

三峡库区人居环境气候适宜性*

安 强, 龙天渝**, 黄宁秋, 马志鹏, 刘星月, 李玉芳
(重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘 要: 运用 GIS 技术, 在充分考虑气温、湿度、风速以及日照等条件下, 计算了 1995 年 1 月至 2010 年 12 月三峡库区 22 个气象站点的温湿指数和风效指数及其时空分布, 对三峡库区人居环境气候适宜性的总体分布趋势进行分析. 并以 2003 年 6 月三峡工程一期蓄水作为时间中点, 分析了三峡工程蓄水前后库区人居环境气候适宜性变化, 同时对库区水位与气象要素的相关性进行定量分析. 结果表明: 从 11 月到翌年 3 月, 库区气候偏冷, 属于较不舒适人居环境; 夏季的 6—9 月, 整个库区气候偏热, 属于较不舒适的人居环境; 库区年均温湿指数和风效指数均呈现明显的地区差异, 整体表现为由库区中部向东西递减的趋势; 库区气候适宜性指数在三峡工程前后变化明显, 库区水位与气候适宜性因子在 2003 年 6 月以前没有显著的相关性, 在 2003 年 6 月以后, 与温湿指数呈显著正相关, 而与风效指数呈显著负相关.

关键词: 三峡库区; 气候适宜性; 温湿指数; 风效指数

Climate suitability of human settlement in Three Gorges Reservoir

AN Qiang, LONG Tianyu, HUANG Ningqiu, MA Zhipeng, LIU Xingyue & LI Yufang

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Considering the conditions of temperature, humidity, wind speed and sunshine duration, the temporal and spatial distribution of temperature-humidity index (*THI*) and wind effect index (*K*) were calculated at 22 weather stations in the Three Gorges Reservoir catchment from January, 1995 to December, 2010 based on GIS technology. The general distribution trend on climate suitability for human settlement in Three Gorges Reservoir was analyzed. The change in climate suitability for human settlement was analyzed before and after impoundment based on the first storage stage of the Three Gorges Project in June, 2003. Correlation analysis of water level and meteorological elements were also investigated. Results show that the climate is not comfortable from November to March in the next year due to the cold temperature. Similarly, the climate is also not comfortable from June to September due to the hot weather. The average annual *THI* and *K* exhibit obvious regional difference. The integrative trend of *THI* and *K* decreases progressively from central to east and west areas. Climate suitability has changed obviously since the accomplishment of the Three Gorges Project. The results of Pearson's correlation coefficients showed no correlation between *THI*, *K* and water level before June 2006, whereas water level showed significantly positive correlation with *THI* and negative correlation with *K* after that time.

Keywords: Three Gorges Reservoir; climate suitability; temperature-humidity index; wind effect index

人居环境作为由多种尺度、多种形式的人工和自然环境相结合的总体区域, 由区域的地质、气候、植被、动物以及土壤等多方面因素构成^[1]. 气象因素是最活跃、最基础的因子之一. 气候适宜性很大程度上决定着人居环境的舒适与否, 也是评价区域是否宜居的重要标准之一. 人居环境气候适宜性是以人类机体与近地大气之间的热交换原理为基础, 从气象角度评价人类在不同气候条件下体感舒适程度的生物气象指标^[2]. 气候适宜性评价已经成为人居环境和旅游资源评价的一项重要内容. 大型水利工程对区域气候、生态的影

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目 (2009ZX07104-002) 和重庆市自然科学基金项目 (CSTC, 2011BB7085) 联合资助. 2011-10-17 收稿; 2011-11-10 收修修改稿. 安强, 男, 1979 年生, 讲师; E-mail: anqiang@cqu.edu.cn.

** 通信作者; E-mail: longty128@cqu.edu.cn.

响虽已成为国内外学者研究的热点,但是对于人居环境的影响研究目前仍少见报道。

三峡库区是指长江三峡水利枢纽工程 175 m 水位淹没所涉及的湖北省、重庆市 20 个县(市、区),库区户籍总人口 2068 万人(2008 年统计),幅员面积 $5.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。库区处于中纬度,具有亚热带季风湿润地区的气候特征,整个库区四季分明,冬季微冷,夏季热而多雨。区内热量充足,年平均气温为 $15 \sim 18^\circ\text{C}$,年降水量为 1000 ~ 1250 mm。三峡工程使水库上游沿江附近下垫面由土地或植被不断变为水体,其物理属性(辐射性质、热容量和导热率等)发生了较大的变化,水汽状况也将随之变化,三峡库区下垫面的变化在一定程度上势必引起区域气候特征的改变。近年来随着高温干旱和低温雨雪冰冻灾害等极端天气的出现,不断引发社会公众对三峡工程建设是否是引起极端天气出现原因的关注。许多学者开展了三峡水库对区域气候影响的研究。陈柏林^[3]的研究表明,三峡水库建成后冬季气温将有所变暖,降水有冬季增加、夏季减少的趋势,空气湿度则稍有增加。

气象条件对于人体舒适性的影响方面,国内外学者从多种角度提出了多项评价指标。早在 1920 年,英国学者洪特就提出了有效温度的概念^[4],Thom 于 1959 年提出了不舒适指数^[5],1966 年 Terjung 提出了舒适指数和风效指数^[6],而 1973 年 Oliver 在评价温湿指数和风效指数的基础上,探讨了温度、湿度、风速等气象条件对人体舒适度的影响^[7],1979 年生物学家 Steadman 从人体热量平衡角度提出了感热温度^[8-9]。国内的气候适宜性研究于 1990s 起步,如张剑光等的气候宜人度模型,吕伟林的体感温度模型以及王远飞等的上海气候舒适度指数等^[10-12]。与此同时,唐焰等^[13-16]利用国内外已有的评价模型如舒适指数、温湿指数以及风效指数等,对人居环境气候适宜性进行了定量分析评价。运用 GIS 等技术进行人居环境气候适宜性的评价研究已经成为当前气候适宜性评价研究的趋势和热点,借助 GIS 技术以格栅为评价单元可以更加精确地反映气候条件的区域差异。而随着三峡库区气候条件的改变,对库区人居适宜性也会有相应的影响。本文运用 GIS 等技术评价 1995 年 1 月至 2010 年 12 月三峡库区人居环境气候适宜性的变化,并分析其与库区水位变化的关系。

1 研究方法和数据来源

人体舒适度指数是从气象角度来评价不同气候条件下人的舒适感,并根据人类机体与大气环境之间的热交换而制定的生物气象指标。气象条件主要由气压、气温、湿度、风力、日照、降水要素组成。对人体生理影响最大的因素是气温、湿度、风力和日照,这些因素直接影响人体与外界环境的热量与水分交换。本文采用温湿指数和风效指数对三峡库区的气候适宜性进行定量评价,并以 2003 年 6 月三峡大坝蓄水为中间点,分析蓄水前后库区人居环境气候适宜性的变化,探讨其与库区水位变化的相关性,相关性计算采用统计软件 SPSS 17.0。

1.1 数据来源

气象资料来自中国气象科学数据共享服务网,包括三峡库区及周边地区 22 个常规气象站 1995—2010 年的月均气温、湿度、风速以及日照资料,站点分布见图 1。库区水位数据来自中国长江三峡集团公司水情信息网,其中,1995 年 1 月至 2003 年 6 月采用的是葛洲坝上游水位的月平均值,2003 年 7 月至 2010 年 12 月采用的是三峡大坝上游水位的月平均值。

1.2 温湿指数和风效指数

温湿指数(Temperature Humidity Index, *THI*)采用 Oliver 的指数公式,物理意义是湿度修订以后的温度,综合考虑温度和湿度对人体舒适度的影响。风效指数 *K* 采用由 Bedford 提出,Spile、Court 以及 Thomas-Boyd 等改进的计算公式,物理意义是指皮肤温度为 33°C 时,体表单位面积的散热量。*THI* 和 *K* 计算公式分别为:

$$THI = T - 0.55(1 - f)(T - 58) \quad (1)$$

$$T = 1.8t + 32 \quad (2)$$

$$K = -(10v + 10.45 - v)(33 - t) + 8.55s \quad (3)$$

式中,*t* 是摄氏温度,*T* 是华氏温度,*f* 是空气相对湿度(以百分比表示),*v* 是风速(m/s),*s* 是日照时数(h/d)。

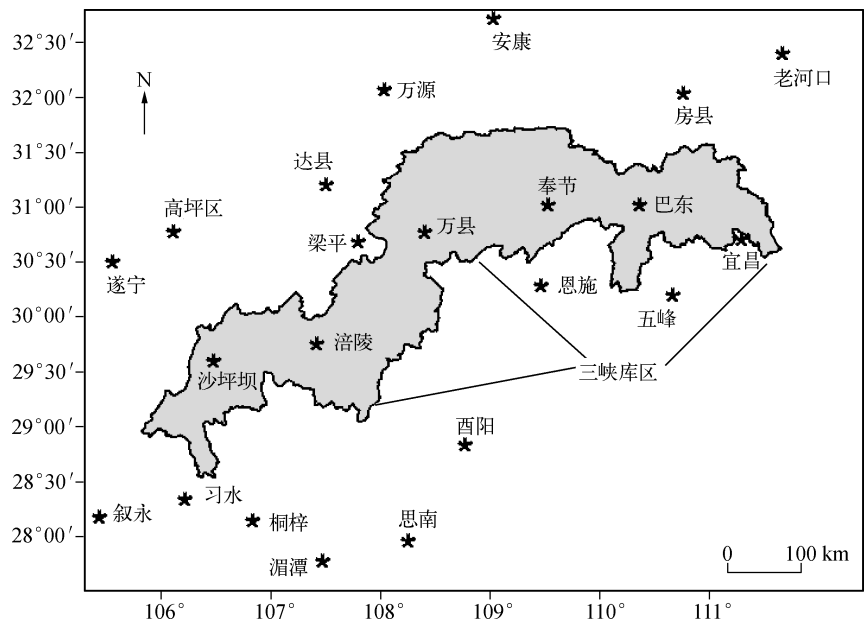


图 1 三峡库区及周边地区常规气象站点分布

Fig. 1 The distribution of climate monitoring stations in Three Gorges Reservoir and its adjacent area

1.3 人居环境气候适宜性划分标准

基于温湿指数和风效指数的区域人居环境气候适宜性评价标准见表 1^[12]. 将区域温湿指数或风效指数的生理气候指标分为 9 级, 当等级为 A、B 或 b 时, 气候适宜性为舒适; 等级 c、d、e 对应的为冷、不舒适; C、D、E 对应的为热、不舒适.

表 1 温湿指数与风效指数生理气候分级标准

Tab. 1 Standards for physiological climate of *THI* and *K*

<i>THI</i>	级别	<i>K</i>	人体生理感觉程度
< 40	e	< -1200	极冷、极不舒服
40 ~ 45	d	-1200 ~ -1000	寒冷、不舒服
45 ~ 55	c	-1000 ~ -800	偏冷、较不舒服
55 ~ 60	b	-800 ~ -600	清凉、舒适
60 ~ 65	A	-600 ~ -300	凉、非常舒适
65 ~ 70	B	-300 ~ -200	暖、舒适
70 ~ 75	C	-200 ~ -50	偏热、较不舒适
75 ~ 80	D	-50 ~ 80	闷热、不舒适
> 80	E	> 80	极其闷热、极不舒适

2 结果与讨论

2.1 三峡库区人居环境气候适宜性总体评价

2.1.1 多年月平均 *THI* 与 *K* 值变化 从三峡库区多年月平均 *THI* 的计算结果来看, 三峡库区 1、2、3、11、12 月的人居环境都处于不舒适区, 其余各月属于舒适区. 而从 *K* 来看, 库区 6—9 月的人居环境处于不舒适区, 其余各月属于舒适区. 综合考虑 *THI* 和 *K*, 整个三峡库区只有在 4、5 和 11 月份属于人居环境舒适区, 总体来说, 人居环境并不乐观. 从 11 月至翌年 3 月, 库区气候偏冷、较不舒服, 特别是在 1 月份, *THI* 最低, 整个库区寒冷, 属于不舒适人居环境. 而夏季的 6—9 月, 整个库区气候偏热, 也属于较不舒适人居环境 (表 2).

2.1.2 年平均 *THI* 与 *K* 值空间分布 三峡库区 1995—2010 年的年均 *THI* 和 *K* 分布表明, 库区的年均气候适宜性指数随地区的变化略有差异, 整体表现为库区中部分别向东、西方向递减的趋势 (图 2). *THI* 的高值出现在万州以及重庆主城地区, 低值区则出现在江津南部以及巫溪、兴山北部地区. 而从 *K* 来看, 库区的高值地区出现在忠县和万州地区, 低值则出现在江津南部以及渝东北以及鄂西地区. 总体来说, 从多年人居环境适宜性指数来看, 三峡库区大部分地区都属于人居环境舒适区.

表2 三峡库区多年月平均 *THI* 和 *K* 值
Tab.2 Average monthly *THI* and *K* in Three Gorges Reservoir

气候适宜性指数	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
<i>THI</i>	44.4	48.9	53.8	62.1	68.2	73.5	77.3	76.4	71.5	63.3	54.8	47.0
<i>K</i>	-537.9	-499.1	-416.1	-302.5	-219.0	-147.1	-78.0	-87.7	-167.7	-283.0	-393.3	-491.3

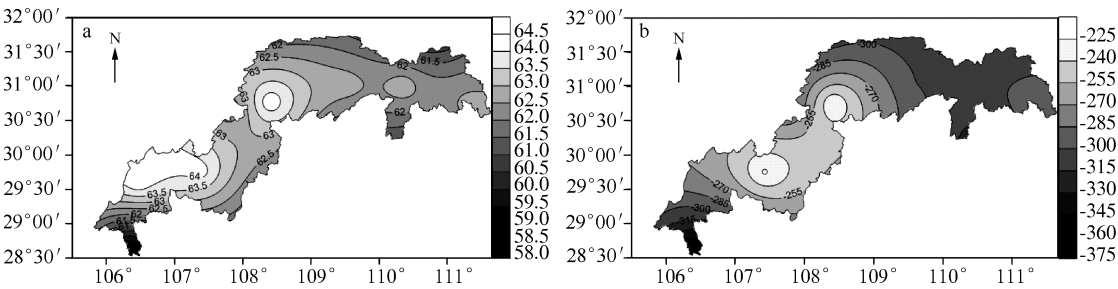


图2 三峡库区 1995—2010 年均温湿指数(a)和风效指数(b)分布

Fig.2 The distribution of average annual *THI*(a) and *K*(b) in Three Gorges Reservoir from 1995 to 2010

2.1.3 人口数量随人居气候适宜性的变化 三峡库区的人口变化趋势^[19]表明,截至2008年,除2001年人口略有下降外,其他年份人口呈逐年增加的趋势,并保持稳定的增长速度(图3)。这同样表明三峡库区大部分地区属于人居环境舒适区。由于气候适宜和库区经济的发展才会出现人口的稳定增加。

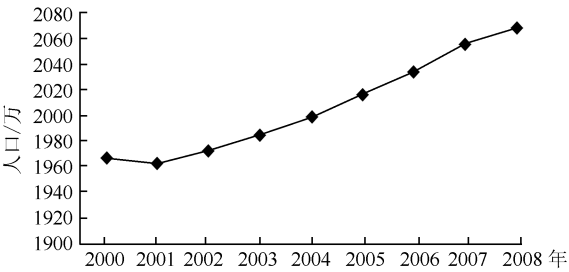


图3 三峡库区 2000—2008 年人口变化趋势

Fig.3 The trend of population of Three Gorges Reservoir during 2000—2008

2.2 三峡工程蓄水前后气候适宜性变化分析

三峡工程于2003年6月份开始蓄水发电,因此本研究以此作为时间中点,对1995年1月至2003年6月以及2003年7月至2010年12月两个时间段的库区气候适宜性指数进行对比。库区多年月平均气候适宜性指数表明,三峡工程对于库区气候适宜性的影响并不大(表3)。三峡工程蓄水后的6—8月 *THI* 比蓄水前略有减小,其余月份都略有增大;1、2、3、7月的 *K* 比以前略有减小,而其他月份略有增大。三峡工程蓄水前后的 *THI* 和 *K* 发生了局部变化(图4)。库区的 *THI* 在渝西地区几乎没有变化,而在万州、忠县等库区中心地区以及渝东、鄂西地区, *THI* 发生了变化。总体来说, *THI* 的高值区沿着长江方向,自上游向下游地区移动;而 *K* 则相反,其高值区自下游向上游地区移动。这主要是由于三峡库区形成以后,库区部分地区,特别是中下游地区,由过去的河道型气候转化为湖泊型气候,因此 *THI* 增大, *K* 减小。从人口变化趋势来看,以2003年为中间点作比较,其仍然保持稳定的增长,库区蓄水并未对居住环境产生较大影响。相对于世界上其他地区的同类水库,三峡工程对库区人居环境影响不是很大,这主要是由三峡库区所属气候带决定的。例如,埃及著名的阿斯旺大坝修筑以后形成的纳赛尔湖区,由于其属于热带沙漠气候,库区形成引起的微小湿度变化反映到温湿指数上便被扩大,使库区居民产生较大不适感^[17-18],而三峡库区属于中亚热带气候,是高湿度气候类型,局部湿度的变化不足以对区域的整体气候产生很大的影响,因此不会使库区居民产生不适感。

表 3 三峡工程蓄水前后库区气候适宜性指数

Tab. 3 The climate suitability index before and after impoundment of Three Gorges Project

气候适宜性指数		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
THI	蓄水前	43.9	48.1	53.8	61.2	68.0	74.3	77.4	76.5	71.1	63.2	54.2	46.7
	蓄水后	45.0	49.7	53.8	62.9	68.3	72.8	77.3	76.3	72.0	63.5	55.3	47.2
K	蓄水前	-531.5	-492.8	-415.4	-312.5	-222.0	-147.2	-76.0	-88.5	-172.3	-285.0	-394.3	-496.4
	蓄水后	-544.3	-505.3	-416.9	-292.6	-215.9	-147.0	-80.0	-87.0	-163.1	-281.1	-392.4	-486.1

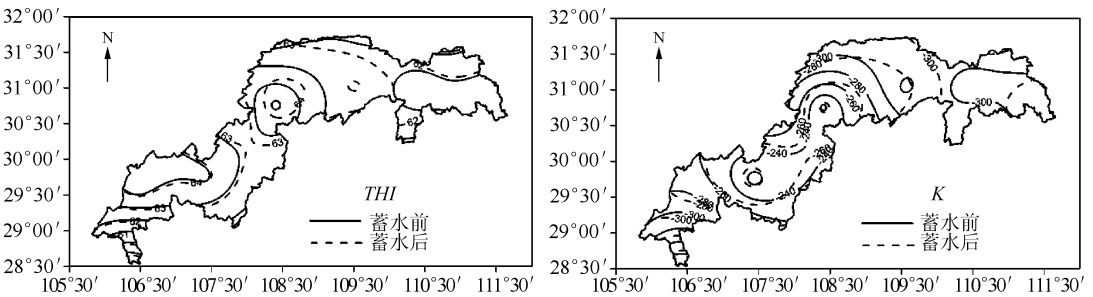


图 4 三峡工程蓄水前后库区气候适宜性指数空间变化

Fig. 4 The spatial distribution of the climate suitability index before and after impoundment of Three Gorges Reservoir

2.3 气候适宜性因素与库区水位相关性分析

2.3.1 多年平均值相关性分析 通过对三峡库区三峡大坝段水位与库区 THI、K 以及相关气象因子 1995—2010 年年平均值的相关性分析表明(表 4),三峡库区的水位变化与气候适宜性因子并没有十分显著的相关性. 水位与温湿指数呈一定的正相关,而与风效指数则呈微弱的负相关. 这从一定程度上说明,三峡库区的水位变化对库区的气候适宜性指数有一定的影响,如随着库区水位升高,库区湖泊型气候区域的面积加大,温湿指数增加,风效指数减小. 但是从相关系数较小这一方面也说明三峡库区水位的改变对于库区气候适宜性指数的影响不大,几乎可以忽略不计.

表 4 三峡库区年均气候适宜性参数与库区水位相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis of annually climate suitability factors and water level in Three Gorges Reservoir

指标	水位	THI	K	气温	相对湿度	日照时数	风速
水位	1.000	0.261	-0.075	0.282	-0.772 **	-0.122	0.557 *
THI		1.000	0.828 **	0.966 **	-0.370	0.471	0.339
K			1.000	0.894 **	-0.259	0.756 **	0.022
气温				1.000	-0.505 *	0.617 *	0.379
相对湿度					1.000	-0.313	-0.600 *
日照时数						1.000	0.166
风速							1.000

** $P < 0.01$, 极显著相关; * $P < 0.05$, 显著相关.

2.3.2 月平均值相关性分析 三峡工程蓄水前后的库区气候适宜性指数与对应时间段的库区水位月平均值相关性分析表明,库区人居环境适宜性指数在蓄水前后有显著的变化(表 5). 蓄水前,库区水位与 THI 以及 K 并无明显的相关性,这主要是由于蓄水前长江水体面积相对于库区来说较小,水位的变化不足以影响整个

库区气象因素的变化;而蓄水后,库区水位值与温湿指数呈显著正相关,而与风效指数则呈显著负相关.这是因为三峡水库建成,水面面积大约比原来增加一倍,随着库区水位升高,库区湖泊型气候区域的面积加大,因此在一定程度上影响了库区气候因子以及气候适宜性指数的变化.

3 结论

本文利用相关模型并结合 GIS 技术,计算了三峡库区的温湿指数和风效指数,并分析其空间分布规律及各月气候的舒适性,特别是将三峡工程蓄水前后的库区舒适性进行了对比分析,并参考人居环境气候舒适期等指标,评价了三峡库区人居环境的气候适宜性及其变化.但是从年平均值来看,三峡库区的整体人居环境气候适宜程度比较高,这说明三峡工程对于库区气候适宜性指数有一定的影响.通过其人居适宜性指数与水位月均值的相关性分析发现,库区人居气候适宜性指数在三峡工程蓄水前后发生了明显的变化,并随着库区水位的升高,而出现温湿指数增大风效指数减小的趋势.

4 参考文献

[1] 何 静,田永中,高阳华等. 重庆山地人居环境气候适宜性评价. 西南大学学报: 自然科学版, 2010, **32**(9): 100-107.

[2] 刘 梅,于 波,姚克敏. 人体舒适度研究现状及其开发应用前景. 气象科技, 2002, **30**(1): 11-14.

[3] 陈柏林. 洞庭湖水域对气候的影响与三峡水库可能的气候效应. 武陵学刊, 1995, **16**(3): 70-76.

[4] 范业正,郭来喜. 中国海滨旅游地气候适宜性评价. 自然资源学报, 1998, **13**(4): 304-311.

[5] 吴 兑. 多种人体舒适度预报公式讨论. 气象科技, 2003, (4): 34-36.

[6] Terjung WH. Physiologic climates of the conterminous United States: A bioclimatic classification based on man. *Annals of the Association of American Geographers*, 1966, **56**(1): 141-179.

[7] Oliver JE. Climate and man's environment an introduction to applied climatology. New York: John Wiley and Sons INC, 1973.

[8] Steadman RG. The assessment of sultriness. Part 1: A temperature humidity index based on human physiology and clothing science. *Applied Meteorology*, 1979, **18**(7): 861-873.

[9] Steadman RG. The assessment of sultriness. Part 2: Effect of wind, extra radiation, and barometric pressure on apparent temperature. *Applied Meteorology*, 1979, **18**(7): 874-885.

[10] 张剑光,冯云飞. 贵州气候宜人性评价探讨. 旅游学刊, 1991, **6**(3): 50-53.

[11] 吕伟林. 体感温度及其计算方法. 北京气象, 1997, (4): 23-25.

[12] 王远飞,沈 愈. 上海市夏季温湿效应与人体舒适度. 华东师范大学学报: 自然科学版, 1998, (3): 60-66.

[13] 唐 焰,封志明,杨艳昭. 基于栅格尺度的中国人居环境气候适宜性评价. 资源科学, 2008, **30**(5): 648-653.

[14] 王金亮,王 平,蒋莲芳. 昆明人居环境气候适宜度分析. 经济地理, 2002, **22**(增刊): 196-200.

[15] 余 珊,戴文远. 福建省旅游气候评价. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2005, **21**(2): 103-106.

[16] 刘清春,王 铮,许世远. 中国城市旅游气候舒适性分析. 资源科学, 2007, **29**(1): 133-141.

[17] 王维周. 阿斯旺水坝的利弊. 经济分析, 1988, (2): 76-77.

[18] 朱大均. 世纪工程——阿斯旺水坝. 水利天地, 1996, (4): 24-25.

[19] 谢亚巍,罗晓容. 三峡库区水环境人口容量分析. 三峡环境与生态, 2010, (4): 1-4.

表 5 三峡库区蓄水前后月均气候适宜性参数与库区水位相关性分析

Tab.5 Correlation analysis of monthly climate suitability factors and water level before and after impoundment of Three Gorges Reservoir

	指标	水位	THI	K
蓄水前	水位	1	0.069	0.057
	THI		1	0.996 *
	K			1
蓄水后	水位	1	0.382 *	-0.373 *
	THI		1	0.997 *
	K			1

** $P < 0.01$, 极显著相关; * $P < 0.05$, 显著相关.