

白洋淀清淤底泥改良制备绿化土技术研究



王苗苗，罗文琦，王琦，张汉卿

(中交天航环保工程有限公司，天津 300461)

摘要：随着河湖环保清淤工程的实施，大量清淤底泥的处理与处置已成为社会关注问题。为解决清淤底泥的资源化利用难题，以白洋淀生态清淤试点工程中的土工管袋脱水底泥为研究对象，在底泥分析的基础上，分别以河砂和蛭石作为改良剂，改善底泥的 pH 值、含盐量、有机质、质地、土壤入渗率 5 项主控指标。结果表明：河砂和蛭石均对底泥有改善作用，但蛭石对底泥质地改变不显著，同时考虑经济性、工程实操性等因素，选择河砂作为改良剂，添加比例为底泥质量(干质量)的 25%~30% 较为适宜，此时改良后绿化土的质地基本上处于壤土的范围内，最适宜于植物生长，且 pH 值、含盐量、有机质、入渗率等其余 4 项主控指标均能满足 CJ/T 340—2016《绿化种植土壤》的要求。同时，针对白洋淀生态清淤试点工程提出工程应用方案，为底泥资源化利用提供了新的思路。

关键词：清淤底泥；资源化利用；种植土；改良剂

中图分类号：U 614；X 705

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2022)S2-0054-05

Technology of preparing planting soil from Baiyangdian dredging sediment

WANG Miao-miao, LUO Wen-qi, WANG Qi, ZHANG Han-qing

(CCCC-TDC Environmental Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

Abstract: With the implementation of environmental protection dredging project in rivers and lakes, the treatment and disposal of a large amount of dredging sediment has become a social concern. To solve the problem of sediment resources, the dewatered sediment from geo-tube bag in Baiyangdian ecological dredging pilot project was taken as the research object. Based on the analysis of sediment, river sand and vermiculite were used as amendments to improve the five main control indices of sediment, including pH, salt content, organic matter, textures and soil infiltration rate. The experimental results show that both river sand and vermiculite improve the sediment, but the sediment texture does not change significantly with the addition of vermiculite. Considering also the factors of economy and engineering, river sand is selected as the amendment. It is more suitable to add 25% to 30% of the sediment mass(dry mass), the texture of the improved afforested soil is basically within the range of loam soil, which is most suitable for plant growth. Besides, the other four main control indices such as pH, salt content, organic matter and infiltration rate can all meet the requirements of planting soil for greening stipulated in the code CJ/T 340-2016. Furthermore, the project application scheme is put forward for the Baiyangdian ecological dredging pilot project, which provides a new idea for sediment resources.

Keywords: dredging sediment; resource utilization; planting soil; amendment

底泥污染是河湖污染的重要因素，生态清淤是内源污染治理常用的工程方式。太湖、滇池等湖

泊曾多次进行环保清淤以改善水环境。清淤会产生大量的污染底泥，如欧洲每年产生 1 亿~2 亿 m³ 污

染底泥, 美国五大湖污染底泥存量达 9.18 亿 m³, 中国滇池污染底泥存量达 2.2 亿 m³(包含过渡层)^[1]。污染底泥的资源化利用是生态清淤实施的终端处置, 是制约清淤工程实施的关键环节。底泥资源化利用有制备建筑材料、填方材料、种植土、蓄水陶土等多种方向。针对无重金属污染而仅有氮磷污染的底泥, 制备种植土是适宜的利用方向。谢瑞桃^[2]研究了黑臭河流底泥在绿化种植中的资源化利用, 胡育峰^[3]研究了官厅水库底泥的农业资源化利用, 表明清淤底泥经处理后作为种植土具有可行性。底泥制备种植土的方式与底泥的性质相关, 主要有堆肥、添加改良剂等^[4-7]。本文针对白洋淀内源污染试点清淤工程的污染底泥进行底泥改良制备种植土的研究, 为底泥资源化利用提供一种规模化、工程化的实施方案。

1 试验方法

1.1 试验材料及处理

取白洋淀底泥 300 kg, 含水率 50%~70%, 将所有底泥样品晾晒于阴凉通风处, 地面上平铺塑料布, 将潮湿结块的样品掰成小块后均匀摆放在塑料布上, 随着底泥风干程度不断将样品掰碎成小块, 待全部风干后用木槌进一步杂碎后全部过 20 目尼龙土壤筛, 备用。同时准备一次性塑料花盆、河砂、蛭石、环刀等试验材料和耗材。

1.2 检测指标及方法

主要检测 pH 值、含盐量(EC)、有机质含量、质地(机械组成)、土壤入渗率 5 项主控指标。测

定方法参照 CJT 340—2016《绿化种植土壤》。其中 pH 值、EC、有机质和机械组成等指标每个重复处理 2 次, 土壤入渗率指标每个重复处理 3 次。

1) 土壤入渗率测定分析。土壤入渗率要求取田间原位土测定, 因此采取室内模拟土壤培养的方法, 将混合样品装入一次性花盆, 每个重复处理 3 次, 浇透水稳定 1 周左右后, 用环刀取样, 测定渗透率。

2) pH 值测定分析。其中 pH 值测定方法参照 LY/T 1239—1999《森林土壤 pH 值的测定》, 用梅特勒-托利多 S210 型 pH 值计测定。

3) EC 测定分析。EC 测定方法参照 LY/T 1251—1999《森林土壤水溶性盐分分析》, 用雷磁 DDS-307A 型电导率仪测定 EC 值。

4) 有机质含量测定分析。测定方法参照 LY/T 1237—1999《森林土壤有机质的测定及碳氮化的计算》。

5) 质地(机械组成)分析。测定方法参照 LY/T 1225—1999《森林土壤颗粒组成(机械组成)的测定》, 分别计算黏粒(<0.002 mm), 粉(砂)粒(0.002~0.050 mm)和砂粒(0.05~2.00 mm)的质量百分比, 然后对照美国农部制土壤质地三角图, 查询出该样品所属的土壤质地类型。

1.3 白洋淀底泥分析

对照 CJT 340—2016《绿化种植土壤》, 白洋淀底泥的 pH 值、有机质、质地(表 1)均符合种植土壤的要求, 含盐量及土壤入渗率需要添加物料进行改善, 以达到要求。

表 1 白洋淀底泥主要指标

pH 值	含盐量/ ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	有机质含量/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	土壤入渗率/ ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)	机械组成/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)			土壤质地
				<0.002 mm	2.0~0.05 mm	0.05~0.002 mm	
7.62	720	29.9	2.22	95	371	534	粉(砂)壤土

1.4 试验方案

将底泥与河砂、底泥与蛭石粉按照不同比例进行复配, 底泥+河砂共处理 6 次, 底泥+蛭石共处理 6 次, 每个重复处理 3 次。河砂可用于调节增加底泥中砂粒的比例; 蛭石用于降低土壤密度、

增加透气保水能力; 无机物料的加入会引起底泥有机质含量的下降, 当有机质含量低于 12 g/kg 时, 需要少量添加腐殖质、草炭土等富含有机质的物料。

掺混比例和用量见表 2、3。

表 2 底泥与河砂掺混配比及用量

编号	理论质量配比/g		实际用量/g		实际总质量/g
	底泥	河砂	底泥	河砂	
S5	100	5	800.0	40.0	840.0
S10	100	10	736.6	76.4	840.0
S15	100	15	730.4	109.6	840.0
S20	100	20	700.0	140.0	840.0
S25	100	25	672.0	168.0	840.0
S30	100	30	646.2	193.8	840.0

表 3 底泥与蛭石掺混配比及用量

编号	理论体积配比/mL		实际用量/mL		实际体积/mL
	底泥	蛭石	底泥	蛭石	
Z5	100	5	810	40(14.9 g)	850
Z10	100	10	773	77(30.5 g)	850
Z15	100	15	739	111(46.3 g)	850
Z20	100	20	708	142(60.8 g)	850
Z25	100	25	680	170(69.9 g)	850
Z30	100	30	654	196(73.4 g)	850

将混合好的物料分别装入一次性塑料花盆(图 1), 用去离子水少量多次浇透水, 直到花盆底部托盘有积水出现, 稳定 7 d 后, 用环刀取样测定土壤入渗率。



图 1 室内培养模拟田间原位土

2 结果与分析

2.1 pH 值

无论添加河砂还是蛭石, 对改良后绿化土的 pH 值影响均较小(表 4), 河砂组 pH 值在 7.94~8.00, 蛭石组 pH 值在 7.89~7.95, 所有处理均符合 CJ/T 340—2016《绿化种植土壤》的要求(2.5:1 水土比)。

表 4 改良后底泥 pH 值

河砂组		蛭石组	
处理编号	pH 值	处理编号	pH 值
S5	7.94	Z5	7.91
S10	7.94	Z10	7.92
S15	7.96	Z15	7.89
S20	7.98	Z20	7.93
S25	8.00	Z25	7.94
S30	7.97	Z30	7.95

2.2 含盐量

随着河砂和蛭石添加比例的提高, 改良绿化土的含盐量(EC 值)显著下降(表 5), 河砂组 EC 值为 470~600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 蛭石组 EC 值为 510~650 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 所有处理均符合 CJ/T 340—2016《绿化种植土壤》的要求(5:1 水土比)。应采用建筑用河砂, 不能使用海砂, 海砂含盐量高会导致 EC 值超标。

表 5 改良后底泥含盐量

河砂组		蛭石组	
处理编号	EC($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	处理编号	EC($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)
S5	600	Z5	650
S10	580	Z10	640
S15	500	Z15	620
S20	510	Z20	590
S25	470	Z25	520
S30	500	Z30	510

2.3 有机质

随着河砂添加比例的提高, 改良绿化土中有机质含量显著下降(表 6), 由添加 5% 河砂时的 22.7 g/kg 下降至添加 30% 河砂时的 14.4 g/kg, 5%~30% 河砂添加量均符合 CJ/T 340—2016《绿化种植土壤》中有机质含量 12~80 g/kg 的要求, 以河砂添加比例为横坐标, 改良绿化土中有机质含量为纵坐标进行线性方程拟合(图 2), 当河砂添加量达到 36.4 % 时, 有机质含量将达到标准规定的临界值 12.0 g/kg, 因此河砂的添加量不宜超过 36.4 %, 否则需要添加有机肥来增加绿化土中有机质含量, 从而满足 CJ/T 340—2016《绿化种植土壤》要求。

表 6 改良后底泥有机质含量

河砂组		蛭石组	
处理编号	有机质含量/(g·kg ⁻¹)	处理编号	有机质含量/(g·kg ⁻¹)
S5	22.7	Z5	21.6
S10	22.0	Z10	21.4
S15	19.4	Z15	20.5
S20	19.2	Z20	20.0
S25	15.0	Z25	19.9
S30	14.4	Z30	19.2

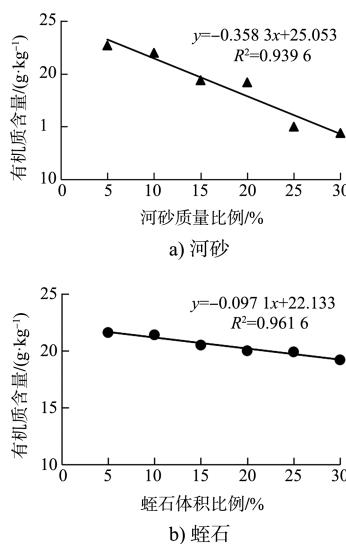


图 2 改良后底泥有机质含量趋势

从图 2 可知, 蛭石组随着用量的增加对改良绿化土中有机质含量的影响极小, 主要是因为蛭石粉密度远小于底泥, 在所设计的用量范围内对混合物料质量的改变较小, 随着蛭石添加比例增大有机质含量下降速度远低于添加河砂的速度。通过线性方程拟合可知, 蛭石粉添加的体积比增加到 104.3 % 时, 有机质含量才会降至 12.0 g/kg 标准的下限。

2.4 质地

添加河砂可显著提高改良绿化土中砂粒所占的比例(表 7), S5 处理砂粒比例仅为 8.1%, S30 处理砂粒比例显著提高到 25%, 对应的粉粒和黏粒的比例均显著下降, 使得改良绿化土的质地向更有利于植物生长的壤土类型转变(图 3); 而添加蛭石粉的处理对改良绿化土中砂粒、粉粒和黏粒所占比例的改变并不明显, 质地类型变化不显著。

表 7 改良后底泥质地

样品 编号	砂粒/(g·kg ⁻¹) (2.0~0.05 mm)	粉粒/(g·kg ⁻¹) (0.05~0.002 mm)	黏粒/(g·kg ⁻¹) (<0.002 mm)	砂粒/%	粉粒/%	黏粒/%	质地
河砂组	S5	81	598	8.1	59.8	32.1	粉质黏壤土
	S10	74	548	7.4	54.8	37.8	粉质黏壤土
	S15	177	485	17.7	48.5	33.8	粉质黏壤土
	S20	193	492	19.3	49.2	31.5	粉质黏壤土
	S25	218	492	21.8	49.2	29.0	黏壤土
	S30	250	479	25.0	47.9	27.1	壤土
蛭石组	Z5	11	609	1.1	60.9	38.0	粉质黏壤土
	Z10	37	581	3.7	58.1	38.3	粉质黏壤土
	Z15	96	544	9.6	54.4	36.0	粉质黏壤土
	Z20	26	598	2.6	59.8	37.6	粉质黏壤土
	Z25	36	587	3.6	58.7	37.6	粉质黏壤土
	Z30	80	565	8.0	56.5	35.5	粉质黏壤土

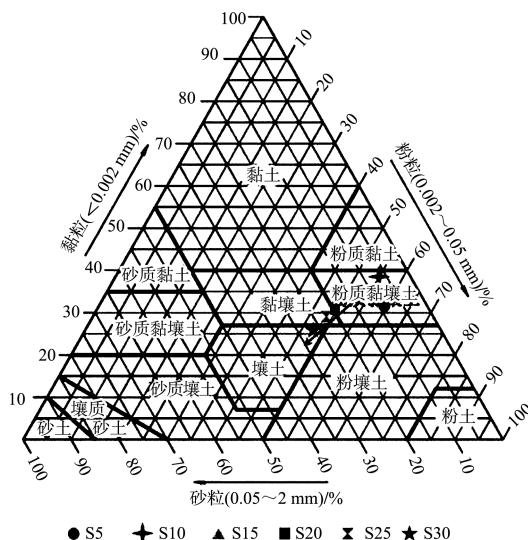


图 3 河砂添加量对绿化土质地改变的影响

2.5 土壤入渗率

向底泥中添加河砂和蛭石均可以改善绿化土壤的通透性，且随着河砂和蛭石用量的增加，土壤入渗率指标均显著增加(表 8)。河砂组处理的土壤入渗率范围在 24.4~37.2 mm/h，蛭石组处理的土壤入渗率范围在 24.0~39.2 mm/h。《绿化种植土壤》要求土壤入渗率指标 ≥ 5 mm/h，添加河砂和蛭石均可调节绿化土入渗率指标至符合相应标准。

表 8 改良后底泥入渗率		mm/h	
河砂组		蛭石组	
处理编号	入渗率	处理编号	入渗率
S5	24.40	Z5	24.00
S10	26.20	Z10	28.00
S15	30.60	Z15	30.40
S20	30.40	Z20	34.60
S25	32.40	Z25	32.80
S30	37.20	Z30	39.20

综合考虑原材料价格、来源的便利性以及实际工程应用中的可操作性，推荐以河砂作为底泥改良的辅料、添加比例为底泥质量(干质量)的 25%~30% 较为适宜，改良后绿化土的质地基本上处于壤土的范围内，且 pH 值、含盐量、有机质、入渗率 4 项主控指标均能满足《绿化种植土壤》的要求。

3 工程应用方案

白洋淀试点清淤项目清淤区采用绞吸船进行清淤，清淤后底泥采用土工管袋工艺进行脱水，脱水后的底泥进行资源化利用。经检测总氮总磷为试点区域底泥中的主要污染物，未发现重金属、有毒有害污染物超标，绿化种植土是一种合理的资源化方向，工艺流程见图 4。清淤底泥经土工管袋脱水，破袋后经翻晒含水率进一步降低，将脱水底泥运至拌和场地进行绿化土的制备，采用装载机将底泥进行摊铺，按照改良剂(河砂)添加比例，在底泥表面均匀覆盖，随后采用旋耕机进行搅拌，使底泥与改良剂(河砂)混合均匀，经检测合格后，作为种植绿化土进行资源化利用。

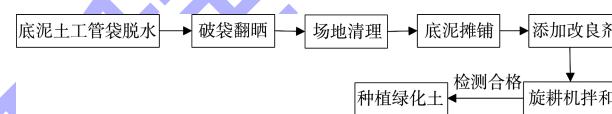


图 4 工艺流程

4 结论

1) 白洋淀底泥以氮磷污染为主，河砂和蛭石对底泥均有改善作用，但蛭石的添加对底泥质地改变不显著，同时考虑经济性、工程实操性等因素，选择河砂作为改良剂，添加比例为底泥质量(干质量)的 25%~30% 较为适宜，此时绿化土的质地基本上处于壤土的范围内，最适宜于植物生长，且 pH 值、含盐量、有机质、入渗率 4 项主控指标均能满足《绿化种植土壤》的要求。

2) 底泥中含有丰富的氮、磷等营养物质，作为种植土进行资源化利用不仅解决了清淤底泥的处置问题，避免了底泥堆存的二次污染，而且种植土的改良制备方法简单，适用于工程化应用，可大规模应用于氮磷污染的底泥资源化利用，社会效益和经济效益显著。

参考文献：

- [1] 黄佳音, 马凯. 环保疏浚土资源化利用途径[J]. 水运工程, 2018(S1): 135-140.

(下转第 102 页)