

# 山西万荣县近52 a 气候特征及其与参考作物蒸散量和土壤湿度的关系

张高斌<sup>1,2</sup>, 郭建茂<sup>1</sup>, 吴元芝<sup>3</sup>, 景淑贞<sup>4</sup>

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 山西省万荣县气象局, 山西 万荣 044200; 3. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 4. 山西省晋中市气象局, 山西 榆次 030600)

**摘要:**利用山西省万荣县气象观测资料,分析了1957~2008年气候变化特征。结果表明:万荣县年平均气温呈上升趋势,其上升速率为 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。平均气温冬季升高最大;年平均最高、最低温度与年平均温度的整体变化一致,呈明显升高趋势。万荣县降水量总体呈减少趋势,其减少速率为 $22.1\text{ mm}/10\text{ a}$ 。年日照时数、年小型蒸发皿蒸发量、年平均风速呈下降趋势。年参考作物蒸散量下降速率为 $21.8\text{ mm}/10\text{ a}$ ,这与年日照时数减少、年平均风速变小、年平均水汽压增长、年平均最低温度增大有关。麦田年平均土壤湿度呈下降趋势,特别是进入21世纪以来,土壤湿度在小麦生育期下降较为明显。麦田土壤湿度下降的主要原因是降水量的减少。

**关键词:**气候变化;温度;参考作物蒸散量;土壤湿度;土壤干旱

**中图分类号:**P468.0+2

**文献标识码:**A

## 引言

IPCC(2007)报告指出<sup>[1-2]</sup>,全球气候呈现以变暖为主要特征的显著变化,近50 a平均线性增暖速率为 $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。许多学者对全国和区域气候变化方面已有大量研究<sup>[3-7]</sup>,杜顺义等<sup>[8]</sup>研究表明,近50 a山西省平均气温上升了 $1.65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,增温速率达到了 $0.33\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ;平均降水量减少了 $22.5\text{ mm}$ 。陆春花等<sup>[9-10]</sup>对山西省区域气候特征分析表明,区域气温也呈明显上升趋势,降水量呈下降趋势<sup>[9]</sup>。对全国各地日照时数进的分析表明呈减少趋势<sup>[9,11-13]</sup>。

梁桂花等<sup>[14]</sup>对朔州市蒸发量的研究揭示了蒸发量有明显的下降趋势,并对其影响因子进行了分析。李春强等<sup>[15]</sup>对河北省参考蒸散量的分析表明减少速率达 $43.58\text{ mm}/10\text{ a}$ ;风速减小和日照时数减少是参考作物蒸散量下降的主要原因。宁惠芳<sup>[16]</sup>、张强<sup>[17]</sup>等的研究显示了甘肃和西北地区有气候暖干化的事实。

本文对山西省万荣县近52 a气候变化和参考作物蒸散量变化特征进行了研究,同时分析了旱地麦田土壤湿度变化,为农业部门在气候变化背景下合理安排农业生产以及各级政府合理的利用当地气候资源提供参考和科学依据。研究结果将对黄土旱塬冬小麦产区应对气候变化具有一定参考价值。

## 1 研究区域与资料方法

### 1.1 研究区域概况

万荣县地处山西省南部的运城市,是重要的农业生产基地。属于暖温带半湿润气候区,光热资源相对丰富。水资源不足是限制该地区农业和经济发展的最主要因素,干旱为当地主要气象灾害。主要作物为冬小麦,大部分为旱地。

### 1.2 资料与方法

#### 1.2.1 资料

万荣县气象局始建于1957年,属国家一般站,农气一级观测站。所用资料为1957~2008年气候观测资料以及1964~2008年0~100 cm各旬土壤

收稿日期:2010-09-25;改回日期:2011-01-05

资助项目:干旱气象科学基金“卫星资料干旱半干旱陆面过程中的初步应用”(IAM 200905)项目资助

作者简介:张高斌(1968-),男,山西稷山人,在读硕士,工程师,主要从事干旱、农业气象、气象服务工作。E-mail:zhanggaobin2006@126.com

湿度资料。土壤湿度观测地段为纯旱地,土层深厚,土质为中壤土,地下水位较深(约 180 m),种植作物为小麦,一年一作。观测地段为典型的旱垣地形,地势平坦,有较好的代表性。全县小麦产量资料来源于万荣县统计局。

气象观测环境有如下变化:1964 年因果树障碍由原来果树场迁到现站,2006 年以后因城市建设,现站观测环境有些变差。观测仪器没有大的变化,所有资料均为人工站观测资料。

### 1.2.2 研究方法

应用趋势分析方法,对气象要素与参考作物蒸散量及土壤湿度进行线性趋势倾向分析。

趋势分析的方法采用线性趋势法:可以建立因素( $Y_i$ )与时间序列( $t_i$ )之间的一元线性回归方程,即: $Y_i = b_0 + bt_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), 其中  $b_0$  和  $b$  分别为回归常数和回归系数(线性趋势),  $n$  为资料长度,利用最小二乘法计算出  $b_0$  和  $b$ , 当  $b$  为正(负)时表示在统计时段内该要素是线性增加(减小)的。检验趋势是否显著,可通过计算  $Y_i$  与  $t_i$  之间的相关系数  $r$ , 并对  $r$  进行  $T$  检验,以确定趋势变化是否显著。

采用 FAO 推荐的 Penman - Monteith 公式  $ET_0$

$$= \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 \times VPD}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

计算参

考作物日蒸散量,式中,  $ET_0$  为参考作物蒸散量 ( $\text{mmd}^{-1}$ );  $R_n$  为作物表面净辐射 ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ );  $G$  为土壤热通量密度 ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ );  $T$  为 2 m 高处的平均气温 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $U_2$  为 2 m 高处 24 h 平均风速 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $VPD$  为 2 m 高处水气压差 ( $\text{kPa}$ );  $\Delta$  为饱和和水气压曲线斜率 ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $\gamma$  为干湿表常数 ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ )。

## 2 气候要素变化

### 2.1 气温变化

由图 1 可知,万荣县年平均气温  $12.0^{\circ}\text{C}$ 。自 1957 年以来,万荣县气温总体呈上升趋势,其增加速率为  $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 低于全省增温速率  $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ <sup>[8]</sup>, 且相关系数  $R$  通过了  $\alpha = 0.05$  的显著性检验。进入 1990 年代中期以来,气温上升迅速,尤其是 1994 年以后持续升高,且气温变幅增大,2006 年年平均气温达  $13.5^{\circ}\text{C}$ , 为历史最高。

由表 1 可知,1950 年代气温稍高,1960 ~ 1980 年代气温基本没有变化,进入 1990 年代,气温较 1980 年代增加了  $0.8^{\circ}\text{C}$ , 到 21 世纪初上升到  $12.9^{\circ}\text{C}$ , 较 1980 年代增加了  $1.3^{\circ}\text{C}$ 。总之,各年代际平

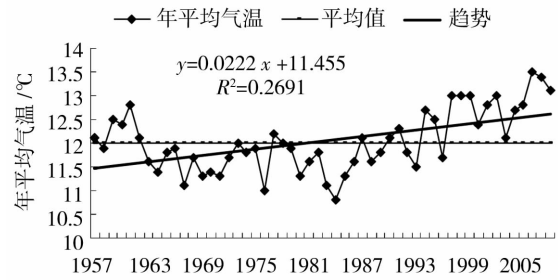


图 1 1957 ~ 2008 年万荣县平均气温变化

Fig. 1 Variation of annual average temperature in Wanrong county of Shanxi Province from 1957 to 2008

均气温总体呈上升趋势。

表 1 万荣县平均气温年代际变化(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

Tab. 1 Decadal change of annual average temperature during 1957 - 2008 in Wanrong county (Unit:  $^{\circ}\text{C}$ )

	冬季	春季	夏季	秋季	年
1957 ~ 1960	-1.1	13.3	24.9	12	12.2
1961 ~ 1970	-2.4	12.7	25	11.6	11.7
1971 ~ 1980	-2.4	12.8	24.8	11.6	11.7
1981 ~ 1990	-2.1	12.4	24.2	11.7	11.6
1991 ~ 2000	-1.0	13.3	25.0	12.1	12.4
2001 ~ 2008	-0.3	14.8	24.9	12.4	12.9

通过分析季平均气温变化发现:冬季平均气温变化最大,其上升速率为  $0.39^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ;春季次之,上升速率为  $0.34^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ;秋季为  $0.17^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ;夏季平均气温变化则不明显。进一步研究发现:1950 年代末到 1960 年代初冬季平均温度较高,1960 年代中后期最低,然后逐渐升高,1990 年代中期以后增暖显著。52 a 来,冬季平均温度最高值与最低值的变化幅度达  $6.2^{\circ}\text{C}$ , 最高值为  $1.3^{\circ}\text{C}$ , 出现在 2007 年;最低值为  $-4.9^{\circ}\text{C}$ , 出现在 1968 年。

1990 年代后,进入 21 世纪除夏季外各季气温都有较大上升。年平均温度升高,冬季气温升高的贡献最大。

年平均最高气温的整体变化趋势跟平均气温的整体变化趋势一致,增加速率为  $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 1997 年后增加速率较大。

年平均最低气温变化特征则表现为 1950 年代末至 1960 年代中期为暖期,1959 年达到高峰 ( $7.4^{\circ}\text{C}$ ); 之后到 1970 年代初为冷期,1970 年达最低 ( $4.9^{\circ}\text{C}$ )。1994 年以后,气温明显升高,2007 年达最高 ( $8.2^{\circ}\text{C}$ ), 万荣县年平均最低温度的整体变化

趋势增长速率为  $0.18\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

多年年极端最低气温低值为  $-24.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1971 年), 多年年极端最低气温高值为  $-11.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (2007 年), 多年年极端最低气温增长速率为  $0.35\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

## 2.2 降水变化特征

统计表明, 52 a 来, 万荣县年降水量平均值为  $522.2\text{ mm}$ 。其中, 最大值为  $979.5\text{ mm}$ , 出现在 1958 年; 最小值为  $206.1\text{ mm}$ , 出现在 1997 年。由图 2 可知, 52 a 来, 降水量总体呈减少趋势, 相关系数  $R$  通过了  $\alpha = 0.1$  的显著性检验。其减少速率为  $22.1\text{ mm}/10\text{ a}$ , 显著高于全省水平 ( $17.3\text{ mm}/10\text{ a}$ )<sup>[9]</sup>。

1957~1965 年期间, 降水变化较为剧烈, 1965~1979 年降水减少, 1980 年代初降水增多。

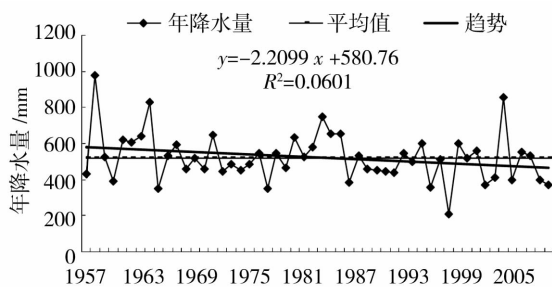


图 2 山西万荣县 1957~2008 年年降水量变化  
Fig. 2 Variation of annual precipitation in Wanrong county of Shanxi Province during 1957-2008

由表 2 可知, 进入 1990 年代降水减少较为明显。从降水量线性倾斜率分析 7~8 月降水减少较多。

对日降水量  $\geq 50\text{ mm}$  的暴雨统计, 暴雨日最多年份为 1958 年, 有 3 d。暴雨最大值是 1971 年 8 月 21 日, 为  $125.5\text{ mm}$ 。1988~1991 年为最大暴雨真空区, 2006~2008 年也没暴雨。可见暴雨也有减少的趋势。

表 2 山西万荣县降水量年代际变化(单位:mm)

Tab. 2 Decadal change of annual and seasonal precipitation during 1957-2008 in Wanrong county (Unit:mm)

	冬季	春季	夏季	秋季	年
1957~1960	20.1	98.1	365.8	99.4	583.3
1961~1970	9.7	116.3	257.9	176.3	560.4
1971~1980	20.9	92.1	262.6	130.4	505.6
1981~1990	16.9	107.4	284	133.6	542.9
1991~2000	14.2	98.8	247.7	124.6	484.5
2001~2008	26	73.6	238.6	148	486.1

参照《山西省农业气候资源图集》<sup>[18]</sup> 连阴雨标准: 连阴雨日出现 4 d 或以上, 过程降水量  $\geq 15.0\text{ mm}$ 。连阴雨最长时间为 1976 年 11 d (8 月 19~29 日), 同时为连阴雨最大雨量  $245.3\text{ mm}$ 。出现连阴雨最多年份为 1958 年, 有 6 个连阴雨阶段。1958 年 11 月、1961 年 10 月、1963 年 5 月、1992 年 9 月都在一个月出现 2 次连阴雨, 1962 年 9 月 22~30 日和 10 月 2~10 日 2 次连阴雨相差 1 d, 可见 1950 年代末到 1960 年代初连阴雨比较集中。

## 2.3 日照变化特征

万荣县年平均日照时数为  $2301.5\text{ h}$ 。最大值为  $2573.8\text{ h}$ , 出现在 1957 年; 最小值为  $1919.7\text{ h}$ , 出现在 1964 年。

由图 3 可知, 52 a 来, 日照时数呈下降趋势, 减少速率为  $42.8\text{ h}/10\text{ a}$ , 且相关系数  $R$  通过了  $\alpha = 0.05$  的显著性检验。对各月分析, 6 月、8 月日照时数下降明显, 4 月日照时数稍有上升。

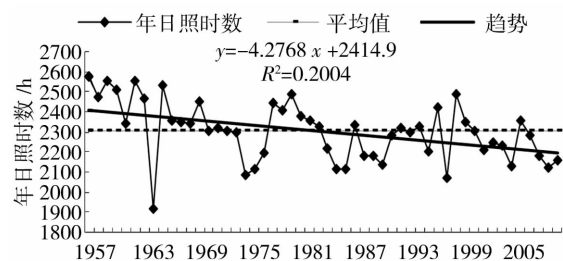


图 3 万荣县 1957~2008 年日照时数变化  
Fig. 3 Variation of annual sunshine hour during 1957-2008 in Wanrong county of Shanxi

## 2.4 其它要素变化特征

年小型蒸发皿蒸发量平均为  $1749.0\text{ mm}$ , 减少速率为  $57.0\text{ mm}/10\text{ a}$ 。逐月分析表明 6 月蒸发量减少明显, 其次是 8 月和 10 月。年平均水汽压增长速率为  $0.15\text{ hPa}/10\text{ a}$ 。年平均风速减少速率为  $0.14\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{ a}$ 。

值得注意的是 1964 年(因果树障碍)迁站后平均风速增加较大, 2006 年以后因城市建设, 观测环境有些变差, 可能也影响到气象要素, 平均气温增加更大, 日照也有所减少。

## 3 参考作物蒸散量

利用 Penman-Monteith 公式对 1964~2008 年逐日参考作物蒸散量计算得出, 年参考作物蒸散量平均为  $1112.1\text{ mm}$ , 各月平均参考作物蒸散量, 与

小型蒸发皿蒸发量变化相似,年参考作物蒸散量最小值 970.8 mm,出现在 1964 年(年降水量 827.7mm),最大值 1 249.5 mm,出现在 1997 年(年降水量 206.1 mm,历史最少值),可见年降水量较多的年份参考作物蒸散量少,降水量较少的年份参考作物蒸散量大。年参考作物蒸散量跟年小型蒸发皿蒸发量、年日照时数及年平均风速成正相关,相关系数分别为 0.8814、0.7896、0.5916,其相关系数  $R$  都通过了  $\alpha = 0.001$  的显著性检验;与年降水量及年水汽压成反相关,相关系数分别为 0.5161、0.7408,相关系数  $R$  都通过了  $\alpha = 0.001$  的显著性检验;与年平均最低气温成反相关,相关系数为 0.3911,通过了  $\alpha = 0.01$  的显著性检验。

由图 4 可知,年参考作物蒸散量呈下降趋势,相关系数  $R$  通过了  $\alpha = 0.05$  的显著性检验,下降速率为 21.8 mm/10 a,与年日照时数减少、年平均风速变小、年平均水汽压增大有较大关系,与年平均最低温度增大有关,而气温升高对其影响作用不显著。这与梁桂花<sup>[14]</sup>、李春强等<sup>[15]</sup>分析蒸发、蒸散的结论大致相同。

从 1964 ~ 2008 年参考作物蒸散量线性倾斜率 ( $\text{mm} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ ) 分析,夏季参考作物蒸散量减少明显,特别是 6 月(与小型蒸发相似),其次是 8 月。

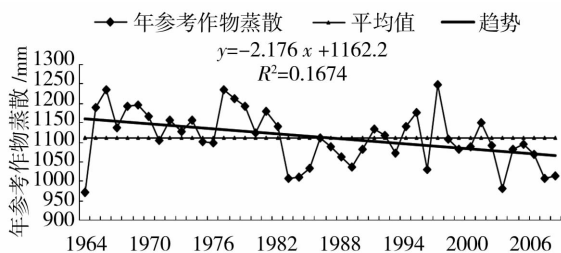


图 4 万荣县 1964 ~ 2008 年年参考作物蒸散量变化  
Fig. 4 Variation of annual evaporation of reference crop during 1957 - 2008 in Wanrong of Shanxi Province

#### 4 土壤湿度变化特征

分析 1964 ~ 2008 年旱地麦田土壤湿度变化,多年麦田年平均 0 ~ 100 cm 土壤湿度为 14.0%,1960 年代、1980 年代土壤水分较高,1980 年代末到 1990 年代初较低,最大值出现在 1983 年为 19.5%,最小值出现在 2008 年为 9.5%。

由图 5 可知,麦田年平均土壤湿度呈下降趋势,相关系数  $R$  通过了  $\alpha = 0.05$  的显著性检验,下降速

率为 0.7%/10 a。从土壤湿度线性倾斜率可以看出,3 ~ 11 月均呈下降趋势,特别小麦生育期明显。从图 6 的年代际土壤重量含水率变化情况也可见一斑。2001 ~ 2008 年平均土壤湿度比 1981 ~ 1990 年减少 3.4%。这与学者们研究西北地区出现暖干化的情形一致<sup>[16-20]</sup>。万荣县地理位置靠近西北地区东部。

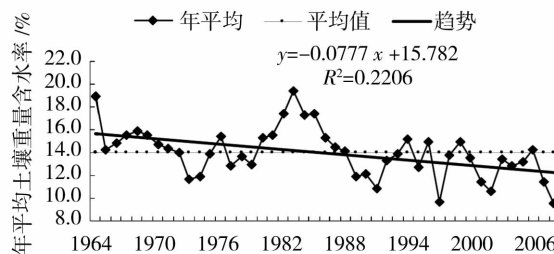


图 5 万荣县 1964 ~ 2008 年麦田土壤湿度(0 ~ 100 cm)变化  
Fig. 5 Variation of 0 - 100 cm soil moisture in wheat field during 1964 - 2008 in Wanrong county

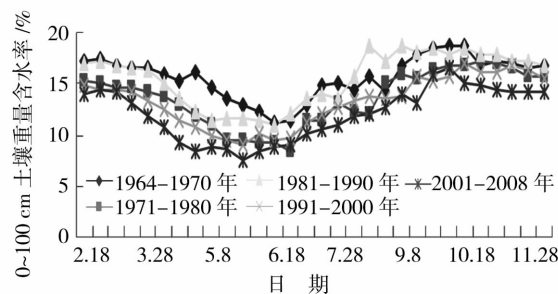


图 6 万荣县各年代际土壤重量含水率变化  
Fig. 6 Decadal change of 0 - 100 cm soil moisture in wheat field during 1964 - 2008 in Wanrong county

降水是旱地麦田唯一水源,影响麦田土壤湿度变化有降水和蒸散 2 个因素。杨启国等<sup>[21]</sup>对旱作小麦农田实际蒸散量计算模式进行研究,得到经验

公式  $ET_a = 0.16 \exp[5.61 \times (\frac{W - W_z}{W_k - W_z})] \times K_c \times ET_0$ ,  $ET_0$  是参照作物蒸散量,  $W$  是土壤湿度,  $W_z$  是凋萎湿度,  $W_k$  田间持水量。

土壤湿度下降了,同时参考作物蒸散量呈减少趋势,那么蒸散可能减少。由于目前对麦田休闲期蒸散研究很少,麦田土壤湿度下降的原因可能主要是降水量的减少。这与王润元等<sup>[22]</sup>对陇东黄土高原土壤储水量与蒸发和气候的研究结果一致。

温度升高不能直接反映蒸散增加,但是研究也发现冬前小麦分蘖增多,导致越冬前及越冬期作物系数变得稍高。

研究也发现土壤湿度高值与低值与年降水量 2 a 滑动平均高值与低值重叠(图 7),土壤湿度与年降水量 2 a 滑动平均值成正相关,相关系数为 0.7515,通过了  $\alpha = 0.001$  的显著性检验,有很好相关性。另外土壤湿度高值的年份(1964、1983~1985 年)日照偏少,水汽压差较小,年参考作物蒸散较小;土壤湿度低值的年份(1997 年)日照较多,水汽压差较大,年参考作物蒸散较大。

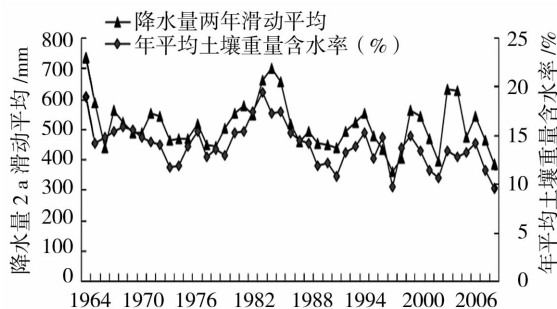


图 7 降水量 2 a 滑动平均与年平均土壤湿度的关系

Fig. 7 Relationship between two-year moving average of annual precipitation and annual average soil moisture in Wanrong county

由表 3 可见,进入 21 世纪,小麦产量有一定下降,除去人们对小麦生产重视度和其他投入下降外,影响小麦产量的最大因素是土壤湿度的减小,土壤干旱日益严重,极大地影响了粮食安全供应,甚至影响社会的稳定,土壤干旱应引起各级政府及部门的重视。

表 3 万荣县各年代际土壤重量含水率、降水量、全县小麦产量变化

Tab. 3 Decadal changes of soil moisture, precipitation and wheat yield during 1964-2008 in Wanrong county

	土壤重量 含水率/%	降水量 /mm	全县小麦产量 /(kg/hm <sup>2</sup> )
1964~1970	15.7	533.9	1 377.0
1971~1980	13.6	505.6	1 512.0
1981~1990	15.5	542.9	2 448.0
1991~2000	13.3	484.5	2 622.0
2001~2008	12.1	486.1	2 167.5

## 5 结 论

(1) 万荣县平均气温呈上升趋势,其增长速率为  $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,进入 20 世纪 90 年代中期以来,气温上升迅速。年平均温度升高,冬季气温升高的贡献最大。年平均最高、最低温度、极端最低气温跟平均温度的整体变化趋势一样,呈明显增长。万荣县降水量总体呈减少趋势,其减少速率为  $22.1\text{ mm}/10\text{ a}$ 。其中 1988~1991 年为最大暴雨真空区,2006~2008 年也没暴雨。1950 年代末到 1960 年代初连阴雨比较集中。年日照时数、年小型蒸发皿蒸发量、年平均风速呈下降趋势,年日照时数减少速率为  $42.8\text{ h}/10\text{ a}$ ,年小型蒸发皿蒸发量减少速率为  $57.0\text{ mm}/10\text{ a}$ ,年平均风速减少速率为  $0.14\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{ a}$ 。

(2) 年参考作物蒸散量平均为  $1\,112.1\text{ mm}$ 。年参考作物蒸散量与年小型蒸发皿蒸发量、年日照时数、年平均风速成正相关,与年降水量、年水汽压、年平均最低气温成反相关。年参考作物蒸散量下降速率为  $21.8\text{ mm}/10\text{ a}$ ,与年日照时数减少、年平均风速变小、年平均水汽压增长、年平均最低气温增大有关。

(3) 多年麦田年平均 0~100 cm 土壤湿度为  $14.0\%$ ,麦田年平均土壤湿度呈  $0.7\%/10\text{ a}$  的下降趋势。2001~2008 年平均土壤湿度比 1981~1990 年减少  $3.4\%$ 。特别是小麦生育期下降明显。麦田土壤湿度下降的主要原因是降水量的减少。

### 参考文献:

- [1] IPCC. 全球气候变化的最新科学事实和研究进展[J]. 环境保护, 2007, 6A: 27-30.
- [2] 赵宗慈, 王绍武, 罗勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 183-184.
- [3] 刘德祥, 董安祥, 邓振镛. 中国西北地区气候变暖对农业的影响[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 119-125.
- [4] 王菱, 谢贤群, 苏文, 等. 中国北方地区 50 年来最高和最低气温变化及其影响[J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 337-343.
- [5] 万信, 王润元, 李宗葵. 陇东黄土高原塬区农业气象要素的变化特征[J]. 生态学杂志, 2007, 26(3): 334-347.
- [6] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近 50 年来中国气候变化特征再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236.
- [7] 谭方颖, 王建林, 宋迎波. 华北平原近 45 年气候变化特征分析[J]. 气象, 2010, 36(5): 40-45.
- [8] 杜顺义, 王志伟, 郭慕萍, 等. 气候变暖对山西农业生产及粮食安全的影响[J]. 中国农业气象, 2009, 30(增 1): 29-32.
- [9] 陆春花, 赵海英, 王栋, 等. 介休市近 53 年来的气候变化特征及分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(增 2): 196-199.

- [10] 刘瑞兰,吴占华,韩虹.朔州市近45a气温变化及对农业生产的影响[J].干旱气象,2007,25(4):62-67.
- [11] 贾金明,吴建河,徐巧真,等.河南日照变化特征及成因分析[J].气象科技,2007(05):655-660.
- [12] 赵东,罗勇,高歌,等.1961年至2007年中国日照的演变及其关键气候特征[J].资源科学,2010,32(4):701-711.
- [13] 陈德英,李芸,王新堂,等.济南市近58年日照变化特征分析[J].山东气象,2010,30(121):13-16.
- [14] 梁桂花,张小平,朱叶.朔州市近50a蒸发量变化特征及影响因素分析[J].干旱气象,2009,27(2):123-126.
- [15] 李春强,洪克勤,李保国.河北省近35年(1965-1999年)参考作物蒸散量的时空变化[J].中国农业气象,2008,29(4):414-419.
- [16] 宁惠芳,林婧婧,陈佩璇.甘肃省气候暖干化与农业干旱灾害的联系[J].干旱气象,2010,28(2):198-201.
- [17] 张强,张存杰,白虎志,等.西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响\_总体暖干化\_局部出现暖湿迹象[J].干旱气象,2010,28(1):1-7.
- [18] 山西省气象档案馆.山西省农业气候资源图集[M].北京:气象出版社,1990.1-134.
- [19] 韩军彩,张秉祥,高祺,等.石家庄市蒸发皿蒸发量的变化特征及其影响因子分析[J].干旱气象,2009,27(4):340-345.
- [20] 孟丹丹,殷淑燕,张参,等.1955—2008年渭北旱塬地区气候变化特征[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2010,38(4):99-103.
- [21] 杨启国,张旭东,杨兴国,等.旱作小麦农田实际蒸散量计算模式研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):34-38.
- [22] 王润元,杨兴国,张九林,等.陇东黄土高原土壤储水量与蒸发和气候研究[J].地球科学进展,2007,22(6):625-635.

## Climatic Characteristics and Its Relationship with Reference Crop Evapotranspiration and Soil Moisture in Wanrong County of Shanxi Province

ZHANG Gaobin<sup>1,2</sup>, GUO Jianmao<sup>1</sup>, WU Yuanzhi<sup>3</sup>, JING Shuzhen<sup>4</sup>

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Wanrong Meteorological Bureau of Shanxi Province, Wanrong 044200, China; 3. Soil and Water Conservation Institute, Chinese Academy of sciences, The State Key Laboratory of Loess Plateau Soil Erosion and Upland Agriculture, Yangling 712100, China; 4. Jinzhong Meteorological Bureau of Shanxi Province, Jinzhong 030600, China)

**Abstract:** The climate characteristic was studied on the basis of meteorological observations during the period of 1957-2008 in Wanrong county of Shanxi Province. The results show that annual average temperature increased with a rate of about 0.22 °C/10 a, and the most evident warming occurred in winter. The annual mean maximum and minimum temperature also presented an increasing trend. The annual precipitation showed a decreasing trend with a rate of 22.1 mm/10 a, and the annual sunshine hours, the annual small pan evaporation and the annual mean wind speed showed decreasing trends, too. The annual reference crop evaporation showed a decreasing trend with the rate of 21.8 mm/10 a, which might caused by the decrease of the annual sunshine hours and the annual mean wind speed, as well as the increase of the annual mean vapor pressure and the annual mean minimum temperature. The soil moisture in wheat field showed a decreasing trend, especially during the 21st century, which mainly caused by the decrease of the annual precipitation. The wheat yield decreased with the decline of soil moisture. Soil drought will become more serious to winter wheat growth.

**Key words:** climate change; temperature; reference crop evaporation; soil moisture; soil drought