

东疆地区蒸发量变化趋势及 气象影响因子研究

程海涛 慕彩芸

(新疆哈密地区气象局, 839000)

提 要: 对东疆地区 1961—2001 年小型蒸发皿蒸发量及其相关气象影响因子进行了分析, 结果表明, 东疆地区蒸发量呈显著下降趋势, 蒸发量 1970 年代至 1980 年代初期的增多和 1980 年代中期至 21 世纪初的减少是突变现象; 6 种气象因子对蒸发的决定程度相对湿度 > 水汽压 > 气温 > 风速 > 日照时数 > 净地表辐射, 风速与日照时数、相对湿度与水汽压、气温与水汽压、气温与相对湿度的协同作用对蒸发量的决定作用很大。相对湿度的显著增加是导致东疆地区蒸发量逐年减少的重要原因。

关键词: 蒸发量 变化趋势 影响因子

Study on Variety Trend and Meteorological Influence Factors of Evaporation in Eastern Xinjiang

Cheng Haitao Mu Caiyun

(Hami Meteorological Office of Xinjiang, Hami 839000)

Abstract: The data of mini-dish evaporation in eastern Xinjiang from 1961 to 2001 and the meteorological factors which influence on the evaporation were analyzed. The result shows that evaporation is in decrease trend in eastern Xinjiang, increasing from 1970s to early 1980s and decreasing from middle 1980s to 2001 are abrupt change. The determinations of six kind of meteorological factors to evaporation orderly are relative humidity, vapor pressure, temperature, wind speed, sunshine hours, net earth surface radiation, the synergism of wind speed and sunshine hours, relative humidity and vapor pressure, temperature and vapor pressure, temperature and relative humidity are also affects on the evaporation intensively. Relative humidity increases evidently in recently years, this is the main reason which leads to the evaporation reduction yearly.

Key Words: evaporation variety trend influence factor

引言

蒸发是海洋和陆地水分进入大气的唯一途径,是地球物质、能量循环的主要环节之一,自然界中蒸发现象颇为复杂^[1],水源充足的自然水面,水源和溶质浓度两个因素可以忽略不计,蒸发仅与气象因子有关。蒸发皿蒸发量虽然不能直接代表水面蒸发,但它与水面蒸发之间存在很好的折算系数,因此蒸发皿蒸发量的变化趋势可以代表水面蒸发的变化趋势^[2]。东疆地区干旱少雨,同时也是大风、高温天气的高发地,蒸发旺盛,吐鲁番地区夏季蒸发量居全国之首,研究该地区的蒸发量变化趋势及其影响因子,对于东疆地区水资源评价、水利工程设计、气候区划、生态研究等具有重要的意义。

1 方法

选取东疆地区吐鲁番、哈密、巴里坤3个气象观测站1961—2001年每日的蒸发量、日照时数及气温、相对湿度、风速、水汽压的日平均值等地面气象观测资料,其中巴里坤位于天山北部,吐鲁番和哈密位于天山南部。蒸发量用口径为20cm的小型蒸发皿测得,地表净辐射通量用经验公式获得,具体计算方法参见文献^[3]。

1.1 趋势估测及突变检验

蒸发量的变化趋势分析采用线性倾向估计和11年滑动平均两种方法,变化趋势的显著性检验和突变检验采用曼-肯德尔(Mann-Kendall)法,具体参见文献^[4]。

1.2 通径分析

通径分析(Path Analysis)是研究变量间相互关系、自变量对因变量作用方式、程度的

多元统计分析技术。通径系数是变量标准化后的偏回归系数,它能有效地表示相关变量间单一原因因素对结果的直接影响效应,并兼顾两原因因素对结果的影响,估计出原因对响应因素的间接作用,从而直接比较各原因因素的相对重要性。

通径分析算法概要^[5]:设有 x_1, x_2, \dots, x_n n 个自变量,这些变量之间单相关系数为 γ_{ij} ,各自变量对因变量 y 的直接通径系数为 P_{yx_i} ,系数相互间组成正规方程组:

$$\begin{cases} P_{yx_1} + \gamma_{12}P_{yx_2} + \dots + \gamma_{1n}P_{yx_n} = \gamma_{1y} \\ \gamma_{21}P_{yx_1} + P_{yx_2} + \dots + \gamma_{2n}P_{yx_n} = \gamma_{2y} \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \gamma_{n1}P_{yx_1} + \gamma_{n2}P_{yx_2} + \dots + P_{yx_n} = \gamma_{ny} \end{cases} \quad (1)$$

其矩阵式为:

$$\begin{bmatrix} 1 & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \dots & \gamma_{1n} \\ \gamma_{21} & 1 & \gamma_{23} & \dots & \gamma_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \dots & \gamma_{n(n-1)} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{yx_1} \\ P_{yx_2} \\ \dots \\ P_{yx_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{1y} \\ \gamma_{2y} \\ \dots \\ \gamma_{ny} \end{bmatrix} \quad (2)$$

解式(2),可得到各直接通径系数 P_{yx_i} 。 x_i 变量通过 x_j 变量对 y 的间接通径系数为: $\gamma_{ij}P_{yx_j}$ 。 x_j 变量通过 x_i 变量对 y 的间接通径系数为: $\gamma_{ji}P_{yx_i}$ 。某原因对结果的直接通径系数与间接通径系数总和恰好等于该原因和结果的相关系数: $\gamma_{iy} = P_{yx_i} + \sum_{nj} \gamma_{ij}P_{yx_j}$ 。

各自变量对因变量的相对决定程度可用决定系数表示:

$$D_{yx_i} = P_{yx_i}^2 \quad (3)$$

$$D_{yx_ix_j} = 2\gamma_{ij}P_{yx_i}P_{yx_j} \quad (4)$$

$$D_{yx_i} + D_{yx_ix_j} + D_yE = 1 \quad (5)$$

式(3)~(5)中 D_{yx_i} 为原因 x_i 对结果 y 的决定系数, $D_{yx_ix_j}$ 为原因 x_i, x_j 协同作用对结果 y 的决定系数, D_yE 为剩余项的决定系数。

2 结果

2.1 蒸发量变化趋势及突变检验

对东疆3站平均日蒸发量通过线性倾向估计和11年滑动平均分析得出(见图1),东疆地区蒸发量呈逐年下降趋势。其线性倾向率为 $-0.28\text{mm}/10\text{a}$,经检验,此变化趋势在0.05显著水平下达到显著。

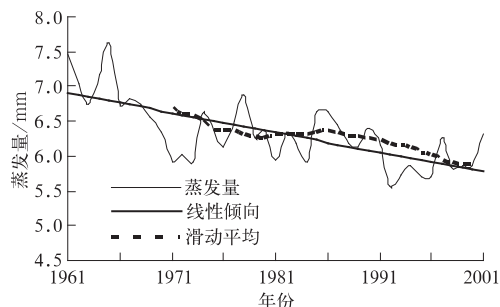


图1 东疆地区1961—2001年日平均蒸发量

对东疆3站1961—2001年平均日蒸发量用曼-肯德尔进行突变检验(见图2),结果表明,东疆地区蒸发量共经历2次增多阶段和2次减少阶段,其中1960年代初至1960年代中期为增多趋势,1960年代后期为减少趋势,1970年代至1980年代初期为增多趋势,1980年代中期至21世纪初为减少趋势。

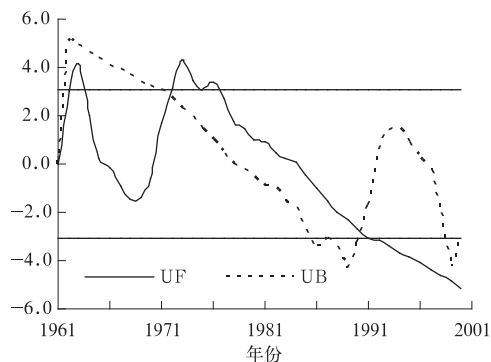


图2 东疆地区蒸发量曼-肯德尔突变检验
(直线为 $\alpha=0.05$ 显著性水平临界值,UF,UB为曼-肯德尔突变检验的统计量,详见文献[4])

其中1960年代初至1960年代中期和1970年代至1980年代初期的增多趋势及1980年代中期至21世纪初的减少趋势均超过显著水平0.05临界线,表明这几个阶段蒸发量增多或减少明显。东疆地区蒸发量1970年代至1980年代初期的增多和1980年代中期至21世纪初蒸发量的减少是突变现象,分别是1972年和1990年开始的。

2.2 蒸发量影响因子通径分析

影响蒸发量的各个气象因子内部存在着相关性,为了清楚地了解各种气象因子在蒸发过程中所起的作用,采用通径分析进行分析。参考前人研究成果^[1,6-7]引入气温(x_1)、相对湿度(x_2)、风速(x_3)、日照时数(x_4)、水汽压(x_5)、净地表辐射(x_6)6种与蒸发相关的气象因子。

从表1可以看出,6种气象因子与蒸发量的直接相关性均达到0.01极显著水平,除相对湿度与蒸发量呈负相关外,其他5种气象因子均与蒸发量呈正相关。表2为计算出的通径系数,表示的是各种气象因子对蒸发量的直接影响及间接影响作用,通过对比表1、表2可以发现,相对湿度、风速、日照时数、水汽压的直接通径系数与其对应的直接相关系数正负符号相同,而气温、净地表辐射的直接通径系数与其对应的直接相关系数正负符号相反,这表明相对湿度、风速、日照时数、水汽压对蒸发量的影响作用是真实可信的,而气温、净地表辐射与蒸发量的显著相关可能存在着一定的虚假性。表2中,相对湿度与水汽压对蒸发量的直接影响作用符号相反,这是由于水汽压表示的是大气中水汽压的分压强,在大气压变化不定的自然条件下,水汽压大并不一定抑制水汽的蒸发作用,而相对湿度表示的是大气中水汽的饱和程度,它的大小与蒸发量呈反比。

表3为各气象因子对蒸发量的决定系数,

表 1 蒸发量及其气象影响因子的直接相关系数及偏相关系数

	y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
y		0.324 **	-0.217	0.395 **	-0.102 **	-0.212 **	0.429 **
x_1	0.890 **		-0.492 **	-0.031	-0.228 **	0.553 **	0.244 **
x_2	-0.595 **	-0.426 **		-0.098 **	-0.085 **	0.581 **	0.037
x_3	0.329 **	0.162 **	-0.418 **		-0.164 **	-0.064 **	-0.101 **
x_4	0.630 **	0.525 **	-0.442 **	-0.027		-0.437 **	0.794 **
x_5	0.666 **	0.862 **	-0.007	-0.052 *	0.351 **		0.513 **
x_6	0.884 **	0.916 **	-0.375 **	0.061 **	0.740 **	0.829 **	

注:斜上角为偏相关系数,斜下角为直接相关系数。* 0.05 显著水平(2-tailed),** 0.01 显著水平(2-tailed)。

表 2 蒸发量影响作用分解

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
总影响 $\gamma_{x_i y}$	0.324 **	-0.217	0.395 **	-0.102 **	-0.212 **	0.429 **
直接影响 $P_{y x_i}$	-0.989	-1.381	0.335	0.1771	1.250	-0.026
通过 x_1		0.487	0.031	0.225	-0.547	-0.241
通过 x_2	0.679		0.135	0.117	-0.802	-0.051
间接影响						
通过 x_3	-0.010	-0.033		-0.055	-0.021	-0.034
通过 x_4	-0.040	-0.015	-0.029		-0.077	0.141
$\gamma_i; P_{y x_j}$						
通过 x_5	0.691	0.726	-0.080	-0.546		0.641
通过 x_6	-0.006	-0.001	0.003	-0.021	-0.013	
总间接影响	1.313	1.164	0.060	-0.279	-1.462	0.455

表 3 气象因子对蒸发量的决定系数

$D_{y x_3 x_4}$	$D_{y x_2 x_5}$	$D_{y x_2}$	$D_{y x_5}$	$D_{y x_1 x_5}$	$D_{y x_1 x_2}$	$D_{y x_1}$	$D_{y x_4 x_5}$	$D_{y x_3}$	$D_{y x_2 x_3}$	$D_{y x_1 x_4}$
2.010	2.005	1.907	1.563	1.367	1.343	0.978	0.193	0.112	0.091	0.079
$D_{y x_3 x_5}$	$D_{y x_2 x_4}$	$D_{y x_5 x_6}$	$D_{y x_4}$	$D_{y x_1 x_3}$	$D_{y x_1 x_6}$	$D_{y x_4 x_6}$	$D_{y x_2 x_6}$	$D_{y x_3 x_6}$	$D_{y x_6}$	
0.054	0.041	0.033	0.031	0.020	0.012	0.007	0.003	0.002	0.001	

结果表明,6 个气象因子单独对蒸发的决定程度按大小排序为:相对湿度、水汽压、气温、风速、日照时数、净地表辐射,分别位于第 3、第 4、第 7、第 9、第 15、第 21 位,风速与日照时数、相对湿度与水汽压、气温与水汽压、气温与相对湿度的协同作用对蒸发量的决定作用很大,分别位于第 1、第 2、第 5 位和第 6 位。净地表辐射无论其单独作用或与其它气象因子的协同作用对蒸发量的决定作用都很小,排名全部在第 13 位之后。结合表 2 的分析结果,可以得出,气温对蒸发量的影响作用是显著的,排除其显著相关虚假的可能性,而净地表辐射对蒸发量的显著相关是虚假的。

2.3 相对湿度的变化趋势及突变检验

根据前人研究^[8-10],东疆近 40 年气候呈

现降水显著增多、气温显著增暖的趋势,蒸发量呈显著减少趋势。依据气象因子与蒸发量的相关性可以看出,气温与蒸发量呈正相关,因而气温偏高对蒸发量减少不利,降水增多会增加空气的相对湿度,而相对湿度与蒸发量呈负相关,因而降水增多对蒸发量减少有利。在目前气候的变化趋势对蒸发量减少有利有弊的条件下,哪一因素起到了主导作用就成为一个亟待解决的问题。表 3 表明,相对湿度对蒸发量的决定作用强于气温对蒸发量的决定作用。对 1961—2001 年东疆三地的相对湿度分析得出(见图 3),相对湿度呈增加趋势,其线性倾向率为 0.09%/10a,其变化趋势在 $\alpha=0.05$ 显著水平下达到显著。这就表明近 40 年降水增多明显地增加了当

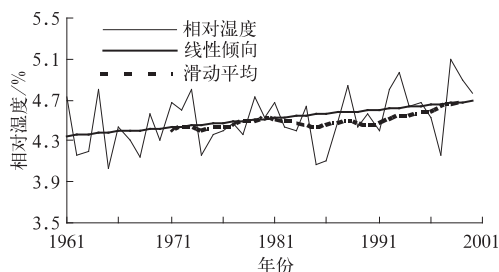


图3 东疆地区1961—2001年日相对湿度

地空气的相对湿度,相对湿度的显著增加是导致东疆的蒸发量逐年减少的重要原因。

3 结语

东疆地区蒸发量呈显著下降趋势,1970年代至1980年代初期的增多和1980年代中期至21世纪初的减少是突变现象,分别是1972年和1990年开始的。6种气象因子单独对蒸发的决定程度按大小依次为:相对湿度、水汽压、气温、风速、日照时数、净地表辐射,风速与日照时数、相对湿度与水汽压、气温与水汽压、气温与相对湿度的协同作用对蒸发量的决定作用很大。东疆三地近40年降水增多明显地增加了当地空气的相对湿度,相对湿度的显著增加是导致东疆的蒸发量逐年减少的重要原因。

净地表辐射一直都是研究蒸发量常用的气象因子之一,而该文却得出了净地表辐射对蒸发量的决定作用很小的结论,这可能是由于净地表辐射是由经验公式计算得出的,本身误差较大,同时这可能也是在分解日照

时数及净地表辐射对蒸发量的影响作用过程中出现二者符号几乎完全相反现象的原因。

使用通径分析法分析各气象因素对蒸发量的影响作用只能在线性相关的基础上进行,而某些气象因子与蒸发量的关系可能并不是线性相关,因而在研究方法上存在着一定的局限性,有待于进一步完善。

参考文献

- [1] 段若溪,姜会飞. 农业气象学[M]. 北京:气象出版社,2002:94-95.
- [2] 王艳君,姜彤,许崇育. 长江流域蒸发皿蒸发量及影响因素变化趋势[J]. 自然资源学报,2005,20(6): 864-870.
- [3] 杜尧东,刘作新,张运福. 参考作物蒸散计算方法及其评价[J]. 河南农业大学学报,2001,35(1):57-61.
- [4] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007:36-66.
- [5] 毛任钊,张妙仙,张玉铭. 海河低平原盐渍涝洼区表层土壤积盐影响因素通径分析[J]. 中国生态农业学报,2004,12(2):50-53.
- [6] 闽骞. 建立计算水面蒸发量的实用性气候学模型[J]. 气象,1991,17(7):43-45.
- [7] 张敏,宛公展. 用不同气象要素估算不同蒸发力的模式研究[J]. 气象,1995,21(2):36-37.
- [8] 阿依夏木·尼亚孜,周宁芳,杨贵名. 近45年哈密地区温度变化特征[J]. 气象,2007,33(7):89-97.
- [9] 张学文,张家宝. 新疆气象手册[M]. 北京:气象出版社,2006:179-180.
- [10] 买买提·阿不都拉,玉苏甫·阿不都拉,刘海涛,等. 和田市近40年蒸发量的变化特征[J]. 气象,2006,32(8):92-98.