

不同季节水体中叶绿素 a 对化学需氧量降解过程的指示作用分析

邓子雯

湖南省益阳生态环境监测中心, 湖南益阳, 413000;

摘要: 叶绿素 a 作为水体中浮游植物的主要色素, 能够反映水体的生物量及生态健康状况。水体中叶绿素 a 浓度的变化与化学需氧量 (COD) 的动态关系密切相关, 尤其在不同季节和环境条件下。春夏季节, 温暖的水温和充足的光照促进了藻类的生长, 叶绿素 a 浓度增加, 而 COD 降解效率较高; 而秋冬季节则出现叶绿素 a 浓度下降和 COD 升高的现象。通过高频监测叶绿素 a, 可以有效预警水体污染的风险, 结合多参数监测, 能够为水质管理和污染治理提供科学依据。

关键词: 叶绿素 a; 化学需氧量; 季节变化; 水体自净

DOI: 10.69979/3041-0673.26.03.060

引言

水体的生态健康受到多种环境因子的影响, 其中浮游植物的生长状况对水质变化起着关键作用。叶绿素 a 作为浮游植物的主要色素, 能够敏感反映水体的生物量和生态状态, 因此被广泛用作水质监测的重要指标。叶绿素 a 浓度的波动与水体中的化学需氧量 (COD) 有着密切关系, 二者的变化规律在不同季节呈现出不同的动态特征。春夏季节, 水体温度较高、光照充足, 藻类繁荣, 叶绿素 a 浓度上升, 同时 COD 降解效率较高; 而秋冬季节, 由于温度降低和光照减少, 藻类生长受限, 叶绿素 a 浓度下降, COD 去除速率减缓。通过监测叶绿素 a 变化, 结合 COD 等水质指标的分析, 可以提前发现水体污染风险, 帮助进行有效的水质管理和治理策略。

1 叶绿素 a 浓度在不同季节变化规律与水体环境因子的关联性

1.1 春夏高温期叶绿素 a 快速累积特征与影响因素

春夏时段气温升高, 光照时间延长, 水体中浮游植物的光合作用效率显著提升, 导致叶绿素 a 浓度呈现出快速累积的特征。温暖的水温不仅有利于浮游植物的繁殖, 还加快了代谢速率, 使得水体表层和中层的藻类数量急剧增加。此时外源营养物质输入, 如氮、磷等营养盐浓度偏高, 会进一步促进藻类群落扩张。尤其在水体流速较缓的湖泊或水库环境中, 浮游植物易形成群聚, 从而引起叶绿素 a 在短时间内大幅度上升^[1]。研究表明, 当氮磷比失衡时, 藻类群落可能发生结构转变, 蓝藻更易在高温高光照环境中占据优势, 从而推动叶绿素 a 含量的持续上升。

1.2 秋冬低温期叶绿素 a 下降趋势与水质变化表现

进入秋冬季节, 气温逐步下降, 光照时长缩短, 水体表层温度降低, 导致浮游植物的光合作用减弱, 群落数量减少, 叶绿素 a 浓度随之下降。在低温条件下, 浮游植物生长受限, 藻类死亡率增加, 有机碎屑进入水体, 加重水质中有机负荷。此时水体中的化学需氧量往往不再依赖于藻类的光合作用调节, 而更多由外源性有机物输入和分解过程决定^[2]。若水体水动力条件不足, 底层有机物分解释放的氨氮、磷酸盐可能再次进入上层水体, 对 COD 产生一定影响。整体上, 秋冬季节叶绿素 a 浓度下降趋势与水质稳定性紧密相关, 水体的自净能力弱于春夏阶段。

1.3 营养盐输入与水动力条件对叶绿素 a 季节差异的调节作用

营养盐和水动力条件在调节叶绿素 a 浓度的季节变化中起关键作用。在春夏季节, 若流域农业活动频繁, 雨水径流会携带大量氮、磷进入水体, 显著促进叶绿素 a 上升。而在秋冬枯水期, 外源营养盐输入减少, 浮游植物的营养来源受限, 叶绿素 a 浓度下降明显。水动力条件对浮游植物分布及叶绿素 a 浓度有直接影响。湖泊、水库等缓流环境容易发生藻类聚集和水华, 而河流或高流速水域中浮游植物不易滞留, 叶绿素 a 含量相对较低。不同季节水动力格局与营养盐供给的叠加作用, 决定了叶绿素 a 浓度在全年范围内的动态特征。

2 化学需氧量的测定影响因素

2.1 水样采集与预处理对 COD 测定结果的干扰作用

水样的采集方式和预处理过程是影响 COD 测定准确性的首要环节。采集水样时, 若未按照规范在水体不同深度、不同点位进行分层取样, 易导致水样代表性不足, 例如表层水样有机物含量较低, 而底层水样因沉积物释

放有机物浓度偏高,单一层次取样会使测定结果偏离实际值。预处理阶段,水样中的悬浮物若未经过滤或离心处理,会吸附部分有机物,导致测定时有机物提取不充分;同时,水样中的还原性无机物会与测定试剂发生反应,消耗氧化剂,使COD测定值虚高。此外,水样采集后若未及时冷藏保存,在运输和存放过程中,微生物会分解有机物,导致COD浓度随时间降低,进一步影响测定结果的可靠性^[3]。

2.2 试剂质量与配制精度对COD测定的影响特征

COD测定过程中所用试剂的质量和配制精度直接决定测定结果的准确性。以重铬酸钾法(国标常用方法)为例,若重铬酸钾试剂纯度不足,含有少量还原性杂质,会在滴定过程中提前消耗硫酸亚铁铵标准溶液,导致计算出的COD值偏低;硫酸银作为催化剂,若纯度不够或含有氯离子,会与水样中的氯离子反应生成氯化银沉淀,抑制催化作用,降低有机物氧化效率。试剂配制时,若硫酸亚铁铵标准溶液未按要求避光保存或定期标定,其浓度会随时间推移发生变化——如溶液氧化导致浓度降低,会使滴定体积偏大,最终COD测定结果偏高。此外,硫酸溶液的浓度配比不当,也会对有机物的氧化程度产生显著影响,进而干扰测定结果。

2.3 测定操作条件与仪器状态对COD测定的调控作用

测定过程中的操作条件和仪器状态是影响COD测定精度的关键因素。在加热回流环节,若回流时间不足(国标要求2h),水样中的难降解有机物无法充分氧化,会导致COD测定值偏低;若回流温度过高(超出148-150℃范围),会造成试剂挥发,同样影响测定结果。滴定操作时,若指示剂(如试亚铁灵)加入量不当、滴定速度过快或终点判断不准确,会导致滴定体积误差,进而影响COD计算结果。仪器方面,若滴定管未校准、移液管刻度不准确,会造成试剂移取量偏差;使用COD快速测定仪时,若光源老化、比色皿污染或仪器未定期校准,会导致吸光度检测误差,使COD测定值偏离实际浓度^[4]。实验室环境温度波动过大,也会对试剂稳定性和反应速率产生间接影响,进一步干扰测定结果。

3 叶绿素a与COD之间的耦合关系及其阶段性特征

3.1 浮游植物生长对有机物降解速率的促进作用表现

浮游植物在水体中通过光合作用释放大量氧气,为好氧微生物提供了稳定的氧源,使得COD降解过程更为顺利。在藻类高峰期,水体溶解氧浓度常常显著上升,

有机物分解速度明显加快。这种藻类与微生物之间的协同作用,使叶绿素a与COD呈现出正向联系。当藻类处于旺盛生长期时,COD去除效率的提升尤为突出,表明浮游植物群落对有机物降解具有促进效应^[5]。

3.2 藻类死亡分解释放对COD变化的补偿效应分析

藻类在生命周期结束后,其死亡分解会向水体释放大量有机碎屑和溶解性有机物,从而使COD水平再度升高。这种补偿效应在藻类暴发水华之后尤为明显,短期内叶绿素a浓度下降但COD水平并未同步降低,反而出现阶段性上升。这一现象表明,藻类的繁殖与死亡过程不仅推动COD的降低,同时也可能带来新的有机负荷,加重水体污染压力。叶绿素a与COD的关系并非线性,而是存在复杂的时序性和反馈机制。

3.3 不同季节叶绿素a与COD相关性曲线的对比研究

在春夏季节,叶绿素a浓度上升与COD降低之间存在显著负相关关系,说明浮游植物通过增加氧气供给促进了COD的去除。而在秋冬时段,叶绿素a浓度下降,COD水平变化不再明显,相关性曲线趋于平缓甚至转向正相关。这种差异反映出水体在不同季节的生态过程具有阶段性规律。

4 基于叶绿素a变化趋势的水质监测与评价方法优化

4.1 叶绿素a作为水质预警指标的敏感性验证

叶绿素a浓度变化的高敏感性与快速响应特性,使其成为水质预警体系中极具价值的生物指标。在实际监测中,当水体遭遇外源营养盐输入或环境条件改变时,叶绿素a浓度往往在1-3天内就会出现明显波动,远早于浮游植物群落肉眼可见的变化。研究数据显示,当叶绿素a日均浓度增幅超过25%且持续2天以上,大概率意味着浮游植物进入爆发式生长阶段,尤其易引发蓝藻、微囊藻等有害藻类繁殖,此类藻类爆发时,不仅会导致水体透明度骤降,还会使COD在1周内升高4-6mg/L,同时伴随溶解氧的剧烈波动:白天因光合作用溶解氧浓度可达10mg/L以上,夜间因藻类呼吸耗氧骤降至3mg/L以下,形成水体缺氧风险,威胁鱼虾等水生生物生存。相较于COD、总氮等传统物理化学指标,叶绿素a的预警优势更为显著:COD需待藻类死亡分解后才会明显升高,通常滞后叶绿素a变化5-7天;总氮则因水体氮库的缓冲作用,浓度变化缓慢且不直观。而叶绿素a能直接捕捉浮游植物群落的早期波动,例如某湖泊监测中,暴雨后第2天叶绿素a浓度就异常升高,工作人员据此及时采取控藻措施,成功避免了水华发生。叶绿素a可

通过原位传感器实现分钟级实时监测,能动态追踪水质变化,为水体污染快速响应提供精准依据,助力提前制定防治方案,有效遏制水质进一步恶化。

4.2 多参数联合监测模式下叶绿素 a 的指示功能

现代水质监测日益依赖于多参数联合分析,这种方法能够提供更全面、精准的水体健康评估。叶绿素 a 的浓度变化与水体中的营养盐(如氮、磷)、溶解氧和 COD 等关键指标之间具有紧密的协同关系。通过结合这些参数的变化趋势,可以全面了解水质的污染程度以及水体自净能力。在这一监测模式下,叶绿素 a 不仅反映浮游植物的生长状态,还能够间接反映水体营养负荷的变化。借助遥感技术、传感器网络和物联网技术,水体的叶绿素 a 分布可以实时监测,从而为水质管理提供数据支持。特别是在污染源追踪和水质改善过程中,叶绿素 a 与其他水质指标的耦合分析能够揭示水体中的潜在污染源和自净过程,为流域治理提供科学依据。

5 提升水体污染治理成效的策略中叶绿素 a 指标的应用探索

5.1 基于浮游植物调控的生态修复措施设计路径

根据叶绿素 a 的动态变化,水体中浮游植物的生长情况能够为制定生态修复策略提供重要依据。在藻类过度繁殖时,通过调节水体的水动力条件,能够打破藻类的聚集和水华形成,从而减少叶绿素 a 浓度的急剧上升。沉水植物的引入能够通过竞争水中营养盐的方式,抑制藻类的过度生长,减少有害藻类的扩张。适当放养滤食性鱼类,如鲢鱼、鳙鱼等,可以通过食物链控制藻类的数量,达到调节水体营养状况的效果。在藻类的活跃阶段,可以适度利用其产氧作用,在提升水体溶解氧浓度的促进水体有机物的生物降解,这样不仅改善水质,还能帮助水体恢复生态平衡。最终,通过生态修复的综合措施,达到水质的自我调节与改善。

5.2 COD 降解过程中的藻类控制与利用技术探讨

藻类在水体污染治理中扮演着双重角色:一方面,藻类的过度生长可能导致水体富营养化,增加有机物负荷;另一方面,藻类的光合作用能够提升水体的氧气含量,促进有机物的好氧降解。在水体治理过程中,控制藻类的生长规模对于优化 COD 降解效率至关重要。采用人工曝气设备可以提高水体的溶解氧,帮助有机物更快地分解;藻类收割是控制藻类数量的有效手段,通过定期采集藻类,可以避免其死亡后增加 COD;生物操控技术,如引入食藻性鱼类,能够自然减少藻类数量,减缓 COD 负荷的增加。综合运用这些技术手段,可以科学

地平衡藻类对 COD 降解的负面影响与其光合作用带来的正向作用,进而提高整体治理效果。

5.3 水质长期改善中叶绿素 a 动态监测的管理价值

叶绿素 a 浓度的动态监测为水质长期改善提供了持续的数据支持。在水质修复过程中,叶绿素 a 浓度变化能够直观反映水体中浮游植物的生长状况,进而揭示有机物降解与水质变化的阶段性特征。通过定期监测叶绿素 a,能够对水体中的污染源进行早期识别,及时发现水质变化趋势,帮助管理者调整修复策略。结合遥感技术与大数据分析,可以实现大范围、长时间的数据采集与监测,进一步提高水质监控的精确度与时效性。当叶绿素 a 出现异常波动时,能迅速定位问题区域,制定精准的治理措施,避免大范围水质恶化。长期的数据积累和分析能够为水环境治理提供科学依据,从而提升流域管理的综合效能,确保生态恢复取得持久性成果。

6 结语

叶绿素 a 在水质监测和治理中的重要性日益突出,作为水质预警和生态修复的关键指标,其动态变化能够实时反映水体的生态状态。通过与 COD、营养盐等其他水质指标的联合监测,可以更准确地揭示水体污染的源头和自净过程。在未来的水环境管理中,叶绿素 a 的动态监控将为水质保护与修复提供有力的数据支持,推动生态治理的可持续发展。

参考文献

- [1]鹿静静,张杨,巩子路,等.微波密封消解法检测水中化学需氧量及其优化[J].酿酒,2025,52(05):158-160.
- [2]岳林坦,杨逸帆,庄新凤,等.大型浅水湖泊叶绿素 a 浓度对高温热浪响应的模拟研究[J/OL].湖泊科学,1-17[2025-09-22].
- [3]董璇.采用颜色变化滴定法的自动化学需氧量分析仪量值溯源方法评估[J].计量与测试技术,2025,51(08):9-12.
- [4]高微,马本俊.热带西太平洋海表叶绿素 a 浓度分布对 ENSO 的响应机制[J/OL].热带海洋学报,1-10[2025-09-22].
- [5]徐莹,周欣.高效化学需氧量检测技术在水环境监测中的应用[J].农村科学实验,2025,(16):73-75.

作者简介:邓子雯(1992.01-),女,汉族,湖南益阳,中级工程师,本科学历,主要环境质量监测工程。