

用 Palmer 湿润指数作西北地区东部冬小麦旱涝评估^{* 1}

王 越¹⁾²⁾ 江志红¹⁾ 张 强³⁾ 栗 珂⁴⁾ 刘 梅⁵⁾ 薛春芳⁶⁾

¹⁾(南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验室,南京 210044) ²⁾(陕西省气候中心,西安 710015)

³⁾(国家气候中心,北京 100081) ⁴⁾(陕西省经济服务台,西安 710015)

⁵⁾(江苏省气象台,南京 210044) ⁶⁾(西安市气象局,西安 710016)

摘 要

根据 Palmer 气象干旱指数(PDSI)的中间量 Palmer 湿润指数原理,计算了西北地区东部冬小麦农气观测站延安、咸阳等多个站点 1961—2000 年逐月 Palmer 湿润指数,对各站点的冬小麦不同发育期的旱涝情况做了初步的验证和应用。Palmer 湿润指数与 Z 指数对比结果表明:Palmer 湿润指数对农作物旱情分析更具有客观性,分析结果更符合实际情况,因而可以作为我国西北地区东部农作物旱涝的评估工具。

关键词: 西北地区东部; Palmer 湿润指数; 冬小麦; 旱涝评估

引 言

自 20 世纪 60 年代中期 Palmer 提出 Palmer 气象干旱指数(PDSI)后,PDSI 被广泛应用于旱情比较、旱情时空分布特征分析、干旱面积评估等旱涝气候评价及其灾害评估^[1-5]。目前在美国商业部和农业部联合发布的《天气和作物周报》中,刊登全国作物生长季节期间的 Palmer 指数^[5]分布值,即 Palmer 干旱指数(PDSI)、Palmer 水文指数(PHDI)、Palmer Z 指数(ZNDX,也被称为 Palmer 湿润指数)与 Palmer 修正干旱指数(PMDI)分布值,作为干旱监测评估的重要指标,以及美国确定灾区和救济的重要依据。Richard 在 2000 年的“全球变化评估”国际会议上预言,即便 30 年以后,Palmer 旱度模式仍然还会得到广泛应用^[6]。Palmer 旱度模式在 20 世纪 70 年代就被引入中国^[7],并得到相应的修正^[8-9]。研究表明^[10-13],修正的 PDSI 基本上适合于我国 100°E 以东的地区,并在分析研究与适用性检验方面取得较好效果。

PDSI 在 Palmer 湿润指数模式基础上,引入表示大气干旱(或湿润)期的开始和结束概率,主要研究大气的干、湿程度及持续时间,与研究区域变化特征

紧密相关,反映由降水和蒸发不平衡所造成的区域水分短缺现象的平均状况^[6]。Palmer 湿润指数是农业干旱指数,在国际上广泛用于农业干旱监测^[14-15]。其不同于 PDSI,既考虑气象干旱又研究作物的缺水程度,它发生与否取决于气象干旱发生的时间、地点、种植结构等条件,反映该地区该时段内降雨与其多年平均值发生偏差的程度及与所研究作物需水状况的不协调程度^[14]。其计算方法通过气温、降水及不同土壤性质的土壤有效含水量模拟当月土壤水分平衡方程,通过土壤水分平衡规律统计各月水分量和满足作物生长的土壤需水量(土壤适宜降水量),从而构造 Palmer 湿润指数。Palmer 湿润指数是具有当地特征的降水量与土壤适宜降水量偏差,反映一个地区某时段土壤水分盈亏状况,既考虑大气干旱又考虑土壤干旱对作物旱情发生与发展的影响,因而从指数模式物理意义上,Palmer 湿润指数对土壤水分供需的响应比 PDSI 更快速直接。

Palmer 湿润指数各月土壤水分分量是在当月气温与降水条件的基础上以前月土壤含水量、气温与降水为初始条件推导出来,与国内广泛应用的只考虑当前湿润度的农业干湿指标(降水距平百分率、Z 指数、K 指标、降水湿度均一化指标等)^[16-17]相比,Palmer 湿润指数不仅考虑了同期湿润度,而且考虑

* 国家自然科学基金项目(40675043)、中国气象局“我国短期气候预测系统加强研究”项目(96908062)和江苏省气象灾害重点实验室(南京信息工程大学)项目(KLME050209)共同资助。

2007-08-23 收到,2008-02-20 收到再改稿。

了前期湿润度,能更好地反映一个地区多年来月或季的土壤水分盈亏状况^[18]。早在 1986 年 Karl 研究认为^[18],Palmer 湿润指数能快速响应湿度变化,能定量评估农业干旱,相对于其他农业指数更适用于农业干旱监测。然而 Palmer 湿润指数在国内应用的研究尚不多见。因此,引入 Palmer 湿润指数,对我国西北地区东部冬小麦旱涝情况进行评估试验。结果表明,Palmer 湿润指数对该地区冬小麦旱涝评估具有相当的客观性,较适合于我国西北地区东部半干旱半湿润区与湿润区单站农作物旱涝情况

的评估。

1 资料和方法

1.1 资料来源

资料均来自国家气候中心。选用西北地区东部延安、咸阳、宝鸡、铜川、酒泉、武威等 20 站(表 1)的 1961—2000 年月平均气温、月降水量、100 cm 深土壤饱和有效含水量 C_{AW} (用 0 至 100 cm 深土壤含水率、田间持水量、土壤容重计算所得)资料。

表 1 西北地区东部所选站点及其相应的地理位置

Table 1 The information about selected stations in the east of Northwest China

站名	武威	景泰	西宁	贵德	兰州	靖远	临夏	绥德	同心	环县
纬度	37.55°N	37.11°N	36.37°N	36.02°N	36.03°N	36.34°N	35.35°N	37.30°N	36.59°N	36.35°N
经度	102.40°E	104.03°E	101.46°E	101.26°E	103.53°E	104.41°E	103.11°E	110.13°E	105.54°E	107.18°E
站名	延安	西吉	平凉	西峰镇	铜川	岷县	宝鸡	咸阳	汉中	安康
纬度	36.36°N	35.58°N	35.33°N	35.44°N	35.05°N	34.26°N	34.21°N	34.24°N	33.04°N	32.43°N
经度	109.30°E	105.43°E	106.40°E	107.38°E	109.04°E	104.01°E	107.08°E	108.43°E	107.02°E	109.02°E

1.2 Palmer 湿润指数公式

Palmer 湿润指数建立在单站点基础上,计算基于水分平衡原理,1986 年 Karl 提出改进的 Palmer 湿润指数计算公式^[18]

$$I_{PMA} = d \cdot K \quad (1)$$

式(1)中, d 为水分距平,指土壤水分盈亏; K 为干湿度权重因子,与当地气候特征有关,反映当地气候干湿度。 d 随气候发生季节性变化,然而, d 不能反映出当地气候水分盈亏的严重程度,因此通过权重因子 K 对 d 的加权定义 Palmer 湿润指数 I_{PMA} ,它能确切描述当地气候当前季节干湿度状况及水分盈亏的严重程度。 I_{PMA} 的旱涝型划分标准^[18]列于表 2。

表 2 I_{PMA} 值, Z 指数^[19] 值及其相应的旱涝型

Table 2 Values of I_{PMA} and Z index as well as type of drought and flood

I_{PMA} 值	Z 值	旱涝等级	旱涝型
$I_{PMA} \geq 3.5$	$Z > 1.6485$	1	大涝
$2.5 \leq I_{PMA} < 3.5$	$1.0364 < Z \leq 1.6485$	2	涝
$1.0 \leq I_{PMA} < 2.5$	$0.5244 \leq Z \leq 1.0364$	3	偏涝
$-1.24 \leq I_{PMA} < 1.0$	$-0.5244 \leq Z < 0.5244$	4	正常
$-1.99 \leq I_{PMA} < -1.24$	$-1.0364 \leq Z < -0.5244$	5	偏旱
$-2.75 < I_{PMA} < -1.99$	$-1.6485 \leq Z < -1.0364$	6	旱
$I_{PMA} \leq -2.75$	$Z < -1.6485$	7	大旱

I_{PMA} 中各项因子的计算:

① 水分距平 d

式(1)中, d 为水分距平,可用月实际降水量与

适宜降水量之差表示

$$d = P - \hat{P} \quad (2)$$

式(2)中, P 为降水量, \hat{P} 指为了维持正常与当时条件下气候上适宜的蒸散、径流和水分贮存所需要的水分,表示为

$$\hat{P} = \hat{E}_T + \hat{R} + \hat{R}_0 - \hat{L} \quad (3)$$

式(3)中, $\hat{E}_T, \hat{R}, \hat{R}_0, \hat{L}$ 分别为气候适宜蒸散量、补水量、径流量和失水量,应用下列一组公式,利用逐月历史资料进行水分平衡计算得到

$$\begin{aligned} \hat{E}_T &= \alpha E_p, & \hat{R} &= \beta R_p, \\ \hat{R}_0 &= \gamma R_{p0}, & \hat{L} &= \delta L_p \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \overline{E_T/E_p}, & \beta &= \overline{R/R_p}, \\ \gamma &= \overline{R_0/R_{p0}}, & \delta &= \overline{L/L_p} \end{aligned} \quad (5)$$

式(4)~(5)中, E_T, E_p 为实际蒸散量和潜在蒸散量; R, R_p 为实际补水量和潜在补水量; R_0, R_{p0} 为实际径流量和潜在径流量; L, L_p 为实际失水量和潜在失水量; α, β, γ 和 δ 分别为蒸散系数、补水系数、径流系数和失水系数。

在水分平衡方程式(3)中,Palmer 将 100 cm 深土壤分为上、下两层,并假设上层土壤有效含水量为 25.4 mm。上、下层土壤有效含水量表示为 S_u, S_d 。在双层土壤模式中,设蒸散在上层土壤中以一定的速率发生,直到其全部有效水分耗尽时,水分才开始从下层土壤中散失;同时假定在上层土壤有效含水量达 25.4 mm 之前,下层土壤得不到补充水

分,进而假定下层土壤水分散失取决于月初水分量和估计的潜在蒸散量 E_p 以及土壤饱和有效含水量(指田间持水量与萎蔫湿度之差) C_{WA} 。因此,当 $E_p > P$ 时, L 为两层土壤水分散失量总和, S_s 与 S_u 在模式计算中分别作为初始值,表示某月开始时贮存在土壤上、下层的土壤有效含水量。只有当双层土壤有效含水量达到 C_{WA} ,才会产生径流 R_0 。 R_p, L_p 和 R_{p0} 的计算方法可参照 Palmer 干旱指数计算方法^[4], E_p 由修改后的 Thornthwaite 计算方法^[20] 求出。

② 干湿度权重因子 K

式(1)中, K 为干湿度权重因子,它的变化与所选区域及时间有关,某月的 K 值在下面的公式中能明显反映出来。

$$K_i = 17.67 \times K'_i / \sum_{j=1}^{12} \bar{D}_j K'_j, \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, 12; \quad j = 1, 2, \dots, 12$$

式(6)中,参数 17.67 为区域平均年绝对水分距平,分母类似于 I_{PMA} , 定义为测站平均年绝对水分距平。式中 K'_i 依赖于当地多年平均土壤水分供需,称为气候特征权重因子。 K'_i 可以反映当地气候异常特征,但不具有空间可比性,为了得到一个时空相对独立的权重因子, K'_i 经区域平均年绝对水分距平与观测站平均年绝对水分距平的比率权重后,成为水分异常可比较的权重因子 K_i , 称为干湿权重因子。这里 K'_i 表示为

$$K'_i = 1.5 \times \lg[((\bar{E}_{Pi} + \bar{R}_i + \bar{R}_{0i}) / (\bar{P}_i + \bar{L}_i) + 2.8) / \bar{D}_i] + 0.5, \quad i = 1, 2, \dots, 12 \quad (7)$$

以上计算中 i, j 均表示月份,式(7)中任何因子

指历史记录平均值, \bar{D}_i 指某月历年水分距平绝对变量的平均值。

1.3 Z 指数

Z 指数方法是用来表征旱涝空间分布以及旱涝程度的一种数学方法^[19],就某个区域而言,月降水量不服从正态分布,假定月降水量服从 P -III 型分布,对降水量 x 进行正态化处理,将概率密度函数转换为以 Z 为变量的标准化正态分布,其公式为

$$Z_i = 6/C_s (C_s \cdot \phi_i / 2 + 1)^{1/3} - 6/C_s + C_s / 6, \quad i = 1, 2, \dots, 12 \quad (8)$$

式(8)中, C_s 为偏态系数, ϕ_i 为标准变量,均可通过月降水量序列资料计算求得。其旱涝等级列于表 2。

2 用 I_{PMA} 作冬小麦旱涝评估及客观性分析

用兰州、西宁、延安、咸阳、商洛等 20 站冬小麦旱情记录与 I_{PMA} 的年际变化进行对照,结果表明 I_{PMA} 能较好地反映一个地区农作物某个发育时期水分盈亏变化状况和干湿情况,为了便于分析,以延安为例计算了近 20 年逐月 I_{PMA} 值、 Z 指数值及两指数对应的旱涝等级,用来验证冬小麦不同发育期水分盈亏状况和干旱情况。

2.1 延安市冬小麦旱涝评估

从延安近 20 年逐月 I_{PMA} 及 Z 指数中选取几个冬小麦丰歉典型年度(前一年 9 月至当年 6 月为一个年度,依次为 1983, 1990, 1995, 1997, 1999, 2000 年),对丰歉典型年度冬小麦发育期 Z 指数、 I_{PMA} 值与旱涝等级做了详细的对比评估(表 3)。

表 3 延安 I_{PMA} 旱涝评估结果

Table 3 Evaluated results of flood/drought for I_{PMA} in Yan'an

时间(发育期)	I_{PMA} 值(旱涝等级)	Z 值(旱涝等级)	旱涝灾情
1983 年 5 月(孕穗~开花)	10.0472(1)	2.4487(1)	开花期连续降水,严重影响受粉不孕小穗率达 27.1%。
1983 年 6 月(乳熟~黄熟)	4.0711(1)	0.9690(3)	土壤湿度过大,发生严重的涝灾。
1990 年 1 月(越冬)	0.4656(4)	1.0967(2)	1989 年发生秋冬连旱,1990 年 1 月较多雨雪,旱情缓解。
1990 年 2 月(越冬)	1.2952(3)	1.7909(1)	雨雪持续偏多,旱情明显缓解,小麦安全越冬。
1995 年 5 月(孕穗~开花)	-2.9568(7)	-0.9792(5)	冬小麦返青后温高雨少,5 月发生严重土壤干旱。
1995 年 6 月(乳熟~黄熟)	-2.7577(7)	-0.0553(4)	土壤干旱持续,冬小麦穗小粒少,大幅度减产。
1997 年 5 月(抽穗~开花)	-3.9766(7)	-0.8394(4)	冬小麦拔节后降水持续偏少,开花期深层土壤严重缺水。
1997 年 6 月(乳熟~黄熟)	-5.1308(7)	-0.4504(5)	冬小麦灌浆受阻,千粒重下降。
1998 年 11 月—1999 年 2 月(越冬)	-3.7807(7)	-1.352(6)	降水严重缺乏,作物越冬死亡率 24.3%,受害率达 80%。
1999 年 5 月(抽穗~开花)	-3.5269(7)	-0.1832(4)	冬小麦抽穗开花期,叶片卷缩,受害率达 90%。
1999 年 6 月(乳熟~成熟)	-4.8091(7)	-0.7785(5)	温高雨少,旱情严重,造成后期高温早熟,籽粒空瘪率高。
2000 年 3 月(返青)	-3.1661(7)	-0.8667(4)	春季降水偏少 22%,发生严重春旱,冬小麦返青明显推迟。
2000 年 4 月(拔节~孕穗)	-3.9170(7)	-1.1296(6)	土壤相对湿度不足 40%,叶片受害率达 60%。
2000 年 5 月(抽穗~开花)	-5.8703(7)	-1.0106(5)	春旱严重,小穗数与结实粒数下降,导致大幅度减产。

表 3 中所列典型年份冬小麦不同发育阶段都属历史上大旱与大涝持续时段^[21-22], I_{PMA} 基本上能正确评估出来,但 Z 指数对旱涝的评估有一定的偏差,往往减轻了旱情夸大了涝情,但对大涝(大旱)时段的次月易减少灾情。例如,1995 年与 1999 年表中所选时段从历史记录与验证上表明为大旱年, Z 指数对造成冬小麦减产的发育阶段的评估结果却为

正常或偏旱。1983 年 6 月(大涝时段的次月)为大涝, Z 指数的评估结果却为偏涝,与实况有较大偏差。

2.2 I_{PMA} 对冬小麦旱涝评估的客观性分析

2.2.1 对当前降水的响应

为了进一步分析两指数与实况产生差异的原因,绘制了延安市丰歉典型年 I_{PMA} , Z 指数旱涝等级和月降水量 P 变化曲线(图 1)。

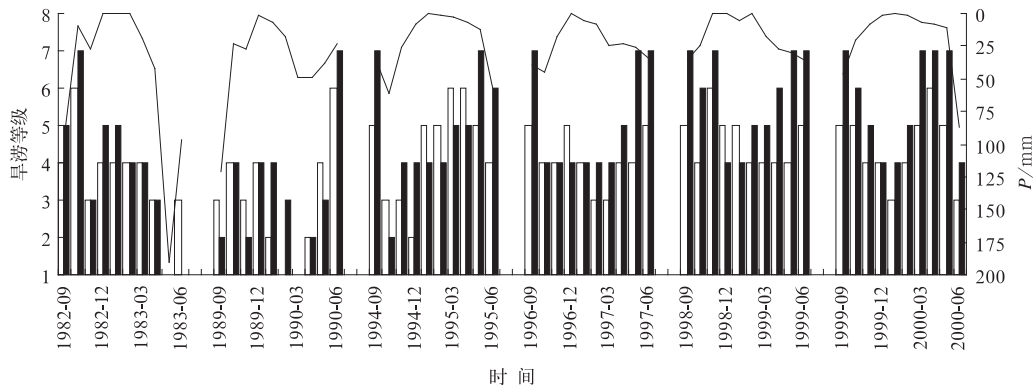


图 1 延安市丰歉典型年 I_{PMA} , Z 指数对应的旱涝等级和月降水量 P 变化曲线

(实心柱形: I_{PMA} ; 空心柱形: Z 指数; 折线: P)

Fig. 1 The monthly flood/drought grades of I_{PMA} and Z index, and the

monthly change curve of precipitation for Yan'an typical years

(solid columniation: I_{PMA} ; hollow columniation: Z ; solid line: P)

从图 1 可看出, Z 指数多数月份随降水的增减而增减,一般情况下,总有减小旱情而扩大涝情的趋势。而 I_{PMA} 与当前降水量表现不完全同步。为此计算了 Z , I_{PMA} 与降水量的相关系数,得出相应的值为 0.6317 与 0.5489,都通过了 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验,对其他年份的计算也有同样的结果。这说明 Z 指数对降水量变化的响应优于 I_{PMA} ^[21]。

因为 Z 指数是只依赖于降水量的旱涝指数,而 I_{PMA} 不仅依赖于降水、土壤湿渡还依赖于气温,因而 Z 指数对降水的反应较 I_{PMA} 灵敏,其指数值基本上随降水量的变化而变化;再者 Z 指数评估体系是建立在单站月降水量历史资料标准差基础上的,这就使其成为建立在降水量平均值上的一个相对评估体系。其弱点在通常情况下表现为,如果某个站月平均降水量低,那么用 Z 指数算法评估得到的旱涝评价结果就会出现旱情偏轻,涝情偏重的结果;又因其不考虑前期湿润度,只与当前湿润度有关,因而相对于实况在灾情持续的次月易减少灾情。

2.2.2 对冬小麦不同发育期气候特征的响应

① 水分平衡方程中各分量

将延安 1961 年 1 月—2000 年 12 月月平均气温、月降水量及 1 m 深土壤有效含水量代入 I_{PMA} 公式。根据 Palmer 双层土壤模式,推定其前一个月(1960 年 12 月) 1 m 深土壤有效含水量为 223.0 mm,上层为 25.4 mm,下层为 197.6 mm,以此为初始值代入各分量计算公式算出 1961 年逐月上、下层土壤有效含水量,依次循环算出 1982—1983 年逐月 $S_s, S_u, E_p, E_r, R_o, R_p, R_{p0}$ 等,进而计算出各分量逐月平均值列于表 4。

由表 4 可知,最大降水量出现在 7,8 月,无明显伏旱,而春旱及夏初干旱严重。四季冷暖干湿变化与作物的需求基本匹配^[23]。表 4 中 \bar{P} 夏季均值最大 101.8 mm,秋季次之 43.9 mm,春季介于秋冬之间,冬季最小; \bar{E}_p 与农作物对水分的需求基本匹配,夏季最大为 126.1 mm,由于春温高于秋温,因此,春季为 52.6 mm 大于秋季 37.6 mm; \bar{R}_p 夏季值最大,秋季次之。说明延安冬小麦在建粒期易受旱,秋季蓄水较差,不利于冬小麦的播种,这与近 17 年来夏、秋干旱日趋频繁相吻合^[24]。以上分析表明水分平衡分量能够客观反映当地冬小麦不同发育期的干湿

表4 延安各水分平衡分量逐月平均值(单位:mm)

Table 4 The monthly averaged water balance values over the historical record for Yan'an (unit: mm)

月份	\bar{P}	\bar{E}_T	\bar{E}_P	\bar{R}	\bar{R}_P	\bar{R}_0	\bar{R}_{P0}	\bar{L}	\bar{L}_P
1月	3.1	0.2	0.2	3.1	101.8	0.0	121.5	0.0	0.2
2月	6.2	0.4	0.4	6.1	98.7	0.0	124.5	0.0	0.4
3月	16.5	12.2	12.2	5.1	92.6	1.2	130.7	2.1	11.6
4月	25.4	43.8	51.2	1.5	89.6	0.0	133.7	19.9	35.2
5月	45.1	67.1	94.4	4.8	108.0	0.0	115.3	26.8	48.8
6月	70.5	88.4	121.2	0.7	130.0	0.0	93.3	18.6	49.5
7月	118.5	114.2	137.7	16.6	147.9	0.0	75.4	12.3	45.8
8月	116.3	102.0	119.4	23.0	143.6	2.1	79.7	10.8	42.3
9月	87.1	64.8	71.3	22.9	129.8	3.6	93.4	4.1	31.2
10月	32.4	33.7	36.1	7.3	111.1	0.0	112.2	8.6	23.7
11月	12.2	5.2	5.3	7.8	112.4	0.0	110.9	0.8	3.9
12月	3.5	0.2	0.2	3.5	105.3	0.0	117.9	0.0	0.2
冬季(12月 —次年2月)	4.3	0.3	0.3	4.3	102.0	0.0	121.3	0.0	0.3
春季(3—5月)	29.0	41.0	52.6	3.8	96.7	0.4	126.6	16.3	31.9
夏季(6—8月)	101.8	101.5	126.1	13.5	140.5	0.7	82.8	13.9	45.9
秋季(9—11月)	43.9	34.6	37.6	12.7	117.8	1.2	105.5	4.5	19.6

气候特征。

② 水分平衡各分量的气候系数

用式(4)~(5)得到延安市各月水分平衡各分量的气候系数列于表5。

表5 延安各月水分平衡各分量的气候系数值

Table 5 The monthly values of four water balance coefficients for Yan'an

月份	α	β	γ	δ
1	1.0000	0.0303	0.0000	0.0000
2	1.0000	0.0621	0.0000	0.0346
3	1.0000	0.0552	0.0092	0.1779
4	0.8556	0.0165	0.0000	0.5655
5	0.7110	0.0445	0.0000	0.5494
6	0.7292	0.0056	0.0000	0.3761
7	0.8291	0.1125	0.0000	0.2691
8	0.8540	0.1600	0.0267	0.2546
9	0.9095	0.1763	0.0379	0.1326
10	0.9326	0.0656	0.0000	0.3622
11	0.9820	0.0696	0.0000	0.1951
12	1.0000	0.0335	0.0000	0.0000

春、夏冬小麦水分需求旺盛,农田蒸散较大,但延安春、夏季降水量往往不能满足农作物对水分的需求,因此春、夏季平均蒸散系数较小;冬季农作物越冬,农田蒸散小,实际蒸散与潜在蒸散相当,因此,冬季值最大为1.0000。冬、春季是延安一年当中降水条件最差的季节,易出现冬春持续干旱,因而补水系数较小分别为0.0420和0.0387,夏秋则较大。

③ 干湿权重因子

表6是用式(6)~(7)算得的延安干湿度权重因子和气候特征权重因子。

表6中 K' 与 K 反映出,冬季均值最大,春季略大于秋季,夏季最小。说明夏季干旱最严重、春旱稍大于秋旱,冬季旱情最轻,这与相关研究一致^[24-25]。这表明权重因子基本反映了延安的气候特征。

以上分析表明, I_{PMA} 中各参数月的变化值能客观反映延安冬小麦在不同发育期的气候特征。相对于只考虑降水量的 Z 指数, I_{PMA} 计算公式中各参数对当地气候特征的反映更全面,因而理论基础较 Z 指数更有说服力。

表6 干湿权重因子及气候特征权重因子

Table 6 Weighting factor K for dryness/wetness and K' for climatic characteristic

因子	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
K	3.8066	3.1122	2.9022	2.2692	1.7898	1.9533	1.4134	1.2964	1.5585	2.2561	2.9917	3.6269
K'	2.8007	2.2898	2.1353	1.6695	1.3168	1.4372	1.0399	0.9538	1.1467	1.6599	2.2011	2.6685

2.2.3 对前期湿润度的响应

对延安 1982 年 7 月—1983 年 6 月水分平衡各分量做了计算,结果见表 7。制作了延安此阶段两指数等级及降水量月际变化曲线(图 2),用来分析 I_{PMA} 与降水量不完全同步的原因。

由表 7 可知,1982 年 7 月—1983 年 6 月,延安

降水条件较好,多数月份 $P > E_p$ 。分析 4 个分量,延安 1982 年 7—12 月 S_u 损耗较小, S_s 波动较大,月 1 m 深土壤相对湿度通过换算大都在 60% 以上,仅 8,10 月不足 50%;1983 年, P 几乎持续大于 E_p , S_s 与 S_u 持续上升,至 1983 年 5 月双层土壤含水量达饱和($S_u + S_s = C_{AW} = 100\%$)。

表 7 延安 1982 年 7 月—1983 年 6 月水分平衡各分量计算结果(单位:mm)

Table 7 The monthly values of each water balance variable for Yan'an from July 1982 to June 1983 (unit:mm)

时间	P	E_p	S_s	S_u	R_p	R	L_p	L	E_T	R_0
1982-07	153.4	138.1	15.3	37.5	121.5	15.3	32.6	0.0	138.1	0.0
1982-08	79.7	111.1	0.0	34.2	106.2	0.0	37.9	18.6	98.3	0.0
1982-09	86.5	68.9	17.6	34.2	124.8	17.6	14.8	0.0	68.9	0.0
1982-10	9.5	47.0	0.0	30.5	107.2	0.0	23.9	21.3	30.8	0.0
1982-11	27.7	5.0	22.7	30.5	128.5	22.7	1.0	0.0	5.0	0.0
1982-12	0.0	0.0	22.7	30.5	105.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1983-01	0.4	0.0	23.1	30.5	105.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
1983-02	0.0	0.0	23.1	30.5	105.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1983-03	19.7	9.1	25.4	38.9	105.3	10.6	9.1	0.0	9.1	0.0
1983-04	41.8	49.5	17.7	38.9	94.7	0.0	31.3	7.7	49.5	0.0
1983-05	189.9	89.1	25.4	132.1	102.4	100.9	35.2	0.0	89.1	0.0
1983-06	97.2	113.1	9.5	132.1	1.55	0.0	98.3	15.9	113.1	0.0

事实上,1982 年 9 月 18 日—1983 年 5 月 3 日(播种~拔节期),冬小麦播种后气象条件较好,冬前分蘖达壮蘖标准。冬季降水稀少,出现轻度干旱,但拔节期降水偏多,土壤水分及时获得补充,延缓了幼穗分化过程,为穗大粒多提供了条件,此阶段冬小麦生长状况较好,无大的旱情。1983 年 5 月 4 日—6 月 30 日(孕穗~成熟期),冬小麦开花期连续降水影响了开花受精,使花粉管吸水过多而破裂,造成结实率降低,致使不孕小穗率达 17.1%。6 月光照少,温度高,使种子呼吸作用增强,严重影响了千粒重。此阶段土壤湿度过大,发生严重的涝灾^[21]。

从图 2 可看出, I_{PMA} 与当前降水的不完全同步性,结合图 1 的分析,说明 I_{PMA} 对旱涝的评估基于旱涝持续累积的结果,即根据当前湿度结合前期湿润度来确定,因而 1983 年 3—6 月旱涝等级分别为 4, 3, 1 与 1。而图 2 中 Z 指数的变化基本上随降水的变化而变化,因其不考虑前期湿润度,因而 1983 年 3—6 月旱涝等级评估分别为 4, 3, 1 与 3;1982 年冬季持续 3 个月无降水,其旱涝等级评估却为正常;1982 年 7 月降水略大于潜在蒸发,旱涝评估却达到涝。这表明 Z 指数对旱涝的评估易扩大涝情,减轻旱情,在大涝持续的次月易减轻灾情,这与延安实情不大相符,对其他典型年份分析也有类似情况。

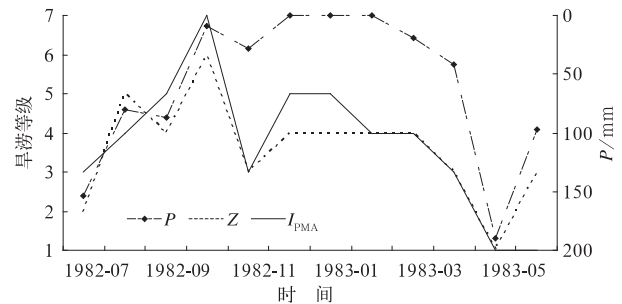


图 2 延安市 1983 年 I_{PMA} 和 Z 对应的旱涝等级及降水月际变化曲线

Fig. 2 The monthly flood/drought grades of I_{PMA} and Z index, and the monthly precipitation for Yan'an

对西北地区东部其他 19 站做同样检验,在两指数的对比分析上与延安具有同样分析结果。

西北地区东部所选 20 个适合于冬小麦生长站点,总的验证结果较好,但具体验证效果有一定的差异。这些差异表明,气候越温暖湿润的地区分析效果越好。具体情况为:陕西各站、甘肃陇东南与陇中地区验证效果最好,因所选站点气候从暖温带半干旱半湿润气候、过渡到北亚热带湿润气候与山地暖温带湿润气候,其气候特征与 Palmer 旱度模式中美国所选 9 个州的气候区较接近;其次是宁夏中南部与青海海东,属温带大陆性半干旱半湿润气候与温带高原大陆性半干旱气候;最后河西与宁夏北部为

分析相对较差的地区,因其位于腾格里大沙漠边缘,常年干燥少雨,属于典型的温带大陆性干旱气候,气候特点与美国所选9个州的气候区有一定差距。

以上分析表明, I_{PMA} 对冬小麦旱涝的评估不仅考虑到当前湿润度,还考虑了前期湿润度,因而比 Z 指数更具有客观性。 I_{PMA} 对冬小麦旱涝的评估结果与事实相符^[21,25-26],说明用 I_{PMA} 评估西北地区东部半干旱半湿润区与湿润区农业旱涝是合理的,接近实际情况。

3 结论与讨论

综上所述,西北地区东部 I_{PMA} 相对于 Z 指数,从衡量农作物水分盈亏量的指标来讲,考虑因素全面,分析结果比较合理。通过延安等多个观测站冬小麦发育期旱涝实例分析表明它能够较好地反映一个地区某个时期农作物的旱涝情况。因此 I_{PMA} 用来作农作物旱涝评估较其他方法具有较多的优越性,适合评估我国西北地区东部半干旱半湿润区与湿润区农作物的旱涝情况。由于 I_{PMA} 模式建立在单个站点基础上,对西北地区东部半干旱半湿润区和湿润区分析较好,但对于干旱严重地区如北疆、毛乌里素等地,一些经验参数还需因地制宜重新修证;再者如果评估区域性干湿则应该以区域气候资料为基础重新修证指数模式。

在此需说明,用修改后的 Thornthwaite 方法计算潜在蒸散量在我国存在一些不足之处。计算方法中当假设温度小于或等于0时,潜在蒸散量为0,在这种假设条件下,我国冬季与初春会出现田间潜在蒸散量为0的现象,这实际上是不合理的。为使可能蒸散量的计算更适合于我国的气候特征,应用彭曼-孟蒂斯方法效果会更好。

参考文献

- [1] Palmer W C. The Abnormally Dry Weather of 1961~1966 in the northeastern United States. Proc Conf Drought in the Northeastern United States. Jerome Spar. New York University Geophys Res Lab Rep TR-68-3, 1967: 32-56.
- [2] Lohani V K, Loganathan G V. Early warning system for drought management using the Palmer Drought Index. *Journal of the American Water Resources Association*, 1997, 33: 1375-1386.
- [3] Skaggs R H. Drought in the United States, 1931—1940. *Annals Assoc Amer Geogr*, 1975, 65: 391-402.
- [4] William M A. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions. *J Climate Appl Meteor*, 1984, 23: 1100-1109.
- [5] Karl T R, Quayle R G. The 1980 summer heat wave and drought in historical perspective. *Mon Wea Rev*, 1981, 109: 2055-2073.
- [6] 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. *自然灾害学报*, 2004, 13(4): 21-22.
- [7] 范嘉泉,郑剑非. 帕默尔气象干旱研究方法介绍. *气象科技*, 1984, 12(1): 63-71.
- [8] 安顺清,邢久星. 修正的帕默尔干旱指数及其应用. *气象*, 1985, 11(12): 17-19.
- [9] 刘巍巍,安顺清,刘庚山. 帕默尔旱度模式的进一步修正. *应用气象学报*, 2004, 15(2): 207-215.
- [10] 黄妙芬. 黄土高原西北部地区的旱度模式. *气象*, 1990, 17(1): 23-27.
- [11] 王春乙,潘亚茹. 时间序列的 ARMA 模型在干旱长期预测中的应用. *中国农业气象*, 1989, 10(1): 58-61.
- [12] 马延庆,王素娥,杨云芳,等. 渭北塬地区旱度指数模式及应用结果分析. *新疆气象*, 1998, 21(2): 33-34.
- [13] 徐向前,刘俊,陈晓静. 农业干旱评估指标体系. *河海大学学报:自然科学版*, 2001, 29(4): 56-60.
- [14] 刘巍巍,安顺清,刘庚山,等. 以气候适宜降水量为基础的水分距平的计算方法. *气象*, 2003, 29(4): 14-23.
- [15] 张强,鞠笑生,李淑华. 三种干旱指标的比较和新指标的确定. *气象科技*, 1998, (2): 48-52.
- [16] Palmer W C. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. *Weatherwise*, 1968, 21(1): 156-161.
- [17] Richard R H, Lawrimore J H. The REDTI and MSI: Two new national climate impact indices. *Heimetal*, 2003, 10(8): 1435-1442.
- [18] Karl T R. The sensitivity of the Palmer drought severity index and Palmer's Z-index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. *Climate Appl Meteor*, 1986, 25(1): 77-86.
- [19] 张存杰,王宝灵,刘德祥,等. 西北地区旱涝指标的研究. *高原气象*, 1998, 17(4): 382-389.
- [20] 马柱国. 中国北方干旱区地表湿润状况的趋势分析. *气象科学*, 2001, 59(6): 738-745.
- [21] 李士高. 陕西省干旱灾害年鉴. 西安:西安地图出版社, 1999: 62-64.
- [22] 《陕西历史自然灾害简要纪实》编委会. 陕西历史自然灾害简要纪实. 北京:气象出版社, 2002: 9-79.
- [23] 吕从中. 陕西省农气候区划. 西安:西安地图出版社, 1998: 2-44.
- [24] 马镜娴,戴彩娣. 西北地区东部降水量年际和年代际变化的若干特征. *高原气象*, 2000, 19(2): 166-171.
- [25] 谢金南,周嘉陵. 西北地区中、东部降水趋势初步研究. *高原气象*, 2001, 20(4): 362-367.
- [26] 冯佩芝. 中国主要气象灾害分析(1951—1980年). 北京:气象出版社, 1985: 23-68.

Evaluating Aridity and Wetness of the Wheat with Palmer Moisture Anomaly Index in the East of Northwest China

Wang Yue¹⁾²⁾ Jiang Zhihong¹⁾ Zhang Qiang³⁾ Li Ke⁴⁾ Liu Mei⁵⁾ Xue Chunfang⁶⁾

¹⁾ (*Key Laboratory of Meteorological Disaster of Jiangsu Province, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044*)

²⁾ (*Climate Center of Shaanxi Province, Xi'an 710015*) ³⁾ (*National Climate Center, Beijing 100081*)

⁴⁾ (*Shaanxi Provincial Meteorological Service Observatory for Economic Crops, Xi'an 710015*)

⁵⁾ (*Weather Observatory of Jiangsu Province, Nanjing 210044*)

⁶⁾ (*Xi'an Meteorological Office, Xi'an 710016*)

Abstract

Considering the lack of agriculture drought index in China, Palmer moisture anomaly index is introduced. Taking example for Yan'an, theoretical formula and physical meaning of Palmer moisture anomaly index is described. Using the method, the monthly Palmer moisture anomaly indexes of twenty wheat observation stations, such as Yan'an, Wuwei, Jingtai, Xining, Guide, Lanzhou etc, from 1961 to 2000 are calculated in the east of Northwest China, and the aridity and wetness of different period of growth for wheat are evaluated. The calculation of Palmer moisture anomaly index values is based on a supply and demand model of the soil moisture at a location. In addition to the current precipitation, air temperature, available water holding capacity (C_{WA}), some factors derived from water balance equation are considered such as potential evapotranspiration, potential recharge, potential runoff, potential loss, surface soil moisture content, and underlying soil moisture content. Factors of several previous months are based on to establish each Palmer moisture anomaly index value. It shows that the method of Palmer moisture anomaly index is more reasonable to study the flood or drought of different period of wheat growth in the east of Northwest China. The extent of drought and flood event of different periods of wheat growth can't be objectively assessed by Z -index. The difference of years with same precipitation and different temperature and C_{WA} can't be distinguished. Palmer moisture anomaly index in comparison with others is a good indication of the severity and extent of flood/drought event and of more objective classification of them, which is therefore quite applicable to an extended area. All these show that Palmer moisture anomaly index is more objective than Z -index for analysis on aridity and wetness in different period of wheat growth, and more accords with the results of analysis on aridity and wetness of the wheat in different period of growth. Analysis shows that Palmer moisture anomaly index can be the analysis tool of agriculture aridity and wetness in semiarid and semi-wetness regions in the east of Northwest China.

Key words: the east of Northwest China; Palmer moisture anomaly index; the wheat; evaluation of aridity and wetness