

# 水体富营养化对水产养殖产业的反馈机制——以太湖流域为例

张子薇

重庆三峡学院重庆市三峡库区水环境演变与污染防治重点实验室

中国科学院南京地理与湖泊研究所

三峡库区环境生态重庆市野外科学观测站

DOI:10.12238/eep.v7i12.2403

**[摘要]** 中国淡水资源分布不均,水质富营养化问题日益严重,对养殖产业影响甚重。太湖流域是中国淡水养殖的核心区域,富营养化导致其蓝藻水华频发,严重威胁水环境和养殖业发展。适度的富营养化可提高养殖效率,但过度则引发水质恶化及经济损失。为实现生态与产业协调发展,需通过优化养殖模式、控制污染源、实施生态治理措施,以及加强水质监测与反馈机制,推动太湖流域水产养殖的可持续发展。

**[关键词]** 富营养化; 水产养殖; 太湖流域; 可持续发展; 蓝藻水华

中图分类号: S96 文献标识码: A

## The feedback mechanism of water eutrophication on aquaculture industry —— taking the Taihu Lake Basin as an example

Ziwei Zhang

Chongqing Key Laboratory of Water Environment Evolution and Pollution Control in Three Gorges Reservoir,

Chongqing Three Gorges University

Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences

Three Gorges Reservoir Area Environment and Ecology of Chongqing Observation and Research Station

**[Abstract]** The uneven distribution of freshwater resources in China and the increasingly serious problem of eutrophication of water quality have a great impact on the aquaculture industry. The Taihu Lake Basin is the core area of freshwater aquaculture in China, and eutrophication leads to frequent cyanobacterial blooms, which seriously threatens the water environment and the development of aquaculture. Moderate eutrophication can improve farming efficiency, but excessive eutrophication can lead to water quality deterioration and economic losses. In order to achieve the coordinated development of ecology and industry, it is necessary to promote the sustainable development of aquaculture in the Taihu Lake Basin by optimizing the breeding mode, controlling pollution sources, implementing ecological management measures, and strengthening the water quality monitoring and feedback mechanism.

**[Key words]** eutrophication; Aquaculture; Taihu Lake Basin; Sustainable development; Cyanobacterial blooms

### 引言

我国人口众多,但人均水资源仅为世界的四分之一。中国水资源的区域分布极不均衡,南方洪水频繁,北方缺水<sup>[1]</sup>。1980年以来中国经济的快速发展,水资源的富营养化已成为一个日益严重的问题。地表水中总氮(TN)、总磷(TP)和其他营养物质的浓度不断增加,导致长江、淮河、珠江等流域的水质逐年下降<sup>[2]</sup>。1978年至2020年,中国水产品产量从4.66吨增加至6549万吨,淡水养殖的贡献从6.4%上升到47.2%。中国已成为全球水产养殖产量的领导者,占世界淡水养殖产量的56%。

在中国淡水养殖中,长江流域拥有156万公顷水产养殖池塘,

占全国总量的56%。特别是在该流域的中下游,池塘养殖产量占中国总产量的52.1%,占世界总产量的1/3。长江水质持续下降,地表水自1980年以来呈富营养化趋势。水环境质量对水产养殖生产力的反馈机制是一个复杂的生态系统过程,涉及水质、养殖密度、生物种群以及外部管理等多方面因素。研究太湖流域水体富营养化对水产养殖产业的反馈机制具有重要意义,不仅有助于控制水质恶化、保护生态环境,还能优化养殖模式,提升产业效益,保障水产品安全。同时,该研究为流域综合管理、政策制定和应对气候变化提供科学依据,有助于实现水产养殖业的可持续发展和区域经济与生态的协调发展。

1 富营养化对水产养殖产业的影响

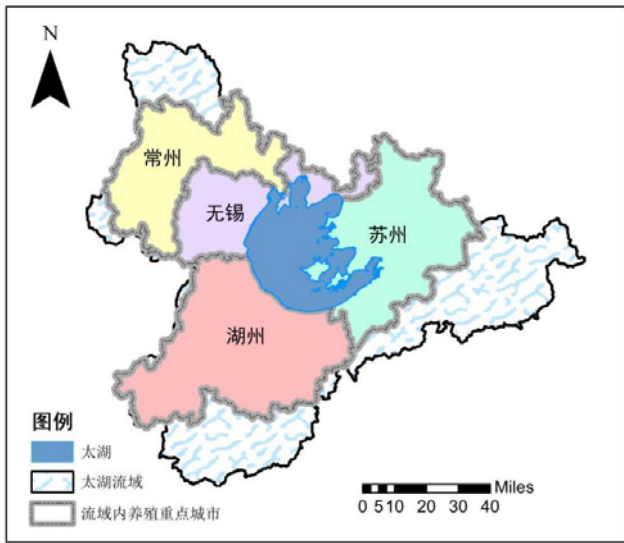


图1 太湖及太湖流域区位图

太湖流域位于长江下游，太湖位于流域内中心位置。（图1）自1990年以来蓝藻发生频繁，特别是蓝藻水华爆发引发黑水事件，导致2007年5月无锡市饮用水严重污染。疫情过后，政府加大了对太湖污染的治理力度，总投资约为500亿美元。然而，TP浓度仍然很高，藻华没有得到控制，下降以达到预期的结果。2016–2020年的蓝藻大量繁殖明显高于2010–2015年。自2019年底Covid-19爆发以来，中国实施了严格的清零政策，并对人员流动和聚会实施了严格限制。在此期间，太湖等水体中的蓝绿藻呈下降趋势。而2023年9月，在清零政策取消后，太湖西湖爆发了蓝藻疫情，水面呈绿色。

水产养殖淡水的水质参数包括溶解氧(DO)、氨(NH<sub>3</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)、亚硝酸盐(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)、浊度、pH值和温度。<sup>[3]</sup>太湖2007年爆发水华后，国家出台了一系列政策来应对和治理污染，例如：《推动太湖无锡水域水质根本性好转三年行动方案(2023—2025年)》强调从水里和岸上两端抓源头，从治理和保护两手抓减污，从长效和应急两面抓治理，从约束和激励两头抓推进。《江苏省太湖水污染防治条例》：规定了太湖水污染防治的具体措施和责任主体，强调预防为主、防治结合、统一规划、综合治理的原则，并建立了严密的监控体系。《浙江省太湖流域水环境综合治理实施方案》：部署了浙江省的太湖流域水环境综合治理工作，提出了“五水共治”的重大决策，全域范围内开展水环境综合整治。这些政策实施以来，太湖水质和环境得到了显著改善。无锡市累计投入1125亿元用于太湖治理，实施了结构调整、控源截污、清淤调水、生态修复等7108项重点工程。浙江的“五水共治”也使得太湖水质持续向好，蓝藻问题得到有效控制。而太湖流域水产养殖业苏州、无锡、常州的水产品产量下降。其中苏州从2007、2008、2009三年产量明显下降，在2010年有所好转；无锡在2008、2009年两年产量下降，2010年短暂回升后再次下降，2012年后缓慢回升；常州在2008年后，产量开始下降，2009年产量有所提升但仍

没有回升过高，在2011年后才开始逐年升高。（图2）

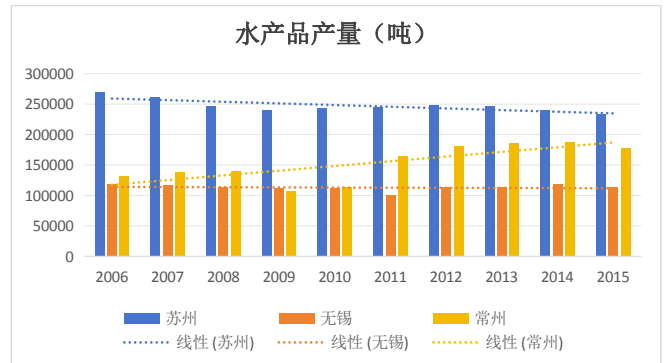


图2 太湖流域主要养殖分布城市2006年至2015年水产品产量 (吨)

太湖流域水产养殖业苏州、无锡、常州的水产养殖面积同样在2008年后有所下降。其中苏州区域水产养殖面积从2007、2008年开始下降，在2009年升高一年后继续下降，养殖面积较波动；无锡区域养殖面积在2008年开始下降并在2011年后开始缓慢回升；常州区域养殖面积同样在2008年后开始下降并在2011年开始有缓慢回升也呈波动状，但幅度较小。（图3）

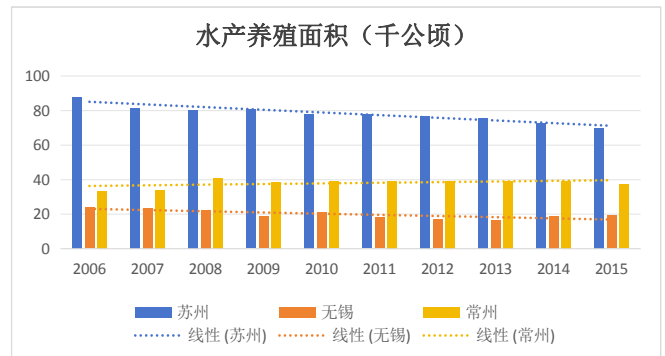


图3 太湖流域主要养殖分布城市2006年至2015年水产养殖面积 (千公顷)

富营养化在一定程度上可以对水产养殖产业产生积极影响，其增加了水体中氮、磷等营养盐的浓度，促进浮游植物(如藻类)和浮游动物的生长。这些浮游生物是许多养殖生物(如鱼类、贝类、虾类)的天然饵料，可以减少人工饲料的使用成本，提高养殖效率。改善水体的初级生产力，增强食物链的活跃度，从而加速养殖生物的生长速度，缩短养殖周期，增加经济效益。富营养化的积极影响仅限于“适度”的情况下。如果营养盐过量导致水体失衡(如藻类暴发、缺氧等)，其负面影响将远大于正面效益。而其负面影响能够引起社会和政府的高度重视，从而推动对水产养殖产业的管理和宏观调控。由于富营养化直接威胁水体生态和产业可持续发展，相关部门会加强水质监测、制定污染治理政策，并出台规范养殖行为的管理措施。这种外部监管和政策支持可以促使养殖企业采用更环保、更高效的生产模式，推动产业升级，同时促进公众环保意识的提升，为流域生态保护和经济发展提供更强有力的保障。

## 2 水产养殖产业对水环境富营养化的反作用

近年来太湖流域水产养殖发展迅速、规模庞大,已成为流域内经济发展的重要组成部分。太湖流域水产养殖以淡水养殖为主,养殖区域多集中于环太湖一级保护区之外的旁系水域,虽充分满足了流域内水产品供应,但同时也成为了太湖流域入湖污染负荷最高的区域,也是受太湖蓝藻水华危害最严重的区域。随着我国淡水养殖业的迅速发展,养殖底质恶化已经成为困扰行业健康发展的重要难点,污染底泥会导致养殖水体污染、池塘老化、黑臭底泥淤积、有毒物质积累等问题,还会引起大规模水产动物病害发生,这些问题在近年来频繁发生。<sup>[4]</sup>

水产养殖会产生大量的含有有机物和营养盐的尾水,未经处理直接排放到水环境中,会导致其富营养化,危及水体中其他生物种群的生存。有些养殖户使用劣质饲料和化学药品,导致从工厂化养殖场、养殖池塘排出的尾水,不仅含有粪便、残饵,引发细菌繁殖,还含有很多消毒用的高锰酸钾、次氯酸钠、甲醛等药液,对水环境造成污染。苗种问题污染也是一种很严重的污染,当苗种为弱苗、病苗时,苗种本身会携带一些致病菌,这些苗种通常会更容易受到污染物影响从而死亡并污染环境。苗种本身也会携带一些污染性的化学物质,从而造成对水源的污染。<sup>[5]</sup>当饲料本身质量不达标、或养殖人员没有科学饲喂时,饲料也会加大水环境负荷从而造成水体污染。施加肥料或用药能否提高水产作物的产量和养殖效率,并保证其健康。但在不合理使用的条件下会影响水生动物的正常发育,还会造成水源污染。过量的肥料会增加水中N、P的含量,导致水中浮游生物数量增加,造成水体富营养化。水生物的代谢活动也是引起水体富营养化的重要因素,其代谢产物如粪便、尿素、氮和磷等排入水中后,会引发一系列化学反应,进而影响水质,导致富营养化。此外,水体底部的沉积物中积累了水生物遗体、溶解物及其他污染物,这些物质在底部分解时会释放污染物。如果未能及时处理,这些污染物不仅会阻碍水生动物的健康生长和品质提升,还会对水环境的可持续发展构成威胁,从而造成富营养化。

## 3 结论

富营养化对水产养殖产业既有正面也有负面影响。适度的营养盐含量可以促进水生植物和浮游生物的生长,为水产养殖提供天然饵料,提高养殖效率。然而,当富营养化加剧时,会引发藻类过度繁殖,如蓝藻暴发,导致溶解氧下降、水质恶化,增加养殖病害风险,甚至引发大规模生物死亡,从而严重影响水产养殖的生产力和经济效益。

科学管理和生态养殖是解决问题的关键。可以通过优化养殖密度、控制饲料投喂、引入生态治理措施,如混养滤食性生物和种植水生植物,来减少养殖对水体的污染,减缓富营养化进程。同时,加强水质监测与反馈机制研究,有助于预测富营养化对养殖的潜在影响,为太湖流域的生态保护和水产养殖业的可持续发展提供科学依据和管理策略。

### [参考文献]

[1] Gonzalez, R.C., Wintz, P., 2010. Digital Image Processing. Publishing House of Electronics Industry, Beijing, China.

[2] Prasad, K.A., Ottinger, M., Wei, C., Leinenkugel, P., 2019. Assessment of coastal aquaculture for India from Sentinel-1 SAR time series. Remote Sens. 11, 357.

[3] J. Sensors and Actuators B: Chemical 176281-5. Vishwakarma V, Gurav A, Patel H and Sahasrabudhe S 2018 Acqua Culture Monitoring System Int. Con. on Smart City and Emerging Tech. (ICSCET) 1-4.

[4] 王瑞宁. 淡水鱼养殖池塘环境特征及调控技术研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.

[5] 张振宇. 漓江流域上游水环境评价和污染源解析[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2021.

### [作者简介]

张子薇(1999—),女,汉族,山东东营人,硕士,研究方向:水环境。