

张掖 E601 型与小型蒸发观测资料对比

庞成^{1,2}, 马鸿勇¹, 王伏村¹, 郑学金¹

(1. 甘肃省张掖市气象局, 甘肃 张掖 734000; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020)

摘要:通过对张掖站 1985~2001 年 5~9 月 E601(金属制)与玻璃钢制蒸发资料及 E601 型与小型蒸发观测资料进行相关分析和对比分析,得到如下结果:(1)金属制与玻璃钢制 E601 型蒸发资料可做为同一资料序列使用;(2)E601 型与小型蒸发资料相关性达 88% 以上,由比值折算系数求得的气候估计值与实际观测值更接近,优于使用一元线性回归系数折算的气候估计值资料序列,可以根据需要实现 E601 型与小型蒸发资料序列的相互补充订正,在气象业务与服务中应用。

关键词:蒸发量;资料分析;气候估计值

中图分类号:P414.8⁺²

文献标识码:A

引言

蒸发作为地面与空气水汽交流的重要途径,是水分收支平衡、水文、水利灌溉和农业蒸散等学科中的重要因子。目前,直接测量自然水面或地表的蒸发或蒸散还不现实,气象业务中采用的是间接的测量方法,即用蒸发器测量标准的饱和水面水分的损失,以降低的水面深度(mm)表示。

各级气象台站在长期地面气象观测中^[1],使用最广泛的测量蒸发的仪器是口径为 20 cm、高约 10 cm 的小型蒸发器(简称小型),它的安装要求为口缘距地面 70 cm,与雨量观测仪器的高度相同,这种仪器观测的蒸发资料年代长,但由于容积小,器壁裸露于空气中,历年平均蒸发量比平均降水量要大得多,这与局地水分相抵偿原理不符,不能代表一地的自由水面蒸发量。E601 型蒸发器深埋地下,器口面积为 3 000 cm²,器口边缘距观测场地面 30 cm,是世界气象组织推荐使用的水面蒸发观测仪器。据试验得知,20 m² 以上的大型标准蒸发池的蒸发量最能代表水面蒸发量, E601 型蒸发器所测得的蒸发量与小型相比更接近大型标准蒸发池的蒸发量^[2]。

张掖站自 1953 年始一直使用小型蒸发器观测蒸发量,从 1985~1997 年每年 5~9 月同时使用小型蒸发器与 E601 型(金属制)蒸发器观测蒸发量,

1998~2001 年改用小型蒸发器与 E601B 型(玻璃钢制)蒸发器对比观测蒸发量,自 2002 年开始每年 5~9 月单独使用 E601B 型蒸发器,每年 10 月至次年 4 月单独使用小型蒸发器观测蒸发量,地面观测业务中年报表不做蒸发量的年统计,这给气象服务和资料使用造成很大的不便。

张武忠等^[2-9]对 E601 型与小型蒸发资料换算使用进行了研究,但其换算数值地方性较强,笔者对张掖站 1985~2001 年小型与 E601 型蒸发器观测资料进行了相关分析,求得 2 种蒸发量逐月的折算系数,可方便地进行 2 种蒸发资料的转换,为有效利用长序列小型蒸发资料提供参考(E601B 型亦属 E601 型,二者只是制作材质不同)。

1 蒸发的影响因子分析及不同蒸发仪器比较

1.1 蒸发的影响因子

根据道尔顿蒸发公式^[10], $W = C(E - e)/p$, (式中 W 为蒸发率, C 为与风速有关的函数, E 为水面温度下的饱和水汽压, e 为水面上空气中的实际水汽压, p 为大气压)。因一地的 2 种蒸发器高度气压差非常小,由气压 p 变化引起的蒸发速率的变化可忽略不计;水面上空气中的实际水汽压 e 与高度之间为指数关系,在一地的 2 种蒸发器的高度上,经过计

收稿日期:2011-04-06;改回日期:2011-07-14

作者简介:庞成(1970-),男,甘肃张掖人,本科,工程师,主要从事气象探测业务管理及大气探测、应用气象研究. E-mail: pangchenggszy@163.com

算 e 很接近,且 e 的变化幅度相对于 E 而言要小得多,因此, e 对 2 种蒸发器蒸发速率的影响也小得可不考虑。可以看出,引起 2 种蒸发器蒸发量差异的主要因素是水面温度下的饱和水汽压和风速,既水温越高,风速越大,蒸发越快。

近年来,国内一些学者对陆面蒸发、自然水面蒸发、不同干湿区蒸发情况及与实际蒸发的关系进行了分析^[11-19],对蒸发变化趋势的影响因子进行了研究,韩军彩等研究认为全年和 4 季蒸发量与日照时数、平均气温日较差、平均风速和平均地表温度正相关,与平均相对湿度负相关^[20]。梁桂花等认为影响蒸发量变化的因子主要是温度日较差、日照、温度、湿度等,蒸发量与日照时数、平均风速、气温日较差呈显著正相关,与水汽压、相对湿度呈显著负相关^[21]。

为了验证蒸发量大小与气象要素的关系,使用张掖站 2001 年全年的逐日、逐月平均温度、10 min 平均风速与同时段小型、E601 型蒸发资料,采用计算相关系数、一元回归方法,分别检验了温度、风速与蒸发量的关系。结果表明:(1)温度与 2 种蒸发量的相关性最大,温度越高,蒸发量越大;温度与小型蒸发量的相关性仅 10 月、12 月通过 98% 显著性检验,其它各月及年(以及温度与 E601 型蒸发量的相关性)均通过 99% 以上的检验;(2)风速与 2 种蒸发量的相关性不明显,仅与 E601 型及个别月份的小型蒸发量关系符合风速越大,蒸发越快的结果;与小型蒸发量 1、2、7、8 月通过 99% 以上检验,与 E601 型蒸发量 6~9 月及年均通过 99% 以上显著性检验(5 月为 95%)。回归分析也反映了这样的关系(图 1)。

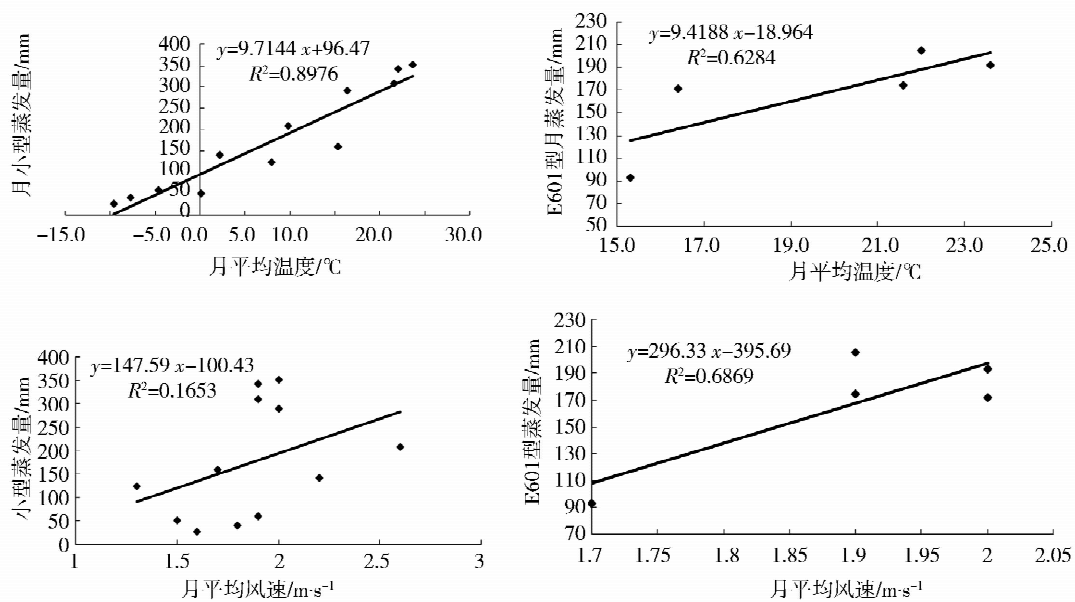


图 1 张掖站 2001 年各月平均温度、风速与小型、E601 型蒸发量回归分析
 Fig. 1 The regression analysis of monthly average temperature, wind speed and small, E601 type evaporator's evaporation in 2001 of Zhangye

1.2 E601 型与小型蒸发仪器的比较

E601 型蒸发器安装在近地面(地下 61 cm,地上 7.5 cm,水面积 3 000 cm²,水深约 60 cm),而小型蒸发器安装于 70 cm 高度上(水面积 314 cm²,水深 2 cm,仪器下方为中空支架。),同时段其蒸发量就会偏大,此外,小型容量很小,器壁裸露,加之小型蒸发器器壁为铜质,热传导率高;E601 型蒸发器为金属质地(E601B 型材质为玻璃钢),大部分埋于地

下,容量远大于小型,四周又有水圈保护,有效防止降水的溅入,并且阳光直射不到器壁。白天在阳光的直射下,小型蒸发器器内水温常比空气温度高许多。而饱和水汽压会随温度的增高而增大,因而水温愈高,蒸发面上的饱和差越大,蒸发越快。因此,E601(B)型蒸发器水温和蒸发速率 < 小型。这样,就导致小型蒸发量常 > E601 型蒸发器观测的蒸发量;但也有例外,傅志伟^[3]分析认为冷空气造成明

显降温,且全天无日照或阴间多云的特定天气条件下 E601 型蒸发量往往 > 小型,造成因素有:冷空气作用使 E601 型水温高于小型,日照小(或无日照)使小型蒸发器水温低于 E601 型,土壤保温作用使 E601 型蒸发器水温降低慢于小型,保持较高,故 E601 型蒸发速率快,这与实际观测结果吻合。

2 金属制与玻璃钢制 E601 型蒸发观测资料对比分析

由于张掖站使用 E601 型蒸发器 1985 ~ 1997 年为金属制,1998 年以后为 E601B 型为玻璃钢制,为了检查这 2 种蒸发器观测资料序列,先对 5 ~ 9 月 2 种大型蒸发资料序列与小型蒸发量的比值(比值 $K = \text{E601 型蒸发量} / \text{小型蒸发量}$)、偏大率、相关系数以及 2 种 E601 型蒸发资料的相关系数进行了分析。发现 E601 型蒸发量略大于 E601B 型,E601 型与小型的比值介于 0.59 ~ 0.65 之间,E601B 型与小型的比值介于 0.57 ~ 0.60 之间;E601 型与小型蒸发量的相关系数小于 E601B 型,介于 0.78 ~ 0.97 之间;E601B 型与小型的相关系数介于 0.87 ~ 0.97 之间,1985 ~ 2001 年 E601 型与小型蒸发量 5 ~ 9 月比值介于 0.58 ~ 0.64 之间,相关系数介于 0.87 ~

0.97 之间,通过了 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验。

比较张掖站 2 种蒸发量逐年 5 ~ 9 月合计值(图 2),可以看出,E601 型、E601B 型与小型蒸发器测得的蒸发量变化趋势一致,小型蒸发量变化幅度大,E601(或 B)型蒸发量变化平缓。

初步分析可知,E601B 型蒸发器观测得到的蒸发资料优于 E601 型,同时,因其二者主要区别为仪器材质不同,其它均一致,观测资料差值不大,故 E601B 型蒸发器替代 E601 型蒸发器后,2 段蒸发资料可以做为同一序列使用。

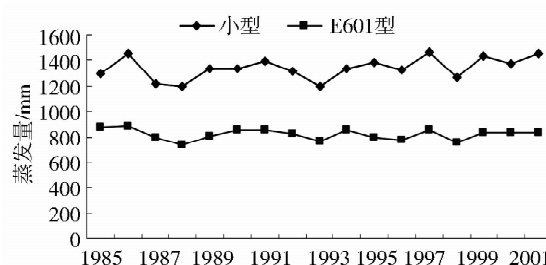


图2 张掖站 2 种蒸发量 1985 ~ 2001 年逐年 5 ~ 9 月合计值比较图

Fig. 2 The comparison of two kinds of evaporation values accumulated from May to September in Zhangye during 1985 - 2001

表 1 张掖站 2 种蒸发量 1985 ~ 2001 年分段比值及相关系数

Tab. 1 The section ratio and correlation coefficient of two kinds of evaporation values in Zhangye from 1985 to 2001

年份	使用仪器	项目	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	平均
1985 ~ 1997	金属 E601	比值 K	0.59	0.61	0.63	0.63	0.65	0.62
		与小型 相关系数	0.9723	0.8637	0.9153	0.7850	0.8746	-
1998 ~ 2001	玻璃钢 E601	比值 K	0.57	0.59	0.59	0.60	0.60	0.59
		与小型 相关系数	0.9606	0.9469	0.8706	0.9767	0.9760	-
1985 ~ 2001	2 种 E601	比值 K	0.5881	0.6012	0.6163	0.6246	0.6389	0.6118
		与小型 相关系数	0.9617	0.8923	0.8762	0.7486	0.8804	-

3 小型与 E601 型蒸发量的对比分析

3.1 蒸发量的分布特征

根据分析结果,将 1985 ~ 2001 年 E601 型与 E601B 型蒸发资料合并为同一序列(统称 E601 型),计算张掖站小型与 E601 型,1985 ~ 2001 年 5 ~ 9 月各月及 5 ~ 9 月总蒸发量的多年平均值,以及两者之间的差值、比值、偏大率,如表 2。偏大率 D

$$= (\text{小型蒸发量} - \text{E601 型蒸发量}) / \text{E601 型蒸发量} \times 100\%$$

从表 2 可以看出,2 种蒸发器测得的蒸发量相差很大,1985 ~ 2001 年 5 ~ 9 月逐月平均资料的比值介于 0.5881 ~ 0.6389 之间,5 个月平均为 0.6118,说明 5 ~ 9 月 E601 型蒸发量约为小型蒸发量的 61%,小型比 E601 型偏大 56% ~ 70%,5 个月平均偏大 63.4%。

表2 张掖站2种蒸发器1985~2001年
平均蒸发量资料

Tab.2 The average evaporation data of two kinds
of evaporators in Zhangye from 1985 to 2001

月份	小型 /mm	E601 型 /mm	差值 /mm	比值 <i>K</i>	偏差率 <i>D</i> /%
5月	291.2	171.2	119.9	0.5881	70.0
6月	288.0	173.2	114.8	0.6012	66.3
7月	299.2	184.4	114.8	0.6163	62.2
8月	269.8	168.5	101.3	0.6246	60.1
9月	192.1	122.7	69.4	0.6389	56.5
5~9月	1340.2	820.0	520.2	0.6118	63.4

表3 张掖站2种蒸发器1985~2001年
蒸发量一元线性回归分析数据

Tab.3 The linear regression data of two kinds of
evaporations in Zhangye from 1985 to 2001

月份	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	α
5月	12.168	0.5463	0.9617	0.001
6月	52.427	0.4192	0.8923	0.001
7月	30.864	0.5132	0.8762	0.001
8月	52.877	0.4286	0.7486	0.001
9月	-7.7233	0.6791	0.8804	0.001
5~9月	19.846	0.5378	0.9876	0.001
5~7月	-154.92	1.1311	0.9157	0.001
5个月合计	345.43	0.3541	0.7108	0.01

3.2 2种蒸发资料的相关分析

为了找到张掖站2种蒸发器的蒸发资料的相互关系,利用其对比观测资料进行一元线性回归分析,即 $\hat{y} = a + bx$ (式中 \hat{y} 为 E601 型蒸发量估计值, x 为小型蒸发量, a, b 为待定系数)。分别对 5~9 各月及 5~9 月合计值和逐年 5~7 月及 5~9 月所有各值合为一组进行相关分析,计算结果列于表 3,表中 r 为相关系数, α 为信度水平。回归分析表明,各月相关系数多数月份达 0.870 以上,5~9 月合计值相关系数稍小为 0.7108,各相关系数线性相关显著。其他月份和不同月份的 2 种组合资料均通过信度 $\alpha = 0.001$ 的检验,故可由 $\hat{y} = a + bx$ 求得 \hat{y} 。

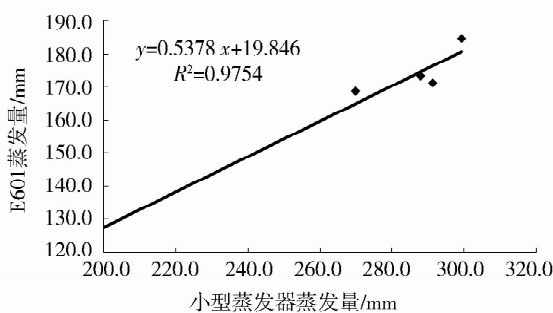


图3 张掖站2种蒸发器1985~2001年
5~9月平均蒸发量一元线性回归分析

Fig.3 The linear regression analysis of
average evaporation from May to September
in Zhangye during 1985 - 2001

3.3 小型与 E601 型蒸发量的折算系数

3.3.1 5~9月各月的折算系数以及平均折算系数

2种蒸发量的折算系数用 E601 型与小型蒸发量的比值 K 表示,张掖站 5~9 月各月折算系数均在 0.5881~0.6389,平均 0.6118。

3.3.2 冬季(10月至次年4月)折算系数

因张掖无冬季对比观测资料,故参考有关文献资料^[2-3,7],分析张掖气候实际情况,可参考使用折算系数:10月 0.60,4月 0.56,11~3月 0.58。则年平均折算系数约为 0.5941,具体情况有待进一步研究,如果有称重式蒸发仪器则可不受冬夏季节制约,更有利于资料的处理与使用。

4 2种蒸发量的气候估计值

4.1 E601 型蒸发量的气候估计值

E601 型测得的蒸发量与实际水面蒸发量接近,但受资料年限短制约;广大气象台站多年积累的小型蒸发资料最多最长,为充分利用这些宝贵资料,我们利用张掖站 1971~2001 年各月的小型蒸发资料,分别运用比值系数折算和回归系数折算的方法,求得 E601 型累年各月及年平均蒸发量的气候估计值。由表 4 可见,求得的累年 5~9 月比值折算值与实际观测值的误差百分率为 0.5%~ -7.1%,回归气候估计值 \hat{y} 与实际观测值的误差百分率及回归气候估计值 \hat{y} 与比值折算值的误差百分率均较大,达 3.5%~26%,故可以小型蒸发量乘以各月折算系数计算 E601 型蒸发量的气候估计值,此种方法简便实用,且更可靠,可供各资料使用部门参考使用。

表 4 张掖站 1971~2001 年累年各月及年平均蒸发量的气候估计值

Tab. 4 The estimated value of monthly and annual average evaporation in Zhangye from 1971 to 2001

项目	小型 /mm	E601 /mm	比值折算		回归系数折算		比值折算与 回归折算误 差百分率/%
			比值折算值 /mm	误差百分率 /%	回归折算值 /mm	误差百分率 /%	
1 月	36.9		20.8				
2 月	58.4		32.9				
3 月	132.1		74.3				
4 月	237.3		128.9				
5 月	301.7	171.2	172.0	0.5	166.0	-3.0	3.5
6 月	284.9	173.2	166.1	-4.1	124.7	-28.0	24.9
7 月	286.6	184.4	171.3	-7.1	150.2	-18.6	12.4
8 月	263.3	168.5	159.6	-5.3	118.2	-29.9	26.0
9 月	184.1	122.7	114.2	-6.9	124.3	1.2	-8.8
10 月	127.2		74.2				
11 月	58.6		33.3				
12 月	34.5		19.8				
年合计	2 005.7		1 191.6				

4.2 小型蒸发量的气候估计值

考虑张掖站无冬季对比观测资料,故冬季折算系数是参考文献资料及具体实际人为确定的,另外还因为气象台站积累的小型蒸发资料年代长,使用及服务方面已形成了以小型蒸发资料为主的一些方法,故为方便起见,考虑仅以 1985~2009 年逐年 5

~9 月 E601 型蒸发量资料换算为小型蒸发量,具体使用与服务可仍以以前确定的方法进行,具体统计数据见表 5。由表可见,经折算后的小型蒸发量与 1971~2000 年 30 a 气候平均值比较,最大差值百分率为 6.5%,年合计值差 1.2%,考虑气候变暖因素,数据可以代替使用。

表 5 张掖站 1985~2009 年 5~9 月小型蒸发量折算平均值与 30 a 气候统计值比较

Tab. 5 The comparison of convert average value of mini-evaporator and 30 years statistical data in Zhangye from 1985 to 2009

月份	1985~2009 年平均/mm	1971~2000 年平均/mm	差值/mm	差值百分率/%
5 月	291.8	302.0	-10.2	-3.4
6 月	301.4	282.9	18.5	6.5
7 月	303.1	284.5	18.6	6.5
8 月	270.6	261.8	8.8	3.4
9 月	187.4	184.9	2.5	1.4
年合计	2 027.4	2 002.5	24.9	1.2

5 小 结

(1) 张掖站玻璃钢制 E601B 型蒸发器观测得到的蒸发资料优于金属制 E601 型,两者观测资料差

值不大,可以做为同一序列使用。

(2) 张掖站小型蒸发量比 E601 型偏大较明显,5~9 月平均偏大率介于 56%~70%,E601 型蒸发对自由水面蒸发的代表性优于小型。

(3) E601 型与小型蒸发量之间具有很好的正相关关系, 相关系数多大于 88% 以上, 各月均通过信度 $\alpha = 0.001$ 检验, 5 ~ 9 月合计值也通过了信度 $\alpha = 0.01$ 的检验。通过历史资料计算得到, 由比值折算系数求得的气候估计值与实际观测值更接近, 优于使用一元线性回归系数折算的气候估计值序列。

(4) 为了充分利用小型蒸发的长序列资料, 也可用比值折算系数由 E601 型资料反算 5 ~ 9 月的小型蒸发量, 供资料使用部门参考。

(5) 张掖站冬季 (10 月至次年 4 月) 因无对比观测资料, 故比值折算系数仅供参考, 有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [2] 张武忠, 张志明, 王文华. 呼伦贝尔市水面蒸发量折算系数分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2005, 74 - 75.
- [3] 傅志伟. E601 型蒸发量大于小型蒸发量原因之浅析[J]. 气象, 2000(11): 55 - 56.
- [4] 黄秋红. E601 型与小型蒸发器对比观测分析[J]. 气象, 2000(10): 45 - 48.
- [5] 吕红玉, 李文福. 蒸发量折算系数与蒸发公式的建立[J]. 黑龙江气象, 1999(2): 35 - 36.
- [6] 杨永胜, 赵琪, 闫斌, 等. E601 型蒸发器与 $\Phi 20\text{cm}$ 蒸发皿观测资料的相关分析[J]. 水文, 2003(10): 42 - 44.
- [7] 张建雄. 永暑礁蒸发量分析与推算[J]. 海洋通报, 2002(8): 85 - 90.
- [8] 任芝花, 黎明琴, 张纬敏. 小型蒸发器对 E601B 蒸发器的折算系数[J]. 应用气象学报, 2002, 13(4): 508 - 512.
- [9] 尹宪志, 牛润和, 吴进祥, 等. 干旱区两种蒸发观测资料序列的对比分析[J]. 地球科学进展, 2010, 25(增刊): 115 - 121.
- [10] 成都气象学院. 气象学[M]. 北京: 农业出版社, 1979.
- [11] 王润元, 杨兴国, 张九林, 等. 陇东黄土高原土壤储水量与蒸发和气候研究[J]. 地球科学进展, 2007, 22(6): 625 - 635.
- [12] 邱国玉. 陆地生态系统中的绿水资源及其评价方法[J]. 地球科学进展, 2008, 23(7): 713 - 721.
- [13] 申双和, 盛琼. 45 年来中国蒸发皿蒸发量的变化特征及其成因[J]. 气象学报, 2008, 66(3): 452 - 459.
- [14] 任国玉, 郭军. 中国水面蒸发量的变化[J]. 自然资源学报, 2006, 21(1): 31 - 44.
- [15] 刘建, 张奇, 许崇育, 等. 近 50 年鄱阳湖流域实际蒸发量的变化及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(2): 140 - 145.
- [16] 刘波, 肖子牛, 马柱国. 中国不同干湿区蒸发皿蒸发和实际蒸发之间关系的研究[J]. 高原气象, 2010, 29(3): 629 - 636.
- [17] 王佩, 邱国玉, 尹婧, 等. 泾河流域温度与器皿蒸发量时空特征及变化趋势[J]. 干旱气象, 2008, 26(1): 17 - 22.
- [18] 张强, 王胜. 关于干旱和半干旱区陆面水分过程的研究[J]. 干旱气象, 2007, 25(2): 1 - 4.
- [19] 何炎红, 田有亮, 郭连生. 乌兰布和沙漠可能蒸散的研究[J]. 干旱气象, 2007, 25(2): 61 - 66.
- [20] 韩军彩, 张秉祥, 高祺, 等. 石家庄市蒸发皿蒸发量的变化特征及其影响因子分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(4): 340 - 345.
- [21] 梁桂花, 张小平, 朱叶. 朔州市近 50 a 蒸发量变化特征及影响因子分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 123 - 126.

Comparative Analysis of E601 and Small - sized Evaporator Data in Zhangye of Gansu Province

PANG Cheng^{1,2}, MA Hongyong², WANG Fucun², ZHENG Xuejin²

(1. Zhangye Meteorological Bureau of Gansu Province, Zhangye 734000, China;
2. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on correlation analysis and comparative analysis of two kinds of evaporation data from E601 and small - sized evaporator in May to September during 1985 - 2001 at Zhangye station, some results are obtained as follows: (1) E601 and E601B evaporation data can be used as the same sequence data; (2) The correlation of E601 and small - sized evaporator data is up to 88% , and the climate estimate value calculated by the ratio conversion coefficient is close to actual observations and better than climate estimate value calculated by using a linear regression coefficient. The E601 and small - sized evaporator data can be corrected each other.

Key words: evaporation data; E601 evaporator; small - sized evaporator; climate estimation