



高等学校教材



# 农田水利学习题试验集

河北农业大学 张增圻 合编  
武汉水利电力学院 沈荣开



TV93-4  
2

ISBN 7-120-01946-5/TV·695

定价： 4.70 元

TV93-4  
2



高等学

---

# 农田水利学习题试验集

河北农业大学 张增圻  
武汉水利电力学院 沈荣开 合编

水利电力出版社

(京)新登字115号

### 内 容 提 要

本书是根据高等学校教材《农田水利学》(第二版)编写的配套教材。全书共分三部分:第一部分为习题,与《农田水利学》教材各章内容相对应,共编入各类习题63道;第二部分为试验,共编入8个试验,涉及土壤水及地下水运动参数测定、地下水渗流规律、各种灌水方法、地下排水及盐碱土冲洗等方面的问题;第三部分为课程设计,共选择了6个题目,分别代表了不同的气候条件、地形特征、种植作物、存在问题及其规划设计要求等。

本书除作为高等学校农田水利工程专业的通用教材外,也可供从事农田水利工作的工程师和技术人员参考。

高等学校教材

农田水利学习题试验集

河北农业大学 张增圻  
武汉水利电力学院 沈荣升 合编

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京樱花印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 10印张 221千字 4插页

1994年6月第一版 1994年6月北京第一次印刷

印数0001—2390册

ISBN 7·120-01946-5/TV·695

定价 4.70 元

# 目 录

前言

## 第一部分 习 题

第一章 农田水分状况和土壤水分运动 .....	1
【习题 1-1】 农田土壤有效含水量的计算 .....	1
【习题 1-2】 土壤入渗水量的计算 .....	2
【习题 1-3】 土壤蒸发计算(解题示例) .....	2
【习题 1-4】 土壤蒸发计算 .....	4
第二章 作物需水量和灌溉用水量 .....	5
【习题 2-1】 用“以水面蒸发为参数的需水系数法”求水稻耗水量 .....	5
【习题 2-2】 用“以产量为参数的需水系数法”求棉花需水量 .....	5
【习题 2-3】 用(1979年改正的)彭曼公式求潜在腾发量从而计算作物需水量 .....	6
【习题 2-4】 冬小麦播前灌水定额计算 .....	18
【习题 2-5】 用水量平衡方程式估算冬小麦全生育期的灌溉定额 .....	18
【习题 2-6】 西北干旱地区春小麦灌溉制度设计——图解法 .....	18
【习题 2-7】 北方半干旱、半湿润地区棉花灌溉制度设计——图解法 .....	19
【习题 2-8】 南方湿润地区早稻灌溉制度设计——列表计算法 .....	20
【习题 2-9】 水岸灌区灌溉用水量计算 .....	22
【习题 2-10】 引水灌区灌水率图的制定 .....	22
第三章 地面灌水方法和田间渠系 .....	24
【习题 3-1】 畦灌灌水技术要素计算 .....	24
【习题 3-2】 沟灌灌水技术要素计算 .....	24
【习题 3-3】 生产单位内部田间渠系工程规划 .....	24
【习题 3-4】 井灌区地下输水管网的水力计算(解题示例) .....	26
【习题 3-5】 井灌区地下输水管网的水力计算 .....	28
第四章 喷灌和滴灌 .....	29
【习题 4-1】 喷灌强度计算 .....	29
【习题 4-2】 喷灌均匀系数计算 .....	29
【习题 4-3】 喷灌灌溉制度设计 .....	29
【习题 4-4】 喷头组合形式设计 .....	30
【习题 4-5】 固定式喷灌系统规划设计 .....	31
【习题 4-6】 滴灌设计 .....	34
【习题 4-7】 滴灌毛管水力计算 .....	34
【习题 4-8】 滴灌支管水力计算 .....	35
第五章 灌溉水源和取水方式 .....	38
【习题 5-1】 滞灌取水枢纽型式与位置选择(解题示例) .....	38
【习题 5-2】 灌溉取水枢纽位置的选择 .....	41

【习题 5-3】 无坝取水渠首工程的水力计算 .....	41
【习题 5-4】 有坝取水渠首工程的水力计算 .....	41
<b>第六章 灌溉渠道设计 .....</b>	<b>43</b>
【习题 6-1】 灌区总体规划 .....	43
【习题 6-2】 渠道水利用系数与渠系水利用系数的计算 .....	43
【习题 6-3】 渠道流量减小时, 渠系水利用系数的计算 .....	43
【习题 6-4】 续灌渠道流量的推算 .....	44
【习题 6-5】 灌溉渠道工作制度的拟定 .....	45
【习题 6-6】 灌溉渠道系统的流量推算 .....	45
【习题 6-7】 土质渠床渠道断面的水力计算 .....	47
【习题 6-8】 护面渠床渠道断面的水力计算 .....	47
【习题 6-9】 上、下级渠道水位衔接设计 .....	47
【习题 6-10】 灌溉渠道纵横断面设计 .....	48
<b>第七章 井灌 .....</b>	<b>50</b>
【习题 7-1】 深层承压地下水资源计算 .....	50
【习题 7-2】 承压含水层抽水降深曲线的计算 .....	50
【习题 7-3】 浅层地下水的多年调节运用计算 .....	51
【习题 7-4】 水井布置规划 .....	52
<b>第八章 田间排水 .....</b>	<b>53</b>
【习题 8-1】 大田蓄水能力计算 .....	53
【习题 8-2】 干旱地区防盐地下水排水沟深度与间距的确定 .....	53
【习题 8-3】 湿润地区稻田排水沟深度与间距的确定 .....	53
【习题 8-4】 半干旱、半湿润地区防盐防渍地下水排水沟深度与间距的确定 .....	54
【习题 8-5】 低平原区竖井排水防渍、防盐及防涝计算 .....	54
<b>第九章 排水沟道系统 .....</b>	<b>56</b>
【习题 9-1】 地区排模经验公式的确定 (解题示例) .....	56
【习题 9-2】 用最大排模经验公式计算排水河道的设计流量 .....	59
【习题 9-3】 用平均排除法计算水网圩区抽水站的排水流量 .....	61
【习题 9-4】 排水沟道系统设计流量的推算 .....	62
【习题 9-5】 圩区排水沟道断面选择 .....	63
<b>第十章 分区水利问题及其治理 .....</b>	<b>65</b>
【习题 10-1】 山丘区大、中、小水源工程联合运用水量调配演算 .....	65
【习题 10-2】 采用各种水土保持措施前、后, 土壤流失量的计算 .....	66
【习题 10-3】 河网圩区滞涝排水演算 .....	71
【习题 10-4】 盐渍土冲洗改良措施的制定 .....	74
<b>第十一章 灌溉排水管理 .....</b>	<b>76</b>
【习题 11-1】 某灌区年度引水、配水计划的编制 .....	76
【习题 11-2】 支渠配水计划的编制 .....	78
<b>第十二章 灌排工程经济分析 .....</b>	<b>79</b>
【习题 12-1】 水库灌区工程投资和还本年限的计算 .....	79
【习题 12-2】 水库的经济效益分析 .....	80

## 第二部分 试 验

试验 1	非饱和土壤的入渗特性及渗吸速度测定试验 .....	81
试验 2	野外钻孔法测定渗透系数试验 .....	87
试验 3	利用河(渠)附近地下水动态资料反求水文地质参数的模拟试验 .....	91
试验 4	暗管排水功能试验 .....	99
试验 5	沟灌条件下土壤水分运动规律试验 .....	106
试验 6	喷头水力性能测试试验 .....	111
试验 7	滴灌试验 .....	117
试验 8	盐碱土冲洗试验 .....	121

## 第三部分 课 程 设 计

课设 1	M灌区灌溉排水系统的规划设计 .....	131
课设 2	H垦区排水灌溉系统的规划设计 .....	135
课设 3	Q灌区灌溉系统的规划设计 .....	140
课设 4	B湖坑排水系统的规划设计 .....	144
课设 5	G农场灌溉渠系的规划设计 .....	147
课设 6	S城郊区菜田喷灌系统规划设计 .....	151

# 第一部分 习 题

## 第一章 农田水分状况和土壤水分运动

### 【习题 1-1】 农田土壤有效含水量的计算

基本资料

某冲积平原上的农田，1m深以内土壤质地为壤土，其空隙率为47%，悬着毛管水的最大含水率为30%，凋萎系数为9.5%（以上各值皆按占整个土壤体积的百分数计），土壤容重为 $1.40\text{t/m}^3$ ，地下水在地面以下7m处，土壤计划湿润层厚度定为0.8m。

要求

计算土壤计划湿润层中有效含水量的上、下限，具体要求有：

- (1) 分别用 $\text{m}^3/\text{亩}$ ， $\text{m}^3/\text{ha}$ 和 $\text{mm}$ 水深三种单位表示有效含水量的计算结果；
- (2) 根据所给资料，将含水率转换为以干土重的百分比及用空隙体积的百分比表示（只用 $\text{m}^3/\text{亩}$ 表示计算结果）。

提示

(1) 计算土壤含水量的方法有：

- 1) 当土壤含水率以占土壤体积的百分比表示时

$$W = \Omega \cdot H \cdot \theta$$

- 2) 当土壤含水率以占干土重的百分比表示时

$$W = \Omega H \gamma_{\pm} \frac{1}{\gamma_{*}} \theta'$$

- 3) 当土壤含水率以占空隙体积的百分比表示时

$$W = \Omega H n \theta''$$

上列各式中的符号意义如下：

$W$ ——土壤含水量，以若干面积上的立方米计，当 $\Omega$ 取亩时，则 $W$ 之单位为 $\text{m}^3/\text{亩}$ ；

当 $\Omega$ 取公顷时，则 $W$ 之单位为 $\text{m}^3/\text{ha}$ ；

$\Omega$ ——计算面积，一般用亩（ $667\text{m}^2$ ）或公顷（ $10000\text{m}^2$ ），亦可取其他尺寸的面积；

$H$ ——土壤计划湿润层深度（m）；

$\theta$ ——按体积比计的土壤含水率，即土壤中的水分体积与整个土壤体积的比值；

$\theta'$ ——按重量比计的土壤含水率，即土壤中的水分重量与干土重量的比值；

$\theta''$ ——按空隙体积比计的土壤含水率，即土壤中的水分体积与空隙体积的比值；

$\gamma_{\pm}$ ——土壤容重（ $\text{t/m}^3$ ）；

$\gamma_{*}$ ——水的容重，在一般情况下，纯水的容重为 $1\text{t/m}^3$ ；

$n$ ——土壤空隙率，即土壤中空隙体积与整个土壤体积之比。

(2) 土壤含水量亦可以像降雨量、蒸发量一样，用 $\text{mm}$ 水深计，其公式为  
 $W = 1000 H \theta$ （ $\text{mm}$ ）。

式中1000为从 $\text{ha}$ 换算成 $\text{mm}$ ，其他符号同前。实际上 $\text{m}^3/\text{亩}$ 和 $\text{m}^3/\text{ha}$ 的量纲与 $\text{mm}$ 的量纲



相同，皆可与之换算，即

$$1\text{m}^3/\text{亩} = 15\text{ m}^3/\text{ha}$$

$$1\text{m}^3/\text{亩} = 1.5\text{ mm}$$

$$1\text{m}^3/\text{ha} = 1/15\text{ m}^3/\text{亩}$$

$$1\text{m}^3/\text{ha} = 1/10\text{ mm}$$

$$1\text{mm} = 1/1.5\text{ m}^3/\text{亩}$$

$$1\text{mm} = 10\text{ m}^3/\text{ha}$$

答案

见表1-1-1。

表 1-1-1

有效含水量计算结果

项 目	用 $\text{m}^3/\text{亩}$ 表示	用 $\text{m}^3/\text{ha}$ 表示	用 $\text{mm}$ 表示
$W_{\min}$	50.7	760	76
$W_{\max}$	160.0	2400	240

### 【习题 1-2】 土壤入渗水量的计算

基本资料

某土壤经试验测定，第一分钟末的入渗速度 $i_1 = 6\text{mm}/\text{min}$ ， $\alpha = 0.4$ 。

要求

运用土壤入渗（渗吸）经验公式计算30min内的入渗水量及平均入渗速度，以及第30min末的瞬时入渗速度。

答案

$$I = 76.96\text{mm},$$

$$\bar{i} = 2.565\text{mm}/\text{min},$$

$$i_{30} = 1.539\text{mm}/\text{min}。$$

### 【习题 1-3】 土壤蒸发计算(解题示例)

基本资料

某均质土壤1m土层内初始含水率 $\theta_0 = 19\%$ （占土壤体积%，下同），小于临界含水率 $\theta_c$ ，土壤水的蒸发处于蒸发强度递减阶段。经测定风干含水率 $\theta_s = 6\%$ ，饱和含水率 $\theta_s = 48.9\%$ 。当含水率小于30%时，扩散率 $D(\theta)$ 的计算公式为  $D(\theta) = 4.77(\theta/\theta_s)^{3.876}$  ( $\text{cm}^2/\text{min}$ )

要求

- (1) 绘制蒸发强度 $e$ 与时间 $t$ 的关系曲线；
- (2) 计算3天后1m土层内土壤含水率降至多少？

解

1. 绘制 $e \sim t$ 关系曲线

据题意土壤水的蒸发处于蒸发强度递减阶段，此时的蒸发强度取决于土壤水的输水能

力, 由[郭元裕主编的《农田水利学》(第二版), 下同]公式 (1-33),  $\varepsilon = (\theta_0 - \theta_s) \sqrt{\frac{\bar{D}}{\pi t}}$  来计算各时的 $\varepsilon$ 值, 从而绘制 $\varepsilon \sim t$ 关系曲线。为此需先求出 $\bar{D}$ 来。 $\bar{D}$ 用式 (1-35) 计算, 即

$$\bar{D} = \frac{1.85}{(\theta_0 - \theta_s)^{1.85}} \int_{\theta_s}^{\theta_0} D(\theta) (\theta_0 - \theta_s)^{0.85} d\theta$$

式中  $\theta_0 = 19\%$ ;

$\theta_s = 0.06\%$ ;

$D(\theta) = 4.77(\theta/\theta_s)^{3.876} (\text{cm}^2/\text{min})$ ;

$\theta_s = 48.5\%$ ;

所以

$$D(\theta) = 4.77(\theta/0.489)^{3.876} = 76.34\theta^{3.876}$$

故

$$\begin{aligned} \bar{D} &= \frac{1.85}{(0.19 - 0.06)^{1.85}} \int_{0.06}^{0.19} 76.34\theta^{3.876} (0.19 - 0.06)^{0.85} d\theta \\ &= 0.0675 \text{cm}^2/\text{min} \end{aligned}$$

用式 (1-33) 计算 $\varepsilon$ , 即

$$\varepsilon = (0.19 - 0.06) \sqrt{\frac{0.0675}{\pi t}} = 0.019 \frac{1}{\sqrt{t}} (\text{cm}/\text{min})$$

根据上式, 假设不同的 $t$ 值, 计算出相应的 $\varepsilon$ 值, 见表1-3-1。

表 1-3-1

不同 $t$ 值时的 $\varepsilon$ 值计算表

$t$ (min)	1	10	50	100	500	1000	10000
$\varepsilon$ (cm/min)	0.019	0.006	$2.7 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-3}$	$8.5 \times 10^{-4}$	$6 \times 10^{-4}$	$1.9 \times 10^{-4}$

根据表1-3-1中计算的数据在双对数格纸上绘制成 $\varepsilon \sim t$ 关系曲线, 如图1-3-1所示。

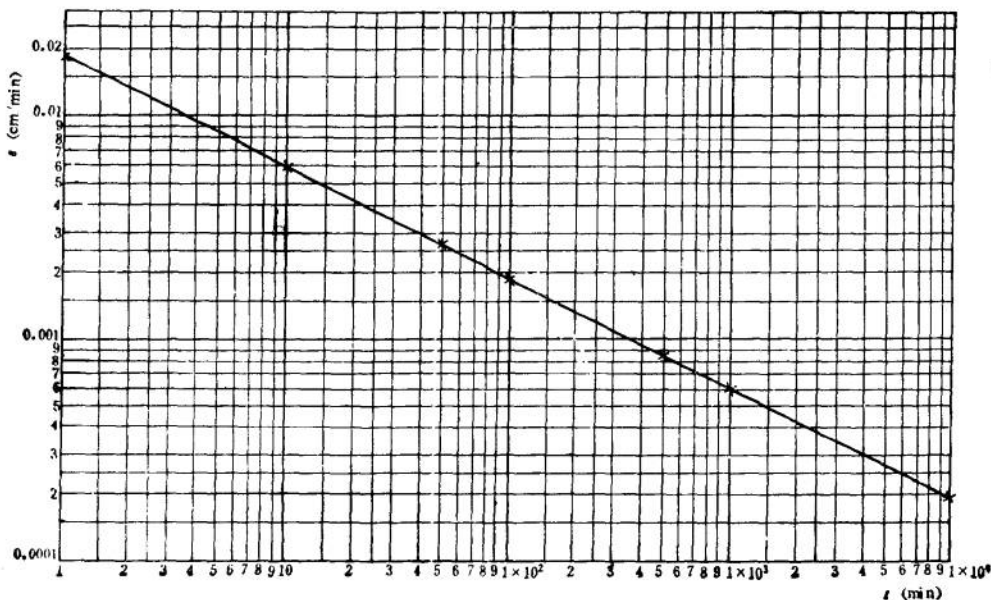


图 1-3-1  $\varepsilon \sim t$ 关系线

2. 计算3d后1m土层的含水率

3天内总蒸发量按式(1-34)计算,即

$$E = 2(\theta_0 - \theta_*) \sqrt{\frac{Dt}{\pi}}$$

式中  $t$  为3d的总分钟  $t = 3 \times 24 \times 60 = 4320 \text{min}$

$$E = 2(0.19 - 0.06) \sqrt{\frac{0.0675 \times 4320}{\pi}} = 2.505 \text{cm}$$

1m土层未蒸发前总水量,以深度计则为

$$h_0 = 100H\theta_0 = 100 \times 1 \times 19\% = 19 \text{cm}$$

3d后剩余水量为

$$h_* = 19 - 2.505 = 16.495 \text{cm}$$

按含水率的%计,则为

$$\theta_* = \frac{h_*}{100H} = \frac{16.495}{100 \times 1} = 16.495\%$$

【习题 1-4】 土壤蒸发计算

基本资料

某均质土壤1m土层内初始含水率 $\theta_0 = 18\%$ (占土壤体积的%,下同),小于临界含水率。土壤水的蒸发处于蒸发强度递减阶段。经测定风干含水率 $\theta_* = 6\%$ ,饱和含水率 $\theta_s = 49.2\%$ ,当含水率小于20%时,扩散率 $\bar{D} = 0.0589 \text{cm}^2/\text{min}$ 。

要求

- (1) 计算不同时间  $t$  的蒸发强度  $e$ ,并在对数纸上绘制  $e \sim t$  关系线图,
- (2) 计算1d后、3d后及5d后1m土层内的含水量。

答案

- (1)  $e$ 与  $t$ 的相应关系,见表1-4-1。

表 1-4-1 不同 $e$ 时的 $e$ 值计算表

$t(\text{min})$	1	10	50	100	500	1000	10000
$e(\text{cm}/\text{min})$	0.0164	0.00519	0.00232	0.00164	0.00073	0.00052	0.00016

- (2) 在1、3、5d后1m土层剩余水量,见表1-4-2。

表 1-4-2 1、3、5d后1m土层剩余水量

天 数 (d)	1	3	5
1m土层内的水量(cm)	16.75	15.84	15.21

## 第二章 作物需水量和灌溉用水量

【习题 2-1】 用“以水面蒸发为参数的需水系数法”求水稻耗水量

基本资料

(1) 根据某地气象站观测资料,设计年4月至8月80cm口径蒸发皿的蒸发量( $E_0$ )的观测资料见表2-1-1。

表 2-1-1 某地蒸发量( $E_0$ )的观测资料

月 份	4	5	6	7	8
蒸发量 $E_0$ (mm)	182.6	145.7	178.5	198.8	201.5

(2) 水稻各生育阶段的需水系数 $\alpha$ 值及日渗漏量,见表2-1-2。

表 2-1-2 水稻各生育阶段的需水系数及日渗漏量

生育阶段		返 青	分 蘖	拔节孕穗	抽穗开花	乳 熟	黄 熟	全生育期
起止日期	月 日	4 6 至 26 8	5 5 至 4 28	5 6 至 29 15	6 6 至 16 30	7 7 至 1 10	7 7 至 11 19	4 7 至 26 19
	天 数	8	25	18	15	10	9	85
阶段 $\alpha$ 值		0.784	1.060	1.341	1.178	1.060	1.133	
日渗漏量(mm/a)		1.5	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	

要求

根据上述资料,推求该地水稻各生育阶段及全生育期的耗水量。

提示

用式(2-1)计算出各生育阶段的 $E$ 值(注意:取同期的 $E_0$ 值计算),然后加上同期的渗漏量,即为各生育阶段的耗水量,将各生育阶段的耗水量累加,即为全生育期的耗水量。

答案

见表2-1-3。

表 2-1-3 水稻各生育阶段的耗水量

生育阶段	返 青	分 蘖	拔节孕穗	抽穗开花	乳 熟	黄 熟	全生育期
耗水量(mm)	46.93	154.55	156.59	120.14	75.95	72.56	626.72

【习题 2-2】 用“以产量为参数的需水系数法”求棉花需水量

基本资料

(1) 棉花计划产量：籽棉300kg/亩。

(2) 由相似地区试验资料得，当产量为籽棉300kg/亩时，棉花需水系数  $K=1.37\text{m}^3/\text{kg}$ 。

(3) 棉花各生育阶段的需水量模比系数，见表2-2-1。

表 2-2-1 棉花各生育阶段的模比系数

生育阶段		苗期	现蕾	开花结铃	吐絮	全生育期
起止日期	月 日	4 6 至 11 10	6 7 至 11 6	7 8 至 7 24	8 10 至 25 30	4 10 至 11 30
天数		61	26	49	67	203
模比系数(%)		13	20	49	18	100

要求

计算棉花各生育阶段需水量累积值，以备在用图解法制定灌溉制度时绘制需水量累积曲线之用。

提示

首先求出全生育期总需水量，然后用模比系数法求各生育阶段的需水量，将阶段需水量逐阶段累加，即可得各生育阶段的累积需水量。

答案

见表2-2-2。

表 2-2-2 棉花各生育阶段的累积需水量

生育阶段	苗期	现蕾	花铃	吐絮	全生育期
累积需水量( $\text{m}^3/\text{亩}$ )	53.4	135.6	337	411	411

### 【习题 2-3】 用(1979年改正的)彭曼公式求潜在腾发量从而计算作物需水量

基本资料

(1) 华北平原某站位于东经 $115^{\circ}03'$ ，北纬 $38^{\circ}41'$ ，海拔高度40.09m。该站的多年平均气象资料见表2-3-1。

(2) 该站的冬小麦作物系数 $K_c$ 值见表2-3-2。

(3) 该站的棉花生育期为：4月23日播种，10月20日收割，共181d。全生育期的作物系数为0.751。

(4) 该站的夏玉米生育期为：6月21日播种，9月28日收割，共100d。全生育期的作物系数为0.838。

要求

表 2-3-1

某站多年平均气象资料表

月份	气温 (°C)			平均相对湿度 $RH_{av}$ (%)	最大风速 (m/s)	平均风速 (m/s)	日照时数 (h/mon)	降雨量 (mm)	蒸发量 (mm)
	最高 $T_M$	最低 $T_m$	平均 $T_{av}$						
1	3.3	-11.2	-4.6	49	8.3	1.9	193.2	2.3	45.1
2	6.6	-8.9	-1.6	57	8.5	2.3	180.3	6.9	58.7
3	13.7	-1.6	5.6	57	11.0	2.7	232.2	5.9	137.2
4	21.8	5.4	13.8	55	9.7	3.0	236.5	18.1	214.0
5	28.1	11.4	20.1	59	8.7	2.6	283.5	27.2	283.2
6	32.3	16.7	24.6	62	8.4	2.5	278.0	64.5	294.5
7	31.8	20.5	26.2	80	5.5	1.9	222.2	165.5	192.9
8	30.4	19.1	24.7	83	5.7	1.6	218.5	204.2	152.1
9	27.1	12.0	19.5	77	5.6	1.4	234.5	40.9	144.9
10	20.9	4.8	12.6	73	7.0	1.7	227.2	26.4	119.9
11	11.4	-2.2	4.3	69	7.6	2.0	182.7	8.7	65.9
12	3.9	-8.3	-2.7	62	8.8	2.0	184.0	3.1	41.5

表 2-3-2

某站冬小麦作物系数 $K_c$ 值表

生育期	播种至分蘖	分蘖至返青	返青至拔节	拔节至抽穗	抽穗至灌浆	灌浆至成熟	全 期
起止日期	10月1日 至 10月24日	10月25日 至 3月14日	3月15日 至 4月17日	4月18日 至 5月8日	5月9日 至 5月23日	5月24日 至 6月14日	10月1日 至 6月14日
天 数	24	141	34	21	15	22	257
作物系数	0.58	0.58	0.93	1.52	1.28	0.65	0.88

(1) 计算潜在腾发量 $E_p$ ;

(2) 计算作物需水量 $E$ 。

提示

(1) 潜在腾发量用(1979年改正的)彭曼公式计算,其方法步骤可参看附录。

(2) 根据教学要求及学生的具体情况可以采用不同的方案完成此项习题。例如:  
①可以计算冬小麦各生育阶段的需水量,从而绘出全生育期的需水量累积曲线,以备在进行灌溉制度设计时使用,这就要求分别计算出冬小麦全生育期各月的潜在腾发量 $E_p$ 。②可以计算棉花或夏玉米的全生育期的需水量。③也可以只计算冬小麦某一、两个生育阶段的需水量。

答案

(1) 逐月潜在腾发量 $E_p$ ,见表2-3-3。

表 2-3-3

某站逐月潜在腾发量表

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E_p$ (mm/d)	1.04	1.19	2.12	3.77	4.79	5.05	4.08	3.49	2.68	1.61	0.72	1.18

(2) 冬小麦需水量累积值  $E_p$ , 见表2-3-4。

表 2-3-4

冬小麦需水量累积值表

生育阶段	播种至分蘖	分蘖至返青	返青至拔节	拔节至抽穗	抽穗至灌浆	灌浆至成熟	全生育期
$E_p$ (mm)	22.41	117.93	117.53	310.15	401.93	472.74	472.74

(3) 棉花全生育期总需水量  $E_a = 725.25 \text{ mm}$ 。

(4) 夏玉米全生育期总需水量  $E_a = 301.86 \text{ mm}$ 。

附录 用(1979年改正的)彭曼公式计算潜在蒸发量

彭曼公式问世以来,得到了广泛的重视,并在实践检验的基础上加以改进,因而先后出现了联合国粮农组织(FAO)1977年的改正公式及1979年的改正公式。近年来我国各试验站场及科研机构广泛使用1979年改正的彭曼公式来计算潜在蒸发量,并制定了各省、市、自治区及全国的潜在蒸发量等值线图,供生产中使用。

1979年改正的彭曼公式为:

$$E_p = \frac{\frac{P_0}{P} \frac{\Delta}{\gamma} R_n + E_a}{\frac{P_0}{P} \frac{\Delta}{\gamma} + 1}, \text{ mm/d} \quad (2-3-1)$$

现将该公式中各项的意义及其确定方法分别加以介绍:

一、  $\frac{P_0}{P} \frac{\Delta}{\gamma}$

$P_0$  为海平面的平均气压,  $P_0 = 1013.25 \text{ mb}$ ,

$P$  为计算地点的平均气压 (mb),

$\Delta$  为气温与饱和水汽压关系曲线上的斜率;

$\gamma$  为湿度计常数。

已知计算地点的海拔高度 (m) 及气温 ( $T^\circ\text{C}$ ), 便可从表2-3-5中查得  $\frac{P_0}{P} \frac{\Delta}{\gamma}$ 。

二、  $R_n$

$R_n$  为到达地表的净辐射, 可以用辐射平衡表直接测量, 没有直接测量数据时, 可以用下式计算:

$$R_n = R_{ns} - R_n l \quad (2-3-2)$$

式中  $R_{ns}$  为净短波辐射,

$R_n l$  为长波辐射损失。

(一) 净短波辐射

$$R_{ns} = 0.75 \left( a + \frac{n}{N} \right) R_0 \quad (2-3-3)$$

太阳辐射到达地球后, 经过大气层时被吸收一部分, 又散射掉一部分, 剩下的才能到达地表。到达地表后又反射掉一部分, 最后剩下的才是净短波辐射量, 见图2-3-1。  $R_0$  为大气外圈接收的阳光辐射, 以蒸发的水层深  $\text{mm}$  表示 (水从液态转换成气

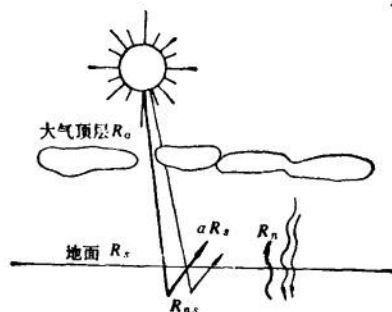


图 2-3-1 太阳辐射平衡图

态所消耗的能量叫汽化潜热, 以  $L$  表示,  $L = 595 - 0.51T_c \text{ cal/g}$ 。可根据计算地点的纬度从表2-3-3中查出不同月份的  $R_0$  值。

$R_0$ 穿过大气层时被吸收和散射掉的多少,与云层的覆盖情况有关,式(2-3-3)中的 $N$ 值为不同月份天文上可能出现的最大日平均日照时间( $h$ ),它亦决定于纬度之多少,可由表2-3-10查得。 $n$ 为当地实际日照时间。 $a$ 及 $b$ 为系数,在温带地区, $a=0.18$ , $b=0.55$ 。则 $R_0=(a+bn/N)$ 即为到达地表的阳光短波辐射量。

到达地表的短波辐射量又被地面反射掉一部分( $aR_0$ ),反射率 $a$ 随地面覆盖情况而不同,大多数作物的 $a=0.25$ ,故在式(2-3-3)中的0.75,即为 $1-a=1-0.25=0.75$ ,表示扣除反射掉的地面接收的净短波辐射百分比。

通常,用 $H$ 代表 $0.75(a+bn/N)$ ,只要知道了 $n/N$ 值,可由表2-3-8查得 $H$ 值。有了 $H$ 值便可算得到达地表的净短波辐射能量 $R_{ns}=H \cdot R_0$ 。

(二) 净长波辐射损失 $R_n l$

$$R_n l = \sigma T_k^4 (0.56 - 0.079 \sqrt{e_d}) (0.10 + 0.90 n/N) \quad (2-3-4)$$

在大气层和地表之间有长波辐射存在,通常从大气层向地表的长波辐射量小于从地表向大气层的长波辐射量,二者之差即为净长波损失掉的能量,其大小与黑体辐射量 $\sigma T_k^4$ 、实际水汽压 $e_d$ 和 $n/N$ 值有关。

在黑体辐射量 $\sigma T_k^4$ 中, $\sigma$ 为斯蒂芬-保勃斯曼常数,以 $\text{mm}/(\text{d} \cdot \text{k}^4)$ 计, $T_k$ 为绝对温度, $T_k = T^\circ\text{C} + 273$ 。有了温度 $T^\circ\text{C}$ ,可从表2-3-7中查得 $\sigma T_k^4$ 值,以 $\text{mm}/\text{d}$ 表示。

实际水汽压 $e_d$ ,以 $\text{mb}$ (毫巴)表示,通常各气象站都有实测记录。如无实测 $e_d$ 记录,可间接计算而得。一种方法是根据平均相对湿度 $RH_{av}$ 计算,即 $e_d = e_s \times RH_{av}$ ,其中 $e_s$ 为饱和水汽压,可由表2-3-12查得不同温度下的 $e_s$ 值。另一种方法是根据露点温度( $T_{\text{露}}$ )借用表2-3-12,查得对应的 $T = T_{\text{露}}$ 时的 $e_s$ 值,即为 $e_d$ 。有了 $e_d$ 值,可以从表2-3-9中查得 $(0.56 - 0.079 \sqrt{e_d})$ 。

有了 $n/N$ 值,可以从表2-3-11中查得 $(0.9n/N + 0.1)$ 值,以减少工作量。

此三项相乘,即为长波辐射净损失量 $R_n l$ 。

将 $R_{ns}$ 与 $R_n l$ 相减,即为到达地表的净辐射量 $R_n$ ,以 $\text{mm}/\text{d}$ 计。

三、 $E_0$

$E_0$ 称之为干燥力,以 $\text{mm}/\text{d}$ 计

$$E_0 = 0.26(1.00 + Bu_2)(e_s - e_d) \quad (2-3-5)$$

$E_0$ 式中前半部分谓之风函数 $f(u)$ ,即

$$f(u) = 0.26(1.00 + Bu_2) \quad (2-3-6)$$

式中 $u_2$ 是离地面2m高处的风速,以 $\text{m}/\text{s}$ 计。我国各气象站观测的风速值,大多为风标高处(离地面10~12m)的风速,需乘以0.75后改正为2m高处的风速 $u_2$ 。

$B$ 为风速改正系数,依月最高平均温度 $T_M$ 与最低平均温度 $T_m$ 之差而不同,可查表2-3-14。表2-3-13(a)至表2-3-13(f)为在不同的 $(T_M - T_m)$ 情况下的 $f(u) = 0.26(1.00 + Bu_2)$ 的计算值。

$E_0$ 式中后半部分谓之饱和差,以 $d$ 表示。

$$d = e_s - e_d \quad (2-3-7)$$

有些气象站已有饱和差观测记录可以直接利用,如无 $d$ 值记录,可依据前面的方法分别求得 $e_s$ 及 $e_d$ 值算出 $d$ 值。

有了风函数及饱和差,便可用式(2-3-5)算出干燥力。

在分别得出 $\frac{P_0}{P} \frac{\Delta}{\gamma}$ 、 $R_n$ 及 $E_0$ 后,即可由式(2-3-1)计算出 $E_p$ 值来。如果要计算全年各月的 $E_p$ 值,也可用表2-3-15的格式逐月计算。



$P_0 \cdot \frac{\Delta}{\gamma}$  的计算值 [根据气温 ( $T^\circ\text{C}$ ) 和海拔高度 ( $m$ ) 查算值]

气温 $T^\circ\text{C}$	海拔高度 (m)																		
	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600
0	0.67	0.69	0.71	0.72	0.74	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.93	0.95	0.97	1.00	1.03	1.05
1	0.72	0.74	0.75	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.87	0.89	0.92	0.94	0.96	0.99	1.01	1.04	1.07	1.09	1.12
2	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.91	0.93	0.95	0.97	1.00	1.03	1.05	1.07	1.10	1.13	1.16	1.20
3	0.81	0.83	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.09	1.12	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27
4	0.87	0.89	0.91	0.93	0.96	0.98	1.00	1.03	1.05	1.08	1.11	1.13	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29	1.32	1.36
5	0.92	0.94	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.09	1.12	1.15	1.17	1.21	1.24	1.27	1.30	1.33	1.37	1.40	1.44
6	0.98	1.00	1.03	1.05	1.08	1.10	1.13	1.16	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.35	1.38	1.41	1.45	1.49	1.53
7	1.04	1.07	1.09	1.12	1.15	1.17	1.21	1.24	1.27	1.30	1.33	1.36	1.40	1.43	1.47	1.51	1.55	1.59	1.63
8	1.11	1.13	1.16	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.35	1.38	1.41	1.45	1.48	1.52	1.56	1.60	1.64	1.69	1.73
9	1.17	1.20	1.23	1.26	1.29	1.32	1.36	1.39	1.43	1.46	1.50	1.54	1.58	1.62	1.66	1.70	1.74	1.79	1.84
10	1.25	1.28	1.31	1.34	1.37	1.41	1.44	1.48	1.52	1.55	1.59	1.63	1.67	1.72	1.76	1.80	1.85	1.90	1.95
11	1.32	1.35	1.39	1.42	1.45	1.49	1.53	1.57	1.61	1.65	1.68	1.73	1.77	1.82	1.86	1.91	1.96	2.01	2.07
12	1.40	1.43	1.47	1.50	1.54	1.57	1.62	1.66	1.70	1.74	1.78	1.83	1.87	1.92	1.97	2.02	2.07	2.13	2.18
13	1.48	1.52	1.55	1.59	1.65	1.67	1.71	1.76	1.80	1.84	1.89	1.94	1.99	2.04	2.09	2.14	2.20	2.26	2.32
14	1.57	1.61	1.64	1.68	1.72	1.77	1.81	1.86	1.91	1.95	2.00	2.05	2.10	2.15	2.21	2.26	2.32	2.38	2.45
15	1.66	1.70	1.74	1.78	1.82	1.87	1.92	1.97	2.02	2.06	2.11	2.17	2.22	2.28	2.34	2.40	2.46	2.53	2.59
16	1.76	1.80	1.85	1.89	1.94	1.98	2.04	2.09	2.14	2.19	2.24	2.30	2.36	2.42	2.48	2.54	2.61	2.68	2.75
17	1.86	1.91	1.95	2.00	2.05	2.10	2.15	2.21	2.26	2.32	2.37	2.43	2.50	2.56	2.62	2.69	2.76	2.84	2.91
18	1.97	2.02	2.06	2.11	2.17	2.22	2.28	2.33	2.39	2.45	2.51	2.57	2.64	2.71	2.77	2.84	2.92	3.00	3.08
19	2.08	2.13	2.18	2.23	2.29	2.34	2.40	2.47	2.53	2.59	2.65	2.72	2.79	2.86	2.93	3.00	3.08	3.17	3.25
20	2.19	2.25	2.30	2.36	2.42	2.47	2.54	2.60	2.67	2.73	2.80	2.87	2.94	3.02	3.09	3.17	3.26	3.34	3.43
21	2.32	2.37	2.43	2.49	2.55	2.61	2.68	2.75	2.82	2.88	2.95	3.03	3.11	3.19	3.26	3.35	3.44	3.53	—
22	2.44	2.50	2.56	2.63	2.69	2.75	2.83	2.90	2.97	3.04	3.11	3.19	3.28	3.36	3.44	3.53	3.62	—	—
23	2.58	2.64	2.71	2.77	2.84	2.90	2.98	3.06	3.13	3.21	3.29	3.37	3.46	3.55	3.63	3.72	—	—	—
24	2.72	2.78	2.85	2.92	2.99	3.06	3.14	3.22	3.30	3.38	3.46	3.55	3.64	3.74	3.83	—	—	—	—
25	2.86	2.93	3.00	3.08	3.15	3.22	3.31	3.40	3.48	3.56	3.64	3.74	3.84	3.94	—	—	—	—	—
26	3.01	3.09	3.16	3.24	3.32	3.40	3.49	3.58	3.66	3.75	3.84	3.94	4.04	—	—	—	—	—	—
27	3.17	3.25	3.33	3.41	3.49	3.57	3.67	3.76	3.86	3.95	4.06	4.15	—	—	—	—	—	—	—
28	3.34	3.42	3.50	3.59	3.67	3.76	3.86	3.96	4.06	4.16	4.25	—	—	—	—	—	—	—	—
29	3.51	3.60	3.68	3.77	3.86	3.95	4.06	4.17	4.27	4.37	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	3.69	3.78	3.87	3.97	4.06	4.16	4.27	4.38	4.49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31	3.88	3.98	4.07	4.17	4.27	4.37	4.49	4.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	4.07	4.18	4.28	4.38	4.49	4.59	4.71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
33	4.27	4.38	4.48	4.59	4.70	4.81	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34	4.48	4.59	4.70	4.82	4.93	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	4.71	4.83	4.95	5.06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—