

# 生物强化技术在河道水体治理中的应用

汪玉娇 (重庆市潼南区生态环境监测站, 重庆 402660)

**摘要** 以琼江河潼南区小渡段为试验段,研究了以投加复合微生物菌剂为主、底泥曝气为辅的生物强化技术对水体中  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的降解效果。结果表明,对试验水体进行生物强化之后, $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的去除率分别达 51.72%、41.44%、52.38%,水质稳定达到《GB 3838—2002》地表水环境质量的Ⅲ类水标准。说明生物强化技术可以有效地解决自然水体中污染物含量超标、水环境状况差等问题,为河道水体治理提供新的思路。

**关键词** 生物强化;河道水体治理;微生物复合菌剂;底泥曝气

中图分类号 X 522 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)10-0062-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.10.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Application of Bioaugmentation Technology in River Water Treatment

WANG Yu-jiao (Chongqing Tongnan District Ecological Environment Monitoring Station, Chongqing 402660)

**Abstract** Taking the Xiaodu section of the Qiongzjiang River as an experimental section, this study analyzed the degradation effects of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP in water by bioaugmentation technology accompanying with sediment aeration. The results of this experiment showed that after taking bioaugmentation technology into water body, compared with the past, the water pollution was reduced. The removal rates of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP were 51.72%, 41.44% and 52.38%, respectively, and the water quality was stable to meet the Class III of the surface water environmental quality (GB 3838—2002). It illustrated that bioaugmentation technology could effectively solve the problems of excessive pollutant in natural water bodies and ameliorate the condition of polluted water. In short, bioaugmentation technology also provided a new idea of river water treatment.

**Key words** Bioaugmentation; River water treatment; Microbial preparation; Sediment aeration

目前,我国各大河道的主要污染指标是  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$  等,多呈现出以耗氧有机物、水体黑臭为主要特征的污染现象<sup>[1]</sup>。根据《2018年重庆市环境质量简报》<sup>[2]</sup>显示,嘉陵江流域中Ⅳ类、Ⅴ类和劣Ⅴ类水质断面分别有 11、3、4 个,主要污染指标为  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$  和 TP。我国河道虽然具有一定的污染共性,但又存在些许差异,这可能与不同的污染源有关。以重庆地区为例,綦江为长江上游南岸支流,因其受到城镇、农村污水和工业园区污水的影响,不同河段水质指标超标不同。其中,同一时段北渡断面以 TP 浓度超标为主;而温塘断面则以  $\text{NH}_3\text{-N}$  超标为主<sup>[3-4]</sup>。河道水体污染治理则需要结合具体实际,选用物理法、化学法及生物-生态法三大类进行治疗<sup>[5]</sup>。其中,生物-生态修复技术具有能耗低、无二次污染、效果稳定等优势,是当前城市河流生态修复技术的研究热点之一<sup>[6]</sup>。生物强化技术作为生物-生态修复技术的一种<sup>[7]</sup>,具有施工简便、见效快、应用广泛、对污染物进行彻底降解、无二次污染等优势<sup>[8]</sup>。生物强化技术中的微生物作用主体具有强大的生物代谢作用,在治理氮、磷等富营养物质及有机物污染的河道中常被选用。这些微生物摄取水中的有机污染物吸收进入胞内;并获取这些有机物质作为自身代谢营养源,呈指数性快速增长,逐步形成生态位,转变为优势优质微生物群落,以实现进一步代谢分解水中有机源;同时,在微生物投加过程中,依托外力扰动水体,能够提高水体中的溶氧量,促进耗氧有机物加速分解,从而降低水体中的有机物污染。此外,微生物代谢过程中能够分泌多种酶,促进水体中的氮磷等营养元素的生物转化。

笔者选取琼江河潼南区小渡段为研究对象,采用复合微生物菌剂投加为主、底泥曝气为辅的生物强化技术对水体进行净化,综合分析评价  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 等指标的变化规律,对其治理效果前后进行对比。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

**1.1.1 复合微生物菌剂。**所采用的复合微生物菌剂由重庆沐联环境工程有限公司提供,该复合菌主要由  $\text{COD}$  降解菌、硝化细菌、絮凝菌等按照一定比例复配而成,经上海量远检测技术有限公司检测,结果表明无毒无副作用且有效微生物浓度高达  $10^7$  CFU/mL。

**1.1.2 菌剂投加曝气组合船。**所用组合船兼具菌剂投加和移动曝气 2 种功能,可根据水体深度自行调节菌剂投加深度和曝气深度。通过曝气对水体底泥进行轻微扰动和富氧,使沉积在底泥中的污染物释放到水体中,同时投加复合微生物菌剂。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 试验水体概况。**试验段水体为琼江河潼南区小渡段,全长 12.7 km,平均宽度 40 m,深度 5~8 m,主要污染物来源于农业面源污染和生活污水散排。由图 1 可知, $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 含量经常性超过Ⅲ类水质量标准,DO 含量不足,3—5 月污染物浓度居全年最高。

**1.2.2 治理方法。**整个治理阶段分为期 1~30 d 的项目实施期和 31~60 d 的项目维护期。

(1)项目实施期。根据前期试验小试,复合微生物的投加量为 0.01‰,利用菌剂投加曝气组合船进行复合微生物投加。具体投加过程:将试验段分为 5 小段,平均每小段长度 2.54 km,通过曝气机进行底泥轻微扰动的同时加入复合微生

物菌剂,将菌剂均匀地投加到试验段水体和底泥中。

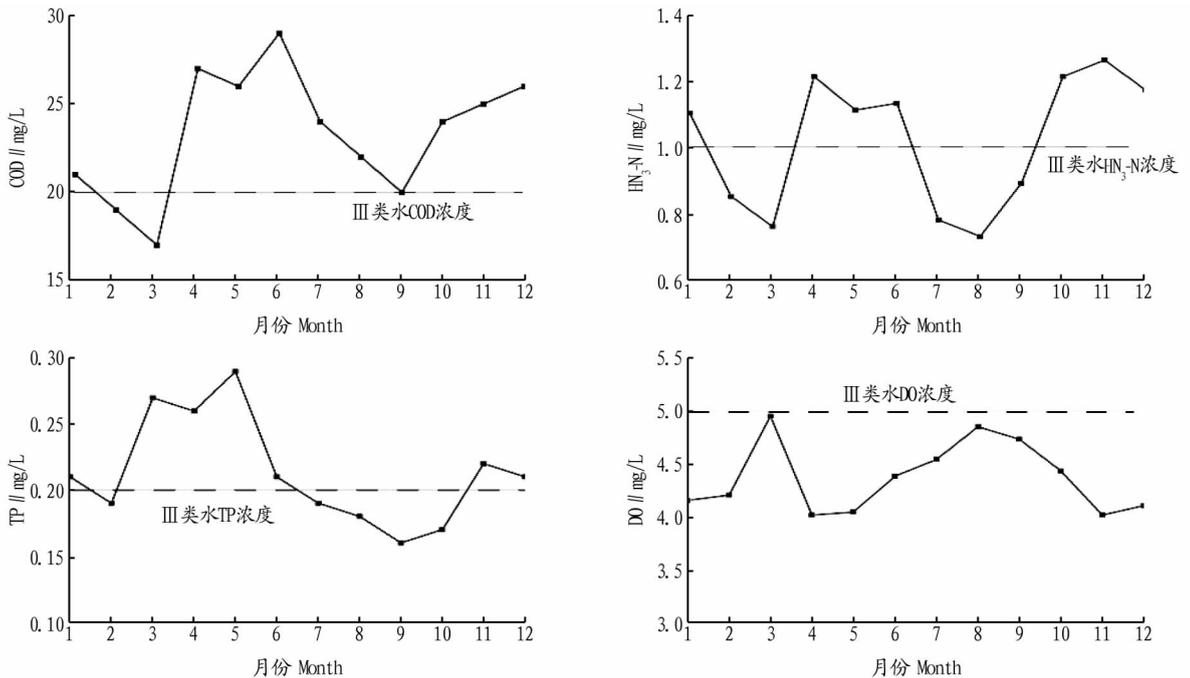


图1 2018年中和断面水质监测数据

Fig.1 Water quality monitoring data for the 2018 section

(2)项目维护期。经过项目实施期的菌剂投加后,试验段水体中微生物系统逐渐建立,微生物可进行生长和繁衍,但一部分微生物随河水流失,因此需要根据水质的波动适时补充投加复合微生物菌剂。

**1.2.3 水质检测方法。**水质监测点设在小渡段下游 12 km 的中和断面处。COD<sub>Cr</sub>采用《GB 11914—1989》重铬酸盐法测定,NH<sub>3</sub>-N 采用《GB/T 7479—1987》纳氏试剂分光光度法测定,TP 采用《GB/T 11893—1989》钼酸铵分光光度法测定。去除率通过公式(1)计算。

$$\varphi = (c_1 - c_2) / c_1 \quad (1)$$

式中, $\varphi$  为污染物去除率, $c_1$  为污染物当前浓度(mg/L), $c_2$  为治理前污染物浓度(mg/L)。

## 2 结果与分析

项目治理期为 2019 年 4 月 1 日—2019 年 6 月 1 日,期间通过菌剂投加曝气组合船对水体进行修复,从项目开始,即对水体 COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP 进行检测,根据污染物的降解和去除率对项目实施情况进行评价。

**2.1 水体中 COD<sub>Cr</sub> 的变化** 化学需氧量 COD<sub>Cr</sub> 作为水质污染指标,反映了水体受还原性物质污染的程度,该指标也作为水体中有机污染物相对含量的综合指标之一。自然水体中的 COD<sub>Cr</sub> 污染物质一部分来自于人类活动造成的外源污染,一部分来自被微生物氧化分解的水生动植物的残体,还有一部分来自于底泥有机污染物的扩散与释放。向水体中投加复合微生物菌剂后,微生物在水体中大量繁殖,逐渐成为水体中优势种群,消耗水体中的有机污染物作为碳源进行生长代谢和新细胞的合成,降解水体中的 COD<sub>Cr</sub>。

从图 2 可以看出,治理期间水体中 COD<sub>Cr</sub> 呈现从下降到

稳定的趋势,在治理初期的 1~10 d,水体中 COD<sub>Cr</sub> 含量未有明显下降的趋势,在此期间,微生物率先利用培养基中的营养物质进行生长繁殖,并不会过多地利用水体中的有机碳源等营养物质,此时水体中的 COD<sub>Cr</sub> 在 29~24 mg/L 浮动,去除率最高可达 20.69%。在治理中期 10~30 d,外加培养基中的营养物质逐渐消耗殆尽,此时复合微生物菌剂中具有高效降解污染性能的微生物逐渐成为水体生态系统微生物种群中的优势种群,在此期间微生物主要利用水体中的有机污染物作为碳源和能源进行生长代谢,COD<sub>Cr</sub> 含量逐渐下降到 20 mg/L 左右,去除率最高达 44.83%。治理后期的 30~60 d,不再向水体中添加复合微生物菌剂,此时复合微生物菌剂中的 COD<sub>Cr</sub> 降解菌已经成为优势种群,水体的微生物系统被重新构建,COD<sub>Cr</sub> 含量稳定在 17~14 mg/L,期间因降雨或地表径流的影响,COD<sub>Cr</sub> 含量有短暂的回升,但并未造成水质的恶化。通过此次治理说明复合微生物菌剂对水体中的 COD<sub>Cr</sub> 具有良好的降解作用,且微生物可以稳定地定殖在水体中,从根本上提高水体自净能力,起到长期治理的作用。

**2.2 水体中 NH<sub>3</sub>-N 的变化** NH<sub>3</sub>-N 在水体中以铵离子或游离氨的形式存在,游离的氨在碱性条件下会对水体中的动植物造成毒害,但同时也是水体中的营养素,微生物利用其作为氮源,合成自身细胞。水体中的 NH<sub>3</sub>-N 在好氧条件下,经硝化细菌的硝化作用,氧化成为 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N,同时消耗水体中大量的溶解氧。治理过程中投加的微生物复合菌剂中含有一部分硝化细菌,同时辅以人工曝气提高水体中的溶解氧,达到消减水体中氨氮的目的。

由图 3 可知,治理初期的 1~10 d,水体中 NH<sub>3</sub>-N 含量在 1.11~1.27 mg/L,未呈现下降的趋势,原因是投加的复合微生

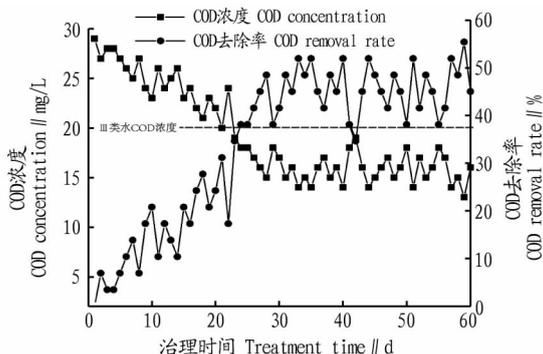


图2 水体中 COD<sub>Cr</sub> 浓度和去除率变化

Fig.2 Changes of COD<sub>Cr</sub> concentration and removal rate in water

物菌剂中含有一定的氯化铵、尿素等氮素营养物质,且针对水体中溶解氧不足的情况采取的人工曝气对底泥具有一定的扰动作用,加速了沉积物中氮污染物向水体中的释放。治理中期的 11~30 d,外加菌剂中氮素营养物质逐渐被消耗,硝化细菌大量生长繁殖,由图 4 可知,随着人工曝气的进行,水体中溶解氧含量上升,在此期间硝化细菌利用水体中的 NH<sub>3</sub>-N 污染物作为氮源,好氧条件下将一部分其氧化成为 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N,另一部分同化为自身的一部分,达到降解水体中 NH<sub>3</sub>-N 污染物的效果,在第 27 天其含量达 0.85 mg/L。治理后期的 30~60 d 中,水体中 NH<sub>3</sub>-N 稳定在 0.91~0.65 mg/L,溶解氧稳定在 5.0 mg/L 以上,期间受到短期的冲击后并未破坏水体稳态,说明人工曝气技术可以有效提高水体中溶解氧含量且复合微生物菌剂中的硝化细菌可以有效去除水体中 NH<sub>3</sub>-N 污染物并适应水体的环境,达到长久降解污染物质的作用。

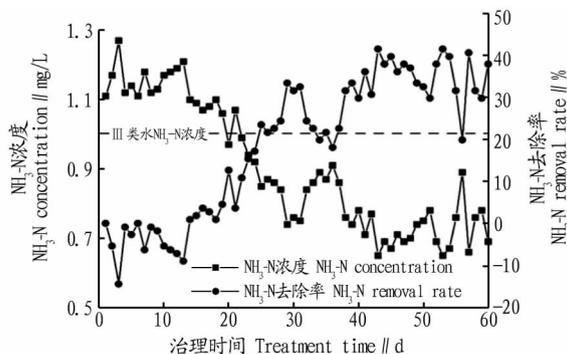


图3 水体中 NH<sub>3</sub>-N 浓度和去除率变化

Fig.3 Changes of NH<sub>3</sub>-N concentration and removal rate in water

**2.3 水体中 TP 的变化** 由图 5 可知,TP 的变化趋势和 COD<sub>Cr</sub> 及 NH<sub>3</sub>-N 的变化相似,治理初期 1~10 d,水体中 TP 含量呈上升趋势最高达 0.28 mg/L,主要原因是对于底泥的曝气扰动效果造成了沉积物中 P 元素向水体中释放<sup>[9]</sup>以及培养基中的含有磷酸二氢钾等营养物质造成了水体中 TP 含量的上升。治理中期的 11~30 d,水体中 TP 逐渐下降,第 30 天出现最低值 0.16 mg/L,在曝气作用下,水体中小分子有机物被氧化分解,形成了以矿物构架为主的铁、硅等比表面积较大的无机大分子胶体,在悬浮过程中与 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 产生吸附作

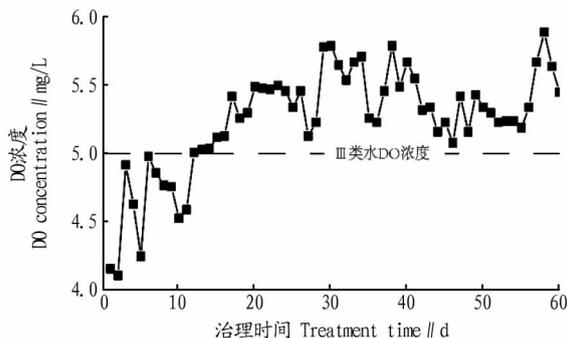


图4 水体中 DO 浓度变化

Fig.4 Change of DO concentration in water

用<sup>[10]</sup>,使 P 元素从水体迁移至底泥,同时复合微生物中的絮凝菌可以分泌出具有絮凝效果的胞外聚合物,加速了此过程的进行。治理后期 31~60 d,水体中的 TP 含量稳定在 0.11~0.18 mg/L,去除率最高达 52.38%,且具有一定的抗冲击力,说明生物强化技术对水体中 TP 有着良好且稳定的去除作用。

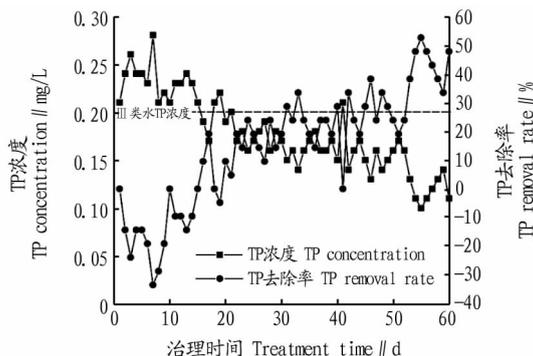


图5 水体中 TP 浓度和去除率变化

Fig.5 Changes of TP concentration and removal rate in water

### 3 结论

(1) 通过投加复合微生物菌剂且辅以底泥曝气的生物强化技术对琼江河潼南区小渡段进行试验的 60 d 中,水体中 COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP 污染物的去除率分别达 51.72%、41.44%、52.38%,含量稳定达到《地表水环境质量标准》中的Ⅲ类水标准,说明生物强化技术可有效去除河道水体中的污染物。

(2) 投加的复合微生物菌剂可以稳定定殖在自然水体中,修复被破坏的微生物生态系统,从根本上提高水体的自净能力,且短期内无需再次投加。

### 参考文献

- [1] 姚昆.崇州市地表水水质评价研究[D].雅安:四川农业大学,2016.
- [2] 重庆环境监测中心.2018年重庆市环境质量简报[R].2019.
- [3] 王慧铭,李文俊,李建.綦江河流域水环境污染现状及防治对策探讨[J].环境保护与循环经济,2017(9):39-41.
- [4] 张青,饶灿.綦江区流域水质状况原因分析及污染防治对策[J].广东化工,2019,46(10):131,109.
- [5] 骆永明.污染土壤修复技术研究现状与趋势[J].化学进展,2009,21(21):558-565.
- [6] 马俊.城市河流生物-生态修复技术研究进展[J/OL].[2019-05-28].<http://www.doc88.com/p-2847144940638.html>.
- [7] 万金宝,侯得印.利用生物-生态修复技术治理城市污染河道[J].江西科学,2006,24(1):77-79.

例分别为阿克苏市 26.46%、温宿县 23.59%、乌什县 14.12%、阿瓦提县 23.44%、柯坪县 12.39%。

表 5 判断矩阵  
Table 5 Judgment matrix

指标 Index	人口 Population	地区人均 GDP Regional GDP per capita	农作物 播种面积 Crop area
人口 Population	1	0.5	1
地区人均 GDP Regional GDP per capita	2	1.0	2
农作物播种面积 Crop area	1	0.5	1

可见,阿克苏地区的水资源量配置最多为 26.4%,阿克苏市、温宿县、阿瓦提县对水资源量的配置相差不大,乌什县和柯坪县的水资源最为接近,但乌什县的农作物种植为粮食作物,因此需水期不同,可以灵活调节用水时期,其他县市需要进一步合理地安排用水量。

### 3 结论

对塔河流域阿克苏段的初始水权进行配置,实际上也是对水资源量的分配,阿克苏流域的经济发展方式部分地区仍是以粗放的农业种植经营为主,从数据结论上来看,阿克苏市的人口为 52.89 万人,人均 GDP 为 1.86 万元,相比较其他地区的人均 GDP 最高,农作物种植面积为 9.330 万  $\text{hm}^2$ ,占该地区总的农作物种植面积的 25.19%,对其加权分配农业用水量为 26.46%,阿瓦提县和温宿县的用水量较为接近,种植业生产总值占地区 GDP 比重分别为 33.2%、36.8%,2 个县的农作物种植面积分别为 12.611 万和 9.592 万  $\text{hm}^2$ ,人口数量分别为 27.05 万和 26.81 万人,相比较 2 个地区的人均 GDP,阿瓦提县的农作物种植主要以棉花为主,占比为 80.6%,温宿县的仅为 41.6%;棉花相较于其他的粮食作物而言,属于需水量大、需水时期长的农作物,在分配模型中无法体现不同作物的需水量,应用于实践中,阿瓦提县的农业用水分配过程中会出现用水纠纷,但该模型对水资源量的分配是符合公平原则,符合各用水主体的利益需求,解决在农业用水高峰期,不同农作物之间的用水需求如何根据不同地区之间的经济发展水平进行合理化是该研究的不足之处。

乌什县和柯坪县的人口相对较少,分别为 23.57 万和 5.62 万人,农作物种植面积分别为 4.274 万和 1.234 万  $\text{hm}^2$ 。但乌什县和柯坪县的配水量却相差不大,原因一是乌什县的农作物种植主要为粮食作物,其经济效益不高,所导致的人均 GDP 也较低;原因二是柯坪县的人均 GDP 较高,为该流域地区最高(1.876 万元)。

### 4 对策建议

目前干旱区农作物种植特点是种植区域较大,部分地区的地块面积较为松散,整合程度不高,农业种植作为需水量大、需水时期集中的产业,农业用水量的多少会直接影响到农作物的经济产值,要对农业初始水权进行合理的配置使其能够更好地服务于农业生产中,提高农业产值。

**4.1 加强质与量的统一管理** 目前该区域的各个用水机构在水质与水量相关管理方面普遍存在管理缺失的情况,有些只注重量的管理而不注重质的管理。就塔里木河流域范围内,水资源管理机构需要全面贯彻落实指导协调的属地管理原则,加强对于塔里木河流域周边污水排放口的统一管理,提高塔里木河流域水资源管理质量<sup>[12]</sup>。

**4.2 严格控制农业用水量** 各个县市要严格控制农业用水总量,加强节水设施的技术与设备的推广,目前来看,水资源属于限额供给,而农业作为用水大户,不仅要依靠政策对初始水权进行合理配置,还要依靠节水技术提高水资源的利用效率,以“政策+技术”的形式对农业用水进行加权定量分配,对于用水超额的农户实行价格梯度,加大水费征收力度。

**4.3 优化农业生产要素,对农作物进行合理布局** 通过调整农业生产种植过程中生产要素的不合理投入,使其达到各个要素之间的最优配置,减少不必要的投入,各个县市也应根据自身实际情况对农作物进行合理种植,去除高耗水、低效益的农作物,发展种植具有地区优势的特色农产品或是在自然条件相近的地区适度规模种植相同类的农作物,实现地区之间农作物的联动发展。

### 参考文献

- [1] 姚明磊,董斌,龙志雄,等.县域尺度中面向用水部门的初始水权配置[J].中国农村水利水电,2019(7):178-181,192.
- [2] 马永仁.军塘湖河流域农业初始水权分配研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.
- [3] 郑洲,郑旭荣,李玉芳,等.干旱区绿洲农业水权配置模型及应用[J].中国农村水利水电,2008(8):57-58,62.
- [4] 董祯.岩马水库初始水权分配及用水地区水资源可持续利用评价研究[D].泰安:山东农业大学,2018.
- [5] 王婷,方国华,刘羽,等.基于最严格水资源管理制度的初始水权分配研究[J].长江流域资源与环境,2015,24(11):1870-1875.
- [6] 高娟娟,王立权.关于初始水权分配方法的探讨[J].水利科技与经济,2017,23(3):64-68.
- [7] 吴丹,王亚华,马超.大凌河流域初始水权分配实践评价[J].水利水电科技进展,2017,37(5):35-40.
- [8] 吴丹,王亚华.双控行动下流域初始水权分配的多层递阶决策模型[J].中国人口·资源与环境,2017,27(11):215-224.
- [9] 吴凤平,于倩雯,张丽娜.基于双子系统协调耦合的流域初始水权配置模型[J].长江流域资源与环境,2018,27(4):800-808.
- [10] 李新.水权和流域初始水权分配初步研究[D].武汉:长江科学院,2011.
- [11] 新疆维吾尔自治区水利厅.2017年新疆水资源公报[R].2018.
- [12] 谢晖.阿克苏河流域水资源管理存在的问题及对策分析[J].水利技术监督,2015,23(3):24-27.
- [9] 李大鹏,黄勇,李伟光.底泥再悬浮对不同营养水平上覆水中磷酸盐迁移的影响[J].水处理技术,2008(6):4-7.
- [10] 杨建峡.河道底泥原位生物修复及工程应用[D].重庆:重庆大学,2018.

(上接第 64 页)

[8] 谭晓林,袁星.微生物强化技术在黑臭水体治理中的应用[J].中国水运,2018,18(5):110-112.