

文章编号: 1006-7639(2005)-02-0085-10

干旱的定量化: 干旱指数的评价

John Keyantash and John A. Dracup

(加州大学土木与环境工程系, 伯克利, 加州, 美国)

摘要: 讨论气象、农业和水文干旱强度的各种客观定量指数。依照6个权重评价标准(普适性、实用性、易理解性、理论性、时效性和无量纲性), 对每一种干旱形式的指数进行了评价。计算了俄勒冈州两个气候区24个水年(1976~1999)的一些最优的干旱指数。研究结果认为, 描述气象干旱、水文干旱和农业干旱最有价值的指数分别是降水成数、总缺水量和计算土壤水分。

中图分类号: S423

文献标识码: A

前言

干旱是世界上损失金钱最多的自然灾害, 全球平均每年的旱灾损失为60~80亿美元, 受其影响的人数比其它任何自然灾害都多^[1]。鉴于干旱的严重后果和影响, 对干旱严重程度的评估是重要的, 但同时干旱的精确定量化亦是一个艰难的地球物理学问题。为此人们提出了许多专门的指数, 读者可参考WMO^[2]和Heim^[3]的文章, 其中列举了现有的各种干旱定量化指数。

本文的目的在于采用一套由6个评价标准构成的权重判据, 就每一种干旱类型中最优的一些指数进行评价, 最终, 将干旱指数按其在干旱灾情评估中的作用大小进行排序。对于干旱定义问题已有许多科学探讨, 如Dracup等人^[4], Wilhite^[5], Wilhite和Glantz^[6], 在此我们打算对其进行严格定义。

我们选取2个地区, 国家气候资料中心(NCDC)指定的Willamette流域和俄勒冈州的北中部气候区, 作为干旱指数对比试验区, 如图1所示。选择它们的理由是, 两个对比区各自具有不同的降水区域, 都有大的河流和大面积农田。这些条件适合试验各种干旱类型的要求。

Willamette流域气候湿润, 冬季温和且由于太平

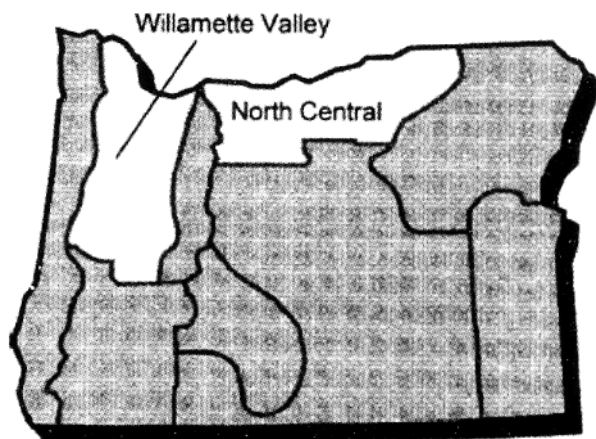


图1 俄勒冈州 Willamette 流域和北中气候区示意图^[12]

洋风暴带来的西风气流影响常有持续性降水; 夏季干旱而凉爽, 属柯本(Köppen)气候分类的Csb型^[6]。主要的地理特征是层叠山脉(Cascade Range), 这种地形阻止太平洋来的气流并加强西部山坡的地形抬升降水。Willamette流域有本州第二大河流Willamette河, 发源于俄勒冈州层叠地貌区(Oregon Cascade)中部, 其流量取决于溶雪。该流域是俄州最多产的农业区, 生长200种以上的农作物(作物种类仅次于加州)。另外, 该地区还是美国草种、圣诞树、黑莓和榛果的主产地^[7]。

北中部区冬季湿润, 夏季长且干燥。该区是层叠

收稿日期: 2005-02-27; 改回日期: 2005-05-17

基金项目: 甘肃省气象局项目 西北地区干旱指数研究”资助

译者简介: 周跃武(1961-), 男, 甘肃张掖人, 助理研究员, 主要从事人影及灾害性天气的野外观测与研究。

山脉的雨影区, 所以该区域1961~1990年间的平均年降水只有38 cm, 而Willamette流域的平均年降水是132 cm^[8]。该区以哥伦比亚河为其北界。哥伦比亚河谷将层叠地貌区一分为二, 同时它也是西面海洋气流的入口, 有助于缓解年气温的变化。另外, 炎热夏季导致该地属柯本分类的Csa气候^[6]。就农业而言, 北中区是小麦和果树(如梨、樱桃和苹果)的重要产地。

为了能在2个试验区比较一系列干旱指数, 需要选出它们可共同对比期间的观测资料, 共有24 a, 即水年1976~1999, 一个水年指10月1日~9月30日。只用2个气候区进行对比是探讨干旱指数一般特性的简单方法。显然, 在这2个区表现不一致的干旱指数的广泛应用将受限制, 而在2个区都好用的指数在其它地方似乎也应该适用, 但这并非一定。本文并不要求普遍适用的结果, 本研究的一些发现能否应用于其它(美国)国内气候分区有待进一步探讨。

科学上将干旱分为4类: 气象干旱、水文干旱、农业干旱和社会经济干旱^[5,9]。最后一类干旱可认为是其它干旱的后果。除非社会的需求持续超过自然供给, 在没有其它类型干旱时不会出现社会经济类干旱。另外, 社会经济干旱指数显然是一个财政指数。因此, 本文将只考虑自然的干旱类型。

3类自然干旱均与某一水文特征变量缺水有关。气象干旱是因为缺少降水; 而水文干旱表示缺少供水, 包括河流流量、水库蓄水、和(或)地下水位高度^[1]; 农业干旱与植物生长可用水量的缺乏有关, 用土壤水分弥补蒸散的损失不足来表示^[2]。

1 评价标准

就3类自然干旱而言, 很清楚, 没有一个统一的技术对干旱进行定量, 即使就某一类型干旱, 也不是很清楚那一个指数最好用。在评判干旱指数的整体使用情况时, 我们构建了一套有6个权重标准的判据, 对每一干旱指数的评判结果赋值(1~5, 5是最好)。这些判据的确定基于干旱指数理应具有的描述特性^[10]: 普适性、实用性、易理解性、理论性、时效性和无量纲性。有人可能认为这些还不够或者太多, 但我们认为这6个标准对干旱指数的评判, 在不太复杂的情况下, 提供了一个合理的框架。每一评价标准的理由叙述如下。

(1) 普适性 普适性指广泛适用于各种自然环境的能力。普适性与精确度不同, 后者是我们用于比

较计算能力的标准。另外, 普适性还考虑了指数的变率。我们要找的理想干旱指数应是敏感但又非变化无常的。普适性很重要, 但不能完全替代对指数的其它要求。例如, 标准百分率就不是非常的普遍适用, 但由于其它原因(如: 方便实用)却很常用。

(2) 实用性 实用性指干旱指数的方便使用程度。例如, 不实用的指数可能要求高水平数值计算, 或计算步骤的实施可能很复杂; 不实用的指数也可能要求不常观测的资料, 或其计算需要有很长的历史资料库。

(3) 易理解性 易理解性考虑干旱指数的目的性和合理性。我们认为这是一个重要的标准。作为一个业务应用的干旱指数不仅应为科学界理解, 而且应被相关公众所理解。事实上, 这就是水的短缺常用标准百分率表述的原因。它虽然粗糙, 但易理解。因此, 易理解性可代表总的应用程度。

(4) 理论性 理论性标准与实用性标准多少是相矛盾的, 但是作为一种方法, 其概念价值是不能不考虑的。某一干旱测量技术可能不易理解, 但从科学角度它可能具有精深的理论。例如, 爱因斯坦的狭义相对论既不易理解也不实用, 但它的确是理解物理运动的高超理论。干旱指数的理论性也要以高质量的观测资料和准确的评价方法为基础。

(5) 时效性 时效性可能在某种程度上被理解为实用性, 但在这里两者是有区别的。时效性是指描述干旱景象时间的长期程度。例如, 某一依赖常规观测资料(如温度和降水)的指数, 可建立它长时间的指数历史资料, 而基于卫星遥感测量的干旱指数只能有近几十年的资料。时效性还考虑了源自同一主要指数的指数改进方法, 使其能进一步与母指数一起用于随后的干旱评估。Redmond^[10]曾指出包含这种子指数的指数价值之所在。

(6) 无量纲性 无量纲性可能是易理解性的要素之一, 但我们单独考虑它是因为它易被识别。这一标准暗含指数与物理学的联系。如果一个指数具有基本单位(M, L or T), 或至少是由物理单位计算出的比值(如年流量的百分比), 与严格无量纲指数相比, 有助于对其意义的理解。简单的单位也是理想的。

干旱指数的无量纲性、标准化、和(或)其它的统计学形式(如标准化距平或百分率分布)对不同地点和时期的干旱特性的比较很有用。无量纲性标准严格考虑指数本身, 而未考虑之后的资料处理。

标准的权重——反映评价标准的相对重要

性——很难精确取值,因为它们的确最终受专业经验和个人判断的影响。当然,读者可根据自己的观点自由修改这些权重。如表1所示,我们感到普适性对正确识别干旱是最重要的,其次是实用性、易理解性和理论性。下面将讨论一些气象的、水文和农业的干旱指数,以及它们的自身特性与评价标准的关系。

表1 干旱指数各评价标准的权重

标准	权重	相对重要性
普适性	8	28%
实用性	6	21%
易理解性	5	17%
理论性	5	17%
时效性	3	10%
无量纲性	2	7%
每一标准得分	1~5	
最大可能权重	145	

2 气象干旱指数

2.1 降水距平和累计降水距平

降水距平直接反映降水的缺少量,即观测值与长期的气候均值的差。距平是一原始干旱指数,不具有特别信息,因为距平的重要性取决于气候。1 cm的月降水距平对沙漠生态区的意义远比对森林山区的大。

作为补充,可考虑累计降水距平。Foley^[11]提出一明确的技术方法,采用月测值与长期月平均的偏差,它能清楚地描述供水盈缺总量和时段,但是,与单个降水距平一样,累计降水距平的相对重要性取决于该距平相对于正常情况的大小。为了考虑这一效应,Foley的作法是将每一距平相对年平均降水标准化,并将得出的累计距平用年降水的千分率表示。

降水距平的概念简单,但有2个缺点。第一,干旱开始的时间对计算累计距平是至关重要的,但该方法不能清楚地反映这个特性,相反,干旱开始的时间通常是由累计距平开始明显下降的时间确定的,带有主观性。第二,距平或累计距平的重要性取决于它相对于典型距平标准值(如标准偏差)的大小。

我们用俄勒冈气候区1895~2000年的月平均降水资料^[12]计算离散降水距平。每个气候区的年降水距平时间序列(图2)表明2个地方在水年1977,1979和1985~1992年的较长期间的降水均低于正常降水。在最严重缺水年1977,Willamette流域和北中气

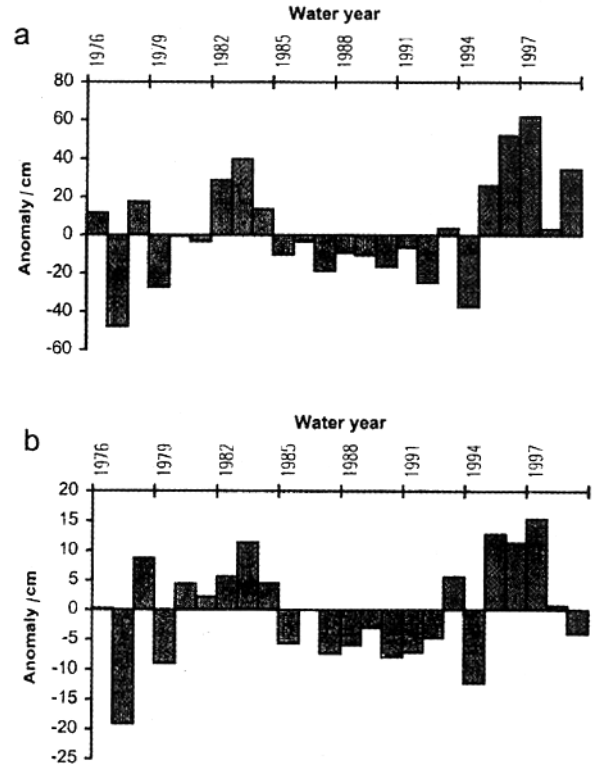


图2 年降水距平图 (a)Willamette 流域, (b)俄勒冈州北中区
Willamette 流域和北中区长期(105a)年平均降水分别是 129 cm 和 40.1 cm

候区的年降水量分别是106 a平均值的63%和52%。

图3给出2个气候区水年1976~1999的累计降水距平。2个地区都有2个累计降水低于均值的时段:大

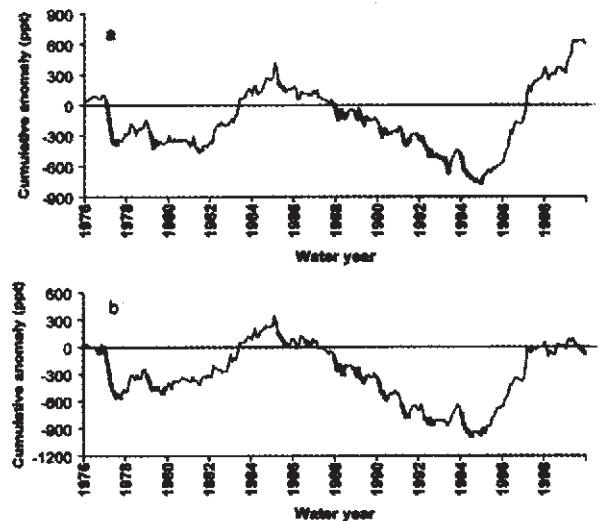


图3 累计月降水距平 (a)Willamette 流域, (b)俄勒冈州北中气候区。单位是年平均降水的千分之几(ppt)。距平的总和不为零,因为它是相对长期(105 a)平均的月距平。红线(粗线)表示降水成数指数干旱期

约在1977~1983年和1987~1997年。1985年开始的长干旱期(图2)的累计正距平这时开始下降,并最终导致1994年末严重缺水:在北中区缺水量接近全年平均降水量;在Willamette流域缺水量为年降水量的80%。

2.2 降水成数(十分位数)

当降水的统计离散度很大时,可导致平均值不能很好代表典型情况,这时,中间值而非平均值可表示记录的中心趋势。高于或低于中值的气候观测记录被分成10挡,即十分位数或成数。用成数方法监测气象干旱是Gibbs和Maher^[13]提出的。

降水成数的方法首先是将前3个月的降水总量相对气候记录从大到小进行排序,如果该总量低于3个月总降水的历史分布的最低成数(第九个百分位数),那么该地区被认为是“干旱影响区”^[14]。这种情况在当下面两条之一成立时即结束:

(1) 前一个月的降水量已经使3个月降水之和等于或高于4成(第31个百分位数或更高)。

(2) 过去3个月的降水总量 ≥ 8 成。

成数方法的优点是计算方便,但也存在概念理解的困难。例如,当降水量接近或高于通常情况时认为干旱结束是合理的,尽管很小的绝对降水量并不能结束缺水的状态,但通常在少雨期或无雨期(如西海岸的夏季)较小的降水也可能激活第一条结束规定。所以季节降水明显的气候区不能采用降水成数指数的这两个结束条件。另一补充条件(澳大利亚气象局干旱监测部采用)考虑自干旱开始以来的总降水量。如果这些月的总降水量超过1成,就可认为气象干旱结束(G.S.Beard 2000,个人交流)。

用俄州1895~2000年的月降水量记录构建一个1976~1999年的成数指数时间序列^[12]。然而,该时间序列有点奇怪,与它们原始的形式不是特别一致,所以成数指数指示的干旱期在图3中被特别标识出来,它有助于解释累计降水距平的陡降。

2.3 Palmer干旱强度指数

Palmer干旱强度指数(PDSI)是美国最出色的气象干旱指数。提出PDSI的目的在于“测量水分供给的累计偏差”^[15],它是无量纲数(从4~-4),负值表示缺水。

PDSI计算一个普通两层土壤模式中的一系列水平衡项,同时将假设的依赖观测时气象条件的水分供给变化与一套基准水平衡项作比较,由此比较计算出无量纲数PDSI。NCDC持续实时地提供该指

数的计算值,月PDSI值资料已延长到1895年^[12]。PDSI的计算复杂,有关数值计算步骤的深入讨论见Alley^[16]。

PDSI是一理想的针对不同地区和时间的水分情况标准监测指数。然而,Guttman等人^[17]认为在通常的气候条件下,大平原地区(Great Plain)的PDSI值比美国其它地区有更严重的趋势。Guttman等人^[17]进一步研究了这一区域比较方面的缺点(PDSI当初正是为解决这一问题而设计的)。PDSI把所有降水处理成雨水也是不精确的,因为降雪不可能立刻成为两层土壤模式中的水^[18]。

另一好的方面是,PDSI的确反映前期状况并可由基本资料计算出,但由于该指数的经验性以及只针对美国农业地区的原因,限制了它的广泛适应性,因此国际上不采用PDSI。Gibbs和Maher^[13]曾考虑在澳大利亚用PDSI,但最终改用降水成数指数。

2.4 干旱面积指数

与PDSI一样,干旱面积指数(DAI)是一个递推指数。下一DAI的计算取决于前一个月的值^[19],因此它可描述干旱的持久性。它是在评估印度夏季季风期的水分条件时提出的,期间次大陆的地域降水可达年降水量的75%(或更多)^[19]。DAI的公式为^[19]:

$$I_k = 0.5I_{k-1} + \frac{1}{48.55} \frac{P_k - \bar{P}}{\sigma_k} \quad (1)$$

式中 I =干旱强度(无量纲), k =月份, P =月降水(mm), $\bar{P}$ =平均降水量(mm), σ =降水标准偏差(mm)。

DAI是为印度提出的,但标定后能用于世界其它地方;Oladipo^[20]对PDSI和DAI在Nebraska地区作了比较,发现两者一致。DAI比PDSI更简便,因为DAI只要求降水记录,而不需计算各种水平衡项^[19]。

2.5 降水异常指数

降水异常指数(RAI)由Van Rooy^[21]提出,它按从正降水距平到负降水距平依大小排序并分级赋值。指数形式为:

$$RAI = \pm 3 \frac{P - \bar{P}}{\bar{E} - \bar{P}} \quad (2)$$

式中 P =实测降水量, $\bar{P}$ =平均降水量, $\bar{E}$ =10个极值的平均值。

对正距平取+号,此时为10个最大降水记录值的平均;对负距平取-号,此时用10个最小测值的平均。该指数从最湿到最干分为9个等级^[21]。Oladipo^[20]发现RAI与更复杂的指数Palmer和Bhalme-Mooley的差别可忽略不计。

2.6 标准降水指数

标准降水指数(SPI)由McKee等人^[22]提出,它是实测降水量相对于降水概率分布函数的标准偏差。假设降水资料服从不完全的 $\Gamma(\text{gamma})$ 分布^[23]。原始降水资料被转换成一个标准分布,以便将差别定位和超限概率值的分析计算作比较。与降水成数一样,该指数要求长时期的降水资料。Guttman^[24]认为对1 a

或更短的干旱期,资料年限至少需50 a,对超过1 a的干旱,资料年限应更长。

无量纲数SPI是由转换资料的不相关降水距平除以转换资料的标准偏差得到^[25]。美国干旱减灾中心(NDMC)用5个滑动时间段(1,3,6,9和12月)的资料来计算SPI。但该指数相对于所选时段有所不同,因此SPI可反映不同时间尺度的干旱^[26]。这一优点可提供非常多的信息,除非研究人员对需要的时段有明确的想法。为了干旱指数的可比性,我们选SPI的时段为1个月。

如图4,RAI和SPI的总趋势是相当近似的,而PDSI间断出现大的变幅。图5表明在RAI和另外两指数之间有许多离散点。RAI和SPI在2个气候区都存在线性趋势,而且最低相关系数很显著,达0.97。线性程度收缩向低指数值,表示对更严重的干旱响应稍有不同。另外,PDSI在2个地区都与RAI和SPI呈较弱相关;在Willamette流域和中北区,RAI与PDSI的相关系数分别是0.59和0.39;SPI和PDSI的相关系数很相近,分别是0.57和0.40。这表明PDSI更象是水文指数,考虑长时段的缺水。然而,没有人清楚地知道PDSI所指的干旱时间尺度是多长。

SPI方法存在不到10 a时间,虽然它在Texas州和Oklahoma州用于描述干旱是成功的^[26,28],但仍未被广泛使用和检验。另外,由于SPI有赖于大范围的实测降水资料并能从概率上描述所需时间尺度上的降水短缺,NDMC和西部区域气候中心(WRCC)认为它比以往的PDSI更好^[23]。

3 水文干旱指数

水文干旱是与大量水供给(包括河流、湖泊、水库和水塘的水位高度)短缺相联系的。本文中的水文干旱指数由流量资料计算得到。在各种干旱形式中,水文干旱的出现是最慢的^[27]。如降雪的减少在半年内并不能反映在径流的减少上。这种惰性也意味水文干旱比其它形式的干旱持续时间更长。

3.1 总水量

传统的水文干旱评估采用总水量短缺,与干旱强度 S 相同。 S 是干旱时段 D 与缺水量的乘积。 D 指流量持续低于某一水位(即水文气候平均值)的时间, M 是期间流量与该水位的平均偏差^[4]。干旱结束后总水量的短缺为0。应注意,干旱强度、持续时间和缺水量也分别表述为总流量、流量期和流量强度^[28]。水文干旱的强度、持续时间、和缺水量的关系可用图

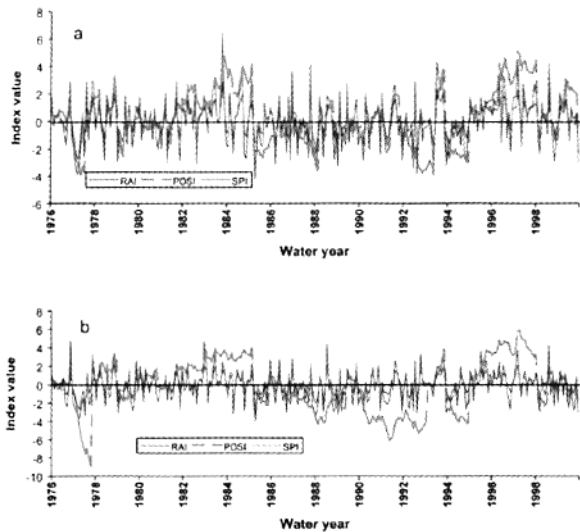


图4 RAI,PDSI 和月 SPI 的时间序列. (a)Willamette 流域, (b)俄勒冈州北中气候区

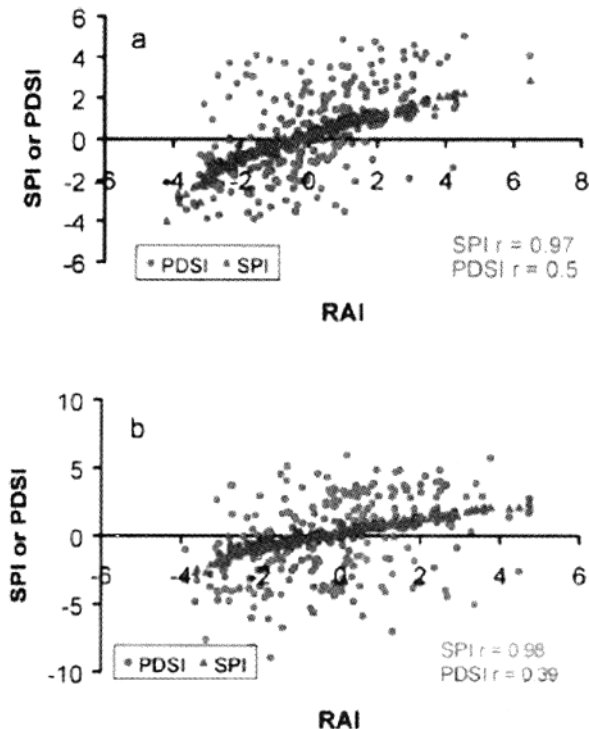


图5 RAI 与 SPI(1个月)和PDSI的点聚图
(a)Willamette 流域, (b)俄勒冈州北中区
各自的相关系数见每个图的右下方

示方式表示(图6)。

水年1976~1999Willamette河(位于Salem)的日流量记录和哥伦比亚河(位于Dalles)的日流量由美国地理勘察局(USGS)提供,并用于计算月排水量^[29]。两条河流的记录延长到更早,但早期的资料是“不匹配的”,或只代表没有大坝或大的河流改道的情况。

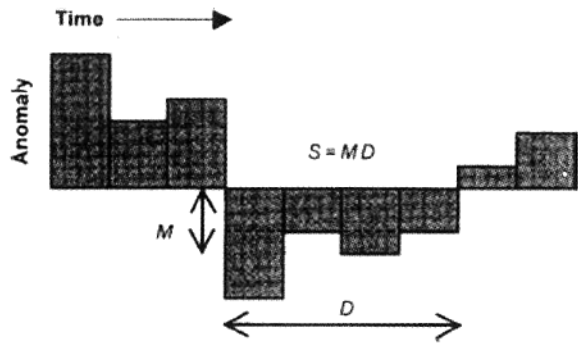


图6 干旱强度 S 是持续时间 D 和平均缺水流量距平是与平均值之差

不匹配的资料可用于水文气候的研究,但1976~1999年期间,两条河流月 and 年排水量与长期平均的对比表明,由于人为的河流管制,平均流量已经改变。由于两条河在1976~1999年被完全管控,历史平均可能不适当。故此,我们特意用其中一段时间(1976~1999年)的记录来计算Columbia河和Willamette河的平均排水量及其距平(图7)。表2给出1976~1999年影响俄州的较大水文干旱的总缺水资料。

总缺水量方法可得出某一河流在某一点的时间积分流量情况,但大面积具有细分辨率要求的情况需对区域内不同水界进行具体检验。干旱的强度在所有的次盆地可能不一致,所以基于高度统一调度河流区域的平均情况,可能会损失细节差异,而且具有大规模排泄盆地的大河(如哥伦比亚河)可能传递来自其它地区的气候信息。

由图7与年区域降水(图2)的比较,可见某一河流干扰整个地区水况的潜能。不奇怪,虽然北中区各图形之间的总体联系较弱,但径流形式与年降水却一一对应。然而,考虑到北中区仅占哥伦比亚盆地(位于流量观测地Dalles的上游)的4%,对应关系是好的,表明该区的气候特征与整个排泄盆地相一致。因此Dalles流量记录受上游北中区降水的“污染”似乎不大。

3.2 累计流量距平

相对于平均状况的河流流量累计距平能表示水

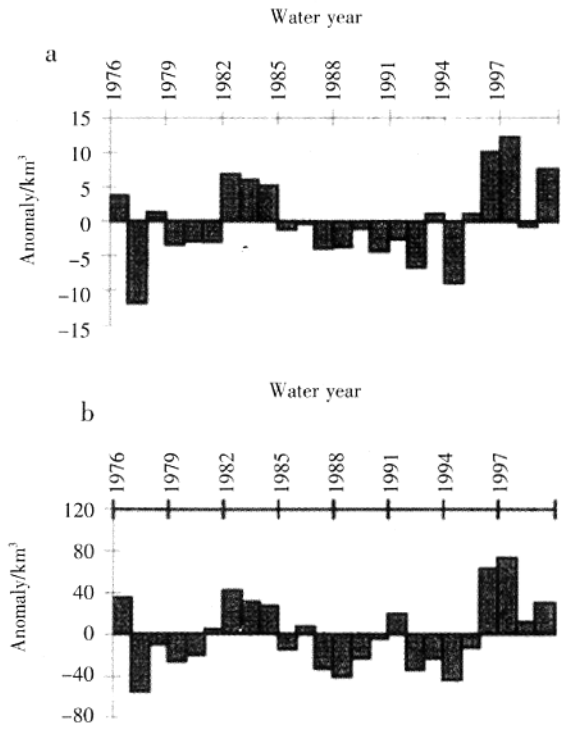


图7 (a) Willamette 河位于 Salem 处的年流量距平,(b) 哥伦比亚河位于 Dalles 处的年流量距平。1976~1999 年平均年排水量分别是 20.5 h 和 163 km³。1977 年的干旱导致哥伦比亚盆地出现蓄水位历史最低记录^[30]。水年1985~1995 可见延长期水文干旱;1992 年(水年)俄州层叠山区(Cascade)积雪只有常年的 23%^[31],这导致 Portland 市颁令夏季禁止用水浇园、洗车、冲洗路面^[32]。由此造成的流量锐减甚至导致 Bonneville 电力局一反常态,向原来的客户 California 电厂购电^[33]。

资源的长期趋势。图8给出2个气候区累计河流流量距平。如累计降水距平图3所示,累计流量距平的陡降表示干旱(表2)。在本研究中,我们用同一时段

表2 1976至1999水年水文干旱的特性。WY=水年终止年份;D=干旱期(a);S=干旱强度(km³);M=干旱幅度(km³/a);Q(%)=年平均排水量百分率。

WY	D	S	M	Q(%)
Willamette 河				
1977	1	11.8	11.8	58
1981	3	9.3	3.1	45
1992	8	24.0	3.0	117
1994	1	8.8	8.8	43
哥伦比亚河				
1980	4	111.5	27.9	69
1990	4	101.5	25.4	62
1995	4	115.0	28.8	71

最终累计距平为零。

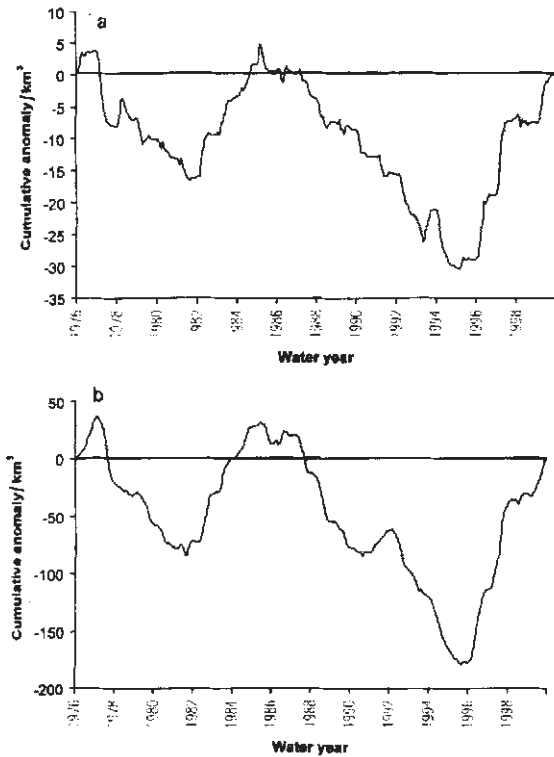


图8 (a)Willamette 河位于 Salem 处的月流量累计距平,
(b)哥伦比亚河位于 Dalles 处的月流量累计距平

3.3 Palmer水文干旱强度指数

Palmer水文干旱强度指数 (PHDI) 与PDSI很相似,采用相同的两层土壤水平衡评估模式,区别在于PHDI有更加严格的干旱结束和湿期结束的标准,这将导致指数逐渐(比PDSI更慢)向标准态反弹。特别是PDSI认为当水分条件开始不间断上升直至缺水消失时干旱结束;而PHDI认为当水分短缺完全消失时干旱结束^[3]。这一滞后对水文干旱的评估是适当的,它本来就比气象干旱变化得慢。

3.4 地表水供给指数

地表水供给指数(SWSI)由Shafer和Dezman^[34]提出,严格考虑了积雪和它的径流滞后问题。SWSI适用于西部山区类的区域水文干旱监测,那里积雪对年流量的贡献很大。它的计算要求测量积雪、降水、流量和水库蓄水量,根据历史资料它们用不超限概率值赋值,将这些百分率输入一个经盆地订正后的SWSI算法程序,它考虑了每一水文因素对盆地供水的典型贡献。这一加权处理使各流域之间可以相互比较(Garen 1992)^[35]。

从美国资源保护局(NRCS)和NCDC^[12]分别得到有关SWSI和PHDI的记录。一般而言,2气候区的SWSI和PHDI值的相关度是相当高的(图9),北中区

为0.78,Willamette流域为0.70。将指数值SWSI与PHDI进行严格对比有些吹毛求疵,因为它们各自采用不同的方法确定其供水和缺水的无量纲数大小。

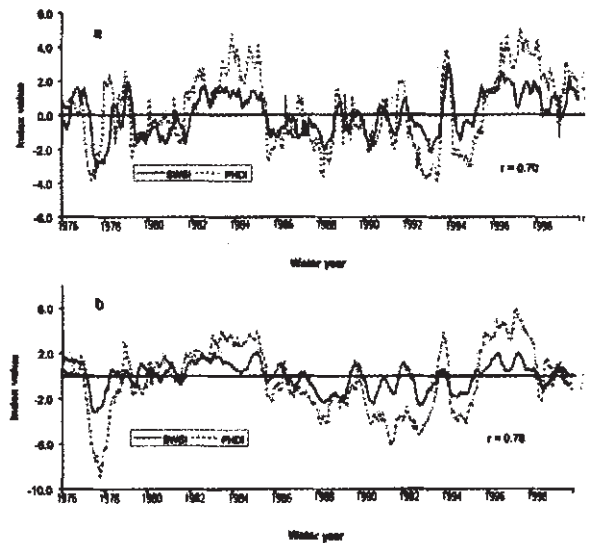


图9 月 SWSI 和 PHDI 的时间序列 (a)Willamette 流域, (b)北中气候区

它们之间的相关系数见各图的右下方

然而,定性来看,它们在2个试验地区的高相关度表明两者是一致的水文干旱监测指数。

4 农业干旱指数

由于大多数作物是人播种的,农业干旱特别考虑农作物而非自然植被。由于作物持续需要充足水分,农业干旱可迅速出现,同样可能很快结束。农业干旱指数特点是能表示作物根部单位体积土壤水分(土壤水占的空隙)的重要短期变化^[2,36]。

4.1 作物水分指数

Palmer^[37]提出作物水分指数(CMI)用于监测影响作物水分状况的短期变化。CMI是蒸散不足(相对于标准情况)和土壤需水的总和。这些项用PDSI参数以周为单位计算,考虑了前一周的平均温度、总降水量和土壤水分情况^[37]。

CMI可评估当时的作物生长情况,但它也易迅速改变,对监测长期干旱不是好的方法^[18]。例如暴雨过程可迅速使作物达到水分饱和,但干旱还在持续。CMI也能表示每一生长季的开始和结束,这对植物学年鉴很有用,但不适合监测长期干旱。因此,农业干旱的评估更适合采用Palmer Z指数^[38]。

4.2 Palmer水分距平指数(Z指数)

Palmer 水分距平指数(Z指数)其实是计算PDSI

时的一个中间量,即当月的水分距平,不考虑前期条件对PDSI的影响。Z指数可监测农业干旱,因为它对土壤水分量值变化响应很快。Karl^[38]发现Z指数作为农业干旱定量指数比常用的CMI更好。与所有Palmer指数一样,它的问题是公式和计算都复杂,它比PDSI本身简单不了多少。

4.3 计算土壤水分

植物生长区内的土壤水分有多种测量方法,不幸的是没有一个综合的、全美国的土壤水分监测仪器网。幸而,土壤水分可通过土壤柱水平衡数值模式计算得到,模式所用变量包括降水、气温、土壤温度、土壤孔隙和渗漏参数。美国海洋大气局(NOAA)气候预测中心(CPC)为每一国家气候数据中心(NCDC)各气候区提供计算好的资料。资料以月为单位,从现在延长到1931年^[39]。计算土壤水分模式的细节由Huang等人^[40]给出。一个粗略的简化模式,是采用Oklahoma州一单站的土壤特性得到的^[40]。

我们对NCDC及CPC提供的2个气候区的月Z指数序列和地表土壤水分序列^[12]作一比较。1976~1999年间,两指数均波动明显,Z指数变化幅度更大。这是因为Z指数没考虑前期条件的影响;而计算土壤水分本身考虑了前一个月结束时的水平衡。两个指数的相关很差,在Willamette流域和北中区分别是0.07和0.05。为解决这一问题,每个变量都进行了4个月的滑动平均(图10)。

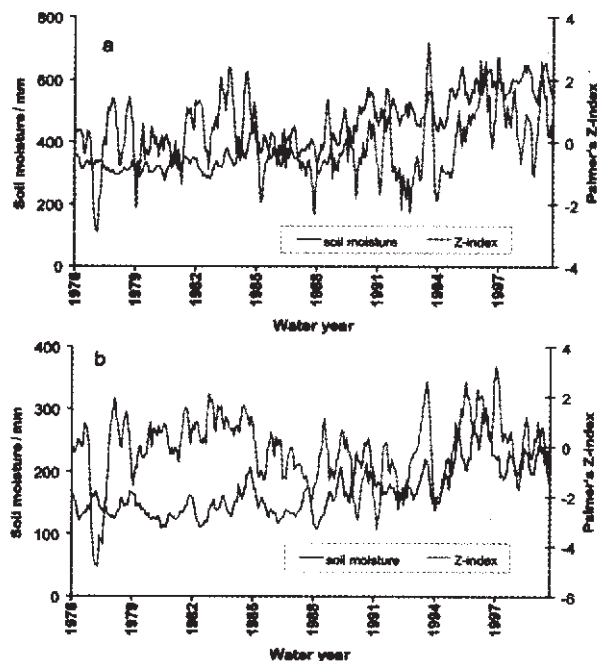


图10 计算土壤水分4个月的滑动平均值和Palmer Z指数的时间序列

(a)Willamette 流域,(b)俄勒冈州北中气候区

必须用这种调整来作为一个勉强比较基础的事实表明,在某些方面农业干旱是最难客观评估的干旱形式。图10指出Z指数和计算土壤水分之间的趋势并不完全显见,有时这些曲线几乎同相,而其它时候似乎存在滞后关系,且对天气强迫的反应差别很大。另外,计算的土壤水分似乎是不断增加的,然而这种趋势还未有人研究过。若没有一个全国性的土壤水分监测网,农业干旱的计算方法仍将难以确定。距离最近的俄勒冈州土壤水分站(作为自然资源保护局土壤气候分析网的一部分)位于其中东部和东南部,离Willamette流域和中北区也很远,且分别属于不同的气候区^[41]。而且,仅有的几个站对描述整个气候区的土壤水分变化是不够的。

4.4 土壤水分距平指数

土壤水分距平指数(SMAI)由Bergman等人^[42]提出,主要用于描述全球范围的干旱。这种方法本质上依据Thornthwaite的水分计算方法(即降水和潜在蒸散的跟踪),采用描述水分运动的两层土壤模式,最终计算出土壤饱和度的动态值。程序的进一步解释由Bergman等人^[42]给出。模拟计算表明SMAI的值的變化速度在较快的CMI和较慢的PDSI之间^[42]。

5 评估得分

表3 干旱指数各评价标准的得分对比

指 数	总权重	普适性	实用性	易理解性	理论性	时效性	无量纲性
气象干旱							
降水成数	116	5	3	4	3	5	4
SPI	115	5	2	3	5	5	4
累计降水距平	97	3	4	4	2	3	5
RAI	94	3	4	4	2	4	2
DAI	70	2	3	2	3	3	1
PDSI	61	2	1	1	4	4	1
水文干旱							
总降水短缺	102	3	4	5	2	3	5
累计流量距平	89	2	4	4	2	3	5
SWSI	75	4	1	2	3	3	3
PHDI	58	2	1	1	4	3	2
农业干旱							
计算土壤水分	102	4	1	5	4	3	5
土壤水分异常							
指数	83	3	2	3	3	3	4
Z指数	77	3	2	2	4	3	1
CMI	55	2	1	1	4	2	1

各种干旱指数的优缺点,以及它们的特点与采用的评估标准的关系被考虑在每一指数的评估得分中。6个初始得分,每个取值在1~5之间,再乘以他们各自的权重(表1),权重得分的总和降序排列于表3。在全部个例中,所有指数依照其针对的干旱形式排列。如表3所示,对气象干旱、水文干旱和农业干旱而言,采用权重选择标准得到的各种干旱形式指数中最优的干旱指数分别是降水成数、总缺水量和计算土壤水分。在气象干旱中,SPI是又一新的非常有价值的干旱强度评估指数。

周跃武、王劲松译自《美国气象学会公报(BAMS)》2002年8月刊

References

- [1] Wihite. D. A., 2000: Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. *Drought: A Global Assessment*. D. A. Wihite, Ed., Routledge, 3–18.
- [2] WMO, 1975: Drought and Agriculture. WMO Tech. Note 138.127 pp.
- [3] Heim, R. R., 2000: Drought indices: a review. *Drought: A Global Assessment*. D. A. Wihite, Ed., Routledge, 159–167.
- [4] Dracup, J. A., K. S. Lee, and E. G. Paulson Jr., 1980: On the definition of droughts. *Water Resour. Res.*, 16, 297–302.
- [5] —, and M. H. Glantz, 1985: Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water Int.*, 10, 111–120.
- [6] Ahrens, C. D., 1994: *Meteorology Today: An introduction to Weather, Climate, and the Environment*. 5th ed. West Publishing, 591 pp.
- [7] Korn, V. G., Ed., 2001: 2000–2001 Oregon Agriculture e fisheries Statistics. Oregon Department of Agriculture, 85 pp.
- [8] WRCC. Rited 2001: WRCC Climate Division Monitoring Products. [Available online at <http://www.wrcc.dri.edu/divisional.html>.]
- [9] Rasmussen, E. M., r. E. Dickinson, J. E. Kutzbach, and M. K. Cleaveland, 1993: *Climatology. Handbook of Hydrology*, D. R. Maidment, ED., McGraw–Hill, 2.1–2.44.
- [10] Redmond, K., 1991: Climate monitoring and indices. *Proc. Drought Management and Planning Seminar and Workshop*, CO, International Drought Information Center, University of Nebraska, 29–33.
- [11] Foley, J. C., 1957: Droughts in Australia: Review of Records from Earliest Years of Settlement to 1955. Australian Bureau of Meteorology, Bull. 43, 128 pp.
- [12] NCDC, cited 2000: Climate division : Temperature–precipitation–drought data. [Available online at <http://www.ncdc.noaa.gov/onlineprod/drought/ftppage.html>.]
- [13] Gibbs, W. J., and J. V. Maher, 1967: Rainfall deciles as Drought Indicators Australian Bureau of Meteorology, Bull. 48, 37 pp.
- [14] Kinninmonth, W. R, M. E. Voice, G. S. Beard. G. C. de Hoedt, and C. E. Mullen, 2000: Australian climate services for drought management. *Drought: A global Assessment*, D. A. Wihite, ED., Routledgs, 210–222.
- [15] Palmer, W. C., 1965: *Meteorological Drought*. Weather Bureau. Research Paper No.45 U. S. Dept. of Commerce, Washing, Dc, 58 pp.
- [16] Alley, W. M., 1984: The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions. *J. Climate Appl. Meteor.*, 23, 1100–1109.
- [17] —, —, J. R. Wallis, and J. R. M. Hosking, 1992: Spatial comparability of the Palmer Droughts Severity Index *Water Resour. Bull.*, 28, 1111–1119.
- [18] Hayes, M. J., cited 2000: Drought indices. [Available online at <http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/indices.htm>.]
- [19] Bhalme, H. N., and D. A. Mooley, 1980: Large–scale droughts/ floods and monsoon circulation. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1197 – 1211.
- [20] Oladipo, E. O., 1985: A Comparative performance analysis of three meteorological drought indices. *J. Climatology*, 5, 655–664.
- [21] Van Rooy, M. P., 1965: A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, 43–48.
- [22] McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993: Drought monitoring with multiple timescales. Preprints. Eighth conf. On applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179–184.
- [23] —, 2000: Integrated climate monitoring for drought detection. *Drought: A Global Assessment*. D. A. Wihite, Ed., Routledge, 145–158.
- [24] Guttman, N. B. 1999: Accepting the Standardized Precipitation Index: A calculation algorithm. *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, 35, 311–322.
- [25] Agnew, C. T., 2000: Using the SPI to identify drought. *Drought Network News*, 12, 6–11.
- [26] —, —, M. D. Svoboda, D. A. Wihite, and O. V. Vanyranko, 1999: Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 429–438.
- [27] Soule, P. T., 1992: Spatial patterns of drought frequency and duration in the contiguous USA based on multiple drought event definitions. *Int. J. Climatol*, 12, 11–24.
- [28] Yevjevich, V. M., 1967: An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. Colorado State University, Hydrology Paper 23, Fort Collins. CO, 18 pp.
- [29] USGS, cited 2000: Oregon NWIS–W data retrieval. [Available online at <http://waterdata.usgs.gov/nwis–w/OR/>.]
- [30] Richards, B., 1977: Drought dims Northwest: Dwindling dam levels may force blackouts. *Washington Post*, 6 April, Sec. A.
- [31] Balzar, J., 1992: Dry Northwest gets taste of water rules, fire concerns. *Los Angeles Times*, 3 June, sec. A.
- [32] Glamser, D., 1992: Dry Seattle turn to fewer flushes, faster showers. *USA Today*, 12 May, sec. A.
- [33] Murphy, D. E., 1993: Miss the drought? Try the Northwest. *Los Angeles Times*, 13 April, sec. A.
- [34] Shafer, B. A., and L. E. Dezman. 1982: Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought con-

- ditions in snowpack runoff areas. Proc, 50th Western Snow Conf., Reno, NV, 164–175.
- [35] Garen, D. C., 1992: Revised Surface–Water Supply Index for the western United States. *J. Water Resources Plan. Manage.*, 119, 437–454.
- [36] Rawls, W. J., R. Ahuja, D. L., Brakensiek, and A. Shimohammadi, 1993: *Climatology, Handbook of Hydrology*, D. R. Maidment, Ed., McGraw–Hill, 2.1–2.44.
- [37] –, 1968: Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new Crop Moisture Index. *Weatherwise*, 21, 156–161.
- [38] Karl, T. R., 1986: The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer’s Z–index to their Calibration coefficients including potential evapotranspiration. *J. Climate Appl. Meteor.*, 25, 77–86.
- [39] CPC, cited 2000: U. S. soil moisture monitoring. [Available online at <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/soilmst/>.]
- [40] Huang, J., H. van den Dool, and K. P. Georgakakos, 1996: analysis of model –calculated soil moisture over the United States (1931–93) and application to long–range temperature forecasts. *J. Climate*, 9, 1350–1362.
- [41] NRCS, cited 2001: Soil Climate Analysis Network. [Available online at <http://www.wcc.nrcs.usda.gov/scan/index2.html>.]
- [42] Bergman, K. H., P. Sabol, and D. Miskus, 1988: Experimental indices for monitoring global drought conditions. Proc, 13th Annual Climate Diagnostics Workshop, Cambridge, M A, U. S. Dept. of Commerce, 190–197.