榆林市参考作物蒸发蒸腾量随时间序列变化的规律

赵 璐,蔡焕杰,王 健
(西北农林科技大学 教育部旱区农业水土工程重点实验室,陕西 杨凌 712100)

摘 要:根据选取的榆林市5个代表气象站1985~2006年22年的气象资料,应用FAO-Penman-Monteith公式计算了各站历年各月的参考作物蒸发蒸腾量(ETo),并分析了ETo随时间序列变化的规律。结果表明:榆林市5个代表站5、6、7月份的ETo之和占全年的比例最大;各代表站的ETo主要在1996年以后随时间呈极显著增加趋势,在1985~1996年,定边、横山的ETo随时间呈极显著减少的趋势,绥德、榆阳、神木的ETo随时间呈极显著增加的趋势,但是增加的趋势线斜率均小于1996年以后的趋势线斜率;榆林市的ETo与平均气温、日照时数、风速呈极显著的正相关,与相对湿度呈极显著的负相关;ETo与最高气温呈显著正相关,与最低气温除了定边站呈极显著正相关外,与其它各站均呈极显著负相关;平均气温是影响榆林市ETo变化的主要气象因子。

关键词:榆林市;FAO-Penman-Monteith公式;参考作物蒸发蒸腾量;时间序列
中图分类号:S161.4 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-7601(2010)01-0039-05

参考作物蒸发蒸腾量(ETo)为一种假想的参照作物冠层的蒸发蒸腾速率。假设作物高度为0.12 m,固定的叶面阻力为70 s/m,反射率为0.23,非常类似于表面开阔,高度一致,生长旺盛,完全遮盖地面而不缺水的绿色草地的蒸腾蒸发量[1]。它反映了不同地区、不同时期大气蒸发能力对作物需水量的影响,只与气象因素有关。参考作物蒸发蒸腾量是计算作物需水量的关键,也是进行农田水利工程规划与设计等项工作的基础资料。研究参考作物蒸发蒸腾量随时间变化的规律,对干旱地区现有水资源情况下制定合理的灌溉制度和用水计划,实施区域水资源合理配置,缓解工业与农业用水矛盾有着重要的意义[2~5]。

榆林市位于陕西省最北部,地处陕甘宁蒙晋五省(区)交界接壤地带,位于东经107°28′~111°15′,北纬36°57′~39°34′之间。近二十年来榆林市工业发展迅速,特别是近十年来,依托资源优势,陕北能源化工基地快速发展,榆林市经济也突飞猛进,气体排放量加大。这些人类活动必将造成气候的变化,也必将引起ETo的变化,因此本文的目的是通过研究榆林市近二十年来参考作物蒸发蒸腾量的变化规律,分析对参考作物蒸发蒸腾量影响的主要气象因子。从而实现根据气象条件的变化来预测和适时调整灌溉制度的目的。

1 材料与方法

从榆林市气象局取得1985~2006年共22年的月气象资料。考虑资料的完整性和合理性,根据《陕西省作物需水量及分区灌溉模式》[6]对陕北气象站点的选取,结合榆林市具体的地貌情况,选取神木、榆阳、横山、绥德和定边5个代表站。各代表站的资料及代表的区域见表1。

采用FAO-Penman-Monteith方法[1],该方法以能量平衡和空气动力学原理为基础,具有较完备的理论依据和较高的计算精度,在世界范围内得到广泛使用。利用月平均气温、最高气温、最低气温、月平均日照时数、月平均风速和月平均相对湿度计算各代表站的参考作物蒸发蒸腾量,具体的计算公式为:

$$ETo = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

式中:ETo为参考作物蒸发蒸腾量(mm/d);R_n为净辐射[MJ/(m²·d)];G为土壤热通量[MJ/(m²·d)];e_s为饱和水气压(kPa);e_a为实际水气压(kPa);Δ为饱和水气压-温度曲线斜率(kPa/℃);γ为湿度计常数(kPa/℃)。

收稿日期:2009-03-19
基金项目:国家"863"计划项目(2006AA100202);国家科技支撑计划(2007BAD88B10)
作者简介:赵 璐(1986—),女,四川南充人,硕士研究生,主要从事水资源高效利用方面的研究。E-mail:zhaolu.861121@163.com。
通讯作者:蔡焕杰(1962—),男,教授,主要从事农业节水和水资源高效利用方面的研究。E-mail:caihj@nwsuaf.edu.cn。

万方数据

表1 代表站基本情况

Table 1 Weather station information

项目 Items	长城沿线风沙区 Windy desert along the Great Wall				黄土丘陵沟壑区 Hilly and gully areas in the loess plateau
	定边 Dingbian	横山 Hengshan	榆阳 Yuyang	神木 Shenmu	绥德 Suide
北纬 North latitude	37°33′	37°55′	38°17′	38°55′	37°36′
东经 East longitude	107°36′	109°10′	109°25′	110°07′	110°04′
海拔高度(m) Altitude	1406.3	1107	1057.5	926.9	929.7
代表的县 The counties represented	定边、靖边 Dingbian and Jingbian	横山 Hengshan	榆阳 Yuyang	神木、府谷 Shenmu and Fugu	绥德、米脂、子洲、佳县、清涧、吴堡 Suide, Mizhi, Zizhou, Jiaxian, Qingjian and Wubu

2 结果与分析

2.1 *ETo* 的年内变化

利用榆林市5个气象站22年的月平均气象资料,采用 Penman - Monteith 公式,计算出各代表站历年各月的 *ETo* 值。由5个代表气象站多年月平均 *ETo* 在年内的变化(图1)可以看出:各站 *ETo* 的月际变化较大,但具有一致性,即各站的 *ETo* 最大值都出现在6月份。6月份 *ETo* 由高到低的排序为:定边 > 横山 > 绥德 > 榆阳 > 神木。定边6月多年平均值为4.9 mm/d,神木为4.3 mm/d。这主要与这5个气象站的海拔有关,其中定边的海拔最高,为1 406.3 m,神木的海拔最低,为926.9 m。榆林市各代表站的多年月平均 *ETo* 在年内从1月份的0.6~1.0 mm/d逐渐上升到6月份的4.3~4.9 mm/d,然后又降低到12月份的0.5~1.1 mm/d。5、6、7月份的 *ETo* 占全年 *ETo* 值的比例很大,其中定边为41%,横山和绥德为42%,神木和榆阳为43%。

2.2 *ETo* 的年际变化

由计算的各代表站22年各月的 *ETo* 值,计算出各年的 *ETo*,见图2。通过对计算结果的分析(表2,表3)可知,在1985~1996年间,榆林市的 *ETo* 除定边和横山随时间呈极显著减少的趋势外,其它三站都表现出极显著增加的趋势。5个代表站多年平均 *ETo* 值在750~970 mm/a之间变化,其中横山最大,为962 mm/a;神木最小,为756 mm/a。在1997~2006年间,榆林市各站的 *ETo* 都随时间呈极显著增加的趋势。5个代表站多年平均 *ETo* 值在970~1 140 mm/a之间变化,其中定边最大,为1 136 mm/a;神木最小,为972 mm/a。

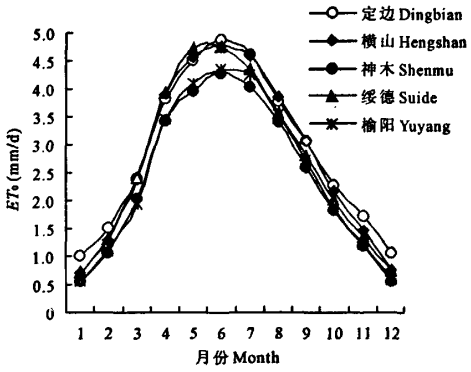

图1 各代表站多年平均月 *ETo* 的年内变化

Fig.1 Intraannual variation of monthly *ETo* in each representative station

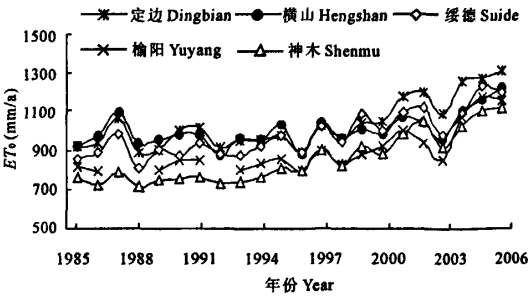

图2 各代表站 *ETo* 的年际变化

Fig.2 Annual variation of *ETo* in each representative station

万方数据

表 2　各代表站 *ETo*(1985 ~ 1996)的年际变化

Table 2　*ETo*'s(1985 ~ 1996) annual variation in each representative station

站名 Stations	趋势线斜率及其显著性 Trend line lope and its significance	多年平均(mm/a) Average	*CV*(%)	极值比 Ratio of extreme value
定边 Dingbian	-1.78**	951	5.916	1.20
横山 Hengshan	-3.87**	962	6.537	1.26
绥德 Suide	3.56**	900	5.638	1.22
榆阳 Yuyang	1.03**	821	3.334	1.08
神木 Shenmu	3.51**	756	3.542	1.13

注:** 为极显著($\alpha = 0.01$),* 为显著($\alpha = 0.05$)。下同。

Note: ** and * mean the significance levels at 0.01 and 0.05, respectively. The same as below.

表 3　各代表站 *ETo*(1997 ~ 2006)的年际变化

Table 3　*ETo*'s(1997 ~ 2006) annual variation in each representative station

站名 Stations	趋势线斜率及其显著性 Trend line lope and its significance	多年平均(mm/a) Average	*CV*(%)	极值比 Ratio of extreme value
定边 Dingbian	35.88**	1136	4.794	1.37
横山 Hengshan	20.91**	1054	6.142	1.28
绥德 Suide	21.11**	1076	6.535	1.30
榆阳 Yuyang	33.59**	972	8.231	1.42
神木 Shenmu	27.73**	972	5.886	1.35

对比两个时间段,5 个站的 *ETo* 在 1997 ~ 2006 年的多年平均值均比 1985 ~ 1996 年的多年平均值有所增加。其中神木增加最多,为 216 mm/a,横山增加最少,为 92 mm/a。定边、横山的 *ETo* 在 1996 年以前呈减少趋势,在 1996 年以后呈增加趋势。绥德、榆阳、神木的 *ETo* 在 1996 年以前的增加趋势线斜率均小于 1996 年以后的增加趋势线斜率。变异系数(*CV*)在 1996 年以后除了定边和横山稍有减少外,其它三站都有所增加。5 个代表站的极值比在 1996 年以后均有所增加。

3　气象因子对 *ETo* 的影响

3.1　气象因子的变化

通过对榆林市各代表站的气象因子变化趋势线斜率和显著性分析(表 4)可知:5 个代表站的平均气温和最高气温都表现为随时间呈极显著增加的趋势,最低气温表现为随时间极显著下降的趋势;相对湿度除了榆阳、神木表现为随时间呈极显著降低的趋势外,其它各站的相对湿度都表现为随时间呈不显著的降低趋势;定边和神木的日照时数表现为随时间呈不显著的增加趋势,而横山、绥德、榆阳的日照时数表现为随时间呈不显著的降低趋势;风速为神木和绥德表现为极显著的增加趋势,横山表现为极显著降低的趋势,定边表现为显著增加的趋势,榆阳表现为未达显著水平的降低趋势。这些气象因子的变化趋势和显著性在榆林市不同地区而有所变化。

表 4　各代表站气象因子变化趋势线斜率

Table 4　Meteorological factors' change trend line slop and significance in each representative station

气象因子 Meteorological factor	定边 Dingbian	横山 Hengshan	绥德 Suide	榆阳 Yuyang	神木 Shenmu
平均气温 T	0.082**	0.064**	0.058**	0.094**	0.109**
最高气温 T_{max}	0.520**	0.552**	0.488**	0.297**	0.500**
最低气温 T_{min}	-0.370**	-0.367**	-0.326**	-0.161**	-0.242**
相对湿度 RH	-0.204	-0.039	-0.141	-0.376**	-0.419**
日照时数 n	1.114	-0.450	-0.710	-0.356	0.950
风速 u	0.010*	-0.032**	0.017**	-0.023	0.035**

万方数据

因此,综合各代表站气象因子的变化趋势,可以发现榆林市的平均气温、最高气温表现为极显著增加趋势;最低气温表现为极显著降低的趋势;相对湿度和日照时数表现为降低趋势,风速表现为增加趋势。

3.2 气象因子对 *ETo* 的影响

由于榆林市的气象因子在近二十年都发生了变化,因此必定影响 *ETo* 的变化;为了真实研究各气象因子和 *ETo* 之间的相关关系,利用 SAS 软件分析了各气象因子与 *ETo* 的偏相关系数并对其进行了显著性分析。

由表5的偏相关系数和显著性可得出,榆林市5个代表站的 *ETo* 与平均气温、日照时数、风速呈正相关,且达极显著水平。*ETo* 与相对湿度呈极显著负相关。*ETo* 与最高气温呈正相关,定边和横山达到极显著水平,榆阳和神木达到显著水平,绥德为不显著;与最低气温除了定边站呈正相关外,其它各站都呈负相关,且都不显著。因此,榆林市的 *ETo* 与平均气温、相对湿度、日照时数、风速的相关性较好,均达到极显著水平。

表5 各代表站 *ETo* 与气象因子的偏相关系数

Table 5 *ETo* and meteorological factors' partial correlation coefficient in each representative station

站名 Station	平均气温 T	最高气温 T_{max}	最低气温 T_{min}	相对湿度 RH	日照时数 n	风速 u
定边 Dingbian	0.249**	0.328**	0.008	-0.654**	0.383**	0.414**
横山 Hengshan	0.233**	0.240**	-0.091	-0.497**	0.411**	0.579**
绥德 Suide	0.321**	0.115	-0.173	-0.596**	0.286**	0.444**
榆阳 Yuyang	0.301**	0.157*	-0.062	-0.562**	0.293**	0.507**
神木 Shenmu	0.278**	0.151*	-0.071	-0.364**	0.439**	0.470**

从各个代表站中选择出与 *ETo* 的偏相关系数达到极显著水平的气象因子,建立 *ETo* 与这些气象因子的多元线性回归方程。通过对标准偏回归系数及其 t 检验的分析,最终确定与 *ETo* 相关性较好的气象因子对 *ETo* 的影响程度[5]。

由表6可看出,榆林市除了横山站 *ETo* 与最高气温的标准偏回归系数最大之外,其它各站都表现出 *ETo* 与平均气温的标准偏回归系数最大,因此平均气温是影响榆林市 *ETo* 变化的主要气象因子。

表6 气象站 *ETo* 与相关性较好的气象因子的标准偏回归系数

Table 6 The standard partial regression coefficient between *ETo* and meteorological factors with better correlation in weather stations

站名 Station	平均气温 T	最高气温 T_{max}	相对湿度 RH	日照时数 n	风速 u
定边 Dingbian	0.516**	0.367**	0.241**	0.103**	0.112**
横山 Hengshan	0.378**	0.413**	-0.168**	0.134**	0.184**
绥德 Suide	0.806**	—	-0.269**	0.091**	0.155**
榆阳 Yuyang	0.813**	—	-0.213**	0.085**	0.162**
神木 Shenmu	0.775**	—	-0.108**	0.167**	0.205**

注:"—"为由于最高气温与该三个气象站的 *ETo* 的偏相关系数未达到极显著水平,故不进行回归分析。

Note:"—" means no regression analysis is made as the T_{max} and *ETo* partial correlation coefficient are not significant.

4 结论与讨论

根据榆林市5个代表气象站22年的气象资料,采用 FAO - Penman - Monteith 公式计算 *ETo*,分析了榆林市22年来 *ETo* 随时间的变化规律。多年平均月 *ETo* 在年内的变化为:1~6月增大,6~12月减小;5、6、7月份的 *ETo* 之和占全年的比例最大。从年际上看,各代表站的 *ETo* 主要在1996年以后随时间呈现出极显著增加趋势;在1985~1996年定边、横山的 *ETo* 随时间呈现出极显著减少的趋势;绥德、榆阳、神木的 *ETo* 随时间呈现出极显著增加的趋势,但是增加的趋势线斜率均小于1996年以后的增加趋势线斜率。

榆林市的平均气温和最高气温呈增加趋势,最低气温和相对湿度呈降低趋势;而日照时数则是定边、神木站增加,横山、绥德、榆阳减小;风速为定边、神木、绥德站增加,横山、榆阳减小。

榆林市的 *ETo* 与平均气温、日照时数、风速呈极显著的正相关,与相对湿度呈极显著的负相关。*ETo* 值与最高气温呈显著正相关;与最低气温除了

万方数据

定边站呈极显著正相关外,其它各站都呈极显著负相关。平均气温是影响榆林市 *ETo* 变化的主要气象因子。因此通过分析近年来气温的变化规律,就能够合理地得出 *ETo* 的变化趋势。

由于本论文选取的代表气象站只有 5 个,而且只选择了 1985 ~ 2006 年的气象资料,因此只研究了榆林市 *ETo* 近二十年来随时间序列变化的规律。如果要确定榆林市合理的用水计划,合理配置区域水资源,缓解工业与农业用水的矛盾,必须选取更多的气象站点,采用遥感、地理信息系统等技术对 *ETo* 的空间分布规律进行模拟,对 *ETo* 的时空分布进行更深入的研究。

参 考 文 献:

[1] 刘　钰,Perire L S, Teixeira J L.参照腾发量的新定义及计算方法对比[J].水利学报,1997,(6):27—33.

[2] 曹红霞,粟晓玲,康绍忠,等.陕西关中地区参考作物蒸发蒸腾量变化及原因[J].农业工程学报,2007,23(11):8—16.

[3] 佟　玲,康绍忠,粟晓玲.石羊河流域气候变化对参考作物蒸发蒸腾量的影响[J].农业工程学报,2004,20(2):15—18.

[4] 梁丽乔,闫敏华,邓　伟,等.松嫩平原西部参考作物蒸散量变化过程[J].地理科学进展,2006,25(3):22—31.

[5] 李　禄,迟道才,张政利,等.太子河流域参考作物腾发量演变特征及气候影响因素分析[J].农业工程学报,2007,23(9):34—38.

[6] 陕西省水利水土保持厅.陕西省作物需水量及分区灌溉模式[M].北京:水利水电出版社,1991.

The law of reference crop evaporation's variation with time series in Yulin

ZHAO Lu, CAI Huan-jie, WANG Jian

(*Key Laboratory of Arid Agricultural Soil and Water Engineering of Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: According to 22 - year weather data from 1985 to 2006 from five selective weather stations in Yulin, FAO - Penman - Monteith method was adopted to calculate the monthly reference crop evaporation(*ETo*) in every station, and to analyze the law of *ETo*'s variation with time series. It can be drawn that the sum of *ETo* in May, June and July in the five stations accounted for the largest proportion of the whole year. After 1996, the *ETo* in every station showed a trend of increase, which was very significant. From 1985 to 1996, the *ETo* in Dingbian and Hengshan stations showed a significant decreasing trend with time; and the *ETo* in Suide, Yuyang and Shenmu stations showed a significant increasing trend, however, the slope of the increase trend line was less than the slop of trend line after 1996. In Yulin, the *ETo* had a significant positive correlation with the average temperature, sunshine hours and wind speed, while the relative humidity had a significant negative correlation. ETo and high temperature were in positive correlation; Apart from Dingbian, in other stations the minimum temperature had a significant negative correlation with *ETo*. The average temperature is the main reason for *ETo*'s change in Yulin from 1985 to 2006.

Keywords: Yulin; FAO - Penman - Monteith method; reference crop evaporation; time series

万方数据