

中 国 现 代 科 学 全 书 • 农 学

CHINESE ENCYCLOPAEDIC SERIES OF MODERN SCIENCES • AGRONOMY

● 李英能 主编 作物
与水资源利用

CROPS AND WATER
RESOURCE UTILIZATION

重 庆 出 版 社

中国现代科学全书·农学

作物与水资源利用

主 编 李英能

副主编 段爱旺 吴景社

重 庆 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

作物与水资源利用/李英能主编. - 重庆:重庆出版社,2000.12
(中国现代科学全书·作物学)

ISBN 7-5366-5112-0

I. 作… II. 李… III. ①水资源关系-作物②灌溉水-利用.
合理-研究 IV. S273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 58162 号

中国现代科学全书·农学

作物与水资源利用

李英能 主编

出版·发行/重庆出版社

经销/新华书店

印刷/北京兴谷印刷厂

开本/850×1168 毫米 1/32

印张/15.25

字数/370 千字

印数/1-3,000 册

版本/2001 年 1 月北京第 1 版

2001 年 1 月北京第 1 次印刷

网址:<http://www.cesms.com.cn>

电话:010-64851686

书号:ISBN 7-5366-5112-0/S·84

定价:27.00 元

出版声明/版权所有,翻印必究。

中国现代科学全书总编辑委员会

名誉主编	胡 绳	钱伟长	吴阶平	周光召
	许嘉璐	罗豪才	季羨林	王大珩
	郑必坚			
主 编	姜士林	郭德宏	刘 政	程湘清
	卞晋平	王洛林	许智宏	白春礼
	卢良恕	徐 诚	王洪峻	明立志

(副主编和编辑委员名单容后公布)

农 学 编 辑 委 员 会

名誉主编	卢良恕	吕飞杰		
主 编	信乃谗			
编辑委员	(以姓氏笔画为序)			
	方智远	邓景耀	刘更另	刘焕亮
	庄巧生	李德葆	朱显谟	沈荣显
	吴常信	余松烈		

作 物 学 编 辑 委 员 会

主 编	余松烈			
编辑委员	(以姓氏笔画为序)			
	王立祥	余松烈	杨春峰	李春林
	庄巧生	石德泉		

前 言

作物与水资源利用是涉及多学科领域的边缘学科,强调水利与农业的结合,协调水—土—作物—环境之间的关系,研究最优化利用各种农业水资源、提高农业用水从水源到形成作物产量的各个环节的水分利用效率的理论和方法。其理论基础包括土壤物理学、作物栽培学、土壤水动力学、农业水文学、植物水分生理学、农业气象学、农田生态学、水力学、水资源学、地下水动力学、溶质动力学、水环境学等。其方法学包括系统工程学、技术经济学、统计学、预测学、控制论、数学物理、现代管理学、模糊数学、决策论、系统动力学等。虽然科技人员过去已从不同的角度、不同的方面对作物与水资源利用的各个领域做了大量的研究和探索,并取得了可观的研究成果。但这些研究彼此还缺少联系和交叉与渗透,迫切需要综合,交融成一个新的学科领域。为此,我们在广泛收集国内外有关文献、资料的基础上,结合自身的多年研究成果和经验,博采和旁引作物与水资源利用方面的最新研究成就和见解,写成本书,以图对作物与水资源利用这个边缘学科的内涵、发展和展望作一比较系统完整的论述。当前,世界性的水危机正在到来,我国农业用水的供需矛盾尤为突出,水资源不足已成为制约我国农业发展的主要因素。我们希望本书能对我国节水农业的发展,为农业的持续稳定增长,尽微薄之力。

我们在编写过程中,按照《中国现代科学全书》编委会的要求,坚持理论与实际相结合的原则,实事求是的客观态度;充分反映本领域内各学科的研究成果和新颖的学说和见解;注意采用资料的

精确可靠,有科学根据;行文力图做到深入浅出,图文并茂,通俗易懂。

本书由水利部、中国农业科学院农田灌溉研究所组织编写,参加编写的有李英能、段爱旺、吴景社、王广兴、孙景生、齐学斌、黄修桥。全书由李英能主编,段爱旺、吴景社为副主编并统稿。

在本书编写过程中,参考和引用了大量国内外有关文献,在此对这些文献的作者表示最衷心的感谢!限于编者水平有限,书中还存在许多不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

1999年5月

目 录

前 言	(1)
第一章 总 论	(1)
第一节 作物与水资源利用的研究对象	(1)
第二节 作物与水资源利用的研究任务	(9)
第三节 作物与水资源利用的试验研究方法	(15)
第四节 作物与水资源利用在农业中的地位和作用	(24)
第二章 作物与水的关系	(43)
第一节 作物体内的水分状况与水分代谢	(43)
第二节 作物对水分的吸收、运输及蒸散	(48)
第三节 缺水对作物的影响机制及作物对 水分亏缺的适应性	(56)
第三章 作物需水量	(76)
第一节 作物需水量的概念	(76)
第二节 作物需水量的测定	(82)
第三节 作物需水量的估算	(88)
第四章 作物灌溉制度	(111)
第一节 作物合理灌溉的水分生理指标	(111)
第二节 作物水分生产函数	(127)
第三节 作物灌溉制度的制定	(143)

第五章 灌溉水资源的合理开发利用	(163)
第一节 地表水资源的合理开发利用	(163)
第二节 地下水资源开发利用	(171)
第三节 土壤水资源开发利用	(182)
第四节 雨水资源开发利用	(188)
第五节 劣质水资源开发利用	(197)
 第六章 工程节水技术	(213)
第一节 渠道防渗技术	(213)
第二节 低压管道输水技术	(220)
第三节 喷灌技术	(228)
第四节 微灌技术	(237)
第五节 改进地面灌溉技术	(244)
 第七章 农艺节水技术	(254)
第一节 抗旱作物及品种选育技术	(254)
第二节 覆盖保水技术	(267)
第三节 蓄水保墒耕作技术	(276)
第四节 肥水一体化高效利用技术	(287)
 第八章 管理节水技术	(303)
第一节 灌溉量水技术	(303)
第二节 灌溉渠系优化配水	(317)
第三节 灌溉监测预报	(329)
第四节 灌溉自动化	(344)
 第九章 20 世纪的作物与水资源利用	(360)
第一节 土壤—作物—大气连续体	(360)

第二节	节水灌溉制度	(378)
第三节	农业水资源优化配置	(394)
第四节	农业综合节水技术	(406)
第五节	农业水环境保护	(413)
第十章	21 世纪作物与水资源利用发展趋势的预测	(429)
第一节	关于作物水分亏缺与非充分灌溉问题	(429)
第二节	关于农业水资源的综合利用与保护问题	(437)
第三节	关于作物灌溉实时监测预报和 自动化控制问题	(446)
第四节	关于农业水管理经济与社会问题	(450)
第五节	关于节水农业综合技术研究和应用问题	(456)
参考文献		(463)

第一章 总 论

第一节 作物与水资源利用的研究对象

要使作物正常生长,必须满足其正常生长所需要的必要条件,如水分、日光、空气、温度等。此外,土壤性质、施肥状况、病虫害防治、耕作栽培与品种采用等,亦对作物正常生长发育有重要影响。

水分是作物生长必不可少的首要因素。在自然环境中,作物的水分供应是源于降水,但在天然状态下,降水往往不能与作物的需水要求相配合,不是降水的时间与作物需水时间不一致,就是降水量与作物需水量不一致。为了满足作物对水分的要求,需要用人为的方法来适时适量地补充天然降水的不足,即合理开发利用水资源对作物实行灌溉。不同的作物在生长发育过程中,对水分的需求不相同,而同一种作物在不同的自然条件下对水分的需求亦不相同。自然界的水资源除降水外,还包括由降水而形成的地表水、地下水和土壤水。对于不同形式的水资源,其合理开发利用的方法也不相同。因此,作物与水资源利用的研究对象,可主要归纳为作物的需水规律和农业高效用水技术两个方面。

一、作物的需水规律

水为构成作物本体的主要成分,作物的叶部,水分占 80% ~ 90%,根部占 70% ~ 90%,其种子亦含有 10% ~ 15% 的水分。作物的细胞组织也必须有适量的水分,才能保持其正常的活力。水分与空气中的二氧化碳,经由光合作用形成碳水化合物,但这种作用的过程用去的水分仅占作物需水量的极小部分,绝大部分水量,

则通过作物机体输送到叶面,蒸腾到大气中。在作物吸收的总水量中,能利用的只占1%~5%。作物的蒸腾过程是和光合作用同步进行的,当水汽通过开着的气孔扩散进入大气时,光合作用过程需要 CO_2 同时通过气孔进入叶片;当供水不足而使气孔部分关闭导致蒸腾受阻时, CO_2 的吸收也同时受阻,从而使光合作用减弱,作物产量降低。作物形成产量的过程中对水分的需求除了蒸腾外,还有棵间蒸发和构成植株体所需的水量,这就是作物需水量。由于构成植株体的水量与蒸腾及棵间蒸发相比其量极小,一般小于它们之和的1%,可忽略不计。因此,作物需水量可认为是作物在一定产量条件下,植株蒸腾量和棵间蒸发量之和。也称为腾发量、蒸散发量或农田总蒸发量。在任一土壤水分条件下的作物需水量也称为作物耗水量。对于水稻田,必要的农田水分消耗除了蒸发蒸腾外,还包括适当的渗漏量。通常把水稻蒸发蒸腾量与稻田渗漏量之和称为水稻田耗水量。作物所需水量是从农田土壤中获取的,根系是作物吸水的主要器官,它从土壤中吸收大量的水分,满足作物生长发育的需要。根的吸水主要在根尖进行,在根尖中,以根毛区吸水能力最大。水在作物体内的运输是首先进入根部;经由皮层薄壁细胞,进入木质部的导管和管胞中;然后水分沿着木质部向上运输到茎或叶的木质部;再从叶木质部末端细胞进入气孔下腔附近的叶肉细胞的细胞壁的蒸发部位;最后水蒸气通过气孔蒸腾出去。

不同类别作物,同类作物不同品种,同品种作物的不同生长期和不同生产水平,不同的水文年份,需水量都不同。某种作物的需水量是指当其他耕作条件一定时,作物达到计划产量时的需水量。因此,作物需水量是与农业生产技术水平、产量水平有关的,并非一个固定值。根据实践,作物的产量与它的需水量呈函数关系。

需水量受气候、气象条件和土壤条件的影响很大,因而有地区上和水文年份上的差别。气象因素是影响作物需水量的主要因

素,光照、空气湿度、气温、风速对蒸发量影响甚大。光照强度大,日照时间长,空气相对湿度低,气温高,风速大,则蒸发量大,作物耗水量也大。反之,耗水量则小。

农业栽培技术对作物的需水量也有较大影响,密植,相对来说需水量会低一些。作物间作,也可相互影响彼此的需水量。覆盖保墒或松土保墒可以减少棵间蒸发,因而能减少作物需水量。

作物不同生育阶段的需水量变化很大,作物在苗期,植株小,叶面积也小,水分消耗主要是土壤蒸发或水田棵间的水面蒸发。随着作物的生长发育,植株增大,蒸腾的耗水量逐渐增多,田间总的耗水量也在逐渐增加。当植株大到一定程度,到达生殖生长阶段后,蒸腾量的比重将逐渐增长而超过棵间蒸发量。到需水临界期,即作物对水的供求最敏感的时期,一般作物达到了它的耗水高峰。作物生长的后期日耗水量又逐渐降低。作物全生长期的田间耗水量称为该种作物的需水量或总需水量。各生长期或每日的需水量称为某生长期需水量或日需水量。日需水量也称需水(耗水)强度。任一生长期需水量占作物总需水量的百分数称作需水分配系数(也称模系数或耗水变率系数等)。

蒸腾系数和需水系数也是表示作物需水量的指标。作物生产单位干物质需要蒸腾的水量称为蒸腾系数。干物质包括根、茎、叶和果实。某种作物的总蒸腾量除以干物质的总量即为该种作物的蒸腾系数。蒸腾系数的倒数称为蒸腾效率,它表示作物蒸腾的单位水量所生产的干物质量。生产每单位主要产品,作物所需的水量称为需水系数,也叫耗水系数。作物的总需水量,即作物的总蒸腾量和棵间总蒸发量(水稻还包括渗漏量)之和除以作物的主要产品产量即得作物的需水系数。作物的干物质量大于作物的主要产品量,作物的需水量大于蒸腾量,所以需水系数一般大于蒸腾系数。因为作物需水多少,与多种因素有关,所以各种作物的蒸腾系数和需水系数值的变化范围很大。

作物的田间需水量是由实测有关参数经过计算取得的。实测的方法大致可分为三类:水量平衡法、水蒸气平衡法和热量平衡法。对作物田间需水量的估算可以用经验的,或经验与理论结合的作物需水量估算公式来计算。需水量估算公式有多种类型,绝大部分都是利用气象因子、产量与作物需水量的相关关系求得。

二、农业高效用水技术

(一)农业水资源

农业水资源泛指自然资源中可用于农业生产的部分,一般包括降水、地表水、地下水和土壤水。随着国民经济的发展和科学技术水平的提高,废污水、地下咸水、海水等劣质水经一定的处理后,亦可用于农业生产,因此,这部分水也是农业水资源的组成部分。

1. 降水:大气降水是陆地上各种形态水资源总的补给来源,它是一个流域或封闭地区当地水资源量的最大值,降水量的多少基本上反映了水资源的丰枯情况。降水量的计算主要根据实测降水资料进行统计分析,确定降水量的特征值,计算不同频率年、月降水量。降水量中,可在降水地点,直接被作物利用的水量称为有效降水量。对于旱作物,有效降水量为降水渗入土壤被作物及其环境所利用的那部分水量,亦即降水量减去地表径流量和深层渗漏量。有效降水量的大小与降水特性、地形、土壤质地及结构、降水前的土壤含水量、作物种类及生育阶段、耕作措施等因素有关。

2. 地表水:从广义上讲,在地球表面上覆盖的自然水体(包括液态和固态)都属于地表水,包括河流水、湖泊水、冰川水、海洋水和沼泽水。而通常所说的地表水属于狭义地表水概念,即不包括海洋水,并把降水视为地表水的主要补给源。地表水资源的定量特征为河川径流量,它包括当地地表水量和上游径流流入量。

3. 地下水:地下水是指贮存于地下岩石或土壤孔隙中的水,通

常所说的地下水资源是地下含水层的动态水量,其定量特征为人渗补给量,包括降水入渗补给、地表水入渗补给、灌溉渠系渗漏补给等。

4. 土壤水:土壤水资源是指包气带内经常参与交换的水量,特别是作物根系层中能够被作物吸收并可恢复的水量。土壤水主要来源于大气降水、大气凝结水、灌溉水、地下水在毛管作用下的上升补给等,而消耗于植物的蒸腾和土壤蒸发。土壤水资源表现为土壤水分不断地补给与消耗的动态水量。

5. 劣质水:主要是城镇生活与工业污水和微咸水。城镇生活与工业污水资源化并加以回收与进行无害处理后,可用于作物灌溉。地下咸水或微咸水经处理后也可用作灌溉水源。

(二)农业高效用水技术

1. 水资源合理开发利用技术

(1)雨水汇集利用技术:在干旱缺水的丘陵山区,选择有一定产流能力的坡面、路面、屋顶,或经过夯实防渗处理的地方,作为雨水汇集区,将雨水引入位置较低的水窖或水窑内储存,经过净化处理,供农作物灌溉用水。

(2)地表水开发利用技术:对地表水资源采用蓄水、引水和提水方式进行开发利用。兴建水库和塘堰等蓄水工程,对河水及地面径流进行调蓄。修建无坝引水和有坝引水工程,从河流或泉源引水。修建提水工程,采用提水设备从水源提水。

(3)地下水开发利用技术:在利用地下水为灌溉水源的地区,在维持地下水生态平衡的前提下,确定开采强度,合理开发利用地下水,对机井进行测试改造,提高机井的出水效率和装置效率,降低能耗。在井渠结合灌区,非灌溉季节时可利用渠道引客水或利用排水沟集蓄雨季降水,入渗补给地下水。

(4)土壤水利用技术:土壤水既具有水资源的基本特征,又与重力水资源有区别,具有不可调度性,不可开采性,只能就地作为

物利用和直接耗于蒸发返回大气。因此对土壤水的利用,基本上是自然利用,可首先采取促进降水入渗的措施,使天然降水尽可能多的渗入土壤之中,充分发挥土壤水库的蓄水作用,减少水土流失;然后采取有效保护措施,尽量减少土壤水的非生产性无效消耗。

(5)劣质水利用技术:城市或工矿企业排放的污水含有多种重金属元素、有害的无机物或有机化合物、病原生物等,必须经过严格净化处理达到灌溉水质标准,才能用于灌溉非直接食用的农作物。利用微咸水灌溉时,可根据土壤积盐状况、农作物不同生育期耐盐能力,直接利用微咸水或咸淡水掺混后使用。对于灌区渠系和田间渗漏水、退水、跑水产生的回归水,可收集起来重复利用或作为下游灌区的灌溉水源。

2. 节水灌溉工程技术

(1)渠道防渗技术:是目前应用得最广泛的节水灌溉工程技术,通过对渠床土壤处理或建立不易透水的防护层,如混凝土护面、浆砌块石衬砌、塑料薄膜防渗和混合材料防渗等工程技术措施,减少输水渗漏损失,加快输水速度,提高浇地效率。与土渠相比,浆砌块石防渗可减少渗漏损失 50% ~ 60%;混凝土护面可减少渗漏损失 60% ~ 70%;塑料薄膜防渗可减少渗漏损失 70% ~ 80%。

(2)低压管道输水技术:用塑料管或混凝土管等管道代替土渠输水,可大幅度减少输水过程中的渗漏、蒸发损失,输水利用率可达 95% 以上。还可减少渠道占地,提高输水速度,加快浇地进度,缩短轮灌周期,有利于控制灌水量。

(3)喷灌技术:利用专门的设备将水加压;或利用水的自然落差将有压水通过压力管道送到田间,再经喷头喷射到空中散成细小的水滴,均匀地散布在农田上,对农作物进行灌溉。喷灌的形式主要有固定式、半固定式和移动式。与地面灌溉相比,大田作物喷

灌一般可省水 30% ~ 50%, 增产 10% ~ 30%。

(4) 微灌技术: 是最节水的灌溉工程技术, 包括滴灌、微喷灌和涌泉灌。微灌可根据作物需水要求, 通过低压管道系统与安装在末级管道上的灌水器, 将水和作物所需的养分以很小的流量均匀、准确、适时、适量地直接输送到作物根部附近的土壤表面或土层中进行灌溉, 从而使灌溉水的深层渗漏和地表蒸发减少到最低程度。微灌系统可分为固定式和半固定两种, 常用于灌溉果树和经济作物, 与地面灌溉相比, 一般可省水 50% ~ 80%, 增产 30% 以上。

(5) 地下灌溉技术: 把灌溉水输入铺设在地面以下的透水管道或采取其他抬高地下水位的工程措施, 依靠土壤的毛细管作用浸润根层土壤, 供给作物所需水分。地下灌溉根据供水方式不同, 可分为地下浸润灌溉、地下管道灌溉和地下灌排两用系统三种。地下灌溉可减少表土蒸发损失, 灌溉水的利用率较高, 与常规沟畦灌相比, 一般可增产 10% ~ 30%。

(6) 田间节水地面灌溉技术: 包括膜上灌、波涌灌、坐水种和改进沟畦灌等技术。膜上灌是在地膜栽培基础上, 把以往的地膜旁侧灌水改为膜上灌水, 水沿放苗孔和地膜旁侧渗入对作物进行灌溉, 可减少土壤的深层渗漏和蒸发损失, 因此显著提高水的利用率。通过调整膜畦首尾的渗水孔数及孔的大小, 来调整沟畦首尾的灌水量, 可获得较高的灌溉均匀度。与常规沟灌玉米、棉花相比, 可省水 40% ~ 60%, 并有明显增产效果。波涌灌又称间歇灌, 是在灌水时用加大流量把水灌到部分沟长时暂停供水, 过一段时间, 再用加大流量供水, 如此时断时续, 使水流呈波涌状推进。可减少深层渗漏, 提高灌水均匀度, 田间水利用系数达 0.8 以上。坐水种是利用坐水单体播种机, 使开沟、浇水、播种、施肥、覆土一次完成, 可节水 90%, 增产 15% ~ 30%。改进沟畦灌包括平整土地、划小畦块、采取细流沟灌、隔沟沟灌等。一般可比常规沟畦灌减少灌水定额 50%, 增产 10% ~ 15%。

3. 农艺节水技术

(1)耕作保墒技术:采用深耕松土,镇压、耙耱保墒,中耕除草,改善土壤结构等耕作方法,可以疏松土壤,增大活土层,增强雨水入渗速度和入渗量,减少降雨径流流失,切断毛细管,减少土壤水分蒸发,使土壤水的利用效率得到显著提高。

(2)覆盖保墒技术:在耕地表面覆盖塑料薄膜、秸秆或其他材料,可以抑制土壤蒸发,减少地表径流,蓄水保墒,提高地温,培肥地力,改善土壤物理性状,因此起到蓄水保墒、提高水的利用率,促进作物增产的良好效果。

(3)水肥耦合技术:通过对土壤肥力的测定,建立以肥、水、作物产量为核心的耦合模型和技术,合理施肥,培肥地力,以肥调水,以水促肥,充分发挥水肥协同效应和激励机制,提高抗旱能力和水分利用效率。

(4)节水作物品种筛选技术:根据当地降水分布、干旱发生规律和水分特性,因地制宜压缩需水量大易旱的作物,扩大雨热同步的秋熟作物,选择耗水少而水分利用效率高的作物。

(5)化学制剂保水节水技术:合理施用保水剂、复合包衣剂、黄腐酸及多功能抑蒸抗旱剂和生根粉等,可在作物生长发育中抑制过度蒸腾,防止奢侈耗水,减少干旱危害,促进根系提高对土壤深层储水的利用,起到增强抗旱能力和提高水分生产效率的作用。

4. 管理节水技术

(1)节水灌溉制度:是把有限的灌溉水量在作物生育期内进行最优分配,以提高灌溉水向根层贮水的转化效率和光合产物向经济产量转化的效率。可采用非充分灌溉、抗旱灌溉、调亏灌溉和定额灌溉等,限制对作物的水分供应,一般可节水 30% ~ 40%,而对产量无明显影响。

(2)土壤墒情监测与灌溉预报技术:用张力计、中子法、电阻法等监测土壤墒情,数据经分析处理后,配合天气预报,对适宜灌水