

土壤的生物性质与作物栽培的关系

土壤的生物性质是指生息在土壤中的小动物和微生物的种类（生物相）和数量、生物活性等。土壤生物通过对土壤中有机物质进行分解和无机化、推动土壤中氮素养分的氨化反应和硝化反应等，直接影响着土壤的养分供给能力，还通过土壤生物种类之间的竞争和拮抗，在抑制土壤病害的发生和减轻作物的连作障碍方面也发挥着重要的作用。

土壤中生息着多种多类的小动物（蚯蚓、线虫等）和微生物（细菌、放线菌、丝状真菌、藻类等）。这些土壤中的小动物和微生物不仅可以分解留存在土中的动植物遗骸等有机物，将其转换为作物能够吸收利用的无机态养分，同时还可以抑制病原微生物的增殖。适合作物栽培的良好的土壤一定是生息着有多种多样的土壤生物，而且其个体数量相当多。

土壤的生物性质主要用以下的参数来表示（图 1）



图 1. 土壤的生物性质与农作业和作物生育的关系

除了一些小型的土壤动物（蚯蚓和某些种类的线虫）之外，通常用肉眼是无法观察和评价土壤生物的种类和数量。其原因是作为土壤生物的主要组成部分的微生物非常细小，但数量却非常多。加上土壤类型不同，其中生息的微生物种类和数量亦会有很大的差异。通常，一克土壤中大约生存着数百万到数千万个体的微生物（表 1）。土壤微生物种类繁多，分离和培养困难，所以即使能在显微镜下观察到有微生物的存在，但在进行分离培养时也只有少数种类能存活增殖，大部分微生物会在分离培养中死亡消失。因此，目前对单个的土壤微生物的存在状态和生理生态学的特性得知甚少。

表 1. 土壤生物的种类和大小，存在于土壤中的生体重量

土壤生物的种类		生体的大小	生体重量 (kg/1000m ²)
土壤微生物	细菌	长度约为 2~3μm	40~500
	放线菌	菌丝的直径约为 0.5~1.0μm	40~500

	丝状真菌	菌丝的直径约为 3~8 μ m	100~1500
	藻类	从肉眼不可见到~数 mm 大小	1~50
土壤小动物	线虫	体长约为 0.2~2.0mm	1~15
	蚯蚓	体长约为 0.2~20cm	10~150

一般来说，耕地土壤的生物性质主要通过对其留下的作物残渣和堆肥中有机物质的分解能力和分解速度、能否抑制土壤病原生物引起作物病害或减轻连作障碍的程度，土壤团粒结构的数量以及土壤生物的种类和数量（生物相）来进行评价。下面简单地讲述对土壤的生物性质的检测和评价方法，并介绍通过“造土养地”来改善土壤生物性质的方法。

1. 对有机物的分解能力的检测

土壤中的有机物质不能直接被作物根部吸收，只有在被分解成无机物质后才能被作物吸收利用。土壤微生物是分解有机物的主要角色，起着最重要的作用。

土壤的物理性质和化学性质虽然也影响了有机物的分解，但有机物的分解能力（活性）主要体现在微生物的种类和数量上。一般来说，好气性细菌（需氧细菌）和丝状真菌以糖和低分子量蛋白质等易分解的有机物为食物，而放线菌则以难分解的有机物为食物来生存和繁殖。微生物在分解有机物时，利用分解产物作为养分而迅速进行增殖，但当作为食物的有机物几乎被分解罄尽，微生物无法继续增殖时，大部分的微生物会死亡，其遗骸作为有机物留存在土壤中，再次被其他微生物分解利用。

测试土壤对有机物的分解活性的方法是，将测试土壤添加到含有各种类型的有机物的测试容器中，定时对有机物的分解进程和分解的数量进行检测，将这些数据换算成土壤生物对有机物的分解活性。该测试方法不需要使用显微镜等来直接观察土壤生物和对其进行分类和计数，而是通过给它们提供特定的有机物来测定有机物的分解速度和观察分解状态，计算出土壤生物对有机物的分解能力。

具体的操作方法如下。预先准备好数十种分别含有不同有机物的测试容器，将土壤样品的酸碱度调成中性后，用纯水稀释成浆状，加入到各个测试容器里。将测试容器放入专用的恒温装置，在恒温恒湿的环境下每隔 15 或 20 分钟对每种有机物的分解量（分解率）进行测量，持续 48 至 72 小时。因为不同的微生物能够分解的有机物种类有所不同，所以某种有机物出现了被分解的现象，就说明土壤中生息有能够分解它的微生物。而且，该有机物的分解速度越快，证明土壤微生物对该有机物的分解活性越高。

这样，可以根据被分解了的有机物的种类和分解速度来综合评价该土壤样品中的微生物种类和分解活性，从而推断出土壤的生物相。

该方法可以对无法进行人工分离或培养的微生物或未知微生物进行评价，可以准确地评价土壤微生物对有机物的整体分解能力，能够客观地判断土壤的生物性质。

除了上述的测试方法外，还可以通过测量作为土壤的 ATP 量、土壤的呼吸活性、土壤中的酶活性等来数据来评价土壤微生物的活性。

2. 对土壤生物相的检测

土壤中生息的微生物种类多，数量大，培养难度很高，现在只能对其中的少数种类进行分离培养。因此，与其他生物体的检测方式不同，不可能通过检测出每个微生物然后将总数进行相加的方法来评价土壤生物相。最新的检测方法是使用一种被称为 eDNA 的分析方法，即直接从土壤中提取 DNA 来进行分析，并从 DNA 数据中推测出土壤生物相的组成和功能。该方法不需要将对土壤微生物进行培养和分离，是一种较简单的用于估算土壤生物种类和数量的分析方法。

土壤生物的 eDNA 分析方法如下。收集土壤样本，立即提取 DNA，并使用 PCR（聚合酶链式反应）来扩增 DNA。用扩增后的 PCR 产物进行基因分析，用分析数据来推算细菌、放线菌和丝状真菌等生物群的存在状态。

eDNA 分析技术是 21 世纪发展起来的一项新技术，是以基因分析技术为手段来对存在于土壤中的生物进行分析。它通过评估土壤中生物 DNA 的存在状况，可以客观地评价和推算出土壤的细菌、放线菌和丝状真菌，线虫等生物群的存在状态。

目前，已经基本确立了土壤细菌、丝状真菌、土壤线虫等生物群的 DNA 分析技术，但这些土壤生物群的存在和功能与农作物生产力之间的关系尚未得到阐明。

3. 能否抑制作物土壤病害的发生和减轻连作障害

当多种微生物生息在同一土壤里时，微生物之间会为了种族的生存而对其生息空间和所需养分进行竞争。在不断反复进行的竞争中，适应所生息的土壤的物理性质和化学性质的微生物在生存和增殖上会得到好处而不太适应的微生物则会受到抑制，最终在微生物种类和数量上会形成一个相对稳定的平衡状态，构成了该土壤的生物相。

农作物的土壤病害是由生活在土壤中的具有传播性的病原微生物所引起的。发生土壤病害的主要原因是丧失了土壤微生物的多样性，微生物之间的生态平衡受到破坏，能够抑制和拮抗病原微生物增殖的其他微生物的势力大大减弱，使得病原微生物在土壤微生物相中占据了优势地位。

另一方面，在同一耕地重复种植同一种作物（连作）时，很可能会出现作物逐渐变得生长不良，病害增多，收获减少的情况，称之为连作障害。其原因也是因为由于长期重复种植同一种作物，土壤中某些特定的病原微生物逐渐增殖并在数量和活性上压倒其他微生物，破坏了土壤微生物的多样性。

有许多研究表明，土壤病害的发生和连作歉收的程度与土壤微生物相之间有高度的相关关系。土壤微生物的多样性和活性高的土壤即使不特意对土壤进行消毒也不易发生病害，连作障害出现的频率低。因此，作物的土壤病害发生少、不易出现连作障害的土壤，可以证明是具有良好的土壤生物性质的土壤。

4. 土壤团粒结构的数量（比率）

土壤的团粒结构是以土壤腐殖质和微生物菌体以及遗骸作为粘合剂，将各种土壤颗粒粘

合形成的不规则状构造的团粒。团粒内和团粒之间形成有大量的孔隙，在下雨时可将雨水渗透到地下，晴天时可通过毛细作用将地下水吸引保留在团粒内，从而使土壤具有较好的透水性和保水性。此外，由于团粒间的孔隙允许有适量的空气进入，可使作物根部和微生物通过呼吸而获得所需的氧气。此外，土壤团粒间的孔隙为土壤提供了适当的松软度，有利于作物根部的伸展扩张。图 2 是土壤团粒结构的模式图。

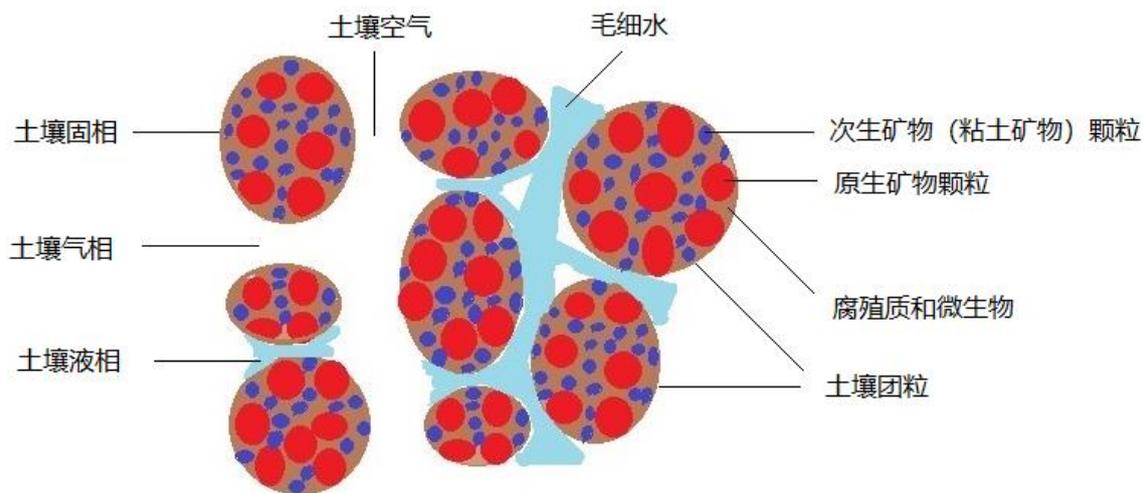


图 2. 土壤团粒结构的模式图

土壤团粒的表面成为好气性微生物的栖息地，内部则成为厌气性微生物的栖息地，团粒之间的孔隙则为土壤小动物提供了活动空间。由于腐殖质和微生物是构成土壤团粒结构的粘结剂，土壤团粒结构比率大的土壤，一定是含有大量的腐殖质和生息着繁多的微生物，是具有良好生物性质的土壤。

通常，在作物栽培上，土壤生物性质的重要性会略低于土壤物理性质和化学性质。这从培养液水耕栽培（包括培养液土耕栽培）可以让农作物比常规的栽培生长得更快、产量更高就可以看出。然而，在目前以耕地为基盘的常规栽培方式仍是农业生产主流的情况下，通过“造土养地”来改善土壤的生物性质是一种有助于促进作物生长、提高产量的有效方法。

改善土壤的生物性质的最有效的方法是施用堆肥等有机物。丰富的有机物能够使以其为食物的土壤微生物能够迅速增殖并使土壤生物相实现多样化。而土壤生物相的多样化，又可以强化微生物之间的相互作用（抑菌作用、拮抗作用等），抑制病原微生物的增殖，防止土壤病害的发生和减轻连作障碍。此外，有机物和微生物分解产生的腐殖质本身就有有助于形成土壤团粒结构，有利于作物根系的伸展发育。

某些人认为，改善土壤生物性质的最佳方法是有益微生物从外部引入到土壤。有段时间，日本出现了鼓吹使用微生物肥料的风潮。但是，土壤微生物是生存在一个相对密闭的土壤环境中，土壤的物理性质和化学性质，特别是土壤构造和类型、土壤含水量、土壤 pH 值、土壤有机质含量等对土壤微生物的生存和增殖有很大的影响。不适应土壤环境的微生物最终会导致

死亡消失，而适应该土壤环境的微生物才可以生存繁殖下来，最终会维持了一个相对稳定的土壤生物相。除非大幅度地改变土壤的物理性质和化学性质，否则很难改变土壤微生物相。外来的微生物很难在与本土微生物的竞争中获胜，所以使用微生物肥料难以看到明显的效果。另外，微生物肥料不含养分，不能为作物生长提供所需的营养，因此不能用作肥料的替代品。

为了改善土壤的生物性质，除了施用堆肥、腐植酸等有机肥料和有机资材外，还可以通过深耕、粉碎底土等来改善耕作层的土壤物理性状，以及通过施用土壤改良资材和调整土壤施肥量和施肥方法来改善土壤的化学性质，最终使得土壤生物相保持在一个良好的稳定状态上。这也是日本农户进行“造土养地”，改良耕地土壤的基本手段。