

水葫芦等河湖水面漂浮植物资源化利用研究

陈立华¹, 王 敏², 邢子涵¹, 卞卫峰², 黄 河¹

(1. 河海大学 农业科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 兴化市河长制办公室, 江苏 兴化 225700)

摘要:针对打捞上岸水葫芦进行资源化利用初步探索,通过垃圾分拣、微生物脱水、废水灌溉、固体发酵等措施,探索其资源化利用可行性。水葫芦等河湖水面漂浮植物能够通过资源化利用实现其全量消纳利用,减少其对水体的污染。

关键词:水葫芦; 垃圾分拣; 废水处理; 有机肥; 微生物技术

中图分类号:TV42+3 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2023)06-0032-0004

Research on the resource utilization of water hyacinth and other floating plants on the surface of rivers and lakes

CHEN Lihua¹, WANG Min², XING Zihan¹, BIAN Weifeng¹, HUANG He¹

(1. College of Agricultural Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. River Chief Office of Xinghua City, Taizhou 225700, China)

Abstract: Preliminary exploration is conducted on the resource utilization of salvaged water hyacinth, and the feasibility of resource utilization is explored through measures such as garbage sorting, microbial dehydration, wastewater irrigation, and solid fermentation. Floating plants on the surface of rivers and lakes, such as water hyacinth, can be fully consumed and utilized through resource utilization, reducing their pollution to water bodies.

Key words: water hyacinth; garbage sorting; wastewater treatment; organic fertilizer; microbial technology

水葫芦在繁殖过程中大量固定大气中CO₂和吸收同化水体中的氮磷钾等营养物质,生长迅速,暴发高峰期24 h内生物量可以增加20%,生长期导致水体缺氧、堵塞航道、抑制土著生物繁殖生长,生长后期腐烂污染水体。目前打捞的水葫芦等水面漂浮物处理方式主要以水岸就近堆置和废弃坑塘填埋为主^[1-3]。水葫芦含水量93%~95%,打捞物中含有大量的玻璃瓶、泡沫块、塑料膜、废弃衣物等垃圾,与水葫芦一同填埋会导致严重的土壤污染问题。水葫芦腐烂后大量有机质和氮磷钾等矿质元

素会再次回到环境水体,增加水体COD浓度^[4-6]。打捞上岸的水葫芦中裹挟的玻璃瓶、泡沫块、塑料膜等垃圾无论是人工分拣还是机械分拣,都十分困难,且新鲜打捞的水葫芦体量巨大。

本文从上岸水葫芦面临的几个问题着眼,从资源化利用角度进行初步探索,应用微生物技术加速水葫芦脱水,对已脱水的水葫芦渣进行垃圾分拣,脱水形成的高COD浓度废水进行灌溉净化,探索形成的有机物料进入农田土壤系统可行性,以期为实现河湖生态建设提供理论依据和实践指导。

收稿日期: 2022-09-15

基金项目: 江苏水利科技项目(2021079)

作者简介: 陈立华(1982—),男,副教授,博士,主要从事水生态修复与建设研究。E-mail: chenlihua@hhu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 研究区概况

兴化市位于里下河水网中心,地处北纬 $32^{\circ}40' \sim 33^{\circ}13'$,东经 $119^{\circ}43' \sim 120^{\circ}16'$,境内地势低平,河网密布,总面积 $2\,393.35\text{ km}^2$,其中水域面积 443.7 km^2 ,占总面积的18.5%。由于地处水网下游,四周水流多往兴化市集中,每年大量水葫芦随水流集中于兴化水域,滞留并爆发。2020年高峰时段水葫芦打捞量300多万t,2021年打捞量200多万t,打捞的水葫芦多采用就近流转的螃蟹养殖塘填埋处理,随着可用填埋的土地资源逐年减少以及水质断面达标考核压力增加,上岸的水葫芦如何处理逐渐成为一大难题。

1.2 水葫芦中垃圾分选归类

对兴化市2022年7月2日打捞的水葫芦打捞物进行分拣,测定经过微生物分解释放废水后的堆体体积,通过专用破碎设备对块状的水葫芦渣进行破碎,将其中的玻璃瓶、塑料瓶、泡沫板等垃圾进行分拣和归类,计算每一个种类垃圾质量(表1)。

1.3 微生物分解释放水葫芦中废水

打捞上岸的水葫芦接种微生物脱水菌剂(解淀粉芽孢杆菌 *Bacillus amyloliquefaciens* QH28,菌剂菌落形成单位 $1.0 \times 10^{10}\text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$;长枝木霉 *Trichoderma longibrachiatum* QH116,菌剂菌落形成单位 $3.0 \times 10^9\text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,菌剂均为江苏清泓生态科技发展有限公司提供),按照0.3%质量比接种,每天测定释放废水质量和堆体体积,堆置物不再释放高COD浓度废水时进行固体发酵。

1.4 脱水水葫芦渣固体发酵处理

对经过脱水的水葫芦渣按照0.1%质量比接种升温微生物菌剂(枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis* QH363,数量 $2.0 \times 10^{10}\text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,江苏清泓生态科技发展有限公司提供),采用条垛式堆置法,堆宽2.0 m,堆高1.2 m,每5~7 d采用翻抛设备进行通氧发酵。

1.5 水葫芦堆置产生的废水灌溉净化试验

采用土柱灌溉量化试验测定水葫芦废水的净

化效果。土柱直径20 cm,高100 cm,土壤填满灌水静置沉降15 d,土高90 cm,表层土壤到土柱上沿距离10 cm。水葫芦废水按照10 cm深度蓄持在土柱上层。每天测定土柱蒸发量、渗漏水COD和TP。

1.6 数据分析

试验数据用SPSS 20.0统计软件进行方差分析,差异显著性比较采用Duncan's测验,使用Microsoft Excel 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 水葫芦打捞物中垃圾种类及数量

水葫芦打捞物中的垃圾分拣结果如表1所示,按照质量高低依次为玻璃瓶、旧衣服、塑料瓶和塑料膜、其他。不同采集点垃圾总质量不一样,试验批次各采样点垃圾质量占比为1.6%~3.8%。打捞上岸水葫芦中垃圾种类和质量随打捞时间、打捞频次、年度丰缺水等的变化而变化,研究团队将进一步增加时间跨度,研究垃圾含量变化。上岸水葫芦存在的大量垃圾,无论是填埋、资源化利用还是其他处理途径,其中垃圾必须分离,否则会造成严重的土壤污染和破坏^[5-6]。水葫芦危害严重区域打捞量可达300万t/a,垃圾量接近5万t,在水葫芦处理过程需加大传统的垃圾分拣和处理力度。

2.2 水葫芦堆置物中废水的释放速度和释放量

水葫芦堆置物接种不同分解微生物后,废水释放量如图1所示,接种了微生物脱水菌剂处理的水葫芦堆置物释放废水量显著高于对照处理($P < 0.05$),解淀粉芽孢杆菌和长枝木霉处理实验第1天和第2天累积排水量与对照处理相比分别高1.37倍和1.27倍。微生物脱水菌剂显著加速水葫芦脱水速率。打捞物堆体体积变化如图2所示,实验第1天和第2天接种了微生物脱水菌剂处理堆体体积减少量分别为对照处理3.7~15.7倍和3.9~9.0倍,微生物脱水菌剂显著提升堆置体积减少速率。水葫芦打捞物含水量93%左右,如果采用机器压榨脱水,需要耗费大量能源;而自然堆腐产生的废水,异味大,COD质量浓度高达25 360 mg/L(水葫芦堆置点检测

表1 水葫芦打捞物中垃圾种类及质量

垃圾种类	垃圾质量/($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$)		
	海沟河打捞点	兴盐界河打捞点	雌雄港打捞点
玻璃瓶	18.4±15.2	9.0±6.2	28.0±24.3
塑料瓶和塑料膜等塑料制品	6.3±4.6	3.7±3.5	4.9±4.2
其他(废旧衣服、鞋、药品等)	3.8±1.5	2.9±2.7	4.6±4.8

数据),且释放慢,不利于堆置物处理;使用纤维素降解微生物快速分解堆置水葫芦,能够加速堆置物中水分的释放,同时高浓度废水中降解微生物能够快速转化和稳定废水中有机物,减少臭气释放。

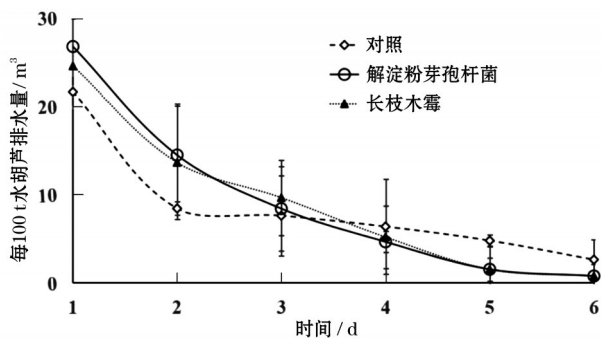


图1 水葫芦堆置过程释放废水的体积

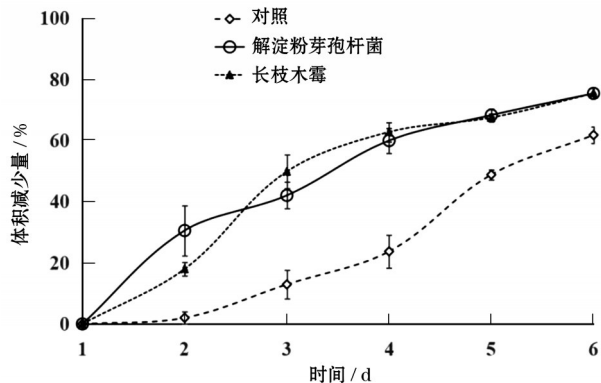


图2 水葫芦堆置过程堆体体积变化

2.3 水葫芦废水的灌溉净化效果

实验水葫芦堆置释放的废水 COD 质量浓度范围 12 556~14 361 mg/L(图3),微生物处理废水灌溉后,相较于对照处理,解淀粉芽孢杆菌处理和长枝木霉处理排水 COD 浓度分别降低了 45.6%和 46.4%,废水中 98.9%和 99.0%的 COD 被土壤截留;废水总磷质量浓度 60.0~101.05 mg/L,解淀粉芽孢杆菌处理和长枝木霉处理排水总磷含量分别降低了 54.9%和 20.9%,土壤对废水总磷截留率均为 99.2%。实验采用土柱模拟,人工装填土柱土壤,其截留能力显著低于原状土层,但其排水仍满足《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)要求,废水灌溉自然土壤后垂直渗漏水体预期可达到Ⅱ类水质,对此本研究团队将开展进一步研究。废水中大量有机物经过微生物降解,可作为低浓度肥水灌溉作物农田,是较好的有机液体肥料,有利于实现废水资源化利用。

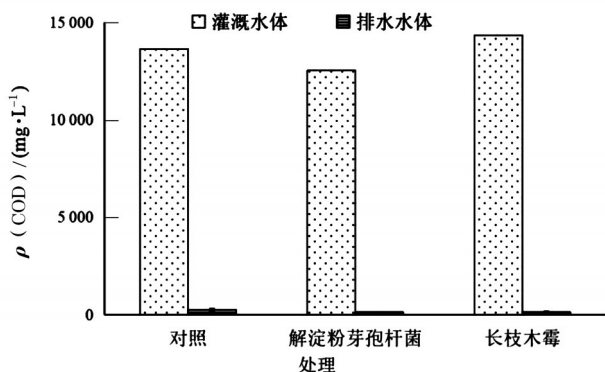


图3 废水灌溉土壤前和灌溉排水的水体 COD 质量浓度

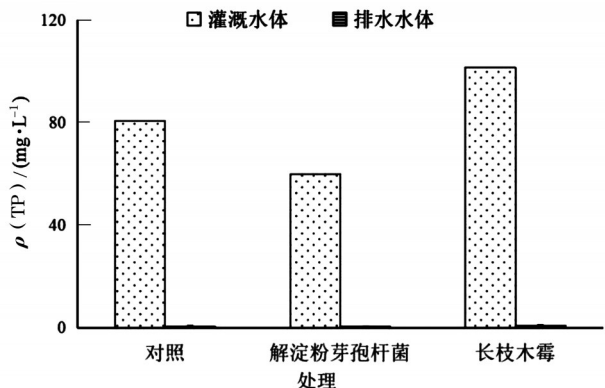


图4 废水灌溉土壤前和灌溉排水的水体总磷质量浓度

2.4 水葫芦处理基质理化性质研究

脱水水葫芦固体发酵后形成有机物料的理化性质,如表 2~3 所示,其氮磷钾总量为 56.4 g/kg、有机质含量为 40.1%,pH 值、重金属含量和容重等相关指标满足《有机肥料》(NY525—2021)标准要求,可作为有机肥直接施用到农田,基本实现水葫芦固体废弃物的消纳。水葫芦饲用只用上层茎叶,占 60%以上的根及其根部附着物无法利用,且大规模打捞过程中无法有效分离茎叶和根,这决定了河湖水葫芦无法通过饲用消纳^[5-7]。水葫芦打捞物含水量为 93%~95%,焚烧、烧制生物炭、沼气发酵等需要耗费大量电等能源^[8]。水葫芦渣发酵生产有机肥过程主要依托微生物作用,能源消耗少,形成的有机肥能显著提升耕地质量^[9-10],资源化利用生产有机肥将是消纳上岸水葫芦的重要途径。

3 结 语

(1)上岸水葫芦中的玻璃瓶、塑料以及其他废弃物质量占比 1.6%~3.8%,需进行处理防止其填埋或者堆置造成的土壤污染。

表2 水葫芦等打捞物发酵制成有机物料的理化性质

总氮/(g·kg ⁻¹)	总磷/(g·kg ⁻¹)	总钾/(g·kg ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)	pH值	容重/(g·cm ⁻³)
13.3±1.2	9.8±2.3	33.3±4.3	401.1±17.2	7.3±0.2	0.6±0.1

表3 水葫芦等河湖水面漂浮物制成有机物料中的重金属质量比

(单位:mg·kg⁻¹)

种类	铬(Cr)	镉(Cd)	汞(Hg)	砷(As)	铅(Pb)
质量比	20.21±7.16	0.27±0.11	0.43±0.37	1.77±0.9	6.53±1.28

(2)堆置水葫芦接种分解微生物2 d后,解淀粉芽孢杆菌处理和长枝木霉处理脱水速率增加1.37倍和1.27倍,堆体体积减小速率增加3.26倍和3.86倍。微生物技术可用于加速堆置水葫芦中的水分释放。

(3)水葫芦堆置过程中产生高浓度COD的废水,采用土壤灌溉净化措施后,排水满足《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)要求,能够确保废水全量净化。

(4)水葫芦固体渣发酵后形成的有机物料,其理化参数满足《有机肥料》(NY525—2021)标准要求,可通过资源化利用开发为有机肥,消纳水葫芦固废,减少水葫芦对环境的威胁。

参考文献:

- [1] 徐蕾,陈思宇,谢东升,等. 乡土水生植物对富营养化水体的净化效果研究[J]. 热带亚热带植物学报,2019,27(6):642-648.
- [2] 滕秋梅,孙英杰,沈育伊,等. 喀斯特湿地水葫芦(*Eichhornia crassipes*)生长及表型可塑性特征对不同富营养化水体的响应[J]. 湖泊科学,2021,33(1):123-137.
- [3] 赵丽君,陈刚新,张文超,等. 2种漂浮植物对再生水水质净化能力比较[J]. 环境工程,2019,37(6):58-63.
- [4] 季文杰,姚寰琰,陈斌,等. 水葫芦压滤脱水与鲜汁强化除磷工艺[J]. 环境工程学报,2019,13(1):195-203.
- [5] 朱亚杰,伦小文,何希,等. 4种水生植物对5种养殖禁用渔药的植物修复能力[J]. 沈阳药科大学学报,2017,34(11):1006-1012.
- [6] 高文,伍健东,周兴求,等. 不同形态水葫芦和污泥联合厌氧消化产沼气性能[J]. 环境化学,2018,37(1):89-95.
- [7] 刘健峰,王强,田光亮,等. 以水葫芦汁液为基质的内循环厌氧反应器高负荷启动试验及效率分析[J]. 中国沼气,2016,34(6):46-50.
- [8] 张旭兰,张淑娟. 城市污泥与水葫芦堆肥性质变化规律[J]. 环境工程学报,2017,11(7):4343-4348.
- [9] 陈立华,姚宇阆,尚辉,等. 河道淤泥和堆肥蛭石混合发酵制备基质及其育苗效果[J]. 农业工程学报,2018,34(22):228-234.
- [10] 尚辉,颜安,韩瑞,等. 微生物改良基质对新围垦海涂盐土改良的初步研究[J]. 农业工程学报,2020,36(8):120-126.