

# 蒸发势的一种计算方法\*

李春云 戴玉杰 宋玉红

姜秀萍

(内蒙古通辽市气象局, 通辽 028000)

(内蒙古开鲁县气象局, 开鲁 028400)

## 提 要

讨论蒸发势的一种经验计算方法, 考虑了平均气温、相对湿度、风速3种要素, 其数值与彭曼蒸发势值, 与用E601蒸发器、小型蒸发器观测的蒸发量(以下分别简称E601蒸发量, 小型蒸发量)作相关分析, 相关系数都在极显著水平以上, 而且很稳定, 因此, 初步认为这种计算方法适合于本地, 本计算方法通俗易懂, 便于掌握和使用, 与有关指标(例如干热风指标)可以较好地衔接, 利用本计算方法所得结果在评估水分盈亏时取得了明显的成效, 在干旱和干热风分析中有重要的实际意义。

关键词: 蒸发势 水分盈亏 干热风分析

## 引 言

测定和掌握自然条件下的水分蒸发量, 对于气象学和有关学科的研究以及有关生产部门都有重要的意义, 历来受到广泛的关注, 水分蒸发是一种复杂的物理过程, 致使小型蒸发器观测的蒸发量误差较大, 利用大型蒸发池和E601蒸发器进行观测, 或受财力、人员技术因素等的限制, 不能普及; 或因北方地区冬季严寒结冰, 而使观测不能进行, 大型蒸发池很少; E601观测站点不多, 资料缺少、年代短, 由于蒸发势是由大气状况决定的, 是一个重要的天气、气候特征<sup>[1]</sup>, 并不等同于水面蒸发, 因此, 利用气象资料进行间接计算便成为人们探索的目标, 使用彭曼公式、修正的彭曼公式计算蒸发势获得了普遍的成功<sup>[2]</sup>, 然而, 不应是唯一的。

气温、湿度、风速是影响蒸发量大小的决定性因素, 本文通过对伊万诺夫湿润度公式中的可能蒸发量计算公式的改进, 使之成为蒸发势的一种计算方法, 并用上述蒸发势的计算结果, 对干热风、水分盈亏等作了初步应用分析探讨。

## 1 蒸发势的一种计算方法

据中国科学院内蒙古宁夏综合考察队认为按伊万诺夫湿润度经验公式计算的湿润度值较为接近自然景观和生产实际<sup>[3]</sup>, 因此, 按其中可能蒸发量公式计算的数值也应较为接

\* 1999-07-19 收到, 1999-12-21 收到修改稿。

近实际.

伊万诺夫可能蒸发量计算公式如下:

$$E_0 = 0.0018(25 + t)^2(100 - f) \quad (1)$$

式中,  $E_0$  为一个月的可能蒸发量,  $t$  为月平均气温,  $f$  为月平均相对湿度.

然而, 按式(1)计算的  $E_0$  值能否作为一种蒸发势值呢? 经过与学术界公认的我国普遍使用的修正彭曼公式计算的蒸发势值(以下简称彭曼蒸发势)进行统计分析, 可望得出初步结论. 文献[2]中彭曼蒸发势计算公式如下:

$$E_{01} = \frac{\Delta R_n + r \cdot 0.16(1 + 0.41v)(e_a - e_d)}{\Delta + r} \quad (2)$$

式中,  $E_{01}$  为彭曼蒸发势值,  $\Delta$  为平均气温时的饱和水汽压曲线的斜率,  $R_n$  为辐射平衡值,  $r$  为干湿表常数,  $v$  为气象台站风标高度风速(以下简称风速),  $(e_a - e_d)$  为空气湿度饱和差.

经统计,  $E_0$  与  $E_{01}$  的相关系数较小,  $E_0$  的误差较大. 分析其原因, 主要是在计算  $E_0$  值时没有考虑影响水分输送和蒸发的动力因素——风速. 又经统计, 通辽市  $E_{01}/E_0$  与风速  $v$  的相关系数各月均有 0.05 信度水平以上(表 1),  $E_{01}$  与  $E_0$ 、 $v$  有以下关系:

$$E_{01}/E_0 = \frac{1}{6}(3 + v) \quad (3)$$

表 1 通辽各月  $E_{01}/E_0$  与  $v$  的相关系数

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相关系数	0.4329	0.4436	0.4564	0.4312	0.4463	0.4089	0.4015	0.4329	0.4458	0.4215	0.4687	0.4574

注:  $n=26$ ,  $r_{0.05}=0.3882$ .

根据式(1)和式(3)得:

$$E_{02} = 0.0003(25 + t)^2(100 - f)(3 + v) \quad (4)$$

式中,  $E_{02}$  为本文所说的蒸发势月合计值;  $t$ 、 $f$ 、 $v$  分别为月平均气温、相对湿度和风速.

统计表明, 按式(4)计算的蒸发势与彭曼蒸发势有很好的相关, 各月相关系数均在极显著水平以上(表 2).

表 2 通辽各月  $E_{02}$  与  $E_{01}$  相关系数

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相关系数	0.9653	0.9839	0.9212	0.8884	0.7244	0.6792	0.6112	0.7778	0.8601	0.7536	0.9335	0.9614

注:  $n=26$ ,  $r_{0.001}=0.6074$ .

为了使计算月、旬、日蒸发势的公式相通, 增加了系数  $1/30$  和天数  $n$ ; 为了提高精度, 经与彭曼蒸发势统计比较, 增加了系数 1.26, 因此:

$$E_{02} = 1.26 \times 10^{-5}(25 + t)^2(100 - f)(3 + v) \cdot n \quad (5)$$

当计算某月(旬)蒸发势时, 上述 3 要素为月(旬)平均值,  $n$  为该月(旬)天数; 当计算某一日蒸发势时, 上述 3 要素为该日平均值,  $n=1$ .

## 2 $E_{02}$ 的精度及与器测蒸发量的统计结果

(1)  $E_{02}$  的精度 以  $E_{01}$  值为正确值, 计算了  $E_{02}$  的平均误差百分率(该月平均绝对误差

值与  $E_{01}$  平均值的百分比), 并与  $E_0$  作了比较. 统计结果为: 通辽 5~9 月  $E_{02}$  的平均误差百分率为 4.8%~9.2% (表略), 比  $E_0$  的误差减少 8.2~10.6 mm, 占该月  $E_{01}$  标准差的 53%~68%.

(2)  $E_{02}$  与 E601 蒸发量的统计结果 经统计,  $E_{02}$  与同期 E601 蒸发量、小型蒸发量的相关系数均在极显著水平以上, 而且在样本数有较大变化时, 相关系数都很稳定.

内蒙古通辽市进行 E601 观测的有通辽、开鲁两台站. 以这两个台站的  $E_{02}$  值与同期 E601 蒸发量作相关统计分析, 无论月、旬或日的相关系数均远远大于 0.001 的极显著水平, 且很稳定 (表 3、表 4、表 5).

(3)  $E_{02}$  与小型蒸发量的统计结果 计算了通辽市 7 个气象台站冬半年小型蒸发量与  $E_{02}$  的相关系数 (表略), 信度全部在 0.01 的水平以上, 其中 92% 在 0.001 水平以上.

### 3 应 用

#### 3.1 干热风指标整体数字化

有关研究的结论认为, 我国北方高温低湿型干热风中, 温度是主导因子, 湿度是重要因子, 风是加强因子. 因而用温、湿、风 3 要素的组合值为指标 (表略)<sup>[4]</sup>. 这些指标系统既反映地区特色又便于互相比. 在区划和预报服务中, 效果较好<sup>[4]</sup>. 然而, 在确定是否达到干热风标准以及区分干热风的轻、重程度时, 有时会遇到困难. 例如, 某一要素已远远超过指标的最低标准, 而另一要素却尚未达到阈值时, 如果就此认为不符合干热风标准, 往往会漏掉干热风日, 或把干热风日的级别定得偏低; 如果以此定为干热风日、或重型干热风日, 则又失严谨, 会出现因人而异的主观性. 之所以如此, 是由于干热风指标的整体性需要加强, 综合特征尚需使之明显的缘故. 如果把本蒸发势的计算方法在此应用, 就可克服上述缺点.

$$I = \sum_{i=1}^n E_{02} = \sum_{i=1}^n 1.26 \times 10^{-5} (25 + t_m)^2 (100 - f_1) (3 + v_1) \quad (6)$$

式中,  $I$  为干热风综合指标值,  $t_m$  为日最高气温,  $f_1$  和  $v_1$  分别为 14 时相对湿度和风速. 式 (6) 充分体现了温度是主导因子, 湿度是重要因子, 风是加强因子的特点. 表 6 为文献<sup>[4]</sup>所列河套春麦区轻、重干热风指标及相应的  $I$  值.

表 3 通辽月 E601 与  $E_{02}$  的相关系数

样本数	相关系数	备注
65	0.8872	$r_{0.001} = 0.3997$
60	0.8902	$r_{0.001} = 0.4143$

表 4 旬 E601 与  $E_{02}$  的相关系数

台站名	样本数	相关系数	备注
通辽	45	0.8529	$r_{0.001} = 0.4743$
	60	0.8359	$r_{0.001} = 0.4143$
	75	0.8355	$r_{0.001} = 0.3731$
开鲁	45	0.8774	$r_{0.001} = 0.4743$

表 5 日 E601 与  $E_{02}$  的相关系数

台站名	样本数	相关系数	备注
通辽	50	0.8733	$r_{0.001} = 0.4515$
	60	0.8657	$r_{0.001} = 0.4143$
	70	0.8558	$r_{0.001} = 0.3850$
开鲁	50	0.8615	$r_{0.001} = 0.4515$
	60	0.8678	$r_{0.001} = 0.4143$
	70	0.8543	$r_{0.001} = 0.3850$

从表6可以看出,应用 $I$ 值作为干热风的综合指标有以下优点:(1)可以使干热风的综合特征更加明显,更富有整体性,从而可以避免判断上可能出现的主观随意性。(2) $I$ 值是衡量干热风的危害程度、持续性,比较其轻、重程度的综合依据。

表6 河套春麦区干热风指标及 $I$ 值

干热风 种类	最高气温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	14时相对湿度 (%)	14时风速 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$I$ 值	
				1 d	3 d
重	$\geq 34$	$\leq 25$	$\geq 3.0$	$\geq 19.7$	$\geq 59.1$
轻	$\geq 32$	$\leq 30$	$\geq 2.0$	$\geq 14.3$	$\geq 42.9$

### 3.2 修正湿润度(或干燥度)公式

如前所述, $E_{02}$ 比 $E_0$ 的误差小,因此,用 $E_{02}$ 代替 $E_0$ 计算的湿润度(或干燥度)能有更高的精确度,更加接近客观实际。

### 3.3 确定农田蒸散量

(1)蒸散量和蒸散系数 蒸散量包括蒸发和蒸腾两部分。它是评估水分盈亏,分析干旱程度、确定灌溉时间、灌溉量等的重要依据之一<sup>[2]</sup>。许多研究认为,农田蒸散量与蒸发势、作物种类、发育期及生产水平等有关,是蒸发势与蒸散系数的乘积,即:

$$E_T = E_{02} \cdot k_j \quad (7)$$

式中, $E_T$ 为某作物在某生产水平下在 $j$ 发育期(或旬、月)的蒸散量, $E_{02}$ 为该时期的蒸发势, $k_j$ 为蒸散系数。

通辽市农业技术推广中心曾经根据生产实际和科研结果,具体地确定了几种主要作物在不同生产水平下主要发育期(旬、月)的需水量。我们根据上述需水量和 $E_{02}$ 值求算了有关作物的蒸散系数。表7为通辽市春玉米在 $11\ 250\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 产量水平下5~9月各旬的蒸散系数。

表7 通辽春玉米上、中、下各旬的蒸散系数

	5月			6月			7月			8月			9月		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
蒸散系数	0.20	0.20	0.20	0.31	0.38	0.57	0.88	1.08	1.14	1.09	0.92	0.58	0.25	0.25	0.20

(2)农田蒸散量与评估水分盈亏 水分盈亏的评估工作相当复杂,要考虑降水量( $R$ )、蒸散量( $E_T$ )、地下水的毛细管上升水( $u$ )、地表径流( $Q$ )、渗透等诸因素,即:

$$w = R + u - E_T - Q - f \quad (8)$$

式(8)中, $w$ 是水分盈亏量。对于平原地形、地下水位较深、半干旱气候的通辽市来说,只考虑降水量和蒸散量两个因素来进行水分盈亏的评估,就可得到基本满意的结果,即:

$$w = R - E_T \quad (9)$$

例如,我们用积分回归方法分别求出通辽市春玉米整个生育期各旬降水量、水分盈亏量每 $10\ \text{mm}$ 的产量效应(图1)。

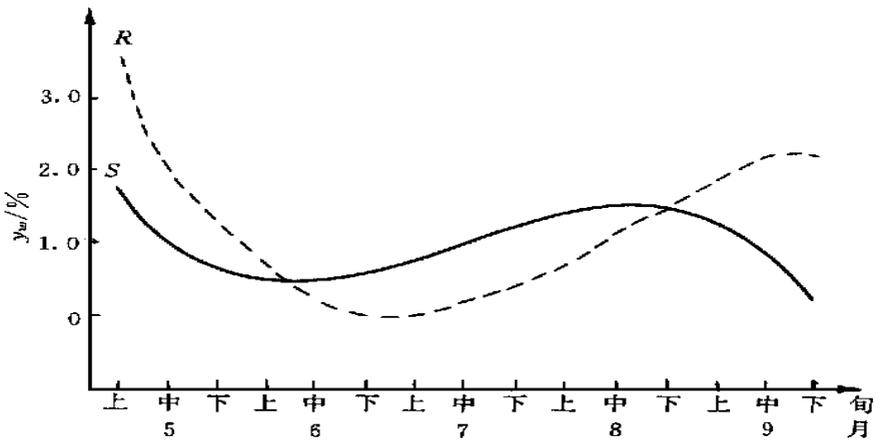


图 1 通辽市降水量( $R$ )、水分盈亏量( $S$ )(每 10 mm)对春玉米相对气象单产的效应

从图 1 可以看出, 通辽市各旬降水量、水分盈亏量对春玉米产量的影响是不同的, 以水分盈亏量的关系较为合理: 在播种抓苗阶段(5 月上、中旬)和水分敏感期、灌浆期(7 月中旬至 9 月上旬)水分盈亏量对产量的影响明显, 而蹲苗期(5 月下旬至 7 月上旬)和生育后期(9 月中、下旬)的影响较小. 这与科研结论、生产实际是完全吻合的. 复相关系数  $R$  和  $F$  检验的结论也说明了这一点(表 8).

表 8 通辽市春玉米相对气象单产与降水量、水分盈亏量的  $R$ 、 $F$  值

要素	复相关系数 $R$	$F$ 值	备注
降水量	0.4564	1.93	$F_{0.10} = 2.35$
水分盈亏量	0.6663	9.18	$F_{0.01} = 5.53$

## 4 小 结

(1) 本蒸发势的计算方法是在以伊氏可能蒸发量与彭曼蒸发势统计的基础上修改而成的, 平均误差百分率小于 10%. 与同期 E601 蒸发量、小型蒸发量相关系数在极显著水平以上, 而且很稳定. 因此, 认为本计算方法适合于本地.

(2) 有关研究指出, 影响土壤水分耗损的主要因子是温度、风速和相对湿度, 它们制约着土壤水分的耗损, 并影响干旱的发生. 在温度高、风大、相对湿度小的情况下, 土壤水分耗损快, 最容易发生干旱. 了解补水量和补水后一段时间的平均温度、相对湿度和风力情况, 就可以求出土壤含水量<sup>[5]</sup>. 本文认为影响蒸发势的因素与上述研究结论相似. 然而, 计算方法是不同的.

(3) 本蒸发势的计算方法在干热风指标、湿润度(或干燥度)、蒸散量等的计算中都有较好的应用价值. 应用于水分盈亏的滚动监测, 非常方便, 效果较好, 因此, 对于干热风分析, 水分盈亏评估, 干旱程度分析和灌溉时间、灌溉量的确定, 开展农业气象情报、预报服务都有意义.

### 参 考 文 献

- 1 邓根云. 水面蒸发量的一种气候学计算方法. 气象学报, 1979, 37(3): 86~ 95.
- 2 裴步祥. 蒸发和蒸散的测定和计算. 北京: 气象出版社, 1989.
- 3 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古自治区及其东西部毗邻地区气候与农牧业的关系. 北京: 科学出版社, 1976.
- 4 北方小麦干热风科研协作组. 中国北方小麦干热风. 中国农业气象, 1988, 9(1): 57~ 59.
- 5 宫德吉. 干旱监测预警指数研究. 气象, 1998, 24(8): 14~ 17.

## A METHOD FOR CALCULATING THE EVAPORATION POTENTIAL

Li Chunyun Dai Yujie Song Yuhong

(*Tongliao Meteorological Office, Inner Mongolia, Tongliao 028000*)

Jiang Xiuping

(*Kailu Meteorological Office, Inner Mongolia, Kailu 028400*)

### Abstract

An empirical method for calculating the evaporation potential is discussed. It is the function of three factors: average air temperature, relative humidity and wind speed. The correlation analysis is made between the obtained values and Penman evaporation potential values, as well as evaporation capacity observed with a E601 Evaporimeter and a small-sized evaporimeter. The correlation coefficients are above the remarked level and very stable. It can be concluded preliminarily that the method is applicable to the local area, easy to understand, easy to use and can be used along with concerned indexes very well, for example Xerothermic winds. It obtained success in estimating the moisture profit and loss, and has significance in analyzing Xerothermic winds and droughts.

**Key words:** Evaporation potential Moisture profit and loss Xerothermic wind