

# 基于SPI和SPEI的库鲁斯台草原1961~2016年干旱特征对比分析

董海英, 井立红\*

塔城地区气象局, 新疆 塔城  
Email: 66536946@qq.com, \*463275155@qq.com

收稿日期: 2020年11月6日; 录用日期: 2020年11月20日; 发布日期: 2020年11月27日

## 摘要

随着全球气候变暖、极端天气出现得越发频繁, 塔城地区干旱发生的频率和危害程度均呈上升趋势。长期以来, 由于人为的因素和自然因素的影响, 库鲁斯台草原生态环境逐年恶化, 草原面积逐年减少, 一些稀有野生动物濒临灭绝, 植被体系破坏严重, 天然种质资源枯竭。干旱因其成因复杂且易受人类活动影响, 较难准确量化干旱持续时间、发生强度和影响范围。基于库鲁斯台草原1961~2016年月平均降水和气温资料, 引入干旱指标: 标准化降水指数(SPI)和标准化降水蒸散指数(SPEI), 应用12月尺度的SPI和SPEI定量描述库鲁斯台的56年来的干旱状况。结果表明: 基于降水和蒸散的SPEI可以更灵活的反映月季干旱变化特征, 而SPI指数没有温度变化对蒸散的影响, 不利于表征月季干旱变化特征; 近56a中, 两种指数判定的同一时间尺度下的干旱事件次数和发生时间基本统一; 两种指数在以12个月为尺度的时间趋变化上均存在着差异, SPEI呈变干趋势, SPI呈变湿趋势, 与SPI相比, SPEI考虑了热量因子对潜在蒸散发的贡献, 能较好地对气候变暖背景下研究区干旱进行刻画。

## 关键词

SPI, SPEI, 库鲁斯台草原, 干旱, 特征分析

## Comparative Analysis of Drought Characteristics of Kulusitai Grassland from 1961 to 2016 Based on SPI and SPEI

Haiying Dong, Lihong Jing\*

Tacheng Meteorological Bureau of Xinjiang, Tacheng Xinjiang  
Email: 66536946@qq.com, \*463275155@qq.com

Received: Nov. 6<sup>th</sup>, 2020; accepted: Nov. 20<sup>th</sup>, 2020; published: Nov. 27<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Based on SPI and SPEI, the drought characteristics of Kulusitai grassland from 1961 to 2016 were compared and analyzed. With the global warming and the more frequent occurrence of extreme weather, the frequency and harm degree of drought in Tacheng area showed an increasing trend. For a long time, due to the influence of human factors and natural factors, the ecological environment of Kulusitai grassland is deteriorating year by year; the grassland area is decreasing year by year; some rare wild animals are on the verge of extinction; the vegetation system is seriously damaged; and the natural germplasm resources are exhausted. It is difficult to accurately quantify the duration, intensity and extent of drought because of its complex causes and easy to be affected by human activities. Based on the monthly mean precipitation and temperature data from 1961 to 2016, the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) were introduced to quantitatively describe the drought situation of Kulusitai grassland in the past 56 years using the December scale SPI and SPEI. The results show that SPEI based on precipitation and evapotranspiration can reflect the characteristics of rose drought more flexibly. The results show that there is no effect of temperature change on evapotranspiration, which is not conducive to characterizing the characteristics of drought change of rose. In recent 56 years, the number and occurrence time of drought events under the same time scale determined by the two indexes are basically the same; there are differences in the time trend of the two indexes on the scale of 12 months. SPEI tends to dry, while SPI tends to become wet. Compared with SPI, SPEI takes into account the heat factor. The contribution of sub to potential evapotranspiration can better describe the drought in the study area under the background of climate warming.

## Keywords

SPI, SPEI, Kulusitai Grassland, Drought, Characteristic Analysis

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

干旱的发生严重危害人民生活 and 工农业生产, 造成的沙漠化、生态退化及其对人类社会和自然环境的影响已引起国际社会的高度重视和广泛关注。干旱是塔城地区发生最频繁的自然灾害之一, 出现的次数多、持续的时间长, 对国民经济特别是农业生产造成了严重的影响。随着全球气候变暖、极端天气出现得越发频繁, 塔城地区干旱发生的频率和危害程度均呈上升趋势。长期以来, 由于人为的因素和自然因素的影响, 库鲁斯台草原生态环境逐年恶化, 草原面积逐年减少, 一些稀有野生动物濒临灭绝, 植被体系破坏严重, 天然种质资源枯竭。干旱因其成因复杂且易受人类活动影响, 较难准确量化干旱持续时间、发生强度和影响范围。目前, 全球和区域干旱监测与分析的研究普遍借助干旱指数展开进行[1] [2] [3] [4]。一般认为, 干旱的形成和发展是地表水分亏缺缓慢积累的过程, 干旱程度应是水分亏缺量及其持续时间的函数。标准化降水指数(SPI)也是气象上常用的干旱指数, 在 2012 年李剑锋运用 SPI 对新疆地区 53 个雨量站 1957~2009 年日降水量资料进行全面分析, 研究了不同干旱等级发生概率的空间分布变化规

律。在全球变暖的气候背景下, 气温的持续上升使得地表蒸发量迅速增加, 导致地表水分收支平衡发生了新的变化。以往简单地以降水量变化作为描述干旱程度的单因素指数, 如降水距平百分率、SPI 和 Z 指数等, 已不能全面地反映这种新变化。因此, 干旱研究不仅要考虑地表水分的收入, 还要考虑水分的支出。利用库鲁斯台草原周边 4 个国家站 1961~2016 年温度和降水资料, 构建 12 个月尺度 4 站 SPI 和 SPEI 序列及以平均值表征库鲁斯台草原总体状态的 SPI、SPEI 序列, 将 SPI 和 SPEI 指数应用于库鲁斯台草原干湿空间分布及时间变化特征研究中, 以为库鲁斯台草原水资源优化配置和防灾减灾措施的制订提供依据。为库鲁斯台草原的生态修复工程提供理论支持, 为塔城地区生态文明建设以及绿色塔城发展做基础理论研究。

## 2. 库鲁斯台草原概况

### 2.1. 地理概况

如图 1, 库鲁斯台草原位于新疆塔额盆地腹地, 地处塔尔巴哈台山、乌尔喀沙山和巴尔鲁克山三座断块山地包围的陷落盆地腹部中心地带, 北以塔额公路为界, 南以托里 - 裕民公路为界, 西至中国与哈萨克斯坦国界, 东接额敏县杰勒阿尕什乡沿加依尔山延伸至托里县加尔巴斯牧场。草原地势平坦, 海拔 400~600 m, 额敏河贯穿中央, 东西长 76 km, 南北宽 36 km, 土地总面积 25.93 万  $\text{m}^2$ , 可利用草场面积 21 万  $\text{hm}^2$ 。库鲁斯台草原是全国第二大连片平原草场, 也是新疆绿洲经济的重要组成部分, 在塔城盆地及周边发挥着“肾脏功能”作用, 生态价值远远超过经济价值。重视库鲁斯台草原区域生态环境的保护和治理, 不仅对塔城盆地及周边地区生态文明建设有着极为重要的意义, 而且对于整个新疆社会经济稳定发展具有十分重要的影响。

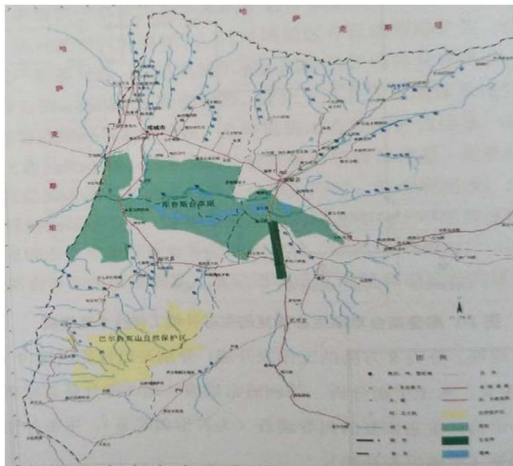


Figure 1. Kuru's location map

图 1. 库鲁斯台地理位置图

### 2.2. 库鲁斯台草原 1961~2016 年温度和降水变化

以塔城、额敏、裕民、托里四站 1961~2016 年气象资料(四站平均)作为表征库鲁斯台草原气候的资料。1961~2016 年: 年平均气温  $6.7^{\circ}\text{C}$ ; 年平均累积降水 279 mm。

由图 2 可以看出: 库鲁斯台草原近 56a 气温增长了  $2.37^{\circ}\text{C}$ , 平均升温速率为  $0.474^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。

滑动平均库鲁斯台草原 1961~2016 年降水量得到图 3: 60 年代至 80 年代库鲁斯台年降水呈下降趋势, 20 世纪 80 年代中期至低点后持续呈上升趋势, 存在不规律波动。

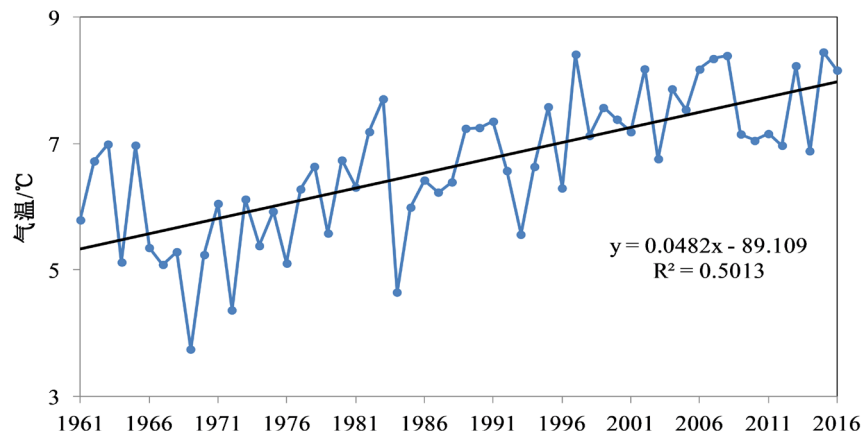


Figure 2. 1961~2016 year humidity change in Kuru's Grassland

图 2. 库鲁斯台草原 1961~2016 年湿度变化

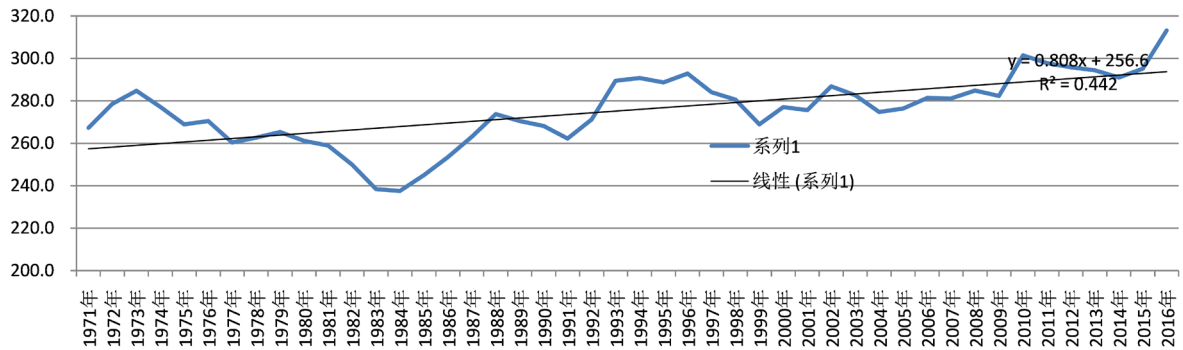


Figure 3. Annual variation trend of 1961~2016 year precipitation in Kuru's Grassland

图 3. 库鲁斯台草原 1961~2016 年降水量年变化趋势

### 3. 资料与方法

#### 3.1. 资料

本文使用由新疆信息中心质控过库鲁斯台周边四个国家站点(塔城、额敏、托里、裕民) 1961~2016 年温度及降水资料,该资料是无缺值连续资料。由图 1 可见库鲁斯台草原位于新疆塔额盆地腹地(E82°36'~84°00', N46°09'~46°44'), 以四站平均资料作为库鲁斯台草原气象资料。构建库鲁斯台草原 1961~2016 年 12 个月尺度 SPI 和 SPEI 序列。

#### 3.2. 方法

采用具有多时间尺度特征的标准化降水指数(SPI)与在 SPI 基础上考虑蒸散影响的标准化降水蒸散指数(SPEI)作为气候干湿状况的表征。不同时间尺度干旱指数的第一个月对应的是当前月,对 n 个月的时间尺度,从时间上自当月向前延续 n-1 个月。SPI 指数是表征某时段降水量出现概率多少的指标之一,该指标适合月尺度以上相对于当地气候状况的干旱监测与评估。

SPI 指数的构建过程如下:

假设某一时段的降水量为  $x$ , 则其  $\Gamma$  分布的概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^2 \Gamma(x)} x^{x-1} e^{-x/\beta} \quad (x > 0) \quad (1)$$

式中:  $\beta$  为尺度参数;  $\gamma$  为形状参数;  $x$  为降水量;  $\beta$  和  $\gamma$  可用极大似然估计方法求得:

$$\hat{\lambda} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A} \quad (2)$$

$$\hat{\beta} = \bar{x}/\hat{\gamma} \quad (3)$$

式中:

$$A = \lg \bar{x} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg x_i \quad (4)$$

式中:  $i_x$  为降水资料样本,  $\bar{x}$  降水量气候平均值,  $n$  为计算序列的长度。确定概率密度函数中的参数后, 对于某一年的降水量  $x_0$ , 可求出随机变量  $x$  小于  $x_0$  事件的概率为:

$$F(x < x_0) = \int_0^{\infty} f(x) dx \quad (5)$$

利用数值积分可以计算用(1)和(5)式后的事件概率近似估计值。降水量为 0 时的事件概率为:

$$F(x = 0) = m/n \quad (6)$$

式中:  $m$  为降水量为 0 的样本数;  $n$  为总样本数。对  $\Gamma$  分布概率进行正态标准化处理, 即将式(5)、(6)求得的概率值代入标准化正态分布函数, 即:

$$F(x < x_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-z^2/2} dz \quad (7)$$

对式(7)进行近似求解可得:

$$SPI = S \frac{t - (c_2 t + c_1) t + c_0}{((d_3 t + d_2) t + d_1) t + 1.0} \quad (8)$$

式中:

$t = \sqrt{\ln \frac{1}{F^2}}$ , 当  $F > 0.5$  时,  $S = 1$ ;  $F \leq 0.5$  时,  $S = -1$ 。  $c_0 = 2.515517$ ,  $c_1 = 0.802853$ ,  $c_2 = 0.010328$ ;  $d_1 = 1.432788$ ,  $d_2 = 0.189269$ ,  $d_3 = 0.001308$ 。

SPEI 指数的计算与 SPI 指数类似, 计算时首先以某一时段降水量与潜在蒸散量的差值替代降水量, 然后进行正态标准化, 潜在蒸散采用 Penman-Monteith 公式(Allen 等, 1998)计算。

根据国家气象干旱等级标准, 划分为 5 个等级, 并确定相应的 SPEI/SPI 界限值, 各级干旱指标见表 1。

**Table 1.** Drought classification of SPEI and SPI

**表 1.** SPEI 和 SPI 干旱等级划分

等级类型		SPEI 和 SPI
1	无旱	(-0.5, 0)
2	轻旱	(-1, -0.5]
3	中旱	(-1.5, -1]
4	重旱	(-2, -1.5]
5	特旱	( $-\infty$ , -2]

SPI 和 SPEI 是一种标准化的干旱指数, 负值表示有干旱事件发生, 正值则表示气候相对湿润, 绝对值越大, 表明干旱或湿润程度也越严重。SPEI 具有多时间尺度的优点, 1~6 个月时间尺度的 SPEI 反映的

是地表土壤水分变化, 可以表征干旱对农业的影响。而 12 个月时间尺度 SPEI 与水文变化密切相关, 反映的是某一地区长期的水分盈缺状态。相关研究指出, 12 个月及以上尺度的 SPEI 在新疆地区有较好的适用性, 因此, 本文以 12 个月时间尺度 SPEI 作为研究旱变化的指标。

#### 4. 结果分析

本文采用 SPI 和 SPEI 作为干旱指标, 对库鲁斯台草原干旱演变特征进行对比分析, 得到同一时间段上两种指数统计出的干旱事件发生次数及发生年份基本统一, 但同一降水变化序列, 两种指数在时间变化上存有明显差异。将两种指数时空变化趋势与降水量和平均气温的时空变化趋势结果进行对比, 以考察温度变化对库鲁斯台草原干湿变化的影响。

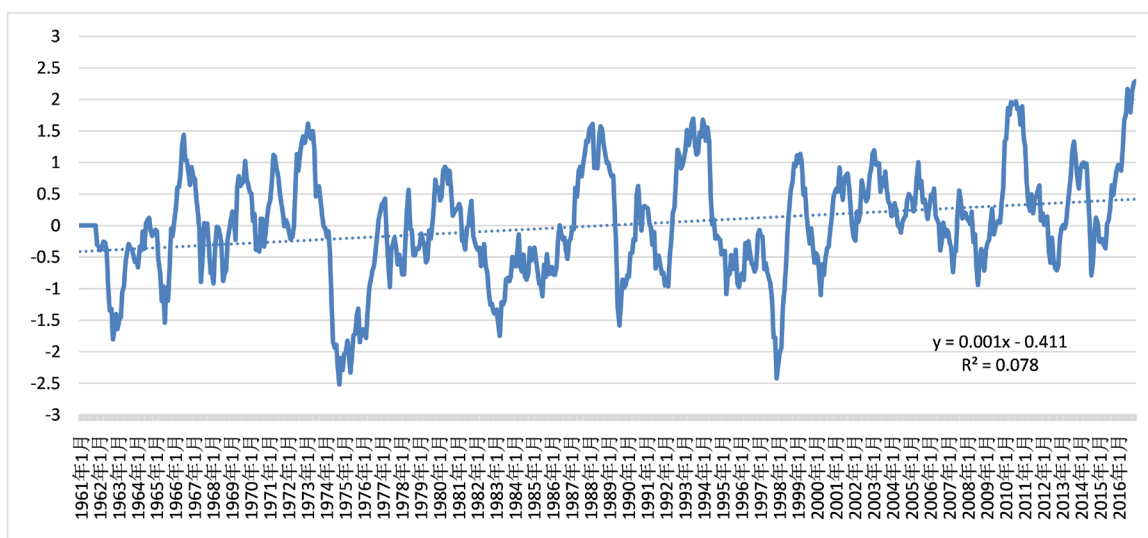


Figure 4. SPI scale of Kuru's grassland for 1961~2016 years and 12 months

图 4. 库鲁斯台草原 1961~2016 年 12 个月尺度的 SPI

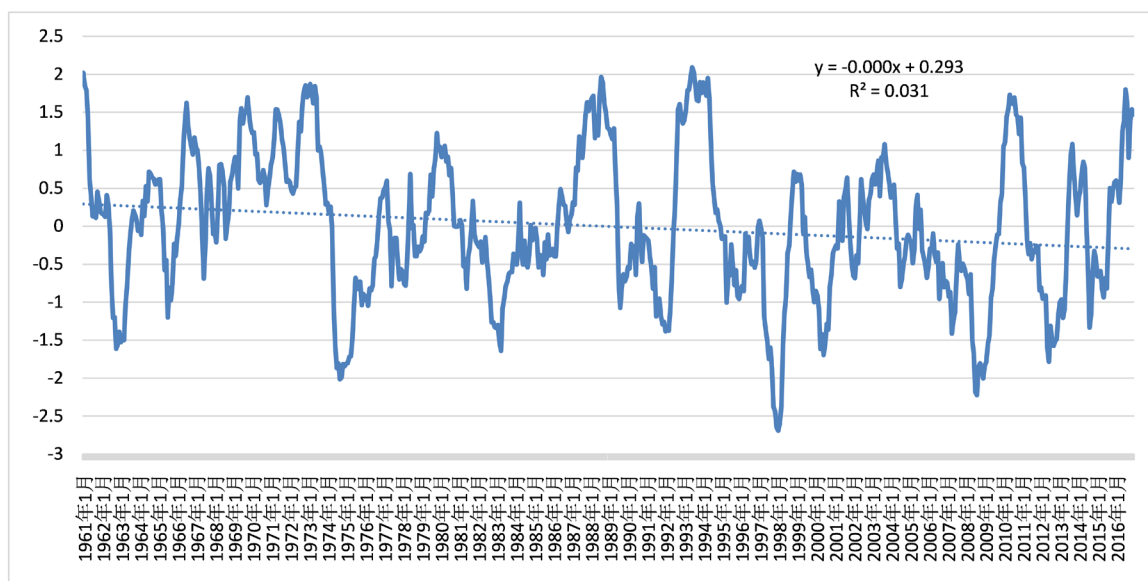


Figure 5. SPEI scale of Kuru's grassland for 1961~2016 years and 12 months

图 5. 库鲁斯台草原 1961~2016 年 12 个月尺度的 SPEI

计算库鲁斯台草原 56a 12 个月尺度的 SPI 和 SPEI, 并进行线性回归平滑处理, 得到其时间变化趋势图(图 4、图 5)。由图 4 可知, 近 56a 库鲁斯台草原 SPI 整体呈现波动上升的趋势, 线性趋势拟合也表明这种上升趋势是极其显著的, 而 SPEI 整体呈波动下降的趋势。两种指数在以 12 个月为尺度的时间趋变化上均存在着较大差异, SPEI 呈变干趋势, SPI 则变湿趋势, 与 SPI 相比, SPEI 考虑了热量因子对潜在蒸散发的贡献, 能较好地对气候变暖背景下研究区干旱进行刻画。

SPEI 和 SPI 序列曲线并分别于 1962、1965、1974、1997、2000 年及 2008 年下降到-1 以下区域, 意味着这 6 个年份发生了较为严重的干旱事件。文献[5] [6]及气象报道同样指出, 新疆于 1997、2006 年和 2008 年发生普遍干旱灾害, 特别是 2008 年被认为是有气象记录以来第二个严重干旱年。SPEI 指数很好的探测到这些干旱事件的发生, 充分显示了 12 个月尺度 SPEI 可以有效地反映库鲁斯台草原地区干旱发生及持续时间

## 5. 结论

1) 基于降水和蒸散的 SPEI 可以更灵活的反映月季干旱变化特征, 而 SPI 指数没有温度变化对蒸散的影响, 不利于表征月季干旱变化特征。

2) 近 56a 中, 两种指数判定的同一时间尺度下的干旱事件次数和发生时间基本统一。

3) 两种指数在以 12 个月为尺度的时间趋变化上均存在着差异, SPEI 呈变干趋势, SPI 呈变湿趋势, 与 SPI 相比, SPEI 考虑了热量因子对潜在蒸散发的贡献, 能较好地对气候变暖背景下研究区干旱进行刻画。

## 参考文献

- [1] Wu, H., Svoboda, M.D., Hayes, M.J., *et al.* (2007) Appropriate Application of the Standardized Precipitation Index in Arid Locations and Dry Seasons. *International Journal of Climatology*, **27**, 65-79. <https://doi.org/10.1002/joc.1371>
- [2] 唐宝琪, 延军平, 李双双, 等. 近 55 年米华东地区旱涝时空变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(3): 497-505.
- [3] 杨世刚, 杨德保, 赵桂香, 等. 份种十旱指数在山西省十旱分析中的比较[J]. 高原气象, 2011, 30(5): 1406-1414.
- [4] 谢五份, 工胜, 唐为安, 等. 十旱指数在淮河流域的适用性对比[J]. 应用气象学报, 2014, 25(2): 176-184.
- [5] 白云岗, 木沙·如孜, 雷晓云. 新疆干旱灾害的特征及其影响因素分析[J]. 人民黄河, 2012, 34(7): 61-63.
- [6] 新疆气候中心. 2008 年新疆十大天气气候事件[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(1): 61-62.