

鄱阳湖区氮磷污染物分布、转移和削减特征^{*1}

唐国华^{1, 2} 林玉茹³ 胡振鹏^{1*} 王仕刚⁴

(1. 南昌大学管理学院, 江西南昌 330029;

2. 华东交通大学人文学院, 江西南昌 330013;

3. 长江科学研究院水资源研究所, 湖北武汉 430010;

4. 鄱阳湖水文局, 江西庐山 332800)

【摘要】:根据入湖污染负荷监测、调查资料 and 不同水文条件下流场-水质同步监测资料, 应用数理统计方法, 研究了鄱阳湖氮磷营养物质分布、转移和削减特征。研究结果显示:(1)总磷、总氮是影响鄱阳湖水环境质量的主要污染物, 入湖污染负荷与入湖径流量紧密正相关。(2)鄱阳湖换水周期短, 水流更换频繁, 氮磷污染物在湖区不会充分混合; 氮磷超标水域随着水体流动, 逐步向下游转移、扩散; 湖水位处于消落状态, 通江水道部分水域氮磷浓度超标。(3)湖相状态水环境比河相好, 湖相状态一般不会出现大面积的总氮和总磷同时超标。(4)鄱阳湖水环境勉强维持Ⅲ类标准, 如果出现损害环境的人类活动, 脆弱的水环境将会恶化。针对这些特征提出了保护鄱阳湖“一湖清水”的对策建议。

【关键词】:鄱阳湖; 水环境质量; 氮磷污染; 分布特征; 转移过程

【中图分类号】:X832 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1004-8227(2017)09-1436-10

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201709016

鄱阳湖是中国最大的淡水湖, 属于过水性吞吐型浅水湖泊, 接纳赣江、抚河、信江、饶河、修水以及博阳河、漳田河等小河流来水, 调蓄后从湖口流入长江, 年均出湖总径流量为 $1436 \times 108 \text{m}^3$, 以占长江 9% 的流域面积, 向长江输送 15.5% 的水量, 对长江中下游水资源、水环境、水生态和水安全具有重要的保障作用。进入 21 世纪以来, 鄱阳湖水环境质量受到社会关注, 孙晓山等^[1] 分析例行监测资料, 概括了鄱阳湖水环境质量演变过程:20 世纪 80 年代鄱阳湖水质以Ⅱ类为主, 平均占 85%, Ⅲ类水占 15%; 90 年代水质缓慢下降, Ⅲ类水占 30%; 2003 年以后水质下降趋势明显, Ⅱ类水仅占 50%, Ⅲ类水占 32%, 劣于Ⅲ类占 18%^[2]。

¹ 收稿日期:2016-11-25; 修回日期:2017-06-12

基金项目:国家自然科学基金(41261053) [National Natural Science Foundation of China(41261053)]; 江西省科技创新团队项目(20133BCB24015) [Science and Technology Innovation Team Project of Jiangxi Province(20133BCB24015)]

作者简介:唐国华(1975~), 男, 副教授, 博士, 主要从事资源与环境管理与公共管理研究. E-mail:58056873@qq.com

***通讯作者** E-mail:6222136@126.com

李冰等^[3]通过模糊变量评估模型,分析了鄱阳湖 15 个监测点 11 个水质参数变化情况,发现排入湖泊的污水显著影响鄱阳湖水环境质量。鄢帮有等^[4]和王毛兰等^[5]根据鄱阳湖水环境污染情况,分析了主要污染物及其来源;顾平等根据星子站、蛤蟆石站、都昌站、康山站的实测水位、水质资料,研究了氨氮和高锰酸盐浓度与水位、换水周期期间的关系^[6]。李冰等研究了 2004~2014 年鄱阳湖出流水质变化及其对水位变化的响应,例行监测显示,氮磷是鄱阳湖主要污染物^[3]。刘倩纯等^[7]和陈晓玲^[8]研究了湖区氮磷营养盐分布状况及其对富营养化的影响;刘元波等^[9]从流域水文过程、进出湖水量平衡变化出发研究了水质变化的特征、氮磷污染物来源;王毛兰等^[10]应用 PHREEQC 模型分析了鄱阳湖水体中的氮形态。王圣瑞等^[2]从江湖关系变化着手,构建水质模型,定量揭示了江湖关系变化对鄱阳湖水环境的影响,预测水质变化诱发藻类水华的影响。高桂青等^[11]、淦峰等^[12]、李艳红等^[13]以及刘发根等^[14]以每月监测一次的例行监测资料为依据,分别采用了不同的方法分析了水位变化下的鄱阳湖水水质时空变化特征。由于湖区设置的监测点数量有限,且湖泊中央水域缺乏监测点,水环境质量与入湖污染负荷、湖泊水流场分布等多种因素有关,水质时空变化特征难以取得较为一致的认识。

因此,深入研究污染物质在湖区转移、扩散和削减的基本特征,对于掌握鄱阳湖污染运动演变规律、污染源治理、水环境和水生态保护具有重要现实意义;对于丰富大型浅水湖泊污染物分布、转移、扩散和削减规律的认识,具有一定理论价值。

1 鄱阳湖区入湖污染负荷

1.1 入湖污染负荷的监测

20 世纪 80 年代开始,有关部门在进入鄱阳湖河流的 7 个控制断面(赣江外洲站,抚河李家渡站,信江梅港站,修河的虬津站、万家埠站,饶河的渡峰坑站、虎山站,俗称“五河七口”)监测入湖污染负荷。“五河七口”以下至湖口断面,尚有包括南昌市市区在内的 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的集雨面积,没有全面监测这一区域的入湖污染负荷。

2010 年开始,在七口以下鄱阳湖尾闾地区所有五河支流新设 11 个断面监测面,2014 年又在直接入湖的中小河流增设 7 个监测断面(图 1),按照 GB3838—2002 规定的 24 个基本项目监测入湖污染浓度及流量,每两个月定期监测 1 次。



图 1 鄱阳湖入湖河流水质监测断面分布图

Fig. 1 Water Quality Monitoring Section of River into Poyang Lake

根据 GB3838-2002 (河流) 要求, 按照单因子评价方法, 2010~2014 年赣江等 5 条大型河流 11 个监测断面Ⅲ类水质 (河流) 达标率分布为 81.8%~100%, 主要为总磷超标, 氨氮和石油类超标 1 次; 7 条中小河流Ⅲ类水质 (河流) 达标率 37.5%~83.3%, 超标污染物除总磷外, 还有 COD、氨氮。

1.2 入湖污染负荷分析

长期监测资料显示, 氮磷是鄱阳湖主要污染物, 入湖污染负荷的分析着重考虑氨氮、总氮、总磷等。污染负荷总量包括各类河流带入和直接入湖两部分。根据 2010~2014 年定期监测的五河各支流和中小河流 18 个断面流量以及氨氮、总氮、总磷的浓度, 计算出河流每年带入鄱阳湖的主要污染物总量, 反映了鄱阳湖流域绝大部分入湖氮磷污染物数量。

2010~2013 年, 对于图 1 所示 18 个断面未控制区域的直排鄱阳湖工业等污染源进行了普查, 2014 年新增加了降雨降尘监测。根据普查得到的直排鄱阳湖工业废水和生活污水数量及其氮磷浓度, 农田、水产养殖和丘陵荒坡面积及其单位面积排放到湖区水体的污染物浓度, 分别计算直接入湖氨氮、总氮、总磷污染负荷; 根据监测数据, 估算降雨降尘产生的污染, 这些污染负荷相加, 得到每年直接入湖的氨氮、总氮和总磷污染物总量。研究中没有考虑湖区生物过程从大气中吸收的氮及其湖泊底泥

析出的氮磷污染物。

各类河流带入和直接入湖两部分污染物相加,得到氨氮、总氮、总磷入湖污染负荷总量(表 1),其中河流带入的氨氮占 90.7%~95.2%、总磷占 75.7%~93.1%、总氮占 93.0%~94.5%。

表 1 2010 ~ 2014 年鄱阳湖入湖污染负荷

年份	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	5 a 平均
降水量 (mm)	2 086	1 304	2 165	1 464	1 655	1 735
入湖年均流量 (m ³ /s)	7 019	3 070	6 680	4 460	4 830	5 212
氨氮总量 (10 ⁴ t)	7.70	4.10	7.40	5.80	6.60	6.32
总磷总量 (10 ⁴ t)	2.60	0.75	1.30	0.97	1.20	1.36
总氮总量 (10 ⁴ t)	27.1	12.8	24.4	16.7	20.8	20.36

氨氮、总氮和总磷的入湖污染数量与入湖径流量大小紧密相关。根据表 1 中 3~6 行相关数据进行趋势分析,数量关系符合对数分布:

$$\text{总氮 } Y_N = 16.729 \ln(x) - 122.1$$

$$R^2 = 0.9529$$

$$\text{氨氮 } Y_{NH} = 4.2417 \ln(x) - 29.801$$

$$R^2 = 0.9723$$

$$\text{总磷 } Y_P = 1.6645 \ln(x) - 12.81$$

$$R^2 = 0.5977$$

式中 x 鄱阳湖入湖年平均流量。这些关系式说明,入湖年平均流量(即入湖年径流量)增加,入湖总氮、氨氮和总磷相应增加。趋势分析中总磷的相关系数 R² 比总氮和氨氮小一些,可能与鄱阳湖流域每个县 2011 年开始建设城镇生活污水处理厂和工业废水处理设施有关,虽然生活污水处理厂没有专门的除磷工艺,但总磷一般容易吸附在悬浮物上,污水处理过程中沉淀到底泥中,另行处理了,减少了进入湖负荷。

2 鄱阳湖水体环境监测

2.1 湖区流场-水质同步监测

20 世纪 80 年代开始,在鄱阳湖水体逐步建立了 15 个水质例行监测点,基本布设在湖滨沿岸水域,每月监测一次。鄱阳湖水环境质量受到入湖污染负荷、湖泊流场(流速、流向)分布、人类活动等多种因素影响,例行监测难以全面反映湖区氮磷污染物分布、扩散的基本特征。为了全面掌握鄱阳湖不同水流状态及污染物分布情况,从 2010 年开始对鄱阳湖流场-水质进行同步

监测。流场—水质同步监测网络布设如图 2 所示，从湖口开始，每隔 5km 设 1 个断面，全湖共设 34 个断面，每个断面设 1~5 根监测垂线，共布设监测垂线 68 条。“河相”状态则选取主航道或深水区垂线，总数不少于 38 条。每次监测测点位置基本不变，保证监测数据的连续性和可比性。

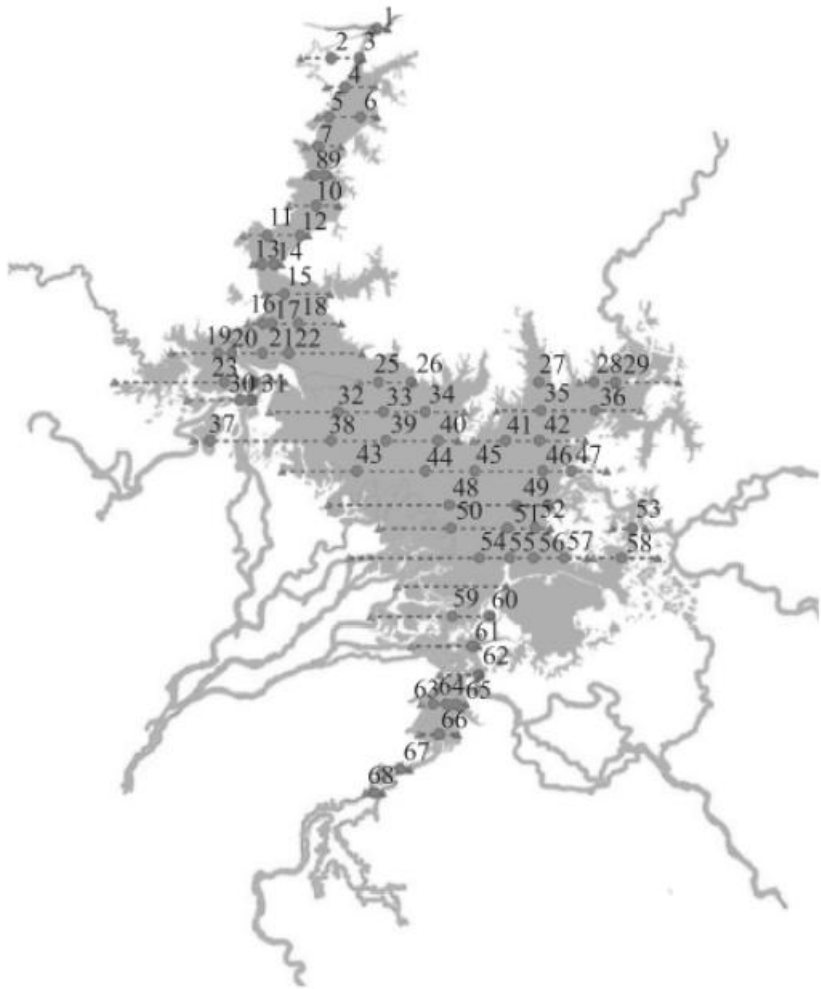


图 2 鄱阳湖区流场-水质监测网络分布图
Fig. 2 Flow-Water Quality Measurement
Network in Poyang Lake

2. 27 次同步监测的的水文条件

鄱阳湖丰水期湖面辽阔，呈现湖泊状态(湖相)；枯水期水束如带，呈现河流状态(河相)；以年为周期轮番交替。鄱阳湖进出湖水量大，水体更换频繁；河相状态最短 6d 换水一次(3、4 月)；湖相状态最多 29d 换水一次(9 月)；全年平均 10d 换水一次。按照图 2 所示的监测网络，2010~1016 年共进行了 7 次鄱阳湖流场—水质同步监测，与此同时还监测了赣、抚、信、饶、修五大河各支流以及博阳河、漳田河等直接入湖的中小河流入湖控制站的流量和水质指标。流速流向测量按照《流量测验规范 GB50179-93》要求进行；水质监测了 GB3838-2002 规定的 24 个基本项目。7 次监测的时间、水文情势、进出湖水质状况和湖区流场分布情况简要地列在表 2 中。其中，第 1、4、6、7 次为湖泊状态，包括了水位消退(退水)、上涨(涨水)和平稳状态；第 2、

3、5 次为河流状态，包括了涨水与退水情况。7 次监测中，超过Ⅲ类水质标准(湖泊)的主要污染物为总磷、总氮；其中 2 次共 3 个测点氨氮超标，氨氮超标点位于小河流入湖口门附近，其余水质指标均优于Ⅲ类标准。

湖区流速分布差异很大，不仅与湖相或河相状态有关，而且与涨水或退水有关，还与湖盆地形、暴雨中心在流域位置等因素相关。一般而言，河相状态全湖区平均为 0.624~0.83m/s，东水道 0.51~1.62m/s、西水道 0.59~1.1m/s、入江水道 0.534~0.8m/s；湖相状态流速比河相小一些，各测点流速差异也小；全湖平均 0.15~0.288m/s，赣江南支、抚河、信江、昌江入湖水域流速 0.27~0.46m/s、赣江主支与修河入湖水域 0.2~0.406m/s、入江水道 0.11~0.25m/s；松门山南部主湖区 0.16~0.2m/s、松门山东部湖区水域(撮箕湖)为 0.07~0.16m/s。每次监测流速具体分布列在表 2 最后一列。

湖区氮磷浓度及其分布直接受入湖污染负荷影响，污染负荷与入湖径流量紧密相关，表 2 不仅列出每次监测区间平均入湖、出湖流量，而且在第 6 列列出了监测开始前 10d 的鄱阳湖流域平均面雨量。

表 2 鄱阳湖 7 次流场-水质监测的水文条件

项目	年-月-日	平均水位最高~最低 (m, 黄海高程)	水面面积 (km ²)	蓄水量 (10 ⁸ m ³)	情景	入湖流量	入湖水质 达标率 (%)	出湖流量 (m ³ /s)	出湖水质 (湖泊)	流场描述 (流速 m/s)
第 1 次	2010-10-9~12 日	12.52 12.85-12.16	2 152	47	湖相，退水. 前 10 d 流域降水 35 mm;有采砂活动. 网格测点 65 个	1 429	94.1	7 152	Ⅳ类	全湖 0.01~ 0.77, 平均 0.213. 入江水道 0.25, 东南水域 0.46, 西部水域 0.2, 主湖区 0.16 m/s
第 2 次	2010-10-19-20 0	8.68 8.51-8.85	654	11.2	河相、涨水，停止采砂. 前 10 d 流域降水 54 mm;湖区网格测点 38 个	3 883	93.4	5 010	Ⅳ类	全湖 0.01 ~ 1.59, 平均 0.83. 入江水道 0.8, 东水道 1.62, 西水道 0.59 m/s
第 3 次	2010-10-28-29 0	8.53 8.60-8.45	622	10.6	河相，退水，无采砂. 前 10 d 流域降水 9 mm; 湖区网格测点 38 个	1 742	91.7	< 4 375	Ⅲ类	全湖 0.07 ~ 1.79, 平均 0.64. 入江水道 0.59, 东水道 0.7, 西水道 1.1 m/s
第 4 次	2012-05-17-18 0	15.22 15.13-15.56	3 427	120	湖相，涨水，采砂. 前 10 d 流域降水 133 mm. 网格测点 68 个	12 446	100	11 100	Ⅳ类	全湖 0.09-1.11 平均 0.288. 入江水道 0.34, 东南部 0.44, 西部 0.41, 主湖区 0.25, 东部湖区 0.16 m/s
第 5 次	2013-03-11-12 0	8.09 8.14-8.03	530	8.89	河相、退水. 采砂，流域 前 10 d 流域降水 12 mm. 湖区网格测点 38 个	1 950	91.3	3 700	Ⅴ类	全湖 0.12-1.29 平均 0.624. 入江水道 0.534, 西部 0.80, 主湖区 0.7, 东南部 0.51 m/s
第 6 次	2014-08-30-31 0	14.58 稳定	3 273	115	湖相，水位稳定，少量采砂，前 10 d 降水 38 mm; 网格测点 67 个	3 749	72.2	5 040	Ⅳ类	全湖 0.04 ~ 0.47, 平均 0.155. 入江水道 0.17, 东南部 0.41, 西部 0.22, 主湖区 0.16,

全湖 0.05 ~ 0.54 平
均 0.15. 人江水道
24, 东南部 0.27, 西部
32, 主湖区 0.16, 东
部湖汉 0.07 m/s

湖相, 水位下降缓慢, 少量采砂, 前 10 d 降水 46 mm, 网格测点 68 个

7	16.75	68	40	0.055	0.45	41.2	22	0.89	0.472	67.6	湖相、退水、少量采砂
---	-------	----	----	-------	------	------	----	------	-------	------	------------

另外统计每次监测中同一测点总磷、总氮同时超过Ⅲ类标准的测点数量及其占实测点数的比例，列在表 4 中。

表 4 7 次监测氮磷同时超标测点数量统计

监测序次	1	2	3	4	5	6	7
湖泊状态	湖相	河相	河相	湖相	河相	湖相	湖相
测点总数	68	38	38	68	38	67	68
同时超标数	18	23	13	2	14	11	5
比例（%）	26.47	60.52	34.21	2.94	36.84	16.41	7.35

4 鄱阳湖氮磷运动、扩散和削减特征分析

4.1 氮磷污染物质在湖区难以均匀混合

由于鄱阳湖水体更换周期短、湖水具有一定流速，污染物随水流运动，在湖区没有充分混合就流出鄱阳湖。从图 3～图 8 可以看到，暴雨径流携带污染物入湖后，湖水位上涨，入湖流量大、污染负荷大，氮磷超标区域主要集中在河流入湖口门附近水域的一定范围之内，一般呈扇形状态分布；然后，水流向下游流动过程中，总磷、总氮超标的污染团也逐步下移、扩散和削减，尚未充分混合就已经流出鄱阳湖了。表 3 显示总磷离差系数 0.357～0.723、总氮 0.27～0.665，说明各监测点之间浓度分布明显不均匀。湖相状态湖面辽阔、监测点数量多，偏差系数大于河相。

4.2 磷氮超标水域以团块形式逐步下移并扩散

暴雨径流入湖后，总磷、总氮等污染物聚集在河口水域逐步扩散，氮磷超标水域以团块状形态从上游到下游转移并扩散。例如，2012 年 5 月 17 日进行第 4 次监测，5 月 8～16 日流域平均面雨量 133mm，降雨中心以赣江流域为主，赣江主支、北支、中支和南支入湖三角洲前缘水域总氮形成扇形污染水域，抚河、饶河超标水域则在尾闾河道中；总磷超标水域集中在赣江、抚河尾闾河道中(图 3)。

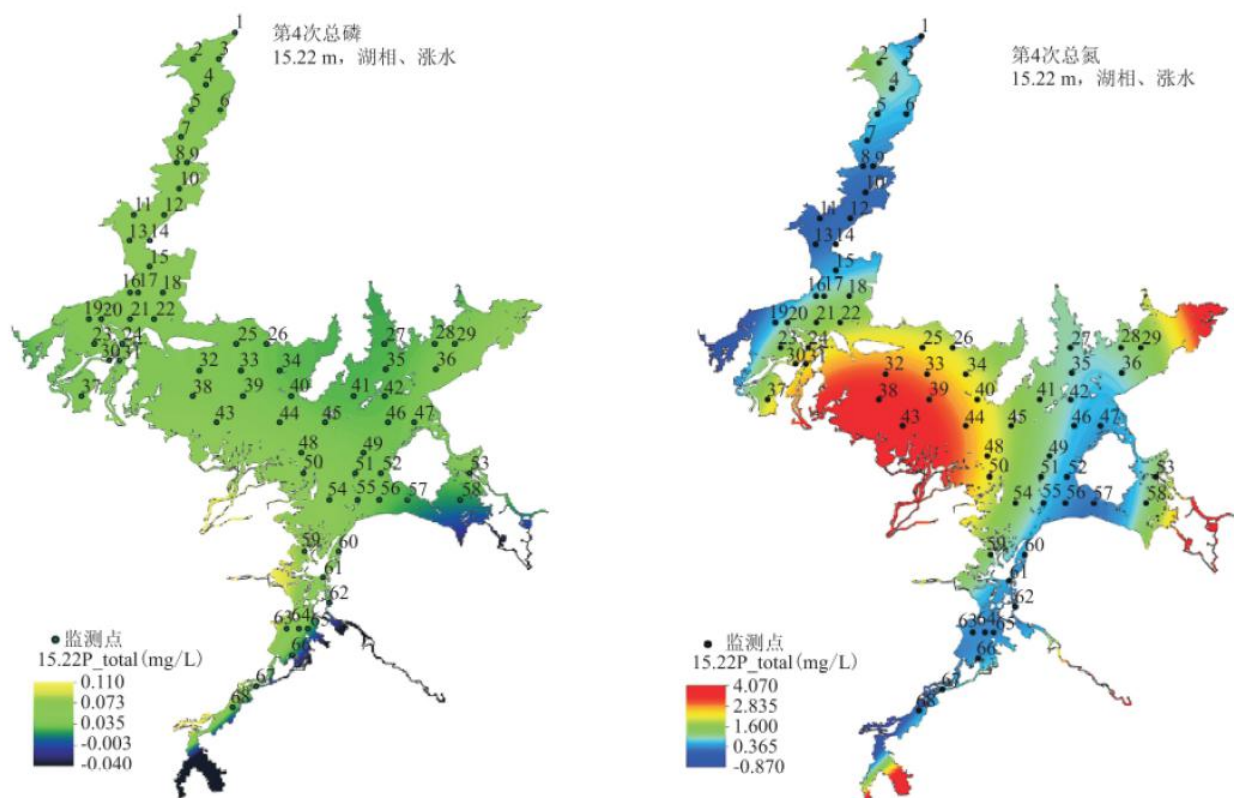


图3 第4次监测总磷、总氮浓度分布(湖相、涨水)

Fig. 3 TP and TN Concentration Distribution in 4th (River State, Water Level Rises)

又如,第1次监测时间为2010年10月9~12日,总磷总氮超标水域主要在河流入湖尾间地区(图4),随着水流向下游流动,超标水域一面下移,一面扩散。7d之后,10月9~12日进行第2次监测,总磷超标水域扩大,下移到松门山以南主湖区,并进入入江水道;总氮超标水域以入江水域为主(图5)。另外,第1次、第2次监测分别在湖区东部中小河流入湖水域存在2个和1个监测点氨氮超标,但相邻测点氨氮均符合III类标准,表明氨氮在湖区降解较快,与鄱阳湖水流交换快及丰富的水生植物吸收有关。

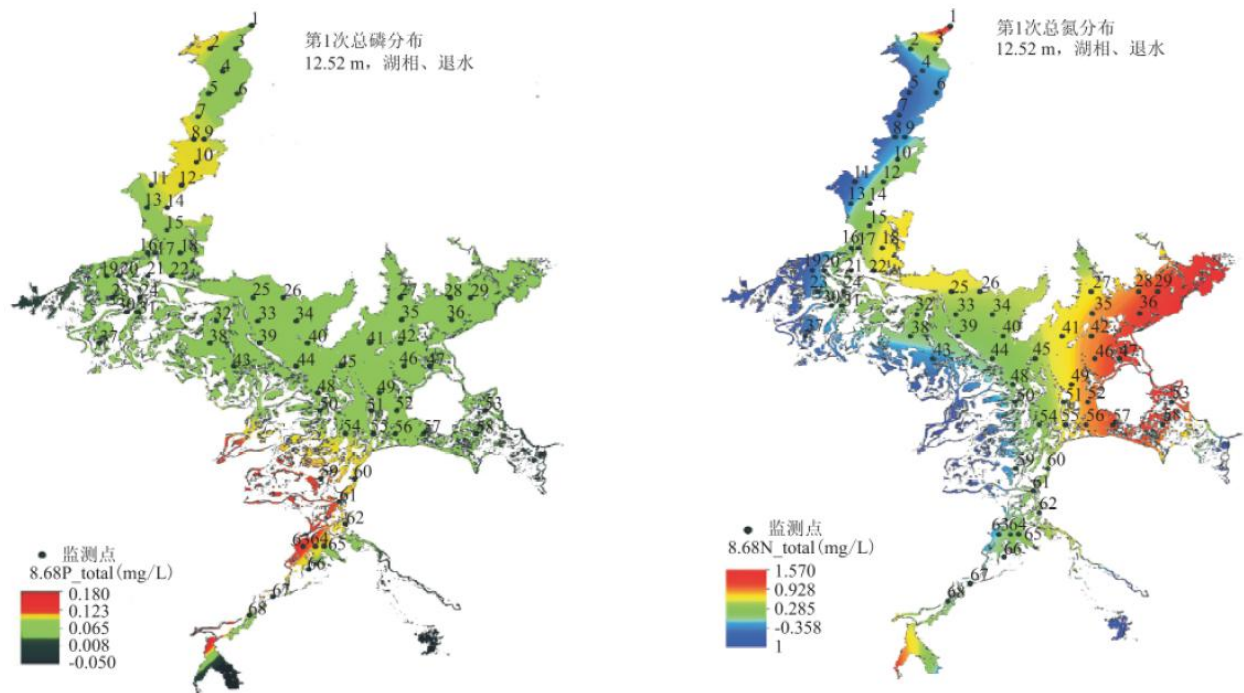


图4 第1次监测总磷、总氮浓度分布(湖相、退水)

Fig. 4 TP and TN Concentration Distribution in 1st (Lake State, Water Level Drops)

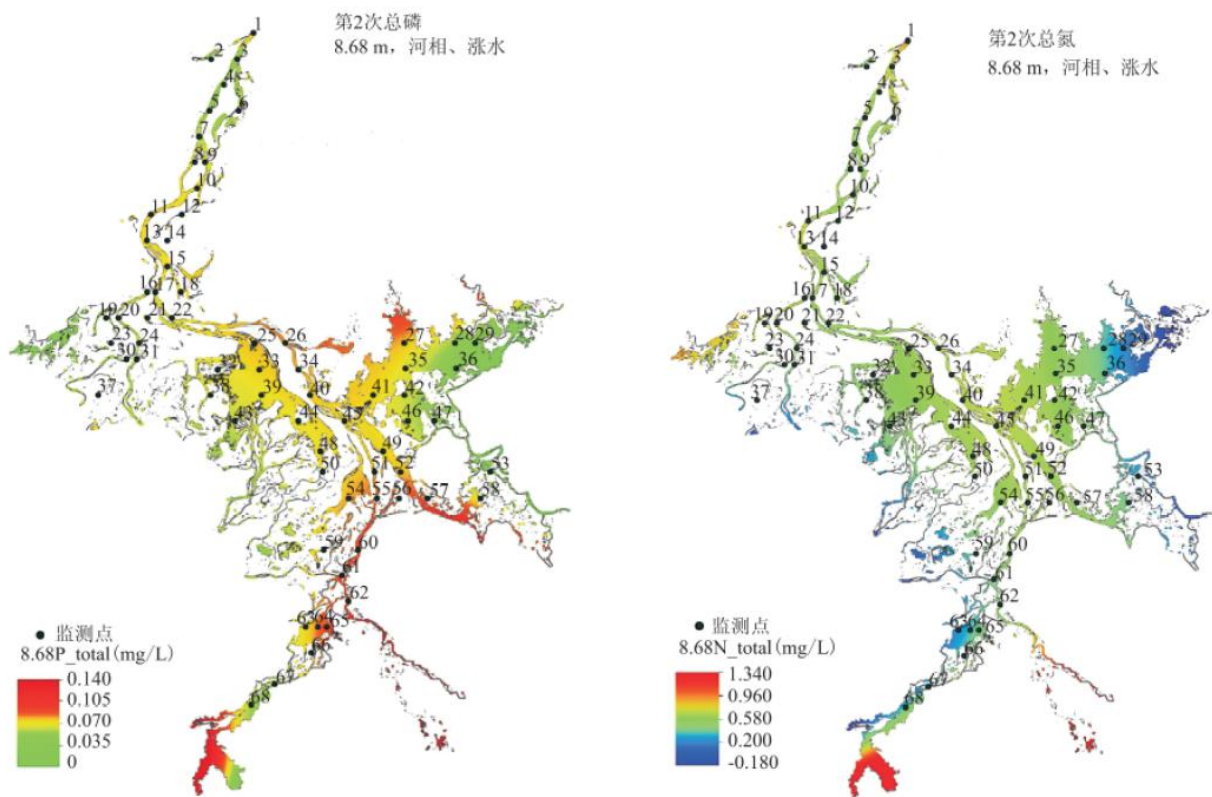


图5 第2次监测总磷、总氮浓度分布(河相、涨水)

Fig. 5 TP and TN Concentration Distribution in 2nd (River State, Water Level Rises)

4.3 湖相水环境好于河相，湖相状态下总磷与总氮的超标水域一般不重合

图3~8可以看到，湖相水环境好于河相，表3第7、11列可以知道，湖相总磷Ⅲ类达标率(41.2%~95.6%)比河相(11.4%~47.6%)好；湖相总氮Ⅲ类达标率(38.5%~67.7%)也比河相(16.7%~50%)好。另外，湖相状态总磷、总氮同时超标水域一般不会出现大面积重合。从表4可知，湖相状态4次监测总磷、总氮同时超标的测点占所有实测点总数的比例为2.94%~26.15%；河相状态3次监测总磷、总氮同时超标的测点比例为34.21%~60.58%。

4.4 长江对鄱阳湖水流的顶托作用，使入江水道磷氮容易超标

湖区水位消退时，污染水域随水流转移进入江水道，入江水道水面坡降平缓、流速较小，污染物产生聚集效应，水环境容易超标(图6)。如果遭遇长江水流对鄱阳湖区出流顶托，更不利于污染物下移，总磷、总氮超标水域面积扩大。2014年8月30、31日进行的第6次监测时，长江顶托，湖区水位稳定在14.58m，入江水道部分水域总磷、总氮不同程度超标(图7)。

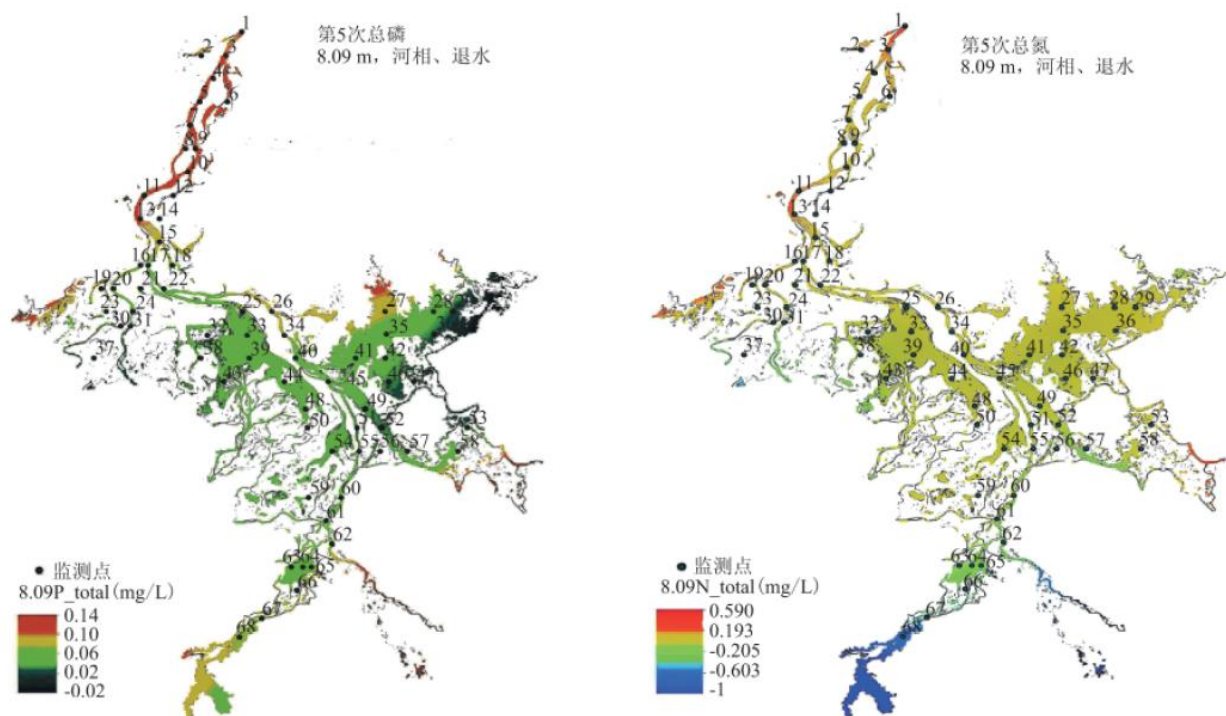


图6 第5次监测总磷、总氮浓度分布(河相、退水)

Fig.6 TP and TN Concentration Distribution in 5th (River State, Water Level Drops)

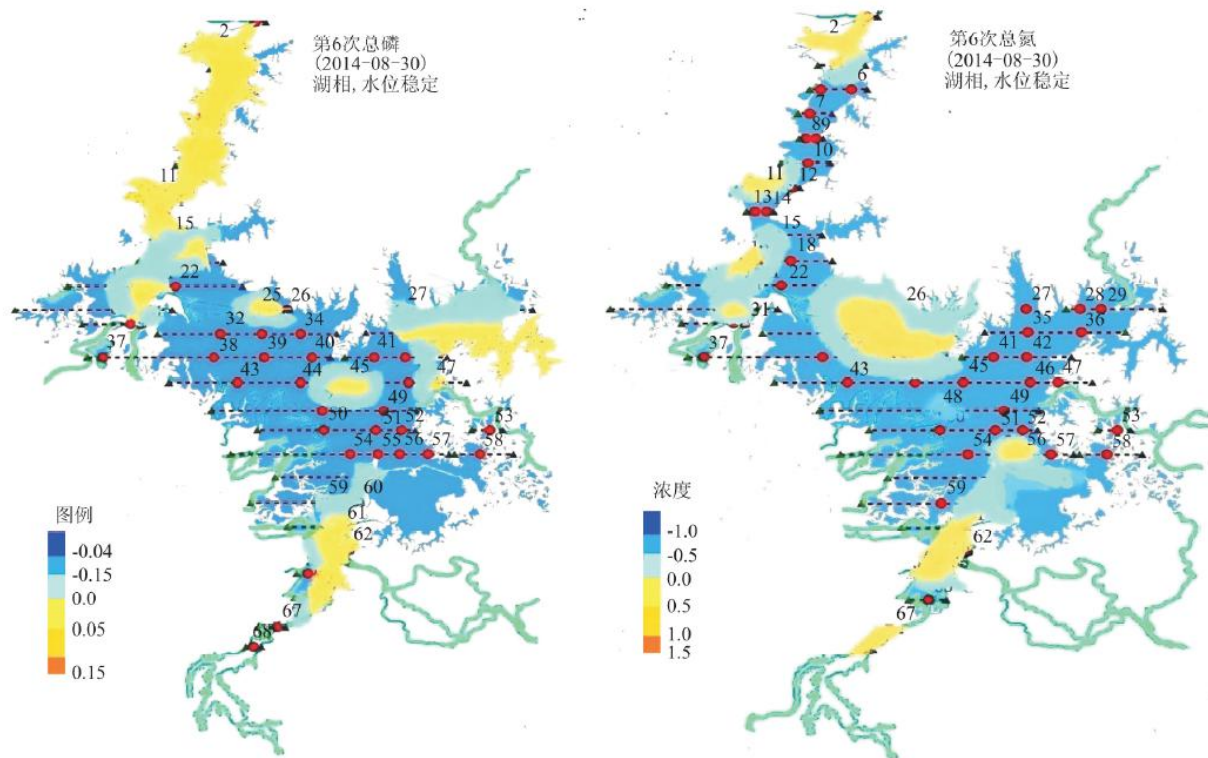


图 7 第六次监测总磷、总氮浓度分布(湖相、水位稳定)
Fig. 7 TP and TN Concentration Distribution in 6th (Lake State, Water Level Stability)

4.5 湖区水质超标对人类活动比较敏感

鄱阳湖流域经常性、固定排污的污染负荷基本占用了水体磷氮纳污容量, 水环境维持脆弱的Ⅲ类状态。如果湖区没有明显影响水环境的人类活动, 流域前期没有较大降水过程, 总氮总磷超标水域面积很小。如 2010 年 12 月 28、28 日第 3 次监测前, 湖区全面禁止采砂, 总磷超标全面好转, 除抚河青岚湖、信江和饶河支流乐安河外, 其他水域均达到Ⅲ标准(图 8)。

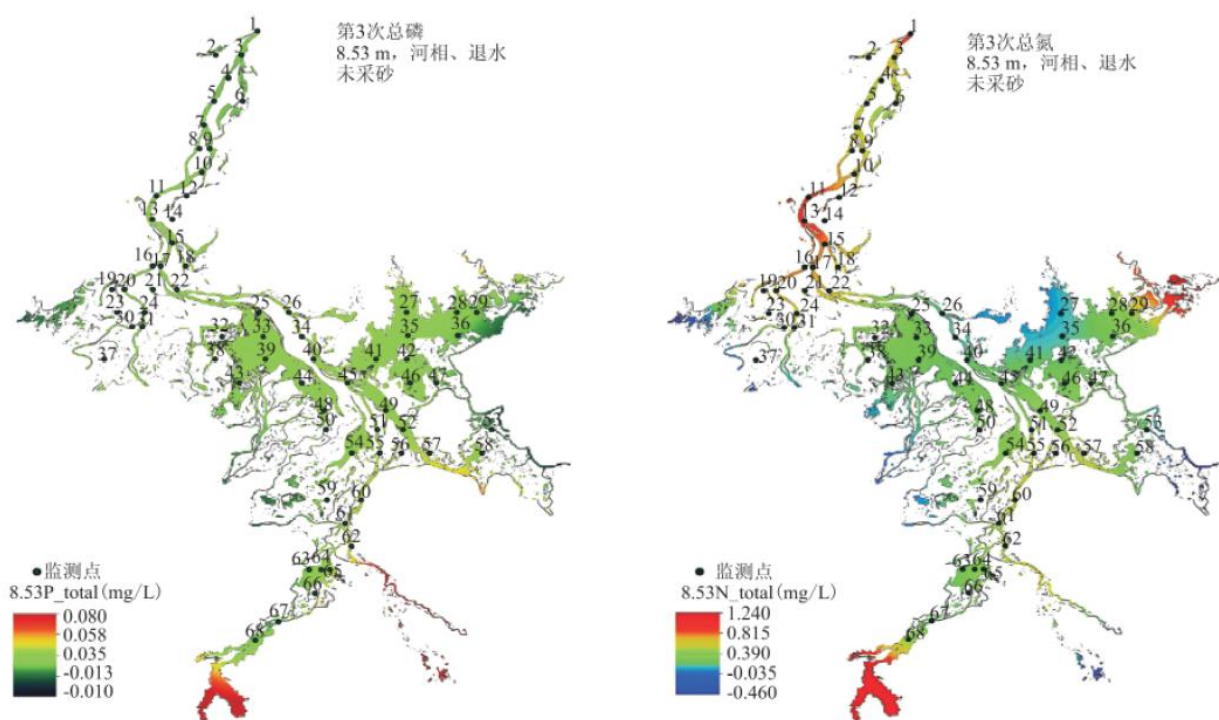


图 8 第 3 次监测总磷、总氮浓度分布(河相、退水、无采砂)
Fig. 8 TP and TN Concentration Distribution in 3rd (River State, Water Level Drops, No Sand Mining)

一些影响湖区水质的人类活动使水环境恶化。湖区高强度采砂和专业化捞螺捕蚌搅起沉积在湖底的底泥,增加水体浑浊度,释放吸附在底泥中的磷,使水体总磷浓度增加。如 2014 年 8 月 30、31 日进行的第 6 次监测,监测前 10d 内流域平均降水 37.7mm,松门山附近和棠阴岛东面有少量采砂活动,周边水域总磷超标,超标水域的水质为Ⅳ类(图 7)。东部湖汉和青岚湖内湖水域(撮箕湖)因围网从水产养殖投入肥料、饲料,每次监测均均有面积不等的磷氮超标水域(图 3~图 8)。企业超标排污也使入湖河流总磷超标,增加湖区总磷浓度,如第 6、7 次监测饶河支流乐安河石镇街断面总磷浓度分别达 1.42、2.21mg/L,饶河入湖口水域总磷超标(图 7)。第 7 次监测氮磷分布图与图 7 类似,未列示。

5 结论和建议

鄱阳湖是我国水环境质量较好的大型天然淡水湖泊,进入 21 世纪以后水环境质量逐步变差。本文利用入湖污染负荷监测、调查资料 and 不同水文条件下鄱阳湖区流场—水质同步监测资料的研究分析,总结了氮磷营养物质分布、转移和削减特征:

(1) 总磷、总氮是影响鄱阳湖水环境质量的主要污染物;入湖污染负荷与入湖径流量呈现比较密切的正相关。

(2) 由于鄱阳湖换水周期短,水体更换频繁,湖区水体具有一定流速,氮磷污染物在湖区难以充分混和。氮磷污染物随降水径流进入湖区后,超标水域分布在入湖三角洲前缘;随后,超标水域随水流运动逐步向下游主湖区转移、扩散;湖水水位消降时,通江水道部分水域氮磷超标,如果长江对鄱阳湖水流发生顶托,入江水道总磷、总氮超标面积扩大。

(3) 如果流域内前 10d 没有明显的降雨过程,不出现明显损害水环境的人类活动,湖区基本可以保持Ⅲ类水质。湖相状态水环境状态比河相好,且湖相状态一般不会出现总氮、总磷同时超标的大面积水域。

(4) 目前鄱阳湖勉强维持Ⅲ类水质，如果出现超标排污、湖区高强度采砂、专业化捞螺捕蚌和拦网水产养殖投放肥料饲料等人类活动，水环境将会恶化。

当前，鄱阳湖水环境保护正处在一个关键时期。必须坚决采取有力措施，遏制湖区水环境恶化的趋势：

(1) 只有严格控制经常性、固定排放的污染负荷，才能为面源污染腾出环境容量。必须加强城镇生活污水和园区工业废水的治理。对城镇生活污水而言，要进一步加强完善污水收集管网建设，提高生活污水处理厂的效率，使大多数城镇生活污水处理合格后排放。对园区工业废水而言，下决心制止“有法不依、执法不严”现象，杜绝未经处理的工业废水偷排，同时改进处理工艺，提高处理效率。对地处鄱阳湖周边、人口较为集中的乡镇生活污水要采取一定的处理措施，包括建设小型污水处理装置、利用人工湿地截污等。

(2) 全流域进一步开展面源污染治理。加强水土保持工作；强化城乡垃圾分类、回收利用、妥善处理；周边人控湖汉的水产养殖科学施用肥料饲料，并利用沟渠水塘净化排放的废水；加强鄱阳湖周边生态湿地建设，拦截部分入湖污染负荷。提倡湖区拦网养殖区实施清洁水产养殖，尽量不投放肥料和饲料。

(3) 减少内源污染。整治鄱阳湖区无序采砂现象，采砂活动必须“定点、定时、定量”，坚决打击偷采行为；有效制止专业化捞螺捕蚌活动。

(4) 优化产业结构。大力推进循环经济和生态经济，从源头上减少废弃物。

参考文献：

[1] 孙晓山. 加强流域综合管理，确保鄱阳湖一湖清水 [J]. 江西水利科技, 2009, 35(2) : 87—92.

【SUN X S. Strengthen the comprehensive management of Poyang Lake basin in order to assure it clean [J]. Jiangxi Hydraulic Science and Technology, 2009, 35(2) : 87—92. 】

[2] 王圣瑞, 等. 鄱阳湖水环境 [M]. 北京: 科学出版社, 2014, 10—46.

【WANG S R, et al. Water environment in Poyang Lake [M]. Beijing: Science Press, 2014, 10—46. 】

[3] 李冰, 杨桂山. 鄱阳湖出流水质 2004 ~ 2014 年变化及其对水位变化的响应：对水质监测频率的启示 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(2) .

【LI B, YANG G S. Temporal variability of water quality in Poyang Lake outlet and the associated water level fluctuations: a water quality sampling revelation [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(2) . 】

[4] 鄢帮有, 谭晦如, 邢久生. 鄱阳湖水环境承载力分析 [J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(6) : 931—935.

【YAN B Y, TAN H R, XING J S. Analysis on Carrying Capacity of Water Environment of Poyang Lake [J]. Acta Agriculurae Universitatis Jiangxiensis, 2004, 26(6) : 931—935. 】

-
- [5] 王毛兰, 胡春华, 周文斌. 丰水期鄱阳湖氮磷含量变化及来源分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 138—142.
- 【WANG M L, HU C H, ZHOU, W B. Consentration variations of N and P in Poyang Lake during high water period with analysis on their sources [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(1): 138—142. 】
- [6] 顾平, 万金保. 鄱阳湖水文特征及其对水质的影响研究 [J]. 环境污染与防治, 2011, 33(3): 15—19.
- 【GU P, WAN J B. Hydrology character of Poyang Lake and its influence on water quality [J]. Environmental Pollution and Control, 2011, 33(3): 15—19. 】
- [7] 刘倩纯, 余潮, 张杰, 等. 鄱阳湖水体水质变化特征分析 [J]. 农业环境科学学报, 2013(6): 1232—1237.
- 【LIU Q C, YU C, ZHANG J, et al. Analysis on water quality variation characteristics of Poyang Lake [J]. Journal of Agro Environment Science, 2013(6): 1232—1237. 】
- [8] 陈晓玲, 张媛, 张琍, 等. 丰水期鄱阳湖水体中氮、磷含量分布特征 [J]. 湖泊科学, 2013, 25(5).
- 【CHEN X L, ZHANG Y, ZHANG L, et al. Distribution characteristic of nitrogen and phosphorus in Lake Poyang during high water period [J]. Journal of Lake Sciences, 2013, 25(5). 】
- [9] 刘元波, 张奇, 刘健, 等. 鄱阳湖流域气候水文过程及水环境效应 [M]. 北京: 科学出版社, 2012: 205—242
- 【LIU Y B, ZHANG Q, LIU J, et al. Climatic hydrological processes and water environmental effects in Poyang Lake watershed [M]. Beijing: Science Press, 2012: 205—242. 】
- [10] 王毛兰, 周文斌. PHREEQC 模型在模拟计算鄱阳湖水体中氮形态的应用 [C]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011: 372—375.
- 【WANG M L, ZHOU W B J. Application of PHREEQC model in simulating calculation of nitrogen forms in Poyang Lake [C]. Beijing: China Environmental Science Press, 2011: 372—375. 】
- [11] 高桂青, 阮仁增, 欧阳球林. 鄱阳湖水质状况及变化趋势分析 [J]. 南昌工程学院学报, 2010, 29(4): 50—53.
- 【GAO G Q, RUAN R Z, OUYANG Q L. Water quality status and changing trend in Poyang Lake [J]. Journal of Nanchang Institute of Technology, 2010, 29(4): 50—53. 】
- [12] 淦峰, 林联盛, 孙国泉, 等. 鄱阳湖(西北水域)水环境现状及其评价 [J]. 江西科学, 2011, 29(3): 415—420.
- 【GAN F, LIN L S, SUN G Q, et al. Status and evaluation of water environment in northwest of Poyang Lake [J]. Jiangxi Science, 2011, 29(3): 415—420. 】

[13] 李艳红, 成静清, 郭春晶. 鄱阳湖水质时空相关性及其因素分析 [J]. 江西水利科技, 2013, 38(3) : 185—188.

【LI Y H, CHENG J Q, GUO C J. Spatio-temporal correlation and factors analysis of water quality in Poyang Lake [J]. Jiangxi Hydraulic Science & Technology, 2013, 38(3) : 185—188. 】

[14] 刘发根, 李梅, 郭玉银. 鄱阳湖水质时空变化及受水位影响的定量分析 [J]. 水文, 2014, 34(4) : 37—43.

【LIU F G, LI M, GUO Y Y. Spatial-temporal variation of water quality and water level effect on water quality in Poyang Lake [J]. Journal of China Hydrology, 2014, 34(4) : 37—43. 】