

Analysis of Climate Change and Drought Characteristics of Julu in Hebei Province during 1959~2016

Hualei Ji, Haiting Gu, Conghui Lu, Lan An, Tao Zhang

Meteorological Bureau of Julu County, Julu Hebei
Email: 646630750@qq.com

Received: Sep. 10th, 2017; accepted: Sep. 23rd, 2017; published: Sep. 27th, 2017

Abstract

Based on the climate data of Julu county, Hebei province during 1959~2016, the characteristic of climate change and drought were analyzed by linear regression and SPI (Standardized Precipitation Index). The results showed that the annual mean air temperature increased significantly with a rate 0.19°C/10a from 1959~2016, but has a decline period during 1960-1970, and the annual total precipitation changed insignificantly at -7.38 mm/10a. The frequency of drought (SPI3: SPI of 3 months scale) lasted for three months or above was 51%, its occurrence focused mainly from April to October, and the frequency of drought with its average intensity at moderate or above was 41%. The droughts with effects on agriculture have high frequency and severity. There is no decreased trend significantly for drought during the last 58 years.

Keywords

Climate Change, Temperature, Precipitation, Drought, Standardized Precipitation Index

河北巨鹿近58年(1959~2016)气候变化与干旱特征分析

纪华磊, 谷海婷, 路聪慧, 安 兰, 张涛

河北省巨鹿县气象局, 河北 巨鹿
Email: 646630750@qq.com

收稿日期: 2017年9月10日; 录用日期: 2017年9月23日; 发布日期: 2017年9月27日

摘要

根据河北省巨鹿县近58年(1959~2016)气候资料,采用线性倾向方法,应用标准化降水指数(SPI),分析了巨鹿县气候变化与干旱特征。结果表明:巨鹿年平均气温总体上呈上升趋势,其倾向率为 $0.19^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,但在20世纪60、70年代出现了下降趋势;年降水量变化倾向率为 $-7.38\text{ mm}/10\text{a}$,呈现不显著的下降趋势。持续3个月及以上的干旱(SPI3)发生频率达到51%,干旱发生时间以4~10月为主,平均强度达到中旱及以上的干旱发生频率为41%。影响本地农业的干旱发生频率高,强度大。21世纪以来,干旱发生次数虽然减少,但总体上干旱没有出现明显的减少趋势。

关键词

气候变化, 气温, 降水, 干旱, 标准化降水指数(SPI)

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

干旱通常是由于一地降水偏少而导致土壤水分与河流水量减少的自然现象,并随时间的持续而形成灾害。随着现代社会经济的快速发展,以及对水资源需求的增加,干旱愈演愈烈。因此,干旱一直是人类关注的重点问题之一。国内外学者从干旱监测、预测、影响机理与风险评估等方面进行了广泛探讨。自标准化降水指数提出以来[1],许多学者基于降水序列资料,应用标准化降水指数,研究了干旱的时间变化趋势、空间分布特点,以及干旱发生频率等特征[2] [3] [4]。国内学者侧重分析干旱时空变化特征,如车少静等[5]应用标准化降水指数(SPI),研究了河北省旱涝变化特征;闫峰等[6]分析了近50年河北省干旱特征;龚艳冰等[7]分析了云南曲靖市的干旱特征。此外,国内学者在分析干旱变化的基础上,还探讨了区域干旱演变对作物产量的影响[8]。由于SPI多时间尺度、空间可比性等特点,已被世界气象组织推荐为国际气象干旱通用指标[9]。

巨鹿县地处河北省南部太行山东麓冲积平原,属黑龙港流域,暖温带半干旱大陆性季风气候,四季分明,日照充沛,降水集中且年际变化较大。巨鹿县是河北省粮食主产区,也是全国著名的金银花生产之地,受季风气候特征影响,气象灾害多发频繁,其中旱涝风雹等对农业稳产高产影响较大。本文以巨鹿县为例,根据近58年(1959~2016年)气象资料,根据标准化降水指数,探讨当地气候变化特征及干旱演变特征,为地方农业生产提供决策依据。

2. 资料与方法

本文所用气象资料来自河北省气象信息中心。包括1959~2016年(58年)巨鹿县气象局月平均气温与月降水量资料。

采用线性倾向估计方法[10],分析年平均气温和年降水量的变化特征。

标准化降水指数(SPI)是基于自然降水的 Γ 分布,首先计算降水量的 Γ 分布概率,然后经过正态标准化处理,从而得到标准化降水指数。其计算方法见文献[11]。具体如下:

假设某时段降水量为随机变量 x ，则其 Γ 分布的概率密度函数为：

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\gamma)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, x > 0$$

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

其中： $\beta > 0, \alpha > 0$ 分别为尺度和形状参数， β 和 α 可用最大似然估计方法求得：

$$\hat{\alpha} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A}$$

$$\hat{\beta} = \bar{x} / \hat{\alpha}$$

其中：

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

式中， x_i 为降水量资料样本， \bar{x} 为降水量多年平均值。

确定概率密度函数中参数后，对于某一年的降水量 x_0 ，可求出随机变量 x 小于 x_0 事件的累积概率为：

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx$$

由于 Γ 分布函数中不包含 $x=0$ 的情况，而实际降水量可以为 0，所以累积概率表示为：

$$H_{(x)} = q + (1-q)F_{(x)}$$

式中， $q = m/n$ ，为降水量为 0 时的事件概率， m 为降水量为 0 的样本数， n 为总样本数。

利用下式对累积概率进行正态标准化处理：

$$H(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-x^2/2} dx$$

对其进行近似求解可得：

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

其中， $t = \sqrt{\ln \frac{1}{H_{(x)}}}$ ，并当 $H_{(x)} > 0.5$ 时， $H_{(x)} = 1.0 - H_{(x)}$ ， $S = 1$ ；当 $H_{(x)} \leq 0.5$ 时， $S = -1$ 。 $c_0 = 2.515517$ ，

$c_1 = 0.802853$ ， $c_2 = 0.010328$ ， $d_1 = 1.432788$ ， $d_2 = 0.189269$ ， $d_3 = 0.001308$ 。

本文采用的 SPI 干旱分级标准如下(表 1)：

Table 1. Classification of drought on SPI

表 1. SPI 干旱等级

等级	分类	SPI
0	接近正常	$-0.5 < SPI \leq 0.5$
1	轻旱	$-1.00 < SPI \leq -0.5$
2	中旱	$-1.50 < SPI \leq -1.00$
3	重旱	$-2.00 < SPI \leq -1.50$
4	极旱	$SPI \leq -2.00$

3. 结果与分析

3.1. 气温变化特征

近 58 年来, 巨鹿年平均气温为 13.3℃, 年平均气温最大值出现在 1998 年, 气温高达 14.5℃, 最小值则出现在 1984 年, 仅为 12.0℃。从图 1 中可以看出, 20 世纪 60 年代到 70 年代, 气温出现了下降趋势, 而自 80 年代以后开始出现升高趋势, 与全球变暖一致, 90 年代后期达到了最高(1998)值; 进入 21 世纪以来, 出现了一定时段(2008 以后)的下降趋势, 2010 和 2011 年年均气温出现了 12.9℃的低值。近 58 年巨鹿气温经历了 20 世纪 60 年代下降、70~80 年代缓慢升高、90 年代明显增加和近期(2008 年以来)下降的波动式变化过程, 总体上以增加趋势为主, 气温变化倾向率为 0.19℃/10a, 并通过了统计显著性检验(信度 0.01)。气温变化倾向率低于全国 0.25℃/10a [12], 可能与资料年代长短有关。

巨鹿年均气温的年代际变化具有明显特点, 20 世纪 60、70 和 80 三个年代的平均气温均为 12.9℃, 90 年代则为 13.7℃, 21 世纪第一个 10 年为 13.9℃, 最近 6 年(2011~2016)为 13.5℃。可见, 当前巨鹿仍处于气温相对偏暖时期。

3.2. 降水变化特征

巨鹿近 58 年年平均降水量为 509 mm。总体上年降水量呈现减少趋势, 倾向率为-7.38 mm/10a, 但未通过统计显著性检验(图 2)。就不同年代来看, 20 世纪 60 年代是近 58 年降水最多时期, 平均 538 mm, 70 年代与 80 年代略有减少, 分别为 514 mm 和 507 mm, 90 年代虽然出现了极端干旱年份, 包括 1997 和 1992 年降水量分别为 247.9 mm 及 281 mm, 但也有多雨年份, 如 1993 年降水量为 714 mm, 故平均降水较 80 年代略有增加, 达到 513 mm。进入 21 世纪以来, 降水出现了减少趋势, 21 世纪第一个 10 年平均降水量仅为 488 mm, 最近 6 年(2011~2016)平均降水量为 497 mm。因此, 当前巨鹿处于降水量偏少时期。

3.3. 干旱基本特征及变化

不同时间尺度的标准化降水指数(SPI)具有不同的意义, 通常 1 个月时间尺度 SPI 主要反映气象干旱变化, 3 个月时间尺度 SPI 可以反映农业干旱状况, 6 个月及以上时间尺度 SPI 可表示水文干旱变化。为此, 本文分析 3~12 个月尺度的干旱演变情况。对于巨鹿本地而言, 干旱发生的持续时间和干旱强度是表征干旱特征的主要参数, 故以轻旱(-0.5)为标准, 分析每次干旱的持续月数(3 个月及以上), 以每次干旱持续过程的 SPI 月平均值表示干旱强度, 其中单月最大值为干旱峰值。

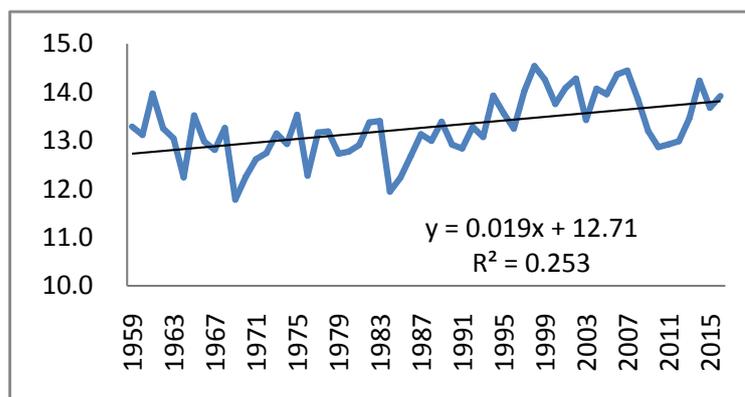


Figure 1. Annual variation of mean temperature for July during 1959~2016
图 1. 巨鹿年平均气温变化(1959~2016)

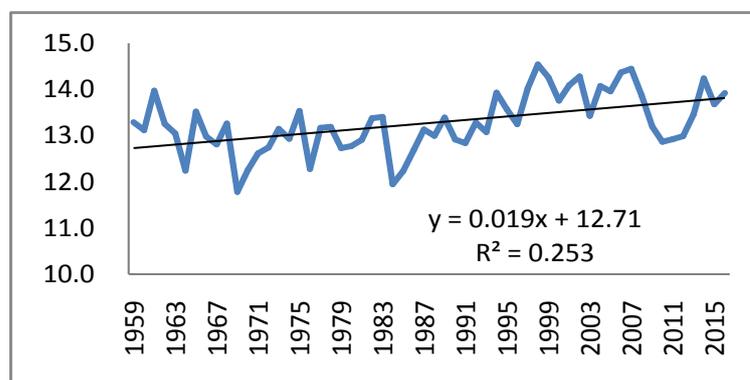


Figure 2. Annual variation of precipitation for Julu during 1959~2016

图 2. 巨鹿年降水量变化(1959~2016)

3.3.1. SPI3

在近 58(1959~2016)年中,持续 3 个月及以上时间尺度的 SPI3 干旱共发生 30 次,频率达到了 51.7%,表明巨鹿农业干旱出现频繁,见图 3。其中,出现在 3~10 月期间的共 23 次,对农业生产影响较大。强度最大的农业干旱出现在 1997 年 6~10 月,单月最大干旱指数为-3.48,平均为-2.4,其中 7~9 月连续 3 个月均达到极旱程度;其次是出现在 1972 年 4~10 月,单月最大干旱指数为-2.79,平均强度为-1.81;其它为 1978 年 4~6 月,最大干旱指数-2.60,平均强度-1.73;1965 年 7~10 月,最大干旱指数-2.02,平均强度-1.53;以及 1992 年 6~9 月,最大干旱指数-2.43,平均强度-1.48;1968 年 2~9 月,最大干旱指数-2.34,平均强度-1.36。同时,平均干旱强度达到中旱及以上的干旱事件共出现 24 次,该结果与巨鹿县的重要农业干旱实际情况一致。

持续 3 个月及以上时间的干旱在 2000 年前出现较多,每 10 年出现 5~7 次,2000 年以来共出现 5 次;而持续 2 个月时间的干旱在 2000 年以前和以后各出现 9 次,即长时间尺度干旱在进入 21 世纪后发生次数有所减少,但相对短时间尺度干旱出现次数增加。

3.3.2. SPI6

在近 58 年中,持续 3 个月及以上的 SPI6 干旱共出现 23 次,见图 4,发生频率为 39.7%。各次干旱平均强度为中旱等级(>1.0)出现 21 次。强度最大干旱出现在 1997 年,从 6 月开始持续到 1998 年的 1 月,单月最大 SPI6 为-3.15,平均值为-2.23,而且极旱时间持续 5 个月(8~12 月);其次持续 4 个月以上强度较大的干旱发生在是 1992、1972、1974 等,其中 1972 年出现了长达 6 个月(6~11 月)的极旱。2000 年以来共出现 5 次,干旱有减轻的趋势。

3.3.3. SPI12

在近 58 年中,持续 3 个月及以上的 SPI12 干旱共出现 15 次(图 5),发生频率为 25.9%。强度最大的干旱出现在 1997 年,月最大干旱指数值为-3.23,平均干旱指数为-2.23,持续时间为 12 个月;其次为 1972 年,最大干旱指数为-2.55,平均干旱指数为-2.08,持续时间 12 个月;1992 年的干旱处于第三,最大干旱指数为-3.34,平均干旱指数为-1.79,其持续时间达到了 15 个月。12 个月时间尺度干旱的主要特点为:持续时间相对较长,一般干旱均在 8 个月及以上,最长持续 15 个月,仅 4 次持续时间少于 8 个月;该时间尺度干旱跨年度出现次数较多,共 13 次,而且多数干旱开始月份以夏季 6~8 月较多。

3.3.4. SPI24

持续 4 个月及以上的 SPI24 干旱在近 58 年共出现了 15 次(图 6),其中 13 次均为跨年度,其开始发

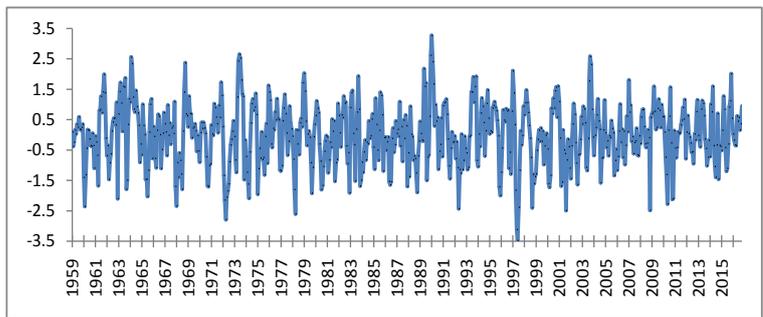


Figure 3. Time series of SPI3 for July during 1959~2016
图 3. 1959~2016 年巨鹿 3 个月时间尺度标准化降水指数变化(SPI3)

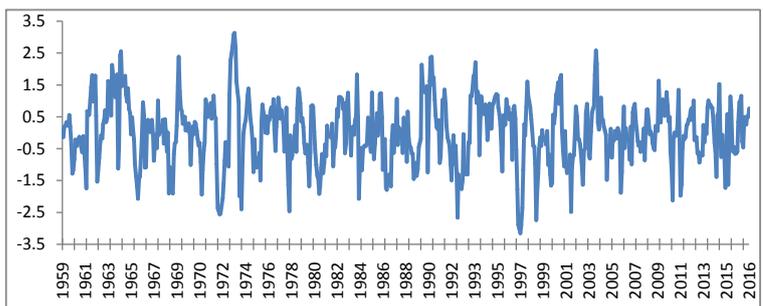


Figure 4. Time series of SPI6 for July during 1959~2016
图 4. 1959~2016 年巨鹿 6 个月时间尺度标准化降水指数变化(SPI6)

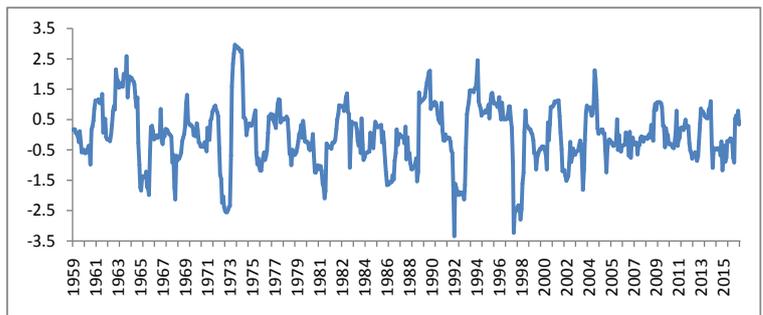


Figure 5. Time series of SPI12 for July during 1959~2016
图 5. 1959~2016 年巨鹿 12 个月时间尺度标准化降水指数变化(SPI12)

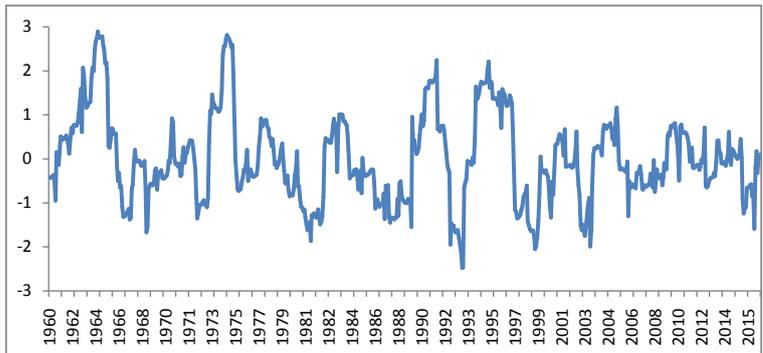


Figure 6. Time series of SPI24 for July during 1959~2016
图 6. 1959~2016 年巨鹿 24 个月时间尺度标准化降水指数变化(SPI24)

生时间有 12 次出现在 7~8 月, 最长持续时间为 1986 年 8 月到 1989 年 6 月, 共 35 个月。干旱强度最大为出现在 1992 年, 单月最大干旱指数为-2.38, 平均干旱指数为-1.67, 持续时间长达 15 个月; 其次为 1997 年, 最大干旱指数-2.05, 平均干旱指数-1.34, 持续时间 24 个月, 处于第三位的干旱是 2002 年 8 月到 2003 年 9 月, 共持续 14 个月, 单月最大干旱指数-1.99, 平均干旱指数为-1.31。

综上所述, 近 58 年巨鹿最严重的干旱时段集中出现在 20 世纪 70 年代和 90 年代, 而且干旱强度较大, 持续时间较长, 对农业生产影响显著。

3.3.5. 干旱变化特征

以 3 个月时间尺度的干旱为例, 巨鹿县 20 世纪干旱出现频繁, 而且强度严重, 其中 2000 年前 3 个月及以上持续性干旱共出现 25 次, 平均强度为轻旱的仅发生 4 次, 中旱 14 次, 重旱 7 次, 极旱 1 次; 21 世纪以来干旱强度和出现频率均有所减少, 近 16 年共发生 5 次持续性干旱, 轻旱和中旱分别为 2 次和 3 次。就年代际而言, 20 世纪 60 年代干旱发生 5 次, 70 年代发生 7 次, 80 年代发生 6 次, 90 年代发生 7 次, 21 世纪以来共发生 5 次。虽然干旱发生次数在减少, 但总体上干旱没有显著的下降趋势。

虽然巨鹿年降水量自 20 世纪 60 年代以来出现了不显著的下降趋势, 但在 21 世纪以来降水量变化相对平稳, 极端干旱事件出现相对较少。

4. 结论与讨论

在近 58 年中, 巨鹿气温出现了波动式变化趋势, 其中 60 年代出现了气温下降趋势。总体上气温升高倾向率为 0.19℃/10a, 增温时段主要出现在 20 世纪 90 年代以后, 而 20 世纪 60 年代到 80 年代当地气温变化相对平稳。年降水量则出现了不显著的下降趋势, 降水减少倾向率为-7.4 mm/10a; 年降水量近 58 年平均为 509 mm, 20 世纪 60 年代平均为 538 mm, 但到 21 世纪第 1 个 10 年及最近 6 年则分别为 488 mm 和 497 mm。

基于 SPI 的干旱分析表明: 巨鹿持续 3 个月及以上的农业干旱(SPI3)发生频率超过 50%, 重大干旱出现时间以 4~10 月为主, 平均强度达到中旱及以上的干旱发生频率为 41%, 故本地农业干旱发生频率高, 强度大, 影响严重, 需要强化监测和减轻不利影响。

在全球气候变化(气温升高)背景下, 巨鹿县干旱主要出现在 20 世纪 70 年代和 90 年代, 进入 21 世纪以来, 虽然平均降水量下降, 干旱特别是重旱和极旱发生次数减少, 但干旱下降趋势不明显。

气候变化既受大气候环境影响, 同时也与本地地理环境有关。此外, 站点观测资料长短及站址变化对其均有影响, 时间长短不同的资料分析具有不同的结果。

致 谢

本文部分工作受科技部公益性行业(气象)科研专项(重大专项)(中国干旱气象科学研究——我国北方干旱致灾过程及机理)项目资助。河北省气象科学研究所李春强研究员级高工给予指导, 特此致谢。

参考文献 (References)

- [1] McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993) The Relation of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, 17-22 January 1993, 179-184.
- [2] Hayes, M., Mark, D.S., Donald, A.W., et al. (1999) Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **80**, 429-438. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2)
- [3] Loukas, A., Vasilades, L. and Tzabiras, J. (2008) Climate Change Effects on Drought Severity. *Advance in Geosciences*, **17**, 23-29. <https://doi.org/10.5194/adgeo-17-23-2008>

- [4] Ismail, D., Mishra, A.K. and Zekai, Sen. (2017) Long-Term Spatio-Temporal Drought Variability in Turkey. *Journal of Hydrology*, **552**, 779-792. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.038>
- [5] 车少静, 李春强, 申双和. 基于 SPI 的近 41 年(1965-2005)河北省旱涝时空特征分析[J]. 中国农业气象, 2010, 31(1): 137-143.
- [6] 闫峰, 王艳姣, 吴波. 近 50 年河北省干旱时空分布特征[J]. 地理研究, 2010, 29(3): 423-430.
- [7] 张利利, 周俊菊, 张恒玮, 等. 基于 SPI 的石羊河流域气候干湿变化及干旱事件的时空格局特征研究[J]. 生态学报, 2017, 33(3): 996-1007.
- [8] 刘彦平, 蔡焕杰. 基于标准化降水指数 SPI 的泾惠渠灌区干旱演变对冬小麦气候产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(3): 267-272.
- [9] Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N., et al. (2011) The Lincoln Declaration on Drought Indices: Universal Meteorological Drought Index Recommended. *Bulletin of American Meteorological Society*, **92**, 485-488. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3103.1>
- [10] 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.
- [11] Edwards, D.C. and McKee, T.B. (1997) Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales. Master's Thesis, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- [12] 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 近 54 年中国地面气温变化[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701-716.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ccl@hanspub.org