

安徽省近 40 年参考作物蒸散量的敏感性分析

吴文玉^{1,2}, 孔芹芹³, 王晓东^{1,2}, 马晓群^{1,2}, 何彬方^{1,2}, 张宏群^{1,2}

1. 安徽省气象科学研究所, 安徽 合肥 230031; 2. 安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室, 安徽 合肥 230031;

3. 安徽省气象信息中心, 安徽 合肥 230031

摘要: 利用安徽省 79 个站点 1971—2010 年逐日气象资料, 采用 FAO Penman-Monteith 公式计算了近 40 年安徽省参考作物蒸散量 (ET_0) 以及 ET_0 对日照时数、相对湿度、风速、温度等气象因子的敏感系数, 并对 ET_0 的时空分布和 4 个气象因子敏感系数的时空变化特征进行了分析。结果表明: 近 40 年来安徽省年平均参考作物蒸散量为 862 mm, 自 1971 年以来, 年平均参考作物蒸散量总体上呈现波动下降趋势; 空间分布上, 基本呈自北向南、自低向高递减趋势; ET_0 与平均温度、日照时数、相对湿度和风速的敏感性方面, ET_0 对相对湿度的变化最为敏感, 其次是日照时数、风速, 对平均温度的敏感性最低。从近 40 年各气象因子敏感系数的多年变化特征来看, 平均温度、日照时数和风速的敏感系数以平稳波动为主, 年际间变化不是很明显, 而相对湿度敏感系数则呈现明显的上升趋势 (通过 0.01 的显著性检验), 其绝对值有明显的减小趋势, 表明相对湿度对参考作物蒸散的敏感性在减弱。在年内变化特征方面, 总体来说, 相对湿度敏感系数年内变化表现为明显的双峰型变化特征, 而平均温度、日照时数和风速年内变化特征为单峰型。在这 4 个气象要素对 ET_0 的贡献率方面, 贡献率最大的是相对湿度, 四个影响 ET_0 的气象要素对 ET_0 变化的总贡献为 -1.33%。综合敏感性和贡献率两方面因素分析, 日照时数和风速的变化趋势在很大程度上解释了 ET_0 呈下降趋势的原因。

关键词: 参考作物蒸散; 时空分布; 敏感系数; 贡献率; 安徽省

中图分类号: S161.4⁺2

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2013) 07-1160-07

引用格式: 吴文玉, 孔芹芹, 王晓东, 马晓群, 何彬方, 张宏群. 安徽省近 40 年参考作物蒸散量的敏感性分析[J]. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1160-1166.

WU Wenyu, KONG Qinqin, WANG Xiaodong, MA Xiaqun, HE Binfang, ZHANG Hongqun. Sensitivity analysis of reference crop evapotranspiration in Anhui province in the recent 40 years [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(7): 1160-1166.

参考作物蒸散量是作物需水量估算和预测, 以及陆地生态和农田水分管理的重要基础参数^[1-3]。参考作物蒸散量受多重因素影响, 在较大区域范围内实际测定有较大难度, 通常采用估算的方法。在多种估算方法中, 由联合国粮农组织 (FAO) 1998 年推荐的 Penman-Monteith 方法较全面地考虑了影响蒸散的各种因素, 而且在气候条件差异较大 (湿润、干旱或风速变化范围较大等) 地区的应用中都取得了较好的结果^[4-5], 本文参考作物蒸散量 (ET_0) 采用该方法计算。

受环境因素影响, 各地参考作物蒸散量的变化规律和影响因子具有不同的特点, 研究方法通常有趋势分析和相关分析等; 近年来, 随着研究的不断深入, 国内外学者开始探讨参考作物蒸散量变化原因的定量化分析方法, 并取得了一定的研究成果^[6-11]。在敏感性分析方面, 研究不同区域参考作物蒸散对气象要素敏感性的差异有其特殊的意义, 曾

丽红等^[9]的分析表明东北地区 ET_0 对气温最为敏感; 刘小莽等^[10]的分析表明海河流域 ET_0 对水汽压为最敏感。安徽地处暖温带与亚热带过渡地区, 气候温暖湿润, 四季分明。全省国土面积为 1.396×10^5 km², 位于 $114^\circ 54' \sim 119^\circ 37' E$ 与 $29^\circ 41' \sim 34^\circ 38' N$ 之间, 地形地貌多样。气候条件分布差异明显, 降水年际变化大, 农业旱涝等自然灾害发生, 给农业生产带来不利影响, 研究安徽省参考作物蒸散的时空特征及变化趋势对农作物合理灌溉和种植布局等具有重要指导意义。本文分析了参考作物蒸散的时间变化特征, 并利用 GIS 空间技术分析 ET_0 的空间分布特征, 特别是深入分析 ET_0 对各气象要素的敏感性, 可较全面地认识该地区参考作物蒸散变化规律以及温度、日照时数和相对湿度等气象因子对其定量影响, 为总体上探索作物需水的地区差异及该地区干湿状况分布提供理论依据, 同时对安徽省水资源优化分配和旱涝灾害的成因研究具有重要

基金项目: 国家公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201006027); 中国气象局气象监测与灾害预警工程项目; 安徽省气象局气象科研课题 (KM201110Z); 安徽省气象局业务建设项目 (YWNL201303)

作者简介: 吴文玉 (1978 年生), 男, 高级工程师, 硕士, 从事生态环境遥感与应用气象研究。Email: wuwu2000@126.com

收稿日期: 2013-04-11

意义。

1 资料与方法

1.1 资料来源及处理

本文使用安徽省 79 个气象台站 1971—2010 年的气象观测资料(平均温度、日照时数、相对湿度、风速等),地理信息数据包括 DEM 高程、行政边界等。气象资料由安徽省气象信息中心提供,地理信息数据来源于中国气象局下发资料。安徽省气象站点分布图见图 1。在数据处理方面,利用逐日资料计算参考作物蒸散量,得到旬月合计值、季节合计值,而不是直接用月资料计算,保留了各种气象要素对蒸散的非线性影响,提高了计算精度。气象数据处理及参考作物蒸散量的计算采用 VS 编程处理,空间分布采用 ArcGIS 软件制图,敏感系数计算采用 Matlab 软件编程。

物蒸散量 ET_0 定义为“从一种假定作物植株高度为 12 cm,反射率为 0.23,表面阻力为 $70 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$ 的参考作物冠层的蒸散量,相当于高度一致、生长旺盛、完全覆盖地面且水分供给充足的开阔绿色植被的蒸散量”^[12]。基于这样一个假想的统一下垫面, ET_0 仅为气候要素的函数。FAO P-M 模型主要由 2 项组成:一项是由辐射平衡引起的蒸散;另一项是由空气温度、风速和水汽压差等空气动力部分引起的蒸散。FAO 提供了 FAO P-M 模型所需的多种参数。模型在广泛应用的过程中,应用者根据研究区域状况对相关参数进行了修正^[13-15],以期得到更好的估算效果。该模型在安徽应用时,马晓群等^[14]利用安徽省实测的辐射资料对辐射项参数(a 、 b 值)进行了修正,得到代表站各月 a 、 b 值(表 1),其余参数采用原模型推荐值,根据公式(1)计算得到 R_{ns} 。

$$R_{ns} = (1 - \alpha)(a + b \frac{n}{N})R_a \quad (1)$$

式中: R_{ns} 为太阳净辐射, $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$; n 为日照时数, h ; N 为可照时数, h ; R_a 为宇宙辐射, $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$; a 、 b 为辐射项参数; α 为常数项,一般取 0.23。

1.2.2 空间插值方法

参考作物蒸散空间分析采用 ArcGIS 空间插值方法中的克里格法(Kriging),克里格法是建立在地统计学基础上的一种插值方法。该法以区域化变量理论为基础,以半变异函数为分析工具,既可对内插误差进行分析,还能对误差进行逐点的理论估计,对空间分布具有随机性与结构性的变量的研究具有独特的优点。近年来在地质、气象等研究领域里得到广泛应用^[16-18]。

1.2.3 时间变化趋势分析

气候倾向率:

$$\hat{x}_i = \alpha + \beta \times t_i \quad i=1,2,3,\dots,40 \quad (2)$$

式中: \hat{x}_i 为研究要素的拟合值, α 为要素的逐年变化率, $\beta \times 10$ 称为要素的气候倾向率,表示气候要素 10 年的变化速率, t 为时间序列^[19]。

1.2.4 敏感系数

参考作物蒸散量的敏感系数是表征一个或几个相关气象因子的变化对参考作物蒸散变化影响

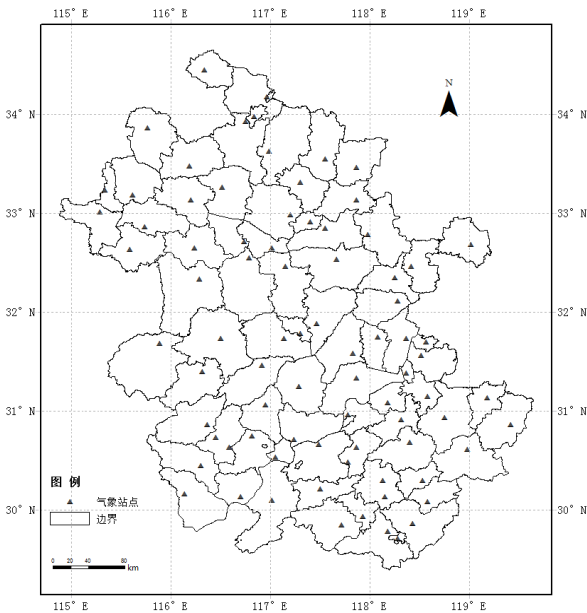


图 1 安徽省气象站点分布图

Fig.1 Distribution of meteorological observation stations in Anhui Province

1.2 研究方法

1.2.1 参考作物蒸散量的计算方法

采用 FAO 1998 年推荐的 FAO Penman-Monteith 公式(简称 FAO P-M 模型)计算参考作物蒸散量 ET_0 ^[5,12]。FAO P-M 模型对参考作

表 1 安徽省合肥、屯溪代表站各月 a、b 值

Table 1 Monthly value of a and b in Hefei and Tunxi Station

台站		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
合肥	a	0.13	0.14	0.14	0.15	0.17	0.15	0.19	0.18	0.2	0.15	0.13	0.14
	b	0.56	0.58	0.61	0.6	0.57	0.56	0.54	0.53	0.5	0.57	0.55	0.52
屯溪	a	0.13	0.14	0.11	0.14	0.17	0.16	0.2	0.2	0.19	0.19	0.18	0.15
	b	0.6	0.58	0.66	0.61	0.55	0.6	0.53	0.51	0.54	0.53	0.55	0.58

程度的定量参数,定义为参考作物蒸散变化率与气象因子变化率之比^[20],计算公式如下:

$$S_{V_i} = \lim_{V_i \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta ET_0 / ET_0}{\Delta V_i / V_i} \right) = \frac{\partial ET_0}{\partial V_i} \cdot \frac{V_i}{ET_0} \quad (3)$$

式中: S_{V_i} 为敏感系数; ET_0 、 ΔET_0 分别为参考作物蒸散量及其变化量; V_i 、 ΔV_i 分别为气象因子及其变化量。如果 $S_{V_i} > 0$, 表示参考作物蒸散量随气象因子的增加而增加,反之则随气象因子的增加而减少,其数值越大表示该气象因子的变化对参考作物蒸散量的影响越大。

1.2.5 气象因子对参考作物蒸散(ET_0)的贡献

将单个气象因子的敏感系数与该要素的多年相对变化相乘,可得到由此要素引起的 ET_0 的变化,即该要素对 ET_0 变化的贡献^[21],其中引起 ET_0 增加称为正贡献,引起 ET_0 减小称为负贡献。具体表达形式如下:

$$Con_{V_i} = S_{V_i} \times RC_{V_i} \quad (4)$$

$$RC_{V_i} = \frac{n \times Trend}{|av|} \times 100\% \quad (5)$$

式中: Con_{V_i} 为气象因子 V_i 对 ET_0 变化的贡献,

S_{V_i} 为 V_i 的敏感系数, RC_{V_i} (单位: %) 是 V_i 的多年相对变化,可基于安徽省 40 年 V_i 的平均值 av 和逐年变化率 $Trend$ 计算得到,其中逐年变化率 $Trend$ 由趋势分析法^[22]计算得到。

通过 Penman-Monteith 公式计算得到的 ET_0 多年相对变化 RC_{ET_0} 称为 ET_0 的实际变化:

$$RC_{ET_0} = \frac{n \times Trend_{ET_0}}{|av_{ET_0}|} \quad (6)$$

式中: av_{ET_0} 和 $Trend_{ET_0}$ 分别是 40 年 ET_0 的平均值和逐年变化率。

影响 ET_0 变化的气象因子众多,本文将平均温

度、相对湿度、日照时数和风速 4 个因子的贡献累加后就得到对 ET_0 变化的总贡献,公式为:

$$Con_{ET_0} = Con_{TA} + Con_{RH} + Con_{SH} + Con_{WS} \quad (7)$$

式中: Con_{ET_0} 表示 4 个气象因子共同作用引起的 ET_0 变化,也称为 ET_0 的估计变化。 Con_{TA} 、 Con_{RH} 、 Con_{SH} 和 Con_{WS} 分别代表平均气温、相对湿度、日照时数和风速对 ET_0 变化的贡献。

2 结果与分析

2.1 安徽省参考作物蒸散量的时空变化

2.1.1 安徽省参考作物蒸散量的空间分布

安徽省 1971—2010 年年平均参考作物蒸散量为 862.6 mm; 年参考作物蒸散总量约为 $1204 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。多年平均参考作物蒸散量的空间分布如图 2 所示。空间分布基本呈自北向南、自低向高递减趋势,高值区位于淮北中北部、低值区位于皖南山区和大别山区。安徽省 40 年平均参考作物蒸散量各地变化幅度为 762 ~ 957 mm,平原地区为 860 ~ 950 mm,尤以淮北中部和沿淮局部达到 940 mm 以上;丘陵山区小于 860 mm,尤其是皖南山区和大别山区多年平均值多在 850 mm 以下。

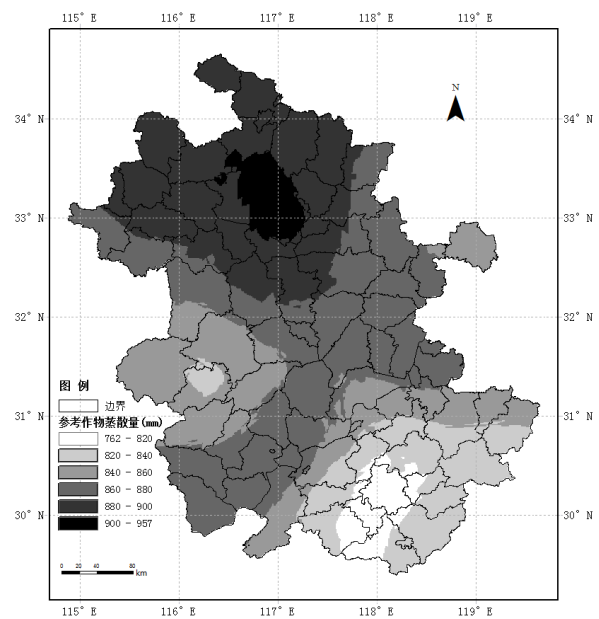


图 2 1971—2010 年年平均参考作物蒸散量空间分布

Fig.2 Spatial distribution of average annual reference crop evapotranspiration in Anhui Province during 1971 and 2010

2.1.2 安徽省参考作物蒸散量的时间变化

安徽省参考作物蒸散量的年代际变化较大^[16]。各站点多年平均值变化幅度 20 世纪 70 年代(1971—1980 年)为 682~972 mm, 平均为 876 mm; 20 世纪 80 年代(1981—1990 年)为 666~932 mm, 平均为 849 mm; 20 世纪 90 年代(1991—2000 年)为 697~1 061 mm, 平均为 862 mm; 21 世纪近 10 年来(2001—2010 年)为 702~926 mm, 平均为 864 mm。总体以 20 世纪 70 年代最高, 80 年代最低, 90 年代后有所回升, 但仍低于 70 年代。年际变化显示自 1971 年以来, 参考作物蒸散量总体上呈现波动下降趋势(如图 3)。这与 Axel^[23]利用中国 65 个气象站点近 40 年的气象资料得出中国年均

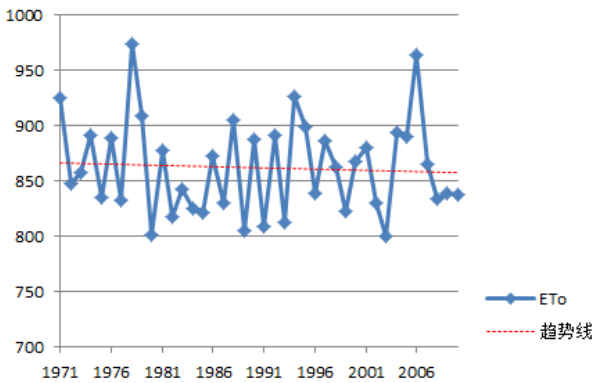


图 3 安徽省年平均参考作物蒸散量(mm)的年际变化
Fig.3 Temporal changes of average annual reference crop evapotranspiration during 1971 and 2010 in Anhui Province

参考作物蒸散量总体上是下降趋势的结论以及高歌等^[24]利用 1956—2000 年全国 580 个气象站资料得出全国绝大多数地区的年均参考作物量呈现明显的减少趋势, 且全国 20 世纪 70 年代的年平均参考作物蒸散量较常年偏多的结论一致。

2.2 气象因子对参考作物蒸散的敏感性分析

本文选择平均温度、日照时数、相对湿度和风速 4 个气象因子, 计算其对安徽省参考作物蒸散量的敏感系数。计算结果表明: 相对湿度的敏感系数

为负值, 其余 3 个要素的敏感系数均为正值; 且相对湿度敏感系数的绝对值最大, 全省平均值为 -1.770, 其次是日照时数和风速, 分别为 0.229 和 0.144, 平均气温敏感系数最小, 仅为 0.096(表 2)。即相对湿度是 ET₀ 的主要控制因子, 相对湿度发生 10% 的变化可能引起 ET₀ 发生高达 17.7% 的变化。

表 2 安徽省各气象要素的敏感系数
Table 2 Sensitivity coefficients of meteorological factors in Anhui Province

安徽全省平均	S _{TA}	S _{RH}	S _{SH}	S _{WS}
敏感系数	0.096	-1.770	0.229	0.144

S_{TA}、S_{RH}、S_{SH} 和 S_{WS} 分别代表 ET₀ 对平均温度、相对湿度、日照时数和风速的敏感系数

1) 敏感系数的空间分析。图 4 为安徽省四个气象因子(平均温度、相对湿度、日照时数和风速)敏感系数的空间分布, 各因子敏感系数的空间分布特征不尽相同。平均温度敏感系数呈一定程度的纬向分布特征, 随着纬度的增加而减小, 沿淮淮地区普遍小于 0.08, 江淮地区为 0.08~0.10, 存在两个高值区, 分别为大别山区和皖南, 其值普遍大于 0.12; 日照时数敏感系数纬向分布特征不明显, 且其值地区间差异不大, 数值普遍为 0.21~0.25, 其中沿淮淮北中部和江淮中西部为两个低值区, 不足 0.22, 而大别山区大部 and 江南部分地区为两个高值区, 其值大于 0.24; 相对湿度敏感系数绝对值总体分布特征表现为平原区大于山地丘陵区, 受地形因素影响较大, 其中大别山区和皖南山区相对湿度敏感系数绝对值不足 1.4; 风速的敏感系数纬向分布特征也较为明显, 随着纬度的增加而增加, 北部高值区在 0.18 以上, 而南部低值区则不足 0.1, 相差近 1 倍。

2) 敏感系数的多年变化特征。从安徽省近 40 年各气象要素敏感系数的多年变化特征(图 5)来看, 平均温度、日照时数和风速的敏感系数主要以平稳波动为主, 年际间变化不是很明显, 而相对湿度敏感系数则呈现明显的上升趋势(通过 0.01 的显

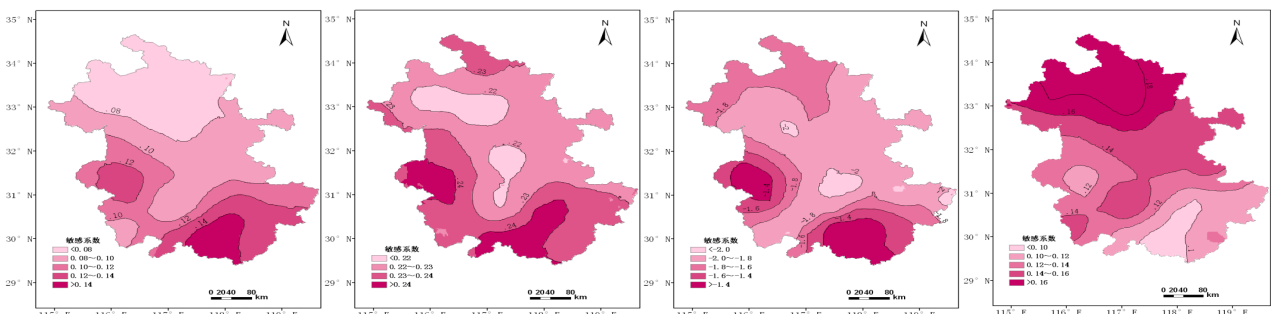


图 4 气象因子敏感系数的空间分布(平均温度、相对湿度、日照时数和风速)
Fig.4 Spatial distribution of meteorological factors' sensitivity coefficients

著性检验),其绝对值有明显的减小趋势,表明相对湿度对参考作物蒸散的敏感性在减弱。

3)敏感系数的年内变化分析。安徽省各气象因子敏感系数的年内变化也有其独有的分布特征(图6),平均温度敏感系数夏季大,冬季小,最大

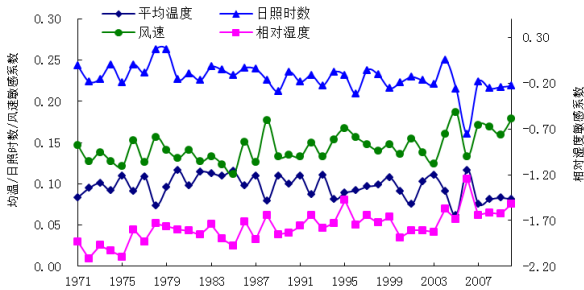


图5 年际间气象因子敏感系数变化特征
Fig.5 Annual change of sensitivity coefficients

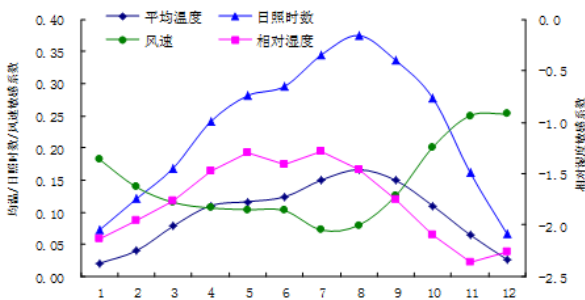


图6 年内气象因子敏感系数变化特征
Fig.6 Monthly change of sensitivity coefficients

值出现在8月,其全省平均值为0.166,最小值出现在1月,其全省平均值为0.02;日照时数敏感系数的年内变化特征与平均温度相似,最大值出现在8月,其值为0.375,而最小值则出现在12月,其值为0.066;风速敏感系数年内变化与前两者相反,夏季小,冬季大,最小值出现在7月,为0.072,最大值出现在12月,为0.153;相对湿度敏感系数的年内变化特征表现为双峰型曲线,总体呈现夏季大、冬季小,5月和7月值较大,而11月值最小,为-2.369。总体来说,相对湿度敏感系数年内变化表现为明显的双峰型变化特征,而温度、日照时数和风速年内变化特征为单峰型。其中,ET₀在春夏季(3月至10月份)对日照时数的变化都比其他3个气象因子敏感度高,在8月份ET₀对日照时数的变化最为敏感,而7、8月份ET₀对风速的变化敏感度最低;秋冬季(11月至次年2月)对风速的变化较为敏感,11月份对相对湿度的变化最不敏感。各要素年内变化特征与前人的研究结果^[25]基本一致,但相对湿度年内双峰型特征较为明显,与梁丽乔等人的研究结果^[26]略有不同。

2.3 各气象因子对参考作物蒸散(ET₀)变化的贡献

近40年来安徽省各气象要素对ET₀贡献率的分析结果表明,贡献率最大的是相对湿度,对参考作物蒸散是正贡献,其次是日照时数和风速,两者对参考作物蒸散都是负贡献,而平均温度对参考作物蒸散贡献率最小。4个影响参考作物蒸散的主要因子对参考作物蒸散变化的总贡献率为-1.33%(公式7),而40年来参考作物蒸散量多年平均变化为-1.15%(公式6),其他环境因子的变化可能对参考作物蒸散起到了正贡献(0.18%)。

分析各因子的敏感性系数和多年变化与贡献率的关系(表3),可以看到,参考作物蒸散量对相对湿度的变化(负效应)最敏感,对其他三因子的敏感性(正效应)较小,但是风速多年变化量最大,其次是日照时数和平均温度,相对湿度的变化很小,综合两方面的因素,相对湿度对参考作物蒸散贡献率(正影响)不及风速和日照时数(负影响),这也在很大程度上定量解释了参考作物蒸散的多年下降趋势。

表3 安徽省气象要素敏感系数、多年相对变化及对ET₀变化的贡献
Table 3 Sensitivity coefficients and relative changes of four meteorological factors and their contribution to ET₀ in Anhui Province

气象因子	敏感系数	多年相对变化/%	贡献/%
平均温度	0.096	8.95	0.86
日照时数	0.229	-15.85	-3.63
相对湿度	-1.770	-3.83	6.79
风速	0.144	-37.15	-5.35
ET ₀	—	-1.15	-1.33

3 结论

本文采用气候倾向率、ArcGIS空间插值及敏感系数分析等方法研究了近40年(1971—2010年)安徽省参考作物蒸散量的时空变化特征,分析了ET₀与平均温度、日照时数、相对湿度、风速等四个主要气象因子的敏感性关系,具体分析了各因子对参考作物蒸散量的贡献,主要结论如下

1)近40年安徽省年平均参考作物蒸散量为862.6 mm,空间分布基本呈自北向南、自低向高递减趋势的分布特征;安徽省参考作物蒸散量的年代际变化较大,年际变化显示总体以20世纪70年代最高,自1971年以来参考作物蒸散量总体上呈现波动下降趋势。

2)平均温度、日照时数、相对湿度和风速四个气象因子与ET₀的敏感性分析表明,ET₀对相对湿度的变化最为敏感,其次是日照时数,对风速和平均温度的敏感性最低;在这4个气象要素对ET₀的贡献率方面,贡献率最大的是相对湿度,对参考

作物蒸散是正贡献,其次是日照时数和风速,两者对参考作物蒸散都是负贡献,而平均温度对参考作物蒸散贡献率最小,4个主要气象因子对参考作物蒸散变化的总贡献为-1.33%。

3)在4个气象因子敏感系数的年内变化特征方面,相对湿度呈双峰型曲线,其他3个因子呈单峰曲线,与前人的一些研究结论(年内气象因子对 ET_0 敏感系数的变化呈单峰型曲线)有差异,可能由于研究区域或资料年代的不同引起,有待今后进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 张山清, 普宗朝. 新疆参考作物蒸散量时空变化分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 73-79.
- [2] 谢贤群, 王菱. 中国北方近50年潜在蒸发的变化. 自然资源学报[J], 2007, 22(5): 683-691.
- [3] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements: irrigation and drainage paper 56. Rome: FAO, 1998.
- [4] 陈超, 庞艳梅, 潘学标, 等. 四川地区参考作物蒸散量的变化特征及气候影响因素分析[J]. 中国农业气象, 2011, 32(1): 35-40.
- [5] 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.
- [6] 谢平, 陈晓宏, 王兆礼, 等. 气象因子的变化对参考作物蒸发蒸腾量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(5): 12-15.
- [7] 封志明, 杨艳昭, 丁晓强, 等. 甘肃地区参考作物蒸散量时空变化研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 99-103.
- [8] 曹雯, 申双和, 段春锋. 西北地区近49年生长季参考作物蒸散量的敏感性分析[J]. 中国农业气象, 2011, 32(3): 375-381.
- [9] 曾丽红, 宋开山, 张柏, 等. 东北地区参考作物蒸散量对主要气象要素的敏感性分析[J]. 中国农业气象, 2010, 31(1): 11-18.
- [10] 刘小莽, 郑红星, 刘昌明, 等. 海河流域潜在蒸散的气候敏感性分析[J]. 资源科学, 2009, 31(9): 1470-1476.
- [11] 曹雯, 申双和, 段春锋. 西北地区生长季参考作物蒸散变化成因的定量分析[J]. 地理学报, 2011, 66(3): 407-415.
- [12] Allen R G, Jensen M E, Burman R D. Operational estimates of reference evapotranspiration[J]. Agron J, 1998, 81: 650-662.
- [13] Walter I A, Allen R G, Elliott R, et al. ASCE's standardized reference evapotranspiration equation[C]/Evans R L. Proceedings of the 4th Decennial symposium, National Irrigation Symposium. Michigan: American Society of Civil Engineers, 2000: 1-6.
- [14] 马晓群, 吴文玉, 张辉. 农业旱涝指标及其在江淮地区监测预警中的应用[J]. 应用气象学报, 2009, 20(4): 186-194.
- [15] 刘钰, Pereira L S. 对FAO推荐的作物系数计算方法的验证[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 26-30.
- [16] 吴文玉, 马晓群, 陈晓艺, 等. GIS支持下安徽省近35a参考作物蒸散量的时空变化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 251-256.
- [17] 李海滨, 林忠辉, 刘苏峡. Kriging方法在区域土壤水分估值中的应用[J]. 地理研究, 2001, 20(4): 446-452.
- [18] 邵晓梅, 严昌荣, 魏红兵. 基于Kriging插值的黄河流域降水时空分布格局[J]. 中国农业气象, 2006, 27(2): 56-69.
- [19] 王菱, 谢贤群, 李运生, 等. 中国北方地区40年来湿润指数和气候干湿带界线的变化[J]. 地理研究, 2004, 23(1): 45-54.
- [20] McCuen R H. A sensitivity and error analysis of procedures used for estimating evaporation[J]. Water Resource Bulletin, 1974, 10(3): 486-498.
- [21] YIN Yunhe, WU Shaohong, Chen Gang. Attribution analyses of potential evapotranspiration changes in China since the 1960s[J]. Theor Appl Climatol, 2010, 101: 19-28.
- [22] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近100年来4个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 431-439.
- [23] Axel T H. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China[J]. International Journal of Climatology, 2000, 20: 381-396.
- [24] 高歌, 陈德亮, 任国玉, 等. 1956—2000年中国潜在蒸散量变化趋势[J]. 地理研究, 2006, 25(3): 378-387.
- [25] GONG Lebing, XU Chongyu, CHEN Deliang, et al. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang basin[J]. Journal of Hydrology, 2006, 329: 620-629.
- [26] 梁丽乔, 李丽娟, 张丽, 等. 松嫩平原西部生长季参考作物蒸散发的敏感性分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 1-5.

Sensitivity analysis of reference crop evapotranspiration in Anhui province in the recent 40 years

WU Wenyu^{1,2}, KONG Qinqin³, WANG XiaoDong^{1,2}, MA Xiaoqun^{1,2}, HE Binfang^{1,2}, ZHANG Hongqun^{1,2}

1. Anhui Meteorological Institute, Hefei 230031, China;

2. AnHui Province Atmospheric Science and Satellite Remote Sensing Key Laboratory, Hefei 230031, China;

3. Anhui Province Meteorological Information Center, Hefei 230031, China

Abstract: Using the FAO Penman-Monteith equation to calculate ET_0 based on daily meteorological data collected from 79 meteorological stations from 1971 to 2010 in Anhui Province, quantitative analysis had been done on temporal and spatial distribution characteristics as well as influencing factors of ET_0 respectively. The results showed that average yearly ET_0 was 862 mm and with a trend of “fluctuate-decrease” since 1971. Generally, it decreased from the northeast to the southwest, which was

higher in plain, and lower in mountain. As for analysis of sensitivity coefficient, the largest factor contribution to the change of ET_0 was relative humidity, the second were sunshine hours and wind speed, the minimum was average temperature. In recent 40 years, the yearly change trends of sensitivity coefficient of average temperature, sunshine hours and wind speed were not obvious and presented smooth fluctuation, while the change trends of sensitive coefficient of relative humidity showed a clear upward trend($\alpha=0.01$). its absolute value decreased, indicating that the relative humidity sensitivity of ET_0 in weakening trend. In the annual change characteristics, sensitive coefficient variation of relative humidity showed obvious double peak characteristics, while the annual change characteristics of the average temperature, sunshine hours and wind speed showed single peak. Concerning to contribution of main factors to ET_0 , the largest one was relative humidity, total contribution of four main factors to ET_0 was -1.33, and the change of sunshine hours and wind speed largely explained the decrease trend of ET_0 .

Key words: evapotranspiration; spatiotemporal pattern; sensitivity coefficient; contribution rate; Anhui province