



白洋淀疏浚底泥改良制备 绿化种植土试验研究

谭相君, 黄佳音, 侯明显, 胡保安, 史浩良

(中交(天津)生态环保设计研究院有限公司, 天津 300202)

摘要: 针对白洋淀疏浚工程产生的大量底泥, 研究疏浚底泥改良制备绿化种植土的资源化利用方式。采用膜覆盖好氧发酵方法, 设计3种辅料方案, 对照CJT 340—2016《绿化种植土壤》标准分析试验过程中底泥的物理化学指标变化。结果表明, 辅料的有机质、营养元素等含量直接影响底泥的发酵效果, 农田废弃物作为主要辅料与底泥混合发酵效果最好, 底泥的土壤入渗率、速效氮、有效磷、速效钾分别提高44.3%、18.0%、22.8%、10.0%, 有利于改善河湖底泥的改良效果。研究成果可为疏浚底泥大规模资源化处置提供支撑, 实现环保疏浚产业链的闭合。

关键词: 疏浚底泥; 资源化利用; 好氧发酵; 绿化种植土

中图分类号: U 616; X 55

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S2-0006-05

Experimental study on improving dredged sediment in Baiyangdian to produce greening planting soil

TAN Xiang-jun, HUANG Jia-yin, HOU Ming-yu, HU Bao-an, SHI Hao-liang

(CCCC(Tianjin) Eco-Environmental Protection Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300202, China)

Abstract: Regarding the large amount of dredged sediment produced by Baiyangdian dredging project, we study the resource utilization of greening planting soil prepared by improved dredged sediment. We design three auxiliary material schemes and use membrane covered aerobic fermentation to analyze the changes of physical and chemical indexes of sediment during the test according to the standard of CJ/T340—2016 *greening planting soil*. The results show that the contents of organic matter and nutrient elements of auxiliary materials directly affect the fermentation effect of sediment. The mixed fermentation effect of farmland waste as the main auxiliary material and sediment is the best. The soil infiltration rate, rapidly available nitrogen, available phosphorus and rapidly available potassium of sediment increase by 44.3%, 18.0%, 22.8% and 10.0% respectively, which is conducive to the improvement effect of river and lake sediment. This study provides scientific and technological support for large-scale resource disposal of dredged sediment, and realizes the closure of environmental protection dredging industry chain.

Keywords: dredged sediment; resource utilization; aerobic fermentation; greening planting soil

河湖环保疏浚是清除湖泊、河道内源污染的重要技术^[1]。工程实施从河湖中清除出大量污染底泥, 其处置需遵循无害化、减量化、资源化的理念, 采用固化干化、生物修复、电动力学等技术制备建材、堆肥等^[2-3]。

长时间富集作用使河湖底泥含有较高的营养

元素, 可以为绿化植物生长提供充足的养分^[4]。将疏浚底泥堆肥发酵生产绿化土不仅可以有效利用底泥中的氮、磷等营养元素^[5], 而且可以提高底泥的经济价值和园林绿化效果^[6], 产生一定的社会效益, 是具有前景的疏浚底泥资源化利用途径。Ana等^[7]通过研究土壤有机改良剂促进不

同好氧发酵真菌、细菌的代谢状态, 考察了改良剂在堆肥过程中对土壤颗粒形态变化的影响, 发现发酵过程抑制病毒害作用与所掺入的土壤改良剂成分有关。薛婷婷^[8]通过改进菌种配比、优化发酵工艺, 将河湖底泥发酵形成的有机肥应用于猕猴桃种植中, 将产量提高了 35.92%。

在疏浚底泥堆肥之前, 往往需要经过脱水固化以降低底泥含水率^[9], 但在土工管袋脱水过程中, 需要添加 PAM、PAC 等促进底泥脱水的有机絮凝剂^[10-11], 使得发酵过程中底泥黏度高、保水性差、渗透性差, 阻碍了疏浚底泥的好氧发酵。此外, 在以往的工程案例和研究中, 底泥堆肥往往作为基质, 与餐厨垃圾^[12]及蓝藻、水葫芦^[13]等水生植物协同处理, 底泥处理量占比较小, 不适用于大规模清淤工程产生的底泥资源化利用。

本文在以往的底泥发酵研究基础上, 采用膜覆盖好氧发酵的方式, 进行生产性中试试验, 发酵底泥约 700 m³, 研究不同发酵辅料在工程条件下的膜覆盖好氧发酵效果, 研究探讨河湖疏浚底泥改良制备绿化土的适用条件, 为环保疏浚工程脱水底泥资源化利用提供技术支撑及科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验底泥来自白洋淀清淤试点工程的土工管袋脱水疏浚底泥, 试验辅料来自河北省保定市附近村庄的废弃物, 其主要指标与组成见表 1。试验好氧发酵菌剂来自于江苏某环保公司, 性质见表 2。疏浚底泥指标见表 3。

表 1 试验辅料成分和理化性质

试验材料	主要成分	pH 值	有机质/ (g·kg ⁻¹)	密度/ (g·cm ⁻³)	速效氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	含水率/ %
疏浚底泥	淤泥	8.13	22.70	1.60	196.7	3.2	125.8	42.5
园林废弃物	树枝、树叶	8.28	60.14	0.78	54.9	9.2	7.3	1.7
农田废弃物	秸秆、棉籽壳、米糠	8.73	65.71	0.42	73.5	7.3	9.7	2.0
废弃饲料	麸皮、玉米芯、骨粉	7.83	48.20	0.77	26.3	3.9	3.7	2.3
加工废弃物	木屑、芦苇杆	8.32	67.81	0.36	62.7	8.7	13.5	1.8

表 2 发酵菌剂性质

主要成分	主要功能	适用范围
嗜热真菌、嗜热放线菌、酵母菌、乳酸菌、枯草芽孢杆菌、蛋白酶、玉米蛋白粉、乳糖	通过有氧及厌氧发酵、发酵堆产生高温, 可杀死有害菌以及有害虫卵; 分解物料, 改善土壤团粒结构, 缓解土壤板结; 抑制病虫害, 防止烧根毁苗	河湖库塘底泥、淤泥、农作物秸秆、糟粕等

表 3 土工管袋脱水底泥指标

pH 值	含盐量/ (g·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	密度/ (g·cm ⁻³)	含水率/ %	土壤入渗率/ (mm·h ⁻¹)	速效氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
7.95	5.19	2.16	1.58	63	7.02	173.9	4.41	159.54

此外, 本试验采用膜覆盖好氧发酵的方式, 好氧发酵膜主要参数见表 4。发酵过程中需持续向发酵仓内鼓气, 使用的通风机参数见表 5。

表 4 好氧发酵膜主要参数

材质	孔径/μm	孔隙率/%	透气性/(mL·m ⁻² ·min ⁻¹)
聚乙烯树脂	250~300	55	6 000

表 5 通风机主要参数

流量/(m ³ ·h ⁻¹)	全压/kPa	主轴转速/(r·min ⁻¹)	电机容量/kW
4146	1.826	2 900	4

1.2 试验方案

本试验设计 3 种复合辅料发酵方案, 其中方案 1 采用园林废弃物与加工废弃物; 方案 2 采用农田废弃物与加工废弃物; 方案 3 采用废弃饲料与加工废弃物。试验边界条件: 每组试验中保持通风量 4 000 m³/h 不变, 采用开启 6 min、关闭 4 min 交替运行的方式向发酵仓内鼓气。

1.3 试验步骤

使用河湖底泥翻抛机将土工管袋脱水底泥与

3 种辅料分别混合，混合比例为底泥体积：辅料体积=1:1，混合后向底泥喷洒比例为 1‰的好氧发酵菌剂。将处理后底泥运送至发酵仓，覆盖好氧发酵膜进行发酵。每组发酵过程中保持通风条件不变，发酵时间 20 d。发酵仓发酵状态见图 1。



图 1 好氧发酵工程

1.4 分析方法

发酵过程中，通常需要关注发酵温度、pH 值、发酵物形态以及含水率等指标的变化，通过各种判断条件确定底泥发酵的腐熟度，控制底泥的发酵进程。

本研究的主要目的是将河湖疏浚底泥改良制备成绿化土，需每隔 5 d 对底泥的 pH 值、含水率、有机质、土壤入渗率、速效氮、有效磷、速效钾等指标进行检测，关注其肥力指标。此外，在发酵期间，每天使用 1 m 长的水银温度计对发酵仓内进行温度检测，检测深度为物料表面下 0.5 m。

2 结果与讨论

2.1 底泥形态及发酵温度变化

在发酵过程中，底泥形态随发酵进程改变，未发酵的底泥见图 2a)，其形态致密，呈胶状，表层为土黄色，内部由于含水量较高而呈现黑色，晾晒后呈黄色块状，硬度较高。在膜覆盖好氧发酵过程中，好氧发酵菌以辅料为中心在底泥表面繁殖，产生好氧发酵作用，包裹着辅料的底泥表面产生菌丝，表层底泥颜色逐渐由黄色变为黑色，由致密状态渐转变为疏松状态，见图 2b)。



a) 发酵前



b) 发酵中

图 2 底泥形态

如图 3 所示，每日对发酵仓进行温度检测，记录发酵仓内底泥的内部温度。从温度变化曲线可知，方案 1 中底泥升温较慢，仓内最高温度为 47 ℃，40 ℃以上天数为 8 d；方案 2 中底泥温度提升明显，起温速度快，3 d 即达到 30 ℃，底泥温度超过 50 ℃ 天数达到 9 d，最高达到 63 ℃；方案 3 中底泥温度升温慢，第 3 d 开始发酵仓内温度才缓慢上升，其高温持续时间最短，底泥温度 40 ℃ 以上天数仅为 4 d，最高温度为 45 ℃。通过对比 3 种方案的温度变化可知，底泥与农田废弃物混合(方案 2)的发酵升温效果最好。

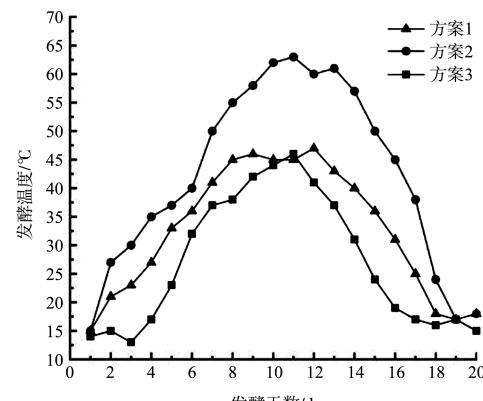


图 3 发酵仓温度变化

对发酵后底泥进行观察发现, 方案 1 发酵后底泥土壤颗粒较小, 形态疏松, 颜色已由黄色全部转变为黑色, 但是由于发酵温度较低, 时间较短, 在发酵产物中明显可以看到未发酵完全的园林废弃物, 见图 4a); 方案 2 的发酵反应过程较完全, 发酵温度高, 持续时间长, 因此发酵后的底泥颗粒粒径较小, 80%以上的土壤颗粒小于 2 mm,

大部分辅料已经发酵完全, 仅有少部分残留农田废弃物留存在底泥中, 见图 4b); 方案 3 的发酵底泥形态见图 4c), 可以明显看到当底泥混合废弃饲料进行发酵时, 发酵产物的颗粒较大, 底泥未完全与辅料发生反应, 颜色仍呈现出黄色, 可见废弃饲料与加工废弃物混合后形成的辅料对于底泥好氧发酵反应促进作用较弱。



图 4 发酵后底泥

2.2 底泥发酵 pH 值及含水率变化

底泥发酵的主要机理是将芳香类蛋白转变为富里酸类蛋白, 在此过程中, 由于氮的转移, pH 值逐渐升高, 直至发酵的第 15 d 左右, 发酵过程结束, 温度降低, pH 值也逐渐下降。在使用农田废弃物、加工废弃物与底泥混合的试验中(方案 2), pH 值变化最明显, 且与温度变化趋势相吻合, 见图 5。

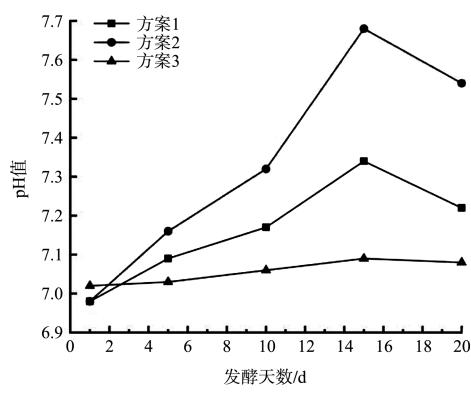


图 5 发酵底泥 pH 值变化曲线

疏浚底泥膜覆盖好氧发酵中温度较高, 通常会伴随着底泥含水率降低的过程。由图 6 可知, 方案 2 中的疏浚底泥高温持续时间较长, 其含水率降低效果最明显, 当 15 d 左右时, 其含水率已

达到 30%, 满足大多数工程底泥外运的含水率要求。其他 2 种方案由于发酵温度及持续时间的影响, 导致含水率降低效果较弱, 在发酵过程结束时, 与园林废弃物混合发酵的底泥含水率为 38% (方案 1), 与废弃饲料混合发酵的底泥含水率为 46% (方案 3)。

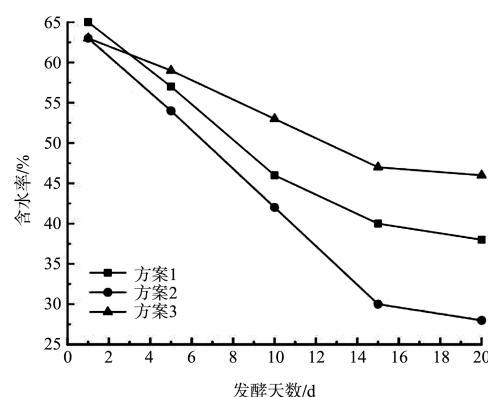


图 6 发酵底泥含水率变化曲线

2.3 底泥发酵土壤入渗率变化

底泥的土壤入渗率变化情况见图 7, 由于原泥脱水后硬度高、致密性强, 导致其透水性差, 原泥的土壤入渗率仅为 7.02 mm/h。在破碎混合辅料的阶段大块底泥被破碎, 可显著提高底泥的土壤入渗率。此外, 膜覆盖好氧发酵过程同样可改

良土壤透水性, 增强土壤入渗率。方案 2 中底泥的土壤入渗率效果提升最明显, 由初始状态的 45.6 mm/h 提高至 65.8 mm/h 。方案 1 中底泥的土壤入渗改良效果与方案 2 相近, 改良后底泥土壤入渗率达到 63.7 mm/h , 但是方案 3 中的底泥发酵高温持续时间较短, 改良效果较差, 最终底泥土壤入渗率为 52.1 mm/h 。

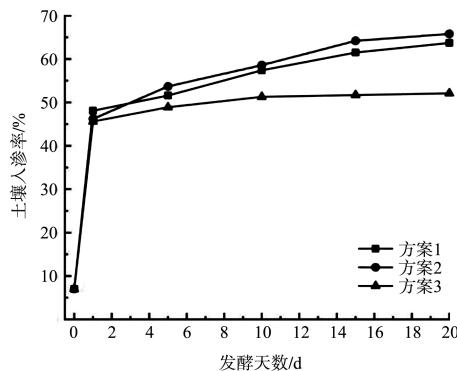
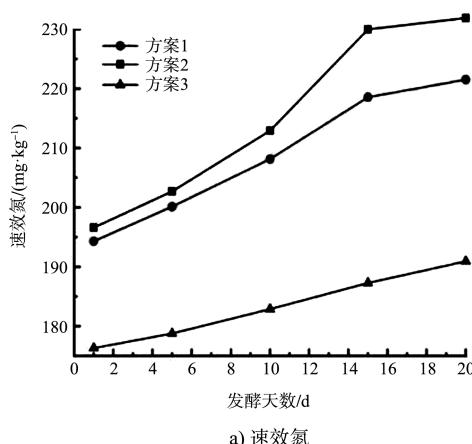


图 7 发酵底泥土壤入渗率变化曲线

2.4 底泥发酵营养元素变化

发酵底泥的营养元素变化见图 8。对易于植物吸收的速效氮、有效磷、速效钾 3 项指标进行检测研究发现, 方案 1 中底泥的速效氮、有效磷以及速效钾的含量分别增长了 14.0% 、 17.8% 、 6.0% ; 方案 2 中底泥的 3 项指标分别增长 18.0% 、 22.8% 、 10.0% ; 方案 3 中底泥的 3 项指标分别增长 8.3% 、 12.9% 、 3.4% 。可见, 底泥与农田废弃物混合好氧发酵方案中, 好氧发酵菌的固氮、溶磷、解钾效果最好, 能有效提高底泥中的营养成分, 改良形成绿化种植土壤。



a) 速效氮

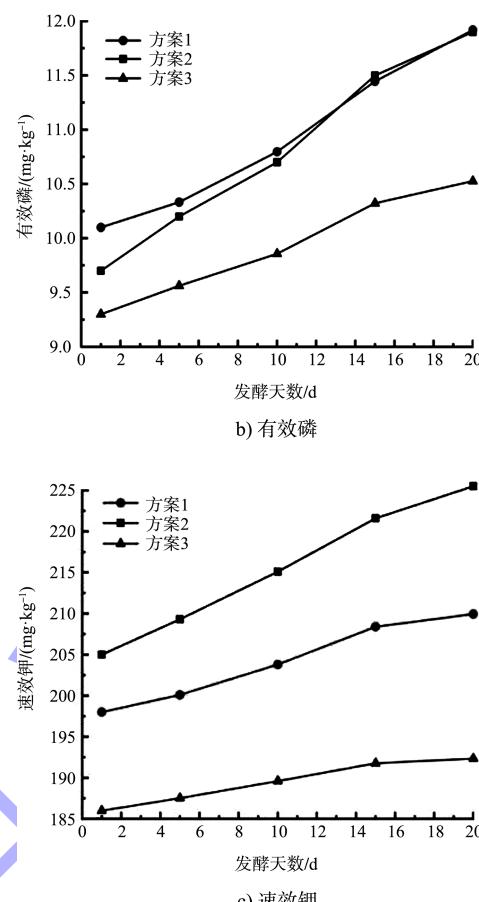


图 8 发酵底泥土营养元素变化曲线

3 结论

1) 使用农田废弃物作为辅料的发酵效果最好。采用农田废弃物辅料方案时, 发酵产物辅料结余最少, 颗粒粒径 80% 以上小于 2 mm , 发酵仓内升温快, 3 d 即可达到 30°C , 最高温度可达 63°C 。

2) 通过好氧发酵可有效改良底泥的土壤入渗率。底泥好氧发酵过程可有效提高底泥的土壤入渗率, 与农田废弃物混合的底泥土壤入渗率可达到 65.8 mm/h , 与发酵初期相比约提高 44.3% 。同时, 由于发酵过程底泥温度较高, 可大幅降低底泥的含水率, 最终底泥的含水率可降至 30% 以下。

3) 通过好氧发酵可提高底泥中营养元素含量。底泥与农田废弃物混合发酵的固氮、溶磷、解钾效果要明显好于与园林废弃物及废弃饲料, 速效氮、有效磷、速效钾分别可提升 18.0% 、 22.8% 、 10.0% 。

(下转第 74 页)