

鄂北岗地近 54 年来干湿指数变化

李新尧¹, 孙小舟^{1,2}

(1. 湖北文理学院, 湖北 襄阳 441053 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 选取鄂北岗地及其附近 8 个气象站点 1960 年-2013 年逐日的气象观测数据, 采用 FAO 推荐的 Penmar-Montecito 模型计算该地区参考作物蒸散量和干湿指数, 在此基础上利用 Mann-Kendall 突变检验、Morlet 小波分析等方法分析了干湿指数的变化趋势和总体特征。结果显示: 1960 年-2013 年鄂北岗地干湿指数呈波动上升趋势, 其变化速率为 0.038/(10a), 干湿状况有所改善; 夏季干湿指数最大, 春秋次之, 冬季干湿指数最小; 1980 年-1981 年期间, 干湿指数发生了一次由低到高的突变; 干湿指数变化过程主要存在 3~6 a、8~15 a 和 17~25 a 等 3 类尺度的周期变化规律, 而 13 a 左右的周期变化是干湿变化的主周期; 干湿指数与相对湿度和降水量成正相关, 与气温、风速、日照时间成负相关, 而降水量是导致干湿指数变化的主导因素。

关键词: 鄂北岗地; 参考作物蒸散量; 降水量; 干湿指数

中图分类号: P467 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)05-0853-05

Variation tendency of dry-wet index in Hillock Area of northern Hubei in the recent 54 years

LI Xinyao¹, SUN Xiaozhou^{1,2}

(1. Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, China;

2. Institute of geographical science and resources, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Based on the daily meteorological data of eight weather stations in Hillock Area of northern Hubei from 1960 to 2013, the values of reference crop evapotranspiration and dry wet index were calculated using the Penmar-Montecito equation recommended by the FAO, and the variation tendency and general characteristics of dry-wet index were analyzed by the methods of Mann-Kendall test and Morlet wavelets analysis. The results indicated that (1) the dry wet index has increased slowly with a rate of 0.038/10a from 1960 to 2013, and the dry wet condition has been improved to some extent; (2) the dry wet index is the highest in summer, followed by spring and autumn, and the lowest in winter; (3) the dry wet index has an abrupt change from 1980 to 1981; (4) the dry wet index has three periodicities of 3~6 years, 8~15 years, and 17~25 years, and the primary periodicity is 13 years; and (5) the dry wet index has positive correlation with relative humidity and precipitation, and negative correlation with temperature, wind speed, and sunshine time, and precipitation is the dominant factor to cause the variation of dry wet index.

Key words: Hillock area of northern Hubei; reference crop evapotranspiration; precipitation; dry-wet index

由气候异常所引起的地表干湿状况的变化将对国民经济发展尤其是农业生产布局产生重大影响^[1]。基于此,许多学者对我国不同时空尺度的干湿状况及其演变规律进行深入研究,并取得了一些重要的研究成果。但研究主要集中在北方地区^[2-5],而对于南方尤其是一些特殊区域(如气候过渡地区)气候变化趋势的相关研究相对较少。

鄂北岗地位于湖北省北部、汉江中游,包括今襄阳市管辖的襄州区北部、枣阳市、老河口市、宜城市北部和随州市西部等地区,面积 7 238 km²,属北亚热带湿润半湿润季风气候,

年均气温 15℃~16℃,年均降水量 750~950 mm,具有我国南北过渡型的气候特征。该地处于湖北省北部低平的“南襄隘道”,是湖北省重要的粮棉油生产基地,也是鄂西生态文化旅游圈总体规划中生态环境保护与建设中的 6 大农业生态功能区之一^[6]。鄂北岗地也是有名的“旱包子”,旱涝灾害频繁,农业生产环境比较恶劣^[7]。因此研究鄂北岗地在全球变暖背景下干湿指数的时空变化规律,可以为该地及时应对气候变化所带来的不利影响、调整农业生产布局以促进社会经济的可持续发展提供决策支持。

收稿日期: 2014-12-15 修回日期: 2015-08-18 网络出版时间: 2015-09-25

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150925.1025.004.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(41101544); 湖北省高等学校优秀中青年创新团队项目(T201314)

作者简介: 李新尧(1992),男,湖北十堰人,主要从事区域资源开发与环境保护研究。E-mail: lxy0805sy@126.com

通讯作者: 孙小舟(1978),男,甘肃天水人,副教授,博士,主要从事资源开发和区域发展研究。E-mail: sxzh11@126.com

1 资料来源与研究方法

1.1 资料来源及预处理

原始数据来源于湖北省气象局。选取鄂北岗地及其附近老河口、谷城、南漳、襄阳(市区)、枣阳、宜城、随州、钟祥等 8 个气象站点 1960 年-2013 年逐日的气象资料(图 1), 具体包括最高气温、最低气温、风速、相对湿度、日照时间、降水量等气象数据。依次计算各站点 54 年的年平均及春(3 月-5 月)、夏(6 月-8 月)、秋(9 月-11 月)、冬(12 月及次年 1 月、2 月)四个季节平均的参考作物蒸散量及降水量。

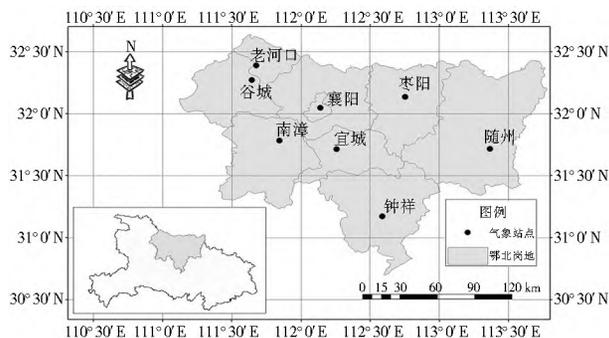


图 1 研究区气象站点分布

Fig. 1 Spatial distribution of the meteorological stations in the study area

1.2 研究方法

1.2.1 干湿指数和参考作物蒸散量

当前关于气候干湿状况国内外有很多研究理论和方法, 但以干湿指数应用最广^[8-12]。干湿指数以大气水分平衡方程为基础, 能较为客观地反映地区的干湿状况, 其定义为:

$$W = P/ET_0 \quad (1)$$

式中: W 为干湿指数; P 为降水量(mm/d); ET_0 为参考作物蒸散量(mm/d)。

一般采用中国干湿气候分区的标准划分干湿等级^[13]: $W < 0.03$ 为极干旱地区, $0.03 \sim 0.2$ 为干旱地区, $0.2 \sim 0.5$ 为半干旱地区, $0.5 \sim 1.0$ 为半湿润地区, $W > 1.0$ 为湿润地区。

确定干湿指数的关键在于计算参考作物蒸散量。本文采用 FAO 推荐的 Penmeir Montecito 模型^[14] 计算参考作物蒸散量:

$$FT_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 237} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (2)$$

式中: ET_0 为参考作物蒸散量(mm/d); Δ 为饱和水汽压曲线斜率(kPa/°C); R_n 为地表净辐射(MJ/(m²·d)); G 为土壤热通量(MJ/(m²·d)); γ 为干湿表常数(kPa/°C); T 为日平均气温, 这里由日最高气温和日最低气温的平均值得到(°C); 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)。

1.2.2 气候倾向率

利用气候倾向率^[11]分析干湿状况的线性变化趋势。其计算公式如下:

$$Y(t) = a + bt \quad (3)$$

式中: $Y(t)$ 为气候要素序列; t 为时间序列; a 为经验系数, 可通过最小二乘法求取; b 为趋势变化率, 当 b 为正(负)表示气候要素有增加(减小)趋势, $10b$ 为气候要素 10 a 的变化速率。

1.2.3 M-K 突变检验

本文利用 Mann Kendall 非参数检验法(以下简称 M-K 突变检验)^[15]对鄂北岗地干湿指数进行突变分析。该方法不仅可以对序列变化趋势进行定量说明, 还可以分析突变发生的时间节点。进行 M-K 突变检验的关键是绘制突变判别曲线。在突变判别曲线中, 若 UF 大于 0, 则表明序列呈上升趋势, 反之则呈下降趋势; 当曲线超过置信水平时, 表明上升或下降趋势显著; 如果 UF 和 UB 两条曲线出现交点, 且交点位于置信区间内, 那么交点对应的时刻即是突变开始的时刻。

1.2.4 小波分析

小波分析(Wavelet Analysis)能清晰地揭示出隐藏在时间序列中的多种变化周期, 充分反映系统在不同时间尺度中的变化趋势, 因而在信号处理、数值分析、水文学和大气科学等众多非线性科学领域内得到了广泛的应用^[16-18]。本文采用复值 Morlet 小波分析方法研究鄂北岗地干湿指数的周期变化规律。

对于时间序列函数 $f(t)$, 其连续小波变换定义为

$$W_f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (4)$$

式中: $W_f(a, b)$ 为小波变换系数; a 为伸缩尺度; b 为平移函数; Ψ^* 是 Ψ 的复共轭函数。在实际应用研究中, 往往根据具体情况选择所需的基本小波函数。

将小波系数的平方值在 b 域上积分, 就可以得到小波方差, 即

$$Var(a) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_f(ab)|^2 db \quad (5)$$

小波方差随尺度 a 的变化过程, 称为小波方差图, 它能反映信号波动的能量随尺度 a 的分布。因此, 小波方差图可以用来确定信号中不同种尺度扰动的相对强度和存在的主要时间尺度, 即主周期。

2 结果分析

2.1 干湿指数的年际变化特征

由图 2 可知, 1960 年-2013 年鄂北岗地的干湿指数在 0.66~1.77 之间变化, 多年均值为 1.21, 并且总体上呈现出缓慢的波动上升趋势, 其线性倾向率为 0.038/(10a)。从干湿指数的累积距平曲线来看, 1960 年-2013 年鄂北岗地的干湿指数经历了一次从下降到上升的过程: 以 1980 年为界, 前期干湿指数累积距平值呈现下降的趋势, 后期则呈现波动上升的趋势, 并且 2005 年以后, 其上升的趋势更为明显。

从图 3 来看, 1960 年-2013 年鄂北岗地的参考作物蒸散量和降水量表现出两种相反的变化趋势。其中, 参考作物蒸散量呈现出显著的下降趋势, 线性倾向率为 -17.538/(10a), 最大值为 947.33 mm(出现在 1966 年), 最小值为 600.72 mm(出现在 1989 年), 平均值为 752.83 mm; 而从降水量的变化来看, 1960 年-2013 年降水量表现为小幅度的波动上升趋势, 其线性倾向率为 1.393/(10a), 最大值为 1138.90 mm

(出现在1964年),最小值为621.56 mm(出现在1966年),平均值为897.39 mm。即降水量的变化幅度和总量均大于参考作物蒸散量。

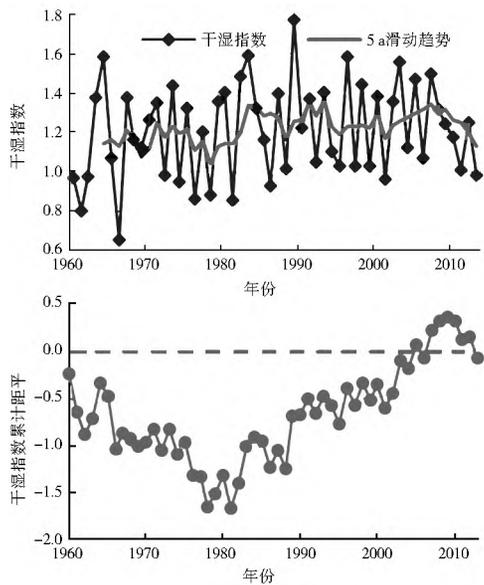


图2 鄂北岗地干湿指数的年际变化趋势和累积距平
Fig. 2 Interannual variation trend and accumulate anomaly of dry wet index in Hillock Area of northern Hubei

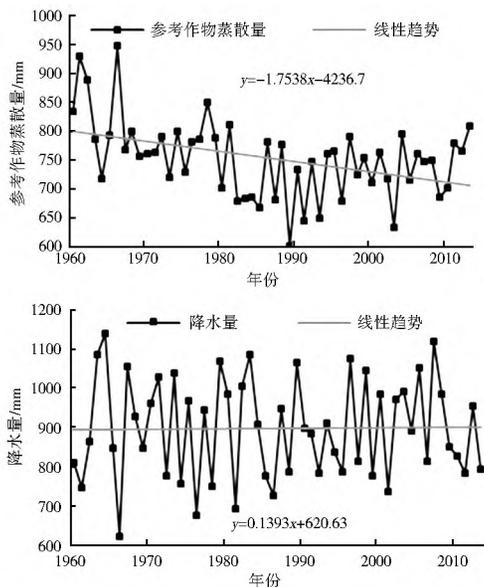


图3 鄂北岗地参考作物蒸散量和降水量的年际变化趋势
Fig. 3 Interannual variation trend of reference crop evapotranspiration and precipitation in Hillock Area of northern Hubei

2.2 干湿指数的季节变化特征

由于气温、降水、风速、光照时间及相对湿度等气候要素季节分配的不均匀性,必然导致不同季节的干湿指数存在差异。

由图4可以看出,1960年-2013年鄂北岗地干湿指数的季节分异比较明显,其中,夏季干湿指数最大,多年平均值为1.52;春秋次之,分别为1.21和1.27,相比夏季各低0.31和0.25;冬季干湿指数最小,多年平均值为0.68,约为夏季的45%。而同一时期,鄂北岗地降水量和参考作物蒸散量均呈现出夏季>春季>秋季>冬季的变化特征,这与干湿指数

的季节变化基本一致。从季节变化趋势来看,夏季和冬季总体上呈现上升趋势,夏季干湿指数的变化尤为明显,其线性倾向率为0.157/(10a),而冬季变化并不明显,其上升速率为0.031/(10a);春季和秋季的干湿指数总体上呈下降趋势,两者的下降速率分别为-0.083/(10a)和-0.05/(10a)。这表明,鄂北岗地近54年来夏季的气候最湿润,主要原因是受夏季季风的影响,一年中夏季的降水量最大,其占全年降水总量的比率约为44%;春秋两季的气候也较为湿润,其降水占全年降水总量的比率分别为23%和25%;冬季的气候最干燥,原因是冬季降水稀少,其占全年降水总量的比率不足8%,并且小于其平均参考作物蒸散量。

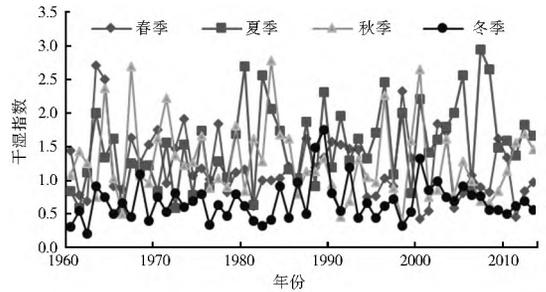


图4 鄂北岗地干湿指数的季节变化趋势
Fig. 4 Variation trend of seasonal dry-wet index in Hillock Area of northern Hubei

2.3 干湿指数的突变检验

对鄂北岗地1960年-2013年干湿指数序列进行M-K突变检验,结果见图5。可以看出,UF曲线分布在-1~1.65之间,其中,1960年-1962年 $UF < 0$,表明序列呈下降趋势;1963年-2013年 $UF > 0$,表明序列呈上升趋势。1963年-2013年序列总体上呈波动上升的趋势,但没有超过置信水平0.05的临界线。这说明,1960年-2013年鄂北岗地的干湿状况有所改善,但改善并不明显。在置信区间内,UF曲线与UB曲线存在多个交点,集中分布于1963年-1980年。而累积距平分析结果显示,以1980年-1981年为界,干湿指数累积距平曲线经历了下降-上升的变化过程。结合两种方法的分析结果,判断在1980年左右鄂北岗地干湿指数发生了一次由低到高的突变。根据图3参考作物蒸散量和降水量的变化趋势,显见这种突变是由于1980年以后参考作物蒸散量的减少造成的。

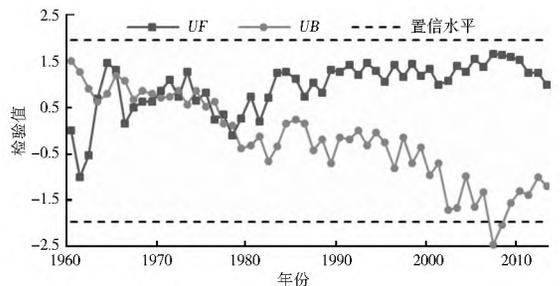


图5 鄂北岗地干湿指数M-K突变判别曲线
Fig. 5 Mann-Kendall mutation test curve of dry wet index in Hillock Area of northern Hubei

2.4 干湿指数的周期变化分析

采用Matlab7的Morlet小波分析程序对鄂北岗地1960

年-2013 年的干湿指数变化进行周期分析,得到小波系数实部等值线图(图 6(a))和小波方差图(图 6(b))。在小波系数实部等值曲线中,正值区域代表干湿指数相对偏大,负值区域代表干湿指数相对较小,小波系数实部为零则对应着突变的开始。

由图 6(a)可以看出,鄂北岗地 1960 年-2013 年的干湿指数变化过程表现出多时间尺度的特征,主要存在 3~6 a、8~15 a 和 17~25 a 等 3 类尺度的周期变化规律。其中,在 17~25 a 的时间尺度上,小波系数实部分别存在 3 个低值中心和 3 个高值中心,即干湿指数经历了干-湿交替的准 3 次震荡;在 8~15 a 的时间尺度上,小波系数实部等值线分布比较密集,干湿指数同样经历了由干到湿、由湿到干的多次震荡,并且最近一次震荡等值线没有闭合,据此可以推测鄂北岗地未来一段时间内仍将处于较干时期;而在 3~6 a 的时间尺度上,干湿指数则表现出更多次的连续周期变化,由于其波动能量相对较小,干湿变化并不明显。在小波方差图中,在 3 a、5 a、13 a、18 a 存在峰值,其中最大峰值对应的的时间尺度为 13 a,说明 13 a 左右的周期震荡最强,为干湿指数变化的第一主周期;而 18 a、5 a、3 a 则分别为第二、第三、第四主周期,这 4 个周期的波动控制着干湿指数在整个时间域内的变化特征。

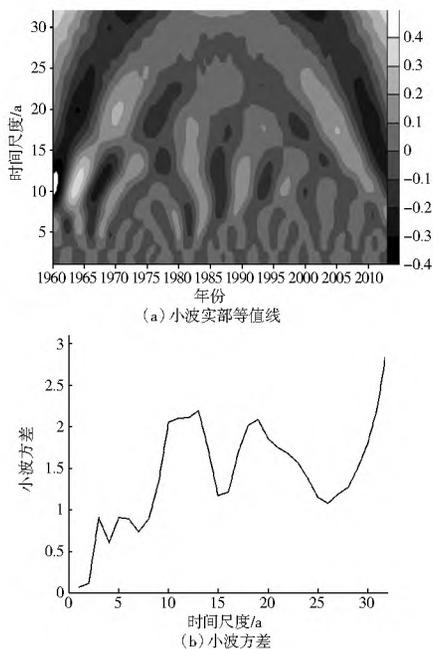


图 6 鄂北岗地干湿指数小波系数实部等值线和小波方差
Fig.6 Contour map of the real part of Morlet Wavelet coefficients and wavelet variances of dry wet index in Hillock Area of northern Hubei

2.5 干湿指数的影响因子分析

由干湿指数的定义可知,一个地区的干湿指数受到参考作物蒸散量和降水量的共同支配,而参考作物蒸散量又受气温、风速、相对湿度、日照时间等气象因子的影响。为了探讨气温、风速、相对湿度、日照时间、降水量等气象因子与干湿指数之间的关系,在 SPSS19 统计软件的支持下,运用相关分析法研究影响干湿指数的主要气象因子,结果见表 1。

通过计算干湿指数与各气象因子的偏相关系数(表 1),发现干湿指数与气温、风速、日照时间呈负相关,即气温越高、风速越大、日照时间越长,干湿指数越小,其中干湿指数

与日照时间之间的偏相关系数为-0.559(通过 95% 的置信水平检验),表明日照时间对干湿指数有较大影响。干湿指数与相对湿度和降水量呈正相关,其中干湿指数与降水量之间的偏相关系数为 0.969,并且通过了 99% 的置信水平检验,表明降水量是导致干湿指数变化的决定因素;干湿指数与相对湿度之间的偏相关系数仅为 0.365,表明相对湿度对干湿指数的变化并没有显著影响。

表 1 鄂北岗地多年平均干湿指数与各气象因子的偏相关系数
Tab.1 The partial correlation coefficient between annual average dry wet index and meteorological factors in Hillock Area of northern Hubei

气象因子	气温	风速	相对湿度	日照时间	降水量
偏相关系数	-0.378**	-0.234*	0.365*	-0.559*	0.969**

注: * 与 ** 指分别通过 0.05 与 0.01 的置信度检验。

3 结论及讨论

3.1 结论

(1) 1960 年-2013 年鄂北岗地干湿指数平均值为 1.21,总体上呈缓慢的波动上升趋势,其线性倾向率为 0.038/(10a)。干湿指数的累积距平值经历了由下降到上升的变化过程。同期参考作物蒸散量有明显的下降趋势,而降水量有小幅度的增加。

(2) 从干湿指数的季节变化来看,夏季干湿指数最大,多年平均值为 1.52,并且出现较为显著的上升趋势;冬季的干湿指数最小,多年平均值为 0.68,其上升趋势并不明显;春季和秋季的干湿指数处于夏季和冬季之间,多年平均值分别为 1.21 和 1.27,并且都有减小的趋势,分析发现降水的季节性分异是造成干湿指数季节变化的主要原因。

(3) 对干湿指数序列进行突变分析,发现干湿指数总体上呈上升趋势,但没有通过显著的置信水平检验。在 1980 年左右,干湿指数发生了一次由低到高的突变。

(4) 通过对干湿指数序列进行小波分析,发现干湿指数变化过程主要存在 3~6 a、8~15 a 和 17~25 a 等 3 类尺度的周期变化规律。而 3 a、5 a、13 a 和 18 a 等 4 个周期的波动控制着干湿指数在整个时间域内的变化特征,其中 13 a 左右的周期震荡最强,为干湿指数变化的第一主周期。

(5) 干湿指数的大小与参考作物蒸散量和降水量密切相关,研究发现降水量是导致干湿指数变化的决定因素,其它因素影响有限。

3.2 讨论

通过对鄂北岗地 1960 年-2013 年干湿指数的变化趋势分析,干湿指数总体上呈波动上升趋势,其上升速率为 0.038/(10a),干湿指数的上升是由参考作物蒸散量下降和降水量增加共同引起的,其下降和上升的速率分别为-17.538/(10a)和 1.393/(10a),但二者的作用范围和对于干湿指数变化贡献大小尚需进一步研究。分析发现,参考作物蒸散量和降水量表现出一定的负向相关性,但二者不是简单的线性对应关系,这是因为参考作物蒸散量和降水量都受到太阳辐射、行星因素、大气环流、下垫面甚至人类活动等多种因素的影响,使得其形成演变的过程十分复杂。

干湿状况的变化将在一定程度上改变区域的自然地理

环境和水资源的空间分布,进而影响国民经济建设和农业生产布局,只有深入了解气候变化的基本规律和总体趋势,才能及时制定科学有力的措施,从而应对气候变化带来的不利影响。

参考文献(References):

- [1] 赵俊芳,郭建平,徐精文,等.基于湿润指数的中国干湿状况变化趋势[J].农业工程学报,2010,26(8):18-24.(ZHAO Junfang, GUO Jianping, XU Jingwen, et al. Trends of Chinese dry-wet condition based on wetness index[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 18-24. (in Chinese))
- [2] 张永,陈发虎,勾晓华,等.中国西北地区季节间干湿变化的时空分布—基于PDSI数据[J].地理学报,2007(11):1142-1152.(ZHANG Yong, CHEN Fahu, GOU Xiaohua, et al. The temporal and spatial distribution of seasonal dry-wet changes over the northwestern China: based on PDSI[J]. Acta Geographica Sinica, 2007(11): 1142-1152. (in Chinese))
- [3] 王莺,李耀辉,姚玉璧,等.石羊河流域地表干湿变化的时空分布特征[J].资源科学,2013(10):2112-2120.(WANG Ying, LI Yaohui, YAO Yubi, et al. Spatial and temporal patterns in surface humidity changes in the Shiyang River Basin[J]. Resources Science, 2013(10): 2112-2120. (in Chinese))
- [4] 蒋冲,王飞,穆兴民,等.气候变化对渭河流域自然植被净初级生产力的影响研究(Ⅱ)—地表干湿状况时空演变特征分析[J].干旱区资源与环境,2013(4):30-36.(JIANG Chong, WANG Fei, MU Xingmin, et al. Effect of climate change on net primary productivity (npp) of natural vegetation in Wei River Basin(Ⅱ). Temporal and Spatial Characteristics of Dry-Wet Condition[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013(4): 30-36. (in Chinese))
- [5] 孙斌,高志海,王红岩,等.近30年京津风沙源区气候干湿变化分析[J].干旱区资源与环境,2014(11):164-170.(SUN Bin, GAO Zhihai, WANG Hongyan, et al. Dry/Wet variation of Beijing-Tianjin dust and sandstorm source region during 1981-2010[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014(11): 164-170. (in Chinese))
- [6] 余华强,罗敬东,张耀华,等.鄂北岗地农业生态环境的主要问题与保护对策[J].湖北农业科学,2011(1):56-58.(YU Huanqiang, LUO Jingdong, ZHANG Yaohua, et al. On the main problems and countermeasures about agricultural ecological environment in Hillock Area in the North of Hubei[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2011(1): 56-58. (in Chinese))
- [7] 袁本华.鄂北岗地农业经济可持续发展战略探讨[J].湖北社会科学,2005(2):55-57.(YUAN Benhua. Discussing the sustainable development strategy of agricultural economy in the upland of Northern Hubei[J]. Hubei Social Sciences, 2005(2): 55-57. (in Chinese))
- [8] 苏秀程,王磊,李奇临,等.近50年中国西南地区地表干湿状况研究[J].自然资源学报,2014(1):104-116.(SU Xiucheng, WANG Lei, LI Qilin, et al. Study of surface dry and wet conditions in Southwest China in Recent 50 Years[J]. Journal of Natural Resources, 2014(1): 104-116. (in Chinese))
- [9] 吴绍洪,尹云鹤,郑度,等.近30年中国陆地表层干湿状况研究[J].中国科学: D辑,2005,35(3):276-283.(WU Shaohong, YIN Yurhe, ZHENG Du, et al. Aridity/Humidity status of land surface in China during the last three decades[J]. Science in China: Series D, 2005, 35(3): 276-283. (in Chinese))
- [10] 裴彬.近30年来甘肃气候变化趋势及其对干湿状况的影响[J].干旱区资源与环境,2009(9):90-94.(PEI Bin. Climate changes and its influences on the aridity/humidity status in Gansu Province during the last three decades[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009(9): 90-94. (in Chinese))
- [11] 张亚宁,张勃,卓玛兰草,等.1960-2008年黑河流域地表干湿状况的时空变化分析[J].干旱区研究,2012(5):838-846.(ZHANG Yaning, ZHANG Bo, Zhuoma Lancuo, et al. Analysis on spatiotemporal change of dry-wet conditions in the Heihe River Basin during the Period from 1960 to 2008[J]. Arid Zone Research, 2012(5): 838-846. (in Chinese))
- [12] 刘劲龙,徐刚,杨娟,等.近55年来四川盆地气候的干湿变化趋势分析[J].西南大学学报:自然科学版,2013(1):138-143.(LIU Jinglong, XU Gang, YANG Juan, et al. Climatic variations of dryness and wetness in Sichuan Basin during 1955-2009[J]. Journal of Southwest University(Natural Sciences Edition), 2013(1): 138-143. (in Chinese))
- [13] 张方敏,申双和.中国干湿状况和干湿气候界限变化研究[J].南京气象学院学报,2008(4):574-579.(ZHANG Fangmin, SHEN Shuanghe. A study on dry/wet conditions and changes of dry/wet climate boundary in China[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2008(4): 574-579. (in Chinese))
- [14] 孙小舟,封志明,杨艳昭.西辽河流域1952年-2007年参考作物蒸散量的变化趋势[J].资源科学,2009(3):479-484.(SUN Xiaozhou, FENG Zhiming, YANG Yanzhao. Change tendency of reference crop evapotranspiration in Xiliaohe Basin[J]. Resources Science, 2009(3): 479-484. (in Chinese))
- [15] 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.(WEI Fengying. Modern Climatic Statistical Diagnosis and Prediction Technology[M]. Beijing: Meteorological Press, 2007. (in Chinese))
- [16] 潘雅婧,王仰麟,彭建,等.基于小波与R/S方法的汉江中下游流域降水量时间序列分析[J].地理研究,2012(5):811-820.(PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al. Precipitation change in middle and lower reaches of Hanjiang River: Based on wavelet analysis and R/S analysis[J]. Geographical Research, 2012(5): 811-820. (in Chinese))
- [17] 夏库热·塔依尔,海米提·依米提,麦麦提吐尔逊·艾则孜,等.基于小波分析的开都河径流变化周期研究[J].水土保持研究,2014(1):142-146,151.(Shakure. Tahir, Hamid. Yimit, Mamattursun. Eziz, et al. Research on period of annual runoff in Kaidu River Based on Wavelet Analysis[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014(1): 142-146, 151. (in Chinese))
- [18] 鲁凤,钱鹏,胡秀芳,等.基于小波分析与Mann-Kendall法的上海市近12年空气质量变化[J].长江流域资源与环境,2013(12):1614-1620.(LU Feng, QIAN Peng, HU Xiufang, et al. Air quality changes of Shanghai in recent 12 years based on wavelet analysis and mann-kendall method[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013(12): 1614-1620. (in Chinese))