

在评价的 78 个水功能区中,达标 42 个,达标率 53.8%。其中,内陆河流域水功能区 31 个,达标 22 个,达标率 71.0%; 黄河流域水功能区 40 个,达标 13 个,达标率 32.5%; 长江流域水功能区 7 个,达标 7 个,达标率 100%。

2.2 近 10 a 全省水功能区水质类别评价

通过对有完整监测资料的 58 个主要水功能区的水质类别进行评价:2000—2009 年 I~III 类水质的水功能区平均有 37 个,其中 2009 年最多、为 40 个,2005 年最少、为 33 个(见表 1); 评价河长 4 290 km,其中 I~III 类占 59.2%,2003 年达到 65.0%、为最高,2005 年最低、为 54.0%(详见图 1)。

表 1 2000—2009 年甘肃省各类水功能区统计 个

年份	评价个数	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	劣 V 类
2000	58	8	14	13	8	3	12
2001	58	7	17	13	5	3	13
2002	58	12	11	13	7	2	13
2003	58	8	19	10	5	1	15
2004	58	6	18	16	6	1	12
2005	57	5	20	8	8	1	15
2006	58	11	17	8	6	0	15
2007	58	7	22	10	2	2	17
2008	57	2	19	14	4	4	16
2009	55	4	27	9	1	1	16

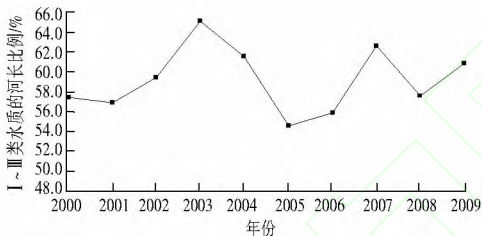


图 1 2000—2009 年全省水功能区 I~III 类河长百分数

2.3 水功能区水质达标年际变化特征

根据水功能区水质状况和达标率进行达标比例年际变化对比分析。得出一级水功能区、二级水功能区和分类水功能区达标年际变化特征。

2.3.1 评价方法

(1) 水功能区达标比例年际变化分析。分别计算 2001—2009 年水功能区达标比例年际变化幅度,公式如下:

$$\Delta P_n = P_n - P_{n-1}$$

式中: ΔP_n 为 n 年达标比例变化值, P_n 、 P_{n-1} 分别为 n 年、 $n-1$ 年的达标比例。

(2) 水功能区达标比例阶段变化特征。分别计算 2000—2004 年、2005—2009 年、2000—2009 年 3 个时段的达标比例变化幅度。

$$\Delta P_1 = (P_{2004} - P_{2000}) / 4$$

$$\Delta P_2 = (P_{2009} - P_{2005}) / 4$$

$$\Delta P_3 = (P_{2009} - P_{2000}) / 9$$

统计 2001—2009 年的达标比例年际变化升高年份数 N_u 和下降年份数 N_d , 计算达标比例年际变化升高和降低年份比例。

$$F_u = N_u / N_s$$

$$F_d = N_d / N_s$$

式中: F_u 为达标比例年际变化升高年份比例; F_d 为达标比例年际变化下降年份比例; N_s 为评价阶段总年份数,这里取 $N_s = 9$ 。

(3) 阶段变化特征评价。当 $F_u \geq 66.6\%$ 、 $\Delta P_3 > 0\%$ 时,评定为稳定上升;当 $F_u < 66.6\%$ 、 $\Delta P_3 > 0\%$ 时,评定为非稳定上升;当 $F_u < 33.3\%$ 、 $\Delta P_3 < 0\%$ 时,评定为稳定下降;当 $F_u \geq 33.3\%$ 、 $\Delta P_3 < 0\%$ 时,评定为非稳定下降。

2.3.2 评价结果

在评价的 58 个有完整监测资料的主要水功能区中,评价河长 4 290 km。其中,2000—2004 年水质达标比例年际变化幅度为 2.7%,水功能区个数达标比例稳定上升;2005—2009 年水质达标比例年际变化幅度为 2.0%,水功能区个数达标比例非稳定上升;2000—2009 年变化幅度为 0.17%,水功能区个数达标比例非稳定上升。

2009 年甘肃省水功能区水质达标率为 53.8%,基本达到《甘肃省水利“十一五”规划》提出的预期目标。

2.4 城市饮用水源地水质达标评价

本次评价城市饮用水源地 19 个,2009 年总供水量 18 779 万 t,供水人口 249.5 万人。其中,水质达标的水源地 17 个,达标率为 89.5%,供水量 17 733 万 t,供水达标率 97.5%,供水人口 242.36 万人;水质未达标的水源地为玉门市石油河、庆阳市巴家嘴水库,供未达标水量 475.5 万 t。其中石油河水源地超标项目为氨氮,巴家嘴水库水源地超标项目为硫酸盐和化学需氧量。

城市饮用水源地水质达标率基本达到了《甘肃省水利“十一五”规划》提出的水质目标。

3 水功能区水质变化特征

依据《地表水环境质量评价技术规程》(SL395—2007)采用“季节性肯达尔检验方法”,选取高锰酸盐指数和氨氮 2 个指标,对 2000—2009 年全省有高锰酸盐指数和氨氮监测资料的 46 个水功能区进行水质变化特征分析。

(1) 高锰酸盐指数变化趋势:显著上升的 4 个,上升的 4 个,无明显变化趋势的 34 个,下降 4 个。

(2) 氨氮指数变化趋势:显著上升的 3 个,上升的 8 个,无明显变化趋势的 33 个,下降的 1 个,显著下降的 1 个。

从分析研究结果看:甘肃省水功能区水污染趋势得到遏制,部分水功能区水质状况有所好转,但全省水资源保护与水环境治理任务仍然严峻。

4 保护对策与措施

(1) 建立和完善管理体制和运行机制。建立健全县级水行政主管部门的水资源保护机构和环境保护目标责任制,流域之间、上下游之间分工明确、责任到位、统一协调、管理有序,将各功能河段的水质达标管理任务层层分解。

(2) 加大水资源保护执法和违规处罚力度。全面实施取水许可制度和排污许可证制度;根据水功能区划目标,实施水域排污总量控制方案。

(下转第 58 页)

三峡库区蓄水前后区域气象要素变化研究

何毅¹, 王飞^{1,2}, 穆兴民^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:对三峡库区及其周边 12 个气象站点 1951—2010 年的气象要素特征值进行了线性回归分析、阶段性分析和趋势分析, 结果表明: ①三峡库区气温呈上升趋势, 年均气温、年均最高气温和年均最低气温的增速分别为 0.12、0.12、0.16 °C/10 a, 年均相对湿度以 -0.03%/10 a 的速率呈下降趋势; ②库区蓄水后, 绝大多数站点不仅年均相对湿度低于多年均值, 而且蓄水后多年均值也低于蓄水前的; ③蓄水后, 平均相对湿度的变化与潜在蒸散量、降水量的变化并不一致。

关键词:趋势分析; 降水量; 相对湿度; 蒸散量; 气温; 三峡库区

中图分类号: P42; TV622 文献标识码: A doi:10.3969/j.issn.1000-1379.2012.10.015

Research on Variation of the Meteorological Elements Before and After Impoundment of the Three Gorges Reservoir

HE Yi¹, WANG Fei^{1,2}, MU Xing-min^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

Abstract: The linear regression analysis, stage analysis and trend analysis were applied to analyze the climate change trend on the basis of the year-to-year meteorological data from 12 climate stations in and around the Three Gorges Reservoir area during 1951–2010. The results show that: ① temperature in the Three Gorges Reservoir area shows a increasing trend, the annual mean temperature, the maximum temperature and the minimum temperature increase at the rates of 0.12, 0.12, 0.16 °C/10 a respectively. The annual mean humidity has in a decreasing trend, dropping at the rate of -0.03%/10 a; ② in the most climate stations, not only annual mean humidity is lower than long-time average annual value, but also annual mean value after water storage is lower than that of before water storage in the Three Gorges Reservoir area; ③ the variation of the mean humidity is inconsistent with the variation of potential evapotranspiration or precipitation after storing water.

Key words: trend analysis; precipitation; relative humidity; evapotranspiration; temperature; Three Gorges Reservoir

三峡水库控制了从宜昌到重庆段的长江水域, 其间长约 660 km, 水域覆盖面积为 1 040 km²。三峡成库前, 不少学者对三峡水库周边气候特征进行过分析^[1-3], 水库 2003 年开始蓄水后, 库区由原陆面转化为水面, 水位抬升, 水面扩大。由于水体的辐射性质、热容量和导热率不同于陆地, 因此改变了库区与大气间的热交换, 库面增强了水分蒸发, 使库区附近的空气湿度增大。水体下垫面面积大幅度增加所产生的局地效应^[4-7]与大尺度气候系统叠加, 会导致局地气象灾害发生频率、程度、分布特征发生变化^[8-9]。近年来, 局地的洪涝灾害频发且灾害程度加重, 对区域经济和人民生活造成了严重的影响^[10-11]。因此, 了解三峡建库后气候变化趋势, 科学认识三峡库区区域性气候变化特征, 对于三峡库区以后的生产建设具有重要的指导意义。笔者主要利用气象站观测资料, 分析了 1951 年以来三峡水库及其周边气象要素的时空分布特征, 并对蓄水前后三峡库区局地年相对湿度变化特征进行了分析。

1 资料来源与研究方法

1.1 数据来源及处理

本文使用的数据来自中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/>) 提供的中国地面气候资料日值和年值数据集(1951—2010 年)中的降水量、平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均相对湿度以及年最小相对湿度。为保证资料的统一性和完整性, 选取三峡库区及其周边气象站中气候要素比较完备、建站时间比较长、分布在区域不同方位、时间

收稿日期: 2011-12-12

基金项目: 中国科学院对外合作重点计划项目(CAS, GJHZ1018); 中荷联合主题研究项目(NWO, ONDI339291); 欧盟第六框架计划项目(EU FP6, 37046); “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD09B00)。

作者简介: 何毅(1985—), 男, 广西梧州人, 硕士研究生, 研究方向为气候变化和 GIS 应用。

通讯作者: 王飞(1971—), 男, 博士, 硕士生导师。

E-mail: wafe@ms.iswc.ac.cn

序列(除绿葱坡站)大于50 a的气象站,对于一少部分缺测站点数据,采用邻近站点多元线性回归法进行插补。从统计意义上讲,依据这样的长时间序列能够获得比较可信的分析结果。气象站点分布情况见图1。



图1 三峡库区及其周边气象站分布

1.2 研究方法

本研究采用传统统计方法,利用 Excel 软件对各气象要素的统计特征进行计算,通过算术平均法建立了三峡库区多年气象要素序列,应用了相关分析等常用数理统计方法。利用气候学比较常用的气候倾向率法^[12]分析各气象要素的年际变化趋势。在分析气象要素的阶段特征时,采用了距平累计分析法生成逐年距平累计曲线,横坐标为年份,纵坐标按照下式产生:

$$K_i = K_{ic} - K_a$$

$$P_1 = K_1 / K_a$$

$$P_i = P_1 - 1 + K_i / K_a$$

式中: K_a 为统计时段气象要素的平均值; K_{ic} 为第*i*年($i > 1$)的实际特征值; K_i 为第*i*年的气象要素距平值; P_1 、 P_i 分别为第1年和第*i*年距平累计值。

表1 三峡库区气候特征值统计

站名	时长/ a	年均气温				年均最高气温				年均最低气温				年均降水量			
		平均值/ ℃	最大值/ ℃	最小值/ ℃	C_v	平均值/ ℃	最大值/ ℃	最小值/ ℃	C_v	平均值/ ℃	最大值/ ℃	最小值/ ℃	C_v	平均值/ mm	最大值/ mm	最小值/ mm	C_v
沙坪坝	60	18.34	19.2	17.7	0.022	22.22	23.2	21.1	0.025	15.61	16.4	14.9	0.024	1 092.28	1 508.0	738.2	0.158
涪陵	56	18.17	19.3	17.4	0.023	22.06	23.5	20.9	0.025	15.30	16.4	13.6	0.030	1 093.37	1 602.3	799.8	0.158
梁平	59	16.68	17.7	16.0	0.023	20.82	22.3	19.6	0.030	13.48	14.3	12.8	0.026	1 248.03	1 989.6	747.3	0.190
万县	56	18.15	19.4	17.4	0.024	22.75	24.3	21.5	0.026	14.89	16.1	13.2	0.033	1 183.07	1 635.2	840.7	0.176
奉节	57	16.81	19.4	15.5	0.060	20.92	24.2	19.1	0.063	13.67	16.0	12.5	0.064	1 106.89	1 636.3	759.9	0.161
恩施	58	16.29	17.4	15.5	0.022	20.97	22.6	19.8	0.027	13.03	13.8	12.2	0.025	1 429.78	1 955.7	923.3	0.181
绿葱坡	41	7.80	8.7	7.1	0.047	11.61	12.9	10.6	0.043	5.30	6.1	4.7	0.066	1 825.65	2 368.4	1 397.7	0.147
巴东	58	17.38	18.4	16.4	0.024	22.12	23.3	20.5	0.026	13.81	14.8	12.4	0.031	1 090.98	1 522.3	694.8	0.174
五峰	53	13.58	15.7	12.2	0.072	18.95	21.9	17.0	0.078	9.85	11.7	8.6	0.089	1 376.73	1 998.7	891.8	0.172
宜昌	59	16.96	18.1	16.1	0.028	21.57	22.9	20.0	0.030	13.46	14.7	12.3	0.036	1 160.90	1 807.5	768.3	0.200
荆州	57	16.47	17.8	15.3	0.035	20.94	22.4	19.5	0.030	12.98	14.4	11.6	0.055	1 093.85	1 850.1	640.3	0.216
钟祥	58	16.16	17.4	15.1	0.036	20.78	21.9	19.5	0.030	12.65	14.1	11.2	0.053	973.93	1 560.1	560.7	0.224

2.2 气象要素年代际变化趋势分析

对近60 a三峡库区主要气象要素年代际变化的分析结果显示(图略),库区年均气温增大速率为0.12℃/10 a,年均最高气温增大速率为0.12℃/10 a,年均最低气温增大速率为0.16℃/10 a。年均相对湿度以-0.03%/10 a的速率呈下降趋势,年降水量以-8.89 mm/10 a的倾向率呈下降趋势,年最小相对湿度也以-0.62%/10 a的倾向率呈下降趋势。

可见,近60 a来库区的年均气温、年均最高气温、年均最低气温的升温态势并不十分明显,并呈现非对称性,即年均最低

潜在蒸散量的计算,选取 FAO Penman - Monteith 公式^[13]计算得出各站历年逐日平均潜在蒸散量,然后计算得出历年逐月平均潜在蒸散量,最后累加得到历年潜在蒸散量,计算公式为

$$E = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

式中: E 为蒸发量,mm/d; R_n 为净辐射,MJ/(m²·d); G 为土壤热通量密度,MJ/(m²·d),相对于 R_n 取值很小,尤其在植被覆盖、计算步长不小于1 d的情况下,取值为0; γ 为空气湿度常数,kPa/℃; T 为2 m高处日平均温度,℃; u_2 为2 m高处风速,m/s; e_s 为饱和水汽压,kPa; e_a 为实际水汽压,kPa; Δ 为水汽压曲线斜率,kPa/℃。

需要指出的是,三峡水库局地气候影响过程将是复杂、长期的气候调节过程,用三峡水库蓄水7 a的观测资料与历史气候值进行对比分析,在时间上虽然略显短暂,但是也可在一定程度上对近7 a的气候状况与蓄水前多年的平均差异有所认识,为三峡水库局地气候影响的分析提供一些参考。

2 结果与分析

2.1 库区气象要素统计特征分析

三峡库区及其周边1951—2010年间多年平均温度为7.80~18.34℃,年均最高气温为11.61~22.75℃,年均最低气温为5.30~15.61℃,多年平均降水量为973.93~1 825.65 mm,各气象要素的变差系数(C_v)为0.022~0.224(表1),表明各气象要素在近60 a的波动起伏不大。

气温的升高趋势大于年均气温和年均最高气温的。

2.3 气象要素的阶段分析

图2(仅列出2个站点,其他站点略)所示的气象要素累计距平分析结果表明:除重庆涪陵、沙坪坝站外,其余站点年均气温、年均最高气温、年均最低气温变化阶段性一致,1990年以前库区气温基本围绕多年均值震荡或低于多年均值;1990年后,气温高于多年均值;大多数站点年均相对湿度在20世纪80年代初以前低于多年均值,之后至2003年以前围绕多年均值震荡或大于多年均值;除巴东站、奉节站在1981年后以及沙坪坝

站在2006年后高于多年均值外,其余站点的平均相对湿度均在2003年后低于多年均值;年降水量变化剧烈,各站点围绕多年均值震荡;各站点年最小相对湿度在2000年或2005年后均低于多年均值,在这之前均围绕多年均值震荡。

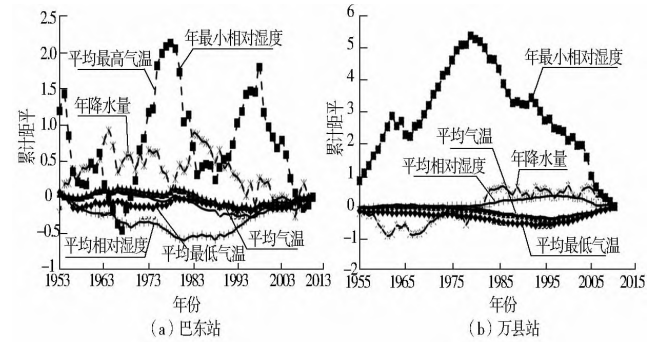


图2 三峡库区各气象要素累计距平分析

2.4 年参考作物蒸散量变化趋势

潜在蒸散发是指充分供水条件下的区域蒸散发能力^[13]。各站潜在蒸散量多年均值为655.95~1 043.62 mm/a。图3(仅列出2个站点,其他站点图略)所示的蒸散量累计距平分析结果表明:所有站点的潜在蒸散量在1981年以前均高于多年均值或围绕多年均值震荡,巴东、奉节、荆州、沙坪坝、宜昌、钟祥6个站点的潜在蒸散量在1982年后均低于多年均值,而其余6个站点的潜在蒸散量在1982—2002年低于多年均值,2003—2010年高于多年均值。

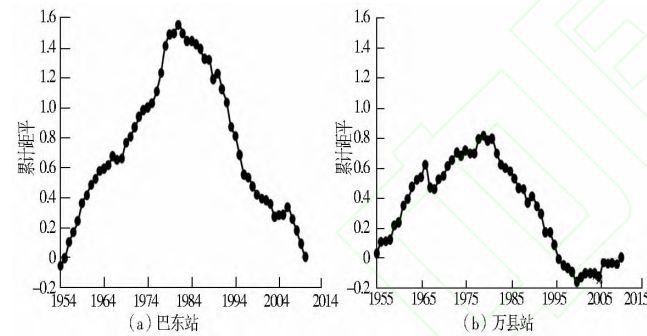


图3 三峡库区潜在蒸散量累计距平分析

2.5 三峡水库蓄水后气象要素变化趋势

理论上讲,三峡水库建成后库区水面面积大大增加,库区表面风速将会增大,会使库区及其周边蒸发量及湿度增大。

三峡水库于2003年开始蓄水,由表2可以看出:2003年之后,各站点年均气温、年均最高气温、年均最低气温的多年均值均明显高于蓄水前的多年均值;年均相对湿度除奉节站、巴东站外,其他站点蓄水后的多年均值都低于蓄水前的;年最小相对湿度除钟祥站在蓄水后略有增大外,其余站点的年最小相对湿度在蓄水后均有所减小;对于各站年降水量,除沙坪坝和钟祥站在蓄水后有所增大外,其他站点蓄水后多年均值都小于蓄水前的;在年潜在蒸散量方面,除涪陵、梁平、万县、恩施、五峰站蓄水后多年均值高于蓄水前的以外,其余站点均低于蓄水前的。

结合各站点累计距平图(图2和图3)分析蓄水后气象要素的变化情况,得到的结果进一步确认了沙坪坝站年均相对湿度在2003—2006年低于多年平均值,2006年后高于多年平均值的结论,其余结论与上述利用表2分析所得的结果完全一致。

表2 三峡水库2003年蓄水前后气象要素对比

站名	年均气温/℃	年均最高气温/℃	年均最低气温/℃	年均相对湿度/%	年最小相对湿度/%	年降水量/mm	年潜在蒸散量/mm
沙坪坝	0.48	0.48	0.62	-0.90	-9.82	6.64	-13.12
涪陵	0.45	0.53	0.68	-3.08	-8.82	-16.68	25.18
梁平	0.43	0.90	0.38	-1.30	-7.99	-84.75	15.12
万县	0.63	0.79	0.75	-3.53	-7.46	-102.93	15.08
奉节	1.96	2.56	1.83	2.31	-5.01	-155.51	-14.28
恩施	0.38	0.71	0.38	-2.40	-7.13	-60.95	38.81
巴东	0.21	0.42	0.35	1.26	-2.09	-1.62	-45.33
五峰	1.75	2.52	1.65	-1.13	-0.50	-167.74	25.37
宜昌	0.76	0.78	0.87	-2.81	-0.56	-28.00	-25.99
荆州	0.52	0.51	0.77	-3.83	-1.40	-97.00	-2.40
钟祥	0.90	0.60	1.21	-2.63	0.13	39.72	-26.62
绿葱坡	/	/	/	/	/	/	/

注:表中各气象要素值均为蓄水后气象要素多年均值与蓄水前气象要素多年均值之差;/表示缺失。

3 结语

(1)三峡库区在1990年以前气温围绕多年平均值震荡或低于多年平均值,1990年后气温高于多年均值,这与其他学者^[14-16]的研究结果一致。近60a年均气温增速为0.12℃/10a,比张天宇等^[14]对三峡库区气温近48a的研究结论(0.04℃/10a)稍高,远低于0.22℃/10a的全国平均水平^[17]。年均最高气温0.12℃/10a的升温速率与相关研究结果近似^[14],比全国的小(0.16℃/10a)^[18-19],而年均最低气温增速为0.16℃/10a,也与相关研究结果近似^[14],但远低于全国年均水平(0.28℃/10a)^[18]。年均相对湿度以-0.03%/10a的速率呈下降趋势,与张天宇等^[14]得出的结果(0.5%/10a)有所出入,而年降水量以-8.89mm/10a的速率呈下降趋势,年最小相对湿度也以-0.62%/10a的速率呈下降趋势。

(2)三峡水库2003年蓄水后,库区水面面积扩大,按照基本水地学理论^[20]推导,水库蓄水后应该使附近地区空气的湿度增大,这和湖泊的作用是一样的。但是各站点的统计数据和累计距平结果均表明,除巴东和奉节站平均相对湿度增大外,其余站点2003年后的平均相对湿度均低于多年均值,并且各站点年最小相对湿度在2000年或2005年后均低于多年均值。

(3)库区蓄水后,平均相对湿度变化与潜在蒸散量变化、降水量变化并不一致。三峡库区下游的宜昌、荆州和钟祥等3个站点在年均相对湿度小于多年均值的情况下,潜在蒸散量也小于多年均值。而沙坪坝站和钟祥站蓄水后,在降水量增大的情况下,平均相对湿度反而减小;奉节站和巴东站蓄水后在降水量减少的情况下,平均相对湿度反而增大。

另外,三峡库区处在气候敏感区,局地下垫面较复杂,同时叠加有外来系统的影响等,各种不确定因素使得该地区天气、气候较复杂,相对湿度不仅受天气状况影响,而且也受日照等诸多因素影响。至于库区相对湿度低于多年均值的原因,仍需深入研究。

参考文献:

[1] 孙士型,居志刚.三峡坝区相对湿度变化特征[J].气象科技,2002,30(5):300-303.