

青岛市降水量和参考作物蒸散量的变化特征分析

刘亚东¹, 黄翠艳², 姜雯¹, 崔日鲜¹

(1. 青岛农业大学农学与植物保护学院, 山东 青岛 266109; 2. 山东即墨第一职业中专, 山东 青岛 266200)

摘要: 利用青岛市 1961—2012 年的逐日气象观测资料, 采用线性倾向估计法和 Pettitt 突变检验方法, 分析了青岛市年、四季降水量和参考作物蒸散量的变化趋势和突变情况。结果表明, 近 52 年间, 青岛市年、四季降水量分别为 666.3 mm、111.0 mm、374.1 mm、145.0 mm 和 36.2 mm; 年、夏季和秋季降水量时间序列呈减小趋势, 而春季和冬季降水量时间序列则呈增大趋势, 但所有时间序列变化趋势均未通过显著性水平检验。青岛市多年平均年、四季参考作物蒸散量分别为 952.7 mm、263.5 mm、313.0 mm、255.9 mm 和 120.3 mm; 除春季参考作物蒸散量时间序列呈增大趋势外, 其余时间序列均呈减小趋势; 其中, 秋季和冬季参考作物蒸散量的减小趋势通过了 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验, 而其余时间序列的变化趋势均未通过显著性水平检验。青岛市降水量和参考作物蒸散量时间序列中, 除秋季参考作物蒸散量出现减小突变外, 其他时间序列均未出现突变。

关键词: 降水量; 参考作物蒸散量; 变化趋势; 突变; 青岛

中图分类号: P426.6; P426.2

文献标识码: A DOI: 10.3969/J. ISSN. 1674-148X. 2014. 01. 004

Analysis of Characteristics of Precipitation and Reference Evapotranspiration Variation in Qingdao

LIU Yadong¹, HUANG Cuiyan², JIANG Wen¹, CUI Rixian¹

(1. College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China;

2. Shandong Jimo No. 1 Secondary Vocational School, Qingdao, 266200, China)

Abstract: In this study, the variability of annual and seasonal precipitation and reference evapotranspiration in Qingdao during the period 1961—2012 were examined. The methods of linear regression and Pettitt test were used to identify the presence of trends and change point. The results showed that the averaged annual and seasonal precipitation were 666.3 mm, 111.0 mm, 374.1 mm, 145.0 mm and 36.2 mm, respectively during the past 52 years. The time series of annual precipitation, summer precipitation and autumn precipitation exhibited decreasing trend, whereas the time series of spring and winter precipitation exhibited increasing trends during the period of 1961 to 2012, but there is no statistically significant trend. The averaged annual and seasonal reference evapotranspiration were 952.7 mm, 263.5 mm, 313.0 mm, 255.9 mm and 120.3 mm, respectively. The time series of annual and seasonal reference evapotranspiration, except for the increasing trend in spring season, exhibited decreasing trend during 1961~2012. A statistically significant decreasing trend in autumn and winter reference evapotranspiration was detected during the same period. A statistically significant downward shift was detected in the autumn reference evapotranspiration through the Pettitt test around 1995, while no change point were detected in the rest of the time series.

Key words: Precipitation; Reference evapotranspiration; Trend; Change point; Qingdao

收稿日期: 2013-11-25

基金项目: 青岛市民生计划项目(13-1-3-101-nsh); 国家“十二五”科技支撑计划子课题(2011BAD09B01)

作者简介: 刘亚东(1990—), 男, 山东菏泽人, 学士, 研究方向: 作物生态

通讯作者: 崔日鲜, E-mail: chis@qau.edu.cn

由人类活动造成的大气中二氧化碳等温室气体浓度持续上升是全球气候变暖的主要原因,IPCC 第四次评估报告指出,近一百年(1906—2005 年)地表温度线性趋势为 0.74°C ,这一趋势大于 IPCC 第三次评估报告 0.6°C 的相应趋势^[1]。许多自然系统正在受到区域气候变化(温度升高)的影响,包括积雪面积减少、热浪以及强降水频率增高、温带风暴路径变化导致的风、降水和温度型态变化、受干旱影响地区增加和气温上升导致的蒸散量增加等^[1-3]。

近 100 多年来北半球年降水量变化趋势不明显,但年代际变化较显著,且夏季和秋季降水量减小,而春季和冬季降水量略微增加^[4]。1960—1995 年期间,意大利大部分地区冬季降水量呈减小趋势^[5]。近 100 年和近 50 年我国年降水量变化趋势不明显,但年际波动较大,近 20 年降水呈增加趋势^[6]。我国年降水量趋势变化的区域差异较大。过去 53 年来,河西走廊中部地区降水量呈增大趋势,其气候倾向率为 $4.75\text{mm}/10\text{a}$,上世纪 80~90 年代前期降水量出现下降,90 年代后期开始缓慢增加^[7]。近 47 年来,我国东北东南部、华北中南部的黄淮海平原和山东半岛、黄土高原东南部和四川盆地中西部等地区降水量年变化呈下降趋势,其余地区呈增加趋势^[8]。1961—2004 年我国东北年降水量和年参考作物蒸散量呈显著上升趋势^[9],而 1960—2000 年间我国长江流域年蒸散量则呈减小趋势^[10]。1961—2007 年间我国西北干旱区雨季降水量存在显著的年际和年代际变化,西部降水量呈显著上升趋势,而河西走廊例外^[11]。李^[3]等的研究结果表明近 50 年(1961—2008 年)我国西北部地区降水量增加,潜在蒸散量减少,干旱化程度在减轻,而东部干旱半干旱区降水量减少,潜在蒸散量增加,干旱化严重。上述结果表明,在全球变暖大趋势下,因气候变化受地形条件、地表性质、纬度等因素影响较大的特性,区域气候变化表现出一定的地区差异性。一个地区参考作物蒸散量和降水量差值反映该地区的干旱程度^[3],分析一个地区降水量和参考作物蒸散量时间序列的变化,对了解该地区干湿变化具有重要的意义。

本文基于 1961—2012 年青岛市逐日气象观测资料,利用联合国粮农组织(FAO)推荐的 Penman-Monteith 公式计算青岛市年度和四季参考作物蒸散量,并采用线性倾向法和 Pettitt 检验方法对青岛市的降水量和参考作物蒸散量时间序列进行趋势和突变检验。

1 材料与方法

1.1 研究区域

青岛市地处山东半岛南端,位于东经 $119^{\circ}30'$ 至 $121^{\circ}00'$,北纬 $35^{\circ}35'$ 至 $37^{\circ}09'$ 。青岛市地处暖温带季风区,属暖温带季风气候。青岛市东南濒临黄海,受海洋环境的影响较大,其气候特征为空气湿润,雨量充沛,温度适中,四季分明。

1.2 资料来源

本研究所用的资料为青岛市 1961—2012 年逐日气象数据,包括平均气温、最高气温和最低气温、降水量、日照时数、平均风速、平均相对湿度和大气压强等。资料均来自于国家气象局气象信息中心。对青岛市逐日降水量和参考作物蒸散量数据进行计算和整理,得出年、四季降水量和参考作物蒸散量。四季的划分采用气候统计常规划分标准:春季(3、4、5 月)、夏季(6、7、8 月)、秋季(9、10、11 月)、冬季(12、翌年 1、2 月)。

1.3 研究方法

1.3.1 参考作物蒸散量的计算

联合国粮农组织(FAO)推荐的 Penman-Monteith 公式是目前应用较为广泛的方法。参考作物蒸散量是指作物高度为 0.12m ,作物表面阻力为 $70\text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$,反射率为 0.23 ,生长旺盛,且完全覆盖地面而不缺水的绿色草地的蒸散量^[12]。其计算公式为:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

式中: ET_0 ,参考作物蒸散量($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); Δ ,当时气温下的饱和水汽压曲线斜率($\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$); R_n ,作物表面的净辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); G ,土壤热通量密度($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); γ ,干湿表常数($\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$); T ,日平均气温($^{\circ}\text{C}$); u_2 ,2 m 高处风速 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; e_s ,饱和水汽压(kPa); e_a ,实际水汽压(kPa)。 R_n 、 G 、 u_2 和 Δ 可通过当日其它观测资料计算^[12]。

1.3.2 气候倾向率

用 x_i 表示样本量为 n 的某一气象要素,用 t_i 表示气象要素 x_i 所对应的时间,建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归方程^[13-14]:

$$\hat{x}_i = a + bt_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: \hat{x}_i 为气象要素的拟合值, t 为时间序列;回归系数 b 和常量 a 用最小二乘法估计。气象倾向率为 $b \times 10$,其含义为气象要素每 10a 的变化速率。若气

候倾向率大于零,说明该气象要素随时间 t 的增加呈上升趋势;气候倾向率小于零,说明随时间 t 的增加呈下降趋势。其变化趋势的显著性可通过 t 测验进行判断,检验统计量 t 为

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} \quad (3)$$

式中: r 为相关系数; n 为样本数。统计量 t 服从自由度为 $n-2$ 的 t 分布。在给定的显著性水平 α ,当 $|t| > t_{(\alpha/2, n-2)}$ 时,拒绝原假设,即认为 x_i 的变化趋势是显著的。

1.3.3 Pettitt 突变点检验

要素为 X_1, X_2, \dots, X_i 和 X_{i+1}, \dots, X_T 的随机系列均来源一个样本总体。假设连续序列在 τ 时刻存在一个突变,对于 $t=1, \dots, \tau$,有函数 $F_1(x)$,而 $t=\tau+1, \dots, T$ 有函数 $F_2(x)$,且 $F_1(x) \neq F_2(x)$,则 τ 为显著突变点。

原假设 H_0 表示时间序列数据 (x_1, x_2, \dots, x_n) 无变点;备择假设 H_1 表示有突变。通过非参数统计量 K_T 进行统计检验^[5,15]。

$$K_T^+ = \max_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}| \quad \text{或} \quad K_T^- = \min_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}|,$$

$$\text{其中: } U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T D_{i,j} \quad \text{及} \quad D_{i,j} = \text{sgn}(x_i - x_j)$$

突变点的显著性水平,可用下式计算:

$$P^\pm = \exp\{-6(k^\pm)^2/(T^3 + T^2)\} \quad (4)$$

2 结果与分析

2.1 降水量变化趋势分析

对青岛市近 52 年间(1961—2012 年)年降水量和各季节降水量时间序列的变化趋势进行了分析。青岛市年降水量和各季度降水量的逐年变化如图 1 所示,近 52 年间青岛市年降水量变化范围为 309.3mm~1168.9mm,降水量最少的年份为 1981 年,最多年份为 1975 年,多年平均年降水量为 666.3mm。青岛市年降水量时间序列呈减小趋势,年降水量的气候倾向率为 19.647mm/10a,即下降速率为 19.647mm/10a,但其减小趋势未通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验。

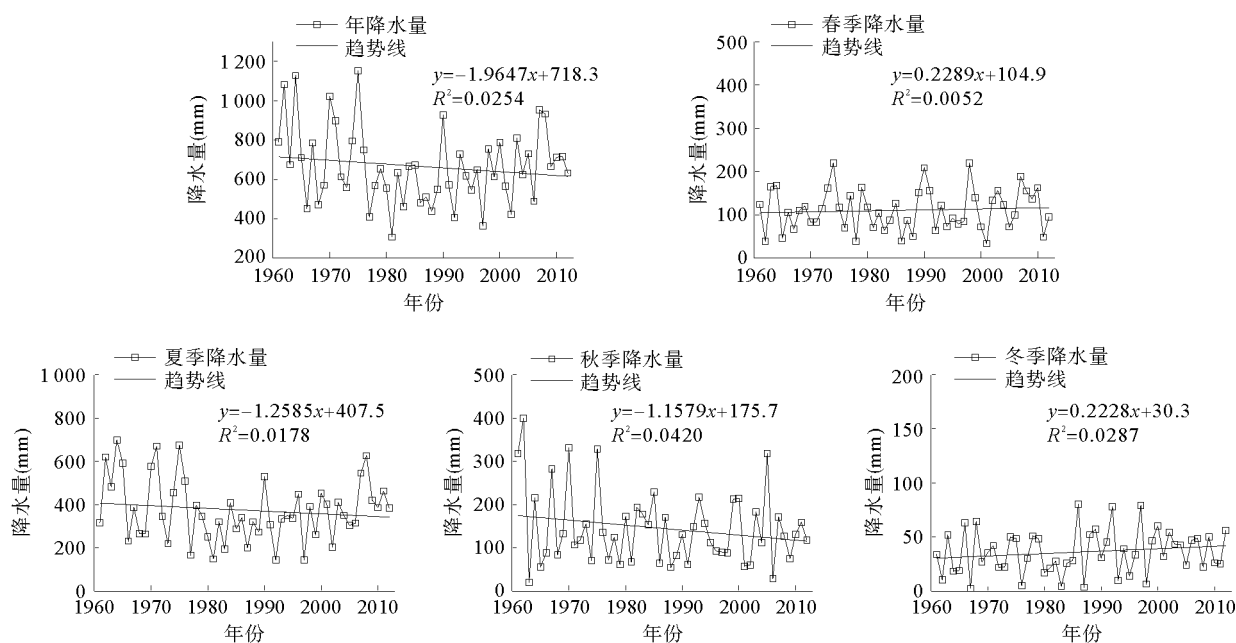


图 1 1961 年—2012 年青岛市年降水量和各季节降水量的变化

近 52 年间青岛市多年平均春季、夏季、秋季和冬季降水量分别为 111.0mm、374.1mm、145.0mm 和 36.2mm,分别占全年降水量的 16.66%、56.15%、21.76%和 5.43%,夏季降水量所占比重最大,超过全年降水量的 50%以上,而冬季降水量最少,只占全年降水量的 5.43%。图 1 中直线为各季节降水量时间序列的线性趋势线,不同季节降水量随时间的变化有较大的差异,春季和冬季降水量时间序列呈增大趋势,但气

候倾向率均较小,每十年增大仅为 2.228mm 和 2.228mm,而夏季和秋季降水量时间序列则呈减小趋势,且气候倾向率明显大于春季和冬季,每十年减小分别为 12.585mm 和 11.579mm, t 测验结果表明增大或减小趋势均未通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验,即增大或减小趋势不明显。

2.2 参考作物蒸散量变化趋势分析

利用联合国粮农组织推荐的 Penman-Monteith

方法计算了青岛市年度和各季节参考作物蒸散量,并对其时间序列变化进行了趋势分析。近 52 年间青岛市参考作物蒸散量为 830.3mm~1075.4mm,最少的年份为 2003 年,最多的年份为 1981 年,年平均参考作物蒸散量为 952.7mm,比多年平均年降水量多 286.4mm。从图 2 中可以看出,青岛市年参考作物蒸散量的时间序列呈减小趋势,但其气候倾向率仅为 4.156mm/10a,即每十年的减小速率仅为 4.630mm,且 t 测验结果表明其减小趋势也未通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验。

近 52 年青岛市多年平均春季、夏季、秋季和冬季参考作物蒸散量分别为 263.5mm、313.0mm、255.9mm 和 120.3mm,分别占全年参考作物蒸散量的 27.66%、32.85%、26.86% 和 12.63%,其中,冬季参考作物蒸散量最少,仅占全年的 12.63%,最多为夏季参考作物蒸散量,占全年的 32.85%。参

考作物蒸散量和降水量的差值大小反映该区的干旱程度,青岛市四季参考作物蒸散量和降水量的差值分别为 152.5mm、-61.1mm、110.9mm 和 84.1mm,除夏季的差值小于零以外,其他季节的差值均大于零,即参考作物蒸散量大于降水量,其中春季参考作物蒸散量和降水量的差值最大,表明青岛市春季干旱程度最为严重。图 2 中直线为各季节参考作物蒸散量时间序列的线性趋势线,不同季节参考作物蒸散量随时间的变化有较大的差异,除春季参考作物蒸散量呈增大趋势外,其他季节参考作物蒸散量时间序列均呈减小趋势,其中减小速率最大为夏季,其减小速率为每十年 5.404mm。 t 测验结果表明秋季和冬季参考作物蒸散量的减小趋势通过了 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验,而春季增大趋势和夏季减小趋势均未通过显著性水平检验,变化趋势不明显。

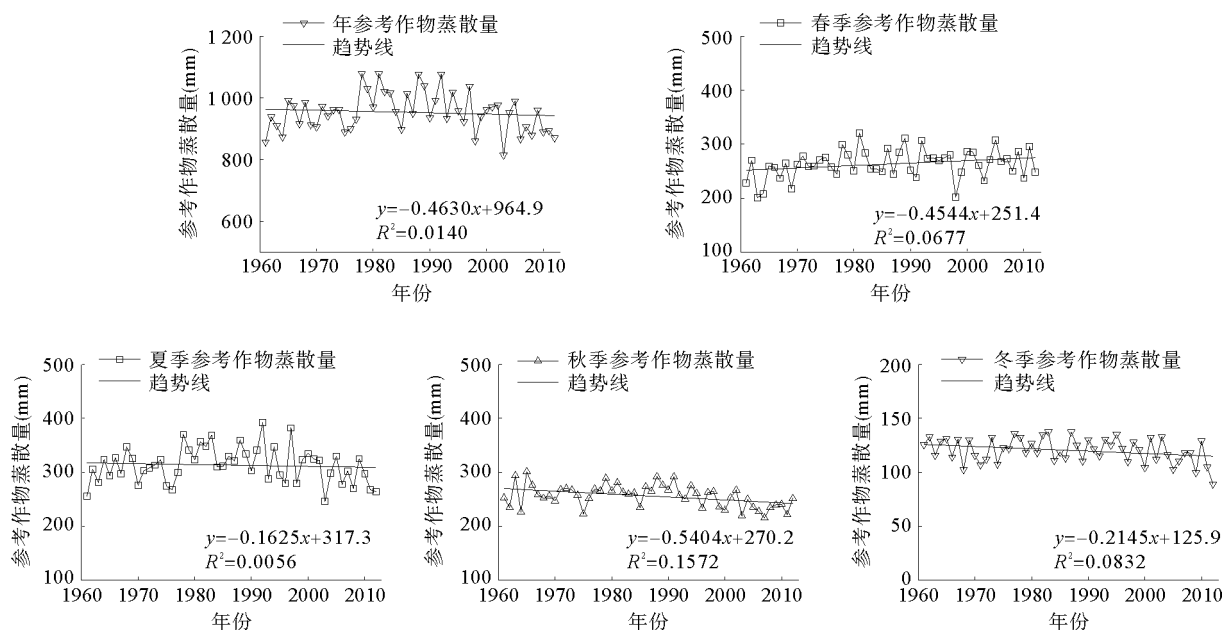


图 2 1961 年—2012 年青岛市年参考作物蒸散量和各季节参考作物蒸散量的变化

2.3 降水量和参考作物蒸散量的年代际变化

近 52 年青岛市年、四季降水量和参考作物蒸散量的年代际变化分析结果见表 1 所示,上世纪 60 年代、70 年代和 2000—2012 年的年降水量偏多,分别比多年平均降水量多 76.9mm、75.3mm 和 28.4mm,而 80 年代年降水量最少,比多年平均降水量少 133.0mm;上世纪 60 年代和 80 年代的春季降水量偏少,分别比多年平均春季降水量少 5.7mm 和 20.8mm;上世纪 80 年代和 90 年代的夏季降水量偏少,而上世纪 60 年代、70 年代和 2000—2012 年的夏季降水量则偏多,分别比多年平均夏季降水

量多 54.0mm、61.6mm 和 30.2mm;上世纪 60、70 年代秋季降水量偏多,而上世纪 80、90 年代和本世纪前 13 年的秋季降水量则偏少,分别比多年平均秋季降水量少 8.3mm、13.8mm 和 9.7mm。

从表 1 中还可以看出,参考作物蒸散量的年代际变化明显小于降水量的变化。上世纪 60 年代和 2000—2012 年的年、四季参考作物蒸散量偏少,其中,2000—2012 年期间年参考作物蒸散量比多年平均少 36.3mm,夏季和秋季参考作物蒸散量比多年平均少 16.3mm 和 18.7mm。上世纪 70 年代、80 年代和 90 年代的参考作物蒸散量偏多,其中 80 年代最多,年、

四季参考作物蒸散量比多年平均分别多 48.1mm、11.1mm、23.0mm、11.1mm 和 2.9mm。

表 1 青岛市各年代际年、季节降水量及参考作物蒸散量的距平

时段	降水量距平(mm)					参考作物蒸散量距平(mm)				
	年	春季	夏季	秋季	冬季	年	春季	夏季	秋季	冬季
1961—1969	76.9	-5.7	54.0	32.5	-3.8	-23.7	-25.3	-6.8	5.2	3.2
1970—1979	75.3	8.8	61.6	5.5	-0.6	4.7	5.3	-5.4	4.7	0.1
1980—1989	-133.0	-20.8	-99.6	-8.3	-4.3	48.1	11.1	23.0	11.1	2.9
1990—1999	-48.4	13.2	-49.9	-13.8	2.2	15.8	-1.5	9.8	3.9	3.5
2000—2012	28.4	3.0	30.2	-9.7	4.8	-36.3	6.0	-16.3	-18.7	-7.3

2.4 降水量和参考作物蒸散量时间序列突变分析

利用 Pettitt 非参数检验方法对青岛市年度和四季降水量和参考作物蒸散量时间序列进行了突变分析,其结果如表 2 所示。降水量和参考作物蒸散量各时间序列中,除秋季参考作物蒸散量出现减小突变外,均未出现突变。秋季参考作物蒸散量突变发生在 1995 年,且通过了 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验。

表 2 1961 年—2012 年青岛市平均气温、平均最高气温和平均最低气温时间序列的突变检验

时间	降水量(mm)		参考作物蒸散量(mm)	
	突变年份	显著性水平 α	突变年份	显著性水平 α
全年	— [§]	>0.10	—	>0.10
春季	—	>0.10	—	>0.10
夏季	—	>0.10	—	>0.10
秋季	—	>0.10	1995	0.01
冬季	—	>0.10	—	>0.10

[§] 表示时间序列无突变。

3 结 论

(1)近 52 年来(1961—2012)青岛市多年平均年、四季降水量分别为 666.3mm、111.0mm、374.1mm、145.0mm 和 36.2mm;年、夏季和秋季降水量时间序列呈减小趋势,而春季和冬季降水量时间序列则呈增大趋势,但所有时间序列变化趋势均未通过显著性检验,即变化趋势不明显。

(2)近 52 年来青岛市多年平均年、四季参考作物蒸散量分别为 952.7mm、263.5mm、313.0mm、255.9mm 和 120.3mm;除春季参考作物蒸散量时间序列呈增大趋势外,其余时间序列均呈减小趋势,其中,秋季和冬季参考作物蒸散量的减小趋势通过了 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验,而其余时间序列的变化趋势均未通过显著性水平检验,即变化趋势不明显。

(3)青岛市年度和四季降水量和参考作物蒸散量的所有时间序列中,除秋季参考作物蒸散量出现

减小突变外,其余均未出现突变。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report [R]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007
- [2] 秦大河,陈振林,罗勇,等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展,2007,3(2): 63—73
- [3] 李鹏飞,孙小明,赵昕奕. 近 50 年中国干旱半干旱地区降水量与潜在蒸散量分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(7):57—63
- [4] Díaz H, Bradley R. S, Eischeid JK. Precipitation fluctuations over global land areas since the late 1800's[J]. J Geophys Res, 1989, 94: 1195—1210
- [5] Tomozeiu R, Lazzeri M, Cacciamani C. Precipitation fluctuations during the winter season from 1960 to 1995 over Emilia-Romagna, Italy[J]. Theor. Appl. Climatol., 2002, 72: 221—229
- [6] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(Ⅰ):中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展,2006,2(1):3—8
- [7] 刘洪兰,白虎志,张俊国,等. 河西走廊中部近 53 年降水变化及未来趋势预测[J]. 干旱区研究,2011,28(1):146—150
- [8] 任国玉,郭军,徐铭志,等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报,2005,63(6):942—956
- [9] Dongsheng Z, Zheng D, Shaohong W, et al. Climate changes in northeastern china during last four decades[J]. China Geogr Sci, 2007, 17: 317—324
- [10] Xu C, Gong L, Jiang T, Chen D, Singh VP. Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment[J]. J Hydrol, 2006, 327: 81—93
- [11] 刘芸芸,张雪芹,孙杨. 全球变暖背景下西北干旱区雨季的降水时空变化特征[J]. 气候变化研究进展,2011,7(2):97—102
- [12] ALLEN R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements[R]. Rome, Italy: FAO, 1998
- [13] 王秀芬,杨艳昭,尤飞. 近 30 年来黑龙江省气候变化特征分析[J]. 中国农业气象,2011,32(增 1):28—32
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007:37—41
- [15] Pettitt AN. A non parametric approach to the change point problem[J]. Applied Statistics, 1979, 28(2): 126—135