

农业技术推广成果单项类优选计划申报书

一、项目基本情况

项目名称	秸秆高效还田固碳增产关键技术研发与示范推广
任务下达部门 (选填)	下达该计划的部门(如果有多个部门请用“,”或“;”分开)。 国家科学技术部, 农业农村部、财政部, 山东省农业农村厅, 山东省财政厅等
任务下达名称 (选填)	下达计划的全称(如果有多个计划名称请用“,”或“;”分开)。 1.国家重点研发计划课题(2016YFD0300803), 华北平原轮耕轮作模式优化与肥沃耕层结构层次构建技术, 2016/01-2020/12 2.国家重点研发计划子课题(2018YFD0200603), 鲁东夏玉米肥药减施协同增效技术集成与示范, 2018/07-2020/12; 3.国家自然科学基金青年基金项目(41701356), 石墨烯修饰生物炭对土壤镉汞复合污染的修复机理研究, 2018/01-2020/12; 4. 农业农村部办公厅关于做好《2022 年农作物秸秆综合利用工作》的通知(农办科〔2022〕12 号); 5. 农业农村部办公厅关于做好《2023 年农作物秸秆综合利用工作》的通知(农办科〔2023〕13 号); 6. 山东省农业厅 山东省财政厅关于下达《2009 年农作物秸秆综合利用项目计划》的通知(鲁农财字〔2009〕47 号); 7.山东省农业厅 山东省财政厅关于组织实施《2010 年农作物秸秆综合利用项目》的通知(鲁农财字〔2010〕33 号); 8.山东省农业厅 山东省财政厅关于印发《山东省 2017 年农作物秸秆综合利用试点工作方案》的通知(农财发〔2017〕11 号); 9.山东省农业农村厅关于《对 2018 年农作物秸秆综合利用试点县实施方案进行备案》的通知(鲁农生态字〔2018〕18 号); 10.山东省农业农村厅关于印发《山东省 2024 年农作物秸秆综合利用实施方案》的通知(鲁农绿发字〔2024〕5 号)。
第一完成单位	青岛农业大学
第一完成人	宋宁宁
联系人	黄毅
联系电话	0532-58957467
手机	13165153949
电子邮箱	snn05@163.com
项目起止时间	2018 年 01 月-2024 年 12 月
推荐等级	一等
项目分类	农业绿色发展类

项目核心技术曾获奖、评价、审定和品种权情况（写明名称、等级、年度和授奖部门等）	1. 核心技术“小麦-玉米秸秆全量精细化还田技术”被列为 2025 年山东省农业农村厅农业主推技术； 2. “农业废弃物肥料化利用与地力提升技术”被列为 2025 潍坊市农业主推技术； 3. “农业有机废弃物肥料化关键技术创新与应用”获 2025 年山东省技术市场协会科技金桥奖二等奖； 4. “基于“生物纳米分子膜”处理有机废弃物绿色种养循环产业化关键技术及应用”获 2023 年山东省技术市场协会科技金桥奖二等奖； 5. “临沂耕地质量状况及障碍土壤改良技术研究应用”获 2024 年山东省自然资源科学技术进步二等奖。
内容摘要（限 400 个汉字以内，包括推广的主要技术成果，采用的技术措施、组织措施、推广模式，取得的经济、社会、生态效益等）	
在国家系列科技项目和省秸秆综合利用项目支持下，历经 10 余年产-学-研-推攻关，针对秸秆还田效率低、功能单一难题，创新三大技术路径，形成“直接高效化-炭化功能化-堆肥低碳化”多元调控体系，突破秸秆还田技术瓶颈；揭示“碳-氮-微生物”协同互作规律，提出精准调控施肥方案，实现固碳增产双赢；研发靶向装备研发 7 套、创制专用农资 7 个和凝练标准模式 10 余套，构建“装备-农资-模式-样板”一体化落地体系。关键技术转化形成农业主推技术 3 项，获得技术成果奖 6 项，制定标准规范 9 项，授权专利 24 项，获得软件著作权 10 项，出版专著 1 部。创新推行“政府主导+示范引领”、“科研单位+分层培训”、“企业参与+产业协同”和“农户互助+精准服务”高效精准推广模式；实行“试验基地+示范基地+农技推广站+农业经营主体”链条式示范推广。建立核心示范区 20 个、示范基地 110 个，带动发展新型农业经营主体 919 个。2022-2024 年共举办宣传活动 3000 余次、培训观摩活动 1200 余次，发放技术明白纸与宣传材料 50 余万份，培训基层农技人员 2.3 万和农民 19.7 万人次。近 3 年累计推广面积 5476.96 万亩，总经济效益 77.32 亿元。成果为秸秆资源高效利用、农田固碳增汇与农业绿色发展提供系统化技术支撑。	

二、详细内容

1.项目实施前的基本情况（介绍该地区在实施项目前原有的技术水平、单产、总产、产品质量、投入产出比、存在的问题等情况）

山东省作为全国重要粮食主产区，农作物秸秆资源总量超 8000 万吨，是农业碳汇与粮食安全的重要载体。然而，全省秸秆还田技术长期呈碎片化状态，尚未形成系统集成体系，存在“技术适配性差、固碳增产协同不足、效益低下”等瓶颈，叠加耕地退化和投入产出失衡等问题，严重制约农业高质量发展。

一、技术体系滞后，秸秆还田效能不足。当前秸秆还田普及率低、应用粗放，三种主流方式均存在短板：一是直接还田仅采用常规粉碎模式，缺乏粉碎深度与腐熟菌剂协同研究，致使有机碳积累效率低、出苗不齐；二是炭化还田依赖高温工艺，缺乏低成本高效技术与“炭-菌-肥”融合，难以推广；三是堆肥还田以自然发酵为主，缺乏专用菌剂与标准化工艺，堆肥周期长、质量差，整体固碳增产效果有限。

二、耕地质量退化，产能增长受限。近年山东农田耕层有机质含量仅 13.74 g/kg，较全国主产区低 44.2%，耕层厚度降至 15-18 cm，土壤容重偏高、保肥性减弱；40%-45%耕地有效磷、钾不足，小麦、玉米单产较高产田低 16%-26%，粮食总产波动达 8%-12%。

三、投入产出失衡，固碳增产机制缺失。农业生产陷入“高投入-低效率-地力退化”循环，化肥施用过量、利用率仅 30%-35%，导致污染加剧；同时，秸秆中养分未被有效转化，还田方式与精准施肥脱节，未形成“秸秆还田+精准施肥”的差异化机制，固碳增产潜力未被释放。

四、问题叠加，创新推广迫切。上述问题叠加，形成“资源浪费-土壤退化-产能受限”的恶性循环，既未有效释放秸秆固碳潜力，又引发土壤耕层结构失衡、肥力提升滞缓等问题，严重制约区域农业碳汇潜力释放、农业绿色可持续发展与粮食产能稳定提升。

在此背景下，研发推广集秸秆高效利用、土壤定向固碳培肥、养分优化调控与粮食稳产增产于一体的综合性技术体系，建立“秸秆利用-土壤固碳-养分优化-产量提升”协同机制，已成为推动耕地提质增效、助力农业碳达峰战略、保障国家粮食安全的迫切需求，且对黄淮海粮区具有重要的区域适配性与推广价值。

2.项目主要内容（填写本成果采用的核心技术、主要技术措施、组织措施、推广模式、主要技术指标等）

本项目围绕秸秆直接还田、炭化还田和堆肥还田三种核心技术，分别集成“微生物菌剂-粉碎参数-耕作配套”调控体系、研发“炭化-菌载-肥用”功能融合体系和创新“生物+分子膜”堆肥工艺，突破秸秆高效还田技术落地的关键瓶颈；阐明直接还田（连续活性碳输入导向）、炭化还田（长期碳封存导向）和堆肥还田（速效有机质导向）对土壤固碳效率和作物增产潜力的调控机制，针对性提出“直接还田+优化施氮”、“炭化还田+秸秆协同”和“堆肥还田+化肥减量”配套施肥方案，实现养分高效利用与碳氮协同增效；通过配套装备研制、农资产品开发与样板基地建设，构建“装备-农资-模式-样板”一体化落地体系，为秸秆资源高效利用、农田固碳增汇与农业绿色发展提供系统化技术支撑。

总体思路和技术路线为：

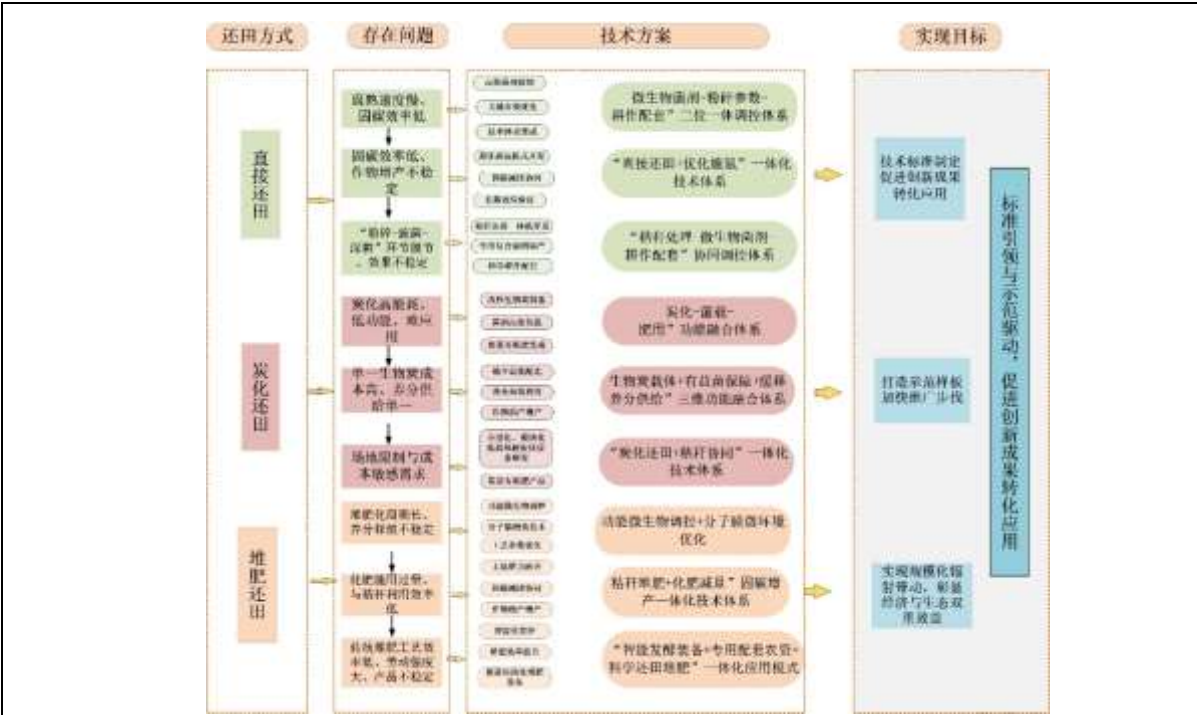


图 1 本项目技术路线图

一、主要核心技术项目

（一）围绕秸秆资源高效利用，针对直接还田、炭化还田和堆肥还田三大技术路径，分别集成“微生物菌剂-粉碎参数-耕作配套”调控体系、研发“炭化-菌载-肥用”功能融合体系和创新“生物+分子膜”堆肥工艺，构建秸秆高效还田多元解决方案。

1. 秸秆直接高效还田技术：创新研发微生物赋能与农艺调控相结合的系统性解决方案，构建“微生物菌剂-粉碎参数-耕作配套”三位一体调控体系。

针对秸秆直接还田过程中存在的腐熟速度慢、固碳效率低等产业难题，创新研发微生物赋能与农艺调控相结合的系统性解决方案，研发“微生物菌剂-粉碎参数-耕作配套”三位一体调控体系：①高效菌剂创制：筛选 12 株高纤维素降解活性菌株（绿木霉 F7、黑曲霉等为核心），研制专用腐熟菌剂（有效活菌数 ≥ 2 亿/g），腐熟效率提升 20%-30%。②关键参数优化：确定秸秆粉碎长度 $\leq 5\text{cm}$ 、还田深度 10-15cm 为最佳参数，配合微生物菌剂实现快速腐解，小麦成熟期玉米秸秆降解率高达 82.73%。③技术体系集成：针对大田作物和设施作物的不同生育特性与土壤条件，形成差异化标准化还田方案，为土壤碳汇与作物增产提供支撑（图 4）。

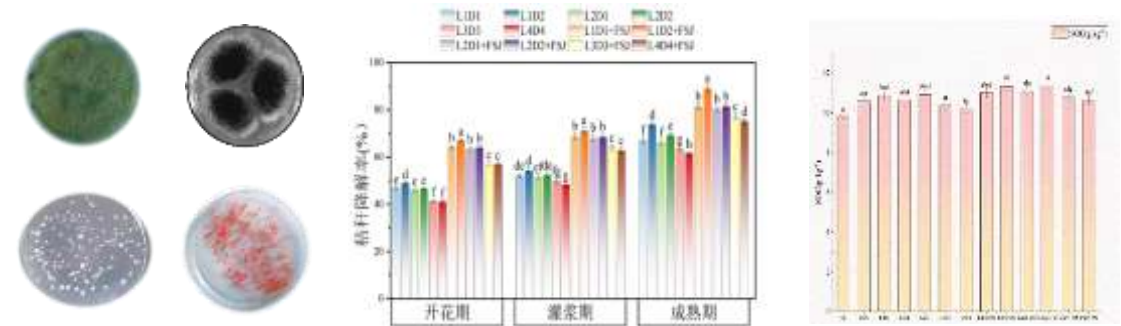


图 2 高效秸秆腐熟菌

图 3 粉碎程度、还田深度和菌剂对秸秆降解和土壤 SOC 含量的影响

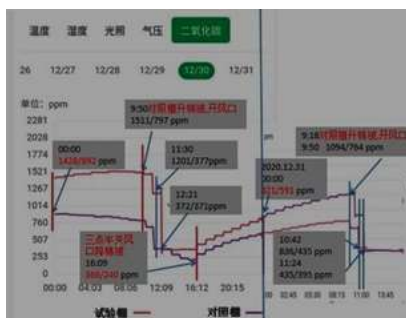


图 4 设施秸秆还田对大棚 CO₂ 浓度影响

表 1 大田作物和设施作物标准化还田方案

方案类型	适用作物	关键技术参数	配套产品	实施周期
大田作物方案	小麦、玉米等	秸秆粉碎长度≤5cm，还田深度10-15cm，腐熟菌剂用量15-20kg/hm ² ，C/N调控至25-30:1	专用腐熟菌剂（有效活菌数≥2亿/g）	作物收获后1-2天内
设施作物方案	番茄、黄瓜等	秸秆粉碎长度≤3cm，还田深度8-12cm，高温腐熟菌剂用量20-25kg/hm ² ，配合地膜覆盖保温	高温型复合菌剂（耐40-50℃，活菌数≥1.5亿/g）	茬口间隔7-10天

2. 秸秆炭化-菌载-肥用协同技术：创新“低温热解-改性菌载-功能复配”一体化技术，破解传统炭化能耗高、功能不稳定难题。

针对传统秸秆炭化高能耗、低功能、难应用的产业问题，通过生物炭低温制备降本、菌剂高效负载提质、功能复配增效的创新路径，创新“低温热解-改性菌载-功能复配”一体化技术。①改性生物炭制备：优化 180-400℃低温热解工艺，制备高性能改性生物炭，载体性能提升 1.14-2.46 倍。②菌剂高效负载：采用 4%-6%壳聚糖改性+海藻酸钠固定化技术，负载芽孢杆菌、酵母菌（有效活菌数≥1×10⁹ CFU/g），菌剂存活率较传统提高 40%-50%。③炭基多功能有机肥集成技术：以改性生物炭（50%-60%）为核心载体，复配功能菌剂（5%-8%）和腐殖酸（15%-20%），形成“改土-供肥-固碳”三位一体产品，实现“生物炭物理改土（保水保肥能力提升 25%-30%）+功能菌剂生物活化（解磷效率提高 40%-60%）+腐殖酸化学调节（土壤缓冲能力增强）”的多维协同，构建低成本高效“炭化-菌载-肥用”一体化技术体系，为农田土壤长期碳封存与养分高效利用提供系统化解解决方案。

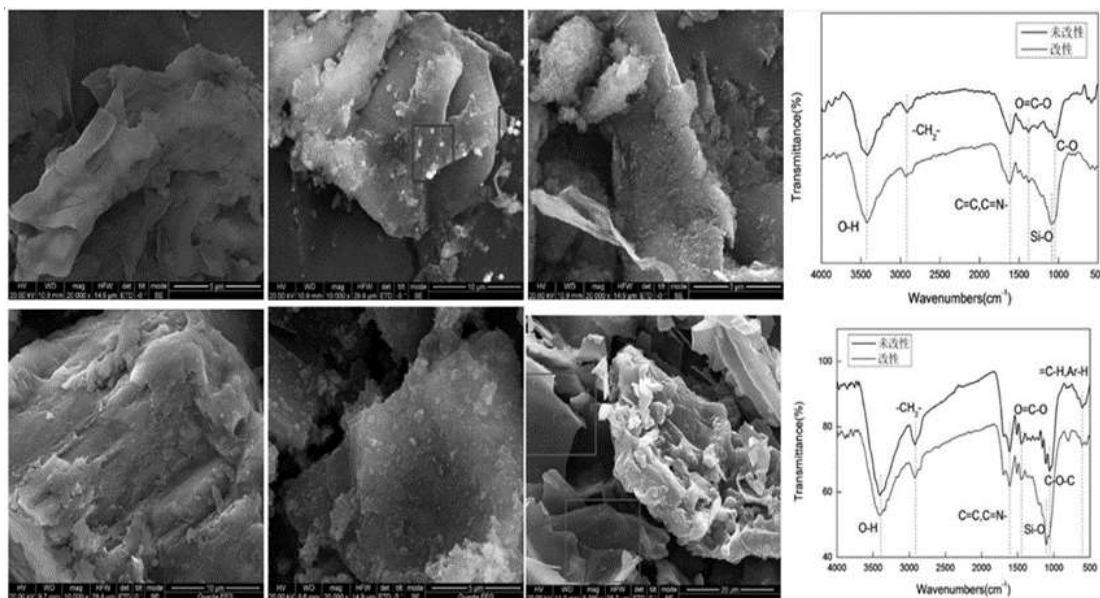


图 5 改性生物炭菌载复合材料的表征图

3. 秸秆堆肥化生产技术：突破传统堆肥周期长、养分流失多瓶颈，创新“功能微生物调控+分子膜微环境优化”高效发酵工艺。

首创“功能微生物调控+分子膜微环境优化”协同工艺，系统性破解传统堆肥周期长、养分流失多、养分释放不稳定等瓶颈问题，构建秸秆-土壤碳氮循环高效利用新模式。

①功能微生物调控：揭示外源复合菌剂（含芽孢杆菌、酵母菌等）对堆肥碳氮转化的驱动机制，创制高活性专用接种菌剂（活菌数 $\geq 10^9$ CFU/g），定向强化纤维素降解和腐殖质合成；②分子膜增效技术：研发透气保水型高分子发酵膜，构建“膜内微生态缓冲系统”，将水分蒸发损失控制在 15%以内，同步拦截氨态氮逸散；③工艺参数优化：确定最优原料配比（秸秆:畜禽粪便:生物炭=14:6:1）及关键参数（C/N 25-30:1、含水率 60%-65%），实现堆体 55-65℃ 高温期持续 15 天以上。构建的“功能微生物调控+分子膜微环境优化”高效发酵工艺，使腐熟周期压缩至 25-30 天，氨挥发损失降低 25%，总氮保留率提升 20%，腐殖化系数超 0.35（行业平均水平 1.3 倍），养分释放周期延长至 6-8 个月，实现“快速腐熟-长效供肥-土壤培肥”的生态闭环。

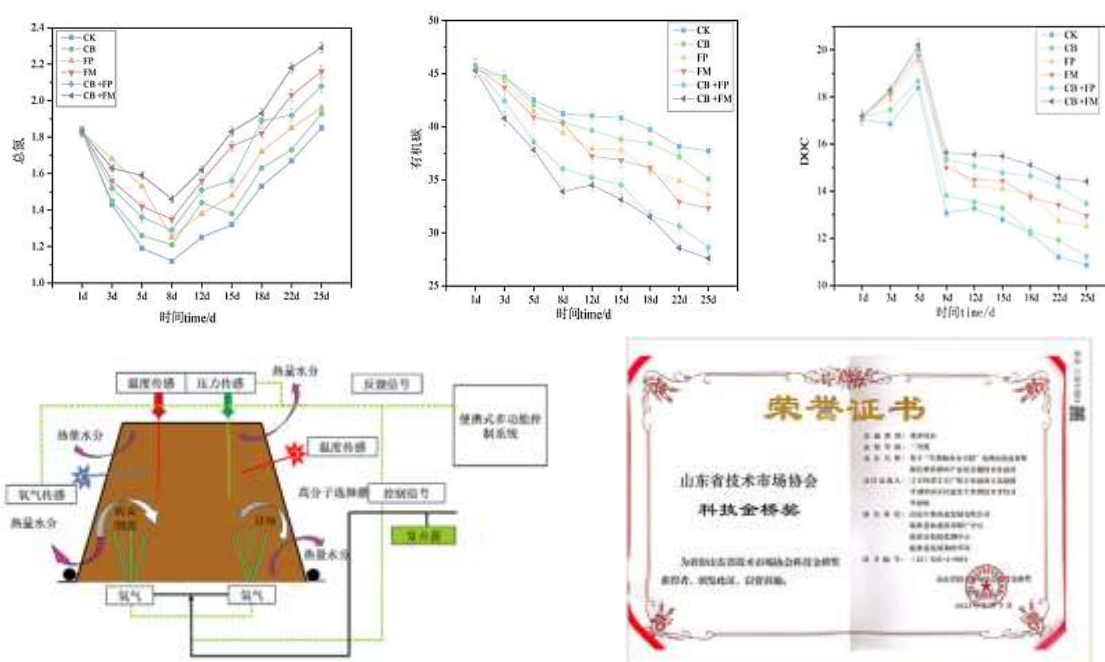


图 6 “功能微生物调控+分子膜微环境优化”高效发酵工艺

（二）秸秆还田固碳培肥增产技术：解析三种还田方式对土壤固碳效率和作物增产潜力的调控效应，针对性提出“直接还田+优化施氮”、“炭化还田+秸秆协同”和“堆肥还田+化肥减量”专项施肥方案。

1.秸秆直接还田固碳培肥增产技术：以连续活性碳输入导向为核心，构建“直接还田+优化施氮”一体化技术体系，破解秸秆直接还田效能瓶颈。

针对传统秸秆直接还田“固碳效率低、作物增产不稳定”的核心瓶颈，创新提出“秸秆直接还田+优化施氮”一体化技术方案，系统揭示秸秆碳输入与氮肥配施的“固碳-增产”协同作用机理，构建了高效、稳定、可持续的农田碳汇与产能提升技术体系。①突破最优施氮模式，实现“节氮-增产”双赢：通过 5 年长期定位试验，阐明了持续秸秆碳输入条件下，氮肥形态与用量对土壤有机碳库构建及作物产量形成的双重调控机制；确立秸秆还田基础上“控释肥与普通尿素掺混一次性基施”方案，采用 30%~70%控释肥与普通尿素科学配比，实现减少氮投入 30~45kg/hm²，同时稳定保障冬小麦、夏玉米产量。②32 年定位试验数据表明，当季 7500 kg/hm² 小麦秸秆还田配施化肥时，系统表现出优异性能：能源利用效率达 6.66，能源生产率 0.26 千克/兆焦耳，净收益 1799.82 美元/ hm²。小麦产量规模碳足迹较化肥配施粪肥处理降低 52.3%~66.7%，实现固碳培肥、节肥增产与生态环保多重效益，为北

方粮区秸秆资源化利用提供技术范式。

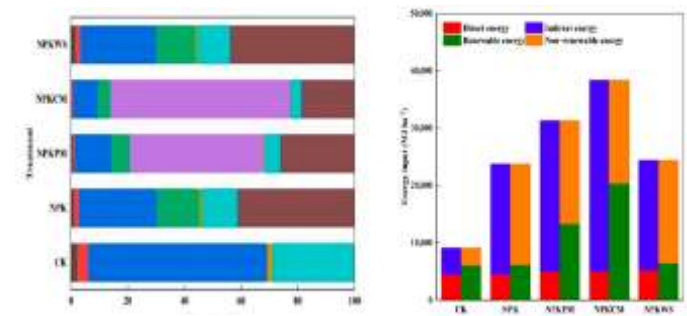


图 7 小麦生产碳足迹比

图 8 小麦生产碳能耗比

表 2 不同处理下冬小麦的产量和产量构成因素及氮肥偏生产力

处理	公顷穗数 (万个)	穗粒数	千粒重 (g)	产量 (kg/ha)	氮肥偏生产力 (kg/kg)
CK	611.90 e	32.28 b	46.47bc	7810.95 d	26.04d
T1	421.85 e	27.05 e	46.06 c	4664.70f	38.87c
T2	584.65 d	29.99 d	46.92 b	7042.20 e	42.68a
T3	609.05 e	35.18 a	47.68 a	8661.15 b	41.24b
T4	734.55 a	34.16 a	46.59bc	9703.95 a	38.06c
T5	674.95 b	31.15 c	45.48 d	9055.45 c	26.85d

2.秸秆炭化还田固碳培肥增产技术：以长期碳封存为核心导向，构建“炭化还田+秸秆协同”一体化技术体系，破解固碳增汇与稳产增产的双赢的难题。

以长期碳封存为核心导向，首创“炭化还田+秸秆协同”一体化技术体系，系统性解决传统秸秆还田碳留存率低、单一生物炭应用成本高、养分供给单一三大瓶颈，实现土壤有机碳长期固持与作物稳产增产的协同增效。针对不同生物炭施用量（2 t hm⁻²、4 t hm⁻²、8 t hm⁻²）与秸秆还田的协同效应开展系统研究，揭示“炭-秆协同”提升土壤碳汇能力的关键机制—通过秸秆炭化构建稳定碳源，改善土壤理化性质（容重降低 8-12%、孔隙度提升 10-15%），激活微生物群落（Shannon、Simpson、ACE 指数分别提升 12-18%、8-12%、15-20%），优化碳氮循环过程。关键技术参数与应用成效：①确立最优配比：明确秸秆还田基础上添加 4 t hm⁻²生物炭为最佳方案，实现土壤有机碳（SOC）提升 33.7-213%%，微生物量碳（MBC）提升 39.8%-121%，¹C 活性碳组分增加 52.7%-171%；②养分高效利用：生物炭多孔结构和氧官能团稳固铵态氮，氮素利用效率提高 15-20%，促进“碳-氮-微生物”互促平衡；③作物稳产增产：玉米产量增幅达 6.17-19.37%，构建“土壤固碳-肥力提升-作物增产”的良性循环体系，为农田碳汇与粮食安全协同发展提供技术支撑。

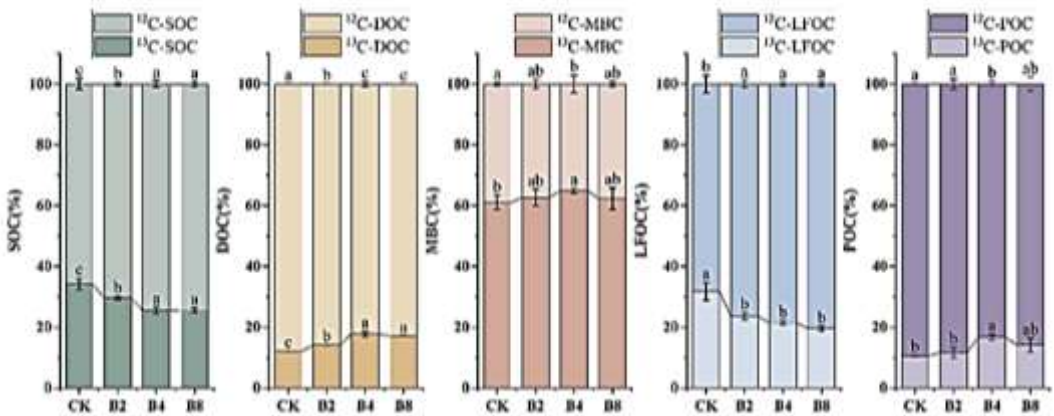


图 9 炭化还田与秸秆协同的固碳增产

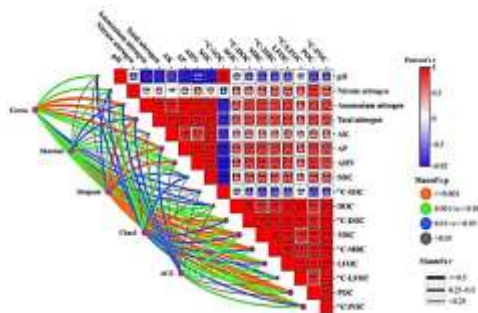


图 10 炭化与秸秆协同对微生物群落影响

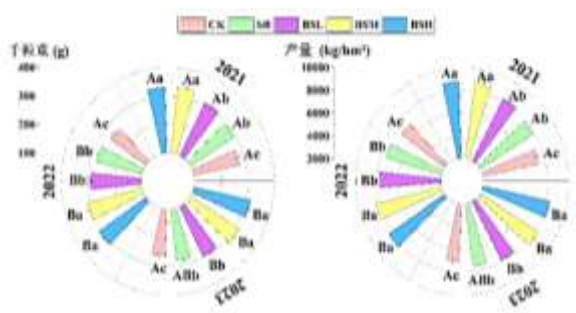


图 11 炭化还田与秸秆协同的增产效应

3. 秸秆堆肥还田固碳培肥增产技术：以速效有机质为核心导向，构建“秸秆堆肥+化肥减量”固碳增产一体化技术体系，实现秸秆-土壤-作物系统碳氮协同增效。

针对化肥施用过量、土壤肥力下降与秸秆利用效率低的三重难题，系统研究秸秆堆肥部分替代化肥的长期效应（5-10 年定位试验），揭示堆肥还田通过速效有机质输入（年增 1.2-1.8 g/kg）优化土壤养分结构的作用机理，创新提出“堆肥替代 30%氮肥”的最佳配比方案，构建“秸秆-堆肥-土壤-作物”碳氮循环高效利用模式。关键技术成效：①土壤肥力跃升：连续施用 5-10 年后，0-20 cm 耕层土壤有机质含量显著提升 18.6%，全氮、有效磷和速效钾分别增加 13.7%、21.9%和 26.4%，pH 值改善 0.3-0.5 个单位，土壤结构与通气性显著优化（孔隙度提升 8-12%）；②作物稳产增产：实现小麦、玉米持续增产，5 年增产幅度达 12.5%-14%，10 年增产潜力提升至 20%-22%，验证了“堆肥培肥-地力提升-产量增加”的长效机制；③固碳减排协同：强化土壤碳氮耦合与保肥能力，农田生态系统碳汇量年增加 0.5-0.8 t C/hm²，同步减少化肥面源污染风险，构建“速效培肥与地力提升”双重目标的可持续农业技术体系。

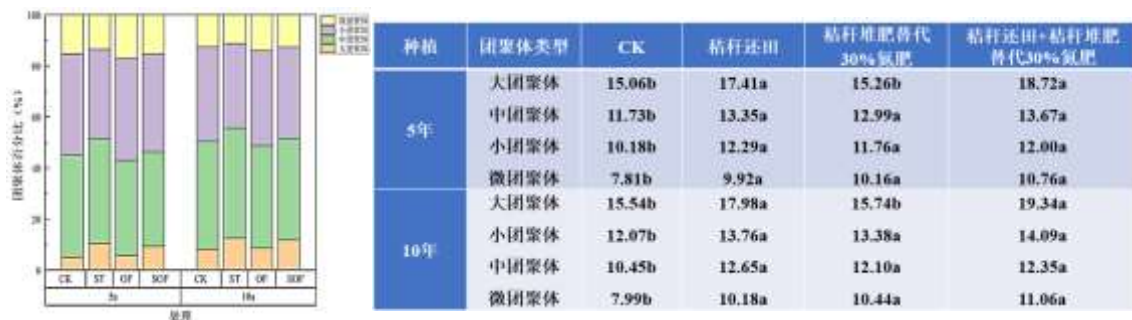


图 12 “秸秆堆肥+化肥减量”对土壤团聚体构成和碳含量的影响 (mg/kg)

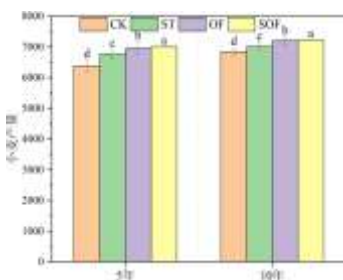


图 13 秸秆堆肥+化肥减量对小麦产量的影响

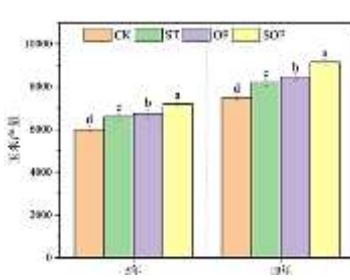


图 14 秸肥+化肥减量对玉米产量的影响



图 15 农业有机废弃物肥料化关键技术创新与应用

(三) 构建“装备-农资-模式”一体化落地体系：以秸秆直接还田、炭化还田、堆肥还田三大核心技术路径为抓手，通过靶向装备研发、专用农资创制、标准模式凝练三措并举，打通技术落地“最后一公里”，实现科研成果从实验室到田间地头的高效转化。累计创制秸秆回收和还田机具 2 个、智能好氧发酵装备 5 套、微生物菌剂和有机肥登记产品 7 个，为规模化应用提供坚实支撑。

1. 秸秆直接还田配套装备与农资集成技术：创制了集精准粉碎、菌剂喷施与深度旋耕于一体的秸秆还田机，研发出专用复合微生物腐解菌剂 1 个，形成“装备+菌剂+耕作”一体化应用包，突破技术落地瓶颈。

针对传统秸秆直接还田过程中“粉碎-施菌-深耕”环节脱节、作业效率低下、还田效果不稳定的核心难题，创新构建“秸秆处理-微生物菌剂-耕作配套”协同调控体系。研发智能化秸秆回收粉碎还田一体机，首创集成精准粉碎、定量菌剂喷施、深度旋耕三大关键功能，可自动匹配秸秆粉碎长度与 10-15 cm 还田深度，实现“一机多能、一步到位”，作业效率提升 40%以上。同步实现专用复合微生物菌剂量产化（有效活菌数 ≥ 2 亿/g），确保菌剂活性与施用效果。最终形成“智能装备作业+高效菌剂施用+科学耕作配套”三位一体的一体化应用包，彻底解决了传统装备功能单一、菌剂施用不均等行业顽疾，为秸秆直接还田技术的标准化、规模化落地提供了坚实保障。



图 16 秸秆直接还田腐熟菌剂和装备授权专利证书

2. 炭化还田配套装备与农资产业化技术：研发了满足中小规模生产需求的小型化低温

热解炭化设备 3 套，创制高固碳促生长的炭基有机肥产品，取得肥料登记证 2 个。

聚焦小麦、玉米等主导作物秸秆特性，深度契合中小规模生产主体的场地限制与成本敏感需求，成功研发小型化、模块化低温热解炭化设备 3 套，核心攻克 180-400℃精准控温与能效提升关键技术，实现秸秆炭化过程的高效转化、稳定运行与低成本控制，为中小农户及合作社提供“用得起、用得好”的炭化解决方案。首创以生物炭为核心载体，融合功能微生物高效接种与有机营养精准调配技术，构建“生物炭吸附载体+有益菌活性保障+缓释养分供给”三维功能融合体系。创制出高固碳、促生长的炭基有机肥产品，其中 2 个取得肥料登记证，推动秸秆还田从“简单还田”向“固碳增值、肥效倍增”的增值还田跨越式升级，实现“炭化制备-农资生产-田间施用”全链条高效衔接与价值提升。



图 17 小型化低温热解炭化设备专利证书



图 17 有机肥产品

3.堆肥还田配套装备与农资规模化技术：创制智能化轻简化堆肥设备和有机肥新产品，创制高效微生物菌剂登记产品 1 个，认证堆肥发酵装备 5 套，取得有机肥料登记证 3 个，构建“发酵装备+配套农资+还田培肥”技术体系，突破传统工艺局限。

紧扣“生物+分子膜”堆肥工艺核心，成功创制高效微生物菌剂登记产品 1 个，HDPE 光面膜、纳米分子膜、智能型高温好氧发酵设备等智能智能化轻简化堆肥发酵设备 5 套，集

成自动控温、精准控湿、智能气体导流及翻抛预警四大关键功能，实现堆肥过程的智能化管控与高效运行。通过装备与工艺的深度融合，将传统堆肥发酵周期显著缩短至 25-30 天，堆肥效率提升 50%以上；成品有机肥品质达到有机质含量 $\geq 45\%$ 、有效活菌数 $\geq 2.0 \times 10^8$ cfu/g 的高标准，取得有机肥料登记证 3 个。推进轻简化堆肥设备的规模化应用，同步完善高效微生物菌剂等配套农资供应，最终形成“智能发酵装备+专用配套农资+科学还田培肥”三位一体的一体化应用模式，全面突破传统堆肥工艺效率低、劳动强度大、产品质量不稳定等局限，为秸秆堆肥还田技术的规模化推广应用铺平道路。



图 18 秸秆堆肥发酵装备专利证书



图 19 堆肥设备及有机肥产品

（四）标准引领与示范驱动，促进创新成果转化应用

1. 技术标准制定，促进创新成果转化应用

技术标准是促进科技创新成果转化为现实生产力的桥梁和纽带，科技成果标准化是科技成果实现市场价值和规模化效益的必由之路。项目实施之初，项目组就考虑到成果标准转化问题，提前布局标准、规程制定，推动秸秆高效还田及固碳增产标准化技术迭代升级，促进科技创新成果社会共享，加快秸秆高效还田固碳增产关键技术研发与示范推广应用步伐。项目组在关键技术验证优化和典型作物秸秆高效化还田集成的基础上，将核心技术转化形成了“木炭”、“农作物秸秆生态循环利用技术规范”、“小麦玉米秸秆周年还田丰产增效耕种技术规程”等国家、地方和团体标准 9 项（表 3），为大面积推广应用提供了科学的技术规范，并支撑构建了高效固碳、技术轻简、成本节约和稳产增产为特征的秸秆高效还田固碳增产技术体系，为科技成果转化应用奠定了坚实基础。

表 3 核心技术转化制定的标准

序号	类别	编号	名称
1	国家标准	GB/T 17664-2024	木炭
2	山东省地方标准	DB37/T 4547-2022	农作物秸秆生态循环利用技术规范
3	河南省地方标准	DB41/T 2208-2021	小麦-玉米（大豆）轮作技术规程
4	团体标准	T/SDAS 598-2023	小麦-玉米周年丰产减排生产技术规程
5	团体标准	T/CECA-G 0291-2024	农业有机固废资源化利用的温室气体减排量核算与监测指南
6	潍坊市地方标准	DB 3707/T 072-2022	小麦-玉米周年轮作固碳减排技术规程
7	泰安市地方规范	DB 3709/T 158-2017	小麦玉米秸秆周年还田丰产增效耕种技术规程
8	山东省农业技术规程	SDNYGC-2-1022-2018	小麦“一翻两免”秸秆全量还田轮耕技术规程
9	山东省农业技术规程	SDNYGC-2-1023-2018	小麦—玉米（大豆）轮作丰产高效种植技术规程

2. 打造示范样板，加快推广步伐

针对山东地区小麦、玉米、花生、马铃薯及设施蔬菜等主导作物种植体系，聚焦秸秆还田“适配性差、腐熟低效、固碳不足、推广乏力”等产业痛点，集成“秸秆高效粉碎与智能还田、微生物强化腐熟与固碳增效、炭基肥料精准调控与农资优化、智能装备与农艺模式协同”四大核心技术模块，构建“技术-装备-农资-模式-样板”全链条一体化落地体系。创新建立“核心试验基地（技术源头）—区域示范片（模式验证）—农户样板田（应用推广）”三级递进式示范体系，实现装备应用、农资配套与模式创新的深度融合，凝练形成可复制、可推广的秸秆高效还田与固碳增产核心技术群。

3. 实现规模化辐射带动，彰显经济与生态双重效益

通过标准化技术规范引领与三级示范样板带动，项目成果已实现规模化集成与示范推广，累计辐射带动面积超过 5000 万亩。不仅实现了秸秆资源的高效循环利用，更稳定达成了农业固碳与增产的双重目标，全面验证并提升了技术体系在不同区域、不同作物上的适应性、可行性与规模化应用水平，为农业绿色低碳发展提供了有力支撑。

二、主要组织措施

（一）构建多层次组织架构

成立项目领导小组，由省农业农村厅分管领导任组长，市、县农业部门负责人为成员，负责统筹项目规划、资金调配与跨区域协调；设立技术执行组，由青岛农业大学和中国农业科学院的专家牵头，基层农技人员参与，负责技术研发、现场指导与问题解决；组建示范实施组，由示范基地负责人和种植大户组成，承担田间实操、数据记录与反馈任务，形成“决策-执行-反馈”的闭环管理体系。

（二）明确分工协作机制

科研单位主导核心技术优化与装备改进，提供技术参数与培训资料；农业部门负责政策对接（如将成果纳入农业主推技术目录）及示范基地遴选（重点布局于潮土、砂姜黑土集中区，每县建设 2-3 个核心示范基地）；基层农技站派驻专职技术员（每基地 1 名），实行“一对一”田间指导，每周开展不少于 2 次现场巡查；种植大户作为示范主体，配合进行对比试验，分享经验，带动周边农户共同参与。

（三）完善技术与资金保障

组建由 10-15 名专家组成的技术支撑团队，涵盖土壤学、作物栽培学、机械工程等领域，建立 24 小时技术服务热线，及时解决粉碎不均、炭化质量不达标等实际问题；制定专项资金管理制度，明确资金使用比例：设备研发 30%、示范基地建设 40%、培训推广 20%、监测评估 10%，实行“专款专用、季度审计”，确保资金管理规范、使用高效。

（四）建立考核与反馈机制

制定量化考核指标体系，包括示范基地建设进度、技术推广面积、农户满意度等关键指标，每半年组织一次综合考核，结果与基层农技人员绩效及基地补贴挂钩；建立农户反馈机制，通过线上问卷与线下座谈相结合的方式，每季度收集一次意见与建议，及时梳理技术应用问题，动态优化技术措施与推广方案，确保项目实施科学、高效、可持续。

三、主要推广模式

（一）创新“政府主导+示范引领”协同推广模式

坚持政策引领与示范带动相结合，构建“点上示范、面上推广”的格局。依托农业农村部门，建设 5-8 个万亩级核心示范基地，集中展示三种秸秆还田技术的固碳增产成效，设置传统种植对照区，形成“可观、可比、可学”的直观展示效果。每年春秋各举办一次“现场观摩会”，组织农户、合作社、企业代表现场参观，由示范户讲解经验、专家现场答疑，并配套发放《秸秆还田技术手册》，内含关键参数与操作视频二维码，实现示范带动、以点促面。

（二）创新“科研单位+分层培训”精准推广模式

科研单位联合基层农技站，坚持分层分类与线上线下相结合，构建精准培训体系。针对农技人员，每年举办 3-4 次为期 2 天的参数解读与问题诊断培训；针对种植大户，围绕农时节节点（如小麦收获后、玉米播种前）开展机械操作与质量管控培训；针对小农户，组织 10-15 人小组的“手把手”实操教学，现场演示粉碎、还田与监测流程。同时依托“农技 APP”推送操作要点与农时提醒，实现“云端辅导+田间指导”双线并行，累计培训不少于 1 万人次，打通技术推广“最后一公里”。

（三）创新“企业参与+产业协同”市场化推广模式

引入农业机械企业（粉碎设备、炭化炉生产企业）、有机肥企业（合作生产堆肥产品），坚持产业链协同与成本减负相结合，打造“技术研发-设备供应-原料加工-还田服务”完整链条：针对小农户，提供“设备租赁+还田代作业”服务，如租赁粉碎-还田一体机，每亩服务费 30-40 元，降低操作门槛；针对 500 亩以上规模化基地，提供定制化方案，根据土壤类型设计还田量、配套专用堆肥；企业按推广面积获取补贴，有效降低农户初始投入成本，推动技术产业化落地。

（四）创新“农户互助+精准服务”基层推广模式

针对小农户分散、技术掌握难的问题，构建“农户自助-农技助推-平台支撑”的多元联动机制。在集中种植区组建“技术互助小组”（每村 5-8 组，每组的 20 户），由示范户担任组长，负责组内技术指导与问题反馈；基层农技站建立定点服务制度，定期上门检测土壤碳含量、指导还田参数调整；同时联合电商平台，开通“农资直供通道”，统一采购菌剂、检测仪器等物资，保障供给与质量。通过互助带动、精准服务，实现小农户由“被动接受”向“主动应用”转变，推动秸秆还田技术在基层落地生根、提质增效。

四、主要创新点

（一）创新点 1：针对秸秆还田效率低、功能单一难题，创新三大技术路径，形成“直接高效化-炭化功能化-堆肥低碳化”多元调控体系，突破秸秆还田技术瓶颈

直接还田高效化：首创“微生物菌剂-粉碎参数-耕作配套”三位一体体系。筛选绿木霉 F7 等 12 株高活性菌株，研制专用菌剂（有效活菌数 ≥ 2 亿/g，腐熟效率提升 20%-30%）；优化粉碎长度 ≤ 5 cm、还田深度 10-15cm 参数，小麦成熟期玉米秸秆降解率达 82.73%。

炭化还田功能化：研发“低温热解-改性菌载-功能复配”一体化技术。180-400℃热解制备改性生物炭（载体性能提升 1.14-2.46 倍），4%-6%壳聚糖改性+海藻酸钠固定化负载功能菌（有效活菌数 $\geq 1 \times 10^9$ CFU/g，存活率提高 40%-50%），创制“改土-供肥-固碳”炭基有机肥，保水保肥能力提升 25%-30%。

堆肥还田低碳化：突破“功能微生物调控+分子膜微环境优化”工艺。研发高活性菌剂（活菌数 $\geq 10^9$ CFU/g）与透气保水膜，腐熟周期压缩至 25-30 天，氨挥发损失降低 25%，腐殖化系数超行业平均 1.3 倍，养分释放周期延长至 6-8 个月。

（二）创新点 2：揭示“碳-氮-微生物”协同互作规律，提出精准调控施肥方案，实现固碳增产双赢

直接还田：创建“连续活性碳输入+优化施氮”技术体系。通过 5 年长期定位试验，确立 30%~70%控释肥与普通尿素掺混一次性基施方案，减少氮投入 30~45kg/hm²；32 年定位试验显示，小麦产量规模碳足迹降低 52.3%~66.7%，能源利用效率达 6.66，为北方粮区提供低碳技术范式。

炭化还田：首创“炭化还田+秸秆协同”固碳模式。明确 4t hm⁻²生物炭为最优用量，土壤有机碳提升 33.7%-213%，微生物量碳增加 39.8%-121%，玉米产量增幅 6.17%-19.37%，构建“土壤固碳-肥力提升-作物增产”良性循环，解决单一生物炭应用成本高、养分供给单一难题。

堆肥还田节肥化：提出“堆肥替代 30%氮肥”精准方案。5-10 年定位试验表明，耕层土壤有机质提升 18.6%，全氮、有效磷、速效钾分别增加 13.7%、21.9%、26.4%，小麦玉米 10 年增产潜力达 20%-22%，农田碳汇量年增加 0.5-0.8 t C/hm²，实现“速效培肥与地力提升”双重目标。

（三）创新点 3：打造“装备-农资-模式”全链条推广体系，打通技术应用“最后一公里”

聚焦技术规模化推广痛点，构建标准化、轻简化落地支撑体系：

配套装备智能化：研发智能化秸秆还田一体机（集成粉碎、菌剂喷施、旋耕功能，作业效率提升 40%）、小型化低温热解炭化设备（适配中小规模生产需求）、智能堆肥装备（自动控温、精准控湿，发酵效率提升 50%），实现“一机多能、一步到位”。

农资产品标准化：创制微生物菌剂、炭基有机肥等登记产品 7 个。专用腐解菌剂有效活菌数 ≥ 2 亿/g，炭基有机肥获肥料登记证 2 个，堆肥产品有机质含量 $\geq 45\%$ ，为技术落地提供标准化物质支撑。

示范推广层级化：建立“核心试验基地—区域示范片—农户样板田”三级体系。制定国家、地方和团体标准 9 项，累计辐射带动面积超 8000 万亩，土壤有机碳提升 10%以上，秸秆综合利用率达 95%，形成可复制、可推广的“技术-装备-农资-模式”一体化应用包。

3.项目取得的经济、社会、生态效益情况			
计划推广总规模	(万亩)	实际推广总规模	(万亩)
	3000		
新增纯收益	(万元)		5406.96
	775828.34		
累计示范区数目	个	累计示范区规模	(万亩)
	230		13.67
新增总投入	万元	总经济效益	万元
	2670		773158.34
内容叙述			
一、经济效益显著，带动农民增收与产业升级 产品产业化规模：秸秆腐解菌剂、炭基有机肥等产品在 10 余家企业实现规模化生产，形成年产菌剂 2 万吨、有机肥 20 万吨产能；3 家核心企业 2022-2024 年新增销售额 2.1 亿元、利税 1899 万元，带动上下游产业新增就业岗位 2000 余个。 技术推广应用广泛：近 3 年累计推广面积 5476.96 万亩，覆盖小麦(2419 万亩)、玉米(2111.9 万亩)等 6 大粮油蔬菜作物，黄淮海地区辐射效应显著。 节本增效成果突出： 减投增产：每亩减少化肥施用量（折纯）3.6-8.775kg，小麦、玉米、蔬菜等作物亩均增产 42-599kg； 成本降低：亩均减少物质投入 21.2-51.4 元，新增纯收益 134-3198 元/亩，加权平均单位规模新增纯收益 143.49 元/亩； 总效益显著：近 3 年总经济效益 77.32 亿元，年经济效益 25.77 亿元，切实提升种植户收益。 二、生态效益突出，助力农业绿色低碳发展 固碳增汇效果显著：农田土壤有机质提升 12%-18%，每亩固碳 0.3-0.5 吨（相当于减排 CO₂ 1.1-1.8 吨），小麦-玉米轮作体系温室气体排放总量减少 35%以上。 污染减排成效明显：氮肥利用率提高 12%-15%，纯氮施用量降幅超 15%，农田地表径流氮、磷流失量分别降低 22%和 18%，有效减轻农业面源污染。 土壤质量持续改善：土壤蓄水保墒能力提升 20%，抗干旱、抗板结能力增强，为黄河流域农业节水和耕地质量提升提供技术支撑。 三、社会效益全面，推动农业可持续发展 秸秆资源高效利用：秸秆利用率从不足 30%提升至 95%以上，解决焚烧污染问题，助力“蓝天保卫战”。 农民技能与意识提升：通过“科研单位+企业+合作社+农户”模式，培训技术骨干 2.3 万名、农民 19.7 万人次，发放资料 50 余万份，推动科学种植与绿色生产理念普及。 产业标准化发展：制定国家、地方和团体标准 9 项，规范技术应用与产品生产，促进秸秆资源化利用产业健康发展，轻简化机械作业效率提升 30%以上，降低农民劳动强度。			

三、主要完成人汇总表

排名	姓名	性别	身份证号码	职称	参加项目时的工作单位	单位性质	单位所属层级
1	宋宁宁	女		教授	青岛农业大学	大专院校	省属
2	郭继民	男		高级农艺师	潍坊市农业技术推广中心	推广单位	地市属
3	王 莉	女		高级农艺师	山东省农业生态与资源保护总站	推广单位	省属
4	宗海英	女		副教授	青岛农业大学	大专院校	省属
5	郑成岩	男		研究员	中国农业科学院作物科学研究所	科研单位	部属
6	张海燕	女		副研究员	临沂市农业科学院	科研单位	地市属
7	刘 健	男		农艺师	潍坊市农业技术推广中心	推广单位	地市属
8	王迎春	男		农艺师	寒亭区农业技术推广中心	推广单位	县属
9	潘祥瑞	男		农艺师	齐河县农村经济发展服务中心	推广单位	县属
10	洪艳艳	女		农艺师	临邑县农业技术推广中心	推广单位	县属
11	刘光银	男		高级农艺师	潍城区农业技术推广中心	推广单位	县属
12	王 丽	女		高级工程师	莒南县公共资源交易中心	推广单位	县属
13	刘 颖	女		工程师	临朐县东城街道农业农村综合服务中心	推广单位	乡镇属

14	王晓娟	女		推广研究员	莱州市农业技术推广中心	推广单位	县属
15	杨兆宁	女		高级农艺师	临朐县农业技术推广中心	推广单位	县属
16	刘贵文	女		农艺师	荣成市农业农村事务服务中心	推广单位	县属
17	王祥宝	男		高级农艺师	济宁市兖州区乡村振兴事务中心	推广单位	县属
18	郑 涵	女		农艺师	青州市乡村振兴发展服务中心	推广单位	县属
19	曹长明	男		农艺师	齐河县农业技术服务中心	推广单位	县属
20	李娜	女		农艺师	安丘市农业交流合作中心	推广单位	县属
21	王晓红	女		农艺师	昌乐县乡村振兴发展服务中心	推广单位	县属
22	张洪海	男		农艺师	青州市谭坊镇农业农村综合服务中心	推广单位	乡镇属
23	李 力	男		工程师	青岛汇君环境能源工程有限公司	企业	县属
24	章国宾	男		技术员	栖霞市泰宇生物工程有限公司	企业	乡镇属
25	王恒涛	男		高级工程师	山东中新农业发展有限公司	企业	县属

说明：请按贡献大小顺序填写，主要完成人数不超过 25 人。市级及以上相关机构各类技术人员比例不得高于 30%，乡镇推广机构和各类经营主体人员所占比例不得低于 30%；

四、主要完成单位汇总表

排名	单位全称	单位性质	单位所属层级	备注
1	青岛农业大学	大专院校	省属	
2	山东省农业生态与资源保护总站	推广单位	省属	
3	潍坊市农业技术推广中心	推广单位	地市属	
4	中国农业科学院作物科学研究所	科研单位	部属	
5	临沂市农业科学院	科研单位	地市属	

说明：请按贡献大小顺序填写，主要完成单位不超过 8 个单位。单位名称必须为全称，且具有法人资格。