

陕西瀛湖富营养化特征与控制对策

王彤¹, 张玲¹, 李英杰², 沈海燕³, 邓彦², 江维¹

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 西安 710054; 2. 陕西省环境科学研究院, 西安 710061;
3. 陕西省安康市汉滨区环保局, 安康 725000)

摘要:陕西省安康市境内的瀛湖是南水北调中线工程丹江口水库的重要水源地,随着社会经济的的发展和人类活动的加剧,2001年开始出现水华。为保护其水生态环境,依据2015年实测数据,采用综合营养指数法对瀛湖水体进行营养状态评价。结果表明:(1)瀛湖目前年均综合营养指数为43.78,整体上处于中营养水平,总磷、总氮和叶绿素a对综合营养指数的贡献率最大,合计达到78.34%;(2)瀛湖水体TP和TN浓度分别为0.2 mg/L和1.2 mg/L,从营养盐水平上看,已处于富营养化状态,存在暴发大面积水华的风险;(3)瀛湖各采样点的综合营养状态指数在39.58~46.31,相差不大,总氮、总磷的营养指数在整个湖区也比较均匀,表明总氮和总磷污染物来自安康市汉滨区以上更为上游的汉江流域;(4)基于瀛湖的生态特点,结合当地社会经济发展状况,建议瀛湖选择适宜的渔业发展模式,形成健康的水生生态系统结构,探究瀛湖热分层规律,优化大坝水调度方案,实施全流域环境-经济协同管理战略,削减入湖污染物。

关键词:瀛湖;综合营养指数;富营养化;水华

中图分类号:X824 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2017)05-0029-06

湖泊是我国最重要的淡水资源之一,具有防洪、供水、渔业、旅游和气候调节等多种功能,对社会经济的发展具有重大意义(王圣瑞等,2014)。近年来,随着环保工作的不断加强,我国湖泊水质急剧恶化的趋势得到遏制,但湖泊生态安全形势仍不容乐观。2013年对全国646座水库的营养状态评价结果显示,58.0%的水库为中营养,42.0%为富营养,水库富营养化问题较为突出(施沁璇等,2015)。《2014年中国环境状况公报》显示,全国62个重点湖泊(水库)中,15个水质为IV类,4个为V类,5个为劣V类。

湖泊及水库富营养化的敏感性与其水动力学条件和所在区域气候条件等关系密切(张远等,2006)。水库水动力学特征因其特有的形态结构及吞吐特征而与河流、湖泊不同,可被划分为河流类型区、过渡类型区和湖泊类型区(林秋奇等,2001)。在一定的营养状态下,河流区水体较难爆发水华,而湖泊区水体容易爆发水华(张远等,2006)。独特的

水动力学特征和水库调节方式,形成了其不同于河流和湖泊的水生态系统特征(王丽婧等,2010)。通过与瀛湖同属湿润亚热带季风气候峡谷型深水水库的三峡水库、千岛湖等的研究显示,其富营养化特征明显区别于湖泊(郑丙辉等,2006;刘其根等,2007;杨梅玲等,2013;王司阳等,2015)。因此,富营养化及其影响因素的研究对于水库环境管理至关重要(余员龙等,2010)。

陕西省瀛湖是安康水电站大坝拦蓄汉江形成的最大人工湖,南水北调中线工程丹江口水库的重要水源地,承担着丹江口水库60%的供水量。由于普遍认为瀛湖水质较好,长期以来,关于其科学研究工作非常少,且主要集中在水产养殖和旅游等方面。由于瀛湖湖滨带不发育,几乎无大型水生植物生长,所在山区多云雾,影响光照,其水生态系统特征具有独特性。近年来,随着社会经济的的发展和人类活动的加剧,瀛湖富营养化问题更是日益凸显。基于此,2015年以来,项目组对陕西瀛湖开展了大量实地调查工作,并根据监测结果,分析了其富营养化特征与控制对策。

1 研究方法

1.1 湖泊概况

瀛湖位于陕西省安康市西南15 km处,主要由汉江及岚河两条河谷形成,湖内有港岔70余条,水

收稿日期:2016-07-14

基金项目:国家良好湖泊专项瀛湖湖泊生态环境保护项目;陕西省社会发展科技攻关项目(2015SF293)。

作者简介:王彤,1965年生,男,硕士,副教授,主要从事给排水系统优化。E-mail:894496318@qq.com

通信作者:李英杰,1978年生,男,博士,高级工程师,主要从事水生态环境保护研究。E-mail:hkyliyingjie@126.com

质清澈,素有“陕西千岛湖”之称(图1)。湖泊水域面积77.8 km²,库容量为25.8亿 m³,流域面积约7400 km²;属北亚热带湿润季风气候,年均气温为15.7℃,降雨量799.4 mm。20世纪90年代以前,瀛湖水水质良好;近年来,瀛湖水环境问题日渐突出(李

英杰等,2015),水华最早出现于2001年,随着污染的加重,水华出现的频次、时间、面积呈逐年增加的趋势。2009年4月,安康市环境监测站对瀛湖码头、新客运码头、郭家岩断面的监测显示,TP超过地表水环境质量II类标准值的3.4~4.7倍。

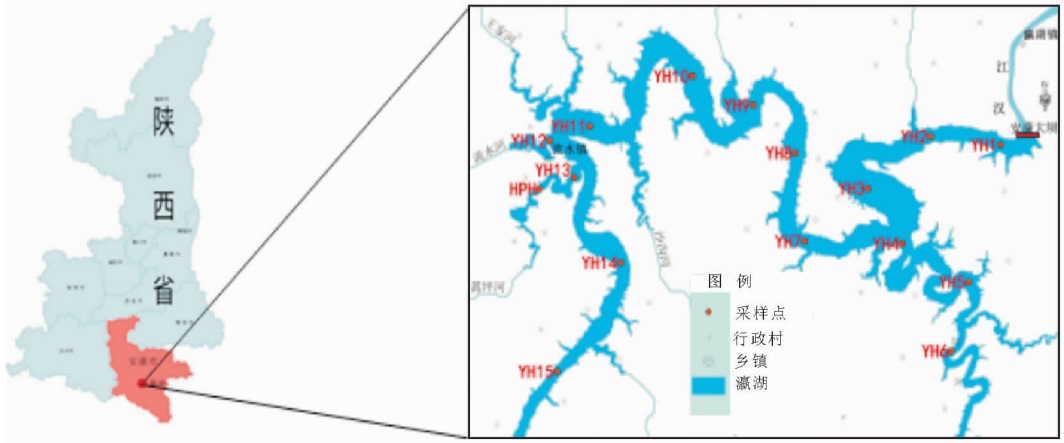


图1 瀛湖地理位置与采样站点设置

Fig. 1 Geographic region of Yinhu Lake and location of sampling sites

1.2 采样与分析

根据《水质采样技术指导(HJ494-2009)》和《水质采样方案设计技术规范(HJ495-2009)》等相关技术规范要求,结合水库的地理特点,在水库的主要水面(安康市汉滨区范围)设16个采样点(图1),其中YH5、YH6和HPH为支流回水河段,YH4、YH12和YH13为河口区,其余10个样点为干流库区。分别于2015年1月下旬、4月下旬、7月下旬和12月初进行水样采集。将采集水样预处理后带回实验室,根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)以及《水和废水监测分析方法(第4版)》分析测定高锰酸盐指数(COD_{Mn})、总磷(TP)、总氮(TN)、叶绿素(Chl-a)等31项指标,并现场测定透明度(SD)、pH等指标。

1.3 评价方法

早期的研究只考虑氮、磷指标,随着研究的深入,大多数学者认为应采用多因子的判别标准,通过综合分析来划分营养等级(张蕊等,2012)。基于多因子判别标准,一些研究者先后提出灰色关联法、打分统计法、经验频率法、贝叶斯方法、模糊评价法、向量评价法、综合营养状态指数法(TLI)等多种富营养化评价方法。谢平等(2015)对多种评价方法的研究显示,由于依据的原理不同,各个方法获得的精度不一,具有各自的适用条件,打分统计法、模糊评价法和综合营养状态指数法适用于评价富营养程度较低的湖泊。同时基于综合营养状态指数法是我国

良好湖泊专项考核时认可的湖泊营养状态评价方法,是湖泊营养状态评价的主要定量方法之一,本文采用综合营养指数法评价瀛湖富营养化程度(王鹤扬,2012)。

综合营养指数法是将某些指标及含量加权求和后转换为综合营养状态指数TLI(Σ),计算公式如下:

$$TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot TLI(j)$$

式中:W_j为第j种参数的营养状态指数的相关权重;TLI(j)为第j种参数的营养状态指数。

W_j的计算公式如下:

$$W_j = r_{ij}^2 / \sum_{j=1}^m r_{ij}^2$$

式中:r_{ij}²—第j种参数与基准参数Chl-a的相关系数;m—评价参数的个数。

中国湖泊(水库)的叶绿素a与其他参数之间的相关关系r_{ij}及r_{ij}²见表1。表中r_{ij}来源于中国26个主要湖泊调查数据的计算结果(金相灿,1995)。

表1 湖泊(水库)叶绿素a与其他指标之间的相关系数

Tab.1 Relationship between Chl-a and other environmental parameters in lakes of China

参数	Chl-a	TP	TN	SD	COD _{Mn}
r _{ij}	1	0.84	0.82	-0.83	0.83
r _{ij} ²	1	0.7056	0.6724	0.6889	0.6889

各指标营养状态指数计算公式为:

$$TLI(\text{Chl-a}) = 10(2.5 + 1.086 \ln \text{Chl-a})$$

$$TLI(TP) = 10(9.436 + 1.624 \ln TP)$$

$$TLI(TN) = 10(5.453 + 1.694 \ln TN)$$

$$TLI(SD) = 10(5.118 - 1.94 \ln SD)$$

$$TLI(COD_{Mn}) = 10(0.109 + 2.661 \ln COD_{Mn})$$

式中: Chl-a 单位为 mg/m^3 ; SD 单位为 m; 其他指标单位均为 mg/L 。

根据综合营养指数 (TLI), 将水库营养状态划分为 3 个类别。贫营养: $TLI < 30$; 中营养: $30 \leq TLI (\Sigma) \leq 50$; 富营养: $TLI (\Sigma) > 50$; 其中富营养又可进一步划分, 轻度富营养: $50 < TLI (\Sigma) \leq 60$; 中度富营养: $60 < TLI (\Sigma) \leq 70$; 重度富营养: $TLI (\Sigma) > 70$ 。在同一营养状态下, 指数值越高, 其营养程度越重。

2 结果与讨论

2.1 瀛湖整体营养水平

由表 2 可以看出, 瀛湖目前年均综合营养指数为 43.78, 整体上属于中营养水平。从月份上看, 瀛湖营养指数由高到低依次为 7 月、4 月、12 月和 1 月。营养水平季节性差别大, 7 月的营养状态指数最高, 为 53.08, 已属轻度富营养化水平, 而 1 月仅 31.77, 仅为中营养水平。这与浙江青山水库不同, 其总体为中营养, 富营养化状态以 4 月最低、7 月最高 (施沁璇等, 2015); 但与瀛湖实际状况相符。

生物调查结果显示, 春夏季均是藻华的暴发季节, 各调查点位浮游藻类细胞数量较多, 平均数量在 1.2×10^6 个/L 以上; 春季主要由硅藻和隐藻组成, 夏季主要由硅藻、裸藻、绿藻和隐藻组成; 夏秋季节, 蓝藻数量逐渐增加, 个别点位铜绿微囊藻、小席藻等蓝藻成为优势种; 春夏季部分时段, 水华条带在多个湖区出现, 水体颜色变深发褐, 呈酱油色; 水体透明度由冬季的 6.0 m 降至约 1.0 m。

国际上一般认为湖水中总氮 (TN) 达到 0.2 mg/L 、总磷 (TP) 达到 0.02 mg/L 是富营养化开始发生的浓度 (吴雅丽等, 2013)。经济合作与发展组织 (OECD) 在 1982 年提出, 平均总磷浓度大于 0.035 mg/L 、平均叶绿素浓度大于 0.008 mg/L 、平均透明度小于 3.0 m 即为富营养化标准 (秦伯强等, 2013)。最新研究发现, 从温带至亚热带, 中等水深和中等面积的浅水湖泊稳态转换的湖水总磷阈值大致相等, 清-浊转换阈值为 0.08 ~ 0.12 mg/L , 浊-清转换阈值为 0.04 ~ 0.06 mg/L (Wang et al, 2014)。目前, 瀛湖水体 TP、TN 和叶绿素 a 的平均

浓度分别约为 0.20 mg/L 、1.2 mg/L 和 0.004 mg/L , 按照以上标准, 已处于富营养化状态。之所以未暴发大面积水华, 初步分析是因为水华暴发除需具备营养盐条件外, 水动力条件、光照和气温等因素也是重要原因。瀛湖为峡谷型深水水库, 平均水深约 60 m, 藻华暴发的春夏季, 底泥内源污染难以释放进入湖水表层, 也不利于藻类复苏。气候上湿热多雨, 年均气温 15.7 $^{\circ}C$, 表层 0.5 m 深度水温为 7.50 ~ 33.47 $^{\circ}C$, 个别季节具备暴发水华条件。瀛湖平均水力滞留时间约 0.13 年, 多年平均流速为 0.012 ~ 0.065 m/s , 多年月均流速 0.003 ~ 0.128 m/s , 水动力条件变化剧烈, 年际年内变化大。一般认为水华爆发的临界流速在 0.08 ~ 0.10 m/s 。因此, 个别年份瀛湖仍有暴发大面积水华的风险。

表 2 瀛湖水体指标的营养状态指数与分级

Tab.2 Variation of the comprehensive trophic level index (TLI) and nutrient levels in Yinhu Lake over time

项目	不同采样时间的营养状态指数				年均值
	1 月	4 月	7 月	12 月	
Chl-a	25.84	34.45	51.14	31.16	40.30
TP	72.37	77.78	72.07	42.14	70.35
TN	56.16	57.27	56.46	60.65	57.84
SD	24.73	41.84	51.24	17.44	29.84
COD _{Mn}	-17.98	24.87	35.00	19.16	21.81
TLI (Σ)	31.77	46.27	53.08	33.78	43.78
分级	中营养	中营养	轻度富营养	中营养	中营养

2.2 不同湖区的营养水平

从表 3 可以看出, 瀛湖干流库区、河口区以及支流回水河段的综合营养状态指数在 39.58 ~ 46.31, 均处于中营养状态, 分布比较均衡。河口区的综合营养状态指数均值为 40.89, 是 3 类库区中最低的, 主要表现为叶绿素 a 和高锰酸盐指数等指标营养状态指数较低, 分别为 31.56 和 15.82。结合实地调查推测, 可能原因是监测的 3 个河口区地势上比较开阔, 不利于表层藻类和为湖泊带来营养物的漂浮物的积聚; 而河口区透明度指标的营养状态指数为 33.38, 明显高于主体库区和河流入湖库区。总氮、总磷 2 项指标的营养指数在整个湖区分布均匀, 总磷营养指数值在整个湖区为 65.58 ~ 74.81, 总氮为 56.14 ~ 61.73, 3 类库区没有明显差别。较一致的营养水平, 说明整个调查水域水质状况基本相同; 从营养物来源看, 没有较突出的污染源, 说明瀛湖上游河流区是污染物的主要来源。三峡水库支流营养盐主要来源于长江干流的顶托作用 (罗专溪等, 2007), 可佐证此推断。

表3 瀛湖水体各样点营养状态指数与分级

Tab.3 Comprehensive trophic level index (TLI) and nutrient levels for each sampling site in Yinhu Lake

采样区域	样点编号	测定指标					TLI(Σ)	营养状态
		SD	Chl-a	TP	TN	COD _{Mn}		
干流库区	YH1	27.16	42.97	69.02	56.60	19.13	43.03	中营养
	YH2	28.69	41.33	74.81	56.30	23.70	44.75	中营养
	YH3	29.55	42.74	69.77	56.60	20.70	43.84	中营养
	YH7	31.48	48.43	70.49	58.31	21.57	46.31	中营养
	YH8	31.96	46.16	69.02	57.04	23.36	45.62	中营养
	YH9	30.36	45.09	71.18	57.04	24.04	45.57	中营养
	YH10	29.85	38.32	71.18	58.58	21.57	43.50	中营养
	YH11	30.01	33.81	69.77	58.17	20.31	41.76	中营养
	YH14	30.86	32.14	70.49	58.58	20.95	41.79	中营养
	YH15	34.60	34.86	71.18	60.23	29.04	45.11	中营养
	平均	30.36	41.81	70.49	57.76	22.54	44.42	中营养
河口区	YH4	31.61	30.10	69.02	57.33	17.45	40.25	中营养
	YH12	38.06	30.31	70.49	56.14	7.86	39.79	中营养
	YH13	31.21	33.85	71.18	57.76	20.57	42.23	中营养
	平均	33.38	31.56	70.49	57.04	15.82	40.89	中营养
支流回水河段	YH5	25.26	33.16	65.58	57.90	18.72	39.58	中营养
	YH6	23.57	48.24	73.10	56.45	26.51	45.87	中营养
	HPH	27.73	34.64	69.77	61.73	27.51	43.52	中营养
	平均	25.44	40.97	69.77	58.84	24.49	43.71	中营养

2.3 不同水质因子对综合营养指数的贡献率

图2为各评价指标的营养状态指数加权值 $W_j \times TLI(j)$ 。瀛湖全年的综合营养状态指数为43.78, 叶绿素a、总磷、总氮、透明度、高锰酸盐指数的加权值分别为10.73、13.22、10.36、5.47、4.00, 相应地各指标的贡献率分别为24.54%、30.23%、23.57%、12.51%、9.15%, 可见总磷、总氮、叶绿素a三者贡献率达到了78.34%。从图2还可以看出, 总磷、总氮、叶绿素a这3项指标对于1、4、7、12月瀛湖营养水平的贡献也一直是处于前3位的。总磷是1月和4月最主要的贡献因子, 总氮和叶绿素a分别是12月和7月最主要的贡献因子, 高锰酸盐指数和透明度的贡献因子较小。1月高锰酸盐指标贡献值为负, 原因在于1月所有调查点位高锰酸盐指数均小于1 mg/L。

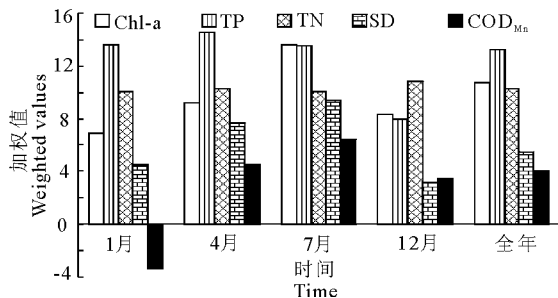


图2 瀛湖各月份及全年水质因子加权值

Fig.2 Weighted values of each water quality factor for each sampling period and over the year in Yinhu Lake

相关分析显示, 瀛湖叶绿素a、总磷、总氮、透明度、高锰酸盐指数与综合营养指数的相关系数分别为0.88、0.55、0.02、-0.45、0.72。可见叶绿素a、总磷和高锰酸盐指数与综合营养指数的相关性较好, 与透明度呈负相关, 而与总氮几乎没有相关性。因此, 推测总磷和高锰酸盐指数是瀛湖富营养化的限制因子, 也是今后控制的重点。对浙江千岛湖的调查研究显示, 其河流类型区叶绿素a与总氮存在一定的弱相关性, 湖泊类型区则与总磷存在一定的弱相关性(杨梅玲等, 2013)。对三峡水库支流的监测数据进行分析, 叶绿素与总氮、总磷、透明度和高锰酸盐指数的相关系数分别为0.35、0.48、-0.11和0.55(许秋瑾等, 2010)。可见这些峡谷型深水水库的磷、氮与叶绿素a相关性均不高。

3 瀛湖水体富营养化控制对策

从瀛湖生态特点上看, 属于狭长的河道型深水水库, 水深坡陡, 几乎无大型水生植物生长。因此, 从水生态系统的角度看, 主要存在浮游植物、浮游动物和大型水生动物(鱼类)之间的生态学联系。对类似水库千岛湖的研究显示, 1998年和1999年大面积水华的发生, 可能与鲢鳙生物量的显著减少关系密切(刘其根等, 2007)。

通过对瀛湖热分层的初步调查显示, 夏季高温时期, 温度会在深度方向上形成稳定的分层现象。水库稳定分层的形成会对水体理化指标(如溶解

氧、氮、磷等)产生较大影响(王煜等,2009)。在主要由干支流温度差引起的分层异重流作用下,长江干流水体在冬季、春夏季、秋季分别通过底层、中层和表层倒灌入支流库湾,可为支流库湾提供丰富的营养盐;另一方面,分层异重流驱动下的混合层与临界层的关系变化,通过影响藻类增殖决定支流库湾水华生消;水库水位升降可通过改变支流水体分层状态等调控支流水华的生消过程(刘德富等,2016)。

基于上述认识,建议研究瀛湖适宜的渔业发展模式,形成健康的水生生态系统结构;探究瀛湖热分层规律,通过优化大坝水调度方案调控水华生消过程;通过实施全流域环境-经济协同管理战略,控制入湖污染物,特别是控制磷污染。

4 结论

(1)瀛湖年均综合营养指数为 43.78,整体上属于中营养水平。叶绿素 a、总磷、总氮、透明度、高锰酸盐指数的贡献率分别为 24.54%、30.23%、23.57%、12.51%、9.15%,总磷、总氮、叶绿素 a 的贡献率最大,合计达到了 78.34%。相关性分析显示,磷和高锰酸盐指数可能是瀛湖富营养化的限制因子。

(2)瀛湖水体 TN 和 TP 的平均浓度为 1.2 mg/L 和 0.2 mg/L,已处于富营养化状态,存在大面积暴发藻类水华的风险,春夏季水华条带在多个湖区的经常性出现应引起重视。

(3)瀛湖主体库区、河口库区以及河流入湖库区 16 个采样点的综合营养状态指数在 39.58 ~ 46.31,均处于中营养状态,分布比较均衡。总氮、总磷的营养指数在整个湖区分布也较均匀,上游汉江流域应是污染物的主要来源。

(4)基于瀛湖的生态特点,结合当地社会经济发展状况,建议瀛湖的生态环境保护工作重点是调整水生生态系统物种组成、优化大坝水资源调度方案和实施全流域环境-经济协同管理战略。

参考文献

金相灿,1995. 中国湖泊环境[M]. 北京:海洋出版社.
李英杰,王亚萍,孙长顺,等,2015. 瀛湖水环境问题调查研究[J]. 中国农村水利水电,(1):120-122.
林秋奇,韩博平,2001. 水库生态系统特征研究及其在水库水质管理中的应用[J]. 生态学报,21(6):1034-1040.
刘德富,杨正健,纪道斌,等,2016. 三峡水库支流水华机理

及其调控技术研究进展[J]. 水利学报,47(3):443-454.
刘其根,陈立侨,陈勇,2007. 千岛湖水华发生与主要环境因子的相关性分析[J]. 海洋湖沼通报,(1):117-124.
罗专溪,朱波,郑丙辉,等,2007. 三峡水库支流回水河段氮磷负荷与干流的逆向影响[J]. 中国环境科学,27(2):208-212.
秦伯强,高光,朱广伟,等,2013. 湖泊富营养化及其生态系统响应[J]. 科学通报,58(10):855-864.
施沁璇,韦肖杭,施礼科,等,2015. 浙江青山水库富营养化状况评价[J]. 水生态学杂志,36(4):20-24.
王鹤扬,2012. 综合营养状态指数法在陶然亭湖富营养化评价中的应用[J]. 环境科学与管理,37(9):188-194.
王丽婧,郑丙辉,2010. 水库生态安全评估方法(I): IROW 框架[J]. 湖泊科学,22(2):169-175.
王圣瑞,郑丙辉,金相灿,等,2014. 全国重点湖泊生态安全状况及其保障对策[J]. 环境保护,42(4):39-42.
王司阳,周子俊,汪志聪,等,2015. 三峡水库营养元素的分布及其与藻类生长的关系[J]. 水生生物学报,39(5):910-919.
王煜,戴会超,2009. 大型水库水温分层影响及防治措施[J]. 三峡大学学报(自然科学版),31(6):11-14.
吴雅丽,许海,杨桂军,等,2013. 太湖春季藻类生长的磷营养盐阈值研究[J]. 中国环境科学,33(9):1622-1629.
谢平,陈海健,李彬彬,等,2015. 湖泊富营养化组合评价的方差大小加权法[J]. 中国科学(科学技术),45(12):1321-1328.
许秋瑾,郑丙辉,朱延忠,等,2010. 三峡水库支流营养状态评价方法[J]. 中国环境科学,30(4):453-457.
杨梅玲,胡忠军,刘其根,等,2013. 利用综合营养状态指数和修正的营养状态指数评价千岛湖水质变化(2007-2011年)[J]. 上海海洋大学学报,22(2):240-245.
余员龙,任丽萍,刘其根,等,2010. 2007-2008年千岛湖营养盐时空分布及其影响因素[J]. 湖泊科学,22(5):684-692.
张蕊,苏婧,霍守亮,等,2012. 抚仙湖营养状态评价及营养物水质标准制定[J]. 环境工程技术学报,2(3):218-222.
张远,郑丙辉,富国,等,2006. 河道型水库基于敏感性分区的营养状态标准与评价方法研究[J]. 环境科学学报,26(6):1016-1021.
郑丙辉,张远,富国,等,2006. 三峡水库营养状态评价标准研究[J]. 环境科学学报,26(6):1022-1030.
Wang H J, Wang H Z, Liang X M, et al, 2014. Total phosphorus thresholds for regime shifts are nearly equal in subtropical and temperate shallow lakes with moderate depths and areas[J]. Freshwater Biology, 59:1659-1671.

Eutrophication Characterization and Control Strategies in Yinhu Lake of Shaanxi Province

WANG Tong¹, ZHANG Ling¹, LI Ying-jie², SHEN Hai-yan³, DENG Yan², JIANG Wei¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, P. R. China;

2. Shaanxi Provincial Academy of Environmental Science, Xi'an 710061, P. R. China;

3. Hanbinqu Branch of Ankang Environmental Protection Bureau, Ankang 725000, P. R. China)

Abstract: Yinhu Lake in Shaanxi Province is an important water resource of Danjiangkou Reservoir, part of the middle route of the south-north water diversion project. With economic development and intensification of human activities, eutrophication problems in Yinhu Lake have intensified, and the frequency, duration and area of algae blooms are increasing year by year since the first bloom occurred in 2001. Thus, research on eutrophication and influencing factors is important for protecting lake water quality. In late January, April, July and early December of 2015, field investigation of water quality was carried out at 16 sampling sites in Yinhu Lake. Water samples were collected for determination of COD_{Mn} , TP, TN and Chl-a, and transparency and pH were measured in situ. Eutrophication characteristics and control strategies were explored based on the monitoring data. The comprehensive trophic level index TLI (Σ) was used for eutrophication assessment. Results show that: (1) the average annual TLI of Yinhu Lake was 43.78, implying the lake is mesotrophic. The trophic level of Yinhu Lake varied with season, with the highest TLI (53.08) in July and the lowest TLI (31.77) in January. The combined contribution of TP, TN and Chl-a to the TLI was 78.34%. The correlation coefficients between TLI and Chl-a, TP, TN, transparency and COD_{Mn} were, respectively, 0.88, 0.55, 0.02, -0.45 and 0.72; TP and COD_{Mn} are the limiting factors of eutrophication in Yinhu Lake. (2) The concentrations of TP (0.2 mg/L) and TN (1.2 mg/L) in Yinhu Lake are high, indicating a high risk of large scale algae blooms. (3) The range of TLI over all the sampling sites was 39.58 - 46.31 and differences among sites were not significant, nor was there significant difference between the nutrient indices for TN and TP. Hence, we can infer that pollution from the upper Hanjiang River basin, above Hanbin, is the main source of TN and TP to Yinhu Lake. (4) Based on the ecological characteristics of Yinhu Lake and the economic development condition in the local area, three recommendations are made for the ecological management of Yinhu Lake: (1) explore fishery development patterns that result in a healthy aquatic ecosystem structure; (2) optimize reservoir operations based on thermal stratification; (3) reduce pollutant emissions and use environmental economics to guide management of the entire river basin.

Key words: Yinhu Lake; comprehensive trophic level index (TLI); eutrophication; algae bloom