

神农溪水体季节热分层特征及其对水华影响

王耀耀¹, 徐涛², 崔玉洁¹, 纪道斌¹, 黄佳维¹, 方海涛¹, 霍静¹, 何金艳¹, 张庆文¹, 朱晓声¹

(1.三峡大学水利与环境学院,湖北宜昌 443002;
2.三峡水利枢纽梯级调度通信中心,湖北宜昌 443133)

摘要:研究神农溪水温结构时空分布特征,阐述水温分层机理,分析神农溪水华与环境之间的关系,为神农溪水华防控提供理论基础。2015 年在神农溪回水区设置 6 个监测断面,分季节进行 4 次采样,对水温、水动力、Chl-a 以及环境因子等进行原位监测。结果表明:神农溪不同季节存在不同形式的异重流,并影响库湾水温垂向分布格局;春季水温分层开始发育,夏季水温受中上层异重流影响垂向分布呈现“双斜温”,秋、冬季主要受对流作用以及异重流的影响,上层水温呈等温状态;Chl-a 与水温($R=0.752$)、水体稳定系数($R=0.742$)呈极显著正相关,而与混合层深度($R=-0.584$)和溶解性氮($R=-0.609$)、磷($R=-0.408$)等营养盐呈极显著负相关。水温虽然与 Chl-a 呈显著的正相关关系,但并不能很好地解释神农溪水华暴发;神农溪藻类生长不受氮限制,但水华暴发消耗大量磷营养盐会对藻类继续增殖产生磷限制;春、夏季混合层深度骤减是神农溪水华暴发的主要原因。

关键词:水温;混合层;异重流;水华;神农溪

中图分类号:X826 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2020)04-0019-08

三峡水库蓄水后,受干流水体顶托,大部分支流从原来的河流形态转变成回水库湾,水流扩散能力减弱,污染物滞留时间延长,使得支流库湾水体常年处于富营养化水平(裴中平等,2018),并暴发不同程度水华,以 2007 年冬季大宁河、2008 年夏季神农溪和香溪河蓝藻水华(周广杰等,2007;朱孔贤等,2012;杨霞等,2010)最为严重,威胁到库区周边居民饮用水安全。三峡水库成库后,库区支流水动力发生显著改变。监测发现,三峡库区支流普遍存在分层异重流现象,而这种特殊水动力现象影响着支流库湾水温垂向分布(杨正健等,2012;Ji Daobin et al,2010;Yang et al,2010)。水温分层方面研究一直是国内外热点,水体出现稳定分层会导致一系列水环境问题(曾明正等,2016;白杨,2017),曾明正等(2016)研究发现周村水库热分层会导致底层水体季节性缺氧,并引起沉积物中营养盐以及还原性物质大量释放;杨正健(2014)研究表明稳定分层的水层

之间物质难以输移,会加速藻类生长繁殖,促进水华暴发;Sverdrup(1953)认为水体混合层深度小于临界深度是海洋春季水华暴发的根本原因;Myriam 等(1997)研究发现水温分层是导致马兰比季河蓝藻暴发的必要条件。

神农溪作为三峡库区的一级支流,因三峡水库蓄水,库湾容易出现水温分层,而目前关于神农溪水温分层机理还未有详细阐述,研究内容主要集中在水体营养状况与水动力方面(吕焱等,2015;吕林鹏等,2018;李欣等,2017)。本文以神农溪 2015 年野外实测数据为基础,研究神农溪水温结构时空分布特征,阐述水温分层机理,分析神农溪水华与环境之间的关系,为神农溪水华防控提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区域

神农溪是长江一级支流,位于湖北省巴东县境内,发源于神农架山脉南坡。河流狭长,蜿蜒度大,干流全长 60.6 km,于西壤口注入长江,流域总面积 1 047 km²。自三峡水库蓄水后,干流水文水动力条件改变,自神农溪河口到沿渡河 20 km 河段转变为极易出现水温分层现象的回水库湾,呈现类湖泊水体特征,并逐年暴发水华。作为国家 5A 级旅游景区,神农溪是长江三峡旅游线上的 5 大景点之一,同时还是“引江补汉”工程的源头。

收稿日期:2018-11-30
基金项目:国家自然科学基金重大计划(No. 91647207);国家自然科学基金(No. 51779128、No. 51509086、No. 41501297、No. 51709096);国家重点研究计划(No.2016YFC0402204)。
作者简介:王耀耀,1996 年生,男,硕士研究生,主要从事生态水利研究。E-mail:1456853186@qq.com
通信作者:纪道斌,主要从事生态水利研究。E-mail:dbji01101@163.com

1.2 监测方案

根据神农溪水流特点以及河流形态,在回水区
内设置 SN01~SN06 共 6 个监测断面(图 1),断面
具体信息见表 1。

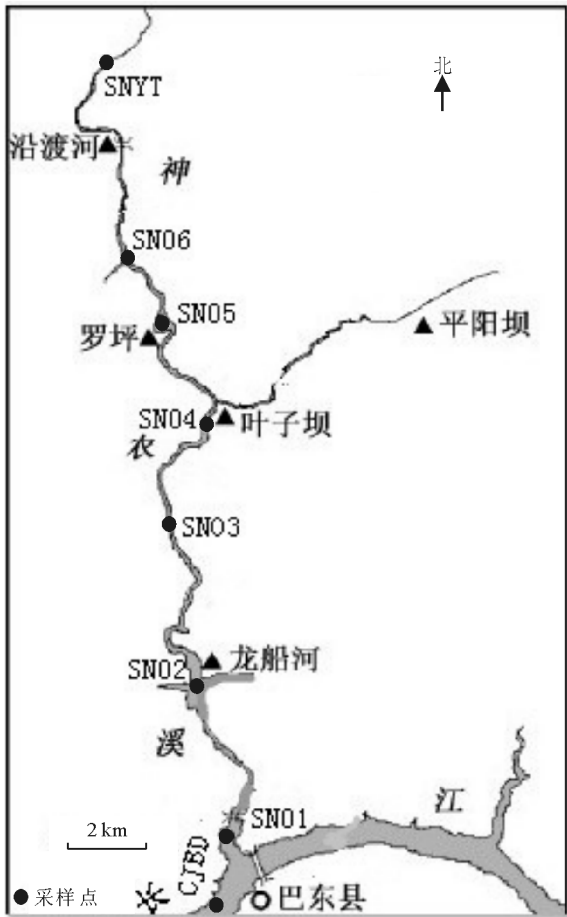


图 1 神农溪监测断面示意

Fig.1 Location of the monitored section
of Shennong Bay

表 1 监测断面信息

Tab.1 Description of the monitored section of Shennong Bay

断面	位置	距河口/km	水流特性
SN01	史家坡	0	神农溪河口处,与长江水体交换频繁
SN02	龙船河	4.66	水面较宽,水华敏感区
SN03	孙家岩	10.96	位于鹦鹉峡内,水面较窄
SN04	燕子阡	13.16	与次级支流绵竹溪交汇处
SN05	罗坪湖	16.29	水面宽阔,水华敏感区
SN06	沿渡河	19.91	上游入流控制断面

选取 2015 年 2 月、4 月、8 月以及 11 月代表冬、
春、夏、秋季进行野外现场监测。监测指标包括:水
深、水温、流速、透明度(SD)、溶解性总磷(DTP)、总
氮(DTN)以及叶绿素(Chl-a)。透明度采用萨氏盘
测量;水深、水温以及叶绿素等参数由 EXO 多参数
水质分析仪实时测定,沿垂向每 1m 监测一组数据;
流速利用“威龙”声学多普勒三点式流速仪 6MHz

的“Vector”现场测定,对每个监测断面在垂向上沿
水深依次为 0.5、1、2、4、6 m 至水底(每隔 2 m 监测
一组数据)。溶解性总磷(DTP)、总氮(DTN)等营
养盐浓度参考《水和废水分析方法》(第四版)和《湖
泊生态调查观测与分析》测定。

1.3 研究方法

1.3.1 临界层理论 在营养盐充足的情况下,藻类
初级生产力与光合有效辐射成线性关系,而因呼吸
作用、捕食、沉降等导致的藻类初级生产力损耗则沿
水深方向为一定值;影响藻类生长繁殖的主要因素
是真光层、混合层以及临界层之间的关系。当水体
出现温度分层时,即真光层深度 Z_{eu} 大于混合层深
度 Z_{mix} ($Z_{eu}/Z_{mix} > 1$) 时,藻类生长不受光照限制,
这时藻类疯长,水华暴发;而 $Z_{eu}/Z_{mix} < 1$ 时,即水
温分层不显著情况下,浮游植物会因水体上下掺混
被动带入真光层以下,从而导致生长受到光照限制
(胡响玲,2013)。

真光层深度是藻类光合作用能有效发生的水体
深度,一般采用 1% 表面光强深度来代替真光层深
度,计算公式如下(Kirk,1994):

$$Z_{eu} = \frac{2 \ln 10}{K_d}$$

(1)

式中, K_d 为光在水下的衰减系数/m, 根据
Beer-Lambert 原理进行计算。

混合层深度指垂向混合充分的表层水体深度,
一般用来表示水体的掺混情况。三峡水库一般取水
温与水体表层温差达 0.5℃ 或 0.2℃ 所对应的水层深
度作为混合层深度。根据现有研究基础,取首次与
水体表层温度相差 0.5℃ 所对应的水层深度作为混
合层深度(Clement et al,2004)。

1.3.2 水体稳定系数 Reynolds 等(1992)考虑水
体垂向密度梯度,用 N^2 来评价水体分层状态,具体
计算公式如下:

$$N^2 = \frac{g}{\rho_{ave}} \frac{\rho_b - \rho_s}{H}$$

(2)

式中, N^2 为水体垂向稳定系数; ρ_b 和 ρ_s 分别
为底层水体和表层水体密度, ρ_{ave} 为水体垂向平均密
度; H 为水深。由于实测三峡水库水体含沙量较
小,因此本文忽略水体中泥沙含量对水体密度的影
响,密度根据水温计算得到,水温对应的水体密度公
式如下:

$$\rho_T = 1000 \left[1 - \frac{T + 288.9414}{508929.2(T + 68.12963)} \times \right. \\ \left. (T - 3.9863)^2 \right]$$

(3)

式中, ρ_T 为水温对应的水体密度, T 为水温。

水温分层时对应水体稳定系数作为稳定水体与过渡水体的判定阈值, 对应下降一个数量级为过渡水体与混合水体的判定阈值。 $N^2 < 5 \times 10^{-5} / s^2$, 水体为混合水体; $N^2 > 5 \times 10^{-4} / s^2$, 水体为分层水体; $5 \times 10^{-5} / s^2 < N^2 < 5 \times 10^{-4} / s^2$, 水体为弱分层水体。

2 结果分析

2.1 水温时空分布特征

2015 年神农溪全库湾春四季水温的垂向分布见图 2, 垂向水温季节性变化明显。

神农溪库湾全年表层水温在 11~32℃, 季节性变化明显, 主要与当地气温变化有关, 垂向水温季节性变化较大。冬季(2 月份)各监测断面表层水温差别不大, 均在(13±0.3)℃; 并且由于冬季气温低, 表层低温高密度水体向下潜入, 与底部水体形成对流, 水体不断不断掺混, 使得这一时期神农溪水温基本呈等温状态分布, 而上游因受源头低温水顺坡异重流影响, 底部水温出现突变。春季(4 月份)水体温度受气温影响逐渐升高, 库湾表层水体水温自河口(SN01)向上游(SN06)呈递增趋势, 由 17.1℃ 上升

至 23.7℃; 因库湾水体的热量主要靠表层水体吸收, 然后逐渐传递到底部, 故表层水温升高较快, 中、下层水温上升相对滞后, 水温分层开始发育, 并且越向上游分层越明显; 而 SN01 由于靠近干流, 与干流水体交换频繁, 使得水体难以形成分层状态; 随着气温继续升高, 库湾水温继续升高, 表层最高水温达到 30.3℃, 同时水温分层现象也更加明显。夏季(8 月份), 表底温差最大达到 6.3℃, 此时期表层水体出现温跃层, 中层水体为等温层, 而底层水体再次为温跃层。秋季(11 月份)以后, 表层水温降低至 20℃ 以下, 此时期异重流演变为中下层倒灌, 加之气温影响, 上、中水体水温差减小, 分层逐渐消失, 而底层水体因受神农架低温水影响, 仍呈现分层状态。

2.2 营养盐分布特征

2015 年神农溪库湾四季 DTN、DTP 的空间分布见图 3。DTN、DTP 浓度自下游向上游呈递减趋势。一年中 DTN 浓度变化范围在 0.541 ~ 2.07 mg/L, DTP 浓度变化范围在 0.003 ~ 0.121 mg/L; 4 月份水华暴发区域 DTP 浓度显著降低, 并且 8 月份全库湾 DTP 浓度均低于 0.02 mg/L。

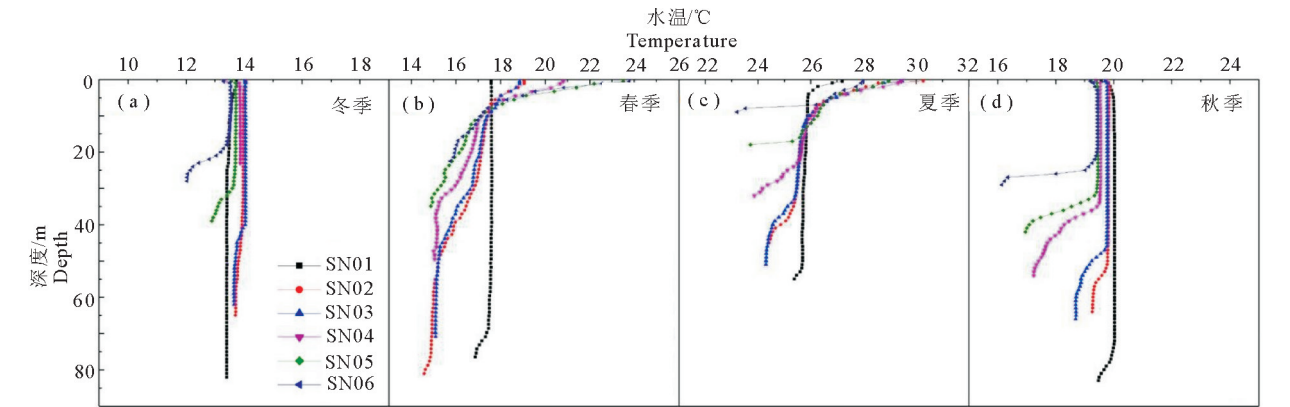


图 2 神农溪库湾不同季节水温垂向分布

Fig.2 Vertical distribution of water temperature in Shennong Bay, by season

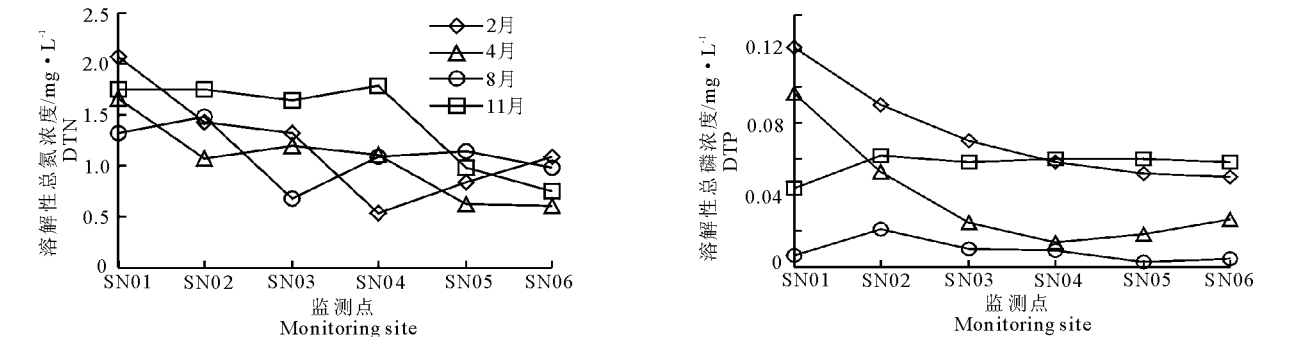


图 3 神农溪库湾 DTN 及 DTP 浓度空间分布特征

Fig.3 Spatial distribution of DTN and DTP concentrations in Shennong Bay

2.3 光混特性及 Chl-a 分布特征

Chl-a 是一种常用的度量藻类生物量的化学指标,能够反映水华暴发强度,在淡水生态系统中,常以 Chl-a 浓度 $>30\text{ mg/m}^3$ 作为水华暴发阈值。神农溪库湾 2015 年四季 Chl-a 及光混特性纵向分布见图 4。冬季(2 月份)Chl-a 浓度变化不大,在 $1.10\sim5.10\text{ mg/m}^3$,均在 10 mg/m^3 以下,未暴发水华;春季(4 月份)Chl-a 浓度明显升高,并自河口向上游呈上升趋势,SN05、SN06 表层 Chl-a 浓度分别为 $31.8、61.5\text{ mg/m}^3$,均超过水华暴发阈值,水华暴发;夏季(8 月份)Chl-a 浓度在 $14.7\sim69.4\text{ mg/m}^3$,除 SN01 断面外其余监测断面浓度均超过水华暴发阈值,全库湾均暴发水华;秋季(11 月份)全库湾 Chl-a 浓度不超过 3 mg/m^3 ,未暴发水华。

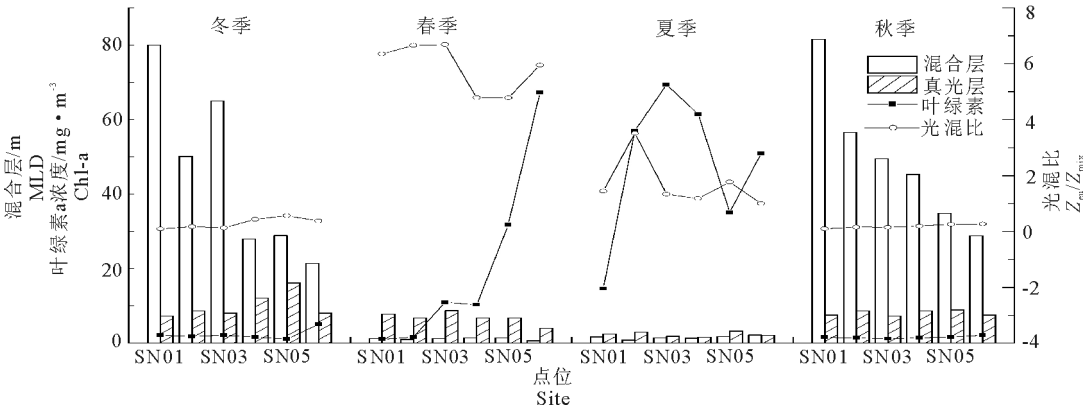


图 4 不同季节 Chl-a、 Z_{eu} 、 Z_{mix} 和 Z_{eu}/Z_{mix} 空间分布

Fig.4 Seasonal and spatial distribution of Chl-a, Z_{eu} , Z_{mix} , and Z_{eu}/Z_{mix}

3 讨论

3.1 神农溪水温热分层特征

河流筑坝成库后热力学条件发生改变,水温结构发生显著变化,水温出现垂向分层现象。水温的垂向分布可以有正温层、逆温层和等温层 3 种类型(易仲强等,2009)。水库水温分层判别的方法有很多,常见的包括库水交换次数的 α - β 法、Norton 密度佛汝德数法、水库宽深比法等(唐旺,2007;韩云鹏,2014),但以上方法水库水动力简化为一维模型估算,不适宜于神农溪。参考 Reynolds 等(1992)提出的水体垂向稳定系数,本文依此评价水体分层状况。水体垂向稳定系数通常用来表征水体垂向掺混强度,水体稳定系数越大,水体垂向越稳定,容易形成分层水体;反之,则容易形成混合体。神农溪库湾各监测断面水体稳定系数春、夏季均 $>5\times10^{-5}$,秋、冬季均 $<5\times10^{-5}$ (图 5),说明春、夏季神农溪库湾处于弱分层状态,上游水华敏感区域甚至处于分层状

态,而秋、冬季神农溪库湾处于混合状态。结合图 2,春季水温呈“单斜温”分布,夏季水温呈“双斜温”型分布,秋季为“半 U 型”分布,冬季几乎呈等温状态。

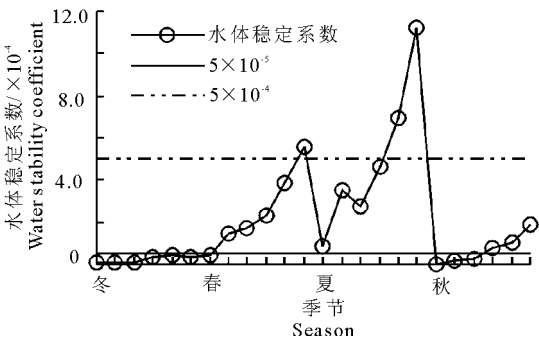


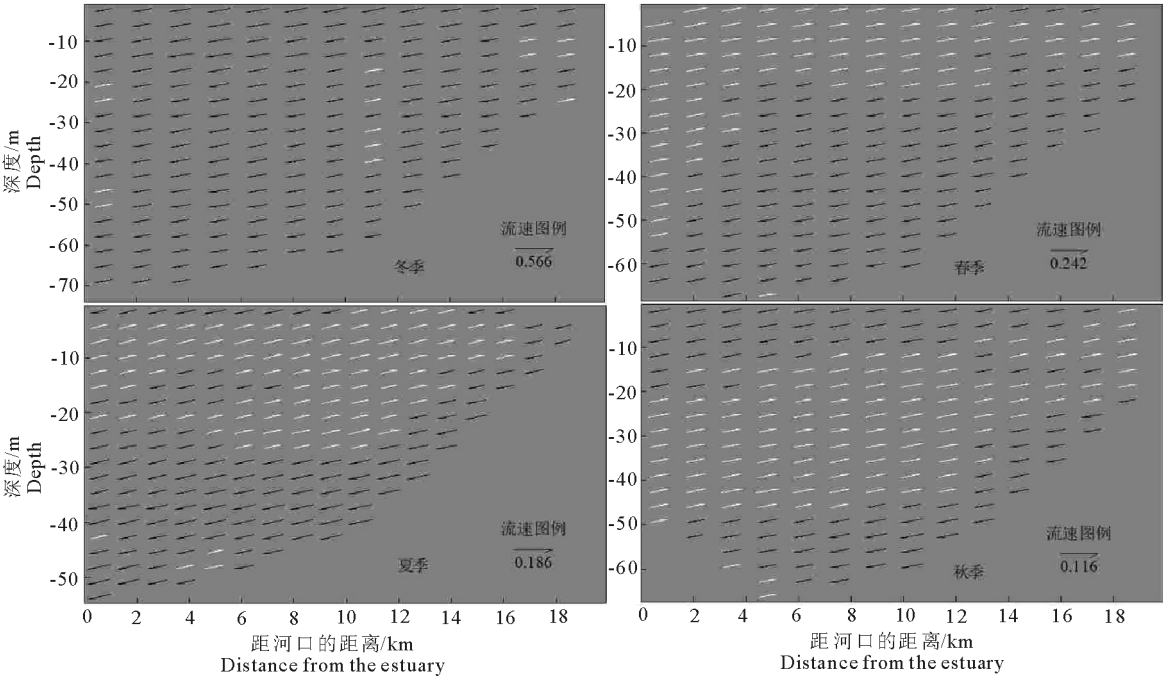
图 5 神农溪各监测断面水体稳定系数季节变化特征

Fig.5 Seasonal changes in water stability coefficients in Shennong Bay

三峡水库支流库湾水体分层结构与其特殊水动力背景关系密切(Liu et al,2012)。监测发现,神农溪四季存在不同形式的异重流(图 6)。春季库湾出

现表层异重流, 水温明显受气温影响, 呈传统分布结构, 即温跃层出现在表层, 这与刘晋高等(2018)等模拟香溪河水温水动力结果一致。进入夏季水库干流流速较大, 水体垂向掺混均匀, 垂向水温几乎无差别, 而神农溪库湾表层受气温影响, 升温较快, 底部升温相对滞后, 干流水体水温低于库湾表层水温, 而高于底层水温, 致使干流水体从中层潜入库湾, 即中层异重流, 最终水温分布模式逐渐由春季“单斜温”水温分布模式, 演变成表层水温高、中层水温垂向分布均匀、底层水温低的“双斜温”水温分布模式。秋季, 受气温下降影响, 库湾表层水体水温逐渐降低,

打破了夏季稳定的分层现象, 同时干流由于水体体积大, 水温降温较库湾表层慢, 使得干流水温较库湾表层水温高, 倒灌方式由夏季的中层倒灌演变为中下层倒灌, 在气温与异重流共同的驱动下, 库湾上层水体水温分布均匀, 而底层水体由于上游低温水以底层顺坡异重流潜入库湾, 使得底部水体依旧存在分层, 水温分布模型演变为“半 U 型”。到冬季, 异重流逐渐消失, 而表层水体水温随气温降低而降低, 表层的低温高密度水体不断向下潜入, 与底部水体形成对流, 水体不断对流, 不断掺混, 使得上下层水体水温逐渐趋于等温状态分布。



注: 白色矢量箭头表示由河口流向支流, 黑色矢量箭头表示由支流流向河口, 矢量长短表示流速大小

图 6 神农溪库湾纵剖面水流季节变化特征

Note: White vectors indicate water flow from TGR to Shennong Bay and black vectors indicate water flow from Shennong Bay to TGR; vector length indicates water velocity.

Fig.6 Seasonal changes of water flow in the longitudinal section of Shennong Bay

3.2 神农溪水华暴发相关分析

水华是当水体出现富营养状况, 且具备适宜藻类生长的水温、光照、气候以及合适的水文条件, 水体中藻类大量繁殖并聚集到一定程度的现象(郑建军等, 2006)。一般认为充足的营养盐、适宜的光照、

合适的水温和缓慢的水流是藻类水华暴发的必要条件。监测过程中神农溪水流较缓, 流速为厘米级。SPSS 分析(表 2)表明, Chl-a 与水温、水体稳定系数呈极显著正相关, 而与混合层深度、流速、溶解性氮、磷营养盐呈显著负相关。

表 2 Chl-a 与水华暴发因素相关性分析

Tab.2 Correlation analysis of Chl-a and factors affecting algae blooms

	项目	光混比	真光层	混合层	水体稳定系数	水温	DTP	DTN	流速
Chl-a	皮尔逊相关性	0.234	-0.749 **	-0.584 **	0.742 **	0.752 **	-0.408 *	-0.689 **	-0.418 *
	显著性(双尾)	0.271	0.000	0.003	0.000	0.000	0.048	0.000	0.042

注: ** 在 0.01 级别(双尾), 相关性显著; * 在 0.05 级别(双尾), 相关性显著; n=24。
Note: ** highly significant correlation at the level of 0.01 (two-tailed); * significant correlation at the level of 0.05 (two-tailed); n=24.

水温会影响藻类的生理活性以及吸收利用水体营养物质的效率和程度(王志红等,2005),同时水温通过控制光合作用的酶促反应或呼吸作用强度直接影响藻类增殖(方丽娟等,2014)。对于多数藻类而言适宜的水温在 $18\sim 35^{\circ}\text{C}$ (朱伟等,2008),但水温在 10°C 附近仍会有硅藻繁殖(方丽娟等,2014)。监测期间,神农溪库湾春、夏和秋季水温变化在 $17.1\sim 30.5^{\circ}\text{C}$,而冬季水温在 13°C 附近波动,四季水温均在 10°C 以上,均适合藻类繁殖。推测水温虽然与 Chl-a 呈显著的正相关关系,但并不能很好地解释神农溪水华暴发。Chl-a 与可溶性氮、磷营养盐呈负相关。氮、磷是藻类进行光合作用所消耗的主要营养盐,其浓度是判别浮游植物生长是否受营养盐限制的重要指标(Rhee G Y Rhee G Y & Gotham,1981)。监测期间,四季的溶解性总氮均处于较高水平,并大于国际富营养化阈值,而夏季神农溪库湾溶解性总磷浓度均 $<0.02\text{ mg/L}$,可见,神农溪藻类生长不受氮限制,但水华暴发消耗大量磷营养盐会对藻类继续增殖产生磷限制。

临界层理论(Sverdrup,1953)认为,在水温以及营养盐均满足的情况下,藻类生长受垂向可获得光照的影响;若水体出现较强温度分层,则浮游植物生长不受光照限制,会暴发高强度水华;在水温分层不显著的情况下,浮游植物颗粒容易被掺混至真光层以下,其接受光照的机会大大减小,生长就受到光限制。根据水体稳定系数判断春、夏季水体为弱分层水体,上游水华敏感区为分层水体,平均混合层深度仅为 1.371 m ,明显小于真光层深度,加之充足的养盐,库湾极易暴发水华;秋、冬季神农溪库湾均为混合水体,平均混合深度达 45.565 m ,藻类生长受到光限制,难以增殖,库湾难以暴发水华。由此推测,春、夏季混合层深度骤减是神农溪水华暴发的主要原因。本次监测数据不能很好地解释水华暴发的空间差异,需要进一步研究。

参考文献

白杨,2017.深水湖泊与浅水湖泊热力分层特征及其影响因素[D].无锡:江南大学.

方丽娟,刘德富,杨正健,等,2014.水温对浮游植物群落结构的影响实验研究[J].环境科学与技术,7(s2):45-50.

韩云鹏,2014.温度分层水库下泄水温研究[D].天津:天津大学.

胡响玲,2013.三峡水库典型支流水体混合层深度时空分布及其对水华藻类影响[D].宜昌:三峡大学.

李欣,宋林旭,纪道斌,等,2017.三峡水库蓄水过程中神农溪库湾营养盐的动态分布[J].中国农村水利水电,(3):103-111.

刘晋高,徐雅倩,马骏,等,2018.三峡水库香溪河库湾不同异重流下水温分层模式研究[J].长江科学院院报,35(4):37-42.

吕焱,刘德富,黄钰铃,等,2015.汛前供水期神农溪库湾倒灌异重流特性及其对营养盐分布的影响[J].长江流域资源与环境,(4):653-660.

吕林鹏,纪道斌,龙良红,等,2018.汛末蓄水期神农溪库湾倒灌异重流特性及其对水华的影响[J].水生态学杂志,(1):9-15.

裴中平,辛小康,胡圣,2018.三峡库区干支流水体营养状态评价[J].水力发电,(1):1-4,58.

唐旺,2007.水库及下游河道水温预测研究[D].西安:西安理工大学.

王志红,崔福义,安全,2005.水温与营养值对水库藻华态势的影响[J].生态环境,(1):10-15.

杨霞,马骏,张岩,2010.三峡水库高岚河2008年夏季蓝藻水华暴发分析[J].灾害与防治工程,(1):52-60.

杨正健,刘德富,马骏,等,2012.三峡水库香溪河库湾特殊水温分层对水华的影响[J].武汉大学学报(工学版),(1):1-9,15.

杨正健,2014.分层异重流背景下三峡水库典型支流水华生消机理及其调控[D].武汉:武汉大学.

易仲强,刘德富,杨正健,等,2009.三峡水库香溪河库湾水温结构及其对春季水华的影响[J].水生态学杂志,33(5):6-11.

曾明正,黄廷林,邱晓鹏,等,2016.我国北方温带水库——周村水库季节性热分层现象及其水质响应特性[J].环境科学,(4):1337-1344.

郑建军,钟成华,邓春光,2006.试论水华的定义[J].水资源保护,22(5):45-47.

周广杰,况琪军,胡征宇,2007.大宁河春季浮游藻类“水华”及其营养限制[J].长江流域资源与环境,(5):628-633.

朱伟,万蕾,赵联芳,2008.不同温度和营养盐质量浓度条件下藻类的种间竞争规律[J].生态环境学报,17(1):6-11.

朱孔贤,毕永红,胡建林,等,2012.三峡水库神农溪2008年夏季铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)水华暴发特性[J].湖泊科学,(2):220-226.

Kirk JTO,1994. Light and Photosynthesis in aquatic ecosystem[M]. Cambridge, Britain: Cambridge University Press;47-144.

Clement D M, Gurvan M, Aibert S F, et al, 2004. Mixing layer depth over the global ocean an examination of profile-based climatology[J]. Journal of Geophysical Re-

search Ocean ,109 C12; 1 - 20.

JI Daobin, LIU Defu, YANG Zhengjian, et al,2010. Hydrodynamic characteristics of Xiangxi Bay in Three Gorges Reservoir[J].Science Sinica Physica, ;Mechanica & Astronomica,40(1);101 - 112.(in Chinese)

Liu L, Liu D F, Johnson D M, et al, 2012. Effect of Vertical Mixing on Phytoplankton Bloom in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir: Implications for Management [J]. Water Research, 46(7): 2121 - 2130.

Myriam B, Holger M, Michael B, et al,1997. Temperature stratification in the lower River Murray, Australia: implication for cyanobacterial bloom development [J]. Freshwater Res, 48, 647 - 654.

Sverdrup HU, 1953. On Conditions for the Vernal Blooming of Phytoplankton [J]. Jconsconsintexplormer, 18(3): 287 - 295.

Reynolds C S,Bellinger E G,1992.Patterns of abundance and dominance of the phytoplankton of Rostherne Mere, England:evidence from an 18-year data set[J]. Aquat Sci,54(1);10 - 36.

Rhee G Y, Gotham I J, 1981. The effect of environment factors on phytoplankton growth: temperature and the interactions of temperature with nutrient limitation [J]. Linnology and Oceanography, 26(4): 635 - 648.

Yang Z J, Liu D F, Ji D B, et a, 2010l. Influence of the impounding process of Three Gorges Reservoir up to water level 172.5m on water eutrophication in the Xiangxi Bay [J]. Science China Technological Sciences,53(4):1114 - 1125.

(责任编辑 张俊友)

Seasonal Thermal Stratification in Shennong Bay and Its Effect on Algae Blooms

WANG Yao-yao¹, XU Tao, CUI Yu-jie¹, JI Dao-bin¹, HUANG Jia-wei¹, FANG Hai-tao¹,
HUO Jing¹, HE Jin-yan¹, ZHANG Qing-wen¹, ZHU Xiao-sheng¹

(1.College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University,
Yi Chang 443002,P.R.China;

2.Three Gorges Cascade Dispatch and Communication Center, Yi Chang 443133,P.R.China)

Abstract: Water temperature strongly influences the physical, chemical and biological processes in aquatic ecosystems. Shennong Stream is a typical tributary of Three Gorges Reservoir (TGR) and the backwater, forming Shennong Bay (SNB), extends 20 km upstream from its confluence with TGR. In this study, we investigated the spatial-temporal distribution of water temperatures in Shennong Bay, characterized the mechanism of thermal stratification and analyzed the relationships between algae blooms and environment factors, particularly water temperature and mixing depth. The objective was to provide a theoretical basis for controlling algae blooms in Shennong Bay. In February, April, August and November of 2015, seasonal field monitoring was carried out across six sampling transects in Shennong Bay, including measurements of water depth, water temperature, flow velocity, transparency, dissolved total phosphorus (DTP), dissolved total nitrogen (DTN) and chlorophyll-a (Chl-a). Different density currents were observed in Shennong Bay that affected the water temperature pattern. In spring, thermal stratification began to develop and upper and middle density currents formed, resulting in a "double thermocline" during summer. In autumn and winter, the upper layers of TGR and Shennong Bay were isothermal and primarily affected by convection and density currents. Chl-a was positively correlated with the water temperature ($R=0.752$) and the water stability coefficient ($R=0.742$) and negatively correlated with mixing depth ($R=-0.584$), DTN ($R=-0.609$) and DTP ($R=-0.408$). However, the significant positive correlation between water temperature and Chl-a did not explain the algae blooms observed in Shennong Bay; algal growth was not limited by DTN, and the algae bloom consumed a large amount of DTP that then limited continued growth of algae. The outbreak of algae blooms in Shennong Bay during spring and summer was attributed to sudden decreases in mixing depth. The results of this study increase our understanding of TGR-Shennong Bay dynamics and can be used to help control algal blooms in Shennong Bay.

Key word: water temperature; mixed layer; density flow; algae bloom; Shennong Stream