

Palmer 旱度模式在渭北旱塬泾惠渠灌区的应用研究

刘 招¹, 燕爱玲², 乔长录¹

(1. 长安大学水与发展研究院, 陕西 西安 710064; 2. 陕西省水利厅咨询中心, 陕西 西安 710004)

摘 要: 依据泾惠渠灌区的水文气象历史资料, 应用特定系数和回归方法, 建立了适用于泾惠渠灌区的 Palmer 旱度模式。将该旱度模式应用于灌区干旱系列特征分析, 分析结果给出不同干旱程度可能发生的频率及年内分布, 验证了灌区有较明显的旱化倾向及冬灌期和春灌期大旱的出现机率较大等特征, 这些均与灌区多年来的实际干旱情况相符, 表明了所建立的 Palmer 旱度模式合理, 具有较明确的物理意义且能够反映灌区的干旱特征。

关键词: 干旱; Palmer 旱度模式; 干旱指数; 泾惠渠灌区

中图分类号: S165+.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)03-0259-06

干旱是指收支不平衡形成的水分短缺现象, 其可以发生在任何区域的任何季节。与其它自然灾害相比, 干旱出现的次数多、持续时间长、影响范围大, 是世界范围内造成经济损失最大的自然灾害。鉴于干旱的严重后果和影响, 对于干旱严重程度的评估是非常重要的^[1], 但由于干旱的发生涵盖很多复杂过程, 影响因素很多, 对干旱的精确量化是世界范围的一个难题。多年来, 国内外许多学者提出了一些用于干旱评估的指标和方法, 在这些干旱指标中, Palmer 干旱指标具有较明确的物理意义, 能反映干旱的成因、程度、开始、结束和持续时间等, 是一个考虑因素较为全面且便于计算的干旱指标^[2]。余晓珍^[3]在黑龙江、吉林、河北等 7 个省和自治区的 14 个地区(市)对 Palmer 旱度模式进行适用性检验。发现了一些概念性和技术性问题, 并进行修正后, 得到较为满意的结果。黄妙芬^[4]在中国黄土高原西北部地区利用 Palmer 旱度指标分析了当地的干旱特征。冯建民^[5]等用修正的 Palmer 干旱指数, 建立适合于宁夏旱涝灾害动态监测的旱涝指标体系。

根据 Palmer 旱度模式的基本原理, 在不同地区计算时应结合该地区历史旱灾资料, 建立适用于该区域的 Palmer 旱度模式。本研究拟根据陕西关中泾惠渠灌区长期水文气象资料, 建立适合于该灌区干旱评估的 Palmer 旱度模式, 在此基础上分析灌区干旱特征, 为防旱抗旱、确保灌区粮食生产安全提供理论依据。

1 泾惠渠灌区概况

1.1 灌区自然条件

泾惠渠灌区位于陕西省关中平原地区, 北依嵯

峨山和黄土高原, 泾河、渭河、石川河三面环绕, 内有清峪河横贯; 灌区东西长 70 km, 南北最宽 20 km, 总面积约 1 180 km², 包括泾阳、三原、高陵、临潼、阎良 5 县(区)的 9.03 万 hm² 土地, 46 个乡(镇), 87.37 万农业人口, 人均水地 0.1 hm²; 灌区海拔高程 350 ~ 450 m, 地势自西北向东南倾斜, 土壤属第四纪沉积黄土, 土层深厚。

泾惠渠灌区历经渠首枢纽改造工程、渠系改善工程以及田园化建设, 现在灌区河渠成网、引蓄提相结合、地表水与地下水综合利用, 昔日贫瘠荒芜的黄土高原变成了今日物产丰美、遍地生金的大粮仓, 已成为陕西重要的粮、油、肉、蛋、棉等农产品基地。

1.2 灌区水文气象

泾惠渠灌区属暖温带大陆性半湿润、半干旱气候区, 四季分明, 干湿交替, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥。灌区降水时空分布不均, 多年降水量在 500 ~ 600 mm 之间, 多年平均降水量 538.19 mm, 其中 7 ~ 9 月份降水量最多, 约占全年总降水量的 50% ~ 60%。灌区多年蒸发量在 750 ~ 1 700 mm 之间, 多年平均蒸发量为 1 212 mm。其中年内 3 月份到 9 月份的蒸发量最大, 约占全年总蒸发量的 80% ~ 90%, 泾惠渠灌区试验站多年降水量、蒸发量曲线如图 1 所示。灌区多年平均温度在 8℃ ~ 11℃ 之间, 历史最高气温 42℃, 最低气温 -24℃。灌区无霜期 232 d。最大风力为 9 级, 平均风速 1.8 m/s。

1.3 干旱对灌区的影响

干旱是陕西最常见的自然灾害, 陕西省干旱灾害具有频次大, 区域、时间分布不均的特点, 既有局部地区的小范围干旱, 也有区域性的大范围干旱, 既

收稿日期: 2009-10-21

基金项目: 国家外国专家局、教育部高等学校学科创新引智计划项目(B08039)

作者简介: 刘 招(1975—), 男, 陕西咸阳人, 博士, 讲师, 主要从事水文及水资源研究。E-mail: lz975@163.com。

有几十天、上百天的短时间干旱,也有多季、多年的长时间干旱。据历史资料统计,从公元 1 年至 1949 年,仅关中地区就有 314 年发生旱灾。与历史相比近代发生干旱频次多,不同程度的干旱灾害几乎年

年有。建国后至 2002 年 54 年中,陕西干旱灾害年份达 43 年^[6]。干旱已经成为制约陕西工、农业发展的重要因素之一,其产生的严重后果对以农业生产为主的大灌区影响尤为突出。

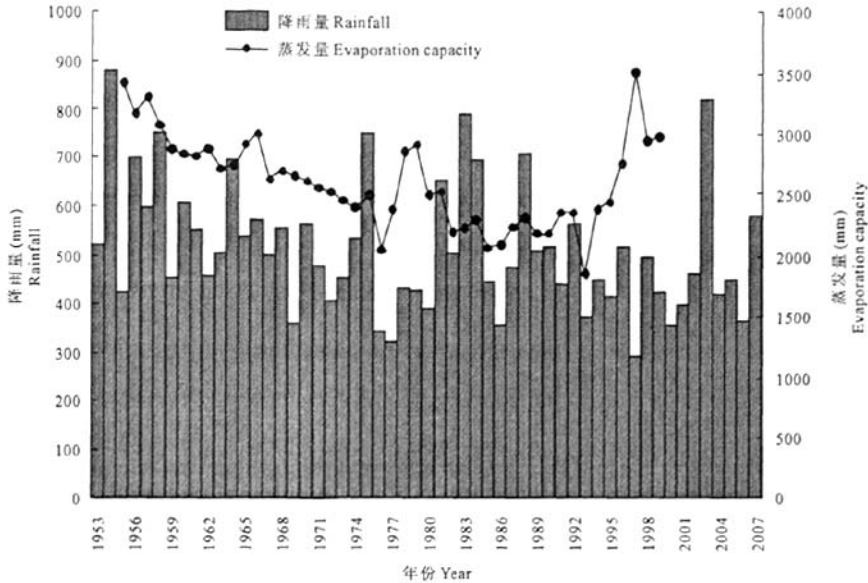


图 1 泾惠渠灌区试验站多年降雨量、蒸发量曲线图

Fig.1 Rainfall curve and evaporation capacity graph of the Jinghiqu irrigation area

泾惠渠灌区是多年的老灌区,由于改革开放以来工农业的发展,加之气候变化导致降雨时空分配差异增大,灌区内干旱时有发生,在一些较严重的干旱年份,直接造成农作物减产,使农业歉收,甚至导致人们饮水发生困难,生命受到威胁。因此,灌区不得不大量开采地下水来补充水量的不足。灌区开发利用地下水资源至今已有 60 多年的历史,并随着国民经济的不断发展和人民生活水平的不断提高,开采量也逐年增大。灌区现有农用机井 1.39 万眼(其中配套机井 1.32 万眼),渠井双灌面积 7.33 万 hm^2 。1997 年实际供水量 2.39 亿 m^3 ,提水能力接近 3 亿 m^3 ,单井出水量 30 ~ 50 m^3/h ,单井控制面积 1.67 ~ 3.33 hm^2 。由于开采量的巨幅增加,使得灌区地下水位持续下降,到 2003 年泾惠渠灌区平均地下水位埋深已达 16 m,在降落漏斗区最深可达 40 m。这些都是长期干旱给灌区带来严重的不利影响。

2 泾惠渠灌区 Palmer 旱度模式的确定

Palmer 认为理想的干旱指标不仅要考虑降水量,而且要考虑其他水文气象因素对干旱形成的作用^[7]。他对干旱的定义是:干旱是指持续数月或数年的一段时间,某一地区内的实际水分低于与气候

类型相适应的水分供给量,即干旱期是一个水分持续欠缺的时段,干旱程度可以认为是水分亏缺量及其持续时间的函数。帕默尔指数的计算过程较复杂,涉及参数较多,但综合起来主要考虑两个方面:水分亏缺量和持续时间。水分异常指标作为描述降水变化的一个统计量,反映了当前降水的异常程度,实际上也反映了水分亏缺量^[8]。

2.1 水分异常指标

由于某一时段的降水量不服从正态分布,采用 PIII 型分布拟合某一时段的降水量效果较好。对降水量 x 进行正态化处理,则将其概率密度函数通过转换运算得到以 Z 为变量的标准正态分布:

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left[\frac{C_s}{2} X_i + 1 \right]^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (1)$$

式中, C_s 为偏态系数; X_i 为降水标准化变量,均可由降雨系列资料求得。即:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^3}{ns^3}; \quad X_i = \frac{R_i - \bar{R}}{s};$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}$$

由式(1)即可求得水分异常指标 Z 值。水分异

常指标考虑了月降水服从偏态分布的实际,而且进行了正态标准化处理,消除了不同地区和时期的气候差异,是一个具有时空对比性的相对指标^[9]。

2.2 泾惠渠灌区 Palmer 旱度模式的推导

根据 Palmer 旱度模式的基本思路,干旱强度应该是水分亏缺量与持续时间两者的函数。设 x_i 为某月旱度指标,其值由水分供求指数和前一个月的旱度指数 x_{i-1} 来决定:

$$x_i = z_i/f_1 + f_2 x_{i-1} \tag{2}$$

式中, x_i 为第 i 月旱度指标, x_{i-1} 为上月旱度指标, f_1 、 f_2 为常数, z_i 为水分供求指数。

为确定灌区 Palmer 旱度指数的计算公式,需确定(2)式中的两个参数。为此,以泾惠渠灌区实验站历史资料为样本,首先计算出若干个不同持续期的最早时段的水分供求指数的累积值。以 X_i 作为样本在 i 时段内的干旱指标,以 Z_i 为样本在 i 时段内的水分供求指数。列出资料中不同持续期的最早时段 ($X_i = -4$) 的累积 Z 值 ($\sum Z_i$),如表 1 所示。

表 1 灌区实验站历史上不同持续期的最早时段的累积 Z 值

Table 1 Accumulated Z value of different time scale in the history of the irrigation area

持续时间(月) Duration (month)	起至时间(年-月) Period(y-m)	累积 Z 值 Accumulated Z value
2	1957-08~1957-09	-2.993002342
3	2001-03~2001-05	-4.216816754
4	1997-05~1997-08	-4.977339226
5	1998-11~1999-03	-6.510482191
6	1998-11~1999-04	-7.218996728
7	1998-09~1999-03	-8.003799761
8	1998-09~1999-04	-8.712314298
9	1998-08~1999-04	-8.371669623
10	1997-05~1998-02	-8.999361607

若以 Z_i 的累积值 ($\sum Z_i$) 为纵坐标,以累积时段为横坐标,则坐标上的任一点 X_i 均为水分亏缺累积值 $\sum Z_i$ 与持续时间 t 的函数,即为我们所求的干旱指数。将表 1 中的 $\sum Z_i$ 与 t 值对应点绘,可得一条回归直线,如图 2 所示。这条直线表示在各种时间尺度的极旱期中 Z 值以所观察到的最大速率的累积值,因此该直线可以表示极端干旱,旱度值 -4.0 。另外,对于干湿等级做如表 2 所示的假定,可将纵坐标从正常到极端分成四等份,另做 3 条处于这条直线上方的虚线,分别代表了轻微、中等和严重干旱的上限,旱度值分别为 -3.0 、 -2.0 、 -1.0 。

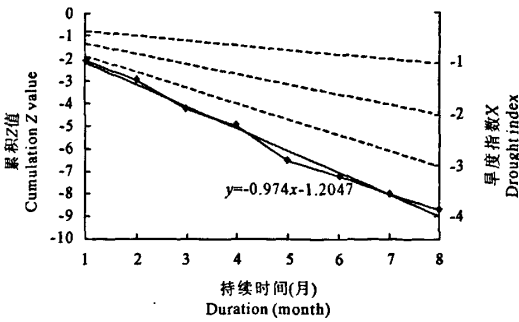


图 2 灌区各时间尺度最干旱期的累积 Z 值

Fig.2 Accumulated Z value of different time scale in the history of the irrigation area

依据样本资料,由图 2 可以求出极端干旱时旱度指数 X_i 与 $\sum Z_i$ 及持续时间 t 的关系:

$$X_i = \sum Z_i / (0.2437t + 0.3012) \tag{3}$$

由此样本所得的关系式(3)应符合一般情况下旱度指数的计算规律,因此可将其推广至一般情况,得单月干旱指数为:

$$x_i = \sum z_i / (0.2437t + 0.3012) \tag{4}$$

方程(4)并不能直接用于逐月的干旱指数计算。因为 Z_i 有正有负,随着 t 的增加, $\sum Z_i$ 趋于零,指数 x 也趋于零。因此必须避免直接考虑时间因子,而使其间接地成为各月对干旱严重程度贡献的累积结果。

设 $t = 0$ 时,没有干旱发生,则: $x_0 = 0$ 。

当 $t = 1$ 时, $x_1 = z_1 / 0.5449$,所以 $f_1 = 0.5449$

当 $t = 2$ 时,假定继续维持 $t = 1$ 时旱度,此时, $x_2 = x_1 = -1$,令 $\Delta x_i = x_2 - x_1 = z_2 / 0.5994 + (f_2 - 1)x_1 = 0$,解得 $f_2 = 0.5528$,将 f_1 、 f_2 代人(2)则得泾惠渠灌区单站干旱指数计算公式为:

$$x_i = z_i / 0.5449 + 0.5528 x_{i-1} \tag{5}$$

式中, x_i 为当月的干旱指数,其对应干旱等级标准如表 2 所示; x_{i-1} 为前一个月的干旱指数,表示了前期的干旱程度对本月的影响; z_i 为当月的降水异常指数,由(1)式求得。

3 Palmer 旱度指数在泾惠渠灌区应用

由于研究区以泾惠渠灌区灌溉试验站为中心,因此我们以泾惠渠灌区灌溉试验站 1953 年 1 月到 2008 年 3 月的月降水观测数据资料为依据,采用以上 Palmer 旱度模式推导的结果,分析灌区的干旱特点。由式(5)计算试验站各月的干旱指数 X_i ,结果如图 3 所示。

表 2 Palmer 干旱指数的等级标准

Table 2 Classification scales for PDSI

旱度指标 Drought index	干旱程度 Degree of drought	作物受灾表现 Crop response
$X_i \leq -4$	极端干旱 Extremely dry	干枯死亡 Dry rot and die
$-4 < X_i \leq -3$	严重干旱 Severely dry	不能正常生长, 干枯 No regular growing, dry rot
$-3 < X_i \leq -2$	中等干旱 Intermediately dry	尚能生长, 但发育受到影响 Still alive, but growth is severely ef- fected
$-2 < X_i \leq -1$	轻度干旱 Slightly dry	能正常生长但发育难以持久 Normal growth can not last for long time
$-1 < X_i < 1$	正常 Normal	能正常生长 Normal growth
$1 \leq X_i < 2$	偏湿 Partially moist	生长正常, 发育受到影响 Normal growth but growth is slightly affected
$2 \leq X_i < 3$	湿润 Moist	生长发育受到影响 Regular growth was effected
$3 \leq X_i < 4$	偏涝 Partially water- logged	生长发育受到严重影响 Regular growth is severely affected
$X_i \geq 4$	涝 Waterlogged	作物被淹, 农田受到毁坏 Corp is drowned and farmland is dev- astate

由图 3 可看出,20 世纪 90 年代以来,泾惠渠灌区有明显的旱化倾向,共有极端干旱月份 6 个,占 50 年代以来极端干旱月份的 54.5%,且由图可见严重干旱和中等干旱也有增多的趋势。20 世纪 50 年

代,干旱月发生的概率为 23.6%,60 年代为 26.7%,70 年代为 27.8%,80 年代为 29.1%,90 年代为 30.8%。进入本世纪,月干旱频率增加到了 38.1%。由此可见,干旱月发生的概率持续上升,而且自 80 年代以来,其上升速率有逐渐加快的趋势。

根据泾惠渠灌区 55 a 逐月干旱指数计算结果,灌区既有历时较短的干旱,也有长时期的连续干旱。统计各月份干旱类型如表 3 所示。由表可见,从 1953 年 1 月到 2008 年 4 月的 664 月中,共有干旱月份 213 个,干旱月份占到总月份的 32.1%,平均干旱周期为每 3.5 月 1 次,干旱月份与洪涝月份之比为 1.55:1,所有干旱月中,极端干旱月份 11 个,重旱月份 15 个,中等干旱月份 68 个,轻旱 119 个。各月份类型统计如表 3 所示。

干旱评价结果显示,干旱出现的月份以 12 月最多,共发生 25 次,其次为 5 月共 22 次,4 月共 19 次。即干旱在冬灌期和春灌期出现的机率较大,而秋灌期及夏灌期出现的机率相对较小。极端干旱的出现具有更加明显的规律,一般发生在 2 至 5 月,其中以 4、5 月份为主,占出现极端干旱月份的 63.7%;严重干旱发生的时间也主要集中在 4、5 月份,约占严重干旱月份的 46.7%;中度干旱在年内的分布较为平均,但也以 4、5 月为高发期;而轻旱则以 12 月冬灌期为主要发生时段。因此,这些时段是灌区防旱抗旱的关键时段。

表 3 由 Palmer 旱度模式得到的干旱特征统计

Table 3 Drought characteristic statistics of Jinghiqu irrigation area using Palmer drought model

干旱程度 Degree of drought	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.	总计 Total
轻旱 Slightly dry	9	9	7	5	7	7	11	13	9	13	11	18	119
中旱 Intermediately dry	6	6	4	7	8	6	5	4	6	6	4	6	68
重旱 Severely dry	1	1	1	4	3	2	—	—	—	1	1	1	15
极旱 Extremely dry	—	1	1	3	4	—	1	—	1	—	—	—	11
总计 Total	16	17	13	19	22	15	17	17	16	20	16	25	213

4 结 论

干旱是我国最常见的自然灾害,其产生的严重后果对以农业生产为主的大灌区影响尤为突出。本研究通过渭北旱塬泾惠渠灌区的历史旱灾资料,建立适用于该区域的 Palmer 旱度模式,并将该旱度模式应用于灌区干旱系列特征分析,分析结果表明,所建立的 Palmer 旱度模式具有较明确物理意义,能反映干旱的程度、开始、结束和持续时间等,与灌区多年来的实际干旱情况相符,取得的主要结论有:

1) 泾惠渠灌区有明显的旱化倾向,干旱月发生的概率持续上升,而且自 20 世纪 80 年代以来,其上升速率有逐渐加快的趋势;

2) 灌区在冬灌期和春灌期出现干旱的机率很大,而秋灌期及夏灌期出现干旱的机率相对较小;

3) 极端干旱和严重干旱事件主要发生在 4、5 月份,占出现极端干旱总数的 63.7%;占出现严重干旱月份总数的 46.7%;中度干旱在年内的分布较为平均,但也以 4、5 月为高发期;而轻旱则以 12 月冬灌期为主要发生时段。

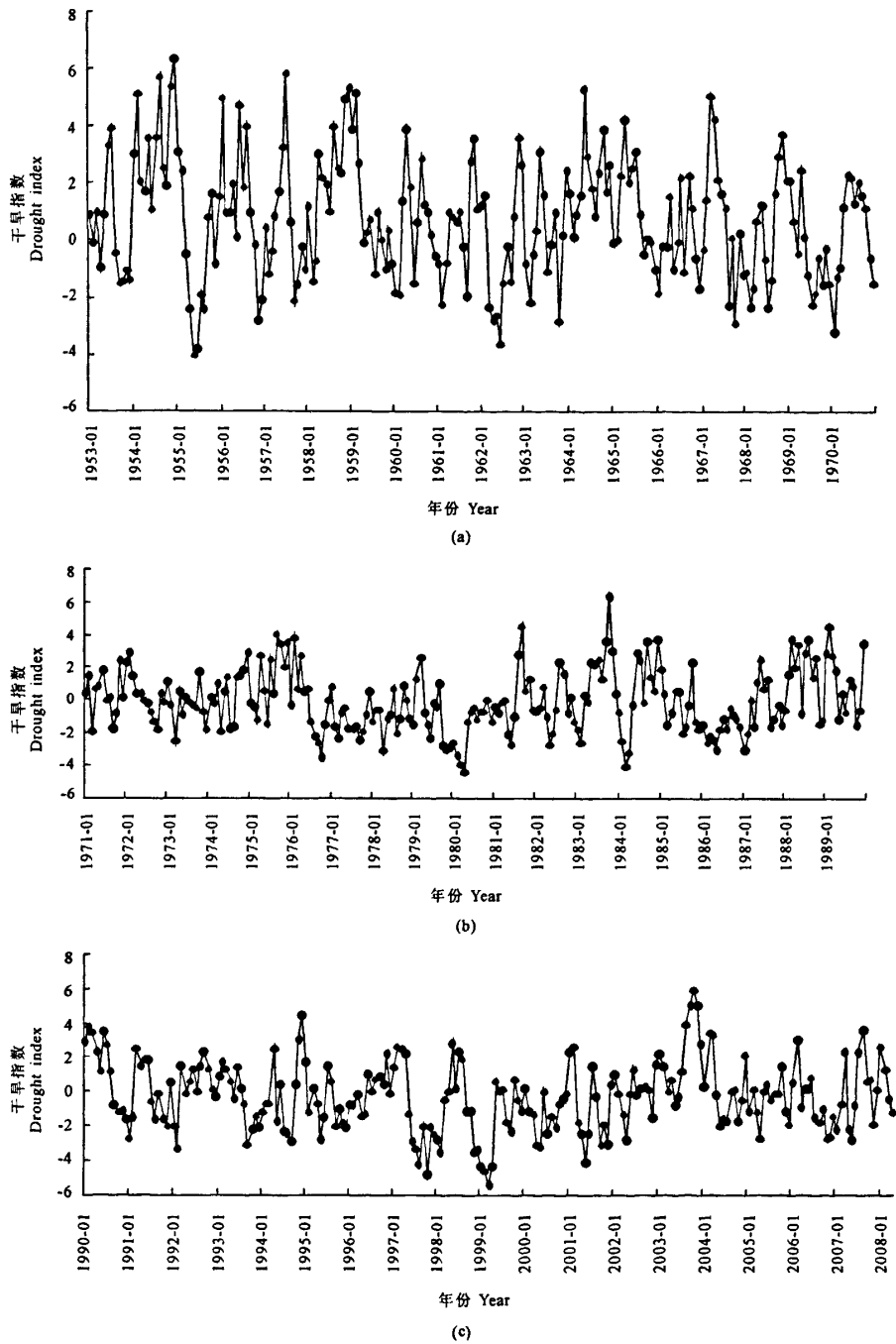


图3 泾惠渠灌区55 a逐月的干旱程度
Fig.3 Drought degree of Jinghuiqu irrigation area in last 55 years

根据以上结果,泾惠渠灌区多年来一直趋于逐步旱化,这对灌区的水资源安全构成严重威胁,因此必须加强对灌区水资源合理利用的研究,合理开发利用地表水和地下水资源,这对保障灌区农业生产,实现环境与经济的和谐发展具有重要意义。

参 考 文 献:

[1] 杨 扬,安顺清,刘巍巍,等.帕尔默旱度指数方法在全国实时旱情监视中的应用[J]. 水科学进展,2007,18(1):52—57.
[2] Makra S L, Horvath R, Pongracz J. Long term climate deviations: an alternative approach and application on the Palmer drought severity index in Hungary[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2002,27:

- 1063—1071.
- [3] 余晓珍. 美国帕尔默旱度模式的修正和应用[J]. 水文, 1996, (6).
- [4] 黄妙芬. 黄土高原西北部地区的旱度模式[J]. 气象, 1990, 17(1): 23—27.
- [5] 冯建民, 梁旭, 张智. 宁夏旱涝灾害动态监测指标及其应用[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(6): 71—77.
- [6] 同海丽. 陕西省干旱特征与抗旱对策及应急供水[J]. 地下水, 2005, 27(4): 232—233.
- [7] 刘庚山, 郭安红, 安顺清, 等. 帕尔默干旱指标及其应用研究进展[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(4): 21—26.
- [8] Guttman N B. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index[J]. Journal of American Water Resource Association, 1998, 34: 113—121.
- [9] 张强. 华北地区干旱指数的确定及其应用[J]. 灾害学, 1998, 13(4): 34—38.

Research on application of Palmer drought model in Jinghuiqu irrigation area

LIU Zhao¹, YAN Ai-ling², QIAO Chang-lu¹

(1. Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710064, China;

2. Department of Water Resources of Shaan'xi Province, Xi'an, Shaanxi 710004, China)

Abstract: Based on long series of hydrology and meteorology data of Jinghuiqu irrigation district at the dry area of north bank of the Weihe River, Palmer drought model suitable for the area was developed by undetermined coefficient method and regression method. Then the drought model was applied for drought characteristic analysis of Jinghuiqu irrigation district, and the frequency of different degree of drought and its distribution in a year was given, and some valuable conclusion was drawn. For example, a severe drought could be arise in winter irrigation period and spring irrigation period, and the drought trend of the irrigation area was also proved. All these results are coincident with actual drought situation of the irrigation area for many past years. Therefore, the Palmer drought model developed for the irrigation area was correct, with a definite physical meaning and can reflect the drought characteristics of the area.

Keywords: drought; Palmer drought model; drought index; Jinghuiqu irrigation area

(上接第 247 页)

Study on the determination of meteorological drought index and drought climate changes in Shanxi Province

ZHOU Jin-hong^{1,2}, LI Li-ping², QIN Ai-min³

(1. Atmospheric Science Institute, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China;

2. Taiyuan Meteorological Bureau, Taiyuan, Shanxi 030082, China; 3. Shanxi Meteorological Bureau, Taiyuan, Shanxi 030002, China)

Abstract: Based on 62 meteorological stations' seasonal and annual precipitation data during 1961 ~ 2008 in Shanxi Province, three meteorological drought indexes are compared and Z index is modified, so seasonal and annual drought indexes for certain stations and Shanxi area are established. The research results show that there is one year of severe drought, four years of heavy drought and three years of slight drought in recent 48 years in Shanxi; The year of severe drought emerged in the mid 1960s, while most of years of heavy and slight drought emerged after the mid 1980s; The years of severe drought in winter and spring emerged separately in the early 1960s and in the late 1990s to the early 21st century, while years of severe drought in summer and autumn emerged in the late 1990s. Uniformly drought is the most common for the special distribution of seasonal and annual drought in Shanxi; The emergence of seasonal and annual drought has not only obvious inter-decadal changes but also significant inter-annual changes. In the recent 48 years, annual drought index in Shanxi presented a significantly downward trend, and an abrupt change emerged after 1977, then the climate in the province has been entering a continuous dry period.

Keywords: meteorological drought index; inter-decadal changes; inter-annual changes; Shanxi