

彭曼修正式在长武塬区的检验

刘文兆 李玉山

(中国科学院 西北水土保持研究所)
水利部

提 要

本文在简介彭曼修正式之后, 依长武塬区的水面蒸发量(经过校正的E601蒸发量实测值), 对其进行了检验, 结果是比较满意的。对偏差产生的原因, 暖平流的影响以及蒸发力的计算, 文章也作了讨论。

彭曼(H. L. Penman)在英国进行过多次蒸发实验, 不仅包括水面蒸发, 还有小麦、大麦、甜菜、蚕豆、甘兰以及牧草等多种作物地的蒸散^[1]。他所提出的计算方法, 因其具有坚实的理论基础而得到广泛的应用^[2-4]。

这个方法考虑蒸发过程由热量部分和动力部分组成, 在假定水体热转换量因其值很小而忽略不计的前提下, 给出如下水面蒸发的计算式:

$$E_w = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} R_n + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad (1)$$

式中: E_w ——水面蒸发量, 毫米/日;

R_n ——日水面净辐射, 以其热量所能汽化的水分, 毫米计;

E_a ——空气干燥力(动力项), 毫米/日;

Δ ——饱和水空压 e^* 与温度 t 关系曲线的斜率;

$$\Delta = \frac{e^*}{273 + t} \left(\frac{6463}{273 + t} - 3.927 \right) \quad (2)$$

$$e^* = 6.1078e^{(17.2683882t + (t+237.3))} \quad (3)$$

γ ——干湿球系数。

$$\gamma = \frac{C_p \cdot P}{0.622L} \quad (4)$$

$C_p = 0.2391$ 卡/克 $^{\circ}C$

$$L = 595.9 - 0.55t \quad (5)$$

P ——大气压, 毫巴

尽管彭曼式本身在结构上具有相当的理论性, 但其中有些分项如空气干燥力、有效辐射等也

大多采用经验的方法，而受区域的限制。考虑到黄土高原地区各地海拔高度相差较大这一地形特点，彭曼式中的若干分项可如下具体求得：

$$1. R_n = \frac{10}{L} [(1-\alpha) \cdot Q - F] \quad (6)$$

(1) α 为反射率，水面可取0.06^[1]；

(2) Q 为总辐射，王炳忠等^[8]考虑海拔高度的差别，由理想大气太阳辐射 Q_{01} 推求总辐射：

$$Q = (a + bs) Q_{01} \quad (7)$$

式中： s —为日照百分率； a 、 b —为系数，与年均水汽压及区域有关。就黄土高原而言， a 的取值区间为(0.15, 0.21)，其平均值为0.18， $b = 0.55 + 1.11/e$ ， e 为年平均水汽压。对于长武塬区， a 值按文献[8]所给出的方法，取为0.15， b 值取为0.67。

文献[8]给出的是月理想大气辐射量，由于其计算复杂，要得到更短时段的价值则不易。考虑到太阳辐射的月内变化，在求候总辐射时，我们先求得候（5天为一候）天文辐射，再由月理想大气辐射与月天文辐射的比率（经比较，此比率相对稳定），求出候理想大气辐射。用 Q_{02} 表示日天文辐射，单位卡/平方厘米·日，则：

$$Q_{02} = 889.23 \frac{1}{\rho^2} \left(\omega_0 \sin \varphi \sin \sigma + \cos \sigma \cos \varphi \sin \omega_0 \right) \quad (8)$$

式中： ω_0 ——时角， $\omega_0 = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \sigma)$ ；(9)

ρ ——日地相对距离；

φ ——纬度；

σ ——太阳赤纬。

(3) F 为有效辐射，卡/平方厘米·日

$$F = \sigma' 6T^4 (0.37 + 0.03n - 0.05\sqrt{e}) \times (1 - chm \cdot nhm - cl \cdot nl) \times$$

$$\times \left[3.112 - 2.721 \left(\frac{p}{p_0} \right)^{0.8} + 0.588 \left(\frac{p}{p_0} \right)^{1.6} \right] \quad (10)$$

式中： σ' ——比发射率，水面与农田一般都取0.95；

6 ——斯特藩—波尔兹曼常数， $0.8124 \times 10^{-10} \times 24 \times 60$ 卡/平方厘米·度⁴·日；

T ——气温，°K；

n ——总云量（取分数，下同）；

nhm ——中高云量；

nl ——低云量；

chm ， cl ——系数，分别为0.45，0.71；

e ——水汽压，毫巴；

p/p_0 ——相对气压；

$$\frac{p}{p_0} = e^{-\frac{H}{8000(1+t/273)}} \quad (11)$$

H ——海拔，米；

t ——平均气柱温度，为方便计，以平均气温代替，°C。

$$2. E_a = 0.26 \times \left(1 + \frac{H}{20000} \right) \times (1 + 0.411 U_{10}) \times (e^* - e) \quad (12)$$

式中: U_{10} ——10米高风速, 米/秒。

如此给出的彭曼式用于长武塬区究竟是否合适呢? 我们以水面反射率 $\alpha = 0.06$ 代入, 计算了1987年4—9月候旬月水面蒸发量, 并与同期观测的E601蒸发量作了比较。实测水面蒸发量考虑了E601蒸发与水面蒸发的折算系数R;

$$R = 0.917 - 0.0158 \Delta T_a + 0.0032 e^{(e)} \quad (13)$$

式中: ΔT_a ——本月百叶箱气温与上月气温差值;

e——本月绝对湿度。

表1 长武县1987年4—9月各月R值

月 份	4	5	6	7	8	9
R	0.82	0.89	0.92	0.91	0.98	1.03

由比较知, 在春玉米生育期内以候为单位的计算值与实测值的标准误差为22.5%, 以旬为单位的标准误差为19.5% (见表2和图1), 以月为单位的标准误差为11.2% (见表3)。这表明后者的精度最高。对此需要澄清一个问题, 对于较长时段, 实测值是由求和而得到的, 在较短时段内的

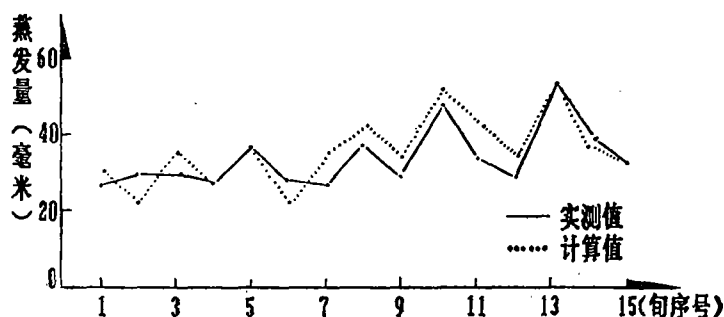


图1 旬水面蒸发实测值与计算值比较

偏差 (与未知真值相比) 由于求和而有所抵消, 但计算值的精度则与计算时所选取的单位长度有关, 分别以候旬月为单位而求得的月水面蒸发量, 如表4。

表2 旬实测值与计算值比较 单位: 毫米

时 间		旬 序 号	测 值	计算值	r·e%	时 间		旬 序 号	测 值	计算值	r·e%
月	旬					月	旬				
4	下	1	26.7	29.0	8.6	8	中	9	29.2	34.0	16.4
	上	2	29.4	21.0	-28.6		下	10	46.7	52.8	13.1
	中	3	29.5	36.0	22.0		上	11	32.6	44.0	35.0
	下	4	27.6	27.5	-0.4		中	12	28.4	35.0	23.2
6	上	5	36.4	37.0	1.6	9	下	13	51.4	53.9	4.9
	中	6	26.8	20.0	-25.4		上	14	38.1	36.0	-5.5
	下	7	25.9	35.0	35.1		中	15	30.9	31.0	0.3
7	上	8	36.7	42.0	14.4						

标准误差为 19.5%

表3

月水面蒸发实测值与计算值比较

单位: 毫米

月 份	测 值	计算值	r·e (%)	月 份	测 值	计算值	r·e (%)
5	86.4	83.7	-3.1	7	112.6	130.2	15.6
6	89.1	90.0	1.0	8	112.4	130.2	15.8

标准误差为11.2%

表4

分别以候旬月为单位而求得的水面蒸发量

单位: 毫米

时段单位	月 份					
	4	5	6	7	8	9
候	104.0	85.3	91.0	128.9	132.7	97.0
旬	101.0	84.5	92.0	128.8	132.9	98.0
月	105.0	83.7	90.0	130.2	130.2	96.0

不须作统计检验即可看出, 分别以候旬月为单位而求得的水面蒸发之间无显著差异。因此, 以候为单位或以旬为单位而得到的蒸发值代表了月蒸发值在月内的分布, 既包括比例大小, 也包括绝对量的多少。这也表明了, 上面所进行的水面蒸发量实测值与计算值的比较, 是建立在同一基础之上, 因而是合适的。

根据上边给出的标准误差, 考虑一般蒸发计算中精度要求, 可以认为, 修正后的彭曼式较准确地估算了水面蒸发量。对于所产生的误差, 试作如下解释:

(1) 实测值仅是一次重复值, 测定误差较大;

(2) 如图2所示, 我们把蒸发器安置在玉米地旁, 这样随着玉米的生长发育, 蒸发器处空气湍流运动强度就要减弱, 测值将会减小, 表2与表3正好说明了这一点;

(3) 水面反射率与太阳高度角有关, 太阳高度角又随季节和昼夜而变化(就一定地区而言)。我们在计算中水面反射率取定为一个值, 这对结果会造成一定影响;

(4) 从E601到水面(蒸发池)蒸发的折算系数采用的是经验式, 此式是否适合于渭北塬区, 尚需作进一步的工作。如果采用由位于半湿润区的官厅试验所得的折算系数^[9], 那么月值的标准误差可由11.2%降到9.0%。这说明折算系数大小对误差影响的程度, 但官厅值能否用于渭北塬区, 仍需考虑。

此外还可从彭曼公式本身构造上考虑, 其中包括忽略掉水体热转换量所引起的误差。

需要指出的是, 在测定的大部分时段内, 计算值高于实测值, 而在有关文献中, 在合理确定若干参数的条件下, 依彭曼法的计算结果一般并不高于实际测定结果^[4]。因此尚难认为, 我们所得到的计算值与未知的真值相比, 本身较高。

在非湿润地区, 非湿润季节, 小面积湿润地块上的蒸散, 要受到所谓“暖平流”的影响, 从而加大蒸散量。在长武塬区暖平流对E601蒸发影响如何呢? 彭曼法没有考虑暖平流的影响。这样实测值将大于彭曼法的计算值, 大出多少则由暖平流的强度决定。上边已经指出, 由于E601蒸发器是安装在玉米地旁的, 所以玉米生长后期对空气湍流的阻滞作用使得测值减小, 这样就难以分割暖平流的影响与玉米减弱湍流作用的影响。不过我们考虑, 尽管E601蒸发器两面临玉米, 另两面

(西边与北边)还是连接着开阔的裸地的。所以说,玉米阻滞湍流所减小的蒸发量不可能过大,其程度当与实测值小于计算值的程度相近。因此,初步认为,在长武塬区,暖平流对 E601 蒸发的影响不显著。关于这一点,在试验条件具备的情况下可作进一步探讨。

水面蒸发量有明显的年际变化,我们试用 1957—1980 年的地面气象资料计算了长武县各月水面蒸发量,并与 1987 年的计算值比较如下表 5:

表 5 中给出的是以月为单位求得值,对于彭曼式,彭曼本人采用的时段单元为日,他由日值取得系数,而用旬值进行了评价一般人在使用彭曼式时,以月为单元,并用有关月平均值修正某些系数,所以在没有特别要求的情况下,彭曼式应当以月为单元求取蒸发较为合适(刘文兆,“蒸发力计算中时段单元的选取”,1987 年)。

前边的分析表明,采用修正后的彭曼式,候旬月间均无显著差异,但这并不表明对其它时段亦无显著差异。我们就 1957—1980 年的资料,分别以月为单元和以年为单元求得长武水面蒸发量,前者为 988.7 毫米,后者为 801.0 毫米,这个差异是显著的,所以当以前者为准。

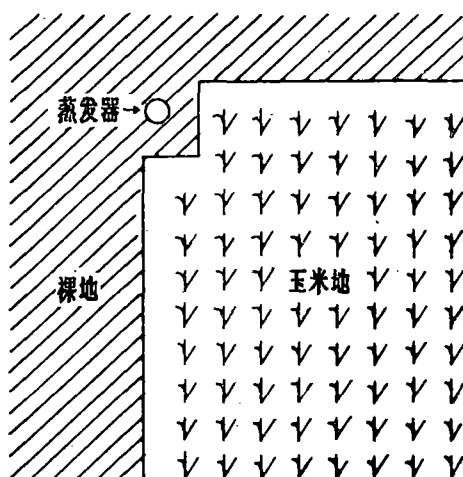


图2 E601蒸发器位置图

表5 1987年与1957—1980年春玉米生长季水面蒸发量(计算值)的比较

年 份	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
1987	105.0	83.7	90.0	130.2	130.2	96.0
1957—1980	100.5	134.4	163.6	155.5	138.3	73.8

彭曼式在许多不同的地理区域得到了应用:一般地讲是比较满意的。我们以长武塬区的水面蒸发对彭曼修正式进行了检验,认为是合适的。因此,我们就可以由该式来推求该地区的蒸发力,当然这是无平流影响下的值。可以推论,对于其它地区,相应地改变若干与区域因素相关的参数,而后应用该式亦是可行的。

文献[1]曾用农田净辐射作为净辐射项,在不考虑对动力项有关参数进行订正的情况下,计算农田蒸发力。我们取农田反射率为 0.25,计算了长武塬区 1957—1980 年多年平均逐月蒸发力以及 1970—1980 年历年蒸发力,结果如图 3 与图 4 反映。

参 考 文 献

- [1] 陈明荣:“陕西省农田蒸发力”,《西北大学学报》,1984 年第 4 期。
- [2] 左大康等:“国外蒸发研究的进展”,《地理研究》,1988 年第 1 期。
- [3] 唐登银等:“我国蒸发研究的概况与展望”,《地理研究》,1984 年第 3 期。
- [4] 陈明荣:“自然环境中的蒸发”,西北大学地理系,1985 年 10 月。
- [5] 陈力:“最大蒸发量的计算、分析及其应用”,《气象学报》,1982 年第 2 期。
- [6] Murray, F.W.: On the computation of saturation vapour pressure. J. Appl.

〔7〕〔美〕马文.E.詹森：“耗水量与灌溉需水量”，农业出版社，1982年。

〔8〕王炳忠等：“我国太阳能资源及其计算”，“中国科学院自然资源综合考察组，1976年。

〔9〕施成熙等：“水面蒸发器折算系数研究”，《地理科学》，1986年第4期。

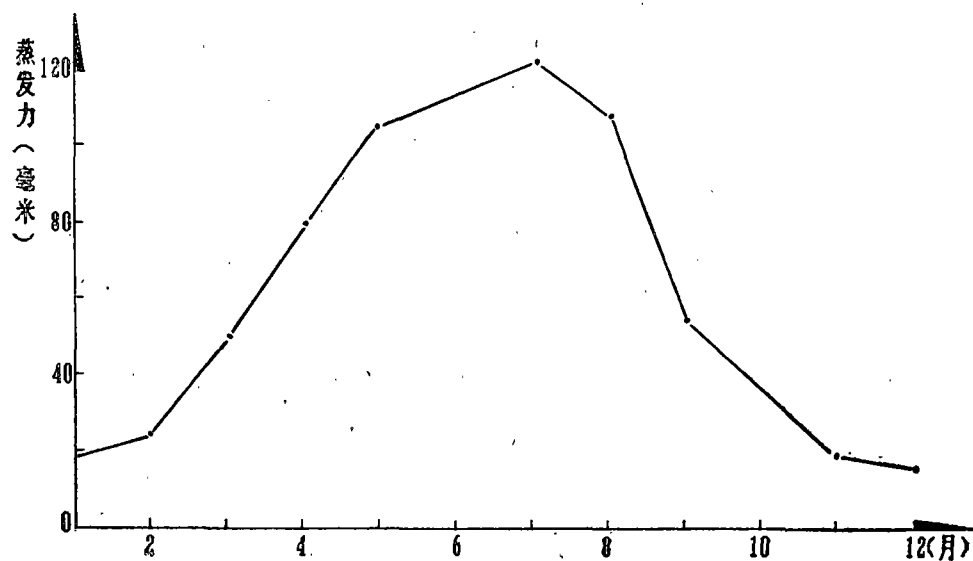


图3 长武塬区多年平均月蒸发力

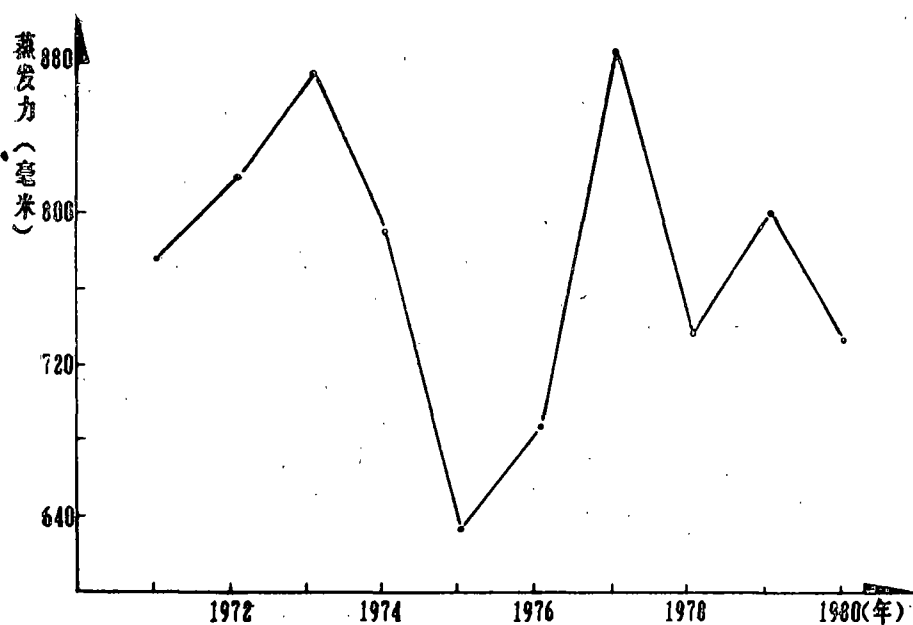


图4 长武塬区1970—1980年年蒸发力

The Test on the Revised Penman's Formula in Changwu Tableland

Liu Wenzhao Li Yushan

*(Northwest Institute of Soil and Water Conservation
under Academia Sinica and the Ministry of Water Conservancy)*

Abstract

Based on evaporation from water surface (the emended E601's evaporation) in Changwu tableland, the revised Penman's formula is tested in this paper after having briefly been introduced, and the result is relatively satisfactory. Besides, the cause of the deviation, the influence of it at advection and the computation of potential evapotranspiration are discussed in the paper.

Key words:

the revised Penman's formula; evaporation from water surface; potential evapotranspiration