

气象条件对淀山湖水质的影响*

张德林¹, 陆佳麟¹, 张佳婷¹, 季旻骊¹, 黄慧慧²

(1: 上海市青浦区气象局, 上海 201700)

(2: 上海市青浦区水文勘测队, 上海 201700)

摘要: 根据 2007—2014 年淀山湖湖体每月高锰酸盐指数(COD_{Mn})、氨氮(NH₃-N)、总氮(TN)和总磷(TP)等水质资料和青浦区气象局月平均气温、降水量和日照时数等气象资料,运用数理统计方法和特征值比较法分析淀山湖湖体 COD_{Mn}、NH₃-N、TN 和 TP 等水质资料变化规律及温度、降水和日照时数等对水质的影响。结果表明:(1)气象条件影响淀山湖湖体水质。平均气温、日照时数影响 NH₃-N、TN 和 TP 浓度,表现在平均气温高、日照时数多,NH₃-N、TN 浓度降低,相反平均气温低、日照时数少,NH₃-N、TN 浓度升高;平均气温高,也会使 TP 浓度上升,平均气温低,TP 浓度降低。降水对水体中 COD_{Mn}、NH₃-N 和 TN 等浓度有稀释作用,降水量多的月份其浓度偏低,相反降水量少的月份其浓度偏高。(2)受气象条件影响,COD_{Mn}、NH₃-N、TN 和 TP 有季节变化。COD_{Mn} 浓度 4—9 月较高,10 月—翌年 3 月较低;NH₃-N、TN 浓度最高值出现在 2—4 月前后,最低值出现在 7—10 月;TP 浓度最高值出现在 7—8 月,最低值出现在 10 月—翌年 5 月。(3)淀山湖 COD_{Mn}、NH₃-N、TN 和 TP 浓度呈下降趋势。

关键词: 气象条件;淀山湖;水质

Effects of meteorological factors on the water quality of Lake Dianshan

ZHANG Delin¹, LU Jialin¹, ZHANG Jiating¹, JI Minli¹ & HUANG Huihui²

(1: *Qingpu Meteorological Office of Shanghai, Shanghai 201700, P.R.China*)

(2: *Hydrological Survey Team of Shanghai Qingpu District, Shanghai 201700, P.R.China*)

Abstract: According to the monthly monitoring data on water quality (permanganate index(COD_{Mn}), ammonia nitrogen(NH₃-N), total nitrogen(TN), total phosphorus(TP)) and meteorology (mean temperature, precipitation, sunshine duration) from 2007 to 2014, the change pattern of water quality in Lake Dianshan and the impacts from meteorological factors were analyzed. Results showed that: 1) Mean temperature and sunshine duration had significantly negative impacts on NH₃-N and TN. Mean temperature had significantly positive impacts on TP. Precipitation diluted and had negative impacts on COD_{Mn}, NH₃-N and TN. 2) Water quality exhibited seasonal variations under the meteorological impact. Higher values of COD_{Mn} appeared between April and September, while lower values between October and March. NH₃-N, TN peaked between February and April, reaching lowest value between July and October. TP peaked during July and August, while lower values appeared between October and May. 3) COD_{Mn}, NH₃-N, TN, TP showed downward trends.

Keywords: Meteorological factors; Lake Dianshan; water quality

湖泊作为一种重要的自然资源,具有蓄水、供水、航运、旅游和养殖等多项生态功能。由于人类活动强度的不断增强以及自然环境的变化,湖泊水质环境受到严重威胁^[1],许多学者对河流、水库、湖泊水质进行了研究^[2-8]。在河湖、水库水质变化与气象条件关系方面也有学者进行了研究,盛海燕等^[9]分析新安江水库近 10 年水质演变趋势及与水文气象因子的关系,表明降水量与溶解氧、总磷(TP)、氨氮浓度呈显著正相关,气温与水温、pH 值、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、五日生化需氧量(BOD₅)、TP 和叶绿素 a(Chl.a)浓度呈显著正相关;许梅等^[10]对位于太湖西部宜兴市的一条入湖河流水质的年变化规律进行分析,表明水体中 BOD₅、

* 上海市气象局科技开发项目(S201417)资助。2015-05-26 收稿;2016-01-14 收修改稿。张德林(1962~),男,高级工程师;E-mail: zdl_qp@163.com.

COD_{Mn}、Chl.a 浓度的变化主要受温度的影响,温度变化是水体有机质含量变化的触发因子;降雨量与水体 TP 浓度呈显著正相关,但对其他水质指标影响较小;高伟等^[1]研究抚仙湖 COD_{Mn}、TP、总氮(TN)、Chl.a、透明度和浮游植物丰度等水质指标的变化,认为人口数量和水温是水质变化的主要驱动因子;刘梅等^[11]研究认为,因气温上升导致水体温度升高,增强了微生物的活性,进而促进底泥中内源氮、磷的释放,降水少致径流减少,径流的减少降低了水体的稀释能力,对磷而言径流的减少将会减少陆地磷污染物进入水体. 淀山湖主要承受东太湖和苏州淀泖地区来水,其入湖污染源为上游来水带来的污染负荷和本地各种污染排放,气温、降水量等影响淀山湖水质,本文根据淀山湖湖体 COD_{Mn}、氨氮(NH₃-N)、TP、TN 等水质资料和青浦区气象局等月平均气温、降水量、日照时数等资料,研究这些水质指标变化与气象条件的关系,从而为开展水文气象业务服务提供技术支持.

1 淀山湖区域概况

淀山湖(31°04'~31°12'N,120°53'~121°01'E)是太湖流域第二大省界湖泊,位于太湖流域下游,上海市的西部,距上海市区 50 余 km,地处江苏省昆山市、吴江市和上海市青浦区交界处.湖泊面积 62 km²,平均水深 2.1 m,最大水深 3.59 m. 淀山湖是上海境内最大的天然淡水湖泊,是黄浦江上游来水水源之一,其水环境状况直接关系着周围区域的水环境、水生态安全及下游的上海市黄浦江上游水源地水质安全. 淀山湖主要承受东太湖和苏州淀泖地区来水,主要入湖河流为千灯浦、大朱厓、急水港和元荡,主要出湖河流为拦路港、淀浦河等(图 1). 淀山湖入湖污染源为上游来水带来污染负荷和本地工业污染、农业农村面源污染、城镇污染等排放.

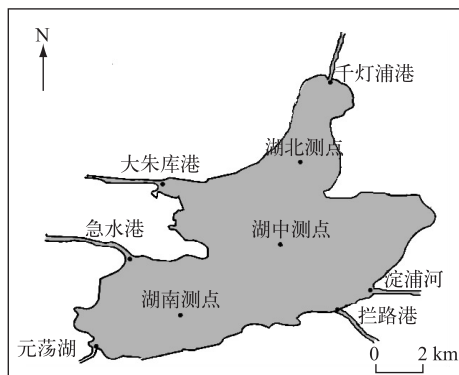


图 1 淀山湖地理位置和断面、监测点分布

Fig.1 Situation and distribution of rivers and monitoring sites in Lake Dian Shan

2 资料和方法

2.1 资料来源

2006 年 11 月—2014 年 11 月温度、降水量、日照时数等气象观测资料来源于青浦区气象局;2007 年 1 月—2013 年 12 月温度、降水量、日照时数等气象观测资料来源于吴江、吴中、昆山、东山、湖州、嘉兴等气象局. 2007 年 1 月—2014 年 11 月 COD_{Mn}、NH₃-N、TN、TP 水质资料来源于太湖流域水资源保护局发布的《太湖流域及东南诸河省界水体水资源质量状况通报》. 按《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)将水质分为 V 类,水质超过 V 类标准限值时称为劣 V 类.

2.2 方法

太湖流域水环境监测中心每月对淀山湖 3 个监测点(分别位于淀湖南部、中部、北部)进行水质监测. 水质评价采用单因子评价法,标准采用《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),评价项目为水温、pH 值、溶解氧(DO)、COD_{Mn}、化学需氧量、BOD₅、NH₃-N、TP、TN、铜、锌、氟化物、硒、砷、汞、镉、铬(六价)、铅、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂(LAS)和硫化物共 23 项.

淀山湖主要承受东太湖和苏州淀泖地区来水,上游地区的气温、降水量、日照时数等也会影响淀山湖上游来水的水质. 分析 2007 年 1 月—2013 年 12 月吴江、吴中、昆山、东山、湖州、嘉兴等气象局月平均气温、月降水量和月日照时数与青浦区气象局月平均气温、月降水量和月日照时数相关关系(表 1),月平均气温相关系数均>0.999,月降水量相关系数>0.829,月日照时数相关系数>0.928;并且各地方月平均气温、月降水量和月日照时数的最小值、最大值和平均值都比较接近. 因此本文中东太湖和苏州淀泖地区气象资料用青浦区气象局月平均气温、月降水量、月日照时数代表.

表1 各站点气象要素值及相关系数
Tab.1 Meteorological factors and correlations between Qipu and others

要素		青浦	吴江	吴中	昆山	东山	湖州	嘉兴
月平均气温/℃	最小值	0.7	0.9	1.1	1.0	0.5	0.3	0.9
	最大值	32.2	32.0	32.3	31.8	31.7	31.8	31.4
	平均值	17.2	17.3	17.3	17.1	16.9	16.8	16.9
与青浦相关系数		0.9993*	0.9991*	0.9991*	0.9992*	0.9994*	0.9995*	
月降水量/mm	最小值	9.6	4.0	2.9	1.6	4.6	9.1	9.1
	最大值	323.4	374.5	328.2	363.7	381.8	397.5	350.4
	平均值	89.8	96.9	91.2	97.3	97.1	105.0	103.0
与青浦相关系数		0.8886*	0.9127*	0.8291*	0.8843*	0.8421*	0.8872*	
月日照时数/h	最小值	47.5	51.7	48.7	45.1	53.6	54.8	53.9
	最大值	277.0	316.6	321.5	301.7	327.0	305.7	297.5
	平均值	137.0	159.6	155.5	148.7	173.6	159.1	154.9
与青浦相关系数		0.9583*	0.9402*	0.9344*	0.9283*	0.9494*	0.9444*	

* 表示通过 $\alpha=0.01$ 信度检验.

各气象(青浦区气象局观测资料)、水质资料的统计量见表2.

表2 气象、水质资料的统计量*

Tab.2 Summary of statistics of meteorological variables and water quality

指标	数据量	最小值	最大值	平均值	方差
月平均气温/℃	97	0.9	31.2	16.7	74.6
月降水量/mm	97	6.1	323.4	91.7	4422.0
月日照时数/h	97	47.5	264.6	134.0	2346.3
COD _{Mn} /(mg/L)	95	3.67	10.00	5.02	0.90
NH ₃ -N/(mg/L)	95	0.05	6.20	1.26	1.46
TN/(mg/L)	95	1.73	9.82	4.16	2.59
TP/(mg/L)	95	0.071	0.314	0.150	0.003

* 数据量和方差无单位.

3 结果与分析

3.1 淀山湖水质变化特征及时间序列趋势

淀山湖 2007 年 1 月—2014 年 11 月 COD_{Mn} 浓度变化幅度较大,在 3.67~10.00 mg/L 之间,为 II 类~IV 类水标准;平均值为 5.02 mg/L,为 III 类水标准. COD_{Mn} 浓度存在季节变化,4—9 月浓度较高,而 10 月—翌年 3 月浓度较低.

NH₃-N 浓度变化幅度很大,在 0.05~6.20 mg/L 之间,为 I~劣 V 类水标准;平均值为 1.26 mg/L,为 IV 类水标准. NH₃-N 浓度 >2 mg/L 的劣

V 类水,共出现 13 次,主要集中在 2009 年 3 月以前的时段;而 ≤0.15 mg/L 的 I 类水,共出现 5 次,主要集中在 2013 年 10 月以后的时段. NH₃-N 浓度的季节变化比较明显,一年中高峰值出现在 2—4 月,而低谷值出现在 7—10 月.

TN 浓度变化幅度在 1.73~9.82 mg/L 之间,为 V 类和劣 V 类水标准;平均值为 4.16 mg/L,为劣 V 类水标准. 淀山湖 TN 浓度居高不下,除 2014 年 9 月(1.84 mg/L)、10 月(1.73 mg/L)为 V 类水标准外,其余都 >2.0 mg/L,为劣 V 类水标准,是 4 个指标中最严重的指标. TN 浓度的季节变化也比较明显,一年中高峰值出现在 2—4 月,而低谷值出现在 7—10 月.

TP 浓度变化幅度在 0.071~0.314 mg/L 之间,为 IV 类~劣 V 类水标准;平均值为 0.15 mg/L,为 V 类水标准. TP 浓度 >0.2 mg/L 的劣 V 类水标准,共出现 14 次,占 14.7%;0.1 mg/L < TP 浓度 ≤0.2 mg/L 的 V 类水标准,共出现 71 次,占 74.7%;0.05 mg/L < TP 浓度 ≤0.1 mg/L 的 IV 类水标准,共出现 10 次,仅占 10.5%. 可见淀山湖 TP 浓度居高不下. TP 浓度存在季节变化,高峰值出现在 7、8 月;低谷值出现在 10 月—翌年 5 月,多数年份低谷值出现在 4—5 月.

采用 Mann-Kendall 检验方法,计算 2007 年 1 月—2014 年 11 月淀山湖 4 项水质指标时间序列趋势的检验值,结果表明 COD_{Mn}、NH₃-N、TN 浓度均通过 $\alpha=0.01$ 显著性水平上 M-K 检验,均有极显著的下降趋势;而 TP 浓度通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验,有显著下降趋势. 淀山湖 COD_{Mn}、NH₃-N、TN 和 TP 浓度降低,这主要

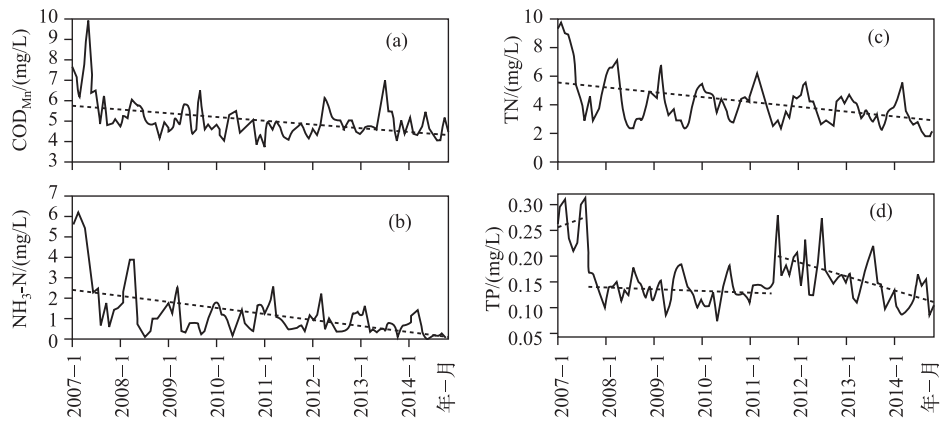


图2 淀山湖 COD_{Mn}(a)、NH₃-N(b)、TN(c)和 TP(d)浓度变化(虚线为趋势线)

Fig.2 Variations of COD_{Mn}(a), NH₃-N(b), TN(c) and TP(d) concentrations in Lake Dianshan (broken line denote trend line)

得益于2008年起江、浙、沪地区实施太湖流域水环境综合治理成果。

3.2 淀山湖水质指标与气象要素相关性分析

统计淀山湖 COD_{Mn}、NH₃-N、TN 和 TP 浓度变化与月平均气温、降水量、日照时数的相关性,月平均气温、降水量、日照时数分为当月、上月和上2个月;并给定显著性水平 $\alpha=0.05$,样本数 $n=95$,进行检验(表3)。NH₃-N、TN 浓度与平均气温、降水量和日照时数呈显著负相关($\alpha<0.05$);TP 浓度与平均气温呈显著正相关($\alpha<0.05$)。

表3 水质指标与气象要素的相关系数

Tab.3 Correlation between water quality and meteorological factors

气象要素	COD _{Mn}	NH ₃ -N	TN	TP
当月平均气温	0.1731	-0.3829*	-0.5364*	0.2857*
当月降水量	-0.0890	-0.2189*	-0.2423*	0.0788
当月日照时数	0.1499	-0.1413	-0.1865	0.1011
上月平均气温	-0.0109	-0.4521*	-0.6624*	0.2343*
上月降水量	-0.0077	-0.3178*	-0.4135*	0.0650
上月日照时数	0.0669	-0.1695	-0.2335*	-0.0204
上2个月平均气温	-0.0817	-0.4442*	-0.6704*	0.1955
上2个月降水量	0.0098	-0.4076*	-0.5500*	0.0664
上2个月日照时数	0.0325	-0.2279*	-0.3140*	-0.0780

* 为通过 $\alpha=0.05$ 信度检验。

4 讨论

气温通过大气与水接触面的热量交换、辐射等方式传递热量,从而影响水温;水温随着气温变化,气温升高水温也升高,反之则水温降低,因此水温基本会与附近气温相一致。温度对水质影响表现在,水温升高将提高水体中污染物离子活跃程度,提高离子浓度、加快水体中化学反应速率,水温升高也会增强微生物的活性从而促进底泥中内源性氮和磷的释放^[11-14],增加 COD_{Mn}、NH₃-N、TN 和 TP 浓度。

温度和光照影响水生植物光合作用和生长^[10,15-20],而水生植物能吸收水体中的氮、磷^[21-27],随着温度上升,日照时数延长、光照增强,水生植物生长旺盛,吸收、降解水体中的氮就多,使得水体中氮浓度下降;水生植物光合作用能产生氧气,增加水体中的溶解氧,从而改善水质。而研究表明^[24-25],从水生植物对氮、磷降解

贡献率的比较来看,氮的降解贡献率要明显高于磷,因为水中磷的去除除了植物吸收外只有依靠底质和根系吸附去除,而氮的去除还有氨的挥发、硝化和反硝化等途径,水生植物能输送氧气到根区,为微生物的硝化和反硝化提供适宜条件,从而提高水体中氮的去除效率,因此水生植物对氮的吸收、降解要高于对磷的吸收、降解。

降水对水质的影响表现在,降水量是驱动面源污染物入湖的最重要因素之一^[1],雨水所形成的径流经过地面,尤其是农田、工业用地附近,地面积聚的污染物被冲刷进入河流或湖泊,造成水体污染;而水体中的磷主要来自于土壤颗粒,通过降水、排水产生的径流流入河湖^[10],使水体中有机物、无机还原性物质、氮、磷等浓度增加;降水形成的大气湿沉降使大气中污染物随降水落入河流或湖泊。另一方面,降水量流入河湖,可以稀释水体中污染物浓度,尤其是连续性大的降水量,能降低水体中有机物、无机还原性物质、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 等浓度。

4.1 气象条件对 COD_{Mn} 的影响

随温度上升水体中污染物离子活跃程度增强,加快水体中化学反应速率, COD_{Mn} 浓度也随之提高,因此气温较高的夏半年,是 COD_{Mn} 浓度偏高的时段;而气温较低的冬半年是 COD_{Mn} 浓度偏低的时段;但温度对 COD_{Mn} 浓度的影响有限,一年中 COD_{Mn} 浓度的峰点并不出现在最热的 7、8 月,谷点也不出现在最冷的 1、2 月; COD_{Mn} 与平均气温相关性不显著(表 3)。盛海燕、华呈平等研究认为,气温与水温、 COD_{Mn} 浓度均呈显著性正相关^[9,28],而曹金玲等认为,年平均气温与 COD_{Mn} 呈显著负相关^[29]。因此温度对不同水库、湖泊的 COD_{Mn} 浓度影响不同。

降水所形成的径流将污染物被冲刷进入河流或湖泊,造成水体污染,增加水体中 COD_{Mn} 浓度;而大的降水量流入河湖,可以稀释水体中污染物浓度,其对浓度稀释能力远强于径流所增加的浓度;相反降水量少容易使水体中 COD_{Mn} 浓度升高。降水量多的月份(≥ 180 mm),绝大部分月份 $\text{COD}_{\text{Mn}} \leq 5$ mg/L,未出现过 ≥ 6 mg/L 月份,而且浓度一般比上月明显下降;降水量少的月份(≤ 90 mm), COD_{Mn} 一般 ≥ 5 mg/L,而且浓度比上月明显上升(表 4,图 3)。尽管 COD_{Mn} 浓度变化与降水量相关性不显著,但大的降水对水体中 COD_{Mn} 浓度有较明显的稀释作用,而降水量特少的月份会使浓度变大。

4.2 气象条件对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 的影响

水体中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 是植物吸收的主要形式^[10,21]。温度和光照影响水生植物的光合作用和生长,温度高、日照时数长、光照强,水生植物生长旺盛,吸收、降解水体中的氮就多,使得水体中氮浓度下降。3 月份以后随着气温回升、日照时数增多,水生植物进入生长季节,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 的吸收量增加,使 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度下降;夏季水生植物生长旺盛,对氮的吸收量大,使 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度处于

表 4 降水量特多和特少月份的 COD_{Mn}

Tab.4 Variation of COD_{Mn} in particularly much and very little precipitation

降水特征	年-月	降水量/ mm	$\text{COD}_{\text{Mn}}/$ (mg/L)	与上月相比/ (mg/L)
降水特多	2008-6	293.9	5.76	-0.05
降水特多	2009-7	323.4	4.33	-1.40
降水特多	2009-8	206.3	4.52	+0.19
降水特多	2010-3	190.3	3.93	-0.52
降水特多	2010-7	179.9	4.35	-1.22
降水特多	2011-6	280.3	4.19	-0.43
降水特多	2013-10	284.1	3.98	-1.48
降水特多	2014-6	223.3	4.58	-0.94
降水特少	2007-1	44.3	7.71	+2.04
降水特少	2007-4	87.8	7.81	+1.71
降水特少	2007-5	36.4	10.00	+2.19
降水特少	2008-4	52.0	6.04	+0.90
降水特少	2009-9	79.5	6.52	+1.00
降水特少	2010-6	69.5	5.57	+0.28
降水特少	2013-11	11.5	5.01	+1.03
降水特少	2014-10	38.6	5.20	+1.20

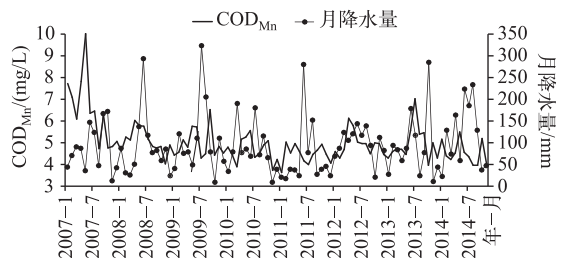


图 3 淀山湖 COD_{Mn} 与降水量的月变化

Fig.3 Monthly variation of COD_{Mn} with precipitation in Lake Dianshan

低值时段;而秋季后随着气温下降、日照时数减少,水生植物生长趋缓,对氮的吸收量减弱,使 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度上升,到2—3月前达到高值时段。据研究,太湖换水周期约为 250 d^[30],淀山湖换水周期约为 28 d^[31-32]。流入淀山湖的水经过入湖河流千灯浦、大朱库、急水港和元荡湖,期间有数天时间;其中部分水在太湖停留一段时间后,再由东太湖经汾湖等多个湖荡后流进千灯浦、大朱库、急水港和元荡湖等入湖河流,经过的时间更长;流入淀山湖的水还要停留约 28 d;前后时间跨度 1~2 个月,甚至更长。在这 1~2 个月中,温度和日照影响水生植物的生长,从而影响对氮的吸收,降水在稀释淀山湖水体中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度时同样稀释上游太湖、汾湖、元荡湖等湖荡及千灯浦、大朱库、急水港等河流中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度,降低流入淀山湖水体中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度,使淀山湖水体中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度降低。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度高值出现在 2—4 月,为冬末初春,比一年中气温最低的 1、2 月晚 1~2 个月;低值出现在 7—10 月,为夏季到初秋,比气温最高的 7、8 月也晚 0~2 个月;降水量明显偏多的月份或后 1~2 个月 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度出现低值,而降水量明显偏少的月份或后 1~2 个月 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度明显上升。因此当月、上月和上 2 个月的平均气温、降水量、日照时数会影响 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度变化(图 4)。

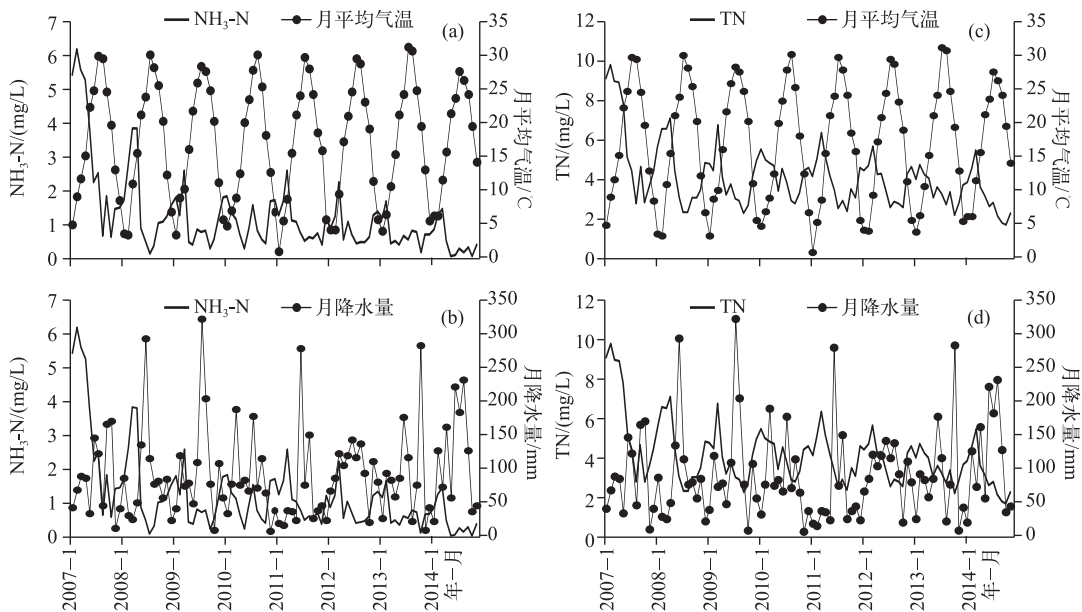


图 4 淀山湖 $\text{NH}_3\text{-N}$ (a, b)、TN(c, d) 与平均气温、降水量的月变化

Fig.4 Monthly variations of $\text{NH}_3\text{-N}$ (a, b), TN(c, d) concentrations with mean temperature and precipitation in Lake Dianshan

研究发现,月降水量 ≥ 200 mm 的月份或连同上月降水量 ≥ 280 mm 的月份,则 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度明显下降, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度 ≤ 0.8 mg/L, TN 浓度 ≤ 3 mg/L。而连续数月降水量少, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度较高,如 2008 年 2—4 月 3 个月降水量平均为 111.9 mm,同期 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度分别为 2.67、3.84 和 3.83 mg/L, TN 浓度 > 5.6 mg/L。因此,降水对水体中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 的稀释作用远远大于降水所形成的径流而进入河流或湖泊的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN,降水量多,稀释作用强, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度低,相反 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 浓度高(图 4)。

4.3 气象条件对 TP 浓度的影响

温度高会增强微生物的活性从而促进底泥中内源磷的释放,温度越高 TP 释放通量越大;而水生植物对磷的吸收、降解远低于对氮的吸收、降解^[24-25]。因此温度高,TP 浓度就高;相反温度低,TP 浓度就低。TP 浓度高值出现在一年中平均气温最高的 7—8 月(图 5)。

许梅等^[10]认为,磷在水中的浓度一般比较低,主要吸附于土壤颗粒中,降雨、开沟排水等会产生地表径流,使营养丰富的表土层被侵蚀而进入河流,从而使水体含磷量增加;而降雨较少的时期,对土壤的冲刷作用也较

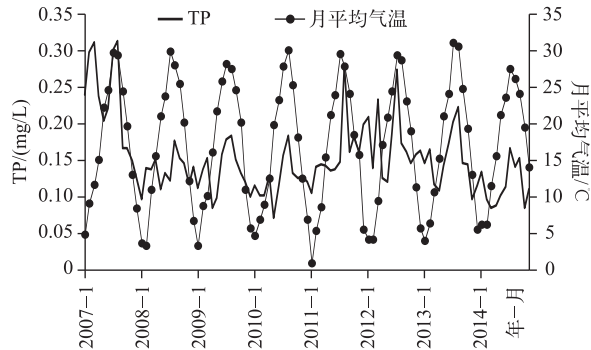


图5 淀山湖 TP 浓度与平均气温的月变化

Fig.5 Monthly variations of TP concentration with mean temperature in Lake Dianshan

弱,流失入湖的土壤颗粒较少,水体含磷量也较低.刘梅等^[16]认为降水少致径流减少,径流的减少降低了水体的稀释能力,对磷而言径流的减少将会减少陆地磷污染物进入水体.本文中,尽管总磷浓度与降水量相关性不显著,但降水量偏多的月份(≥ 180 mm),TP浓度偏高,一般 ≥ 0.15 mg/L;降水量偏少的月份(≤ 100 mm),TP浓度偏高、偏低的情况都有,而TP浓度 ≤ 0.10 mg/L的月份,月降水量基本上是偏少的月份(≤ 100 mm).

5 小结

1) 气象条件影响淀山湖湖水水质.平均气温、日照时数影响 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN和TP浓度,平均气温高、日照时数多, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN浓度降低,相反平均气温低、日照时数少, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN浓度升高;平均气温高,也会使TP浓度上升,平均气温低,TP浓度降低.降水对水体中 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TN浓度有稀释作用,降水量多的月份,浓度偏低,相反,降水量少的月份浓度偏高.降水量多的月份,TP浓度偏高.

2) 受气象条件影响, COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN和TP有季节变化. COD_{Mn} 浓度4—9月较高,10月—翌年3月较低; $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN浓度最高时段2—4月前后,7—10月为最低时段;TP浓度最高值出现在7—8月,最低值出现在10月—翌年5月.

3) 气温、光照、降水等气象因子通过影响水体中污染物来源、迁移转化方式、生化反应速率和生态效应等过程而直接或间接地影响水质,本文研究对上游来水带来污染和本地工业污染、农业农村面源污染、城镇污染等排放的平原地区浅水、淡水湖泊有一定借鉴作用.

4) 所用的水质、气象资料为月资料,难以反映水质的变化过程.随着淀山湖水文水质自动监测系统的建成,可以从日、时等更细的时间尺度研究气温、光照、降水、风等气象因子对水质的影响程度,定量研究各水质指标对气象因子变化的敏感性.另一方面,气候变化引起气温上升、暴雨和干旱等极端天气事件,分析研究气候变化对湖泊水质、水生态环境影响程度,建立相应的预测、预警机制.

6 参考文献

- [1] Gao Wei, Chen Yan, Xu Min *et al.* Trend and diving factors of water quality change in Lake Fuxian (1980—2011). *J Lake Sci*, 2013, **25**(5): 635-642 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2013.0503.[高伟, 陈岩, 徐敏等. 抚仙湖水水质变化(1980—2011)趋势及驱动力分析. 湖泊科学, 2013, **25**(5): 635-642.]
- [2] Li Kun, Wang Ling, Li Zhaohua *et al.* Spatial variability characteristics of water quality and Its diving forces in Honghu Lake during high water-level period. *Environmental Science*, 2015, **36**(4): 1285-1292 (in Chinese with English abstract). [李昆, 王玲, 李兆华等. 丰水期洪湖水水质空间变异特征及驱动力分析. 环境科学, 2015, **36**(4): 1285-1292.]
- [3] Chen Xiaoling, Zhang Yuan, Zhang Li *et al.* Distribution characteristic of nitrogen and phosphorus in Lake Poyang during high water period. *J Lake Sci*, 2013, **25**(5): 643-648 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2013.0504. [陈晓玲, 张媛, 张俐等. 丰水期鄱阳湖水体中氮、磷含量分布特征. 湖泊科学, 2013, **25**(5): 643-648.]
- [4] Li Yiping, Pang Yong, Xiang Jun. Analysis to the characteristics of temporal and spatial distribution of the pollutant and

- the law of release from sediment in Taihu Lake. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, **25**(3): 300-306 (in Chinese with English abstract). [李一平, 逢勇, 向军. 太湖水质时空分布特征及内源释放规律研究. 环境科学学报, 2005, **25**(3): 300-306.]
- [5] Li Yufeng, Liu Hongyu, Cao Xiao. Characteristics of temporal and spatial distribution of water quality in urban wetland of the Xixi National Wetland Park, China. *Environmental Science*, 2010, **31**(9): 2036-2041 (in Chinese with English abstract). [李玉凤, 刘红玉, 曹晓. 西溪国家湿地公园水质时空分异特征研究. 环境科学, 2010, **31**(9): 2036-2041.]
- [6] Hu Kaiming, Li Bing, Wang Shui *et al.* Spatial distribution characteristics of water quality pollution in the Lake Taihu basin, Jiangsu province. *J Lake Sci*, 2014, **26**(2): 200-206 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2014.0205. [胡开明, 李冰, 王水等. 太湖流域(江苏省)水质污染空间特征. 湖泊科学, 2014, **26**(2): 200-206.]
- [7] Wu Shirong, Xu Mengjia, Zhao Yanwei *et al.* Correlation between water quality and aquatic life in Baiyangdian wetland. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, **33**(11): 3160-3165 (in Chinese with English abstract). [武士蓉, 徐梦佳, 赵彦伟等. 白洋淀湿地水质与水生物相关性研究. 环境科学学报, 2013, **33**(11): 3160-3165.]
- [8] Fang Xiaobo, Luo Linping, Li Song *et al.* Seasonal variations and source identification of surface water quality in Lanxi segment of Qiantang River. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, **33**(7): 1980-1988 (in Chinese with English abstract). [方晓波, 骆林平, 李松等. 钱塘江兰溪段地表水质季节变化特征及源解析. 环境科学学报, 2013, **33**(7): 1980-1988.]
- [9] Sheng Haiyan, Wu Zhixu, Liu Mingliang *et al.* Water quality trends in recent 10 years and correlation with hydro-meteorological factors in Xin'anjiang Reservoir. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(1): 118-127 (in Chinese with English abstract). [盛海燕, 吴志旭, 刘明亮等. 新安江水库近 10 年水质演变趋势及与水文气象因子的相关分析. 环境科学学报, 2015, **35**(1): 118-127.]
- [10] Xu Mei, Ren Ruili, Liu Maosong. Annual changes of water quality in an upstream River of Taihu Lake. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2007, **31**(6): 121-124 (in Chinese with English abstract). [许梅, 任瑞丽, 刘茂松. 太湖入湖河流水质指标的年变化规律. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, **31**(6): 121-124.]
- [11] Liu Mei, Lü Jun. Response of river hydrology and water quality climate change in Changle River Watershed, Eastern China. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(1): 108-117 (in Chinese with English abstract). [刘梅, 吕军. 我国东部河流水文水质对气候变化响应的研究. 环境科学学报, 2015, **35**(1): 108-117.]
- [12] Yin Daqiang, Qin Qiurong, Yan Hang. Effects of environmental factors on release of phosphorus from sediments in Wuli Lake. *J Lake Sci*, 1994, **6**(3): 240-244 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/1994.0307. [尹大强, 覃秋荣, 阎航. 环境因子对五里湖沉积物磷释放的影响. 湖泊科学, 1994, **6**(3): 240-244.]
- [13] Su Lidian, Lin Weiqing, Yang Yifan. Fluxes of nitrogen and phosphorus releasing from sediment in Lake Dianshan. *Shanghai Environmental Sciences*, 2010, **29**(5): 197-201 (in Chinese with English abstract). [苏丽丹, 林卫青, 杨漪帆. 淀山湖底泥氮磷释放通量研究. 上海环境科学, 2010, **29**(5): 197-201.]
- [14] Wang Rong, Huang Tianyin, Wu Wei. Different factors on nitrogen and phosphorus self-purification ability from urban Guandu-Huayuan River. *J Lake Sci*, 2016, **28**(1): 105-113 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2016.0112. [王蓉, 黄天寅, 吴玮. 典型城市河道氮、磷自净能力影响因素. 湖泊科学, 2016, **28**(1): 105-113.]
- [15] Li Qiang, Tian Hua, Jiang Min *et al.* Community structure of zooplankton and influencing factors in Lake Dianshan of Shanghai. *Journal of Hydroecology*, 2015, **36**(4): 2868-2874 (in Chinese with English abstract). [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. 水生态学杂志, 2015, **36**(4): 2868-2874.]
- [16] Wang Liqing, Xu Li, Lu Ziyuan *et al.* Dynamic of phytoplankton abundance and the relationship with environmental factors in Lake Dianshan, Shanghai. *Environmental Science*, 2011, **32**(10): 69-77 (in Chinese with English abstract). [王丽卿, 许莉, 卢子园等. 淀山湖浮游植物数量消长及其与环境因子的关系. 环境科学, 2011, **32**(10): 69-77.]
- [17] Yu Ting, Dai Jingjun, Lei Lamei *et al.* Effects of temperature, irradiance and nitrate on the growth of *Cylindrospermopsis raciborskii* N8. *J Lake Sci*, 2014, **26**(3): 441-446 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2014.0315. [于婷, 戴景峻, 雷腊梅等. 温度、光照强度及硝酸盐对拟柱孢藻 (*Cylindrospermopsis raciborskii* N8) 生长的影响. 湖泊科学, 2014, **26**(3): 441-446.]
- [18] Zhang Yanqing, Yang Guijun, Qin Boqiang *et al.* Effect of light intensity on growth of *Microcystis flos-aquae* colonies size. *J Lake Sci*, 2014, **26**(4): 559-566 (in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2014.0410. [张艳晴, 杨桂军, 秦伯强等. 光照强度对水华微囊藻 (*Microcystis flos-aquae*) 群体大小增长的影响. 湖泊科学, 2014, **26**(4): 559-566.]

- [19] Xia Xinghui, Wu Qiong, Mou Xinli. Advances in impacts of climate change on surface water quality. *Advances in Water Science*, 2012, **23**(1): 125-133(in Chinese with English abstract). [夏星辉, 吴琼, 牟新利. 全球气候变化对地表水环境质量影响研究进展. 水科学进展, 2012, **23**(1): 125-133.]
- [20] Liu Jiankang ed. *Advanced aquatic biology*. Beijing: Science Press, 1999: 231-240(in Chinese). [刘建康. 高级水生生物学. 北京: 科学出版社, 1999: 231-240.]
- [21] Cui Lijuan, Li Wei, Zhang Manyin *et al.* Different wetland plant roles of removing nitrogen phosphorus on sewage water. *J Lake Sci*, 2011, **22**(2): 203-208(in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2011.0207. [崔丽娟, 李伟, 张曼胤等. 不同湿地植物对污水中氮磷去除的贡献. 湖泊科学, 2011, **22**(2): 203-208.]
- [22] Yang Danjing, Jing Yuanxiao, Chen Zhaoping *et al.* Study on removal effect and regulation of *Cleistocalyx operculatu* to N and P in eutrophic water body. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, **23**(18): 637-639(in Chinese with English abstract). [杨丹菁, 靖元孝, 陈兆平等. 水翁对富营养化水体氮、磷去除效果及规律研究. 环境科学学报, 2012, **23**(18): 637-639.]
- [23] Zhang Guilong, Zhao Jianning, Liu Hongmei *et al.* Kinetics of nitrate and ammonium uptake from eutrophic waters by different hydrophytes. *J Lake Sci*, 2013, **25**(2): 221-226(in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2013.0207. [张贵龙, 赵建宁, 刘红梅等. 不同水生植物对富营养化水体无机氮吸收动力学特征. 湖泊科学, 2013, **25**(2): 221-226.]
- [24] Jin Shuquan, Zhou Jinbo, Zhu Xiaoli *et al.* Comparison of nitrogen and phosphorus uptake and water purification ability of ten aquatic macrophytes. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, **29**(8): 1571-1575(in Chinese with English abstract). [金树权, 周金波, 朱晓丽等. 10种水生植物的氮磷吸收和水质净化能力比较研究. 农业环境科学学报, 2010, **29**(8): 1571-1575.]
- [25] Wang Zhaohui, Jiang Tianjiu, Qi Sang *et al.* Studies of nitrogen and phosphorus removal capacity of *Hydrodictyon reticulatum* in eutrophic fresh water samples. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1999, **19**(4): 448-452(in Chinese with English abstract). [王朝晖, 江天久, 杞桑等. 水网藻(*Hydrodictyon reticulatum*)对富营养化水样中氮磷去除能力的研究. 环境科学学报, 1999, **19**(4): 448-452.]
- [26] Wang Yan, Huang Jiacong, Yan Renhua *et al.* Nutrient removal efficiency of lake wetlands: A case study of Sanshan Wetland in Lake Taihu, eastern China. *J Lake Sci*, 2016, **28**(1): 124-131(in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2016.0114. [王雁, 黄佳聪, 闫人华等. 湖泊湿地的水质净化效应——以太湖三山湿地为例. 湖泊科学, 2016, **28**(1): 124-131.]
- [27] Wang Liqing, Li Yan, Zhang Ruilei. The purification of Lake Dianshan water quality with six species of submerged macrophytesystems. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, **27**(3): 1134-1139(in Chinese with English abstract). [王丽卿, 李燕, 张瑞雷. 6种沉水植物系统对淀山湖水质净化效果的研究. 农业环境科学学报, 2008, **27**(3): 1134-1139.]
- [28] Hua Chengping. Study on characteristics of seasonal variations with COD_{Mn} in Changtan Reservoir, Zhejiang Province. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2012, **23**(18): 125-126(in Chinese with English abstract). [华呈平. 浙江省长潭水库高锰酸盐指数季节变化特征研究. 安徽农业学报, 2012, **23**(18): 125-126.]
- [29] Cao Jinling, Xi Beidou, Xu Qigong *et al.* regional differences in physiographical, climatological and morphological effects on lake trophic status in China. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, **32**(6): 1512-1519(in Chinese with English abstract). [曹金玲, 席北斗, 许其功等. 地理气候及湖盆形态对我国湖泊营养状态的影响. 环境科学学报, 2012, **32**(6): 1512-1519.]
- [30] Chen Xiaohua, Li Xiaoping, Cheng Xi *et al.* Eutrophication evolution of typical small and medium-sized lakes in Lake Taihu basin(1991-2010). *J Lake Sci*, 2013, **25**(6): 846-853(in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/2013.0608. [陈小华, 李小平, 程曦等. 太湖流域典型中小型湖泊富营养化演变分析(1991-2010年). 湖泊科学, 2013, **25**(6): 846-853.]
- [31] Ruan Renliang, Wang Yun. Study on assessment of water environmental quality and control of water pollution in Lake Dianshan, Shanghai. *J Lake Sci*, 1993, **5**(2): 153-158(in Chinese with English abstract). DOI: 10.18307/1993.0207. [阮仁良, 王云. 淀山湖水环境质量评价及污染防治研究. 湖泊科学, 1993, **5**(2): 153-158.]
- [32] Zhao Zhen, Sun Congjun, Kang Lijuan *et al.* Studies on dynamic numerical simulation of water quality and integrated pollution control schemes for Lake Dianshan. *Shanghai Environment Sciences*, 2013, **32**(3): 103-112(in Chinese with English abstract). [赵振, 孙丛军, 康丽娟等. 淀山湖水质动态数值模拟及污染治理方案研究. 上海环境科学, 2013, **32**(3): 103-112.]