

作物需水量



联合国粮食及农业组织 罗马

S27

46

粮农组织灌溉及排水丛书

S27
35
24

1977年修订

作物需水量预测指南

作者:

J. 德伦博斯

罗马粮农组织土地及水利

开发处用水管理专家

W.O. 普鲁伊特

粮农组织顾问,

美国加利福尼亚大学

戴维斯分校灌溉工程师

顾问:

A. 阿布克哈勒德 (黎巴嫩)

J. 达玛格内斯 (法国)

N.G. 达斯塔尼 (印度)

C. 万登贝格和 P.E. 里杰特玛 (荷兰)

C.M. 阿斯塔福特 (世界气象组织)

M. 弗雷尔 (粮农组织)

粮农组织实地工作人员

联合国粮食及农业组织, 罗马, 1977 年

第一次印刷 1977 年

第二次印刷 1979 年

第三次印刷 1981 年

本书中所用名称及所提供的材料并不意味联合国粮农组织对于任何国家、领土、城市或地区或其当局的法律地位或对其边界或国界的划分表示任何意见。

M-56

ISBN 92-5-500279-1

本书版权属于联合国粮食及农业组织所有。未经版权所有者书面许可，不得以任何方法全部或部分翻印。申请这种许可，应写信给联合国粮农组织出版处处长，说明翻印的目的和希望翻印的范围。地址：意大利，罗马 Via delle Terme di Caracalla, 00100。

© 粮农组织 1977 年

内 容 提 要

本书的目的在于为确定作物需水量提供指导，并将其应用于灌溉工程的规划、设计和实施。

第 I. 1 节提供求得作物需水量而建议采用的方法。规定了用以确定作物需水量的布兰尼—克里德尔，辐射，彭曼和蒸发皿等四种众所周知获得参考作物蒸发蒸腾 (ET_0) 的方法。这种蒸发蒸腾量表示不同气候条件下的蒸发蒸腾水平。每一种方法都需要一套不同的气象数据。为了获得具体作物蒸发蒸腾量，在第 I. 2 节中说明不同作物、生长阶段、生长期长度及主要气候条件下的作物蒸发蒸腾量 ($ET_{作物}$) 和参考作物蒸发蒸腾量 (ET_0) 之间的关系。第 I. 3 节提供了当地条件对作物需水量的影响；其中包括当地各种不同的气候条件、平流、土壤水的有效性及农艺措施和灌溉方法等。计算过程附有例题。在附录二中详细讨论了对所提供方法的选择和校核并附资料来源。附录三中提供了应用不同方法的计算机程序。

第二部分讨论了在灌溉工程规划、设计和实施中，作物需水量数据的应用。第二部分第一节讨论了获得田间水量平衡的情况，水量平衡又成为一般规划预测季节性和高峰灌溉供水量的基础。还注意到灌溉效率及栽培措施和盐分淋洗的需水问题。在第二部分第二节中提出获得田间及工程供水日期的方法，并强调田间水量平衡和田间灌溉管理。提供了使用不同输水方法、管理渠道系统和该系统以后设计参数的标准。在第二部分第三节中提出了在一旦工程开始运用之后如何改进田间和工程计划供水的建议。

该指南是以测量的数据和在广泛条件下所获得的经验为依据的。但是当地的做法，技术，社会和经济条件都会影响到设计标准的选择。因此在应用所提供的方法时，仍应该采取严谨的态度。

目 录

	页 次
内容提要	III
目 录	V
表格目录	VII
插图目录	IX
换算系数	X
气候术语	XI
 第 I 部分 <u>作物需水量的计算</u>	 1
1 参考作物蒸发蒸腾量的计算	3
1.1 布兰尼——克里德尔法	3
1.2 辐射法	9
1.3 彭曼法	17
1.4 蒸发皿法	25
2 作物系数的选择	40
3 影响作物蒸发蒸腾量的因素	62
3.1 气候：因时间、距离、灌溉规模、平流和高度而变化	62
3.2 土壤水：可利用的土壤水、地下水、含盐量、水和作物产量水平	67
3.3 灌溉方法：地面灌溉、喷灌、滴灌、地下灌溉	71
3.4 栽培措施：肥料、植物群体、中耕、复盖、风障、反蒸腾物	74
 第 II 部分 <u>作物需水量数据在灌溉工程的确定、设计和管理中的应用</u>	 77
1 工程确定和初步规划	79
1.1 前 言	79
1.2 季节性和工程最大供水需求量	80
1.2.1 作物需水量	82

1.2.2	净灌溉需水量:有效降雨量,地下水的作用 土壤贮水量	83
1.2.3	灌溉需水量:淋溶需水量,灌溉效率	89
1.2.4	计算季节性和工程最大供水量的概要	94
2	工程设计	96
2.1	前言	96
2.2	田间和工程供水计划	96
2.2.1	田间灌溉计划:灌溉深度,灌溉周期, 田间灌溉计划的计算	99
2.2.2	田间灌溉供水计划:地面灌溉,喷滴灌	104
2.2.3	供水系统的设计与运行:连续供水、轮流供水、 根据需要供水	110
2.2.4	工程设计和运行的概算	117
3	工程运行	119
3.1	改进田间供水计划:适应性研究,数据收集, 工程监测	119
3.2	田间灌溉数据的应用	121
附件 I	作者咨询过的人员和研究机构	125
附件 II	预测参考作物蒸发蒸腾量(ET ₀)方法的拟订和背景情况	126
附件 III	估计参考作物蒸发蒸腾量的电子计算机程序	144
附件 IV	词汇表	162
附件 V	参考文献	169
附件 VI	辐射方程 $R_s = (a + b n / N) R_a$ 的常数	175

表 格 目 录

页 次

1	不同纬度年日照小时的每日平均百分比 (P)	7
2	以等效蒸发量表示的大气顶太阳辐射量 (R_a), 毫米/日	14
3	不同月份和纬度每日平均最大可能日照小时 (N)	15
4	在不同温度和海拔高度地区对 E_{T0} 起辐射影响的权重系数值 (W)	15
5	饱和水汽压力 (e_a , 毫巴) 为平均气温 (T) °C 的函数	26
6a	从干湿球温度计数据中 (°C) 算出的水汽压力 (e_d , 毫巴) (通风干湿表)	26
6b	从干湿球温度计数据中 (°C) 算出的水汽压力 (e_d , 毫巴) (不通风干湿表)	27
7	离地面 2 米高度风速的风函数值 $f(u) = 0.27(1 + \frac{u_2}{100})$ (公里/日)	28
8	在不同温度和高度情况下, 风速和湿度对 E_{T0} 影响的权重系数 (1-W) 值	29
9	在不同温度和高度情况下, 辐射对 E_{T0} 影响的权重系数 (W) 值	29
10	按等效蒸发量表示的大气顶太阳辐射量 (R_a), (毫米/日)	30
11	在不同月份和纬度的情况下, 每日平均最大可能日照小时 (N)	31
12	在反射率 α 为 0.25 和不同实际与最大日照小时的比值 (n/N) 情况下, 大气顶太阳辐射量 (R_a) 换算为净太阳辐射量 (R_{ns}) 的换算系数 ($1-\alpha$) $(0.25 + 0.50n/N)$	32
13	温度对长波辐射量 (R_{nl}) 的影响 $f(T)$	32
14	水汽压力对长波辐射量 (R_{nl}) 的影响 $f(e_d)$	32
15	实际和最大日照小时的比例对长波辐射量 (R_{nl}) 的影响 $f(n/N)$	32
16	彭曼公式中的修正系数 (C)	33
17	在不同气候条件和蒸发皿周围环境条件下所述低于地面皿和科罗拉多低于地面皿蒸发量的比率	38
18	在不同地面覆盖、平均相对湿度和 24 小时风速的情况下 A 级皿的蒸发系数 (K_p)	39
19	不同地面覆盖、平均相对湿度和 24 小时风速的情况下, 科罗拉多型低于地面皿的蒸发系数 (K_p)	39
20	周期性的作物蒸发蒸腾量 (E_T 作物) 的大致范围, 毫米	41
21	作物各生长阶段及各盛行气候条件下, 大田和蔬菜作物的作物系数 (K_c)	46

22	某些大田作物生长期长度及作物生长阶段的标志	48
23	苜蓿、三叶草、草本豆科及牧草的作物系数值	52
24	香蕉的作物系数值	53
25	柑桔的作物系数值(主要生长在干燥地区,风为轻——中等)	54
26	完全长成的落叶果树和坚果树的作物系数(Kc)	56
27	葡萄作物系数值(无覆盖耕作,不经常灌溉,土地表面大部分时间是干燥的)	57
28	水稻作物系数值	58
29	甘蔗作物系数值	59
30	水草作物系数值和开阔水面的系数	61
31	作物对高地下水位和渍水的耐力	68
32	不同作物对土壤缺水的临界期	72
33	工程规划阶段和灌溉供水数据	77
34	平均每月有效降雨量与作物蒸发蒸腾量和雨量的关系	87
35	灌溉水质对土壤盐碱化,渗透率和毒性的影响	89
36	不同作物的耐盐水平	90
37	输送(Ec),田间渠道(Eb),配水(Ed)和田间灌溉效率(Ea)	93
38	土壤水分吸力(巴,大气)和可利用土壤水分(毫米/米土壤深度)之间的关系	99
39	当作物蒸发蒸腾量为5—6毫米/日时,在不同类型土壤中充分长成的作物根系深度,可利用的土壤水分的百分比(P)及容易被作物利用的土壤水分(p·Sa)的一般数据	102
40	不同土壤平均入渗率(毫米/小时)及相应的流量(升/秒/公顷)	105
41	不同土壤类型淹灌面积与流量	108
42	不同土壤类型、土地坡度及灌水深度的灌溉沟长度与流量	108
43	不同土壤类型和土地坡度(深根作物)畦的大小和流量	108
44	某些喷灌器的运转数据(正方形喷洒)	109
45	不同作物蒸发蒸腾量和每公顷不同滴头数量时,每个滴头的流量及连续供水量(升/小时)	111
46	不同作物蒸发蒸腾量和树的不同株行距,每棵树的流量和连续供水量(升/小时)	111
47	不同滴头流量和土壤渗透率的地表湿润面积(米 ²)	111

插图目录

页 次

1	用布兰尼——克里德尔 r 系数在不同最低相对湿度、日照时间和白天风速的条件下, 预测参考作物蒸发蒸腾量 (ET_o)	8
2	用 $W.R.s$ 值在不同平均相对湿度和白天风速的条件下预测 ET_o	16
3	辐射平衡示意图	22
4	与参考作物蒸发蒸腾量 (ET_o) 相比的作物蒸发蒸腾量 ($ET_{作物}$)	40
5	甜菜: 不同播种日期的作物系数值 (K_c)	42
6	作物初期生长阶段的平均作物系数值 (K_c) 与参考作物蒸发蒸腾量水平及灌溉和/或有作用的雨量次数的关系	44
7	作物系数曲线图例	45
8	苜蓿的作物系数值, 生长条件是气候干燥, 风力轻及中等, 每四周收割一次; 每一生长期重灌一次, 收割前一周灌溉。	52
9	加利福尼亚沿海地区黑麦草作物蒸发蒸腾量每月日平均分布频率, 高峰阶段 1—30 天黑麦草平均日蒸发蒸腾量的分布频率	63
10	在高峰用水月份, 不同气候条件作物最高和平均蒸发蒸腾量的比率	64
11	加利福尼亚离海洋远近的参考作物蒸发蒸腾量的变化情况	64
12	苏丹棉花田和休闲地横断面蒸发皿 (Hudson) 蒸发量的变化情况	65
13	用在外部或在发展灌溉之前收集的气候数据, 为干旱和风量中等地区面积不等的灌溉地所确定的作物蒸发蒸腾量的修正系数	66
14	在不同灌溉周期和不同蒸发蒸腾量的情况下, 棉花平均实际蒸发蒸腾量	68
15	不同纬度牧场上, 牧草蒸发蒸腾量与干物质产量的关系	70
16	非饲料作物、玉米和新种甘蔗的相对产量和相对作物蒸发蒸腾量之间的关系	71
17	雨量概率计算的例子	86
18	地下水对根系层水的补给作用, 毫米/日	88
19	灌溉深度, 灌溉面积, 灌溉水量, 灌溉时间和流量的关系图	106

换算系数

长度

1 呎 = 30.48 厘米
 1 呎 = 0.305 米
 1 吋 = 2.54 厘米
 1 码 = 91.44 厘米
 1 法定哩 = 1.61 公里
 1 美国哩 = 1.85 公里
 1 国际哩 = 1.85 公里

面积

1 吋² = 6.45 厘米²
 1 呎² = 929.03 厘米²
 1 码² = 0.835 米²
 1 英亩 = 0.405 公顷
 1 法定哩² = 2.59 公里²

体积

1 吋³ = 16.39 厘米³
 1 呎³ = 28316.8 厘米³
 1 呎³ = 28.32 公升
 1 加仑(美制) = 3.79 公升
 1 加仑(英制) = 4.55 公升
 1 英亩呎 = 1233.5 米³

温度

$^{\circ}\text{F} = 1.8^{\circ}\text{C} + 32$
 $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 9$

速度

1 节 = 0.515 米/秒
 = 1.85 公里/小时
 1 呎/秒 = 0.305 米/秒
 = 1.095 公里/小时
 1 呎/分 = 0.51 厘米/秒
 = 0.18 公里/小时
 1 哩/分 = 2682 厘米/秒
 = 1.61 公里/分
 1 米/秒(24小时) = 86.4 公里/日
 1 呎/秒(24小时) = 26.33 公里/日
 1 哩/小时(24小时) = 38.6 公里/日
 1 节(24小时) = 44.5 公里/日

压力

1 大气压 = 76 厘米水银柱高度
 1 大气压 = 1.013 巴
 1 吋水银柱高度 = 0.0334 大气压
 1 吋水 = 2.49 毫巴
 1 毫巴 = 0.75 毫米水银柱高度
 1 磅/吋² = 51.72 毫米水银柱高度

相当于蒸发深度的辐射量

1 大卡/厘米² = 1/59 毫米
 1 大卡/厘米²分 = 1 毫米/小时
 1 米瓦/厘米² = 1/70 毫米/小时
 1 米瓦/厘米²(24小时) = 0.344 毫米/日
 1 大卡/厘米²分(24小时) = 24 毫米/日
 1 焦耳/厘米²分(24小时) = 5.73 毫米/日

气 候 术 语

在气象资料不是作为直接输入数据，而是需要了解气候变化的一般水平的情况下，可使用下列术语。

温 度

一般情况

炎热	平均温度 $> 30^{\circ}\text{C}$
凉爽	平均温度 $< 15^{\circ}\text{C}$

$$\text{平均温度} = \frac{\text{最高温度} + \text{最低温度}}{2}$$

从最高/最低温度计或温度记录器记录中收集的数据。

湿 度

最低相对湿度 RHmin

布兰尼·克里德尔 (I.1.1) 作物系数 (I.2)

低	$< 20\%$
中等	$20-50\%$
高	$> 50\%$

干	$< 20\%$
潮湿	$> 70\%$

最低相对湿度是白天最低的湿度，通常是 14:00-16:00 时达到的湿度，是从湿度计或干湿球温度计中观察出的数据。为达估算目的，在 12:00 时的读数，对于潮湿气候应减去 5-10，对于沙漠气候则减去 30。

平均相对湿度 RHmean

辐射法 (I.1.2) 蒸发皿法 (I.1.4)

低	$< 40\%$
中-低	$40-55\%$
中-高	$55-70\%$
高	$> 70\%$

低	$< 40\%$
中等	$40-70\%$
高	$> 70\%$

平均相对湿度是最高和最低相对湿度的平均数，或者说平均相对湿度 = (最高相对湿度 + 最低相对湿度) / 2。鉴于大部分气候的最低相对湿度差别很大，在最低温度比最高温度相差 20-25°C 的地区，潮湿气候的最高相对湿度等于 90-100%，半干旱和干旱气候的最高相对湿度等于 80-100%。在干旱地区的最低温度比最高温度低 15°C 的情况下，最高相对湿度可能为 25-40%。

风

一般情况

轻	$< 2\text{米/秒}$	$< 175\text{公里/日}$
中等	$2-5\text{米/秒}$	$175-425\text{公里/日}$
大	$5-8\text{米/秒}$	$425-700\text{公里/日}$
特大	$> 8\text{米/秒}$	$> 700\text{公里/日}$

为进行大致估计，可将几天观察的风速的总和，用米/秒该数的数量除，或用 86.4 相乘则得出每日风速的公里数公里/日。

风移动 2 米/秒：脸上感觉到有风，叶片开始沙沙作声。

风移动 5 米/秒：嫩枝摆动，纸片刮走，旗飘动。

风移动 8 米/秒：灰尘飞扬，小树枝摆动。
 风移动 > 8 米/秒：小树开始摆动，湖水形成波浪。

辐 射

布兰尼-克里德尔 (1.1.1)

日照，实际日照小时(n)/最大可能日照小时(N)

低	< 0.6
中等	0.6-0.8
高	> 0.8

或 者

云量	1/10	1/8
低	> 5	> 4
中等	2-5	1.5-4
高	< 2	< 1.5

每日实际日照时数 n 和每日最大可能日照时数(N)的比值。

实际日照小时/最大可能日照小时 > 0.8；

几乎全天都有明亮的阳光

实际日照小时/最大可能日照小时 0.6-0.8；

白天有 40% 的时间有云，或白天有 70% 的时间有部分云彩。

每天所观察的几次云量平均数，或者天空为云所遮盖的部分，按百分比计。

4/8：全天有 50% 的天空被云彩所遮盖，或者天空中半天全为云所遮盖。

1.5/8：全天空被云彩遮盖的时间不到 20%，或者每天为云彩全部遮盖的时间有两小时。

第 I 部分

作物需水量的计算

由于难于获得准确的作物需水量的田间测定值,所以只能使用预测法。这种方法往往需要在气候与农艺条件与原来制订这一方法时差别很大的情况下应用。在新条件下测定这种方法的准确性是一种既劳累,费时间又费钱的工作,而且往往一接到通知就马上需要为工程规划提供作物需水量的数据。为了满足这一要求,我们根据粮农组织作物需水量小组1971年在黎巴嫩和1972年在罗马举行会议期间提出的建议,编写了在不同气候和农艺条件下计算作物需水量的指南。后来根据所收到的意见和应用1972年出版的本指南草案所获得的经验进行修改。本方法的详细情况见附件II。

作物需水量的定义是“为满足健壮作物因蒸发蒸腾损耗而需要的水量深度。这种作物是在土壤水分和肥料充分供应的大田土壤条件下生长的,并在这一环境条件中发挥全部产量的潜力”建议采用三个阶段的程序来计算作物蒸发蒸腾量。

- ① 用参考作物蒸发蒸腾量 (ET_0) 来说明气候对作物需水量的影响。 ET_0 的定义是:从高度一致,生长旺盛,完全遮盖地面而不缺水的8至15厘米高的绿色草地上所蒸发蒸腾的速率”。我们对布兰尼—克里德尔,辐射,彭曼及蒸发皿法等四种方法进行修正,用30或10天的每天平均气候数据来计算参考作物蒸发蒸腾量 (ET_0)。 ET_0 按每天毫米计算,并为该阶段的平均值¹。开始时,应根据现有的气象资料以及确定需水量所要求的准确程度来选择采用的方法。不同方法所需的气象数据如下:

方 法	温 度	湿 度	风	日 照	辐 射	蒸 发	环 境
布兰尼—克里德尔	*	0	0	0			0
辐 射	*	0	0	*	(*)		0
彭 曼	*	*	*	*	(*)		0
蒸发皿		0	0			*	*

* 测量数据; 0 估计数据; (*) 如有的话,但非重要数据

¹ 参考作物蒸发蒸腾量 (ET_0) 每年均不相同,建议对每年的气象记录进行 ET_0 的频率分析;因此供作规划用的经选择的 ET_0 值,不是根据一般条件而是根据各种可能的条件及未能满足作物需水要求所允许的冒险值确定的。

关于准确性的问题, 由于没有原始类型的气象资料, 故只能提出大致可能的误差。修正过的彭曼法效果最好, 误差最小, 夏季为正负 10%, 而在蒸发量低的情况下, 最长达 20%。其次是蒸发皿法, 可能误差为 15%, 但取决于蒸发皿的位置。在极特殊的情况下, 辐射法的误差在夏季可能达 20%。布兰尼-克里德尔法仅应用于一个月或稍长一段时间, 在潮湿, 刮风, 中纬度的冬季, 可看到预测数的误差为正负 25% (I.1)。附件三中提供了这四种方法的综合计算机程序。

- (2) 作物特性对作物需水量的影响用作物系数 (K_c) 表示, 这一系数表示参考作物的蒸发蒸腾量 (ET_0) 和作物蒸发蒸腾量 ($ET_{作物}$) 之间的关系, 即 $ET_{作物} = K_c \cdot ET_0$ 。作物系数 (K_c) 的值说明因作物类型, 其生长阶段, 生长季节和主要天气条件的不同而变化。 $ET_{作物}$ 以每日毫米计, 可按 30 或 10 天期间的平均数计算。既然使用同一个 ET_0 , 因而所提供的作物系数都可在这四种方法中使用 (I.2)。
- (3) 当地条件和农业措施对作物需水量的影响包括长期气候差异, 距离和纬度, 田块的大小, 有效土壤水分, 含盐量, 灌溉方法和栽培方法及措施等各种当地条件的影响, 这些情况需要有当地的田间数据才能确定 (I.3)。

在计算作物蒸发蒸腾量 ($ET_{作物}$) 前, 应该特别检查该地区作物的需水量及现有的气象实测资料。应该访问气象和研究站并应评价现有数据的准确性, 要对环境, 地点, 仪器的类型及观察和记录的方法进行评定。如果各气象站所提供的工程地区数据的数量有限的话, 那么绘制包括所需气候变化的等值线图将会提高分析工作的效果。应该收集有关作物类型和作物生长阶段及农业措施的资料。

计 算 步 骤

1 参考作物的蒸发蒸腾量 (ET_0)

收集和评价现有的气象的和作物的数据; 根据现有的气象数据和要求的准确度来选择计算 ET_0 预测的方法。

利用平均的气象数据, 计算每 30 或 10 天期间的 ET_0 。

分析某一给定气候条件下, ET_0 极值的大小和频率。

2 作物系数 (k_c)

选择耕作方式并确定播种时间, 作物生长速度, 作物生长阶段的长度和生长期。

选择某一作物的作物系数 (k_c) 及在盛行的天气条件下作物生长阶段, 并绘制每一阶段作物系数曲线。

作物蒸发蒸腾量 ($ET_{\text{作物}}$)

计算每 30 或 10 天期间作物的蒸发蒸腾量 ($ET_{\text{作物}}$) 即 $ET_{\text{作物}} = k_c \cdot ET_o^1$ 。

3 在当地气候条件下影响 $ET_{\text{作物}}$ 的因素

确定气候及其在时间和地区的变化率的影响。

评价农业和灌溉措施以及有效土壤水分的影响。

考虑作物蒸发蒸腾量 ($ET_{\text{作物}}$) 和作物产量水平之间的关系。

1 参考作物蒸发蒸腾量 (ET_o) 的计算

1.1 布兰尼-克里德尔法

建议在现有气象资料中只有气温数据的地区可采用此方法。

原来的布兰尼-克里德尔公式 (1950 年) 包括从平均温度 (T) 中计算耗水量因子 (f) 以及在所研究的时段内每年总的白天日照小时的百分比 (P)。然后应用经验确定的作物耗水系数 (K) 来确定水量 (CU) 或 $CU = K \cdot f = K (P \cdot T / 100)$, 式中 T 以 $^{\circ}F$ 计。 CU 的定义是: “为满足植物营养区蒸发蒸腾量的需要, 避免植物生长受到缺水影响的可能需水量”。但是温度和白天长度并不足以说明气候对作物需水量的影响; 在温度 (T) 和百分比值 (P) 相同的气候条件下, 作物需水量差别却很大。因此, 作物耗水系数 (K) 不仅应随作物不同而变化而且还因气候条件不同而差别很大。

¹ 为了得到因气候、土壤、土地和有效水, 管理标准和生产标准等影响的最优值, 各种耕作方式都需要重复第二步骤。

为了更好地确定气候对作物需水量的影响,但仍然使用布兰尼-克里德尔法的温度和日长相关的 t 系数,而提出了一种计算参考作物蒸发蒸腾量的方法。采用实测的温度数据及一般温度,日照和风,就可以改善对蒸发蒸腾量预测的结果。大家认为 1.2 节中所提出的作物系数 (k_c) 并不完全取决于气候条件。

推荐的关系式

所推荐的关系式表示给定月份平均值:

$$ET_0 = c [p(0.46 T + 8)] \text{ 毫米/日}$$

- 式中: ET_0 = 所研究月份每日参考作物蒸发蒸腾量的毫米数
 T = 所研究月份按摄氏度数 ($^{\circ}\text{C}$) 计算的每日平均温度
 p = 给定月份和纬度从表一中得出的每年白昼小时总数的每日平均百分比
 c = 根据最低相对湿度,日照小时和估计白天风力得出的修正系数。

插图 1 用图表示 $p(0.46 T + 8)$ 的计算值,可用以估算参考作物的蒸发蒸腾量。 $p(0.46 T + 8)$ 的值列于 x 横坐标上,而从 y 纵坐标上可直接读出参考作物的蒸发蒸腾量 (ET_0) 值。下列各项的关系列于图 1: (1) 3 个等级的最低湿度 (RH_{min}); (2) 3 个等级的实际和最大可能日照小时的比率 (n/N); (3) 两米高度处白天风速情况的 3 个范围¹。关于某一地点一般月份或季度气候状况及近似的 RH_{min} 、 n/N 、白天风速可从出版的气象资料,从附近地区的外推法或从当地资料中得到。在本书导言的气象术语中列出了用以描述湿度,日照及风的一般水平的术语。

¹ 注意这里空气湿度指白天最低湿度,风速指白天的风速。如果能得到 24 小时风速的估算值,应换算为白天的风速值。一般来说白天风速/夜晚风速 $\cong 2$, 而 24 小时平均的风速值应乘以 1.33 才能得出白天平均风速值。对那些主要是白天刮风或晚上刮风的地区可使用下列系数:

白天风速/夜晚风速比率	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

白天风速的修正值	1.0	1.2	1.33	1.43	1.5	1.56	1.6
----------	-----	-----	------	------	-----	------	-----

在确定参考作物的蒸发蒸腾量之后,就可利用适当的作物系数(k_c)来预测作物的蒸发蒸腾量(ET 作物)或者说 ET 作物 $=k_c \cdot ET_o(I \cdot 2)$ 。

附加说明

由于用单气象因素预测作物蒸发蒸腾量在多数情况下必然是凭经验工作的,因而只有在温度数据是所能得到的唯一的气象数据的情况下,才采用这种方法。在下列情况下应持谨慎态度:(1)温度比较稳定但其它气候参数有变化的赤道地区;(2)气温受到海水温度的影响,而对辐射季节性变化反应不大的小岛和沿海地区;(3)即使白天辐射程度高但每日平均温度十分低即夜间寒冷的高纬度地区;(4)在气候过渡的月份里,日照小时差别很大的气候条件的地区(在春季及秋季具有季风气候中纬度气候)。在以上情况下,即使由于没有任何实际测量资料,而需要从区域或世界地图中得到日照和辐射数据,最好还是采用辐射法。

高纬度地区(55° 或以上)白天相对地长一些,但与日长值相同的低和中纬度的地区相比较,辐射则较低。这就给日长百分数 P 增加了不适当的权重。在纬度 55° 或以上的地区,计算参考作物蒸发蒸腾量的值可减少到15%。关于海拔高度的问题,在半干旱和干旱地区,海拔高度变化1000米,参考作物蒸发蒸腾量(ET_o)可向下调整10%。

计算每日平均 ET_o 的时间至少不应少于一个月。既然某一地区的气候条件及随之而来的 ET_o 每年的差别可能很大,因而 ET_o 最好按每年记录的每一日历月计算,而不采用根据好几年记录所得出的平均温度。

不要使用原来布兰尼-克里德尔所采用的作物系数(K),因为(1)原来的作物系数大量依靠气候条件,而资料中所报道的系数值差别很大,很难选择正确的值;(2) $P(0.46T+8)$ 值和 ET_o 之间的关系可充分说明最低相对湿度,日照小时和风速差别很少地区的广泛温度情况,(3)一旦 ET_o 确定之后,所提出的作物系数(k_c)就可用以确定作物蒸发蒸腾量(ET 作物)。

计算的例题

应用测定的一个月的每日平均温度和日长系数就能求得 $P(0.46T+8)$ 每日平均值(毫米)的简单计算过程。有了每月湿度,风和日照的数据(可以从出版的气象资料中获得这些数据)就可利用图一得到那个月的 ET_o 值。现提供必要计算过程的格式。