

基于综合气象干旱指数的干旱状况分析 ——以锡林河流域为例

王慧敏, 郝祥云, 朱仲元

(内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018)

摘要:降水量与气温是引起干旱的主要气象因子,利用1981—2016年的降水量与气温的逐月数据,绘制最值曲线并对其进行相关性进行了分析,利用数据计算得到综合气象干旱指数(CI)且用其对锡林河流域干旱状况进行了分析。结果表明:研究区内在1981—2016年中,逐月平均气温最值曲线的变化趋势比较微弱,最高温度与最低温度分别为24.94, -23.53℃。最大降水量的变化趋势呈现出减小的状态,而最小降水量基本无变化,降水量的最大值与最小值分别为178.1, 0 mm。36年中,CI指数只有在春季、夏季和秋季3个季节中不为0,在月尺度上只发生轻旱事件共121次,其中春季发生的干旱事件最为频繁;秋季次之;夏季发生干旱事件的频次最少。干旱发生频次呈现出微弱的降低趋势。

关键词:气象因子; 锡林河流域; CI; 干旱事件

中图分类号:P426.616

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)02-0326-04

Analysis of Drought Condition Based on Integrated Meteorological Drought Index —Taking the Xilinhe River Basin as an Example

WANG Huimin, HAO Xiangyun, ZHU Zhongyuan

(Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: Precipitation and air temperature are the main meteorological factors in relation to drought. Using the monthly data of precipitation and air temperature from 1981 to 2016, we plotted the curve of maximum and minimum and analyzed the correlation. The integrated meteorological drought index (CI) was calculated using data. CI was used to evaluate the drought conditions in the Xilinhe River Basin. The results showed that in the study area during 1981—2016, the change trend of the mean monthly temperature curve was relatively weak, with the maximum and minimum temperatures being 24.94℃ and -23.53℃, respectively; the change trend of the maximum precipitation presented the decreasing state, while the minimum precipitation did not change substantially; the maximum and minimum values of precipitation were 178.1 mm and 0 mm, respectively. In 36 years, the CI values were greater than zero in the spring, summer, and autumn, and there were only 121 light drought events on the monthly scale, of which drought occurred most frequently in spring, came the next in autumn; the frequency of drought events was the least in summer. The frequency of droughts showed a slightly decreasing trend.

Keywords: weather factor; Xilinhe River Basin; CI; drought event

干旱是指在某一地理范围内,相对较长时间内无降水或降水异常偏少的一种气候现象^[1]。作为世界上最为严重的自然灾害之一,干旱出现的频率之高、次数之多、持续时间之长、影响范围之广,给农牧业造成了严重的经济损失。干旱影响了牧草的正常返青

与生长发育,使得地上生物量减少。随着全球气候变暖,中国北方地区干旱化趋势明显^[2]。我国干旱频繁,受干旱影响较大,地处干旱和半干旱气候区的内蒙古自治区,东部及南部与半湿润的东北平原、华北平原及黄土高原接壤,是农牧交错地带,也是不同气

候区的过渡带,具有较高的气候敏感性。21 世纪以来,内蒙古东部及东北部地区降水严重偏少^[3]。

对于干旱评价主要的方式为采用干旱指标进行评价。当前,在我国应用较为广泛的依旧为气象干旱指数(CI)^[4-6]。准确地对干旱事件发生与否及程度进行判断,是开展干旱预测、评估、预警的关键^[7-8]。近年来,众多学者对不同干旱监测指数的适用性及不同区域的干旱变化特征进行了研究^[9-12]。针对气象干旱,2006 年国家气候中心在单项干旱指标^[13-14]的基础上颁布了综合气象干旱指数(CI)。这种方法在中国部分地区的干旱研究都具有较好的适用性^[15-18]。但是在锡林河流域对旱涝状况的应用研究开展的却很少。本文在分析降水与温度历年变化特征的基础上,计算 CI 指数,分析在其表达下的研究区内历年及季节尺度下的旱涝事件变化特征。以期为研究区内的旱涝灾害预警提供依据。

1 材料与研究方法

1.1 研究区概况与数据来源

锡林浩特市位于锡林郭勒草原中部(115°13′—117°06′E,43°02′—44°52′N),属中温带干旱半干旱大陆性季风气候,风大、少雨、寒冷,春秋短暂,夏无酷暑,冬季漫长,四季分明。本文研究区位于锡林浩特水文站控制的锡林河上游区域,控制流域面积达 3 852 km²。由于锡林河流域具有特殊的季节性和地理性特点,降水和融雪水成为该地区水资源的主要来源^[19]。主要的气候特征为昼夜温差大,流域多年平均径流深为 137.4 mm,蒸发量大。牧草生长所需水分主要来源于大气降水,水分亏缺是牧草生物量的重要影响因素^[20]。研究区位置见图 1。

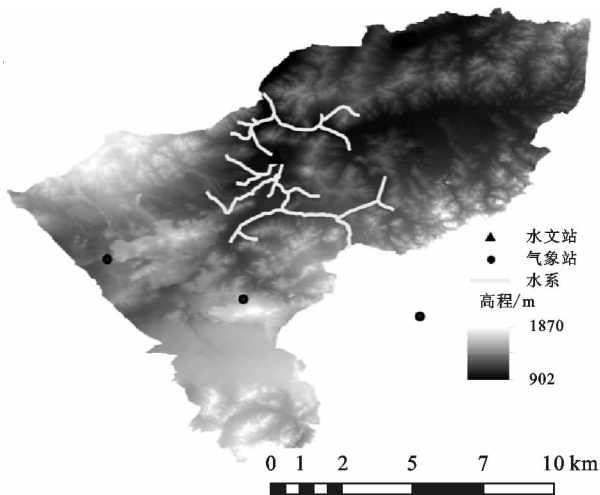


图 1 研究区位置

文中所需要的逐月降水与气温的数据资料来源于

中国气象数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)。

1.2 研究方法

综合气象干旱指数(CI)^[21]是利用近 30 d(相当于月尺度)和近 90 d(相当于季尺度)降水量标准化降水指数,以及近 30 d 相对湿润度指数进行综合而得,该指标既反映时间尺度(月)和长时间尺度(季)降水量气候异常情况,又反映短时间尺度(影响农作物)水分亏欠情况。该指数适合实时气象干旱监测和历史同期气象干旱评估。综合气象干旱指数(CI)的计算如下:

$$CI=aZ_{30}+bZ_{90}+cM_{30} \tag{1}$$

式中: Z_{30} 为近 30 d 标准化降水指数,由达轻旱以上级别 Z_{30} 的平均值除以历史出现最小 Z_{30} 值,平均取 0.4; Z_{90} 为近 90 d 标准化降水指数,由达轻旱以上级别 Z_{90} 的平均值除以历史出现最小 Z_{90} 值,平均取 0.4; M_{30} 为近 30 d 相对湿润指数,由达轻旱以上级别 M_{30} 的平均值除以历史出现最小 M_{30} 值,平均取 0.8。

相对湿润度指数(M)公式为:

$$M=\frac{P-PE}{PE} \tag{2}$$

式中: P 为某时段的降水量(mm); PE 为某时段的可能蒸散量(mm)。

可能蒸散量用 Thornthwaite 方法计算,该方法是求算可能蒸散量的经验公式,主要特点是以月平均温度为主要依据,并考虑纬度因子(日照长度)建立的经验公式,需要输入的因子少,计算方法简单,公式为:

$$PE_m=16.0\times\left(\frac{10T_i}{H}\right)^A \tag{3}$$

式中: PE_m 为可能蒸散量,是指月可能蒸散量(mm/月); T_i 为平均气温(℃); H 为年热量指数; A 为常数。

年热量指数计算公式为:

$$H=\sum_{i=1}^{12}\left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514} \tag{4}$$

常数 A 计算公式为:

$$A=6.75\times10^{-7}H^3-7.71\times10^{-5}H^2+1.792\times10^{-2}H+0.49 \tag{5}$$

气象干旱等级中规定 CI 指数的干旱等级划分^[21]见表 1:

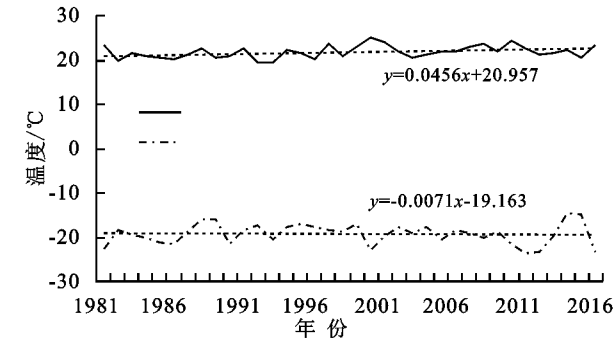
表 1 综合气象干旱等级划分

等级	类型	CI 值
1	无旱	$-0.6<CI$
2	轻旱	$-1.2<CI\leq-0.6$
3	中旱	$-1.8<CI\leq-1.2$
4	重旱	$-2.4<CI\leq-1.8$
5	特旱	$CI\leq-2.4$

2 结果与分析

2.1 主要气象要素最值曲线确定

利用 1981—2016 年的数据绘制气温最值与降水量最值曲线(图 2),由曲线可以看出,最高气温的变化趋势是微弱的升高状态,升高的速率为 0.045℃/a,而最低气温的变化趋势呈微弱的降低状态,速率为-0.007℃/a。总体来说,36 a 中的气温最值比较稳定。其中月平均



气温的最高值为 24.94℃,月平均气温的最低值为-23.53℃,最高温与最低温的差值达到 48.47℃。降水量最值变化曲线表明,最大降水量的变化趋势呈现出减小的状态,速率为-0.359 mm/a,而最小降水量的变化趋势是微弱的升高状态,速率为 0.015 mm/a,总体来说,最小降水量的历年变化不大。其中 36 a 来逐月降水量的最大值为 178.1 mm,最小值为 0 mm,最大值与最小值的降水量差为 178.1 mm。

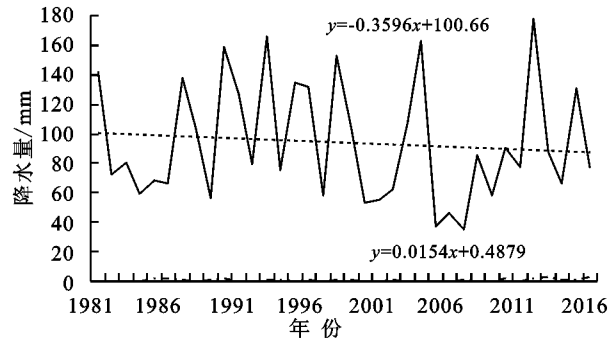


图 2 主要气象要素最值曲线

历年的逐月平均气温的最高值都出现在夏季,其中有 77.8%都出现在 7 月份,有 16.7%出现在 8 月份,只有 5.5%出现在 6 月份。说明 7 月份的气温对最高气温的贡献最大。而逐月平均气温的最低值都出现在冬季,其中有 83.35%出现在 1 月份,有 13.9%出现在 12 月份,只有 2.8%出现在 2 月份,说明 1 月份的气温对最低气温的贡献最大。历年的逐月降水量的最值出现的时间不稳定,最大值中有 88.9%出现在夏季,有 8.3%出现在春季,只有 2.8%出现在秋季。说明夏季的降水量对最大降水量贡献最大。而最小值中有 46.0%出现在冬季,有 32.4%出现在春季,有 21.6%出现在秋季。由最

小降水量出现的季节来看,春、秋、冬 3 季所占的比例相差并不大,所以对最小降水量的贡献相当。

2.2 主要气象要素相关性分析

由降水与气温的相关性(表 2)可以看出,4 月、5 月呈正相关关系,10 月份没有相关关系,其余年份为负相关关系,而在夏季的 6 月、7 月、8 月份为显著负相关关系,说明夏季降水量与气温的关系较其他季节更为密切,且在夏季中,气温越低则降水量越大,在这 3 个月中,历年的最高气温出现在 7 月份的频次最多,其次为 8 月份,出现在 6 月份的频次最少。所以在历年的降水量中,最大降水量大多出现在 7 月份。

表 2 主要气象要素相关性

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相关系数	-0.240	-0.055	-0.145	0.035	0.075	-0.582**	-0.452**	-0.669**	-0.244	0.000	-0.515**	0.075

注:**表示在 0.01 水平上显著相关。

2.3 干旱事件季节变化分析

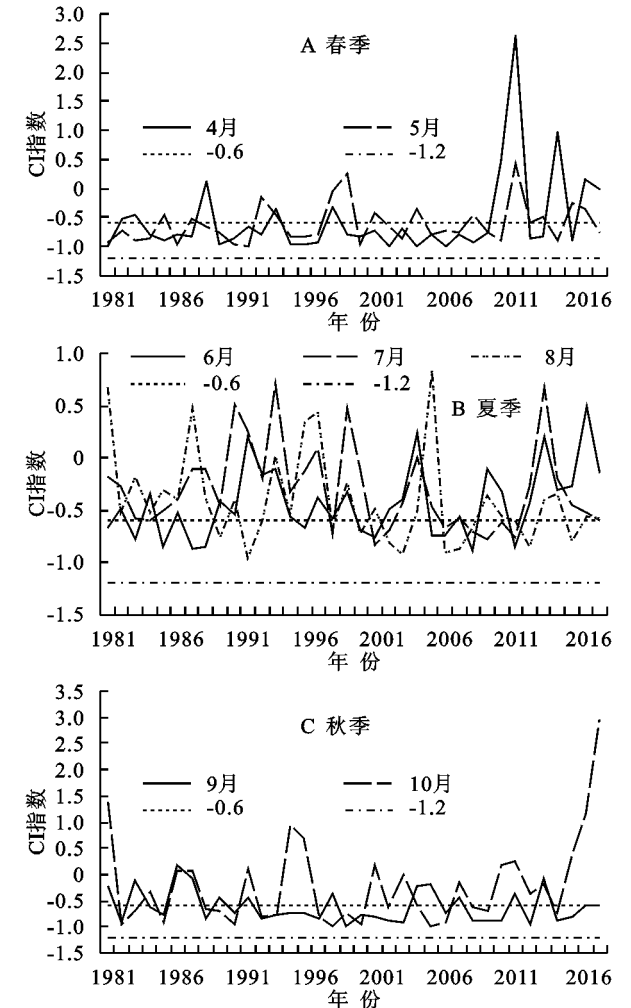
在 1981—2016 年历年的月平均气温可以得知,除 2002 年和 2016 年外,其余年份的 4—10 月的月平均气温为正,其他的月平均气温为负,而在 2002 年的 9 月份与 2016 年的 5 月份气温却出现了负值,在 CI 的计算中规定温度为负值时 CI 为 0,当 CI 值为-1.2~-0.6 时表示发生轻旱事件。经过计算,研究区内在 1981—2016 年中只有在春季、夏季和秋季 3 个季节中 CI 不为 0(4—10 月),这是由于冬季的气温为负值。由不同季节 CI 指数图(图 3)可以看出,36 a 中,春季发生的干旱事件最为频繁,大约有超过一半的年份出现轻旱,秋季次之,大约有一半的年份发生轻旱;夏季发生干旱事件的频次最少,只有一小部分年份发生了轻旱。统计发现,36 a 中

春、夏、秋 3 个季节在月尺度上只发生过轻旱事件,共 121 次,春季发生轻旱事件 48 次,其中 4 月份发生 26 次,5 月份发生 22 次;夏季发生轻旱事件 32 次,其中 6 月份发生 12 次,7 月份发生 8 次,8 月份发生 12 次;秋季发生轻旱事件 41 次,其中 9 月份发生 23 次,10 月份发生 18 次。总体来看,研究区内只出现轻旱事件,没有出现过中度及以上程度的干旱事件,虽然旱情并不严重,但是出现的频次却并不少,且大多出现在春、秋两季。而春季是牧草返青的重要季节,特别是在 5 月份做好抗旱工作对于牧草返青及生物量具有重要的影响。

2.4 干旱事件年际分析

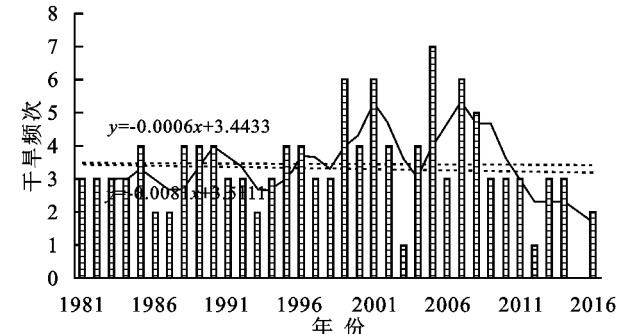
由干旱事件发生频次图(图 4)可知,36 a 中,干旱发生频次呈现出微弱的降低趋势,速率为-0.08

次/10 a。除了 2015 年没有发生干旱事件外,其余年份均有发生,2005 年发生干旱事件的次数最多为 7 次,在 1999—2008 年期间,干旱发生的最为频繁,36 a 中平均每年发生干旱事件的次数为 3 次。而 3 a 滑动平均值减弱了频次最值对整个序列的影响,3 a 滑动平均值显示,干旱事件发生最多的次数为 5 次,最少的次数为 1 次,且其变化趋势呈水平状态,说明在短时间内,干旱发生频次不会发生太大的变化,呈现出的是一种稳定的状态。



注:在-0.6与-1.2两条虚线之间表示发生轻旱事件。

图 3 CI 指数季节尺度变化



注:折线表示 3 a 滑动平均,虚线表示趋势线。

图 4 干湿事件频次分布

3 结论

(1) 36 年的逐月平均气温最大值曲线的变化趋势比较微弱,基本上为稳定状态。最高气温与最低气温分别为 24.94°C , -23.53°C , 温差为 48.47°C 。历年的逐月平均气温的最高值都出现在夏季,且多出现在 7 月份,说明 7 月份的气温对最高气温的贡献最大。最低值都出现在冬季,且多出现在 1 月份,说明 1 月份的气温对最低气温的贡献最大。降水量最值变化曲线表明,最大降水量的变化趋势呈现出减小的状态,而最小降水量基本无变化,降水量的最大值与最小值分别为 178.1 mm 和 0 mm 。降水量最大值多出现在夏季,而最小值出现时间并不稳定。

(2) 研究区内在 1981—2016 年中,只有在春季、夏季和秋季 3 个季节中 CI 值不为 0。36 a 中,春、夏、秋 3 个季节在月尺度上只发生过轻旱事件,共 121 次,其中春季发生的干旱事件最为频繁,为 48 次;秋季次之,为 41 次;夏季发生干旱事件的频次最少,为 32 次。总体来看,虽然研究区内没有出现过中度及以上旱情事件,但是轻旱事件的出现频次却并不少。

(3) 36 年中,干旱发生频次呈现出微弱的降低趋势,速率为 $-0.08\text{ 次}/10\text{ a}$ 。2005 年发生干旱事件的次数最多为 7 次,在 1999—2008 年期间,干旱发生的最为频繁,3 a 滑动平均值变化趋势呈水平状态,说明在短时间内,干旱发生频次不会发生太大的变化,表现出一定的稳定性。

参考文献:

[1] 王文静,延军平,刘永林,等. 基于综合气象干旱指数的海河流域干旱特征分析[J]. 干旱区地理,2016,39(2): 336-344.

[2] 马柱国,符淙斌. 1951—2004 年中国北方干旱化的基本事实[J]. 科学通报,2006,51(20):2429-2439.

[3] 高涛,肖苏君,乌兰. 近 47 年(1961—2007 年)内蒙古地区降水和气温的时空变化特征[J]. 内蒙古气象,2009(1):3-7.

[4] 王春林,郭晶,薛丽芳,等. 改进的综合气象干旱指数 CI_{new} 及其适用性分析[J]. 中国农业气象,2011,32(4): 621-626.

[5] 赵海燕,高歌,张培群,等. 综合气象干旱指数修正及在西南地区的适用性[J]. 应用气象学报,2011,22(6):698-705.

[6] 张调风,张勃,王有恒,等. 基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析[J]. 生态学报,2013,33(3):975-984.

[7] 包云轩,孟翠丽,申双和,等. 基于 CI 指数的江苏省近 50 年干旱的时空分布规律[J]. 地理学报,2011,66(5):599-608.

- 松辽平原干旱时空特征[J]. 干旱区研究, 2014, 31(3): 383-389.
- [5] Savitzky A, Golay M J E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures[J]. Analytical Chemistry, 1964, 36(8): 1627-1639.
- [6] 张悦, 沈润平, 彭露露, 等. 基于重建 MODIS 无云数据反演京津冀地区土壤湿度[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(12): 375-378.
- [7] 王乾坤, 于信芳, 舒清态, 等. MODISEVI 时序数据重建方法及拟合分析[J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(6): 732-741.
- [8] 苏红, 刘峻明, 王春艳, 等. 基于时间序列 MODIS LST 产品的重构研究[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(5): 99-107.
- [9] Lambin E F, Ehrlich D. The surface temperature-vegetation index space for land cover and land-cover change analysis[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(3): 463-487.
- [10] 严婧, 沈润平, 鲍艳松, 等. 江苏地区 MODIS LST 产品重建研究[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(1): 160-167.
- [11] 朱寿东, 刘慧平, 冯徽徽, 等. 基于时间序列影像的中观尺度农作物长势监测采样方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 127-133.
- [12] 王思楠, 李瑞平, 韩刚, 等. 基于多源遥感数据的 TVDI 方法在荒漠草原旱情监测的应用[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(3): 458-464.

(上接第 329)

- [8] 史继清, 甘臣龙, 扎西顿珠, 等. 基于 CI 指数的河北省干旱特征分析及 R/S 分析[J]. 安徽农业学报, 2015, 43(2): 221-227.
- [9] 杨世刚, 杨德保, 赵桂香, 等. 3 种干旱指数在山西省干旱分析中的比较[J]. 高原气象, 2011, 30(5): 1406-1414.
- [10] 马明卫, 宋松柏. 渭河流域干旱指标空间分布研究[J]. 干旱区研究, 2012, 29(4): 681-691.
- [11] 马海娇, 严登华, 翁白莎, 等. 典型干旱指数在滦河流域的适用性评价[J]. 干旱区研究, 2013, 30(4): 728-734.
- [12] 王素萍, 王劲松, 张强, 等. 几种干旱指标对西南和华南区域月尺度干旱监测的适用性评价[J]. 高原气象, 2015, 34(6): 1616-1624.
- [13] 李柏贞, 周广胜. 干旱指标研究进展[J]. 生态学报, 2014, 34(5): 1043-1052.
- [14] 杨金虎, 张强, 王劲松, 等. 近 60 a 来中国西南春季持续性干旱异常特征分析[J]. 干旱区地理, 2015, 38(2): 215-222.
- [15] 历超, 董洋, 阙伟伦. 基于 CI 指数的黑龙江干旱分析及其应用[J]. 现代化农业, 2017(11): 43-45.
- [16] 翟禄新, 冯起. 基于 SPI 的西北地区气候干湿变化[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5): 847-857.
- [17] 熊光洁. 近 50 年中国西南地区不同时间尺度干旱气候变化特征及成因研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [18] 闫峰, 王艳娇, 吴波, 等. 近 50 年河北省干旱时空分布特征[J]. 地理研究, 2010, 29(3): 423-430.
- [19] 段超宇. 基于 SWAT 模型的锡林河流域融雪径流模拟研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [20] 陈素华, 闫伟兄, 乌兰巴特尔, 等. 干旱对内蒙古草原牧草生物量损失的评估方法研究[J]. 草业科学, 2009, 26(5): 32-37.
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 气象干旱等级 GB/T20481—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.