

## 土壤生物与土地质量管理

### 目 录

土壤生物管理的目标 .....	1
为什么土地管理者要了解土壤生物? .....	2
地下生物群落 .....	4
什么控制着土壤生物? .....	5
一般的管理策略 .....	7
农田具体管理策略 .....	11
评价和监控.....	15
总结 .....	17

### 简介

本技术说明书的目的是，提供土地管理决策对地下食物网构成影响的信息，指出土壤生物功能的变化是土地管理者在改变管理方式时应注意的问题。这些信息并不是一套规范性的指导方针，而是旨在提高认识并促进实地试验。

### 一. 土壤生物管理的目标

土壤生物群落管理的目标是提高土壤生物功能，包括形成和稳定土壤结构、养分循环、防治病虫害、降解或解毒污染物等。

研究表明，管理措施和干扰对土壤生物功能的影响主要表现在：1) 增强或降低土壤微生物栖息地；2) 添加或移除食物资源；3) 直接添加或杀死土壤生物。虽然人们知道管理措施会影响土壤生物，但支持制定详细管理策略的知识还是相当有限。一种特定的措施可能在一种情况下产生预期的结果，但在另一种情况下却几乎没有影响，因为生物群落会对多种因素的相互作用作出反应，包括食物来源、物理栖息地、水分和历史土地利用的影响。因此，在一种新产品或新措施在大面积应用之前，它应该在有限的区域内进行测试，并与未处理的地块相比，对结果要进行监测。

## 二. 为什么土地管理者要了解土壤生物学?

### 1. 能量与食物网

通过农业,太阳能被转化为食物、饲料和纤维。然而,大部分被植物吸收的太阳能并不能在作物收割时直接收获;相反,它还要为地下食物网提供食物。喂养“地下牲畜”对于生产性的森林、牧场和农田是必不可少的。图1显示了能量是如何通过地下土壤生物重复循环的。土壤食物网是能量、养分和水循环的一部分。当以植物为基础(地上)的食物网捕捉到太阳的能量时,能量循环就开始了。营养的有效性是由以碎屑为基础的(地下)食物网控制的。水循环还要受到植物、土壤和土壤生物相互作用的影响。

### 2. 土壤食物网的功能

#### 1) 营养循环

在一个健康的土壤生态系统中,土壤生物区系通过多种方式调节养分的流动和储存。例如,它们分解植物和动物的残渣,固定大气中的氮,将氮等营养物转化为各种有机和无机形态,释放有效形态的植物养分,转运磷,形成菌根(真菌-根)缔合物进行养分交换。即使是外部施用的肥料,在被作物利用之前也可能先进入土壤生物之口。

#### 2) 土壤的稳定与侵蚀

土壤生物对土壤结构的形成和稳定起着重要作用。在一个健康的土壤生态系统中,真菌菌丝、微生物的分泌液和蚯蚓有助于将土壤颗粒结合在一起,形成稳定的团聚体,改善水分的渗透性,保护土壤免受侵蚀、结壳和压实。由蚯蚓和其他穴居生物形成的大孔隙促进水进入和通过土壤。良好的土壤结构促进根系发育,从而进一步改善土壤。

#### 3) 水的质量和数量

通过改善或稳定土壤结构,土壤生物动力有助于减少径流,提高土壤的渗透和过滤能力。在一个健康的土壤生态系统中,土壤生物通过缓冲、解毒和分解潜在污染物来减少污染的影响。细菌和其他微生物越来越多地用于污染水和土壤的修复。

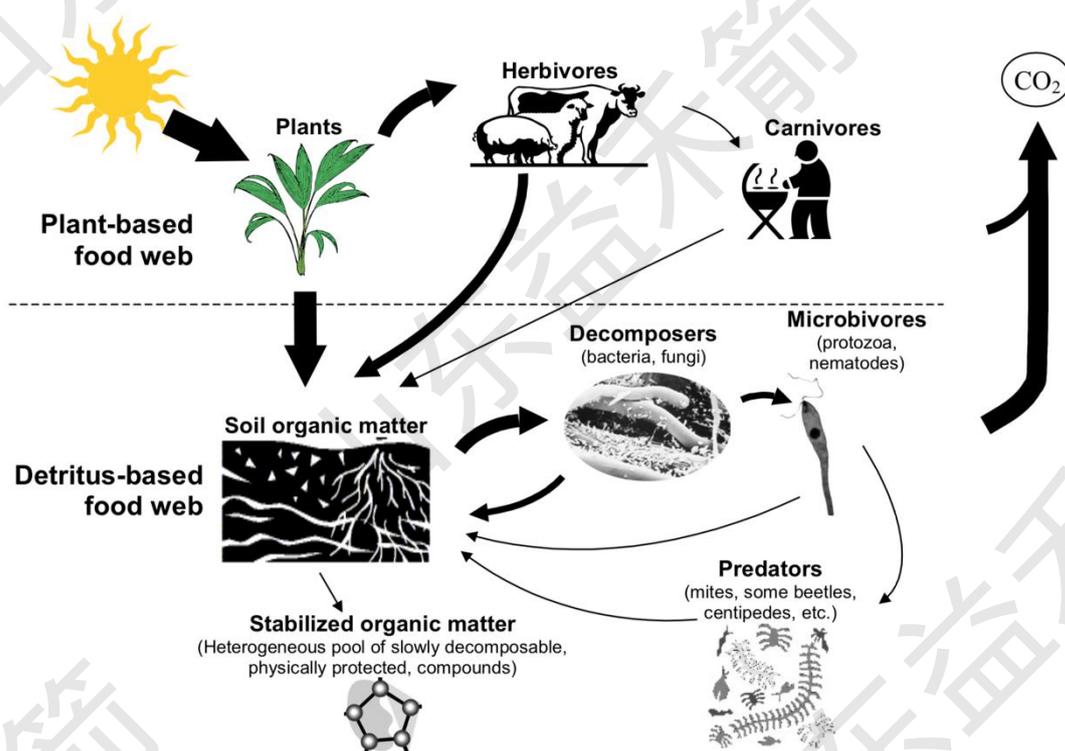
#### 4) 植物健康

引起植物病害的土壤生物数量相对较少。一个健康的土壤生态系统有一个多

样化的土壤食物网，通过竞争和捕食来控制害虫生物。一些土壤生物释放出能促进植物生长或降低病害易感性的化合物。植物可能会散发出特定的物质，吸引有益的生物或排斥有害的生物，特别是当它们处于环境胁迫之下时，比如放牧。

### 3. 复杂性与功能

许多土壤生物功能是由土壤生物之间复杂的相互作用而产生的，是不能通过综合土壤生物个体的活动来预测的。土壤群落执行这些功能的好坏部分取决于生物群落的复杂性。复杂性既是物种数量的因素，也是物种的不同种类或功能的因素。更大的复杂性可能意味着更多的功能多样性和更多的功能冗余性，因此更稳定。例如，当多个种群的微生物将铵转化为硝酸盐时，即使一个种群灭绝，硝化作用(硝化作用)将继续执行。功能冗余是“保险假说”背后的基本概念。该理论



认为，生物多样性可以防止生态系统功能的衰退。

图 1 所示。以植物为基础(地上)和以碎屑为基础(地下)的食物网。箭头代表能量流(通常以碳单位测量)。地上的有机质进入土壤有机质库，60%–80%的碳最终以二氧化碳的形式流失。(基于 Chapin 等人，2002 年，图 11.12。)

### 三. 地下生物群落

土壤生物可以按图 2 所示的大小分组，也可以按如下所述的功能分组。

#### 1) 分解者

细菌、放线菌(丝状细菌)和腐生真菌降解动植物残留、有机化合物和一些农药。细菌通常，但不完全是降解更容易分解(低 C:N 比率)的物质，而真菌可以使用更复杂的化学物质。(见第 7 页和第 8 页的方框)细菌通常会降解它们所能降解的特定物质；然后真菌分解剩下的部分。

#### 2) 牧食者和捕食者

原生动、螨虫、线虫和其他生物以细菌或真菌为食；捕食其他种类的原生动物和线虫；或者既牧食又捕食。食草动物和捕食者在消耗微生物时释放植物可利用的营养物质。生物体通常只专注于一种猎物，例如细菌或真菌。某些跳虫(弹尾虫)甚至专注于特定种类的真菌。其他生物则是多面手，它们会以遇到的任何微生物为食。

#### 3) 枯枝落叶的破碎者

节肢动物是腿有关节的无脊椎动物，包括昆虫、蜘蛛、螨虫、弹尾虫、蜈蚣和千足虫。许多土壤节肢动物撕碎并消耗植物凋落物和其他有机物，增加了分解者可利用的表面积。与最初的垃圾相比，它们粪便中的有机物在物理和化学上更容易被微生物获取。一些破碎者，尤其是蚂蚁白蚁、金龟子和蚯蚓是生态系统工程师，它们通过咀嚼和在土壤中挖洞，从物理上改变其他生物的土壤栖息地。生活在它们内脏里的微生物(分解者)会分解植物残渣、粪便和粪便颗粒，它们会随着土壤一起被消化。

#### 4) 共生生物

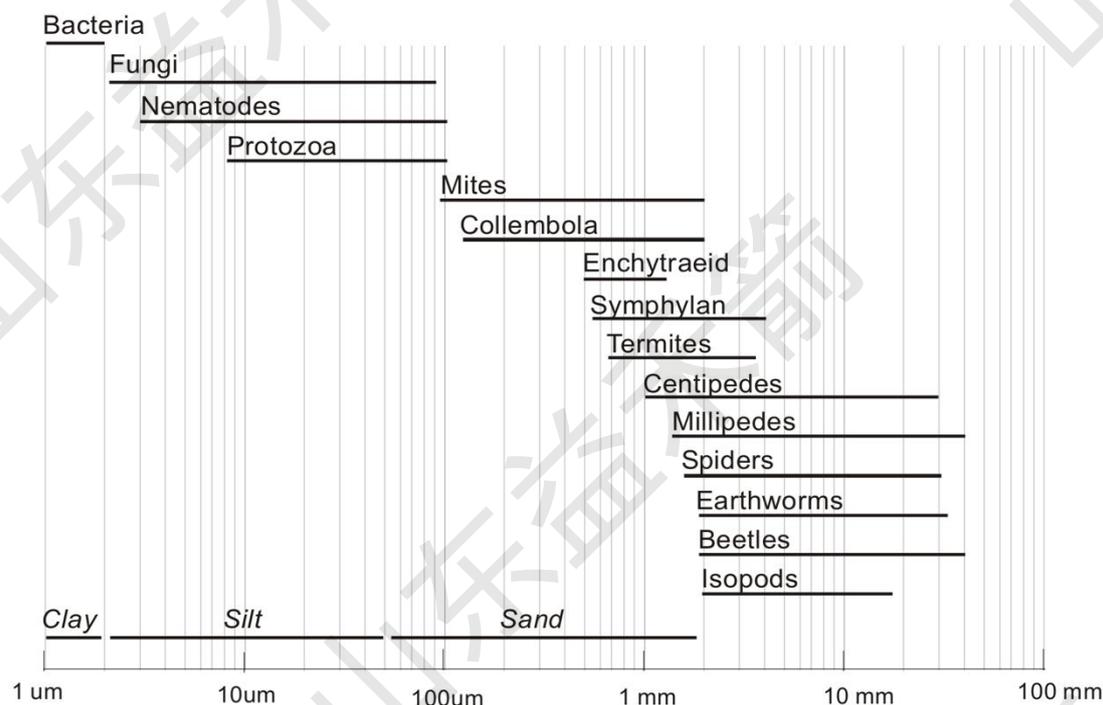
菌根真菌、固氮细菌和一些自由生活的微生物与植物共同进化，形成与植物互利的关系。菌根是真菌和植物根之间的联系，其中真菌为植物提供养分和水分，而植物为真菌提供食物。这些真菌可以存在于植物根细胞壁的内部(内生菌根)或外部(外生菌根)。常见的丛枝菌根(AM 或 VAM 真菌)是内生菌根。

#### 5) 病原体，寄生虫和食根动物

致病的微生物只占土壤微生物的一小部分，但研究人员对它们的研究最多。致病的生物包括某些种类的细菌、真菌、原生动物、线虫、昆虫和螨虫。

#### 四. 什么控制着土壤生物?

人们可以调整管理策略来影响控制土壤生物群落的因素。土壤生物活性是由三个不同水平的因子决定的：1) 在生物个体的尺度上，生物活动是由微生物栖息地的温度和湿度等条件决定的。2) 在种群尺度上，生物活性取决于生境多样性的数量、生境干扰的类型以及不同土壤种群间的多样性和相互作用。3) 在生物过程的尺度上，生物种群与土壤理化性质的相互作用影响着养分循环或害虫防治等



功能。

图 2. 土壤生物体宽 (Swift et al., 1979)。

例如，考虑耕作在每一种尺度下对蚯蚓的影响。就单个生物而言，一次耕作可能杀死多达 25% 的单个蚯蚓。在种群规模上，一次耕作可能在几个月后影响减小，因为蚯蚓会繁殖和重建它们的种群。在土壤过程的尺度上，随着时间的推移，耕作会削弱土壤结构，减少真菌和蚯蚓可利用表面残留物的数量。随着真菌和蚯蚓活性的下降，土壤稳定性下降，改变了其他生物的微生境。

##### 微观因素

以下环境因素影响土壤生物的类型和活动水平。这些因素可能在土壤中很短距离就发生变化。考虑每个因素是如何受到气候、土壤质地、一天或季节中

所处的时间，以及包括耕作、轮作和灌溉在内的管理措施的影响。

- 食物(营养及能量)

所有的生物都需要一个食物源来提供营养和能量。所谓“初级生产者”是那些利用光合作用从阳光和二氧化碳制造食物的生物。所谓“消费者”是指那些使用

#### 厌氧土壤生物过程

发酵-将糖转化为酒精。

反硝化-硝酸盐还原为气态氮。

甲烷生产-在沼泽和瘤胃中将有机碳转化为甲烷(CH<sub>4</sub>)。

硫还原-将硫酸盐还原成硫化氢或硫磺。

#### 好氧土壤生物过程

呼吸作用-氧化有机物最终转化为二氧化碳和水。

氨化-从有机化合物中产生氨的过程。也可厌氧缓慢地发生。

硝化作用-铵氧化成亚硝酸盐，再氧化成硝酸盐。

用来自其他生物体的有机化合物作为碳和能量来源的生物。一小群细菌从无机氮、硫或铁化合物中获取能量，而不是从阳光或有机化合物中获取能量。这些细菌在循环植物所需的一些营养物质方面很重要。土壤生物还需要不同数量的大量营养元素(氮、硫、磷)和微量营养素(铁、铜、锌)。所有这些营养物质的数量和营养物质来源的质量会对某些生物有利，这取决于每个物种的需求和偏好。

- 氧气

动物和大多数土壤生物都是专性需氧生物，这意味着它们需要氧气。有些细菌是专性厌氧菌，这意味着它们需要无氧条件才能发挥作用。许多生物是

兼性厌氧菌，这意味着它们可以改变代谢途径，根据环境条件发挥好氧菌或厌氧菌的作用。厌氧菌使用硝酸盐、硫酸盐或铁代替氧作为电子受体。有氧呼吸是最常见的新陈代谢形式，每单位有机物产生的能量通常比通过无氧代谢产生的能量多十倍。厌氧条件和厌氧微生物在沼泽和其他水饱和土壤中占主导地位。然而，即使是排水良好的土壤，也会有几毫米范围内的厌氧和好氧微区域。需氧和厌氧生物的过程一览表见下一页。

- 其他物理因素

水分、温度、光线、pH值和导电性(盐度)是决定生态系统中生物活动水平的其他关键因素。每种细菌都有不同的最佳条件，但总体细菌活性在20℃至40℃

之间、pH 值在 6 至 8 之间以及孔隙中含水约 60%时最高。土壤的质地和孔隙度决定了土壤生物以及空气和水在土壤中流动的有效空间量。因此，孔隙率、曝气率和湿度水平是相互联系的。相对较大的生物，如线虫和小螨虫(图 2)，需要较大的孔隙空间才能移动。许多生物，包括原生动物和线虫，本质上是水生的，需要水膜。

### 社区-规模化因素

上述微尺度因子直接影响土壤生物。然而，要了解土壤的生物学功能，还必须考虑生境异质性、干扰和生物相互作用等大尺度因素。

#### ● 资源的异质性

异质性可以是指食物来源的变化或上面列出的任何其他微尺度条件的不同。土壤生境的异质性导致土壤食物网结构的多样性和复杂性。植物多样性是创造异质性的的重要手段，因为植物影响食物来源、物理生境(如根结构和土壤结构)以及对土壤生物的化学引诱和阻碍。

#### ● 干扰

人类土地的所有使用，特别是农业，都受到自然和人类的干扰，包括火灾、收获、耕作、压实、过度放牧、疾病或施用杀虫剂。干扰的频率、严重程度和时间决定了它们对土壤生物活动的影响。根据中间干扰假说，生物多样性和稳定性的最大水平发生在外部干扰的“金发女孩原则”数量时-不要过多的过程被不断地打乱，也不要过少的物种获得了统治地位。传统种植制度是高度扰动的制度。低投入、保护性耕作和轮作可能是中度扰动生态系统的一个例子。

#### ● 与其他生物的相互作用

土壤种群受到与其他土壤生物相互作用的影响。生物相互作用的一种类型是对有限食物和栖息地的**竞争**。第二种是大型生物的**捕食**，如线虫和螨虫。第三种类型是对双方都有利的互惠互利的**共栖**，如那些涉及菌根、共生固氮的许多根际微生物和生活在蚯蚓肠道中的微生物。当土地管理措施不成比例地影响一组生物而不是另一组时，它们就会影响土壤生物之间的相互作用。

## 五. 一般管理策略

下面介绍了四大管理策略。当这些策略被使用时，土壤生物群落的多样性和功能可能会得到改善。管理计划应该考虑管理措施和干扰的时间，以及它们对土

壤生物学影响的持续时间和程度。管理和干扰的影响随季节而变化，土壤群落从特定实践或干扰中恢复的能力分布范围很宽泛。

### 1) 有机质管理

有机物质的定期输入对于提供驱动土壤食物网的能量供应是必不可少的。每一种有机物质的来源都偏爱不同的生物组合。(参见方框、本页和下一页。)因此，某种资源的类型可以支持某种生物的类型。有机物的位置—无论是在地表，混入土壤，还是作为根—也影响着在食物网中占主导地位的生物的类型。

在任何土地利用方式下，向土壤中输入的有机物质都可以通过提高植物生产力和增加年生物量的产量来增加。特别是，良好的根系生长对土壤有机质的积累非常重要。高生物量生产应与其他有机物质管理措施相结合，包括尽量减少残留物的清除和耕作，种植覆盖作物，添加粪肥、覆盖物或其他修正措施。

### 2) 多样性管理

#### 有机物质的组成

有机物质是由具有不同化学键和分支特征的化合物组成的多相混合物。每一种生物都有分解某些化合物所必需的酶，而分解另一些则不然。例如，木质素是一种难以降解的有机化合物，只有白腐菌和褐腐菌才能分解它。

来自植物的有机物的组成差别很大，但一般由 60-70%的碳水化合物(多糖)、15-20%的木质素和 15%的其他化合物，包括蛋白质、核酸、脂质、蜡和色素。

随着时间的推移，地貌中植物组合的多样性促进了各种微生物栖息地和土壤生物的多样性。达到一定程度后，土壤生物功能一般随土壤生物群落复杂性或多样性的增加而增强。多样性应考虑多种类型，如土地用途(缓冲区、森林、行栽作物、放牧场)的多样性，植物类型(多年生、一年生、木本、草本、阔叶、豆科植物等)，根系结构(丝状、纤维状等)和土壤孔隙大小。随着时间的推移整个地貌的多样性是可取的。土地管理人员可以通过适当的放牧管理、零星或选择性采伐树木(与广泛的全伐相比)、植被覆盖的围栏、缓冲带、带状种植和小地块来增加多样性。这些地貌特征为

有益的节肢动物提供了避难所。随着时间的推移，可以通过作物轮作实现多样性。

轮作作物每年向土壤中注入不同的食物来源，鼓励各种各样的生物，并防止单一的害虫物种的形成。

### 3) 保持地面覆盖

在地表或接近地表的土地覆盖，会缓和土壤的温度和湿度；为真菌、细菌和节肢动物提供食物和栖息地；并防止侵蚀造成微生物栖息地的破坏。通过保持土

#### 碳氮比

有机物的碳氮比(C:N)可以从细菌的 4:1 左右(低碳,高氮)变化到木质材料的 200:1 - 600:1。麦秸的比例约为 80:1, 豆苗的比例可为 15:1。农业土壤有机质碳氮比平均为 10:1。真菌的 C 含量相当稳定, 为 45%, 但 N 水平不同, 导致 C:N 比为 15:1-4.5:1。

低碳物质对微生物的营养质量很低。当有机物质被添加到土壤中时, 碳就会引发微生物的生长。如果添加物中的氮量不足以支持植物的生长, 微生物就会从土壤中吸收氮, 并将其固定在自己的组织中, 从而至少暂时剥夺植物的氮。根据经验法则, 碳氮比小于 25 或 30:1 的材料不会引起植物的氮缺乏。C:N 比值较低的材料容易迅速分解。碳氮比较高的材料分解速度较慢, 如果在减少耕作制度中同时增加氮肥投入, 则可能导致碳储存或固定在土壤中。土壤有机质的 C:N 比值为研究微生物群落提供了线索。例如, 与细菌相比, 更高的比例往往支持更多的真菌。低碳氮比的土壤有机质的不稳定库暗示 SOM 由高比例的微生物组成。

壤表面有活的植物、生物结壳或植物残留物, 最小化每年土壤裸露的时间。活的植物作为覆盖物尤其重要, 因为它们在活的根的一到两毫米范围内创造了根圈, 这是土壤生物活动集中的地方。

根周围的微生物利用植物的分泌物和脱落的根细胞。维持根际环境是使用覆盖作物的重要好处之一。除了保护微生物的栖息地, 覆盖作物通过生长季节的额外延长保护节肢动物的栖息地, 帮助建立和维持节肢动物的种群和栖息地的多样性。

#### 4) 扰动管理

有些土壤扰动是土壤过程的正常组成部分，或者是农业和其他土地利用的必要组成部分。然而，一些干扰对土壤生物有显著影响，可以尽量减少其负面影响。这些干扰包括压实、侵蚀、土壤移位、耕作、灾难性火灾、某些农药的使用和过量农药的使用

##### 1) 土壤压实

理想情况下，土壤的孔隙空间约为 50-60%，包括各种孔隙大小和长度。气孔的大小和连续性控制着较大的微生物，如原生动物，是否能捕食细菌和真菌。压实作用减少了孔隙大小的多样性，减少了更大的生物(图 2)在土壤中移动的空间和路径。这有利于细菌和小型捕食者，而不利于真菌和大型捕食者。节肢动物受到压实的严重影响。线虫之间比较，捕食性线虫对压实最敏感，其次是食真菌性线虫，再次是食细菌性线虫。以根为食的线虫对压实最不敏感，这可能是因为它们不需要穿过土壤寻找食物。压实改变了空气和水在土壤中的运动，可以导致从好氧生物向厌氧生物的转变，并可能增加氮向大气的流失(反硝化作用)。在高度压实的土壤中，生根深度可能受到限制。这限制了支持微生物的根际环境的深度。

##### 2) 侵蚀和沉积

大多数土壤生物，尤其是体型较大的生物，生活在土壤的顶部几英寸。侵蚀破坏并移除了这些栖息地。沉积物掩埋了地表栖息地，剥夺了生物的空间和空气。

##### 3) 土壤位移和耕作

土壤的位移和混合发生在许多活动中，包括耕作、土地平整、分级、密集放牧、林地的准备和收割。一些土壤位移是有用的，如在农田中为预备苗床而耕作，在高产草地上有限的干扰和松土，以确保某些类型的再造林成功。然而，土壤扰动显著改变了土壤的生物生境。如果把扰动的程度限制在小范围内，那么整体的影响也将是有限的。广泛应用的耕作、放牧或清伐可以影响大面积的土地。即使是一次耕作或压实都能显著影响土壤生物的食物供应和物理生境的位置和数量。如果有足够的氮存在，耕作和其他混合土壤的措施通常会导致微生物活动和养分释放，并通过二氧化碳呼吸损失土壤有机质。当土壤有机质流失时，微生物活动的速度最终会下降到低于最初的速度。随着时间的推移，耕作将食物网由真菌为

主转变为细菌为主。

#### 4) 农药和除草剂

所有杀虫剂都会影响一些非目标生物。大量使用杀虫剂会降低土壤生物的复杂性。当细菌和真菌降解农药时，微生物的总活性往往会暂时增加。然而，农药种类和土壤生物种类不同，影响也不同。产品标签通常不会列出受影响的非目标生物。事实上，很少有人研究过杀虫剂对各种土壤生物的影响。杀死地上昆虫的杀虫剂也可以杀死土壤中的益虫。按推荐剂量施用叶面杀虫剂对土壤生物的影响小于熏蒸剂或杀菌剂。除草剂可能对少数生物有直接影响，但它们通过杀死植被影响土壤生物的食物和栖息地。死去的植物可能会引发大量的生物活动和分解。作物轮作有助于打破害虫循环，减少农药使用量，并改变使用的农药的种类。

## 六. 农田的具体管理策略

管理措施、作业和自然干扰的影响对于特别的土地用途往往也是特定的，例如本节所讨论的这些。下面的每一个注意事项都与前面描述的管理策略的通常情况有关。

在被高度破坏的农田土壤中，细菌和原生动物的数量可能与其他生态系统一样多，但真菌、线虫和节肢动物的数量往往要少得多。减少耕作和四季作物种植制度将支持更多的这种大型土壤生物。

#### 1) 作物生物量的添加

根系和作物表面残留物是土壤有机质的重要来源和土壤生物的食物来源。收获后的玉米将产生3-4吨/英亩的表面残渣和1-2吨/英亩的根系生物量。密集的、草皮型作物产生大量的根生物量。最近的研究表明，根系对土壤有机质的贡献比地上植物残留的贡献更重要。

表面残留物鼓励了解析者—尤其是真菌—通常增加了食物网的复杂性。残渣为表层-供养生物(如一些蚯蚓)和表层-居民(如一些节肢动物)提供食物和栖息地。它还能改变土壤表面的湿度和温度，保护土壤有机质不受侵蚀。残留物会增加一些病原体，减少另一些病原体。大豆、花生和许多蔬菜的表面剩余物很少，应与高剩余物作物或覆盖作物轮种。

#### 2) 动物粪便

粪块为各种大型土壤生物提供食物和栖息地。任何形式的粪肥都是重要的营

养来源。与植物源的有机物相比，施用粪肥大大改变了土壤中有有机物的组合。这些差异的含义尚不清楚，但它们可能影响病害水平和营养循环。施用氮或磷(无论是有机改良剂还是合成肥料)会抑制某些土壤生物，特别是菌根真菌，并导致空气和水质的退化。

### 3) 堆肥

堆肥可用于为土壤接种各种各样的生物，并为它们提供优质的食物来源。堆肥还被认为降低了植物病害的发病率(Ceuster 和 Hoitink, 1999 年)。有些物种在堆肥和土壤中都能茁壮成长，但很多物种只喜欢其中一种。例如，通常用于制作蚯蚓堆肥的红虫(爱森虫)在土壤中不能很好地生存。堆肥的质量很大程度上取决于使用的材料、堆肥过程中的峰值温度和曝气水平。缺氧条件下分解的有机物(如液体肥料)与曝气良好的堆肥所含的生物和化合物截然不同。

### 4) 污水污泥

污水污泥和粪肥一样，是生物体很好的食物来源。然而，一些污泥中高浓度的金属或盐会杀死或降低某些生物的活性。

### 5) 覆盖作物

覆盖作物对土壤群落有几种积极的影响。大多数土壤生物生活在根际，即直接围绕活根的区域。通过种植覆盖作物(也称为绿肥)，根际环境在一年中更长的时间里对土壤生物是有效的。覆盖作物通常会增加根系和地上部分的数量和多样性，这些会成为土壤的一部分。由于每种作物具有独特的生理特性，特定土壤生物的种群数量会随作物的生长而增加或减少。例如，一些覆盖作物散发出抑制致病微生物的化合物。

### 6) 无机肥料

肥料提供土壤生物所需的一些养分，并有利于那些能最好地利用肥料中养分形式的物种。一些肥料(如硝酸铵、硫酸铵和尿素甲醛)的酸性、碱性或盐的作用往往会减少真菌、线虫的数量，可能还有原生动物的数量。目前还不清楚在不同情况下这些种群的减少会持续多久。明智的肥料使用可以促进整体的生物活性，因为它增加了植物生长和有机物质对土壤的输入。

### 7) 转基因作物

每一种转基因生物都可能对土壤生物产生不同的影响。例如，Bt 作物似乎

对土壤生物群落的组成没有什么直接影响，然而农作物残渣的分解率不同于其他玉米品种-可能是因为植物木质素成分的变化，这可能会通过食物资源的变化间接影响土壤生物(木质素是一种植物化合物，能抵抗微生物的侵袭)。然而，在决定分解速率方面，土壤类型和作物品种似乎比 Bt 基因的存在更重要。

#### 8) 排水

改善的排水系统往往通过增加氧气的可用性来改善微生物活动。与排水良好的土壤相比，排水不良的土壤有高水平的厌氧微位点，因此反硝化(硝酸盐转化为气态氮)的速率更高。

#### 9) 灌溉和盐积

灌溉增加了植物产量，也增加了生物量产量和土壤有机质，从而增加了生物活性，改变了生物群落结构。然而，灌溉水可能含有盐分。为了防止可能降低生物活性和作物产量的盐积累，必须施用额外的水来从根部滤除这些盐。一些灌溉技术，如沟灌，需要极端的土壤扰动，对生物栖息地有害。当扰动是一次性事件(即强烈但不频繁)时，就像安装地下灌溉管道一样，扰动不太可能造成持久的损害。

#### 10) 土壤接种剂

一些商业上可用的接种剂旨在增加特定土壤生物种群。有些产品的效果有很长一段时间的记录了，包括固氮细菌和一些害虫捕食者，如细菌、线虫或昆虫。有些产品则是未经验证或不可预测的。

如果微生物不能在它们的新环境中竞争，那么接种剂的作用就很小，或者只是暂时的。由于土壤必须有有机物质作为食物来源，因此有机物含量低的土壤不会有长期的效果，除非不断地向系统中添加有机物质。此外，土壤生物执行的许多功能是由于生物之间的相互作用，而不是个别物种。

当考虑使用接种剂时，先询问下列问题：

- 你能保证产品中声称的微生物是活的吗？
- 这些生物是否能在土壤环境中存活足够长的时间以达到预期的效果？
- 如果你取得了积极的结果，是变化是由接种的生物造成的，还是相关管理例-如改变耕作方式或添加有机物造成的？

在将一种新产品用于整个农场之前，先在小面积上进行测试，并将结果与管

理相同但没有使用该产品的对照区进行比较。监测短期和长期的影响。

#### 11) 耕作和免耕

短期内，耕作通过使土壤通气和拆解土壤团聚体-暴露那些被保护起来的不受微生物腐蚀的有机质-促进细菌生长。细菌活动增加了作为二氧化碳呼出的碳的损失，并引发了原生动物的种群爆增。最终，反复耕作减少了土壤有机质的数量，而这些有机质是土壤食物网的燃料。

耕作的机械作用往往会暂时减少真菌、蚯蚓、线虫和节肢动物的数量。在长期重复耕作的情况下，这些种群的减少可能是由于缺乏表面残留，而不是由于耕作的机械作用。

与常规耕作土壤相比，免耕土壤生物的生存环境有很大不同。例如，因为地表土壤结构不是经常中断，免耕土壤更可能有：

- 厌氧微环境，
- 更低的春季土壤温度，因为更大的表面覆盖，
- 更多的大孔隙促进渗透，
- 接近土壤表面更大的土壤水分和碳，
- 整个表层土壤有机质分布不均匀，
- 此外，如果在转为免耕之前就有压实现象，并且生物量输入少或通行方式不受控制，表面压实可能是一个问题。

由于土壤扰动程度较低，免耕土壤的有机质分解速率低于常规耕作土壤。缺乏干扰和表面残留的存在激励了真菌和大型生物，如节肢动物和蚯蚓。免耕土壤中真菌与细菌的比例通常较高。

#### 12) 休耕周期

由于微生物集中在活着的根周围，甚至一个生长季节开始或结束的几个星期的休耕都会减少重要的微生物栖息地。

在长时间的休耕期间，大多数节肢动物会迁移或饿死。一些生物可以形成让它们休眠包囊，直到条件变得更有利。菌根真菌在休耕期也会挨饿，休耕期结束后需要一段时间才能恢复。从菌根真菌的角度来看，种植非菌根植物相当于休耕一年。不支持菌根的植物包括十字花科植物(芥菜、花椰菜、油菜)和藜苳植物(甜菜、羊肉、甜菜、菠菜)。

## 七. 评估和监控

与土壤物理和化学参数相反，很少有管理土壤生物特性的具体准则。因此，土地管理人员跟踪土壤生物功能随时间的变化，以监测管理选择的影响是特别重要的。监测是通过从永久标记的地点系统地收集随时间推移的定量数据来识别趋势。监测土壤生物功能的目标包括：

- 对管理目标的进展进行评估和记录，
- 检测可能是未来退化的早期预警的变化，并且
- 确定处于理想条件下、有风险或有恢复潜力的区域的趋势。

### 了解你的群落

想要对土壤生物及其影响有一个普遍的认识，试试这些简单的方法。选择几个地方，仔细看看你的土壤里有什么。看看灌木下，树林里，沿着篱笆，草地，田野等。花点时间检查一下表面的垃圾，看看有没有会移动的生物。寻找生物结壳、洞穴、真菌菌丝和其他土壤生物的证据。一年四季，你都能看到鸟儿在耕作工具后面挑蚯蚓。观察粪便拍分解的速度。注意降雨后的径流或积水量。

评价是对土壤生物过程当前功能状态的估计。它需要一个比较标准。

评估的目标可以是：

- 监测地点的选择，
- 库存数据的汇集，
- 识别有退化风险的区域，并且
- 目标管理引入。

测量土壤生物特性的技术范围从非正式的定性观察到定量实验室技术。这些技术对于了解生物的资源需求和功能是很有用的。然而，土壤生物试验可能难以解释，因此对作出具体管理决定提供的支持有限。通过评估和监测受土壤生物活动影响的特性，包括土壤表面稳定性(团聚体稳定性和崩解试验)、水渗透率(环渗透仪和模

拟降雨试验)、分解率、害虫活性以及土壤硝酸盐和碳水平(微生物生物量和总有机碳试验)，可以收集更多的信息。这些土壤性质的测量可以评估对土地管理者有利益的土壤功能。然而，它们的变化可能比生物指标要慢，因此是更加延迟的指标。当决定评估或监控什么时，请记住目标、时间和可用资源。

### 1) 测试的类型

正如《土壤生物学入门》所讨论的，描述土壤生物群落的方法多种多样，包括：1) 计算土壤生物或测量生物量，2) 测量他们的活性，或 3) 测量多样性，如功能的多样性(如平板法)，或化学结构的多样性(如细胞组份或 DNA)。每种方法提供不同的信息。

测量生物量的方法要么确定生物的总数，要么只确定那些活跃的生物。陷阱诱捕或伯勒斯漏斗(NRCS, 2001b)可以用来收集生活在森林地面、牧场或农田垃圾中的较大生物。

活性测量比生物量测量能更好地了解土壤的生物功能。生物活性的一种测量方法是测试各种微生物酶(Dick, 1997)。通过选择适当的酶，酶测定可以用来评估碳、氮或磷循环的速率，或整体微生物活性。酶测定有潜力作为一个有用的指标，可以用在典型的土壤分析实验室中已有的设备去做，但大多数实验室还没有提供这些测试。

呼吸作用，即土壤产生的二氧化碳量，是生物活性的另一种度量。测试可以在现场进行(NRCS, 1998)，但结果很难解释。呼吸速率随时间、季节、地区和土壤类型都有很大的变化，因此基准数据或参考数据几乎没有意义。此外，高呼吸可能表明一个健康和活跃的生物群落，或者它可能表明最近的扰动，如耕作，已经触发了大量的活动。高呼吸作用表示土壤碳流失到大气中，这与碳封存的目标相反。然而，目前还没有指导方针来确定多少量才是过量的。由于这些原因，土壤呼吸试验可以在并排演示中 useful，但作为土壤生物学指标的价值有限。

棉条测试(NRCS, 1998 年和 2001 年 b)和其他一些技术在几天或几周内测量分解率，因此不像呼吸测试那样受短期变化的干扰。然而，结果仍然难以解释，需要一个标准或对照比较。对于土壤生物群落的任何这些措施，请向专家求助，以帮助解释测试结果。

## 2) 收集样本作实验室分析

少数商业实验室将测试土壤的生物特性。典型的测量方法是微生物量和土壤微生物直接计数。在选择实验室和土壤生物学测试时，考虑以下事项：

- 实验室采用什么质量控制措施来确保可靠的结果？
- 各试验在土壤功能方面的意义是什么？
- 测试将如何帮助你的管理决策？

- 对结果的解释是否考虑到你们特定的土壤类型和种植制度？

生物量随季节变化，但每天变化不大。然而，活动水平(如呼吸作用)可能会迅速变化，因此取样时要注意一年中的时间、温度和湿度条件，并在类似条件下取样，以便将来观察。样品应立即放入密封袋中冷藏(但不要冷冻)。

## 八. 总结

土壤生物是土壤过程的组成部分，包括养分循环、能量循环、水循环、潜在污染物的处理和植物害虫动态。这些过程对于农业和林业，以及保护水、空气和栖息地的质量是必不可少的。因此，土地管理者应该考虑他们的行为对土壤生物群落的健康和功能的影响。尽管众所周知土壤生物过程的重要性，监测和管理准则的制定仍处于初级阶段。但是，土地管理人员可以了解他们的选择如何影响生物过程的一般原则，并可以监测土壤功能的变化。

当以下管理实践应用时，土壤生物健康通常提高：

定期添加足够的有机质，

在所有景观类型(各种土地用途)和时间(种植制度) 多样化植物类型，

保持地面覆盖着植物和残渣，

避免过度的干扰水平，包括土壤混合或耕作、压实、杀虫剂、过度放牧、灾难性的大火等。