

济宁市花生绿色增产 ARC 生物耦合技术应用分析

李思梦¹ 朱 强² 申海防³ 齐向阳⁴ 曲厚兰⁵

(¹ 山东省济宁市农业技术推广中心, 济宁 272000; ² 山东省泗水县农业技术推广中心, 泗水 273200; ³ 山东省金乡县农业农村局, 金乡 272200; ⁴ 山东省汶上县农业技术推广中心, 汶上 272500; ⁵ 山东省济宁市任城区农业技术推广中心, 济宁 272000)

摘要:为推动花生产业绿色转型升级, 济宁市依托 2025 年粮油绿色高产高效行动项目, 在泗水县构建“百亩田—千亩方—万亩片”三级示范体系, 系统开展 ARC 生物耦合技术的规模化示范与推广。通过实打实测产、农艺性状监测及推广成效跟踪, 明确技术应用效果与推广模式。结果表明: ARC 生物耦合技术与配套技术集成应用后, 核心验证区花生每 667m² 干果产量达 555.14kg, 较常规种植极显著增产 12.40%; 规模化示范中, 5 个百亩田、3 个千亩方、1 个万亩片平均干果产量分别达 370.07kg、351.40kg、319.92kg, 增产率 29.6%、23.0% 和 12.0%。济宁市通过梯度示范、技术集成、政策激励等措施, 推动技术快速普及, 带动农户每 667m² 平均增收 122.46 元, 形成可复制、可推广的花生产业绿色发展范式, 为黄淮海地区及全国花生主产区提供了实践参考。

关键词: ARC 生物耦合技术; 花生; 示范效果; 推广应用; 绿色高产; 济宁市

Application Analysis of ARC Biological Coupling Technology for Green Yield Increase of Peanut in Jining City

LI Simeng¹, ZHU Qiang², SHEN Haifang³, QI Xiangyang⁴, QU Houlan⁵

(¹ Jining Agricultural Technology Extension Center, Jining 272000, Shandong; ² Sishui County Agricultural Technology Extension Center, Sishui 273200, Shandong; ³ Jinxiang County Agriculture and Rural Affairs Bureau, Jinxiang 272200, Shandong; ⁴ Wenshang County Agricultural Technology Extension Center, Wenshang 272500, Shandong; ⁵ Rengcheng District Agricultural Technology Extension Center, Jining 272000, Shandong)

济宁市是黄淮海地区花生主产区之一, 2022–2023 年花生种植面积在 3.5 万 hm² (52.5 万亩) 左右^[1], 是当地农民增收的重要支柱产业。但长期以来, 该市花生生产面临化肥依赖度高、固氮效率不足、抗逆稳产能力弱、技术应用碎片化等突出问题, 制约了产业的高质量发展。为破解上述难题, 济宁市于 2025 年引入中国农业科学院油料作物研究所研发的 ARC 生物耦合技术, 以泗水县为核心开展规模化示范推广, 探索“技术创新—示范验证—辐射带动”的产业升级路径。ARC 生物耦合技术通过高效固氮微生物菌株与花生根系的协同共生, 强化生物固氮功能, 提升植株抗逆性, 减少化学投入, 已在小面积试验中表现出显著的提质增产效果^[2–4]。但在区域规模化推广中, 其适配性、集成效应、推广机

制及综合效益尚未得到系统验证。本研究基于济宁市三级示范体系, 重点分析 ARC 生物耦合技术的示范成效、推广模式及应用价值, 旨在为该技术在同类产区的大面积推广提供科学依据与实践范式。

1 材料与方法

1.1 示范推广区域概况 示范推广区域集中于济宁市泗水县花生主产区, 涉及星村镇、柘沟镇、华村镇等 8 个乡镇, 地处黄淮海平原南部, 暖温带季风气候, 年平均气温 13.4℃, 年降水量 700~800mm, 降水集中于 6–8 月, 无霜期 200d 左右。土壤类型以粘壤土为主, 部分区域分布砂壤土, 土壤 pH 值 6.5~7.8, 有机质含量 12~15g/kg, 中等肥力水平。主导种植模式为小麦—花生轮作, 花生播种期集中在 5 月上旬, 收获期为 9 月中下旬, 符合黄淮海地区花生生

产典型特征。示范区域总覆盖面积 900hm² (13500 亩),其中核心示范区 233hm² (含 13hm² 核心验证区、220hm² 规模化示范区)、辐射推广区 667hm²,技术辐射带动面积超 6667hm²。

1.2 试验材料 核心示范区同步展示金冠 1、舜花 14、穗源花 1 号、穗源花 25、冠花 6、冠花 8、穗源花 20、穗源花 308、济花 603、花育 951、穗源花 6 号、穗源花 8 号等优质花生品种,通过对比试验筛选适配 ARC 生物耦合技术的主导品种,综合品种表现最终以冀花 16 为主栽品种,该品种是大花生类型,生育期 125d,抗逆性强,丰产性好。

1.3 ARC 生物耦合技术示范推广设计

1.3.1 ARC 生物耦合技术体系 以 ARC 生物耦合技术为核心,集成单粒精播(播种深度 3~5cm,行距 40cm、株距 15cm)、合理密植(1.8 万~2.2 万株/667m²)、全生物可降解农用地膜覆盖(厚度 0.01mm,幅宽 80cm)、科学化控(初花期喷施多效唑 100mg/L,用量 50kg/667m²)、水肥一体化(滴灌带间距 40cm,滴头流量 2L/h)、适期减损收获等配套技术,形成“1+N”绿色高产高效技术体系进行利用。

1.3.2 效果验证 前期聚焦技术参数优化与效果精准验证,设置不同菌剂施用量(2kg/667m²、3kg/667m²、4kg/667m²)、施用时期(播种前、苗期、花针期)对比试验,明确了最佳技术参数为菌剂施用量 3kg/667m²,于播种前施用。

在核心验证区设置处理组和对照组进行 ARC 生物耦合技术的示范推广,探究其使用效果。处理组:每 667m² 施用 ARC 微生物菌剂 3kg,与氮磷钾复合肥(15-15-15,50kg)+2 亿枯草芽孢杆菌(40kg)作为底肥充分混拌后,通过播种机实现种肥同播。配套水肥一体化灌溉,于苗期、花针期、结荚期、饱果期分别滴灌 1 次,每次灌水量 15~20m³/667m²;病虫害防治采用绿色防控技术,优先选用生物农药,化学农药减量 30% 以上。对照组:不施用 ARC 微生物菌剂,其他肥料用量、田间生产与管理方式等均同处理组。

1.3.3 示范推广 规模化示范区(200hm²,含 5 个百亩田、3 个千亩方):开展 ARC 生物耦合技术集成示范与标准化应用,严格按照“1+N”技术体系执行,建立标准化生产档案,记录各项农艺措施实施情况。辐射推广区(667hm²):依托万亩片建设,由新型农业经营主体带动小农户实施,重点推广简化版技术方案,确

保技术易学易用,推动技术常态化应用与辐射带动。

1.4 测定指标与方法 在核心验证区采集展示品种的农艺性状。在花针期取样,每个小区随机选取 10 株花生,挖取完整根系,冲洗干净后,统计单株根瘤数和根瘤鲜重;在收获期调查植株病斑发生率(以叶斑病、锈病为主)和早衰率,病斑发生率(%)=病叶数/总叶数×100,早衰率(%)=早衰植株数/总植株数×100;在收获期随机选取 10 株花生,测定主茎高、侧枝长、单株分枝数,统计单株总果数、单株饱果数。

核心验证区采用小区实打实收,收获后及时晾晒,按折干系数 55%、缩值系数 85% 计算折合每 667m² 干果产量。规模化示范区和辐射推广区采用五点取样法,每个示范单元选取 5 个代表性样点,每个样点面积 10m²,实打实收后计算折合每 667m² 产量,同时记录实际收获面积、鲜重、干重等数据,确保测产结果准确可靠。

2 结果与分析

2.1 性状优化效果 核心验证区数据显示,处理组花生单株根瘤数、根瘤鲜重均明显高于对照组(表 1)。处理组花针期单株根瘤数达 28.6 个,较对照组增加 32.4%;根瘤鲜重 1.87g/株,增幅 41.7%;说明 ARC 生物耦合技术体系显著增强了花生自身固氮能力,减少了对化学氮肥的依赖;病斑发生率仅 3.2%,较对照组降低 5.1 个百分点,叶片早衰率不足 5%,较对照组(18.7%)大幅下降,延长光合功能期 10~15d。处理组花生主茎高 36.8cm、侧枝长 40.5cm,分别较对照组增加 8.2% 和 7.7%;单株分枝数 8.7 个,增幅 10.1%;单株总果数 16.4 个、单株饱果数 13.6 个,分别较对照组提高 12.3% 和 15.3%,为高产奠定了良好的群体基础。

表 1 核心验证区花生性状调查统计

时期	指标	处理组	对照组	较对照 ± (%)
花针期	单株根瘤数	28.6	21.6	32.4
	根瘤鲜重(g/株)	1.87	1.32	41.7
收获期	病斑发生率(%)	3.2	8.3	-
	早衰率(%)	4.5	18.7	-
	主茎高(cm)	36.8	34.0	8.2
	侧枝长(cm)	40.5	37.6	7.7
	单株分枝数	8.7	7.9	10.1
	单株总果数	16.4	14.6	12.3
	单株饱果数	13.6	11.8	15.3

2.2 增产效果 如表2所示,核心验证区504m²代表性田块,处理组荚果鲜重897.68kg,荚果干重493.72kg,折合每667m²干果产量555.14kg;对照组荚果鲜重798.67kg,荚果干重439.27kg,折合干果产量493.91kg;处理组较对照组极显著增产61.23kg,增产率12.40%。

表2 核心验证区花生实收测产记录

类别	测产面积 (m ²)	鲜重 (kg)	干重 (kg)	折合干果产量 (kg/667m ²)	增产率 (%)
处理组	504	897.68	493.72	555.14**	12.40
对照组	504	798.67	439.27	493.91	-

**表示在0.01水平上存在极显著差异

表3 济宁市规模化示范推广区花生测产汇总

示范推广类型	数量	总面积(hm ²)	平均干果产量(kg/667m ²)	较当地平均增产率(%)	核心技术组合
百亩田	5	33	370.07	29.6	ARC+单粒精播+水肥一体化
千亩方	3	200	351.40	23.0	ARC+可降解地膜+科学化控
万亩片辐射区	1	667	319.92	12.0	ARC+合理密植+适期减损收获

三级示范体系均表现出显著增产效应,5个百亩田每667m²平均干果产量370.07kg,较泗水县当季平均产量(285.6kg)增产29.6%;3个千亩方平均干果产量351.40kg,增产23.0%;1个万亩片辐射区平均干果产量319.92kg,增产12.0%,呈现“小面积高产突破、大面积稳定增产”的示范效果(表3)。

2.3 绿色效益与资源利用效率 ARC技术与水肥一体化配套应用后,水资源利用率由常规种植的55%提升至80%,每667m²节水60m³,节水率30%;化肥利用率提高20个百分点,化肥投入成本降低25%,减少化肥支出45元。连续应用后,土壤容重降低4%,耕层疏松度改善;土壤有机质年增0.2g/kg,土壤微生物群落结构优化,有害菌数量减少30%以上,实现了“增产不增肥、提质又护土”的绿色发展目标^[5]。

3 讨论

3.1 推广应用模式与成效

3.1.1 构建“四位一体”推广体系 济宁市创新形成“政府引导—科研支撑—企业参与—农户实施”的推广模式,保障了技术快速落地。一是政府引导强保障。市级成立领导小组与技术指导组,县级设立专项办公室,实行专账管理、档案化监管,明确“市统筹、县实施、乡落实”的责任机制。二是科研支撑破瓶颈。中国农业科学院油料作物研究所提供技术源头支撑,济宁市农业技术推广中心联合县乡农技部门,开展技术本地化适配优化。三是农户实施强赋能。通过“方案评审+专家培训+田间指导+现场观摩”四位一体服务,全年开展技术培训26场次,田间指导480余人次,发放明白纸1.2万份,

覆盖农户3200余户,技术到位率达95%以上。

3.1.2 推广应用成效显著 一是推广规模快速扩大,2025年济宁市ARC生物耦合技术推广面积达233hm²(3500亩),辐射邹城市、曲阜市等周边区域100hm²(1500亩),技术覆盖率在泗水县花生主产区达35%。二是经济效益稳步提升,按规模化示范每667m²平均增产61.23kg、花生市场价2元/kg计算,农户增收122.46元,叠加化肥、水资源节约成本,节本增收达167.46元。三是示范辐射效应凸显,通过组织观摩会,为技术推广奠定基础;筛选出的金冠1、济花603等适配品种,已在济宁市推广面积达2000hm²(3万亩)。

3.2 推广应用中的问题与优化建议

3.2.1 存在的主要问题 第一,极端天气影响技术发挥。2025年泗水县夏季干旱、秋季汛情导致部分推广区域减产10%~15%,暴露了农田水利设施不足的短板,制约技术潜力释放。第二,技术适配性仍需优化。不同土壤类型(砂壤土、粘壤土)、品种(大花生、小花生、高油酸花生)的菌剂施用量、施用时期尚未形成差异化标准。第三,推广机制可持续性不足。当前技术推广依赖项目资金补贴,农户自主采纳意愿受成本因素影响,长效推广机制尚未完全建立。第四,服务体系有待完善。基层农技服务人员数量不足,技术指导的精准性和及时性有待提升,小农户技术应用能力仍需强化。

3.2.2 优化推广应用的建议 第一,强化基础设施配套。加大农田水利设施建设投入,完善滴灌、喷灌等节水灌溉系统,提高抗灾减灾能力,为技术应用提供基础保障。第二,深化技术本地化适配。开展

(下转第101页)

17666kg/hm²,高于李晓红等^[10]在西辽河平原相同密度下的产量水平,表明云南宣威地区玉米品种在膜下滴灌技术支撑下具有较大增产潜力。本研究补充了现有研究多集中于北方平原地区的不足^[11-13],为高原玉米生产提供了区域数据支持。

综上,在云南宣威市等低纬高原地区,玉米单产提升需兼顾品种耐密性与密度阈值,结合膜下滴灌技术,将种植密度从传统 6.0 万株/hm² 提升至 7.5 万~9.0 万株/hm²,可显著提高玉米单产。紧凑型品种宣瑞 599 和金玉汇 3 号在 9.0 万株/hm² 密度下增产潜力大,其株高稳定性和低空秆率优于平展型品种;密度超过 7.5 万株/hm² 时,半紧凑型品种云瑞 55 和平展型品种敦玉 810 产量下降幅度较大,行粒数和百粒重对密度响应最敏感,穗行数稳定性最好,表明其受遗传调控更强。因此,在筛选玉米耐密品种和推广密植高产技术时,结合膜下滴灌可实现水肥—密度协同优化,奠定品种高产稳产基础。本研究尚存在一定的局限性,其结论的普适性仍需多年多点试验验证,以期更好地为云南宣威地区玉米产业升级提供技术支撑。

参考文献

- [1] 李永贤,郭俊廷,张林,张恒,平秀敏. 云南省玉米生产现状及对策建议. 中国农技推广, 2024, 40 (6): 7-8, 14
- [2] 刘奕,闫振华,鲁镇胜,杨鹏辉,郭栋,明博,高尚,谢瑞芝,王克如,

(上接第 95 页)

不同生态区、品种、土壤类型的技术参数优化试验,制定区域性技术操作规程,提高技术适配性和应用效果。第三,健全长效推广机制。建立“政府补贴+企业让利+农户自筹”的成本分担机制,降低农户采纳门槛;将 ARC 技术纳入当地主推技术目录,与农业保险、信贷支持等政策挂钩。第四,完善技术服务体系。加强基层农技人员培训,组建技术服务团队,采用“线上咨询+线下指导”相结合的方式,提升服务效率;培育家庭农场、合作社等新型经营主体,发挥其示范带动作用,推动小农户与现代农业有机衔接。第五,扩大推广应用范围。依托全国农业技术推广服务中心平台,在黄淮海、长江流域等花生主产区开展多点示范,加快技术全国推广步伐;加强技术宣传,通过电视、网络、短视频等多种渠道,提升技术知晓度和农户采纳意愿。

- 李少昆. 玉米密植精准调控技术下产量提升优势品种分析. 中国种业, 2025 (3): 64-68, 76
- [3] 卢长春. 皖北夏玉米密植滴灌水肥一体化高产栽培技术. 农业工程技术, 2025, 45 (14): 30-31
- [4] 曹月红. 覆膜和露地条件下密度和灌溉量对玉米生长发育和产量的影响. 石河子: 石河子大学, 2024
- [5] 严建兵, 赵久然. 密植高产——我国玉米育种的最核心目标. 生物技术通报, 2023, 39 (8): 1-3
- [6] 杨清龙, 李国芳, 赵菁菁, 苗中芹. 种植密度对玉米产量及籽粒灌浆特性的影响. 安徽农学通报, 2025, 31 (14): 7-10
- [7] 陈传永, 王元东, 张春原, 吴珊珊, 毛振武, 杨海涛, 赵久然. 不同玉米品种的耐密效应分析. 种子, 2020, 39 (7): 131-136
- [8] 王群, 薛军, 张国强, 王凤, 陈江鲁, 谢瑞芝, 明博, 侯鹏, 王克如, 李少昆. 覆膜滴灌条件下灌溉量和种植密度对玉米茎秆抗倒能力的影响. 玉米科学, 2021, 29 (2): 124-130
- [9] 姚森崇. 不同栽培措施对玉米抗倒伏能力的影响. 银川: 宁夏大学, 2024
- [10] 李晓红, 王克如, 张国强, 明博, 薛军, 方梁, 张婷婷, 叶建全, 李少昆. 增密和株行距优化提高西辽河平原沙地滴灌玉米的产量与水分利用效率. 中国农业科学, 2025, 58 (14): 2766-2781
- [11] 宋朝玉, 修翠波, 黄俊杰, 范学鹏, 王圣健, 官明波. 滴灌水肥一体化模式下夏玉米品种筛选研究. 山东农业科学, 2022, 54 (12): 104-108
- [12] 卢庭启, 张华, 税红霞, 蒋晓芳, 庞启华, 王秀全, 何丹. 种植密度对不同玉米品种农艺性状及产量的影响. 现代农业科技, 2022 (19): 1-4, 9
- [13] 孟战赢, 王育红, 郭党, 田文仲, 李俊红, 吕军杰, 李芳. 不同密植栽培模式对夏玉米产量的影响. 耕作与栽培, 2025, 45 (5): 14-18

(收稿日期: 2025-11-19)

参考文献

- [1] 济宁市统计局. 济宁统计年鉴 2023. (2023-10-30) [2025-11-25]. http://tjj.jining.gov.cn/art/2025/2/6/art_6793_2706566.html
- [2] 泉州市农业农村局. 泉州市农科所引进 ARC 菌剂在花生上应用增产效果显著. (2024-01-05) [2025-11-25]. http://nyncj.quanzhou.gov.cn/nks/kydt/202401/t20240105_2990544.htm
- [3] 于媛玮, 于强, 宋福荣, 姜慧, 毛劲, 唐晓倩, 张奇, 李培武. 花生油全产业链黄曲霉毒素管控应用技术研究进展. 农业工程学报, 2025, 41 (11): 26-34
- [4] 赵秀兰, 吉萍萍, 洪宇轩, 古皓华, 蔡航, 温茗博, 朱嘉铭, 岳晓凤, 梁美娟, 唐晓倩, 李友国, 张奇, 李培武. ARC-BBBE 在长江流域花生产区试验示范效果. 中国油料作物学报, 2024, 46 (6): 1357-1363
- [4] 韩亚伟, 骆恒斌, 张旭. ARC 微生物菌剂对花生主要农艺性状的影响. 乡村科技, 2025, 16 (1): 85-89
- [5] 王兴祥, 张桃林, 戴传超. 连作花生土壤障碍原因及消除技术研究进展. 土壤, 2010, 42 (4): 505-512

(收稿日期: 2025-11-25)