

Pathways for Improving Regional Eco-environmental Quality and Optimization of Monitoring Systems under Agricultural Non-point Source Pollution Control

Chunxian Le Lingjie Chu Chunhong Ji

Jiaxing Tongxiang Eco-environmental Monitoring Station, Jiaxing, Zhejiang, 314500, China

Abstract

This article proposes pathways to improve ecological environmental quality from three aspects: source reduction, process interception, and end-point management. It emphasizes reducing pollutant emissions through the transformation of agricultural production methods, blocking pollutant migration using ecological engineering technologies, and lowering pollutant stocks through ecological restoration measures. At the same time, it elaborates on strategies for optimizing the monitoring system—focusing on the construction of monitoring indicator systems, the optimization of technical methods, and the development of data management and sharing platforms—to enhance the accuracy and timeliness of pollution monitoring.

Keywords

agricultural non-point source pollution control; regional eco-environmental quality; improvement pathways; monitoring system.

农业面源污染防控下生态提升路径与监测优化

乐春仙 储玲洁 嵇春红

嘉兴市桐乡生态环境监测站，中国·浙江 嘉兴 314500

摘要

农业面源污染是制约区域生态环境质量提升的关键因素，其防控需构建系统性提升路径并优化监测体系。本文从源头减量、过程拦截与末端治理三方面提出生态环境质量提升路径，强调通过农业生产方式转型减少污染物排放，依托生态工程技术阻断污染迁移，结合生态修复措施降低污染存量。同时，围绕监测指标体系构建、技术方法优化与数据管理共享平台建设，阐述监测体系优化策略，以提升污染监测的精准性与时效性。研究可为区域农业面源污染防控与生态环境质量协同提升提供理论参考与实践指导。

关键词

农业面源污染防控；区域生态环境质量；提升路径；监测体系

1 引言

农业面源污染作为农村生态环境恶化的主要诱因，通过农田径流、土壤侵蚀等途径导致水体富营养化、土壤功能退化，威胁区域生态系统稳定性。当前，我国农业面源污染防控存在路径碎片化、监测体系与治理需求脱节等问题，制约生态环境质量系统性提升。

2 农业面源污染现状与影响分析

2.1 农业面源污染现状

当前我国农业面源污染呈现复合型污染特征，已成为制约生态环境质量提升的关键因素。农田化肥与农药过量施用问题突出，以嘉兴市为例，2024年全市化肥输入总量

达 77016 吨，其中桐乡市因耕地面积 25335 公顷、作物产量 930033 吨，化肥输入量高达 14876 吨，对应种植业污染负荷居全市首位。两类物质通过地表径流和淋溶作用进入水体，导致氮磷营养盐富集和有机污染物累积。畜禽养殖废弃物产生量巨大，嘉兴市 2024 年畜禽养殖业化学需氧量、总氮、总磷排放量分别达 1350.54 吨、110.93 吨、20.19 吨，其中海盐县占比近三成，部分未经充分处理直接排放，造成土壤重金属累积和水体富营养化风险。水产养殖污染同样不容忽视，全市排放量达 2841.17 吨化学需氧量、372.86 吨总氮，秀洲区以 32236 吨淡水养殖产量成为主要贡献区域。农业废弃物处理体系尚不完善，污染来源的广泛性和污染过程的隐蔽性，使得农业面源污染成为当前环境保护领域的突出难题，对区域生态系统稳定性和农产品质量安全构成严重威胁^[1]。

2.2 农业面源污染的影响

农业面源污染给区域生态环境以及人类的生产生活带

【作者简介】乐春仙（1982-），女，中国浙江桐乡人，本科，助理工程师，从事环境监测与环境质量管理研究。

来多方面影响：其所携带的氮磷等营养物质经由地表径流和地下淋溶进入水体，如桐乡市大麻镇永丰村监测区2024年总氮入河量达14.50吨、氨氮2.40吨，导致出口水质以Ⅳ类为主，氨氮浓度0.84~1.07mg/L、总氮2.19~6.89mg/L，均超出地表水Ⅲ类标准，破坏水生生物栖息环境并降低水体净化能力；过量使用的化肥改变土壤物理化学性质，监测区土壤全氮含量0.806~1.99g/kg、有机质14.9~33g/kg，蔬菜地全氮仅为稻麦轮作地的40.5%，粉粒占比60.3%~69.6%的土壤结构加剧养分淋溶，造成土壤肥力下降及生产功能退化；农业废弃物处置不合理释放的有害气体和颗粒物进入大气，增加大气环境负荷；污染物质通过食物链传递威胁动植物生存繁殖，降低生物多样性；农产品中积累的污染物影响质量安全，给人体健康带来潜在风险。这些影响相互叠加形成复合型生态环境问题，制约区域生态环境质量提升与农业可持续发展^[2]。

3 农业面源污染防控下区域生态环境质量提升路径

3.1 源头减量，从污染产生端控制负荷

源头减量是农业面源污染防控的基础性环节，通过在污染产生初期采取系统性措施，可从根本上降低污染负荷，为区域生态环境质量提升奠定基础。其一，推进化肥农药精准减量与替代技术应用。强化测土配方施肥技术推广，根据土壤养分状况和作物需求制定施肥方案，减少盲目施肥导致的养分流失。发展生物防治和物理防治技术，利用天敌昆虫、生物农药及诱虫灯等替代化学农药，降低农药使用强度。同时，推广有机肥替代化肥技术，将畜禽粪污、秸秆等农业废弃物经腐熟处理后还田，既能减少化肥依赖，又能提升土壤有机质含量。其二，构建农业废弃物资源化利用体系。针对畜禽养殖废弃物，建立集中处理与分散利用相结合的模式，通过沼气工程生产清洁能源，或加工为有机肥实现养分循环。推进秸秆多元化利用，发展饲料化、基料化和燃料化技术，避免秸秆焚烧或随意丢弃造成的污染。加强农膜管理，推广加厚地膜和可降解地膜，建立废旧农膜回收网点，提高农膜回收利用率，减少残留污染。其三，优化农业生产结构与布局。推广种养结合模式，实现养殖废弃物就近消纳和农田养分补充的循环利用。实行轮作休耕制度，通过不同作物轮作改善土壤理化性质，减少连作导致的养分失衡和病虫害累积。根据区域生态条件和环境承载力，调整种植结构，在生态脆弱区减少高耗肥耗药作物种植，发展生态友好型农业，从生产布局层面降低污染风险^[3]。

3.2 过程拦截，强化污染迁移路径阻断

过程拦截借助于在污染物迁移的路径当中设置屏障，可有效地阻断其进入水体、土壤以及大气等环境介质，降低对区域生态环境所产生的影响。要强化农田生态缓冲带的建设，于农田和水体之间构建植被缓冲带，借助种植芦苇、

菖蒲等水生植物，依靠植物根系的吸附、土壤的过滤以及微生物的降解作用，来降低径流里污染物的浓度。在丘陵地区沿着等高线布设灌木植物篱，以此提高对坡面径流的阻滞效果，减少泥沙以及养分的流失。在农田排水口附近建造小型人工湿地，利用湿地生态系统的净化功能，去除氮磷等营养物质，降低流入河流的污染负荷。推广面源污染拦截工程技术，对传统的硬化沟渠实施生态化改造，布置透水填料以及微生物载体，提高对氮磷等污染物的吸附与转化能力。在农田集中的区域建造植生滞留槽，依靠下凹式绿地以及土壤改良，收集并净化地表径流，减少雨水冲刷所带来的污染。针对坡耕地，推行梯田建设以及覆盖种植技术，减缓地表径流的速度，提高土壤的抗侵蚀能力，降低水土流失所携带的污染物迁移量。推进农业用水的循环利用，构建灌溉尾水收集系统，借助沉淀池、过滤坝等设施去除悬浮颗粒物以及部分营养盐，处理后的尾水重新用于农田灌溉，降低向外排放的污染负荷。

例如，嘉兴市通过开展农田退水“零直排”建设，累计覆盖面积约28.9万亩，示范区内主要面源污染物削减1/3以上。在农田集中的区域建造植生滞留槽，依靠下凹式绿地以及土壤改良，收集并净化地表径流，减少雨水冲刷所带来的污染。针对坡耕地，推行梯田建设以及覆盖种植技术，减缓地表径流的速度，提高土壤的抗侵蚀能力，降低水土流失所携带的污染物迁移量。推进农业用水的循环利用，构建灌溉尾水收集系统，借助沉淀池、过滤坝等设施去除悬浮颗粒物以及部分营养盐，处理后的尾水重新用于农田灌溉，降低向外排放的污染负荷。

3.3 末端治理，修复已受污染的生态系统

末端治理是农业面源污染防控体系里的关键部分，主要关注已受污染区域生态功能的恢复，借助特定技术手段来降低污染物存量，改善生境质量。一方面，要加强土壤污染修复技术的应用，对于土壤中积累的重金属和有机污染物，可以采用物理修复方法，比如依靠深耕翻土让污染物分布更均匀，降低局部浓度；或者进行客土置换，换掉表层污染土壤来改善耕作层环境。在化学修复方面，施加石灰、有机肥等改良剂，调节土壤pH值，降低污染物生物有效性。生物修复则可以依靠接种功能微生物，利用其代谢作用降解有机污染物；或者种植超积累植物，吸收并转移土壤中的重金属，逐步净化土壤环境。另一方面，要推进水体生态修复工程建设，针对水体富营养化问题，可以重建水生植被系统，种植沉水植物和浮叶植物，借助根系吸收水体中的氮磷营养盐，抑制藻类过度繁殖；布设生态浮床，利用浮床植物和微生物协同作用，净化水体中的悬浮颗粒物和有机污染物。嘉兴市通过农田退水“零直排”建设覆盖28.9万亩农田，实现示范区内主要面源污染物削减1/3以上。对于底泥污染严重的区域，实施适度底泥疏浚，减少内源污染释放，同时配合生态清淤技术，避免二次污染。另外，构建生态系统协同修复

机制，重视水陆生态系统的关联性，在河岸带、湖滨带等关键区域构建植被缓冲带，种植乡土植物提高水土保持能力，减少陆源污染物持续输入。凭借人工引种和自然恢复相结合的方式，增加生态系统生物多样性，引入浮游动物、底栖生物等指示生物，提升食物链结构完整性。强化修复过程中的动态监测，根据生态系统响应调整修复策略，促进其逐步恢复自我维持和自我净化功能，实现生态系统健康稳定。

4 农业面源污染防控下区域生态环境监测体系优化对策

4.1 监测指标体系构建

在污染源这一端，设置像化肥农药施用强度、畜禽养殖废弃物产生量、秸秆处理方式等指标，以此反映污染产生的潜力；在迁移过程当中，纳入地表径流量、土壤侵蚀模数、地下水位变化等指标，用来追踪污染物的迁移路径；在环境效应层面，挑选水体富营养化程度、土壤重金属含量、大气颗粒物浓度等指标，评估污染对生态系统造成的影响。凭借多要素联动，达成污染从源头到末端的全程都可监测、可追溯。进行层次化指标分类设计，区分核心指标和辅助指标，形成一个主次清晰的指标框架。核心指标关注污染防控的关键节点，包含氮磷养分流失量、农药残留检出率、土壤有机质含量等，直接体现污染负荷以及生态系统受损的程度；辅助指标侧重于影响因素分析，覆盖施肥方式、种植结构、灌溉效率等，揭示污染产生的驱动机制。核心指标要保证高频监测以及数据的准确性，辅助指标可以结合年度调查来开展。依靠层次化设计平衡监测成本和数据深度，提高指标体系的实用性和可操作性。

4.2 监测技术方法优化

其一，推进智能化监测设备集成应用。优化传感器网络布设方案，在农田径流出口、养殖区周边等关键节点部署多参数水质传感器，实时采集 pH 值、溶解氧、氮磷浓度等指标，通过物联网技术实现数据自动传输与远程监控。开发便携式快速检测设备，集成胶体金免疫层析、荧光光谱等技术，缩短农药残留、重金属等污染物的检测时间，满足田间快速筛查需求。同时，改进传统采样方法，采用自动采样器与人工采样相结合的方式，减少人为误差，提升样品代表性。其二，构建多技术融合的立体监测网络。强化遥感技术在面源污染监测中的应用，通过高分辨率卫星影像与无人机航拍结合，识别农田植被覆盖度、土壤含水率等面状信息，反演

区域污染负荷空间分布特征。将地面监测与遥感数据进行耦合分析，利用地面实测数据校准遥感模型参数，提高大面积污染评估精度。发展地下水污染监测技术，布设监测井网采集不同深度地下水样品，结合示踪剂技术追踪污染物垂向迁移路径，完善水陆统筹的立体监测框架。

4.3 数据管理与共享平台建设

其一，构建统一的数据标准化体系。制定涵盖数据采集、存储、处理的全流程规范，明确不同监测指标的数据格式、计量单位、精度要求和更新频率，确保多源数据的兼容性与可比性。建立数据质量审核机制，设置专人负责数据录入校验与异常值核查，通过自动化校验工具与人工复核结合，保障入库数据的准确性与完整性。完善数据元数据库建设，对监测数据的来源、采集时间、监测方法等元信息进行详细记录，为数据追溯与应用提供基础支撑。其二，优化平台功能架构设计。搭建分布式数据存储系统，采用分层存储策略对结构化监测数据与非结构化遥感影像、采样记录等数据进行分类管理，提升数据存取效率。开发数据综合分析模块，集成统计分析、时空分布模拟、污染负荷评估等功能，支持用户通过自定义参数生成分析报告。设置分级权限管理机制，根据用户角色分配数据查询、下载、编辑等操作权限，结合数据加密传输与访问日志记录，保障数据使用安全。建立数据备份与容灾恢复机制，定期进行数据备份并存储于异地服务器，防止数据丢失或损坏。

5 结语

区域生态环境质量提升需以农业面源污染系统防控为核心，通过源头、过程、末端多环节协同发力，形成污染物全链条管控格局。监测体系作为防控成效的“晴雨表”，需通过指标科学化、技术智能化、数据共享化建设，实现污染动态监管与治理精准施策。实践中，需结合区域农业特征与生态功能定位，推动提升路径与监测体系深度融合，强化多部门协同与长效机制构建，最终实现农业绿色发展与生态环境质量改善的双赢目标。

参考文献

- [1] 王飞达.中国农业面源污染的形成机制及防治措施[J].农业产业化,2025,(07):96-98+114.
- [2] 齐凤芹.农业面源污染治理问题及对策建议[J].农机市场,2025,(06):80-82.
- [3] 李学文.穆棱河穆棱市段农业面源污染风险评估及防治建议[D].东北农业大学,2025.