

文章编号:1673-8411 (2016) 01-0015-04

云南盘龙河流域 53 年来相对湿度变化特征分析与预测

王平¹, 程清平^{1, 2}, 孔国陈¹, 王倩¹

(1 云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650500; 2 福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350007)

摘要:根据盘龙河流域麻栗坡气象站 1961~2013 年逐月相对湿度观测数据,应用线性趋势法、Mann-Kendall 检验、方差分析外推法、R/S 分析、均生函数预测模型等,分析了盘龙河流域 53 年来相对湿度变化特征,并对未来变化趋势作了预测。结果表明:年和各季相对湿度均呈减少趋势,尤以春季减少贡献最大;除年和夏、冬季相对湿度外,各季相对湿度均有显著的突变特征;年相对湿度 20 年和夏季 19 年的变化周期十分显著,置信度达 99%;盘龙河流域年和各季相对湿度在 2014~2028 年将呈波动减少趋势。

关键词:盘龙河流域;相对湿度;变化特征;预测

中图分类号:P46

文献标识码:A

Variation characteristics analysis and Forecast of relative humidity over past 53 years in Panlong river basin of Yunnan

Wang Ping¹, Cheng Qing-ping^{1,2}, Kong Guo-chen¹, Wang Qian¹

(1. School of Tourism and Geographical Sciences, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China.) 2. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China.)

Abstract: Based on monthly relative humidity data from 1961 to 2013 from Ma Lipo meteorological station in Panlong river basin, the relative humidity variation characteristics in past 53 years were analyzed and its changing tendency in future was forecasted by linear trend method, Mann-Kendall test, R/S analysis and the prediction model of mean generation function. The results show that both annual and seasonal relative humidity present reduce trend with the largest contribution in spring; except annual, summer and winter relative humidity the rest relative humidity display significantly mutation characteristics. Annual relative humidity for 20 years and summer for 19 years change cycles were significant with 99% confidence. Annual and seasonal relative humidity of Panlong river basin will see a fluctuating decrease trend in the 2014-2028.

Key words: Panlong river basin; relative humidity; variation characteristic; forecast

1 前言

气候与人类社会的发展息息相关,气候变化不仅影响着农林渔牧等产业的生产状况,而且对生态环境、人体健康、人居设施以及其他一些经济活动也有着重大影响^[1]。湿度的大小是一个地区干湿程度的标志之一^[2],其变化会影响干湿状况,而干湿状况

又会对气候的暖湿或者暖干化产生重要影响。

相对湿度是表示空气中水汽距离饱和的程度,是表征空气湿度大小的重要物理量。其变化受大气环流形式、云量、降水、风、地形等因子的影响^[3-4]。近年来,有不少国内外学者对相对湿度变化作了研究。Akinbode 等^[5]对尼日利亚 Akure 省 1992~2001 年相对湿度的研究发现相对湿度呈减少趋势;James 等^[6]

收稿日期:2015-08-15

基金项目:“低纬高原环境与区域发展”云南省特色优势学科群建设项目和“云南老山自然保护区综合科学考察”项目资助。

作者简介:王平(1965-),男,副教授,硕士生导师,主要从事区域自然地理和自然环境保护研究,ynwangping@163.com。

得出相对湿度减少 10% 的情况下, 蒸发量增加了 28.33%~59.42%。Uchiyama 等^[7]对相对湿度研究表明, 相对湿度呈减少趋势, 并且与水滴蒸发呈负相关关系。徐宗学等^[8]的研究得知, 西藏地区近 42 年来相对湿度总体上随时间呈微弱上升的趋势。靳英华等^[9]报道吉林省近 50 年来年及春、夏、秋、冬 4 季的相对湿度在波动中下降, 下降趋势不显著, 相对湿度的变化与温度和风速变化呈负相关关系, 与降水变化呈正相关关系。刘明春等^[2]的研究发现, 武威市各地年、年代相对湿度总体呈减少趋势, 相对湿度的时间序列存在着 6~8 年的变化周期, 冬季相对湿度呈增加趋势, 其他季节呈减小趋势。以上研究成果表明全球及我国空气相对湿度的长期变化趋势是上升或降低, 且存在季节和地域等的差异。

对空气相对湿度在全球气候变化背景下的长期变化趋势的研究目前较少^[9], 尤其是对云南相对湿度盘龙河流域为中国云南高原边缘亚热带向越南北热带过渡的典型地区之一。本文首次对该流域相对湿度变化特征进行分析, 并对未来变化趋势进行预测, 旨在揭示在全球和中国气候变化背景下, 该流域相对湿度与全球和中国的响应, 以便为该地区气候资源的利用提供依据和参考。

2 资料来源与方法

2.1 研究地区概况

盘龙河为红河左岸一级支流, 中越国际河流。发源于蒙自市鸣鹭乡, 呈西北-东南向流经砚山、文山、西畴、马关、麻栗坡等县, 在船头出国境, 入越南后称泸江, 于越池汇入红河干流, 在云南省境内河长 252.6km, 流域面积 6100.2km²。盘龙河流域大部分位于北回归线以南, 以中亚热带为主, 海拔 600m 以下区域为北热带, 以上区域为南亚热带。流域年降水量在 900~1800mm 之间, 由下游至上游逐渐递减, 由湿润型逐渐变为半湿润型季风气候。麻栗坡气象站位处盘龙河中游, 年日照时数 1627.5h, 年平均气温 17.7℃, 降水量 1063.2mm, 蒸发量 1360.0mm, 相对湿度 86%。是滇东南著名的热区之一。

2.2 资料来源

以麻栗坡气象站(站号 56996, 23°08'N, 104°42'E, 海拔 1094.4m) 作为代表站, 资料年代序列为 1961~2013 年, 包括累年各月相对湿度观测资料。年

相对湿度按自然年统计, 即每年 1~12 月之和, 季节相对湿度分别按 3~5 月为春季、6~8 月为夏季、9~11 月为秋季、12 月~次年 2 月为冬季、5~10 月雨季、11 月~至次年 4 月为旱季进行统计。标准气候值以世界气象组织(WMO)设定的时段(1971~2000)的年平均相对湿度为准。

2.3 研究方法

采用线性趋势法分析相对湿度变化趋势, Mann-Kendall 检验法(简称 M-K)^[10-11]分析相对湿度的突变特征, 方差分析外推法^[12]分析相对湿度的变化周期, R/S 分析法^[13]对未来变化趋势作出预测, 均生函数预测模型^[14]预报 2014~2028 年相对湿度值。

3 结果与讨论

3.1 年变化

线性回归分析显示(图 1), 53 年来盘龙河流域年相对湿度呈下降趋势, 其倾向率为 -0.20%/10a ($P=0.2$), 53 年来减少了 10.4%, 这与刘明春等^[2]、Akinbode 等^[5]、Surratt 等^[6]、靳英华等^[9]的研究结果具有一致性变化特征, 并以春季相对湿度减少贡献最大, 年相对湿度 1985 年最大为 87.3%, 1983 年最小为 80.7%。5 年滑动平均曲线(图 1)显示, 年相对湿度大致经历了下降(1961~1972 年)—上升(1972~1981 年)—下降(1981~1989 年)—上升(1989~2005 年)—下降(2005~2013 年)5 个阶段。累积距平显示(图 2), 年相对湿度在 1961~1987 年呈减少趋势, 1988~1998 年呈波动上升趋势, 1999~2013 年呈显

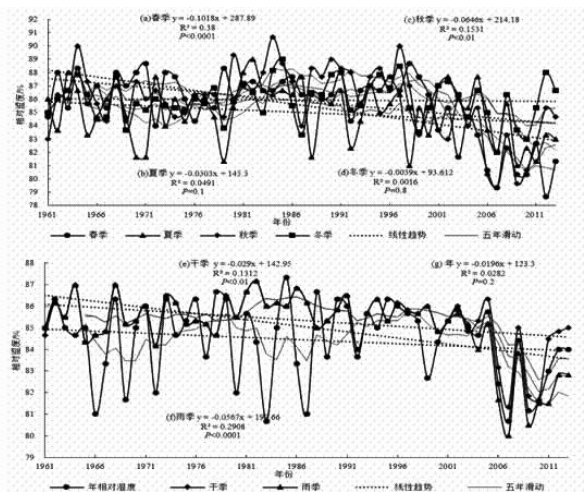


图 1 1961~2013 年盘龙河流域年和各季相对湿度变化曲线



图 2 1961~2013 年盘龙河流域相对湿度累积距平曲线

著的减少趋势。

3.2 季节变化

春季相对湿度呈极其显著的减少趋势, 其倾向率为 $-1.02\%/10a$ ($P<0.0001$), 20 世纪 60~70 年代呈

减少趋势, 80 年代至 2002 年呈增加趋势, 2003 年以来呈减少趋势(图 1)。夏季倾向率为 $-0.30\%/10a$ ($P=0.1$), 60~70 年代呈减少趋势, 80 年代呈增加趋势, 90 年代至 2008 年呈波动增加趋势, 2009 年以来呈减少趋势。秋季倾向率为 $-0.65\%/10a$ ($P<0.01$), 60~70 年代呈减少趋势, 80~90 年呈波动增加趋势。2000 年以来呈减少趋势。冬季倾向率为 $-0.04\%/10a$ ($P=0.8$), 60~70 年代呈减少趋势, 90 年代至 2005 年呈增加趋势, 2006~2013 年呈减少趋势。干季倾向率为 $-0.29\%/10a$ ($P<0.01$)。雨季倾向率为 $-0.57\%/10a$ ($P<0.0001$)。干、雨季年际变化特点与冬季具有一致性特点。

3.3 突变特征

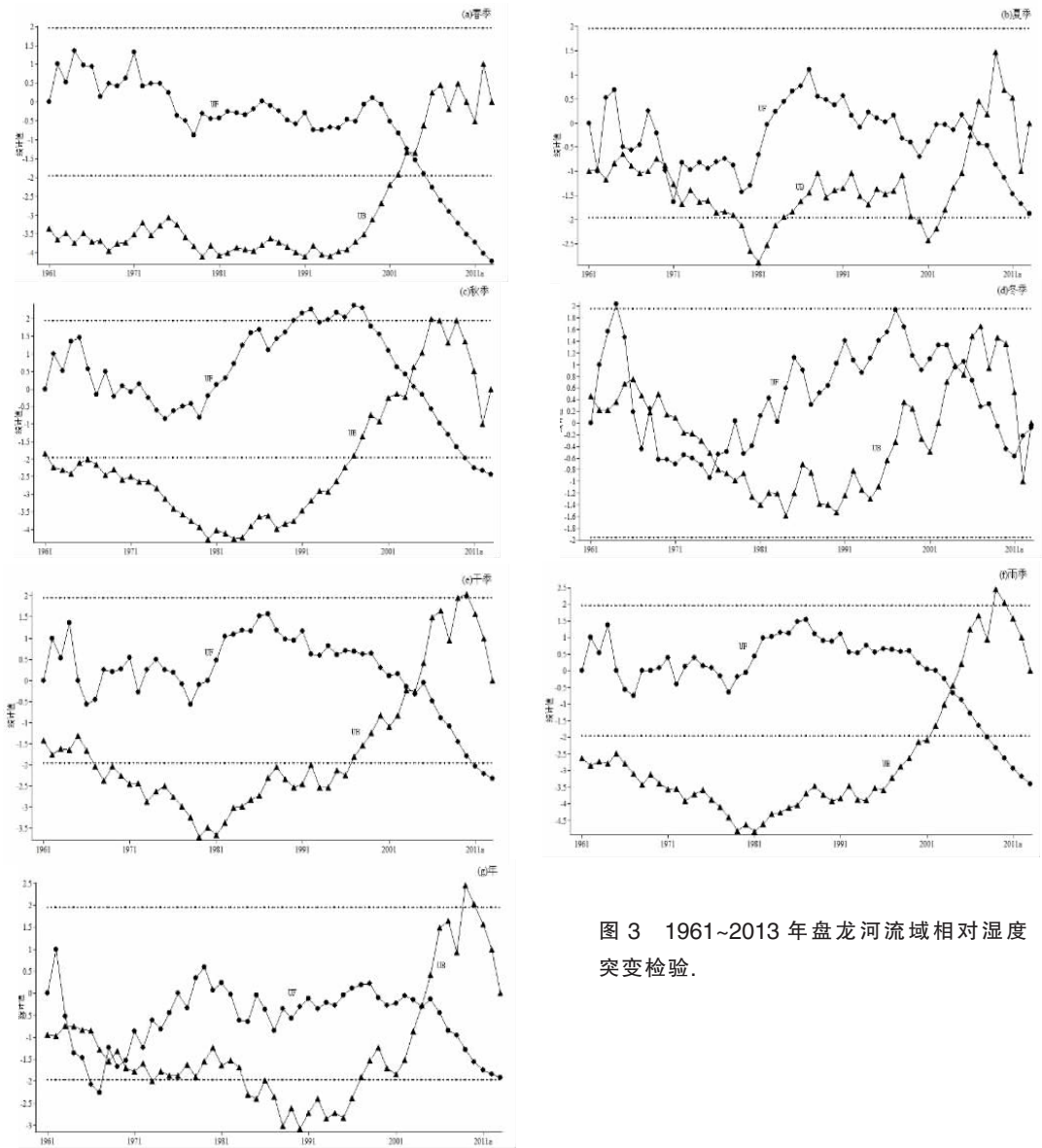


图 3 1961~2013 年盘龙河流域相对湿度突变检验.

利用 M-K 突变检测法对各气候要素进行突变检测,若正序列 UFk 曲线和逆序列 UBk 曲线交于一点,并且该点在临界线之间,则该点对应点即为突变点,UFk>0 表明序列呈上升趋势,UFk<0 则表明呈下降趋势,当它们超过临界线时,表明上升或下降显著^[10-11]。从图 3 可知春季在正序列 UF 与逆序列 UB 之间于 2003 年交一点,并于 2006~2013 年突破-1.96 ($\alpha=0.05$)的临界线,呈显著的突变减少。夏季在正序列 UF 与逆序列 UB 之间于多次交于一点,未突破+1.96 的临界线,因此,夏季没有发生突变。秋季在正序列 UF 与逆序列 UB 之间于 2004/2005 年交于一点,并于 1991~1992 年、1995~1998 年突破 1.96 的临界线,但在此之前 UF 和 UB 之间未有交点,因此没有发生突变增加,2011~2013 年突破-1.96 的临界线,这说明秋季在 2005 年发生了显著的突变减少。冬季在正序列 UF 与逆序列 UB 之间于 1961/1962 年交于一点,并于 1964 年突破 1.96 的临界线,但交点位于端点处,一般不可取,因此,冬季没有发生突变。干季在正序列 UF 与逆序列 UB 之间于 2004 年交于一点,并于 2011~2013 年突破-1.96 的临界线,这说明干季在 2004 年发生显著的突变减少。雨季在正序列 UF 与逆序列 UB 之间于 2004 年交于一点,并于 2008~2013 年突破-1.96 的临界线,这说明雨季在 2004 年发生了突变减少。年相对湿度在正序列 UF 与逆序列 UB 之间于 1963/1964 年交于一

表 1 1961~2013 年盘龙河流域相对湿度变化周期(a)

年/季	p/a	F 值	α /%	r
年	20	2.5978	99	0.99
春季	5	0.5718	32	0.97
夏季	19	2.5893	99	0.99
秋季	2	1.9774	83	0.92
冬季	10	2.0223	94	0.99
旱季	17	1.3460	78	0.99
雨季	17	0.9077	43	0.90

注:p 代表主周期, α 代表置信度,r 代表相关系数,F 值代表方差比。

点,并于 1966~1967 年突破-1.96 的临界线,但交点位于端点处,不可取,因而,年相对湿度没有发生突变。总体来看,年和各季相对湿度均在 21 世纪以来呈突变减少趋势。

3.4 变化周期

方差分析法显示,年相对湿度有 20 年的变化周期(表 1),十分明显,置信度达 99%。春季有 5 年的变化周期,置信度较低。夏季有 19 年的变化周期,十分显著,置信度达 99%。秋、冬、旱、雨季分别有 2、10、17、17 年的变化周期,不明显,未通过 95%的置信度检验。

3.5 未来变化趋势预测

3.5.1 R/S 分析法

R/S 分析法能对气候变化的持续性 ($0.5<H<1$) 和反持续 ($0<H<0.5$) 性成分的强度进行定量的比较,因此具有重要的应用意义^[13]。利用 R/S 分析所得盘龙河流域年和各季相对湿度 Hurst 分别为 0.63、0.92、0.63、0.67、0.70、0.77、0.85>0.5,表明未来年和各季相对湿度具有长期相关性,且整体变化将继承过去的整体变化趋势,仍将呈减少趋势。

3.5.2 均生函数预测模型

均生函数预测模型主要有逐步回归方案、正交筛选方案、最优子集建模 3 种方案^[15],本文利用 1961~2013 年相对湿度序列,建立最优子集回归预测模型对盘龙河流域年和各季相对湿度序列建立预报方程(表 2)。根据双评分准则^[16],CSC 值越大越好或者拟合均方根误差 RMSE 越小越好。利用最优子集建模进行预测的结果和实测值的拟合曲线如图 4 所示(在此仅绘制年拟合曲线),实测值与预测值在最大值和最小值之间吻合较好,年和各季相对湿度拟合相对误差绝对值 REAV(表 2)远远小于 20%误差允许范围^[17],模拟效果十分理想,模拟精度符合标准要求。年和各季相对湿度 2014~2028 年预测值如下表 3,年和各季相对湿度倾向率分别为-0.274% 10a ($P=0.7$)、-2.382% 10a ($P<0.0001$)、-2.288% 10a ($P<0.01$)、-0.049% 10a ($P=0.9$)、-0.262% 10a ($P=0.5$)、-0.964% 10a ($P<0.05$)、-1.532% 10a ($P<0.0001$)均呈减少趋势,且未来 15 年的减少趋势仍以春季和夏季贡献最大,这与过去整体变化趋势具有较好的一致性。这预示着盘龙河流域未来气候可能由暖湿逐渐向暖干方向变化,可能对该地农业生产造成不利影响。

前人在利用均生函数预测模型^[14-15,17]和 R/S 分析法^[18-20]对未来气候变化趋势做预测时,多以其中某种方法为主,预测的气候要素主要是气温和降水。

表 2 年和各季相对湿度最优子集预报方程

年/季	K	最优子集方程	REAV /%	CSC	RMSE	R
年	3 阶	$Y=-72.590+0.79371x_1+0.29445x_4+0.78579x_7$	2.4	78.75	1.06	0.81
春季	3 阶	$Y=-90.848+0.62529x_2+0.71756x_5+0.76578x_8$	4.3	74.77	1.67	0.77
夏季	5 阶	$Y=-108.227-1.53324x_1+2.16960x_2+0.47182x_3+0.68657x_6+0.49035x_8$	2.9	94.60	1.16	0.85
秋季	6 阶	$Y=-87.577+1.42580x_1-0.49465x_2-0.18956x_3+0.61348x_5+0.69328x_7+0.15224x_8$	4.6	52.88	1.97	0.68
冬季	4 阶	$Y=-135.574+0.56178x_1+0.56395x_3+0.64003x_5+0.81235x_8$	2.5	85.21	0.88	0.82
干季	5 阶	$Y=-132.026+0.58485x_1+0.50234x_3+0.39860x_4+0.37176x_5+0.70148x_8$	1.9	65.82	0.74	0.82
雨季	6 阶	$Y=-50.799-0.65624x_3+0.48268x_4+0.39696x_5+0.35273x_6+0.59706x_7+0.43947x_8$	3.0	59.19	1.10	0.76

注:K 表示阶次;REAV 表示相对误差绝对值;CSC 表示双评分准则;RMSE 表示拟合均方差;R 表示相关系数

表 3 年和各季 2014~2028 年相对湿度预测值(%)

年份	年	春季	夏季	秋季	冬季	干季	雨季
2014	82.61	84.01	86.82	86.02	86.25	84.79	83.86
2015	85.67	84.49	84.04	83.10	85.91	85.99	84.90
2016	83.55	83.78	84.17	85.12	85.56	85.52	84.61
2017	80.15	82.60	86.79	83.06	85.45	84.37	83.51
2018	85.47	83.45	84.88	84.35	87.01	84.77	83.40
2019	84.88	83.09	87.25	82.86	85.01	85.97	84.05
2020	83.75	82.55	84.64	84.50	85.23	83.81	83.33
2021	83.64	82.37	83.33	82.60	86.29	83.71	82.57
2022	84.39	82.53	83.29	83.31	86.74	83.83	82.43
2023	83.13	80.71	85.37	82.39	84.87	83.46	82.05
2024	83.70	82.30	82.56	84.44	85.71	84.25	82.50
2025	84.06	82.63	83.04	83.10	85.63	83.87	83.16
2026	82.28	80.37	81.70	84.22	85.18	83.87	82.08
2027	83.23	80.62	83.63	83.45	84.92	84.28	82.95
2028	83.44	81.40	83.66	86.40	86.60	84.80	82.50

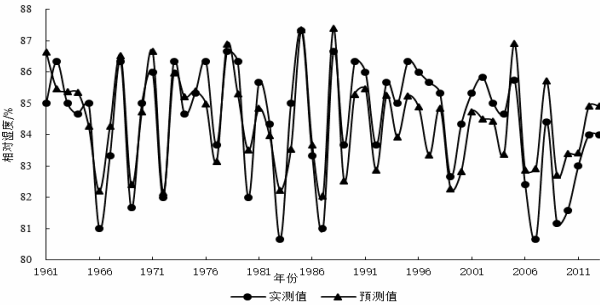


图 4 盘龙河流域相对湿度实测值与预测值拟合曲线

本研究将上述 2 种方法结合起来应用于盘龙河流域相对湿度的预测,取得了较好的效果,R/S 分析法对年和各季相对湿度未来变化趋势预测与均生函数预

测模型对 2014~2028 年所得预报值变化趋势十分吻合。

4 结论

- (1)53 年来盘龙河流域年相对湿度呈减少趋势,其倾向率为-0.20%/10a,53 年来减少了 10.4%,尤以春季贡献最大。
- (2)春、秋、干、雨季均通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,突变减少趋势显著。
- (3)年和夏季相对湿度分别存在 20 年和 19 年的周期,置信度达 99%,变化周期十分显著。
- (4)均生函数预测模型所得年和各季相对湿度预报值变化趋势与 R/S 分析所得十分吻合, 2014~

2028 年盘龙河流域相对湿度将呈波动减少趋势。

(5)相对湿度减少将导致盘龙河流域土壤湿度降低,可能对农业生产活动带来不利影响。

参考文献

- [1] 丁一汇. 中国的气候变化与气候影响研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1997: 497-505.
- [2] 刘明春, 杨晓玲, 殷玉春, 等. 武威市相对湿度的气候特征及预报 [J]. 干旱区研究, 2012, 29 (4): 654-1659.
- [3] 倪惠, 杨雪艳. 长春市空气相对湿度的气候特征分析 [J]. 吉林气象, 2001, (3): 12-13.
- [4] 杨景, 唐建军. 乌鲁木齐地区相对湿度的气候分析及预报 [J]. 新疆气象, 2000, (2): 6-8.
- [5] Akinbode O M, Eludoyina O, Fashao A. Temperature and relative humidity distributions in medium-size administrative town in southwest Nigeria [J]. Journal of Environment al Management, 2008, 87 (1): 95-105.
- [6] James P. McCulley, M D, Joel D et al. Correlations in a change in aqueous tear evaporation with a change in relative humidity and the impact [J]. American Journal of Ophthalmology? 2006, 141 (4): 758-760.
- [7] Uchiyama J D, Aronowicz? I A, Butovich, et al. Increased Evaporative Rates in Laboratory Testing Conditions Simulating Airplane Cabin Relative Humidity: An Important Factor for Dry Eye Syndrome [J]. ? Eye & Contact Lens?, 2007, 33 (4): 174-176.
- [8] 徐宗学, 张玲, 黄俊雄, 等. 西藏地区气温、降水以及相对湿度的趋势分析 [J]. 气象, 2007, 33 (7): 82-88.
- [9] 靳英华, 廉士欢, 周道玮, 等. 全球气候变化下的半干旱区相对湿度变化研究 [J]. 东北师大学报 (自然科学版), 2009, 41 (4): 135-138.
- [10] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法 [J]. 大气科学, 1992, 16 (4): 482-493.
- [11] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2007, 63-66.
- [12] 唐启义. DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2007, 807-809.
- [13] 徐建华. 现代地理学中的数学方法 [M]. 高等教育出版社, 2002, 414-417.
- [14] 窦浩洋, 邓航, 孙小明, 等. 基于均生函数-最优子集回归预测模型的青藏高原气温和降水短期预测 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2010, 46 (4): 643-648.
- [15] 文绮新, 孙国栋, 张传江, 等. 基于均生函数的最优子集回归方法在江西雨季降水预测中的应用 [J]. 灾害学, 2000, 15 (2), 11-16.
- [16] 曹鸿兴, 魏凤英. 估计模型维度的双评分准则及其应用 [J]. 数理统计与应用概率, 1996, 11 (1): 33-40.
- [17] 孙映宏. 基于均生函数模型的杭州市年降雨量预测 [J]. 水电能源科学, 2009, 27 (2): 14-16.
- [18] 冯新灵, 罗隆诚, 冯自立. 中国近 50 年降水变化趋势及突变的 Hurst 指数试验 [J]. 干旱区地理, 2009, 32 (6): 859-866.
- [19] 马宏伟, 王乃昂, 李卓仑. 近 50 年石羊河流域气候变化的 R/S 分析 [J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2010, 46 (4): 42-45.
- [20] 冯新灵, 罗隆诚, 邱丽丽. 成都未来气候变化趋势的 R/S 分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17 (1): 83-87.