

环保疏浚对洱海西沙坪湾底栖动物群落结构的影响

杨桐¹, 尹成杰^{2,3}, 过龙根^{2,4}, 李宏亮¹, 余德琴², 杨姣姣^{2,3}

(1. 大理市洱海保护管理局, 云南 大理 671000;

2. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430072;

3. 中国科学院大学, 北京 100049;

4. 滇西应用技术大学, 云南 大理 671006)

摘要:研究环保疏浚对富营养化湖泊底栖动物群落结构的影响,探究湖泊生态修复的有效性。在西沙坪湾从南到北中心水域设5个样点,其中疏浚区3个,未疏浚区2个。从2016年6月开始,水质每月调查一次;底栖动物样品于底泥疏浚前、疏浚中、疏浚后共采集5次。对比分析沙坪湾底泥疏浚前后、疏浚区与未疏浚区的水质指标、底栖动物群落结构及生物多样性指数。研究发现:底泥疏浚前,疏浚区与未疏浚区采集到的底栖动物仅有霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)、苏氏尾鳃蚓(*Branchiura sowerbyi*)和摇蚊属一种(*Chironomus* sp.) 3种。在底泥疏浚过程中,疏浚区的底栖动物种类仅有4种,而未疏浚区的底栖动物已出现8种;疏浚结束后,与疏浚前和疏浚中相比,疏浚区的底栖动物种类明显增加,且种类多于未疏浚区。底泥疏浚前,疏浚区底栖动物生物量为0.73 g/m²,密度为560个/m²;疏浚结束后,疏浚区底栖动物生物量和密度分别为13.07 g/m²、1 827个/m²,均高于疏浚前和疏浚中,且高于未疏浚区。此外,疏浚区的Simpson多样性指数和Shannon-Wiener多样性指数的平均值分别由0.187、0.380增加到0.325、0.688,疏浚后生物多样性指数高于疏浚前。RDA分析结果表明,硝态氮、铵态氮和溶解氧是影响底栖动物群落分布的主要因子,硝态氮、铵态氮与摇蚊属一种(*Chironomus* sp.)、湖球蚬(*Sphaerium lacustre*)呈显著负相关;溶解氧与前突摇蚊属一种(*Procladius* sp.)呈显著正相关。实施环保疏浚工程能改善洱海湖湾底栖动物群落结构,并促进底栖动物群落多样性的增加。

关键词:西沙坪湾;环保疏浚;水质指标;底栖动物;群落结构

中图分类号:Q178.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2022)02-0077-09

水体污染包括内源污染和外源污染两类,大量的水生动植物残体等沉积在底泥中,形成内源污染。沉积的底泥中氮、磷营养盐的释放是造成水体富营养化和藻类水华暴发的重要原因之一(Reddy et al, 2007)。在外源污染被切断和治理后,要想从根本上解决水体污染问题,必须对内源污染进行有效防治,而目前针对内源污染防治普遍采用水力疏浚方法进行,即环保疏浚(李进军,2005;张丹等,2011)。环保疏浚是控制水体内源污染的有效措施之一(刘丽香等,2020)。目前,国内对于底泥疏浚的研究集中于水环境容量和水体水质的改善,对水体中底栖动物群落结构和功能的影响研究较少(丁瑞睿等,2019;

朱伟等,2019;王敬富等,2018;濮培民等,2000)。底栖动物是水生态系统食物网中一个重要的功能组,在淡水湖泊和河流中其优势类群主要包括水栖寡毛类、软体动物和水生昆虫等,它们既是鱼类的天然食物资源,又能作为水质监测的指示生物(龚志军等,2001)。同时,底栖动物在水生态系统状况评价、水体营养阈值确立等实际问题中扮演重要角色(李杨,2017)。

西沙坪湾位于洱海北端,是南北狭长的浅水湖湾。西沙坪湾沿岸带河床底质为砂质、泥砂质,湾心为腐殖质淤泥。2010年,西沙坪湾的沉水植物群落主要以黑藻(*Hydrilla verticillata*)和金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)为主,其次是微齿眼子菜(*Potamogeton maackianus*)、苦草(*Vallisneria spiralis*)、狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*)等(曾祯,2011)。整个西沙坪湾的水草覆盖率在夏季达到60%以上,冬季大量水草死亡,植物残体覆盖湖底(曾祯,2011)。该湖湾外源污染是主要入湖河流罗时江流入的部分未经处理的村民生活污水和牲畜养殖废水。同时,西沙坪湾氮、磷含量偏高,湖湾内源污染情况亟待解决(曾

收稿日期:2020-10-09

基金项目:大理市罗时江入湖河口环保疏浚一期工程监测评估及研究示范项目。

作者简介:杨桐,1986年生,女,硕士研究生,主要研究方向为湖泊生态学。E-mail: 505224043@qq.com

通信作者:过龙根,男,副研究员,主要研究方向为渔业资源与环境修复。E-mail: longgen@ihb.ac.cn

祯,2011)。由于受外源污染的影响,沉水植物逐渐消失,水体富营养化加重。水体的富营养化影响了大型底栖动物群落结构和多样性(龚志军等,2001);底泥中有机污染物的增加会导致底泥缺氧、发臭、释放有害气体,这些都影响底栖动物的分布(Graneli & Solander, 1988)。水体富营养化的发生,导致西沙坪湾底栖动物种类较少,仅以耐污种霍甫水丝蚓和摇蚊幼虫为主(未发表的数据)。王丑明等(2011)研究了洱海局部湖区湖滨带大型底栖动物群落结构和空间分布,期间共调查采集到底栖动物 30 种,其种类数量远远高于西沙坪湾。2016 年 9 月中旬西沙坪湾实施了底泥环保疏浚工程,到 2017 年 2 月份工程结束,虽然底泥疏浚能够快速去除底泥中污染物,但其对水质的改善效果及其对水生生物群落结构的影响有待进一步研究。

本文通过比较西沙坪湾底泥疏浚前、中、后期,疏浚区和非疏浚区底栖动物的密度、生物量、生物多样性指数的变化,以及分析疏浚前后西沙坪湾水质理化因子与底栖动物群落结构之间的关系,从而探究底泥环保疏浚对湖泊底栖动物群落的影响以及对富营养化湖泊生态修复的有效性。

1 材料与方法

1.1 采样点布设

西沙坪湾采样点选取在西沙坪湾从南到北中心水域(图 1)。共设 5 个样点,其中疏浚区 3 个(S1、S2、S3),未疏浚区 2 个(S4、S5)。

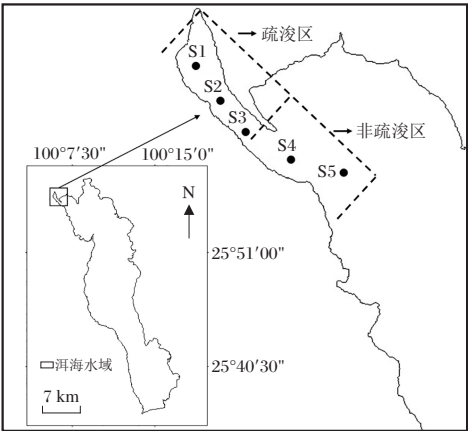


图 1 西沙坪湾采样点
Fig.1 Location of sampling sites in West Shaping Bay

1.2 样品采集与分析

2016 年 6 月至 2017 年 6 月每月采集水质样品 1 次;底泥疏浚前(2016 年 6 月)、疏浚中(2016 年 9、12 月)、疏浚后(2017 年 3、6 月)进行 5 次底栖动物样品采集。

底栖动物样品采集使用 1/40 m²改良的 Peterson 采泥器,样品经 80 目筛网现场筛洗净后,剩余物装在自己封袋中带回实验室置于白瓷盘中肉眼观察,用镊子将底栖动物标本挑出,5%福尔马林溶液保存。通过普通显微镜和成像解剖镜将标本鉴定到尽可能低的分类单元(何志辉等,1982;刘月英等,1979;Morse et al, 1994),用滤纸吸去表面固定液,然后在 1/10 000 电子天平下称量,折算成单位面积的密度(个/m²)和湿重生物量(g/m²)。

水样用 5 L 有机玻璃采水器采集分层混合水,水体透明度采用 Secchi 盘现场测定,水体温度、pH、溶解氧浓度等使用 YSI Pro 多参数水质监测仪现场测定。采集到的水样立即带入实验室进行相应处理:水样用 0.45 μm 的 GF/C (Whatman) 滤膜过滤,过滤后的叶绿素用热乙醇法测定(陈宇炜等,2006);水体理化指标总氮(TN)、铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)、总磷(TP)、固体悬浮物、COD_{Mn}等参照《水和废水监测分析方法》(国家环境保护总局,2002)在实验室内测定。

1.3 数据处理与分析

数据经 Microsoft Excel 2018 和 SPSS 22.0 软件分析,运用冗余分析 (Redundancy analysis, RDA) 研究底栖动物与水环境因子之间的相关关系。底栖动物的多样性研究采用香农-威纳指数(Shannon-Wiener index)和辛普森多样性指数(Simpson index)(丁瑞睿等,2019)。

$$H'=-\sum_{i=1}^n P_i \times \ln P_i$$

①

$$D=1-\sum_{i=1}^n P_i^2$$

②

式中:H'和 D 分别为香农-威纳指数、辛普森指数,n 为物种数,P_i为第 i 种密度占总密度的比例。

2 结果与分析

2.1 水体理化因子的变化

沙坪湾水体理化因子特征见表 1,疏浚前后理化因子的变化见图 2。疏浚区与未疏浚区的水温、pH、固体悬浮物和高锰酸盐指数(COD_{Mn})无显著差异;而疏浚区的溶解氧显著低于未疏浚区(P<0.05)。

调查期间,西沙坪湾疏浚区和未疏浚区的总氮、总磷及叶绿素 a 浓度均呈夏秋季高、冬春季低的特征,而透明度则呈现相反的特征。疏浚区的总氮浓度从疏浚前的 1.190 mg/L 下降至疏浚后的 0.741 mg/L,下降了 37.73%;未疏浚区的总氮浓度从 0.946 mg/L 下降至 0.659 mg/L,下降了 30.34%。疏浚区的总磷浓度从

疏浚前的0.142 mg/L下降至疏浚后的0.074 mg/L,下降了47.89%;未疏浚区总磷浓度从0.055 mg/L下降至0.034 mg/L,下降了38.18%。疏浚区的硝态氮、铵态氮浓度明显高于未疏浚区,但在疏浚结束后的后期监测中,疏浚区与未疏浚区的硝态氮、铵态氮的浓度又呈现相似的值。

表1 西沙坪湾水质特征
Tab.1 Water quality characteristics of West Shaping Bay

区域	水温/℃	溶解氧/mg·L ⁻¹	pH	固体悬浮物/mg·L ⁻¹	COD _{Mn} /mg·L ⁻¹
疏浚区	18.63±0.143 ^a	5.45±0.441 ^b	8.10±0.094 ^a	8.80±0.914 ^a	4.65±0.197 ^a
未疏浚区	18.97±0.077 ^a	6.69±0.150 ^a	8.65±0.024 ^a	8.00±1.125 ^a	4.31±0.153 ^a

注: 平均数上标不同表示差异显著(P<0.05),表中数值代表(平均数±SE)。
Note: Values with different superscripts indicate significant differences (P<0.05), and the values in the table are reported as Mean±SE.

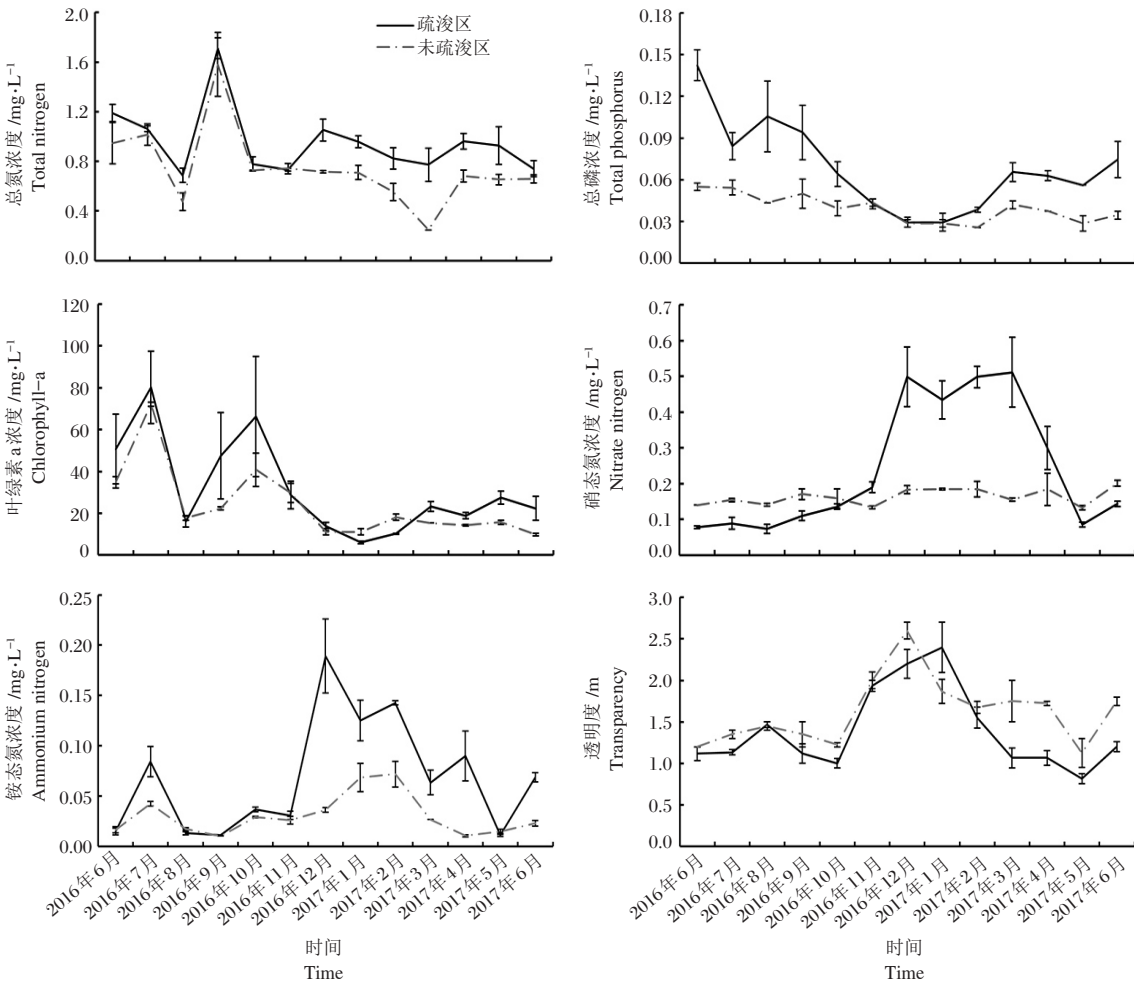


图2 疏浚前后西沙坪湾理化因子变化
Fig.2 Monthly variation of physicochemical factors of water bodies in the dredged and un-dredged areas of West Shaping Bay

2.2 底栖动物种类组成及其群落结构变化
疏浚区共采集得到15种底栖动物,隶属于8科15种;未疏浚区采集到14种,隶属于6科14种,见表2。以占总密度5%以上为优势种标准,其中霍甫水丝蚓(*L.hoffmeisteri*)和苏氏尾鳃蚓(*Branchiura sowerbyi*),摇蚊属一种(*Chironomus sp.*)为两者的共同优势种,

而瓣鳃纲球蚬科的湖球蚬(*Sphaerium lacustre*)、昆虫纲摇蚊科的前突摇蚊属一种(*Procladius sp.*)为未疏浚区的独有优势种。
底泥疏浚前,疏浚区与未疏浚区采集到的底栖动物仅有霍甫水丝蚓、苏氏尾鳃蚓和羽摇蚊3种。在底泥疏浚过程中,疏浚区的底栖动物种类仅有4

种,而未疏浚区的底栖动物已出现 8 种,种类明显多于疏浚区。在疏浚结束初期 (2017 年 3 月),与疏浚前和疏浚中相比,疏浚区的底栖动物种类明显增加,已经采集记录到 8 种,且多于未疏浚区

的底栖动物种类数。在疏浚结束一段时间后 (2017 年 6 月),与 2017 年 3 月相比,疏浚区底栖动物种类无明显变化,且和未疏浚区的物种数量相似 (表 2)。

表 2 底栖动物种类组成
Tab.2 Species composition of zoobenthos

底栖动物	疏浚区						未疏浚区					
	2016 年 6 月	2016 年 9 月	2016 年 12 月	2017 年 3 月	2017 年 6 月	出现频 率/%	2016 年 6 月	2016 年 9 月	2016 年 12 月	2017 年 3 月	2017 年 6 月	出现频 率/%
环节动物门 Annelida												
寡毛纲 Oligochaeta												
颤蚓科 Tubificidae												
正颤蚓 <i>Tubifex tubifex</i>					+	20					+	20
颤蚓属一种 <i>Tubifex</i> sp.				+		20			+			20
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	+	+	+	+	+	100	+	+	+	+	+	100
克拉泊水丝蚓 <i>Limnodrilus claparedeianus</i>				+		20			+		+	40
苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	+	+	+	+	+	100	+	+	+		+	80
管水蚓属一种 <i>Aulodrilus</i> sp.										+		20
蛭纲 Hirudinea												
舌蛭科 Glossiphoniidae												
舌蛭属一种 <i>Glossiphoniidae</i> sp.			+			20						
石蛭科 Erpobdellidae												
石蛭属一种 <i>Herpobdellidae</i> sp.					+	20						
软体动物 Mollusca												
腹足纲 Gastropoda												
田螺科 Viviparidae												
环棱螺属一种 <i>Bellamya</i> sp.					+	20						
椎实螺科 Lymnaeidae												
萝卜螺属一种 <i>Radix</i> sp.											+	20
扁蜷螺科 Planorbidae												
旋螺属一种 <i>Gyraulus</i> sp.				+		20				+		20
瓣鳃纲 Lamellibranchia												
球蚶科 Sphaeriidae												
湖球蚶 <i>Sphaerium lacustre</i>				+		20			+	+		40
蚌科 Unionidae												
无齿蚌属一种 <i>Anodonta</i> sp.											+	20
节肢动物门 Arthropoda												
昆虫纲 Insecta												
双翅目 Diptera												
摇蚊科 Chironomidae												
长足摇蚊亚科 Tanypodinae												
前突摇蚊属一种 <i>Procladius</i> sp.					+	20			+		+	40
摇蚊亚科 Chironominae												
摇蚊属一种 <i>Chironomus</i> sp.			+	+	+	60			+	+	+	60
羽摇蚊 <i>Chironomus flaviplumus</i>	+					20	+					20
异腹鳃摇蚊 <i>Einfeldia</i> sp.					+	20						
甲壳纲 Crustacea												
钩虾科 Gammaridae												
钩虾属一种 <i>Gammarus</i> sp.				+		20						
线虫动物门 Aschelminthes												
线虫纲一种 <i>Nematoda</i> sp.								+				20

注: “+”表示该物种被采集记录到。
Note: + denotes a species collected.

2.3 底栖动物生物量和密度的变化

疏浚前后西沙坪底栖动物生物量及密度的变化见图3。疏浚前,疏浚区底栖动物生物量0.73 g/m²,密度560 个/m²;未疏浚区底栖动物生物量15.12 g/m²,密度360 个/m²。底泥疏浚过程中,疏浚区底栖动物生物量和密度均较低;未疏浚区底栖动物密度较高而生物量较低,这主要是优势种由苏氏尾鳃蚓

(*Branchiura sowerbyi*)向霍甫水丝蚓(*Limodrilus hoffmeisteri*)转变。疏浚结束后,疏浚区底栖动物生物量和密度分别为13.07 g/m²、1 827 个/m²,均高于疏浚前和疏浚中,且高于未疏浚区。疏浚区中出现了较高比例的软体动物,主要包括环棱螺属一种(*Bellamya* sp.)、湖球蚬(*Sphaerium lacustre*)和旋螺属一种(*Gyraulus* sp.)等。

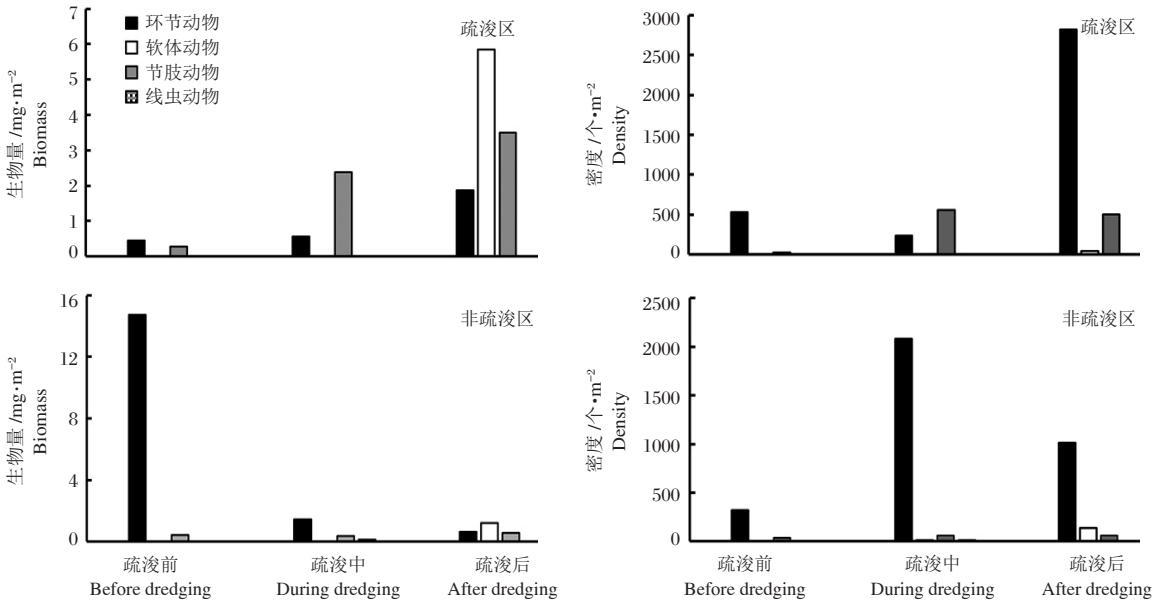


图3 西沙坪底栖动物生物量及密度的变化
Fig.3 Changes of zoobenthos biomass and density in West Shaping Bay

2.4 底栖动物多样性指数

疏浚前后底栖动物生物多样性指数见图4。疏浚前,疏浚区的 Simpson 多样性指数和 Shannon–Wiener 多样性指数的平均值分别为0.187、0.380,未疏浚区分别为0.494、0.849。疏浚过程中,疏浚区的2种多样性指数的值都有明显的增加,而未疏浚区均有明显的降低。疏浚结束后,疏浚区的 Simpson 多样

性指数为0.325,Shannon–Wiener 多样性指数和未疏浚区相似,其值分别为0.688、0.692。在整个研究期间,疏浚区的2种多样性指数呈现先增大后趋于稳定的变化趋势,未疏浚区的2种多样性指数呈现先增大后减小最后趋于稳定的变化趋势,在疏浚结束后,疏浚区的多样性指数接近于未疏浚区,且都处于稳定的值。

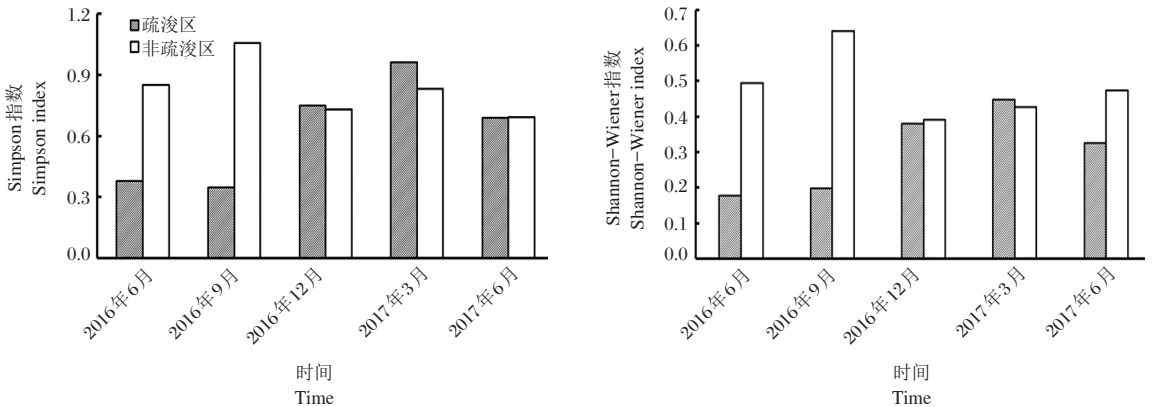
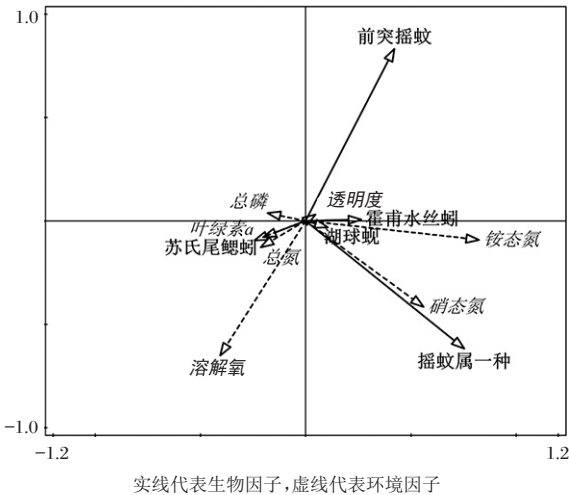


图4 西沙坪湾底栖动物多样性指数
Fig.4 Changes of zoobenthos diversity indices in the dredged and un-dredged areas of West Shaping Bay

2.5 底栖动物群落结构与环境因子的 RDA 分析

以占总密度 5% 以上为优势种标准,选择了 5 种底栖动物与 7 种环境因子作 DCA 分析,排序轴长度小于 3.0,因此选用基于线性模型的冗余分析(RDA),结果如图 5。轴 I 与轴 II 的特征值分别为 0.185、0.091,物种排序轴与环境因子排序轴的相关系数分别为 0.624、0.737,且 Monte Carlo 置换检验所有排序轴均达到显著水平 ($F=1.8, P=0.04<0.05$),说明排序效果理想。RDA 分析结果表明,硝态氮、铵态氮和溶解氧是影响底栖动物群落分布的主要因子,硝态氮、铵态氮与摇蚊属一种 (*Chironomus* sp.)、湖球蚬 (*Sphaerium lacustre*) 呈显著负相关;溶解氧与前突摇蚊属一种 (*Procladius* sp.) 呈显著正相关。



实线代表生物因子,虚线代表环境因子
图 5 底栖动物-环境因子的 RDA 排序
The solid lines represent biotic factors and the dotted lines represent environmental factors.

Fig.5 Redundancy analysis ordination chart of the relationship between zoobenthos and environmental factors

3 讨论

3.1 环保疏浚对西沙坪湾水质的影响

西沙坪湾疏浚区与未疏浚区的水温、pH、固体悬浮物和高锰酸盐指数(COD_{Mn})无明显差异;而疏浚区的溶解氧明显低于未疏浚区,这主要是由于在疏浚底泥的过程中,底泥扰动增加了沉积物中微生物的活性,使得微生物对氧气的需求量增加,最终导致其活动水域附近的溶氧含量较未疏浚区低(王忍等, 2015)。长春南湖疏浚研究的结果也表明,固体悬浮物和 COD 值在短期内不降反增(王小雨等, 2004)。底泥疏浚结束后,与未疏浚区相比,疏浚区的总氮浓度与总磷浓度呈现一定的下降趋势,这与濮培民等 (1998)和李大鹏等(2009)的研究结果一致。疏浚过

程中,硝态氮和铵态氮明显高于未疏浚区,但在疏浚结束后的后期监测中,疏浚区与未疏浚区的硝态氮、铵态氮的浓度又呈现相似的值,这可能说明在底泥疏浚过程中,沉积物中细菌大量活动,促进水体的硝化和氨化作用,使得疏浚区的硝态氮和铵态氮明显高于未疏浚区(王忍等, 2015)。因此,硝态氮、铵态氮浓度的暂时升高是底泥疏浚导致的。

3.2 环保疏浚对西沙坪湾底栖动物群落的影响

西沙坪湾的底栖动物,无论是种类和种群生物量,还是多样性均比较低,仅以耐污种霍甫水丝蚓、苏氏尾鳃蚓和摇蚊属一种为主,表明其底栖动物群落结构相对简单。造成这种现象与西沙坪湾的内源污染有关。污染较严重的水体中,底栖动物的种类较少,主要是常见的几种耐污种(熊金林, 2005)。洱海现有大型底栖动物中,霍甫水丝蚓、苏氏尾鳃蚓以及羽摇蚊是现阶段洱海大型底栖动物的优势种(张超文, 2012)。洱海底栖动物多样性具有一定的季节差异,张超文(2012)研究表明,洱海底栖动物的多样性呈夏秋季高、冬春季低的趋势,这与我们的结果相一致。由于流域内生产、生活等人类活动的增强,进入洱海的有机物质增加,有机污染加重,耐污染种类增加。因此在无水草区耐有机污染的水蚯蚓和摇蚊幼虫等数量明显增加,为软体动物提供了丰富的饵料,促进了它们的生长(付蕾等, 2015)。

环保疏浚被认为是对环境及周围水体影响最小的一种疏浚技术与工艺(邵志和马金柱, 2009)。通过环保底泥疏浚,除了可以减少水体沉积物中氮、磷等营养物质的总负荷,也能够为底栖动物营造一个污染程度较轻的栖息环境,从长远来看,有助于提高底栖动物的恢复力和促进其群落多样性的发展。本研究表明,在疏浚结束后,与疏浚前和疏浚中相比,疏浚区的底栖动物种类明显增加;此外,疏浚区底栖动物生物量和密度均高于疏浚前和疏浚中,且高于未疏浚区。刘丽香等 (2020) 研究指出,底泥疏浚对底栖动物有短期和长期的影响。目前,国内外学者关于底泥疏浚对底栖生物的影响方向和程度仍存在争议。在沂河的研究中,孔维鑫 (2020) 发现疏浚对沂河疏浚区的颤蚓科动物影响较大,显著降低了沉积物中颤蚓科的平均密度及生物量,但于疏浚后 5 年左右恢复,且底栖动物的平均生物量及密度开始高于未疏浚区。而毛志刚等 (2014) 研究发现,在富营养化较严重的东太湖养殖湖区,底泥疏浚起到了一定的效果,底栖动物群落也在较短时间内得到恢复。杭州西湖底泥疏浚的研究也发现疏浚后底栖

大型无脊椎动物群落快速恢复(吴芝瑛等,2008)。这些与我们的结果都是一致的。底泥疏浚在不同的湖泊其实践的效果各不相同,部分湖泊底泥经过疏浚作用后,水质改善效果非常明显,但底栖动物的种类、群落组成等需要较长时间的恢复,但仍表现为种类、丰度、群落状况及生物量等向优化方向发展(蔡永久等,2009;戚仁海等,2006;刘国峰等,2010);但也有部分湖泊底泥经过疏浚后会出现底泥营养盐释放量增加、浮游动物丰度及生物量增加等作用(吴芝瑛等,2008;朱敏等,2004;刘爱菊等,2006)。这些情况的产生主要与底泥环境状况、疏浚深度、疏浚季节等有关(钟继承和范成新,2007)。

3.3 西沙坪湾底栖动物群落与环境因子的关系

水体理化因子会对湖泊底栖动物群落分布产生影响(谢志才,2003),同样也通过影响水生植物的丰度和多样性来控制底质类型间接对底栖动物群落产生影响(张超文,2012)。硝态氮、铵态氮和溶解氧是影响西沙坪湾底栖动物群落分布的主要因子,硝态氮、铵态氮与摇蚊属一种(*Chironomus* sp.)、湖沼蜉(*Sphaerium lacustre*)呈显著的负相关;溶解氧与前突摇蚊属一种(*Procladius* sp.)呈显著的正相关。龚志军等(2001)也指出,大型底栖动物的物种多样性与营养水平呈现相反的变化趋势,即当水体从贫营养向中营养型再向超富营养过渡中,大型底栖动物多样性呈现先增加后降低的趋势。这也说明,在中营养水体中,硝态氮、铵态氮的增加可能会伴随着某些底栖动物密度或生物量的减少。同时,霍甫水丝蚓和摇蚊的密度及生物量与水体营养水平呈正相关关系。

参考文献

蔡永久,龚志军,秦伯强,2009. 太湖软体动物的现存量及空间分布格局(2006–2007年)[J]. 湖泊科学,21(5):152–159.

陈宇炜,陈开宇,胡耀辉,2006. 浮游植物叶绿素a测定的“热乙醇法”及其测定误差的探讨[J]. 湖泊科学,18(5):550–552.

丁瑞睿,郭匿春,马友华,2019. 巢湖流域双桥河底泥疏浚对浮游甲壳动物群落结构的影响[J]. 湖泊科学,31(3):714–723.

付蕾,邓中坚,李旭,2015. 云南洱海大型底栖动物生物多样性调查研究[J]. 辽宁林业科技,(6):9–13.

龚志军,谢平,唐汇涓,等,2001. 水体富营养化对大型底栖动物群落结构及多样性的影响[J]. 水生生物学报,25(3):210–216.

国家环境保护总局,2002. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社.

何志辉,严生良,杨和荃,等,1982. 淡水生物学(上册,分类学

部分)[M]. 北京:农业出版社,346.

孔维鑫,2020. 底泥疏浚环境效应及新生沉积物吸附释放氮磷的规律研究——以沂河沂水段为例[D]. 上海:华东师范大学.

李进军,2005. 污染底泥环保疏浚技术[J]. 中国港湾建设,6:46–47.

李杨,2017. 大型底栖无脊椎动物在生物评价中的应用——以洱海流域为例[D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所.

刘月英,张文珍,王跃先,等,1979. 中国经济动物志·淡水软体动物[M]. 北京:科学出版社.

李大鹏,黄勇,2009. 底泥扰动在水体富营养化发展进程中的作用[J]. 中国给水排水,25(14):10–16.

刘爱菊,孔繁翔,王栋,2006. 太湖底泥疏浚的水环境质量风险性分析[J]. 环境科学,27(10):1946–1952.

刘国峰,张志勇,刘海琴,等,2010. 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,31(11):2645–2651.

刘丽香,韩永伟,刘辉,等,2020. 疏浚技术及其对污染水体治理效果的影响[J]. 环境工程技术学报,10(1):63–71.

毛志刚,谷孝鸿,陆小明,等,2014. 太湖东部不同类型湖区底泥疏浚的生态效应[J]. 湖泊科学,26(3):385–392.

濮培民,颜京松,1998. 太湖—中国东部平原的一个大型湖泊[J]. 湖泊科学,10(增刊):1–12.

濮培民,王国祥,胡春华,等,2000. 底泥疏浚能控制湖泊富营养化吗[J]. 湖泊科学,12(3):269–279.

邵志,马金柱,2009. 天津港环保疏浚的探索与研究[J]. 港口技术,46(1):43–44.

戚仁海,徐亚同,刘赞,2006. 苏州河底泥疏浚对围隔中水生生态系统的影响[J]. 华东师范大学学报(自然科学版),4(4):127–133.

吴芝瑛,虞左明,盛海,等,2008. 杭州西湖底泥疏浚工程的生态效应[J]. 湖泊科学,20(3):277–284.

王敬富,陈敬安,孙清清,等,2018. 底泥疏浚对阿哈水库内源污染的影响[J]. 环境工程,36(3):69–73.

王忍,李大鹏,黄勇,等,2015. 物理和生物组合扰动对底泥微界面过程的影响[J]. 环境科学,36(11):4112–4120.

王小雨,冯江,胡明忠,2004. 长春南湖底泥疏浚前后水因子分析及动态变化[J]. 中国环境监测,20(2):10–13.

王丑明,张君倩,蒋小明,等,2011. 洱海湖滨带大型底栖动物的群落结构[J]. 水生态学杂志,32(2):25–30.

谢志才,2003. 湖群大型底栖动物的生态学特征及生态系统健康评价[D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所.

熊金林,2005. 不同营养水平湖泊浮游生物和底栖动物群落多样性的研究[D]. 武汉:华中科技大学.

张超文,2012. 洱海大型底栖动物生态学研究[D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所.

朱敏,王国祥,王建,等,2004. 南京玄武湖清淤前后底泥主要污染指标的变化[J]. 南京师范大学学报(工程技术版),4(2):66–69.

朱伟,冯甘雨,刘毅璠,等,2019. 深水型水库环保疏浚对水质的影响及敏感参数研究: 以通济桥水库为例[J]. 湖泊科学,31(4):930-940.

钟继承,范成新,2007. 底泥疏浚效果及环境效应研究进展[J]. 湖泊科学,19(1):1-10.

张丹,张勇,何岩,等,2011. 河道底泥环保疏浚研究进展[J]. 净水技术,30(1):1-3.

曾祯,2011. 沙坪湾水生生态系统去除入湖污染物研究及水生植被恢复初步方案设计[D]. 武汉:华中科技大学.

Graneli W, Solander D, 1988. Influence of aquatic macro-

phytes on phosphorus cycling in lakes [J]. Hydrobiologia, 70:245-266.

Morse J C, Yang L F, Tian L, 1994. Aquatic Insects of China Useful for Monitoring Water Quality [M]. Nanjing: Hohai University Press.

Reddy K R, Fisher M M, Wang Y, et al, 2007. Potential effects of sediment dredging on internal phosphorus loading in a shallow, subtropical lake[J]. Lake & Reservoir Management, 23(1):27-38.

(责任编辑 郑金秀)

复苏河湖生态环境

3月22日世界水日 3月22-28日中国水周

加强河湖生态保护
保障河湖生态流量
推进水土流失防治

3.22

世界水日

Effects of Dredging on Zoobenthos Community Structure in West Shaping Bay, Erhai Lake

YANG Tong¹, YIN Cheng-jie^{2,3}, GUO Long-gen^{2,4}, LI Hong-liang¹, YU De-qin², YANG Jiao-jiao^{2,3}

(1. Erhai Lake Management Bureau of Dali Municipality, Dali 671000, P.R. China;

2. State Key Laboratory for Freshwater Ecology and Biotechnology of China,

Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P.R. China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P.R. China;

4. Yunnan University of Applied Sciences, Dali 671006, P.R. China)

Abstract: West Shaping Bay is a shallow bay at the north end of Erhai Lake. An environmental conservation project of sediment dredging was carried out in the bay from September 2016 to February 2017. In this study, water quality indicators, zoobenthos community structure and diversity indices before, during and after sediment dredging of West Shaping Bay, as well as for the dredged and un-dredged areas, were compared and analyzed. The aim was to explore the effects of environmental dredging on zoobenthos community structure in eutrophic lakes, and analyze the relationship between zoobenthos community structure and physicochemical factors. A total of 5 sampling sites were set in West Shaping Bay, 3 sites in the dredged area and 2 in the un-dredged area. Monthly water quality monitoring and zoobenthos collection before (June), during (September, December) and after (March, June) sediment dredging was conducted from June 2016 to June 2017. Before dredging began, only *Limnodrilus Hoffmeisteri* (Clapere de, 1861), *Branchiura sowerbyi* and *Chironomus* sp. were collected. During the dredging period, 4 zoobenthos species collected in the dredged area and 8 species in the un-dredged area. After dredging, zoobenthos species increased significantly in the dredged area, and the number of species also increased in the un-dredged area. Zoobenthos biomass and density were 0.73 g/m² and 560 ind/m² before dredging and increased to 13.07 g/m² and 1 827 ind/m² after dredging, much higher than those before and during dredging, and higher than in the un-dredged area (15.12 g/m² and 360 ind/m²). The mean values of the Simpson diversity and Shannon-Wiener diversity indices also increased after dredging, from 0.187 to 0.325 and from 0.380 to 0.688, and the biodiversity index was also higher after dredging. Redundancy analysis shows that NH₄⁺-N, NO₃⁻-N and DO were the primary environmental factors affecting zoobenthos distribution. The negative correlations of *Chironomus* sp. and *Sphaerium lacustre* with NH₄⁺-N and NO₃⁻-N were significant, as was the positive correlation between *Procladius* sp. and DO. These results clearly show that environmental dredging can increase zoobenthos diversity and improve zoobenthos community structure in Erhai Lake.

Key words: West Shaping Bay; environmental dredging; water quality indicators; zoobenthos; community structure