崔亚强,朱元骏. 陕西长武塬区蒸发皿蒸发量影响因子及预测[J]. 干旱气象,2017,35(4):575-580, [CUI Yaqiang, ZHU Yuanjun. Prediction and Analysis of Factors Affecting Pan Evaporation in Changwu Tableland of Shaanxi Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(4):575-580], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-04-0575

陕西长武塬区蒸发皿蒸发量影响因子及预测

崔亚强[1],朱元骏[1,2]

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所,陕西 杨凌 712100;
2. 中国科学院水利部水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

摘 要:以长武农业生态试验站2007—2015年的蒸发皿蒸发量与气象因子进行灰色关联和主成分分析,研究不同时间尺度下影响蒸发皿蒸发的主要因子。结果表明:年尺度下,温度、水汽压、气压和日照时数是影响蒸发皿蒸发量的主要因子;季节尺度下,影响蒸发皿蒸发的主要因素表现为:春季受日照时数和温度的影响,夏季受温度和气压的影响,秋季和冬季受日照时数和水汽压的影响;月尺度下,温度、日照时数、气压是影响蒸发皿蒸发的重要因子。基于主成分分析方法和多元线性回归分析法建立了蒸发皿蒸发的预测公式,预测的相对误差为0.45%~90%,均方根误差为5.56 mm。

关键词:长武塬区;蒸发皿蒸发量;关联度;主成分分析;影响因子
文章编号:1006-7639(2017)-04-0575-06 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-04-0575
中图分类号:S162.3 **文献标识码**:A

引 言

蒸发是陆地蒸散发的重要组成部分,也是陆面水热过程中的主要过程[1-4]。蒸发的测定主要是蒸发皿法(包括E601型和小型蒸发皿(直径20 cm))。当前,许多研究利用彭曼公式、涡度相关、蒸渗仪及遥感等方法来估算蒸散发,并建立蒸散发与气象因子之间的关系[5-10]。研究发现全球许多地区的蒸发皿蒸发量呈显著下降趋势[11-13],全球变暖可能弱化了水循环过程,引起蒸发皿蒸发的减少,这一现象在气候变化和水循环领域被称为"蒸发悖论"[14]。而导致这一结果的原因在于这些研究只是简单的建立温度与蒸发皿蒸发的关系[15],实际上其他因素,如风速、水汽压、研究的时间尺度、气候类型等都会影响甚至主导蒸发皿蒸发。因此,有必要全面分析蒸发皿蒸发与气象因子之间的关系,明确影响蒸发皿蒸发的主导因子。陕西长武塬区属于半干旱气候,降水稀少、蒸发强烈,季节变化以水分和温度为主导,季节变化以及时间尺度均会对蒸发皿蒸发产生重要影响。研究该气候类型下影响蒸发皿蒸发的主导因子,建立蒸发皿蒸发模型可以提高蒸发皿蒸发估算精度。此外,蒸散也是区域水文、植被和大气模型中重要的因子[16-19]。分析蒸发皿蒸发影响因素的时间尺度规律并进行预测,有助于区域水热平衡计算。

本文通过分析中国科学院长武农业生态试验站(长武站)长期气象观测资料,研究了气象因子与蒸发皿蒸发之间的关联度及不同时间尺度下影响蒸发皿蒸发的主导因子,并建立预测蒸发皿蒸发量的经验公式,以期为长武塬区蒸发皿蒸发量的估算提供一种可靠的计算方法。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

试验在陕西省长武县长武站(35°12′N、107°40′E)进行。试验站所在区域的地貌类型为黄土高塬沟壑区,海拔1 200 m,气候属暖温带半干旱大陆性季风气候,年平均降雨量为584 mm,年平均温度9.1 ℃,年无霜期171 d,年干燥度1.38。

1.2 数据获取

2007—2015年的逐月风速、气压、水汽压、日照时数、气温、相对湿度等气象资料来自长武站气象观

收稿日期:2017-03-01;**改回日期**:2017-04-27
基金项目:中国科学院西部之光项目和中国科学院重点部署项目(KFZD-SW-306)共同资助
作者简介:崔亚强(1992—),男,甘肃定西人,硕士研究生. E-mail:1477430499@qq.com
通讯作者:朱元骏(1978—),男,博士,副研究员,主要从事土壤水和生态水文过程研究. E-mail:zhuyuanjun@foxmail.com

测场观测数据。长武站蒸发皿蒸发量(E_{pan})数据在结冰期(11 月至次年 3 月)由口径 20 cm、高 15 cm 的小型蒸发皿测得,其余时间由 E-601 型蒸发器测得。蒸发皿数据转换为 E-601 数据时采用的转换系数为 0.65[20]。

1.3 分析方法

1.3.1 灰色关联分析法

设有一母因素数列,记作 $X_0=(X_0(1),X_0(2),X_0(3),\cdots,X_0(n))$, 同时有一系列子因素数列,依次记作 $X_1,X_2,X_3,\cdots,X_m$:

$$X_1=(X_1(1),X_1(2),X_1(3),\cdots,X_1(n));$$
$$X_2=(X_2(1),X_2(2),X_2(3),\cdots,X_2(n));$$
$$X_3=(X_3(1),X_3(2),X_3(3),\cdots,X_3(n));$$
$$\vdots$$
$$X_m=(X_m(1),X_m(2),X_m(3),\cdots,X_m(n))$$

由于关联度是 2 个序列关联性大小的度量。根据这一理论,其计算方法与步骤如下:

为消除不同数据间量纲不统一的影响,采用标准化方法对数据进行无量纲处理,公式如下:

$$X_i(k)=\frac{X(k)-\bar{X}_i}{S_i}\quad k=1,2,3,\cdots\cdots n \tag{1}$$

式中:i 为某个气象要素;$X(k)$ 为 i 要素的原始数据;$\bar{X}_i$ 为 i 要素的平均值;S_i 为 i 要素的标准差;$X_i(k)$ 为标准化处理后结果。

对于 X_i 对 X_0 在 k 点的关联系数可以用 $\zeta_i(k)$ 来表示,$\zeta_i(k)$ 的表达式为:

$$\xi_i(k)=\frac{\min\limits_i\min\limits_k|X_0(k)-X_i(k)|+P\max\limits_i\max\limits_k|X_0(k)-X_i(k)|}{|X_0(k)-X_i(k)|+P\max\limits_i\max\limits_k|X_0(k)-X_i(k)|} \tag{2}$$

式中:$\min_i\min_k|X_0(k)-X_i(k)|$ 为两级最小差,即 $\min_k|X_0(k)-X_i(k)|$ 为第一级最小差,$\min_i\min_k|X_0(k)-X_i(k)|$ 为第二级最小差,也就是先求解每一子要素列数据和母因素列数据在不同的 k 点的绝对差,得出每一列绝对差的最小值,再从这些已经得出的最小绝对差中选一个最小值出来;$\max_i\max_k|X_0(k)-X_i(k)|$ 为两级最大差,算法同前,只不过换成求最大值;P 为分辨系数,其值在 0~1,不同的 P 值对应不同的关联度,可以用来提高关联系数之间的差异性,理论上 P 值越小,表明分辨率越高,一般可取 0.5。对关联系数求平均值既得关联度[16]。

1.3.2 主成分分析法

主成分分析是考察多个变量之间相关性的多元统计方法。主成分分析通过降维处理可以从多个变量中导出少数几个主变量,这几个主变量可以代表原始数据的大部分信息,从而达到减少影响因子,简化分析变量之间关系的目的[21]。

1.3.3 多元线性回归分析法

将前述根据主成分分析法获得的 m 个主成分与预报对象进行线性拟合,建立多元线性回归方程,公式如下:

$$y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+\cdots+b_mx_m \tag{3}$$

式中:$b_0,b_1,b_2,\cdots,b_m$ 为回归系数;$x_1,x_2,\cdots,x_m$ 为影响因子。

2 结果分析

2.1 降水量与蒸发皿蒸发量

图 1 为 2007—2015 年长武站降水量与蒸发皿蒸发量的月变化。可以看出,长武站多年年平均降水量为 511.9 mm,降水主要集中在 6—9 月,约占年降水量的 60% 以上,春、冬两季降水量少。长武站多年年平均蒸发皿蒸发量为 802.8 mm,1—6 月蒸发皿蒸发量逐渐增加,而 6—12 月则逐渐减少。此外,除 9 月外,其余各月蒸发皿蒸发量均大于降雨量。

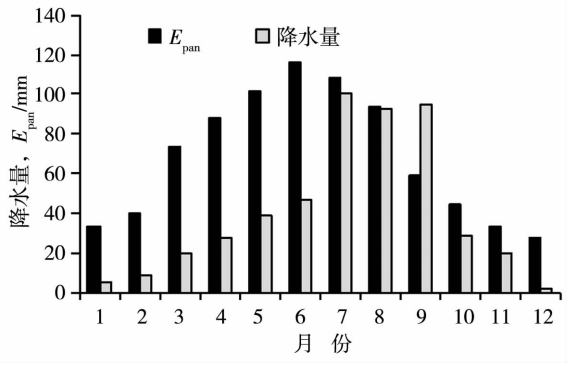


图 1 长武站降水量和蒸发皿蒸发量的月变化

Fig. 1 The monthly variation of precipitation amount and pan evaporation at Changwu station of Shaanxi

2.2 蒸发皿蒸发量与气象因子的月变化

图 2 给出 2007—2015 年长武站蒸发皿蒸发量与各气象要素的月变化。可以看出,长武站蒸发皿蒸发量与气温、风速、水汽压的月际变化趋势基本相同,但峰值出现的月份不同。温度在 7 月达到最大值 22.7 ℃,蒸发皿蒸发量 6 月达到最大值 115.8 mm(图 2a);风速在 4 月达到最大值 1.33 $m\cdot s^{-1}$,此时对应的蒸发皿蒸发量为 88.6 mm(图 2b);水汽压与蒸发皿蒸发的关系与温度基本相似(图 2c);相对湿度与蒸发皿蒸发量总体呈现出随着相对湿度的增加

蒸发皿蒸发量增大,且相对湿度的变化滞后于蒸发皿蒸发量的变化(图 2d);日照时数与蒸发皿蒸发量都在 6 月出现峰值,9—12 月两者呈相反的变化(图 2e);气压与蒸发皿蒸发量的变化呈相反的变化趋势,即蒸发皿蒸发量随气压的增加而减少,随气压的减少而增加(图 2f)。

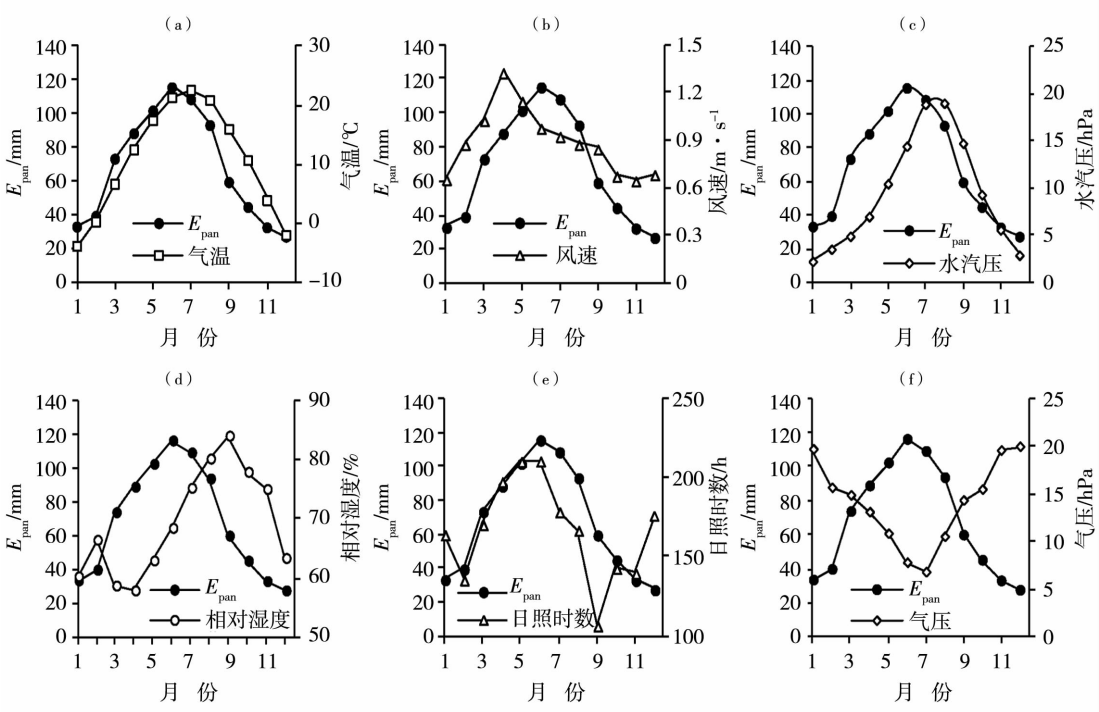


图 2　长武站蒸发皿蒸发量与气象因子的月变化

Fig. 2　The monthly variation of pan evaporation and meteorological factors at Changwu station of Shaanxi

2.3　不同尺度下蒸发皿蒸发量与气象因子的关系

2.3.1　年尺度

表 1 为 2007—2015 年长武站不同时间尺度下蒸发皿蒸发量与各气象因子的关联度。可以看出,年尺度下影响蒸发皿蒸发量的气象因子的关联度大小依次为:气压 > 气温 > 水汽压 > 日照时数 = 相对湿度 > 风速,且关联度都在 0.70 以上,表明气压是影响全年蒸发皿蒸发量的最主要因素,而风速对蒸发皿蒸发量的影响作用最小。表 2 为 2007—2015 年长武站不同时间尺度下蒸发皿蒸发量与气象因子的相关系数。可以看出,气温、水汽压、日照时数与蒸发皿蒸发量之间呈极显著正相关(通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平);而气压与蒸发皿蒸发量之间呈极显著负相关(通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平);风速与蒸发皿蒸发量之间存在显著的正相关(通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平);相对湿度在年尺度上对蒸发皿蒸发量的影响较小。

2.3.2　季节和月尺度

不同季节各气象因子与蒸发皿蒸发的关联度不同(表 1)。春季,日照时数、气温、气压是影响蒸发皿蒸发的最主要因素,而相对湿度、水汽压、风速对此时的蒸发皿蒸发作用不明显。太阳辐射是蒸发皿蒸发的能量来源,春季太阳辐射强度较弱,总辐射强度依赖于日照时数,因此日照时数是影响太阳辐射的主要因子,而气温作为太阳辐射作用的最直接结果,也是影响蒸发皿蒸发的主要因素之一。

气温和气压是影响夏季蒸发皿蒸发的最主要因素,夏季较强的太阳辐射导致温度升高,较高的温度增加了水分子的活跃度,导致蒸发皿蒸发的加剧。夏季风速对蒸发皿蒸发的影响最小,其与蒸发皿蒸发的关联度为 0.57。

秋季所有气象因子与蒸发皿蒸发的关联度均较低,但日照时数、气压、气温与蒸发皿蒸发的关联度相对较高,相对湿度对蒸发皿蒸发的影响最小。这是因为此时进入多雨季节,较多的降雨导致相对湿度高于全年均值,相对湿度的增大抑制了蒸发皿蒸发。

气压、水汽压、日照时数是冬季影响蒸发皿蒸发的主要因素。此时,气温多为负值,对蒸发皿蒸发起抑制作用。而风速的作用也较为明显,风能够加强空气之间的对流和交换,使水面上空的水汽分子不断被带走,从而保证蒸发面与上空始终保持一定的水汽压差,使得蒸发持续进行。

表 1 2007—2015 年长武站不同时间尺度下蒸发皿蒸发量与各气象因子的关联度

Tab. 1 Correlation degree between pan evaporation and various meteorological factors at different time scales at Changwu station of Shaanxi during 2007 – 2015

时间尺度	气温	水汽压	相对湿度	日照时数	风速	气压
年	0.80	0.78	0.73	0.73	0.65	0.82*
春	0.74	0.59	0.58	0.76*	0.63	0.69
夏	0.93*	0.84	0.79	0.72	0.57	0.93
秋	0.67	0.64	0.61	0.70*	0.62	0.68
冬	0.52	0.84*	0.79	0.84*	0.79	0.84*
1 月	0.57	0.78	0.73	0.78	0.72	0.80*
2 月	0.58	0.94	0.93	0.94	0.96*	0.94
3 月	0.66	0.60	0.61	0.75*	0.60	0.71
4 月	0.73	0.64	0.63	0.74*	0.58	0.70
5 月	0.84*	0.69	0.62	0.77	0.67	0.76
6 月	0.83*	0.76	0.77	0.81	0.64	0.81
7 月	0.82*	0.76	0.71	0.79	0.65	0.81
8 月	0.82*	0.72	0.69	0.65	0.51	0.78
9 月	0.71	0.67	0.69	0.70	0.70	0.72*
10 月	0.77	0.82*	0.79	0.65	0.78	0.78
11 月	0.65	0.63	0.70	0.80*	0.72	0.71
12 月	0.50	0.51	0.52	0.73*	0.67	0.62

注：* 代表对应尺度、对应因子与蒸发皿蒸发量关联度最大

从月尺度分析影响蒸发皿蒸发的气象因素可以发现(表 1)：各月影响蒸发皿蒸发的因素有很大差异，不同因素在不同月份所起的作用也不同。具体表现为 5—8 月气温是影响蒸发皿蒸发的最主要因素，同时，气温与蒸发皿蒸发在 5、6 月的相关性达到极显著水平(表 2，通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平)。3、4、11、12 月日照时数是影响蒸发皿蒸发的主要因子，日照时数与蒸发皿蒸发在 3、4、6、8、9 月呈显著的相关性(通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平)，且在 7、11、12 月呈极显著正相关(表 2，通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平)。1 月和 9 月影响蒸发皿蒸发的最主要气象因子是气压。而 2 月和 10 月影响蒸发皿蒸发的最主要气象因子分别为风速和水汽压。

2.4 蒸发皿蒸发的主成分分析及预测

2.4.1 蒸发皿蒸发的主成分分析

蒸发皿蒸发主要受 3 个条件控制：(1)供水条件；(2)能量供给条件，主要源于太阳辐射；(3)水汽输送条件，主要由温度、相对湿度、风速决定[22-23]。在主成分分析中，提取特征值大于 1 的因子作为主成分。表 3 给出 2007—2015 年长武站蒸发皿蒸发的气象因子主成分特征值与累计方差贡献率。可以看出，前 2 个因子的特征值均大于 1，第 1、2 主成分方差分别占所有成分方差的 56.64%、35.54%，前 2 个主成分的累计方差贡献率达92.18%，即前 2 个主成分可以将全部气象影响因子提供信息的 92.18% 反映出来。前 2 个主成分表达式为：

$$Z_1 = 0.98T + 0.89\mathrm{VP} + 0.3\mathrm{RH} + 0.46\mathrm{SD} + 0.63\mathrm{WS} - 0.97\mathrm{AP} \quad (4)$$

$$Z_2 = 0.16T + 0.34\mathrm{VP} + 0.94\mathrm{RH} - 0.78\mathrm{SD} - 0.64\mathrm{WS} + 0.06\mathrm{AP} \quad (5)$$

式中：Z_1 为第一主成分，Z_2 为第二主成分，T 为温度(单位：℃)；VP 为水汽压(单位：hPa)；RH 为相对湿度(单位：%)；SD 为日照时数(单位：h)；WS 为风速(单位：$m \cdot s^{-1}$)；AP 为气压(单位：hPa)。

在第 1 主成分中，气温(0.98)、水汽压(0.89)、气压(−0.97)占有较大比重，代表空气冷热状况；第 2 主成分主要受 WS(−0.64)、SD(−0.78)、RH(0.94)的影响，代表空气动力条件和辐射。

表 2　2007—2015 年长武站不同时间尺度下蒸发皿蒸发与气象因子的皮尔逊相关

Tab. 2　Pearson correlation coefficients between pan evaporation and various meteorological factors at different time scales at Changwu station of Shaanxi during 2007 – 2015

时间尺度	气温	水汽压	相对湿度	日照时数	风速	气压
年	0.937**	0.783**	0.126	0.774**	0.629*	−0.979**
1 月	0.467	−0.033	−0.750*	0.133	−0.067	0.250
2 月	0.388	−0.172	−0.525	0.307	0.249	0.179
3 月	0.476	0.040	−0.516	0.740*	−0.003	−0.443
4 月	0.347	−0.699*	−0.794*	0.777*	0.167	−0.393
5 月	0.941**	−0.617	−0.834**	0.665	0.717*	−0.830**
6 月	0.918**	−0.540	−0.422	0.685*	0.639	−0.571
7 月	0.491	−0.696*	−0.828**	0.873**	−0.858**	0.443
8 月	0.581	−0.488	−0.247	0.696*	0.202	−0.431
9 月	0.026	−0.333	−0.432	0.681*	0.194	0.584
10 月	0.020	0.262	0.134	−0.006	0.734*	−0.022
11 月	−0.004	−0.779*	−0.416	0.805**	0.143	−0.820**
12 月	0.538	−0.752*	−0.601	0.822**	0.568	−0.173

注:*、** 分别表示通过 0.05、0.01 的显著性水平

表 3　主成分特征值与累计方差贡献率

Tab. 3　Principal component eigenvalue and the cumulative variance contribution rate

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	3.40	56.64	56.64
2	2.13	35.54	92.18
3	0.35	5.83	98.01
4	0.08	1.39	99.39
5	0.03	0.44	99.83
6	0.01	0.17	100.00

2.4.2　蒸发皿蒸发量预测及验证

基于主成分分析,用 SPSS19.0 软件以 2007—2011 年的蒸发皿蒸发量为因变量,以第 1、第 2 主成分所得值为自变量进行多元线性回归,得到如下二元一次回归方程:

$$Y = 1.213Z_1 + 0.009Z_2 + 958.71$$
$$(n = 60, R^2 = 0.946) \qquad (6)$$

式中:Y 为蒸发皿蒸发量;Z_1 为第 1 主成分;Z_2 为第 2 主成分。可以看出,相关系数 $R^2 = 0.946$,且通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平,因此,可以用第 1、2 主成分的因子得到的方程对蒸发皿蒸发量进行预测。为验证预测公式的可靠性,以 2012—2015 年各月气象数据用公式(6)对该时段蒸发皿蒸发量进行计算,并结合同期蒸发皿蒸发量的实测资料,进行预测值和实测值的对比(图 3),可以看出,预测所得蒸发皿蒸发量与实测蒸发皿蒸发量基本一致,两者之间的关系为:

$$Y = 1.139X - 6.9155$$
$$(n = 48, R^2 = 0.95) \qquad (7)$$

式中:Y 为预测值;X 为实测值。总体上预测值高于实测值,预测的相对误差为 0.45% ~90%,平均相对误差为 23.48%,均方根误差为 5.56 mm,且预测的合格率为 62%(以相对误差在 ±20% 以内作为合格值),预测精度较为满意。表明可以通过主成分分析和多元线性方程对蒸发皿蒸发量进行预测。

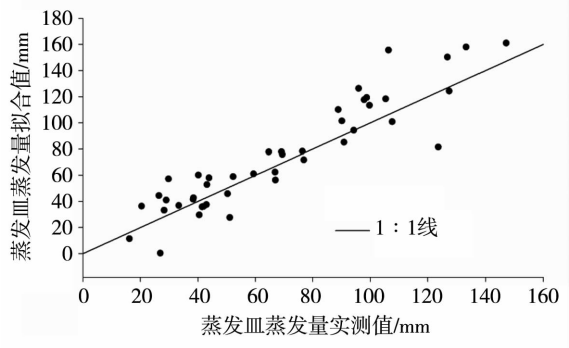


图 3　2012—2015 年长武站蒸发皿蒸发量的预测值和实测值的散点图

Fig. 3　The scatter plots of predicted and observed pan evaporation at Changwu station of Shaanxi during 2012 – 2015

3 结论与讨论

(1)不同时间尺度下影响蒸发皿蒸发的气象因子不同。在年尺度下,温度、水汽压、气压和日照时数是影响蒸发皿蒸发的主要因子,其中温度、日照时数和水汽压与蒸发皿蒸发量呈现极显著正相关,气压与蒸发皿蒸发量呈极显著负相关,而风速对长武塬区蒸发皿蒸发的影响较小;季节尺度下,热力因子(温度、日照时数)是影响蒸发皿蒸发的主要因子;月尺度下,动力因子、热力因子和水分因子分别在不同的月份起着主要作用。

(2)利用主成分分析法和多元线性回归分析法来预测蒸发皿蒸发量,不但可以将影响蒸发皿蒸发的主要因子综合起来,减少信息冗余,而且还可以对蒸发皿蒸发量进行科学预测,得到的预测值总体高于实测值,相对误差较小。

本研究仅对长武塬区蒸发皿蒸发量的影响因子进行了时间尺度分析,但还需要深入研究蒸发皿蒸发的界面过程,以明确蒸发皿蒸发的过程及影响机制。

致 谢:对西北农林科技大学长武试验站的老师及工作人员的帮助表示衷心感谢。

参考文献

[1] 张强,王胜. 关于干旱和半干旱区陆面水分过程的研究[J]. 干旱气象,2007,25(2):1-4.

[2] 刘敏,沈彦俊,曾燕,等. 近50年中国蒸发皿蒸发量变化趋势及原因[J]. 地理学报,2009,64(3):259-269.

[3] 张强,张之贤,闫晓梅,等. 陆面蒸散量观测方法比较分析及其影响因素研究[J]. 地球科学进展,2011,26(5):538-547.

[4] GONG L, XU C Y, CHEN D, et al. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin[J]. Journal of Hydrology, 2006,329(3-4):620-629.

[5] 刘波,马柱国,丁裕国. 中国北方近45年蒸发变化的特征及与环境的关系[J]. 高原气象,2006,25(5):840-848.

[6] ZHANG Y, ZHAO W, HE J, et al. Energy exchange and evapotranspiration over irrigated seed maize agroecosystems in a desert-oasis region, northwest China[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2016,223:48-59.

[7] BAI J, WANG J, CHEN X, et al. Seasonal and inter-annual variations in carbon fluxes and evapotranspiration over cotton field under drip irrigation with plastic mulch in an arid region of Northwest China[J]. Journal of Arid Land, 2015,7(2):272-284.

[8] 欧阳竹,刘渡,于强,等. 涡度相关观测的能量闭合状况及其对农田蒸散测定的影响[J]. 生态学报,2012,32(17):5309-5317.

[9] 贾莲莲,王小江. 黄土高原蒸发皿蒸发量初步估算[J]. 水土保持研究,2013,20(3):143-145.

[10] 高蓓,范建忠,卫海燕,等. 陕西蒸发量变化时空分布研究[J]. 中国农学通报,2015(2):225-233.

[11] 任国玉,郭军. 中国蒸发皿蒸发量的变化[J]. 自然资源学报,2006,21(1):31-44.

[12] 赵福年,赵铭,王莺,等. 石羊河流域1960—2009年参考蒸散量与蒸发皿蒸发量变化特征[J]. 干旱气象,2014,32(4):560-568.

[13] 申红艳,马明亮,汪青春,等. 1961—2010年青海高原蒸发皿蒸发量变化及其对水资源的影响[J]. 气象与环境学报,2013,29(6):87-94.

[14] RODERICKM L, Farquhar G D. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years[J]. Science, 2002,298(5597):1410.

[15] 左洪超,鲍艳,张存杰,等. 蒸发皿蒸发量的物理意义、近40年变化趋势的分析和数值试验研究[J]. 地球物理学报,2006,49(3):680-688.

[16] 魏光辉,董新光,杨鹏年,等. 基于灰色关联分析与多元线性回归模型的水面蒸发预测[J]. 节水灌溉,2010(2):41-44.

[17] 魏光辉,马亮. 新疆塔额盆地各气象要素对蒸发皿蒸发影响的敏感性分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(5):44-47.

[18] 任芝花,黎明琴,张纬敏. 小型蒸发器对E-601B蒸发器的折算系数[J]. 应用气象学报,2002,13(4):508-512.

[19] 王遵娅,丁一汇,何金海,等. 近50年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报,2004,62(2):228-236.

[20] 谢万银,陈英,徐彬. 甘肃民勤小型与E-601型蒸发皿蒸发量折算系数分析[J]. 干旱气象,2014,32(3):481-486.

[21] 迟国泰,曹婷婷,张昆. 基于相关主成分分析的人的全面发展评价指标体系的构建[J]. 系统工程理论与实践,2013,32(1):112-119.

[22] 祁栋林,李甫,肖建设,等. 近53 a来祁连山南北坡潜在蒸散量及地表湿润度变化趋势分析[J]. 干旱气象,2016,34(1):26-33.

[23] YANG H, YANG D. Climatic factors influencing changing pan evaporation across China from 1961 to 2001[J]. Journal of Hydrology, 2012,414-415(2):184-193.

(下转至597页)

Relationship Between Air Pollution Index and Visibility, Relative Humidity in Ten Representative Cities of China

SHANG Ziwei[1], NING Guicai[1], WANG Jiexin[1], CHENG Yifan[1], WANG Shigong[1,2]

(1. *College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou* 730000, *China*;
2. *School of Atmospheric Sciences, Chengdu Information and Engineering University, Chengdu* 610225, *China*)

Abstract: Not only atmospheric pollutants but also fog is an important factor affecting the visibility. Therefore, the air quality reflected by visibility needs to consider the effect of water vapor. In this paper, the mathematical models of air pollution index (API) associated with visibility and relative humidity were constructed based on the existing research results. Based on daily air pollution index and simultaneous surface meteorological data at 08:00 BST from 10 representative cities in China from 2001 to 2012, the coefficients in the formula were determined using linear regression analysis method firstly, and the statistical equation for estimating API by visibility and relative humidity was established. Results are as follows: (1) When relative humidity was less than 78%, visibility was mainly affected by the concentration of air pollutants, but when relative humidity was greater than 96%, visibility was mainly affected by relative humidity, while when relative humidity ranged from 78% to 96%, visibility was affected by the common effect of air pollutants and humidity. (2) Except for Lhasa and Lanzhou, the correlation coefficients between API and visibility, relative humidity in the rest of eight cities passed the significance test level of $\alpha = 0.000\ 01$, and the correlation degree in winter half year was better than that in summer half year. (3) The variation range of parameters b_0 and b in the fitting relationship between air pollution index and visibility, relative humidity was small in the rest cities except for Lhasa, Urumchi and Lanzhou. (4) Back test showed that except some individual months, the absolute error and relative error were relatively small, so the API associated with visibility and relative humidity in the formula could be fitted.

Key words: ten major representative cities; air pollution index; visibility; relative humidity

(上接第 580 页)

Prediction and Analysis of Factors Affecting Pan Evaporation in Changwu Tableland of Shaanxi Province

CUI Yaqiang[1], ZHU Yuanjun[1,2]

(1. *Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling* 712100, *China*;
2. *Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling* 712100, *China*)

Abstract: Based on the data of pan evaporation at Changwu Agro-ecological Station (CWA) and meteorological factors during 2007-2015, the dominant factors affecting pan evaporation were analyzed at different time scales using the methods of grey correlation and principal component analysis. Results showed that temperature, vapor pressure, air pressure and sunshine duration were main factors influencing pan evaporation at annual time scale. At seasonal scale, moreover, the sunshine duration and temperature were dominant factors in spring, for summer, they were temperature and air pressure, and for autumn and winter, they were sunshine duration and vapor pressure, respectively. Temperature, sunshine duration and air pressure were dominant factors which affected pan evaporation at monthly scale. Based on the principal component analysis and the multiple linear regression analysis, a formula was established to predict pan evaporation and the result owned a relative error ranging from 0.45% to 90%, and root mean square error of the prediction was 5.56 mm.

Key words: Changwu tableland; pan evaporation; correlation degree; principal component analysis; influence factors