

# 河流蓝藻水华现象诱因及其治理措施分析

章香保 孙 惠

江西省南昌市赣抚尾间水利枢纽管理中心 江西 南昌 330009

**摘要：**河流蓝藻水华的频繁发生，破坏河流生态平衡、污染水体质量，制约水体正常利用。本文首先界定河流蓝藻水华核心概念，阐述相关理论及主要危害，随后分析自然环境与人为活动两大诱因及二者相互作用机制，进而从源头控制、过程阻断、生态修复、监测预警四个维度梳理治理措施，最后聚焦治理措施优化与长效管理，提出针对性优化路径，构建全方位、可持续的治理模式，为河流蓝藻水华治理实践提供理论参考与实践指引。

**关键词：**河流；蓝藻水华现象；诱因分析；治理措施

引言：河流作为重要的生态与资源载体，其水环境质量直接关系到生态系统稳定与人类生产生活。近年来，蓝藻水华在各类河流中频发，形成恶性循环，加剧水体恶化，不仅破坏水生生物栖息地，还影响水体使用功能，引发系列生态与环境问题。当前蓝藻水华治理存在措施针对性不足、长效性欠缺等问题，亟需系统梳理其相关理论与诱因，完善治理体系并优化管控模式。基于此，本文围绕河流蓝藻水华的概念、诱因、治理及长效管理展开研究，为破解水华治理难题提供支撑。

## 1 河流蓝藻水华现象相关概念与理论基础

### 1.1 河流蓝藻水华核心概念

河流蓝藻水华是指河流环境中，蓝藻（又称蓝细菌，属于浮游藻类）在适宜的环境条件下，生长繁殖速度超过自身消亡速度，大量聚集并形成肉眼可见的藻类群体的现象。蓝藻作为一类能进行光合作用的原核生物，广泛分布于各类河流水体中，正常情况下数量维持在较低水平，不会对水体造成影响。当河流环境满足蓝藻生长需求时，其种群数量短时间内急剧增加，形成水华，常呈现出蓝绿色、黄绿色的絮状或片状聚集物，附着于水面或水体中，影响水体外观与内在质量。

### 1.2 蓝藻水华相关理论

蓝藻水华的发生、发展遵循多种基础理论，其中核心理论包括营养盐限制理论、环境胁迫理论和竞争排斥理论。营养盐限制理论认为，氮、磷等营养盐是蓝藻生长繁殖的关键限制因素，当河流中此类营养盐含量升高，打破原有平衡，会为蓝藻提供充足营养，促进其快速增殖。环境胁迫理论指出，温度、光照、水流速度等环境因素的变化，会影响蓝藻的生长速率，适宜的水温、充足的光照以及缓慢的水流，会降低蓝藻的消亡速度，利于其聚集。竞争排斥理论表明，蓝藻在特定环境下，相较于其他浮游生物具有更强的适应性，能优先利

用水体中的营养和光照，逐渐占据优势地位，最终形成水华。

### 1.3 河流蓝藻水华的主要危害

河流蓝藻水华会产生多方面危害，首先会破坏河流生态平衡，大量蓝藻聚集会遮挡光照，抑制水生植物的光合作用，导致水生植物枯萎死亡；同时蓝藻死亡分解会消耗水体中大量溶解氧，导致鱼类、浮游动物等水生生物因缺氧窒息死亡，破坏河流食物链。其次会污染水体质量，蓝藻在生长过程中会分泌异味物质，影响水体气味，部分蓝藻还会产生有毒物质，污染水体，导致水体失去原有使用价值。并且蓝藻水华还会降低河流的自净能力，大量蓝藻残骸堆积在水体中，难以快速分解，长期以往会导致水体富营养化程度加剧，形成恶性循环，进一步恶化河流环境<sup>[1]</sup>。

## 2 河流蓝藻水华现象的诱因分析

### 2.1 自然环境诱因

自然环境是蓝藻水华发生的基础条件，主要通过影响蓝藻的生长繁殖速度和聚集状态，为水华爆发提供必要前提，核心因素包括气候、水文及水体理化性质三个方面。（1）气候因素中，温度和光照是关键，蓝藻生长适宜温度为25-35℃，此温度范围内，蓝藻的光合作用和细胞分裂速度显著加快，远超其他藻类；充足的光照能够为蓝藻光合作用提供能量，促进其叶绿素合成，进一步加速生长繁殖，而长期晴朗少雨的天气会加剧这一过程。（2）水文条件对蓝藻水华的影响主要体现在水体流动性上，河流流速缓慢、水体滞留时间过长时，蓝藻不易被水流带走，易在局部水域聚集，形成水华；同时流速缓慢会导致水体中营养物质不易扩散，为蓝藻生长提供持续的物质支撑。（3）水体理化性质方面，适宜的pH值（7.5-9.0）能够促进蓝藻细胞活性，提高其繁殖效率；而水体中溶解氧含量的变化会间接影响蓝藻生长，

当水体底层溶解氧不足时,底泥中的营养盐会释放到水体中,为蓝藻提供营养补给。

## 2.2 人为活动诱因

人为活动是蓝藻水华爆发的主要驱动因素,通过改变水体营养结构、水文状态和理化性质,打破河流生态平衡,加速蓝藻水华的发生,核心表现为营养盐输入过量和水体扰动两个方面。(1)营养盐输入过量是最关键的人为诱因,蓝藻生长繁殖需要大量氮、磷等营养元素,人为活动产生的各类污染物会导致水体中氮、磷含量超标,形成“富营养化”环境。(2)生活污水中含有大量洗涤剂、食物残渣等,会携带大量氮、磷元素进入河流;农业生产中,过量使用的化肥、农药会通过地表径流冲刷,流入周边河流,增加水体营养盐含量;工业生产过程中产生的废水,若未经有效处理直接排放,会携带氮、磷及其他污染物,进一步加剧水体富营养化。(3)人为导致的水体扰动也会诱发蓝藻水华,比如过度的水产养殖会搅动水体底泥,释放底泥中的营养盐,同时养殖废弃物也会增加水体营养负荷;水上作业产生的扰动会改变水体流速,导致蓝藻聚集,为水华爆发创造条件<sup>[2]</sup>。

## 2.3 诱因间的相互作用机制

河流蓝藻水华的爆发,并非自然环境诱因或人为活动诱因单独作用的结果,而是两者相互协同、相互强化的结果,形成“人为驱动-自然放大”的恶性循环机制。(1)人为活动输入的过量营养盐,是蓝藻水华爆发的物质基础,而自然环境条件则为蓝藻生长繁殖提供了适宜的环境,加速水华爆发进程。人为活动导致的水体富营养化,会改变水体理化性质,比如提高水体pH值、降低溶解氧含量,进而为蓝藻生长提供更适宜的条件,同时抑制其他有益藻类的生长,使蓝藻在藻类竞争中占据优势。(2)自然环境中,适宜的温度、充足的光照和缓慢的水流,会加速蓝藻增殖,而蓝藻大量繁殖又会进一步改变水体环境,通过光合作用消耗二氧化碳、提升pH值,形成自我促进的生长循环,加剧富营养化。自然环境变化会放大人为活动的影响,晴朗少雨天气减少河流径流量、降低自净能力,使营养盐持续积累;缓慢的水流则让人为扰动释放的营养盐难以扩散,加剧局部富营养化,最终导致蓝藻水华大规模爆发。今年南昌市35℃以上高温日数达79天,不仅打破了2022年全年59天的历史纪录,还不断刷新历史记录,同时降雨明显偏少,为蓝藻生长提供了极为有利的条件。

## 3 河流蓝藻水华现象的治理措施

### 3.1 源头控制措施

源头控制是治理河流蓝藻水华的根本举措,核心在于减少各类污染物输入,从根源上降低水体营养负荷,遏制蓝藻生长繁殖的物质基础,主要聚焦于营养盐源头削减和污染源头管控两个核心方向。(1)营养盐源头削减重点针对氮、磷等蓝藻生长必需的营养元素,减少其进入河流的总量。在生活污染管控方面,通过完善污水收集和处理设施,提升生活污水净化效率,去除污水中的氮、磷等营养物质,避免未处理或处理不达标的生活污水直接排入河流;减少洗涤剂、清洁剂等含磷产品的使用,从源头降低生活领域的磷排放。(2)在农业污染管控方面,优化种植模式,合理搭配种植作物,减少化肥、农药的过量施用,推行科学施肥技术,提高肥料利用率,减少农田地表径流携带的氮、磷污染物;通过工程措施等降低农业污染对河流的影响。在工业污染管控方面,优化生产工艺,减少生产过程中氮、磷等污染物的产生,加强工业废水处理,确保废水经深度处理后再排放,去除废水中的营养物质和其他有害物质,从源头切断工业领域的污染输入。

### 3.2 过程阻断与应急治理措施

过程阻断与应急治理主要针对蓝藻水华发生过程中的关键环节,通过物理、化学等手段阻断蓝藻生长繁殖和聚集,快速控制水华爆发态势,防止水华进一步扩散蔓延,保障水体基本功能。(1)物理阻断措施重点在于改变水体水文状态,打破蓝藻聚集的环境条件,比如通过增加河流径流量、加快水体流速,促进水体循环,减少蓝藻在局部水域的聚集(如赣江南昌段蓝藻水华应急治理过程中的调水,采用“每日置换、急泄急蓄、增大流速”方法定点调节放水);设置拦截设施,拦截水体中漂浮的蓝藻聚集体,减少蓝藻扩散,同时定期打捞水体中的蓝藻,降低水体中蓝藻生物量,缓解水华危害(如赣江南昌段蓝藻水华应急治理过程中的租赁专业长臂打捞船进行的专业蓝藻应急打捞);。(2)化学应急治理措施主要用于蓝藻水华爆发初期或态势较为严重的场景,通过投放安全、高效的化学药剂,抑制蓝藻生长繁殖或杀灭蓝藻,快速控制水华态势。合理选用化学药剂,严格控制用量和投放范围,防止对河流生态系统造成二次污染。(3)通过水体曝气增氧等措施,提升水体溶解氧含量,改善水体理化性质,抑制蓝藻厌氧代谢,阻断蓝藻持续繁殖的过程<sup>[3]</sup>。

### 3.3 生态修复措施

生态修复是治理河流蓝藻水华的长效举措,核心在于恢复河流生态系统的自我净化能力和平衡状态,通过构建健康的河流生态系统,抑制蓝藻生长,实现水华的

长期管控,主要包括水生生物修复、水体理化性质改善和底泥修复三个方面。(1)水生生物修复重点在于恢复和重建河流中的水生植物群落,种植具有净化能力的水生植物,如沉水植物、浮水植物等,这些植物既能吸收水体中的氮、磷等营养物质,降低水体营养负荷,又能遮挡光照,抑制蓝藻光合作用,同时为水生动物提供栖息环境,丰富河流生物多样性,恢复生态平衡(如南昌市象湖水域周边围网种植水葫芦)。(2)水体理化性质改善主要通过调节水体pH值、溶解氧等关键指标,营造不利于蓝藻生长、有利于有益生物生存的水体环境,比如通过投放适量的改良剂,调节水体pH值至适宜范围,抑制蓝藻细胞活性;持续开展水体曝气增氧,改善水体厌氧环境,促进水体中微生物对营养物质的分解转化,提升水体自净能力。(3)底泥修复重点在于清理水体底泥中的营养盐和污染物,减少底泥营养盐释放对水体的影响,通过物理清淤、生物修复等方式,去除底泥中积累的氮、磷等营养物质和污染物,降低底泥营养盐释放量,从源头上减少水体营养补给,遏制蓝藻生长。

### 3.4 监测与预警措施

监测与预警是蓝藻水华治理的前置保障,通过建立完善的监测体系,实时掌握河流水体状态和蓝藻生长动态,及时发出预警信息,为治理措施的精准实施提供支撑,实现水华的早发现、早干预、早控制。(1)监测体系构建重点涵盖监测指标、监测点位和监测频率三个方面,监测指标主要包括水体中蓝藻生物量、氮磷含量、pH值、溶解氧、温度、光照等,全面反映水体状态和蓝藻生长条件;监测点位根据河流形态、水流特点和蓝藻易发生区域合理布设,确保监测范围全面、数据精准。监测频率结合季节变化和蓝藻生长规律合理设定,在蓝藻生长旺盛期、水华易发期,提高监测频率,实时跟踪蓝藻生长动态和水体指标变化;在非易发期,定期开展监测,掌握水体基础状态。(2)预警体系构建主要基于监测数据,设定蓝藻水华预警阈值,当监测指标达到预警阈值时,及时发出预警信息,明确预警级别和影响范围;同时建立预警响应机制,根据预警级别制定针对性的应对措施,确保预警信息发出后,能够快速启动治理

工作,及时控制蓝藻生长态势,防止水华爆发或扩大,保障河流生态环境安全<sup>[4]</sup>。

### 4 河流蓝藻水华治理措施的优化与长效管理

河流蓝藻水华治理需兼顾措施优化与长效管控,聚焦源头防控、技术升级和动态运维,形成全方位、可持续的治理模式。(1)源头污染管控优化,减少水体氮磷营养盐输入,优化各类污染源处理流程,提升污染物去除效率,从源头上遏制蓝藻滋生;(2)治理技术升级完善,优化物理、化学及生物治理技术的组合应用,选用高效、环保的治理手段,精准抑制蓝藻生长繁殖,降低水华发生频次与强度;(3)长效运维机制优化,建立常态化水体监测体系,实时跟踪蓝藻生长动态,根据水体变化及时调整治理方案,持续优化治理流程,保障治理效果的稳定性和持续性<sup>[5]</sup>。

结束语:河流蓝藻水华治理是一项系统性、长期性的工程,其复杂性与综合性要求我们必须采取多维度、一体化的应对策略。从厘清核心概念、剖析诱发机制,到完善治理措施、优化长效管理,各个环节均需协同发力、有机衔接。构建“源头防控-过程阻断-生态修复-长效运维”的一体化治理体系,强化各措施的适配性与连贯性,是实现蓝藻水华有效管控的关键。唯有持续优化治理路径、健全长效机制,才能逐步恢复河流生态平衡,筑牢水环境安全防线,实现河流资源的可持续利用。

### 参考文献

- [1]毕凯,潘俊池.蓝藻水华的危害及防治措施[J].乡村科技,2025,16(2):147-150.
- [2]施文卿,秦伯强.气候变化下湖库蓝藻水华发展趋势及防控对策[J].水利学报,2023,54(08):987-996.
- [3]蔡启佳,马千里,苟婷,等.湖库型水源地蓝藻水华应急处置技术研究进展[J].中国环境科学,2025,45(01):390-405.
- [4]任庆莲,徐超,郑瑞文,等.多水源水库蓝藻水华风险防范措施成效研究——以玉清湖水库为例[J].湿地科学,2023,21(06):820-829.
- [5]许正泓,徐民俊,付京花.蓝藻水华防控治理方法研究进展[J].水产学杂志,2024,37(01):113-118.