

渭河流域近 50 年来气候舒适度对气候变化的响应

杜希溪¹, 李锐^{1,2}, 王飞^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 气候舒适度(CCI)是反映气候条件对人体感受影响的指数。根据渭河流域内 13 个站点 1961—2010 年温度、风速、相对湿度等气象要素的平均值,计算出流域内各站点气候舒适度指数各级日数持续时间及分布情况。结果表明,冷和寒冷的日数在减少,可达舒适的日数在缓慢增加,其变化规律与温度变化密切相关。除华山站外,各站点的舒适度都比较高,大部分站点可达舒适的时间为 5 个月以上。流域内可达舒适的平均天数占全年的 46.9%,寒冷及冷的日数可占 27.1%,没有出现炎热和酷热的天气。流域内西安、武功、天水和宝鸡站点的气候舒适度较高,其次为铜川、洛川、环县等地区。

关键词: 渭河流域; 气候舒适度; 气候变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0053-05

中图分类号: P463.3

Response of Climate Comfortable Index to Climate Change in Weihe River Basin During Past 50 Years

DU Xi-xi¹, LI Rui^{1,2}, WANG Fei^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The climate comfort index(CCI) is the influencing degree of climate conditions on the human feeling. Based on the average values of temperature, wind speed, relative humidity of 13 stations in Weihe River basin during 1961—2010, CCI values were calculated for each station and days, duration and spatial distribution were also examined at all levels of CCI values. The results showed that the number of cold and very cold days was reducing and the comfortable days were increasing slowly, which is closely related to the air temperature changes. Except for Huashan Mountain station, CCI values were relatively high and the comfortable time was longer than 5 months per year for all the stations. On average, the number of days when CCI value reached comfortable level accounted for 46.9% of the whole year, while cold and very cold days for 27.1%. There were no days with CCI values reaching hot or very hot. Spatially, CCI values were relatively higher at the stations of Xi'an, Wugong, Tianshui and Baoji, followed by stations of Tongchuan, Luochuan and Huanxian County.

Keywords: Weihe Basin; climate comfortable index(CCI); climate change

全球规模的气候变化越来越受到人们关注,根据国际政府间气候变化专门委员会(IPCC)^[1]的估计,20 世纪 80 年代北半球平均温度比 60 年代高出 0.4℃,90 年代以后升温幅度增大,达到 1℃左右^[2]。全球升温在我国各地表现极为显著^[3],并对我国的生态环境产生了一定的影响^[4-5]。在全球变化研究中,其中一个受到关注的主题是气候变化带来的影响,尤其是气候变暖对全球各领域及地区可能造成的

影响。气候条件的变化是影响人类生产生活的重要自然要素,因此,人类比以往任何时候都迫切希望了解未来气候变化的趋势及幅度。而了解气候变化影响更主要的目的是为了清楚气候变化后对人体或舒适度的影响,以及由此需采取的应对与防范。

自 1966 年 Terjung^[6]提出气象指数的概念以后,各国学者相继提出了很多表征舒适度的方法,如风寒指数、炎热指数、体感温度、风效指数、气象舒适

收稿日期:2012-03-13

修回日期:2012-05-15

资助项目:中国科学院对外合作重点项目计划“渭河流域水环境问题综合治理对策研究”(GJHZ1018)

作者简介:杜希溪(1985—),女(汉族),陕西省杨陵区人,硕士研究生,主要从事遥感技术在水土保持中的应用研究。E-mail: weilazuobiao@163.com。

通信作者:李锐(1946—),男(汉族),河北省磁县人,研究员,博士生导师,主要从事水土保持与荒漠化防治的应用研究。E-mail: lirui@ms.iswc.ac.cn。

度指数等^[7]。气候舒适度是以人类机体与周围环境之间热量交换原理为基础,从气象角度评价人在不同环境气候条件下舒适状况的一项生物气温指标^[8],通常选取温度、湿度、风速这 3 个主要气象要素进行描述^[9]。但一些非气象因子对气候舒适度也有显著的影响,如气候适应与遗传、环境差异、着装、个体差异的等方面的影响^[10]。研究表明,从某种角度而言,全球温度的升高在总体上对气候舒适度是有利的。

渭河是黄河最大的支流,全长 818 km,流域面积 134 766 km²,是黄河最大的支流。生态环境脆弱地带,自然灾害多发,频率高,程度高,危害大^[11]。在全球暖干化的大背景下,渭河流域在近几十年暖干程度不断逐渐加剧,并且气候条件的变化引起了气候舒适度的变化。本研究以渭河流域内近 50 a 来气温、相对湿度、风速的逐日平均数据为基础,分析流域内气候舒适度的多年变化特征。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

渭河流域位于东经 103.5°—110.5°和北纬 33.5°—37.5°,属于大陆性季风气候区、干旱地区和湿润地区的过渡带,春暖干旱,夏热多雨且有伏旱,秋凉湿润,冬季寒冷干旱降雨稀少。渭河流域多年平均气温在 10~13℃,最低月均气温一般在-1~-3℃,最热月均气温一般在 23~26℃,气温一般介于 26~28℃。多年平均降水量为 3.12×10¹⁰ m³,一般集中在 7—9 月,汛期降雨量约占全年降雨总量的 60%^[12-13]。

1.2 数据选取

收集渭河流域内 1961—2010 年 13 个气象观测站(西安、宝鸡、西峰、武功、天水、长武、西吉、铜川、洛川、华山、吴起、环县和平凉站)的日平均温度、日平均相对湿度和日平均风速,其中华山、西安、武功、宝鸡站为河谷平原区,长武、西峰、洛川为高原沟壑区,吴起、环县、西吉为丘陵沟壑区。

1.3 气候舒适度计算方法

气候舒适度是个综合指标,它受气温、湿度、风速、人体热平衡等多种因素的影响。据有关研究表明^[14],气温适中时,湿度对人体的影响并不显著;当温度较高或较低时,其波动对人体的热平衡和温热感就变得特别重要。例如,气温 15.5℃时,即使相对湿度波动达到 50%,对人体的影响也仅为气温变化 1℃的作用。而温度在 21~27℃时,若相对湿度改变为 50%,人体的散热量就存在明显差异。因此,如何选择一个适合的气候舒适度评价显得尤为重要。考虑渭河流域内的地理位置、气象要素等因素,综合

分析国内外专家提出的舒适度不同计算方法,选用国家气象局规定的统一标准,该标准将舒适度划分为 9 个级别。通常使用气候舒适度指数(K_{ssd})进行计算^[14]:

$$K_{ssd} = 1.8 \times t - 0.55 \times (1.8t - 26) \times (1 - r/100) - 3.2 \times \sqrt{v} + 32 \quad (1)$$

式中: K_{ssd} ——气候舒适度指数; t, r, v ——气温(℃)、湿度(%）、风速(m/s)的日平均值。

利用渭河流域内各站点 50 a 的逐日气象资料进行计算,结合流域内的气候特点利用公式(1)计算出各站点逐日舒适度指数,并划分为 1—9 个级别,1—9 个级别所对应的体感舒适度分别为寒冷、冷、凉、凉爽、舒适、暖和、热、炎热、酷热,其具体数值详见表 1。

表 1 气候舒适度指数气象等级描述

指数级别	指数范围	体感
1	$K_{ssd} \leq 25$	寒冷,感觉很不舒服,有冻伤危险
2	$25 < K_{ssd} \leq 38$	冷,大部分人感觉不舒服
3	$38 < K_{ssd} \leq 50$	凉,少部分人感觉不舒服
4	$50 < K_{ssd} \leq 55$	凉爽,大部分人感觉舒服
5	$55 < K_{ssd} \leq 70$	舒服,绝大部分人感觉很舒服
6	$70 < K_{ssd} \leq 75$	暖和,大部分人感觉舒服
7	$75 < K_{ssd} \leq 80$	热,少部分人感觉很不舒服
8	$80 < K_{ssd} \leq 85$	炎热,大部分人感觉很不舒服
9	$85 < K_{ssd}$	酷热,感觉很不舒服

2 渭河流域内各气候因子的变化特征

2.1 渭河流域内气温、相对湿度、风速变化分析

由图 1 可以看出,50 a 来流域气温、相对湿度、风速的变化趋势均可用线性拟合,具体表现为:相对湿度呈震荡变化,总体呈现出下降趋势,线性趋势的变率为 0.0280;风速在 50 a 中总体呈下降趋势,变化斜率为-0.0700;温度在 1995 年出现一个突变点,但总体趋势保持上升,变化斜率为 0.0721;50 a 来,温度在升高,风速不断变小,相对湿度在降低。

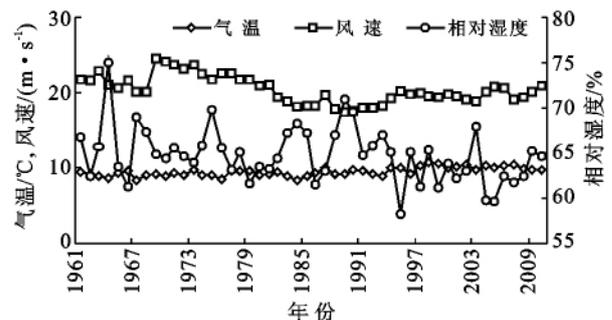


图 1 渭河流域 1961—2010 年气温、相对湿度和风速的变化

2.2 渭河流域舒适日数空间分布特征

流域内舒适度指数 1—9 个级别对应的体感状态站点分布特征详见表 2。由表 2 可以看出,流域内寒冷日数自西向东,由南向北逐渐减少;舒适日数由南向北,自东向西逐渐增加;高海拔地区,寒冷日数多,舒适日数少。

剔除高海拔站点华山站,寒冷日数最少的宝鸡站年均天数只有 22.4 d,流域内最西站点西吉站年均寒冷日数有 132.4 d;冷和凉的天数流域内差异不大,

均在 180~200 d,地区差异不大;指数为等级 4 的凉爽天气,地区差异较大,天水站年均天数达到 100.1 d,而西吉站年均日数只有 31.6 d,其余站点年均凉爽天数在 60~95 d;暖和的年均天数差异也很大,年均天数最多的宝鸡站可达 62.5 d,年均天数最少的西吉站仅有 2.2 d,高海拔站点华山站年均暖和日数只有 1.6 d;西峰站、西吉站没有热以上的天数;除西安、宝鸡、武功这 3 个站点年均出现 1 次炎热天气,其余各站点均未出现过。

表 2 渭河流域内各站点气候舒适度等级年均日数及所占比例

站点	天数	寒冷	冷	凉	凉爽	温暖	热	炎热	酷热
吴起	年均日数/d	89.6	103.5	74.5	82.6	12.2	1.0	0	0
	比例/%	24.7	28.5	20.5	22.7	3.3	0.3	0	0
天水	年均日数/d	38.4	115.4	72.2	100.1	36.7	1.7	0	0
	比例/%	10.5	31.6	19.7	27.4	10.3	0.5	0	0
武功	年均日数/d	39.7	112.4	66.1	84.4	58.0	4.5	1.0	0
	比例/%	10.8	30.7	18.1	23.1	15.8	1.2	0.3	0
华山	年均日数/d	166.7	120.4	65.2	12.8	1.6	0	0	0
	比例/%	45.5	32.8	17.8	3.5	0.4	0	0	0
西安	年均日数/d	35.3	109.0	66.7	85.1	63.5	7.1	1.0	
	比例/%	9.6	29.7	18.1	23.1	17.3	1.9	0.3	0
长武	年均日数/d	99.4	105.0	81.9	73.9	4.7	1	0	0
	比例/%	27.2	28.7	22.3	20.2	1.3	0.3	0	0
洛川	年均日数/d	86.2	108.5	79.7	81.4	9.1	1.9	0	0
	比例/%	23.5	29.6	21.7	22.2	2.5	0.5	0	0
铜川	年均日数/d	81.1	112.7	75.6	84.5	10.7	1.0	0	0
	比例/%	22.2	30.8	20.7	23.1	2.9	0.3	0	0
平凉	年均日数/d	94.5	108.3	81.6	76.3	4.7	1.0	0	0
	比例/%	25.8	29.6	22.2	20.8	1.3	0.3	0	0
西峰	年均日数/d	101.4	113.6	88.6	60.9	3.0	0	0	0
	比例/%	27.7	31.0	24.2	16.6	0.5	0	0	0
西吉	年均日数/d	132.4	106.5	93.9	31.6	2.1	0	0	0
	比例/%	36.1	29.1	25.6	8.6	0.6	0	0	0
环县	年均日数/d	87.8	86.9	80.8	79.5	7.6	1.0	0	0
	比例/%	25.6	25.3	23.5	23.1	2.2	0.3	0	0
宝鸡	年均日数/d	22.4	111.6	71.8	92.9	62.5	4.0	1.0	0
	比例/%	6.1	30.5	19.6	25.3	17.1	1.1	0.3	0

进一步划分流域内舒适度分布情况,将指数 1—3 划分为冷不舒适日,指数 4—5 划分为舒适日数,年冷不舒适日数分布与舒适日数分布如图 2 所示。可以看出流域内冷不舒适日数最少的站点为宝鸡,年平均日数为 205.8 d,武功、西安、天水站年平均冷不舒适日数在 200~230 d。西吉站为冷不舒适日数最多

的站点,年均有 322.8 d,除西峰和西吉两站点冷不舒适日数超过 300 d 外,其余各站点冷不舒适日数均在 300 d 内。

由图 2 可以看出,冷不舒适日数最少的站点对应舒适度日数最多的站点,宝鸡站舒适日数最多,西吉站最少。

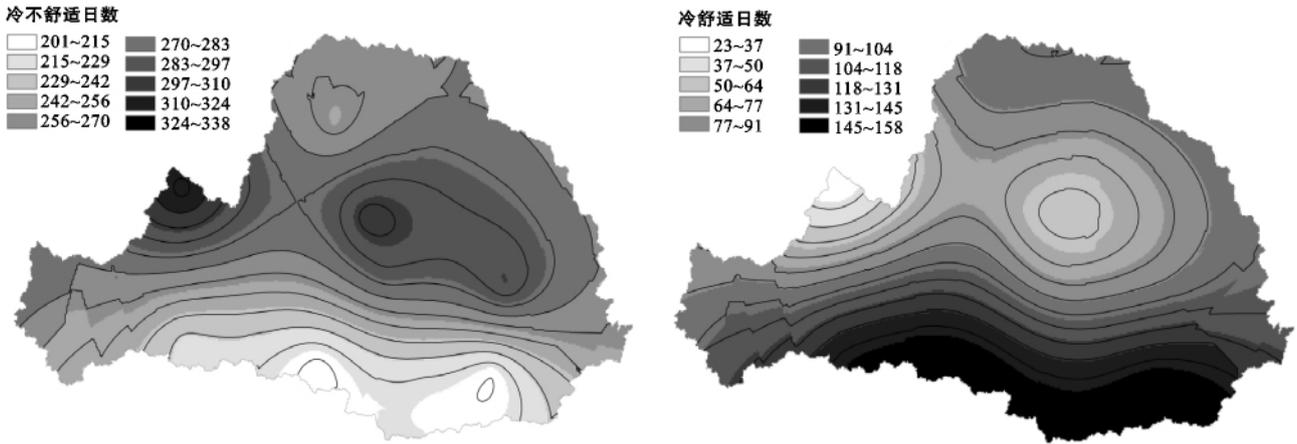


图 2 渭河流域冷不舒适日数(等级 1—3)和冷舒适日数(等级 4—5)分布

2.3 流域内舒适日数时间变化

2.3.1 流域内各指数逐年变化 流域内近 50 a 气候舒适度指数等级为 1 的天数总体呈减少趋势,20 世纪 70 年代末期减少幅度较为明显,并且减少幅度最大;指数等级为 2 的天数变化趋势不明显,总体趋势为小幅下降;指数等级为 3—5 的天数呈上升趋势,指数等级为 4—5 天数从 20 世纪 80 年代起上升趋势比较明显;指数等级为 6 的天数变化趋势不明显,但总体日数上呈上升变化(图 3)。

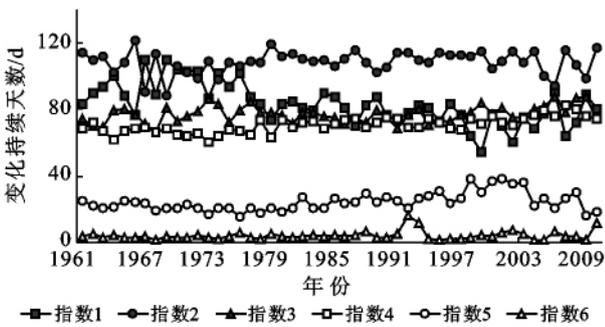


图 3 渭河流域 1961—2010 年各指数等级天数的变化

2.3.2 流域年内各等级指数持续变化特征 在流域内选取高海拔站点西吉站和海拔较低的武功站,选取 1981,1991 和 2010 年进行分析。气候舒适度指数等级为 1 的天数在 1 月份的持续时间在不断减少,武功站指数 1 在 1 月份的持续时间减少尤其明显,从 1981 年的 16 d 减少至 2010 年的 3 d;西吉站 1991 年 2 月份开始出现指数 2,2010 年持续日数增加到 9 d,武功站 2 月指数等级为 2 的天数在不断减少,指数等级为 3 的天数在不断增加;3 月份西吉站指数等级为 1 的天数在不断减少,西吉站出现指数等级为 3 的天数从 1981 的 5—9 月增加到 5—10 月;武功站 2010 年 3 月出现指数等级为 4 的日数,指数等级为 5 的日数在

5—9 月持续天数有明显增加,指数等级为 6 的天数在持续增长,2010 年现在指数等级为 7 的热指数。

2.3.3 渭河流域年内各指数年代变化 有研究表明,气候暖干趋势对舒适程度的影响总体上是有益的。将计算出的气候舒适度指数每 10 a 进行统计,求其出平均值,合并冷不舒适的日数(指数等级 1—3),舒适的日数(指数等级 4—5)。从图 4 可看出,20 世纪 60—80 年代冷不舒适日数(指数等级 1—3)变化幅度不大,呈现缓慢降低下降趋势,80 年代至今冷不舒适日数急剧下降;60—80 年代体感舒适日数(4—5)呈现缓慢上升趋势,80 年代后体感舒适日数迅速上升。

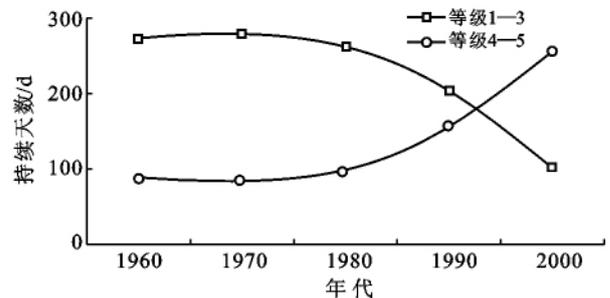


图 4 渭河流域 1961—2010 年冷不舒适和舒适日数变化

由表 3 可以看出,指数等级为 1 的寒冷日数呈下降趋势,说明冷感日数在不断减少,线性趋势为 -0.6028 d/a ,即从 1961—2010 年共减少 30.14 d,是 50 a 内变化最大的指数等级;寒冷日数不断的减少,其余指数等级的天数都是在逐渐增长;其次变化明显的是指数等级为 4 的凉爽日数在逐渐增加,线性趋势为 0.3162 d/a ,50 a 来共增加 15.81 d,说明流域内总体平均舒适度日数是增加的,暖和的日数 50 a 来只增加了 2.17 d。

表 3 1961—2010 年流域内气候舒适度各等级年日数变化

指数等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9
人体感觉	寒冷	冷	凉	凉爽	舒适	暖和	热	炎热	酷热
倾向度/(d·a ⁻¹)	-0.602 8	0.108 3	0.119 9	0.316 2	0.131 6	0.043 4	0	0	0
累计变化日数/d	-30.14	5.415	5.995	15.81	6.55	2.17	0	0	0

3 水土保持措施对局地小气候与气候舒适度的影响

以实施退耕还林还草工程最早、面积最大的吴旗县为例进行分析。吴旗县位于黄土高原丘陵沟壑区,退耕还林(草)工程开始前,长期以来乱砍乱伐,超载放牧,导致生态环境日益恶化。1998 年实施退耕还林(草)工程后,除人均保留 0.013 hm² 川地或 2.3 hm² 坡地梯田外,其余坡耕地全部退耕,该县森林覆盖率由 1997 年的 13.2%,提高到目前的 23.6%。

吴旗县退耕还林(草)十几年来,在全球暖干化的大背景下,气温却呈现出下降趋势,变化率为-0.042 4;相对湿度变化速率小于整个流域的变化速度,说明退耕还林工程减缓了空气干燥化程度。温度是影响气候舒适度的最主要因子,由于气温的持续下降,舒适日数(指数等级 3—5)也成下降趋势。

4 结论

(1) 渭河流域 1961—2010 年平均气温保持上升趋势,气温增速明显;平均相对湿度震荡起伏,总体保持下降趋势;平均风速变化趋势没有明显的变化,20 世纪 80 年代后下降幅度较大,总体趋势呈现下降趋势。

(2) 流域内西安、宝鸡、武功、天水这 3 个站的冷不舒适日数最少,年平均寒冷日数在 40 d 以下,舒适日数(指数等级为 4—5)达 140 d 以上;高海拔地区站点舒适日数最少,寒冷日数为流域内所有站点之最,说明高海拔地区舒适指数较低;流域西北的站点年均舒适性也较差,流域最西端的西吉站为舒适性最差站点。

(3) 从流域年内各指数持续时间可以看出,冬季(12 月—翌年 2 月)寒冷指数持续时间在大幅减少;春季(3—5 月)里指数等级为 2 的持续天数在大幅减少,舒适日持续天数在不断增加;夏季(6—8 月)里指数等级为 5 的舒服日数持续天数增加明显,出现指数等级为 7 的天数;秋季(9—11 月)舒适日数增加,而冷日数不断减少。

(4) 从舒适度变化特征来看,渭河流域 1961—2010 年指数等级为 1 的寒冷日数在大幅减少,指数

等级为 4 的凉爽日数增幅较显著,指数等级为 5 的舒适日数也在增加,即舒适日数呈现增加趋势。

(5) 大规模的水土保持措施有效减缓了气候的暖干化程度,气温变化率出现了负值,相对湿度变化率也小于整流域变化速率;水土保持措施减缓了气候暖干化程度,但气温的下降直接影响到气候舒适度,使得平均舒适日数不断减少。

[参 考 文 献]

- [1] PICC. A report of working Group II of the Intergovernmental panel on Climate Change[R]// Geneva Switzerland: Climate change 2001: Impact adaptation and vulnerability summary for policymakers, 2001.
- [2] 徐贵青, 魏文寿. 新疆气候变化及其对生态环境的影响[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 14-17.
- [3] 胡汝骥, 姜逢清. 新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及其影响[J]. 干旱地区地理, 2002, 25(3): 194-200.
- [4] 刘波, 马柱国. 过去 45 年中国干湿气候区域变化特征[J]. 干旱地理, 2007, 30(4): 465-473.
- [5] 姚玉璧, 肖国举, 王润元, 等. 近 50 年来西北半干旱区气候变化特征[J]. 干旱地理, 2009, 32(2): 159-165.
- [6] Terjung W H. Physiologic climates of the contentious United States: Bio-climatic classification based on man[J]. Anal. A. A. G., 1996, 5(1): 141-179.
- [7] 雷桂莲, 喻迎春. 南昌市人体舒适度指数预报[J]. 江西气象科技, 1999, 22(2): 40-41.
- [8] 刘梅, 于波. 人体舒适度研究现状及开发应用前景[J]. 气象科技, 2002, 30(1): 11-18.
- [9] 陈雪, 孙小明, 赵昕奕, 等. 近三十年北京地区人居气候舒适度变化研究[J]. 干旱区资源环境, 2009, 23(1): 71-76.
- [10] 朱学玲, 任健. 人体舒适度的分析与预报[J]. 气象与环境科学, 2011, 34(9): 131-134.
- [11] 白桦, 穆兴民, 王飞. 渭河流域气象及水文旱涝演变规律分析[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(2): 237-241.
- [12] 姚小英, 蒲金涌, 乔艳君, 等. 近 39 年渭河上游主要气象因子变化特征[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(34): 19636-19637, 19721.
- [13] 张燕玲. 陕西省渭河流域水文特性分析[J]. 西北水资源与科学, 2002, 13(2): 62-65.
- [14] 罗晓玲, 兰晓波, 李岩瑛, 等. 人体舒适度指数预报体系研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(8): 59-62.