过程观测实验平台，被科技部列为“国家重大科研基础设施”，并被水利部水土保持监测中心指定为“径流泥沙监测仪器检测设施”。

1. 研发了变步长反馈控制模拟降雨的算法和大流量高含沙水流模拟技术，创建了大型人工模拟降雨大厅和人工模拟径流大厅，为土壤侵蚀和径流泥沙过程研究提供了实验设施。

2. 研发了获取雨滴数字影像的测量视场、光场，以及解算雨滴物理特性参数的算法，研制了雨滴物理特性监测仪，创新了降雨动能和降雨侵蚀力计算新方法。

3. 研发了多相机同步测量和数字摄影测量去除雨滴的算法，研制了降雨过程中土壤侵蚀形态测量系统，突破了雨滴对观测地表形态变化的干扰这一困扰数字摄影测量的技术瓶颈。

该项目获得发明专利 10 件、实用新型专利 9 件、外观设计专利 1 件，计算机软件著作权 2 项，发表学术论文 31 篇，其中 SCI 收录 11 篇，EI 收录 7 篇，CSCD 收录 13 篇。形成了一支从事水土保持仪器设备研发的人才队伍。

本项目研制的土壤侵蚀模拟实验设备支撑科研项目 37 项，支撑发表学术论文 200 余篇。模拟降雨技术输出到国内 6 家单位，为武器装备的研发提供了 18 次淋雨试验测试。径流泥沙、风蚀等监测仪器已经在全国 21 省 55 个监测站安装 236 台。

本项目成果带动了我国水土保持监测仪器设备的自动化、信息化及国产化，引领土壤侵蚀模拟实验技术向高时空分辨率和过程监测的方向发展。本项目成果，成为我国水土保持与生态环境建设政策制定重要的科技支撑和传播渠道；成为我国水土保持科学研究对外交流的窗口；成为我国向社会公众宣传水土保持与生态环境理念的基地。

#### 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. 科技查新报告

通过对相关文献的阅读、分析和比较，结论如下：

(1) 关于大尺度人工模拟降雨，径流水沙发生技术国内外有相关中英文文献报道。主要研究有野外便携摇摆式人工模拟降雨 Veejet80150 喷头降雨特性参数，QYJY-503C 人工模拟降雨装置，Kust03-1 型小尺度人工模拟降雨实验系统雨滴直径、速度测定，便携轻巧搭建野外模拟降雨，模拟降雨实验装置可以实现小降雨面积时雨水的重复利用；不同喷头降雨参数对不同侵蚀下垫面的适用性，人工模拟降雨对开挖

面侵蚀预报,人工模拟降雨的率定和径流排污的方法,不同水滴形成的雨滴溅蚀影响;但是,大尺度人工模拟降雨的变步长循环负反馈降雨过程控制及径流水沙发生除该项目组研究文献外,在检索范围内未见相关中英文文献报道。

(2)关于大视场雨滴粒子物理特性自动测量技术国内外有相关中英文文献报道。主要有对滤纸色斑法测量雨滴直径的方法进行测定验证,色斑照片的专业统计软件提取,色斑直径与雨滴直径的实验率定关系均为手动传统测定,雨滴打击转盘转动角速度、音盘膜震动转化计算雨滴动能;雨滴直径地面色斑法观测雨滴谱的统计结果修正测雨雷达的反射参数,使得降雨云层的雨量计算更加准确;CCD大雨滴透镜效应的修正,近景相机拍照雨滴图形提取;但是有关大视场快速雨滴数字影像粒子物理特性自动采集、提取、解析、统计计算技术除该项目组研究文献外,在检索范围内未见相关中英文文献报道。

(3)关于降雨过程中土壤侵蚀下垫面形态演变测量技术国内外有相关中英文文献报道。主要研究有采用商业数码照相机对划分为多组区块的侵蚀地表进行高重叠度拍照,利用专业软件拼接、生成DEM,该技术专业要求高,需要手工操作;但是有关降雨过程中雨滴噪音的剔除及地表侵蚀过程数字摄影自动测量除该项目组的研究文献外,在检索范围内未见相关中英文文献报道。

(4)关于径流泥沙过程实时自动监测技术国内外有相关中英文文献报道。主要研究有径流泥沙的观测涉及水沙样品采样的代表性,方便性,需要研究不同场景下的水沙样品的自动采集装置;光学反(透)射、电容容量、电导率测量水沙的物理量电信号,通过提前标定低含沙,颗粒组成单一的水沙样率定与各种水沙物理量电信号的关系,自动测量被测样品的泥沙浓度;为了消除不同土壤类型、颗粒粒径组成对含沙量测量的物理电信号干扰影响,提高泥沙含量测量的量程和精度,采用人工精确测量水沙样品体积,人工称量水沙样品重量即可得出样品泥沙含量;但是有关重量体积法实时自动监测径流泥沙含量除该项目组研究文献外,在检索范围内未见相关中英文文献报道。

(5)关于风蚀圈风蚀过程沙源定量自动监测技术国内外有相关中英文文献报道。主要研究有集沙舱截面积通量的沉沙样品的采集及垂直方向的布设,减少风滞留,提高沉沙采集效率,地面双环塑料布铺设收集沉降技术方法,可用于风沙沉降通量的采集,地面不同环境风道模拟实验标定遥感影像的相关参数;这些研究无法确定风沙沉降,起沙的来源区域对应面积。但是有关风蚀圈风蚀过程沙源定量技术研究除该项目组研究文献外,在检索范围内未见相关中英文文献报道。

## 2. 第三方机构评价

2021年4月7日,中科合创(北京)科技成果评价中心组织专家,在北京召开了由西北农林科技大学、北京师范大学、西安三智科技有限公司共同完成的关于“土壤侵蚀过程监测关键技术设备及应用”项目科技成果评价会。专家组听取了项目完成

单位成果汇报，审阅了相关技术资料，经质询讨论，形成评价意见如下：

针对土壤侵蚀模拟实验装备缺乏、侵蚀过程监测缺失、自动化和信息化等现代先进技术应用程度低等技术瓶颈，通过原始创新和集成创新，形成了系统性的土壤侵蚀过程监测技术和仪器设备。主要发明点如下：

**(1) 发明了径流泥沙实时自动监测技术。**设计了定体积测量、连续流离散化处理、消减泥沙粘附与沉积的技术，研制了多场景径流泥沙实时自动监测设备，将传统的径流泥沙人工监测推向了仪器自动监测的新阶段。

**(2) 提出了风蚀圈理论，建立了风蚀监测技术。**根据风沙流的连续原理，按上下断面测量风沙通量；根据风沙平衡原理，计算风蚀圈单位面积风蚀量的方法，破解了无法将风沙通量和地面来源关联的难题。

**(3) 研发了土壤侵蚀模拟实验技术。**提出了变步长反馈控制模拟降雨算法和大流量高含沙水流模拟技术，设计了雨滴测量的视场、光场和雨滴物理特性参数提取算法，突破了多相机同步监测降雨过程中地表形态变化的瓶颈，建立了降雨-侵蚀-径流模拟和过程观测实验平台。

评审专家组一致认为，项目整体达到国际领先水平。

## 五、应用情况

1. 本项目研制的土壤侵蚀模拟实验设备已经成为土壤侵蚀研究重要的平台，土壤侵蚀模拟实验设备中的人工模拟降雨设备被科技部列为“国家重大科研基础设施”、人工模拟径流设备被水利部水土保持监测中心指定为“径流泥沙监测仪器检测设施”。水利部水土保持监测中心曾 3 次依托本项目成果，举办全国水土保持监测仪器设备展示研讨会，促进了水土保持监测新技术的推广应用。

2. 支撑了土壤侵蚀模拟实验研究，已为 37 项国家、部委和国际合作科研项目提供了土壤侵蚀模拟实验条件，依托该实验条件发表科技论文 200 余篇，为认识土壤侵蚀现象，揭示土壤侵蚀过程机理提供了不可或缺的科研条件，发挥了不可替代的作用。

3. 支撑了我国武器装备的研发，为突击旋翼机、直升机螺旋桨等武器装备提供了 18 次降雨环境下武器装备的功能、性能试验和检测，为我国武器装备的研发提供了支撑。

4. 发明专利“一种径流泥沙实时自动测量装置及测量方法”与西安三智科技有限公司签订了 10 年使用许可协议，为径流泥沙实时自动监测仪器设备的推广应用提供了有力的帮助。同时，在径流泥沙自动监测仪器的过程中，通过产学研结合，也培育了以水土保持和生态环境监测为主要业务的西安三智科技有限公司。

5. 向水利部提交了《关于水土保持监测点优化布局的建议》，得到了水利部副部长陆桂华、水保司司长蒲朝勇、水土保持监测中心主任沈雪建的批示，并在正在实

施中的国家水土保持监测站点布局规划方案中得到采纳，支撑了水土保持监测站点的优化布局，加快了自动化监测仪器的推广应用。

6. 径流泥沙等监测仪器得到行业主管部门和省市水土保持监测机构和广大用户的认可，已经在全国 21 省 55 个监测站安装 236 台，模拟降雨技术输出到国内 6 家单位。带动了我国水土保持监测仪器设备的国产化，也推动了我国水土保持监测的自动化和信息化。

#### 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条）

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称            | 国家(地区) | 授权号              | 授权日期       | 证书编号    | 权利人                  | 发明人  |
|----|--------|---------------------|--------|------------------|------------|---------|----------------------|--|
| 1  | 发明专利   | 一种径流泥沙实时自动测量装置及测量方法 | 中国     | ZL201510675495.2 | 2018.5.29  | 2940556 | 西北农林科技大学, 西安三智科技有限公司 | 郭明航<br>赵向辉<br>赵军<br>展小云  |
| 2  | 发明专利   | 一种土壤风力侵蚀测量方法及装置     | 中国     | ZL201510111578.9 | 2018.1.12  | 2775181 | 北京师范大学               | 刘宝元<br>刘刚<br>高晓飞<br>郭乾坤<br>刘瑛娜<br>杨扬<br>邹学勇<br>海春兴<br>姜洪涛<br>杜鹏飞 |
| 3  | 发明专利   | 一种雨滴物理特性观测方法及装置     | 中国     | ZL201510320015.0 | 2017.5.31  | 2501488 | 西北农林科技大学             | 郭明航<br>赵军<br>林奇<br>展小云<br>史海静<br>税军峰                             |
| 4  | 发明专利   | 一种人工模拟径流发生装置        | 中国     | ZL201811317126.6 | 2020.6.5   | 3826075 | 西北农林科技大学, 西安三智科技有限公司 | 赵军<br>赵向辉<br>郭明航<br>展小云<br>史海静                                   |
| 5  | 发明专利   | 一种水土流失情况测定的方法       | 中国     | ZL201510582002.0 | 2017.11.21 | 2709398 | 西北农林科技大学             | 郭明航<br>赵军<br>林奇<br>史海静<br>展小云<br>税军峰                             |
| 6  | 发明专利   | 降雨过程中土壤侵蚀地表形        | 中国     | ZL201910515164.0 | 2020.9.20  | 5462427 | 西北农林科技大学, 西          | 史海静<br>赵军<br>展小云   |

| 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                                   |
|----|--------|---------------------------|--------|------------------|-----------|----------|----------------------|---------------------------------------|
|    |        | 态 DEM 构建、观测方法及装置          |        |                  |           |          | 安敦瑞测量技术有限公司          | 税军峰<br>曹晓萍<br>姜艳敏<br>刘一新<br>林奇<br>郭明航 |
| 7  | 发明专利   | 一种轮式径流泥沙采样器               | 中国     | ZL201510076678.2 | 2018.1.19 | 2786402  | 北京师范大学               | 刘宝元<br>刘瑛娜<br>符素华<br>刘刚<br>王大安<br>高晓飞 |
| 8  | 发明专利   | 一种径流泥沙含量与流量测量装置及观测方法      | 中国     | ZL202010561113.4 | 2020.8.2  | 5349098  | 西安三智科技有限公司, 西北农林科技大学 | 赵向辉<br>郭明航<br>赵军<br>齐志文               |
| 9  | 外观设计专利 | 便携式径流泥沙自动检测仪 (SZ-SBJC-IV) | 中国     | ZL20730308505.9  | 2018.4.10 | 4590517  | 西安三智科技有限公司           | 赵向辉<br>郭明航<br>赵军                      |
| 10 | 软件著作权  | ZMAP 地形地貌数字摄影测量分析软件 V1.0  | 中国     | 2015SR242057     | 2015.8.18 | 00876187 | 西北农林科技大学             |                                       |

## 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位       | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|---------|-----------------|--|
| 刘宝元 | 1  | 主任/教授   | 北京师范大学/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  |
| 郭明航 | 2  | 研究员     | 西北农林科技大学        | 负责径流泥沙实时自动监测技术, 雨滴物理特性测量技术, 侵蚀过程中地表形态变化监测技术, 以及人工模拟降雨、人工模拟径流实验技术所涉及的实施方案设计 |
| 赵军  | 3  | 高工      | 西北农林科技大学        | 负责径流泥沙实时自动监测技术, 雨滴物理特性测量技术, 侵蚀过程中地表形态变化监测技术, 以及人工模拟径流实验技术所涉及的仪器性能参数与硬件设计   |
| 展小云 | 4  | 高工      | 西北农林科技大学        | 负责径流泥沙实时自动监测技术以及雨滴物流特性观测技术所涉及的算法及软件设计                                      |
| 史海静 | 5  | 副研究员    | 西北农林科技大学        | 负责侵蚀过程中地表形态变化监测技术所涉及的仪器性能参数及软件设计   |
| 符素华 | 6  | 教授      | 北京师范大学          | 负责径流泥沙采样及土壤侵蚀室内模拟试验方   |

| 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 |
|----|----|---------|-----------|-------------|
|    |    |         |           | 案设计及实施      |

### 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组织单位为该项目的实施提供了必要的资金、人员保障，以及项目的申报、验收鉴定等服务。主要负责径流泥沙实时自动监测技术及仪器研制以及土壤侵蚀模拟实验技术及仪器研制 |
| 北京师范大学     | 2  | 北京师范大学作为该项目的主要参与单位，主要负责风蚀圈风蚀监测技术及仪器研制。并协助西北农林科技大学完成了项目的申报、验收鉴定等工作，保证了该项目的顺利实施             |
| 西安三智科技有限公司 | 3  | 西安三智科技有限公司作为该项目的主要参与单位，主要负责仪器设备的成果转化、仪器加工以及技术推广等  |

### 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   | 刘宝元/1<br>郭明航/2                  | 2007.1.1-2017.9.22  | 共同完成国家重点基础研究发展计划（973）项目以及第一次全国水利普查水土保持情况普查项目                    | 附件 5-21<br>附件 5-22 |
| 2          | 共同立项   | 郭明航/2<br>赵军/3<br>展小云/4<br>史海静/5 | 2014.1.1-2019.12.31 | 共同完成国家自然科学基金项目“坡面土壤侵蚀演变过程的摄影测量及数字化表达”以及“雨滴特性数字化摄影测量及其侵蚀力特征参数研究” | 附件 2-2<br>附件 5-19  |
| 3          | 共同知识产权 | 刘宝元/1<br>郭明航/2<br>赵军/3<br>符素华/6 | 2017.1.10-2017.9.22 | 共同完成“一种自动调控含沙水流发生系统”实用新型专利                                      | 附件 6-6             |
| 4          | 共同知识产权 | 郭明航/2<br>赵军/3<br>展小云/4          | 2013.1.2-2016.3.2   | 共同完成“一种径流泥沙实时自动测量装置及测量方法”发明专利                                   | 附件 1-1             |
| 5          | 共同知识产权 | 郭明航/2<br>赵军/3<br>展小云/4<br>史海静/5 | 2014.6.12-2020.2.5  | 共同完成“一种雨滴物理特性观测方法”，“一种水土流失情况的测定方法”，“一种人工模拟径流发生装置”发明专利           | 附件 1-3<br>附件 6-1   |
| 6          | 共同知识产权 | 刘宝元/1<br>符素华/6                  | 2015.1.12-2017.3.1  | 共同完成“一种轮式径流泥沙采样器”，“一种土壤侵蚀野外调查的便携式装置及方法”发明专利                     | 附件 6-2             |
| 7          | 论文合著   | 郭明航/2<br>赵军/3                   | 2014.12.22-2020.4.5 | 共同在《农业工程学报》、《农业机械学报》、Catena、                                    | 附件 6-12<br>附件 6-13 |

|   |      |                |                     |  |                               |
|---|------|----------------|---------------------|--|-------------------------------|
|   |      | 展小云/4<br>史海静/5 |                     | Geomorphology、<br>Atmospheric Research 等期<br>刊发表论文                         | 附件 6-17<br>附件 6-18<br>附件 6-19 |
| 8 | 论文合著 | 刘宝元/1<br>符素华/6 | 2003.1.20-2020.7.20 | 共同在“Soil&Tillag<br>Research”、 Land<br>Dagradation & Development<br>等期刊发表论文 | 附件 6-16<br>附件 6-26<br>附件 6-27 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

第 1 完成人刘宝元和第 2 完成人郭明航，从 2007 年至 2017 年共同完成国家重点基础研究发展计划（973）“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究（2007CB407200）”项目以及水利部“第一次全国水利普查全国土壤侵蚀影响因子计算分析与制图—野外调查单元水力侵蚀因子计算分析与制图”项目。第 1 完成人刘宝元自 2016 年 1 月以来一直担任西北农林科技大学水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室主任，在任职期间加强了本团队的建设，并积极带领团队人员进行土壤侵蚀过程监测关键技术的研究及设备研发方面的工作，是本项目组的核心成员，提出总体思路与方案，总体负责科学问题的凝练、项目的策划和总结等。第 2 完成人郭明航是本团队主要组织者，负责项目方案的制定、实施等。同时，负责径流泥沙实时自动监测技术，雨滴物理特性测量技术，侵蚀过程中地表形态变化监测技术，以及人工模拟降雨、人工模拟径流实验技术所涉及的实施方案设计。第 3 完成人赵军负责径流泥沙实时自动监测技术，雨滴物理特性测量技术，侵蚀过程中地表形态变化监测技术，以及人工模拟径流实验技术所涉及的仪器性能参数与硬件设计。第 4 完成人展小云负责径流泥沙实时自动监测技术以及雨滴物流特性观测技术所涉及的算法及软件设计。第 5 完成人史海静负责侵蚀过程中地表形态变化监测技术所涉及的仪器性能参数及软件设计。第 6 完成人符素华负责径流泥沙采样及土壤侵蚀室内模拟试验方案设计及实施。各完成人间不仅有立项、科研活动的密切关联，而且在专利、论文等成果产出上也体现有充分的合作。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

罗军

一、项目名称：奶山羊全产业链关键技术研究集成与应用

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

该项目运用现代动物生物繁育、健康养殖及乳品加工等技术原理与方法，培育出文登奶山羊新品种，创制出 SCD1 基因编辑羊；探索开发了性控冷冻精液低剂量腹腔镜输精技术，创建了奶山羊高效扩繁技术体系；建立了标准化奶山羊饲养管理规范，开发饲料新资源，建立了适应我国南北方生态环境的奶山羊健康养殖模式；研发出针对奶山羊乳房炎、羊口疮等常见病疫苗及精准检测技术手段，构建奶山羊疾病防治专家系统与奶山羊免疫程序，制定了科学的奶山羊疫病防控技术方案；研制出液态奶、酸羊奶、乳酸菌羊奶粉、乳饼等羊奶新产品。项目成果在奶山羊主产区应用推广后，奶山羊种质水平得到极大提高，社会、经济、生态效益显著，推动了我国奶山羊产业高质量发展。

提名者认真审阅了项目材料，内容真实，科技应用意义重大，提名推荐该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

三、项目简介：

奶山羊产业是我国奶业的重要组成部分，奶山羊主要分布于陕西、山东、云南、河南、河北、内蒙古和辽宁等省，甘肃、贵州、四川、福建和广东等省的饲养量也在持续增加。目前，我国奶山羊存栏 1400 多万只，其中产奶羊 800 多万只，山羊奶总产量 160 多万吨，占全球山羊奶产量的 6.4%左右，占全国奶类产量的 4%左右，发展态势良好，成为驱动畜牧业经济发展以及引领乳品消费升级的重要产业。

2007 年以来，在农业部公益性行业专项奶山羊产业技术研究及试验示范等省部级多个科技项目资助下，根据高产、优质、高效、生态、安全的原则，针对制约我国奶山羊产业以及种业发展的实际问题，如优质奶山羊品种资源缺乏、良种覆盖率低、繁育体系不健全、标准化程度低、羊奶产品种类少等重大问题，通过运用现代动物生物繁育、健康养殖及乳品加工等技术原理与方法，研究集成了奶山羊全产业链关键技术，培育出了优质奶山羊品种资源，提高了奶山羊个体产奶量，建立了规范化、标准化、适度规模化生态养殖模式，开发出液态奶、酸羊奶、乳酸菌羊奶粉、乳饼等高端羊奶产品，科研成果在陕西、山东、云南、河南等奶山羊主产区示范推广效果明显，推动了奶山羊产业健康发展。具体成果如下：

一是采用现代动物生物育种技术，培育出文登奶山羊新品种与 SCD1 基因编辑奶山羊。通过西农萨能奶山羊级进杂交、阶段选种以及分子标记辅助选择等技术手段，



成功培育出文登奶山羊新品种，育成的文登奶山羊基础母羊泌乳期平均产奶量 786kg；SCD1 基因显著影响奶山羊乳腺上皮细胞中脂肪酸组成，利用 CRISPR/Cas9 技术创制出 SCD1 基因编辑奶山羊，日产奶量 2 kg，乳脂率达到 3.3%。

二是探索开发了性控冷冻精液低剂量腹腔镜输精技术，创建奶山羊高效扩繁技术体系。性控冷冻精液低剂量腹腔镜输精后，母羊受胎率达到 50%，产羔率 187.5%，性控后代性别符合率在 93.3%以上；通过整合输精枪设计、同期发情、精液保存、超数排卵、胚胎移植研究成果，集成建立了奶山羊高效扩繁技术体系，提高了奶山羊繁殖率，母羊产羔率达到 190%以上。

三是建立了标准化奶山羊饲养管理规范，开发饲料资源，建立了适应我国南北方不同生态环境的奶山羊健康养殖模式。制定出不同生理阶段奶山羊（羔羊期及育成期、泌乳期、妊娠期）的饲养标准，配套制定了奶山羊饲养管理规范，发布 1 项农业行业标准；评价奶山羊常用饲草料营养价值，研制构树青贮饲料饲喂技术与全混合日粮配方，创建了适应我国南方高原、北方平原地区的奶山羊健康养殖模式。

四是研发出奶山羊乳房炎和口疮疫苗及快速诊断方法，构建奶山羊疾病防治专家系统，制定了科学的奶山羊疫病防控技术方案。羊口疮灭活苗免疫孕羊后抗体阳性率为 100%，新生羔羊的羊口疮病毒携带率降至 14%；葡萄球菌基因工程疫苗、乳房炎二联灭活疫苗接种泌乳期母羊后乳房炎保护率达到 100%，保护期持续 6 个月；利用多重 PCR 与检测试剂盒实现了对乳房炎细菌种类、羊口疮抗体水平的快速检测；建立的奶山羊疾病防治专家系统实现了奶山羊疾病的远程快速处理，显著降低了奶山羊养殖过程中的疫病风险。

五是明确羊奶膻味物质，优化原料奶加工工艺，研制出液态奶、酸羊奶、乳酸菌羊奶粉、乳饼等羊奶新产品。基于羊奶膻味源于短、中链脂肪酸含量比例的研究结果，开发出可调控膻味物质组成的羊奶发酵技术；解决了羊奶蛋白质热稳定性较差而导致的液态羊奶保存时间短的问题，研发出羊奶超高温灭菌工艺，灭菌液态奶常温保质期达 2 个月以上；利用新型羊奶发酵与加工工艺，开发出酸羊奶及活性乳酸菌羊奶粉新产品；优化乳饼制作工艺，开发出高钙山羊乳饼；基于蜂蜜的护肤功能，开发出蜂蜜羊奶皂。

通过项目实施，建立了以原种场、繁育中心、种羊场为核心，辐射带动奶山羊养殖基地、专业合作社及乳品加工企业，融科技创新、推广示范和产品研发于一体的奶山羊全产业链技术体系，提高了奶山羊种质水平，西农萨能奶山羊、关中奶山羊、崂山奶山羊核心群基础母羊泌乳期平均产奶量分别为 830kg、712kg、756kg；9 月龄育成羊平均体重增加 5 kg 左右，基础母羊平均产奶量提高 110 kg 左右。获得国家授权发明专利 5 件、实用新型专利 1 件，有关技术成果示范推广至陕西奶山羊主产区后，2020-2022 年度累计获得直接和间接效益达 55.79 亿元，为产区奶山羊养殖企业、乳

品加工企业和养殖户创造了可观的经济效益，提供了大量就业岗位，充分利用了玉米秸秆等农副产品，产生了显著的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）

本项目成果是在前期科研项目基础上融合形成的综合性研究成果，包括验收成果“奶山羊产业技术与试验示范”“奶山羊选育扩繁与安全养殖技术与示范”和鉴定成果“奶山羊扩繁与健康养殖技术与示范”。

##### 1. “奶山羊产业技术与试验示范”（201103038）项目验收意见

农业部科技教育司组织有关专家于2016年9月13日对公益性行业（农业）科研专项“奶山羊产业技术与试验示范”（201103038）进行了验收，并形成如下验收意见：①完善了以原种场、繁育中心、种羊场、养殖基地、专业合作社及乳品企业等为主的奶山羊产业技术研发推广网络和良种繁育体系，探索建立了适应我国不同自然生态条件的奶山羊适度规模化安全养殖模式。②新建5万只以上规模奶山羊养殖基地3处、规模化养殖场15个。原种场核心群母羊群体平均产奶量830 kg，其他各级种羊场群体产奶量712 kg，基础母羊平均产羔率190%。原种场和繁育中心推广种羊10万只以上。9月龄萨能奶山羊平均体重达到35.5 kg。③首次利用性控冷冻精液低剂量输精技术获得性控后代9只，性别符合率100%；筛选出奶山羊羔羊培育方案及育成期和泌乳期最佳日粮配方；开展了羊奶品质形成机理的研究；开展了奶山羊常见病调查，研制疫苗3个；开发羊奶羊肉新产品31个。④集成轻简化实用技术5项，制定行业标准1项，省级标准4项。举办培训班145次，培训技术人员1000名，培训农民15000人次。项目成果推广或辐射至全国奶山羊产区，改良低产奶山羊220万只。养殖基地9月龄羊平均体重增加5.0 kg，基础母羊平均产奶量提高110 kg，社会、经济效益显著。

##### 2. “奶山羊选育扩繁与安全养殖技术与示范”（2009ZKC07-01）项目验收意见

陕西省科技厅组织有关专家于2013年7月25日对陕西省重大科技创新项目“奶山羊选育扩繁及安全养殖技术与示范（2009ZKC07-01）”进行了验收，并形成如下验收意见：①培育形成了高产奶山羊群，西农萨能奶山羊泌乳期只均产奶量达756kg，关中奶山羊泌乳期只均产奶量达712kg，良种覆盖率达到51%；②优化了奶山羊性控精液分离程序，X、Y精子分离准确率达95.3%；③集成并推广了奶山羊MOET扩繁综合技术、阶段选种技术、羔羊培育技术、高效养殖技术、疫病防控技术等多项实用技术，建立了安全养殖生产配套体系。④编制奶山羊养殖技术培训丛书1套，制作《关中奶山羊养殖技术培训》光盘1个。

##### 3. “奶山羊扩繁与健康养殖技术与示范”成果鉴定意见

2016年1月9日，由陕西省科技厅主持对“奶山羊扩繁与健康养殖技术与示范”项目进行了成果鉴定，形成以下鉴定意见：①运用现代动物繁育技术和健康养殖

新理念，提高规模化养殖条件下奶山羊群体的生产性能，西农萨能羊育种核心群泌乳期平均产奶量 756 kg，关中奶山羊育种核心群泌乳期平均产奶量 712 kg，乳脂率 3.5% 以上，形成了奶山羊繁育技术体系。②建立了奶山羊健康养殖综合配套技术，羔羊成活率、生长性能以及成年母羊生产性能、繁殖性能明显提高，羔羊成活率达到 92% 以上，产羔率达到 190% 以上。针对奶山羊产区疫病发生特点，研究制订了奶山羊免疫程序和疫病防控技术规范。③分析了羊乳中脂肪酸的组成成分，发现 C6、C8、C10、C11、C12 等中短链脂肪酸是形成膻味的主要因素。采用多菌发酵工艺分解羊奶脂肪酸，开发了山羊奶脱膻生产新工艺；建立了山羊奶新鲜度和质量评判方法。④在奶山羊繁殖、饲养以及疫病防治等方面制订生产技术规范 6 个，获得专利 3 件，推广种羊 7800 只，改良中低产奶山羊 15 万余只，直接和间接经济效益达 1.5 亿元。培训农民 4877 人，辐射带动养殖户超过 4 万户。鉴定结果认为，该项目选题紧密结合生产实际，设计科学，技术路线正确，措施有力，经济效益显著，总体水平达到国际同类研究的领先水平，具有重要的科学意义和推广应用价值。

## 五、应用情况

本项目按照“边研究、边示范推广”的思路，充分发挥参与单位的科技和资源优势，以高校、科研院所为技术研发主体，以企业、合作社、养殖场等作为研究成果推广应用的主要场所，进行了奶山羊全产业链关键技术研究集成与应用。近年来通过项目的实施，规模化养殖场明显增多，在陕西、山东、云南等生态区域分别形成了适应于当地环境条件的奶山羊高效养殖模式，建成集繁育、养殖、加工及营销为一体的奶山羊全产业链体系，2020-2022 年度累计在陕产生经济效益达到 55.79 亿元。项目成果的应用显著提高了奶山羊养殖水平，推动了奶山羊产业健康可持续发展，成果应用前景十分广阔。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条）

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称  | 国家（地区） | 授权号                                    | 授权日期       | 证书编号                                      | 权利人      | 发明人  |
|----|--------|---|--------|--|------------|---|----------|--|
| 1  | 论文     | Knockout of Stearoyl-CoA Desaturase 1 Decreased Milk Fat and Unsaturated Fatty Acid Contents of the Goat Model Generated by CRISPR/Cas9 | 中国     | 10.1021/acs.jafc.2c00642; 70:4030-4033 | 2022-03-28 | Journal of Agriculture and Food Chemistry | 西北农林科技大学 | Huibin Tian, Huimin Niu, Jun Luo, Weiwei Yao, Xiaoying Chen, Jiao Wu, Yanan Geng, Wenchang Gao, Anmin Lei, Zhimin Gao, Xiue Tian, Xiaoe Zhao, Huaiping Shi, Cong Li, |

| 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  |
|----|--------|-------------------------------------|--------|-------------------|------------|---------|--|--|
|    |        |                                     |        |                   |            |         |  | Jinlian Hua  |
| 2  | 标准     | 奶山羊饲养管理技术规范                         | 中国     | NY/T2835-2015     | 2015-10-09 |         | 山东农业大学; 山东省畜牧总站; 青岛市畜牧兽医研究所; 文登市畜牧兽医服务中心 | 王建民; 王桂芝; 曲绪仙; 赵金山; 程明; 李培培; 褚建刚; 战汪涛; 秦孜娟; 侯磊; 王存芳                                |
| 3  | 发明专利   | 预防山羊葡萄球菌乳房炎的基因工程疫苗制备方法及应用           | 中国     | ZL201210394438.3  | 2015-05-20 | 1673029 | 西北农林科技大学                                 | 陈德坤; 许君艳; 姚运亮; 田婷婷; 李前瑞; 罗军; 曹斌云   |
| 4  | 发明专利   | 奶山羊 SLC7A5 基因单核苷酸多态性标记在产奶性状早期选择中的应用 | 中国     | ZL202111675823.0  | 2022-11-29 | 5611639 | 西北农林科技大学                                 | 李聪; 王婉婷; 陈冲; 潘坛; 宋美文; 史怀平; 罗军  |
| 5  | 发明专利   | 羊口疮抗体检测试剂盒的制备方法                     | 中国     | ZL201210183987.6  | 2015-01-21 | 1572507 | 西北农林科技大学                                 | 陈德坤; 李杰; 李前瑞; 田婷婷; 姚运亮; 许君艳; 罗军; 曹斌云   |
| 6  | 发明专利   | 一种蜂蜜羊乳皂及其制备方法                       | 中国     | ZL201610409262.2  | 2018-07-06 | 2988308 | 山东农业大学                                   | 王桂芝; 娄德龙; 郝光涛; 王强; 王建民; 秦孜娟; 纪志宾; 侯磊; 樊锐; 赵彩霞; 何荣彦; 王升                             |
| 7  | 发明专利   | 一种高钙山羊乳饼的加工方法                       | 中国     | ZL201010564547.6  | 2014-01-15 | 1336372 | 西北农林科技大学                                 | 丁武; 罗军; 王发展; 寇莉苹; 奇强强  |
| 8  | 实用新型专利 | 一种小型自走式全日粮饲料混合机                     | 中国     | ZL201420260214.8  | 2014-09-17 | 3809590 | 乔宏岳                                      | 乔宏岳; 林志峰; 李亚萍; 孙启明; 潘皓天  |
| 9  | 标准     | 奶山羊养殖技术规范 第 6 部分: 泌乳奶山羊健康养殖         | 中国     | DB61/T1489.6-2021 | 2021-12-17 |         | 西北农林科技大学                                 | 史怀平; 罗军; 杨帆; 郑惠玲; 原积友; 王平; 李聪; 洪琼花; 胡钟仁; 王鹏飞; 胡建红; 边会龙; 余传奇; 景鹏娟; 王原; 李章鹏; 陈帅; 潘康锁 |
| 10 | 论文     | 益生菌发酵羊乳中酪蛋白磷酸肽的持钙能力和结合铁能力的研究        | 中国     | 55(4):18-22       | 2019-04-04 | 食品与发酵科技 | 陕西师范大学                                   | 田彦梅; 张园; 叶青; 张金秀; 刘玉芳  |

七、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）

## 八、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   |
|-----|----|---------|----------------------------|---|
| 罗军  | 1  | 教授      | 西北农林科技大学/西北农林科技大学          | 总体方案设计, 品种选育扩繁、标准化养殖和饲养管理技术规范制定等                    |
| 史怀平 | 2  | 教授      | 西北农林科技大学/西北农林科技大学          | 开展奶山羊繁育以及羊奶品质调控研究, 撰写实用技术规范以及培训等                    |
| 王建民 | 3  | 教授      | 山东农业大学/西北农林科技大学            | 奶山羊繁育技术、饲养管理技术研究, 制定奶山羊饲养管理标准, 建立奶山羊养殖模式等           |
| 陈德坤 | 4  | 教授      | 西北农林科技大学/西北农林科技大学          | 研发奶山羊乳房炎疫苗与口疮疫苗以及诊断方法, 推广疫病防控技术等                    |
| 李聪  | 5  | 副教授     | 西北农林科技大学/西北农林科技大学          | 奶山羊繁育技术、饲养管理技术研究, 推广奶山羊鉴定与培育技术                      |
| 王平  | 6  | 副教授     | 西北农林科技大学/西北农林科技大学          | 研究不同生理阶段奶山羊的饲养标准与配方技术, 研制构树青贮饲料饲喂技术, 制定奶山羊饲养管理标准规范等 |
| 刘玉芳 | 7  | 副教授     | 陕西师范大学/陕西师范大学              | 羊奶发酵技术、羊奶营养调配技术等关键技术研究; 研发出了系列羊奶新产品                 |
| 李卫娟 | 8  | 研究员     | 云南畜牧兽医科学院/西北农林科技大学         | 乳房炎防治技术研究, 评价乳房炎疫苗的实际应用效果评价, 研究奶山羊养殖模式与乳饼制作工艺等      |
| 边会龙 | 9  | 高级畜牧师   | 陇县畜牧工作站/陇县畜牧工作站            | 推广奶山羊扩繁技术与饲养管理技术, 组织奶山羊养殖技术培训等                      |
| 李杰  | 10 | 畜牧师     | 千阳县种羊场/千阳县种羊场              | 西农萨能羊选育, 开展技术培训工作, 推广人工授精及羔羊培育技术                    |
| 胡建红 | 11 | 高级畜牧师   | 西安市畜牧技术推广中心/西北农林科技大学       | 推广奶山羊扩繁与饲养管理技术, 组织奶山羊养殖技术培训等                        |
| 郑惠玲 | 12 | 教授      | 西北农林科技大学/西北农林科技大学          | 奶山羊繁育技术研究, 推广奶山羊鉴定与培育技术                             |
| 林志峰 | 13 | 兽医师     | 陕西省农业广播电视学校富平县分校/富平县畜牧发展中心 | 推广奶山羊扩繁技术, 建设奶山羊养殖小区, 组织奶山羊养殖技术培训等                  |
| 王鹏飞 | 14 | 高级兽医师   | 泾阳县畜牧产业服务中心/西北农林科技大学       | 推广奶山羊饲养管理技术, 组织奶山羊养殖技术培训等                           |
| 范正红 | 15 | 高级兽医师   | 陈仓区畜牧兽医技术推广站/西北农林科技大学      | 推广奶山羊饲养管理技术, 组织奶山羊养殖技术培训等                           |

## 九、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称      | 排名 | 主要贡献  |
|-----------|----|---|
| 西北农林科技大学  | 1  | 项目主持单位, 统筹规划项目实施工作, 建立奶山羊高效扩繁体系与健康养殖技术体系, 研发奶山羊常见病疫苗及检测技术 |
| 陕西师范大学    | 2  | 项目参与单位, 系统研究羊奶理化特性, 研发加工技术和产品                             |
| 富平县畜牧发展中心 | 3  | 项目参与单位, 奶山羊养殖模式研究与推广                                      |
| 千阳县种羊场    | 4  | 项目参与单位, 奶山羊养殖技术示范推广                                       |
| 陇县畜牧工作站   | 5  | 项目参与单位, 奶山羊养殖技术示范推广                                       |

## 十、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          | 共同知识产权、论文合著、共同参与制定标准规范 | 史怀平/2    | 2009—至今 | <b>论文</b> ：Knockout of Stearoyl-CoA Desaturase 1 Decreased Milk Fat and Unsaturated Fatty Acid Contents of the Goat Model Generated by CRISPR/Cas9<br><b>专利</b> ：奶山羊 SLC7A5 基因单核苷酸多态性标记在产奶性状早期选择中的应用<br><b>标准</b> ：奶山羊养殖技术规范 第 6 部分：泌乳奶山羊健康养殖 | 附件 1.1.1、2.2.1、2.2.6  |
| 2          | 共同立项                   | 王建民/3    | 2011—至今 | <b>合同书</b> ：公益性行业（农业）科研专项经费项目合同书；公益性行业（农业）科研专项经费项目二级任务书（王建民）  | 附件 2.1.12、2.1.13      |
| 3          | 共同立项、共同知识产权            | 陈德坤/4    | 2011—至今 | <b>合同书</b> ：公益性行业（农业）科研专项经费项目合同书<br><b>专利</b> ：预防山羊葡萄球菌乳房炎的基因工程疫苗制备方法及应用；羊口疮抗体检测试剂盒的制备方法  | 附件 2.2.12、1.1.3、2.2.2 |
| 4          | 共同知识产权、论文合著、共同参与制定标准规范 | 李聪/5     | 2016—至今 | <b>论文</b> ：Knockout of Stearoyl-CoA Desaturase 1 Decreased Milk Fat and Unsaturated Fatty Acid Contents of the Goat Model Generated by CRISPR/Cas9<br><b>专利</b> ：奶山羊 SLC7A5 基因单核苷酸多态性标记在产奶性状早期选择中的应用<br><b>标准</b> ：奶山羊养殖技术规范 第 6 部分：泌乳奶山羊健康养殖 | 附件 1.1.1、2.2.1、2.2.6  |
| 5          | 共同参与制定标准规范             | 王平/6     | 2014—至今 | <b>标准</b> ：奶山羊养殖技术规范 第 6 部分：泌乳奶山羊健康养殖   | 附件 2.2.6              |
| 6          | 共同立项                   | 刘玉芳/7    | 2015—至今 | <b>合同书</b> ：公益性行业（农业）科研专项经费项目二级任务书（张富新）   | 附件 2.1.14             |
| 7          | 共同立项                   | 李卫娟/8    | 2011—至今 | <b>合同书</b> ：公益性行业（农业）科研专项经费项目二级任务书（胡钟仁）   | 附件 2.1.16             |
| 8          | 共同参与制定标准规范             | 边会龙/9    | 2011—至今 | <b>标准</b> ：奶山羊养殖技术规范 第 6 部分：泌乳奶山羊健康养殖   | 附件 2.2.6              |
| 9          | 共同知识产权                 | 李杰/10    | 2011—至今 | <b>专利</b> ：羊口疮抗体检测试剂盒的制备方法  | 附件 2.2.2              |
| 10         | 共同参与制定标准规范             | 胡建红/11   | 2011—至今 | <b>标准</b> ：奶山羊养殖技术规范 第 6 部分：泌乳奶山羊健康养殖   | 附件 2.2.6              |
| 11         | 共同参与制定标准规范             | 郑惠玲/12   | 2009—至今 | <b>标准</b> ：奶山羊养殖技术规范 第 6 部分：泌乳奶山羊健康养殖   | 附件 2.2.6              |
| 12         | 共同立项                   | 林志峰/13   | 2011—至今 | <b>合同书</b> ：公益性行业（农业）科研专项经费项目二级任务书（张笑鹏）   | 附件 2.1.15             |

|    |            |        |         |                             |          |
|----|------------|--------|---------|-----------------------------|----------|
| 13 | 共同参与制定标准规范 | 王鹏飞/14 | 2011—至今 | 标准：奶山羊养殖技术规范 第6部分：泌乳奶山羊健康养殖 | 附件 2.2.6 |
| 14 | 产业合作       | 范正红/15 | 2018—至今 | 应用证明                        | 附件 2.1.7 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

史怀平、王建民、陈德坤、刘玉芳、李卫娟、李杰、林志峰、郑惠玲等 8 人分别不同程度参与农业部公益性行业（农业）科研专项“奶山羊产业技术与试验示范”和“奶山羊良种繁育及产业化技术体系建设”项目，其中王建民是子课题项目负责人，史怀平与郑惠玲是项目秘书，陈德坤、刘玉芳、李卫娟、李杰、林志峰是子课题主要完成人。史怀平、李聪、王平、郑惠玲、边会龙、李杰、胡建红、王鹏飞与项目第一完成人罗军有共同专利、共同参与制定标准规范等。范正红以产业合作形式参与项目任务完成与技术示范推广。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

王东

一、项目名称：小麦根层水-肥-土时空耦合机制与精准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

三、项目简介：

小麦是我国第二大口粮作物，70%以上产自黄淮海地区。然而，该区存在年际和季节间降水分布不均且不确定性大、土壤蓄水和供肥能力弱，小麦管理上水-肥-土耦合度与水肥供需匹配度尚低，单产持续提升难和资源利用效率不高的瓶颈问题。历经15年攻关研究，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一系列突破。

1. 揭示了冬小麦水分供需时空吻合及对多种来源水分的协调利用是高产田小麦高用水关键机制，构建了土壤底墒和生长季降水影响产量的数学模型，创建了与冬小麦需水进程同步的按需补灌技术，发明了微喷带等麦田微灌设施，实现对水分的精准调控，高产田灌水量减少35%-60%。

2. 明确了水氮耦合调控小麦实现高产高效的关键机制，创建了按需补灌下水氮耦合的冬小麦水肥一体化技术，发明了固态肥连续溶注一体机等设备，水分和氮素利用效率分别提高15.9%和20.1%。

3. 阐明了冬小麦耕层水肥供需时空吻合调控途径，创建了综合优化土壤理化结构、利用土壤水肥气热的耕层优化技术，配套研制了耕作、施肥、播种多功能的2BMF-12/6型等小麦联合精密耕播机，实现了农艺与农机的有效融合。

4. 构建了黄淮海地区小麦限量施肥模型，提出了精量施肥推荐指标，研发出系列肥料配方和产品，建立了基于根层水-肥-土时空耦合的小麦水肥精准调控栽培技术体系，多点创造了亩产800kg以上的高产典型，节水节肥增产效果显著。

获授权专利56件（其中中国发明专利32件、国际专利2件）、软件著作权9件，发表论文119篇，制定行业/地方标准15项，出版专著12部，入选农业农村部、山东和陕西省主推技术6项，获得肥料登记证24个。成果在山东、河南、河北、陕西、山西等地累计推广1.94亿亩，增产709.5万吨、节水76亿方、减少化肥用量68万吨，新增利润186亿元。中国农学会评价本项目成果达到同类研究国际领先水平。

四、客观评价：

1. 科技成果评价报告

2023年1月31日，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



的专家评价小组对科技成果“小麦根层水-肥-土时空耦合机制与精准调控技术及应用”进行了评价，专家组认定成果达到同类研究国际领先水平。

## 2. 查新报告

经教育部科技查新工作站认为：项目揭示了依据自然供水补灌、利用冬小麦根型变化、分层施磷和随水追肥实现根层水-肥-土时空耦合和冬小麦水肥供需时空耦合及冬小麦高产高效的关键机制，创建了冬小麦按需补灌、水肥一体化、耕层优化、精量施肥技术，集成构建了基于根层水-肥-土时空耦合的冬小麦水肥精准调控栽培技术体系。除项目组报道的文献外，在所查国内外文献中均未见相同报道，具有创新性。

## 3. 国内外同行评价

项目理论研究在《Soil & Tillage Research》、《Field Crops Research》、《Agricultural and Forest Meteorology》、《Journal of Cleaner Production》、《Energy》、《Agricultural Water Management》、《Agriculture Ecosystems & Environment》、《作物学报》、《中国农业科学》等国内外期刊发表论文 119 篇。截止到 2022 年 12 月累计被引用 2327 次，其中的 49 篇被 SCIE 收录的论文被引 924 次，总影响因子 275.67（5 年平均 IF）。

项目主持人和主要成员先后于中国作物学会 2014 年、2015 年、2017 年和 2019 年学术年会，及 2018 年 11 月中国特色作物栽培学发展研讨会、2020 年 10 月杨凌国际农业科技论坛、2021 年 11 月丝绸之路小麦创新联盟国际研讨会等作相关报告、提交学术论文，得到与会专家高度认可。

## 4. 标准规范制定情况

制定《土壤墒情监测数据采集规范》、《节水农业技术规范 总则》、《水肥一体化技术规范 总则》、《华北平原冬小麦微喷带水肥一体化技术规程》、《小麦微喷补灌节水技术规程》、《冬小麦水肥一体化技术规程》、《小麦合理耕层构建技术规程》、《小麦畦灌水肥一体化技术规程》、《豫北地区冬小麦测墒灌溉技术规程》《冬小麦-夏玉米畦灌节水技术规程》等 7 项行业标准、8 项省级地方标准，有力推动了小麦标准化栽培，引领了小麦水肥精准调控标准化生产的发展。

## 5. 主流媒体宣传报道

采用本项目技术，通过耕层优化、有机肥替减化肥、水肥精准调控，在节水节肥条件下多点创出亩产 800 公斤以上高产典型，先后被中央电视台“朝闻天下”“经济半小时”、科技日报、新华社新媒体、中国农科新闻网、陕西日报、山东电视台农科频道乡村季风栏目报道。

在本项目示范推广过程中，还有人民日报（人民号）、农民日报、农村大众报、农业科技报、陕西日报、山东科技报、中国农科新闻网、中国农网、陕西农村网等媒体对本项目技术推广应用取得的显著成绩和效果，进行了跟踪报道或转载，得到社会

各界的普遍认可和好评，带来巨大和良好的社会影响。

## 五、应用情况

项目通过试验研究与技术示范相结合、技术培训与实践指导相结合的推广体系进行成果应用。研发的基于根层水-肥-土时空耦合的小麦水肥精准调控栽培技术主要通过农技推广中心、土肥站、农业合作社和农场等进行推广应用。同时开展多种形式的技术培训与服务，通过举办现场会、观摩会、培训会，在农技人员、种植大户及果农中进行技术推广，利用网络、电视、广播、直播、报纸等媒体资源和试验示范技术规程，提高技术普及率，扩大成果的应用规模。2014至2022年在鲁、豫、冀、陕、晋等省累计推广1.94亿亩，增产709.5万吨、节水76亿方、减少化肥用量68万吨，新增利润186亿元，获得显著经济社会生态效益。

六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条）

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称   | 国家(地区) | 授权号               | 授权日期       | 证书编号                         | 权利人  | 发明人  |
|----|--------|--|--------|-------------------|------------|------------------------------|--|--|
| 1  | 发明专利   | 一种冬小麦按需补灌节水高产方法  | 中国     | ZL201610591521.8  | 2019-08-06 | 第 3482147 号                  | 山东农业大学                                       | 王东*  |
| 2  | 发明专利   | 冬小麦根层水肥供需时空耦合调控方法  | 中国     | ZL201610591525.6  | 2019-10-22 | 第 3567217 号                  | 山东农业大学                                       | 王东*  |
| 3  | 英文论文   | A suitable rotational conservation tillage system ameliorates soil physical properties and wheat yield: An 11-year in-situ study in a semi-arid agroecosystem. | 荷兰     | 2020, 199: 104600 | 2020-02-12 | Soil and Tillage Research    | 西北农林科技大学                                     | 于琦, 王浩, 温鹏飞, 王树兰, 李军*(通讯作者), 王瑞*, 王小利                        |
| 4  | 发明专利   | 冬小麦水肥一体化节水节肥方法   | 中国     | ZL201610884913.3  | 2019-07-23 | 第 3467157 号                  | 山东农业大学                                       | 王东*, 宋兆云, 尹笑笑, 林祥*   |
| 5  | 发明专利   | 一种畦田节灌水肥一体化方法  | 中国     | ZL201610591688.4  | 2019-08-09 | 第 3486897 号                  | 山东农业大学                                       | 王东*, 赵阳  |
| 6  | 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 3486897 号                  | 山东农业大学                                       | 王东*, 刘立钧, 李文建  |
| 7  | 发明专利   | 双旋耕按比例分层施肥宽苗幅精量播种机   | 中国     | ZL201510989379.8  | 2017-08-04 | 第 2576357 号                  | 山东农业大学                                       | 王东*, 温樱  |
| 8  | 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/T3553-2020     | 2020-03-20 | ICS65.020 B05 (中华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 | 张骞, 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 |

| 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   |
|----|--------|--|--------|-------------------|------------|--------------------------------------|------------------|---|
| 9  | 英文论文   | Combined nitrogen and phosphorus management based on nitrate nitrogen threshold for balancing crop yield and soil nitrogen supply capacity | 荷兰     | 2022. 337: 108071 | 2022-06-18 | Agriculture Ecosystems & Environment | 西北农林科技大学, 河南农业大学 | 师祖姣, 刘东华, 雒文鹤, Muhammad Bilal Hafeez, 李军*(通讯作者), 温鹏飞, 王小利 |
| 10 | 英文论文   | Layered application of phosphate fertilizer increased winter wheat yield by promoting root proliferation and phosphorus accumulation       | 荷兰     | 2023, 225 105546  | 2022-09-28 | Soil & Tillage Research              | 西北农林科技大学, 山东农业大学 | 刘长虹, 闫恒辉, 王威雁, 韩锐锋, 李箴言 林祥*, 王东*(通讯作者)                    |

## 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称    | 工作单位/完成单位                     | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|------------|-------------------------------|--|
| 王东  | 1  | 副院长/教授     | 西北农林科技大学/西北农林科技大学             | 主持制定技术路线和研究方案并组织实施，负责小麦根层水-肥-土时空耦合与精准调控机制及关键技术研究，创建综合技术模式，发明系列配套机械设施，并形成行业和地方标准，组织高产攻关，开展系列技术培训、生产指导和推广服务工作。 |
| 李军  | 2  | 无/教授       | 西北农林科技大学/西北农林科技大学             | 研究揭示了麦田耕层优化增蓄培肥机理与节水减氮增产效应，建立了关中平原麦田氮磷配施和水氮耦合栽培技术，研制出土壤深松机，创建了麦田土壤培肥与高效轮耕技术模式。                               |
| 林祥  | 3  | 无/副教授      | 西北农林科技大学/西北农林科技大学             | 研究阐明冬小麦高产高效的水氮耦合调控机理，明确按需补灌水肥一体化技术参数；探明麦田合理耕层的土壤物理和养分供给结构及调控途径，研制出小麦联合精密耕播机；参与开展技术体系示范推广工作。                  |
| 马荣辉 | 4  | 无/高级农艺师    | 山东省农业技术推广中心/山东省农业技术推广中心       | 研究明确了黄淮海地区土壤养分现状与演变规律，构建了土壤养分分级标准和小麦精量施肥指标体系，制定化肥减施增效关键技术，开展系列技术培训、生产指导和推广服务工作。                              |
| 谷淑波 | 5  | 无/高级实验师    | 山东农业大学/山东农业大学                 | 创新碳氮同位素标记研究小麦水分和养分生理的试验方法；参与研究明确了小麦高产高效用水机制及微喷补灌对小麦耗水和产量的调节作用和机理，发明小麦微喷带等节灌设施；参与小麦水肥精准调控栽培技术体系的集成、示范和推广。     |
| 钟永红 | 6  | 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     | 组织开展冬小麦水肥精准调控关键技术的试验示范，制定小麦精量施肥和灌溉技术指导意见，推广小麦喷灌、微喷灌和小畦节灌水肥一体化技术模式。组织开展技术培训，促进技术成果大规模推广应用                     |
| 张寄阳 | 7  | 无/研究院      | 中国农业科学院农田灌溉研究所/中国农业科学院农田灌溉研究所 | 研究揭示了畦灌小麦水分调控机理，研制出畦灌水肥一体化灌溉施肥设施，制定小麦畦灌农田节水技术标准，构建畦灌农田综合节水技术体系，并开展系列技术培训和推广服务工作。                             |
| 满建国 | 8  | 无/副教授      | 华中农业大学/华中农业大学                 | 研究明确了微喷带喷射角、带宽和长度对灌溉水分布均匀度的影响，揭示了微喷补灌对小麦产量和水分利用效率调节的生理机制，发明了小麦专用微喷带；阐明了氮硫互作对小麦产量和品质的调节作用和机理，提出氮硫配合精量施用技术。    |

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称   | 工作单位/完成单位                           | 对本项目技术创造性贡献   |
|-----|----|-----------|-------------------------------------|---|
| 王瑞  | 9  | 无/副教授     | 西北农林科技大学/西北农林科技大学                   | 研究揭示了麦田土壤轮耕蓄水保墒、培肥土壤和增产增效机理，创建了土壤轮耕关键技术模式，研制出秸秆粉碎机、土壤深松机等配套机具，开展系列技术培训、生产指导和推广服务工作。             |
| 梁晓薇 | 10 | 总经理/肥料配方师 | 杨凌唯拓尔农业科技有限公司/杨凌唯拓尔农业科技有限公司         | 研发了 pH 包膜缓释磷肥及其制备方法，包膜可降解，不造成环境污染；研制新品配方 30 多种；开展掺混肥料系列产品的研发、示范和推广。                             |
| 孟庆羽 | 11 | 无/高级工程师   | 山东农大肥业科技股份有限公司/山东农大肥业科技股份有限公司       | 研发了含腐殖酸水溶肥料、有机-无机复混肥料、有机肥料、掺混肥料、复混肥料新品配方 20 多种，发明了控释肥料养分释放快速检测和包膜控释肥的工业化生产装置，开展系列肥料产品的研发、示范和推广。 |
| 张洪波 | 12 | 无/无       | 山东农业大学/山东农业大学                       | 研究明确了冬小麦高产高水分和养分利用效率的根系生长动态变化特征，揭示了冬小麦高产和高水氮利用效率的调控机制。  |
| 褚小军 | 13 | 无/高级农艺师   | 河南省土壤肥料站/河南省土壤肥料站                   | 组织开展冬小麦水肥精准调控关键技术的试验示范和技术培训，制定小麦精量施肥和灌溉技术指导意见，促进技术成果在大规模推广应用。                                   |
| 倪莉莉 | 14 | 科长/高级农艺师  | 陕西省耕地质量与农业环境保护工作站/陕西省耕地质量与农业环境保护工作站 | 组织开展冬小麦水肥精准调控关键技术的试验示范和技术培训，制定小麦精量施肥和灌溉技术指导意见，促进技术成果在大规模推广应用。                                   |
| 孟国栋 | 15 | 无/高级农艺师   | 西安市临潼区农技推广服务中心/西安市临潼区农技推广服务中心       | 组织开展冬小麦水肥精准调控关键技术的试验示范和技术培训，制定小麦精量施肥和灌溉技术指导意见，促进技术成果在大规模推广应用。                                   |

#### 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称        | 排名 | 主要贡献  |
|-------------|----|---|
| 西北农林科技大学    | 1  | 组织创新团队开展基础理论、关键技术与技术集成研究和大面积示范应用。   |
| 山东农业大学      | 2  | 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，揭示了冬小麦水-肥-土时空耦合关键机制，创建了冬小麦按需补灌技术和冬小麦水肥一体化技术。            |
| 山东省农业技术推广中心 | 3  | 项目协作完成单位，提出了精量施肥推荐指标，建立了小麦高产-优质-培肥-环保相协调的化肥有机替代技术，协助主持单位进行技术培训、高产攻关和在山东地区开展技术示范和推广。 |

| 单位名称                      | 排名 | 主要贡献   |
|---------------------------|----|--|
| 中国农业科学院<br>农田灌溉研究所        | 4  | 项目协作完成单位, 阐明黄淮中南部畦灌小麦土壤水分调控机理, 创建冬小麦畦灌农田综合节水技术方案, 协助主持单位进行技术培训、高产攻关和在河南地区的示范与推广。     |
| 全国农业技术推广<br>服务中心          | 5  | 项目协作完成单位, 开展冬小麦水肥精准调控栽培技术体系的试验和示范, 制定小麦精量施肥和灌溉技术指导意见, 组织开展技术培训, 促进技术成果在黄淮海地区大规模推广应用。 |
| 华中农业大学                    | 6  | 项目协作完成单位, 建立了冬小麦微喷补灌节水栽培技术和氮硫精量施用技术, 协助主持单位进行技术培训、高产攻关、技术示范和推广。                      |
| 山东农大肥业科<br>技股份有限公司        | 7  | 项目协作完成单位, 开展麦田适用的系列肥料产品的研发、示范和推广。  |
| 杨凌唯拓尔农业<br>科技有限公司         | 8  | 项目协作完成单位, 开展小麦专用控释肥新产品的研发、示范和推广。   |
| 陕西省耕地质量<br>与农业环境保护<br>工作站 | 9  | 项目协作完成单位, 协助主持单位进行技术培训、高产攻关和在陕西地区开展技术示范和推广。  |

### 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<br>排名               | 合作时间                | 合作成果  | 证明材料 |
| 1          | 论文合著         | 李军 2, 王瑞<br>9              | 2017.09-20<br>20.02 | A suitable rotational conservation tillage system ameliorates soil physical properties and wheat yield: An 11-year in-situ study in a semi-arid agroecosystem |      |
| 2          | 论文合著         | 王东 1, 林祥<br>3              | 2016.09-20<br>22.09 | Layered application of phosphate fertilizer increased winter wheat yield by promoting root proliferation and phosphorus accumulation                          |      |
| 3          | 论文合著         | 王东 1, 谷淑<br>波 5, 张洪波<br>12 | 2012.09-20<br>17.09 | Root vertical distribution is important to improve water use efficiency and grain yield of wheat  |      |
| 4          | 论文合著         | 王东 1, 林祥<br>3              | 2013.09-20<br>16.06 | Effects of tillage practices on water consumption characteristics and grain yield of winter wheat under different soil moisture conditions                    |      |
| 5          | 专著合著         | 王东 1, 谷淑<br>波 5,<br>张寄阳 7  | 2015.01-20<br>20.03 | 黄淮流域小麦玉米水稻节本增效技术手册, 北京: 中国农业出版社, 2020.03  |      |
| 6          | 共同制订<br>标准规范 | 王东 1, 钟永<br>红 6            | 2014.01-20<br>20.03 | 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, NY/T 3553-2020   |      |
| 7          | 共同制订<br>标准规范 | 王东 1, 满建<br>国 8            | 2010.09-20<br>18.03 | 山东省地方标准, 小麦微喷补灌节水技术规程, DB 37/T 3174-2018  |      |

|    |          |                        |                 |   |  |
|----|----------|------------------------|-----------------|---|--|
| 8  | 共同制订标准规范 | 王东 1, 李军 2, 林祥 3, 王瑞 9 | 2020.01-2022.12 | 陕西省地方标准, 小麦耕层合理构建技术规程 DB 61/T 1644-2023 |  |
| 9  | 共同知识产权   | 王东 1, 林祥 3             | 2013.09-2019.07 | 冬小麦水肥一体化节水节肥方法, ZL201610884913.3, 发明专利  |  |
| 10 | 技术成果应用   | 王东 1, 钟永红 6            | 2014.1-2022.12  | 应用证明                                    |  |
| 11 | 技术成果应用   | 王东 1, 马荣辉 4            | 2014.1-2022.12  | 应用证明                                    |  |
| 12 | 技术成果应用   | 王东 1, 梁晓薇 10           | 2019.1-2022.12  | 应用证明                                    |  |
| 13 | 技术成果应用   | 王东 1, 孟庆羽 11           | 2014.1-2022.12  | 应用证明                                    |  |
| 14 | 技术成果应用   | 王东 1, 褚小军 13           | 2017.1-2022.12  | 应用证明                                    |  |
| 15 | 技术成果应用   | 王东 1, 倪莉莉 14           | 2019.1-2022.12  | 应用证明                                    |  |
| 16 | 技术成果应用   | 王东 1, 孟国栋 15           | 2019.1-2022.12  | 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教师和研究生、科研单位骨干研究人员、企业技术中坚、农业技术推广部门的精英组成，所有成员均是项目各项研究和推广应用任务的主要完成人，为本项目成果做出创新性贡献。

完成人**王东、李军、林祥、谷淑波、张寄阳、满建国、王瑞、张洪波**合作开展冬小麦根层水-肥-土时空耦合机制研究，及冬小麦按需补灌、水肥一体化、精量施肥和耕层优化关键技术与基于根层水-肥-土时空耦合的冬小麦水肥精准调控栽培技术体系的创新和应用研究。

完成人**王东、马荣辉**共同构建黄淮海地区小麦限量施肥模型和精量施肥推荐指标体系，制定化肥减施增效关键技术，在山东省组织开展技术成果的示范和推广应用。

完成人**王东、钟永红**共同制定农业行业标准：华北平原冬小麦微喷带水肥一体化技术规程，在山东、河南、河北、陕西、山西组织开展技术成果的示范和推广应用。

完成人**王东、梁晓薇、孟庆羽**合作开展基于黄淮海地区粮田土壤养分分级标准与小麦精量施肥推荐指标的肥料配方和产品研发，并组织开展产品和技术的示范和推广应用。

完成人**王东、褚小军**合作制定适于河南省不同区域生产条件的水肥精准调控技术模式，并组织开展技术示范和推广应用工作。

完成人**王东、倪莉莉、孟国栋**合作制定适于陕西省不同区域生产条件的水肥精准调控技术模式，并组织开展技术示范和推广应用工作。



# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

韦革宏

一、项目名称：旱区土壤微生物与环境及作物互作机制

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：

旱区是我国最大的后备耕地资源储备区，但是中低产田比例高达 85%以上。土壤微生物在土壤养分转化和肥力提升方面发挥着关键作用，是调控和维护土壤质量与生产力的核心。然而，适应旱区土壤生态环境的优良微生物资源匮乏，土壤微生物多样性与生态功能以及环境适应机制缺乏系统认识，土壤培肥和地力提升的微生物调控技术研发滞后。

该项目在国家杰出青年基金、国家重点研发计划课题等项目的支持下，明确了旱区土壤微生物的分布规律和影响因素，发掘了大批的微生物种质资源，发现并命名了 20 个原核微生物新种，揭示了其环境适应性和离子转运机制，阐明了土壤养分循环的微生物驱动机制，解析了微生物跨界对话机制和组装过程，创新了合成菌群的构建理论与技术，为推动旱区农业绿色发展提供了重要的资源和理论依据。项目在 *Nature Communications*、*Microbiome*、*Soil Biology and Biochemistry* 等国际知名期刊发表论文 50 篇。5 篇代表作被他引 763 次，3 篇论文入选 ESI 高被引论文。

成果材料齐全、规范、无知识产权纠纷，人员排名无争议，符合陕西省自然科学奖提名条件，特提名申报陕西省自然科学奖一等奖。

三、项目简介：

旱区是我国粮食生产的重要战略基地，但是中低产田比例高达 85%以上。由于干旱、盐碱、养分贫瘠等逆境胁迫及长期粗放耕作方式，导致该地区农田土壤结构失衡、土壤微生物多样性与功能失调、土壤质量退化严重。土壤微生物是调控和维护土壤质量的核心，在土壤养分转化和肥力提升方面发挥着关键作用。然而，适应旱区土壤环境及作物匹配的优良微生物菌种资源匮乏、土壤微生物多样性的分布规律及环境适应性机制认识不清、土壤养分转化和高效利用的微生物调控技术研发滞后，这些瓶颈问题制约了旱区耕地质量提升与农业可持续发展。

该项目在国家杰出青年科学基金、国家重点研发计划课题、国家自然科学基金面上项目支持下，以土壤微生物与环境及作物互作机制为主攻方向，系统开展了旱区土壤微生物资源挖掘、分布规律与适应性进化机制、群落组装模式等研究，创新了微生物高效利用技术。取得的科学发现点如下：

**(1) 发掘了大量的农业有益微生物菌种资源，建立了旱区土壤微生物资源库，鉴定并命名了一批原核微生物新种，为旱区微生物资源的高效利用奠定了重要基础。**

从干旱、贫瘠、盐碱、荒漠等土壤生境中，分离保藏菌株 2 万余株，建立了具有国际影响的旱区土壤微生物资源库；发现并命名根瘤菌、芽孢杆菌和放线菌等原核微生物新种 20 个，其中 1 个为新属，更正了 6 个种的分类地位，促进了国际细菌系统分类学的发展；阐明了旱区主要共生固氮类群和促生抗逆类群的分布规律，发现根瘤中内生细菌具有极高的丰富度，其组成随豆科植物的种类和土壤类型而变化，明确了根瘤菌属、中慢生根瘤菌属和中华根瘤菌属是旱区广泛分布的共生固氮类群，芽孢杆菌属是广泛分布的植物促生抗逆类群；建立了准确检测近期发生的基因水平的 RecentHGT 模型，阐明了宿主植物对细菌质粒的选择以及质粒对环境的适应机制，揭示了细菌的环境适应性进化机制；建立了“多组学联合筛查-多性状综合评定”的功能菌株定向分离与高效筛选技术，实现了特殊生境菌株的精准发掘和高通量获取。

**(2) 揭示了土壤微生物调控离子转运的新机制，发现了微生物跨种属对话以及定殖的新途径，为促进微生物在作物根际的靶向定殖和养分吸收提供了理论支撑。**

在国际上率先揭示了细菌利用六型分泌系统转运铁离子的新机制，开辟了该领域一个新的研究方向；阐明了细菌通过钙通道多功能跨膜受体与群体感应信号分子 AI-2 互作实现跨种属对话，解析了群体感应在土壤微生物群落形成过程的作用机制，拓展了对土壤微生物跨种属对话及信号传递途径的认识；揭示了碳代谢调控因子 Cra 通过响应根际营养水平变化，以调节胞外多糖产生，进而调控细菌在根部定殖的机制，证实了三型分泌系统调节共生固氮的新发现，系统解析了细菌从环境适应到植物定殖和共生的互作过程。

**(3) 揭示了旱区土壤微生物对生态环境的适应性规律，发现根际微生物群落组装过程受植物类型驱动而微生物共存受功能特性驱动的新模式，创新了合成菌群的设计与构建理论，为复合微生物菌剂的研发与应用提供了新途径。**

发现旱区土壤微生物对环境变化的抵抗力高，抗逆性强的微生物类群对土壤功能的稳定性贡献大，揭示了土壤中丰富微生物和稀有微生物的分布规律，发现稀有微生物类群具有独特的生境偏好性；阐明了根系多界面对土壤微生物的分层过滤作用，发现根系群落组装过程受植物类型驱动，而微生物的共存模式受类群的功能特性驱动，更新了对根际土壤微生物共存理论的认识；利用指示种环境阈值模型、互作网络、碳氮源指纹图谱等方法，结合微生物种间对话与互利共栖关系，实现了合成菌群结构简化和功能提升的协同，创新了合成菌群的设计与构建理论；阐明了驱动土壤氮素转化的核心微生物组，揭示了微生物功能类群对土壤氮素转化过程的调控机制，发现引入共生固氮体系可增强氮矿化和磷溶解功能微生物丰度，显著缓解土壤有效氮磷的匮乏，并以此提出了“以菌控氮调磷”的养分高效利用新策略，创新了土壤氮磷高效转化利用

的微生物调控技术。

该成果发掘了一批重要的旱区土壤微生物资源，阐明了微生物调控离子转运与跨种属对话的分子机制，探明了微生物对生态环境的适应性规律，揭示了微生物驱动养分循环的机制，深入解析了微生物与环境及作物的互作机制，推动了土壤微生物学科的发展，为微生物资源的高效利用提供了重要的理论依据与技术支撑。研究成果在 *Nature Communications*、*Microbiome*、*Soil Biology and Biochemistry*、*Molecular Ecology* 等国际知名期刊发表论文 50 篇。5 篇代表性论文被他引 763 次，3 篇入选 ESI 高被引论文。5 篇代表性论文被 *Nature Reviews Microbiology*、*PNAS*、*Nature Microbiology*、*Nature Communications*、*ISME Journal*、*Microbiome*、*Cell Host & Microbe* 等国际知名期刊引用，获得美国、英国、德国、法国、澳大利亚等 68 个国家，616 个科研机构学者的积极评价与肯定。项目第一完成人韦革宏入选“神农领军英才”（2022 年），第二完成人沈锡辉入选“中青年科技创新领军人才”（2018 年），第三完成人获批国家优秀青年科学基金（2021 年）。共培养博士研究生 18 人、硕士研究生 32 人，其中 1 人获全国博士后创新人才支持计划，1 人获陕西省优秀博士学位论文。

#### 四、客观评价：

项目成果在 *Nature Communications*、*Microbiome*、*Soil Biology & Biochemistry*、*Molecular Ecology* 等国际知名期刊发表论文 50 篇（附件 8）。5 篇代表性论文总被引 839 次，总他引 763 次（附件 3），被 *Nature Reviews Microbiology*、*FEMS Microbiology Reviews*、*PNAS*、*Nature Communications*、*ISME Journal*、*Microbiome* 等国际知名期刊引用。代表性论文 1、4、5 均被 *Web of Science* 认定为 ESI 高被引论文（附件 7）。项目第一完成人韦革宏获“神农领军英才”（2022 年）（附件 9），第二完成人沈锡辉获“中青年科技创新领军人才”（2018 年）（附件 10），培养的博士研究生焦硕（第三完成人）获批国家优秀青年科学基金（2021 年）（附件 11），1 人获全国博士后创新人才支持计划（附件 12），1 人获陕西省优秀博士学位论文（附件 13）。

**（一）重要发现一：发掘了大量的农业有益微生物菌种资源，建立了旱区土壤微生物资源库，鉴定并命名了一批原核微生物新种，为旱区微生物资源的高效利用奠定了重要基础，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）美国迈阿密大学 Damian J. Hernandez 博士发表在生态学顶级期刊 *ISME Journal* 上讨论微生物共发生网络在环境压力下稳定性的论文(2021, 15(6): 1722-1734, ESI 高被引论文，**代表性引文 1**) 引用了**代表性论文 1** 的研究成果，支持其提出的可以通过网络模块化分析评估微生物群落稳定性及其环境变化响应模式的观点。

（2）美国加州大学戴维斯分校 Amélie Gaudin 教授发表在微生物组顶级期刊 *Microbiome* 上讨论农业管理和植物对根际微生物选择作用的论文(2019, 7(1): 146, ESI 高被引论文，**代表性引文 2**) 引用了**代表性论文 1** 的研究成果，支持其关于环境

的过滤作用影响了根际微生物网络拓扑特征的观点。

**(二) 重要发现二：揭示了土壤微生物调控离子转运的新机制，发现了微生物跨种属对话以及定殖的新途径，为促进微生物在作物根际的靶向定殖和养分吸收提供了理论支撑，改变了当前对细菌分泌系统功能的认识，开辟了该领域新的研究方向。**

(1) 欧洲微生物学会主席，法国科学院、美国科学院、德国科学院院士 Philippe J Sansonetti 教授在微生物学顶级综述期刊 FEMS Microbiology Reviews 发表的综述 (2018, 42(3): 273-292, 代表性引文 3) 中充分肯定了代表性论文 2 提出的六型分泌系统具有获取铁、抗氧化胁迫等重要的新功能，并赋予相应细菌在微生物群落中竞争优势的观点。

(2) 香港城市大学邓新教授发表在期刊 Nature Communications 上讨论铜绿假单胞菌基因组调控网络的论文 (2019, 10: 2931, 代表性引文 4) 中引用了代表性论文 2 的研究成果，用以说明由微生物六型分泌系统分泌的 TseF 通过与群体感应信号分子 PQS 的协同进行铁离子运输。

(3) 瑞士苏黎世大学 Leo Eberl 教授在顶级期刊 Nature Reviews Microbiology 上发表关于细菌膜囊泡组成和功能的综述文章 (2023, 21: 415-430, 代表性引文 5) 中引用了代表性论文 2 的研究成果，用以说明在铁养分缺乏的条件下基于六型分泌系统的膜囊泡运输在细菌铁获取中起着至关重要的作用。

(4) 南京农业大学沈其荣院士团队在期刊 PNAS 上发表探讨芽孢杆菌信号感知机制的文章 (2022, 119(29): e2201747119, 代表性引文 6) 中引用了代表性论文 3 的研究成果，用以说明 dCache 传感器结构域具有结合多种不同类型配体的能力。

**(三) 重要发现三：揭示了旱区土壤微生物对生态环境的适应性规律，发现根际微生物群落组装过程受植物类型驱动而微生物共存受功能特性驱动的新模式，创新了合成菌群的设计与构建理论，为复合微生物菌剂的研发与应用提供了新的途径，该发现填补了根际微生物群落组装模式和共存理论认知的空白，推动了微生物生态学科的发展。**

(1) 瑞士苏黎世大学 Marcel G. A. van der Heijden 教授发表在期刊 Nature Reviews Microbiology 上关于关键微生物类群结构与功能的综述文章 (2018, 16(9): 567-576, ESI 高被引论文, 代表性引文 7) 引用了代表性论文 4, 支持其关键类群尽管在数量上不占优势，但仍在整体群落中有巨大影响力的观点。

(2) 中国农业科学院冯文婷研究员发表在期刊 Soil Biology & Biochemistry 上关于土壤特性影响有机碳和微生物垂直变化的论文 (2020, 166: 108534, 代表性引文 8) 引用了代表性论文 5, 支持其多种生物因子和非生物因子，特别是氧气含量，强烈影响微生物活性，并调控了微生物量碳和微生物熵在土壤深度上的垂直分布的观点。

## 五、应用情况

六、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)

(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<br>(xx 年 xx 卷 xx 页) | 发表时间<br>(年月日)    | 通讯作者<br>(含共同) | 第一作者<br>(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  | Co-occurrence patterns of soybean rhizosphere microbiome at a continental scale                  | Soil Biology & Biochemistry | BaogangZhang, JunZhang, YaoLiu, PengShi, GehongWei   | 2018 年 118 卷 178-186 页   | 2018 年 3 月       | 史鹏, 韦革宏       | 张宝刚           | 张宝刚, 张君, 刘尧, 史鹏, 韦革宏                           | 157   | SCIE  | 是           |
| 2  | A Pseudomonas T6SS effector recruits PQS-containing outer membrane vesicles for iron acquisition | Nature Communications       | JinshuiLin, WeipengZhang, JuanliCheng, XuYang, KaixiangZhu, YaoWang, GehongWei, PeiYuanQian, ZhaoQingLuo, andXihuiShen | 2017 年 8 卷 1-12 页        | 2017 年 3 月 28 日  | 沈锡辉           | 林金水, 张伟鹏      | 林金水, 张伟鹏, 成娟丽, 杨旭, 朱凯祥, 王瑶, 韦革宏, 钱培元, 沈锡辉      | 88    | SCIE  | 是           |
| 3  | Sensing of autoinducer-2 by functionally distinct receptors in prokaryotes                       | Nature Communications       | LeiZhang, ShuyuLi, XiaozhenLiu, ZhuoWang, MeiJiang, RuiyingWang, LaigongXie, QinmengLiu, XiaorongXie,                  | 2020 年 11 卷 1-13 页       | 2020 年 10 月 23 日 | 罗招庆, 沈锡辉      | 张磊, 李书宇       | 张磊, 李书宇, 刘孝珍, 王卓, 姜美, 王瑞莹, 谢来工, 刘钦萌, 谢晓荣, 尚道涵, | 51    | SCIE  | 是           |

| 序号  | 论文专著名称  | 刊名                          | 作者  | 年卷页码<br>(xx年xx卷xx页) | 发表时间<br>(年月日) | 通讯作者<br>(含共同) | 第一作者<br>(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 |
|-----|---|-----------------------------|---|---------------------|---------------|---------------|---------------|---|-------|-------|-------------|
|     |   |                             | DaohanShang,<br>MengyunLi,<br>ZhiyanWei,<br>YaoWang,<br>ChengpengFan,<br>Zhao-QingLuo,<br>XihuiShen |                     |               |               |               | 李蒙云,<br>魏志艳,<br>王瑶范成<br>鹏, 罗招<br>庆, 沈锡<br>辉 |       |       |             |
| 4   | Bacterial communities in oil contaminated soils: Biogeography and co-occurrence patterns  | Soil Biology & Biochemistry | ShuoJiao,<br>ZhenshanLiu,<br>YanbingLin,<br>JunYang,<br>WeiminChen,<br>GehongWei                    | 2016年98卷64-73页      | 2016年7月       | 陈卫民,<br>韦革宏   | 焦硕            | 焦硕, 刘振山, 林雁冰, 杨珺, 陈卫民, 韦革宏                  | 265   | SCIE  | 是           |
| 5   | Soil microbiomes with distinct assemblies through vertical soil profiles drive the cycling of multiple nutrients in reforested ecosystems | Microbiome                  | ShuoJiao,<br>WeiminChen,<br>JieliWang,<br>NiniDu,<br>QiaopingLi,<br>GehongWei                       | 2018年6卷1-13页        | 2018年8月21日    | 陈卫民,<br>韦革宏   | 焦硕            | 焦硕, 陈卫民, 王洁丽, 杜妮妮, 李乔平, 韦革宏                 | 202   | SCIE  | 是           |
| 合 计 |   |                             |   |                     |               |               |               |   | 763   |       |             |

## 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  |
|-----|----|---------|-----------|--|
| 韦革宏 | 1  | 教授      | 西北农林科技大学  | 负责项目总体设计，方案制定，组织实施。在菌株和群落水平上解析了土壤微生物的环境适应规律以及根际养分转化的核心微生物组与过程，阐明了微生物根际微生物群落的组装与共存模式以及根际定殖新机制，创新了合成菌群的设计与构建理论，建立了土壤养分转化和高效利用的微生物调控技术。对应代表作 1, 2, 4, 5, 对重要科学发现一、二、三具有创新性贡献。 |
| 沈锡辉 | 2  | 教授      | 西北农林科技大学  | 系统阐明了土壤微生物六型分泌系统的离子转运新功能，揭示了土壤微生物调控离子转运的新机制，发现了土壤微生物跨种属对话交流的新途径，揭示了根际微生物互作新机制。对应代表作 2 和 3, 对重要科学发现一、二具有创新性贡献。  |
| 焦硕  | 3  | 教授      | 西北农林科技大学  | 在群落水平上阐明了旱区土壤微生物对生态环境的适应性规律以及丰富和稀有微生物的分布规律，解析了根际微生物的共存模式，发现土壤微生物的共存模式受类群的功能特性驱动，揭示了植物对根际微生物多样性和功能维持的内在机制。对应代表作 4, 5, 对重要科学发现一、二、三具有创新性贡献。                                  |
| 张磊  | 4  | 教授      | 西北农林科技大学  | 发现并命名多个原核微生物新种，揭示了土壤微生物跨种属对话交流的新途径以及信号传递的途径，发现了内生菌根部定殖的关键调控因子，揭示了根际微生物互作新机制。对应代表作 2, 3, 对重要科学发现二具有重要贡献。  |
| 陈卫民 | 5  | 教授      | 西北农林科技大学  | 主要参与根际微生物菌种资源多样性分析和挖掘工作，阐明了土壤微生物群落对环境胁迫的适应性规律，解析了作物根内和根际微生物群落的组装与共存模式。对应代表性论文 4 和 5, 对重要科学发现一、三具有贡献。   |
| 史鹏  | 6  | 教授      | 西北农林科技大学  | 主要负责西北旱区农业有益微生物菌种资源的挖掘工作，参与建设并管理了旱区土壤微生物资源库，阐明了宿主地域性和环境选择性对根际微生物群落的影响，揭示了豆科作物根际微生物群落构建机制和地理分布特征。对应代表作 1, 对重要科学发现一具有贡献。   |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称     | 排名 | 主要贡献   |
|----------|----|--|
| 西北农林科技大学 | 1  | 西北农林科技大学作为项目主要完成单位，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。 |
|          |    |  |
|          |    |  |
|          |    |  |

## 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 | 韦革宏/1、沈锡辉/2        | 2017年       | 农业科研杰出人才及其创新团队：土壤微生物多样性与生物修复创新团队 | 附件 14         |
| 2  | 论文合著 | 韦革宏/1、沈锡辉/2        | 2017年       | 代表性论文 2                          | 附件 1.2        |
| 3  | 论文合著 | 韦革宏/1、史鹏/6         | 2018年       | 代表性论文 1                          | 附件 1.1        |
| 4  | 论文合著 | 韦革宏/1、焦硕/3、陈卫民/5   | 2016年、2018年 | 代表性论文 4, 5                       | 附件 1.4、附件 1.5 |
| 5  | 论文合著 | 沈锡辉/2、张磊/4         | 2017年、2020年 | 代表性论文 2, 3                       | 附件 1.2、附件 1.3 |
| 6  | 共同获奖 | 沈锡辉/2, 韦革宏/1, 张磊/4 | 2022年       | 陕西高等学校科学技术研究优秀成果特等奖              | 附件 15         |
| 7  | 共同获奖 | 韦革宏/1、陈卫民/5        | 2017年       | 陕西省科学技术奖一等奖                      | 附件 16         |
| <p><b>完成人合作关系说明（限 1000 字）</b></p> <p>项目完成人韦革宏、沈锡辉、焦硕、张磊、陈卫民、史鹏均为西北农林科技大学教授。在项目实施、论文发表、登记成果等方面开展了紧密合作，为项目目标达成均做出了重要的贡献。</p> <p>第一完成人韦革宏负责项目总体设计，制定研究方案，统筹项目实施。组织西北旱区根际土壤微生物资源的调查和采集工作，合作开展了根际土壤微生物环境适应机制研究，提出功能菌株定向分离筛选与合成菌群构建策略。</p> <p>第一完成人韦革宏和第二完成人沈锡辉通过科研项目合作，开展微生物环境适应机制研究，共同获批农业科研杰出人才及其创新团队：土壤微生物多样性与生物修复创新团队；共同发表多篇科研论文；共同获得陕西高等学校科学技术研究优秀成果特等奖。</p> <p>第一完成人韦革宏、第二完成人沈锡辉、第四完成人张磊作为陕西省农业与环境微生物重点实验室的负责人及成员通过科研项目合作，共同发表多篇科研论文，共同获得陕西高等学校科学技术研究优秀成果特等奖。</p> <p>第三完成人焦硕、第五完成人陈卫民、第六完成人史鹏均是第一完成人韦革宏的博士研究生，通过多年的科研合作成长为团队的核心成员，第三完成人焦硕获得了国家优秀青年基金和重点研发计划青年科学家项目的资助，共同发现了多个微生物新种、发表多篇科研论文。</p> <p>第一完成人韦革宏和第五完成人陈卫民 2017 年共同获得了陕西省科学技术奖一等奖：西北旱区豆科植物根瘤菌资源多样性及其生态适应性研究。</p> |      |                    |             |                                  |               |



## 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

岳田利

一、项目名称：特色果蔬功能化加工关键技术研究及产业化

二、提名者及提名意见：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

中国是世界果蔬生产第一大国，果蔬产业已经成为农民增收致富主要经济来源之一，然而中国的果蔬加工业相对落后，高端产品较少。在健康中国时代背景下，大健康产业越来越受到人们的关注，营养干预型食品代替传统的药物治疗已成为食品科技工作者研究的热点。如何将普通果蔬汁加工成具有一定健康功效的功能型果蔬汁产品，将是未来果蔬汁行业二次发展的关键。

该成果针对益生菌发酵果蔬汁加工全产业链中益生菌筛选-优势果蔬品种筛选-果蔬汁发酵过程中功能提升-货架期预测-后酸化控制-副产物利用问题，系统突破益生菌发酵功能果蔬汁加工关键技术问题，并结合产学研一体化联合攻关，筛选获得了适合果蔬汁发酵的功能益生菌，对果蔬汁发酵的原料进行系统评价，开发出酵母及植物乳杆菌顺序发酵脱醇苹果汁技术等 7 项，制备得到系列营养干预果蔬汁产品。构建益生菌发酵功能果蔬汁货架期品质变化模型及准确评价方法，突破了益生菌发酵功能果蔬汁后酸化控制技术。制备出用于果渣提取液中多酚分离的可食性纳米粒子，获得吸附多酚后的可食用功能性多酚纳米颗粒产品及苹果多酚胶囊产品。成果在我国各苹果产区陕西、山东、甘肃等企业推广应用，取得了显著的经济、社会及生态效益。该成果将基础理论研究与生产实践有机结合，整体性好，四个创新点逻辑、有机、系统、可靠，具有很强的创新性和先进性，整体研究达到国际先进水平。该成果符合陕西省科学技术进步奖推荐条件。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

三、项目简介：

项目以特色果蔬功能化加工为主线，以贯穿益生菌筛选-果蔬原料筛选-功能化加工-货架期控制-副产物综合利用的关键技术问题为研究对象，系统建立了特色果蔬功能化加工全产业链系统解决方案，并基于产学研一体化联合攻关，取得以下创新性研究成果：

1. 筛选获得了可用于果蔬汁发酵的益生菌及功能菌株，构建了菌株库，开发了

直投式益生菌发酵剂；基于特定环境下菌株分离鉴定结合原生质体融合、电融合等技术获得了苹果酒酿制专用酵母；评价了不同益生菌发酵果蔬营养特性与成分变化，开发获得了具有降血脂、降血糖、抗疲劳、抗衰老等相关功效益生菌发酵果蔬汁产品。

2. 基于纤维素酶耦合超声波及益生菌发酵技术，提高了果蔬汁中功能成分含量；释放了果蔬汁中结合态多酚，增加了果蔬汁中多酚含量，解析了高多酚果蔬汁多酚转化产物、功能益生菌发酵果蔬汁代谢产物。突破了高品质苹果酒、低醇及无醇果酒酿制关键技术，通过非酿酒酵母协同发酵提高了果酒中多酚类物质含量及香气成分，开发了系列新产品；通过酵母及植物乳杆菌顺序发酵脱醇苹果汁代谢产物种类，提高了相关产品功能特性。

3.突破了益生菌发酵果蔬汁后酸化控制关键技术，构建了益生菌发酵果蔬汁货架期品质变化模型及准确评价益生菌发酵果蔬汁货架期品质变化的方法，延长了活菌型益生菌发酵果蔬汁货架期。

4.基于磁性纳米材料建立了苹果渣中多酚类物质高效提取分离新方法；首次制备了可用于分离果渣提取液中多酚的可食用纳米吸附材料，开发出具有降脂功能的多酚吸附纳米颗粒及苹果多酚胶囊产品。

本项目获陕西省成果登记 3 项，相关产品获批专利 8 项，申报专利 5 项，发表论文 60 篇，多次被高水平期刊引用；培养博硕士研究生 30 名。相关产品在陕西、山东、甘肃等省多家企业得到进行了推广应用，社会、经济和生态效益显著。

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

## **2.1 本项目科研成果的鉴定意见**

### **2.1.1 益生菌发酵高多酚苹果浊汁加工关键技术**

2021 年 8 月 31 日，项目申报单位参与的成果“新型苹果汁加工关键技术研究示范”通过了中国轻工业联合会组织的成果鉴定，李培武院士担任组长，鉴定意见为：“筛选出了耐酸耐胆盐益生菌株，研制出乳酸菌发酵高多酚苹果浊汁，多酚含量大于 400mg GAE/L，乳酸菌大于  $1.0 \times 10^8$  CFU/mL；鉴定委员会认为成果整体达到国际先进水平”。

### **2.1.2 全营养型果汁创制与稳态技术**

2021 年 9 月 11 日，中国食品科学技术学会孟素荷理事长担任组长的课题绩效

评价会一致认为：“研发了益生菌发酵苹果汁新技术、创制了高多酚苹果浊汁等新产品”。

### 2.1.3 无醇起泡苹果酒加工关键技术研究

2018年5月30日，陕西省科技厅组织陕西科技大学李详教授为组长的验收委员会对“无醇起泡苹果酒加工关键技术研究”进行验收，验收委员会一致认为：“项目组以酿酒酵母 WLS21 和假丝酵母 SJ03 为出发株，选育出 1 株增香型低醇苹果酒酵母；形成了酒精度为 1.8% vol 低醇起泡苹果酒生产技术”。

### 2.1.4 益生菌发酵功能性苹果汁加工关键技术

2022年6月7日，陕西省科技厅组织西北工业大学钦传光教授为组长的验收委员会对“益生菌发酵功能性苹果汁加工关键技术”进行验收，验收委员会一致认为：“开展了降糖益生菌菌株筛选，研究了降糖益生菌发酵苹果汁多酚变化，评价了降糖益生菌发酵苹果汁降糖效果，开发了益生菌发酵苹果汁产品”。

## 2.2 国内外对本项目研究成果的引用和评价

该项目在国内学术期刊上发表论文被高水平论文引用，其中 2021 年发表在 Food Chemistry (2021,340(3): 12792) 期刊“Effect of the apple cultivar on cloudy apple juice fermented by a mixture of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*, and *Lactobacillus fermentum*”论文，2 年内被 Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety 等期刊引用 62 次，属于“1% 高被引论文”。2021 年发表在 Food Chemistry (2021,363(11):130351) 期刊“Study on the nutritional characteristics and antioxidant activity of dealcoholized sequentially fermented apple juice with *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* fermentation”论文，2 年内被 Food Research International 等期刊引用 46 次，属于“1% 高被引论文与 0.1% 热点论文”。2019 年发表在 Food Microbiology (2019, 79: 66-74) “Characteristic fruit wine production via reciprocal selection of juice and non-*Saccharomyces* species” 论文，被 Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety 等期刊引用 54 次。2021 年发表在 LWT- Food Science and Technology (2021,136: 110363) 期刊“ In vitro evaluation of the hypoglycemic properties of lactic acid bacteria and its fermentation adaptability in apple juice”论文，2 年内被 Food Research International 等期刊引用 29 次。

## 五、应用情况

自项目实施以来，项目以益生菌发酵果蔬汁全产业链加工为主线，突破了益生菌发酵果蔬汁加工全产业链中益生菌筛选-果蔬原料筛选-功能化加工-货架期控制-副产物利用全产业链的相关关键技术，通过关键技术的系统集成组装，建立益生菌发酵果蔬汁全产业链系统解决方案，支撑了陕西康庄食品科技有限公司、甘肃峰果纯素科技有限公司等生产企业，带动了陕西、甘肃、山东等地的果农苹果种植，为提高果农经济收入奠定了基础。

#### 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条）

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称  | 国家(地区) | 授权号               | 授权日期       | 证书编号                | 权利人      | 发明人                                  |
|----|--------|---|--------|-------------------|------------|---------------------|----------|--------------------------------------|
| 1  | 发明专利   | 一种苹果多酚胶囊及其制备方法  | 中国     | CN 104758 395 B   | 2015. 3.9  | ZL 2015 1 0103141.0 | 西北农林科技大学 | 岳田利、孟一、王周利、张红妮、袁亚宏                   |
| 2  | 发明专利   | 一种酯类物质含量高的苹果酒加工方法   | 中国     | CN 103421 642 B   | 2013. 7.18 | ZL 2013 1 0304116.X | 西北农林科技大学 | 岳田利、叶萌祺、袁亚宏                          |
| 3  | 发明专利   | 一种富含辅酶 Q10 苹果汁的发酵生产方法及辅酶 Q10 苹果汁  | 中国     | CN 109662 224 B   | 2022. 3.22 | ZL 2019 1 0018091.4 | 西北农林科技大学 | 高振鹏、邱源、岳田利.                          |
| 4  | 发明专利   | 一种具有辅助减肥降脂功效的复合果汁及制备方法  | 中国     | CN 110521 889 B   | 2022. 5.17 | ZL2019 1 0852819.3  | 西北农林科技大学 | 高振鹏、吴霞、岳田利.                          |
| 5  | 发明专利   | 一种低醇苹果酒的制备方法  | 中国     | CN 106010 868 B   | 2019. 3.26 | ZL 2016 1 0532954.6 | 西北农林科技大学 | 高振鹏、刘瑞、岳田利、袁亚宏                       |
| 6  | 发明专利   | 一种苹果酒制备工艺   | 中国     | CN 113462 504 B   | 2022. 9.13 | ZL 2021 1 0756861.2 | 西北农林科技大学 | 王周利、明巧营、蔡瑞、岳田利、高振鹏、袁亚宏               |
| 7  | 论文     | Characteristic fruit wine production via reciprocal selection of juice and non-Saccharomyces species  | 中国     | Food Microbiology |            | 2019, 79: 66-74     | 西北农林科技大学 | 魏建平、张宇翔、袁亚宏、戴路、岳田利（通讯作者）             |
| 8  | 论文     | Effect of the apple cultivar on cloudy apple juice fermented by a mixture of Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus plantarum, and Lactobacillus fermentum                    | 中国     | Food Chemistry    |            | 2021,340(3): 12792  | 西北农林科技大学 | 彭婉莹、孟掉琴、岳田利、王周利、高振鹏（通讯作者）            |
| 9  | 论文     | Study on the Nutritional Characteristics and Antioxidant Activity of Dealcoholized Sequentially Fermented Apple Juice with Saccharomyces cerevisiae and Lactobacillus plantarum | 中国     | Food Chemistry    |            | 2021,363(11):130351 | 西北农林科技大学 | 李宏才、黄锦涛、王瑜、王兴楠、任毅晨、岳田利、王周利、高振鹏（通讯作者） |

|    |    |   |    |                                   |  |                  |          |                                  |
|----|----|---|----|-----------------------------------|--|------------------|----------|----------------------------------|
|    |    | Fermentation  |    |                                   |  |                  |          |                                  |
| 10 | 论文 | In vitro evaluation of the hypoglycemic properties of lactic acid bacteria and its fermentation adaptability in apple juice | 中国 | LWT - Food Science and Technology |  | 2021,136: 110363 | 西北农林科技大学 | 王晓伟、韩梦珍、张美娜、王瑜、任毅晨、岳田利、高振鹏（通讯作者） |

## 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位                           | 对本项目技术创造性贡献                               |
|-----|----|---------|-------------------------------------|---|
| 岳田利 | 1  | 教授      | 西北大学/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，对主要科学成果内容中 1-4 项作出创造性贡献 |
| 高振鹏 | 2  | 教授      | 西北农林科技大学/西北农林科技大学                   | 项目主要执行人，对项目主要科学成果第 1-4 项内容做出创造性贡献         |
| 袁亚宏 | 3  | 教授      | 西北大学/西北农林科技大学                       | 参与完成创新点 2 苹果酒的研究，参与项目中苹果酒的产业化实施           |
| 王周利 | 4  | 教授      | 西北农林科技大学/西北农林科技大学                   | 完成创新点 2 苹果酒的研究，参与项目中低醇苹果酒的产业化实施           |
| 杨海花 | 5  | 副教授     | 西北农林科技大学/西北农林科技大学                   | 参与完成创新点 2 益生菌发酵果蔬汁的研究，参与项目中益生菌发酵果蔬汁的产业化实施 |
| 蔡瑞  | 6  | 副教授     | 西北大学/西北大学                           | 参与完成创新点 2 苹果酒的研究，参与项目中苹果酒的产业化实施           |
| 初乐  | 7  | 副研究员    | 中华全国供销合作总社济南果品研究所/中华全国供销合作总社济南果品研究所 | 参与完成创新点 2 益生菌发酵果蔬汁的研究，参与项目中益生菌发酵果蔬汁的产业化实施 |
| 孟永宏 | 8  | 教授      | 陕西师范大学/陕西师范大学                       | 参与完成创新点 2 益生菌发酵果蔬汁的研究，参与项目中益生菌发酵果蔬汁的产业化实施 |
| 郭春锋 | 9  | 教授      | 西北农林科技大学/西北农林科技大学                   | 参与完成创新点 1 益生菌的筛选研究，筛选出一株功能益生菌             |
| 龙芳羽 | 10 | 副教授     | 西北农林科技大学/西北农林科技大学                   | 参与完成创新点 2 功能抗过敏果汁的研究，并对功能果蔬汁进行评价          |
| 王建国 | 11 | 教授      | 西北农林科技大学/西北农林科技大学                   | 参与完成创新点 2 益生菌发酵果汁的研究                      |
| 赵旭博 | 12 | 副教授     | 西北农林科技大学/西北农林科技大学                   | 参与完成创新点 2 苹果酒的研究，参与项目中苹果酒的产业化实施           |
| 胡仲秋 | 13 | 副教授     | 西北农林科技大学/西                          | 参与完成创新点 2 功能果汁的评价研究，参                     |

|    |    |     |                   |   |
|----|----|-----|-------------------|---|
|    |    |     | 北农林科技大学           | 与项目中益生菌发酵果蔬汁的产业化实施                      |
| 郭静 | 14 | 副教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 参与完成创新点2 功能果汁的评价研究, 参与项目中益生菌发酵果蔬汁的产业化实施 |
| 刘斌 | 15 | 副教授 | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 参与完成创新点2 功能果汁的评价研究, 参与项目中益生菌发酵果蔬汁的产业化实施 |

## 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  | 筛选具有潜在调节健康功能的益生菌, 获得具有降脂、降糖等功效的益生菌, 并对果蔬原料进行品质评价, 利用功能性益生菌发酵富含高功能性成分的果汁, 得到干预特殊人群的食疗果汁产品, 并对其进行功效评价。并负责新成果的技术推广工作。 |
| 西北大学              | 2  | 参与完成创新点2 苹果酒的研究, 并负责新成果的技术推广工作。  |
| 陕西师范大学            | 3  | 参与完成创新成果2 益生菌发酵果蔬汁的研究, 参与益生菌发酵果蔬汁的产业化实施工作。   |
| 中华全国供销合作总社济南果品研究所 | 4  | 参与完成创新成果2 益生菌发酵果蔬汁的研究, 参与益生菌发酵果蔬汁的产业化实施工作。   |

## 九、完成人合作关系说明

| 序号 | 合作方式        | 合作者/项目排名                | 合作时间      | 合作成果  | 证明材料  |
|----|-------------|-------------------------|-----------|---|---|
| 1  | 共同知识产权、论文合著 | 岳田利/1<br>高振鹏/2<br>王周利/4 | 2017-2021 | 专利: 一种富含辅酶 Q10 苹果汁的发酵生产方法及辅酶 Q10 苹果汁<br>专利: 一种具有辅助减肥降脂功效的复合果汁及制备方法<br>专利: 一种低醇苹果酒的制备方法<br>专利: 一种苹果酒制备工艺<br>专利: 一种用于果汁的膜状连续化低温等离子体冷杀菌装置<br>专利: 一种用于食品处理的脉冲强光装置<br>论文: Effect of the apple cultivar on cloudy apple juice fermented by a mixture of Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus plantarum, and Lactobacillus fermentum | 必备附件: 1.1-1.2<br>其他附件: 2.7<br>其他专利<br>其他附件: 2.5.1<br>文章 |
| 2  | 共同知识产权      | 岳田利/1<br>高振鹏/2          | 2017-2021 | 专利: 一种苹果酒制备工艺<br>专利: 一种用于食品处理的脉冲强光装置  | 其他附件: 2.7<br>其他专利                                       |

|    |             |   |           |   |  |
|----|-------------|---|-----------|---|--|
|    |             | 袁亚宏/3<br>王周利/4                              |           |   |  |
| 3  | 共同知识产权      | 岳田利/1<br>袁亚宏/3<br>王周利/4                     | 2015-2021 | 专利：一种苹果多酚胶囊及其制备方法   | 必备附件：1.3                               |
| 4  | 共同知识产权      | 岳田利/1<br>袁亚宏/3                              | 2015-2021 | 专利：一种酯类物质含量高的苹果酒加工方法  | 其他附件：2.7<br>其他专利                       |
| 5  | 共同立项、共同鉴定成果 | 高振鹏/2<br>王周利/4<br>杨海花/5<br>龙芳羽/10<br>王建国/11 | 2017-2021 | 1.国家十三五子课题立项合同<br>2.新型苹果汁加工关键技术研究及示范成果评价证书  | 必备附件：<br>2.1.1-2.1.4                   |
| 6  | 共同立项        | 高振鹏/2<br>王周利/4<br>蔡瑞/6                      | 2017-2021 | 1.益生菌发酵功能性苹果汁加工关键技术研究验收证书<br>2.专利：一种用于食品处理的脉冲强光装置   | 其他附件：2.2.3<br>成果登记证书、<br>2.7 其他专利      |
| 7  | 共同立项        | 高振鹏/2<br>王周利/4<br>赵旭博/12                    | 2017-2021 | 无醇起泡苹果酒加工关键技术研究验收证书   | 其他附件：2.2.4<br>成果登记证书                   |
| 8  | 共同鉴定成果      | 高振鹏/2<br>初乐/7                               | 2017-2021 | 新型苹果汁加工关键技术研究及示范成果评价证书<br>企业标准：益生菌发酵高多酚苹果浊汁   | 其他附件：2.2.1<br>成果鉴定证书<br>其他附件：2.1<br>标准 |
| 9  | 共同鉴定成果      | 高振鹏/2<br>孟永宏/8                              | 2017-2021 | 新型苹果汁加工关键技术研究及示范成果评价证书  | 其他附件：2.2.1<br>成果鉴定证书                   |
| 10 | 论文合著        | 岳田利/1<br>郭春锋/9                              | 2017-2021 | 研究论文：Bile Salt Hydrolase and S-Layer Protein are the Key Factors Affecting the Hypocholesterolemic Activity of Lactobacillus casei-Fermented Milk in Hamsters | 其他附件：2.5.1<br>文章（1）-4                  |
| 11 | 论文合著        | 岳田利/1<br>胡仲秋/13                             | 2017-2021 | 研究论文：Isolation and identification of three water-soluble selenoproteins in Se-enriched Agaricusblazei Murrill   | 其他附件：2.5.1<br>文章（2）-18                 |
| 12 | 论文合著        | 岳田利/1                                       | 2017-2021 | 研究论文：Multivariate statistical analysis of the polyphenolic constituents in kiwifruit  | 其他附件：2.5.1                             |

|    |      |                |           |   |                        |
|----|------|----------------|-----------|---|------------------------|
|    |      | 郭静/14          |           | juices to trace fruit varieties and geographical origins  | 文章（2）-19               |
| 13 | 论文合著 | 岳田利/1<br>刘斌/15 | 2017-2021 | 研究论文：Using hyperspectral imaging technology for assessing internal quality parameters of persimmon fruits during the drying process | 其他附件：2.5.1<br>文章（2）-20 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**岳田利负责项目总体设计、实施方案制定及任务分工落实。岳田利、高振鹏、王周利、袁亚宏、杨海花、蔡瑞、初乐、孟永宏、郭春锋、龙芳羽、王建国、赵旭博、胡仲秋、郭静、刘斌等以分工协作方式开展基础理论研究和技术研发、试验示范及推广应用工作。

岳田利与高振鹏、王周利、袁亚宏通过合作，筛选出适合果蔬汁发酵的功能益生菌，对果蔬汁发酵的原料进行系统评价，开发出功能化加工技术，制备得到系列营养干预果汁产品，构建益生菌发酵功能果蔬汁货架期预测模型，突破了益生菌发酵功能果蔬汁后酸化控制技术，制备出用于果渣提取液中多酚分离的可食性纳米粒子，获得多酚纳米颗粒产品及苹果多酚胶囊。共同获批了专利，发表了论文。

高振鹏与杨海花、龙芳羽、王建国、赵旭博、蔡瑞通过合作立项，开发出功能化加工技术，制备得到系列营养干预果汁产品。共同立项课题，共同鉴定成果。

高振鹏与王周利、赵旭博、蔡瑞通过合作立项，开发出低醇及无醇苹果酒、益生菌发酵系列营养干预果汁，共同立项课题。

岳田利与郭春锋、胡仲秋、郭静、刘斌通过科研项目合作，筛选出功能益生菌，制备得到系列营养干预果汁产品。共同发表了论文。

高振鹏与初乐、孟永宏对果蔬汁发酵的原料进行系统评价，开发出功能化加工技术，共同鉴定成果及共同制定企业标准。



## 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

王朝辉

一、项目名称：旱地小麦化肥减施绿色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：

进入 21 世纪以来，国际粮食危机频发，以习近平同志为核心的党中央把粮食安全作为治国理政的头等大事。旱地小麦占我国小麦面积的三分之一，是保障国家粮食安全的重要支柱。西北是我国旱地小麦主产区，陕西小麦 50%分布在旱地。农户施肥盲目，导致生产成本低、经济收益低，产量不稳、品质下降，一直是影响农户种粮积极性、制约旱地小麦绿色高效可持续生产的重大难题。针对制约旱地小麦绿色生产的重大理论与技术难题，位于杨凌农业高新技术产业示范区的西北农林科技大学利用人才和资源优势，立足旱地降水少但季节分布集中，易造成农田氮素淋失，土壤有机质含量低、养分供应能力差的生产实际，联合多家科研、技术推广单位及企业，开展了 18 年协同攻关，系统揭示了旱地小麦产量形成的养分需求规律，首次明晰了旱地小麦品种的养分需求差异和高产高蛋白品种的养分需求特征；深入探明了旱地土壤和还田有机物料的养分供应与作物利用特征，首次定量了施肥过量与不足引起的旱地土壤磷钾供应能力变化；全面阐明了旱地麦田水肥运移规律，首次提出了旱地麦田硝态氮残留安全阈值；构建了旱地小麦化肥减施绿色增效技术模式，通过技术示范、技术培训和技术指导在旱地得到大面积推广应用，实现了小麦化肥科学有效减施，增产增效和节肥增收效果显著。

该成果创新了小麦化肥减施绿色增效理论与技术，解决了小麦化肥减施和绿色生产的重大难题，支撑了国家测土配方施肥和化肥零增长行动，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一等奖。

### 三、项目简介：

本项目属于农业科学土壤与植物营养学科领域。

粮食安全是“国之大者”。进入 21 世纪以来，国际粮食危机频发，以习近平同志为核心的党中央把粮食安全作为治国理政的头等大事。小麦是主粮作物，三分之一种植在旱地，又以西北旱地为主。西北旱区降水少、旱地土壤肥力差，粮食生产严重依赖化肥，过量和不合理施肥现象严重。随着全球气候变暖，农业生产对地表和地下水消耗加剧，小麦限灌或旱作面积不断扩大。“耕地是粮食生产的命根子”。旱区如何提升地力、化肥科学减施，实现肥水高效，确保小麦绿色高效生产，一直是制约旱地粮食生产的重大难题。在国家及省部级多个科研项目资助下，项目组联合多家科研和技

术推广单位，历经 18 年开展旱地小麦化肥减施绿色增效技术攻关，取得了如下创新成果：

**1. 系统揭示了旱地小麦产量形成的养分需求规律，首次明晰了旱地小麦品种的养分需求差异和高产高蛋白品种的养分需求特征，为旱地小麦化肥减施绿色增效生产提供了重要的作物需肥参数。**①首次定量了旱地小麦养分需求与施肥的关系，确定了小麦不同产量水平的养分需求量。从 $<2.8$  t/ha 低产到 $>5.2$  t/ha 高产水平时，需氮量从 32.0 降至 26.6 kg N/t，需磷量从 3.5 降至 3.2 kg P/t，需钾量从 18.1 降至 17.3 kg K/t。②首次明晰了旱地小麦品种的养分需求差异，确定了高产高蛋白品种的养分需求特征。高产小麦品种产量从 5.5 增至 7.9 t/ha 时，氮需求量从 35.1 降至 23.7 kg N/t，磷需求量从 4.5 降至 3.2 kg P/t，钾需求量无明显变化，平均为 15.9 kg K/t，但高产高蛋白品种需要更多养分支撑，氮、磷和钾需求量分别提高 5.8、0.4 和 0.9 kg/t；旱地小麦蛋白质含量达到 10%~15% 的中强筋标准，需氮量要增加 10%~15%。

**2. 深入探明了旱地土壤和还田有机物料的养分供应与作物利用特征，首次定量了施肥过量与不足引起的旱地土壤磷钾供应能力变化，为旱地小麦化肥减施绿色增效生产提供了重要的磷钾调控参数。**①明确了旱地麦田还田秸秆和绿肥的氮磷钾养分转化与利用效率，为通过秸秆还田和种植绿肥实现化肥减施奠定了基础。通过旱地多年多点田间试验和  $^{15}\text{N}$  标记研究发现，绿肥盛花期翻压还田后，超过 20% 的氮可被后季小麦吸收，占小麦吸收氮素的 13%，且小麦吸收的绿肥氮 50% 能进入籽粒；超过 50% 的绿肥氮以有机氮形式贮存在表层土壤，提升地力。小麦和玉米秸秆仅有 30% (1.5 kg/ha) 的磷释放出来，而秸秆钾的释放量可达 52 kg/ha，占秸秆全钾的 90% 以上；因此，还田绿肥以向土壤供氮为主、秸秆以供钾为主。②首次定量了旱地麦田施肥过量与不足引起的土壤磷钾供应能力变化，确定了旱地小麦化肥减施绿色增效的磷钾施肥系数。提出旱地土壤适宜供磷范围为 10~20 mg/kg，施磷系数定为 1.0~1.5；适宜供钾范围为 90~150 mg/kg，施钾系数定为 0.2~0.3。

**3. 全面阐明了旱地麦田水肥运移规律，首次提出了旱地麦田硝态氮残留安全阈值，为旱地小麦化肥减施绿色增效提供了重要的氮肥调控参数。**①查明了旱地麦田硝态氮残留、淋溶与氮肥用量及夏季降水的关系，首次提出了旱地麦田硝态氮残留安全阈值和化肥减施绿色增效的氮肥调控参数。2004 年开始的小麦氮磷用量长期定位和多点试验发现，过量施肥会造成麦田土壤肥料氮严重残留，且主要以硝态氮形式残留在 0~100 cm 土层，夏闲期每 1 mm 降水能使离开原土层发生淋溶的硝态氮向深层移动 1.6~3.6 mm。②确定了 1 米土层硝态氮残留与 0~20 cm 表层土壤硝态氮、有机质含量的定量关系。旱地麦田 1 米土层硝态氮残留安全阈值在收获期为 55 kg/ha、播前为 110 kg/ha，有机质每增加 0.1 g/kg，硝态氮残留增加 0.6 kg/ha，优化了小麦化肥减施绿色增效的氮肥调控参数，减少了田间取样和测定工作量。

**4. 结合生产实际需求，创新旱地小麦定量施肥和评价方法，形成了旱地小麦化肥减施绿色增效技术模式。**①基于土壤的养分测试结果，结合实现小麦目标产量的氮磷钾养分需求特征和麦田硝态氮残留安全阈值以及磷钾施肥系数，首次提出了在收获期测土监控的旱地小麦施肥定量技术，可减少氮肥用量 25%、磷肥用量 40%以上。②首次构建了“以水定产、因产施肥”的旱地小麦定量施肥技术，基肥用量和小麦播种量由夏闲期降水确定，春季是否追肥取决于夏闲期至拔节前的降水情况。③首次提出了旱地小麦“种侧膜下、定位施肥”技术，并改进施肥播种机械，实现了播种施肥一体化，保证了土壤氮供应，解决了覆膜小麦后期缺氮籽粒蛋白质下降的问题。④首次构建了基于产量需求的农户施肥评价方法，将施肥量与其田块产量水平对应的合理施肥量对比，提出“氮肥减施重点是中低产农户，磷肥普遍需要减施，钾肥以增施和用量优化为主”的科学减施指导意见。

**5. 通过试验示范、技术培训、现场观摩、科技扶贫等开展技术推广，研究成果在西北等地大面积应用，实现了旱地小麦化肥减施绿色增效生产。**2004 年开始，与陕西、甘肃、山西等地高校、科研院所、农技推广部门合作，通过试验示范、技术培训、现场观摩、科技扶贫等开展技术推广。制定了《渭北旱地冬小麦高产栽培技术规程》（2013）、《农田土壤培肥技术规范》（2015）、《小麦氮磷钾化肥施用限量规范》（2021）3 项陕西省地方标准和《全国小麦产区氮肥定额用量（试行）》（2020）；与企业合作开发了基于田小二 APP 的小麦智能监控施肥专家系统；研发的“旱地小麦测土监控氮磷钾定量施肥技术”2017、2018、2022 年被农业农村部推介为农业主推技术，进一步使项目成果在西北旱地和其他麦区落地应用。技术累计推广 4943 万亩（陕西 1932 万亩），新增小麦 88.1 万吨，节肥（纯养分）26.4 万吨，增收 35.36 亿元，减少 CO<sub>2</sub> 排放 108.2 万吨。近三年累计推广应用 3140 万亩（陕西 881 万亩），新增小麦 61.3 万吨，氮磷钾肥平均减量 22.9%，节肥（纯养分）16.6 万吨，新增效益 24.0 亿元。项目还获授权专利 4 项，软件著作权 2 项，出版专著 2 部，发表论文 289 篇（SCI 收录 104 篇），论文他引 8871 次；培养研究生 65 名，培训农技人员和农户 11.4 万人次。经济、社会和生态效益显著，有力支撑了旱地小麦产业绿色发展。

#### **四、客观评价：（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. 第三方评价认为旱地小麦氮磷钾定量施肥技术建立达到国际领先水平**

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

划的实施提供了有力支撑。

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

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

## 2. 查新结果显示项目成果具有多项创新

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

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

## 3. 项目成果为国家和地方政府部门决策提供了理论和技术支撑

项目团队扎根西北，服务三农，2012年获批农业农村部“旱地土壤培肥与高效施肥”科研创新团队。项目成果“旱地小麦监控施肥技术”2017、2018、2022年被农业农村部推介为农业主推技术，牵头制定农业农村部种植业司2021年发布的《全国小麦产区氮肥定额用量（试行）》，指导全国小麦施肥。项目第一完成人主持的国家重点研发计划项目“北方小麦化肥农药减施技术集成研究与示范”，综合绩效考评获得“优秀”。与企业合作，完成的《基于田小二APP的小麦监控施肥技术示范与应用》被农业农村部推介为2021数字农业农村新技术新产品新模式优秀案例。经陕西省农业农村厅推荐，项目成果获陕西省地方标准《渭北旱地冬小麦高产栽培技术规程》、《农田土壤培肥技术规范》、《小麦氮磷钾化肥施用限量规范》，指导陕西农田土壤培肥和小麦化肥减施。

#### 4. 项目相关成果得到国内外学术和企业同行的广泛认可

先后受中国植物营养与肥料学会、土壤学会、全国农业技术推广服务中心、中化化肥、湖北新洋丰、北京新禾丰等邀请，在学会年会、国内国际论坛、技术培训班等会议作科学施肥报告和专题讲座 30 余次，牵头组织小麦科学施肥技术培训 60 余次；主办承办国内外学术会议 6 次。2019 年 4 月，举办“全国主要麦区种植大户及农服企业小麦高效种植与肥药管理技术培训班”，全国 9 个省 60 多个种植大户和农服企业代表参加，学习“麦田土壤养分测试与科学施肥技术”。

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

#### 5. 技术成果被国家知识产权部门认定并被企业采纳应用

项目实用新型专利“一种两垄八行小麦覆膜施肥播种机”、“一种氮磷肥比例混合排肥机构”和“一种双施肥小麦覆膜播种机”被山西闻喜德华农机加工有限责任公司采纳应用；“小麦智能监控施肥专家系统 V1.0”计算机软件著作权被武汉禾大科技有限公司应用。

#### 6. 项目技术受到用户好评

陕西永寿永红农业合作社评价“测定土壤、指导施肥，小麦穗粒数多、籽粒饱满，减了化肥、增了产量”。北京新禾丰农化资料有限公司评价“西北农林王老师团队治学严谨、技术过硬，研发的小麦测土监控定量施肥技术为我们服务各地麦农提供了最好的技术支撑”。

### 五、应用情况

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

1) 对接各地农技部门，扎实开展技术推广。2008 年开始，先后与陕西省耕地质量与农业环境保护工作站、各地农技推广中心合作在陕西合阳、大荔、耀州、蒲城、乾县、永寿、彬州、长武、岐山、凤翔等地，与山西农业大学合作在山西闻喜、洪洞、襄汾等地，与甘肃农业大学、甘肃农业科学院合作在甘肃定西、通渭、清水等地，开展多年多点试验示范，结合现场观摩、技术培训，以测土监控、配方定量为抓手，结合应用小麦覆膜施肥播种一体机等高产高效培栽机械，通过种植大户和种植能手示范带动，由点到面实现小麦化肥科学减施、增产增效、节本增收。

2) 开展涉农企业合作，转化成果、强化应用。2010 年开始，先后与北京新禾丰农化资料有限公司、中化化肥有限公司、湖北新洋丰肥业股份有限公司、武汉禾大科

技有限公司等合作，研发高氮中磷低钾旱地小麦一次性施肥专用肥配方（25-15-5）和营养高效套餐肥，合作开发小麦智能监控施肥专家系统，成立好麦农业服务联盟，解决企业遇到的小麦测土配方和科学施肥问题，服务范围遍及西北五省、山西、内蒙、河南、河北、山东、四川、湖北等地。

**3) 助力西北脱贫攻坚，服务全国小麦生产。**2015年开始，项目组与陕西、甘肃、宁夏、青海等地农技推广部门合作，开展技术扶贫，通过科学施肥技术，助力当地小麦节肥增效、增产增收。与国家小麦产业技术体系岗位专家、试验站长合作成立了小麦种植大户协作网，开展小麦测土监控定量施肥技术试验示范，支撑全国各地小麦科学施肥，到2022年累计免费为全国18个省区1510个农户和种植大户提供土壤测试、施肥评价和定量施肥服务。

**4) 提供政府政策依据，对接国家行动，推广应用。**2017、2018和2022年，项目成果“旱地小麦监控定量施肥技术”被农业农村部推介为农业主推技术。2020年受全国农业技术推广服务中心委托，基于小麦测土监控定量施肥技术，牵头制定《全国小麦产区氮肥定额用量（试行）》，由农业农村部种植业司发布，进一步促进项目成果在小麦生产中大面积应用，助力小麦化肥科学减施。自示范推广以来，项目成果以陕西为中心，在西北和其他小麦种植区累计推广4943万亩（陕西1932万亩），新增小麦88.1万吨，节肥（纯养分）26.4万吨，增收35.36亿元，减少CO<sub>2</sub>排放108.2万吨。

近三年累计推广应用3140万亩（陕西881万亩），新增小麦61.3万吨，氮磷钾肥使用平均减量22.9%，节约化肥（纯养分）16.6万吨，新增效益24.0亿元。另外，旱地小麦智能测土监控定量施肥专家系统（APP）服务面积达1026.8万亩，未计入上述3219万亩应用面积。另外，旱地小麦智能测土监控定量施肥专家系统（APP）服务面积达1026.8万亩，未计入上述3219万亩应用面积。

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  | 蒲城县农业技术推广中心      | 旱地小麦化肥减施绿色增效技术 | 种植大户及农户,近三年推广面积 171 万亩,增收节支总额 1.45 亿元 | 2019.9-2022.12 | 梁永强 /15319 148609 |
| 2  | 合阳县农业技术推广中心      | 旱地小麦化肥减施绿色增效技术 | 种植大户及农户,近三年推广面积 107 万亩,增收节支总额 0.94 亿元 | 2019.9-2022.12 | 张花梅 /18628 409936 |
| 3  | 岐山县农业技术推广服务中心    | 旱地小麦化肥减施绿色增效技术 | 种植大户及农户,近三年推广面积 116 万亩,增收节支总额 1.59 亿元 | 2019.9-2022.12 | 刘斌侠 /13320 071540 |
| 4  | 永寿县农业技术推广中心      | 旱地小麦化肥减施绿色增效技术 | 种植大户及农户,近三年推广面积 61 万亩,增收节支总额 0.72 亿元  | 2019.9-2022.12 | 仇会芳 /15991 006073 |
| 5  | 乾县土壤肥料工作站        | 旱地小麦化肥减施绿色增效技术 | 种植大户及农户,近三年推广面积 116 万亩,增收节支总额 1.13 亿元 | 2019.9-2022.12 | 强大勇 /18992 036933 |
| 6  | 大荔县农业技术推广中心      | 旱地小麦化肥减施绿色增效技术 | 种植大户及农户,近三年推广面积 75 万亩,增收节支总额 0.92 亿元  | 2019.9-2021.12 | 陈河江 /15929 989476 |
| 7  | 彬州市农业技术推广中心      | 旱地小麦化肥减施绿色增效技术 | 种植大户及农户,近三年推广面积 59 万亩,增收节支总额 0.37 亿元  | 2019.9-2022.12 | 马茹凤 /18709 272249 |
| 8  | 铜川市耀州区农业技术推广中心   | 旱地小麦化肥减施绿色增效技术 | 种植大户及农户,近三年推广面积 51 万亩,增收节支总额 0.50 亿元  | 2019.9-2022.12 | 蒲岳建 /13098 185624 |
| 9  | 宝鸡市凤翔区农业技术推广服务中心 | 旱地小麦化肥减施绿色增效技术 | 种植大户及农户,近三年推广面积 103 万亩,增收节支总额 0.99 亿元 | 2019.9-2022.12 | 吕辉 /09177 282591  |
| 10 | 长武县农业技术推广中心      | 旱地小麦化肥减施绿色增效技术 | 种植大户及农户,近三年推广面积 22 万亩,增收节支总额 0.12 亿元  | 2019.9-2022.12 | 武文乐 /15829 943794 |

六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条）

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称        | 国家(地区) | 授权号              | 授权日期            | 证书编号 | 权利人                         | 发明人                    |
|----|--------|-----------------|--------|------------------|-----------------|------|-----------------------------|------------------------|
| 1  | 标准规范   | 小麦氮磷钾化肥施用限量规范   | 中国     | DB61/T 1414-2021 | 2021 年 1 月 19 日 |      | 西北农林科技大学、陕西省耕地质量与农业环境保护工作站等 | 王朝辉、邱炜红、刘金山、石美、石磊、徐文华等 |
| 2  | 标准规范   | 渭北旱地冬小麦高产栽培技术规程 | 中国     | DB61/T 587-2013  | 2013 年 9 月 26 日 |      | 西北农林科技大学、长武县农业技术推广中心        | 王朝辉、曹群虎、张容、段长林、赵护兵、郑险峰 |



| 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                               |
|----|--------|---|--------|------------------------------------|------------|----------|---------------------|-----------------------------------|
| 3  | 标准规范   | 农田土壤培肥技术规范  | 中国     | DB61/T 966-2015                    | 2015年5月25日 |          | 陕西省肥料工作站、西北农林科技大学   | 石磊、王朝辉、郑险峰、高亚军、翟丙年                |
| 4  | 实用新型专利 | 一种两垄八行小麦覆膜施肥播种机   | 中国     | ZL2014 2013448 1.0                 | 2014年9月17日 | 3812 955 | 西北农林科技大学            | 王朝辉、朱琳、刘金山                        |
| 5  | 软件著作权  | 小麦智能监控施肥专家系统 V1.0   | 中国     | 2020SR 0221431                     | 2019年12月1日 |          | 西北农林科技大学、武汉禾大科技有限公司 |                                   |
| 6  | 论文     | Tailoring NPK fertilizer application to precipitation for dryland winter wheat in the Loess Plateau (Field Crops Research)  | 荷兰     | DOI: 10.1016/j.fcr.2017.04.014     | 2017年5月5日  |          | 西北农林科技大学            | 曹寒冰、王朝辉、何刚、戴健、黄明、王森等              |
| 7  | 论文     | Soil testing at harvest to enhance productivity and reduce nitrate residues in dryland wheat production (Field Crops Research)  | 荷兰     | DOI: 10.1016/j.fcr.2017.07.011     | 2017年8月1日  |          | 西北农林科技大学            | 黄明、王朝辉、罗来超、王森、惠晓丽、何刚、曹寒冰、赵护兵、刘金山等 |
| 8  | 论文     | Long-term high-P fertilizer input decreased the total bacterial diversity but not <i>phoD</i> -harboring bacteria in wheat rhizosphere soil with available-P deficiency (Soil Biology and Biochemistry) | 英国     | DOI: 10.1016/j.soilbio.2020.107918 | 2020年7月7日  |          | 西北农林科技大学            | 刘金山、马琴、惠晓丽、马清霞、王星舒、王朝辉            |
| 9  | 论文     | Winter wheat grain yield and summer nitrate leaching: Long-term effects of nitrogen and phosphorus rates on the Loess Plateau of China (Field Crops Research)   | 荷兰     | DOI: 10.1016/j.fcr.2016.06.020     | 2016年7月9日  |          | 西北农林科技大学            | 戴健、王朝辉、李孟华、何刚、李强、曹寒冰、王森、高雅洁、惠晓丽   |
| 10 | 专著     | 北方小麦化肥农药减施技术  | 中国     | ISBN97 8710927 623-9               | 2021年5月1日  |          |                     | 王朝辉、曹世勤、陈署晃、石美等                   |



## 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位         | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|---------|-------------------|--|
| 王朝辉 | 1  | 教授      | 西北农林科技大学          | 负责项目总体设计, 研究方案制定, 组织项目实施。开展了旱地麦田土壤夏闲季节的硝态氮淋移特性、土壤和还田有机物料的养分供应特征、旱地小麦产量与品质协同提升的养分需求规律等研究工作, 构建了旱地小麦化肥减施绿色增效技术模式, 组织实施了试验示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 1、2、3、4、5 |
| 刘金山 | 2  | 教授      | 西北农林科技大学          | 参与项目研究方案制定和实施。主要开展了旱地麦田夏闲季节的硝态氮淋移特性、土壤养分供应特征等研究工作, 参与构建了旱地小麦化肥减施绿色增效技术模式, 参与了试验示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 2、3、4、5   |
| 邱炜红 | 3  | 副教授     | 西北农林科技大学          | 参与项目研究方案制定和实施。主要开展了旱地麦田土壤养分供应特征等研究工作, 参与构建了旱地小麦化肥减施绿色增效技术模式, 参与了试验示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 1、4、5  |
| 石美  | 4  | 副教授     | 西北农林科技大学          | 参与项目研究方案制定和实施。主要开展了旱地小麦产量与品质协同提升的养分需求规律等研究工作, 参与构建了旱地小麦化肥减施绿色增效技术模式, 参与了试验示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 1、4、5  |
| 何刚  | 5  | 副教授     | 西北农林科技大学          | 参与项目研究方案制定和实施。主要开展了旱地麦田土壤和还田有机物料的养分供应特征等研究工作, 参与构建了旱地小麦化肥减施绿色增效技术模式, 参与了试验示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 2、4、5  |
| 赵护兵 | 6  | 副教授     | 西北农林科技大学          | 参与项目研究方案制定和实施。主要开展了旱地麦田土壤和还田有机物料的养分供应特征等研究工作, 参与构建了旱地小麦化肥减施绿色增效技术模式, 参与了试验示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 3、4、5  |
| 徐文华 | 7  | 推广研究员   | 陕西省耕地质量与农业环境保护工作站 | 参与了旱地小麦化肥减施绿色增效技术的区域多点试验建立、验证示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 5   |
| 石磊  | 8  | 高级农艺师   | 陕西省耕地质量与农业环境保护工作站 | 参与了旱地小麦化肥减施绿色增效技术的区域多点试验建立、验证示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 5   |
| 张花梅 | 9  | 农艺师     | 合阳县农业技术推广中心       | 参与了旱地小麦化肥减施绿色增效技术的区域多点试验建立、验证示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 4、5   |
| 梁永强 | 10 | 农艺师     | 蒲城县农业技术推广中心       | 参与了旱地小麦化肥减施绿色增效技术的试验建立、验证示范、技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 4、5   |
| 雷盼  | 11 | 无       | 武汉禾大科技有限公司        | 开展了旱地小麦化肥减施绿色增效技术应用软件开发等研究工作, 参与了技术培训和推广。主要贡献表现在创新点 5  |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称              | 排名 | 主要贡献   |
|-------------------|----|--|
| 西北农林科技大学          | 1  | 在项目立项、基地建设、成果鉴定、推广和应用过程中，发挥了重要的组织协调、管理和落实作用，保证了项目任务顺利实施。主要支持项目组开展了旱地麦田土壤夏闲季节的硝态氮淋移特性、土壤和还田有机物料的养分供应特征、产量与品质提升的养分需求规律研究，旱地小麦化肥减施绿色增效技术模式建立，特别是重点支持了在陕西、西北旱区和全国其他麦区的试验示范和技术培训、推广应用，支持了研究生和青年人才培养等工作，推动了项目团队研究水平和技术推广能力提升，推动和促进了小麦产业发展。 |
| 陕西省耕地质量与农业环境保护工作站 | 2  | 长期坚持与西北农林大学研究团队紧密合作，参与制定小麦生产和科学施肥标准规范，设计旱地小麦化肥减施绿色增效技术试验示范方案，在陕西渭北等地开展技术培训和试验示范，指导各项目县建立技术示范区，示范推广旱地小麦化肥减施绿色增效技术，取得了显著的经济、社会和生态效益。   |
| 合阳县农业技术推广中心       | 3  | 参与制定标准规范，长期坚持开展旱地小麦化肥减施绿色增效技术田间试验，制定旱地小麦化肥减施绿色增效技术示范方案，依托现代农业示范园、专业合作社等新型生产主体，在合阳县建立技术示范区，示范旱地小麦化肥减施绿色增效技术模式，开展技术培训、指导和推广，取得了显著的经济、社会和生态效益。  |
| 蒲城县农业技术推广中心       | 4  | 参与制定标准规范，长期坚持开展实施旱地小麦化肥减施绿色增效技术田间试验，制定旱地小麦化肥减施绿色增效技术示范方案，依托现代农业示范园、专业合作社等新型生产主体，在蒲城县建立技术示范区，示范旱地小麦化肥减施绿色增效技术模式，开展技术培训、指导和推广，取得了显著的经济、社会和生态效益。  |
| 武汉禾大科技有限公司        | 5  | 与西北农林科技大学研究团队合作，基于研究团队研发的旱地小麦化肥减施绿色增效技术，开发了小麦智能监控施肥专家系统 V1.0，依托“田小二”APP 在全国各麦区示范推广旱地小麦化肥减施绿色增效技术，开展技术培训和指导工作。  |

## 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          | 合著论文、专著    | 王朝辉(1)、刘金山(2)、邱炜红(3)、石美(4)、何刚(5)、赵护兵(6)  | 2006-2022 | 发表论文、出版专著  | 其他附件: 2 其他 |
| 2          | 共同参与制定标准规范 | 王朝辉(1)、刘金山(2)、邱炜红(3)、石美(4)、徐文华(7)、石磊(8)、 | 2010-2022 | 标准规范《小麦氮磷钾化肥施用限量规范》、《农田土壤培肥技术规范》、《渭北旱地冬小麦高产栽培技术规程》 | 必备附件 1     |
| 3          | 共同知识产权     | 王朝辉(1)、刘金山(2)、邱炜红(3)、雷盼(11)              | 2018-2022 | 计算机软件著作权   | 其他附件: 2 其他 |

|   |        |  |           |   |                    |
|---|--------|--|-----------|---|--------------------|
| 4 | 产业合作   | 王朝辉（1）、刘金山（2）、邱炜红（3）、张花梅（9）、梁永强（10）、雷盼（11） | 2012-2022 | 应用证明、主推技术等  | 其他附件：1 应用情况和效益佐证材料 |
| 5 | 共同知识产权 | 王朝辉（1）、刘金山（2）                              | 2011-2022 | 专利  | 其他附件：2 其他          |
| 6 | 共同立项   | 王朝辉（1）、刘金山（2）、邱炜红（3）、石美（4）、何刚（5）、赵护兵（6）    | 2018-2021 | 国家重点研发计划专项项目北方麦区小麦化肥农药减施技术集成研究与示范（2018YFD0200400） | 未列入附件              |
| 7 | 共同立项   | 王朝辉（1）、刘金山（2）                              | 2013-2018 | 公益性行业（农业）科研专项“黄土高原雨养农田水分高效利用技术研究示范（201303104）”    | 未列入附件              |

#### 完成人合作关系说明（限 1000 字）

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

项目完成人 11 人，包括西北农林科技大学 6 人（王朝辉、刘金山、邱炜红、石美、何刚、赵护兵）共同参加了项目的研发与实施，在理论研究、技术研发与推广示范等方面开展了一系列创新工作，共同参与论文发表、撰写专利与专著。陕西省耕地质量与农业环境保护工作站 2 人（徐文华、石磊）与项目第一完成人共同制定了标准规范，协助旱地小测土监控施肥技术的推广与应用。合阳县农业技术推广中心 1 人（张花梅）、蒲城县农业技术推广中心 1 人（梁永强）与项目第一单位完成人王朝辉、刘金山、邱炜红共同开展了田间试验与示范，进行施肥技术的创新与验证应用，与项目第一完成人共同制定了标准规范。武汉禾大科技有限公司 1 人（雷盼）与项目第一单位完成人王朝辉、邱炜红共同开发了应用软件系统，申请获得计算机软件著作权。同时，各完成人之间均在项目实施期间在试验开展、论文发表、标准规范制定、产业应用方面进行了长期和广泛合作。

由于奖励申报的参加单位和人员数量有限，还有许多参与了该项目理论研究、技术研发和示范推广应用等工作的科教人员、研究生、农技推广人员、企业人员等不能一一列入主要完成人名单。在此特别说明，并真诚感谢他们为本项目做出的所有贡献和大力支持。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

## 安韶山

一、项目名称：黄土高原植被恢复的土壤有机碳固持机制

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：土壤有机碳固持过程及机理是当前水土保持学、土壤学等的前沿研究领域之一，而植物-土壤-微生物连续系统的碳迁移、转化、形成、稳定是当前陆地生态系统碳循环研究的核心，也是实现“双碳”战略的重要部分。为了回答黄土高原植被恢复的土壤固碳机制和效应，该成果采用同位素示踪、生物标志物等技术，以植被和土壤固碳为核心，从有机碳的来源量化-微生物转化-团聚体稳定入手，明确了黄土高原土壤-植物连续体中碳的迁移分配规律和分配策略、量化了黄土高原不同生态系统固碳微生物碳同化速率特征，发现了黄土高原草地固碳微生物代谢的新途径、阐明了微生物残体是黄土高原土壤有机碳的重要来源，其对有机碳积累的贡献具有明显的生态系统分异特征、进一步揭示了黄土高原植被恢复改善土壤团聚体对有机碳物理保护的机制。在区域尺度上回答了黄土高原植被恢复过程中土壤碳汇功能，系统揭示了黄土高原植被恢复的土壤碳固持机制和效应。围绕该主题发表高质量论文九十多篇，出版专著三部，项目组培育了一批中青年优秀人才，丰富和完善了水土保持学、土壤学和生态学等相关基础理论发展，研究成果也为评价黄土高原植被恢复的可持续性、碳汇效应与功能提升提供了重要科学依据和理论支撑。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，提名该项目为陕西省自然科学奖壹等奖。

三、项目简介：

土壤有机碳固持过程及机理是当前水土保持学、土壤学等前沿研究领域之一，而植物-土壤-微生物连续系统的碳迁移、转化、形成、稳定是当前陆地生态系统碳循环研究的核心，也是实现“双碳”战略的重要部分。黄土高原处于黄河流域的“心脏”位置，是我国“一带一路”建设的倡议地和天然的西部生态屏障，也是我国实施黄河流域生态保护和高质量发展战略的核心区和关键区。为了回答黄土高原植被恢复的土壤碳汇机理，本项目围绕黄土高原植被恢复的土壤固碳过程，在国家自然科学基金和重点研发等课题的支持下，利用同位素示踪、生物标志物、基因组学等多种方法和技术手段，聚焦植被-土壤-微生物连续体固碳机理，从不同生态系统和区域尺度研究植物叶片-枯落物-根系-土壤微生物连续体碳运移过程入手，围绕黄土高原土壤有机碳形成、转化与稳定机制这一核心科学问题，系统阐明了黄土高原植被恢复的土壤有机碳固持机制；丰富了微生物碳泵调控土壤碳循环机制，建立了黄土高原植被恢复过程中植物-

土壤-微生物系统碳动态理论体系，为黄土高原土壤碳汇功能、生态效益提升提供了重要参考。同时研究结果对助力我国陆地生态系统碳捕获、实现“碳中和”目标具有重大意义。

(1) 阐明了黄土高原植物-土壤碳分配规律与养分限制策略。利用  $^{13}\text{C}$  同位素标记手段，研究了不同乔木林及封育草地的分配叶片-根系-大气连续体的碳迁移及分配策略、微生物周转过程，直接回答了植被恢复背景下不同生态系统碳从哪里来、如何周转及稳定，为植被-土壤系统修复和水土保持碳汇估算提供了理论支撑和计算依据，建立了黄土高原植物-土壤-微生物系统碳动态理论体系。

(2) 明确了黄土高原植被恢复过程中微生物残体是土壤有机碳形成的主要来源。开展了黄土高原土壤微生物“碳泵”调控的固碳过程、机理和模型研究，明确了区域土壤有机碳的区域分布特征，证明了黄土高原微生物残体是土壤有机碳形成的主要来源，揭示了土壤有机碳形成的微生物途径（即微生物残体的续埋效应）在农田和草地占主要地位，而植物途径（即难分解植物残体的物理迁移）在森林中占主导地位，为区域土壤有机碳形成理论发展提供了重要理论支撑。

(3) 发现了黄土高原土壤微生物固定  $\text{CO}_2$  的新路径。揭示了微生物固定  $\text{CO}_2$  的过程也是黄土高原土壤有机碳增加的一个重要途径，明确了黄土高原固碳微生物的主要类群和固碳途径，指出了固碳微生物固碳潜力随着年平均降水量的增加而增加，提供了约  $8.1\text{-}27 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  的输入量。从代谢途径的角度揭示影响草地微生物固碳潜力差异的原因，弥补了陆地碳模型中微生物固碳模块。

(4) 揭示了黄土高原植被恢复改善土壤团聚体对有机碳的物理保护机制。阐明了黄土高原刺槐和柠条人工林恢复可以显著增加土壤团聚体稳定性和抗蚀性进而促进土壤有机碳的积累，植被对土壤团聚体稳定性和有机碳积累的贡献受纬度和降水条件控制；阐明了黄土高原植被恢复中土壤大团聚体“优先固碳”；揭示了植被恢复改善土壤团聚体稳定性、保护有机碳的物理机制，为碳中和背景下黄土高原土壤物理固碳机制发展提供了重要的科学依据。

(5) 建立和发展了黄土高原微生物“碳泵”调控的土壤有机碳形成理论体系

基于黄土高原土壤有机碳形成、转化与稳定机制这一核心科学问题，宏观上从植被恢复与土壤固碳潜力之间的权衡出发，微观上基于物理、化学和微生物学固碳原理探究植被恢复与有机碳固定作用机制，从植物叶片-枯落物-根系-土壤微生物连续体多个方面开展了深入研究；结合土壤“碳泵”核心调控理论，揭示了黄土高原土壤有机碳从哪里来、微生物如何介导其周转过程，以及土壤有机碳如何稳定和固存，丰富了微生物“碳泵”调控土壤碳循环机制，建立了黄土高原植物-土壤-微生物系统碳动态和形成理论体系。

主编的《黄土高原植被恢复的土壤环境效应》一书系统梳理了黄土高原植被恢复

过程中土壤固碳以及环境效应，为黄土高原生态环境保护与高质量发展、水土保持碳汇估算提供重要理论依据。在 *Soil Biology and Biochemistry*、*Geoderma*、*Biology and Fertility of Soils* 等学术期刊上发表原创性成果，共发表 SCI 95 篇，他引 2858 次，其中 5 篇代表性论文(2018-2022) 被 SCI 总引 129 次，单篇最高引用 99 次，2 篇 ESI 高被引论文和 1 篇 ESI 热点论文。项目获授权发明专利 1 项，实用新型专利 2 项。丰富和发展了黄土高原植被恢复土壤微生物固碳理论的发展，在学术界产生了重要的影响。

#### 四、重要科学发现：

##### 1. 研究思路

基于黄土高原植被恢复土壤有机碳固定机制这一核心科学问题（图 1），宏观上从植被恢复与固碳潜力的权衡出发，微观上基于物理、化学和生物学理论深入土壤有机碳形成、转化与稳定过程，探究植被恢复与有机碳固定作用机制。具体从植物叶片-枯落物-根系-土壤微生物连续体多个方面开展了深入研究；结合土壤微生物“碳泵”核心调控理论，揭示了黄土高原土壤有机碳从哪里来、微生物如何介导其周转过程，以及土壤有机碳如何稳定和固存。研究结果丰富了土壤碳循环机制，建立了黄土高原植物-土壤-微生物系统碳动态理论体系。

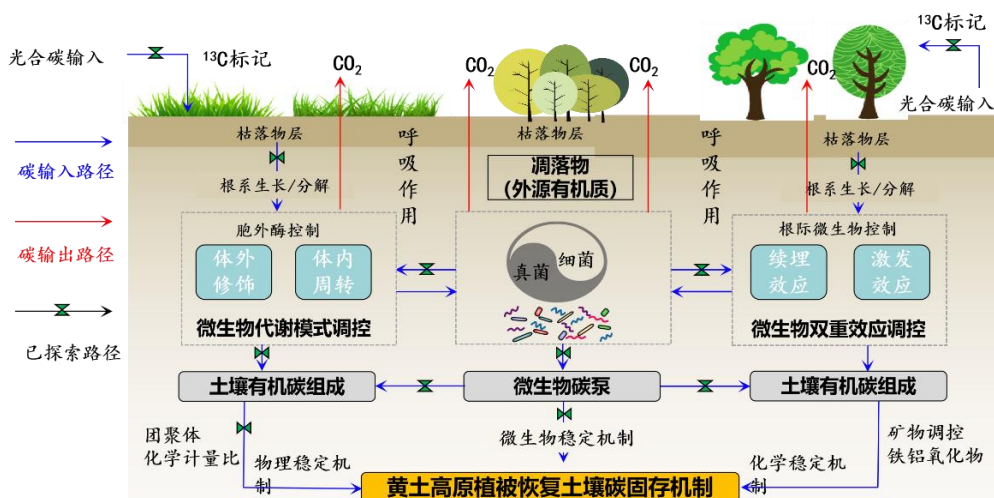


图 1 研究框架图

##### 2. 重要科学发现

###### (1) 阐明了黄土高原植物-土壤中碳的分配规律与养分限制策略

该研究运用  $^{13}\text{C}$  同位素原位标记技术，研究了不同乔木林及封育草地新近光合碳在植物-土壤系统间的分配（图 2）。结合已有研究，估算了黄土高原子午岭林区典型建群种山杨和辽东栎年均净根际碳沉积量和植物-土壤系统  $^{13}\text{C}$  分配比例，丰富了黄土高原植被-土壤系统碳动态理论体系，研究成果被广泛引用。[支持该成果的代表性论著（4）和（5）]。

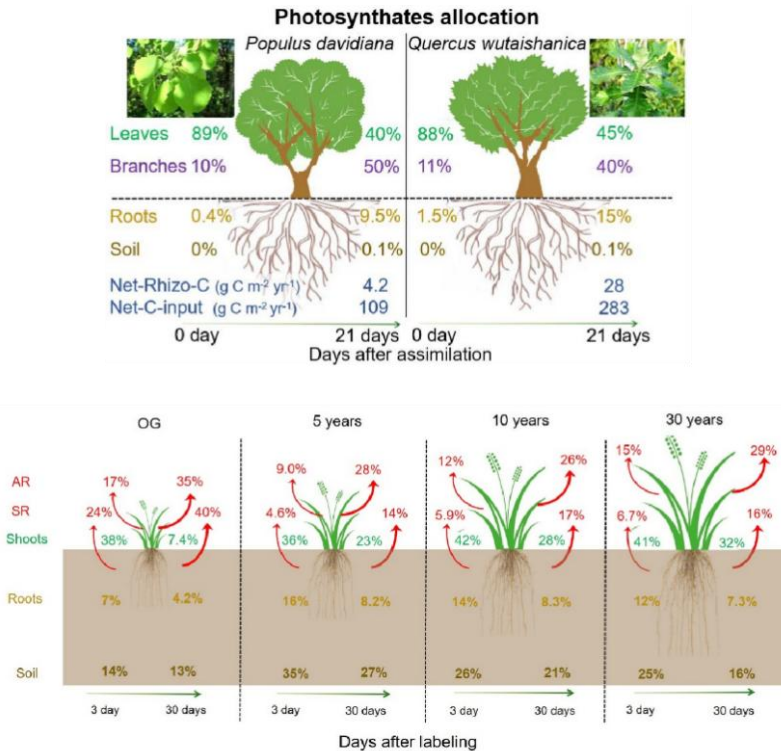


图2 光合碳在植物-土壤系统间的分配

退耕还林（草）工程显著提高了地上植被覆盖度及土壤碳含量，光合碳在植物-土壤-微生物系统中的分配对土壤碳汇变化具有重要影响，通过 <sup>13</sup>C 原位脉冲标记，研究光合碳在植物-土壤系统中的分配，明确了植被类型、封育年限和标记后采样时间是影响光合碳分配的重要因素，约 10%–15% 光合碳被分配至地下，低于全球和全国范围内光合碳分配至地下的量，建立了黄土高原植物-土壤-微生物系统碳动态理论体系。

## （2）明确了不同生态系统微生物残体是土壤有机碳形成的主要来源

在黄土高原指出了植被恢复过程中土壤微生物产物对有机碳积累贡献的区域差异特征及其调控因素，明确了不同生态系统微生物源（残体）对土壤有机碳积累过程的贡献比例（超过 50%）。宏观上从生态系统角度出发，微观上基于土壤生物化学手段揭示植物-微生物协同过程中植物源和微生物源产物贡献有机碳形成的机制，丰富了土壤微生物“碳泵”核心调控理论，为区域土壤有机碳形成理论发展提供了重要理论支撑。[支持该成果的代表性论著（1）和（2），均为高被引论文]。

研究回答了全球尺度农田、草地和森林 0-20 cm 土壤微生物残体对有机碳的平均贡献分别为 51%、47%和 35%（图 3），阐明了土壤有机碳形成的微生物途径（即微生物残体的续埋效应）在耕地和草地土壤占主要地位，而植物途径（即难分解植物残体的物理迁移）在森林中占主导地位。探讨了生物土壤结皮不同演替阶段微生物残体对 SOC 形成的贡献，揭示了微生物残体是黄土高原沙质土壤有机碳的重要来源（图 4），通过形成颗粒态有机碳和矿物结合态有机碳贡献有机碳的增加。该研究证明了



微生物氮限制和粘粒保护控制生物结皮土壤（初始土壤）微生物残体的积累与循环。

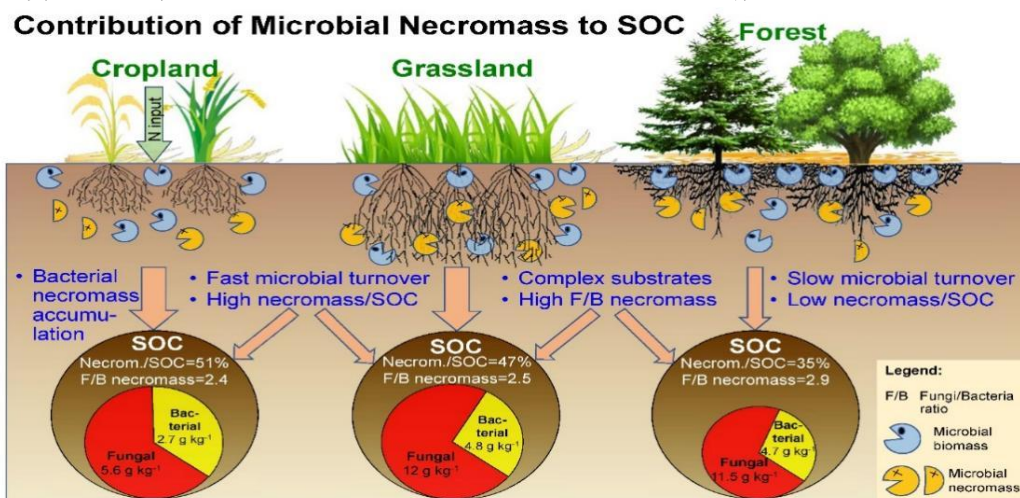


图3 不同生态系统土壤微生物残体对有机碳的贡献

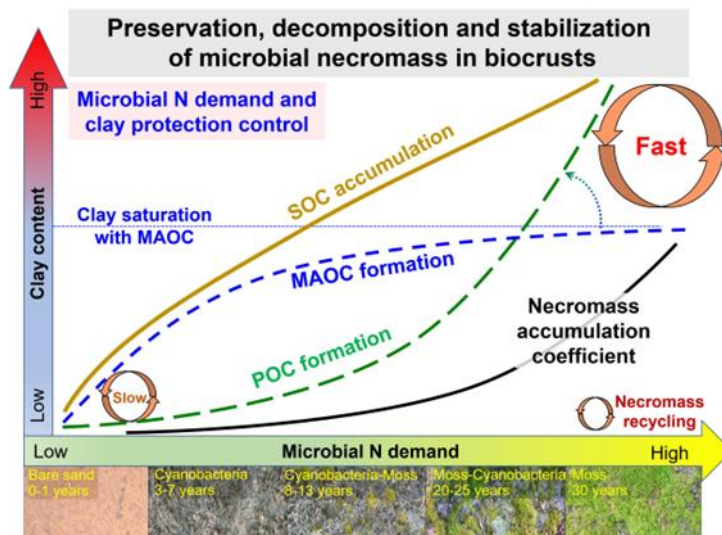


图4 微生物氮限制和粘粒保护调控生物结皮土壤微生物残体的积累

研究结果得到了德国亥姆霍兹生态研究中心首席科学家 Kästner Matthias, 德国哥廷根大学土壤学系 Yakov Kuzyakov 教授, 中科院植物所白永飞研究员, 美国印第安纳大学 Matthew E. Craig 博士的高度认可及引用。研究成果被 ESI 高被引论文收录, 并被 Science, Nature Communications, Global Change Biology 等国际顶级期刊多次引用。

### (3) 发现了黄土高原土壤微生物固定 CO<sub>2</sub> 的新路径

揭示了微生物固定 CO<sub>2</sub> 的过程也是黄土高原土壤有机碳增加的一个重要途径, 明确了黄土高原固碳微生物的主要类群和固碳途径, 量化了黄土高原固碳微生物碳同化潜力, 随着年平均降水量的增加而增加, 提供了约 8.1-27 mg C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> 的输入量(图 5)。[支持该成果的代表性论著 (3)]。



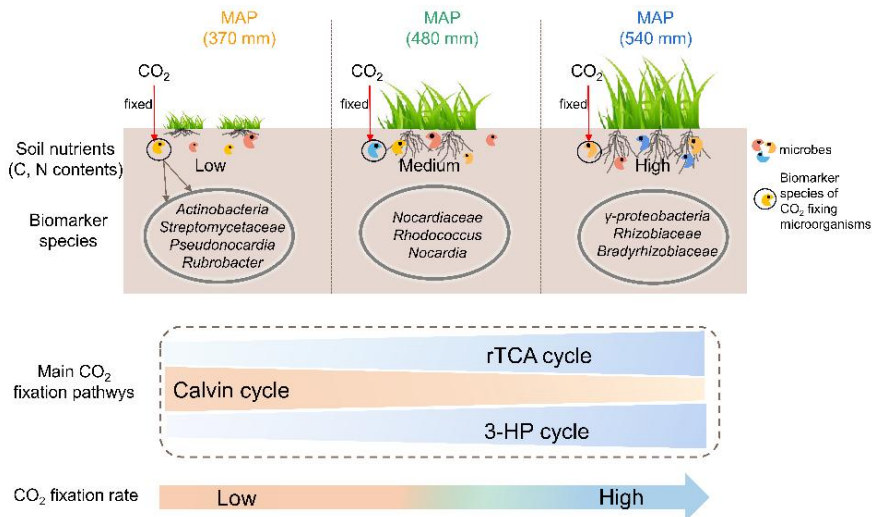


图5 固碳微生物的代谢途径调控着微生物同化碳的积累

该发现不同于前人仅从卡尔文循环（功能基因）的角度探讨不同生态系统自养微生物固定  $\text{CO}_2$  的潜力及其影响因素，而是利用宏基因组测序及  $^{13}\text{CO}_2$  标记培养，进一步揭示了沿降水梯度差异的黄土高原草地土壤微生物固碳的 8 条代谢途径及过程。从代谢途径的角度揭示影响草地微生物固碳潜力的差异的原因，在降水量小于 400 mm 的草地中，固碳微生物以卡尔文循环为主，在降水量大于 400 小于 600 mm 的草地中，以还原柠檬酸循环和 3-羟基丙酸双循环为主导。此项研究弥补了陆地碳模型中微生物固碳模块。研究成果被“生态环境科学”、“农业环境科学”、“生态学者”、“全球微生态”等影响力的公众号所推送。审稿人对本研究做出了很高的评价“此研究是一个非常有趣、令人兴奋和有价值的贡献”。

#### （4）揭示了黄土高原植被恢复改善土壤团聚体对有机碳的物理保护机制

提出了适合黄土高原土壤团聚体内游离态轻组分有机碳和团聚体内颗粒有机碳筛分的方法；阐明了黄土高原植被恢复中土壤大团聚体“优先固碳”；揭示了植被恢复改善土壤团聚体稳定性、保护有机碳的物理机制，为碳中和背景下黄土高原典型小流域植被恢复措施的水土保持效应评价提供了科学依据。

此研究回答了黄土高原植被恢复过程中土壤有机碳形成的生态系统分异特征与积累过程，利用三库一级动力学模型对黄土高原典型小流域土壤活性、缓效、惰性有机碳进行定量分析，并揭示了流域尺度上土壤有机碳稳定性特征及其调控机制；采用超声波技术提出了评价土壤团聚体有机碳稳定性的新方法，此方法在国际处于领先地位。阐明了黄土高原刺槐和柠条人工林恢复可以显著增加土壤团聚体稳定性和抗蚀性进而促进土壤有机碳的积累，植被对土壤团聚体稳定性和有机碳积累的贡献受纬度和降水条件控制。研究结果被 *Soil Biology Biochemistry*、*Geoderma*、*Soil & Tillage Research*、*Catena*、*Land Degradation & Development*、*Plant and Soil* 等高质量 SCI 期刊多次引用。

### **(5) 建立和发展了黄土高原微生物“碳泵”调控的土壤有机碳形成理论体系**

在黄土高原区域尺度上，利用同位素标记，生物标志物，基因组学等多重手段回答了植被恢复过程中土壤有机碳的来源，植物、凋落物、根系沉积对有机碳的贡献，并进一步研究了微生物源在不同生态系统中的贡献；从物理，微生物角度探究了碳如何周转与稳定，明确了团聚体稳定性的保护，光合碳在植物-土壤-根系间的分配，微生物残体的积累，固碳微生物贡献土壤有机碳形成和稳定过程。

主编的《黄土高原植被恢复的土壤环境效应研究》一书系统梳理了黄土高原植被恢复过程中土壤固碳以及环境效应，从土壤微生物多样性、团聚体稳定性和区域生态服务功能等产生的环境效应出发，将长期的观测数据、试验结果和已有的研究成果进行了归纳总结，为黄土高原生态环境保护与高质量发展、水土保持碳汇估算提供重要理论依据。参编的《侵蚀和干旱逆境下黄土高原水土资源时空过程及其调控》和《宁夏黄土丘陵区脆弱生态系统恢复及可持续管理》系统地梳理了黄土高原土壤物质组成、质量演变、碳库以及土壤微生物等的影响因素及驱动机制，就侵蚀与干旱条件下黄土高原水土资源时空过程与有效利用研究进行了论述；对林草植被水量平衡、结构体系优化、脆弱生态系统管理、生态环境对土地利用变化的响应进行了评价。

### **3. 研究局限性**

该项目通过大量的野外调查和室内实验，围绕黄土高原植被和土壤固碳过程，系统阐明了黄土高原植被恢复的固碳效应并揭示了植被修复的生态学机理；丰富了微生物碳泵调控土壤碳循环机制，建立了黄土高原植被恢复过程中植物-土壤-微生物系统碳动态及其环境调控理论体系。然而，人类活动和全球极端气候频发的影响具有不确定性，黄土高原植被恢复的固碳效应仍需要做大量的深入研究。目前尚需加强的研究如下：

(1) 土壤碳动态研究尚需进一步精确和细化：需要引入变量控制实验，进一步证明植物-土壤-微生物系统碳动态及其环境调控理论体系，由于黄土高原地域广阔，地形复杂、气候多变、极端事件频发、人为扰动剧烈。因此，未来需要引入一系列的模型和矫正参数，去除杂质化参数的影响，进一步精细化植物-土壤-微生物系统碳动态理论参数，从而建立完善的植物-土壤-微生物系统碳动态理论体系。

(2) 土壤系统碳动态的理论尚需在更大范围内进行验证和细化：在“双碳战略”和“黄河流域高质量发展”的重大战略背景下，植物-土壤-微生物系统碳动态及其环境调控理论体系的区域适应性，还需要更多的深入研究。需持续扩大全国范围内的野外调查和室内模拟实验，搜集和调整不同地区植物-土壤-微生物系统碳动态理论参数，将这种碳动态理论体系扩展至全国，建立适合不同生态系统可视化、可测量、可重复的植物-土壤-微生物系统碳动态理论体系，绘制植物-土壤-微生物系统碳汇平衡实现路径图。

## 五、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）

2022年10月8日，受西北农林科技大学委托，中国水土保持学会组织专家采用视频会议方式，评价了“黄土高原植被恢复的土壤有机碳固持机制”成果。专家组审阅了相关技术文件，听取了成果完成人汇报。经质询和讨论，形成评价意见如下：

1. 项目技术文件齐全，资料翔实，数据可靠，符合科技成果评价要求。
2. 主要成果如下：

(1) 揭示了黄土高原植被恢复过程中土壤有机碳形成的生态系统分异特征与积累过程，明确了土壤有机碳的分布特征与影响因素；

(2) 阐明了黄土高原植物-土壤中碳的分配规律及微生物养分限制特征，建立了黄土高原植物-土壤-微生物系统碳动态及其对环境因素的系统响应；

(3) 发现了黄土高原土壤固碳微生物的固碳代谢途径及其固碳潜力。探明了典型小流域生态恢复过程中的碳库时空变化特征。

该成果丰富了微生物“碳泵”调控土壤碳循环机制，为黄土高原地区生态系统服务评估和植被恢复模式的选择，提供了科学依据，可为黄河流域生态保护和高质量发展、国家“双碳”战略提供科技支撑。

综上，该项目成果总体达到国内领先水平，在土壤有机碳代谢与累积方面达到国际先进水平。

| 代表论著 | 标题/书名   | 被引次数 | 同行评价   |
|------|---|------|--|
| (1)  | Microbial necromass as the source of soil organic carbon in global ecosystems   | 99   | 德国亥姆霍兹生态研究中心首席科学家 Kästner Matthias, 德国哥廷根大学土壤学系 Yakov Kuzyakov 教授, 美国印第安纳大学 Matthew E. Craig 博士的高度认可以及引用。        |
| (2)  | Initial soil formation by biocrusts: Nitrogen demand and clay protection control microbial necromass accrual and recycling                  | 17   | 被 ESI 高被引论文收录, 并被 Science, Nature Communications, Global Change Biology 等国际顶级期刊多次引用。                             |
| (3)  | Metabolic pathways of CO <sub>2</sub> fixing microorganisms determined C-fixation rates in grassland soils along the precipitation gradient | 4    | 同行学者非常认可这一发现, 称之为土壤生态学的“新路径”。干旱环境限制植物生长及其固碳潜力, 因而微生物的固碳作用在土壤碳收支方面尤为重要; 有利于理解碳汇不确定性来源和机制, 构建新的碳库模型, 准确预测生态系统碳汇储量。 |
| (4)  | Belowground allocation and fate of tree assimilates in plant-soil-microorganisms system: C-13 labeling and tracing under field conditions   | 6    | 将 13C 标记乔木及草地数据与植被动态模型 ORCHIDEE 相结合, 可深度揭示不同树种和不同封育年限草地对陆地植物碳和土壤有机碳源汇的估算。  |
| (5)  | Newly assimilated carbon allocation in grassland communities under different grazing enclosure times  | 7    | 专家认为在野外尺度上执行这种具有挑战性的 13C 标记所做的努力, 特别是对不同树种; 并评价这项工作无疑具有重大意义: 该研究有助于更好地理解不同植被对土壤有机碳积累的调控机制。                       |

| 代表论著 | 标题/书名                    | 被引次数 | 同行评价 |
|------|--------------------------|------|------|
| (6)  | 黄土高原植被恢复的土壤环境效应研究        | /    |      |
| (7)  | 侵蚀和干旱逆境下黄土高原水土资源时空过程及其调控 | /    |      |
| (8)  | 宁夏黄土丘陵区脆弱生态系统恢复及可持续管理    | /    |      |

六、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)

(1) 题目: Microbial necromass as the source of soil organic carbon in global ecosystems

作者: Wang, Baorong; An, Shaoshan; Liang, Chao; Liu, Yang; Kuzyakov, Yakov

年限, 卷期号, 页码: SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY, 162 (108422)

(2) 题目: Initial soil formation by biocrusts: Nitrogen demand and clay protection control microbial necromass accrual and recycling

作者: Wang, Baorong; Huang, Yimei; Li, Na; Yao, Hongjia; Yang, Env; Soromotin, Andrey, V; Kuzyakov, Yakov; Cheptsov, Vladimir; Yang, Yang; An, Shaoshan

年限, 卷期号, 页码: SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY, 167 (108607)

(3) 题目: Metabolic pathways of CO<sub>2</sub> fixing microorganisms determined C-fixation rates in grassland soils along the precipitation gradient

作者: Huang, Qian; Huang, Yimei; Wang, Baorong; Dippold, Michaela A.; Li, Haohao; Li, Na; Jia, Penghui; Zhang, Haixing; An, Shaoshan; Kuzyakov, Yakov

年限, 卷期号, 页码: SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY, 172(108764)

(4) 题目: Belowground allocation and fate of tree assimilates in plant-soil-microorganisms system: C-13 labeling and tracing under field conditions

作者: Bai, Xuejuan; Huang, Yimei; Wang, Baorong; Kuzyakov, Yakov; An, Shaoshan

年限, 卷期号, 页码: GEODERMA, 404(115296)

(5) 题目: Newly assimilated carbon allocation in grassland communities under different grazing enclosure times

作者: Bai, Xuejuan; Yang, Xuan; Zhang, Shumeng; An, Shaoshan

年限, 卷期号, 页码: BIOLOGY AND FERTILITY OF SOILS, 57(4): 563-574

(6)书名：黄土高原植被恢复的土壤环境效应研究

作者：安韶山； 黄懿梅； 朱兆龙； 焦峰.

年限，卷期号：科学出版社， 978-7-03-063614-0

(7)侵蚀和干旱逆境下黄土高原水土资源时空过程及其调控

作者：刘文兆等

年限，卷期号：科学出版社 978-7-03-042828-8

(8)宁夏黄土丘陵区脆弱生态系统恢复及可持续管理

作者：蔡进军，许浩，赵世伟，董立国等

年限，卷期号：978-7-03-066283-5

## 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术<br>职称 | 工作单位/完成单位        | 对本项目技术创造性贡献   |
|-----|----|-------------|------------------|---|
| 安韶山 | 1  | 高级          | 西北农林科技大学         | 总体设计和组织实施   |
| 王宝荣 | 2  | 初级          | 西北农林科技大学         | 基于微生物生物标志物，明晰残体碳贡献土壤有机碳形成的生态分异特征和调控机制(1)(2)                         |
| 黄懿梅 | 3  | 高级          | 西北农林科技大学         | 采用基因组学和同位素标记方法，明确了黄土高原植被恢复过程中土壤-植被连续体中微生物参与的碳迁移分配规律                 |
| 朱兆龙 | 4  | 副高级         | 西北农林科技大学         | 对比不同团聚体稳定性评估方法，明确其在黄土高原的适应性   |
| 窦艳星 | 5  | 中级          | 西北农林科技大学         | 采用因子分析法揭示了黄土高原小流域尺度植被恢复下土壤团聚体稳定性特征及调控机制                             |
| 白雪娟 | 6  | 中级          | 河北师范大学           | 首次运用 $^{13}\text{C}$ 原位标记乔木/过牧/不同恢复年限生态系统中新进光合碳在植物-土壤系统中的分配比例(4)(5) |
| 曾全超 | 7  | 副高级         | 中国科学院重庆绿色智能技术研究院 | 建立了黄土高原第一手微生物生物地理分布数据库，明确区域土壤微生物分布驱动因子                              |
| 薛志婧 | 8  | 中级          | 陕西师范大学           | 运用同位素失踪方法揭示“枯落物-土壤”表层有机碳转化特征，明晰微生物对植物残体碳的截获和转化                      |
| 程曼  | 9  | 副高级         | 山西大学             | 发展了适合黄土高原的团聚体内碳组分筛分方法   |

## 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  | 为项目科研人员提供资金和硬件设备支持，在成果推广和应用过程中，发挥了重要组织协调、管理和落实的作用。利用云雾山 40 年草原实验基地，在全国培养一批青年人才，直接带动当地经济发展，提升我国在相关领域的研究水平，促进相关专业的专业发展。 |
| 中国科学院水利部水土保持研究所  | 2  | 利用黄土高原科研平台优势，为项目实施提供了全方位保障，并大力支持研究成果与知识产权的转化。黄土高原数据中心积累的气象、植被恢复与重建、土壤退化等检测资料，为本项目研究提供了重要基础数据支撑。                       |
| 河北师范大学           | 3  | 科研经费支持，配合项目完成人白雪娟讲师相关项目的撰写，修改及提交工作并提供实验上的人力支持。  |
| 中国科学院重庆绿色智能技术研究院 | 4  | 提供实验室和人员支持，在成果推广和应用过程中发挥重要作用  |
| 陕西师范大学           | 5  | 提供同位素标记和示踪技术支持  |
| 山西大学             | 6  | 对野外试验基地的建立和室内实验的开展给予支持  |

## 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          | 国家自然科学基金青年基金 | 安韶山，黄懿梅                     | 2008-01-01-2010-12-31 | 黄土丘陵区植被恢复过程中土壤微生物多样性演变(40701095)          | 申请书和任务书 |
| 2          | 国家自然科学基金     | 安韶山，黄懿梅                     | 2010-01-01-2012-12-31 | 宁南山区植被恢复对土壤不同粒径团聚体中微生物群落分异特征的影响(40971171) |         |
| 3          | 国家自然科学基金     | 安韶山，黄懿梅，程曼                  | 2012-01-01-2015-12-31 | 黄土丘陵区枯落物对土壤微生物多样性及碳固定的影响机理(41171226)      | 申请书与任务书 |
| 4          | 国家自然科学基金     | 安韶山，黄懿梅，朱兆龙，王宝荣，白雪娟，曾全超，窦艳星 | 2016-01-01-2020-12-31 | 宁南山区植被恢复中根系生产力机器对有机碳贡献辨析(41671280)        | 申请书与任务书 |
| 5          | 国家自然科学基金     | 朱兆龙，安韶山，黄懿梅                 | 2018-01-01-2021-12-31 | 基于超声能量法研究凋落物分解与土壤团聚体作用机制(41771317)        | 申请书与任务书 |
| 6          | 国家自然科学基金     | 安韶山，黄懿梅，朱兆龙，王宝荣，白雪娟，曾全超     | 2019-01-01-2021-12-31 | 基于生物标志物的“枯落物-土壤”表层界面土壤有机碳转化过程研究(41807060) | 申请书与任务书 |

|    |                                  |                        |                       |   |         |
|----|----------------------------------|------------------------|-----------------------|---|---------|
|    |                                  | 窦艳星, 黄倩                |                       |   |         |
| 7  | 国家自然科学基金                         | 黄懿梅, 安韶山, 白雪娟, 王宝荣, 黄倩 | 2019-01-01-2022-12-31 | 黄土高原固碳微生物及其对土壤有机碳积累的贡献<br>(4187071383)  | 申请书与任务书 |
| 8  | 国家“十一五”科技攻关重大项目                  | 安韶山, 黄懿梅, 朱兆龙, 王宝荣     | 2006-01-01-2010-12-31 | “半干旱退化山区生态农业建设技术与示范<br>(2001BA606A-04)  | 申请书与任务书 |
| 9  | 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室团队方向项目       | 安韶山, 朱兆龙, 王宝荣          | 2016-01-01-2020-12-31 | 黄土高原植被恢复中土壤有机碳固持及来源辨析                   | 申请书与任务书 |
| 10 | 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心十三五创新培育方向项目 | 安韶山, 朱兆龙, 王宝荣          | 2016-01-01-2020-12-31 | 黄土高原生态修复的土壤服务功能评估及调控<br>(A314021403-C6) | 申请书与任务书 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目系研究团队近 20 年来主持和参加国家自然科学基金、国家科技攻关、重点研发及地区项目的集结，西北农林科技大学安韶山研究员负责项目总体设计和组织实施；

土壤-植物连续体中碳的迁移分配策略主要由安韶山、白雪娟、薛志靖完成；

微生物残体贡献土壤有机碳积累的生态系统分异特征主要由王宝荣完成；

黄土高原草地 CO<sub>2</sub> 固定微生物的代谢的新途径主要由黄懿梅、黄倩完成；

黄土高原土壤微生物养分限制规律主要由曾全超完成；

土壤团聚体稳定性特征及其调控机制主要由朱兆龙、程曼、窦艳星完成。

本项目涉及单位和人员较多，参与野外调查、测试分析的科研人员、研究生和本科生达几百人，几十名研究生参与了数据分析、论文撰写和成果展出，此处列入的代表性论文和合作完成人仅为成果的主要贡献者。



## 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

赵天永

一、项目名称：棉子糖调控玉米耐旱、耐热及种子活力的机理及其应用研究

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

提名意见：“棉子糖调控玉米耐旱、耐热及种子活力的机理及其应用研究”将基础研究与应用研究紧密结合，发现了棉子糖是调控玉米耐旱、耐热和种子活力的关键因素及其作用机理；运用生物育种手段，获得了耐旱、耐热的玉米自交系和杂交种。田间试验表明，改良的玉米杂交种与对照玉米品种相比，耐热性显著提高；在干旱条件下，改良玉米杂交种的产量较对照品种大幅提高。

三、项目简介：

粮食安全关系到国家安全和社会稳定。玉米是世界第一大作物，但干旱和高温等不利环境因素严重制约玉米生产。因此，研究玉米耐旱和耐热的生化与分子机制，利用生物技术培育耐旱、耐热玉米新种质并用于育种实践具有重大科学和社会意义。

本项目在国家科技公关重大专项重点项目以及国家自然科学基金面上项目资助下，围绕玉米响应干旱和高温的分子机理，以棉子糖代谢为切入点，系统研究了负责玉米棉子糖合成的关键酶玉米肌醇半乳糖苷合成酶 2（Galactinol Synthase 2, ZmGOLS2）和玉米棉子糖合成酶（Raffinose Synthase, ZmRAFS）参与玉米耐旱、耐热及其调控玉米种子活力的分子机理；通过在玉米中同时超表达 ZmGOLS2/ZmRAFS 基因创制了耐旱、耐热和种子活力显著提高的玉米材料，取得了一系列创新性成果。

**成果 1：发现超表达棉子糖合成关键酶 ZmGOLS2 和 ZmRAFS 基因可以提高植物耐旱性，且对其在正常条件下的生长没有负作用。**发现玉米转录因子 ZmDREB2A 结合在 ZmGOLS2 基因启动子的 DREB 元件上调控该基因在干旱条件下的表达；同时发现超表达 ZmGOLS2 基因能够提高植物的耐旱性且对植物在正常条件下的生长没有负作用；而超表达玉米 ZmDREB2A 基因虽然能够提高植物的耐旱性，但却抑制了植物在正常条件下的生长和发育（Gu, et al., 2016, Plant Molecular Biology），其原因是 ZmDREB2A 在调控棉子糖合成的同时，也同时调控生长素降解酶基因 ZmGH3.2 的表达，超表达 ZmDREB2A 提高了 ZmGH3.2 的表达，降低了生长素的含量，抑制了植物的生长（Han, et al., 2020, The Plant Journal）。发现玉米棉子糖合成酶基因突变体 *zmrafs* 对于干旱和冷胁迫敏感（Li, et al., 2020, Journal of Biological Chemistry; Han, et al., 2019, Plant And Cell Physiology）敏感，超表达 ZmRAFS 基因提高了拟南芥的耐旱能力（Li, et al., 2020, Journal of Biological Chemistry）。

**成果 2：解析了玉米热激转录因子通过调控玉米 ZmGOLS2 基因的表达，调控棉子**



**糖合成,调控植物的耐热性。**解析了玉米热激转录因子 *ZmHSFA2* 和热激蛋白 *ZmHSBP2* 互作,拮抗调控玉米 *ZmGOLS2* 基因的表达,调控热激条件下棉子糖合成,调控植物的耐热性 (Gu, et al., 2019, The Plant Journal)。

**成果3: 解析了棉子糖代谢调控玉米种子活力的分子机制。**棉子糖合成酶(*ZmRAFS*)是玉米棉子糖合成的关键酶,而半乳糖苷水解酶 (*ZmAGA1*) 负责棉子糖的水解。利用玉米 *ZmRAFS* 基因突变体和拟南芥过表达材料研究了棉子糖调控种子活力的分子机制,发现了棉子糖和蔗糖的比例是调控玉米种子活力的关键因素,通过调控棉子糖代谢可以提高种子活力(Li, et al., 2017, Molecular Plant),发现转录因子 *VP1* 和 *ZmABI5* 协同调控种子中棉子糖的积累(Zhang, et al., 2019, Journal of Agricultural and Food Chemistry); 半乳糖苷水解酶 *ZmAGA1* 能够水解棉子糖,在种子吸胀后表达量提高,过表达 *ZmAGA1* 降低了种子中棉子糖含量,提高了种子萌发的速率但降低了种子的耐老化能力。在种子引发过程中抑制 *ZmAGA1* 的表达,能够提高种子的萌发能力,避免种子的耐老化能力降低(Zhang, et al., 2021, Journal of Agricultural and Food Chemistry)。

**成果4: 创制了耐旱和耐热性显著提高的玉米育种新材料。**利用转基因技术创制了超表达玉米棉子糖合成关键酶基因*ZmGOLS2*和*ZmRAFS*的耐旱和耐热性显著提高的玉米材料。同时,我们将转基因材料与郑单958亲本自交系郑58及昌7-2连续回交,获得了耐旱和耐热能力显著提高的改良郑58和昌7-2自交系;利用改良的郑58和昌7-2自交系制备了改良的郑单958杂交种。室内结果表明改良杂交种幼苗耐旱能力显著高于对照。田间试验结果显示在干旱条件下,改良郑单958玉米杂交种在正常灌水条件下较对照增产7.9%,在控水条件下较对照增产34.5%,在干旱条件下较对照增产47.6%,该研究结果显示改良的玉米杂交种有巨大的产业化前景。

#### **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)**

2018年5月,农业部科技发展中心组织专家对西北农林科技大学赵天永教授承担的“转基因生物新品种培育科技重大专项-玉米耐旱相关基因的克隆与功能研究(2014ZX0800920B)”进行了验收。验收专家一致同意通过课题验收并做如下结论:该课题鉴定了转座子 *Mu* 插入失活的 *ZmGOLS1* 突变系的抗逆表型;克隆了 *ZmGOLS1*、*ZmGOLS2* 基因及其响应干旱胁迫转录因子基因;构建了 *ZmGOLS1*、*ZmGOLS2* 基因及相关转录因子基因载体并转化玉米,获得转基因植株 10 株;明确了 *ZmGOLS1*、*ZmGOLS2* 及相关转录因子基因表达特征及响应逆境胁迫的表达特征,亚细胞定位;确定了上述基因在玉米中的抗旱功能及抗旱机制;发表论文 3 篇,申请专利 4 项;培养博士研究生 2 名,硕士研究生 4 名;该课题完成合同书规定的任务目标和考核指标,为培育耐旱抗逆的玉米种质奠定基础。

该项目研究成果(5篇代表性论文)先后在在本领域国际主流期刊 *Molecular Plant*、

The Plant Journal、Journal of Biological Chemistry 发表，成果受到国内外学术界的广泛关注，SCI 他引 144 次，单篇最高 SCI 他引 58 次。相关研究成果于 2020 年 5 月份被《中国科学报》专题报道并被科学网转载 (<https://news.sciencenet.cn/htmlnews/2020/5/439555.shtm>)，于 2020 年 6 月份被国家自然科学基金委员会科学传播与成果转化中心进行专题报道 (<https://www.nsf.gov.cn/csc/20340/20343/53403/index.html>)。主要报道内容如下：“棉子糖家族寡糖(RFOs)是植物中特有的一类功能性低聚糖，在植物中广泛存在，且在大多数植物种子中的含量仅次于蔗糖，RFOs 在植物种子脱水耐受性及种子活力以及温度、干旱等非生物与生物胁迫中发挥重要作用，但其作用机制尚不清楚。西北农林科技大学赵天永实验室多年来对棉子糖代谢相关基因在植物抗旱、抗热、抗寒、抗盐以及种子活力中的功能及其表达调控进行了系统研究。该实验室发现了通过调控 ZmGOLS2 可以提高棉子糖含量，提高植物的抗旱、抗热、抗寒、抗盐能力并且对植株生长没有任何负作用 (Gu, 2016, Plant Molecular Biology)；发现了棉子糖是决定玉米种子活力的关键因素 (Li, 2017, Molecular Plant)；发现了 ZmVP1 和 ZmABI5 互作调控玉米种子内棉子糖的合成 (Zhang, 2019, Journal of Agricultural and Food Chemistry)；发现了玉米 ZmHSFA2 和 ZmHSBP2 互作，拮抗调控棉子糖的合成，调控植株的抗热性 (Gu, 2019, The Plant Journal)；发现了 ZmDREB1A 通过调控棉子糖的合成调控玉米的抗寒能力 (Han, 2020, Plant and Cell Physiology)”。

## 五、应用情况

利用前期研究结果，通过生物技术手段创制了耐逆性显著提高的玉米杂交种。利用转基因技术创制了超表达玉米棉子糖合成关键酶基因 ZmGOLS2 和 ZmRAFS 的耐旱和耐热性显著提高的改良玉米综 31 自交系材料。同时，我们将改良的综 31 自交系材料与玉米主栽品种郑单 958 的亲本自交系郑 58 及昌 7-2 连续回交，获得了耐旱和耐热能力显著提高的改良郑 58 和昌 7-2 自交系；利用改良的郑 58 和昌 7-2 自交系制备了改良郑单 958 杂交种。改良杂交种幼苗耐旱能力显著高于对照 (图 1)。

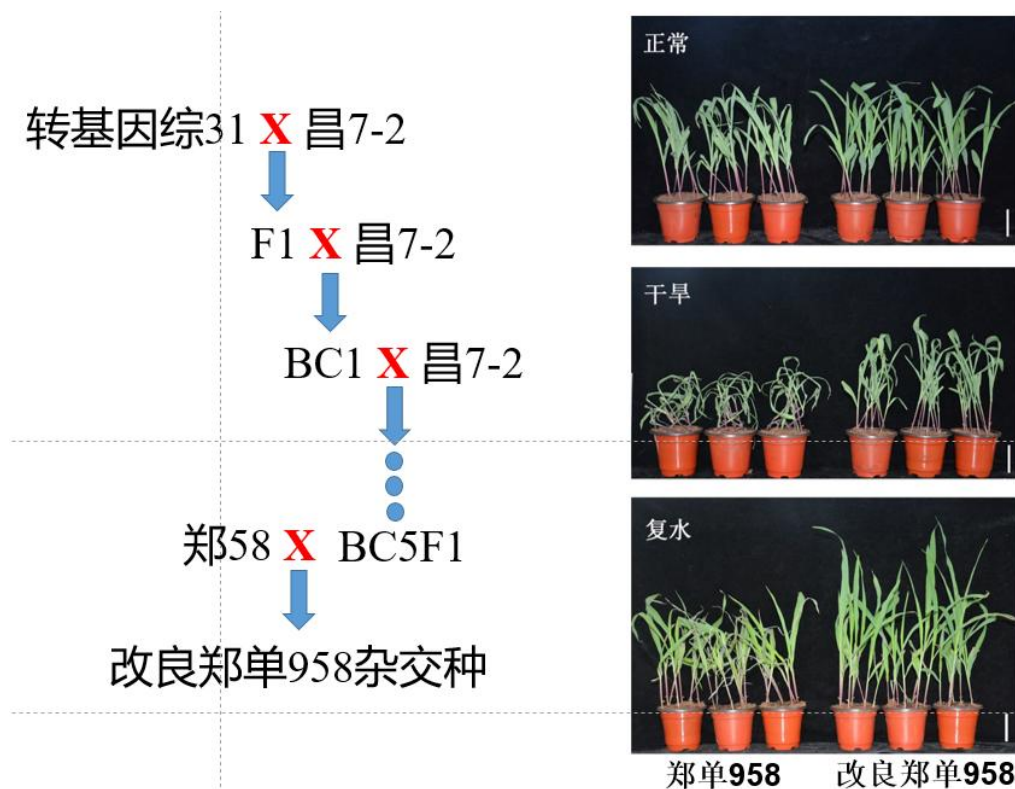


图 1. 改良郑单 958 幼苗耐旱能力显著高于对照

2022 年 7 月上旬杨凌持续干旱高温（图 2），改良郑单 958 杂交种田间表现明显优于未改良杂交种（图 3）。



图 2. 2022 年 7 月 6 日到 7 月 9 日杨凌天气情况

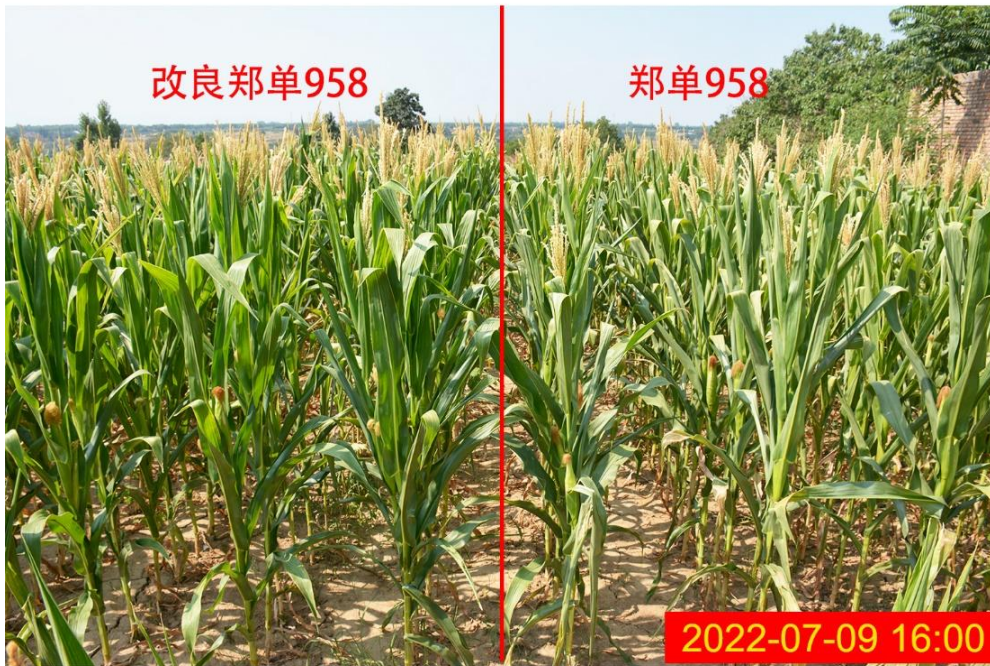


图3. 改良郑单 958 植株与对照品种在经历连续高温干旱后表型比较。

田间试验结果显示在干旱条件下，改良郑单958玉米杂交种在正常灌水条件下较对照增产7.9%，在控水条件下较对照增产34.5%，在干旱条件下较对照增产47.6%（图4），该研究结果显示改良的玉米杂交种有巨大的产业化前景。

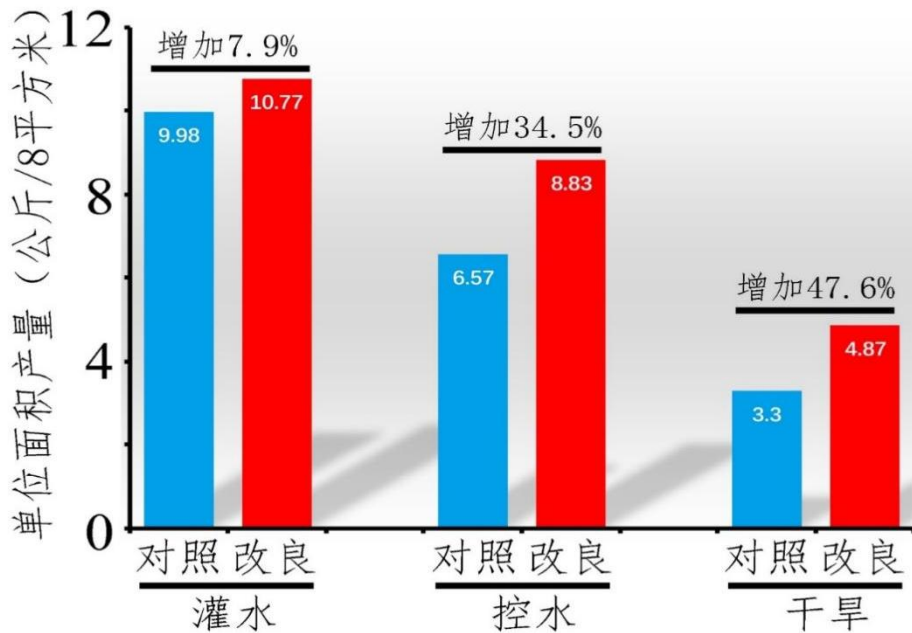


图4 改良品种（GMZD958）较对照品种（郑单 958）在大田灌水、控水及干旱条件下产量大幅度提高。

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

| 序号 | 论文专著名称   | 刊名                      | 作者   | 年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页) | 发表时间 (年月日)       | 通讯作者 (含共同) | 第一作者 (含共同) | 国内作者                         | 他引总次数 | 检索数据库          | 知识产权是否归国内所有 |
|----|--|-------------------------|--|-----------------------|------------------|------------|------------|------------------------------|-------|----------------|-------------|
| 1  | ZmGOLS2, a target of transcription factor ZmDREB2A, offers similar protection against abiotic stress as ZmDREB2A | Plant Molecular Biology | Lei Gu, Yumin Zhang, Mingshuai Zhang, Tao Li, Lynnette M.A. Dirk, Bruce Downie, Tianyong Zhao                                  | 2016, 90, 157-170     | 2015 年 11 月 19 日 | 赵天永        | 谷雷         | 谷雷、张玉民、张明帅、李涛、赵天永            | 23    | Web of Science | 是           |
| 2  | Regulation of seed vigor by manipulation of raffinose family oligosaccharides (RFOs) in maize and Arabidopsis    | Molecular Plant         | Tao Li, Yumin Zhang, Dong Wang, Ying Liu, Lynnette Dirk, Jack Goodman, Bruce Downie, Jianmin Wang, Guoying Wang, Tianyong Zhao | 2017, 10, 1540-1555   | 2017 年 1 月 6 日   | 赵天永, 王国英   | 李涛         | 李涛、张玉民、王东、刘应、王建明、王国英、赵天永     | 58    | Web of Science | 是           |
| 3  | Maize HSFA2 and HSBP2 antagonistically modulate raffinose biosynthesis and heat tolerance in Arabidopsis         | The Plant Journal       | Lei Gu, Tao Jiang, Chunxia Zhang, Xudong Li, Chunmei Wang, Yumin Zhang, Tao Li, Lynnette Dirk, Bruce Downie, Tianyong Zhao     | 2019, 100, 128-142.   | 2019 年 6 月 10 日  | 赵天永        | 谷雷         | 谷雷、蒋涛、张春霞、李旭东、王春梅、张玉民、李涛、赵天永 | 21    | Web of Science | 是           |

| 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 |
|----------------|--|---------------------------------|---|----------------------|------------|------------|------------|-----------------------------------|-------|----------------|-------------|
| 4              | Raffinose synthase enhances drought tolerance through raffinose synthesis or galactinol hydrolysis in maize and Arabidopsis plants | Journal of Biological Chemistry | Tao Li, Yumin Zhang, Ying Liu, Xudong Li, Guanglong Hao, Qinghui Han, Lynnette M. Dirk, A Bruce Downie, Yong-Ling Ruan, Jianmin Wang, Guoying Wang, Tianyong Zhao | 2020, 295:8064-8077  | 2020年5月4日  | 赵天永, 王国英   | 李涛, 张玉民    | 李涛、张玉民、刘应、李旭东、郝广龙、韩庆辉、王建明、王国英、赵天永 | 32    | Web of Science | 是           |
| 5              | ZmDREB2A regulates ZmGH3.2 and ZmRAFS, shifting metabolism towards seed aging tolerance over seedling growth                       | The Plant Journal               | Qinghui Han, Kelu Chen, Dong Yan, Guanglong Hao, Junlong Qi, Chunmei Wang, Lynnette M. Dirk, A. Bruce Downie, Jianhua Gong, Jianhua Wang, Tianyong Zhao           | 2020, 104, 268-282   | 2020年7月13日 | 王建华、赵天永    | 韩庆辉        | 韩庆辉, 陈珂璐、闫栋、戚俊龙、王春梅、龚建华、王建华、赵天永   | 10    | Web of Science | 是           |
| 补充说明 (视情填写): 无 |  |                                 |   |                      |            |            |            |                                   |       |                |             |

## 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术<br>职称 | 工作单位/<br>完成单位 | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|-------------|---------------|--|
| 赵天永 | 1  | 教授          | 西北农林科技大学      | 专注于棉子糖代谢调控玉米耐逆的分子机理研究工作。赵天永及其指导的博士研究生发现通过调控棉子糖的合成可以提高玉米的耐旱、耐热能力和种子活力，且对植物的正常生长发育没有副作用。相关研究结果发表在 <i>Plant Journal</i> , <i>Journal of Biological Chemistry</i> 和 <i>Molecular Plant</i> 等植物科学国际主流杂志。所列 5 篇代表性论文的第一作者及参与作者均为赵天永教授指导的博士研究生，他们在西北农林科技大学攻读博士研究生期间完成了相关工作。 |
| 李涛  | 2  | 无           | 西北农林科技大学      | 1. 发现玉米棉子糖合成酶基因突变体 <i>zmrafs</i> 对干旱胁迫敏感，超表达 <i>ZmRAFS</i> 基因提高了拟南芥的耐旱能力。2. 利用玉米 <i>ZmRAFS</i> 基因突变体和拟南芥过表达材料研究了棉子糖调控种子活力的分子机制，发现了棉子糖和蔗糖的比例是调控玉米种子活力的关键因素，通过调控棉子糖代谢可以提高种子活力。   |
| 张玉民 | 3  | 副教授         | 西北农林科技大学      | 1. 与他人合作发现超表达棉子糖合成酶基因 <i>ZmRAFS</i> 提高拟南芥的耐旱能力，负责超表达 <i>ZmRAFS</i> 拟南芥材料创制。2. 与他人合作发现调控棉子糖代谢可以提高种子活力负责相关材料糖组分测定。   |
| 韩庆辉 | 4  | 无           | 西北农林科技大学      | 发现 <i>ZmDREB2A</i> 在调控棉子糖合成的同时，也同时调控生长素降解酶基因 <i>ZmGH3.2</i> 的表达，超表达 <i>ZmDREB2A</i> 提高了 <i>ZmGH3.2</i> 的表达，降低了生长素的含量，抑制了植物的生长。   |
| 谷雷  | 5  | 无           | 西北农林科技大学      | 1. 发现转录因子 <i>ZmDREB2A</i> 结合在 <i>ZmGOLS2</i> 基因启动子的 DREB 元件上调控该基因在干旱条件下的表达；同时发现超表 <i>ZmGOLS</i> 基因提高植物的耐旱性且对植物在正常条件下的生长没有负作用。2. 发现转录因子 <i>ZmHSFA2</i> 和热激蛋白 <i>ZmHSBP2</i> 互作，拮抗调控玉米 <i>ZmGOLS2</i> 表达，调控热激条件下棉子糖合成，调控植物的耐热性。  |
| 刘应  | 6  | 无           | 西北农林科技大学      | 1. 与他人合作发现超表达棉子糖合成酶基因 <i>ZmRAFS</i> 提高拟南芥的耐旱能力，负责相关材料表型鉴定。   |



## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

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

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况表   |      |          |           |             |        |
|--|------|----------|-----------|-------------|--------|
| 序号   | 合作方式 | 合作者/项目排名 | 合作时间      | 合作成果        | 证明材料   |
| 1  | 论文合著 | 李涛/2     | 2012-2019 | 代表性论文 2、4   | 论文检索证明 |
| 2  | 论文合著 | 张玉民/3    | 2013-2020 | 代表性论文 1、2、4 | 论文检索证明 |
| 3  | 论文合著 | 韩庆辉/4    | 2012-2020 | 代表性论文 4、5   | 论文检索证明 |
| 4  | 论文合著 | 谷雷/5     | 2011-2020 | 代表性论文 1、3   | 论文检索证明 |
| 5  | 论文合著 | 刘应/6     | 2014-2022 | 代表性论文 2、4   | 论文检索证明 |
| <p><b>完成人合作关系说明（限 1000 字）</b></p> <p>该申请材料所列 5 篇论文的第一作者李涛，张玉民，韩庆辉，谷雷及参与作者刘应均为赵天永教授指导的博士研究生，他们在西北农林科技大学攻读博士研究生期间完成了相关工作。所列 5 篇论文的最后一名通讯作者均为西北农林科技大学赵天永教授。</p> |      |          |           |             |        |



## 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

梁燕

一、项目名称：番茄优质多抗基因挖掘与系列新品种选育及应用

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

番茄是世界种植面积和消费量最大的蔬菜之一，经济效益显著，已成为我国乡村振兴、农民致富的支柱产业。然而，随着我国番茄产业的蓬勃发展，番茄品种交流的广泛和频繁，番茄连作普遍，加之全球气候变暖，使得番茄病害种类不断增加，新的毁灭性病害接连发生，高温、低温、土壤盐渍化、土壤重金属等非生物胁迫日益加剧，人们对番茄品质风味要求不断提升，加上国外公司对我国番茄市场的争夺和瓜分。因此，从源头做起，挖掘优质多抗新基因，提升分子育种技术水平，加快培育适宜我国栽培的具有国际竞争力的番茄新品种，通过品种配套标准化栽培技术的集成示范推广，整合创新资源建设以市场和商业化成果为导向的商业化育种体系，是我国番茄产业持续健康发展的基础和重要保障。

项目针对我国番茄产业面临的病毒病频发、逆境胁迫加剧和品质提升等重大问题，以优质多抗番茄新品种培育为主要目标，以基因挖掘和分子育种技术创新为抓手，建立了新品种高效栽培技术和良种繁育技术及示范推广体系，挖掘和定位了 *Sl5R-1* 等 14 个抗病、抗逆、品质相关性状重要 QTL，鉴定新功能基因 6 个，创建了优质多抗高效分子育种技术体系，育成具有自主知识产权的优质多抗番茄系列新品种 8 个，覆盖番茄生产的所有茬口，获得授权专利 2 项，发表代表性论文 40 篇，制定良种配套栽培技术操作规范并培训推广 238 万亩以上，新增产值总额约 309 亿元，构建了“研-育-繁-推-产”一体化，“首席专家+研发团队+领军企业+基地”的陕西省番茄商业化育种联合体系。该项目总体技术水平达到国际先进，其中抗斑萎病基因挖掘和品种选育技术达到国际领先水平，产生了显著的经济和社会效益。

对照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一等奖。

三、项目简介：

番茄是一种重要的蔬菜作物，消费量占蔬菜总消费量的三分之二，番茄的经济效益占新鲜蔬菜的 72%。我国是番茄生产和消费大国，番茄种植面积和产量均居世界首位。因此，番茄在农业发展、乡村振兴以及人们生活中均具有极其重要作用。随着社会的发展和人民生活水平的提升，对番茄品质的要求越来越高。番茄生产以设施栽培为主，但由于设施环境的特殊性、连作以及气候变化加剧引发各种逆境胁迫，加之番茄斑萎病毒（TSWV）病等新病害的不断出现，使得番茄抗性面临前所未有的考验，

优质多抗成为当前番茄育种的热点和难点。抗性包括抗逆和抗病，即作物对生物胁迫和非生物胁迫的耐受和抵御，受到遗传、环境和管理等多个方面的综合影响，在作用方式上具有多因子复合的复杂性。在长期的番茄育种过程中，对高产、抗病、抗逆，特别是耐贮运（硬度）的定向选择与改良，使得番茄品质性状表型弱化、遗传变异狭窄，甚至导致某些品质相关基因的丢失；同时，番茄的品质性状构成复杂，致使品质性状研究较难开展。基于此，2011-2022年在国家重点研发计划项目、陕西省重点产业链项目、陕西省科技统筹项目和陕西省番茄商业化育种联合体系项目资助下，项目组采用分子育种、多组学分析等现代育种技术手段，开展优质抗逆系列新品种培育、营养及感官等商品品质性状遗传规律、抗逆抗病 QTL 及基因功能、良种繁育技术和配套高效栽培模式等关键技术研究，取得以下创新性成果：

1、挖掘鉴定番茄优质多抗新基因新位点 14 个，首次发现新功能基因 6 个。率先鉴定陕西番茄斑萎病毒与西班牙分离物高度同源，西班牙分离物属于能够打破 *SW-5* 抗性的 TSWV-BR，定位并克隆了新的抗 TSWV-BR 基因 *Sl5R-1*，为世界番茄抗 TSWV 育种提供了新的基因资源；率先发现了 *SIMP3* 正调控番茄对黄化曲叶病毒(TYLCV)的抗性、低温耐受性、耐旱性及对镉耐受性；发现 *SlF3HL* 正调控番茄低温耐受性、*SILC6D* 负调控番茄耐冷性，*SIMP1/2/3* 均正调控番茄耐旱性；系统鉴定和解析了番茄果实香气正调控基因 *SICCD1A*，番茄果实品质新位点 *SSR122/142*，首次鉴定并克隆番茄萼片形态调控基因 *DSP(Solyc0lg105720)*、萼片形态新位点 *SSR117*，调控番茄花器官发育基因 *SIMYB33*、*SIGALS1* 等，解析了基因功能，揭示了作用机制和机理。

2、创建了系列新的番茄优质多抗高效分子育种技术体系。首次创建了包括分子标记、人工接种、HR 反应等内容的番茄抗斑萎病毒育种技术体系，优化和创建了番茄耐重金属性、耐旱性、耐低温性鉴定技术体系，首次系统研究并揭示了番茄风味品质的构成及其变化规律，揭示了番茄果实气味与挥发物、相关基因和挥发物前体物质的相关性，发现了影响番茄风味的 30 种主要气味物质和 4 种滋味物质，创建了以果实气味特征及其强度为主体的番茄风味品质鉴定评价技术体系，首次系统研究了番茄萼片形态多样性及其特征，揭示了萼片形态与果实品质的关系，创建了基于萼片上翘度和卷曲度的番茄萼片形态划分标准体系及其鉴定技术体系，开发了番茄萼片形态分子标记，获国家发明专利；开发了一种提高 VIGS 诱导内源基因沉默效率的新方法，获国家发明专利；揭示了番茄绿色分别与红、紫和橙色番茄果色间的遗传控制规律。

3、利用新基因和新技术，挖掘创制系列番茄优质多抗新种质 115 份，育成具有自主知识产权覆盖全茬口的优质多抗系列番茄新品种 8 个，包括普通番茄品种 4 个（“西农 2015”、“丽妍”、“禾胜丽龙”和“秦杰 1 号”）、樱桃番茄品种 4 个（“红串珠”、“粉娇”、“粉端二号”和“丽晶 T2”），满足了不同生态区、茬口和不同栽培模式的需求，

所有品种的抗病性、抗逆性、营养品质和风味品质与主栽品种相比显著提升，特别是利用新的抗病基因 *Sl5R-1* 选育的红果樱桃番茄新品种“红串珠”，抗 TSWV、TY 和根结线虫等 6 种主要病害，产量高，抗逆性强，品质风味好，单花序坐果紧密可串收，同时填补了国内自主知识产权抗 TSWV 和串收番茄品种的空缺，并以 303 万元实现了品种权转让。以上系列品种 2013-2021 年已在陕西、山东、河南、河北等地累计推广 238 万亩，新增经济效益总额为 309 亿元，社会、经济和生态效益显著。

该项成果获国家登记品种（植物新品种权）8 个、国家专利 2 项，发表代表性论文 40 篇：含英文论文 19 篇，其中中科院一区 4 篇、二区 8 篇、三区 5 篇；中文论文 21 篇，其中北大中文核心 18 篇；总被引 580 次，其中他引 539 次。建立和优化了抗性及高品质种质的筛选及高效鉴定方法，发展和完善了番茄高效分子标记辅助选择体系；筛选和创制了一系列优异种质资源。育成优质多抗系列番茄新品种 8 个，补充了我国和陕西省番茄产业中所急需的优质多抗多岔口适用品种，其中口感型、抗病、耐热、耐低温品种主要农艺性状达到或超过国外主流水平。建立和发展了陕西省番茄商业化育种联合体系，2013-2021 年对项目所育优质多抗设施种植专用系列番茄新品种及配套繁育和高效栽培技术，在陕西省及全国范围内进行了大面积的示范推广，累计推广面积达到 238 万亩，新增经济效益总额为 309 亿元，社会、经济和生态效益显著。

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

##### （一）项目验收意见

##### 1. “番茄杂种优势利用技术与强优势杂交种创制”（2016YFD0101703）

本项目属于国家重点研发计划“七大农作物育种专项”——“蔬菜杂种优势利用技术与强优势杂交种创制”（2016YFD0101700），2020 年底结题，取得的重要进展及成果如下：

创制了抗 TY、抗逆性强优势亲本材料 2 个，抗斑萎病强优势普通番茄亲本新种质 2 个，筛选出优势组合 9 个，其中“红串珠”等已获得品种登记。在陕西杨凌、泾阳、宝鸡等地共推广 3 万多亩，每亩增产 8%，累计增加产量 1.2 万吨左右。构建了抗斑萎病强优势普通番茄亲本新种质（R6）六世代群体，筛选出 233 对 SSR 标记。通过关联分析筛选出与萼片形态相关联的分子标记 *SSR117* 及其重叠基因 *Solyc01g105720*，通过遗传转化验证了该基因调控萼片形态发育的功能，并获得国家发明专利 1 项（201710165646.9），发表学术论文 14 篇，其中 SCI 论文 6 篇。完成了合同书规定的指标，同意通过验收。

##### 2. “高产抗逆专用番茄新品种选育”（2011KTCL02-03）

2015 年 10 月 10 日陕西省科学技术厅组织有关专家对“高产抗逆专用番茄新品种选育”项目进行了现场验收，形成以下意见：

育成高产抗逆专用番茄新品种 3 个，适宜节能日光温室、塑料大棚栽培、露地栽培，已通过陕西省农作物新品种鉴定。创制专用番茄优异种质 20 份：耐贮材料 2 份，耐低温和耐弱光材料 2 份，耐盐材料 4 份，抗病性材料 5 份，高茄红素、高可溶性固形物材料 3 份，持续结果能力达到五个月以上材料 4 份。研制新品种配套栽培与良种繁育技术规范 5 套；建立新品种示范基地 6 个，良种繁育基地 5 个，推广面积 30 余万亩，创造经济效益 2 亿元以上。经济社会效益显著。获得国家发明专利两项，发表论文 21 篇，培养研究生 3 人。

### 3、“主要瓜菜新品种引进与选育研究”（2015KTTSNY03-01）

陕西省科技厅组织有关专家对“主要瓜菜新品种引进与选育研究”项目进行了验收，形成以下意见：

育成抗病抗逆优质瓜菜新品种 7 个，其中番茄新品种 3 个。引进并筛选出适宜我省种植的番茄品种 2 个。创制瓜菜优异种质 15 份。申请国家专利 1 件，发表论文 22 篇，培养研究生 9 人。建立新品种示范基地 12 个，良种繁育基地 10 个，推广面积 20 万亩。完成了合同书规定的指标，同意通过验收。

### 4、“茄果类蔬菜抗性种质资源创制与新品种选育”（2019ZDLNY03-05）

陕西省科技厅组织专家对西北农林科技大学承担的陕西省重点研发计划重点产业链项目“茄果类蔬菜抗性种质资源创制与新品种选育”（项目编号：2019ZDLNY03-05）进行了验收，验收委员会听取了项目负责人的汇报，经质询和讨论，形成如下验收意见：

创制了番茄（樱桃番茄）、辣椒种质资源 38 份；选育了番茄（樱桃番茄）、辣椒新品种 7 个；挖掘了辣椒抗逆基因 2 个；开展了番茄（樱桃番茄）、辣椒新品种的生产示范和推广；授权国家发明专利 1 件；培养研究生 8 人；发表论文 6 篇。完成了合同书规定的指标，同意通过验收。

## （二）科技查新

### 1. 项目查新报告

教育部科技查新工作站（NO4）对该项目成果进行科技创新性查新，结果表明该项目中涉及的下述研究成果在国内外公开文献中未见报道，主要包括：

（1）育成推广的具有自主知识产权的 8 个优质多抗番茄新品种，包括“西农 2015”、“红串珠”、“丽妍”、“秦杰 1 号”、“禾胜丽龙”、“粉娇”、“粉端二号”和“丽晶 T2”。

（2）番茄斑萎病毒（TSWV）分离物鉴定、人工接种 TSWV 抗性鉴定方法，*TSW77/126* 等新抗病 QTL 的定位和新抗病基因 *SISR-1* 的功能鉴定。

（3）建立和改良了新种质创制技术和抗逆性鉴定方法，开发了一种提高病毒诱导内源基因沉默效率的方法并获国家发明专利 1 项（ZL201210510357.5），对 *SIF3HL*、*SIMPK3*、*SILC6D* 等新抗性基因的功能进行了鉴定。

(4) 番茄果实挥发物化学构成和番茄果实风味特征机理；番茄果色的遗传规律，果实表面颜色主要受果肉色和果皮色的影响，定位了 *SSR122/142* 等新的果实品质 QTL 位点，对 *SILCY-B*、*SICCCA* 等品质相关功能基因功能进行了鉴定。

(5) 番茄萼片形态多态性鉴定标准和萼片形态分子标记筛选技术，分析 *AUX/IAA*、*ARF*、*SAUR* 家族基因对萼片形态性状的潜在功能，鉴定功能基因 *SIMYB33* 调控花器官发育的特征，获得国家专利 1 项（201710165646.9）。

## 2. 论文收录引证报告

经教育部查新工作站论文收录查证报告显示：项目组发表的 19 篇英文论文被 SCI-EXPANDED 数据库收录，共被引 306 次，其中他引 284 次。项目组发表的 21 篇中文论文被 CNKI 数据库收录，共被引 274 次，其中他引 255 次；单篇最高引用 101 次，其中他引 97 次。

### (三) 国家相关部门检测报告

(注：此处仅列举番茄品种“西农 2015”，其余 7 个品种请阅附件。)

#### 1. 抗病性鉴定报告

经西北农林科技大学植保学院抗病性鉴定：“西农 2015”番茄黄化曲叶病毒病、根结线虫病极轻发生或不发生，叶霉病中度发生，灰霉病、早疫病零星发生，发病率与病指明显低于对照品种金鹏 1 号。综合评定认为番茄品种“西农 2015”高抗番茄黄化曲叶病毒病和根结线虫病，中抗番茄叶霉病，抗病性能突出。

#### 2. 品质检测报告

经陕西省农产品质量监督检验站品质检测：番茄品种“西农 2015”含总糖 2.72%，维生素 C 20.14 mg/100g，总酸 0.266%，可溶性固形物 5.8%（鲜样值，对照品种“金鹏 1 号”相应值分别为 2.53，10.47，0.31，4.3）。

## 五、应用情况

该项目开展了抗逆、抗病、高品质等性状协同改良和育种技术创新，建立了番茄斑萎病毒分离物鉴定、人工接种 TSWV 抗性鉴定方法，克隆鉴定了多个番茄逆境响应及品质相关基因，明确了番茄挥发性物质的构成与含量、变化规律及其对感官品质的影响，解析了番茄果色、萼片形态遗传规律并建立优化了指标鉴定标准，通过定向诱变与基因工程技术创制系列番茄抗病虫、抗逆、高番茄红素等育种新材料。建立和发展了由高校、骨干企业和基地构成的陕西省番茄商业化育种联合体系，以市场和商业化成果为导向，整合创新资源，提升科技创新水平，推动了传统农业向现代农业转型升级，为我省番茄育种以及产业持续发展提供坚实支撑与保障。

项目育成具有自主知识产权的番茄系列新品种 8 个，包括普通番茄品种 4 个（“西农 2015”、“丽妍”、“秦杰 1 号”和“禾胜丽龙”）、樱桃番茄品种 4 个（“粉娇”、“粉端

二号”、“红串珠”和“丽晶 T2”），与配套研发的种苗繁育和高效栽培技术集成，满足了不同生态区、茬口和不同栽培模式的需求，已先后通过陕西省和国家新品种鉴定和成果登记。2013-2021 年在陕西、山东、河南、河北、广西等地推广种植，在各地种植普遍表现良好，田间表现抗病、优质、商品性好，深受广大种植户和消费者欢迎，2013-2021 年累计推广面积 238 万亩，新增产值总额约 309 亿元，推动了我国番茄优质多抗育种技术进步和番茄产业的发展，取得了显著的经济效益和社会生态效益。

主要应用单位情况表

| 序号 | 单位名称                     | 应用技术                                      | 应用对象及规模                          | 应用起止时间      | 单位联系人/电话            |
|----|--------------------------|---|----------------------------------|-------------|---------------------|
| 1  | 西安海纳森农业科技(原西安秦杰农业科技有限公司) | 番茄新品种“丽妍”、“秦杰 1 号”、“禾胜丽龙”、“红串珠”和“西农 2015” | 陕西省咸阳、宝鸡及其周边省份和云贵番茄产区，累计 22.5 万亩 | 2013-2021 年 | 何深<br>/13709299850  |
| 2  | 西安市番茄研究所                 | 番茄新品种“粉娇”、“粉端二号”和“西农 2015”                | 陕西省临潼、渭南等地区，累计 24 万亩             | 2013-2021 年 | 赵军贤<br>/13709195268 |
| 3  | 西安桑农种业有限公司               | 番茄新品种“丽晶 T2”                              | 陕西省渭南、咸阳等地区，累计 7 万亩              | 2013-2021 年 | 党文峰<br>/13324524334 |
| 4  | 寿光市腾达农业科技有限公司            | 番茄新品种“粉娇”和“粉端二号”                          | 山东寿光等地区，累计 58 万亩                 | 2013-2021 年 | 王金玲<br>/13869615963 |
| 5  | 郑州轩辕金龙种子有限公司             | 番茄新品种“丽妍”和“秦杰 1 号”                        | 河南省郑州、焦作等地区，累计 19 万亩             | 2013-2021 年 | 轩燚彬<br>/15538228854 |
| 6  | 石家庄冀新种业有限公司              | 番茄新品种“丽妍”和“禾胜丽龙”                          | 河北石家庄、邢台等地区，累计 18 万亩             | 2013-2021 年 | 辛胜格<br>/13803110387 |
| 7  | 田阳县信托农业科技有限责任公司          | 番茄新品种“西农 2015”、“粉娇”和“粉端二号”                | 广西田阳县、田东县、德保县等地区，累计 57.5 万亩      | 2013-2021 年 | 杨欢庆<br>/13768162488 |
| 8  | 聊城市飞翔农业科技有限公司            | 番茄新品种“秦杰 1 号”、“禾胜丽龙”和“丽妍”                 | 山东省聊城、阳谷、莘县等地区，累计 31 万亩          | 2013-2021 年 | 王飞<br>/13562088566  |

六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条）

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称   | 国家(地区) | 授权号                             | 授权日期            | 证书编号                             | 权利人      | 发明人  |
|----|--------|--|--------|---------------------------------|-----------------|----------------------------------|----------|--|
| 1  | 论文     | A new NLR gene for resistance to Tomato spotted wilt virus in tomato ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) | 中国     | DOI: 10.1007/s00122-022-04049-4 | 2022 年 2 月 18 日 | Theoretical and Applied Genetics | 西北农林科技大学 | 祁世明, 沈渊博, 王新宇, 张世杰, 黎玉顺, Md Monirul Islam, 王晋, 赵攀, 战祥强, 张飞, 梁燕 |
| 2  | 植物新品种权 | 国家登记非主要农作物   | 中国     | GPD 番茄                          | 2019 年 4 月 12 日 | GPD 番茄 (2019)                    | 西北农林科技大学 | 梁燕, 李继纲, 秦蕾,   |

| 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  |
|----|--------|--|--------|---|------------------------|------------------------------|---|--|
|    |        | 品种“红串珠”  |        | (2019)<br>610050                              |                        | 610050                       | 大学,<br>陕西长<br>天种业<br>有限公<br>司               | 程国亭,张<br>洋, 默宁,<br>马雅琳                                   |
| 3  | 发明专利   | 一种用于鉴定番茄萼片形态的 SSR 分子标记、引物及应用   | 中国     | ZL2017<br>1016564<br>6.9                      | 2020 年<br>12 月 8 日     | 第<br>4141245<br>号            | 西北农<br>林科技<br>大学                            | 梁燕,刘婧<br>仪, 张颜,<br>吴浪,赵贵<br>叶                            |
| 4  | 植物新品种权 | 陕西省审定番茄品种“西农 2015”   | 中国     | 陕蔬登<br>字<br>2014003<br>号                      | 2015 年 5<br>月 29 日     | 陕蔬登字<br>2014003<br>号         | 西北农<br>林科技<br>大学,<br>陕西长<br>天种业<br>有限公<br>司 | 梁燕,李继<br>纲, 张颜,<br>王存,秦蕾                                 |
| 5  | 植物新品种权 | 植物新品种权“粉娇”   | 中国     | CNA201<br>73009.2                             | 2020 年 9<br>月 30 日     | 第<br>20200157<br>11 号        | 西安市<br>蕃茄研<br>究所                            | 张超,赵军<br>贤, 刘盼,<br>张磊,张苗                                 |
| 6  | 植物新品种权 | 植物新品种权“粉端二号”   | 中国     | CNA201<br>73005.6                             | 2021 年<br>12 月 30<br>日 | 第<br>20210195<br>69 号        | 西安市<br>蕃茄研<br>究所                            | 张超,赵军<br>贤, 张磊,<br>刘盼                                    |
| 7  | 植物新品种权 | 国家登记非主要农作物品种“丽妍”   | 中国     | GPD 番<br>茄<br>(2018)<br>610952                | 2019 年 1<br>月 29 日     | GPD 番茄<br>(2018)<br>610952   | 西安秦<br>杰农业<br>科技有<br>限公司                    | 西安秦杰<br>农业科技<br>有限公司                                     |
| 8  | 植物新品种权 | 国家登记非主要农作物品种“丽晶 T2”  | 中国     | GPD 番<br>茄<br>(2019)<br>610343                | 2019 年<br>10 月 31<br>日 | GPD 番茄<br>(2019)<br>610343   | 西安桑<br>农种业<br>有限公<br>司                      | 陈满盈,刘<br>榛, 刘静   |
| 9  | 植物新品种权 | 国家登记非主要农作物品种“禾胜丽龙”   | 中国     | GPD 番<br>茄<br>(2018)<br>610661                | 2018 年<br>11 月 2 日     | GPD 番茄<br>(2018)<br>610661   | 西安秦<br>杰农业<br>科技有<br>限公司                    | 西安秦杰<br>农业科技<br>有限公司                                     |
| 10 | 论文     | The tomato 2-oxoglutarate-dependent dioxygenase gene <i>SIF3HL</i> is critical for chilling stress tolerance | 中国     | DOI:<br>10.1038/<br>s41438-<br>019-012<br>7-5 | 2019 年 4<br>月 6 日      | Horticultu<br>re<br>Research | 西北农<br>林科技<br>大学                            | 胡体旭,王<br>玉钦,王琪<br>琦, 党宁<br>宁, 王玲,<br>刘超超,朱<br>建华,战祥<br>强 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术<br>职称 | 工作单位/<br>完成单位 | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|-------------|---------------|--|
| 梁燕  | 1  | 教授          | 西北农林科技大学      | 负责项目设计, 制定研究方案, 组织实施项目计划。主持开展了番茄新品种“西农 2015”和“红串珠”选育等研究工作, 建立了番茄斑萎病毒病人工接种 TSWV 抗性鉴定、番茄综合抗逆性鉴定及果实品质鉴定等技术, 创制系列优质多抗新种质, 获得国家专利 2 项, 组织实施了试验示范、技术培训和示范推广工作。对主要科技创新 1.、2.、3.有贡献。                           |
| 战祥强 | 2  | 教授          | 西北农林科技大学      | 开展了 <i>SIF3HL</i> 、 <i>SILC6D</i> 、 <i>SIMYB33</i> 等番茄抗逆相关基因功能, 协助了番茄新品种“西农 2015”和“红串珠”选育等研究工作, 参与了番茄斑萎病毒病人工接种 TSWV 抗性鉴定、番茄综合抗逆性鉴定及果实品质鉴定等技术开发和系列优质多抗新种质筛选和创制, 参与组织了良种繁育及配套栽培技术示范。对主要科技创新中所列 1.、3.有贡献。 |
| 张飞  | 3  | 实验师         | 西北农林科技大学      | 参与了番茄斑萎病毒病人工接种 TSWV 抗性鉴定等技术研发, 协助了番茄新品种“西农 2015”和“红串珠”选育等研究工作, 参与了良种繁育及配套栽培技术示范。对主要科技创新中所列 1.、3.有贡献。   |
| 胡体旭 | 4  | 副教授         | 西北农林科技大学      | 开展了 <i>SIF3HL</i> 、 <i>SILC6D</i> 等番茄抗逆相关基因功能等研究工作, 协助了番茄新品种“红串珠”选育等研究工作, 参与了良种繁育及配套栽培技术示范。对主要科技创新中所列 1.、3.有贡献。  |
| 祁世明 | 5  | 讲师          | 西北农林科技大学      | 参与了番茄斑萎病毒病人工接种 TSWV 抗性鉴定等技术研发和新抗性 QTL 与基因 <i>Sl5R-1</i> 功能研究, 参与了果实品质鉴定等技术开发和系列优质多抗新种质筛选和创制, 协助了番茄新品种“红串珠”选育等研究工作, 对主要科技创新中所列 1.、3.有贡献。  |
| 何深  | 6  | 高级农艺师       | 西安海纳森农业科技有限公司 | 开展了番茄新品种“丽妍”、“秦杰 1 号”和“禾胜丽龙”选育等研究工作, 参与陕西省番茄商业化育种联合体系创建和实施, 实施了良种繁育及配套栽培技术示范。对主要科技创新中所列 3.有贡献。   |
| 赵军贤 | 7  | 高级农艺师       | 西安市蕃茄研究所      | 开展了番茄新品种“粉娇”和“粉端二号”选育等研究工作, 参与陕西省番茄商业化育种联合体系创建和实施, 实施了良种繁育及配套栽培技术示范。对主要科技创新中所列 3.有贡献。  |



| 姓名  | 排名 | 行政/技术<br>职称 | 工作单位/<br>完成单位 | 对本项目技术创造性贡献   |
|-----|----|-------------|---------------|---|
| 李继纲 | 8  | 研究员         | 西北农林科技大学      | 参与了番茄新品种“西农 2015”和“红串珠”选育等研究工作，参与了番茄综合抗逆性鉴定及果实品质鉴定等技术开发和系列优质多抗新种质筛选和创制，参与了良种繁育及配套栽培技术示范。对主要科技创新中所列 2、3.有贡献。 |
| 陈满盈 | 9  | 高级农艺师       | 西安桑农种业有限公司    | 开展了番茄新品种“丽晶 T2”选育等研究工作，创建了抗番茄黄化曲叶病毒自交系，参与陕西省番茄商业化育种联合体系创建和实施，实施了良种繁育及配套栽培技术示范。对主要科技创新中所列 3.有贡献。             |
| 刘婧仪 | 10 | 博士后         | 西北农林科技大学      | 参与了番茄花发育和萼片形态鉴定标准的技术开发，研究了番茄果实颜色的遗传规律，协助了番茄新品种“红串珠”选育等研究工作，对主要科技创新中所列 2、3.有贡献。                              |
| 程国亭 | 11 | 讲师          | 西北农林科技大学      | 参与了番茄新品种“红串珠”选育等研究工作，开展了 <i>SIMYB33</i> 等番茄抗逆相关基因功能等研究工作，参与了良种繁育及配套栽培技术示范。对主要科技创新中所列 2.有贡献。                 |
| 李翠  | 12 | 讲师          | 西北农林科技大学      | 开展了 <i>SpMPK3</i> 等番茄抗逆相关基因功能等研究工作，参与了良种繁育及配套栽培技术示范。对主要科技创新中所列 1.有贡献。                                       |
| 李云洲 | 13 | 副教授         | 西北农林科技大学      | 开展了番茄抗逆相关基因功能等研究工作，参与了系列优质多抗新种质筛选和创制，参与了良种繁育及配套栽培技术示范。对主要科技创新中所列 1.有贡献。                                     |
| 吴浪  | 14 | 讲师          | 西北农林科技大学      | 开展了番茄果实颜色的遗传规律等研究工作，参与了萼片形态研究工作，参与了良种繁育及配套栽培技术示范。对主要科技创新中所列 2.有贡献。  |
| 黎玉顺 | 15 | 博士后         | 西北农林科技大学      | 参与了番茄风味与挥发物等相关研究工作，参与了良种繁育及配套栽培技术示范。对主要科技创新中所列 2.有贡献。   |

#### 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称     | 排名 | 主要贡献  |
|----------|----|---|
| 西北农林科技大学 | 1  | 作为本项目的第一完成单位，负责项目总体设计并组织实施。在项目研究过程中提供并保障了研究所用的仪器设备、实验用房人员等基本条件，并对项目资金管理和使用进行检查监督和组织协调，确保项目顺利实施。在项目验收、成果鉴定和新品种审定等方面提供支持协助。完成了国家登记番茄新品种“西农 2015”和“红串珠”选育等研究工作；建立了番茄斑萎病毒病人工接种 TSWV 抗性鉴定等技术；定位了 <i>TSW77/126</i> 、 <i>SSR122/142</i> 等 QTL 并开发相应分子标记；克隆和鉴定了 <i>SIMYB33</i> 、 <i>SIF3HL</i> 、 <i>SI5R-1</i> 、 <i>SIMPK3</i> 、 <i>SILC6D</i> 、 <i>SILCY-B</i> 等基因功能；获得国家专利 2 项，发表论文 39 篇；组织实施了试验示范、技术培训和示范推广工作。 |

| 单位名称          | 排名 | 主要贡献   |
|---------------|----|--|
| 西安海纳森农业科技有限公司 | 2  | 在本项目实施过程中无偿提供实验示范土地和人员，组织开展试验调查、现场观摩和技术培训。完成了国家登记番茄新品种“丽妍”、“秦杰1号”和“禾胜丽龙”选育等研究工作；组织实施了项目研发成果的试验示范、技术培训和示范推广工作。          |
| 西安市蕃茄研究所      | 3  | 在本项目实施过程中提供实验示范土地和人员，组织开展现场调查和观摩培训。完成了国家登记番茄新品种“粉娇”和“粉端二号”选育等研究工作，“粉娇”与“粉端二号”均获授植物新品种保护权；组织实施了项目研发成果的试验示范、技术培训和示范推广工作。 |
| 西安桑农种业有限公司    | 4  | 在本项目实施过程中提供实验示范土地和人员，组织开展试验调查、现场观摩和技术培训。完成了国家登记番茄新品种“丽晶 T2”选育等研究工作并发表论文 1 篇；组织实施了项目研发成果的试验示范、技术培训和示范推广工作。              |

### 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          | 共同知识产权合作 | 梁燕(1), 刘婧仪(10), 吴浪(14)                | 2015-2021 | 一种用于鉴定番茄萼片形态的 SSR 分子标记、引物及应用  | 附件 1.2  |
| 2          | 共同知识产权合作 | 梁燕(1), 李继纲(8), 程国亭(11)                | 2000-2021 | 国家登记非主要农作物品种“红串珠”   | 附件 3.10 |
| 3          | 论文合著     | 梁燕(1), 祁世明(5)                         | 2017-2021 | 番茄斑萎病毒病抗性种质筛选及人工接种鉴定方法优化  | 附件 7.2  |
| 4          | 论文合著     | 梁燕(1), 战祥强(2), 张飞(3), 祁世明(5), 黎玉顺(15) | 2016-2021 | A new NLR gene for resistance to Tomato spotted wilt virus in tomato ( <i>Solanum lycopersicum</i> )                    | 附件 7.5  |
| 5          | 论文合著     | 梁燕(1), 张飞(3), 祁世明(5)                  | 2010-2021 | Genome-wide identification and functions against Tomato spotted wilt tospovirus of PR-10 in <i>Solanum lycopersicum</i> | 附件 7.6  |
| 6          | 论文合著     | 梁燕(1), 张飞(3), 祁世明(5)                  | 2010-2021 | Natural resources resistance to Tomato spotted wilt virus (TSWV) in tomato ( <i>Solanum lycopersicum</i> )              | 附件 7.7  |
| 7          | 论文合著     | 梁燕(1), 张飞(3)                          | 2014-2021 | RNA interference: A Natural Immune System of Plants to Counteract Biotic Stressors                                      | 附件 7.8  |
| 8          | 论文合著     | 梁燕(1), 战祥强(2)                         | 2014-2021 | The GAMYB-like gene <i>SIMYB33</i> mediates flowering and pollen development in tomato                                  | 附件 7.9  |

|    |      |   |           |   |         |
|----|------|---|-----------|---|---------|
| 9  | 论文合著 | 梁燕(1), 刘婧仪(10)                          | 2010-2021 | 番茄萼片形态性状遗传分析  | 附件 7.10 |
| 10 | 论文合著 | 梁燕(1), 刘婧仪(10), 李翠(12)                  | 2010-2021 | 番茄花萼在蕾期至果实红熟期的发育形态学及其多样性研究  | 附件 7.11 |
| 11 | 论文合著 | 梁燕(1), 刘婧仪(10), 黎玉顺(15)                 | 2010-2021 | Comparative transcriptomic analysis of the development of sepal morphology in tomato ( <i>Solanum Lycopersicum</i> L.)                  | 附件 7.12 |
| 12 | 论文合著 | 战祥强(2), 胡体旭(4)                          | 2016-2021 | The tomato 2-oxoglutarate-dependent dioxygenase gene <i>SIF3HL</i> is critical for chilling stress tolerance                            | 附件 7.13 |
| 13 | 论文合著 | 战祥强(2), 胡体旭(4)                          | 2016-2021 | A tomato dynein light chain gene <i>SILC6D</i> is a negative regulator of chilling stress   | 附件 7.15 |
| 14 | 论文合著 | 梁燕(1), 张飞(3), 黎玉顺(15)                   | 2014-2021 | Overexpression of a mitogen-activated protein kinase <i>SIMAPK3</i> positively regulates tomato tolerance to cadmium and drought stress | 附件 7.18 |
| 15 | 论文合著 | 梁燕(1), 战祥强(2), 祁世明(5), 程国亭(11), 黎玉顺(15) | 2016-2021 | <i>SICCD1A</i> enhances the aroma quality of tomato fruits by promoting the synthesis of carotenoid-derived volatiles                   | 附件 7.20 |
| 16 | 论文合著 | 梁燕(1), 刘婧仪(10)                          | 2010-2021 | 5 种不同果色樱桃番茄品种果实挥发性物质及品质特性分析   | 附件 7.22 |
| 17 | 论文合著 | 梁燕(1), 张飞(3), 程国亭(11)                   | 2010-2021 | Comparing the flavor characteristics of 71 tomato ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) accessions in central Shaanxi                         | 附件 7.23 |
| 18 | 项目合作 | 梁燕(1), 李继纲(8), 刘婧仪(10), 李云洲(13)、吴浪(14)  | 2010-2021 | 主要瓜菜新品种引进与选育研究  | 附件 3.12 |
| 19 | 项目合作 | 梁燕(1), 张飞(3), 李继纲(8)                    | 2016-2021 | 番茄杂种优势利用技术与强优势杂交种创制   | 附件 3.13 |
| 20 | 项目合作 | 梁燕(1), 何深(6), 赵军贤(7), 陈满盈(9)            | 2017-2021 | 陕西省番茄商业化育种联合体系  | 附件 3.14 |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目由西北农林科技大学、西安海纳森农业科技有限公司（前身为西安秦杰农业科技有限公司）、西安市蕃茄研究所、西安桑农种业有限公司 4 家产学研结合的番茄产业创新体系（陕西省番茄商业化育种联合体系）联合申报。

第 1 完成人梁燕和第 2 完成人战祥强、第 3 完成人张飞、第 4 完成人胡体旭、第 5 完成人祁世明、第 8 完成人李继纲、第 10 完成人刘婧仪、第 11 完成人程国亭、第 12 完成人李翠、第 13 完成人李云洲、第 14 完成人吴浪和第 15 完成人黎玉顺属于西北农林科技大学园艺学院番茄生物技术与遗传改良研究团队，其中梁燕是团队负责人，祁世明、刘婧仪、程国亭、李翠、李云洲、吴浪和黎玉顺在项目执行过程中为在校研究生或博士后，其余为在职科研人员，十二位完成人均从事番茄新品种选育和栽培技术研究。在第 1 完成人梁燕的组织下，共同合作开展了“高产抗逆专用番茄新品种选育”、“主要瓜菜新品种引进与选育研究”、“番茄杂种优势利用技术与强优势杂交种创制”、“茄果类蔬菜抗性种质资源创制与新品种选育”等项目研究，共同开展番茄品种选育和配套育种与高效栽培技术研究，协作进行育种试验、技术培训和良种示范推广工作，获得显著效益。梁燕与战祥强、张飞、胡体旭、李继纲共同进行了番茄综合抗性鉴定及果实品质鉴定等技术开发，实施了番茄抗逆、品质相关 *SIF3HL*、*SILC6D*、*SIMYB33*、*SICCD1A* 和 *SI5R-1* 等基因功能研究并合作发表相关论文 10 篇。梁燕指导祁世明、刘婧仪、程国亭、李翠、李云洲、吴浪和黎玉顺并共同进行了番茄斑萎病毒病人工接种 TSWV 抗性鉴定等技术研发和新抗性 QTL 与基因 *SI5R-1* 功能研究，共同进行了番茄花发育和萼片形态鉴定标准的技术开发，研究了番茄果实颜色的遗传规律，共同开展了番茄斑萎病抗性、抗逆性和 *SIMYB33*、*SICCD1A* 和 *SI5R-1* 等番茄花器官发育相关基因功能等研究工作并合作发表相关论文 12 篇、授权国家专利 1 项。

第 1 完成人梁燕和第 6 完成人何深、第 7 完成人赵军贤、第 9 完成人陈满盈建立了长期稳定的合作关系，协作开展科企联合商业化育种，合作育成了本项目涉及的优质多抗系列番茄新品种 8 个，满足了不同生态区、茬口和不同栽培模式的需求，已先后通过陕西省和国家新品种鉴定和成果登记。四位完成人分别代表四家完成单位，于 2017-2021 年承担和实施了陕西省农业农村厅、财政厅现代农作物种业发展项目——陕西省番茄商业化育种联合体系，建立了由高校、骨干企业和基地构成的番茄“育、繁、推”创新技术体系，进行新品种的繁育和大规模推广应用，获得显著效益。

## 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

王跃进

一、项目名称：无核葡萄胚败育机理解析与无核新种质创制

二、提名单位：杨凌农业高新技术产业技术示范区管委会

无核性状是国际鲜食葡萄重要的育种目标。我国是鲜食葡萄面积和产量均居世界第一位。长期以来，由于胚败育机理研究滞后、胚挽救育种效率低等问题，造成我国无核品种选育滞后于欧美等发达国家，鲜食无核品种以引进为主。因此选育具有自主知识产权的无核葡萄品种是解决我国鲜食葡萄可持续发展的关键科学与产业问题。本成果在国家自然科学基金、国家葡萄产业技术体系等项目资助下，以胚败育型葡萄无核育种为主攻对象，围绕无核葡萄胚败育机理与无核性状形成分子机制、育种技术创新、新材料创制等开展了系统研究，为创制优质无核品种选育提供了新思路，取得了一系列创新性成果。

阐明了无核葡萄胚败育分子机理，发现了种皮基因与胚乳基因协同表达是种子败育型葡萄形成无核性状的本质；揭示了胚败育型葡萄无核性状关键基因功能，为无核葡萄新种质创制提供了重要理论依据与基因资源。开发了精准鉴定葡萄无核性状分子标记，建立了‘无核白’葡萄稳定遗传转化和基因编辑体系，为分子技术精准培育无核葡萄新种质提供了技术支撑。明确了无核葡萄胚败育时间，建立了高效的无核葡萄胚挽救育种技术体系，创制了一批无核葡萄新种质，为无核葡萄新品种选育奠定了基础。

项目成果在 *Plant Biotechnology Journal*、*Horticulture Research*、*Planta*、中国农业科学等植物科学领域知名期刊发表论文 54 篇，被引用 901 次，他引 737 次，获批国家发明专利 1 件，申请国家发明专利 1 件。葡萄无核葡萄挽救技术体系、无核白葡萄遗传转化和 CRISPR/Cas9 基因编辑成果被国内外知名学者如美国明尼苏达大学 Clark 教授，阿根廷门多萨农业生物研究所 Lijavetzky 教授，南非西北大学 Doleza 教授，以色列观赏植物和农业生物技术部门 Oren-Shamir 教授和南京林业大学、华南农业大学、上海农科院等多个单位团队多次引用项目成果。项目成果培养博士研究生 13 人、硕士研究生 40 人，1 人获中国“互联网”+大学生创新创业大赛总决赛金奖。

同意推荐申报陕西省自然科学二等奖。

### 三、项目简介：

无核性状是国际鲜食葡萄的重要研究方向和育种目标。我国是鲜食葡萄面积和产量均居世界第一位。长期以来，由于胚败育机理研究滞后、胚挽救育种效率低等问题，造成我国无核品种选育滞后于欧美等发达国家，鲜食无核品种以引进为主。因此选育具有自主知识产权的无核葡萄品种是解决我国鲜食葡萄可持续发展的关键科学与产业问题。本项目在国家自然科学基金、国家葡萄产业技术体系等项目资助下，以胚败育型葡萄无核育种为主攻对象，围绕无核性状形成分子机理、育种技术创新、新材料创制等方面开展了系统研究，取得了一系列创新性成果，为创制优质无核品种难题提供了新思路。

**发现点一：**阐明了无核葡萄胚败育分子机理，揭示了胚败育型葡萄无核性状关键基因功能，为无核葡萄新种质创制提供了重要理论依据与基因资源。发掘了在胚珠中特异表达与胚败育有关的基因 6 个 *VvASN*，*VvGS*，*VvCOL5*，*VvABCG20*，*VvβVPE*，*VvMC1-VvMC6*，为研究葡萄胚败育机理提供了重要候选基因。首次发现了葡萄种皮基因 *VviAGL11* 与胚乳发育基因 *VvFIS2*、*VvPHERES1* 和 *VvIKU2* 在葡萄胚败育过程中的共同表达造成胚败育的无核性状及其调控的关键基因，发现了依赖水杨酸合成和信号途径基因 *EDS1*、*NDR1* 和 *VviSID2* 的表达量在无核白胚珠中高表达，转录因子 *WRKY3*、*WRKY6*、*WRKY30* 和 *WRKY52* 在无核白的种子败育过程中高表达网络。揭示了 *VvHDZ28* 转录因子基因在葡萄胚败育过程中反馈调节水杨酸合成的表观遗传学调控机理以及 *VvHDZ28* 在假单性结实无核葡萄种子败育过程中的功能。

**发现点二：**从表型、组织解剖结构观察、内源激素和调控基因等方面揭示解析葡萄‘无核白’种子败育过程。以种子败育型葡萄作母本，从开花后 37 天种皮的颜色变褐，在开花后 38~42 天出现大量较小的胚珠种皮变褐和皱缩现象。内源 (*GA3+IAA*)/*ABA* 含量比率从开花后 34 天持续降低，*ZR/ABA* 含量比率在开花后 36 天开始下降。组织解剖结构观察从开花后 32~42 天，无核白的胚囊均发生不同程度的皱缩，同时内、外种皮分离，胚乳细胞减少，并逐渐退化；且同一时期，红宝石无核发育的胚比无核白的大。分析 *GA* 和 *ABA* 合成和信号途径相关基因，其中从开花后 30~45 天，赤霉素合成基因 *GA2ox-3* 和 *GA3ox-1* 的表达量下降，脱落酸信号基因 *SnRK2.1* 和 *SnRK2.2* 的表达量上升。

**发现点三：**开发了精准鉴定葡萄无核性状分子标记，建立了‘无核白’葡萄稳定遗传转化和基因编辑体系，为分子技术精准培育无核葡萄新种质提了技术支撑。开发了 VviAGL11-KASP 无核分子标记，能够 100%准确鉴定纯合基因型的 (A:A) 无核基因性材料和葡萄杂交后代无核株系，提高了杂交亲本选择和早期选择育种效率。创建了‘无核白’葡萄的稳定遗传转化和基因编辑体系，为分子育种创制无核葡萄新种质提供技术支撑。

**发现点四：**明确了无核葡萄胚败育时间，建立了高效的无核葡萄胚挽救育种技术体系，创制了一批无核葡萄新种质，为无核葡萄新品种选育奠定了基础。完成 209 个杂交组合育种，确定了无核葡萄胚挽救的取样时间在果实发育 E-L-35 阶段前 2-3 天进行。筛选出了胚珠粒离体培养、胚萌发培养、成苗快繁基本培养基，明确了培养基中添加外源植物激素、氨基酸、多胺等提高挽救效率的作用，创新了无核葡萄胚挽救技术体系。创制胚挽救杂种材料 4000 余株，筛选优系 80 余个，已选育葡萄新品种 6 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）**

项目成果在 Plant Biotechnology Journal、Horticulture Research、Planta、中国农业科学等植物科学领域知名期刊发表论文 54 篇，被引用 901 次，他引 737 次，获批国家发明专利 1 件，申请国家发明专利 1 件。葡萄无核葡萄挽救技术体系、无核白葡萄体胚转基因和 CRISPR/Cas9 基因编辑成果被国内外知名学者如美国明尼苏达大学 Clark 教授，阿根廷门多萨农业生物研究所 Lijavetzky 教授，南非西北大学 Doleza 教授，以色列观赏植物和农业生物技术部门 Oren-Shamir 教授和南京林业大学、华南农业大学、上海农科院等多个单位团队多次引用项目成果。项目成果支撑完成人入选教育部“新世纪优秀人才支持计划”，获宝钢优秀教师奖。培养博士研究生 13 人、硕士研究生 40 人，1 人获中国“互联网”+大学生创新创业大赛总决赛金奖。

#### **五、应用情况**

项目组创制胚挽救杂种材料 4000 余株，筛选优系 80 余个，获得无核优株已选育无核葡萄新品种‘翡翠无核’、‘秦红一号’、‘秦红二号’、‘秦红六号’、‘秦红十号’、‘秦香无核’6 个，具有很好的育种亲本和推广应用价值。

通过项目创立的葡萄无核胚挽救育种及分子标记辅助选择技术,被国内多家单位使用并用于无核葡萄新种质的创制。新疆鄯善瓜果研究中心、石河子农业科学院葡萄研究所新疆生产建设兵团第十三师农业科学研究所、北京市农林科学院、郑州果树所、上海农科院等育种单位应用项目组胚挽救技术选育出了‘沪培 1 号’、‘沪培 2 号’、‘申爱’等无核葡萄新品种。极大的促进了国内外无核葡萄新种质创制与新品种的选育。

创建的无核葡萄胚挽救育种技术、无核白葡萄转基因以及基因编辑技术等成果。意大利马尔凯理工大学使用我们的体胚二次诱导技术,诱导了基因型 Ancellotta Lambrusco Salamino, Glera 和 110 Richter 的二次体细胞胚胎的发生。美国明尼苏达大学 Clark 教授多次引用使用项目组建立的胚挽救技术并创制了一系列无核葡萄新种质。中国科学院植物研究所王利军团队使用该遗传转化体系获得过表 VvWRKY8 基因的转基因株系,相关文章发表在国际顶级植物期刊 The Plant cell。

#### 六、主要知识产权和标准规范目录(发明奖和进步奖填写,限 10 条)

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称                 | 国家(地区) | 授权号              | 授权日期       | 证书编号   | 权利人      | 发明人                    |
|----|--------|--------------------------|--------|------------------|------------|--------|----------|------------------------|
| 1  | 发明专利   | 利用胚挽救获得三倍体葡萄及倍性早期鉴定的育种方法 | 中国     | ZL200810018277.1 | 2008-05-23 | 946868 | 西北农林科技大学 | 王跃进, 石艳, 张朝红, 唐冬梅, 张宗勤 |

#### 七、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)

##### (一)代表性论文

1. Zhiqian Li, Yuntong Jiao, Chen Zhang, Mengru Dou, Kai Weng, Yuejin Wang\*, Yan Xu\*. VvHDZ28 positively regulate salicylic acid biosynthesis during seed abortion in Thompson Seedless. *Plant Biotechnology Journal*, 2021, 19:1824-1838.

2. Shasha Li, Xiangyu Geng, Shuo Chen, Keke Liu, Saisai Yu, Xiping Wang, Chaohong Zhang, Jianxia Zhang, Yingqiang Wen, Qiangwei Luo, Yan Xu\*, Yuejin Wang\*. The co-expression of genes involved in seed coat and endosperm development promotes seed abortion in grapevine. *Planta*, 2021, 254 (87):1-16.

3. Li Shasha, Liu Keke, Yu Saisai, Jia Shanshan, Chen Shuo, Fu Yuheng, Sun Feng, Luo Qiangwei, Wang Yuejin. The process of embryo abortion of stenospermocarpic grape and it develops into plantlet in vitro using embryo rescue. *Plant Cell, Tissue and Organ*



Culture, 2020, 143:389-409.

4. Mengyuan Li, Yuntong Jiao, Yuting Wang, Na Zhang, Bianbian Wang, Ruiqi Liu, Xiao Yin, Yan Xu\*, Guotian Liu\*. CRISPR/Cas9-mediated VvPR4 Editing Decreases Downy Mildew Resistance in Grapevine (*Vitis Vinifera*. L). Horticulture Research, 2020, 7:149.

5. Shengyi Wang, Yihe Yu, Chaohong Zhang, Weirong Xu, Yuejin Wang,\* Molecular cloning and characterization of a novel gene encoding an EF-hand calcium-binding

protein related to fruit seedlessness of grapevine. Scientia Horticulturae, 2011, 130,708-714.

## (二) 代表性专著

《园艺分子生物学实验技术》，王跃进等主编，2022年9月，科学出版社。

《葡萄分子生物学》，徐炎副主编，2014年5月，科学出版社。

《葡萄遗传育种与基因组学》，徐炎参编，2014年10月，江苏科学技术出版社。

## 八、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献   |
|-----|----|---------|-----------|---|
| 王跃进 | 1  | 教授      | 西北农林科技大学  | 主导设计指导并实施成果涵盖的所有内容。阐明了无核葡萄败育机理；开发了一个准确鉴别葡萄无核性状的 KASP 分子标记；建立并优化了了‘无核白’葡萄稳定遗传转化体系和基因编辑体系；筛选出适合胚挽救育种的亲本材料，确定不同杂交组合胚败育时间，优化完善培养基配方，建立了高效的无核葡萄胚挽救技术体系，创制了一批无核葡萄新种质材料，选育了无核新品种，为无核葡萄新品种选育提供基础。 |
| 徐炎  | 2  | 教授      | 西北农林科技大学  | 优化了胚挽救培养基配方，参与建立了高效的无核葡萄胚挽救技术体系，创制了一批无核葡萄新种质材料，为无核葡萄新品种选育提供基础。  |
| 张朝红 | 3  | 教授      | 西北农林科技大学  | 参与并开展了无核葡萄败育机理的研究，拓展了植物胚败育机制，为无核葡萄新种质创制提供了重要基因资源  |
| 刘国甜 | 4  | 副教授     | 西北农林科技大学  | 参与葡萄无核性状的 SNP 分子标记的开发，优化了‘无核白’葡萄遗传转化体系并建立了‘无核白’CRISPR 基因编辑体系，为实现分子技术精准培育无核葡萄新种质提供理论依据和技术支持。   |
| 李志谦 | 5  | 副教授     | 河南农业大学    | 参与了无核葡萄胚败育机理和新种质的创制研究，创制了一批无核葡萄新种质材料。   |

|     |   |           |                             |                                      |
|-----|---|-----------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 李莎莎 | 6 | 助理研<br>究院 | 西安植物<br>园(陕西省<br>植物研究<br>所) | 参与了无核葡萄种子发育机理和胚挽救技术挽救,创制了一批新的无核种质材料。 |
|-----|---|-----------|-----------------------------|--------------------------------------|

**九、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  | 首次发现了葡萄种皮基因 VviAGL11 与胚乳发育基因 VvFIS2、VvPHERES1 和 VvIKU2 在葡萄胚败育过程中的共同表达造成胚败育的无核性状,以及增强胚败育的水杨酸信号的转录因子调控关键基因,从表型、组织解剖结构观察、内源激素水平变化和调控基因等方面揭示解析葡萄‘无核白’种子败育过程。阐明了无核葡萄胚败育分子机理;揭示了胚败育型葡萄无核性状关键基因功能,为无核葡萄新种质创制提供了重要理论依据与基因资源。开发了精准鉴定葡萄无核性状分子标记,建立了‘无核白’葡萄稳定遗传转化和基因编辑体系,为分子技术精准培育无核葡萄新种质提了技术支撑。明确了无核葡萄胚败育时间,建立了高效的无核葡萄胚挽救育种技术体系,创制了一批无核葡萄新种质,为无核葡萄新品种选育奠定了基础。项目成果在 Plant Biotechnology Journal、Horticulture Research、planta、中国农业科学等植物科学领域知名期刊发表论文 54 篇,被引用 901 次,他引 737 次,获批国家发明专利 1 件,申请国家发明专利 1 件。葡萄无核葡萄挽救技术体系、无核白葡萄遗传转化和 CRISPR/Cas9 基因编辑成果被国内外知名学者如美国明尼苏达大学 Clark 教授,阿根廷门多萨农业生物研究所 Lijavetzky 教授,南非西北大学 Doleza 教授,以色列观赏植物和农业生物技术部门 Oren-Shamir 教授和南京林业大学、华南农业大学、上海农科院等多个单位团队多次引用项目成果。项目成果培养博士研究生 13 人、硕士研究生 40 人, 1 人获中国“互联网”+大学生创新创业大赛总决赛金奖。 |

|               |                             |  |
|---------------|-----------------------------|--|
| <p>河南农业大学</p> | <p>2</p>                    | <p>揭示了 VvHDZ28 转录因子基因在葡萄胚败育过程中反馈调节水杨酸合成的表观遗传学调控机理。发现了胚败育型无核葡萄果实无核形成的新机理,丰富了无核葡萄胚败育调控网络以及表观遗传学基础,为无核葡萄育种提供了有应用潜力的功能基因和新方向。</p>  |
| <p>3</p>      | <p>西安植物园<br/>(陕西省植物研究所)</p> | <p>解析了葡萄胚败育过程种皮-胚乳关键基因的表达以及激素调控网络。分析了葡萄无核果实发育的种皮发育基因 VvAGL11 和胚乳发育基因 VvSEED2(FIS2)、VvPHERESE1 和 VvHAIKU2 (IKU2) 的共同表达。与有核葡萄相比,无核葡萄无核白果实中 VvAGL11、VvFIS2、VvPHERESE1 和 VvIKU2 的转录水平均下降。揭示了种皮和胚乳发育相关基因、SA、GA3 合成和代谢基因的共同表达促进了无核葡萄的种子败育调控网络。</p> |

## 十、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   | 合作发表论文 | 王跃进、徐炎/1、2  | 2021       | 代表性论文 1,2 | 发表论文 |
| 2   | 合作发表论文 | 王跃进、李志谦/1、5 | 2021       | 代表性论文 1   | 发表论文 |
| 3   | 合作发表论文 | 王跃进、张朝红/1、3 | 2011, 2021 | 代表性论文 2,5 | 发表论文 |
| 4   | 合作发表论文 | 徐炎、刘国甜/2、4  | 2020       | 代表性论文 4   | 发表论文 |
| 5   | 合作发表论文 | 王跃进、李莎莎/1、6 | 2020,2021  | 代表性论文 2,3 | 发表论文 |
| 6   | 合作发明专利 | 王跃进、张朝红/1、3 | 2008       | 授权国家发明专利  | 发明专利 |
| <p style="text-align: center;"><b>完成人合作关系说明（限 1000 字）</b></p> <p>发现点一：阐明了无核葡萄胚败育分子机理，揭示了胚败育型葡萄无核性状关键基因功能，为无核葡萄新种质创制提供了重要理论依据与基因资源。完成人合作发表代表论 1，2。</p> <p>（1）鉴定了一批与葡萄胚败育有关的关键基因。</p> <p>明确了 VvASN, VvGS, VvCOL5, VvABCG20 与无核葡萄种子发育以及胚败育有关，揭示了 Vv<math>\beta</math> VPE, VvMC1-VvMC6 通过细胞程序化死亡调控胚败育进程，为创制无核葡萄新材料提供了重要的候选基因。</p> <p>（2）解析了葡萄胚败育过程种皮-胚乳关键基因的表达以及激素调控网络。</p> <p>分析了葡萄无核果实发育的种皮发育基因 VvAGL11 和胚乳发育基因 VvSEED2 (FIS2)、VvPHERESE1 和 VvHAIKU2 (IKU2) 的共同表达。与有核葡萄相比，无核葡萄无核白果实中 VvAGL11、VvFIS2、VvPHERESE1 和 VvIKU2 的转录水平均下降。揭示了种皮和胚乳发育相关基因、SA、GA3 合成和代谢基因的共同表达促进了无核葡萄的种子败育调控网络。</p> <p>（3）揭示了 VvHDZ28 转录因子基因在葡萄胚败育过程中反馈调节水杨酸合成的表观遗传学调控机理。</p> <p>主要科学价值：项目组发现了胚败育型无核葡萄果实无核形成的新机理，丰富了无核葡萄胚败育调控网络以及表观遗传学基础，为无核葡萄育种提供了有应用潜力的功能基因和新方向。</p> <p>发现点二：开发了精准鉴定葡萄无核性状分子标记，建立了‘无核白’葡萄稳定遗传转化和基因编辑体系，为分子技术精准培育无核葡萄新种质提了技术支撑。完成人合作发表代表论 4。</p> <p>（1）开发了 VviAGL11-KASP 无核分子标记，提高鉴定葡萄无核性状筛选鉴定的准确率。</p> <p>（2）率先创建了‘无核白’葡萄的稳定遗传转化和基因编辑体系，为分子育种创制无核葡萄新种质提供技术支撑。</p> <p>主要科学价值：项目组开发了精准的 VviAGL11-KASP 无核性状分子标记，创建了无核白葡萄遗传转化和基因编辑技术体系，为未来无核葡萄分子育种奠定了坚实的基础。</p> <p>发现点三：明确了无核葡萄胚败育时间，建立了高效的无核葡萄胚挽救育种技术体系，创制了一批无核葡萄新种质，为无核葡萄新品种选育奠定了基础。完成人合作发表代表论 3，5。</p> <p>（1）完成 209 个杂交组合育种，确定了无核葡萄胚挽救的取样时间在果实发育 E-L-35 阶段前 2-3 天进行。筛选出在胚珠离体培养的基本培养基为改良 MM3;在胚萌发培养基为 WPM; 在成苗培养和继代培养的培养基有 1/2MS、WPM。证明了培养基中添加外源植物激素、氨基酸、多胺、矿质元素等物质提高育种效率作用，创新了无核葡萄胚挽救技术体系。</p> <p>（2）创制胚挽救杂种材料 4000 余株，筛选优系 80 余个，已选育葡萄新品种 6 个。</p> <p>主要科学价值：项目组建立了完整的无核葡萄胚挽救育种技术体系，提高了无核葡萄育种效率，创制了一批无核葡萄新种质材料，为无核葡萄新品种选育提供了支撑。</p> |        |             |            |           |      |

## 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

吴云锋

一、项目名称：小麦黄化矮缩类病害的致病机理及综合防控技术研究与应用

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

小麦黄化矮缩类病害常年发生于黄淮和北方冬麦区，对小麦的安全生产造成了严重的威胁。由于对该类病害的病原种类、致病机理、流行规律等认知不清，生产上缺乏抗病品种和有效防治药剂等问题，防治工作一直处于盲目被动状态。因此，1998年起项目组通过合作攻关，首次鉴定明确了我国小麦黄化矮缩类病害的病原种类与遗传变异规律，发明了同时诊断该类病害全部病原的快速检测方法，监测了小麦主产区各种病原的发布特征和流行动态；解析了病原致病机理和昆虫传播机制；发现高抗黄矮病新种质并以此作亲本培育出了小麦抗病省审新品种 4 个，研制登记的防控新农药已经大面积应用；建立了黄矮病预测模型和预报方法，制定了我国《小麦抗黄矮病评价技术规范》农业行业标准和《小麦黄矮病防治技术》省级标准。解决了病原检测、病情预测预报、抗病品种和防控药剂缺乏等核心技术瓶颈并取得技术突破。项目成果经过多年示范推广应用，有效控制了该类病害在我国大范围的爆发流行并取得了巨大的经济社会效益，提升了我国该类病害理论研究和防控技术水平及国际地位。经科技成果评价，专家组一致认为该成果总体达到同类研究国际领先水平。提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

三、项目简介：

我国是世界小麦第一大生产国，被称为“小麦癌症”、“黄色瘟疫”的小麦黄化、矮缩类病害，在西北及黄淮麦区常年发生为害，严重威胁小麦生产。1987 年病害大流行，仅陕西就损失小麦 8.51 万吨；1999 年发病 450 万亩，小麦减产 30%以上；2012 和 2014 年分别在青藏地区成灾。由于对该病害病原种类、流行规律、致病机理认知不清，生产上缺乏抗病品种和防治药剂，为有效控制该病害发生，自 1998 年起，本单位与中国农业科学院植物保护研究所等单位针对以上问题开展联合攻关，取得如下创新性研究成果：

1. 明确了小麦黄化、矮缩类病害的病原种类、群体结构和遗传多样性，依据发生条件建立了病害测报模型。鉴定明确了我国小麦黄化矮缩类病害的主要病原是大麦黄矮病毒（BYDV<sub>s</sub>）、小麦矮缩病毒（WDV）、小麦蓝矮植原体（WBD<sub>p</sub>）等。首次完成了 WBD<sub>p</sub> 全基因组图谱绘制和序列分析，以及 BYDV-GAV、GPV、PAV、WDV

基因组分析。依据病原核心基因序列，建立了一次同时检测 4 种病原的多重 PCR (mPCR) 核酸检测方法，用该方法长期实时监测西北及黄淮麦区病害流行动态。建立了小麦黄化矮缩病害的预测模型，预测病害流行趋势，将预测信息提供给政府主管部门及时发布指导生产统防统治，在小麦黄化矮缩类病害的防治中发挥了巨大作用。

2. 探明了小麦黄化、矮缩类病害的致病机理。发现了 BYDV-GAV 感染后病毒来源的小干扰 RNA (vsiRNA) 抑制了水杨酸 (SA) 的合成，从而抑制了下游抗病通路基因表达，促进了病毒的快速侵染；BYDV-GAV 侵染寄主后阻止叶绿素结合蛋白 (Chla) 合成导致叶片黄化；BYDV-GAV 运动蛋白 (MP) 与小麦赤霉素受体蛋白 DELLA 互作，抑制寄主 GA 途径导致小麦植株矮缩。从 WBDp 基因组中鉴定明确了效应蛋白 SWP1 是引起小麦蓝矮病矮化的致病基因，SWP1 通过与小麦 BRC1 互作引起植株矮化丛枝。鉴定出的病原致病基因为防治药剂研制提供了新靶标。

3. 解析了小麦黄化、矮缩类病害的昆虫传播机制。发现了健康小麦比感染黄矮病毒 GAV 的小麦更吸引蚜虫取食的现象，黄矮病毒借助寄主分泌己烯醛吸引蚜虫取食，病毒感染寄主后再降低己烯醛合成以迫使蚜虫离开病株迁飞到健康小麦进行传毒，解析了 BYDV-GAV 利用蚜虫扩散的“过河拆桥”传毒策略。从麦二叉蚜和禾谷缢管蚜介体分离鉴定出传毒识别关键因子 GroEL 和 P50 蛋白，明确了其参与 BYDVs 在蚜虫介体内的循环途径，解释了麦蚜膜蛋白与 BYDV-GAV 互作是介体传播病毒的根本原因。明确了异沙叶蝉是 WBDp 的专化性传播介体，通过用 WBDp 膜蛋白 IMP 抗体免疫标记，解析了 WBDp 在异沙叶蝉体内的循环传播途径，植原体经叶蝉口针—中肠/后肠—唾液腺途径，随介体唾液分泌物侵入植物引起发病。发现了病原膜蛋白 IMP 通过与微丝蛋白 ( $\alpha$ -Tubulin) 和细胞分裂周期蛋白 (Cdc42) 互作，控制植原体在唾液腺中的繁殖与介体传播专化性。探明了媒介昆虫传播该类病害的分子机制。

4. 培育了抗病品种，创制了抗病毒药物，建立并推广了防控体系，挽回了大量的小麦产量损失。筛选出高抗黄矮病的华山新麦草和 6 个小麦-华山新麦草易位系等抗病种质资源，培育出抗黄矮病新品种 4 个，通过了省级审定，累计推广 1930.8 万亩，增产小麦 38416 万公斤。针对本项目发现的 BYDV 病毒沉默抑制子 P6 和复制酶靶标蛋白，创制了绿色防控药剂甾烯醇微乳剂和云芝糖肽水剂，甾烯醇微乳剂获批农业部新农药登记，结束了此类病害无药可治的局面。制定了我国《小麦抗黄矮病评价技术规范》农业行业标准，规范了全国抗病性鉴定方法。集成了小麦黄化矮缩病害综合防控技术体系，示范推广到陕、甘、晋、豫等病害流行区，近三年累计推广 4000 余万亩。本项目成果应用以来，有效控制了该类病害在我国的大范围暴发流行，累计挽回经济损失 20 余亿元。提升了我国在该病害理论研究和防控技术水平的国际地位。

本成果出版著作 3 部，获得授权国家发明专利 10 余件，农业行业标准 1 件，企业标准 2 件，发表学术论文近 160 余篇，其中 SCI 源刊物 80 余篇，培养研究生 30

余人。

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

该项目委托中国农学会组织专家进行科技成果评价，评价委员会意见如下：

该项目针对小麦黄化矮缩类病害危害严重、防治困难的问题，从病原鉴定与监测、病害流行规律、病毒致病与昆虫传毒机制、抗病种质资源挖掘与抗病育种、防治药物创制与防治规程制度等方面进行了系统深入的研究，取得了重要的研究成果，特色鲜明，总体达到同类研究国际领先水平。

1. 明确了小麦黄化矮缩类病害的病原种类、群体结构和遗传多样性，建立了该类病害病原多重 PCR 检测方法；通过多年监测，建立了适合西北及黄河流域麦区病害流行动态的预测预报模型，为指导病害防治提供了技术支撑。

2. 明确了小麦黄化矮缩病原的致病基因，揭示了寄主的互作靶标蛋白，解析了病害症状形成机制，阐明了小麦黄化、矮缩类病害的致病机理和昆虫介体传毒机制，为病害防治提供了理论依据。

3. 发现了高抗黄矮病的华山新麦草和 6 个小麦-华山新麦草易位系，合作选育了晋麦 90 号等 4 个小麦抗病新品种；针对新发现的 BYDV P6 靶标，创制了绿色防控药剂甾烯醇微乳剂；集成创建了小麦黄化矮缩病害绿色防控技术体系，在生产上大面积应用，取得了显著的经济社会效益。

#### 五、应用情况

小麦黄化、矮缩类病害是我国北方麦区的主要常发病害，尤其在陕西、甘肃、河南、宁夏、山西等冬小麦主产区，极易暴发流行，导致大面积减产甚至绝收。项目组长期联合攻关，建立推广以“种植抗病品种、带药播种（秋播拌种）、治蚜防病、春季打点保面”为核心的全程防控体系。近 3 年推广 4000 余万亩，挽回产量损失及节约用药防治成本等 20 余亿元，取得了明显的生态和社会效益。本项目成果应用以来，有效控制该类病害在我国的大范围暴发流行。另外，本项目研发的甾烯醇制剂，带动企业建成了年产 500 吨生物源农药甾烯醇制剂生产线和 60 吨甾烯醇母药生产线，成为小麦黄化、矮缩类病害绿色防控的主要药物，在小麦病害防控方面销售额为 6000 万元左右。

#### 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条）

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称           | 国家(地区) | 授权号              | 授权日期       | 证书编号   | 权利人      | 发明人     |
|----|--------|--------------------|--------|------------------|------------|--------|----------|---------|
| 1  | 发明专利   | 小麦黄矮病毒的多重 PCR 检测方法 | 中国     | ZL201010267645.3 | 2010-08-31 | 865617 | 西北农林科技大学 | 吴云锋, 杨洋 |

| 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               |
|----|--------|---------------------------|--------|------------------|------------|---------|----------------|-------------------|
| 2  | 发明专利   | 小麦黄矮病毒的多重PCR检测的引物组和试剂盒    | 中国     | ZL201010267642.X | 2010-08-31 | 865967  | 西北农林科技大学       | 吴云锋               |
| 3  | 发明专利   | 小麦矮缩病毒的快速可视化检测方法          | 中国     | ZL201310471143.6 | 2013-10-10 | 1877488 | 西北农林科技大学       | 郝兴安, 赵磊, 王乔春, 吴云锋 |
| 4  | 发明专利   | 大麦黄矮病毒的特异性引物、探针制备及快速检测方法  | 中国     | ZL200510011977.4 | 2006-10-25 | 290014  | 中国农业科学院植物保护研究所 | 刘艳, 王锡锋, 周广和, 李莉  |
| 5  | 发明专利   | 大麦黄矮病毒介体蚜虫体内与传毒有关蛋白基因及其应用 | 中国     | ZL200510066115.1 | 2008-01-09 | 360237  | 中国农业科学院植物保护研究所 | 王锡锋, 李莉, 周广和, 刘艳  |
| 6  | 发明专利   | 一种植物源抗病毒剂, 其制备方法和应用       | 中国     | ZL201210312351.7 | 2012-08-29 | 1437465 | 陕西上格之路生物科学有限公司 | 吴云锋               |
| 7  | 发明专利   | 一种胡萝卜苷化合物作为抗病毒剂的应用        | 中国     | ZL201310463181.7 | 2013-10-08 | 1541694 | 陕西上格之路生物科学有限公司 | 吴云锋, 赵磊           |
| 8  | 发明专利   | 一种含有胡萝卜苷与谷甾醇的抗病毒组合物及抗病毒应用 | 中国     | ZL201310488412.X | 2013-10-18 | 1660434 | 陕西上格之路生物科学有限公司 | 吴云锋, 赵磊           |
| 9  | 发明专利   | 一种含云芝多糖的抗病毒剂及其制备方法        | 中国     | ZL201210108919.3 | 2013-10-09 | 1283547 | 西北农林科技大学       | 安德荣, 牛小义          |
| 10 | 实用新型专利 | 一种特定波长诱虫粘板                | 中国     | ZL201020136219.1 | 2010-11-03 | 1579105 | 西北农林科技大学       | 安德荣               |

六、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)



## 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                                   |
|-----|----|---------|----------------|---|
| 吴云锋 | 1  | 教授、博导   | 西北农林科技大学       | 病样采集与鉴定、病原基因组学分析、昆虫传毒机制、抗病资源筛选、品种抗病性鉴定、防治药剂研制 |
| 王锡锋 | 2  | 研究员、博导  | 中国农业科学院植物保护研究所 | 病原鉴定与品种抗病性鉴定、病原基因组学分析、昆虫传毒机制、抗病资源筛选           |
| 赵磊  | 3  | 副教授、博导  | 西北农林科技大学       | 检测方法研发、致病机理研究与防治药剂研制                          |
| 郝兴安 | 4  | 副教授     | 西北农林科技大学       | 病害流行监测与预测模型研发、品种抗病性鉴定与审定                      |
| 曹亚萍 | 5  | 研究员     | 山西省农业科学院小麦研究所  | 小麦抗黄矮病杂交育种与抗性鉴定                               |
| 史静妮 | 6  | 农艺师     | 陕西省植物保护工作总站    | 绿色防控技术规范制定、田间防治与技术示范、技术培训                     |
| 刘艳  | 7  | 研究员     | 中国农业科学院植物保护研究所 | 病原鉴定与品种抗病性鉴定                                  |
| 吴宽  | 8  | 讲师      | 杨凌职业技术学院       | 防治药剂防治示范                                      |
| 孙丽英 | 9  | 教授、博导   | 西北农林科技大学       | 防治药剂防治示范                                      |
| 安德荣 | 10 | 教授、博导   | 西北农林科技大学       | 品种抗病性鉴定、防治药剂研制                                |
| 魏小社 | 11 | 副站长、农艺师 | 宝鸡市种子工作站       | 小麦黄化矮缩类病害的综合防控技术示范及推广应用                       |
| 乌小瑜 | 12 | 助理工程师   | 陕西上格之路生物科学有限公司 | 抗病毒药物登记                                       |

## 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  | 病害流行监测与预测模型研发、病样采集与鉴定、检测方法研发、病原基因组学分析、昆虫传毒机制、抗病资源筛选、品种抗病性鉴定、防治药剂研制 |
| 中国农业科学院植物保护研究所 | 2  | 病样采集与病原鉴定、检测方法研发、病原基因组学测序与分析、品种抗病性鉴定与昆虫传毒机理等                       |
| 陕西省植物保护工作总站    | 3  | 田间病害调查、绿色防控技术规范制定、防控技术应用示范、技术培训                                    |
| 山西省农业科学院小麦研究所  | 4  | 抗病品种培育、抗病性鉴定与品种审定  |
| 陕西上格之路生物科学有限公司 | 5  | 防治药剂的登记、标准制定、原药生产工艺优化、药剂生产工艺优化与产品检验、田间示范推广                         |

## 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          | 共同知识产权 | 王锡锋/2    | 1999-05-10 | 论文    | 论文 1: 王锡锋, 刘艳, 韩成贵, 吴云锋, 赵中华. 2010. 我国小麦病毒病害发生现状与趋势分析. 植物保护, 36(03):13-19; 论文 2: Wang H, Wu K K, Liu Y, Wu Y F*, Wang X F*. 2015. Integrative proteomics to understand the transmission mechanism of Barley yellow dwarf virus-GPV by its insect vector Rhopalosiphum padi. Scientific Reports, 5:10971  |
| 2          | 共同知识产权 | 赵磊/3     | 2010-09-04 | 论文、专利 | 专利 1: 吴云锋, 赵磊. 一种胡萝卜苷化合物作为抗病毒剂的应用. 国家发明专利. 专利号: ZL201310463181.7; 专利 2: 吴云锋, 赵磊. 一种胡萝卜苷与谷甾醇的抗病毒组合物及抗病毒应用. 国家发明专利. 专利号: ZL201310488412.X; 论文 1: Zhao L, Feng C H, Wu K, Chen W B, Chen Y J, Hao X, Wu Y F*. 2016. Advances and prospects in biogenic substances against plant virus: A review. Pesticide Biochemistry and Physiology, 135:15-26 |
| 3          | 共同知识产权 | 郝兴安/4    | 2005-09-10 | 论文、专利 | 专利 1: 郝兴安, 赵磊, 王乔春, 吴云锋. 小麦矮缩病毒的快速可视化检测方法. 国家发明专利. 专利号: ZL201310471143.6; 论:1: 李蓓, 纪玲玲, 郝兴安, 吴云锋*. 2008. 小麦蓝矮病植原体胸苷酸激酶基因 (tmk) 的分离, 原核表达及酶活性分析. 微生物学报, 48 (6): 739-744   |
| 4          | 共同研究   | 曹亚萍/5    | 2008-09-10 | 品种    | 公益性行业(农业)科研专项: 小麦虫传病毒病防控技术研究与示范 (201303021)  |
| 5          | 共同研究   | 史静妮/6    | 2016-09-10 | 推广应用  | 推广应用小麦黄化矮缩类病害的综合防控技术   |
| 6          | 共同知识产权 | 刘艳/7     | 2008-09-10 | 论文    | 论文 1: 王锡锋, 刘艳, 韩成贵, 吴云锋, 赵中华. 2010. 我国小麦病毒病害发生现状与趋势分析[J]. 植物保护, 36(03):13-19; 论文 2: Wang H, Wu K K, Liu Y, Wu Y F*, Wang X F*. 2015, Integrative proteomics to understand the transmission mechanism of Barley yellow dwarf virus-GPV by its insect vector Rhopalosiphum padi. Scientific Reports, 5:10971                                     |
| 7          | 共同知识产权 | 吴宽/8     | 2016-09-10 | 论文    | 论文 1: 吴宽, 牛永浩, 康克功, 赵磊, 吴云锋. 华山新麦草易位系抗黄矮病的鉴定. 麦类作物学报 2019, 39 (7): 1-4   |
| 8          | 共同知识产权 | 孙丽英/9    | 2015-01-01 | 推广应用  | 论文 1: Wang Nan, Yang Haizhen, Yin Zhiyuan, Liu Wenting, Sun Liying, Wu Yunfeng. Phytoplasma effector SWP1 induces witches' broom symptom by destabilizing the TCP transcription factor BRANCHED1. MOLECULAR PLANT PATHOLOGY (2018) 19(12), 2623-2634   |

|    |                |              |                |            |   |
|----|----------------|--------------|----------------|------------|---|
| 9  | 共同<br>知识<br>产权 | 安 德 荣<br>/10 | 1999-09<br>-10 | 论文         | 论文 1: 曹晶晶, 杨海艳, 谢咸升, 田佳, 吴云锋, 安德荣. 2016, 解淀粉芽胞杆菌对小麦黄花叶病的生物防治. 植物保护学报, 43(04):588-593; 论文 2: 杨海艳, 曹晶晶, 谢咸升, 付强, 吴云锋, 安德荣. 云芝葡聚糖对小麦黄矮病的防治. 植物保护学报, 43(04):594-599 |
| 10 | 共 同<br>研 究     | 魏 小 社<br>/11 | 2010-09<br>-10 | 推 广<br>应 用 | 小麦黄化矮缩类病害的综合防控技术示范及推广应用   |
| 11 | 共 同<br>研 究     | 乌 小 瑜<br>/12 | 2011-09<br>-10 | 药 物<br>登 记 | 农药登记: 甾烯醇制剂和母药的合作登记; 示范推广: 甾烯醇药剂  |

**完成人合作关系说明 (限 1000 字)**

王锡锋研究员是共同立项设计和论文合著者。赵磊、郝兴安、吴宽、安德荣、孙丽英是课题组成员和论文合著者。以上完成人协助完成了小麦黄化矮缩类病害的流行监测、预测模型研发、样品采集与病原鉴定、基因组学分析、病原检测技术开发、致病机理研究、昆虫传毒机理和防治药剂研制等工作, 发表了相关论文, 获得了授权专利。曹亚萍是共同研究者, 采用课题组筛选的抗黄矮病资源, 杂交培育获得了抗病优良品种。史静妮与第一完成人合作完成了小麦黄化矮缩类病害的病害调查诊断、绿色防控技术方案的制定、技术培训、示范推广等工作。魏小社与第一完成人合作完成了小麦黄化矮缩类病害的病害调查诊断、技术培训、示范推广等工作。乌小瑜与第一完成人合作完成了甾烯醇药物的新药登记、标准制定、制剂生产工艺优化与质量检测等工作。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

徐坤

一、项目名称：CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术研发

二、提名者及提名意见

**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**种业是国家战略性、基础性核心产业，对农业的长期稳定发展和粮食安全起着根本性保障作用。习近平总书记强调，要树立大食物观，发展生物科技、生物产业，向植物动物微生物要热量、要蛋白。要加强高校基础性前沿性研究，布局建设前沿科学中心，提升原始创新能力，勇于攻克“卡脖子”的关键核心技术，加强产学研深度融合，促进科技成果快速转化。生物育种被认为是推动“经验育种”向“精确育种”跨越的关键途径。近年来，随着基因编辑技术的开发、发展、完善及广泛应用，育种技术和育种手段发生了重大变化，育种进程加快，育种效率提升，育种精准度提高，世界种业正迎来以基因编辑为基础的分子设计育种时代。如何在生物育种技术上取得突破并掌握国际种业话语权、保障种业安全，已成为当前我国农业生产和发展的战略性问题。

为了建立 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术体系，推动畜禽分子设计育种研究，本项目研究团队十余年来一直致力于 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术的开发和应用研究。研究团队成员由西北农林科技大学、陕西理工大学和华南师范大学相关师生组成，在农业农村部动物生物技术重点实验室和陕西省动物遗传育种与繁殖重点实验室等平台的支撑下，在国家转基因生物新品种培育科技重大专项（2014ZX0801009B，2018ZX0801009B）等项目课题的资助下，经过潜心研发和技术攻关，先后建立了独立自主的源于嗜热链球菌（*S. thermophilus*）的 CRISPR/StCas9 系统、T7-CRISPR/Cas9 系统和 CRISPR/Rad52-Cas9 系统，开发了 CRISPR 模拟组装技术、sgRNA-shRNA 串联表达技术、HDR-SSA 无缝编辑技术、双等位无筛选标记基因编辑技术和基因编辑阳性细胞报告富集筛选技术等配套技术。相关成果申请国家技术发明专利十余项，获批授权五项；发表学术论文四十余篇，五篇代表性研究论文被 Nature Cell Biology、Nature Protocols、Nature Structural & Molecular Biology、Natural Product Reports、Nature Communications、Science Advances、Molecular Therapy 和 Cold Spring Harbor Protocols 等国际著名期刊所载论文累计引用 200 余次（Web of Science）；有力推动了基因编辑技术的发展及在相关领域研究中的应用，展现出了较高的学术价值和应用潜力。

基于此，同意提名项目“CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术研发”参评陕西省科学技术奖（提名奖项及等级：陕西省技术发明奖二等奖）。

### 三、项目简介：

随着 CRISPR/Cas9 系统的开发、改进和衍化，基因编辑技术体系逐步发展和完善，有力地推动了精准医疗和动植分子设计育种等领域的蓬勃发展。本项目研究团队是最早从事 CRISPR/Cas9 基因编辑技术开发的团队之一，2012 年便致力于源嗜热链球菌 II 型 CRISPR 系统的 CRISPR/StCas9 基因编辑系统的开发。十余年来，一直致力于建立独立自主的 CRISPR 动物基因编辑及配套技术体系，以期为我国动物基因编辑育种研究提供强有力的工具套装。相关研究取得了如下创新性成果：

#### （1）CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统开发及优化改进

项目组首先建立了源于嗜热链球菌的 CRISPR/StCas9 系统并成功应用于哺乳动物细胞和酵母基因编辑 (Xu et al. *Cell Mol Life Sci.* 2015, 72(2): 383-99)。在项目组开展本课题研究时，CRISPR/SpCas9 基因编辑系统尚未报道，项目组相关研究完全独立攻关，有着自己的研究思路和优化过程；并创新性地开发了高效的基于单链退火 (single-strand annealing, SSA) 修复机制的酵母基因编辑筛选报告验证系统和哺乳动物细胞基因编辑荧光报告系统，为 CRISPR/Cas9 活性的快速检测和基因编辑阳性细胞的快速富集奠定了基础。为了优化改进 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统，项目组先后开发了：CRISPR 模拟组装技术 (Guo et al. 2015, *Anal Biochem.* 478:131-3) 和 sgRNA-shRNA 串联表达技术 (Yan et al. *Sci Rep.* 2016, 6:38970)，建立了颇具特色的多基因多位点打靶技术平台；T7-CRISPR/Cas9 系统 (获授权发明专利 ZL201610261461.3)，将 T7 启动子和 T7 RNA 聚合酶引入 CRISPR/Cas9 系统，实现了 T7 介导的 sgRNA 强化表达，有效提高了基因编辑效率；新型的 CRISPR/Rad52-Cas9 系统 (Shao et al. *Int J Biochem Cell B.* 2017, 92:43-52)，针对基因编辑中同源指导修复 (homology-directed repair, HDR) 策略效率低的问题，将重组相关因子 Rad52 引入 CRISPR/Cas9 系统，有效提高了其介导的 HDR 精确编辑效率。此外，项目组还开发了增强基因表达的 Gal4/UAS 表达系统 (获授权发明专利 ZL201710381327.1)，为后续开发提高 HDR 效率的 CRISPR/Cas9-Gal4 供体适配基因编辑系统奠定了基础。

#### （2）CRISPR/Cas9 介导的 HDR-SSA 无缝编辑技术

鉴于转基因安全问题备受关注，项目组提出了针对具有重要育种价值的 SNP 位点进行精确编辑使其从野生型向自然存在突变型转变的“SNP 编辑”策略 (Sun et al. *Front Genet.* 2019, 10:347)。然而在基因组“精确编辑”研究中，尚存在着 HDR 重组效率低、阳性细胞克隆筛选难以及筛选标记基因再删除难等问题。项目组针对性地

设计并开发了 HDR-SSA 两步法“无缝编辑”技术(获授权专利 ZL201610333062.3; *Li et al. FEBS J. 2018, 285(18):3362-3375*)。该 HDR-SSA 无缝编辑系统包括: 1 个含有 HDR/SSA 同源臂和 TPG (TK-Puro<sup>r</sup>-eGFP) 筛选标记组件的供体载体 HDR/SSA-TPG; 2 个 CRISPR/Cas9 表达载体。工作原理是: 第一步通过 sgRNA/Cas9 剪切目标基因位点, 介导 HDR/SSA-TPG 供体的 HDR 整合, 并通过同源臂引入目的突变, 通过 Puro<sup>r</sup>-eGFP 报告基因筛选抗性细胞克隆; 第二步通过另一个 sgRNA/Cas9 剪切 SSA 臂内侧、筛选标记基因组件 TPG 外侧靶序列, 通过 SSA 机制介导精确、“无缝”的筛选标记组件再删除, 并通过 TK 自杀基因负向筛选相应的细胞克隆; 最终实现无筛选标记的“无缝”编辑。

### (3) CRISPR/Cas9 介导的双等位基因编辑技术

针对哺乳动物同源染色体“双等位”(bi-allelic) 基因编辑效率低和阳性细胞筛选困难的问题, 项目组开发了 Rep/Don (Surrogate reporter-integrated donor, Rep/Don) 双等位打靶技术(获授权发明专利 ZL201610703246.4; *Wu Yun, et al., FEBS Lett. 2017, 591(6):903-913*), 该技术利用双 Rep/Don 供体配合 CRISPR/Cas9 系统实现了高效的外源基因双等位敲入, 相关专利已经成功转让给国内异种器官异种领跑者--成都中科奥格生物科技有限公司。随后, 项目组在前期一系列相关研究的基础上, 优化、完善了双等位基因编辑技术平台, 开发新型双等位无缝编辑系统、双等位基因敲除系统、双等位基因敲入系统和双等位基因替换系统; 进而建立安全高效的猪、羊和鸡体细胞双等位基因编辑技术体系。

### (4) CRISPR/Cas9 基因编辑阳性细胞富集筛选技术

为了提高基因编辑阳性细胞的获得效率, 开发了系列基因编辑阳性细胞代理报告(surrogate reporter) 富集筛选技术。项目组首先开发了基于非同源末端链接(non-homologous end-joining, NHEJ) 和 SSA 修复机制的 RPG (DsRed-Puro<sup>r</sup>-eGFP) 报告富集筛选技术, 经对比分析 SSA-RPG 具有更高的灵敏度和基因编辑阳性细胞富集效率(*Ren et al. Cell Mol Life Sci, 2015, 72(14):2763-72*)。随后, 项目组陆续开发了基于 HDR 机制的特异性富集 HDR 基因编辑阳性细胞的可视化报告系统(获授权发明专利 ZL201611020358.6; *Shao et al. Int J Biochem Cell B. 2017, 92:43-52*) 和通用型报告系统(获授权发明专利 ZL201910244538.X; *Yan et al. Mol Ther Nucleic Acids, 2020, 19:775-789*), 最终建立了完善的动物基因编辑阳性细胞富集筛选技术体系(*Ren et al. Trends Biotechnol. 2019, 37(1):56-71*)。

综上所述, 本项目围绕 CRISPR/Cas9 系统, 进行了一系列创新性的开发、优化及拓展应用研究, 建立了相对完善的 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术体系, 具有较高的学术价值和应用潜力, 为后续畜禽分子设计育种应用研究提供了强有力的基因编辑工具套装。

#### 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）2018年5月10日，农业部科技发展中心组织有关专家在成都对西北农林科技大学承担的转基因生物新品种培育科技重大专项重点课题“CRISPR-Cas9介导的转基因猪新技术研究（2014ZX0801009B）”进行了验收。技术评议结论为：该课题建立了源于嗜热链球菌的CRISPR/Cas9转基因技术平台；获得阳性细胞筛选系统1个；获得基因定点敲除供体载体系统1个；获得猪多基因共敲除CRISPR/Cas9载体1个；获得猪IGF-2基因定点修饰载体1个；获得PERV-A位点定点敲入FNDC5基因载体1个；申请CRISPR/Cas9转基因技术相关国家发明专利5项；培养博士研究生6名，硕士研究生6名。

（2）2020年12月13日，农业农村部科技发展中心组织有关专家在北京对西北农林科技大学承担的转基因生物新品种培育科技重大专项重点课题“CRISPR/Cas9介导的新型双等位无筛选标记转基因技术（2018ZX0801009B）”进行了验收，该课题技术评议分为81.1，通过了一次性综合绩效评价。该课题完成的主要技术和任务指标包括：先后优化完善了双等位打靶技术平台，开发了双等位的“无缝编辑”系统，并初步建立了猪、羊和鸡体细胞双等位无筛选标记转基因技术体系。课题相关研究先后支撑硕、博士毕业论文10篇，培养博士毕业生6名、硕士毕业生4名；相关成果累计申请技术发明专利7项，其中已获批授权1项。

（3）项目组于2012年开始从事CRISPR/Cas9技术的开发和优化工作，建立了独立自主的源于嗜热链球菌CRISPR/StCas9系统（*Xu et al. Cell Mol Life Sci. 2015, 72(2): 383-99*）。相关论文发表后，被“全球医药发现”（Global Medical Discovery, <https://globalmedicaldiscovery.com/>）评为Key scientific article，相继被Natural Product Reports、Trends in Biotechnology、Molecular Plant、Nucleic Acids Research、Molecular Therapy、Metabolic Engineering、CRISPR Journal 和 Cold Spring Harbor Protocols 等期刊论文引用68次（Web of Science）。

在提高基因编辑效率方面，项目组将重组相关因子Rad52引入CRISPR/Cas9系统，开发了新型的CRISPR/Rad52-Cas9系统（*Shao et al. Int J Biochem Cell B. 2017, 92:43-52*），有效提高了其介导的HDR精确编辑效率。相关论文发表后被Nature Cell Biology、Nature Structural & Molecular Biology、Molecular Cell、Nature Communications、Trends in Biotechnology、Science Advances、Nucleic Acids Research 和 Molecular Therapy 等期刊论文引用60次（Web of Science）。

在基因编辑阳性细胞筛选方面，项目组开发了RPG报告富集筛选技术，借助于SSA-RPG报告策略能够实现高效的基因编辑阳性细胞筛选（*Ren et al. Cell Mol Life Sci, 2015, 72(14):2763-72*）。相关论文发表后被Science advances、Nature Protocols、Nucleic Acids Research、Cellular and Molecular Life Sciences、Journal of Biological Chemistry

和 *Molecular Therapy-Nucleic Acids* 等期刊论文引用 39 次 (Web of Science)。其中, pNHEJ-RPG 和 pSSA-RPG 载体被国际最大载体共享平台 Addgene 索取收录 ([https://www.addgene.org/Zhiying\\_Zhang/](https://www.addgene.org/Zhiying_Zhang/))。项目组成员应邀在国际知名期刊 *Trends in Biotechnology* 发表相关综述论文 (*Ren et al. Trends Biotechnol. 2019, 37(1):56-71*)。

此外, 项目组开发的 HDR/SSA 两步法“无缝编辑”技术相关论文 (Li et al. *FEBS J.* 2018, 285(18):3362-3375) 发表后被该编辑部选为 Editor's Choice 文章, 入选 Chinese New Year 2020 和 Gene Editing: The Nobel Prize in Chemistry 2020 专辑, 先后被 *Nature Cell Biology*、*FEBS Journal*、*Biotechnology Journal* 和 *Journal of Biotechnology* 等期刊论文引用。

## 五、应用情况

本项目 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术体系的建立, 丰富了动物基因编辑工具箱, 有效推动了基因编辑技术在畜禽分子设计育种中的应用。相关研究成果申报国家发明专利 11 项, 其中获批授权 6 项, 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”被国内异种器官异种领跑者--成都中科奥格生物科技有限公司转化应用。五篇代表性研究论文被 *Nature Cell Biology*、*Nature Protocols*、*Nature Structural & Molecular Biology*、*Natural Product Reports*、*Nature Communications*、*Science Advances*、*Trends in Biotechnology*、*Nucleic Acids Research*、*Molecular Therapy* 和 *Cold Spring Harbor Protocols* 等国际著名期刊所刊发的论文累计引用 200 余次 (Web of Science)。相关研究成果中, 基于 SSA 修复机制的荧光报告系统 (*Xu et al. Cell Mol Life Sci. 2015, 72(2): 383-99*) 和 SSA-RPG 基因编辑阳性细胞报告富集筛选系统 (*Ren et al. Cell Mol Life Sci, 2015, 72(14):276 3-72*) 在基因编辑工具开发和应用研究中被广泛应用, pNHEJ-RPG 和 pSSA-RPG 载体被国际最大载体共享平台 Addgene 索取收录, 对全球同行开放共享; HDR 通用型报告富集筛选系统 HDR-USR (获批授权发明专利 ZL201910244538.X; *Yan et al. Mol Ther Nucleic Acids, 2020, 19:775-789*) 被美国著名公立研究型大学堪萨斯大学 (University of Kansas)、美国著名癌症研究中心天普大学 (Temple University) 医学院福克斯·蔡斯癌症中心 (Fox Chase Cancer Center)、德国著名研究所伊夫莱布尼茨环境医学研究所 (IUF-Leibniz Research Institute for Environmental Medicine)、英国著名研究型大学埃克塞特大学 (University of Exeter) 和爱丁堡大学 (University of Edinburgh) 以及国内中科院、军科院等科学研究机构相关研究者所关注并写信索取。总之, 本项目相关研究成果有力推动了基因编辑技术的发展及在相关领域研究中的应用, 展现出了较高的学术价值和应用潜力。



## 六、主要知识产权和标准规范目录

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称                                 | 国家(地区) | 授权号              | 授权日期       | 证书编号    | 权利人            | 发明人                                       |
|----|--------|--|--------|------------------|------------|---------|----------------|---|
| 1  | 发明专利   | 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 | 3805693 | 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; 李欣懿; 张晓兰     |
| 2  | 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     | ZL201610703246.4 | 2019/10/8  | 3549404 | 成都中科奥格生物科技有限公司 | 张智英; 吴芸; 徐坤; 白义春; 吕慧娇                     |
| 3  | 发明专利   | 基于人工核酸酶的可视化细胞修复效率报告系统及其建立方法              | 中国     | ZL201611020358.6 | 2020/04/21 | 3766384 | 西北农林科技大学       | 张智英; 邵斯旻; 徐坤; 韩芙蓉; 沈俊岑; 白义春               |
| 4  | 发明专利   | 一种利用 CRISPR/Cas9 技术基于 SSA 修复的基因无缝编辑方法    | 中国     | ZL201610333062.3 | 2019/10/11 | 3554654 | 西北农林科技大学       | 张智英; 白义春; 徐坤; 魏泽辉; 和林洁; 任充华; 邵斯旻; 吴芸; 刘中天 |
| 5  | 发明专利   | 用于富集 CRISPR/Cas9 介导的同源重组修复细胞的筛选报告载体及筛选方法 | 中国     | ZL201910244538.X | 2020/12/01 | 4123782 | 西北农林科技大学       | 张智英; 闫娜娜; 孙永森; 徐坤; 房圆圆; 邓竞荣; 穆璐           |
| 6  | 发明专利   | 一种 T7 RNA 聚合酶介导的 CRISPR/Cas9 基因编辑系统的构建方法 | 中国     | ZL201610261461.3 | 2019/10/11 | 3554648 | 西北农林科技大学       | 张智英; 邢佳妮; 闫强; 徐坤                          |

## 代表性论文专著目录

| 序号 | 代表性论文专著序号 | 论文专著名称/作者   | 刊名   | 发表时间(年月日)  |
|----|-----------|---|--|------------|
| 1  | 代表性论文 1   | Efficient genome engineering in eukaryotes using Cas9 from <i>Streptococcus thermophilus</i> .<br><i>Xu Kun, Ren Chonghua, Liu Zhongtian, Zhang Tao, Zhang Tingting, Li Duo, Wang Ling, Yan Qiang, Guo Lijun, Shen Juncen, Zhang Zhiying</i>            | Cellular and Molecular Life Sciences                   | 2014.07.20 |
| 2  | 代表性论文 2   | Enhancing CRISPR/Cas9-mediated homology-directed repair in mammalian cells by expressing <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Rad52.<br><i>Shao Simin, Ren Chonghua, Liu Zhongtian, Bai Yichun, Chen Zhilong, Wei Zehui, Wang Xin, Zhang Zhiying, Xu Kun</i> | International Journal of Biochemistry and Cell Biology | 2017.09.18 |

| 序号 | 代表性论文<br>专著序号 | 论文专著名称/作者   | 刊名                                   | 发表时间<br>(年 月 日) |
|----|---------------|---|--------------------------------------|-----------------|
| 3  | 代表性论文 3       | Strategies for the enrichment and selection of genetically modified cells.<br><i>Ren Chonghua, Xu Kun, David Jay Sega, Zhang Zhiying</i>  | Trends in Biotechnology              | 2018.08.19      |
| 4  | 代表性论文 4       | Dual-reporter surrogate systems for efficient enrichment of genetically modified cells.<br><i>Ren Chonghua, Xu Kun, Liu Zhongtian, Shen Juncen, Han Furong, Chen Zhilong, Zhang Zhiying</i>     | Cellular and Molecular Life Sciences | 2015.03.01      |
| 5  | 代表性论文 5       | Efficient SSA-mediated precise genome editing using CRISPR/Cas9.<br><i>Li Xinyi, Bai Yichun, Cheng Xinzhen, Peter Girgis Tawfek Kalds, Sun Bing, Wu Yun, Lyu Huijiao, Xu Kun, Zhang Zhiying</i> | FEBS Journal                         | 2018.08.3       |

### 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术<br>职称 | 工作单位/<br>完成单位 | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|-------------|---------------|--|
| 徐 坤 | 1  | 副教授         | 西北农林科技大学      | 负责项目的全面具体工作；在第 1、2、3、4 条 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术研发方面均作了创造性和重大贡献。 |
| 魏泽辉 | 2  | 副教授         | 西北农林科技大学      | 参与部分技术的研发工作；在第 1、2、3 条 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术研发方面作了重要贡献。        |
| 张智英 | 3  | 教 授         | 西北农林科技大学      | 指导项目的全面工作；在第 1、2、3、4 条 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术研发方面作了重要贡献。        |
| 张 涛 | 4  | 教 授         | 陕西理工大学        | 参与部分技术的研发工作；在第 1 条 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术研发方面作了重要贡献。            |
| 王 昕 | 5  | 教 授         | 西北农林科技大学      | 参与部分技术的研发工作；在第 1、3 条 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术研发方面作了部分贡献。          |
| 任充华 | 6  | 研究员         | 华南师范大学        | 参与部分技术的研发工作；在第 1、2、4 条 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术研发方面作了部分贡献。        |

### 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称     | 排名 | 主要贡献  |
|----------|----|---|
| 西北农林科技大学 | 1  | 西北农林科技大学作为本项目的主持单位，给予该项目必要的人力、物力支持和必备的支撑条件，为本项目提供了相关的仪器设备和研究平台，保证了项目的顺利实施和完成。 |
| 陕西理工大学   | 2  | 陕西理工大学张涛教授在项目实施期间，最早克隆得到了源于嗜热链球菌 StCas9，为 CRISPR/Cas9 系统开发及本项目后续研究奠定了重要基础。    |
| 华南师范大学   | 3  | 华南师范大学任充华研究员为项目组博士毕业生，在入职该校后仍利用该校提供的平台和条件与项目组开展持续合作，在基因编辑阳性细胞富集筛选技术方面作了重要贡献。  |

## 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   | 徐坤/1<br>魏泽辉/2<br>张智英/3<br>王昕/5          | 2018.01-2019.12 | 转基因生物新品种培育科技重大专项：CRISPR/Cas9 介导的新型双等位无筛选标记转基因技术（2018ZX0801009B）   | 项目任务合同书 1            |
| 2  | 共同立项   | 魏泽辉/2<br>张智英/3<br>王昕/5                  | 2014.01-2016.12 | 转基因生物新品种培育科技重大专项：CRISPR-Cas9 介导的转基因猪新技术研究（2014ZX0801009B）   | 项目任务合同书 2            |
| 3  | 共同知识产权 | 徐坤/1<br>张智英/3                           | 2014.01-2021.12 | 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<br>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<br>发明专利：基于人工核酸酶的可视化细胞修复效率报告系统及其建立方法<br>发明专利：用于富集 CRISPR/Cas9 介导的同源重组修复细胞的筛选报告载体及筛选方法<br>发明专利：一种 T7 RNA 聚合酶介导的 CRISPR/Cas9 基因编辑系统的构建方法 | 授权专利证书 1, 2, 3, 5, 6 |
| 4  | 共同知识产权 | 徐坤/1<br>魏泽辉/2<br>张智英/3<br>任充华/6         | 2014.01-2018.12 | 发明专利：一种利用 CRISPR/Cas9 技术基于 SSA 修复的基因无缝编辑方法  | 授权专利证书 4             |
| 5  | 论文合著   | 徐坤/1<br>张智英/3<br>张涛/4<br>任充华/6          | 2012.01-2015.12 | 发表论文：Efficient genome engineering in eukaryotes using Cas9 from <i>Streptococcus thermophilus</i> .   | 代表性论文 1              |
| 6  | 论文合著   | 徐坤/1<br>魏泽辉/2<br>张智英/3<br>王昕/5<br>任充华/6 | 2013.01-2017.12 | 发表 论 文：Enhancing CRISPR/Cas9-mediated homology-directed repair in mammalian cells by expressing <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Rad52.  | 代表性论文 2              |
| 7  | 论文合著   | 徐坤/1<br>张智英/3<br>任充华/6                  | 2013.01-2018.12 | 发表论文：Strategies for the enrichment and selection of genetically modified cells.<br>发表 论 文：Dual-reporter surrogate systems for efficient enrichment of genetically modified cells.                                     | 代表性论文 3, 4           |
| 8  | 论文合著   | 徐坤/1<br>张智英/3                           | 2014.01-2019.12 | 发表论文：Efficient SSA-mediated precise genome editing using CRISPR/Cas9.   | 代表性论文 5              |
| <p><b>完成人合作关系说明（限 1000 字）</b></p> <p>徐坤（1）、魏泽辉（2）、张智英（3）、王昕（5）是西北农林科技大学动物科技学院“动物基因编辑技术研发团队”的核心成员。徐坤（1）师从引进人才加籍华人张智英教授（3），作为主要研发人员参与并主导了本项目所有 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术的具体研</p> |        |   |                 |   |                      |

发工作，在本项目研发中作了重大贡献；魏泽辉（2）和王昕（5）作为基因编辑技术研究骨干，参与了两项转基因生物新品种培育科技重大专项的申请、立项、实施和结题验收，并在部分 CRISPR/Cas9 动物基因编辑系统及配套技术研发过程中发挥了重要作用；张智英教授（3）作为团队首席，指导了项目的全面工作，在项目实施过程中作为重要贡献；陕西理工大学张涛教授（4）为张智英教授（3）的在职博士研究生，最早克隆得到了源于嗜热链球菌 StCas9，为 CRISPR/Cas9 系统的开发及本项目后续研究奠定了重要基础；华南师范大学任充华研究员（6）是张智英教授（3）的硕博连读研究生，在读期间协助徐坤（1）参与了 CRISPR/Cas9 技术平台相关研究方案的设计和实施，并在毕业入职华南师范大学后仍就基因编辑阳性细胞筛选技术方面与团队保持了密切的合作关系。

## 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

张延龙

一、项目名称：油用牡丹新品种选育及高效利用研究与示范

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

油用牡丹作为新兴木本油料作物，其籽油富含 $\alpha$ -亚麻酸等多种不饱和脂肪酸，成为高营养价值植物油品的新类型。在油用牡丹产业发展中，由于缺乏优良品种和配套栽培技术，致使其单产较低；同时缺乏综合加工技术，不能充分展现油用牡丹产业的综合效益。针对产业面临的紧迫问题，该项目通过对我国油用牡丹资源的全面调查与收集，摸清了我国油用牡丹资源的家底，收集保存了一批珍贵的油用牡丹种质资源，建立了中国西北牡丹种质资源圃；通过对油用牡丹资源的评价，选育出了 18 个可分别适合西北干旱、中原半湿润和长江上游湿润地区的优良油用牡丹新品种，同时试验总结出了相应的高效繁殖和高产栽培技术体系；在油用牡丹产品的营养功能的研究基础上，首次研发出了油用牡丹综合利用和系列产品生产工艺及配套装置。该项目为我国油用牡丹产业发展提供了新品种、新技术、新工艺和新装备支撑，极大提升了我国油用牡丹的产业化发展水平。研究项目在油用牡丹资源综合利用方面达到了国际领先水平。

提名该项目为陕西省科学技术进步 壹 等奖。

三、项目简介：

牡丹是我国特有的植物种类，油用牡丹作为高营养价值的新型木本油料作物，对缓解我国食用油安全和提高食用油品质具有特殊重要作用。由于油用牡丹产业发展时间较短，产业中还存在许多突出问题，特别是优良品种匮乏，栽培管理技术粗放，致使单产较低；加工工艺落后，使得种子出油率不高和籽油加工品质不佳等。为此，该项目开展了油用牡丹新品种选育及高效利用研究与示范研究，已形成了以下创新性成果：

**(1) 摸清了我国油用牡丹种质资源的基本情况，获得了一批珍贵油用牡丹种质资源**

对起源于黄土高原、秦巴山区、云贵高原及青藏高原东部等及云贵高原北部等 9 省（区）26 地市 64 县（区）内的野生牡丹种群，进行了为期 5 年系统调查和评价，先后收集到了牡丹所有的 9 个野生种，涵盖近 200 多个生态居群，植株 3000 余份，种子材料 2000 份；对华北、西北及华中主要栽培牡丹产区也进行了系统调查，收集到了具有重要油用利用特点的栽培牡丹品种 200 余个，植株 4000 余份。这些珍贵的

油用牡丹种质资源，分别种植保存于陕西杨凌、汉台区以及甘肃兰州等地，建立了总占地 35 亩的西北油用牡丹种质资源圃。这些研究成果将为开展油用牡丹生物学基础研究、油用牡丹新品种选育工作提供了坚实基础。

### **(2) 明晰了油用牡丹籽油的重要营养功能，为相关产品的研制具有重要的指向性作用**

通过对油用牡丹重要和潜在产品的营养功能评价研究发现， $\alpha$ -亚麻酸和自榨牡丹籽油对提高小鼠记忆力与空间认知能力有显著的效果。建立了体内和体外实验模型，确定了牡丹多酚可显著提高大鼠凝血酶原时间，并极显著地降低活化部分凝血活酶时间和纤维蛋白原浓度，同时极显著地提高了凝血酶时间，表明牡丹多酚具有良好的体内抗凝血活性。上述研究对于牡丹产品的开发具有重要的指向性作用。

### **(3) 选育出了 18 个油用牡丹新品种，创制了一批油用牡丹新种质资源**

应用引种驯化和实生选种相结合的方法，从收集的牡丹种质资源中选育出了 18 个优良油用牡丹新品种，其中‘祥丰’、‘秦玉’和‘秦韵’等品种已累计推广种植 2250 亩。从传统丹皮药用‘凤丹’牡丹的不同栽培群体中，筛选出‘杨山牡丹’油用新品系 61 个；从观赏‘紫斑’牡丹的不同群体中，筛选出‘紫斑牡丹’油用新品系 75 个。通过 97 个不同牡丹种类之间的杂交，新创建了 24 个优良新种质类型。应用分子生物学研究手段，探索了 $\alpha$ -亚麻酸形成的分子机理，对于发掘珍贵油用牡丹品质基因资源具有重要意义。这些研究成果，既可直接为油用牡丹生产提供良种支持，又能为油用牡丹新品种选育提供源源不断的种质支撑。

### **(4) 根据不同产区气候特征，探索出了相应油用牡丹丰产栽培技术体系**

分别在陕西（合阳县、永寿县、汉台区、旬阳县）、甘肃（兰州新区）、山西长治县、山东菏泽市和河北柏乡县和四川乐山市，开展了油用牡丹高产栽培技术的试验研究，总结出了干旱立地条件下、暖温带中原地区和西南湿润林区油用牡丹人工增产培育栽培技术体系；探索出了适合机械化的栽培模式，建立了油用牡丹全程机械化栽培技术体系；建立了油用牡丹与经济林（“牡丹+核桃”）和园林树种（“油用牡丹+桢楠”）等立体套种栽培模式。有关技术体系已在油用牡丹生产中发挥出重要作用，累计规模化推广示范面积达 64.7 万亩。

### **(5) 成功研发出了油用牡丹高值化综合利用配套技术和加工装置**

为了零浪费牡丹果实各部位，充分提升油用牡丹的综合效益，开展了油用牡丹不同果实部位综合加工利用研究。以牡丹籽粕为原料，研制出了牡丹营养粉制备小试工艺；以牡丹种皮为原料，研制出牡丹多酚制备小试工艺；以牡丹果荚为原料，研制出牡丹多糖制备的小试工艺，与此同时，针对每种综合利用产品加工的需求，自主创新相应的关键专用加工装置，这些研究结果具有较强的前瞻性，可以为我国油用牡丹产业全产业链的发展提供技术支撑。

### **(6) 成功研制出油用牡丹籽油和籽粕专用中试加工成套装置**

针对目前相关加工设备不能满足油用牡丹资源加工需求的现状，研制出了油用牡丹加工通用和专用装置，包括牡丹种子脱壳筛分除杂装置、牡丹种子脱皮风选分级装置、牡丹种子微波干燥装置、牡丹籽油超临界系统提取装置、牡丹籽粕低温气流分级超微系统粉碎装置、牡丹籽粕蒸汽射流熟化装置、牡丹籽粕恒温混合发酵装置和牡丹籽粕气流分级超微粉碎装置等，为我国油用牡丹产业提供了硬件支撑。

### **(7) 首次建立了牡丹籽油高效低温绿色分离和牡丹营养粉加工利用中试示范生产线**

在油用牡丹加工专用装置调试的基础上，按照渐次放大的原则，渐次放大生产能力，对高端牡丹籽油高效低温绿色分离中试示范线和牡丹营养粉制备中试示范线进行了生产规模示范研究，最终在厦门市集美区首次建立了 1 条年处理牡丹籽 300 吨高端牡丹籽油高效低温绿色分离中试示范线和 1 条年产 200 吨牡丹营养粉制备中试示范线，为今后我国牡丹产业的壮大发展提供了成功的产品加工案例。

### **(8) 开发了高端牡丹籽油制备工艺，极大提升牡丹籽油的附加值**

通过大量试验研究，对超临界二氧化碳固液联合连续逆流液液萃取牡丹籽油装置进行了升级改造，研发出高品质牡丹籽油的分离工艺；并通过全程天然抗氧化剂保护，提高了牡丹籽油的氧化稳定性。为了提升牡丹籽油的高值化，开发并建立了相关制备工艺及装置，研发出水溶性 $\alpha$ -亚麻酸乳体制备及专用装置，水溶性牡丹籽油饮料配料粉体制备及专用装置。这些牡丹籽油的高值化产品生产技术，将对我国油用牡丹产业发展具有重要推动作用。

## **3.3 社会经济生态效益**

**(1) 经济效益：**本项目先后培育油用牡丹新品种 18 个，这些新品种的产量平均高于现有‘凤丹’20%，每亩可增加收益 450 元。依托本项目技术支持建立的 1.93 万亩油用牡丹高产优质标准化示范基地，其建园成本共节约 1930 万元，每年日常管理费用减少 965 万元。依托本项目建立的牡丹籽油生产线年处理 300 吨牡丹籽，产牡丹籽油 43 吨，年利润为 1571 万元；牡丹营养粉生产年生产 200 吨，年利润为 2380 万元。

**(2) 生态效益：**牡丹为我国特有的多年生木本植物，具有较强的适应性和抗性，是优良的经济林树种，通过本项目的实施，有助于丘陵山地的植物恢复，从而有效减少水土流失，改善生态环境。本项目培育的油用牡丹新品种相比‘凤丹’具有更强的抗病性，在种植过程中减少了农药的使用量，从而更加环保。牡丹籽油生产工艺采用低温压榨技术，对牡丹籽油进行低温提取，通过超临界二氧化碳精制技术，生产高端牡丹籽油的制备工艺，在生产过程中剩余的牡丹籽粕为下一生产线制备牡丹营养粉提供原料，无废渣、废气、废液，因此无环境污染、绿色环保，最终实现环境友好，一旦实施具有可观的环境效益。

**(3) 社会效益:** 本技术体系的推广, 可提高农民对油用牡丹产业发展积极性, 整体提高农民的栽植技术和素质, 可加快实现油用牡丹专业合作社的组建与兴起。项目实施阶段, 培养博士、硕士研究生 40 余人, 新增安置就业人数 600 余人, 对于引领我国高品质油用牡丹的行业典范, 带动油用牡丹基地形成一二三产业互动与融合发展, 调整农村产业结构, 并最终实现乡村振兴, 具有重要的价值。

#### 四、客观评价

##### 4.1 林业公益性行业科研专项经费项目业务验收意见

2020 年 9 月 1 日, 国家林业和草原局科技司组织专家在北京对“油用牡丹新品种选育及高效利用研究与示范”项目进行了验收。验收委员会听取了情况介绍, 查阅了相关资料, 并对汇报内容进行了质询, 形成了如下意见:

1. 进行了我国牡丹资源调查工作, 建立了牡丹种质资源圃 25 亩, 保存特异油用牡丹种质材料 5000 份。审(认)定油用牡丹新品种 18 个, 国际登录牡丹新品种 14 个, 选育的新品种(系)比现有生产上使用的品种产量平均高出 15% 以上。

2. 建立油用牡丹新品种繁育技术体系 1 套、不同立地条件(干旱地区、暖温带中原地区和西南湿润林区)油用牡丹人工增产培育栽培技术体系 3 套、以及油用牡丹全程机械化栽培技术体系 1 套。建立了油用牡丹良种繁育圃 100 亩, 优质高产栽培技术在主要油用牡丹产区推广, 比当地主产品种产量提高 15% 以上。新技术在全国主要牡丹产区累计推广 64.7 万亩。

3. 研制出超临界二氧化碳固液联合连续逆流液液萃取牡丹籽油装置、水溶性 $\alpha$ -亚麻酸乳体制备及专用装置、水溶性牡丹籽油饮料配料粉体制备及专用装置。

4. 研制出牡丹籽粕营养粉制备小试工艺、牡丹种皮多酚制备小试工艺、牡丹果荚多糖制备小试工艺; 建立了 $\alpha$ -亚麻酸平均含量 42.2%、无溶剂和农药残留、氧化稳定性好的高品质牡丹籽油高效分离工艺, 牡丹籽油得率在 25% 以上。

5. 开发了水溶性 $\alpha$ -亚麻酸乳体、水溶性牡丹籽油饮料配料粉体、高端牡丹营养粉等多个产品, 附加值增加了 20% 以上。

6. 在陕西、山东、河北、山西、甘肃、四川等地建立油用牡丹高产优质标准化示范基地 8 处。面积累计达到 19400 亩, 亩均产值高于常规种植基地 20-40%。

7. 在厦门涌泉科技有限公司建立了年处理牡丹籽 300 吨高品质牡丹籽油高效分离工艺中试示范线 1 条, 以及年产牡丹营养粉 200 吨中试示范线 1 条。

8. 建立了油用牡丹产业化技术经济评价体系, 构建了油用牡丹产业发展综合效益评价指标体系, 为今后牡丹产业可持续发展和产业化经营奠定了基础。

9. 申请国家发明专利 26 项, 已获批 8 项。发表学术论文 60 篇, 其中 SCI 收录 24 篇, EI 收录 3 篇。培养博士研究生 7 名, 硕士研究生 30 名。



综上，该项目完成了任务书规定的研究任务和考核指标，验收委员会同意通过验收。

#### 4.2 “油用牡丹系列新品种选育”成果认定意见

针对我国油用牡丹产业品种匮乏的现状，项目组在林业公益性行业科研专项经费的资助下，应用实生群体选种、杂交育种等方法，选育了一批结实性好、出油率高、品质优良的油用牡丹系列新品种 18 个。这些新品种已经过省级审定，名称如下：‘祥丰’、‘秦玉’、‘秦韵’、‘白蝶’、‘甘二乔’、‘紫锦缎’、‘粉面桃花’、‘蓝紫托桂’、‘金墨相映’、‘卵叶荷韵’、‘甘林 1 号’、‘甘林 2 号’、‘甘林 3 号’、‘甘林 4 号’、‘甘林 5 号’、‘甘林 6 号’、‘甘林 7 号’、‘甘林 8 号’。上述品种的主要特征如下：

##### （一）良种特性

‘祥丰’、‘秦玉’、‘秦韵’、‘甘林 1 号’、‘甘林 2 号’等 5 个品种的千粒重均在 380g 以上；亩产量 210kg-340kg；出油率 25%-33%， $\alpha$ -亚麻酸含量 40%-44%，这些指标均高于对照品种，可作为油用牡丹专用品种。‘白蝶’、‘紫锦缎’、‘金墨相映’、‘卵叶荷韵’、‘甘二乔’、‘粉面桃花’、‘蓝紫托桂’、‘甘林 3 号’、‘甘林 4 号’、‘甘林 5 号’、‘甘林 6 号’、‘甘林 7 号’、‘甘林 8 号’出油率 19%-25%， $\alpha$ -亚麻酸含量 35%-44%，生长旺盛，成花量大，花型优美，花色亮丽，具有较高结实性，可作为油用兼观赏牡丹品种。

##### （二）栽培技术要点

栽培地宜选土层深厚、肥沃、疏松透气、排水良好的地块，土壤 PH 值以 6.5-8.31 较适宜。栽植时间为每年 9 月下旬至 10 月中旬。3-5 年生苗种植密度 1067-1600 株/亩；5-10 年生苗栽植密度 600-800 株/亩；苗龄 10 年以上植株应根据地形及不同植株特点具体移植养护。后期注意松土除草、追肥、灌溉等管理措施。

##### （三）适宜种植范围

适宜陕西南部以及关中地区种植的品种有：‘祥丰’、‘秦玉’、‘秦韵’；适宜西北、东北地区种植的品种有：‘白蝶’、‘紫锦缎’；适宜西北、西南、东北地区推广，中原引种栽培的品种有：‘甘林 3 号’、‘甘林 5 号’；适宜西北、西南、中原地区推广，其它地区引种栽培的品种有：‘粉面桃花’、‘金墨相映’、‘卵叶荷韵’、‘甘林 7 号’、‘甘林 8 号’；适宜西北、中原地区推广，其他地区引种栽培的品种有：‘甘林 4 号’、‘甘林 6 号’；适宜西北、东北地区直接引种栽培，中原地区通过引种接穗进行嫁接繁育成活率高的品种有：‘甘二乔’、‘蓝紫托桂’、‘甘林 1 号’、‘甘林 2 号’等。

#### 4.3 “油用牡丹生产优质高效栽培配套技术体系”成果认定意见

##### （一）成果重要性概述

油用牡丹作为我国新兴木本油料作物，生产中的栽培方式主要沿用了传统的药用栽培模式，使得产量较低，难以发挥油用牡丹应有的高效栽培价值。通过反复试验总结，摸索出现代油用牡丹优质高产栽培的配套技术，该技术体系包括新品种繁育技术体系，全程机械化栽植技术体系，不同地区增产技术体系。

## （二）与国内外同类技术对比分析

本配套技术体系，是目前国内外首次系统试验总结的，其技术水平处于当代国内外领先水平。

## （三）成果的技术关键、达到的主要技术经济指标

### 1、成果的技术关键

#### （1）油用牡丹新品种繁育技术体系

该体系包括实生繁殖技术体系，嫁接繁殖技术体系以及组织培养繁殖技术体系。这三项关键技术的关键点分别在于：1）育苗地处理、果荚采收处理、种子精选消毒、适时播种、叶面喷肥；2）砧木与接穗选择、嫁接方法、嫁接后管理；3）括外植体消毒、诱导培养、增殖培养、生根培养、炼苗移栽。

#### （2）油用牡丹全程机械化栽植技术体系

该体系技术的关键点在于：1）栽植密度的选择、栽植模式选择。栽植密度的选择有：行距变化；双行种植带；机械通道。2）手扶机械种植：小型机械种植。3）配套的农机设备，包括种植机具、果荚采收机等。

#### （3）不同地区油用牡丹栽培技术体系

根据我国油用牡丹产区气候特征，分为三个主产区：西北干旱半干旱地区、暖温带中原地区和西南湿润林区。西北干旱立地区包括集雨防旱、增温促生长、防杂草、平茬促分枝、保湿促增产；暖温带中原地区包括合理施肥、宽窄行种植、整形修剪；西南湿润林区包括起垄作床、宽窄行防病害、密度合理、科学平茬、机械除草。

### 2、达成的主要经济指标

新品种繁育体系连续5年的试验结果显示出苗率提高了15%，苗木产量提高10%，80%的苗木为一级苗木。用“双行+机械通道”的模式机械栽植至少使产量增加21%。全程机械化栽培模式可以提高生产效率50倍以上，节省大量劳动力，降低种植成本。

## （四）成果应用情况及取得的经济、社会效益

新品种繁育技术体系可每亩地多1万棵一级苗，亩增收2000元。机械化栽植体系较人工种植相比，节约生产成本30-50%。不同地区的定向增产技术可以增产20%-30%。

## （五）成果推广前景分析

该技术体系具有简单实用有效，通过大力示范推广，可迅速在我国油用牡丹主产区发挥其重要作用，带动油用牡丹行业的发展，改善我国食用油结构，缓解我国食用油大量依赖进口的窘状。

## 4.4 “油用牡丹高值化综合利用新装置与新技术”成果认定意见

### （一）成果概述

围绕牡丹植株地上主要器官（种子、果荚、花瓣）高附加值的挖掘，以培育壮大

牡丹产业为主要目标，已取得了如下重要成果：

1. 研发出了 8 项牡丹产品加工专用装置：种子脱壳筛分除杂、种子脱皮风选分级、种子微波干燥、籽油超临界系统提取、籽粕低温气流分级超微系统粉碎、籽粕蒸汽射流熟化、籽粕恒温混合发酵、籽粕气流分级超微粉碎等装置。

2. 研制出 7 类产品生产工艺：牡丹籽油高效分离、水溶性 $\alpha$ -亚麻酸乳体制备、水溶性牡丹籽油饮料配料粉体制备、牡丹多酚绿色提取和纯化、牡丹营养粉制备、牡丹多糖提取制备及牡丹精油提取制备等工艺。

## （二）工艺技术要点

1) 牡丹籽油：采用超临界 CO<sub>2</sub> 固液联合连续逆流液液萃取装置，添加迷迭香提取物延缓其氧化过程；

2) 水溶性 $\alpha$ -亚麻酸乳体：设计并制造高速射流空化剪切乳化装置与微波酯化装置；

3) 水溶性牡丹籽油饮料配料粉：应用环糊精对牡丹籽油进行吸附包封，采用导热油间接加热，热风封闭循环真空降温；

4) 牡丹多酚：设计并制造碎化与乙醇萃取同步匀浆装置和负压快速柱层析纯化系统；

5) 牡丹营养粉：设计并制造专用射流旋风电加热熟化装置，恒温混合发酵装置和低温恒气流分级超微粉碎机；

6) 牡丹多糖：采用大孔 D101 交换树脂进行纯化。

7) 牡丹精油：采用 Co 为绿色清洁能源，并基于 BBD 设计响应面法进行优化。

## （三）工艺技术先进性

牡丹籽油： $\alpha$ -亚麻酸平均含量 42.2%，无溶剂和农药残留，氧化稳定性好，牡丹籽油得率 $\geq 25\%$ ；

水溶性 $\alpha$ -亚麻酸乳体、水溶性牡丹籽油饮料配料粉体：粒径群集中、缓释性好， $\alpha$ -亚麻酸乳体平均粒径 $\leq 800$  nm，饮料配料粉体平均粒径 10  $\mu$ m 且含油量 15%；

多糖、多酚、营养粉：纯化后多糖含量 $\geq 85\%$ ，多酚含量 8.0%；

牡丹精油：优化后的牡丹精油提取率 $\geq 0.82\%$ 。

## （四）工艺的推广及前景评价

这些成果的利用，基本实现了油用牡丹地上部分整体综合高值化利用的目标。研发出多款新产品，延长了产业链条，经济效益和社会效益较好，发展前景十分广阔！

该系列工艺产品的开发将使得油用牡丹花瓣附加值提高 40%以上，果实附加值提高 20%以上，牡丹籽油的附加值提高 50%以上。

### 4.5 中央财政林业科技推广示范项目验收意见

2019 年 12 月 27 日，陕西省林业局组织有关专家在西安对西北农林科技大学承担的“油用牡丹新品种‘祥丰’扩繁与丰产栽培技术推广示范”项目（合同编号：

SLTG[2017]13号)进行了会议验收。验收委员会根据项目承担单位提交的验收材料,结合现场查定意见,经听取项目组汇报、质询答疑、评议后,形成如下意见:

1. 建立油用牡丹‘祥丰’良种繁育圃 55 亩、丰产栽培示范园 555 亩。
2. 繁殖油用牡丹‘祥丰’优质种苗 44 万株。
3. 示范园造林成活率 98.2%,保存率 95.4%;第 3 年平均株高 62cm,冠幅 53cm。
4. 起草《油用牡丹‘祥丰’丰产栽培技术规程》(草案),培训林农 636 人次。
5. 在《花卉》发表论文 1 篇。
6. 项目组织管理规范,经费使用合理。

该项目完成了合同规定的任务和各项考核指标,验收委员会一致同意验收合格。

## 五、应用情况

该项研究成果摸清了牡丹全部野生种的地理生态种群水平和垂直分布特征,收集保存了所有牡丹野生种,共 9 种 2 个变种,200 多个品种,共计 7000 余份材料;培育了油用牡丹新品种 18 个;获批国家专利 16 项,计算机软件著作权 3 项;建立了油用牡丹新品种繁育技术体系、油用牡丹定向培育技术、油用牡丹全程机械化栽培技术体系等生产技术体系 5 套,在陕西杨凌、汉中、合阳及甘肃兰州建立了 4 个油用牡丹资源圃及良种繁育圃;在陕西合阳、山东菏泽、河北柏乡、甘肃中川、四川乐山、山西长治等地建立了 8 个油用牡丹高产优质标准化示范基地;在厦门涌泉科技有限公司建成 2 条牡丹籽油和牡丹营养粉生产中试线。选育的新品种及研发的生产技术在陕西、山东、河北、甘肃、河南等地累计推广 64.7 万亩,取得了重要的社会、经济、生态效益。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（限 10 条，发明奖和进步奖）

| 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  | 品种       | ‘祥丰’  | 中国     | 陕 S-SP-PX-004-2015                         | 2016 年 1 月 5 日   | (陕 S) 第 124 号   | 西北农林科技大学         | 张延龙、牛立新、罗建让 任利益                 |
| 2  | 品种       | ‘秦玉’  | 中国     | 陕 S-SS-PQ-008-2017                         | 2018 年 2 月 8 日   | (陕 S) 第 154 号   | 西北农林科技大学         | 张延龙、牛立新、张晓骁、郭树杰、闫奕心、陈汉彪         |
| 3  | 品种       | ‘秦韵’  | 中国     | 陕 S-SSO-PQ-009-2017                        | 2018 年 2 月 8 日   | (陕 S) 第 155 号   | 西北农林科技大学         | 张延龙、张刚、晋敏、牛立新、张晓骁               |
| 4  | 品种       | ‘甘林 1 号’  | 中国     | 甘 S-SV-Pr-019-2017                         | 2017 年 12 月 1 日  | (2017)第 19 号    | 甘肃省林业科学技术推广总站    | 何丽霞、孔芬、张延东、李睿、王花兰、李建强、曹诚、成娟、宋桂英 |
| 5  | 发明专利     | 一种牡丹籽油复合天然抗氧化剂  | 中国     | ZL201710354139.X                           | 2021 年 10 月 12 日 | 第 4727492 号     | 西北农林科技大学         | 张延龙、白章振、于蕊、牛立新、付炜               |
| 6  | 发明专利     | 一种牡丹籽多糖酶解低聚糖的制备方法   | 中国     | ZL201811399202.2                           | 2021 年 3 月 12 日  | 第 4295980 号     | 东北林业大学           | 路祺、祖元刚、李汶罡                      |
| 7  | 实用新型专利   | 一种连续逆流超临界萃取装置   | 中国     | ZL201720562729.7                           | 2018 年 1 月 5 日   | 第 6826176 号     | 江苏宏博机械制造有限公司     | 韩青云、祖柏实                         |
| 8  | 计算机软件著作权 | 牡丹种植无线视频数据采集与管理系统 V1.0  | 中国     | 2021SR2187248                              | 2021 年 12 月 28 日 | 软著登字第 8909874 号 | 陕西合阳中资国业生物科技有限公司 | 林奋、王杰琼、刘岚清、高凯                   |
| 9  | 计算机软件著作权 | 牡丹加工工艺流程可视化管理系统 V1.0  | 中国     | 2021SR2196686                              | 2021 年 12 月 28 日 | 软著登字第 8919312 号 | 陕西合阳中资国业生物科技有限公司 | 林奋、王杰琼、刘岚清、高凯                   |
| 10 | SCI 论文   | Comprehensive metabolite profile of multi-bioactive extract from tree peony ( <i>Paeonia ostii</i> and <i>Paeonia rockii</i> ) fruits based on MS/MS molecular networking | 美国     | Food Research International, 148:p.110609. | 2021 年 7 月 14    | ISSN:0963-9969  | 西北农林科技大学         | 白章振、唐君曼、倪晶、郑田恬、张延龙              |

## 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称   | 工作单位/完成单位        | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|-----------|------------------|--|
| 张延龙 | 1  | 院长/教授     | 西北农林科技大学         | 完成了油用牡丹新品种选育及示范推广，建立了油用牡丹定向栽培技术体系，完成了油用牡丹高值化综合利用技术及功能评价研究，建立了油用牡丹产业化技术经济评价体系 |
| 赵修华 | 2  | 教授        | 东北林业大学           | 开发了高端牡丹籽油制备工艺及牡丹籽油高值化产品，建立了油用牡丹高效加工利用中试示范生产线                                 |
| 牛立新 | 3  | 教授        | 西北农林科技大学         | 完成了油用牡丹定向培育技术的试验研究与示范推广  |
| 罗建让 | 4  | 副教授       | 西北农林科技大学         | 完成了油用牡丹新品种扩繁与丰产栽培技术推广示范  |
| 何丽霞 | 5  | 教授级高工     | 甘肃省林业科学技术推广总站    | 完成了油用牡丹新品种选育及区域性试验   |
| 路祺  | 6  | 副教授       | 东北林业大学           | 水溶性 $\alpha$ -亚麻酸乳体制备、牡丹多糖提取制备工艺   |
| 张庆雨 | 7  | 讲师        | 西北农林科技大学         | 完成了油用牡丹种质资源的调查、收集与评价工作，建立了油用牡丹全程机械化栽培技术体系                                    |
| 张晓骁 | 8  | 讲师        | 西北农林科技大学         | 完成了油用牡丹种质资源的调查、收集与评价工作   |
| 史倩倩 | 9  | 副教授       | 西北农林科技大学         | 研究栽培环境因子（光、温、水分、土壤）和栽培管理措施与油用牡丹产量与质量形成之间的关系                                  |
| 韩青云 | 10 | 董事长/助理工程师 | 江苏宏博机械制造有限公司     | 完成了油用牡丹专用中试加工装置的设计与开发  |
| 林奋  | 11 | 董事长/高级农艺师 | 陕西合阳中资国业生物科技有限公司 | 开发了牡丹种植无线视频数据采集与管理系统以及牡丹加工工艺流程可视化管理系统  |

## 八、主要完成单位及创新推广贡献

| 单位名称     | 排名 | 主要贡献  |
|----------|----|---|
| 西北农林科技大学 | 1  | 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，为项目产生的新技术、新品种的示范推广应用提供了强有力的政策引导和专项资金支持。完成了我国油用牡丹资源的全面系统调查收集与评价，筛选和培育出了适合三大产区的优良油用牡丹新品种，并进一步研究良种的高效繁殖技术和油用牡丹人工增产定向栽培技术，完成了油用牡丹新品种选育及区域性试验，完成了油用牡丹定向培育技术的试验研究与示范推广。 |
| 东北林业大学   | 2  | 第二完成单位，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给予了人力、物力和财力的支持。研发出高端牡丹籽油工艺高效低温绿色分离技术及其高值化产品深加工技术，同步利用牡丹籽粕、牡丹种皮和果荚等原料研发系列产品，实现油用牡丹的高效综合利用。  |

| 单位名称             | 排名 | 主要贡献   |
|------------------|----|--|
| 甘肃省林业科学技术推广总站    | 3  | 第三完成单位，负责新品种定向选育工作，以‘紫斑牡丹’亲本，通过杂交育种，筛选和培育出了适合三大产区的优良油用牡丹新品种。             |
| 江苏宏博机械制造有限公司     | 4  | 第四完成单位，研制包括可连续生产同步添加抗氧化剂的牡丹籽油超临界萃取装置等油用牡丹籽油生产和综合利用的专用加工装置，并在厦门涌泉建立中试生产线。 |
| 陕西合阳中资国业生物科技有限公司 | 5  | 第五完成单位，负责种植及加工软件开发，负责新品种示范推广。开发了牡丹种植无线视频数据采集与管理系统以及牡丹加工工艺流程可视化管理系统。      |

### 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        | 赵修华/2    | 2014-2020 | 共同完成了“油用牡丹新品种选育及高效利用研究与示范”项目（201404701）  | 附件 1-4-3                         |
| 2          | 共同立项        | 牛立新/3    | 2014-至今   | 共同完成了“油用牡丹新品种选育及高效利用研究与示范”项目（201404701）  | 附件 1-4-3                         |
| 3          | 共同立项        | 罗建让/4    | 2014-至今   | 共同完成了“油用牡丹新品种选育及高效利用研究与示范”项目（201404701）；共同完成了“油用牡丹新品种‘祥丰’扩繁与丰产栽培技术推广示范”项目（SLTG[2017]13号） | 附件 1-4-3<br>附件 1-4-4             |
| 4          | 共同立项        | 何丽霞/5    | 2014-2020 | 共同完成了“油用牡丹新品种选育及高效利用研究与示范”项目（201404701）  | 附件 1-4-3                         |
| 5          | 共同成果认定      | 路祺/6     | 2014-至今   | 共同完成了“油用牡丹高值化综合开发利用新装置与新技术”成果认定  | 附件 1-4-8                         |
| 6          | 共同成果认定，专著合著 | 张庆雨/7    | 2014-至今   | 共同完成了“油用牡丹系列新品种选育”和“油用牡丹生产优质高效栽培配套技术体系”成果认定；共同出版《中国牡丹种质资源》专著，中国林业出版社，2020                | 附件 1-4-5<br>附件 1-4-6<br>附件 1-4-7 |
| 7          | 专著合著        | 张晓骁/8    | 2014-至今   | 共同出版《中国牡丹种质资源》专著，中国林业出版社，2020  | 附件 1-4-7                         |
| 8          | 共同立项        | 史倩倩/9    | 2014-至今   | 共同完成了“油用牡丹新品种‘祥丰’扩繁与丰产栽培技术推广示范”项目（SLTG[2017]13号）   | 附件 1-4-4                         |
| 9          | 共同立项        | 韩青云/10   | 2014-2020 | 共同完成了“油用牡丹新品种选育及高效利用研究与示范”项目（201404701）  | 附件 1-4-3                         |
| 10         | 产业合作        | 林奋/11    | 2014-2020 | 共同进行了产业合作  | 附件 1-4-9                         |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

（1）张延龙主持的项目任务书：油用牡丹新品种选育及高效利用研究与示范（201404701），2014年-2020年。牛立新、赵修华、罗建让、张庆雨、何丽霞、张晓骁、史倩倩、韩青云等人均为项目参与者，为共同立项关系；

（2）张延龙主持的项目任务书：油用牡丹新品种‘祥丰’扩繁与丰产栽培技术推广示范（SLTG[2017]13号），2017年-2019年。牛立新、罗建让、张庆雨、史倩倩等人均为项目参与者，为共同立项关系；

（3）张延龙、牛立新、张庆雨、张晓骁共同出版《中国牡丹种质资源》专著，2020年由林业出版社出版，为专著合著关系；

（4）张延龙与路祺共同完成了“油用牡丹高值化综合利用新装置与新技术”成果认定，为共同合作关系。

（5）张延龙与林奋为产业合作关系，共同开发多款牡丹综合利用产品，为产业合作关系。



# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

邹志荣

一、项目名称：日光温室设计理论构建与模块化装配式建造技术创新

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

本项目针对日光温室设计及建造存在的瓶颈问题，围绕日光温室的采光、储热、保温的设计理论，开发高效蓄能系列模块化装配式日光温室结构与装备等方面开展创新研究，将研究成果应用到设计标准中，形成了日光温室采光、蓄热、通风、保温、建造的标准体系，在此基础上开发设计软件、绘制标准图集、研发模块化装配式温室定型产品，并进行成果应用推广。

该成果获国家授权专利 27 件，其中发明 5 件；发表论文 72 篇；出版著作 5 部；制修订标准 6 项；软件著作权 5 项；形成了 1 套日光温室标准图集。在陕西、宁夏、甘肃、内蒙等地累积推广应用 31.2 万亩。与砖墙温室相比，建造成本降低 30%以上，保温性能提高 3-5℃；与厚土墙温室相比，土地利用率提高了 35%，空气湿度降低 10%以上，蔬菜产量提高 15%以上，该成果经济社会生态效益显著。

经陕西省科学技术厅组织的相关专家评价，认为成果整体达到国内领先水平，其中日光温室墙体的储能设计理论与模块化建造技术达到国际先进水平。

建议推荐本项目申报陕西省科技进步一等奖。

三、项目简介：

西北地区地域广阔、光照资源丰富，是我国设施农业发展的优势区，日光温室占该区域设施总面积的 51%；占全国日光温室面积 18.7%，但区域戈壁荒漠面积占全国非耕地面积 70%以上，风沙频繁、气候寒冷。受光热机理基础理论研究不足的限制，西北日光温室普遍存在设计无依据、建造不规范、光热利用率低、喜温果菜难以安全越冬等问题，严重制约了西北地区设施园艺产业的健康、高质量发展。本研究成果围绕长期困扰我国日光温室研究领域的低温弱光等重大理论，结合西北地区非耕地建设条件，从揭示日光温室采光和传热机理入手，经过多年对日光温室设计理论与标准化工程技术的深入系统研究，创新提出了主动采光储热和高效保温理念，构建了日光温室设计理论体系，完善了温室设计建造规范及标准，发明了温室高效采光和蓄能创新结构及西北非耕地温室墙体因地制宜、就地取材的配套建造技术，突破了-30℃高寒地区喜温果菜不加温安全越冬生产极限，补充和丰富了作为我国具有自主知识产权特色的日光温室设计理论与应用技术，取得如下重大创新成果：

1.针对上述产业需求和研究现状，在给出日光温室主体尺寸确定原则的基础上，

提出了日光温室采光设计方法；在揭示日光温室传热机理的基础上，提出了日光温室热环境模型，应用一种创新的热环境模型来建立温室室内热环境和温室构件热性能以及室外环境特征之间的直接联系性；提出采用温度波动规律作为储能墙体的热性能设计指标。利用这种直接联系性，根据外界环境气候特征和温室热环境目标来推导确定温室构建的热性能设计指标，从而实现在设计阶段对温室进行整体的光热性能优化。

2.基于日光温室主被动储放热理论，创新提出了墙地联合主被动协同的立体储放热理念。针对北方地区日光温室后墙蓄热性能差的实际问题，根据日光温室主被动蓄热理论，将单纯的墙体被动储放热拓展到墙体—地面联合主被动储放热，开发了墙体内表面相变材料和水模块被动蓄放热结合、墙体内部风道和地面风道主动储放热结合的墙地主被动协同立体储放热系统，有效提高了日光温室冬季夜晚温度的同时，降低了空气湿度。

3.基于上述光热理论，结合西北非耕地就地取材建材供应特点，开发了系列化因地制宜的高效能温室。根据西北非耕地沙漠戈壁以及黄土的特点，按照因地制宜、就地取材、机械快速施工的温室设计建造原则，结合主动采光和墙地主被动储放热原理，研究开发了新型相变蓄热墙体温室、槽式日光温室、水模块墙温室、装配式砾石墙温室、土模块墙温室、山地温室、地下风道蓄热温室、绝热材料外置模块化装配式温室等系列新型节能日光温室结构。与对照普通砖墙日光温室相比，建造成本可降低 20%-30%，光照性能提高 15%-25%，室内温度平均提高 3-5℃，产量提高 15%-18%。

4.针对日光温室结构设计标准化建设不规范问题，建立了日光温室设计理论体系，完善了温室设计标准，形成了以国家标准为基础、行业标准为骨干、地方标准为补充的日光温室设计、施工、验收、评价全过程的标准体系，开发了配套工程设计软件并绘制了施工图集，实现了模块化装配式日光温室的标准化、轻简化建设。

2023 年中央一号文件把“发展现代设施农业”作为“抓紧抓好粮食和重要农产品稳产保供”的重要途径，并提出，“在保护生态和不增加用水总量前提下，探索科学利用戈壁、沙漠等发展设施农业”，在此背景下，项目技术成果为西北寒旱地区和戈壁地区设施农业发展提供了坚实的理论基础和技术保障。

#### 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）

2016 年 6 月 16 日，陕西省科技厅组织技术、财务及管理等领域专家，西北农林科技大学承担的“温室工程与环境综合调控与节能新技术集成”课题（课题编号：2011KTDZ02-03-02）进行了验收，形成如下意见：**课题研发了可变角度、瓶胆式墙体、非晶硅薄膜太阳能电池、相变蓄热器加热、多孔砖、浅层空气源热泵、蓄热后墙**

等 7 种新型日光温室；其温度比传统温室提高 3-6℃。提高采光率 25%以上。提高设施果菜产量 15%以上。

2017 年 06 月 09 日，农业部科技教育司组织有关专家对公益性行业（农业）科研专项“适合西北非耕地园艺作物栽培的温室结构与建造技术研究及产业化示范”(201203002)进行了会议验收，形成如下验收意见：项目围绕西北非耕地不同区域类型特点，研制开发出主动蓄热固化土墙体、装配式复合墙体、混凝土空心砌块墙体、卵石墙体等新型温室墙体结构 25 种，卡槽式抗风骨架、鱼腹式骨架、几字钢骨架等新型轻简化温室骨架 12 种，集成设计了标准化的日光温室结构 35 种。项目研制开发技术装备 32 项，光环境、热环境模拟评价软件系统 2 项。在西北地区新建集成示范温室 4020 亩，新建标准结构日光温室 8822 亩，改造日光温室 990 亩，温室结构及技术装备推广辐射应用共计达到 1.8 万亩。

2023 年 4 月 14 日，陕西省农村科技开发中心组织有关专家对西北农林科技大学主持完成的“模块化日光温室设计理论创新与技术应用”成果进行评价。该成果制定装配式日光温室建造技术规程 2 套；获国家授权专利 30 件，其中发明专利 4 件；发表论文 32 篇；出版著作 2 部。在陕西、宁夏、甘肃、内蒙等地推广应用。与砖墙温室相比，建造成本降低 30%以上，保温性能提高 3-5℃；与厚土墙温室相比，土地利用效率提高了 35%，空气湿度降低 10%以上，蔬菜产量提高 15%以上。该成果经济社会生态效益显著。

成果整体达到国内领先水平，其中日光温室墙体的储能设计理论与模块化建造技术达到国际先进水平。

## 五、应用情况

研究成果形成了 6 项标准，研究形成了日光温室设计理论方法和一系列日光温室设计建造标准，已成为指导全国日光温室设计的重要依据。在陕西、甘肃、宁夏、内蒙、青海、新疆等地累积推广了高效蓄能装配式日光温室 31.2 万亩，经济效益显著，累计总销售额为 21.3 亿元以上，累计总利润可达 6.2 亿元以上。

项目形成的研究成果对我国日光温室技术升级和产业生产效益提升有重大价值。一是研究形成的一系列日光温室设计理论和方法，可指导我国日光温室设计建造和性能评估；二是研究形成的一系列日光温室设计建造标准，健全了日光温室设计技术体系，在全国层面对日光温室荷载取值、主体结构设计等方面提出了明确的技术要求；三是实现了机械化建造模块化装配式日光温室的目的，节约了劳力成本、提高了建造速度、提升了温室性能；四是开发了适合西北非耕地日光温室系列结构，扩大了蔬菜种植面积，促进了农民增收以及农村快速发展、维护了生态环境，取得了明显的社会效益。

六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条）

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称                 | 国家(地区) | 授权号                | 授权日期       | 证书编号                                  | 权利人   | 发明人  |
|----|--------|--------------------------|--------|--------------------|------------|---------------------------------------|---|--|
| 1  | 发明专利   | 一种基于相变固化土的夯土墙成型方法与装置     | 中国     | ZL201611022233.7   | 2018-10-30 | 第 3127052 号<br>(中华人民共和国国家知识产权局)       | 西北农林科技大学  | 张勇*、邹志荣*   |
| 2  | 发明专利   | 一种主动采光及固化土自主蓄热后墙日光温室     | 中国     | ZL201310303274.3   | 2015-01-07 | 第 1559040 号<br>(中华人民共和国国家知识产权局)       | 西北农林科技大学  | 张勇*、邹志荣*   |
| 3  | 发明专利   | 一种基于土壤全热交换风道的轻简化主动采光蓄热温室 | 中国     | ZL2016.1.1209636.2 | 2019-11-01 | 第 106818299<br>(中华人民共和国国家知识产权局)       | 西北农林科技大学  | 张勇*、邹志荣*   |
| 4  | 国家标准   | 农业温室结构荷载规范               | 中国     | GB/T51183-2016     | 2017-04-01 | 中华人民共和国住房和城乡建设部                       | 农业部规划设计研究院/农业农村部农业设施结构工程重点实验室/中国农业大学/上海都市绿色工程有限公司/北京京鹏环球科技股份有限公司/北京 航天华阳环境工程有限公司/沧州温室制造有限公司/河南裕华光伏新材料股份有限公司 | 周长吉*、闫俊月、张秋生、丁小明*、魏晓明、周磊、李明、曹楠、张跃峰、梁宗敏、王建国、蒋秀根、秦家利、杨贵、周增产、刘卫明、韩希震、龚健、何衍萍 |
| 5  | 行业标准   | 日光温室设计规范                 | 中国     | NY/T3223-2018      | 2018-03-15 | ICS65.040.01<br>P35<br>(中华人民共和国农业农村部) | 农业部规划设计研究院  | 周长吉*、张秋生、闫俊月、何芬*、魏晓明、李明、杜孝明、王莉、盛宝永、徐开亮、闫冬梅                               |

| 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                               |
|----|--------|---------------------------|--------|---|------------|---------------------------------------|------------|-----------------------------------|
| 6  | 行业标准   | 温室通风设计规范                  | 中国     | NY/T 1451-2018                            | 2018-06-01 | ICS65.040.01<br>P35<br>(中华人民共和国农业农村部) | 农业部规划设计研究院 | 王莉、周长吉*、丁小明*                      |
| 7  | 论文     | 装配式主动蓄热墙体日光温室热性能分析        | 中国     | Doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2018.10.022 | 2018-05    | 农业工程学报                                | 西北农林科技大学   | 鲍恩财*、申婷婷、张勇*、曹凯、曹晏飞*、陈丹艳、何斌*、邹志荣* |
| 8  | 论文     | 主动蓄热日光温室不同气流方向后墙传热 CFD 模拟 | 中国     | Doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2018.22.021 | 2018-11    | 农业工程学报                                | 西北农林科技大学   | 鲍恩财*、邹志荣*、张勇*                     |
| 9  | 专著     | 温室建造工程工艺学                 | 中国     | ISBN:9787122236555                        | 2015-08    | 化学工业出版社                               | 西北农林科技大学   | 张勇*、邹志荣*                          |
| 10 | 专著     | 温室工程实用创新技术集锦              | 中国     | ISBN:9787109215474                        | 2016-10    | 中国农业出版社                               | 农业部规划设计研究院 | 周长吉*                              |

七、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)

八、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     |
|-----|----|---------|------------|-----------------|
| 邹志荣 | 1  | 教授      | 西北农林科技大学   | 总体设计与实施         |
| 周长吉 | 2  | 研究员     | 农业农村部规划设计院 | 日光温室设计理论构建      |
| 崔世茂 | 3  | 教授      | 内蒙古农业大学    | 水模块日光温室建造技术创新   |
| 张勇  | 4  | 副教授     | 西北农林科技大学   | 日光温室设计与相变模块技术创新 |
| 何芬  | 5  | 高级工程师   | 农业农村部规划设计院 | 日光温室设计理论构建      |
| 曹晏飞 | 6  | 副教授     | 西北农林科技大学   | 水模块日光温室建造标准研究   |
| 何斌  | 7  | 副教授     | 西北农林科技大学   | 模块化装配式日光温室建造技术  |
| 丁小明 | 8  | 研究员     | 农业农村部规划设计院 | 日光温室结构设计与建造技术   |
| 鲍恩财 | 9  | 副研究员    | 江苏省农科院     | 日光温室模块化蓄热理论研究   |
| 宋阳  | 10 | 副教授     | 内蒙古农业大学    | 水模块日光温室性能研究     |

九、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  | 成果整体设计与完成牵头单位,主要在理论创新与技术突破方面做出贡献 |
| 农业农村部规划设计研究院 | 2  | 主要在日光温室结构标准制定,技术推广应用方面做出贡献       |
| 内蒙古农业大学      | 3  | 主要在水模块设计与研究,技术推广应用方面做出贡献         |

十、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          | 科研合作、共同参与制定标准规范  | 周长吉/2, 何芬/5, 丁小明/8 | 2015-2020 | 项目验收   | 技术标准 |
| 2          | 科研合作、共同撰写论文、申请专利 | 张勇/4, 曹晏飞/6, 何斌/7, | 2015-2021 | 项目验收   | 论文   |
| 3          | 项目合作             | 崔世茂/3, 宋阳/10       | 2015-2020 | 项目验收   | 发明专利 |
| 4          | 共同研究             | 鲍恩财/9              | 2016-2020 | 共同发表文章 | 论文   |

### 完成人合作关系说明（限 1000 字）

成果申报单位西北农林科技大学园艺学院邹志荣教授团队、农业农村部规划设计院设施农业研究所周长吉研究员团队、内蒙古农业大学农学院崔世茂教授团队多年来就日光温室墙体蓄放热、建造技术以及性能评价开展战略合作，三方共同开展了非耕地日光温室建造技术及栽培管理技术等方面的科研合作，取得了本成果。

围绕“日光温室设计理论构建与模块化装配式日光温室建造创新”的内容，我们先后共同参与了农业农村部“适合西北非耕地园艺作物栽培的温室结构和建造技术研究产业化示范”公益性行业（农业）科研专项经费项目、“资源高效利用型设施蔬菜健康生产关键技术研究”宁夏自治区重点研发计划重大项目、“设施蔬菜高效固碳技术与示范的研究”。针对日光温室设计缺乏理论标准、建造技术不统一、日光温室保温蓄热功能差、日光温室建造无专用设备等问题开展研究。在日光温室设计理论构建方面，农业农村部规划设计院的周长吉、丁小明和何芬在设计理论的指导下制定了农业温室结构荷载规范和日光温室设计规范，构建了日光温室设计理论。在模块化装配式日光温室建造创新方面，张勇、何斌、曹晏飞、鲍恩财、崔世茂和宋阳开发了土、水、石、相变材料蓄热墙体模块与性能研究以及土模块快速制作机械设备，并在西北地区开展推广应用，使该项成果正在落地开花，应用到生产第一线。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

高翔

一、项目名称：高产优质多抗小麦新品种西农 556、西农 583 选育与应用

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

提名意见：小麦是陕西省主要粮食作物，生产中面临着降水不足、冬季寒冷、倒春寒、干热风与条锈病、赤霉病等多种病害威胁。西农 556、西农 583 是西北农林科技大学育成的小麦新品种，分别于 2012、2013 年通过陕西省审定。西农 556 在陕西省累计推广种植面积 1330 万亩，西农 583 在陕西省累计推广种植面积 1290 万亩，两个品种推广 2620 万亩，新增经济效益 13.84 亿元，社会经济生态效益显著。西农 583 于 2017 年通过河南省引种试验，2019 年通过江苏省引种试验，西农 556 于 2018 年通过河南省引种试验。完成引种后，在河南、江苏大面积示范推广。这说明它们具备了优质、高产、多抗、广适等综合性状优良的要求。

从育种及推广过程看，其经验也是值得借鉴的：1.在明确育种目标的基础上，创建了精准高效的优质、高产性状遗传累加和聚合技术，创制出具有小黑麦血缘，高产、多抗、大穗中间材料 9871，集优质、高产、综合抗病性好、多穗型于一体的新品系 99481。2.创新形成阶梯式杂交育种方法，构建了 F<sub>2</sub> 代、F<sub>3</sub> 代的后代选择与早代品质检测和多性状鉴定的后代测鉴技术，集成了优质高产抗病小麦新品种的育种技术，提高了育种效率。3.选育出产量高、抗病好的小麦新品种西农 556 与优质强筋、早熟抗病的小麦新品种西农 583。4.实现了新品种良种良法配套，建立了“高校+种子企业+合作社+加工企业”的小麦产业化推广模式，经济社会生态效益显著。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

### 三、项目简介

小麦是陕西省主要粮食作物，生产中主要面临着降水不足、冬季寒冷、倒春寒、干热风等威胁。而条锈病小种变化较快，需要不断的更新品种抗性，以适应条锈病小种的变化。特别是近几年随着玉米秸秆还田数量和面积的迅速增加，导致小麦赤霉病暴发性流行，生产上急需抗（耐）赤霉病的小麦新品种。选育高产优质多抗小麦新品种，特别是优质抗赤霉病小麦新品种，是改善我省小麦生产结构，增加农民经济收入，促进食品工业发展的最直接经济有效的方法。该项目围绕优质、高产、多抗小麦新品种重大育种需求，通过探索集成阶梯式杂交育种方法，创建精准高效的优质、高产性状遗传累加和聚合技术，把高产优质多抗等育种目标性状有效聚合，选育出适宜陕西南中和黄淮麦区种植的优质、高产、多抗的小麦新品种西农 556、西农 583，解决了



陕西乃至我国小麦生产中面临的主要问题，取得了以下主要成效：

**1.筛选出高产、多抗、优质的种质材料，创制了具有抗病、抗逆、优质外源基因的亲本材料：**对 1782 份亲本种质资源进行性状遗传特性和系谱分析，筛选出高产、多抗、优质种质材料 10 份。创制出具有小黑麦血缘，高产、多抗、大穗中间材料 9871，与集优质、高产、综合抗病性好、多穗型于一体的新品系 99481，和优质强筋、早熟、抗赤霉病的高代系 2004053。

**2.形成了多性状聚合的阶梯式杂交方法，构建了 F<sub>2</sub> 代、F<sub>3</sub> 代的后代选择与早代品质检测和多性状生态鉴定的后代测鉴技术：**拓宽了杂交组合遗传变异，丰富了遗传基础，实现了优良性状的有效选择，把产量高、品质佳、抗病强等对立性状实施于同一选择过程，提高了育种效率。

**3.选育出产量高、抗病好的小麦新品种西农 556 与优质强筋、早熟抗病的小麦新品种西农 583：**西农 556 高抗条锈、中抗赤霉，适应性广，适于面条、馒头生产的优质中筋小麦。西农 583 中抗条锈、中抗赤霉，早熟广适，品质达到国家强筋标准，适于面条、馒头、面包生产的优质强筋小麦。

**4.揭示了西农 556、西农 583 的栽培生理基础，制订了西农 556、西农 583 标准化优质高产栽培技术规程。**实现了新品种良种良法配套，建立了“高校+种子企业+合作社+加工企业”的小麦产业化推广模式，加快了品种的应用与推广。

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

### 1. 科技成果鉴定意见

西农 556 以小麦新品系 9871-23-2（陕 354/90（6）52-30）为母本，99371（闫麦 8911/豫展 1 号）为父本，采用阶梯式杂交育种方法于 2009 年选育而成，2012 年通过陕西省审定（陕审麦 2012006）。两年参加省区试共 12 点，增产 10 点，减产 2 点，增产点数占 83.3%，平均亩产 529.3 公斤，比对照小偃 22（平均亩产 502.5 公斤）增产 5.3%，具有优质、高产、综合抗病性好、早熟的特性，适宜关中灌区及黄淮麦区相同地区种植。

西农 583 采用阶梯式杂交育种方法以小麦品种远丰 175 为母本，集优质、高产、综合抗病性好、多穗型于一体的新品系 99481-47-2 为父本杂交，再以 9871-25-3-5-2 为父本进行复交，经系谱法选择，于 2010 年选育而成，2013 通过陕西省审定（陕审麦 2013004）。陕西省水地中肥组区域试验，平均亩产 517.8 公斤，比对照增产 1.34%。西农 583 适宜关中中西部灌区及相似地方种植。

西农 583 于 2017 年通过河南省引种试验，2019 年通过江苏省引种试验，西农 556 于 2018 年通过河南省引种试验，在河南、江苏大面积示范推广。

### 2. 科技查新结论

教育部科技查新工作站(N04)（西北农林科技大学图书馆信息咨询部）对项目进

行了查新：本项目研究通过创制具有小黑麦血缘，高产、多抗、大穗中间材料 9871，集优质、高产、综合抗病性好、多穗型于一体的新品系 99481。利用阶梯式杂交育种方法，创建了精准高效的优质、高产性状遗传累加和聚合技术，把产量高、品质佳、抗病强等对立性状实施于同一选择过程，成功解决高产优质、多抗广适等育种目标的有效聚合。育成了高产优质多抗小麦新品种西农 556、西农 583。制订出高产优质多抗小麦新品种的标准化栽培技术规程，实现了新品种良种良法配套，建立了“高校+种子企业+合作社+加工企业”的小麦产业化推广模式，加快了品种の利用与推广。本项目研究对高产优质多抗小麦新品种的选育提供了新的理论依据与技术支持，同时育成 2 个小麦新品种并进行推广应用，具有重要的育种理论研究意义而且也产生了显著的社会、生态效益及经济价值。通过对相关文献的阅读、分析和比较，认为该查询项目：“高产优质多抗小麦新品种西农 556、西农 583 选育与应用”具有新颖性。

### 3. 国家相关部门检测报告

3.1 品质检测报告：西农 556 经陕西省粮油产品质量监督检验站检测：籽粒容重 816 克/升，蛋白质（干）14.9%，沉淀值 41.3ml，湿面筋 33.8%，吸水率 63.2%，稳定时间 1.8 分钟，最大抗延阻力 130E.U.，拉伸面积 34cm<sup>2</sup>，角质率 93%，降落数值 253s。

西农 583 经农业部谷物及制品质量监督检验中心（哈尔滨）分析：籽粒容重 828 克/升，蛋白质（干）16.93%，沉淀值 60.5ml，湿面筋 33.9%，吸水率 58.4%，稳定时间 13.7 分钟，最大抗延阻力 755E.U.，拉伸面积 190.2cm<sup>2</sup>，角质率 100%，降落数值 297s。品质达到国家强筋小麦品质标准。

3.2 抗病性鉴定报告：经西北农林科技大学植保学院抗病鉴定：西农 556 高抗条锈病，感白粉病，中抗赤霉病，抗病性优于对照。西农 583 中抗条锈病，中抗白粉病，中抗赤霉病。

### 4.其他评价

#### 4.1 学术论文中评价

4.1.1 优质强筋遗传评价：邱玉亮等（2015）对西农 556、西农 583 的优质亚基遗传进行了研究，发现西农 556 的 HMW-GS 亚基组成为（null, 7+9, 2+12），西农 583 携带（1, 7+8, 3+12）HMW-GS 亚基。王玉杰等（2015）对西农 556 的 LMW-GS 亚基进行了分析，发现其携带 Glu-A3d/Glu-B3c/Glu-D3b 等位基因。魏益民等（2022）对陕西关中平原主要栽培小麦品种进行兰州拉面制作适宜性评价，发现西农 583 的稳定时间大于 30 min，认为西农 583 适宜制作兰州拉面。

4.1.2 抗病基因的克隆与鉴定：陈冬阳等（2016）对西农 556、西农 583 的抗病性几丁质酶基因进行了克隆与功能研究，认为该基因与西农 556、西农 583 的条锈病抗性有一定的关系。

4.1.3 抗旱节水评价：张龙龙等（2016）对拔节期、抽穗期、灌浆期、成熟期不同阶段抗旱性进行研究认为西农 556 具有一定抗旱性。

#### 4.2 优质小麦品种种植推荐

2019 年 7 月 26 河南省种子管理站发布《河南省强筋中强筋及弱筋小麦品种清单》，西农 583 属于强筋中强筋推荐小麦品种，建议在河南省优质专用小麦适宜区推广，促进河南省小麦丰产丰收。

### 五、应用情况

西农 556、西农 583 通过审定后，项目组在陕西、黄淮麦区适宜区域进行分点分片示范种植，加大品种的示范推广。目前，西农 556 在陕西省累计推广种植面积 1330 万亩，西农 583 在陕西省累计推广种植面积 1290 万亩，两个品种共计推广 2620 万亩，取得了较大的社会经济生态效益。同时，西农 556 通过河南省引种试验，西农 583 通过河南、江苏引种试验，进行了大面积示范推广。

### 六、主要知识产权和标准规范目录（限 10 条，发明奖和进步奖）

| 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                                      | 发明专利有效状态 |
|--------|--------------------------|--------|-------------------|------------------|-------------|-----------------------|--|----------|
| 动植物新品种 | 西农 556                   | 中国     | 陕审麦 2012006       | 2012 年 05 月 02 日 | 陕审麦 2012006 | 西北农林科技大学              | 高翔, 董剑, 赵万春                              | 有效       |
| 动植物新品种 | 西农 583                   | 中国     | 陕审麦 2013004       | 2013 年 05 月 27 日 | 陕审麦 2013004 | 西北农林科技大学              | 高翔, 董剑, 赵万春, 陈其皎, 李晓燕                    | 有效       |
| 论文     | 小麦新品种西农 556 选育及高产栽培技术    | 中国     | 2013, 59(1):2     | 2013 年 01 月 25 日 | 陕西农业科学      | 渭南市临渭区种子管理站, 西北农林科技大学 | 程兴虎, 李满良, 李小鹏, 刘青利, 董剑                   | 有效       |
| 论文     | 小麦新品种西农 583 的选育及其特征特性分析  | 中国     | 2015, 34(2):2     | 2015 年 02 月 25 日 | 种子          | 西北农林科技大学, 陕西省农牧良种场    | 董剑, 赵万春, 陈其皎, 高翔, 樊安平                    | 有效       |
| 论文     | 小麦主要库、流、源器官对产量和品质影响的初步评价 | 中国     | 2014,23 (04): 1-8 | 2014 年 04 月 25 日 | 西北农业学报      | 西北农林科技大学              | 要燕杰, 高翔, 李晓燕, 吴丹, 陈其皎, 董剑, 赵万春, 陈良国, 石引刚 | 有效       |

| 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   | 发明专利有效状态 |
|--------|-------------------------------|--------|------------------------|-------------|--------|----------|---|----------|
| 论文     | 小麦品质指标与面团流变学特性的相关和多元回归分析      | 中国     | 2013, 28(增刊): 147-154  | 2013年12月28日 | 华北农学报  | 西北农林科技大学 | 要燕杰, 高翔, 李晓燕, 吴丹, 陈其皎, 董剑, 赵万春, 陈良国, 石引刚, 李学军 | 有效       |
| 论文     | 三个小麦新品种不同生育阶段抗旱性的综合评价         | 中国     | 2016, 36(4): 426-434   | 2016年04月01日 | 麦类作物学报 | 西北农林科技大学 | 张龙龙, 杨明明, 董剑, 赵万春, 高翔, 陈冬阳                    | 有效       |
| 论文     | 低分子量谷蛋白亚基在小麦品种形成过程中的变化特征      | 中国     | 2013, 46(9): 1745-1755 | 2013年05月01日 | 中国农业科学 | 西北农林科技大学 | 杨芮, 高翔, 陈其皎, 李晓燕, 董剑, 孟敏, 赵万春, 石引刚, 陈良国       | 有效       |
| 论文     | 高效毛细管电泳(HPCE)对优质小麦HMW-GS的分离鉴定 | 中国     | 2015, 35(05): 638-644  | 2015年05月15日 | 麦类作物学报 | 西北农林科技大学 | 邱玉亮, 杨明明, 董剑, 赵万春, 陈其皎, 高翔, 石引刚, 陈良国          | 有效       |
| 论文     | 普通小麦几丁质酶基因的克隆与表达分析            | 中国     | 2016, 36(5): 539-548   | 2016年05月10日 | 麦类作物学报 | 西北农林科技大学 | 陈冬阳, 杨明明, 高翔, 张龙龙, 郭江岸, 李万                    | 有效       |

### 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位             | 对本项目技术创造性贡献   |
|----|----|---------|-----------------------|---|
| 高翔 | 1  | 无/教授    | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学 | 1、负责项目的总体设计与实施；2、制定优质高产抗病广适节水小麦新品种培育的育种目标；3、对杂交亲本进行选择与配置组合；4、对育成的新品种进行推广。 |
| 董剑 | 2  | 无/副研究员  | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学 | 1、杂交亲本的选择；2、后代选择、鉴定；3、省区试、生产示范资料的收集与整理；4、品种标准化栽培技术的研究与制定；5、品种的推广与示范。      |

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称   | 工作单位/完成单位                    | 对本项目技术创造性贡献   |
|-----|----|-----------|------------------------------|---|
| 赵万春 | 3  | 无/副研究员    | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学        | 1、高代品系的筛选与鉴定；2、产量试验、标准化栽培技术研究及集成；3、品种的提纯复壮与示范推广。                    |
| 李晓燕 | 4  | 无/副教授     | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学        | 1、分离世代选择与鉴定；2、原种生产、良种繁育与提纯复壮；3、新品种的加工产品开发及标准化研究；4、新品产量试验、生产示范与宣传推广。 |
| 杨明明 | 5  | 无/副教授     | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学        | 1、新品种的相关遗传基础研究；2、新品种的栽培技术与规范化研究。                                    |
| 温彩虹 | 6  | 站长/高级农艺师  | 陕西省农牧良种场/<br>西北农林科技大学        | 新品种的良种繁育与提纯复壮。  |
| 李春艳 | 7  | 副站长/高级农艺师 | 陇县种子工作站/<br>西北农林科技大学         | 新品种的种子提纯复壮与示范推广。  |
| 罗鸿  | 8  | 副站长/农艺师   | 陕西省农牧良种场/<br>西北农林科技大学        | 新品种的良种繁育与提纯复壮。  |
| 张龙龙 | 9  | 农艺师       | 陕西省农业技术推广<br>总站/西北农林科技<br>大学 | 新品种的抗旱性鉴定，遗传基础研究。   |
| 蔺晓伟 | 10 | 科长/高级农艺师  | 渭南市种子工作站/<br>西北农林科技大学        | 新品种的良种繁育与提纯复壮。  |

## 八、主要完成单位情况

| 单位名称     | 排名 | 主要贡献   |
|----------|----|--|
| 西北农林科技大学 | 1  | 作为该项目完成单位，在本项目研究中，西北农林科技大学在人力、物力、财力等方面给予了大力支持。提供了实验室、实验设备以及试验地等，保证了人员的配备，并积极组织申报各项课题研究，严格审查材料、组织申报品种审定等。在项目实施期间主持完成了陕西省 13115 工程中心：陕西省小麦工程技术研究中心，农业部：国家小麦产业技术体系-杨凌小麦综合试验站，国家自然科学基金等项目。选育出西农 556、西农 583 高产优质多抗小麦新品种，制订出了相应品种的高产优质栽培技术规程，实现了新品种良种良法配套，建立了“高校+种子企业+合作社+加工企业”的小麦产业化推广模式，整体达到国内先进水平，发表论文 36 篇。该项目攻克了产量高、品质佳、抗病强等对立性状不能同时选择的难题，对整体提升陕西省乃至我国小麦优质高产抗病新品种的育种研究水平和创新能力做出了重大贡献。 |

## 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 | 合作起始时间         | 合作完成时间           | 合作成果  |
| 1          | 共同知识产权、论文合著 | 董剑/2     | 2001 年 9 月 1 日 | 2022 年 12 月 31 日 | 品种选育：西农 556、西农 583；合作论文：“高效毛细管电泳（HPCE）对优质小麦 HMW-GS 的分离鉴定”、“小麦主要库、流、源器官对产量和品质影响的初步评价”、“小麦品质指标与面团流变学特性的相关和多元回归分析”、“小麦新品种西农 583 的选育及其特征特性分析”、“小麦新品种西农 556 选育及高产栽培技术”等。 |

|   |             |        |            |             |  |
|---|-------------|--------|------------|-------------|--|
| 2 | 共同知识产权、论文合著 | 赵万春/3  | 2008年9月1日  | 2022年12月31日 | 品种选育西农 556、西农 583；合作论文：“小麦主要库、流、源器官对产量和品质影响的初步评价”、“小麦品质指标与面团流变学特性的相关和多元回归分析”、“高效毛细管电泳（HPCE）对优质小麦 HMW-GS 的分离鉴定”、“小麦新品种西农 583 的选育及其特征特性分析”等。 |
| 3 | 共同知识产权、论文合著 | 李晓燕/4  | 2010年9月1日  | 2022年12月31日 | 品种选育西农 583；合作论文：“小麦主要库、流、源器官对产量和品质影响的初步评价”、“小麦品质指标与面团流变学特性的相关和多元回归分析”、“低分子量谷蛋白亚基在小麦品种形成过程中的变化特征”等。   |
| 4 | 论文合著        | 杨明明/5  | 2014年6月24日 | 2022年12月31日 | 合作论文：“高效毛细管电泳（HPCE）对优质小麦 HMW-GS 的分离鉴定”、“普通小麦几丁质酶基因的克隆与表达分析”、“三个小麦新品种不同生育阶段抗旱性的综合评价”等。  |
| 5 | 品种繁育与示范推广   | 温彩虹/6  | 2014年7月1日  | 2022年12月31日 | 西农 556、西农 583 的良种繁育与提纯复壮等。   |
| 6 | 品种繁育与示范推广   | 李春艳/7  | 2016年9月1日  | 2022年12月31日 | 西农 556、西农 583 的良种繁育与示范推广等。   |
| 7 | 品种繁育与示范推广   | 罗鸿/8   | 2017年7月1日  | 2022年12月31日 | 西农 556、西农 583 的良种繁育与示范推广。  |
| 8 | 论文合著        | 张龙龙/9  | 2013年9月10日 | 2022年12月31日 | “三个小麦新品种不同生育阶段抗旱性的综合评价”等。  |
| 9 | 品种繁育与示范推广   | 蔺晓伟/10 | 2017年7月1日  | 2022年12月31日 | 西农 556、西农 583 的良种繁育与提纯复壮等。   |

#### 完成人合作关系说明

**（限 1000 字）**

①与董剑合作共同选育了西农 556、西农 583；一起申报获批了陕西省 13115 工程中心、陕西省小麦工程技术研究中心、国家小麦产业技术体系-杨凌小麦综合试验站等项目；发表了项目研究相关论文。

②与赵万春合作共同选育了西农 556、西农 583；一起申报了陕西省 13115 工程中心，陕西省小麦工程技术研究中心，国家小麦产业技术体系-杨凌小麦综合试验站等项目；发表了项目研究相关论文。

③与李晓燕合作共同选育了西农 583；一起申报了陕西省科技计划、国家自然科学基金等项目；发表了项目研究相关论文。

④与杨明明合作研究西农 556、西农 583 的优质、抗性遗传基础，一起申报了陕西省科技计

划、国家自然科学基金等项目；发表了项目研究相关论文。

⑤与温彩虹合作进行西农 556、西农 583 的良种繁殖、宣传示范推广等工作，加快品种的应用。

⑥与李春艳合作进行西农 556、西农 583 的良种提纯复壮、示范推广等工作，加快品种的应用。

⑦与罗鸿合作进行西农 556、西农 583 的良种繁育与示范推广工作，加快品种的应用。

⑧与张龙龙合作研究西农 556、西农 583 的抗旱性，发表了项目研究相关论文。

⑨与蔺晓伟合作进行西农 556、西农 583 的良种繁殖、宣传示范推广等工作，加快品种的应用。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

贾汉忠

一、项目名称：土壤中持久性自由基的产生机制与环境效应

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

该项目依托多环芳烃/黏土矿物界面持久性自由基（PFRs）的形成机制及其环境稳定性研究和焦化场地土壤中环境持久性自由基的赋存特征及界面过程研究等国家自然科学基金项目，取得了一系列科学研究创新成果。共发表 SCI 论文 40 篇，其中中科院一区论文 28 篇，包括权威期刊 *Environ. Sci. Technol.* 论文 12 篇、*Water Res.* 期刊论文 3 篇等，SCI 他引 2054 次，ESI 高被引论文 5 篇。撰写首部以“环境持久性自由基”为主题的中文著作，参与制定团体标准与规范 1 部。该研究内容丰富，创新程度高，涵盖了土壤化学、土壤生态效应、环境化学和环境毒理学等内容。

其关键的创新点有：

- 1、率先发现并报道了土壤中 PFRs 的赋存特征与形成机制；
- 2、揭示了土壤中不同类型 PFRs 的反应活性与关键控制因子；
- 3、探明了 PFRs 对土壤生态系统的毒性效应与解毒策略。

该研究成果受到国内外同行高度评价与跟踪对比，推进了国内外对 PFRs 环境行为和环境效应的研究。这些创新成果填补了国内土壤介质中 PFRs 形成及其潜在环境风险的空白。鉴于这些研究成果，主要完成人获得教育部青年长江学者奖励计划、中国土壤学会优秀青年学者奖、中国环境科学学会青年科学家奖（金奖），率先在多门本研教材和本研课程中纳入“环境持久性自由基”相关知识，促进了相关领域科研与教育的发展。

经我单位鉴定（评审），该项目在土壤中持久性自由基的产生机制与环境效应等基础研究方面取得重要进展，发现的土壤中 PFRs 赋存特征、揭示的 PFRs 形成机制、提出的土壤 PFRs 环境效应等相关学术观点为国内外学术界所公认和引用，达到了国际领先水平，并得到了土壤学界和环境科学界广泛引用或应用，极大地推动了本学科和多项分支学科的发展。

对照《陕西省科学技术奖励办法实施细则》，推荐该项目申报 2023 年度陕西省自然科学二等奖。

三、项目简介：

持久性自由基（Persistent free radicals, PFRs）是指带有未配对电子的有机分子或基团。相较于传统认识的瞬时自由基（如 $\bullet\text{OH}$ ），PFRs 具有较长的寿命和较强的



顺磁稳定性,且更易随着介质进行迁移而增加生物体的暴露水平。基于其反应活性(如诱导产生活性氧的能力),PFRs 会诱发生物系统的氧化应激反应,引起细胞和器官损伤,被认为是一类新型的环境风险物质。目前,环境介质中 PFRs 的存在及其环境效应引起了国内外科研人员的广泛重视,有关 PFRs 的环境地球行为已成为研究的热点。然而,之前的相关研究主要聚焦于焚烧飞灰和大气颗粒物,对于常温常压下土壤生态系统中 PFRs 的生成、积累和命运认识不足。为此,本项目系统探讨了土壤中 PFRs 的形成过程与稳定机制、反应活性与氧化潜能、潜在毒性与生态风险等关键科学难题,为评估 PFRs 的环境行为与效应提供科学与技术支撑。主要发现点如下:

(1) **发现并报道了多种土壤环境介质上 PFRs 的存在及赋存特征,从分子水平上解析了土壤微观界面 PFRs 的形成与稳定机制,明确了影响和调控 PFRs 转化和累积的关键因子:**通过实际场地调查和室内模拟证实了有机污染物(如芳香类化合物、大分子聚合物)和外源添加物(如碳基材料)会造成土壤环境中 PFRs 的积累,进一步明确了不同来源和介质上 PFRs 的丰度、类型与赋存特征,并从分子水平上解析了 PFRs 的形成机制(包括界面电子传递和化学键断裂),进而指出了土壤中黏土矿物、有机质等组分对 PFRs 稳定的关键作用。此外,研究还发现土壤含水率和氧气含量是影响和调控 PFRs 累积的关键因素。这些结论为评估和预测土壤环境中 PFRs 污染特征和潜在风险提供了重要的理论基础。

(2) **解析了土壤环境中 PFRs 诱导产生活性氧的界面过程与转化路径,明确了 PFRs 丰度、类型和赋存方式与其反应活性的关系,揭示了土壤中 PFRs 对氧化潜能的贡献:**系统分析了土壤环境中不同载体上 PFRs 的反应活性,证实 PFRs 可通过单电子转移诱导超氧阴离子等活性氧(ROS)的形成;进一步将土壤中 PFRs 解析为“表面吸附态”和“结构固定态”自由基,建立了其与 ROS 形成的关系,发现“吸附态”自由基占比相对较小,但活性较强,并且会响应光照、水分、氧气等环境因子的改变。基于此,明确了 PFRs 赋存形态与其反应活性的关系,并进一步阐明了 PFRs 类型、来源及活性与氧化(及还原)潜能的关系,弥补了以往盲目通过 PFRs 的丰度判断其反应活性和潜在毒性的不足。

(3) **揭示了土壤环境中 PFRs 对胞外酶和微生物群落的毒性效应,明确了 PFRs 对土壤无脊椎动物的致毒途径,阐明典型作物响应 PFRs 胁迫的内在机制以及生物体的解毒策略:**系统探讨了 PFRs 对土壤生态系统的影响,发现 PFRs 及其诱导产生的 $\cdot\text{OH}$ 可引起氧化还原酶活性、细菌丰度和多样性的下降;阐明了携带 PFRs 的土壤颗粒较其母体化合物(如 PAHs)和终产物具有更高的毒性,不但会引起土壤动物(如蚯蚓)组织结构破坏和炎症,而且促使了肠道菌群组成和结构的变化,造成了免疫和代谢功能障碍;证实 PFRs 诱导产生的 $\cdot\text{OH}$ 是土壤植物(小麦)损伤的最大贡献因子,发现土壤植物可通过提高自身抗氧化酶活性和招募有益菌群来抵抗胁迫。此工作阐明了

PFRs 引起土壤生态毒性的途径和机制，解析了 PFRs 的致毒效应，明确了土壤植物-动物-微生物协同解毒策略。

本项目共发表相关论文 42 篇，包括 SCI 索引论文 40 篇（其中 *Environ. Sci. Technol.* 12 篇），EI 检索中文核心期刊《科学通报》论文 2 篇，SCI 他引 2054 次，其中 5 篇代表性 SCI 论文他引 453 次，ESI 高被引论文 1 篇。相关成果主编专著 1 部（国内首部相关内容专著）。受到国内外同行高度评价与跟踪对比，推进了国内外对 PFRs 环境行为和环境效应的研究。项目执行期间，主要完成人获得教育部青年长江学者奖励计划、中国土壤学会优秀青年学者奖、中国环境科学学会青年科学家奖（金奖），率先在多门本教材和本研课程中纳入“环境持久性自由基”相关知识，促进了相关领域科研与教育的发展。

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

本项目共发表相关论文 42 篇，包括 SCI 索引论文 40 篇（其中 *Environ. Sci. Technol.* 12 篇），EI 检索中文核心期刊《科学通报》论文 2 篇，撰写了首本以环境持久性自由基为主题的专著—《环境持久性自由基》（中国环境出版集团，2022）等著作。这些成果受到国内外同行的广泛关注和高度评价，在土壤、环境、化学领域高影响力的 *Angew. Chem. Int. Ed.*、*Adv. Funct. Mater.*、*Environ. Sci. Technol.* 等 SCI 期刊他引 2054 次，其中 5 篇论文入选 ESI 高被引论文，有力推动了土壤环境科学研究领域的发展。

项目有关不同环境介质上 PFRs 的发现、形成过程和稳定机制的报道受到国内外同行的广泛认可和引用。韩国科学院院士、权威期刊 *ACS ES&T Eng.* 主编、韩国浦项科技大学 Wonyong Choi 教授发表在 *Appl. Catal. B-Environ.* (2019, 259, 118066) 的论文认为申请人的工作证实了具有较大离域能的芳香化合物可以作为电子供体将电子传递给受体物质，从而促使 PFRs 的形成和污染物的转化，并大篇幅引用申请人的工作描述这一过程，且将此原理用于 PAHs/碳材料界面反应机理的解释。东京工业大学 Shigekazu Ito 教授发表在化学类权威期刊 *Angew. Chem. Int. Ed.* (2021, 60, 24034-24038) 上的热点论文提出，申请人基于自由基反应揭示了 PAHs（如蒽）的环境化学行为，并发现了多种有趣（intriguing）的转化产物。国际火灾安全科学学会主席、澳大利亚查尔斯·达尔文大学（Charles Darwin University）副校长、著名环境工程领域专家 Bogdan Z. Dlugogorski 教授发表在燃烧领域顶级期刊 *P. Combust. Inst.* 的论文 (2019, 37, 3091-3099) 中同样提出，申请人在 PFRs 方面的贡献是发现并描述了 PAHs 污染土壤中 PFRs 的产生过程。最早开展 PFRs 研究的科研人员之一、美国南卡大学 Eric P. Vejerano 教授发表在 *Environ. Sci. Technol.* (2018, 52, 2468-2481) 的 Critical Review 论文中提到申请人的研究结果揭示“除了燃烧反应过程，在自然环境条件下受污染土壤同样有形成 PFRs 的可能性”。同时，美国丹佛大学 Brian J.

Majestic 教授发表在 *Atmos. Environ.* (2020, 240, 117809) 的论文开篇即指出, 申请人发现并鉴定了有机污染土壤、微塑料等环境介质上 PFRs 的存在, 从而证实 PFRs 污染问题的普遍性。

本项目所提出的 PFRs 与 ROS 互相转化机制及其潜在环境效应也受到国内外同行的广泛认可。中国科学院院士、国家环境生态咨询委员会委员、国家环境与健康专家咨询委员会委员、*Environ. Sci. Technol.* 副主编、北京大学城市与环境学院陶澍教授发表在 *Environ. Sci. Technol.* (2022, 56, 3997-4004) 上的论文多处引用申请人的研究成果, 认为申请人的工作是目前仅有的研究实际燃烧条件所形成碳基颗粒物上 PFRs 特征的论文, 并借鉴申请人所提出的“表面吸附态”和“结构固定态”PFRs 分类理论和方法, 用以区分碳基颗粒物上 PFRs 对 ROS 形成和潜在风险的作用。香港科学会会员、香港中文大学联合书院前院长、教育部“长江学者”讲座教授余济美博士发表在材料领域权威期刊 *Adv. Funct. Mater.* (2021, 31, 2006505-2006535) 上的 review 文章大篇幅引用申请人论文描述了碳基材料上 PFRs 的形成过程, 并以此阐释生物炭上 PFRs 对其氧化还原活性及污染物降解方面的贡献。中国工程院院士、哈尔滨工业大学马军教授发表在环境权威期刊 *Environ. Sci. Technol.* (2021, 55, 9293-9304) 上的论文 6 处引用申请人的 3 篇研究工作描述碳基材料上 PFRs 的形成、寿命及其反应活性, 认为申请人的工作证实了碳基材料和聚合物上 PFRs 与 ROS 之间的相互转化过程, 以及此过程在氧化还原和电子传递中的关键作用, 并将其作为重要依据来支撑界面亚稳态中间体理论的提出。

本项目关于 PFRs 潜在毒性的研究成果被同行高度评价与引用, 认为申请人的工作提升了对于环境自由基生态效应的认识。率先提出 PFRs 概念的团队成员、美国路易斯安娜州立大学 Slawomir Lomnicki 教授发表在 *Environ. Technol. Inno.* (2022, 28, 102755) 的论文多处引用申请人的工作描述生物炭携带 PFRs 进入土壤后的转化过程、寿命/稳定性, 及其与土壤组分的互作行为, 认为这些结果有利于从种植过程和施肥角度认识 PFRs 长期作用下的土壤化学性质变化和环境影响, 为重新审视和准确评估生物炭在农田土壤中的生态风险和应用效益提出了新的视角。澳大利亚科廷大学“John-Curtin 杰出教授”、阿德莱德大学化学工程与先进材料学院 Wang Shaobin 教授发表在 *Water Res.* (2021, 198, 117144-117170) 上的 review 文章多处引用申请人的工作描述微塑料上 PFRs 的形成过程, 认为申请人的最新发现证实, 目前人们低估了环境微塑料的毒性, 并在“观点”中呼吁要基于此工作开展更多有关于聚合物上 PFRs 潜在风险的研究。德国拜罗伊特大学工艺生物信息系主任 Ruth Freitag 教授发表在 *J. Hazard. Mater.* (2022, 435, 128955) 上的文章多处引用申请人的工作说明聚合物上 PFRs 的形成及其潜在毒性, 认为我们的工作“证实了这个事实 (stressed the fact), 即光照会通过自由基途径增加塑料颗粒的氧化潜能并增强其毒性”。同时, 美

国马萨诸塞大学著名的环境科学专家邢宝山教授发表在环境类权威期刊 *Environ. Sci. Technol.* (2020, 54, 6202-6212) 引用申请人的工作佐证 PFRs 的形成及其诱导产生的 ROS 会引起生物细胞的氧化损伤和线粒体的破坏。

总之,本项目成果不仅明晰了土壤环境自由基化学过程,丰富并深化了环境地球科学的学科内涵,为认识土壤次生污染物 PFRs 的潜在环境风险提供了科学依据,也为生物炭、塑料产品等在农业生产过程的安全投入与利用提供了理论支撑。申请人针对“PFRs 环境行为与效应”的研究产生了一定的学术影响和引领作用,“Persistent free radicals”相关科研成果的数量在国际学者中位于前列(总排名位于第2,近5年排名第1),并出版了首部以“环境持久性自由基”为主题的中文专著。

## 五、应用情况

本项目共发表相关论文42篇,包括SCI索引论文40篇(其中 *Environ. Sci. Technol.* 12篇),EI检索中文核心期刊《科学通报》论文2篇,撰写了首本以环境持久性自由基为主题的专著—《环境持久性自由基》(中国环境出版集团,2022)等著作,授权国家发明专利5件。这些成果受到国内外同行的广泛关注和高度评价,在土壤、环境、化学领域高影响力的 *Angew. Chem. Int. Ed.*、*Adv. Funct. Mater.*、*Environ. Sci. Technol.* 等SCI期刊他引2054次,其中5篇论文入选ESI高被引论文,有力推动了土壤环境科学研究领域的发展。基于以上成果,本项目第一完成人获青年长江学者奖励计划、陕西省杰出青年科学基金、中国土壤学会优秀青年学者奖、中国环境学会青年科学家奖金奖、中国农学会青年科技奖等人才奖励和项目支持。针对本项目内容,培养博士研究生9名,硕士研究生26名,并率先在本科生课程《土壤污染控制与修复》及相应教材纳入本项目内容,为我国土壤科学和环境科学人才培养做出积极贡献。本项目涉及研究成果协助开展或完成国家自然科学基金面上项目3项、科技部部署国家重点研发计划“场地土壤污染成因与治理技术”重点专项,促进了土壤学、环境科学和自由基化学的融合发展。

## 六、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)

1. Hanzhong Jia, Song Zhao, Yafang Shi, Lingyan Zhu, Chuanyi Wang, and Virender K. Sharma. Transformation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Formation of Environmentally Persistent Free Radicals on Modified Montmorillonite: The Role of Surface Metal Ions and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Molecular Properties. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52, 10, 5725-5733.

2. Song Zhao, Pin Gao, Duo Miao, Lan Wu, Yajie Qian, Shanping Chen, Virender K. Sharma, Hanzhong Jia. Formation and Evolution of Solvent-Extracted and

Nonextractable Environmentally Persistent Free Radicals in Fly Ash of Municipal Solid Waste Incinerators. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53, 10120-10130.

3. Hanzhong Jia, Shuaishuai Li, Lan Wu; Shiqing Li, Virender K. Sharma, Bing Yan. Cytotoxic Free Radicals on Air-Borne Soot Particles Generated by Burning Wood or Low-Maturity Coals. *Environmental Science & Technology*, 2020, 54, 5608-5618.

4. Song Zhao, Duo Miao, Kecheng Zhu, Kelin Tao, Chuanyi Wang, Virender K. Sharma, Hanzhong Jia. Interaction of benzo[a]pyrene with Cu(II)-montmorillonite: Generation and toxicity of environmentally persistent free radicals and reactive oxygen species. *Environmental International*, 2019, 129, 154-163.

5. Kecheng Zhu, Hanzhong Jia, Song Zhao, Tianjiao Xia, Xuetao Guo, Tiecheng Wang, Lingyan Zhu. Formation of Environmentally Persistent Free Radicals on Microplastics under Light Irradiation. *Environmental Science & Technology*, 2019, 5, 8177-8186.

#### 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   |
|-----|----|---------|-----------|---|
| 贾汉忠 | 1  | 教授      | 西北农林科技大学  | 负责项目设计和总体统筹，提出项目的主要创新思路、设计技术路线和方案、项目总结等。发现了土壤中持久性自由基的存在、阐明了持久性自由基的形成机制，明确了影响持久性自由基累积的关键因素，对代表性成果的第1、2、3、4和5项做出了主要贡献 |
| 祝凌燕 | 2  | 教授      | 南开大学      | 主要开展了土壤中有有机污染物的转化和持久性自由基的形成过程，发现土壤中多环芳烃转化和微塑料老化过程中PFRs的形成，对代表性成果1、5做出主要贡献   |
| 祝可成 | 3  | 副教授     | 西北农林科技大学  | 参与完成项目的重要内容，特别是发现微塑料上持久性自由基的存在，并阐明了持久性自由基诱导形成活性氧的机理，对代表性成果4、5做出了贡献  |
| 郭学涛 | 4  | 教授      | 西北农林科技大学  | 主要开展了土壤中持久性自由基污染特征的调查工作，并分析了其对土壤微生物群落结构的影响，对代表性成果5做出了贡献   |
| 王铁成 | 5  | 教授      | 西北农林科技大学  | 主要开展了土壤及聚合物上持久性自由基的形成过程，对代表性成果5做出了贡献  |

#### 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称     | 排名 | 主要贡献  |
|----------|----|---|
| 西北农林科技大学 | 1  | 本项目的的设计、完成、总结工作由该单位完成，同时为项目顺利开展提供了平台条件、人员支撑和科研经费。 |
| 南开大学     | 2  | 为项目开展提供了平台条件、人员和技术支持                              |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况表   |      |                                    |           |  |      |
|--|------|------------------------------------|-----------|--|------|
| 序号   | 合作方式 | 合作者/项目排名                           | 合作时间      | 合作成果   | 证明材料 |
| 1  | 论文   | 贾汉忠(1)、祝凌燕(2)                      | 2018-2022 | Transformation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Formation of Environmentally Persistent Free Radicals on Modified Montmorillonite: The Role of Surface Metal Ions and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Molecular Properties. | 发表论文 |
| 2  | 论文   | 贾汉忠(1)、祝可成(3)                      | 2018-2022 | Interaction of benzo[a]pyrene with Cu(II)-montmorillonite: Generation and toxicity of environmentally persistent free radicals and reactive oxygen species   | 发表论文 |
| 3  | 论文   | 贾汉忠(1)、祝凌燕(2)、郭学涛(4)、王铁成(5)、祝可成(3) | 2018-2022 | Formation of Environmentally Persistent Free Radicals on Microplastics under Light Irradiation   | 发表论文 |
| <p><b>完成人合作关系说明（限 1000 字）</b></p> <p>本项目涉及的 4 位完成人来自西北农林科技大学资源环境学院，第二完成人为资源环境学院外聘专家，具有长期的合作基础，在课程申请、论著发表、研究生培养、知识产权申报等多个方面保持着合作的关系。</p> <p>第一完成人与第二完成人共同发表论文十余篇，包括本项目涉及的代表性成果 1 和 5，且合作培养硕士研究生 5 人，博士研究生 4 人。</p> <p>第一完成人与第三完成人、第四完成人和第五完成人共同发表论文十余篇，包括本项目涉及的代表性成果 5。第二完成人和第三完成人、第四完成人、第五完成人之间也有论文的合作，如代表性成果 5。</p> |      |                                    |           |  |      |

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

食冯宪超

一、项目名称：肉蛋白功能调控及肉品品质提升关键技术及应用

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：**提名单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合 2023 年度陕西省科学技术奖励办公室的申报要求。

项目围绕冷鲜肉成熟嫩化、肉蛋白凝胶和乳化以及肉品保水性和风味稳定性等方面的关键科学问题。开展了“肉蛋白功能调控及肉品品质提升关键技术及应用”的研究，揭示了多酚、还原糖、胞外蛋白和天然纤维素以及超声波、超高压和脉冲电场，对肉蛋白结构和功能特性的影响规律与机制，创建了高效的肉品品质调控技术体系。构建了超声波和多酚诱导细胞凋亡和自噬改善肉嫩度的技术体系，使冷鲜鸡肉的嫩度提高了 40%，保水性提高了 43%。利用脉冲电场、糖基化改善 PSE 肉品质的技术体系，使 PSE 肉蛋白溶解度提升至 70%，凝胶强度和保水性分别提高了 88%和 34%。创建了环糊精衍生物调控蛋白-多酚互作的技术体系，使多酚在肉品中的添加剂量提高了 10 倍。创立了液态糖基化方法提升肉品风味品质的技术体系，使肉蛋白对醛类风味物质的吸附能力提高了 20%-30%。采用菊粉调控低脂肉品品质的技术体系，使低脂乳化肠的蒸煮损失降低至 1.5%，硬度提升 32%。通过项目成果的推广与应用，解决了肉嫩度品质差、腌制效率低、精深加工肉品品质不稳定等重大技术难题，产生了显著的经济和社会效益，对我国肉品加工业的发展产生了重要的推动作用。

推荐该项目申报 2023 年度陕西省科学技术奖科学技术进步二等奖。

三、项目简介：

本项目属肉加工技术领域。

该项目针对冷鲜肉嫩度品质差、持水力低，异质肉（PSE 肉）蛋白加工特性差，肉制品质构、保水和风味稳定性差等畜禽食品加工过程中的行业问题和共性问题，围绕“肉蛋白功能调控及肉品品质提升关键技术及应用”开展研究。凝炼了冷鲜肉成熟嫩化及肉蛋白凝胶、乳化、保水性和风味稳定性等方面的关键科学问题，阐明了多酚、还原糖、胞外蛋白、天然发酵纤维素及超声波、超高压和脉冲电场对肉蛋白结构和功能特性的影响规律和机制，创建了高效的肉品品质调控技术体系。

研发了利用超声波、脉冲电场、多酚及糖基化改善冷鲜肉品质的技术体系，借助超声处理使冷鲜肉的嫩度提高了 26%；采用槲皮素处理使冷鲜鸡肉的嫩度提高了 40%，保水性提高了 43%；通过 18 kV/cm、800 Hz 的脉冲电场处理使以苍白、柔软、保水

性差为特征的异质肉（PSE 肉）蛋白溶解度提高至 95%，凝胶强度提升了 90%；利用糖基化处理可使 PSE 肉的蛋白溶解度提升至 70%。构建了利用环糊精及支链淀粉控制肉蛋白与多酚互作的调控技术体系，使 EGCG 的加载量提高 10 倍，肉蛋白凝胶蒸煮损失降低 62%，凝胶呈现均匀多孔的微观结构，强度改善了 39%。建立了利用液态糖基化方法提升酱卤肉制品风味品质的调控技术体系，使肉蛋白对醛类风味物质的吸附能力提高了 20%-30%。研制了呼吸式静态变压腌制技术，发明了静态变压腌制装置，使腌制效率提高了 33%，均匀度提高了 42.6%，盐溶性蛋白溶解度提高了 6%-15%。创建了利用大豆分离蛋白、天然发酵纤维素、胞外蛋白及超高压改善低盐低脂肉制品品质和保水特性的技术体系，发现可得然凝胶多糖改性的大豆分离蛋白使 3D 打印鸡胸肉糜的蒸煮损失降低 36%；1%的天然发酵纤维素可与肉蛋白发生非共价相互作用，使低脂肉制品的蒸煮损失降低 17%，硬度提升了 81%；4%的菊粉可通过改变肌球蛋白的二级结构，进而改善肉蛋白的功能特性，使低脂乳化肠的蒸煮损失降低至 1.5%，硬度提升了 32%；利用 0.1 g/kg 纳豆枯草芽孢杆菌的胞外蛋白（BsIA），将低脂肉制品蒸煮损失降低 38.7%；100-300 MPa 超高压处理 9 min 可使凝胶类肉制品的体外肠道消化率提高 61.3%。有效解决了冷鲜肉嫩度品质差，肉腌制效率低，原料肉与辅料相互作用难以控制，肉制品食用品质和风味品质不稳定，低盐低脂肉糜类制品品质和保水性差等重大技术难题，显著改善了肉品的加工技术水平，为推动我国肉品产业的高质量发展做出了重要贡献。

项目成果共发表 SCI 论文 46 篇，其中 Top 期刊论文 30 篇；授权国际、国内发明专利 3 件、实用新型专利 6 件、软件注册权 1 件。项目成果已在全国 10 余家规模企业转化应用，主要应用单位近三年累计新增销售额 51.56 亿元，新增利润 5.13 亿元，新增税收 1.09 亿元，产生了显著的经济效益，有效推动了我国肉品加工产业的转型升级和可持续发展。

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

##### 4.1 科技成果鉴定意见

2023 年 5 月 23 日，陕西省畜牧兽医学会在杨凌组织相关专家对西北农林科技大学主持完成的“肉蛋白功能调控及肉品品质提升关键技术及应用”成果进行了评价。专家组在听取 PPT 汇报、查阅成果材料的基础上，经质询、评议，形成以下意见：

- 1.该成果档案资料齐全、规范，符合成果评价的要求。
- 2.该成果在原料肉成熟与加工基础理论上有所突破。发现肌细胞死亡受体通路、线粒体通路以及细胞自噬可以加速肌原纤维降解，提高肉的嫩度品质；发现了脉冲电场与糖基化可调控肉蛋白二级结构从而改善 PSE 肉的加工特性；阐明了变压加速腌制液在原料肉肌纤维束中定向渗透迁移的动力学机制，有利于改善酱卤肉制品风味品质；



发现作为风味改良剂和天然抗氧化剂的多酚能通过迈克尔加成反应修饰肉蛋白，为天然多酚在肉制品中的应用提供了理论依据。

3.该成果在原料肉加工与品质调控关键技术上有创新。创建了利用超声波、脉冲电场、糖基化与天然多酚提升冷鲜肉品质及改善 PSE 肉加工特性的绿色关键技术体系；首次利用 $\beta$ -环糊精、支链淀粉调控多酚与肉蛋白的作用机制，确定了多酚在深加工肉制品中的添加剂量，解决了高剂量多酚导致深加工肉制品品质变差的行业难题；创建了利用液态糖基化方法提升酱卤肉制品风味品质的调控技术，研制了呼吸式静态变压腌制技术，发明了静态变压腌制装置，解决了酱卤肉制品风味稳定性差、腌制效率低和工业化高效腌制设备缺乏的问题；创建了利用大豆分离蛋白、天然纤维素、胞外蛋白及超高压改善低盐低脂肉制品质构和保水特性的技术体系，解决了低盐低脂肉制品质构与保水特性差的行业问题。

4.该成果企业应用成效明显。该成果已在 10 余家全国著名规上企业转化应用，近三年累计新增销售额 51.56 亿元，新增利润 5.13 亿元，新增税收 1.09 亿元，经济、社会和生态效益显著。

综上，专家组 7 名专家一致认为，该成果在我国冷鲜肉和肉制品加工理论与技术上创新性明显，实际转化应用效果好，为推动我国肉品产业的高质量发展发挥了重要作用，做出了重要贡献。建议进一步加大该成果的推广应用范围。

#### 4.2 查新结论

结论：本项目中超声波、多酚通过宰后细胞凋亡调控冷鲜鸡肉嫩度品质的技术；脉冲电场、糖基化改善类 PSE 肉品质的技术；环糊精、支链淀粉调控肉蛋白-多酚互作的关键技术体系；静态变压腌制及液态糖基化方法提升酱卤肉制品腌制效率和吸附风味物质的能力技术；天然发酵纤维素、纳豆芽孢杆菌生物膜表层蛋白、大豆分离蛋白和超高压处理调控低脂肉品品质的技术体系。除本项目组人员文献，未见其他相关中英文文献报道。

#### 4.3 专家评价意见

赵改名教授，中国畜产品加工研究会副会长，河南省肉制品加工与质量安全控制重点实验室主任，对本项目评价“在冷鲜肉成熟嫩化、异质（PSE）肉品质提升、肉蛋白-多酚互动调控、酱卤肉制品风味稳定性、低盐低脂肉制品品质提升等方面开展科技攻关，创建了肉蛋白功能特性提升及肉品品质控制关键技术，成果达到国际先进水平”。

余群力教授，国家肉牛牦牛产业技术体系岗位专家，甘肃省特聘科技专家，甘肃省第一层次领军人才，对本项目评价“通过建立肉制品品质的调控体系，达到提升肉制品的加工技术水平的目标，为我国肉品加工的产业升级做出了重要贡献，成果达到国际先进水平”

刘源教授，上海交通大学农业与生物学院食品科学与工程系主任，国家优秀青年基金获得者，对本项目评价“在揭示超声波、超高压和脉冲电场等高新技术对肉蛋白结构和功能特性的作用机制，并阐明多酚、还原糖、胞外蛋白和天然纤维素等与肉蛋白交联规律及机制的基础上，创建了肉品品质控制关键技术体系，显著地提升了肉品企业的加工技术水平，成果达到国际先进水平”。

王道营研究员，江苏省农业科学院农产品加工研究所副所长，对本项目评价“通过揭示脉冲电场、糖基化调控肉蛋白质功能特性的规律及机制，创建了改善 PSE 肉品质及酱卤肉制品风味品质的技术体系；在阐明肉蛋白-多酚/天然纤维素/胞外蛋白互作的规律及机制的基础上，创建了肉制品品质的调控体系，显著提升了肉制品品质及精深加工技术水平，成果达到国际先进水平”。

#### 4.4 第三方检测报告

经过广州海关技术中心检测的广东温氏佳味食品有限公司豉油鸡、盐焗鸡；经过精益和泰质量检测股份有限公司检测的广东温氏佳味食品有限公司白切鸡；经过深圳市中鼎检测技术有限公司检测的广东温氏佳味食品有限公司骨香鸡、胡椒猪肚鸡，产品均符合国家相关食品标准的要求。

#### 4.5 部分项目验收意见

(1) 2022 年国家自然科学基金委对面上项目“ $\beta$ -环糊精抑制 EGCG-蛋白互作的机制及其对肌原纤维蛋白凝胶特性的影响 (31771991)”，按有关规定已审核完毕，准予项目结题。

(2) 2022 年国家自然科学基金委对面上项目“羊肉成熟中内质网应激介导细胞凋亡的作用机制 (31771904)”，按有关规定已审核完毕，准予项目结题。

(3) 2022 年陕西省科技厅对科技计划项目“蛋白质糖基化修饰增强腊羊肉风味稳定性的关键技术研究 (2019NY-186)”进行了验收并同意通过验收。

(4) 2020 年国家自然科学基金委对面上项目“肌原纤维蛋白糖基化对类 PSE 肉凝胶品质改善机理研究 (31571854)”，按有关规定已审核完毕，准予项目结题。

(5) 2020 年国家自然科学基金委对青年项目“EGCG 共价修饰巯基对肌原纤维蛋白乳化凝胶特性的影响及机制研究 (31601497)”，按有关规定已审核完毕，准予项目结题。

#### 4.6 部分项目发表论文获国内外著名专家公开引用和评价

(1) 中国工程院院士朱蓓薇教授在 TOP 期刊“Molecules, 2019”上肯定并引用了“细胞凋亡酶和相关蛋白因子，调控肉蛋白水解，提高肉类的嫩化过程”的研究发现。

(2) 国际食品科学院 IAFoST 院士熊幼翎教授在 Top 期刊“Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021”肯定并引用了“EGCG 通过修饰肉蛋白提高了肉蛋白凝胶的蒸煮损失”的研究发现。

(3) 国际食品科学院院士江连洲教授在 Top 期刊“Food Hydrocolloids, 2023”肯定并引用了“糖基化可以将蛋白质的刚性结构展开, 从而改善蛋白质的功能特性”的研究发现。

(4) 福州大学生物科学与工程学院执行院长汪少芸教授在 Top 期刊“Journal of the Science of Food and Agriculture, 2023”肯定并引用了“适量添加纳豆蛋白改善鸡肉肌原纤维蛋白凝胶的微观结构”的研究发现。

(5) 合肥工业大学食品与生物工程学院院长徐宝才教授在 Top 期刊“Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023”上肯定并引用了“糖基化可通过诱导牛肉肌原纤维蛋白机构展开, 显著提高蛋白与醛类风味化合物的结合能力”的研究发现。

(6) 陕西师范大学食品工程与营养科学学院院长杨兴斌教授在 Top 期刊“Food Hydrocolloids, 2021”上肯定并引用了“细菌纤维素通过物理缠结、氢键、疏水力和范德华力改善了复合凝胶的特性”的研究发现。

(8) 国家“万人计划”科技领军人才, 南京财经大学食品科学与工程学院王立峰教授在 TOP 期刊“Ultrasonics Sonochemistry, 2020”肯定并引用了“高压处理可显著提高蛋白质消化率”的研究发现。

(7) 南昌大学食品学院副院长张国文教授在 Top 期刊“Food Chemistry, 2023”充分肯定并引用了“用 EGCG 处理的肌原纤维蛋白乳液凝胶的可溶性蛋白降低”的研究发现。

(8) 瓦赫宁根大学 Julia Katharina Keppler 教授在 Top 期刊“Trends in Food Science and Technology, 2020”肯定并引用了“环糊精衍生物可以抑制 EGCG 与肉蛋白之间的加成反应, 改善了肉蛋白的凝胶特性”的研究发现。

(9) 爱尔兰都柏林大学 Brijesh K. Tiwari 研究员在 Top 期刊“Trends in Food Science and Technology, 2017”上肯定并引用了“高压处理提升了乳化肠的保水特性和乳化稳定性, 显著降低了 NaCl 的使用量”的研究发现。

(10) 新西兰林肯大学 James D. Morton 教授在 Top 期刊“Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2018”和“Trends in Food Science and Technology, 2022”上充分肯定并引用了“超声可以通过调控细胞凋亡酶及相关蛋白因子, 从而提高肌肉嫩度”和“超声波通过细胞凋亡和可能激活的肌原纤维降解来影响肉的宰后成熟”的研究发现。

(11) 丹麦哥本哈根大学 Vibeke Orlien 教授在 Top 期刊“Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2019”上肯定并引用了“高压处理可以使猪肉中蛋白变性”的研究发现。

此外, 项目成果多次得到了其他 Top 期刊 Journal of Agricultural and Food Chemistry、Meat Science、Carbohydrate Polymers、LWT-Food Science and Technology、

Food Research International 的肯定及引用。

## 五、应用情况

项目成果已在广东温氏佳味食品有限公司、广东温氏佳润食品有限公司、陕西得利斯食品有限公司、陕西新中盛农牧发展有限公司、山东莱州大家乐食品有限公司等全国多家规模企业转化应用，有效解决了冷鲜肉嫩度品质差、腌制效率低、精深加工制品品质不稳定等重大技术难题，极大地提高了生产效率和产品品质，使产量和销量大大提高。

近3年（2020~2022年）累计新增销售额51.56亿元，新增利润5.13亿元，新增税收1.09亿元，经济、社会和生态效益显著，为肉与肉制品加工产业的可持续发展及转型升级起到了强劲的推动作用。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限10条）

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称   | 国家(地区) | 授权号              | 授权日期       | 证书编号     | 权利人                              | 发明人                        |
|----|--------|--|--------|------------------|------------|----------|----------------------------------|----------------------------|
| 1  | 发明专利   | Method for Improving Gel Properties of Soy Protein Isolate through Pretreatment with Low frequency and High-intensity Ultrasonic Combined with Curdlan | 卢森堡    | LU501049         | 2022.6.21  |          | 西北农林科技大学、南京晓庄学院、南京农业大学           | 冯宪超, 祝长青, 陈琳, 李铭, 范小静, 刘亚平 |
| 2  | 发明专利   | Method for Improving Gel Properties of Myofibrillar Protein by Controlling Protein-EGCG Interaction  | 卢森堡    | LU500850         | 2022.5.12  |          | 西北农林科技大学、南京晓庄学院、南京农业大学           | 冯宪超、祝长青、陈琳、杨蓉、刘亚平、范小静      |
| 3  | 发明专利   | 一种提高类PSE鸡胸肉肌原纤维蛋白凝胶品质的糖基化方法  | 中国     | ZL201711256672.9 | 2020.11.17 | 4099699  | 南京农业大学                           | 韩敏义、许玉娟                    |
| 4  | 实用新型专利 | 一种可以显示补盐量的盐度计  | 中国     | ZL202020705195.0 | 2021.3.5   | 12638712 | 广东温氏佳味食品有限公司、南京农业大学、温氏食品集团股份有限公司 | 韩敏义、石金明、王小明、邓绍林、李凌云        |

| 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             |
|----|--------|----------------|--------|------------------|------------|----------|----------------------------------|-----------------|
| 5  | 实用新型专利 | 一种卤水自动补盐装置     | 中国     | ZL202020567221.8 | 2020.4.16  | 12637645 | 广东温氏佳味食品有限公司、南京农业大学、温氏食品集团股份有限公司 | 韩敏义、邓绍林、王小明、石金明 |
| 6  | 实用新型专利 | 一种鸡块油炸装置       | 中国     | ZL202020449500.4 | 2020.11.13 | 11908102 | 广东温氏佳味食品有限公司、温氏食品集团股份有限公司        | 李凌云、石金明、王小明、董华发 |
| 7  | 实用新型专利 | 一种整鸡腌制装置       | 中国     | ZL202020441701.X | 2020.11.13 | 11916000 | 广东温氏佳润食品有限公司、温氏食品集团股份有限公司        | 李凌云、石金明、王小明、董华发 |
| 8  | 实用新型专利 | 一种肉类汤料蒸汽熬制锅炉   | 中国     | ZL202020390383.9 | 2020.12.11 | 12103697 | 广东温氏佳味食品有限公司、温氏食品集团股份有限公司        | 石金明、王小明、李凌云     |
| 9  | 实用新型专利 | 一种梯度变压静态腌制机    | 中国     | ZL201420006539.3 | 2014.7.2   | 3658791  | 中国农业科学院农产品加工研究所                  | 黄峰、张春江、胡宏海      |
| 10 | 软件注册权  | 卤水补盐量计算软件 V1.0 | 中国     | 2020SR0542352    | 2020.3.19  | 5421048  | 广东温氏佳味食品有限公司；南京农业大学；温氏食品集团股份有限公司 |                 |

七、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)

## 八、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  |
|-----|----|---------|-----------------|--|
| 冯宪超 | 1  | 无/教授    | 西北农林科技大学        | 项目主持人，负责项目设计和实施，为“四、主要科技创新”中第1、2、3、4点的主要贡献者。主持并全面参与了探究超声波、多酚、还原糖、膳食纤维和胞外蛋白等对肉蛋白结构和功能特性的影响规律和机制，创建了蛋白-多酚互作的调控关键技术体系，提升了肉制品的品质；创建了利用液态糖基化方法提升肉品风味品质的调控技术体系；创建了利用大豆蛋白、天然发酵纤维素、胞外蛋白和超高压调控低盐低脂肉品品质的技术体系。投入工作量占本人工作总量的80%。 |
| 韩敏义 | 2  | 无/副研究员  | 南京农业大学          | 项目参与者，负责项目实施，为“四、主要科技创新”中第1、4点的主要贡献者。揭示了脉冲电场、糖基化调控异质肉（PSE肉）蛋白功能特性的规律及机制，创建了利用脉冲电场、糖基化改善异质肉（PSE肉）品质的技术体系。揭示了肉蛋白-菊粉互作的规律及机制，创建了利用菊粉调控低脂肉品品质的技术体系。揭示了超高压对肉蛋白功能特性的影响规律及机制，采用超高压处理使凝胶类肉制品的体外蛋白消化率显著提高。投入工作量占本人工作总量的80%。   |
| 陈琳  | 3  | 无/教授    | 西北农林科技大学        | 项目主持人，负责项目设计和实施，为“四、主要科技创新”中第1、4点的主要贡献者。主持了多酚调控冷鲜肉品质的规律及机制的研究，创建了利用多酚改善冷鲜肉嫩度品质的技术体系。此外，参与了探究多酚、还原糖、膳食纤维和胞外蛋白等对肉蛋白结构和功能特性的影响规律和机制，创建了蛋白-多酚互作的调控关键技术体系，提升了肉制品的品质。投入工作量占本人工作总量的70%。                                     |
| 黄峰  | 4  | 无/研究员   | 中国农业科学院农产品加工研究所 | 项目参与者，负责项目实施，为“四、主要科技创新”中第3点的主要贡献者。阐明了压力、变压频率等因素对腌制效率影响机制，依据仿生学原理，研制了呼吸式静态变压腌制技术。发明了静态变压腌制装置，研发了集成腌制液配制-原辅料混合-脉冲变压腌制为一体的腌制程序，实现定量加料、自动混合、均匀腌制、静态保型。项目成果显著提升了肉的腌制技术水平。投入工作量占本人工作总量的50%。                               |
| 公维永 | 5  | 总经理/无   | 陕西得利斯食品有限公司     | 项目参与者，负责项目实施，为“四、主要科技创新”中第1、3点的主要贡献者。依托陕西得利斯食品有限公司，解决了冷鲜肉嫩度差、肉腌制效率低，原料肉标准化程度低、原料肉与辅料相互作用难以控制等重大技术难题，提高了生产效率和产品品质，使产量和销量大大提高。投入工作量占本人工作总量的50%。  |

| 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  |
|-----|----|--------------|--------------|--|
| 邓绍林 | 6  | 无/实验师        | 南京农业大学       | 项目参与者，负责项目实施，为“四、主要科技创新”中第1点的主要贡献者。协助完成了脉冲电场、糖基化调控异质肉（PSE肉）蛋白质功能特性的规律及机制的相关研究，协助创建了利用脉冲电场、糖基化改善异质肉（PSE肉）品质的技术体系。投入工作量占本人工作总量的50%。                                |
| 王晓明 | 7  | 研发部负责人/中级工程师 | 广东温氏佳味食品有限公司 | 项目参与者，负责项目实施，为“四、主要科技创新”中第3点的主要贡献者。依托广东温氏佳味食品有限公司，解决了冷鲜肉嫩度差、肉腌制效率低，酱卤肉制品、调理制品、休闲制品和汤制品品质不稳定等技术难题，提高了肉品品质和生产效率，显著提高了肉类企业的经济效益。投入工作量占本人工作总量的50%。                   |
| 范小静 | 8  | 无/助理研究员      | 西北农林科技大学     | 项目参与者，负责项目实施，为“四、主要科技创新”中第4点的主要贡献者。揭示了大豆分离蛋白、天然发酵纤维素、胞外蛋白及超高压处理对肉蛋白功能特性的影响规律及机制，创建了利用大豆分离蛋白、天然发酵纤维素、胞外蛋白及超高压改善低盐低脂肉制品品质构和保水特性的技术体系。投入工作量占本人工作总量的30%。             |
| 刘亚平 | 9  | 无/副教授        | 西北农林科技大学     | 项目参与者，负责项目实施，为“四、主要科技创新”中第2、3点的主要贡献者。参与了多酚调控冷鲜肉品质的规律及机制的研究，创建了利用多酚改善冷鲜肉嫩度品质的技术体系。此外，针对酱卤肉制品风味稳定性差、腌制效率低和工业化高效腌制设备缺乏的问题，揭示了液态糖基化肉蛋白吸附风味物质的规律及机制。投入工作量占本人工作总量的30%。 |
| 周希  | 10 | 无/无          | 西北农林科技大学     | 项目参与者，负责项目实施，为“四、主要科技创新”中第4点的主要贡献者。协助完成揭示大豆分离蛋白、天然发酵纤维素、胞外蛋白及超高压处理对肉蛋白功能特性的影响规律及机制的相关研究工作，创建了利用大豆分离蛋白、天然发酵纤维素、胞外蛋白及超高压改善低盐低脂肉制品品质构和保水特性的技术体系。投入工作量占本人工作总量的50%。   |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称     | 排名 | 主要贡献  |
|----------|----|---|
| 西北农林科技大学 | 1  | 西北农林科技大学负责牵头整个项目的方案设计、组织实施及协调管理，为“四、主要科技创新”中第1、2、3、4点的主要贡献者。建立了提高肉制品嫩度、保水、凝胶、风味等品质特性的关键技术。揭示了超声波对肉蛋白结构和功能特性的作用机制，同时阐明了多酚、还原糖、胞外蛋白和天然发酵纤维素等对肌原纤维蛋白交联规律的影响。在这些理论研究的基础上，创建了提高肉品食用品质的调控技术体系，极大地提升了肉品企业的加工技术水平。发表论文23篇，授权国际发明专利2件。 |

| 单位名称            | 排名 | 主要贡献   |
|-----------------|----|--|
| 陕西得利斯食品有限公司     | 2  | 陕西得利斯食品有限公司对本项目成果进行了全面地实施应用和推广示范，为“四、主要科技创新”中第 1、3 点的主要贡献者。解决了肉腌制效率低，原辅料标准化程度低，调理制品、酱卤肉制品、和休闲制品品质不稳定等重大技术难题，极大地提高了生产效率和产品品质，使产量和销量大大提高，产生了较好的经济效益和社会效益。  |
| 广东温氏佳味食品有限公司    | 3  | 在本项目实施过程中，广东温氏佳味食品有限公司与西北农林科技大学合作，对本项目成果进行了全面地实施应用，为“四、主要科技创新”中第 3 点的主要贡献者。进行了整鸡腌制装置、卤水自动补盐装置和鸡块油炸装置等装备的研发，解决了肉腌制效率低，原辅料标准化程度低，酱卤肉制品、调理制品、休闲制品和汤制品品质不稳定等重大技术难题，极大地提高了生产效率和产品品质，使产量和销量大大提高，产生了较好的经济效益和社会效益。授权发明专利 1 件，实用新型专利 6 件，软件注册权 1 件。   |
| 南京农业大学          | 4  | 南京农业大学协助完成了项目的方案设计与组织实施，为“四、主要科技创新”中第 1、4 点的主要贡献者。通过探究还原糖、菊粉和脉冲电场等对肉蛋白结构和功能特性的影响规律和机制，建立了肉品质品质的调控技术体系。项目研究成果已在多家肉类企业得到转化应用，解决了异质肉（PSE 肉）品质差、低盐低脂肉糜类制品保水性和食用品质不稳定等重大技术难题，显著提高了肉类企业的经济效益和社会效益。发表论文 11 篇，授权发明专利 2 件。  |
| 中国农业科学院农产品加工研究所 | 5  | 在本项目实施过程中，中国农业科学院农产品加工研究所与协助完成了项目的方案设计与组织实施，为“四、主要科技创新”中第 3 点的主要贡献者。阐明了压力、变压频率等因素对腌制效率影响机制，依据仿生学原理，研制了呼吸式静态变压腌制技术。发明了静态变压腌制装置，采用底部进气、顶部调压、中间十字形网格梯笼设计，研发了集成腌制液配制-原辅料混合-脉冲变压腌制为一体的腌制程序，实现定量加料、自动混合、均匀腌制、静态保型。项目成果揭示了变压加速腌制液在原料肉肌纤维束中定向渗透迁移的动力学机制，显著提升了肉的腌制技术水平，对我国肉品加工业的发展产生了重要的推动作用。发表论文 12 篇，授权发明专利 1 件，实用新型专利 1 件。 |

## 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          | 联合科研攻关 | 冯宪超/1    | 2006 年-至今 | 共同发表论文、授权专利、完成成果鉴定、共同获奖 | 见附件-论文发表清单、专利授权证书、成果鉴定材料、获奖证书 |
| 2          | 联合科研攻关 | 韩敏义/2    | 2006 年-至今 | 共同发表论文、授权专利、完成成果鉴定      | 见附件-专利授权证书、成果鉴定材料             |



|    |                  |       |          |                         |                               |
|----|------------------|-------|----------|-------------------------|-------------------------------|
| 3  | 联合科研攻关           | 陈琳/3  | 2006年-至今 | 共同发表论文、授权专利、完成成果鉴定、共同获奖 | 见附件-论文发表清单、专利授权证书、成果鉴定材料、获奖证书 |
| 4  | 联合科研攻关           | 黄峰/4  | 2006年-至今 | 共同发表论文、完成成果鉴定、共同获奖      | 见附件-论文发表清单、成果鉴定材料、获奖证书        |
| 5  | 项目成果实施应用、共同指导研究生 | 公维永/5 | 2014年-至今 | 企业应用推广、研究生校外导师          | 见附件-企业应用证明、研究生校外合作导师聘任证书      |
| 6  | 联合科研攻关           | 邓绍林/6 | 2014年-至今 | 授权专利、完成成果鉴定             | 见附件-专利授权证书、成果鉴定材料             |
| 7  | 项目成果实施应用、联合科研攻关  | 王晓明/7 | 2014年-至今 | 企业应用推广，授权专利、完成成果鉴定      | 见附件-企业应用证明、专利授权证书、成果鉴定材料      |
| 8  | 联合科研攻关           | 范小静/8 | 2014年-至今 | 共同发表论文、授权专利、完成成果鉴定、共同获奖 | 见附件-论文发表清单、专利授权证书、成果鉴定材料、获奖证书 |
| 9  | 联合科研攻关           | 刘亚平/9 | 2020年-至今 | 共同发表论文、授权专利、完成成果鉴定、共同获奖 | 见附件-论文发表清单、专利授权证书、成果鉴定材料、获奖证书 |
| 10 | 联合科研攻关           | 周希/10 | 2022年-至今 | 共同发表论文、完成成果鉴定           | 见附件-论文发表清单、成果鉴定材料             |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

项目第一完成人冯宪超与韩敏义、陈琳、黄峰、公维永、邓绍林、王晓明、范小静、刘亚平和周希进行了实质性合作，具有较好的合作基础。冯宪超、陈琳、范小静、刘亚平和周希同属西北农林科技大学肉制品加工与质量控制研究团队。冯宪超、韩敏义、陈琳、黄峰、邓绍林、王晓明、范小静、刘亚平和周希通过试验方法、工艺技术共享、联合科研攻关进行了深入合作，共同发表论文、授权专利、共同获奖以及共同完成科研成果并鉴定。公维永经理被聘为西北农林科技大学食品科学与工程学院专业学位硕士研究生校外合作指导老师，推动本项目成果在陕西得利斯食品有限公司进行了全面实施和应用。王晓明经理推动了本项目成果在广东温氏佳味食品有限公司全面实施和应用。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

王建龙

一、项目名称：畜产品中主要安全危害因子的免疫层析快速检测理论创新及应用

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：

针对畜产食品检验检疫中核心资源匮乏、数据库丰度不足的问题，该项目系统建立了高亲和力生物识别抗体资源库，为畜产食品检验提供了科学依据，创新性的构建了磁分离富集模型，多元探针增敏的检测体系，纳米信号标签的多信号、按需输出检测体系，通过创新免疫层析机制和检测技术解决了检测过程中基质干扰严重、灵敏度不足、缺乏信号校正以及检测成本较高的关键技术难题。显著提高了畜产食品免疫层析快速检测的性能，促进了免疫层析新技术的开发和应用。该项目发起和主导的关于抗体资源库、磁富集模型，多元探针增敏，多信号按需输出和新的免疫层析机制的研究属于当前热点研究方向，技术成熟，成果先进，根据陕西省科学技术奖的奖励条件，我校将该项目提名为陕西省自然科学二等奖。

## 三、项目简介：

“民以食为天，食以安为先”。畜产食品安全作为重要的公共卫生问题，直接关系到群众的日常生活。项目以常见且危害较严重的三大类畜产食品安全危害因子（抗生素、瘦肉精、致病菌）为研究对象，以高亲和力生物识别抗体资源库建立为基础，以分子生物学、材料科学、分析化学以及信息科学等四大领域前沿技术为支撑，围绕畜产品安全危害因子快速识别筛检，研发了基于可控磁分离富集的检测模型、构建了基于多元探针增敏的检测体系、建立了基于纳米信号标签的多信号按需输出检测体系、提出了非配对抗体识别机制的夹心免疫层析机制和基于生物化学染色的免疫层析新机制，深入揭示了三大类畜产食品安全危害因子的快速识别与检测机制，研发了一系列检测新技术、新产品，取得了一系列创新性成果，攻克了畜产食品安全免疫层析方法实际应用的技术瓶颈。相关研究取得的五项创新性成果如下：

**(1) 针对畜产食品快速检测中抗体核心资源匮乏、数据库丰度缺乏的问题，系统构建了三大类安全危害因子的高亲和力生物识别抗体资源库，为畜产食品高性能检验检疫提供了重要科学依据。**

抗体库资源匮乏、抗体效价低以及稳定性差等问题已成为限制免疫层析技术在畜产品中实际应用的共性关键科学问题。申请人以免疫学生物技术为核心手段，通过分析抗原特征，揭示了机械性能介导的食源性致病菌耐药新机制，设计高纯度免疫原，

制备/淘选高亲和力单克隆抗体和纳米抗体，成功构建了包含 14 种畜产食品中典型食源性致病菌、瘦肉精、抗生素的单克隆抗体和纳米抗体的高亲和力生物识别抗体资源库，为畜产食品中主要危害因子的免疫层析新技术、新产品开发提供了强有力的原材料支撑。

**(2) 针对畜产食品免疫层析快速检测中存在的基质干扰问题，研发了基于“靶向富集探针”和“可控磁分离”的检测模型，攻克了畜产食品安全免疫层析方法实际应用的技術瓶颈。**

畜产品基质效应严重影响了免疫层析快速检测的灵敏度及准确性。申请人①以抗生素作为识别因子，构建了以磁性纳米粒子为捕获、分离和显色的“可控磁分离”技术，实现对复杂食品基质中食源性致病菌的灵敏检测，突破了制约畜产品中食源性致病菌免疫层析检测实际应用的基质效应难题。②建立了基于磁性纳米粒子的直接/间接探针的双探针免疫网络。在“靶向富集”的基础上，以双探针免疫网络增强检测信号强度，为畜产食品中抗生素的灵敏检测提供了解决方案。③在此基础上，利用磁性纳米粒子构建间接探针，结合非标记单克隆抗体构建靶向检测探针，降低了单克隆抗体用量，增强了免疫竞争反应，为畜产食品中小分子目标物的高灵敏检测提供了新的解决方案。

**(3) 针对畜产食品免疫层析快速检测中灵敏度不足的问题，系统构建了基于“多元探针增敏”的检测体系，破解了检测信号提高和灵敏度提高之间难以协调的技術瓶颈。**

畜产品中典型抗生素、瘦肉精等小分子目标物的免疫分析依赖于竞争型免疫反应，然而检测信号强度提高与灵敏度降低之间难以协调的矛盾始终制约相关技术的进一步发展。申请人①创新性的建立了基于生物探针的“菌载金”信号富集放大机制，充分利用细菌的易培养、均一性良好等特性，在实现金纳米粒子的富集与信号放大的基础上提升了典型瘦肉精的检测灵敏度。②建立了基于金纳米粒子的直接探针/间接探针自组装免疫网络，依赖不同生物识别元件间的配对识别机制实现了检测区域的信号放大，提高了畜产品中兽用抗生素（呋喃唑酮代谢物）的检测灵敏度。③构建了基于新型纳米金增长的信号放大体系，通过在原金颗粒表面生长新的金粒子，增大了金颗粒的粒径，增强了比色强度，提升了检测灵敏度，为畜产食品中食源性致病菌（肠炎沙门氏菌）的灵敏检测提供了新方法。

**(4) 针对畜产食品免疫层析快速检测中缺乏信号校正的问题，建立了基于纳米信号标签的“多信号、按需输出检测体系”，提升了免疫层析分析的适用范围和检测灵敏度。**

单一的可视化结果易受人员及环境影响，缺乏信号校正能力。申请人①建立了基于纳米酶催化信号放大的多信号、按需输出检测体系，研发了畜产品中典型瘦肉精（盐酸克伦特罗与莱克多巴胺）高灵敏、宽范围、多半定量区间的检测技术。②建立了基

于光热信号放大的多信号、按需输出检测体系，在视觉半定量分析基础上，为畜产品中典型抗生素（硝基呋喃类）的快速检测提供了基于手持读数设备的定量结果。③建立了基于细胞仿生模型的脂质体-RhB 的链球菌溶血素 O 比色/荧光双信号检测技术，结合智能手机读数提供额外的信号校正能力。克服了传统免疫层析中比色信号的灵敏度差、精确度差、易受主观因素影响、不能按照不同检测需求灵活转换等问题，提升了免疫层析分析的适用范围和检测灵敏度，大大拓宽了免疫层析技术在畜产食品安全危害因子识别中的应用。

**（5）针对畜产食品免疫层析快速检测中检测成本高昂的问题，开发了基于“非配对抗体识别机制”的夹心免疫层析机制和基于“生物化学染色”的免疫层析新机制，突破了食源性致病菌免疫层析检测中对配对抗体的依赖，实现了核心技术的突破。**

传统的畜产品免疫层析对食源性致病菌的检测严重依赖双抗体（捕获抗体、检测抗体）夹心配对检测机制，已经严重制约了其实际应用前景。申请人①针对免疫层析核心元件-抗体筛选困难、配对抗体制备难度大等问题，首创了基于“生物化学染色”的免疫层析新机制，以廉价易得的结晶紫对细菌染色，实现对肠炎沙门氏菌的无纳米材料、免标记快速检测。②创新性的提出了“纳米材料-致病菌-抗体”的新型夹心结构，突破了食源性致病菌免疫层析检测中对配对抗体的依赖，以纳米材料直接作为捕获探针，研发了畜产品中大肠杆菌、肠炎沙门氏菌的捕获-检测一体化技术。③充分挖掘抗生素杀菌机制在检测中的应用，采用分子识别单元（万古霉素（VAN）和甘露糖）耦合纳米材料作为高亲和力食源性致病菌捕获探针，完美替代捕获抗体，规避了单克隆抗体的制备耗时、繁琐、工作量大、筛选高亲和力配对抗体难度大的共性技术问题，打破了食源性致病菌免疫层析检测必须依赖配对抗体夹心的定式分析模式，提升了免疫层析技术在畜产食品食源性致病菌检测方面的应用潜力。

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

该项目历经 9 年，在畜产食品中常见的危害因子免疫层析试纸条的即时检测方面取得重要进展，部分成果引领了国际前沿。本项目出版**学术专著 3 部**，应邀在本学科领域有重要影响的国际学术会议上作**邀请报告 5 次**，发表**论文 30 篇**（**SCI 论文 29 篇**，**中文核心 1 篇**），累计被引 906 次，其中他引 698 次，获得国内外高度评价；第一申请人应邀担任**食品顶级综述《Trends in Food Science & Technology》编委**、《Foods》、《食品研究与开发》、《食品质量安全检测学报》和《分析测试学报》编委；应邀担任**国家食药同源产业科技创新联盟理事**、**陕西省食品安全专家委员会安全评估技术委员会专家**、**陕西省质量技术监督局计量检测专业委委员**、**青海省青藏高原特色生物资源研究重点实验室客座研究员**、**商洛市食品生产风险监测研判中心专家委员会委员**；连续三年入选**全球前十名科学家（2019，2020，2021）**，入选『Top 1%高被引中

国作者』榜单；获评国务院政府特殊津贴（2019年）、陕西省创新人才推进计划中青年科技创新领军人才（2019年）、第十三届陕西青年科技奖（2020年）、陕西高等学校科学技术奖一等奖2项（2019年、2023年），陕西省自然科学优秀学术论文三等奖一项（2020年）；获批陕西省“科学家+工程师”队伍（食品安全免疫层析快速检测技术队伍）；申请国家发明专利20项（已授权12项）。

### （1）对创新点1的客观评价

本项目面向畜产食品快速检测中抗体核心资源匮乏、数据库丰度缺乏的问题，共计筛选了畜产食品中14种典型食源性致病菌、瘦肉精、抗生素的单克隆抗体和纳米抗体文库，系统构建了三大类安全危害因子的高亲和力生物识别抗体资源库，出版《食品免疫学》专著一部，发表SCI论文4篇，被引104次，他引84次，授权国家发明专利9项，国内外的学术客观评价如下：

①应用评价：国内事业单位及企业对本项目所研发的抗体资源库进行了高度评价，筛选的抗肠炎沙门氏菌的纳米抗体、金黄色葡萄球菌肠毒素A纳米抗体A21、金黄色葡萄球菌肠毒素B纳米抗体B6以及B7、单增李斯特菌纳米抗体、阪崎杆菌纳米抗体、抗金黄色葡萄球菌的纳米抗体Nb56等高亲和抗体资源已授权国家发明专利9项（CN110577594B、CN108864281B、CN110526966B、CN110526968B、CN111505278A、CN114106167A、CN114106168A、CN113583119A、CN113185610A），其中鼠源抗肠炎沙门氏菌单克隆抗体（编号：S. enteritidis E5）、抗鼠伤寒沙门氏菌单克隆抗体（编号：S. typhimurium-G2）在深圳市龙岗区疾病预防控制中心进行了应用转化，鼠源抗17 $\beta$ -雌二醇单克隆抗体（编号：17F9）以及抗呋喃唑酮代谢物单克隆抗体（编号：CP2G5）在武汉金开瑞生物工程有限公司进行了应用转化。极大丰富了食品危害因子的高亲和力抗体资源库，为实现食品安全危害因子的高效识别提供了抗体基础。

②学术评价：发表在国际学术期刊《Journal of Agricultural and Food Chemistry》题为“Nanobodies Based on a Sandwich Immunoassay for the Detection of Staphylococcal Enterotoxin B Free from Interference by Protein A”被SCI引用16次，他引13次，中国农业大学动物医学院王战辉教授和浙江大学生物系统与食品学院鲜于运雷研究员分别在国际学术期刊《Journal of Agricultural and Food Chemistry》和《Small Methods》引用了该研究工作，认为该方法有望解决葡萄球菌蛋白A与常规抗体的片段可结晶末端结合而导致假阳性结果的免疫学检测难题。Development of a specific nanobody and its application in rapid and selective determination of Salmonella enteritidis in milk 被SCI引用41次，他引31次，山东大学师范生命学院杜淑媛副教授等在国际学术期刊《Foods》引用该工作并给予了积极评价：所制备了沙门氏菌纳米抗体库通过成熟的酶联免疫吸附试验验证了其应用于沙门氏菌检测的可行性，为纳米抗体的进一步开发奠定了基础。Highly sensitive simultaneous detection of major ochratoxins by an

immunochromatographic assay 被 SCI 总引用 24 次，他引 21 次。江苏大学教授在国际学术期刊《Sensors and Actuators B: Chemical》中引用该工作并给予积极评价：该广谱抗体实现了对三种赭曲霉毒素的同时检测。

### (2) 对创新点 2 的客观评价

本项目面向畜产食品免疫层析快速检测中存在的基质干扰问题，基于“靶向富集探针”和“可控磁分离”的检测模型开发了 4 种新型免疫层析试纸条，发表 SCI 论文 3 篇，中文核心 1 篇，被引 171 次，他引 144 次，授权发明专利 1 项 (CN107478833B)，国内外的学术客观评价如下：

① Dual recognition strategy and magnetic enrichment based lateral flow assay toward *Salmonella enteritidis* detection 被 SCI 引用 49 次，他引 44 次，浙江大学生物系统与食品科学学院谢丽娟教授在国际学术期刊《TrAC Trends in Analytical Chemistry》中引用该工作并给予充分肯定：可以通过读取设备捕获的磁信号来实现定量检测，以提高 ICA 的灵敏度。澳大利亚迪肯大学 Sarah Shigdar 教授在国际学术期刊《International Journal of Molecular Sciences》引用该工作并给予充分肯定：该方法检测在 30 分钟，可实现  $10^2$  cfu/mL 的检测限。

② An innovative immunochromatography assay for highly sensitive detection of 17 $\beta$ -estradiol based on an indirect probe strategy 被 SCI 引用 45 次，他引 36 次，江南大学食品科学与技术学院孙秀兰教授在国际学术期刊《Journal of Hazardous Materials》中引用该工作并给予肯定评价：所建立的免疫测定法具有灵敏度高、方便、可快速检测等优点，它们在环境中有害物质检测中的应用已经引起了越来越多的关注。山东师范大学生命科学学院王恬博士在国际学术期刊《Foods》中引用该工作并给予肯定评价：该方法建立了一种基于间接探针的独立成分分析方法被成功应用于检测牛奶样品中的 E2 的高灵敏度检测。

③ Highly sensitive furazolidone monitoring in milk by a signal amplified lateral flow assay based on magnetite nanoparticles labeled dual-probe 被 SCI 引用 74 次，他引 61 次，清华大学材料科学与工程学院 Yue Cui 教授在国际学术期刊《Clinica Chimica Acta》中引用该工作并给予充分肯定评价：该方法可在 10 分钟之内完成检测，并拥有比常规胶体金试纸条更高的检测灵敏度。

### (3) 对创新点 3 的客观评价

本项目构建了基于“多元探针增敏”的检测体系，以解决畜产品免疫层析快速检测中灵敏度不足的问题，发表相关 SCI 论文 9 篇，被引 292 次，他引 210 次，获评陕西省自然科学优秀学术论文三等奖一项，入选 ESI 1% 高被引论文 1 篇，授权发明专利 1 项 (CN107478850B)，国内外的学术客观评价如下：

① Ultra technically-simple and sensitive detection for *Salmonella Enteritidis* by

immunochromatographic assay based on gold growth 被 SCI 引用 75 次，他引 55 次，广东工业大学生物医药工程学院赵肃清教授在国际学术期刊《Analyst》中引用该工作并给予积极评价：采用这种策略，增强型 AuNP-LFIA 的灵敏度可以显著提高 1-2 个数量级。南昌大学食品科学与工程学院熊永华教授在国际学术期刊《Microchimica Acta》和《Journal of Agricultural and Food Chemistry》中引用该工作并给予积极评价：AuNPs 增强的比色信号强度被认为是最直接有效的方法。韩国庆熙大学生命科学学院 Tae-Hoo Yi 教授在国际学术期刊《Sensors and Actuators B: Chemical》中引用并评价：使用金纳米粒子可以作为一种简单快速的视觉检测方法。

② An improved clenbuterol detection by immunochromatographic assay with bacteria@Au composite as signal amplifier 被 SCI 引用 44 次，他引 30 次，中科院上海营养与健康研究所乐颖影研究员在国际学术期刊《Foods》中引用该工作并给予充分肯定：以细菌为载体的金纳米粒子构建 LFIA 细菌-金抗体探针检测克伦特罗。探针中需要更少的抗体可以产生清晰可见的颜色。南昌大学食品科学与工程学院熊永华教授在国际学术期刊《Microchimica Acta》中引用该工作并给予积极评价：使用细菌作为载体可以使用灵敏的检测效果。

③ Polydopamine nanospheres as high-affinity signal tag towards lateral flow immunoassay for sensitive furazolidone detection 被 SCI 引用 43 次，他引 27 次，南昌大学食品科学与工程学院赖卫华教授在国际学术期刊《Food Chemistry》中引用该工作并给予充分肯定：聚多巴胺纳米球可以与抗体以稳定的共价结合方式连接，所得纳米球的信号强度强于金纳米粒子。韩国嘉泉大学教授在国际学术期刊《Biosensors》上引用该工作并给予充分肯定评价：该工作的检测灵敏度相比较于金纳米粒子常规试纸条得到了显著的提升。

④ Ultrasensitive label-free immunochromatographic strip sensor for Salmonella determination based on salt-induced aggregated gold nanoparticles 被 SCI 总引用 23 次，被他引 22 次，华中农业大学理学院蒋洪教授在国际学术期刊《Analytical and Bioanalytical Chemistry》中引用该工作并给予了积极评价：该检测方法具有样品量少、特异性高、灵敏度高、检测速度快等优点。东南大学化学化工学院丁收年教授等人在国际学术期刊《Biosensors》中引用该工作并给予了积极评价：建立的侧流免疫试纸法（LFIA）作为 POCT 检测的流行方法，已经在医学诊断、食品分析和环境监测中发挥了重要作用。山东大学材料科学与工程学院任国成副教授在期刊《Foods》引用该工作并给予充分肯定：基于盐诱导的聚集 Au NPs 视觉 LOD 比基于阳离子 Au NPs 的方法低 100 倍，并且该方法在卷心菜和其他食物样品中也表现出优异的回收率。

#### （4）对创新点 4 的客观评价

本项目建立了基于纳米信号标签的“多信号、按需输出检测体系”，提升了畜产食

品免疫层析分析的适用范围和检测灵敏度。发表 SCI 论文 3 篇，被引 71 次，他引 57 次，国内外的学术客观评价如下：

① Nanozyme amplification mediated on-demand multiplex lateral flow immunoassay with dual-readout and broadened detection range 被 SCI 总引用 48 次，他引 37 次，伦敦帝国理工学院材料 Molly M. Stevens 教授等人在国际学术期刊《Advanced Materials》中引用该工作并给予了积极评价：该研究引入纳米酶作为信号发展的检测标记，提高了检测的性能和灵敏度。中国农业科学院油料作物研究所李培武院士等人在国际学术期刊《Biosensors and Bioelectronics》中引用该工作并给予了积极评价：该方法具有操作简单、便于携带、经济性高，特别是在资源有限的情况下，已被广泛地应用于疾病诊断、环境监测和食品安全领域。安徽农业大学生命科学学院王崇文教授在国际学术期刊《Biosensors and Bioelectronics》中引用该工作并予以充分肯定：该方法通过引入新的信号模型，使 LFA 系统的灵敏度和准确性得到了极大的提高。

② Dual-signal based immunoassay for colorimetric and photothermal detection of furazolidone 被 SCI 总引用 23 次，他引 20 次，北京大学集成电路学院张潘博士等人在国际学术期刊《Sensors and Actuators B: Chemical》中引用该工作并予以充分肯定：该方法利用具有稳定和简单特性的光热纳米材料的高温为致病菌的 POCT 提供了至关重要的支持。西北农林科技大学食品科学与工程学院王丽教授等人在国际学术期刊《Food Control》中引用该工作并给予了积极评价：该方法利用的多功能纳米材料提高了 ICA 的检测灵敏度。山东师范大学生命科学学院路丽霞等人在国际学术期刊《Analytica Chimica Acta》中引用该工作并予以充分肯定：实现了对食品安全领域高灵敏度的检测。

#### （5）对创新点 5 的客观评价

本项目开发了“非配对抗体识别机制”的夹心免疫层析机制和“生物化学染色”的免疫层析新策略，提升了畜产食品免疫层析快速检测中检测成本问题。发表 SCI 论文 8 篇，被引 268 次，他引 203 次，授权发明专利 1 项（CN107688094B），国内外学术客观评价如下：

① Label-free strip sensor based on surface positively charged nitrogen-rich carbon nanoparticles for rapid detection of Salmonella enteritidis 被 SCI 引用 51 次，他引 35 次，罗马尼亚布加勒斯特 DDS 诊断公司 R&D 部 Lorena-Andreea Bocancia-Mateescu 在国际学术期刊《Frontiers in Bioengineering and Biotechnology》中引用该工作并予以积极评价：该分析通过一种比经典三明治格式 LFIA 更简单、更便宜的方法实现了  $10^2$  CFU/毫升的检测限。伊朗马什哈德菲尔西大学理学院化学系 Mohammed Zourob 教授在国际学术期刊《Talanta》中引用该工作并予以肯定评价：尿素通过煅烧和蚀刻反应制备表面带正电的富氮碳纳米颗粒(pNC)显示出具有良好的吸附/捕获细菌的能力。



② Functional nanozyme mediated multi-readout and label-free lateral flow immunoassay for rapid detection of Escherichia coli O157: H7 被 SCI 总引用 45 次，他引 40 次，中国农业大学食品科学与营养工程学院程楠副教授在国际学术期刊《Sensors and Actuators B: Chemical》中引用该工作并给予了积极评价：该研究设计的多孔纳米酶，具有大的比表面积，增加了坚固性和高过氧化物酶的活性，在基于 LFA 的 POCT 中显示了巨大的应用潜力。

③ Chemical-staining based lateral flow immunoassay: A nanomaterials-free and ultra-simple tool for a small molecule detection 被 SCI 引用 29 次，他引 18 次，中国农业大学动物医学院沈建忠院士在国际学术期刊《Biosensors and Bioelectronics》中引用该工作并给予积极评价：建立的基于抗体-抗原特异性识别的侧流免疫测定法是应用最广泛的食源性病原现场快速检测技术之一，因为它具有操作简单、反应时间短、可视读数和不需要大型仪器等优点。

④ Applicability of biological dye tracer in strip biosensor for ultrasensitive detection of pathogenic bacteria 被 SCI 引用 31 次，他引 23 次，上海理工大学健康科学与工程学院刘箬教授在国际学术期刊《Journal of Immunological Methods》中引用该工作并给予肯定评价：该方法所建立的细菌染色法作为一种抗原和示踪剂提高了对病原体的检测灵敏度。武汉纺织大学王栋在国际学术期刊《Biosensors and Bioelectronics》中引用该工作并给予肯定评价：建立的方法克服了电镀方法的缺点。

⑤ Prussian blue nanoparticles based lateral flow assay for high sensitive determination of clenbuterol 被 SCI 引用 61 次，他引 46 次，杜兰大学医学院细胞与分子诊断中心生物医学工程与生物化学李晨忠教授在国际学术期刊《Biosensors》中引用该工作并给予肯定评价：发明了一种以 PBNPs 为标记的简单 LFA，成功地应用于猪肉、猪肾和熏肉样品中 CLE 的检测该装置的灵敏度比基于 AuNP 的 LFA 高 5 倍，表现出良好的线性关系。第二军医大学长征医院药剂科韩焕兴教授在国际学术期刊《Sensors and Actuators B: Chemical》中引用该工作并给予肯定评价：该方法所利用的染色聚合物纳米珠作为一种替代的免疫分析标签引起了人们的注意。

## 五、应用情况

申请人团队致力于畜产品中主要安全危害因子的免疫层析快速检测理论创新及应用，以特异性单克隆抗体、纳米重组抗体的筛选为基础，研发了基于可控磁分离富集的检测模型、构建了基于多元探针增敏的检测体系、建立了基于纳米信号标签的多信号按需输出检测体系、创新了非配对抗体识别机制的夹心免疫层析机制和基于生物化学染色的免疫层析新机制。其中，筛选的单克隆抗体和免疫层析试纸先后在“陕西省食品药品监督检验研究院的相关科研项目研究和动物性食品（肉、蛋、奶）及其

原料、饲料等样品中盐酸克伦特罗和雌二醇的非法添加检测中”、“深圳市龙岗区疾病预防控制中心沙门氏菌快速检测科研项目研究过程中，以及食品安全风险监测样品的沙门氏菌污染快速筛查检测中”以及“湖北省武汉金开瑞生物工程有限公司食品安全免疫试剂盒及胶体金定制产品研发过程中”进行了应用。同时研发的多种快速检测产品在企业中实现了技术转化。申请人在相关领域申请国家发明专利 20 项，其中授权 12 项。

六、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)

#### 1.代表性论文:

(1) Zonghan Wang, Xiaolin Yao, Rong Wang, Yanwei Ji, Tianli Yue, Jing Sun, Tao Li, Jianlong Wang\*, Daohong Zhang\*. Label-free strip sensor based on surface positively charged nitrogen-rich carbon nanoparticles for rapid detection of *Salmonella enteritidis*[J]. *Biosensors and Bioelectronics* 132 (2019) 360–367.

(2) Yanwei Ji, Xiang Li, Yunlong Lu, Pengli Guo, Ganwei Zhang, Yanru Wang, Yi Zhang, Wenxin Zhu, Jiachuan Pan, Jianlong Wang\*. Nanobodies Based on a Sandwich Immunoassay for the Detection of Staphylococcal Enterotoxin B Free from Interference by Protein A[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020 (68) 5959-5968.

(3) Sijie Liu, Leina Dou, Xiaolin Yao, Wentao Zhang, Man Zhao, Xuechi Yin, Jing Sun, Daohong Zhang, Jianlong Wang\*. Nanozyme amplification mediated on-demand multiplex lateral flow immunoassay with dual-readout and broadened detection range[J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2020, 169: 112610.

(4) Han Zhang, Lulu Wang, Xiaolin Yao, Zonghan Wang, Leina Dou, Lihong Su, Man Zhao, Jing Sun, Daohong Zhang, Jianlong Wang\*. Developing a Simple Immunochromatography Assay for Clenbuterol with Sensitivity by One-Step Staining[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020 (68) 15509-15515.

(5) Tong Bu, Qiong Huang, Lingzhi Yan, Lunjie Huang, Mengyue Zhang, Qingfeng Yang, Baowei Yang, Jianlong Wang\*, Daohong Zhang\*. Ultra technically-simple and sensitive detection for *Salmonella Enteritidis* by immunochromatographic assay based on gold growth[J]. *Food Control*. 84 (2018) 536-543.

#### 2.代表性专著:

(1) 《食品理化分析实验》，科学出版社，王建龙/副主编，2016。

(2) 《Food Chemical Hazard Detection》，Wiley-Blackwell，王建龙/参编，2014。

(3) 《食品免疫学》，中国轻工业出版社，季艳伟/副主编，2022。

## 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|---------|-----------|--|
| 王建龙 | 1  | 教授      | 西北农林科技大学  | 项目总负责人，负责项目总体设计，制定研究方案，组织实施项目。主持开展了抗体资源库建立、基于可控磁分离富集的检测模型、基于多元探针增敏的检测体系、基于纳米信号标签的多信号按需输出检测体系，主持创新了非配对抗体识别机制的夹心免疫层析机制和基于生物化学染色的免疫层析新机制，主要贡献体现在创新点1、2、3、4、5。 |
| 张道宏 | 2  | 教授      | 西北农林科技大学  | 参与制定项目研究方法和实施计划。主要负责抗体资源库建立、可控磁分离富集的检测模型与多元探针增敏检测体系的建立，主要贡献体现在创新点1、2、3、4、5。  |
| 王妍入 | 3  | 副教授     | 西北农林科技大学  | 参与制定项目研究方法和实施计划。主要负责抗体资源库建立，主要贡献体现在创新点1、4、5。   |
| 季艳伟 | 4  | 副教授     | 西北农林科技大学  | 参与制定项目研究方法和实施计划。主要负责抗体资源库建立和非配对抗体识别机制的夹心免疫层析机制的建立，主要贡献体现在创新点1、3、5。   |
| 张文涛 | 5  | 副教授     | 西北农林科技大学  | 参与制定项目研究方法和实施计划。主要负责基于多元探针增敏的检测体系、多信号按需输出检测和非配对抗体识别机制的夹心免疫层析机制的建立，主要贡献体现在创新点4和5。   |
| 刘思杰 | 6  | 无       | 西北农林科技大学  | 参与项目的实施，主要负责抗体资源库建立、多信号按需输出检测体系和多元探针增敏的检测体系的建立，主要贡献体现在创新点1和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 | 1/1 | 在项目整体运行和技术研发过程中，发挥了重要的组织协调、管理和落实作用，保证了项目任务顺利实施。主要支持项目组开展了抗体资源库、可控磁分离富集的检测模型、多元探针增敏的检测体系、多信号按需输出检测体系、非配对抗体识别机制和生物化学染色的免疫层析新机制的研发。 |

## 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况表 |      |                         |           |        |        |
|------------|------|-------------------------|-----------|--------|--------|
| 序号         | 合作方式 | 合作者/项目排名                | 合作时间      | 合作成果   | 证明材料   |
| 1          | 论文合著 | 王建龙/1、张道宏/2、季艳伟/4       | 2018-2019 | 代表性论文1 | 代表性论文1 |
| 2          | 论文合著 | 王建龙/1、王妍入/3、季艳伟/4       | 2018-2020 | 代表性论文2 | 代表性论文2 |
| 3          | 论文合著 | 王建龙/1、张道宏/2、张文涛/5、刘思杰/6 | 2018-2020 | 代表性论文3 | 代表性论文3 |

|   |      |   |           |                       |         |
|---|------|---|-----------|-----------------------|---------|
| 4 | 论文合著 | 王建龙/1、张道宏/2                                 | 2018-2020 | 代表性论文 4               | 代表性论文 4 |
| 5 | 论文合著 | 王建龙/1、张道宏/2                                 | 2016-2018 | 代表性论文 5               | 代表性论文 5 |
| 6 | 共同获奖 | 王建龙/1、张道宏/2、<br>张文涛/5                       | 2013-2017 | 2019 陕西省高等学校科学技术一等奖   | 获奖证书    |
| 7 | 共同获奖 | 王建龙/1、张道宏/2、<br>王妍入/3、季艳伟/4、<br>张文涛/5、刘思杰/6 | 2018-2021 | 2023 陕西省高等学校科学技术一等奖   | 获奖证书    |
| 8 | 共同获奖 | 王建龙/1、张道宏/2、<br>张文涛/5                       | 2016-2018 | 2020 陕西省自然科学优秀学术论文三等奖 | 获奖证书    |

#### 完成人合作关系说明（限 1000 字）

第 1 至第 6 完成人同属西北农林科技大学食品科学与工程学院，共同开展项目的研究工作。第 1 完成人王建龙教授负责项目总体设计、实施方案制定及任务分工落实。与其他完成人（张道宏/2、王妍入/3、季艳伟/4、张文涛/5 和刘思杰/6）以分工协作方式开展个创新点相关的基础理论研究和相关畜产品免疫层析试纸条的新技术研发，其中：

第 1 完成人王建龙教授主持开展了抗体资源库建立、基于可控磁分离富集的检测模型、基于多元探针增敏的检测体系、基于纳米信号标签的多信号按需输出检测体系，主持创新了非对抗体识别机制的夹心免疫层析机制和基于生物化学染色的免疫层析新机制，与其他完成人合作撰写论文（代表作 1-5）。

第 2 完成人张道宏教授参与制定了项目整体研究方法和实施计划，主要负责抗体资源库建立、可控磁分离富集的检测模型与多元探针增敏检测体系的建立，与其他完成人合作撰写论文（代表作 1、3、4、5）。

第 3 完成人王妍入副教授主要负责畜产品中典型危害因子的高亲和力生物识别抗体资源库的建立，与其他完成人合作撰写论文（代表作 2）。

第 4 完成人季艳伟副教授主要负责畜产品中典型危害因子的高亲和力生物识别抗体资源库的建立和非对抗体识别机制的夹心免疫层析机制的建立，与其他完成人合作撰写论文（代表作 1 和 2）。

第 5 完成人张文涛副教授主要负责基于多元探针增敏的检测体系、多信号按需输出检测体系和非对抗体识别机制的夹心免疫层析机制的建立，与其他完成人合作撰写论文（代表作 3）。

第 6 完成人刘思杰系第 1 完成人的硕士、博士研究生，主要负责抗体资源库建立、多信号按需输出检测体系和多元探针增敏的检测体系的建立，与其他完成人合作撰写论文（代表作 3）。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

阮俊虎

一、项目名称：数字农业运营管理关键技术与应用

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

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励委员会工作办公室的填写要求。

物联网、区块链和人工智能等数字化技术在农业领域的应用促进了智慧农业的发展，然而也带来了作物生长环境智能管控、农产品全链条数字化管理和物联网电商运作模式构建等新的挑战。该项目研究了数字农业运营管理的系列关键技术，具体包括：（1）形成物联网环境下基于情景的作物生长要素在线优化调度学术思想、技术方法和平台系统，为作物生长环境智能管控难题提供技术支持；（2）研发出物联网环境下“生产-存储-配送”数字化管理与联合决策的技术方法和平台系统，为生鲜农产品全链条管控难题提供技术支持；（3）构建出农产品物联网电商运作模式，揭示出其经济规律与行为机理，形成农产品“优质优价、价值共创”的京东农场商业模式。经第三方机构鉴定，该项目整体技术达到“国内领先”水平。据不完全统计，至 2022 年 12 月应用该成果的多家农业企业或家庭农场中已取得了显著的经济与社会效益。

对照陕西省科学技术奖授奖条件，推荐该成果申报 2023 年度陕西省科学技术奖。推荐该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介：

农业时刻影响着亿万百姓的生活，关系到国民经济发展及社会安危，是党和国家长期关注的重大问题。党中央、国务院和农村农业部多次召开会议并颁布文件指示要大力发展推进互联网、物联网、区块链和人工智能等数字化技术在农业领域的应用，将数字化技术作为发展智慧农业和解决“三农”问题、实现乡村振兴战略的重要手段。

在国家自然科学基金创新研究群体项目和国家自然科学基金重点项目等支持下，项目组围绕物联网环境下作物生长要素在线优化调度、农产品供应链数字化管理与联合决策以及农产品创新电商运作模式与实现展开了研究，形成以“种好→管好→卖好”为主线的数字农业运营管理系列关键技术方法。

1) 形成物联网环境下基于情景的作物生长要素在线优化调度学术思想、技术方法和平台系统，为作物生长环境智能管控难题提供技术支持。物联网环境下的作物生长环境智能管控是实现智慧农业的关键，面临着多维异构数据难以直接运用常规运筹优化模型、实时产生的流数据需要设计出模型求解的快速算法、非结构化的农业技术

知识难以直接融入到结构化的模型与算法中等难题。针对这些难题，该项目形成由“数据驱动的作物生长异常情景实时监测→作物生长要素管控规则在线训练→规则触发的作物生长要素智能调度”构成的基于情景的作物生长要素在线优化调度学术思想。

2) 研发出物联网环境下“生产-存储-配送”数字化管理与联合决策的技术方法和平台系统，为生鲜农产品全链条管控难题提供技术支持。面对互联网和物联网环境下生鲜农产品供应链短链化的顾客需求、便捷化的储运服务和易腐性的产品特性，生鲜农产品经营主体的生产、储存与分销决策成为一个复杂的决策优化问题，直接影响到农产品种植户的成本与利润。针对这一难题，该项目形成物联网环境下生鲜农产品的农业物联网系统框架、“生产-存储-配送”联合决策和数字化管理的标准体系等技术方法。

3) 构建出农产品物联网电商运作模式，形成农产品“优质优价、价值共创”的京东农场商业模式。随着移动互联网、物联网和大数据等技术在农业农村中的普及应用，新型农业种植与经营模式会不断涌现。物联网电商逐渐被学术界和企业界识别为下一代互联网电商的主要形式。生鲜农产品物联网电商的互联智能透明特性，为中国当前面临的生鲜农产品质量安全问题、小农户对接现代化大市场难题、农业供给侧改革和农民增收问题的解决提供有效助力。项目团队自 2016 年提出物联网电商（IoT-based e-commerce）这一概念以来，已经形成“物联网电商运作模式→关键环节优化模型→实现路径与机理”系列技术方法，并支撑京东农场商业模式的实现与升级

依托以上学术思想、技术方法和平台系统，获发明专利“一种精准农业的水肥一体化分配方法”，研发出“谷·语”数字农业管控系统[简称：京东农场]V1.0 和京东农场全域级农业大数据管理平台，在中科院一区 TOP 期刊《IEEE Transactions on Industrial Informatics》和权威期刊《系统工程理论与实践》等上发表系列论文。经教育部科技查新工作站对文献数据库和专利数据库进行检索发现：三个科技创新点的相关报道基本上都出自项目完成人，鲜见其他文献有相关相同报道。研究成果得到 20 余名院士、会士、期刊编辑引用和评价。

基于以上成果，完成人团队与京东集团合作共建京东农场项目。据不完全统计，至 2022 年 12 月应用该成果的单位中已有多家取得了明显的经济效益。基于以上科技创新和应用效益，已获得 2022 年陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖、2021 陕西省杰出青年基金、2021 中国产学研合作创新与促进奖、2020 中国商业联合会科学技术奖科技进步二等奖等科技奖励。

主要完成人霍学喜（全国政协委员）将项目相关成果的主要观点凝练成“关于重视解决数字农业关键问题的提案”和“关于加速传统农业数字化改造的提案”两个提案（提案号：2502 和 4789）呈报给中国人民政治协商会议第十三届全国委员会；第一完成人阮俊虎推动了西北农林科技大学与京东集团、国家苹果产业体系共建苹果全产业链物联网标准，联合成立京东数字农业西北研究院，与西藏自治区商务厅和林芝市

政府签订农业数字化合作协议，呈报相关建议到陕西省、外交部、农业部、教育部和西藏自治区等。以上成果与工作得到人民日报、人民网、新华网、人民政协网和经济日报等报道与转载。

#### 四、客观评价

##### 1. 具有资质的第三方机构科技成果评价报告

2022年12月1日，中华全国供销合作总社科技推广中心召开科技成果评价会，组织专家组对“数字农业运营管理关键技术与应用”研究成果进行了会议评价。评价专家组由哈尔滨工业大学教授李一军（长江学者特聘教授、原国家自然科学基金委员会管理科学部常务副主任）、北京科技大学教授闫相斌（国家自然科学基金杰出青年项目获得者、北京科技大学副校长）、合肥工业大学教授刘心报（长江学者特聘教授）、天津大学教授李敏强（长江学者特聘教授）、东北财经大学教授唐加福（长江学者特聘教授、国家自然科学基金杰出青年项目获得者）、东北大学教授樊治平（长江学者特聘教授）、东南大学教授赵林度（国家自然科学基金重大项目首席专家）7位专家组成。专家组听取了成果主要完成人的相关汇报，审阅了相关资料，进行了质询、交流并对科技成果进行了评价，形成如下鉴定意见：

（1）成果提交的各项研究报告和技术资料符合国家科技成果鉴定要求。

（2）成果系统地解决了数字技术促进农业高质量发展过程中产生的运营管理难题，富有创新性，经济和社会效益显著，具有重要的学术价值和应用价值。

专家组经评价，认为该成果总体达到“国内领先”水平（成果类型：技术开发类，科技成果评价证书号：202261GX0065）。

##### 2. 查新报告

经教育部科技查新工作站（N04）对1978年-2022年5月期间的文献数据库和专利数据库进行检索，并根据检索结果对（1）物联网环境下基于情景的作物生长要素在线优化调度技术方法、（2）物联网环境下“生产-存储-配送”数字化管理与联合决策技术方法和（3）基于农产品生命周期的物联网电商运作模式与优化方法这三个科技创新点进行新颖性对比，得出以下查新结论：

对三个科技创新点的相关报道基本上都出自项目完成人，鲜见其他文献有相关相同报道。

##### 3. 国家相关部门的技术检测报告、验收意见、鉴定结论

（1）该成果被国务院领导的中华全国供销合作总社组织知名专家进行了鉴定，鉴定结论为“国内领先”（成果类型：技术开发类，科技成果评价证书号：202261GX0065）；

（2）资助该成果的国家自然科学基金重点项目“物联网环境下基于情景的在线智

能调度优化方法”（基金号：71531002）、国家自然科学基金面上项目““一地多仓型’大型网上超市订单分解与合并的优化方法”（基金号：71571067）和国家自然科学基金创新研究群体项目“新兴电子商务的信息与物流管理”（基金号：71421001）在国家自然科学基金委管理科学部的结题验收或后评估中获评为“优秀”。其他两个项目尚处于后评估阶段，尚无验收结论。

#### 4. 其他评价

该成果包括的十项知识产权以及完成人团队在数字农业运营管理领域取得的其他成果得到了同行专家肯定，已经获得多项科研荣誉与奖励。其中该成果十项知识产权支撑获得的荣誉奖励包括：

（1）数字农业运营管理关键技术与应用，2022 年度陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖，一等奖（最高级别），2022；

（2）数字农业管理理论与方法，陕西省杰出青年基金，2021；

（3）数字农业运营管理技术方法的创新与应用，中国产学研合作创新与促进奖（国科奖社证字第 0191 号），产学研合作促进奖，2021；

（4）农产品供应链安全可信的“物联网+区块链”关键技术及其示范应用，中国商业联合会科学技术奖，科技进步二等奖，2020；

（5）京东农场数智化 助力丰县苹果产业升级及品牌发展，全国乡村振兴优秀案例（中国乡村振兴发展大会评选），2021；

（6）京东农场数字农业管控模式，数字农业农村新技术新产品新模式优秀项目（农业农村部评选），2019；

（7）围绕该项目三个科技创新点取得的研究成果多次被国内外知名学者团队引用且部分学者给出了肯定性评价意见，包括：被北京邮电大学陈俊亮（中国科学院院士、中国工程院院士）、南方科技大学 Georgios Theodoropoulos（世界艺术与科学学会会士）、浙江农林大学张俊飏（国家级人才）、四川大学徐泽水（欧洲科学与艺术院院士、国际系统与控制科学院院士）、北京信息科技大学祝连庆（国家级人才）、南京农业大学舒磊（IEEE Transactions on Industrial Informatics 副主编）、新加坡南洋理工大学 Maode Ma（英国皇家工程技术学会会士）和英国莱斯特大学 Lu Liu（英国计算机协会会士）等学者团队引用。部分学者给出了肯定性评价意见，例如文章[Hanif Afif Naufal, Muhammad Alif Alauddin, Konferensi Internasional Pelajar Indonesia, 2020, Volume]指出：Whereas, a prominent step for agriculture Development Model (DM) has been done by Ruan et al. (2019)。

#### 五、应用情况

项目完成人阮俊虎教授和胡祥培教授团队与京东集团合作共建京东农场项目，已



在全国建立覆盖大米、玉米、小米、枸杞、柑橘、苹果等作物种类的 28 个京东农场，形成农产品“优质优价、价值共创”的商业模式。据不完全统计，至 2022 年 12 月应用该成果的单位中已有家取得了明显的经济效益。京东农场示范工程带动效应明显，不仅加速了移动互联网、物联网和大数据等技术在农村中的普及应用，还壮大了农业物联网科技企业。

#### 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  | 授权发明专利 | 一种精准农业的水肥一体化分配方法   | 中国  | ZL202010842057.1 | 20210810   | 第 4605566 号 | 大连理工大学                       | 王旭坪, 林娜, 阮俊虎, 胡祥培   |
| 2  | 授权发明专利 | 一种农资管控系统及其方法   | 中国  | ZL202010083243.1 | 20210330   | 第 4605566 号 | 北京京东尚科信息技术有限公司; 北京京东乾石科技有限公司 | 王宏伟, 王增理  |
| 3  | 软件著作权  | “谷·语”数字农业管控系统[简称: 京东农场]V1.0  | 中国  | 2020SR0785541    | 2020.05.25 | 第 5664237 号 | 北京京东乾石科技有限公司                 | 靳宏财, 侯强, 王华, 赵鹏, 白皓洵  |
| 4  | 软件著作权  | 京东农场全域级农业大数据管理平台   | 中国  | 2021SR1064384    | 2021.02.20 | 第 7787010 号 | 北京京东尚科信息技术有限公司               | 侯强, 王华, 靳宏财, 陈超   |
|    | 知识产权类别 | 名称   | 期刊  | 年                | 卷          | 期           | 页码                           | 作者  |
| 5  | 论文     | A Granular GA-SVM Predictor for Big Data in Agricultural Cyber-Physical Systems                        | IEEE Transactions on Industrial Informatics | 2019             | 15         | 12          | 6510-6521                    | Junhu Ruan, Hua Jiang, Xiaoyu Li, Yan Shi, Felix T. S. Chan, Weizhen Rao*   |
| 6  | 论文     | A Life-Cycle Framework of Green IoT Based Agriculture and Its Finance, Operation and Management Issues | IEEE Communications Magazine                | 2019             | 57         | 3           | 90-96                        | Junhu Ruan, Yuxuan Wang, Felix T. S. Chan, Xiangpei Hu, Minjuan Zhao, Fangwei Zhu, Baofeng Shi, Yan Shi, Fan Lin* |

|    |    |   |                                   |      |    |    |             |  |
|----|----|---|-----------------------------------|------|----|----|-------------|--|
| 7  | 论文 | A Model for Joint Planning of Production and Distribution of Fresh Produce in Agricultural Internet of Things | IEEE Internet of Things Journal   | 2021 | 8  | 12 | 9683-9696   | Jiliang Han, Na Lin, Junhu Ruan*, Xuping Wang, Wei Wei, Huimin Lu  |
| 8  | 论文 | An IoT Based E-business Model of Intelligent Vegetable Greenhouses and Its Key Operation Issues               | Neural Computing and Applications | 2020 | 32 | 19 | 15341-15356 | Junhu Ruan, Xiangpei Hu, Xuexi Huo, Yan Shi, Felix T. S. Chan, Xuping Wang, Gunasekaran Manogaran, George Mastorakis, Constandinos X. Mavromoustakis, Xiaofeng Zhao* |
| 9  | 论文 | 基于学习效果的蔬菜电商成组拣货排序方法   | 系统工程理论与实践                         | 2020 | 40 | 2  | 449-461     | 冯晓春, 胡祥培*  |
| 10 | 论文 | 手机使用能促进农户采用IPM技术吗   | 农业技术经济                            | 2020 | -  | 5  | 45-59       | 闫贝贝, 张强强, 刘天军*   |

### 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称   | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|-----------|-----------|--|
| 阮俊虎 | 1  | 推广处副处长、教授 | 西北农林科技大学  | 该项目负责人，对创新点一、二、三都有贡献。创新点一中主要研究了农业物联网流数据上传间隔优化方法和精准农业水肥一体化调度模型；创新点二中主要研究了基于农产品生命周期的农业物联网系统框架和物联网环境下生鲜农产品的生产-存储-配送联合决策方法；创新点三中主要研究了基于农产品生命周期的物联网电商运作模式，并进行了京东农场项目建设。是代表论文5、6、8的第一作者，代表论文7的通讯作者，是代表成果1专利的第三完成人。 |
| 胡祥培 | 2  | 教授        | 大连理工大学    | 该项目主要完成人，对创新点一、二、三都有贡献。创新点一中主要研究了精准农业水肥一体化调度模型；创新点二中主要研究了基于农产品生命周期的农业物联网系统框架；创新点三中主要研究了基于农产品生命周期的物联网电商运作模式，并进行了京东农场项目建设。是代表成果1专利的第四完成人，代表论文9的通讯作者，代表论文6、8的通讯作者。  |

| 姓名  | 排名 | 行政/技术<br>职称 | 工作单位/<br>完成单位  | 对本项目技术创造性贡献   |
|-----|----|-------------|----------------|---|
| 刘天军 | 3  | 教授          | 西北农林科技大学       | 该项目主要完成人，对创新点三有贡献。创新点三中研究了农户采纳农业物联网相关技术的行为机理，并进行了京东农场项目建设。是代表论文 10 的通讯作者。   |
| 王华  | 4  | 副教授         | 北京京东尚科信息技术有限公司 | 该项目主要完成人，对创新点一、二有贡献。创新点一研究了作物生长要素在线监测与智能管控系统，并进行了京东农场项目建设工作；创新点二中研究了农产品“耕-种-管-收-储-运-销”全程数字化大数据平台，并进行了京东农场项目建设。是代表成果 3 软件著作权的第三完成人，代表成果 4 软件著作权的第二完成人。 |
| 王宏伟 | 5  | 高级工程师       | 北京京东乾石科技有限公司   | 该项目主要完成人，对创新点二有贡献。创新点二研究了包含电子标签、管理平台、农资识别子系统和门禁子系统的农资管控系统，并进行了京东农场项目建设。是代表成果 2 专利的第一完成人。  |
| 林娜  | 6  | 无           | 大连理工大学         | 该项目主要完成人，对创新点一、二有贡献。创新点一中主要研究了精准农业水肥一体化调度模型，并设计了模型求解算法；创新点二中研究了物联网环境下生鲜农产品的生产-存储-配送联合决策方法，并进行了京东农场项目建设。是代表成果 1 专利的第二完成人，代表论文 7 的共同作者。                 |
| 冯晓春 | 7  | 讲师          | 西北农林科技大学       | 该项目主要完成人，对创新点三有贡献。创新点三中主要研究了基于学习效果的蔬菜电商成组拣货排序方法，并进行了京东农场项目建设。代表论文 9 的第一作者。  |
| 韩继良 | 8  | 无           | 西北农林科技大学       | 该项目主要完成人，对创新点二有贡献。创新点二中研究了物联网环境下生鲜农产品的生产-存储-配送联合决策方法，并进行了京东农场项目建设。是代表论文 7 的第一作者。  |
| 霍学喜 | 9  | 教授          | 西北农林科技大学       | 该项目主要完成人，对创新点三有贡献。创新点三中主要研究了基于农产品生命周期的物联网电商运作模式，进行了京东农场项目建设。是代表论文 8 的共同作者。  |
| 朱方伟 | 10 | 教授          | 大连理工大学         | 该项目主要完成人，对创新点二有贡献。创新点二中主要研究了基于农产品生命周期的农业物联网系统框架，识别了基于物联网的电商模式的关键运作环节，即大数据驱动的定价、种植结构与时间优化、水肥一体化控制、植物光补充和订单驱动的采摘包装优化。是代表论文 6 的共同作者。                     |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称     | 排名 | 主要贡献   |
|----------|----|--|
| 西北农林科技大学 | 1  | 西北农林科技大学为本项目牵头单位，负责项目组织和技术研发工作。主要创新工作包括：提出农业物联网流数据上传间隔优化方法，构建了基于农产品生命周期的农业物联网系统框架和物联网环境下生鲜农产品的生产-存储-配送联合决策方法，提出基于农产品生命周期的物联网电商运作模式，并把相应技术方法应用到京东集团的京东农场建设工程。 |

| 单位名称           | 排名 | 主要贡献  |
|----------------|----|---|
| 大连理工大学         | 2  | 大连理工大学为本项目重要依托单位。主要创新工作包括：构建了水肥监测与水肥一体化调度模型及算法，设计了基于学习效果的蔬菜电商成组拣货排序方法，并把相应技术方法应用到京东集团的京东农场建设工程。 |
| 北京京东尚科信息技术有限公司 | 3  | 北京京东尚科信息技术有限公司为本项目重要依托单位。主要创新工作包括：研发出“京东农场全域级农业大数据管理平台”和“一种农资管控系统及其方法”并应用到京东集团的京东农场建设工程。        |
| 北京京东乾石科技有限公司   | 4  | 北京京东乾石科技有限公司为本项目重要依托单位。主要创新工作包括：研发出“谷·语”数字农业管控系统[简称：京东农场]V1.0 和“一种农资管控系统及其方法”并应用到京东集团的京东农场建设工程。 |

### 九、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况表 |                     |          |           |  |                         |
|------------|---------------------|----------|-----------|--|-------------------------|
| 序号         | 合作方式                | 合作者/项目排名 | 合作时间      | 合作成果   | 证明材料                    |
| 1          | 论文合著、发明专利、共同获奖、共同立项 | 胡祥培（2）   | 2014-2022 | 论文、专利、2020年度中国商业联合会科学技术奖-全国商业科技进步奖二等奖、陕西省高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖、陕西省第十五次哲学社会科学优秀成果奖一等奖、共同立项国家重点研发计划课题 | 共同立项、共同获奖、专利1、代表论文6、8、9 |
| 2          | 共同获奖                | 刘天军（3）   | 2016-2022 | 陕西省高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖、陕西省第十五次哲学社会科学优秀成果奖一等奖、陕西高等学校人文社会科学研究优秀成果奖一等奖                               | 共同获奖                    |
| 3          | 共同获奖、共同立项           | 王华（4）    | 2016-2022 | 2020年度中国商业联合会科学技术奖-全国商业科技进步奖二等奖  | 共同立项、共同获奖               |
| 4          | 共同获奖                | 王宏伟（5）   | 2016-2022 | 2020年度中国商业联合会科学技术奖-全国商业科技进步奖二等奖  | 共同获奖                    |
| 5          | 论文合著、发明专利           | 林娜（6）    | 2019-2022 | 论文、专利  | 专利1、代表论文7               |
| 6          | 论文合著、共同获奖           | 冯晓春（7）   | 2016-2022 | 2020年度中国商业联合会科学技术奖-全国商业科技进步奖二等奖、陕西省第十五次哲学社会科学优秀成果奖一等奖、陕西高等学校人文社会科学研究优秀成果奖一等奖                     | 共同获奖、代表论文9              |
| 7          | 论文合著                | 韩继良（8）   | 2018-2022 | 论文   | 代表论文7                   |

|   |           |         |           |   |             |
|---|-----------|---------|-----------|---|-------------|
| 8 | 论文合著、共同获奖 | 霍学喜(9)  | 2015-2022 | 论文、陕西省高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖、陕西省第十五次哲学社会科学优秀成果奖一等奖、陕西高等学校人文社会科学研究优秀成果奖一等奖 | 共同获奖、代表论文 8 |
| 9 | 论文合著、共同获奖 | 朱方伟(10) | 2019-2022 | 论文、陕西省高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖  | 共同获奖、代表论文 6 |

#### 完成人合作关系说明（限 1000 字）

项目组在物联网、区块链和人工智能等数字化技术促进智慧农业发展的背景下，研究了数字农业运营管理的系列关键技术。本项目完成人及工作单位包括阮俊虎教授（西北农林科技大学）、胡祥培教授（大连理工大学）、刘天军教授（西北农林科技大学）、王华（北京京东尚科信息技术有限公司）、王宏伟（北京京东乾石科技有限公司）、林娜博士（大连理工大学）、冯晓春博士（西北农林科技大学）、韩继良博士（西北农林科技大学）、霍学喜教授（西北农林科技大学）。

阮俊虎与胡祥培、林娜于 2021 年合作获得授权发明专利：一种精准农业的水肥一体化分配方法。

阮俊虎与胡祥培、朱方伟针对当前基于农产品生长周期应用物联网过程中面临的挑战，建立基于农产品生命周期的农业物联网系统框架，提出固定型传感器布局优化、移动型传感器飞行路线优化等模型算法。

阮俊虎与胡祥培、霍学喜提出基于农产品生命周期的物联网电商运作模式，设计了物联网电商模式的产业链和价值链，建立了种植结构优化、水肥一体化调度和分拣打包优化模型。

阮俊虎与胡祥培、王华合作立项国家重点研发计划课题。其中包括针对数据驱动的村镇多类型冷链仓储资源网络优化方法与软件等的研究。

阮俊虎与胡祥培、王华、王宏伟、冯晓春合作进行物联网和区块链赋能农产品供应链相关研究，共同获得 2020 年度中国商业联合会科学技术奖-全国商业科技进步奖二等奖：农产品供应链安全可信的“物联网+区块链”关键技术及其示范应用。

阮俊虎为韩继良的导师，两人与林娜建立了一个包含劳动力和资本约束的混合整数规划模型，形成物联网环境下生鲜农产品的生产-存储-配送联合决策技术方法。

胡祥培与冯晓春针对蔬菜 B2C 电子商务直销背景下拣货环节的订单成组作业优化问题进行了研究，基于拣货人员的学习效果建立最小化订单拣货完成时间之和的拣货序列优化模型，并采用序贯决策思想设计了一个两阶段的改进模拟退火-遗传算法求解算法。

阮俊虎与胡祥培、刘天军、霍学喜、朱方伟共同获得陕西省高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖。阮俊虎与胡祥培、刘天军、冯晓春和霍学喜共同获得陕西省第十五次哲学社会科学优秀成果奖一等奖。阮俊虎与刘天军、冯晓春和霍学喜共同获得陕西高等学校人文社会科学研究优秀成果奖一等奖。

阮俊虎参与胡祥培国家自然科学基金重点项目“物联网环境下基于情景的在线智能调度优化方法”。该项目针对物联网环境下生产运营的在线调度难题，提出了典型情景的知识表示和情景建模方法等。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

王丽

一、项目名称：功能化高效新型杀菌复合材料制备及其作用机理研究

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

该项目以提高伤口杀菌效率为目标，构建了功能化高效纳米新型杀菌体系。从功能性方面划分，该纳米杀菌体系主要包括光热杀菌剂、光热-光催化杀菌剂、Ag<sup>+</sup>控缓释-光热杀菌剂、天然杀菌剂肉桂醛控缓释-光热杀菌剂、壳聚糖-铜-没食子酸多功能杀菌创可贴、集捕获和杀灭功能于一体的壳聚糖基杀菌气凝胶、以及具有可注射、自愈合、AgNPs 控缓释、光热杀菌、抗氧化等水凝胶伤口敷料，为抗细菌感染提供了新的理论支撑和技术参考。

推荐其申请自然科学二等奖。

三、项目简介：

细菌感染一直是人类健康的重大威胁，其中细菌感染型伤口更易诱发炎症，扰乱机体正常免疫系统，从而严重阻碍伤口的愈合。为提高杀菌效率，本项目开发了多种功能化高效新型杀菌复合材料，主要包括新型光热纳米杀菌材料、食品功能组分修饰的纳米杀菌材料、以及多功能杀菌水凝胶等，并对不同策略的杀菌机制进行了系统研究。本项目的主要内容及创新点如下：

**(1) 首创强化生物矿化辅助制备多功能可注射水凝胶敷料方法以有效加速伤口愈合**

该项成果采用多巴胺接枝明胶等作为生物模板，提出了天然分子辅助矿化方法，制备出具有优异杀菌效应的新型胶体抑菌材料，解决了难以自愈合、抑菌效果弱的难题，实现了对致病菌的高效绿色快速杀灭。同时，通过与瓜尔豆胶相结合，借助席夫碱反应，设计了一个载有原位还原银纳米粒子的可注射、自愈合、杀菌、抗氧化且具有强光热性能的多功能水凝胶，其具有强烈协同杀菌作用，可有效杀死伤口处细菌，进而加速伤口的愈合。

1. Multifunctional injectable hydrogel dressings for effectively accelerating wound healing: Enhancing biomineralization strategy

**(2) 构建了功能化二维金属锑烯纳米材料实现物理捕获和光热效应一体化的壳聚糖基气凝胶协同杀菌体系**

该项成果通过超声剥离技术制备了锑烯纳米片（AM NSs）和氨基功能化的二硫化钼纳米片（NMNSs），并分别将其嵌入壳聚糖网络结构中构建了两种复合气凝胶

杀菌平台。壳聚糖通过与细菌细胞膜的静电作用将细菌富集在凝胶表面，并通过其固有的杀菌能力杀死部分细菌。在近红外光照射下，AM NSs 和 NMNSs 将光能转换为热能以消除残余细菌，AM NSs 和 NMNSs 的杀菌效率分别为 45.2%和 37.9%。壳聚糖/AM NSs 凝胶平台对于大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的杀菌效率分别为 98.7%和 94.8%。壳聚糖/NMNSs 凝胶平台对于大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的杀菌效率分别为 97.5%和 99.0%。

## 2. Construction of chitosan-based hydrogel incorporated with antimonene nanosheets for rapid capture and elimination of bacteria

### (3) 构建了银离子控释和光热效应一体化的卡拉胶基水凝胶杀菌体系

该项成果通过一锅法制备了没食子酸功能性银纳米颗粒 (GA-Ag NPs)，然后将其嵌入卡拉胶网络结构中构建新型水凝胶杀菌体系。GA-Ag NPs 不仅可以通过控释效应实现持续杀菌，而且还可以通过光热效应将光能转化为热能杀灭细菌，对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的杀菌效率分别为 98.7%和 94.8%。卡拉胶凝胶基质还可以促进伤口愈合并展现出良好的生物相容性。

## 3. Silver nanoparticle-embedded hydrogel as a photothermal platform for combating bacterial infections

### (4) 制备了类过氧化物酶催化和光热双功能化金属氧化物纳米材料，阐明了纳米催化疗法和光热疗法一体化的杀菌机制

通过水热配合超声波液相剥离技术制备了具有类过氧化物酶催化活性和光热性能的血红蛋白功能化的铁酸铜纳米颗粒(Hb-CFNPs)和锰酸铜纳米片(CuMnO<sub>2</sub> NFs)。金属氧化物纳米材料通过静电相互作用结合细菌，并通过催化作用产生羟基自由基破坏细胞膜结构，提高细胞膜对热的敏感度。在近红外光照射下，材料利用光热效应将光能转变为热能引起细菌热损伤，Hb-CFNPs 和 CuMnO<sub>2</sub> NFs 的光热转换效率分别为 28.6%和 29.6%，同时升温也进一步提高了材料的催化活性，从而产生更多的羟基自由基来对抗细菌。此外，Hb-CFNP 可通过磁富集将光热效率提高约 20 倍，从而在低剂量下实现快速杀菌。

## 4. Multifunctional magnetic copper ferrite nanoparticles as fenton-like reaction and near-infrared photothermal agents for synergetic antibacterial therapy

### (5) 创建了多功能壳聚糖-铜-没食子酸纳米复合杀菌伤口创可贴

该项成果以食品功能组分没食子酸 (GA) 为稳定剂和抗氧化成分，通过壳聚糖 (CS) 与 Cu<sup>2+</sup>之间的螯合作用，制得 CS-Cu-GA 纳米复合杀菌剂，该纳米体系具有良好的分散性和稳定性，以及优异的杀菌和抗氧化性能。进一步将 CS-Cu-GA 纳米复合杀菌剂负载于壳聚糖基质中，制得了便携式的多功能伤口创可贴，其可以有效杀死伤口处细菌，促进伤口愈合。

5. Chitosan-based bifunctional composite aerogel combining absorption and phototherapy for bacteria elimination

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）

东北农业大学江连洲教授（“A dopamine-modified gelatin hydrogel with  $G' (\sim 100 \text{ Pa})$  has been used as wound dressing biomaterial in the work of Zhang et al.” Lianzhou Jiang et al. 2022. *Biomaterials*, 283, 121455）认为论文中研制的多巴胺修饰明胶水凝胶被用作伤口敷料的生物材料具有较为广泛的应用前景。内蒙古工业大学理学院冀国俊教授（“Hydrogel adhesion plays a key role in various emerging fields, including soft machines, flexible electronics, microfluidics, functional coatings, and bioengineering.” Guojun Ji et al. 2022. *Advanced Materials*, 34, 13, 2108820）认为论文中水凝胶粘附在各种新兴领域发挥着关键作用，包括软机械、柔性电子、微流体、功能涂料和生物工程等领域。西安交通大学郭保林教授（“Among the existing antibacterial agents, Ag NP-based nanomaterials are the most common and well-studied types of antibacterial agents because of their wide antibacterial spectrum that can be effective against a variety of Gram-positive/negative bacteria, fungi, and viruses.” Baolin Guo et al. 2021. *ACS Nano*, 15, 12, 18895）认为在现有的抗菌剂中，银基纳米材料是最常见和研究最充分的抗菌剂类型，因为其抗菌谱广泛，可以有效地对抗各种革兰氏阳性/阴性细菌、真菌和病毒。

论文受到了路易斯安那理工大学微制造和生物医学工程项目研究所 Y. Lvov 教授的高度评价（“The photothermal agents convert light to thermal energy, causing a local hyperthermia to denaturalize bacterial proteins and killing bacteria. Various types of photothermal agents have been incorporated to wound dressings, such as antimonene nanosheets” Y. Lvov et al. 2022. *Bioactive Materials*, 21, 284），称该论文提出光热剂将光转换为热能量，引起局部热疗，使细菌蛋白质变性并杀死细菌。高丽大学化学与生物工程系和化学与生物工程研究中心 Jungbae Kim 教授（“The wound infection induced by *S. aureus* was successfully cured using the CS/AM NS hydrogel wound dressing. This is the first example of using AM NSs as a PTT agent in antibacterial therapy” Jungbae Kim et al. 2022. *Coordination Chemistry Reviews*, 470, 214701）称采用 CS/AM NS 水凝胶创面敷料成功治愈了金黄色葡萄球菌引起的伤口感染，这是使用 AM NSs 作为 PTT 剂在抗菌治疗中的第一个例子。南京理工大学化学工程学院董伟教授（“This phenomenon was because the CG hydrogel possessed abundant functional groups such as positively charged quaternary ammonium salt groups that can interact with the negatively charged bacteria cell membrane, resulting in pathogen capture and



inactivation.”Wei Dong et al. 2022. *Advanced Science*, 9, 2106015) 称 CG 水凝胶具有丰富的官能团,如带电的季铵盐基团,这些官能团可以与带负电的细菌细胞膜相互作用,从而捕获和灭活病原体。

上海交通大学附属第六人民医院程涛副教授评价称 (“Polydopamine (PDA) nanoparticles are a near-infrared-responsive inorganic nanomaterial and widely utilized for biomedical applications.”Cheng Tao et al. *Materials & Design*, 2022, 217, 110643) 聚多巴胺纳米粒子是一种近红外响应型无机纳米材料,在生物医学领域应用广泛。广东医科大学医学技术学院副教授皮江讲师评价 (“In order to strengthen the antibacterial effects, antibiotic substance is often introduced into the PDA nanosystem, which allows the delivery of antibiotics for selective bacterial killing together with PTT.”Jiang Pei et al. 2022. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 829712), 该纳米材料增强了杀菌效果。论文受到了西班牙格拉纳达大学 Costela-Ruiz, Victor Javier 和 Garcia-Martinez, Olga 的高度评价 (“Sun et al. obtained encouraging wound healing outcomes in rats by applying a biocompatible antibacterial dressing based on chitosan-copper-GA.”Costela-Ruiz, VJet al. 2021. *Foods*, 10, 1642), 称该论文提出的基于壳聚糖-铜-GA 的生物相容性抗菌敷料,在大鼠中获得了令人鼓舞的伤口愈合结果。广东医科大学海洋生物医药研究所刘云 (“Compared to traditional wound dressings, aerogels-based wound dressings not only have blood exudate absorption ability but also possess a key capacity in maintaining the gaseous exchanges, which is also of importance for wound healing. In comparison with hydrogels, the highly porous network, adjustable surface properties, tunable pore sizes, low density and good biocompatibility of aerogels make them promising candidates for bactericidal applications” Liu Yun et al. 2022. *Drug delivery*, 29, 1086) 肯定了气凝胶具有高孔隙网络、可调节的表面性能、可调节的孔径、低密度和良好的生物相容性等优势,认为其具有良好的杀菌应用前景。

## 五、应用情况

本项目研发的光热杀菌剂、光热-光催化杀菌剂、Ag<sup>+</sup>控缓释-光热杀菌剂、天然杀菌剂肉桂醛控缓释-光热杀菌剂、壳聚糖-铜-没食子酸多功能杀菌创可贴、集捕获和杀灭功能于一体的壳聚糖基杀菌气凝胶、以及具有可注射、自愈合、AgNPs 控缓释、光热杀菌、抗氧化等功能的水凝胶,被成功应用于杀灭伤口部位的细菌,表现出优异的杀菌效果。通过细菌感染伤口愈合试验,证明了本项目研发的多种杀菌剂,以及杀菌凝胶伤口敷料可以有效杀灭伤口部位细菌,加速伤口愈合。

六、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)

1.Multifunctional injectable hydrogel dressings for effectively accelerating wound healing: Enhancing biomineralization strategy, *Advanced Functional Materials*, 2021, 31, 2100093

2.Construction of chitosan-based hydrogel incorporated with antimonene nanosheets for rapid capture and elimination of bacteria, *Advanced Functional Materials*, 2020, 2003196

3.Silver nanoparticle-embedded hydrogel as a photothermal platform for combating bacterial infections, *Chemical Engineering Journal*, 2020, 382, 122990

4.Multifunctional magnetic copper ferrite nanoparticles as fenton-like reaction and near-infrared photothermal agents for synergetic antibacterial therapy, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2019, 11, 31649

5.Chitosan-based bifunctional composite aerogel combining absorption and phototherapy for bacteria elimination, *Carbohydrate Polymers*, 2020, 247, 116739

#### 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位         | 对本项目技术创造性贡献              |
|-----|----|---------|-------------------|--------------------------|
| 王丽  | 1  | 教授      | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 本成果中相应科学技术的主要完成人，项目的总负责人 |
| 刘英男 | 2  | 教授      | 安徽农业大学/西北农林科技大学   | 承担杀菌材料及机理研究              |
| 孙新玉 | 3  | 讲师      | 河南农业大学/西北农林科技大学   | 承担功能化凝胶杀菌材料制备研究          |
| 张辉  | 4  | 博士研究生   | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 承担杀菌材料及机理研究              |
| 张雅兰 | 5  | 硕士研究生   | 西北农林科技大学/西北农林科技大学 | 杀菌材料毒理评价及动物实验研究          |

#### 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称     | 排名 | 主要贡献   |
|----------|----|--|
| 西北农林科技大学 | 1  | 西北农林科技大学地处中华农耕文明发祥地、国家级农业高新技术产业示范区——陕西杨凌，是教育部直属、国家原“985 工程”和“211 工程”重点建设高校，首批入选国家“世界一流大学和一流学科”建设高校，2022 年入选国家第二轮“双一流”建设高校，2 个学科入选“双一流”建设学科。设有研究生院和 28 个学院（部、所），共有 14 个博士后流动站，16 个博士学位授权一级学科，28 个硕士学位授权一级学科，2 个博士专业学位授权类别，17 个硕士专业学位授权类别，74 个本科专业。现有 7 个国家重点学科和 2 个国家重点（培育）学科；农业科学、植物学与动物学、工程学、环境科学与生态学、化学、生物学与生物化学、药理学与毒理学、分子生物学与遗传学、微生物学、地球科学等 10 个学科进入 ESI 全球学科排名前 1%，农业科学、植物学与动物学 2 个学科进入 ESI 前 1%之列。拥有 1 个国家生命科学与技术人才培养基地、3 个国家级人才培养模式创新实验区、12 个国家级特 |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | 色专业、8个“卓越农林人才教育培养计划”专业。农学专业通过农科专业（第三级）认证，水文与水资源工程、农业水利工程、水利水电工程、食品科学与工程专业通过工程教育专业认证。拥有“万人计划”教学名师2人，国家级教学名师2人，国家级教学团队5个，建成国家级精品课程12门、国家级精品资源共享课8门、国家级视频公开课4门、国家级一流本科课程20门，入选国家级“十一五”“十二五”规划教材52种，获国家优秀教材二等奖1种。建校以来，学校累计获得各类科技成果6000余项，获奖成果1800余项，推广转化直接经济效益累计超过3000亿元。合校以来，学校牢记服务旱区可持续发展的国家使命，始终站在助推西部大开发、国家“一带一路”建设、科技发展前沿，累计获得国家级科技奖励44项，主持完成省部级一等奖95项，获国家授权发明专利1812件。为本成果的顺利研究提供完善的科研条件、优异的研究平台。 |
|--|--|--|

### 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          | 科研合作 | 刘英男/2    | 2018.7-今 | 论文   | 共同发表论文 |
| 2          | 科研合作 | 孙新玉/3    | 2017.7-今 | 论文   | 共同发表论文 |
| 3          | 科研合作 | 张辉/4     | 2018.7-今 | 论文   | 共同发表论文 |
| 4          | 科研合作 | 张雅兰/5    | 2018.7-今 | 论文   | 共同发表论文 |

**完成人合作关系说明（限1000字）**

项目完成人王丽为西北农林科技大学教师，孙新玉为河南农业大学教师，刘英男为安徽农业大学教师。完成人均为该项目的主要完成人，其中王丽为项目第一完成人，一直从事本成果的科学研究并负责组织策划，孙新玉、刘英男、张雅兰为本成果研究课题的主要研究骨干，孙新玉承担功能化杀菌材料制备实验研究，刘英男、张辉负责承担杀菌机理实验研究和杀菌机理研究，张雅兰主要负责杀菌材料毒理及动物实验研究，完成人合作依据共同发表论文为证。

## 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

宋卫宁

一、项目名称：小麦 7DL 染色体测序及其起源、驯化的基因组学基础

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：该项目以小麦这一我国乃至全世界最重要的粮食作物为研究对象，聚焦小麦基础研究的前沿和小麦产业发展的重大需求，突破了小麦基因组测序和组装的难点，作为加入国际小麦基因组测序磋商组织并承担实质性研究任务的唯一中国团队，承担并完成了小麦 7DL 染色体测序，协同破译了六倍体小麦基因组图谱，完成了国际小麦基因组测序计划的中国份额，率先完成了世界首个小麦重测序研究，构建了全面的小麦变异组图谱，解析了小麦起源、驯化与遗传改良的基因组学基础，揭示了小麦亚基因组不对称性的基因组学特征。研究成果推动了小麦泛基因组、群体基因组等多维组学研究工作的深入，构建的小麦基因组数据资源、鉴定筛选的驯化相关基因，为克服小麦基因同质化、促进了小麦遗传改良和育种突破奠定了基础。相关研究成果受到国内外同行的广泛认可，被包括 Nature Biotechnology、Nature Genetics 等国际知名期刊发表的论文引用。

申报项目面向科技前沿和国家重大战略需求，围绕作物学科主要方向，在科学研究、人才培养和成果产出等方面取得了重要进展，为推动我国尤其是西部地区小麦基因组学研究做出突出贡献。主要完成人一直坚守在教学和科研的第一线，热爱高等教育事业，不畏困难，勇于挑战，具有良好的工作作风和求真务实的精神，恪守教师的职业道德规范，为人师表，以身作则，已培养多名优秀研究生。推荐该项目申报陕西省自然科学奖一等奖。

三、项目简介：

小麦是我国乃至全世界最重要的粮食作物之一。高质量的基因组图谱及其起源进化的分子基础解析是推动小麦遗传改良、实现育种突破的前提和关键。作为植物界中最庞大最复杂的基因组之一，小麦基因组测序一直被誉为基因组测序计划中的“珠穆朗玛峰”。聚焦小麦基因组测序重大挑战和遗传改良的瓶颈问题，自 2008 年以来，在国家 863 计划、自然科学基金委国际合作项目等支持下，本项目综合运用基因组学、群体遗传学和进化生物学等方法和技术，攻克了小麦基因组的组装难题，绘制了小麦 7DL 染色体的精细图谱，推动了小麦全基因组的破译，开展了首个小麦及其近缘种的全基因组重测序，揭示了小麦亚基因组的不对称性进化，为小麦基础研究提供了重要的数据和技术支撑。取得的重要科学发现包括以下三个方面：

**(一) 构建了 7DL 染色体精细图谱，推动小麦全基因组的破译和完善。** (1) 优化“特异染色体富集+MTP 逐步克隆+单个 BAC 高通量测序”的测序策略，解析了 7DL 参考基因组序列，推动了世界首个六倍体小麦基因组图谱的破译；(2) 创新“小麦单染色体 PacBio 单分子测序+BAC by BAC”的组装方法，实现了对 BAC 全长的一步组装，显著提升组装完整性和准确性，绘制了 7DL 的精细图谱。

**(二) 解析了小麦驯化、演化及遗传改良的基因组学基础。** (1) 揭示了六倍体小麦与其 D 亚基因组供体祖先(节节麦)在 7DL 染色体上的结构和基因组成差异，从 7DL 视角阐明了多倍体化过程对小麦基因结构和功能分化的遗传效应；(2) 系统地从全基因组水平解析了小麦二倍体、四倍体和六倍体群体间的遗传变异和分化，揭示并量化了小麦起源和驯化过程中的遗传瓶颈效应，鉴定了驯化、改良相关的受选择基因，阐明了小麦进化演化的规律和遗传基础；(3) 揭示了六倍体小麦遗传多样性来源于与野生二粒小麦等近缘种的频繁种间杂交，发现小麦基因组中存在大量的外缘基因渗入片段且与产量、抗病和生长发育等 QTL 位点重合，明确了外源渗入对小麦起源进化的重要贡献。

**(三) 揭示了小麦亚基因组不对称性的基因组学特征。** (1) 发现了小麦 7A、7B 和 7D 在微卫星序列、MITE 转座元件等重复序列和 miRNA、蛋白编码基因等基因序列组成均表现明显的不对称性，从 7D 号染色体角度揭示小麦亚基因组的不对称进化；(2) 发现了 A、B、D 亚基因组受到的遗传选择效应和强度的不对称性；(3) 发现了小麦基因家族亚基因组同源基因的分布和基因表达的不对称性，基因家族亚基因组同源基因的缺失和保留及其表达分化为小麦基因演化与功能分化提供了新证据。

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

申报团队的科学发现极大地推进了小麦等多倍体复杂植物的基因组学及其群体进化研究，5 篇代表性论文发表后，受到国内外同行的广泛关注和认可，被包括 Nat Biotechnol、Nat Genet 等国际知名期刊发表的论文引用。协同破译的六倍体小麦全基因组图谱以“历经 13 年小麦基因组图谱绘制完成”为题被两院院士评选为“2018 年世界十大科技进展新闻”(其他附件 1)；因在小麦基因组学研究方面的贡献，项目第一完成人宋卫宁教授被农民日报评为“2019 年中国十大农村新闻人物”(其他附件 2)。

1) 六倍体小麦基因组图谱的破译是小麦基础研究领域的标志性事件，2018年8月17日以封面论文发表在Science杂志，同期Science杂志专门发表了评论文章“Detailed genome maps paths to better wheat”，美国明尼苏达大学詹姆斯·安德森评论到：小麦基因组开创了小麦遗传学的新纪元；国际小麦基因组测序磋商组织共同主席、澳大利亚墨尔本大学小麦育种专家Rudi Appels 评价该研究是“征服了遗传学届的‘珠穆朗玛峰’”。

2) 2019年7月，小麦重测序论文2019年7月发表与Genome Biology，被Nature Biotechnology、Nature Genetics、Molecular Plant和Genome Biology等杂志引用；Gaurav等在Nature Biotechnology杂志发表的“Population genomic analysis of Aegilops tauschii identifies targets for bread wheat improvement”肯定和引用了我们小麦重测序发现的“近缘祖先种对小麦基因组渗入是形成小麦多样性的重要来源”的观点，并将我们的节节麦和六倍体重测序数据整合到他们的数据中，揭示了节节麦的起源演化及其对小麦的遗传贡献；Scott等Genome Biology发表的“Limited haplotype diversity underlies polygenic trait architecture across 70 years of wheat breeding”引用了“外源渗入可以增加小麦的抗病、产量和逆境适应等能力”的观点，并利用我们的重测序数据进行了再分析；Hao等在Molecular Plant发表的“Resequencing of 145 landmark cultivars reveals asymmetric sub-genome selection and strong founder genotype effects on wheat breeding in China”中多次引用了“野生二粒小麦的渗入使得小麦A和B亚基因组多态性显著增高”观点，并整合了我们的部分数据用于分析；Zhao等在BMC Biology发表的“Distinct nucleotide patterns among three subgenomes of bread wheat and their potential origins during domestication after allopolyploidization”引用了我们小麦及其近缘种的重测序数据，对小麦起源过程中亚基因组的核苷酸使用模式进行了系统，并证实了小麦B亚基因的多态性高于A和D亚基因组。

## 五、应用情况

无

## 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 |
|----|--------|----------|--------|-----|------|------|-----|-----|
|    |        |          |        |     |      |      |     |     |
|    |        |          |        |     |      |      |     |     |
|    |        |          |        |     |      |      |     |     |

## 七、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)

| 论文或专著名称  | 刊名                          | 作者   | 发表时间      | 备注      |
|--|-----------------------------|--|-----------|---------|
| The improved assembly of 7DL chromosome provides insight into the structure and evolution of bread wheat | Plant Biotechnology Journal | Kewei Feng#, Licao Cui#, Le Wang, Dai Shan, Wei Tong, Pingchuan Deng, Zhaogui Yan, Mengxing Wang, Haoshuang Zhan, Xiaotong Wu, | 2019.10.4 | 代表性论文 1 |

|  |  |   |           |             |
|--|--|---|-----------|-------------|
|  |  | Weiming He,<br>Xianqiang Zhou,<br>Jingjing Ji, Guiping<br>Zhang, Long Mao,<br>Miroslava<br>Karafiátová, Hana<br>Šimková, Jaroslav<br>Doležel, Xianghong<br>Du, Shancen Zhao,<br>Mingcheng Luo,<br>Dejun Han, Chi<br>Zhang*, Zhensheng<br>Kang*, Rudi Appels*,<br>David Edwards*,<br>Xiaojun Nie*, Song<br>Weining Song* |           |             |
| Frequent intra- and<br>inter-species introgression<br>shape the landscape of<br>genetic variation in bread<br>wheat  | Genome<br>Biology  | Hong Cheng#, Jing<br>Liu#, Jia Wen#,<br>Xiaojun Nie#, Luohao<br>Xu, Ningbo Chen,<br>Zhongxing Li, Qilin<br>Wang, Zhuqing<br>Zheng, Ming Li, Licao<br>Cui, Zihua Liu,<br>Jianxin Bian,<br>Zhonghua Wang,<br>Shengbao Xu, Qin<br>Yang, Rudi Appels,<br>Dejun Han, Weining<br>Song*, Qixin Sun*,<br>Yu Jiang*              | 2019.7.12 | 代表性论<br>文 2 |
| N6-methyladenosine<br>regulatory machinery in<br>plants: composition,<br>function and evolution.   | Plant<br>Biotechnology<br>Journal                            | Hong Yue#, Xiaojun<br>Nie#, Zhaogui Yan,<br>Weining Song*   | 2019.6.18 | 代表性论<br>文 3 |
| Comparative analysis of<br>Stowaway-like<br>miniatureinverted repeat<br>transposable elements in<br>wheat group 7<br>chromosomes:<br>abundance,composition, and<br>evolution | Journal of<br>Systematics<br>and Evolution                   | Yunze Lu#, Le<br>Wang#, Hong Yue,<br>Mengxing Wang,<br>Pingchuan Deng,<br>David Edwards, Song<br>Weining*   | 2014.6.20 | 代表性论<br>文 4 |
| Development of<br>chromosome-arm-specific<br>microsatellite markers in<br>Triticum aestivum<br>(Poaceae) using NGS<br>technology   | American<br>Journal of<br>Botany                             | Xiaojun Nie, Bianli<br>Li, Le Wang, Peixun<br>Liu, Biradar SS, Tao<br>Li, Dolezel J, Edwards<br>D, Mingcheng Luo,<br>Weining S*   | 2012.9.14 | 代表性论<br>文 5 |
| Preparation of high<br>molecular weight gDNA<br>and bacterial artificial<br>chromosome (BAC)<br>libraries in plants  | Cereal<br>Genomics:<br>Methods and<br>Protocols<br>(41-63 页) | Siddanagouda S<br>Biradar, Xiaojun Nie,<br>Kewei Feng, Weining<br>Song  | 2014.6.8  | 代表性专<br>著   |

## 八、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                                |
|-----|----|---------|--------------------------------|--|
| 宋卫宁 | 1  | 教授      | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学          | 项目整体设计与构思,小麦基因组测序与关键基因发掘,代表作 1-5 的主要完成人    |
| 聂小军 | 2  | 教授      | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学          | 小麦 7DL 染色体物理图谱构建以及比较基因组学分析,代表作 2,3,4 主要完成人 |
| 崔立操 | 3  | 副教授     | 江西农业大学/西北<br>农林科技大学            | 小麦 7DL 染色体测序与组装,代表作 4 主要完成人                |
| 邓平川 | 4  | 副教授     | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学          | 小麦多组学分析;代表作 1,4 完成人                        |
| 童维  | 5  | 讲师      | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学          | 小麦转录组分析及分子标记开发,代表作 5 完成人                   |
| 程红  | 6  | 博士后     | 中国农业科学院深圳<br>农业基因组研究所/西北农林科技大学 | 小麦重测序分析,代表作 2 主要完成人                        |

## 九、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称     | 排名 | 主要贡献               |
|----------|----|--------------------|
| 西北农林科技大学 | 1  | 项目唯一完成单位,负责项目的整体实施 |
|          |    |                    |
|          |    |                    |

## 十、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况表 |      |                            |                |  |         |
|------------|------|----------------------------|----------------|--|---------|
| 序号         | 合作方式 | 合作者/项目排名                   | 合作时间           | 合作成果   | 证明材料    |
| 1          | 论文合著 | 聂小军(2)、崔立操(3)、童维(4)、邓平川(7) | 2012.10-2019.9 | The improved assembly of 7DL chromosome provides insight into the structure and evolution of bread wheat | 代表性论文 1 |
| 2          | 论文合著 | 程红(9)                      | 2016.1-2019.7  | Frequent intra- and inter-species introgression shape the landscape of genetic variation in bread wheat  | 代表性论文 2 |
| 3          |      |                            |                |  |         |



|   |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|
| 4 |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目第一完成人宋卫宁教授是本项目项目总设计和牵头人，是 5 篇代表性论文通讯作者，完成人聂小军为第一完成人宋卫宁教授的硕博连读生，2007 年 9 月入学，2013 年 6 月博士毕业后，留在宋卫宁课题组从事教学科研工作，是代表作 1 和 4 共同通讯作者，是代表作 2 和 3 的同等贡献作者，完成人崔立操为第一完成人宋卫宁教授的硕博连读研究生，于 2011 年 9 月入学，2018 年 6 月博士毕业，是代表作 1 的共同第一作者，代表作 2 的参与作者；完成人童维是宋卫宁课题组的成员，于 2013 年 2 月加入课题组从事生物信息学相关教学科研工作，是代表性论文 1,4 参与作者；完成邓平川为第一完成人宋卫宁教授的硕博连读研究生，于 2010 年 9 月入学，2017 年 6 月博士毕业，是代表作 4,5 的参与作者；完成人程红是西北农林科技大学动物科技学院的姜雨教授的博士研究生，2016 年入学，于 2021 年 8 月博士毕业，与第一完成人合作开展小麦及其近缘种的群体基因组学研究工作，主要完成了数据分析和论文初稿撰写，是代表作 2 的第一作者，宋卫宁教授提供研究材料、指导结果分析及论文修改等工作，是该论文的共同通讯作者。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

刘学波

一、项目名称：膳食营养调节脑健康作用评价与机制探索

二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

## 提名意见

该项目从膳食组分与膳食模式两个关键层面开展脑健康营养干预研究，阐明了芝麻酚、圣草酚、川陈皮素等酚类食品功能因子脑神经细胞保护作用的分子基础首次揭示了间歇性禁食减少糖尿病认知损伤新机制，系统性地揭示了膳食因子与膳食模式通过“肠-脑”轴等系统性调节机制发挥对脑功能的保护作用机制。相关研究成果被多国学者在高影响力期刊文章上作了重要性与创新性方面的评价。

项目紧紧围绕“四个面向”及“健康中国”国家重大战略需求，按照食品营养学科发展的主要方向，在科学研究、人才培养、服务社会等方面为食品营养学科的发展做出了积极的贡献。主要完成人一直奋斗在教学和科研的第一线，思想政治素质好，理想信念坚定，具备较强的教育行政管理的能力，具有优良的工作作风和求真务实的奋斗精神。主要完成人热爱高等教育事业，恪守教师的职业道德规范，为人师表，以身作则，已培养毕业16名博士、56名硕士等优秀研究生。

我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，并按照要求，我单位已对该项目的基本情况进行了公示，目前无异议。

推荐该项目申报陕西省自然科学奖一等奖。

## 三、项目简介：

膳食与健康是全人类共同关注的重要科学领域，尤其是针对人口老龄化、慢性病高发等健康问题，深入开展膳食营养干预研究具有重要的现实意义。目前，食品营养领域研究普遍存在膳食干预健康机制与理论创新方面不够深入的问题。本项目从膳食组分与膳食模式两个关键层面开展营养干预研究，发现多个特色膳食因子与间歇性禁食模式具有脑神经保护作用，而且创新性地揭示了“肠-脑”轴的营养干预机制，丰富了膳食营养促进脑健康的理论基础。取得的重要科学发现包括以下三个方面：

（一）阐明了膳食纤维及酚类食品功能因子脑神经保护作用的分子基础

系统性地发掘了一批来源于果蔬、油料作物、经济作物的膳食纤维及芝麻酚、圣草酚、川陈皮素等酚类食品功能因子的神经保护作用，并揭示了其在脑内调节氧化还原平衡及抑制神经炎症，改善脑神经发育及老化认知功能的分子机制，为食品营养功能因子应用于脑部营养干预提供新的科学依据。

## （二）首次揭示了间歇性禁食减少糖尿病认知损伤新机制

发现间歇性禁食模式可显著提升 2 型糖尿病小鼠的认知功能。进一步采用肠道宏基因组、血浆代谢组、脑转录组等多组学技术方法，发现间歇性禁食模式引起了小鼠肠道菌群结构改变，促进了肠内有益菌以及多种菌群代谢产物的生成。首次揭示间歇性禁食模式对肠道菌群-代谢物的改变，直接增强了大脑海马的线粒体生成和能量代谢，进而减轻了糖尿病小鼠认知损伤。

## （三）系统揭示了膳食调节脑健康功能的“肠-脑”轴机制

通过深入探索膳食因子与膳食模式影响脑功能及其与肠道微生态的互作关系，系统性地揭示了膳食因子与膳食模式通过对“肠-脑”轴的系统性调节发挥对脑功能的保护作用机制，构建了膳食营养促进脑健康作用的分子网络，拓展了食品营养与健康研究的理论认知。

5 篇代表性论文发表后，被 PNAS、Gut、Nature Communications、Cell Host & Microbe 等高影响力期刊文章上作了重要性与创新性方面的评价，同时也被中国科学报等国内外媒体进行了报道。本项目研究成果进一步丰富了食品营养学中膳食与健康方面的理论体系，并为膳食营养与脑健康产业发展提供了重要的理论支撑。

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

申报团队专注膳食营养与脑健康方向，创新性地发现多个特色膳食因子及间歇性禁食等膳食模式具有脑神经保护作用，并通过食品营养学与生物学、医学等多学科交叉研究手段揭示了膳食干预脑健康的机制，丰富了食品营养学中膳食与脑健康方面的理论体系。

代表性论文 1：发现间歇性禁食模式可显著提升 2 型糖尿病小鼠的认知功能，并首次揭示间歇性禁食模式对肠道菌群-代谢物的改变，直接增强了大脑海马的线粒体生成和能量代谢，进而减轻了糖尿病小鼠认知损伤的机制。论文为高被引论文，被引频次进入 Clinical Medicine 学术领域最有效的 1%之列。Gut、Nature Communications、Cell Host & Microbe 等高影响力期刊文章对其作了重要性与创新性方面的评价。

代表性论文 2：发现膳食纤维对于母代肥胖引起的后代认知和社交行为缺陷具有显著改善作用，且证实高膳食纤维膳食对神经系统发育的营养干预作用是通过“肠-脑”轴途径介导的。相关研究成果被 PNAS、Nature Communications、Neuron 等高影响力期刊发表的论文所引用。

代表性论文 3：发现圣草酚主要通过体内和体外抑制神经元损伤、淀粉样蛋白生成和 BV2 小胶质细胞过度激活来缓解脂多糖诱发的神经炎症和认知缺陷。论文被 Critical Reviews in Food Science and Nutrition 等高影响力期刊发表的论文引用和高度评价。

代表性论文 4: 发现芝麻酚可以平衡脑神经细胞氧化还原状态、保护线粒体功能障碍和上调抗氧化酶, 揭示其作为脑衰老过程中的潜在神经保护剂。Molecular Nutrition & Food Research 等期刊上多篇论文高度肯定与借鉴了芝麻酚抗衰老机制的研究工作。

代表性论文 5: 发现川陈皮素通过维持细胞氧化平衡和阻断 NF-κB 转录途径来降低脂多糖诱导的神经炎症和记忆障碍。论文被 The FASEB Journal 等期刊上的高水平论文引用和高度评价。

**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 | 作者/论文题目/刊名   |
|----|--|
| 1  | Zhigang Liu#*, Xiaoshuang Dai#, Hongbo Zhang, Renjie Shi, Yan Hui, Xin Jin, Wentong Zhang, Luanfeng Wang, Qianxu Wang, Danna Wang, Jia Wang, Xintong Tan, Bo Ren, Xiaoning Liu, Tong Zhao, Jiamin Wang, Junru Pan, Tian Yuan, Chuanqi Chu, Lei Lan, Fei Yin, Enrique Cadenas, Lin Shi*, Shancen Zhao* and Xuebo Liu*. Gut microbiota mediates intermittent-fasting alleviation of diabetes-induced cognitive impairment. Nature Communications, 2020, 11, 855. |
| 2  | Xiaoning Liu#, Xiang Li#, Bing Xia, Xin Jin, Qianhui Zou, Zhenhua Zeng, Weiyang Zhao, Shikai Yan, Ling Li, Shufen Yuan, Shancen Zhao, Xiaoshuang Dai, Fei Yin, Enrique Cadenas, Rui Hai Liu, Beita Zhao, Min Hou*, Zhigang Liu*, Xuebo Liu*. High-fiber diet mitigates maternal obesity-induced cognitive and social dysfunction in the offspring via gut-brain axis. Cell Metabolism, 2021, 33, 923-938.  |
| 3  | Pandi He, Shikai Yan, Jiaojiao Zheng, Yuxing Gao, Shuhan Zhang, Zhigang Liu, Xuebo Liu* and Chunxia Xiao*. Eriodictyol attenuates LPS-induced neuroinflammation, amyloidogenesis, and cognitive impairments via the inhibition of NF-κB in male C57BL/6J mice and BV2 microglial cells. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66, 10205-10214.   |
| 4  | Bo Ren, Tian Yuan, Zhijun Diao, Chenxi Zhang, Zhigang Liu and Xuebo Liu*. Protective effects of sesamol on systemic oxidative stress-induced cognitive impairments via regulation of Nrf2/Keap1 pathway. Food & Function, 2018, 9, 5912-5924.  |
| 5  | Guoyuan Qi, Yashi Mi, Rong Fan, Runnan Li, Zhigang Liu* and Xuebo Liu*. Nobiletin Protects Against Systemic Inflammation-Stimulated Memory Impairment via MAPK and NF-κB Signaling Pathways. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67, 5122-5134.  |

**六、主要完成人情况**

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位             | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|---------|-----------------------|--|
| 刘学波 | 1  | 教授      | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学 | 构建了脑神经细胞保护评价体系, 指导开展了膳食功能因子调节脑健康功能评价研究, 并提出膳食调节脑健康功能的“肠-脑”轴机制。 |
| 刘志刚 | 2  | 教授      | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学 | 深入探索食品营养功能因子与间歇性禁食模式改善脑神经功能的作用, 并创新性揭示了“肠-脑”轴微生态免疫调控分子机制。      |
| 肖春霞 | 3  | 副教授     | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学 | 阐明了圣草酚等特色食品功能因子脑神经细胞保护作用, 揭示了其在脑内抑制神经炎症及氧化应激损伤的机制。             |

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位             | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|---------|-----------------------|--|
| 赵贝塔 | 4  | 副教授     | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学 | 阐明了膳食纤维、芝麻酚等食品功能成分对于神经系统炎症的调节作用及机制。                      |
| 原田  | 5  | 副教授     | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学 | 全面参与了芝麻酚脑神经细胞保护作用研究, 揭示了芝麻酚调控 NF- $\kappa$ B 神经炎症信号通路机制。 |
| 刘晓宁 | 6  | 博士      | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学 | 深入探索了高膳食纤维通过肠脑轴调节生命早期神经发育的分子机制。                          |
| 任波  | 7  | 博士      | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学 | 负责探究了芝麻酚对于脑损伤的保护作用, 以及动物与细胞水平氧化应激参与的分子机制。                |
| 贺盼弟 | 8  | 硕士      | 西北农林科技大学/<br>西北农林科技大学 | 负责开展了圣草酚对 LPS 诱导的认知功能障碍的干预作用, 并揭示了肠-脑神经递质平衡的参与机制。        |

## 七、完成人合作关系情况

| 完成人合作关系情况表 |      |          |                 |   |                     |
|------------|------|----------|-----------------|---|---------------------|
| 序号         | 合作方式 | 合作者/项目排名 | 合作时间            | 合作成果  | 证明材料                |
| 1          | 论文合著 | 刘志刚/2    | 2010.09-2021.12 | <p>Gut microbiota mediates intermittent-fasting alleviation of diabetes-induced cognitive impairment. <i>Nature Communications</i>, 2020, 11, 855.</p> <p>High-fiber diet mitigates maternal obesity-induced cognitive and social dysfunction in the offspring via gut-brain axis. <i>Cell Metabolism</i>, 2021, 33, 923-938.</p> <p>Eriodictyol attenuates LPS-induced neuroinflammation, amyloidogenesis, and cognitive impairments via the inhibition of NF-<math>\kappa</math>B in male C57BL/6J mice and BV2 microglial cells. <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i>, 2018, 66, 10205-10214.</p> <p>Protective effects of sesamol on systemic oxidative stress-induced cognitive impairments via regulation of Nrf2/Keap1 pathway. <i>Food &amp; Function</i>, 2018, 9, 5912-5924.</p> <p>Nobiletin Protects Against Systemic Inflammation-Stimulated Memory Impairment via MAPK and NF-<math>\kappa</math>B Signaling Pathways. <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i>, 2019, 67, 5122-5134.</p> | 代表性论文 1, 2, 3, 4, 5 |

|   |      |       |                 |   |            |
|---|------|-------|-----------------|---|------------|
| 2 | 论文合著 | 肖春霞/3 | 2011.07-2021.12 | Eriodictyol attenuates LPS-induced neuroinflammation, amyloidogenesis, and cognitive impairments via the inhibition of NF- $\kappa$ B in male C57BL/6J mice and BV2 microglial cells. <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i> , 2018, 66,10205-10214.   | 代表性论文 3    |
| 3 | 论文合著 | 赵贝塔/4 | 2014.09-2021.12 | High-fiber diet mitigates maternal obesity-induced cognitive and social dysfunction in the offspring via gut-brain axis. <i>Cell Metabolism</i> , 2021, 33, 923-938.  | 代表性论文 2    |
| 4 | 论文合著 | 原田/5  | 2016.09-2021.12 | Gut microbiota mediates intermittent-fasting alleviation of diabetes-induced cognitive impairment. <i>Nature Communications</i> , 2020, 11, 855.<br>Protective effects of sesamol on systemic oxidative stress-induced cognitive impairments via regulation of Nrf2/Keap1 pathway. <i>Food &amp; Function</i> , 2018, 9, 5912-5924. | 代表性论文 1, 4 |
| 5 | 论文合著 | 刘晓宁/6 | 2016.09-2021.12 | High-fiber diet mitigates maternal obesity-induced cognitive and social dysfunction in the offspring via gut-brain axis. <i>Cell Metabolism</i> , 2021, 33, 923-938.  | 代表性论文 2    |
| 6 | 论文合著 | 任波/7  | 2017.09-2021.12 | Protective effects of sesamol on systemic oxidative stress-induced cognitive impairments via regulation of Nrf2/Keap1 pathway. <i>Food &amp; Function</i> , 2018, 9, 5912-5924.   | 代表性论文 4    |
| 7 | 论文合著 | 贺盼弟/8 | 2016.09-2021.12 | Eriodictyol attenuates LPS-induced neuroinflammation, amyloidogenesis, and cognitive impairments via the inhibition of NF- $\kappa$ B in male C57BL/6J mice and BV2 microglial cells. <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i> , 2018, 66,10205-10214.   | 代表性论文 3    |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

该项目第 1 完成人刘学波为第 2 完成人刘志刚、第 4 完成人赵贝塔、第 5 完成人原田、第 6 完成人刘晓宁、第 7 完成人任波的博士研究生指导教师，目前第 2 完成人刘志刚、第 3 完成人肖春霞、第 4 完成人赵贝塔均为第 1 完成人团队的核心成员，围绕食品功能因子的营养健康评价与机制研究方向开展工作。第 1 完成人与第 2 完成人合作发表代表性论文 1、2、3、4、5，与第 3、8 完成人合作发表代表性论文 3，与第 4 完成人合作发表代表性论文 2，与第 5 完成人合作发表代表性论文 1、4，与第 6 完成人合作发表代表性论文 2、与第 7 完成人合作发表代表性论文 4。

该项目第 2 完成人刘志刚, 在 2010-2015 年期间在西北农林科技大学食品科学与工程学院硕博连读期间, 为第 1 完成人的学生, 2015 年留校工作至今, 目前为团队的核心成员。与第 1 完成人共同发表代表性论文 1、2、3、4、5。

该项目第 3 完成人肖春霞, 2011 年到西北农林科技大学食品科学与工程学院工作, 加入第 1 完成人所带团队, 目前为团队核心成员。与第 1 完成人共同发表代表性论文 3。

该项目第 4 完成人赵贝塔, 2018 年到西北农林科技大学食品科学与工程学院工作, 加入第 1 完成人所带团队, 2018 年留校工作至今目前为团队核心成员。与第 1 完成人共同发表代表性论文 2。

该项目第 5 完成人原田, 在 2014-2018 年期间在西北农林科技大学食品科学与工程学院博士期间, 为第 1 完成人的学生, 2020 年留校工作至今。与第 1 完成人共同发表代表性论文 1、4。

该项目第 6 完成人刘晓宁, 在 2017-2021 年博士期间在西北农林科技大学食品科学与工程学院攻读博士学位, 为第 1 完成人的学生。与第 1 完成人共同发表代表性论文 2。

该项目第 7 完成人任波, 在 2017-2021 年博士期间在西北农林科技大学食品科学与工程学院攻读博士学位, 为第 1 完成人的学生。与第 1 完成人共同发表代表性论文 4。

该项目第 8 完成人贺盼弟, 在 2016-2019 年硕士期间在西北农林科技大学食品科学与工程学院攻读硕士学位, 为第 3 完成人的学生。与第 1 完成人共同发表代表性论文 3。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

张宏鸣

## 一、项目名称：多源多模态农业信息感知与智能决策关键技术

## 二、提名者：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

人工智能、物联网等新一代信息技术的不断发展，以及信息技术与农业种植管控的深入交叉、融合，为农业生产过程精准控制带来了新的机遇和挑战。项目组以星空地一体化的农业信息感知、多模态农业数据融合与推理、多端一体化服务推介等精准农业瓶颈问题为核心，提出了多源多模态农业信息感知的数据采集技术，研究了基于多模态农业数据融合的智能决策方法，创制了“一云多端”的农业信息服务平台。该项目属于技术研发与应用基础研究，是新一代信息技术和农业种植管理的交叉与融合，也是智慧农业生产管理的学科前沿，具有重要的学术价值和实际应用价值。研究成果已在陕西多个地区进行了应用和示范，并取得了显著的经济效益和推广价值，有力地促进和保障了示范地区农业的高质量生产。同意推荐申报该项目为陕西省科技进步奖二等奖。

## 三、项目简介：

农业信息多源感知与智能决策是实现精准农业的难点问题，也是保障农业高质量生产的关键环节。围绕“信息多源感知-模型构建与智能决策-作物生长有效调控”的研究思路，项目组综合农业信息智能感知、农业多尺度遥感监测、农业知识挖掘与决策控制等领域研发出用于作物信息多源感知和智能决策的新技术，形成了农业信息感知、定量决策、智能控制的农业高质量生产方式，项目成果入选 2017 年、2018 年农业农村部农业主推技术。取得以下创新性成果：

### 1. 多源多模态农业大数据感知技术

突破农业物联网自适应的异构网络自组织传输技术，探明了作物、气候、距离等对无线信号传播作用机理，提出了不同作物环境下的自适应异构网络组网传输方法，研制了复杂环境下的低成本感知传输设备，实现动态网络条件下的长时间、低能耗可靠监测。提出了基于无人机多光谱、热红外等作物遥感的种植区域、地形特征、高分辨率数据生成技术与方法，实现了长势、株高、叶面积指数等的



快速识别与生长信息智能提取方法与系统。

## 2. 多模态农业数据融合处理与智能决策技术

提出了基于 Dempster-Shafer 理论和 Z 数的环境评价框架，聚合具有不同模糊可靠性的不确定数据，有效地耦合多个因子对环境进行综合评估；解析了作物生长气候环境、土壤环境、病害特征、专家知识等多源信息间的语义关系，归纳形成了百万量级知识规则库，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、多成因关联分析与精准调控决策；明晰了作物生长、病害发生等与温度、灌溉量、水汽质量平衡间的耦合关系，评测典型作物不同生长阶段的最适环境参数；研发不同环境下的智能调控方法与模型，破解远程灌溉精准调控难题。

## 3. “一云多端”农业信息服务平台创制技术

研发了基于 FPGA 的智能灌溉控制系统与可视化控制终端农务通，突破基于多目标进化的自动化控制理论方法与技术瓶颈，基于考虑作物生长信息、水源、输水、配水设施、田间工程状况等因素的多目标优化灌溉模型，使用控制终端设备感知上位机的灌溉命令和人工输入控制命令，实现自动控制 and 人工控制。同时，研发了具有实时获取监测信息与控制灌溉等功能的农务通，可实时查看采集到的作物生境信息，接收生产管理方案和决策。开发了作物精准信息服务云平台与 APP、“点点帮农”小程序等农业信息敏捷服务平台，实现环境调控、水肥决策、病害防控、农业供销信息智能匹配等精准生产管理与销售的软、硬件一体化服务。

通过本项目的实施，创新了作物生态环境智能调优控制关键技术及装备，显著提高了作物生产管理效率，节约了水肥药与人力成本，实现了粮食安全优质生产，推动了我省农业产业现代化转型升级与可持续发展。

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

2014 年，中国测绘地理信息学会在北京组织了由中国工程院刘先林院士等 11 名知名专家组成的鉴定委员会，对“十二五”科技支撑计划项目“我国粮食主产区农作物定量遥感关键技术创新与应用”进行了鉴定，与会专家一致认为：

项目面向国家农情监测的重大需求，围绕农情监测面临的关键技术问题开展持续攻关，在农情定量遥感理论、方法、技术与应用上建立了全生育期作物立体分层监测与多参数反演的农情定量遥感监测技术体系，提出了面向作物全生育期的农田干旱、作物长势与品质一体化遥感监测新方法新技术，研制了农情遥感

监测公共网络平台与农情遥感监测与评估系统，在国内多地域、多单位取得良好应用效果。该项目取得了系列研究成果，显著提升了我国农情定量遥感监测的科技水平。项目整体达到了国际先进水平，其中“点-网-面”有机结合的品质检测技术、全生育期的遥感一体化干旱监测模型、多种环境胁迫因子对作物参数的综合影响分析方法达到了国际领先水平。

2014年，项目组对“十二五”科技支撑计划课题“地面传感与多平台遥感协同的作物水肥诊断技术”申请了结题验收，专家一致认为：课题抓住了我国旱区农业遥感监测迫切需要解决的问题，制定出了适应旱区大田作物（小麦、玉米），经济作物（苹果）水肥监测的新方法、新系统，创新性地解决了旱区农业多遥感监测技术中的不足，课题研究工作不仅有科学性而且极具合理性。

2017年，国家自然科学基金委对“十二五”国家自然科学基金面上项目“面向大规模农田生境监测的无线传感器网络信号传播特性与供电策略研究”进行了验收，验收意见认为：项目创建了作物生长遮挡环境下多尺度干扰效应无线传感器网络信道模型，提出了大场景传感器信号高通量组织汇聚与能耗优化算法，突破了农业物联网自适应的异构网络自组织传输技术，研制了系列农业生产环境监测与调控轻简化设备，开创了农业复杂生境信息感知物联网性能优化控制理论，推动了低成本农业物联网信息感知技术规模化应用目标的实现。

2023年，中华全国供销合作总社组织专家对“十三五”国家重点研发计划课题“农业先进适用技术社会化服务平台研发与示范”进行了科技成果评价，专家一致认为：课题针对我国农业领域先进生产技术服务针对性弱的难题，突破了生产决策服务多模态知识图谱融合与自动演化、农业先进适用技术供需配给与敏捷服务等关键技术，研发了农业先进适用技术智能推荐服务平台，为农业生产技术的个性化服务提供了平台化支撑。

2023年，中华全国供销合作总社组织专家对“十三五”国家重点研发计划课题“农业专家在线服务与培训平台研发与示范”进行了科技成果评价，专家一致认为：课题针对我国农业生产精准决策与智能调控难题，突破了农业知识众包获取、多因子耦合的智能决策调控模型等关键技术，研发了农业专家智能决策与在线服务平台，为农业领域生产经营难题的解决提供了平台化支撑。

## 五、应用情况

研发的农业专家智能决策与在线服务平台、农业生产环境监测与调控轻简化设备，围绕大田粮食、设施蔬菜、特色水果、食用菌、杂粮等产业在陕西省、山

东省、河北省、江西省等地区累计推广服务面积 30 多万亩，服务农户 320 多万人次，通过实时的生产监测与智能决策调控较传统生产模式增产 10%左右，减少肥药投入 15%以上，节水 30%以上，实现了良好的经济社会效益。

多源遥感估算模型受到国内同行广泛关注，相关论文发表 50 余篇，引用超过 1000 次，下载 10 万余次，被应用到 20 多个地区的棉花、毛竹笋等 10 多种作物监测上，在无人机遥感监测与产量预测方法上起到了重要的引领作用，为田间作物精准管理提供技术支持，提升了我国农情定量遥感监测的科技水平。

农业生产智能决策与优化配置服务算法有效地改进农业生产资源对接与生产决策效率，目前已在全国 12 个省得到应用，服务超过 100 万人，核心算法集成到小程序"点点帮农"，被称为农业技术领域的"滴滴"，是国内目前最具特色的衣服算法和体系，是国务院领导人来陕考察时的示范典型。

六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条）

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称                | 国家(地区) | 授权号                      | 授权日期                | 证书编号    | 权利人                         | 发明人                             |
|----|--------|-------------------------|--------|--------------------------|---------------------|---------|-----------------------------|---------------------------------|
| 1  | 发明专利   | 基于 FPGA 的灌溉控制系统         |        | ZL<br>20121051109<br>2.0 | 2016 年 09 月<br>28 日 | 2250460 | 西北农林科技大学                    | 来智勇<br>李书琴<br>蔚继承<br>代永里        |
| 2  | 发明专利   | 一种植物群体微环境控制装置及方法        | 中国     | ZL<br>20171070688<br>1.2 | 2020 年 05 月<br>22 日 | 3811279 | 北京农业信息技术研究中心、农芯科技（北京）有限责任公司 | 赵春江<br>郭新宇<br>温维亮<br>卢宪菊<br>于泽涛 |
| 3  | 发明专利   | 基于农业领域本体库的语义检索系统和方法     | 中国     | ZL<br>20101060801<br>7.7 | 2016 年 04 月<br>27 日 | 2048676 | 北京农业信息技术研究中心                | 吴华瑞<br>黄锋<br>赵春江<br>杨锋<br>顾静秋   |
| 4  | 发明专利   | 盲点预测农田时变异构网络节点部署与交互调度方法 | 中国     | ZL<br>20141070858<br>6.7 | 2018 年 11 月<br>23 日 | 3159102 | 北京农业信息技术研究中心                | 朱华吉<br>王元胜<br>吴华瑞<br>孙想<br>缪伟晟  |
| 5  | 实用新型   | 一种具有自动锁屏功能的农务通          | 中国     | ZL<br>20142027927<br>0.6 | 2015 年 03 月<br>25 日 | 4196969 | 西北农林科技大学                    | 徐杨<br>李书琴<br>景旭<br>蔚继承          |

|   |       |   |    |  |                |         |   |   |
|---|-------|---|----|--|----------------|---------|---|---|
|   |       |   |    |  |                |         |   | 蔡骋  |
| 6 | 软件著作权 | 农业用户画像系统  | 中国 | 2019SR03249<br>50                              | 2019年1月10<br>日 | 3746707 | 西北农林科<br>技大学  | 李书琴<br>张宏鸣<br>朱珊珊<br>蔚继承  |
| 7 | 论文    | Quality of terrestrial data derived from UAV photogrammetry: a case study of Hetao irrigation district in northern China (International Journal of Agricultural and Biological Engineering) | 中国 | DOI:<br>10.25165/j.ija<br>be.20181103.<br>3012 | 2018年5月1<br>日  |         | 西北农林科<br>技大学、瓦格<br>宁根大学                             | 张宏鸣<br>杨江涛<br>Baartman, Jantiene E. M.<br>李书琴<br>晋蓓<br>韩文霆<br>杨晓梅<br>盖龄同<br>Ritsema, Coen J.<br>Geissen, Violette |
| 8 | 论文    | EFDet: An efficient detection method for cucumber disease under natural complex environments (Computers and Electronics in Agriculture)   | 中国 | DOI:<br>10.1016/j.com<br>pag.2021.106<br>378   | 2021年10月1<br>日 |         | 国家农业信<br>息技术工程<br>研究中心、北<br>京市农林科<br>学院信息技<br>术研究中心 | 刘晨<br>朱华吉<br>郭旺<br>韩笑<br>陈诚<br>吴华瑞  |
| 9 | 论文    | Environmental assessment under uncertainty using Dempster-Shafer theory and Z-numbers (Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing)   | 中国 | DOI:<br>10.1007/s126<br>52-019-01228<br>-y     | 2020年5月1<br>日  |         | 西北农林科<br>技大学、不列<br>颠哥伦比亚<br>大学奥卡纳<br>干分校            | 康兵义<br>张鹏丹<br>高振宇<br>Chhipi-Shrestha, Gyan<br>Hewage, Kasun   |

|    |    |                          |    |  |                 |  |          | Sadiq, Rehan                           |
|----|----|--------------------------|----|--|-----------------|--|----------|--|
| 10 | 论文 | 基于无人机遥感的玉米株高提取方法（农业机械学报） | 中国 | DOI:<br>10.6041/j.issn.1000-1298.2019.05.028 | 2019年03月<br>16日 |  | 西北农林科技大学 | 张宏鸣<br>谭紫薇<br>韩文霆<br>朱珊珊<br>张姝茵<br>葛晨宇 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称                  | 工作单位/完成单位        | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|--------------------------|------------------|--|
| 张宏鸣 | 1  | 院长/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。明确了基于星-空-地的多源信息感知，研究提出基于无人机和遥感的种植区域监测数据生成技术。 |
| 赵春江 | 2  | 院士、主任、西北农林科技大学信息工程学院学术院长 | 北京市农林科学院信息技术研究中心 | 研制了复杂环境下的低成本感知传输设备，实现动态网络条件下的长时间、低能耗可靠监测                               |
| 吴华瑞 | 3  | 副主任/研究员                  | 北京市农林科学院信息技术研究中心 | 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、多成因关联分析与精准调控决策。                            |
| 李书琴 | 4  | 教授                       | 西北农林科技大学         | 研发了基于FPGA的智能灌溉控制系统与可视化控制终端农务通，   |
| 朱华吉 | 5  | 副主任/研究员                  | 北京市农林科学院信息技术研究中心 | 明晰了作物生长多因子平衡间的耦合关系，研发不同环境下的智能调控方法与模型。                                  |
| 牛当当 | 6  | 副教授                      | 西北农林科技大学         | 研究了基于深度学习的大田作物幼苗株数获取方法，为精准决策与控制提供支持。                                   |
| 缪玮晟 | 7  | 副研究员                     | 北京市农林科学院信息技术研究中心 | 研究了自适应的异构网络自组织传输技术，探明作物生长环境对无线信号传播作用机理，提出了自适应异构网络组网传输方法。               |
| 宋荣杰 | 8  | 副教授                      | 西北农林科技大学         | 结合热惯量法和特征空间法，提出了基于遥感的土壤水分预测模型。   |
| 康兵义 | 9  | 副教授                      | 西北农林科技大学         | 聚合具有不同模糊可靠性的不确定数据，提出环境评价框架，有效地耦合多个因子对环境进行综合评估。                         |
| 黄小星 | 10 | 董事长                      | 西安农链互联网科技有限公司    | 研究农业供销信息智能匹配等精准生产管理与销售，开发“点点帮农”小程序服务平台。                                |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称           | 排名 | 主要贡献   |
|----------------|----|--|
| 西北农林科技大学       | 1  | 负责项目整体设计、实施和总结。研发基于无人机和遥感的信息感知技术，提出基于多源信息融合的决策模型，以及软、硬件一体化的农业信息管控服务平台。 |
| 北京市农林科学院信息技术研究 | 2  | 研究基于物联网的农业信息感知技术，研发作物生长元数据语义动态关联决策系统，以及不同环境下的智能调控方                     |

|                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| 中心                |   | 法与模型。   |
| 西安农链互联网<br>科技有限公司 | 3 | 研发并运营“点点帮农”产销一体化信息敏捷共享服务平台，集成各成员单位研发的信息感知技术、数据决策模型、智能调控算法的创新应用，实现研究成果快速试点、反馈、创新改进和落地应用。 |

### 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   | 张宏鸣、朱华吉、牛当当、缪祎晟、宋荣杰、康兵义/1、5、6、7、8、9 | 2020年10月1日  | 国家重点研发计划项目   | 项目任务书   |
| 2          | 知识产权合作 | 赵春江、吴华瑞/2、3                         | 2016年04月27日 | 共同授权发明专利一项   | 发明专利证书  |
| 3          | 知识产权合作 | 张宏鸣、赵春江、李书琴/1、2、4                   | 2022年9月1日   | 在《Agriculture-Basel》上合作发表论文                        | 科技论文1篇  |
| 4          | 知识产权合作 | 吴华瑞、朱华吉/3、5                         | 2022年1月15日  | 在《IEEE SENSORS Journal》上合作发表论文                     | 科技论文1篇  |
| 5          | 知识产权合作 | 吴华瑞、朱华吉/3、5                         | 2021年10月1日  | 在 Computers and Electronics in Agriculture 上合作发表论文 | 科技论文1篇  |
| 6          | 知识产权合作 | 吴华瑞、朱华吉、缪祎晟/3、5、7                   | 2018年11月23日 | 共同授权发明专利一项   | 发明专利证书  |
| 7          | 知识产权合作 | 张宏鸣、宋荣杰/1、8                         | 2018年4月24日  | 在《农业机械学报》上合作发表论文                                   | 科技类论文1篇 |
| 8          | 知识产权合作 | 张宏鸣、牛当当/1、6                         | 2021年2月25日  | 在《农业机械学报》上合作发表论文                                   | 科技类论文1篇 |
| 9          | 平台合作研发 | 张宏鸣、黄小星/1、10                        | 2018年11月1日  | “点点帮农”小程序  | 微信上线小程序 |
| 10         | 共同立项   | 张宏鸣、黄小星/1、10                        | 2022年1月1日   | 陕西省秦创原“科学家+工程师”队伍建设                                | 项目任务书   |



### 完成人合作关系说明（限 1000 字）

赵春江与张宏鸣负责项目相关的设计、实施方案及任务分工落实。李书琴、吴华瑞、朱华吉、康兵义、缪祎晟、宋荣杰、牛当当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。

张宏鸣与朱华吉、缪祎晟、宋荣杰、牛当当、康兵义通过合作立项，围绕国家重点研发计划项目“村镇数字化科技信息服务综合示范”开展研究工作，研发了多个硬件设备，可用于农业多源信息采集，基于深度学习和多目标优化理论搭建了多种决策模型，开发了农业信息服务平台，并在全国 30 多个省市进行了推广和示范。

赵春江与吴华瑞、李书琴、朱华吉、缪祎晟围绕农业物联网信息采集、传输技术与智能决策等展开合作研究，研制了复杂环境下的低成本感知传输设备，研究了基于多因子耦合的精准调控决策模型，共同破解远程灌溉精准调控难题。

张宏鸣与宋荣杰、牛当当围绕多尺度遥感信息采集与处理展开合作研究，结合无人机、遥感影像等信息来源，基于深度学习的方法开展了作物长势检测研究工作。

赵春江与李书琴、张宏鸣围绕智能灌溉、自动化控制理论等开展合作研究，并开展了环境调控、水肥决策、病害防控等服务平台和 APP 的研发与示范推广工作。

张宏鸣与黄小星、牛当当围绕农业供销信息智能匹配等精准生产管理与销售展开研究工作，研发“点点帮农”小程序等农业信息敏捷服务平台。

# 2023 年度陕西省科学技术进步奖提名项目公示内容

张增强

一、项目名称：农业废弃物的清洁堆肥及有机肥生产

二、提名单位：杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

我国农业废弃物量大面广，资源属性和污染属性并存，如何变废为宝、充分挖掘和利用其资源属性，消除其污染属性，既是节约资源、保护环境的现实需要，也是践行农业绿色发展的必由之路。项目组以突破农业废弃物好氧堆肥过程中存在的温室气体和氨氮排放严重、抗生素和抗性基因残留高、病原微生物去除不彻底等瓶颈问题为核心，提出了清洁堆肥生产的理念，创造性地研发了系列好氧堆肥添加剂，在实现堆肥生产过程清洁的同时获得了优质的堆肥产品。该项目属于技术研发与应用基础研究，是种植业和畜禽养殖业的交叉与融合，也是农业废弃物无害化处理与资源化利用的学科前沿，具有重要的学术价值和生产价值。研究成果已在陕西苹果产区积极推广应用，并取得了显著的经济效益和生态环境效益，有力地促进了农业绿色和可持续发展。同意推荐申报该项目为陕西省科技进步奖一等奖。

三、项目简介：

好氧堆肥技术因其技术比较成熟、运行成本低和产品附加值高等优点被广泛用于农业废弃物的无害化和资源化处理。然而，由于堆肥内在微环境调控技术的匮乏，传统好氧堆肥过程中存在氨气和温室气体排放量大、病原微生物和抗性基因残留高、腐殖化程度低、重金属活性高和产品品质低下等瓶颈问题。针对这些问题，项目组开展了多年的试验研究，揭示了堆肥微环境与污染物环境行为的内在关系，探明了不同矿物添加剂在好氧堆肥过程中对堆肥微环境的调控及对污染物削减潜力，研发了外源多孔矿物添加剂和生物炭辅助强化好氧堆肥新技术，构建了通过调控堆肥微环境来控制污染物排放的技术体系，获得了高品质堆肥产品，提升了农业废弃物的资源化利用水平，促进了农业废弃物清洁堆肥产业发展。

(1) 以畜禽粪便为堆肥原料，锯末和麦糠等高碳有机物为调理剂，以低成本、高吸附性能的矿物添加剂（膨润土、沸石、麦饭石、粘土、硅藻土和电气石等）为辅助材料，构建了外源矿物强化的好氧堆肥工艺并对其进行了优化。所建立的好氧堆肥新工艺技术，有效解决了堆肥过程中氨气和温室气体排放量大、重金属活性高、腐殖化程度低、病原微生物和抗性基因残留高及产品品质低下等瓶颈问题，可显著缩短发酵周期、减少氨气及温室气体的释放、降低重金属生物有效性、削减抗生素抗性基因和提高堆肥腐殖化程度。相关技术既克服了传统好氧堆肥中所存在的一系列难题，促

进了农业废弃物的无害化处理和资源量利用，又减轻了对环境的潜在危害的同时，同时获得了高品质清洁堆肥产品。

(2) 基于所建立的外源多孔矿物添加剂辅助强化堆肥工艺新技术，针对好氧堆肥过程中污染控制需求，遵循“以废治污、变废为宝、循环利用”的可持续发展理念，兼顾材料的来源和应用成本，开发制备了功能性生物炭材料并将其应用于有机固体废物好氧发酵中，探明了生物炭在杀灭病原微生物、削减抗性基因等方面的机制及潜力，提升了堆肥产品的无害化程度。

(3) 相关研究成果及技术用于指导建设多个农业废弃物好氧发酵示范基地，获得了一系列高品质农作物专用肥，打通了畜禽粪便还田通道并扩大了还田利用范围，实现区域内农业废弃物的种养耦合。该成果在促进有机废弃物无害化处理和资源化利用、推动农业绿色发展和助力乡村振兴等方面成效显著。

依托该技术成果，指导建设多个利用农业废弃物清洁堆肥厂。通过商品有机肥的生产与销售，有效链接养殖业和种植业，打通了有机固体废物还田通道，实现区域内畜禽粪便资源的种养耦合，促进了农业绿色的可持续发展。

#### 四、客观评价：

进入本世纪以来，随着我国经济社会的持续快速发展，城乡居民的生活水平和消费水平显著提高，随之而来产生了大量的农业废弃物。农业废弃物由于含水量高、容易腐烂发臭，已经成为我国城乡环境污染的主要来源，开展有机固体废物的无害化处理和资源化利用已经成为全社会的共识。有机固体废物既是污染源，也是生物资源，对其进行合理处理，不仅可以变废为宝，同时也可消除有机废物对环境的污染，可谓一举多得。在不同的处理方式中，好氧堆肥模式因其技术成熟、产品附加值高而受到人们的重视。因此，好氧堆肥技术成为解决我国有机固体废物污染的有效方法，其可以通过生物转化过程将富含有机质和氮、磷、钾等营养元素的有机废物转化为高附加值的有机肥产品。该技术因其处理量大、运行成本低和产品附加值高等优点而被广泛应用。但是，传统好氧堆肥中存在的温室气体排放显著、氮素损失严重（臭味大）、病原微生物和抗性基因残留高、腐殖化程度低、重金属活性高和产品品质低下等瓶颈问题，仍是阻碍好氧堆肥产业发展和工程应用的关键。

围绕上述问题，在国家、地方相关科技项目的支持下，本项目将实验室小、中试试验与工程生产实践相结合，以应用基础研究为纽带，从堆肥过程分析、微环境调控机理研究、堆肥调理剂的筛选，关键技术研发与集成等方面建立了外源矿物和生物炭辅助强化好氧堆肥新技术。同时，将所形成的农业废弃物清洁堆肥系列关键技术进行大范围的推广与应用。针对农业废弃物好氧堆肥过程中存在的温室气体排放显著、氮素损失严重、病原微生物和抗性基因残留高、腐殖化程度低等问题，通过小试、中试

研究,揭示堆肥微环境与污染物环境行为的内在关系、探明不同矿物添加剂在好氧堆肥过程中对堆肥微环境的调控及对污染物削减潜力;研发外源多孔矿物添加剂和生物炭辅助强化好氧堆肥新技术,构建通过调控堆肥微环境来控制污染物排放的技术体系,获得高品质堆肥产品,提升农业废弃物的资源化利用水平,促进农业废弃物清洁堆肥产业发展。

主要研究内容为:

(1) 以畜禽粪便为堆肥原料,锯末和麦糠等高碳有机物为调理剂,以低成本、高吸附性能的矿物添加剂(膨润土、沸石、麦饭石、粘土、硅藻土和电气石等)为辅助材料,构建了外源矿物强化的好氧堆肥工艺并对其进行了优化。所建立的好氧堆肥新工艺技术,有效解决了堆肥过程中氨气和温室气体排放量大、重金属活性高、腐殖化程度低、病原微生物和抗性基因残留高及产品品质低下等瓶颈问题,可显著缩短发酵周期(7-14天)、减少氨气及温室气体的释放(5.63-35.29%和7.64-87.47%)、降低重金属生物有效性、削减抗生素抗性基因和提高堆肥腐殖化程度(5.71-27.08%)。相关技术既克服了传统好氧堆肥中所存在的一系列难题,促进了有机固体废物的无害化处理和资源量利用,又减轻了对环境的潜在危害的同时,同时获得了高品质清洁堆肥产品。相关研究成果发表于 *Bioresource Technology*、*Journal of Cleaner Production*、*Science of the Total Environment* 和 *Microchemical Journal* 等高质量期刊。

(2) 基于所建立的外源多孔矿物添加剂辅助强化堆肥工艺新技术,针对好氧堆肥过程中污染控制需求,遵循“以废治污、变废为宝、循环利用”的可持续发展理念,兼顾材料的来源和应用成本,开发制备了功能性生物炭材料并将其应用于有机固体废物好氧发酵中,探明了生物炭在杀灭病原微生物、削减抗性基因等方面的机制及潜力,提升了堆肥产品的无害化程度。相关研究成果发表于 *Journal of Hazardous Materials* 和 *Bioresource Technology* 等环境领域 TOP 期刊。

(3) 相关研究成果及技术用于指导建设多个有机固体废物好氧发酵示范基地,获得了一系列高品质农作物专用肥,打通畜禽粪便还田通道并扩大了还田利用范围,实现区域内有机固体废物的种养耦合。该成果在促进有机废弃物无害化处理和资源化利用、推动农业绿色发展和助力乡村振兴等方面成效显著。相关成果出版专著《堆肥清洁生产与使用手册》及《*Biological Processing of Solid Waste*》。

依托该技术成果,指导建设多个利用有机固体废物清洁堆肥工厂。通过商品有机肥的生产与销售,有效链接养殖业和种植业,打通了有机固体废物还田通道,实现区域内有机废物资源的种养耦合,促进了农业绿色的可持续发展。

## 五、应用情况

项目组以有机固体废物的无害化处理与资源化利用为主线,以有机固体废物的清洁堆肥为目标,进行了一系列的试验研究及应用示范。利用项目组建立的清洁堆肥理念,以外源多孔矿物添加剂和生物炭为主要方法,攻克传统好氧堆肥的技术瓶颈,筛选和开发出高效改善堆肥进程、控制污染排放的外源多孔矿物添加剂和改性生物炭。依托该成果,在陕西杨陵、渭南、延安和汉中等地指导建设了10余个利用有机固体废物进行清洁堆肥的工厂,获得了当地政府和用户的认可与好评。外源添加剂在好氧堆肥过程中的应用,显著缩短发酵周期,有效杀灭病原微生物;抑制温室气体的产生和排放,减少了农业生产对全球温室效应的贡献;减少堆肥过程中氨气的挥发,增加氮素保留,提高了产品养分含量。该技术的大面积推广应用,不仅显著改善了区域的农业生态环境,推动了《到2020年化肥施用量零增长行动方案》、《开展果菜茶有机肥替代化肥行动方案》和《全国畜禽粪污资源化利用整县推进项目工作方案》的实施,还助推了乡村振兴战略和美丽乡村建设,提高了居民的生活质量和健康水平,促进了农业的绿色和可持续发展,经济效益、生态环境效益和社会效益显著。

| 主要单位应用情况表 |                |                      |                      |           |                    |
|-----------|----------------|----------------------|----------------------|-----------|--------------------|
| 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         | 洛川水渭益果生物科技有限公司 | 生物炭和沸石的协同畜禽粪便好氧堆肥技术  | 有机固体废物好氧堆肥,年处理量为16万吨 | 2017-2020 | 迂航<br>/18220127777 |
| 2         | 陕西上郡生态肥业有限公司   | 生物炭和沸石的协同增效处理有机固体废物  | 有机固体废物好氧堆肥,年处理量为10万吨 | 2017-2020 | 侯锋<br>/15991129898 |
| 3         | 渭南上德欣生物科技有限公司  | 外源添加矿物添加及有机富碳添加剂协同技术 | 有机固体废物好氧堆肥,年处理量8万吨   | 2018-2020 | 李江<br>/18092315993 |
| 4         | 杨陵东起生态农业科技有限公司 | 生物炭和沸石的协同增效          | 有机固体废物好氧堆肥,年处理量6万吨   | 2016-2020 | 张奇<br>/13359270662 |

#### 六、主要知识产权和标准规范目录(发明奖和进步奖填写,限10条)

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称                 | 国家(地区) | 授权号              | 授权日期      | 证书编号     | 权利人      | 发明人                |
|----|--------|--------------------------|--------|------------------|-----------|----------|----------|--------------------|
| 1  | 发明专利   | 城市污泥制造有机复合肥料的方法          | 中国     | ZL00113760.3     | 2004.2.11 | 第143508号 | 西北农林科技大学 | 张增强                |
| 2  | 发明专利   | 制备生物柴油的负载型粉煤灰固体碱催化剂及制备方法 | 中国     | ZL200710018464.5 | 2010.5.19 | 第620737号 | 西北农林科技大学 | 张增强;高锦明;孙楠;张鞍灵;杨胜祥 |

| 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   |
|----|--------|----------------------|--------|------------------------|-----------|-------------|----------|---|
| 3  | 发明专利   | 微波辅助路易斯碱催化制备生物柴油的方法  | 中国     | ZL200610104788.6       | 2009.7.8  | 第 520624 号  | 西北农林科技大学 | 高锦明；张增强；杨胜祥；王栩；张靛灵；李满林  |
| 4  | 发明专利   | 一种利用农林废弃物制备固体酸催化剂的方法 | 中国     | ZL201010209911         | 2012.6.27 | 第 982349 号  | 西北农林科技大学 | 高锦明；张增强；马芳；马海龙；杜宏涛  |
| 5  | 实用新型专利 | 一种家禽粪便收集装置           | 中国     | ZL201820725179.0       | 2019.1.18 | 第 8380844 号 | 西北农林科技大学 | 李荣华；张增强   |
| 6  | 专著     | 堆肥清洁生产与使用手册          | 中国     | ISBN 978-7-109-25168-7 | 2019.3    |             | 西北农林科技大学 | 张增强（主编）；李荣华（副主编）；Awasthi M.K（副主编）；编者：（以姓名笔画为序）王权；王美净；任秀娜；刘涛；陈宏宇；赵军超 |

## 七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献   |
|-----|----|---------|-----------|---|
| 张增强 | 1  | 教授      | 西北农林科技大学  | 张增强教授作为项目的第一完成人，负责项目的总体方案设计与实施工作。针对有机固体废物好氧堆肥过程中存在瓶颈问题，改变传统的末端治理为污染预防，提出了清洁堆肥理念，构建了通过调控好氧堆肥微环境来控制堆肥污染物排放新模式，研发了外源多孔矿物添加剂和生物炭辅助强化堆肥新技术，在实现堆肥生产过程清洁的同时获得了优质的堆肥产品。 |
| 李荣华 | 2  | 教授      | 西北农林科技大学  | 李荣华教授作为项目的第二完成人，主要参与了系列堆肥改良剂的研发，进行了生物炭材料的制备、改性及其与微生物菌剂联合对好氧堆肥过程中温室气体减排及养分保存效果的研究。   |

| 姓名  | 排名 | 行政/技术<br>职称 | 工作单位/<br>完成单位 | 对本项目技术创造性贡献  |
|-----|----|-------------|---------------|--|
| 王权  | 3  | 副教授         | 西北农林科技大学      | 王权副教授作为项目的第三完成人,主要参与了好氧发酵工程示范基地的指导建设工作和系列矿物添加剂的研发,阐明单一矿物添加剂及复合矿物添加剂与温室气体减排、腐殖化内在原因与机制;此外,研发了系列微量元素功能肥料,探究了其在土壤中的释放规律,为有机肥的高效利用提供理论依据。                |
| 任秀娜 | 4  | 助理研究员       | 西北农林科技大学      | 任秀娜博士作为项目的第四完成人,主要阐明了矿物添加剂(有机膨润土、电气石和硅藻土)对畜禽粪便好氧堆肥过程中的温室气体减排、氮素保留和腐殖化提升的影响及作用机制,并通过盆栽试验进一步验证了其作为堆肥添加剂的合理性;此外,协助完成杨陵示范区产学研项目“规模养殖场畜禽粪便好氧堆肥过程中污染控制研究”。 |
| 肖然  | 5  | 副教授         | 西北农林科技大学      | 肖然博士作为项目的第五完成人,主要进行了生物炭材料的制备及改性,并全面深刻地总结了生物炭在好氧堆肥中的作用;此外,协助完成国家十三五重点专项“西北农业废弃物好氧发酵技术与工程化应用”。   |
| 刘涛  | 6  | 无           | 西北农林科技大学      | 刘涛博士作为项目的第六完成人,主要进行了有机固体废物的高值化处理,为高效地资源化处理有机固体废物提供了切实可行的途径;探明了好氧堆肥过程中病原微生物的群落演替及抗性基因的削减。   |
| 焦敏娜 | 7  | 无           | 西北农林科技大学      | 焦敏娜博士作为项目的第七完成人,主要探索了好氧堆肥过程中有机物的降解规律以及腐殖质的形成机制,促进了堆肥腐殖化,提高了堆肥产品品质及其农用价值。   |

#### 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人及参与人的工作单位,为“有机固体废物的清洁堆肥”项目,从课题申请、实验平台的共享与提供、示范基地的建设与管理、开发技术的推广等方面为本项目的科技创新与应用推广提供了坚实的物质基础。具体来说,学校的贡献包括:(1)组织并完成了项目策划和实施工作;(2)为项目的顺利实施提供了人力资源与优质的工作环境与场所;(3)提供了本项目所需的设备、能源、图书资料和数据库等资源) |
| 陕西水渭益果生物科技有限公司 | 2  | 陕西水渭益果生物科技有限公司作为参与工作单位,为“有机固体废物的清洁堆肥”项目,在堆肥技术开发的推广、应用及示范项目等方面夯实了坚实的实践基础。具体来说,该企业的贡献包括:(1)完成了清洁堆肥技术示范项目;(2)为项目的示范与推广提供了原料,设备与场地;(3)利用本项目的理念进行改良生产,取得了良好的经济效益与社会效益。                                     |

| 单位名称           | 排名 | 主要贡献  |
|----------------|----|---|
| 陕西上郡生态肥业有限公司   | 3  | 陕西上郡生态肥业有限公司结合富县种养现实状况和发展趋势,依托陕西省农用微生物科技产业技术创新战略联盟的纽带和桥梁作用,为本项目打下了坚实的技术应用、示范及推广的实践保障。   |
| 洛川畅源农业发展有限责任公司 | 4  | 洛川畅源农业发展有限责任公司作为参与单位,在技术推应用及示范项目等方面为本项目提供了坚实的实践保障。具体来说,该企业的贡献包括:(1)完成了清洁堆肥技术示范项目;(2)为项目的示范与推广提供了原料,设备与场地;(3)利用本项目的理念进行改良生产,取得了良好的经济效益与社会效益。 |

## 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          | 共同知识产权 | 李荣华/1    | 2018 年至今 | 实用新型专利:一种家禽粪便收集装置第一发明人 | 一种家禽粪便收集装置:<br>ZL201820725179.0 |
| 2          | 专著合著   | 李荣华/2    | 2018 年至今 | 专著:堆肥清洁生产与使用手册(副主编)    | 《堆肥清洁生产与使用手册》                   |
| 3          | 专著合著   | 王权       | 2018 年至今 | 专著:堆肥清洁生产与使用手册(编者)     | 《堆肥清洁生产与使用手册》                   |
| 4          | 专著合著   | 任秀娜      | 2018 年至今 | 专著:堆肥清洁生产与使用手册(编者)     | 《堆肥清洁生产与使用手册》                   |
| 5          | 专著合著   | 肖然       | 2018 年至今 | 专著:堆肥清洁生产与使用手册(编者)     | 《堆肥清洁生产与使用手册》                   |
| 6          | 专著合著   | 刘涛       | 2018 年至今 | 专著:堆肥清洁生产与使用手册(编者)     | 《堆肥清洁生产与使用手册》                   |

**完成人合作关系说明(限 1000 字)**

本次报奖项目“农业废弃物的清洁堆肥及有机肥生产”是由西北农林科技大学张增强(1)、李荣华(2)、王权(2)、任秀娜(4)、肖然(5)、刘涛(6)、焦敏娜(7)成员长期合作共同完成的研究成果。完成合作关系说明如下:

(1)、李荣华教授作为项目的第二完成人,主要参与了系列堆肥改良剂的研发,进行了生物炭材料的制备、改性及其与微生物菌剂联合对好氧堆肥过程中温室气体减排及养分保存效果的研究。

(2)、王权副教授作为项目的第三完成人,主要参与了好氧发酵工程示范基地的指导建设工作和系列矿物添加剂的研发,阐明单一矿物添加剂及复合矿物添加剂与温室气体减排、腐殖化内在原因与机制;此外,研发了系列微量元素功能肥料,探究了其在土壤中的释放规律,为有机肥的高效利用提供理论依据。

(3)、任秀娜研究员作为项目的第四完成人,主要阐明了矿物添加剂(有机膨润土、电气石和硅藻土)对畜禽粪便好氧堆肥过程中的温室气体减排、氮素保留和腐殖化提升的影响及作用机制,并通过盆栽试验进一步验证了其作为堆肥添加剂的合理性;此外,协助完成杨陵示范区产学研项目



“规模养殖场畜禽粪便好氧堆肥过程中污染控制研究”。

(4)、肖然博士作为项目的第五完成人，主要进行了生物炭材料的制备及改性，并全面深刻地总结了生物炭在好氧堆肥中的作用；此外，协助完成国家十三五重点专项“西北农业废弃物好氧发酵技术与工程化应用”。

(5)、刘涛博士作为项目的第六完成人，主要进行了有机固体废物的高值化处理，为高效地资源化处理有机固体废物提供了切实可行的途径；探明了好氧堆肥过程中病原微生物的群落演替及抗性基因的削减。

(6)、焦敏娜博士作为项目的第七完成人，主要探索了好氧堆肥过程中有机物的降解规律以及腐殖质的形成机制，促进了堆肥腐殖化，提高了堆肥产品品质及其农用价值。

## 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

王美丽

一、项目名称：数字浮雕智能化生成方法研究与应用

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：

该成果以建立布局合理、高效、自然、真实感强的数字浮雕（高浮雕、浅浮雕、凹浮雕）及场景模型为目标，以计算机图形学、计算机视觉等相关理论为依据，研究了新颖的数字浮雕生成方法，构建了智能化数字浮雕生成系统。提出的高效生成浅浮雕的方法，系统解决了浮雕模型生成效率较低、细节信息易丢失等问题；通过对模型细节信息进行迁移，实现了浮雕多样化生成，初步探索了浮雕场景自动布局原理，降低了浮雕设计的成本。围绕本成果在《Computer Aided Design》《Neurocomputing》、《Computer Graphics Forum》、《The Visual Computer》、《Computer Animation & Virtual Worlds》等图形学领域期刊发表论文 40 余篇，授权国家发明专利 9 项，获批软件著作权 4 项，培养毕业研究生 25 名。项目研究成果“一种基于单幅图像的三维数字凹浮雕生成方法”专利，已经成功在江苏园上园智能科技有限公司进行转化，公司开展了集成开发并取得了一定的经济效应，该成果应用以来，新增产值达 587.94 万元。该项目能推动浮雕艺术生产制造向智能化和自动化升级，缩短人工设计间，对于解决浮雕生成过程中的工业化、智能化发展所面临的瓶颈问题具有重要的应用价值和借鉴意义。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省技术发明奖提名条件。提名为陕西省技术发明奖二等奖。

三、项目简介：

该项目属于数字文化遗产保护领域。浮雕作为一种表现力丰富的文化创意产品和传播媒介，为文化资源的数字化及快速传播提供了新途径。本项目以自动生成高效、自然、真实感强的数字浮雕模型为目标，以计算机图形学、计算机视觉等相关理论为依据，研究了新颖的数字浮雕生成方法，构建了智能化数字浮雕生成系统。提出的高效生成浅浮雕的方法，系统解决了浮雕模型生成效率较低、细节信息易丢失等问题；通过对模型细节信息进行迁移，实现了浮雕多样化生成，初步探索了浮雕场景自动布局原理，降低了浮雕设计的成本，为浮雕产业的工业化发展提供了技术支撑，相关成果也在企业进行了实际应用，取了一定的经济效益。

### (1) 提出了融合图像与三维模型生成三种浮雕模型的理论框架

针对现有浮雕生成算法复杂、效率较低的问题,提出了融合图像与三维模型生成浮雕模型的理论框架。基于单幅二维图像,通过图像增强及变换生成三维数字浅浮雕模型;以现有三维模型为输入,提出了基于非线性压缩、细节信息增强的快速浮雕建模方法,在保持细节信息同时生成高浮雕、浅浮雕及简单的组合浮雕模型;依据输入图像及三维模型,提取线条图、渲染图及深度图,通过特征增强对图像的整体和局部线条特征进行增强,提高了图像的质量,将线条融入浮雕雕刻中,实现了结合多种输入的凹浮雕生成。

### (2) 提出了基于视觉显著性和优化理论的浮雕模型布局理论

研究并提出了一种数字浮雕布局方法理论,由于浮雕模型的自动布局涉及多个因素,三维模型的数量、模型之间的距离、遮挡面积等,目前面临不能自动化选择模型视角、布局因素选择过程复杂等问题,研究首先确定评价指标并构建基于评价指标的组合优化模型,实现浅浮雕布局的建模,同时采用随机优化算法全局求解优化模型,最终生成浅浮雕布局,在此基础上,基于法线图生成三维群体场景浮雕。

### (3) 提出了基于位置特征保留的点云滤波方法

针对现有点云滤波方法很难保持模型几何特征的问题,结合浮雕模型特点,提出了一种新的基于位置的特征保留的点云滤波方法,在保持生成浮雕模型细节特征的基础上实现了噪声的去除。与基于法线的方法不同,该方法不需要法线信息就可以达到良好的特征保留效果。该方法首先通过RPCA(鲁棒主成分分析)设计一个相似度量来搜索给定局部结构在全局范围内的所有非局部相似结构;然后将相似的非局部结构映射到正则空间中,进而聚合非局部信息;最后将聚合的结果(即坐标)反向映射到原始空间中,从而得到具有特征保留效果的滤波浮雕点云。

### (4) 探讨了不同类型法线图控制浅浮雕模型生成方法研究

为了增加数字浮雕设计的多样性,实现浮雕的风格化,提出了一种基于法线图的迁移语义深度神经网络,通过学习以及结合所输入法线图的空间结构和纹理模式,合成新的法矢结构和纹理,完成浮雕模型的细节迁移。通过引入域变换保边滤波器进行法向分解,提取建模所需的结构层和细节层,然后利用梯度表面重建算法完成局部成形和全局调整的浮雕建模过程。这种基于视觉注意力掩模构建的浅浮雕建模框架,保证了浮雕丰富细节的生成和几何形状的保留。同时通过引入掩模函数融合图像处理技

术，控制所要生成浮雕不同部位的高度，得到控制浮雕生成效果的法矢图，从而生成不同高度风格的浅浮雕模型。围绕本成果在《Computer Aided Design》《Neurocomputing》《Computer Graphics Forum》、《The Visual Computer》、《Computer Animation & Virtual Worlds》等图形学领域期刊发表论文 40 余篇，授权国家发明专利 9 项，获批软件著作权 4 项，培养毕业研究生 25 名。项目研究成果“一种基于单幅图像的三维数字凹浮雕生成方法”专利，已经成功在江苏园上园智能科技有限公司进行转化，公司开展了集成开发并取得了一定的经济效应。该项目能推动浮雕艺术生产制造向智能化和自动化升级，缩短人工设计间，对于解决浮雕生成过程中的工业化、智能化发展所面临的瓶颈问题具有重要的应用价值和借鉴意义。

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

（1）与当前国内外同类技术比较，该成果具有科学性、系统性、先进性和实用性

该成果系统解决了三维浮雕的生成问题，提出了基于三维模型的浅浮雕、高浮雕建模，融合图像与三维模型的凹浮雕建模方法，研究了基于法矢图的浮雕细节迁移方法，并初步探索了浮雕布局问题，达到了国内外同类研究的领先水平。相关研究成果在江苏园上园智能科技有限公司、宝鸡高新智能制造技术有限公司转化应用，产生了显著的经济和社会效益。

（2）国内外对项目研究成果的引用

项目在国内本领域重要期刊发表论文 40 余篇（其中代表性论文 4 篇被 SCIE 收录，一篇被 CNKI 收录），累计引用 57 次，单次最高引用达到 21 次。Huang 等人在《Detecting color boundaries on 3D surfaces by applying edge-detection image filters on a quad-remeshing》中指出，项目组研究人员文献提出的用于细节丰富的浮雕模型框架具有基于视觉注意力的掩模生成和几何体保存。Han 等人在《3D mesh model segmentation based on skeleton extraction》中指出，项目组研究人员文献提出的自适应的点云分割方法，可以解决与基于区域的算法相关的挑战，如不一致或过度的分割。Li 等人在《Visual saliency-based bas-relief generation with symmetry composition rule》中指出，项目组研究人员文献使用三维非锐化掩码来增强三维网格的视觉特征，并采用非线性可变缩放方案来生成最终的浮雕。Xu 等人在《Dynamic spline bas-relief

modeling with isogeometric collocation method》中指出，项目组研究人员文献得出线性深度压缩算法不能产生好的结果，并提出了非线性压缩算法来产生令人满意的浮雕。

### (3) 国家知识产权及技术部门认可

申报人以第一完成人授权国家发明专利 9 项，成功转化专利 1 项，获 2019 年杨凌示范区发明专利创意大赛三等奖 1 项。其中专利“一种基于单幅图像的三维数字凹浮雕生成方法”具有简单、灵活高效等优势，已成功转化至江苏园上园智能科技有限公司，带动了企业的技术升级改造。

### (4) 项目曾获科学奖励情况

“基于单幅图像的多样性和真实感三维凹浮雕生成研究”，获陕西省第五届研究生创新成果展中荣获工科类二等奖。“结合视觉显著性的浮雕编辑方法”，获杨凌示范区 2019 年发明专利创意大赛三等奖。

## 五、应用情况

通过项目研究，系统解决了数字浮雕的高效和高精度生成问题，增强了数字浮雕多样性设计，有效解决了数字浮雕自动布局的难题，降低了浮雕设计的成本，在浮雕产品的设计与规模化生产方面具有重要的应用价值，推动了浮雕艺术生产智能化和自动化升级，对于解决浮雕生成过程中的工业化、智能化发展所面临的瓶颈问题具有重要的应用价值和借鉴意义。同时，积极与企业开展合作，获得了较好的经济效益和社会效益，解决了数字浮雕的精细、高效生成问题。

在浮雕快速建模研发中，与江苏园上园智能科技有限公司开展了实质性合作，并转化“一种基于单幅图像的三维数字凹浮雕生成方法”专利 1 项，公司开展了集成应用并取得了一定的社会效应，节约了人力、物力、财力，有效地增加了市场竞争力。该成果应用以来，新增产值达 587.94 万元。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条）

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称             | 国家(地区) | 授权号              | 授权日期       | 证书编号    | 权利人      | 发明人                    |
|----|--------|----------------------|--------|------------------|------------|---------|----------|------------------------|
| 1  | 发明专利   | 一种基于形变模型的花朵浅浮雕浮雕生成方法 | 中国     | ZL201910667717.4 | 2022.10.11 | 5502241 | 西北农林科技大学 | 王美丽；朱思远；李书琴；王欣；范晶晶；黄志一 |

|    |       |                         |    |                  |            |          |          |                            |
|----|-------|-------------------------|----|------------------|------------|----------|----------|----------------------------|
| 2  | 发明专利  | 结合视觉显著性的浮雕编辑方法          | 中国 | ZL201711163839.7 | 2021.01.26 | 4219723  | 西北农林科技大学 | 王美丽;李婷婷;张飞宇;郭诗辉;张宏鸣;何东健    |
| 3  | 发明专利  | 一种基于单幅图像的三维数字凹浮雕生成方法    | 中国 | ZL201711163838.2 | 2020.11.17 | 4098669  | 西北农林科技大学 | 王美丽;杨丽莹;姜金岑;郭诗辉;张宏鸣;何东健    |
| 4  | 发明专利  | 一种点云去噪平滑方法              | 中国 | ZL201510408335.1 | 2018.02.02 | 2800661  | 西北农林科技大学 | 何东健;牛晓静;王美丽;胡少军;耿楠;张志毅;杨沛  |
| 5  | 发明专利  | 一种基于位置的层次化动态模拟方法        | 中国 | ZL201810821225.1 | 2018.07.24 | 4030333  | 西北农林科技大学 | 李书琴;郑华;王美丽;张宏鸣             |
| 6  | 发明专利  | 一种基于视觉显著性的浅浮雕生成方法       | 中国 | ZL201310545025.5 | 2017.02.22 | 2387075  | 西北农林科技大学 | 王美丽;郭诗辉;牛晓静;常建;张建军;张宏鸣;何东健 |
| 7  | 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 | ZL201410360056.8 | 2017.11.21 | 2707245  | 西北农林科技大学 | 王美丽;廖昌粟;张宏鸣;胡少军;何东健;牛晓静    |
| 8  | 发明专利  | 一种基于射线原理的带边界保留的云数据精简算法  | 中国 | ZL201410360076.5 | 2017.12.22 | 2748498  | 西北农林科技大学 | 王美丽;廖昌粟;张宏鸣;胡少军;何东健;牛晓静    |
| 9  | 发明专利  | 一种结合多输入方式镂空浮雕生成方法       | 中国 | ZL201310275813.7 | 2016.06.29 | 2129990  | 西北农林科技大学 | 王美丽;常建;张建军                 |
| 10 | 软件著作权 | 基于随机优化算法的浅浮雕自动布局系统 V1.0 | 中国 | 2020SR0746511    | 2020.07.09 | 06015614 | 西北农林科技大学 | 王美丽;李婷婷                    |

六、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)

七、主要完成人情况

| 姓名  | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献                          |
|-----|----|---------|-----------|--------------------------------------|
| 王美丽 | 1  | 教授      | 西北农林科技大学  | 项目实施总体策划及技术应用总指导,主持并完成了国家自然科学基金、陕西省重 |

|     |   |     |          |  |
|-----|---|-----|----------|--|
|     |   |     |          | 点研发等项目，以第一作者/通讯作者发表论文 40 余篇，获批发明专利 6 项，并成功转化 1 项目。 |
| 何东健 | 2 | 教授  | 西北农林科技大学 | 合作完成了对于三维浮雕生成技术的全面综述，提出了点云分割方法。                    |
| 郭诗辉 | 3 | 副教授 | 厦门大学     | 合作提出了基于信息熵理论的浮雕最佳姿态与视角选择方法。                        |

## 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，主要负责技术研发、人员培训、项目技术路线设计、技术集成、示范推广等工作。主要提出了融合图像与三维模型生成三种浮雕模型的理论框架以及基于视觉显著性和优化理论的浮雕模型布局理论。在技术方法方面，实现了结合图像特征增强的浮雕模型生成、基于位置特征保留的点云滤波以及不同类型法矢图控制浅浮雕模型生成。相关成果在江苏园上园智能科技有限公司与宝鸡高新智能制造技术有限公司开展了推广应用。 |
| 厦门大学          | 2  | 厦门大学作为项目参与单位，主要负责技术研发、技术集成等工作。合作提出了融合图像与三维模型生成三种浮雕模型的理论框架，实现了结合图像特征增强的浮雕模型生成。  |
| 江苏园上园智能科技有限公司 | 3  | 项目参与单位，负责实施落地应用。在浮雕快速建模研发中，公司将转化专利“一种基于单幅图像的三维数字凹浮雕生成方法”进行集成开发，公司开展了应用并取得了一定的社会效应，节约了人力、物力、财力。   |

## 九、完成人合作关系情况

| 序号 | 合作方式    | 合作者/项目排名 | 合作时间                   | 合作成果  | 证明材料 |
|----|---------|----------|------------------------|---|------|
| 1  | 论文及知识产权 | 何东健/2    | 2013, 2014, 2015, 2017 | 专利 -结合视觉显著性的浮雕编辑方法；专利 -一种基于单幅图像的三维数字凹浮雕生成方法；专利 -一种点云去噪平滑方法；专利 -一种基于视觉显著性的浅浮雕生成方法；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带边界保留的云数据精简算法 |      |
| 2  | 论文及知识产权 | 郭诗辉/3    | 2017                   | 专利 -结合视觉显著性的浮雕编辑方法；专利 -一种基于单幅图像的三维数字凹浮雕生成方法；专利  |      |

|   |  |  |  |                   |  |
|---|--|--|--|-------------------|--|
|   |  |  |  | 一种基于视觉显著性的浅浮雕生成方法 |  |
| <p><b>完成人合作关系说明（限 1000 字）</b></p> <p>（1）王美丽：主要完成人，项目实施总体策划及技术应用总指导。</p> <p>（2）何东健：与主要完成人合作对于专利“结合视觉显著性的浮雕编辑方法”、“一种基于单幅图像的三维数字凹浮雕生成方法”、“一种点云去噪平滑方法”、“一种基于视觉显著性的浅浮雕生成方法”、“一种基于射线原理的三维点云数据精简方法”以及“一种基于射线原理的带边界保留的云数据精简算法”的完成做出了贡献。</p> <p>（3）郭诗辉：与主要完成人合作对于专利“结合视觉显著性的浮雕编辑方法”、“一种基于单幅图像的三维数字凹浮雕生成方法”以及“一种基于视觉显著性的浅浮雕生成方法”的完成做出了贡献。</p> |  |  |  |                   |  |



## 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

安韶山

一、项目名称：黄土高原植被恢复的土壤有机碳固持机制

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：土壤有机碳固持过程及机理是当前水土保持学、土壤学等的前沿研究领域之一，而植物-土壤-微生物连续系统的碳迁移、转化、形成、稳定是当前陆地生态系统碳循环研究的核心，也是实现“双碳”战略的重要部分。为了回答黄土高原植被恢复的土壤固碳机制和效应，该成果采用同位素示踪、生物标志物等技术，以植被和土壤固碳为核心，从有机碳的来源量化-微生物转化-团聚体稳定入手，明确了黄土高原土壤-植物连续体中碳的迁移分配规律和分配策略、阐明了微生物残体是黄土高原土壤有机碳的重要来源，其对有机碳积累的贡献具有明显的生态系统分异特征、明晰了黄土高原植被恢复过程中土壤细菌多样性与土壤碳储量的关系、阐明了黄土高原刺槐和柠条人工林对土壤团聚体稳定性和抗蚀性及有机碳积累的影响具有明显的纬度和降水格局特征、进一步揭示了黄土高原植被恢复改善土壤团聚体对有机碳物理保护的机制。在区域尺度上回答了黄土高原植被恢复过程中土壤碳汇功能，系统揭示了黄土高原植被恢复的土壤固碳机制和效应。围绕该主题发表高质量论文九十多篇，出版专著三部，项目组培育了一批中青年优秀人才，丰富和完善了水土保持学、土壤学和生态学等相关基础理论发展，研究成果也为评价黄土高原植被恢复的可持续性、碳汇效应与功能提升提供了重要科学依据和理论支撑。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，提名该项目为陕西省自然科学奖壹等奖。

### 三、项目简介：

土壤有机碳固持过程及机理是当前水土保持学、土壤学等前沿研究领域之一，而植物-土壤-微生物连续系统的碳迁移、转化、形成、稳定是当前陆地生态系统碳循环研究的核心，也是实现“双碳”战略的重要部分。黄土高原处于黄河流域的“心脏”位置，是我国“一带一路”建设的倡议地和天然的西部生态屏障，也是我国实施黄河流域生态保护和高质量发展战略的核心区和关键区。为了回答黄土高原植被恢复的土壤碳汇机理，本项目围绕黄土高原植被恢复的土壤固碳过程，在国家自然科学基金和重点研发等课题的支持下，利用同位素示踪、生物标志物、基因组学等多种方法和技术手段，聚焦植被-土壤-微生物连续体固碳机理，从不同生态系统和区域尺度研究植物叶片-枯落物-根系-土壤微生物连续体碳运移过程入手，围绕黄土高原土壤有机碳形成、转化与稳定机制这一核心科学问题，系统阐明了黄土高原植被恢复的土壤有机碳固持机制；丰富了微生物碳泵调控土壤碳循环机制，建立了黄土高原植被恢复过程中植物-土壤-微生物系统碳动态理论体系，为黄土高原土壤碳汇功能、生态效益提升提供了重要参考。同时研究结果对助力我国陆地生态系统碳捕获、实现“碳中和”目标具有重大意义。

(1) 阐明了黄土高原植物-土壤碳分配规律与养分限制策略。利用  $^{13}\text{C}$  同位素标记手段，研究了封育草地的分配叶片-根系-大气连续体的碳迁移及分配策略、微生物周转过程，直接回答

了植被恢复背景下不同生态系统碳从哪里来、如何周转及稳定，为植被-土壤系统修复和水土保持碳汇估算提供了理论支撑和计算依据，建立了黄土高原植物-土壤-微生物系统碳动态理论体系。

(2) 明确了黄土高原植被恢复过程中微生物残体是土壤有机碳形成的主要来源。开展了黄土高原土壤微生物“碳泵”调控的固碳过程、机理和模型研究，明确了区域土壤有机碳的区域分布特征，证明了黄土高原微生物残体是土壤有机碳形成的重要来源，揭示了土壤有机碳形成的微生物途径（即微生物残体的续埋效应）在农田和草地占主要地位，而植物途径（即难分解植物残体的物理迁移）在森林中占主导地位，为区域土壤有机碳形成理论发展提供了重要理论支撑。

(3) 剖析了植被恢复背景下微生物多样性增加与土壤固碳的关联机制。在黄土高原进行了大尺度微生物多样性与群落结构调查，阐明了降水、pH 和微生物生物量碳等是植被恢复背景下土壤微生物地理分布格局的重要驱动因素；阐明了植被恢复过程中土壤有机碳解释了细菌多样性超过 70% 的变化，人工和自然植被恢复均可以通过增加土壤微生物多样性进而贡献土壤有机碳的积累。揭示了植被恢复背景下土壤微生物多样性增加与有机碳固定的机制。

(4) 揭示了黄土高原植被恢复改善土壤团聚体对有机碳的物理保护机制。阐明了黄土高原刺槐和柠条人工林恢复可以显著增加土壤团聚体稳定性和抗蚀性进而促进土壤有机碳的积累，植被对土壤团聚体稳定性和有机碳积累的贡献受纬度和降水条件控制；阐明了黄土高原植被恢复中土壤大团聚体“优先固碳”；揭示了植被恢复改善土壤团聚体稳定性、保护有机碳的物理机制，为碳中和背景下黄土高原土壤物理固碳机制发展提供了重要的科学依据。

(5) 建立和发展了黄土高原微生物“碳泵”调控的土壤有机碳形成理论体系

基于黄土高原土壤有机碳形成、转化与稳定机制这一核心科学问题，宏观上从植被恢复与土壤固碳潜力之间的权衡出发，微观上基于物理、化学和微生物学固碳原理探究植被恢复与有机碳固定作用机制，从植物叶片-枯落物-根系-土壤微生物连续体多个方面开展了深入研究；结合土壤“碳泵”核心调控理论，揭示了黄土高原土壤有机碳从哪里来、微生物如何介导其周转过程，以及土壤有机碳如何稳定和固存，丰富了微生物“碳泵”调控土壤碳循环机制，建立了黄土高原植物-土壤-微生物系统碳动态和形成理论体系。

主编的《黄土高原植被恢复的土壤环境效应》一书系统梳理了黄土高原植被恢复过程中土壤固碳以及环境效应，为黄土高原生态环境保护与高质量发展、水土保持碳汇估算提供重要理论依据。在 *Soil Biology and Biochemistry*、*Geoderma*、*Biology and Fertility of Soils* 等学术期刊上发表原创性成果，共发表 SCI 95 篇，他引 2858 次，其中 5 篇代表性论文(2013-2021) 被 SCI 总引 336 次，单篇最高引用 125 次，1 篇 ESI 高被引论文和 1 篇 ESI 热点论文。项目获授权发明专利 1 项，实用新型专利 2 项。丰富和发展了黄土高原植被恢复土壤微生物固碳理论的发展，在学术界产生了重要的影响。

#### **四、重要科学发现：**

##### **1. 研究思路**

基于黄土高原植被恢复土壤有机碳固定机制这一核心科学问题（图 1），宏观上从植被恢复与固碳潜力的权衡出发，微观上基于物理、化学和生物学理论深入土壤有机碳形成、转化与稳定过程，探究植被恢复与有机碳固定作用机制。具体从植物叶片-枯落物-根系-土壤微生物连续体多个方面开展了深入研究；结合土壤微生物“碳泵”核心调控理论，揭示了黄土高原土壤有机碳从哪里来、微生物如何介导其周转过程，以及土壤有机碳如何稳定和固存。研究结果丰富了土壤碳循环机制，建立了黄土高原植物-土壤-微生物系统碳动态理论体系。

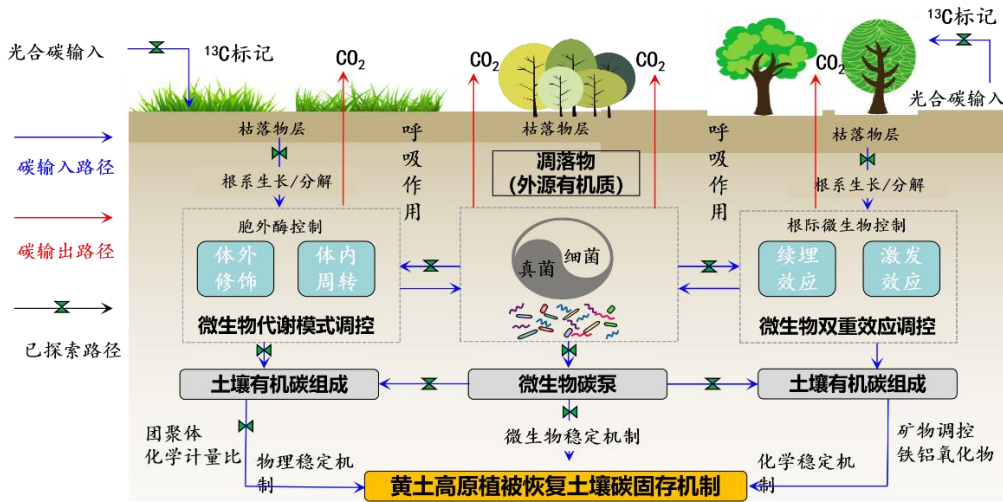


图 1 研究框架图

## 2. 重要科学发现

### (1) 阐明了黄土高原植物-土壤中碳的分配规律与养分限制策略

该研究运用  $^{13}\text{C}$  同位素原位标记技术，研究了封育草地新近光合碳在植物-土壤系统间的分配（图 2），估算了植物-土壤系统及净根际碳沉积量  $^{13}\text{C}$  分配比例；以土壤胞外酶计量为依据，回答了黄土高原草地恢复过程中土壤有机碳形态转化过程及微生物养分限制规律（图 3），丰富了黄土高原植被-土壤系统碳动态理论体系，研究成果被广泛引用。[支持该成果的代表性论著（2）和（3）]。

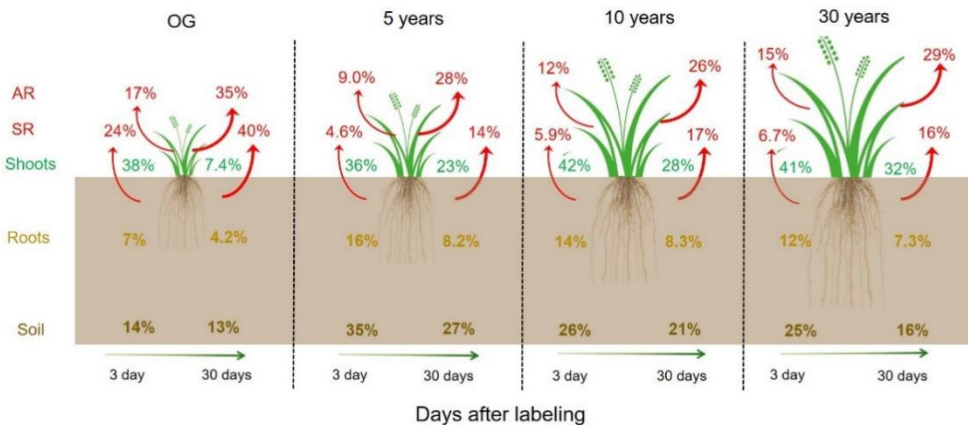


图 2 光合碳在植物-土壤系统间的分配

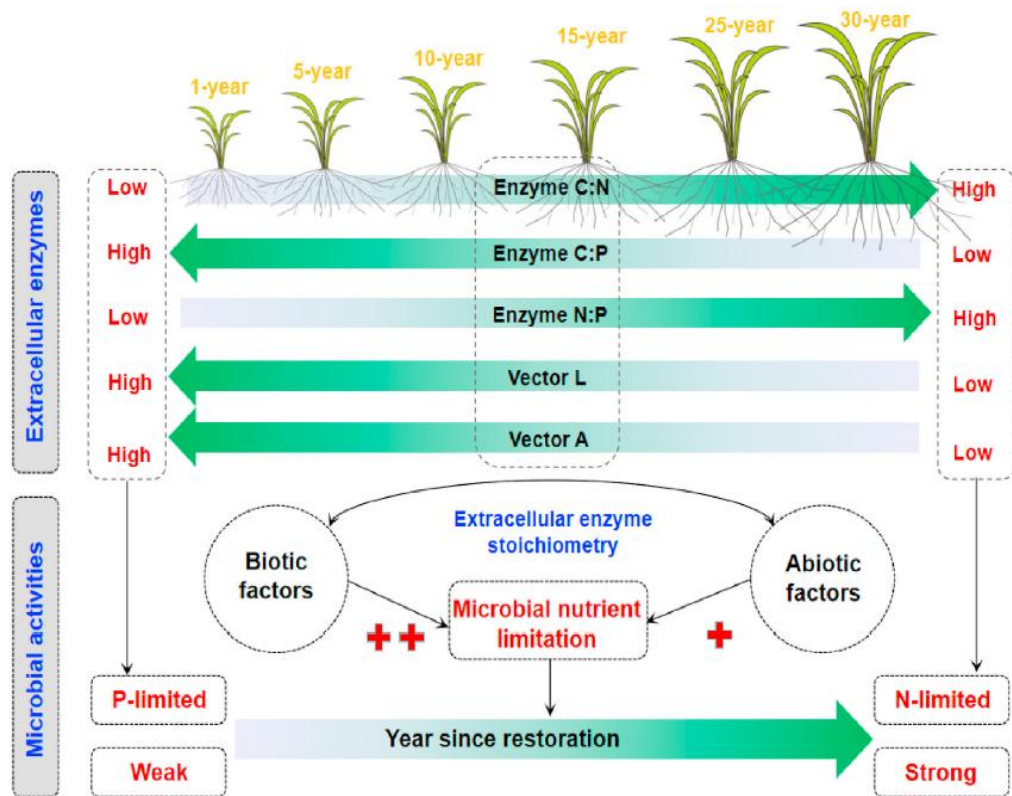


图3 黄土高原草地恢复过程中土壤微生物资源利用机制

退耕还林（草）工程显著提高了地上植被覆盖度及土壤碳含量，光合碳在植物-土壤-微生物系统中的分配对土壤碳汇变化具有重要影响，通过  $^{13}\text{C}$  原位脉冲标记，研究光合碳在植物-土壤系统中的分配，明确了植被类型、封育年限和标记后采样时间是影响光合碳分配的重要因素，约 10%–15% 光合碳被分配至地下，低于全球和全国范围内光合碳分配至地下的量，建立了黄土高原植物-土壤-微生物系统碳动态理论体系。

### (2) 明确了不同生态系统微生物残体是土壤有机碳形成的主要来源

在黄土高原指出了植被恢复过程中土壤微生物产物对有机碳积累贡献的区域分异特征及其调控因素，明确了不同生态系统微生物源（残体）对土壤有机碳积累过程的贡献比例（超过 50%）。宏观上从生态系统角度出发，微观上基于土壤生物化学手段揭示植物-微生物协同过程中植物源和微生物源产物贡献有机碳形成的机制，丰富了土壤微生物“碳泵”核心调控理论，为区域土壤有机碳形成理论发展提供了重要理论支撑。[支持该成果的代表性论著（1）为高被引论文]。

研究回答了全球尺度农田、草地和森林 0-20 cm 土壤微生物残体对有机碳的平均贡献分别为 51%、47% 和 35%（图 4），阐明了土壤有机碳形成的微生物途径（即微生物残体的续埋效应）在耕地和草地土壤占主要地位，而植物途径（即难分解植物残体的物理迁移）在森林中占主导地位。



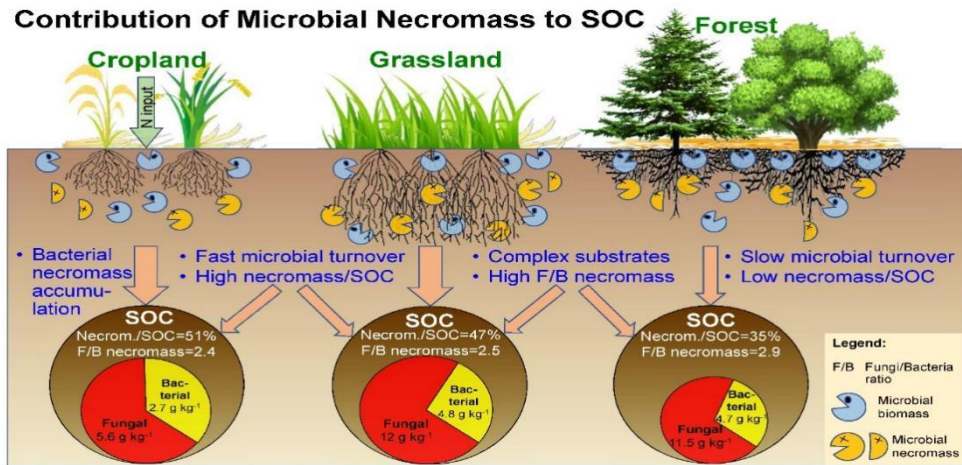


图 4 不同生态系统土壤微生物残体对有机碳的贡献

研究结果得到了德国亥姆霍兹生态研究中心首席科学家 Kästner Matthias, 德国哥廷根大学土壤学系 Yakov Kuzyakov 教授, 中科院植物所白永飞研究员, 美国印第安纳大学 Matthew E. Craig 博士的高度认可及引用。研究成果被 ESI 高被引论文收录, 并被 Science, Nature Communications, Global Change Biology 等国际顶级期刊多次引用。

### (3) 剖析了植被恢复背景下微生物多样性增加与土壤固碳的关联机制

在黄土高原进行了大尺度微生物多样性与群落结构调查, 阐明了降水、pH 和微生物生物量碳等是植被恢复背景下土壤微生物地理分布格局的重要驱动因素; 阐明了植被恢复过程中土壤有机碳解释了细菌多样性超过 70% 的变化, 人工和自然植被恢复均可以通过增加土壤微生物多样性进而贡献土壤有机碳的积累, 明晰了黄土高原植被恢复过程中土壤细菌多样性与土壤碳储量的关系 (图 5), 揭示了植被恢复背景下土壤微生物多样性增加与有机碳固定的机制。[支持该成果的代表性论著 (4)]。

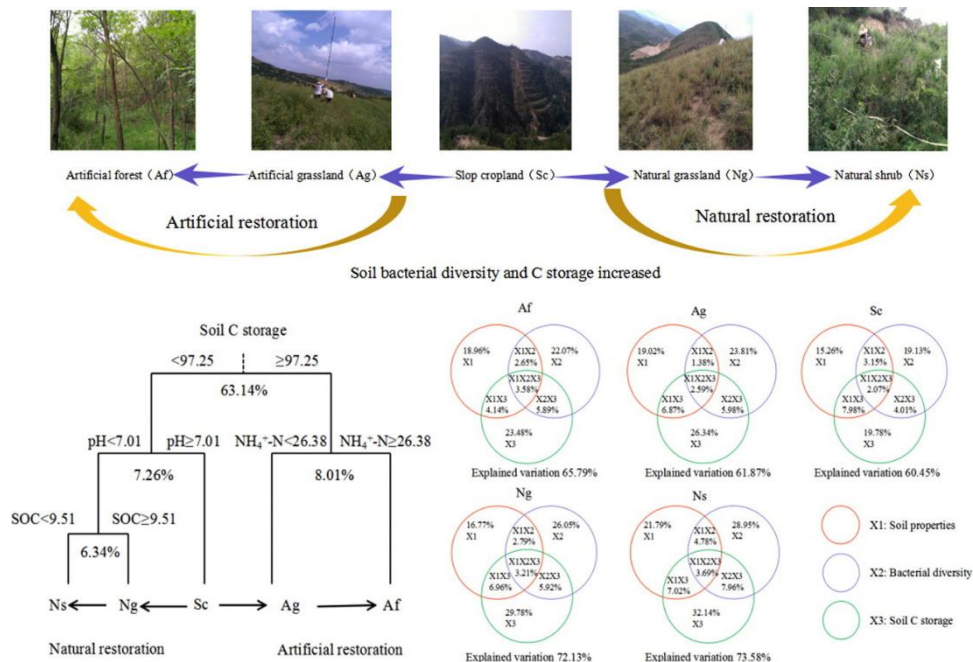


图 5 黄土高原土壤细菌多样性与土壤碳储量

#### (4) 揭示了黄土高原植被恢复改善土壤团聚体对有机碳的物理保护机制

提出了适合黄土高原土壤团聚体内游离态轻组分有机碳和团聚体内颗粒有机碳筛分的方法；阐明了黄土高原植被恢复中土壤大团聚体“优先固碳”；揭示了植被恢复改善土壤团聚体稳定性、保护有机碳的物理机制，为碳中和背景下黄土高原典型小流域植被恢复措施的水土保持效应评价提供了科学依据。[支持该成果的代表性论著（5）]。

此研究回答了黄土高原植被恢复过程中土壤有机碳形成的生态系统分异特征与积累过程，利用三库一级动力学模型对黄土高原典型小流域土壤活性、缓效、惰性有机碳进行定量分析，并揭示了流域尺度上土壤有机碳稳定性特征及其调控机制；采用超声波技术提出了评价土壤团聚体有机碳稳定性的新方法，此方法在国际处于领先地位。阐明了黄土高原刺槐和柠条人工林恢复可以显著增加土壤团聚体稳定性和抗蚀性进而促进土壤有机碳的积累，植被对土壤团聚体稳定性和有机碳积累的贡献受纬度和降水条件控制。研究结果被 *Soil Biology Biochemistry*、*Geoderma*、*Soil & Tillage Research*、*Catena*、*Land Degradation & Development*、*Plant and Soil* 等高质量 SCI 期刊多次引用。

#### (5) 建立和发展了黄土高原微生物“碳泵”调控的土壤有机碳形成理论体系

在黄土高原区域尺度上，利用同位素标记，生物标志物，基因组学等多重手段回答了植被恢复过程中土壤有机碳的来源，植物、凋落物、根系沉积对有机碳的贡献，并进一步研究了微生物源在不同生态系统中的贡献；从物理，微生物角度探究了碳如何周转与稳定，明确了团聚体稳定性的保护，光合碳在植物-土壤-根系间的分配，微生物残体的积累，固碳微生物贡献土壤有机碳形成和稳定过程。

主编的《黄土高原植被恢复的土壤环境效应研究》一书系统梳理了黄土高原植被恢复过程中土壤固碳以及环境效应，从土壤微生物多样性、团聚体稳定性和区域生态服务功能等产生的环境效应出发，将长期的观测数据、试验结果和已有的研究成果进行了归纳总结，为黄土高原生态环境保护与高质量发展、水土保持碳汇估算提供重要理论依据。参编的《侵蚀和干旱逆境下黄土高原水土资源时空过程及其调控》和《宁夏黄土丘陵区脆弱生态系统恢复及可持续管理》系统地梳理了黄土高原土壤物质组成、质量演变、碳库以及土壤微生物等的影响因素及驱动机制，就侵蚀与干旱条件下黄土高原水土资源时空过程与有效利用研究进行了论述；对林草植被水量平衡、结构体系优化、脆弱生态系统管理、生态环境对土地利用变化的响应进行了评价。

#### 4. 研究局限性

该项目通过大量的野外调查和室内实验，围绕黄土高原植被和土壤固碳过程，系统阐明了黄土高原植被恢复的固碳效应并揭示了植被修复的生态学机理；丰富了微生物碳泵调控土壤碳循环机制，建立了黄土高原植被恢复过程中植物-土壤-微生物系统碳动态及其环境调控理论体系。然而，人类活动和全球极端气候频发的影响具有不确定性，黄土高原植被恢复的固碳效应仍需要做大量的深入研究。目前尚需加强的研究如下：

(1) 土壤碳动态研究尚需进一步精确和细化：需要引入变量控制实验，进一步证明植物-土壤-微生物系统碳动态及其环境调控理论体系，由于黄土高原地域广阔，地形复杂、气候多变、极端事件频发、人为扰动剧烈。因此，未来需要引入一系列的模型和矫正参数，去除杂质化参数的影响，进一步精细化植物-土壤-微生物系统碳动态理论参数，从而建立完善的植物-土壤-微生物系统碳动态理论体系。

(2) 土壤系统碳动态的理论尚需在更大范围内进行验证和细化：在“双碳战略”和“黄河流域高质量发展”的重大战略背景下，植物-土壤-微生物系统碳动态及其环境调控理论体系的区域适应性，还需要更多的深入研究。需持续扩大全国范围内的野外调查和室内模拟实验，搜集和调整不同地区植物-土壤-微生物系统碳动态理论参数，将这种碳动态理论体系扩展至全国，建立适合不同生态系统可视化、可测量、可重复的植物-土壤-微生物系统碳动态理论体系，绘制植物-土壤-微生物系统碳汇平衡实现路径图。

### 五、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）

2022年10月8日，受西北农林科技大学委托，中国水土保持学会组织专家采用视频会议方式，评价了“黄土高原植被恢复的土壤有机碳固持机制”成果。专家组审阅了相关技术文件，听取了成果完成人汇报。经质询和讨论，形成评价意见如下：

1. 项目技术文件齐全，资料翔实，数据可靠，符合科技成果评价要求。
2. 主要成果如下：

(1) 揭示了黄土高原植被恢复过程中土壤有机碳形成的生态系统分异特征与积累过程，明确了土壤有机碳的分布特征与影响因素；

(2) 阐明了黄土高原植物-土壤中碳的分配规律及微生物养分限制特征，建立了黄土高原植物-土壤-微生物系统碳动态及其对环境因素的系统响应；

(3) 发现了黄土高原土壤固碳微生物的固碳代谢途径及其固碳潜力。探明了典型小流域生态恢复过程中的碳库时空变化特征。

该成果丰富了微生物“碳泵”调控土壤碳循环机制，为黄土高原地区生态系统服务评估和植被恢复模式的选择，提供了科学依据，可为黄河流域生态保护和高质量发展、国家“双碳”战略提供科技支撑。

综上，该项目成果总体达到国内领先水平，在土壤有机碳代谢与累积方面达到国际先进水平。

| 代表论著 | 标题/书名   | 被引次数 | 同行评价  |
|------|---|------|---|
| (1)  | Microbial necromass as the source of soil organic carbon in global ecosystems | 101  | 被 ESI 高被引论文收录，德国亥姆霍兹生态研究中心首席科学家 Kästner Matthias, 德国哥廷根大学土壤学系 Yakov Kuzyakov 教授，美国印第安纳大学 Matthew E. Craig 博士的高度认可 |

|     |   |     |   |
|-----|---|-----|---|
|     |   |     | 及引用。并被 Science, Nature Communications, Global Change Biology 等国际顶级期刊多次引用。                           |
| (2) | Soil extracellular enzyme stoichiometry reflects the shift from P- to N-limitation of microorganisms with grassland restoration | 65  | 这项研究对深入理解草地恢复过程中养分限制的转变意义重大；作者对草地恢复过程中养分循环特征的转变机制具有深刻见解。  |
| (3) | Newly assimilated carbon allocation in grassland communities under different grazing enclosure times                            | 7   | 专家认为在野外尺度上执行这种具有挑战性的 <sup>13</sup> C 标记所做的努力，特别是对不同树种；并评价这项工作无疑具有重大意义：该研究有助于更好地理解不同植被对土壤有机碳积累的调控机制。 |
| (4) | Testing association between soil bacterial diversity and soil carbon storage on the Loess Plateau                               | 38  | 研究探讨了土地利用方式过程中菌群与碳储量的确定性效应，提出土地利用格局变化中微生物优势菌群的转化特征，对黄土高原区相关研究具有重要的指导意义。                             |
| (5) | Revegetation as an efficient means of increasing soil aggregate stability on the Loess Plateau (China)                          | 125 | 是对黄土高原土壤团聚体物理稳定性评价方法的成功推广，得到了相关领域学者的广泛认可。   |
| (6) | 黄土高原植被恢复的土壤环境效应研究   | /   |   |
| (7) | 侵蚀和干旱逆境下黄土高原水土资源时空过程及其调控  | /   |   |
| (8) | 宁夏黄土丘陵区脆弱生态系统恢复及可持续管理   | /   |   |

六、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)

(1)题目: Microbial necromass as the source of soil organic carbon in global ecosystems



作者: Wang, Baorong; An, Shaoshan; Liang, Chao; Liu, Yang; Kuzyakov, Yakov

年限, 卷期号, 页码: SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY, 162 (108422)

(2)题目: Soil extracellular enzyme stoichiometry reflects the shift from P- to N-limitation of microorganisms with grassland restoration

作者: Yang, Yang; Liang, Chao; Wang, Yunqiang; Cheng, Huan; An, Shaoshan; Chang, Scott X

年限, 卷期号, 页码: SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY, 149 (107928)

(3)题目: Newly assimilated carbon allocation in grassland communities under different grazing enclosure times

作者: Bai, Xuejuan; Yang, Xuan; Zhang, Shumeng; An, Shaoshan

年限, 卷期号, 页码: BIOLOGY AND FERTILITY OF SOILS, 57(4): 563-574

(4)题目: Testing association between soil bacterial diversity and soil carbon storage on the Loess Plateau

作者: Yang, Yang; Dou, Yanxing; An, Shaoshan

年限, 卷期号, 页码: SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, 626(48-58)

(5)题目: Revegetation as an efficient means of increasing soil aggregate stability on the Loess Plateau (China)

作者: An, Shaoshan; Darboux, Frederic; Cheng, Man

年限, 卷期号, 页码: GEODERMA, 209(75-85)

(6)书名: 黄土高原植被恢复的土壤环境效应研究

作者: 安韶山; 黄懿梅; 朱兆龙; 焦峰.

年限, 卷期号: 科学出版社, 978-7-03-063614-0

(7)侵蚀和干旱逆境下黄土高原水土资源时空过程及其调控

作者: 刘文兆等

年限, 卷期号: 科学出版社 978-7-03-042828-8

(8)宁夏黄土丘陵区脆弱生态系统恢复及可持续管理

作者: 蔡进军, 许浩, 赵世伟, 董立国等

年限, 卷期号: 978-7-03-066283-5

## 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                                      |
|-----|----|---------|-----------|--|
| 安韶山 | 1  | 高级      | 西北农林科技大学  | 总体设计和组织实施  |
| 王宝荣 | 2  | 初级      | 西北农林科技大学  | 基于微生物生物标志物, 明晰残体碳贡献土壤有机碳形成的生态分异特征和调控机制<br>(1)(2) |
| 黄懿梅 | 3  | 高级      | 西北农林科技大学  | 采用基因组学和同位素标记方法, 明确了黄                             |

|     |   |     |          |   |
|-----|---|-----|----------|---|
|     |   |     |          | 土高原植被恢复过程中土壤-植被连续体中微生物参与的碳迁移分配规律                        |
| 朱兆龙 | 4 | 副高级 | 西北农林科技大学 | 对比不同团聚体稳定性评估方法, 明确其在黄土高原的适应性                            |
| 白雪娟 | 5 | 中级  | 河北师范大学   | 首次运用 13C 原位标记乔木/过牧/不同恢复年限生态系统中新进光合碳在植物-土壤系统中的分配比例(4)(5) |
| 薛志婧 | 6 | 中级  | 陕西师范大学   | 运用同位素失踪方法揭示“枯落物-土壤”表层有机碳转化特征, 明晰微生物对植物残体碳的截获和转化         |

## 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  | 为项目科研人员提供资金和硬件设备支持, 在成果推广和应用过程中, 发挥了重要组织协调、管理和落实的作用。利用云雾山 40 年草原实验基地, 在全国培养一批青年人才, 直接带动当地经济发展, 提升我国在相关领域的研究水平, 促进相关专业的发 |
| 河北师范大学   | 2  | 科研经费支持, 配合项目完成人白雪娟讲师相关项目的撰写, 修改及提交工作并提供实验上的人力支持。  |
| 陕西师范大学   | 3  | 提供同位素标记和示踪技术支持  |

## 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/项目名称                | 合作时间                  | 合作成果                                       | 证明材料    |
| 1          | 国家自然科学基金 | 安韶山, 黄懿梅                | 2008-01-01-2010-12-31 | 黄土丘陵区植被恢复过程中土壤微生物多样性演变 (40701095)          | 申请书和任务书 |
| 2          | 国家自然科学基金 | 安韶山, 黄懿梅                | 2010-01-01-2012-12-31 | 宁南山区植被恢复对土壤不同粒径团聚体中微生物群落分异特征的影响 (40971171) | 申请书与任务书 |
| 3          | 国家自然科学基金 | 安韶山, 黄懿梅, 程曼            | 2012-01-01-2015-12-31 | 黄土丘陵区枯落物对土壤微生物多样性及碳固定的影响机理 (41171226)      | 申请书与任务书 |
| 4          | 国家自然科学基金 | 安韶山, 黄懿梅, 朱兆龙, 王宝荣, 白雪娟 | 2016-01-01-2020-12-31 | 宁南山区植被恢复中根系生产力机器对有机碳贡献辨析 (41671280)        | 申请书与任务书 |
| 5          | 国家自然科学基金 | 朱兆龙, 安韶                 | 2018-01-01-           | 基于超声能量法研究凋落物分解                             | 申请书与    |

|    |                                  |                              |                           |   |         |
|----|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|---|---------|
|    | 科学基金                             | 山, 黄懿梅                       | 2021-12-31                | 与土壤团聚体作用机制<br>(41771317)                  | 任务书     |
| 6  | 国家自然科学基金                         | 安韶山, 黄懿梅, 朱兆龙, 王宝荣, 白雪娟      | 2019-01-01-<br>2021-12-31 | 基于生物标志物的“枯落物-土壤”表层界面土壤有机碳转化过程研究(41807060) | 申请书与任务书 |
| 7  | 国家自然科学基金                         | 黄懿梅, 安韶山, 白雪娟, 王宝荣           | 2019-01-01-<br>2022-12-31 | 黄土高原固碳微生物及其对土壤有机碳积累的贡献(4187071383)        | 申请书与任务书 |
| 8  | 国家“十一五”科技攻关重大项目                  | 安韶山, 黄懿梅, 朱兆龙, 王宝荣           | 2006-01-01-<br>2010-12-31 | “半干旱退化山区生态农业建设技术与示范”(2001BA606A-04)       | 申请书与任务书 |
| 9  | 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室团队方向项目       | 安韶山, 朱兆龙, 王宝荣                | 2016-01-01-<br>2020-12-31 | 黄土高原植被恢复中土壤有机碳固持及来源辨析                     | 申请书与任务书 |
| 10 | 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心十三五创新培育方向项目 | 安韶山, 朱兆龙, 王宝荣                | 2016-01-01-<br>2020-12-31 | 黄土高原生态修复的土壤服务功能评估及调控(A314021403-C6)       | 申请书与任务书 |
| 11 | 专著撰写                             | 安韶山, 黄懿梅, 朱兆龙, 王宝荣, 白雪娟, 薛致婧 | 2017-09-01-<br>2019-09-01 | 黄土高原植被恢复的土壤环境效应研究                         | 专著      |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

本项目系研究团队近 20 年来主持和参加国家自然科学基金、国家科技攻关、重点研发及地区项目的集结，西北农林科技大学安韶山研究员负责项目总体设计和组织实施；

土壤-植物连续体中碳的迁移分配策略主要由安韶山、白雪娟、薛志婧完成；

微生物残体贡献土壤有机碳积累的生态系统分异特征主要由安韶山、王宝荣完成；

黄土高原土壤微生物养分限制规律主要由王宝荣、安韶山完成；

土壤团聚体对有机碳的物理保护机制主要由安韶山、黄懿梅完成；

土壤团聚体稳定性特征及其调控机制主要由朱兆龙完成。

本项目涉及单位和人员较多，参与野外调查、测试分析的科研人员、研究生和本科生达几百人，几十名研究生参与了数据分析、论文撰写和成果展出，此处列入的代表性论文和合作完成人仅为成果的主要贡献者。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

翟梅枝

## 一、项目名称：

核桃优良新品种选育及高效栽培关键技术创新与应用

## 二、提名者：陕西省林业局

**提名意见：**核桃是我省重要经济树种，面积已超过 1000 万亩，但生产上缺乏产业结构调整的特异核桃优良品种和高效栽培关键技术，提升产业高质量发展。西北农林科技大学联合陕西省林业科技推广与国际项目管理中心和西安、商洛、安康和铜川等我省核桃产区林业职能部门，历经 16 年，针对陕西核桃产业结构调整和提质增效亟待解决的突出技术问题，通过优质抗逆新品种创制、防灾控害综合技术、低产园改造技术和标准化栽培技术集成与示范等的系统研究，选育出大果鲜食‘西林 3 号’、彩仁核桃‘安康紫仁’‘商洛紫玉’和萌芽晚的‘图拉尔’等 7 个新品种；创立了“硬枝长舌接+嫩枝大方块芽接”组合嫁接技术，提高了嫁接成活率和嫁接效率。首次明确了核桃脂肪酸形成机制和干旱胁迫等逆境响应的调控机制；集成创新了核桃产业优质高效栽培的关键技术，提出了“一心六化”核桃栽培管理新理念，并在我省陕南和渭北两大核桃产区的生产实践中示范推广应用。

项目将应用基础研究、技术研发和技术示范相结合，并在我省核桃产区生产实践中推广应用，推动了市场需求下的产业结构调整与栽培管理模式变革。系列关键技术 在商洛、渭南、宝鸡、安康、铜川、延安等核桃主产区大面积推广应用，取得了显著的社会、经济和生态效益，对促进陕西核桃产业高效、健康和可持续发展具有重要引领作用。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖 一 等奖。

## 三、项目简介：

核桃是世界著名四大干果之一，中国在面积和产量上位居世界第一。陕西是我国核桃主产区，栽培历史悠久。截止 2018 年全省经济林面积 2832 万亩，其中核桃面积 1164.7 万亩，成为陕西“第一经济林果”。项目实施前，缺乏更新换代新品种和高效栽培关键技术一直是核桃产业高质量发展的瓶颈。为此，项目针对我省核桃产业发展的关键问题，基于新品种选育和高效栽培关键技术创新，聚焦核桃产业发展新模式，解决核桃更新换代新品种和高效栽培关键技术问题，实现品种和关键技术的双突破。

(1) 核桃新品种选育 选育出鲜食核桃‘西林 3 号’、彩仁核桃‘安康紫仁核桃’‘商洛紫玉’和萌芽晚的‘图拉尔’等 7 个新品种，填补了我国无高档大果型礼品鲜食核桃、我省无自主知识产权彩仁核桃和无避晚霜核桃品种的空白，丰富了核桃种质资源，为核桃产业结构调整 and 满足不同消费者需求提供了创新性新品种。

(2) 核桃低产低效林改造技术方面 创立了“硬枝长舌接+嫩枝大方块芽接”组合嫁接技术，优化了不同树龄砧木对嫁接方法的响应，延长了嫁接时间，提高了嫁接成活率（98%以上）和嫁接效率（8~10 倍），提升了核桃低产低效林改造和混杂园提纯的速度，仅此技术提高良种率 30%以上。

(3) 核桃抗逆调控和脂肪酸形成的分子机制方面 ①基于核桃基因组信息、不同逆境转录组数据，鉴定核桃干旱、高温等胁迫响应相关基因，阐明了 WRKY、GRAS 等在逆境响应中的调控机制，明确了 GST、V-ATPase 等重要酶在逆境响应中的积极作用。②通过分析核桃油脂合成相关的 miRNA 和 mRNA 调控网络序列，明确了与油脂合成密切相关的 8 个通路，确定了 8 个已知 miRNA 和 9 个新 miRNA 调节 28 个基因参与脂肪酸代谢和脂质合成。发现了 4 个促进脂肪积累的关键 miRNA，首次在分子水平上阐明了核桃种仁脂肪及脂肪酸形成的机制。这些研究结果为优质基因功能验证，转基因技术创制优质抗逆核桃新种质提供了全新途径。

(4) 核桃优质高效栽培关键技术应用方面 集成了“四大一膜”栽植技术、“新型防冻剂+熏烟+水肥管理”霜冻害综合防控技术、“新型注干剂+微生物制剂”病虫害综合防治技术、“化肥+有机肥+生物菌肥”配施技术等产业优质高效关键技术，提出了“一心六化”核桃栽培管理新理念，并在主产区生产实践中示范应用，取得了良好的社会、生态和经济效益，助力了陕西脱贫攻坚和乡村振兴。

项目选育出优良新品种 7 个；发表论文 128 篇，出版专著 5 部；申请国家发明专利 4 项；制定陕西省地方标准 7 项；培养毕业研究生 98 名。近三年来，项目成果在陕西商洛、安康、西安、宝鸡等核桃主产区共推广 332.91 万亩，新增总产值（新增销售额）39.50 亿元，新增纯收入（新增利润）13.17 亿元，经济效益显著。核桃良种和优质高效关键技术的辐射推广应用，对陕西核桃产业优质高效发展具有重要意义。

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

### 1. 科技成果评价

2019年7月，陕西省科技厅组织专家对该项目成果进行了验收和评价，主要结论如下：

(1) 针对陕西核桃产业发展中存在的突出问题，在全省核桃主产县（区）开展核桃优质抗逆品种选育研究、核桃防灾控害综合技术与示范、核桃低产园改造技术研究和核桃标准化栽培技术集成与示范四个课题的相关技术与试验示范，初步解决了我省核桃产业发展的关键技术问题。

(2) 选育出‘西林3号’‘安康紫仁核桃’‘安康串核桃’‘鲁果1号’和‘鲁果11号’等5个核桃优质抗逆新品种，制订了核桃优质抗逆新品种丰产栽培技术规程；确定了陕西不同区域核桃主栽品种。

(3) 开展了核桃标准化建园、整形修剪、肥水管理、间作套种等四大类12项技术试验研究，提出了渭北、关中、秦巴地区低产园类型和适宜的改造技术，核桃冻害级别划分标准，研制出核桃防冻剂Ⅱ号、Ⅰ号，筛选出核桃腐烂病防治药剂，摸清了核桃举肢蛾成灾规律，提出了以树干注药为主的综合防治技术方案。

#### 核桃脂肪酸形成和抗逆分子机制研究成果

代表性成果为 *International Journal of Molecular Sciences*、*Ecotoxicology and Environmental Safety*、*BMC Genomics*、*Physiologia Plantarum*、*BMC Plant Biology* 和 *Plant Cell Reports* 上发表的6篇研究论文。(1) 首次明确了与油脂合成密切相关的8个通路，确定了8个已知 miRNAs 和9个新 miRNAs 调节28个基因参与脂肪酸代谢和脂质合成；其中，jre-miRn105、jre-miRn434、jre-miR477d、jre-miR156a.2 是调控核桃脂肪酸合成的关键 miRNA，Jre-miRn411 和 jre-miR399a.1 与油脂合成密切相关。(2) 明确了 JrWRKY7 与 JrERF2-2 互作调控 GST 代谢增强抗旱的分子机制及 JrGRAS2 调控异常温度响应的功能；确定了核桃抗旱、抗异常温度主要通过调控活性氧分子信号途径实现。这些研究为核桃优良品种选育、抗逆优异基因挖掘及功能机制研究奠定了基础。论文先后被 *Plant Physiology*、*Frontiers in Plant Science*、*Planta*、*Foods* 等国际高水平期刊论文引用。

2022年9月18日，陕西省林木和草审定委员会组织专家对该项目选育的‘图拉尔’核桃良种进行了现场审定，主要结论如下：

(1) 该品种属晚熟品种，具有较强的避晚霜特性，树势较旺，树姿开张，分枝力强；果实短圆锥形，缝合线紧密，干果平均重 12.68 g，壳厚 1.05 mm，易取整仁或半仁，出仁率 51.50%，仁色浅，风味甜香。

(2) 该品种抗逆性强，未发现明显病虫害。

专家组一致认为，该品种特异性明显，丰产性好，适宜陕西核桃产区栽培。

## 2. 成果的创新性与技术先进性比较

(1) 选育出鲜食核桃‘西林 3 号’，彩仁核桃‘安康紫仁’‘商洛紫玉’和萌芽晚的‘图拉尔’核桃良种，填补了我国无高档大果型礼品鲜食核桃、我省无自主知识产权彩仁核桃和避晚霜核桃良种的空白，为核桃产业结构调整 and 满足不同消费者需求提供了创新性新品种。

(2) 创立了“硬枝长舌接+嫩枝大方块芽接”组合嫁接技术，优化了嫁接方法对不同树龄砧木的响应，延长了嫁接时间，提高了嫁接成活率和嫁接效率，提升了核桃低产林改造和混杂园提纯的速度，仅此技术提高良种率 30%以上。

(3) 首次明确了核桃逆境响应调控和脂肪酸形成的分子机制，为优质基因功能验证、转基因技术创制优质、抗逆、特色核桃种质提供了新途径。

(4) 研究集成了核桃产业优质高效栽培关键技术，提出了“一心六化”核桃管理新理念，并在我省陕南和渭北两大核桃产区的生产实践中示范推广应用，取得了良好的社会、生态和经济效益，助力了陕西脱贫攻坚和乡村振兴。

## 五、应用情况

本项目取得的技术成果主要通过市县林业局、各级林业技术推广机构、研究机构联合核桃种植企业、专业合作社和核桃生产大户等进行推广应用。

2015 年-2022 年，‘西林 3 号’等核桃优良品种、核桃优质高效栽培关键技术先后在陕西商洛、渭南、宝鸡、延安等核桃主产县区广泛推广应用。近三年（2020 年-2022 年）累计推广应用 332.91 万亩，实现新增总产值（新增销售额）39.50 亿元，新增纯收入（新增利润）13.17 亿元，经济效益十分显著。相关技术辐射至全省 67 个核桃种植县区，对陕西核桃产业高质量发展具有重要推动作用。

## 六、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，限 10 条）

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
|----|--------|----------|--------|-----|------|------|-----|-----|
|----|--------|----------|--------|-----|------|------|-----|-----|



|   |        |  |    |                        |               |   |                         |  |
|---|--------|--|----|------------------------|---------------|---|-------------------------|--|
| 1 | 新品种    | ‘西林3号’核桃良种   | 中国 | 陕 S-SV-JR-001-2012     | 2013年3月11日    | (陕 S)第 96 号                                 | 西北农林科技大学                | 翟梅枝、高书宝、彭少兵、毛富春、贾彩霞、薄颖生、高绍棠  |
| 2 | 新品种    | ‘安康紫仁核桃’良种   | 中国 | 陕 S-SC-JRAZA-011-2013  | 2014年2月18日    | (2013)第 1 号                                 | 安康市林业技术中心               | 陈余朝、曹席轶、宋凡、赵宝鑫、岳黎、胡茂毅、罗云雪、陈厚秀、刘桂香、张华、肖辉、张言状、刘飞、张小康                       |
| 3 | 新品种    | ‘商洛紫玉’核桃良种   | 中国 | 陕 S-SC-JS-001-2020     | 2021年10月27日   | (2020)第 001 号                               | 商洛市林业科学研究所、商南县林业综合服务中心  | 陈新乐、黄开宏、孟水平、胡刁、张治有、曹芙蓉、李忠锋、房堂来、曲佳楠、王家旺、旺晓波、郭安柱、何婷、舒淑珍、韩玉英、王根宪、韩录林、王锋、赵国群 |
| 4 | 发明专利   | 核桃晚霜防冻剂  | 中国 | 201310708598.5         | 2016年3月9日     | 1896872                                     | 西北农林科技大学                | 王敦、冯纪年、周斌、张金龙、陈林   |
| 5 | 发明专利   | 一株抗核桃溃疡病的核桃内生菌菌株及其应用   | 中国 | ZL 2013 10628960.8     | 2016年6月1日     | 2097305                                     | 西北农林科技大学                | 唐光辉、余仲东、王娇莉、王敦、冯纪年   |
| 6 | 标准     | 核桃丰产栽培技术规范综合体  | 中国 | 2016-08-20 发布          | 2016-09-01 实施 | DB6110/T 023-032-2016                       | 商洛市核桃研究所                | 王根宪、陈新乐、李忠峰、李孟军、梁英、张治有、胡刁、舒淑珍、王博、曲佳楠、何婷                                  |
| 7 | 标准     | 核桃病虫害综合防控技术规范  | 中国 | 2020-02-28 发布          | 2020-03-28 实施 | DB61/T 1320-2020                            | 陕西省森林病虫害防治检疫总站、西北农林科技大学 | 李莉、唐光辉、陈宝林、李建康、高智辉、陈刚、郭丽洁、朱斌   |
| 8 | 专著     | 优质核桃高效栽培关键技术   | 中国 | ISBN 978-7-80141-694-0 | 2010年10月      |   | 台海出版社                   | 翟梅枝  |
| 9 | SCI 论文 | Integrated Analysis of Seed microRNA and mRNA Transcriptome Reveals Important Functional Genes and microRNA-Targets in the Process of Walnut ( <i>Juglans regia</i> ) Seed Oil Accumula- | 瑞士 | 2020,(21): 9093        | 2020年11月      | International Journal of Molecular Sciences | 西北农林科技大学                | 赵昕驰、杨桂燕、刘小强、余仲东、彭少兵  |

|    |           |  |    |                      |          |                    |          |                         |
|----|-----------|--|----|----------------------|----------|--------------------|----------|-------------------------|
|    |           | tion   |    |                      |          |                    |          |                         |
| 10 | SCI<br>论文 | In planta characterization of a tau class glutathione S-transferase gene from <i>Juglans regia</i> ( <i>JrGSTTaul</i> ) involved in chilling tolerance | 德国 | 2016, 35(3): 681-692 | 2015年12月 | Plant Cell Reports | 西北农林科技大学 | 杨桂燕、徐正刚、彭少兵、孙宇栋、贾彩霞、翟梅枝 |

七、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)

#### 八、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   |
|-----|----|-----------|--------------------|---|
| 翟梅枝 | 1  | 教授        | 西北农林科技大学           | 项目负责人, 负责完成‘西林3号’鲜食核桃选育审定, 创建了核桃栽培新模式及低产林改造新技术, 并对栽培关键技术集成示范应用。课题1总体设计与方案制订, 完成技术总结与工作总结。 |
| 王锐  | 2  | 副主任/教授级高工 | 陕西省林业科技推广与国际项目管理中心 | 提出“一心六化”关键技术管理新理念, 并在主产区示范推广应用; 负责课题3试验布设, 技术标准制订, 完成技术总结与工作总结, 协助项目总体设计与方案制订。            |
| 王敦  | 3  | 教授        | 西北农林科技大学           | 作为第一完成人申报并获授权国家发明专利2件, 参与授权发明专利1件。协助负责课题2总体方案设计和实施, 负责核桃霜冻害和病虫害防控。完成技术报告和工作总结。            |
| 王根究 | 4  | 教授级高工     | 商洛市林业科学研究所         | 负责核桃高接换优技术结题总结以及核桃配方专用肥与精准施肥的研究, 并在主产区推广应用。   |
| 唐光辉 | 5  | 教授        | 西北农林科技大学           | 作为第一完成人申报并获授权国家专利3件。协助负责课题2总体方案设计和实施, 负责核桃病虫害防控技术研究。                                      |
| 张治有 | 6  | 副所长/高级工程师 | 商洛市林业科学研究所         | 负责核桃低产幼树高接改造示范推广、核桃提质增效关键技术示范、核桃新品种选育等方面工作在商洛实施, 参与制定地方不转1项。                              |
| 彭少兵 | 7  | 研究员       | 西北农林科技大学           | 鉴定核桃油脂合成相关的 miRNA 和 mRNA 调控网络序列及关键调控通路, 首次在分子水平上阐明了核桃种仁脂肪及脂肪酸形成的机制, 并在核桃高温响应调控机制上取得了突破。   |

|     |    |       |                    |   |
|-----|----|-------|--------------------|---|
| 杨桂燕 | 8  | 副教授   | 西北农林科技大学           | 鉴定核桃抗逆关键基因，阐明 WRKY 与 ERF 互作调控 GST 酶活性增强核桃抗旱、GRAS 转录因子调控异常温度耐受性等的分子调控机制，为核桃抗逆优异种质创制提供了新思路。 |
| 陈余朝 | 9  | 教授级高工 | 安康市林业技术推广中心        | 选育‘安康紫仁’和‘串核桃’2 个良种，参与核桃地方标准制定、技术指导培训和技术示范等工作。  |
| 刘朝斌 | 10 | 副教授   | 西北农林科技大学           | 参与选育新品种，并参与陇县、宜君县和黄龙县等主栽品种的选择和推广应用。在渭北产区开展优质高效关键技术示范推广和应用。                                |
| 杨红军 | 11 | 工程师   | 西安市林业技术推广中心        | 参与选育 2 个新品种、制定地方标准 2 项；并在蓝田县、周至县和黄龙县核桃主产区推广应用。  |
| 李红娟 | 12 | 工程师   | 陕西省林业科技推广与国际项目管理中心 | 参与课题 4 核桃标准化栽培技术集成与示范的实施、材料收集、技术报告撰写，发表论文 1 篇。  |
| 刘培伟 | 13 | 工程师   | 宜君县核桃产业发展中心        | 参与课题 1 和课题 2。负责课题 1 在宜君进行品种区域比较试验。负责课题 2 在基地实施的核桃霜冻害防控试验。作为主要起草人制定陕西地方标准 1 项。             |
| 胡 刁 | 14 | 高级工程师 | 商洛市林业科学研究所         | 参与选育 1 个新品种，参与课题 1 核桃优质抗逆品种选育的材料收集等工作，发表论文 1 篇。   |

## 九、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 | 第一 | <p>作为项目的负责单位，主要贡献如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 选育鲜食核桃新品种‘西林 3 号’，并通过国家林业推广项目进行推广应用，项目的实施为我国核桃产业结构调整、转型升级及鲜食核桃产业提质增效发挥了重要的引领作用，有效增加产区群众收入，经济、社会、生态效益显著。</li> <li>2. 创立了“硬枝长舌接+嫩枝大方块芽接”组合嫁接技术，提高了嫁接成活率和嫁接效率，提升了核桃低产林改造和混杂园提纯的速度。</li> <li>3. 明确了我省核桃主要病虫害发生规律和霜冻害发生情况，研发出具有自主知识产权的核桃霜冻害预防药剂和病虫害综合防控技术一套。申请发明专利 4 项，完成的部分科技成果获陕西省林业局林业科技成果一等奖。</li> <li>4. 首次明确了与油脂合成密切相关的 8 个通路，确定了 8 个已知 miRNAs 和 9 个新 miRNAs 调节 28 个基因参与脂肪酸代谢和脂质合成。鉴定获得干旱、高温等逆境响应相关基因近 30 条，揭示了 JrWRKY7 与 JrERF2-2 互作调控 GST 代谢增强抗旱的分子机制及 JrGRAS2 调控异常温度响应的调控机制。突破核桃幼胚、茎段组培技术瓶颈，创新核桃遗传转化体系，为优异种质创制提供了新途径。</li> <li>5. 发表研究论文 128 篇，其中 SCI 收录 26 篇，出版专著 3 部，发明专利 4 件，地方标准 1 项，培养毕业研究生 98 名。</li> </ol> |

|                    |    |   |
|--------------------|----|---|
| 陕西省林业科技推广与国际项目管理中心 | 第二 | <p>作为项目的主要参加单位，主要贡献如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 开展核桃标准化建园、规范化管理等技术研究集成，创新建立了陕西核桃栽培技术体系，出版科普专著 1 部，完成的部分科技成果获陕西省林业厅技术推广成果一等奖。</li> <li>2. 组织实施了项目技术成果在商洛、宝鸡、渭南等核桃栽培区的应用推广，效益显著。为陕西核桃产业发展培养了一批技术骨干和乡土人才，提高了核桃从业人员的科技素质，为推动我省核桃产业高质量发展做出了积极贡献。</li> </ol>                       |
| 商洛市林业科学研究所         | 第三 | <p>作为项目的参加单位，主要贡献如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 制定标准《核桃丰产栽培技术规范综合体》，部分成果获陕西省林业局特等奖、一等奖各 1 项，地市级二等奖 2 项。</li> <li>2. 参与核桃品种选育研究，协助进行区域比较试验；围绕核桃各个生产环节，开展系列化试验研究、标准化的生产技术示范，</li> <li>3. 大力推广核桃低产核桃高接改造、防灾控害、科学施肥、简约化修剪及产业化开发等提质增效关键技术，促进了核桃产业高质量发展，助推了商洛产区脱贫攻坚和乡村振兴。</li> </ol> |
| 安康市林业技术推广中心        | 第四 | <p>作为项目参加单位，主要贡献如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 选育出核桃新品种 2 个，新品种推广对核桃产业结构调整、转型升级具有重要的引领作用，同时满足不同消费者需求，增加产区群众收入，经济、社会、生态效益显著。</li> <li>2. 参与核桃良种选育及丰产栽培技术示范推广，制定“核桃标准综合体”地方标准等。</li> </ol>   |
| 西安市林业技术推广中心        | 第五 | <p>作为项目的参加单位，主要贡献如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 引进、选育核桃新品种 2 个，通过新品种示范应用，促进产业结构调整，增加产区群众收入，在脱贫攻坚中发挥了重要作用。</li> <li>2. 参与核桃良种区域试验及丰产栽培关键技术示范推广，制订地方标准 2 项。</li> </ol>   |
| 宜君县核桃产业发展中心        | 第六 | <p>作为项目的参加单位，主要贡献如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 制定标准《地理标志产品 宜君核桃》，部分成果获陕西省林业厅林业技术推广二等奖。</li> <li>2. 参与核桃品种选育研究，协助进行区域比较试验。</li> <li>3. 负责课题 2 在宜君进行的核桃防灾控害试验研究。</li> </ol>   |

## 十、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          | 共同成果 | 王 锐/第二   | 2012.01-2019.12 | 核桃高效栽培关键技术研究与示范<br>(2019) | 验收证书<br>验证 字[2018]<br>第 18 号 |
| 2          | 共同成果 | 王 敦/第三   | 2012.01-2019.12 | 核桃高效栽培关键技术研究与示范<br>(2019) | 验收证书<br>验证 字[2018]<br>第 18 号 |

|    |          |         |                 |                                  |                                     |
|----|----------|---------|-----------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 3  | 共同成果     | 王根宪/第四  | 2012.01-2019.12 | 核桃高效栽培关键技术研究与示范<br>(2019)        | 验收证书<br>验证字[2018]<br>第18号           |
| 4  | 共同成果     | 唐光辉/第五  | 2012.01-2019.12 | 核桃高效栽培关键技术研究与示范<br>(2019)        | 验收证书<br>验证字[2018]<br>第18号           |
| 5  | 共同成果     | 张治有/第六  | 2006.01-2021.12 | 核桃优质抗逆品种选育<br>(2019)             | 验收证书<br>验证字[2018]<br>第18-1号         |
| 6  | 品种、论文、成果 | 彭少兵/第七  | 2006.01-2019.12 | 核桃优质抗逆品种选育<br>(2019)             | 验收证书<br>验证字[2018]<br>第18-1号         |
| 7  | 论文、成果    | 杨桂燕/第八  | 2010.01-2021.12 | SCI论文<br>核桃优质抗逆品种选育<br>(2019)    | 检索报告<br>验收证书<br>验证字[2018]<br>第18-1号 |
| 8  | 共同成果     | 陈余朝/第九  | 2012.01-2019.12 | 核桃优质抗逆品种选育<br>(2019)             | 验收证书<br>验证字[2018]<br>第18-1号         |
| 9  | 共同成果     | 刘朝斌/第十  | 2012.01-2019.12 | 核桃低产园综合改造技术研究<br>研究与示范<br>(2019) | 验收证书<br>验证字[2018]<br>第18-3号         |
| 10 | 共同成果     | 杨红军/第十一 | 2012.01-2019.12 | 核桃优质抗逆品种选育<br>(2019)             | 验收证书<br>验证字[2018]<br>第18-1号         |
| 11 | 共同成果     | 李红娟/第十二 | 2012.01-2019.12 | 核桃高效栽培关键技术研究与示范<br>(2019)        | 验收证书<br>验证字[2018]<br>第18号           |
| 12 | 共同成果     | 刘培伟/第十三 | 2012.01-2019.12 | 核桃高效栽培关键技术研究与示范<br>(2019)        | 验收证书<br>验证字[2018]<br>第18号           |
| 13 | 论文、品种    | 胡刁/第十四  | 2013.09-2021.12 | 公开发表论文<br>审定良种                   | 论文首页<br>良种证书                        |

#### 完成人合作关系说明（限 1000 字）

翟梅枝、王锐、王敦、王根宪、唐光辉、张治有、彭少兵、杨桂燕、陈余朝、刘朝斌、杨红军、李红娟、刘培伟和胡刁等项目完成人来自西北农林科技大学、陕西省林业科技推广与国际项目管理中心、商洛市林业科学研究所、安康市林业技术推广中心、西安市林业技术推广中心和宜君县核桃产业发展中心等单位，大家分工协作、联合攻关，共同参与并完成了陕西省科技厅重大专项“核桃高效栽培关键技术研究示范”项目和“核桃标准化栽培技术集成与示范”、“核桃优质抗逆品种选育”、“核桃防灾控害综合技术研究示范”、“核桃低产园改造技术研究”等课题。针对陕西核桃产业发展中存在的系列技术问题进行了深入研究，选育出‘西林3号’、‘图拉尔’、‘安康紫仁核桃’、‘商洛紫玉’等7个良种，共同发表研究论文，并创新了多项核桃优质高效栽培和病虫害防控关键技术，并将其集成示范应用。

#### 1. 论文合作

翟梅枝与杨桂燕在核桃抗逆分子机制等应用基础研究方面，共同在 *Ecotoxicology and Environmental Safety*、*Physiologia Plantarum*、*BMC Plant Biology* 和 *Plant Cell Reports* 等期刊上发表多篇研究论文。形成了论文合作关系。

翟梅枝与胡刁在商洛核桃主要病虫害及其防治对策方面，共同在陕西林业科技期刊上发表研究论文，形成了论文合作关系。

#### 2. 合作立项、共同成果

翟梅枝与王锐、王敦、王根宪、唐光辉、张治有、彭少兵、陈余朝、刘朝斌、杨红军、李红娟和刘培伟等完成的陕西省科技统筹重点计划项目“核桃高效栽培关键技术研究示范”（2012KJZD02-01），共同形成合作立项和共同成果关系。

翟梅枝与彭少兵等完成国家林业公益性行业专项项目“保健功能性核桃产业化开发关键技术研究”（20100427）和国家林业重点推广项目“核桃低产低效林改造及丰产栽培技术示范与推广”（[2012]70号）；与杨桂燕等完成“鲜食核桃新品种‘西林3号’优质丰产栽培技术示范与推广”（[2016]47号），形成合作立项和共同成果关系。

#### 3. 共同知识产权

翟梅枝与彭少兵等共同完成‘西林3号’和‘图拉尔’良种审定，形成了共同知识产权关系。张治有与胡刁同为商洛市林业科学研究所的科技人员，共同完成审定了‘商洛紫玉’核桃良种，形成了共同知识产权关系。

#### 4. 共同成果

（1）张治有和胡刁同属商洛市林业科学研究所的科技人员，合作完成的“商洛核桃提质增效关键技术示范”2020年获得陕西省林业局一等奖，形成了共同获奖关系。

（2）王锐、李红娟共同完成“渭北东部核桃优质丰产栽培技术示范与推广”项目，并获省林业厅技术推广成果一等奖，形成了共同成果获奖关系。

# 2023 年度陕西省科学技术奖提名公示内容

张勇

## 一、项目名称：

甜瓜优质多抗种质创制与农大甜系列新品种选育及应用

## 二、提名者：

杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**推荐意见：**我单位认真阅读了该成果推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目内容符合陕西省科学技术奖的填写要求，按照要求，我单位对该成果进行公示。该成果创建了甜瓜优质性评价、高糖育种、脆肉质地育种、白粉病抗病育种、耐热性育种、单性花育种、四倍体育种等七项育种技术，提高了优质多抗甜瓜新品种选育效率；发掘出 M107、M421、M651 等优质多抗材料 25 份，创制出聚合优质、抗逆和抗蔓枯病、霜霉病、白粉病等多个性状、配合力高的核心自交系 24 份，为优质多抗甜瓜新品种选育奠定了材料基础；利用创制的核心自交系，选育出农大甜 1 号、农大甜 2 号、农大甜 5 号、农大甜 7 号、农大甜 8 号、农大甜 9 号、农大甜 10 号、多甜 1 号等 8 个优质多抗丰产特色甜瓜品种，满足了不同地区甜瓜产业对品种的需求。项目获国家发明专利 2 项，选育甜瓜新品种 8 个，其中国家鉴定登记品种 6 个，省级登记 2 个；发表论文 36 篇，其中 SCI 收录期刊论文 4 篇。项目成果累计推广 95.6 万亩，2020-2022 年推广 37.8 万亩，新增利润 8.38 亿元，推动了甜瓜产业的可持续发展。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

## 三、项目简介：

甜瓜是陕西省重要的特色经济作物，在国内外享有盛名，年均播种面积 2.2 万  $\text{hm}^2$ ，已成为区域农业经济发展的主打产业，在打赢脱贫攻坚战和实施乡村振兴战略中发挥了重要作用。然而，原有品种商品品质欠佳和复合抗病性差等问题严重影响了甜瓜的产量、品质和收益。针对上述问题，该项目利用现代育种技术改良和拓宽甜瓜遗传背景，创制优质、多抗的甜瓜种质材料，选育出 8 个优质、多抗、丰产的甜瓜新品种并大面积推广应用。取得创新性成果如下：

### **1. 创建了 7 项育种技术，提高了优质多抗甜瓜种质鉴定和新品种选育效率。**

率先阐明了甜瓜雌单性花型遗传规律，开发了甜瓜单性花鉴定分子标记，开创了雌单性系在甜瓜三交种中的应用，充分发挥了多亲杂交优势，实现了免去雄杂交，破解了甜瓜杂交制种成本难题。探明了甜瓜果实糖含量遗传规律，建立了甜瓜高糖优质性育种的指导性策略。发现了软肉和脆肉形成机理，创新了果肉质地鉴定方法，提高了脆肉种质筛选效率。创建了甜瓜四倍体高效诱导体系，明晰了薄皮、厚皮及网纹不同类型甜瓜四倍体特性变化，加速了多倍体甜瓜品种选育进程。首次探明了陕西省甜瓜白粉病菌为生理小种 2F，阐明了白粉病抗性遗传规律，研发了白粉病抗性鉴定技术；创新了基于隶属函数的甜瓜耐热性评价技术，提高了抗病抗逆种质筛选和品种选育效率。

### **2. 发掘出优异种质 25 份，创制核心自交系 24 份，为优质多抗甜瓜品种选育奠定了材料基础。**

收集保存并系统评价了 220 份从国内外收集的甜瓜种质，丰富了我国甜瓜种质资源库；发掘出 M107、M421、M651 等优质多抗材料 25 份，其中，中心糖含量 17.0% 以上的材料 5 份，高抗 3 种病害的材料 7 份，强耐热材料 4 份，极脆肉材料 7 份，为优质多抗育种提供了关键种质基础。以挖掘的优异种质为基础，通过多亲本杂交或化学诱变，创制出聚合优质、耐热和抗蔓枯病、霜霉病、白粉病等多个性状、配合力高的核心自交系 24 个，攻克了优质和多抗难以聚合的技术难题。其中，中心糖含量 17.0% 以上的材料 7 份，抗三种病害的材料 4 份，抗两种病害的材料 17 份，强耐热 6 份，四倍体材料 2 份。

### **3. 利用创建的育种技术和创制的核心自交系，选育出 8 个优质、多抗、丰产的甜瓜新品种，满足了不同地区甜瓜产业对品种的需求。**

农大甜 1 号与农大甜 10 号金黄皮，外观商品性好，抗蔓枯病和霜霉病，耐热，丰产，比对照银露 1 号增产 16.2%。农大甜 2 号与农大甜 7 号分别是由雌单性自交系配制的单交种和三交种，杂交优势强，优质，抗病，丰产。农大甜 4 号薄皮，肉质脆，风味清香，抗蔓枯病、霜霉病，是我国高档礼品甜瓜生产的首选品种之一。农大甜 5 号籽小，肉质松脆，口感风味好，极早熟，低温弱光下坐果好，是陕西阎良等地早春



栽培的主流品种。农大甜 8 号，哈密瓜型，果大，丰产，肉质脆嫩，口感好，高抗蔓枯病、白粉病，是高档礼品甜瓜生产的首选品种之一。农大甜 9，肉质脆，风味清香，抗蔓枯病、霜霉病，早熟，优质。。多甜 1 号为四倍体薄皮甜瓜，长势健壮，坐果性好，果形整齐，耐裂果，耐贮运，是市场稀缺品种。8 个甜瓜新品种分别形成了不同色泽和肉质的搭配，且具有突出的优质性、多抗性、丰产性和不同栽培地区、栽培模式的适应性。

本项目成果发表论文 36 篇，其中 SCI 论文 4 篇，获授权国家发明专利 2 件；选育农大甜系列甜瓜新品种 8 个，其中国家鉴定品种 6 个，省级鉴定品种 2 个。2013-2022 年，新品种在西安、渭南、榆林、延安等省地区累计推广面积约 95.6 万亩，其中，近三年推广 37.8 万亩，新增经济效益约 8.38 亿元。本成果攻克了甜瓜优质性、多抗性和丰产性选育效率低的难题，整体提升了我国甜瓜优质多抗高产育种研究水平和创新能力，实现了甜瓜主栽品种的更新换代，促进了甜瓜产业的可持续健康发展。

## 四、客观评价：

### 1. 验收意见

(1) 2020 年，以李峻志研究员为主任的验收专家组对“西甜瓜特色新品种选育及配套栽培技术研究”项目（2017ZDXM-NY-025）进行了会议验收，认为项目完成了引进西甜瓜资源 92 份，创制优良种质 21 份，配制 200 份西甜瓜杂交组合，筛选出 7 份甜瓜优良组合，育成 4 个西甜瓜特色品种并通过登记，制定了甜瓜三交种制种技术规程，研发了褪黑素诱导甜瓜幼苗耐热性技术并推广应用。

(2) 2015 年，以陈锦屏教授为主任的验收专家组对陕西省科技计划项目“西甜瓜优良品种选育及栽培技术研究（2013K01-08-01）”进行了验收，认为项目开展了甜瓜果实性状遗传多世代联合分析、多倍体果实糖分变化规律研究，建立了甜瓜单性花系三交育种及薄皮甜瓜多倍体高效诱变技术体系，育成了农大甜 1 号甜瓜新品种，育成后备品种多甜 1 号等 17 份优良组合。在榆林、渭南等西甜瓜主产区建立了示范基地，推广新品种 2100 亩，效益 840 万元。

(3) 2011 年，以邓均军高级农艺师为验收委员会主任的专家组对“瓜菜新品种引进、选育与配套栽培技术研究”项目（2009K01-24）进行了资料验收，认为项目育

种材料创新技术先进：改进了传统的四倍体诱导方法，大大提高了诱变效率，获得了不同类型的四倍体甜瓜材料，为甜瓜优质育种奠定了基础。搜集到野生甜瓜完全花资源，为全雌性甜瓜育种提供了基因源，转育获得了多份甜瓜单性花自交系，并开始用于品种杂交选育。项目育种技术先进：利用单性花甜瓜自交系配制组合，提高了种子纯度和制种产量，开展多性状聚合育种方法，将材料的优质性、抗病性、丰产性紧密结合起来，育成品种综合性状优良。

## 2. 品种鉴定（登记）意见

全国农业技术推广服务中心品种鉴定组鉴定意见：（1）农大甜 1 号为厚皮（光皮）甜瓜品种，于 2010-2012 年参加全国甜瓜品种试验，2012 年 11 月鉴定通过，建议在北京、河北、河南、陕西、甘肃、宁夏、新疆、黑龙江省（区、市）适宜地区作保护地栽培种植。（2）农大甜 2 号于 20102-2014 年参加全国甜瓜品种试验，2014 年 10 月鉴定通过，建议在河南、陕西、新疆、海南省（区、市）适宜地区作春播设施栽培。

中华人民共和国农业农村部品种登记意见：（1）农大甜 5 号适宜在陕西关中、陕北春季保护地种植。（2）农大甜 8 号适宜在西北生态区陕西关中陕北地区春季保护地种植。（3）农大甜 9 号适宜在陕西关中地区春季保护地种植。（4）农大甜 10 号适宜在黄淮生态区陕西关中地区春季保护地种植。

陕西省非主要农作物品种登记专家组鉴定意见：（1）农大甜 7 号属厚皮甜瓜三交种。果实高圆形，果皮、果肉白色。单果质量 1.3kg。区试平均亩产 2861.3 kg，比对照品种骄雪 6 号增产 7.3%。陕西省农产品质量监督检验站品质分析，总糖 13.0%，维生素 C 10.36mg/100g，可溶性固形物 16.1%。西北农林科技大学植保学院田间抗病性调查，霜霉病病叶率 13.6%，病指 3.5；白粉病病叶率 25.1%，病指 17.2，均优于对照。蔓枯病、炭疽病未见发生。该品种品质优，商品性好，适宜我省早春保护地栽培。

（2）多甜 1 号属杂种一代四倍体薄皮甜瓜。果实扁圆形，果皮白色，果肉白色，肉质脆。单瓜重 0.47kg。区试平均亩产 2797.4 kg，比对照唐甜 2 号减产 0.9%。经陕西省农产品质量监督检验站品质分析，果肉总糖含量 11.40%，可溶性固形物含量 14.3%，总酸含量 0.153%，维生素 C 含量 46.08mg/100g。经西北农林科技大学植物保护学院

田间抗病性调查，抗炭疽病、蔓枯病和枯萎病，中抗白粉病。适宜我省早春保护地栽培。

### 3. 科技查新

教育部科技查新工作站(N04)（西北农林科技大学图书馆信息咨询部）对项目进行了查新：该项目在理化测定指标基础上建立了与感官品尝评分相结合的模糊数学多层分析优质性；发现果糖、葡萄糖、蔗糖和总糖含量数量遗传模型以及脆性遗传规律；发现陕西关中白粉病生理小种 2F，白粉病抗性由两对加性显性上位性主基因+加性显性上位性多基因控制；建立生理指标与热害指数结合的隶属函数值计算耐热性评价技术；开发与单性花紧密连锁的 SNP 标记，将单性花性状用于三交种育种；建立高效甜瓜四倍体诱导率技术；综合应用多种技术，选育优质多抗的甜瓜新品种。除了项目组的研究文献外，在检索范围内未见其他相关文献报道。

### 4. 获得科技奖励

“西北农林科技大学西甜瓜资源创新与遗产改良团队” 2013 年获得中国园艺学会华耐园艺科技奖。

## 五、应用情况

甜瓜品种农大甜 1 号、农大甜 2 号、农大甜 5 号、农大甜 7 号、农大甜 8 号、农大甜 9 号、农大甜 10 号、多甜 1 号通过鉴定和登记后，项目组建立了“高校+农技部门+种子企业+合作社”的甜瓜产业化推广模式，加快在陕西省内甜瓜适宜区域进行示范种植，示范推广。2013 年以来 8 个品种合计在陕西省累计种植面积 95.6 万亩，2020-2022 年种植推广 37.8 万亩，亩平均增产 7.8%以上，亩节支 35 元，新增纯收益 8.38 亿元，取得了较大的社会经济生态效益。

## 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  | 专利     | 一种 SNP 分子标记、检测甜瓜花性型的方法及 | 中国     | ZL201910057790.X | 2022. 4. 1 | 5040940 | 西北农林科技大学 | 张显，魏春华，王中元 |

|    |        |                         |    |                       |            |                   |          |                                |
|----|--------|-------------------------|----|-----------------------|------------|-------------------|----------|--------------------------------|
|    |        | 应用                      |    |                       |            |                   |          |                                |
| 2  | 专利     | 一种甜瓜果皮果面沟的SNP标记、检测方法及应用 | 中国 | ZL201910009572.9      | 2021.10.19 | 4739701           | 西北农林科技大学 | 魏春华, 张显, 赵伟                    |
| 3  | 动植物新品种 | 农大甜5号                   | 中国 | GPD甜瓜(2019)610187     | 2019.9.2   | GPD甜瓜(2019)610187 | 西北农林科技大学 | 张勇, 张显, 马建祥, 魏春华, 王妍妮          |
| 4  | 动植物新品种 | 农大甜1号                   | 中国 | 国品鉴瓜2012004           | 2013.8.1   | 国品鉴瓜2012004       | 西北农林科技大学 | 张勇, 张显, 马建祥                    |
| 5  | 动植物新品种 | 农大甜2号                   | 中国 | 国品鉴瓜2015004           | 2013.8.1   | 国品鉴瓜2015004       | 西北农林科技大学 | 张勇, 张显, 马建祥                    |
| 6  | 动植物新品种 | 农大甜7号                   | 中国 | 陕瓜登字2015003           | 2016.2.23  | 陕瓜登字2015003       | 西北农林科技大学 | 张勇, 张显, 马建祥, 杨建强, 李好           |
| 7  | 动植物新品种 | 农大甜8号                   | 中国 | GPD甜瓜(2020)610282     | 2020.6.19  | GPD甜瓜(2020)610282 | 西北农林科技大学 | 张勇, 张显, 马建祥, 魏春华, 李好, 杨建强, 王妍妮 |
| 8  | 动植物新品种 | 农大甜10号                  | 中国 | GPD甜瓜(2020)610390     | 2020.9.30  | GPD甜瓜(2020)610390 | 西北农林科技大学 | 张勇, 张显, 马建祥, 魏春华, 李好, 杨建强      |
| 9  | 动植物新品种 | 多甜1号                    | 中国 | 陕瓜登字2014002           | 2015.5.29  | 陕瓜登字2014002       | 西北农林科技大学 | 张勇, 张显, 马建祥                    |
| 10 | 论文     | 陕西关中地区瓜类白粉病菌生理小种的鉴定     | 中国 | 2010(10):115-120, 125 | 2010.10.15 | 西北农林科技大学学报(自然科学版) | 西北农林科技大学 | 咸丰, 张勇, 马建祥, 张显, 杨建强, 许勇       |

### 七、主要完成人情况

| 姓名 | 排名 | 行政/技术职称 | 工作单位/完成单位 | 对本项目技术创造性贡献   |
|----|----|---------|-----------|---|
| 张勇 | 1  | 无/副研究员  | 西北农林科技大学  | 1.项目主持人,负责项目总体设计,在技术方案制定、关键技术研发、新品种选育、工作组织协调等方面都做出了突出贡献;2.创建脆肉高糖优质性鉴定、耐热性鉴定、单性花三交育种等技术; |

|     |    |         |                |   |
|-----|----|---------|----------------|---|
|     |    |         |                | 3.主持发掘有一种之和亲本材料；4.育成农大甜5号等8个甜瓜新品种。  |
| 魏春华 | 2  | 无/副教授   | 西北农林科技大学       | 1.负责甜瓜单性花及特殊性状分子标记的开发；2.参与评价了部分甜瓜种质的优质性、抗病性和抗逆性；3.参与育成农大甜5号等品种；4.在育种技术改良与分子技术应用方面发挥重要作用。                |
| 张显  | 3  | 无/教授    | 西北农林科技大学       | 1.参与项目总体设计，指导技术方案制定、关键技术研发、新品种选育、工作组织协调等；2.参与种质资源的搜集、引进与鉴定杂交亲本的选择；3.参与育成农大甜5号等8个甜瓜新品种；4.在新品种推广方面发挥重要作用。 |
| 马建祥 | 4  | 无/研究员   | 西北农林科技大学       | 1.参与种质资源的搜集、引进与鉴定；2.参与育成农大甜2号、多甜1号等8个甜瓜新品种；3.在新品种推广应用及技术服务方面发挥重要作用。                                     |
| 李好  | 5  | 无/教授    | 西北农林科技大学       | 1.参与了甜瓜苗期抗逆性鉴定技术的研发；2.评价了部分甜瓜种质的优质性、抗病性和抗逆性；3.参与育成农大甜7号等品种；4.在育种技术改良和新品种推广应用方面发挥重要作用。                   |
| 张绩  | 6  | 无/高级农技师 | 杨凌千鼎种苗有限公司     | 1.参与本项目品种比较试验、区域试验；2.负责农大甜系列品种良种繁育；3.负责新品种的推广应用。  |
| 杨建强 | 7  | 无/农艺技师  | 西北农林科技大学       | 1.高代品系的筛选与鉴定；2.原种生产、良种繁育；3.品种示范推广。  |
| 杨小振 | 8  | 无/农艺师   | 西安市农业技术推广中心    | 1.种质资源的鉴定；2.品种的试验示范推广。  |
| 王中元 | 9  | 无/无     | 西北农林科技大学       | 1.种质资源花性型分子遗传研究。  |
| 王永琦 | 10 | 无/高级农艺师 | 汉中市农业技术推广与培训中心 | 1.种质资源白粉病抗性研究。  |

#### 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 单位名称       | 排名 | 主要贡献   |
|------------|----|--|
| 西北农林科技大学   | 1  | 在研发条件、试验基地、成果申报、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。支持项目组开展了甜瓜种质资源的大规模引进、优异资源的搜集与创新、甜瓜关键性状遗传基础研究、特色优良性状的鉴定、优质性和抗病性的评价与利用、甜瓜杂交种培育等技术研发，组织实施了农大甜系列甜瓜品种在陕西省的示范应用和推广，效果显著。 |
| 杨凌千鼎种苗有限公司 | 2  | 在试验基地建设方面给予了全方位支持，协助并参与开展了优质、抗病、丰产甜瓜种质资源筛选、优良杂交组合的鉴定、育成品种的示范宣传，并在成果推广和应用过程中发挥了重要的组织协调和落实作用。  |

## 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   | 张勇/1、张显/3、马建祥/4、李好/5、魏春华/2、杨建强/7、张绩/6、杨小振/8、王中元/9 | 2017-2019 | 陕西省科技计划项目“西甜瓜特色新品种选育及配套栽培技术研究” | 验收证书   |
| 2          | 共同知识产权 | 张勇/1、张显/2、马建祥/4、魏春华/2、李好/5、杨建强/7                  | 2017-2020 | 农大甜8号                          | 品种登记证书 |
| 3          | 论文合著   | 张显/3、张勇/1、马建祥/4、杨小振/8、王永琦/10                      | 2004-2014 | 甜瓜远缘群体果实糖含量相关性状遗传分析            | 论文复印件  |
| 4          | 共同获奖   | 张显/3、张勇/1、马建祥/4、张绩/6、杨建强/7                        | 2010-2013 | 中国园艺学会华耐科技奖                    | 获奖证书   |

**完成人合作关系说明（限 1000 字）**

①**魏春华是项目第二完成人**，合作方式包括共同知识产权、论文合著等，合作时间为 2015 年 7 月 1 日至今，合作成果有：陕西省科技计划项目“西甜瓜特色新品种选育及配套栽培技术研究”、品种选育农大甜 5 号；合著论文“厚皮甜瓜三交种春秋 2 季制种技术”等。

②**张显是项目第三完成人**，合作方式包括共同立项、共同知识产权、论文合著等，合作时间为 2004 年 7 月 1 日至今，共同立项：陕西省科技计划项目“西甜瓜优良品种选育及栽培技术研究”、“西甜瓜特色新品种选育及配套栽培技术研究”；共同知识产权农大甜系列品种；论文合著“甜瓜远缘群体果实糖含量相关性状遗传分析”等。

③**马建祥是项目第四完成人**，合作方式包括共同立项、共同知识产权、论文合著等，合作时间为 2004 年 7 月 1 日至今，合作成果有：陕西省科技计划项目“西甜瓜优良品种选育及栽培技术研究”等；共同知识产权农大甜系列品种；论文合著“厚皮甜瓜三交种春秋 2 季制种技术”等。

④**李好是项目第五完成人**，合作方式为共同立项、共同知识产权、论文合著等，合作时间为 2014 年 7 月 1 日至今，合作成果有：陕西省科技计划项目“西甜瓜特色新品种选育及配套栽培技术研究”、选育农大甜 4 号、7 号品种；论文合著“厚皮甜瓜三交种春秋 2 季制种技术”等。

⑤**张绩是项目第六完成人**，合作方式为共同立项，品种推广，合作时间为 2013 年 1 月 1 日至今，合作成果有：陕西省科技计划项目“西甜瓜特色新品种选育及配套栽培技术研究”。

⑥**杨建强是项目第七完成人**，合作方式为共同立项、共同知识产权、论文合著等，合作时间为 2004 年 7 月 1 日至今，合作成果有：陕西省科技计划项目“西甜瓜特色新品种选育及配套栽培技术研究”等、选育农大甜系列品种；论文合著“厚皮甜瓜三交种春秋 2 季制种技术”等。

⑦**杨小振是项目第八完成人**，合作方式为共同立项、论文合著，合作时间为 2012 年 9 月 1 日至今，合作成果有：陕西省科技计划项目“西甜瓜特色新品种选育及配套栽培技术研究”、论文合著“甜瓜远缘群体果实糖含量相关性状遗传分析”等。

⑧**王中元是项目第九完成人**，合作方式为共同立项、论文合著，合作时间为 2014 年 9 月 1 日至今，合作成果有：陕西省科技计划项目“西甜瓜特色新品种选育及配套栽培技术研究”；论文合著“Systematic genome-wide analysis of the ethylene-responsive ACS gene family: contributions to sex form differentiation and development in melon and watermelon”。

⑨**王永琦是项目第十完成人**，合作方式为论文合著，合作时间为 2012 年 9 月 1 日至今，合作成果有“甜瓜远缘群体果实糖含量相关性状遗传分析”。