

# 基于K干旱指数的朝阳地区干旱气象分析

郭佰汇<sup>1</sup>, 张富荣<sup>1</sup>, 范兰艳<sup>2</sup>, 陈 硕<sup>1</sup>, 王梦琳<sup>1</sup>

(1. 辽宁省朝阳市气象局, 辽宁 朝阳 122000; 2. 辽宁省朝阳县气象局, 辽宁 朝阳 122000)

**摘要:** 利用1960—2013年朝阳地区5个气象站的降水量和蒸发量数据, 计算K干旱指数, 分析朝阳地区的干旱情况。结果表明: 朝阳地区常年处于轻中旱的旱象之中, 全年干旱指数呈上升趋势, 上升幅度为0.046 2/10 a, 仅20世纪90年代呈下降趋势, 而20世纪80年代上升最为明显, 春季干旱指数明显上升, 夏季和秋季有小幅上升, 冬季呈下降趋势。朝阳地区的全年干旱指数, 自20世纪80年代末以来有明显的上升趋势, 是从1985年的突变现象开始, 到20世纪90年代末增长趋势最为显著。在过去54 a间, 朝阳地区干旱指数共有4次突变。春季的朝阳地区, 从1977年一次突变现象开始干旱指数就呈上升趋势, 20世纪80年代末开始上升趋势持续显著, 夏秋季突变现象较多, UF和UB曲线呈震荡状态, 都存在短时期的下降趋势, 但干旱指数基本维持着小幅度增长趋势。

**关键词:** K干旱指数; 线性倾向估计; Mann-Kendall法; 干旱分析

**中图分类号:** P426.616 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2016)01-0027-06

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2016.01.009

## K Index Based Drought Climate Analysis in Chaoyang District

GUO Baihui<sup>1</sup>, ZHANG Furong<sup>1</sup>, FAN Lanyan<sup>2</sup>, CHEN Shuo<sup>1</sup>, WANG Menglin<sup>1</sup>

(1. Chaoyang Weather Bureau of Liaoning Province, Chaoyang Liaoning 122000, China; 2. Chaoyang County Weather Bureau of Liaoning Province, Chaoyang Liaoning 122000, China)

**Abstract:** This paper use the rainfall and evaporation data of five weather stations in Chaoyang from 1960 to 2013, it calculates K drought index, analyses drought conditions in Chaoyang district. The result shows that Chaoyang is in light drought. Drought index for the whole year is on the rise, and rise to 0.0462/10. Only a downward trend is in the 90 s, while the rise in the 80 s is the most obvious. The spring drought index rise obviously, and a small increase is in summer and autumn, the winter is on the decline. The whole year drought index of chaoyang district, since the late 80 s has a rising trend, started in 1985 with a mutation phenomenon, by the end of the 90 s growth trend is most significantly. In the past 54 years, drought index has four mutations in Chaoyang. In spring, drought index is on the rise by a mutation phenomenon from 1977, and in the late 80 s began to rise significantly. From summer to winter, mutation phenomenon is more. UF and UB curve is in a state of shock. There are short of decline from summer to winter, but drought index basically maintains small growth trend.

**Key words:** K index; Linear tendency estimate; Mann-Kendall method; Drought analysis

朝阳市地处中纬地区, 位于北纬 40° 35' 至 42° 20', 东经 118° 50' 至 121° 20', 为蒙古高原向沿海平原过渡地带, 属于温带大陆性季风气候。年内光照资源丰富, 日照充足, 雨热同季, 雨量偏少且时空分布不均, 主要降水集中在 5—8 月份, 约占全年降水量的 80%。尽管东南部距渤海不远, 但受松岭山脉阻隔, 受海洋暖湿空气直接影响机率较小, 而北方蒙古高原干冷空气入侵频繁, 形成了半干旱、半湿润易干旱的气候特点。受特殊地理位置的影响, 朝阳是国内气象灾害严重地区之一, 而干旱更为众多灾害之首。

近几年朝阳市水资源供需矛盾日益突出, 尤其是从 1999 年起, 干旱造成了 36.14 万人、12.44

万头牲畜饮水困难, 历年农作物受旱面积达 2 667 km<sup>2</sup> [1]。就在刚刚过去的 2014 年, 夏秋连旱的天气给朝阳带来了巨大的经济损失。由于干旱出现频度高、持续时间长、波及范围大, 对国民经济特别是对农业生产有严重影响, 使人们对干旱指标的研究更加重视和关注 [2-11]。严重持续的干旱还直接影响工业生产、人民生活 and 生态环境, 对国民经济的影响也较大。因此, 朝阳地区干旱的分析, 对有效防旱抗旱, 具有十分重要的意义。

我们利用 1960—2013 年朝阳地区 5 个气象站逐月的降水量和蒸发量数据, 计算 K 干旱指数, 采用线性倾向估计和 Mann-Kendall 法, 对朝阳地

收稿日期: 2015-09-07

作者简介: 郭佰汇(1989—), 女, 辽宁朝阳人, 助理工程师, 主要从事气象、环境等研究工作。联系电话: (0)13591876815。  
E-mail: guobaihui@sina.com

区过去 54 a 的年、季 K 干旱指数进行变化趋势分析和突变分析。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料选取

选取朝阳地区朝阳、北票、叶柏寿、凌源、喀左 5 个气象自动站 1960—2013 年逐月降水量和蒸发量数据作为研究的基本数据。朝阳地区各站点地域差异明显,因此气象要素平均值的计算用简单的算术平均法显然不合适。本文考虑了各站点所在行政区划的面积,按各区域的面积赋予各站点不同的权重,通过加权平均得到整个朝阳地区的降水量和蒸发量序列,作为研究的标准化数据。

对年代际和季节的划分按照常规标准进行,年代际划分:1960—1969 年为 20 世纪 60 年代,1970—1979 年为 20 世纪 70 年代,1980—1989 年为 20 世纪 80 年代,1990—1999 年为 20 世纪 90 年代,2000—2013 年为 21 世纪。季节划分:3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12—翌年 2 月为冬季。

### 1.2 方法

1.2.1 K 干旱指数 K 干旱指数是从降水和蒸发的相互关系来反映干旱程度的干旱指数。下面给出简单的介绍。

$$K_{i,j} = R'_{i,j} / E'_{i,j} \quad (1)$$

(1)式中,  $K_{i,j}$  为 K 干旱指数;  $R'_{i,j}$  为该时段降水的相对变率。  $R'_{i,j} = R_{i,j} / RP_i$ , 其中  $R_{i,j}$  为该时段的降水量,  $RP_i$  为该时段降水量的平均值;  $E'_{i,j}$  为该时段蒸发的相对变率,  $E'_{i,j} = E_{i,j} / EP_i$ , 其中  $E_{i,j}$  为该时段蒸发量,  $EP_i$  为该时段蒸发量的平均值。  $i=1, 2, \dots, n$  为年数,  $j=1, 2, \dots, m$  为站点数<sup>[2-5]</sup>。

从式 (1) 可见,当降水相对变率越小、蒸发相对变率越大时, K 值越小,干旱越严重;当降水相对变率越大、蒸发相对变率越小时, K 值越大,干旱就不明显。

1.2.2 线性倾向估计 用  $x_i$  表示样本量为  $n$  的某一气候变量,用  $t_i$  表示  $x_i$  所对应的时间,建立  $x_i$  和  $t_i$  之间的一元线性回归方程:  $x_i = a + bt_i$  (2)

它的含意是用一条合理的直线表示  $x$  与其时间  $t$  之间的关系。其中,  $a$  为回归常数,  $b$  为回归系数,  $a$  和  $b$  用最小二乘法进行估计。对观测数据  $x_i$  及相应的时间  $t_i$ , 回归系数  $b$  和常数  $a$  的最小二乘估计为<sup>[5]</sup>:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n t_i \right)}{\sum_{i=1}^n t_i - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2},$$

$$a = \bar{x} - b \bar{t}$$

$$\text{其中 } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

回归系数  $b$  的符号决定气候变量的趋势倾向,当  $b$  的符号为正时,说明随时间  $t$  的增加,  $x$  呈上升趋势;当  $b$  的符号为负时,说明随时间  $t$  的增加,  $x$  呈下降趋势。而  $b$  值的大小则反映了上升或下降的速率,即表示上升或下降的倾向程度。

1.2.3 Mann-Kendall 法 Mann-Kendall 法是由 Mann 和 Kendall 提出的一种非参数统计检验方,最初由 Mann 于 1945 年提出,用于检测时间序列的变化趋势。Sneyers 进一步完善了该方法,使其能大体测定各种变化趋势的起始位置。Goossens 等把它应用到反序列中,发展成一种能检测气候突变的新方法。它以检测范围宽、定量化程度高而富有生命力<sup>[6-7]</sup>。

对于具有  $n$  个样本量的时间序列  $x$ , 构造一秩序列:  $s_k = \sum_{i=1}^k r_i$ , ( $k=2, 3, \dots, n$ ), 其中,  $r_i =$

$$\begin{cases} +1, & \text{当 } x_i > x_j \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (j=1, 2, 3, \dots, i), \text{ 可见, 秩序列是}$$

第  $i$  时刻数值大于  $j$  时刻数值个数的累计数。

在时间序列随机独立的假设下,定义统计量:

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{\text{Var}(s_k)}}, \quad (k=1, 2, \dots, n)$$

其中  $UF_1=0, E(s_k), \text{Var}(s_k)$  是累计数  $s_k$  的均值和方差,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  在相互独立,且有相同连续分布时,它们可由下式算出:

$$E(s_k) = \frac{n(n+1)}{4}$$

$$\text{Var}(s_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72}$$

$UF_i$  为标准正态分布,它是按时间序列  $x$  顺序  $x_1, x_2, \dots, x_n$  计算出的统计量序列,给定显著性  $\alpha$ ,查正态分布表,若  $|UF_i| > U_\alpha$ ,则表明序列存在明显的趋势变化。按时间序列  $x$  逆序  $x_n, x_{n-1}, \dots, x_1$ ,再重复上述过程,同时使  $UB_k = -UF_k, k=n, n-1, \dots, 1, UB=0$ 。

这一方法的优点在于不仅计算简便,而且可以明确突变开始时间,并指出突变区域,是一种

常用的突变检测方法<sup>[6]</sup>。

## 2 结果与分析

根据 K 干旱指数的标准 (表1), 在 1960—2013 年期间的 54 a 中, 朝阳地区无重旱年和湿润年, 27 a 为中旱年, 24 a 为轻旱年, 3 a 为适宜年, 表明朝阳地区属于干旱地区, 常年处于轻中旱情况之中。在春季的干旱统计中, 有 9 a 重旱, 19 a 中旱, 17 a 轻旱, 6 a 适宜, 3 a 湿润; 在夏季中, 有 2 a 重旱, 22 a 中旱, 24 a 轻旱, 6 a 适宜, 无湿润; 在秋季中, 有 7 a 重旱, 22 a 中旱, 20 a 轻旱, 2 a 适宜, 3 a 湿润; 在冬季中, 有 22 a 重旱, 9 a 中旱, 10 a 轻旱, 6 a 适宜, 7 a 湿润。对朝阳地区四季的 K 干旱指数进行分析, 表明朝阳地区冬季重旱年最多, 而相对的湿润年和适宜年也最多, 在春夏秋冬, 中轻旱年都占了最重的比重, 而在 54 a 中, 适宜年和湿润年仅为 5~9 a, 这反映出朝阳地区在作物播种生长的关键期基本都处于轻度和中度干旱之中, 干旱严重影响着朝阳地区农业的发展。

表 1 K 干旱指数标准及其等级

K 干旱指数	等级
$K \leq 0.5$	重旱
$0.5 < K \leq 1.0$	中旱
$1.0 < K \leq 1.5$	轻旱
$1.5 < K \leq 2.0$	适宜
$K > 2.0$	湿润

### 2.1 干旱指数变化趋势分析

利用线性倾向估计方法, 绘制朝阳地区年代际和季节的 K 干旱指数线性趋势图, 如图 1, 图中曲线为干旱指数, 直线为方程(2)式计算出的回归直线。结果表明, 从总体上分析, 朝阳地区 1960—2013 年全年干旱指数呈上升趋势, 按照年代际划分只有 20 世纪 90 年代干旱指数呈下降趋势, 其它年代中 20 世纪 80 年代干旱指数上升最明显。按照季节划分, 1960—2013 年间朝阳地区

表 2 干旱指数一元数线性回归方程

时间	一元线性回归方程
全年	$x = 0.8950 + 0.00462 * t$
20世纪60年代	$x = 0.844 + 0.0173 * t$
20世纪70年代	$x = 0.825 + 0.0352 * t$
20世纪80年代	$x = 0.606 + 0.0503 * t$
20世纪90年代	$x = 1.360 - 0.032157 * t$
21世纪	$x = 0.828 + 0.0321 * t$
春季	$x = 0.659 + 0.0143 * t$
夏季	$x = 0.9994 + 0.00115 * t$
秋季	$x = 0.784 + 0.00944 * t$
冬季	$x = 1.247 - 0.005227 * t$

春季干旱指数明显上升, 夏季和秋季有小幅度上升, 冬季呈下降趋势。

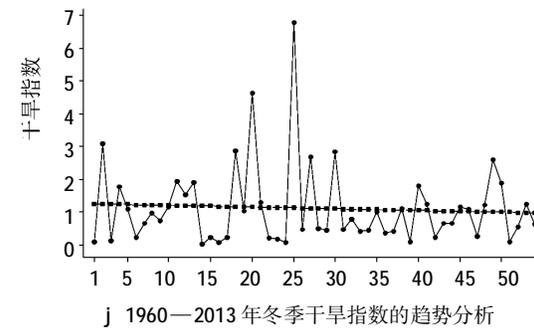
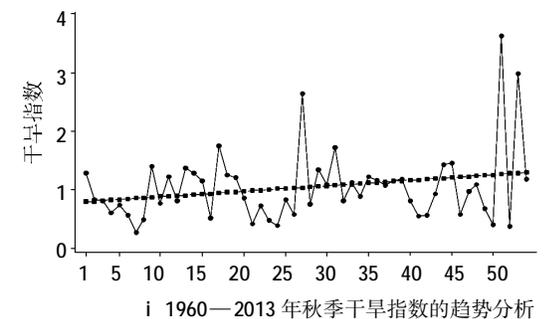
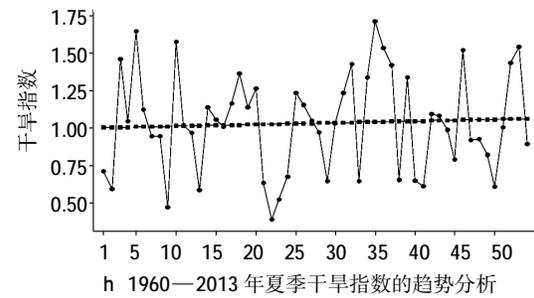
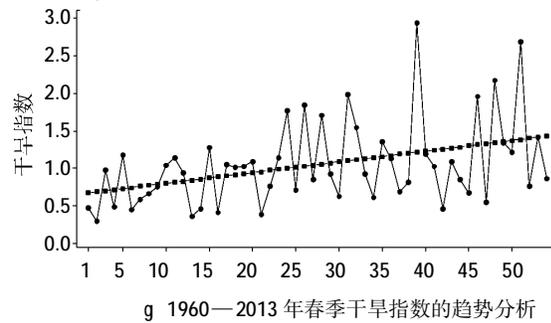
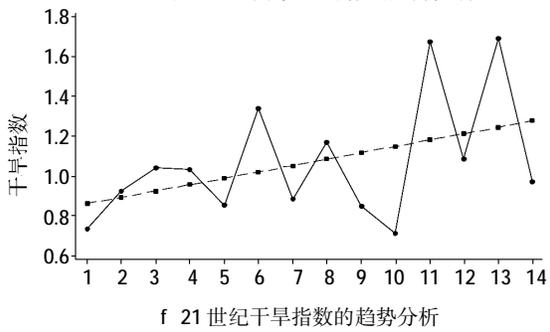
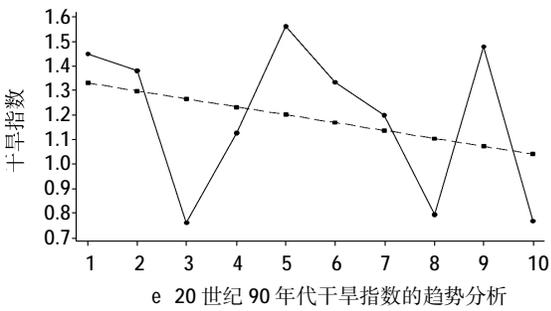
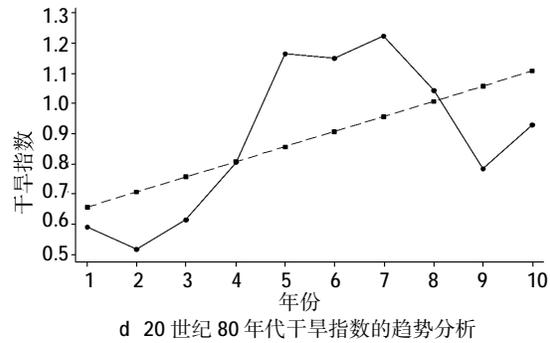
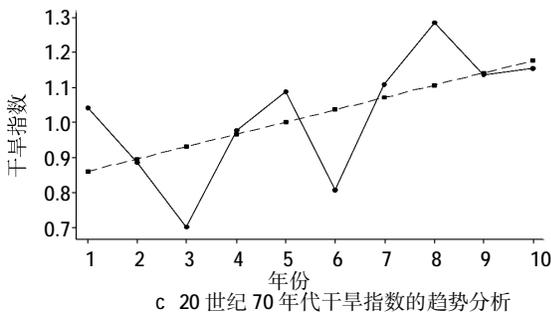
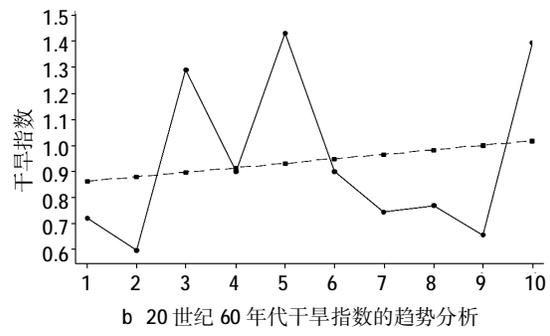
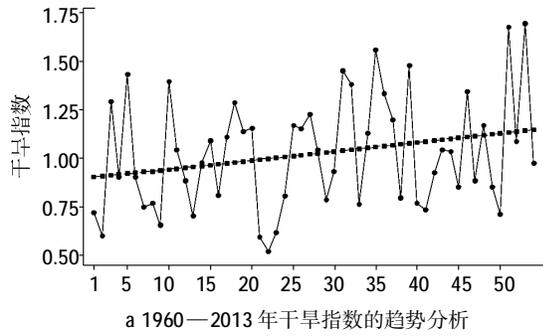
对朝阳地区年代际建立一元线性回归方程 (表 2), 1960—2013 年全年干旱指数方程为:  $x = 0.8950 + 0.00462 * t$ , 干旱指数上升幅度为 0.0462/10 a, 在 20 世纪 90 年代干旱指数呈下降趋势, 下降幅度为 0.32/10 a, 而其他年代都呈不同程度的上升趋势, 20 世纪 80 年代上升幅度最大, 为 0.5/10 a。对朝阳地区季节建立一元线性回归方程, 如表 2, 表明只有冬季的干旱指数呈下降趋势, 且下降趋势很小, 为 0.05/10 a; 而春夏秋冬干旱指数都呈上升趋势, 上升幅度最大的是春季, 为 0.14/10 a, 夏秋季的上升幅度都较小。

### 2.2 干旱指数突变分析

本文给定  $\alpha = 0.05$ , 那么临界值  $U_{0.05} = \pm 1.96$ , 将 UF 和 UB 两个统计量序列曲线和两条直线均绘在一张图上, 分析绘出的 UF 和 UB 曲线图。若 UF 或 UB 的值大于 0, 则表明序列呈上升趋势, 小于 0 则表明呈下降趋势。当它们超过临界直线时, 表明上升或下降趋势明显。超过临界线的范围确定为出现突变的时间区域。如果 UF 和 UB 曲线出现交点, 且交点在临界线之间, 那么交点对应的时刻便是突变开始的时间<sup>[6]</sup>。

对朝阳地区 1960—2013 年间全年的 M-K 统计量曲线图进行分析, 如图 2 a, 由 UF 曲线可知, 自 20 世纪 80 年代末以来, 朝阳地区干旱指数有一明显的上升趋势, 在 20 世纪 90 年代末这种增大趋势超过了 0.05 临界线, 表明朝阳地区干旱指数上升趋势十分显著。根据 UF 和 UB 曲线交点的位置, 在过去 54 a 间, 朝阳地区干旱指数有 4 次突变, 而 20 世纪 80 年代末的干旱指数增大就是一突变现象, 具体是从 1985 年开始的。

对朝阳地区 1960—2013 年间四季的 M-K 统计量曲线图进行分析, 如图 2, 表明春季的朝阳地区, 自 20 世纪 70 年代末开始干旱指数就呈上升趋势, 自 20 世纪 80 年代末开始上升趋势持续显著, 这种增长是从 1977 年一次突变现象开始的。夏季的朝阳地区, 干旱指数在 20 世纪 80 年代末到 20 世纪 90 年代末呈现明显的下降趋势, 但下降趋势维持时间并不长, 从 20 世纪 90 年代末开始又恢复到一个上升的状态中。秋季的朝阳地区, 自 20 世纪 60 年代初到 20 世纪 70 年代中期干旱指数都呈一下降趋势, 20 世纪 60 年代中末期下降趋势尤为显著, 在



(a: 1960—2013年全年; b: 20世纪60年代全年; c: 20世纪70年代全年; d: 20世纪80年代全年; e: 20世纪90年代全年; f: 21世纪全年; g: 1960—2013年春季; h: 1960—2013年夏季; i: 1960—2013年秋季; j: 1960—2013年冬季)

图1 干旱指数变化趋势

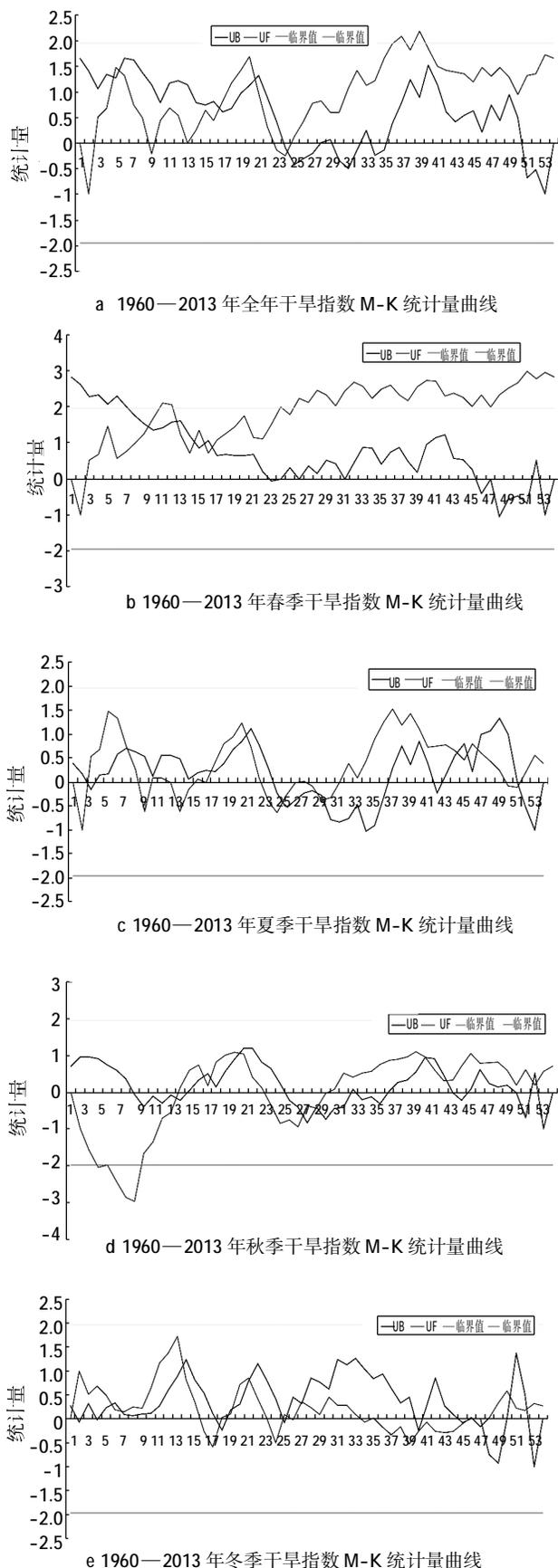


图 2 干旱指数 M-K 统计量曲线

20 世纪 80 年代到 20 世纪 90 年代间也存在一个小幅的下降趋势。冬季的朝阳地区, UF 和 UB 曲线存在多个交点, UF 和 UB 曲线呈一种震荡状态, 但干旱指数基本维持着小幅增长。

### 3 小结与讨论

1) 朝阳地区常年处于轻中早的旱象之中, 冬季重旱年最多, 湿润年和适宜年也最多。在春夏秋冬四季中, 中轻旱年都占了最重的比重, 适宜年和湿润年仅为 5~9 a, 这反映出朝阳地区在作物播种生长的关键期基本都处于轻度和中度干旱之中, 干旱严重影响着朝阳地区农业的发展。

2) 全年干旱指数呈上升趋势, 上升幅度为 0.046 2/10 a, 按照年代际划分仅有 20 世纪 90 年代呈下降趋势, 下降幅度为 0.32/10 a, 而其它年代中 20 世纪 80 年代上升最为明显。按照季节划分, 春季干旱指数明显上升, 上升幅度为 0.14/10 a, 夏季和秋季有小幅上升, 冬季呈下降趋势。

3) 朝阳地区的全年干旱指数, 自 20 世纪 80 年代末以来有一明显的上升趋势, 到 20 世纪 90 年代末增长趋势最为显著。在过去 54 a 间, 朝阳地区干旱指数有 4 次突变, 20 世纪 80 年代末的干旱指数增大就是一突变现象, 具体是从 1985 年开始的。春季的朝阳地区, 从 1977 年一次突变现象开始, 干旱指数就呈上升趋势, 20 世纪 80 年代末开始上升趋势持续显著。夏季, 干旱指数在 20 世纪 80 年代末到 20 世纪 90 年代末呈现一明显的下降趋势, 从 20 世纪 90 年代末开始又恢复到一个上升的状态中。秋季, 自 20 世纪 60 年代初到 70 年中期干旱指数呈下降趋势, 20 世纪 60 年代中末期下降趋势尤为显著, 在 20 世纪 80 年代到 20 世纪 90 年代间也存在一个小幅的下降趋势。冬季, UF 和 UB 曲线存在多个交点, UF 和 UB 曲线呈一种震荡状态, 但干旱指数基本维持着小幅增长。

### 参考文献:

- [1] 张宁宁, 迟道才, 袁吉. 朝阳地区干旱特征分析及抗旱对策研究[J]. 中国农村水利水电, 2006(9): 61-66.
- [2] 张强, 鞠笑生, 李淑华. 三种干旱指标的比较和新指标的确定[J]. 气象科技, 1998(2): 48-52.
- [3] 王劲松, 任余龙, 宋秀玲. K 干旱指数在甘肃省干旱监测业务中的应用[J]. 干旱气象, 2008, 26(4): 75-79.
- [4] 吴哲红, 詹沛刚, 陈贞宏. 3 种干旱指数对贵州省安顺市历史罕见干旱的评估分析[J]. 干旱气象, 2012, 30(3): 315-322.
- [5] 王劲松, 郭江勇, 倾继祖. 一种 K 干旱指数在西北地区春旱分析中的应用[J]. 2007, 22(5): 709-717.

# 宁夏沙坡头区气温日变化特征分析与概率分布

毛万忠, 樊 宽, 白春燕, 李 英

(宁夏中卫市沙坡头区气象局, 宁夏 中卫 755000)

**摘要:** 利用宁夏沙坡头区10年自动气象站的逐小时气温观测资料, 在总结沙坡头区气温日变化特征的基础上, 通过分析日最高(低)气温出现时间的概率分布, 研究了沙坡头区气温的日变化及季节特征, 进一步分析了在不同天气条件影响下的气温日变化特征。结果表明, 沙坡头区最高气温出现时间较晚, 出现在16:00时, 最高气温出现时间较为集中; 最低气温出现较为分散, 在6:00时左右。气温日变化特征随季节有明显的变化, 最高气温出现时间四季均集中在16:00时, 而最低气温出现时间冬、夏季最为集中, 春、秋季较为分散; 晴天时日较差增大, 阴天时减小。冷暖空气影响时日变化特征产生显著改变, 甚至完全失去正常的基本特征; 降水天气时气温波动变化, 低于最低气候值2℃左右。

**关键词:** 气温; 日变化特征; 概率; 沙坡头区

**中图分类号:** S161 **文献标识码:** A

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2016.01.010

**文章编号:** 1001-1463(2016)01-0032-05

气温不仅是气候系统的重要表征指标, 也直接影响人们的日常生活和生态环境。因此, 日最高(低)气温以及气温日变化的特征受到了广泛的关注和重视。日变化是气候的基本特征之一, 日最高(低)气温出现时间的迟早与水汽蒸发、凝结等大气物理过程的关系十分紧密, 是判断寒潮、霜冻、高温、冷害等极端气候事件的重要指标。了解气温日变化速度对于进一步认识日变化与天气变化的关系、提高气温逐时预报的准确性、延长预报时效将有很大的帮助, 该方向的研究对准确认识气温的极值特征有十分重要的作用<sup>[1]</sup>。受太阳辐射日变化的影响, 近地面气温一般在14:00—15:00时出现最高值, 日出前后出现最低值, 气温在日出后升温较快, 夜间温度变化渐缓, 但地表状况的差异、天气状况的不同等因素使日最高气温与日最低气温的出现时间以及变温速率受到一定程度的影响。为了了解宁夏沙坡头区气温日变化特征, 我们基于沙坡头区2005—2014年自动气象站逐小时气温观测资料, 通过统计沙坡头区日最高及日最低气温出现时间, 认识日极值气温出现时间的日变化规

律, 以及其不同季节的差异性特征等, 为准确认识极值事件以及精细化预报提供帮助。

## 1 资料来源与研究方法

### 1.1 资料来源

研究所用资料来源于沙坡头区气象站2005—2014年逐小时的气温资料。分季节研究中, 选取12月至翌年2月、3—5月、6—8月、9—11月分别代表冬、春、夏、秋季。

### 1.2 研究方法

在统计分析沙坡头区平均温度日变化特征的基础上, 通过统计最高、最低温度等表征日变化特征出现时间的概率分布, 分析不同天气条件下对气温日变化的影响。具体方法: 利用出现率(出现次数/总次数)来表征日最高(低)温度在各时次出现的概率, 分析沙坡头区全年和季节日最高气温(最低气温)出现时间的概率分布特征。

## 2 结果与分析

### 2.1 气温日变化特征

2.1.1 年平均气温的日变化特征 日最高气温一般受太阳的短波辐射控制, 最低气温主要与地面

收稿日期: 2015-10-28

作者简介: 毛万忠(1961—), 男, 宁夏中卫人, 高级工程师, 主要从事农业气象研究工作。联系电话: (0)13629551595; (0955)7076117。E-mail: 1464876925@qq.com

[6] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2013.

[7] 孙 佳, 王乃昂. 47年来石羊河流域气候变化趋势及突变分析[D]. 甘肃兰州: 兰州大学, 2008.

[8] 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): 0975-0984.

[9] 李奇临, 范广洲, 周定文, 等. 综合气象干旱指数在

2009—2010年西南干旱的应用[J]. 成都信息工程学院学报, 2012, 27(3): 267-272.

[10] 王劲松, 冯建英, 吴 伟. 径流量干旱指数在河西走廊灌区的应用[J]. 气象, 2005, 31(11): 11-14.

[11] 侯 威, 张存杰, 高 歌. 基于气候系统内在层次性的气象干旱指数研究[J]. 气象, 2012, 38(6): 701-711.

(本文责编: 陈 珩)