

上海市淀山湖水域春夏季水质特征及环境容量分析

张玉平, 张丹, 孙振中

(上海市水产研究所 渔业检验监测中心, 上海 200433)

摘要: 根据2011–2015年间春夏季对上海市淀山湖水域中pH、水温、溶解氧、总氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、总氮及总磷等环境因子的调查结果,分析水体中氮磷变化特征及营养盐限制状态,采用综合营养状态指数法对水体富营养化现状进行评价,利用数学模型估算淀山湖主要特征污染物的环境容量。结果表明:调查期间TN、TP春季与夏季存在显著差异,除2014年TP季节规律不明显外,春季TN、TP含量显著高于同年夏季;淀山湖三态氮含量排序, NO_3^- -N含量最高,TAN其次, NO_2^- -N最低,淀山湖水域三态氮基本达到热力学平衡;氮磷Pearson相关性分析表明湖区整体呈氧化性环境,氮磷补给具有异源性。根据水中营养物限制性分类标准分析得出,大多数情况下淀山湖水域氮磷比例合理,少数情况下营养盐限制状态以磷限制为主,氮磷限制状态交替存在的情况,可能会对浮游植物生长和群落演替产生影响。综合营养状态指数法计算结果表明调查期间淀山湖均处于富营养化状态,其中2014年之前基本处于中度富营养化状态,2014年以后处于轻度富营养化状态。环境容量分析表明除2014年夏季 COD_{Mn} 外,调查期间淀山湖水体 COD_{Mn} 、TN及TP的污染负荷现状均大于同期保护目标要求的水环境容量,为达到水环境保护的目标,需要进行不同程度的削减。

关键词: 氮磷营养盐; 营养物限制性分类标准; 综合营养状态指数法; 水环境容量; 淀山湖

中图分类号: X824

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)06-0090-07

Water quality and water environmental assessment of Dianshan Lake in Shanghai

ZHANG Yuping, ZHANG Dan, SUN Zhenzhong

(Fishery Inspection Monitoring Center, Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai 200433, China)

Abstract: In this paper, the variation features of nitrogen and phosphorus, and the state of nutrient limitation were analyzed based on the survey results of environmental factors such as pH, water temperature, dissolved oxygen, total ammonia nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, total nitrogen and total phosphorus in Dianshan lake waters of Shanghai during spring and summer of 2011–2015. Eutrophic status of the lake was also assessed by integrated index. Then mathematical model was chosen for calculation of water environmental capacity of the main pollutants of Dianshan lake. The results showed that there was a significant difference between TN and TP in the spring and summer during the survey period, and the concentration of TN and TP in spring was significantly higher than in summer except 2014. During the whole survey the highest content of NO_3^- -N was found in Dianshan Lake, Followed by TAN. NO_2^- -N was the lowest, and three forms of nitrogen had reached thermodynamic equilibrium. Correlation analysis showed that Dianshan Lake was in the oxidation environment and the nitrogen and phosphorus supplies were heterogeneous. Distribution of nitrogen and phosphorus was reasonable in most cases and state of nutrient limitation was given priority to phosphorus limitation according to the analysis by water nutrient restriction classification standard. The alternate existence of nitrogen and phosphorus limitation might be having an influence on phytoplankton growth and community succession. During the whole survey Dianshan Lake was in the state of eutrophication, and the lake was under the moderate eutrophication status

收稿日期: 2017-07-18; 修回日期: 2017-08-11

基金项目: 农业部财政专项 渔业物种资源保护项目(农财发[2011]47); 上海地区水产养殖污染负荷及养殖容量研究(沪农科政字(2015)第6-3-3号)

作者简介: 张玉平(1979-), 男, 山东安丘人, 硕士, 高级工程师, 主要从事渔业环境评价及生态修复研究工作。

before 2014, while under the light eutrophication status after 2014. The pollution load of COD_{Mn} TN and TP exceeded the target environmental capacity of Dianshan lake except COD_{Mn} in summer of 2014. To fulfill the protecting target of hydrological environment of Dianshan Lake, the recharging amount of COD_{Mn} TN and TP should be reduced to some extent.

Key words: nitrogen and phosphorus nutrients; nutrient restriction classification standards; comprehensive nutrition state index; water environmental capacity; Dianshan Lake

1 研究背景

淀山湖($31^{\circ}04' - 31^{\circ}12' \text{N}$, $120^{\circ}53' - 121^{\circ}01' \text{E}$)位于江苏、浙江和上海三地交界处,呈葫芦型,作为上海市最大的淡水湖泊,水域面积 60 km^2 ,平均水深约 2.1 m ,主要接受太湖流域上游来水,出水经黄浦江流入长江口至东海,是上海市重要的饮用水源保护区和生态涵养区,其水质条件对于上海周边饮水安全、生态环境及周边水产养殖具有重要意义。近年来,许多学者对该湖泊的水环境及生态环境进行了多方面的调查和研究,如湖区氮磷营养盐的时空分布^[1-2]、水质环境因子的分析^[3-4]、富营养化现状^[5-6]以及湖区生物群落特征^[7-8]等方面的研究。本研究以水环境定点调查数据为基础,结合淀山湖地理分布特征,探究春夏季淀山湖氮磷营养盐的变化特征,分析湖区营养盐限制状态,采用综合营养状态指数法对水体富营养化现状进行评价,定量分析在水质目标下淀山湖有机物(以高锰酸盐指数表征)及氮磷的环境容量,为有效控制湖泊水体污染,科学管理湖泊水资源,加强水源地保护、水质保持和水污染治理技术提供参考依据。

2 材料与方法

2.1 站点布设与采样频次

监测时间为2011-2015年每年的5月和8月。共5个水环境监测定点,站位依次是分布在入湖口的急水港桥、白石矾桥,位于湖心的四号航标,以及分布在出湖口的淀峰、西闸站点。分布如图1所示。

2.2 监测项目及分析方法

监测项目主要包括:pH、水温(T , $^{\circ}\text{C}$)、溶解氧(DO , mg/L)、透明度(SD , m)、高锰酸盐指数(COD_{Mn} , mg/L)、叶绿素 a (Chla , $\mu\text{g/L}$)、总氨氮(TAN , mg/L)、亚硝酸盐氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$, mg/L)、硝酸盐氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$, mg/L)、无机氮(DIN , mg/L)、总氮(TN , mg/L)及总磷(TP , mg/L)。其中,pH、水温、溶解氧等参数在采样现场用 WTW 便携式现场分析仪进行测定,无机氮是硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和氨氮

的总和,按《水和废水监测分析方法(第四版)》的规定分析叶绿素 a 及亚硝酸盐氮^[9],叶绿素 a 采用紫外分光光度法,亚硝酸盐氮采用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法。其他监测项目按《地表水环境质量标准(GB 3838-2002)》的规定进行分析^[10],高锰酸盐指数采用酸性高锰酸钾法,总氨氮采用水杨酸分光光度法,硝酸盐氮采用紫外分光光度法,总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,总磷采用钼酸铵分光光度法。样品采集、贮存及运输工作按照《水质 湖泊和水库采样技术指导(GB/T 14581-93)》^[11]的相关要求进行。

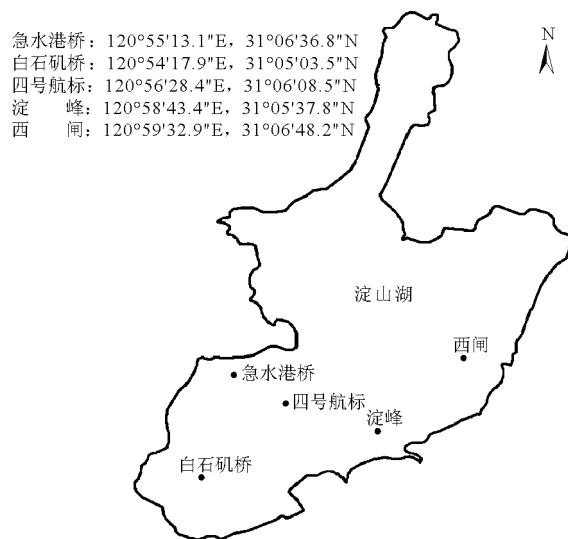


图1 淀山湖采样点分布图

2.3 环境容量估算

2.3.1 COD 容量估算模型 淀山湖作为一个水面开阔的浅水型湖泊,污染物能够在水体中较好地混合均匀。因此,淀山湖 COD 容量的估算选用完全混合系统水质模型-沃兰韦德(Vollenwelder)模型^[12],计算方法如式(1)所示。

$$W = \frac{1}{\Delta t} (C_s - C_0) V + K C_s V + C_s q \quad (1)$$

式中: W 为湖区有机污染物的最高允许排放量, t/a ; Δt 为湖泊维持其设计水量的天数, d ; C_s 为湖泊水体应执行的水质标准或目标控制浓度, mg/L ; C_0 为湖

泊的实测浓度,mg/L; V 为湖泊的设计水量, m^3 ; K 为湖泊中有机物的综合衰减系数, d^{-1} ; q 为湖泊天流出水量, m^3/d 。

2.3.2 TN、TP 容量估算模型 湖泊 TN、TP 环境容量的估算模型较多,其中较为成熟的有 Dillion 模型、OECD 模型以及合田健模型等。其中,Dillion 模型比较适用于富营养化水体,OECD 模型及合田健模型较适用于水流交换能力弱的库湾型水体。本研究选用 Dillion 模型^[13]计算淀山湖 TN、TP 容量,计算方法如式(2)所示。

$$M = A \cdot L_s = \frac{A \cdot C_s \cdot h \cdot Q}{V(1 - R)} = \frac{C_s \cdot Q}{1 - R} \quad (2)$$

式中: M 为水体湖对氮或磷的纳污能力, g/a ; L_s 为单位湖泊水面积对氮或磷的纳污能力,

$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; A 为湖泊水面积, m^2 ; h 为湖泊平均水深, m ; Q 为稳态时湖泊的年出水量, m^3/a ; R 为氮、磷在湖泊中的滞留系数,按式(3)计算。

$$R = 0.426 \exp\left(-\frac{0.271Q}{A}\right) + 0.573 \exp\left(-\frac{0.00949Q}{A}\right) \quad (3)$$

2.3.3 参数赋值 本文利用5年间春夏季实测淀山湖水质数据,结合湖区水文条件以及水质特征变化情况,从偏安全角度考虑,采用《地表水环境质量标准(GB 3838-2002)》^[10]Ⅱ类标准作为水质目标,即达到上海市水环境功能区划目标。以水质目标等于现状水质来计算湖区污染负荷现状,即保持现状水质不再恶化。其它相关参数赋值情况见表1。

表1 淀山湖水环境容量的主要参数赋值

$\Delta t/\text{d}$	V/m^3	A/m^2	h/m	K/d^{-1}	$q/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$
30	1.6×10^8	6.0×10^7	2.1	0.04	4.11×10^6	1.5×10^9

注:上标 a 数据引自《太湖流域水环境综合治理总体方案(2013年修编)》^[14],上标 b 数据引自王寿兵等^[15]文献报道。

2.4 数据处理分析

水质指标的分析均做3次平行,试验结果以3次样品分析的平均值表示;考虑数据为连续变量,相关性分析采用 Pearson 相关系数法;数据是否符合正态分布采用 K-S 检验;两组数据间显著性差异分析采用独立样本 T 检验。试验数据采用 Excel2010 及 SPSS19.0 软件进行统计、绘图、检验和分析。

3 结果与讨论

3.1 氮、磷变化特征分析

淀山湖水域 TN、TP 浓度平均值变化情况如图 2(a)所示。5 年间,调查站位实测 TN 平均浓度 $2.79 \pm 1.06 \text{ mg/L}$,变化范围为 $1.34 \sim 6.71 \text{ mg/L}$;实测 TP 平均浓度 $0.155 \pm 0.061 \text{ mg/L}$,变化范围为 $0.068 \sim 0.310 \text{ mg/L}$ 。K-S 检验结果表明,5 年间 TN、TP 均呈现正态分布。独立样本 T 检验表明,春夏季 TN 方差齐,两者之间存在极显著差异($P < 0.01$);春夏季 TP 方差齐,两者之间存在显著差异($P < 0.05$)。总体上看,除 2014 年 TP 季节规律不明显外,春季 TN、TP 含量显著高于同年夏季,这是由于春季正值农田种植、水产养殖高输入阶段,径流携带大量氮磷营养盐进入湖区。另一方面,夏季水生生物以及微生物代谢活动均强于春季,因而营养盐消耗量大,导致夏季淀山湖的 TN、TP 含量明显低于春季。

独立样本 T 检验结果显示,春夏季 TAN 、 NO_2^--N 均为方差齐,但季节间不存在显著性差异($P > 0.05$),随季节变化分布规律不明显;虽然春夏季 NO_3^--N 、DIN 方差不齐,但两者之间存在极显著性差异($P < 0.01$),如图 2(b)所示,春季 NO_3^--N 、DIN 平均含量均高于同年夏季,两者季节变化规律一致,这与 DIN 组成结构密不可分。包静玥等^[16]在 2012-2013 年的调查研究中发现山地新建湖库中也有相似规律。

NO_2^--N 在 DIN 的贡献率上相对稳定,占 DIN 的质量分数的变化范围在 $1.19\% \sim 8.20\%$ 之间,这是水生态系统保持稳定的必要条件^[17]。 NO_3^--N 占 DIN 的平均比例均在 70% 以上,为 DIN 的主要形态,TAN 占 DIN 平均比例保持在 20% 左右。可见,淀山湖三态氮含量排序, NO_3^--N 含量最高,TAN 其次, NO_2^--N 最低。这与胡春华等^[18]在鄱阳湖调查中发现的规律一致。Li Y 等^[19]指出,在各种形式氮的相互转化中,达到热力学平衡时,氮基本上以 NO_3^--N 的形式存在。

本调查中各站位 NO_3^--N 均为 DIN 主要存在形态,可见,调查水域无机氮三态之间基本达到热力学平衡。

淀山湖氮磷双侧 Pearson 相关性分析结果如表 2 所示。TN 与 NO_3^--N 呈极显著正相关($P < 0.01$),通过相关系数可发现, NO_3^--N 对于 TN 的

增长贡献最大,同时 TAN 与其他各溶解态氮之间呈显著正相关,可见湖库整体呈氧化性环境^[20]。TN、TP 无显著相关性,表明淀山湖氮磷营养盐补给的异

源性。TN/TP 与 TN 呈极显著正相关($P<0.01$),与 TP 呈极显著负相关($P<0.01$),这表明从整体上看淀山湖水体营养盐限制因素不显著。

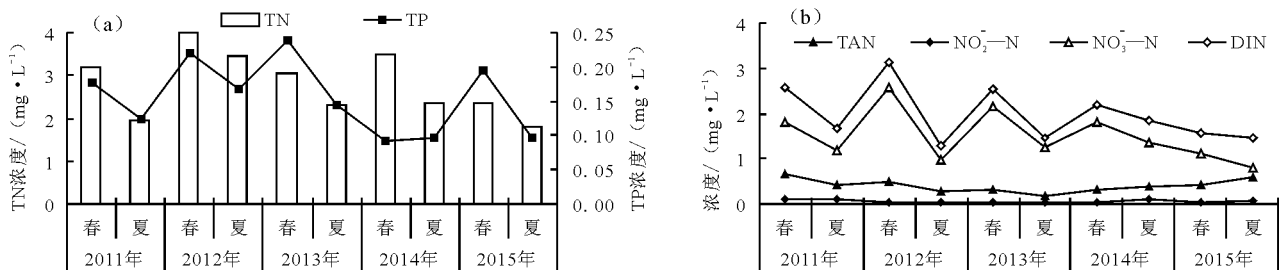


图 2 淀山湖营养因子的变化情况

表 2 淀山湖氮磷指标相关性分析

	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	TAN	TN	TP	TN/TP
NO ₂ ⁻ -N	1					
NO ₃ ⁻ -N	0.169	1				
TAN	0.526**	0.332*	1			
TN	0.012	0.644**	0.252	1		
TP	-0.179	-0.059	0.078	0.122	1	
TN/TP	0.049	0.473**	0.043	0.535**	-0.646**	1

注: * 为显著相关, $P<0.05$ (双侧检验); ** 为极显著相关, $P<0.01$ (双侧检验)。

3.2 营养盐限制状态分析

TN/TP 比作为湖库营养结构的重要表征,可以在一定程度上反映营养物输入负荷对水体营养结构的影响,同时也是水体中浮游生物种群营养结构的重要影响因素和体现,对掌握湖库限制性营养物类型以便对浮游生物生长情况进行调控有重要意义^[21-24]。Guildford 等^[25]提出的水中营养物限制性标准指出, $TN/TP \leq 9.0$ (质量比,下同,摩尔比为 20) 为氮限制状态, $TN/TP \geq 22.6$ (摩尔比为 50) 为磷限制状态,介于两者之间时为藻类生长的适宜范围。调查期间淀山湖水体 TN/TP 分布情况如图 3 所示,10% 的 TN/TP 处于氮限制状态,32% 的 TN/TP 处于磷限制状态,58% 的 TN/TP 处于氮磷合理范围内。可见,大多数情况下淀山湖水域氮磷比例合理,少数情况下营养盐限制状态以磷限制为主。氮限制状态的存在表明调查期间存在营养物限制状态交替出现的情况,这会对水体中浮游植物生长和群落演替产生影响。

TN/TP 处于磷限制状态下的样本在春季、夏季分布分别为 81.25%、18.75%,处于氮限制状态的样本在春季、夏季分布分别为 0、100%,春季受磷因素限制影响较大,夏季受氮因素限制影响较大。林

卫青^[26]等分析淀山湖藻类过度繁殖的营养盐限制因子是磷。可见,对于淀山湖蓝藻水华爆发的问题,控制氮的作用十分有限,优先控制磷方为良策。此外,TN/TP 比值呈现出夏季低于同年春季,夏季正是浮游植物大量繁殖生长的阶段,推测在该状态下浮游植物通过吸收氮磷营养盐维持生长,调节 TN/TP 比值,以消纳相对过量的 TP。

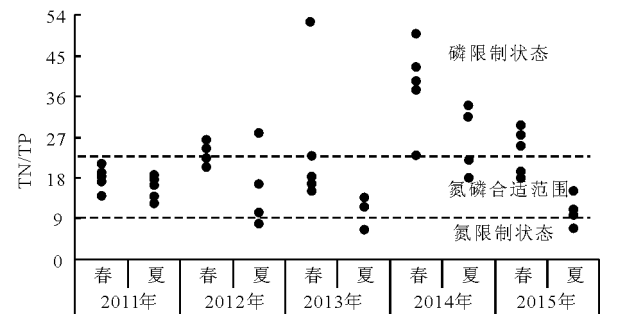


图 3 淀山湖 TN/TP 的年际变化

3.3 富营养化评价

我国湖泊水库富营养化评价的方法主要有卡尔森营养状态指数法 (TSI)、修正的营养状态指数法、综合营养状态指数法 (TLI)、营养度指数法以及评分法等。本研究参照《地表水环境质量评价办法 (试行)》^[27] 采用综合营养状态指数法对淀山湖水

域近 5 年的富营养化状态开展评价。选取 TN、TP、Chla、SD 及 COD_{Mn} 作为评价因子,各自权重及具体计算方法参见何德进等^[28]的文献报道,综合营养状态指数法计算结果见表 3。可以看出,调查期间淀山湖水体均处于富营养化状态,与 2001–2007 年间对淀山湖的富营养化调查研究^[5]结果相近。

淀山湖作为吞吐型浅水湖泊,湖面开阔风浪大,底泥扰动大,水体复氧快,客观上不利于水体内生物性沉积物的累积,造成了水体中浮游生物所持有的营养物

远大于底泥中的营养物含量,这是导致淀山湖水体富营养化的内因;上游来水、沿岸污染高输入是导致淀山湖水体富营养化的外因。自 20 世纪 80 年代以来,随着淀山湖周边区域经济快速增长,入湖河道氮磷浓度升高,淀山湖部分水域水华现象时有发生。调查水域富营养化状态在 2014 年前后有明显好转趋势,水体富营养化程度不断改善,这与 2008 年起多家单位共同开展了淀山湖富营养化生态修复工程及整个太湖流域环境管理制度的建立密不可分^[29–30]。

表 3 淀山湖富营养化评价结果

调查时间	TLI(TN)	TLI(TP)	TLI(Chla)	TLI(SD)	TLI(COD_{Mn})	TLI(Σ)	富营养化
2011 年 春	73.64	66.01	33.15	76.41	43.24	56.36	轻度
夏	65.47	60.31	52.28	78.39	48.61	60.27	中度
2012 年 春	77.52	65.11	41.62	77.53	47.62	60.14	中度
夏	73.99	69.62	48.41	75.35	38.12	60.03	中度
2013 年 春	73.02	61.63	57.89	70.32	43.59	60.96	中度
夏	68.35	70.63	61.67	80.83	50.02	65.93	中度
2014 年 春	75.27	55.50	52.90	65.04	42.57	57.72	轻度
夏	68.76	55.97	51.47	65.04	36.50	55.16	轻度
2015 年 春	68.00	56.09	56.69	73.01	42.38	58.97	轻度
夏	64.24	67.38	42.14	80.43	39.09	57.30	轻度

表 4 淀山湖 COD_{Mn} 、TN 及 TP 环境容量计算结果

参数指标	目标浓度/ ($mg \cdot L^{-1}$)	年份	现状纳污/($t \cdot a^{-1}$)		现状容量/($t \cdot a^{-1}$)		削减量/($t \cdot a^{-1}$)		削减率/%	
			春季	夏季	春季	夏季	春季	夏季	春季	夏季
COD_{Mn}	4.00	2011	18974	22917	13503	11502	5471	11415	28.83	49.81
		2012	22119	15437	11907	15298	10212	139	46.17	0.90
		2013	19027	24367	13476	10766	5552	13601	29.18	55.82
		2014	18290	14551	13850	15747	4439		24.27	
		2015	18107	16043	13943	14990	4164	1054	23.00	6.57
TN	0.50	2011	8718	5326	1370	1370	7348	3956	84.29	74.28
		2012	10937	9496	1370	1370	9567	8126	87.47	85.57
		2013	8367	6296	1370	1370	6997	4926	83.63	78.24
		2014	9504	6457	1370	1370	8134	5088	85.59	78.79
		2015	6406	4878	1370	1370	5036	3508	78.61	71.92
TP	0.03	2011	482	340	68	68	414	271	85.80	79.84
		2012	603	460	68	68	534	392	88.64	85.12
		2013	652	398	68	68	584	329	89.50	82.78
		2014	252	262	68	68	183	194	72.81	73.86
		2015	537	265	68	68	469	196	87.25	74.12

3.4 环境容量分析

湖库水环境容量是进行污染物总量控制的一项关键技术参数,它是制定区域污染削减方案、水污染物排放标准的主要依据,也是制定水资源保护利用

和社会经济发展规划的依据^[31]。将参数赋值及水质目标代入水质模型计算淀山湖水环境容量,将现状水质数据代入水质模型计算淀山湖污染负荷现状,结果如表 4。从计算结果可以看出,除 2014 年

夏季 COD_{Mn} 外,调查期间淀山湖水体 COD_{Mn} 、TN 及 TP 的污染负荷现状均大于同期保护目标要求的水环境容量,为达到水环境保护的目标,需要进行不同程度的削减。 COD_{Mn} 、TN 及 TP 作为淀山湖水体的主要污染物,其来源主要包括:工业废水、生活污水、湖区降雨及地表径流,地表径流又包括了径流控制范围内的降雨、工业废水、生活污水、化肥流失及水土流失。其中,工业废水和生物污水可以接入污水处理厂集中处理后排入吴淞江;氮磷主要来自农业面源污染,合理施用化肥对降低农业投入和削减淀山湖现有纳污量具有双重作用。

从公式(2)、(3)可以看出,与 COD_{Mn} 环境容量不同,TN、TP 环境容量由目标浓度、湖泊水面积及稳态时湖泊的年出水量共同决定,与现状实测浓度无关。因此,在调查期间,春夏季 TN、TP 环境容量始终保持不变。除 2014 年 TP 现有纳污量规律不明显外,调查期间 TN 及 TP 的现状纳污量、削减量及削减率均表现出春季高于同年夏季,由于现有纳污量结果是将现状水质代入水质模型计算得出,所以在湖泊水面积及年出水量不变的情况下,现有纳污量与氮磷营养盐浓度成正比,表现出与氮磷营养盐季节变化特征相吻合的规律。

4 结 论

(1)调查期间 TN、TP 春季与夏季存在显著差异,除 2014 年 TP 季节规律不明显外,春季 TN、TP 含量显著高于同年夏季; TAN 、 NO_2^- —N 随季节变化分布规律不明显;淀山湖三态氮含量排序, NO_3^- —N 含量最高, TAN 其次, NO_2^- —N 最低,淀山湖水域三态氮基本达到热力学平衡;氮磷 Pearson 相关性分析指出 TN、TP 无显著相关性,表明淀山湖氮磷补给的异源性, TAN 与其他各溶解态氮之间呈显著正相关,湖库整体呈氧化性环境。

(2)根据水中营养物限制性分类标准分析得出,大多数情况下淀山湖水域氮磷比例合理,少数情况下营养盐限制状态以磷限制为主。氮磷限制状态交替存在的情况,可能会对浮游植物生长和群落演替产生影响。春季受磷因素限制影响较大,夏季受氮因素限制影响较大。对于淀山湖蓝藻水华爆发的问题,控制氮的作用十分有限,优先控制磷方为良策。

(3)综合营养状态指数法评价结果表明:调查期间淀山湖均处于富营养化状态,其中 2014 年之前基本处于中度富营养化状态,2014 年以后处于轻度富营养化状态。从时间跨度上看,调查水域富营养

化状态有转好的趋势。这与淀山湖现行有效的生态修复工程及整个太湖流域环境管理制度的建立密不可分。

(4)环境容量估算结果表明:除 2014 年夏季 COD_{Mn} 外,调查期间淀山湖水体 COD_{Mn} 、TN 及 TP 的污染负荷现状均大于同期保护目标要求的水环境容量,为达到水环境保护的目标,需要进行不同程度的削减。建议工业废水和生物污水接入污水处理厂集中处理后排入吴淞江;加强氮磷化肥的合理施用,减小农业面源污染。

参考文献:

- [1] 卢嘉,李小平,陈小华. 淀山湖总氮和总磷的时空模拟分布[J]. 环境监测管理与技术, 2010,22(6):32-38.
- [2] 程曦,李小平. 淀山湖氮磷营养物 20 年变化及其藻类增长响应[J]. 湖泊科学,2008,20(4):409-419.
- [3] 谭渝峰,张琪,朱莎,等. 基于简单建模与因子分析的湖泊水质评价[J]. 生态与农村环境学报,2015,31(3):432-439.
- [4] 王丽卿,张军毅,王旭晨,等. 淀山湖水体叶绿素 a 与水质因子的多元分析[J]. 上海水产大学学报,2008,17(1):58-64.
- [5] 郑晓红,汪琴. 淀湖水水质状况及富营养化评价[J]. 环境监测管理与技术,2009,21(2):68-70.
- [6] 李宏祥,田华,梁国康. 淀山湖富营养化现状及生态修复措施分析[J]. 水资源保护,2012,28(3):83-87.
- [7] 王丽卿,施荣,季高华,等. 淀山湖浮游植物群落特征及其演替规律[J]. 生物多样性,2011,19(1):48-56.
- [8] 李强,田华,姜民,等. 淀山湖浮游动物群落结构特征及其影响因子[J]. 水生态学杂志,2015,36(4):69-77.
- [9] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 第四版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [10] 国家环境保护总局. GB 3838-2002 地表水环境质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
- [11] 国家环境保护局. GB/T 14581-93 水质湖泊和水库采样技术指导[S]. 北京:中国标准出版社,1993.
- [12] 国家城乡建设环境保护部. GB 3839-83 制定地方水污染物排放标准的技术原则与方法[S]. 北京:中国标准出版社,1984.
- [13] 杨诗君,李广源. 洞庭湖水环境质量评价及水环境容量分析[J]. 水文,2006,26(5):83-85+60.
- [14] 国家发展和改革委员会. 太湖流域水环境综合治理总体方案[M]. 2013.
- [15] 王寿兵,马小雪,张伟倩,等. 上海淀山湖水环境容量评估[J]. 中国环境科学,2013,33(6):1137-1140.

- [16] 包静玥, 鲍建国, 李立青. 山地城市新建湖库氮磷营养盐时空特征研究[J]. 环境科学, 2014, 35(10): 3709 - 3715.
- [17] 刘四光, 高爱国, 陈 岚, 等. 闽江河口咸淡水混合过程中营养盐含量的变化特征[J]. 台湾海峡, 2012, 31(3): 345 - 352.
- [18] 胡春华, 周文斌, 王毛兰, 等. 鄱阳湖氮磷营养盐变化特征及潜在性富营养化评价[J]. 湖泊科学, 2010, 22(5): 723 - 728.
- [19] Li Y, Cao W Z, Su C X, et al. Nutrient sources and composition of recent algal blooms and eutrophication in the northern Jiulong River, Southeast China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 63(5 - 12): 249 - 254.
- [20] 范俊楠, 赵建伟, 朱端卫. 湖泊氮素氧化及脱氮过程研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(15): 4924 - 4931.
- [21] 雷 沛, 张 洪, 单保庆. 丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究[J]. 环境科学, 2012, 33(9): 3038 - 3045.
- [22] 李 哲, 郭劲松, 方 芳, 等. 三峡水库小江回水区不同 TN/TP 水平下氮素形态分布和循环特点[J]. 湖泊科学, 2009, 21(4): 509 - 517.
- [23] Downing J A, Mcauley E. The nitrogen:phosphorus relationship in Lakes[J]. Limnology & Oceanography, 1992, 37(5): 936 - 945.
- [24] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N:P ratio; a new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. Journal of Applied Ecology, 1996, 33(6): 1441 - 1450.
- [25] Guildford S J, Hecky R E. Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship [J]. Limnology and Oceanography, 2000, 45(6): 1213 - 1223.
- [26] 林卫青, 陈义中, 卢士强, 等. 应用生态动力学模型评价上海淀山湖富营养化控制方案[J]. 上海环境科学, 2010, 29(1): 1 - 10.
- [27] 环境保护部. 地表水环境质量评价办法(试行)[Z]. 2011 - 03 - 09.
- [28] 何德进, 邢友华, 姜瑞雪, 等. 东平湖水体中氮磷的分布特征及其富营养化评价[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(8): 45 - 48 + 61.
- [29] 哈 欢, 朱宏进, 朱雪生, 等. 淀山湖富营养化防治与生态修复技术研究[J]. 中国水利, 2009(13): 46 - 48.
- [30] 马 琳. 淀山湖浮游植物群落分布与富营养化综合治理对策研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2014.
- [31] 杨诗君, 李广源. 洞庭湖水环境质量评价及水环境容量分析[J]. 水文, 2006, 26(5): 83 - 85 + 60.

喜 讯

《水资源与水工程学报》被中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database, 简称 CSCD)收录为 2017 - 2018 年度来源期刊。2017 年又被中国科学评价中心(RCCE)、武汉大学图书馆和中国科教评价网联合完成的第五版《中国学术期刊评价报告(2017 - 2018)》评价为 A 类核心期刊。