

土壤学讲义

山东农学院

義學主址

山东农学院

目 录

第一章 土壤的固体物质

第一节 土壤的矿物质

- 一、矿物岩石的基本性质
- 二、岩石的矿物成份与植物营养元素的关系
- 三、土壤粒的分级及其性质
- 四、土壤质地

第二节 土壤的有机质

- 一、有机质在肥力上的作用
- 二、有机质的组成和性质
- 三、土壤有机质和养分含量

第二章 作物的土壤营养环境

第一节 土壤养分和作物生长

第二节 土壤的保肥性能

- 一、土壤保肥的方式
- 二、土壤保肥的实质

第三节 土壤的供肥性能

- 一、土壤供肥的实质
- 二、离子态养分的有效度

第四节 土壤养分的转化过程

- 一、土壤中氮的转化
- 二、土壤中磷的转化
- 三、土壤中钾的转化

第五节 土壤营养环境的调节

第三章 土壤水分、空气和热量状况

第一节 土壤水分状况

一、土壤水分状况的分析

二、土壤水分的类型、性质和有效性

三、土壤水分的进入、保持及损失

第二节 土壤空气

一、土壤空气的组成和特点

二、土壤空气对肥力和作物生长的影响

三、土壤空气状况与调节

第三节 土壤的湿热状况

一、土壤湿热状况与农业生产的关系

二、土壤的热性质

三、影响湿热状况的因素

第四章 土壤的肥力条件

第一节 土壤的松紧和孔隙状况

一、土壤排列和土壤松紧

二、土壤排列和土壤孔隙

第二节 土壤的结构状况

一、土壤结构的形成

二、土壤结构的生产性状

三、土壤结构的调节

第五章 丘陵、山区土壤改良利用

第一节 丘陵、山区的自然特点及治理原则

第二节 “愚公移山，改造中国，历家寨是一个好例”

一、修筑历家寨式“三合一”梯田的意义

二、梯田的规划布局

三、梯田的修建

四、农业技术改良

第三节 治山

一、治沟

二、治坡

第四节 治水

一、丘陵、山区的蓄水措施

二、丘陵、山区的灌溉系统

三、合理安排，科学用水

附：认识平面地形图

第六章 平原地的利用和改良

第一节 平原地的土地特性

一、山麓平原的土地

二、黄泛平原的土地

第二节 改良土地，提高土地肥力

一、深耕（各种深耕、深翻土地的方法）

二、改土（砂土地和粘土地的改良）

三、海绵地（大寨深耕、施肥创造海绵地的方法）

第三节 平整土地，实现耕地园田化

一、排水系统化（涝区和井涝区排水系统的布置）

二、土地平整化（平整土地的原则、方法和规格）

三、大地园林化（土地规划和道路规格）

第四节 巧用土地，多种多收

一、人多地少也能多贡献

二、多种才能多收

三、多种多收的方法

第七章 涝洼地的改造

第一节 涝洼地的自然特性

一、涝洼地的自然特点

二、涝洼地的土地特点

第二节 涝洼地改造的原则

第三节 涝洼地改造的方法

一、平原涝洼的改造

二、滨湖湖地的改造

三、沿黄湖地的改造

四、盐硷涝洼的改造

第四节 涝洼地改造的田间工程

一、台田条田的田间工程（包括规划原则、方法和技术要点）

二、排水沟的田间工程（包括内容同上）

三、稻改的田间工程（排水系统的规划布置，稻方的规格和布置）

第五节 涝洼地改造的农业技术措施

一、施肥改土

二、绿肥改土

三、深耕改土

四、压砂改土

五、轮作改土

六、选种适宜品种

第八章 盐硷地改良

第一节 盐硷地的成因、类型和盐分变化规律

一、盐硷地的成因

二、我省盐硷地的主要类型

三、土地盐分变化规律

第二节 排水除盐

一、建立良好的排水系统是改良盐碱地的基础

二、井渠井排

第三节 淋洗盐碱

一、洗盐标准与洗盐定额

二、影响冲洗效果和冲洗定额的因素

三、冲洗技术

四、种福改碱

第四节 加强土地管理，促进土地盐碱转化

一、蓄洪压碱

二、刮碱除盐

三、秋耕晒垡

四、开沟调盐、躲盐巧种

五、扒碱和扎锄

六、绿肥改碱

七、其它措施

附：苗庄大队开沟躲盐，抑碱保苗，夺取棉花丰产的经验

第五节 造林排水

第六节 引淤改碱

第七节 盐碱地必须实行综合改良

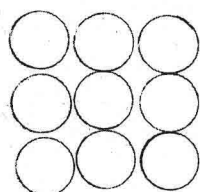
第四章 土壤肥力条件

土壤肥力条件，是指土壤上下各层的松紧状况、孔隙状况、结构状况。作物生长发育所需的肥、水、气、热等生活因素，要通过它们来保持、调节和供应。肥、水、气、热，只有在良好的肥力条件下，才能充分地共同发挥作用，使农业生产获得丰收。

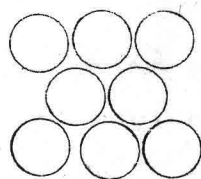
第一节 土壤松紧和孔隙状况

一、土壤排列和土壤松紧

任何土壤，土粒和土粒之间总是彼此相联排列、叠结在一起。在理想的模式土壤中（设其土粒皆为大小相等的球体），土粒的排列可以是松的或紧的，也可以是相间的。在自然土壤中，排列的方式要比这复杂得多，因为土粒不仅是球形的，而且还有其它形状（角状、片状）。土粒排列的方式不同，土壤的松紧程度就不一样。



松(正)排列



紧(斜)排列

模式土壤土粒的排列

从作物根系的生长发育对土壤的要求来看，根系要生长的好，土层就要松紧合适。太松了根抓不稳，容易倒，也过于透风，容易旱。太紧了土壤阻力大，孔洞小，根扎不进去。因此，在生产实践中，经常要考虑到土壤松紧的问题。

土壤松紧的程度，通常以容重来表示。所谓容重，是指在田间状态下，单位体积土壤的干土重（包括孔隙）与同体积水重之比，它的单位是克/厘米³。同一质地的土壤，疏松的土壤，容重小，紧

实的容重大。一般地说，粘重土址容重较大，砂质土址容重较小，但也有相反的。

对作物根系生长来说，容重大小多少为合适呢？这在不同土址和不同作物来说，是不一样的。例如粗砂土，容重达 1.8，根还可以生长，因为它的孔洞数目虽少，但作积大，有的土址 1.7~1.8 根就扎不进去，粘土更差，容重 1.6~1.7 就不成了。对不同作物来说，主根作物象棉花、苜蓿，过紧会影响它们的正常发育。棉籽的发芽出苗，在砂土—粘土条件下，0~5 厘米土层容重约保持在 1~1.2 之间较好，1.2~1.3 就嫌过实，超过 1.3 时，就会造成大量缺苗或延迟出苗。小麦根细，耐紧实的力量大些，可以到 1.63，但以 0.98~1.28，对其生长最为合适。根比较弱一些的，如黄瓜，容重大于 1.45，根就长不好。就华北平原地区的土址来说，耕层土址容重在 1~1.3 时，对作物的生长是较为合适的。

常见的旱田土址，各土层容重指标，大体如下：

一般的耕层	1.05—1.35
一般的底层和紧实的耕层	1.35—1.55
最紧实的底土层	1.55—1.80

二、土粒排列和土址孔隙

形状和粗细不同的土粒，由于排列的不同，在土址体中形成大小不等的间隙，称为土址孔隙。可以想像，在这种情况下，土址中孔隙虽是相互联接，但孔隙通道的直径并不是均等的，而是粗细相间的，孔隙的形状变化也是多样的。而且，孔隙的通道大部分是弯曲相通的。

土址孔隙是土址中水和空气的通通和存身之所。土址孔隙的多少和大小，可以决定土址水分和空气的含量及通透好坏。因此，从农业生产实践的要求出发，对于孔隙状况要着重研究两个问题：一是孔隙的敞量；二是孔隙的质量。

1. 孔隙度:

土址中孔隙的总量, 用孔隙度来表示。自然状态下, 单位容积土址中, 孔隙所占的百分数, 称为土址的孔隙度。在实际工作中, 孔隙度一般不直接测定, 而是根据土址的容重, 比重 (注), 按下式求得:

$$\text{孔隙度 \%} = \frac{\text{比重} - \text{容重}}{\text{比重}} \times 100$$

设土体体积为 100; 土体重量为 P ; 土粒所占容积为 V 。

则 孔隙所占容积为: 孔隙度 $= (100 - V) \dots\dots\dots (1)$

因物体的干重等于容积乘比重, 即 $P = V \cdot d$,

$$\therefore \text{土址比重} = \frac{P}{V}$$

$$\text{土址容重} = \frac{P}{100}$$

上式又可写为 $P = V \times d$

$$P = 100 \times \text{容重}$$

$$\text{即: } V \times \text{比重} = 100 \times \text{容重}$$

$$V = \frac{\text{容重}}{\text{比重}} \times 100 \dots\dots (2)$$

将 (2) 代入 (1) 式, 得 孔隙度 $= 100 - \frac{\text{容重}}{\text{比重}} \times 100$

$$= \frac{\text{比重} - \text{容重}}{\text{比重}} \times 100$$

2. 孔隙类型:

土址的孔隙度百分率的高低, 只说明了土址孔隙的总容积占土体容积的百分比, 它只能代表孔隙量的状况, 并不能说明土址孔隙质 (大小、分配、分布) 的状况。

对于土址孔隙的质的状况而言, 首先是根据孔隙的粗细分为毛管孔隙和非毛管孔隙; 非毛管孔隙是比较粗的孔隙, 它对水无毛

注: 土址比重是指单位容积土粒的重量, 与同体积水重之比。

土址的比重大体在 2.50 ~ 2.70 之间, 通常假定之为 2.65 ~ 2.70。

管引力，不能保水，主要为空气所占；毛管孔隙是微细的具有毛管作用的孔隙，具有吸水保水能力。后来的研究，证明这种分类方法还不够完善，又进一步根据孔隙的大小，及其在肥力上的作用，把土壤的孔隙分为三种类型：

(1) 无效孔隙：是土壤中最微细的孔隙，孔隙直径小到 $10^{-5} \sim 10^{-7}$ Cm 只要几个或十几个水分子就可以把它充塞，同时根毛也不能插入（根毛粗细大体在 10^{-7} Cm左右），对水分子有极大的吸着力（ $>1000 \sim 2000$ 气压），没有毛管作用。所以这种孔隙虽有很强的保水力，但由于吸着力过大，水分不能运动、根毛不能伸入，故所保持的水分植物完全不能利用，也不能通气，故称为无效孔隙。

(2) 毛管孔隙：较无效孔隙稍粗，直径范围主要在 $10^{-4} \sim 10^{-1}$ Cm 间。具有一定的毛管力，可以保持水分，称为毛管水。所保持的水，能靠毛管力进行运动，是对作物最有效的水分。因此，凡是能以毛管力保持水分的孔隙，都称为毛管孔隙。

(3) 空气孔隙：指粗于毛管孔隙的孔隙，不具有毛管作用，经常不蓄水，供空气流通，称为空气孔隙。空气孔隙的多少，直接影响到土壤的通气和排水能力。

附录：

各类孔隙的含量，可利用有关的土壤性质，用下述方法算出：

1. 无效孔隙度：根据土壤中对作物无效的含水量算出，计算公式为：

$$\text{无效孔隙度} = \frac{\text{最大吸湿量} \times \text{容重}}{1.5} \times 100 + \frac{0.5 \text{最大吸湿量} \times \text{容重}}{1.25} \times 100$$

当土壤含水量降低到一定程度，作物不能获得足够水分，而表现永久性萎蔫时，这时的含水量（重量百分数表示）称为萎蔫系数。显然，在这种情况下的土壤水是保持在无效孔隙中的。这样把萎蔫系数的重量百分数换算成为容积百分数，应与无效孔隙度相当。经验性

此值萎蔫系数为土壤最大吸湿量的 1.5 倍。最大吸湿量是指干土在近乎水气饱和的大气中所能吸附水气的最大数量（重量%），这样保持的水称为吸湿水。吸湿水水分子排列紧密，密度为 1.5。超过最大吸湿量在萎蔫系数范围内的水分，密度仍较大，为 1.25。故在估算中最大吸湿量乘以容重就成为容积百分数；但是水的密度大于 1，故须校正，分别以 1.5 和 1.25 除之。

2、毛管孔隙度：根据土壤借毛管作用所保持的水量计算。土壤借毛管作用以保持水分有两种情况，一是各层土壤的水不与地下水有任何联系，所保持的水量称田间持水量。另一种情况是由地下水借毛管作用上升到土层中，这样所保持的水量，称毛管持水量。因此，毛管孔隙度可按地下水位的高低，分别计算。

(1) 对地下水借毛管作用不能达到的土层：

$$\text{毛管孔隙度} = (\text{田间持水量} \% \times \text{容重}) - \text{无效孔隙度}$$

(2) 对地下水借毛管作用可以上升到的土层：

$$\text{毛管孔隙度} = (\text{毛管持水量} \% \times \text{容重}) - \text{无效孔隙度}$$

3、空气孔隙度：由孔隙度中减去毛管孔隙度与无效孔隙度而得。

$$\text{空气孔隙度} = \text{孔隙度} - (\text{毛管孔隙度} + \text{无效孔隙度})$$

如上所述，大小不同的孔隙，无效、毛管和空气孔隙在保水通气、透水方面，起着不同的作用。因此，在生产上大小不同孔隙比率较土壤孔隙度，有着更重要的意义。不同大小的孔隙的分配，取决于土壤颗粒的粒径，及其排列的特性。显然，质地粗的土壤，土粒一般排列松散，单位容积的土壤中，土粒所占的容积较大，而孔隙所占的容积较小，故在砂质土壤中，孔隙度较小，但其中空气孔隙度却高。粘重土壤则相反，土粒细通常排列得较紧密，但土粒所占的容积不太高，所以孔隙度较大，但其中无效孔隙和毛管孔隙度高，质地愈粘重，无效孔隙度也就愈大。土质土壤则属于中间情况，

各种孔隙度有适当的分配。这种孔隙的分配状况必然反映到土壤的水气调和热状况上，表现为，砂质土壤保水力弱而通气和透水良好，土温易于升高；粘质土壤保水力强，但通气和透水不良，土温也不易上升。不同质地与孔隙状况的关系表一可作为一般的参考数值。

表一 华北平原土壤质地与孔隙状况：

质地	比重	容重	孔隙度 %	无效 孔隙度 %	毛管 孔隙度 %	无效 毛管 孔隙度 %	空气 孔隙度 %
紧砂土	2.69~2.73	1.45~1.60	38~46	—	—	36~40	2~8
砂壤土	2.69~2.72	1.36~1.54	46~50	4~7	33~42	40~46	2~8
轻壤土	2.70~2.74	1.40~1.52	43~49	5~10	30~41	40~46	2~6
中壤土	2.70~2.74	1.40~1.55	43~49	6~12	28~40	40~46	3~7
重壤土	2.70~2.74	1.38~1.54	43~49	7~15	25~39	40~46	2~5
轻粘土	2.73~2.78	1.35~1.44	48~52	15	30~37	45~52	1~4
中粘土	2.73~2.78	1.30~1.45	48~52	14~19	26~36	45~50	2~6
重粘土	2.73~2.78	1.32~1.40	50~52	—	—	48~52	0~4

由此看来，作为一个整体来看，土壤内部是由固体（土粒）液体（土壤水分）和气体（土壤空气）三相物质组成。这三相物质，组成比例越适宜，土壤的肥力条件就越好。什么样的比例最好呢？一般认为，土壤孔隙度和土壤固体的比例，最好是1:1，即土壤孔隙度在50%左右。水、气孔隙的比例是：无效孔隙要尽量低些，空气孔隙保持在一定的水平上（10%以上），其余为毛管孔隙。

各种孔隙度绝对适合的比率，要考虑到许多具体条件才能决定。比如在于旱地区，降水和灌溉水来流少，土壤保水能力具有重要的作用，因而要求毛管孔隙度要较高些。在地下水位高和易积水的地方，养分的转化有赖于土壤通气条件的好坏，则要求空气孔隙度要高些。

总之，土址的松紧状况和孔隙状况是相互联系的。土址松，土址孔隙就较粗、大。但它们基本上都决定于土粒的排列。因此，土址质地、土址肥力上的作用，要通过土址松紧和孔隙状况才能具体表现出来。

第二节 土址结构

上面说了土粒排列和土址松紧、孔隙状况的具体表现。但是，“事情不是矛盾双方互相依存就完了，更重要的，还在于矛盾着的事物的互相转化。这就是说，事物内部矛盾着的两方面，因为一定的条件而各向着和自己相反的方面转化了去，向着它的对立方面所处的地位转化了去。”土址体内松紧状况的松和紧，孔隙状况的大孔和小孔，多孔和少孔，矛盾着的两方面，也可以“因为一定的条件，而各向着^和自己相反的方面转化了去。”这个条件，就是土址结构。

一、土址结构的形成

土址中大小土粒粘团聚合成块、成团、成片或成粒的聚集体，称为土址结构。形成土址结构的物质条件是，土址中有适量的凝聚剂和胶结剂，如土址腐殖质、含水的氧化铁、铝、石灰质及粘粒等。

土址结构的形成途径，概括起来有二：一种是把呈分散的单粒，先团聚成微团聚体（一级团聚体），再由微团聚体逐级胶结成团粒结构，这是形成良好的团粒结构的主要途径。另一种途径是，土体经过各种碎裂作用而形成大小不同的土块。大土块碎裂成小土块或小土团主要是通过：干湿交替、冰融交替、根系的伸穿作用和人为的耕作。

团聚是土址由单粒到团粒，由小土团到大土团的过程。这种过程是通过凝聚和胶结两种作用来实现的。

凝聚是胶体的行为，其根本原因是胶粒在悬液中受介质分子热运动的不断碰撞，也在各个方向发生运动（布朗运动）；在运动中

胶粒互相接近，当接近到胶粒的作用范围以内，便彼此相吸引，形成一个复合的颗粒，不能再在介质中悬浮而沉于底部，就是凝聚作用。土壤胶粒凝聚的原因也是这样。这种凝聚作用是使粘粒团聚成微团聚体的主要动力。

胶结作用是指各级土粒被某些胶结物质胶结成土团或土块。能胶结土粒的物质称为胶结剂，在土壤中常见的有以下几种：

(1) 土壤水（溶液）中的沉淀物质，最常见的是 CaCO_3 ；

(2) 腐殖质。它是土壤中的有机物质（有机肥料和作物根茬），经过土壤微生物分解合成作用而形成的黑色和黑褐色的胶体物质。

腐殖质在土壤中常呈膜状胶体包被于矿物质土粒的表面，由于腐殖质是胶体，具有粘性，因此，可促进砂粒胶结，改善砂性土壤过于松散的结构状况。另一方面由于腐殖质松软、絮状、多孔、而粘性又比粘粒小，故粘粒被其包裹后，就变得比较松软，易碎散成团粒，不再硬结成块。实践证明，在质地粘重的土壤中，增加土壤腐殖质，是改善粘重土壤不良结构的有效措施。

(3) 无机胶体。最常见的是粘粒、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。

碎裂是土壤由大土块变成小土块，大土块变成小土团的过程。这种过程有时也能起到改良土壤结构的作用。它是通过土壤耕作、干湿交替、冻融交替来实现的。

① 土壤耕作：运用农具对土壤进行耕犁、耢耙、滚压、铲翻等各种耕作措施，其主要目的之一，是把大土块破碎，使耕作层的土壤保持近于团粒结构，创造适宜的孔隙状况和松紧程度。

② 干湿交替：当湿润土壤干燥，土壤胶体脱水，引起土体的收缩和粘粒的粘结作用，以及由于在变干过程中各部分脱水的程度和速度有所不同，以致土体各部分收缩的程度也不一致，这样，土块就在胶结力最薄弱的地方裂开产生裂隙。当变干的土块再湿润时，又因胶体吸水膨胀而产生挤压力，但同样由于土块各部分吸水程度

和速率的不同，而使土块各部分所受的降压力也不相等，不等的挤压力作用于同一土块，则使土块碎裂成小土团。同时当干土湿润时，水分迅速为土粒的毛细管所吸收，使闭蓄在毛细孔隙中的空气受到压力到达一定程度时，也可使土块崩裂。

干湿交替作用的效果，决定于许多条件。首先决定于土块本身的特性：如质地，有机质含量等。凡有机质含量少，质地粘重的土块，干湿交替碎散作用的效果则差，产生的裂缝少而大，形成土块大而坚实。同时，干湿交替的效果与土块的干湿变化程度有关。要发挥干湿交替在破碎土块上的作用，必须使土块充分晒透后，然后再受潮膨胀，才产生较好的破碎效果。

③ 冻融交替：土块孔隙内的水分，因结冰体积增大，对土块产生压力使之崩解。同时当土块孔隙中的水分结成小冰珠时，也使胶体产生脱水现象，胶体脱水，粘结力增加，有利于小土团的凝聚。我国农民长期以来利用冬耕冻垡的耕作措施，不仅在改良粘重土块的结构上起着良好的效果，并且促进了矿物质土粒的风化，有利于矿物质营养元素的有效化。

二、土壤结构的类型及其生产特性。

土壤结构，是土壤的重要农业性状，也是鉴别土壤肥力的重要依据。由于形成过程的不同，土壤结构单位的大小、形状和性质就不一样，对土壤肥力和农业生产的影响也极不相同。现将生产中常见的土壤结构类型及其生产特性分述于下：

（一）耕层的结构：

1、坷垃

坷垃是指耕层中较坚实而大的土块，它多出现于有机物质含量低的重土质以上的土壤中。在生产实践中，凡是直径大于5厘米的坚实土块都称为坷垃。耕层中的坷垃增多，就会使耕层构造变坏，三相比例关系失调。表现为：（1）由于坷垃之间孔隙较大，使外来

水分不能浸到坷垃内部就通过大孔隙流失；(2) 由于大孔隙多，空气流通加速，蒸发量增大，致使保水困难，温度变化大，坷垃内部微生物活动削弱，养分的转化受到阻碍，不利于作物的生长。一般土址中含直径7厘米以上的大坷垃占30%，直径4~7厘米的中坷垃占50%时，就会发生“黄苗”和缺苗的现象。

坷垃形成的原因是耕作时土址的含水量上下层相差过多。如上层土址宜耕时，下层土址过湿，下层宜耕时，上层过干，都会出现大坷垃。当耕层水分过少，耕地过晚时，形成干坷垃，（活坷垃），这种坷垃因水分过少，耕地时不能散碎，突然断裂，坷垃内部仍然保持原来的构造状态，硬脆易碎。耕地过湿时则形成泥坷垃（死坷垃），因为耕地时受挤压力和摩擦力的作用，使过湿土址的构造状况改变，挤掉非毛管孔隙，坷垃内部土粒间的距离缩小，接触面增加，结持力增大，容重增加，形成硬且坚实的死坷垃，因而透水透气困难。

为了防止坷垃产生，除增加有机肥料和粘土掺砂改良土址性质外，主要是掌握耕性，适时耕作，采取适当的耕作措施和制定适当的耕作制度。如果产生坷垃，应当设法消灭。消灭坷垃的方法，在耕作措施上主要是耙耨和镇压。

2. 结皮和板结：

结皮是指在降雨或灌溉后，经过干燥，表土形成1~2毫米厚的薄皮状土层。结皮的形成，主要是由于土表经大雨，积水或汗水以后，冲动了细土粒，使之悬浮起来，随着水分的下渗，又缓慢的沉积下来，均匀的排列在土表。开始时，水分含量较多，体积膨胀，连成一片落下的土层。干燥失水后收缩，并由于粘结性较强，逐渐结成一皮，这层土址与下层的质地不一致，干缩湿胀和粘结力也不一致，因而易与下层土址分离。砂土土这种结皮较薄，但易与下层脱离。粘土结皮厚，粘结强度也大，砂土一般不产生结皮。