



NONGTIAN GUANGAI YU PAISHUI SHIYONG JISHU

农田灌溉与 排水实用技术

田兴参 编著



黄河水利出版社

农田灌溉与排水实用技术

田兴参 编著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

全书共分5章:第1章介绍水与农作物生长的关系;第2章介绍农田灌水方法;第3章介绍农田排水规划布置;第4章介绍田间工程设计;第5章介绍田间渠道及其建筑物的施工。

本书内容通俗易懂,可供基层水利技术人员和群众参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

农田灌溉与排水实用技术/田兴参编著. —郑州:
黄河水利出版社,2011.12

ISBN 978-7-5509-0154-4

I. ①农… II. ①田… III. ①农田灌溉 ②农田
水利-排水 IV. ①S27

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第249535号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hlslcbs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:850 mm×1 168 mm 1/32

印张:5.5

字数:140千字

印数:1—2 000

版次:2011年12月第1版

印次:2011年12月第1次印刷

定价:20.00元

前 言

农田灌溉和排水是保证农作物获得高产的一项重要措施。农作物扎根于土壤中,生长在地面上,需要有适宜的水分、养分、空气、温热、光照等条件,才能正常生长发育。在这些农作物赖以生存的诸因素中,水分、养分参与农作物的生理物质循环,是营养因素;空气、温热、光照,表现为作物的环境条件,是环境因素。然而,水既是营养因素,又是环境因素;既独立发挥其作用,又协调、影响养分、空气、温热等因素。水分、养分、空气、温热同存在于土壤这一复杂的统一体中,它们之间相互影响,相互制约。土壤水分状况,对养分、空气、温热状况,对农作物生长状况,影响尤大。因此,通过调节土壤水分状况,来调节土壤中的养分、空气、温热状况,使之互相协调,以满足农作物正常生长的需要,是农业生产技术中一项重要课题。

土壤水分不足,施行灌水防旱;土壤水分过多,则需排水,以除涝防渍,为农作物创造适宜的生长、生活条件。水-土壤-农作物之间,形成一种径流运动和内在的联系。随着现代科学技术的发展,人们可以通过水文气象的预报,包括自然降水、地面水、土壤水、地下水的预报,为灌溉和排水提供依据。同时,结合气象因子、作物发育生长各阶段的需水规律、灌排制度和灌排技术对作物产量的影响,以及水资源情况,进行计划用水,计划种植,形成“看天、看地、看庄稼”灌排的科学技术。

本书围绕调节土壤水分这一中心环节,阐述一些灌溉和排水方面的基本知识和田间工程规划、设计、施工等实用技术,还提供一些实例、图表供读者参考,以帮助读者加深对基本知识的理解和

增强实际应用的能力,以便在农业增产中发挥更大作用。

由于作者水平有限,书中一定还有疏漏及不当之处,恳请读者批评指正。

田兴参

2011 年 10 月于武汉大学

目 录

前 言

第 1 章 水与农作物	(1)
1.1 水与农作物生长的关系	(1)
1.2 农田水分状况及对农作物的影响	(3)
1.3 农作物的需水规律	(10)
1.4 几种主要农作物的灌溉	(15)
第 2 章 农田灌溉	(28)
2.1 灌水技术和灌水方法	(28)
2.2 农田灌溉对水质的要求	(47)
2.3 灌溉用水管理	(50)
第 3 章 农田排水	(59)
3.1 农田水分过多的危害	(59)
3.2 控制地下水位是农田排水的关键	(60)
3.3 农田排水的效果	(61)
3.4 需要排水农田的分类	(61)
3.5 农田排水系统的规划布置	(63)
3.6 农田排水方式	(76)
3.7 农田排水设施的管理养护	(100)
第 4 章 田间工程设计	(105)
4.1 田间渠道设计	(105)
4.2 渠道建筑物	(125)
4.3 土地平整	(137)
4.4 蓄水池	(143)

第 5 章 田间渠道及其建筑物的施工	(149)
5.1 渠道土方工程	(149)
5.2 渠道建筑物的施工	(155)
参考文献	(170)

第 1 章 水与农作物

1.1 水与农作物生长的关系

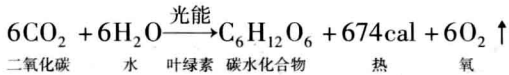
水和光、热、空气、养分一样,是农作物生活的必需要素。水是组成农作物有机体的主要组成部分,一般农作物植株含水量占总量的 70% ~ 80%,蔬菜和块茎作物含水量达 90% ~ 95% 以上。在农作物生长过程中,生命活动愈旺盛的器官或部位含水量愈高。例如,生长点、幼茎和叶子等的含水量一般在 80% ~ 90% 以上,随着这些器官的生长和衰老,含水量逐渐降低到 60% 以下。成熟种子的含水量一般降低至 10% ~ 15%。

水分是农作物细胞原生质的重要成分之一。原生质中一般含水 90% 左右。原生质中含水量的多少,可以引起胶体状态的变化,如凝胶、溶胶、团聚体间的相互转换,从而影响作物的代谢作用。当作物细胞原生质含水量充足时,代谢作用旺盛,生命活动加强,有利于植株发育生长;当细胞原生质含水量不足时,原生质胶体会由溶胶状态逐步变成凝胶状态,代谢作用减弱,严重失水时,细胞生命活动即会停止。

水分是农作物生理活动的基础。农作物体内的物质代谢作用在有水的条件下才能进行。例如,有机物质的合成和分解必须以水为介质,矿物盐分必须溶解在水中方能被作物根系吸收,作物体内养分的运转也必须以水为溶媒才能输送到各个部位,气体的交换也必须有水才能进行。

水分是农作物进行光合作用制造有机物质的重要原料。农作物的有机物质主要是碳水化合物,它是利用叶绿素吸收太阳光能

转化二氧化碳和水而成。光合作用以化学方程式表示为：



在光合作用过程中,通常有 1% 左右的水参与了有机质的合成。如果水分不足,农作物茎叶发生萎蔫,光合作用受到抑制,会直接影响碳水化合物的合成。

水具有较高的比热、导热和汽化热等物理特性,这些特性使农作物通过蒸散来调节和稳定其体内正常体温,避免由于强烈日光照射体温剧烈升高而受害;也可通过喷雾灌来调节小气候,防止干热风害和冻害。

由此可见,水在农作物的生命活动中有着极其重要的作用。没有水,农作物的生命活动即会停止。

水在农作物体内的作用过程,是不断运动、反复循环的过程。农作物通过细胞吸水和根系吸水,沿着根、茎、叶中的导管,将水分输送到各个器官,满足生理机能的需要。水从根到叶的原动力有两个,一是下部的根压,二是上部叶子蒸腾作用的拉力。根压不但使根部吸取水分,而且把水压向导管上升。但根压一般不超过两个大气压,不能作为水分运转的主要动力。水分运转的主要动力是叶面蒸腾作用所产生的拉力,蒸腾的结果,使叶部薄壁细胞具有较大的渗透压力,为 20 ~ 40 个大气压以上,能保证导管的水分上升。水分由根系进入作物体内之后有三个去向,一是用于构造有机体本身,二是消耗于光合作用的过程中,三是通过叶面的气孔向大气散发。据试验,作物吸收 1 000 g 水,只能形成 3 ~ 4 g 干物质,如果这些干物质由碳水化合物组成,则其中只有 1.5 ~ 2 g 水被同化了,其余 998 ~ 998.5 g 水均用于补偿蒸腾。所以,农作物吸收的水分绝大部分是通过作物体散失的,这种散失对作物的生态和生理需要都是不可缺少的。

1.2 农田水分状况及对农作物的影响

1.2.1 土壤水分状况

农作物生长所需的水分,主要是通过作物根系从土壤中吸取的。农田水分状况如何,对农作物的生长发育有很大的影响。因此,科学地掌握和调节土壤水分状况,不断改善农作物的生活要素和外界环境,是农业生产技术的重要环节,也是农田灌溉和排水的主要任务。

土壤水分的主要来源是自然降水和人工灌溉。土壤水和普通水一样,有固体、液体和气体三种形态。固态水在土壤冻结的条件下存在;气态水存在于土壤孔隙中,它和液态水经常互相转化,土壤空隙中经常饱和着水汽,有利于作物根系和土壤中微生物的活动;液态水在土壤中数量最多,对农作物的生长发育作用也最大。

土壤中的液态水,根据被吸持力量不同,可分为如下几种类型。

1.2.1.1 吸湿水

干燥的土粒从空气中吸收一些气体水分子附着在土粒的表面,这种水称为吸湿水。吸湿水所受到的引力很大,接近于 10 000 个大气压力,水分子紧缚在土粒表面,不能自由移动,故不能供给农作物根部吸收利用,是无效水。

1.2.1.2 膜状水

当土壤含水率达到最大吸湿量后,再和液态水接触时,便会在吸湿水的外围附着一层薄膜,这种水称为膜状水。膜状水外层所受引力虽然比吸湿水的小,但具有较高的黏滞性,无溶解力,移动非常迟缓,农作物利用仍很困难,只有在和根毛接触时才能被吸收利用。所以,农作物往往在膜状水没有完全消耗完以前就会因水分供应不足而出现萎蔫状态。

1.2.1.3 毛管水

由于毛细管的物理作用而保持在土壤空隙中的自由水分称为毛管水。毛管水可以在土壤的毛管中移动,在正常温度下蒸发,最易为农作物吸收利用。毛管水能较长时间保存于土壤中,并具有溶解养料的能力,为农作物吸收养料创造条件。毛管水能使自然降水和地下潜水沟通,从而使地下潜水得到补充和为农作物所利用。因此,毛管水对作物发育生长影响很大,是土壤中最有效的水分。毛管水在土壤中的分布,按其是否与潜水面连接,可分为上升毛管水和悬着毛管水。上升毛管水是指由地下潜水沿土壤毛细管上升的水分,悬着毛管水则是指土层中不与地下潜水连接的毛管水。上升毛管水的最大毛管上升高度随土粒机械组成所形成的空隙大小及土壤结构等条件的差异而不同,其数值由实测测定。表 1-1 是各种土壤最大毛管上升高度的大体范围,可供参考。悬着毛管水达到将可产生重力水时的最大值的平均土壤含水率称为土壤的最大持水率,其数值随土壤质地、土壤中的盐分和腐殖质含量以及耕作条件等因素的不同而有所差别。表 1-2 是地面下 50 cm 内土层的最大持水率大体数值,可供参考。

1.2.1.4 重力水

当进入土壤中的水分使土壤含水率超过最大田间持水率后,在重力作用下,超量的水分自上往下移动,称为重力水。重力水渗到下层干燥土壤时,一部分转化为其他形态的水,另一部分继续下渗,当下渗到潜水面时,就转化为地下潜水。重力水在土壤中,不能为农作物所利用,并且会降低土壤的温度,阻碍空气的流通和微生物的活动,降低土壤中的有效养分,不利于农作物的发育生长。但在排水改良沼泽盐碱地,解除土壤积涝之害时却是必要的。

1.2.1.5 地下潜水

土壤中的重力水渗透下降,遇到不能再渗透的隔水层时,便积聚在土壤中成为地下潜水。地下潜水面距地表的埋深以高度计,

表 1-1 土壤最大毛管上升高度 (单位:cm)

土壤	最大毛管上升高度	土壤	最大毛管上升高度
黏土	200 ~ 400	沙土	50 ~ 100
黏壤土	150 ~ 300	泥炭土	120 ~ 150
沙壤土	100 ~ 150	盐碱土	120

表 1-2 土壤最大持水率(地面下 50 cm 内土层)

土壤	最大持水率 (占空隙率的%)	土壤	最大持水率 (占空隙率的%)
黏土	76 ~ 85	沙壤土	40 ~ 50
重质黏壤土	65 ~ 75	黏性沙土	35 ~ 40
中质黏壤土	55 ~ 65	沙土	25 ~ 35
轻质黏壤土	50 ~ 60		

称为地下水位。地下水含可溶性盐类,即矿化度不高时,可提取用于农田灌溉。土壤中上升毛管水供给于地下潜水。如果地下水位过高,地表土壤就会经常处于过度湿润状态,温度降低,不利于农作物发育生长;如果地下水含盐量过高,还会引起土壤盐碱化。当地下水位过高时,需采取排水措施,以降低地下水位;反之,当地下水位过低时,在农作物根系层内土壤水分得不到潜水的补给,抗旱力降低,作物生长易因水分不足而受到抑制,则需勤加灌溉。

1.2.2 水分不足和水分过多对农作物的影响

适宜的土壤水分是农作物正常发育生长的前提条件。水分不足或水分过多,都会对农作物的发育生长不利,直接影响到农作物的收成。在自然条件下,农作物全生长过程对水分的取得与散失,往往是不平衡的。在干旱高温季节,蒸腾作用加强,散失的水分大

于吸入的水分,就会引起作物体内水分的亏缺,如果这种亏缺在较长期间内得不到补偿,超过了农作物的抗旱性能的有限范围,轻则造成农作物萎蔫,重则造成农作物的干枯死亡。这是因为在缺水情况下,作物生长过程受到了很大抑制,生理功能受到阻碍,细胞胶体化学特性受到破坏。例如,萎蔫叶子的形成是由于叶细胞含水量减少,二氧化碳进入受阻,光合作用减弱,但呼吸作用加强,作物有机物积累减少,而消耗并不减弱,结果导致作物生长受抑制,产量降低。在干旱情况下,作物需水与水分不足的矛盾须通过发展人工灌溉加以解决。在多雨阴湿季节,地面积水或土壤含水过多,超过作物耐涝限度,农作物生理机能也会受到影响,发育生长受到抑制,甚至造成死亡。

1.2.3 农田水分状况对气、热、养分等肥力要素的影响

1.2.3.1 农田水分状况对土壤通气状况的影响

在土壤的空隙内,水和空气各占一定的空间。在种植旱作物的田块中,作物根系活动层内土壤空气所占的空间体积以保持在非毛管空隙的 10% 以上为宜。如果农田水分过多,土壤含水率大,则土壤中的空气相对减少,会影响到土壤中的氧气和二氧化碳的调节与更换,影响到根部呼吸的正常进行。在长期缺氧的条件下,呼吸作用产生乙醇,农作物会因乙醇的积累而中毒受害。在种植水稻的田块中,水稻的根、茎、叶间有通畅的通气组织,根部空气可以通过通气组织与大气直接交换,因而水稻可以在长期保持接近饱和含水量的土壤中生长。但若地面积水过深,也会因光照不足、养分摄取困难,分蘖受到抑制,抽穗成熟延迟,引起减产或植株死亡。

1.2.3.2 农田水分状况对土壤热状况的影响

水的比热为 1,为空气比热的 3 300 倍,为干土比热的 4 ~ 5 倍。因此,土壤中的水分含量与空气含量的对比关系直接影响到土壤的热状况,包括热容量、导热性及土壤温度。土壤含水率不

同,土壤热容量也不同(见表 1-3),相应地,土壤温度升高或降低的程度也就不同。

表 1-3 不同含水率土壤热容量 (单位:cal/dm³)

土壤	含水率(体积%)				
	0	20	50	70	100
沙土	302	385	510	592	717
黏土	240	357	532	648	823
腐殖质	148	223	525	676	902

由此可见,在相同的太阳热量下,土壤含水率低,热容量小,土壤温度变化快,地温上升较高;反之,土壤含水率高,热容量大,土壤温度变化慢。土壤含水率过高或过低,土壤热状况对作物发育生长都不利。土壤含水率过低,在夏季白天,地温上升,温度高,蒸发量大,易造成作物萎蔫;在冬季,随气温骤然下降,土壤温度亦骤然下降,易使作物遭受冻伤。土壤含水率过高,在夏季,气温高,土壤温度不易下降;在冬季,气温低,土壤温度难以上升。因此,保持土壤有适宜的含水率,在夏季可以抑制地温,防止农作物因温度过高而萎蔫,在冬季则可调节地温,防止土壤温度骤然下降而使作物受冻害。土壤的导热性受土壤含水率的影响也很大,含水率愈低,导热性愈弱,土壤温度的日变幅和年变幅就增加;含水率高,导热性则较强,在冬季,土壤结冻较难,但若达到结冻程度后,冻土的深度就较大。因此,掌握水对土温的关系,就可以根据农作物不同时期对土温的要求,视天气温度变化情况,通过调节农田水分状况来调节土温。水稻田淹灌水层的深度不同,同样对田间温度(土温、水温及棵间温度)有显著的调节作用。

1.2.3.3 农田水分状况对土壤养分状况的影响

农田水分状况影响着土壤通气和热状况,土壤水分、通气、热

状况又共同影响着土壤中的养分状况。土壤中的养分一般有速效性养分和迟效性养分两种形态。速效性养分易溶于水从而为农作物所吸收;迟效性养分存在于难溶于水的矿物质和复杂的有机质中,需经过水分溶解、水化、水解及微生物等作用转化后才能为作物所吸收。特别是有机质的转化,与水分状况的关系更为密切。有机质的转化有两个主要方面,即有机质的矿质化和有机质的腐殖质化。若土壤水分较少,通气状况较好,好气性微生物活动活跃,有机质能迅速地矿质化,供作物吸收利用。但此时嫌气性微生物活动不活跃,不利于腐殖质的形成和积累,土壤干旱,水分过少,矿质化了的养分也不能为农作物所利用。若土壤水分过多,通气状况差,嫌气性微生物活动活跃,好气性微生物活动受到抑制,有机质分解慢,而且不完全,使中间产物堆积而不能迅速矿质化,其中一些矿物质元素呈还原状况,如硫还原成硫化氢(H_2S),铁还原成亚铁(Fe^{2+}),会直接毒害作物根部,并对土壤肥力不利。因此,经常保持适当的土壤水分状况,可以使土壤的通气适当,好气分解与嫌气分解同时协调进行,有利于有机质的分解和转化,使之有利于作物吸收和培肥土壤。

1.2.4 土壤含水率的测定方法

土壤含水率又叫土壤湿度,是指土壤中所含水分的多少。土壤含水率的表示方法通常有以下几种:

(1)以占土壤质量的百分数表示,其计算公式为:

$$\text{土壤含水率(质量\%)} = \frac{\text{水重}}{\text{干土重}} \times 100$$

(2)以占土壤体积的百分数表示,其计算公式为:

$$\text{土壤含水率(体积\%)} = \frac{\text{水分体积}}{\text{土壤体积}} \times 100$$

土壤含水率(体积%) = 土壤含水率(质量%) $\times$ 土壤容重

(3)以占土壤孔隙的百分数表示,其计算公式为:

$$\text{土壤含水率(孔隙\%)} = \frac{\text{水的体积}}{\text{孔隙体积}} \times 100$$

(4)以占田间最大持水量的百分数表示。田间最大持水量是灌水后土壤所能保持水分的最大数量,用土壤含水率(质量%)与田间最大持水量(质量%)的比值,便可算出占田间最大持水量的百分数,其计算公式为:

$$\text{土壤水分占田间最大持水量百分数} = \frac{\text{土壤含水率(质量\%)}}{\text{田间最大持水量(质量\%)}} \times 100$$

一般农作物在相对含水量为 60% ~ 80% 时,生长情况良好。

(5)以水层厚度表示。在实际工作中,为便于使土壤所含实际水量与降水量、蒸发量、作物耗水量相比较,常将一定深度土层中所含水量换算成水层厚度(mm)来表示,其换算公式为:

$$\text{水层厚度(mm)} = \text{土壤深度(mm)} \times \text{土壤含水率(容积\%)}$$

土壤含水率的测定方法较多,常用的简易测定法是烘干法,即按照农作物根部生长深度,在田间分层采取土样,一般 20 cm 为一层,每个取土点取土样 3 ~ 5 个,放在事先准备好的铝盒内,用天平称量,求出湿土重,然后放到 105 ~ 110 °C 的恒温箱中烘烤 6 ~ 8 h,冷却后再用天平称重,得出干土重,利用下列公式计算土壤含水率:

$$\text{土壤含水率(质量\%)} = \frac{\text{湿土质量} - \text{干土质量}}{\text{干土质量}} \times 100 = \frac{\text{水分质量}}{\text{干土质量}} \times 100$$

我国北方地区的劳动群众,在生产实践中,通常根据土壤墒情来判断土壤含水情况,以作为播种、灌溉和耕作前的必要依据。土壤墒情的分类及野外识别方法如下:

(1)黑墒(饱墒)。颜色深暗,含水率大于 20% (质量比,下同),手捏成团,扔在地上不散开,手上有明显水迹。黑墒含水率高,土壤空气少,为播种上限,能保证农作物出苗。

(2)合墒(褐墒)。颜色黑黄发褐,含水率为 15% ~ 20%,用

手捏成团,手有湿印,扔在地上散成大块,水分、空气比例适宜,是播种、作物生长及耕作最好的墒情。

(3)黄墒。颜色浅而发黄,呈现土粒本色,含水率为12%~15%,用手捏也可成团,抛落在地分散成土花,手上微有湿印,有凉爽感,播种能出苗,亦能勉强维持农作物生长发育对水分的需要,需注意保墒。

(4)灰墒。颜色浅灰黄,含水率约为8%,捏之不能成团,播种不易出苗,夏季农作物生长发育受阻。

(5)干土。颜色淡浅,含水率在5%~6%以下,土壤散碎,呈干土块或干土面,含水量过低,不宜播种,也不宜耕作。

1.3 农作物的需水规律

农作物从播种到收获的全生长过程中,不断地从土壤中吸收水分,用以维持其生理需水和生态需水。农作物生理需水是指农作物生长过程所进行的各项生理活动(如蒸腾作用、光合作用等)所需要的水分,农作物生态需水是指维持农作物正常生长必须的外部条件所需要的水分。通常所说的农作物需水量包含生理需水和生态需水两部分。

农作物需水量的大小及其变化规律取决于气象条件(如日照、温度、湿度、风速、气压、降水等)、作物种类和品种特性、土壤性质以及农业耕作技术措施等,这些因素对农作物需水量的影响是相互联系、错综复杂的。各种作物的需水量是各不相同的,同一作物在不同地区、不同水文年份、不同栽培措施下也有出入,但又有其一定的变化规律和大致的变化范围。农作物需水量一般情况是:干旱年份比湿润年份多,干旱、半干旱地区比湿润地区多,作物生长期长的比生长期短的多,耕作粗放的比耕作精细的多。以冬小麦正常畦灌用水为例:在华北地区,干旱年份小麦需水量为