



淮河流域地下水与地表水 氮源补排规律认识与综合防控实践

——水专项“淮河流域地表与地下水氮源补排及防控关键技术研究及示范”课题成果综合报道

氮是引发水体富营养化、生态退化及水资源安全问题的关键要素。

淮河流域是我国重要的粮食生产区和增产核心区。流域内河南、安徽两省承担着至2020年增产300亿斤和220亿斤的重任。在无后备耕地资源储备的情况下,化肥、农药等化学品的高投入是实现粮食增产的重要途径。但是,在我国化肥利用率低、流失率高,据统计其平均利用率一般为30%~35%,有近45%左右的氮将通过降雨、径流和渗流进入地表水、地下水,对河

流和地下水水质造成污染。根据淮河流域394个全国重要江河湖泊水功能区、585个水质监测断面近五年统计资料,自2012年以来,淮河流域主要水质断面氨氮的超标率和超标倍数都显著高于高锰酸盐。根据《淮河流域环境地质调查报告(2012年)》,流域内埋深小于20m的浅层地下水污染超标因子中氮的超标率及其超标倍数最大,硝酸盐的超标倍数最高达6.69,污染分布范围也最广。因此,氮已成为淮河流域的首要污染因子。

析方法,进行了地下水补给地表水的时空分布特征分析及其氮通量评估。在沙颍河流域构建了地表—地下水氮污染转移模拟技术,该技术耦合分布式水文模型SWAT、地下水水流模型MODFLOW及地下水溶质运移模型MT3DMS,将水文响应单元在地下水差分网格尺度上进行空间离散,实现边界交互模拟。在淮河流域利用流域长序列天然月均径流数据,构建了基于递归数字滤波法的河川基流分割模型。利用上述模型技术及流域内(1956年~2014年)34个重要控制断面径流资料(站点分布于12个三级水文分区,8个地下水系统分区),实现了淮河流域91.5%面积的地表—地下水氮补排通量及地下水对地表水氮污染负荷贡献的定量评估。评估结果表明,淮河水系的基流模数空间分布

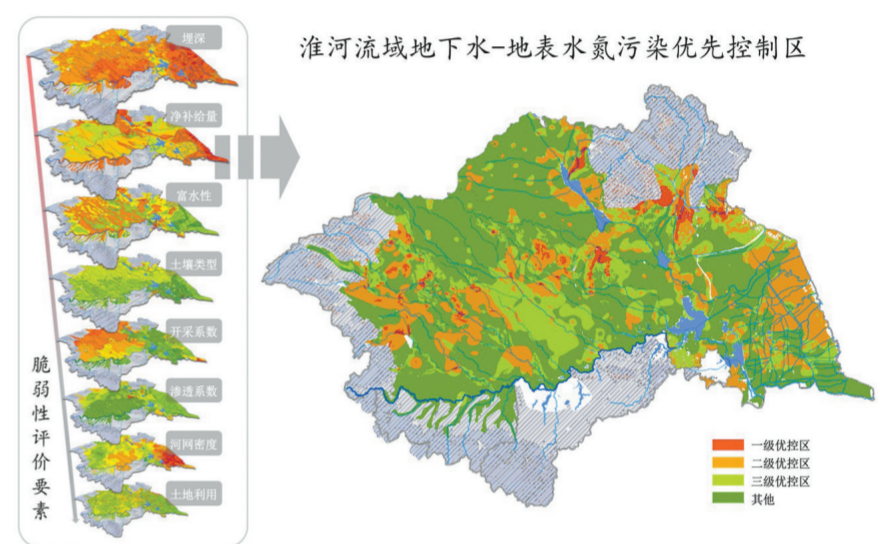
受地形、季节及水系分布密度影响,一般为0.42~6.2 L/km²/s,总体上淮河干流以南地区高于以北地区、上游高于中下游、山丘区高于平原区。在枯水季节和枯水年份,河川基流可达径流总量的40%以上,年平均贡献约26.5%,地下水补给地表水的氮负荷通量占径流氮通量的40%左右。其中,沙颍河流域地下水对地表水的年均净补给量为3.18亿m³,氮的年均排泄量为0.38万t。因此,地下水对地表水氮的补给是地表水氮负荷的重要来源之一。

综上,由于流域内土壤及地下水与地表水交换的差异性,淮河流域农业面源氮关键问题主要为地下水—地表水氮污染控制区的识别,以及针对农业面源氮污染发生特征的地表水与地下水一体化控制技术构建。

■ 因地制宜、综合防控,提出淮河流域地下水—地表水氮污染优先控制区综合防控策略

在流域尺度,由于土壤类型、农业耕作制度、水分循环、水文地质条件的差异性,导致了不同程度的农业面源氮流失风险,如何在流域尺度上实现农业面源氮污染地表水与地下水污染一体化控制?本课题基于地下水与地表水

相互作用理论,率先提出了“地下水—地表水氮污染优先控制区”的理念,制订了“优控识别”、“分级防控”、“分区治理”的综合防控策略,在流域尺度构建了“地下水—地表水氮污染优先控制区识别与管控技术”。



“优控识别”,即综合考虑地下水含水层富水性、地下水埋深、土壤类型等自然因素和土地利用类型、地下水开采量等人为因素,利用改进的DRASTIC评价方法,进行了流域内浅层地下水氮污染脆弱性分区,脆弱性评级高的区域浅层地下水更易遭受农业面源氮污染,也将给地表水带来更高的氮负荷补给。其次,将地下水按单元离散化,根据流域浅层地下水氮污染脆弱性评价,地下水与地表水补给排泄关系及地下水氮污染现状,筛选出地下水高风险排泄区,将其定义为优先控制区。

“分级防控”,即依据地下水遭受氮污染的难易度,分区域、分等级、分策略地在流域内开展地下水氮污染源控制。依据优先治理氮污染负荷大,识别和划三级优控区,将流域尺度的地下水氮污染防治缩减至不同等级的优先控制区。淮河流域氮污染优先控制区分区划中,Ⅰ级优控区占流域面积的1.69%,Ⅱ级优控区占15.26%,Ⅲ级优控区占14.34%。进一步地结合流域氮均

衡量及地下水功能区划,确定氮污染控制目标及各级优先控制区氮污染削减量。在考虑公平性与可操作性的基础上,以市为界线,按“流域—优控区—行政区”这一顺序,进行逐步、逐级分配,提出优控目标,极大地提高了流域尺度氮污染综合防控的时效性和经济效益。

“分区治理”,即针对不同的优控区划、不同的防控目标,提出不同的防控策略。具体来说,Ⅰ级优控区,以农田水分循环过程中氮的层层削减为核心,全面实施农业面源氮污染地表水与地下水一体化控制技术,进行从源头削减、入渗阻断、排泄阻控;Ⅱ级优控区,建立长期的氮污染负荷监测,防止其污染恶化。

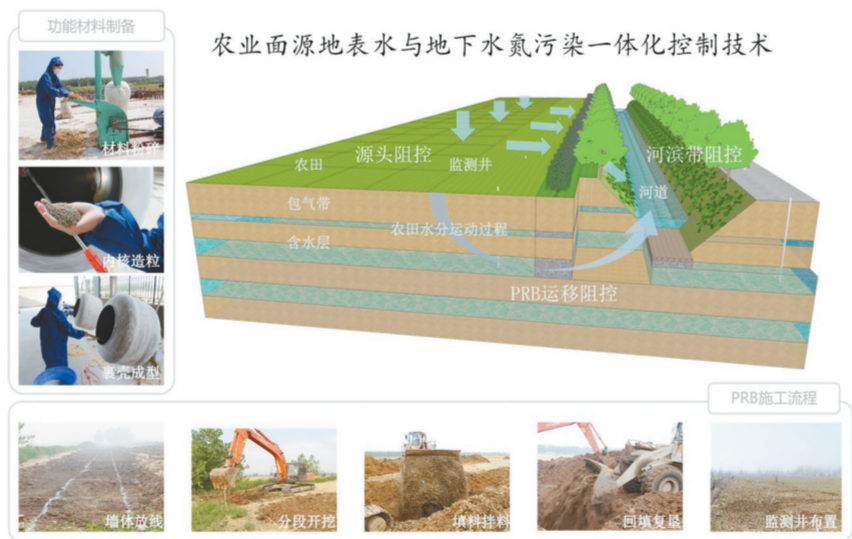
本研究依据“地下水—地表水氮污染优先控制区识别与管控技术”,提出的淮河流域农业面源地表水与地下水氮污染综合防控策略,已纳入水利部部署的全国水资源保护规划—《淮河流域水资源保护规划》,为提升淮河流域综合控氮能力提供了支撑。

■ 源头阻控、输移阻断,实现农业面源氮污染地表水与地下水一体化控制

本课题基于农田水分循环过程及氮的迁移转化规律,以“源头阻控、输移阻断”为核心,综合考虑土壤类型、养分组成、水肥条件、水文情境等,有效集成了集硝化抑制和吸附固持一体的氮污染物高效复合阻控技术、多形式渗透式反应墙与河滨缓冲带相耦合的浅层地下水氮污染转移阻断技术,构建了“农业面源氮污染地表水与地下水一体化控制技术”,可实现农业面源在农田水分循环过程中的层层削减及地下水水质与地表水水质的双重改善。

“源头阻控”,即从源头削减和控制农田氮肥用量,优选和配施集硝化抑制和吸附固持为一体的氮污染物高效复合阻控剂,减缓氨氮的硝化过程和增强材料对硝氮的吸附功能,提高氮肥利用

率,减少氮肥使用量,达到土壤氮素损失控制的目的,形成氮素源头阻控、土壤淋失控制和作物高效利用的农业生产全过程的氮素综合阻控技术模式。“输移阻断”,即以阻断浅层地下水向地表水氮源输移为目的,研发了基于农业废弃物再利用的氮污染阻断复合缓释功能材料,构建了多形式渗透式反应墙与河滨缓冲带相耦合的浅层地下水氮污染转移阻断技术。同时,根据河流水系分级特征,结合地下水与地表水界面介质特征、浅层地下水埋深、河滨带地形地貌结构,因地制宜地构建河滨缓冲带,拦蓄和阻控地表、地下径流向河道,营造河滨生态栖息地,兼具景观美化、防洪等重要的水文及生态功能,实现氮源运输的“多级控制”。



上述技术体系在新汴河流域宿州淮河种业粮食产业联合体旱作农业区进行了集成示范,通过地质钻探、地质雷达探测等水文地质背景勘察,进行了示范工程布置。其中,农田氮源阻控2000亩,在施氮量30%情景下,配施一次性投入每公顷3吨的锰改性生物炭吸附剂和作物期投入氮肥总量10%的双脲胺,实现了下渗进入浅层地下水硝酸盐氮污染物总量削减40%以上,田间投入成本约3322元/公顷/年,相比常规技术减少物资投入848元/公顷/年。根据示范区水系分布及其补排关系,布置浅层地下水—地表水氮污染转移阻断渗透式反应墙1000m,墙体深3~6m、平均厚1.5m,复合功能材料使用年限可达15余年,渗透式反应墙对硝酸盐氮的平均削减效率达到70%~85%。同时,依托《宿州城区新汴河景观工程》,在新汴河干流及一级支流实施河滨缓冲带转移阻断10km,缓冲带平均宽度分别为35m及10m。其中,示范段渗透式反应墙在深度小于6m条件下,单位建设成本约1250元/m,低于新汴河河滨缓冲带1500元/m的建设成本。

作为国家科技重大专项,水专项一直致力于技术创新及其产业化建设,以期产生可持续的环境、经济和社会效益。在以废治废、高效利用的指导



随着淮河流域水环境治理的不断推进,农业面源尤其是随地表径流带来的面源污染问题已得到广泛重视。但是,对于地下径流,由于缺少对其与地表水之间输移机制及补排关系的科学认识,尚未采取任何控制措施。据统计,淮河流域除某些年份的汛期地表水补给地下水外,地表水常年接受地下水补给,本课题利用数字滤波法的水文分析,对长序列水文资料进行河川基流分析,研究发现流域内地下水多年平均补给量约占径流总量的26.5%,在浅层地下水硝酸盐污染现状下,地下水补给地表水的氮负荷通量却占径流氮通量的40%左右,如不能有效防控地下径流对河流水体的污染,淮河流域水环境污染防治效果将会受到严重影响。因此,科学识别淮河流域农业面源、地下水及地表水之间氮源转化机制、定量评价其补排关系与通量过程,开发农业面源氮污染地表水与地下水综合防控关键技术,对于淮河流域农业面源深度截留、水环境污染防治总量控制以及地下水污染防治具有十分重要的科学价值和示范意义。为此,“淮河流域水质改善及生态重建关键技术研究及集成示范”项目经多次专家论证,前瞻性地布置了“淮河流域地表与地下水氮源补排及防控关键技术研究及示范”课题。

在课题行政责任单位淮河流域水资源保护局组织协调下,由南京大学阮晓红教授带领的“流域氮循环过程与调控研究”团队,联合中国科学院南京土壤研究所、中国地质大学及淮河流域水环境监测中心,发挥学科交叉

■ 科学辨析、定量评估,识别淮河流域农业面源控氮关键问题

针对流域尺度复杂的氮污染转移过程,课题组通过稳定同位素示踪、室内外试验以及数值模拟等技术手段,在代表性研究区域进行了地表水及地下水氮的溯源,追踪了农业面源氮污染物在农田水分循环过程中垂直向淋失及水平输移过程。在流域尺度上,探究了河川基流时空变化特征,评估了地下水侧向补给地表水的氮通量过程,并结合水文地质背景与人类活动影响下的浅层地下水氮污染脆弱性分析,进行了淮河流域农业面源控氮关键问题识别。

离子示踪技术,进行了氮污染物溯源研究。研究结果表明,该区域浅层地下水硝酸盐主要来源为农业氮肥,土壤有机氮及畜禽污水氮的氧化产物。同时,选择占流域耕地面积46%的潮土和砂姜黑土,开展了非饱和带硝氮淋失通量模拟与原位观测研究,结果显示砂姜黑土的硝化与反硝化潜力均大于潮土,受灌溉及降雨影响,研究区域夏玉米季和冬小麦季潮土和砂姜黑土的硝氮淋失率差别较大,一般潮土的硝氮淋失率大于砂姜黑土,并与土壤水分深层渗漏显著相关,区域内土壤硝态氮淋失量约占施肥总量的18%~40%。

■ 结束语

淮河流域是我国地下水向地表水排水的典型区,本课题在科学辨识淮河流域地表与地下水氮源补排空间分布特征的基础上,构建的源头阻控与输移阻断相结合的“农业面源氮污染地表水与地下水一体化控制技术”,提出的大数据分析与GIS耦合的“地下水—地表水氮污染优先控制区识别与管控技术”以及流域尺度上“优控识别、分级防控、分区治理”的综合防控策略,为提升流域综合控氮能力与水质改善与修复提供了技术支持,能力保障及产业化基础,课题目标的实现与国家“水体污染控制与治理”专项第二阶段目标“突破水体”减负修复”关键技术高度一致。

课题研发的“农业面源氮污染地表水与地下水一体化控制技术”,经济、高效、操作简单,与农田水利工程建设相结合,具有极大的可复制性及推广潜力。



图为研究人员在现场采集土样。

研发的“地下水—地表水氮污染优先控制区识别与管控技术”,可大幅度提高流域尺度农业面源氮污染综合防控的针对性、经济性和有效性,有望在我国流域水环境面源污染控制领域中发挥重要作用。本课题研发的以缓释碳源复合功能材料为核心的地下水污染PRB修复工艺及快速施工技术,为地下水渗透式反应墙修复技术在我国的应用提供了成功范例,对于我国污染场地地下水修复的工程设计及实施具有重要的参考价值,并已在我国苏南地区污染场地地下水修复中进行了初步应用。课题实施过程中培育了南京南大索益盟环境研究院有限公司、安徽中原土壤—地下水修复工程有限公司等环保企业,通过企业的社会服务,将进一步推广辐射本课题研究成果。



图为研究人员在现场采集土样。