

# 渭北旱塬近 40 年降水波动特征及作物 干旱指标分析计算

马延庆<sup>1</sup>, 刘新生<sup>2</sup>, 刘长民<sup>2</sup>, 马 文<sup>1</sup>, 王 英<sup>1</sup>

(1. 陕西省咸阳市气象局, 陕西 咸阳 712000; 2. 陕西省咸阳市农业气象科学研究所, 陕西 咸阳 712035)

**摘 要:** 利用陕西渭北地区 24 个气象台站 1968~2007 年 40 a 的逐日降水资料, 分析了该区域近 40 a 降水波动特征。结果表明: 渭北地区降雨量多年平均值在空间分布上呈“两高一低”型, 由东向西逐渐增多; 季节分布极不均匀, 降水主要集中在夏秋两季, 占全年降水的 75%~80%; 年际变化较为复杂, 在 24 个测站中, 呈上升趋势的有 9 个, 呈下降趋势的 3 个, 12 个测站变化不明显, 总体降水变化呈上升趋势。根据土壤水分平衡原理, 提出了渭北旱塬农田土壤水分简易计算公式, 计算分析了渭北旱塬主要农作物干旱指标。

**关键词:** 渭北旱塬; 降水特征; 干旱指标

**中图分类号:** S165+.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)05-0254-05

陕西渭北旱塬地处黄河以西、渭河以北的黄土高原地区, 包括延安、宝鸡、咸阳、铜川、渭南五地市的 24 县区, 属于干旱、半干旱地区, 总面积 39 940 km<sup>2</sup>, 占陕西省总面积的 19.5%。干旱是该区域最主要的气象灾害, 干旱造成的损失占全区气象灾害的一半左右。干旱的危害不仅影响农业, 而且危及林业、牧业、生态、水资源、生物乃至人民生活诸多方面, 成为制约国民经济特别是农业经济和农业持续发展的主要因素。因此, 做好干旱监测、评估、预警业务是气象业务发展的需要, 是决策气象服务的需要, 具有重要的现实意义。本文在分析陕西渭北旱塬地区降水变化和时空分布特征的基础上, 分别计算了当地主要农作物干旱指标, 并对其进行了评价, 目的是为旱情监测、预警、评估提供理论依据。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料来源

陕西渭北旱塬 24 个气象台站温度、湿度、降水、土壤水分气象观测资料取自陕西省气候资料档案馆, 土壤含水量测量深度 0~50 cm, 资料年代为 1968~2007 年。

### 1.2 技术方法

利用陕西渭北地区 24 个气象台站逐日降水观测资料, 统计逐月降水量数据, 分别计算出各站年总降水量及春(3~5 月)、夏(6~8 月)、秋(9~11 月)、冬(12~次年 2 月)的季节降水量。用变异系数反映降水量年际变化特征, 用 Mann-Kendall 秩次相关法

检验显著程度, 描述长期变化趋势。

渭北旱塬农田干旱指数用  $I_z = (P + W - E) / 0.8W_0$  计算, 式中:  $I_z$  为旱度指数;  $P$  为有效降水量, 用  $R = W_{i+1} - W_i + E$  计算( $R$  为有效降水量,  $W_i$  为某时期开始时农田的土壤水分含量,  $W_{i+1}$  为某时期结束时农田的土壤水分含量,  $E$  为该时期内农田实际蒸散量);  $W$  为土壤实际含水量(0~50 cm 土壤水分总贮存量, 单位 mm), 用实际观测资料;  $W_0$  为土壤饱和含水量(0~50 cm 土壤水分田间持水量);  $E$  为农田蒸散量, 用伊万洛夫公式加修正系数计算, 即:  $E = 0.0018 \times (T + 25)^2 \times (100 - A) \times 0.8$ , 其中  $T$  为月平均气温,  $A$  为月平均相对湿度。

## 2 结果与分析

### 2.1 渭北旱塬降水波动特征

**2.1.1 降雨量分布** 从渭北各站多年平均降水量可见: 区域年降水分布为“两高一低”, 有三个中心区(图 1), 其中东部包括宜川、富县、黄陵、洛川、黄龙、韩城、合阳、白水、澄城、蒲城、宜君、富平、铜川、耀县 14 县区, 以宜君为高值中心; 中部包括旬邑、淳化、长武、彬县、永寿 5 县, 以彬县为低值中心; 西部包括宝鸡、凤翔、麟游、千阳、陇县 5 县, 以宝鸡市为高值中心。1968~2007 年东部地区多年平均雨量为 560.6 mm, 中部地区为 571.0 mm, 而西部地区多达 611.2 mm, 区域多年平均雨量 572.5 mm, 几乎与中部持平。由此可见, 受季风和地形影响各区域存在着一定差异, 东部地区变化稍小于中、西部地区(表

收稿日期: 2010-03-15

基金项目: 咸阳市科技计划“咸阳市农业气象灾害监测预警与调控技术研究”项目

作者简介: 马延庆(1953—), 男, 陕西咸阳市人, 高级工程师, 主要从事应用气象及气候资源开发研究工作。E-mail: may\_an\_qing@126.com。

1、2),各地区变异系数基本维持在3%水平;年降水多年平均空间分布由东向西,逐渐增多。



图1 渭北旱塬地区40年平均降水量分布

**Fig.1** The average precipitation distribution in Weibei Dry Plain for recent 40 years

表 1 渭北旱塬地区月降水量分布统计(mm)

Table 1 Weibei plateau region Month decline amount of water to distribute to statistics form

| 项目<br>Item                | 1月<br>January | 2月<br>February | 3月<br>March | 4月<br>April | 5月<br>May | 6月<br>June | 7月<br>July | 8月<br>August | 9月<br>September | 10月<br>October | 11月<br>November | 12月<br>December | 年<br>Year |
|---------------------------|---------------|----------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|--------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 降水量 (mm)<br>Precipitation | 5.7           | 26.0           | 20.6        | 37.5        | 51.1      | 62.8       | 112.3      | 108.5        | 94.3            | 51.5           | 17.6            | 5.1             | 592.9     |
| 百分比 (%)<br>Percentage     | 1.0           | 4.4            | 3.5         | 6.3         | 8.6       | 10.6       | 18.9       | 18.3         | 15.9            | 8.7            | 3.0             | 0.9             |           |

表 2 渭北旱塬平均降雨量及变异系数

Table 2 Annual precipitation and coefficient  $C_v$  in Weibei

| 项目<br>Item                              | 东部<br>Eastern region | 中部<br>Central part | 西部<br>Western region | 全区<br>Whole areas |
|-----------------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| 年平均降水量(mm)<br>Annual precipitation      | 560.6                | 571.0              | 611.2                | 572.5             |
| 变异系数 $C_v$ (%)<br>Variation coefficient | 3.09                 | 3.38               | 3.33                 | 3.11              |

**2.1.1.2 季节降雨量分布** 从表3统计结果看:渭北地区年内降水分配极不均匀,但东、中、西部各区域间分布较为一致,主要降水集中在夏秋两季,占全年降水的75%~80%,春季降水较少,约占全年降水的20%,冬季降水仅占全年降水的3%左右,由此可见渭北地区降水季节差异非常明显。造成的不利因素是:一方面夏秋雨水过于集中,容易形成水土流失、山地滑坡和洪涝等自然灾害,大气降水资源难以充分利用;另一方面春季正值小麦、油菜及各种果树和天然牧草的生长需水期,雨量偏少难以满足植物生长需水要求,常常形成春季干旱,影响作物生长发育和产量形成。

2.1.3 降雨量的年际变化 从图2可以看出,近40年来渭北地区降雨年际波动幅度较小,东、中、西部

各区域变异系数基本维持在 3% 左右。为了解降雨的年际变化,我们又计算绘制了降雨量逐年距平和 5 年滑动平均变化曲线,图中细黑线为 5 年滑动平均回归趋势线(图 2)。从图上看,40 年中降雨量正距平最大值出现在 2003 年,负距平低值相继出现在 1977 年、1986 年、1995 年、1997 年;5 年滑动平均曲线大致每相隔 14 年发生正负距平转换,1968 ~ 1973 年虽然降水年际变化较小,但滑动平均距平处于负值状态,表明此时期雨量处于减少阶段;1974 ~ 1988 年,降雨增多,基本处于正距平状态;1989 ~ 2002 年,降水重新开始减少,基本处于负距平状态,2003 年后,又处于新的降水增加期。

表3 渭北旱塬降雨量季节分布(%)

Table 3 The ratio of seasonal precipitation to annual precipitation in Weibei

| 区域<br>District    | 春(3~5月)                   | 夏(6~8月)                    | 秋(9~11月)                    | 冬(12~2月)                   |
|-------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|                   | Spring<br>(Mar.<br>~ May) | Summer<br>(Jun.<br>~ Aug.) | Autumn<br>(Sept.<br>~ Nov.) | Winter<br>(Dec.<br>~ Feb.) |
| 全区 Whole areas    | 19.7                      | 47.6                       | 29.3                        | 3.5                        |
| 东部 Eastern region | 19.4                      | 48.2                       | 28.9                        | 3.6                        |
| 中部 Central part   | 19.7                      | 46.9                       | 29.7                        | 3.6                        |
| 西部 Western region | 19.8                      | 47.5                       | 29.5                        | 3.2                        |

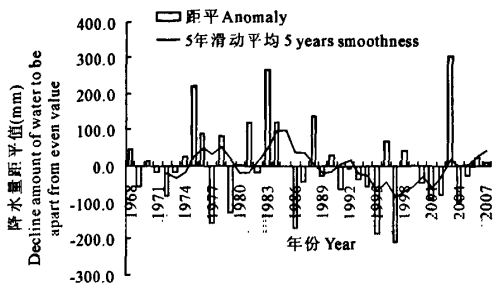


图 2 1968 ~ 2007 年渭北降雨量逐年距平及 5 年滑动平均变化  
Fig.2 The precipitation of anomaly and 5 years smoothness in Weiwei from 1968 to 2007

Mann—Kendall 非参数秩次相关检验法已经广泛地用于检验气象资料的趋势成份,包括气温和降雨序列等,究其原因主要是,与参数统计检验法相比,非参数检验法更适用于非正态分布的资料<sup>[5]</sup>。本文使用 Mann—Kendall 检验分析法对渭北旱塬 24 个气象台站近 40 年的降水序列在 90%的置信区间上进行趋势检验。Z 值的显著性检验表明:渭北地区年降水量 Z 值为 1.3052,通过了 90% 信度检验(检验值 1.28),年际间变化总趋势为上升。在 24 个测站中,年际降水变化呈上升趋势有 9 个站,分别为宜川、黄龙、洛川、合阳、蒲城、黄陵、旬邑、淳化和陇

县,占 37.5%,上升幅度最大为黄龙。年际降水变化呈下降趋势有 3 个站,分别为富县、铜川和长武,占 12.5%,下降幅度最大为长武。其余站降水变化趋势不明显。

2.2 渭北旱塬作物干旱指标分析计算

干旱是指水分的收与支或供与求不平衡形成的水分短缺现象,是一种缓慢连续的过程,它的发生发展包含了很多复杂的过程和因子,不仅与降水的多少及其分配有关,而且还与蒸发、土壤含水量、径流量、土壤土质、植被等多种因素有关<sup>[2]</sup>。对于干旱指标的研究,已有很多专家学者从各个不同角度给出经验公式或指标<sup>[3]</sup>。渭北旱塬属雨养农业区,我们在田间调查时发现土壤湿度维持在其饱和量的 80%即可满足作物的正常生长发育要求。利用 1981 年—2007 年降水量和农业气象观测资料,根据土壤水分平衡原理,提出了渭北旱塬农田土壤水分简易计算公式,通过计算与分析,确定了渭北旱塬地区不同作物的干旱指标(见表 4)。

2.2.1 干旱指数与土壤湿度关系 渭北旱塬地区农田干旱指数与土壤湿度的关系见(表 5),其模拟数学表达式为:  $I_z = 12.679W + 5.7573$ , ( $R^2 = 0.978$  通过 F 检验)。由此可见,该干旱指数能较好地反映农田实际土壤水分含量。

表 4 渭北旱塬地区农田干旱指标  
Table 4 Weiwei plateau region drought indicators

| 作物<br>Plant     | 重旱<br>Heavy drought | 轻旱<br>Mildly arid      | 适宜<br>Appropriate      | 偏湿<br>Partial wetlands |
|-----------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 小麦 Wheat        | $I_z < 0.42$        | $0.42 \leq I_z < 0.60$ | $0.60 \leq I_z < 0.71$ | $0.71 \leq I_z$        |
| 玉米 Corn         | $I_z < 0.43$        | $0.43 \leq I_z < 0.64$ | $0.64 \leq I_z < 0.75$ | $0.75 \leq I_z$        |
| 棉花 Cotton       | $I_z < 0.46$        | $0.46 \leq I_z < 0.61$ | $0.61 \leq I_z < 0.70$ | $0.70 \leq I_z$        |
| 苹果 Apple        | $I_z < 0.35$        | $0.35 \leq I_z < 0.48$ | $0.48 \leq I_z < 0.85$ | $0.85 \leq I_z$        |
| 牧草 Herd's grass | $I_z < 0.31$        | $0.31 \leq I_z < 0.44$ | $0.44 \leq I_z < 0.88$ | $0.88 \leq I_z$        |

表 5 各月平均农田干旱指数与土壤湿度关系  
Table 5 On the average farmland drought index and soil moisture relations

| 月份<br>Month | 1 月<br>January | 2 月<br>February | 3 月<br>March | 4 月<br>April | 5 月<br>May | 6 月<br>June | 7 月<br>July | 8 月<br>August | 9 月<br>September | 10 月<br>October | 11 月<br>November | 12 月<br>December |
|-------------|----------------|-----------------|--------------|--------------|------------|-------------|-------------|---------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| $I_z$       | 0.67           | 0.55            | 0.44         | 0.4          | 0.36       | 0.21        | 0.55        | 0.66          | 0.90             | 0.85            | 0.79             | 0.68             |
| W(%)        | 14.1           | 12.5            | 11.7         | 10.8         | 10.5       | 8.40        | 12.9        | 13.7          | 18.0             | 16.6            | 15.0             | 14.4             |

2.2.2 干旱指数的空间分布及分区 根据各站点年平均干旱指数计算结果,将渭北旱塬地区划分为三个不同的气候区域(图 3)。1 区:主要包含渭北地区西部 9 个县区 and 宜君、黄陵两县。该区降水资源相对丰富,夏秋季两季土壤有效含水量高,有利于夏播和秋作物的生长。凤翔、麟游代表了渭西北部干

旱农业气候区。2 区:地域比较分散,涵盖陇县、渭北中部和北部等 8 个县区。旬邑、洛川代表了渭北中部干旱气候区。3 区:主要涵盖 7 个县区。合阳代表渭东北部干旱农业气候区。该区也是渭北旱塬干旱多发的地区。



图3 渭北旱塬地区年干旱指数分布

Fig.3 Weibei plateau region farmland drought index distribution

### 2.2.3 春播期干旱指数空间分布

四月份是渭北旱塬地区果树发芽开花期,也是小麦拔节孕穗的关

键期。这段时期,春玉米、烤烟等作物开始播种。农业气候干旱对农业生产的影响也最为显著。



图4 渭北旱塬地区四月份干旱指数分布

Fig.4 Weibei plateau region farmland drought index distribution in April

图4所示,渭北地区呈现出自东向西自南到北干旱指数逐渐减小的特点。渭北东部地区干旱指数最低,所受到的干旱威胁也较重。在春播时段,自然降水无法满足春播作物正常播种和出苗的需求,必须借助灌溉补水措施保证春播工作的进行。

#### 2.2.4 干旱指标的应用

(1) 干旱灾害分析研究。我们在研究本地区旱灾的发生频率、季节分布特征、时空变化特点等方面,都是依此为基础分析的。实践表明在干旱灾害的确定评估中, $I_z$ 指数干旱指标明显优于降水量分级指标。这里以咸阳2008年为例。计算了2008年1~12月的 $I_z$ 值,结果表明:1、2、9、10月偏湿,但1、2月各种作物均处于停止生长期,影响不大,9、10月对玉米、苹果、棉花影响较大,造成玉米贪青晚熟,苹果水锈、裂果增多,棉花裂铃,吐絮发育迟缓,但充沛

的土壤墒情对小麦播种十分有利;3月土壤水分不能满足小麦、苹果生长要求,属轻旱,但能满足牧草返青要求;4月小麦、棉花属轻旱,但却能满足牧草、果树生长要求;5、6月重旱,各种作物均受干旱胁迫;7月轻度干旱,导致苹果虫害发生,玉米出苗迟缓;8月轻旱,玉米生长发育受到影响;11月对棉花、玉米虽属轻旱,但此时该作物已进入收获期,影响不大,对小麦、苹果、牧草为适宜;12月再度出现轻旱,小麦冬前分蘖受到一定影响;以上结论,与实际情况十分吻合(见表6)。

(2) 干旱监测预警。我们在建立干旱监测预警系统及其业务平台中,在年、季分析的基础上,增加月、旬时段,更主要的是需要滑动计算各不同时段及各不同累计时段的干旱指数及干旱指标。组建动态的干旱指数数据库,进而建立相关决策服务平台。

表 6 农田干旱指数计算结果  
Table 6 The calculation of field drought index

| 项目<br>Item            | 1 月<br>January | 2 月<br>February | 3 月<br>March | 4 月<br>April | 5 月<br>May | 6 月<br>June | 7 月<br>July | 8 月<br>August | 9 月<br>September | 10 月<br>October | 11 月<br>November | 12 月<br>December |
|-----------------------|----------------|-----------------|--------------|--------------|------------|-------------|-------------|---------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| $T(^{\circ}\text{C})$ | -3.4           | 0.1             | 10.6         | 14.8         | 20.9       | 24.6        | 26.1        | 24.4          | 19.3             | 13.7            | 6.8              | 1.0              |
| $A(\%)$               | 79             | 71              | 62           | 73           | 63         | 63          | 73          | 76            | 84               | 87              | 74               | 55               |
| $W(\text{mm})$        | 126            | 136             | 119          | 105          | 90         | 97          | 92          | 89            | 115              | 137             | 125              | 123              |
| $I_2$                 | 0.77           | 0.80            | 0.45         | 0.52         | -0.15      | 0.24        | 0.45        | 0.57          | 0.99             | 0.79            | 0.60             | 0.55             |

注:在计算中  $W_0 = 145(\text{mm})$ 。

### 3 结论与讨论

本文用变异系数分析、Mann—Kendall 秩次相关法,结合渭北旱塬 1981~2007 年降水资料,分析研究了该区域的降水波动特征;同时根据农业气象观测资料,利用土壤水分平衡原理,建立了适用于渭北旱塬的作物干旱指标。根据研究结果可以得到以下几点初步结论:

1) 渭北地区降雨量多年平均值在空间分布上呈“两高一低”型,由东向西逐渐增加;其季节分布极不均匀,降水主要集中在夏秋两季,占全年降水的 75%~80%,极易形成春季干旱;其年际变化较为复杂,在 24 个测站中,呈上升趋势的有 9 站,呈下降趋势的 3 个站,12 个测站变化不明显,但全区近 40 年总体降水变化呈上升趋势,并通过 90% 信度检验。

2) 利用实际观测资料计算出的渭北旱塬主要农作物干旱指标,较好地反映了该区域不同作物干旱等级特征,可以作为气候监测和评价的指标之一。

3) 该指标综合考虑了降水、蒸散量、土壤实际含水量等因素,对指导农业生产,开展有针对性的气象服务具有一定的现实意义。

### 参考文献:

- [1] 欧阳海,郑步忠,王雪娥,等.农业气候学[M].北京:气象出版社,1990.
- [2] 佟长福,郭克贞,余国英,等.西北牧区干旱指标分析及旱情实时检测模型研究[J].节水灌溉,2007,(3):6—9.
- [3] 王劲松,郭江勇,周跃武,等.干旱指标研究的进展与展望[J].干旱区地理,2007,(1):60—65.
- [4] 任朝霞,杨达源.西北干旱区近 50 年气候变化特征与趋势[J].地球科学与环境学报,2007,(1):90—102.
- [5] 徐宗学,张楠.黄河流域近 50 年降水变化趋势分析[J].地理研究,2006,(1):27—33.
- [6] 陈雷,杨兴国,把多辉,等.甘肃农业干旱动态监测指标的确定及其应用[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):144—148.
- [7] 钱正安,吴统文,宋敏红,等.干旱灾害和我国西北干旱气候的研究进展及问题[J].地球科学进展,2001,(1):28—38.
- [8] 徐国昌.中国干旱半干旱区气候变化[M].北京:气象出版社,1997:1—101.
- [9] 罗哲贤.西北干旱研究的若干问题[J].干旱气象,2003,21(4):55—58.
- [10] 马延庆,刘长民.渭北旱塬农田旱情分析与抗旱增产途径研究[J].西北农业学报,1997,6(4):69—72.
- [11] 朱炳瑗,谢金南,邓振镛.西北干旱指标研究的综合评述[J].甘肃气象,1998,16(1):35—36.

## Weibei Plateau precipitation fluctuations in the past 40 years, characteristics and calculation of crop drought index analysis

MA Yan-qing<sup>1</sup>, LIU Xin-sheng<sup>2</sup>, LIU Chang-min<sup>2</sup>, MA Wen<sup>1</sup>, WANG Ying<sup>1</sup>

(1. Weather bureau of Xianyang city, Xianyang, Shaanxi 712000, China;

2. Xianyang academe of Agro-meteorology, Xianyang, Shaanxi 712035, China)

**Abstract:** The use of Shaanxi Weibei area 24 meteorological stations, 1968~2007, 40 years of daily precipitation data, analysis of the fluctuations in regional precipitation characteristics of the past 40 years. The results showed that: Weibei area for many years the average rainfall distribution in space was “two high and one low” type, decreasing from west to east; seasonal distribution is uneven, precipitation mainly in summer and autumn, accounting for annual precipitation of 75%~80%; interannual variability is more complicated, in 24 stations in the upward trend of 9 stations, the downward trend in three stations, 12 stations did not change significantly. The overall trend of precipitation was upward. Based on the soil water balance principle, with soil moisture simple formula, Weibei plateau dryland drought index of major agricultural crops was calculated.

**Keywords:** Weibei plateau; rain character; dry index