

文章编号: 1004-8227(2010)04-0445-07

天目湖溶解氧分布特征及环境影响因子

曾春芬^{1,2}, 黄文钰^{2*}, 王伟霞², 朱广伟²

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

摘要: 在2006年1~12月进行的对天目湖水质监测资料的基础上,探讨了溶解氧的分布特征并对其环境影响因子进行了分析。天目湖溶解氧水平较2001~2002年下降了1~2个等级。全年溶解氧水平符合II~III类水质,局部符合IV~V类水质,甚至劣V类水质。溶解氧的分布特征有明显的季节变化与垂向差异。冬季溶解氧最好,无显著垂向差异;春、秋两季湖体溶解氧垂向差异小,底层溶解氧浓度总体偏低;夏季溶解氧最低,且垂向差异最大,底部出现<1 mg/L的低氧区。水温、水深、叶绿素、pH对溶解氧都有一定的影响。其中,温度是影响水体溶解氧的关键因素。非夏季月份,温度的升高导致溶解氧浓度降低;在夏季月份,温度分层是影响溶解氧浓度的关键因素,尤其是对中下层水体的影响较大。水深与溶解氧呈负相关关系;叶绿素在夏季对溶解氧的影响最显著,反映出生物活动对水体溶解氧的影响。

关键词: 溶解氧; 低氧区; 环境因素; 天目湖

文献标识码: A

1 采样与方法

水体溶解氧的多少是衡量水体自净能力的一个重要指标,也是水体水质的重要指标之一^[1~3]。因此,研究溶解氧的分布情况以及溶解氧对营养盐的降解、藻类生长之间的相互作用,对水质保护与富营养化的治理非常重要。此外,对于低溶解氧以及厌氧现象的监测与研究对水环境的保护与治理意义重大。

水体中溶解氧的变化受温度、pH、高锰酸盐、悬浮物、营养物质、生物量、水体分层、波浪以及水底地形等多种因素影响^[4~19]。相关研究表明溶解氧低有利于水体内的有毒物质的形成以及底泥营养元素的释放^[20~22],导致水质恶化的加剧以及鱼类死亡。当水体的溶解氧下降到2 mg/L,水体就发臭,当水中溶氧量低于0.5 mg/L时,鱼就会窒息死亡^[23]。目前近岸海域水体和河口港湾水体低溶解氧(PDO < 3 mg/L)现象已受到国内外学者的广泛关注^[5~17]。国内外在近岸海域、河口、长江以及长江口等的溶解氧方面进行了一些研究,在湖泊(水库)

方面的有关研究较少。

本文分析了天目湖(本文中天目湖指的是沙河水库)2006年1~12月的溶解氧水平分布与垂直分布特征,初步探讨环境因子对溶解氧的影响,为水库税制管理与利用提供科学依据。

天目湖是江苏省第二大水库,位于溧阳市南部丘陵地区,地面高程22 m(大坝),地处北纬31°08',东经117°12',原名沙河水库,始建于1958年,于1961年6月建成蓄水。天目湖水面积为12 km²,集水面积148.5 km²。天目湖是一个集饮用水源、农业灌溉、旅游和渔业生产等多功能于一体的水库。近年来由于人为因素致使天目湖水的pH快速上升、悬浮质增加、营养物质浓度增加、藻类大量繁衍、水色变深,水质由原来的II类变为III类,并有进一步恶化加剧的趋势^[24]。

1.1 采样点的布设

天目湖为一东西窄、南北长的深水湖(水库),依据地形地貌、湖底地形、水深、沿湖上下游的旅游开发、入湖河道及居民点的分布等特点,在天目湖共设10个采样点,其中北湖3个点(湖心岛以北)、南湖3个点(牛头山以南)、中间4个点。其中1号点接近水

收稿日期: 2009-04-30; 修回日期: 2009-09-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2008CB418103)

作者简介: 曾春芬(1982~),女,湖北省仙桃人,博士研究生,主要研究方向为水环境与水文水资源。E-mail: 6017654@qq.com

* 通讯作者, E-mail: wy.huang@niglas.ac.cn

库下游大坝的出水口;2、3号点靠近两个旅游景区;5号点靠近水库渔业繁殖点;6、7号点分别位于水库抽水蓄能电站抽放水口附近;8、9、10号点分别位于上游入湖河道入湖区。采样点具体分布如图1所示。

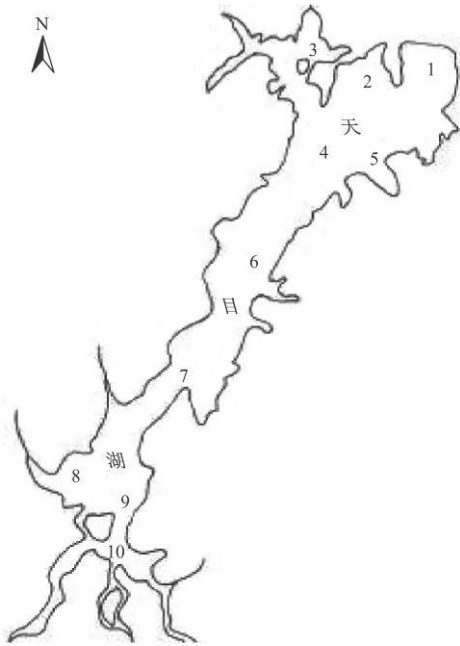


图1 采样点的分布图

Fig. 1 Distribution of Sampling Stations

1.2 采样方法与频率

溶解氧的测定采用 YSI6600 水质仪或哈纳溶氧仪(HI9143)现场进行测定。其中 YSI6600 水质仪在各采样点每隔 0.5 m、1 m 从湖表面一直到湖底 0.2 m 以上同步测量水温、水深、溶解氧、叶绿素、pH 等水质指标。哈纳溶氧仪(HI9143)同步在 1、7 号采样点(具有代表性的点)分上、中、下 3 层采样外其余采样点采表层 0.5 m 处的水样现场测定 DO、采集水样回实验室分析。

2006 年 1~12 月野外调查采样共计进行 12 次,在每月 10 日左右进行。

2 结果与讨论

2.1 溶解氧监测结果

2.1.1 2006 年 1~12 月的溶解氧浓度情况

根据天目湖 2006 年 1 月到 2006 年 12 月的监测资料,据饱和度计算结果显示,溶解氧的浓度较饱和数值偏低。气温、水温比较低时,溶解氧情况较好,表层与底层溶解氧值差别较小;夏季溶解氧变化幅度很大,有些测量值底层溶解氧 < 1 mg/L,甚至

局部出现厌氧情况。全年溶解氧最高值 11.23 mg/L(2006 年 12 月 10 号采样点 0.5 m 处),最低值 0.65 mg/L(2006 年 7 月 1 号采样点近湖泊底部)。

对 1 号、7 号、10 号 3 个采样点的 4 月、7 月、12 月的溶解氧进行溶解氧饱和度计算分析以及溶解氧污染指数评价,结果显示:溶解氧饱和度情况表层比底层好;最大值为 96.3%(12 月 1 号表面),最小值 7.1%(7 月 1 号底部);12 月情况良好,溶解氧值总体符合 I~II 类水质标准(GB 3838-2002);1 号采样点溶解氧值最低,在 4 月和 7 月基本为 IV~V 类水质标准(GB 3838-2002),7 月底部甚至为劣 V 类。在统计的 124 个样本中,I 类占 15.3%,II 类占 28.2%,III 类占 22.6%,IV 类占 18.6%,V 类占 3.2%类,劣 V 类占 12.1%。

2.1.2 水平分布变化

天目湖 3 个代表月份的溶解氧浓度值水平分布等值线如图 2 所示。天目湖南北湖区溶解氧有明显差异,基本上是南湖的溶解氧值高于北湖的溶解氧值,有从北到南递增的趋势。溶解氧的低值区基本在北方,仅春秋季节在湖泊底层西南角出现小片低值区。相对而言,春秋季节表层溶解氧低值区在北湖 4 号、5 号采样点处,底层溶解氧低值区南湖 10 号采样点。夏季表层溶解氧低值区在湖库的东北角;底层溶解氧低值中心在 6 号采样点处,湖库最北端也有小片低值区。冬季低值区均出现在北湖,不同的是表层溶解氧低值中心在西北,底层溶解氧低值中心在东北。

各采样点表层溶解氧间的差异小于底层溶解氧间的差异。调查结果显示(图 3),表层溶解氧间的差异以及底层溶解氧间的差异均是夏季最大,冬季溶解氧差异次之,春秋季节差异最小。

2.1.3 垂直分布变化

溶解氧垂直变化有季节性差异。如图 4 所示,春秋季节溶解氧值上下差异很小,呈均匀缓慢变小趋势。夏季存在突变层,尤其以 1 号采样点为代表,有显著突变层。冬季溶解氧在表层达稳定值后呈均匀分布,溶解氧基本上没有差异。

春秋季节溶解氧上下垂直差异较小,个别采样点差异稍大,10 号采样点表层与底层的溶解氧差值为 2.62 mg/L;并且,5 号采样点所测的底层溶解氧反而比表层溶解氧高 0.31 mg/L。夏季溶解氧垂直变化明显,6 号采样点差值最大,为 6.87 mg/L。冬季表层与底层溶解氧差值由北向南递减,最大差值为 1 号采样点的 2.08 mg/L。

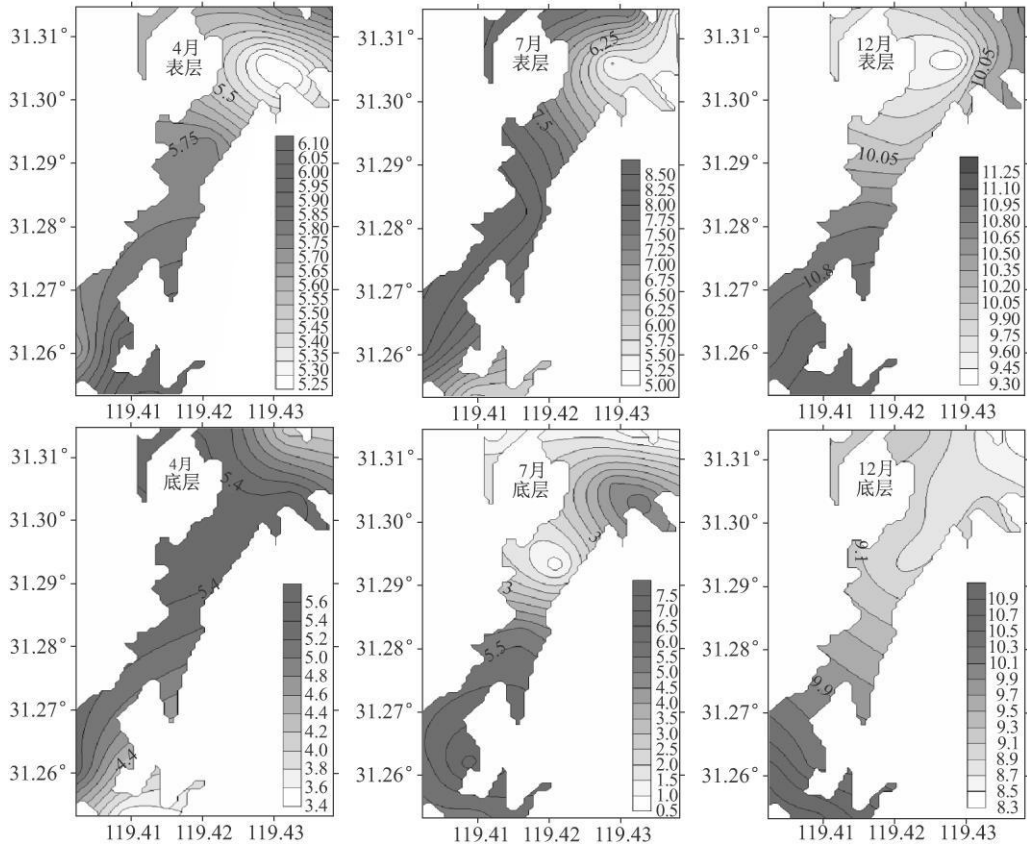


图 2 天目湖溶解氧等值线图

Fig. 2 Contour Map of DO in Lake Tianmuhu

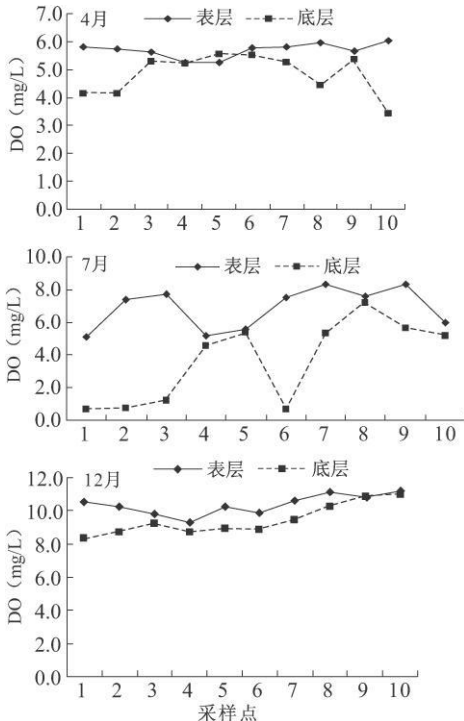


图 3 全湖 10 个点表层与底层溶解氧过程线
Fig. 3 Surface and Bottom Water DO of All Stations

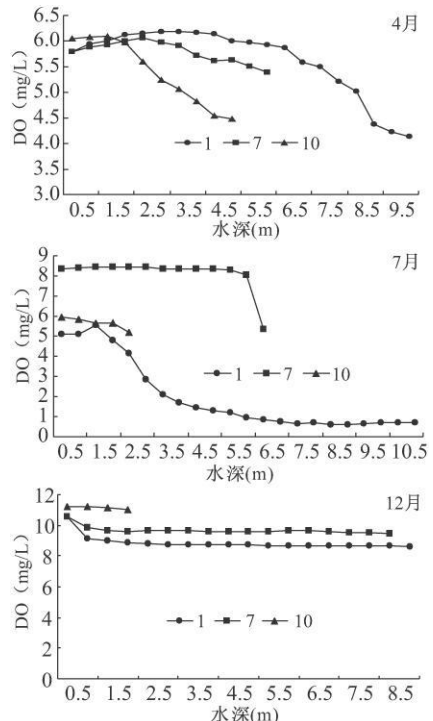


图 4 1 号、7 号、10 号采样点溶解氧垂直分布
Fig. 4 Vertical Distribution of DO of Sample Stations 1, 7 and 10

2.1.4 年际变化

将 2006 年 1~12 月与 2001 年 6 月~2002 年 5 月实测的资料对比, 水体中的溶解氧明显降低, 无论是表层还是底层溶解氧。2001~2002 年在接近湖底部的溶解氧含量常在 1~2 mg/L, 而 2006 年底部有些采样点的溶解氧 < 1 mg/L。溶解氧最低值由原来的 1.6 mg/L 下降到 0.68 mg/L。2001~2002 年的调查中溶解氧水平符合 I~II 类水质^[25], 现在仅冬季主要符合 I~II 类水质; 其它主要符合 III~IV 类, 有部分采样点在 4 和 7 月基本符合 IV~V 类水质, 7 月底部甚至为劣 V 类水质。

2.2 溶解氧变化的环境影响因素分析与讨论

2.2.1 溶解氧与环境因素间的相关性分析

选择用 YSI6600 水质仪在溶解氧的同时同步所测的水深、水温、Chl a 以及 pH 等环境因素做相关性分析。如表 1 所示, 由 1 号、7 号、10 号 3 个采样

表 1 溶解氧与环境因子间的相关性分析

Tab. 1 Correlation Analysis Between Dissolved Oxygen and Environmental Factors

1 号点	4 月	7 月	11 月	7 号点	4 月	7 月	11 月	10 号点	4 月	7 月	11 月
水深	-0.80	-0.84	-0.68	水深	-0.81	-0.58	-0.73	水深	-0.95	-0.89	-0.37
水温	0.87	0.67	0.85	水温	0.64	0.97	0.53	水温	0.87	0.85	0.07
Chl a	0.67	0.91	-0.06	Chl a	-0.50	-0.79	-0.62	Chl a	-0.21	0.78	-0.02
pH	0.93	-0.25	0.94	pH	0.72	0.98	0.83	pH	0.90	0.93	0.52

2.2.2 讨论

天目湖表层溶解氧基本上比底层溶解氧高, 但是 4 月 5 号采样点表层溶解氧为 5.25 mg/L, 而底层溶解氧为 5.56 mg/L, 比表层高 0.31 mg/L。分析 4 月 5 号采样点的溶解氧垂直变化情况可知: 5.25 mg/L 为水面 0.5 m 处的溶氧值, 实际上该点溶氧值在 2~3 m 达到最高值 5.97 mg/L。同时根据同步监测资料: 底部叶绿素比较高, pH 值也比较低, 水温比表层低 3.3℃。此外饱和度计算, 表层溶解氧饱和度为 55.2%, 比底层的 54.6% 高。因此这种情况的存在是合理的。

天目湖溶解氧的分布特征有明显的季节变化与垂向差异。冬季溶解氧最好, 垂向差异不明显; 春、秋两季次之, 湖体溶解氧垂向差异较小; 夏季溶解氧最低, 且垂向差异最大, 底部出现 < 1 mg/L 的低氧区。同时, 南湖区溶氧高于北湖区, 且大多数低值区出现在北湖区。分析其主要是受温度影响的结果。温度对水体溶氧的影响表现在如下几个方面: 首先, 温度直接关系到水体溶解氧的大小。一般来说, 温度越高, 溶解的盐分越大, 水中的溶解氧越低。其次, 水体温度分层现象的存在阻碍了水柱上下的交

点的 4、7、11 月的溶解氧与各环境因素间的相关性结果显示: 溶解氧与水温存在显著相关性, 且相关系数较高。其中, 7 月的相关系数最高, 达 0.97。说明在夏季, 温度以及温度分层是影响溶解氧的关键因素。溶解氧与水深存在变化的 4 月与 7 月呈负相关关系, 尤其是在 4 月 7 号、10 号采样点溶解氧与水深的相关关系在 4 个因子中最显著。叶绿素对溶解氧的影响在水华易发阶段的 7 月对溶解氧的影响较明显, 其它时段无明显相关关系; 叶绿素 11 月两个采样点的相关系数几乎为零, 推测是因为冬季叶绿素水平较低, 生物活动较少, 对溶解氧的影响小。pH 值与溶解氧的相关关系在不同点的不同月份均出现过显著相关性, 说明 pH 与溶解氧的变化有内在联系, 反映出浮游植物活动对溶解氧的变化有较大影响作用^[17]。浮游植物大量生长时, 往往提高 pH, 同步因植物光合作用而释放氧气。

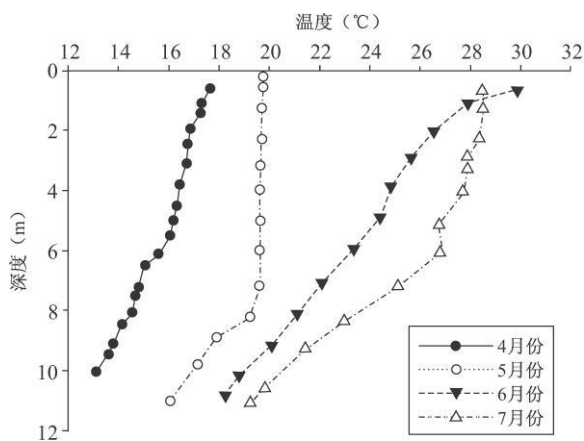


图 5 温跃层存在期间 1 号采样点的温度垂向变化

Fig. 5 Vertical Temperature Changes of Sample Station 1 When Thermocline Exists

换, 从而影响了中下层水体的溶氧含量。最后, 温度是影响藻类生长的关键因子, 从而影响水体的溶氧含量。冬季水温较低, 溶氧量就随之升高。水温差异本身较小, 因此溶氧无显著垂向差异。春秋季节水体上下混合较均匀, 温差较小, 从而垂向差异较小。夏季水温较高, 加上水温分层现象的存在, 导致夏季溶解氧最低, 且垂向差异最大, 甚至底部出现 < 1 mg/L

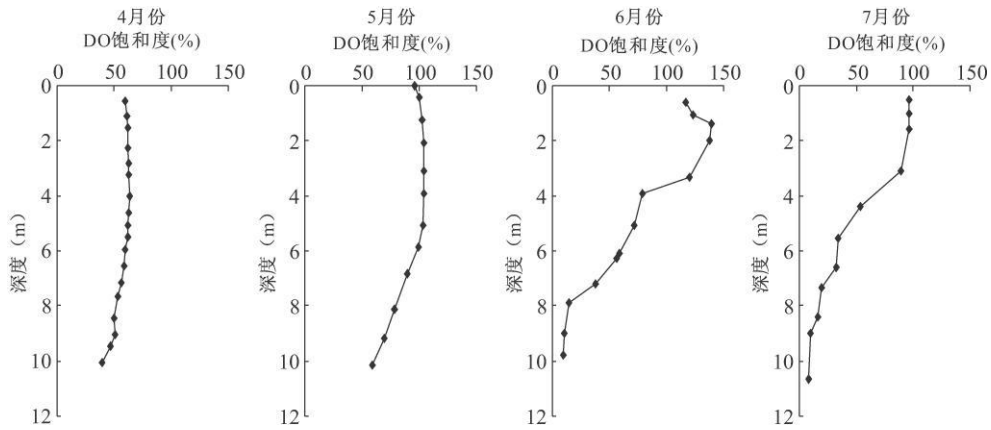


图6 温跃层存在期间1号采样点的DO垂向变化

Fig. 6 Vertical Changes of DO of Sample Station 1 When the Thermocline Exists

的低氧区。

天目湖2006年的溶氧水平较2001~2002年下降了1~2个等级,结合天目湖流域的土地利用变化以及社会经济发展情况,影响溶解氧的主要因素有水温、水深、叶绿素、pH、SS、水体分层以及营养物质等因素。在影响溶解氧的同时严重影响水质。研究表明,若水深较浅,水体容易均匀混合,光照条件也比较好,溶氧情况较好,水体上下差异小;水深较深,尤其是形成温跃层后,阻碍上下水体对流,湖底往往出现厌氧状况,加快底泥营养物质的释放,甚至可高达2~8倍^[21],加重二次污染。夏季温跃层形成后水体溶解氧状况最差,底部出现厌氧状况,水体发臭,水面可见死鱼。从溶解氧饱和度看,天目湖溶解氧近几年下降速度很快,1号采样点溶解氧值最低,特别是夏季以及春秋季节。这可能是多方面综合影响因素。首先,水温是影响溶氧浓度的关键因素。一方面温度直接影响溶氧浓度,从而影响到水体自净能力。另一方面,温度分层现象导致湖泊底层出现厌氧情况^[24,26],进而导致有机质在湖底堆积。夏季温跃层形成,阻碍上下水体对流后,底层有机质分解耗氧后水体溶解氧得不到及时的补充,形成缺氧甚至厌氧环境,加快底泥释放的内源污染,水质下降。其次,1号采样点处于水库坝前位置,泥沙淤积严重是影响溶氧值低的因素之一。再次,随着天目湖周围农业以及旅游业的发展,进入天目湖的营养物质增加,导致天目湖水质以及溶解氧下降。

溶解氧的最高值因采样点的水深区别,普遍出现在2~4m处,为各采样点的表层下和中层上的位置。分析认为,可能在这一高度光照、水温、叶绿

素等因素处于有利于溶氧的水平,具体影响程度以及原因分析有待进一步探讨。

3 结论

(1) 天目湖溶解氧水平下降。2006年测量的溶解氧水平符合II~III类水质,局部符合IV~V类水质,甚至劣V类水质。全年溶解氧最高值出现在12月10号采样点0.5m处,为11.23 mg/L;最低值出现在7月1号采样点近湖泊底部处,为0.65 mg/L。

(2) 天目湖水平分布南北湖区溶解氧有明显差异,基本上是南湖的溶解氧值高于北湖的溶解氧值。溶解氧的低值区基本出现在北湖区,仅春秋季节在湖库的西南角出现底层的小片低值区。

(3) 天目湖溶解氧存在季节变化。冬季溶解氧最好,无显著垂向差异;春、秋两季湖体溶解氧垂向差异小,底层溶解氧浓度总体偏低;夏季溶解氧最低,且垂向差异最大,底部出现<1 mg/L的低氧区。

(4) 水温、水深、叶绿素、pH对溶解氧都有一定的影响。其中,温度是影响水体溶解氧的关键因素。非夏季月份,温度的升高导致溶解氧浓度降低;在夏季月份,温度分层是影响溶解氧浓度的关键因素,尤其是对中下层水体的影响较大。水深与溶解氧呈负相关关系。叶绿素在夏季对溶解氧的影响最显著,反映出生物活动对水体溶解氧的影响。

致谢 感谢张运林提供采样点图,罗淑葱、吴晓东在采样以及数据分析方面提供帮助,高永霞在采样以及分析样品中提供帮助。

参考文献:

- [1] 王成善, 胡修棉, 李祥辉. 古海洋溶解氧与缺氧和富氧问题研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 3(19): 39~ 47.
- [2] NEAL C, ALAN HOUSE W, HELEN P, et al. The water quality of the River Dun and the Kennet and Avon Canal[J]. Journal of Hydrology, 2006, 330: 155~ 170.
- [3] ENGLE V D, SUMMERS K J, MACAULEY J M. Dissolved oxygen conditions in northern Gulf of Mexico estuaries[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1999, 57(1): 1~ 20.
- [4] 张运林, 陈伟民, 杨顶田, 等. 天目湖 2001~ 2002 年环境调查及富营养化评价[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(1): 99~ 103.
- [5] 张莹莹, 张经, 吴莹, 等. 长江口溶解氧的分布特征及影响因素研究[J]. 环境科学, 2007, 28(8): 1 649~ 1 654.
- [6] 邹建军, 杨刚, 刘季花, 等. 长江口邻近海域九月溶解氧的分布特征[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(1): 65~ 73.
- [7] 李艳云, 王作敏. 大辽河口和辽东湾海域水质溶解氧与 COD、无机氮、磷及初级生产力的关系[J]. 中国环境监测, 2006, 22(3): 70~ 72.
- [8] 黄震, 余静. 长江芜湖段水体中溶解氧现状及其影响因素[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2005, 28(3): 348~ 351.
- [9] RIEDEL G F, SANDERS J G, OSMAN R W. Biogeochemical control on the flux of trace elements from estuarine sediments: effects of seasonal and short-term hypoxia[J]. Marine Environmental Research, 1999, 47: 349~ 372.
- [10] 罗家海. 珠江广州河段局部水体溶解氧低的主要原因分析[J]. 环境科学研究, 2002, 15(2): 8~ 11.
- [11] 石晓勇, 陆茸, 张传松, 等. 长江口邻近海域溶解氧分布特征及主要影响因素[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(2): 287~ 294.
- [12] 罗琳, 李适宇, 厉红梅. 夏季珠江口水域溶解氧的特征及影响因素[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005, 44(66): 118~ 122.
- [13] YIN K D, LIN Z F, KE Z Y. Temporal and spatial distribution of dissolved oxygen in the Pearl River Estuary and adjacent coastal waters[J]. Continental Shelf Research, 2004, 24(16): 1 935~ 1 948.
- [14] STANLEY D W, NIXON S W. Stratification and bottom-water hypoxia in the Pamlico River Estuary[J]. Estuaries, 1992, 15(3): 270~ 281.
- [15] PAERL H W. Assessing and managing nutrient-enhanced eutrophication in estuarine and coastal waters: Interactive effects of human and climatic perturbations[J]. Ecological Engineering, 2006, 26: 40~ 46.
- [16] TURNER R E, RABALAIS N N, SWENSON E M, et al. Summer hypoxia in the northern Gulf of Mexico and its prediction from 1978 to 1995[J]. Marine Environmental Research, 2005, 59(1): 65~ 77.
- [17] ZHU G, WANG F, ZHANG Y, et al. Hypoxia and its environmental influences in large, shallow, and eutrophic Lake Taihu, China[J]. Verh Internat Verein Limnol, 2008, 30(3): 361~ 365.
- [18] 陈镇东, 万政康, 王冰洁. 湖泊中溶解氧极大值之成因[J]. 湖泊科学, 1995, 7(1): 57~ 64.
- [19] 王雨春, 朱俊, 马梅, 等. 西南峡谷型水库的季节性分层与水质的突发性恶化[J]. 湖泊科学, 2005, 17(1): 54~ 60.
- [20] 朱广伟, 秦伯强, 张路, 等. 太湖底泥悬浮中营养盐释放的波浪水槽试验[J]. 湖泊科学, 2005, 17(1): 61~ 68.
- [21] 范成新, 相崎守弘. 好氧和厌氧条件对霞浦护霞浦湖沉积物——水界面氮磷交换的影响[J]. 湖泊科学, 1997, 9(4): 337~ 342.
- [22] 张智, 刘亚丽, 段秀举. 湖泊底泥释磷模型及其显著因素试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 45~ 50.
- [23] 崔峰. 池塘水中溶解氧变化规律的分析[J]. 安徽农业技术师范学院学报, 1999, 13(3): 73~ 75.
- [24] 高永霞, 朱广伟, 贺冉冉, 等. 天目湖水水质演变及富营养化状况研究[J]. 环境科学, 2009, 30(3): 673~ 679.
- [25] 张运林, 陈伟民, 杨顶田, 等. 天目湖水环境与渔业生产及旅游发展的关系[J]. 生态科学, 2003, 22(3): 271~ 274.
- [26] 贺冉冉. 天目湖富营养化发生机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.

DISTRIBUTION AND ITS INFLUENCE FACTORS OF DISSOLVED OXYGEN IN TIANMUHU LAKE

ZENG Chun-fen^{1,2}, HUANG Wen-yu², WANG Wei-xia², ZHU Guang-wei²

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Based on the annual water quality monitoring data from January to December 2006 in Tianmuhu Lake, distribution of dissolved oxygen and its environmental impact were analyzed. The results showed that dissolved oxygen level in Tianmuhu Lake dropped by 1~ 2 grades. All in all the annual water quality of reservoir area is mainly about Grade II ~ III (Standard for Surface Water Environment, GB 3838-2002), the water quality range from Grade IV to V, even worse than V in some parts. The distribution of dissolved oxygen has obvious seasonal changes and vertical differences. In winter, the dissolved oxygen (DO) content is the highest. In spring and autumn, the dissolved oxygen content is a little lower than that in winter, and there are some small differences between the top and bottom of DO. In summer, the dissolved oxygen content is the lowest, moreover, the vertical differences are the largest and low-DO area, with the concentration of DO was < 1 mg/L, appears at the bottom of lake. DO, which is one of the key factors affecting water ecosystem, is affected by water temperature, water depth, Chlorophyll and pH, etc. We found that the increase of water temperature caused reduction of DO concentration (and saturation) in non-summer period. However, for the middle and bottom layers, the thermal stratification is the key factor to affect the DO concentration. Moreover, depth, chlorophyll and pH have a certain impact on dissolved oxygen. There is a negative correlation between dissolved oxygen and water depth. The relation between Chlorophyll and dissolved oxygen is most significant in summer, which represents the impact of microbial activity on DO.

Key words: dissolved oxygen; low-oxygen area; environmental factors; Tianmuhu Lake