

三螺旋视域下农业人工智能技术产教融合的协同机制研究

宋亚齐, 杨宗娟, 刘素坤*

大连海洋大学经济管理学院, 辽宁大连, 中国

*通讯作者

【摘要】随着人工智能(AI)技术的迅速发展,数字化与智能化正成为推动农业现代化的核心驱动力。本文基于三螺旋理论构建了以“技术—主体—政策”为核心的农业产教融合协同机制分析框架,从政府、农业院校与科技企业三方视角探讨AI在智慧农业中的应用与推广,验证了多方协同在缩短技术转化周期,促进成果产业化方面的积极作用。然而,实验室与田间之间的“鸿沟”、校企合作中利益分配与风险共担机制不完善以及政策支持不足等问题依然存在。为此,本文提出构建需求对接、资源共享和风险共担的协同创新模式,并建议完善税收优惠、制定统一技术标准及构建国家—地方政策协同机制,以期农业智能化和可持续发展提供理论依据和实践指导。

【关键词】三螺旋理论;人工智能;产教融合;校企合作;协同创新

【基金项目】辽宁省教育科学“十四五”规划一般课题:应用型本科高校产教融合促进高质量就业的路径研究(编号:JG22DB111)

1.引言

随着全球人口不断增长、资源日益紧缺、生态环境持续恶化以及气候异常频发,传统农业生产模式已难以满足现代化、规模化和可持续发展的需求。新一代信息技术的迅速发展,尤其是人工智能在大数据分析、机器学习和自动控制等领域取得的突破,为农业转型升级注入了新动能。国家“十四五”规划明确提出推广智慧农业,强调利用数字技术实现农业全流程精准管理;二十大报告也进一步要求强化数字农业和智能农业建设。近年来,2023到2025年的一号文件陆续出台,加大了对数字农业、智能装备和产学研协同创新的政策支持,这不仅为农业科技创新提供了坚实的制度保障,同时也推动农业院校与科技企业在技术研发、成果转化及产业化应用方面展开深度合作。

20世纪90年代中期,Etzkowitz H(1995)^[1]与Leydesdorff L(2000)^[2]借鉴生物学中的三螺旋结构,构建了政府-产业-大学协同创新理论,用以阐释知识经济背景下多元主体间的动态协作机制。该理论突破了传统双螺旋中单一主导的创新范式,强调政、企、学三方在保持功能独立基础上,通过边界渗透与角色互嵌形成螺旋式上升的创新合力。胡卫卫与杨其洪(2022)以三螺旋理论为基础,提出“产学研”协同农业科技人才培养模式,强调政府顶层设计、校地合作与特色化路径,为相关应用提供理论支撑^[3]。哈巍与林璐(2023)分析六个地

区三螺旋模式演化路径,指出应因地制宜突破单一螺旋,再整合多方功能^[4]。如寿光蔬菜产业由企业主导快速崛起,而中西部一些政策主导型区域则受制于资源分散。毛月秋与汪婷婷(2024)提出“多元、多链”的协同创新生态系统,以企业为核心,高校和科研机构为支撑,金融与中介机构为服务链,形成覆盖创新链、产业链和资金链的网络^[5]。李化树与王彬(2025)则指出,政府、企业与高校可通过政策协同、技术驱动和教育创新,形成动态互动机制:政府搭建制度平台,产业推动成果转化,高校提升应用导向与人才供给能力^[6]。实证研究表明,通过“核心链+支撑链”的耦合机制,能够显著提升农业技术的转化效率,尤其在智能装备和数字农业领域成效尤为突出。然而,当前文献对校企合作中的利益分配、风险共担和政策衔接等深层问题关注不够,智能农业发展仍处于探索阶段,这为进一步研究提供了广阔空间。

基于上述理论及现实问题,本研究拟构建以“三螺旋”协同创新为核心的农业智能化产教融合分析框架,整合技术、主体与政策三大维度,以说明产学研之间的协同关系,如图1所示。论文将聚焦于精准农业、智能装备及供应链优化等关键技术,并探讨农业院校与科技企业在各自优势互补下形成的合作机制和利益共享模式,同时考察政府在资金扶持、标准制定及政策引导中的作用。研究不仅力求揭示

AI 驱动下校企合作的动态演化规律，还计划构建“需求对接-资源共享-风险共担”的协同创新模式，并提出政策适配性评价体系，为今后在税收优惠、研发补贴和标准建设等方面提

供决策依据。总体而言，本研究既契合国家战略和产业升级需求，也为智能农业的理论探讨和实践推广提供了新的视角和方法。

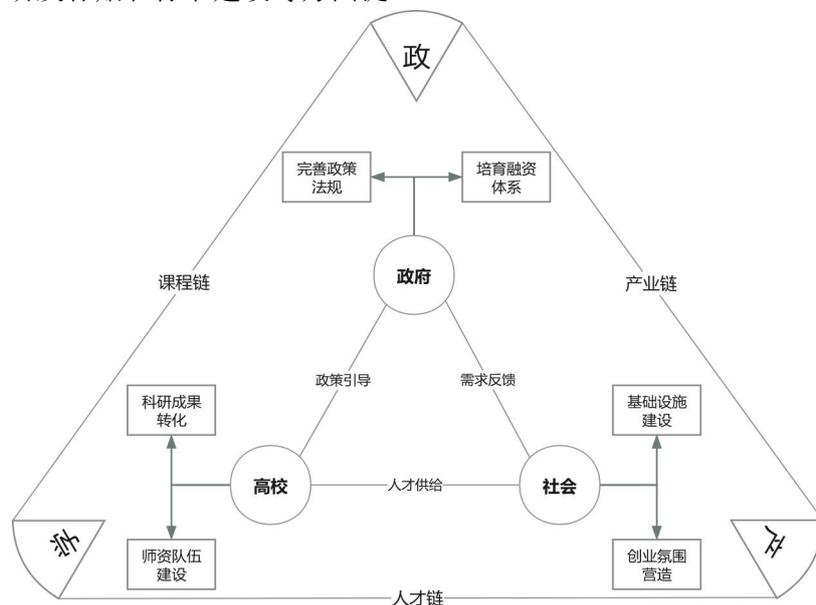


图 1.三螺旋理论框架图

2.人工智能在农业中的应用现状与潜力

2.1 技术应用场景

2.1.1 精准管理与决策支持

随着人工智能、大数据和物联网的快速发展，农业加速向智能化迈进。作为 AI 最早应用的领域，精准农业通过整合无人机、多光谱传感器、卫星遥感与地面监测网络，实时采集土壤水分、温度、光照及作物生长等数据。结合深度学习与数据融合技术，无人机搭载多光谱相机获取高分辨率影像，并结合三维点云重建，精准测算作物冠层覆盖率和株高，实现变量施肥，误差控制在 $\pm 5\%$ 以内；北斗 RTK 系统可实现厘米级路径规划与动态避障。智能决策系统通过融合遥感与地面数据，实现作物长势、病虫害及气候变化的动态预测，在灌溉决策与病虫害预警方面具备较高准确性与应用潜力。

2.1.2 智能装备与自动化技术

智能装备与自动化技术日趋成熟。如东方红智能拖拉机搭载多光谱相机与土壤电导率传感器，可实时生成处方图，精准施肥灌溉，氮肥利用率提升约 25%。在智能除草方面，基于 RGB-D 相机与深度学习的除草机器人识别精度达 0.3 cm^2 ，除草剂用量减少 95%。自动驾驶农机亦不断进步，如 John Deere AutoTrac 系统结合激光雷达、多模态传感器，实现 $\pm 2.5\text{ cm}$ 横向控制精度，作业效率提升 20%；挪威

AgBot 田间机器人应用三维点云建模，路径规划误差低于 5 cm ，适应复杂地形。

2.1.3 供应链优化与智能物流

在农业供应链与智能物流方面，基于 LSTM-GRU 混合预测模型的市场预测系统，通过整合卫星、物联网及历史销售数据，实现农产品市场走势预测准确率达 89.7%，为定价、库存管理及物流调度提供科学依据。深度强化学习结合三维点云建模构建的路径规划模型，使冷链物流燃油消耗降低 22%，配送准时率显著提升。此外，智能仓储分拣系统和无人机配送技术的应用，使农业物流运行效率大幅提高，分拣效率达 6000 件/小时且误差率低于 0.2%，而无人机配送系统实现亚毫米级精准投递，适应复杂城市环境。

2.1.4 病虫害防控与生态监测

除了上述主要领域，人工智能在农业中的应用还扩展到病虫害精准防控以及生态环境监测等多个方向。在病虫害防控领域，基于计算机视觉与迁移学习的识别系统融合多光谱分析，可精准捕捉 0.1 cm^2 病斑和 0.2 mm 虫害特征，识别准确率突破 99.35%，使防控效率提升，农药用量减少。生态监测方面，物联网传感器网络实时追踪土壤 pH 值、重金属含量等指标，形成全生长周期环境预警体系。同时，部分地区已开始探索利用区块链技术构建农业数据追溯系统，确保数据透明、真实，并促

进农产品安全监管的智能化管

2.2 校企合作成效

校企合作在推动农业智能化进程中成效显著。高校在基础研究和理论创新方面优势明显，企业则具备市场化与资金运作能力。通过共建实验室与中试基地，双方在数据采集、算法研发、系统集成等方面协同推进。中国农业大学与山东齐力新农业服务有限公司合作的多光谱无人机与北斗系统项目，有效缩短了技术转化周期。南京农业大学与丰乐种业联合开发的抗病水稻项目，借助 CRISPR-Cas9 分子标记技术，使病害发生率降低 83%、亩产提升 18.6%。此外，智能病虫害预警系统的推广使农药使用量减少 42%，兼顾成本与生态效益。

总体而言，人工智能已广泛应用于精准管理、智能作业与供应链优化等农业全链条环节，不仅显著提高农业生产效率，也为农业现代化与可持续发展提供坚实支撑^[7]。持续优化的农校企合作模式则为技术研发与成果转化搭建了高效平台，推动农业智能化深度融合与产业升级。

3. 农业人工智能技术产教融合面临的问题与成因

3.1 人工智能技术转化中的壁垒

人工智能农业技术在“实验室—田间”转化过程中存在明显鸿沟。许多 AI 模型在实验室环境下经过严格调试，但在真实农田环境中，由于数据来源、气候变化和土壤条件的复杂性，精准度有所下降。例如，某些多光谱识别系统在控制环境下的误差可控制在极低范围内，但在田间实际应用时，受光照、尘土、风速等因素影响导致误差增大，进而影响施肥和病虫害诊断的准确性。

农业生产环境的高度时空异质性使得单一模型难以适应所有条件。农田的土壤成分、灌溉方式、作物种类及管理模式各异，导致在某一试点区域表现优异的 AI 系统，在其他地区可能因数据偏差而失效。此外，农业企业与高校之间的数据共享也存在障碍。由于担心商业机密泄露或数据安全问题，部分农业企业对与高校共享农田数据持谨慎态度，限制了模型训练数据量，降低了算法的泛化能力。

从技术转化的角度看，许多科研成果在实验室阶段虽具备理论优势，但由于缺乏系统的中试平台与大规模验证，难以形成标准化、可复制的产业化流程。针对转化障碍，有文章指出科技成果转化机制不健全、转化服务平台缺乏等问题^[8]。实验室和田间之间缺乏有效的沟

通机制，导致新技术在推广过程中遭遇应用壁垒，技术成熟度不足的问题始终制约着智能农业的普及。

3.2 校企合作机制中的缺陷

校企合作在推动农业智能化方面发挥着重要作用，但在实际操作过程中，双方在利益分配、知识产权及风险共担方面存在诸多矛盾。根据《教育强国建设规划纲要（2024—2035年）》的文件精神，其中明确提出“提高高校科技成果转化效能”，要求优化职务科技成果赋权改革，推进成果单列管理、容错免责机制和横向科研项目结余经费转化机制，并探索“限时转化”模式^[9]。

然而实践中，部分校企合作项目未能对知识产权分成比例作出明确规定，导致在科研成果转化阶段，双方因利益分配不均而产生分歧，影响合作的稳定性和长远性。高校投入大量基础研究和人才培养，而企业承担市场化运作和资金投入，双方之间的贡献难以量化，合作模式亟待建立公平透明的评价和分成体系。

在研发前期，高风险和不确定性较高的问题也使得企业普遍较为谨慎。多数企业更倾向于在技术成熟后参与项目，这使得一些具备较高潜力的前沿技术无法获得足够资金和市场支持，进一步延缓了技术从实验室到市场的转化过程。

校企双方在合作过程中往往存在沟通不畅、目标不一致等问题。高校与企业研究方向、评价指标和管理模式上存在差异，导致双方在项目管理和技术成果转化时难以形成统一步调。例如，部分项目在初期阶段侧重于技术攻关，而忽视了后续成果的市场推广和产业应用，最终导致技术成果积压在实验室，无法实现预期的产业效益。

3.3 产教融合政策适配不足

国家及地方政府在推动农业智能化与产教融合方面出台了一系列扶持政策，但在实际执行过程中，政策适配性问题仍然存在。根据相关政策，高标准农田建设、智慧农业建设、设施农业建设、农业产业融合发展、农机购置补贴政策已纳入补贴范围^[10]。然而，现行政策在补贴和资金支持方面更多关注设备采购、基础设施建设，而对于软件研发、数据平台搭建等高技术含量领域的支持力度相对不足。

农业领域涉及的技术标准尚未完全建立。无人机植保、AI 诊断等新兴技术由于缺乏统一的国家标准，各地在技术推广和监管上存在差异，导致市场混乱，甚至出现技术壁垒。标

准缺失不仅影响了企业产品的一致性和可靠性,也增加了合作过程中出现质量争议和责任认定的风险。

国家与地方政府在政策执行过程中存在信息传递不畅和协调不足的问题。尽管国家文件对农业智能化和校企合作提出了明确要求,但地方政府在落实过程中往往因资金、人才和管理经验不足而出现执行偏差,导致整体政策效应大打折扣。部分地方政府在补贴发放和项目审批上存在随意性,未能形成系统、长期的支持机制,进一步削弱了技术转化和产业化的动力。

综上所述,政策适配不足问题主要体现在补贴结构不合理、标准建设滞后以及国家与地方协调不力等方面。这些问题既影响了企业和高校在技术研发和成果转化中的积极性,也在一定程度上限制了整个农业智能化系统的构建和推广应用。

4. 农业人工智能技术产教融合协同机制的实施路径

4.1 构建需求导向型协同机制

4.1.1 建立双向对接平台

为解决高校与企业在项目选题和技术需求上的信息不对称问题,建议建立“企业需求库-院校成果库”双向匹配平台。该平台由政府或行业协会牵头建设,利用大数据和人工智能算法对农田管理、智能装备及供应链等各环节中的实际痛点进行精准梳理。同时,平台汇集农业院校的最新科研成果和技术专长,实现双方信息互通。教育部办公厅、工业和信息化部办公厅、国家知识产权局办公室关于组织开展“千校万企”协同创新伙伴行动的通知中明确指出,支持高校和企业探索协同创新的新机制、新模式,根据龙头企业、专精特新中小企业和创新型中小企业特点,实现与高校精准对接,开展不同形式的创新合作。通过定期举办需求对接会、技术路演和在线咨询等方式,使高校能够准确把握市场动态,企业也可及时获得技术支持,实现从技术研发到市场应用的无缝衔接。

4.1.2 布局中试基地与联合实验室

鉴于技术转化过程中“实验室—田间鸿沟”问题突出,建议在主要粮食主产区设立 AI 技术验证中试基地。这些基地不仅承担新技术的现场验证和适应性改进,还将作为联合实验室的延伸,促进技术与农业生产环境的深度融合。中试基地的建设可采取“政府引导、企业投资、高校参与”的多元化模式,上海市通过税收优

惠支持健全科技成果转化制度体系,其经验可提供参考。通过政策优惠和专项资金支持,加速技术成果从实验室向大规模田间应用的转化。与此同时,联合实验室应聚焦关键领域,形成长期稳定的合作机制,推动校企在产品迭代、系统优化等方面实现优势互补^[11]。

4.1.3 构建实时反馈与动态调整机制

技术应用过程中,农田环境、作物种类及管理模式存在较大差异,因此建立基于物联网和云平台的数据采集与监控系统显得尤为关键。国家发展改革委等部门关于促进数据产业高质量发展的指导意见中要求提高数据资源开发利用水平,提高数据领域动态安全保障能力。通过对中试基地及实际农场的实时数据监控,相关部门可以及时掌握新技术在不同应用场景中的表现,形成数据闭环,为后续技术改进和产品迭代提供依据。此外,还可通过专家评审和现场调研,定期对各合作项目进行综合评估,及时调整合作策略,确保技术成果与市场需求高度匹配,形成动态反馈、持续改进的协同创新机制。

4.2 创新利益共享模式

4.2.1 引入阶梯式分成机制

在校企合作中,高校与企业各自承担着不同阶段的投入和风险。为解决利益分配不均问题,建议按照“研发-中试-产业化”三个阶段,分别设计分成比例。最高人民法院关于以高质量审判服务保障科技创新的意见中提到:保护守约方权益、合理分配利益与责任、促进成果转化应用、强化产教融合协同,为该机制提供了法律保障。此模式既能反映高校在基础研究和人才培养中的投入,又能体现企业在市场推广和资金支持方面的贡献,有助于实现利益合理分配,激发双方长期合作的积极性。

4.2.2 建立风险补偿基金

由于前期研发投入风险较高,企业往往较为谨慎,导致部分具有潜力的项目难以获得足够资金支持。为此,建议由政府牵头,联合银行及风险投资机构设立专项风险补偿基金,该基金可覆盖校企合作项目初期研发和中试阶段的部分风险损失。其他部分由企业和社会资本共同投入^[12]。可参考浙江省农业农村厅关于公开征集省产业基金乡村振兴政策性项目的通知,其中提到省产业基金出资额不超过 10 亿元,并由政府出资不超过 30%作为启动资金。风险补偿基金将为合作项目提供稳定的资金保障,有效降低企业参与合作的门槛,促进技术创新和成果转化。

4.2.3 推动知识产权保护与收益再分配

合作项目在知识产权归属及收益分配上容易出现争议。为此,建议双方在项目启动前通过协商制定详细的知识产权管理办法,明确成果归属、使用权及商业化分成机制。“十四五”国家知识产权保护和运用规划明确提出充分赋予高校和科研院所知识产权处置自主权,推动建立权利义务对等的知识产权转化收益分配机制。同时,可引入第三方评估机构,对各阶段成果进行独立评估,确保收益分配公平合理。建立知识产权交易平台和成果转化奖补机制,不仅能激励各方加大投入,还能通过专利许可、技术转让等方式,将研发成果快速转化为产业竞争力,实现产教双方共赢。

4.3 完善政策支持体系

4.3.1 加大税收优惠与资金支持力度

强化财税政策支持是深化校企协同创新的关键支撑。为有效激发企业研发动力,建议参照高新技术产业的通行做法,显著提升研发费用加计扣除比例,构建与技术创新周期相匹配的税收激励机制。针对农业智能化领域技术迭代快、应用场景复杂的特点,可设立定向扶持资金,重点向核心算法开发、数据平台搭建及智能装备研制等关键环节倾斜,通过建立专项技术研发资金池,形成覆盖全链条的资金保障体系,为技术攻关提供持续性资源支持。

4.3.2 制定统一的国家标准与技术规范

技术标准的缺失不仅制约了新技术在不同地区的推广应用,还可能引发市场混乱。为此,建议国家尽快制定包括农业 AI 数据集标准、模型接口规范、无人机植保技术标准等在内的国家标准。标准的制定应充分吸收高校、企业和行业协会的意见,借鉴国际经验,实现从研发到应用的全流程规范化管理。同时有文章提出了加强科技创新,突破技术瓶颈;推动技术普及,降低使用门槛;制定统一标准,提高运行效率;加强人才培养,填补人才缺口的政策与建议^[13]。这将有助于提高产品一致性,降低技术推广风险,并为跨区域、跨国界的技术合作提供规范依据。

4.3.3 构建国家—地方政策协同机制

当前,国家与地方政府在政策落地过程中存在一定信息不对称和执行偏差,影响整体扶持效果。为确保各项扶持政策能够精准落地,建议建立国家—地方政策协同机制。结合《农业农村部关于大力发展智慧农业的指导意见》等政策文件关于加强校企合作、建立协同创新机制等建议。通过设立专项协调委员会,实现

国家政策与地方实施的无缝对接,定期召开政策解读、项目评审与督查会议。与此同时,可通过大数据平台实时监控各地区政策执行情况,发现并纠正偏差,确保补贴、税收优惠和技术标准等政策在各地得到统一贯彻实施,从而提升整体政策适配性和协同效应。

4.3.4 鼓励跨学科与国际合作

在全球农业智能化进程中,跨学科与国际合作是提升技术水平的重要途径。建议在现有校企合作基础上,引入信息技术、数据科学、机械工程等多个学科的专家,构建跨领域研究团队,攻克农业智能化中的复杂问题。同时,应积极开展国际交流与合作,引进国外先进技术和管理经验,形成以“政府—高校—企业—国际伙伴”为主体的协同创新网络。这样的国际视野不仅能提升国内技术水平,还将有助于我国农业产品走向全球市场,实现农业智能化与国际标准的无缝衔接。同时进一步为高等教育培养优势人才提供坚实的体系保障。

5. 总结与展望

本文以农业人工智能技术产教融合的协同机制为研究视角,基于三螺旋理论构建“技术-主体-政策”分析框架,系统梳理国内外技术应用、校企合作模式及现存问题。研究发现,人工智能在精准农业、智能装备、供应链优化和病虫害防控等领域展现出提升生产效率、降低环境污染、优化资源配置和实现生态监测的显著效能。然而技术转化中存在壁垒、校企合作在知识产权和风险共担上的机制缺陷,以及政策补贴、标准制定和国家—地方协同不足等问题,仍制约着农业智能化的进一步推广。为此,本文提出构建需求导向型协同机制、创新利益共享模式与完善政策支持体系的对策,校企合作可以通过创设需求对接平台、联合实验室与风险补偿基金等机制,有效缩短了技术产业化周期,形成多方协同创新的共赢格局。为解决当前困境提供了可参考的路径。

展望未来,随着人工智能、大数据、物联网等技术的持续突破,以及国家与地方政策协同机制的逐步完善,农业智能化必将迎来全方位升级。跨学科与国际合作将进一步激发技术创新活力,实现农业全产业链智能化转型,为全球农业可持续发展注入源源不断的动力。

参考文献

- [1] Etzkowitz H, Leydesdorff L. The triple helix—university-industry-government relations: A laboratory for knowledge based

- economic development[J]. EASST Review, 1995, 14(1): 14-19.
- [2]Etzkowitz H, Leydesdorff L. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations[J]. Research Policy, 2000, 29(2): 109-123.
- [3]胡卫卫, 杨其洪.基于三螺旋理论的农业科技创新人才培养模式与机制研究[J].高等农业教育, 2022, (5): 57-65.
- [4]哈巍, 林璐.我国政产学研协同创新的三螺旋模式及其多重演化路径[J].高等教育研究, 2023, 44(4): 1-16.
- [5]毛月秋, 汪婷婷.“多元、多链”的企业产学研协同创新生态系统构建和运行研究[J].经济师, 2024, (6): 212-214.
- [6]李化树, 王彬.三螺旋理论下 AIGC 技术赋能高等教育高质量发展研究[J].中国教育信息化, 2025, 31(1): 31-39.
- [7]兰玉彬, 王天伟, 陈盛德, 邓小玲.农业人工智能技术:现代农业科技的翅膀[J].华南农业大学学报, 2020, 41(6): 1-13.
- [8]曹子建, 吴永常, 陈学渊.中国农业科技成果转化: 演变历程、发展现状及优化路径[J].中国科技论坛, 2023(10): 11-18.
- [9]周洪宇.加快建设教育强国的纲领性文件——《教育强国建设规划纲要(2024-2035年)》解读[J].河北师范大学学报(教育科学版), 2025, 27(02): 13-18.
- [10]大力推进智慧农业发展赋能农业现代化建设——农业农村部市场与信息化司负责人解读《农业农村部关于大力发展智慧农业的指导意见》《全国智慧农业行动计划(2024—2028年)》[J].农机科技推广, 2024, (11): 7-8+13.
- [11]吴睿, 王艳, 程茜, 张俊丽.基于校企联合实验室数据科学专业人才培养模式的改革与实践[J].大学教育, 2021(8): 135-137.
- [12]谭璐.合作担保机构视角下风险补偿基金管理问题及对策——以湖南省岳阳市为例[J].岳阳职业技术学院学报, 2024, 39(4): 89-92.
- [13]何剑波.农业机械智能化设计技术发展的研究[J].河北农机, 2024(22): 12-1