

天山天池水体季节性分层特征*

王斌^{1,2}, 马健^{1**}, 王银亚^{1,2}, 尹湘江³

(1: 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室/新疆阜康荒漠生态系统国家野外科学观测研究站, 乌鲁木齐 830011)

(2: 中国科学院大学, 北京 100049)

(3: 天池管理委员会, 阜康 831500)

摘要: 于2014年6-10月,对高山深水湖泊天山天池水温、电导率、溶解氧、pH值、叶绿素a浓度和蓝绿藻细胞密度进行垂直剖面的连续监测,通过对其季节动态和垂直分层结构的分析,探讨天池水体季节性分层特征。天池出现明显水温分层的时间短(6-9月),夏季温跃层变化范围为2~18 m,而秋季温跃层不断下移,10月在18 m水深以下;受水温分层影响,天池水体溶解氧浓度、电导率、pH值、叶绿素a浓度和蓝绿藻细胞密度在垂直剖面表现出明显的季节性分层,尤其是夏季水温分层影响溶解氧浓度、叶绿素a浓度和蓝绿藻细胞密度在水体中的分布,对天池水质变化产生重要影响。天池浅水层(水深小于10 m)溶解氧浓度较高(大于8 mg/L),而深水层(水深超过18 m)溶解氧浓度9月接近4 mg/L,季节性缺氧导致底泥营养盐向上扩散,对水体水质产生不利影响。所以,应在夏、秋季节加强水质监测,以防止天池水华发生;天池叶绿素a浓度与蓝绿藻细胞密度的垂直剖面变化趋势相似,均随水深增加呈先增加后减小的趋势,但叶绿素a浓度在2~12 m水深处较高,蓝绿藻细胞密度在5~15 m水深处较高,表明5~15 m深度适合藻类生长,同时,电导率、pH值的垂直变化也说明藻类的生长情况,此为监测天池水体富营养化取样和分析提供依据。

关键词: 高山深水湖泊; 天池; 水体分层; 溶解氧; pH值; 电导率; 叶绿素a; 蓝绿藻细胞密度

Seasonal characteristics of thermal stratification in Lake Tianchi of Tianshan Mountains

WANG Bin^{1,2}, MA Jian¹, WANG Yinya^{1,2} & YIN Xiangjiang³

(1: State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology/Fukang Station of Desert Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, P. R. China)

(2: University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China)

(3: Tianchi Management Committee, Fukang 831500, P. R. China)

Abstract: In order to obtain the characteristics of seasonal stratification of Lake Tianchi of Tianshan Mountains, an alpine deep lake, continuous monitoring on vertical dynamics of hydrochemical parameters (water temperature, conductivity, dissolved oxygen (DO), pH, chlorophyll-a) and algae cell density were conducted from June to October 2014. Lake Tianchi had a short-term of thermal stratification (from June to September). The depth of thermocline ranged from 2 m to 18 m in summer, however, it moved down continuously as the time progressed in autumn, and was below 18 m in October; The hydrochemical parameters and algae cell density showed significant seasonal stratification caused by thermal stratification, especially to the distribution of DO and chlorophyll-a in summer, which had a significant impact on water quality. Besides, from June to October, the concentration of DO decreased gradually, with >8 mg/L in the epilimnion (0-10 m) and about 4 mg/L in the hypolimnion (deeper than 18 m) in September. As a result, seasonal hypoxia caused nutrients in the sediment moving upward and made water quality worse. Hence, it is necessary to strengthen water quality monitoring in Lake Tianchi to prevent the algal bloom in summer and fall; Chlorophyll-a and algae both increased firstly and then decreased along with depths. However, concentration of chlorophyll-a was higher in the depth of 2-12 m than the water surface, and algae cell density was higher in the depth of 5-15 m, indicating that the depth of 5-15 m was suitable for algae growth. Meanwhile, the vertical change of conductivity and pH value also illustrated the algae growth, which

* 2014-11-23 收稿; 2015-02-10 收修改稿。王斌(1989~),男,硕士研究生; E-mail: younver@163.com.

** 通信作者; E-mail: majian@ms.xjb.ac.cn.

may provide theoretical support for the sampling and analysis of eutrophication in Lake Tianchi.

Keywords: Alpine deep lake; Lake Tianchi; water stratification; dissolved oxygen; pH; conductivity; chlorophyll-a; algae cell density

深水型湖库, 水体分层温差大、持续时间长, 水温变化而引起的水体季节分层现象, 是深水湖库一个重要的特征^[1]. 与浅水湖库相比, 深水湖库受风力作用影响小、垂直温差大, 易形成稳定的分层现象^[2]. 深水湖库的热分层阻碍上下层水体的对流交换, 影响湖泊氮、磷营养盐及光照在水体中的分布, 从而对水体溶解氧浓度和水生生物的垂直分布产生影响, 引起水环境质量的变^[3-5].

分层湖库水温的分布及温跃层的形成和消失, 对湖库水化学参数具有重要影响. 叶绿素 a 浓度是浮游植物现存量的重要指标, 叶绿素 a 浓度的高低能够反映水体的营养状况^[6-7]; 溶解氧是湖泊初级生产力及水动力条件的综合反映^[8], 藻类光合作用消耗水中的 CO₂, 使 pH 值降低, 溶解氧升高, 水体 pH 值的高低和溶解氧浓度的大小, 反映水体中藻类的生长及水环境变化的情况. 因此, 对深水湖库的研究, 必须明确温度分层的形成和发展过程, 确定温度分层发生和破坏后, 湖泊叶绿素 a 浓度、溶解氧、pH 值和蓝绿藻细胞密度等水化学参数的变化, 这对深水湖库富营养化预防及水质保护具有现实意义.

天山天池是“中国温带荒漠区博格达北麓生物圈保护区”的核心区域, 同时也是下游绿洲和绿洲边缘沙漠水源的重要组成部分, 对当地自然景观、湿地与山地森林生态系统有重要影响. 天山天池属高山峡谷性湖泊, 水深大、更新慢, 易形成相对稳定的垂直水温分层结构. 目前对于浅水湖泊和低纬度地区深水湖泊, 如太湖^[1]、千岛湖^[9-10]、天目湖^[8]和贵州红枫湖^[11]等季节性分层及水化学特征的研究较多, 而对高山深水湖泊季节性分层的研究较少^[12-13]. 此外, 对于天山天池这一典型的高寒深水湖泊, 目前缺乏对其温度季节性分层及水化学参数变化的系统研究. 因此, 在 2014 年 6—10 月, 对天山天池水温、电导率、溶解氧浓度、pH 值、叶绿素 a 浓度、蓝绿藻细胞密度等参数进行垂直剖面的连续监测, 通过对其季节动态和垂直分层结构的分析, 探讨天山天池水体季节性分层特征, 以为高山深水湖泊水环境特征的研究及水体富营养化的预防、控制提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

天山天池位于新疆阜康市境内, 是天山山脉东段博格达峰北麓典型的冰蚀冰碛湖, 是以高山湖泊为中心的自然风景区. 天池在天山北坡三工河上游, 形状狭长, 南北长 3.5 km、东西宽 0.8~1.5 km, 总面积 4.9 km², 湖面海拔 1910 m, 湖最深处 105 m. 该地区年平均气温 2.55℃, 最高 15.9℃ (7 月), 最低 -12.4℃ (1 月), 年平均水温维持在 7.4℃ 左右.

1.2 数据采集

天山天池冬季降雪期为 6~7 个月, 结冰期长达 5 个月, 湖水冰层厚度达 1 m 以上. 分丰水期和平水期, 每年 5—9 月池水上涨, 10 月至次年 5 月池水下降, 并且天池活动水位在 10~13 m. 所以, 在天池布置 3 个监测断面 (HN、HZ、HB), 其中 HN 为入水口区域, HZ 为池中心区域, HB 为游客聚集区和出水区, 每个断面设 3 个监测点 (图 1). 在 2014 年 6—10 月, 每月中下旬, 距表层 0.5 m 起, 以 1 m 为间隔, 进行天池采样和水质监测, 每个深度重复 3 次, 测定深度 20 m.

本研究水温、溶解氧浓度、pH 值、电导率、叶绿素 a 浓度和蓝绿藻细胞密度采用多参数水质分析仪 (HACH Hydrolab DS5X, 美国) 现场连续监测. HACH Hydrolab DS5X 是一款新型多参数、宽量程的水质监测仪器, 被广泛用于地表水、地下水、水源水、污水口、饮用水、海洋等不同水

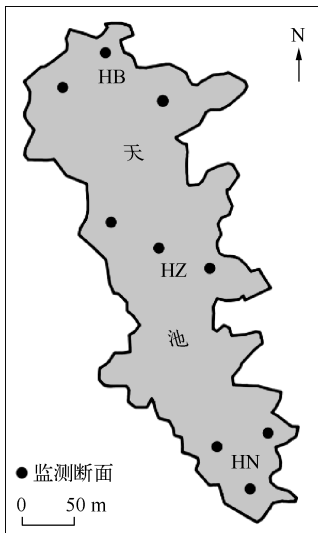


图 1 天池采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sections in Lake Tianchi

体的水质在线及便携监测. 该仪器深度采用压敏电阻法, 温度采用热敏电阻法, 溶解氧采用荧光法, pH 值采用玻璃电极法, 电导率采用四石墨电极法, 叶绿素 a 浓度和蓝绿藻细胞密度采用体内荧光法, 所有探头传感器均定期在实验室进行参比定量校核, 以保障在线监测数据的准确性与可靠性.

1.3 统计分析

不同指标数据垂直剖面的变化为每个断面 3 个样点的平均值, 所有数据用 Excel 和 Origin 9.0 软件完成计算、分析与制图.

2 结果与分析

2.1 水温的垂直分层及季节动态

天山天池属高山深水湖泊, 全年有一半时间属于冰封期. 天池水温季节性变化较小, 但在夏、秋季节垂直剖面存在明显的温度梯度, 温跃层分布范围因时间而异(图 2). 天池水温的垂直变化有在上层和下层缓慢下降, 而中层急剧下降的现象. 表层受外界气候变化影响, 夏、秋季水温变化明显, 变化范围为 8.55 ~ 15.98℃, 而深水层变化范围小, 为 5.6 ~ 6.3℃. 表层和深层(20 m)水温温差最大值在 8 月(10.05℃), 最小值在 10 月(1.59℃).

从时间上看, 5 月天池冰盖融化, 并开始有较冷的冰雪融水补给, 表层水温升高, 上、下层水体开始混合. 6 月随着气温上升及太阳辐射增强, 表层水温增加快, 与深层水温温差增大, 水体出现分层现象. 最大温度梯度在入水口区域(HN), 4 m 水深处为 2.81℃, 池中心区域(HZ)8 m 水深处为 2.5℃和出水口区域(HB)5 m 水深处为 1.3℃, 7、8 月随着外界热量持续向下传输, 最大温差减小, 温跃层下降, 0 ~ 2 m 和 10 m 水深以下变化小, 2 ~ 10 m 水深处变化大, 有明显的温度分层. 如果定义水温梯度超过 0.2℃/m 的水层为温跃层^[9,14], 则 6—8 月为天池水体稳定分层期, 水温在垂直剖面可分为 3 层: 变温层(0 ~ 2 m)、温跃层(2 ~ 18 m)和均温层(18 m 以下). 9 月随着气温降低和水源补给的减少, 温跃层下移至 9 ~ 15 m 水层, 3 个监测断面(HN、HZ、HB)最大温度梯度分别为 0.6℃(9 m 水深处)、0.9℃(11 m 水深处)和 2.3℃(11 m 水深处). 10 月随着气温的快速下降, 上、下层水体再次进入混合状态, 水体温跃层下降到 18 m 水深以下, 18 m 水深以上温差小, 形成较均匀的水体温度.

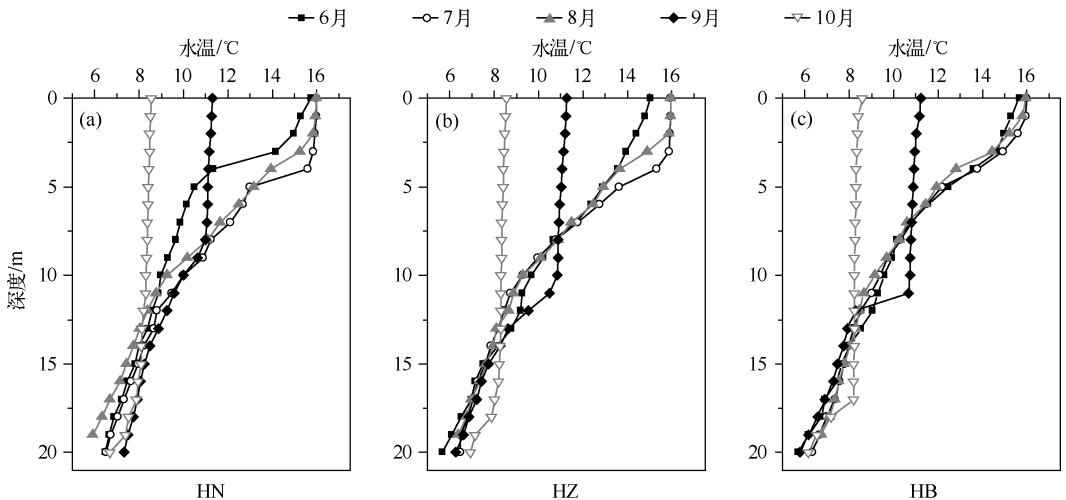


图 2 天池水温垂直剖面变化

Fig. 2 Vertical profile of water temperature in Lake Tianchi

2.2 水化学参数的垂直变化特征及季节动态

2.2.1 电导率 水体电导率受水温、营养盐和水源补给的影响, 存在明显的季节性分层现象(图 3a ~ c). 6—10 月, 电导率变化大致呈先减小后增大的趋势, 最大值出现在 6 月, 最小值出现在 7 月. 6—9 月, 电导率

在垂直剖面的变化呈先减小后增大的趋势,为单峰变化模式,电导率在中、上层(水深小于15 m)变化大,水深超过15 m时,不同月份间的电导率变化很小。

6月电导率垂直变化为4 m水深处最小,随着丰水期到来,7、8月电导率最小值出现在5 m水深处,并且整个剖面电导率平均值较小,但垂直剖面变化大。9月水源补给减少,电导率略微升高,垂直剖面变化小。无水源补给的10月,电导率在0~17 m水深几乎无变化,而17 m水深以下受表层物质下沉和底泥营养盐向上扩散的影响,电导率高于其它月份。3个断面中HB的电导率季节性变化相对较小,而电导率最小值HZ断面相对HN、HB,出现在较深水体。

2.2.2 溶解氧 天池水体溶解氧浓度季节性分层明显(图3d~f)。溶解氧浓度与藻类的生长密切相关^[10],上层水体的气体交换和藻类光合作用为上层水体提供了溶解氧,而深层水体由于水生生物呼吸和有机物的降解,消耗水体中的溶解氧^[15-16]。温跃层的存在,使深层水体溶解氧无法得到有效补偿,所以6-10月天池水体溶解氧浓度呈现出上层高、下层低的现象。在藻类生长旺盛的6-8月,由于表层藻类生长受光抑制,光合速率降低^[17-18],水体溶解氧浓度最大值出现在次表层(5~8 m水深处)。10月水温降低,藻类光合作用减弱,而冷水更容易富氧,所以最大溶解氧浓度出现在表层。

6-10月天池水体溶解氧浓度整体变化为逐渐降低。浅层水体(水深小于10 m)溶解氧浓度高,垂直变化较小,10 m深度以下水体溶解氧浓度明显降低。受入水补给和出水影响,6-8月HN和HB溶解氧浓度垂直剖面变化较为明显,而在HN较为均匀。9-10月随着水体热分层的下降及逐渐消失,浅层高浓度溶解氧水体向下迁移,10~18 m水深处溶解氧浓度上升,3个监测断面最大溶解氧梯度都出现在18 m水深以下,并且最大梯度超过1.2 mg/(m·L)。18 m水深以下水体溶解氧浓度接近4 mg/L,进入缺氧状态。

2.2.3 pH值 天山天池水体pH值季节变化明显,但水体偏碱性(图3g~i)。表层水体藻类光合作用强烈,消耗大量CO₂,pH值较高,水体呈碱性,而深层藻类光合作用弱,藻类的大量死亡使CO₂积累,并且有机质分解产生酸,pH值急剧减小^[19-20],所以天池pH值垂直变化呈逐渐降低趋势。

6-10月水体pH值整体变化为逐渐下降,只在8月表层水pH值相对7月略有增加。6、7月表层水pH值大于9,但垂直剖面变化小。8、9月10 m水深以上水体光合作用最为强烈,pH值较高,而深度大于12 m水体pH接近中性。10月随着温度的急剧下降,pH值在垂直剖面的变化很小。就监测断面而言,受营养盐补给和藻类分布的影响,入水口(HN)表层水pH值6月最大,池中心(HZ)和出水口(HB)pH值6、7月最大,而10月出水口(HB)距表层16 m水深处pH值急剧降低。

2.2.4 叶绿素a浓度 天池水体叶绿素a浓度表现出明显的季节性分层(图4a~c)。6月随着水温上升,藻类生长,叶绿素a浓度增加,并且在6、8月形成2个高峰,9-10月随着水温降低,外界营养盐输入减少,叶绿素a浓度逐渐降低。

水体叶绿素a浓度与藻类的分布密切相关。表层水体受营养盐限制及光照影响,叶绿素a浓度较低;中、上层由于水温高、光照充足、营养盐的补充,藻类大量繁殖使叶绿素a大量积累;深层受光线、营养盐限制,叶绿素a浓度保持在很低水平。所以,叶绿素a浓度整体表现为表层低、中上层高、深层低的特征。在不同监测断面,叶绿素a浓度垂直剖面变化趋势相似,但HN、HB断面受入水、出水影响,季节性变化相对HZ更加明显。

2.3 蓝绿藻细胞密度垂直变化特征及季节动态

在淡水生态环境中,适宜的水温是藻类进行光合作用的必要条件,温度影响藻类的生长及生物量的积累^[21]。所以,6-10月天池蓝绿藻细胞密度表现出明显的季节性分层(图4d~f)。6月随着水温的上升,蓝绿藻细胞密度急剧增加,并且在温度最高的8月达到最大值,10月随水温降低而减小。

水体上、下层温差的变化对湖库营养盐循环和水生态系统结构产生影响,从而形成利于藻类增殖和聚集的生境^[23-24]。6月水温升高,蓝绿藻细胞密度逐渐增大,但较深水体营养盐浓度更高,所以其最大密度出现在水深10~15 m处。7-9月,水温持续升高,蓝绿藻细胞密度增大,8月达到最大值,并且最大密度出现的范围上移到水深5~10 m处。10月水温降低,蓝绿藻细胞密度降低,0~18 m水深变幅较小,18 m水深以下急剧减小。此外,蓝绿藻细胞密度在入水口断面(HN)受水源补给影响,浅层水体(0~8 m)较HZ、HB断面变化小,深层变化大。

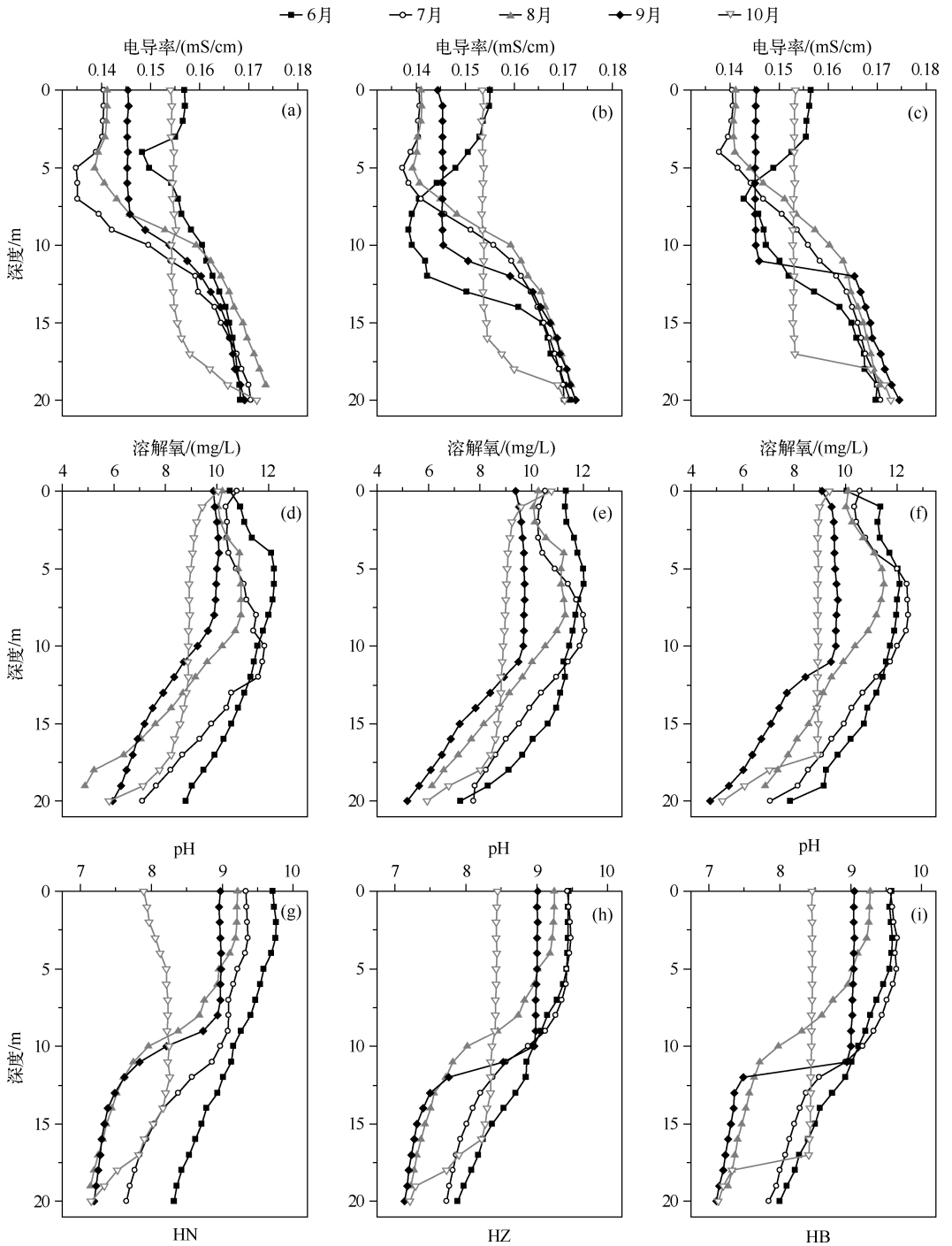


图3 天池电导率、溶解氧和pH值垂直剖面变化
Fig.3 Vertical profile of conductivity, DO and pH in Lake Tianchi

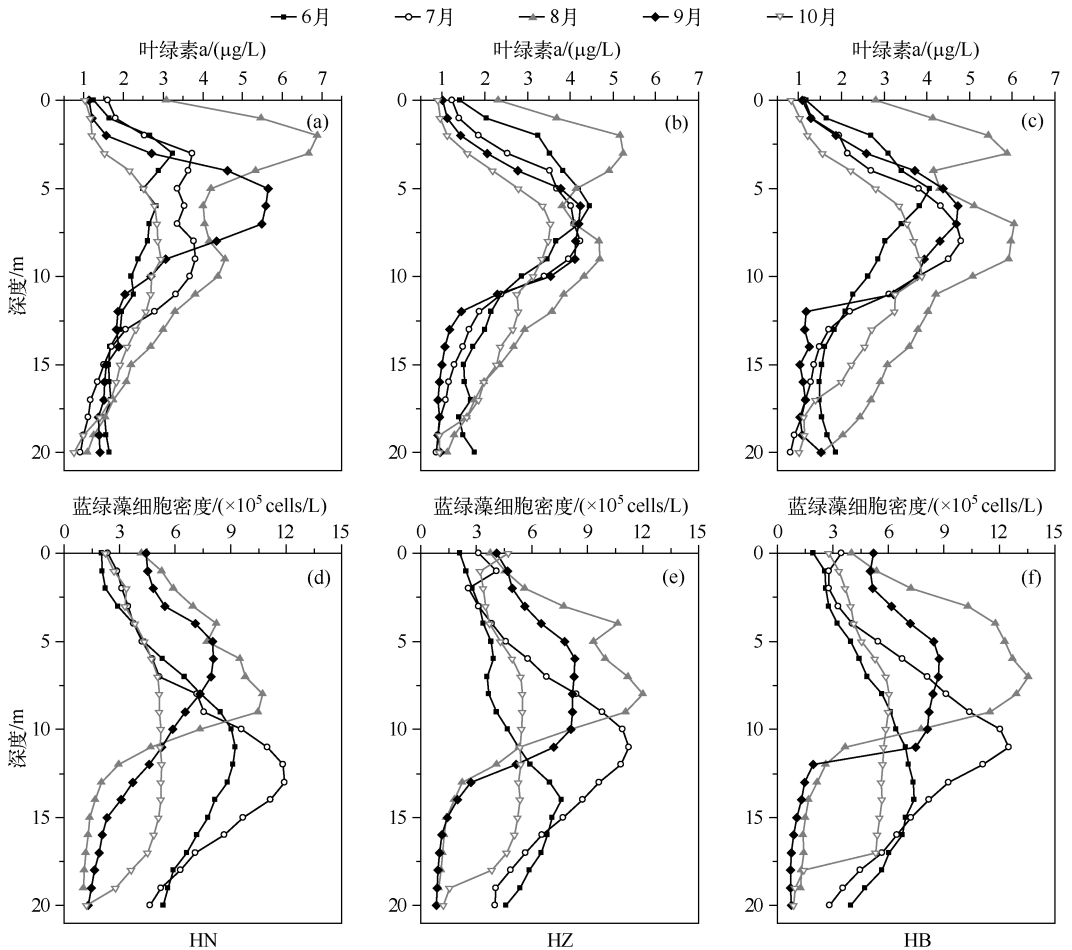


图4 天池叶绿素 a 浓度和蓝绿藻细胞密度垂直剖面变化

Fig. 4 Vertical profile of chlorophyll-a concentration and algal cell density in Lake Tianchi

3 讨论

3.1 天池温度分层特点

受水体热力状况、透明度、光照及湖泊形态影响,大多数深水湖库都会出现水体温度分层现象,并且一般表现为:春季有稳定的温跃层出现,并且温跃层厚度和温度梯度不断增大,在夏季的7、8月份达到最大值,而秋季温跃层的厚度和温度梯度下降^[8,25-27]. 天山天池也是如此,气温的季节性变化及湖库特征(天池水深大、更新慢)使其表现出水体的季节性分层. 但是,天池温度分层时间相对其它湖库较短(6—9月)^[8,25-27],夏季出现明显温度分层,温跃层为2~18 m,9月温跃层下降到9~15 m水层,厚度变薄,10月水体发生混合,温跃层下移至18 m水深以下水体.

由于温度分层的变化,大多数低纬度地区深水湖库水体混合模式为单次混合型^[8,25-26,28]. 但是,天池由于冬季结冰期的存在,在春季和秋季都发生上、下层水体的混合,所以天池可能为双混合型湖泊,与西藏班公错相似^[13].

3.2 水温分层的水环境响应

温度梯度的存在有效地抑制了热量和物质的垂直传递^[26],虽然天池水体水温分层时间短,但其对水化学参数的垂直剖面变化有一定影响. 本研究中,温跃层限制营养盐在垂直方向的传递,使电导率呈现明显的

季节性分层. 在藻类开始生长的6-7月,5~10 m天池水体电导率急剧降低,在蓝绿藻细胞密度较低的10月,电导率在浅层水体的变化较小. 因此,电导率的高低能指示藻类对营养盐的利用情况.

温跃层的存在阻止上层水体溶解氧向下层传递^[28],使上、下层水体形成明显的溶解氧梯度^[29]. 本研究中,这种效应在夏季尤为明显,8、9月上层水体的气体交换和藻类光合作用为上层水体提供溶解氧,而深层水体由于水生生物呼吸和有机物的降解,消耗水体中的溶解氧,水体热分层限制上、下层水体的交换,使深层水体溶解氧无法得到有效补偿,导致深层水体处于缺氧状态,易引起底泥营养盐的释放. 同时,春季和秋季水体的对流和混合,导致底泥营养盐向上层扩散,对水体水质产生不利影响. 受温度、营养盐及透明度影响,蓝绿藻细胞密度在水体分层明显的7-9月达到峰值,所以,需在夏、秋季节加强水体监测,预防天池水华发生.

此外,蓝绿藻有在5~15 m深度聚集的现象,说明此深度适合天池藻类的生长,这为预防天池水华发生进行取样和分析提供了依据. 总之,天池水体温度的季节性分层引起水化学参数的变化,进而影响水质,所以对天池水环境质量变化的分析和探讨,需建立在对水体分层研究的基础上.

4 参考文献

- [1] 赵林林,朱广伟,陈元芳等.太湖水体水温垂向分层特征及其影响因素.水科学进展,2011,22(6):844-850.
- [2] 赵林林,朱梦圆,冯龙庆等.太湖水体理化指标在夏季短时间尺度上的分层及其控制因素.湖泊科学,2011,23(4):649-656. DOI 10.18307/2011.0423.
- [3] 卢金锁,李志龙.热分层对水库水质的季节性影响——以西安黑河水库为例.湖泊科学,2014,26(5):698-706. DOI 10.18307/2014.0507.
- [4] Ryabov A B, Rudolf L, Blasius B. Vertical distribution and composition of phytoplankton under the influence of an upper mixed layer. *Journal of Theoretical Biology*,2010,263(1):120-133.
- [5] Wang S, Qian X, Han B *et al.* Effects of local climate and hydrological conditions on the thermal regime of a reservoir at Tropic of Cancer, in southern China. *Water Research*,2012,46(8):2591-2604.
- [6] Kasprzak P, Padisák J, Koschel R *et al.* Chlorophyll-a concentration across a trophic gradient of lakes: An estimator of phytoplankton biomass? *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters*,2008,38(3):327-338.
- [7] 张 晟,宋 丹,张 可等.三峡水库典型支流上游区和回水区营养状态分析.湖泊科学,2010,22(2):201-207. DOI 10.18307/2010.0208.
- [8] 成晓奕,李慧赞,戴淑君.天目湖沙河水库溶解氧分层的季节变化及其对水环境影响的模拟.湖泊科学,2013,25(6):818-826. DOI 10.18307/2013.0605.
- [9] Zhang Y, Wu Z, Liu M *et al.* Thermal structure and response to long-term climatic changes in Lake Qiandaohu, a deep subtropical reservoir in China. *Limnology and Oceanography*,2014,59(4):1193-1202.
- [10] 董春颖,虞左明,吴志旭等.千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究.环境科学,2013,34(7):2574-2581.
- [11] 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.中国环境科学,2011,31(9):1477-1485.
- [12] Gallina N, Salmaso N, Morabito G *et al.* Phytoplankton configuration in six deep lakes in the peri-Alpine region: are the key drivers related to eutrophication and climate? *Aquatic Ecology*,2013,47(2):177-193.
- [13] 王明达,侯居峙,类延斌.青藏高原不同类型湖泊温度季节性变化及其分类.科学通报,2014,59(31):3095-3103.
- [14] Hao J, Chen Y, Wang F *et al.* Seasonal thermocline in the China Seas and northwestern Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*,2012,117(C2):C02022.
- [15] 周 菁,余 正,刘开国等.典型亚热带热分层水库秋季细菌群落垂直分布.生态学报,2014,34(21):6205-6213.
- [16] Bouffard D, Ackerman JD, Boegman L. Factors affecting the development and dynamics of hypoxia in a large shallow stratified lake: Hourly to seasonal patterns. *Water Resources Research*, 2013,49:2380-2394.
- [17] Behrenfeld MJ, Falkowski PG. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and Oceanography*,1997,42(1):1-20.
- [18] 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向理化及浮游植物特征.湖泊科学,2012,24(3):460-465. DOI 10.18307/2012.0319.

- [19] 马千里, 胡芳, 魏清伟等. 六都寨水库夏季富营养化状况与浮游植物分布特征研究. 环境科学学报, 2014, 34(6): 1497-1504.
- [20] 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. 生态学杂志, 2011, 30(5): 1039-1044.
- [21] 王志红, 崔福义, 安安全. 水温与营养值对水库藻华态势的影响. 生态环境, 2005, 14(1): 10-15.
- [22] 吴攀, 邓建明, 秦伯强等. 水温和营养盐增加对太湖冬、春季藻类生长的影响. 环境科学研究, 2013, 26(10): 1064-1071.
- [23] 高天珩, 钱新, 储昭升等. 气候、水文和生态过程对洋河水库富营养化影响研究. 水生态学杂志, 2010, 3(3): 28-31.
- [24] 黄志敏, 陈椽, 刘之威等. 贵州百花湖夏季浮游植物昼夜垂直分布特征. 生态学报, 2014, 34(19): 5389-5397.
- [25] 刘明亮, 吴志旭, 何剑波等. 新安江水库(千岛湖)热力学状况及热力分层研究. 湖泊科学, 2014, 26(3): 447-454. DOI 10.18307/2014.0316.
- [26] 马越, 郭庆林, 黄廷林等. 西安黑河金盆水库季节性热分层的水质响应特征. 水利学报, 2013, 44(4): 406-415.
- [27] 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向分布. 湖泊科学, 2010, 22(2): 244-250. DOI 10.18307/2010.0214.
- [28] 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. 环境科学学报, 2011, 31(8): 1660-1669.
- [29] Antonopoulos VZ, Giannou SK. Simulation of water temperature and dissolved oxygen distribution in Lake Vegoritis, Greece. *Ecological Modelling*, 2003, 160(1): 39-53.

勘误声明

论文《藻源性湖泛水体显黑颗粒的元素形态分析与鉴定》(湖泊科学, 2015, 27(4): 591-598) 由于校对疏忽, 首页标注的论文第一资助的基金号有误. 应为“国家自然科学基金项目(51409241)、国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07103-005)和江苏省太湖水污染治理专项(TH2013214)联合资助”. 特此勘误.