

不同基质下的苦草去污能力研究

史红玉^{1,2}, 贾宇航¹, 向璐宁¹, 罗先强¹, 洗耀强¹, 周胜^{1,2*}

(1. 仲恺农业工程学院, 广东广州 510225; 2. 广东润宇自然资源科技有限公司, 广东广州 511400)

摘要 [目的]研究不同基质下的苦草去污能力。[方法]开展不同基质下的苦草净水模拟试验,设5个处理:T₁(对照组):底泥+水+苦草(*Vallisneria natans*),T₂:底泥+2层无纺布+沙+水+苦草,T₃:底泥+2层无纺布+玉米芯+沙+水+苦草,T₄:底泥+2层无纺布+生物质焦+沙+水+苦草,T₅:底泥+2层无纺布+玉米芯+生物质焦+沙+水+苦草。[结果]苦草的5项生理指标显示,基质中添加有机物质会促进植物的生长,T₃和T₅试验组中苦草的生长状态最好。4组试验组与对照组相比对水体的净化效果均高于对照组,且T₄试验组的净水效果最好。在最后一次净化速率对比中,T₅试验组的去除速率最快,净水效果最好。[结论]基质净水在试验初期效果比较好,但根本上对水体的净化还需要依靠沉水植物。

关键词 基质;苦草;底泥;净水

中图分类号 X52 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)14-0062-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.14.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on the Decontamination Ability of *Vallisneria natans* under Different MatrixSHI Hong-yu^{1,2}, JIA Yu-hang¹, XIANG Luo-ning¹ et al (1. Zhongkai University of Agricultural Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225; 2. Guangdong Runyu Natural Resources Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 511400)

Abstract [Objective] To study the decontamination ability of *Vallisneria natans* under different matrix. [Method] Simulation experiments of *V. natans* water purification under different substrates were carried out: T₁ (control group): sediment+water+*V. natans*, T₂: sediment+two layers of non-woven fabric+sand+water+*V. natans*, T₃: sediment+two layers of non-woven fabric+corn cob+sand+water+*V. natans*, T₄: sediment+two layers of non-woven fabric+activated carbon+sand+water+*V. natans*, T₅: sediment+two layers of non-woven fabric+corn cob+activated carbon+sand+water+*V. natans*. [Result] According to the five physiological indexes of adding organic substances into the matrix could promote the growth of plants, and the growth state of *V. natans* was the best in T₃ and T₅ test groups. Compared with the control group, the water purification effect of the four groups of tests was higher than that of the control group, and the T₄ test group had the best water purification effect. In the last purification rate comparison, T₅ had the fastest removal rate and the best purification effect. [Conclusion] The effect of matrix water purification is better at the beginning of the experiment, but the purification of water body basically depends on submerged plants.

Key words Substrate; *Vallisneria natans*; Bottom mod; Water purification

水体的基质除了是水生植物根的固着基础,水生植物生长、繁殖等的基本条件及最重要的环境影响因素之一外,还可以为水生植物提供各类营养元素及微量元素,而且,不同基质的物理、化学、微生物的性质会有所差异,同时对水生植物生根、繁殖与生长等也会产生不同程度的影响^[1-2]。有研究表明,生物炭可以提高底泥的硝化作用强度,能够抑制底泥释放氨氮,同时,可以对水体、底泥氮磷的吸附和生境起到改善作用,可为沉水植物提供适宜的生存环境,沉水植物与生物炭的结合能进一步修复净化水体,稳定水生生态系统,提高水生生态系统的生物多样性^[3]。谢贻发等^[4]在2007年通过模拟试验,对不同基质条件下苦草的形态特征、生物量积累及分配格局进行了研究。结果表明,基质条件对苦草的生长和形态有较大影响,苦草能在一定程度上适应肥沃的基质条件,但当N、P、有机质含量过高时,苦草的生长受到抑制^[4]。

1 材料与方**1.1 试验材料** 苦草是一种重要的沉水植物,是人工构建生

基金项目 广东省省级科技计划项目(2016A020207003);广东省普通高校工程技术研究中心项目(2016GCZX001);广东省农业技术需求研究与示范项目(2017LM4170);广州市科技计划项目(2014Y2-00526);现代高质增效农业规划与技术服务项目(KA1810302);广州市越秀区科技创新和产业化专项(2016-GX-004);校企合作技术开发合作项目(D11820254)。

作者简介 史红玉(1990—),女,山东菏泽人,助理工程师,硕士,从事环境生态修复研究。*通信作者,讲师,博士,从事环境生态修复研究。

收稿日期 2019-12-12; **修回日期** 2020-01-07

态系统的重要组成部分,也是生态文明建设的重要材料之一,被认为是缓解水体富营养化程度和重建水生植被的良好材料,在幼苗生长到一定阶段后,从根部产生侧向生长的一个或数个根状茎,茎上产生新的幼苗,形成无性系分株^[5-7]。因此,在植物应用上选择了被人们认可的苦草。

选取生长良好、生物量相近、长势相似的苦草进行模拟试验,试验用水采用实验室内人工配制的富营养化水体,初始值见下表。

表1 试验用水水质

Table 1 Characteristics of experimental wastewater

指标 Index	测定值 Measured value	指标 Index	测定值 Measured value
pH	7.50±0.12	氨氮 Ammonia nitrogen // mg/L	10.37±0.04
DO mg/L	6.90±0.15	总氮 TN // mg/L	11.27±0.14
浊度(度) Turbidity	15.50±0.12	总磷 TP // mg/L	18.37±0.01
色度(度) Chroma	19.85±0.26	COD mg/L	61.25±1.20

1.2 试验设计 采用人工模拟园林水体的室内试验,试验中使用的苦草收集回来后放置清水中驯化20 d,令其适应水生环境,最后选择健康有活力、生长态势良好、大小相近的苦草每49棵为一组种在试验装置中。试验在仲恺农业工程学院试验大棚内进行,通风透光。试验时间为2019年2月16日

至 3 月 15 日。

试验装置为透明玻璃水箱,水箱尺寸 70 cm×70 cm×90 cm,试验用水浓度为 25 cm。试验共设置 5 组单一的处理,每组处理设 3 个平行。各试验组和对照组如下。

T₁:底泥(20 cm)+水(25 cm)+苦草,为对照组;T₂:底泥(20 cm)+2 层无纺布+沙(5 cm)+水(25 cm)+苦草;T₃:底泥(20 cm)+2 层无纺布+玉米芯(2 cm)+沙(5 cm)+水(25 cm)+苦草;T₄:底泥(20 cm)+2 层无纺布+生物质焦(2 cm)+沙(5 cm)+水(25 cm)+苦草;T₅:底泥(20 cm)+2 层无纺布+玉米芯(2 cm)+生物质焦(2 cm)+沙(5 cm)+水(25 cm)+苦草。

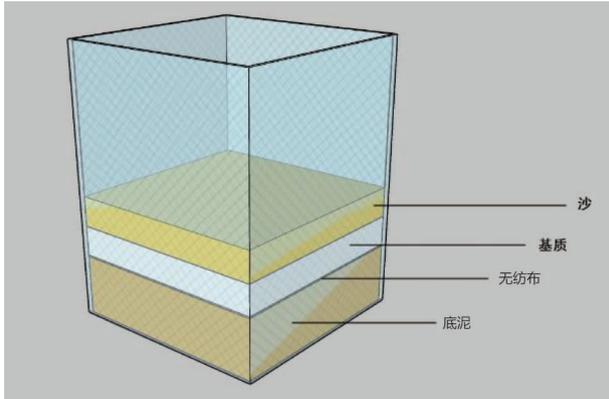


图 1 试验装置模型

Fig.1 Model of test device

1.3 试验测定 水质测定方法:根据研究的需要,试验对水中 NH₄⁺-N、TP、TN、DO、COD 5 个指标进行取样测定和分析,试验测试指标和测定方法按照《水和废水监测分析方法》(第 4 版)(国家环境保护总局,2002)进行。植物生理指标只测 2019 年 2 月 21 日(试验前)和 2019 年 3 月 15 日试验结束时的数据,分别为:叶绿素、鲜重、根总长、根尖数、根体积。

1.4 去除率计算和数据处理 水体中污染物的去除率计算公式为:去除率(%)=(C₀-C_i)/C₀×100%,式中,C₀为初始浓度,C_i为取样时的浓度。

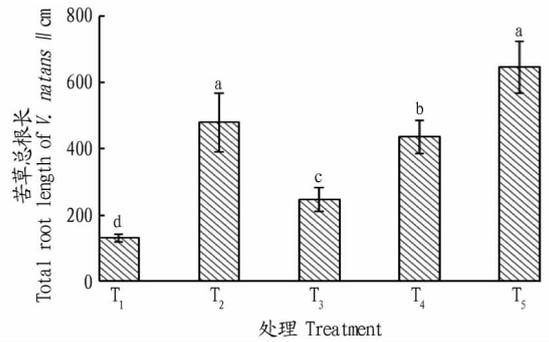
试验数据处理每组试验做 3 个平行,试验数据均取平均值,试验所获得的数据使用 Microsoft Excel 2010 进行编辑处理及绘制相关图表,每个处理组的差异性通过 SPSS 19.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同基质下的苦草生长状况 在试验期间所有植物生长状况良好,无枯萎或死亡现象。

2.1.1 不同基质中苦草根总长的变化。根总长是衡量苦草根的一个重要指标,根总长越大说明苦草根的生长状态越好。图 2 表明,苦草在不同基质下根总长的差别,各处理组之间差异性显著(P<0.05)。苦草的根总长指标对照组与试验组之间有明显的差别,与初始值相比根总长均有增长。在基质中既加生物质焦也加玉米芯对苦草的根生长有促进作用;在基质中加生物质焦或沙对苦草的根生长无影响;在基质中只加玉米芯,与其他试验组相比,会抑制苦草的根生长。

2.1.2 不同基质中苦草根体积的变化。由图 3 可看出,在基



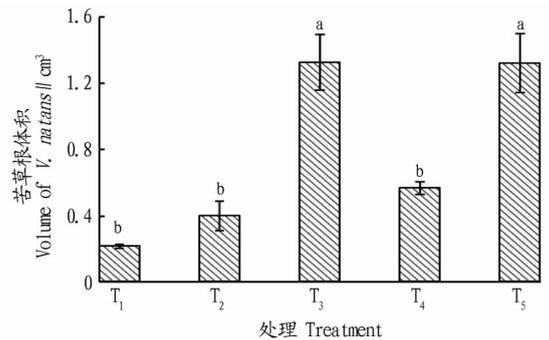
注:不同小写字母表示各处理组间在 0.05 水平差异显著

Note:Different small letters represent significant differences between processing groups at 0.05 level

图 2 不同基质对苦草总根长的影响

Fig.2 Effects of different substrates on total root length of *V.natans*

质中添加玉米芯极大的提高了根体积,与 T₁ 组苦草的根体积相比增加了 521%、518%;试验组的基质中均加有沙,试验组与对照组相比根体积均有增加的趋势,说明在沙中种植苦草比直接在底泥中种植苦草效果要好;在基质中加生物质焦对苦草根体积的影响甚微,通过 SPSS 19.0 软件进行差异显著性分析,发现 T₅、T₃ 之间差异不显著,T₁、T₂、T₄ 之间差异不显著,T₅、T₃ 与 T₁、T₂、T₄ 之间有显著性差异,这一结果与基质中是否添加有机质相符。



注:不同小写字母表示各处理组间在 0.05 水平差异显著

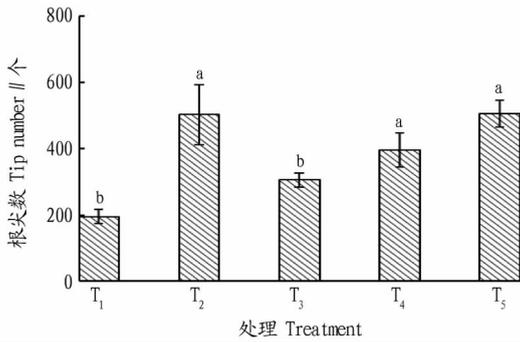
Note:Different small letters represent significant differences between processing groups at 0.05 level

图 3 不同基质对苦草根体积的影响

Fig.3 Effects of different substrates on volume of *V.natans*

2.1.3 不同基质中苦草总根尖数的比较。由图 4 可看出,所有处理组中根尖数量分别为:193.67、500.33、304.33、394.67、503.33 个,根尖数的差别量与根总长和根体积的变化量一致,均是 T₅、T₃ 试验组的检测数值高,各组根尖数的显著差异性与根体积的显著差异性变化一致(P<0.05)。各处理组之间比较,T₃、T₅ 组提高苦草总根尖数效果最好,其效果远优于其他处理组合的原因可能是因为玉米芯的快速分解,使其营养物质迅速释放到土壤中,提升了土壤生物活性,更有利于苦草根系的生长和根尖数的增加。

2.1.4 不同基质中苦草鲜重的比较。有研究显示,根据植物生物量的变化可以判断植物的净水能力^[8-9]。图 5 显示,T₅ 试验组中的苦草鲜重增加量最大,与初始值相比增加了



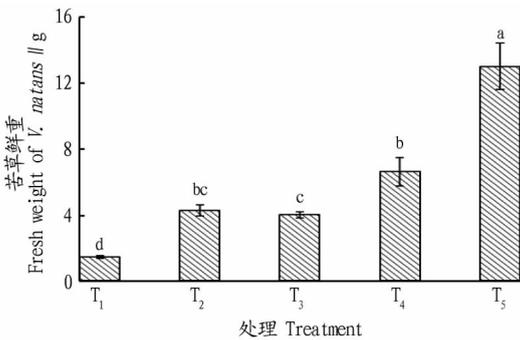
注:不同小写字母表示各处理组间在 0.05 水平差异显著

Note: Different small letters represent significant differences between processing groups at 0.05 level

图 4 不同基质对苦草根尖数的影响

Fig.4 Effects of different matrix on tip number of *V.natans*

11.29 g,其次是 T₄ 试验组中的苦草,增加了 4.90 g。



注:不同小写字母表示各处理组间在 0.05 水平差异显著

Note: Different small letters represent significant differences between processing groups at 0.05 level

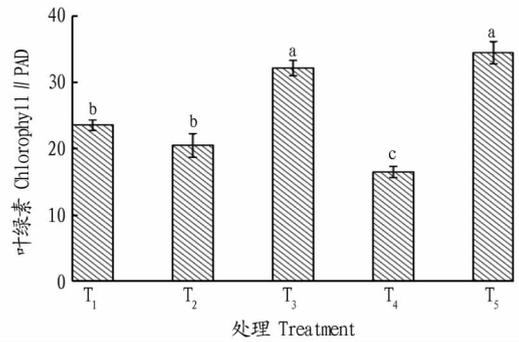
图 5 不同基质对苦草鲜重的影响

Fig.5 Effects of different substrates on fresh weight of *V.natans*

2.1.5 不同基质中苦草叶绿素的比较。植物中的叶绿素含量直接影响植物的光合作用,间接影响植物的生长状态。由图 6 可看出,苦草在不同基质下叶绿素的差别,且各处理组之间的差异显著($P < 0.05$)。T₅、T₃ 组中苦草叶绿素检测值明显高于其他组,说明基质中添加有机质可以促使植物中叶绿素的提升,T₅ 与 T₃ 组相比无显著差异,但检测结果有差异,T₅ 组中苦草的叶绿素含量明显高于 T₃ 组。

2.2 水质状况分析

2.2.1 不同处理中溶解氧的变化。由图 7 可见,在水中植物相同的情况下,水体中溶解氧的差别依然很大,这说明水体中溶解氧的变化不仅与水生植物有关,也与水体基质有关。沉水植物在进行光合作用时会使水中溶解氧浓度增加,因此水中溶解氧浓度也可以间接反应沉水植物状态。由图 7 可看出,在 5 组试验中,水中溶解氧浓度均为先下降后增长,其中第 3 组试验的这种表现最为明显。在首次的检测结果中,第 2 组和第 4 组试验检测结果与初始值相比变化不明显,而第 3 组试验的变化最明显,说明沙和生物质焦对水中溶解氧无较大影响,玉米芯作为水体基质会对水中溶解氧有较大的影响。

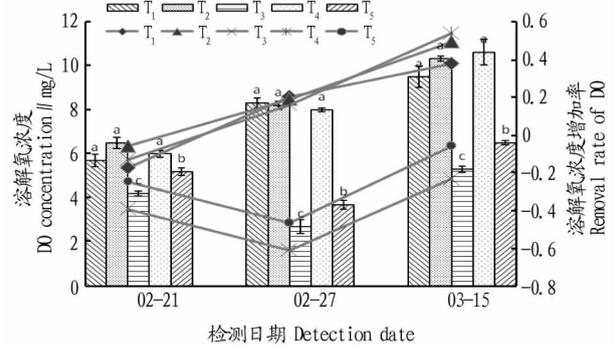


注:不同小写字母表示各处理组间在 0.05 水平差异显著

Note: Different small letters represent significant differences between processing groups at 0.05 level

图 6 不同基质对苦草叶绿素的影响

Fig.6 Effects of different substrates on chlorophyll of *V.natans*



注:不同小写字母表示各处理组间在 0.05 水平差异显著

Note: Different small letters represent significant differences between processing groups at 0.05 level

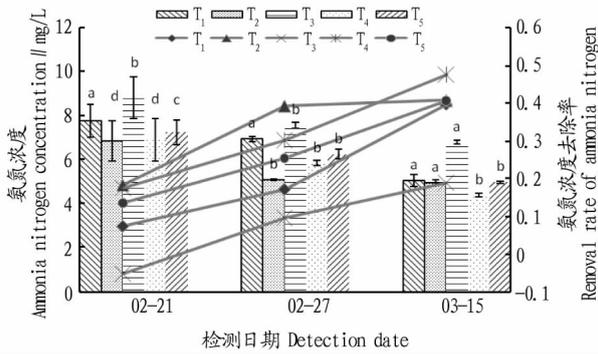
图 7 不同基质对溶解氧的提升

Fig.7 Improvement of DO by different substrates

2.2.2 不同处理中 NH₄⁺-N 的变化。由图 8 可知,试验期间各组 NH₄⁺-N 浓度呈现不同的变化趋势,试验结束时,各组基质处理的水体与对照组差异显著,且各组指标均超过公园 V 类水 2.0 mg/L 的用水标准。各组的 NH₄⁺-N 浓度在试验期间除第 3 组试验外,其他 4 组一直呈现下降趋势,第 3 组试验水中 NH₄⁺-N 浓度在第 6 天检测时,检测值显示比初始 NH₄⁺-N 浓度还要高,因为基质中玉米芯向水体中释放了 N 元素;而 T₅ 组的去除效果比 T₃ 组要好,是因为在第 5 组试验中的基质中加入了生物质焦,从而证明了生物质焦对 NH₄⁺-N 具有去除作用。在试验结束时,各组 NH₄⁺-N 浓度均小于初始值。

2.2.3 不同处理中 TN 的变化。如图 9 所示,在试验期间时间越长,处理效果越好,对照组及其他处理 TN 浓度呈下降趋势。TN 浓度与 NH₄⁺-N 浓度在试验期间有相似的变化趋势,对照组 TN 浓度在第 3 次检测时的浓度为:10.315、9.458、7.785 mg/L,总去除率为:30.92%。其他 4 组不同基质的配置模式中,只有 T₃ 组的第 2 次检测值高于对照组,其他均低于对照组,第 3 组 TN 浓度相对高的原因可能为玉米芯分解出的物质导致水体 TN 浓度高于其 3 组。

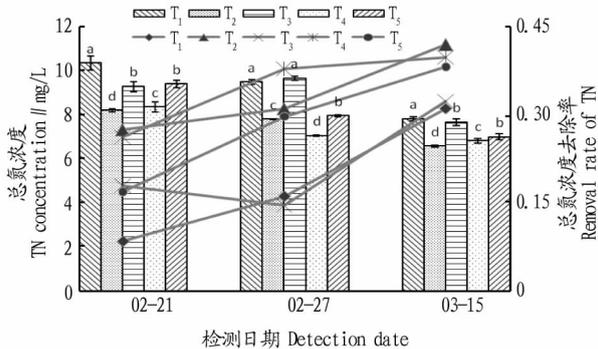
2.2.4 不同处理中 TP 的变化。各处理对 TP 的去除效果如



注:不同小写字母表示各处理组间在 0.05 水平差异显著
 Note: Different small letters represent significant differences between processing groups at 0.05 level

图 8 不同基质对氨氮的去污影响

Fig.8 Effects of different substrates on ammonia nitrogen removal



注:不同小写字母表示各处理组间在 0.05 水平差异显著
 Note: Different small letters represent significant differences between processing groups at 0.05 level

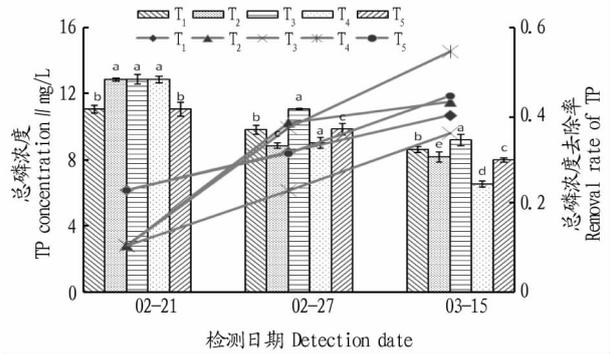
图 9 不同基质对总氮的去污影响

Fig.9 Effects of different substrates on the removal of TN

图 10 所示,试验进行到第 6 天时,与初始值相比,各组的 TP 浓度均呈下降趋势,与对照组相比,T₂、T₃、T₄ 组的 TP 浓度均为上升状态,T₅ 组的 TP 浓度与对照组相同;试验进行到第 12 天时,各处理组与对照组相比,水中 TP 的去污效果有了明显差异,T₃、T₅ 试验组 TP 浓度(11.05、9.85 mg/L)高于对照组 TP 浓度 9.81 mg/L, T₂、T₄ 试验组 TP 浓度(8.85、9.01 mg/L)低于对照组 TP 浓度;试验进行到第 18 天时,除 T₃ 组的 TP 浓度高于对照组外,其他 3 组均低于对照组。

2.2.5 不同处理中 COD 的变化。化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)是指在一定条件下,经重铬酸钾氧化处理时,水样中的溶解性物质和悬浮物所消耗的重铬酸盐相对应的氧的质量浓度^[10]。因此,化学需氧量(COD)往往作为衡量水中有机物质含量多少的指标。化学需氧量越大,说明水体受有机物的污染越严重。

由图 11 可看出,试验进行到第 6 天时,与初始值相比, T₃、T₅ 试验组水体的 COD 浓度与初始值相比呈上升状态,其原因可能是玉米芯中的有机物释放到了水中,从而导致了 COD 浓度的增加,其他 3 组试验水中 COD 浓度与初始值相比下降了 23.10%、10.58%、10.58%。试验进行到第 12 天时,各处理组与对照组相比, T₃、T₅ 处理组的 COD 浓度依然很

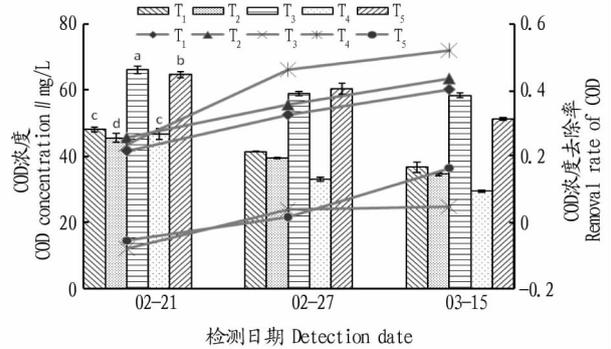


注:不同小写字母表示各处理组间在 0.05 水平差异显著
 Note: Different small letters represent significant differences between processing groups at 0.05 level

图 10 不同基质对总磷的去污影响

Fig.10 Effects of different substrates on the removal of TP

高,其他 3 组 COD 去除率的增加速率趋于稳定状态,原因可能是这时基质对水中 COD 的吸收能力达到了饱和状态,每组处理组中种植的植物几乎都在后 2 次检测中表现出了不符合方差齐性检验,无明显差异性。



注:不同小写字母表示各处理组间在 0.05 水平差异显著
 Note: Different small letters represent significant differences between processing groups at 0.05 level

图 11 不同基质对 COD 的去污影响

Fig.11 Effects of different substrates on the removal of COD

3 小结

综合上述的各项指标来看,组别 1 的 8 项指标在 3 次检测中 NH₄⁺-N、TN、TP 和 COD 的去污趋势与去除速率几乎一致,在试验结束时, NH₄⁺-N、TN、COD 和 TP 的去污率分别为:39.57%、30.92%、40.16%和 40.08%; DO 的变化与色度的变化趋势相似,从最低值 5.7 上升到了 9.5mg/L。NH₄⁺-N、TN、TP、COD 4 项指标的浓度因配制时的初始浓度过高,在试验结束时其浓度依然超出了景观用水标准;组别 3 的 8 项指标在 3 次检测中变化比较多变,在第 6 天的检测值中有 6 项检测值与初始值相比变的更高,说明这时水体富营养化程度更严重,原因可能为玉米芯向水中释放了 N、P 等元素;组别 4 的 8 项指标在 3 次检测中显示随时间的变化,基质与植物的净化吸收各项指标浓度均呈下降趋势, NH₄⁺-N、TP、COD 的去污率均为 5 组试验的最高值,说明生物质焦在水体净化过程中起到了促进作用;组别 5 在基质的配置上结合了 (下转第 68 页)

宣传。

5.4 增加湿地资源保护资金的投入 积极争取国家、省市对湿地资源管理、湿地生态效益补偿等资金的投入,拓宽湿地资源保护管理投资渠道,建立长效、稳定的湿地资源管理投入机制,保障湿地资源保护和管理经费。特别是要加大对湿地生态效益补偿的力度,实现保护、补偿与奖励等效益最大化^[7]。

5.5 注重特色、突出重点加以保护 景宁县域内湿地主要为河流湿地、沼泽湿地和人工湿地3类,永久性河流、草本沼泽、森林沼泽和库塘4型,根据湿地类型不同,有侧重采取以下措施进行保护和利用。

5.5.1 建立水电站退出机制,实行生态修复。县域内有160座水电站,大多为建坝截流发电,形成梯级水电开发,使河流水库化,对生物多样性造成威胁,河流湿地的自然生态系统受到较严重的破坏。针对破坏严重的可进行科学监测、综合评估,建立电站退出机制,进行科学修复,恢复流域生态系统^[8]。

5.5.2 饮用水源实行最严格的保护。境内分属瓯江水系和飞云江水系形成的山溪性河流,流域沿线修建水电站而形成的千峡湖、上标、英川、白鹤、龙潭桥等大中型库塘湿地,都是周边乡镇及县城、丽水、青田、温州等下游区域饮用水源,对饮用水源及湿地动植物资源实行最严格的保护,是对湿地资源最为有效的保护措施^[9]。

5.5.3 开展湿地功能修复研究。组织开展县域内湿地进行科学监测、功能修复等研究,尤其是对望东垵、大仰湖2个省

级湿地自然保护区等沼泽湿地旱化、功能退化等开展调查研究,进行科学修复,进一步增强沼泽湿地生态功能,保护湿地生物多样性,全面提升湿地保护水平^[10]。

5.5.4 科学开发、合理保护湿地资源。在加强湿地资源保护的前提下,合理利用滩坑库区“千峡湖”、上标湖“天池”“华东第一峡”炉西峡等水域、景观资源,适当发展水产养殖+生态游等其他特色优势产业,实现湿地资源的合理利用、生态产品价值的科学转化,推进生态资源可持续发展^[11]。

参考文献

- [1] 国家林业局.国家林业局令第32号:湿地保护管理规定[A].2013-03-28.
 - [2] 洪奕丰.平阳县湿地资源保护的探讨[J].华东森林经理,2019,33(2):9-12.
 - [3] 季必浩,陈莉娟,徐洪峰,等.景宁望东垵、大仰湖保护区湿地植物调查及分析[J].林业科技通讯,2018(7):57-67.
 - [4] 徐文辉,江潇潇.景宁望东垵高山湿地自然保护区SWOT分析及发展对策[J].中国城市林业,2010,8(5):36-38.
 - [5] 刘日林,林坚,陈征海,等.浙江景宁望东垵、大仰湖湿地自然保护区湿地植物图鉴[M].杭州:浙江大学出版社,2019.
 - [6] 周圣佑,李爱年.我国湿地保护管理立法现状与完善建议[J].湖南警察学院学报,2018,30(4):71-76.
 - [7] 孙博,谢屹,温亚利.中国湿地生态补偿机制研究进展[J].湿地科学,2016,14(1):89-96.
 - [8] 芦英俊,王东,邓木兴.黄河三角洲湿地环境评价及生态影响[J].四川环境,2018,37(3):141-146.
 - [9] 唐小平,梁晓峰.构建以国家公园为主体的自然保护地体系[J].林业资源管理,2017(6):1-8.
 - [10] 张礼聪.生态文明背景下湿地保护问题研究:以景宁县为例[J].中国林业经济,2018(6):70-72,108.
 - [11] 胡新良.加快洞庭湖生态经济区科学发展的思考[J].湖南行政学院学报,2015(1):75-79.
- (上接第65页)
- 组别3和组别4,基质中既加入了玉米芯也加入了生物质焦,同时试验数据也说明了在基质中加入玉米芯会导致水质在近期内变差,但随着时间的推移由于加入玉米芯的同时也加入了生物质焦,因此,在试验结束时水质的变化与组别4相差无几。
- 有研究表明,沉水植物的根系可以从基质中吸收营养物质,比如N、P等营养元素;但也有研究表明,沉水植物的根系只有固定植株的作用,沉水植物的叶子可以直接从水中吸收各种无机物质,因而认为沉水植物根的营养吸收功能较弱^[11-12]。苦草的5项生理指标显示,基质中添加有机质会促进植物的生长,但在水体基质中加入有机质会导致水中N、P等元素的增加。从植物生长的趋势与水体净化的速率显示,在基质中添加少量有机质,在有机质上面铺与有机质等量的生物质焦,这种基质的配置方式,水质的各指标会呈现先上升后下降的变化趋势。基质净水在试验初期效果比较好,但根本上对水体的净化还是需要沉水植物。
- ## 参考文献
- [1] XU F, YANG Z F, CHEN B, et al. Impact of submerged plants on ecosystem health of the plant-dominated Baiyangdian Lake, China [J]. Ecological modelling, 2013, 252(1): 167-175.
 - [2] 钱珍余, 王晓雪, 钟成华, 等. 不同基质对苦草净化水质效果的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(36): 13001-13004.
 - [3] 李扬, 李锋民, 张修稳, 等. 生物炭覆盖对底泥污染物释放的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(8): 3071-3078.
 - [4] 谢贻发, 李传红, 刘正文, 等. 基质条件对苦草 (*Vallisneria spiralis*) 生长和形态特征的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1269-1272.
 - [5] 陈磊, 叶其刚, 潘丽珠, 等. 长江中下游湖泊两种混生苦草属植物生活史特征与共存分布格局[J]. 植物生态学报, 2008, 32(1): 106-113.
 - [6] XIAO Y E, CHEN K N, DAI X B, et al. Comparison of adaptive capacity to low light intensity of two angiosperm submerged macrophytes from Taihu Lake [J]. Plant physiology communications, 2006, 42(3): 421-425.
 - [7] 黄龙翔, 朱明石. 苦草的研究现状[J]. 广东化工, 2017, 44(15): 154-156.
 - [8] 蒋跃萍, 葛莹, 岳春雷, 等. 人工湿地植物对观赏水中氮磷去除的贡献[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1720-1725.
 - [9] 郭爱红, 牛福生, 贾久满. 几种湿地植物对景观水体富营养化治理研究[J]. 北方环境, 2010, 22(1): 37-39.
 - [10] 张莉萍, 杨再荣. 《水质化学需氧量的测定重铬酸盐法》新旧标准对比分析[J]. 环境科学导刊, 2018, 37(S1): 135-138.
 - [11] ANDERSON M R, KALFF J. Submerged aquatic macrophyte biomass in relation to sediment characteristics in ten temperate lakes [J]. Freshwater biology, 1988, 19(1): 115-121.
 - [12] RATTRAY M R, HOWARD-WILLIAMS C, BROWN J M A. Sediment and water as sources of nitrogen and phosphorus for submerged rooted aquatic macrophytes [J]. Aquatic botany, 1991, 40(3): 225-237.