

[文章编号] 1003-4684(2023)01-0067-04

洪湖底泥特性及生产有机肥的分析研究

王瑞露¹, 刘 湛¹, 董 伟¹, 吴翔鹏², 陈 帅¹, 万端极³

(1 武汉坤健生态环境规划设计有限公司, 湖北 武汉 430080; 2 湖北国土资源职业学院信息与传媒学院, 湖北 武汉 430090;

3 湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 为研究洪湖底泥生产有机肥的可行性, 对洪湖底泥的有机质、营养物质和重金属含量进行检测分析。研究表明: 洪湖底泥有机质平均含量为 10.5%, 为中度污染; 全氮含量为 4026 mg/kg, 为重度污染; 全磷含量为 1632 mg/kg, 为中度污染。此外, 洪湖底泥中重金属汞(Hg)、铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)的含量平均值均低于有机肥限量标准, 但砷(As)的含量略高于限量标准。全湖范围内 Hg、Pb、Cd、Cr、As 单因子污染指数 P_i 均 ≤ 1 , 为无污染状态。南、北部湖区重金属的内梅罗综合污染指数 P 值分别为 0.81、0.80, 处于尚清洁状态。以上结果表明洪湖底泥是作为有机肥料的良好资源。

[关键词] 洪湖底泥; 有机质; 营养物质; 重金属; 有机肥

[中图分类号] X524 **[文献标识码]** A

湖泊作为生态环境的重要组成部分, 近年来污染加剧, 湖泊水体水质富营养化严重^[1]。污染物通过地表径流、雨水冲刷、大气循环及不合理排水等途径进入湖泊系统, 逐渐在湖底沉积形成湖泊内源污染物^[2]。主要内源污染物包括有机质、氮磷化合物和重金属^[3]。底泥是组成湖泊系统的一个重要部分, 一方面底泥可以吸附湖泊水体的污染物, 净化水质; 另一方面, 底泥释放污染物进入上覆水影响湖泊水质, 两者相互联系, 相互制约^[4-5]。

在湖泊水体的内源污染控制中, 底泥疏浚得到广泛的应用, 治理效果明显^[6]。底泥疏浚可以清除残存在底泥中的藻类、水生动植物残骸和絮状胶体, 同时疏浚后的底泥携带大量营养盐, 减轻了湖泊内源污染威胁^[7]。但是疏浚出来的底泥中携带大量的氮、磷营养物质以及重金属, 如果得不到良好的处置, 会使底泥中的有害物质随雨水冲刷再次进入水体, 对环境造成二次污染。将底泥进行资源化利用是当下环保行业需要着重考虑的问题^[8], 也是当前阶段底泥资源化处置的热点。以疏浚底泥为原材料制备有机肥就是资源化处置利用的方式之一。有机肥的发酵过程释放大量的热, 可以杀死底泥中潜在的病原微生物、寄生虫, 发酵放热的过程还可以带走大量的水分, 使生产出来的有机肥作用于土壤更加安全^[9]。但底泥生产有机肥也存在诸多技术壁垒, 如有机肥制备过程中重金属的安全性、底泥中土

著微生物对发酵过程的影响等^[10]。

本研究以洪湖底泥为研究对象, 对底泥有机质、营养元素和重金属含量及污染等级进行分析评价。基于研究结果, 评估以洪湖底泥作为原材料生产有机肥的可行性。

1 材料与方法

1.1 洪湖污染现状

洪湖(N29°39'—30°12'; E113°7'—114°05')位于湖北省洪湖市、监利县之间, 年平均降雨量约为 1174 mm。洪湖作为湖北省最大的湖泊, 水域面积常年保持在 350 km²。洪湖有“湖北之肾”的美誉, 对流域的供水灌溉、旅游航运发挥着重要功能。在保护当地生态系统方面也具有重要意义。然而, 外源污染、过度捕捞、围湖造田和不合理的开发导致洪湖水体富营养化严重, 流域饮用水安全受到影响, 流域经济发展也受到威胁^[11]。

郑煌等于 2014 年在洪湖中部地区对采集到的柱状沉积物进行检测分析, 发现 TN 含量在 1480~4920 mg/kg 之间^[4]。陈超等于 2014 年对洪湖全湖沉积物中的 TN 进行检测, TN 平均含量为 2167 mg/kg, 比太湖 TN 平均值高出 419 mg/kg、比巢湖 TN 平均值高出 349 mg/kg, 与长江中下游地区典型富营养化湖泊的底泥污染相比, 洪湖底泥中的 TN 污染最为严重^[3]。潘雄等在非汛期对洪湖

[收稿日期] 2021-07-10

[第一作者] 王瑞露(1993—), 女, 陕西西乡人, 理学硕士, 武汉坤健生态环境规划设计有限公司, 研究方向为流域水污染治理和工业废水处理

[通信作者] 董 伟(1978—), 男, 河北吴桥人, 工学博士, 武汉坤健生态环境规划设计有限公司, 研究方向为水体污染生态修复规划咨询

有机质含量展开调查,测得结果显示有机质含量占比在 5.0%~24.9%之间。对采集的底泥进行分层检测,发现底层沉积物的有机质含量较低,而位于底泥表层部分的有机质浓度较高。最表层沉积物(0~10 cm)中有机质浓度处于 9.5%~24.9%,30~50 cm 底泥中有机质浓度在 5.0%~9.7%。研究还发现底泥有机质含量与底泥深度呈正比,而当底泥深度达到 40 cm 以下时,有机质浓度就基本趋于稳定^[12]。

1.2 样品采集

洪湖底泥采集于 2020 年 12 月底,在洪湖全湖范围内共布设 20 个采样点。南区和北区各 10 个采样点。利用重力采样器采集无扰动的柱状底泥,沉积物柱状样品泥深控制在 30 cm 左右。对采集后的南北区域底泥进行标记后并于 4℃ 冷藏保存,运回实验室冷冻干燥。冷冻干燥后将底泥中的大颗粒杂质剔除,通过 100 目筛进一步去除大颗粒物质,装袋标记后保存于阴凉干燥处备用。待检测时,将南区 and 北区的底泥样品分别进行混合,对南区混合后的 10 个样品和北区混合后的 10 个样品分别进行基本理化性质、营养物质和重金属含量检测。

1.3 样品分析

底泥的检测指标包括:pH、电导率、有机质、全氮(干基)、全磷(干基)、粒径(D90)、As(干基)、Hg(干基)、Pb(干基)、Cd(干基)、Cr(干基)。pH 值测定采用精密 pH 计 S-3C(中国上海),电导率测定采用电导率仪,有机质测定按照土壤有机质测定(NY/T 1121.6—2006)的方法进行,全氮测定按照碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ 636—2012)进行测定,全磷按照连续流动-钼酸铵分光光度法(HJ 670—2013)测定,粒径 D90 采用重力沉降+离心沉降法进行测定,Pb、Cd、Cr、As 采用电感耦合等离子体法(ICP-MS)测定,Hg 采用催化热解-冷原子吸收分光光度法测定。

1.4 营养物质评价

目前,国内尚未形成底泥中氮、磷、有机质等生源要素的环境评价标准。国际上的一些沉积物环境评价标准存在较大差异,主要因为基准建立方法的不同,同时影响生物多样性的因素也不相同。加拿大安大略省环境与能源部出版的沉积物质量指南涉及的指标较为全面,我国黄河口、洞庭湖、北部湾等一些流域沉积物环境评价均采用安大略质量基准。本研究将根据加拿大安大略省沉积物质量基准评价指南对洪湖底泥环境质量进行评价^[13](表 1)。

1.5 重金属污染评价

1)单因子污染指数法 单因子污染指数法是评

价主要重金属污染种类的重要方法,对疏浚底泥中

表 1 安大略沉积物营养物质质量基准

指标	无污染	中度污染	重度污染
全氮/(mg·kg ⁻¹)	—	600—2000	>2000
全磷/(mg·kg ⁻¹)	—	550—4800	>4800
有机质/%	—	1—10	>10

的重金属进行污染评价时常采用单因子指数法,通过评价可以确定具体哪种重金属含量超标,并且可以进一步判别超标程度。我国在评价各类环境介质中的重金属污染时,通常将某种重金属含量的实测值与该种重金属在介质中的标准值进行对比,以此来反应该种重金属的污染累积现状^[14]。计算公式如下:

$$P_i = C_i / S_i$$

其中: P_i 为重金属 i 的单因子指数; C_i 为重金属 i 的实测值; S_i 为重金属 i 环境质量限值, P_i 与底泥中重金属浓度呈正比, P_i 值增大反映出底泥污染加剧。表 2 为单因子污染程度划分标准。

表 2 单因子污染程度分级标准

等级	P_i 值	污染评价
I	$P_i \leq 1$	无污染
II	$1 < P_i \leq 2$	轻微污染
III	$2 < P_i \leq 3$	轻度污染
IV	$3 < P_i \leq 5$	中度污染
V	$P_i > 5$	重度污染

2)内梅罗综合污染指数法 内梅罗指数法是通过 P_i 最大值和 P_i 平均值来准确全面反映环境中重金属污染的评价方法,该方法在 P_i 指数法基础上做了调整,规避了 P_i 指数法评价的单一性缺点,是一种计权型多因子环境质量指数评价方法。其计算公式如下:

$$P = \sqrt{[(\bar{P}_i)^2 + (P_{i_{\max}})^2] / 2}$$

其中: P 为采样点重金属的内梅罗综合污染指数; P_i 为单因子指数; $P_{i_{\max}}$ 为污染最严重的重金属。通过分级标准对 P 值进行评价分类, P 值越大,重金属污染越严重。具体分级标准如表 3 所示。

表 3 内梅罗综合污染程度评价标准

等级	P 值	污染评价	污染水平
I	$P \leq 0.7$	安全	清洁
II	$0.7 < P \leq 1.0$	警戒级	尚清洁
III	$1.0 < P \leq 2.0$	轻度污染	作物开始受污染
IV	$2.0 < P \leq 3.0$	中度污染	作物均受中等污染
V	$P > 3.0$	重度污染	作物受污染相当严重

2 结果与分析

2.1 底泥理化性质

对采集到的洪湖底泥进行分析检测,基本理化

性质数据如表 4 所示。全湖有机质平均浓度为 10.5%，全氮平均浓度为 4026 mg/kg，全磷平均浓度为 1632 mg/kg。通过和 2016 年对洪湖底泥采样检测的数据对比发现，有机质含量有所上升，这是因为随着洪湖治理取得显著效果，洪湖水生植物恢复到较高水平，有接近 40 余万亩的水域水草丰茂，然而在洪湖的日常管养中由于缺乏对水生植物残体的及时打捞清理，导致水草丰茂水域植物腐烂堆积现象严重，洪湖有机质含量进一步提高，高有机质含量的沉积物在水中会对水质造成严重污染，然而将底泥沉积物进行打捞清理，将底泥作为有机肥生产的原材料，便赋予底泥二次利用的价值。

采用加拿大安大略沉积物营养物质质量基准对洪湖底泥环境质量进行评价，可以看出洪湖底泥有机质平均含量为 10.5%，为中度污染；全氮含量为 4026 mg/kg，为重度污染，全磷含量为 1632 mg/kg，为中度污染。由洪湖底泥的粒径数据可以发现，湖内底泥中 90% 的颗粒粒径为 140 μm，具有较大颗粒粒径，在大量吸水后不容易板结，具有较好的通透性。

表 4 底泥的基本理化性质指标

pH	6—8
电导率/(μs · m ⁻¹)	268
有机质/%	10.5
D90/ μm	140
全氮/(mg · kg ⁻¹)	4026
全磷/(mg · kg ⁻¹)	1632

2.2 底泥重金属含量

相较于 2016 检测到的重金属含量，2020 年重金属含量有一定程度变化，在洪湖南部区域，Hg、Cd 和 As 的含量均有所上升，上升后的 Hg、Cd 和 As 的含量分别为 1.65 mg/kg、0.40 mg/kg、15.05 mg/kg，Hg 和 Cd 的含量仍低于重金属限量指标，As 的含量略有超标。而 Pb 和 Cr 含量有所降低，分别为 23.30 mg/kg、69.50 mg/kg；在洪湖北部区域，Hg、Cd 和 As 的含量也所上升，上升后的 Hg、Cd 和 As 含量分别为 1.50 mg/kg、0.35 mg/kg、15.10 mg/kg，Pb 和 Cr 含量有所下降，分别为20.55 mg/kg、69.10 mg/kg。

根据《生物有机肥》(NY 884—2012)中对 5 种重金属含量的控制指标可以发现，洪湖底泥中 Hg、Cd、Pb、Cr 的含量平均值均低于限量标准，而 As 含量略高于限量标准。采用单因子污染指数法对洪湖底泥重金属进行评价，在洪湖南部区域，Pb、Hg、Cd、Cr 和 As 的单因子污染指数 *Pi* 分别为 0.47、0.83、0.13、0.46、1.00；在洪湖北部区域，Pb、Hg、Cd、Cr 和 As 的单因子污染指数 *Pi* 分别为 0.41、0.75、

0.12、0.46、1.00。单因子分析可以发现重金属均为无污染状态。采用内梅罗指数法评价底泥重金属，可以发现在南、北部湖区，*P* 值分别为 0.81、0.80，属于警戒级，即处于尚清洁状态。但不足以对土壤造成污染。*P* 值略高主要是由于底泥中的 As 含量略微超标，而在有机肥生产过程中底泥作为有机肥生产的辅料，添加量是按照一定配比添加制备，辅料中的 As 含量略微超标不影响最终有机肥成品的重金属检测要求。也就是说洪湖底泥中重金属含量满足有机肥生产，将洪湖底泥进行再利用不会对土壤农作物带来重金属污染。

表 5 洪湖底泥的重金属含量 mg/kg

项目		铅	汞	镉	铬	砷
2016	南区	45.24	0.08	0.32	85.27	12.69
	北区	38.09	0.08	0.34	73.15	14.57
2020	南区	23.30	1.65	0.40	69.50	15.05
	北区	20.55	1.50	0.35	69.10	15.10
<i>Pi</i> 指数 (2020 年度)	南区	0.47	0.83	0.13	0.46	1.00
	北区	0.41	0.75	0.12	0.46	1.00
<i>P</i> 指数 (2020 年度)	南区	0.81(五种重金属)				
	北区	0.80(五种重金属)				
有机肥重金属限量指标		≤50	≤2	≤3	≤150	≤15

如表 6 所示为农用污泥中重金属含量的控制指标，以 2020 年洪湖底泥重金属含量为分析对象，洪湖底泥中重金属 As、Hg、Pb、Cd、Cr 的含量均低于国标(GB 4284—2018)中 A 级控制指标，说明洪湖底泥中重金属指标满足牧草地、园地、种植食用农作物耕地的要求。

表 6 农用污泥中重金属控制指标

指标	污泥产物国标(GB 4284—2018)	
	A 级	B 级
Hg/(mg · kg ⁻¹)	3	15
Cd/(mg · kg ⁻¹)	3	15
Cr/(mg · kg ⁻¹)	500	1000
As/(mg · kg ⁻¹)	30	75
Pb/(mg · kg ⁻¹)	300	1000

A 级允许使用的农用地类型为牧草地、耕地、园地；B 级允许使用的农用地类型为牧草地、园地、不种植食用农作物的耕地

2.3 底泥生产有机肥应用

有机肥是指有机质含量丰富，既能为植物生长提供必要的养分，又能作用于土壤中改良土壤肥力的肥料。有机肥一部分来自农户就地取材、自行堆肥，还有一部分来自工厂规模化生产的商品肥。施用有机肥既能增加作物产量、还能改善农产品质量。有机肥作用于土壤中通过减少养分的固定，来进一步提高养分的有效性，在我国农业生产中应用广泛。以湖泊底泥为原料生产有机肥，分别做草地、林地、

果树肥料和复垦土壤改良剂,对于湖泊疏浚底泥的处置利用具有重要意义。

已有有机肥生产厂家针对目前农业和土壤中存在的重点问题,以含碳矿物为主要原料研发生产了新型有机肥。以泥炭、烟煤、褐煤和草炭为主的一些低质煤为原料,通过二级生物发酵方法激活微生物活性,制备出的有机肥具有有机质含量高、中微量元素配比合理、微生物种类丰富的特点。产品富含有机质和易吸收的高活性有机营养物,同时还富含作物生长发育所需的氮、磷、钾、钙、镁、硼等元素。

在有机肥制备过程中,一些厂家采用完全厌氧发酵工艺,不会消耗土壤中的氮元素,安全可靠,可以直接施用。培育出的有机肥具有平衡肥力、改良土壤、促根壮苗、降解残留、生态环保、防病抗旱和增值提效的优点。在多个省区多种作物上进行实验示范,水果、蔬菜、粮食、花卉和经济作物均有普遍增产和改善品质的效果。

2.4 底泥生产有机肥的可行性

洪湖底泥可清除面积达 200 km²,若按 30 cm 厚度进行底泥疏浚,则可清除底泥(60%含水率)约 300 万吨,可将疏浚底泥作为有机肥生产的主要原料,对底泥进行脱水预处理,通过二级生物发酵激活微生物活性生产出高质量的有机肥。底泥生产有机肥具有良好的社会效益。底泥中富含的营养元素和矿物质使底泥成为制备有机肥的良好原材料,底泥处置得到资源化利用,底泥中的营养物、有机质得到二次利用,以底泥为原材料制备的有机肥进入到土壤中能增强土壤肥力。底泥发酵过程中产生的热带走大量水分,同时还可以杀死底泥中潜在的寄生虫卵、病原微生物,使得生产出的有机肥更加安全。底泥生产有机肥可以从根本上解决有机废弃物对生态环境的污染,具有减量化、无害化、资源化的特点。

3 结论

- 1)洪湖疏浚底泥有机质平均含量为 10.5%,为中度污染;全氮含量为 4026 mg/kg,为重度污染;全磷含量为 1632 mg/kg,为中度污染。
- 2)洪湖底泥的重金属含量除砷外均低于有机肥限量标准。Pb、Hg、Cd、Cr 和 As 的单因子污染指数 $P_i \leq 1$,五种重金属均无污染;内梅罗综合污染指数分析得到,南北部湖区重金属综合污染指数 P 分别为 0.81、0.80,处于警戒级状态。
- 3)综合分析可以发现洪湖底泥是作为有机肥料的良好资源,底泥生产有机肥不会为环境带来二次污染。

[参 考 文 献]

[1] 毛瑞,赵锦惠.湖泊底泥肥料化利用的研究[J].湖北大学学报(自然科学版),2007,29(02):207-210.

[2] 王佩,卢少勇,王殿武,等.太湖湖滨带底泥氮、磷、有机质分布与污染评价[J].中国环境科学,2012,32(04):703-709.

[3] 陈超,钟继承,邵世光,等.太湖西北部典型疏浚/对照湖区内源性营养盐释放潜力对比[J].湖泊科学,2014,26(06):829-836.

[4] 郑煌,杨丹,金梦云,等.洪湖沉积柱中磷形态的垂直分布及指示意义[J].中国环境科学,2017,37(04):1540-1547.

[5] HARDEN J, DONALDSON F P, NYMAN M C, et al. Concentrations and distribution of 3,3'-dichlorobenzidine and its congeners in environmental samples from Lake Macatawa.[J]. Chemosphere,2005,58(06):767-777.

[6] JING L D, WU C X, LIU J T, et al. The effects of dredging on nitrogen balance in sediment-water microcosms and implications to dredging projects[J]. Ecological Engineering,2013,52:167-174.

[7] MARCHAND C, LALLIER-VERGÈS E, BALTZER F, et al. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana[J]. Marine Chemistry,2005,98(01):1-17.

[8] ZHAO L Y, ZHU C, GAO C X, et al. Phytoremediation of pentachlorophenol-contaminated sediments by aquatic macrophytes [J]. Environmental Earth Sciences,2011,64(02):581-588.

[9] 薛婷婷.湖泊底泥发酵生产生物有机肥的工艺研究[D].西安:西北大学,2016.

[10] 王岩,王素华,张树明,等.利用水库底泥生产生物有机肥与农业面源污染综合防控[J].农业开发与装备,2020,217(01):88-88.

[11] 郑雄伟,洪波,孙为国,等.洪湖湖泊水质调查与富营养化研究[J].资源环境与工程,2020,34(S2):73-77.

[12] 潘雄,顾文俊,李欢,等.洪湖沉积物碳氮磷分布特征及污染评价[J].长江科学院院报,2021,38(08):41-46.

[13] PERSAUD D, JAAGUMAGI R, HAYTON A. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in ontario[J]. International & Comparative Law Quarterly, 1993(02):494-495.

[14] 陈婷,韩士群,周庆.巢湖藻-草-泥有机肥的重金属安全性评价[J].江苏农业科学,2017,45(18):251-254.