

三种气象干旱指标的应用比较研究

韩海涛¹, 胡文超¹, 陈学君¹, 王乃昂², 李 钢²

(1. 甘肃省气象信息与技术装备保障中心; 甘肃省气象局兰州大学联合数据实验室, 甘肃 兰州 730020;
2. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 利用前人的研究成果对当前国内外常用的降水距平百分率、标准化降水指数和帕默尔干旱指数这三种气象干旱指标进行比较分析, 指出了各指标的基本原理, 并总结各指标的优缺点以及其适用性。结果显示: 降水距平百分率计算简单, 所需资料易获取, 但对于干旱的响应慢, 不能反映干旱的内在机理, 在实际应用中尤其是在西北地区有很大的局限性; 标准化降水指数适用于任意时间尺度, 计算稳定, 对于干旱的反应较灵敏, 但没有考虑水分的支出, 在实际应用中可满足不同地区的需求, 能够为不同时间尺度的干旱监测服务; 修正的帕默尔指标考虑了前期降水、水分供给、水分需要、实际蒸散量等因素, 不仅可以反映干旱程度, 而且也包含了干旱的起止时刻, 实际应用广泛, 是目前最为成功的干旱指标, 具有广阔的发展前景。

关键词: 气象; 干旱指标

中图分类号: S161.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0237-05

干旱作为一种气象灾害, 长期困扰着工农业生产。据测算, 每年因干旱造成的全球经济损失高达 60~80 亿美元, 远远超过了其他气象灾害^[1]。我国处于气候的脆弱带, 季风的年变化以及其他一些因素导致了干旱的频繁发生。20 世纪 90 年代以来, 仅我国北方的干旱化造成的直接经济损失每年都在 1 000 亿元以上^[2]。而且干旱的影响具有持续时间长、范围广、灾害程度重的特点, 因此对于干旱的研究有很重要的意义。

干旱指标是研究干旱气候的基础, 也是衡量干旱程度的标准和关键环节。对于干旱指标的研究表明, 干旱指标制定的客观、合理, 对于干旱过程就反映的准确, 否则, 可能遗漏一些干旱过程, 也有可能增加一些并非干旱化的过程^[3]。自有观测记录以来, 干旱指标就一直是研究干旱的重要方面和热点问题。据世界气象组织统计, 各种应用的干旱指标有 55 种。但是目前还没有一个干旱指标能适合所有干旱情况的研究。根据不同部门的需求不同, 干旱指标大致分为 4 类: 以降水指标划分为主的气象干旱类; 以地表径流和地下水指标划分为主的水文干旱类; 以土壤水分和作物指标划分为主的农业干旱类; 以供水和人类需水指标划分为主的社会经济干旱类^[4]。气象指标可以说是其他指标的基础和参考依据, 本文旨在通过对几种常用的气象干旱指

标进行对比分析, 为干旱监测提供更为符合实际的项目, 为定量研究干旱事件提供更为合理的综合指标奠定基础。

1 原理与计算方法

1.1 降水距平百分率(P_a)

降水距平百分率是表征某时段降水量异常的方法之一, 能直观反应降水异常引起的干旱; 在我国气象日常业务中经常使用, 多用于评估月、季、年发生的干旱事件。其计算公式为:

$$P_a = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\%$$

式中: P 为某时段降水量, $\bar{P}$ 为计算时段同期气候平均降水量。

1.2 标准化降水指数(SPI)

标准化降水指数是表征某时段降水量出现的概率多少的指标之一, 该指标是由 McKee 等^[5]在评估美国科罗拉多干旱状况时提出的。该指标适用于月以上尺度相对当地气候状况的干旱监测与评估, 能较好地反映干旱强度和持续时间, 而且具有多时间尺度应用的特性, 因而得到广泛应用。

该指标的原理是基于降水量分布不是正态分布, 而是一种偏态分布。因此在进行降水分析和干旱监测、评估中, 采用 Γ 分布概率来描述降水量的

收稿日期: 2008-01-25
基金项目: 中国气象局气候变化专项项目(CCSF2007-48)
作者简介: 韩海涛(1979-), 女, 山西晋城人, 工程师, 硕士, 主要从事气候资料分析和气候变化研究。E-mail: hht19981@163.com。

变化。 SPI 就是在计算某时段内降水量的 Γ 分布概率后,再进行正态标准化处理,最终用标准化降水累积频率分布来划分干旱等级。

假设某一时段的降水量为 x ,则其 Γ 分布的概率密度函数为:

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

式中, β 为尺度参数; γ 为形状参数; x 为降水量; β 和 γ 可用极大似然估计方法求得:

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

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

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

式中, x_i 为降水量资料样本; $\bar{x}$ 为降水量气候平均值; n 为计算序列的长度,于是,给定时间尺度的累积概率可计算如下:

$$F(x < x_0) = \int_0^\infty f(x) dx$$

由于上式中不包含 $x = 0$ 的情况,而实际降水量可以为 0,降水量为 0 时的事件概率为:

$$F(x = 0) = m / n$$

式中, m 为降水量为 0 的样本数; n 为降水量气候平均值。

对 Γ 分布概率进行正态标准化处理,进行近似求解可得:

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

式中: $t = \sqrt{\ln \frac{1}{F^2}}$,当 $F > 0.5$ 时, $S = 1$; $F \leq 0.5$

时, $S = -1$ 。

$$c_0 = 2.515517; c_1 = 0.802853; c_2 = 0.010328;$$

$$d_1 = 1.432788; d_2 = 0.189269; d_3 = 0.001308。$$

1.3 帕默尔干旱指标(PDSI)

帕默尔干旱指数是表征在一段时间内,该地区实际水分供应持续少于当地气候适宜水分供应的水分亏缺。其基本原理是土壤水分平衡原理。该指数基于月值资料设计,经标准化处理,可对不同地区、不同时间的土壤水分状况进行比较,在计算水分收支平衡时,考虑了前期降水量和水分供需,物理意义明确。安顺清等^[6] 将帕默尔指数针对中国的情况进行了修改,计算公式如下:

$$x_i = 0.805 x_{i-1} + z_i / 57.136$$

$$K' = 4.01 \lg \left[\frac{\overline{E_p} + R + F}{(P + L) D} \times 25.0 + 1.0 \right] + 0.5$$

$$K = \frac{584.08}{\sum_1^{12} (DK')} K'$$

式中, X_i 为第 i 个月的帕默尔干旱指数; K 为权重因子; $\overline{E_p}$ 为某个月的长期平均可能蒸散量; R 为某个月的长期平均土壤水补水量; F 为长期平均月平均径流量; P 为某个月长期平均降水量; L 为某个月长期平均土壤水失水量; D 为月水分偏差的绝对值平均。

1.4 三种气象干旱指标的干旱等级划分

降水距平百分率、标准化降水指数和帕默尔干旱指数的干旱等级划分见表 1。

表 1 降水距平百分率、标准化降水指数和帕默尔干旱指数的干旱等级

Table 1 Classification scales for Pa , SPI and $PDSI$ index

等级 Degree	类型 Types	降水距平百分率(%) Percentage of precipitation anomaly (Pa)			标准化降水指数 Standard precipitation index (SPI)	帕默尔干旱指数 Palmer drought index ($PDSI$)
		月尺度 Monthly scale	季尺度 Seasonal scale	年尺度 Yearly scale		
1	无旱 No drought	$-40 < Pa$	$-25 < Pa$	$-15 < Pa$	$-0.5 < SPI$	$-1.0 < PDSI$
2	轻旱 Light drought	$-60 < Pa \leq -40$	$-50 < Pa \leq -25$	$-30 < Pa \leq -15$	$-1.0 < SPI \leq -0.5$	$-2.0 < PDSI \leq -1.0$
3	中旱 Moderate drought	$-80 < Pa \leq -60$	$-70 < Pa \leq -50$	$-40 < Pa \leq -30$	$-1.5 < SPI \leq -1.0$	$-3.0 < PDSI \leq -2.0$
4	重旱 Severe drought	$-95 < Pa \leq -80$	$-80 < Pa \leq -70$	$-45 < Pa \leq -40$	$-2.0 < SPI \leq -1.5$	$-4.0 < PDSI \leq -3.0$
5	特旱 Extreme drought	$Pa \leq -95$	$Pa \leq -80$	$Pa \leq -45$	$SPI \leq -2.0$	$PDSI \leq -4.0$

2 三种气象干旱指标的应用比较

2.1 降水距平百分率的应用

降水距平百分率是以历史平均水平为基础确定干旱程度,计算简单,所需资料容易获取,应用广泛,但它不能反映干旱的内在机理。这种单一的降水指标只考虑了当时的降水量,没有考虑前期干旱持续时间对后期干旱程度的影响^[3],因此降水量距平百分率这一指标在实际应用中尤其是在西北地区有很大的局限性。如对西北地区 8 个代表站 1961~1990 年旱涝等级进行划分,发现降水量较大的西安、兰州、西宁、乌鲁木齐的重旱和重涝次数明显小于降水量较少的其它几个站,说明降水距平百分率指标对平均值的依赖性较大,对于降水量空间分布极不均匀的西北地区,不能使用统一的降水距平百分率指标^[7]。张强^[8]以北京为例对降水距平百分率和标准化降水指数作了对比分析,认为降水距平百分率能直接表征某时段降水量偏离常年的程度,意义明确。其不足之处是没有考虑降水的分布特征,在确定不同地区、不同时间尺度的旱涝时,没有统一的标准,该指标不能适用于时空尺度的旱涝等级对比分析。

降水距平百分率对干旱的响应慢。在实际应用中并没有对降水季节变化进行加权,会出现相同的等级对应不同的干旱情况,使指标的统一可比性下降^[9]。降水距平百分率对降水量变化在表征干湿变化时具有局限性,特别是在过渡带地区,降水量的细微变化可能因增暖的趋势而引起显著的干旱化趋势^[10]。尽管过去的研究利用降水量的变化揭示了北方干旱化的一些重要事实,但无法表征温度变化对于干湿变化的作用,特别是在过渡带等对干湿变化敏感的地区。

2.2 降水标准化指标的应用

SPI 是通过概率密度函数求解累积概率,再将累积概率标准化,计算过程中没有涉及与降水量的时空分布特性有关的参数,降低了指标值计算的时空差异,对不同时空的旱涝状况都有良好的反映。相比较而言,SPI 的计算更稳定。标准化降水指数的优点是能够适用于任意时间尺度,对于干旱的反应较灵敏。目前国家气候中心运用以 SPI 和湿润度指数为基础,并考虑近期降水量的综合指数对全国范围的干旱实况进行逐日滚动实时监测,业务实践效果良好^[11]。SPI 的缺点是假定了所有地点旱涝发生概率相同,无法标识频发地区;此外没有考虑水分的支出。

SPI 的计算只需要降水量资料,资料容易获取,也避免了机理模型繁杂的计算和大量经验性的参数输入,同时又抓住了反映干旱的主要因素——降水。由于不涉及具体的干旱机理,其时空适应性强,克服了机理性干旱指标因为寒冷、地形、土壤类型等因素所造成的使用上的制约。袁文平等^[12]利用分布于我国不同气候区的 7 个气象台站 45 年的月降水资料,比较分析了 SPI 和在我国已成熟应用的 Z 指数。结果表明 SPI 计算简单,资料容易获取,而且计算结果与 Z 指数有极好的一致性。同时,由于 SPI 是通过概率密度函数求解累积概率,具有稳定的计算特性,消除了降水的时空分布差异,在各个区域和各个时段均能有效地反映旱涝状况。SPI 还可以计算不同时间尺度的指标值,能够满足不同水资源状况分析的要求,以北京为例使用了四个时间尺度的 SPI 值(单月的 SPI₁、三个月的 SPI₃、12 个月的 SPI₁₂和 24 个月的 SPI₂₄),结果显示 SPI₁ 可以监测每月水分变化,可以准确反映土壤水分状况,SPI₁₂和 SPI₂₄对于下层土壤水分、河流径流量、地下水位以及水库蓄水量有较好的反映,综合分析多时间尺度的 SPI 值可以有效地反映旱涝程度及其持续时间。而且 SPI 可以直接区分引起干旱的两种直接原因:土壤水分缺乏和用于补给水分亏缺^[13]。

张强^[8]认为标准化降水指数不仅考虑了降水服从偏态分布的实际,而且又进行了正态标准化处理,从而使标准化降水指数适合确定不同时间尺度的干旱检测、评价,具有相同干旱等级划分标准,能进行多时间尺度旱涝等级对比分析,是一种较好的气候干旱指标,其不足是没有考虑干旱发生的其他因子。

2.3 修正的帕默尔指标的应用

20 世纪 60 年代中期,Palmer 对美国中西部地区多年气象资料进行了分析研究,提出了“对当前情况气候上适应的降水”,从而推导出一套分析计算干旱严重程度的完整方法,即帕默尔旱度模式^[14]。该模式不仅在美国得到了广泛认可和应用,而且在国际上也享有盛名,澳大利亚、加拿大、南非等国家曾先后对其方法的适用性进行了检验^[4]。帕默尔旱度模式引入中国是在 20 世纪 70 年代。到 80 年代,随着气候变化,干旱问题逐渐得到了人们的关注,干旱指标的研究不断深入。1984 年,范嘉泉等^[15]介绍了帕默尔气象干旱指标的原理、优点及计算方法。1985 年,安顺清^[6]对 Palmer 旱度模式进行修正,建立了我国的气象旱度模式。

王捷^[16]对 Palmer 干旱指数的应用研究表明

Palmer 干旱指数能抓住降水是干旱最重要的决定因素这一特征,并且反映出干旱过程具有更大的时空尺度,在实际蒸发较大的地区,Palmer 干旱指数比降水距平百分率描述干旱强度更准确。Palmer 干旱指数在中国东部地区具有较好的代表性,在西北地区变化不敏感,需要针对西北地区进一步订正。在华北地区,学者对 Palmer 指数进行修正,并利用修改后的 Palmer 指数对华北地区的干湿变化进行了探讨^[17,18]。黄妙芬^[19]应用 PSDI 的基本原理,建立了黄土高原西北部的帕默尔干旱指标。杨小利^[20]针对甘肃中东部地区的实际情况,对 PSDI 指

数进行修正和应用,结果表明修正后的 PSDI 指数能较好反映该地区的干旱程度。翟盘茂^[21]用该指标对中国的干旱面积趋势进行分析,认为华北和西北东部呈增加趋势,南方大部分地区变化不显著,西北地区西部一些站点发生干旱的月数有所减少。还对该指标与气温和降水进行相关分析,表明降水量是影响干旱变化的最主要因子,干旱指数的计算方法一定程度上会影响干旱变化原因的分析。另外,许多学者在安顺清建立的我国旱度模式基础上,分别对 PSDI 指数在中国不同地区进行修正应用^[22~25]。

表 2 不同气象干旱指标的比较
Table 2 Comparison of different meteorological drought indexes

干旱指标 Drought index	优点 Advantage	缺点 Disadvantage	适用性 Applicability
降水距平百分率 Percentage of precipitation anomaly	计算简单,资料容易获取。 The calculation is simple and data is easy to obtain.	对于旱响应慢,不能反映干旱的内在机理。 It is in a slow extent of response to drought, and does not reflect the inherent mechanism of the drought.	应用广泛,但在实际应用中尤其是在西北地区有很大的局限性。 Widespread application, but has great limit in the Northwest region.
标准化降水指标 Standard precipitation index	适用于任意时间尺度,计算稳定,对于干旱的反应较灵敏。 It can apply to any time scales, stable in calculation and sensitive in response to the drought.	假定旱涝发生概率相同,无法标识旱涝频发的地区;没有考虑水分的支出。 In case of the same probability of droughts and floods, the areas of frequent droughts and floods could not be identified, and water expenditure was not taken into consideration.	满足不同地区、不同应用的需求,能够为不同时间尺度的干旱监测服务。 It can meet the needs of different regions and different applications, and can serve for different time scales of drought monitoring.
帕默尔指标 Palmer drought index	考虑了前期降水、水分供给、水分需要、实际蒸散量等因素,不仅可以反映干旱程度,而且也包含了干旱的起止时刻。 The early rainfall, water supply, water needs, actual evapotranspiration and other factors are considered, which can not only reflect the extent of drought, but also include the start and end times of drought.	受台站数目、地表结构和资料同化水平的限制。资料的处理和计算复杂。对土壤湿度参数使用有不确定性。 The index is restricted by the number of stations, surface structure and level of assimilation of the data. Data processing and computing is complicated, and its use to soil moisture parameters has uncertainty.	应用最广泛,是目前最为成功的干旱指标,发展前景广阔。 With the most wide-spread use, it is the most successful drought index at present and has broad development prospects.

研究表明,该指标是一种简单的机理性指标,考虑了前期降水、水分供给、水分需要、实际蒸散量等因素,不仅可以反映干旱程度,而且也包含了干旱的起止时刻。到目前为止,它是应用最广泛、最成功的干旱指标。但是对于我国来说,台站稀少,地表结构复杂,加之我国的资料同化水平有待于进一步提高,所以有关参数的选取和计算有一定的制约,不便于推广、检测和应用^[3]。该指标在资料的处理和计算上都比前几种指标复杂的多,且在冬季 Palmer 干旱指数的潜在蒸发的计算误差最大。帕默尔干旱指标的局限性还在于对土壤湿度参数使用的不确定性,由于实测土壤湿度资料的缺乏,此局限性还无法消除,因此该指标不利于推广。

3 结论与展望

通过对三种气象干旱指标的应用比较分析,可得到如下结论:

降水距平百分率计算简单,所需资料容易获取,但该指标对于旱的响应慢,不能反映干旱的内在机理,在实际应用中适用于单站月、季、年资料分析,区域资料分析可靠性差,尤其是在西北地区有很大的局限性;标准化降水指标能够适用于任意时间尺度,计算稳定,对于干旱的反应较灵敏,但没有考虑水分的支出。在实际应用中可满足不同地区的需求,能够为不同时间尺度的干旱监测服务,以北京为例,应用 4 种时间尺度的 SPI 值(单月的 SPI₁、三个月的 SPI₃、12 个月的 SPI₁₂和 24 个月的 SPI₂₄)反映 1951

~1995 年期间的旱涝事件,发现 SPI 能准确地反映北京 45 年间的旱涝趋势,适用于单站和区域的干旱评估;修正的帕默尔指标考虑了前期降水、水分供给、水分需要、实际蒸散量等因素,不仅可以反映干旱程度,而且也包含了干旱的起止时刻,以甘肃中东部为例,对修正后的 PSDI 应用显示了在 1961~2000 年发生了 13 次较为严重的干旱,其中 1966 年春旱连伏旱、1972 年伏旱、1995 年四季连旱、1997 年春末初夏干旱、2000 年的春季大旱最为严重,在这些年份旱度值都小于-5.0,1995 年对大旱度值达-6.14。PSDI 实际应用广泛,是目前最为成功的干旱指标,具有广阔的发展前景,适用于单站和区域的月尺度干旱评估,具有较好的时间和空间可比性。但该指标受台站数目、地表结构和资料同化水平的限制。

一个干旱指标建立的合理与否,主要取决于以下几个条件:一是否能够精确描述干旱的强度、范围和起止时间。二是否能够包含明确的物理机制,充分考虑多种因素:降水、蒸发量、径流、土壤特性等水分状况的影响;机理性干旱指标考虑了与干旱发生有关的气象、土壤、地形、水文以及生物等各种因素,能够细致地反映局地干旱的强度、持续时间和影响程度,是目前干旱指标研究的新领域。三是否能被广泛应用。从各指标的应用及相互比较分析可以看出,在制定综合干旱指标时首先要考虑能抓住降水是干旱最重要的决定因素这一特征的指标。但是仅用降水量的减少来表征干旱及干旱化问题具有一定的局限性,原因是它无法表示目前发生在全球范围内的增暖对于干旱及干旱化趋势的贡献^[26]。降水只是作用于地表干湿变化一个重要因子,但不唯一,随着全球变暖的加剧,升温引起蒸发潜力的变化已经对地表的湿润状况产生了重要作用,降水异常已经不能客观地表征地表的干湿变化,应该研究发展综合干旱指标,SPI 和帕默尔干旱指标相结合,可以弥补使用单一指标的缺陷。在干旱监测预警中应分区域、分类建立修订指标^[27],同时,对于开展干旱监测应该加大土壤含水量以及径流量等因素的观测。

参 考 文 献:

- [1] 袁文平,周广胜.干旱指标的理论分析与研究展望[J].地球科学进展,2004,19(6):982-991.
- [2] 符淙斌,安芷生,郭维栋.我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究(1):主要研究成果[J].地球科学进展,2005,20(11):1157-1167.
- [3] 王劲松,郭江勇,周跃武,等.干旱指标研究的进展与展望[J].干旱区地理,2007,30(1):60-65.
- [4] 刘庚山,郭安红,安顺清,等.帕默尔干旱指标及其应用研究进展[J].自然灾害学报,2004,13(4):21-27.
- [5] Seiler B A, Hayes M, Bressan L. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring[J]. International Journal of Climatology, 2002, 22:1365-1376.
- [6] 安顺清,邢久星.修正的帕默尔干旱指数及其应用[J].气象,1985,11(12):17-19.
- [7] 张存杰,王宝灵,刘德祥,等.西北地区旱涝指标的研究[J].高原气象,1998,17(4):381-389.
- [8] 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.
- [9] 鞠笑生,杨贤为,陈丽娟,等.我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J].应用气象学报,1997,8(1):26-32.
- [10] 马柱国,黄刚,甘文强,等.近代中国北方干湿变化趋势的多时段特征[J].大气科学,2005,29(5):671-681.
- [11] 邹旭凯,张强,王有民,等.干旱指标研究进展及中美两国国家级干旱监测[J].气象,2005,31(7):6-9.
- [12] 袁文平,周广胜.标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J].植物生态学报,2004,28(4):523-529.
- [13] Byun H R, Wilhite D A. Objective Quantification of drought severity and duration[J]. Journal of Climate, 1999, 12:2747-2756.
- [14] Willeke G, Hcsking J R M, Wallis J R, et al. The National Drought Atlas [R]//Virginia: Institute for Water Resources Rep. 94-NDS-4, U. S. Army Corps of Engineers, Fort Belvoir, VA, 1994:587.
- [15] 范嘉泉,郑剑非.帕默尔气象干旱研究方法介绍[J].气象科技,1984,12(1):63-71.
- [16] 卫捷,马柱国.Palmer 干旱指数、地表湿润指数与降水距平的比较[J].地理学报,2003,58:117-124.
- [17] 李庆祥,刘小宁,李小泉.近半个世纪华北干旱化趋势研究[J].自然灾害学报,2002,11(3):50-56.
- [18] 李翠金.异常干旱气候事件及其对农业影响评估模式[J].地理学报,2000,55:39-45.
- [19] 黄妙芬.黄土高原西北部地区的旱度模式[J].气象,1990,17(1):23-27.
- [20] 杨小利,杨兴国,马鹏里,等.PSDI 在甘肃中东部的地区的修正和应用[J].地球科学进展,2005,20(9):1022-1028.
- [21] 翟盘茂,邹旭恺.1951~2003 年中国气温和降水变化及其对干旱的影响[J].气候变化研究进展,2005,1(1):16-18.
- [22] 赵惠媛,沈必成,姜辉,等.帕尔默气象干旱研究方法在松嫩平原西部的应用[J].黑龙江农业科学,1996,(3):30-33.
- [23] 刘雪梅,宋国强,程平顺,等.贵州省夏旱特征及分区研究[J].高原气象,1997,16(3):292-299.
- [24] 马延庆,王素娥,杨云芳,等.渭北旱塬地区旱度指数模式及应用结果分析[J].新疆气象,1998,21(2):33-34.
- [25] 徐向阳,刘俊,陈晓静.农业干旱评估指标体系[J].河海大学学报,2001,29(4):56-60.
- [26] 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.
- [27] 姚玉璧,张存杰,邓振镛,等.气象、农业干旱指标综述[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):185-189.

(英文摘要下转第 247 页)

Study on spatial and temporal variation of arid index in Yellow River Basin

SHI Jian-guo^{1,2}, ZHANG Yan-qing¹, HE Wen-qing¹, LIU Qin¹

(1. Institute of Environment and Sustainable Development on Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Baotou Light Industry & Vocational Technical College, Baotou, Inner Mongolia 014045, China)

Abstract: The arid index was calculated with Penman—Monteith method recommended by the FAO in 1990, based on climatic data of 93 meteorological stations in Yellow River Basin (YRB) authorized by the National Meteorological Bureau from 1957 to 2001, and the arid index distribution in Yellow River basin was also created through the kriging method. The result shows that the spatial distribution of arid index is strongly affected by climatic and geographical factors, and the arid index decreases from the north to the south. From 1957 to the end of 1990s, the trend of arid index was stable at first and then increased. At the same time, the seasonal variation of the arid index was obvious, which was winter > spring > autumn > summer. The maximum value of the arid index occurred in July, August and September in the upper, middle and lower reaches of the YRB respectively, and the minimum values were from November to the next March with a distinct regional variation.

Key words: Yellow River Basin(YRB); arid index; Penman—Monteith method; spatial—temporal pattern; Kriging

(上接第 241 页)

Application and comparison of three meteorological drought indices

HAN Hai-tao¹, HU Wen-chao¹, CHEN Xue-jun¹, WANG Nai-ang², LI Gang²

(1. Gansu Meteorological Information Center, Lanzhou, Gansu 730020, Chian;
2. School of Resources and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Drought is a kind of meteorological disaster that has hurt severely agricultural production and affected economic development and people’s living in China over a long period of time. Based on the research about drought and drought indices at home and abroad, this paper mainly compared and analyzed a few meteorological drought indices usually used in current domestic and international researches, and pointed out the merit and shortcoming as well as applicability of each drought index. The percentage of precipitation anomaly (Pa) has several characteristics, such as simple calculation, easy to obtain data, slow extent of response to the drought, and no reflection of the inherent mechanism of the drought. With sensitive response to drought, the standard precipitation index (SPI) can be applied to different time scales and stability calculation, while the Palmer drought index (PDSI) not only reflects the extent of drought but also includes the start and end time of drought.

Key words: meteorology; drought index; comparison