

山西省参考作物蒸散量的时空变化特征及影响因素分析

孙晶华, 张吴平, 吴亚楠, 魏 强

(山西农业大学 资源环境学院, 山西 太谷 030801)

摘要:利用山西省及周边地区共计35个气象站点1957—2014年的逐日气象数据,使用Penman-Monteith公式计算参考作物蒸散量(ET_0),采用一元线性回归和反距离加权插值法分析 ET_0 的时空变化特征,并采用逐步回归分析对 ET_0 的影响因素进行研究。结果表明,①年 ET_0 随时间的变化特征呈现混合模式,以下降趋势为主。②多年平均 ET_0 空间分布差异显著,区域内存在2个高值区、2个次高值区和2个低值区。秋季 ET_0 的空间分布特征与年 ET_0 的空间分布最为接近,而冬季,春季和夏季 ET_0 的空间分布特征与年 ET_0 的空间分布相差较大。③各站点年 ET_0 受同时期气象要素的影响程度由大到小的排序为:风速、温度、相对湿度、日照时间或降水量。全省不同站点多年平均年 ET_0 受气象要素的影响程度由大到小的排序为:风速、温度、相对湿度、日照时间、降水量。全省不同站点多年平均年 ET_0 受地理要素的影响程度由大到小的排序为:海拔、纬度。

关键词:山西省;参考作物蒸散量;时空变化;影响因素

中图分类号:S161.4

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.04.011

孙晶华,张吴平,吴亚楠,等.山西省参考作物蒸散量的时空变化特征及影响因素分析[J].灌溉排水学报,2017,36(4):59-65.

0 引言

参考作物蒸散量(ET_0)是计算实际蒸散量的基础^[1],为作物需水量估算提供重要参数^[2],是分析区域水分供需平衡的重要指标,也是农业生产过程的重要影响因素^[3]。因此,对 ET_0 的时空变化特征及其影响因素进行分析显得十分重要。

关于参考作物蒸散量(ET_0)的计算方法有很多^[4],但目前应用较多的方法^[5-6]是FAO在1998年提出的修订后的Penman-Monteith公式^[7]。近年来,国内外很多学者都对 ET_0 的变化特征进行了研究。Peterson等^[8]研究发现相对湿度的增加和辐射量的减少是造成美国 ET_0 下降的主要原因。Hidalgo等^[9]分析了美国加州 ET_0 的变化原因,发现 ET_0 主要受相对湿度、净辐射和云量的影响。Xie等^[10]对中国北方地区的研究发现,风速和太阳辐射的减少是中国北方地区 ET_0 下降的主要原因。Liu等^[11]对黄河流域的研究发现, ET_0 的变化呈显著的上升趋势。李志等^[12]对黄土高原地区的研究发现,影响 ET_0 变化的最重要的气象因子是湿度和温度。王幼奇等^[13]对黄土高原地区的研究发现, ET_0 与温度、日照时数的相关性最高。刘广东等^[14]对山西省的研究发现,平均相对湿度、平均风速和日照时间对 ET_0 的影响较大,而平均气温对 ET_0 的影响较小。

山西省地处黄土高原,是全国水资源贫乏地区之一,水资源利用效率不高,水资源不足严重制约农业的发展。 ET_0 对农作物的生长过程有着重要的影响,因此利用近1957—2014年的气象数据对山西省 ET_0 的时空变化特征以及影响因素进行分析,以期在水资源有限的情况下为农业合理用水提供一定参考依据。

1 数据与方法

1.1 数据来源

数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>),选取山西省及周边地区共35个气象站点1957—2014

收稿日期:2016-6-30

基金项目:山西省科技攻关项目(20130311008-5);公益性行业(农业)科研专项(201303104)

作者简介:孙晶华(1992-),女,山东德州人。硕士研究生,主要从事土地信息技术的研究。E-mail: 18335440936@163.com

通信作者:张吴平(1973-),男,山西长治人。教授,博士,主要从事植物-土壤系统模拟研究和资源环境信息技术研究。E-mail: zwping@126.com

年的逐日气象数据,包括平均风速、日照时间、平均气温、最高气温、最低气温、平均相对湿度、降水量。站点分布如图所示(图1)。

1.2 研究方法

1.2.1 ET_0 的计算

采用FAO在1998年推荐的Penman-Monteith公式^[7]计算 ET_0 。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}, \quad (1)$$

式中: ET_0 为参考作物蒸散量(mm/d); Δ 为饱和水气压曲线斜率(kPa/°C); R_n 为净辐射量(MJ/(m²·d)); G 为土壤热通量(MJ/(m²·d)); γ 为温度计常数(kPa/°C); T 为平均温度(°C); u_2 为2 m高处的平均风速(m/s); e_s 为饱和水汽压(kPa); e_a 为实际水汽压(kPa)。

1.2.2 反距离加权插值法(IDW)

采用反距离加权插值法研究 ET_0 的空间分布特征。反距离加权插值法是用周围相邻采样点的值去求得未知点的值。它是一种全局插值法,即全部采样点都参与某一未知点的值的估计。每个采样点对插值结果的影响随距离增加而减弱,因此距离未知点近的采样点赋予的权重较大。

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^N [\lambda_i Z(S_i)] \quad (2)$$

式中: $Z(S_0)$ 为未知点 S_0 的预测值; N 为未知点要用到的采样点的数量; λ_i 为对应未知点的各个采样点的权重。

1.2.3 回归分析法

采用一元线性回归来分析气象要素及各站点 ET_0 随时间的长期变化趋势^[15],多元线性回归中的逐步回归来分析 ET_0 的主要影响因素。逐步回归是逐个引入自变量,每次引入对因变量影响最显著的自变量,并对先前引入的自变量逐个进行检验,把不再显著的变量从方程中剔除,直到不再引入和剔除自变量为止,从而得到最优的回归方程。

2 结果与分析

2.1 气象要素及 ET_0 的时间变化

2.1.1 气象要素的年际变化

表1为各站点的气象要素随时间的变化趋势。风速随时间的变化以下降趋势为主(11个站点),呈下降趋势的站点之间倾向率相差不大。日照时间随时间的变化较为一致,均呈下降趋势($P < 0.01$),平均气温、平均最高温随时间变化基本呈上升趋势($P < 0.05$),其中河曲、榆社平均气温的变化趋势差异不显著。平均最低温的变化中,有11个站点呈上升趋势,3个站点呈下降趋势。相对湿度的变化中,有3个站点呈上升趋势,11个站点呈下降趋势。降水量的变化均呈下降趋势,但是14个站点的降水量变化倾向率均差异不显著,说明降水量随时间的变化不明显。综上所述,风速、日照时间、相对湿度随时间变化呈下降趋势,温度呈上升趋势,这与已有文献研究结果^[12]一致。

2.1.2 ET_0 的年际变化

1957—2014年, ET_0 年均值的最大值为运城站点的1 133 mm/a,最小值为右玉站点的878 mm/a(表2)。各站点 ET_0 年值的最小值、最大值差异较大,变化范围各不相同。其中运城站点的变化范围最大,为-13.80%~19.08%,榆社站点的变化范围最小,为-12.14%~8.35%。

山西省 ET_0 年值随时间的变化特征呈现混合模式(表2)。其中,右玉、河曲、五寨等10个站点的 ET_0 年值随时间变化呈下降趋势,大同、兴县、离石和榆社4个站点的 ET_0 年值随时间变化呈上升趋势。离石站点的年 ET_0 上升速率最快,达到11.93 mm/10 a。河曲站点的 ET_0 年值随时间变化下降最快,达到27.81 mm/10 a。选取的14个站点中,有7个站点的变化倾向率差异不显著,说明这7个站点的年 ET_0 随时间的变化趋势不明显。

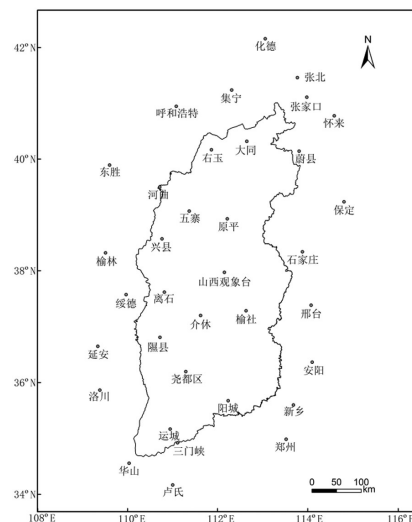


图1 气象站点分布图

表1 气象要素年值的变化倾向率

站点	风速		日照时间		平均气温		最高温		最低温		相对湿度		降水量	
	倾向率/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$)	<i>R</i>	倾向率/ ($\text{h} \cdot (10\text{a})^{-1}$)	<i>R</i>	倾向率/ ($^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$)	<i>R</i>	倾向率/ ($^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$)	<i>R</i>	倾向率/ ($^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$)	<i>R</i>	倾向率/ ($\% \cdot (10\text{a})^{-1}$)	<i>R</i>	倾向率/ ($\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$)	<i>R</i>
右玉	-0.12	0.726***	-40.33	0.406**	0.26	0.586***	0.26	0.555***	0.27	0.459***	-0.51	0.261*	-5.39	0.086
大同	-0.04	0.328*	-41.82	0.435**	0.27	0.607***	0.26	0.558***	0.24	0.507***	-0.42	0.254	-1.99	0.039
河曲	-0.10	0.641***	-122.82	0.780***	0.00	0.006	0.49	0.801***	-0.44	0.503***	2.04	0.646***	-13.68	0.180
五寨	-0.09	0.644***	-87.90	0.763***	0.23	0.539***	0.27	0.583***	0.22	0.445***	-0.21	0.115	-0.25	0.004
兴县	0.00	0.033	-48.54	0.528***	0.30	0.663***	0.24	0.509***	0.34	0.682***	-0.27	0.134	-5.83	0.074
原平	-0.09	0.625***	-167.60	0.893***	0.40	0.773***	0.13	0.309*	0.60	0.841***	-1.28	0.599***	-6.67	0.093
离石	0.05	0.382**	-66.44	0.605***	0.33	0.711***	0.37	0.710***	0.39	0.607***	-0.23	0.108	-6.31	0.088
山西 观象台	-0.09	0.548***	-58.00	0.537***	0.35	0.768***	0.25	0.566***	0.46	0.821***	-0.70	0.328*	-6.40	0.094
榆社	0.08	0.596***	-86.10	0.680***	0.04	0.134	0.24	0.546***	-0.06	0.224	0.22	0.113	-13.74	0.186
隰县	-0.06	0.499***	-65.77	0.620***	0.24	0.614***	0.61	0.800***	-0.02	0.085	0.11	0.054	-16.65	0.224
介休	-0.01	0.047	-150.89	0.821***	0.25	0.649***	0.24	0.525***	0.23	0.594***	-0.55	0.296*	-6.15	0.094
尧都区	-0.14	0.910***	-97.84	0.753***	0.36	0.765***	0.17	0.381**	0.59	0.868***	-0.65	0.283*	-11.08	0.161
运城	-0.05	0.285*	-45.94	0.428**	0.24	0.621***	0.15	0.352**	0.37	0.733***	-1.02	0.507***	-12.95	0.176
阳城	-0.08	0.722***	-37.94	0.355**	0.16	0.529***	0.20	0.481***	0.21	0.689***	-0.50	0.221	-18.57	0.227

注 ***、**、*分别表示0.001、0.01和0.05的差异显著性水平，下同。

表2 各站点ET₀年值的变化特征

站 点	平均值/($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)	最小值/($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)	最大值/($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)	变化范围/%	变化倾向率/($\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$)	<i>R</i>
右 玉	878	773	966	-11.96~10.01	-3.48	0.154
大 同	1 018	880	1 110	-13.57~9.03	7.38	0.273*
河 曲	948	839	1 139	-11.47~20.13	-27.81	0.614***
五 寨	935	852	1 055	-8.87~12.80	-7.45	0.268*
兴 县	1 058	917	1 214	-13.33~14.77	4.69	0.137
原 平	1 000	847	1 144	-15.23~14.40	-11.73	0.414**
离 石	991	842	1 145	-15.02~15.48	11.93	0.355**
山西观象台	1 001	845	1 117	-15.65~11.56	-3.26	0.095
榆 社	921	810	998	-12.14~8.35	1.6	0.062
隰 县	980	822	1 106	-16.13~12.91	-1.14	0.040
介 休	1 002	845	1 135	-15.65~13.36	-6.52	0.188
尧都区	1 009	899	1 163	-10.98~15.18	-18.36	0.520***
运 城	1 133	976	1 349	-13.80~19.08	-8.17	0.102
阳 城	1 016	860	1 117	-15.42~9.91	-0.51	0.277*

2.2 多年平均ET₀的空间变化

1957—2014年,山西省不同站点多年平均ET₀的空间变化较大,总体表现为:南高北低(图2)。区域内存在2个高值区、2个次高值区和2个低值区,其中运城和兴县为高值区,大同、晋城东部和长治东南部为次高值区,右玉、榆社为低值区。山西省不同站点多年平均ET₀介于878~1 133 mm之间,ET₀在1 000 mm以上的站点个数(8个)多于1 000 mm以下的站点个数(6个)。

春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)、冬季(12—次年2月)的ET₀空间分布差异显著,秋季ET₀的空间分布特征与多年平均ET₀的空间分布最为接近,其次为冬季,春季和夏季ET₀的空间分布特征与多年平均ET₀的空间分布相差较大(图3)。春季高值区出现在运城、兴县,次高值区为大同、原平、太原、介休,低值区为右玉、榆社。春季的ET₀介于285~340 mm之间。夏季的高值区出现

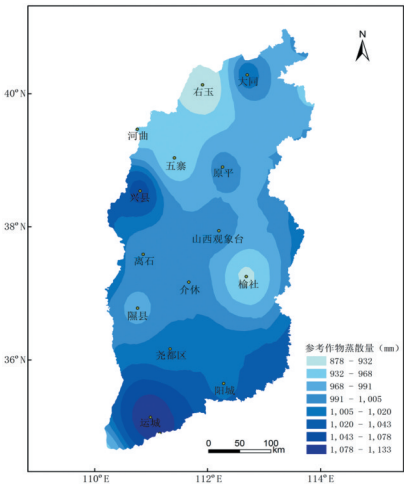


图2 山西省1997—2014年年均ET₀空间分布

在运城,次高值区为兴县、大同,低值区为榆社,次低值区为介休、右玉和五寨。夏季的 ET_0 介于377~477 mm之间。秋季的高值区出现在运城,次高值区为兴县、大同,低值区为榆社、右玉。秋季的 ET_0 介于158~212 mm之间。冬季的分布特征最为明显:南高北低。 ET_0 随纬度的升高而降低,高值区出现在南部的运城、阳城,低值区出现在北部的右玉、河曲。冬季的 ET_0 介于52~108 mm之间。4个季节的 ET_0 由高到低依次为:夏季、春季、秋季和冬季。

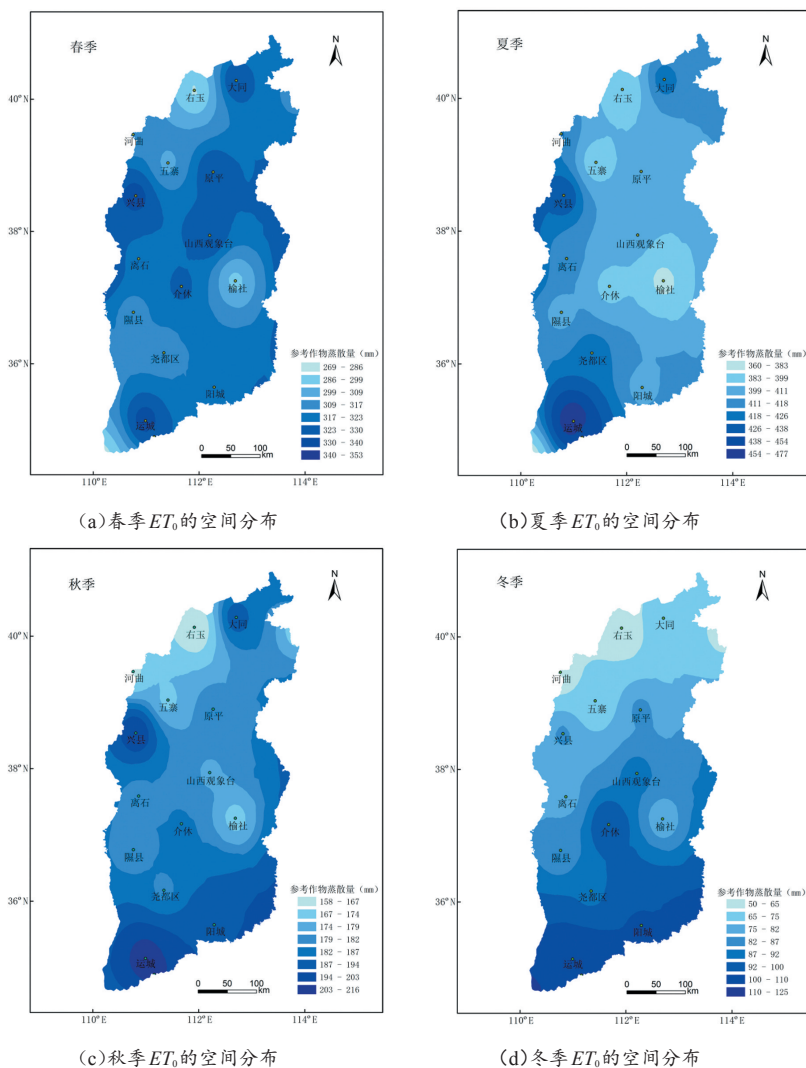


图3 山西省1957—2014年平均季节 ET_0 的空间分布

2.3 ET_0 的影响要素分析

2.3.1 气象要素对各站点年 ET_0 的影响

气象条件的不同会造成 ET_0 空间分布的差异,为明确气象要素对各站点年 ET_0 随时间变化的影响程度大小,同时消除简单相关分析中的各气象要素之间的共线性问题,本研究对山西省14个站点1957—2014年的年 ET_0 与同时期的气象要素进行逐步回归分析,从而使各气象要素对 ET_0 的影响程度进行量化。表3中的14个模型显著性水平都很高($P<0.001$)。年 ET_0 与温度、日照时间、风速呈正相关关系,这些气象要素的增加会导致 ET_0 的增加,而与相对湿度、降水量负相关,这些气象要素的增加会导致 ET_0 的减少。

各站点的主要影响因素有所区别(表3),但最主要的影响因素均为风速,风速每增加1 m/s,年 ET_0 增加67.872~168.291 mm,而且影响程度由北到南呈上升趋势。其次为平均温度或最高温,平均温度或最高温每增加1℃,年 ET_0 增加18.940~36.980 mm,影响程度由北到南波动上升。第三大影响因素为相对湿度,相对湿度每增加1%,年 ET_0 减少1.659~8.640 mm。第四大影响因素为日照时间或降水量,日照时间每增加1 h,年 ET_0 增加0.064~0.131 mm,影响程度由北向南呈上升趋势。降水量每增加1 mm年 ET_0 减少0.043~0.103 mm。北部的站点(大同、河曲)降水量的影响程度大于日照时间,中部和南部的站点日照时间的影响程度大于降水量的。各站点的回归模型均排除了最低温这一要素,说明最低温对年 ET_0 的变化影响较小。

表3 各站点年 ET_0 与气象要素的逐步回归模型及影响程度排序

站 点	截距	平均气温 t	最高温 $t_{\max}$	日照时间 H	风速 v	相对湿度 RH	降水量 p	R^2	影响程度排序
右 玉	490.263	—	22.408	0.086	67.872	-4.320	—	0.842***	$v, t_{\max}, RH, H$
大 同	865.563	29.437	—	0.064	79.086	-6.765	-0.103	0.856***	v, t, RH, p, H
河 曲	575.814	—	22.062	0.073	163.447	-2.741	-0.091	0.962***	v, t, RH, p, H
五 寨	463.411	—	28.848	0.095	84.631	-5.553	—	0.889***	$v, t_{\max}, RH, H$
兴 县	706.690	33.897	—	0.112	125.198	-8.640	—	0.889***	v, t, RH, H
原 平	645.843	—	18.940	0.079	87.445	-4.825	-0.078	0.879***	$v, t_{\max}, RH, H, p$
离 石	415.555	—	29.516	0.094	122.114	-5.713	—	0.938***	$v, t_{\max}, RH, H$
山西观象台	419.716	34.138	—	0.120	125.924	-4.010	-0.061	0.943***	v, t, RH, H, p
榆 社	338.813	24.956	—	0.128	144.311	-1.659	-0.064	0.924***	v, t, RH, H, p
隰 县	450.879	—	20.508	0.093	136.390	-3.618	-0.059	0.873***	$v, t_{\max}, RH, H, p$
介 休	389.648	—	25.630	0.102	128.061	-4.773	—	0.908***	$v, t_{\max}, RH, H$
尧都区	394.987	35.498	—	0.114	168.291	-4.631	-0.059	0.928***	v, t, RH, H, p
运 城	544.276	36.980	—	0.131	132.364	-7.002	-0.067	0.903***	v, t, RH, H, p
阳 城	523.048	27.244	—	0.110	139.763	-4.503	-0.043	0.904***	v, t, RH, H, p

2.3.2 气象要素对山西省不同站点多年平均 ET_0 的影响

为明确影响山西省多年平均 ET_0 及季节 ET_0 空间分布的主要影响因素,对气象要素的影响程度进行定量化,兹采用逐步回归对年均 ET_0 及季节 ET_0 与气象要素进行分析,得到5个回归模型,均通过了 $\alpha=0.001$ 的显著性检验(表4)。多年平均 ET_0 与多年平均温度、日照时间、风速、降水量正相关,这些气象要素的增加会导致 ET_0 的增加,而与相对湿度负相关,这些气象要素的增加会导致 ET_0 的减少。

表4 多年平均年 ET_0 、四季 ET_0 与气象要素的逐步回归模型及影响程度排序

时间	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	R^2	影响程度排序
春季	336.173	—	—	6.496	—	30.050	-2.157	—	0.950***	$v, t_{\min}, RH$
夏季	135.852	10.318	—	—	0.167	40.931	-2.434	0.090	0.994***	v, t, RH, H, p
秋季	182.875	—	—	4.634	—	30.569	-0.954	—	0.979***	$v, t_{\min}, RH$
冬季	18.202	—	4.372	1.573	0.069	22.996	—	—	0.990***	$v, t_{\max}, t_{\min}, H$
全年	1 019.627	—	—	18.879	—	118.637	-4.842	—	0.951***	$v, t_{\min}, RH$

春夏秋冬四季以及全年 ET_0 的影响要素有所差异,但最主要的影响要素仍是风速。风速每增加1 m/s,季节 ET_0 增加22.996~40.931 mm,年 ET_0 增加118.637 mm,风速对季节 ET_0 的影响程度由大到小的排序为:夏、秋、春、冬。其次为平均温度、最高温或最低温,温度每增加1℃,季节 ET_0 增加1.573~10.318 mm,年 ET_0 增加18.879 mm。第三大影响因素为相对湿度,相对湿度每增加1%,季节 ET_0 减少0.954~2.434 mm,年 ET_0 减少4.842 mm,相对湿度对季节 ET_0 的影响程度由大到小的排序为:夏、春、秋。第四大影响因素为日照时间,日照时间主要影响夏季和冬季的 ET_0 。日照时间每增加1 h,夏季 ET_0 增加0.167 mm,冬季 ET_0 增加0.069 mm。第五大影响因素为降水量,降水量主要影响夏季的 ET_0 ,降水量每增加1 mm,年 ET_0 增加0.090 mm。这与表3中 ET_0 与降水量呈反比的结论相悖,主要是因为夏季温度高、日照时间长,降水后水分会很快由地面进入大气中,使得 ET_0 增加。

结合图2和图3发现,年均 ET_0 和四季 ET_0 的空间分布图中,高值区均出现在运城地区。主要是由于运城位于运城盆地,受季风活动影响,相对山西省的其他地区而言,纬度低、日照时间长、气温高、风速大、降水少,从而使相对湿度较低,因此 ET_0 较大。这与文献[7]中温度高、日照时间长和风速大导致更高的 ET_0 这一研究相一致。大同地区春、夏、秋季以及全年 ET_0 较高,是因为气候干燥多风,冬季 ET_0 较低是由纬度高、日照时间短、气温低引起的。右玉 ET_0 较低主要是由于纬度低、日照时间短引起的。

多年平均年 ET_0 、四季 ET_0 与气象要素的逐步回归模型如下:

$$ET_0 = a_0 + a_1 t + a_2 t_{\max} + a_3 t_{\min} + a_4 H + a_5 v + a_6 RH + a_7 p \quad (3)$$

式中: ET_0 为参考作物蒸散量(mm/d); t 为平均气温(℃); $t_{\max}$ 为最高温(℃); $t_{\min}$ 为最低温(℃); H 为日照时间(h); v 为风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); RH 为相对湿度(%); p 为降水量(mm)。

2.3.3 地理要素对山西省不同站点多年平均 ET_0 的影响

ET_0 的计算公式中气象要素是主要的影响因子,但经度、纬度和海拔等地理要素也会对 ET_0 产生影响,因此兹对 ET_0 与地理要素的关系进行逐步回归分析,得出了5个模型(表5),5个模型的显著性水平都比较高($P<0.01$)。结果显示 ET_0 与海拔、纬度呈负相关关系,这些地理要素的增加会导致 ET_0 的减少。

表5 多年平均年 ET_0 、四季 ET_0 与地理要素的逐步回归模型及影响程度排序

时间	a_0	a_1	a_2	R^2	影响程度排序
春季	342.745	—	-0.028	0.304*	h
夏季	459.149	—	-0.054	0.395*	h
秋季	206.003	—	-0.027	0.309*	h
冬季	395.599	-8.317	—	0.655***	ϕ
全年	1 127.372	—	-0.151	0.519**	h

海拔是春、夏、秋以及全年 ET_0 的主要影响要素,海拔每增加1 m,季节 ET_0 减少0.027~0.054 mm,年 ET_0 减少0.151 mm,对季节 ET_0 的影响程度由大到小的排序为:夏、春、秋。运城站点海拔为365 m,右玉、大同和榆社海拔分别为1 345.8、1 067.2、1 041.40 m,而 ET_0 的计算结果是运城为高值区,右玉、大同和榆社为低值区(图2和图3),与研究结论一致。冬季 ET_0 的主要影响要素为纬度,纬度每增加1°, ET_0 减少8.317 mm。这与冬季 ET_0 随纬度上升而逐渐降低的分布特征(图3)相一致。5个回归模型均排除了经度要素,说明经度对 ET_0 的影响不明显。

多年平均年 ET_0 、四季 ET_0 与地理要素的逐步回归模型如下:

$$ET_0=a_0+a_1\phi+a_2h \quad (4)$$

式中: ET_0 为参考作物蒸散量(mm/d); ϕ 为纬度(度); h 为海拔(m)。

3 结 论

1)风速、日照时间、相对湿度随时间变化呈下降趋势,温度呈上升趋势。

2) ET_0 年值随时间的变化特征呈现混合模式。其中,10个站点的 ET_0 年值随时间变化呈下降趋势,其余4个站点的 ET_0 年值随时间变化呈上升趋势。

3)不同站点多年平均 ET_0 空间差异较大,总体表现为:南高北低。区域内存在2个高值区、2个次高值区和2个低值区,其中运城和兴县为高值区,大同、晋城东部和长治东南部为次高值区,右玉、榆社为低值区。

4)不同季节 ET_0 的空间分布差异较大,秋季 ET_0 的空间分布特征与多年平均 ET_0 的空间分布最为接近,其次为冬季,春季和夏季 ET_0 的空间分布特征与多年平均 ET_0 的空间分布相差较大。4个季节的 ET_0 由高到低的排序为:夏季、春季、秋季和冬季。

5)各站点年 ET_0 与同时期温度、日照时间、风速正相关,与相对湿度、降水量负相关。影响程度由大到小的排序为:风速、温度、相对湿度、日照时间、降水量。不同站点多年平均 ET_0 与海拔、纬度负相关。

6)山西省不同站点多年平均 ET_0 与多年平均温度、日照时间、风速、降水量正相关,与相对湿度负相关,影响程度由大到小的排序为:风速、温度、相对湿度、日照时间、降水量。

兹选取的研究时段较长,仅能够获取山西省15个站点的气象数据日值资料,而五台山站点海拔为2 208.3 m, ET_0 较低,空间插值时使用的周边区域的蒸散量明显低于正常值,所以剔除了该站点,剩余14个站点。山西省气候条件和地理环境变化较大,用14个站点的 ET_0 难以准确反映整个山西省 ET_0 的时空变化特征,这还需要在以后的研究中进行增补和完善。

参考文献:

- [1] 卓玛兰草,刘普幸,张亚宁,等. 甘肃黄土高原区潜在蒸散量时空变化与成因研究[J]. 水土保持研究,2012,19(1):70-75.
- [2] 张丽,吴金亮,杨国范. 基于BP神经网络的东港灌区作物需水量预测研究[J]. 水土保持研究,2012,19(6):207-210.
- [3] 张晓. 感热平衡原理测定土壤水分蒸发的改进及分解农田蒸散的实验研究[D]. 北京:中国农业大学,2014.
- [4] 米娜,陈鹏狮,张玉书,等. 几种蒸散模型在玉米农田蒸散量计算中的应用比较[J]. 资源科学,2009,31(9):1 599-1 606.
- [5] 徐新良,刘纪远,庄大方. GIS环境下1999-2000年中国东北参考作物蒸散量时空变化特征分析[J]. 农业工程学报,2004,20(2):10-14.
- [6] 段永红,陶澍,李本纲. 北京市参考作物蒸散量的时空分布特征[J]. 中国农业气象,2005,25(2):22-25.

- [7] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.
- [8] PETERSON T C, GOLUBEV V S, GROISMAN P Y. Evaporation Losing its strength[J]. Nature, 1995, 377(6551): 687-688.
- [9] HIDALGO H G, CAYAN D R, DETTINGER M D. Sources of Variability of Evapotranspiration in California[J]. Journal of Hydrometeor, 2005, (6): 3-18.
- [10] XIE X Q, WANG L. Changes of potential evaporation in Northern China over the past 50 years[J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(5): 683-691.
- [11] LIU Q, YANG Z F, CUI B S, et al. The temporal trends of reference evapotranspiration and its sensitivity to key meteorological variables in the Yellow River Basin, China[J]. Hydrological Processes, 2010, 24(15): 2171-2181.
- [12] 李志. 黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异[J]. 生态学报, 2012, 32(13): 4139-4145.
- [13] 王幼奇, 樊军, 邵明安, 等. 黄土高原地区近 50 年参考作物蒸散量变化特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 6-10.
- [14] 刘广东, 李艳, 刘海军, 等. 山西地区近 55 年参考作物蒸散量的变化特征及其主要影响因素分析[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(4): 26-30.
- [15] 赵传成, 王雁, 丁永建, 等. 西北地区近 50 年气温及降水的时空变化[J]. 高原气象, 2011, 30(2): 385-390.

Spatio-Temporal Variations of Reference Crop Evapotranspiration and Factors Affecting It in Shanxi Province

SUN Jinghua, ZHANG Wuping, WU Yanan, WEI Qiang

(College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: Spatio-temporal variation of reference evaporation (ET_0) in Shanxi Province was calculated using the Penman-Monteith model based on daily climatic data collected from 35 meteorological stations in Shanxi and its proximal regions from 1957 to 2014, using a simple linear regression with an inverse distance-weighting method. We also analyzed the factors that affect the variation of ET_0 using a stepwise regression. The results showed that: ①The change of annual average ET_0 fluctuated but with a declining trend. ②The multi-year average of ET_0 varied spatially with two peaks, two sub-peaks and two troughs; the spatial distribution of multi-year average of ET_0 was similar to the distribution of ET_0 in autumn, but differed considerably from that in spring, winter and summer. ③In each meteorological station, the factors that significantly affected the annual average ET_0 was in order of wind speed, temperature, relative humidity, sunshine hours or precipitation, while for the average over the province, the factors that affected the ET_0 significantly was in the order of wind speed, temperature, relative humidity, sunshine hours and precipitation. Also, the impact of altitude on ET_0 was more significant than latitude.

Key words: Shanxi province; reference crop evapotranspiration; temporal-spatial variation; influencing factors

责任编辑: 赵宇龙