

## 宁夏星海湖水生态承载力研究

欧阳虹<sup>1</sup>, 徐丽娟<sup>2</sup>, 赵增锋<sup>1</sup>, 邱小琮<sup>3\*</sup>, 孙旭杨<sup>1</sup>, 王世强<sup>1</sup>, 杨子超<sup>1</sup> (1. 宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏回族自治区水利工程建设中心, 宁夏银川 750021; 3. 宁夏大学生命科学学院, 宁夏银川 750021)

**摘要** [目的]探明星海湖水生态承载力状况及其变化趋势。[方法]于2015—2017年冬季(1月)、春季(4月)、夏季(7月)、秋季(10月)对星海湖水环境因子、生物因子进行采样测定,构建评价指标体系,采用层次分析法计算指标权重,建立星海湖水生态承载力评价模型。[结果]BOD<sub>5</sub>对星海湖水生态承载力影响最大。压力指数的季节性变化规律不显著,呈中压状态,冬季至春季压力指数在2015、2016年呈下降趋势,在春季取得最小值,2017年呈上升趋势,在春季取得最大值,属于较高压状态;夏季至秋季压力指数在2015年呈上升趋势,由中压状态转变为较高压状态,2016和2017年夏秋两季均为中压状态。承载指数季节性变化规律显著,在夏季取得最大值,冬季取得最小值,呈弱承载状态。水生态承载指数季节性变化规律不显著,呈弱可承载状态,2015—2017年分别在秋季、夏季、夏季取得最大值,且2015年秋季水生态承载指数为3年数据的峰值,属于基本可承载状态。[结论]星海湖水生态承载力整体呈弱可承载状态,BOD<sub>5</sub>是影响星海湖水生态承载力最重要的指标,应当及时采取治理措施以提高其水生态承载能力。

**关键词** 水生态承载力;水环境因子;生物因子;层次分析法;指标体系;星海湖

中图分类号 TV 213.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)15-0063-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.15.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Study on Water Ecological Carrying Capacity of Xinghai Lake Wetland in Ningxia

OUYANG Hong<sup>1</sup>, XU Li-juan<sup>2</sup>, ZHAO Zeng-feng<sup>1</sup> et al (1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. Water Conservancy Engineering Construction Center of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract** [Objective] To explore the water ecological carrying capacity of Xinghai Lake and its changing trend. [Method] In the winter (January), spring (April), summer (July), and autumn (October) from 2015 to 2017, the water environmental factors and biological factors of Xinghai Lake were sampled and measured, and the evaluation index system was constructed, the evaluation index system was constructed, index weight was calculated by the method of analytic hierarchy process, and the evaluation model of water ecological carrying capacity was established. [Result] BOD<sub>5</sub> had the greatest impact on the ecological carrying capacity of Xinghai Lake. The seasonal variation of pressure index was not significant, and it was in the state of medium pressure. From winter to spring, the pressure index showed a downward trend in 2015 and 2016, reached the minimum value in spring, rose in 2017, and reached the maximum value in spring, belonging to a relatively high pressure state. From summer to autumn, the pressure index showed an upward trend in 2015, changing from medium pressure to relatively high pressure. The summer and autumn of 2016 and 2017 were both in the medium pressure state. The seasonal variation of load-bearing index was significant, which reached the maximum value in summer and the minimum value in winter, showing a weak load bearing state. The seasonal variation law of water ecological carrying capacity index was not significant, showing a state of weak carrying capacity. From 2015 to 2017, the water ecological carrying capacity index reached its maximum value in autumn, summer and summer respectively, and the water ecological carrying capacity index in autumn of 2015 was the peak of three years' data, which was a basically loadable state. [Conclusion] The ecological carrying capacity of Xinghai Lake is in the state of weak carrying capacity. BOD<sub>5</sub> is the most important indicator affecting the aquatic carrying capacity of Xinghai Lake. Timely treatment measures should be taken to improve its water ecological carrying capacity.

**Key words** Water ecological carrying capacity; Water environmental factors; Biological factors; Analytic hierarchy process; Index system; Xinghai Lake

生态系统由于受人类高强度大规模活动的影响,造成水生态环境污染,水资源短缺,水生物物种和数量大幅度减少,严重威胁着人类社会的可持续发展<sup>[1]</sup>。为了使人们认识到水生态系统对人类的承载能力,解决水资源与社会经济发展间的矛盾,提出了水生态承载力。20世纪20年代,国外学者Park等<sup>[2]</sup>从种群角度出发,首次提出了生态承载力的概念,指物种个体数量在一定条件下存在最高极限;Bailey<sup>[3]</sup>将承载力分为生态承载力和经济承载力。在生态承载力的不断发展下,国内也取得不少成果,李林子等<sup>[4]</sup>将水生态承载力定义为在一定发展阶段和空间内,在满足水生态健康约束下,所能承载最大的人口和经济规模;李靖等<sup>[5]</sup>认为水生态承载力是在一定条件下所能支撑人类社会经济发展规模的

阈值。开展水生态承载力的研究有利于人们对水生态问题的认识,并且能够为经济社会与生态环境和谐发展提供依据。目前,水生态承载力研究方法尚未统一,国内外常用的研究方法以层次分析法、主成分分析法、生态足迹法为主。孙树婷等<sup>[6]</sup>利用层次分析法对石漠化地区进行水生态承载力估算,廖宁等<sup>[7]</sup>应用主成分法判别西南山区典型河道型水库营养状态变化的主控因子并进行富营养化评价,李丹等<sup>[8]</sup>基于改进的生态足迹法对雅砻河源区2007—2014年的生态承载力现状进行分析。层次分析法能够进行多目标、多准则、多时期的系统评价但计算复杂,主成分分析法可极大避免主观随意性但目标相对单一,生态足迹法操作简单但难以对水环境、生物需求等方面进行综合评价,该研究经过综合考虑选用层次分析法。

星海湖位于宁夏石嘴山市大武口区城区东部,分为北城、中城、南城、东城和新城共5个区域。星海湖区域面积为43 km<sup>2</sup>、水域为23 km<sup>2</sup>,已形成集防洪、蓄水、旅游、改善人居环境为一体的综合性水域<sup>[9]</sup>。近年来,由于养殖业和

**基金项目** 宁夏高等学校一流学科建设(水利工程)资助项目(NXY-LXK2017A03)。

**作者简介** 欧阳虹(1996—),女,江西南昌人,硕士研究生,研究方向:水资源与水环境调控。\*通信作者,教授,博士,博士生导师,从事水生态及水环境调控方面的教学与研究工作。

**收稿日期** 2020-12-02;修回日期 2020-12-23

旅游业的快速发展,大量污染物的排入,星海湖水环境遭到极大破坏<sup>[10]</sup>,水体呈中度富营养化状态<sup>[11]</sup>。伍冠星等<sup>[12]</sup>对星海湖水质和富营养化状态进行了研究,李阳<sup>[13]</sup>对星海湖天然补给水量及氟离子量进行了研究,针对星海湖水生态承载力的研究还处于空白。该研究通过构建星海湖水生态承载力指标体系,利用层次分析法对指标进行赋权,对星海湖水生态承载力进行综合评价并分析其变化趋势和影响

因素,旨在为星海湖水生态环境综合治理和经济建设提供理论依据。

## 1 材料与方法

**1.1 数据采集及测定** 根据星海湖地形及水文状况等因素,共设置4个采样点,采样点布置如图1所示。采样时间为2015—2017年冬季(1月)、春季(4月)、夏季(7月)、秋季(10月)。

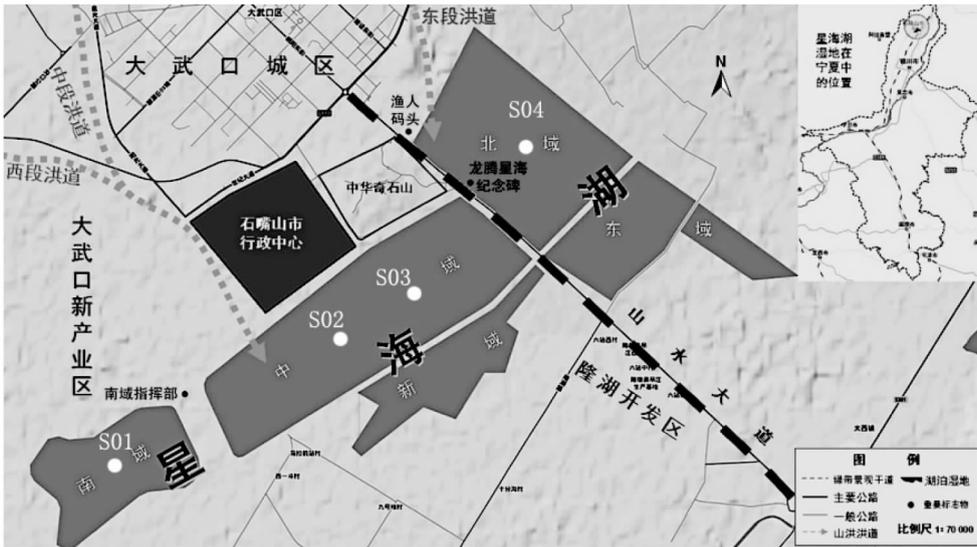


图1 星海湖采样点位布置

Fig. 1 The layout of sampling points in Xinghai Lake

水样采集及测定按照参考文献[14—17]中的要求进行。测定的水质指标:透明度(SD)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>)、叶绿素 a(Chl. a)、总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、pH、溶解氧(DO)。测定的生物指标:浮游植物密度、水生植物密度和多样性指数、浮游动物密度、底栖动物密度和多样性指数。

**1.2 评价指标选取** 该研究所研究的星海湖以水质指标和水生物指标构建水生态承载力的候选指标。采用杨谦等<sup>[18]</sup>使用的方法进行指标的无量纲标准化处理,并利用方差最大正交旋转法筛选荷载值大于0.6的指标作为水生态承载力的评价指标<sup>[19]</sup>。2015、2016和2017年旋转后荷载值小于0.6的指标分别为pH、透明度和浮游植物多样性指数;pH、透明度和浮游动植物多样性指数;SD、DO、COD<sub>Cr</sub>、Chl. a和浮游动植物多样性指数。综合考虑选取COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP、BOD<sub>5</sub>、浮游植物密度、水生植物密度和多样性指数、浮游动物密度、底栖动物密度和多样性指数为评价指标。

**1.3 研究方法** 在构建指标体系过程中,各个指标的重要程度不同,因此该研究采取层次分析法进行权重计算。

**1.3.1 指标体系的建立。**该研究遵循指标体系的构建原则<sup>[20]</sup>并结合因子分析所筛选出的评价指标,将星海湖水生态评价体系分为目标层(A)、准则层(B)、领域层(C)、指标层(D)4个层次,A、B、C、D各层要素如图2所示。

**1.3.2 指标权重的确定。**权重的确定是多指标综合评价中的一个重要环节,指标权重的科学性在很大程度上影响

到综合评价结果的正确性。该研究根据星海湖水生态承载力评价指标体系,使用DPS软件分别构建A-Bi、B2-Ci、C1-Di、C2-Di、C3-Di的判断矩阵,判断矩阵设为 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ ,其中 $a_{ij}>0$ ,且 $a_{ji}=1/a_{ij}(i,j=1,2,\dots,n)$ ,并求出判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{max}$ 与其对应的特征向量 $\omega$ 。随后,进行层次单排序、层次总排序和一次性检验<sup>[21]</sup>,若一次性检验中 $CR<0.10$ 则视为合格,归一化特征向量 $W_i$ 的各个分量值就是各评价指标的权重。

**1.3.3 评价模型的建立。**该研究采用指标综合评价法从水生态支持力和水环境压力2个方面来综合评价湖泊的水生态承载力<sup>[17]</sup>,计算承载力结果,参考杨子超<sup>[22]</sup>计算沙湖的分级标准,水生态承载力分级评价标准如表1所示。

## 2 结果与分析

**2.1 指标权重的确定** 使用DPS计算各指标权重,计算结果见表2。在准则层中,压力系统、支持力系统权重分别为0.750、0.250,表明压力系统对水生态承载力影响最大。在领域层中,针对水质常规指标的5个指标中,D5(BOD<sub>5</sub>)对其起决定性影响,权重为0.321;针对植物多样性承载力状况的3个指标中,D7(水生植物密度)对其起决定性影响,权重为0.067;针对动物多样性承载力状况的3个指标中,D10(底栖动物密度)对其起决定性影响,权重为0.036。综上所述,BOD<sub>5</sub>对星海湖水生态承载力影响最大。BOD<sub>5</sub>主要反映水体中可以被生物利用的有机物污染程度,是水中有机化合物等需氧物质含量的一个综合指标,其数值越高,表明水体污染

越严重<sup>[23]</sup>。郑灿等<sup>[15]</sup>在对星海湖浮游植物与水环境因子之间的相关性分析中,也得出 BOD<sub>5</sub> 对浮游植物生物量影响较大。

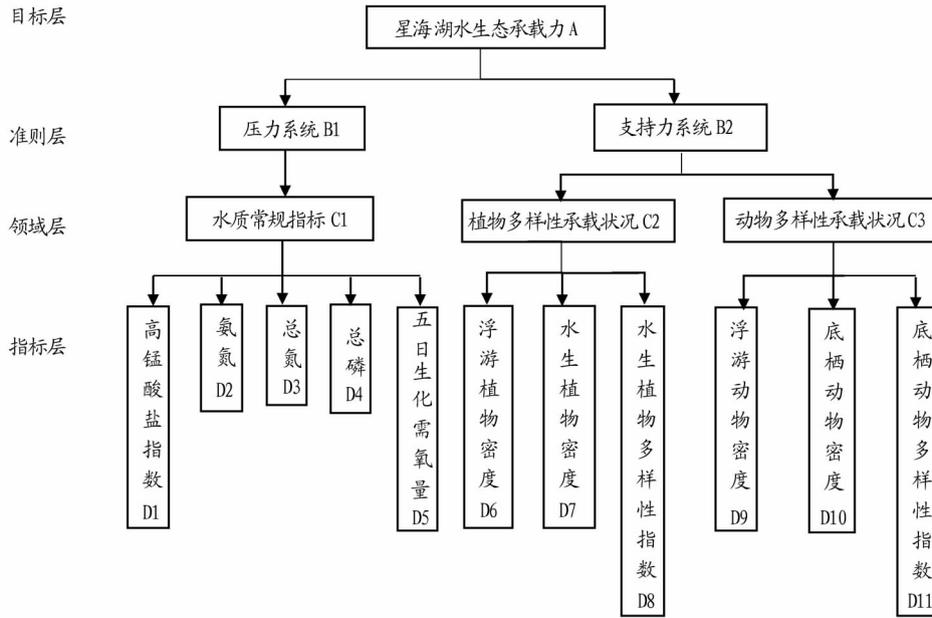


图 2 星海湖水生态承载力评价指标体系

Fig. 2 Evaluation index system of water ecological carrying capacity in Xinghai Lake

表 1 水生态承载力分级评价标准

Table 1 Graded evaluation criteria of water ecological carrying capacity

指数值 Index value	压力评价 Stress evaluation	支持力评价 Support evaluation	水生态承载力评价 Evaluation of water ecological carrying capacity
0~0.2	弱压	弱承载	不可承载
>0.2~0.4	低压	低承载	弱可承载
>0.4~0.6	中压	中等承载	基本可承载
>0.6~0.8	较高压	较高承载	可承载
>0.8	强压	高承载	良好可承载

**2.2 星海湖压力系统评价** 压力系统的综合评价用压力指数来表示。从表 3 和图 3 可以看出,2015—2017 年星海湖压力指数的季节性变化规律不显著。2015 和 2016 年由冬季到春季压力指数呈下降趋势,在春季取得最小;2017 年星海湖

压力指数由冬季至春季呈上升趋势,并在春季达到最大值(0.615),属于较高压区。2015 年夏季至秋季压力指数呈上升趋势,由中压状态转变为较高压状态;2016 和 2017 年夏秋两季均为中压状态,且压力指数有减轻的趋势。年度变化上看,2015—2017 年压力指数分别为 0.48、0.42、0.46,整体呈中压状态,水环境所受压力较大,与黄志国<sup>[9]</sup>对星海湖富营养状态评价为轻度富营养化、生态系统处于不健康状态的结果一致。造成星海湖水环境压力指数较大的主要原因在其自然因素和人为因素两方面。自然因素主要是指星海湖的主要补水源是黄河水,受蒸发量的影响,且缺乏对外扩散的途径,积累的污染物不断浓缩;人为因素是指星海湖周边水域的水产养殖投放饲料带来的氮磷等营养物质过剩,加剧星海湖水体富营养化<sup>[24]</sup>。应及时采取措施,应用生态渔业的养殖方式,禁止外源营养物质进入;针对黄河补水,建立严格的水源输入机制,关注黄河补水带入的污染物。

表 2 层次分析法确定的指标权重

Table 2 Index weights determined by analytic hierarchy process

目标层编号 Target layer number	准则层编号 Criterion layer number	准则层权重 Standard layer weight	领域层编号 Domain layer number	领域层权重 Domain layer weight	指标层编号 Index layer number	指标层权重 Index layer weight	指标总权重 Index total weight	重要性排序 Order of importance
星海湖水生态承载力(A) Water Ecological Carrying Capacity in Xinghai Lake	压力系统 B1	0.750	水质常规指标 C1	0.750	D1	0.171	0.128	3
					D2	0.100	0.075	5
					D3	0.191	0.143	2
					D4	0.110	0.083	4
					D5	0.428	0.321	1
	支持力系统 B2	0.250	植物多样性承载状况 C2	0.167	D6	0.200	0.033	10
					D7	0.400	0.067	6
					D8	0.400	0.067	7
			动物多样性承载状况 C3	0.083	D9	0.143	0.012	11
					D10	0.429	0.036	8
					D11	0.429	0.036	9

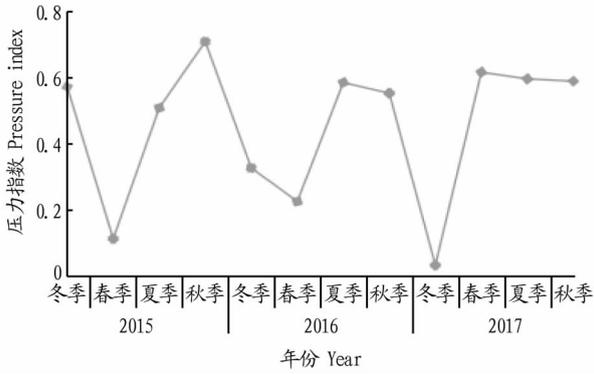


图3 星海湖压力指数变化

Fig. 3 Changes of the pressure index in Xinghai Lake

表3 星海湖压力指数综合评价

Table 3 Comprehensive evaluation value of pressure index in Xinghai Lake

年份	季节	压力指数	排序	分级
Year	Season	Pressure index	Ranking	Grading
2015	冬季	0.571	2	中压
2015	春季	0.115	4	弱压
2015	夏季	0.508	3	中压
2015	秋季	0.707	1	较高压
2016	冬季	0.328	3	低压
2016	春季	0.227	4	低压
2016	夏季	0.584	1	中压
2016	秋季	0.552	2	中压
2017	冬季	0.036	4	弱压
2017	春季	0.615	1	较高压
2017	夏季	0.595	2	中压
2017	秋季	0.588	3	中压

**2.3 星海湖支持力系统评价** 支持力系统的综合评价用承载指数来表示。从表4和图4可以看出,2015—2017年星海湖四季承载指数季节性变化规律显著,星海湖承载指数大致呈倒“V”型,夏季之前承载指数呈上升趋势,夏季之后开始下降,承载指数在夏季取得最大值,在冬季取得最小值。星海湖流域属于典型的大陆性气候,夏季阳光充足、植被生长情况良好,生态系统稳定程度较高,夏季承载指数最大表明星海湖在夏季受到外界干扰时,生态系统抗干扰能力和自我恢复能力较强。夏春龙<sup>[25]</sup>分析水库浮游植物群落结构得出夏季浮游植物密度、丰富度较高;赵睿智等<sup>[26]</sup>分析星海湖水生生物群落结构也得出浮游动植物夏季密度和生物量最高,冬季较低。从年度变化上看,2015—2017年星海湖承载指数分别为0.145、0.138、0.131,呈逐年下降趋势,均属于弱承载状态。吴岳玲等<sup>[27]</sup>用灰关联法对宁夏星海湖进行生态健康状况分析,表明星海湖处于亚健康状态,两者得出的结果具有一致性。推测由于星海湖流域旅游业快速发展,人类活动对生态环境自我修复产生扰动,如划船、游艇等,加剧了人为因素对湖底的扰动,使得底泥中的氮磷分解释放速率加快<sup>[28]</sup>。应加强周边旅游设施管理,确保无餐饮污水直排星海湖;合理增设公共卫生设施;加强对生态保护宣传,提高人们生态保护意识。

表4 星海湖承载指数综合评价

Table 4 Comprehensive evaluation value of carrying index in Xinghai Lake

年份	季节	承载指数	排序	分级
Year	Season	Carrying index	Ranking	Grading
2015	冬季	0.035	4	弱承载
2015	春季	0.091	3	弱承载
2015	夏季	0.244	1	弱承载
2015	秋季	0.209	2	弱承载
2016	冬季	0.023	4	弱承载
2016	春季	0.081	3	弱承载
2016	夏季	0.250	1	弱承载
2016	秋季	0.197	2	弱承载
2017	冬季	0.017	4	弱承载
2017	春季	0.076	3	弱承载
2017	夏季	0.250	1	弱承载
2017	秋季	0.182	2	弱承载

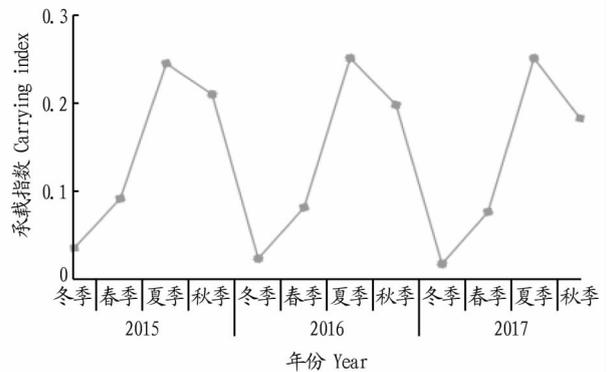


图4 星海湖承载指数变化

Fig. 4 Change of carrying index in Xinghai Lake

**2.4 星海湖水生态承载力评价** 水生态承载力指数是由压力指数和承载力指数共同作用的结果。从表5和图5可以看出,2015年星海湖水生态承载力在秋季达到最大值,2016和2017年星海湖水生态承载力在夏季达到最大值,且2015—2017年四季水生态承载力指数排序均存在差异。2015年星海湖水生态承载力指数由大到小依次为秋季、夏季、冬季、春季;2016年星海湖水生态承载力指数由大到小依次为夏季、秋季、冬季、春季;2017年星海湖水生态承载力指数由大到小依次为夏季、秋季、春季、冬季。2015年秋季星海湖水生态承载指数为3年数据的峰值,达到0.583,属于基本可承载状态。从年度变化上看,2015—2017年星海湖水生态承载力指数分别为0.39、0.35、0.38,介于0.21~0.40,处于弱可承载状态,与杨海江等<sup>[28]</sup>分析星海湖水水质得出水质级别达到V类,水质状况污染严重,不采取行动将进一步恶化的结论一致。星海湖污染源为渔业养殖、生活污水、黄河补水、山洪水、干湿沉降等<sup>[11]</sup>。针对星海湖水环境现状,除有效控制排污外,及时有效地清淤可以控制内源污染,增设星海湖缓冲带、引进适应星海湖气候和环境的植物群落可以净化功能改善星海湖水水质,提高其承载指数进而加强星海湖水生态承载力。

表 5 星海湖水生态承载力指数综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation value of water ecological carrying capacity index in Xinghai Lake

年份 Year	季节 Season	水生态承载力指数 Water ecological carrying capacity index	排序 Ranking	分级 Grading
2015	冬季	0.437	3	基本可承载
	春季	0.109	4	不可承载
	夏季	0.442	2	基本可承载
	秋季	0.583	1	基本可承载
2016	冬季	0.252	3	弱可承载
	春季	0.190	4	不可承载
	夏季	0.500	1	基本可承载
	秋季	0.463	2	基本可承载
2017	冬季	0.031	4	不可承载
	春季	0.480	3	基本可承载
	夏季	0.508	1	基本可承载
	秋季	0.486	2	基本可承载

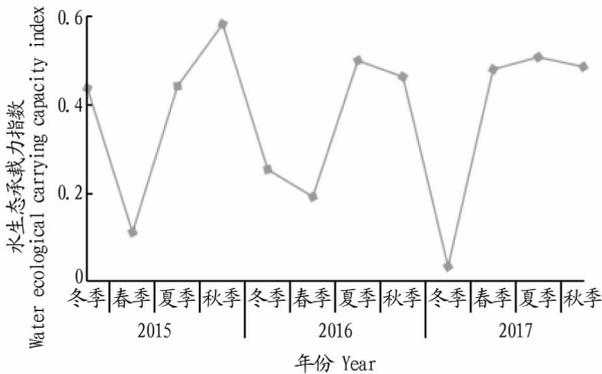


图 5 星海湖水生态承载力指数变化

Fig. 5 Changes of the water ecological carrying capacity index in Xinghai Lake

### 3 结论

(1) BOD<sub>5</sub> 主要反映水体中可以被生物利用的有机物污染程度,是水中有机化合物等需氧物质含量的一个综合指标。在星海湖水生态承载力权重分析中,BOD<sub>5</sub> 对星海湖水生态承载力影响最大。

(2) 星海湖压力指数的季节性变化规律不显著,2015—2017 年压力指数分别为 0.48、0.42、0.46,整体呈中压状态。2015 和 2016 年压力指数由冬季到春季呈下降趋势且在春季取得最小,2017 年呈上升趋势,并在春季达到最大值。2015 年夏季至秋季压力指数呈上升趋势,由中压状态转变为较高压状态;2016 和 2017 年夏秋两季压力指数呈减轻趋势,均为中压状态。

(3) 星海湖承载指数季节性变化规律显著,2015—2017 年星海湖承载指数分别为 0.145、0.138、0.131,整体呈弱承载状态。星海湖承载指数大致呈倒“V”型,夏季之前承载指数呈上升趋势,夏季之后开始下降,承载指数在夏季取得最大值,在冬季取得最小值。

(4) 星海湖水生态承载指数季节性变化规律不显著,2015—2017 年星海湖水生态承载力指数分别为 0.39、0.35、0.38,处于弱可承载状态。2015 年星海湖水生态承载力指数由大到小依次为秋季、夏季、冬季、春季;2016 年星海湖水生态承载力指数由大到小依次为夏季、秋季、冬季、春季;2017 年星海湖水生态承载力指数由大到小依次为夏季、秋季、春季、冬季。

### 参考文献

- [1] 彭文启. 流域水生态承载力理论与优化调控模型方法[J]. 中国工程科学, 2013, 15(3): 33-43.
- [2] PARK R E, BURGESS E W. Introduction to the science of sociology[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1921.
- [3] BAILEY J A. Principles of wildlife management[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1984.
- [4] 李林子, 傅泽强, 沈鹏, 等. 基于复合生态系统原理的流域水生态承载力内涵解析[J]. 生态经济, 2016, 32(2): 147-151.
- [5] 李靖, 周孝德. 叶尔羌河流域水生态承载力研究[J]. 西安理工大学学报, 2009, 25(3): 249-255.
- [6] 孙树婷, 周忠发, 李世江. 基于层次分析和状态空间的石漠化地区生态承载力[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(8): 1786-1789, 1796.
- [7] 廖宁, 李洪, 李嘉, 等. 基于主成分分析的西南山区典型河道型水库富营养化评价[J]. 中国农村水利水电, 2019(11): 104-109.
- [8] 李丹, 黄川友, 殷彤, 等. 基于改进生态足迹法的雅砻河源区生态承载力评价及保护措施[J]. 水电能源科学, 2018, 36(3): 38-41.
- [9] 黄志国. 宁夏星海湖湿地水质监测及生态系统健康评估[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2018, 39(4): 367-372, 379.
- [10] 肖燕. 石嘴山市星海湖湿地湖泊水环境研究[J]. 中国高新科技, 2019(2): 48-50.
- [11] 马忠平. 星海湖水体富营养化现状调查及成因分析[J]. 上海农业学报, 2018, 34(6): 18-22.
- [12] 伍冠星, 李斌, 白维东, 等. 星海湖水环境因子时空异质性及水环境质量综合评价[J]. 节水灌溉, 2017(3): 48-52.
- [13] 李阳. 石嘴山市星海湖天然补给水量及氟离子量分析研究[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(11): 155-157, 160.
- [14] 李延林, 郑灿, 邱小琮, 等. 宁夏腾格里湖水质及富营养化现状分析与评价[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(15): 309-315.
- [15] 郑灿, 段杰仁, 石伟, 等. 星海湖浮游植物群落结构及与水环境因子的关系[J]. 水产学杂志, 2020, 33(1): 46-52.
- [16] 李斌, 白维东, 赵睿智, 等. 星海湖浮游生物群落结构特征研究[J]. 宁夏农林科技, 2016, 57(11): 59-63.
- [17] 赵增锋, 石伟, 邱小琮, 等. 基于层次分析法的星海湖水生态承载力评价[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(2): 213-219.
- [18] 杨谦, 刑立文, 赵璐. 基于改进层次分析法的四川省生态承载力评价[J]. 资源开发与市场, 2019, 35(2): 190-196.
- [19] 邱小琮, 赵红雪, 尹娟, 等. 爱伊河水环境因子分析与水质综合评价[J]. 中国农村水利水电, 2014(12): 52-55.
- [20] 狄磊. 基于层次分析法的河长制流域健康评价[J]. 地下水, 2019, 41(6): 151-154.
- [21] 方燕, 党志良. 基于层次分析法的渭河流域水环境质量综合评价[J]. 水资源与水工程学报, 2005, 16(1): 45-48.
- [22] 杨子超. 宁夏沙湖水生态承载力研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2019.
- [23] 余琼虹, 林颂雄, 许广元, 等. 废水 BOD<sub>5</sub> 分析过程中的问题探讨[J]. 当代化工研究, 2020(1): 102-103.
- [24] 刘阳. 星海湖现有水体污染源调查[J]. 宁夏农林科技, 2012, 53(10): 133-134.
- [25] 夏春龙. 水库浮游植物群落结构与富营养化评价[J]. 水利技术监督, 2019, 27(4): 54-57.
- [26] 赵睿智, 王晓奕, 赵红雪, 等. 星海湖水生生物群落结构及鱼产力评估[J]. 渔业现代化, 2018, 45(3): 34-40.
- [27] 吴岳玲, 郭琦, 邱小琮, 等. 星海湖水生生态系统健康评价[J]. 水力发电, 2020, 46(5): 1-4, 66.
- [28] 杨海江, 钟艳霞, 罗玲玲, 等. 基于贝叶斯的星海湖湿地水质评价及特征分析[J]. 节水灌溉, 2018(4): 92-95, 104.