

· 研究报告 ·

# 指标动态权重对湖泊水生生态系统健康评价影响研究

张艳会<sup>1</sup>, 朱红云<sup>1</sup>, 李冰<sup>2\*</sup>

(1. 南京晓庄学院, 江苏 南京 211171; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 流域地理学重点实验室, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 利用2014年和2018年鄱阳湖丰-涨-枯-退4个水文时期的监测数据, 引入可拓评价法对鄱阳湖水生态系统健康进行评价并探讨指标动态权重的影响。结果表明: 鄱阳湖水生态系统健康状态不同水文时期差异显著, 退水期最优, 枯水期最差, 涨水期稍优于丰水期。鄱阳湖水生态系统健康评价指标权重具有动态变化特征, 指标权重值会随着指标具体取值的不同而发生变化, 即便指标值相同, 各指标间关系不同, 指标权重也不同, 从而影响鄱阳湖水生态系统健康的评价结果。鄱阳湖不同时期生态系统功能和结构差异较大, 采用动态的权重对其水生生态系统健康评价相对更加合理。

**关键词:** 水生生态系统健康评价; 动态权重; 可拓评价法; 鄱阳湖

中图分类号: X524; X826 文献标志码: B 文章编号: 1006-2009(2022)05-0016-06

## Research on the Influence of Index Dynamic Weight on Lake Aquatic Ecosystem Health Assessment

ZHANG Yan-hui<sup>1</sup>, ZHU Hong-yun<sup>1</sup>, LI Bing<sup>2\*</sup>

(1. Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing, Jiangsu 211171, China; 2. Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

**Abstract:** Based on the monitoring data of Poyang Lake in four hydrological periods, wet, rising, dry and retreating in 2014 and 2018, the extension evaluation method was introduced to evaluate the health of Poyang Lake aquatic ecosystem and analyze the influence of index dynamic weight. The results showed that the health status of Poyang Lake aquatic ecosystem varied significantly in different hydrological periods, with the best in retreating period, the worst in dry period, and a slightly better in rising period than in wet period. The index weight of Poyang Lake aquatic ecosystem health assessment had dynamic characteristics. The index weight value varied with the specific value of the index. Even if the index value was the same, the relationship between indicators were different, and the index weight was different, which affected the evaluation result of Poyang Lake aquatic ecosystem health. The ecosystem function and structure of Poyang Lake differed greatly in different periods. It was more reasonable to use dynamic weight to evaluate the aquatic ecosystem health.

**Key words:** Aquatic ecosystem health assessment; Dynamic weight; Extension evaluation method; Poyang Lake

近年来,伴随着湖泊水质下降、生物多样性锐减、生态退化等一系列问题的不断出现,湖泊水生生态系统健康的评估逐渐成为国内外学者、资源环境管理者共同关注的焦点<sup>[1-3]</sup>。鄱阳湖是两大自然通江湖泊之一,其水位呈现明显的季节性变化特征,年内水位变幅最低达9.79 m,具有独特的“枯-

收稿日期:2022-01-26;修订日期:2022-08-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(U2240219,42071146,41701097,41801092)

作者简介:张艳会(1984—),女,河南驻马店人,讲师,博士,主要从事水生态环境评价工作。

\*通信作者:李冰 E-mail: libing9133@126.com

涨-丰-退”的水文节律<sup>[4]</sup>。与其他阻隔湖泊相比,河湖关系复杂,生态系统结构和功能时空分异显著<sup>[5-6]</sup>,水生态系统变化复杂且具有很大不确定性,难以对其进行定量评价。已有的研究学者采用多种方法对鄱阳湖等湖泊水生态系统健康进行评价<sup>[3,7-8]</sup>,其中,指标体系法应用广泛<sup>[3,7]</sup>。就该方法而言,大部分是对指标体系赋权或者衍生算法以形成综合健康指数<sup>[3]</sup>。指标权重的确定尤为重要,直接影响到水生态系统健康评价的合理性和客观性。针对这个问题,可拓评价法是有效的解决方法。具有动态权重的可拓评价法可以相对准确地评价湖泊水生态系统健康状态,且在一定程度上可以分析水生态系统健康的影响机制<sup>[9]</sup>。该方法已被广泛应用于河流健康、河流湖泊水质及水资源可持续发展评价中<sup>[9-11]</sup>。今运用可拓评价方法对鄱阳湖不同时期水生态健康状态进行评价研究,并探讨动态权重的影响,以期对鄱阳湖水生态环境的保护提供理论依据。

## 1 研究区域和方法

### 1.1 研究区域和数据

鄱阳湖是中国第一大淡水湖,是一个过水性、吞吐型、季节性的湖泊,其具有“高水湖相,低水河相”的独特自然地理景观。近年来鄱阳湖流域人口不断增加,水质呈逐渐恶化趋势<sup>[12-14]</sup>,湖泊水域及湿地生态系统结构和功能有退化的迹象<sup>[15-17]</sup>。

结合鄱阳湖水文特性,文中所采用的水环

境、水生态数据为 2014 年和 2018 年鄱阳湖枯水期、涨水期、丰水期、退水期(以下简称枯-涨-丰-退)4 个水文时期(分别对应 1 月、4 月、7 月、10 月)的监测数据,其中 2014 年监测站点共 15 个,2018 年为 6 个,监测数据来源于中国科学院鄱阳湖湖泊湿地观测研究站。水位数据来源于江西省水文局。

### 1.2 研究方法

可拓评价是借助可拓学这个形式化的工具,从定性和定量两个角度去研究解决矛盾问题的规律和方法,其通过建立多指标参数的评定模型来完整地反映事物的综合水平。与模糊数学和灰色关联度方法相比,可拓评价把评价指标由单一确定值转变为区间值,指标权重随着评价指标值的变化及评价指标间关系的变化而变化,更符合实际应用的需要<sup>[9]</sup>。文中可拓评价通过 R 语言编程实现,其具体原理及使用方法的文献<sup>[9,18]</sup>。可拓评价具体包含以下步骤。

#### 1.2.1 确定评价指标与评价标准

依据已有的研究结果<sup>[19]</sup>,选择 6 个指标作为鄱阳湖水生态系统健康评价的指标,分别为:枯水期最低水位距平(LWLa-D)、涨水期平均水位距平(MWLa-R)、综合营养指数(TLI)、蓝藻硅藻生物量比值(CB/DB)、底栖动物多样性指数(DI)、底栖动物耐污指数(BI)。把鄱阳湖水生态系统健康等级分成 3 个等级:健康(I 级),亚健康(II 级,临界状态),不健康(III 级),见表 1。

表 1 鄱阳湖水生态系统健康评价指标和标准

Table 1 Health evaluation index and criteria of Poyang Lake aquatic ecosystem

健康等级	CB/DB	DI	BI	LWLa-D/m	MWLa-R/m	TLI
健康(I 级)	≤0.4	≥2	0~5.5	-0.76~0.76	-1.03~1.05	≤40
亚健康(II 级)	0.4~0.6	1~2	5.5~6.5	-1.18~-0.76, 0.76~1.18	-1.50~-1.03, 1.05~1.52	40~50
不健康(III 级)	≥0.6	0~1	6.5~10	<-1.18, >1.18	<-1.50, >1.52	≥50

#### 1.2.2 确定待评物元

同征物元体是可拓评价的基本单元,其具体概念参见文献<sup>[20]</sup>。对待评对象 P,把所检测得到的

数据或分析结果用物元  $\begin{bmatrix} P & C_1 & V_1 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_n \end{bmatrix}$  表示,称为

事物 P 的待评物元,其中  $V_i$  为 P 关于指标  $C_i$  的数值,即待评对象监测所得的具体数据。

#### 1.2.3 计算评价等级

(1) 确定待评对象关于各评价类别等级的关联度。

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{\rho(v_i, V_{ij})}{\rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij})}, \\ \rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij}) \neq 0 \\ -\rho(v_i, V_{ij}) - 1, \\ \rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $\rho(v_i, V_{ij}) = \rho(v_i, \langle a_{ij}, b_{ij} \rangle) = v_i - (a_{ij} + b_{ij})/2 - (b_{ij} - a_{ij})/2, (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$ 。

(2) 计算待评事物  $P$  关于等级  $j$  的关联度, 确定权重。

用简单关联函数确定权重,

$$r_{ij}(v_i, V_{ij}) = \begin{cases} \frac{2(v_i - a_{ij})}{b_{ij} - a_{ij}}, v_i \leq \frac{b_{ij} + a_{ij}}{2} \\ \frac{2(b_{ij} - v_i)}{b_{ij} - a_{ij}}, v_i \geq \frac{b_{ij} + a_{ij}}{2} \end{cases} \quad (2)$$

且若  $v_i \in V_{ip}$  ( $P$  的节域, 表示  $P$  关于  $C$  所取的量值范围), 则

$$r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij_{\max}}) = \max_j \{r_{ij}(v_i, V_{ij})\} \quad (3)$$

若指标  $i$  的数据落入的类别越大, 该指标应赋以越大的权重, 则取

$$r_i = \begin{cases} j_{\max} \times [1 + r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij_{\max}})], \\ r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij_{\max}}) \geq -0.5 \\ j_{\max} \times 0.5, \\ r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij_{\max}}) < -0.5 \end{cases} \quad (4)$$

若指标  $i$  的数据落入的类别越大, 该指标应赋以越小的权重, 则取

$$r_i = \begin{cases} (m - j_{\max} + 1) \times [1 + r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij_{\max}})], \\ r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij_{\max}}) \geq -0.5 \\ (m - j_{\max} + 1) \times 0.5, \\ r_{ij_{\max}}(v_i, V_{ij_{\max}}) < -0.5 \end{cases} \quad (5)$$

确定指标  $i$  的权重为:

$$\alpha_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^n r_i} \quad (6)$$

(3) 等级评定。

若  $K_{j_0}(P) = \max_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(p)$ , 则 评 定  $P$  属 于 等级  $j_0$ 。令,

$$K_j(p) = \frac{K_j(p) - \min_j K_j(p)}{\max_j K_j(p) - \min_j K_j(p)} \quad (7)$$

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times K_j(v_i) \quad (8)$$

$$j^*(p) = \frac{\sum_{j=1}^m j_0 \times K_j(p)}{\sum_{j=1}^m K_j(p)} \quad (9)$$

式中:  $j_0(p)$  为评价等级, 即其所归属的健康等级,

1、2、3 分别代表鄱阳湖水生态系统健康、亚健康、不健康的 3 个等级;  $j^*(p)$  为级别变量特征值, 即评价的精确的健康等级值。 $j^*(p) - j_0(p)$  可以表达健康状况向邻近等级的趋向程度, 若为正值, 则健康状态趋向于高一等级; 若为负值, 则评价结果趋向于低一等级。例如, 若  $j_0(p) = 2$  和  $j^*(p) = 2.4$ ,  $j^*(p) - j_0(p) = 0.4$ , 则说明该监测点精确等级值为 2.4, 属于等级 2, 并且趋势趋向于等级 3; 若  $j_0(p) = 2$  和  $j^*(p) = 1.7$ ,  $j^*(p) - j_0(p) = -0.3$ , 则说明该监测点精确等级值为 1.7, 属于等级 2, 而其趋势趋向于等级 1。

## 2 结果与讨论

### 2.1 鄱阳湖不同水文时期水生态系统健康评价指标权重计算结果

今提出“虽然评价指标相同, 但不同水文时期, 指标取值不同, 指标权重值不同, 对湖泊水生态系统健康的影响程度也不同”的观点。为了验证此观点, 首先对鄱阳湖 2014 年枯-涨-丰-退 4 个水文时期各指标不同取值的权重及水生态系统健康状况进行分析计算。其中, 水环境、水生生物指标采用 2014 年 4 个水文时期 15 个监测站点的平均值, 水位指标均采用星子站 2014 年的 LWLa-D 和 MWLa-R, 即 4 个水文时期水位指标值相同。

图 1 为 2014 年 4 个水文时期各指标权重变化。由图 1 可见, 整体而言, DI 和 MWLa-R 权重值相对较小, TLI、BI、LWLa-D 权重值相对较大。因此, 就鄱阳湖而言, 富营养化程度、底栖动物耐污特征, 以及枯水期水位特征对湖泊水生态健康影响程度较大。同时, 不同水文时期, 各指标权重并不是一成不变, 而是随着指标取值的变化呈现动态变化的特点, 且各指标权重间差异较大。枯水期各指标权重差异最大, 退水期次之, 涨水期和丰水期基本持平, 差异相对较小。不同水文时期各个指标权重波动差异显著。枯-涨-丰-退 4 个水文时期 DI 的权重分别为 0.04、0.03、0.04、0.03, 变化最小, 这可能与鄱阳湖的 DI 值相对较高有关。TLI 的权重枯水期最大, 丰水期、涨水期次之, 退水期最小, 这与 Li 等<sup>[12]</sup>研究得出的枯水期营养盐指数最高, 水质最差的结论一致; 这也可能与水位的抬升能明显扩大湖泊环境容量、提高水体自净能力、减轻水体富营养化有关<sup>[12,21]</sup>; 结合已有的研究结果, 也有可能三峡大坝的运行、气候变化等有关<sup>[22]</sup>。枯-

涨-丰-退 4 个水文时期 CB/DB 的权重分别 0.08、0.27、0.13、0.30,波动最显著,涨水期和退水期 CB/DB 的权重明显高于枯水期和丰水期,丰水期 CB/DB 值最高,权重却不是最大。另外,LWLa-D 和 MWLa-R 这两个指标 4 个水文时期虽然值相同,但是权重不同,这也在一定程度上说明鄱阳湖水生态系统的复杂性。这与 Mjelde 等<sup>[23]</sup>研究得出的湖泊水生态系统是物理、化学及水生生物等因素共同作用的结果一致。

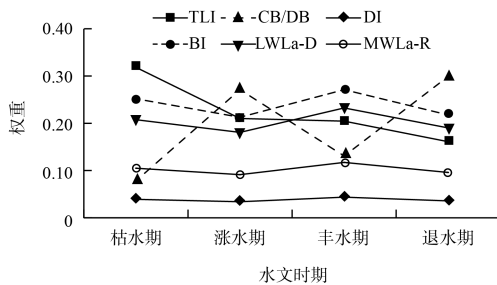


图 1 2014 年 4 个水文时期各指标权重变化

Fig. 1 Changes of each index weight in four hydrological periods in 2014

对 2014 年和 2018 年各指标不同取值的权重及生态系统健康状态进行对比分析。其中,水环境、水生生物指标 2014 年采用 4 个水文时期 15 个监测站点的平均值,2018 年采用 4 个水文时期 6 个监测站点的平均值;水位指标均采用星子站 2014 年、2018 年的 LWLa-D 和 MWLa-R。

图 2 为 2014 年和 2018 年各指标权重变化。

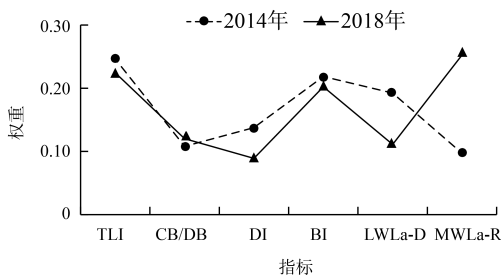


图 2 2014 年和 2018 年各指标权重变化

Fig. 2 Changes of each index weight in 2014 and 2018

由图 2 可见,不同年份各指标的权重并不是一成不变,而是随着指标取值的变化呈现动态变化的特点。部分指标权重年际变化幅度不大,比如 CB/DB,2014 年权重为 0.11,2018 年为 0.12;部分指

标权重差异较大,尤其是 MWLa-R,2014 年权重为 0.10,2018 年为 0.25。

## 2.2 指标动态权重对鄱阳湖水生态系统健康影响分析

表 2 为 2014 年各水文时期鄱阳湖水生态系统健康评价结果。由表 2 可知,2014 年枯水期和涨水期鄱阳湖水生态系统健康评价等级均为健康,丰水期为亚健康,退水期为不健康;枯水期、涨水期和退水期均呈现亚健康的变化趋势,丰水期呈不健康的变化趋势。枯水期和涨水期虽然均为健康等级,但是级别变量特征值枯水期高于涨水期,说明枯水期较涨水期更加不健康。退水期虽然评价等级为不健康,但与枯水期和涨水期一样呈亚健康变化趋势,级别变量特征向量明显低于其他 3 个时期,说明其精确的健康状态相对较好。结合图 1 权重值,可能与退水期主要的影响因素富营养化指数权重较小有关。丰水期虽然评价等级为亚健康,但其级别变量特征值高于涨水期,即丰水期精确的健康状态较涨水期稍差,呈现不健康的变化趋势,这可能与丰水期的 CB/DB 值为 3.55,显著高于退水期 (CB/DB 值为 0.92) 有关。根据级别变量特征值可知,鄱阳湖水生态系统健康状态退水期最好,涨水期和丰水期次之,涨水期优于丰水期,枯水期最差。

表 2 2014 年各水文时期鄱阳湖水生态系统健康评价结果

Table 2 Health evaluation results of Poyang Lake aquatic ecosystem in each hydrological period in 2014

水文时期	不同健康等级的关联度( $K_j$ )			评价等级	级别变量特征值	评价等级变化趋势
	I 级	II 级	III 级			
枯水期	-0.41	-0.28	-0.24	健康	2.56	亚健康
涨水期	-0.41	-0.16	-0.33	健康	2.25	亚健康
丰水期	-1.06	-1.21	-0.81	亚健康	2.47	不健康
退水期	-0.47	-0.39	-0.53	不健康	1.71	亚健康

表 3 为 2014 年和 2018 年鄱阳湖水生态系统健康评价结果。由表 3 可知,2014 年鄱阳湖水生态系统健康的评价等级虽为不健康,但呈现亚健康的变化趋势;2018 年评价等级为亚健康,呈现健康的变化趋势。2014 年和 2018 年评价等级虽分别为不健康和亚健康,但级别变量特征值差异不显著,2014 年稍高于 2018 年,说明 2014 年较 2018 年健康状态略差。结合图 2 权重值,2014 年除了

MWLa-R 权重值远低于 2018 年外,其他指标权重均高于 2018 年或基本持平,其中 DI 和 LWLa-D 两个指标权重值差异较为显著。由此进一步说明,枯水期水位特征对水生态系统健康的影响相对更大,水生态系统的变化对底栖动物多样性指数的影响相对较为显著。

表 3 2014 年和 2018 年鄱阳湖水生态系统健康评价结果

Table 3 Health evaluation results of Poyang Lake aquatic ecosystem in 2014 and 2018

年份	不同健康等级的关联度( $K_j$ )			评价等级	级别变量特征值	评价等级变化趋势
	I 级	II 级	III 级			
2014 年	-0.35	-0.39	-0.42	不健康	1.70	亚健康
2018 年	0.26	-0.26	-0.19	亚健康	1.23	健康

通过以上分析,可以解释湖泊水生态系统的复杂性特征。在通常状态下一具体的指标健康等级会直接影响水生态系统的健康状态,比如某一具体的指标属于不健康的等级,水生态系统也可能不健康,而根据评价结果可知,湖泊水生态系统未必不健康,这种现象产生的原因是指标权重发生了变化,从而影响湖泊水生态系统健康评价结果。按照传统的权重计算方法,若指标相同,则无论指标具体取值如何变化,指标权重始终相同,评价得出的水生态系统健康状态等级必然相同,这就无法反映由于指标实际状态,以及指标间关系的不同所引起的湖泊水生态系统健康状态的变化。

以上研究结果表明,当某一指标的实际取值不同时,各指标的权重并不是一成不变,即便同一指标取值相同,各指标间关系不同,其权重也未必相同,水生态系统健康状态也会随着权重变化而发生变化。这充分印证了文中提出的权重会随着指标实际取值的变化而变化,会随着指标间的关系的不同而变化,进而影响湖泊水生态系统健康评价结果的观点。

### 3 结论

(1) 鄱阳湖水生态系统健康状态在不同水文时期差异显著,退水期最好,枯水期最差,涨水期优于丰水期。就年际而言,2014 年鄱阳湖生态系统呈不健康的状态,亚健康的变化趋势,2018 年呈亚健康的状态,健康的变化趋势。

(2) 鄱阳湖水生态系统的健康较为复杂,同一

指标不同的取值,其权重可能不同,即便同一指标取值相同,与其他指标间的关系不同,指标权重也可能不同,从而影响湖泊水生态系统健康的评价结果。

(3) 可拓评价法采用关联函数对指标权重的计算更加客观,可以相对准确地评价水生态系统的健康状态,并在一定程度上揭示水生态系统健康的影响机制。针对鄱阳湖不同时期水生态系统功能和结构差异较大的特征,采用动态的权重对其水生态系统健康评价相对更加合理。

### [参考文献]

- [1] HARTIG J H, FRANCOEUR S N, CIBOROWSKI J J H, et al. An ecosystem health assessment of the Detroit River and western Lake Erie[J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2021, 47(4): 1241 - 1256.
- [2] BACIGALUPI J, STAPLES D F, TREML M T, et al. Development of fish-based indices of biological integrity for Minnesota lakes[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 125: 107512.
- [3] XU F L, TAO S, DAWSON R W, et al. Lake ecosystem health assessment: Indicators and methods[J]. *Water Research*, 2001, 35(13): 3157 - 3167.
- [4] 戴雪, 何征, 万荣荣, 等. 近 35 a 长江中游大型通江湖泊季节性水情变化规律研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(1): 118 - 125.
- [5] LIU X, QIAN K M, CHEN Y W. Effects of water level fluctuations on phytoplankton in a Changjiang River floodplain lake (Poyang Lake): Implications for dam operations[J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2015, 41(3): 770 - 779.
- [6] ZHANG Y H, YANG G S, LI B, et al. Using eutrophication and ecological indicators to assess ecosystem condition in Poyang Lake, a Yangtze-connected lake[J]. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 2016, 19(1): 29 - 39.
- [7] 吴俊燕, 和雅静, 陈凯, 等. 基于 O/E 模型的浅水湖泊生态系统健康评价[J]. *中国环境监测*, 2022, 38(1): 27 - 35.
- [8] QI L Y, HUANG J C, HUANG Q, et al. Assessing aquatic ecological health for Lake Poyang, China: Part II index application[J]. *Water*, 2018, 10(7): 909 - 923.
- [9] WONG H, HU B Q. Application of improved extension evaluation method to water quality evaluation[J]. *Journal of Hydrology*, 2014, 509: 539 - 548.
- [10] DENG X J, XU Y P, HAN L F, et al. Assessment of river health based on an improved entropy-based fuzzy matter-element model in the Taihu Plain, China[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 57: 85 - 95.
- [11] WANG Q, LI S Q, LI R R. Evaluating water resource sustainability in Beijing, China: Combining PSR model and matter-element extension method[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 206: 171 - 179.

- [12] LI B, WAN R R, YANG G S, et al. Exploring the spatiotemporal water quality variations and their influencing factors in a large floodplain lake in China [J]. *Ecological Indicators*, 2020, 115:106454.
- [13] 鲁照, 黄河清, 徐力刚, 等. 基于熵权的 WQI 法在鄱阳湖水质评价中的应用 [J]. *环境监测管理与技术*, 2021, 33(4): 30-34.
- [14] 刘方平, 汪怀建, 苏甜, 等. 鄱阳湖平原区农村门塘形态特征及底泥营养状况分析 [J]. *环境监测管理与技术*, 2021, 33(6): 35-39.
- [15] JIA Y F, JIAO S W, ZHANG Y M, et al. Diet shift and its impact on foraging behavior of Siberian Crane (*Grus leucogeranus*) in Poyang Lake [J]. *Plos One*, 2013, 8(6): e65843.
- [16] 游海林, 吴永明, 徐力刚, 等. 基于声音监测的鄱阳湖典型湿地鸟类多样性及对人类活动的响应 [J]. *环境监测管理与技术*, 2021, 33(6): 14-18.
- [17] 李艳红, 胡春华. 鄱阳湖浮游藻类群落特征及与环境因子典范对应分析 [J]. *环境监测管理与技术*, 2022, 34(1): 33-37.
- [18] LI B, YANG G S, WAN R R, et al. Using fuzzy theory and variable weights for water quality evaluation in Poyang Lake, China [J]. *Chinese Geographical Science*, 2017, 27(1): 39-51.
- [19] ZHANG Y H, YANG G S, WAN R R, et al. Research on ecosystem health assessment indices and thresholds of a Large Yangtze-connected Lake, Poyang Lake [J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2019, 17(5): 11701-11716.
- [20] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 202-209.
- [21] 温春云, 刘聚涛, 胡芳, 等. 鄱阳湖水质变化特征及水体富营养化评价 [J]. *中国农村水利水电*, 2020(11): 83-88.
- [22] LI Q Y, LAI G Y, DEVLIN A. A review on the driving forces of water decline and its impacts on the environment in Poyang Lake, China [J]. *Journal of Water and Climate Change*, 2021, 12(5): 1370-1391.
- [23] MJELDE M, HELSTEN S, ECKE F. A water level drawdown index for aquatic macrophytes in Nordic lakes [J]. *Hydrobiologia*, 2013, 704(1): 141-151.

## · 征订启事 ·

### 欢迎订阅 2023 年《环境科技》杂志

中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)

《环境科技》是由江苏省生态环境厅主管,江苏省徐州环境监测中心、江苏省环境科学研究院联合主办的集学术性与实用性于一体的环境科学技术类期刊,为“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊)。国内统一刊号:CN 32-1786/X,国际标准刊号:ISSN 1674-4829。

本刊以直接为污染防治实践服务为宗旨,重点报道环境科学最新实用技术、科研成果、治理开发及国内外最新信息与动态,内容涉及水、气、声、固等污染处理技术及清洁生产、生态保护等实用技术的推广应用。

常设栏目有:研究报告、污染防治、环境评价与规划、专论与综述、环境管理、环保论坛等,从多角度向读者介绍国内外环境保护新成果、新技术、新动态、新经验等。对环境保护管理、科研院所、污染防治技术开发设计、环保产业、工矿企业等部门从事环保工作的管理和专业技术人员及大专院校师生均有较强的参考价值,欢迎有关单位和个人订阅。

本刊为双月刊,大16开国际标准版,80页,每逢双月25日出版。国内订价(含邮费)15元/期,全年90元。全国各地邮局均可订阅。

联系方式:

地址:徐州市新城区彭祖大道与太行路交叉口路西《环境科技》编辑部 邮编:221018

电话:0516-85635681;85635682 传真:0516-85737126

电子信箱:jshjkj@126.com

订阅方式:

一、当地邮局订阅:邮发代号:28-179。

二、银行转账汇款:

账号:10107501040010729

收款单位:江苏省环境监测协会

开户行:中国农业银行股份有限公司南京茶亭东街支行

(请银行转账订户填写回执单后发送至编辑部邮箱 jshjkj@126.com,回执单下载地址: <http://jshj.cbpt.cnki.net/>。)