

# 松嫩平原西部生长季参考作物蒸散发的敏感性分析

梁丽乔<sup>1,2</sup>, 李丽娟<sup>1\*</sup>, 张丽<sup>1,2</sup>, 李九一<sup>1,2</sup>, 姜德娟<sup>1,2</sup>, 胥铭兴<sup>3</sup>, 宋文献<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;  
3. 吉林省白城水文水资源勘测局, 白城 137000)

**摘要:** 为了预测气候变量扰动引起的区域参考作物蒸散发的变化, 该文以松嫩平原西部为研究区, 运用 FAO Penman-Monteith 方程计算了 34 个站点 1951~2001 年的生长季参考作物蒸散发, 并计算其对气温、风速、日照时数和相对湿度的敏感系数, 最后分析了敏感系数的时空变化特征。结果表明: 参考作物蒸散发对相对湿度最为敏感, 其次是气温, 最后是风速和日照时数; 5~9 月, 气温和日照时数的敏感系数呈单峰型分布, 在 7 月份达到最高值, 风速敏感系数呈单谷型分布, 在 7 月份达到最低值, 相对湿度敏感系数的绝对值表现为持续上升趋势; 生长季气候变量敏感系数的空间差异性较大。日照时数、气温、风速等 3 个气候变量的敏感系数都在研究区西南部形成高值区, 而相对湿度则在研究区西南部形成低值区, 在研究区东北部形成高值区。

**关键词:** 参考作物蒸散发; Penman-Monteith 方程; 敏感系数; 松嫩平原西部

**中图分类号:** S274.1; S161.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-5-0001-05

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.

Liang Liqiao, Li Lijuan, Zhang Li, et al. Sensitivity of the reference crop evapotranspiration in growing season in the West Songnen Plain[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5): 1-5.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

蒸散发作为一个重要的气象要素和水文循环环节, 直接关系到地表的能量平衡和水量平衡, 决定了地理环境的形成和演化。在众多的国际研究计划中, 都将与蒸散发有关的地表水、热通量研究作为重要研究内容。参考作物蒸散发在农业灌溉设计、水量平衡模型运行和实际蒸散发的估算中, 是必不可少的重要水文变量之一。FAO<sup>[1]</sup>将参考作物蒸散发( $ET_0$ )定义为: 从假设作物高度为 0.12 m, 并有固定的表面阻力为 70 s/m, 反照率为 0.23 的参考冠层的蒸散发, 相当于高度一致, 生长旺盛, 完全覆盖地面而不缺水的开阔草地的蒸散发。参考作物蒸散发独立于作物的类型、生长阶段和作物管理方式, 只受气象条件的影响, 可由气象数据计算得到。在众多的估算方法中, 当需要的气象数据均能得到满足时, Penman-Monteith (PM) 方法被 FAO 推荐为估算参考作物蒸散发的唯一方法, 并得到了广泛应用<sup>[2-8]</sup>。运用 PM 方法需要的气象要素较多, 包括气温、风速、相对湿度和日照时数, 而在全球范围内, 特别是发展中国家, 4 个要素同时被观测的气象站并不多, 观测数据可靠的气象站则少之又少。因此, 了解参考作物蒸散发对单要素或多要素引起的气候变化的敏感性, 可以更深刻的认识气

候变化和参考作物蒸散发之间的关系, 以及数据可获得性与估算精度之间的关系。根据参考作物蒸散发对主要气象因素的敏感系数, 可以快速估算当某要素或多要素发生变化时蒸散发的相应变化量, 既满足一定的精度, 又具有最低限度的数据要求, 在缺乏详细气象记录的地区显得非常实用。操作运行灌溉计划或水管理系统时, 可以根据敏感系数快速估算蒸散发。此外, 量化各种气象要素的变化对参考作物蒸散发的影响, 也是研究气候变化如何影响参考作物蒸散发和水量平衡各分项的基础。

目前, 国内外对参考作物蒸散发的敏感性研究很少, 而且大多基于一个站点开展, 时间跨度也较短<sup>[9,10]</sup>。Gong Lebin 等<sup>[11]</sup>计算了长江流域参考作物蒸散发对于平均气温、相对湿度、风速和辐射等主要气象要素的敏感系数, 并分析了其空间分布特征, 但该成果局限于低纬度湿润地区。本文选择干旱半干旱的松嫩平原西部为研究区, 采用多个站点、较长时间尺度的气象资料计算敏感系数, 进行区域参考作物蒸散发的敏感性分析。计算敏感系数的要素有平均气温、相对湿度、风速和日照时数, 均为观测数据, 用观测数据日照时数取代计算数据辐射, 便于敏感系数的实际应用。对预测本区域参考作物蒸散发未来可能的变化, 指导农业种植结构的调整, 合理开发调配水土资源, 适应地表面水热平衡, 促进区域农业和生态环境的良性发展, 具有重要的科学意义和应用价值。

## 1 研究区、数据和方法

### 1.1 研究区概况

本文研究区域(东经 121°8'~127°28', 北纬 43°4'~49°14', 海拔 130~200 m)位于东北地区的中西部, 是东

收稿日期: 2007-07-08 修订日期: 2008-04-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(40571029)

作者简介: 梁丽乔(1980-), 女, 山东省莱阳人, 博士, 主要从事水文水资源研究。北京 中国科学院地理科学与资源研究所, 100101。

Email: liangliqiao@igsnrr.ac.cn

\*通讯作者: 李丽娟(1961-), 女, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为水文水资源。北京 中国科学院地理科学与资源研究所, 100101。

Email: lilij@igsnrr.ac.cn

北大平原的重要组成部分, 其以松嫩平原西部为主体, 包括松嫩平原中部和松嫩平原以南的部分地区, 总面积为  $1443.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 在本研究中定义为“松嫩平原西部”。该区域是我国重要的商品粮生产基地, 对于我国的农业安全具有举足轻重的地位。但是, 由于该区域处于农牧过渡地带和半湿润向半干旱地区的过渡带, 年蒸散量大于年降水量, 且降水年内分布极不均匀, 生态环境相对脆弱, 属于生态环境较为脆弱地区<sup>[12]</sup> (Ecotone), 生态系统对气候变化响应敏感<sup>[13]</sup>。在全球变化和人类活动的干扰下, 一方面, 区域土地覆被和土地利用方式变化明显, 土地的盐碱化、沙化等问题突出; 另一方面, 区域水环境问题严重, 湖沼湿地面积减小, 部分河流成为季节性河流等<sup>[14]</sup>。

## 1.2 数据处理

利用松嫩平原西部近 40 个气象站点, 对因仪器更换、站址迁移和热岛效应等引起的资料误差进行必要的订正后, 根据气象站观测年代长度、资料使用原则, 筛选得到 34 个站点 (图 1)。各站点的气象资料包括 1951 年 (个别站点晚于 1951 年) 至 2001 年的平均最高气温、平均最低气温、平均相对湿度、平均风速和日照时数等共 5 个要素的月器测资料。研究区内 5~9 月份是作物的生长季节, 因此, 只对这 5 个月的气象资料进行必要的插补延长, 建立 1951~2001 年的气象要素时间序列。



图 1 松嫩平原西部气象站点示意图

Fig.1 Distribution of meteorological stations in study area

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 Penman-Monteith 方程

FAO 推荐 PM 方程计算参考作物蒸散发, 表达式如下<sup>[1]</sup>:

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

式中  $ET_0$ ——参考作物蒸散量, mm/d;  $R_n$ ——净辐射,  $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ;  $G$ ——土壤热通量密度,  $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , 相对于  $R_n$  取值很小, 尤其在植被覆盖、计算步长大于或等于 1 d 的情况下, 取值忽略为 0;  $T$ ——2 m 高处日平均

气温,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $u_2$ ——2 m 高处风速, m/s;  $e_s$ ——饱和水汽压, kPa;  $e_a$ ——实际水汽压, kPa;  $e_s - e_a$ ——饱和水汽压差, kPa;  $\Delta$ ——水汽压曲线斜率,  $\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$ ;  $\gamma$ ——湿度计算常量,  $\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$ 。

### 1.3.2 敏感系数

在蒸发<sup>[15]</sup>以及水文学<sup>[16]</sup>、生态学<sup>[17]</sup>的研究中, 学者根据不同目的定义了多种敏感系数。一种简单可行的方法是, 把因变量变化与自变量变化的比值绘成曲线来描述敏感系数的特征, 即敏感曲线<sup>[10,18]</sup>。对于类似于 PM 方程的多变量模型, 各变量的维数和取值范围不同, 很难通过偏导数比较敏感性, 这里将偏导数转化成无维的形式<sup>[11,15]</sup>:

$$S_{V_i} = \lim_{\Delta V_i \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta ET_0 / ET_0}{\Delta V_i / V_i} \right) = \frac{\partial ET_0}{\partial V_i} \cdot \frac{V_i}{ET_0} \quad (2)$$

式中  $S_{V_i}$ ——敏感系数, 无量纲;  $V_i$ ——第  $i$  个变量。

这种无维的相对敏感系数在蒸散发研究中得到了广泛应用。敏感系数是正值表明  $ET_0$  随着气候变量的增加而增加, 反之亦然; 其绝对值越大则气候变量对  $ET_0$  的影响越大, 反之亦然。敏感系数表现在图形上就是敏感曲线的原点切线, 所以, 原点处一定线性范围内的敏感系数足够精确, 可以代替敏感曲线的斜率。这一范围的大小取决于曲线的非线性, 曲线为线性, 则敏感系数可以描述气候变量扰动引起的  $ET_0$  变化; 曲线呈明显非线性, 则敏感系数应用局限于较小的气候变量扰动。

以气温、风速、日照时数和相对湿度的月数据计算月敏感系数, 5~9 月的平均值作为生长季敏感系数, 34 个站的平均值作为区域敏感系数。在 ArcGIS 环境下, 对月、生长季敏感系数进行 Kriging 插值, 得到敏感系数的空间分布。其中, 敏感系数计算过程中的偏导数计算通过 Matlab 软件中的 symbolic calculation 命令实现, 其他运算通过 numerical calculation 命令实现。

Burgman<sup>[11]</sup>等指出, 两个变量作用一致时对敏感性产生的综合效应远大于各自效应之和。蒸散发中的敏感系数研究多局限于单次单变量, 而现实中往往是多气候变量同时发生扰动, 今后需要加强多气候变量扰动情景下的  $ET_0$  研究。

## 2 结果与分析

### 2.1 主要气象要素与 $ET_0$ 的生长季平均值

松嫩平原西部多年平均生长季风速的空间差异性较大, 其次为  $ET_0$ 。站点多年平均生长季风速变化在 2.1~2.8 m/s 之间, 以研究区多年平均风速为参照值, 站点多年平均生长季风速的相对误差高达 20%。5~9 月, 气温和相对湿度呈单峰型变化, 风速呈单谷型变化, 日照时数变化不大。区域月  $ET_0$  在生长季内呈递减趋势, 在 5 月份最高, 达到 159.0 mm; 9 月份降至最低, 仅为 85.1 mm; 生长季累积值多年平均为 649.9 mm。研究区 1951~2001 年平均生长季的气象要素值如表 1 所示。

表 1 1951~2001 年松嫩平原西部生长季气温、日照时数、相对湿度、风速和参考作物蒸散发月平均值

Table 1 Monthly average value of air temperature, sunshine hours, relative humidity, wind speed and  $ET_0$  in growing season in West Songnen Plain from 1951 to 2001

月份	平均气温 / $^{\circ}C$	日照时数 /h	相对湿度 /%	风速 / $m \cdot s^{-1}$	参考作物蒸散发 /mm
5	14.7	8.7	45.0	3.4	159.0
6	20.5	8.8	58.3	2.6	150.6
7	23.0	8.1	83.6	2.2	135.9
8	21.2	8.2	71.5	2.3	119.3
9	14.4	8.1	67.1	2.5	85.1

2.2 月、生长季敏感系数的时间变化特征

2.2.1 5~9 月敏感系数的基本特征

区域多年平均的生长季气温敏感系数在 0.55~0.66 之间, 平均值为 0.61; 风速敏感系数 0.08~0.21, 平均值为 0.14; 相对湿度敏感系数-0.50~-0.94, 平均值为-0.78; 日照时数敏感系数 0.23~0.38, 平均值为 0.31。敏感系数的正负表明,  $ET_0$  与气温、风速和日照时数呈正向变化, 随气温、风速和日照时数的增加而增加, 反之亦然;  $ET_0$  与相对湿度呈反向变化, 随相对湿度的增加而减小, 反之亦然。敏感系数的绝对值大小表明,  $ET_0$  对相对湿度的变化最为敏感, 其次是气温, 对日照时数和风速变化的敏感性最低。即相对湿度是  $ET_0$  的主要控制因子, 相对湿度发生 10% 的变化可能引起  $ET_0$  发生高达 9.4% 的变化。

从图2可以看出, 在生长季内, 各气候变量的敏感系数均存在一定程度的波动, 这与Hupet<sup>[10]</sup>、Gong Lebin<sup>[11]</sup> 等人的研究结果一致。相对湿度敏感系数的变化波动最大, 其次是风速和日照时数敏感系数, 气温敏感系数的波动最为平缓。气温和日照时数的敏感系数呈单峰型分布, 在7月份达到最高值, 表明 $ET_0$ 在7月份对气温和日照时数的变化最为敏感; 风速敏感系数呈单谷型分布, 在7月份达到最低值, 表明 $ET_0$ 在7月份对风速的变化的敏感性最低; 相对湿度敏感系数的绝对值从5月份(最低值)至9月份(最高值)表现为持续的上升趋势, 表明 $ET_0$ 对相对湿度的变化在9月份最为敏感, 在5月份敏感性最低。

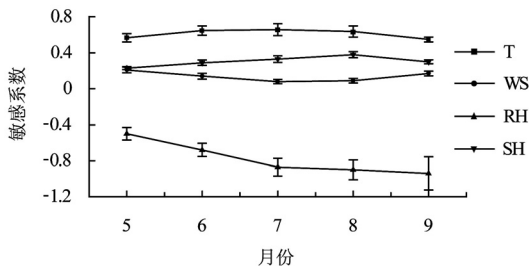
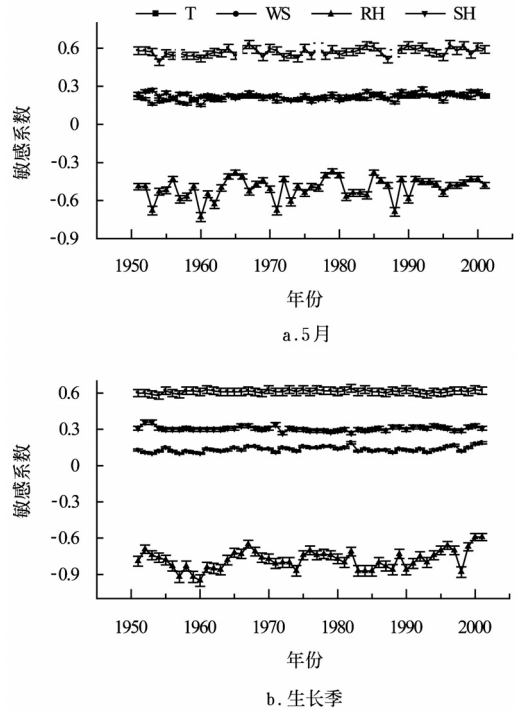


图 2 松嫩平原西部平均月敏感系数在生长季中的分布  
Fig.2 Distribution of monthly average values of sensitivity coefficients in growing season in West Songnen Plain

2.2.2 月、生长季敏感系数的多年变化特征

各月及生长季的敏感系数多年变化如图 3 所示。4 个气候变量中相对湿度敏感系数的绝对值最高且年际波动

最大, 说明  $ET_0$  对相对湿度最敏感的同时, 其对相对湿度的敏感性也是最不稳定的。气温、风速和日照时数的敏感系数波动较为平缓。气温敏感系数 5 月份的值较其他月份和生长季波动较大, 这可能和 5 月份的气温普遍较低有关。风速敏感系数 7 月份的值波动较大。



注: T—气温; WS—风速; RH—相对湿度; SH—日照时数

图 3 1951~2001 年松嫩平原西部 5 月和生长季各气候变量敏感系数的变化特征

Fig.3 Variation characteristics of sensitivity coefficients for each climate variable in West Songnen Plain in may and growing season from 1951 to 2001

为考察敏感系数时间序列变化的显著性, 对不同月份不同气候变量的敏感系数进行了  $T$  检验(表 2)。近 51a, 气温敏感系数中 5 月份的值变化显著; 风速敏感系数中 5、9 月和生长季的值达到 0.01 的显著性水平, 6 月份的值变化显著; 相对湿度敏感系数中 9 月份的值达到 0.01 的显著性水平, 生长季的值变化显著; 日照时数敏感系数中各月份与生长季的值均无显著变化。以上变化均表现为显著增加趋势, 敏感系数显著变化的具体原因尚需进一步研究。

表 2 各气候因子敏感系数的 T 检验

Table 2 T-test of sensitivity coefficient for each climate variable

月份	敏感系数			
	气温	风速	相对湿度	日照时数
5 月	*↑	**↑	—	—
6 月	—	*↑	—	—
7 月	—	—	—	—
8 月	—	—	—	—
9 月	—	**↑	**↑	—
生长季	—	**↑	*↑	—

注: \*\*表示显著性水平  $\alpha=0.01$ ; \*表示显著性水平  $\alpha=0.05$ 。

### 2.3 月、生长季敏感系数的空间分布

对 1951~2001 年平均的月、生长季敏感系数,在 ArcGIS 环境下进行 Kriging 空间插值,得到空间分布图。同一气候变量的不同月份的敏感系数,其空间分布特点差异较大,有的甚至出现相反的分佈型(图略),这一结果在 Gong Lebin<sup>[11]</sup>等人的研究中也得到了证实。生长季气候变量敏感系数的空间差异性较大,其分布如图 4 所示。日照时数敏感系数空间上分布比较分散,没有明显的规律性,在研究区西南部波动较大,同时分布着高值区和低值区。相对湿度敏感系数的空间分布具有明显的地带性,由西向东绝对值逐渐增加并达到最高。研究区生长季降水量由东向西逐渐递减,引起空气相对湿度由东向西的递减分布,从而导致相对湿度敏感系数相应地由西向东的呈递增分布。气温敏感系数空间分布具有明显的规律性,以西南部的洮南、镇赉为高值中心,呈环形分布,低值区位于北部。风速敏感系数的分布类型兼具气温和相对湿度敏感系数的分布特点,具有明显的东西向经向分布特点,由东向西递增,在西南部洮南一带形成高值中心。总的来讲,日照时数、气温、风速等 3 个气候变量的敏感系数都在研究区西南部形成高值区,

而相对湿度则在研究区西南部形成低值区,在研究区东北部形成高值区。说明在研究区西南部蒸散发对气候变量的变化最为敏感,这与该区域下垫面存在大片裸露盐碱地有关。

### 3 结论与讨论

1) 在松嫩平原西部,相对湿度是  $ET_0$  计算最为敏感的变量,即相对湿度是控制  $ET_0$  的主要因子。近 51a 区域平均的生长季相对湿度敏感系数为 -0.78,即当相对湿度增加(降低)10%时,参考作物蒸散发降低(增加)7.8%;其次是气温,敏感系数为 0.61;  $ET_0$  对日照时数和风速的敏感性最低,敏感系数分别为 0.31 和 0.14。

2) 时间上,月敏感系数存在一定程度的波动。气温和日照时数的敏感系数呈单峰型分布,在 7 月份达到最高值;风速敏感系数呈单谷型分布,在 7 月份达到最低值;相对湿度敏感系数的绝对值从 5~9 月表现为持续上升趋势。在 51a 的时间尺度上,相对湿度敏感系数波动最大,而风速敏感系数具有显著变化趋势。

3) 空间上,生长季气候变量敏感系数的空间差异性较大。日照时数、气温、风速等 3 个气候变量的敏感系数都在研究区西南部形成高值区,而相对湿度则在研究区西南部形成低值区,在研究区东北部形成高值区。说明在研究区西南部蒸散发对气候变量的变化最为敏感,体现了研究区西南部具有大片裸露盐碱地的下垫面特征。

#### [参考文献]

- [1] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements[R]. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, 1998.
- [2] McVicar T R, Van Niel T G, Li Lingtao, et al. Spatially distributing monthly reference evapotranspiration and pan evaporation considering topographic influences[J]. Journal of Hydrology, 2007, 338: 196—220.
- [3] Tong Ling, Kang Shaozhong, Zhang Lu. Temporal and spatial variations of evapotranspiration for spring wheat in the Shiyang river basin in northwest China[J]. Agricultural Water Management, 2007, 87: 241—250.
- [4] Cai Jiabing, Liu Yu, Lei Tingwu, et al. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 45: 22—35.
- [5] Suleimana A A, Tojo Soler C M, Hoogenboom G. Evaluation of FAO-56 crop coefficient procedures for deficit irrigation management of cotton in a humid climate[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 91: 33—42.
- [6] 刘晓英, 李玉中, 王庆锁. 几种基于温度的参考作物蒸散发量计算方法的评价[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 12—18.
- [7] 史晓楠, 王全九, 王新, 等. 参考作物腾发量计算方法在新疆地区的适用性研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 19—23.
- [8] Xu Chongyu, Gong Lebing, Jiang Tong, et al. Analysis of

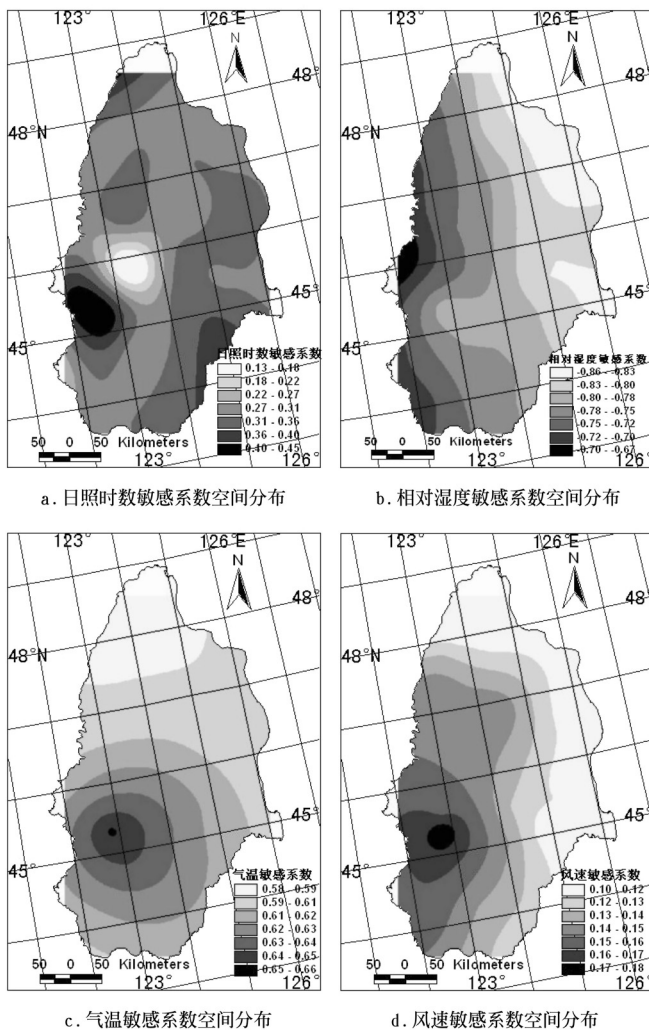


图 4 松嫩平原西部各个气候变量的生长季敏感系数的空间分布  
Fig.4 Distribution of mean growing seasonal sensitivity coefficients for each climate variable in West Songnen Plain

- spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment[J]. *Journal of Hydrology*, 2006, 327: 81–93.
- [9] Goyal P K. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India)[J]. *Agricultural Water Management*, 2004, 69: 1–11.
- [10] Hupet F, Vanclooster M. Effect of the sampling frequency of meteorological variables on the estimation of the reference evapotranspiration[J]. *Journal of Hydrology*, 2001, 243: 192–204.
- [11] 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.
- [12] 赵跃龙. 中国脆弱生态环境类型分布及其综合整治[M]. 北京: 环境科学出版社, 1999.
- [13] Gao Qiong, Yu Mei, Yang Xiusheng. An analysis of sensitivity of terrestrial ecosystems in China to climate change using spatial simulation[J]. *Climatic Change*, 2000, 47: 373–400.
- [14] 宋长春, 何岩, 邓伟. 松嫩平原盐渍土壤生态地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [15] Beven K. A sensitivity analysis of the Penman–Monteith actual evapotranspiration estimates[J]. *Journal of Hydrology*, 1979, 44: 169–190.
- [16] Anderton S, Latron J, Gallart F. Sensitivity analysis and multi–response, multi–criteria evaluation of a physically based distributed model[J]. *Hydrological Processes*, 2002, 16: 333–353.
- [17] Beres D L, Hawkins D M. Plackett–Burman technique for sensitivity analysis of many – parametered models[J]. *Ecological Modelling*, 2001, 141: 171–183.
- [18] Qiu Guoyu, Yanob T, Momiic K. An improved methodology to measure evaporation from bare soil based on comparison of surface temperature with a dry soil surface[J]. *Journal of Hydrology*, 1998, 210: 93–105.

## Sensitivity of the reference crop evapotranspiration in growing season in the West Songnen Plain

Liang Liqiao<sup>1,2</sup>, Li Lijuan<sup>1\*</sup>, Zhang Li<sup>1,2</sup>, Li Jiuyi<sup>1,2</sup>, Jiang Dejuan<sup>1,2</sup>, Xu Mingxing<sup>3</sup>, Song Wenxian<sup>3</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Baicheng Bureau of Hydrology and Water Resources Survey in Jilin province, Baicheng 137000, China )

**Abstract:** In order to predict responses of  $ET_0$  to perturbation of climate variables, growing seasonal  $ET_0$  for 34 meteorological stations in West Songnen Plain from 1951 to 2001 was estimated with the FAO-56 Penman-Monteith equation. Sensitivity coefficients of  $ET_0$  to air temperature, wind speed, sunshine hours and relative humidity were calculated and their tempo-spatial characteristics were analyzed. The results show that relative humidity is the most sensitive variable to  $ET_0$  in general for study area, followed by air temperature, wind speed and sunshine hours. From May to September, the highest sensitivity coefficients to air temperature and sunshine hours is in July, while the lowest sensitivity coefficients to wind speed in July. The absolute sensitivity coefficients to relative humidity increases from May to September. The absolute sensitivity coefficients to all climate variables indicate large spatial variability. The high value area of sensitivity coefficients to air temperature, sunshine hours and wind speed is in the southwest study area, while the low value area of sensitivity coefficients to relative humidity is in the southwest study area with the high value area in the northeast study area.

**Key words:** reference crop evapotranspiration; Penman-Monteith equation; sensitivity coefficient; West Songnen Plain