

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第7期

Vol.34 No.7

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

唐山市大气颗粒物 OC/EC 浓度谱分布观测研究	郭育红, 辛金元, 王跃思, 温天雪, 李杏茹, 封孝信 (2497)
北京东灵山地区主要大气污染物浓度变化特征	于阳春, 胡波, 王跃思 (2505)
奥运前期与奥运期间北京市大气细颗粒物特征比较分析	张菊, 欧阳志云, 苗鸿, 王效科, 任玉芬, 宋文质 (2512)
华东森林及高山背景区域臭氧变化特征及影响因素	苏彬彬 (2519)
北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究	方治国, 孙平, 欧阳志云, 刘芄, 孙力, 王小勇 (2526)
民用燃煤源中多环芳烃排放因子实测及其影响因素研究	海婷婷, 陈颖军, 王艳, 田崇国, 林田 (2533)
醇类汽油车醇醛酮、芳香烃和烯烃类排放的试验研究	张凡, 王建海, 王小臣, 王建昕 (2539)
微波解吸-催化燃烧净化甲苯研究	曹晓强, 张浩, 黄学敏 (2546)
生物滴滤池对 BTEX 的去除及相应细菌群落分析	李建军, 廖东奇, 许玫英, 孙国萍 (2552)
炼油厂废水处理站挥发性羰基化合物成分谱研究	周博宇, 刘旺, 王伯光, 周咪, 黄青, 周磊 (2560)
春季东、黄海溶解甲烷的分布和海气交换通量	曹兴朋, 张桂玲, 马啸, 张国玲, 刘素美 (2565)
千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究	董春颖, 虞左明, 吴志旭, 吴春金 (2574)
新安江流域土地利用结构对水质的影响	曹芳芳, 李雪, 王东, 赵越, 王玉秋 (2582)
长江中下游草型湖泊浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析	孟睿, 何连生, 过龙根, 席北斗, 李中强, 舒俭民, 刁晓君, 李必才 (2588)
河口盐度梯度下溶解态核酸的微生物可利用性	杨青青, 李朋辉, 黄清辉 (2597)
水藻暴发的影响因素定量化研究初步	张卓, 宋志尧, 黄昌春, 俞肇元 (2603)
深水型水库藻类功能组时空演替及生境变化的影响	卢金锁, 胡亚潘 (2611)
结合水体光学分类反演太湖总悬浮物浓度	周晓宇, 孙德勇, 李云梅, 李俊生, 龚绍琦 (2618)
Subwet 模型在人工湿地设计中的应用	李慧峰, 黄津辉, 林超 (2628)
白洋淀荷茎叶提取液对铜绿微囊藻及四尾栅藻化感效应	何连生, 孟繁丽, 刁晓君, 李一葳, 孟睿, 席北斗, 舒俭民 (2637)
苦草 (<i>Vallisneria spiralis</i>) 对城市缓流河道黑臭底泥理化性质的影响	许宽, 刘波, 王国祥, 马久远, 曹勋, 周峰 (2642)
铁屑-微生物协同还原去除水体中 Cr(VI) 研究	汤洁, 王卓行, 徐新华 (2650)
铁铜催化剂非均相 Fenton 降解苯酚及机制研究	杨岳主, 李玉平, 杨道武, 段锋, 曹宏斌 (2658)
不同形态无机氮对水中微量药物安替比林光降解效能影响	赵倩, 陈超, 封莉, 张立秋 (2665)
邻苯二甲酸二甲酯的紫外光-H ₂ O ₂ 降解机制研究	刘青, 陈成, 陈泓哲, 杨绍贵, 何欢, 孙成 (2670)
二胺基改性有序多孔 SBA-15 对溶液中 Cd ²⁺ 离子的吸附研究	张萌, 杨亚提, 秦睿, 王力, 张增强, 李忠宏, 李荣华, 孟昭福 (2677)
酸化蛭石的表面有机修饰及其对疏水性微污染物的吸附	蒋争明, 于旭彪, 胡芸, 任源, 李雪辉, 韦朝海 (2686)
基于废陶瓷的多孔陶瓷研制及其对 Ni ²⁺ 的吸附性能	张永利, 王承智, 史册, 尚玲玲, 马瑞, 董婉莉 (2694)
树皮支持的厌氧生物法去除地下水中的高氯酸盐	王蕊, 刘菲, 陈楠, 陈鸿汉 (2704)
Cr(VI) 污染地下水修复的 PRB 填料实验研究	朱文会, 董良飞, 王兴润, 翟亚丽 (2711)
化学沉淀法去除稀土湿法冶炼废水中钙与高浓度氨氮研究	王浩, 成官文, 宋晓薇, 徐子涵, 蒙金结, 董传强 (2718)
镍铁尾矿硫酸浸出动力学研究	陈安安, 周少奇, 黄鹏飞 (2729)
HRT 对 A ² O 工艺中典型多环麝香迁移转化的影响	刘鹏程, 黄满红, 陈东辉, 陈亮 (2735)
发酵液作为 EBPR 碳源的动力学模拟	张超, 陈银广 (2741)
强化污泥利用水解反应器改善碳源与污泥减量作用研究	熊娅, 王强, 宋英豪, 朱民, 林秀军 (2748)
污泥胞外聚合物的提取方法及其对污泥脱水性能的影响	周俊, 周立祥, 黄焕忠 (2752)
不同粒径铁铝泥对砷(Ⅲ)的吸附效果	林璐, 胥嘉瑞, 吴昊, 王昌辉, 裴元生 (2758)
我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析	仇焕广, 廖绍攀, 井月, 栾江 (2766)
浙北平原富硒土壤资源区硒来源的定量分离	徐明星, 潘卫丰, 岑静, 马学文 (2775)
三江平原土地利用方式变化对土壤锰形态影响	张仲胜, 吕宪国, 宋晓林 (2782)
吉林前郭水田土壤有机碳垂直分布规律和储量研究	汤洁, 张雯辉, 李昭阳, 张楠, 胡猛 (2788)
关中地区农田土壤有机碳固存速率及影响因素: 以陕西武功县为例	张晓伟, 许明祥 (2793)
三峡库区不同林草措施土壤活性有机碳及抗蚀性研究	黄茹, 黄林, 何丙辉, 周立江, 于传, 王峰 (2800)
土壤自养微生物同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C 连续标记法	史然, 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 葛体达, 隋方功, 童成立, 吴金水 (2809)
西南丘陵区保护性耕作下小麦农田土壤呼吸及影响因素分析	张赛, 张晓雨, 王龙昌, 罗海秀, 周航飞, 马仲炼, 张翠微 (2815)
丹江口水库迁建区土壤有机氯农药的分布特征及风险评价	李子成, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 赵艳民, 时瑶 (2821)
农药企业场地苯系物污染风险及调控对策	庞博, 王铁宇, 杜立宇, 谭冰, 朱朝云, 吕永龙 (2829)
水分管理对硫铁镉在水稻根区变化规律及其在水稻中积累的影响	张雪霞, 张晓霞, 郑煜基, 王荣萍, 陈能场, 卢普相 (2837)
硝酸盐对沉积物中有机物氧化减量及微生物群落结构的影响	刘近, 邓代永, 孙国萍, 刘永定, 许玫英 (2847)
零价铁对脱色希瓦氏菌 S12 偶氮还原的促进作用	周庆, 陈杏娟, 郭俊, 孙国萍, 许玫英 (2855)
2 株好氧反硝化菌的筛选及其强化贫营养生物膜脱氮效果	全向春, 岑艳, 钱殷 (2862)
反硝化聚磷菌快速富集、培养及其荧光原位杂交技术鉴别	刘立, 汤兵, 黄绍松, 付丰连, 张启泰, 黎健彬, 罗建中 (2869)
1 株反硝化除磷菌的鉴定及其反硝化功能基因研究	张倩, 王弘宇, 桑穗姣, 李孟, 杨开, 马放 (2876)
1 株高效 BBP 降解菌的分离与特性研究	陈湖星, 杨雪, 张凯, 钟秋, 郭佳, 王攀, 熊丽, 刘德立 (2882)
微生物-化学水解联合作用下烟嘧磺隆的降解	张小林, 李咏梅, 袁志文 (2889)
扑草净降解菌的分离、筛选与鉴定及降解特性初步研究	周际海, 孙向武, 胡锋, 李辉信 (2894)
固定化 <i>Lysinibacillus cresolovorans</i> 的 PVA-SA-PHB-AC 复合载体制备及间甲酚的降解	李婷, 任源, 韦朝海 (2899)
生物破乳菌 <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 表面活性物质提取与其破乳特性分析	黄翔峰, 张树聪, 彭开彰, 陆丽君, 刘佳 (2906)
A ² O 工艺活性污泥中可培养丝状细菌的多样性	高莎, 金德才, 赵志瑞, 齐嵘, 彭霞薇, 白志辉 (2912)
生活垃圾堆肥渗滤液污染物组成与演化规律研究	李丹, 何小松, 席北斗, 魏自民, 潘红卫, 赵国鹏, 崔东宇 (2918)
专辑征稿通知 (2551) 《环境科学》征稿简则 (2685) 《环境科学》征订启事 (2868) 信息 (2875)	

千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究

董春颖¹, 虞左明², 吴志旭³, 吴春金¹

(1. 浙江工商大学环境科学与工程学院, 杭州 310012; 2. 杭州市环境保护科学研究院, 杭州 310014; 3. 淳安县环境保护监测站, 淳安 311700)

摘要: 千岛湖是典型的亚热带人工深水水库。为了解水库的物理特征, 于2011年对水库温度、溶解氧(DO)、pH值、浊度、有效光合作用辐照强度(PAR)和叶绿素a的季节动态和垂直分层结构进行分析, 探讨水库水体季节性分层特征。结果表明, 千岛湖水表层水温在10.4~32.7℃, 在4~12月间出现水体分层现象, 在夏季形成明显分层, 是典型的亚热带单混合水体。水温分层结构对DO、pH值、浊度、PAR和叶绿素a的垂直剖面变化有一定的影响作用。水体溶解氧出现显著的分层现象, 且温跃层内DO浓度较低, 冬季底层溶解氧出现暂时周期性缺氧; 浊度在温跃层内达到最大值, 其表层大小主要受降水的影响; 叶绿素a含量表层含量较高, 且温跃层以下水深维持较低水平, 这说明水体分层对水库水质的变化起重要作用。此外, 水体光合作用最强处在5~10 m左右, 此深度适合藻类生长, 这为分析千岛湖水体蓝藻暴发取样和分析提供了依据。

关键词: 千岛湖水库; 水体分层; 亚热带; 季节性; 物理特征

中图分类号: X143 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)07-2574-08

Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao

DONG Chun-ying¹, YU Zuo-ming², WU Zhi-xu³, WU Chun-jin¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310012, China; 2. Hangzhou Institute of Environmental Protection Science, Hangzhou 310014, China; 3. Chun'an Environmental Monitoring Station, Chun'an 311700, China)

Abstract: Lake Qiandao is a typical subtropical man-made reservoir in China. The investigation on the seasonal and vertical dynamics of water temperature, dissolved oxygen (DO), pH value, turbidity, photosynthetic available radiation (PAR) and chlorophyll a was conducted in 2011 in order to find out the physical characteristics of Lake Qiandao. The average surface water temperature ranged from 10.4 to 32.7℃. A monomictic thermal stratification was observed in Lake Qiandao, initiating in April and lasting until December. The results showed that thermal stratification had influences on vertical distribution of DO, pH value, turbidity, PAR and chlorophyll a. Very strong stratification of DO was found, inducing lower oxygen concentration in the thermocline layer and temporal hypoxia in the bottom water. The maximum turbidity was found in the thermocline layer and the precipitation affected the surface turbidity value. Moreover, the chlorophyll a concentration was higher in the surface water and lower in the bottom water as found in this study, implying that water quality was affected by stratification. Besides, the maximum photosynthesis rate and algal growth rate were found at the depth 5-10 m below the water surface. Therefore, the results can provide theoretical support for the sampling and analysis of algal blooms in Lake Qiandao.

Key words: Lake Qiandao; water stratification; subtropics; seasonality; physical characteristics

水库(特别是深水水库)水温由于受季节变化而引起的分层和对流现象是水库的一个重要特征, 在深水型湖库中水温分层的温差大、持续时间长, 呈现季节性分层的现象, 影响着水体的物理特性、化学反应过程和生物活动^[1]。一般来说, 深度超过7 m的水库就可能形成温跃层^[2]。在温跃层内水深每下降1 m, 水温下降1℃或1℃以上^[3]。分层湖库中水温分布、温跃层的形成和湖泊或水库内水体的上下交换, 对水体的溶解氧垂向分布、营养物质分布、水生生物, 特别是浮游植物的垂向分布产生重大影响^[4~9]。稳定的热分层可阻碍上下水层水体的混合和物质交换, 导致了水化学的分层, 形成化跃

层^[10]。突发性水质恶化事件和温跃层及化跃层的改变有关^[11]。因为气温突降使水体分层失稳, 上下层水体发生等温对流, 下层富集的还原性物质及营养盐向上迁移, 从而发生缺氧等水质恶化事件, 并对水体水质和水环境变化起着重要作用^[12~14]。王雨春等^[4]通过研究也发现水体分层现象的发生和变化直接控制水库的水环境性质, 百花湖水库近年来

收稿日期: 2012-10-17; 修订日期: 2013-02-01

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(Y5110314); 浙江工商大学校级科研项目(X11-05); 杭州市重大科技创新专项(20122513A01)

作者简介: 董春颖(1982~), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为水环境污染模拟与控制, E-mail: dcy0915@gmail.com

经常发生的季节性水质恶化事件,是由于秋季突然降温导致的水体分层结构失稳,上下水团在垂直交替过程中耗氧和复氧机制不平衡引起的。因此,对于有一定水深的水库,水体的季节性分层对深水水库理化指标的垂向分布起着控制或者影响作用,直接影响着水环境质量的变化。气温突降是水质恶化事件发生的诱因,而水体的分层是发生的条件^[12]。因此,对深水水库的水环境的研究必须首先明确温度分层的形成和发展过程,因为温度分层的发生和破坏会引起水化学参数的变化,进而为水华的发生或水质的污染创造条件。

千岛湖是典型的亚热带人工深水水库,是钱塘江的“生态源”,是杭州市乃至浙江省的重要饮用水源地(其淡水蓄水量约是太湖的4倍)。然而,随着库区及上游流域社会经济的不断发展和资源的不合理利用,水库的污染负荷的增加,水体的营养状况发生了显著变化,局部水域出现了明显的富营养化迹象,营养水平从建湖时期的贫营养逐步提高。近几年千岛湖库区水环境质量逐渐下降,据《中国环境状况公报》数据表明,千岛湖局部水域水体从2000年的Ⅰ类水质变为2009年的Ⅲ类水质,富营养化进程加剧,总磷由2000年的 $0.018\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 上升到目前 $0.037\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,总氮由 $0.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 上升到 $1.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,叶绿素a由2000年的 $2\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 上升到目前 $6\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$;局部水域蓝藻水华频繁暴发。但以往对千岛湖的研究主要着重水质的变化或者仅关注浮游植物的变化,遗憾的是,有可能引起水质变化的水体分层现象的研究鲜有报道。

千岛湖水库的季节性分层及相应的水化学响应研究仍是空白。本研究以千岛湖水水库湖泊区大坝采样点为对象,以2011年度水体温度、溶解氧(DO)、pH值等水化学指标垂向分布特征为内容,阐明了千岛湖水水库湖泊区水体分层结构发生、发展和消亡的年际演化过程,探讨水温分层对水库物化特征的影响作用,以期为亚热带特大型人工深水水库水环境特征的研究和水质富营养化的控制提供科学的参考。

1 材料与方法

1.1 水库概况

千岛湖原名新安江水库,位于浙江省淳安县境内($29^{\circ}22'\sim 29^{\circ}50'\text{N}$, $118^{\circ}34'\sim 119^{\circ}15'\text{E}$),为1959年新安江水电站大坝建成后所形成的特大山谷型深水水库。新安江流域位于亚热带北缘、东南沿海季

风区,气候温暖,雨量充沛,年平均气温 16.90°C 。千岛湖正常高水位108 m,库容 $178.4\times 10^8\text{ m}^3$,库水面 580 km^2 ,平均水深30.44 m,多年平均入库水量 $94.5\times 10^8\text{ m}^3$,出库水量为 $91.07\times 10^8\text{ m}^3$,水体交换周期长达2 a。千岛湖具有多年调节性能,正常情况下,出流量很小。千岛湖泄水口高度在20~30 m水深处,但下泄水量发电属于调峰型电站,只在用电高峰期才运行。千岛湖水量主要来自地表径流,共有大小入库支流30余条,其中新安江是最主要的入库地表径流,约占入库总径流量的60%。

1.2 研究方法

1.2.1 数据的采集

2011年1~12月(采样时间为每月1号 $\pm 2\text{ d}$ 下午12:00~13:00)在千岛湖湖泊区大坝前($29^{\circ}30'36''\text{N}$, $119^{\circ}12'37''\text{E}$)进行连续的监测(见图1)。采样区域大坝前离泄水口至少5 km以上,且在近年的观测中,采样点处区域宽广,水体交换时间长,出流量较小,理化性质和生物特征均较稳定。因此,采用湖泊区坝前作为研究样点,具有代表性和可靠性。本研究采用加拿大RBR公司的XRX-620快速多参数水质剖面仪对垂直水体的温度、有效光合作用辐照强度(PAR)、浊度、pH值、DO和叶绿素a进行数据的连续采集。XRX-620是加拿大RBR公司生产的可多参数集成的高精度仪器,采样速度快;测量精度高;数据储存量大;仪器自动感应,下水自动开始工作、出水自动停止工作;具备水下电缆,实时传输数据并供电,被广泛用于近海水质快速调查、水库水质监测和湖泊水质监测等。因此,XRX-620仪器保证了数据的稳定性和可靠性。

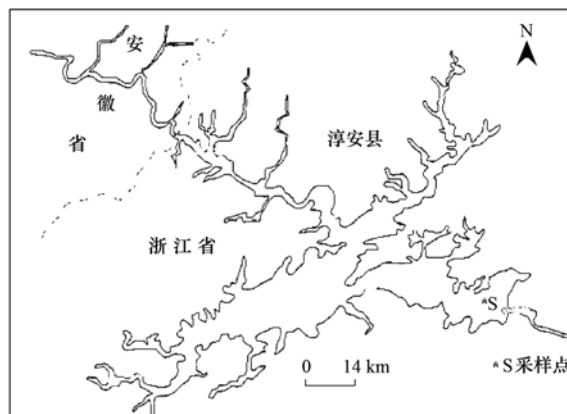


图1 千岛湖地形图及采样点示意

Fig. 1 Topographical map and sampling site in Lake Qiandao

1.2.2 数据处理

用Microsoft Excel 2007 软件导出和处理数据,

用 ORIGIN 8.0 软件制图. 由于水质剖面仪测得的位置深度可精确到 ± 0.01 m, 为了方便比较, 对导出的数据每米取平均值.

2 结果与分析

2.1 水温垂直分层与季节动态

水库水温在垂线方向上的变化, 有在上层和下层缓慢下降, 而在中层发生急剧变化的现象, 此突变层称为温跃层. 由于风的作用, 上层水发生混合和温度变化, 下层水始终保持稳定的状态, 上下层之间便会产生温度急变的跃层.

一般来说, 表层水体的水温受外界气候影响较大, 且水库表层温度的变化会通过水体运输往下传递, 但是底层水温变化主要受水库水体混合特性的影响. 由图 2 可见, 千岛湖水温季节分层特征明显, 库区垂直水体温度属于暖单循环湖, 即一年“翻库”一次.

冬季随着气温的快速下降, 上层水温随之降低, 上下水层水体混合, 分层现象消失, 表层水和底层水温差很小, 形成较均匀的水体温度, 水库在 2 月初进入冬季混合期, 整个库区水温为 $12.0^{\circ}\text{C} \pm 0.97^{\circ}\text{C}$, 温度梯度很小, 水深 5 m 以下温度变化小于 $0.01^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$, 这表明千岛湖库区水体完全混合. 水库在 4 月后随着气温的升高和太阳辐射的迅速增强, 表层温度开始逐渐升高, 表层与底层的水温差距开始增大, 下层水温度变化很小, 水体中逐渐出现水温分层现象. 4 月开始温差接近 4°C , 最大温度梯度 $0.34^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ 出现在 5 m 处, 水体热分层开始形成. 随着气温的进一步升高, 千岛湖水库夏季的正向分层则更加显著和稳定. 从图 2 中可以看出, 5~8 月千岛湖已形成较明显的温度梯度, 由上至下的温度梯度在 5~15 m 水深范围内均达到最大值, 最大温度梯度 $2.11^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ 出现在 8 月水深 8~9 m 处. 5 月和 6 月在 5~20 m 间形成了一个较为明显的温度跃层; 7~8 月在 5~35 m 处出现了明显的温跃层, 表层温度分别为 27.2°C 和 32.7°C , 且和底层水体的温差均大于 16°C , 8 月表底层温差达到 23°C , 形成相对稳定的“上高下低”水温分层结构, 并在一定程度上限制了上下层水团的交换. 9 月后表层温差逐渐变小, 变温层变厚, 这是由于秋季随着气温的降低, 水库表层温度逐渐降低, 较重冷水向下运输, 温度较高的底层水接受了上层水的冷却, 温度分层逐渐弱化. 9~10 月在 10~40 m 处依然存在较明显的温跃层, 且最大温度梯度发生在 10~15 m 水深处.

随着气温的进一步降低, 11~12 月千岛湖上混合层温差已基本消失, 但中下层的温差和跃层现象依然存在, 温跃层厚度开始变薄.

2.2 水质剖面的垂向变化特征和季节动态

本研究水质测量都是从表层到最深处, 图 3 和图 4 是 2011 年度水质参数(DO、pH 值、浊度、PAR 和叶绿素 a)的垂直剖面变化特征. 可以看出, 各个水质参数的垂向分布均存在较明显的季节性特征.

2.2.1 PAR

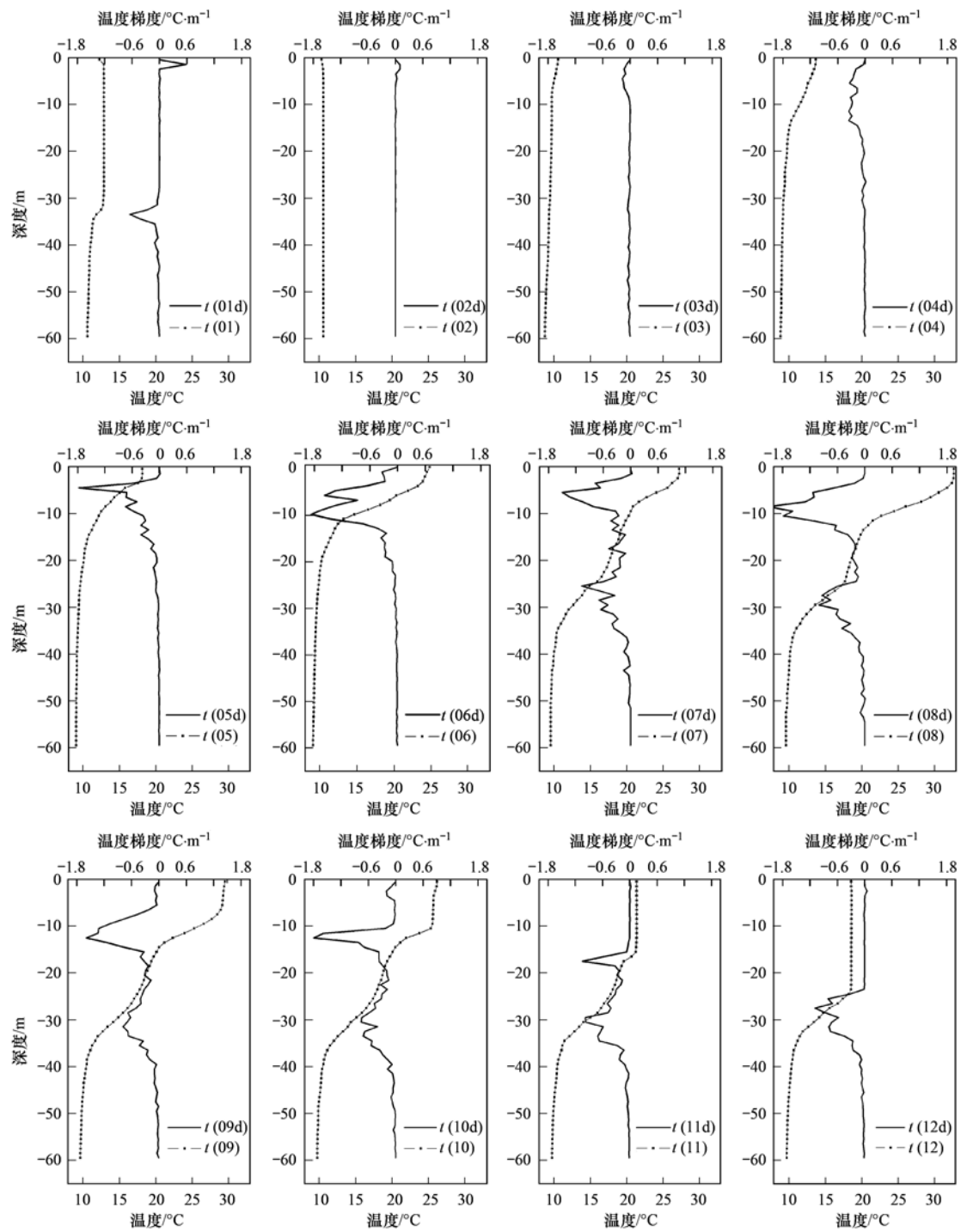
千岛湖水体纵向 PAR 变化特征见图 3. PAR 由于受水体中无机悬浮物、浮游植物的吸收和散射作用而发生衰减, 其强度随着深度的增加而逐渐减低. 从图 3 中可以看出, PAR 在表层和中层水体对数递减, 30 m 水层后基本接近 0. 以 8 月为例, PAR 在表层为 $789.41 \mu\text{mol} \cdot (\text{s} \cdot \text{m}^2)^{-1}$, 10 m 水层达到 $26.51 \mu\text{mol} \cdot (\text{s} \cdot \text{m}^2)^{-1}$, 到 20 m 水层降为 $1.50 \mu\text{mol} \cdot (\text{s} \cdot \text{m}^2)^{-1}$, 在 30 m 水层以下基本接近 0. 从时间上来看, PAR 强度在 2 月最弱, 最大值仅为 $8.85 \mu\text{mol} \cdot (\text{s} \cdot \text{m}^2)^{-1}$, 10 月份表层 PAR 达到最大值, 为 $1413.19 \mu\text{mol} \cdot (\text{s} \cdot \text{m}^2)^{-1}$.

2.2.2 浊度

千岛湖水体纵向浊度变化特征见图 3. 从中可以看出, 浊度在垂直方向上是个比较稳定的参数, 1~5 月和 11 月、12 月垂向变化非常小. 从中也可发现, 7~8 月温跃层内浊度达到全年的最大值, 并且比其它月份高几倍, 这是由于 2011 年 6 月月平均雨量达到 137 mm, 雨量充沛, 较重的浊水流入水体而引起 7 月水库浊度的增加, 并达到全年最大值, 但 7 月 30 m 以下水体浊度仍保持较低水平, 与其它月份相当, 这也说明浊度的纵向变化受到水体分层的影响.

2.2.3 pH 值

千岛湖水体纵向 pH 值的变化见图 3. 千岛湖水体 pH 值的垂向变化不是很明显, 表层水呈微碱性, 底层水偏微酸性. 这是因为水体中 pH 值的变化主要与藻类生长过程的光合作用有关. 表层水藻类通过光合作用, 消耗水中的 CO_2 , 破坏了 $\text{CO}_2/\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ 的平衡, 使水体 pH 值呈微碱性^[15]. 在分层水体中温跃层下 CO_2 的累积使水体 pH 值略微降低, 这是由于光不能穿透温跃层, 下层水体 CO_2 未被光合利用消耗^[16]. 从中可以看出, pH 值在 0~5 m 出现递增趋势, 并在 5 m 处达到一个极大值. 这是因为水体表面一般会出现光抑制现象, 光合速率降低, 而初级生产力最大值一般出现在次表层^[17]. 千岛湖水库 pH 值在 5 m 处达到一个极大值, 这是



t (数字)表示某数字月的水体温度, t (数字 d)表示某数字月的水体温度梯度

图 2 千岛湖水温及温度梯度垂直剖面变化

Fig. 2 Vertical profile of water temperature and temperature gradient in Lake Qiandao

由于此深度范围内藻类生长最为旺盛,光合作用较强,消耗了水中的 CO_2 ,使水体 pH 值呈碱性,并达到一个极大值. 此外,1~3 月在水库冬季混合期 5 m 深度以下 pH 值变化不大. 在 4~8 月水库水温分层形成和稳定期,pH 值的变化和水温的变化趋势基本一致. 在 4~8 月,0~5 m 出现递增趋势,不同月

份表层水 pH 值逐渐增加,分别为 8.05、8.57、9.11、9.14 和 9.73. 水深 5 m(温跃层上界)到 15 m 或 25 m 随着水深的增加而减小,这是由于此层内光合作用减弱,并且 CO_2 的累积.

2.2.4 溶解氧

千岛湖水体垂向 DO 分层存在明显的季节性分

布特征(见图3). 1月、11月和12月表现出上层DO高、下层DO低即“上高下低”的现象,且分别在

30~38 m、15~20 m和25~30 m水深处存在跃层,其最大溶解氧梯度分别为0.94、1.40和1.33

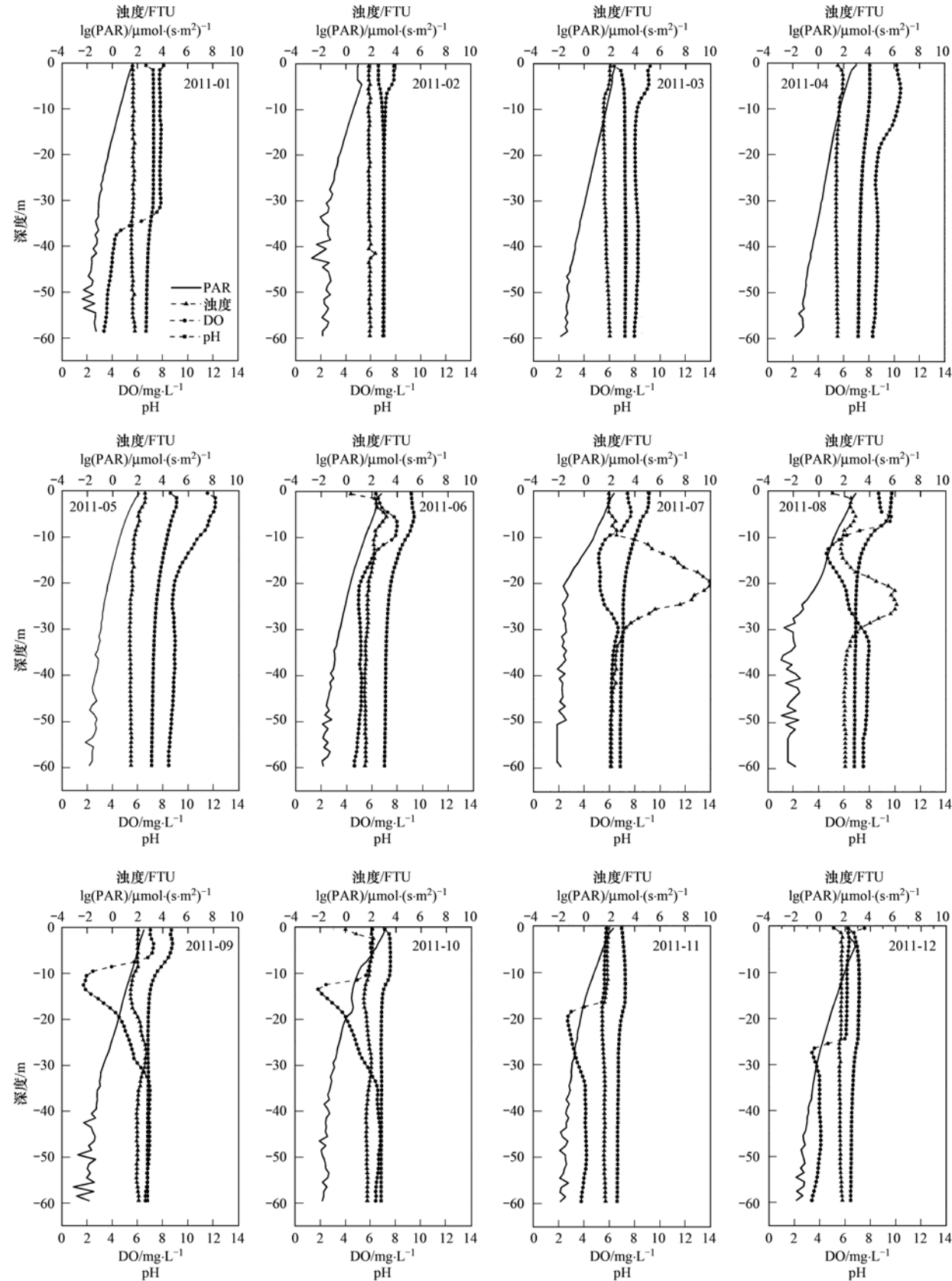


图3 千岛湖物理特征参数垂直剖面变化

Fig. 3 Vertical profile of physical characteristics in Lake Qiandao

$\text{mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{m})^{-1}$. 此外, 底层 DO 浓度小于 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 进入缺氧状态. 2 月和 3 月上下水层 DO 浓度相差不大, 其均值分别为 $7.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \pm 0.22 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $8.23 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \pm 0.31 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 4 ~ 10 月水体存在了显著的 DO 纵向梯度: 表层水体 (10 m 以内) 都接近饱和浓度, 并且在此水层内 DO 逐渐递增; 随着水深的增加, DO 浓度降低, 并且在温跃层水深范围内急剧减小; 温跃层以下深度 DO 基本恒定. 总体来说, DO 在 5 ~ 15 m 处骤降, 而在 15 ~ 30 m DO 递增, 30 m 下保持恒定, DO 随着深度的变化表现出先递减, 再增加, 而后保持恒定的趋势, 底层 DO 浓度与表层相当.

2.2.5 叶绿素 a

叶绿素 a 是表征浮游植物生物量的重要指标.

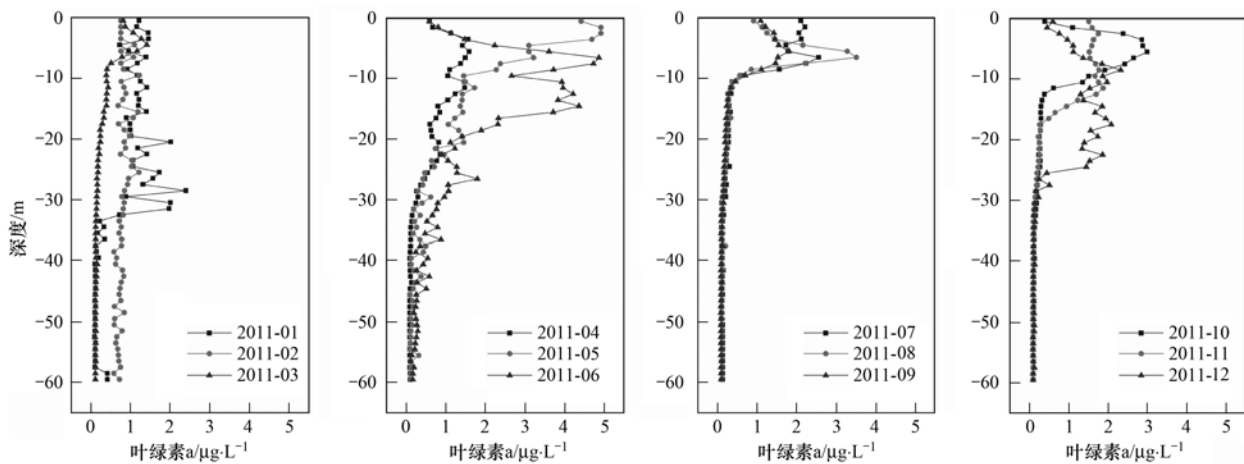


图4 千岛湖水体叶绿素 a 垂直剖面变化

Fig. 4 Vertical profile of chlorophyll a in Lake Qiandao

3 讨论

对于有一定水深的水库, 水体的季节性分层可能对水库内几乎所有水环境演化过程起着控制或者影响作用. 因此, 对千岛湖水体水温分层的研究至关重要. 从季节上看, 千岛湖 1 ~ 3 月属于水库冬季混合期, 水体分层完全消失, 水库接近完全混合; 4 月属于千岛湖水体温度分层形成期, 表层与底层的温度差逐渐增大; 5 ~ 10 月属于水库水体稳定分层期, 水温在纵向上分为明显的 3 层: 变温层、温跃层和恒温层; 11 ~ 12 月属于水库水体温度分层减弱期, 温跃层的厚度逐渐变薄. 一般判断水库水温分层类型采用指标法:

$$\alpha = \text{年入库流量} / \text{总库容}$$

当 $\alpha < 10$ 时, 为稳定分层型; 当 $\alpha > 20$ 时, 为完全混合型^[18]. 千岛湖库容 $178.4 \times 10^8 \text{ m}^3$, 多年平均入库

图 4 是千岛湖水体叶绿素 a 垂直剖面变化特征. 从中可以看出, 千岛湖叶绿素 a 分布出现明显且稳定的分层现象, 且和温跃层的变化特征较一致. 除了 2 月外, 30 m 水深以下的水体叶绿素 a 含量基本恒定, 且随季节变化幅度不大, 最大值出现在冬季混合期的 2 月 ($0.728 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \pm 0.089 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), 紧随其后的是 6 月 ($0.455 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \pm 0.221 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) 和 5 月 ($0.235 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \pm 0.116 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), 其余月份均维持在 $0.1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 附近. 但表层水体的叶绿素 a 含量每年会形成 2 个高峰, 即春季末的高峰和夏末秋初的高峰. 5 月和 6 月表层叶绿素 a 含量较高, 最大值分别达到 $4.932 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $4.873 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. 冬季混合期间没有引起浮游植物生物量的升高, 这可能是受水温较低的影响^[12].

水量 $94.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 可以得到 $\alpha = 0.53$, 远远小于 10, 因此, 千岛湖垂向水温应该存在稳定的分层. 这与图 3 中所得的结果一致. 因此, 千岛湖水体全年水温分层时间长 (4 ~ 12 月), 混合期短 (1 ~ 3 月), 是典型的亚热带单混合水体.

千岛湖水温分层结构, 对水化学参数的垂直剖面变化有一定的影响. 浊度在温跃层内达到最大值也可以说明温跃层限制了物质向下传递, 但是在此层内却得到了累积, 这也说明浊度的纵向变化受到水体分层的影响^[16]. 但从时间性来说, 浊度大小主要受降雨所带来的外界输入的影响.

张运林等^[7]对天目湖的研究中发现湖水温度的变化对溶解氧的影响十分明显, 温跃层存在时, 下层水的溶解氧明显低于上层水, 当温跃层消失时, 上下层水的溶解氧差异不大. 对千岛湖的研究也发现, 温度分层对溶解氧的影响作用显著. 千岛湖水

体冬季上下水层溶解氧浓度相差不大,这主要是由于冬季是千岛湖水体混合期,上下水体的混合复氧,溶解氧浓度较高,2月和3月均值在 $7.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \pm 0.22 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $8.24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \pm 0.31 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 但随着温度分层的形成,水体溶解氧也出现较明显的分层现象. 一般来说,表层水体(10m 以内)都接近饱和浓度,并且在此水层内溶解氧逐渐递增;随着水深的进一步增加,溶解氧浓度逐步降低,并且在温跃层范围内急剧减小;温跃层以下水体溶解氧变化不大. 水体分层对溶解氧有一定的影响作用^[12,13],特别是水体存在稳定的温跃层时,上下水体不能进行交换,阻止了上层水体的溶解氧向下层水体传递,上层水体的气体交换和中上层浮游植物的光合作用为上层水体提供了溶解氧,而深层的湖水则由于沉积物有机质的矿化降解和大量有机体死亡下沉分解消耗大量水体中的溶解氧,因此形成了显著的溶解氧纵向梯度,出现上层、中层和下层水体不同的变化特征,也会引起下层水体暂时性缺氧问题. Foley 等^[19]对英国某湖泊 41 a 数据进行分析,明确了温度分层是底层缺氧的主导因素. Obenour 等^[20]和 Lee 等^[21]均指出温度分层是底层水体缺氧的一个主要因素. 千岛湖水体存在稳定的温度分层现象,引起溶解氧的分层,特别在冬季,下层 DO 浓度出现小于 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,带来暂时周期性缺氧,这不利于水质量的保障和水生生态系统的稳定. 此外,从本研究中也可以发现(图 2 和图 3),温跃层内 DO 浓度较低,且垂向 DO 最小值均出现在温跃层内,除了水温分层结构限制了上下水体的交换,从而阻断了温跃层水体 DO 的输入外,变温层有机物质沉降进入到温跃层,消耗了温跃层的 DO,使得温跃层 DO 出现一个最小值,这说明温度分层对水体溶解氧的有一定的影响作用,分析千岛湖水环境状况需明确温跃层内 DO 浓度.

另外,在适合藻类生长的春夏季节,从研究中发现水深 5 m 范围,溶解氧浓度出现了一个极大值,这是由于此深度范围藻类生长最为旺盛,光合作用增加了水体溶解氧浓度,pH 值在 5 m 水深处也达到了一个极大值,说明千岛湖水体 5 m 水深处适合藻类生长. 此外,光抑制现象也可解释此结果^[17]. 光合作用最强处一般不是出现在表层,或者说初级生产力或者浮游植物浓度最大值一般出现在次表层,这是因为在水体表面一般会出现光抑制现象,光合速率降低. 从图 3 中可知,PAR 在表层出现最大值,且在水体中显示了固有的衰减规律,其衰减情况直接

影响到浮游植物光合作用过程和水体初级生产力的分布. 但水体中 PAR 最大点并不等同光合作用最强处. 吴志旭等^[22]对千岛湖的研究中发现,浮游植物高密度区最大值出现在水深 5 ~ 10 m 处. 从 DO 浓度和 pH 值的垂向分析也可知(图 3),光合作用最强处不是在 PAR 最大值处,这也间接说明了光抑制现象. 邱二生^[23]对黑河和苏玉萍等^[15]对山仔水库的研究也得到类似的结果. 因此,从以上分析中可以推断,由于光抑制存在,千岛湖水体光合作用最强处在 5 ~ 10 m 左右,此深度适合藻类生长,这为分析千岛湖水体蓝藻发生时取样和分析提供了依据.

从图 4 中可以看出,至春季温度一升高,表层叶绿素 a 含量就直线上升,这可能是由于表层水温升高和光照导致表层藻类大量增殖的缘故^[12]. 随着温度分层的形成和稳定,温跃层以上水深叶绿素 a 浓度平均值是温跃层以下水深的 20 倍,差值达 $2 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,温跃层以下水深叶绿素 a 浓度较低且稳定在 $0.1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右. 温跃层下 PAR 很小,浮游植物光合作用较弱,温跃层限制了上下水体的交换,即限制了浮游植物的垂向分布,使得温跃层下水深处叶绿素 a 浓度得不到补充,并稳定在较低水平,这说明深水湖库水体温跃层出现后,物质的垂直迁移受到温跃层的阻碍作用,导致了叶绿素 a 浓度的分层. 此外,水体中的藻类组成和数量,受营养盐的上行作用影响,分层水体中的营养盐状况是藻类在春夏暴发的一个主要因素^[24]. 千岛湖水库水温混合出现在温度较低的冬季,混合期引起水中的营养物质沿垂向均匀分布,使底层较高的营养物质上升到表层,又因为温度较低,水中生化反应缓慢,消耗较少的营养物质,至春季时沉积了大量的营养物质,为藻类快速生长提供了物质基础,5 ~ 6 月表层叶绿素 a 浓度达到全年最大值. 刘流等^[25]和 Liu 等^[26]对三峡水库库首最大的支流香溪河库湾进行原位定点连续监测,发现春季水温分层发育是春季水华暴发的直接诱因. 因此,对千岛湖藻类增长的分析 and 探讨需建立在水体分层研究的基础上.

4 结论

(1) 千岛湖湖泊区水体全年水温分层时间长(4 ~ 12 月),混合期短(1 ~ 3 月),是典型的亚热带单混合水体.

(2) 水温分层结构对 DO、pH 值、浊度、PAR 和叶绿素 a 的垂直剖面变化有一定的影响作用,特别是夏季出现的水温显著分层现象,有效地限制了

上下水体的垂直交换,引起了水化学的分层,对水库水环境演化过程起着重要影响,尤其是 DO 和叶绿素 a.

(3) 湖泊区温跃层内 DO 浓度较低,冬季下层水体 DO 浓度小于 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 出现暂时周期性缺氧,不利于水质量的保障和水生生态系统的稳定.

(4) 千岛湖湖泊区水体光合作用最强处在 5 ~ 10 m 左右,此深度适合藻类生长,叶绿素 a 浓度在此深度范围内达到最大值,温跃层以下叶绿素 a 含量几乎一致且维持较低水平,这为分析千岛湖水体蓝藻暴发取样和分析提供了依据.

参考文献:

- [1] 赵林林, 朱广伟, 陈元芳, 等. 太湖水体水温垂直向分层特征及其影响因素[J]. 水科学进展, 2011, **22**(6): 844-850.
- [2] 贺冉冉, 罗澈葱, 朱广伟, 等. 天目湖溶解氧变化特征及对内源氮释放的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2010, **26**(4): 344-349.
- [3] 陈飞星. 湖泊(水库)网箱养鱼水质模型研究[J]. 环境科学学报, 1999, **19**(2): 132-136.
- [4] 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.
- [5] Becker V, Caputo L, Ordóñez J, *et al.* Driving factors of the phytoplankton functional groups in a deep Mediterranean reservoir[J]. Water Research, 2010, **44**(11): 3345-3354.
- [6] Ryabov A B, Rudolf L, Blasius B. Vertical distribution and composition of phytoplankton under the influence of an upper mixed layer[J]. Journal of Theoretical Biology, 2010, **263**(1): 120-133.
- [7] 张运林, 陈伟民, 杨顶田, 等. 天目湖热力学状况的监测与分析[J]. 水科学进展, 2004, **15**(1): 61-67.
- [8] 林佳, 苏玉萍, 钟厚璋, 等. 一座富营养化水库——福建山仔水库夏季热分层期间浮游植物垂直分布[J]. 湖泊科学, 2010, **22**(2): 244-250.
- [9] Bonnet M P, Poulin M, Devaux J. Numerical modeling of thermal stratification in a lake reservoir: methodology and case study[J]. Aquatic Sciences, 2000, **62**(2): 105-124.
- [10] Yu H, Tsuno H, Hidaka T, *et al.* Chemical and thermal stratification in lakes[J]. Limnology, 2010, **11**(3): 251-257.
- [11] Dunnivant F M. An integrated limnology, microbiology and chemistry exercise for teaching summer lake stratification, nutrient consumption and chemical thermodynamics [J]. American Biology Teacher, 2006, **68**(7): 424-427.
- [12] 夏品华, 李秋华, 林陶, 等. 贵州高原百花湖水库湖沼学变量特征及环境效应[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(8): 1660-1669.
- [13] 夏品华, 林陶, 李存雄, 等. 贵州高原红枫湖水库季节性分层的水环境质量响应[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(9): 1477-1485.
- [14] 邱华北, 商立海, 李秋华, 等. 水体热分层对万峰湖水环境的影响[J]. 生态学杂志, 2011, **30**(5): 1039-1044.
- [15] 苏玉萍, 郑达贤, 林婉珍, 等. 福建省山仔水库水体季节性分层特征研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2007, **23**(3): 1-4.
- [16] Elçi Ş. Effects of thermal stratification and mixing on reservoir water quality[J]. Limnology, 2008, **9**(2): 135-142.
- [17] Behrenfeld M J, Falkowski P G. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration[J]. Limnology and Oceanography, 1997, **42**(1): 1-20.
- [18] 叶守泽, 夏军, 邦生练, 等. 水库水环境模拟预测与评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998. 103-134.
- [19] Foley B, Jones D I, Maberly C S, *et al.* Long-term changes in oxygen depletion in a small temperate lake: effects of climate change and eutrophication[J]. Freshwater Biology, 2012, **57**(2): 278-289.
- [20] Obenour R D, Michalak M A, Zhou Y T, *et al.* Quantifying the impacts of stratification and nutrient loading on hypoxia in the northern gulf of Mexico [J]. Environmental Science & Technology, 2012, **46**(10): 5489-5496.
- [21] Lee Y G, Kang J H, Ki S J, *et al.* Factors dominating stratification cycle and seasonal water quality variation in a Korean estuarine reservoir [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2010, **12**(5): 1072-1081.
- [22] 吴志旭, 刘明亮, 兰佳, 等. 新安江水库(千岛湖)湖泊区夏季热分层期间垂直向理化及浮游植物特征[J]. 湖泊科学, 2012, **24**(3): 460-465.
- [23] 邱二生. 黑河水库水质及藻类监测和水体分层研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010. 27-28.
- [24] 刘其根, 陈立侨, 陈勇. 千岛湖水华发生与主要环境因子的相关性分析[J]. 海洋湖沼通报, 2007, (1): 117-124.
- [25] 刘流, 刘德富, 肖尚斌, 等. 水温分层对三峡水库香溪河库湾春季水华的影响[J]. 环境科学, 2012, **33**(9): 3046-3050.
- [26] Liu L, Liu D F, Johnson D M, *et al.* Effects of vertical mixing on phytoplankton blooms in Xiangxi Bay of three gorges reservoir: implications for management[J]. Water Research, 2012, **46**(7): 2121-2130.

CONTENTS

Observation of Size Distribution of Atmospheric OC/EC in Tangshan, China	GUO Yu-hong, XIN Jin-yuan, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (2497)
Changing Characteristics of the Main Air Pollutants of the Dongling Mountain in Beijing	YU Yang-chun, HU Bo, WANG Yue-si (2505)
Characteristic Comparative Study of Particulate Matters in Beijing Before and During the Olympics	ZHANG Ju, OUYANG Zhi-yun, MIAO Hong, <i>et al.</i> (2512)
Characteristics and Impact Factors of O ₃ Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin (2519)
Studies on the Size Distribution of Airborne Microbes at Home in Beijing	FANG Zhi-guo, SUN Ping, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (2526)
Emission Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Residential Coal Combustion and Its Influence Factors	HAI Ting-ting, CHEN Ying-jun, WANG Yan, <i>et al.</i> (2533)
Experimental Research on Alcohols, Aldehydes, Aromatic Hydrocarbons and Olefins Emissions from Alcohols Fuelled Vehicles	ZHANG Fan, WANG Jian-hai, WANG Xiao-cheng, <i>et al.</i> (2539)
Combination Process of Microwave Desorption-Catalytic Combustion for Toluene Treatment	CAO Xiao-qiang, ZHANG Hao, HUANG Xue-min (2546)
Removal of BTEX by a Biotrickling Filter and Analysis of Corresponding Bacterial Communities	LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (2552)
Source Profile of Volatile Carbonyl Compounds in Wastewater Treatment Plant of an Oil Refinery	ZHOU Bo-yu, LIU Wang, WANG Bo-guang, <i>et al.</i> (2560)
Distribution and Air-Sea Fluxes of Methane in the Yellow Sea and the East China Sea in the Spring	CAO Xing-peng, ZHANG Gui-ling, MA Xiao, <i>et al.</i> (2565)
Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao	DONG Chun-ying, YU Zuo-ming, WU Zhi-xu, <i>et al.</i> (2574)
Effects of Land Use Structure on Water Quality in Xin'anjiang River	CAO Fang-fang, LI Xue, WANG Dong, <i>et al.</i> (2582)
Canonical Correspondence Analysis Between Phytoplankton Community and Environmental Factors in Macrophtic Lakes of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	MENG Rui, HE Lian-sheng, GUO Long-gen, <i>et al.</i> (2588)
Microbial Bioavailability of Dissolved Nucleic Acids Across the Estuarine Salinity Gradient	YANG Qing-qing, LI Peng-hui, HUANG Qing-hui (2597)
Elementary Quantitative Study on Factors of Phytoplankton Bloom	ZHANG Zhuo, SONG Zhi-yao, HUANG Chang-chun, <i>et al.</i> (2603)
Spatiotemporal Succession of Algae Functional Groups and the Influence of Environment Change in a Deep-water Reservoir	LU Jin-suo, HU Ya-pan (2611)
Hyperspectral Remote Sensing of Total Suspended Matter Concentrations in Lake Taihu Based on Water Optical Classification	ZHOU Xiao-yu, SUN De-yong, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (2618)
Application of Subwet Model in the Design of Constructed Wetland	LI Hui-feng, HUANG Jin-hui, LIN Chao (2628)
Allelopathic Effect of <i>Nelumbo nucifera</i> Stem and Leaf Tissue Extract on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and <i>Scenedesmus quadricauda</i>	HE Lian-sheng, MENG Fan-li, DIAO Xiao-jun, <i>et al.</i> (2637)
Influence of <i>Vallisneria spiralis</i> on the Physicochemical Properties of Black-odor Sediment in Urban Sluggish River	XU Kuan, LIU Bo, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (2642)
Removal of Cr(VI) by Iron Filings with Microorganisms to Recover Iron Reactivity	TANG Jie, WANG Zhuo-xing, XU Xin-hua (2650)
Degradation of Phenol with a Fe/Cu-Catalytic Heterogeneous-Fenton Process	YANG Yue-zhu, LI Yu-ping, YANG Dao-wu, <i>et al.</i> (2658)
Effect of Different Forms of Inorganic Nitrogen on the Photodegradation of Antipyrine in Water	ZHAO Qian, CHEN Chao, FENG Li, <i>et al.</i> (2665)
Degradation Mechanisms of Dimethyl Phthalate in the UV-H ₂ O ₂ System	LIU Qing, CHEN Cheng, CHEN Hong-zhe, <i>et al.</i> (2670)
Adsorption of Cd ²⁺ Ions in Aqueous by Diamine-Modified Ordered Mesoporous SBA-15 Particles	ZHANG Meng, YANG Ya-ti, QIN Rui, <i>et al.</i> (2677)
Surface Organic Modification of Acid Vermiculite and Its Adsorption of Hydrophobic Micro Pollutants in Aqueous Solutions	JIANG Zheng-ming, YU Xu-biao, HU Yun, <i>et al.</i> (2686)
Preparation of Porous Ceramics Based on Waste Ceramics and Its Ni ²⁺ Adsorption Characteristics	ZHANG Yong-li, WANG Cheng-zhi, SHI Ce, <i>et al.</i> (2694)
Perchlorate Removal from Underground Water by Anaerobic Biological Reduction with Bark	WANG Rui, LIU Fei, CHEN Nan, <i>et al.</i> (2704)
Experimental Study on the Remediation of Chromium Contaminated Groundwater with PRB Media	ZHU Wen-hui, DONG Liang-fei, WANG Xing-run, <i>et al.</i> (2711)
Removal of Calcium and High-strength Ammonia Nitrogen from the Wastewater of Rare-earth Elements Hydrometallurgical Process by Chemical Precipitation	WANG Hao, CHENG Guan-wen, SONG Xiao-wei, <i>et al.</i> (2718)
Leaching Kinetics of Josephinite Tailings with Sulfuric Acid	CHEN An-an, ZHOU Shao-qi, HUANG Peng-fei (2729)
Effects of HRT on Fate of Typical Polycyclic Musk by A ² O Process	LIU Peng-cheng, HUANG Man-hong, CHEN Dong-hui, <i>et al.</i> (2735)
Kinetic Simulation of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Fermentation Broth as Carbon Source	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (2741)
Effluent Carbon Source Improvement and Sludge Reduction by Hydrolysis Reactor with Enhanced Sludge Utilization	XIONG Ya, WANG Qiang, SONG Ying-hao, <i>et al.</i> (2748)
Optimization of Extracellular Polymeric Substance Extraction Method and Its Role in the Dewaterability of Sludge	ZHOU Jun, ZHOU Li-xiang, WONG Woo-chung (2752)
Effectiveness of Arsenite Adsorption by Ferric and Alum Water Treatment Residuals with Different Grain Sizes	LIN Lu, XU Jia-rui, WU Hao, <i>et al.</i> (2758)
Regional Differences and Development Tendency of Livestock Manure Pollution in China	QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, <i>et al.</i> (2766)
Quantitative Partitioning of Soil Selenium in the Selenium-Rich Area of Northern Zhejiang Plain	XU Ming-xing, PAN Wei-feng, CENG Jing, <i>et al.</i> (2775)
Effects of Land Use on Manganese Distribution and Fractions in Wetland Soil of Sanjiang Plain, Northeast China	ZHANG Zhong-sheng, LU Xian-guo, SONG Xiao-lin (2782)
Research on Vertical Distribution Pattern and Reserve of Organic Carbon in Paddy Field Soil of Qianguo, Jilin	TANG Jie, ZHANG Wen-hui, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (2788)
Soil Organic Carbon Sequestration Rate and Its Influencing Factors in Farmland of Guanzhong Plain; A Case Study in Wugong County, Shanxi Province	ZHANG Xiao-wei, XU Ming-xiang (2793)
Effects of Biological Regulated Measures on Active Organic Carbon and Erosion-Resistance in the Three Gorges Reservoir Region Soil	HUANG Ru, HUANG Lin, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (2800)
Quantifying Soil Autotrophic Microbes-Assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	SHI Ran, CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, <i>et al.</i> (2809)
Analysis of Soil Respiration and Influence Factors in Wheat Farmland Under Conservation Tillage in Southwest Hilly Region	ZHANG Sai, ZHANG Xiao-yu, WANG Long-chang, <i>et al.</i> (2815)
Distribution Characteristics and Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Soil from Relocation Areas of the Danjiangkou Reservoir	LI Zi-cheng, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2821)
Risk Assessment and Countermeasure of BTEX in Pesticide Factory	PANG Bo, WANG Tie-yu, DU Li-yu, <i>et al.</i> (2829)
Accumulation of S, Fe and Cd in Rhizosphere of Rice and Their Uptake in Rice with Different Water Managements	ZHANG Xue-xia, ZHANG Xiao-xia, ZHENG Yu-ji, <i>et al.</i> (2837)
Effects of Nitrate on Organic Removal and Microbial Community Structure in the Sediments	LIU Jin, DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (2847)
Zero-Valent Iron-Enhanced Azoreduction by the <i>Shewanella decolorationis</i> S12	ZHOU Qing, CHEN Xing-juan, GUO Jun, <i>et al.</i> (2855)
Isolation, Identification of Two Aerobic Denitrifiers and Bioaugmentation for Enhancing Denitrification of Biofilm Under Oligotrophic Conditions	QUAN Xiang-chun, CEN Yan, QIAN Yin (2862)
Rapid Enrichment and Cultivation of Denitrifying Phosphate-Removal Bacteria and Its Identification by Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization Technology	LIU Li, TANG Bing, HUANG Shao-song, <i>et al.</i> (2869)
Identification of a Denitrifying Polyphosphate-accumulating Organism (DPAO) and Study on Its Denitrifying Functional Genes	ZHANG Qian, WANG Hong-yu, SANG Wen-jiao, <i>et al.</i> (2876)
Isolation and Characterization of a Highly Efficient BBP-degrading Bacterium	CHEN Hu-xing, YANG Xue, ZHANG Kai, <i>et al.</i> (2882)
Degradation of Nicosulfuron by Combination Effects of Microorganisms and Chemical Hydrolysis	ZHANG Xiao-lin, LI Yong-mei, YUAN Zhi-wen (2889)
Isolation, Screening and Identification of Prometryne-Degrading Bacteria and Their Degrading Characteristics	ZHOU Ji-hai, SUN Xiang-wu, HU Feng, <i>et al.</i> (2894)
Preparation of PVA-SA-PHB-AC Composite Carrier and <i>m</i> -Cresol Biodegradation by Immobilized <i>Lysinibacillus cresolivorans</i>	LI Ting, REN Yuan, WEI Chao-hai (2899)
Extraction of Surface Active Substance and Analysis of Demulsifying Characteristics for the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, ZHANG Shu-cong, PENG Kai-ming, <i>et al.</i> (2906)
Diversity of Culturable Filamentous Bacteria in the Activated Sludge from A ² O Wastewater Treatment Process	GAO Sha, JIN De-cai, ZHAO Zhi-rui, <i>et al.</i> (2912)
Composition and Transformation of Leachates During Municipal Solid Waste Composting	LI Dan, HE Xiao-song, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (2918)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年7月15日 34卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 7 Jul. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行