

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.009

自然保护区林地水源污染修复及防治策略研究

马力子, 于海洋, 田国行

(河南农业大学 风景园林与艺术学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 林地水源污染关系到整个自然保护区内生物的生存与发展, 为保护水源水质开展了水源污染修复及防治策略研究。以某自然保护区内的一处水源地为例, 采集试验所需的原水, 在选取试验试剂和设备的基础上, 确定 4 项水质分析项目和对应的检测方法。通过壳聚糖微球+活性渗滤反应墙、原位投菌技术来修复水源, 通过人工湿地和人工增氧来实现污染防治。结果表明, 修复策略实施后, 各项水质指标表现越来越好, 林地水源中浮游生物数量和叶绿素 a 含量逐渐上升, 重金属综合污染指数和高锰酸盐指数逐渐下降, 修复策略起到了应有的净化效果; 防治策略实施后, 前 1~3 d 内 4 项水质指标的表现仍在继续提升, 之后出现小幅度下降并最终维持在一个较为平稳的水平, 说明防治策略基本维持住了修复策略的实施效果, 起到了应有的防治作用。

关键词: 自然保护区; 林地水源污染; 水质分析; 污染修复; 污染防治

中图分类号: X171.5; S759.9 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0046-05

引文格式: 马力子, 于海洋, 田国行. 自然保护区林地水源污染修复及防治策略研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 46-50, 203. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.009

MA Lizi, YU Haiyang, TIAN Guoxing. Remediation and Prevention Strategies for Water Source Pollution of Forest Land in Nature Reserves[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 46-50, 203. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.009

Remediation and Prevention Strategies for Water Source Pollution of Forest Land in Nature Reserves

MA Lizi, YU Haiyang, TIAN Guoxing

(College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Water source pollution of forest land is related to the survival and development of organisms in the whole nature reserve. In order to protect water quality, it is important to study water source pollution remediation and prevention strategies. Taking a water source in a natural reserve as an example, the raw water required for the test was collected, and four water quality analysis items and corresponding detection methods were determined based on the selection of test reagents and equipment. For the raw water, the water source was first repaired by chitosan microspheres + active infiltration reaction wall, and in-situ bacterial injection technology, and then the pollution prevention was realized by artificial wetlands and artificial oxygen enrichment. The results showed that after the implementation of the remediation strategy, the performance of various water quality indicators became better, the number of plankton and chlorophyll a content in the forest water source gradually increased, the comprehensive pollution index of heavy metals and

收稿日期: 2022-11-17.

第一作者: 马力子(1994-), 女, 河南郑州人, 硕士研究生. 研究方向为风景园林生态安全. Email: 448181294@qq.com

责任作者: 田国行(1964-), 男, 河南封丘人, 教授, 博士生导师. 研究方向为风景园林生态安全. Email: tgh0810@163.com

permanganate index gradually decreased, and the remediation strategy had played a due purification effect; after the implementation of the prevention and control strategy, the performance of the four water quality indicators continued to improve in the first 1–3 days, then decreased slightly and finally maintained at a relatively stable level, indicating that the prevention and control strategy basically maintained the implementation effect of the remediation strategy and played a due role in prevention and control.

Key words: nature reserves; water source pollution of forest land; water quality analysis; pollution remediation; pollution prevention and control

人们为了扩大生产活动范围,不断侵占自然资源,使自然资源不断减少。自然资源的不断减少不仅损害了自然环境,还给人带来了反噬。基于此,人们逐渐意识到生态保护的重要性。自然保护区是为了保护自然环境与生态系统而设置的一方区域^[1]。通过人为干预和管理以控制人员进入该区域,从而避免因人为活动使该区域遭受破坏。为尽可能地保证自然保护区的生态平衡,对其各方面的修复和防治必不可少,其中林地水源污染就是其中重要的一项。水资源并不是在一个地区固定不变的,而是一直处于动态之中,因此,周围环境中一旦存在污染源,随着水运动也会污染自然保护区林地水源^[2]。而林地水源几乎供给了整个自然保护区各种自然资源和生物资源的水资源所需,一旦林地水源被污染,所造成的影响将是巨大的,会对整个自然保护区造成严重打击^[3]。

针对上述情况,对自然保护区林地水源污染进行有效修复和防治具有重要的现实意义。目前关于这方面的研究有很多,提出了很多技术和方法。例如张倩茹等人^[4]研究了生物炭的改性方法并将制备好的生物炭用于环境修复中,吸附水体中的污染物质,净化水质。李军等人^[5]针对无机氮,有机物和金属元素 3 类常见水体污染物,提出了基于微生物的修复方法,并对修复过程中的关键环节进行了具体阐述。罗华丽等人^[6]从海洋生物废弃物中提取到了壳聚糖这种物质,利用这种物质制成微球,将其投放到水源中可吸附水源中的污染物质。

总结前人研究成果,大多集中在水源污染修复上,对于后期防治的研究甚少。虽然经过修复后水质得到净化,但若不能进行进一步的防治,一段时期后水源还会被再次污染。因此,水污染修复和防治需双管齐下,才能保证自然保护区林地水源水质。基于此,进行了自然保护区林地水源污染修复及防治策略研究。

1 研究区概况

以某自然保护区内的一处水源地为研究对象(图 1)。

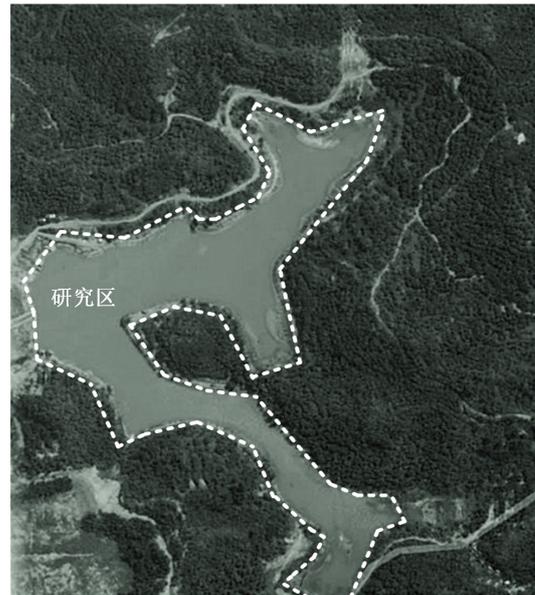


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the research area

该自然保护区周边开垦了大量农田,还有大量的居民居住区以及场区,因此,自然保护区内林地水源污染时常发生^[7]。为了保护自然保护区生态环境,进行林地水源污染修复和防治至关重要。

2 试验设计与方法

2.1 试验原水

自然保护区林地水源污染修复和防治试验所需水源均来自图 1 研究区水源地,在表层水面下 50 cm 处取样,取样点共计 8 个^[8]。在完成水源取样后,放入恒温箱中低温运输到实验室。

2.2 试验试剂与材料

自然保护区林地水源污染修复和防治试验所需

主要试验试剂与材料如表 1 所示。

表 1 试验试剂与材料

Tab. 1 Test reagents and materials

试剂名称	纯度	生产厂家
液体石蜡	分析纯	陕西海王盘龙医药有限公司
醋酸溶液	分析纯	西安百年康生物科技有限公司
甲醛溶液	分析纯	山东龙煤工矿机械有限公司
重铬酸钾	分析纯	青岛景弘环保科技有限公司

2.3 试验设备

自然保护区林地水源污染修复和防治试验所需主要试验设备如表 2 所示。

表 2 试验设备

Tab. 2 Test equipment

设备名称	型号	生产厂家
电磁搅拌器	RO-1D	拓赫机电科技有限公司
电子天平	ADVENTUR-ER AX	庞羽梁仪器仪表(上海)有限公司
计数框	JY-CC-F	北京金洋万达科技有限公司
显微镜	CX21	上海木森生物科技有限公司
玻璃纤维滤膜	M376595	北京海富达科技有限公司
研磨器	JY-1555	京仪(北京)仪器设备有限公司
离心机	D1524R	济宁市裕泽工业科技有限公司
荧光分光光度计	960CRT	北京宏达恒业科技有限公司
电热鼓风干燥箱	CV21	东莞市新远大机械设备有限公司

2.4 水质分析项目与检测方法

对自然保护区林地水源水质的检测项目包括 5 种。这 5 种水质分析项目以及对应的检测方法、检测标准如表 3 所示^[9]。

1) 浮游生物数量

假设 B 代表计数框面积, \hat{B} 代表计数面积, V 代表测试水样量, 则浮游生物数量计算公式为:

$$A = N \left[\left(\frac{B}{\hat{B}} \right) \times \left(\frac{C}{\hat{C}} \times V \right) \right] \quad (1)$$

式中: A 为浮游生物数量(个/L); N 为目镜视野计数结果; \hat{C} 为计数框体积; C 为 1L 原水样沉淀浓缩后的体积。

表 3 水质分析项目及其对应的检测方法

Tab. 3 Water quality analysis items and corresponding detection methods

水质分析项目	检测方法	检测标准	项目计算公式
浮游生物数量	抽滤萃取-目镜视野计数法	DB43/T 432-2009	公式(1)
叶绿素 a 含量	荧光分光光度法	NEN 6520-1981	公式(2)
重金属综合污染指数	原子荧光法/吸收法	GB 15618-2018	公式(3)
高锰酸盐指数	高锰酸盐指数酸性法	GB/T 11892-1989	公式(4)

2) 叶绿素 a 含量

假设 V' 为萃取液的定容体积, b 为比色皿光程, 则叶绿素 a 含量计算公式为:

$$D_a = \frac{V'[\alpha(S_1 - S_0) - \alpha(S_2 - S_0) - \alpha(S_3 - S_0)]}{V \cdot b} \quad (2)$$

式中: D_a 为叶绿素 a 含量($\mu\text{g/L}$); α 为吸光系数; S_0, S_1, S_2, S_3 为萃取液在 4 种波长处的吸光度值。

3) 重金属综合污染指数

假设 E_i 为重金属元素 i 的污染指数, G 为综合污染指数, 则重金属综合污染指数为:

$$\begin{cases} E_i = \frac{F_i}{f_i} \\ G = \frac{\sqrt{E^2 + \max E^2}}{2} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $G < 1$ 为未污染; 在 1~2 范围为较低污染; 在 2~3 范围为较高污染; $G > 3$ 为高污染; f_i 为重金属元素 i 的评价标准; F_i 为重金属元素 i 的浓度; $\bar{E}, \max E$ 为污染指数平均值、最大值^[10]。

4) 高锰酸盐指数

假设 W_1 代表滴定试验所消耗的高锰酸钾溶液的体积, W_0 代表空白试验所消耗的高锰酸钾溶液的体积, 则高锰酸盐指数计算公式为:

$$I_{Mn} = \frac{k(W_1 + W_0) \times R \times P}{W} \quad (4)$$

式中: I_{Mn} 为高锰酸盐指数(mg/L); k 为校正系数; R 为标准溶液的浓度; P 为氧原子摩尔质量。

3 水源污染修复及防治试验

针对受到污染的自然保护区林地水源, 首先通

过壳聚糖微球+活性渗滤反应墙、原位投菌技术来修复水源,之后通过人工湿地和人工增氧进行污染防治,维持或巩固修复效果^[11]。

3.1 水源污染修复策略

修复,即去除水源中的污染物,还原未污染前的水质。

3.1.1 壳聚糖微球+活性渗滤反应墙

壳聚糖微球+活性渗滤反应墙是一种综合修复技术,以前者作为后者的活性反应介质。以往活性渗滤反应墙所使用的活性反应介质多为零价金属、沸石、氧化铁、泥炭等,对污染物的吸附效果有限^[12]。为此,本研究中通过制备壳聚糖微球以部分替代传统活性反应介质,构成改进的活性渗滤反应墙,具体过程如下:

步骤 1:制备壳聚糖微球

1)称取一定量的壳聚糖粉末置于烧杯内。

2)在烧杯中倒入壳聚糖粉末用量 1/3 的醋酸溶液,并利用电磁搅拌器在 40℃ 恒温下搅拌均匀。

3)置于室温下冷却,排出液体中的气泡,得到壳聚糖乙酸溶液。

4)称取一定量的液体石蜡和 Span 80,并将其置于烧瓶中。

5)边加热边搅拌均匀,使二者混合均匀。

6)将步骤 3 制得的壳聚糖乙酸溶液缓慢加入到上述二者混合液中,边倒入边搅拌。

7)乳化 1 h。

8)加入甲醛溶液,交联固化 3 h。

9)将上述所得产物利用离心机分离处理,去除上层石蜡。

10)将剩余产物利用丙酮和无水乙醇重复清洗。

11)置于电热鼓风干燥箱中,60℃ 恒温烘干,得到壳聚糖微球^[13]。

步骤 2:设计活性渗滤反应墙

在该反应墙内下部 30 cm 填充零价铁和石英砂的混合物,然后布设一层细纱网,再在上部填充壳聚糖微球。需要注意的是每填充 5 cm 进行一次压实。

步骤 3:建造活性渗滤反应墙

若是在实验室中借助水泵,使原水通过活性渗滤反应墙即可;若是在实际环境中,需要在自然保护区林地水源河道处建造活性渗滤反应墙,使水流通过活性渗滤反应墙,墙体的长宽高需要根据当地水源所处环境进行自适应调整^[14]。

3.1.2 原位投菌技术

通过壳聚糖微球+活性渗滤反应墙能吸附掉大

部分污染物质,但其中一小部分污染物质并未完全吸附,因此还需进一步地降解。所利用的降解方法为原位投菌技术,即在水中投入微生物菌剂^[15]。原水体中加入的微生物为 3 种不同类型的高效反硝化菌,加入不同活性、不同浓度的菌种后,按不同的比例进行处理。

3.2 水源污染防治策略

在上述水源污染修复后,为巩固修复效果,还需实施进一步的防治策略,否则过一段时间后自然保护区林地水源仍会被污染。采用的防治策略包括人工湿地和人工增氧两种方法。

3.2.1 人工湿地

人工湿地就是人工建立的一种通过模拟自然湿地防治功能的复合型人工系统生态浮岛。使污染源流经人工湿地后,能持续起到循环净化水源作用^[16]。研究中建造的人工湿地各组成部分所选材料如表 4 所示。

表 4 人工湿地组成材料

Tab. 4 Composition materials of artificial wetlands

组成部分	材料名称	防治作用
透水性基质	沸石	吸收污染物质
微生物	好氧菌(醋酸菌、枯草杆菌)和厌氧菌(核梭杆菌、厌氧革兰阳性球菌)	对有机污染物实现降解和转化
水生植物	浮萍、芦苇、苦草	为水体输送氧气,增加水体活性;提高水中污染物的降解速度;对固体颗粒起到拦截吸附作用
动物	蝌蚪、蜗牛、水禽	促进物质循环
水体	在基质上、下流动的水(自然保护区林地水源)	

3.2.2 人工增氧

水源受到污染后往往会存在缺氧问题,使水中生物难以生存,导致水质变得越来越差。针对这一点,只要保证水源中氧气充足,为水中生物提供良好的生存条件,就能在一定程度上防治水污染,提高水源活性。人工增氧可通过设置充氧站来实现。

4 结果与分析

对上述自然保护区林地水源污染修复及防治策略实施后的一段时间内的水源进行采样,基于表 3 进行水质检测,检测结果如图 2 所示。

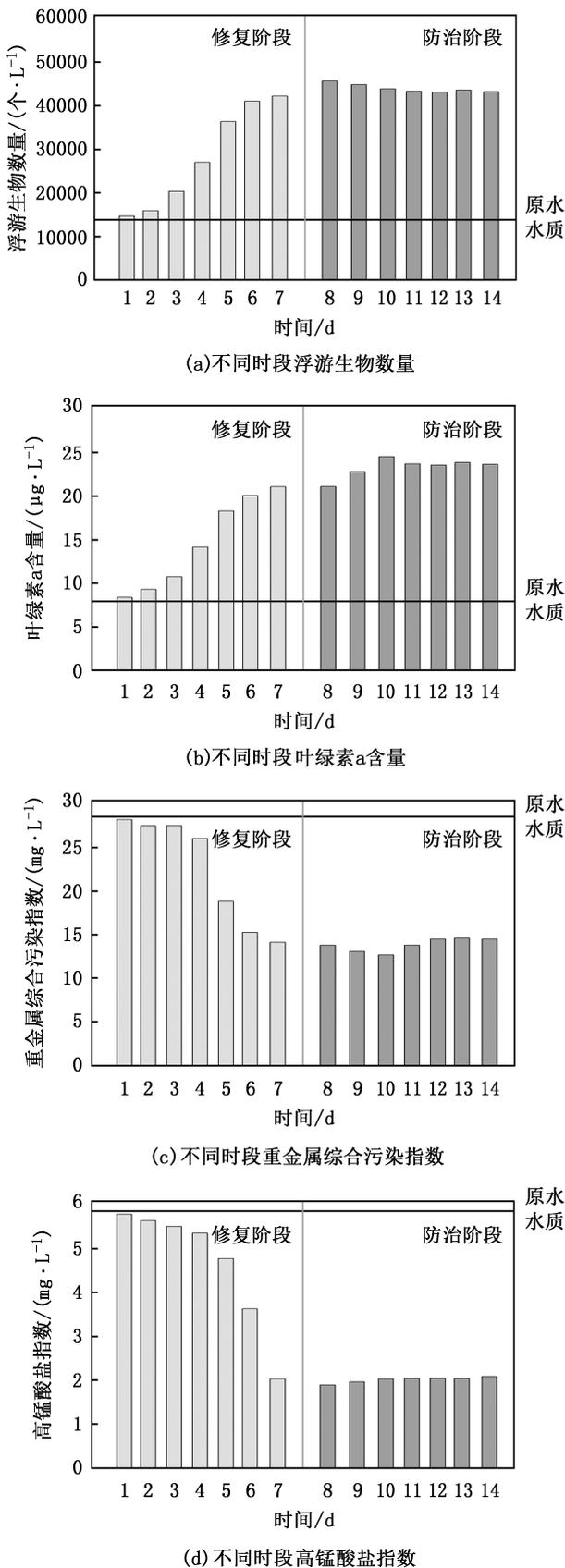


图 2 水源水质修复与防治前后对比

Fig. 2 Comparison of water source quality before and after remediation and prevention

从图 2 中可以看出:(1)自然保护区林地水源水质修复策略实施后,各项水质指标表现越来越好,浮游生物数量和叶绿素 a 含量逐渐上升,重金属综合污染指数和高锰酸盐指数逐渐下降,修复策略起到了应有的净化效果。(2)自然保护区林地水源水质防治策略实施后,1~3 d 内在修复后达到的原有指标数值的基础上各项指标表现仍在继续提升,然后开始出现小幅度下降,最后维持在一个较平稳的水平上,说明防治策略起到了应有的防治效果,基本维持和巩固了修复策略的实施成果。(3)从整体上看,修复策略能够在短期内大幅度降低水源中的污染物,而防治策略主要作用是维持修复策略的实施效果,使水源持续保持在一定范围内的稳定状态。

5 结 语

自然保护区水源为该区域大部分生物的生存与繁衍提供了最为基础的物质资源,一旦该区域内水源被污染,造成的影响将是巨大的。藉此,开展了自然保护区林地水源污染修复及防治策略研究。该研究针对采集到的污染水源水样,实施两种修复措施,两种防治措施,针对实施措施后的水样进行 4 项指标的检测,检测结果表明,修复措施取得了应有的净化效果,防治措施取得了应有的防治效果,证明该策略的有效性。

参考文献:

[1] 孙贻超,邢妍,孙静,等. 国家水体污染控制与治理科技重大专项“天津滨海工业带废水污染控制与生态修复综合示范”项目的主要研究成果及其应用[J]. 环境工程学报,2022,16(7):2111-2121.

[2] 耿国婷,武晓峰,游进军. 基于遗传算法的 TCE 污染地下水修复抽水处理优化方案研究[J]. 水利水电技术(中英文),2022,53(7):69-81.

[3] 费宇红,刘雅慈,李亚松,等. 中国地下水污染修复方法和技术应用展望[J]. 中国地质,2022,49(2):420-434.

[4] 张倩茹,冀琳宇,高程程,等. 改性生物炭的制备及其在环境修复中的应用[J]. 农业环境科学学报,2021,40(5):913-925.

[5] 李军,梁永平,邹胜章,等. 微生物在地下水污染修复中的应用研究进展[J]. 环境污染与防治,2021,43(5):638-643.

[6] 罗华丽,王琳玲. 壳聚糖微球在环境修复中的应用研究进展[J]. 环境科学与技术,2021,44(12):23-29.

(下转第 203 页)

- 2018,39(8):135-142.
- [14] 宋子健,温全平. 森林康养资源评价指标体系构建及评价——以蔡家川森林康养区为例[J]. 林业科技情报,2020,52(1):38-43.
- [15] 晏琪,刘苑秋,文野,等. 基于因子分析的森林康养空间评价指标体系研究[J]. 中国园林,2020(1):81.
- [16] 陆晓梅,张鑫,高淑春. 森林养生旅游开发潜力评价研究[J]. 林业经济问题,2017,37(1):44-49.
- [17] 潘洋刘,刘苑秋,曾进,等. 基于康养功能的森林资源评价指标体系研究[J]. 林业经济,2018(8):53-57.
- [18] 景志慧,张隧文. 基于多层次灰色方法的旅游资源开发潜力评价——以巴中南阳森林公园为例[J]. 西北大学学报:自然科学版,2014,44(5):813-816.
- [19] 徐高福,徐小忠,余梅生. 千岛湖森林康养基地发展路径探析——基于千岛湖龙川湾的调查研究[J]. 林业调查规划,2020,45(1):168-172.
- [20] 马德辉,王赞,高建玉,等. 对森林康养产业发展的思考[J]. 林业调查规划,2020,45(6):105-107.
- [21] 李欣华,陈红玲. 森林康养高质量发展研究[J]. 林业调查规划,2021,46(3):171-177.
- [22] 李祗辉. 韩国森林疗愈服务体系建设及其对我国森林康养产业发展的启示[J]. 林业调查规划,2021,46(5):59-64.
- [23] 汪侠,顾朝林,刘晋媛,等. 旅游资源开发潜力评价的多层次灰色方法[J]. 地理研究,2007,26(3):625-635.
- [24] 周明耀,陈朝如,彭怀英. 灌溉管理的递阶多层次灰色评价方法[J]. 系统工程理论与实践,2000,20(4):120-126.
- [25] 石丹,杨慧. 基于多层次灰色方法的生态旅游发展潜力评价及实证研究[J]. 中国农业资源与区划,2019,40(2):40-48.
- [26] 姜伯敏,姚立根. 基于 AHP 的建筑企业知识创新能力灰色评价[J]. 石家庄铁道大学学报:社会科学版,2012,6(2):41-45.
- [27] 蔡建春,王勇,李汉铃. 风险投资中投资风险的灰色多层次评价[J]. 管理工程学报,2003,17(2):94-97.
- [28] GB/T 14592—1993,自然保护区类型与级别划分原则[S].
- [29] GB 15618—1995,土壤环境质量标准[S].
- [30] GB/T 18005—1999,中国森林公园风景资源质量等级评定[S].
- [31] GB 3838—2002,地表水环境质量标准[S].
- [32] GB/T 17775—2003,旅游区(点)质量等级的划分与评定[S].
- [33] GB/T 18972—2003,旅游资源分类、调查与评价[S].
- [34] GB 5749—2006,生活饮用水卫生标准[S].
- [35] GB 3096—2008,声环境质量标准[S].
- [36] GB/T 26358—2010,旅游度假区等级划分[S].
- [37] GB 3095—2012,环境空气质量标准[S].
- [38] LB/T 051—2016,国家康养旅游示范基地[S].
- [39] LY/T 2934—2018,森林康养基地质量评定[S].
- [40] T/LYCY 012—2020,国家级森林康养基地标准[S].
- [41] 李大建,王凤山. 地空导弹总体性能多层次灰色评价[J]. 中国管理科学,2004,12(5):107-110.
- [42] 胡望煌. 主观指标评价的多层次灰色评价法[J]. 系统工程理论与实践,1996(1):12-20.
- [43] 唐炎钊,邹珊刚. 企业技术创新能力的多层次灰色评价[J]. 科技进步与决策,1999,16(5):46-49.

责任编辑:刘平书

(上接第 50 页)

- [7] 张文静,梁振天. 生物表面活性剂及其在地下水污染修复领域的应用与展望[J]. 环境污染与防治,2021,43(2):237-242.
- [8] 陈世贵. 宁夏山区水库污染水体生态修复研究[J]. 人民黄河,2020,42(12):66-69.
- [9] 宋易南,侯德义,赵勇胜,等. 京津冀化工场地地下水污染修复治理对策研究[J]. 环境科学研究,2020,33(6):1345-1356.
- [10] 胡世琴,杨金辉,杨斌,等. 稻壳基材料应用于水污染治理领域的研究进展[J]. 材料导报,2022,36(4):49-59.
- [11] 何舸,牛宇琛,王成坤,等. 高度城镇化地区跨区水污染协同综合治理——东莞案例[J]. 中国给水排水,2020,36(12):25-30.
- [12] 孙文洁,任顺利,武强,等. 新常态下我国煤矿废弃矿井水污染防治与资源化综合利用[J]. 煤炭学报,2022,47(6):2161-2169.
- [13] 瞿芳术,余华荣,朱学武,等. 基于超滤/纳滤双膜工艺的给水厂应急处理技术研究[J]. 给水排水,2020,56(S2):189-194.
- [14] 刘艺,于洋,金彪,等. 持久、迁移性有机污染物的水污染现状、分析检测方法和去除技术[J]. 地球化学,2021,50(3):305-316.
- [15] 付鹏波,田金乙,吕文杰,等. 物理法水处理技术[J]. 化工学报,2022,73(1):59-72.
- [16] 赵玄,高文艳,周曦琳,等. 废水中络合态重金属形态、去除机制及净化技术研究进展[J]. 燕山大学学报,2022,46(4):297-308.

责任编辑:许易琦