

The Applicability Research of FAO Evapotranspiration Calculation Methods in Taiyuan

Mengbo Song, Jiqin Chen

Changjiang Engineering Vocational College, Wuhan
Email: dianerliu@yahoo.com.cn

Received: Jan. 4th, 2013; revised: Feb. 2nd, 2013; accepted: Feb. 9th, 2013

Copyright © 2013 Mengbo Song, Jiqin Chen. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: The alternative methodologies for calculation of reference evapotranspiration ET_0 are tested and evaluated by using daily weather data from Taiyuan, Shanxi province. The results are analyzed and consider that the methodologies for calculation of reference evapotranspiration ET_0 are applicable.

Keywords: Reference Evapotranspiration; Taiyuan; Applicability

FAO 参照腾发量计算在太原地区的适用性研究

宋萌勃, 陈吉琴

长江工程职业技术学院, 武汉
Email: dianerliu@yahoo.com.cn

收稿日期: 2013 年 1 月 4 日; 修回日期: 2013 年 2 月 2 日; 录用日期: 2013 年 2 月 9 日

摘要: 利用太原的气象数据对 FAO 参照腾发量的计算方法进行了验证, 分析计算结果表明, FAO 推荐的参照腾发量计算方法在太原地区是比较适用的。

关键词: 参照蒸腾量; 太原; 适用性

1. 引言

蒸发与国民经济中的许多问题有着密切的联系, 几乎所有的水资源合理利用和管理的问题都与蒸发有关。就农业而言, 合理的灌溉制度、灌溉方式与灌溉时间的确定, 减少土壤方面的水分蒸发, 节水型农业和旱作农业的研究以及许多水利工程的建设, 都要研究蒸发问题。当前, 淡水资源的匮乏已经成为人们普遍关注的问题, 因此, 研究蒸发的紧迫性和重要性也愈来愈受到人们的重视。

参照腾发量(ET_0)是某种标准参照作物的潜在蒸腾蒸发量。引入参照腾发量的目的是使作物需水量的计算方法有统一的基础, 计算结果在世界各地具有可比性。由于选定的参照作物是全球统一的, 因此 ET_0

的计算只与气象因素有关, 它反映了不同地区、不同时期大气蒸发能力对作物需水量的影响。为了使 ET_0 的计算公式统一化、标准化, FAO 推荐采用彭曼-蒙特斯 Penman-Montieth(P-M)方法计算参照腾发量需要四项气象要素: 气温(包括最高和最低气温)、湿度、风速、太阳辐射或日照。当其中一些气象要素缺测时, FAO 推荐了几种相应的计算方法^[1]。

利用 FAO 推荐的参照腾发量的计算方法对太原地区进行计算, 进行了适用性研究。

2. 资料及研究方法

2.1. 气象要素资料

本次计算采用日模型, 所使用的数据来自于中国气

象局下属的基本气象观测站太原的如下观测资料，时段为 1993 年 1 月 1 日~2002 年 6 月 30 日。

- 1) 气温：日最高温度、日最低温度；
- 2) 空气湿度：日实际水气压、露点温度和相对湿度资料；
- 3) 风速：2 米高的日平均风速；
- 4) 辐射：太阳的长波辐射或实际的日照下测出的净辐射。

2.2. 研究方法

为使 ET_0 的计算公式统一化、标准化，FAO 推荐采用 P-M 方法计算参照腾发量，并按照计算公式的要求给出了参照腾发量的新定义。FAO 修改的参照腾发量的定义为：参照腾发量为一种假想的参照作物冠层的腾发速率。假设作物高度为 0.12 m，固定的叶面阻力为 70 s/m，反射率为 0.23，非常类似于表面开阔，高度一致，生长旺盛，完全遮盖地面而不缺水的绿色草地的蒸腾和蒸发量(Allen 等, 1994)^[2]。

用日气象数据计算参照作物腾发量的 P-M 方程为：

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

其中： ET_0 ——参照作物蒸发蒸腾量[mm·day⁻¹]； R_n ——植物表面净辐射[MJ·m⁻²·day⁻¹]； G ——土壤热通量[MJ·m⁻²·day⁻¹]； T ——2 米高度的日平均温度[°C]； u_2 ——2 米高度的风速[m·s⁻¹]； e_s ——平均饱和水气压[kPa]； e_a ——实际水气压[kPa]； $e_s - e_a$ ——平均饱和水气压与实际水气压的差值[kPa]； Δ ——气压曲线斜率[kPa·°C⁻¹]； γ ——气象学常数[kPa·°C⁻¹]。式中各变量的计算方法详见参考文献[3]。

3. 计算结果分析

3.1. 完备资料下 ET_0 的计算

参考作物蒸发蒸腾量(ET_0)与实测的蒸发量的相同点是都反映了影响蒸发的气象因素、变化趋势一致；不同点在于实测蒸发量与水面蒸发量之间需要进行蒸发皿系数的换算、参考作物蒸发蒸腾量更接近于水面蒸发量。

为了更明确的检验二者之间量上的关系，同时也

为了检验最小资料下计算出的 ET_0 与实际蒸发变化的一致性，本文利用山西 107 个测站 1993~2002 年的日最高、最低气温和逐日实测蒸发量数据进行了分析。分析的方法是：1) 利用最高最低气温计算各站的参照腾发量；2) 累计各个测站计算腾发量和相应的实测蒸发量，二者的比值就是该站参照腾发量与实测蒸发量的换算系数；3) 利用已得到的换算系数，预测 1993~2002 年的实测蒸发量并与实测值比较。

108 个测站平均的换算系数是 0.5324。不同测站的换算系数大小比较集中。影响换算系数的因素很多，首先是蒸发皿系数，本文采用的实测蒸发资料是 20 cm 蒸发皿的数据，蒸发皿系数(转换到水面蒸发)约为 0.55 左右；其次是参照腾发量与水面蒸发的比值；再次就是气温 - 蒸发计算模式在不同条件下的适应性。根据数据确定太原地区采取的换算系数是 0.52。以后各项的比较都采用这两个率定的值。

完备资料的计算是最简单的计算过程，把各种所得的资料数据代入(1)式中就可得到计算的结果。太原站：纬度 37.78°N，海拔 778 米。

整个计算时段中每年每天的计算都是按照这种计算过程计算下来的，具体在计算机上用 VB 编程实现。比较时把逐日的蒸发量换算成逐月的蒸发量，然后进行实测值和计算值的比较，比较时段为 1995.1~1996.12。太原站完备资料计算与实测资料的逐月均值的比较如图 1 和图 2。

从这两张图上可以看出，实测值与完备资料计算的参照作物腾发量的值拟和的较好，斜率为 0.942，相关系数达到 0.8511，较准确的反映了实际蒸散量。

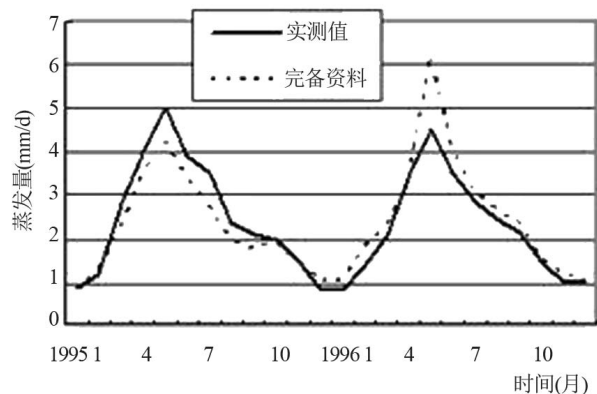


Figure 1. The comparison of the monthly-evaporation in Taiyuan from 1995 to 1996
图 1. 太原站 1995~1996 年逐月蒸发量比较

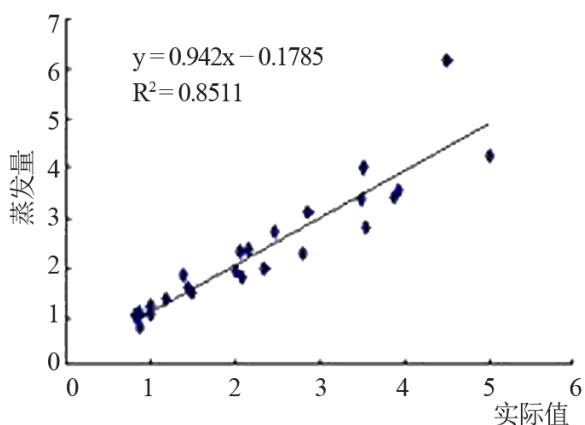


Figure 2. The correlation analysis of the monthly-evaporation
图 2. 逐月蒸发量的相关分析

3.2. 气象数据缺测时 ET_0 的计算

3.2.1. 太阳辐射及日照缺测时 ET_0 的计算

太阳辐射是对 ET_0 影响最大的气象要素。在没有太阳辐射及日照观测数据时，可采用下列方法补差：用本气象站的最高和最低气温观测数据计算太阳辐射。

太原站的逐月计算的结果如下表 1。

太原站的计算结果比较图 3 和图 4。

通过以上两图可以看出，斜率为 1.0177，相关系数的平方达到 0.9732，说明缺日照的情况计算得到的结果还不错。

Table 1. The comparison of the computed results in Taiyuan (unit: mm/d)
表 1. 太原站的计算结果比较(单位: mm/d)

日期	实测值	实测值*0.52	完备	缺日照	缺风速	缺湿度	仅有气温
1995-1	1.66	0.86	0.83	0.93	0.89	0.71	0.90
2	2.29	1.19	1.34	1.47	1.36	1.19	1.40
3	5.40	2.81	2.31	2.69	1.98	1.88	2.11
4	7.55	3.93	3.55	4.18	2.84	3.02	3.21
5	9.65	5.02	4.26	5.16	3.58	3.53	4.04
6	7.48	3.89	3.42	3.99	3.35	3.42	3.97
7	6.79	3.53	2.79	3.66	2.68	2.88	3.69
8	4.54	2.36	1.99	2.39	2.04	2.32	2.90
9	4.03	2.09	1.82	2.00	1.80	2.16	2.40
10	3.85	2.00	1.95	1.67	1.87	2.00	1.74
11	2.87	1.49	1.50	1.37	1.44	1.47	1.34
12	1.66	0.87	1.08	1.08	1.05	0.80	0.80
1996-1	1.55	0.81	1.06	1.03	1.05	0.83	0.84
2	2.65	1.38	1.85	1.79	1.69	1.40	1.25
3	3.98	2.07	2.34	2.46	2.08	1.79	1.80
4	6.74	3.51	3.38	3.55	2.98	2.83	2.79
5	8.68	4.51	6.19	4.62	5.91	5.61	3.74
6	6.77	3.52	4.03	4.03	3.83	3.86	3.77
7	5.50	2.86	3.11	2.93	3.12	3.36	3.33
8	4.75	2.47	2.70	2.27	2.73	3.06	2.81
9	4.16	2.16	2.39	1.93	2.46	2.87	2.63
10	2.75	1.43	1.57	1.30	1.63	1.94	1.83
11	1.95	1.01	1.22	1.14	1.13	1.08	0.95
12	1.95	1.01	1.10	0.94	1.21	0.96	0.97

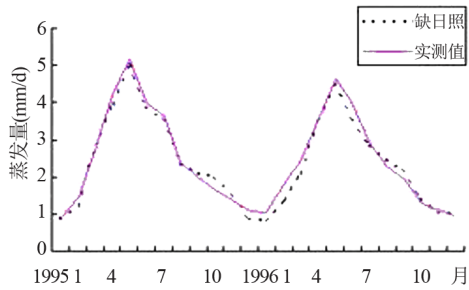


Figure 3. The comparison between the measured and sunshine absence computed evaporation (monthly)
图 3. 缺日照与实测值比较(逐月)

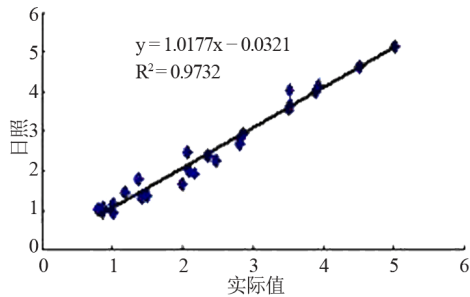


Figure 4. The correlation analysis between the measured and sunshine absence computed evaporation (monthly)
图 4. 缺日照与实测值的相关分析(逐月)

3.2.2. 风速缺测时 ET_0 的计算

风速对 ET_0 的影响相对较小, 在没有风速观测数据时, 可采用利用本地的多年平均风速计算 ET_0 。

太原地区 2 m 高度处的多年平均风速为 2.1 m/s, 采用这个平均风速计算 ET_0 , 并与由实测风速资料计算的 ET_0 相对比(图 5 和图 6)。分析结果: 斜率为 0.8203, 相关系数平方为 0.8431, 计算结果不是很好。

综上所述, 在风速缺测的条件下用本地的平均风速计算 ET_0 , 其误差结果是相似的, 均小于日平均参照腾发量, 这是因为在日平均风速小于 3 m/s 的地区, 风速对 ET_0 的影响相对较小, 只有在日平均风速大于 3 m/s 的地区, 风速对 ET_0 才起主要作用。

3.2.3. 湿度缺测时 ET_0 的计算

在用 P-M 方法计算 ET_0 时, 相对湿度用来计算实际水汽压(e_a)。当湿度缺测或数据可靠性有问题时, 实际水汽压可用最低气温(T_{min})近似计算。

$$e_a = e^0(T_{min}) = 0.611 \exp \left[\frac{17.27T_{min}}{T_{min} + 237.3} \right]$$

该式的基本假定条件是日最低气温(T_{min})近似等于露点温度(T_{dew}), 即当夜间气温降至最低时, 空气湿

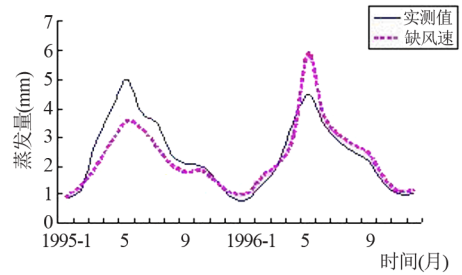


Figure 5. The comparison between the measured and wind speed absence computed evaporation (monthly)
图 5. 缺风速与实测值比较(逐月)

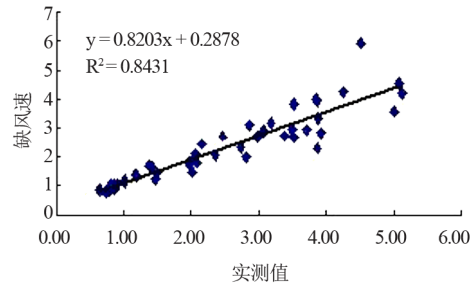


Figure 6. The correlation analysis between the measured and wind speed absence computed evaporation (monthly)
图 6. 缺风速与实测值的相关分析(逐月)

度接近饱和($RH \approx 100\%$), 这对地表有草覆盖的气象站, 大多数时期内是能够满足的。

假定太原站没有湿度观测数据, 采用上式求得实际水汽压并用来计算 ET_0 , 其与用实测相对湿度计算的 ET_0 对比的结果见图 7 和图 8。太原站计算的 ET_0 与用包括相对湿度在内的所有实测数据计算的 ET_0 之间有很好的相关关系。相关斜率: $b = 0.8538$; 相关系数平方: 0.7908。

3.2.4. 仅有气温观测数据时 ET_0 的计算

气温对 ET_0 的影响较大, 在仅有气温数据的情况下, 估算 ET_0 的方法是: 用最高气温和最低气温计算 R_s , 用最低气温计算 e_d , 风速采用当地的平均值, 利用彭曼 - 蒙特斯方程计算; 在图上的表示如图 9(时段为 1994.1~1998.6)。

分析结果: 太原站的实测值要比只有气温资料计算的 ET_0 的结果大, 总体趋势拟合的非常好。

4. 结论

从以上的计算和图可以得出以下结论: 1) 在没有太阳辐射和日照观测数据时, 推荐根据气温计算太阳辐射的方法; 2) 缺少风速资料时, 采用当地平均风速

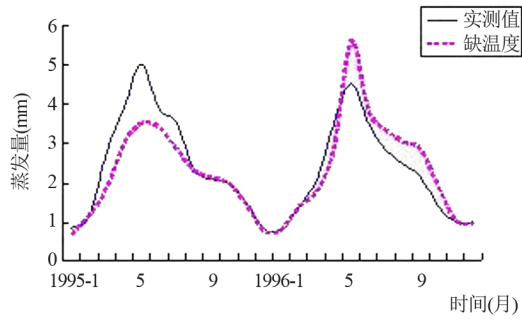


Figure 7. The comparison between the measured and humidity absence computed evaporation (monthly)
图 7. 缺湿度与实测值比较(逐月)

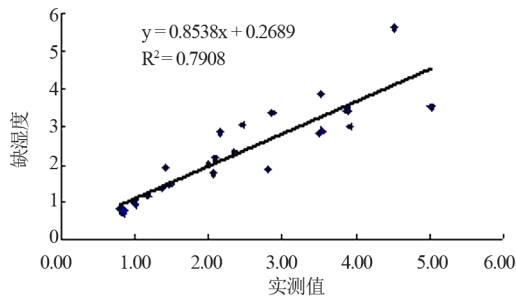


Figure 8. The correlation analysis between the measured and humidity absence computed evaporation
图 8. 缺湿度与实测值的相关分析

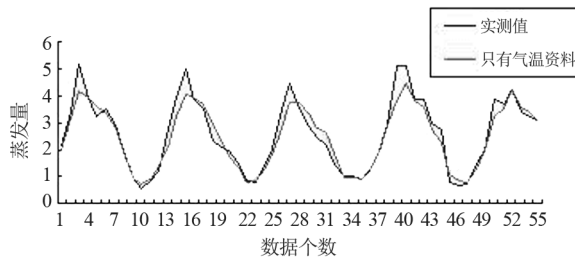


Figure 9. The comparison between the measured and the minimum data computed evaporation
图 9. 实测值与最小资料时的比较

替代可得到 ET_0 的近似值; 3) 在缺少湿度资料的条件下, 要用日最低气温代替露点温度计算实际水汽压, 可得到 ET_0 的近似值, 误差较小; 4) 当只有气温观测资料时, 推荐采用温度资料计算太阳辐射和实际水汽压, 并用平均风速代入彭曼-蒙特斯方程计算 ET_0 。

通过计算分析, 发现 FAO P-M 公式以及其他的各种缺测资料条件下计算相应气候因子的公式(利用海拔高程计算大气压, 利用温度计算相对湿度)在太原适用性很强, 计算的蒸散发量误差最小, 与实测值拟合很好, 结果比较满意。

参考文献 (References)

- [1] 刘钰等. 气象数据缺测条件下参照蒸发量的计算方法[J]. 水利学报, 2001, 3: 11-17.
- [2] R. G. Allen, M. Smith, L. S. Pereira and A. Perrier. An update for the calculation of reference evapotranspiration. ICID Bulletin, 1994, 43(2): 64-92.
- [3] 刘珏, 蔡林根等. 参照蒸发量的新定义及计算方法对比[J]. 水利学报, 1997, 6: 27-33.