

节水新概念

王芝明 赵晓明 主编



沈阳出版社

节水新概念

王芝明 赵晓明 主编

沈阳出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

节水新概念/王芝明, 赵晓明主编. —沈阳: 沈阳出版社, 2008. 4

ISBN 978 - 7 - 5441 - 3514 - 6

I. 节… II. ①王…②赵… III. 节约用水 - 基本知识
IV. TU991.64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 053040 号

出 版 者: 沈 阳 出 版 社

(地址: 沈阳市沈河区南翰林路 10 号 邮编: 110011)

印 刷 者: 沈阳市新友印刷有限公司

发 行 者: 沈阳出版社

幅面尺寸: 140mm × 203mm

印 张: 6.25

字 数: 157 千字

出版时间: 2008 年 4 月第 1 版

印刷时间: 2008 年 4 月第 1 次印刷

责任编辑: 杨 静

封面设计: 龙·文化

责任监印: 杨 旭

书 号: ISBN 987 - 7 - 5441 - 3514 - 6

定 价: 20.00 元

联系电话: 024 - 82835867

邮购热线: 024 - 82835867

E - mail: yangjing_sy@sina.com

编委会

主 编	王芝明	赵晓明	
副主编	黄立春	张 瑞	叶家俊
编 委	蔺 聪	周岩松	赵环宇
	侯 文	李玉征	苏 彧
	蔡立忠	孟繁强	

前 言

我国水资源紧缺已是不争的事实。建立节水社会、节约水资源已成为基本国策。当前,在水资源利用上存在着资源浪费、利用率不高、淡水资源饱受污染威胁三大弊病。在农业灌溉上,如何节约水资源,怎样确定节约用水,用什么样的指标来评价,仍是我国需深入研究的课题。

以往,对于农田灌溉用水节约用水的指标习惯于用灌溉渠道的利用系数和水的利用率进行评价。节水重点工作,对于水利部门来讲,则多在灌渠的水利工程上下功夫。在 2000 年河北、北京、青岛、沈阳四省(市)开始利用世界银行贷款发展节水灌溉工程项目中,世行团认为:节水的目的是节约水资源的用量,是应该节约在农田灌溉中不可能回收的水资源量。其指标应该是评价是否节约了水资源。若以提高水的利用率来衡量,不能说明节约了多少水资源量,因为在灌溉过程中,有一部分水渗入地下,补充了地下水,还能被二次利用。因此,评价节水指标,应该是减少农田的无效腾发量,用此来评价节约的水资源量,这才是“真实节水量”。2006 年 10 月联合国粮农组织灌溉专家沃德先生在检查沈阳市利用世界银行贷款发展节水灌溉工程项目时认为,以此概念来评价发展节水灌溉项目的节水理念已达到世界先进水平。

那么在此项目中,所谓腾发量(ET)的概念与国内作物需水量的概念是否有差异,当今国内如何测定与估算 ET ,世行在节水灌溉项目如何应用该指标进行评价以及在实践应用中还存在什么问题,本书将分三篇进行叙述。第一篇着重于作物腾发量的概念内涵、影响因素和估算方法;第二篇着重于在节水项目中的应用与实践;第三篇着重于在应用实践中的问题及解决的办法。由于这是一个新的理念,受应用时间、范围、规模的局限,加之编著者水平所限,错误、纰漏定然很多,还望读者多予赐教。

编 者

2008 年 4 月

目 录

前言	1
第一篇 腾发量(ET)	
第一章 需水量	1
一、概念	1
二、作物需水量(ET)的研究概况	4
三、腾发的过程与机理	6
第二章 作物 ET 的影响因素	11
一、影响因素概述	11
二、气象因素对作物 ET 的影响	12
三、土壤水分状况对作物需水量的影响	14
四、作物的生物学特性对作物需水量的影响	15
五、农业技术措施对作物需水量的影响	16
六、灌溉排水措施对作物需水量的影响	16
第三章 ET 值的测定	17
一、行业规范规定的方法	17

二、蒸渗器的种类及适用性.....	25
三、坑测法与需水量计算.....	27
四、田测法与需水量计算.....	28
五、筒测法与需水量计算.....	29
六、水稻田需水量与渗漏量的测定与计算.....	30
第四章 估算法.....	33
一、经验公式法.....	33
二、理论计算法.....	51
三、理论方法和经验方法相结合的半经验法	61
四、目前常用的几种方法.....	71
五、我国常用估算方法与评述.....	77
第五章 有效降水量.....	94
一、概念及讨论.....	94
二、影响有效降水的因素.....	95
三、估算方法.....	98
四、小结.....	109
第六章 地下水利用量.....	110
一、一般讨论.....	110
二、估算方法.....	111

三、国外相关研究介绍	111
第二篇 节水指标的监测	
第一章 指标管理规划	121
一、监测评价目的、监测方法和监测内容	121
二、ET 监测	123
三、ET 值的计算	125
第二章 ET 监测分析评价专题报告编写提纲 ...	128
第三章 ET 的监测与评价(范例)	132
一、监测布局	132
二、监测内容	137
三、监测指标与趋势分析	138
四、综合成果评价(三大目标及可持续发展)	
.....	151
五、小结	153
第三篇 研究与探讨	
第一章 值得注意的问题	155
一、监测方法	155
二、监测内容不完善	156
三、概念界定不清	156
四、计算方法粗糙	157

五、分析方法不够全面	157
第二章 几点建议	158
一、 <i>ET</i> 值的监测方法	158
二、关于节水概念	159
三、真实节水量的计算方法	159
第三章 典型范例	163
一、按照真实节水量的计算方法, 求解项目区 比对照区的真实节水量	163
二、用与世行合作的节水项目评价方法计算	165
三、水平衡法	165
四、关于监测评价内容的建议	166
附录	168
后记	189
参考文献	190

第一篇 腾发量(ET)

用腾发量(ET)对节水灌溉项目是否节水进行定性与定量评价,其基础理论的核心,来源于世界银行在河北、北京、青岛、沈阳四省(市)2000年发展节水灌溉工程项目中提出来的,并委托沈振荣教授等人编著的《节水新概念——真实节水的研究与应用》一书。该书较清晰地阐述了进行真实节水的概念,以及如何进行分析评价。但对于作物需水量的概念与国内灌溉行业有较大的差异,因为该书认为“长期以来,许多灌溉专家都认为作物需水量是不可变的,减少作物需水量就会影响作物产量,在作物需水量不可变的理论指导下,得出了真实节水潜力很小的概念”。这一提法,显然于国内对需水量的概念内涵及应用的范畴理解差异较大,为此,本篇重点讨论我国对农作物需水量的研究发展及其基本概念和内涵。

第一章 需水量

一、概念

二十世纪七十年代,水利部农田灌溉研究所组织全国联合绘制中国主要农作物需水量等值线图时,对需水量的概念就有明确的提法,并在《中国主要作物需水量与灌溉》一书中,作了详细的表述:作物需水量(Water requirement of crops)系指作物在适宜的土壤水分和肥力水平下,经过正常生长发育,获得高产时的植株蒸腾、棵间蒸发以及构成植株体的水量之和。由于构成植株体的水

量与蒸腾及棵间蒸发相比其量很小,一般小于它们之和的1%,因此这一微小部分可忽略不计,即在实际计算中认为作物需水量在数量上就等于高产水平条件下的植株蒸腾量(Transpiration)与棵间蒸发量(Evaporation)之和。植株蒸腾量与棵间蒸发量之和称为蒸发蒸腾量(Evapotranspiration),也有人称此为腾发量、散发量或农田总蒸发量。作物需水量的单位一般以某时段或全生育期所消耗的水层深度(mm)或单位面积上的水量(m^3 /亩)计。

与作物需水量有关的名称及其含义,目前尚未统一。有的把作物耗水量(Crop consumptive use)和作物需水量相混淆。作物耗水量指作物在任一土壤水分条件下的植株蒸腾量、棵间蒸发量以及构成植株体的水量之和,与作物需水量的含义不同,作物需水量应是在特定(适宜)条件下的作物耗水量。

除了蒸发蒸腾以外,农田水分消耗还有一条重要的途径是深层渗漏(或田间渗漏)。深层渗漏是指旱田中由于降水量或灌溉水量太多,使土壤水分超过了田间持水量,向根系吸水层以下的土层产生深层渗漏现象。深层渗漏一般是无益的,且会造成水分和养分的流失。合理的灌溉应尽可能地避免深层渗漏产生。实际上,关于需水量概念,早在全国联合攻关需水量等值线图前,熊运章、林性粹、康绍忠等人在其早期发表的有关文章中,就鲜明地提出了作物叶面蒸发与棵间蒸腾称作作物的腾发量,包括构成作物生长的水分为作物需水量。不构成作物适宜生长环境的,而获得高产量所消耗的水量,不能称作作物需水量,只能叫做作物的耗水量。在段爱旺等人编译的《美国国家灌溉工作手册》中,对此概念也进行了较详细的描述。他们认为,作物需水量定义为满足无病害作物在非限制土壤条件下(包括土壤水分和肥力)的大田中生长且在给定的生长环境中达到最大潜力而引起的蒸散(ET_{crop} 或 ET_c)。失水时,单位土壤面积上所需的水深(都伦鲍斯和普鲁伊特,1977)。当这个条件得到满足时作物将获得潜在或最大产量

(Y_m),也以最大速率蒸腾(ET_m)。

世行在沈阳等四省(市)发展节水灌溉工程项目中对作物需水量的概念及其内涵,是这样叙述的:“作物的需水量(ET_c)是指在一定的气候作物品种栽培模式单位面积产量条件下,作物全生育期的净耗水量(包括作物腾发量和土面蒸发量)。从理论上讲,只有在某种特定充分条件下,所取得的高产量的 ET_c 才等于 ET_m (表示最高蒸腾蒸发状态下的净耗水量)。初步调查表明,大多数农田在现状、相当长的期间内,实际产量水平只能达到其理论最高产量水平的 60%~80%。所以绝大多数农田供水都不必按照其所谓理论最高产量充分供水标准进行灌溉设计和灌溉管理。”上述的论点清楚地表明,在利用世行贷款发展的节水灌溉项目中不要以农作物的最高产量充分供水进行该项目的设计与灌溉管理。按照国内界定的需水量概念范围应该(国内所说的)是该作物的田间耗水量,这是世行节水项目中对作物需水量概念与国内的需水量概念的区别之一。世行而且要求,不按满足于奢侈的供水来获得最高产量。以此降低水资源的消耗,从节约水资源角度来看这是对的,但也不能说国内标定的作物需水量概念是不对的,因为从流域或区域,从水资源优化配置来讲,因为作物田间耗水量是一个有变化的范围值,若没有一个可比标准,是无法衡量水资源短缺程度的,对当地经济发展和人的生活影响的程度,特别是流域跨省(市)调水更需要用规范的标准来衡量,以达到利益的均等,或互利双赢,才能真正地体现公平。因此,也需要有当地适宜农作物生长条件下获得最高产量的农作物需水量。

由上述分析可知,世行在节水项目中的 ET ,一般是指农田的蒸腾蒸发量,对于作物主要是指作物的田间耗水量(国内提法)区别于国内作物需水量的概念。二者的用途差异明显,前者用于在实践项目的三大目标前提下,节约水资源量;后者主要用于水资源的优化配置。用途不一样,其含义不同。但是在这里需要强调的

是,国内的需水量概念,是在充分供水、获取最高产量时该作物的需水量,可以理解对于某种作物在某个地区,某一个农业经济发展阶段,只有一个值(但是,随着农业生产水平的不断提高,如品种改良,其需水量也是变的),也是该作物需水量特征值,标准值。世行在本项目应用的 ET 值,可以理解为某范围中的值,是某区间中的值,是根据不同的水平所需要的。或者说随着作物的产量不同,作物的 ET 值也不同,是可以变化的,也是可以根据需要进行设计的。因此,可以理解世行在本节水项目中所说的 ET_i 与国内作物田间耗水量(E_i)的概念一致,是应该符合耗水量与产量的一般变化规律的。由此可知,该 ET 的影响因素较多,按其对 ET 值影响的程度也有几项主要影响因素。

二、作物需水量(ET)的研究概况

作物需水量,是农业方面最主要的水分消耗部分,也是整个国民经济中消耗水分的最主要部分。计划和实施水资源的开发利用必须具备作物腾发量资料。因为作物 ET 量是确定作物灌溉制度以及地区灌溉用水量的基础,是制定流域规划、地区水利规划、灌排工程规划以及设计、管理和农田灌排实施的基本依据。因此,进行作物需水量的试验研究以探索其变化规律,一直是灌溉、排水科学领域中的重要课题。随着国民经济各方面用水量的不断增长,当今世界水源不足问题日益突出,对作物需水量的研究也日益重要,在干旱半干旱地区尤为如此。

在十九世纪初,国外开始有人研究作物腾发量与水面蒸发量的关系,接着有人以水平衡法为基础,进行作物腾发量的试验研究,并建立一些经验公式,到十九世纪四十年代研究工作发展比较快,建立了一些半理论半经验公式,在实用中起到了作用,受到人们重视,此后,对于需水量的研究与发展受益广泛。

我国从二十世纪二十年代就开始进行了少数作物的需水量试

验,从五十年代中期开始,陆续在全国各地建立灌溉试验站,至目前为止,全国已有 300 多个灌溉试验站,对全国各地的主要作物进行了需水量试验,积累了大量实测资料及一定的理论分析成果,为解决某些生产实际问题提供了资料,特别是在干旱缺水地区,为以水定产、以水定地,为区域性水土资源平衡方面提供了依据。八十年代初期以来,我国在全国范围内开展了主要农作物需水量的协作研究,绘制了全国作物需水量等值线图,对历年的作物需水量资料进行了分析整编;编制了灌溉试验规范,对作物需水量试验的操作、试验要求和资料的分析整理确立了法定性的规程,对提高作物需水量试验研究水平有很大的促进作用。通过近十年的工作,灌溉试验人员的技术水平有所提高,设备有所更新。在全国各地新建了大量的作物需水量试验站网,建设日趋完善和合理,如有不少省成立了省级中心灌溉试验站,同时,大批国外的先进技术和计算方法在国内得到了采用。根据各地条件建立了一批适合于当地的作物需水量计算公式,使之能根据气象土壤和作物条件,用经验的或半经验的方法,近似地计算作物需水量。但是随着社会经济的发展,到二十世纪末,由于灌溉试验并不能给所在地区带来直接经济效益,不能引起各级领导机关的重视,试验站又多数消失。直至二十一世纪初,随着社会经济的发展,我国水资源短缺日趋严重,加之灌溉技术和种植结构的显著变化,过去灌溉试验成果已不能满足当前需要,因此,水利部农村水利司于 2003 年、2004 年先后下文进行此项工作,并以水利部农田灌溉所为牵头单位,首次建成全国灌溉试验站网,以便全国统一部署与开展此项研究工作。

今后发展的趋势,是采用现代化手段,更精确地测定作物需水量,同时深入探讨作物需水量变化的机理。可靠地计算作物需水量,并且从增产、省水等要求出发,分析研究调节和控制作物需水量的标准及方法。

三、腾发的过程与机理

作物需要水分以维持生长和降低温度,特别是在干旱热风的晴天。植株从土壤中吸收水分,然后传输至叶片。位于叶片上表面和下表面上的小孔隙(气孔),可使光合作用和植株生长所需的二氧化碳进入叶片,通过气孔腔中的蒸发过程,也是水汽流经气孔进入大气的过程。水汽从叶片上散失,这一过程称为蒸腾。在气孔腔中,水分蒸发需要大量的能量。如果水分未曾蒸发,这些能量就可能用于加热植株。没有蒸腾,植株温度会升高到致死的程度。

在降雨或喷灌后,或是由于结露,植株叶片会覆盖一层液态水。在沉积之后,这部分水分会很快蒸发掉,但从植株冠层上的蒸发具有与蒸腾过程同样的冷却作用。

当太阳能或干热风作用于土壤表面时,同样会引起土壤中水分的蒸发。开始时,湿土壤表面以能量供应所决定的最大速率蒸发。随着土壤表面由于蒸发而变干,土壤表面以下的水分在毛管作用下向上运动。土壤中水分运动的速率是随着土壤的变干而降低,所以,随着蒸发过程的继续,水流受到的阻力越来越大,最后土壤水流速率会限制蒸发过程。当土壤水流速率限制了蒸发过程后,多余的能量会在土壤表面累积。没有用于蒸发水分的能量便会加热土壤及近地面的空气。如果这一过程继续进行,土壤和空气会变得非常热,如在沙漠气候中一样。

在土壤不断变干的过程中,土壤孔隙中的自由水首先被利用。剩下的水分在各种不同的化学键和物理键的作用下吸附于土壤颗粒上,利用更为困难。随着土壤含水量下降,以最强键吸附的水分变得更难为根系所吸收。土壤中以大于永久凋萎点张力(15 atm)持有的水分被紧紧地吸附于土壤颗粒上,植物几乎无法利用了。

对大多数作物种类而言,通过土壤和植物表面的蒸发过程及

植物气孔腔中的蒸腾过程所散失的水分占作物耗水量的 98% 以上。由于水汽从若干个表面运移到动力环境中的速率是随时间而变化的,所以蒸发和蒸腾的测定非常困难。测定过程可能会改变植株周围局部的气象状况,从而使实际的蒸发或蒸腾速率发生变化。因而对大多数灌水过程而言,蒸发和蒸腾两个通量是联合在一起的,称为蒸散量或腾发量。

因为蒸散是从植株表面和土壤表面上的水汽散失总量,故而很多估算作物耗水量的方法是通过确定液态水转化为水汽的速率而进行的。无论称为蒸发或汽化,这一过程都需要能量。例如,在一个晴朗的夏日,植株吸收的太阳能足够蒸发可以覆盖土壤表面达 1 cm 左右厚的水量。在 0.4 ha 左右的面积上,这样的条件下一天损失水量约为 37.85 m^3 。因而,蒸散过程需要大量的水,这些水的蒸发则需要大量的能量。

可用于作物系数蒸散过程的能量有几种来源,其中最主要的能量来源是太阳辐射。大气层太阳辐射量随季节而变化,但年际间却相当稳定,主要由纬度决定。大气层太阳辐射中有很大部分在大气层中被吸收或反射掉了。最终到达作物冠层的能量通常称为太阳辐射,有效的部分是处于太阳辐射波谱中的短波波段。入射太阳辐射中有一部分要被作物和土壤表面反射回去。吸收的那部分太阳辐射的比例主要取决于吸收表面的颜色和其他特性。反射回大气中的太阳辐射通常用反射率这一术语描述。反射率(α)是反射的辐射量(R_r)与入射的辐射量(R_i)的比值:

$$\alpha = \frac{R_r}{R_i}$$

不同作物和土壤的典型反射率数值汇于表 1-1 中。从表中的反射率值可以看出,入射太阳能量的 20% ~ 25% 被植物或土壤表面反射掉了。在实际灌溉管理中广泛采用的反射率值为 23%。这种情况下,太阳辐射中其余的 77% 被吸收,并要用于蒸散过程。