



农村科学实验丛书



农田灌溉

(第二版)

范逢源 王文元 编著

科学出版社

农田灌溉

(第二版)

范逢源 王文元 编著

科学出版社

1986

内 容 简 介

为配合农田灌溉事业的迅猛发展,迎接新技术革命高潮的到来,本版对1978年第一版内容做了较大的增删改动,增补了新事例和新成果,介绍了新经验和新技术。全书主要就农作物和水、科学灌溉和灌溉试验等三方面,概括介绍了农田灌溉基本知识、稻麦棉的科学用水和一些灌溉试验的具体方法等。书末还附有从事农田灌溉试验的常用资料和查对表。本书可供具有中等文化程度的广大农民、青年和基层干部,特别是农村科学实验小组成员参考。

农 田 灌 溉

(第 二 版)

范逢源 王文元 编著

责任编辑 王龙华

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

北京市通县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978年4月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1986年2月第 二 版 印张: 8⁵/₈

1986年2月第二次印刷 字数: 194,000

印数: 23,141—25,040

统一书号: 13031·3089

本社书号: 4811·13—12

定价: 1.60元

《农田灌溉》第二版出版说明

本版是在1978年第一版的基础上增订的。为适应当前农业生产飞速发展的形势，迎接新技术革命高潮的到来，对第一版内容做了较大的增删更改：删除了陈旧的资料和繁琐的记述，增补了新事例和新成果，介绍了新经验和新技术，特别是在灌溉试验部分，对各主要试验方法和量测技术做了更详尽的论述，扩充了气象资料观测方法和技术要求的篇幅，新增了试验数据统计分析整理的内容，并在附录中列出了灌溉试验站常用仪器设备清单。目前全国各地陆续恢复和新建了一些灌溉试验站(所)，农田灌溉试验研究工作正在稳步进行。本书第二版的发行，必将有利于灌溉试验工作的进一步深入开展，同时也为从事这方面工作的科研、生产和教学人员提供一本有益的参考书。

另外，本版还将原来的集体署名恢复为签署编著者本人的姓名。

前 言

我国是世界上灌溉事业历史最悠久、最发达的国家之一，数千年来，在与水旱灾害作斗争中，不仅兴建了许多闻名中外的农田水利工程，而且在农作物合理用水、科学灌溉方面也积累了丰富的经验。但是在建国前，特别是国民党反动统治时期，历史上修建的水利工程逐渐废弃，灌溉事业受到严重破坏，致使洪涝旱碱灾害日益严重。

建国以来，在中国共产党的正确领导下，我国农田水利事业也和其他建设事业一样，获得飞速发展。截止到1983年底，全国已建成万亩以上灌区5,288处，灌溉面积发展到72,819万亩；机电排灌动力增长到7,876万马力；北方机井发展到241万眼；建成各类水闸24,906座，修建大中小型水库86,000座，总库容达4,200亿立方米，塘坝619万处；整修、新修江河堤防、圩垸和海塘达17万公里；全国四分之三的易涝面积、北方近三分之二的盐碱地、南方近一半的冷浸低产田得到了初步治理改造，水土保持工作也有了新的发展。这些都为我国社会主义农业蓬勃发展打下了坚实的物质基础。

随着我国农业现代化建设的深入开展，农业科学技术的逐步普及推广和大农业内部结构的不断改革，农田灌溉事业将更加迅猛发展，灌溉面积必将大幅度增加，科学用水的技术水平也亟待进一步提高。因此，认真总结群众经验，积极推广先进科学技术，深入开展农田灌溉试验研究，提出一套切实可行的、高产省水低成本的农田灌溉技术措施，是摆在我们面前的一项十分重要的任务，必须抓紧做好。

为了配合上述工作，本书就农作物和水、科学灌溉和灌溉试验等三方面，概括地介绍农田灌溉基本知识、科学用水的先进经验和一些观测试验的具体方法。书中科学用水部分，仅介绍了稻、麦、棉三种主要作物，水稻偏重于南方，小麦和棉花偏重于北方。限于篇幅，本书没有涉及到灌排渠系和涵闸工程方面的问题，有关内容请参考其他专业书籍。

在本书编写过程中，得到王天俊副教授的热情支持和具体指导，特此致谢。

限于编著者的理论水平和实践经验，书中难免存在一些缺点错误，希望同志们批评指正。

目 录

前言

一、农作物和水

(一)水与作物生长发育的密切关系..... (1)

1.水对作物生长的重要性 (1)

2.作物对水分的吸收 (3)

3.作物体内水分的消耗 (7)

(二)作物需水特性..... (10)

1.作物需水的一般规律 (11)

2.水分不足对作物的影响 (13)

3.水分过多对作物的影响 (16)

4.农作物对水质的要求 (19)

(三)土壤水分状况及其调节 (23)

1.土壤水分的形态 (23)

2.土壤水分状况指标 (26)

3.土壤水分的平衡 (29)

4.土壤水分的调节措施 (32)

二、科学灌溉

(一)农作物的科学用水 (39)

1.水稻的科学用水 (39)

2.小麦的科学用水 (48)

3.棉花的科学用水 (57)

(二)合理的灌水方法 (63)

1.地面灌溉 (64)

2.喷灌 (73)

3.滴灌 (83)

4.渗灌 (91)

三、灌溉试验

(一) 概述	(94)
1. 农田灌溉试验的基本要求	(94)
2. 试验田规划布置	(96)
3. 试验的处理与重复	(101)
(二) 灌溉制度试验	(109)
1. 旱作物灌溉制度试验	(110)
2. 水稻灌溉制度试验	(129)
(三) 作物需水量试验	(137)
1. 旱作物需水量试验	(137)
2. 水稻需水量试验	(150)
3. 需水量试验资料的整理与分析	(153)
(四) 常见的三种专题试验	(164)
1. 排水效果观测试验	(164)
2. 喷灌机喷水性能试验	(173)
3. 渠道防渗试验	(181)
(五) 灌溉试验中的量测技术	(189)
1. 流量观测	(189)
2. 土壤水分观测	(203)
3. 气象观测	(214)
附录一、常见的天气预报用语	(226)
附录二、风力等级	(229)
附录三、二十四节气	(230)
附录四、大气层外圈接收的太阳辐射能量	(232)
附录五、最大(理论)日照时数	(233)
附录六、砂砾分类鉴定	(234)
附录七、野外土壤质地指感法鉴定标准	(235)
附录八、盐碱地分区参考指标	(236)
附录九、潜水矿化度划分标准	(237)
附录十、各种岩层(土层)给水度	(238)

附录十一、各种土壤渗透系数近似值	(239)
附录十二、几种土壤的容重和田间持水量	(240)
附录十三、土壤蓄墒能力	(241)
附录十四、土壤含水量与蓄水量查算	(242)
附录十五、水深与每亩灌水量换算	(247)
附录十六、灌水量查算表	(248)
附录十七、单喷嘴摇臂式喷头的基本参数	(250)
附录十八、各种气象仪器安置要求	(253)
附录十九、几种灌溉试验常用仪器设备	(255)
附录二十、单位换算	(260)

一、农作物和水

(一)水与作物生长发育的密切关系

俗话说：“有收无收在于水，多收少收在于肥”，“水是命，肥是劲”。因此，为了做到科学用水，合理灌溉，进而达到农作物的高产稳产，搞清作物和水的关系是十分必要的。

1. 水对作物生长的重要性

水分与作物生命活动的关系十分密切，缺乏水的供应，农作物的生长发育就会受到严重影响，甚至造成死亡。水对作物生长的重要性可以概括为以下几方面：

(1) 水是作物体最大组成部分 作物体内含水比重是相当大的，通常为其鲜重的80%左右，其中叶子含水占叶重的80~95%，根部为70~80%，只有风干的成熟种子含水较少，约占粒重的10~15%。作物种类不同，器官部位和所处环境不同，其含水量也有较大差异。一般说来，水生作物比陆生作物含水量大，低湿遮荫地方生长的作物比干燥向阳地方生长的作物含水量大，同一作物，幼嫩而生长旺盛的器官比衰老坚实的部分含水量大。作物细胞也只有在吸水后，才能保持其固有形态，使植株挺立，叶片伸展，以便正常而顺利地进行各种生理活动，包括光合作用、呼吸作用和蒸腾作用等。

(2) 水是作物制造养分的原料 绿色植物本身制造

养分主要靠光合作用。光合作用是植物的叶绿素利用太阳光能，同化二氧化碳和水，制造碳水化合物，并释放出氧气的过程。水是光合作用的原料，当叶片接近水分饱和时，光合作用进行得最为顺利。当叶片缺水达作物体正常含水量的10~12%时，就使光合作用开始降低；当缺水达20%时，光合作用即显著受到抑制。绿色植物的光合作用完成着自然界大规模的物质转变，它把无机物质转化为有机物质，不仅用以构成植物体本身，同时也为异养生物制造了碳素营养和生活资料。我们人类吃饭、穿衣以至其他日用物质的绝大部分都是直接或间接由光合作用所提供的。同时，它还产生为人和动物呼吸及燃烧所必需的氧气。现在地球大气中的氧气差不多全是由光合作用而来的。

(3) 水是作物体内运输养料的“血液” 动物体内营养物质的运送靠血液，植物体内养料的运输则是靠水分，可以说，水就是作物体内运输养料的“血液”。施到田中的肥料，必须首先溶解在水里变成土壤溶液，才能被作物根部吸收并运输到其他部分。作物光合作用原料之一的二氧化碳，也必须先溶解在水中成为碳酸再渗入叶肉细胞内。同样，作物叶片制造的有机物质，要以水溶液状态，借助体内输导系统，才能输送到消费和贮藏器官里去；种子发芽后，要把种子里贮藏的营养物质加以水解后，才能输送到幼芽中去，以供幼苗生长需要。如果作物体内缺水，就会阻碍物质的上下运输，影响作物正常生长。

(4) 水可以调节作物生活的环境 由于水有很大的热容量(比空气大3300倍)，灌溉后土壤热容量也随着增大，因此灌后土壤，白天温度不容易很快升高，而夜晚温度下降也较慢。同时，又因为水的导热性强，白天在灌溉土壤上太阳辐射热能很快传递到土壤深处，夜间当地面散热冷却时，

土壤深层热量可源源不断地补给地面。因此，灌溉土壤比非灌溉土壤白天温度低，而夜间温度高，昼夜温差变化小。另一方面，灌溉后土壤水分增多，蒸发量增大，由于水的汽化热大，在蒸发过程中，势必吸收土壤水分的大量热量，这也是灌溉土壤白天温度较低的原因之一。水分的这一特性被广泛地应用于北方麦田冬灌防冻、南方早稻田灌水增温和晚稻田灌水降温等方面，对改善作物生活环境有重要作用。

总之，水分对作物的生命活动起着多方面影响。它除了直接作用于作物生理过程外，还影响着作物的生态环境，例如调节土壤温度、影响肥料的分解、改善田间小气候等等。农业生产上的合理用水，必须保证作物体内和生活环境都具有良好的水分条件。

2. 作物对水分的吸收

(1) 根系的吸水 作物的根、茎、叶都具有不同程度的吸水性能。但是，茎叶的吸水只有在较潮湿的环境条件下才能进行，且吸收的水量是极其有限的，在水分供应上没有什么重要意义。吸收水分的主要部分是作物的根系。根系吸水最多和最活跃的是根的幼嫩部分，特别是根尖的根毛区。根毛是表皮细胞向外突出形成的，它与土壤颗粒紧密粘接，因此从土壤中拔起作物时，根毛很易拉断。我们把小麦种子放在湿润的培养皿中发芽，就可清楚地看到幼根尖端有白绒毛状的根毛。据观测统计：在一平方毫米的豌豆根上，有二百多条根毛；玉米的根毛则有四百多条。若把一株作物的根系和根毛一根根连起来，其长度可达数十公里甚至上万公里。作物根系的表面积可超过其地上器官表面积一百多倍。这样数量繁多的根毛，每条都像一台“微型水泵”，不停地从土壤

中吸收水分，以保证作物生长发育的需要。

那么，水分是怎样被作物根系吸收的呢？这就要从渗透作用讲起。

溶液中的溶剂和溶质由于分子运动，有从浓度高的地方均匀分布到浓度低的地方的趋势，这种现象，叫做扩散作用。例如，放一点儿食盐到一杯水里，由于分子运动，不久盐分便扩散到整杯水中，结果成为均匀的盐溶液。这就是溶质(食盐)在溶剂(水)中扩散的结果。渗透，则是扩散的一种特殊形式。如用一个只允许溶剂分子(水)而不允许溶质分子(盐)通过的半透性膜，将盐溶液和水隔开，这时水会通过半透性膜进入盐溶液中，使盐溶液体积增大，浓度降低。这种溶剂分子通过半透性膜的扩散就叫做渗透。将两种浓度不同的溶液用半透性膜隔开，也可发生渗透现象。其结果是溶剂从浓度小的一方朝浓度大的一方扩散。水分子运动时对隔膜产生的压力称为渗透压。溶液的渗透压与它的浓度成正比，即溶液浓度越大，渗透压也越大。

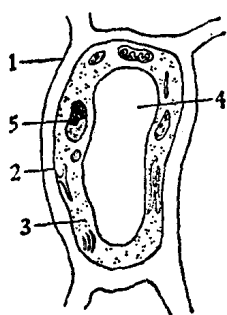


图1-1 植物细胞结构示意图

- 1.细胞壁 2.原生质膜
3.原生质 4.液泡 5.细胞核

成长的植物细胞(植物细胞结构见图1-1)是一个渗透系统。整个原生质层(包括原生质膜、中质、液泡膜)就是一种具有相对选择性的半透性膜。它允许水分子通过，而溶质分子只可选择通过。细胞的液泡中溶解有许多有机和无机物质，具有较高的浓度，因而有一定的渗透压。当这种细胞处于浓度较低的土壤溶液中时，便会发生渗透现象：水分通过细胞的原生质层向细胞内部渗透。渗透压的一般值：淡水生作物1~3个大气

压，普通陆生作物 5 ~ 10 个大气压，盐生作物 60 ~ 80 个大气压，沙漠旱生作物可达 100 个大气压。

根系吸水比单个细胞吸水过程要复杂，一般细胞在为水饱和的情况下就会停止吸水，而根系的吸水则不受此种限制。这是由于作物根系吸水的压力和叶片蒸腾拉力综合作用的结果。根系的整个吸水过程包括主动的吸水过程（生理过程）和被动的吸水过程（机械过程）。主动吸水过程主要靠根压的作用来完成。根系从土壤里吸收水分，并把水分向上压送传导到地上部分各个器官，这种推动力量称为“根压”。大多数作物的根压不超过 1 ~ 2 个大气压。如将南瓜藤或向日葵茎在离地面 2 ~ 3 寸处切断，就可发现有较多的清液从切口处流出来，这一现象称为“伤流现象”，它证明了有根压的存在。根压是根系吸水的主动力量。土壤水被根系吸收，首先是因为根系表皮细胞具有一定的吸水力，能借渗透作用，从浓度较低的土壤溶液中吸水。其次由于从根毛到根的中柱有许多层皮层细胞，越是内层细胞，水分越不饱和，其吸水力也越大，使水分进入根系后，就由外向内移动，再由根压的力量把水压入导管，使水分上升。根系吸水情况见图 1-2。

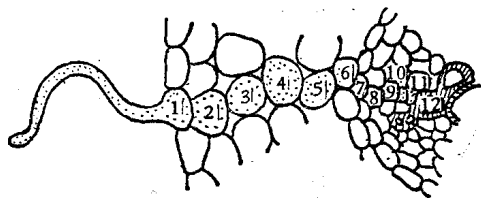


图1-2 根部吸水情况

1. 根毛 2~6. 皮层薄壁细胞 7. 内皮层 8. 中柱鞘 9~11. 中柱薄壁细胞 12. 根部导管

根系的被动吸水过程，是靠作物地上部分尤其是叶子的蒸腾作用所引起的蒸腾拉力来完成的。在蒸腾作用下，叶内

细胞不断失水，使其吸水力增大，于是就不断地从导管里吸水。由于导管里的水分是个连续的水柱，因此水柱不断被拖曳上升，引起根部细胞水分不足，吸水力进一步增加，从而促使根毛不断从土壤中吸收水分。

根系这两种吸水过程，对不同作物，不同外界条件下，所起作用是不一样的。一般说，植株高大的作物、蒸腾作用较强烈的作物以及干热季节，被动吸水是作物体内取得水分补偿的主要方式。幼小作物或蒸腾作用微弱的季节与夜间，根部的主动吸水过程则是主要的。

(2) 土壤状况对根系吸水的影响 根系的吸水受外界环境的影响很大。因为根系直接与土壤接触，土壤状况(条件)就成为影响作物根系吸水的主要因素。

1) 土壤含水量：一般说来，土壤含水量越多，根系吸水越容易。随着土壤水分的减少，水分子与土壤颗粒间的吸着力越来越大，因此土壤持水力增加，土壤水分流动速度变缓，根系吸水就越加困难。

2) 土壤温度：土壤温度的高低对根系吸水有显著的影响。高温能加速根的老化，使根的木质化部位几乎达到尖端，吸收面积减少，吸收速度也下降。当土温大于 40°C 时，根系的新陈代谢协调性受到破坏，从而抑制根系的吸水。当土壤温度降低时，也会引起根系吸水困难，例如当温度从 25°C 降到 10°C 时，棉花的吸水力就从100%降到20%。低温造成吸水减少的原因，主要是由于在低温条件下，土壤水的粘滞性增加，扩散速度降低，根部细胞原生质粘性增大，透性减小，有时甚至形成凝胶状态，水分通过原生质的阻力就会很大。同时，低温还会使根系吸水部分的细胞新陈代谢强度减小，特别是降低其呼吸作用，因此也减弱了吸水能力。

一般作物在土温 $0 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 的范围内，水分进入根系的速

度随着温度的升高而增加，因此，在夏季炎热的中午不可用过冷的水灌溉作物，否则土温会骤然降低，使根系吸水困难，而蒸腾作用仍很强烈，造成水分“供不应求”，发生有水不能吸收利用的生理干旱现象。

3) 土壤通气状况: 土壤中的氧气含量对根系吸水非常重要。当土壤通气不良时，土中二氧化碳含量增多，氧气不足，根系呼吸作用受到抑制，也就影响根系吸水。试验证明，用二氧化碳处理根部，可使水稻、小麦和玉米幼苗吸水量降低14~50%，其中以水稻尤为显著；如通以氧气，则吸水量明显增加。因此，必须通过耕作、灌溉、排水等措施，促使土壤气体交换，使根系发育良好，保证顺利吸收水分。

4) 土壤溶液浓度: 如前所述，根系吸水多少与细胞液浓度和土壤溶液浓度有关。当细胞液浓度不变时，土壤溶液浓度越低，细胞壁渗透压越高，就越能从低浓度的土壤溶液中吸水。如果施肥过多或土壤含盐量过大，就会提高土壤溶液浓度，相应地减少了渗透压，造成作物根系吸水困难。在这种情况下，要提高作物根系吸水能力，确保农业丰收，就必须加大灌水量和灌水次数，以便维持较高的土壤含水量，从而降低土壤溶液浓度。因此，施用化学肥料时切记不宜过量，以免根系吸水困难，产生“烧苗”现象。

3. 作物体内水分的消耗

(1) 作物的蒸腾作用 水分由根系进入作物体内之后有三个去向，一是用于构造作物体本身；二是消耗于光合作用生理过程中；三是通过叶面气孔向大气散发掉。科学试验表明，作物吸水的99%以上是用来补偿蒸发的，只有不足1%的水量才真正用于作物生理过程和保留在作物体内成为

组成部分，可见，通过作物枝叶向大气散发，是作物水分消耗的主要途径。

作物水分的蒸发过程，称为蒸腾作用。这部分的消耗水量，就是蒸腾量。蒸腾是由液态水变为汽态水的过程，但它不同于单纯水的蒸发，在这里，水分是通过生活着的作物体而蒸发掉的，作物体无论在形态构造上或生理机能上对这种蒸发过程都有所调节，有所适应。因此，它是一种复杂的综合性的生理过程。

作物体通过叶面蒸腾消耗了大量水分。这些水分从表面上来看，似乎没有什么意义，尤其在干旱条件下，由于蒸腾作用的连续进行，会使作物失去大量水分，又因不能及时得到补偿，使生长受到抑制，甚至招致死亡。但在正常生活条件下，蒸腾作用不仅是完全必需的，而且还给作物带来许多有利的影响：（1）它是作物对水分吸收和运输的一个原动力，能保证作物连续不断地吸取水分，并运送到较高的部位；（2）蒸腾能促进作物体内水分的循环。根部吸收的无机盐亦能借蒸腾引起的水分流动，分配到作物体的各部分；（3）一克水变成水蒸汽需要580卡能量，因此，蒸腾能降低作物体温，使作物在强烈的日光下进行光合作用时不致灼伤；（4）能促进作物体内某些正常的生理活动，例如蒸腾时气孔开张对吸收二氧化碳制造有机物质是有好处的。所以蒸腾作用是作物主要的生命活动之一，没有蒸腾也是不行的。

（2）影响蒸腾作用的因素 影响作物蒸腾作用的因素很多，概括起来包括两个方面，即作物本身特性和外界条件的影响。

1）作物本身的特性：不同的作物，由于生长季节和生育期长短，以及叶面积大小、气孔数目的不同，蒸腾作用有很大差异。如叶大而柔软的作物蒸腾量大，叶小而角质层或蜡