

旱情评价综合指标研究

张 波 陈 润 张 宇

(河海大学水文水资源学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 :以淮河流域为研究对象 ,分析各类型因素与旱情的相关性 ,确定主要影响因素降雨量、流量和蒸发量。建立旱情综合指标函数 ,根据降雨量、流量和蒸发量的资料 ,确定其各自影响旱情严重程度的权重系数 ,构造出综合干旱指标 ,以指标函数值对旱情进行分级 ,以等级来反映旱情的严重程度。

关键词 :干旱指标 ;干旱分级 ;淮河流域

中图分类号 :X43 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2009)01-0021-04

Comprehensive index for drought evaluation

ZHANG Bo , CHEN Run , ZHANG Yu

(College of Hydrology and Water Resources , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract :By analyzing the relationship between drought and different factors , it was found that the main factors of droughts in the Huaihe River Basin were precipitation , runoff , and evaporation . Based on field data of the three factors and their weight coefficients , a comprehensive drought index has been developed . The comprehensive drought index can be used to classify drought and grade the drought intensity .

Key words :drought index ; grade of drought ; the Huaihe River Basin

干旱作为最严重的气象灾害之一 ,已经对我国社会经济和人民生活造成严重影响。干旱指标的确定是研究干旱的基础 ,在干旱分析中起着度量、对比和综合等重要作用。尽管关于干旱和干旱指标已有大量研究 ,但是由于干旱自身的复杂特性和研究的局限性 ,目前采用的干旱指标只是考虑一类或几类因素的影响 ,在一定程度上限制和影响了它的使用效果。综观已有的干旱指标 ,大致可概括为 5 类 :①以降水指标划分为主要的气象干旱类 ;②以土壤水分和作物指标划分为主要的农业干旱类 ;③以地表径流和地下水指标划分为主要的水文干旱类 ;④以供水和人类需水指标划分为主要的社会经济干旱类 ;⑤以地表水分和热量平衡指标划分为主要的气候干旱或干旱气候类^[1]。这些指标虽能在一定程度上反映自然环境的干旱情况 ,但都是从一方面或几方面评价旱情 ,难以准确全面地反映干旱的严重程度。

目前国际上应用较广泛的一个综合性指标是由 Palmer 提出的干旱严重程度指标——帕尔默指数

(PSDI)^[2]。这个指标现被广泛应用于评估旱情。它引入了水分平衡观念 ,综合了水分亏缺量和持续时间因子 ,并考虑了前期天气条件 ,具有较好的时空比较性 ,能够描述干旱形成、发展、减弱和结束的全过程。

帕尔默指数的最大贡献是首先提出了当前情况下的气候上适应降水量概念 ,以及用气候特征权重因子修正水分异常指标 ,使得各代表站之间、各月之间的干旱程度可以比较。但是 ,该指标中有些假定不符合水文学中水分平衡理论 ,而且计算比较繁琐。

旱情评价综合指标是旱情预报与评价的核心 ,为此有必要对目前主要的干旱指标加以分析和综合 ,构造能反映各种主要影响因素的综合性指标 ,为干旱的监测和评价提供方法和依据。

1 干旱指标因素分析

干旱是指由水分的收与支或供与求不平衡形成的水分短缺现象。干旱指标是反映干旱成因和程度

的量度。

由于干旱自身的复杂特性和对社会影响的广泛性 ,干旱指标一般建立在特定的地域内 ,然后在误差允许范围进行适当拓展。本文选取的研究地区是淮河上游流域。

淮河流域地处中国东部 ,介于长江和黄河两流域之间 ,为中国南北气候过渡地带 ,淮河以北属于暖温带区 ,淮河以南属于北亚热带区 ,因此旱灾发生频繁。年降水量最大的南部大别山区达 1 300 ~ 1 400 mm ,北部黄河沿岸仅为 600 ~ 700 mm ,多年平均降水量约为 920 mm。降水量年际变化较大 ,最大年雨量为最小年雨量的 3 ~ 4 倍。每年 6 ~ 9 月份为淮河汛期 ,汛期降水量占年总量的 60% ~ 80%。淮河流域年均地表径流深为 240 mm ,属中国水资源短缺地区。流域内平原地区的浅层地下水蕴藏量较丰富 ,一般在地下 60 m 内均有较好的含水层 ,地下水来源由降水补给^[3]。

影响干旱情况的因素主要包括降水量、河流的流量、蒸发量、土壤含水量、植物特性等^[4]。应综合考虑影响淮河流域旱情主要因素。在与实际符合较好的前提下 ,以控制性因素降水量、径流量和蒸发量反映旱情是可行的。本研究根据这个思路 ,选用的资料是淮河流域上游 1958 ~ 1990 年的降水量、流量和蒸发量资料。

1.1 降水量

降水是土壤—植物—大气系统水分平衡和水分循环中的主要收入项。降水量偏少的程度不仅是干旱气候分级的主要因子 ,也是划分干旱严重程度的主要因子。同时降水量资料最容易获得 ,数据较全 ,年份较长 ,因此降水量是一个十分重要的考虑因素。

表 1 淮河上游 1958 ~ 1990 年历年水文资料统计

年份	降雨量/mm	流量/(m ³ · s ⁻¹)	蒸发量/mm	干旱程度	年份	降雨量/mm	流量/(m ³ · s ⁻¹)	蒸发量/mm	干旱程度
1958	874.5	977	1 135.2	不旱	1975	944.3	3 228	1 053.2	不旱
1959	668.9	1 392	1 360.9	大旱	1976	619.0	844	1 116.8	不旱
1960	869.8	2 112	1 108.7	小旱	1977	821.8	1 896	1 059.7	大旱
1961	605.7	456	1 236.4	大旱	1978	584.7	518	1 152.5	大旱
1962	844.8	1 093	1 075.4	不旱	1979	977.3	1 608	1 144.9	不旱
1963	1 007.9	3 636	978.6	不旱	1980	938.1	2 868	962.1	不旱
1964	1 098.6	3 540	954.6	不旱	1981	710.4	1 248	1 083.4	小旱
1965	849.6	1 836	1 068.9	不旱	1982	1 110.4	3 696	913.0	不旱
1966	455.9	358	1 280.4	大旱	1983	966.7	2 748	975.6	不旱
1967	1 011.2	1 788	1 064.7	小旱	1984	1 199.0	2 448	925.8	不旱
1968	884.9	3 084	1 055.5	小旱	1985	799.6	1 776	837.5	小旱
1969	848.4	3 180	1 025.7	不旱	1986	600.5	1 056	1 018.1	大旱
1970	754.5	1 848	957.9	不旱	1987	912.0	4 104	878.2	小旱
1971	912.9	2 388	1 178.1	不旱	1988	649.5	980	1 017.4	大旱
1972	828.1	2 028	1 151.8	小旱	1989	927.6	2 316	742.2	小旱
1973	739.1	2 016	1 137.5	不旱	1990	866.7	1 644	851.1	小旱
1974	829.2	1 111	1 225.1	不旱					

注 :1958 年流量为息县站流量。

降雨量统计资料见表 1。

当年降雨量与多年平均年降雨量的比值^[5-6]：

$$D_1 = P/P_0$$

式中 :P 为当年实际年降水量 ,mm ;P₀ 为多年平均年降水量 ,mm。

1.2 流量

淮河流域大部分地区仍以农业为主 ,因此考虑淮河的流量对于淮河流域内干旱情况的影响。主要选取的是淮河干流上游的流量 ,因此以淮滨站逐年流量为研究资料。流量统计资料见表 1。

当年平均流量与多年平均年流量的比值：

$$D_2 = Q/Q_0$$

式中 :Q 为当年平均流量 ,m³/s ;Q₀ 为多年平均年流量 ,m³/s。

1.3 蒸发量

蒸发量是主要水分支出项 ,对于干旱也有相当大的影响。取淮河上游息县站的逐年蒸发量资料为研究资料。蒸发量统计资料见表 1。

当年蒸发量与多年同期平均年蒸发量的比值：

$$D_3 = E/E_0$$

式中 :E 为当年实际年蒸发量 ,mm ;E₀ 为多年平均年蒸发量 ,mm。

2 历史旱情分析

对历史旱情分析 ,主要采用聚类分析的方法。根据发生的旱情的严重程度 ,采用聚类分析的方法 ,将旱情分为大旱、小旱以及不干旱的 3 种情况。大旱情况主要指早期长 ,多为连旱 ;降雨量少 ,比常年同期少 4 成以上 ;严重影响农业生产、农作物的产量 ,甚至人畜饮水困难。小旱与大旱的情况相比 ,旱

期稍短,多为夏旱,总雨量较往年偏少。

在淮河流域上游均匀地选取 10 个有代表性的雨量站新郑、漯河、郸城、临汝、沈邱、驻马店、潢川、阜阳、长台关和叶县,由各站年雨量算术平均得到流域年平均雨量,并计算出多年平均降雨量为 839.7 mm,以淮河干流上游控制站淮滨站逐年流量为流量资料,计算年平均流量为 1 994.6 m³/s;选取淮河流域上游息县站蒸发量资料,计算年平均蒸发量为 1 052.3 mm,最后查年鉴、地方志等资料确定历年旱情程度^[7-9]。

根据以上步骤,统计淮河上游 1958~1990 年的降水量、流量和蒸发量资料及干旱程度历史记录情况,具体见表 1。

将这些年份分别按照降雨量、流量与蒸发量的大小顺序进行排序统计,并且与历史记录进行对比分析。具体方法为:将降雨量与多年平均年雨量的比值 D_1 由小到大进行排序,根据历史记录统计资料,33 年中有 7 年发生了大旱,第 7 年的 D_1 值为 0.8,9 年发生了小旱,第 16 年的 D_1 值为 1.01,因此 $D_1 \leq 0.8$ 为大旱, $0.8 < D_1 \leq 1.01$ 为小旱, $D_1 > 1.01$ 为正常。对于流量,采用相同的方法统计,得到 $D_2 \leq 0.53$ 为大旱, $0.53 < D_2 \leq 0.92$ 为小旱, $D_2 > 0.92$ 为正常。而由于蒸发量为水分支出项,因此将蒸发量与多年平均比值 D_3 的值由大到小排序,分类方法相同,得到 $D_3 > 1.09$ 为大旱, $1.01 < D_2 \leq 1.09$ 为小旱, $D_2 \leq 1.01$ 为正常。经过分析后得到:由降雨量资料确定的干旱程度与历史记录吻合年数为 20 年,由流量资料确定的干旱程度与历史记录吻合年数为 20 年,而由蒸发量资料确定的干旱程度与历史记录吻合年数为 15 年。由降雨量、蒸发量和流量排频得到的旱情分级与实际的历史旱情分级比较,可以确定三者各自与实际旱情的拟合程度。由 3 个量吻合的程度即可初步确定 3 个因素相对的权重。

3 旱情评价综合指标

3.1 初步旱情评价综合指标

根据之前统计的情况建立数学模型,然后进行归一化处理,确定权重系数。

综合指标的建立基础是水文学原理中最基本的水分平衡方程,即水分收入项——降雨量和径流量 2 项应为正值,而蒸发量项——水分的支出项为负值。因此假设综合指标:

$$D = r_1 D_1 + r_2 D_2 - r_3 D_3$$

其中 r_1 、 r_2 、 r_3 分别为 3 个权重系数(即降雨量、流量、蒸发量各自对旱情的贡献程度), r_1 、 r_2 、 r_3 均在 0~1 的范围内,并且满足 $r_1 + r_2 + r_3 = 1$ 。

通过之前的分析可得到权重系数:

$$r_1 = 20 / (20 + 20 + 15) = 0.36$$

$$r_2 = 20 / (20 + 20 + 15) = 0.36$$

$$r_3 = 15 / (20 + 20 + 15) = 0.28$$

由此可以计算出:

$$\text{大旱与小旱的分界值: } C_1 = 0.36 \times 0.8 + 0.36 \times 0.53 - 0.28 \times 1.09 = 0.1736$$

$$\text{小旱与正常的分界值: } C_2 = 0.36 \times 1.01 + 0.36 \times 0.92 - 0.28 \times 1.01 = 0.4120$$

依此就可对旱情进行分级:当 $D \leq 0.1736$ 时,界定为大旱;当 $0.1736 < D \leq 0.4120$ 时,界定为小旱,而 $D > 0.4120$ 为不发生干旱,即为正常或发生洪涝。

3.2 校核旱情评价综合指标

由于计算出初步的指标值与实际发生的历史旱情吻合的并不是很好,还存在些许误差,因此需要对 3 个权重系数进行调试,以符合淮河流域的实际旱情。用 Visual Basic 语言编写计算指标值的程序,调用降雨量、流量和蒸发量的数据资料,并按初步旱情综合指标求得 D 指标以及旱情等级,把结果与历史实际旱情对比。根据已有的气象指标及水文的指标^[1],定性可知降雨量对指标值的影响最大,其次是流量,蒸发量的影响最小,因此开始调试时可把蒸发量的权重固定,适当调整降雨量和流量项的系数。通过不断调整,改进权重系数 r_1 、 r_2 和 r_3 ,使得结果与实际历史旱情吻合较好。得到最优的 r_1 、 r_2 和 r_3 后,再求得临界值 C_1 、 C_2 并进行旱情分级。

通过多次调整后,得到一组与实际旱情符合度较高的值:

$$r_1 = 0.38, r_2 = 0.34, r_3 = 0.28,$$

$$C_1 = 0.1790, C_2 = 0.4138$$

通过以上这组权重系数以及临界值,求得的发生大旱的年份为:1959 年、1961 年、1966 年、1974 年、1976 年、1978 年、1981 年、1986 年、1988 年;小旱的年份为:1958 年、1960 年、1962 年、1965 年、1967 年、1970 年、1972 年、1973 年、1977 年、1979 年、1985 年、1990 年,其他均为不干旱的年份。同时可计算得到符合度为 60.8%。

3.3 可视化界面

可用 Visual Basic 做出可视化界面,生成可执行文件。输入淮河上游某年年降雨量、年流量和年蒸发量,即可求得当年的旱情综合指标值与旱情等级。

4 结 语

a. 综合分析影响淮河流域干旱情况的因素,其

中降水量、流量和蒸发量对于干旱的影响程度较其他因素更明显,因此主要考虑这3个因素。建立淮河流域旱情评价综合指标函数: $D = 0.38D_1 + 0.34D_2 - 0.28D_3$,该函数综合考虑了研究地区的降雨量、径流量和蒸发量3个影响因素,适用于淮河流域的旱情评价,并且具有南方地区的普遍性,可根据相似性进行拓展。根据综合指标函数的计算值可对旱情进行分级: $D \leq 0.1790$,界定为大旱; D 值介于0.1790和0.4138之间的为小旱;而 $D \geq 0.4138$ 的判断为不发生干旱的年份。

b. 计算出的旱情符合度为60.8%,与实际相比还有一定的误差,这一方面与计算方法有关,另一方面是由于符合度中小旱与不干旱的界限较模糊,造成小旱中有较多的不符合,可能两者之间没有绝对的临界值,这有待进一步的研究。

c. 干旱是一个很复杂的灾害,它不像洪水灾害已经研究得很透彻了,而且水文、气象部门的资料需要相互补充才能更全面地研究旱情指标。本文从水文资料入手,对综合指标做一些有益的探索,得到了以上的结论。由于一方面对于历史旱情具体损失的评价还需要进一步考证,对各因子的权重系数的确定可以进一步进行多角度的研究;另一方面还要研

究旱情评价与监测的关系,以更好地为应对干旱提供技术支持。

参考文献:

[1] 李克江,郭其蕴,张家诚,等.中国干旱灾害研究及减灾对策[M].郑州:河南科学技术出版社,1999:9-26.
[2] 河南省水利厅.河南水旱灾害[M].郑州:黄河水利出版社,1998:189-221.
[3] 赵振国.中国夏季旱涝及环境场[M].北京:气象出版社,2000.
[4] 宋连春,邓振镛,董安祥,等.干旱[M].北京:气象出版社,2003.
[5] 徐向阳.水灾害[M].北京:中国水利水电出版社,2006:93-124.
[6] 包为民.水文预报[M].3版.北京:中国水利水电出版社,2006:256-260.
[7] 赵春明,刘雅鸣,张金良,等.20世纪中国水旱灾害警示录[M].郑州:黄河水利出版社,2002:338-358.
[8] 冯佩芝,李翠金,李小泉,等.中国主要气象灾害分析(1951-1980)[M].北京:气象出版社,1985:135-158.
[9] 夏明方,康沛竹.20世纪中国灾变图史[M].福州:福建教育出版社,2001:53-75.

(收稿日期:2007-05-31 编辑:傅伟群)

(上接第20页)

b. 在相同降雨条件下,绿地相对于裸土而言,具有较大滞水量,尤其是在中小雨强情况下,两者滞水量相差20~25 mL/min。

c. 合理利用城市绿地的调蓄能力,优化土地利用结构,将土地利用方式作为城市生态排水的重要辅助条件之一,在一定程度上可减缓城市排水系统的高强负荷,将有助于改善城市化带来的城市暴雨积水问题。

参考文献:

[1] CAMORANI G, CASTELLARIN A, BRATH A. Effects of land-use changes on the hydrologic response of reclamation system[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2005, 30: 561-574.
[2] 周丽英,杨凯.上海降水百年变化趋势及其城郊的差异[J].地理学报,2001,26(4):467-476.

[3] 刘秋锋,赵建,康慕谊.济南市城市扩展与城市暴雨洪灾[J].灾害学,2005,12(4):39-42.
[4] 李树平,黄廷林.城市化对城市降雨径流的影响及城市雨洪控制[J].中国市政工程,2002,2(3):35-37.
[5] 石培礼,李文华.森林植被变化对水文过程和径流的影响效应[J].自然资源学报,2001,26(5):481-487.
[6] 张书函,丁跃元,陈建刚.德国的雨水收集利用与调控技术[J].北京水利,2003(3):39-41.
[7] 段舜山,彭少麟,张社尧.绿地植物的环境功能与作用[J].生态科学,1999,18(2):79-81.
[7] 黄尚明.充分发挥城市绿地的环境效益[J].当代建设,2002(2):57.
[9] BRUCE K F. Stormwater Infiltration[M]. New York: Lewis Publishers, 1996: 36-88.
[10] 汪慧贞,车武,胡家骏.浅议城市雨水渗透[J].给水排水,2000(2):4-7.
[11] 鲍文,何丙辉,包维楷,等.森林植被对降水的截留效应研究[J].水土保持研究,2004,11(1):194-197.

(收稿日期:2007-07-19 编辑:傅伟群)