



# 航道疏浚下河道生态环境的恢复效果研究 ——以京杭运河苏南段为例

杜圣康<sup>1</sup>, 赵冲<sup>1</sup>, 阮强蓓<sup>1</sup>, 钟嬛予<sup>1</sup>, 康亭<sup>2</sup>, 严普<sup>2</sup>

(1. 无锡市港航事业发展中心, 江苏无锡 214000; 2. 华设设计集团股份有限公司, 江苏南京 210014)

**摘要:** 依托京杭运河苏南段的航道疏浚工程, 结合短期和长期现场监测, 探究了反铲式疏浚施工后河道水体、沉积物及水生生物多样性的恢复效果。结果表明, 反铲式疏浚工程作业中提升了水体浊度(6.3%), 部分点位浊度在疏浚结束后2 h恢复至疏浚前水平; 氨氮、总氮等浓度在疏浚结束后略有上升, 但均未超过相关标准限值; 总磷、pH值、溶解氧等在疏浚作业中基本不变。疏浚有助于去除沉积物中的氮磷等营养物质, 且在疏浚结束半年后仍保持60.2%和29.6%的减量效果。尽管疏浚导致浮游植物、浮游动物与底栖动物等生物密度与生物量降低, 但疏浚结束半年后, 浮游生物与底栖生物的生物量及生物多样性均得到恢复, 其中浮游生物的生物量甚至超过疏浚前水平。研究结果可为航道疏浚工程环保设计提供参考。

**关键词:** 航道疏浚; 沉积物; 水质; 生物多样性

中图分类号: U616; X835

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)01-0189-12

## Research on restoration effect of river ecological environment after channel dredging: taking Grand Canal at south Jiangsu section as an example

DU Shengkang<sup>1</sup>, ZHAO Chong<sup>1</sup>, RUAN Qiangbei<sup>1</sup>, ZHONG Huanyu<sup>1</sup>, KANG Ting<sup>2</sup>, YAN Pu<sup>2</sup>

(1. Wuxi Port and Shipping Development Center, Wuxi 214000, China;

2. China Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Based on the dredging project of south Jiangsu section of the Beijing-Hangzhou Grand Canal, combined with short-term and long-term on-site monitoring, the restoration effects of water quality, sediment and aquatic biodiversity in the river after backhoe dredging are investigated. The results show that the backhoe dredging operation increases the turbidity of the water body by 6.3%, and the turbidity at some points return to the pre-dredging level within 2 hours after the operation. The concentrations of ammonia nitrogen and total nitrogen slightly increase after the operation, but none of them exceed the relevant standard limits. The concentrations of total phosphorus, pH value and dissolved oxygen remaine basically unchanged during the operation. Dredging helps remove nutrients such as nitrogen and phosphorus from the sediment, and the reduction effects of 60.2% and 29.6% are maintained half a year after the operation. Although dredging leads to a decrease in the density and biomass of planktonic and benthic organisms, the biomass and biodiversity of planktonic and benthic organisms have been restored half a year after the operation, and the biomass of planktonic organisms even exceeds the pre-dredging level. The research results can provide a reference for the environmental protection design of canal dredging projects.

**Keywords:** channel dredging; sediment; water quality; biodiversity

收稿日期: 2025-05-14 录用日期: 2025-08-13

作者简介: 杜圣康(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事航道工程领域管理工作。

航道疏浚是保持和加深航道水深、确保船舶安全顺畅航行的关键,对于维护和提升水路运输效率至关重要。但航道疏浚受航道水文条件、水环境特征、施工组织和施工工艺等多因素的影响,可能会对水体水质和水生生物造成一定影响<sup>[1-3]</sup>。一方面,疏浚过程中容易因底泥搅动而产生悬浮物,并在水流作用下扩散到周边区域;底泥的再悬浮也会导致其中吸附的氮磷等污染物进一步释放和扩散,造成二次污染<sup>[4-5]</sup>。另一方面,疏浚清淤会直接破坏底栖生物的生存环境,底泥悬浮造成的二次污染也对水生生物的生存造成威胁<sup>[6-7]</sup>。

在此背景下,疏浚对水生态环境的影响成为国内外学者的研究热点。陈杰等<sup>[8]</sup>通过链斗式挖泥船疏浚过程现场观测,研究不同深度悬浮物的释放浓度和扩散距离;李红静等通过现场监测和模拟试验,探究了环保绞吸船在水下施工过程中对周边水体水质的时空变化规律;邓群等<sup>[9]</sup>通过在苏州河开展中试试验,研究疏浚对水质的短期影响,揭示了反铲式疏浚过程中至疏浚结束后3 h内不同水质指标的时空变化。向莹等<sup>[10]</sup>研究分析了九江市琵琶湖疏浚清淤前后水体水质的变化,得出疏浚使得氨氮等指标明显下降;刘国锋等<sup>[11]</sup>调查分析了疏浚工程对大型底栖动物群落结构的影响,发现疏浚区生物多样性相比于未疏浚区明显降低,但生物量增加。万幸<sup>[12]</sup>通过现场采样调查探究了滇池底泥疏浚污染物释放过程及对水生生物多样性的影响。然而,已有研究主要关注于疏浚工程对水体水质或水生生物的短期影响,航道疏浚结束后河道水生态环境的自然恢复效果却少有关注。

本文依托京杭运河苏南段的航道疏浚工程,结合短期和长期现场监测,探究了航道疏浚中常见的反铲式疏浚施工后河道水体水质、沉积物理化性质以及底栖生物、浮游动物、浮游植物等水生生物多样性的自然恢复效果,以期控制疏浚

工程的生态环境影响提供决策依据。

## 1 工程概况

京杭大运河苏南段地处长江下游的太湖流域,连接长江、太湖河网,随着无锡大包围工程、沿江闸站工程的常态化运行,苏南运河现已基本形成湖西区镇江、常州以引长江水为主,无锡引排结合,苏州以排为主的格局。其中,无锡段运河位于中段,北接常州横林镇,南连苏州望亭镇五七桥,全长约39.28 km,途经无锡市新吴区、梁溪区、滨湖区及惠山区,拥有京杭运河全线通航条件最好、船舶通过量最大、社会经济效益发挥最为显著的区段,是名副其实的“黄金水道”。该区域内地形、地貌以平原为主,地形由中西向东缓缓倾斜,一般地面高程在1.0~5.0 m,地貌属太湖流域堆积平原,湖泊水系发育。

根据江苏省“水运江苏”的相关规划,京杭运河苏南段的“三改二”工程按照二级航道标准建设,其中无锡段西起与常州交界的直湖港口,东至与苏州交界的丰乐桥,设计航道底宽不小于60 m,通航水深不小于4 m。该段航道全线河底高程较平均,两侧淤泥较深,为满足底宽标准,确定航道两侧为重点疏浚区域。实施疏浚时间为2024年4月—2025年3月,采用反铲式挖泥船分段施工。

## 2 材料与方法

### 2.1 采样点位置

选取京杭运河苏南段7个断面(T1~T7)开展水质监测,监测时段包括疏浚前、疏浚施工过程中、疏浚结束后2 h。选取4个断面(R1~R4)开展沉积物理化性质分析,监测时段包括疏浚前、疏浚半年后。选取2个断面(S1、S2)开展水生生态调查,调查时段包括疏浚前、疏浚后初期、疏浚半年后。采样点位置见图1。

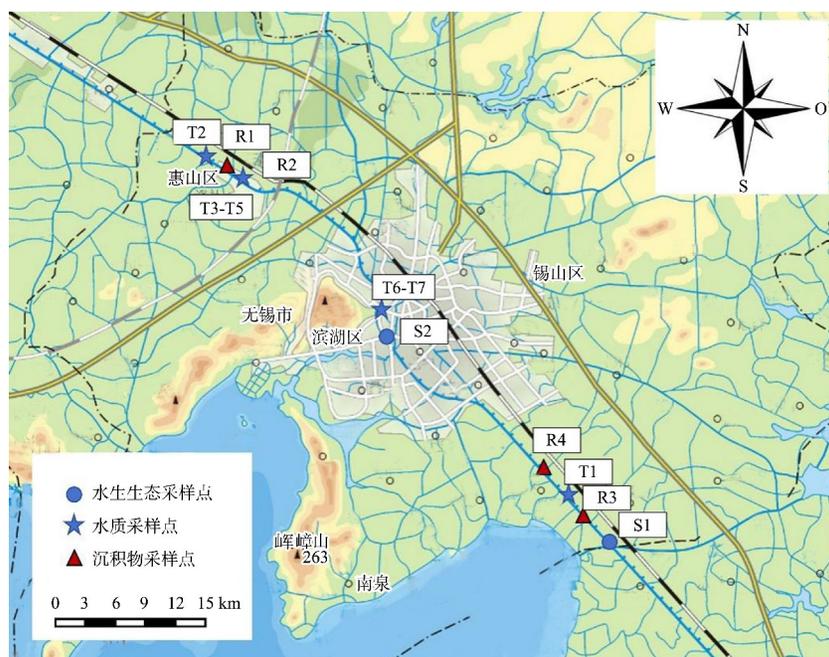


图1 京杭运河无锡段采样点位置

Fig. 1 Sampling points location in Wuxi section of the Grand Canal

## 2.2 样品采集与分析

### 2.2.1 沉积物理化性质

沉积物采用彼得逊采泥器采集,于4℃低温保存并运至实验室进行后续分析。沉积物测定方法:氨氮采用氯化钾溶液提取-分光光度法,全氮采用凯氏法,总磷采用碱熔-钼锑抗分光光度法,有机质采用NY/T 1121.6—2006《土壤检测第6部分:土壤有机质的测定》;底泥颗粒级配分析采用密度计法。

### 2.2.2 水质指标

分别于挖泥区域及其上游10、50 m和下游10、50、100 m设置采样断面,每个采样断面在水面下0.50 m处采集水样。pH值、溶解氧、浊度在采样现场测定:采用PHS-5型便携式pH计测定环境水的pH值,台式溶解氧仪HQ30d测定溶解氧,ZD智能散射光浊度仪测定浊度。氨氮、总氮、总磷均采用GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中指定的方法:氨氮采用纳氏试剂分光光度法,总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,总磷采用钼锑抗分光光度法。

### 2.2.3 水生生物

水生生物采样和分析依据:浮游植物,HJ 1216—2021《水质 浮游植物的测定 0.1 mL计数框-显微

镜计数法》;浮游动物,《水和废水监测分析方法》(第四版增补版)国家环境保护总局(2002年)5.1.1浮游生物的测定;底栖大型无脊椎动物,HJ 710.8—2014《生物多样性观测技术导则 淡水底栖大型无脊椎动物》。

### 2.2.4 数据处理

优势度 $Y$ 用来指示浮游动物、浮游植物、底栖动物出现的频率和个体数量,以确定优势种。当 $Y \geq 0.02$ 时,该物种被确定为优势种, $Y > 0.1$ 则为绝对优势种<sup>[13-14]</sup>,计算方法见式(1)。物种多样性指数采用Shannon-Wiener多样性指数 $H'$ 、Margalef丰富度指数 $D$ 、Pielou均匀度指数 $J$ 进行计算,计算方法见式(2)~(4)。

$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i \quad (1)$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \cdot \ln \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

$$D = \frac{S-1}{\log_2 N} \quad (3)$$

$$J = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (4)$$

式中: $n_i$ 为样品中第 $i$ 种生物的个体数; $N$ 为样品

中生物总个体数;  $f_i$  为第  $i$  个种群的出现频率;  $S$  为群落中的总物种数。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 沉积物特性恢复效果

航道疏浚前后河道表层沉积物的基本理化性质见表1。疏浚前,各采样点的底泥粒径基本分布在小于  $75\ \mu\text{m}$  的范围,以粉粒为主,占比  $78.2\% \sim 86.0\%$ 。疏浚过程对沉积物粒径组成有较大影响,砂粒占比明显提高,粉粒占比下降,这一结果与文献[5]研究一致。由于小粒径的沉积物具有较大

表面积,更容易吸附污染物,当沉积物中的粉粒含量明显升高,其中的有机质、总磷、氨氮含量也会因吸附作用而明显升高,但随着时间的延长,其含量会因微生物等作用而恢复至正常水平<sup>[15]</sup>。本研究中,沉积物平均有机质含量疏浚前为  $9.05\ \text{g/kg}$ ,疏浚半年后为  $8.81\ \text{g/kg}$ ,有机质含量因疏浚而下降的趋势有明显缓解,基本恢复原有水平。但对氨氮、总磷等营养元素而言,疏浚工程的清除效果在半年后仍有成效,浓度相较疏浚前分别下降了  $60.2\%$  和  $29.6\%$ ,说明航道疏浚对减少河道污染物含量、改善底质在较长时间内具有积极作用<sup>[16]</sup>。

表1 疏浚前后表层沉积物基本理化性质

Tab. 1 Basic physicochemical properties of surface sediments before and after dredging

阶段	统计分类	pH 值	氨氮/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	总磷/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	有机质/ ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	含水率/ %	砂粒 ( $0.250\sim 0.075\ \text{mm}$ ) 占比/%	粉粒 ( $0.075\sim 0.005\ \text{mm}$ ) 占比/%	黏粒 ( $<0.005\ \text{mm}$ ) 占比/%
疏浚前	范围	8.3~8.5	7.00~9.56	1 050~1 240	6.31~11.6	41.6~47.6	3.3~6.1	78.2~86.0	11.1~16.2
	平均值	8.40	8.44	1123	9.05	45.2	4.4	82.1	13.7
疏浚 半年后	范围	8.06~8.59	2.40~5.17	781~796	5.77~12.50	42.8~47.1	1.5~14.2	73.1~85.2	9.7~18.1
	平均值	8.24	3.36	791	8.81	44.5	6.9	79.9	13.3

#### 3.2 水体水质响应

开展现场水质监测的目的是研究航道疏浚对水体水质的短期影响,疏浚前后水体水质指标浓度变化情况见表2、图2。在疏浚作业过程中,疏浚区域周边水体浊度、氨氮、总氮、总磷含量均有所增加。由于航道长度超过  $40\ \text{km}$ ,选择点位的背景值也不尽相同。总体来看,疏浚施工对水体氨氮、总氮浓度影响最大,疏浚过程中两者平均浓度增幅分别为  $5.9\%$ 、 $4.8\%$ ,在疏浚结束后仍持续增加,结束  $2\ \text{h}$  后增幅分别为  $19.6\%$ 、 $11.6\%$ 。根据2.1节分析,苏南运河底泥中粉粒和黏粒比例较高,吸附的氨氮、有机质等污染物含量也较高,一方面,富含污染物的底泥在疏浚过程中由于浓度梯度变化而向上覆水体释放的氨氮、总氮也较多;另一方面,因底泥小粒径颗粒比例较高,其有机质含量较高,吸附能力较强,氨氮、总氮解吸过程持续时间较长,对上覆水体的水质影响时间也较长。已有研究表明,底泥粒径越小,扰动过程中氨氮向上覆水体的释放量越大<sup>[17]</sup>。

与氨氮相比,总磷浓度增量相对较小,疏浚

过程中、疏浚结束后  $2\ \text{h}$  平均增幅分别为  $9.5\%$ 、 $4.8\%$ ,且部分采样点未出现继续增加的趋势,与文献[5]中长荡湖环保清淤工程的研究结果一致。已有研究发现,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  与有机质有着更强的络合能力,释放过程要慢于氨氮<sup>[18]</sup>,因此在停止疏浚扰动后,总磷浓度回落,较疏浚过程中有所下降。

浊度在疏浚过程中增幅为  $6.3\%$ ,在疏浚结束后仍有所增加,增幅为  $8.3\%$ ,部分采样点监测结果显示浊度在疏浚结束  $2\ \text{h}$  后恢复至疏浚前背景值,反铲式疏浚对浊度的影响基本在停止施工  $2\ \text{h}$  后,与文献[9]的研究结果一致。一般来说,疏浚时,底泥扰动使得大量还原性物质进入水体,会导致溶解氧在短期内下降<sup>[19]</sup>。研究中监测水体溶解氧浓度在疏浚后略有降低,但变化不明显,可能是因为疏浚并未导致大量还原性物质进入上覆水体,对水中溶解氧浓度影响较小。pH 值在疏浚前后变化不大,与 Zhang 等<sup>[20]</sup>的研究结果类似,这是由于河道水体中存在天然缓冲剂如  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{HPO}_4^{2-}$  等,使得 pH 值不会发生较大程度的变化。

表 2 疏浚前后水体水质指标浓度变化  
Tab. 2 Variations in water quality parameters before and after dredging

调查时段	统计分类	pH 值	浊度/NTU	溶解氧/(mg·L <sup>-1</sup> )	总磷/(mg·L <sup>-1</sup> )	氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	总氮/(mg·L <sup>-1</sup> )
疏浚前	范围	6.6~8.1	45~142	3.32~12.17	0.14~0.32	0.25~1.17	1.23~3.02
	平均值	7.5	96	7.22	0.21	0.51	2.07
疏浚进行中	范围	7.4~8.1	46~152	3.52~10.78	0.14~0.38	0.25~1.09	1.20~3.46
	平均值	7.8	102	6.97	0.23	0.54	2.17
疏浚结束后 2 h	范围	7.4~8.1	46~166	3.56~11.45	0.13~0.29	0.30~1.26	1.87~3.02
	平均值	7.8	104	7.18	0.22	0.61	2.31

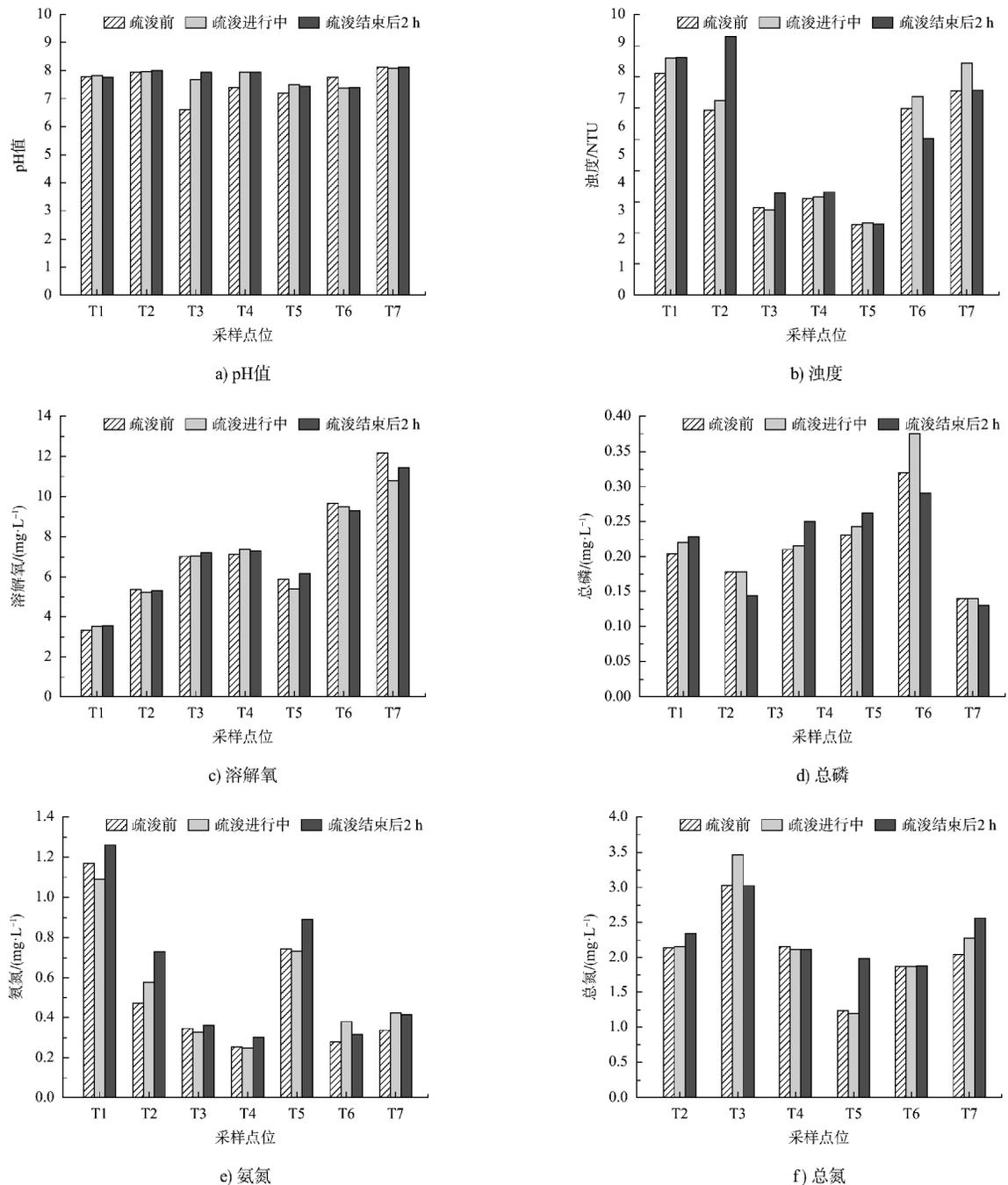


图 2 疏浚前中后各采样点水质指标变化

Fig. 2 Variations in water quality parameters for each sampling point before, during, and after dredging

### 3.3 水生生物的恢复效果

#### 3.3.1 浮游植物

疏浚前后浮游植物种类组成变化见表3。疏浚前两个断面共调查到浮游植物5门37种,其中硅藻门(18种)种类最多,占比48.6%;其次是蓝藻门(9种)、绿藻门(6种),占比分别为24.3%、16.2%;裸藻门、隐藻门的种类数较少。疏浚后初期共调查到浮游植物7门36种,仍然是硅藻门(17种)、蓝藻门(6种)、绿藻门(8种)种类相对

较多,占比分别为47.2%、16.7%、22.2%。疏浚半年后共调查到浮游植物5门43种,其中硅藻门(22种)、蓝藻门(7种)与绿藻门(12种)的占比仍相对较高,分别为51.2%、16.3%、27.9%。疏浚后初期浮游植物门类数增加2门2种(金藻门密集锥囊藻、甲藻门薄甲藻),但总体来看,疏浚前后群落组成均稳定在硅藻门-蓝藻门-绿藻门状态,表明航道疏浚对浮游植物群落结构组成并无显著影响,与丁瑞睿等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。

表3 疏浚前后浮游植物种类组成和多样性指数  
Tab.3 Composition and diversity indices of phytoplankton before and after dredging

调查时段	物种数/种(占比/%)							物种数	多样性指数平均值		
	硅藻门	蓝藻门	绿藻门	裸藻门	隐藻门	金藻门	甲藻门		合计	H'	D
疏浚前	18(48.6)	9(24.3)	6(16.2)	3(8.1)	1(2.7)	-	-	37	0.68	1.12	0.21
疏浚后初期	17(47.2)	6(16.7)	8(22.2)	1(2.8)	2(5.6)	1(2.8)	1(2.8)	36	1.94	1.18	0.61
疏浚半年后	22(51.2)	7(16.3)	12(27.9)	1(2.3%)	1(2.3%)	-	-	43	2.26	4.20	0.74

注:“-”表示未检出。

优势种是调查区域浮游植物群落的主要建群种,对评价浮游植物群落结构和种类组成起决定性作用。疏浚前调查断面浮游植物优势种共有3种,分别为假鱼腥藻属的一种、小席藻、隐球藻属的一种,均为蓝藻门,见表4。其中隐球藻属的一种优势度最高(0.879),属于绝对优势种。疏浚后初期浮游植物优势种共有7种,其中隐球藻属的一种(0.322)、微囊藻属一种(0.247)、变异直链藻(0.171)优势度较高,均属于绝对优势种;假鱼腥藻属的一种、颗粒直链藻、梅尼小环藻、小球藻为优势种。疏浚后初期浮游植物优势种数量增加,隐球藻属的一种仍为第一优势种,但优势度明显降低。疏浚半年后浮游植物优势种共有5种,其中假鱼腥藻属的一种(0.253)、丝藻属的一种(0.232)与梅尼小环藻(0.219)优势度相对较高,属于绝对优势种;隐球藻属的一种优势度较疏浚后初期明显下降,但仍为优势种。

表4 疏浚前后浮游植物优势种变化  
Tab.4 Variations in dominant species of phytoplankton before and after dredging

调查时段	门类	优势种	优势度
疏浚前	蓝藻门	隐球藻属的一种 <i>Aphanocapsa sp.</i>	0.879
	蓝藻门	小席藻 <i>Phormidium tenue</i>	0.023
	蓝藻门	假鱼腥藻属的一种 <i>Pseudanabaena sp.</i>	0.022
疏浚后初期	蓝藻门	隐球藻属的一种 <i>Aphanocapsa sp.</i>	0.322
	蓝藻门	微囊藻属一种 <i>Microcystis sp.</i>	0.247
	硅藻门	变异直链藻 <i>Melosira varians</i>	0.171
	蓝藻门	假鱼腥藻属的一种 <i>Pseudanabaena sp.</i>	0.063
	硅藻门	颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i>	0.037
疏浚半年后	硅藻门	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	0.025
	绿藻门	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>	0.021
	蓝藻门	假鱼腥藻属的一种 <i>Pseudanabaena sp.</i>	0.253
	绿藻门	丝藻属的一种 <i>Ulothrix sp.</i>	0.232
	硅藻门	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	0.219
	硅藻门	颗粒直链藻极狭变种 <i>Melosira granulata var. angustissima</i>	0.088
	蓝藻门	隐球藻属的一种 <i>Aphanocapsa sp.</i>	0.026

疏浚前后各调查断面浮游植物密度、生物量见图 3。疏浚前浮游植物密度、生物量分别为  $6.648 0 \times 10^6 \sim 8.629 4 \times 10^6$  cell/L、 $1.00 \sim 1.22$  mg/L, 疏浚后初期分别为  $8.634 \times 10^5 \sim 1.166 3 \times 10^6$  cell/L、 $0.43 \sim 0.52$  mg/L, 疏浚后浮游植物生物量明显减少, 可能是因为疏浚导致水体悬浮物浓度升高, 水体的真光层厚度削弱, 水域初级生产力降低。疏浚前、疏浚后初期均是硅藻门生物量最高, 其次是蓝

藻门, 同样说明航道疏浚对浮游植物群落结构影响不大。疏浚半年后浮游植物密度、生物量分别为  $3.095 2 \times 10^6 \sim 3.415 6 \times 10^6$  cell/L、 $2.95 \sim 3.04$  mg/L, 疏浚半年后浮游植物密度较疏浚后初期有明显回升, 但仍未达到疏浚前水平, 浮游植物生物量则超过疏浚前水平, 这可能是由于绿藻门种类增加, 其单细胞体积较蓝藻更大, 虽然密度未恢复至疏浚前水平, 但生物量仍较大<sup>[22]</sup>。

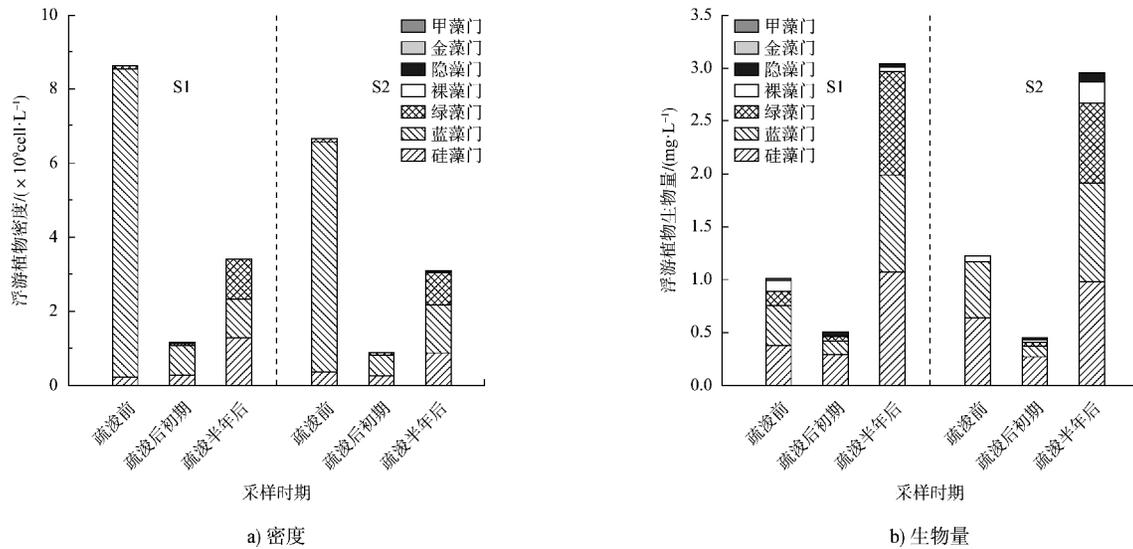


图 3 疏浚前后采样断面浮游植物密度和生物量

Fig. 3 Phytoplankton density and biomass across sampling sections before and after dredging

疏浚前后调查断面浮游植物群落结构多样性指数见表 3。疏浚前 Shannon-Wiener 多样性指数为 0.68, 说明疏浚前调查水域浮游植物物种丰富度低、个体分布不均匀, 疏浚后初期为 1.94, 物种多样性有所提高, 疏浚半年后为 2.26, 物种多样性进一步提高。疏浚后初期浮游植物密度、生物量明显降低, 疏浚半年后浮游植物密度与生物量均有所恢复, 生物量甚至超过疏浚前水平, 同时种类变化不大, 物种多样性提高, 说明航道疏浚在一定程度上改善了河流生态状况, 提高了水体藻类生物多样性水平, 与巢湖双桥河研究结果一致。

### 3.3.2 浮游动物

疏浚前后浮游动物种类组成变化见表 5。疏浚前共发现浮游动物 3 类 11 种, 其中轮虫类 3 种、占比 27.3%, 枝角类 3 种、占比 27.3%, 桡足类 5

种、占比 45.4%。疏浚后初期共发现浮游动物 3 类 8 种, 其中轮虫类 3 种、占比 37.5%, 枝角类 1 种、占比 12.5%, 桡足类 4 种、占比 50.0%。疏浚半年后调查发现浮游动物 3 类 16 种, 其中轮虫类 8 种, 占比 50%, 枝角类与桡足类均为 4 种, 各占 25%。疏浚后初期浮游动物种数有所降低, 但门类基本不变, 疏浚半年后浮游动物种类明显恢复以至超过疏浚前水平, 表明疏浚作业对浮游动物造成的负面影响不会长久持续。

表 5 疏浚前后浮游动物种类组成和多样性指数  
Tab. 5 Composition and diversity indices of plankton before and after dredging

调查时段	物种数/种(占比/%)			物种数 合计	多样性指数平均值		
	轮虫类	枝角类	桡足类		H'	D	J
疏浚前	3(27.3)	3(27.3)	5(45.4)	11	1.62	1.73	0.84
疏浚后	3(37.5)	1(12.5)	4(50.0)	8	1.31	1.64	0.75
疏浚半年后	8(50.0)	4(25.0)	4(25.0)	16	1.93	3.05	0.77

疏浚前后浮游动物优势种见表6。疏浚前浮游动物优势种共有8种,其中桡足类无节幼体(0.283)、枝角类多刺裸腹溞(0.124)优势度最高,均为绝对优势种。疏浚后初期浮游动物优势种共有6种,其中桡足类无节幼体(0.550),桡足类广布中剑水蚤(0.138)为绝对优势种。疏浚半年后浮游动物优势种共有10种,其中桡足类无节幼体(0.415)与桡足类广布中剑水蚤(0.138)仍为绝对优势种。

表6 疏浚前后浮游动物优势种变化  
Tab.6 Variations in dominant species of zooplankton before and after dredging

调查时段	门类	优势种	优势度	
疏浚前	桡足类	无节幼体 <i>Nauplius</i>	0.283	
	枝角类	多刺裸腹溞 <i>Moina macrocopa Straus</i>	0.124	
	枝角类	长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	0.068	
	桡足类	广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	0.068	
	桡足类	近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus</i>	0.056	
	轮虫类	萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	0.038	
	轮虫类	螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>	0.028	
	桡足类	锯缘真剑水蚤 <i>Eucyclops serrulatus</i>	0.024	
	疏浚后初期	桡足类	无节幼体 <i>Nauplius</i>	0.550
		桡足类	广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	0.138
枝角类		长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	0.100	
轮虫类		曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valga</i>	0.063	
轮虫类		针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	0.031	
桡足类		近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus</i>	0.025	
疏浚半年后	桡足类	无节幼体 <i>Nauplius</i>	0.415	
	桡足类	广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	0.180	
	枝角类	僧帽溞 <i>Daphnia cucullata</i>	0.073	
	轮虫类	矩形龟甲轮虫 <i>eratella quadrata</i>	0.059	
	桡足类	近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus</i>	0.054	
	枝角类	长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	0.049	
	轮虫类	萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	0.029	
	轮虫类	迈氏三肢轮虫 <i>Filinia maio</i>	0.024	
	轮虫类	卜氏晶囊轮虫 <i>Asplanchna brightwelli</i>	0.020	
	枝角类	光滑平直溞 <i>Pleuroxus laevis</i>	0.020	

调查断面疏浚前后浮游动物密度、生物量见图4,疏浚前浮游动物密度、生物量分别为122.9~133.1 ind/L、0.17~0.75 mg/L,疏浚后初期为25.7~97.7 ind/L、0.11~0.16 mg/L,疏浚后初期浮游动物密度、生物量明显减少,其中轮虫类变化最为明显,这是浮游动物群落结构对底泥疏浚

引起的环境变化做出的迅速反应。疏浚半年后浮游动物密度、生物量分别为176.6~185.0 ind/L、0.62~0.65 mg/L,超过疏浚前水平。

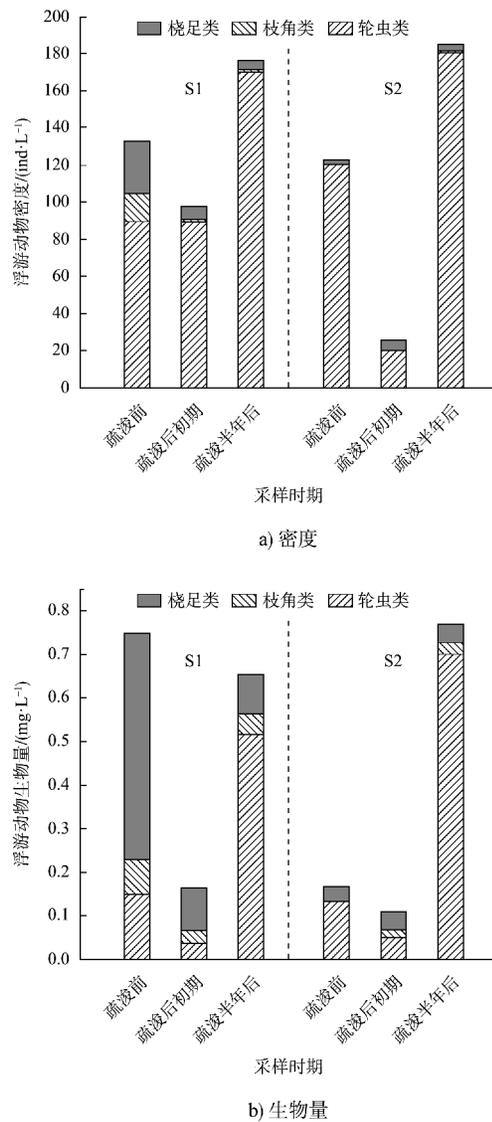


图4 疏浚前后采样断面浮游动物密度和生物量  
Fig.4 Zooplankton density and biomass across sampling sections section before and after dredging

调查断面疏浚前后浮游动物群落多样性指数见表5。疏浚前  $H'$  为1.62,疏浚后初期为1.31,疏浚后物种多样性下降。疏浚半年后为1.93,物种多样性超过疏浚前水平。 $D$ 、 $J$  因调查断面而异,  $S1$  在疏浚后上升,  $S2$  在疏浚后下降。一般研究认为,食物网营养级上的生物既是消费者也是上一营养级生物的饵料,疏浚工程导致浮游植物生物量减少,会使以浮游植物为饵料的浮游动物

的生物量与物种多样性相应下降<sup>[23]</sup>。而疏浚结束后,  $H'$ 、 $D$ 、 $J$ 等均上升,表明疏浚作业结束,其对浮游动物生境的破坏即停止,浮游动物群落结构开始恢复。

### 3.3.3 底栖动物

疏浚前后调查河段底栖动物名录见表7。疏浚前共鉴定到底栖动物5种,其中软体动物4种、甲壳类1种,疏浚后共鉴定到底栖动物4种,其中软体动物、甲壳动物、环节动物、昆虫类各1种。疏浚半年后共鉴定到底栖动物9种,其中软体动

物3种,甲壳动物、环节动物、昆虫类各2种。疏浚后初期底泥中原有的大型底栖动物基本消失,与文献[2]的研究结果一致。疏浚后初期出现环节动物克拉伯水丝蚓、昆虫类黄色羽摇蚊,均属于耐污种<sup>[24]</sup>,可能是因为疏浚后新生底泥处于营养盐较高、更有利于耐污种生存。此外,已有研究发现疏浚后丧失的生物种群往往是疏浚前丰度较低或稀有的生物种群,而常见的生物种群则会在底泥疏浚后最先出现<sup>[25]</sup>。

表7 疏浚前后采样断面底栖动物名录

Tab. 7 Benthic macroinvertebrate species inventory across sampling sections before and after dredging

类群	种类	疏浚前	疏浚后初期	疏浚半年后
软体动物	方格短沟蜷 <i>Semisulcospira cancellata</i>	+	-	-
	梨形环棱螺 <i>Bellamyia purificata</i>	+	-	-
	河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	+	+	+
	湖沼股蛤 <i>Limnoperna lacustris</i>	+	-	-
	湖球蚬 <i>Sphaerium lacustre</i>	-	-	+
	角形环棱螺 <i>Bellamyia angularia</i>	-	-	+
甲壳动物	日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i>	+	-	+
	日本大螯蜚 <i>Grandidierella japonica</i>	-	+	+
环节动物	克拉伯水丝蚓 <i>Limnodrilus claparedeianus</i>	-	+	+
	圆锯齿吻沙蚕 <i>Dentinephrys glabra</i>	-	-	+
昆虫类	黄色羽摇蚊 <i>Chironomus flaviplumus</i>	-	+	-
	凹缺隐摇蚊 <i>Cryptochironomus defectus</i>	-	-	+
	刺缺长足摇蚊 <i>Tanytus punctipennis</i>	-	-	+
合计种类数		5	4	9

注:名录表中“+”表示调查断面出现该物种,“-”表示调查断面未出现该物种。

调查断面疏浚前后底栖生物平均密度、生物量和群落结构多样性指数见表8。疏浚前底栖动物平均密度155.0 ind/m<sup>2</sup>、平均生物量159.509 mg/m<sup>2</sup>,疏浚后平均密度21.0 ind/m<sup>2</sup>、平均生物量14.670 mg/m<sup>2</sup>,疏浚后初期底栖生物密度、生物量明显减少。疏浚半年后底栖动物平均密度为41.5 ind/m<sup>2</sup>、平均生物量为46.190 mg/m<sup>2</sup>。从群落结构多样性指数来看,  $H'$ 、 $D$ 、 $J$ 在疏浚后初期均降低,物种多样

性下降。这是因为底栖动物长期生存在水体底部、移动性较差,施工直接破坏了其原有的生存环境,短期内受疏浚施工影响显著。Newell等<sup>[26]</sup>研究发现,疏浚结束后底栖生物群落结构的恢复与底泥环境条件有关,沙质底泥中底栖生物群落恢复时间为2~3 a,河海岸和淤质底泥中底栖生物恢复需6~8个月,但是对于比较复杂的生物群落来说,恢复需要5~10 a。

表8 疏浚前后采样断面底栖生物平均密度、生物量和多样性指数  
Tab. 8 Average density, biomass, and diversity indices of benthic macroinvertebrates across sampling sections before and after dredging

调查时段	平均密度/(ind·m <sup>-2</sup> )					平均生物量/(mg·m <sup>-2</sup> )					多样性指数		
	软体动物	甲壳动物	环节动物	昆虫类	合计	软体动物	甲壳动物	环节动物	昆虫类	合计	H'	D	J
疏浚前	109.5	45.5	0	0	155.0	67.168	92.341	0	0	159.509	1.98	1.72	0.95
疏浚后初期	10.5	2.5	5.5	2.5	21.0	14.524	0.010	0.015	0.121	14.670	1.21	1.44	0.86
疏浚半年后	7.5	18.5	10.5	5.0	41.5	33.660	12.330	0.215	0.010	46.215	1.89	2.89	0.86

疏浚半年后底栖生物密度与生物量较疏浚后初期有所上升,但仍未恢复到疏浚前水平。Shannon-Wiener 多样性指数  $H'$  较疏浚后初期有所回升, Pielou 均匀度指数  $D$  有较大幅度提升,超过疏浚前水平, Margalef 丰富度指数  $J$  与疏浚后初期持平。这主要是因为底栖生物生境的恢复需要较长周期,短期内密度与生物量恢复程度有限,但随着时间的延长,航道底部生境得到改善,有利于底栖生物的恢复,这表明疏浚施工对底栖生物的负面影响会随着施工结束而逐渐消除<sup>[27-28]</sup>。

#### 4 结论

1) 反铲式疏浚工程结束后,苏南运河沉积物中氨氮、总磷与有机质含量降低,表明航道疏浚有助于改善河流底质、减轻底质作为内源释放污染源的影响。

2) 对比疏浚前、疏浚过程中及疏浚结束后 2 h 疏浚区域水体水质指标变化情况,发现在反铲式疏浚作业过程中,周边水体氨氮、总氮浓度增幅最大、影响时间较长,疏浚中平均浓度增幅 5.9%、4.8%,疏浚结束 2 h 后升为 19.6%、11.6%;浊度在疏浚中增幅为 6.3%,疏浚结束后仍略有升高,部分点位在疏浚 2 h 后恢复到疏浚前水平;总磷浓度增幅较小, pH、溶解氧基本不受疏浚影响。

3) 对比疏浚前、疏浚后初期、疏浚半年后水体水生生物分布情况,发现短期内疏浚对直接导致疏浚区域底栖生物、浮游动物生物量和生物多样性的降低,浮游植物生物量也明显降低,但生物多样性有所增加。从长期来看,随着疏浚作业

的结束,浮游生物与底栖生物密度与生物量均有所回升,这表明疏浚施工对群落结构的影响将随时间延长而趋于减弱。

4) 通过现场调查和监测探究了反铲式挖泥船疏浚施工对水体水质、表层沉积物以及水生生物的短期和长期环境影响,研究成果可为类似航道疏浚工程环保设计提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 李萌萌,陈亮,陈慧华,等.底泥环保疏浚技术及应用进展[J].环境工程,2025,43(7):48-63.  
LI M M, CHEN L, CHEN H H, et al. Progress of environmental dredging techniques for sediment and their applications [J]. Environmental engineering, 2025, 43(7): 48-63.
- [2] 杨春懿,马广翔,顾俊杰,等.底泥疏浚生态环境效应的后评价研究:以山东省某河段整治为例[J].华东师范大学学报(自然科学版),2022(3):61-70.  
YANG C Y, MA G X, GU J J, et al. Study on ecological environmental effects of sediment dredging: a case study on river regulation in Shandong Province [J]. Journal of East China Normal University (natural science), 2022(3): 61-70.
- [3] 骆鑫,彭小燕,蓝文陆.钦州湾疏浚工程磷释放对海湾生态环境的影响[J].广西科学院学报,2020,36(4):373-382.  
LUO X, PENG X Y, LAN W L. Impact of phosphorus release from Qinzhou Bay dredging project on bay ecological environment [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2020, 36(4): 373-382.
- [4] 姜霞,王书航,张晴波,等.污染底泥环保疏浚工程的理

- 念·应用条件·关键问题[J]. 环境科学研究, 2017, 30(10): 1497-1504.
- JIANG X, WANG S H, ZHANG Q B, et al. Analysis of concepts, conditions and critical problems in environmental dredging [J]. Research of environmental sciences, 2017, 30(10): 1497-1504.
- [5] 李红静, 陈海波, 陆海明, 等. 环保绞吸船清淤作业过程对湖泊水环境的影响[J]. 环境工程学报, 2023, 17(12): 3897-3905.
- LI H J, CHEN H B, LU H M, et al. Research on the impact of eco-friendly cutter suction dredger's sediment removal operation on lake water environment [J]. Chinese journal of environmental engineering, 2023, 17(12): 3897-3905.
- [6] 毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 等. 太湖东部不同类型湖区底泥疏浚的生态效应[J]. 湖泊科学, 2014, 26(3): 385-392.
- MAO Z G, GU X H, LU X M, et al. Ecological effects of dredging on aquatic ecosystem in the different regions of eastern Lake Taihu [J]. Journal of lake sciences, 2014, 26(3): 385-392.
- [7] 郑淑娴, 黄彬彬, 戴明. 水体悬浮物增加对浮游植物种群增长的影响研究[J]. 海洋湖沼通报, 2020, 42(1): 143-150.
- ZHENG S X, HUANG B B, DAI M. Effect of sediment suspension on phytoplankton growth [J]. Transactions of oceanology and limnology, 2020, 42(1): 143-150.
- [8] 陈杰, 蒋昌波, 张绍华, 等. 链斗式挖泥船疏浚引起的悬浮物扩散规律[J]. 交通科学与工程, 2014, 30(2): 55-59.
- CHEN J, JIANG C B, ZHANG S H, et al. Suspended solids diffusion induced by bucket dredger [J]. Journal of transport science and engineering, 2014, 30(2): 55-59.
- [9] 邓群, 孙远军, 吴逸. 反铲式河道疏浚对水质影响的中试试验研究[J]. 水利技术监督, 2021, 29(4): 102-105, 154.
- DENG Q, SUN Y J, WU Y. Pilot test study on influence of backhoe river dredging on water quality [J]. Technical supervision in water resources, 2021, 29(4): 102-105, 154.
- [10] 向莹, 张鸿涛, 高宏洲, 等. 九江市琵琶湖底泥环境特征与生态清淤工程[J]. 中国给水排水, 2021, 37(14): 142-150.
- XIANG Y, ZHANG H T, GAO H Z, et al. Sediment environmental characteristics and ecological dredging project of Pipa Lake in Jiujiang [J]. China water & wastewater, 2021, 37(14): 142-150.
- [11] 刘国锋, 张志勇, 刘海琴, 等. 底泥疏浚对竺山湖底栖生物群落结构变化及水质影响[J]. 环境科学, 2010, 31(11): 2645-2651.
- LIU G F, ZHANG Z Y, LIU H Q, et al. Effects of sediment dredging on benthos community structure and water quality in Zhushan Bay [J]. Environmental science, 2010, 31(11): 2645-2651.
- [12] 万幸. 滇池疏浚中溶解性有机质影响底泥内源污染物释放机制及生物多样性分析[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2023.
- WAN X. Impact of dissolved organic matter on the release mechanism of endogenous pollutants in sediment and the analysis of biodiversity during sediment dredging in Dianchi lake [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2023.
- [13] 李刚, 潘保柱, 丁一桐, 等. 无定河流域浮游动物群落结构特征及水质生物评价[J]. 中国环境监测, 2024, 40(3): 181-196.
- LI G, PAN B Z, DING Y T, et al. Characteristics of zooplankton community structure and bioassessment of water quality in the Wuding River Basin [J]. Environmental monitoring in China, 2024, 40(3): 181-196.
- [14] 焦银合, 于泉洲, 刘恩峰, 等. 基于遥感的南四湖菹草群落时空演变特征及其原因分析[J]. 林业资源管理, 2020(1): 70-78, 91.
- JIAO Y H, YU Q Z, LIU E F, et al. The characteristics of and causes to spatiotemporal evolution of Potamogeton crispus L. community in Nansi Lake based on remote sensing data [J]. Forest resources management, 2020(1): 70-78, 91.
- [15] ZHANG M M, HE P, QIAO G, et al. Heavy metal

- contamination assessment of surface sediments of the Subei Shoal, China: Spatial distribution, source apportionment and ecological risk [J]. *Chemosphere*, 2019, 223(5): 211-222.
- [16] 董敏, 王鹏, 马德堂. 生态清淤技术在白洋淀水环境治理中的应用[J]. *水运工程*, 2021(10): 64-67, 73.
- DONG M, WANG P, MA D T. Application of ecological desilting technology in water environment treatment of Baiyangdian[J]. *Port & waterway engineering*, 2021(10): 64-67, 73.
- [17] 曹乐. 航道疏浚中底泥对污染物的解吸规律的研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.
- CAO L. Research on the desorption laws of pollutants to bottom sediment in channel dredging [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2014.
- [18] 陈超, 钟继承, 范成新, 等. 湖泊疏浚方式对内源释放影响的模拟研究 [J]. *环境科学*, 2013, 34 ( 10 ): 3872-3878.
- CHEN C, ZHONG J C, FAN C X, et al. Simulation research on the release of internal nutrients affected by different dredging methods in lake [J]. *Environmental science*, 2013, 34(10): 3872-3878.
- [19] 景连东, 李晖. 湖泊疏浚对沉积物-水界面溶解氧的环境效应[J]. *西南民族大学学报(自然科学版)*, 2016, 42(6): 632-637.
- JING L D, LI H. Environmental effects of lake dredging on dissolved oxygen at sediment-water interface [J]. *Journal of Southwest University for Nationalities (natural science edition)*, 2016, 42(6): 632-637.
- [20] ZHANG S Y, ZHOU Q H, XU D, et al. Effects of sediment dredging on water quality and zooplankton community structure in a shallow of eutrophic lake[J]. *Journal of environmental sciences*, 2010, 22 ( 2 ): 218-224.
- [21] 丁瑞睿, 郭匿春, 马友华. 巢湖双桥河底泥疏浚过程中浮游植物功能群分类研究 [J]. *生态学报*, 2020, 40(7): 2427-2438.
- DING R R, GUO N C, MA Y H. A study of the phytoplankton functional classification of the Shuangqiao River in the Chaohu basin during a sediment dredging period [J]. *Acta ecologica sinica*, 2020, 40 ( 7 ): 2427-2438.
- [22] 吴沛沛, 刘劲松, 胡晓东, 等. 湖湖北部底泥疏浚的生态效应研究[J]. *水生态学杂志*, 2015, 36(2): 32-38.
- WU P P, LIU J S, HU X D, et al. Ecological effects of dredging on aquatic ecosystem in northern Gehu Lake[J]. *Journal of hydroecology*, 2015, 36(2): 32-38.
- [24] 何志辉, 严生良, 杨和荃, 等. 淡水生物学: 上册: 分类学部分[M]. 北京: 农业出版社, 1982.
- HE Z H, YAN S L, YANG H Q, et al. *Freshwater biology: volume 1: taxonomy section* [M]. Beijing: Agricultural Press, 1982.
- [25] KENNY A J, REES H L. The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos: Results 2 years post-dredging[J]. *Marine pollution bulletin*, 1996, 32(8/9): 615-622.
- [26] NEWELL R C, SEIDERER L J, HITCHCOCK D R. The impact of dredging works in coastal waters: A review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed [J]. *Oceanography and maring biology*, 1998, 36: 127-178.
- [27] 张建华, 殷鹏, 张雷, 等. 底泥疏浚对太湖内源及底栖生物恢复的影响[J]. *环境科学*, 2023, 44(2): 828-838.
- ZHANG J H, YIN P, ZHANG L, et al. Effects of sediment dredging on the reduction in sediment internal loading of Lake Taihu and the self-recovery ability of benthic organism [J]. *Environmental science*, 2023, 44(2): 828-838.
- [28] 王凯, 万彬, 陈黎明, 等. 湖泊底栖动物群落对清淤工程的响应及其重建过程研究: 以太湖竺山湾和梅梁湾为例[J]. *环境工程学报*, 2023, 17(12): 3915-3925.
- WANG K, WAN B, CHEN L M, et al. The response of macrozoobenthic communities to dredging projects and its reconstruction process: a case study of Zhushan Bay and Meiliang Bay of Taihu Lake[J]. *Chinese journal of environmental engineering*, 2023, 17(12): 3915-3925.