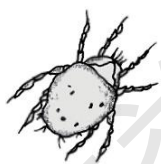


《土壤健康指南》第七部分 物理指标

团聚体的稳定性、有效含水量、容重、渗透性、土壤结壳、崩解、土壤结构与大孔



美国农业部

《土壤健康管理指南》



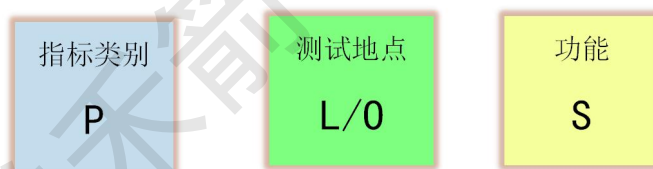
山东益禾箭生物技术有限公司 编译

第 5 章 土壤健康评价

第 11 节 物理指标综述

原英方版缺少《物理指标综述》，奇怪，看看以后会不会补上。

第 12 节 团聚体的稳定性



土壤团聚体是一组相互结合的土壤颗粒，其结合强度大于相邻的颗粒。团聚体的稳定性是指土壤团聚体在耕作和水或风蚀作用下抵抗崩解的能力。湿团聚体稳定性表明了一种土壤抵抗雨滴冲击和水侵蚀的能力有多么好，而干团聚体的粒径分布可用于预测抗磨蚀和风蚀的能力。

1. 影响因素

内在的-土壤团聚体的聚集性和稳定性主要受粘土的类型和数量、吸附的阳离子(钙、钠)和氧化铁含量的的影响。粘土颗粒变湿、又变干时的膨胀和收缩会推动和撕裂土块，形成团聚体或把它们分开。钙、镁、铁和铝通过形成有机物——粘土桥来稳定聚集体。相反，随着交换性钠含量的增加，团聚体稳定性下降。当太多的钠离子在土壤颗粒之间积累时，会促进分散。

动态的-集合体的稳定性高度依赖于土壤中的有机质和生物活性，且通常随它们的增加而增加。丝状结构的真菌菌丝常用于收集资源，绑定土壤颗粒形成聚集体。其他土壤生物，如蚯蚓，也分泌结合物质。土壤颗粒也被有机物的生物分解产生的有机“胶凝物”聚合和稳定。物理扰动，如耕作，加速了有机物分解速率，并破坏真菌菌丝和土壤团聚体。土壤生物群有助于创造聚集体，并利用它们作为栖息地或避难所，以躲避捕食。

2. 与土壤功能的关系

聚集体稳定性的变化可以作为土壤恢复或退化的早期指标。团聚体稳定性是土壤有机质含量、生物活性和养分循环的指标。一般来说，小团聚体(<0.25 mm)中的颗粒被更古老和更稳定的有机物形式结合。微生物分解新鲜有机物释放出的

产物(不太稳定)会将小的聚集物结合成大的聚集物(>2-5 毫米)。这些大型团聚体对有机质管理效果更敏感,可以更好地指示土壤质量的变化。稳定集料越多,土壤质量越好。当大的团聚体比例增加时,土壤质量普遍提高。

稳定的团聚体还可以提供大范围的孔隙空间,包括团聚体内部的小孔隙和团聚体之间的大孔隙。孔隙空间对于空气和水进入土壤,以及空气、水、养分和生物在土壤中的运动是必不可少的。大孔隙与大的、稳定的团聚体有关,有利于植物生长的高渗透速率和适当的通气。孔隙空间也为根系的生长和侵入提供了薄弱地带。



长期使用保护性耕作系统(免耕)和覆盖作物增加了土壤有机质,改善了北乔治亚(塞西尔)土壤的结构和整体稳定性。照片由美国农业部 NRCS(已退休)的 James E. Dean 提供。

3. 功能不良问题

团聚体的稳定性对渗透、根系生长和抗水和风蚀至关重要。不稳定的聚集体在暴风雨中会崩解。分散的土壤颗粒填满地表的孔隙,当土壤干燥时,会形成坚硬的物理外壳。土壤渗入减少可能导致径流量和水蚀增加,减少了土壤中可供植物生长的水分。物理结皮也会限制幼苗的出苗。

风通常只吹散土壤表面松散结合的颗粒，但由于风加速，吹出的土壤颗粒会以足够的能量撞击裸露的土壤，使更多的颗粒从弱聚集的土壤中分离出来。这一行为增加了被风卷起的颗粒的数量，并磨损了物理保护的土壤表面。

导致团聚体稳定性差的做法包括：

- a. 耕作方法和土壤扰动活动破坏植物有机质，阴止土壤有机质的积累，破坏现有的聚集体，
- b. 使土壤裸露，或使之暴露于雨水、风吹颗粒的物理影响之下的收割、放牧或其他生产系统，
- c. 通过燃烧、收割或以其他方式清除作物残余物，消除有机质来源和表面粗糙度，
- d. 使用对有益土壤微生物有害的杀虫剂。

4. 提高团聚体的稳定性

保持土壤被覆盖的措施可以使其免受破坏聚集的侵蚀力的影响，同时也会增加有机物质。任何增加土壤有机质，进而增加生物活性的做法，都能提高集体体



保护性耕作系统，如覆盖作物的免耕，减少了土壤扰动，提供和管理增加土壤有机质的残留物，并提高了团聚体的稳定性。此外，作物残茬造成的表面粗糙度可以保护土壤免受风蚀。

的稳定性。然而，有机物质的显著增加可能需要几个生长季节或几年的时间。相反，破坏土壤并使其裸露的管理活动可能导致土壤有机质、生物活性和总体稳定性的迅速下降。

土壤经过有机改性后，如粪肥，容易形成团聚体。在种植有覆盖物和绿肥作物、牧草和饲料作物，以及使用残留管理和/或减少耕作方法的地方，土壤团聚体也容易形成。

在农田上典型改善团聚体稳定性的措施，通常包括覆盖和绿肥作物、残渣管理、以大豆为基础的轮作，以及减少耕作和土壤扰动。在种植“清洁耕作”作物的土壤中，团聚体的稳定性会迅速下降。

牧草和饲料植物有稠密的纤维状根系，提供有机质并促进微生物活动。但是，放牧和肥力必须加以管理，达到一定标准，防止裸露区域或稀疏植被的发展。

有利于土壤功能的团聚体稳定性的养护措施包括：

- a. 保护性作物轮作
- b. 覆盖作物
- c. 害虫管理
- d. 按规定放牧
- e. 残留和耕作管理
- f. 土壤盐碱化管理
- g. 表面粗糙化

5. 团聚体的测量

测量团聚体的水稳定性，详见《土壤质量测试试剂盒指南》第 8 章第一节，第 18 – 19 页。结果解释见第 69 – 71 页第 7 章第二节。

专用器材、简便方法、小技巧门：

确定最上面的三英寸土壤。然而在牧场中，条件决定了 1 / 4 到 1 / 2 英寸的土壤，因为这些土壤最有可能被侵蚀侵蚀掉。需要一个 400 瓦的吹风机和干燥室来进行湿集料稳定性试验。

第 13 节 有效含水量



有效水分容量是指土壤所能提供的植物可利用水分的最大值。它是土壤保水能力的指标，并使其对植物来说是充分可用的。

有效水分是指土壤在田间持水量和永久萎蔫点之间所保持的水分。田间持水容量是指土壤完全饱和并允许其一到两天自由排泄后，土壤中剩余的水分。永久萎蔫点是指土壤的水分含量，当土壤水分充足时，植物也会枯萎而无法恢复。水容量通常用体积分数或百分比表示，或用深度(in 或 cm)表示。

1. 影响因素

内在的-土壤的质地、岩石碎片的存在和丰度以及土壤的深度和层数都影响着土壤的内在有效含水量。

从细砂、壤土到淤泥壤土，土壤质地越细，有效含水率越高。粗质土具有较低的田间能力，因为它们具有高的大孔隙，易于自由排水。质地优良的土壤有较多的小孔隙，这些孔隙能保持水分，防止自由排水，从而产生相对较高的田间持水能力。然而，与聚集良好的壤土和淤泥壤土相比，粘土土壤的有效含水量往往较低，因为这些土壤有一个较高的永久萎蔫点(见图 1)。

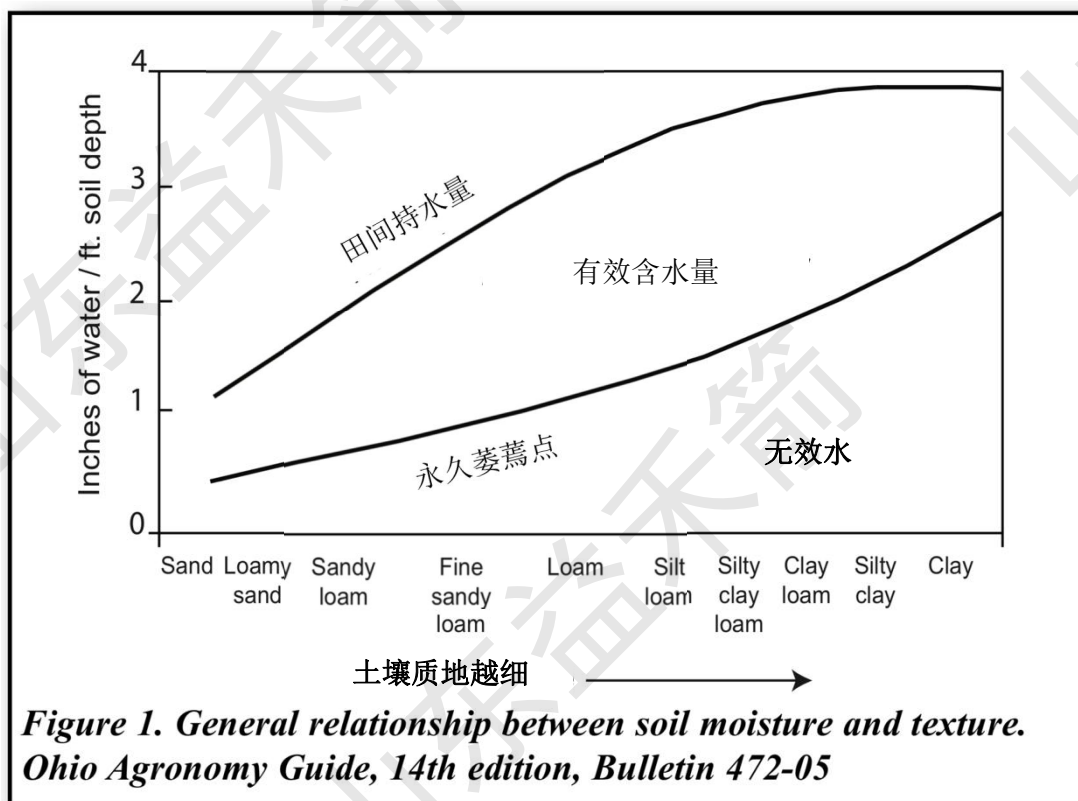
除非岩石是多孔的，否则岩石碎片会使土壤的有效含水率随其体积比增加而降低。土壤深度和根系限制层影响总有效水分容量，因为它们可以限制根系生长有效的土壤体积。(限制性土层可能是自然发生的，也可能是管理活动的结果。)在实际理解土壤深度和限制层对植物生长可利用水分的影响时，必须考虑植物的生根特性。20 英寸的限制层对浅根作物的需水量可能没有什么影响，然而，这一层可能会严重限制深根作物能探测水分的土壤体积。

动态的-有效水容量受土壤有机质、压实度和盐浓度的影响。

有机质直接或间接地增加了土壤保持水分的能力。当土壤处于田间容量时，有机质比同等体积的矿质土壤具有更高的持水能力。虽然在永久萎蔫点上有有机质的含水量也较高，但总的来说，有机质的增加，也增加了土壤储存供植物利用的

水分的能力。有机质间接地改善了土壤结构和团聚体的稳定性，导致孔隙大小和体积的增大。这些土壤质量的改善导致了渗透、水在土壤中的流动和有效水容量的增加(见图 2)。

压实通过对田间持水量和永久萎蔫点的不利影响，而降低有效含水量。压实



降低了总孔隙体积，从而减少了土壤到达田间持水已量时的储水量。压实也能将土壤的大孔隙压碎成小得多的微孔。由于微孔比大孔能更紧密地锁住水分，所以在土壤的永久萎蔫点上能保存更多的水分。

土壤中的盐分是由施肥或自然产生的化合物产生的。盐浓度随着土壤水分的减少而增加。对于可溶性盐含量高的土壤，当植物不能通过一个不利的盐浓度梯度吸收水分时，就会产生水分胁迫。高盐浓度的土壤往往会降低有效水分容量，因为与仅由物理因素吸住的水分相比，在永久萎蔫点保留了更多的水分。这些影响在干旱地区的土壤中最为显著，因为在那里灌溉或自然过程导致了盐分积累。

2. 与土壤功能的关系

土壤是水的主要储存库。在那些每天都有降雨，为土壤提供的水分超过植物吸收的水分的地区，有效含水量可能不太重要。然而，在植物移走的水分多于降水提供的水分的地区，土壤有效含水量可能是关键的。在降雨或灌溉事件发生前，土壤中的水分可能是维持植物生长所必需的。通过保持水分以备将来使用，土壤缓冲“植物-根系”环境以应对水分赤字。

有效含水量可用于制定水资源预算，预测干旱程度，设计和操作灌溉系统，设计排水系统，保护水资源和预测产量。

3. 功能不良问题

有效水分的缺乏会降低根和植物的生长，如果在植物永久枯萎之前没有提供足够的水分，就会导致植物死亡。土壤的蓄水能力也影响径流和养分淋滤。

导致有效水缺乏的农业土地管理措施包括：阻止土壤有机质积累和/或导致土壤压实、减少孔隙体积、大小：

- a. 常规耕作操作，
- b. 低残留作物轮作，以及焚烧、掩埋、收获，以其他方式清除植物残留物，
- c. 重型设备在潮湿土壤上的通行，和
- d. 允许牲畜游荡区和牲畜路径发展的放牧系统。

由于自然区域被永久地改造成住宅、道路和停车场，土壤中可储存的总水量就会减少。这导致了更高的总径流量，增加了暴雨排水系统的压力，增加了洪水发生的可能性，以及河流和湖泊的水质普遍较差。

4. 改善有效水容量

农民可以种植高残留作物、多年生草皮和覆盖作物，减少土壤干扰活动，并进行管理残渣，去保护和增加土壤有机质，使土壤的有效含水量得到改善。在可行的情况下，可以避免在土壤湿润的情况下进行重型设备的耕作、收割和其他农业作业，以尽量减少压实；压实的土层可以被翻耕，从而扩大根系系可生长土壤层的深度。

对于可溶性盐含量高的土壤，可以采取使盐含量保持在根区以下的管理活动。这些措施包括：在根区以下进行沥滤盐的灌溉，以及促进渗透、减少蒸发、尽量减少干扰、管理残留物和防止含盐较低土层与表面层混合。

能够产生有利于土壤功能的有效含水量的保护措施包括：

- a. 保护作物轮作
- b. 覆盖作物
- c. 规定放牧
- d. 残留物和耕作管理
- e. 土壤盐碱化管理

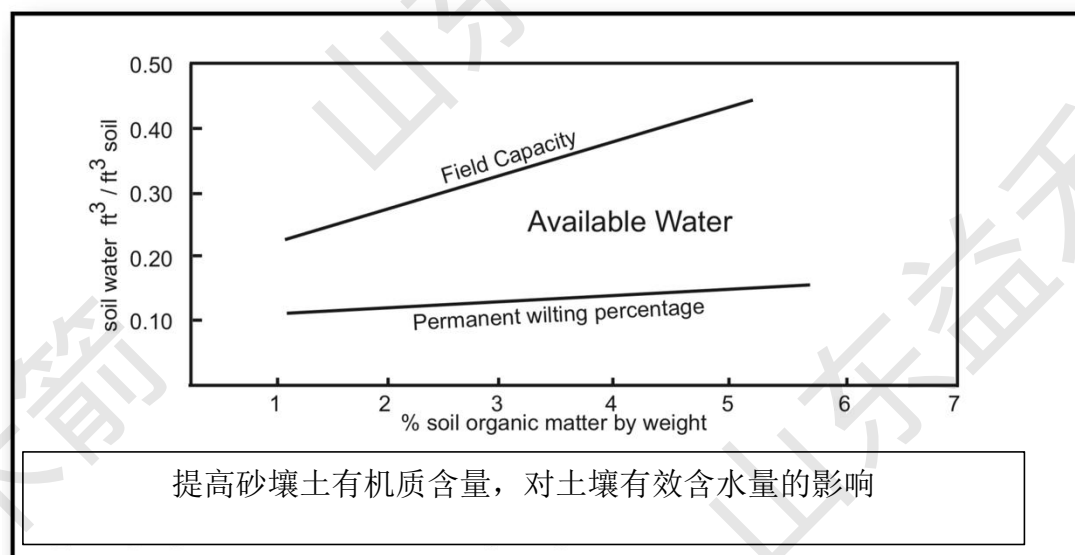
5. 有效水容量测量

参考译文:美国农业部，自然资源保护局，2005 年。国家土壤调查手册，标题 430-VI。土壤性质和质量(618 部分)，有效含水量(618.05)。

专业器材，捷径，小窍门::

测定永久萎蔫点含水量需要压力膜仪。

所需时间:需要一至两天的自由排水和使土壤达到田间持水量。



第 14 节 土壤容重



容重是土壤压实度的一个指标。它的计算方法是土壤的干重除以其体积。该体积包括土壤颗粒体积和土壤颗粒间孔隙体积。容重通常用 g/cm^3 表示。

1. 影响因素

固有的—容重取决于土壤质地和土壤矿物(砂、粉和粘土)的密度、有机物颗粒、以及它们的堆积方式。根据经验，大多数岩石的容重为 $2.65 \text{ g}/\text{cm}^3$ ，理想情况下，孔隙空间约为 50% 的中等质地土壤的容重为 $1.33 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。一般来说，疏松多孔和有机质丰富的土壤容重较低。砂土的容重相对较高，因为砂土的总孔隙空间小于粉土或粘土。结构优良的细砂质土，如粉土和粘壤土，孔隙大，容重低。

容重通常随着土壤深度的增加而增加，因为与表层相比，地下层减少了有机质、团聚体和根系侵入，因此包含更少的孔隙空间。地下土层也受到上面土壤的压实重量的影响。

土壤中自然发生的湿润、干燥和冻融循环对土壤容重的影响很小。

动态的—作物和土地管理措施会影响土壤覆盖、有机质、土壤结构和/或孔隙度，从而改变容重。植物和残留覆盖物保护土壤免受降雨和土壤侵蚀的有害影响。耕作破坏土壤有机质，削弱土壤团聚体的自然稳定性，易受水和风的破坏。当侵蚀土颗粒填充孔隙空间时，孔隙率降低，容重增加。耕种可使土壤层压实，容重增加最多，最明显的是一个“犁盘”(见图 1)。牲畜、农业和建筑设备施加压力，使土壤压实，降低孔隙率，特别是在潮湿的土壤上。

2. 与土壤功能的关系

容重反映了土壤执行结构支撑、水和溶质运动以及土壤通气功能的能力。体积密度超过表 1 的阈值表示功能受损。容重也用于土壤重量和体积之间的转换。它用于以体积为基础的土壤物理、化学和生物测量，以进行土壤质量评估和管理系统之间的比较。这消除了采样时土壤密度差异引起的误差，从而提高了比较的有效性。

3. 功能不良问题

高容重是低土壤孔隙度和土壤压实度的标志。它可能会引起根系生长受阻，以及空气和水在土壤中的流动变差。压实会导致植物生根浅，生长不良，影响作物产量，减少可用来保护土壤免受侵蚀的植被覆盖。通过减少水渗入土壤，压实

容重与以土壤质地为基础的根系生长的一般关系		
土壤质地	对植物生长理想的容重 (g/cm ³)	限制根系生长的容重 (g/cm ³)
砂质	<1.6	>1.8
沙壤土	<1.4	>1.65
粘土	<1.1	1.47

可能导致坡地或平坦地区涝渍土壤的径流和侵蚀增加。一般来说，在干旱条件下，一些土壤压实以限制水分通过土壤剖面是有益的，但在湿润条件下，压实会降低作物产量。

以下做法可能导致较差的容重：

- 始终在相同的深度耕作或盘耕，
- 允许设备通行，特别是在潮湿的土壤上，
- 采用有限的作物轮作，没有根的结构或生根深度的变化，
- 返田、燃烧或去除作物残留物，
- 牧草植物的过度放牧、允许牲畜的游荡区和步道的发展，和
- 使用重型设备进行建筑工地准备，或者平整土地。

4. 改善容重

改善土壤结构的做法都会降低容重；然而，在某些情况下，这些改进可能只是暂时的。例如，在生长季节开始时的耕作暂时降低了土壤的容重，扰乱了已压实的土层，但随后由于农用设备、降雨事件、动物和其他干扰活动而穿越田地，可以使土壤重新压实。

在农田上，减少土壤扰动和增加土壤有机质是解决土壤容重和土壤压实问题的长期对策。使用覆盖作物、作物残茬、多年生草和/或减少耕作的系统，可以

增加土壤有机质、减少干扰和降低容重。此外，使用多种作物系统，包括不同根系深度的植物，可以帮助打破压实的土层。

为了降低高容重和压实的可能性：

尽量减少土壤干扰和生产活动

- a. 土壤湿润时，使用指定的田间道路或车道通行设备
- b. 减少穿越该地区的次数，
- c. 破坏现有的压实层，和
- d. 使用保持或增加土壤有机成分的措施。

最小化牲畜的通行和游荡的放牧系统，提供受保护的重装使用区域，坚持建议最小放牧强度，通过防止压实和提供土壤覆盖来减少容重。

产生有利于土壤功能的容重的保护措施包括：

- e. 保护性作物轮作
- f. 覆盖作物
- g. 深耕
- h. 按规定放牧
- i. 残茬和耕作管理

5. 测量体积密度

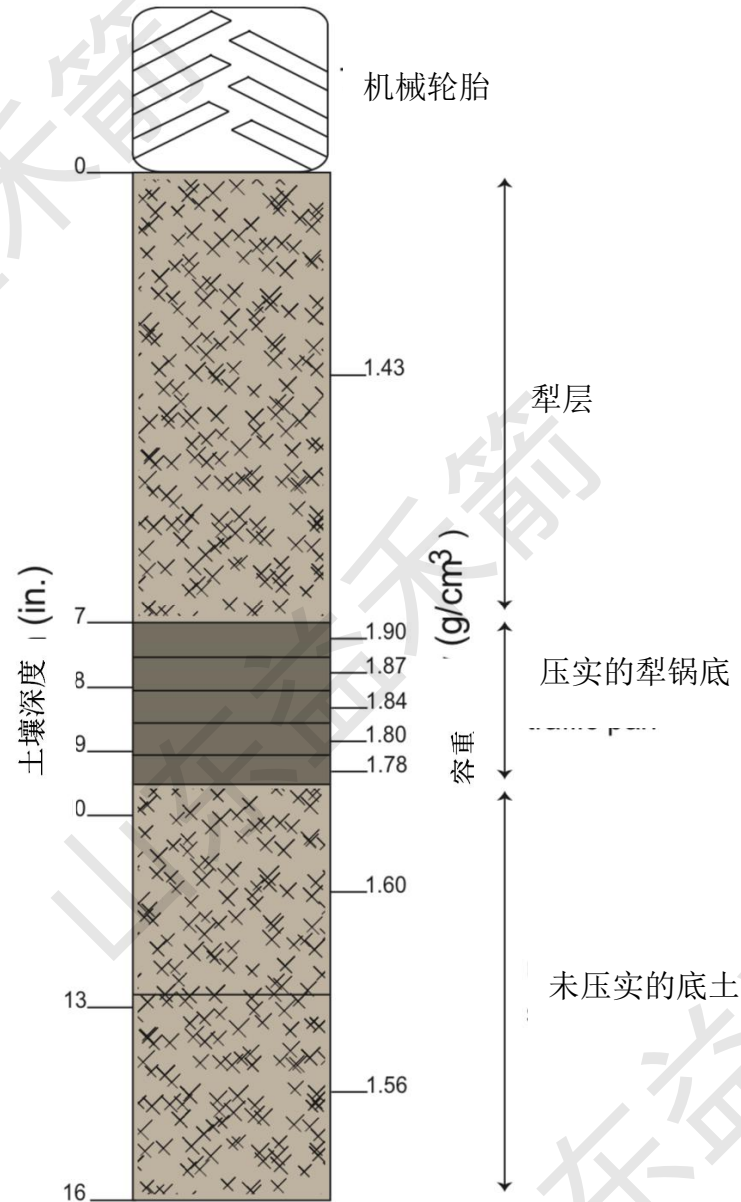
圆柱形岩心方法在土壤质量检测试剂盒指南，第4章，第9 - 13页第一节中有介绍。结果解释见第57 - 58页第3章第二节。

专业设备，快捷方式，小窍门：

样品的处理需要微波炉或烘箱，样品的质量需要称重秤。

所需时间:30 分钟

图 1 所示。耕作和重型设备运输压实了诺福克土(诺福克土)犁层以下的土壤，抑制了根系的侵入和水分在土壤剖面中的流动，形成“犁锅底”



Adapted from: The Nature and Properties of Soils, 10th Edition, Nyle C. Brady, Macmillan Publishing Company.

第5节 土壤渗透

渗透是水向下进入土壤。水进入土壤的速度是渗透率。渗透速率通常以每英寸/小时表示。来自降雨或灌溉的水必须先进入土壤，它才有价值。

1. 影响因素

内在的-渗透率取决于土壤质地(砂、粉和粘土的百分比)和粘土矿物学。在砂土中，水通过大孔隙的速度比通过粘质土的小孔隙的速度快，特别是当粘土被压实，很少或没有结构或聚集时(见表1)。

根据粘土矿物的数量和类型，许多粘土矿物在干燥时会产生收缩裂缝，为水进入土壤创造了一个直接管道。当水进入收缩裂缝时，这些粘土具有较高的渗透能力，但在其他时候，当裂缝不存在时，其渗透速率具有较慢的特点。

动态的-现存的土壤含水量影响土壤吸收更多水分的能力，这反映了气候和土景位置，以及管理实践和作物需求。在干燥的土壤中，气孔和裂缝通常是张开的，其中很多都被水填满了，或者随着土壤变湿而膨胀，所以当土壤干燥时，渗透率通常最高。当土壤变湿时，渗透速率减小至水穿过最具限制的土层的速率，例如一层密实的土层或一层致密的粘土。

作物和土地管理措施会影响地表结壳、压实和土壤有机质，从而影响渗透。由于没有植被或残留覆盖物的保护作用，裸露的土壤会受到雨水的直接冲击和侵蚀，这些雨水会把土壤颗粒排出体外。被移走的土壤颗粒填满并阻塞了表面孔隙，导致了表面结壳的形成，从而限制了水分进入土壤。

压实是由于牲畜和设备的运输，特别是在潮湿的土壤上，以及连续的不同深度的耕作，例如，在耕作层以下产生的犁盘（犁锅底）。压实或不透水的土层缩小了孔隙空间，限制了水分通过土壤剖面的移动。

土壤有机质通过对稳定的土团粒或碎屑的发育，产生积极影响而影响渗透。高度聚集的土壤增加了孔隙空间和渗透。有机质含量高的土壤也为蚯蚓等土壤生物提供了良好的栖息地，蚯蚓通过挖洞活动增加孔隙空间，创造连接地表和地下土层的连续孔隙。

那些减少土壤覆盖、破坏连续空间、使土壤密实或减少土壤有机质的管理措施都会对渗透产生负面影响。由于耕作对所有这些特性都有负面影响，因此耕作对土壤的渗透速率起着重要的作用。



向 6 直径英寸的环中加入 1 英寸的水，测定渗透率

2. 与土壤功能的关系

渗透是土壤允许水分进入和通过土壤剖面的能力的指标。土壤暂时储存水分，使其可用于根系吸收、植物生长和土壤生物的栖息地。

3. 功能不良问题

当供水量超过土壤的渗透能力时，它就会以径流的形式流向坡地或平坦土地表面的池塘。当径流发生在光秃秃或植被缺乏的土壤上时，就会发生侵蚀。径流携带养分、化学物质和土壤，导致土壤生产力下降，水体的场外沉降和水质下降。泥沙淤积会降低水库和溪流的蓄水能力，并可能导致洪水。

渗透受阻和土壤表面积水，导致土壤通气性差、根系功能和植物生长不良、养分有效性降低，土壤生物推动的循环作用减弱。积水和土壤饱和降低了土壤强度，破坏了土壤结构，增加了土壤颗粒的剥离，使土壤更易被侵蚀。由于在土壤

表面而不是在土壤剖面内，积水更容易增加蒸发量，这可导致用于植物生长的有效水分的减少。

在某些情况下，在土壤剖面上不受限制的水流动会造成环境问题，如果滥用的营养物质和化学物质通过潜流进入地下水和地表水资源的话。

导致渗透不良的保护行为包括：

合并、燃烧或收获作物残留物 土壤裸露，易受侵蚀；

耕作方法和土壤扰动破坏表面连接的气孔，阻止土壤有机质的积累；

设备和牲畜运输，特别是在潮湿的土壤上，导致压实和减少孔隙度。

4. 改善渗透性

一些保护措施，如增加植被覆盖、管理作物残体物和增加土壤有机质可帮助维持或改善水分渗入土壤。一般来说，这些做法尽量减少土壤干扰和压实，保护土壤免受侵蚀，并鼓励良好的土壤结构和连续孔隙的发育。作为一种短期解决渗透不良的方法，可以用旋转锄头或耕犁机破坏表面结壳，使用深耕法可以破坏犁耕计划或其他压实的土层。

维持或改善渗透的长期解决办法包括：增加土壤有机质和聚集，减少土壤干扰和压实的做法。高残茬作物，如玉米、小粒作物、多年生草皮和复盖作物，可以保护土壤表面免受侵蚀，并增加土壤有机质（当使用减少耕作的方法以保持土壤表面覆盖时，可种植上述作物）。

施用动物粪肥也有助于增加土壤有机质。有机质的增加，增加了土壤的团聚，改善了土壤结构，从而提高了入渗速率。保护性耕作，减少土壤扰动和种植作物所需的田间行走次数，有助于保持连续完整的孔隙空间，减少土壤压实的机会。

导致渗透率有助于土壤功能的保护措施包括：

- a. 保护性作物轮作
- b. 覆盖作物
- c. 规定放牧
- d. 残留物和耕作管理
- e. 废物利用

5. 测量渗透性

在《土壤质量检测试剂盒指南》第3章第1节7-8页中介绍了单环(浸水/积水)渗透仪的方法。结果解释见第2章第55-56页第二节

为了准确地评估入渗和比较不同土壤的入渗率,在进行测量时,土壤含水量应该是相似的。建议在野外进行测量,野外测量的定义是土壤根部的水分含量,在土壤根部的水分含量(重力作用)可以忽略不计。如果土壤已饱和,则不会发生入渗;等待一到两天,晾干,测量渗透速率。

所需时间:60 分钟或以上,视乎土壤情况而定。

表 1. 在极深湿润土壤中,一般土壤质地组的稳定入渗速率。(希勒尔, d . 1982。土壤物理学概论。学术出版社,圣地亚哥,加州)

土壤类型	稳定的渗透率 (in/hr)
砂土	> 0.8
壤土	0.2 - 0.4
粘土	0.04 - 0.2

第6节 土壤结壳

结构性土壤结壳是指在耕作和裸露土壤的表面较薄、致密、有些连续的非聚集的土壤颗粒层。当被封闭的土壤表面在降雨或灌溉后干燥时，就会形成结构结壳。撞击土壤团聚体的水滴和流过土壤的水将团聚体打碎成单个的土壤颗粒。细小的土壤颗粒冲刷、沉淀并堵塞表面的孔隙，导致土壤表面密封，防止水渗入土壤。随着泥质土壤表面变干，它就结壳。

结构外壳的厚度从零点几到两英寸不等。当它比之下的土壤干燥更快时，表层结壳会更紧密、更硬、更脆，而后者可能是松散的、易碎的。结壳可以用它们的强度或风干破裂性来描述。

土壤结壳还与生物和化学因素有关。生物外壳是生长在土壤表面的地衣、蓝藻、藻类和苔藓的生物群落，它们将土壤结合在一起。在高盐含量的土壤上可以形成沉淀的化学结壳。

1. 影响因素

内在的-土壤结壳与土壤质地、有机质和钠含量有关。表面结壳在质地细密的土壤上更常见，如粉砂、壤土和粘土。与降雨的飞溅效应相结合，增强的径流和质地精细土壤的侵蚀，增加了结壳形成的可能性。如果存在于质地粗糙的砂土上，结壳通常薄而弱。

有机质含量低导致土壤结构不良，孔隙空间缩小，以及脆弱、不稳定的聚集体，当雨滴击中它们时，它们就会分崩离析。降雨和径流将土壤分散成单个颗粒，这些颗粒堵塞土壤孔隙，并使土壤表面形成土壤结壳。

高钠含量的土壤更容易形成表面结壳，因为这些土壤更容易随着降雨和灌溉而分散。

动态的=耗尽土壤有机质、使土壤裸露、光滑并暴露在降雨直接影响下的管理活动，增加了土壤的分散性、表面封闭性、径流、侵蚀和结壳。过度耕作会使土块破碎成更容易破碎的小块，掩埋大部分植物残渣，加速有机物的分解。去除大部分或全部地上生物质的收获方法，也可以阻止或减少有机质的积累和对土壤

表面的保护。在作物和它的保护性树冠形成之前，清除残留物也会使土壤暴露在阳光直射下，这会增加土壤温度，加速土壤表面的干燥，形成硬壳。

2. 与土壤功能的关系

土壤表面结壳表明渗透不良、有问题的苗床、土壤和大气之间的空气交换减少。它还可以表明土壤的钠含量很高，当它被雨水或灌溉湿润时，钠含量增加了土壤的分散性。

3. 功能不良的问题

由于硬壳比较难破，限制了幼苗的出苗，特别是在非草类植物中，如大豆和苜蓿等作物。如果土壤结皮是湿的，结皮还可以减少氧气向土壤剖面的扩散，最多可减少 50%。在作物种植后不久，结皮会导致作物出现如此糟糕的苗头，以至于作物可能不得不重新种植。

地表封闭性和结壳性大大减少了渗透，增加了径流和侵蚀。增加的径流导致土壤中可供植物生长的水分减少。

结壳表面的阳光(和能量)反射率高于无壳的土壤，因此有壳的地方土壤温度可能较低，表面蒸发减少(见图背面)。这可能会对凉爽气候下健康幼苗的萌发和发育产生负面影响。

结壳土的相对光滑的表面，最初会增加沙质土的风蚀。松散的沙粒吹过，磨损了结壳光滑的表面。表面粗糙的结壳最终会减少风蚀。对于含有少量沙子的土壤，坚硬的结壳可以保护土壤表面不受风蚀。

表面结壳还有其他有限的好处。与耕作过的松软土壤相比，结皮土壤暴露在空气中的表面积更小，因此可以减少水分流失。此外，结壳对土壤水分的蒸发形成了障碍。减少的土壤水分蒸发意味着更多的水留在土壤中供植物使用。

导致土壤结壳的行为包括：

a. 收割、燃烧、填埋、或其他移除植物表面残渣和覆盖物，以至于土壤在一个延长了的时间周期内裸露。

b. 破坏土壤有机质、土壤结构和团粒体的干扰活动，导致很光滑的苗床。

4. 避免土壤结壳

减少土壤结壳发展或尽量减少其负面影响的措施包括：保护或增加土壤结构和有机质，并在土壤表面提供保护性的植物或残留物覆盖物。农田免耕或少耕是减少或消除结皮的最好方法。如果需要耕作，应只耕作到种子发芽和出芽所需的最低水平。大种子作物不需要和小种子作物一样细碎的土块或平整的苗床。残渣拦截了降雨的力量，也是有机物质的来源。有机质稳定土壤团聚体，使它们更能抵抗雨滴的物理冲击。改善的团聚体导致更低体积密度，孔隙空间增大，改善土壤渗透和水分运动。

改善渗透和水通过土壤的移动，减少了表面积水和径流，并有助于保护土壤免受侵蚀。良好的土壤结构和集合体的稳定性对支持健康、旺盛的植物是至关重要的。用保护性耕作方法管理土壤表面及地表下的植物残渣，增加了土壤有机质同时保持和改善团聚体的稳定性和土壤结构。

为了减少钠含量高的土壤的表面结壳，灌溉用水管理可以防止钠在土壤表面积累，可以使用石膏(硫酸钙)促进土壤絮凝，抑制土壤颗粒的分散。



左:注意土壤表面的外壳。这块地在高羊茅草皮上生长了 11 年。用传统的耕作方法清理和犁地。照片由美国农业部 NRCS (退休) 鲍比·布洛克提供。右图:采集自乔治亚州皮埃蒙特南部的一块免耕土地，右图的土壤明显具有良好的结构和聚集性。在常规耕作下，同一土壤形成了结壳。请注意结壳土壤的阳光反射率。照片由美国农业部 NRCS 的 James E. Dean 提供

可能需要用浅的、轻的耕作操作(如用旋转锄头或耕垄机)打碎土壤结皮,最好是在土壤仍然潮湿的时候。轻耕可以增加秧苗出苗率,并有助于控制杂草。灌溉水也可以用来帮助秧苗出苗。

尽量减少土壤结皮的保护措施包括:

保护性作物轮作

覆盖作物

残渣和耕作管理

盐和钠的土壤管理

5. 土壤结壳的测量

在结壳边缘取 1/2 英寸的一块干燥的结壳,在边缘施加一个力,直到结壳断裂,这样就可以测量结壳的风干断裂阻力。一般来说,对于厚且粘土含量高的结壳,需要更大的力。可以用一种透度计来测量结壳的穿透电阻。结壳厚度也可以测量。

专业设备,简便方式,小窍门:

可能需要一种透度计来测量土壤结壳的穿透阻力。

所需时间:30 分钟

第 7 节 土壤崩解

崩解是指空气干燥的大型土壤团聚体(>2–5 mm)突然浸泡在水中时，崩解成较小尺寸的微团聚体(<0.25 mm)。当团聚体不够坚固，不能承受快速吸水引起的内应力时，就会发生崩解。内应力源自于粘土颗粒不同程度的膨胀、在土壤孔隙中滞留和逃逸的空气、润湿过程中热量的迅速释放、以及流动的水的机械作用。

与崩解形成对比的是，团聚体稳定性测试测量的是土壤抵抗外部破坏力量的能力，例如雨滴飞溅的冲击。团聚体稳定性差和崩解导致土壤颗粒脱落，沉降到



这些照片拍摄于加州戴维斯附近的田野。土壤中含有黏土，具有轻微至中等的膨胀势。左图：土壤团聚体收集自一块农田，使用有机管理轮流生产干豆。土壤有机质有助于团聚体抗风化。右图：传统核桃作业收集的土壤团聚体稳定性差得多，在迅速湿润的情况下会破裂。核桃园的频繁耕作，破坏了植物残留，阻止了有机质的积累。

孔隙中，造成地表密封，减少渗透和植物有效水分，增加径流和侵蚀。

1. 影响因素

内在的-崩解受湿润率、土壤含水量、土壤质地、粘土类型和有机质等因素的影响。崩解会随着湿润速度的增加而增强，特别是在土壤起始干燥时。湿性团聚体比自然干燥的团聚体不易崩解，因为它们已经完成了部分或全部的膨胀，而且有些孔隙已经充满了水。包埋空气的压力是导致壤土崩解的主要因素，而粘土的崩解则与土壤膨胀有关。熟化受蒙脱石等泥晶粘土的影响，蒙脱石干时收缩，湿时膨胀。土壤水分是这些粘土结构的一部分。蒙脱石可以比高岭石膨胀 25 倍以上。在高岭土中，即使是少量的 smectites 的存在，也会显著影响土壤的熟化、土壤的分散和表面的封闭性。高收缩-膨胀势的土壤在美国中部地区很常见(见图 1)。高粘土的快速润湿增加了不同的膨胀程度和孔隙空间中滞留空气的体积，从而产生内应力并使团聚体破裂。

崩解受蒙脱石粘土，比如蒙脱石存在的影响，蒙脱石干时收缩，湿时膨胀。土壤水分是这些粘土结构的一部分。蒙脱石可以比高岭石膨胀 25 倍以上。在高岭土中，即使是少量的蒙脱石的存在，也会显著影响土壤的崩解、土壤的分散和表面的封闭性。具有高收缩-膨胀势的土壤在美国中部地区很常见。

高粘土的快速润湿增加了不同的膨胀程度和孔隙空间中滞留空气的体积，从而产生内应力并使团聚体破裂。

相对于雨滴溅落对土壤团聚体外部破坏的影响，对于结构稳定的粘土，对其颗粒分离和表面封闭起主要作用的是崩解。相反，粘土与有机质的结合起到了粘合剂的作用，将土壤颗粒粘合在一起。有机质也影响水分被土壤湿润吸收的速度。

动态的-土壤有机质的加入可提高土壤的抗应力能力，促进团聚体的形成和团聚体的稳定性。重复不断的耕作阻止有机质积累，或导致有机质流失并使土壤团聚体分解成更细的颗粒。由于有机质的损失降低了团聚体的稳定性，因此崩解率随着有机质的减少而增加。

2. 与土壤功能的关系

崩解指示了土壤团聚体的稳定性、抗侵蚀性，并提示当土壤被迅速湿润时，土壤如何能很好地维持其结构，为植物和土壤生物提供水和空气。有限的崩解表明，有机质存在于土壤中，帮助将土壤颗粒和微团聚体结合成更大、更稳定的团聚体。

3. 功能缺乏问题

土壤颗粒的崩解堵塞了土壤孔隙，形成土壤结皮，减少了渗透和水分在土壤中的流动，增加了径流和侵蚀。由崩解而产生的小团聚体聚集在一起，形成了比具有较大团聚体时更小的孔隙空间。孔隙体积可能会减少，植物利用储存在孔隙空间中的水分的能力可能会改变。

导致崩解产生的措施包括：

- 干扰土壤的传统耕作方法，加速有机物分解，
- 焚烧、收割或以其他方式移除作物残留物，
- 使用对土壤生物有害的杀虫剂，而这些生物循环有机质、强化团聚体。

4. 防止崩解

保护性耕作系统，如免耕，通过减少破坏团聚体和加速有机物分解的土壤干扰活动来减少崩解。免耕和残留管理增加了土壤有机质，改善了集团性和土壤结构，特别是当覆盖作物或以大豆为基础的轮作提供了额外的残留来源时。减少崩解的保护措施包括：

- 作物轮作保护
- 覆盖作物
- 按规定放牧
- 残留和耕作管理

5. 测量崩解

土壤稳定性试验见《土壤质量试验试剂盒指南》第9章第一节，第20 - 21页。结果的解释见第8章第二节，第72页。

专业设备，简便方法，技巧：

该测试使用直径 2.5 厘米、开口 1.5 毫米、安装在 PVC 管支架上的筛子，同时对 18 个样品进行评估。

所需时间：每批大约 10 分钟



传统耕作的玉米
有机质含量低

多年生草皮
有机质含量高

从 20 年常规耕作玉米和多年生牧草草皮系统收集的土壤样品，用水饱和后晾干。值得注意的是，与在高有机质多年生草皮样中稳定团聚体的丰度相比，在低有机质常规耕作样中土壤结壳，照片由 Ray R. Weil，马里兰大学提供

第 9 节 土壤结构与宏孔

砂、粉砂和粘土颗粒是构成土壤的主要矿物。土壤结构是原生土壤颗粒组成团聚体的组合或排列。土壤结构以团聚体大小、形状和差异分别作为分类、类型和等级的基础，土壤结构描述了土壤颗粒聚集的方式。土壤结构影响着水和空气在土壤中的运动，极大地影响着土壤维持生命和执行其他重要土壤功能的能力。

土壤孔隙存在于团聚体之间和内部，这些孔隙被水和空气所占据。宏孔是大的土壤孔隙，通常在团聚体之间，其直径一般大于 0.08 毫米。宏在重力作用下可以自由排出水分，让水和空气轻松流动。它们为土壤生物提供栖息地，植物的根可以生长在其中。微孔是一种直径小于 0.08 毫米的小土壤孔隙，通常存在于结构性团聚体中。需要用吸力从微孔中除去水分。

1. 影响因素



高残留和覆盖作物为土壤提供有机质，而免耕管理有助于保护有机质并允许积累。有机物为蚯蚓和其他土壤生物提供食物。它们都发挥着发展或保护土壤结构和大孔隙的作用，以帮助土壤在高水平上发挥功能。插图显示了宏观孔隙和微观孔隙与土壤团聚体的关系。

内在的-粘土颗粒的聚集作用和粘土团粒的收缩、膨胀作用是影响土壤结构发展的主要因素。粘土颗粒表面带着负电荷，使它们相互排斥，但同时又吸引和

吸附土壤中的阳离子。当粘土表面的负电荷被紧密吸附的多价阳离子(如 Ca^{2+} 和 Al^{3+}) 中和时, 就会形成堆积的粘土颗粒。此外, Ca^{2+} , Fe^{2+} 和 Al^{3+} 絮凝(团在一起)堆积的粘土颗粒, 与腐殖质(带负电荷, 高度分解, 稳定的有机物)结合, 形成小的, 稳定的土壤团聚体。

相反, 钠离子(Na^{+})与土壤的分散有关。它们是一价的, 相对较大, 在干旱和半干旱地区的一些土壤中, 它们是吸附在粘土颗粒上的主要阳离子。钠离子电荷较弱, 粒径较大, 对粘土堆积和团聚体形成没有促进作用。分散的粘土使土壤几乎没有结构, 不透水和空气, 对植物生长不利。

当土壤变干, 水分被去除时, 粘土堆会靠近, 土壤体积会缩小, 粘接较弱的区域会出现裂缝。随着降雨(或灌溉)和植物的迁移, 土壤的湿润和干燥循环不断重复, 形成了广泛的裂缝网络, 土壤团聚体轮廓变得更加清晰。冻结和融化循环具有类似的收缩和膨胀效应, 因为冻结土壤水形成冰晶使水从粘土结构中抽走。收缩和膨胀破解、压缩土壤颗粒, 使之成为具有清晰结构的团聚体。某些类型的粘土颗粒具有自身的收缩-膨胀特性。

动态的-虽然化学和物理因素在粘土小团聚体的形成中起着突出的作用, 但生物过程对于大团聚体和宏孔的发育是重要的, 它们是砂土聚集的主要因素。重要的生物过程包括: 蚯蚓在土壤中挖洞, 取食土壤颗粒形成粪柱(cast), 形成黏性根系和真菌菌丝网络, 真菌和细菌产生有机胶。植物的根也有助于宏孔的聚集和发展, 因为它们在生长时穿过土壤, 或者在它们死亡时留下通道。菌根, 或线状真菌, 会分泌一种叫做 glomalin 的粘性蛋白质, 这是一种有效的胶结剂, 能在短期内稳定大型聚集体。有机胶是真菌和细菌在分解植物残渣时产生的。由根系和微生物产生的抗水物质为土壤团聚体提供了数月 to 数年的长期稳定性。

有机质是聚集体形成的主要促成因素, 可直接受到人类管理的影响。它为释放有机产品的微生物过程提供能量。这些有机产物与土壤颗粒以及铁和铝的氧化物发生化学作用, 将土壤颗粒结合在一起形成团聚体。**耕作对团聚体和土壤结构有有利的和不利的**影响。短期内, 耕作将土块分开, 将有机质融入土壤, 并使土壤变得疏松以增加孔隙度;但是, 长期耕作会增加有机物的分解, 阻止其积累, 降低其聚集效应。湿润土壤的耕作一般会破坏表层土壤结构。

2. 与土壤功能的关系

与土壤结构相关的重要土壤功能有：维持生物生产力，调节和分配水和溶质流动，循环和储存养分。基于对水和空气交换、植物根系侵入和土壤生物栖息地的影响，土壤结构和宏孔对以上每一个功能都起着至关重要的作用：颗粒结构通常与表层土壤有关，特别是那些有机质含量高的表层土壤。颗粒结构的特点被堆积的松散性、土壤团聚体的易碎性和宏孔的连通网络表征，这些宏孔允许快速渗透和促进生物生产力。地下层的结构和孔隙空间影响着排水、通气和根系的侵入。板状构造常是压实的指示。

3. 功能缺乏问题

具有不良结构和低渗透性的粘性土壤，可能经历过径流、侵蚀和表面结壳。现场的影响包括，侵蚀引起的养分和土壤流失，以及土壤结壳导致的发芽和幼苗出苗率较低。场地外的影响包括，由于浑浊、沉淀和养分富集而使接收地的水质下降。水进入砂质土壤可以是快速的，但是结构不良的砂质土壤的地下排水也可以是快速的，这样土壤就不能保持植物生长或生物栖息地所需的水分。

导致土壤结构不良的做法包括：

- 使土壤暴露于远高于正常干燥、降雨、细流、风侵蚀的不利环境。
- 传统耕作和加速有机质分解的土壤干扰，包括：
- 残留物收集、燃烧或其他清除方法，阻止了土壤有机质的积累
- 过度放牧，削弱了放牧范围和牧草植物，导致根系衰退，生长不良和裸露
- 运输设备或牲畜在潮湿土地上行走
- 生产和灌溉方法不当，导致盐或钠在表层土壤中的累积

4. 改善土壤结构和宏孔

提供土壤覆盖、保护或导致有机质积累、保持植物健康和避免压实的措施，可改善土壤结构和增加宏孔。

改善土壤结构，促进有利于土壤功能的宏孔产生的措施包括：

- 覆盖作物
- 保护性作物轮作
- 灌溉用水管理

- 规定放牧
- 残留和耕作管理
- 土壤盐碱化管理

5. 评价土壤结构和宏孔

Schoeneberger, PJ, Wysocki, DA, Benham, EC, 和 Broderson, WD(编辑)。2002. 描述和土壤取样的田间书, 2.0 版。自然资源保护服务, 国家土壤调查中心, 林肯, 东北部。

土壤结构见《土壤质量检测试剂盒指南》第 11 章第一节, 第 23 - 27 页。意见的解释见第 10 章第二节, 第 76 页。

所需时间:60 分钟



表层土壤的疏松结构与有机质含量有关。