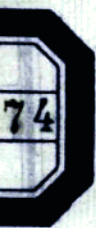


初级水利技术培训教材



灌溉与排水

李恩羊 编



吉林科学技术出版社

前 言

“水利是农业的命脉”。建国以来，在各级党委的领导下，依靠群众，民办公助，修建了成千上万处小型农田水利工程，它们在防洪除涝、发展灌溉、养鱼、发电、人畜饮水、多种经营、水土保持等方面都发挥了很大作用。

为了进一步加强农田水利建设和管理，提高基层水利技术人员的业务素质，以适应当前农村联产承包责任制的新形势，满足农业发展的需要，开创农田水利工作的新局面，我们受吉林省水利厅委托组织一批省内外水利科技、教学、科研工作者，编写了这套《初级水利技术培训教材》（共十四种），使其既可供基层水利工作的领导干部和具有初中以上文化程度的水利技术人员阅读参考，又可作为乡镇水利人员培训教材。

这套丛书在编写中力求理论联系实际，深入浅出，简明扼要，通俗易懂，学以致用。为了把书编好，不少作者深入实际，调查研究，总结经验，几易其稿，在提高书籍质量上下了不少功夫。尽管如此，我们深感经验不足，时间仓促，难免存在缺点和错误，热忱希望读者提出宝贵意见，以便再版时加以修改。

本书在编写过程中得到省内外许多专家和学者们的指导与帮助，谨致谢意。

吉林省水利科技情报中心站

一九八五年十月

目 录

第一章 农田水分状况与作物的关系	1
第一节 水在作物生理生态中的作用.....	1
第二节 农田土壤水分类型及有效性.....	6
第三节 土壤水吸力.....	21
第四节 农田水分状况的调节.....	32
第二章 怎样确定作物需水量	36
第一节 什么叫作物需水量.....	36
第二节 作物需水规律.....	37
第三节 作物需水量试验.....	41
第四节 作物需水量估算方法.....	49
第三章 如何制定作物灌溉制度	54
第一节 基本方法.....	54
第二节 水稻灌溉制度.....	56
第三节 旱田作物灌溉制度.....	68
第四章 田间灌水方法和技术	76
第一节 地面灌溉.....	76
第二节 喷灌和滴灌.....	83
第三节 地下灌溉.....	89
第五章 农田排水概论	93
第一节 排水土地类型.....	93
第二节 排水方法.....	99
第三节 排水标准.....	103
第六章 明沟排水	110

第一节	除涝用的排水沟	110
第二节	调控地下水的排水沟	115
第三节	截流沟	119
第七章	暗管排水	124
第一节	暗管排水系统的组成	134
第二节	吸水暗管材料及滤包料	125
第三节	吸水暗管的埋深与间距	131
第四节	暗管排水系统布置	134
第五节	暗管系统的维护	136
第八章	竖井排水	140
第一节	竖井排水的作用	140
第二节	竖井规划	144
第三节	竖井配套	148
第四节	井的管理与维修	151
第九章	农田基本建设规划	154
第一节	田间灌排渠系规划	154
第二节	土地平整规划	161
第三节	道路、林网规划	170
附录 I	常用单位及换算表 (附表1)	176
	II. 水深与每亩、每垧水量换算表 (附表2)	176
	III. 土壤含水量与土层内的蓄水量 查算表 (附表3)	177
	IV. 田间梯形沟渠断面及水力 要素表 (附表4)	179
	V. 农田灌溉水质标准 (中华人民共和国 国家标准 T J24-79)	180

第一章 农田水分状况与作物的关系

水既是作物生活的基本条件，又是土壤肥力的重要因素，因此农田水分状况与作物有十分密切的关系。通过农田灌溉排水措施可以直接调节和控制农田水分状况，还可以间接调节和改善作物生长的其它要素和外界环境，从而可促使作物稳产高产。

要使农田灌溉排水技术获得良好的效益，必须首先了解农田水分状况与作物的关系。

第一节 水在作物生理生态中的作用

一、水在作物生理活动中的作用

(一) 水是作物有机体的重要组成部分

凡是生长着的作物都含有大量水分。一般农作物植株的含水率为60~80%，蔬菜和块根作物可高达90~95%以上。当作物细胞贮存有较多水分时，才会有旺盛的代谢作用。如果细胞中水分亏缺，代谢作用就会减弱，严重时甚至会使作物死亡。此外，水分还能保持作物的固有形态，使植株挺立，叶面伸展，便于各个器官进行正常的生理活动。

(二) 水是作物制造有机物质不可缺少的原料

作物的生长过程，就是体内有机物质不断积累的过程。绿色植物具有一种其它生物所没有的特殊本领，它能利用空气中的二氧化碳(CO_2)和从土壤中吸取的水，在太阳光照射下，制成各种各样的有机物质。这个制造有机物质的过程，叫光合作用。如图1-1所示，叶子就好象是个“绿色工厂”，叶绿素是工厂的“主机”，太阳的光和热是“动力”，空气中 CO_2 和通过根从土壤中吸取的水分是“原料”，最后的产品就是有机物质。

直接参与光合作用的水分数量并不很多，然而叶面为了从空气吸入 CO_2 ，需要张开气孔，这就会使植物体内的水分通过气孔大量散失于空气中，每生成1克有机物质约需散失水分500克。合理的灌溉排水技术，既要能满足光合作用所必需的水分，又要能提供叶面蒸散所需的水分。

(三) 水是良好的溶剂和输送养分的工具

作物体内的一切代谢作用，都必须在水中进行的。矿物质

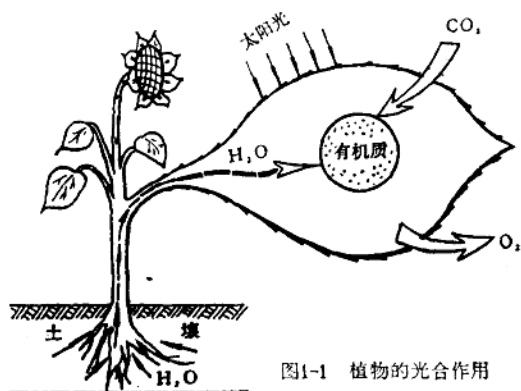


图1-1 植物的光合作用

必须溶解于水中，才能被作物根系吸收。作物体内的养分输送也要借助于水的作用。如果作物体内缺水，抑制了对养分的吸收和输送，作物就不能进行正常的生理活动，因而影响作物生长发育。

二、水对作物生活环境的影响

农田水分不仅能直接参与作物生理活动，而且还影响作物生活环境。作物生活环境主要是指给作物提供水分和养料的土壤和农田气候条件。

(一) 水对土壤空气及热状况的影响

土壤中水分的多寡，直接影响着土壤的通气状况。在土壤孔隙中，水和空气各占一定空间，水多空气就少，二者经常处于矛盾状态。如土壤含水过多，则空气较少，便会影响作物根部的呼吸。长期氧气不足，作物便会因乙醇积累而中毒。一般旱田作物，地面积水1~2天，便能影响其正常生长，积水过久或过深，就会死亡。水稻属喜水作物，其根、茎、叶间有较畅通的通气组织，根部可经过通气组织与大气连接，进行气体交换。因而稻田土壤可较长时间维持饱和，允许田面上建立水层。但是，水稻也“怕水”，淹水过久或过深，也会因光照不足，土壤条件恶化，而引起减产甚至死亡。

水的比热为1.0，为空气的3300倍，为干土的4~5倍。水的导热率也较高，比空气大25~30倍。因此，湿土在白天的温度不易升高；夜间气温下降时土温也不会很快下降。干土则相反，白天土温易升高，夜间也易下降，昼夜温差较大。在生产实践中，可通过灌溉排水措施，“以水调温”，

以适应作物生长需要。例如水稻育秧时，遇到阴冷天气，采取白天排水晚上灌水，使土壤温度少受气温剧烈变化的影响，保护秧苗不受冻害。夏日灌水，则可以降低土温或抑制土温上升。

（二）水对土壤养分状况的影响

作物根系从土壤中吸收养分，必须以水作媒介。只有在适当的土壤湿度条件下，土壤养分才能为作物利用。在水分和其它条件的综合作用下，存在于矿物质中的不溶性养分，经过溶解、水化、水解，以及微生物作用，才能变成作物可以吸收的速效养分。有机质中的养分也只有土壤通气良好，好气性微生物活动不受抑制的条件下，才能被分解成简单的溶于水的无机盐，从而为作物吸收利用。如果水分过多，则通气不良，嫌气性微生物占优势，这样有机质的分解就很缓慢，同时还会产生和累积大量有机酸、醇、酮等中间产物和硫化氢、甲烷等还原性物质，对作物产生毒害。在嫌气性微生物为主时，硝态氮（速效肥）还容易受反硝化细菌的作用变成氮气逸出土壤。可见水对土壤养分状况有很大影响，合理灌溉和排水，可以起到“以水调肥”、促进养分分解和转化的作用。

（三）水对农田小气候的影响

农田小气候通常指距地面1.5~2.0米以下空气层的温度、湿度、光照和风的状况，以及土壤表层的水、热状况等。它是作物生活的重要环境条件，可以直接或间接地影响作物的生长发育。

通过灌溉排水，在一定程度上可以改变农田小气候的状况。例如，高温季节利用灌溉可以提高空气湿度、降低田间

气温，使作物免受高温和干热风的危害；低温季节，通过灌溉可以提高土温和气温，防止霜冻灾害。

三、水质对作物的影响

水与作物的关系，不仅表现在水量上，而且也表现在水质上。水的物理、化学性状，水中含有物质的成分及数量，都可能给作物的生长和发育带来不同程度的影响。

灌溉水的温度对作物有着颇大的影响。水温偏低，会抑制作物生长；水温过高，会降低水的含氧量，提高水中有毒物的毒性，因而也会影响作物的正常生长。一般麦类作物的最适水温为15~20℃，水稻的最适水温为20℃左右。

作物的耐盐能力有一定限度，因此灌溉水中不应含有过多的盐分。水中含盐过多，就会增加土壤溶液浓度，使作物吸水困难。

此外，灌溉水中也不应含有过量的有毒物质，如重金属的汞、镉、铬，非金属的砷，以及氰和氟等。

灌溉水质对生态环境影响极大，故必须符合国家颁布的标准（见附表5）。

综上所述，作物与农田水分状况有着十分密切的关系，因此可以通过改变农田水分状况给作物生长创造有利条件。选用的灌溉排水技术，不仅要能适时适量地提供作物各阶段的生理需水，而且还要做到以水调气、以水调温、以水调肥和调节农田小气候，以满足作物生态需水。在满足作物对水量要求的同时，还必须满足作物生长发育对水质的要求。

第二节 农田土壤水分类型及有效性

地面水、土壤水和地下水，是农田水分存在的三种基本形式。在一定条件下，这三种农田水分能够互相补充和转化。在这三种水分中，与作物关系最为密切的乃是农田土壤水分。

一、土壤含水量

(一) 土壤含水量的表示方法

土壤含水量又称土壤湿度，它是指一定量的土壤中含有的水分数量。土壤是一种由土粒、水和空气三相组成的多相介质。为了便于分析土壤各组成部分的数量关系，可用图

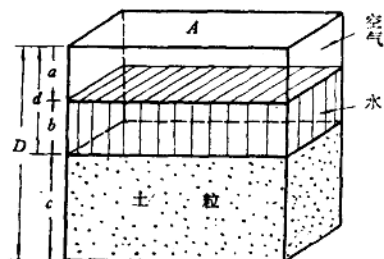


图1-2 土壤的三相组成

1-2表示土壤体，图中A为土壤体的水平面积，a、b、c分别表示空气、水和土粒的高度。土壤含水量可用一定容积土壤中三相物质含量的相对比例关系表示。如：

1. 以占土壤重量的百分数表示

$$\theta_w = \frac{\gamma_{\text{水}} \cdot b \cdot A}{\gamma_{\text{土粒}} \cdot c \cdot A} \times 100\% = \frac{\gamma_{\text{水}} \cdot b}{\gamma_{\text{土粒}} \cdot c} \times 100 \quad (1-1)$$

式中 θ_w 为含水量(率), 以占干土重的百分数表示; γ_w 、 $\gamma_{\text{土粒}}$ 分别为水和土粒的比重。

实际应用时, 并不需要量测 b 、 c 值, 而是直接用称重法称出土样烘干前、后的重量, 二者差值即为含水重量, 然后以含水重量为分子, 以烘干后的土重为分母, 即可算出 θ_w 值, 计算公式为:

$$\theta_w = \frac{\text{湿土重} - \text{烘干后的土重}}{\text{烘干后的土重}} \times 100\% \quad (1-1')$$

2. 以占土壤容积的百分数表示

$$\theta_v = \frac{b \cdot A}{D \cdot A} \times 100\% = \frac{b}{D} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 θ_v 为用容积百分数表示的土壤含水量(率)。

由于土壤水分的容积不容易直接测出, 所以实际应用中往往由含水重量推算含水容积; 或者由 θ_w 推算 θ_v , 其关系式如下:

$$\theta_v = \theta_w \cdot \gamma_{\text{土壤}} / \gamma_w \quad (1-3)$$

式中 $\gamma_{\text{土壤}}$ 为土壤干容重, 即单位土体中土粒的重量; γ_w 为土壤水的容重; 通常取 $\gamma_w = 1$ 克/厘米³。

3. 以水层厚度表示

$$\theta_d = \frac{b \cdot A}{A} = b \quad (1-4)$$

用水层厚度表示某一土层内含水量, 便于与降雨深度或作物蒸腾耗水进行比较。

θ_d 与容积含水量 θ_v 之间可用下式换算:

$$\theta_d = \theta_v \cdot D \quad (1-5)$$

式中 D 为土层厚度。

4. 以水分饱和度表示 当土壤孔隙全部被水充满时, 土壤含水量达到最大值。水分饱和度就是以这个最大值作基数的土壤含水量, 用公式表示为:

$$\theta_{sr} = \frac{b \cdot A}{d \cdot A} \times 100\% = \frac{b}{d} \times 100 \quad (1-6)$$

或写成

$$\begin{aligned} \theta_{sr} &= \frac{\text{水容积}}{\text{土壤孔隙容积}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{水容积}}{\text{土壤孔隙率} \times \text{土壤容积}} \times 100\% \quad (1-6') \end{aligned}$$

式中 土壤孔隙率是指土壤孔隙容积占土壤全容积的百分比。

〔例题〕 已知某农田的土壤干容重为1.3克/厘米³, 孔隙率为65%, 从田间取出土样100克, 烘干后称得重量为70克, 试求该土样的重量含水率 θ_w 、容积含水率 θ_v 及饱和度 θ_{sr} 各为多少?

解 根据上述公式

$$\theta_w = \frac{100 - 70}{70} \times 100\% = 43\%$$

$$\theta_v = \frac{30}{70} \times 1.3 \times 100\% = 56\%$$

$$\theta_{sr} = \frac{30}{0.65 \times \frac{70}{1.3}} = 85.7\%$$

〔例题〕 从某块玉米地里取出体积为10×10×10厘米的土样, 测得湿土重1460克。烘干后干土重为1200克。已知水

的比重为1.0克/厘米³，土粒比重为2.65克/厘米³，试求①重量含水率 θ_w ；②容积含水率 θ_v ；③以水层厚度表示的含水量 θ_d ；④饱和度 θ_{sr} 。

$$\text{解 } ① \theta_w = \frac{1460 - 1200}{1200} \times 100\%$$

$$= \frac{260}{1200} \times 100\% = 21.7\%$$

$$② \theta_v = \frac{(1460 - 1200) + 1.0}{10 \times 10 \times 10} \times 100\%$$

$$= \frac{260}{1000} \times 100\% = 26\%$$

$$③ \theta_d = \frac{(1460 - 1200) + 1.0}{10 \times 10}$$

$$= \frac{260}{100} = 2.6 \text{ 厘米}$$

$$④ \text{ 孔隙容积} = (10 \times 10 \times 10) - (1200 + 2.65) \\ = 1000 - 452.8 = 547.2 \text{ 厘米}^3$$

$$\text{水的容积} = (1460 - 1200) + 1.0 = 260 \text{ 厘米}^3$$

$$\text{所以 } \theta_{sr} = \frac{260}{547.2} \times 100\% = 47.5\%$$

(二) 土壤含水量的测定

准确地测定土壤含水量对于了解土壤水分状况，进行田间水分管理都是十分重要的。土壤含水量的测定方法很多，除了直接法外，还有一些间接的方法。

1. 重量法 这是目前唯一能直接测定土壤含水量的方法。此法原理是根据对土样失水干燥前后称得的重量，推求土壤含水量。按土样失水干燥方法不同，可分为烘箱法和酒

精燃烧法两种。

烘箱法 利用烘箱除去土壤水分，由烘干后土样减少的重量算出土壤含水量。具体步骤如下：取土样15~20克，迅速装入铝盆中，并盖好盒盖，在天平（感量0.01克）上称重。然后揭开盒盖，放入烘箱中，在 $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 温度下烘烤6~8小时。烘干后将土样置于底部有 CaCl_2 的干燥器中。待土样恢复到自然温度时，从干燥器中取出土样，再在天平上称重。根据两次称重即可计算出土壤含水量。

酒精燃烧法 利用酒精在土中燃烧，使其水分蒸发，然后由燃烧前后土样的重量算出含水量。具体步骤如下：取5~10克土样放入铝土盒中，加盖后称重，准确至0.01克。用滴管向铝盒中滴酒精，使盒中的土壤恰好被酒精浸没为止。点燃酒精使土壤水分蒸发。火焰熄灭后再滴加酒精，进行第二次燃烧。一般土样经3~4次燃烧即可将水分完全除去，土样达到恒重之后放在天平上称重，最后根据重量计算含水量。用酒精燃烧法能较快地测定出土壤含水量，全部过程仅需20分钟左右。如果同时测定几个土样并采用流水作业，还可使测试时间进一步缩短。

2. 导热率测定法 土壤导热率随土壤含水量增加而增大，所以，可利用土壤导热率推算土壤含水量变化。根据电流热效应定律，电流通过导体时所产生的热量(Q)与电流强度的平方(I^2)、导体的电阻(R)以及通电的时间(t)成正比。如果在土壤测点上埋入一种导体(Shaw和Baver曾使用绕在玻璃管上的漆包铜线作导体)作为感应部分，并与惠士顿电桥相连，由于土壤含水量不同，相对导热率不同，就会在微安表上读出不同的电流强度值。土壤含水量高

时，导热率大，导体元件热量散发得较快，所以读出的电流强度就较小，反之亦然。这种方法不受土壤中盐量的干扰，但是要预先测定电流强度与土壤含水量关系的标准曲线，如图1-3所示。

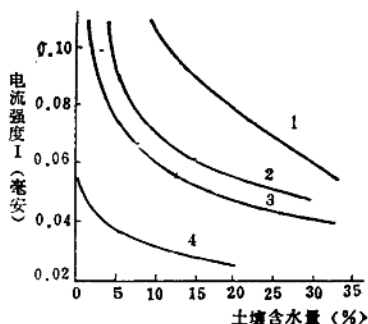


图1-3 用导热率法测定土壤含水率时的标准曲线(1、2、3为不同土系；4为石英砂)

3. 电导率测量法

在非盐渍土壤中，土壤的电导率受土壤溶液组

成及浓度的影响较小，而与土壤含水量的关系则较密切，因而可用测量电导率的办法间接推算土壤含水量。Vetterlein曾用不锈钢作电极插入砂质森林土壤测定电导率，推算的含水量与重量法相比，误差不超过 $\pm 1.5\%$ 。采用熟石膏制成的吸水介质，有利于消除土壤溶液浓度影响。当石膏块吸水时，它的电阻是含水量的函数。因此在石膏块中装上电极，就既能反应土壤含水量的变化，又能避免溶液含盐量及其它因素对电导率的影响。缺点是石膏与周围土壤之间的水分平衡需要较长时间。用尼龙和玻璃纤维作电阻块，可以提高电导率测量的灵敏度。

4. 中子慢化法 快中子辐射源常采用镭和铍($^{226}\text{Ra}-\text{Be}$)或镅和铍($^{241}\text{Am}-\text{Be}$)。快中子发射到土壤中后，便与各种原子核发生弹性碰撞，因而能量逐渐损失。在土壤中中子能量的最大损失是与氢核碰撞造成的。氢主要存在于水

中，所以土壤含水量越多，中子能量损失越大，产生的慢中子数越多。慢中子云的强度可由探测器测定，并通过计数器测定电脉冲数。预先做出土壤含水率与慢中子计数率之间的关系线（标准曲线），就可以通过观测出的慢中子计数率，推算土壤容积含水量。这种方法能对土壤水分进行连续的定位监测，读数迅速准确。缺点是设备较贵，需要注意辐射防护，此外，测得的土壤水分是中子源周围15~30厘米内的平均含水量，而不是某一点的土壤含水量。

5. γ 射线透射法 将放射性同位素源（如钴60、铯137等）置于土壤中，在相距一定距离的地方（40~50厘米）插入聚氯乙烯塑料管或金属管，管内放入 γ 量子计数器。由 γ 量子计数器可以测定通过土壤的 γ 射线强度，从而确定土壤含水量。对于不同 γ 射线强度时的土壤含水量，需要事先进行测定。

二、农田土壤水分类型及性质

土壤水可以固态、液态和气态三种不同形态存在于土壤中。固态水在低温时出现，作物不能直接吸收；气态水几乎任何时候都存在，但其数量很少，土壤空气被水气饱和到100%时，水气也不超过土重的0.001%；液态水存在于土粒表面和土粒间的孔隙中，是土壤水的主要形态，也是我们研究的主要对象。

根据水的受力情况和移动性不同，可以将与作物生长有关的土壤液态水分为三类，即物理束缚水、毛管水和重力水。

(一) 物理束缚水

高度分散的土壤颗粒具有很大的表面能，它可将水分子吸附在土粒表面，形成束缚水。吸湿水和薄膜水都属于物理束缚水。

吸湿水是土壤表面吸附空气中的水气而形成的。所有土壤在风干状态都含有一定数量的吸湿水。土壤质地越细，土粒表面积就越大，土粒吸持的水分子也就越多。土壤吸湿的水量多少还与空气的相对湿度有关。当空气湿度达到饱和状态时，土壤吸湿水达到的最大数量，称为最大吸湿量，或称吸湿系数。各种不同质地土壤的吸湿系数（以吸湿量占干土重百分数计），如表1-1所列。

表1-1 不同土壤的吸湿系数

土壤质地	细砂土	砂壤土	中壤土	粘土	重粘土
吸湿系数(%)	0.034	1.40	3.0	5.40	6.54

薄膜水吸附于吸湿水的外部，它也是受土粒表面能所吸持的水分，但被吸持的力量比吸湿水小得多，因而尚能沿土粒表面进行速度极小的移动(0.2~0.4毫米/小时)。薄膜水达到最大时的土壤含水率称为土壤最大分子持水率。

(二) 毛管水

土壤颗粒之间有很细小的孔隙通道，一般将它比做圆形毛管，或称“毛细管孔隙”。当自由水流入毛细管孔隙时，水分子就被由土粒组成的毛管壁吸引，而保存在毛细管孔隙里，这就是毛管水。毛管水又分为悬着毛管水和上升毛管水两种。悬着毛管水与地下水没有联系；上升毛管水系指地下