

陈志铮, 赵万杰, 杨琪, 等. 农田灌溉退水对周边河流地表水质的影响[J]. 净水技术, 2026, 45(9): 164–172.

Chen Z Z, Zhao W J, Yang Q, et al. Impact of farmland irrigation water drainage on surface water quality of the surrounding rivers[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(9): 164–172.

农田灌溉退水对周边河流地表水质的影响

陈志铮^{1,*}, 赵万杰², 杨琪³, 严小蓉⁴

(1. 上海市水文总站, 上海 200232; 2. 上海市嘉定区水务事务管理中心, 上海 201800; 3. 上海市嘉定区水文站, 上海 201800; 4. 华东理工大学材料学院, 上海 200233)

摘要 【目的】 农业面源污染是我国水环境治理面临的突出挑战, 通过明确农田退水影响水质的具体规律、甄别主要污染物及高风险场景, 能够为有效治理区域农业面源污染、保障水体环境安全提供科学依据, 兼具重要的实践指导与理论参考价值。【方法】 以上海市嘉定区华亭镇水稻种植区为研究对象, 于 2024 年 5 月 29 日—7 月 23 日水稻主要退水期进行了 9 次采样, 共布设 15 个监测点位 (6 个稻田水点位、9 个河流点位), 以 pH、氨氮、总磷 (TP)、总氮 (TN)、高锰酸盐指数等为核心监测指标, 并结合降雨数据, 运用单因子评价法与统计分析方法对比退水前后、不同水文特征的河流, 以及有无降雨事件等情景下的水质数据, 分析农田退水对周边河流水环境的影响。【结果】 农田退水导致区域河流水质明显恶化, 氨氮与 TP 是主要污染因子; 氨氮含量最高超过 V 类标准 2.65 倍, 是造成周边河流劣 V 类水质的关键指标; TP 评价结果与综合水质类别一致性最高, 表明其对富营养化有重要贡献。不同水文特征的河流对污染响应差异显著: 汇入支流响应最显著, 主干河流在无雨时对污染冲击具有一定缓冲能力; 强降雨会与退水产生协同放大效应, 加剧污染负荷并扩展影响范围至主干河道。【结论】 农田退水与降雨的协同放大效应, 不同水文特征的河流对污染负荷响应差异显著。高风险场景主要发生在施肥后遭遇强降雨或集中排水时期, 治理须重点关注汇入支流及末端河道, 并统筹管理施肥时序与排水调控, 以缓解农业面源污染压力。

关键词 农田灌溉退水; 华亭镇; 水质评价; 降雨; 氨氮

中图分类号: X703 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2026)09-0164-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.09.018

Impact of Farmland Irrigation Water Drainage on Surface Water Quality of the Surrounding Rivers

Chen Zhizheng^{1,*}, Zhao Wanjie², Yang Qi³, Yan Xiaorong⁴

(1. Shanghai Hydrological Administration, Shanghai 200232, China;

2. Jiading District Water Affairs Management Center Shanghai 201800, China;

3. Jiading District Hydrological Administration, Shanghai 201800, China;

4. School of Materials Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200233, China)

Abstract [Objective] Agricultural non-point source pollution poses a significant challenge to water environment management in China. By clarifying the specific patterns of farmland drainage water's impact on water quality, identifying major pollutants, and high-risk scenarios, this paper provides scientific basis for effective regional agricultural non-point source pollution control and water environment safety assurance, offering both practical guidance and theoretical reference value. [Methods] The paper focused on the rice-growing area of Huating Town, Jiading District, Shanghai City. From May 29 to July 23, 2024, during the main drainage period of rice fields, 9 sampling sessions were conducted at 15 monitoring sites (6 paddy field water points and 9 river points). Chose pH, ammonia nitrogen, total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), and permanganate index as core monitoring indicators. Combined with rainfall data, single-factor evaluation method and statistical analysis were employed to compare water quality data before and after drainage, across rivers with different hydrological characteristics, and under scenarios with or without rainfall events, analyzing the impact of farmland drainage on surrounding river water environments. [Results] Results showed that farmland drainage caused

[收稿日期] 2026-01-29

[通信作者] 陈志铮 (1988—), 女, 主要从事水质检测技术、水文监测等工作, E-mail: zzchen0113@live.cn。

significant deterioration in regional river water quality, with ammonia nitrogen and total phosphorus being the primary pollutants. Ammonia nitrogen concentration exceeded the Class V standard by 2.65 times, serving as the key indicator for sub-Class V water quality. TP evaluation result exhibited the highest consistency with comprehensive water quality categories, indicating its significant contribution to eutrophication. Rivers with different hydrological characteristics demonstrate distinct pollution response patterns: the most significant response to pollution occurs in tributaries, while main rivers exhibited buffering capacity against pollution impacts during rainless periods. Heavy rainfall synergistically amplified pollution loads through water recession, exacerbating contamination and extending its reach to main waterways. [Conclusion] A synergistic amplification effect between agricultural drainage and rainfall was observed, with marked differences in pollution load responses across rivers with different hydrological characteristics. High-risk scenarios mainly occur when fertilization is followed by heavy rainfall or concentrated drainage. Management strategies should prioritize tributaries and terminal channels, while coordinating fertilization timing and drainage regulation to mitigate agricultural non-point source pollution pressure.

Keywords farmland irrigation drainage; Huating Town; water quality assessment; rainfall; ammonia nitrogen

农业面源污染已成为我国水环境质量改善的主要制约因素之一,其中农田灌溉退水携带的氮、磷等营养物质是导致河流、湖泊富营养化的关键污染源^[1]。水稻作为我国主要粮食作物,种植过程中需经历泡田、插秧、灌溉等多个需水阶段,其间产生的退水含有大量未被作物吸收的化肥残留、土壤颗粒及有机物,直接排放至周边水体后易引发水质恶化。

关于农田退水的水质影响研究,当前学术界主要关注以下3个方面:一是退水中污染物的迁移转化规律,研究^[1]表明,稻田退水中总氮(TN)、总磷(TP)含量与施肥量呈显著正相关,且降雨事件会加剧污染物的流失强度;二是通过构建水文水质模型预测退水对受纳水体的影响,为污染管控提供模拟工具^[2];三是典型农业区域的实证监测,如在长江中下游平原、珠江三角洲等水稻主产区的研究^[3]表明,农田退水是区域河流水体氮磷超标的主要原因之一,且不同水文特征的河流对退水污染的缓冲能力存在一定差异。上述研究为理解农田退水的环境影响奠定了重要基础,但针对城郊农业区水文条件下的定量影响研究仍较为匮乏。

华亭镇位于上海市嘉定区北部,属典型的城郊农业区,水稻种植面积广阔,灌溉退水直接汇入区域内娄塘河、潮泾河等各级河流,最终可能影响长江口流域水环境安全。目前,关于该区域农田退水对河流水质的定量影响研究尚较为匮乏,缺乏系统的监测数据支撑和针对性的污染管控措施。因此,开展华亭镇农田灌溉退水试验监测,明确退水过程对河流水质的影响规律,识别关键污染指标和污染场景,对于提升区域农业面源污染治理水平、保障水环境质量具有重要的理论与实践意义。

本文以华亭镇为典型研究区,通过对其2024年水稻种植期农田退水进行实地监测与实验室分析,重点分析退水前后、不同降雨条件下各级河流水质的变化特征,特别关注施肥后遭遇降雨或集中排水等高危时段的水质响应,以识别导致水质急剧恶化的高风险场景,弥补现有研究的不足,旨在为当地农业面源污染治理与水环境保护提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

华亭镇地处上海市嘉定区东北部,地理坐标介于东经121.22°~121.28°、北纬31.43°~31.47°,属亚热带季风气候,年平均降水量为1100 mm左右,降水主要集中在6月—7月的梅雨季节。区域内水系发达,主要河流包括娄塘河、新泾等主干河流,以及潮泾河、黄菇塘、西香塘港、殷泾塘、黄泥泾等汇入支流及末端河道,河流网络密度较高,为农田灌溉和退水提供了便利通道。

研究区域主要种植作物为水稻,种植期为6月—10月,6月为退水最密集期,涵盖稻田泡田、机插、插秧等关键阶段,且恰逢梅雨季节,降雨量大易导致稻田水淹没秧苗需强制退水;7月中旬后进入水稻打水灌溉期,退水强度相对降低。区域内稻田分布散乱呈块状,田间作业独立进行,灌排口数量较多,部分稻田配套有灌溉沟渠,退水主要流向周边各级河流。

1.2 监测方案设计

1.2.1 监测点位设置

根据研究区域稻田分布、河流走向及退水路径,通过实地勘察选取15个监测点位,其中6个为稻田水点位、9个为退水口附近河流点位,覆盖塔桥村、连俊村、北新村、华亭村4个主要行政村。为保证采

样点的规范性和代表性,点位选择遵循以下原则:
(1)河流点位布设于灌排口下游 50~100 m 处,确保能够捕获退水影响;(2)避开明显局部污染源(如生活排污口)的直接混合区;(3)选择河道顺直、水流

稳定的断面,按照《水质 采样方案设计技术规定》(HJ 495—2009)要求执行。具体监测点位信息如表 1 所示,地图上点位如图 1 所示(1~6 号为稻田水点位;7~15 号为河流点位)。

表 1 监测点位信息
Tab. 1 Information of Monitoring Points

区域	河流名称	断面名称	经度	纬度	具体地址
塔桥村	—	塔桥村稻田水 1	121. 236 0	31. 449 8	塔桥村 1 号泵站往北第 2 块田
塔桥村	—	塔桥村稻田水 2	121. 243 1	31. 437 1	塔桥村 2 号泵站往北第 1 块田
华亭村	—	华亭村稻田水 1	121. 272 1	31. 459 7	垃圾站房东 1 田
连俊村	—	连俊村稻田水 1	121. 222 5	31. 455 8	连俊队 12 队机口旁三号桥旁
北新村	—	北新村稻田水 1	121. 255 0	31. 464 8	华亭镇北新村廉心桥旁
北新村	—	北新村稻田水 2	121. 257 4	31. 464 0	高石路新泾桥西南边稻田
塔桥村	潮泾河	赵家宅桥	121. 236 6	31. 448 9	塔桥村 535 号赵家宅桥上
塔桥村	潮泾河	陈家村桥	121. 243 1	31. 437 2	陈家村桥上
塔桥村	娄塘河	嘉行公路桥	121. 243 6	31. 447 5	嘉行公路桥上
连俊村	黄菇塘	三号桥	121. 221 6	31. 455 4	连俊队 12 队机口旁三号桥上
北新村	西香塘港	廉心桥	121. 257 2	31. 467 8	华亭镇北新村廉心桥上
北新村	新泾	新泾桥	121. 259 9	31. 466 2	高石路新泾桥上
华亭村	殷泾塘	无名桥	121. 272 2	31. 459 6	徐星路华新路路口往东垃圾房南无名桥上
华亭村	黄泥泾	无名桥	121. 269 9	31. 462 0	无名桥往北,蔬菜大棚旁
华亭村	娄塘河	新娄塘桥(徐星路)	121. 268 0	31. 455 2	徐星路上



(a) 监测点位的交通地图



(b) 监测点位的卫星影像图

图 1 监测点位地图显示

Fig. 1 Map of Monitoring Points

1. 2. 2 监测项目

监测项目分为现场记录指标和实验室检测指标两类。现场记录指标包括水色、流向、水温、溶解氧及现场照片;实验室检测指标依据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)选取核心污染指标,具体为 pH、氨氮、TP、TN、高锰酸盐指数。

1. 2. 3 监测次数及时间

结合华亭镇水稻种植期退水特征,制定监测计划。监测时间为 2024 年 5 月 29 日—7 月 23 日,覆盖退水前、退水初期、梅雨期和退水后期。根据华亭镇水稻种植农事日历,此期间涵盖了退水最为集中的阶段,能够反映水稻全生命周期中

退水影响最显著的时期。后续研究可进一步延长监测周期,覆盖水稻全生长季以获取更完整的退水影响图谱。共进行 9 次采样,其中 6 月 12 日后

为每周 1 次,以捕捉退水与降雨对水质的动态影响。监测时间与退水及雨量情况的统计结果如表 2 所示。

表 2 监测时间与退水及雨量情况

Tab. 2 Monitoring Time and the Conditions of Water Drainage and Rainfall

编号	监测时间	退水情况	采样前 3 d 降雨量/mm	采样前 5 d 降雨量/mm	采样前一周降雨量/mm
1	2024-05-29	退水前	32.0	32.0	32.0
2	2024-06-04	退水前	0	19.0	19.0
3	2024-06-12	部分田开始退水	0	0	6.0
4	2024-06-18	间歇性退水	0.5	0.5	0.5
5	2024-06-24	间歇性退水	102.0	156.0	165.0
6	2024-07-02	间歇性退水	42.5	85.0	165.0
7	2024-07-09	间歇性退水	0	0	2.5
8	2024-07-15	间歇性退水	23.0	93.5	93.5
9	2024-07-23	间歇性退水	0	0.5	0.5

1.3 采样与检测方法

水样采集严格按照《水质 采样技术指导》(HJ 494—2009)执行,河流样品在断面中泓线处采集表层水(水面下 0.5 m 处),稻田水样品在稻田内均匀布点采集混合水样,每个点位采集 2 份平行样品,装入洁净采样瓶并做好标识。现场使用便携式溶解氧仪、水温计测定溶解氧和水温,记录水色、流向等表观特征;采集的水样及时送实验室分析,运输过程中冷藏保存。

实验室检测方法依据国家标准执行:pH 采用电极法(HJ 1147—2020)测定;氨氮采用纳氏试剂分光光度法(HJ 535—2009)测定;TP 采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—89)测定;TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ 636—2012)测定;高锰酸盐指数采用酸性高锰酸钾氧化法(GB 11892—89)测定^[3]。

1.4 水质评价标准与方法

依据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)对河流水质进行类别评价。选取氨氮、TP、高锰酸盐指数 3 个核心污染指标作为评价因子,采用单因子评价法^[4],即根据各指标监测值对应的水质类别,以最差指标对应的类别作为该断面的综合水质类别。稻田水监测数据仅作数值参考,不作为评价类别依据。地表水环境质量标准基本项目标准限值参照 GB 3838—2002 执行,正文中不再列表赘述。

2 结果与分析

2.1 监测数据统计特征

本次监测共获取河流样品 81 组、稻田水样品 27 组,各核心水质指标监测数据统计结果如图 2、图 3 所示(编号 1~9 对应日期关系具体如表 2 所示)。

从河流样品来看,pH 值为 7.5~8.8,均符合 GB 3838—2002 标准限值(pH 值为 6~9);氨氮质量浓度为 0.03~5.30 mg/L,最大值为 V 类标准限值(2.0 mg/L)的 2.65 倍;TP 质量浓度为 0.075~0.399 mg/L,最大值接近 V 类标准限值(0.4 mg/L);高锰酸盐指数为 1.5~8.2 mg/L,最大值低于 IV 类标准限值(10 mg/L);TN 质量浓度为 1.31~9.16 mg/L,多数样品超过 V 类标准限值(2.0 mg/L)。

稻田水样品中,pH 值为 7.3~8.9,符合标准要求;氨氮质量浓度为 0.079~36.8 mg/L,最大值远超河流 V 类标准;TP 质量浓度为 0.097~4.80 mg/L,部分样品质量浓度极高;高锰酸盐指数为 3.0~23.9 mg/L,最大值超过 V 类标准限值;TN 质量浓度为 1.26~44.6 mg/L,普遍处于高浓度水平。稻田水水质指标波动较大,与是否施加农药化肥、稻田水量状态密切相关,如 7 月 15 日和 7 月 23 日个别稻田水量极少且刚施过肥,导致氨氮、TN 等指标质量浓度急剧升高。此类高浓度稻田水进入河流后,会在短时间内导致河流水质急剧恶化。这一现象表明,若未预料到退水情况,在施肥后短期内发生退水(无论是主动排水还是降雨导致的溢流),将形成高

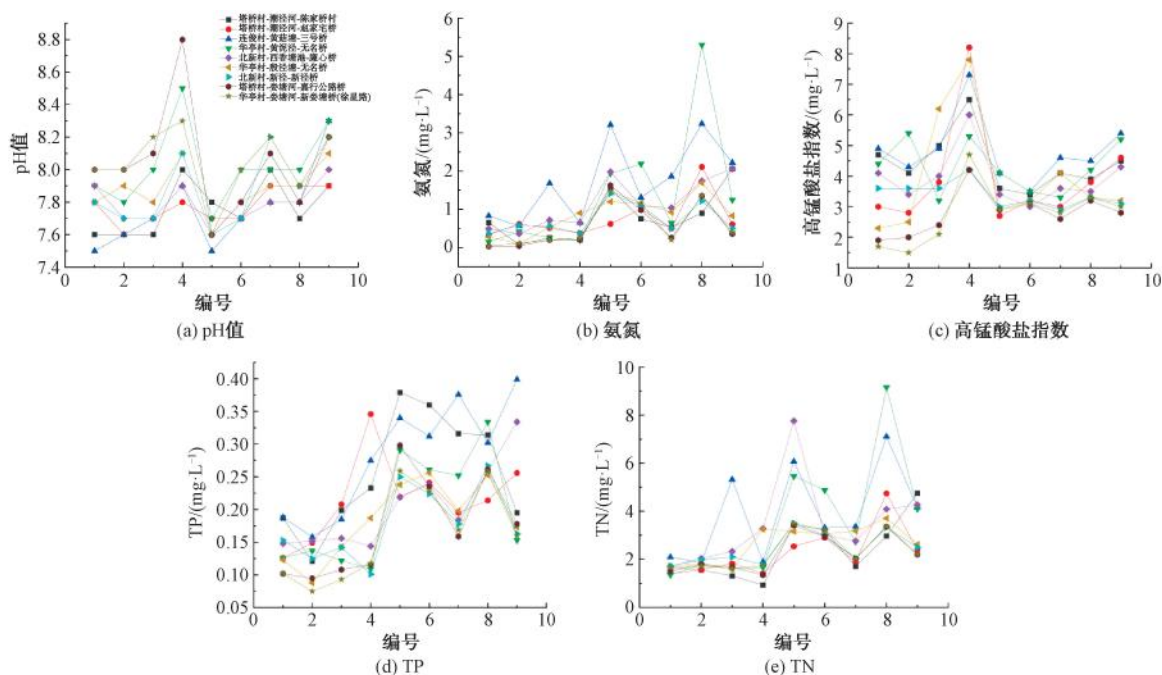


图2 河流样品监测数据统计
Fig. 2 Monitoring Data Statistics of River Samples

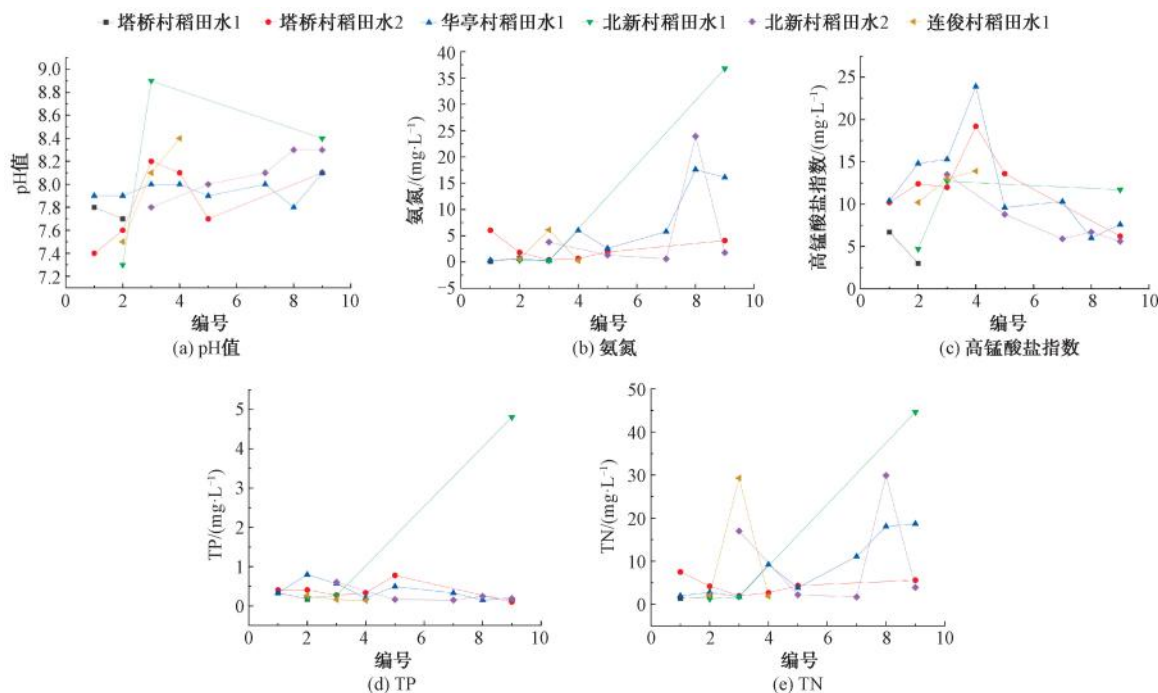


图3 稻田水样品监测数据统计
Fig. 3 Monitoring Data Statistics of Paddy Field Water Samples

浓度污染负荷输入河流,是导致水质严重超标的关
键场景,需重点关注。

2.2 退水前后河流水质变化特征

根据监测时间与退水阶段的对应关系,将监测

数据分为退水前(5月29日、6月4日)和退水期(6
月12日—7月23日)两个阶段,分析退水前后河流
水质类别的变化,结果如图4所示(数字1~6分别
代表水质类别Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、劣Ⅴ)。

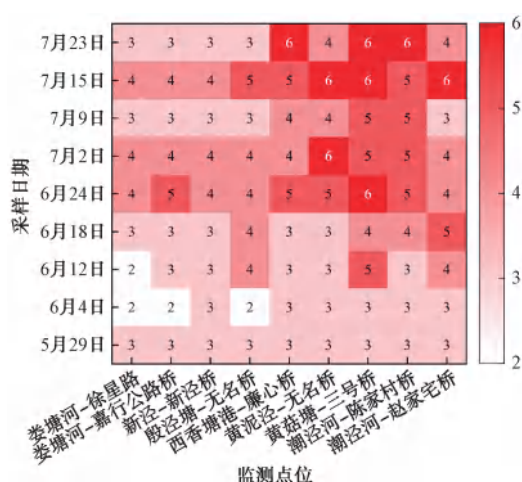


图4 退水前后河流水质类别的变化

Fig. 4 Changes of River Water Quality Category before and after Water Drainage

由图4可知,退水前(5月29日、6月4日)研究区域河流水质整体良好,所有监测断面水质类别均为Ⅱ~Ⅲ类,其中姜塘河-徐星路、姜塘河-嘉行公路桥、殷泾塘-无名桥等断面在6月4日达Ⅱ类水质,表明退水前区域河流水环境背景质量较好。

进入退水期后,河流水质明显恶化,水质类别普遍下降。6月12日部分稻田开始退水,殷泾塘-无名桥、潮泾河-赵家宅桥断面水质降至Ⅳ类,黄菇塘-三号桥断面降至Ⅴ类;随着退水过程持续,6月24日、7月2日、7月15日等时段水质恶化最为严重,出现多个劣Ⅴ类断面,如6月24日黄菇塘-三号桥,7月2日黄泥泾-无名桥,7月15日黄泥泾-无名桥、黄菇塘-三号桥、潮泾河-赵家宅桥等。退水期水质最差时,劣Ⅴ类断面占比达33.3%,Ⅴ类及以上断面占比超60%,表明农田退水对河流水质产生了显著的负面影响。

2.3 不同水文特征河流水质受影响差异

为明确退水活动的净效应,将监测期划分为3个阶段:退水前(5月29日—6月4日,代表农田无主动排水时的本底状况)、退水初期(6月12日—6月24日,对应泡田、插秧后集中排水及梅雨初期)、退水末期(7月9日—7月23日,对应水稻生长中后期间歇性排水阶段)。

为重点探讨退水过程不同阶段对河流污染物负荷的时序影响,以氨氮作为表征农田退水污染的关键指标,通过计算各监测点位在退水初期和末期相对于退水前基线期的氨氮含量百分比变化[即

$(C_{\text{退水初/末期}} - C_{\text{退水前}}) / C_{\text{退水前}} \times 100\%$],其中,退水初/末期代表退水初期或末期,旨在揭示退水进程中污染负荷输出的时空分异规律,分析选取5月29日(退水前)、6月24日(退水初期)及7月23日(退水末期)的监测数据为各阶段代表,结果如图5所示。

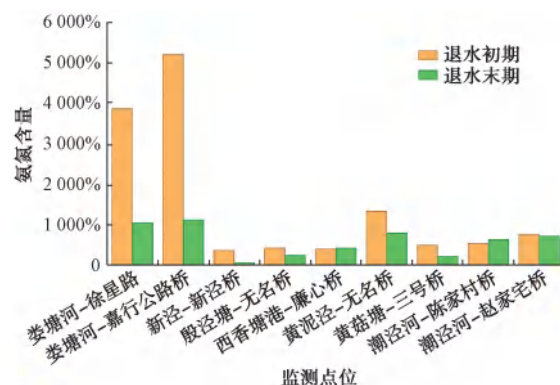


图5 退水初、末期各监测点位氨氮含量的变化

Fig. 5 Change of Ammonia Nitrogen Content at Monitoring Points during the Initial and Final Stages of Water Drainage

由图5可知,农田退水导致所有监测断面氨氮含量显著上升,但不同水文特征的河流的响应幅度与演化模式呈现系统性差异。主干河流(如姜塘河)在退水初期经历了极为剧烈的氨氮含量飙升(增幅达3900%~5300%),反映出其对集中污染输入的敏感性;至退水末期,其氨氮含量虽仍维持在远高于退水前的水平(增幅达1000%~1100%),但相较于初期的剧烈冲击,氨氮含量的相对稳定可能反映了主干河流较强的水文稀释能力对污染峰值起到了削峰作用^[5]。然而,需要指出的是,这种削峰作用并未使水质恢复至清洁水平,主干河流在整个观测期内持续承受着高污染负荷。

与之形成对比的是,汇入支流及末端河道(如潮泾河、黄菇塘等)在整个退水期间始终承受着持续且高强度的污染压力。在退水初期,各断面氨氮增幅为250%~1200%;至退水末期,绝大多数断面并未如主干河流般氨氮含量趋于稳定,增幅反而维持在200%至700%,部分断面甚至进一步恶化。这表明污染物在汇入支流中产生了明显的累积效应,其有限的水环境容量和薄弱的水动力条件削弱了系统的污染物迁移转化与输出能力,导致退水输入的污染物易滞留存积,造成持久性的水质恶化^[6]。

上述发现揭示了不同水文特征的河流对农田退

水污染的响应机制存在显著差异:主干河流主要表现为对污染峰值的“削峰”效应,但难以在短期内实现水质恢复;而汇入支流则表现为污染物的持续累积与滞留。这一规律与在类似农业区的研究结论相吻合,强调了在面源污染治理中,应重点关注两类水体:一是污染累积效应显著的汇入支流及末端河道,需强化其污染拦截与生态修复;二是受污染冲击强烈的主干河流,需从源头削减污染负荷,防止其长期处于高污染状态。

2.4 降雨事件对河流水质的耦合影响

结合监测期间的气象数据(表2),本文进一步探讨了降雨事件与农田退水的协同作用对河流水质的影响。以采样前5 d 累积降雨量超过50 mm 作为强降雨事件的判别标准,该阈值参考了以下依据:(1)根据《降水量等级》(GB/T 28592—2012),日降雨量25~50 mm 为大雨,50~100 mm 为暴雨,本文选取50 mm 作为阈值,对应暴雨级别;(2)结合华亭镇所在地区水文特征,前5 d 累积降雨超过50 mm 可引发明显的地表径流和农田溢流;(3)参考相关研究中对农业面源污染强降雨事件的划分标准^[7-8]。监测期内6月24日、7月2日及7月15日3个采样日均属于强降雨后时段,其前5 d 降雨量分别高达156、85 mm 和93.5 mm。

结合图4退水前后水质类别变化的数据分析表明,强降雨显著放大了农田退水的污染效应,导致水质恶化程度加剧、影响范围扩大。在无强降雨的退水期间,水质恶化主要集中于汇入支流及末端河道。然而,在强降雨发生后,主干河流的水质也出现明显下降。例如,在6月24日强降雨(前5 d 降雨156 mm)后,主干河流娄塘河嘉行公路桥断面水质

降至Ⅴ类,新泾桥断面降至Ⅳ类。相较于无降雨或弱降雨退水时段,强降雨使得主干河流从维持Ⅲ类水质恶化为Ⅳ~Ⅴ类。对于汇入支流,强降雨的耦合作用导致其水质在退水恶化的基础上进一步降至更差的级别,且劣Ⅴ类断面数量显著增加。以6月24日为例,黄菇塘三号桥断面水质恶化为劣Ⅴ类,西香塘港廉心桥、黄泥泾无名桥等断面也降至Ⅴ类。

强降雨导致水质下降的机制可能较为复杂。一方面,降雨直接导致稻田水位上涨,可能引发溢流排放,增加退水总量;另一方面,降雨对农田地表的冲刷作用可能裹挟土壤颗粒、养分及农药残留,形成面源污染径流^[9]。研究区域为水田种植区,除田埂外,区域地表以水面为主,地表冲刷作用可能相对有限。因此,强降雨期间水质下降的原因可能还包括:(1)降雨对周边居民区、道路、裸露地块的冲刷,携带生活污染、地表沉积物进入河道;(2)降雨形成的径流连通了更多分散的污染源,扩大了污染汇水面积;(3)降雨导致河道水位上涨,可能扰动底泥,释放沉积污染物。上述多种机制的叠加效应,共同导致了强降雨后水质恶化的加剧和影响范围的扩大。因此,“退水+强降雨”的复合污染模式,其本质是降雨驱动的多源面源污染叠加效应,需要综合考量流域内各类污染源的贡献。

2.5 关键污染指标识别

通过单因子评价法分析各污染指标对水质类别的影响,识别导致河流水质超标的关键指标^[10]。以氨氮、高锰酸盐指数、TP 为指标评价的水质类别结果如表3~表5所示。(其中,数字1~6 分别代表水质类别Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、劣Ⅴ)

表3 以氨氮为指标评价的水质类别
Tab.3 Water Quality Classification Based on Ammonia Nitrogen

监测时间	娄塘河-徐星路	娄塘河-嘉行公路桥	新泾-新泾桥	殷泾塘-无名桥	西香塘港-廉心桥	黄泥泾-无名桥	黄菇塘-三号桥	潮泾河-陈家村桥	潮泾河-赵家宅桥
2024-05-29	1	1	2	2	2	2	3	3	2
2024-06-04	1	1	3	1	2	2	3	1	3
2024-06-12	2	2	3	3	3	2	5	2	3
2024-06-18	2	2	2	3	3	2	3	2	2
2024-06-24	4	5	4	4	5	5	6	5	3
2026-07-02	4	3	4	4	4	6	4	3	4
2026-07-09	2	2	2	3	4	3	5	3	2
2024-07-15	4	4	4	5	5	6	6	3	6
2024-07-23	2	2	3	3	6	4	6	6	3

表 4 以高锰酸盐指数为指标评价的水质类别
Tab. 4 Water Quality Classification Based on Potassium Permanganate Index

监测时间	娄塘河-徐星路	娄塘河-嘉行公路桥	新泾-新泾桥	殷泾塘-无名桥	西香塘港-廉心桥	黄泥泾-无名桥	黄菇塘-三号桥	潮泾河-陈家村桥	潮泾河-赵家宅桥
2024-05-29	1	1	2	2	3	3	3	3	2
2024-06-04	1	1	2	2	2	3	3	3	2
2024-06-12	2	2	2	4	2	2	3	3	2
2024-06-18	3	3	3	4	3	3	4	4	4
2024-06-24	2	2	2	2	2	3	3	2	2
2024-07-02	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2024-07-09	2	2	2	3	2	2	3	3	2
2024-07-15	2	2	2	2	2	3	3	2	2
2024-07-23	2	2	2	2	3	3	3	3	3

表 5 以 TP 为指标评价的水质类别
Tab. 5 Water Quality Classification Based on TP

监测时间	娄塘河-徐星路	娄塘河-嘉行公路桥	新泾-新泾桥	殷泾塘-无名桥	西香塘港-廉心桥	黄泥泾-无名桥	黄菇塘-三号桥	潮泾河-陈家村桥	潮泾河-赵家宅桥
2024-05-29	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2024-06-04	2	2	3	2	3	3	3	3	3
2024-06-12	2	3	3	3	3	3	3	3	4
2024-06-18	3	3	3	3	3	3	4	4	5
2024-06-24	4	4	4	4	4	4	5	5	4
2024-07-02	4	4	4	4	4	4	5	5	4
2024-07-09	3	3	3	3	3	4	5	5	3
2024-07-15	4	4	4	4	4	5	5	5	4
2024-07-23	3	3	3	3	5	3	5	3	4

结合图 4 数据可计算 81 组数据的污染物等级与水体等级的方差,方差的计算如式(1)。

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2 \quad (1)$$

其中: σ^2 ——总体方差;
 N ——总体中的数据点总数;
 x_i ——污染物类别等级的第 i 个数据值;
 y_i ——综合评价河流水质类别等级中的第 i 个数据值。

计算结果如表 6 所示。

表 6 各评价指标的方差结果
Tab. 6 Results of Variance for Each Evaluation Index

评价指标	方差 σ^2
氨氮	0.851 9
高锰酸盐指数	2.913 6
TP	0.432 1

结果表明,在选取的氨氮、TP、高锰酸盐指数 3 个评价指标中,TP 评价指标与水体等级的方差最小。

结合污染物及水体等级数据可以得出以下结论。

(1)氨氮是导致水质劣化的关键性指标。监测期间,氨氮最大质量浓度(5.30 mg/L)出现在黄泥泾-无名桥断面,超过 V 类标准限值 2.65 倍,直接导致该断面水质劣 V 类。此外,黄菇塘-三号桥、潮泾河-赵家宅桥等多个断面在退水密集期均因氨氮超标而降至劣 V 类,表明氨氮是引发河流水质严重恶化的首要污染物。

(2)TP 是水质类别评价中一致性最高的指标。方差分析结果显示,TP 评价结果与综合水质类别之间的方差($\sigma^2=0.432\ 1$)最小,说明 TP 质量浓度与水质类别判定的一致性最强。尽管其绝对质量浓度未超过 V 类标准上限,但在多断面(如娄塘河-嘉行公路桥、西香塘港-廉心桥等)与氨氮共同作用,导

致水质降至Ⅴ类,反映出磷素输出对水体富营养化的潜在贡献。

(3)高锰酸盐指数对水质类别影响较小所有断面高锰酸盐指数监测值均低于Ⅳ类标准限值(10 mg/L),未出现因该指标超标导致水质降级的情况,表明研究区域内有机污染相对不突出。

综上,华亭镇农田退水对周边河流水质的影响主要表现为氮、磷营养盐的输入,其中氨氮是引起水质类别显著下降的关键污染因子,而 TP 在评价中与水质类别具有最高的一致性。这一污染特征与水稻种植中氮肥施用强度高、流失率大密切相关,研究成果可为区域农业面源污染控制的重点指标筛选与治理策略制定提供科学依据。

3 结论

本文系统揭示了华亭镇农田退水对河流水质的显著影响。退水前区域河流水质总体良好(Ⅱ~Ⅲ类),退水开始后水质明显恶化,汇入支流及末端河道受影响尤为突出,水质降至Ⅳ~Ⅴ类,而主干河流在无降雨时仍可维持Ⅲ类水质。强降雨与退水过程耦合会进一步加剧污染,导致主干河流水质也下降至Ⅳ~Ⅴ类,这一现象可能涉及降雨驱动的多源面源污染叠加效应,包括农田溢流、地表冲刷、生活污染输入等多种机制的综合作用。水质恶化的关键驱动指标为氨氮与 TP,其中氨氮是导致劣Ⅴ类水体的核心污染物,最高质量浓度达 5.30 mg/L。研究表明,河流的水文特征是影响污染程度的重要因素,主干河流因水动力与自净能力较强,对退水污染具有一定的缓冲作用。

基于上述研究结果,为减轻农田退水对河流水质的影响,建议采取以下措施:(1)优化施肥管理,推广测土配方施肥技术,避免在降雨前和排水期集中施肥,减少高浓度污染物排放;(2)在稻田与河流之间设置植被缓冲带,重点加强汇入支流周边缓冲带建设,提升小型河流的污染拦截能力;(3)完善排水系统,建设生态沟渠和沉淀池,建立退水调控机制,避免退水集中排放;(4)建立常态化水质监测体系,重点监测汇入支流及灌排口附近水质,加强对农田退水排放的监管。上述结论与建议为区域农业面源污染治理与重点管控指标的确立提供了科学依据。

参考文献

[1] 曹杨. 某地农田灌溉退水水质及对主要河流水质影响的分析

- [J]. 环境科技, 2021, 34(5): 67-71.
- Cao Y. Analysis of water quality of backwater of farmland irrigation and its influence on examination section [J]. Environmental Science and Technology, 2021, 34(5): 67-71.
- [2] 朱青云, 邹进. 基于 SWAT 的盘龙江流域水文-水质耦合模型研究[J]. 中国水运, 2025(18): 46-48, 51.
- Zhu Q Y, Zou J. Study on hydrological-water quality coupling model of Panlong River basin based on SWAT[J]. China Water Transport, 2025(18): 46-48, 51.
- [3] Jin J Y, Tian X, Liu G L, et al. Novel ecological ditch system for nutrient removal from farmland drainage in plain area: Performance and mechanism [J]. Journal of Environmental Management, 2022, 318: 115638. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115638.
- [4] Li L J, Men B H, Peng R. Water quality evaluation of Wenyu River based on single factor evaluation and comprehensive pollution index method [J]. Nature Environment and Pollution Technology, 2021, 20(3): 1041-1046.
- [5] 陈聪聪, 孙明东, 谢培, 等. 湖泊细菌群落及其对水体自净影响的研究进展[J]. 环境科学与技术, 2025, 48(2): 203-213.
- Chen C C, Sun M D, Xie P, et al. Bacterial communities in lakes and their influence on water self-purification [J]. Environmental Science & Technology, 2025, 48(2): 203-213.
- [6] 王浩, 赵树君, 才硕, 等. 圩区稻田淹涝退水污染负荷模拟及排水策略研究[J]. 安徽农业科学, 2025, 53(20): 172-178, 199.
- Wang H, Zhao S J, Cai S, et al. Study on the simulation of pollution load and drainage strategy of flooded rice fields in polder areas [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2025, 53(20): 172-178, 199.
- [7] 冯诗佳. 嘉定区华亭镇绿色水稻“三减一增”优质栽培技术应用效果研究[J]. 新农民, 2024(10): 66-68.
- Feng S J. Application effect of high-quality cultivation technology for green rice "three reductions and one increase" in Huating Town, Jiading District [J]. New Farmers, 2024, (10): 66-68.
- [8] 申财君. 高原湖泊生态缓冲带农业面源污染消减工程技术研究—以滇池大湾为例[D]. 昆明: 云南农业大学, 2023.
- Shen C J. Study on the engineering technology of agricultural non-point source pollution reduction in plateau lake ecological buffer zone—Taking Dianchi Bay as an example [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2023.
- [9] 秦先燕, 郑涛. 不同退水条件下典型圩区稻田-沟-塘系统氮磷浓度时空变化特征[J]. 安徽农业科学, 2025, 53(18): 63-70.
- Qin X Y, Zheng T. Spatial and temporal variation characteristics of nitrogen and phosphorus concentrations in the paddy field-ditch-pond system of polder areas under different drainage conditions [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2025, 53(18): 63-70.
- [10] Ding F, Yuan H B, Jiang M C, et al. An improved spatiotemporal graph neural network framework for water quality assessment [J]. Journal of Water Process Engineering, 2026, 81: 109278. DOI: 10.1016/j.jwpe.2025.109278.