

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.02.002

标准化降水指数与有效干旱指数在新疆干旱监测中的应用

慈 晖^{1,2}, 张 强^{1,2}, 白云岗³, 张江辉³

- (1. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275;
2. 中山大学华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室, 广东 广州 510275;
3. 新疆水利水电科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830049)

摘要:基于干旱监测理论,根据新疆测站 1961—2010 年逐日降水资料,对比分析了基于不同时间尺度(1、3、6、9、12、24 个月)标准化降水指标(SPI)与有效干旱指数(EDI)对干旱监测的有效性与实用性。结果表明:不论针对短期干旱还是长期干旱,EDI 监测能力均明显优于 SPI。短时间尺度的 SPI 受短时间降水影响较大,能反映短时间新疆地区的干旱变化特征;随时间尺度的增加,SPI 对短时间降水的响应能力较差,但仍可反映长时间序列下明显的干旱变化趋势。与 SPI 相比,EDI 能够很好地反映出短期干旱和当时降水量的影响;同时能够随时间迁移,给每日降水量分配以不同权重,考虑前期降水量对当前干湿状况的影响。相关研究结果可为湿润区及其他气候区洪旱灾害监测提供重要理论依据。

关键词:标准化降水指标;有效干旱指数;干旱监测;新疆

中图分类号:S423 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2015)02-0007-08

Application of standardized precipitation index and effective drought index in drought monitoring in Xinjiang

CI Hui^{1,2}, ZHANG Qiang^{1,2}, BAI Yungang³, ZHANG Jianghui³

- (1. School of Geography and Planning of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
3. Xinjiang Research Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi 830049, China)

Abstract: Based on the drought monitoring theory and daily precipitation data covering the period of 1961-2010 in Xinjiang, we compared and analyzed the effectiveness and practicability of the effective drought index (EDI) and standardized precipitation indexes (SPI) based on different time scale (1-, 3-, 6-, 9-, 12-, 24-month). The result shows that EDI is more superior to SPI no matter for short-term drought or long-term drought. SPI of short-term scale is greatly influenced by short duration precipitation, which obviously reflects the variation of drought and flood in short period in Xinjiang. With the expanding of time scale, SPI gradually loses its feedback from short duration precipitation. However, it can still reflect the obvious trend of drought and flood over the long-term scale. Like SPI, EDI can also reflect the influence caused by short-term drought and recent precipitation. Moreover, with the time passing by, EDI is able to give different weight to everyday precipitation considering the influence to the current drought statues caused by former precipitation. Relevant researches can provide significant theoretical basis to the drought monitoring in humid and some other climatic zones.

Key words: standardized precipitation index(SPI); effective drought index (EDI); drought monitoring; Xinjiang

基金项目:新疆维吾尔自治区科技计划(201331104)、教育部“新世纪优秀人才支持计划”与中山大学滨海小流域自然地理综合过程观测与实验平台建设(2012)共同资助

作者简介:慈晖(1989—),女,博士研究生,研究方向为区域水文循环与水资源演变。E-mail: cathyyyci@gmail.com

通信作者:张强,教授。E-mail: zhangq68@mail.sysu.edu.cn

1 干旱研究概述

干旱是一种由于水资源收支不平衡或者供需存在矛盾而形成的水资源短缺现象,是对人类生产与生活造成重大影响的主要自然原因之一。同时,干旱灾害也是人们研究较为薄弱的自然灾害之一,目前尚没有一个为大家所普遍接受的干旱定义^[1]。降水亏缺在经过一段时间的累积之后,才能表现出干旱特征,但是对于1次干旱事件的开始、结束以及干旱程度的监测较为困难^[2]。因此,客观评价干旱强度、干旱量级、干旱历时以及干旱发生的空间范围更加困难。

近年来,研究者在干旱指标的确立以及改进方面做了诸多努力,建立了一大批用于干旱强度量化、分析以及监测的干旱指标^[3-4]。基于土壤水分平衡的干旱指数有 CSDI (crop specific drought index)^[5]、PDSI (palmer drought severity index)^[6]、SMDI (soil moisture drought index)^[7]等,其中,由 Palmer 于 1965 年提出的 PDSI 是干旱指标发展过程中的里程碑^[8],但由于计算过程复杂、对干旱反应不够灵敏、没有考虑人类活动如灌溉等对水平衡的影响等缺陷,其实用性并不高。Wells 等在 2004 年对 PDSI 指标进行了很大程度上的改善,建立了自适应 PDSI 指数 (self-calibrating PDSI)^[3],使得计算结果依赖于当前测站气候特征、对干湿状况有不同的敏感性、在空间上的可比性有所提高。基于降水概率分布的干旱指数有 BMDI (bhalme and mooley drought index)^[9]、DI (deciles index)^[10]、RAI (rainfall anomaly index)^[11]、SPI (standardized precipitation index)^[12]等,其中 SPI 使用最为广泛。然而, SPI 的使用存在局限性^[13]。首先, SPI 的计算是基于月降水量数据,当统计分析特定月份的降水之后,该时间段内的降水将不再考虑到接下来其他月份的统计之中,例如:该时段最后 1 d 发生的强降水有可能补充下一时段的降水亏缺,但 SPI 并未考虑上一时段的影响,单纯判断下一时段依旧表现为干旱;其次, SPI 的月降水量是一个平均概念,并没有考虑到统计时段初期的强降水随时间推移由于径流或者蒸散发的原因已经对该时段后期降水量没有贡献的情况;最后, SPI 提供了基于不同时间尺度 (1、3、6、9、12、24 个月) 的干旱强度,由于不同时间尺度的 SPI 具有不同的物理意义,所表征的干旱强度也不尽相同,当判定干旱是否发生时,人为选择的计算时间尺度则起到主观作用。

为了能够克服 SPI 指标的缺陷,更准确地描述干旱的开始、结束以及干旱历时,Byun 等^[14-15]在

1996 年提出有效干旱指标 (effective drought index, EDI) 的概念,与其他干旱指标不同, EDI 的计算基于日尺度降水量数据、早期降水量的贡献随时间迁移越来越小、可以监测到长达多年的持续干旱,是干旱研究领域创新性的突破。EDI 也被广泛地运用在韩国干旱事件的实时监测上^[13,16],并且 Morid 等^[17]、Pandey 等^[18]也指出 EDI 优于 SPI 指数,能够很好地应用在伊朗以及印度地区干旱监测。Masinde^[19]结合 EDI 与人工神经网络,探讨了肯尼亚地区干旱预警工作。但是,国内对 EDI 的研究甚少。本文通过对比 SPI 与 EDI,旨在探讨两种指标对新疆干旱监测的适用性,为新疆地区及我国干旱监测、预警提供重要理论依据。

2 数据和方法

2.1 数据

采用由国家气象中心提供的新疆测站 1961—2010 年逐日降水资料来分析干旱指标的应用与评估。测站的地理位置如图 1 所示。缺失数据采用以下方法进行插补:缺失 1~2 d 数据,采用相邻数据平均值进行插补;缺失数据序列较长,则以缺失序列多年同期平均值进行插补。

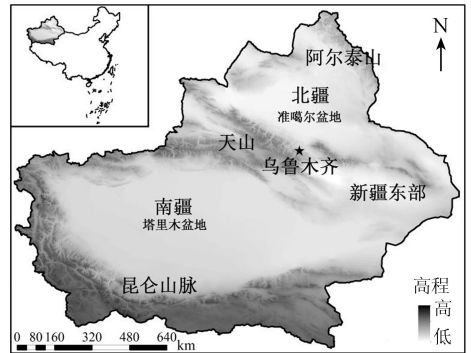


图 1 测站地理位置

2.2 SPI

标准化降水指标是 Mckee 等^[12]于 1993 年提出,其计算只基于降水数据,并未考虑其他因素对干旱可能造成的影响,具有资料获取容易、计算简单、稳定性好、能够在不同地区进行干旱程度对比等优点,因而得到广泛应用^[20]。很多研究表明,降水是决定干旱发生与结束、干旱历时以及干旱强度的主要因子^[21-22]。降水变率远远大于气温、潜在蒸散发等其他因素的变率。简单来讲, SPI 计算使用合适的转换方法,将降水量数据从 Gamma 分布转为标准正态分布, SPI 在新疆已有相关研究^[20,23]。

2.3 EDI

总体来讲, EDI 就是利用当日降水量及此前 364 d 降水量,随时间迁移,分配给每日降水量不同

权重,以评估补充自干旱发生以来累计亏损所需要降水量的累计水平^[24]。计算步骤如下。

第1步:计算有效日降水量 P_{EP} (effective precipitation);

如式(1)所示:

$$P_{EPi} = \sum_i^{n+1} [(\sum_n^{m-1} P_m)/n] \quad (1)$$

式中, P_m 为 m 天之前的降水量,将 365 作为 i 的预设值,即最为普遍使用的水循环周期,因此, P_{EP} 为 365 d 时间尺度上可用降水量的累计值;

第2步:计算同期 30 a 有效日降水量 P_{EP} 均值 M_{EP} ;

第3步:计算 D_{EP} ,即有效日降水量 P_{EP} 与 30 a 同期平均值 M_{EP} 之间的差值;

$$D_{EP} = P_{EP} - M_{EP} \quad (2)$$

第4步:当 D_{EP} 为负值时,表明这天较平常来说更为干旱,当干旱持续发生, D_{EP} 负值连续出现时,将负值连续出现的天数 D_{dd} (dry duration) 累加到预设的 i 值 365 上,即得到新的 i 值 $(365 + D_{dd} - 1)$,这个连续干旱天数的累加是无限的;

第5步:利用新得到的 i 值,重新计算对应天数的 P_{EP} 、 M_{EP} 及 D_{EP} 值;

第6步:得到干旱指标值 D_{EP} 与其标准差值 $\Delta_{SD}(D_{EP})$ 相除,即为干旱指标值 I_{EDI} 。

$$I_{EDI} = D_{EP} / \Delta_{SD}(D_{EP}) \quad (3)$$

最终得到的 I_{EDI} 考虑了连续发生干旱的时间,代表当前情况下可利用水资源的标准化值^[13]。

表1 干湿等级的划分

干旱等级	干旱定义	I_{SPI}	I_{EDI}
3	重度湿润	[2.0, ∞)	[2.5, ∞)
2	中度湿润	[1.5, 2.0)	[1.5, 2.5)
1	轻度湿润	[1.0, 1.5)	[0.7, 1.5)
0	正常	(-1.0, 1.0)	(-0.7, 0.7)
-1	轻度干旱	(-1.5, -1.0]	(-1.5, -0.7]
-2	中度干旱	(-2.0, -1.5]	(-2.5, -1.5]
-3	重度干旱	($-\infty$, -2.0]	($-\infty$, -2.5]

3 结果分析

3.1 EDI 与 SPI 的对比分析

由图2可以看出,1961—2010年乌鲁木齐降水量呈不断增多趋势,降水量主要集中在4—9月份。前人已对新疆地区及乌鲁木齐做过很多研究,包括气温^[25]、降水^[26-29]、极端气候事件及演变规律^[30-33]等诸多方面。乌鲁木齐是世界干旱区最大的城市之一^[34],同时也是新疆降水事件强度和概率较大的地区之一^[35],更是新疆经济文化发展中心,由此本文选用乌鲁木齐测站气象资料对比分析 SPI 以及 EDI

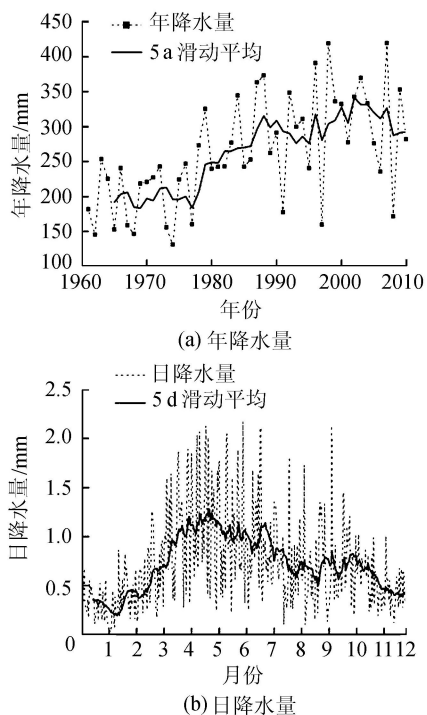


图2 乌鲁木齐 1960—2010 年年均降水量、日降水量及滑动平均

指标的可用性、优劣性。

图3中纵坐标用 $I_{SPI,1}$ 、 $I_{SPI,3}$ 、 $I_{SPI,6}$ 、 $I_{SPI,9}$ 、 $I_{SPI,12}$ 、 $I_{SPI,24}$ 分别表示基于不同时间尺度(1,3,6,9,12,24个月)的 SPI 值。如图3(a), $I_{SPI,1}$ 与 I_{EDI} 散点图非常分散, R^2 近似为 0, 13.1% 的 $I_{SPI,1}$ 值小于 -1, 有相应 68.8% 的 I_{EDI} 小于 -1, 两者之间不存在相关性。然而,在某种程度上, $I_{SPI,1}$ 所能监测出的短期干旱,相应的 I_{EDI} 也同样表现为干旱。 $I_{SPI,3}$ 与 I_{EDI} 散点图中(图3(b)), 两者相关性有明显增强, R^2 为 0.12, 15.6% 的 $I_{SPI,3}$ 小于 -1, $I_{SPI,3}$ 小于 -1 的 88 个月中, I_{EDI} 值均为负值, 有相应 95.7% 的 I_{EDI} 小于 -1。在 $I_{SPI,1}$ 、 $I_{SPI,3}$ 小于 -1 的 77、92 个月中, 分别有 19、2 个月 I_{EDI} 大于 -0.7。其中, $I_{SPI,1}$ 小于 -1 的月份中, 有 6 个月 I_{EDI} 大于 0。在这些情况下, 基于 1 年以上累计降水量的 I_{EDI} 并未表现出干旱, 而基于短期累计降水量(1、3 个月)的 $I_{SPI,1}$ 、 $I_{SPI,3}$ 指标表现为干旱。 Hayes 等^[36]指出, 由于 $I_{SPI,1}$ 和 $I_{SPI,3}$ 评价干旱时的概念与距平百分率差不多, 干旱季节即使出现少量的水分亏缺, $I_{SPI,1}$ 及 $I_{SPI,3}$ 均表征为严重干旱事件, 而长时间尺度上的 I_{SPI} 明显表现出与 I_{EDI} 相接近的评判结果。如图3(c), $I_{SPI,6}$ 与 I_{EDI} 相关性较 $I_{SPI,1}$ 、 $I_{SPI,3}$ 增强更为显著, R^2 达 0.38, $I_{SPI,6}$ 表现为干旱(小于 -1)的月份, I_{EDI} 均小于 -0.7, 表现为干旱, 但 $I_{SPI,6}$ 未表现干旱(大于 -1)的 484 个月份中, 有近乎一半的月份(240 个月), I_{EDI} 小于 -0.7, I_{EDI} 与 $I_{SPI,6}$ 相比, I_{EDI} 所表征的旱情较 $I_{SPI,6}$ 所表征的严重。 $I_{SPI,9}$ 与 $I_{SPI,12}$ 表

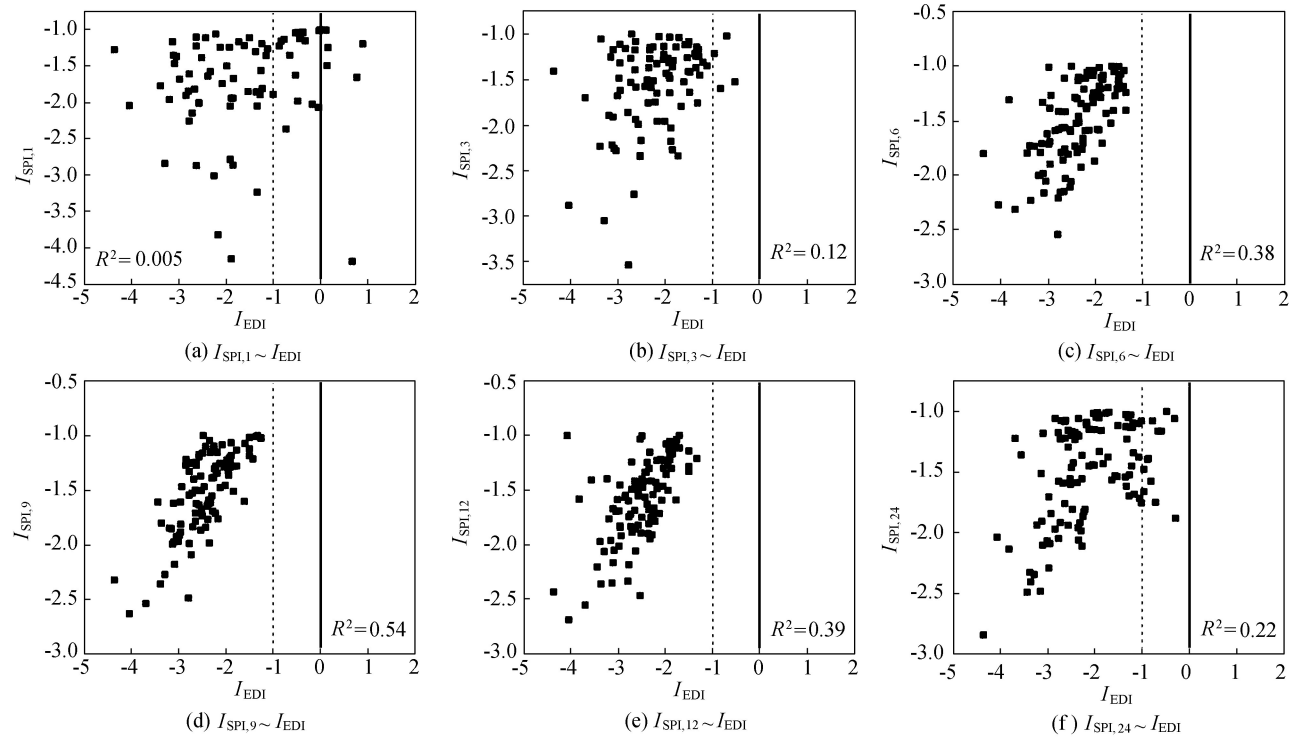


图3 1961—2010年乌鲁木齐 $I_{S_{PI}}$ 值 (<-1) 与 $I_{E_{DI}}$ 值(逐月最小值)散点分布

现出干旱(小于-1)的月份, $I_{E_{DI}}$ 均小于-1, 表征为干旱事件。特别是 $I_{S_{PI},9}$ 与 $I_{E_{DI}}$ 拟合的 R^2 值为 0.54 (图 3(d)), 两者最为接近。在表征干旱的过程中, 两者最大差异出现在 1975 年 6 月 ($I_{E_{DI}}: -4.07$; $I_{S_{PI},9}: -0.54$)。期间, $I_{S_{PI},9}$ 表征的干旱, 从 1973 年 8 月持续到 1975 年 5 月的 22 个月, 而 $I_{E_{DI}}$ 考虑到了持续干期以及降水量累计亏缺的概念, 其所表征的干旱从 1972 年 12 月持续到 1975 年 6 月, 长达 31 个月之久。 $I_{S_{PI},24}$ 表征干旱的月份, $I_{E_{DI}}$ 值均小于 0, 其中 95.6% 的 $I_{E_{DI}}$ 值小于 -0.7。 $I_{S_{PI},9}$ 、 $I_{S_{PI},12}$ 、 $I_{S_{PI},24}$ 同时表征干旱的 53 个月中, 相应的 $I_{E_{DI}}$ 每月最小值均小于 -0.7。同时, 在 $I_{S_{PI},1}$ 、 $I_{S_{PI},3}$ 、 $I_{S_{PI},6}$ 同时表征短期干旱的 28 个月中, 有 15 个月 $I_{S_{PI},9}$ 、 $I_{S_{PI},12}$ 、 $I_{S_{PI},24}$ 出现了不同程度上大于 -1 的情况, 而相应的 $I_{E_{DI}}$ 值均小于 -0.7 (图 3(e) ~ (f))。

由以上分析可见, 短时间尺度的 $I_{S_{PI},1}$ 、 $I_{S_{PI},3}$ 所表征的干旱事件的严重程度比 $I_{E_{DI}}$ 指标强, $I_{S_{PI},6}$ 表征的干旱强度则轻于 $I_{E_{DI}}$, 随着时间尺度的延长, 对短时降水的响应程度越来越低。考虑到一定程度的降水滞后效应, $I_{S_{PI},9}$ 、 $I_{S_{PI},12}$ 、 $I_{S_{PI},24}$ 所表征的旱情与 $I_{E_{DI}}$ 类似, 基于长时间尺度上的 $I_{S_{PI}}$ 明显表现出与 $I_{E_{DI}}$ 相接近平判的结果。

3.2 长期干旱

如图 4(a), 从 1962 年 1 月 1 日至 1963 年 6 月 13 日, $I_{E_{DI}}$ 值持续小于 -0.7 时间最长, 长达 529 d, 表现为连续长期干旱。1962 年、1963 年降水量分别为

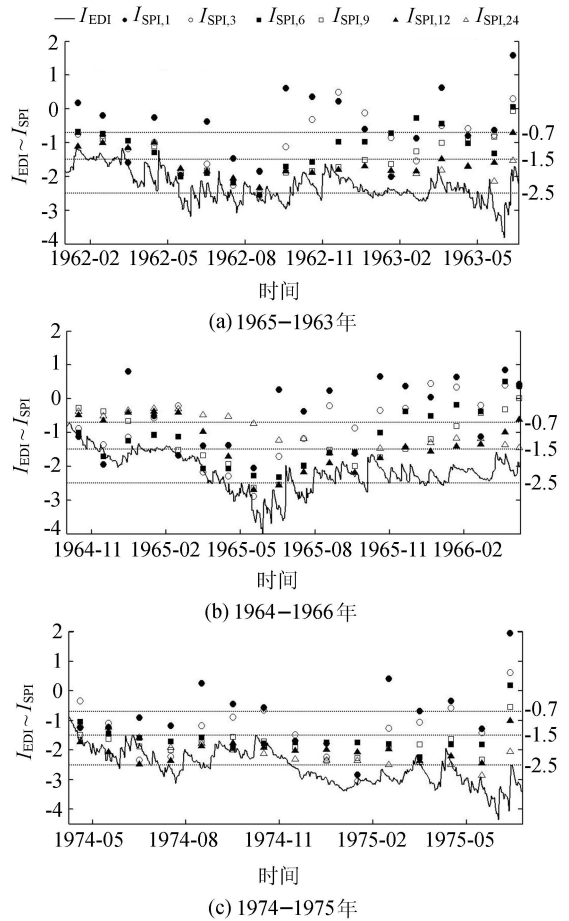


图4 $I_{E_{DI}} \sim I_{S_{PI}}$ 分析乌鲁木齐长期干旱趋势

多年平均降水量的 55%、96%, 从 1962 年至 1963 年前半年, 降水量减少, 干旱加剧, 从 1963 年后半年至 1964 年, 降水增加, 干旱得到了减缓。随着干旱历

时不断延长,基于短时间尺度的 SPI 监测到的干旱程度轻于实际旱情。有若干次情况下, $I_{SPI,1}$ 与 $I_{SPI,3}$ 所表征的旱情已得到缓解,并未监测到干旱事件的发生。在 1963 年 5 月,当此次干旱持续了将近两年的时候, $I_{SPI,1}$ 、 $I_{SPI,3}$ 、 $I_{SPI,9}$ 均表征为正常,旱情已消失, $I_{SPI,6}$ 、 $I_{SPI,12}$ 分别表征为轻度干旱、中度干旱 ($I_{SPI,6}:-1.3$, $I_{SPI,9}:-1.6$),只有 $I_{SPI,24}$ 与 I_{EDI} 指数表征为重度干旱。因此,基于短时间尺度的 I_{SPI} 值并不能很好地反映长期干旱事件的发展变化过程。1962 年截至 6 月底,全疆阿勒泰、玛纳斯、乌鲁木齐、哈密、阿克苏、和田等地均发生干旱,逾 $6.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 农田受灾,乌鲁木齐 $5.2 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 冬麦全部早死,单产仅 $36 \text{ kg}^{[37]}$ 。

同样如图 4(b),在 1964 年 10 月 2 日至 1966 年 4 月 3 日 I_{EDI} 持续 549 d 小于 -0.7 的长期干旱中,1966 年 3 月只有 $I_{SPI,24}$ 与 I_{EDI} 表征为中度干旱;如图 4(c),1974 年全疆大旱,乌鲁木齐年降水量是历年平均值的 50.2%,生长期(4—10 月降水量)是历年同期均值的 56.3%,农作物歉收 $4.5 \times 10^3 \text{ hm}^2$,占播种总面积 15%,单产仅 $64 \text{ kg}^{[37]}$ 。在 1974 年 4 月 8 日至 1975 年 6 月 19 日 I_{EDI} 持续 438 d 小于 -0.7 的长期干旱中,1975 年 6 月只有 $I_{SPI,24}$ 与 I_{EDI} 表征为重度干旱,其他基于短时间尺度的 I_{SPI} 值均表征为干旱已得到缓解,旱情消失。

3.3 短期干旱

短期干旱多数发生在春季,主要是由于春季降水量较少,蒸发量大于降水量,且处于积雪未融化、

山区雨季未来临之际^[38]。

如图 5,1982 年 2 月、1983 年 3 月、1985 年 9 月降水量分别为多年月平均降水量 (22 mm) 的 0.45%、4.5%、10.9%,只有 $I_{SPI,1}$ 、 $I_{SPI,3}$ 指标监测出由于降水量暂时亏缺而引起的短期干旱,相应的 I_{EDI} 指标均表征为干旱,而 $I_{SPI,6}$ 、 $I_{SPI,9}$ 、 $I_{SPI,12}$ 、 $I_{SPI,24}$ 均表征为正常情况,并未监测到干旱发生。如 1985 年乌鲁木齐农作物受灾面积达 $1.2 \times 10^3 \text{ hm}^2$,减产 $1.1 \times 10^6 \text{ kg}$,受灾林约 5.3 hm^2 ,过冬储备草减产 $7.5 \times 10^6 \text{ kg}^{[37]}$ 。1983 年 4 月、1989 年 5 月、1997 年 4 月降水量分别为多年月平均降水量 (22 mm) 的 25.8%、0%、0.9%,只有基于短时间尺度的 $I_{SPI,1}$ 、 $I_{SPI,3}$ 、 $I_{SPI,6}$ 监测出短期干旱事件的发生, $I_{SPI,12}$ 、 $I_{SPI,24}$ 均为正常,而相应的 I_{EDI} 却表征为干旱事件,即使是与 I_{EDI} 指数拟合系数最高的 $I_{SPI,9}$ 也未能表征干旱的发生,这是因为 I_{EDI} 计算采用每年每日的密集降水数据,进而分配给最近日数的降水量以最高权重、最远日数的降水量以最低权重。由此可见,在短期干旱事件的监测上, I_{EDI} 优于基于长时间尺度的 I_{SPI} 。另外, I_{EDI} 可以监测到 I_{SPI} 所不能监测到的干旱,例如乌鲁木齐 1981 年 5 月中旬至 7 月上旬受旱减产面积达 $9.7 \times 10^3 \text{ hm}^2$,占播种总面积的 24%, I_{EDI} 能够较为准确的表征此次干旱,而不论是基于多长时间尺度的 I_{SPI} 均未监测到此次干旱的发生^[37]。

1983 年 3 月, $I_{SPI,6}$ 为 -0.38 , 表现为正常,然而到了 1983 年 4 月, $I_{SPI,6}$ 小于 -2 , 表征发生了极端干

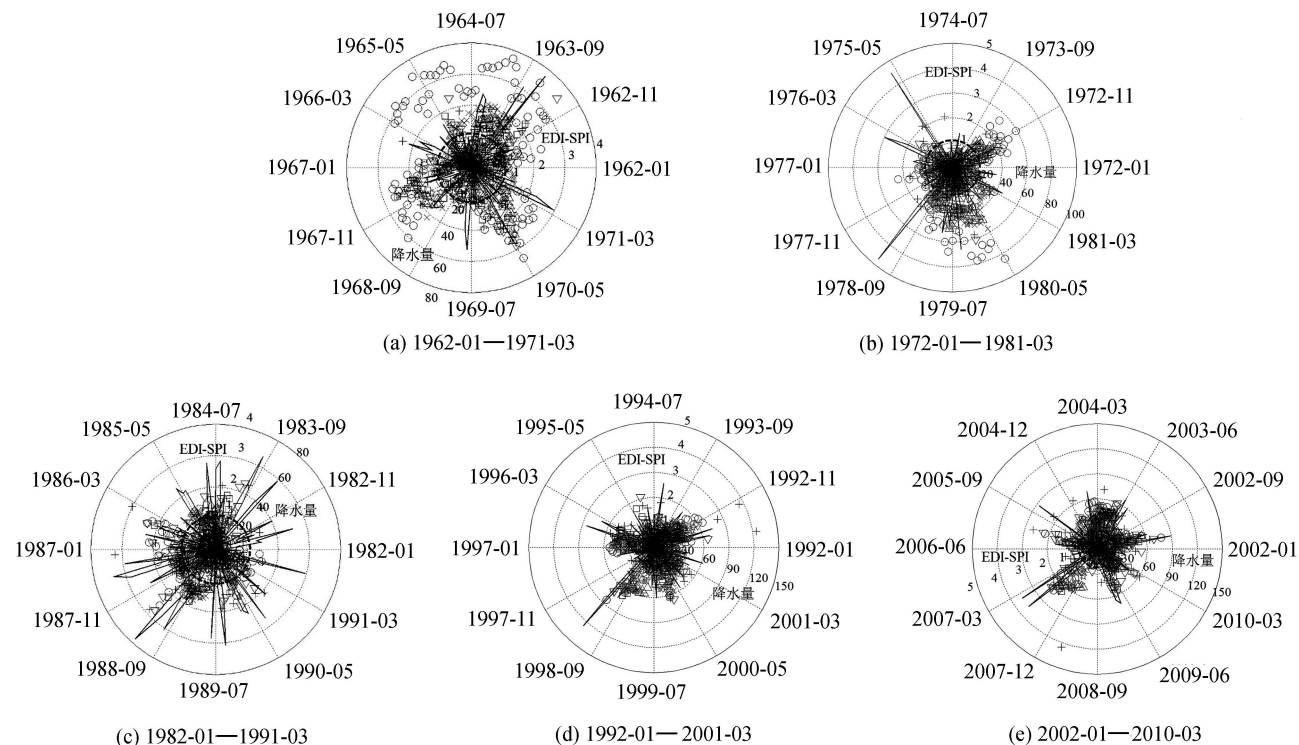


图 5 $I_{EDI} \sim I_{SPI}$ 分析乌鲁木齐短期干旱趋势

旱。干旱指标监测值在短时间内形成如此大的跨度,不利于干旱事件预警工作。该现象的发生,主要是由于1982年10月降水量为40.5 mm,是乌鲁木齐多年月平均降水量的184%,其影响被考虑在1983年3月 $I_{SPI,6}$ 的计算中,而未被1983年4月 $I_{SPI,6}$ 的计算所考虑。同理,1969年11月 $I_{SPI,6}$ 所监测的正常变为12月轻旱,是由于受到1969年6月降水量是多年月平均降水量的238%的影响;1991年4月 $I_{SPI,6}$ 所监测的正常变为5月轻旱,是由于受到1990年11月降水量是多年月平均降水量的195%的影响;1992年1月 $I_{SPI,6}$ 所监测的正常变为2月轻旱,是由于受到1991年8月降水量是多年月平均降水量的269%的影响;1976年2月 $I_{SPI,9}$ 所监测的正常变为3月轻旱,是由于受到1975年6月降水量是多年月平均降水量的412%的影响;1991年3月 $I_{SPI,9}$ 所监测的正常变为4月轻旱,是由于受到1990年7月降水量是多年月平均降水量的247%的影响。这些实例均表明:在干旱监测指标的计算过程中,分配给过去和现在的降水量以相同权重是极为不正确的。相反,EDI指数在计算过程中,随时间推

移,分配给每1天的降水量以不同权重,可以清晰地反映出由于降水量连续稀缺而逐步导致干旱现象不断加剧的过程。例如,在1963年6月14日(日降水量为36.3 mm)发生强降水事件减缓历时261 d(1962年9月27日—1963年6月14日)的长期干旱事件之前,1963年6月13日 I_{EDI} 值为-2.38,仍表征为极端干旱事件。

1989年新疆大旱,全疆13个地州共44个县受灾,受灾总面积达到 $4.8 \times 10^5 \text{ hm}^2$,3—5月,降水偏少54%,河流补给来水少,5—6月,26条主要河流来水量较历年同期减少35亿 m^3 。旱情较重的有28个县市,其中北疆22个、南疆6个,受旱面积达 $1.8 \times 10^5 \text{ hm}^2$ [37]。本文采用不同时间尺度的SPI以及EDI指数分析1989年5月乌鲁木齐的旱情,如图6所示。短时间尺度的 I_{SPI} (1个月、3个月)受到短时间降水的影响较大,能及时考虑当时降水量多少的影响,反映短时间新疆地区的干湿变化特征,而随着时间尺度的增加, $I_{SPI,6}$ 、 $I_{SPI,12}$ 以及 $I_{SPI,24}$ 对短时间内降水的响应越来越小,所反映出的干湿变化较短时间尺度 I_{SPI} 趋于稳定,且能够更好地反映除前期降水

○ 气象测站 □ 重度干旱 ◐ 中度干旱 ◑ 轻度干旱 ◒ 正常 ◓ 轻度湿润 ◔ 中度湿润 ◕ 重度湿润

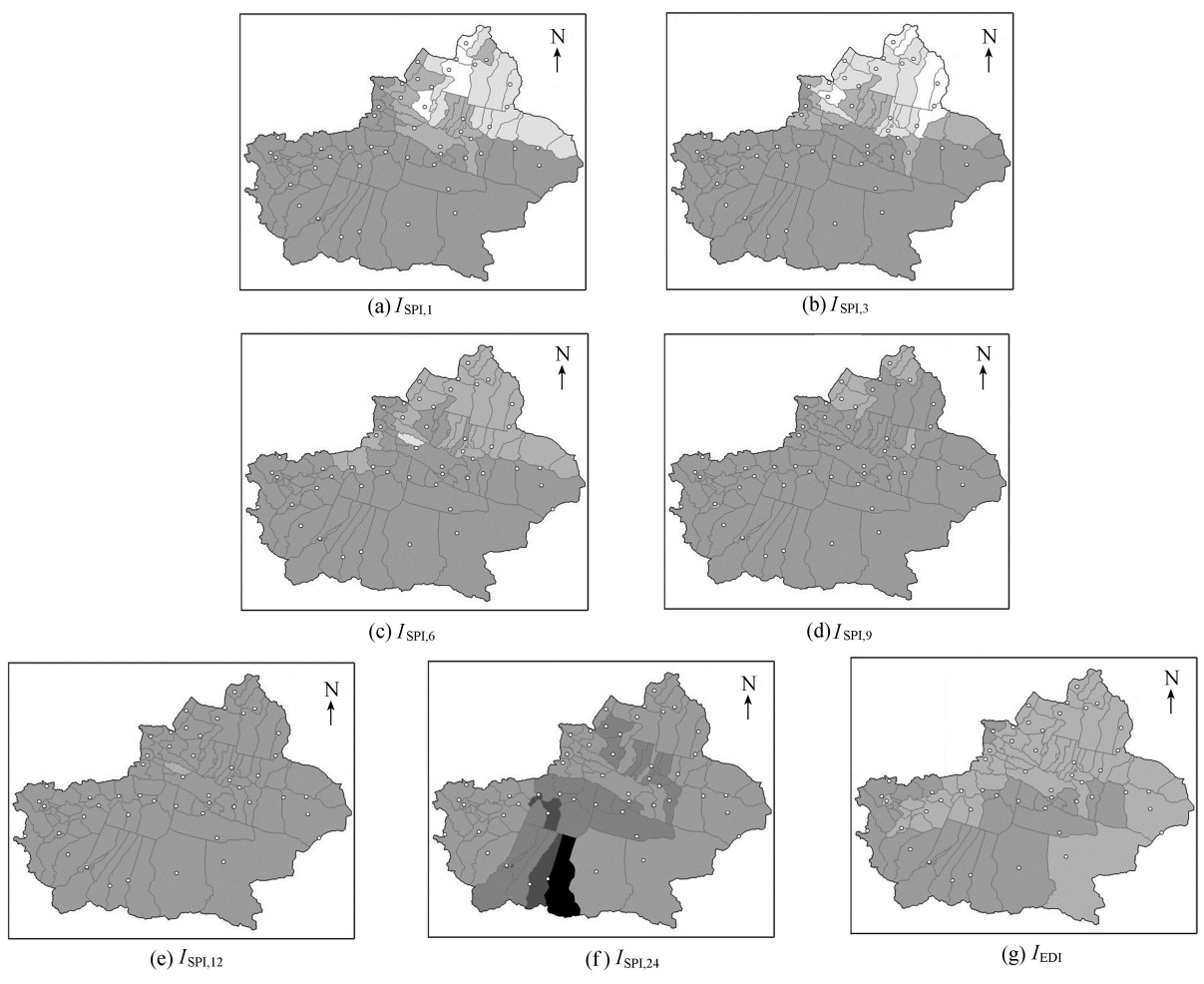


图6 新疆1989年5月 I_{SPI} 及 I_{EDI} 指数干湿等级划分

量所累积的滞后效应。因此,长时间尺度 I_{SPI} 值所表征的干旱周期会更加明显,干湿变化也逐渐稳定,干湿频率降低,持续时间加长,呈现出长时间序列下明显的干湿趋势。与 I_{SPI} 相比, I_{EDI} 能够很好地反映出短期干旱,既能够反映当时降水量多少的影响,同时,也能够随时间迁移,给每日降水量分配以不同的权重大小,考虑到前期降水量对当下旱涝情况的影响。

4 结 论

研究表明,干旱指标 I_{EDI} 相对于基于不同时间尺度的 I_{SPI} ,在监测干旱时,具有以下几点优势:

a. I_{EDI} 可以监测到短时间尺度 $I_{SPI,1}$ 、 $I_{SPI,3}$ 、 $I_{SPI,6}$ 无法监测到的长期干旱,同样,也可以监测到长时间尺度 $I_{SPI,9}$ 、 $I_{SPI,12}$ 、 $I_{SPI,24}$ 无法监测到的短期干旱,而 I_{EDI} 监测到的极端长期干旱,只有 $I_{SPI,24}$ 得到相同的结论;

b. 短时间尺度 I_{SPI} 值并不能监测到每 1 天的干旱发生与否,只能以自然月为统计单位,而 I_{EDI} 值可以通过累计水资源亏缺与否观测每 1 天的干旱情况,能够及时地反映出干旱何时发生、何时结束、干旱历时以及每 1 次干旱发生的强度;

c. 不同时间尺度的 I_{SPI} 针对同一时间段干旱事件的评定会有不同的结果,而 I_{EDI} 值只有单一值,评定结果单一;

d. I_{SPI} 值的计算过程中,在任何时间尺度上对过去的降水天数和现在的降水天数,给予相同的权重,某次干旱事件中的 I_{SPI} 值有可能会因为干旱发生前几个月某次强降水事件的发生而突然减小,而 I_{EDI} 指数随时间迁移分配给每日降水量不同权重,能够更好地监测到干旱事件的发生发展过程;

e. 在许多情况下,即使干旱开始前有强降水事件发生,短时间尺度的 I_{SPI} 值同样会将短期降水的稀缺评定为严重干旱,加剧旱情,而这种情况并不会在 I_{EDI} 指数的监测结果中出现。

因此,干旱指数 I_{EDI} 既可以评定短期干旱,同样可以监测长期干旱,而且由于 I_{EDI} 考虑了水资源累计计算的合理性, I_{EDI} 值准确性优于 I_{SPI} 值。我国基于 I_{EDI} 指数监测干旱事件的可行性及适用性有待进一步的探讨和开发。

参考文献:

[1] 谢应齐. 关于干旱指标的研究[J]. 自然灾害学报, 1993,2(2):55-62. (XIE Yingqi. Study on the drought index[J]. Journal of Natural Disasters,1993,2(2):55-62. (in Chinese))

[2] VICENTE-SERRANO S M, BEGUERÍA S, LÓPEZ-MORENO J I. A multiscalar drought index sensitive to

global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index-SPEI [J]. Journal of Climate, 2010,23(7):1696-1718.

[3] KEYANTASH J, DRACUP J A. The quantification of drought: An evaluation of drought indices [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002,83(8):1167-1180.

[4] 冯平,朱元牲. 干旱灾害的识别途径[J]. 自然灾害学报,1997,6(3):41-47. (FENG Ping, ZHU Yuanshen. The identification of drought hazard [J]. Journal of Natural Disasters,1997,6(3):41-47. (in Chinese))

[5] MEYER S J. The development of a crop specific drought index for corn [D]. Lincoln, NE, USA: University of Nebraska,1990.

[6] PALMER W C. Meteorological drought [M]. Washington D. C. : Department of Commerce,1965:1-58.

[7] HOLLINGER S E, ISARD S A, WELFORD M R. A new soil moisture drought index for predicting crop yields [C]//Eighth Conference on Applied Climatology. Anaheim, CA, USA: American Mathematical Society, 1993.

[8] ALLEY W M. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions [J]. Journal of Climate Applied Meteorology,1984,23(7):1100-1109.

[9] BHALME H N, MOOLEY D A. Large-scale drought/floods and monsoon circulation [J]. Monthly Weather Review, 1980,108(8):1197-1211.

[10] GIBBS W J, MAHER J V. Rainfall deciles as drought indicators [M]. Melbourne: Bureau of Meteorology,1967:29.

[11] MORON V. Guinean and sahelian rainfall anomaly indices at annual and monthly scales (1933—1990) [J]. International Journal of Climatology, 1994,14(3):325-341.

[12] MCKEE T B, DOESKEN N J, KLEIST J. The relationship of drought frequency and duration to time scales [C]//Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California; American Meteorological Society,1993.

[13] KIM D W, BYUN H R, CHOI K S. Evaluation, modification, and application of the effective drought index to 200-Year drought climatology of Seoul, Korea [J]. Journal of Hydrology,2009,378(1/2):1-12.

[14] BYUN H R, WILHITE D A. Daily quantification of drought severity and duration [J]. Journal of Climate, 1996,12(9):1181-1201.

[15] BYUN H R, WILHITE D A. Objective quantification of drought severity and duration [J]. Journal of Climate, 1999,12(9):2747-2756.

[16] BYUN H R, KIM D W. Comparing the effective drought index and the standardized precipitation index [J]. Options méditerranéennes: Series A,2010,95:85-89.

[17] MORID S, SMAKHTIN V, MOGHADDASI M. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran [J]. International Journal of Climatology, 2006,26

- [18] PANDEY R P, DASH B B, MISHRA S K, et al. Study of indices for drought characterization in KBK districts in Orissa (India) [J]. *Hydrological Processes*, 2007, 22(12):1895-1907.
- [19] MASINDE M. Artificial neural networks models for predicting effective drought index: factoring effects of rainfall variability [J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2013, 19(8):1139-1162.
- [20] 李剑锋, 张强, 陈晓宏, 等. 基于标准降水指标的新疆干旱特征演变[J]. *应用气象学报*. 2012(3):322-330. (LI Jianfeng, ZHANG Qiang, CHEN Xiaohong, et al. SPI-based drought variations in Xinjiang [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2012(3):322-330. (in Chinese))
- [21] CHANG T J, CLEOPA X A. A proposed method for drought monitoring [J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 1991, 27(2):275-281.
- [22] HEIM R R. A review of twentieth-century drought indices used in the United States [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2002, 83(8):1149-1165.
- [23] ZHANG Q, LI J F, SINGH V P. SPI-based evaluation of drought events in Xinjiang, China [J]. *Natural Hazards*, 2012, 64(1):481-492.
- [24] LIU K, JIANG D B, MA J Y. Drought over China in the 21st century: results of RegCM3 [J]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2012, 5(6):509-513.
- [25] 刘盛梅, 成鹏. 乌鲁木齐地区近 50 年来平均气温及极端气温变化特征 [J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(6):138-146. (LIU Shengmei, CHENG Peng. Characteristics of average air temperature and extreme air temperature changes in Urumqi region for the past 50 years [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(6):138-146. (in Chinese))
- [26] 何清, 杨青, 李红军. 新疆 40a 来气温、降水和沙尘天气变化 [J]. *冰川冻土*, 2003, 25(4):423-427. (HE Qing, YANG Qing, LI Hongjun. Variations of air temperature, precipitation and Sand-Dust weather in Xinjiang in past 40 years [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(4):423-427. (in Chinese))
- [27] 王世杰, 杨莲梅, 史玉光. 乌鲁木齐 1991—2010 年降雨特征分析 [J]. *中国沙漠*, 2012, 32(2):509-516. (WANG Shijie, YANG Lianmei, SHI Yuguang. Rainfall variation during 1991—2010 in Urumqi [J]. *Journal of Desert Research*, 2012, 32(2):509-516. (in Chinese))
- [28] 冷中笑, 格丽玛, 海米提·依米提, 等. 全球变暖背景下的乌鲁木齐市气温及降水气候特征分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 2007, 21(4):60-64. (LENG Zhongxiao, GE Lima, Haimidi · yimiti, et al. Changes of average air temperature and rainfall in Urumqi under background of global warming [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(4):60-64. (in Chinese))
- [29] 刘惠云, 王晓梅, 肖书君, 等. 乌鲁木齐市近 40 多年降水演变特征 [J]. *干旱区研究*, 2007, 24(6):6785-6789. (LIU Huiyun, WANG Xiaomei, XIAO Shujun, et al. Study on the change of precipitation in Urumqi since recent 40 years [J]. *Arid Zone Research*, 2007, 24(6):6785-6789. (in Chinese))
- [30] 李剑锋, 张强, 陈晓宏. Archimedean Copulas 在降水变异概率分布特征研究中的应用: 以新疆福海县为例 [J]. *灾害学*, 2011, 26(3):1-7. (LI Jianfeng, ZHANG Qiang, CHEN Xiaohong. Application of Archimedean Copulas in research on probability distribution characteristics of precipitation variation taking Fuhai county in Xinjiang as an example [J]. *Journal of Catastrophology*, 2011, 26(3):1-7. (in Chinese))
- [31] 李剑锋, 张强, 陈晓宏, 等. 新疆极端降水概率分布特征的时空演变规律 [J]. *灾害学*, 2011, 26(2):11-17. (LI Jianfeng, ZHANG Qiang, CHEN Xiaohong, et al. Spatial-temporal evolution pattern of probability distribution characteristics of extreme precipitation in Xinjiang Autonomous Region [J]. *Journal of Catastrophology*, 2011, 26(2):11-17. (in Chinese))
- [32] 孙桂丽, 陈亚宁, 李卫红, 等. 新疆极端水文事件年内分布的非均匀性 [J]. *灾害学*, 2011, 26(2):18-23. (SUN Guili, CHEN Yaning, LI Weihong, et al. Heterogeneity of annual distribution of extreme hydrological events in Xinjiang [J]. *Journal of Catastrophology*, 2011, 26(2):18-23. (in Chinese))
- [33] 杨霞, 赵逸舟, 李圆圆, 等. 乌鲁木齐极端天气事件及其与区域气候变化的联系 [J]. *干旱区地理*, 2009, 32(6):867-873. (YANG Xia, ZHAO Yizhou, LI Yuanyuan, et al. Extreme weather events in Urumqi and their relation with regional climate change [J]. *Arid Land Geography*, 2009, 32(6):867-873. (in Chinese))
- [34] 姜逢清, 李珍, 杨跃辉. 乌鲁木齐降水分布型及其 40 多年来的变化 [J]. *干旱区研究*, 2006, 23(1):83-88. (JIANG Fengqing, LI Zhen, YANG Yuehui. Distribution patterns of precipitation and their change in Urumqi since recent 40 years [J]. *Arid Zone Research*, 2006, 23(1):83-88. (in Chinese))
- [35] 姜逢清, 张延伟, 胡汝骥, 等. 新疆年降水不规则性空间差异与长期演变 [J]. *干旱区地理*, 2010, 33(6):853-860. (JIANG Fengqing, ZHANG Yanwei, HU Ruji, et al. Spatial pattern and evolution of annual precipitation irregularity in Xinjiang [J]. *Arid Land Geography*, 2010, 33(6):853-860. (in Chinese))
- [36] HAYES M J, SVOBODA M D, WILHITE D A, et al. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index (SPI) [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1999, 80(3):429-438.
- [37] 《中国气象灾害大典》编委会. 中国气象灾害大典·新疆卷 [M]. 北京: 气象出版社, 2006:12-27.
- [38] 徐德源, 桑修诚. 新疆农业气候 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1981:101.