

以气候适宜降水量为基础的 水分距平的计算方法

刘巍巍 安顺清 刘庚山 郭安红

(中国气象科学研究院,北京 100081)

提 要

介绍了一种以气候适宜降水量为基础的水分距平的计算方法。通过统计一个地区逐月的水分平衡分量,可以计算出该地在气候上适宜的蒸散、补水、径流、失水和降水量,从而得到可以衡量水分盈亏的水分距平值 d 。这个水分距平作为衡量水分异常的指标可以更好地表现同一个地区同一时期不同年份的水分盈缺情况。应用这种方法计算了北京 1961~2000 年逐月水分距平值,并分析了 1 月、4 月、7 月和 10 月份的逐年水分距平变化。

关键词: 气候适宜 降水量 水分距平

引 言

衡量一个地区水分盈亏的指标有很多种,如以降水量为基础的降水量距平或降水距平百分比等;以降水和蒸散为基础的相对蒸散(实际蒸散比可能蒸散)、水分亏缺量(实际蒸散减去可能蒸散)、降水蒸发差或降水蒸发比等^[1~5]。这些指标虽然可以在一定程度上衡量水分的盈亏,但只考虑到了降水和蒸散,而没有考虑到径流和前期土壤水分状况

等因素。60 年代中期, W.C. Palmer 对美国中西部地区多年气候资料进行了分析研究,提出了气候适宜降水量即 CAFEC (Climatically Appropriate for Existing Condition) 降水的概念。CAFEC 降水是指能够保持当地的水源适宜当地需求所需的降水量。这种方法详细统计了各月水文账,其中除降水外还有蒸散量、土壤补水量、径流量、土壤失水量的实际值和可能值及土壤水分变化等项,从而

得到气候适宜的蒸散量、土壤补水量、径流量和土壤失水量等数值,其中气候适宜蒸散量、气候适宜补水量和气候适宜径流量为水分需求项,气候适宜失水量为水分供给项,需求和供给之间的差值即为满足当地水分需求的气候适宜降水量,即 CAFEC 降水量,实际降水和 CAFEC 降水量的偏差在某种程度上反映了气候中水分与正常情况时的偏差大小,可以做为衡量该地区同一时期不同年份之间的水分盈亏指标^[4~7],称为水分距平 d 。这个指标能较好地衡量水分的盈亏状况,反映出一个地区某个月或季节多年来的水分盈亏状况,也可以作为一个简单衡量干湿变化的标准。

1 水分距平 d 的计算过程

计算水分距平 d 主要有以下几个步骤:

(1)资料的收集与整理;

(2)对长期气象资料序列进行月的水分平衡计算;

(3)计算水分平衡中各分量的多年平均值;

(4)计算各气候常数;

(5)应用所得到的气候常数计算气候适宜蒸散量、气候适宜补水量、气候适宜径流量和气候适宜失水量,以确定使每月成为“正常”气候所需的水量,即气候适宜降水量;

(6)计算水分距平 d 。

以北京为例介绍水分距平 d 的计算过程。

1.1 所需资料

所需的资料有:月平均风速 V 、月平均日照时数 S 、月平均水汽压 e 、月降水量 P 、可能日照时数 N 、月平均最高温度 T_{\max} 和月平均最低温度 T_{\min} 等天气资料及该地土壤状况(包括土层分布、土壤田间有效持水量、实际土壤有效含水量等)。

1.2 水分平衡计算

水分平衡计算将土壤分为上、下两层,上层为耕层,下层为耕层以下的根系层。上层土壤田间有效持水量为 40mm,下层土壤田

间有效持水量为 200mm。水分平衡计算除逐月统计降水外,还需逐月计算出 S_s 、 S_u (某月底上、下层土壤含水量)、 ΔS_s 、 ΔS_u (表层、下层土壤水分变化量)、 S^* (整层土壤含水量)等数据及补水量 R 、失水量 L 、蒸散量 ET 、径流量 RO 、可能补水量 PR 、可能失水量 PL 、可能蒸散量 PE ^[8~10] 和可能径流量 PRO 。

假定蒸散在表层土壤中是以可能速率发生的,直到其全部有效水分都耗尽为止,只有这时水分才开始从下层土壤中散失;同时假定在上层土壤达到田间持水量之前,下层土壤得不到补水。进而假定,下层土壤的水分散失取决于最初的水分量和估计的可能蒸散量(PE)以及土壤田间有效持水量(AWC),因此土壤失水量为:

$$\begin{cases} L_s = \min(S'_s \text{ 或 } PE - P) \\ L_u = (PE - P - L_s) \frac{S'_u}{AWC} \quad L_u \leq S'_u \end{cases} \quad (1)$$

$$L = L_s + L_u \quad (2)$$

式中: L_s = 表层土壤水分散失量(mm); S'_s = 某月开始时贮存在表层的土壤有效水量(mm); PE = 某月可能蒸散量(mm); P = 某月降水量(mm); L_u = 下层土壤水分散失量(mm); S'_u = 某月开始时贮存在下层的土壤有效水量(mm); AWC = 两层土壤田间有效持水量总和(mm); L = 两层土壤水分散失量总和(mm)。

土壤补水量 R 是指土壤得到的水量:

$$R = \begin{cases} \Delta S_s + \Delta S_u & \Delta S_s \geq 0 \text{ 且 } \Delta S_u \geq 0 \\ 0 & \Delta S_s < 0 \text{ 且 } \Delta S_u < 0 \end{cases} \quad (3)$$

实际蒸散量 ET :

$$ET = \begin{cases} PE & PE \leq P \\ P - (\Delta S_s + \Delta S_u) & PE > P \end{cases} \quad (4)$$

假设当上、下层均达到田间持水量时才有径流:

$$RO = P - PE - \Delta S_s - \Delta S_u \quad (5)$$

式中:

$$PE = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (6)$$

式中: PE = 可能蒸散量 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$; R_n = 地表净辐射 $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; G = 土壤热通量 $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; T = 平均气温 $^{\circ}\text{C}$; U_2 = 2m 高度处的风速 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; e_s = 饱和水汽压 kPa ; e_a = 实际水汽压 kPa ; Δ = 饱和水汽压曲线斜率 $\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$; γ = 干湿表常数 $\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

可能失水量 PL 表示降水为零时能够从土壤中取得的水量, 分上、下两层 (PL_s 和 PL_u):

$$\begin{cases} PL_s = \min(PE \text{ 或 } S'_s) \\ PL_u = (PE - PL_s) S'_u / AWC \end{cases} \quad (7)$$

$$PL = PL_s + PL_u \quad (8)$$

可能补水量 PR 是降水充足时使土壤达

到田间有效持水量所需的水量:

$$PR = AWC - (S'_s + S'_u) \quad (9)$$

实际补水量 R 即土壤田间有效持水量的增加量:

$$R = \begin{cases} 0 & \Delta S_s \leq 0 \text{ 且 } \Delta S_u \leq 0 \\ \Delta S_s + \Delta S_u & \Delta S_s > 0 \text{ 且 } \Delta S_u > 0 \end{cases} \quad (10)$$

可能径流量 PRO 可认为是可能降水量与可能补水量之差, 但由于可能降水量无法确定, 在这里引用 W.C.Palmer 的方法^[4] 用土壤田间有效持水量代替:

$$PRO = AWC - PR = S' \quad (11)$$

根据降水和土壤水分资料推定其前一个月份(1960年12月)的土壤有效含水量上层为 25.0mm, 下层为 150.0mm, 表 1 给出了北京 1961 年的水文账。

1.3 计算水文帐中各分量的各月多年平均值(表 2)

表 1 北京 1961 年水分平衡各分量列表(mm)

	P	PE	S_s	S_u	PR	R	PL	L	ET	RO
1月	4.30	36.64	0.00	145.41	65.00	0.00	32.28	29.59	33.89	0.00
2月	4.10	44.75	0.00	120.78	94.59	0.00	27.11	24.63	28.73	0.00
3月	20.10	72.94	0.00	94.19	119.22	0.00	36.71	26.59	46.69	0.00
4月	6.70	118.01	0.00	50.50	145.81	0.00	46.32	43.69	50.39	0.00
5月	13.00	159.81	0.00	19.61	189.50	0.00	33.63	30.89	43.89	0.00
6月	27.50	148.41	0.00	9.73	220.39	0.00	12.13	9.88	37.38	0.00
7月	254.50	147.45	40.00	76.78	230.27	107.05	5.98	0.00	147.45	0.00
8月	127.90	111.61	40.00	93.08	123.22	16.29	62.91	0.00	111.61	0.00
9月	118.70	92.49	40.00	119.28	106.92	26.21	60.36	0.00	92.49	0.00
10月	10.00	58.08	0.00	115.27	80.72	0.00	48.99	44.02	54.02	0.00
11月	11.20	39.73	0.00	101.57	124.73	0.00	19.08	13.70	24.90	0.00
12月	1.80	31.37	0.00	89.05	138.43	0.00	13.27	12.51	14.31	0.00

表 2 北京各水分平衡分量逐月多年平均值(mm)

	\bar{P}	\bar{ET}	\bar{PE}	\bar{R}	\bar{PR}	\bar{RO}	\bar{PRO}	\bar{L}	\bar{PL}
1月	2.30	9.93	37.21	0.00	189.42	0.00	50.58	7.63	7.99
2月	4.54	11.75	43.01	0.00	197.05	0.00	42.95	7.21	7.90
3月	8.15	18.31	75.60	0.00	204.26	0.00	35.74	10.16	11.36
4月	24.33	32.33	114.61	2.02	214.43	0.00	25.57	10.02	12.19
5月	31.63	40.38	149.55	0.00	222.43	0.00	17.57	8.75	10.79
6月	70.87	69.94	154.32	3.80	231.17	0.00	8.83	2.87	5.49
7月	182.42	117.53	136.96	63.27	230.24	1.94	9.76	0.32	6.19
8月	172.04	113.04	124.30	48.30	167.29	15.79	72.71	5.10	40.60
9月	46.79	77.02	104.85	1.26	124.09	0.72	115.91	32.21	51.25
10月	20.73	39.62	75.57	1.59	155.03	0.00	84.97	20.48	26.77
11月	7.32	19.36	47.01	0.05	173.93	0.00	66.07	12.09	13.79
12月	2.40	10.23	37.04	0.00	185.97	0.00	54.03	7.83	8.42

1.4 计算各月气候常数 α 、 β 、 γ 和 δ

蒸散系数 α : 定义为某月实际蒸散量 ET 的多年平均值和可能蒸散量 PE 的多年平均值之比:

$$\alpha = \overline{ET} / \overline{PE} \quad (12)$$

补水系数 β : 定义为某月实际补水量 R 的多年平均值和可能补水量 PR 的多年平均值之比:

$$\beta = \overline{R} / \overline{PR} \quad (13)$$

径流系数 γ : 定义为某月实际径流量 RO 多年平均值和可能径流量 PRO 多年平均值之比:

$$\gamma = \overline{RO} / \overline{PRO} \quad (14)$$

失水系数 δ : 定义为某月实际失水量 L 多年平均值和可能失水量 PL 多年平均值之比:

$$\delta = \overline{L} / \overline{PL} \quad (15)$$

表3给出了北京各月气候常数数值。

表3 北京各月各气候常数数值

	α	β	γ	δ
1月	0.267	0	0	0.9553
2月	0.2732	0	0	0.9127
3月	0.2422	0	0	0.8946
4月	0.2821	0.0094	0	0.8214
5月	0.27	0	0	0.8108
6月	0.4532	0.0164	0	0.5227
7月	0.8581	0.2748	0.1987	0.0509
8月	0.9094	0.2887	0.2172	0.1256
9月	0.7345	0.0102	0.0062	0.6284
10月	0.5243	0.0102	0	0.7651
11月	0.4119	0.0003	0	0.8767
12月	0.2761	0	0	0.9295

1.5 各月水分平衡各分量的气候适宜值和气候适宜降水量的计算

由上面计算出的各气候常数可计算出水分平衡各分量的气候适宜值。

气候适宜蒸散量 \hat{ET} :

$$\hat{ET} = \alpha PE \quad (16)$$

气候适宜补水量 \hat{R} :

$$\hat{R} = \beta PR \quad (17)$$

气候适宜径流量 \hat{RO} :

$$\hat{RO} = \gamma PRO \quad (18)$$

气候适宜失水量 \hat{L} :

$$\hat{L} = \delta PL \quad (19)$$

当把某地某月的气候适宜蒸散量 \hat{ET} 、气候适宜补水量 \hat{R} 及气候适宜径流量 \hat{RO} 相加时, 我们就得到了为保持当地的水源处于正常水平所需的水量。然而, 它并不表示实际需要的降水量, 因为前期的土壤水分可以提供部分蒸散, 所以再减去气候适宜失水量 \hat{L} 就得到当地的气候适宜降水量 \hat{P} , 它是能够保持当地水源适宜当地需求所需的降水量。

$$\hat{P} = \hat{ET} + \hat{R} + \hat{RO} - \hat{L} \quad (20)$$

1.6 水分距平 d 的计算

在计算了每月气候适宜降水量之后, 就可以求得实际降水量与气候适宜降水量的差值 d :

$$d = P - \hat{P} \quad (21)$$

d 表示了天气中水分状况与气候适宜情况时的偏差, 称之为水分距平。水分距平 d 可做为一种衡量某个地区水分异常状况的指标。

2 用水分距平 d 评估水分盈亏状况的验证及应用

我们对照了北京、西安、贵阳等多个站点的旱涝灾情记录与水分距平 d 的年际变化, 结果表明水分距平 d 能较好地反映一个地区某个时期逐年的水分盈亏变化状况和干湿情况。以北京为例说明水分距平 d 的验证及应用。

图1~4给出了北京1961~2000年1月、4月、7月和10月水分距平 d 的变化。1961~2000年北京发生多次旱涝灾害, 主要有1965年北京5~10月总降水量比常年同期少4成, 旱情严重; 1968年上半年降水量是1889年有气象记录以来同期的最少值, 农业生产受到严重影响; 1972年北京市春季严重干旱; 1980~1984年连续少雨, 其中1980年北京7月上旬到8月上旬降水量是近百年来同期的最小值; 1989年1~9月全市平均

降水量比上年同期少二成,10月初,官厅水库蓄水接近死库容;1993年和1994年春旱严重,夏粮减产。另外1963年8月、1969年7、8月、1977年6月、1978年秋季、1979年6、7月、1998年7月多次发生不同程度的洪涝灾害。将以上实际旱涝灾情与1961~2000年北京12个月份水分距平 d 的年际变化相对比,表明两者较为一致。

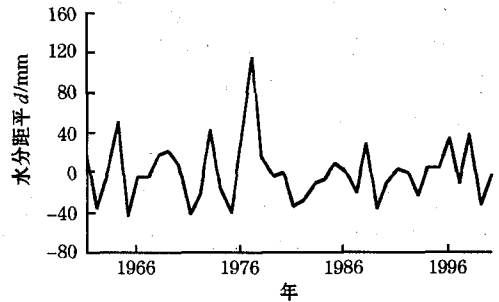


图4 10月份水分距平 d 随时间变化图

由于季节性降水的不同,相同的水分距平对不同的月份来说具有不同的意义,水分盈亏的标准也相应变化。

3 问题与讨论

综上所述,水分距平 d 相对于其他衡量水分亏缺量的标准来讲考虑因素全面,计算也比较简单,且适合应用于全国范围内,能够较好地反映出水分异常状况,可以用它来分析一个地区某个时期多年的水分盈亏状况。但其中仍有缺点,很明显,同一距平在不同地区和时期意义是不同的,比如北京当距平为-30时,对于夏季可能只是轻微的水分亏缺,而在春季则是严重的水分亏缺;同样同一距平对于气候上差异较大的地区也会产生不同的影响。所以我们可以比较同一地区相同时期不同年份的距平,却不能把不同时期的距平相提并论,也不能比较不同地区的距平。这还需要进一步的研究。

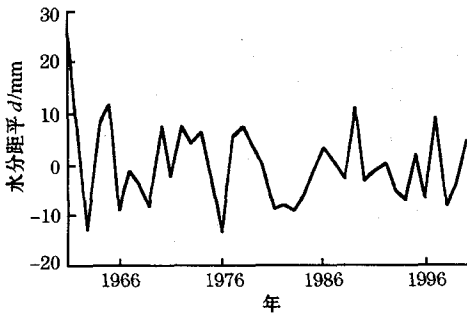


图1 1月份水分距平 d 随时间变化图

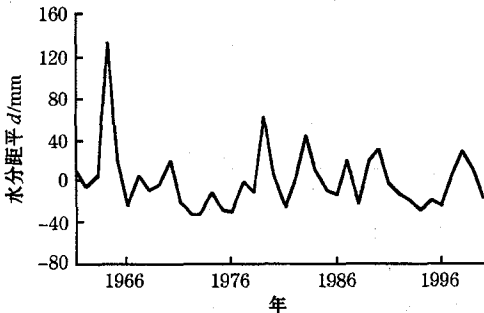


图2 4月份水分距平 d 随时间变化图

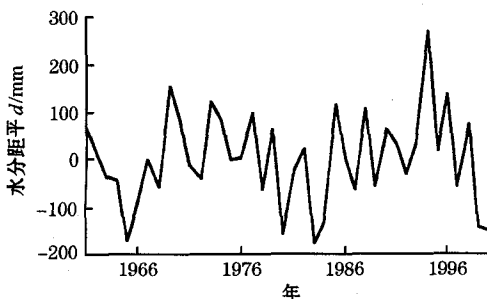


图3 7月份水分距平 d 随时间变化图

参考文献

- 1 冯定原等.我国农业干旱的指标和时空分布特征.南京气象学院学报,1992,15(4):508~515.
- 2 李克让.中国干旱灾害研究及减灾对策.郑州:河南科学技术出版社,1999:9~40.
- 3 Wayne. C. Palmer. Meteorological Drought, Research Paper, No. 45:1~16.
- 4 安顺清等.修正的帕默尔干旱指数及其应用.气象,1985,11(12):17~19.
- 5 安顺清等.帕默尔旱度模式的修正.气象科学研究院院刊,1986,1(1):75~81.
- 6 范嘉泉等.帕默尔气象干旱研究方法介绍.气象科技,1984,12(1):63~71.

(下转第23页)

(上接第 18 页)

- 7 刘钰等. 参照腾发量的新定义及计算方法对比. 水利学报, 1997, (6): 27~33.
- 8 龚元石. Penman-Monteith 公式与 FAO-PPP-17 Penman 修正式计算参考作物蒸散量的比较. 北京农业大学学报, 1995, 21(1): 68~75.
- 9 康绍忠等. 用彭曼-蒙特斯模式估算作物蒸腾量的研究. 西北农业大学学报, 1991, 19(1): 13~19.
- 10 冯佩芝等. 中国主要气象灾害分析(1951~1980年). 北京: 气象出版社, 1985.

A Method for Computing Water Departure Based on CAFEC Precipitation

Liu Weiwei An Shunqing Liu Gengshan Guo Anhong

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

A method for computing the water departure based on the CAFEC (Climatically Appropriate for Existing Condition) precipitation is introduced. Based on a hydrologic budget month-to-month for one area, the CAFEC quantities for evapotranspiration, recharge, runoff, loss water, and precipitation can be computed, and the water departure d can be got. As a index of water abnormality, the water departure d is more fit for measuring water profit and loss for the same period by years. Using this method, the monthly water departures from 1961 to 2000 of Beijing are computed, and the changes of water departures of January, April, July, and October year by year are analysed.

Key Words: CAFEC precipitation water departure