

附件 5

《集中式地表水饮用水水源保护区农业种植污染遥感调查技术规范（征求意见稿）》

编制说明

《集中式地表水饮用水水源保护区
农业种植污染遥感调查技术规范》编制组

2026 年 9 月

目 录

1 项目背景	2
1.1 任务来源	2
1.2 工作过程	3
2 标准制订的必要性	5
2.1 响应国家法律法规与攻坚行动，支撑精准执法监管的迫切需求	5
2.2 破解业务瓶颈与管理难题，构建长效监管机制的现实需要	6
2.3 统一技术方法与成果标准，支撑科学决策与精准治理的关键举措	6
3 国内外研究进展	7
3.1 国外研究进展	7
3.2 国内研究进展	9
3.3 与相关标准的比较	12
4 标准制订的基本原则和技术路线	12
4.1 基本原则	12
4.2 技术路线	13
5 标准主要技术内容	14
5.1 适用范围	14
5.2 规范性引用文件	15
5.3 术语和定义	15
5.4 数据准备	16
5.5 复种类型分区	18
5.6 作物构成调查	20
5.7 精度验证	21
5.8 污染负荷估算	22
5.9 成果归档	23
6 对实施本标准的建议	27
7 相关案例	28
8 参考文献	30

1 项目背景

1.1 任务来源

人口持续增长与生活水平提升，对我国粮食供给提出更高要求。我国以占世界 9% 的耕地承载近 20% 的人口，这一基本国情决定了农业生态系统长期面临高强度生产压力。自 20 世纪 50 年代“绿色革命”以来，为持续提高粮食单产，化肥、农药等化学投入品使用量逐年攀升。据国家统计局数据，2015 年我国农用化肥施用量（折纯量）达约 6023 万吨峰值，单位面积施用量远超世界平均水平。这些化学物质在支撑农业高产的同时，导致过量氮、磷、农药及重金属等在土壤中累积，并通过降雨产流、地表径流、农田排水等途径进入水体，造成农业面源污染问题日益严峻。

随着我国对工业、城镇生活等固定源污染治理力度持续增强并取得显著成效，农业面源污染贡献占比相对凸显，在诸多流域已成为影响水环境质量的主要矛盾。其污染后果不仅体现为水体富营养化（如湖泊、水库藻类水华）的广泛性，还涉及土壤质量退化及农产品质量安全风险，对生态环境质量和公众健康构成长期且隐蔽的威胁。然而，与固定源“定点排放”特性不同，农业面源污染具有发生随机、分布广泛、迁移路径复杂、机理不清等典型特征，导致其监测、溯源和定量评估异常困难。因此，在区域、国家及地方层面，实现对农业面源污染的有效控制与精准治理，始终是一项复杂而艰巨的挑战。

农业面源污染来源广泛，主要可分为农业种植、畜禽养殖和农村生活三大类。大量实证研究与流域负荷核算结果显示，在不同类型流域中，农田化肥施用产生的总氮和总磷负荷，普遍占农业面源污染总负荷的 70%-80%。这一数据表明农业种植活动在面源污染构成中占主导地位，使其成为饮用水水源地面源污染治理的核心与关键环节。

尤其需要注意的是，近年来我国农业供给侧结构性改革深入推进，东北、华北和长江中下游等主要农业区种植结构发生显著调整。例如，华北平原为应对水资源压力，优化作物布局，减少高耗水作物种植；长江中下游地区出现双季稻改单季稻的趋势。同时，蔬菜、果树等高经济价值作物种植面积不断扩大。这些结构性变化直接改变了化肥、农药等投入品的时空分布与利用效率，给污染物产生量和迁移规律带来新的不确定性，对传统估算方法形成挑战。因此，精准估算动态变化下的农业种植污染负荷，科学评估其环境风险，已成为有效推进农业面源污染治理、实现农业绿色发展的先决条件和关键技术需求。

饮用水水源地是维系国计民生的生命线，其环境安全直接关系到广大人民群众的健康福祉与社会稳定。党中央、国务院将饮用水水源地环境保护置于战略高度，明确将其作为污染防治攻坚战的“七大标志性战役”之一，要求坚决打好水源地保护攻坚战。《中华人民共和国生态环境法典》《中华人民共和国水法》《水污染防治行动计划》（“水十条”）及《关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》等一系列法律法规和政策文件，均对饮用水水源保护区的划定、管理及环境问题整治作出严格规定与明确部署。

在此背景下，农业种植作为水源地周边最常见、分布最广的潜在污染风险源，其监管和防控的重要性显著提升。污染物从农田到取水口的直接迁移路径，使农业种植污染成为威胁饮水安全最显著、最紧迫的风险之一。然而，传统依赖人工实地排查的监管方式，在面对饮用水水源保护区范围广、地形复杂、人力有限等现实困境时，往往难以满足需求，存在“发

现难、定位难、定量难”等突出问题。因此，要实现从人海战术到智慧监管的转变，迫切需要引入和应用能够实现大范围、高精度、动态监测的现代化技术手段，以全面、快速、精准地掌握饮用水水源保护区内农业种植污染负荷的总量、构成与空间分布，为风险识别、精准执法和长效监管提供不可或缺的数据支撑。在法律法规层面，《中华人民共和国生态环境法典》明确规定，省级以上人民政府可根据水生态环境保护需要，在饮用水水源保护区内采取禁止或限制使用含磷洗涤剂、农药、化肥及限制种植养殖等措施；《中华人民共和国水土保持法》第三十六条要求，地方各级人民政府及其有关部门应在饮用水水源保护区组织单位和个人，通过预防保护、自然修复与综合治理措施，严格控制化肥和农药使用，减少水土流失引发的面源污染，保护饮用水水源；《中华人民共和国生态环境法典》第九百零二条进一步重申上述要求。上述法律法规共同构成饮用水水源保护区农业种植污染管控的坚实法律基础，明确“严格控制化肥和农药使用”的刚性要求。针对国家需求与技术瓶颈，原环境保护部（现生态环境部）自 2009 年起，前瞻性组织生态环境部卫星环境应用中心等单位，持续探索并系统创新饮用水水源保护区全域农业种植污染遥感调查技术。经十余年技术攻关与实践应用，逐步研发并完善以“卫星遥感+移动执法”为核心的智慧监管新模式。该技术体系充分利用多源、多时相遥感数据，通过精准识别耕地地块、调查复种类型与作物构成、智能提取关键物候参数，获取水源保护区内作物类型、种植面积及空间分布的精细化本底信息，进而耦合流失系数模型，实现农业种植污染负荷的定量化、空间化估算。该技术方法已在多次全国饮用水水源地环境保护专项行动及日常执法督查中成功应用与验证，显著提升水源地环境问题发现能力与监管效率，为执法监管提供可量化的目标依据与证据支撑，推动管控能力从“被动应对”向“主动预警”、从“日常监管”向“风险防范”全面升级。为系统总结并固化成熟技术实践成果，将其从部门探索上升为国家规范，以在全国范围内统一指导与推广应用，依据《中华人民共和国生态环境法典》总体要求，衔接《中华人民共和国水法》《中华人民共和国水土保持法》等相关规定，落实《全国集中式饮用水水源地环境保护专项行动方案》任务部署，生态环境部生态环境执法局正式组织编制《集中式地表水饮用水水源保护区农业种植面源污染负荷遥感调查技术规范》，项目统一编号 2022-49。标准项目主编单位为生态环境部卫星环境应用中心，协作单位为中国科学院空天信息创新研究院、中国环境科学研究院。本项目旨在通过标准化建设，规范实践中行之有效的技术流程、方法与要求，为各级生态环境部门开展相关工作提供科学、统一、可操作的技术依据，支撑执法监管精准化、规范化开展，最终服务于全面摸清底数、支撑精准治污、保障饮水安全的国家战略目标。

1.2 工作过程

（1）标准起草

2012 年以来，以提升饮用水水源地环境安全保障水平为核心，生态环境部先后开展“2012 年全国湖库型集中式饮用水水源地专项执法督查”“2013 年全国城市河流型集中式饮用水水源地专项执法检查”“2014 年南水北调中线总干渠‘内排段’环境保护调研督查”“2015 年水源地相关高尔夫球场清理整治督查”“2016-2017 年长江经济带饮用水水源地环境保护执法专项行动”“2018-2019 年全国集中式饮用水水源地环境保护执法专项行动”等水源地专项行动，且自 2020 年起持续开展饮用水水源地常态化执法监管。这些专项行动与

常态化执法监管，不仅有效排查整治大量环境问题，积累丰富现场监管经验，初步形成水源地区风险源清单，为后续长效监管奠定实践基础，同时也暴露出传统监管手段在效率、覆盖范围及定量化评估等方面存在局限性，尤其针对农业种植污染这类分布广泛、溯源难度大的污染类型，亟需引入更高效、精准的技术方法，为执法监管提供有力支撑。

针对农业种植污染这一重点难点问题，项目组开展了专项攻关。在纳入农业面源面积、距离等间接指标的基础上，重点聚焦农业种植污染负荷的定量化估算，旨在为执法监管提供可量化、可比较的执法依据。研究团队初步设计并验证了基于高分辨率遥感影像的农业种植污染负荷估算技术路线，通过精准识别耕地地块、解析作物种植制度（熟制）、耦合流失系数，实现了对污染负荷更为科学、可靠的量化评估。该技术突破显著提升了农业面源风险评价的科学性，也为后续精准治理提供了直接的切入点与决策依据。

经过持续的技术研发、体系构建与应用验证，结合农业种植污染监管的迫切需求及已具备的技术条件，生态环境部生态环境执法局于 2022 年正式组织生态环境部卫星环境应用中心启动《集中式地表水饮用水水源保护区农业种植面源污染负荷遥感调查技术规范》的编制工作。编制期间，编制组系统总结了前期专项行动的经验，特别是 2018 年以来在风险源遥感识别与评价方面积累的技术成果，并与地方生态环境部门、相关技术单位开展了多轮深入交流研讨。在充分吸纳各方意见、梳理凝练实践成果的基础上，最终形成《集中式地表水饮用水水源保护区农业种植面源污染负荷遥感调查技术规范》标准草案及编制说明，旨在将行之有效的技术方法转化为可全国推广的统一规范，为饮用水水源地的精准执法、科学治污、依法治污提供可行的技术支撑。

（2）标准开题论证

2025 年 11 月 10 日，受生态环境部生态环境执法局委托，生态环境部环境标准研究所组织召开本标准开题论证会，北京大学、北京师范大学、中国科学院地理科学与资源研究所、中国标准化研究院、国家基础地理信息中心、水利部信息中心、北京市大数据中心、国家卫星气象中心等单位代表参会。专家组听取了标准编制单位关于标准开题论证报告及标准草案内容的汇报，经质询与讨论，认为标准编制单位提供的材料齐全、内容完整，符合标准开题论证审查要求；编制单位对标准相关技术要求进行了调研与梳理分析，目标定位清晰，提出的技术路线合理可行。专家组一致同意通过该标准的开题论证，并提出具体意见与建议：1. 进一步完善流失系数的确定方法；2. 进一步梳理完善工作流程。编制组根据专家组审查意见完善标准内容，形成标准征求意见稿及编制说明。

（3）标准征求意见稿技术审查

2025 年 12 月 30 日，受生态环境部生态环境执法局委托，生态环境部环境标准研究所组织召开本标准征求意见稿技术审查会，北京大学、北京师范大学、中国科学院地理科学与资源研究所、中国标准化研究院、国家基础地理信息中心、水利部信息中心、北京市大数据中心、国家卫星气象中心等单位代表参会。审查委员会听取了标准编制单位关于标准征求意见稿主要技术内容、编制工作过程的汇报，经质询与讨论，认为标准编制单位提供的材料齐全、内容完整，符合标准征求意见稿技术审查要求；标准征求意见稿主要技术内容合理，技术路线可行。审查委员会一致同意通过该标准征求意见稿的技术审查，并提出具体建议：建议将标准名称修改为《集中式地表水饮用水水源保护区农业种植污染遥感调查技术规范》，

并按照专家意见对标准文本及编制说明进行修改完善。编制组根据专家组审查意见进一步完善标准内容，形成修改后的《集中式地表水饮用水水源保护区农业种植污染遥感调查技术规范》公开征求意见稿。

2 标准制订的必要性

2.1 响应国家法律法规与攻坚行动，支撑精准执法监管的迫切需求

我国已构建以《中华人民共和国生态环境法典》为基本遵循，《中华人民共和国水土保持法》《中华人民共和国水法》为核心支撑，《饮用水水源保护区污染防治管理规定》《集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求》及《水污染防治行动计划》等法规政策为具体依据的饮用水水源保护法律法规制度体系。该多层次、全方位的制度框架对饮用水水源保护区环境管理提出明确要求，特别是一级保护区严格禁止新增农业种植活动，二级保护区及准保护区推行科学种植制度与面源污染防控措施，体现国家在法律制度层面保障饮用水安全的坚定决心。党中央、国务院从生态文明建设战略全局出发，将饮用水水源地环境保护确立为污染防治攻坚战的关键任务，通过《全国集中式饮用水水源地环境保护专项行动方案》《关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》等重要部署，对饮用水水源地环境问题排查整治工作提出明确时间表与路线图，要求限期完成县级及以上城市饮用水水源地环境问题清理整治任务，彰显国家最高决策层解决饮用水安全问题的政治意志与行动力度。

然而，完善的法律制度体系向基层监管实践有效治理能力的转化，仍需解决立法宗旨与执法实践间的技术转化难题。当前我国饮用水水源保护区环境管理面临的突出问题是，相关法律法规多停留在原则性规定层面，虽明确防治农业面源污染的监管要求，但在科学发现、准确量化、客观评估及规范报告农业种植污染负荷等具体操作层面缺乏统一技术指引。技术规范的缺失导致基层生态环境部门在实际监管中面临多重困境：污染识别方面，难以实现全域覆盖与精准识别，无法快速掌握风险空间分布；污染量化方面缺乏可靠定量估算方法，无法为精准治理提供依据；污染评估方面因缺乏标准化流程，难以科学判定问题严重程度与治理优先顺序，直接影响执法资源合理配置与执法成效。上述问题严重制约法律法规落地效果，影响监管效能有效发挥。

因此，《集中式地表水饮用水水源保护区农业种植污染遥感调查技术规范》的制订，是连接宏观政策要求与微观技术操作的关键桥梁。该标准通过系统规范遥感监测技术在农业种植污染调查中的应用，为各级生态环境部门提供科学统一的技术操作方法，建立从数据获取、处理分析到成果输出的完整技术链条。标准实施将显著提升监管部门对饮用水水源保护区农业种植污染的认知能力与管控水平，使各级管理部门快速准确掌握污染负荷总量特征与空间分布规律，为环境问题精准识别、依法查处及有效整治提供可靠技术支撑。这不仅有助于推动饮用水水源地环境保护从被动应对向主动防控转变，更有助于支撑国家相关法律法规与政策要求落地落实，为执法监管提供强有力技术后盾，为维护人民群众饮水安全、促进经济社会可持续发展提供坚实制度保障与技术基础。

2.2 破解业务瓶颈与管理难题，构建长效监管机制的现实需要

在长期水源地环境保护实践中，我国生态环境监管体系逐渐暴露出传统监管方式与现代化治理需求间的深刻矛盾。依赖人工实地踏勘的传统模式在面对分布范围广、地理环境复杂、交通条件不便的饮用水水源保护区时，内在局限性日益凸显。该模式不仅调查效率低下，难以实现保护区全域覆盖，还因排查周期较长、成本投入较高，无法满足常态化监管需求；同时，不同调查人员技术经验与判读标准存在差异，直接影响调查结果的客观性与一致性；更重要的是，难以及时捕捉作物种植结构与物候特征的动态变化过程，导致监管响应严重滞后于实际问题发展。这些问题充分表明，传统监管手段已无法适应新时代饮用水水源地环境保护工作的现实要求，也无法满足精准执法的需求，亟需通过技术创新推动监管模式的根本性变革。

与此同时，我国农业生产方式的深刻变革对水源地环境监管提出了新挑战。随着农业现代化进程的加速推进，种植结构多元化与复种模式复杂化已成为普遍趋势。各地广泛推广高经济价值作物、实践水旱轮作，以及调整单季改双季或双季改单季等种植制度，使得农业面源污染物的产生机理与迁移规律更趋复杂。在此动态变化背景下，传统基于静态统计与经验估算的污染负荷评估方法已难以准确反映实际情况，环境管理者迫切需要一种能够适配农业生产变化节奏的精细化动态评估工具，以及及时掌握不同种植模式下污染负荷的时空变化特征，为精准治理提供科学依据。

面对上述挑战，生态环境部卫星环境应用中心经过十余年持续探索与技术攻关，成功研发并应用了以“卫星遥感+移动执法”为核心的科技监管新模式。该模式通过构建“遥感发现→在线派发→现场核查→结果上报”的业务闭环，有效整合空间信息技术与移动通信技术的优势，实现了从空中监测到地面核查的有机衔接。近年来，该技术路径在全国集中式饮用水水源地环境保护专项行动中得到广泛应用验证，显著提升了环境问题的发现能力与处置效率，证明其在应对水源地农业种植污染监管挑战方面具有有效性与优越性，形成了一套经实践检验的成熟技术方法与工作流程。

然而，要将专项行动中积累的成功经验与技术成果转化为可复制、可推广的长效监管机制，仍需克服标准化不足的瓶颈制约。目前，这一有效技术流程在很大程度上依赖特定技术团队的经验积累与项目式工作推进，尚未形成统一的国家标准规范。此状况导致各地推广应用面临诸多障碍：技术壁垒较高，地方生态环境部门难以独立开展相关工作；方法细节不一，不同地区与团队的调查结果缺乏可比性，难以支撑更大范围的整合分析与趋势判断；过度依赖外部技术力量与临时项目支持，阻碍技术成果向地方常态化监管业务体系的有机融入。因此，迫切需要将这套行之有效的技术方法进行系统化整理与规范化表达，通过制定统一技术标准，降低技术应用门槛，确保调查成果的质量一致性与时空可比性，推动执法监管从依赖经验判断转向依托科学数据，最终为水源地日常执法、风险预警与长效精准监管提供稳定可靠的技术支撑。

2.3 统一技术方法与成果标准，支撑科学决策与精准治理的关键举措

当前，我国开展饮用水水源地农业种植污染遥感调查工作时，面临技术方法多样性与管理需求一致性之间的突出矛盾。标准化缺失的状况已严重制约调查工作的科学价值与实际效

用，成为提升饮用水水源地环境监管水平的重大障碍。在缺乏国家层面统一技术规范的情况下，各地实际工作中采用的技术路线呈现多样化特征，在多个关键技术环节存在显著差异。这种技术现状导致不同区域、不同时期的调查数据难以有效拼接整合，严重影响全国层面污染现状评估、变化趋势分析与治理成效判断的科学性与可靠性。

建立统一的技术标准规范是确保调查成果获得专业公信力与管理权威性的根本基石。本标准将通过系统规定数据源质量要求、技术流程核心环节、关键算法选择与参数设置以及成果精度检验方法，从制度层面杜绝技术操作过程中的随意性与不确定性。该规范化技术标准将产生多方面积极效益：在空间维度上，确保不同水源地调查结果具有可比性，为识别重点污染区域与制定差异化治理策略提供依据；在时间维度上，保证同一水源地多年调查数据的一致性，为评估治理措施实施效果与污染变化趋势奠定基础；在质量管理方面，统一的技术标准可确保调查过程与结果具备科学合理性及实践验证性，为环境执法、绩效考评及治理资金分配提供客观公正的科学依据。标准化建设不仅是对技术方法的统一，更是对执法监管工作规范化、科学化的重要保障。

从环境管理实际需求出发，标准化建设是打通基础数据到管理决策“最后一公里”的关键举措。缺乏统一标准产生的混乱数据难以支撑精准化管理决策，唯有建立在标准化、空间化基础上的污染负荷信息，才能帮助管理者准确解答污染分布区域、主要作物类型污染源、治理优先顺序确定等核心管理问题。本标准的制定实施将直接产出统一规格的污染负荷空间分布图件与统计数据集，此类标准化成果将成为后续开展水源地环境风险评估、确定执法重点区域、划定优先管控区域、制定差异化治理方案、优化生态补偿政策最直接、最科学的数据基础。通过为管理决策提供统一、可靠的技术支撑，本标准将显著提升饮用水水源地环境治理的精准性与有效性，实现“用数据说话、用数据执法”。

3 国内外研究进展

3.1 国外研究进展

农业面源污染作为全球性环境问题，其有效管控一直是各国环境保护工作的重点与难点。经过数十年的探索与实践，国际上逐步形成了以法律法规为基础、科学技术为支撑、综合治理为手段的农业面源污染管控体系。其中，美国与欧盟作为该领域实践最早、体系最为完善的代表，其发展历程与管理模式为我国提供了丰富的经验借鉴。这些经验不仅体现在完善的法律法规体系层面，更体现在科学的管理方法、有效的实施机制与持续的技术创新等方面。

美国在农业面源污染管控领域建立了以《清洁水法》为核心的法律框架体系。1972 年颁布的《清洁水法》是美国水环境保护的里程碑式法律，该法案首次在法律层面明确区分点源与非点源污染，并针对两类污染源的不同特性设立了差异化管理路径。对于点源污染，美国建立了严格的国家污染物排放许可证制度，要求所有点源排放必须获得许可；对于分布分散、难以追溯的非点源污染，特别是农业面源污染，则创新性地提出了“最优管理实践”（BMP）这一柔性管理策略。BMP 并非单一技术措施，而是涵盖工程措施、耕作制度调整与土地利用管理的综合措施集合，具体包括建设植被缓冲带、生态沟渠等工程措施，实施保护性耕作、精准施肥等农艺措施，以及退耕还林还草等土地利用优化措施。其核心理念是通过采用科学

的最佳实践，在保障农业生产的同时最大限度减少污染物输出。为将这一原则性规定转化为可操作的具体行动，美国环境保护署于 2003 年发布了具有里程碑意义的《控制农业面源污染的国家管理措施》技术指南。该指南系统阐述了农业面源污染的来源、迁移路径与环境影响，详细梳理了从污染评估、目标设定、BMP 筛选到效果监测的全流程技术方法，并对当时主流的污染负荷估算模型进行了系统的优缺点比较，为各州、地方及部落管理者提供了实用的技术工具。这种自上而下的政策框架与自下而上的实践探索相结合的特点，在美国农业部自然资源保护局 2012 年发起并持续推动的“国家水质倡议”（NWQI）中得到充分体现。NWQI 通过整合联邦资源，聚焦优先流域，为农民和牧场主提供技术与资金支持，鼓励其采纳能够有效减少营养物、沉积物和病原体排放的 BMP 措施。根据实践反馈与经验总结，该机构于 2021 年更新发布了《从业者指导》，进一步细化实施要求，体现了基于实证的持续性政策优化与完善过程。

与美国的管理体系相呼应，欧盟基于“共同农业政策”构建了独具特色的农业面源污染治理模式。欧盟的治理逻辑更倾向于将环境目标全面内嵌于整体农业支持政策中，在关注减少化肥、农药等负面环境影响的同时，特别强调维护农业景观和生物多样性等正面生态服务功能。这一先进理念在欧盟一系列具有法律约束力的指令中得到充分贯彻。早在 1991 年，欧盟前瞻性地颁布了《硝酸盐指令》，这是专门针对农业面源污染的首个重要指令。该指令强制要求所有成员国科学划定硝酸盐脆弱区，并在这些区域内实施严格的强制性行动计划，包括明确规定施肥期和施肥量上限、要求保障足够的牲畜粪肥储存能力、制定合理的轮作制度等，以直接有效削减农业生产对地下水和地表水的氮素污染。多年监测数据表明，该指令的实施对遏制欧洲水体富营养化趋势起到了关键性作用。在农药管理方面，2009 年通过的《可持续性农药使用指令》确立了通过大力推广综合害虫管理策略、逐步减少对化学农药依赖的总体方向，旨在系统性降低农药使用对环境和人类健康的潜在风险。2000 年通过的《水框架指令》则构建了欧盟水环境管理的顶层设计架构，要求所有成员国必须以流域为基本管理单元，定期制定科学合理的流域管理计划，并明确设定到 2027 年使所有水体达到良好状态的总体目标。农业面源污染控制作为实现该目标的核心举措之一，被有机整合于上述计划之中。2016 年出台的《国家排放限值指令》进一步为特定污染物设定统一排放削减目标，强化了法规的约束力与执行力。这些指令相互关联、彼此支撑，共同构成从特定污染物管控到水体整体质量提升的严密法规网络，体现了欧盟在环境治理领域的系统思维与长远规划。

除美国与欧盟外，其他发达国家在农业面源污染管控方面亦积累了丰富经验。日本通过《水质污染防治法》《农业用地土壤污染防治法》等法律法规，建立了完善的农业面源污染监测与防治体系，尤其注重源头控制与过程管理。澳大利亚推行“土地关爱”计划，通过社区参与及激励机制促进农业可持续发展。上述国家的实践表明，成功的农业面源污染管控需法律、经济、技术及社会参与等多重手段协同作用。

在技术方法层面，国际上已发展出从现场监测到模型模拟的多种评估工具。美国的 SWAT 模型、HSPF 模型，欧洲的 MONERIS 模型等均在流域尺度农业面源污染负荷评估中得到广泛应用。这些模型能够综合考虑气候、土壤、土地利用、管理措施等多种因素，模拟营养盐与沉积物的产生、迁移及转化过程，为管理决策提供科学依据。同时，遥感技术与地理信息系统的发展为农业面源污染监测与评估提供了新的技术手段，使大范围、高频次的污

染监测成为可能。

值得注意的是,近年来国际社会愈发重视基于生态系统的综合治理与流域尺度的精准管理。该理念强调从整个生态系统角度出发,综合考虑水质、水量与生态健康等多重目标,通过优化景观格局、恢复生态系统功能实现面源污染的有效控制。同时,智慧农业技术的发展为面源污染管控提供了新机遇,通过精准施肥、智能灌溉等技术手段,可从源头上减少污染物的产生。

综上所述,国际社会在农业面源污染管控方面已形成相对成熟的经验与做法。这些经验表明,有效的农业面源污染管控需建立完善的法律法规体系,制定科学可行的技术标准,开发实用的评估工具,并采取经济激励与公众参与等多重手段。特别是在管理策略上,需从单一的末端治理转向全过程综合管理,从孤立的点源治理转向流域整体治理,从强制性的行政管制转向多元主体共同参与的合作治理。上述国际经验对于我国当前构建和完善饮用水水源地农业面源污染遥感调查与管控体系具有重要参考价值,尤其在方法论设计、标准规范制定及管理机制创新等方面提供了有益借鉴。随着技术进步与认识深入,国际上农业面源污染管控正向着更加精细化、智能化与综合化的方向发展,这也为我国相关工作的开展指明了方向。我国在借鉴国际经验的同时,需结合自身自然环境特点、农业发展阶段及行政管理体制,探索建立具有中国特色的农业面源污染管控体系,为实现水资源可持续利用与农业可持续发展提供有力保障。

3.2 国内研究进展

我国作为农业大国,面对人口增长与粮食安全的双重压力,在农业生产中长期依赖化肥、农药等化学投入品以保障高产稳产,该模式导致化肥农药过量施用及水肥管理方式不合理,使得农业面源污染问题日益凸显,成为影响我国水体环境质量的重要污染源。根据相关研究,农业源排放的化学需氧量、总氮和总磷在部分区域水体污染物中占比颇高,特别是湖泊水库流域的富营养化问题与农业面源污染输入密切相关。党中央、国务院高度重视农业面源污染防治工作,自 2015 年起,农业农村部、生态环境部等国家部委密集出台一系列政策文件,如《关于打好农业面源污染防治攻坚战的意见》《农业农村污染治理攻坚战行动计划》以及《重点流域农业面源污染综合治理示范工程建设规划(2016-2020 年)》等政策文件,标志着农业面源污染防治攻坚战全面启动。相关政策实施后,在污染控制领域已取得显著成效。需注意的是,我国农业面源监测、评估与防控标准规范体系的建设起步时间相对晚于发达国家,但近年来通过政策驱动与科研创新相结合的方式,正加速追赶,逐步形成具有中国特色的技术标准体系。

在标准规范建设方面,我国经历了从借鉴国际经验到构建中国特色体系的发展过程。2014 年,原环境保护部以“江河湖泊生态环境保护专项技术指南系列”为框架,发布《农田面源污染防治技术指南》(环办函〔2014〕651 号)。该指南系统总结了农业面源污染的诊断方法、监测技术、源头控制、过程阻断及末端强化等关键技术,为后续标准制定奠定了初步技术框架,标志着我国开始系统性建立农业面源污染防治的技术规范体系,填补了国内农业面源污染综合治理技术文件的空白,为后续专项标准的制定提供了重要参考依据。

随着农业面源污染防治工作的深入推进,地方层面率先开展探索并出台一系列标准。例

如，山西省发布《设施蔬菜面源污染监测技术规范》（DB14/T 1373-2017），重庆市发布《重庆市农业面源污染风险评估技术规范》（DB50/T 931-2019，已废止），江苏省发布《太湖流域果园面源污染综合防控技术规范》（DB32/T 3793-2020）等。这些地方标准针对特定区域和作物类型，体现了因地制宜的防控思路。各标准结合当地农业生产特点与面源污染突出问题，制定具有区域特色的技术规定：山西省标准聚焦设施蔬菜生产过程中的面源污染问题，明确了专项监测指标与方法；江苏省标准针对太湖流域果园面源污染，提出适配该区域的综合防控技术措施。

2020 年起，农业农村部系统性推出一批农业行业标准，显著完善了国家层面的规范体系。其中，《流域农业面源污染监测技术规范》（NY/T 3824-2020）明确了监测断面设置与采样、监测指标与方法、结果表达与质量控制等全流程技术要求，为流域尺度污染监测提供了统一依据。该标准详细规定了农业面源污染监测的布点原则、采样频次、监测指标及分析方法，确保监测数据的可比性与可靠性，为流域尺度农业面源污染负荷估算提供技术支撑。同时，《农业面源污染综合防控技术规范》系列标准（NY/T 3821）针对我国主要地貌类型，明确了差异化的防控基本原则、要求与策略，体现分类指导的科学防控理念。该系列标准包含三个部分，分别针对不同地形区制定技术规范：NY/T 3821.1-2020《农业面源污染综合防控技术规范 第 1 部分：平原水网区》规定了平原水网区农业面源污染综合防控的基本原则、防控要求与策略、基础调研、分区与协同防控及分区防控技术要求，适用于平原水网区农业面源污染的综合防控与管理，重点针对地势平坦、河网密布区域，聚焦地表径流与地下淋溶等污染途径的防控；NY/T 3821.2-2020《农业面源污染综合防控技术规范 第 2 部分：丘陵山区》结合丘陵山区地形复杂、坡度变化大、水土流失严重的特点，制定适配该区域的农业面源污染防控技术规范，重点关注土壤侵蚀导致的养分流失、坡地农业面源污染形成机制等特有问题的防控；NY/T 3821.3-2020《农业面源污染综合防控技术规范 第 3 部分：云贵高原》针对云贵高原喀斯特地貌、垂直气候带分布等特殊地理气候条件，制定适配该地区的农业面源污染综合防控技术规范，充分考虑高原地区生态环境脆弱、土壤瘠薄等特点，提出针对性防控措施。

此外，近年来地方标准体系亦在持续发展与完善。例如，广东省发布的《农业面源污染监测及测算技术规范 第 1 部分：种植业面源污染监测》（DB44/T 2614.1-2025），适用于广东省以地表径流途径发生的平原田块尺度种植业氮磷面源污染监测。该标准明确其成果可作为环境影响评价、工程咨询、设计施工、环境保护验收及建成后运行与管理的技术依据，体现了标准与实际工程及管理需求的紧密结合。重庆市璧山区制定的《璧山区种植业（蔬菜）面源污染防控技术规范》（T/CQSES 04-2024）为聚焦特定作物（蔬菜）的团体标准，其构建了清晰的技术框架，围绕重点源头减量、关键过程拦截、末端净化与循环利用的技术路径，对蔬菜基地面源污染防控各环节的技术要求作出细致规定，为同类地区开展精细化防控提供了优秀范本。河南省许昌市发布的《农田氮磷面源污染源头减控技术规程》（DB4110/T 74-2024）专注于农田氮磷面源污染的源头减控技术，体现了从末端治理向源头预防转变的先进理念。

上述标准规范的出台与实施，均在《全国农业面源污染监测评估实施方案（2022—2025 年）》等顶层政策推动下开展。该方案旨在加快构建全国农业面源污染综合监测评估体系，

各类技术标准则为这一体系提供了坚实的技术支撑。同时，为指导标准的实际应用，相关部门配套制定了《农业面源污染治理监督指导试点技术指南（试行）》等文件，对农业面源污染调查、监测、负荷评估等工作流程作出具体说明。

在技术内容层面，上述标准共同构建了我国农业面源污染治理的技术体系，主要体现在以下方面：一是强调源头控制的重要性，通过科学施肥、施药技术及灌溉管理，减少污染物产生；二是注重过程阻断，利用生态沟渠、植被缓冲带等工程技术措施，减缓污染物迁移；三是强化末端治理，通过人工湿地、生态塘等设施，进一步净化径流中的污染物；四是重视资源化利用，将农业废弃物转化为资源，实现污染物循环利用。

需注意的是，我国农业面源污染标准体系呈现出明显的层级性与区域性特征。国家标准和行业标提供基础性技术框架与要求，地方标准则结合各地区自然条件、农业生产特点及面源污染突出问题，制定更具针对性与可操作性的技术规定。这种多层次的标准体系设计，既保证了技术要求的统一性与规范性，又兼顾了不同区域的差异性与特殊性，为我国农业面源污染治理提供了全面且灵活的技术支撑。

在上述农业面源污染标准体系中，已发布的标准主要侧重于以下三个方向：一是流域尺度的污染监测，如 NY/T 3824—2020，其主要通过现场布设监测断面、采集水样等方式获取污染数据，依赖地面监测站点，存在监测成本高、覆盖范围有限的问题，难以实现对保护区内所有耕地地块的全覆盖动态监测；二是污染防治技术规范，如 NY/T 3821 系列标准，主要规定采用生态沟渠、植被缓冲带等工程措施和科学施肥等农艺措施进行污染治理，属于污染防治领域的工程技术规范，未涉及污染负荷的遥感调查与定量估算方法；三是地方性特色标准，如山西省 DB14/T 1373—2017、广东省 DB44/T 2614.1—2025 等，此类标准针对特定区域或特定作物类型，具有鲜明的地方特色，但缺乏全国范围内的普适性与可推广性。

此外，生态环境部印发的《全国农业面源污染监测评估实施方案（2022—2025 年）》（环办监测〔2022〕23 号）以全国/省级为宏观评估单元，基于 DPeRS 模型核算农业面源污染排放量与入水体量，需配套大规模地面监测网络和多源统计数据，结果具有明显的宏观特征，且地方独立实施难度较大。该方案的技术目标、方法路径与饮用水水源保护区小尺度范围的执法监管场景存在较大差异。本标准在充分衔接该方案的基础上，聚焦饮用水水源保护区这一特殊敏感区域，以满足执法监管需求为首要目标，通过高时间分辨率 NDVI 序列精准解析耕地地块的复种类型与作物构成，支撑流失负荷的精细化估算，量化不同耕地地块作为污染源的危险性。本标准与该方案在业务定位、区域尺度、业务目标等方面形成明确的分工与互补关系：方案侧重宏观尺度的污染核算与评估，本标准侧重微观尺度的水源地执法监管与污染源定量调查。两者在基础数据（如土地利用遥感监测、NDVI 时序提取）层面保持技术协调，共同服务于农业面源污染防治的总体目标。

综上所述，我国农业面源污染的标准体系建设已从初期的探索阶段逐步走向成熟，形成了覆盖国家、行业、地方与团体标准的多层次架构。这些标准共同构成了我国农业面源污染治理的技术骨架，体现了我国在农业面源污染治理领域从简单借鉴到自主创新、从单一技术到系统集成、从粗放管理到精准防控的发展历程。这一标准体系的建立和完善，不仅为当前的农业面源污染防治工作提供了技术依据，也为未来技术的创新和发展预留了空间，必将对我国农业绿色发展和美丽乡村建设产生深远影响。

3.3 与相关标准的比较

国外农业面源污染相关的标准主要包括美国 2003 年发布的《控制农业面源污染的国家管理措施》与 2021 年发布的《通过国家水质倡议计划和实施农业水质项目：从业者指导》，上述文件讨论了流域农业面源污染问题，并规定了污染负荷估算的技术步骤。国内农业面源污染相关的标准主要涉及基于监测断面的农业面源污染监测技术及总体防控技术要求。目前国内相关标准均针对农业面源的大范围监测（如流域）或总体防控，监测技术多为传统的断面监测或采样，并涉及监测点或断面的建设与布设；而本标准则提出一套系统的基于遥感的水源地农业种植面源污染负荷的遥感调查方法。

此外，值得注意的是，国内已发布的两个生态环境遥感调查标准《集中式地表水饮用水水源地风险源遥感调查技术规范》（HJ 1236—2021）与《饮用水水源地生态环境保护执法监管遥感调查技术规范》（HJ 1356—2024），共同构成了饮用水水源地常规风险源遥感巡查与执法监管体系。然而，这两个标准的核心工作主要聚焦于风险源的范围识别、类型分类和动态变化监测。例如，HJ 1236 通过遥感解译确定各类风险源的空间分布，建立源清单和电子档案；HJ 1356 则在前者的基础上，筛查风险源变化并生成执法线索。二者均侧重于定性识别、空间定位及违法行为的发现，不涉及对源头污染物产生、流失潜力的定量计算。仅凭种植面积无法直接反映污染负荷强弱（面积大并不等同于负荷强），缺少对污染负荷的定量估算，难以支撑风险等级的客观评价及有针对性的执法监管，也无法实现本标准“定量评估、精准治污”的核心目标。本标准与上述两个标准具有明确的承接与互补关系。HJ 1236 构建了水源地风险源的全景图，HJ 1356 则基于风险源变化为动态执法监管提供线索。在上述两大标准的框架下，农业种植面源作为水源保护区内占地面积最广、分布最零散、现有方法最难精确评估的风险源类型，始终缺乏一套用于定量评估其环境影响的技术手段，这正是制约该领域精准监管的核心短板。本标准的发布有效填补了这一空白。本标准将遥感的优势从定性识别拓展至定量算法层面，首次从“量”的维度系统解决了水源保护区可操作性的农业种植负荷估算问题。此外，相对于面向整个流域的大范围面源监测，本标准聚焦范围更小的水源保护区，以精细化、高精度为目标，提出了涵盖数据准备、复种类型分区及作物构成调查的完整操作流程。

4 标准制订的基本原则和技术路线

4.1 基本原则

（1）协调性原则

本标准在技术内容、方法体系及规范要求等方面，与我国现行相关法律法规、政策文件及标准规范保持高度协调统一。其一，在法律法规层面，本标准严格遵循《中华人民共和国生态环境法典》及其配套法律法规中关于饮用水水源保护区的管理规定，与《集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求》《饮用水水源保护区污染防治管理规定》等部门规章的具体要求相衔接，确保标准内容符合法律框架与管理要求。其二，在标准体系内部，本标准与《流域农业面源污染监测技术规范》（NY/T 3824-2020）、《农田面源污染防治技术指南》等现有农业面源污染相关标准规范相协调，在技术路线、监测方法、评价指标等方面保

持兼容性与互补性，避免技术冲突与重复建设。此外，本标准还与《地表水环境质量标准》《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》等环境质量标准相协调，确保污染负荷调查结果能够支撑水环境质量评价与管理决策。同时，本标准充分考虑与国土空间规划、农业发展规划等相关规划的衔接，确保标准实施与各相关领域工作协调推进，形成管理合力。

（2）合理性原则

本标准在技术方法选择、指标体系构建及实施方案设计等方面，充分体现科学性与合理性。在技术方法层面，本标准基于遥感技术特点与水源地保护需求，选用经实践验证的成熟技术方法，如基于多源遥感数据的地块识别技术、基于时间序列分析的作物种植制度解析技术、基于经验系数的污染负荷估算技术等，确保技术路线科学可靠。在区域适用性方面，本标准充分考虑我国不同地区水源地在自然环境条件、农业生产特征及社会经济水平上的显著差异，针对东部平原、中部丘陵、西部高原等不同地理单元，以及不同作物类型和种植制度，提出可供选择的技术实施方案与参数取值区间，增强标准对不同类型水源地的适应性与指导性。此外，本标准注重技术方法先进性与实用性的平衡，既吸纳遥感技术与环境模型研究的最新进展，又考虑基层技术力量与装备条件的现实情况，确保标准内容兼具前瞻性与实施基础。

（3）可行性原则

本标准在技术要求、实施条件及成果应用等方面，充分考量实际可行性，确保标准能够有效落地实施。在技术要求方面，本标准所规定的遥感数据获取、预处理、信息提取及负荷估算等技术环节，均基于当前普遍应用的遥感数据源与成熟技术方法，所需数据获取渠道稳定，处理方法标准化，技术门槛适度，能够为大多数技术机构所掌握与应用。在实施条件方面，本标准充分考虑不同地区经济实力与技术基础的差异性，对于经济发达、技术力量雄厚的地区，推荐使用高分辨率遥感数据与复杂模型方法；对于条件有限的地区，则提供基于中低分辨率数据与简化方法的替代方案，确保各级生态环境部门均能根据自身条件开展调查工作。在成本效益方面，本标准注重控制调查成本，通过优化技术流程、合理选择数据源、提高自动化处理水平等措施，降低人力、物力及财力投入，使调查工作具有可持续性。此外，本标准明确成果表达形式与质量控制要求，确保调查成果规范统一、准确可靠，能够直接应用于饮用水水源地环境风险评估、优先管控区域划定及污染防治方案制定等实际管理工作，为饮用水水源地环境保护与精准治污提供有效支撑。

4.2 技术路线

本标准技术路线见图 1。

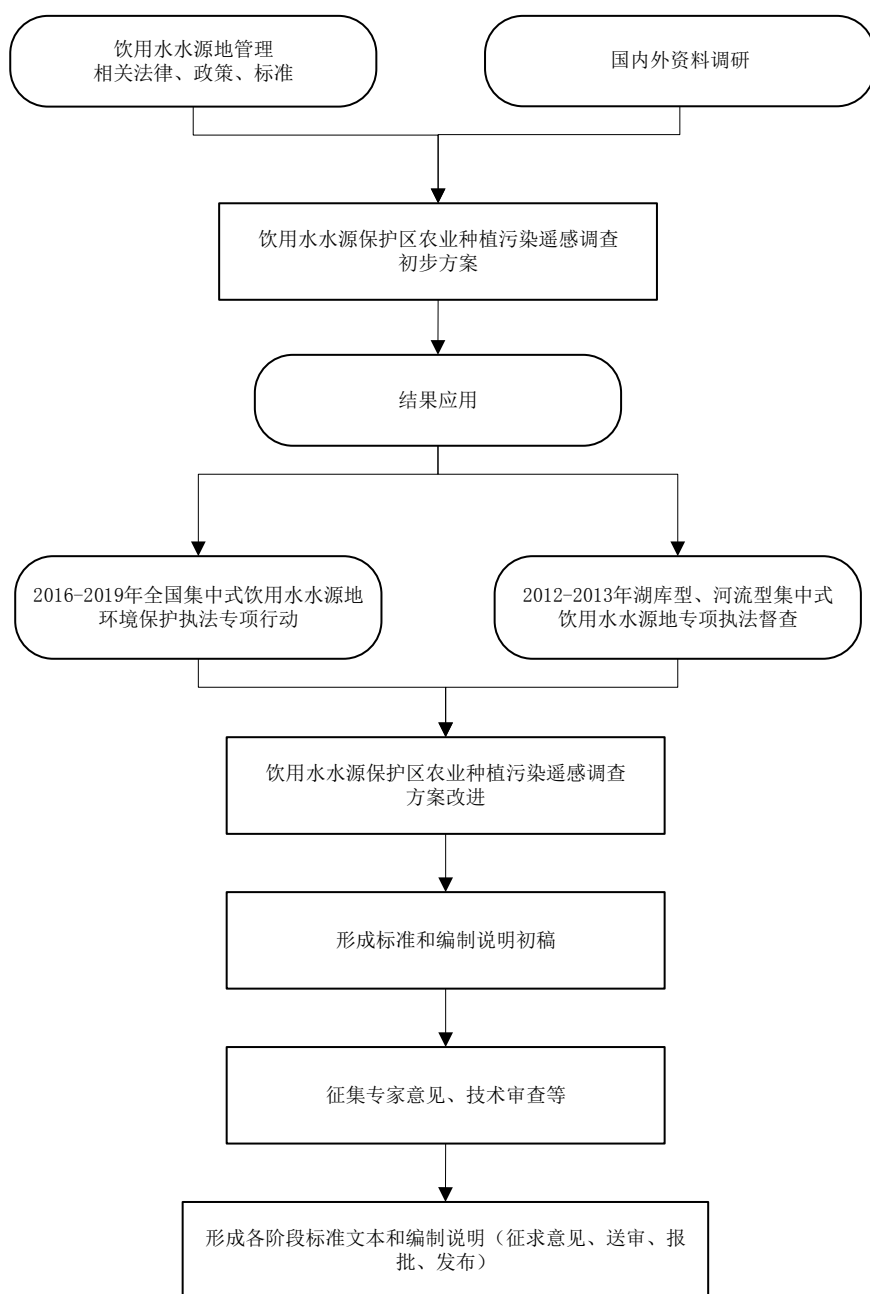


图 1 集中式地表水饮用水水源保护区农业种植污染遥感调查技术路线

5 标准主要技术内容

5.1 适用范围

本标准规定了利用遥感技术开展集中式地表水饮用水水源保护区农业种植污染调查的工作流程、数据准备、复种类型分区、作物构成调查、精度验证、污染负荷估算及成果归档等技术要求。

本标准的核心逻辑为：首先通过遥感手段系统查明水源保护区内作物种类、种植位置及

种植规模，再结合权威产排污系数开展污染负荷的定量估算。遥感调查形成的作物构成空间数据，是实现地块尺度精准负荷估算的基础，也是本标准区别于传统面积估算或经验估算方法的关键特征。

本标准适用于集中式地表水饮用水水源保护区农业种植面源污染的遥感调查工作，为水源保护区农业种植类风险源的分级管控、靶向治理及治理成效评估提供支撑。

鉴于农业种植污染对地下水饮用水水源地的影响与地表水水源地存在显著差异，本标准所规定的污染负荷遥感调查技术不适用于地下水饮用水水源地。

本标准既适用于生态环境部组织开展的全国集中式地表水饮用水水源地农业种植污染遥感调查，也适用于省级或地市级生态环境主管部门对本行政区域内集中式地表水饮用水水源地农业种植污染开展的遥感调查。

5.2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 14950 摄影测量与遥感术语

GB/T 41222 土壤质量 农田地表径流监测方法

HJ 338 饮用水水源保护区划分技术规范

HJ 773 集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求

NY/T 3527 农作物种植面积遥感监测规范

DD 2013 多光谱遥感数据处理技术规程

《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》（生态环境部公告 2021 年 第 24 号）

5.3 术语和定义

本标准对集中式地表水饮用水水源地、饮用水水源保护区、农业种植污染、耕地地块、复种类型、氮磷流失系数、氮磷流失负荷 7 个术语进行了定义。

（1）集中式地表水饮用水水源地 centralized surface drinking water source

取水区域位于地表的、进入输水管网送到用户和具有一定供水规模（供水人口一般大于 1000 人）的在用、备用和规划的集中式地表水饮用水水源地。依据取水口所在水体类型的不同，可分为河流型饮用水水源地和湖泊、水库型饮用水水源地。

集中式地表水饮用水水源地的定义参照《集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求》（HJ 773-2015）中“集中式饮用水水源地”的定义，在基本保持一致的基础上，将水源地类型限制为地表水水源地。

（2）饮用水水源保护区 drinking water source protection area

为防止饮用水水源地污染、保证水源水质而划定，并要求加以特殊保护的一定范围的水域和陆域。饮用水水源保护区分为一级保护区和二级保护区，必要时，可以在饮用水水源保护区外围划定一定的区域作为准保护区。

饮用水水源保护区的定义参照《饮用水水源保护区划分技术规范》（HJ 338-2018）及《集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求》（HJ 773-2015）。

（3）农业种植污染 agricultural planting non-point source pollution

在农作物种植过程中，氮、磷等营养盐及其他污染物受水力驱动，通过农田排水、地表径流、地下渗漏等途径，以随机、分散、无组织方式进入受纳水体，导致水质恶化的现象。

本术语主要参考《农业面源污染综合防控技术规范 第一部分：平原水网区》（NY/T 3821.1-2020）和《流域农业面源污染监测技术规范》（NY/T 3824-2020）中的“农业面源污染”术语，结合全国水源地农业种植污染遥感调查工作特点予以定义。

（4）耕地地块 cropland parcel

由田间灌排沟渠、道路、田坎等固定设施围成，立地条件与生产措施基本一致的耕地单元。

本术语主要参考《高标准农田建设评价规范》（GB/T 33130-2024）中的“耕作田块”术语定义。该定义聚焦耕地空间属性，为后续基于空间单元的定量分析提供清晰、无歧义的逻辑基础。

（5）复种类型 multiple cropping type

指一个自然年内按时间顺序形成的作物组合类型，涵盖一年一熟和一年多熟两种情形。

本定义参考 GB/T 28407 中的“标准耕作制度”术语及表 B.2 制定。

（6）氮磷流失系数 nitrogen and phosphorus loss coefficient

在典型正常生产与管理条件下，一个自然年内，单位面积农作物种植活动产生的总氮、总磷量中，经降雨或灌溉水作用迁移出田块并流失至外部环境的部分。

本术语主要参考生态环境部《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》（公告 2021 年 第 24 号）定义，结合水源地农业种植污染遥感调查工作实际特点进行适当调整。

（7）氮磷流失负荷 nitrogen and phosphorus loss load

在典型正常生产与管理条件下，一个自然年内，农作物种植活动产生的总氮、总磷中，经降雨或灌溉水作用迁移出田块并流失至外部环境的总量。

本术语主要参考生态环境部《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》（公告 2021 年 第 24 号）定义，结合氮磷流失系数及本标准语境予以明确。

5.4 数据准备

本部分规定了集中式地表水饮用水水源保护区农业种植污染遥感调查所需的饮用水水源保护区矢量边界、耕地地块、高空间分辨率与高时间分辨率遥感影像等主要数据的准备及处理要求。

（1）遥感影像收集

基于饮用水水源保护区农业种植污染遥感调查实践经验，以遥感技术可识别各类农作物且监测周期内可获取为原则，本标准明确了对高空间分辨率与高时间分辨率两类遥感影像在时相、波段、空间分辨率、云量及质量等方面的要求。在实际开展集中式地表水饮用水水源保护区农业种植污染遥感调查时，需结合目标区域农作物种植制度、耕地分布规律等特征，在本标准要求基础上，分析并选取适配目标区域的遥感影像。

- 高空间分辨率遥感影像：用于耕地地块提取的高空间分辨率遥感影像应满足以下要求：a) 空间分辨率不低于 10 米；b) 影像时相应选取作物生长季初期或非生长季；c) 至少包含红、绿、蓝、近红外四个波段；d) 单景影像在目标饮用水水源保护区

范围内的整体云量覆盖率应低于 10%，且关键耕地地块区域无云层覆盖。

- 规定空间分辨率不低于 10 米（如哨兵-2 号数据），是在满足耕地地块提取精度与保障数据全国范围可免费获取、可持续性之间的最优平衡。建议影像时相选取生长季初期或非生长季，因该时段作物与背景地物的光谱差异最为显著，有利于实现耕地地块边界的精准自动化提取。要求至少包含红、绿、蓝、近红外四个波段，旨在同时满足目视解译与基于植被指数（如 NDVI）的定量分析需求，为农业遥感监测提供基础支撑。规定整体云量低于 10%且关键耕地地块无云，是数据质量控制的底线要求，可最大限度减少云层对信息提取精度的影响，确保评估结果可靠。
- 高时间分辨率遥感影像：用于构建归一化差值植被指数（NDVI）时间序列的高时间分辨率遥感影像应满足以下要求：a）空间分辨率不低于 30 米；b）时间分辨率不超过 10 天；c）影像时间序列应连续覆盖至少一个完整自然年；d）至少包含红和近红外波段；e）影像时间序列经重建处理后，应确保所有耕地地块获得完整有效观测值。
- 规定空间分辨率不低于 30 米，是在捕捉地块级物候信号与利用长时序、稳定数据源之间的最优平衡，保障方法在全国范围的可重复性与历史可比性。要求时间分辨率不超过 10 天，旨在紧密匹配农作物关键物候期变化速度，确保准确捕捉生长季起止与更替，为复种类型划分提供可靠时间序列曲线。要求影像序列连续覆盖至少一个完整自然年，是准确判定一年一熟、一年多熟等复种制度的根本前提，避免因观测时段不完整导致误判。要求至少包含红与近红外波段，是计算 NDVI 指数、构建作物识别所需时间序列的最基本数据要求。通过高质量重建处理可有效克服单一时相云污染，最终目标是保障每个耕地地块获得完整、连续的高质量 NDVI 时序数据。
- 遥感影像质量要求：遥感影像数据应色彩层次丰富、纹理细节清晰、反差适中、色调柔和，可辨认与地面分辨率相适配的细小地物，无模糊、重影、错位、扭曲、变形、拉花、脏点、漏洞及同一地物色彩反差不一等现象。

（2）遥感影像预处理

原始遥感影像受传感器姿态变化、飞行高度与速度、地形起伏、地球表面曲率、大气折射等因素影响，存在几何畸变与信息误差等问题，需进行系列预处理。

对收集的遥感影像开展辐射校正、大气校正、几何精校正、影像融合、镶嵌处理，形成覆盖整个饮用水水源保护区的遥感影像数据集，并裁剪出饮用水水源保护区范围内的遥感影像。遥感影像预处理技术及精度要求按 DD 2013 执行。

（3）矢量数据收集

- 饮用水水源保护区边界：收集集中式地表水饮用水水源保护区的边界矢量数据，需确保矢量数据空间拓扑关系合理准确，真实反映一级保护区、二级保护区、准保护区等不同级别饮用水水源保护区之间的覆盖范围。饮用水水源保护区边界信息包括面、点或线信息，属性数据涵盖水源地编码、水源地类型、保护区级别、水源地状态四项，矢量化数据格式为 Shapefile（.shp）。未划定饮用水水源保护区边界的水源地，应参照相关标准确定遥感调查范围。

- 耕地地块：优先收集自然资源管理等相关部门发布或认定的耕地地块矢量数据。无法获取现成耕地地块矢量数据时，可依据高空间分辨率遥感影像，通过自动提取或人机交互解译方式生成。所获取的耕地地块数据需满足以下要求：空间拓扑关系合理准确；耕地地块之间无空间重叠；耕地地块与饮用水水源保护区边界的空间关系逻辑合规。耕地地块信息为面状矢量数据，采用 Shapefile（.shp）格式。

■ 本标准将“耕地地块”定义为由固定设施围成、可通过遥感影像提取的最小单元，并将其作为后续所有分析的基本空间单元。主要考虑如下：一是该定义确保单元边界具备客观性与可重复性，是当前遥感技术可稳定、业务化提取的最优尺度；二是以该物理单元为基础开展作物类型解析与污染负荷估算，其成果可满足水源保护区尺度上面源污染空间分布识别、风险分级及优先区划定的管理需求。本标准认可并接受该物理单元内部可能存在的作物混合情况，此为遥感调查方法在可实现性、成本与精度间的平衡体现，是支撑大范围业务化应用的务实选择。

（4）高质量 NDVI 时间序列重建

所用 NDVI 产品或数据虽经严格预处理与合成，但云、气溶胶、雪等因素影响仍较大，通常导致 NDVI 值突降，因此需重建 NDVI 时间序列，以获取更可靠的复种类型分区聚类结果。

基于高时间分辨率遥感影像，逐像素计算 NDVI，形成目标年份初始 NDVI 时间序列。采用滑动窗口回归、滤波迭代拟合等方法，降低云、气溶胶、雪等因素的影响，重建得到高质量的像素尺度 NDVI 时间序列。

该像素尺度序列是后续开展地块尺度 NDVI 聚合的基础数据来源，其质量直接影响复种类型分区的准确性。

5.5 复种类型分区

（1）总体原则

以饮用水水源保护区内的耕地地块为基本空间单元，首先将 5.4 重建的高质量像素尺度 NDVI 时间序列，按耕地地块边界进行聚合（聚合方法宜采用平均值或中位数），获得每个地块的 NDVI 时间序列；随后基于其目标年份的 NDVI 时间序列，采用聚类分析方法，根据时序形态的相似性对耕地地块进行归类，从而划分形成不同的复种类型区。

（2）分区方法

生态环境部在多年农业种植污染调查中，主要采用 NDVI 产品开展复种类型分区聚类：采用能够衡量 NDVI 时间序列之间形状差异的距离度量方法，通过适宜的聚类算法进行 NDVI 时间序列聚类；选取合适的聚类数目，生成一系列候选耕地复种类型区，并采用聚类有效性指数选取最优分区；聚类有效性指数可用于评估聚类结果能否准确反映数据结构，并确定最佳聚类结果。最佳聚类结果应同时具备高集群内紧密度和高集群间分离度（对应区内高同质性和区间高异质性）。依据复种类型区聚类经验，本标准对聚类方法中的距离度量、聚类数目选择和聚类算法作出如下明确规定。

- 算法选择：宜采用 k 均值、模糊 c-medoids、层次聚类等算法开展聚类分析。
 - k 均值聚类通常包括以下步骤：1. 设定聚类数目 k；2. 随机选择 k 个样本作为

初始聚类中心；3. 根据样本与各中心的距离，将样本分配至最近的聚类中心所属类别；4. 重新计算各类别的中心（所有样本均值）；5. 重复步骤 3-4，直至聚类中心不再显著变化或达到设定的迭代次数；6. 输出最终聚类结果。

■ 模糊 c-Medoids 聚类通常包括以下步骤：1. 设定聚类数目 c 及模糊化系数 m；2. 初始化聚类中心（medoids），选择 c 个样本作为初始代表点；3. 计算各样本到各聚类中心的距离，确定各样本对不同中心的隶属度；4. 基于隶属度与距离，更新聚类中心，选择具有最小加权距离的样本作为新的 medoids；5. 重复步骤 3-4，直至隶属度或中心位置收敛；6. 输出各样本的隶属度及聚类结果。

■ 层次聚类通常包括以下步骤（以聚合策略为例）：1. 将每个样本视为一个初始聚类；2. 计算所有样本对或类别对之间的距离（或相似性）；3. 合并最近的两个类别，形成新的聚类；4. 更新类别间距离矩阵（可选不同联接方法，如最短距离、最长距离、平均距离等）；5. 重复步骤 3-4，直至达到预设的类别数或形成聚类树；6. 根据聚类树（dendrogram），确定最终聚类结果。

- 聚类对象：聚类对象为饮用水水源保护区内所有耕地地块的 NDVI 时间序列。耕地地块尺度的 NDVI 时间序列通过聚合地块内部所有像素的高质量 NDVI 时间序列获得，聚合方法宜采用平均值或中位数。
- 距离度量：选用能够衡量地块 NDVI 时间序列形状相似性的方法作为距离度量，包括动态时间规整（DTW）、基于形状的距离（SBD）等方法。
- 聚类数目预设：根据目标饮用水水源保护区的主要农作物及种植特点，预设多个聚类数目方案。聚类数目范围宜设定为 1 至 5 类。对于种植结构特别复杂的区域，可酌情增加预设类别数。本标准将聚类数目范围预设 1 至 5 类，主要基于对我国水源保护区内主流农业复种制度的科学概括与技术可行性的综合考量。该范围能够涵盖从一年一熟至一年三熟的绝大多数种植模式，与 NDVI 时间序列所能反映的作物生长周期差异相匹配。同时，该设定也考虑了聚类分析的技术稳定性，避免因类别过多导致结果难以解释。条款中“对于种植结构特别复杂的区域可酌情增加预设类别数”的弹性规定，是为应对个别地区可能存在的超常复杂复种模式而预留的技术接口，确保了标准在保持普适性前提下兼具应对特殊情况的灵活性。
- 复种类型划分：采用选定的聚类算法，对饮用水水源保护区内全部耕地地块的 NDVI 时间序列进行聚类，获取各预设聚类数目方案下的候选分区结果。选取轮廓系数、Davies-Bouldin 指数、Dunn 指数等一种或多种聚类有效性指数（详见附录 B），对所有候选分区结果开展综合评价，以确定最优分区。确定原则如下：a) 单一指数最优：选取在某一指定有效性指数上表现最佳的分区结果；b) 多指数共识：综合比较多个有效性指数评价结果，选取共识最优或投票最多的分区结果。最终确定的最优分区结果即为该饮用水水源保护区的复种类型分区。
- 轮廓系数用于衡量样本与本类及其他类的相对距离差异，取值范围为-1 至 1，数值越大表明聚类效果越优。计算公式如下：

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}} \quad (1)$$

式中：s(i) —— 样本 i 的轮廓系数；

$a(i)$ —— 样本 i 到本类其他样本的平均距离；
 $b(i)$ —— 样本 i 到相邻最近类别样本的平均距离。

整体轮廓系数为所有样本轮廓系数的均值。

- Davies-Bouldin 指数用于衡量各类别间的紧密度与分离度，数值越小表明聚类效果越优。计算公式如下：

$$DB = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \max_{j \neq i} \left(\frac{S_i + S_j}{M_{ij}} \right) \tag{2}$$

式中：
 k —— 聚类数目；
 S_i —— 第 i 类内部样本到中心的平均距离；
 M_{ij} —— 第 i 类与第 j 类中心之间的距离。

- Dunn 指数衡量聚类中最小类间距离与最大类内距离的比值，用于评价聚类分离度与紧凑性，数值越大表明聚类效果越优。计算公式如下：

$$D = \frac{\min_{1 \leq i < j \leq k} d(C_i, C_j)}{\max_{1 \leq l \leq k} diam(C_l)} \tag{3}$$

式中：
 k —— 聚类数目；
 $d(C_i, C_j)$ —— 第 i 、 j 类之间的距离；
 $diam(C_l)$ —— 第 i 类内部最大距离。

常见复种类型示例可参见下表：

表 1 常见复种类型与作物构成示例

复种类型及作物构成	常见分布区域
玉米一年一熟	东北、华北及西北旱作区
大豆一年一熟	东北地区
单季稻一年一熟	南方丘陵区及西南地区
冬小麦 - 夏玉米一年两熟	黄淮海地区
早稻 - 晚稻一年两熟	南方水稻区
油菜 - 水稻一年两熟	长江中下游地区
早稻 - 晚稻 - 蔬菜一年三熟	华南部分区域
注：本表所列复种类型及作物构成为典型示例，不具有穷尽性，仅用于辅助理解复种类型分区与作物构成调查结果。实际应用中应按照本标准的有关规定进行具体判定。	

上述聚类完成后，输出的复种类型分区结果将为每个耕地地块赋予一个复种类型标签（如一年一熟、一年两熟等）。该标签是下一节“作物构成调查”的基础输入，用于指导后续针对不同分区的生长季提取与作物识别工作。

5.6 作物构成调查

作物构成调查通过生长季确定与作物识别，明确各复种类型区包含的每个生长季农作物

类型，将“复种类型”细化为具体“作物构成”，为精准开展污染负荷估算提供支撑。

(1) 调查内容与流程

基于复种类型分区，进一步调查各分区作物构成，包括年内生长季数量、起止时间及各生长季主栽作物类型。需说明的是，同一复种类型分区内的地块应具备相似物候特征，因此可通过分析各分区聚类中心 NDVI 时间序列，代表该分区内所有地块的典型时序形态。作物构成调查应遵循以下流程：

a) 生长季确定：通过分析各复种类型区聚类中心 NDVI 时间序列，确定其年内生长季数量与起止时间。

b) 作物识别：针对识别出的每个生长季，确定其主栽作物类型。

(2) 生长季确定

获取各复种类型区聚类中心 NDVI 时间序列，根据其波形特征确定生长季数量。采用基于 NDVI 比率的生长季识别方法，提取各生长季开始时间与结束时间。

基于 NDVI 比率的物候期识别方法，通过归一化 NDVI 比率标准化 NDVI 振幅变化，统一度量不同时间 NDVI 的相对变化程度，用于识别农作物生长季节起止时间。归一化 NDVI 比率计算公式如下：

$$NDVI_{ratio}(t) = \frac{NDVI_t - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (4)$$

式中：NDVI_{ratio}(t) —— 第 t 天的 NDVI 比率；

NDVI_t —— 第 t 天的 NDVI 值；

NDVI_{min} —— 当年 NDVI 最小值；

NDVI_{max} —— 当年 NDVI 最大值。

为准确划分完整生长季过程，采用 20% NDVI 比率作为生长季开始与结束的判定阈值，提取生长季起止日期。

(3) 作物识别

选择目视判读、基于样本的监督分类或光谱特征匹配等方法，按复种类型、分生长季依次确认主栽作物类型，具体要求应符合 NY/T 3527 的规定。

5.7 精度验证

本节针对 5.5 复种类型分区和 5.6 作物构成调查两个核心产出环节开展综合精度验证，确保后续污染负荷估算的输入数据真实可靠。

本标准将精度验证设定为成果产出前的强制性质量控制环节，其根本目的在于保障基于遥感技术提取的复种类型与作物构成信息的准确性和可靠性，此类信息是后续污染负荷估算的空间基础与数据前提。设定“总体精度不低于 95%”的技术指标，主要基于以下考量：一方面，饮用水水源保护区环境管理要求较高，需尽可能精确的源解析信息支撑风险管控；另一方面，该阈值在当前遥感分类技术水平下具有可达性。通过采用高精度数据源、规范化流程及独立验证，实现 95% 以上的总体精度，可显著提升本技术规范产出成果的置信度，满足管理应用需求。验证方法严格遵循农业遥感领域现行有效行业标准 NY/T 3527，确保验证过程的规范性与评价结果的可比性。

(1) 验证内容与要求

应对复种类型分区及作物构成调查的最终结果进行精度验证。基于独立验证样本，采用

混淆矩阵开展评价，总体精度应不低于 95%。

(2) 验证方法与流程

验证样本的选取、混淆矩阵的构建及精度计算的具体方法应符合 NY/T 3527 的规定。

(3) 未达标情况处理

若验证精度未达到要求，应重新开展复种类型分区与作物构成调查，直至生成符合精度要求的结果。

5.8 污染负荷估算

在完成复种类型分区、作物构成调查及精度验证的基础上，本节将前序产出的作物构成空间数据与流失系数模型进行耦合，实现农业种植污染负荷的定量估算与空间化表达。需说明的是，本标准估算的污染负荷为“流失负荷”，即氮磷等污染物在降雨或灌溉水作用下迁移出耕地地块的量（与《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》中的“流失系数”定义保持一致），而非最终进入水源地水体的“入水负荷”。从执法监管角度，流失负荷直接反映农业种植污染源的污染物产生与流失潜力，是评价源危险性的量化指标，亦是用于污染源分级管控与精准执法的关键依据。

面源污染负荷估算方法主要包括机理模型、实证模型和输出系数模型三类。机理模型主要涵盖 SWAT、AnnAGNPS、HSPF 三类，然此类模型多基于北美地区环境特点研发，在其他地区的适应性仍有待增强，在我国应用时存在平原河网区产汇流计算结果不理想等问题。采用实证模型准确核算污染负荷难度较大，在国内尚未有成功应用案例。流失系数模型结构简单，数据易获取，在国内应用广泛，便于在地方推广。鉴此，本标准依据多年农业种植面源污染负荷估算经验，对基于流失系数模型开展污染负荷估算作出如下规定。

(1) 流失系数确定

污染负荷估算的准确性直接取决于流失系数的可靠性。本标准为确保估算结果兼具科学性与可操作性，对流失系数的确定明确了优先顺序。该顺序遵循“非现场优先、现场补充”原则，即优先采用已有权威数据或文献成果，仅在必要时辅以现场实验手段，最大程度发挥遥感调查的技术优势。官方发布值作为最基础的非现场数据，来源权威、覆盖全国，确保标准在任何情况下均有可靠参数可用，是保障标准可实施性的保底选项；尽管官方系数更新周期较长（如全国污染普查每 10 年更新一次），但其多年均值仍能代表典型生产条件下的流失水平，可满足水源保护区以年度为周期的污染源危险性评估与监管分级需求。参考确定途径亦属非现场方法，通过借鉴相似区域研究成果并进行本地化修正，能够在无需现场监测的前提下提升系数的区域适用性。实验确定为备选手段，仅在上述两种途径均无法获取可靠系数时启用，且实验监测并非脱离遥感调查的独立现场工作，而是基于本标准前期遥感调查成果先行获取的作物类型和空间分布信息，有针对性地进行监测选点，属于“非现场先行、现场跟进”的合理结合。在绝大多数调查场景中，前两种途径即可满足需求。为规范实验测定方法，本标准在实验确定环节引用《土壤质量 农田地表径流监测方法》(GB/T 41222-2021)，该标准规定了田块尺度地表径流监测及污染物排放量计算的技术要求，可为本地化流失系数的获取提供规范的方法依据。

本标准中，流失系数所指的“年”为完整自然年（1 月 1 日至 12 月 31 日）。应用时，对于包含冬小麦等跨年度生长作物的复种系统，所选用的系数应能代表该作物在其完整生长

周期内（如当年 10 月至次年 6 月）的流失强度，并与其他生长季作物（如夏玉米）的系数共同构成该自然年内的综合流失系数。因此，针对具体耕地地块的流失系数，实质上反映的是其特定作物构成在对应自然年内所产生的年均流失强度。该方法确保以年为周期的污染负荷估算能够完整涵盖所有复种作物的累积影响，与实际管理周期相匹配。

总氮、总磷年流失系数（单位： $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ）应按以下优先顺序获取：

- a) 官方数据采纳：优先采用省级及以上有关主管部门发布的系数。
- b) 参考确定：当无适用官方数据时，可参考地理气候、下垫面条件及作物类型相似区域已有研究成果中的系数。可根据目标水源保护区具体条件，综合考虑坡度坡向、土壤质地、年均降水量及耕作管理措施等因素，对参考系数进行合理性评估与本地化修正。
- c) 实验确定：当上述两种途径均无法获取可靠系数时，通过规范实验观测获取不同作物构成类型的流失系数，实验方法应符合 GB/T 41222 的规定。

(2) 污染负荷估算

污染负荷估算是将前期遥感信息提取成果转化为定量环境管理决策依据的关键步骤。本标准在确保估算方法与国家权威技术规范保持一致的前提下，充分利用遥感技术优势，产出支撑精细化管理的空间分布信息。在估算方法上与国家《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》保持一致，确保本方法在国家污染源核算体系内的规范性与可比性。在此基础上，本标准实现污染负荷空间化，以遥感识别的最小管理单元为基本空间单元，生成可定位、可量算、可追溯的污染负荷空间分布图，为饮用水水源保护区精准防控提供直接依据。最后，基于精细制图开展汇总统计，确保保护区污染负荷总量结果的空间可解释性。

- 估算方法：依据 5.6 作物构成调查结果，将不同作物构成类型的耕地面积与 5.8.1 确定的总氮、总磷年流失系数进行匹配，估算农业种植污染负荷。污染负荷具体计算方法应严格按照《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》执行。
- 空间分布制图：以耕地地块为制图单元，基于各地块的作物构成类型及其对应的总氮、总磷年流失系数，计算单个耕地地块的总氮、总磷污染负荷（单位： kg/a ），形成目标饮用水水源保护区农业种植污染负荷空间分布图。
- 总量估算：目标饮用水水源保护区农业种植污染负荷总量（单位： kg/a ）为保护区范围内所有耕地地块农业种植污染负荷之和，按总氮和总磷负荷分别统计。

(3) 不确定性说明

本标准采用的估算方法基于特定作物构成的年均流失系数，在耕地地块尺度上，实际污染物流失过程受自然因素（如降雨强度与分布、地表坡度、土壤质地等）及人为管理措施（如施肥制度、灌排方式、植被缓冲带设置等）的综合影响，估算结果存在一定不确定性。调查成果应主要用于水源保护区农业种植污染源的危险性评估、风险分级及优先治理区域识别。

5.9 成果归档

(1) 遥感影像成果

目标饮用水水源保护区农业种植污染遥感调查所用的预处理后遥感影像数据，格式为 GeoTIFF（.tif）。

(2) 复种类型与作物构成成果

目标饮用水水源保护区复种类型与作物构成调查成果，应以矢量数据形式归档，空间单

元为耕地地块，数据格式为 Shapefile（.shp）。属性信息应包括但不限于以下字段：耕地地块编号、调查年份、复种类型、作物构成。

(3) 污染负荷成果

a) 《集中式饮用水水源保护区农业种植污染负荷遥感调查表》，以电子表格方式提交，表格形式如下，采用.xlsx 或.csv 等通用电子表格格式。

表 2 集中式地表水饮用水水源保护区农业种植污染遥感调查表

____省____市____县____水源地

调查负责人：____复核人：____

调查年份				耕地面积（hm ² ）			
总氮负荷总量（kg/a）				总磷负荷总量（kg/a）			
复种类型 区编号	作物 构成 ^a	面积 （hm ² ）	总氮流失系数 （kg/(hm ² ·a)）	总氮负荷总量 （kg/a）	总磷流失系数 （kg/(hm ² ·a)）	总磷负荷总量 （kg/a）	
1							
2							
3							
...							
其他需要说明的问题							
a 作物构成填写作物+复种类型，如玉米一年一熟、冬小麦-夏玉米一年两熟等。							

b) 农业种植污染负荷空间分布专题图，包括总氮与总磷年污染负荷空间分布，空间单元为耕地地块，格式为 GeoTIFF（.tif）。专题图需包含图名、图例、比例尺、指北针、饮用水水源保护区边界等相关要素，采用分级设色法呈现地块总氮和总磷污染负荷。

c) 《集中式饮用水水源保护区农业种植污染遥感调查报告》，应涵盖目标饮用水水源保护区作物构成调查结果、氮磷负荷空间分布分析，明确优先治理区域，并提出后续工作建议。报告编制大纲如下，采用.docx 或.wps 等通用文档格式。

集中式地表水饮用水水源保护区农业种植污染遥感调查报告编制大纲

1. 概述

1.1 目的与意义

1.2 工作过程

- 1.3 饮用水水源保护区概况
- 2. 技术路线与方法
 - 2.1 数据与预处理
 - 2.2 复种类型分区
 - 2.3 作物构成调查
 - 2.4 污染负荷估算
- 3. 复种类型及作物构成遥感调查结果
 - 3.1 复种类型分区成果
 - 3.2 作物构成调查成果
 - 3.3 复种类型及作物构成空间分布分析
- 4. 污染负荷估算结果
 - 4.1 流失系数调查结果
 - 4.2 总氮空间分布分析
 - 4.3 总磷空间分布分析
- 5. 优先治理区识别
 - 5.1 高风险区域识别与分析
 - 5.2 优先治理区划定建议
- 6. 结论与建议
 - 6.1 农业种植污染现状总结
 - 6.2 饮用水水源保护区环境保护影响分析
 - 6.3 管理与治理建议
 - 6.4 后续工作建议

- (4) 空间数据格式要求
 - a) 平面坐标系采用“2000 国家大地坐标系”。
 - b) 高程基准采用“1985 国家高程基准”。
 - c) 投影方式采用“经差 3 度分带高斯-克吕格投影”。

为增强本标准的实用性与专业性，辅助使用者精准理解文中关键技术概念，标准文本中设置了缩略语与技术术语索引（表 3-表 6），集中对正文中涉及的遥感数据、遥感指数、聚类分析算法、距离度量方法及其有效性评价指标等内容进行简明阐释与说明，以便利查阅并统一认知。

表 3 遥感数据与遥感指数

序号	术语名称	缩略语	英文全称	说明
1	空间分辨率	-	Spatial Resolution	遥感影像中每个像素所代表的地面实际尺寸，是衡量影像空间细节刻画能

				力的关键指标
2	时间分辨率	-	Temporal Resolution	遥感传感器对同一地点开展重复观测的时间间隔，是衡量观测时间密度与动态变化监测能力的关键指标
3	归一化差值植被指数	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	由近红外波段与红光波段反射率计算获得的植被指数，是表征植被生长状态与覆盖度的核心指标
4	NDVI 时间序列	-	NDVI Time Series	按时间顺序排列的 NDVI 观测值序列，可反映农作物在一个生长周期或年度内的生长动态
5	高空间分辨率遥感影像	-	High Spatial Resolution Remote Sensing Image	本标准所指的高空间分辨率遥感影像，其空间分辨率优于 10 m，可清晰辨识田块边界，主要用于耕地地块的精确提取
6	高时间分辨率遥感影像	-	High Temporal Resolution Remote Sensing Image	本标准所指的高时间分辨率遥感影像，是时间分辨率优于 10 天的遥感影像序列，可密集捕捉植被生长变化，主要用于构建 NDVI 时间序列
7	NDVI 比率	-	NDVI Ratio	本标准所指的 NDVI 比率，是将 NDVI 值归一化至 [0, 1] 区间的相对指数，可用于统一度量不同时期植被生长的相对强弱，在本标准中主要用于生长季识别
8	高质量 NDVI 时间序列重建	-	High-quality NDVI Time Series Reconstruction	本标准所指的高质量 NDVI 时间序列重建，是通过滑动窗口回归、滤波拟合等方法，剔除云、气溶胶等噪声影响，获取完整、平滑且高质量的 NDVI 时间序列的数据处理过程

表 4 聚类分析算法

序号	术语名称	缩略语	英文全称	说明
1	k 均值聚类		k -means Clustering	一种将样本划分为 k 个簇，使样本到其所属簇中心的距离平方和最小的经典划分聚类算法
2	模糊 c -medoids 聚类		Fuzzy c -medoids Clustering	一种基于 medoid(簇中最中心的样本)的模糊聚类算法，适用于簇形状复杂或存在噪声的数据场景，允许样本以一定隶属度同时归属于多个簇
3	层次聚类		Hierarchical Clustering	通过计算样本间的相似度，以自底向上（聚合）或自顶向下（分裂）的策略，构建具有层次结构的聚类树（树状图）的算法
4	聚类中心		Cluster Center	代表一个簇中心位置的向量。在 k 均值算法中，其指该簇所有样本的均值向量；在 c -medoids 算法中，其指该簇内被选为代表性的实际样本（medoid）
5	树状图		Dendrogram	层次聚类算法生成的一种树形结构

				图，可直观呈现样本逐层聚合或分裂的完整过程，适用于辅助确定最终聚类数目
--	--	--	--	-------------------------------------

表 5 距离度量算法

序号	术语名称	缩略语	英文全称	说明
1	动态时间规整	DTW	Dynamic Time Warping	一种通过弯曲时间轴以确定最佳对齐路径，从而度量两个长度可能不同的时间序列间相似性的算法
2	基于形状的距离	SBD	Shape-Based Distance	一种通过最大化序列互相关以实现形状匹配，从而度量时间序列形状相似性的距离度量方法

表 6 聚类有效性指数

序号	术语名称	缩略语	英文全称	说明
1	轮廓系数	-	Silhouette Coefficient	用于评价聚类结果的分离度与紧密度，其值越大，表明样本与自身所属簇的紧密程度越高，且与其他簇的分离效果越好
2	Davies-Bouldin 指数	DB	Davies-Bouldin Index	基于各簇内样本离散度与簇间距离的比值计算得出的指数，其值越小，表明簇内样本的紧密程度越高，且簇间的分离度越好
3	Dunn 指数	-	Dunn Index	定义为最小簇间距离与最大簇内直径的比值，其值越大，表明聚类结果的分离度越好

6 对实施本标准的建议

本标准系统构建了基于遥感技术的集中式地表水饮用水水源保护区农业种植污染调查完整技术体系，首次确立了从数据准备、耕地地块识别、复种类型区聚类分析、作物构成解析到污染负荷估算与空间化表达的全链条技术规程。作为落实《中华人民共和国生态环境法典》及配套法律法规和政策要求的关键技术支撑文件，本标准的制定填补了我国饮用水水源保护区农业面源污染量化执法监管领域的技术标准空白，为各级生态环境管理部门实现从传统人海战术式巡查向现代化精准预警+靶向治理模式转型提供了科学依据与操作指南，同时为一线执法人员提供了客观、量化的证据支撑。本标准的实施将有力推动饮用水水源保护区环境管理工作的精细化、定量化和智能化水平提升，为实现饮用水水源地的长效保护与风险防控奠定坚实技术基础。

本标准主要适用于各地方人民政府及其生态环境主管部门、环境执法部门、从事环境监测与科研的机构、高等院校等单位开展集中式地表水饮用水水源保护区农业种植污染遥感调

查与评估工作。为确保调查结果的科学性、准确性和可比性，各相关单位依据本标准开展工作时应严格遵循标准规定的技术流程、操作规范和质量控制要求，特别是在遥感数据获取与预处理、耕地地块边界精准识别、NDVI 时间序列重建与质量评估、复种类型区聚类算法选择与参数优化、作物构成解析方法以及污染负荷估算模型应用等关键技术环节，必须按照标准规定的统一方法和程序执行，以保证最终获得的污染负荷数据在时间和空间维度上具有良好的一致性和可比性，能够为跨区域协同治理和管理决策提供可靠数据支撑。

鉴于当前我国各地对饮用水水源保护区农业种植面源污染监管的普遍需求和迫切性，建议相关标准化主管部门尽快完成审批程序，推动本标准早日发布实施。为确保本标准在实践中有效应用和落地，特提出以下具体实施建议：一是建立健全标准宣贯与培训体系。建议生态环境部牵头组织，联合农业农村部等相关部门，建立多层次、全覆盖的标准宣贯培训机制。针对省级、地市级生态环境部门的技术骨干和管理人员，组织开展系统的标准解读与技术培训，重点讲解本标准的技术原理、操作流程、关键参数确定方法以及常见问题解决方案，同时配套开发标准应用指导手册和典型案例集，帮助基层技术人员准确理解和掌握标准内容。鼓励有条件的地方开展试点示范，通过实践操作提升标准应用能力。二是加强技术支撑与能力建设。建议依托生态环境部卫星环境应用中心等技术优势单位，建立国家级技术支撑平台，为各地实施本标准提供持续的技术咨询、数据服务和质量核查。同时，支撑地方生态环境部门加强相关软硬件配置和人才队伍建设，特别是提升遥感影像处理、时空数据分析、模型应用等方面的技术能力。鼓励地方根据本标准的要求，结合本地实际情况，制定具体的实施方案和操作细则，确保标准执行不走样。三是促进标准成果在执法监管中的深度应用。建议加大本标准的宣传推广力度，通过行业会议、专业媒体、技术交流等多种渠道，扩大标准在生态环境管理、农业面源污染防治、饮用水水源保护等领域的知名度和影响力。积极推动标准成果在执法线索筛查、执法证据固定、执法效果评估、环境影响评价、流域污染治理、生态补偿核算、环境执法监管等多个场景的应用，充分发挥其价值。建立标准实施效果跟踪评估机制，定期收集、分析标准使用过程中的反馈意见和技术问题，为标准后续的修订和完善积累实践经验，确保其持续适应技术发展和管理需求的变化。

通过以上措施的综合推进，将有效保障本标准的顺利实施和广泛应用，使其真正成为提升我国饮用水水源保护区农业面源污染监管水平的有力工具，为守护人民群众饮水安全、推进农业绿色发展和建设美丽中国提供坚实技术保障。

7 相关案例

为验证本标准技术流程的可行性与有效性，选取河北省石家庄市岗黄水库水源地（岗南水库—黄壁庄水库水源地）、河南省鹤壁市盘石头水库水源地、河南省南阳市鸭河口水库水源地、山东省潍坊市峡山水库水源地等典型地表水型饮用水水源保护区，依据本标准规定的技术方法开展农业种植污染遥感调查。案例实施过程及主要成果如下：

（1）数据准备与耕地地块提取

收集各水源保护区边界矢量数据，针对水源保护区区域，基于空间分辨率优于 2 米的高分遥感影像，通过人机交互解译方式提取耕地地块边界。

（2）复种类型分区与作物构成调查

基于 2022 年逐年、逐像元重建的高质量 NDVI 时间序列（空间分辨率优于 30 米，时间分辨率优于 10 天），以耕地地块为基本单元，采用 k-means++ 聚类算法与动态时间规整(DTW)距离开展复种类型分区。各水源保护区的复种类型主要包括一年一熟和一年两熟。在此基础上，采用基于 NDVI 比率的生长季识别方法提取各生长季起止时间，结合高分辨率影像目视判读与监督分类，确定各生长季的主栽作物类型。结果显示：岗黄水库和盘石头水库以玉米一年一熟为主；鸭河口水库以玉米、小麦、水稻一年一熟为主；峡山水库以冬小麦—夏玉米一年两熟为主，兼含玉米、小麦、水稻一年一熟。

（3）污染负荷估算

按照本标准规定的流失系数确定路径，优先采用《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》中的官方系数，结合各水源地的作物构成与耕地面积，估算总氮、总磷年流失负荷。计算结果如下：岗黄水库总氮负荷约 389451.24 kg/a，总磷负荷约 49949.24 kg/a；鸭河口水库总氮负荷约 698803.44 kg/a，总磷负荷约 63788.86 kg/a；峡山水库总氮负荷约 1174633.73 kg/a，总磷负荷约 148284.25 kg/a；盘石头水库总氮负荷约 223514.95 kg/a，总磷负荷约 22187.80 kg/a。同时，以耕地地块为制图单元生成污染负荷空间分布图，清晰呈现高负荷地块的空间聚集特征。

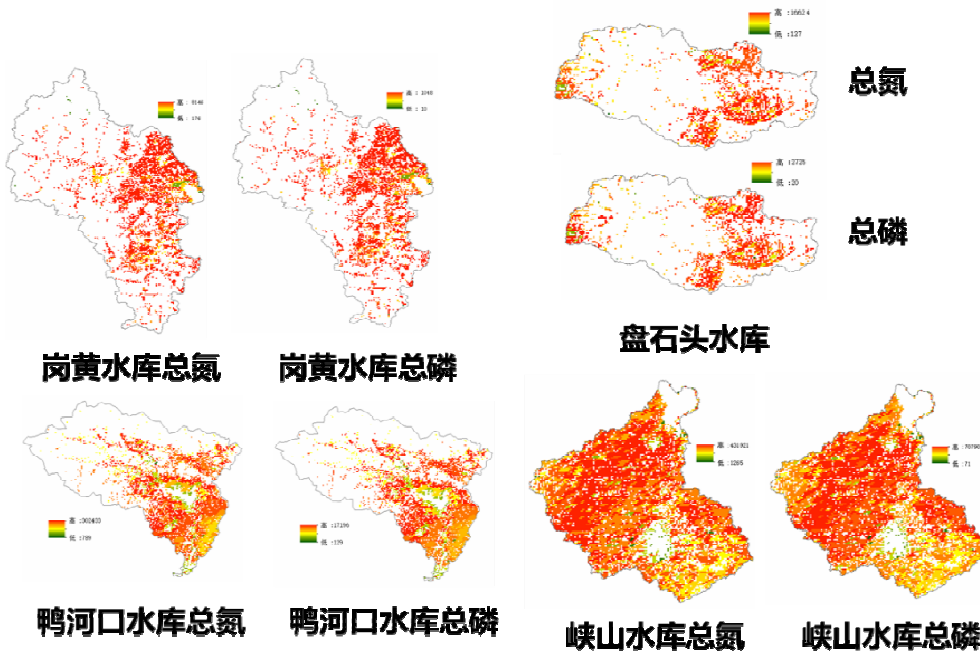


图 2 流失负荷空间分布示例

（4）负荷估算结果分析验证

为验证本标准遥感调查方法的有效性与准确度，从以下两个层面开展分析：

一是验证作物构成调查的准确性。污染物负荷估算的关键在于作物构成（复种类型及各生长季主栽作物）的准确性。流失系数是基于多年监测数据统计得出的相对稳定参数，作物构成确定后，对应的流失系数即可合理选用，负荷估算结果的可靠性主要取决于作物构成的精度。本案例将遥感解译的复种类型分区与农业复种公开数据集进行对照，复种类型与空间分布高度吻合。上述结果表明，本标准规定的作物构成调查方法能够准确反映水源保护区的

实际种植情况，为污染负荷估算提供了可靠的基础数据。

二是验证污染负荷空间分布的合理性。将估算获得的地块级污染负荷空间分布图，与各水源保护区化肥施用量、复种指数等农业生产特征进行叠加分析。结果显示，高负荷地块普遍分布于化肥施用量较大、复种指数较高的连片耕作区，低负荷地块则多位于复种指数低的零散耕地或生态脆弱区域。这一空间分布规律与农业面源污染的产生机理和常识判断高度一致，进一步印证了本标准负荷估算结果的科学性与可信度。

8 参考文献

- [1] 《清洁水法》（Clean Water Act），美国国会，1972（1977 年修订）。
- [2] 《控制农业面源污染的国家管理措施》（National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Agriculture, EPA 841-B-03-004），美国环境保护署，2003。
- [3] 国家水质倡议从业者指导（Through the National Water Quality Initiative and On-Farm Conservation Assistance: A Practitioner's Guide），美国农业部自然资源保护署，2021。
- [4] 《硝酸盐指令》（Nitrates Directive, 91/676/EEC），欧洲联盟，1991。
- [5] 《水框架指令》（Water Framework Directive, 2000/60/EC），欧洲联盟，2000。
- [6] 《可持续性农药使用指令》（Sustainable Use of Pesticides Directive, 2009/128/EC），欧洲联盟，2009。
- [7] 《关于打好农业面源污染防治攻坚战的实施意见》，农业部，2015。
- [8] 《农业农村污染治理攻坚战行动计划》，生态环境部、农业农村部，2018。
- [9] 《重点流域农业面源污染综合治理示范工程建设规划（2016-2020 年）》，国家发展和改革委员会、农业部，2016。
- [10] 《农田面源污染防治技术指南》（环办〔2014〕72 号），环境保护部，2014。
- [11] 《集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求》（HJ 773-2015）。
- [12] 《饮用水水源保护区划分技术规范》（HJ 338-2018）。
- [13] 《流域农业面源污染监测技术规范》（NY/T 3824-2020）。
- [14] 《农业面源污染综合防控技术规范 第 1 部分：平原水网区》（NY/T 3821.1-2020）。
- [15] 《农业面源污染综合防控技术规范 第 2 部分：丘陵山区》（NY/T 3821.2-2020）。
- [16] 《农业面源污染综合防控技术规范 第 3 部分：云贵高原》（NY/T 3821.3-2020）。
- [17] 《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》（生态环境部公告 2021 年 第 24 号）。
- [18] 《摄影测量与遥感术语》（GB/T 14950-2009）。
- [19] 《农用地质量分等规程》（GB/T 28407-2012）。
- [20] 《高标准农田建设评价规范》（GB/T 33130-2024）。
- [21] 李正国,杨鹏,周清波,等.基于时序植被指数的华北地区作物物候期/种植制度的时空格局特征[J].生态学报, 2009, 29(11):11.
- [22] 张明伟.基于 MODIS 数据的作物物候期监测及作物类型识别模式研究[D].华中农业大学,2006.
- [23] 李艳,张成才,罗蔚然,等.基于改进最大值合成 NDVI 的监测夏玉米物候期方法研究[J].农业工程学报, 2018(14).

- [24] 刘昊.基于 Sentinel-2 影像的河套灌区作物种植结构提取[J].干旱区资源与环境, 2021.
- [25] 王晓燕,秦福来,欧洋,等.基于 SWAT 模型的流域非点源污染模拟——以密云水库北部流域为例[J].农业环境科学学报, 2008, 27(3):8.
- [26] 刘博,徐宗学.基于 SWAT 模型的北京沙河水库流域非点源污染模拟[J].农业工程学报, 2011(05):52-61.
- [27] 耿润哲,王晓燕,焦帅,等.密云水库流域非点源污染负荷估算及特征分析[J].环境科学学报, 2013, 33(5):9.
- [28] 蔡明,李怀恩,庄咏涛,等.改进的输出系数法在流域非点源污染负荷估算中的应用[J].水利学报, 2004, 35(7):40-45.
- [29] 黄金良,洪华生,张珞平.基于 GIS 和模型的流域非点源污染控制区划[J].环境科学研究, 2006, 19(4):6.
- [30] 郝芳华,杨胜天,程红光,等.大尺度区域非点源污染负荷计算方法[J].环境科学学报, 2006.
- [31] 岳勇,程红光,杨胜天,等.松花江流域非点源污染负荷估算与评价[J].地理科学, 2007(02):231-236.
- [32] 刘瑞民,沈珍瑶,丁晓雯,等.应用输出系数模型估算长江上游非点源污染负荷[J].农业环境科学学报, 2008, 27(2):6.
- [33] 杨小林,朱波,董玉龙,等.紫色土丘陵区小流域非点源氮迁移特征研究[J].水利学报, 2013, 44(3):8.
- [34] 张辰,陆建忠,陈晓玲.基于输出系数模型的云南洱海流域农业非点源污染研究[J].华中师范大学学报: 自然科学版, 2017, 51(1):7.
- [35] 李嘉薇,管旭,王国强,等.基于遥感的饮用水源地农业面源污染负荷估算[J].生态学杂志, 2016, 35(12):11.