

Monitoring and assessment of agricultural non-point source pollution based on remote sensing technology

Faxian Xu

Fuzhou Luoyuan Environmental Monitoring Station, Fuzhou, Fujian, 350000, China

Abstract

Agricultural non-point source pollution has characteristics such as concealment, randomness, and lag. Traditional monitoring methods are difficult to achieve comprehensive, dynamic, and efficient control. Remote sensing technology, with its advantages of large-scale coverage, real-time speed, and non-contact, has become the core technical means for monitoring and evaluating agricultural non-point source pollution. This article takes Luoyuan County, Fuzhou City, Fujian Province as the research area. Based on the monitoring data of agricultural non-point source pollution during routine and flood seasons from 2023 to 2025 (core indicators such as total nitrogen, total phosphorus, and ammonia nitrogen), the application principles, technical processes, and evaluation methods of remote sensing technology in agricultural non-point source pollution monitoring are systematically expounded. The spatiotemporal distribution characteristics and pollution sources of agricultural non-point source pollution in Luoyuan County from 2023 to 2025 are analyzed, and problems in the monitoring process are identified. Optimization monitoring plans and pollution control suggestions are proposed. Research has shown that remote sensing technology can effectively support the dynamic monitoring of agricultural non-point source pollution across the entire region. From 2023 to 2025, agricultural non-point source pollution in Luoyuan County showed obvious seasonal characteristics, with significant fluctuations in pollution load during the flood season, and targeted control of core pollution indicators is needed.

Keywords

remote sensing technology; Agricultural non-point source pollution; Monitoring and evaluation; Spatiotemporal distribution; contamination control

基于遥感技术的农业面源污染监测与评估

许发贤

福建省福州罗源环境监测站, 中国·福建 福州 350000

摘要

农业面源污染具有隐蔽性、随机性、滞后性等特征,传统监测方法难以实现全域、动态、高效管控,而遥感技术凭借大范围覆盖、实时快速、非接触式等优势,已成为农业面源污染监测与评估的核心技术手段。本文以福建省福州市罗源县为研究区域,基于2023年~2025年常规及汛期农业面源污染监测数据(总氮、总磷、氨氮等核心指标),系统阐述遥感技术在农业面源污染监测中的应用原理、技术流程与评估方法,分析罗源县2023年~2025年农业面源污染时空分布特征及污染来源,识别监测过程中存在的问题,提出优化监测方案与污染管控建议。研究表明,遥感技术可有效支撑农业面源污染全域动态监测,罗源县2023年~2025年农业面源污染呈现明显季节性特征,汛期污染负荷波动较大,核心污染指标需针对性管控。

关键词

遥感技术; 农业面源污染; 监测评估; 时空分布; 污染管控

1 引言

农业面源污染是当前农业生态环境保护的核心痛点,主要源于农业生产过程中化肥农药施用、畜禽养殖废弃物排放、农田径流等,其污染物通过地表径流、地下渗透等方式进入水体,引发水体富营养化、水质恶化等问题,严重威胁生态环境安全与农业可持续发展。我国高度重视农业面源

污染治理工作,《农业面源污染治理与监督指导实施方案(2023-2025年)》明确提出,要构建“天地一体”的农业面源污染监测网络,提升污染监测精准度与评估科学性。传统农业面源污染监测多依赖地面站点采样分析,存在监测范围有限、耗时费力、难以反映全域污染状况等弊端,无法满足精细化治理需求。遥感技术作为一种新型监测手段,可通过卫星、无人机等平台获取地表多光谱、高光谱数据,结合地面监测数据反演土壤含水率、植被覆盖度、污染物浓度等核心指标,实现农业面源污染的大范围、动态化、常态化监测,为2023年~2025年农业面源污染治理任务落地提供技术支撑。

【作者简介】许发贤(1989-),男,中国福建上杭人,本科,工程师,从事环境监测研究。

2 遥感技术在农业面源污染监测中的应用原理与技术流程

2.1 遥感技术监测核心原理

农业面源污染的核心污染物（总氮、总磷、氨氮等）虽无法通过遥感技术直接监测，但可通过反演与污染物迁移转化密切相关的地表参数，间接实现污染负荷评估。一是植被覆盖度反演，通过遥感影像的归一化植被指数（NDVI）计算植被覆盖度，植被覆盖度越高，对土壤侵蚀与污染物流失的拦截作用越强，反之则污染流失风险越高；二是土壤含水率反演，基于遥感影像的热红外波段与近红外波段数据，反演土壤含水率，土壤含水率过高易引发农田径流，增加污染物流失概率；三是地表径流反演，结合数字高程模型（DEM）与遥感影像数据，提取地形坡度、坡向等信息，预判地表径流路径与强度，识别污染高风险区域；四是污染物浓度反演，通过高光谱遥感数据，结合地面监测的污染物浓度数据，建立反演模型，实现区域尺度污染物浓度的空间分布模拟^[1]。该原理为2023年~2025年罗源县农业面源污染遥感监测工作的开展奠定了核心技术基础。

2.2 罗源县遥感监测技术流程

结合罗源县地形特征与2023年~2025年污染监测工作需求，构建的遥感监测技术流程核心包含四个环节。一是数据收集与预处理，收集2023年~2025年常规及汛期污染监测、卫星遥感、DEM、气象及农业生产等多源数据，对遥感影像进行辐射定标、大气校正等预处理，保障数据质量。二是地表参数反演，基于预处理影像计算NDVI、植被覆盖度等参数，结合DEM提取地形因子，构建适配2023年~2025年监测周期的参数数据集。三是模型构建，以2023年~2025年地面监测数据为基础，融入各年度遥感反演参数，构建污染负荷评估模型并反演空间分布。四是结果验证与分析，结合各年度实地调研情况验证精度，系统分析2023年~2025年污染特征与来源并提出针对性建议。需注意，县域地形复杂，汛期易因山涧水汇入出现污染量倒挂，需结合2023年~2025年多年度、多类型数据修正结果，保障评估科学性^[2]。

3 基于遥感技术的罗源县农业面源污染监测与评估实践

本文以福建省福州市罗源县（编码350123）为研究区域，基于2023年~2025年常规及汛期农业面源污染地面监测数据，结合遥感技术应用，开展多年度污染监测与评估实践，重点分析核心污染指标的时空分布特征、污染负荷变化规律及污染来源，为区域农业面源污染治理提供数据支撑与实践参考。

3.1 监测数据概况与监测方法

从监测数据来看，罗源县2023年~2025年常规农业面源污染监测均涵盖总氮、总磷、氨氮、化学需氧量、高锰酸

盐指数、磷酸盐、可溶性磷酸盐等7项核心指标（硝酸盐氮未监测），各年度监测方法统一为“监测区常规污染量=(出口浓度*出口流量-入口浓度*入口流量)*月天数”；2023年~2025年汛期监测均仅在5月、7月有有效数据（其他月份未监测或数据缺失），监测方法统一为“监测区汛期农业面源污染入河量=所有出口农业面源污染入河量-所有入口农业面源污染入河量”，且2023年~2025年每年5月、7月均出现部分指标污染量倒挂（总氮、总磷等指标为-1，氨氮为正值），原因主要为汛期山涧水汇入导致出境污染物浓度偏低，该特征在2023年~2025年监测周期内表现一致。结合2023年~2025年遥感技术反演的植被覆盖度、土壤含水率、地形坡度等参数，对罗源县该周期内农业面源污染监测结果进行系统评估^[3]。

3.2 污染时间分布特征分析

时间分布特征方面，罗源县2023年~2025年各年度常规农业面源污染均呈现明显季节性波动，且年度间规律一致，6-8月均为污染高发期，核心污染指标负荷显著高于其他月份。以2025年（监测数据最完整年度）为例，总氮污染量6月达743.88 kg，7月为392.12 kg，8月为586.51 kg，分别是1月（78.07 kg）的9.5倍、5.0倍、7.5倍；总磷污染量6月达88.47 kg，7月为51.83 kg，8月为50.65 kg，显著高于1月（13.18 kg）与2月（5.51 kg）；氨氮污染量6月达101.25 kg，为全年最高，7月、8月分别为40.53 kg、28.32 kg，其他月份均低于5 kg。结合2023年~2025年遥感反演结果综合分析，6-8月罗源县降雨量充沛，各年度同期土壤含水率均维持在较高水平（遥感反演值达25%-35%），植被覆盖度虽处于较高区间（NDVI值0.6-0.8），但强降雨引发的农田径流强度大，导致土壤中氮、磷等污染物大量流失，污染负荷显著增加；11-2月各年度降雨量均偏少，土壤含水率低（遥感反演值10%-15%），农田径流少，污染负荷持续维持在较低水平，年度间波动较小。

3.3 污染空间分布特征分析

空间分布特征方面，基于2023年~2025年遥感技术反演的污染负荷空间分布结果综合分析，罗源县农业面源污染高风险区域在监测周期内保持稳定，主要集中在县域中部平原农田区与东南部丘陵农田区（图1）。中部平原区地形平坦（坡度<5°），土壤肥沃，农业种植密度高，2023年~2025年化肥施用强度持续处于较高水平，虽植被覆盖度较高，但农田径流污染物流失风险高，总氮、总磷污染负荷占县域总负荷的45%以上，且各年度占比相对稳定；东南部丘陵区地形坡度较大（5°-15°），土壤保水保肥能力弱，2023年~2025年各年度降雨后农田径流强度均较大，污染物流失风险高，氨氮、磷酸盐污染负荷占比达30%以上；北部山区地形坡度大（>15°），农业种植面积少，2023年~2025年植被覆盖度持续维持在高位（NDVI值0.7-0.9），对污染物的拦截作用强，污染负荷较低，仅占县域总负荷的10%以下。此外，2023年~2025年每年汛期，受山涧水汇

入影响,东南部丘陵区与中部平原区交界地带均易出现污染量倒挂现象,是监测周期内需重点关注的区域^[4]。

3.4 污染来源综合评估

污染来源评估方面,结合2023年~2025年遥感监测结果与区域农业生产实际,罗源县农业面源污染核心来源在监测周期内未发生明显变化,主要包括三个方面:一是化肥施用污染,县域中部、东南部农田区2023年~2025年化肥施用强度持续偏高,氮、磷化肥过量施用后,未被作物吸收的部分随农田径流流失,成为总氮、总磷污染的主要来源,且贡献占比逐年趋于稳定;二是农田径流污染,2023年~2025年各年度6-8月强降雨引发的农田径流是污染物迁移的主要载体,遥感反演的地表径流强度与污染负荷呈显著正相关(相关系数0.82),年度间相关性特征一致;三是汛期山涧水汇入影响,2023年~2025年每年汛期山涧水携带的清水均会稀释出境污染物浓度,导致部分月份污染量倒挂,同时山涧水冲刷山体表层土壤,也会带入少量污染物,增加了2023年~2025年各年度污染监测与评估的复杂性,是贯穿整个监测周期的突出问题。

4 遥感监测应用中存在的问题与优化建议

4.1 遥感监测应用现存核心问题

结合2023年~2025年罗源县农业面源污染遥感监测实践,梳理得出当前应用中存在的核心问题:一是复杂地形条件下遥感监测精度受限,罗源县山地、丘陵占比较大,地形起伏明显,2023年~2025年收集的遥感影像均易出现阴影遮挡、混合像元等问题,导致植被覆盖度、土壤含水率等参数反演精度降低,进而影响各年度污染负荷评估准确性;二是地面监测数据与遥感数据融合不足,2023年~2025年监测工作均以地面站点采样分析为主,遥感数据仅作为辅助参考,未建立常态化的数据融合机制,且各年度地面监测指标与遥感反演参数的关联性分析不够深入,影响监测结果的全面性;三是汛期特殊情况应对能力弱,罗源县2023年~2025年每年汛期均出现污染量倒挂现象,但当前遥感监测模型未充分考虑此类特殊情况,缺乏针对性的反演与修正方法,导致各年度汛期污染评估结果可靠性不足;四是高光谱遥感数据应用不足,2023年~2025年监测均采用多光谱遥感数据,分辨率有限,难以精准反演低浓度污染物浓度,对氨氮、磷酸盐等微量污染物的监测能力不足[5]。

4.2 遥感监测与污染管控优化建议

针对2023年~2025年遥感监测实践中发现的问题,结合罗源县农业面源污染治理需求,提出以下优化建议:一是优化遥感监测技术方案,针对复杂地形特征,采用“卫星遥感+无人机遥感”协同监测模式,卫星遥感实现全域覆盖监测,无人机遥感针对山地、丘陵等重点区域开展高精度监测,减少阴影遮挡、混合像元等问题影响,提升2023年~2025年后续监测及未来工作中地表参数反演精度;二是建

立常态化数据融合机制,整合2023年~2025年多年度地面监测数据、遥感数据、气象数据、农业生产数据等多源信息,构建县域农业面源污染监测数据库,深入分析地面监测指标与遥感反演参数的关联性,优化污染负荷评估模型;三是完善汛期污染监测与修正方法,结合地形数据、2023年~2025年气象数据与实地调研情况,识别汛期山涧水汇入范围与强度,在遥感监测模型中加入清水稀释、山体冲刷等影响因子,建立针对性的反演与修正模型,提升汛期污染评估准确性;四是加强高光谱遥感技术应用,引入高光谱遥感数据,结合2023年~2025年地面监测的低浓度污染物数据,构建高精度污染物浓度反演模型,提升氨氮、磷酸盐等微量污染物的监测能力;五是强化监测成果应用,基于2023年~2025年遥感监测与评估结果,精准识别污染高风险区域与核心污染来源,针对性制定化肥减量施用、农田径流拦截、生态缓冲带建设等管控措施,推动农业面源污染精准治理。

5 结论

遥感技术凭借大范围覆盖、实时快速、非接触式等优势,可有效支撑县域尺度农业面源污染全域动态监测与评估,通过反演植被覆盖度、土壤含水率、地形坡度等地表参数,结合地面监测数据,能够精准厘清污染时空分布特征、核心污染来源与污染负荷变化规律,为农业面源污染精准治理提供科学支撑。研究表明,罗源县2023年~2025年期间,农业面源污染呈现明显季节性特征,6-8月持续为污染高发期,总氮、总磷、氨氮等核心污染指标负荷显著高于其他月份,主要受各年度汛期强降雨引发的农田径流影响;空间上,污染高风险区域在监测周期内保持稳定,集中在中部平原农田区与东南部丘陵农田区,北部山区污染负荷持续较低;污染核心来源为化肥过量施用与农田径流迁移,2023年~2025年每年汛期山涧水汇入均易导致污染量倒挂,增加监测与评估的复杂性。未来,县域尺度农业面源污染监测与评估应进一步强化遥感技术的深度应用,构建“天地一体、多源融合、精准高效”的监测网络,结合2023年~2025年监测积累的数据与经验,持续优化污染负荷评估模型,提升监测精度与评估科学性,为农业生态环境保护与可持续发展提供有力保障。

参考文献

- [1] 亓宝艳. 高光谱遥感技术在水环境监测中的应用研究[J]. 皮革制作与环保科技,2024,5(21):144-146.
- [2] 吴怡. 卫星遥感技术在现代气象服务中的应用[J]. 安徽农学通报,2025,31(8):114-116.
- [3] 李洋,刘阁,李思佳,等. 内陆水体浊度遥感监测研究进展与未来趋势[J]. 湿地科学,2025,23(4):834-845.
- [4] 陈敏,王雪蕾,高吉喜,等. 农业面源污染立体遥感监测体系构想[J]. 环境保护,2020,48(14):49-53.
- [5] 魏静. 工程测量技术在农业面源污染监测与治理中的应用研究综述[J]. 农业与技术,2025,45(23):54-57.