

典型滇池湿地公园的水质评价与污染源分析

王紫媛, 刘星月, 王伟超, 李伟*
(西南林业大学 地理与生态旅游学院, 昆明 650000)

摘要:【目的】评价典型滇池湿地公园的水质与污染源。【方法】基于单因子指数法和3种改进后的内梅罗指数算法对南滇池湿地公园、西华湿地公园和捞鱼河湿地公园的水质进行评价, 评价指标体系包括COD、TN、TP、Zn、Ni、Pb、Cd、Cr共8个水质评价因子, 并对3个湿地公园的水体污染源进行分析。【结果】3个湿地公园的COD、TN、TP和Cr的污染程度均较为严重, 而Zn、Ni、Pb、Cd的污染程度较轻; 捞鱼河湿地公园水体中的金属元素浓度最低, 但TP浓度最高; 南滇池湿地公园水体中的TN、Cr浓度最高, 而西华湿地公园水体中的COD浓度最高。基于单因子指数法和3种改进的内梅罗指数法进行水质分析, 3个湿地公园水质的评价等级均为劣V类, 整体上捞鱼河湿地公园水质污染最严重, 南滇池、西华湿地公园水质污染状况稍好。COD和TP是3个湿地公园所处流域中最主要的入湖污染物类型。【结论】在未来的滇池水质保护和管理工作中, 应重视并加强对城市、农业面源及部分未收集的点源污染等方面的治理。

关键词: 湿地公园; 滇池; 水质评价; 单因子指数法; 内梅罗指数法; 污染源

中图分类号: S277.7

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022119

王紫媛, 刘星月, 王伟超, 等. 典型滇池湿地公园的水质评价与污染源分析[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.1): 90-96.

WANG Ziyuan, LIU Xingyue, WANG Weichao, et al. Water Quality Evaluation and Pollution Source Analysis of Typical Lake Wetland Parks Around Dianchi Lake[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.1): 90-96.

0 引言

【研究意义】水资源是人类和地球上其他生物赖以生存不可或缺的物质资源。20世纪70年代以来, 人口增长和城市化扩张使得水资源需求量急剧增长, 加之水资源利用不合理, 导致了严重的水资源污染问题^[1]。水污染不仅会破坏自然生态环境, 还会对包括人类在内的地球生物的长久生存产生危害。因此, 开展江河湖泊等水环境的水质评价工作意义重大。21世纪以来, 湿地保护已成为全球性环境问题及国际湿地研究的主题之一。同时, 湿地公园是保护和恢复湿地的有机结合体, 在净化水质、维持湿地生态系统的良性循环中发挥着重要作用^[2-3]。

滇池是云南省最大的淡水湖, 素有“高原明珠”的美称。但在城市建设迅猛发展的同时, 滇池的水质

污染问题日益严峻。【研究进展】近年来, 滇池周边湿地公园建设的兴起在为城市提供生态游览与休闲娱乐场所的同时, 侧重改善滇池水质, 以及恢复和发挥滇池湿地的关键生态系统功能^[4]。目前, 水质评价主要有单因子评价法、模糊综合评价法、内梅罗指数法、灰色系统评价法、BP神经网络评价法等方法^[5-6]。

【切入点】当前, 关于滇池湿地公园的研究大多集中于其所处的湖滨带生态定位、生态修复及其周围植被群落特征等, 而针对滇池湿地公园水质评价及污染源的研究较为欠缺。【拟解决的关键问题】因此, 本文运用单因子指数法和改进后的3种内梅罗指数算法对捞鱼河湿地公园、南滇池湿地公园和西华湿地公园进行水质评价, 并解析其水体污染源, 以期为滇池周边湿地公园水质治理与优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

滇池位于昆明市西南侧, 是云南省面积最大的湖泊。滇池流域降雨分为干湿分明的雨季和旱季, 其中雨季为每年5—10月, 旱季为11月—次年4月^[7]。目前, 环滇池流域已建和在建的人工湿地公园已有

收稿日期: 2022-03-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(31760175); 云南农业联合基金项目(2018FG001-027)

作者简介: 王紫媛(1998-), 女, 硕士研究生, 主要从事生态系统服务及水生态环境的研究。E-mail: 1257072901@qq.com

通信作者: 李伟, 男, 研究员, 博士, 主要从事生物多样性保护、自然资源管理与利用研究。E-mail: ww0592@gmail.com

27 个，且其数量与面积仍在不断增长。同时，针对这些湿地公园的专门化管理体系也初具规模。南滇池湿地公园地处昆明市滇池南岸，由滇池南部水域和南滇池湖滨地带组成，公园内的入湖河流主要为东大河。西华湿地公园位于滇池西部，拥有大面积的生态湿地及种类丰富的乔木和水生植物资源。捞鱼河湿地公园地处昆明市滇池东岸，是滇池净化涵养重要生态屏障代表。

1.2 采样点及采样方法

本研究从东、西、南 3 个方位出发，选择了滇池

流域 3 个典型湿地公园为水质采样点（分别为南滇池、西华和捞鱼河湿地公园），采样点的地理位置信息见表 1。3 个湿地公园的水体采样均于 2020 年 12 月 6 日完成。采样点选择在湿地公园滇池沿岸，且每处采样点均采集 2 个水样。在采样过程中，选择水位平稳时将采样瓶压制沉入水中 10~20 cm 深度处取样，并避免晃动水体。采样完成后，立即盖紧瓶盖，防止水体发生氧化反应，并密封避光保存。采样过程中的布点、采样、保存参照《水质采样技术指导》(GB12998—91) 和《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T91—2002)。

表 1 水体采样点地理位置

Table 1 Geographical location of water sampling point

采样点	经度	纬度	海拔/m
南滇池湿地公园	102°37'52.64"E	24°41'6.45"N	1892
西华湿地公园	102°39'33.87"E	24°52'40.55"N	1867
捞鱼河湿地公园	102°46'12"E	24°49'33.6"N	1894

1.3 指标测定

本研究共选取 8 个水质指标，分别为：化学需氧量 (COD)、总氮 (TN)、总磷 (TP)、锌 (Zn)、镍 (Ni)、铅 (Pb)、镉 (Cd)、铬 (Cr)。水质检测方法参照《地表水和污水监测技术规范 (HJ/T91—2002)》^[8]，具体测定方法见表 2。水质评价指标参考《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)，标准浓度值对照其中的 III 类水质标准。

表 2 水质指标检测方法

Table 2 Water quality index detection method

检测指标	测定方法
COD	重铬酸钾法
TN	碱性过硫酸钾消解—紫外分光光度法
TP	钼酸铵分光光度法
Zn	
Ni	
Pb	火焰原子吸收法
Cd	
Cr	

1.4 水质评价方法

1.4.1 单因子污染指数法

单因子污染指数法是将评价水体污染因子的实测值与地表水环境质量标准值进行对比，并在所有污染因子中选取水质最差的类别作为所测水体的水质所属类别^[9]。单因子污染指数法是最简单的水质评价方法，因而被广泛应用，但也存在仅考虑对污染最严重的因子而忽略其他因子的缺陷^[10-11]。计算式为：

$$F_i = \frac{C_i}{S_i}, \quad (1)$$

式中： F_i 为采样点污染因子 i 的单因子污染指数； C_i 为采样点污染因子 i 的实测值 (mg/L)； S_i 为采样点污染因子 i 的标准值 (mg/L)^[11]。 $F_i \leq 1$ 表示水体未受污染， $F_i > 1$ 表示水体已受到污染，其数值反映污染物的超标程度，即水体污染的严重程度。

1.4.2 改进的内梅罗污染指数法

与单因子污染指数法相比，内梅罗污染指数法考虑了评价体系中其他指标因子的污染程度，是一种相对综合的评价方法^[12]。传统的内梅罗指数法分别取 F_i 的最大值和平均值计算^[13]，仍未考虑各污染因子的权重。因此，本文运用 3 种改进后的内梅罗污染指数算法对 3 个滇池湿地公园的水质总体污染情况进行评价，其中第三种算法为本文通过结合已有的改进算法^[14-15]而建立的。

1) 改进算法 1

首先确定各污染因子的权重，计算式如下：

$$r_i = S_{\max} / S_i, \quad (2)$$

$$\omega_i = r_i / \sum_{i=1}^n r_i. \quad (3)$$

进而计算内梅罗指数，公式如下：

$$F'_{i,\max} = \frac{F_{i,\max} + F_{\omega}}{2}, \quad (4)$$

$$P_1 = \sqrt{\frac{F'_{i,\max}{}^2 + F_i^2}{2}}, \quad (5)$$

式中： S_{\max} 为 n 个污染因子中标准浓度的最大值； n

为参评污染因子的总数； ω_i 为第 i 个污染因子的权重值； $F_{i,\max}$ 为 F_i 的最大值， $F'_{i,\max}$ 为加权后的 F_i 最大值； \bar{F}_i 为 F_i 的平均值； F_ω 为权重值最大的污染因子的 F 值； P'_1 为改进算法 1 的内梅罗污染指数^[14]。

相较于传统算法，改进算法 1 在原有基础上增加了权重的量化，但不足的是该算法仅对权重值最大的污染因子予以充分重视，并未对其他污染因子所占权重进行考虑。

2) 改进算法 2

该算法在传统方法上，对均值进行修正，在平均值上考虑各污染因子权重^[15]。计算式如下：

$$\bar{F}' = \sum_{i=1}^n \omega_i F_i, \quad (6)$$

$$P'_2 = \sqrt{\frac{F_{\max}^2 + \bar{F}'^2}{2}}, \quad (7)$$

式中： \bar{F}' 为修正后的 F_i 的平均值； P'_2 为改进算法 2 的内梅罗污染指数^[15]。该改进算法将各污染因子的权重纳入平均值计算，考虑了水体的综合污染状况，可行性较高。

3) 改进算法 3

上述 2 种改进算法虽各有优势，但未同时考虑最大权重的污染因子与加权后的平均值。因此，本文基

于上述算法，对内梅罗污染指数法做出进一步的修正，以期从算法上取得更为客观的评价效果。修正算法公式如下：

$$P'_3 = \sqrt{\frac{F_{i,\max}^2 + \bar{F}'^2}{2}}, \quad (8)$$

式中： P'_3 为改进算法 3 的内梅罗污染指数。

2 结果与分析

2.1 湿地公园水质监测结果

3 个滇池湿地公园的各水样的水质检测结果如表 3 所示。将各指标的实测浓度与《地表水环境质量标准》(GB3838—2002) 中 III 类水质标准浓度进行比较得到，3 个湿地公园总体上在 COD、TN、TP 和 Cr 这 4 项指标上污染程度较大，其中 COD、TP 和 Cr 的浓度超过标准浓度的倍数最高，TN 超出倍数较低，均小于 3；而 3 个湿地公园在其他 4 项指标上未受到污染，其中 Zn 和 Pb 的浓度最低，Ni 和 Cd 次之。

具体到各湿地公园，捞鱼河湿地公园检测出的金属元素均明显低于其他 2 个湿地公园，但 TP 浓度最高，南滇池湿地公园 TN 和 Cr 的浓度最高，而西华湿地公园的 COD 明显高于其他湿地公园。

表 3 水质检测结果

Table 3 Water quality test results

采样点	COD/(mg L ⁻¹)	TN/(mg L ⁻¹)	TP/(mg L ⁻¹)	重金属元素					
				Zn/(mg L ⁻¹)	Ni/(mg L ⁻¹)	Pb/(μg L ⁻¹)	Cd/(μg L ⁻¹)	Cr/(mg L ⁻¹)	
南滇池湿地公园	采样 1	104	2.99	0.256	0.019	0.002	1.49	4.650	0.415
	采样 2	95	2.32	0.33	0.012	0.001	48	2.400	0.660
西华湿地公园	采样 1	257	1.59	0.222	0.013	0.001	30	0.400	0.200
	采样 2	124	1.77	0.236	<0.001	<0.001	1.12	0.500	0.500
捞鱼河湿地公园	采样 1	76	2.52	1.14	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	0.060
	采样 2	99	1.79	1.47	0.02	<0.001	<0.01	<0.01	0.150

2.2 单因子污染评价结果

根据公式计算 3 个滇池湿地公园各水样的单因子污染指数，并按照各水样的最差污染指标对水体进行污染等级评价(表 4)。3 个湿地公园的水质污染等级均为劣 V 类。南滇池湿地公园 2 个水样检测显示 Cr 为最主要污染因子，其 F_i 值分别为 8.30、13.2，均严重超标；其次为 COD 和 TP，其 F_i 值均超过 5。西华湿地公园 2 个水样的主要污染因子分别为 COD 和 Cr，其 F_i 值均高于 10。捞鱼河湿地公园的水质结果

检测显示，TP 在各污染因子中对水体污染产生了绝对影响，其 F_i 值高达 20，是捞鱼河湿地公园水质呈劣 V 类的最主要原因，其次为 TN。

TP、COD 和 Cr 的检测浓度严重超标是导致在单因子污染指数法的评价下 3 个滇池湿地公园的水质均为劣 V 类的原因。然而，其他污染指标浓度并不高，其中有 4 个指标的检测浓度远低于标准浓度。这说明该评价方法过分重视最差指标，而未进行综合考虑，评价结果可能存在过于保守的问题。

表 4 单因子污染指数法评价结果

Table 4 Evaluation results of Single-factor pollution index method

采样点	F_i								污染等级评价	
	COD	TN	TP	Zn	Ni	Pb	Cd	Cr		
南滇池湿地公园	采样 1	5.2	2.99	5.12	0.019	0.1	0.029 8	0.93	8.30	劣 V 类
	采样 2	4.75	2.32	6.6	0.012	0.05	0.96	0.48	13.2	劣 V 类
西华湿地公园	采样 1	12.85	1.59	4.44	0.013	0.05	0.60	0.08	4	劣 V 类
	采样 2	6.2	1.77	4.72	<0.001	<0.05	0.0224	0.10	10	劣 V 类
捞鱼河湿地公园	采样 1	3.8	2.52	22.8	<0.001	<0.05	<0.000 2	<0.002	1.20	劣 V 类
	采样 2	4.95	1.79	29.4	0.02	<0.05	<0.000 2	<0.002	3	劣 V 类

注 表中加粗数字代表各水样的最差指标。

2.3 内梅罗污染指数评价结果

2.3.1 权重计算及污染等级划分

根据公式计算得到各污染因子的权重见表 5。Cd 的权重值最大，占比达 64%，说明 Cd 对该评价体系的影响最大。其次为 Ni，占比为 16%，仅次于 Cd。而 COD 仅占 0.016%，所产生影响最小。

表 5 水污染评价因子权重值 ω_i

Table 5 Weight value of water pollution evaluation factor

评价因子	COD	TN	TP	Zn	Ni	Pb	Cd	Cr
III类水质标准	20	1	0.05	1	0.02	0.05	0.005	0.05
权重值 ω_i	1.60×10^{-4}	3.20×10^{-3}	6.41×10^{-2}	3.20×10^{-3}	1.60×10^{-1}	6.41×10^{-2}	6.41×10^{-1}	6.41×10^{-2}

表 6 内梅罗指数类别

Table 6 Nemerow index category

算法	I	II	III	IV	V	劣 V
1	$P' < 0.695$	$0.695 \leq P' < 0.881$	$0.881 \leq P' < 1$	$1 \leq P' < 1.439$	$1.439 \leq P' < 2.599$	$2.599 < P'$
2	$P' < 0.744$	$0.744 \leq P' < 0.958$	$0.958 \leq P' < 1$	$1 \leq P' < 1.603$	$1.603 \leq P' < 3.152$	$3.152 < P'$
3	$P' < 0.484$	$0.484 \leq P' < 0.958$	$0.958 \leq P' < 1$	$1 \leq P' < 1.302$	$1.302 \leq P' < 2.537$	$2.537 < P'$

2.3.2 内梅罗污染指数计算与水质评价

根据水质检测数据，分别计算出 3 种改进算法下的内梅罗指数及其他重要参数，并对 3 个湿地公园水质进行等级评价（表 7）。3 种改进算法评价下的 3 个湿地公园的水质污染等级一致，均属于劣 V 类，水质污染程度严重。从表 7 可以看出，加权计算后的平均值 (F') 明显低于未加权的平均值 (F_i)，分别为 1.485、2.826；将权重值最大的因子纳入计算的 $F'_{i,max}$ 值也明显低于 $F_{i,max}$ ，分别为 4.615、8.30。由此可见，将权重值纳入指数计算中，可以更加充分地考虑到评价体系内的所有指标。

南滇池湿地公园水样的内梅罗指数为 3.830~5.448，

以《地表水环境质量标准》(GB3838—2002) 中的 III 类水为标准，计算相对应的内梅罗指数，从而获得 3 种改进方法下的污染等级划分标准（表 6）^[14]。综合来看，改进算法 3 的等级划分标准最严格，其次是改进算法 1，而改进算法 2 的划分标准相对最宽松。

西华湿地公园为 3.644~5.026，捞鱼河湿地公园则为 8.13~10.956。通过对比可知，无论采用哪种算法，捞鱼河湿地公园水样的内梅罗指数值 (P') 均远高于其他 2 个湿地公园水样的内梅罗指数值。因此，总体而言捞鱼河湿地公园水质污染最严重，南滇池、西华湿地公园水质污染状况稍好。改进算法 1 计算得到的内梅罗指数明显高于改进算法 2、算法 3，且后 2 种算法的结果相差甚微，但算法 3 的计算结果始终为最低。结合本研究实际情况可知，改进算法 1 最严格，算法 3 最能反映水体客观情况。改进算法 3 在一定意义上更为适用。

表 7 内梅罗指数法评价结果

Table 7 Evaluation results of Nemerow index method

采样点		改进算法 1				改进算法 2				改进算法 3			
		$F'_{i,max}$	\bar{F}_i	P'_1	水质等级	$F_{i,max}$	\bar{F}_i'	P'_2	水质等级	$F'_{i,max}$	\bar{F}_i'	P'_3	水质等级
南滇池	采样 1	4.615	2.836	3.830	劣 V 类	8.30	1.485	5.962	劣 V 类	4.615	1.485	3.428	劣 V 类
湿地公园	采样 2	6.840	3.547	5.448	劣 V 类	13.20	1.655	9.407	劣 V 类	6.840	1.655	4.976	劣 V 类
西华湿地	采样 1	6.465	2.953	5.026	劣 V 类	12.85	0.646	9.098	劣 V 类	6.465	0.646	4.594	劣 V 类
公园	采样 2	5.050	2.852	4.101	劣 V 类	10.00	1.024	7.108	劣 V 类	5.050	1.024	3.644	劣 V 类
捞鱼河	采样 1	11.401	3.790	8.495	劣 V 类	22.80	1.556	16.160	劣 V 类	11.401	1.556	8.136	劣 V 类
湿地公园	采样 2	14.701	4.895	10.956	劣 V 类	29.40	2.093	20.842	劣 V 类	14.701	2.093	10.500	劣 V 类

3 讨论

滇池流域水体污染类型主要为点源和面源^[16]。点源包括生活源与企业源,其中生活源占主要比例,后者占比相对较低,仅 20%^[17]。目前,点源污染量仍呈上升趋势,这与滇池流域的城市快速发展与人口的剧烈增长有着密切关系。1988—2014 年,滇池流域人口从 173 万增长至 377 万,而流域 GDP 从 45 亿元增长至 2 960 亿元,增加了近 65 倍^[18-19]。同时人们生活水平的提高也导致城市家庭生活用水逐渐增多。

面源污染主要由城市面源和农业面源组成。农业面源污染物入湖量主要受农业用地面积、化肥施用量、产业结构及畜禽养殖量的影响。20 世纪八九十年代,滇池流域农业面源污染量呈不断增长的趋势,直到 1999 年达到峰值后下降,这一治理效果来源于退耕还湖、农业化肥的严格管理、农业结构的持续调整以及滇池流域“全面禁养”等一系列政策的实施^[17]。滇池流域城市面源污染处于不断增长的过程中,这主要与流域城镇建设用地的扩展以及绿地面积占比小有关系。综合来看,入湖 COD 主要来自城市面源, TN 主要来自尾水负荷, TP 主要来自农业面源和未收集的点源^[16]。

具体到 3 个湿地公园所处的流域单元来看,根据《重点流域水污染防治规划(2011—2015 年)》,南滇池湿地公园属于外海南岸,西华湿地公园属于外海西岸,捞鱼河湿地公园属于外海东岸。根据徐晓梅^[16]等的调查结果可知(表 8),整体上外海西岸的污染程度较轻,该区域 COD、TN、TP 这 3 种污染物的入湖量占比最低,均低于 5%。外海南岸的 TP 入湖量为最高,占比达 31%,外海东岸的 COD、TP 入湖量最高,占比为 23%。这说明南滇池湿地公园的所处的外海南岸水质污染主要为农业面源及未收集的点源,其次为城市面源和尾水负荷;西华湿地公园所处的外海西岸污染物较均匀,以农业面源及未收集点源居多,

污染物占整个滇池流域占比小;捞鱼河湿地公园所处的外海东岸污染物主要源自城市面源、农业面源及未收集点源,其次为尾水负荷。不难发现, COD 和 TP 是 3 个滇池流域单元入湖污染物中最主要的污染物,这说明对于 3 个湿地公园及其所处的流域单元的水质管理来说,面源与部分未收集的点源治理工作尤其重要。

表 8 滇池部分流域单元入湖污染物占比

Table 8 Proportion of pollutants entering the lake in some watershed units of Dianchi Lake

滇池流域单元	COD/%	TN/%	TP/%
外海南岸	15	12	31
外海西岸	3	2	4
外海东岸	23	15	20

在上述研究中,水质评价体系中个别指标浓度严重超标是 3 个湿地公园整体水质差(劣 V 类)的主要原因。总体来看, COD、TP、Cr 的超标情况最为严重,其 P_i 值高达 20,尽管 3 个湿地公园水质评价体系内其他指标的检测浓度均较理想,污染程度低。这表明在治理工作中,应着重控制 COD、TP、Cr 这 3 种污染物的排放量,高度重视城市面源、农业面源的污染治理。根据滇池流域地上、地下径流特征构建更为科学的城市排水系统,利用下凹式绿地、绿色屋顶、透水铺装等工程措施^[20-21],削减城市面源、平稳城市洪峰,调控城市暴雨径流对污染物的冲刷,全过程控制面源污染物入湖。对于农业面源,针对湖滨大棚区投入高、施肥用水量大和污染严重的问题,应积极应用并推广集成有滴灌喷灌技术、缓释肥技术、精准施肥技术、植物篱技术、田间径流收集回用技术及固废处理技术等农业面源污染防控技术,实现从源头、过程和终点对农业污染物进行拦截、消纳^[22]。

湿地公园往往处于入湖河流与滇池的交界地带,在滇池水质净化的过程中承担重要作用^[23]。因此,流经湿地公园的入湖河流的水质往往也对湿地公园的

水质产生不可忽视的影响。根据 2013 年 8 月昆明市环境监测中心公布的数据, 整理出外海东岸和南岸(西岸无较大入湖河流)主要入湖河道的水质监测数据。结果显示, 2013 年捞鱼河的 COD 浓度值偏高, 水质属于劣 V 类, 这与其所流经的捞鱼河湿地公园在本研究中评价的水质等级一致; 东大河的水质类别为 IV 类, 而该河流所流经的南滇池湿地公园的水质在本研究中的评价等级为劣 V 类, 二者间存在的差别与近年来该湿地公园接待的游客量增多、周围人口增加、城市化发展等因素有关。因此, 提升入湖河流水环境质量, 必须坚持实施并加强环湖截污、底泥疏浚、生态修复、外流域引水等工程措施^[24], 从而有效减少进入湿地公园的污染量。

比较以往数据来看, 本研究检测的 3 个湿地公园的大多数指标浓度有所下降。另外, 李九一等^[5]发现, 滇池湿地公园出水口的 TN、TP、NH₃-N 浓度相比进水口降低非常明显, 这说明湿地对滇池水质具有一定的净化作用。付健梅等^[24]统计出南滇池、西华和捞鱼河湿地公园每日的游客量分别为: 91~236、67~173、357~1 537 人, 其中捞鱼河湿地公园的每日游客量为最多, 西华湿地公园的每日游客量最少。一般来说, 湿地公园游客量与污染程度呈反相关, 这与本文评价结果吻合。因此, 应加强湿地公园旅游业的管理, 严格将每日游客量保持在环境承载力之上, 并实行游客分流管理。另外, 在今后的研究中应尽量避免检测水样受湖岸带环境影响的问题, 并开展滇池湿地公园长时间序列的水质动态监测等工作。

4 结论

3 个湿地公园的水质检测结果显示, COD、TN、TP 和 Cr 这 4 项指标污染较严重, 其中 COD、TP 和 Cr 的浓度超标最严重; 而 Zn、Ni、Pb、Cd 这 4 项指标未受到污染。捞鱼河湿地公园水体的金属元素最低, 但 TP 浓度最高, 南滇池湿地公园 TN 和 Cr 的浓度为最高, 而西华湿地公园水体检测以 COD 最高。

单因子指数法评价结果为 3 个湿地公园的水质污染等级均为劣 V 类。

3 种改进后的内梅罗指数法水质评价结果为: 3 个滇池湿地公园的水质均为劣 V 类, 水质污染严重, 与单因子指数法评价结果一致。捞鱼河湿地公园水质污染最严重, 南滇池、西华湿地公园水质污染状况稍好。3 种内梅罗指数算法中, 改进算法 1 最严格, 算法 3 最客观。

参考文献:

- [1] 申洪鑫, 牛蓓蓓, 李富强, 等. 大汶河水质状况评价和污染源分析[J]. 安全与环境工程, 2021, 28(5): 176-185.
- [2] HU Shengjie, NIU Zhenguo, CHEN Yanfang, et al. Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status[J]. Science of the Total Environment, 2017 (586): 319-327.
- [3] 吴后建, 但新球, 王隆富, 等. 我国湿地公园建设的回顾与展望[J]. 林业资源管理, 2016(2): 39-44.
- [4] 南月慧, 赵庆玲, 谭秀梅. 滇池流域湿地公园研究缺口探析[J]. 智城建设, 2021(3): 25-26.
- [5] 李九一, 李丽娟. 中国水资源对区域社会经济发展的支撑能力[J]. 地理学报, 2012, 67(3): 410-419.
- [6] 张光斗. 面临 21 世纪的中国水资源问题[J]. 地球科学进展, 1999(2): 16-17.
- [7] 张虎才, 常凤琴, 段立曾, 等. 滇池水质特征及变化[J]. 地球科学进展, 2017, 32(6): 651-659.
- [8] 何佳, 徐晓梅, 杨艳, 等. 滇池水环境综合治理成效与存在问题[J]. 湖泊科学, 2015, 27(2): 195-199.
- [9] 徐祖信. 我国河流单因子水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005(3): 321-325.
- [10] 罗芳, 伍国荣, 王冲, 等. 内梅罗污染指数法和单因子评价法在水质评价中的应用[J]. 环境与可持续发展, 2016(5): 87-89.
- [11] 宋日文. 单因子评价法和改进的灰色关联度在水质评价中的应用[J]. 陕西水利, 2018(3): 103-107.
- [12] WU Zhaoshi, LAI Xijun, LI Kuanyi. Water quality assessment of rivers in Lake Chaohu Basin(China) using water quality index[J]. Ecological indicators, 2021, 121: 107 021.
- [13] 李丽琴, 谢新民, 韩剑桥, 等. 面向可持续发展的水资源优化配置研究[J]. 中国农村水利水电, 2013(1): 15-18.
- [14] 汤玉强, 李清伟, 左婉璐, 等. 内梅罗指数法在北戴河国家湿地公园水质评价中的适用性分析[J]. 环境工程, 2019, 37(8): 195-199.
- [15] 李小丽, 黎小东, 敖天其. 改进内梅罗指数法在西充河水质评价中的应用[J]. 人民黄河, 2016, 38(8): 65-68.
- [16] 徐晓梅, 吴雪, 何佳, 等. 滇池流域水污染特征(1988—2014 年)及防治对策[J]. 湖泊科学, 2016, 28(3): 476-484.
- [17] 郑一新, 李中杰, 倪金碧, 等. 滇池流域工业企业水污染状况调查与分析研究[Z]. 上海: 2010.
- [18] 郑一新, 李中杰, 倪金碧, 等. 基于 GIS 的工业水污染调查研究: 以滇池流域为例[J]. 环境保护科学, 2012(3): 20-24.
- [19] 李中杰, 郑一新, 张大为, 等. 滇池流域近 20 年社会经济发展对水环境的影响[J]. 湖泊科学, 2012, 24(6): 875-882.
- [20] 倪艳芳. 城市面源污染的特征及其控制的研究进展[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(2): 53-57.
- [21] 赵建伟, 单保庆, 尹澄清. 城市面源污染控制工程技术的应用及进展[J]. 中国给水排水, 2007, 23(12): 1-5.

- [22] 郭怀成, 何彬, 宋立荣, 等. 滇池流域水污染治理与富营养化控制技术[M]. 北京: 中国环境出版社, 2017.
- [23] 李发荣, 邱学礼, 周璟, 等. 滇池东南岸农业和富磷区入湖河流地表径流及污染特征[J]. 中国环境监测, 2014, 30(6): 93-101.
- [24] 付健梅, 周晶, 龚相瀚, 等. 滇池湖滨湿地公园的旅客人数估算[J]. 湿地科学, 2021, 19(4): 501-506.

Water Quality Evaluation and Pollution Source Analysis of Typical Lake Wetland Parks Around Dianchi Lake

WANG Ziyuan, LIU Xingyue, WANG Weichao, LI Wei*

(School of Geography and Ecotourism, Southwest Forestry University, Kunming 650000, China)

Abstract: Dianchi Lake is one of the key management points of the national “three rivers and three lakes”, and the construction of Wetland Park plays an important role in purifying Dianchi Lake water body and maintaining the health of lake ecosystem. Based on Single-factor pollution index method and three improved Nemerow pollution index methods, this paper evaluates the water quality of South Dianchi Wetland Park, Xihua Wetland Park and Laoyu River Wetland Park. The evaluation index system includes 8 water quality evaluation factors: COD, TN, TP, Zn, Ni, Pb, Cd and Cr, and analyzes the water pollution sources of the three wetland parks. The results show that: The pollution degree of COD, TN, TP and Cr in the three wetland parks is more serious, while the pollution degree of Zn, Ni, Pb and Cd is less. The content of metal elements in the water of Laoyu River Wetland Park is the lowest, but the concentration of TP is the highest. As a comparison, the concentration of TN and Cr in the water of South Dianchi Wetland Park is the highest, while the content of COD in the water of Xihua Wetland Park is the highest. Based on Single-factor pollution index method method and three improved Nemerow pollution index methods for water quality analysis, the evaluation grade of the water quality of the three wetland parks is inferior to class V. On the whole, the water pollution of Laoyu River Wetland Park is the most serious, and the water pollution of South Dianchi and Xihua Wetland Park is slightly better. COD and TP are the main types of pollutants entering the lake in the basins where the three wetland parks are located. In the future water quality protection and management of Dianchi Lake, attention should be paid to and the treatment of urban, agricultural non-point source and some uncollected point source pollution should be strengthened.

Key words: Wetland Park; Dianchi Lake; water quality evaluation; single factor evaluation method; nemerow pollution index method; pollution source

责任编辑: 韩洋