

东洞庭湖湿地生态水位阈值研究

王鸿翔 朱永卫 查胡飞 郭文献¹

(华北水利水电大学, 河南 郑州 450045)

【摘要】: 水位是湖泊湿地水文情势和生态系统健康的关键指标, 如何确定适宜生态水位阈值是确保湖泊湿地健康的关键。以东洞庭湖城陵矶站和鹿角站突变前水位过程(1959~1978年逐日水位资料)为基准期, 采用RVA法、年内展布法和数理统计的方法建立了东洞庭湖适宜生态水位过程。结果表明: (1) RVA法计算逐月生态水位阈值的波动范围均值是2.18m, 而年内展布法计算逐月生态水位阈值的波动范围均值是5.12m, 水位波动较大, 对于东洞庭湖适宜生态水位来说, RVA法计算生态水位的波动范围更有利于维持湿地植物群落健康和生物多样性; (2) 受湖底高程影响, 鹿角站的高低水位发生时间会比城陵矶站提前15d左右, 而高低水位的历时和波动范围以及动植物敏感期(3~6月)的平均水位变化速率并未有显著差别; (3) 水位变异后(2003~2016年), 东洞庭湖水位大部分时间处于生态水位阈值内, 只需要对不满足生态水位的消落期采取调整措施, 鹿角站和城陵矶站年均水位差距减少0.46m, 洞庭湖的水动力系统减弱, 给洞庭湖生态健康带来了消极的负面影响。研究可为东洞庭湖生态水位和三峡及上游电站联合调度提供依据。

【关键词】: 东洞庭湖 RVA 阈值 生态水位阈值 高低水位历时 水文变异

【中图分类号】: TV213 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)09-2217-10

湿地(Wetland)是陆生生态系统和水域生态系统连接的过渡性地带, 具有水陆交错、干湿交替的水文特征和不可替代的生态功能^[1~3]。湿地植物是湿地生态系统的重要组成部分, 面对长期的水文演变过程, 湿地植物逐渐调节其生理过程, 即调整发育和繁殖时间, 形成一套自我动态调整的生存策略^[4~6]。从现象上来讲, 湿地植被对水位变异过程的适应往往表现为其沿水深梯度的条带状分布特征^[7,8], 从机理上来讲, 植被生长繁殖和水分之间具有“需求-供给”关系, 存在明显生态需水阈值^[9]。在湿地生态系统中, 水位的范围、频率和历时会影响植物的形态特征和生物量的积累, 而生态水位的阈值可以定量表示植被与水分之间的“需求-供给”关系^[10,11], 当水位处于生态水位阈值内时, 植物健康生长; 当水位不处于生态水位阈值时, 会导致植物代谢紊乱、发育迟缓, 严重时凋落衰亡^[12,13]。

洞庭湖位于长江中游荆江南部, 是长江流域第一个通江湖泊, 洞庭湖城陵矶站多年平均水位变幅高达13.35m, 湖区水位涨落、泥沙淤积造成洲滩广布、植物群落沿高程带状分布, 成为了淡水鱼类繁殖、越冬候鸟觅食的重要场所, 具有典型的湿地特征^[14]。然而, 近些年来, 由于人类活动和气候变化等因素的干扰, 湖区年均水位波动下降使得洲滩湿地提前显露, 湿地植被正向演替, 向湖心侵移, 鱼类产卵和候鸟觅食的苔草滩地面积持续减少造成生物多样性降低, 洞庭湖湿地生态系统的健康受到很大威胁^[15,16]。水位是湖泊湿地水文情势和生态系统健康的关键指标, 针对不同情况, 许多研究已经提出了适宜生态水位的概念, 早期生态水位的研究主要集中在最小生态水位的均值上, 缺乏对水位变化的生态影响的认识, 比较单一, 例如: 湖泊形态分析法、最低年平均水位法、年保证率法、生物最小空间需求法等^[17,18]。后来有些研究考虑到水位和生态的联系, 例如: Zhang等^[19]考虑到不同候鸟对最低生态水位的响应, 采用冗余分析法和响应面分析法得到洞庭湖枯水期的最低生态保护水位为20.58~21.46m。Zhang

¹作者简介: 王鸿翔(1981~), 女, 副教授, 主要研究方向为水文水资源及生态水利。E-mail: whxzju@163.com

郭文献, E-mail: guowenxian163@163.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(51679090, 51609085, 51779094); 华北水利水电大学研究生教育创新计划基金项目(YK2020-01); 贵州省水利厅2020年度水利科技项目(KT202008)

等^[20]研究东洞庭湖退水时间和水鸟分布动态的关系时,发现小白额雁分布动态与10月份退水时间的平均水位呈负相关。生态水位难以用单一的变量衡量,因此,淦峰等^[21]提出单一的水位特征值并不能维持湖泊生态健康,必须研究维持湖泊湿地生态系统结构、功能和过程完整性的水位情势,包括生态水位阈值、高低水位历时和生态水位变化率,并成功的应用于鄱阳湖的天然生态水位计算中。

本文在淦峰等人的研究基础上,改变了一些研究方法,计算了东洞庭湖的适宜生态水位阈值,最小、最大生态水位阈值,高低水位发生时间和历时以及动植物敏感期的水位变化率,并对东洞庭湖适宜生态水位的合理性和应用性进行了讨论,建立了东洞庭湖的适宜生态水位过程。

1 研究区域与数据资料

本文的研究区域是长江中游下荆江南部的东洞庭湖国家自然保护区(图1),东洞庭湖区域属于热带季风气候,年平均降雨量为1200~1450mm,年平均气温16.4℃~17℃。在1944年,经国务院批准,总面积约为1900km²的东洞庭湖自然保护区成为国家级自然保护区,东洞庭湖是洞庭湖湖泊群中面积最大,保存最完好的季节性湖泊,洪水季节(5~10月)湖滩全部淹没,枯水季节(11~次年4月)湖滩形成敞水带,滞水低地等湖泊湿地景观。东洞庭湖区是我国候鸟的主要栖息地之一,具有丰富的自然资源和生境类型。本文采用城陵矶水文站和鹿角水文站1959~2016年逐日水位进行适宜生态水位研究,水位序列来源于湖南省水利勘察设计研究总院、中国水利水电科学研究院,本文各水文站水位均已统一为黄海高程。

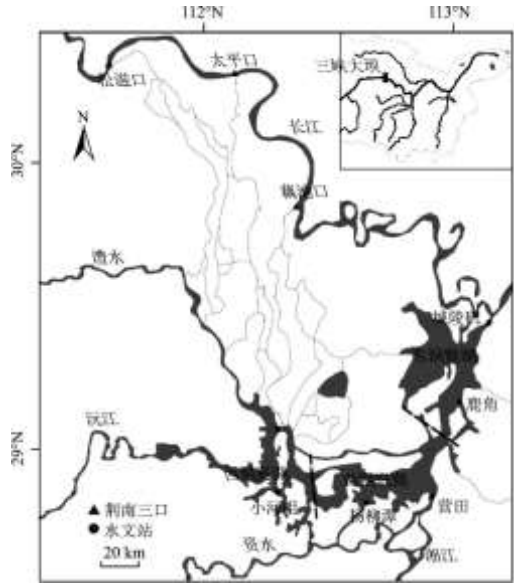


图1 洞庭湖示意图

2 研究方法

2.1 累积距平法

对于某一时间序列 $X(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, 其在某一时间 t 的累积距平值可表示为:

$$X_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad t = (1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad t = 1, 2, \dots, n。$$

式中：

该方法主要应用于水文气象研究，是利用累积距平值 X_t 相比较数据均值的离散程度，来反映序列长期趋势变化的情况。当 X_t 减小，则表示小于数据的平均值，反之增大则表示大于数据的平均值。从其长时间序列的波动图上我们可以明显的看出数据的增长和下降情况。一般的累计距平图上会有明显的 X_t 增大和减小的部分，而在其增大和减小的转折点即是数据趋势变化的拐点。

2.2 适宜生态水位阈值法

本文采用变动范围法(Range of Variability Approach, RVA)^[22]和年内展布计算法^[23]计算东洞庭湖的生态水位阈值。RVA 是在水文变化指标体系法(Indicators of Hydrologic Alteration, IHA)的基础上建立起来的，包含流量、频率、发生时间、历时和变化速率共 5 个方面 33 个流量指标，是评估水文情势改变比较完整的方法^[24]。RVA 法计算适宜生态水位的原理是认为湖泊适宜生态水位变动范围应不超过天然可变范围(即 RVA 阈值)，通常，以频率的 25%和 75%作为各个指标的上下限，以 RVA 阈值下限(月均水位发生频率为 25%)作为当月最低生态水位，以 RVA 阈值中值(月均水位发生频率为 50%)作为当月适宜生态水位，以 RVA 阈值上限(月均水位发生频率为 75%)作为当月最高生态水位。此外，本文采用另一种方法年内展布法计算最低和最高生态水位阈值，年内展布法是基于天然径流和生态水文过程对径流年内动态需求提出来的，可以弥补以均值和百分率水文指标计算生态水位的不足。年内展布法计算年均最低和最高生态水位公式如下：

$$Z_{\min} = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} Z_{Lk} \quad (2)$$

$$Z_{\max} = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} Z_{Hk} \quad (3)$$

式中： Z_{\min} 是最低生态水位； Z_{\max} 是最高生态水位； Z_{Lk} 为天然水位时期内各月水位的 RVA 下限； Z_{Hk} 为天然水位时期内各月水位的 RVA 上限。

其具体步骤为：将东洞庭湖城陵矶、鹿角(1959~1978 年)的日水位数据输入到 RVA 软件，计算得出多年最小、最大月均流量，代入公式(1)(2)得出最低和最高生态水位。将计算出的 Z_{\min} 与多年年均水位 \bar{Z} 之比作为同期均值比 η ，并以多年月均水位过程 \bar{Z}_i 为基准进行同比例缩放，得到湖泊各月最低生态水位 Z_i ，即生态水位的年内展布算法，同理，可计算最高生态水位，最低生态水位计算方法为：

$$\begin{aligned} \bar{Z} &= \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \bar{Z}_i \\ \eta &= Z_{\min} / \bar{Z} \\ Z_i &= \bar{Z}_i \times \eta \end{aligned} \quad (4)$$

2.3 高低水位

RVA 法中高水位指长系列日水位频率低于 25%的水位, 低水位指长系列日水位频率高于 75%的水位, 湖泊高、低水位计算公式分别为:

$$H_z = P_{25\%}(z_i) \quad (5)$$

$$L_z = P_{75\%}(z_i) \quad (6)$$

式中: H_z 、 L_z 分别为高水位 (m) 和低水位 (m); $P_{25\%}(z_i)$ 和 $P_{75\%}(z_i)$ 分别为 25% 和 75% 保证率下的湖泊日水位 (m)。

2.4 高低水位发生时间和历时

高水位发生时间为湖泊日均水位初次大于高水位的时间, 低水位发生时间为当年高水位结束后湖泊日均水位初次小于低水位的时间, 这个时间可能处于当年的下半年, 也可能处于次年的上半年。水位历时是指高、低水位发生的持续时间, 可由其结束时间减去其发生时间而得, 高水位结束时间是指当年日均水位最后一次大于高水位的时间, 低水位结束时间是指日均水位最后一次小于低水位的时间, 该时间有可能发生在当年下半年, 也有可能是在次年上半年。考虑到水位波动影响, 淦峰等^[21]认为水位事件连续 7d 日均水位大于高水位阈值时, 才被认为高水位事件, 同理, 水位事件连续 7d 日均水位小于低水位阈值时, 才被认为低水位事件。另外, 本研究提出两个同样的水位事件相差小于 5d, 相差天数可认为是水位波动影响, 即可认为同一水位事件。

2.5 生态水位变化速率

为了更加完善洞庭湖湿地生态水位的年内过程, 建立符合当地动植物生长繁殖习性的生态水位阈值。对当地动植物生长繁殖的敏感时期进行水位变化速率的研究。如四大家鱼在 3~6 月产卵对水位变化速率有一定要求, 芦苇在 2~6 月适宜抽芽生长, 南荻在 2~5 月发芽成长。因此, 我们在动植物生长繁殖的敏感时期内, 取邻近 2 日水位的变化速率来确定生态水位所需的变化速率, 计算公式如下:

$$WZ_{rat} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n WZ_{i+1} - WZ_i \quad (7)$$

$(i = 1, 2, \dots, n)$

$$WY_{rat} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n WY_{i+1} - WY_i \quad (8)$$

$(i = 1, 2, \dots, n)$

式中: WZ_{rat} 表示植物生长期水位变化速率 (m/d); WZ_{i+1} 表示植物生长期内的第 $i+1$ 天水位 (m); WZ_i 示植物生长期内的第 i 天水位 (m); WY_{rat} 表示鱼类产卵期水位变化速率 (m/d); WY_{i+1} 表示鱼类产卵期内的第 $i+1$ 天水位 (m); WY_i 示鱼类产卵期内的第 i 天水位 (m); n 表示动植物敏感期总天数。

3 结果分析

3.1 东洞庭湖水位突变性分析

运用累积距平方法对东洞庭湖水位序列进行突变点检测分析, 通过作累积距平图 (图 2) 可以看出城陵矶站在 1959~1979 年

水位总体上呈现下降趋势，在 1979~2005 年水位总体上呈上升趋势，2006~2016 年水位波动趋于平稳，因为转折点即是突变点，所以累计距平的水位突变点为 1979 年；同样的我们可以观察鹿角的累计距平图可以看出，鹿角站在 1959~1979 和 2005~2011 有一个下降趋势，在 1979~2005 是一个上升趋势，整个曲线存在的转折点就是 1979 和 2005 年，即突变年份的所在年份。考虑到三峡大坝的影响，综合检验结果，鹿岛和城陵矶的水位突变年份定为 1979 和 2003 年。此外，在 1959 年到 1978 年期间，除了洞庭湖自身经历了大规模的淤积围垦外，荆江的三次裁弯工程也对洞庭湖水位产生了影响。然而，考虑到 1959~1978 年是最接近东洞庭湖天然水位过程的时间段，文章以 1959~1978 年为基准期，探讨建立东洞庭湖的生态水位过程。

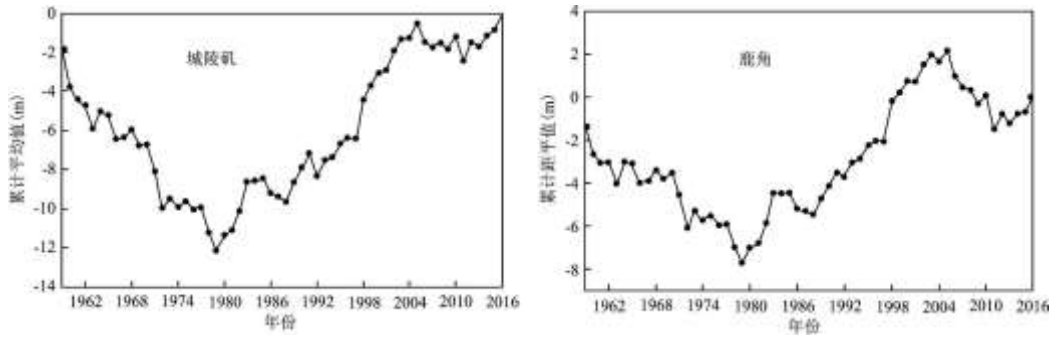


图 2 东洞庭湖累计距平法突变检验

3.2 东洞庭湖适宜生态水位阈值

以 1959~1978 年东洞庭湖水位过程为基础，根据此时间段内东洞庭湖水位资料分别对城陵矶和鹿角水文站进行生态水位计算，城陵矶的年平均水位是 24.28m，最小水位同期均值比是 0.89，最大水位同期均值比是 1.09；鹿角的年平均水位是 25.40m，最小水位同期均值比是 0.90，最大水位同期均值比是 1.09。将计算出来的结果进行年内展布，RVA 阈值和年内展布的生态水位结果如表 1、图 3 所示。

表 1 东洞庭湖生态水位年内过程

水文站	分类	生态水位 (m)											
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
城陵矶	最小	17.00	16.96	17.89	20.24	23.10	24.14	26.23	25.06	24.47	23.35	20.99	18.43
	25%	18.48	18.42	19.18	21.33	24.56	25.57	28.10	27.2	26.57	25.44	22.68	20.02
	75%	19.76	19.74	20.85	23.81	27.59	28.47	31.00	29.22	29.20	27.91	24.43	21.74
	最大	21.00	20.95	22.09	25.00	28.53	29.81	32.39	30.95	30.23	28.84	25.93	22.76
鹿角	最小	19.02	19.40	20.42	22.33	24.38	25.07	26.94	25.73	25.15	24.06	22.02	20.02
	25%	20.31	21.03	21.85	23.68	25.77	26.25	28.28	27.38	26.76	25.76	23.34	21.49
	75%	22.00	22.14	23.26	25.81	28.11	28.79	31.31	29.47	29.48	28.11	25.11	22.88
	最大	22.98	23.44	24.68	26.99	29.46	30.30	32.55	31.09	30.40	29.08	26.61	24.19

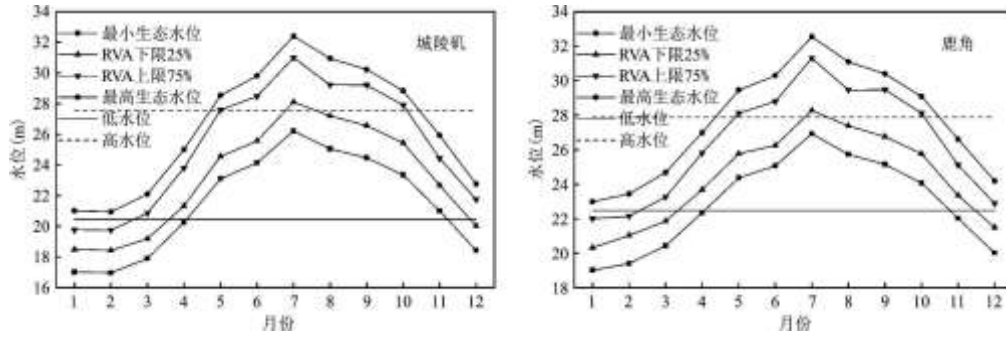


图3 东洞庭湖生态水位年内过程

适当的水位波动有利于维持湿地植物群落和生物多样性^[25,26], 研究结果显示, RVA 阈值计算生态水位上下限阈值的波动均值是 2.18m, 最小水位波动是 1.28m, 本研究认为以 RVA 阈值计算结果可作为东洞庭湖的最适宜生态水位阈值, 可以满足湖泊健康生态发展; 年内展布法计算生态水位上下限阈值的波动均值是 5.12m, 水位波动较大, 本研究认为年内展布法计算结果可作为次级适宜生态水位阈值, 次级生态水位阈值可以基本维持湖泊健康, 但是水位长期处于次级生态水位不利于湖泊生态健康。

根据 75%保证率计算城陵矶站和鹿角站的低水位为 20.44 和 22.48m, 计算的 25%保证率下高水位分别为 27.58 和 27.89m。两站点间高水位相差较小, 低水位相差超过 2m, 其原因源自于两个不同水文站所处地点不同, 湖底高程不同, 加上城陵矶是洞庭湖的入江口, 年内水位差距较大。由图 3 可以看出, 两个站点的年内最高水位均发生在 7 月, 6~8 月水位基本处于高水位以上, 12 月至次年 2 月水位基本处于低水位以下。研究认为, 合理的生态水位阈值应该在高水位时期满足发生时间和历时的要求, 并且不应低于最低生态水位; 同理, 在低水位时期, 生态水位的阈值应该满足发生时间和历时的要求, 并且不能低于最低生态水位。

3.3 东洞庭湖高、低水位发生时间和历时

水位的年内周期性变动是湖泊湿地内动植物生长繁殖活动的物理信号, 例如鱼类在水位上涨期开始产卵, 挺水植物在高水位时期快速生长, 冬季低水位能让动植物有良好的冬眠条件。因此, 把控水位年内周期性波动情况是有利于建立良好的生态系统。根据东洞庭湖城陵矶站和鹿角水文站 1959~1978 年的日均水位数据, 我们分别计算出两个水文站高低水位的发生时间及历时, 结果如图 4 和图 5。

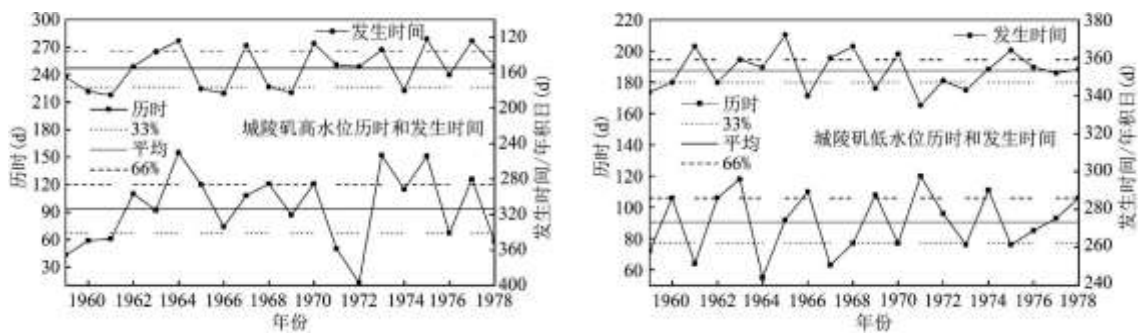


图4 东洞庭湖城陵矶站 1959~1978 年低水位和高水位发生时间与历时

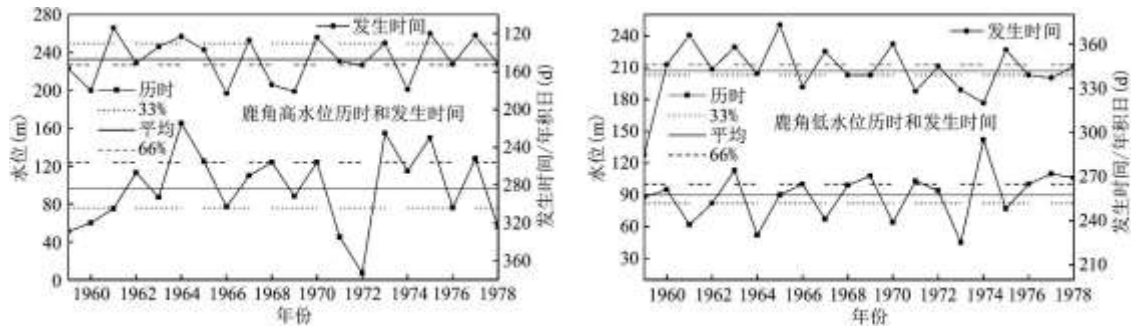


图5 东洞庭湖鹿角站 1959~1978 年低水位和高水位发生时间与历时

通过对东洞庭湖鹿角站和城陵矶站 1959~1978 年水位资料的研究, 我们得出高低水位的发生时间及历时, 并以水位序列的 66%分位数和 33%分位数作为各个指标波动的上下界限。

从图 4 来看, 城陵矶站低水位发生时间在 12 月中旬, 波动范围在 12 月初到 12 月末, 低水位发生时间和年均水位没有显著的线性相关关系 ($R^2=0.23$); 低水位历时年内平均持续 91d, 波动范围在 77~100d 之间, 低水位历时和年均水位呈显著线性负相关 ($R^2=0.33, p=9 \times 10^{-3}$), 即年均水位每升高 1m, 低水位历时减少 13d; 高水位发生时间在 6 月初, 波动范围在 5 月中旬到 6 月下旬, 高水位发生时间和年均水位没有显著的线性相关关系 ($R^2=0.21$); 高水位历时年内平均持续 94d, 波动范围在 67~120d 之间, 高水位历时和年均水位呈显著的线性正相关 ($R^2=0.82, p=3.09 \times 10^{-8}$), 年均水位每升高 1m, 高水位历时增加 43d。

从图 5 来看, 鹿角站低水位发生时间在 12 月初, 波动范围可放宽至 11 月末到 12 月初, 低水位发生时间和年均水位没有显著的线性相关关系 ($R^2=0.06$); 低水位历时年内平均持续 90d, 波动范围在 82~100d 之间, 低水位历时和年均水位呈显著线性负相关 ($R^2=0.30, p=0.01$), 即年均水位每升高 1m, 低水位历时减少 18d。高水位发生时间在 5 月末, 波动范围在 5 月初到 6 月初, 高水位发生时间和年均水位没有显著的线性相关关系 ($R^2=0.21$); 高水位历时年内平均持续 97d, 波动范围在 76~124d 之间, 高水位历时和年均水位呈显著的线性正相关 ($R^2=0.85, p=5.88 \times 10^{-9}$), 年均水位每升高 1m, 高水位历时增加 52d。

由两站的数据分析可知, 鹿角站的高低水位发生时间会比城陵矶站提前 15d 左右, 而高低水位的历时和波动范围并未有显著差别, 其原因还是由于湖底高程不同造成的。

3.4 东洞庭湖鱼类产卵和植被萌发期水位变化速率

根据对四大家鱼产卵繁殖时间的研究, 可知鱼类产卵的敏感时期在 3~6 月; 而植被在 2~6 月适宜抽芽生长。为了满足植被和鱼类在敏感时期对水位变化速率的要求, 特对两者的重合时期 3~6 月水位变化速率进行研究。

根据图 6 可以看出东洞庭湖城陵矶和鹿角站在 3~6 月水位的变化速率, 城陵矶站在该时期内平均水位变化速率是 0.07m/d, 波动的范围在 0.05~0.11m/d, 鹿角站在该时期内平均水位变化速率是 0.06m/d, 波动的范围在 0.04~0.09m/d。由于该时期处于动植物生长繁殖的敏感时期, 水位变化速率对构建完善的生态水位阈值具有积极的参考作用。

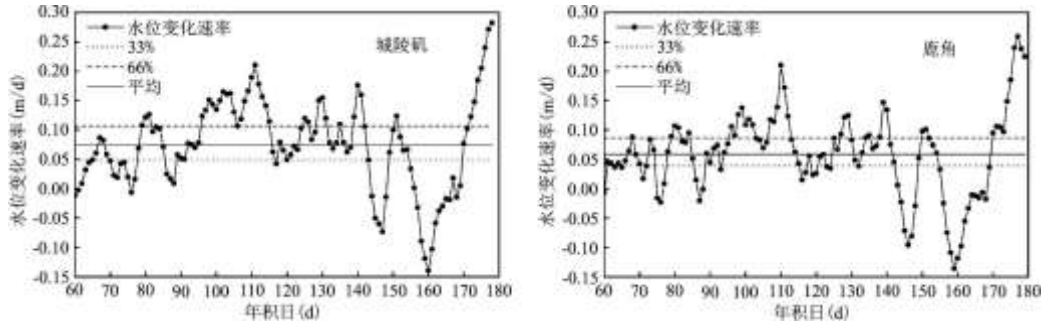


图 6 东洞庭湖 3~6 月水位变化速率

4 讨论

4.1 适宜生态水位的合理性分析

本文采用 RVA 阈值法和年内展布法计算东洞庭湖湿地的生态水位阈值，下面把东洞庭湖的生态水位研究结果进行对比分析，汇总如表 2 所示。程俊翔等^[17]、杨毓鑫等^[18]采用年保证率法、最低年平均水位法、生态水位法、湖泊形态分析法等得出东洞庭湖的最低生态水位，其计算结果采用的是一个年均值，其结果和本文 RVA 阈值下限平均值相差不大，东洞庭湖南高东低，分别计算鹿角(南)和城陵矶(北)的生态水位，其结果对实际更有参考意义。Zhang 等^[19]采用冗余分析法、响应面分析法得到了适合为水鸟提供合适的栖息地生态水位，其为洞庭湖水鸟丰富度保护提供了最低生态保护水位，和本文 RVA 阈值下限相比偏低。黄兵等^[27]在水文变异的情况下采用频率分析和概率分布等到了东洞庭湖各月的水位变化规律，结果合理且更能直观，可从时间和空间上为洞庭湖湿地生态环境修复提供参考依据，其结果也在本文计算的 RVA 阈值内，本文计算的是一种适宜的生态水位阈值，相比较更将精确。黄宇云等^[28]采用适宜生态水位法，其参考适宜生态水位过程，其适宜生态水位过程是逐月平均水位和极端水位发生时间、高低水位发生次数以及水位涨落情况共同约束的结果，其计算结果考虑三峡水库间建设前后水文的变异情况，相较于本文的 1559~1978 年的水位过程，其计算结果偏小。综上所述，本文对东洞庭湖湿地生态水位计算合理且直观，可为全面的约束东洞庭湖生态系统的健康发展提供了参考。

表 2 东洞庭湖湖区生态水位研究成果对比

成果来源	水位时间序列	计算结果
程俊翔等	1955~2011 年	最低生态水位 23.39m
杨毓鑫等	1953~2013 年	最低生态水位 22.62m
Zhang 等	2005~2012 年	最低保护水位 20.58~21.46m
黄兵等	1953~2016	1~12 月月平均水位：19.12、19.55、19.48、22.32、26.14、 27.40、30.38、28.93、28.76、25.79、24.21、20.39
黄宇云等	1953~2003 年	1~12 月月平均水位：17.07~18.34、17.15~18.89、17.65~22.23、 20.25~22.15、22.85~24.90、24.31~26.44、26.88~29.16、 25.79~28.32、25.12~27.56、23.59~25.88、20.65~22.81、18.85~19.88m
本文	1959~1978 年	见 3.2 节

4.2 适宜生态水位的应用性分析

1959~1978年是东洞庭湖湿地的最接近天然情况的水位过程,其后,人工控湖、控河工程(围湖造田、退田还湖、三峡大坝等)和洪水演变(1998年大洪水)改变了东洞庭湖湿地原有的水文状况,其中包括城陵矶站水位的永久性抬升(城陵矶站2003~2016年多年平均水位比1959~1978年多年平均水位高0.71m),三峡电站的频繁调度导致水位波动频率的增加,变幅的削弱^[28]。湿地水位的永久性抬升和水位波动频率的增加会造成部分湿地植被慢慢适应水位变化,部分湿地植被无法适应水位变化而被淘汰造成物种多样性的减少和植被覆盖度的降低^[29~31]。例如:苔草群落是东洞庭湖鱼类产卵和候鸟越冬的重要栖息地,而使南荻(*Triarrhena sacchariflora*)不扩展的东洞庭湖年均水位在24.29m左右,城陵矶站水位由原先1959~1978年多年平均水位24.27m转变为2003~2016年多年平均水位24.98m,这势必会造成南荻的扩张从而减少苔草群落的面积,不利于维持东洞庭湖湿地长期的稳定关系^[32]。此外,鹿角站2003~2016年多年平均水位比1959~1978年多年平均水位高0.24m,东洞庭湖是集“三口四水”来水进入长江的关键位置,鹿角站和城陵矶站水位差距变小势必会影响整个洞庭湖的连通性,从而给洞庭湖生态健康带来消极的负面影响。因此有必要探讨水文改变后适宜生态水位的满足情况。

水文改变后适宜生态水位的满足情况如图7所示,水文改变后(2003~2016年),城陵矶站水位大部分时间处于适宜生态水位阈值,但消落期1、2和3月份多年月均水位分别高出适宜生态水位1.50、1.53、1.70m,甚至高出了最高生态水位;蓄水区10月份多年月均水位低于适宜生态水位0.81m,但没有低于最低生态水位。鹿角站大部分时间处于生态水位阈值,和城陵矶对于东洞庭湖来说,水文改变后,不满足生态水位阈值要求的时间较少,可以通过三峡水库和上游的溪洛渡、向家坝等水库的联合调度来解决湖区的生态水位问题。

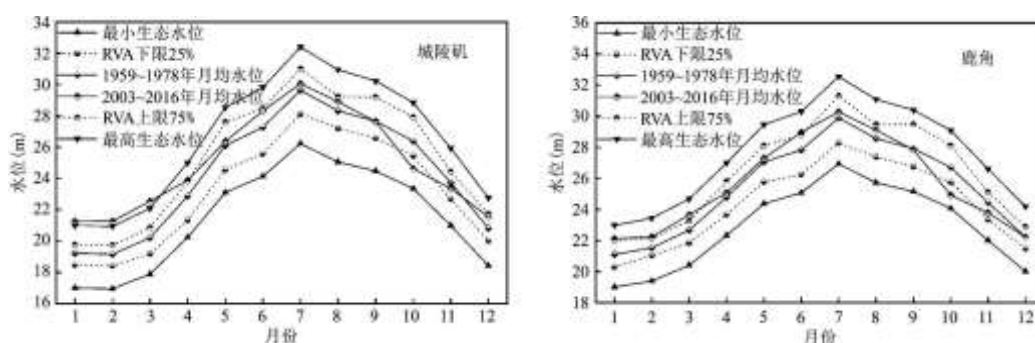


图7 三峡建库后适宜生态水位满足情况

5 结论

本文基于城陵矶站和鹿角站1959~2016年逐日水位资料,采用累计距平法对年均水位序列进行突变性检验。采用RVA阈值法和年内展布法计算了鹿角站和城陵矶站的生态水位阈值;计算得到了东洞庭湖高、低水位阈值,发生时间和历时;并针对动植物生长敏感期分析了水位变化率,建立了东洞庭湖适宜生态水位过程并讨论了其合理性和实用性,主要结论如下:

(1)城陵矶站和鹿角站水位突变年份是1979年和2003年,1959~1978年是东洞庭湖最接近天然水位过程,1979~2002年是水位环境变化过程,2003~2016年是水位变化后过程。

(2)文章建立了东洞庭湖适宜生态水位过程,包括城陵矶站和鹿角站逐月适宜生态水位阈值、高低水位发生时间及历时和动植物敏感时期的水位变化速率。RVA法计算逐月生态水位阈值的波动范围均值是2.18m,而年内展布法计算逐月生态水位阈值的波动范围均值是5.12m,水位波动较大,对于东洞庭湖适宜生态水位来说,RVA阈值法计算的逐月生态水位波动范围相对于年内展布法更有利于维持湿地植物群落健康和生物多样性;受湖底高程影响,鹿角站的高低水位发生时间会比城陵矶站提前15d左

右,而高低水位的历时和波动范围以及鱼类和植物敏感期(3~6月)的平均水位变化速率并未有显著差别。此外,东洞庭湖城陵矶站和鹿角站,低历时和年均水位都呈显著线性负相关,高历时和年均水位都呈显著线性正相关。

(3)城陵矶站和鹿角站2003~2016年多年平均水位相差0.66m,1959~1978年多年平均水位相差1.12m,鹿角站和城陵矶站水位差距变小势必会影响整个洞庭湖的连通性,从而给洞庭湖生态健康带来消极的负面影响。水位变化后,除城陵矶站1、2和3月月均水位高出最高生态水位外,其余东洞庭湖月均水位都在生态水位阈值内,对于东洞庭湖来说,水文改变后,不满足生态水位阈值要求的时间较少,可以通过三峡水库和上游的溪洛渡、向家坝等水库的联合调度来解决湖区的生态水位问题。

参考文献:

[1]SCOTT D A,JONES T A.Classification and inventory of wetlands:A global overview[M].Classification and Inventory of the World's Wetlands.Springer Netherlands,1995.

[2]ZHANG L,WANG M H,HU J,et al.A review of published wetland research,1991-2008:Ecological engineering and ecosystem restoration[J].Ecological Engineering,2010,36(8):973-980.

[3]LIAO J,HUANG Y.Global trend in aquatic ecosystem research from 1992 to 2011[J].Scientometrics,2014,98(2):1203-1219.

[4]JUNK W J,PIEPALE M T F,LOURIVAL R,et al.Brazilian wetlands:Their definition,delineation,and classification for research,sustainable management,and protection[J].Aquatic Conservation:Marine and Freshwater Ecosystems,2014,24(1):5-22.

[5]杨大文,雷慧闽,从振涛.流域水文过程与植被相互作用研究现状评述[J].水利学报,2010,39(10):1142-1149.

[6]ARTHAUD F,VALLOD D,ROBIN J,et al.Eutrophication and drought disturbance shape functional diversity and life-history traits of aquatic plants in shallow lakes[J].Aquatic Botany,2012,94(3):471-481.

[7]殷书柏,吕宪国,武海涛.湿地定义研究中的若干理论问题[J].湿地科学,2010,8(2):182-188.

[8]余晓,李翀,王昊,等.额尔古纳河洪水淹没模拟及湿地植被变化分析[J].水利学报,2011,42(11):1308-1315.

[9]韩祯,王世岩,刘晓波,等.基于淹水时长梯度的鄱阳湖优势湿地植被生态阈值[J].水利学报,2019,50(2):252-262.

[10]唐海萍,陈姣,薛海丽.生态阈值:概念、方法与研究展望[J].植物生态学报,2015,39(9):932-940.

[11]LI F,QIN X,XIE Y,et al.Physiological mechanisms for plant distribution pattern:responses to flooding and drought in three wetland plants from Dongting Lake,China[J].Limnology,2013,14(1):71-76.

[12]MAJKEK P,CLAUDIA B,HANS B.Tolerance and physiological responses of phragmites australis to water deficit[J].Aquatic Botany,2005,81(4):285-299.

[13]AHN C,MOSEK K F,SPARKS R E,et al.Developing a dynamic model to predict the recruitment and early survival

of black willow (*Salix nigra*) in response to different hydrologic conditions[J]. *Ecological Modelling*, 2007, 204(3-4): 315-325.

[14] 蒋卫国, 潘英姿, 侯鹏, 等. 洞庭湖区湿地生态系统健康综合评价[J]. *地理研究*, 2009, 28(6): 1665-1672.

[15] 赖锡军, 姜加虎, 黄群. 三峡工程蓄水对洞庭湖水情的影响格局及其作用机制[J]. *湖泊科学*, 2012, 24(2): 178-184.

[16] 唐玥, 谢永宏, 李峰, 等. 基于 Landsat 的近 20 余年东洞庭湖湿地草洲变化研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(11): 1484-1492.

[17] 程俊翔, 徐力刚, 吴睿, 等. 东洞庭湖最低生态水位研究[J]. *江西科学*, 2015, 33(6): 932-937.

[18] 杨毓鑫, 杜春艳, 张金帆, 等. 洞庭湖湖区最低生态水位的确定[J]. *水资源保护*, 2019, 35(3): 89-94.

[19] ZHANG C, YUAN Y J, ZENG G M, et al. Influence of hydrological regime and climatic factor on waterbird abundance in Dongting Lake Wetland, China: Implications for biological conservation[J]. *Ecological Engineering*, 2016, 90: 473-481.

[20] ZHANG P Y, ZOU Y A, Xie Y H, et al. Shifts in distribution of herbivorous geese relative to hydrological variation in East Dongting Lake wetland, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 636: 30-38.

[21] 淦峰, 唐琳, 郭怀成, 等. 湖泊生态水位计算新方法与应用[J]. *湖泊科学*, 2015, 27(5): 783-790.

[22] RICHTER B D, BAUMGARTNER J V, POWELL J, et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems[J]. *Conservation Biology* 1996, 10(4): 1163-1174.

[23] 潘扎荣, 阮晓红, 徐静. 河道基本生态需水的年内展布算法[J]. *水利学报*, 2013, 44(1): 119-126.

[24] RICHTER B, BAUMGARTNER J, WIGINGTON R, et al. How much water does a river need?[J]. *Freshwater Biology*, 1997, 37(1): 231-249.

[25] VAN G J, ROOZEN F C J M, COOPS H, et al. Vegetation abundance in lowland flood plain lakes determined by surface area, age and connectivity[J]. *Freshwater Biology*, 2003, 48(3): 440-454.

[26] RIIS T, HAWES I. Relationships between water level fluctuations and vegetation diversity in shallow water of New Zealand lakes[J]. *Aquatic Botany*, 2002, 74(2): 133-148.

[27] 黄兵, 姜恒, 廖小红, 等. 水文变异条件下的洞庭湖生态水位研究[J]. *中国农村水利水电*, 2019, (3): 88-91, 96.

[28] 黄宇云, 余明辉, 陆晶, 等. 三峡建库后东洞庭湖适宜生态水位需求分析[J]. *湖泊科学*, 2020, 32(2): 417-427.

[29] HELLSTEN S, RIIHIMÄKI J. Effects of lake water level regulation on the dynamics of littoral vegetation in northern Finland[J]. *Hydrobiologia*, 1996, 340(1-3): 85-92.

[30]NILSSON C, ZINKO U. Long-term responses of river-margin vegetation to water-level regulation[J]. Science, 1997, 276(5313):798-800.

[31]ROLAND J,CHRISTER N,MATS D,et al.Effects of river regulation on river-margin vegetation:A comparison of eight boreal rivers[J]. Ecological Applications, 2000, 10(1):203-224.

[32]李旭, 宋冰冰, 李峰, 等. 洞庭湖不同水位高程下南荻(*Triarrhena lutarioriparia*)种群分布格局及生长动态[J]. 湖泊科学, 2016, 28(5):1039-1046.