

水葫芦对污水净化效果研究进展

陈馨彤, 赵盟, 岳斌*, 常国华

兰州城市学院, 地理与环境工程学院, 甘肃 兰州

收稿日期: 2021年9月12日; 录用日期: 2021年10月14日; 发布日期: 2021年10月21日

摘要

水葫芦生长快、繁殖能力强、抗性强, 对于污水中的污染物具有一定的吸收能力。水葫芦在含有染料污水、富营养化水体、工业废水(重金属)以及生活污水中对污染物有吸收能力, 总结其对各类污水处理的效果, 旨在为植物修复水体方法研究提供文献参考。

关键词

水葫芦, 染料, 富营养化, 工业废水(重金属), 生活污水

Research Progress of Water Hyacinth on Wastewater Purification

Xintong Chen, Meng Zhao, Bin Yue*, Guohua Chang

College of Geography and Environmental Engineering, Lanzhou City University, Lanzhou Gansu

Received: Sep. 12th, 2021; accepted: Oct. 14th, 2021; published: Oct. 21st, 2021

Abstract

Water hyacinth has the characteristics of fast growth, strong reproductive ability and strong resistance, and has a certain absorption capacity for pollutants in sewage. The absorption capacity of water hyacinth to pollutants in dye wastewater, eutrophication water body, industrial wastewater (heavy metal) and domestic sewage was compared. Its effects on various types of sewage treatment are summarized. The aim is to provide literature references for research on phytoremediation of water bodies.

*通讯作者。

Keywords

Water Hyacinth, Dye, Eutrophication, Industrial Wastewater (Heavy Metals), Sewage

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水葫芦(*Eichhornia crassipes* Sloms)正式名: 凤眼蓝, 也叫水浮莲。1901年, 凤眼莲被引入中国作为一种观赏性植物。属于多年生草本植物, 通常其根生于淤泥或水表浮生, 属于雨久花科, 南美洲亚马逊河流域是它的原产地[1]。

水葫芦原产于巴西, 现主要分布于我国华北、华东、华中和华南等地。它喜欢温暖、潮湿、阳光充足的环境, 适应性强, 有一定的抗寒性。他出生在海拔 200~1500 米的池塘、沟渠和稻田里, 它也广泛生长在亚洲热带地区。它也被广泛用于家禽等的饲料, 还可药用, 具有清凉解毒、除湿祛风热等功效。此外, 因含有大量木质素与纤维素, 水葫芦还是不错的发酵底物。它也可以被当作水源净化物, 因为其可以很好地吸附水体中的重金属、氮、磷等物质[1]。

黄乐等[2]在众多国外研究者的研究中发现, 国外在水葫芦净化水体的研究上主要是针对无机物、有机物和重金属的去除, 且国外对水葫芦在能源应用方面研究也颇多, 发现水葫芦可以被用来制作生物燃料, 干粉生产煤用型燃煤, 用于燃煤电厂的共烧。然而国内在水体净化研究进展则如下。

2. 水葫芦对污水中染料的吸收效果

染料废水中含有多种具有生物毒性或“三致”性能的有机物, 可能造成水生生物群落的毁坏。合成染料通常具有复杂的芳香分子结构, 这些结构使染料分子更加稳定, 难于被生物降解。因此, 染料废水的有效治理对人类健康和环境保护都有着重要的意义[3]。

目前有关水葫芦对污水中染料的吸收方法及效果如表 1。

Table 1. Removal of dye from sewage by water hyacinth

表 1. 水葫芦对污水染料的去除

文献标题	染料类型	去除方法	去除效率
改性水葫芦干体对亚甲基蓝的动态吸附研究[3]	亚甲基蓝	准确称取一定量改性水葫芦干体, 装入 25 mL 移液管中, 轻微振荡使之均匀分布并用蒸馏水润湿, MB 溶液自上而下通过改性水葫芦干体, 底端接收滤出液, 测定吸光度。	改性水葫芦干体对 MB 动态吸附适宜条件为: 吸附柱高度 8.17~11.05 cm、MB 溶液初始 pH = 6.5~9、MB 初始质量浓度小于 150 mg/L。初始质量浓度为 100 mg/L 的 MB 溶液在动态吸附装置中吸附 280 min, 对水中 MB 动态吸附稳定且吸附率保持在 90%以上。
凤眼莲净化印染废水过程中根系微生物系统的作用[4]	分散黄、活性蓝、PVA、十二烷基苯磺酸钠	将染料置聚氯乙烯塑料缸内, 加入适量植物生长所需营养盐, 在气温 25°C~35°C、日照为 10 h/d, 水体 pH 为 6.0~7.5、水温 20°C~27°C 的条件下, 将凤眼莲放入试缸, 对照缸不植凤眼莲, 并用黑纸覆盖 2/3, 模拟凤眼莲对水面的覆盖。每天定时测定上述四种成份的浓度。	1) 对分散黄的去除率达:70%; 2) 对 PVA 去除效率为 26%; 3) 对活性蓝的去除效率约为: 20%; 4) 对十二烷基苯磺酸钠去除率 15%到 40%之间。

Continued

水葫芦干体对亚甲基蓝的生物吸附[5]	亚甲基蓝	称取一定量水葫芦干体置于锥形瓶中, 加入 40 mL 不同浓度的亚甲基蓝溶液, 用浓度 0.1 mol/L 的 HCl 和 NaOH 调节溶液初始 pH。在(25 ± 1)°C 恒温振荡摇床中以 150 r/min 转速振荡吸附。一定时间后取清液用光度法在亚甲基蓝最大吸收峰波长(668 nm)处测定。试验设置 3 个平行。	MB 初始质量浓度 50 mg/L、溶液初始 pH 为 6.0、粒径 0.425~0.250 mm 的水葫芦干体用量为 0.5 g/40mL、于(25 ± 1)°C 的恒温振荡摇床中以 150 r/min 振荡吸附反应 120 min 后, 吸附率可达 76.5%。在一定范围里, 吸附率随初始 pH、干体投加量和摇床转速等增大而升高, 随干体粒径增大而降低。
水葫芦生物质炭的制备与染料吸附性能研究[6]	亚甲基蓝、刚果红、甲基蓝	分别以亚甲基蓝、刚果红、甲基蓝为模型染料, 配制浓度为 50 mg/L 的染料水溶液; 然后称取水葫芦生物质炭 0.2、0.3、0.4、0.5 g, 分别放入 250 mL 的锥形瓶染料溶液中, 在 25°C 恒温条件下振荡 24 h, 溶液经 4000 r/min 离心分离 5 min, 取上清液测定吸光度。	当溶液的初始 pH = 2 时, 亚甲基蓝去除率为 75.56% 而刚果红去除率 73.76%, 随着 pH 值的增加, 亚甲基蓝的去除率会逐渐增大, 最高可以达到 96.76%, 而刚果红去除率会逐渐降低, pH 值对甲基蓝的去除率影响不大。

通过相关文献可知, 水葫芦对分散黄、活性蓝、PVA、十二烷基苯磺酸钠、亚甲基蓝、刚果红、甲基蓝均有去除效果。对于同一种染料, 不同状态下的水葫芦对染料的去除效果不同。例如陈道建和邱罡的研究发现, 对于亚甲基蓝染料采用动态吸附和生物吸附时, 动态吸附效果更好。

3. 水葫芦对水体富营养化的净化效果

目前, 随着现代化进程与民众生活水平的提高, 各种点源、面源的富营养物质, 通过各种形式向水体富集, 导致了水体富营养化并爆发“水华”, 极大地破坏了水体的生态平衡, 对水体生物多样性和安全产生灾难性后果[7]。因此, 水体富营养化治理成为了当前环境治理的热点之一。目前有关水葫芦对水体富营养化的净化效果如表 2。

Table 2. Purification effect of water hyacinth on eutrophication of water

表 2. 水葫芦对水体富营养化的净化效果

文献标题	富营养化水体	去除方法	去除效率
巨紫根水葫芦对平原水库富营养化水体净化效果的研究[8]	TN、NH ₃ -N、TP	试验容器有效容积 60 L。试验时间共进行 14 天。设置三组平行试验, 所有数据均用三个平行试验的平均值。试验用水以棘洪滩水库水质为背景, 以目前水库中氮和磷的平均值为参考, 人工配制模拟富营养化水质, 总氮、氨氮、总磷, 总氮含量采用过硫酸钾氧化—紫外分光光度法测定, 总磷含量采用过硫酸钾消解—钼锑抗分光光度法测定, 氨氮含量采用纳氏试剂光度法测定。	紫根水葫芦和水葫芦对富营养化水体中的 TN、NH ₃ -N 和 TP 的都可达 80% 以上。
凤眼莲、水花生、鲢鱼对富营养化水体藻类及氮、磷的去除作用[9]	氮、磷	采用 10.0 m × 4.0 m × 1.5 m 规格的混凝土水泥池作为试验池, 试验初始时放入培养用水 48 m ³ 。试验设 6 个处理: 处理 1, 对照(无植物、无鲢鱼); 处理 2, 凤眼莲; 处理 3, 水花生; 处理 4, 鲢鱼; 处理 5, 凤眼莲+鲢鱼; 处理 6, 水花生 + 鲢鱼。各处理中, 凤眼莲和水花生投放的密度均为 2 kg/m ³ , 覆盖面积约为试验池总面积的 30%; 鲢鱼的放养密度为 52 g/m ³ ; 各处理同一时间投放等量的饲料(200 g), 投料时间为每次取样后的第 2 d。每隔 9 d 取 1 次样。总氮(TN)含量测定采用过硫酸钾氧化, 紫外分光光度法; 总磷(TP)含量测定采用过硫酸钾消解, 钼锑抗分光光度法。	单独放养水葫芦处理对水体中总氮和总磷的去除率分别为 35.17% 和 37.63%, 水葫芦 + 鲢鱼处理对总氮的去除率达到 41.52%。
水葫芦在富营养化水体中的生态修复应用试验研究[10]	绿藻	以模拟富营养化水体为研究对象, 通过在水槽中投放不同数量的水葫芦, 研究水葫芦在富营养化水体中的生态修复应用效果。	在无底泥模拟试验中, 不投放水葫芦的对照系统中叶绿素最大浓度为 434.6 mg/m ³ , 而投放 1、4 棵水葫芦的系统中叶绿素浓度最大浓度分别降为 285.0 和 119.0 mg/m ³ 。在有底泥模拟试验中, 与无水葫芦的对照组相比, 投放 4 棵水葫芦(覆盖率为 51%)的系统中叶绿素浓度削减了 58%。

从上述数据可见水葫芦可以显著抑制富营养化藻类的生长,对于富营养化水体具有一定的净化作用。以普通水葫芦和紫根水葫芦为研究对象[8],验证其对水体富营养化的净化效果,结果表明紫根水葫芦和水葫芦对富营养化水体中的 TN、NH₃-N 和 TP 的都可达 80%以上。另有研究发现[9]在几中水生植物和生物同时处理水体富营养化时,发现与水葫芦组合的效果会更好。水葫芦、水花生和鲢鱼均可减少水体中藻类总生物量,其中水葫芦+鲢鱼组合的效果最好,可达到一定的净化作用。通过向模拟的水体富营养化的水槽中投放不同数量的水葫芦,来研究水葫芦在富营养化水体中的生态修复效果。结果发现在模拟试验中,不向水槽中投放水葫芦的对照系统中叶绿素最大浓度为 434.6 mg/m³,而向水槽中投放水葫芦的系统中叶绿素浓度最大浓度分别降为 285.0 和 119.0 mg/m³。

4. 水葫芦对工业废水中重金属的净化作用

重金属(如含镉、镍、汞、锌等)废水是对环境污染最严重和对人类健康危害最大的工业废水之一,重金属废水是一种具有强毒性、致癌性、致突变性、难降解及易富集等特性的废水,具有毒效性、长期持续性、生物不可降解性等特点,对人民群众的生命健康带来极大地威胁[11]。工业废水中又以重金属污染较为严重。

目前水葫芦对水体中重金属的去除效果的研究有关文献见表 3。

Table 3. Removal effect of water hyacinth on heavy metals

表 3. 水葫芦对重金属的去除效果

文献标题	重金属离子	去除方法	去除效率
水培条件下几种水生植物对铅的抗性研究[12]	Pb ²⁺	采用水培法,水葫芦、鸢尾、菖蒲在清洁塑料桶内进行饥饿培养 10 d,每桶内分别注入 4.5 L 自来水。	对铅污染的抗性较强,富集量的大小关系为水葫芦 > 鸢尾 > 菖蒲
水葫芦对水溶液中 Cu ²⁺ 、Zn ²⁺ 的吸附[13]	Cu ²⁺ 、Zn ²⁺	水葫芦经过酸碱处理后,使其比表面积和孔容量变大,来吸收水体中的金属离子	在几分钟内就高达 80%
水葫芦重金属吸附性能再利用研究[14]	Cu ²⁺	将水葫芦分别进行干燥、颗粒化及纤维提取处理后用其吸附 Cu ²⁺	150 min 后,仅经过干燥处理的水葫芦对 Cu ²⁺ 最大吸附量 0.198 mmol/L;颗粒状水葫芦最大吸附量为 0.190 mmol/L;纤维状水葫芦最大吸附量 0.189 mmol/L。
紫根水葫芦对重金属水体的净化作用[15]	Cr ²⁺ 、Pb ²⁺ 、Zn ²⁺	紫根水葫芦组、普通水葫芦组、对照组,对照组不加实验植株,分别培养于含镉离子(10 mg/L)、铅离子(10 mg/L)、锌离子(10 mg/L)的培养液中 6 d	对这 3 种重金属的去除率均在 70%以上

通过相关文献发现水葫芦相对于其他水生植物,对于铅的富集有着更好的效果。纪美辰[12]等选取了常见的 3 种水生植物鸢尾、菖蒲、水葫芦,采用水培方法,研究不同植物对 Pb²⁺的抗性。研究发现,在各个浓度条件下,水葫芦的富集系数和富集量最大,且对铅污染的抗性较强,富集量的大小关系为水葫芦 > 鸢尾 > 菖蒲。使用普通水葫芦和紫根水葫芦去除 3 种重金属,紫根水葫芦对镉、铅、锌这 3 种重金属的去除能力显著强于普通水葫芦,且对这 3 种重金属的去除率均在 70%以上,被普通水葫芦和紫根水葫芦吸收的重金属,绝大部分不会被再次释放到外界环境中。说明利用水葫芦去除水中重金属是绿色环保的,不会造成二次污染。与此同时更加经济环保。

5. 水葫芦对生活污水的净化作用

城市生活污水主要来自家庭、商业、服务行业及其他城市公用设施等,目前我国每年近九成的废水

未经处理就直接排出,严重影响对河流水及饮用水水源安全[16]。近年来,水污染问题越来越受到人们的关注,寻求经济有效的污水处理方案已经成为热点课题。特别对于经济基础薄弱的地区,大部分的生活污水未经处理就直接排放到环境中,成为居住周边环境的重要来源。生活污水中含有大量的氮、磷、有机物等污染成分,对人体健康和生态系统有很大的危害。植物修复因其具有低成本、低能耗的优点受到人们的广泛关注[17]。水葫芦对水中污染物的富集能力在水生植物中是最强的已得到业内公认[18]。

Table 4. Purification of domestic sewage by water hyacinth
表 4. 水葫芦对生活污水的净化

文献标题	生活污水	去除方法	去除效率
几种湿地植物净化生活污水的效果比较 [19]	COD、TN、TP	挑选 5 种植物个体重量接近的植株固定插入盛有 1.5 L 生活污水的塑料盆中,每 2 d 取 20 ml 水测定 COD、NH ⁴⁺ -N、TN、TP。试验天数为 10 d	水葫芦对 COD 的降解效果最为明显高达 95%,对 TN 的去除率达 34.1%是 5 种植物中效果最好的,对 TP 的去除效果也显著可高达 49.3%
动静模型下水葫芦净化生活污水研究[20]	总氮、COD _{Cr} 、氨氮、总磷	本实验设置不同 pH 处理组的水体,将水葫芦投放到水缸中培养,观察水葫芦生长状况及水体理化指标的变化情况。1 号、2 号、4 号、5 号、6 号实验缸水体分别为设置 pH = 4.0、pH = 6.0、pH = 8.0、pH = 9.0、pH = 10.0,3 号实验缸水体为污水原水,每个处理设置三个重复。选取生长状态一致的水葫芦幼苗,投放到实验缸中培养,每个实验缸中投加 30 株水葫芦,培养 28 天,观察水葫芦在不同 pH 环境下生长状态并测定水体中各指标含量变化情况以及水葫芦鲜重。	浊度的净化效率达到了 93.65%~94.26%之间,对水中总氮的净化效率达到了 91.30%~94.28%,对总磷的净化效率为 82.65%~86.42%,对氨氮的净化效率达到了 88.61%~94.98%,水葫芦对 COD _{Cr} 的净化效果较好,分解效率达到 40%~60%之间。生长在动态水体中的水葫芦,对水体的浊度、总氮、氨氮仍具有很强的净化能力,平均净化率都在 90% 以上,对污水中的总磷的净化效率只有 82.65%~86.42%

目前有关水葫芦对生活污水净化的研究如表 4,相关文献表明水葫芦相对于其他大型植物,对生活污水中的 CON、TN、TP 的降解能力更好。许巧玲[19]等发现水葫芦、美人蕉、花叶芋、剑兰和万寿菊 5 种植物对生活污水中 COD、TN、TP 的降解能力,试验初期结果表明,水葫芦对 COD 的降解效果最为明显高达 95%,对 TN 的去除率达 34.1%是 5 种植物中效果最好的,对 TP 的去除效果也显著可高达 49.3%。水葫芦对生活污水水体中浊度、水中总氮、总磷、氨氮、COD_{Cr} 均有较好的净化效果。生长在动态水体中的水葫芦,对水体的浊度、总氮、氨氮的去除效率更强。

6. 水葫芦对不同污染水体净化效果分析

研究发现水葫芦对水体中染料去除效果相对较低,对水体富营养化 TN、NH₃-N、TP 的去除显著可达 80% 以上。对于水体中重金属的去除效果较为显著,对 Cu、Zn 的去除几分钟高达 80%,对于 Cr 和 Pb 的去除效率也均在 70% 以上。对于生活污水来说水葫芦的计划效果更为显著,对 COD、总磷、总氮、氨氮的去除效率均在 80%~90% 以上。

7. 结语

植物修复是利用绿色植物来转移、容纳或转化污染物使其对环境无害。通过植物的吸收、挥发、降解、稳定等作用,净化含有重金属、有机物或放射性元素污染的土壤及水体,来达到净化环境的目的,因而植物修复被认为是一种很有潜力、正在发展的清除环境污染的绿色技术。

在水生植物中,水葫芦的生长快、繁殖能力强、抗性好、吸收能力较好,被广泛运用于各种污水的处理。本文介绍了利用水葫芦对于含染料废水、含重金属废水、富营养化水体和生活污水的净化效果。但利用水葫芦净化水体污染的研究还不是很广泛,机理研究的还不甚多,例如对于水体中酚类、石油类、芳烃类的污染物的吸收能力研究还甚少,可待进一步研究探讨。因其繁殖能力强,可能大量繁殖,阻塞

河道, 消耗水中氧气破坏水质。因此如何能高效环保地利用水葫芦净化污水也成了研究的热点之一。

基金项目

本科生科研创新基金项目 2020-11 水葫芦对苯酚的吸收效果。2020 年甘肃省高等学校创新基金项目 2020A-124 微藻纳米炭球材料强化水体重金属吸附性能研究。

参考文献

- [1] 孙静儒, 费晓雯, 曹广添. 水葫芦资源化利用前景及其研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(8 上): 88-90.
- [2] 黄乐, 王阳, 周雨婷, 唐凯. 水葫芦在废水处理中的国外研究进展[J]. 环境影响评价, 2020(3): 82-85.
- [3] 陈道坚, 姚家敏, 郭何林, 梁培芬, 林杰锐. 改性水葫芦干体对亚甲基蓝的动态吸附研究[J]. 化工新型材料, 2020, 48: 112-114.
- [4] 孙天华, 刘振鸿, 林少宁. 凤眼莲净化印染废水过程中根系微生态系统的作用[J]. 环境科学, 1990, 11(3): 24-27.
- [5] 邱罡, 林少敏, 陈少瑾. 水葫芦干体对亚甲基蓝的生物吸附[J]. 水处理技术, 2012, 38(11): 42-46.
- [6] 赵伟, 白云翔, 张春芳, 孙余凭, 顾瑾. 水葫芦生物质炭的制备与染料吸附性能研究[J]. 应用化工, 2017, 46(10): 1955-1958.
- [7] 胡廷尖, 伍俊, 王雨辰, 刘士力, 李倩, 练青平. “水-凤眼莲-鱼”水体富营养物质生态控制模式[J]. 水产养殖, 2012(8): 1-2.
- [8] 梁团伟, 周利, 葛建华, 葛宇宙, 李盼盼, 张国栋. 巨紫根水葫芦对平原水库富营养化水体净化效果的研究[J]. 城镇供水, 2013(2): 48-50.
- [9] 张伟, 韩士群, 郭起金. 凤眼莲、水花生、鲢鱼对富营养化水体藻类及氮、磷的去除作用[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(5): 1037-1041.
- [10] 张发阔, 邵晓龙, 孙贻超, 等. 水葫芦在富营养化水体中的生态修复应用试验研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(27): 13543-13545.
- [11] 杨柳, 李贵, 何丹, 等. 重金属废水处理技术研究进展[J]. 四川环境, 2014, 33(3): 148-152.
- [12] 纪美辰, 张继权, 彭越, 马齐云. 水培条件下几种水生植物对铅的抗性研究[J]. 生物技术通报, 2017, 33(8): 120-125.
- [13] 周晓勇, 田亚运, 张举斌. 水葫芦对水溶液中 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 的吸附[J]. 湿法冶金, 2015, 34(1): 60-67.
- [14] 王洪, 李志鹏, 王超洋, 吴海波, 靳向煜. 水葫芦重金属吸附性能再利用研究[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(7): 33-35.
- [15] 陈文萍, 徐舒阳, 那中元, 杨红军, 黄柏炎, 王莹. 紫根水葫芦对重金属水体的净化作用[J]. 环境工程学报, 2016, 10(5): 2284-2290.
- [16] 黄鹤飞. 水葫芦水鳖人工湿地对城市生活污水的净化研究[J]. 科技咨询, 2014, 12(24): 123-124.
- [17] 英河. 生活污水中氮、磷、COD 污染的植物修复研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2019.
- [18] 张伟国, 阮乐华, 楼鹏海, 周健驹. 水葫芦对水中污染物富集效果与资源利用研究[J]. 福建农业科技, 2013, 12: 51-53.
- [19] 许巧玲, 崔理华. 几种湿地植物净化生活污水的效果比较[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(1): 204-206.
- [20] 陈松. 动静模型下水葫芦净化生活污水研究[D]: [硕士学位论文]. 安庆: 安庆师范大学, 2018.