

淮河流域焦岗湖水质参数时空变化及影响因素*

王 变, 陈飘雪, 韦绪好, 孙庆业**

(安徽大学资源与环境工程学院, 合肥 230601)

摘 要: 焦岗湖是淮河左岸一个天然湖泊, 集防洪、灌溉、养殖、旅游等多种功能于一体。利用焦岗湖 4 个季节水质监测数据, 运用 Kriging 方法, 分析焦岗湖水质参数的时空变化及影响因素。结果表明: 由于受水文季节变化过程及人类活动等综合影响, 焦岗湖水质参数在时间及空间上均存在一定差异。从时间变化来看, 夏季透明度较低、秋季较高; 溶解氧浓度在春、冬季显著高于夏、秋季; 总氮、总磷浓度与高锰酸盐指数均表现为夏季最高、秋季最低。从空间变化来看, 4 个季节的透明度空间差异较为显著; 溶解氧浓度在春、冬季空间分布较为均匀, 夏季呈现中心高周围低的变化趋势, 秋季则表现为西高东低; 总磷浓度春季分布较为均匀, 夏、秋及冬季则呈西高东低之势; 高锰酸盐指数在春、秋季节呈现东高西低之势, 夏季高浓度主要集中在湖区北部, 冬季浓度变化不大。

关键词: 淮河流域; 焦岗湖; 水质参数; 时空变化; 影响因素

Spatio-temporal variations and impact parameters of water quality in Lake Jiaogang, Huaihe Basin

WANG Bian, CHEN Piaoxue, WEI Xuhao & SUN Qingye**

(School of Resource and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230601, P.R. China)

Abstract: Lake Jiaogang is a natural lake on the left bank of the Huaihe River, which plays an important role in flood control, irrigation, aquaculture and tourism. In this study, spatio-temporal variation and impact parameters of the water quality were analyzed using the monitoring data of the four seasons of Lake Jiaogang, by using Kriging method. The result indicated that the water quality parameters of Lake Jiaogang showed changes at temporal and spatial scale due to the effects of hydrology and human activities. In views of seasonal changes, the water transparency was lower in summer and was higher in autumn. Dissolved oxygen concentration in spring was significantly higher than that in summer, autumn and winter. The concentrations of total nitrogen, total phosphorus and permanganate index were the highest in summer and the lowest in autumn. The spatial difference of transparency of the four seasons was significant. The spatial distribution of dissolved oxygen was more uniform in spring and winter. The summer dissolved oxygen showed a tendency that the concentration in the central lake was higher than the surroundings. The dissolved oxygen concentration in autumn was high in the west and low in the east of the lake. The distribution of total phosphorus was much uniform in spring, and the total phosphorus concentration was high in the west and low in the east in summer, autumn and winter. Index of permanganate concentration showed a tendency that it was high in the east and low in the west in spring and autumn, which a high index was mainly concentrated in the north lake in summer but the index changed little in winter.

Keywords: Huaihe Basin; Lake Jiaogang; water quality parameters; spatio-temporal variation; impact factors

淮河流域地处我国东部, 介于长江与黄河之间, 流域面积 $27 \times 10^4 \text{ km}^2$, 自古以来就是农业发达、人口密集的地区。流域人口增加、工农业及乡镇企业发展、经济增长的同时, 也给环境带来了严重污染。自 1960s 以来, 淮河流域环境污染, 特别是水污染程度不断加重, 水质不断恶化, 恶性水污染事故频频发生, 给沿淮地区人民的生产和生活造成严重危害。我国政府于 1994 年启动淮河流域污染综合治理, 经过多方努力, 水质有了

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07204-004)资助。2015-06-10 收稿; 2015-09-08 收修改稿。王变(1989~), 女, 硕士研究生; E-mail: wangb890426@163.com.

** 通信作者; E-mail: sunqingye@ahu.edu.cn.

显著改善.根据国家环境保护部公布的《2011年中国环境状况公报》数据显示,2011年淮河流域水质整体呈轻度污染状况,淮河干流水质总体为优,但淮河支流总体呈现出中度污染状况^[1],水环境形势依然严峻.2015年4月,国家环境保护部出台《水污染防治行动计划》(简称“水十条”),作为当前和今后一个时期全国水污染防治工作的行动指南,该条例的出台将重点推进包括淮河在内的全国七大重点流域水污染防治及水资源管理.“水十条”不仅是建设生态文明和美丽中国的需要,更是推进水资源管理战略转型的路径平台.

淮河流域支流众多,湖泊星罗棋布,其水面总面积约7000 km²,总蓄水能力280×10⁸ m³,较大的湖泊有洪泽湖、城西湖、城东湖、瓦埠湖、女山湖、高邮湖、宝应湖、高塘湖等.作为淮河水系的一部分,湖泊承转上中游淮河来水,具有调蓄洪水的功能.研究发现,淮河流域多数湖泊都存在不同程度的污染问题^[2-5],湖泊水体的恶化将对淮河流域整体水质产生一定影响.

焦岗湖位于淮河左岸,地跨淮南市毛集实验区与阜阳市颍上县,是淮河流域的天然浅水性淡水湖泊,为国家级湿地公园,国家4A级旅游景区和国家水利风景区,集灌溉、养殖、旅游、调蓄洪水等多种功能于一体.为发展地方经济和促进农业生产,近年来焦岗湖大力发展渔业养殖及生态旅游业,流域内农业生产过程中大量使用化肥、农药等,致使湖泊受到较大程度的干扰.上述情况在淮河安徽段的洪泽湖、城东湖、城西湖、瓦埠湖、沱湖、高塘湖等湖泊也广泛存在,因此对焦岗湖进行水环境状况研究,不但有助于了解焦岗湖的水质时空变化及其影响因素,同时也可对焦岗湖及淮河安徽段其他类似湖泊的保护、管理提供依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

焦岗湖(32°35′~32°37′N,116°34′~116°39′E)为淮河左岸一处重要的浅水性淡水湖泊,总流域面积480 km²,分属安徽省阜阳市颍上县及淮南市毛集实验区.焦岗湖属亚热带季风气候,全年平均气温15℃,平均水温14℃,年均降水量为902 mm,汛期为5—9月.湖泊呈椭圆形,东西长15 km,南北最宽处为5 km,大湖湖面面积31.3 km².入湖河流主要有3条,分别为位于湖西部的北中心沟、南中心沟及湖东北部的关沟.一般年份焦岗湖正常水位在17.5 m时湖区总面积为37.5 km²,蓄水量为2×10⁷ m³;雨季汛期水位在18.5 m时水面面积为46.7 km²,蓄水量为4×10⁷ m³.湖区养殖面积近13.0 km²,主要分布在湖中-西部,是安徽省放养较早的湖泊之一.水生植物主要有菱、金鱼藻、狐尾藻、莲等,广泛分布于非养殖区.

1.2 样点设置与样品采集及分析方法

样点设置采用网格布点法,在大湖湖面共设置36个采样点(图1),大湖水面周边因人工阻隔而与大湖湖面分隔的水域未设置采样点.于2013年10、12月和2014年4、7月分4次采集各点表层水样,样品采集、保存和运输依据《水质:湖泊和水库采样技术指导》(GB/T14581—2002)^[6]进行.监测指标包括透明度(SD)、溶解氧(DO)、总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD_{Mn}).其中,透明度、DO浓度分别使用塞氏黑白盘、便携式溶解氧仪现场测定.水样带回实验室后立即进行TN、TP浓度及COD_{Mn}的测定,分析方法按照《水和废水监测分析方法》(第四版)^[7]进行.其统计描述见表1.

焦岗湖旅游人次增长情况,湖区养殖面积、种类、产量,流域农田播种面积及施肥量等数据来自《毛集实验区志》^①及《淮南统计年鉴》^②.

1.3 数据分析方法

数据的统计分析使用Excel和SPSS软件及美国ESRI公司的ArcGIS 10.0软件,作图采用Kriging方法.

2 结果与分析

2.1 透明度的时空变化特征与分析

水体透明度是水质的外在表现之一,能直观地反映水体清澈和混浊程度,其时空变化受多种因素影响.一般认为,悬浮物(SS)、浮游藻类和可溶性有机物是影响透明度的主要因素^[8-9].但对不同湖泊,具体影

①淮南市毛集区地方编纂工作委员会.毛集实验区志.合肥:黄山书社,2011.

②淮南市统计局,国家统计局淮南调查队.淮南统计年鉴.北京:中国统计出版社,2005—2012.

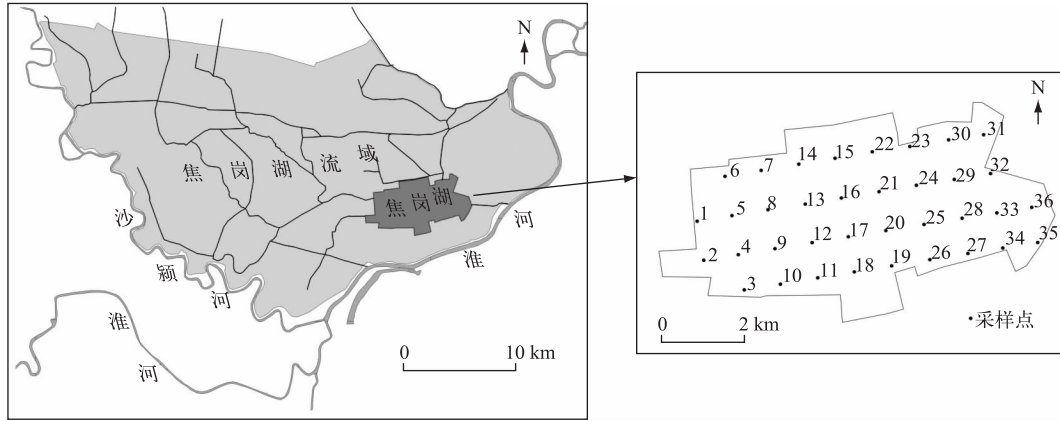


图1 焦岗湖在淮河流域位置及采样点位置

Fig.1 The location of Lake Jiaogang in Huaihe Basin and distribution of sampling sites

响因素及每种因素的影响程度可能不同.在4个季节中,秋季焦岗湖透明度最好,夏季最差(表1).这可能是由于夏季暴雨冲刷导致泥土大量流失,且汛期入湖河流带来外源营养盐和泥沙含量都较高,在夏季东南风的作用下,极易发生再悬浮,使得水体浑浊,导致这一时期透明度低于其它季节.夏季暴雨过后,透明度会增加.另外,4个季节焦岗湖各采样点透明度差异较大,这可能与湖区浮游藻类的生长情况有关.藻类的大量增殖,一方面可以增强对光的吸收和散射,阻碍光线在水体中传播;另一方面可以增加光的衰减,降低水体透明度^[10].本次调查数据显示,焦岗湖浮游藻类生物量最大值为21.48 mg/L,最小值为0.54 mg/L,平均值为5.33 mg/L(未发表数据).各采样点浮游藻类生长状况差异悬殊,可能导致湖区各点透明度的差距较大.

表1 焦岗湖水质参数基本统计结果

Tab.1 Statistical results of water quality parameters in Lake Jiaogang

| 参数 | 统计量 | 春季 | 夏季 | 秋季 | 冬季 |
|-------------------|---------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 透明度 | 范围(均值)/cm | 20~150(71.94) | 30~110(66.62) | 30~180(103.30) | 25~140(87.14) |
| | 变异系数/% | 43.17 | 31.20 | 39.44 | 30.24 |
| DO | 范围(均值)/(mg/L) | 6.38~17.92(11.74) | 0.57~13.95(5.38) | 3.15~12.54(5.84) | 9.65~18.63(13.95) |
| | 变异系数/% | 23.04 | 68.40 | 35.69 | 14.90 |
| TN | 范围(均值)/(mg/L) | 0.18~1.10(0.55) | 0.59~3.39(1.06) | 0.32~0.90(0.45) | 0.33~1.47(0.61) |
| | 变异系数/% | 38.43 | 52.30 | 29.40 | 33.02 |
| TP | 范围(均值)/(mg/L) | 0.02~0.15(0.08) | 0.06~0.38(0.16) | 0.02~0.18(0.05) | 0.01~0.48(0.10) |
| | 变异系数/% | 44.26 | 47.30 | 62.59 | 100.53 |
| COD _{Mn} | 范围(均值)/(mg/L) | 2.90~16.41(7.65) | 3.94~18.52(9.81) | 3.17~9.81(6.34) | 5.00~12.98(7.92) |
| | 变异系数/% | 43.35 | 30.80 | 25.40 | 22.22 |

2.2 DO浓度的时空变化特征与分析

DO是湖泊水质的重要指标之一.焦岗湖夏、秋季DO浓度平均值分别为5.38和5.84 mg/L,根据国家《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)^[11],属于Ⅲ类水标准;春、冬季DO浓度平均值分别为11.74和13.95 mg/L,达到Ⅰ类水标准.可以看出,春、冬季节DO浓度显著高于夏、秋季节.由于篇幅有限,且春、冬季DO浓度各湖区分布较为均匀,因此本文着重对夏、秋季DO浓度空间变化进行分析.由图2可以看出,夏季DO浓度呈现中心高边界低的趋势,以湖区为中心,向周围扩散,浓度逐渐升高.中心水域DO浓度在6.00 mg/L以上,达到Ⅱ类及以上水质标准,边界则基本处于3.00~5.00 mg/L,属于Ⅳ类水;秋季焦岗湖东部及中部分湖区DO浓度主要在5.00~6.00 mg/L之间,西部DO浓度则在6.00 mg/L以上,整体呈现“西高东

低”的变化趋势。

有研究表明,水温与 DO 浓度呈负相关,高温会阻碍氧气在大气与水体之间的交换^[12]。本次调查数据显示,焦岗湖夏、秋季平均水温分别为 27.8 和 23.3℃,而春、冬季水温分别为 17.8 和 7.1℃,夏、秋季 DO 浓度低于春、冬季主要是受温度影响的结果。另外,Pearson 相关分析结果显示,夏季 DO 浓度与 TN、TP 浓度均存在显著负相关($P<0.05$),说明氮、磷浓度越高,DO 浓度越低。这是因为夏季焦岗湖氮、磷浓度尤其是磷浓度较高,使得水体富营养化,浮游生物大量繁殖,水体中有机腐败物和有机质增加,分解这些有机物使得氧气消耗增加,进一步降低水中 DO 浓度^[5]。

从空间变化来说,湖中-东部散布餐饮船舶 18 条,游艇 30 余只,夏季大量游艇的频繁扰动以及大量沉水植物(主要是金鱼藻(*Ceratophyllum*)、黑藻(*Hydrilla*)和狐尾藻(*Myriophyllum*))的生长,可能会造成夏季湖中部水域 DO 浓度较周围高。一般来说,养殖区鱼类的呼吸作用和鱼类排泄物的分解耗氧,也会使 DO 浓度降低。而秋季焦岗湖西部及夏季湖区西南部养殖区 DO 浓度反而高于湖东部,具体原因尚需进一步研究。

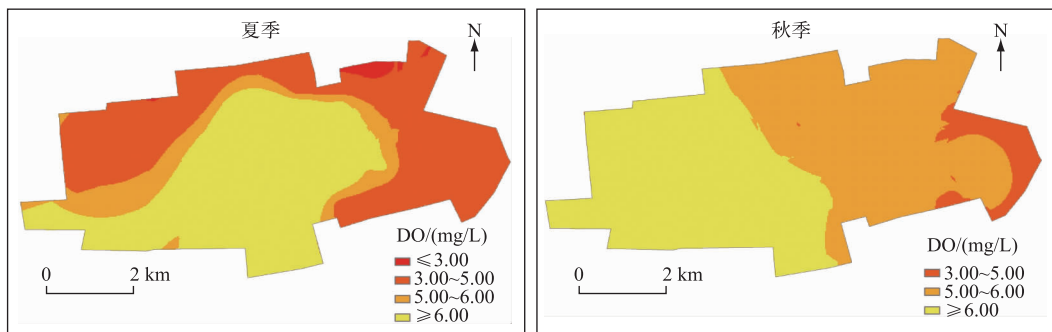


图 2 焦岗湖夏季和秋季 DO 浓度的空间分布

Fig.2 The spatial distribution of DO concentration of Lake Jiaogang in summer and autumn

2.3 TP 浓度的时空变化特征与分析

由图 3 可以看出,焦岗湖 TP 浓度在不同季节及空间分布上均存在一定差异。从季节变化来看,TP 浓度整体呈现秋季、春季、冬季、夏季逐渐升高的趋势。春季焦岗湖 TP 浓度主要在 0.050~0.100 mg/L 之间,属 IV 类水质的水域面积为 27.2 km²,占焦岗湖总面积的 87.0%;夏季焦岗湖 TP 浓度主要在 0.100 mg/L 以上,属于 V 类及以下水质的水域面积为 29.5 km²,占焦岗湖总面积的 94.2%;秋季焦岗湖 TP 浓度主要分为 0.025~0.050 mg/L 和 0.050~0.100 mg/L 两个等级,分别属于 III、IV 类水,水域面积分别为 11.0 和 20.3 km²,占焦岗湖总面积的 35.0% 和 65.0%;冬季 TP 浓度分为 4 个等级,主要集中在 0.050~0.100 mg/L 和 0.100~0.200 mg/L,分别为 IV、V 类水质,水域面积分别为 12.7 和 18.5 km²,占焦岗湖总面积的 40.5% 和 59.2%。

从空间变化来看,TP 浓度具有明显的空间异质性。春季焦岗湖 TP 分布相对均匀,有较高或较低 TP 浓度的水体呈斑块分布;夏季 TP 浓度超标区域主要集中在湖西部及东北方向边界处小块水域,TP 浓度均大于 0.200 mg/L,湖中部及东部大部分水域 TP 浓度主要为 0.100~0.200 mg/L;秋季湖区中西部及东北方向 TP 浓度主要在 0.050~0.100 mg/L 之间,湖东部则主要集中在 0.025~0.050 mg/L;冬季焦岗湖中西部 TP 浓度主要在 0.100~0.200 mg/L 之间,湖东部则主要集中在 0.050~0.100 mg/L。除春季 TP 分布较为均匀,其它 3 个季节 TP 浓度整体呈“西高东低”之势。

磷是影响浮游植物大量繁殖的限制性因素,是促进湖泊富营养化形成的重要环境因子^[13]。从季节变化来说,夏季丰水期湖水中 TP 浓度高而其它季节低的现象,反映出非点源污染对湖泊 TP 浓度的影响。有研究表明,非点源污染对水污染中氮、磷的贡献分别达到 81% 和 93%^[14]。农业面源污染是非点源污染的一个重要方面。焦岗湖流域是重要的农作区,除少量城镇、居民点和道路等建设用地外,流域内绝大部分区域为农田。近年来农田施肥量变化不大,基本保持在 523.05~565.50 kg/hm² 之间,高于安徽省施肥量平均水平(371.85 kg/hm²)。夏季频繁降雨导致土壤侵蚀作用加强,土壤中氮、磷大量流失^[15],随地表径流进入湖泊,造成湖泊

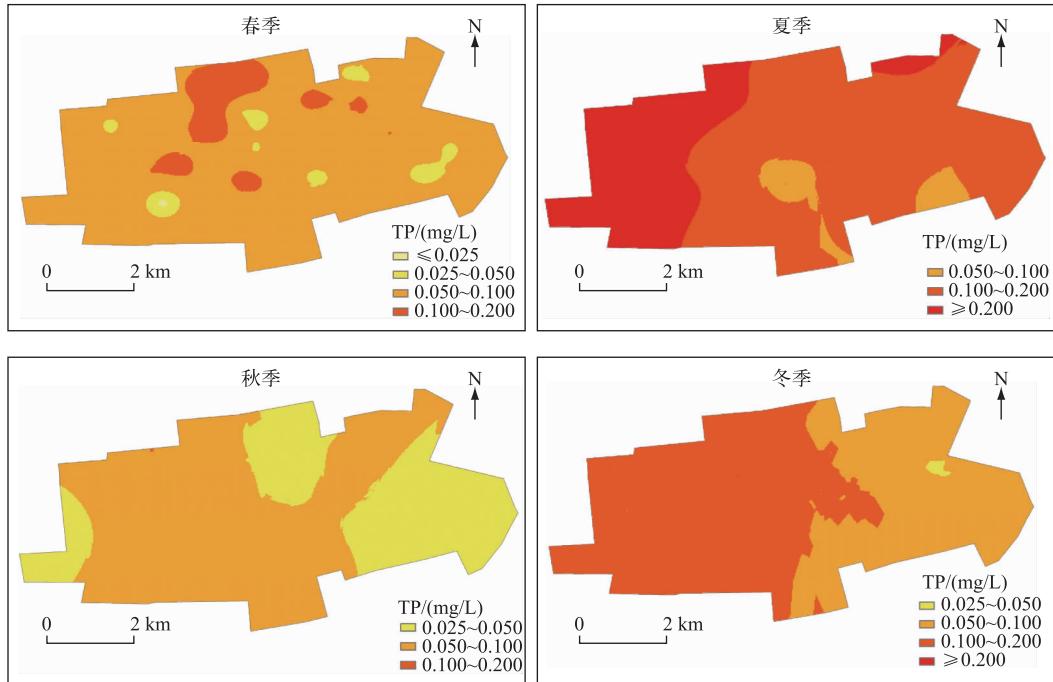


图3 焦岗湖不同季节 TP 浓度的空间分布

Fig.3 The spatial distribution of TP concentration of different seasons in Lake Jiaogang

水质显著劣于其它季节.这种农业面源污染对湖泊水质的影响,与淮河中游城东湖、城西湖的情况类似^[2].另外,焦岗湖 TP 浓度在季节上的差异性,还可能与焦岗湖旅游业的快速、大规模发展有关.焦岗湖年游客接待量从 2001 年的 1 万人次到 2009 年的 45 万人次,2009 年以后年均接待游客数量基本保持在 50 万人次,其中 60%~70% 游客量集中在夏季.夏季游客的显著增加产生大量生活垃圾,加剧了焦岗湖水水质恶化.因此,夏季焦岗湖磷浓度增加,水质下降明显增加.其它季节水质相对较好,这可能是由于人为干扰相对较小,汛期之后污染物的排放减少,且湖中生长的水生植物群落能够增加水中 DO 浓度,提高水体透明度,吸持和固定水体氮、磷^[16],湖泊水质得到一定净化,这与万蕾等对骆马湖的研究一致^[17].

从空间变化来看,夏、秋、冬季湖西部 TP 浓度明显高于湖东部.结合现场调查情况,发现湖中西部均存在不同程度围网养殖.近几年鲜鱼年产量在 12.4×10^5 kg 左右,主要包括草、鲢、鳙、鳊等鱼种.有关研究显示,每生产出 1 t 鱼,水体中的磷负荷就增加约 19.6~22.4 kg,随养殖对象的不同而有所差异^[18],而围网中未消化的食物和排泄物是引起养殖区水体 TP、TN 浓度升高和 DO 浓度降低的主要原因^[19-21].因此湖区夏、秋、冬季 TP 浓度“西高东低”的变化趋势可能与湖区围网养殖有关,这与吴朝等^[22]对焦岗湖的研究结论一致,在淮河下游洪泽湖关于养殖对水质影响的调查中也得到了相同结论^[23].另外,张绪美等^[24]的研究发现,受夏季东南季风影响,湖区营养盐会向西北方向堆积.本研究中的焦岗湖西部 TP 浓度较东部高,也可能与这个原因有关.春季 TP 浓度较高或较低水域呈斑块状分布,可能是由于湖水流动性较差,加上水流、地形等因素影响^[25],以及湖面渔民居住点的散布,从而导致湖泊水质空间上的差异性.

值得关注的是夏季 TP 浓度,尤其是湖西部及东北角 TP 浓度严重超标,显著高于秋、冬季节,达到劣 V 类水质标准,可能与焦岗湖西部及东北部的 3 条入湖河流有关.湖东部两条河流为出湖河流,对湖泊水质影响不大.入湖河流作为连接湖泊流域“源”(陆地)与“汇”(湖体)的廊道,其水质对于整个湖泊流域的水生态系统健康显得尤为重要^[26].春季调查数据显示 3 条入湖河流 TP 浓度平均值为 0.125 mg/L,属于 V 类水标准.入湖河流位于乡镇附近,两侧区域人口众多,且为重要的农作区,居民的生活污水、垃圾的随意排入以及农田径流的排入导致河流水质恶化.5—9 月为焦岗湖汛期,河水入湖,使得湖西部 TP 浓度显著增加,加剧焦

岗湖水质恶化.

2.4 TN 浓度的时空变化特征与分析

与 TP 一样, TN 也是导致水体富营养化的主要因素.与 TP 相比,焦岗湖四季 TN 浓度都不高,春、夏、秋、冬季 TN 平均浓度分别为 0.549、1.060、0.453 和 0.612 mg/L,除夏季 TN 浓度属于地表水 IV 类水标准以外,其它 3 个季节均达到 III 类及以上水质标准. Pearson 相关分析结果表明,夏季 TN 与 TP 浓度呈极显著相关 ($P < 0.01$).说明焦岗湖 TN 与 TP 浓度可能受到相同影响因素作用.围网养殖及夏季雨水对农田土壤的冲刷不仅造成磷浓度的增加,同时也会对氮浓度产生影响.但相对于 TP 来说,对 TN 浓度的影响并不显著.这可能与养殖区投喂饵料及来源区域农田施肥特征有一定关系.由于本研究监测指标未涉及鱼类饵料、农药,因此具体原因尚需进一步研究.

2.5 COD_{Mn} 的时空变化特征与分析

由图 4 可以看出,焦岗湖 4 个季节 COD_{Mn} 存在一定差异.春季 COD_{Mn} 主要分布在 4.00~6.00 mg/L 与 6.00~10.00 mg/L 两个等级之间,分别属于 III、IV 类水水质标准,水域面积分别为 11.1 和 17.9 km²,分别占焦岗湖总面积的 35.5% 和 57.3%;夏季焦岗湖 COD_{Mn} 主要在 6.00~10.00 mg/L 之间,属于 IV 类水水质标准,水域面积为 25.3 km²,占焦岗湖总面积的 81.0%,其余水域均属于 V 类水标准;秋季 COD_{Mn} 主要集中在 4.00~6.00 mg/L 与 6.00~10.00 mg/L 之间,水域面积分别为 11.8 和 16.1 km²,占焦岗湖总面积的 37.7% 和 53.2%;冬季 COD_{Mn} 基本在 6.00~10.00 mg/L 之间,达到地表水 IV 类水标准,水域面积为 31.0 km²,占焦岗湖总面积的 99.0%.

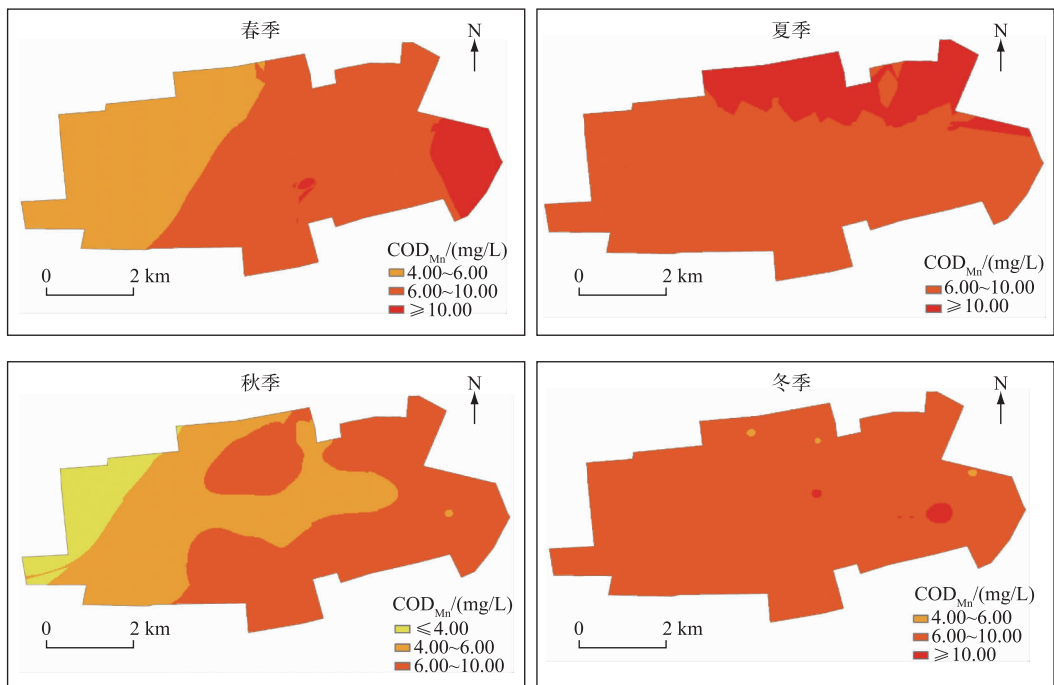


图 4 焦岗湖不同季节 COD_{Mn} 的空间分布

Fig.4 The spatial distribution of COD_{Mn} of different seasons in Lake Jiaogang

从空间变化来看,春、秋季 COD_{Mn} 值呈现东高西低的趋势;夏季焦岗湖北部及东北角 COD_{Mn} 值较高,其它水域水质较为均匀, COD_{Mn} 值都在 6.00~10.00 mg/L 之间;冬季 COD_{Mn} 值空间差异不大,基本都在 6.00~10.00 mg/L. 有机质是水体主要的污染源,水体中有机质的主要来源是有机废水、污水的排放和动植物残体的腐烂分解^[27].从季节变化来看, COD_{Mn} 值从秋季、冬季、春季、夏季有逐渐增高的趋势,可能与焦岗湖水生植

物的腐解有关.焦岗湖主要水生植物有菱、金鱼藻、狐尾藻、莲等,湖区分布广泛.水生植物的分解会增加水体有机质浓度,且水生植物腐解主要发生在春末夏初,夏季高温腐解得到增强,本研究中焦岗湖 COD_{Mn} 季节变化趋势与之相近.

从空间变化来看,焦岗湖北部为码头,长期停驻渔民自用及观光船舶(尤其夏季旅游高峰期),机舱废水、燃油等会对水体产生一定的有机污染,导致湖区春、夏、秋北部 COD_{Mn} 值偏高.春、秋季节 COD_{Mn} 值西低东高的趋势可能与湖区中西部频繁的人为活动有关,生活废水及垃圾都会对 COD_{Mn} 产生影响,与淮河流域的城东湖及城西湖情况相似^[2].而冬季 COD_{Mn} 在焦岗湖北部及东部并没有表现出明显高于其他地区的趋势,说明焦岗湖本身水文特征对该湖水质在空间上的差异也会产生一定影响.

3 结论

1) TP 浓度和 COD_{Mn} 对焦岗湖水质恶化贡献较大.

2) 从时间变化来看,夏季透明度较低、秋季较高; DO 浓度在春、冬季显著高于夏、秋季; TN、TP 与 COD_{Mn} 浓度均表现为夏季最高、秋季最低.从空间变化来看,4 个季节的透明度空间差异较为显著; DO 浓度在春、冬季空间分布较为均匀,夏季呈现中心高周围低的变化趋势,秋季则表现为西高东低; TP 浓度春季分布较为均匀,夏、秋及冬季则呈西高东低之势; COD_{Mn} 在春、秋季表现为东高西低之势,夏季高浓度主要集中在湖区北部,冬季浓度变化不大.

3) 结合“水十条”要求,在焦岗湖湿地保护和流域综合治理方面应通过实施退网还湖、控制旅游人数、强化湖内及流域内生活污水与垃圾处理管理、减少流域内农药和化肥的施用量、实施入湖河道清淤疏浚和湖泊生态修复等措施进行综合整治.

4 参考文献

- [1] 严 辉. 淮河流域水质现状及对策研究. 北方环境, 2013, 29(4): 118-119.
- [2] 韩 曦, 王 丽, 周 平等. 淮河(安徽段)南岸诸河流水质标识指数评价. 湿地科学, 2012, 10(1): 46-56.
- [3] 常 可. 瓦埠湖沉积物及周边土壤重金属污染研究及评价[学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2014.
- [4] 李 为, 都 雪, 林明利等. 基于 PCA 和 SOM 网络的洪泽湖水质时空变化特征分析. 长江流域资源与环境, 2013, 22(12): 1594-1601.
- [5] 鲍方印, 赵 洁, 崔 峰等. 女山湖围网养殖对水质和大型底栖动物群落结构的影响. 安全与环境学报, 2012, 12(2): 23-27.
- [6] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 水质: 湖泊和水库采样技术指导(GB/T14581-2002). 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [7] 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: 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [8] Borkman DG, Smayda TJ. Long-term trends in water clarity revealed by Secchi-disk measurements in lower Narragansett Bay. *ICES Journal of Marine Science*, 1998, 55(4): 668-679.
- [9] Wang H, Pang Y, Ding L et al. Numerical simulations of the transparency of waterfront bodies. *Tsinghua Science and Technology*, 2008, 13(5): 720-729.
- [10] 潘继征, 熊 飞, 李文朝等. 云南抚仙湖透明度的时空变化及影响因子分析. 湖泊科学, 2008, 20(5): 681-686. DOI 10.18307/2008.0519.
- [11] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [12] Akkoyunlu A, Altun H, Cigizoglu H. Depth-integrated estimation of dissolved oxygen in a lake. *Journal of Environmental Engineering*, 2011, 137(10): 961-967.
- [13] 韩新芹, 叶 麟, 徐耀阳等. 香溪河库湾春季叶绿素 a 浓度动态及其影响因子分析. 水生生物学报, 2007, 30(1): 89-93.
- [14] Edwin DO, Zhang XL, Yu T. Current status of agricultural and rural non-point source Pollution assessment in China. *Environmental Pollution*, 2010, 158(5): 1159-1168.
- [15] 陈静生. 河流水质原理及中国河流水质. 北京: 科学出版社, 2006: 68-69, 210-212.

- [16] 刘建康. 高等水生生物学. 北京: 科学出版社, 1999.
- [17] 万 蕾, 徐德兰, 高明侠等. 大型水生植物对骆马湖氮、磷元素的影响. 环境工程学报, 2012, **6**(10): 3579-3584.
- [18] Holby O, Hall PO. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Marine Ecology Progress Series*, 1991, **70**: 263-272.
- [19] Desilve SS, Ingram BA, Nguyen PT *et al.* Estimation of nitrogen and phosphorus in effluent from the striped catfish farming sector in the Mekong Delta, Vietnam. *Journal of the Human Environment*, 2010, **39**(7): 504-514.
- [20] Guo LG, Li ZJ, Xie P *et al.* Assessment effects of cage culture on nitrogen and phosphorus dynamics in relation to fallo-wing in a shallow lake in China. *Aquaculture International*, 2009, **17**(3): 229-241.
- [21] 江林源, 邓 潜, 黄光华等. 网箱养鱼与水库水质的相互关系研究. 现代农业科技, 2008, (20): 222-226.
- [22] 吴 朝, 张庆国, 毛裁华等. 淮南焦岗湖浮游生物群落及多样性分析. 合肥工业大学学报, 2008, **31**(8): 1232-1236.
- [23] 李 为, 都 雪, 林明利等. 基于 PCA 和 SOM 网络的洪泽湖水质时空变化特征分析. 长江流域资源与环境, 2013, **22**(12): 1593-1601.
- [24] 张绪美, 董元华, 石浚哲等. 聚类因子分析在太湖水质参数评价中的应用. 安全与环境学报, 2006, **6**(6): 58-62.
- [25] 王天阳, 王国祥. 昆承湖水质参数空间分布特征研究. 环境科学学报, 2007, **27**(8): 1384-1390.
- [26] 文 航, 蔡佳亮, 苏 玉等. 利用水生生物指标识别滇池流域入湖河流水质污染因子及其空间分布特征. 环境科学学报, 2011, **31**(1): 69-80.
- [27] 赵晓峰. 太湖湖滨带水生植物时空分布特征及其与水质因子的相互关系研究[学位论文]. 北京: 中国环境科学研究院, 2012.