

关于通过鱼类群落调控改善蠡湖水质的建议

蠡湖作为无锡市的城市内湖，在上世纪五六十年代，水体清澈、水生植物丰富、生态系统结构与功能稳定。随着太湖流域及蠡湖周边城市的发展，九五至十五期间蠡湖水质急剧恶化、透明度下降、沉水植物消亡、鱼类群落结构紊乱，最终导致生态系统服务功能衰退。2002年底，无锡市委市政府对蠡湖实施了水环境综合整治工程，经多年的努力，在生态清淤、污水截流、退渔还湖、生态修复、湖岸整治和环湖林带建设等工程的逐步推进完成下，蠡湖水质发生明显变化，生态环境得到显著改善，使蠡湖成为无锡的城市新名片。但由于蠡湖水体氮磷浓度仍比较高，健康的草型生态系统尚未构建，所以蠡湖的透明度一直没有显著提升，近几年来部分水质指标有恶化的趋势（图1），蠡湖的健康状况堪忧。中科院南京地理与湖泊研究所研究员高光、张运林等专家分析了近期蠡湖面临的主要问题，提出了通过鱼类调控改善生境，促进蠡湖健康长效草型生态系统构建的建议。

一、鱼类群落组成对水生环境的影响

鱼类是湖泊生态系统的重要组成，往往位于食物链的顶端，在维持食物网结构与功能稳定中发挥重要作用。鱼类的摄食活动，可显著影响水环境质量，但不同食性（生活习性）的鱼类对生态系统的影响程度和途径不同。通过鱼类的食性和生活方式，可将其分为4类：**（1）浮游动物食性鱼类**，以浮游动物为食，例如银鱼、间下鱊和鲢等；**（2）肉食性鱼类**，以鱼、虾等水生生物为食，例如乌鳢（黑鱼）、鳊鱼和鲈鱼等；**（3）草食性鱼类**，以水生植物为食，例如草鱼和鳊鱼等；**（4）杂食性鱼类**，指可同时从两个或两个以上营养级获取食物的鱼类，具体又可分为杂食—底栖鱼类（鲫、鲤和细鳞斜颌鲷等）和杂食—浮游动物食性鱼类（餐条、似鳊、鲢和鳙等）。不同食性鱼类对水环境的影响不同。浮游动物食性鱼类过多将削弱浮游动物对浮游植物的下行

控制力，导致浮游植物大量繁殖；肉食性鱼类偏少也不利于浮游植物的控制；此外，草食性鱼类和杂食性鱼类过多不利于水生植物的恢复。

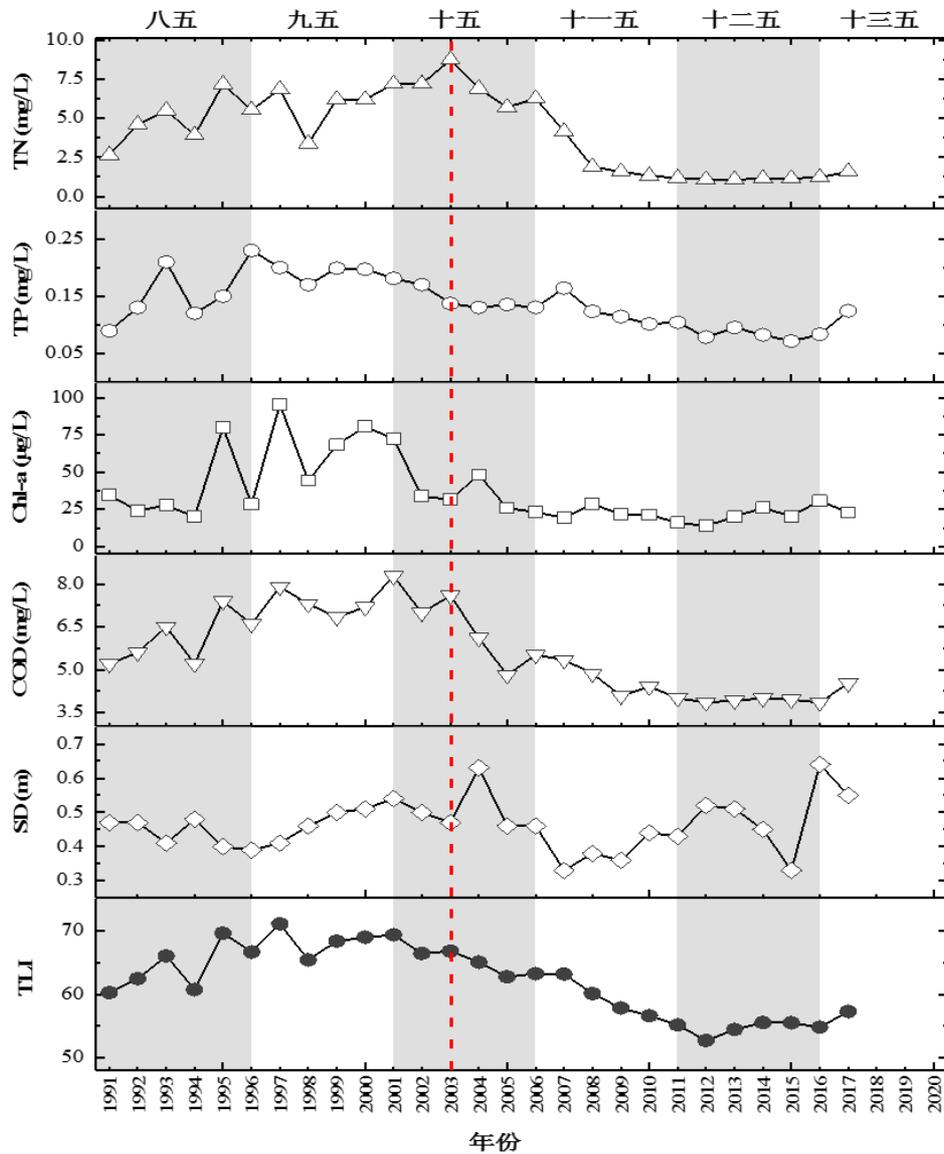


图 1 蠡湖主要水质指标 1991~2017 年变化趋势 (----表示综合整治时间)

淡水生态系统中鲢、鳙为典型的滤食性鱼类，其中鲢的腮耙间距为 33~56 微米，而鳙的腮耙间距为 57~103 微米。研究表明，鲢和鳙均可摄食浮游动植物，但鲢对浮游植物的摄食比例更高，而鳙主要以浮游动物为食。在我国利用鲢鳙控制水体蓝藻的实践中，虽然在某些水体中对蓝藻生物量的控制效果显著，但对藻类总生物量及水环境质量的改善效果不明显，特别是水体透明度并未显著升高。部分学者的

观点认为：鲢鳙鱼通过滤食，将大大降低水体浮游动物的生物量，而浮游动物是浮游植物的主要牧食者，鲢鳙鱼的滤食作用削弱了浮游动物对浮游植物的下行控制，造成浮游植物生物量的上升。另一种观点认为：由于鲢鳙鱼仅可对大于腮耙间距的浮游植物生物量产生影响，不能摄食体积小于腮耙间距的浮游植物，进而有利于此类浮游植物的快速发展，造成水体藻类生物量和叶绿素 a 浓度居高不下。

二、欧盟国家在鱼类群落调控实践中取得显著的水质改善效果

在国际上，鱼类群落结构调控可作为湖泊生态系统结构与功能恢复的有效手段之一。丹麦、荷兰、芬兰、德国、瑞士、英国等国在十九世纪末和二十世纪初分别对部分富营养化浅水湖泊实施了鱼类群落调控技术，湖泊水体透明度显著升高、水体总氮和总磷浓度显著下降。生物量调控是鱼类调控的主要手段之一，但调控的效果不是一劳永逸的，研究表明每隔 5 年左右进行一次鱼类生物量移除，而且移除的量要达到总鱼产量的 75% 以上效果最好。

三、无锡贡湖湿地通过鱼类生物量调控显著改善水环境质量

贡湖湿地通过草型生态系统重建之后，大大改善了水质，但近年来在沉水植物覆盖度较高的条件下，水体透明度仍呈下降趋势。为此，2018 年 10 月，中国科学院南京地理与湖泊研究所和贡湖湿地的管护单位江苏江达生态科技有限公司对其中两个独立的水域进行了鱼类生物量移除实验。其中，组培室附近水域面积 50 亩，共清除鱼类 746 kg (224 kg/公顷)，其中杂食—底栖鱼类占 31.8%、杂食—浮游生物食性鱼类占 30.8%、草食性鱼类占 20.1%、肉食性鱼类仅占 5.2%、其它小型鱼类占 12.1%。东实验区面积 80 亩，共清除鱼类 698 kg (131 kg/公顷)，其中杂食—底栖鱼类占 28.7%、杂食—浮游生物食性鱼类占 32.2%、草食性鱼类占 24.4%、肉食性鱼类仅占 3.3%、其它小型鱼类占 11.5%。两个区域的鱼类均以杂食性鱼类为主，其生物量占比均超过 60%，而肉食性鱼类的比例仅为 5% 左右。

调控之后，水体清澈见底，水环境质量得到极大改善（图 2）。组培室附近的水体透明度提升了 155%，由清鱼前的 73.5 cm 升高至清鱼后的 187.5 cm；东实验区的透明度提升了 143%，由清鱼前的 77.7 cm 升高至清鱼后的 188.3 cm。透明度与水深比也得到了极大提升，两个区域分别由 0.37 和 0.4 提升至 0.97 和 1.0（清澈见底）。鱼类调控透明的改善为后期沉水植物生长与群落稳定提供充足的光照条件。



图 2 无锡贡湖湿地实验区鱼类调控水质改善效果图

四、鱼类群落结构不合理、杂食性鱼类比例过高是造成蠡湖夏季藻类生物量大、总磷浓度高的主要因素之一

据调查蠡湖现有鱼类 42 种，其中上层鱼类 8 种，以鲢、鳙、湖鲚和鮑鱼为主，中层鱼类 16 种，以餐条、银鱼等为主，大底层鱼类 18 种，以鲤鱼、鲫鱼为主。虾类 2 种，蟹、龟、螺各 1 种。杂食性和浮游动物食性鱼类是蠡湖鱼类群落的优势类群，估算的鲢鳙鱼生物量为 450 吨左右，所有潜在浮游动物食性鱼类的比例平均为 75.4%（图 3），说明蠡湖现有鱼类群落结构不合理，对浮游动物的捕食压力很大。尽管鲢鳙鱼对微囊藻水华可能有一定的控制作用，但对水体中总的浮游植物生物量的控制效果甚微，这也是蠡湖夏季虽然没有形成类似太湖的大规模微囊藻水华，但水体中藻类密度和生物量仍居高不下的重

要原因之一。由于大量鲢鳙鱼及其它浮游动物食性鱼类的牧食，蠡湖夏季的优势藻类为浮丝藻 (*Planktothrix* spp.)，它是一种丝状蓝藻，一般不在水面聚集形成水华。由于夏季蠡湖中大量存在浮丝藻也导致水质检测中总磷浓度偏高。

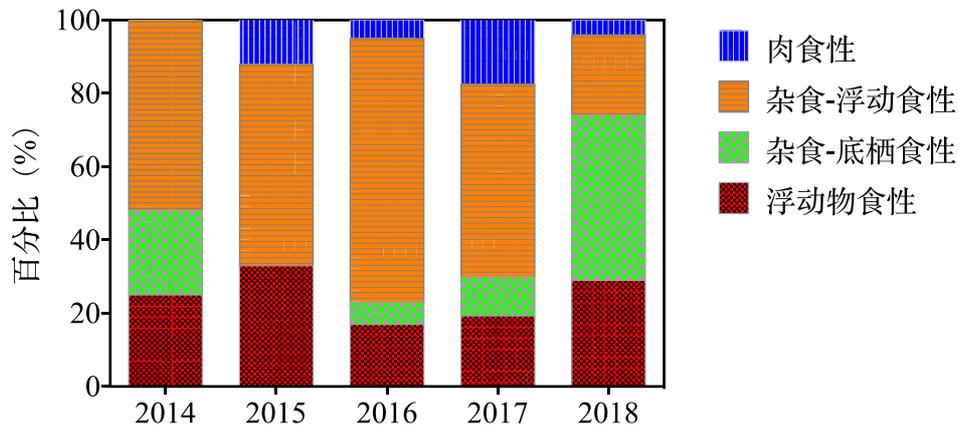


图3 蠡湖近5年鱼类群落组成

五、通过鱼类群落结构调控，实现蠡湖水质改善的建议

(1) 重点去除杂食—底栖鱼类。去除鲤鱼、鲫鱼和细鳞斜颌鲷等杂食—底栖鱼类，降低其对沉积物的生物扰动作用，减少水体中无机悬浮物的比例，可提高水体透明度。

(2) 重点控制杂食—浮游动物食性鱼类生物量。鲢和鳙在湖泊中很难自然繁殖，其资源主要靠人工投放，因此合理规划捕捞与投放鲢、鳙鱼的时间和数量，即可有效控制鲢鳙鱼的种群发展。而餐条似鲛、等杂食性鱼类可在自然水体中大量繁殖，而在湖泊生态系统管理与修复过程中，往往忽略了这类经济价值不高的野杂鱼对湖泊生态系统的影响。蠡湖中餐条、似鲛、鲢和鳙等杂食—浮游动物食性鱼类的现存量过高，需要每年冬季定期捕捞。2009年9月无锡市曾对蠡湖进行了4个点、4个网次的捕捞作业，每次作业面积约110亩，共捕物鱼类21391公斤，其中鲢11973公斤，占56%；鳙5126公斤，占24%；杂鱼4292公斤，占20%。捕捞过后的2010年蠡湖水体透明度

提高了 22% (见图 1), 说明合理去除杂食—浮游动物食性鱼类可以明显促进水质改善。

(3) 加大西蠡湖生态修复力度。西蠡湖是整个蠡湖中水质最好的区域, 整体水质处于 III~V 类。在合理控制鱼类生物量的前提下, 实施以生物调控为主的生态修复, 通过构建以沉水植物为主的草型生态系统, 逐步提升物种多样性, 可早日恢复蠡湖水清草茂的良好水生生态系统。

作者:

高 光, 中科院南京地理与湖泊研究所研究员, 研究领域: 湖泊生态学

于谨磊, 中科院南京地理与湖泊研究所助理研究员, 研究领域: 湖泊鱼类学

汤祥明, 中科院南京地理与湖泊研究所副研究员, 研究领域: 湖泊微生物学

邵克强, 中科院南京地理与湖泊研究所副研究员, 研究领域: 湖泊藻类学

张运林, 中科院南京地理与湖泊研究所研究员, 研究领域: 物理湖泊学

秦伯强, 中科院南京地理与湖泊研究所研究员, 研究领域: 水文水生态学

(中国科学院南京地理与湖泊研究所)

2019年2月2日