

美国国家级干旱监测业务产品介绍

Mark Svoboda , Doug LeComte , Mike Hayes , Richard Heim ,
Karin Gleason , Jim Angel , Brad Rippey , Rich Tinker ,
Mike Palecki , David Stooksbury , David Miskus , Scott Stephens

王涓力 译

(中国气象局兰州干旱气象研究所 , 甘肃 兰州 730020)

美国需要改进干旱监测与评估方法。干旱是代价昂贵的自然灾害(联邦应急管理局(FEMA) , 1995 ; Wilhite 2000) , 但经常被评估和预报产品的开发者忽略。相比于其他灾害 , 干旱表现得更模糊并且不适合用传统的评估或预报方法 , 它相对缓慢的发生以及其影响的复杂性 , 需要有一套新的方法来对它进行评估。干旱监测和预报技术的提高会使我们为应对干旱灾害做更好的准备工作 , 进行更好的应对实践 , 从而减少社会对干旱及其影响的脆弱性。

为追踪和展示全美国干旱的程度、空间范围以及其影响 , 开发了新的干旱监测工具 , 研发了每周发布的国家级干旱监测业务产品(the Drought Monitor)。该产品将干旱程度分为 4 个级别 , 另外还有一个表示虽没有发生干旱灾害 , 但较正常偏干。监测图上不同位置的干旱级别取决于很多的客观指标以及主观的分析。

干旱监测汇集了全国气候和水文专家们提供的大量信息 , 是机构间合作的范例。国家干旱减灾中心(NDMC) 位于内布拉斯加林肯大学 , 连同商务部与农业部一起 , 同外面的很多专家合作 , 利用因特网技术 , 以简单、及时和有效的方式编辑和提供干旱监测信息。

1 美国国家级干旱监测业务产品的研发

干旱是主要的自然灾害 , 会给全社会带来严重影响。Riebsame 等(1991) 估计 1987 ~ 1989 年间美

国发生的干旱事件导致 200 亿美元的农作物及森林产出损失 , 以及因此而引起的食物成本增加了 100 亿美元 , 这些还不包括这一干旱时期其他方面的经济损失。最近阶段频繁出现的一系列干旱事件(如 1995 ~ 1996 年发生在西南以及大平原南部的干旱 , 1998 年的南部干旱 , 1999 年的东北部干旱 , 2000 年南部、中西部及大平原的干旱 , 1998 ~ 2002 年的东南部干旱 , 2002 年的东部干旱) , 引起美国公众对提高干旱监测、预测水平的极大关注。

最近 , 美国将国家、区域以及各州的干旱监测机构进行了整合集中。1998 年夏天国家干旱减灾中心(NDMC) 与国家海洋大气局气候预测中心(NOAA/CPC) 开始合作 , 两家非常关注干旱监测质量的提高 , 并由此形成了一个计划——开发一个干旱分类系统 , 它能够像 Fujita 龙卷强度等级(F0 ~ F5) 和 Saffir - Simpson 飓风强度等级一样被公众认可。在干旱分类系统开发早期 , 国家农业部世界农业展望委员会(USDA/WAOB) 也参与了进来。在 1999 年春天举行的会议上 , NOAA , USDA 和 NDMC 取得一致意见 , 研发干旱监测产品 , 该产品将综合天气资料及来自各地方、各州、各区域及国家层面上的各种信息。干旱分类最初的草案由 CPC 的科学家设计 , 然后提交给 NDMC 和 USDA 的首席气象学家 , 经过对干旱分类标准的进一步改进 , 有了新的分类方案 , 形成了干旱监测图和文字产品。

实时干旱级别的确定与定义干旱本身一样复杂。干旱不仅在各种各样的影响方面与其他自然灾害有所区别 , 而且还得从它的空间范围、强度、等级、

时间尺度诸方面进行评估。在一幅图上描绘和分析干旱状况时,必须首先考虑到它的所有这些特征。

1999 年夏季发生在东北部的干旱及其影响推动了美国干旱监测项目的进展,最初的干旱监测产品进入了人们的视野,1999 年 8 月干旱监测产品在一次由国家商务部和农业部联合召开的白宫记者招待会上正式发布,在随后的几个月里干旱监测从试验性的双周产品发展成了业务产品。在农业部(USDA)首席气象学家的支持下,国家干旱减灾中心(NDMC)建立了干旱监测网站。2001 年春天,位于北卡罗来纳州阿什维尔的国家气候资料中心(NOAA/NCDC)也参与了合作,他们给干旱监测产品带来了新的专业技术。

自从公诸于众,干旱监测产品引起了广泛的公众兴趣并被广泛使用。2000 年该网站登录超过 125 万人次,2001 年将近加倍,达到 200 万人次。媒体,各种农产品生产者,经营者,国会代表及各州、联邦的机构都在使用。绝大多数用户喜欢它简单易懂的分类系统和简明的干旱监测图产品(图 1)。

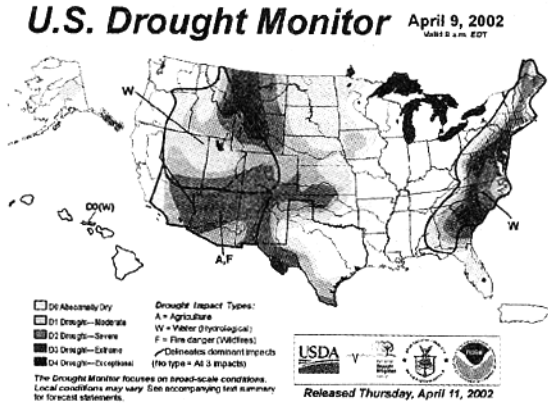


图 1 2002 年 4 月 9 日美国干旱监测图产品

2 干旱信息收集与干旱等级划分

没有哪一种单一的干旱定义能适合于所有情况(Wilhite 2000),例如水资源规划者与农产品生产者所依靠的干旱指标是完全不同的。干旱监测产品开发依据大量不同机构的关键和辅助性指标,采纳来自全国的专家意见,将这些指标综合在一起,形成简单易读的呈现全美目前干旱状况的监测图。

干旱监测产品由一幅描述全国范围干旱的监测图,以及干旱状况与影响评述的文字产品组成。它是对全国目前干旱状况的评估,与 CPC 发布的季节性干旱预测产品不同。干旱监测产品本身不是一个指数,也不只依赖单一的指数,而是综合了大量丰富

的信息(包括气候指数,数值模式,以及各区域和地方专家们的知识等)开发成的综合产品。它将专门的知识综合在一起形成了及时的、彩色的、简单的一幅图,尤其适合媒体使用。目前,环球网是发布干旱监测产品的主要工具,NOAA 也通过其天气电信通道发布。用互联网发布产品的好处是成本低且时效高。对于缺乏互联网访问资源的,特别是受干旱影响的地方,干旱监测图也经常报纸以及其他媒体上发布以供大家使用。

来自 NDMC,USDA,CPC 及 NCDC 的 9 位专家依次轮班 2~3 周,分别担当干旱监测产品的首席制作。剩下 8 位以及全国范围内的其他专家顾问每周一对首席制作的初稿通过互联网、或干旱监测电子邮箱以及 NOAA 的 ftp 网站进行意见反馈,接着首席制作根据反馈信息对监测图及文字产品进行改进,并对照前一周的监测图进行检查,以确信它能反映出自上周二(每周监测图生效日)以来干旱状况的任何变化,最后在每周四早晨将监测图和文字产品发布给公众。

2.1 干旱等级划分

在美国干旱监测业务中,将干旱程度分为 4 个级别(表 1)。另外级别 D0 表示虽然没有发生干旱灾害但较正常偏干,或描述一次干旱事件过后延续的影响。

表 1 干旱级别划分及其出现概率

级别	干旱状况	出现概率 P/%
D0	偏干	$20 < P \leq 30$
D1	轻旱	$10 < P \leq 20$
D2	中旱	$5 < P \leq 10$
D3	重旱	$2 < P \leq 5$
D4	特旱	$P \leq 2$

干旱一般发生缓慢,其结束也慢。在干旱日益严重或缓解阶段,干旱级别通常呈连续性变化,每周最多一个等级。然而,也有这样的情况,发生在干旱时期的某些事件如 1999 年夏季出现在大西洋东北海岸的连续飓风事件,或者 2001 年发生的像 Allison 这样的热带风暴,可以加速干旱的结束。同样地,也存在“闪电式干旱”,在猛烈的热浪和短期极端干燥的情况下,火险级别升高,农作物快速死亡,导致干旱迅速爆发,造成对农业、牲畜以及其他方面的不利影响。甚至当一个地区发生干旱的物理原因(如异常大气环流型)已经消失,但在数月或数年时间内,它可能仍然经历持续的水文影响,这要取决于干旱发生的时间、持续阶段以及强度。

美国干旱监测干旱等级划分采用百分位数方法,用于确定干旱级别的所有数据都考虑了它们在该地点、该时间出现的历史频次。唯一的例外是在

与各种干旱等级相关的时段内,用地方标准化的百分位数描述干旱特征时,对标准降水百分率采用了一些全国性的标准。尽管干旱分类阈值在全美所有区域内并非都很准确地与适当的百分位数相对应,但它们仍然为使用一个参数的干旱分类提供了一个稳定并可重复的标准。应该再次指出,这个新的干旱分类系统是可变通的,当有新的技术与资料出现时,能够较容易地与之结合,并可以根据地方专家们对干旱影响的评估进行修正。汇集各种客观指标与主观分析的干旱指标,可以容易被用户理解。当然,由于干旱呈现的复杂性以及它所影响行业的多样性,企图完全客观是不现实的。

表 1 中的 D0 级别在某一特定地方,任何给定的年份里出现的概率是 21% ~ 30%,而 D1 出现的可能性是 11% ~ 20%,D2 是 6% ~ 10%,D3、D4 出现的可能性极小,分别是 3% ~ 5%、2% 或更小。认识到所有的干旱现象并不能由任何一个分类系统所涵盖,在制作产品时百分位数的使用只是一个指南而已,最终等级划分时综合了各种客观指标与主观的分析,形成了简化的指数。

2.2 干旱指标

干旱监测业务中干旱级别标准基于 6 个关键指标和许多辅助性参考指标。6 个关键指标是 Palmer 旱度

指数(Palmer,1965),CPC 土壤湿度模式(CPC/SM;Huang 等,1996)美国地质测量局日流量指标,标准降水百分位数(Willeke 等,1994),标准降水指数(SPI;McKee 等,1993),卫星遥感植被健康指数(VT;Kogan,1995)。表 2 给出了 6 个关键指标与目前干旱级别之间的关系,这种关系不是一成不变的,它的设计非常灵活,考虑了将来干旱监测最新技术和资料的并入。

其它一些辅助的参考指标有:Palmer 作物湿度指数(CMI;Palmer,1968),Keetch-Bryam 干旱指数(KBDI;Keetch 和 Bryam,1968),美国森林火险指数,以及与蒸发相关的相对湿度、温度距平、水库蓄水量、湖泊水位、地下水位等观测资料,美国农业部国家农业统计局(USDA/NASS)地表土壤湿度观测资料,农业部国家自然资源保护局(USDA/NRCS)土壤气候分析网站(SCAN)的土壤湿度资料。在美国西部,还参考其他的指标,如 NRCS 积雪遥测(SNOTEL)的山区融雪资料,SNOTEL 的标准积雪百分数,地表水供给指数(SWSI;Shafer,Dezman,1982)。这些指标或指数中有些以单个地点计算,有些是以气候分区、流域及其他地理区域计算的,它们中有一部分适用于国家或区域尺度,而有些则只适用于短时间及零星范围。

表 2 美国干旱监测业务中 6 个关键客观指标与干旱级别的联系

级别	描述	Palmer 旱度指数	CPC 土壤湿度模式	每周 USGS 流量指标	标准降水百分位数	标准降水指数	卫星植被健康指数
D0	偏干	-1.0 ~ -1.9	21 ~ 30	21 ~ 30	<75%(3个月)	-0.5 ~ -0.7	36 ~ 45
D1	轻旱	-2.0 ~ -2.9	11 ~ 20	11 ~ 20	<70%(3个月)	-0.8 ~ -1.2	26 ~ 35
D2	中旱	-3.0 ~ -3.9	6 ~ 10	6 ~ 10	<65%(6个月)	-1.3 ~ -1.5	16 ~ 25
D3	重旱	-4.0 ~ -4.9	3 ~ 5	3 ~ 5	<60%(6个月)	-1.6 ~ -1.9	6 ~ 15
D4	特旱	≤ -5.0	0 ~ 2	0 ~ 2	<65%(12个月)	≤ -2.0	1 ~ 5

客观干旱指标综合方法(OBDI)是为干旱监测专门开发的一个分析工具。OBDI 不是纯客观的,由干旱监测产品制作者确定其中应包含的干旱指标以及分析中赋予它们怎样的权重。前提是在气候分区内自动生成一个稳定并可重复的干旱基本面。由原始的单—指标根据其自身的历史序列计算出各自当前(湿)状况的百分位数,然后进行加权平均(其中修正后的 Palmer 旱度指数(PDI 或 PMDI)权重为 5/12,CPC/SM 权重为 5/12,30 d 累积降水量权重为 1/6),分析它出现的历史频次,形成最终用于划分干旱级别的数值,并公之于众。

每周 OBDI 值在气候分区基础上计算,其目的在于持续评估各气候分区多尺度(长期和较短期)平均的干旱程度,因为输入值对不同时间尺度

的降水量有反应。McKee 等(1995)将 PDSI 与 SPI 比较时在 PDSI 中发现了 10 ~ 14 个月的时间尺度。气候预测中心所做的土壤湿度模式(CPC/SM)与 5 ~ 7 个月的降水距平有很高的相关。CPC 所做的类似工作表明 PDI 值与 7 ~ 10 个月的降水距平相关性最好。不过,PDI 和 CPC/SM 随不同的时间和地域变化,因此与它们相关最好的降水距平周期不能适用于所有地点及所有环境。例如,PDI 和 CPC/SM 2 个指数在俄亥俄河流域北部 7 月份相关最好的是 2 ~ 4 个月的降水距平,而 2 月末相关最好的是 6 ~ 10 个月的降水距平。

OBDI 干旱指标对确定目前多时间尺度平均的干旱级别是有用的,有助于干旱监测制作者制作本周干旱监测图,它代表了短期和长期的综合状况

(赋予最能揭示观测事实的指标更多的权重)。

有时,长期与短期降水距平会发生直接冲突(如 1999~2001 年期间,美国东南部出现了好几次),OB-DI 会将这段时期平均成接近正常状态,并不进行精确评估,例如,1 或 2 a 持续低于正常降水后出现 1 或 2 个月的大雨。在这样的实例中,存在大量的水文问题以及许多与农业和火险相关的进一步影响。因此,各种干旱指标与不同时段降水距平的各种结合正在进行试验综合,试图分别对短期与长期干旱程度进行评估。这个下一步的综合产品已经在反应和区分不同时间尺度干旱方面显示出较好的潜力,尤其在区分农业与水文干旱的不同特征方面。

表 3 干旱监测业务系统中干旱级别及其对农业、水资源及火险的影响

干旱级别	农业(A)	水资源(W)	火险(F)
D0	耕种活动及作物、牧草生长受影响减慢	径流量低于正常	火险高于正常情况
D1	作物和牧草一定程度受灾	径流、水库蓄水量减少、井水高度降低,水短缺出现	高火险
D2	部分作物和牧草可能死亡	水资源短缺现象普遍,用水受限制	火险非常高
D3	大部分作物、牧草减产	出现大范围水资源短缺现象,用水普遍受限制	火险极高
D4	非同寻常的大范围作物和牧草死亡	径流、水库、井水大幅减少,出现危急情况	火险异常高

由于作物在关键生长阶段(如授粉)需要频繁的降水及适宜的温度,因此干旱发展时最早的指标对其很重要。作物水分指数(CMI)描述生长季短期(最多 4 周)作物水分状况的变化,因而在干旱监测中作为一个辅助指标使用。与农业干旱不同,水文干旱有时会超出干旱监测中许多指标(标准降水指数与 Palmer 水文干旱强度指数(PHDI)除外)的时间尺度。最好的水文干旱观测指标应包括径流、水库蓄水量、湖泊与地下水水位,而最好的统计指标之一是长期降水不足的累积量。一次较大的干旱事件对农业的影响消失后,对水文的影响经常会持续数月到数年,干旱的影响仍然可通过持续低于正常的径流反映出来。一次大的降水事件发生后,河流的水位快速升高到正常状况,地表下土壤湿度与水库蓄水量恢复正常。由于美国西部很多水系统都是为了对付多年长期干旱而设计与管理的,如 1986~1987 年到 1991~1992 年间影响内华达山脉主要流域的水系统,因而西部地区是一个特殊情况。不同于美国大多数地区,西部的大部分水资源在每个春天流入水库之前都是以积雪的形式储存,导致水库蓄水量与降水之间存在时间上的滞后,因此,在西部山区,冬春季雪水的测量是关键。

另一个经常由短期天气变化控制的干旱影响类型是火险。然而,与农业影响不同,火险很复杂,有许多的影响因子,如早期的长期干旱对生态系统的潜在影响,火情管理状况,雷暴与闪电活动,更早一个季

2.3 干旱影响类型

美国干旱监测业务产品(the Drought Monitor)在图上用字母 A, W, F 标出正在出现或即将到来的干旱影响类型(表 3), A 表示干旱对该区域农业有影响,例如对作物、牲畜、放牧或牧草生长等的影响; W 表示对该区域水资源有影响,例如对径流、积雪、地下水和水库蓄水量等的影响; F 表示该区域伴随干旱的发生,存在高火险。监测图上没有符号的阴影区表示 3 种干旱影响都存在。也可能有其他的影响,但上面 3 种干旱影响类型相当明显,并且对于农业和水资源影响,可能代表不同的时间尺度。监测图上用粗黑实线画出干旱影响区域(如图 1 中美国西北和西南地区)。

节(月、年或甚至年代)充足的降水,存在冻干的草地与矮树丛。监测图上许多地区一年中的某些时期由于高火险而“阴云密布”,如干季的佛罗里达半岛,或夏末秋初的西部大部分地区。干旱监测图制作者根据国家森林局、国家天气局及国家跨部门防火中心联合发布的火情信息在图上标出火险等级。

2.4 干旱监测业务系统中的文字产品

干旱监测文字产品与干旱监测图同时发布。主要是总结过去一周的干旱状况和目前全国不同地区的干旱影响种类,以及下一周干旱发展趋势的预测。同时,文字产品也起到一个很重要的作用,它综合了该领域的专家意见,反映了正在发生的干旱影响状况。在有些情况下,还对监测图上没有反映出的状况给予详细的解释说明。简而言之,文字产品有助于干旱的定性说明,这在图上不容易定量地表示。

3 区域和地方参与合作

1999 年 5 月,第 1 张干旱监测图研发出来。不久,NDMC 建立了电子邮件服务器,监测图制作过程中加入了外部信息。英特网为全国范围内参与合作的专家及干旱监测产品的主要研发者提供了快速、有效的服务,使他们能共享各自的观测资料、商讨各自的观点。

每周干旱监测产品成功的一个关键是收集了全国许多专家的信息进行了综合处理,专家的信息及对监测产品的反馈意见对于产品的研发及建立产品的可信度非常重要。这些专家(区域和各州的气候

学家、农业与水资源管理者、水文学家、国家天气局的专家等)利用他们对区域和地方干旱状况及干旱影响的专业知识为监测产品提供了真实的干旱信息,同时他们的信息也用来检验所用指标是否准确地捕获了干旱影响。在过去的 2 a 中,合作专家的人数已经超过了 130 名。

NOAA 的 6 个区域气候中心(RCCs)为干旱监测产品主要研发者提供资料及专家的分析。西部区域气候中心提供及时的标准降水指数(SPI)逐月更新,这对全美国,尤其西部地区的干旱时空变化状况描述极为有用。东南区域气候中心提供近实时的热带风暴对东南部降水距平的影响分析(如 2001 年 7 月的 Allison 风暴),同时也提供波多黎各干旱状况的信息。中西部区域气候中心通过中西部气候信息系统(MICIS)提供覆盖整个美国的降水距平图(基于格点观测资料,用户可得到任意所选时段的降水距平),另外,对于中西部地区,用于业务的土壤湿度模式可以提供干旱对土壤湿度影响的信息(Kunkel, 1990)。与国家干旱减灾中心共处一地的高原区域气候中心与 NDMC 充分合作为干旱监测提供所需的资料与信息。东北部、南部及高原区域气候中心率先建立了统一标准的气候资料存取网(UCAN),这是一种先进的气候资料存取系统(Pasteris 等, 1997),为干旱监测产品研发者提供了更多的气候资料分析选择(资料在分布式的存取系统中,而此系统受用户需要驱动)。另外,各区域气候中心的工作人员也提供各自区域有关干旱级别与空间分布的内行意见、干旱影响信息以及对每周干旱监测图和文字产品初稿的反馈意见。

各州气候学家对干旱监测产品的贡献有 3 方面。首先,他们提供了独有的数据资料以及对地方气候的深刻认知,这在区域或国家层面上不是总可以获得的。例如,伊利诺斯州水文勘察局有一个州内 18 个测站组成的长期土壤湿度监测网,这些站点的土壤湿度用中子探针测量,冬季每月 1 次,生长季每月 2 次,可以提供从地表到地下 2 m 深处的土壤湿度,这是非常难得的资料,在一般的干旱指标中是看不到的。其次,他们与州及地方官员以及许多企业经营者联系密切,因此他们可以提供地方受干旱影响的有用信息,这有助于确定适当的干旱级别。例如,一次出现在生长季的短暂但极其干燥的事件,其影响首先由农产品经营者反馈,然后才由基于降水的干旱指标反映出来。另外,各州的气候学家们能够提供各州水资源的行政及地理特征。例如,乔治亚州南部依赖于地下水供给而北部则依靠本地的

地表水,特别是首府亚特兰大,靠 Lanier 湖供水,此湖位于 Hartsfield 国际机场(有正式的雨量观测)以北 50 m 处,因此有人误用机场观测到的资料来评估城市内部的干旱状态。

4 小结与进一步改进

干旱监测业务系统中的许多变量以及它们之间复杂的相互作用不断促使干旱监测产品进行改进。简单的监测图,虽然便于公众使用,但它掩盖了许多不同时空尺度上进行的复杂相互作用。我们最终的目标是拥有一个能够提供及时、有意义并且有用的干旱信息监测系统。将来干旱监测产品预期的一些改进包括使用更多的 USDA 及其他的土壤水分观测资料,更完整的 USGS 地下水资料。随着联邦及各州机构对信息的进一步开放,通过 Internet 可以得到更详细的近实时的水库及湖泊水位资料。另外,随着预报的精度及可信度在所有时间尺度上的进一步提高,干旱监测产品中会有更多的干旱预测信息。

随着水文循环各种资料监测网在其监测质量、监测时效及空间有效性方面的进一步提高,干旱监测产品也将得到进一步改进。这些监测网的资料对干旱监测产品非常关键,包括逐日土壤水分、水库、湖泊、地下水及河流水位的业务观测,以及降水、温度等关键的气候资料。西部地区也正在努力探索开发区域地表水供给指数(SWSI)的工具。

干旱监测需要各监测网(合作观测计划 COOP, 流量测量, SNOTEL 等)和相关部门(NOAA, USGS, USDA)的支持,需要更大密度的观测及资料,需要对气候观测标准升级,包括气候监测工作的进一步协调,大气、水文及自然资源资料的更好综合。目前,我们没有足够充分的监测信息及监测手段,得到所需的所有尺度上的资料。干旱监测(the Drought Monitor)将努力成为一个完善的干旱监测系统。将来,在线的干旱监测图在许多空间层面上将成为用户欢迎的产品。

干旱监测产品描述了全国范围的干旱强度、空间范围及其潜在影响,干旱监测是联邦及其他机构努力合作的一个范例,它为面临潜在自然灾害的决策者提供了及时的帮助。干旱监测的最终目标是提供最有效、最及时的产品,用最简单的方式描述干旱及其影响的复杂特征,方便各用户使用。干旱监测产品的日益引人注目及其使用的不断增多说明它正在努力达到这些目标。

(参考文献略)

译自 Bulletin of the American Meteorological Society 2002 年 8 月, 1181 ~ 1190