

# “生态活水”治水理论与战略意义的研究

李章林<sup>1</sup>, 李荣福<sup>2\*</sup>, 寇祥明<sup>3</sup>, 孙龙生<sup>4</sup>

(1. 扬州市水利学会, 江苏 扬州 225001; 2. 扬州市水产学会, 江苏 扬州 225001;  
3. 江苏省里下河地区农业科学研究所, 江苏 扬州 225003; 4. 扬州大学动物科学与技术学院, 江苏 扬州 225003)

**摘要:**“生态活水”治水是寓生态于活水之中治理污水,通过构建一系列高活力有益菌和原生态浮游动、植物组成的“微生态系统”,并逐步修复或重建多样化生物构成的生态系统治理污水;并通过活水机造就微速循环流水,实现了“四维”全时空(即全水面、全水层、全时段、全天候组成)持续高效净化污水。“生态活水”治水以维持生态系统稳定性与强劲污染净化能力为核心开展日常管理工作,包括适时适度增氧、引水、补菌,是一种占用资源少、设备投资省、治污效率高、运行成本低、可持续性强的治水方式,处于国际领先地位。

**关键词:**生态活水; 治水; 理论; 战略

中图分类号:TV882.8 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2020)04-0053-05

## Study on the theory and strategic significance of the water control on "eco - living water"

LI Zhanglin<sup>1</sup>, LI Rongfu<sup>2\*</sup>, KOU Xiangming<sup>3</sup>, SUN Longsheng<sup>4</sup>

(1. Yangzhou Water Conservancy Society, Yangzhou 225001, Jiangsu;  
2. Society of Fisheries, Yangzhou 225001, Jiangsu;  
3. Agricultural Science Institute of Jiangsu Lixiahe District, Yangzhou 225003, Jiangsu;  
4. College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225003, Jiangsu)

**Abstract:** "Eco - living water" water control means to harness sewage by combining ecology with living water, by constructing a series of highly active and beneficial bacteria and a series of "micro - ecosystem" composed of original ecological plankton and plants, and by gradually repairing or rebuilding the ecological system composed of diverse organisms. The four - dimensional full space and time (that is, full water surface, full water layer, full time, all - weather composition) continuous and efficient purification of sewage was achieve through the water machine creating micro - speed circulating water. "Eco - living water" water control was based on maintaining the stability of the ecosystem and strong pollution purification capabilities as the core to carry out the daily management work, including timely and moderately increasing oxygen, water diversion, the fungus, was a less resource - intensive, equipment investment, high efficiency, low running cost of the pollution treatment, and strong sustainability way of water conservancy in the international leading position.

**Key words:** eco - living water; water control; theory; strategy

收稿日期:2019-11-01

基金项目:江苏省渔业科技项目(Y2018-11)

作者简介:李章林(1963—),男,高级工程师,研究方向为城乡水环境。

通信作者:李荣福(1962—),男,高级工程师,研究方向为水域生态。E-mail:lr62@163.com

## 1 概 述

“活水”是人们对于保持缓慢流速的开放性自然水体的习惯称谓。我国古代就已发现“活水”具有净化污染、改善水质的功能,便有了“流水不腐”<sup>[1]</sup>和“问渠哪得清如许,为有源头活水来”等对活水净化功能的精辟概括<sup>[2]</sup>。研究发现,自然“活水”并非流动着的纯净水,而是“绿水”,是有多样化矿物质溶解和由多样化微生物生存的缓流水,具有综合性自然净化能力,故万里长江虽吸纳沿岸城市多样化海量污染,直至奔流到海仍为“一江春水”。

一般认为,“活水”是有源头而常流动的水<sup>[3]</sup>。古代文献中“活水”是指静流之水或有源头常流动的水<sup>[4]</sup>。虽有一定流速,但流速缓慢、水质清澈。五代时期太湖地区塘浦圩田系统形成全局式的活水周流,认为有利于作物灌溉,污染治理<sup>[5]</sup>。近年来,城市污水治理强调清淤和“活水工程”的作用<sup>[6]</sup>。以常州市为例,2007—2016 年清淤工程耗资 40 多亿元,水质从严重污染下降为重污染<sup>[7]</sup>。“活水工程”是通过引入外源清水,使水体保持一定水位(水量)和流量(流速),以改善水质的方法。但其打造的是平直水流,而非垂直交流,只是发挥了污染稀释作用,或将上游污染转移到下游水体。且此法在缺水地区无法采用。

“活水”一般指缓慢流动的开放性水体。所有水生动物都喜欢“活水”,江河湖海等“活水”出产的水产品相比一般“呆塘”(封闭池塘)养殖的水产品更为鲜美,水产养殖强调“活水”作用<sup>[8]</sup>。笔者从 2009 年起,开展活水机应用于水产养殖水质调控的试验,发现“活水”中具有交换、运送和净化功能<sup>[9]</sup>。养殖水体中污染物净化效果往往与水体中有益菌、浮游(动)植物等两类微生物构成的微生态系统和溶解氧含量与分布状况密切相关,通过“微生态制剂”与“增氧活水机”配合使用,对净化富营养化水质,抑制“蓝藻爆发”有显著效果<sup>[10]</sup>。研究发现,“生态活水”中两类微生物综合作用,不断进行着化合与分解,产能与耗能或贮能,耗氧与增氧等理化反应,实现了水域生态系统物质循环和能量转换,构成了“生态活水”对污染物的自然净化作用<sup>[11]</sup>。根据上述分析,设计的“生态活水”治理黑臭水体技术方案在扬州官河组织实施,取得了理想的治理效果<sup>[12]</sup>,促进“生态活水”治水理论的形成。

## 2. “生态活水”治理扬州官河黑臭水体取得极佳的治水效果

水体黑臭和富营养化是我国城乡河道的普遍现象<sup>[13]</sup>。河湖出现季节性或终年黑臭,是城乡水体的严重污染<sup>[14]</sup>,不仅影响城市景观和生态环境,而且降低城乡居民生活。据统计,截至 2016 年,全国 295 个地级以上城市中有 216 座城市排查出黑臭水体 1 811 个<sup>[15]</sup>。黑臭水体治理的难点是有机污染物底泥(氧债)的大量沉积,导致生态系统崩溃<sup>[16]</sup>。扬州官河是扬州市区严重污染多年的典型黑臭水体,按照住建部《城市黑臭水体整治工作指南》分级标准,属重度黑臭水体<sup>[17]</sup>。虽经多年治理,水质未能改观。治理前溶解氧近于零(0.12 ~ 0.13 mg/L),每逢清晨或阴雨天气,两侧臭气熏人,群众意见极大。在扬州市水利局支持下,从 8 月 13 日起,在扬州官河开展了“生态活水”治理黑臭水体试验,通过安装使用活水机和增氧机,足量投放系列微生态制剂,迅速修复生态系统<sup>[18]</sup>,形成“绿水”(即生态活水),达到了快速高效的黑臭污水治理效果。8 月 18 日水利部太湖局至扬州检查城市黑臭河道整治工作,对“生态活水”治理黑臭污水效果充分认可。8 月 27 日,扬州市水利局(市水利学会)与扬州市邗江区竹西街道办事处联合对该试验进行了现场检查验收,对治污效果给予充分肯定。扬州大学 9 月 8 日官河水质检测结果表明,9 月 8 日 9:30 官河水质检测结果为:水体透明度、溶氧、氨氮、总氮、总磷和有机物耗氧量等指标分别达 60.7 cm、5.61 mg/L、0.59 mg/L、1.43 mg/L、0.09 mg/L 和 6.06 mg/L,均达到或超过了国家地表水Ⅲ类水水质标准,这在国内外尚属首次报道。

## 3 “生态活水”治水的理论基础

### 3.1 天然水体生态系统的自然净化理论

一般天然水体都有多样性生物组成的完整生态系统,包括植物生产者、动物消费者和细菌真菌类分解者<sup>[19-20]</sup>。生态学将上述三者组成的生态系统称为“完整生态系统”。天然水体生态系统具有生物多样性,稳定性好,其中消费者和部分生产者(水生经济植物)为人类提供食物。

天然水体中各类生物代谢产生的废弃物沉积到水底而污染水体。而这些废弃物又被微生物分解成营养元素被利用<sup>[21]</sup>;这些微生物分泌的催化酶,能加速对水体中废弃有机物氧化分解,转化为

浮游植物与水生维管束植物生长需要的氮、磷等营养盐,如果没有这些微生物的参与,这个进程非常缓慢<sup>[22]</sup>;浮游植物与水生维管束植物借助太阳能,利用上述微生物分解形成的营养盐进行光合作用,产生大量溶解氧;既为水生动物提供必要条件和食物,也为微生物氧化分解提供充足的氧气,使天然水体始终维持能量转换和物质循环的可持续状态,形成对污染物的自然净化能力。充足的溶解氧能在底泥表层形成氧化还原层,有利于底栖好氧型有益菌附着与生长繁育,又增强了生态净化能力。“生态活水”治水就是恢复或健全以微生物为核心的水体生态系统,形成可持续的自然净化能力。其中最为核心是由细菌、放线菌、真菌类等有益菌和浮游动、植物等2类微生物组成的“微生态系统”,具有高效自然净化能力。在水体足量供氧并微速循环流动条件下,足量投放高活力微生态制剂,3~5个晴日在黑臭水体中就形成“微生态系统”,造就具有强劲自然净化能力的“绿水(生态活水)”,快速完成对黑臭污水和黑臭淤泥的治理。

### 3.2 “生态活水”治水的哲学基础

水体生态系统实质是多样化矛盾的矛盾综合体。矛盾中双方总是既相互对立又相互依赖,矛盾双方既是对立方存在的条件,也是对立方发展变化的推动因素。在水体生态系统中多样化生物与多样化非生物环境因子之间存在着极其复杂的矛盾<sup>[23]</sup>。这些多样化非生物环境因子包括当地气候、地形地貌和土壤、水文等等物理因素及其之间相互影响,由此带来系统中化学因子之间相互作用与化学因子的变化。而在人类聚居的城乡周围水域生态系统,打上了人类社会的烙印。人类活动使水体生态系统中本来并不对抗的矛盾变得尖锐起来。如自然状况下的水体溶解氧对水体所有生物来说是充裕剩余的。在人类聚居密度较低情况下的城乡周围水域溶解氧也是总量平衡,稍有剩余。但在进入现代社会后,化肥农药过量使用后农业废水、食品工业污水和人类生活废水的直接排放,过量消耗了水体溶解氧,水生生物与溶解氧之间和有机污染物与溶解氧之间两对矛盾的性质由量变到质变,由非对抗性矛盾转变为对抗性矛盾,由次要矛盾上升为主要矛盾,并且将溶解氧从次要矛盾的次要方面上升为主要矛盾的主要方面<sup>[24]</sup>,并因为缺氧可能造成生态系统净化功能减弱,甚至生态系统崩溃而成为“黑臭水体”。因此,“生态活水”治水关键是保障溶解氧均衡充裕供给,缓和其与水生生物之间和

其与水体污染物之间对抗性的矛盾冲突,恢复并保持稳定的自然净化能力。

### 3.3 “生态活水”治水的“氧债”理论

水体中大量有机污染物可能因溶解氧未及时足量供应而处于待氧化分解状态,便形成了“氧债”。这些未及时氧化分解的有机污染物,日积月累沉积在水体底部成为黑臭淤泥,并成为主要“氧债”源。水体黑臭的实质是“氧债”累积量远远超出供氧能力,导致溶解氧供求失衡而“破产”,造成生态系统崩溃。同时,由于“气”“水”比重差异,形成“氧往高处走,水往低处流”。而光合作用产氧和一般机械方式充氧、增氧主要增加的是水体中上层溶解氧,无法将溶解氧输送到黑臭淤泥(氧债)集中的水体底层;只有在夜晚或降温降雨降雪后,表层水温降低导致表层水密度加大,形成水体垂直交流,才有可能将中上层溶解氧捎带到水体底层,偿还长期积欠的“氧债”。在自然状态下,阴雨天气和夜晚都是水体垂直交流最为剧烈的时间,同时又是光合作用停止,溶解氧来源最少的时段;如果水底淤泥沉积过多,“氧债”积欠过大,水体垂直交流可以在短时间内耗尽水体溶解氧,造成水体生态系统崩溃而“黑臭”。一般情况下,人工充氧(增氧)很难送达水体底层偿还“氧债”;化学增氧也只是在短时间内偿还部分“氧债”。一遇暴雨便带动底泥泛起爆发性偿还“氧债”时,便可能使水体溶解氧归零而使生态系统崩溃。“生态活水”治水焦点集中在水体生态系统修复上,通过足量投放强氧化型生化产品,快速还清水中和淤泥表层积欠的“氧债”,并在底泥表层形成氧化还原层,阻断下层污染物释放。同时利用活水机将人工充氧(增氧)与光合作用等产生的溶解氧源源不断送达水体底层,及时偿还积欠的“氧债”,防止“氧债”累积造成水体溶解氧“亏空”,而重返“黑臭”。

### 3.4 “生态活水”治水的“活水”理论

黑臭水体即便彻底清除黑臭淤泥后,随着新的污水排放又会产生淤泥,往往黑臭水体清淤不到一年甚至数月后,便重返“黑臭”<sup>[25]</sup>。如何消除水体因雨水及其他地表水持续带入有机污染物形成“氧债”累积,便是黑臭水体的治本之策。“生态活水”在自然状态下直观为“绿水”。“生态活水”治水就是创建“微生态系统”造就水体强劲的自然净化能力,并通过活水机形成全水体微速循环水流,对水体污染物实现“四维”全时空(即全水体、全时段、全天候)持续净化的治水方式。首先,必须通过活水

机将光合作用产氧(这是水体溶解氧来源的主渠道)及其他方式增加的溶解氧持续不断地输送到水体底层,及时清除不断产生的“氧债”;同时又将底层有机污染物及其氧化分解成的营养盐转运到水体上层。其次,有机污染物降解以好氧有益菌充分参与分泌多样化催化酶而加速,而好氧有益菌降解有机污染物又以溶解氧供给为条件,并以溶解氧及时足量供给而保证有机污染物降解过程变得更加彻底,避免产生有毒有害的氨氮、硫化氢等中间还原产物,有利于水生生物的回归。另外,还须通过适量引水或补水,修复并健全多样化生物构成的水体生态系统,进一步提升水体自然净化能力<sup>[26]</sup>。综上所述,“生态活水”治水就是通过活水机造就微速循环流水,带动投放的有益菌、溶解氧和水体有机污染物向全水体输送,以增加三者之间相互作用的几率和程度,实现三者之间充分、深入、频繁地相互作用,达到对有机污染物快速、全面、彻底净化,并及时将转化成的氮、磷等营养盐运送到水体上层供给植物光合作用利用,从而加快了水体能量转换与物质循环过程,以水体垂直交流促进新陈代谢,造就活力强劲的“生态活水(绿水)”,形成可持续的水体高效自然净化能力。

## 4 “生态活水”治水机理与战略价值

氧债是黑臭之源,生态是治水之本,活水是治水之机。国务院“水十条”提出了“到 2020 年,地级及以上城市建成区黑臭水体均控制在 10% 以内,到 2030 年,城市建成区黑臭水体总体得到消除”的水污染控制性目标<sup>[27]</sup>。传统黑臭水体治理投资规模大、运行成本高、治标不治本、返黑返臭周期短,给地方财政带来了沉重负担。“生态活水”治水通过投放足量系列微生态制剂,快速造就具有强劲净化功能的水体微生态系统,逐步恢复多样性生物构成的完整生态系统并维持稳定性,达到快速持续治理污水的目的。

### 4.1 快速底层增氧,彻底清除底泥积欠“氧债”,快速复氧,治水效率高

黑臭水体主要耗氧源(氧债)是底泥耗氧,底泥约占黑臭水体总耗氧量的 60% ~ 90% 以上。快速彻底清除水体底泥“氧债”,是恢复黑臭水体生态系统的前提。“生态活水”治水通过机械活水和生物化学制剂,快速增加水体下层及底泥表层溶解氧,清除水中和底泥表层累积的“氧债”,在底层表层形成一定厚度的氧化还原层,造就有利于底栖微

生物、底栖动物及水生植物生长发育的土壤环境;同时,这个氧化还原层隔绝了底泥中下层有机污染物(氧债)继续向水中释放,赐除了这部分积欠“氧债”,减轻了水体偿还“氧债”的压力,避免了因天气剧烈变化爆发性偿还这部分“氧债”,促进水体生态系统(核心是微生态系统)快速恢复并保持稳定,快速消除水体黑臭现象。这是“生态活水”治水的首要措施。

### 4.2 使用高性能微生态制剂恢复生态系统净化污水,标本兼治,设备投资省,治水效果好

“生态活水”治水是恢复并利用水体生态系统净化污水,毋须繁杂的设备投资,每公顷黑臭水体治理设备只须投资 6 万 ~ 10 万元,是节地、节水、节电的污水治理方式。黑臭水体在自然状态下复氧后恢复生态系统与自然净化能力是一个极其缓慢的过程,少则十天、半月,多则数月。“生态活水”治水是在溶解氧稳定供应和足量投放高活力系列微生态制剂的前提下,借助机械活水作用,形成包括好氧有益菌、兼性有益菌、喜光性有益菌,以及底泥附着型有益菌等系列有益菌和水体原生态浮游动、植物共同组成的、污染物净化功能强大的微生态系统。“生态活水”治水可以在短时间内(3 ~ 5 d)迅速造就“生态活水(绿水)”,形成强大持续生态净化能力,并抑制蓝藻的繁殖。同时,适当引水补水,栽植水生维管束植物,还可投放定向培育的优良浮游藻种,健全多样化生物构成的水体生态系统,提升水体整体活力与自净能力,黑臭污水经 15 ~ 20 d 治理,水质达地表水Ⅲ类标准。与当前国内外黑臭污水治理方式相比,具有明显的效率优势和成本优势,处于世界领先地位。

### 4.3 适时适量补氧、补菌、补水,维持水体强大的自净能力,治水成本低,有利长效管理

治理后污染水体具有稳定的生态系统和水质净化能力。无论水体中各类生物产生的废弃有机物污染,还是一定量的外源有机污染物排放,都可以利用其自身净化能力予以降解。需要指出的是,当天气连续阴雨或有大量外源有机污染物排放时,在可能造成溶解氧来源大量减少的同时,又会使耗氧量快速增加,造成水体溶解氧入不衍出而导致生态系统崩溃而重返黑臭。

恢复生物多样性生态系统不仅进程缓慢,而且成本昂贵,需要付出维持生态系统的数十倍甚至上百倍的代价,因此,必须做好治理后水体生态系统的维持工作。做到密切注意天气变化、周边水体水

文波动和污水排放等情况,及时调整增氧强度,弥补因水体产氧减少或耗氧增加等造成的溶解氧缺口,保障水体溶解氧供求平衡并略有剩余。同时,及时适量补充衰竭消减的有益菌,保持水体有益菌活力和适当密度(浓度),并定期引进外源好水,引入活力充沛的浮游动植物及其他水生动物品种<sup>[28]</sup>,保持水体生态系统完整性和污染物净化能力。每公顷污染水体维持年投入仅3万~5万元。

#### 4.4 活水机械在“生态活水”治水中的关键作用

然而,建立水体生态系统(主要是微生态系统)只是造就了净化污水的生态主体,具备了污水净化的生态潜能。在自然水体中,这种污染净化潜能只是间隙性发挥作用。在占据一年中大多数的非降温降雨天气,水体上层温度总是高于底层,造成上层水密度(比重)总是小于底层水,这种因上下水层“温度差”形成的“密度差”成为阻碍水体垂直交流的“热阻力”,阻碍了生态系统(主要是微生态系统)对底层水和底部淤泥中污染物的净化。只是在少数降温降雨天气造就了垂直交流“密度流”后,水体才能发挥生态系统(主要是微生态系统)自然净化作用。所以,自然水体生态系统的污染净化功能只是局部空间和局部时间发挥作用,即在晴天白天在水体上层对水中污染物发挥净化作用,只有到夜间或降温降雨天气形成“密度流”后,好氧有益菌和溶解氧才能一起奔走水体底层,对下层水和底泥表层污染物发挥净化作用。而在此时,水体已失去或减少了溶解氧供给,生态系统的污染净化(氧化分解)功能必然受到水体溶解氧贮存量限制。鉴于水的热力学和光学特点,如何实现并持续保持水体上下水层之间垂直交流,是能否将水体生态系统(主要是微生态系统)污染净化潜能转化为治理污水现实效果的关键所在。据江苏省扬州水文局测定,活水机能造就全水体微速循环水流,表层流速为0.008~0.117 m/s,底层流速为0.005~0.061 m/s。这个流速既保证了水体上下水层之间的持续频繁交流,又不会将水底淤泥冲刷泛起,造成水质浑浊。“生态活水”治水借助于活水机械形成的全水体微速循环水流,带来了有益菌、溶解氧和污染物之间亲密接触、充分接触和频繁接触,实现了三者之间的紧密结合,达成了水体生态系统(主要是微生态系统)“四维”全时空(即全水面、全水层、全时段、全天候等组成)持续循环净化污水,这便是“生态活水”治水效率高、效果好的关键所在。采用“生态活水”治水是通过修复水体生态系统及其自然净化能

力,特定微生态制剂的使用还能有效抑制的蓝藻爆发,起到改善水面景观的作用;另外,在适宜的水体还可栽植苦草、轮叶黑藻、莲藕、茭白、菱角等沉水性、挺水性及浮叶性水生经济植物,既净化水质环境,又改善生态景观<sup>[29]</sup>,实现生态产业化,提高周围居民生活质量。

#### 参考文献:

- [1] 时习之. 存利去害颐养天年——解读《吕氏春秋·尽数》的养生思想[J]. 现代养生, 2008(10):18-21.
- [2] 陈琳. 半亩方塘考辨[J]. 艺苑, 2017(增刊1):29-31.
- [3] 中国社会科学院语言研究所词典编辑室. 现代汉语词典(第6版)[M]. 北京:商务印书馆, 2012.
- [4] 王充, 论衡. 诸子集成[M]. 长沙:岳麓书社, 1996.
- [5] 王建革. 江南“活水周流”的历史经验与现实对策[J]. 云南师范大学学报(哲学社会科学版), 2018, 50(5):71-81.
- [6] 刘晓玲, 徐瑶瑶, 宋晨, 等. 城市黑臭水体治理技术及措施分析[J]. 环境工程学报, 2019, 13(3):519-529.
- [7] 陈阿萍, 李瑞金, 颜亚琴, 等. 常州市城区河道清淤活水初探[J]. 长江技术经济, 2018, 2(4):63-67.
- [8] 李荣福. 活水基本理论与养殖水质调控[J]. 水产研究, 2018, 5(2):21-29.
- [9] 李荣福, 王守红, 孙龙生, 等. “活水”在水产养殖中应用研究[J]. 水产研究, 2019, 6(2):42-52.
- [10] 李荣福, 郭正龙, 孙龙生, 等. 微生态制剂与增氧活水机配合应用于河豚养殖增产增效机理的研究[J]. 水污染及处理, 2018, 6(1):24-37.
- [11] 李荣福, 王守红, 孙龙生, 等. “活水”应用于富营养化污水净化的研究[J]. 世界生态学, 2019, 8(3):172-181.
- [12] 李荣福, 孙龙生, 李章林, 等. “生态活水”治理黑臭水体的研究[J]. 环境保护前沿, 2019, 9(5):1-12.
- [13] 罗刚, 胡和平, 刘军, 等. 底泥生物氧化对黑臭河道上覆水体影响的研究[J]. 水利渔业, 2008(2):71-74.
- [14] 赵越, 姚瑞华, 徐敏, 等. 我国城市黑臭水体治理实践及思路探讨[J]. 环境保护, 2015, 43(13):27-29.
- [15] 林长喜, 吴晓峰, 曲风臣, 等. 我国城市黑臭水体治理展望[J]. 化学工业, 2017, 35(5):65-68.
- [16] 王旭, 王永刚, 孙长虹, 等. 城市黑臭水体形成机理与评价方法研究进展[J]. 应用生态学报, 2016, 27(4):1331-1340.
- [17] 姜青新. 构建城市水体整治长效机制切实改善水环

(下转第62页)

(上接第 57 页)

- 境质量 城市黑臭水整治新规解读[J]. WTO 经济导刊, 2015(11):78-79.
- [18] 李荣福. “氧债”基本理论与养殖水质调控[J]. 海洋科学前沿, 2018, 5(1):1-8.
- [19] 何志辉. 淡水生物学[M]. 北京:中国农业出版社, 1985.
- [20] 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京:科学出版社, 1999.
- [21] 董济军, 段登选. 浮动草床微生态制剂调控养殖池塘水环境技术[M]. 北京:海洋出版社, 2017.
- [22] 周德庆. 微生物学教程[M]. 北京:高等教育出版社, 2011.
- [23] 毛泽东. 矛盾论[M]. 北京:人民出版社, 1975.
- [24] 李秀林, 王于, 李淮春. 辩证唯物主义和历史唯物主义原理[M]. 北京:中国人民大学出版社, 1984.
- [25] 吴银彪, 郭建辉, 王晓玲. 河湖黑臭水体成因及治理思路[J]. 中国环保产业, 2018, 242(8):50-53.
- [26] 李荣福, 王守红, 孙龙生, 等. 水体富营养化生态分析与“活水”生态治理的研究[J]. 世界生态学, 2019, 8(2):90-96.
- [27] 王武. 鱼类增养殖学[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [28] 林培. 《城市黑臭水体整治工作指南》解读[J]. 建设科技, 2015(18):14-15.
- [29] 吴振斌. 水生植物与水体生态修复[M]. 北京:科学出版社, 2011.