

茅洲河流域水环境治理工程的生态效应研究

蒋自胜¹, 李 斌¹, 吴基昌¹, 唐 涛², 李 慧¹, 徐 浩¹

(1. 中电建生态环境集团有限公司, 广东 深圳 518100;

2. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072)

摘要:评价水环境治理工程对流域水生态环境的影响, 可为茅洲河流域进一步的生态修复工作提出建议。对水环境治理初期(2016年5月)和治理期间(2018年8月)茅洲河流域水生态状况进行调查, 选取44个采样点, 覆盖茅洲河流域的干流以及主要支流, 以获取的样本和水质理化数据, 对比分析水质、底栖动物群落、浮游藻类及大型水生植物群落变化。结果显示, 治理期间茅洲河流域水体化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)和总磷(TP)平均浓度分别降低了41.2%、50.6%和66.7%, 溶解氧(DO)平均浓度升高了130.8%; 底栖动物群落物种多样性增加了53.6%, 耐污种类的密度和优势度降低, 并在部分样点新增敏感性较高的蜉蝣目、鞘翅目、毛翅目和半翅目水生昆虫类群。大型水生植物种类和分布范围明显增加, 流域内分布有挺水植物24种、沉水植物4种、漂浮植物2种、浮叶植物1种。Palmer藻类污染指数指示为重污染的样点减少了56.3%, 中污染样点增加了16.3%, 轻污染的样点增加了40.0%。BMWP指数评价结果也有好转, 最高得分为49。研究表明, 治理后的茅洲河流域水污染程度降低, 生态环境状况总体有所好转, 但流域生态健康状况仍然较差, 需进一步开展系统的流域生态修复工作。

关键词:生态效应; 环境治理; 生物评价; 茅洲河流域

中图分类号: X826 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2021)03-0030-08

河流生态系统提供了人类生活和社会经济发展所必需的诸多资源和服务功能(董哲仁等, 2013)。在社会经济快速发展和城镇化过程中, 人类通过各种方式(如筑坝、过度取水、过度捕捞、排污等)希望最大限度地利用河流生态系统提供的服务。这些行为对河流生态系统造成了一系列严重的影响, 如河流水质下降、生境破坏、连通性阻断、生物多样性下降等(Palmer et al, 2014)。在意识到这些问题后, 人类对河流管理的态度和方式逐渐发生变化, 从工程改造和资源过度索取转变为水资源保护与生态修复。

自2015年《水污染防治行动计划》发布以来, 我国河流水污染防治和水生态修复工作达到了前所未有的投入强度和执行速度。资金和资源大量投入是期望实现预期的河流污染治理和生态修复目标。因此, 对项目实施后的效果及时进行科学评价显得十

分必要(Palmer et al, 2005)。但目前国内外对河流修复项目的实施效果评价工作相对缺乏, 使得决策者和从业者错过了从已实施案例中吸取经验和教训的机会(邱佩璜等, 2018; 沈振锋等, 2019); 同时, 对待修复河流进行及时监测和评价是合理确定河流修复目标、科学决策河流修复方案和实施路径的必要基础(Hooper et al, 2016)。

茅洲河流域水环境综合整治工程(以下简称“茅洲河治理工程”)是深圳市加快城市生态文明建设的重点工程, 也是国家水环境治理的标志性重点工程, 包括雨污分流、河道整治、内涝治理、清淤和底泥处置、生态补水、生态修复和景观共计七大类工程。项目于2016年2月开始进入实施阶段, 5月流域生态调查前基本保持治理前的状态, 工程现场施工还未对河流生态环境造成明显的影响。2017年12月, 基本完成项目雨污分流和河道整治工程, 茅洲河下游断面达到了消除黑臭水体的国家考核目标。截至2018年8月流域生态调查前, 河道施工作业基本完成, 对河流的直接影响减轻。本研究基于对茅洲河治理工程初期及治理两年后的流域水生态进行调查和评价, 对比分析流域水生态状况发生的变化, 评价工程的生态修复效果并分析仍存在的问题, 旨在为茅洲河流域深入开展生态修复工作提供科学参考。

收稿日期: 2019-07-03 修回日期: 2020-11-13

基金项目: 广东省科技计划项目(2019B110205005); 国家重点研发计划(2016YFC0503601)。

作者简介: 蒋自胜, 1966年生, 男, 高级工程师, 主要从事水利水电工程和水环境治理工程设计施工与造价管理工作。E-mail: 565867206@qq.cn

通信作者: 李斌。E-mail: libin2e@126.com

1 材料与方法

1.1 区域概况

茅洲河流域位于深圳市西北部,跨深圳、东莞两市,流域总面积 388 km²,其中深圳一侧面积约 310 km²,占 80.1%;东莞一侧面积约 78 km²,占 19.9%。茅洲河发源于石岩水库上游的羊台山,在沙井民主村汇入伶仃洋,干流全长 31.29 km,下游 11.68 km 为深圳与东莞的界河。茅洲河河口至中游洋涌河水闸约 13.02 km 为感潮河段,每天涨落潮 2 次。茅洲河流域水系发达,两岸支流众多,深圳一侧共有支流 60 条,其中一级支流 27 条,二、三级支流 33 条,流域面积大于 10 km² 的一级支流共有 9 条。流域内地势总体呈东北高、西南低走向,从地形地貌特征来看,上游区属于低山丘陵区,中游区以低丘盆地和平原为主,下游区为滨海冲积平原,地形平坦。

茅洲河流域地处北回归线以南,属南亚热带海洋性季风气候,温暖、湿润、多雨,太阳总辐射量较多,夏季长,冬季不明显,冷期短,全年无霜。年降雨季节分布极不均匀,有明显的雨季与旱季之分。每年 4-9 月为雨季,降水量占全年的 85%~90%。

1.2 样品采集与数据获取

1.2.1 样点设置 分别于 2016 年 5 月 26-31 日及 2018 年 8 月 8-13 日开展茅洲河流域水生态环境调查。两次调查期间,现场均为多云到晴天的天气,气温 28~32℃。两次调查共在茅洲河全流域选择 44 个采样点,覆盖了茅洲河流域深圳侧的干流以及主要一级支流和二级支流(图 1)。样点设置规则如下:干流间隔 2~3 km 均匀设置采样点,具体采样位置尽量选择支流与干流汇合口的下游附近;对大型的支流(长度超过 6 km),分别在上游、中游和下游设置采样点;其他支流设置 1~2 个采样点,设置 2 个采样点的,分别设置在上游和下游;设置 1 个采样点的,选择在中下游位置,尽量选取有支流汇入处的下游附近。

1.2.2 水质检测 溶解氧(DO)现场用便携式多参数水质监测仪器 YSI 测量。采集 0~0.5 m 水层的混合水样,取 610 mL 现场添加浓硫酸,使 pH<2,低温保存,带回实验室,采用连续流动分析仪(Skalar SAN⁺⁺, Netherlands)测定化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)和总磷(TP);其中,NH₃-N 使用纳氏试剂分光光度法,TP 使用钼酸铵分光光度法,COD 采用快速消解分光光度法测定。

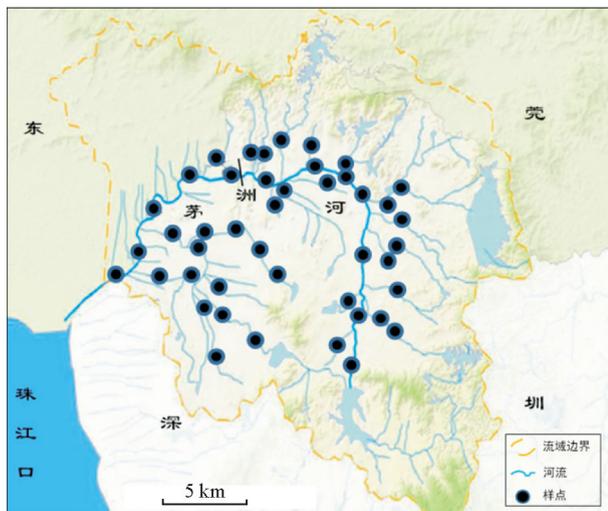


图 1 茅洲河流域采样点设置

Fig.1 Sample site locations in Maozhou River basin

1.2.3 底栖动物 不同的生境采用不同方式采集底栖动物样品。能涉水的河段利用索伯网(孔径为 420 μm、采样面积为 900 cm²)进行采集;不能涉水的河段,用采集面积为 1/16 m² 的改良彼得森采泥器进行采集。采集的底泥经 200 μm 纱网筛洗干净后,在解剖盘中将大型底栖动物检出。将底栖动物个体置入 50 mL 的塑料标本瓶,并添加 10% 的福尔马林进行保存。每个点位采集 3 个重复样品。在解剖镜下对底栖动物进行鉴定、计数,并以个体数量计算底栖动物密度(个/m²)。底栖动物分类鉴定主要参考 Morse 等(1994)。

1.2.4 浮游藻类 在各样点用采水器或采样瓶(上游水浅河段)采集 1 L 水样,现场用鲁哥氏液固定。水样带回实验室经 48 h 沉淀后浓缩至约 30 mL,加 10% 的福尔马林保存,用于藻类鉴定和计数。藻类鉴定时,首先在 400 倍显微镜下进行非硅藻分类鉴定和计数,统计硅藻总数,非硅藻一般鉴定到属水平;再将样品消化制成永久干片,并在 1 000 倍油镜下对硅藻进行鉴定,一般鉴定到种或变种水平;最后经过换算得出硅藻和非硅藻的密度(个/L)。藻类鉴定参考相关文献(胡鸿钧和魏印心,2006;刘威等,2012)。

1.2.5 湿地植物 参照任继周(1998)的调查方法,在各样点详细记录河道两边的湿地植物名称和分布状况,记录两岸环境特征并拍照存档。湿地植物种类鉴定参考李沛琼(2010)及中国科学院中国植物志编辑委员会(1993)。通过植物的出现次数计算其种类的频度。

2018年对茅洲河流域河道内及河岸带的植物进行了全面调查,调查类群包括大型水生植物(沉水植物、挺水植物、漂浮植物和浮叶植物)、湿生植物和陆生植物;而2016年仅对茅洲河流域河道内的大型水生植物进行了调查。

1.3 数据分析方法

主要对COD、NH₃-N、TP和DO共计4个水质指标进行测定;并对分析物种多样性、密度、大型底栖动物生物监测工作组(Biological Monitoring Working Party, BMWP)指数和Palmer藻类污染指数4个生物指标。

1.3.1 BMWP指数 底栖动物BMWP指数是一种计算科级分类单元敏感值的快速生物评价单因子指数,利用不同底栖动物对污染有不同的敏感性或耐受性,按照各个类群的耐受程度赋分对河流进行生物评价(Hellawell, 1986)。底栖动物BMWP指数计算公式如下:

$$BMWP = \sum S_i \quad (1)$$

式中: S_i 为样品中出现的物种*i*科一级的记分值。BMWP记分系统根据底栖动物各科对污染的敏感性,分别给予1~10的赋分,对样品中各科赋分求和即为该样点的BMWP得分,得分越高,表明该样点受到人类活动干扰的影响越小。

根据表1评价标准,将BMWP得分划分为5个等级,用于评价河流的污染程度。BMWP记分系统及评价标准均参考中国环境检测总站(2014)拟定的《河流水生态环境质量评价技术指南》(试行)。

表1 BMWP指数分值评价标准

Tab.1 Grading and assessment criterion for the BMWP index

BMWP指数分值	等级	评价结果
>100	优	未受污染
71~100	良	轻微污染
41~70	中	中度污染
11~40	差	污染
0~10	劣	重度污染

1.3.2 Palmer藻类污染指数 Palmer藻类污染指数是根据浮游藻类对污染有不同的耐受程度,对能够耐受污染的20个属分别进行赋分。Palmer指数计算公式如下:

$$Palmer = \sum P_i \quad (2)$$

式中: P_i 为样品中出现的耐污藻属*i*的记分值。对样品中出现的耐污藻类分值求和即为该样点的Palmer指数得分,得分越低,说明该样点受人类活动干扰的影响越小。

根据表2的评价标准,将Palmer指数得分划分为3个等级,用于评价河流污染程度。Palmer记分系统及评价标准均参考中国环境检测总站(2014)拟定的《河流水生态环境质量评价技术指南》(试行)。

表2 Palmer藻类污染指数评价标准

Tab.2 Assessment criterion for Palmer index

Palmer指数值	≥20	15~19	<15
评价结果	重污染	中污染	轻污染

2 结果与分析

2.1 水质指标变化

与2016年的水质检测结果相比,2018年茅洲河干支流COD平均浓度从41.2 mg/L降至24.0 mg/L,降低了41.2%;NH₃-N平均浓度从12.8 mg/L降至5.6 mg/L,降低了56.0%;TP平均浓度从2.1 mg/L降至0.7 mg/L,降低了66.7%;DO平均浓度从1.3 mg/L升高至3.0 mg/L,升高了130.8%(图2)。

2.2 底栖动物群落变化

2018年茅洲河流域共采集到底栖动物43种,其中水生昆虫28种,非昆虫类15种。水生昆虫包括双翅目13种、蜉蝣目6种、鞘翅目2种、毛翅目2种、蜻蜓目3种、半翅目2种。非昆虫类包括软体动物6种和环节动物9种;其中,环节动物分别为寡毛纲5种、蛭纲2种、多毛纲和涡虫纲各1种。

与2016年的调查结果相比,2018年茅洲河流域底栖动物物种多样性明显增加,从28个分类单元上升为43个分类单元;其中,水生昆虫增幅最大,从12个分类单元上升为28个分类单元,且新增蜉蝣目、鞘翅目、毛翅目和半翅目几个水生昆虫类群;此外,环节动物增加了4个分类单元,软体动物减少了6个分类单元(图3)。

2018年茅洲河流域调查样点的底栖动物平均密度为1 856个/m²。各底栖动物类群中,环节动物平均密度为1 645个/m²,占88%;水生昆虫平均密度为128个/m²,占7%;软体动物平均密度为84个/m²,占5%。

与2016年的调查结果相比,2018年底栖动物密度大幅下降,从7 608个/m²降至1 856个/m²,且主要是由于环节动物密度降低导致(图4)。2016年采集的样品中,多个样点寡毛类的密度极高,尤其是霍甫水丝蚓,密度甚至占到底栖动物总密度的90%以上。

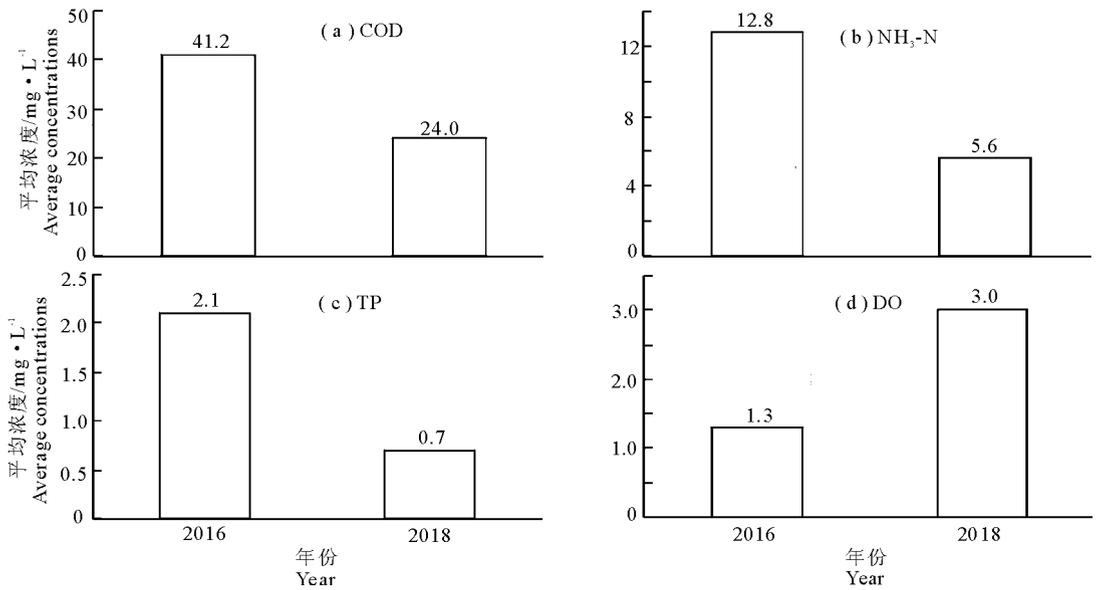


图2 2016年与2018年茅洲河水质的对比

Fig.2 Comparison of water quality parameters in Maozhou River between 2016 and 2018

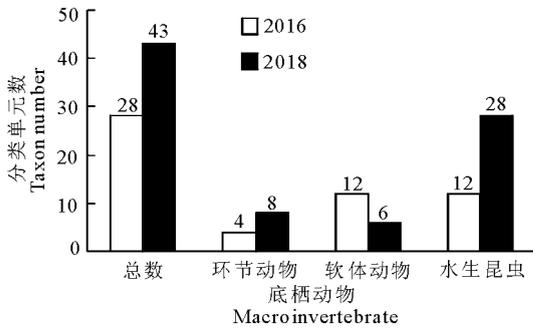


图3 2016年和2018年茅洲河流域底栖动物分类单元数对比

Fig.3 Comparison of macroinvertebrate taxon number in Maozhou River basin between 2016 and 2018

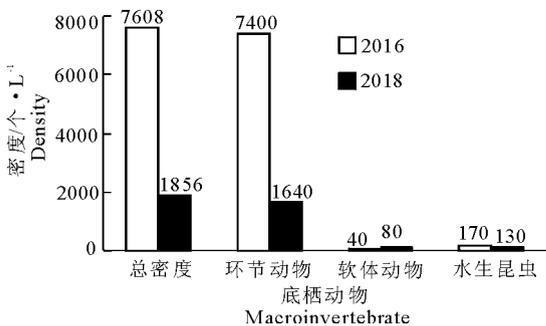


图4 2016年和2018年茅洲河流域底栖动物密度对比

Fig.4 Comparison of macroinvertebrate density in Maozhou River basin between 2016 and 2018

2.3 浮游藻类群落变化

2018年共采集到浮游藻类171个分类单元;其中,硅藻门120种,绿藻门23属,蓝藻门22属,裸藻门4属,隐藻门2属。

与2016年的调查结果相比,总分类单元数减少

了16个,绿藻门、蓝藻门和裸藻门分类单元数均有不同程度减少,硅藻门分类单元数大幅增加,甲藻门和金藻门2018年未采集到(图5)。

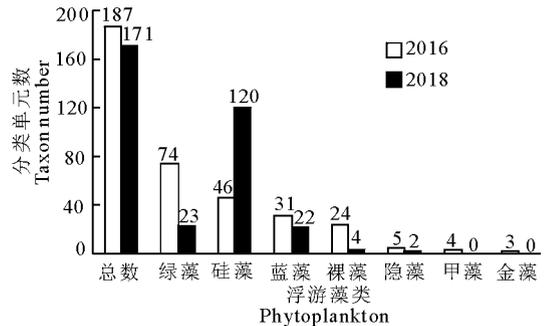


图5 2016年和2018年茅洲河流域浮游藻类分类单元数对比

Fig.5 Comparison of phytoplankton taxon number in Maozhou River basin between 2016 and 2018

2018年调查样点的浮游藻类平均密度为 4.6×10^6 个/L。各类群中,硅藻门平均密度为 1.5×10^6 个/L,占总密度的33%;蓝藻平均密度为 1.4×10^6 个/L,占31%;绿藻平均密度为 1.3×10^6 个/L,占28%;隐藻平均密度为 1.3×10^4 个/L,占0.28%;裸藻平均密度为 3.8×10^5 个/L,占8%。

与2016年的调查结果相比,浮游藻类密度总体下降(图6)。其中,绿藻门、蓝藻门均有较大幅度降低;而硅藻门及裸藻门等藻类密度增加。蓝藻门在2016年占藻类总密度的58%,2018年下降至31%,与硅藻门及绿藻门的占比相当。

2.4 湿地植物变化

2018年调查期间茅洲河流域共采集到湿地植

物 41 科、89 属、110 种；其中，单子叶植物 52 种，双子叶植物 58 种；沉水植物 4 种，分属 4 科、4 属；挺水植物 24 种，分属 11 科、22 属；漂浮植物 2 种，分属 2 科、2 属；浮叶植物 1 种；湿生植物 41 种，分属 15 科、34 属；其余为陆生植物(图 7)。

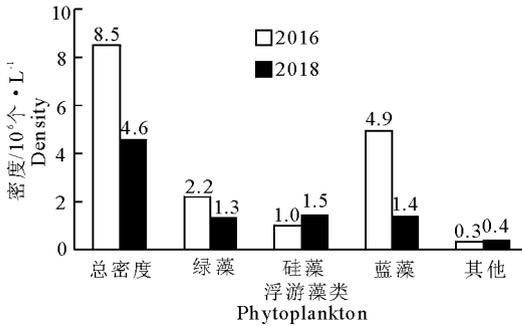


图 6 2016 年和 2018 年茅洲河流域浮游藻类密度对比
Fig.6 Comparison of phytoplankton density in Maozhou River basin between 2016 and 2018

2016 年仅对茅洲河流域河道内的大型水生植物进行调查,仅采集到芦苇、水蓼、菰、野芋、喜旱莲子草、油草等几类挺水或湿生植物。调查的 44 个样点中,均未发现有沉水植物、漂浮植物及浮叶植物分布。河道内的挺水或湿生植物仅在鹅颈水上游样点有分布,其他干支流样点河道内均未发现有大型水生植物分布。

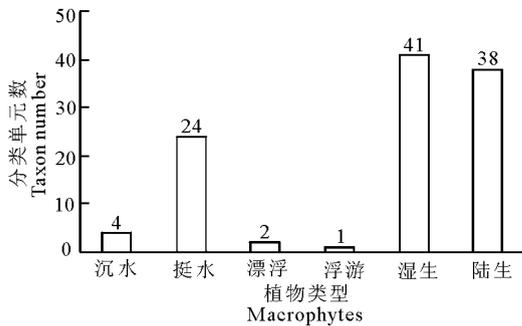


图 7 2018 年茅洲河流域湿地植物群落种类组成
Fig.7 Composition of wetland macrophyte community in Maozhou River basin in 2018

从出现频率看,2018 年调查期间,湿生植物的出现次数最多,累计达 194 次,其次为挺水植物和陆生植物,分别为 124 次和 127 次,漂浮植物、浮叶植物和沉水植物出现次数较少,4 种沉水植物仅累计出现 4 次(图 8)。

2.5 生物评价比较

通过 BMWP 指数对茅洲河流域水生态环境状况进行评价(图 9)。结果显示,2018 年调查样点中,72.1%的样点水生态环境状况为“劣”,25.6%的样点为“差”,仅 1 个样点的评价结果为“中”。

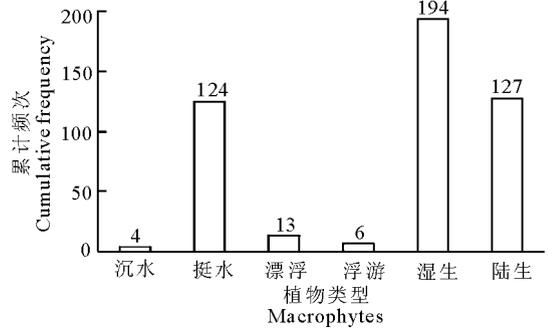


图 8 2018 年茅洲河流域各生活型湿地植物的累计出现频次

Fig.8 Cumulative occurrence frequency of wetland macrophytes in Maozhou River basin in 2018

与 2016 年的评价结果相比,2018 年茅洲河流域水生态环境状况整体有所提升,评价为“劣”的样点降低 5.2%,评价为“差”的样点增加 2.9%,增加了 1 个生态环境状况为“中”的样点(BMWP 指数得分为 49)。

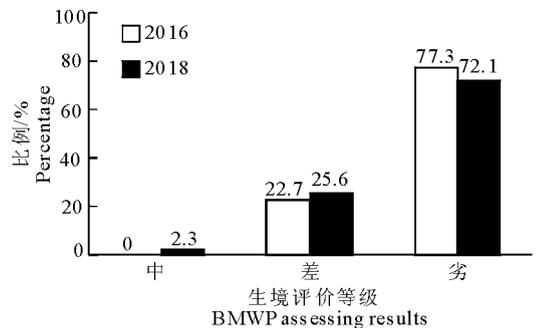


图 9 2016 年和 2018 年茅洲河流域底栖动物 BMWP 指数评价结果对比

Fig.9 Comparison of BMWP results in Maozhou River basin between 2016 and 2018

通过 Palmer 藻类污染指数对茅洲河流域水生态环境污染状况进行评价(图 10)。结果显示,2018 年的调查样点中,46.8%指示为“轻污染”,27.7%指示为“中污染”,25.5%指示为“重污染”。

与 2016 年的评价结果相比,2018 年茅洲河流域水生态环境污染强度明显下降,指示为“重污染”的样点减少了 56.3%,指示为“中污染”的样点增加了 16.3%,指示为“轻污染”的样点增加了 40.0%。

3 讨论

3.1 治理工程提升了茅洲河生态系统健康状况

茅洲河治理工程实施后,流域水质明显提升,底栖动物群落物种多样性、湿地植物多样性和丰度均明显增加,BMWP 指数和 Palmer 指数评价结果好转,指示污染程度降低,说明茅洲河流域水生态环境

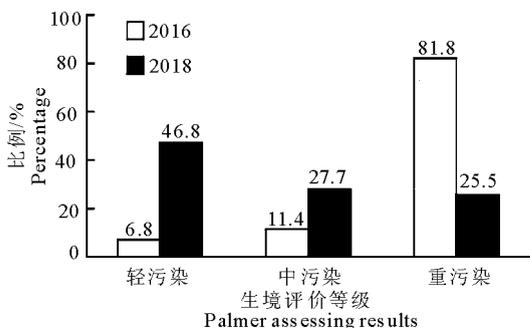


图 10 2016 年和 2018 年茅洲河流域 Palmer 藻类污染指数评价结果对比

Fig.10 Comparison of Palmer index results in Maozhou River basin between 2016 and 2018

状况总体有所提升。底栖动物群落的物种多样性和种群数量对河流环境条件的变化特别敏感,能很好地指示河流生态状况和人类活动的干扰强度(戴纪翠和倪晋仁, 2008; Purcell et al, 2009)。工程实施后,河流底栖动物物种多样性明显提高,尤其是水生昆虫的种类数大幅增加,并在某些样点出现了鞘翅目、毛翅目、蜻蜓目、半翅目几类昆虫,这几类昆虫在 BMWP 记分系统中赋分值较高,属于清洁水体的指示物种(冷龙龙等, 2016)。底栖动物群落密度在 2018 年发生明显的下降,这主要是由于环节动物密度大幅下降。2016 年霍甫水丝蚓在某些样点大量出现,优势度可达 90% 以上。霍甫水丝蚓是典型的耐污种,在污染严重的水体中多有出现(王伟莉等, 2013)。2018 年,耐污能力强的摇蚊科和颤蚓科种类仍然是底栖动物群落中的优势种,但其优势度相比 2016 年明显降低。Palmer 藻类污染指数评价结果对比也显示,2018 年藻类群落中污染指示种类明显减少。这些生物指数的评价结果均说明茅洲河污染程度减轻,生态系统健康状况有所好转。

3.2 工程措施有助于修复重建茅洲河流域生境

工程实施后,茅洲河流域内水生植物种类数量和分布范围都明显增加,其中包括人工种植的种类和流域生态环境改善后重新迁入的种类。河流水质提升,环境得到改善,适宜的生境条件形成后,相适应的物种将迁入定殖,这是根据生态学理论对河流自然生态修复的经典预测(Palmer et al, 1997);而通过人工配置水生植物种类,重新构建水生植被,则加速了河流生态修复过程。尽管 2018 年的调查中共记录到湿地植物 110 种,但其分布并不广泛,较多支流河道由于河道护岸硬化、河床生境破碎化等原因,河道内及河岸带几乎无水生植物生长,由于沉水植物对水体水质、水文条件等生境条件的要求较高,

难以在短时间内自然恢复(吴振斌, 2011)。因此,茅洲河流域沉水植物的种类和分布仍非常稀少。2018 年的调查结果也说明,茅洲河流域具有较为丰富的湿地植物物种库,下阶段生态修复工作的重点是通过工程措施修复和重建河流的生境条件,包括进一步提升水质、改善水文条件、构建植被生长基质等,配合植物引种和配置,扩大植物的分布范围,提高植物群落的多样性。

3.3 生态系统修复仍是茅洲河流域后期重点

对比分析发现茅洲河流域生态环境状况有所提升,但不能忽略的是,茅洲河生态健康状况仍然较差。治理工程的主要内容是通过雨污分流管网工程和沿河截污工程实现外源污染控制,实施清淤及底泥处置工程实现内源污染削减,并在河道整治工程中对部分河道进行了拓宽和衬砌,以满足河流防洪排涝安全要求;通过生态补水改善河流的水动力条件和净化水质;生态修复工程主要是湿地工程、部分生态护岸工程和小范围的水生植物配置。总体而言,茅洲河治理工程的主要任务是水污染控制和水环境质量改善,而对流域生态系统功能和过程的修复工作并未完全开展。流域生态修复的目标是通过工程和非工程手段修复流域生态系统的结构、功能和过程,使流域生态系统达到近自然的健康和稳定状态(Beechie et al, 2010)。成功的生态修复工作需要基于对流域现状监测和评价,诊断和评估流域生态退化程度及胁迫因子,并提出可量化的流域生态修复目标(Palmer et al, 2005; 刘欢等, 2019)。茅洲河是流经高密度建成区的城市河流,为满足生存和城市经济发展需求,不可避免地对河流进行改造并由此造成干扰。因此,在设定生态修复目标时需考虑人的需求因素,追求人水和谐的自然-经济-社会复合系统的健康和稳定(孙志禹等, 2018)。

3.4 生态修复评价效果需综合考量时空因素

需要指出的是,本研究两次调查分别在 2016 年 5 月底及 2018 年 8 月中旬,两次调查的月份不同,可能对研究结果的对比造成一定干扰。茅洲河流域地处北回归线以南,属亚热带海洋性季风气候,温暖湿润。采样时分别在 5 月底和 8 月中旬,气温均在 28~32℃,差别不大;且对华南地区的流域而言,水文因素对生物群落季节性变化的影响更强(林秋奇, 2007)。然而,茅洲河流域所在的地区 4 月初就已进入汛期,河流水位上涨,流速提高,5 月底和 8 月中旬的水文条件较相似;此外,本研究主要目的是探讨重污染河流治理前后水生态环境发生的变化,

对茅洲河这样的重污染城市河流而言,除自然因素外,污染胁迫也是影响水生生物群落的重要因素,而且可能是关键的胁迫因素。本研究采用2016年5月底和2018年8月中旬的数据进行对比分析,尽管各种指标发生的变化可能会有一部分来自于自然气候条件的差异,但污染强度减轻和水质改善将起到较大的作用。虽然本研究在采样时间设计上存在一定的不足,但研究结果仍可为判断水污染控制工程的生态效应提供可参考的案例,也可为茅洲河进一步的生态修复工作提供科学依据。

4 小结

(1)茅洲河治理工程实施后,流域水生态环境状况有明显提升,COD、NH₃-N、TP浓度明显降低,溶氧明显升高。

(2)底栖动物和湿地植物多样性明显增加,BMWP指数和Palmer指数指示的河流污染程度明显减轻。

(3)茅洲河流域水生态健康状况仍然较差,底栖动物和浮游藻类群落仍然以耐污种为绝对优势种,敏感种类和沉水植物的数量与分布范围仍有限。

(4)后期治理应分别从河段和流域尺度制定量化的生态修复目标,如河段尺度的水质目标、植被覆盖度、生态需水保障度、流域尺度的生物完整性评价等级;工程措施的重点内容包括河流物理生境构建、生态需水保障、水质改善和水生动植物配置。

参考文献

戴纪琴,倪晋仁,2008.底栖动物在水生生态系统健康评价中的作用分析[J].生态环境,17(6):2107-2111.

董哲仁,孙东亚,赵进勇,等,2013.河流生态修复[M].北京:中国水利水电出版社.

胡鸿钧,魏印心,2006.中国淡水藻类-系统、分类及生态[M].北京:科学出版社.

李沛琼,2010.深圳植物志[M].北京:中国林业出版社.

冷龙龙,张海萍,张敏,等,2016.大型底栖动物快速评价指数BMWP在太子河流域的应用[J].长江流域资源与环境,25(11):1781-1788.

林秋奇,2007.溪流水库后生浮游动物多样性与群落结构的时空异质性[D].广州:暨南大学.

刘威,朱远生,黄迎艳,2012.欧洲硅藻鉴定系统[M].广州:中山大学出版社.

刘欢,杨少荣,王小明,2019.基于河流生态系统健康的生态修复技术研究进展[J].水生态学杂志,40(2):1-6.

邱佩璜,范华,徐玉裕,等,2018.杭州城市河道生态治理实践及成效[J].水生态学杂志,39(2):34-40.

任继周,1998.草业科学研究方法[M].北京:中国农业出版社.

沈振锋,黄子纯,周杰,等,2019.基于HistCite的河流修复研究历史引文分析[J].水生态学杂志,40(3):83-91.

孙志禹,徐辉,李翀,2018.论河流生态修复目标[J].长江技术经济,2(1):37-41.

王伟莉,闫振广,何丽,等,2013.五种底栖动物对优控污染物的敏感性评价[J].中国环境科学,33(10):1856-1862.

吴振斌,2013.水生植物与水体生态修复[M].北京:科学出版社.

中国环境检测总站,2014.河流水生态环境质量评价技术规范(试行)[S].

中国科学院中国植物志编辑委员会,1993.中国植物志[M].北京:科学出版社.

Beechie T J, Sear D A, Olden J D, et al, 2010. Process-based principles for restoring river ecosystems[J]. BioScience, 60:209-222.

Hellawell J M, 1986. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management [M]. Amsterdam; Elsevier Applied Science Publishers.

Hooper M J, Glomb S J, Harper D D, et al, 2016. Integrated risk and recovery monitoring of ecosystem restorations on contaminated sites[J]. Integrated Environmental Assessment and Management, 12(2): 284-295.

Morse J C, Yang L, Tian L, 1994. Aquatic insects of China; useful for monitoring water quality[M]. Nanjing; Hohai University Press.

Palmer M A, Ambrose R F, Poff N L, 1997. Ecological theory and community restoration ecology[J]. Restoration Ecology, 5: 291-300.

Palmer M A, Bernhardt E S, Allan J D, et al, 2005. Standards for ecologically successful river restoration [J]. Journal of Applied Ecology, 42: 208-217.

Palmer M A, Filoso S, Fanelli R M, 2014. From ecosystems to ecosystem services: stream restoration as ecological engineering[J]. Ecological Engineering, 65: 62-70.

Purcell A H, Bressler D W, Paul M J, et al, 2009. Assessment tools for urban catchments: developing biological indicators based on benthic macroinvertebrates [J]. Journal of the American Water Resources Association, 45(2): 306-319.

Ecological Effectiveness of the Water Management Project in Maozhou River Basin

JIANG Zi-sheng¹, LI Bin¹, WU Ji-chang¹, TANG Tao², LI Hui¹, XU Hao¹

(1.Power China Eco-Environmental Group Co., Ltd., Shenzhen 518100, P.R.China;

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

Abstract: The Maozhou River basin, located in northwest Shenzhen City, has a dense river network. A comprehensive water environment management project has been underway in Maozhou River basin since February, 2016 and ecological surveys of the basin were conducted at an early stage (May 26 – 31, 2016) and after about 2.5 years of operation (August 8 – 13, 2018). In this study, the ecological effects of the project were evaluated by comparing the results of the two surveys (water quality and the macroinvertebrate, phytoplankton and macrophyte communities) and suggestions were made to guide further ecological restoration. The ecological surveys involved 44 sampling sites, covering the Maozhou River main stem and primary tributaries. Compared with 2016, the average basin concentrations of COD, ammonia nitrogen (NH₃-N) and total phosphorus (TP) in 2018 had decreased, respectively, by 41.2%, 56.0% and 66.7%, and the average concentration of dissolved oxygen (DO) had increased by 130.8%. In 2018, a total of 43 macroinvertebrate species were collected (28 insect species and 15 non-insect species), compared with a total of 28 macroinvertebrate species in 2016, an increase in species richness of 53.6%. The density and dominance of pollution-tolerant species decreased and several sensitive taxa of aquatic insects (Ephemeroptera, Coleoptera, Trichoptera and Hemiptera) were found at some sampling sites. Both the species richness and range of aquatic macrophyte increased significantly. A total of 24 emergent plant species, 4 submerged plant species, 2 floating plant species and 1 species of floating leaf plant were recorded in August 2018. Phytoplankton density decreased in 2018, with an average density of 4.6×10^6 ind/L, and a dramatic decrease in Chlorophyta and Cyanophyta, and an increase in Bacillariophyta and Euglenophyta. The number of highly polluted sites indicated by the Palmer index decreased by 56.3%, while moderately polluted and slightly polluted sites increased by 16.3% and 40.0%, respectively. The Biological Monitoring Working Party (BMWP) score was up to 49, indicating improved ecological health. Our results indicate that Maozhou River pollution decreased and ecological health improved. Nevertheless, the health of Maozhou River is still poor and systematic ecological restoration in the basin should continue.

Key words: ecological effect; environment management; biological assessment; Maozhou River basin