

农村河湖污染与水生态环境保护研究

陈建军, 林郁 (广东环境保护工程职业学院, 广东佛山 528216)

摘要 目前,农村河湖受到严重污染,水域水质普遍较差,导致农村河湖水域水生态环境遭受破坏。对农村河湖水域污染的现状特征、治理河湖水污染的关键技术进行分析,并从选择好处理技术和政策管理优化方面对农村河湖水生态环境保护提出相应的对策,以促进农村河湖水生态环境保护提升。

关键词 农村河湖;污染;水生态环境保护

中图分类号 X 522 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)15-0060-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.15.018



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Pollution of Rural Rivers and Lakes and Protection of Water Eco-environment

CHEN Jian-jun, LIN Yu (Guangdong Vocational College of Environmental Protection Engineering, Foshan, Guangdong 528216)

Abstract At present, rural rivers and lakes are seriously polluted, and the water quality is generally poor, resulting in the destruction of the water ecological environment of rural rivers and lakes. This paper analyzed the current characteristics of pollution in rural rivers and lakes and the key technologies for controlling river and lake water pollution, and proposed corresponding countermeasures for rural rivers and lakes water ecological environment protection from the aspects of selecting good treatment technology and policy management optimization, and promoting rural rivers and lakes water ecological environment protection.

Key words Rural rivers and lakes; Pollution; Water eco-environment protection

截至目前,我国有 60 多万个行政村,近 8 亿农民生活在农村。《中共中央国务院关于实施乡村振兴战略的意见》(中发[2018]1 号)提出了实施农村人居环境整治 3 年行动计划,以农村垃圾、污水治理和村容村貌提升为主攻方向,整合各种资源,稳步有序推进农村人居环境突出问题治理^[1]。我国农村生活垃圾和生活污水随意倾倒、排放,对农村水生态环境造成了严重污染。农村小企业、家禽养殖户和屠宰场等将大量的污水排入河湖,造成严重污染,致使农村的河湖保护成为巨大难题。据调查显示,全国约有 90% 以上的村庄并没有污水管网以及污水处理系统,致使农村水资源污染进一步扩散^[2]。点多面广的农村污水已成为河湖、土壤、地下水的重要污染源。农村河湖水环境受到严重污染,直接影响到农村的水生态环境。笔者就农村河湖水生态环境现状问题,探索今后如何做好农村河湖水生态环境保护工作。

1 农村河湖污染特征

农村河湖是农村水利的重要部分,既是农田灌溉的水

源,又是农村的行洪排涝设施。我国农村生活污水基本都不经过任何处理,直接排入就近河湖中或地下,因此造成了很大的污染。由于农村大部分村庄没有排污管网,农村河湖成为农村生产、生活废弃物的纳污地。据估计,来自农村的面源污染约占河流和湖泊营养物质负荷总量的 60%~80%^[3]。

1.1 农村河湖污染的复杂化 随着农村生活水平提高、农业经济发展,农业生产、生活、工业企业生产的污染物大量排放,农村河道水环境不断恶化,危及广大群众的饮水安全。农村污水大致可分为 3 种类型,即日常生活类、生产类和养殖类。无论是哪种类型的污水处理不当,必给农村水生态环境造成破坏。城镇化程度较高的农村地区,其污水还包括工业、企业排放污水^[4]。全国各地农村污水排放量及水质情况如表 1 所示,可以看出东北地区污水人均排放量较南方地区少,但污染物浓度较高;东南地区工农业生产发达,农村生活污水的排放量较高,氮磷浓度较高;西北地区污水人均排放量较南方地区少,污染物浓度偏低^[5]。

表 1 我国各地区农村生活污水水量及水质特征

Table 1 Characteristics of rural domestic sewage water quantity and water quality in various regions of China

地区 Area	污水排放量 Sewage discharge L/(人·d)	pH	SS mg/L	COD _{Cr} mg/L	BOD ₅ mg/L	NH ₃ -N mg/L	TP mg/L
东北 Northeast	14~95	6.5~8.0	150~200	200~450	200~300	20~90	2.0~6.5
东南 Southeast	30~150	6.5~8.5	100~200	150~450	70~300	20~50	1.5~6.0
华北 North China	18~72	6.5~8.0	100~200	200~450	200~300	20~90	2.0~6.5
西北 Northwest	10~70	6.5~8.5	100~300	100~400	50~300	3~50	1.0~6.0
西南 Southwest	15~120	6.5~8.0	150~200	150~400	100~150	20~50	2.0~6.0
中南 Central South	28~126	6.5~8.5	100~200	100~300	60~150	20~80	2.0~7.0

1.1.1 日常生活类污水。日常生活类污水基本上为洗衣

水、洗菜水、厕所水和厨房洗刷水等,污水氮和磷的含有量较高,重金属及有害、有毒物含量较低。随着农村生活水平的不断提高,农村的生活垃圾渗滤液污染了河湖水和地下水等水环境,导致农村地区水生态环境恶化。目前,在农村污水

作者简介 陈建军(1982—),男,湖北荆州人,工程师,硕士,从事环境工程技术研究。

收稿日期 2019-05-03

排放中某些农户虽然在房屋修建和改造过程中建有三格式化粪池,但其排放设施十分落后,且多以土壤渗透为主,致使周围的地下水受到严重污染;其次随着农村家庭普遍使用冲水厕所,致使污废水在没有经过任何处理的情况下就进入灌渠^[2]。

1.1.2 生产类污水。生产类污水大多来自于农业生产中使用的农药和化肥,此类污水有毒物质较多,是农村污水处理工作中的重点内容。在现代农业生产中,化学肥料、农药的大量使用,造成对地表水、地下水的污染,湖泊富营养化。例如农药大量使用,对河湖水体造成污染主要表现在:农药通过雨水或灌溉水向河湖水体迁移;大气中残留农药随风漂移沉降或随降雨进入河湖水体;施药工具和器械的清洗进入河湖水体等。污水灌溉已经成为农村水环境恶化的主要原因之一,大量未经处理污水直接用于灌溉,已经造成土壤、作物及地下水水环境的严重污染,直接危害着农业灌溉区的河湖水体环境安全。

经济发展带来了乡镇企业的蓬勃发展,带动了农村小城镇的兴起。由于乡镇企业治污、防污等设施建设跟不上,许多乡镇企业生产过程中产生的废水未经处理直接排向河湖,使得周边水环境受到严重污染。大量杂乱堆放的工业固体废物、生活垃圾又对河湖水和地下水产生了二次污染。

1.1.3 养殖类污水。主要为养殖动物所产生的污水,此类污水具有较高的氨和氮。随着城乡人民生活水平的提高,人们对肉类消费需求向猪、牛、羊及家禽等多元化方向发展。改革开放以来,农村畜禽养殖业得到迅速发展,各乡镇及城郊区建立了一大批养殖场。农村地区兴办的养殖场由于资金、技术的缺乏,导致畜禽粪便废弃物的排放处理措施和设施设备跟不上。在一些排水系统中,多采用明沟排水,并缺乏科学的设计,以至于畜禽粪以及农药化肥等污染源流入沟渠^[2]。因此带来了畜禽粪便污染问题,导致农村地区水生态环境恶化。有资料表明,1头牛相当于22人造成的污染,1头猪相当于7个人造成的污染,养殖污染问题严重威胁着群众饮用水安全^[3]。

1.2 农村河湖污染的富营养化及黑臭 农村河湖是农村生态系统的的重要组成部分。但农村经济发展的进程打破了原有生态系统的平衡,因而也必然对农村河湖诱发出多种潜在威胁。我国农村污染不仅造成乡村环境的恶化,而且是河湖富营养化的主要原因之一。农村河湖富营养化指的是河湖水体中N、P等营养盐含量过多而引起的水质污染现象,从而导致农村河湖水体生态系统物种分布失衡,使整个河湖水体生态系统逐渐走向灭亡。人为排放含营养物质的生产废水和生活污水所引起的河湖水体富营养化可以在短时间内出现。河湖水体中过量的氮、磷等营养物质主要来自生活污水、家畜家禽粪便以及农药化肥等,其中最大的来源是农田上施用的大量农药化肥。现代农业生产中大量使用化肥、农药,在很大程度上污染了农村河湖水体环境。农药、化肥在土壤中残留,同时不断地被淋溶到周围环境,特别是河湖水体中,其中所含的氮、磷就导致了河湖水体富营

养化。此外,屠宰场和畜牧场也会含有较多氮、磷的废水进入水体等。

农村河湖水中COD、N、P物质含量丰富,成为导致河湖水体黑臭的主要原因。农村河湖中含氮、磷废水的排放导致藻类暴发,引发水体景观功能下降,藻类释放毒素,水体缺氧,鱼类死亡,均会使水体功能丧失。水生动植物因缺少适宜的生长环境,物种大量减少,生态平衡遭到破坏,生态自净功能基本丧失。水流缓慢的农村河流环境容量小,易于遭到破坏和恶化,缺乏优质水补充,水体置换率低下,长期蓄积导致河水发黑发臭,河底淤泥累积。

对于河湖水体富营养化及黑臭治理,不同地区采用不同的物理、化学、生物方法对其进行预防、控制和修复,并且取得了一定的成效。

2 农村河湖水生态环境保护对策

2.1 选择好处理技术 农村污水成分并不复杂,主要成分为磷、氮、有机物等,通常污水中没有重金属以及其他有毒物质。目前,我国农村污水处理模式主要有3类:接入市政管网模式、集中联片收集模式和单独分散收集模式。农村污水处理技术的选择应考虑到地区水环境污染程度、经济发展水平等差异。

2.1.1 物化处理技术。物化处理技术虽有一定效果,但采用化学物质易造成二次污染。污水的物化处理技术主要有混凝、反渗透、电渗析、离子交换、吸附、气浮等^[6]。适用于农村的只有混凝技术,混凝是指通过某种方法(如投加化学药剂)使水中胶体粒子和微小悬浮物聚集的过程。混凝技术可以有效去除无机磷、胶体物质、金属离子和悬浮物,主要在化学除磷或生态处理系统的前处理措施中运用混凝技术。

2.1.2 生物处理技术。生物处理技术指通过微生物在好氧或厌氧条件下分解吸收污水中的有机物、氮和磷,亦称废水生物化学处理法,简称废水生化法,分好氧生物处理法和厌氧生物处理法2种。技术已相对成熟,处理效果也比较理想,但运行管理相对复杂,费用较高。

2.1.2.1 好氧生物处理技术。好氧生物处理是借助动力将氧气提供给污水,借助好氧微生物菌种对污水中的有机物进行消耗、分解和吸收,让其变得没有危害的一种方法。主要有2种类型,一是活性污泥法,二是生物膜法。其中,活性污泥法常见的有AO、AAO、SBR和氧化沟等,生物膜法常见的有生物滤池、生物转盘、生物接触氧化法和生物流化床法等。考虑农村污水的分散性特点,比较适合的是生物膜法,该方法运行成本较低,方便看管,维护也较容易。

2.1.2.2 厌氧生物处理技术。厌氧生物处理技术是在厌氧条件下,形成了厌氧微生物所需要的营养条件和环境条件,通过厌氧菌和兼性菌代谢作用,对有机物进行生化降解的过程。主要是利用厌氧微生物的代谢活动将有机物转化为 CH_4 和 CO_2 等,厌氧过程不需要借助人工对其供氧,使能耗有效降低。厌氧处理方法主要有厌氧生物膜、厌氧消化法等^[7]。该技术不需要进行曝气充氧,并且产泥量少,成本低,容易管理,适用于农村生活污水的处理。

2.1.3 生态处理技术。生态处理技术是利用土壤-植物-微生物复合系统共同作用的原理,通过利用自然界的生物链,实现污染源在不同物种之间的吸附、截留、存贮、转化等功能,来处理自然界的污染物或者污染源,既达到生态平衡,又达到净化环保作用。利用土壤-植物-微生物复合系统,通过过滤、吸收和分解作用使污水得到净化。常用方法有人工湿地、氧化塘和土壤渗滤等。上述处理方法推广应用造价低,处理效果良好,运行简便,可广泛适用于农村地区。

2.1.3.1 人工湿地。人工湿地是由人工建造和控制运行的与沼泽地类似的地面,将污水有控制地投配到经人工建造的湿地上,污水在沿一定方向流动的过程中,主要利用土壤、人工介质、植物、微生物的物理、化学、生物三重协同作用,对污水进行处理的一种技术,其作用机理包括吸附、滞留、过滤、氧化还原、沉淀、微生物分解、转化及各类动物的作用。常见的人工湿地有表面流人工湿地、潜流人工湿地和垂直流人工湿地等。人工湿地污水处理技术是借助人工水生态系统中多级生物的稀释降解作用将水中污染物去除或减少的一种方法。

人工湿地处理系统工程基建和运行费用不高、运转维护管理方便、工艺设备简单,净化水质较好。在常规工艺中,人工湿地投资和运行费用所占份额不高。在技术人才缺乏、能源短缺和资金少的乡村和中小城镇较为适用。人工湿地在农村地区的使用效果也优于传统污水处理厂,不存在二次污染。人工湿地处理系统具有缓冲容量大、处理效果好、工艺简单、投资省、运行费用低等特点,非常适合农村的污水处理。在人口密度较低、污染排放较少的农村地区,该处理设施充分利用农户住房周边的地形特点,因地制宜、实施简单,可造在住宅旁的空地上,也可利用水塘以及公园的景观池改造,规模可大可小,可以二三十户家庭共用一块,也可以一户人家造一块,投资少,维护方便,且占地面积小。人工湿地以水生植物水生花卉为主要处理植物,在处理污水的同时还具有良好的景观效果,有利于改造农村环境。

2.1.3.2 氧化塘。氧化塘是一种利用天然净化能力对污水进行处理的构筑物的总称,其净化过程与自然水体的自净过程相似,主要是借助菌藻的共同作用对废水中的有机污染物进行处理。按照塘内微生物的类型和供氧方式来划分,氧化

塘可以分为厌氧塘、兼性塘、好氧塘、曝气塘。通常是将土地进行适当的人工修整,建成池塘,并设置围堤和防渗层,依靠塘内生长的微生物来处理污水。氧化塘污水处理系统具有基建投资和运转费用低、维护和维修简单、便于操作、能有效去除污水中的有机物和病原体、无需污泥处理等优点。氧化塘在农业、畜牧业、养殖业等行业的污水处理中也得到了越来越多的应用。特别是在我国西部地区,人少地多,氧化塘技术的应用前景非常广泛。氧化塘工程造价非常低,几乎不用进行太多的维护管理。最近几年氧化塘处理污水处理已成为我国大力推广应用的高新技术。

2.1.3.3 土壤渗滤。土壤渗滤处理系统是一种人工强化的污水生态工程处理技术,它充分利用在地表下面的土壤中栖息的土壤动物、土壤微生物、植物根系以及土壤所具有的物理、化学特性将污水净化,属于小型的污水土地处理系统。土壤渗滤处理系统的类型主要有慢、快速渗滤系统、地表漫流系统及地下渗滤系统。较适合农村污水处理的是地下渗滤系统,优点是该系统布水设施埋地下对地面景观不会造成破坏且天气变化对其影响小,缺点是如果没控制好负荷和做好防渗工作,容易造成堵塞和地下水污染。

由于农村地区经济发展水平相对较低,难以承担大规模的城镇基础设施建设投资的要求,因此选择高效、低耗、廉价、操作简便的处理方法是应重点考虑的问题。随着农村污水处理工艺形式的多元化,处理技术的选取还应该因地制宜,尤其是遵循简便高效、低投资、低能耗的理念。因此可以实施多种工艺的组合模式,组合处理技术可以2种及以上处理技术的结合或某一种技术系统内部不同工艺形式的结合。目前有人研究的工艺组合包括生物+生物处理组合^[8-9]、生态+生态处理组合^[10-11]、生物+生态处理组合^[12-13]。基于农村污染的特征和复杂性,实施起来应该机动灵活的规划、调研、试验。每种技术都有各自的特点,借助组合工艺可以进一步提高系统处理效能。滕少香等^[5]推荐农村污水处理的工艺如表2所示,农村污水处理工艺的性能比较如表3所示,由表3可知,4种工艺的COD_{Cr}去除率、TN去除率、TP去除率不尽相同。农村污水处理设施应做到设备简单、维修方便,应尽量采用工艺流程短、抗冲击负荷能力强、运行费用低的工程形式。

表2 农村污水处理的推荐工艺

Table 2 Recommended process for rural wastewater treatment

序号 No.	处理规模 Processing scale	推荐工艺 Recommended process	适用范围 Scope of application
1	户级(1.5~3.0 m ³ /d)	三格化粪池+人工湿地(含农田)	不易集中收集处理的分散性农户
2	户级(1.5~3.0 m ³ /d)	化粪池+厌氧生物处理单元(厌氧生物膜池)+自然生物处理单元(人工湿地、稳定塘等)	年平均温度高于10℃,有可利用土地的农户
3	户级(1.5~3.0 m ³ /d)	调节池+生物处理工艺(生物接触氧化池)	没有可利用闲置土地或可用闲置土地极少的散户,且对排水水质要求较高的地区
4	村级(10~1 000 m ³ /d)	调节池+生物处理单元(生物接触氧化池、生物转盘、生物滤池等)	可利用闲置土地有限的地区
5	村级(10~1 000 m ³ /d)	调节池+生物处理单元+自然生物处理单元(人工湿地、稳定塘、土地慢滤等)	对出水水质要求高,有可利用闲置土地的地区

表 3 农村污水处理工艺比较

Table 3 Comparison of rural sewage treatment processes

序号 No.	工艺名称 Process name	处理效果 Processing effect	建设费用 Construction cost 元/(m ³ ·d)	运行费用 Operating expenses 元/(m ³ ·d)
1	人工湿地处理系统	COD _{Cr} 去除率约 80%;TN 去除率约 50%;TP 去除率约 85%	600~800	0.15
2	稳定塘处理系统	COD _{Cr} 去除率约 75%;TN 去除率约 90%;TP 去除率约 90%	800~1 300	0.10
3	土地渗滤处理系统	COD _{Cr} 去除率约 80%;TN 去除率约 90%;TP 去除率约 90%	600~1 300	0.20
4	好氧生物处理系统	COD _{Cr} 去除率约 85%;TN 去除率约 90%;TP 去除率约 90%	600~800	0.40

2.2 政策管理优化

2.2.1 增强农村水生态环境保护宣传。平均文化程度较低、经济收入较低的农村居民相对而言具有着较低的生态保护需求,对生态保护的重要性欠缺认知与重视。在农村水生态环境保护宣传方面,必须开展环保重要性以及普法宣传,以及通过提供专家咨询来提高农村居民在水生态环境保护工作中的参与性。强化农村居民对水生态环境政策的了解以及调动农村居民在水生态环境保护中的参与积极性是确保我国农村水生态保护工作有效开展的基础。政府环保部门必须要求农村实行水生态保护信息公开制度,且需要在沟通与交流方面体现出人性化,从而让农村居民认识到参与到农村水生态环境保护以及监督工作中是对自身利益的维护。

2.2.2 加大农村水生态环境保护财政投入。我国在农村水生态环境保护方面给予了越来越高的重视,各级财政也加大了农村水生态环境保护财政投入力度来解决农村垃圾、生活污水、水源地保护以及畜禽养殖污染治理等问题。然而从整体规模来看,我国在农村生态保护方面所进行的财政投入力度仍旧有待加强。由于农村水生态环境保护工作具有着明显的公共性特点,所以政府应当作为农村水生态环境保护资金投入的重要主体。在当前农村生态保护中,对于个人或者规模较小群体所引发的污染如工业的污染以及农药、化肥等物质的过度使用等,应当遵循谁污染谁付费或者谁污染谁治理的原则,并通过构建奖惩机制来对这些行为进行约束。财政投入是农村生态保护的重要支撑,所以政府环保部门应当在对财政政策做出创新的基础上来改善农村生态保护资金供给欠缺的情况。对于经济能力一般或者较差的农村地区,政府环保部门还可以通过与其他部门的联合来以环保项目为基础增加社会岗位,让农村居民在开展生态保护的过程中获得实际利益。

2.2.3 加强农村水生态环境保护工作监督。各级政府以及环保部门对农村水生态环境保护相关规划不能很好落实是制约农村水生态保护工作成效提高的重要因素。在农村生态保护管理体系的构建中,一是有必要构建垂直的环保机构管理体系,确保农村生态保护工作经费以及强化农村生态保护工作人员管理与培训基础上构建具有高素质、高效率的农村生态保护工作队伍;二是有必要实行生态保护目标责任制度,通过明确督查、调度以及考核等各项工作制度来对农村生态保护工作做出领导与规范;三是有必要构建农村生态保护考核机制,有必要明确并落实环境保护部门以及各级政府在农村生态保护中的责任,并对责任制度进行完善,通过将

农村生态保护具体化并进行贯彻以确保农村生态保护取得良好成效。

2.2.4 优化运营管理体制。农村污水处理运营方式总体上应以政府宏观控制为主,统一监管,将治理责任落实到具体组织,并制定落实好奖罚机制。分散式污水处理设施可实行“自用、自管”的管理方式。各基层主管部门要分期、分批对管护人员开展知识技能培训。农村污水处理系统应定期检测,从收集到排放全流程从严控制。

3 结语

综上所述,农村河湖的水生态环境是影响农村经济长远发展的主要因素,注重河湖水生态环境保护已成为农村发展的重点。农村污水是面源污染的重要来源,严重破坏农村地区的河湖水体、土地等自然环境,为确保农村水源安全,农村污水治理刻不容缓。农村污水处理是城镇化建设中迫切需要解决的水生态环境保护及综合治理问题,选择处理技术时应根据具体情况进行适宜性分析。农村经济相对落后,管理维护相对较难,选择污水处理技术时应尽量注意结构简单、造价低廉、维护简便、绿色节能的方法。选择好处理模式和运营管理体制,从而有效治理水污染,保护好农村河湖水生态环境。

总之,农村河湖水生态环境已经成为我国水环境整治的新阵地,而且落实农村污水治理工作也是建设社会主义新农村的需要保障。当然不可否认的是我国农村数量众多,而且地域和经济差异具有很大的区别,为此在处理模式的选择方面应该加大投资力度,并依据村落的布局,灵活组合并开发处理技术,结合当地经济承受能力,高度重视技术创新,最终实现我国农村地区的水生态环境效益。

参考文献

- [1] 郝日远,马宁,刘操,等.北京市农村生活污水治理适宜模式研究[J].北京水务,2019(1):20-24.
- [2] 薛悟鑫,李宇航.农村生活污水绿色处理技术研究[J].赤峰学院学报(自然科学版),2018,34(12):94-96.
- [3] 张华帅.新农村建设中水生态环境的研究:以抚宁县为例[J].中国环境管理干部学院学报,2014(2):34-36.
- [4] 潘碌亭,吴坤,杨学军,等.我国农村污水现状及处理方法探析[J].现代农业科技,2015(5):223-225.
- [5] 滕少香,韩雯雯,赵亭月.农村污水处理技术要点探讨[J].中国资源综合利用,2018,36(3):61-63.
- [6] 张晓丽,杨银梅.我国农村生活污水治理技术现状及进展[J].中国化工贸易,2017,9(21):105-106.
- [7] 罗涛,齐鲁,杨雅琼,等.我国农村污水处理的技术问题及对策研究[J].建设科技,2017(1):45-47.
- [8] 高蓉菁,闵毅梅.厌氧滤床-接触氧化工艺净化槽处理太湖流域分散性生活污水的可行性研究[J].环境工程学报,2007,1(11):59-63.

人工湿地技术协同作用下能有效控制和消除蓝藻。

表3 贡湖湾人工湿地地区蓝藻生物量消除率

Table 3 Biomass elimination rate of *Cyanobacteria* in Gonghu Bay constructed wetland

试验时间 Test time d	蓝藻密度 <i>Cyanobacteria</i> density 万个/L	消除率 Elimination rate//%
0	12 800.0	-
2	10 490.0	18.0
4	5 200.0	59.4
6	2 745.0	78.6
8	936.0	92.7
10	220.0	98.3
12	20.0	99.8
14	18.6	99.8

注:原人工湿地蓝藻密度为19.8万个/L

Note:The density of *Cyanobacteria* in the original constructed wetland was 198 000 per liter

(3) 多层次生物操纵技术增强了人工湿地的生态功能,结合人工湿地的特征,形成“生物操纵技术+人工湿地技术”有机结合的方法来控制蓝藻,为解决贡湖湖滨带内蓝藻提供了一种安全有效的手段。

参考文献

- [1] 秦伯强,胡维平,陈伟民,等.太湖水环境演化过程与机理[M].北京:科学出版社,2004.
- [2] BURKERT U, HYENSTRAND D, DRAKARE S, et al. Effects of the mixotrophic flagellate *Ochromonas* sp. on colony formation in *Microcystis aeruginosa*[J]. *Aquatic ecology*, 2001, 35(1): 9-17.
- [3] QIN B Q, XU P Z, WU Q L, et al. Environmental issues of Lake Taihu, China[J]. *Hydrobiology*, 2007, 581(1): 3-14.
- [9] 谢晴,张静,麻泽龙,等. A²/O-MBR 工艺在农村生活污水处理中的示范[J]. *环境工程*, 2016, 34(7): 38-41, 87.
- [10] 李松,单胜道,曾林慧,等. 人工湿地/稳定塘工艺处理农村生活污水[J]. *中国给水排水*, 2008, 24(10): 67-69.
- [11] 蒋跃,韩姗姗,徐春燕. 生态浮床与潜流湿地组合工艺对生活污水净

- [4] 李敦海,汪志聪,秦红杰,等. 蓝藻水华的拦截和陷阱捕获综合控藻技术研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(Z2): 45-50.
- [5] CHEN S Y, WU Z M, YU W B, et al. Formation, harmfulness, prevention, control and treatment of waters eutrophication[J]. *Environ Sci Technol*, 1992(2): 11-15.
- [6] 武燕杰,万红友,阙灵佳. 湖泊富营养化的生物修复及其展望[J]. *环保科技*, 2008, 14(1): 45-48.
- [7] CHAPIN F S, BRAIN H W, RICHARD J H. Biotic control over the function of ecosystems[J]. *Science*, 1997, 277: 500-504.
- [8] 此里能布,毛建忠,黄少峰. 经典与非经典生物操纵理论及其应用[J]. *生态科学*, 2012, 31(1): 86-90.
- [9] 贾柏樱,马华. 生物操纵技术控制原水藻类的应用研究[J]. *中国给水排水*, 2017, 33(9): 11-15.
- [10] 王平,周少奇. 人工湿地研究进展及应用[J]. *生态科学*, 2005, 24(3): 278-281.
- [11] LIN Y F, JING S R, LEE D Y, et al. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system[J]. *Aquaculture*, 2002, 209: 169-184.
- [12] 于海燕,周斌,胡尊英,等. 生物监测中叶绿素 a 浓度与藻类密度的关联性研究[J]. *中国环境监测*, 2009, 25(6): 40-43.
- [13] WANG Z C, LI G W, LI G B, et al. The decline process and major pathways of *Microcystis* bloom in Taihu Lake, China[J]. *Chinese journal of oceanology and limnology*, 2012, 30(1): 37-46.
- [14] 李金,董巧香,杜虹,等. 柘林湾表层沉积物中氮和磷的时空分布[J]. *热带海洋学报*, 2004, 23(4): 63-71.
- [15] 陈聚法,赵俊,孙耀,等. 桑沟湾贝类养殖水域沉积物再悬浮的动力机制及其对水体中营养盐的影响[J]. *海洋水产研究*, 2007, 28(3): 105-111.
- [16] 郎宇鹏,朱琳,刘春光,等. 鲢鱼对淡水浮游植物的抑制作用研究[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(S2): 683-686.
- [17] 费志良,吴军,赵钦,等. 三角帆蚌对藻类滤食及消化的研究[J]. *淡水渔业*, 2006, 36(5): 24-27.
- [18] 林文周,李莹莹. 人工湿地在水体富营养化治理中的应用[J]. *环境保护工程*, 2012, 30(4): 98-100.
- [19] 李旭东,周琪,张荣社,等. 三种人工湿地脱氮除磷效果比较研究[J]. *地学前缘*, 2005, 12(S1): 73-76.
- [20] 侯长定,柯凡,侯易辰. 复合人工湿地净化抚仙湖入湖河水的效果研究[J]. *生态科学*, 2015, 34(5): 99-104.

(上接第 63 页)

- [9] 谢晴,张静,麻泽龙,等. A²/O-MBR 工艺在农村生活污水处理中的示范[J]. *环境工程*, 2016, 34(7): 38-41, 87.
- [10] 李松,单胜道,曾林慧,等. 人工湿地/稳定塘工艺处理农村生活污水[J]. *中国给水排水*, 2008, 24(10): 67-69.
- [11] 蒋跃,韩姗姗,徐春燕. 生态浮床与潜流湿地组合工艺对生活污水净

- 化效率研究[C]//2016 全国水环境污染控制与生态修复技术高级研讨会论文集. 北京:[出版者不详], 2016: 239-243.
- [12] 张佳琳,林方敏,罗勇,等. 厌氧-人工湿地:氧化塘用于华南农村污水连片整治[J]. *中国给水排水*, 2016, 32(12): 106-109.
- [13] 王翔宇. 安徽省农村生活污水典型处理工艺试验研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2015.