

水利科技译丛之十六



灌溉实施与水管理

水电部西北
陕西省水利科学研究所

一九八二年五月

灌溉实施与水管理

目 录

绪 论	5
土 壤	7
土壤质地	8
砂土	10
砂壤土	10
壤土	10
粉砂壤土	10
粘壤土	11
粘土	11
土壤结构	11
土壤水分储存	12
饱和	12
田间持水量	13
凋萎点时土壤含水百分数	15
土壤有效水分	17
土壤水分测定	27
土壤水分测定仪器	27

张力计	27
电抗仪	28
中子法	29
田间持水量的测定	29
凋萎点时土壤含水百分数的测定	30
判断田间土壤水分	32
土壤如何润湿	35
土壤剖面对土壤润湿的影响	37
剖面 A	37
剖面 B	39
剖面 C	39
剖面 D	40
剖面 E	42
剖面 F	44
剖面 G	45
剖面 H	45
蒸发和水分转移	46
饱和土壤的蒸发	46
耕作与蒸发的关系	47
土壤裂缝与蒸发的关系	48

作物需水量	48
影响蒸发蒸腾的因素	49
作物需水量	50
作物需水量的研究	52
根系发育及其水分利用	55
为改进灌溉而进行的一些试验措施	59
灌溉田块的管理	60
单元地块尺寸	61
土壤水分测计资料	62
灌溉水的量测	63
作物发育生长的测定	64
其他措施	65
地下高水位地区的灌溉试验	65
渗透速度	66
灌溉方法	69
畦灌	70
水平畦灌和畦田漫灌	71
等高灌溉	72
沟灌	72
浅沟灌	73

喷灌	7 4
潜灌	7 5
地面灌溉的土地平整	7 6
灌溉效率	7 7
灌溉效率和灌水量的计算、	7 7
高效率灌水的指导原则	8 1

灌溉实施与水管理

(L.D. Doneen)

绪 论

人类进行灌溉活动已有几千年历史，但直到本世纪才在许多地区对“水—土—植物”之间的关系进行广泛的研究。上述研究就是我们常说的农场或个别田块的灌溉管理。

不适当的灌溉，不但浪费大量水，把土壤中的养分淋洗掉，损伤土壤肥力，而且还会形成田间部分地区灌水不足，因而使作物减产。由于灌溉工程的增加及优质水的定量供应，使得灌溉水以及其他用途的水愈来愈显得宝贵，因此，我们必须不断地学习如何去防止超水量灌溉，以免土壤退化并由此而减产。

在坡地上灌溉时，由于表面径流而浪费水是不易避免的。特别是水进入田间沟畦，由地头流到地尾时，有时会从地尾溢出，并可延续几小时。这种浪费，可用减少田间沟畦的灌水流量并使水量正好能灌到畦田下端的方法来控制。由径流浪费的水是易于观测的。

作物根层以下的渗漏则难于观测。而灌溉水损失量的大部分是从土壤深层渗漏掉的。这种损失是超量灌溉或水在某处停留时间过长的结果。凡沟渠太长，或长时间由田间向外溢水，均会在田间灌

水沟上端形成深层渗漏，有时还会在沟尾形成积水，凡此种种，均会浪费灌溉水。

在不平整或平整不当的土地上灌溉，会产生土壤深层渗漏现象，使地势高的地方灌到水，而地势低的地方就积水。

不恰当的灌溉不仅浪费（或使作物减产），还会把土壤中的肥力淋洗掉。超量灌溉可抬高地下水位，或者使渗漏区扩大，而解决该问题的方法只能是扩大排水设施，由此又增加了排水花费。另外，超量灌溉还会使土壤盐碱化。本书的目的不是研究灌溉水的质量，土壤盐碱化、淋洗盐碱的要求以及地下高水位的排水问题。但上述问题的大小及复什程度正好说明进行特殊处理的必要性，而有关处理方法的情报资料可从其他资料获得（6、10、28）。

如果我们能看到土壤表层以下的水分移动情况并能给予量测，如水分向下移动的速度有多大，能渗多远，水分移动到硬土层时会产生怎样情况，水分在沟中能向横侧转移多远，水分是怎样以及在土壤什么部位储存起来，水又是怎样被作物吸收，水被吸收时的移动速度有多大，以及地下水的情况等等，那么，我们对灌溉进行改进就十分容易了。

〔注〕： L. D. Doneen 为美国加州大学水研方面的教授。

我们需要水分在土壤中的运动以及作物吸收之水量等方面的资料（38）。本书的目的是阐明“水—土—作物”之间关系的基本概念供灌溉管理之需要。

土 壤

土壤是由固体、液体和气体组成的混合物。土壤中的矿物成分为不同大小和形状及化学成分的颗粒。这些颗粒依其粒径大小分为砂、粉砂和粘土，其本质取决于土壤的结构。土壤中的有机质为植物和动物肥料，其中有些是活性的，而另一些则为分解物。这些有机体分解物的积累，形成了腐殖土，干旱地区的土壤通常固体相所占的比例甚小。

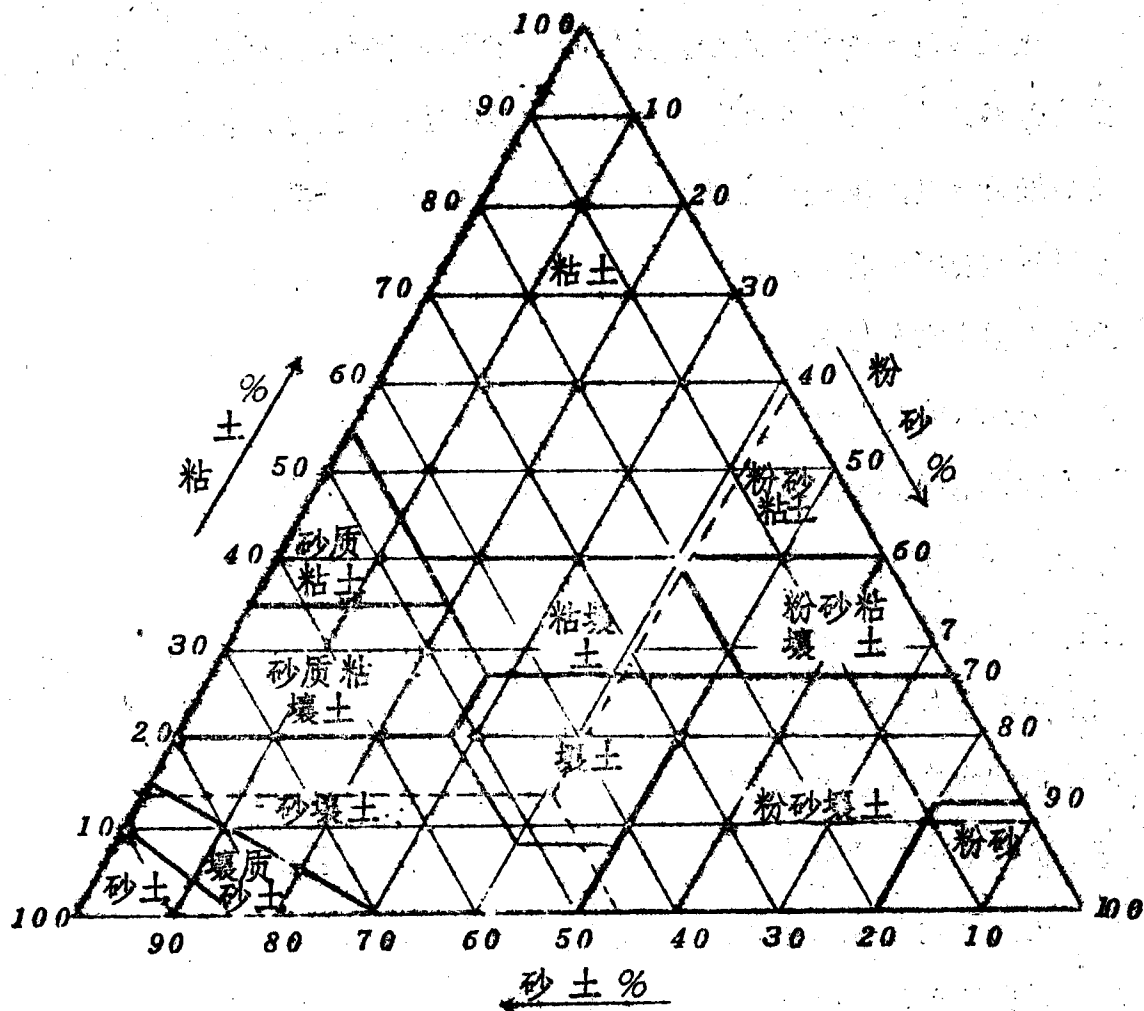
土壤中的液体由水、溶解了的矿物质以及可溶性有机质组成。它们充满或几乎充满固体颗粒的孔隙。由于土壤中的水分要被作物吸收，因此利用周期性降雨和灌溉不断地向土壤补充水分，方可取得好收成。由此看来，土壤类似于水库。该水库的容量直接关系着田间灌溉频率和灌水量。

土壤中的气体占据了土壤颗粒之间孔隙中未充水的地方。气体是土壤十分重要的组成成分，多数植物的根部需要通气，但水中生长的稻子和芋头例外。灌溉是维持水分与空气之间平衡的重要措施。

土壤质地

土壤质地是指颗粒大小及其分布，按不同尺寸颗粒百分数把土壤分为粗、中、细三个等级，即砂、粉砂和粘土(11)。按质地对土壤进行分类，就是按上述三种颗粒所占百分数来分类。土壤质地分级可用机械分析方法详细予以分类，参看图1。砂、粉砂和粘土是依土壤颗粒尺寸来分类的。砂的粒径范围为 $2.0 \sim 0.5$ 毫米；粉砂为 $0.05 \sim 0.002$ 毫米，粘土小于 0.002 毫米。把这三种尺寸的颗粒按不同的比例混合在一起，构成了按质地分类的土壤三角形图解，参看图1。现举一例：有一种土壤含13%粘土，41%粉砂，46%砂土，由图可查出为壤土。在图1三角形中，按成分被划分为具有壤土特性的砂土区，粉砂区和粘土区。壤土周围的土壤依其颗粒大小百分数而有所变动。例如，增加粉砂成分则由壤土转变为粉砂壤土。增加粘土成分则由壤土转变为粘性壤土。

土壤质地与持水能力(或水库容量)有密切关系。还与灌水量和灌水频率有关。因此，应经常测定田间土壤质地，以便确定灌水量与灌水频率，达到灌水合理的目的。测定方法可用试验室法，也可用手感法，即用手碾土所得之感觉而定(11)。土壤潮湿时，手感光滑，向外滑动的颗粒为粘土粒。砂土颗粒类似砂粒。粉砂干燥状态有



面粉感或滑石粉感。依下面情况可对土壤质地进行判定。

砂土：

砂土的颗粒是松散的，呈单粒状。可看清或摸到单个颗粒。把干砂放在手中挤压，松开手会分散落下。把湿砂放在手中挤压，松手后，会形成手印，但一撞就会坍落。

砂壤土：

砂壤土含有大量砂粒，但也含有足以使砂粒稍可粘结的粉砂。可清楚的看到并摸到单个砂粒。干燥状态用手挤压可成型，但很快就会散落，潮湿状态用手挤压可成型并可耐轻微的触摸而不坍落。

壤土：

在壤土中含有不同比例的砂土，粉砂和粘土，谁的性能也不占优势。手感稍有砂粒感觉。潮湿状态下稍有望性。干燥状态下用手挤压会成型并能耐轻微的触动，潮湿状态下用手挤压后，可耐任何触动而不破坏。

粉砂壤土：

粉砂壤土是一种含有适量细砂粒，少量粘土粒，一半以上为粉砂粒的土壤。干燥状态下为干土块，但这种土块易碎，粉碎之后手感光滑、柔软，有面粉感。潮湿状态下抱成大团粒。无论干、湿状态均可成型，而且随便怎样触摸而不会破裂，但在湿润状态下，用手指挤压时，不形成肋条形而会破坏。

粘壤土:

粘壤土为细质地土壤,干燥状态很坚硬,并常形成破碎的土块。把湿土放在手指间捏挤时,将形成破裂的长条形薄片,并可勉强维持其重量。湿状态下有塑性,可成型并可耐多次碰撞。把湿土放在手中揉捏时,不会粉碎而会形成致密的土团。

粘土:

粘土是一种细粒质地的土壤,通常为硬土块,潮湿状态为有一定塑性的粘性体。润湿状态下放在手指间揉捏会形成柔韧的长条形状。粘土中含有大量的粘土颗粒,有时,这类土类似于“冲积土”,潮湿状态下具有极好的塑性和粘结性。

土壤结构

土壤结构是指土壤的颗粒排列和小颗粒的粘附性,这些小颗粒可形成大的团粒。表层土壤结构与耕作层的结构有关。土壤的渗水、渗气能力以及植物根须扎入土壤的能力均与土壤结构有着根本关系。土壤没有固定的结构以形成固定的颗粒类型,砂土或块土状的重粘土均如此。这种土的团状块和团粒有利于灌溉和植物生长。

土壤结构并不象土壤质地一样不能改变,土壤结构是能改变的。优良的农业实践可改良或维持土壤的结构,如作物的轮作和及时的栽培均可达到上述目的。周期性的潮湿和干燥或者周期性的冻融均

可改善土壤结构。另一方面，在土壤含水量太大情况下耕作会破坏土壤结构，反之，在土壤太干燥情况下过度耕作会把土层表面搞成粉末，并破坏土壤结构。有害的钠盐在土壤内的集中，其结果会形成盐碱化，并分裂粘土团粒而使土壤恶化。最后会使土壤的渗水能力降低，甚至使土壤几乎不透水。

土壤水分储存

土壤是不同大小的颗粒互相接触，但中间留有空隙的多孔材料。上述孔隙即未被土粒充满而留下的空间，就是我们所说的“空隙”，而多数土壤的孔隙为自身体积的40—60%。水就储于这些孔隙中。储存之水或称土壤水分供植物吸收，在雨量低的地区必须用灌溉的办法向土壤中补充水分。下面围绕“水—土—植物”之间的关系进行讨论。

饱和：

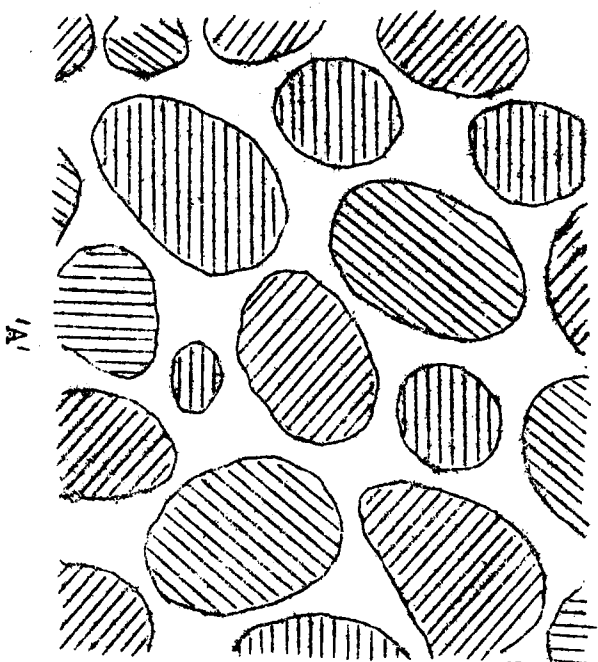
灌水后，水面下方的土壤近于饱和。土壤颗粒之间的所有空隙均充满了水，参看图2a。在饱和土壤中含有少量空气。因为植物（水稻除外）需要空气和水，为避免伤害作物，必须把一部分水在适当的时间里从大的孔隙中转移出去。如果土壤排水性能良好，由于重力作用，该部分水将向下方移动直至可达到的限度为止，另外，由于毛细管作用水还会朝横向移动。由重力促使向下移动的水称为

重力水，或或称为自由水。

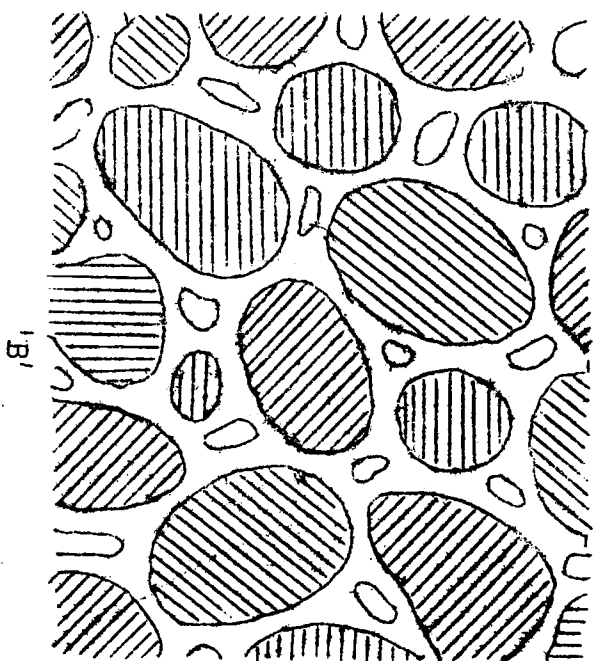
田间持水量：

接近饱和的水量经排出一部分之后，保留下来的水量称为田间持水量。在田间持水量状态下，各种土壤的土粒均被包裹了一层相当厚的水膜。多数水在土壤颗粒之间形成楔形，如图 2 b 所示。作物所吸收的大部分水分来源于这种楔形水。土壤水分的张力可抗制重力。张力的大小用相当的大气压来表示。土壤水分张力折合为大气压时：一个大气压力等于一个真空压力或称为（1 公斤/厘米²）的反向压力。在田间持水量状态下，壤土或粘土中保留的水分的张力约为 $1/3$ 大气压或 0.3 公斤/厘米²，砂土中保留的水分的张力则小于 0.1 大气压，或 0.1 公斤/厘米²。

被灌溉水润湿到持水能力的土壤的体积大小与土壤干燥程度，质地及灌水量有关。对于质地和结构不均匀的土壤来说，降雨或灌溉之后，使土壤达到持水能力含水量需 2—3 天。如果土层阻碍水分向下移动，或者土层质地极细，如粘土等，需时会大于 2—3 天。土壤持水能力与土壤质地或称为土壤颗粒大小有关。例如，假定我们有几个土，体积均为一立方厘米，每种土的质地不同。假定所有土壤颗粒均为球体，并按次序一粒粒地排列起来。下表给出不同质地的土壤颗粒的总表面积。



A'



B'

图 2 土壤水分情况

A': 充满水的饱和和孔隙

B': 田间持水能力条件下, 经重力排水后,

土壤颗粒之间保留之水分。

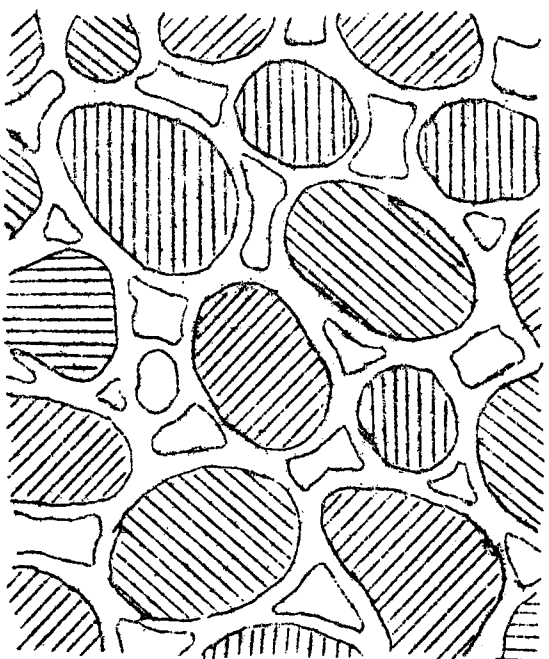
C': 凋萎点时土壤颗粒

间含水百分数、

因张力过大, 作

物已不能吸取水

分。



C'

粒 径 (厘米)	1 立方厘米土壤中的 颗 粒 数	颗粒总表面积 (厘米 ²)
1	1	3.14
1 / 2	8	6.28
1 / 16	4096	50.26
1 / 1000	1,000,000,000	3141.60

由上表可以看出，土壤颗粒愈小，其表面积愈大，颗粒与颗粒的接触点愈多。因此，细质地土壤会比粗质地土壤储存更多水分。

土壤的这种非常大的表面积，或称为内表面积如下：一立方米的粉砂壤土，其内表面积为70,000平方米。谷类根深120厘米时，具有的土壤内表面积为7.0公顷，因而，作物可由此获取水分和营养。

在田间持水能力状态下，一立方米准标砂持水量约为135公升，壤土约为270公升，粘土约为400公升。增加有机质，如粪肥、草肥或植物残体会稍微增大田间持水能力，而且通常只是在表面有所增加（上述情况并不意味着由于增加了肥料，因而使土壤结构和渗水能力也受到影响）。

凋萎点时土壤含水百分数：

作物根系从土壤中吸取水分，从而使得包围土壤颗粒周围的水膜愈来愈薄，进而使土壤颗粒之间的水楔消失。最后，水膜被土壤颗粒紧紧的拉住，使作物不能以很快的速度从土壤中吸收水分以避

免叶子的干枯。这时的土壤水分含量称为凋萎点含水百分数 (P_w)，参看图 2 c。

此时的土壤水分张力约为 14~15 大气压或 14 公斤/厘米²。在此情况下，作物只能吸收少量水分，若从土壤中吸收约 0.5~1% 的水分，就会把土壤水分压力提高到 30 大气压或更高一些，大多数植物在此情况下会死亡。

凋萎点含水量是作物达到枯萎的最普通的征兆，有些作物并未凋萎，但却有其他征兆，如作物或果树生长缓慢或改变外观，叶子变色等。

由于很难从土样获取精确的土壤水分结果，也不易准确判定作物于何时凋萎，因而，凋萎点含水百分数这个术语的定义是指一个较小的土壤含水量范围，其中包括了凋萎点（文献著作和实际应用中常常提到的土壤凋萎即为上述定义）。凋萎点所规定的范围：细质地土壤为 1%，砂土为 0.5%。

在任何一种土壤上种植根系发育良好的所有作物，他们的凋萎点土壤含水百分数是相同的。参看表 1。表 1 中的许多作物在粘土上生长并允许凋萎，测定土壤水分以干重为准。该土壤的田间持水能力为 28%，而所有作物凋萎点平均值为 14.2%。表中各品种作物是按不同的根系和茎、叶生长情况选定的。许多作物并未由叶子上表现出凋萎点征兆，而是用其他标准判别的，在作物各品种之