

水体富营养化过程中浮游植物群落结构变化的生态学研究

刘志莹

大连海洋大学

DOI:10.32629/eep.v8i11.2955

[摘要] 水体富营养化是全球水体生态问题的重要表现之一,水体中营养盐浓度明显升高,主要是氮、磷过量输入。富营养化会使得浮游植物群落结构发生变化,进而对水体生态平衡、生物多样性造成影响。本研究对富营养化水域中浮游植物群落变化进行了研究,探讨了不同富营养化程度对浮游植物群落的影响。研究表明,富营养化会造成浮游植物物种组成的单一化,优势种发生变化,主要是蓝藻的迅速繁殖,这种变化直接影响水体透明度和水质。研究还得出浮游植物群落结构与水体营养盐浓度之间定量关系,提出控制富营养化的生态修复措施,对水体富营养化治理和浮游植物群落保护都起到理论依据和实践指导的作用。

[关键词] 水体富营养化; 浮游植物; 群落结构; 氮磷浓度

中图分类号: Q94 **文献标识码:** A

Ecological study on changes in phytoplankton community structure during eutrophication of water bodies

Zhiying Liu

Dalian Ocean University

[Abstract] Eutrophication of water bodies is one of the important manifestations of global water ecological problems. The concentration of nutrients in water bodies has significantly increased, mainly due to excessive input of nitrogen and phosphorus. Eutrophication can cause changes in the structure of phytoplankton communities, thereby affecting the ecological balance and biodiversity of water bodies. This study investigated the changes in phytoplankton communities in eutrophic waters and explored the impact of different degrees of eutrophication on phytoplankton communities. Research has shown that eutrophication can lead to a homogenization of phytoplankton species composition, with changes in dominant species, mainly the rapid reproduction of blue-green algae, which directly affects water transparency and quality. The study also found a quantitative relationship between the structure of phytoplankton communities and the concentration of nutrients in water bodies, and proposed ecological restoration measures to control eutrophication. This provides theoretical basis and practical guidance for the management of eutrophication in water bodies and the protection of phytoplankton communities.

[Key words] eutrophication of water bodies; Phytoplankton; Community structure; nitrogen and phosphorus concentration

工业化、城市化的进程使水体富营养化问题越来越严重,已经成为全球水环境治理的难题。富营养化主要是由于过量的农业排放、污水排放以及其它人类活动造成水体中氮、磷等营养盐浓度升高,进而加重水域的富营养化。浮游植物是水体生态系统中重要的组成部分,群落结构变化可以反映水体富营养化的过程。浮游植物在水体生态中起着重要的作用,它参与水体的自净过程,影响水体的初级生产力以及生物多样性。富营养化水体中浮游植物群落结构变化,蓝藻的大量繁殖成为水质恶化的又一重要标志。

1 水体富营养化的概念与影响因素

1.1 水体富营养化的定义与基本原理

水体富营养化就是指水体中氮、磷等营养盐浓度过高,超过正常生态系统自我调节的能力,造成水体生产力异常增加。氮、磷是水体中主要的营养盐,一般来源于农业活动、城市污水排放、工业废水排放等人类活动。营养物质进入水体之后,经过沉降、吸附、生物转化等过程,很快进入浮游植物的营养循环中。水体中营养盐浓度处于一定水平的时候,浮游植物就会健康成长,维持生态平衡。但当氮、磷浓度过高时,水体就会出现富营

养化现象,浮游植物特别是蓝藻等有害藻类就会大量繁殖。不仅会造成水体透明度降低、水质变差,还会造成溶解氧减少,进一步危害水生生物的生存。

1.2 富营养化的主要成因

水体富营养化的成因有外源污染和内源污染两种。外源污染是造成水体富营养化的主要因素之一,其中农业面源污染占据了很重要的地位。农业活动过程中,施肥、施农药造成大量氮、磷等营养盐随雨水淋溶到水体中,使水体中营养盐浓度升高。城市化进程中污水排放、工业废水排放也是造成水体富营养化的原因之一。污水中一般含有丰富的氮、磷成分,生活污水和工业废水未经处理或者处理不及时,直接把大量的有机物、氮、磷等污染物排入水体中,从而加快水体富营养化进程。内源污染是指水体底部沉积物中营养盐在适宜条件下重新释放到水体中,尤其是在厌氧环境下,水底沉积的磷酸盐和氮化合物在缺氧条件下会被释放到水中,加重富营养化。

1.3 水体富营养化对生态系统的影响

水体富营养化会对生态系统造成严重的影响。首先,富营养化造成浮游植物大量繁殖,主要是蓝藻等有害藻类。这些浮游植物的繁殖速度远大于水体自净能力,造成水体透明度降低,阳光不能穿透水面,水生植物无法进行光合作用,从而影响整个水生生态系统的稳定。其次,过多的浮游植物生长使水体中溶解氧进一步减少,尤其是夜间浮游植物和水生动物的呼吸作用会进一步消耗氧气。当水体中溶解氧不足时,鱼类及其他水生生物的生存环境变差,甚至出现大面积鱼类死亡的现象。此外,蓝藻大量繁殖还会产生毒素,对水体生态安全造成威胁,也会危害人类的饮用水安全。最后,水体富营养化还会导致水生生物多样性降低。一些对水质变化比较敏感的物种,尤其是鱼类和无脊椎动物,由于水质变坏而不能生存,最终造成物种灭绝或者生态失衡。

2 浮游植物群落结构变化的表现与机制

2.1 浮游植物群落物种多样性的降低

浮游植物群落是水体初级生产力的来源,物种多样性是维持水体生态平衡和稳定的因素之一。但是水体富营养化一般会造成浮游植物群落物种多样性下降。当水体中氮、磷浓度过高时,浮游植物群落中的物种竞争就会加剧,造成一些优势种占据主导地位,其他种类逐渐消失。在富营养化水体中,此现象更加明显。当藻类群体过度繁殖时,浮游植物的多样性被严重压制。随着蓝藻等高耐营养盐植物的大量繁殖,其它敏感的浮游植物不能在这种环境下生长,造成群落物种组成单一。物种多样性减少不仅会使水体生态功能多样性降低,还会使水体的自净能力受到影响。多样化的浮游植物群落可以通过复杂的生态相互作用来维持水体生态平衡,物种多样性的丧失会使得水体生态系统变得脆弱,容易受到外界环境变化的影响。

2.2 蓝藻的过度繁殖与水体恶化

蓝藻是水体富营养化过程中最典型的浮游植物之一,在高氮、高磷的环境下可以迅速繁殖,从而在生态系统中占据优势。

蓝藻具有很强的环境适应性,在营养盐浓度较高的水体中可以迅速繁殖形成藻华。藻华会使水体透明度急剧下降,阳光很难穿透水面,从而抑制水生植物的光合作用,影响水生生态系统。更严重的是,蓝藻过度繁殖不仅会破坏水体景观、减少水体生态功能,还会产生有毒藻毒素,藻毒素会对水中的鱼类、贝类等水生生物造成致命危害,并且会通过食物链影响到人类的健康。蓝藻大量繁殖会造成水体溶解氧急剧减少,夜间浮游植物呼吸作用和藻类有机物分解加快,水体缺氧现象更加严重,水生生物处于生存危机中。

2.3 群落结构的失衡与生态功能的退化

水体富营养化会促使浮游植物中优势型物种的扩张,也会对浮游植物群落结构造成严重的失衡。随着营养盐浓度不断增大,水体中的硅藻、绿藻等优势型浮游植物繁殖能力极大增强,迅速占据了生态位。这些植物对氮、磷需求量大,在富营养化的环境中可以迅速生长成为群落的优势种。但是过量的营养物质输入使这些植物的繁殖不再平衡,很多浮游植物种群的结构变得单一化,一些物种渐渐消失,群落的多样性也明显减少。群落结构失衡指水体中营养盐循环、物质流动受到干扰,水体自我净化能力大大下降。浮游植物群落功能退化以后,水体初级生产力和能量流动受到抑制,水体的生态服务功能大大降低。浮游植物除了可以提供初级生产力以外,还能维持水体中的氧气含量,调节水温,给食物链提供基础。群落结构单一化会使得这些功能消失,水生生态系统退化是不可逆的,从而影响整个水生生态系统的健康和可持续性。

3 水体富营养化与浮游植物群落结构的定量关系

3.1 氮磷浓度与浮游植物物种多样性的关系

水体富营养化的一个重要特征就是氮、磷等营养盐浓度升高,并且与浮游植物群落结构有关。研究表明,当水体中氮、磷浓度达到一定程度时,浮游植物群落的物种多样性就会明显降低。氮、磷是水体中主要的营养盐,能促进浮游植物的生长,但是当浓度过高时,浮游植物的生长就会出现不平衡。因为一些营养盐需求量大的浮游植物,例如蓝藻,在这种环境中占据了优势,而其他对营养盐浓度比较敏感的物种就逐渐消失了。物种消失造成浮游植物群落多样性减少,生态系统复杂性降低。多样性的减少不但使水体的生态功能减少,而且使水体更容易受到环境变化的影响,使生态系统更加脆弱。

3.2 优势种类的转变与群落结构的变化

随着水体富营养化程度的加重,浮游植物群落的优势种类也随之变化。研究表明,在水体中氮磷含量低的情况下,水体中的浮游植物群落主要以硅藻、绿藻等为主,这些植物对水体中营养盐浓度有一定的耐受性,在氮、磷浓度较低时仍能生长。但是随着氮、磷浓度的升高,在富营养化的水体中,浮游植物的优势种群也逐渐变成了蓝藻。蓝藻具有很强的生长适应性,在高氮高磷的环境下可以迅速繁殖,占据优势。不仅会使浮游植物群落中物种多样性降低,还会使水体的初级生产力发生改变。蓝藻大量繁殖导致水体中氧气被消耗得越来越严重,水质变坏,从而形成

恶性循环。另外蓝藻暴发还会造成水体缺氧、水生生物死亡,破坏水体的生态平衡。

3.3 富营养化评价模型的构建与应用

为了更好的监测和评价水体的富营养化程度,研究者提出了浮游植物群落结构变化的富营养化评价模型。该模型把水体中的氮、磷等营养盐浓度、浮游植物物种多样性指数和优势种所占的比例结合起来,对水体富营养化情况做出定量分析。经过长时间观测数据的研究发现,营养盐浓度增大之后,浮游植物群落物种多样性指数明显降低,优势种群也由硅藻和绿藻逐渐变成蓝藻。该模型为水体富营养化的监测提供科学、定量的依据,可以很好地评价水体中营养盐负荷和浮游植物群落结构变化的关系,为制定科学的水质管理、生态修复方案提供支持。

4 富营养化水体浮游植物群落的生态修复与管理对策

4.1 减少外源营养盐输入的根本措施

有效应对水体富营养化首先要减少外源营养盐的输入,主要是氮、磷的排放。农业面源污染是造成水体富营养化的一个重要原因,因此,改善农业生产方式,减少化肥、农药的使用,是控制富营养化的重要途径。具体的措施有推广精准施肥技术、发展有机农业,减少化肥的过度使用,采用生态友好的农业管理方式,即采用农田水利工程来减少水流中营养盐的流失,加强农业废水的处理和循环利用。除此之外,城市污水、工业废水的排放也会造成富营养化。加强含大量氮、磷等营养盐的工业废水和生活污水的污水处理设施的建设,是减少营养盐输入的一种途径。采用高效污水处理技术、生物脱氮除磷技术可以降低污水中营养盐的含量。控制工业排放、加强雨水收集和利用系统的建设,可以减少污染源的扩散,从源头上控制富营养化的发生。

4.2 生态修复与水生植物带建设

富营养化的水体生态修复是重要的管理措施,目的就是恢复水体的自然自净能力、生态平衡。植物修复是一种有效的修复技术,依靠水生植物的吸收作用来去除水体中多余的营养盐。水生植物芦苇、香蒲等具有很强的吸盐能力,在水体中大量生长吸收过多的氮磷,减少水体富营养化的程度。这些植物可以净化水质,蒸腾作用和根系吸附底泥来净化水体。水生植物带的建设属于修复的一种,在水体周围种植水生植物带,可以有效地防止营养盐流失、减少外来污染物的侵入,保证水体的生态稳定。人工湿地也是一种重要的生态修复方式,能模仿自然湿地净化水质的功能,依靠植物的过滤作用和沉积物的吸附作用去除水中

的营养盐和有害物质。

4.3 生态工程技术与浮游植物群落调控

生态工程技术对于富营养化水体的修复有着十分重要的意义,对浮游植物群落的调控也起着重要的作用。浮游植物群落是水体生态系统中必不可少的一环,它决定着水体的水质以及生态功能。在水体富营养化的情况下,浮游植物尤其是蓝藻等有害藻类的过度繁殖,就是造成水质恶化的最主要原因。利用生态工程手段可以调节浮游植物的种群结构,抑制有害藻类的过度繁殖。另一种方法就是人工加入浮游植物的天敌,即滤食性水生动物(水蚤、贝类等)来控制藻类的数量。还可以用水体营养盐浓度控制来调节浮游植物的生长环境,抑制有害藻类的繁殖。生态工程技术能调节水体温度、光照、pH值等环境因子,改善浮游植物生长的环境,恢复水体生态功能。此过程要结合水体营养盐水平、浮游植物种群特征和区域生态环境的具体状况来制定出有针对性的修复策略和管理措施。

5 结束语

水体富营养化对浮游植物群落结构有明显的影响,造成水体生态系统功能严重退化。浮游植物群落的变化能反映水质的变化,也可以预示水体生态失衡的加重。因此,研究富营养化水体中浮游植物群落的变化机理对认识水体富营养化的生态效应具有重要的意义。本文主要研究富营养化过程中浮游植物群落结构的变化,提出相应的生态修复措施。随着水体富营养化问题越来越严重,如何利用科学的管理和修复手段来恢复水体的生态平衡,会成为水环境治理和生态保护的主要任务。

[参考文献]

- [1]刘昔,吴亚杰,李晓婷,等. 洪湖浮游植物空间分布及驱动机制研究[J]. 人民长江, 2025, 56(09): 142-149.
- [2]廖艺惠,程晓琼,郭修远,等. 水体富营养化的影响因素及应对策略[J]. 江西化工, 2025, 41(03): 1-4.
- [3]朱纯祥. 龙河口水库水体富营养化评价及其变化趋势研究[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2025, 25(03): 28-31+43.
- [4]杨波. 引江济淮干渠(安徽段)浮游植物群落结构特征及其与水环境因子关联性研究[D]. 合肥大学, 2025.
- [5]张家铭,周鑫鑫,李清华,等. 涪江下游浮游生物群落结构、多样性及水质现状研究[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2025, 46(05): 461-472.

作者简介:

刘志莹(2001--),女,汉族,山东济宁人,硕士在读,研究方向:水域生态。