

孙 鹏,崔康平,许为义,等. 复合浮床对农家乐污水污染物的去除效果[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):529-532.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.150

复合浮床对农家乐污水污染物的去除效果

孙 鹏¹, 崔康平², 许为义², 王 郑², 陈鸿汉¹

[1. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院,北京 100083; 2. 合肥工业大学资源与环境工程学院,安徽合肥 230009]

摘要:为研究不同类型复合浮床对农家乐污水的净化效果,通过构建纤维填料浮床(A)、弹性立体填料浮床(B)、传统浮床(C)3种不同浮床,考察不同类型浮床对农家乐污水的净化能力,分析其对污染物的去除转化规律。结果表明,纤维填料浮床对于污水中的 TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 COD_{Cr} 、TP 具有较好的去除效果,去除率分别为 76.5%、86.9%、81.9%、80.8%,明显高于传统浮床,差异显著($P < 0.05$)。同时,浮床 A 内部的微生物量高于浮床 B,可见纤维填料更利于微生物的富集。在植物吸收、填料吸附和微生物协同作用下的纤维填料复合浮床可以更高效处理农家乐生活污水。

关键词:生态浮床;纤维填料;微生物量;农家乐污水

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0529-04

百二河水库作为湖北省十堰市重要的饮用水水源地,其上游河段作为该地区的旅游规划区,沿途餐饮业发展十分迅速。该地区由于处于山区,经济发展相对落后,受限于环保意识淡薄、污水处理基础设施缺乏及居住分散等,导致该地区大量农家乐生活污水未经任何处理而直接排入百二河河道,严重威胁下游百二河水库的水质安全。因此,采取有效措施高效治理农家乐污水具有重要的现实意义^[1-3]。复合生态浮床因造价低廉、运行简单、具有较好的景观效益等优点,成为一种应用较广的生态处理技术^[4-7]。目前对生态浮床技术的大量研究都集中于浮床植物的筛选以及对富营养化湖泊、池塘等水体的治理方面,而对于作为主体工艺处理农家乐生活污水及与纤维材料组合应用的研究较少。本研究以菖蒲与纤维填料组合构建复合生态浮床,通过立体填料浮床和传统浮床对农家乐生活污水进行处理,考察其对污染水体中污染物的净化效果,遴选出处理效果较好的浮床系统,以期为宜城市百二河及其周边农村地区的分散式点源污染治理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验植物

菖蒲(*Acorus calamus* L.),别称白菖蒲、藏菖蒲。多年生草本,根状茎粗壮。耐寒,忌干旱,根系为须根系,非常发达,植株再生能力较强,近年来研究发现其具有较强的耐污性能,且具有良好的生态景观和抗病毒能力,因此作为生态浮床的植物物种,广泛用于治理污染河道、富营养化湖泊等。试验植物采用陆地育苗后,移栽到置于河面上的传统生态浮床上培育至生长盛期备用,菖蒲幼苗取自湖北省汉库汇水流域水质安全保障工程人工示范基地。

1.2 试验水体

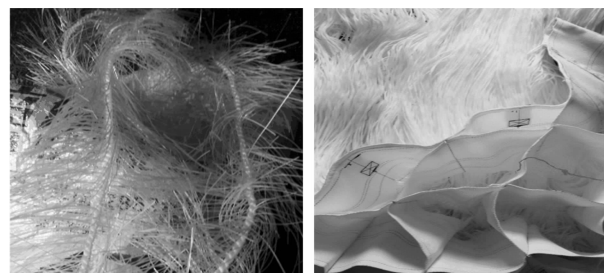
农家乐排放生活污水水质因不同季节差异较大。试验研究污水采用 9 月份百二河沿途某农家乐的化粪池出水,为了提高系统的抗冲击性,在化粪池出水的基础上辅以相应的配水,使水质调节至如表 1 所示。

表 1 试验用水的水质指标

| 参数 | 范围(mg/L) |
|-----------------------------|-----------------|
| TN 含量 | 22.35 ~ 25.75 |
| 氨态氮含量 | 17.63 ~ 21.42 |
| 总磷含量 | 1.40 ~ 1.80 |
| COD_{Cr} 含量 | 116.00 ~ 127.00 |

1.3 试验填料

试验采用 2 种填料,分别是纤维填料(孔隙率为 90%,比表面积为 $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$)和弹性立体填料(孔隙率为 95%,比表面积为 $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$)。纤维填料底部具有水草条状仿生结构,柔软纤细,湿润率高,有利于微生物迅速挂膜。中上部填料成立体网格条带状使用,垂直放置在水中,扩展立体空间和生物附着基点,作用范围大,增加生物量传递,有效增强硝化和反硝化效率,水处理效果明显增强。立体填料则是将丝条穿插固着在防腐、高强度的中心绳上,丝条呈立体均匀排列辐射状态,既能挂膜,又能有效切割气泡,提高氧的转移速率和利用率。2 种填料均购自湖北山鼎环保科技股份有限公司(图 1)。



a. 弹性立体填料

b. 纤维填料

图 1 弹性立体填料和纤维填料

1.4 试验方法

试验容器是长 × 宽 × 高为 $80 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 的水

收稿日期:2016-02-16

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2012ZX07205-002)。

作者简介:孙 鹏(1987—),男,山东海阳人,博士研究生,主要从事水体污染控制技术研究。E-mail: piaofeixue_sp@163.com。

通信作者:崔康平。E-mail: cuikangping@163.com。

箱。浮床框架采用聚乙烯泡沫板,规格为30 cm×30 cm。试验设4组处理,每组处理设3个重复,分别为复合浮床A、复合浮床B、传统浮床C和空白对照D。浮床覆盖率约为38%,填料长度约为30 cm,密度为30串/m²。试验装置结构如图2所示。试验开始前,选取培养备用的菖蒲,并进行茎叶和根部修剪,使之性状保持基本一致。同时对2种填料用生活污水进行人工挂膜,挂膜期间采用间歇式曝气,每隔4 h曝气1 h,水力停留时间HRT=2 d,试验期间温度为19~28℃,直至生物膜成型(约10 d左右),开始试验。试验开始时,复合浮床A为上方种植菖蒲,下方悬挂有纤维填料;复合浮床B为上方种植菖蒲,下方悬挂弹性立体填料;浮床C只种植植物,下方无填料;辅以空白对照D。

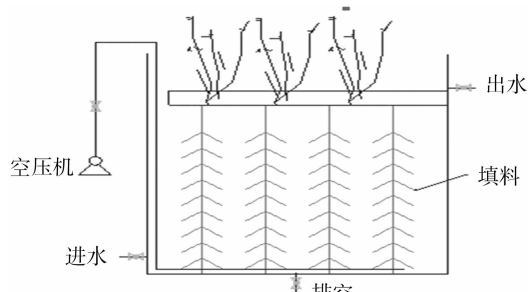


图2 试验装置结构

1.5 样品采集和分析

试验期间,每隔3 d采用五点法于水面下20 cm进行取样并测定水质,并在试验后测定水体中的细菌总量。分别在试验开始和结束时测量菖蒲的生长状况。水质指标TN含量、TP含量、氨态氮含量和化学需氧量的测定根据《水和废水监测分析方法》^[8],总氮含量采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定,总磷含量采用钼酸铵分光光度法,氨态氮含量采用纳氏试剂分光光度法,化学需氧量采用重铬酸钾法,水中的细菌总量采用平板涂布法,菖蒲的株高和根长采用标准卷尺测定。生物量的测定采用重量法。试验开始后每隔2~3 d用自来水补充蒸发水体保持水位。

1.6 数据分析

数据采用SPSS 17.0、Microsoft Excel 2010和SigmaPlot 12.5软件进行处理,并采用One-Way ANOVA分析不同处理组的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 对水体氮素去除效果分析

氨态氮是含氮有机物氧化分解的初步产物,是水体污染的重要标志之一,主要是以NH₃和NH₄⁺的形式存在,主要通过植物吸收、NH₃挥发及生物硝化作用去除^[9]。由图3可知,A、B、C等3组系统对水中的氨态氮去除效果较好。3组系统氨态氮浓度分别由最初的21.4、20.8、20.6 mg/L降低到出水的2.8、5.2、8.3 mg/L,去除率分别为86.9%、75%和59.7%,A系统与空白对照D差异显著($P < 0.05$),对污水中的氨态氮具有明显的削减作用。A的去除效果最好是因为系统内部有更丰富的微生物,而微生物是水体污染物净化的主要参与者。同时,菖蒲发达的根系向水体中传递更多的氧,为硝化反应提供了必要条件,氨态氮的去除率与水体中的溶解氧呈

正相关关系^[10]。另外,植物对氨态氮存在一定量的吸收,植物能够直接利用水体中游离的氨态氮合成自身所需物质,在一定程度上降低了水中氨态氮的浓度。

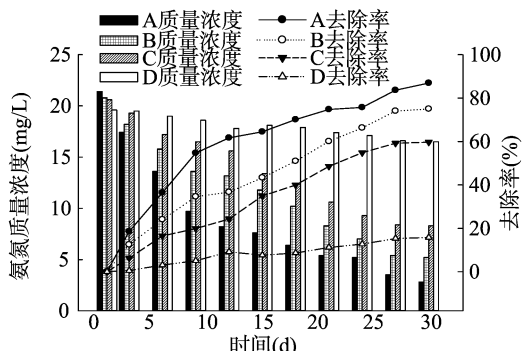


图3 氨态氮变化

由图4可知,A、B、C等3组处理系统对污水中的总氮具有较明显的去除效果,A系统与对照组差异显著($P < 0.05$)。试验初期,不同处理系统总氮浓度介于22.4~23.8 mg/L,随着试验的进行,总氮浓度下降明显,初期有一个迅速下降的阶段,是由于含氮颗粒被吸附截留造成的,试验结束3组浮床的总氮浓度均达到了较低水平,去除率分别为76.47%、64.22%、40.61%,远高于对照系统。

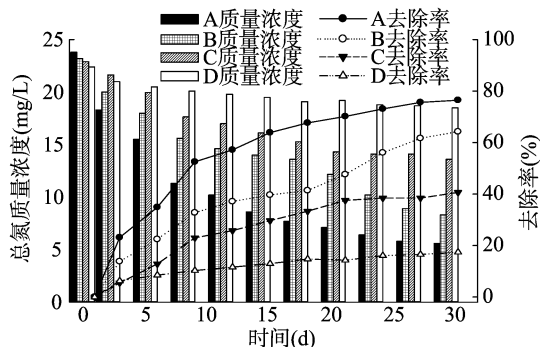


图4 总氮变化

氮素是水生生物必需的营养因素,也是引起水体富营养化的限制性因素之一^[11]。研究表明,水体中氮素的去除主要靠微生物的硝化-反硝化作用,而污染水体中参与氮循环的微生物大量附着在植物根系或填料位点上,确保了硝化-反硝化的顺利进行^[12-14]。通过对TN的去除率可以看出植物及空白对照组对总氮的去除效果不佳,空白对照组主要通过水体中分散的微生物进行代谢活动,植物组则通过植物吸收及附着的微生物作用进行,复合浮床处理组效率远高于植物和空白对照组,说明微生物的代谢活动是TN去除的主要机制。A系统较另外3组的净化效果更好,体现在以下几个方面,(1)填料作为微生物的载体,其形态特征对于微生物的吸附、生长及脱落过程有重要影响。生物填料的材质、比表面积大小、布水布气性能、强度、密度等因素直接影响废水处理效率。A浮床系统的生物填料巨大的比表面积和湿润性增加了生物附着点位及拦截功能,能将水体中的含氮颗粒物等进行拦截和吸附,同时,宽阔的表面积充分扩展了立体空间,弥补了植物根系短小导致的微生物量少和截滤功能不足等缺点,随着系统内部微生物种类和数量的增加,生物膜逐渐成熟,世代周期较长的硝化菌的增加为氨态氮的硝化作用提

供了基本条件^[15],确保氨态氮的高效去除;另外,在夜晚或植物晚期生理活动较弱时,系统内附着的微生物也可高效作用,使系统持续稳定。(2)A浮床系统内生物膜连片生长,胞外多聚物使得一些具有互利关系的微生物距离更近,形成了包括细菌、真菌和藻类(在有光条件下)、原生动物和后生动物在内的微生物共生体,从而形成了一种复杂稳定的生态体系。在填料内部形成一个封闭厌氧空间,而由于根部泌氧作用,封闭空间周围又处于好氧环境,使生物膜从外向内形成好氧-厌氧分布,使系统内部的好氧细菌、兼性细菌和厌氧细菌能够在不同空间内同时进行硝化-反硝化,提高了去氮效率^[16]。植物则通过根系释放糖类及氨基酸等物质,调节水体的pH值,增加水体的异质性,促进微生物的生长。植物和填料的联合使用,在一定程度上会改变填料表面生物膜的微生物结构性质,加速生物膜的更新、促进DO在水中的传递。以上生态要素组合最终促使复合系统高效去氮。

2.2 对水体TP去除效果分析

近年来,随着对富营养化水体控氮除磷这一领域的深入研究,在理论和实践方面均有了新的突破。最近北美和我国的研究共同证明了富营养化治理无需控氮,只需控磷。浙江省杭州市西湖的引水配水工程中开展了控磷、不控氮试验,证明了集中控磷对富营养化湖泊有良好的控藻效果^[17],因此如何有效地降低水体中TP浓度一直都是研究的重点和难点。

由图5可知,A、B、C等3组处理系统对污水中TP具有较好的去除作用。总磷的浓度去除率分别为80.70%、59.86%、42.31%。A系统与空白处理差异性显著($P < 0.05$),与传统浮床和B系统相比,也有较高的去除率。试验过程中,TP浓度开始下降较快,后期恢复平稳,然后呈现波动式下降,这与浮床系统对TP的去除机理有关。一般来说,总磷的去除包括植物吸收、物理沉降、根系及填料拦截、基质吸附和微生物的降解^[18-19]。试验初期总磷浓度下降速率较快是由于受到沉降作用及拦截作用,导致含磷颗粒物减少,有研究发现,试验初期磷素的去除主要以物理拦截、沉降和吸附为主。系统A中较高的磷素去除,是因为植物的吸收、填料拦截、沉降及微生物共同作用的结果。其中,植物无法直接吸收和利用有机磷及溶解性较差的磷酸盐,只有通过微生物转化为溶解态磷酸盐才能被植物和微生物吸收,对磷的吸收作用较低,除磷作用不明显,复合系统填料的网絮状结构形态丰富了微生物种类和数量,使得系统中磷素含量持续降低并且优于其他几组试验。至于在试验过程中植物吸收、填料的吸附和微生物聚磷的去除贡献率还需进一步研究。

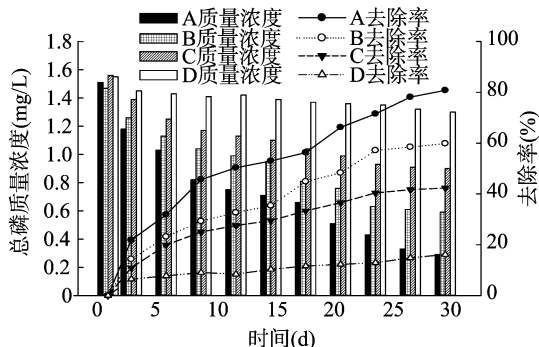


图5 总磷变化

2.3 对水体化学需氧量去除效果分析

由图6可知,A、B、C等3组浮床系统对水体中有机物具有明显的去除效果,试验过程中,COD_{Cr}含量均呈下降趋势。A、B、C、空白4组系统对COD去除率分别为81.9%、61.8%、42.9%、12.2%。A系统与空白相比对COD_{Cr}具有明显的削减作用,与对照组差异显著($P < 0.05$)。水体中有机物的降解受到水温、溶解氧、微生物的种类、数量等多种因素影响,通过厌氧降解、缺氧降解和好氧降解等不同方式进行降解^[20-21]。浮床A显著增加了系统内微生物的数量和种类,这些微生物通过自身的新陈代谢进行降解污水中的有机物,使之浓度降低;植物对COD_{Cr}的降解作用则比较有限,主要依靠根系上富集的微生物来实现降解作用,菖蒲发达的根系促进了好氧微生物的生长,消耗大量有机物。

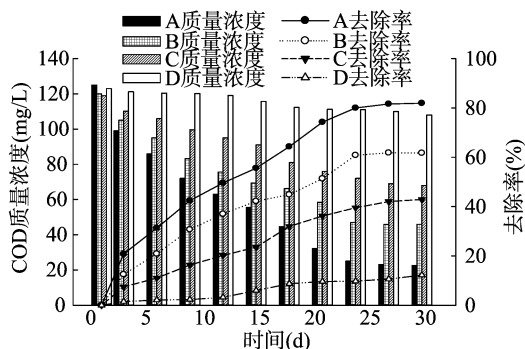


图6 化学需氧量的变化

2.4 水体中的微生物分析

微生物是生态浮床系统脱氮除磷的主要执行者,微生物的数量与净化效果呈正相关^[22]。试验结束对4组系统的细菌数量进行检测,分别为 7.6×10^{11} 、 5.3×10^{11} 、 3.4×10^{10} 、 2.1×10^{10} CFU/m³。可以看出A和B复合浮床内微生物的含量明显高于植物组和空白对照组,植物组浮床比空白含有更多的微生物。说明填料的存在为微生物提供了良好的附着空间,纤维填料较大的比表面积更利于微生物的富集,同时,植物根部为微生物的生长提供了载体环境,其分泌物可以有效促进某些氮磷菌的生长^[23]。复合处理组与植物组的细菌增量多于植物组与空白组的细菌增量,进一步说明填料的存在对于微生物繁殖起到促进作用,对水中污染物的去除率也显著较高,验证了微生物在整个污染物去除中起核心作用。

2.5 植物生长状况分析

试验过程中菖蒲生长情况见表2。由表2可知,菖蒲在不同试验阶段生长状况良好,其中,纤维填料复合浮床的菖蒲生长状况要优于立体填料复合浮床,立体填料浮床优于植物对照组。说明微生物对植物产生了积极影响,丰富的微生物群落通过代谢作用,产生的小分子物质促进了植物对营养元素的吸收,植物茂盛生长的同时根系向水体中分泌大量的有机物,这类分泌物中包含大量的有机酸、氨基酸和活性酶等,反过来促进了微生物的生长。植物对氮磷的固定与植物的生物量呈正相关^[24],植物生物量越大,对氮磷的固定能力越强,净化水质效果越好。

2.6 植物、填料和微生物之间的关系分析

在复合浮床系统中,植物、微生物和填料的单独作用和之间的协同作用使复合浮床对污水的净化效率明显高于传统浮

表 2 菖蒲生长状况

| 组别 | 株高 (cm) | | 根长 (cm) | | 生物量 (g) | |
|----|------------|------------|------------|------------|----------|----------|
| | 试验前 | 试验后 | 试验前 | 试验后 | 试验前 | 试验后 |
| A | 38.3 ± 0.8 | 48.6 ± 1.3 | 35.1 ± 0.3 | 41.6 ± 1.0 | 68 ± 1.3 | 98 ± 3.1 |
| B | 37.1 ± 0.5 | 46.2 ± 1.5 | 35.1 ± 0.3 | 39.2 ± 0.6 | 66 ± 1.5 | 92 ± 5.5 |
| C | 39.5 ± 0.6 | 45.6 ± 0.7 | 35.1 ± 0.2 | 38.6 ± 0.7 | 66 ± 0.9 | 78 ± 1.8 |

床和对照组。植物的存在对于维持微生物的生长和系统的稳定性具有较大贡献,同时自身还能吸收氮磷等营养元素^[25]。植物通过根系的泌氧作用提高水体中的溶解氧含量,为硝化细菌提供好氧环境,根系向水中分泌有机物促进了微生物的生长,加速其释放和转化^[26]。填料自身通过巨大的比表面积可以对水体中的污染物进行吸附拦截,是微生物理想的附着对象,通过代谢作用改变营养元素的形态促进植物对营养元素的吸收。微生物在污染物去除过程中起着核心作用,包括去除初期的生物物理吸附和后期的生物降解,而且对于植物的生长也有积极的作用^[27]。

3 小结

(1)复合浮床系统对污染水体具有较好的净化效果,其中,纤维填料浮床比弹性立体填料浮床对污染水体中污染物的净化效果更好,COD_{Cr}、氨态氮、总氮、总磷的去除率分别为 81.9%、86.9%、76.5%、80.8%。净化效果远远高于空白对照,差异显著($P < 0.05$)。(2)复合浮床增加了系统的稳定性,拓展了立体空间,能有效降低因植物衰败或生命活动微弱时其对浮床系统的冲击,对水体中污染物具有稳定且良好的去除效果。纤维填料浮床内部生物量高于弹性填料浮床,微生物是水体脱氮除磷的主要媒介,对比去除率发现微生物在整个过程中起到主导作用。(3)复合浮床能实现水生植物与微生物的有效结合,优势互补,可实现污染物的高效降解,同时投资低,维护简单,还兼有一定的景观效果,具有很好的应用价值。

参考文献:

[1]孙兴旺,马友华,王桂苓,等. 中国重点流域农村生活污水处理现状及其技术研究[J]. 中国农学通报,2010,26(18):384-388.

[2]张悦,段华平,孙爱伶,等. 江苏省农村生活污水处理技术模式及其氮磷处理效果研究[J]. 农业环境科学学报,2013,32(1):172-178.

[3]宋伟,周庆,王彦玲,等. 几种植物净化能力的比较及浮床应用效果研究[J]. 江苏农业科学,2010(5):474-477.

[4]杨林燕,海热提,李萌,等. 碳纤维湿地式浮床对微污染水体的净化研究[J]. 环境科学与技术,2013,36(11):136-141.

[5]李安峰,徐文江,潘涛,等. 公园人工湖水水质改善工程[J]. 中国给水排水,2014,30(14):90-92.

[6]周楠楠,高芮,张择瑞. 浮床植物系统对富营养化水体的净化效果[J]. 江苏农业科学,2013,41(3):337-339.

[7]范洁群,邹国燕,宋祥甫,等. 不同类型生态浮床对富营养河水脱氮效果及微生物菌群的影响[J]. 环境科学研究,2011,24(8):850-856.

[8]国家环境保护局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社,2002.

[9]Hu G J,Zhou M,Hou H B. An ecological floating-bed made from dredged lake sludge for purification of eutrophic water[J]. Ecological

Engineering,2010,36(10):1448-1458.

[10]吴海明,张健,李伟江,等. 人工湿地植物泌氧与污染物降解耗氧关系研究[J]. 环境工程学报,2010,4(9):1973-1977.

[11]Conley D J,Paerl H W,Howarth R W,et al. Controlling eutrophication:nitrogen and phosphorus[J]. Science,2009,323(5917):1014-1015.

[12]王忠敏,梅凯. 氮磷生态拦截技术在治理太湖流域农业面源污染中的应用[J]. 江苏农业科学,2012,40(8):336-339.

[13]Gruber N,Galloway J N. An earth-system perspective of the global nitrogen cycle[J]. Nature,2008,451(7176):293-296.

[14]Wu J,Zhang J,Jia W L,et al. Impact of COD/N ratio on nitrous oxide emission from microcosm wetlands and their performance in removing nitrogen from wastewater[J]. Bioresource Technology,2009,100(12):2910-2917.

[15]Abegglen C,Ospelt M,Siegt H. Biological nutrient removal in a small-scale MBR treating household wastewater[J]. Water Research,2008,42(1/2):338-346.

[16]杨清海,李秀艳,赵丹,等. 植物-水生动物-填料生态反应器构建和作用机理[J]. 环境工程学报,2008,2(6):852-857.

[17]Wang H J,Liang X M,Jiang P H,et al. TN:TP ratio and planktivorous fish do not affect nutrient-chlorophyll relationships in shallow lakes[J]. Freshwater Biology,2008,53(5):935-944.

[18]张保君,曹蓉,叶春,等. 微纳米曝气对植物浮床净化水质效果影响及数学模型分析[J]. 水处理技术,2012,38(7):53-57.

[19]段金程,张毅敏,高月香,等. 复合强化净化生态浮床对污水中N、P的去除效果[J]. 生态与农业环境学报,2013,29(4):422-427.

[20]Hoppe H G,Kim S J,Gocke K,et al. Microbial decomposition in aquatic environments: combined process of extracellular enzyme activity and substrate uptake[J]. Applied and Environmental Microbiology,1998,54(3):784-790.

[21]王国芳,汪洋静,吴磊,等. 组合型生态浮床中各生物单位对污染物去除的贡献及净化机理[J]. 土木建筑与环境工程,2012,34(4):136-141.

[22]虞中杰,王东启,陈振楼,等. 人工浮床加挂填料对富营养化河水的净化效果[J]. 中国给水排水,2011,27(17):31-35.

[23]陈秋夏,郑坚,金川,等. 水生植物对N、P的富集作用研究[J]. 江西农业大学学报,2008,30(3):437-442.

[24]Zhu B,Fitzgerald D G,Mayer C M,et al. Alteration of ecosystem function by zebra mussels in Oneida Lake: impacts on submerged macrophytes[J]. Ecosystems,2006,9(6):1017-1028.

[25]张荣社,李广贺,周琪,等. 潜流湿地中植物对脱氮除磷效果的影响中试研究[J]. 环境科学,2005,26(4):83-86.

[26]成水平,夏宜琚. 香蒲、灯心草人工湿地的研究Ⅲ. 净化污水的机理[J]. 湖泊科学,1998,10(2):66-71.

[27]李威,陈晓国,方涛. 组合生态浮床的水体净化效果与作用机理探讨[J]. 水生态学杂志,2012,33(6):76-81.