

河水富营养化的评价与管理

史少松, 王 勇*

¹莱西市农业农村局, 山东 青岛

²青岛市莱西市店埠镇人民政府, 山东 青岛

收稿日期: 2024年12月17日; 录用日期: 2025年1月13日; 发布日期: 2025年1月26日

摘 要

农业废水、径流等工业废水具有降低水质的作用, 导致河流富营养化。本文综述了河流富营养化的因素, 并针对多种因素之间的相关作用进行联系与讨论。阐明富营养化对于河流生态系统的影响。提出维持流域可持续发展的有效措施, 为降低河流的富营养化提出了合理化建议。

关键词

综合管理, 富营养化, 可持续发展

Evaluation and Management of Eutrophication in River Water

Shaosong Shi, Yong Wang*

¹Agriculture and Rural Bureau of Laixi, Qingdao Shandong

²People's Government of Dianbu Town, Laixi, Qingdao, Qingdao Shandong

Received: Dec. 17th, 2024; accepted: Jan. 13th, 2025; published: Jan. 26th, 2025

Abstract

Agricultural wastewater, runoff and other industrial wastewater have the effect of reducing water quality, leading to eutrophication of rivers. This article provides an overview of the factors contributing to eutrophication in rivers and discusses the interrelationships among various factors. Elucidate the impact of eutrophication on river ecosystems. Effective measures have been proposed to maintain the sustainable development of the watershed, and rational suggestions have been put forward to reduce eutrophication of rivers.

*通讯作者。

文章引用: 史少松, 王勇. 河水富营养化的评价与管理[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(1): 124-128.
DOI: 10.12677/aep.2025.151016

Keywords

Integrated Management, Eutrophication, Sustainable Development

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

截止到目前, 全球人口约 70 亿, 如此庞大的人口对当地环境影响巨大[1]。由于这种现在很多城市都是靠牺牲环境来换取经济的高速发展, 因此出现了各种环境问题, 如自然植被减少和水短缺, 这对社区造成了重大风险。

水污染, 如湖泊的富营养化, 已逐渐成为世界范围内一个紧迫的环境问题[2]。根据南非水研究委员会的统计数据, 亚洲、欧洲、北美和非洲分别有 54%、53%、46%和 28%的湖泊面临富营养化问题。湖泊的富营养化是在自然因素和人类活动的共同作用下发生的, 导致了大量藻类的生长[3]。环境黄化的原因很复杂, 因为富营养化涉及各种生态、社会、经济和其他因素。湖泊从贫营养化到富营养化的自然进化是缓慢的, 但在人类的干预下已经加速[4]。因此, 迫切需要采用科学的方法来评估水质和识别潜在的风险源, 这将有助于加强生态和环境管理。随着中国城市化的快速发展, 需要采取一些有效的应对措施来维持湖泊流域的可持续性。

本研究综述了一些评价湖泊富营养化状态和水质的方法。此外, 还提出了一些水污染管理措施。本研究的目的是回顾用于评估湖泊水质和富营养程度的具体方法; 展示和分析富营养化来源、营养营养和富营养化机制, 建议综合管理方法以保持流域发展的可持续性。

2. 富营养化来源

2.1. 天然来源

某些气象条件可能会促进富营养化, 包括增加日平均水温。合适的水温为藻类的生长提供了更好的环境条件[5]。此外, 在自然条件下, 水生植物和鱼类遗骸的分解是缓慢的。然而, 由于腐烂的碎片释放到水体中, 湖泊中的营养物质数量增加了[6]。大气湿沉积和干燥沉积是营养物质进入湖泊的重要途径, 显著影响富营养化。

2.2. 人为来源

由人类活动引起的富营养化可视为文化富营养化。大量含有营养物质和杀虫剂的化肥被运送到湖泊, 产生大量的工业污水和生活废水, 其中含有氮、磷和其他营养物质[7]。对于生活污水产生的水污染, 生活水的主要污染源为厕所、厨房、洗衣机。含有对流层酸钠的洗涤剂或洗涤剂粉末如果被广泛使用会有助于富营养化。“营养物质”生活废水中的废水可通过地下水和地表径流转移到湖泊。来自附近工厂的工业废弃物也是氮和磷的主要来源[8]。此外, 工业废气、烟雾和灰尘通过废气吸入进入水中。

另一个不可忽视的污染源是畜牧业, 包括湖边的家禽养殖和湖泊中的渔业。对于在湖边养殖的畜禽饲料中 70%的氮是通过粪便排出的[8] [9]。只有大约 20%的营养物质被蛋白质吸收并转化为蛋白质生物体和大多数剩余的营养物质进入水中或沉淀在沉积物中形成内源性污染物。根据最近的研究, 农业用地、

森林土地和城市用地对湖泊水质的 TP 负荷分别占 61%、21%和 18%。当农业用地占盆地总面积的 15% 时, 湖泊磷负荷增加 50%。大约 2%~9% 的人为磷负荷来自相应的河流系统输入, 这取决于当地的降水率 [10]。一般来说, 由于人口和社会经济发展的增加, 负荷迅速增加。特别是快速城市化期间集约化农业和滞后环境管理分别是导致非点源和点源投入不断增长的原因。

2.3. 两种来源之间的相互作用

工业和生活污水中含有大量的氮和磷化合物不能得到有效处理, 营养物质在进入水体后促进藻类的生长, 尤其是蓝藻等有害藻类 [11]。这些有害藻类不仅占用了其他水生生物的生存空间, 还可能产生毒素, 对水生生态系统和人类健康造成威胁。农业废水中含有大量的氮磷物质, 此类废水若未经适当处理而直接排放进水体, 会显著增加水体中氮和磷的浓度, 导致水体富营养化和污染。此外, 由城市道路径流引起的面源污染中通常含有较高浓度的石油类、重金属和悬浮物。这些物质一般不会直接引起水体的富营养化, 但可能产生生态破坏和毒性效应, 进而影响营养物的循环和分布, 对鱼类和其他水生生物造成严重影响, 最终破坏水体生态系统的平衡, 使富营养化程度加剧 [12]。

3. 富营养化对河流系统的影响

富营养化的显著特征是浮游植物(即藻类)的数量正在迅速增加 [11]。浮游植物结构和物种多样性的变化可以反映水质的变化。自 20 世纪 90 年代以来, 河流的水质恶化引起了公众的广泛关注, 主要是 1996 年、2003 年和 2013 年严重的水华爆发 [12]。

3.1. 原生态系统破坏

近年来河流生态系统结构变化显著, 生态系统稳定性有所下降。浮游植物密度是衡量水质的一个重要指标。浮游植物种类减少, 多样性处于下降阶段, 而浮游植物生物量相比, 浮游植物生物量显著增加 [13]。蓝藻细菌已逐渐成为一种优势种浮游植物群落。蓝藻细菌生长的最适温度为 25℃。高浓度的碱性和丰富的有机物有利于藻类在最适温度下生长。另外, 平均水温和 pH 值分别为 23.2℃和 8 以上, 为藻类的大规模生长提供了适宜的环境 [14]。

藻类细胞的数量呈指数级增长并在 2003 年附近达到峰值, 藻类细胞的生长速率在 2006 年发生了变化。水生植物的数量趋势与藻类细胞的数量趋势相反, 说明水生植物的生长发生了变化 [15]。沉水水生植物受两种因素降解, 即水和水质变化。湖底充足的光照条件是沉水植物生长的先决条件, 直接影响湖泊的最大分布深度。湖底的光强主要是由湖泊的富营养化导致水透明度下降, 光强度随着水深的增加而迅速降低。最后, 在湖底被融合的水生植物只能获得少量的光。因此, 在以下条件下, 生态系统就会发生一个恶性循环。在湖泊的高水位处有一个水透明性的重新管道。在充足的光照条件下, 湖泊中过量的养分不能被时间吸收。这导致了浮游植物的快速生长 [16]。

3.2. 河流功能逐渐退化

人们使用的白色污染物逐年增长, 导致河流湖水资源的白色污染含量越来越大。不仅如此, 还有一些持久性有机物的排放也加剧了水资源难以降解的有机污染物污染量加大 [15]。同时我国存在着河流水资源过度开发的情况, 部分河流甚至出现了断流现象, 河流的上中游居民对于水资源的不合理开发, 导致河流的下游居民无水可用。由于河流水资源的严重开发利用并伴随着白色污染, 导致河流深度降低, 甚至出现河流断流现象, 导致了河湖面积严重萎缩。由于河水高度下降, 原本河水的最大浮力也随之下降, 影响了河流的运输能力, 造成水资源的功能退化 [17]。

4. 河流富营养化治理模式

河流富营养化是一个涉及自然科学、工程技术、管理科学等各个领域的环境问题[17][18]。随着当地流域城市化的快速发展,河流生态功能退化和水质恶化更加明显,如果不及时实施污染措施,导致频繁的富营养。在这方面,河流是一个脆弱的生态系统,应该得到更多的关注,并大大影响了当地的发展。

促进河流可持续发展的措施

1) 加强水环境的生态文明宣传教育

定期开展人们的水环境生态文明宣传活动,通过丰富多彩的活动形式去帮助人们树立水环境生态文明保护的意识,加强人们对于河湖水环境生态文明保护工作的关注力度,协助人们对水环境的生态文明保护有正确的认识[19]。利用有效的网络平台,加深人们对于水环境生态文明保护工作的赞同感以及带入感,扩宽水环境的生态文明宣传教育的受众,努力让人们亲身参与到水环境的生态文明宣传教育工作中来。

2) 建立富营养化早期预警体系

富营养化是一个重要的环境问题[20]。在河流中,特别是在夏季,蓝藻华浮在水面上,或聚集在水面上。这些花的部分在高温下分解,释放出一种难闻的气味。技术(物理、化学和生物)已被用于管理纯蓝藻水华,以避免水质下降。但是,如果处理不当,藻类的毒素和代谢产物就会被释放到水体中,从而增加了从水中去除这些化学物质的困难。在这种情况下,最好是建立早期预警系统,以防止严重的蓝藻水华爆发,并减少富营养化的频率。

3) 提高水污染治理力度

在治理污染的同时,要依靠科技,加快减排技术开发和推广[21]。在治理过程中,要加强城市湿地建设,利用物理沉淀和生物代谢的方法,减少存在于水环境中的有毒有害物质的浓度,使已受污染的环境能部分或完全恢复到原始状态的方法。水污染治理过程,应当同生态环境的恢复和改善紧密结合起来[22]。环境问题以其固有的全方位、多因子的特点区别于其它任何部门法所调整的对象,这就要求在整治水环境问题的过程当中,首先要考虑到水污染问题的流域性。统筹生活、生产、生态用水,协调和平衡区域用水关系,加强河流湖泊沿岸省市地区之间的协调和合作,对于水资源的开发利用要实行全流域统筹兼顾的方针,生产、生活和生态用水综合平衡,做到微观与宏观相结合,促进水环境问题的根本解决。

5. 结论

本研究综述了湖泊富营养化的评估、机制和综合管理,结论如下:

1) 从自然驱动和人为驱动的角度全面提出了湖泊富营养化的潜在来源。

2) 提出了治理富营养化的具体措施,建议采取一些有效措施,在不影响当地环境的情况下发展持续管理。

参考文献

- [1] 刘莹慧, 卢俊平, 赵胜男, 等. 基于长时间序列乌梁素海水环境变化趋势及生态补水等关键驱动因子分析(2011-2020年)[J]. 湖泊科学, 2023, 35(6): 1939-1948.
- [2] 李干蓉, 张友, 方小宁, 等. 灰色聚类分析法在锦江河水水质富营养化评价中的应用[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(6): 143-146.
- [3] 窦小涵, 潘叶, 王腊春, 等. 基于模糊综合优化模型的水质评价与重金属污染健康风险分析——以贵州省铜仁市碧江区饮用水源地为例[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 173-183, 190.
- [4] 齐德轩, 马巍, 党承华, 等. 三峡水库支流库湾营养源解析及水体富营养化调控对策研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2021, 19(3): 318-328.

- [5] 彭园睿, 何兴华, 杨春灿, 等. 大理西湖湿地景观中水体富营养化及截留功能的季节变化[J]. 生态学杂志, 2020, 39(12): 4078-4089.
- [6] Aizaki, M., Otsuki, A., Fukushima, T., Hosomi, M. and Muraoka, K. (1981) Application of Carlson's Trophic State Index to Japanese Lakes and Relationships between the Index and Other Parameters. *SIL Proceedings*, 1922-2010, **21**, 675-681. <https://doi.org/10.1080/03680770.1980.11897067>
- [7] Al-Ghouti, M.A., Al-Kaabi, M.A., Ashfaq, M.Y. and Da'na, D.A. (2019) Produced Water Characteristics, Treatment and Reuse: A Review. *Journal of Water Process Engineering*, **28**, 222-239. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.001>
- [8] An, B., Lee, S., Kim, H., Zhao, D., Park, J. and Choi, J. (2019) Organic/Inorganic Hybrid Adsorbent for Efficient Phosphate Removal from a Reservoir Affected by Algae Bloom. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **69**, 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.09.029>
- [9] Béchet, Q., Shilton, A. and Guieysse, B. (2013) Modeling the Effects of Light and Temperature on Algae Growth: State of the Art and Critical Assessment for Productivity Prediction during Outdoor Cultivation. *Biotechnology Advances*, **31**, 1648-1663. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.08.014>
- [10] Bordalo, A.A. and Savva-Bordalo, J. (2007) The Quest for Safe Drinking Water: An Example from Guinea-Bissau (West Africa). *Water Research*, **41**, 2978-2986. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.021>
- [11] Béjaoui, B., Ottaviani, E., Barelli, E., Ziadi, B., Dhib, A., Lavoie, M., et al. (2018) Machine Learning Predictions of Trophic Status Indicators and Plankton Dynamic in Coastal Lagoons. *Ecological Indicators*, **95**, 765-774. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.041>
- [12] Bouffard, D., Kiefer, I., Wüest, A., Wunderle, S. and Odermatt, D. (2018) Are Surface Temperature and Chlorophyll in a Large Deep Lake Related? An Analysis Based on Satellite Observations in Synergy with Hydrodynamic Modelling and in-Situ Data. *Remote Sensing of Environment*, **209**, 510-523. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.02.056>
- [13] Søndergaard, M., Jensen, J.P. and Jeppesen, E. (2003) Role of Sediment and Internal Loading of Phosphorus in Shallow Lakes. *Hydrobiologia*, **506**, 135-145. <https://doi.org/10.1023/b:hydr.0000008611.12704.dd>
- [14] Cavalcante, H., Araújo, F., Noyma, N.P. and Becker, V. (2018) Phosphorus Fractionation in Sediments of Tropical Semi-arid Reservoirs. *Science of the Total Environment*, **619**, 1022-1029. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.204>
- [15] Castrillo, M. and García, Á.L. (2020) Estimation of High Frequency Nutrient Concentrations from Water Quality Surrogates Using Machine Learning Methods. *Water Research*, **172**, Article 115490. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115490>
- [16] Chou, J., Ho, C. and Hoang, H. (2018) Determining Quality of Water in Reservoir Using Machine Learning. *Ecological Informatics*, **44**, 57-75. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.01.005>
- [17] Downing, J.A. and McCauley, E. (1992) The Nitrogen: Phosphorus Relationship in Lakes. *Limnology and Oceanography*, **37**, 936-945. <https://doi.org/10.4319/lo.1992.37.5.0936>
- [18] Dai, C., Qin, X.S., Tan, Q. and Guo, H.C. (2018) Optimizing Best Management Practices for Nutrient Pollution Control in a Lake Watershed under Uncertainty. *Ecological Indicators*, **92**, 288-300. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.016>
- [19] von Einem, J. and Granéli, W. (2010) Effects of Fetch and Dissolved Organic Carbon on Epilimnion Depth and Light Climate in Small Forest Lakes in Southern Sweden. *Limnology and Oceanography*, **55**, 920-930. <https://doi.org/10.4319/lo.2010.55.2.0920>
- [20] Fan, C., Zhang, L., Wang, J., Zheng, C., Gao, G. and Wang, S. (2004) Processes and Mechanism of Effects of Sludge Dredging on Internal Source Release in Lakes. *Chinese Science Bulletin*, **49**, 1853-1859. <https://doi.org/10.1007/bf03183413>
- [21] Farabegoli, G., Chiavola, A. and Rolle, E. (2009) The Biological Aerated Filter (BAF) as Alternative Treatment for Domestic Sewage. Optimization of Plant Performance. *Journal of Hazardous Materials*, **171**, 1126-1132. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.128>
- [22] Hui, F., Guixiang, Y., Te, C., Jiayou, Z., Xiaolin, Z., Longgen, G., et al. (2013) Succession of Submerged Macrophyte Communities in Relation to Environmental Change in Lake Erhai Over the Past 50 Years. *Journal of Lake Sciences*, **25**, 854-861. <https://doi.org/10.18307/2013.0609>