

艾比湖绿洲参考作物蒸散量的敏感性分析

王媛, 董煜, 焦黎

(新疆师范大学地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054)

摘要:【目的】研究艾比湖绿洲参考作物蒸散量对不同气象因子的敏感性。【方法】利用Penman-Monteith公式, 基于艾比湖绿洲1962—2016年4个气象站的逐月气象资料计算 ET_0 。通过敏感性分析, 计算最高温度、最低温度、相对湿度、日照时间和风速的敏感系数, 并运用MK趋势检验分析其变化趋势, 最后分析了敏感系数在各个站点的变化特征。【结果】通过MK趋势检验, 发现参考作物蒸散量、日照时间和风速呈下降趋势; 最高温度、最低温度和相对湿度呈上升趋势。通过敏感性分析, 发现最高温度、风速在研究区呈下降趋势, 最低温度、相对湿度、日照时间为上升趋势。艾比湖绿洲中, 各气象因子对 ET_0 的敏感程度为相对湿度>最高温度>风速>最低温度>日照时间。 ET_0 对不同气象因子的敏感系数在空间上存在差异, 最高温度、最低温度、风速、相对湿度在艾比湖北部的阿拉山口较高, 在温泉站较低; 日照时间则在温泉较高, 在阿拉山口较低。【结论】相对湿度对艾比湖绿洲 ET_0 的敏感性最高, 日照时间的敏感性最低。

关键词:艾比湖绿洲; 参考作物蒸散; Penman-Monteith公式; 敏感性分析

中图分类号:TV

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180507

王媛, 董煜, 焦黎. 艾比湖绿洲参考作物蒸散量的敏感性分析[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(7): 110-115.

0 引言

参考作物蒸散发(ET_0)是连接水分运移和能量转换的重要因素, 对于贯穿水文循环过程地表水的运移以及物态转化具有重要作用^[1]; 同时也是农田灌溉管理, 干旱区水量平衡研究的重要参量。全球变暖使得区域气候变化明显。近年来, 有学者指出新疆气候逐渐向暖湿变化, 参考作物蒸散量的敏感性分析就是对地域水文蒸发过程的研究, 进而对该区域气候变化进行研究。相关学者分析了参考作物蒸散量对不同气象因子的敏感性, 由于我国的国土面积辽阔, 不同区域的敏感性不同, 有着明显的区域性特征^[2-9]。位于西北干旱区、欧亚大陆腹地的艾比湖绿洲, 是对气候变化最为敏感的区域之一。水资源稀缺是当地农业持续稳定发展的重要制约条件, 是近年来中国环境演变研究的重点及热点区域^[10]。艾比湖绿洲蒸散量在1957—2013年呈下降趋势^[11], 气温和降水都有上升的趋势, 1950—2007年, 艾比湖面积有所下降^[12]。谭娇等^[13]指出艾比湖绿洲潜在蒸散量在20世纪90年代达到最低。郭家新等^[14]指出艾比湖蒸散发时空动态变化较大。对于艾比湖绿洲参考作物蒸散量的敏感性分析研究较少。利用Penman-Monteith公式对艾比湖绿洲4个气象站1962—2016年的逐月气象资料进行参考作物蒸散量的计算。运用敏感性分析, 计算参考作物蒸散量对于各气象要素的敏感系数并且进行分析, 为研究区水资源利用和管理提供一定科学依据。

1 研究区概况

艾比湖绿洲位于博尔塔拉地区, 精河县城以北35 km处, 介于43°38′45″N—79°53′85″E之间, 是新疆最大的咸水湖。西与北疆铁路精河到阿拉山口段相邻, 向北行35 km, 即到阿拉山口, 东为甘家湖梭梭林自然保护区。注入艾比湖的河流主要有博尔塔拉河、精河和奎屯河等3条河流^[15]。概况见图1。

收稿日期:2018-09-20

基金项目:新疆师范大学博士启动资金项目(XJNBS1620); 新疆维吾尔自治区重点实验室开放课题(2016D03007)

作者简介:王媛(1993-), 女。硕士研究生, 主要从事流域水资源保护等研究。E-mail: 1462185706@qq.com

通信作者:董煜(1970-), 男。讲师, 主要从事干旱区水资源与环境研究。E-mail: xieylxj@126.com

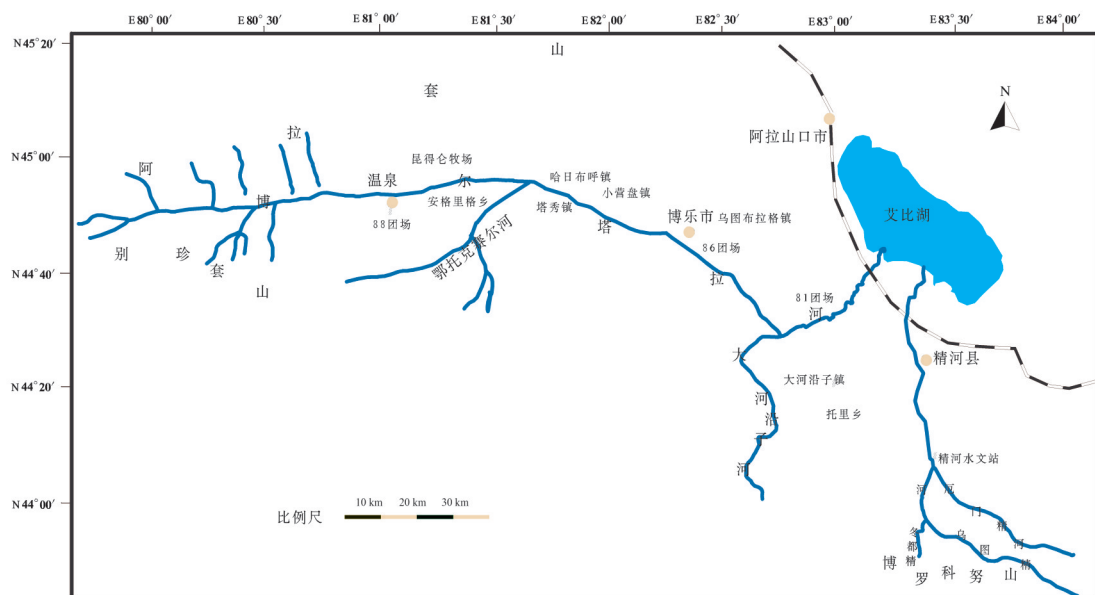


图1 研究区概况图

艾比湖绿洲位于欧亚大陆腹地的中纬度地区,离海洋远,北、西、南三面都被高山阻隔,因此气候十分干燥^[16]。平均风速在 1.56 m/s 之间,阿拉山口风速最大。夏季天气回温较快,且十分炎热,7月平均气温 25.0℃,极端最高气温 41.3℃(1987年7月31日);冬季寒冷干燥,1月平均气温-16.0℃,极端最低气温-36.4℃(1955年1月3日)。春季天气状况极不稳定,“倒春寒”的现象时有发生。秋季气温下降的快,降水少,多年平均降水量为 90.9 mm。冬季的大雾天气较多。艾比湖的温差分布十分不均匀,这主要是由于这里的山势所影响,随着海拔的增加,气温逐渐降低。

2 数据来源

利用艾比湖绿洲4个气象站(温泉、阿拉山口、博乐、精河)1962—2016年逐月的最高温度、最低温度,风速、相对湿度、日照时间等气象数据,对艾比湖绿洲参考作物蒸散量及其对气象要素敏感性进行分析。气象站点位置见表1。

表1 气象站点位置

编号	站名	经度(E)	纬度(N)	海拔/m
51238	博乐	82° 04'	44° 54'	531.9
51330	温泉	81° 01'	44° 58'	1 354.6
51334	精河	82° 54'	44° 37'	321.2
51232	阿拉山口	82° 34'	45° 11'	284.8

3 研究方法

3.1 Penman-Monteith公式

ET_0 计算式为:

$$ET_0 = \frac{0.048\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}, \quad (1)$$

式中: ET_0 为参考作物蒸散量(mm/d); Δ 为饱和水汽压与温度曲线的斜率(kPa/℃); R_n 为参考作物冠层表面净辐射(MJ/(m²·d)); G 为土壤热通量(MJ/(m²·d)); γ 为干湿表常数(kPa/℃); T 为2 m高处的日平均气温(℃); U_2 为2 m高处的风速(m/s); e_s 为饱和水汽压(kPa); e_a 为实际水汽压(kPa)。

3.2 敏感系数分析

敏感系数(SV_i)为参考作物蒸散量的相对变化与各个影响因子间相对变化量的比值,计算式为:

$$Sv_i = \lim \Delta v_i \left(\frac{\Delta ET_0 / ET_0}{\Delta v_i v_i} \right), \quad (2)$$

式中： ΔET_0 为 Δv_i 所导致的 ET_0 的变化； Δv_i 为第 i 个气象因子 v_i 的变化。敏感系数值越大，则表示 ET_0 受该气象因子的影响越大，反之，则越小。敏感系数是敏感性曲线切线的斜率，敏感性曲线为线性时，敏感系数代表该气象因子任意区间变化对 ET_0 的影响^[17]。

3.3 MK非参数检验

MK非参数检验，是世界气象组织推荐并已被广泛运用的非参数检验方法，常用于分析降水、气温、径流等气象水文要素序列的趋势变化^[18]。对研究数据进行分析，使其在时间上呈现一定的趋势，并且在置信水平下，看其可信度是多少。当 Z 的绝对值 ≥ 1.28 、 ≥ 1.64 和 ≥ 2.23 时，分别表示通过了置信度90%、95%和99%的显著性检验。

4 结果与分析

4.1 参考作物蒸散量

艾比湖绿洲1962—2016年参考作物蒸散量的年际变化特征如图2所示。由图2可以发现，参考作物蒸散量的变化为震荡性曲线，艾比湖绿洲参考作物蒸散量呈下降的趋势，而年平均温为震荡上升趋势。通过对研究区多年平均温度进行MK趋势检验，发现4站的多年平均温度均呈上升趋势，随着温度的增加蒸散量在减少。参考作物蒸散量的下降幅度为22.27 mm/10 a，变化趋势明显。参考作物蒸散量最大值出现在1969年，最小值出现在1994年。

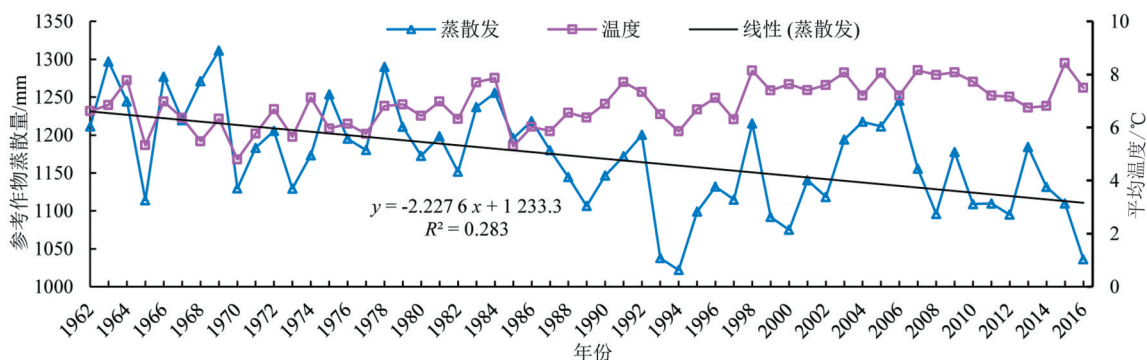


图2 艾比湖绿洲参考作物蒸散量、平均温度的年际变化特征

利用艾比湖绿洲4个气象站蒸散量的平均值，计算年代及季节距平值，如图3所示。由图3可知，艾比湖绿洲全年及各季节的参考作物蒸散量在1962—1989年为正距平，自1990年后转变为负距平，且在1990—1999年负距平达到最低，至2000年后又转为正距平。从参考作物蒸散量的季节分布来看，春季、夏季、秋季的参考作物蒸散量距平在1990—1999年为负值，冬季的参考作物蒸散量距平相对其他季节变化很小，对区域整体的参考作物蒸散量变化贡献很小。春季和秋季的距平变化类似，在1980—1999年距平为负。夏季1990—1999年负距平对区域整体参考作物蒸散量下降做了较大的贡献。

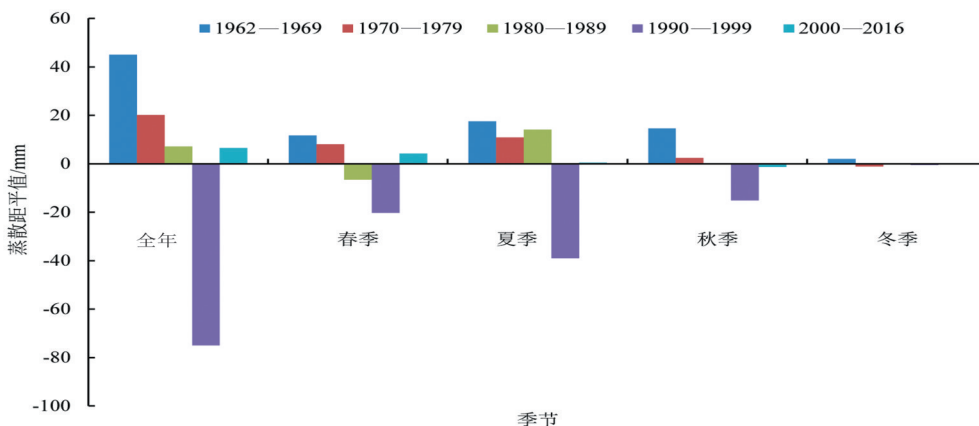


图3 年代及季节潜在蒸散量的年代际变化

为了进一步分析夏季1990—1999年蒸散量下降的原因,对不同季节气象因子进行相关性分析(表2)。发现风速对蒸散量的相关系数最大,平均温度次之,日照时间最低,风速对蒸散量影响明显。在夏季风速的相关系数达到最大,说明夏季风速对蒸散量的影响更加明显。通过表3可以看出,在1990—1999年风速的均值最低,因此可以发现1990—1999年风速的降低使得蒸散量下降。

表2 季节蒸散量与气象因子相关系数

季节	平均温度	相对湿度	风速	日照时间
春季	0.39	-0.66	0.73	0.03
夏季	0.91	-0.88	0.99	0.57
秋季	0.76	-0.54	0.93	0.08
冬季	0.91	-0.63	0.82	-0.09

表3 各年代气象因子均值

时间段	平均温度	风速	相对湿度	日照时间
1962—1969	6.467 5	3.450 9	0.573 2	233.035 0
1970—1979	6.159 9	3.023 5	0.574 1	231.612 4
1980—1989	6.542 7	2.957 6	0.577 4	222.375 0
1990—1999	6.995 5	2.469 8	0.572 3	215.312 3
2000—2016	7.589 1	2.620 4	0.594 3	214.795 2

4.2 参考作物蒸散量与气象因子的变化趋势

基于艾比湖绿洲1962—2016年参考作物蒸散量,运用MK趋势检验法,对参考作物蒸散量与气象因子的变化趋势进行研究,结果见表4。从表4可以看出:最高温度呈上升的趋势,其中在博乐上升的最为明显,在置信水平 $\alpha=0.05$ 下,博乐、精河通过了99%的显著性检验。最低温度整体呈上升的趋势,在博乐上升的最为明显,都通过了显著性检验。风速和日照时间在温泉、阿拉山口、博乐、精河中都为下降的趋势,其中日照时间在精河下降的趋势最为明显,通过99%的显著性检验;风速下降趋势在温泉、精河都十分显著。相对湿度为上升趋势,在博乐的上升趋势最为明显,且通过显著性检验。1962—2016年艾比湖绿洲的气象因子变化明显。参考作物蒸散量在温泉、阿拉山口、博乐、精河中均为下降的趋势阿拉山口下降的趋势最为明显,在置信水平 $\alpha=0.05$ 下,都通过了99%的显著性检验。

表4 参考作物蒸散量与气象因子变化趋势(MK检验)

区域	最高温度/℃	最低温度/℃	日照时间/h	风速/(m·s ⁻¹)	相对湿度/%	参考作物蒸散量/mm
温泉	0.420 2	5.652 3***	-2.148 4**	-5.921 9***	2.132 5**	-3.615 2***
阿拉山口	0.118 9	5.002 3***	-3.638 7***	-4.653 5***	1.593 4*	-4.283 1***
博乐	3.575 3***	6.254 8***	-3.511 9***	-3.908 3***	3.416 7***	-3.629 7***
精河	2.972 8***	5.351 1***	-4.272 9***	-5.493 8***	0.134 8	-2.246 9***

注 *表示通过90%检验;**表示通过95%检验;***表示通过99%检验,下同。

4.3 敏感系数的多年变化趋势分析

ET_0 对的敏感系数不同。气象因子敏感系数的变化趋势如表5所示。最高温度的敏感系数在整个区域呈下降的趋势,其中温泉敏感系数的下降趋势最为明显,在置信水平 $\alpha=0.05$ 下,减少的趋势通过了99%的显著性检验;最低温度的敏感系数整体上呈上升趋势,在阿拉山口站的上升趋势最为明显,通过了显著性检验;日照时间的敏感系数在温泉呈下降的趋势,在阿拉山口、博乐、精河为上升趋势,在阿拉山口的上升趋势最为明显,通过了显著性检验;风速的敏感系数整体上为下降趋势,在博乐最为明显,精河次之,除温泉外,其他3个地区都通过了显著性的检验。相对湿度的敏感系数在阿拉山口为下降的趋势,未通过显著性检验;在温泉、博乐和精河为上升趋势,在温泉上升的最为明显。

表5 气象因子敏感系数的变化趋势(MK检验)

区域	最高温度/℃	最低温度/℃	日照时间/h	风速/(m·s ⁻¹)	相对湿度/%
温泉	-3.150 6***	2.700 5***	-1.742 3**	-0.362 9	4.457 3***
阿拉山口	-2.330 3**	3.005 4***	5.183 3***	-1.736 1**	-0.784 0
博乐	-3.109 4***	0.464 6	2.497 2***	-2.598 9***	0.014 5
精河	-1.362 4***	0.980 0	1.974 5**	-2.294 1***	3.346 6***

4.4 参考作物蒸散量对气象因子的敏感性分析

1962—2016年来 ET_0 对各气象因子:最高温度、最低温度、风速、相对湿度、日照时间的敏感系数值如表6所示。从表6可以发现,最高温度、最低温度、日照时间、风速与参考作物蒸散量正相关,与相对湿度负相关。

表6 参考蒸散量对气象因子的敏感系数

区域	最高温度/℃	最低温度/℃	日照时间/h	风速/(m·s ⁻¹)	相对湿度/%
温泉	0.474 6	0.099 1	0.096 2	0.204 2	-0.754 9
阿拉山口	1.144 9	0.263 1	0.051 1	0.326 6	-1.110 0
博乐	0.757 5	0.154 2	0.104 4	0.253 7	-0.650 2
精河	0.688 5	0.192 1	0.102 8	0.211 7	-0.615 1
全区	0.766 4	0.177 1	0.088 6	0.249 0	-0.782 5

在温泉,相对湿度的敏感性最大,其次是最高温度、风速、最低温度和日照时间。在阿拉山口,最高温度的敏感性最大,其次是相对湿度、风速、最低温度、日照时间。在博乐,最高温度的敏感性最大,其次是相对湿度、风速、最低温度、日照时间。在精河,最高温度的敏感系数最大,其次是相对湿度、风速、最低温度、日照时间。从艾比湖绿洲全区来看,相对湿度的敏感性略高于最高温度,其次是风速、最低温度、日照时间。

因此, ET_0 对最高温度、最低温度、风速、相对湿度的敏感系数在各站点有所差异,总体来看在艾比湖绿洲中相对湿度的影响要更为明显,日照时间的影响最低。

5 讨 论

敏感性分析可以获得潜在蒸散发对气候因子变化的定量响应关系^[19]。本研究利用艾比湖绿洲1962—2016年4个气象站点观测数据,研究了艾比湖绿洲参考作物蒸散量及其对气象因子的敏感性。研究结果表明相对湿度对参考作物蒸散量的敏感性最大,这与赵亚迪等^[20]的研究相近。通过研究对蒸散量敏感的气象因子,进而采取一定的措施减少径流的蒸发。但由于研究区内存在人类活动等原因,土地利用类型变化较大,且气象站点主要分布于平原区。因此,探究在复杂土地利用下的蒸散发能力变化规律,更有利于准确地分析该地区参考作物蒸散量对气候变化的响应程度。干旱区水分条件是实际蒸散发的限制性因素,在本文研究的基础上,通过研究水分限制条件下气候因子对蒸散发变化的敏感性,可为气候变化下的干旱区流域水资源规划和管理提供重要的科学参考。同时参考作物蒸散量的敏感性不仅与气象因子有关,也与人类活动有着一定的关系。因此,人类活动的影响也有待进一步研究。

6 结 论

1)1962—2016年,艾比湖绿洲参考作物蒸散量最大值出现在1969年,最小值出现在1994年。参考作物蒸散量的距平值也随着时间的推移逐渐减小。

2)通过MK趋势检验,发现参考作物蒸散量在整个艾比湖绿洲呈现下降的趋势,日照时间和风速也呈下降趋势。最高温度、最低温度和相对湿度在1962—2016年呈上升的趋势。

3)通过MK趋势检验,发现1962—2016年,最高温度和风速的敏感系数在艾比湖绿洲呈下降趋势;最低温度在全区呈上升的趋势;相对湿度的敏感系数在阿拉山口为下降的趋势,在温泉、博乐和精河为上升趋势;日照时间的敏感系数在温泉呈下降的趋势,在阿拉山口、博乐、精河为上升趋势。

4) ET_0 对不同的气象因子的敏感系数存在差异,在研究区中,各气象因子敏感系数的影响程度为:相对湿度>最高温度>风速>最低温度>日照时间。

参考文献:

- [1] 单楠, 杨晓晖, 时忠杰, 等. 京津风沙源区1959—2011年潜在蒸散气候敏感性的时空变异[J]. 中国沙漠, 2015, 35(5):1 330-1 337.
- [2] 郭金路, 谷健, 扬筑筑. 辽西地区潜在蒸散发敏感性分析及变化成因研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(1):121-128.
- [3] 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.
- [4] 孙洁, 王强民, 刘基. 鄂尔多斯高原西部潜在蒸散发量变化规律研究:以鄂托克旗为例[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(11):84-90.
- [5] 张特, 刘冀, 董晓华, 等. 基于MOD16的渭河流域蒸散发时空分布特征[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8):121-128.
- [6] 吴文玉, 孔芹芹, 王晓东, 等. 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):1 160-1 166.

- [7] 刘艳, 刘帆, 刘新生, 等. 咸阳地区参考蒸散量变化特征及敏感性分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(2):125-131.
- [8] 李思思, 张飞云, 白磊, 等. 北疆地区生长季参考作物蒸散量的时空变化特征及其敏感性分析[J]. 中国农业气象, 2015, 36(6):683-691.
- [9] 李海军, 刘海军, 张智郡. 汾河灌区参考作物蒸散量变化趋势及影响要素分析[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(11):86-93.
- [10] 汪军能, 张落成. 艾比湖流域水资源变化与区域响应[J]. 干旱区资源与环境, 2006(4):157-161
- [11] 热孜宛古丽·麦麦提依明, 杨建军, 刘巍. 艾比湖流域1957—2013年潜在蒸散、气温、降水变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2016, 38(1):69-76.
- [12] 刘文军, 张鹏, 李丽华, 等. 新疆艾比湖湖面面积变化分析[J]. 干旱区研究, 2010, 27(1):64-68.
- [13] 谭娇, 丁建丽, 董煜, 等. 新疆艾比湖绿洲潜在蒸散量年代际变化特征[J]. 农业工程学报, 2017, 33(5):143-148.
- [14] 郭家新, 高敏华, 朱小强, 等. 基于空间三角形法的艾比湖蒸散发时空变化及其驱动力研究[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(18):57-63.
- [15] 张飞, 王娟, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 1998—2013年新疆艾比湖湖面时空动态变化及其驱动机制[J]. 生态学报, 2015, 35(9):2 848-2 859.
- [16] 格丽玛, 何清, 冷中笑, 等. 新疆艾比湖流域近40年来气候变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2007(1):54-58.
- [17] 杨林山, 李常斌, 王帅兵, 等. 洮河流域潜在蒸散的气候敏感性分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11):102-109.
- [18] 董煜, 海米提·依米提. 艾比湖流域径流水文特征及其对降水变化响应:以博尔塔拉河为例[J]. 水土保持研究, 2014, 21(2):94-99.
- [19] 曹永强, 高璐, 袁立婷, 等. 辽宁省潜在蒸散发量及其敏感性规律分析[J]. 地理科学, 2017, 37(9):1 422-1 429.
- [20] 赵亚迪, 刘永和, 李建林, 等. 1960—2013年中国地表潜在蒸散发时空变化及其对气象因子的敏感性[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(3):1-9.

Sensitivity Analysis of the Reference Evapotranspiration in Ebinur Lake Oasis

WANG Yuan, DONG Yu, JIAO Li

(1. Institute of Geographic Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: **【Objective】** The evapotranspiration of crop depends on many factors and this paper analyzed its sensitivity to various meteorological factors in Ebinur lake oasis. **【Method】** Monthly ET_0 in Ebinur lake oasis was calculated using the Penman-Monteith formula based on meteorological data measured from 1962 to 2016 at four meteorological stations in the region. The sensitivity of ET_0 to the highest and lowest temperature, relative humidity, sunshine duration and wind speed was calculated using sensitivity analysis; and the possible existence of any trends in the ET_0 was analyzed using the MK trend test. We also calculated the variation of the sensitivity coefficient for each site. **【Result】** The MK trend test revealed that the evapotranspiration, sunshine duration and wind speed in the region have been in decline, while the highest and lowest temperature and the relative humidity have been in rise. Analysis found that the ET_0 was sensitive to meteorological factor in an order of relative humidity > the highest temperature > wind speed > the lowest temperature > sunshine duration. The sensitivity coefficient of ET_0 to different meteorological factors varies spatially, with the coefficients for the highest and lowest temperature, wind speed and relative humidity being high at Alashan pass-way in northern Ebinur lake, and low at Wenquan station. Wenquan station had longer sunshine duration than Alashan pass-way. **【Conclusion】** ET_0 is most sensitive to relative humidity in Ebinur lake oasis, and least sensitive to sunshine duration.

Key words: ebinur lake oasis; reference crop evapotranspiration; Penman-Monteith formula; sensitivity analysis

责任编辑: 赵宇龙