

徐长春,熊炜.“十三五”国家重点研发计划农业面源专项标志性成果概述[J].农业环境科学学报,2023,42(1):11-16.

XU C C, XIONG W. Summary of major research results funded by National Key Research & Development Program for research and development on comprehensive prevention and control techniques for agricultural non-point source pollution and heavy metal polluted croplands during the ‘13th Five-Year Plan’ period[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2023, 42(1): 11-16.



开放科学 OSID

“十三五”国家重点研发计划农业面源专项 标志性成果概述

徐长春,熊炜*

(农业农村部科技发展中心,北京 100176)

摘要:“十三五”期间,国家重点研发计划启动实施了“农业面源和重金属污染农田综合防治与修复技术研发”专项。5年来,各项目承担单位聚焦专项总体目标和项目考核指标,围绕农田氮磷流失、农田重金属污染、农业有机废弃物、农田有毒有害化学/生物污染4个领域开展研究工作,取得了一系列面向农业绿色发展需求的成果,专项35个项目均已通过综合绩效评价。本文结合专项组织管理工作,从基础研究、关键技术研发、集成示范应用3个方面总结梳理了“十三五”期间专项取得的标志性成果,供相关领域科研人员和管理部门参考。

关键词:国家重点研发计划;农业面源污染;农业绿色发展;标志性成果

中图分类号:X71;X52 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2023)01-0011-06 doi:10.11654/jaes.2022-1038

Summary of major research results funded by National Key Research & Development Program for research and development on comprehensive prevention and control techniques for agricultural non-point source pollution and heavy metal polluted croplands during the ‘13th Five-Year Plan’ period

XU Changchun, XIONG Wei*

(Science and Technology Development Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100176, China)

Abstract: During the ‘13th Five-Year Plan’ period, the National Key Research & Development Program of China entitled “Research and Development on Comprehensive Prevention and Control Techniques for Agricultural Non-point Source Pollution and Heavy Metal Polluted Croplands” was initiated. Over the past five years, in the light of overall objectives of the program and specific targets of each projects within the program, an abundance of research results were achieved in areas of nitrogen and phosphorus runoff, heavy metal contamination, agricultural organic wastes, and noxious chemical contaminants remediation in croplands, which contributes to agricultural green development. All the 35 projects had passed the comprehensive performance appraisal. Based on project management work, the authors summarized significant research results on three aspects, i. e. basic research, technical research and development, and technique application and demonstration. We aim to provide reference for academics and policy makers.

Keywords: National Key Research & Development Program of China; agricultural non-point source pollution; agricultural green development; major research result

推进农业绿色发展,是党中央、国务院的重大部署,是保障国家粮食安全、资源安全和生态安全,实现经济社会可持续发展的现实需要^[1]。随着农业投入

品过量使用,规模化畜禽养殖排污,镉、汞、砷等重金属不断向农产品产地环境渗透等内外源污染因素相互叠加,农业面源污染和农田重金属污染形势日益严

收稿日期:2022-10-18 录用日期:2022-11-07

作者简介:徐长春(1989—),男,安徽宿州人,主要从事科技管理与生态经济研究。E-mail:xuchangchun@agri.gov.cn

*通信作者:熊炜 E-mail:xiongwei@agri.gov.cn

峻,已成为国内外农业环境科学领域的研究热点与难点^[2-3]。在“863计划”“973计划”“国家科技支撑计划”“公益性行业科研专项”等科技计划的资助下,“十一五”“十二五”期间,我国在农业面源和重金属污染控制技术方面取得了积极进展,初步建立了农业面源污染防控和重金属污染土壤的修复技术体系,但也存在系统性基础研究有待深入,大规模、产业化应用的技术、产品与装备不足,易推广、可复制的治理模式缺乏等问题。

“十三五”期间,国家重点研发计划启动了“农业面源和重金属污染农田综合防治与修复技术研发”重点专项(以下简称“专项”)。专项围绕污染综合防治与修复的重大战略需求,汇集了国内相关领域优势科研单位、企业和推广机构,形成了一支全国协同攻关的研究队伍和科研平台。在全链条设计、一体化实施的组织管理模式下,各项目承担单位以理论机制研究突破为基础,研发了一批标准化、产业化的关键技术产品并在典型区域开展集成示范应用,有力提升了我国农业面源和重金属污染防治与修复的科技支撑能力和产业化水平。本文结合专项组织管理工作,从基础研究、关键技术研发、集成示范应用3个方面对专项取得的标志性成果予以总结凝炼,形成20项标志性成果,以供相关领域科研人员和管理部门参考。

1 基础研究类标志性成果

在基础研究方面,专项突破了农田面源污染物和重金属溯源、迁移和转化机制,污染负荷及其与区域环境质量及农产品质量关系等重要理论,形成了一批具有指导意义的新理论、新方法,为技术研发与示范应用提供了理论支撑,对下一步研究工作奠定了良好基础。

1.1 农田土壤氮磷垂向淋溶和径流损失及迁移转化机制

专项系统揭示了我国农田氮磷损失强度的空间格局和时间特征,识别了我国农田氮磷淋溶和径流损失的关键区、关键期和关键路径。初步划定了我国农田氮磷淋溶和径流损失的易发区,指出我国北方农田氮主要以淋溶损失为主、南方以径流损失为主,磷主要以径流损失为主,菜地单位面积氮磷损失强度最大,水肥耦合期是氮磷损失和防控的关键时期。揭示了不同类型农田中氮磷转化影响土壤氮磷垂向淋溶、挥发和横向径流损失的机制与主控因子,阐明了农田氮磷损失负荷与区域环境质量的联系,提出农田氮磷

源汇功能转换理论及由源转汇的实现路径。划定我国农业源氮磷生态脆弱区及监测评估体系,并提出分区氮磷淋溶消减策略和消减草案。该成果为推进化肥减施、有机肥替代、畜禽粪尿资源化、面源污染阻控提供了重要的科学依据。

1.2 农田典型重金属源解析、迁移转化规律和安全生产阈值

针对重金属对农田土壤和农产品污染的全过程,专项系统开展了重金属在典型农田土壤固相-溶液-生物-评估终点(农产品和生态安全)全过程的迁移转化、量化模型、评估方法和基于农产品安全和生态安全的土壤重金属安全阈值研究。探明了水稻、小麦和蔬菜吸收和积累重金属的关键因素,建立了重金属有效性/毒害定量预测模型31个;建立了普适性的基于浓度、形态和影响因素的生物积累与毒害表征指标和方法及物种敏感性分布系列;构建了基于土地类型、土壤性质、生物有效性/毒害和物种敏感性分布的土壤重金属农产品安全和生态安全阈值及计算模型。该成果解决了农田系统中重金属生物有效性量化表征和污染风险精准诊断的难点,为我国农田重金属污染风险精准诊断、安全生产等工作提供了技术支撑,为有关标准和规范的制定提供了理论基础。

1.3 农田有毒有害生物化学典型污染物污染机制与应用

针对农药、抗生素、酰胺酯等新型土壤有机污染物,专项衔接污染“检测方法-过程-机制-效应-调控”研究,构建了分类指导不同农业种植制度的区域农田有机污染强化削减与生物污染风险防控的理论、方法和指标体系。建立了抗性基因高通量同步检测与粪便污染溯源方法,开发了土壤中残留酰胺酯、肥料中残留抗生素检测的国家标准方法,构建了典型种植农田中化学/生物污染因子监测与评估指标体系;研发出7种典型农药/抗生素污染菌剂产品及相关修复技术、4种产毒素病原菌拮抗菌剂产品及相关修复技术,开发炭基复合微生物肥料产品1个,建成炭基复合微生物肥料生产线1条。该成果有效提升了我国农田有机/生物污染防控研究的国际竞争力,尤其在部分化学农药污染治理领域由“跟跑”向“并跑”转变,为农田新型污染物防治提供了科学依据和理论基础。

2 关键技术产品类标志性成果

专项进一步强化关键共性技术与产品研发的系统性和实用性,形成了从技术到产品(材料、设备)的

创新链和产业链,有效提升了我国农田面源、重金属污染防治与修复的技术装备及产业化水平。

2.1 稻田氮磷源汇转换和田沟渠塘综合防控技术体系

利用稻田排灌系统和自然水塘,通过精准调控实现稻田排水在“田-沟-塘”系统内循环利用,达到减少稻田氮磷流失的目的,形成针对我国不同水稻主产区的综合防控技术体系。首次揭示了我国水稻主产区氮磷流失空间格局,创新出稻田氮磷流失机理模型,构建了稻田氮磷“源汇功能”理论。突破了稻田氮磷流失控制关键技术及产品装备,提出了基于稳产和水环境保护的我国水稻最佳施氮量,创建了稻田控源增汇、控水扩容、田-沟-塘水量水质协同调控与循环利用等5项关键技术,形成了7项产品装备,使稻田排水达到地表水Ⅲ类的标准。专项集成了东北单季稻区、长江流域水旱轮作稻区和东南沿海双季稻区三大稻田氮磷流失综合防控技术模式,研发构建“稻田氮磷流失智能控制”平台;建立了66.7 hm²核心示范区,区内基本实现稻田灌排智能化控制,稻田氮磷流失负荷削减30%以上。

2.2 设施农业面源氮磷综合调控技术与产品

专项针对我国设施农业氮磷负荷大、土壤氮磷累积高等现状,建立了物理阻隔、化学调控、生物调节、生态优化协同管控的氮磷污染削减关键体系,配套形成了以水肥协同智能控制、生物调节2项共性技术为基础的典型区域“2+X”氮磷削减模式。研发了复配氨基酸等高碳有机肥、秸秆季铵化水凝胶阻隔材料、氮磷活性调控微生物菌剂等系列产品并实现产业化应用。在黄淮海/环渤海、长江流域、黄土高原3个典型区域开展“2+X”氮磷污染负荷削减技术模式应用,实现氮减排23.8%~39.9%,磷减排21.6%~42.0%。该成果有效减少了设施农业生产向环境的氮磷排放,科学解决了设施蔬菜优质高产与氮磷污染最小负荷的矛盾,为我国设施农业产地环境安全和农产品质量安全提供了技术支撑。

2.3 “秸肥深施增碳固氮”农田氮磷面源污染防控技术与产品

在揭示玉米秸秆深还条件下土壤养分活化特征、明确剖面秸秆降解规律基础上,专项集成“旋施还”和“两免一深”多种技术装备和新型肥料,创新构建了秸秆深施增碳固氮技术模式,解决了我国北方地区玉米秸秆全量还田中的秸秆表聚、耕层变浅、苗差苗弱、水肥利用率低等历史性难题;对耕层调蓄扩容,提高了水肥利用效率,对亚耕层增碳固氮活磷,有效控制了

氮磷损失。相关技术装备和增碳固氮技术模式已在黄淮海地区和东北地区开展了技术集成示范应用,面积超过3 300 hm²,取得了良好的效果;对比传统耕作模式,新技术使土壤有机质增加5%~10%,节本增收1 500元·hm⁻²以上,氮素淋失减少10%~20%,氨挥发减少50%以上,具有较好的经济效益和生态环境效益。

2.4 中低度污染农田镉砷同步阻控和移除技术及其产品

针对高富集植物、化学淋洗、物理修复等传统土壤重金属污染防治技术的局限性,专项构建了土壤-水稻系统镉砷“三重阻控”技术体系新思路(土-水界面铁循环调控降低重金属活性、根-土界面提高铁膜固定并降低根系吸收、根-籽粒阻隔重金属向籽粒转移),配合净化灌溉水源的“源头阻控”和磁性螯合吸附“同步移除”技术,有效降低了中低污染农田中稻谷的镉砷含量。建立了炭-铁耦合的镉砷同步钝化、氮-铁耦合的铁膜固定、硒-硅耦合的生理阻隔等新技术,研发出磁性螯合吸附美索磁(MSC)产品及配套生产线,以及铁改性生物质炭、铁改性腐殖质、硒复合硅溶胶等镉砷同步阻控新产品。相关技术产品解决了镉砷治理难同步的问题,在珠三角、西南、中南、长三角等10多个重金属污染核心区进行推广应用,累计推广上百万亩次,污染农田中稻米镉达标率提升至91.4%,无机砷达标率提升至97.6%。

2.5 低积累、超富集品种筛选、评价及其技术标准化

专项系统开展低积累品种筛选及评价、超富集品种筛选及评价以及品种标准化研究。建立了基于遗传效应和环境效应的重金属低累积作物品种筛选方法和技术体系,筛选出水稻、小麦和玉米的重金属低累积候选主栽品种75个,并在典型镉砷污染区进行了验证,在轻度污染范围内,可食用部分重金属含量均满足国家标准。建立了基于生态适宜性和重金属风险削减率的适于间套作的超富集植物品种/生态型筛选与评价方法体系,筛选出景天、蜈蚣草等超富集品种/生态型8个,在中轻度污染范围内,间作作物中重金属含量均满足国家标准。建立了标准化种质资源圃和信息库,形成了水稻品种镉累积特性多点筛选实验技术规程、超积累植物品种选育、种植与应用技术导则等规范性文件。该成果为治理典型镉砷污染区农田重金属污染,带动低积累作物品种育种、超(高)富集植物栽培等新产业发展提供了技术支撑。

2.6 重金属污染农田分类安全利用技术与产品

针对高地质背景农田土壤重金属污染,专项系统揭示了污染形成机理,阐明了坡积型、次生富集型和运积型地质农田土壤重金属的活化机制。探明耕层土壤镉含量与稻米镉含量弱相关的主要原因,制订出分别适合水稻和旱地作物安全生产的技术标准。以稻米和茎基镉含量为核心,兼顾土壤镉污染指数,分别划分早稻和晚稻宜产区和限产区,实现稻米合格率达到90%以上。以土壤镉污染指数、pH值和有机质含量为核心,划分旱地作物宜产区和限产区,实现小麦、蔬菜等作物的合格率达到90%以上。专项研发出具有广适性的“低积累品种+碱性肥料+叶面调剂剂”模式(简称“VFR”模式),使稻麦镉含量下降50%~80%,使水稻、小麦、蔬菜食用部分的镉含量下降50%~80%。针对高地质背景农田土壤重金属污染治理,提出了与国家标准差异化的安全利用和风险管控阈值,能够有效保障重金属污染区的作物安全生产。

2.7 农业废弃物好氧发酵关键技术及智能装备

针对国内好氧发酵普遍存在的时间长、臭味重、设备智能化程度低等问题,专项在国内率先建立了农业废弃物超高温好氧堆肥技术和新一代密闭式好氧发酵技术体系,创新生物干化+好氧发酵工艺并实现规模化应用。研发了一体化筒仓堆肥反应器、滚筒反应器和槽式反应器等系列自主核心装备,创建了堆肥配方软件、“温-湿-氧”传感器及智控系统,显著提升了好氧发酵体系的系统性与智能化水平;专项研制的重金属钝化剂、除臭菌剂等产品,解决了臭气及有机肥产品污染等潜在风险;开发了大型立式高效秸秆粉碎机及清选除杂生产线成套装备,首创蔬菜秸秆工厂化肥料化处理与循环利用模式和技术,实现秸秆利用率提高50%、病虫害降低40%、化肥用量减少20%。相关技术装备在环太湖城乡有机废弃物处理利用产业化示范工程应用,推动建立了全国首个年产5万t以上蔬菜秸秆有机肥生产线示范基地,形成了较好的市场效益。

2.8 农业废弃物多原料厌氧干发酵成套关键技术与装备

为解决厌氧干发酵过程中间产物抑制、传质传热效率低、国产核心装备缺乏等瓶颈问题,专项研发出耐酸产甲烷菌剂生物强化技术,提高了发酵体系的耐冲击性,实现了生物强化作用,对易酸化失稳厌氧发酵系统连续每日添加1%的菌液,可提高乙酸化体系有机负荷2倍。专项研发的序批式干发酵分层接种

技术可使甲烷菌群在特定区域内处于优势地位,加快了启动速度;连续式干发酵技术和连续推流干法厌氧发酵设备,保证了水力滞留期和运行流畅性;配套渗滤液储罐和自吸泵,通过逐层喷淋和层间渗滤,增加了底物的传质效率;集成活塞式进料和固液分离密封出料装置,实现了高固进料,发酵底物总固体浓度、有机负荷率、容积产气率、甲烷含量等多项指标显著提升,且系统运行状态稳定;“农业废弃物干法厌氧发酵工艺系统”软件搭载农业废弃物厌氧特性数据库,提升了农业废弃物厌氧发酵设备智能化水平。

2.9 农田地膜污染机艺融合工程化防治技术与装备

针对西北地区地膜回收率低、地膜残留污染严重问题,专项对导致地膜残留的地膜特性、地膜回收等关键环节进行了技术改进优化。优化地膜加工工艺,研发了生产和销售成本零增加,且易回收、低残留、高强度、厚度不低于0.01 mm的棉花、玉米和马铃薯专用地膜,其断裂伸长率较国标膜提高3.8~5.6倍。改进了残膜回收机的收边膜装置、仿形装置、卷膜装置、卸膜装置等,定型了棉秸秆还田及残膜回收联合作业机、滚筒式玉米田残留地膜清理机、滚筒式马铃薯收获及残膜捡拾一体机,使残膜回收率提高了10%~50%。对残膜加工利用环节的残膜撕碎、上料、吸尘装置、清洗提料设备等优化集成,形成了高质、中质和低质利用3种技术工艺。专项融合地膜污染防治保障机制,构建了以机艺融合为核心的棉花、玉米、马铃薯生产全过程地膜污染综合防治技术模式。在新疆、内蒙古、甘肃等地建立核心区333 hm²,不同种植模式下地膜回收率均显著提高,示范区保产或增产2%~5%,节本增收150~750元·hm⁻²。

2.10 农田重金属及面源污染快速检测与监测、监管决策体系

针对区域污染数据管理与风险监管决策服务能力的短板,专项研发了数据管理、数据挖掘及污染防治决策支持等一体的农田污染大数据平台及监管决策服务系统。专项重点发展了区域农田污染大数据汇交与管理技术,创新了融合“样点数据优选-影响因素识别-多因素融合统计推断”的土壤环境质量插值制图技术,提升了数据管理效率和数据质量分析能力;突破了污染发生风险遥感识别和监测网络布设优化技术,构建了“遥感潜在风险精准定靶-监测点优化布设-地面面源和重金属污染快速筛查”的天地网一体化农田污染动态监测技术模式,建立了面源污染对水质的损益评估模型和生态补偿标准的博弈模型;

研发了区域农业面源和重金属污染管理与决策分析系统,其具备污染调查、管理、评价、补偿等业务功能,提升了决策精准性和风险管控的服务效率。

2.11 基于环保的中小型养殖场布局方法及污染控制技术的整体方案

面向中小型畜禽养殖场,专项建立了兼顾生产、防疫和环保的养殖场选址方法,制定了污染防治功能区规划布局技术规程,开发了粪污收运、转化利用技术设备,构建了粪污养分管理专家系统,形成了“源头控制-过程减量-转化利用”全链条养殖污染防治整体解决方案。专项研发的生猪养殖场粪污实时分离收运系统,使猪场粪尿原位分离率 $\geq 90\%$,舍内停留时间 $< 30\text{ min}$,冲洗水节约23%以上;奶牛场粪污绿色贮存/好氧发酵技术设备及智能化控制系统,使甲烷排放量降低90%以上,氮损失减少60%以上;基于近中红外光谱的粪水氮磷检测技术设备以及重金属超声耦合电催化氧化现场快速消解方法,实现了养殖场粪污养分和重金属的现场快速检测。形成的相关规程、标准、技术、设备和模式为畜禽养殖粪污资源化利用整县推进、长江经济带农业面源污染综合治理和洱海及丹江口等重点流域农业面源污染综合治理提供了技术支撑,且取得了较好的社会和生态效益。

3 模式集成与示范应用类标志性成果

专项在长江中下游平原、黄淮海平原、东北西北、华南西南、城乡一体化区五大类农业主产区,集成了一批农业面源和重金属污染防治综合技术模式,形成了一批生态效应和经济效益兼顾的修复治理模式,有力促进了我国区域经济与生态环境可持续发展。

3.1 城乡一体集约化农区面源和重金属综合防控模式

面向京津冀、珠三角、长三角3个城乡一体集约化农区,以农田氮、磷、镉、砷污染防治及景观提升为核心,构建了“边生产、边修复、边管理”的综合防控技术模式。专项提出了农田土壤氮磷控制阈值和镉砷安全阈值,集成面源污染防治源头阻隔、过程阻隔、末端修复等技术模式,以及“源头控制有机肥+作物空间配置技术+高氮磷土壤修复+重金属钝化”的农田“面源+重金属”全程协同防控模式,形成了基于种养废弃物无害资源化的双向防控模式,研发了畜禽粪便有害物质去除与高温酶解腐熟集成生产技术、仓式尾菜智能型静态好氧发酵处理系统等,构建了农业废弃物“收-运-储-产-销”综合利用模式。示范区实现化肥减量30%、土壤镉砷等重金属去除

率30%、镉砷等重金属有效态下降60%以上,并开展了超过1700 hm^2 的技术辐射推广。

3.2 黄淮海集约化养殖面源污染物优先阻控体系

针对黄淮海地区养殖污染风险重、污染复合度高、处置优先序缺失的现状,专项重点对不同养殖区域污染物负荷、不同养殖类型下各类氮磷、重金属和抗生素污染物分布特点和处理工艺进行了研究。明确了该地区养殖污染阻控重点,提出了各养殖类型下优先控制污染物以及各类污染物优先控制环节(氮磷重在处理与利用、重金属优选饲料端控制、抗生素重点在处理过程),构建了各类污染物从饲料到处理过程和农田应用各环节中优先控制序技术体系,形成了土地消纳型、循环利用+土地消纳型、达标排放+土地消纳型防控模式。该成果目前已在黄淮海各个省市140余个养殖场开展了示范与技术应用,并取得了良好的效果。在技术示范的核心区内,废弃物循环利用率达97.5%,氮污染削减86.4%以上,磷污染削减97.5%以上,重金属排放量削减97.5%,抗生素降解99%以上。

3.3 长江中下游重金属与面源污染综合防控模式

针对农业面源与重金属复合污染的新特点,专项在长江中下游构建以生态种养、低积累作物和新型钝化剂应用为核心的综合防控技术。集成了农田氮磷源头减量、养分循环、氨挥发控制、生态种养、微生物菌剂、关键节点控制、区域联防等单项技术,形成了周年、全程、立体的区域面源污染防治技术系统。优化集成低积累作物、超积累植物、重金属钝化、农艺调控、微生物强化等单项技术,实现了水旱交替/交错环境、不同重金属种类和污染程度农田的修复和安全利用。这些成果作为主推技术入选《江苏省受污染耕地安全利用与治理修复技术指南(试行)》,构建形成区域重金属和面源综合防治模式,在苏州等地建立核心示范区累计1324 hm^2 ,联动推广面积超过6700 hm^2 。

3.4 西南中南粮食主产区农田重金属污染靶向式修复模式

在西南污染分区分级及安全种植区划的基础上,专项提出靶向式修复技术模式。以保证作物品质安全为首要目标,结合成本效益和技术可操作性分析,优化集成镉砷同步阻隔、同步移除、叶面阻隔以及低积累品种筛选等技术,分别针对石灰岩区镉砷汞污染、高原红壤区砷镉污染、川渝丘陵平原区镉污染区域构建了适配西南粮食主产区复杂生境条件和污染特征的污染农田安全利用与修复靶向式技术模式。该模式

可实现主要作物稳产或增产,经济部位镉、砷、汞的含量降低25%~60%,产品质量满足国家食品安全标准要求,技术模式成本在1 500~15 000元·hm⁻²之间。“十三五”末,该模式已在西南地区建立核心示范区24 hm²,示范区内实现了水稻、玉米、小麦等主要作物的经济部位重金属含量达标,产量实现稳产或增产;辐射推广7 440 hm²,辐射区农田安全利用率达到95%以上。

3.5 华南矿业密集区农田重金属污染的源汇协同阻控技术体系

针对不同污染程度农田,专项集成了植物稳定(高污)-植物提取(中污)-植物阻隔(低污)技术体系,可在修复污染农田的同时进行农产品安全生产,实现“边生产边修复”。针对不同类型矿业废水,实现了尾矿库废水(15 000 m³·d⁻¹)的深度净化-回用,废水回用率高于90%;回用水水质对Pb²⁺、Zn²⁺选矿指标基本无影响,可节省新鲜水资源145万t·a⁻¹。针对末端的污染农田,形成了适用于重度污染土壤的经济作物-原位稳定联合修复技术、适用于轻污染土壤的超积累植物-经济作物间/轮作技术、适用于轻度轻微土壤的安全利用技术,技术模式成本为1.5万~7.5万元·hm⁻²。通过在技术模式中选用具有华南特色的百香果等高值经济作物,最高可获得22.5万~30.0万元·hm⁻²的收益。新技术产品的推广应用在多方面产生的边际经济效益潜力较大,对矿业废弃地和农田基础设施的投资可对当地产生一定的间接经济效益。该一体化技术模式在广东、广西建立核心示范区43 hm²,辐射推广740 hm²。

3.6 东北面源污染综合防控模式

结合东北地区农业面源污染综合防控实际,专项从空间上形成覆盖旱田-水田-沟渠-湿地的全过程防控模式,建立了水田全过程氮磷负荷消减技术体系、农田排水污染减排与循环利用技术体系等。从时间上形成从春季冻融期到作物全生育期的周年防控模式,集成了冻融型旱田氮磷污染阻截技术体系。集成“关键技术+机械配套+产品配套”的秸秆及畜禽粪便综合利用模式,建立了东北粮食主产区秸秆和畜禽粪便综合利用技术体系。首次解析了东北寒区旱田氮磷流失冻融作用贡献率,构建了冻融型旱田坡地-平原氮磷流失污染协同防控技术模式。创新形成“两免一耕”秸秆全量还田技术模式。示范区实现氮磷、农药污染负荷消减20%以上,农田有毒有害污染物

残留量降低20%以上,农业有机废弃物无害化消纳利用率提高到95%。

4 结语与展望

通过“十三五”农业面源专项的组织实施,有力推动了我国农业面源污染监测治理从点向面的拓展,实现手段由传统向现代的提升,对象由单一到综合的演变,为后续的农业面源和重金属污染研究和治理奠定了坚实基础。“十四五”及以后更长一段时期,需要继续凝练成果经验,优化任务布局,深化重点领域,组织实施好“十四五”“农业面源、重金属污染防控和绿色投入品研发”重点专项,力争在污染治理修复技术的适用性与智能化,技术、市场、政策各要素协同联动等方面取得新突破,加快形成针对不同农业主产区和典型生态区的“投入源头-施用过程-末端处理-集成示范”紧密衔接的农业面源污染防治综合技术解决方案。

致谢:感谢“十三五”“农业面源和重金属污染农田综合防治与修复技术研发”专项各项目承担单位和专家对专项标志性成果总结凝练工作的大力支持和帮助。

参考文献:

- [1] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于创新体制机制推进农业绿色发展的意见[EB/OL]. (2017-09-30)[2022-11-02]. http://www.gov.cn/zhengce/2017-09/30/content_5228960.htm. The General Office of the Communist Party of China Central Committee, the General Office of the State Council. Working guidance for mechanism innovation to promote green development of the agricultural sector[EB/OL]. (2017-09-30)[2022-11-02]. http://www.gov.cn/zhengce/2017-09/30/content_5228960.htm.
- [2] 武淑霞, 刘宏斌, 刘申, 等. 农业面源污染现状及防控技术[J]. 中国工程科学, 2018, 20(5): 23-30. WU S X, LIU H B, LIU S, et al. Review of current situation of agricultural non-point source pollution and its prevention and control technologies[J]. *Strategic Study of CAE*, 2018, 20(5): 23-30.
- [3] 农业部, 国家发展改革委, 科技部, 等. 全国农业可持续发展规划(2015—2030年)[EB/OL]. (2015-06-28)[2022-11-02]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/liu/201712/t20171219_6103855.htm. Ministry of Agriculture of PRC, National Development and Reform Commission of PRC, Ministry of Science and Technology of PRC, et al. National plan of sustainable development of the agricultural sector (2015—2030)[EB/OL]. (2015-06-28)[2022-11-02]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/liu/201712/t20171219_6103855.htm.

(责任编辑:李丹)