

《土壤健康指南》第五部分 土壤健康评价

综述、土壤质量指标单、生物学指标概述、蚯蚓、颗粒有机物、潜在矿化氮



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

文章支持转载，如需转载请标明出处。

第3章 土壤健康评价

第1节 概述

土壤健康是对土壤现在如何执行其所有功能，以及这些功能如何被保存以供未来使用的一种评估。土壤健康不能仅通过测量作物产量、水质或任何其他单一结果来确定。土壤健康状况是不能直接测量的，因此我们要对指标进行评价。

- a. 野外土壤健康评估工作表(4 页)
- b. 野外土壤健康评估工作表，包括考虑事项和详细指标(11 页)
- c. 土壤质量指标清单

指标是可测量的土壤或植物的属性，它提供土壤如何运作的线索。指标可以是土壤的物理、化学和生物特性、过程或特征。它们也可以是植物的形态或视觉特征。

- 1. 有用的指标：
 - a. 很容易测量，
 - b. 测量土壤功能的变化，
 - c. 包括化学、生物和物理特性，
 - d. 可被许多用户访问，并适用于现场条件，和
 - e. 对气候和管理的变化很敏感。

指标可以通过定性的或定量的技术进行评估。测量数据收集后，可以通过寻找模型或将结果与之前在不同时间或地块进行的测量数据进行比较，来对本次测量数据进行评估。

2. 指标实例及其与土壤健康的关系

- a. 土壤有机质=>养分保留，土壤肥力，土壤结构，土壤的稳定性和侵蚀。
- b. 物理：容重、渗透性、土壤结构和大孔隙、土壤深度和持水能力=>对水和养分的保持和输送，土壤微生物的生境，估计作物生产潜力，压实、犁盘、水流动，孔隙度和耕作。
- c. 化学：电导率、反应性碳、土壤硝酸盐、土壤 pH 值和可提取磷、钾=>生物和化学活性阈值，植物和微生物活性阈值，植物有效养分和氮、磷的潜在损失。

生物：蚯蚓、微生物生物物质 C 和 N、颗粒有机质、潜在矿化 N、土壤酶、土壤呼吸、总有机碳=>微生物 C 和 N 的潜力和储存，土壤生产力和氮素供应潜力，和微生物活性测定。

第 2 节 土壤质量指标单

1. 一系列关于物理、化学和生物指标的信息表单可以帮助自然资源保护主义者和土壤科学家进行土壤质量评估。使用本指南，可了解如何选择适当的土壤质量指标，以评估特定土壤功能的更多信息。

2. 什么是土壤质量？

土壤质量的简明定义包括“使用的适合性”和“土壤发挥功能的能力”。结合这些理解，土壤质量是土壤执行其预期用途的必要功能的能力。

土壤的功能包括：

- a. 维持生物多样性 (D)、活性和生产力
- b. 调节水 (W) 和溶质的流动
- c. 过滤 (F)、缓冲、降解和有机和无机物质的解毒
- d. 储存和循环营养 (N) 和碳
- e. 提供物理的稳定性 (S) 和支撑

3. 如何测量土壤质量？

土壤的质量，或其发挥功能的能力，通过使用土壤固有的和动态的性质进行评价。这些性质可以作为土壤功能的指标，因为很难直接测量土壤功能，而且观测结果可能是主观的。

所谓固有的，或“使用-不变的”土壤性质是指在管理中很少或根本没有变化性质。固有的土壤性质数千年形成，其结果主要来自于土壤形成因素：气候、地形、母质、生物群和时间。固有性质的例子包括：土壤结构、粘土类型、基岩深度和排水等级。

所谓动态的，或依赖于管理的土壤性质是指，在人类时间尺度上(即几十年到几百年)受到人类管理和自然干扰的影响的性质。土壤动态特性的显著变化可

能发生在单一的一年或生长季节。有许多动态土壤特性，其中几个是这个信息表单系列的主体。

土壤指标根据其对土壤功能的影响，通常分为物理 (P)、化学 (C) 和生物 (B) 三大类。然而，这些类别并不总是明确界定，因为一个土壤属性或指标可能影响多种土壤功能或类别。

依据指标本身和评价该指标的方法，可以选择在野外 (F)、实验室 (O)、甚至不需要特殊设备时在办公室 (O) 对土壤性质进行评估。

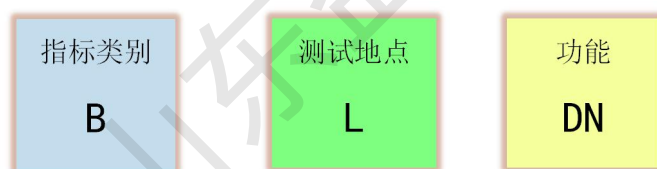
译者提示：

在每一个土壤质量指标详细说明的开始，都有**类别图标**；在类别图标中，使用 P、C 或 B 来显示该指标最适合的类别。

在每一个土壤质量指标详细说明的开始，都有**功能图标**；在图标中用 D、W、F、N 或 S 来显示受本指标影响最大的功能。

在每一个土壤质量指标详细说明的开始，都有**测试图标**；在测试图标中，使用 F、L 或 O 来显示指标评价进行的地点。

举例说明：土壤酶指标



表示该指标属于生物学 (B) 指标，需要实验室 (L) 测定，与土壤功能-生物多样性 (D)、营养循环利用 (N) 有密切关系。

4. 选择土壤质量指标

土壤功能指标矩阵 (图 1) 可用于选择适当的指标来评估特定的土壤功能。此外，如果一项指标已经被测量，矩阵显示该指标与其他土壤功能的关系，从而最大限度地发挥所收集数据的效用。

下面矩阵中列出的每一项指标都与其所附的资料表相连。信息表：

- 定义和描述指标
- 将指标与土壤功能联系起来
- 讨论影响它的内在和动态因素为评价方法提供参考

图 1 所示。土壤功能-指标矩阵：当功能和指标之间存在直接关系时，相关评估方法的可靠性和易用性的增加将以增加的星星表示。

土壤质量指标	土壤功能				
	维持土壤生物多样性、活性和生产力“D”	调节和分配水和溶质的流动“W”	过滤、缓冲、降解和解毒“F”	营养和碳素的贮存与循环“N”	对植物的物理稳定性和支撑性“S”
团聚体的稳定性	★★	★★	——	★★	★★★★
供水能力 ^{a, g}	★★★★	★★★★	——	★★	——
容重 ^{a, h}	★★★★	★★★★	——	★	★★★★
蚯蚓 ^{b, d}	★★★★	——	★★★★	★★★★	★★★★
渗透性 ^{b, e, i}	——	★★	★	——	——
颗粒有机质 ^{a, c}	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★
潜在矿化氮 ^{a, c}	★★★★	——	——	★★★★	——
反应性碳 ^a	★★	★	★★★★	★★	★★
崩解性 ^{b, e, i, j}	★	★★★★	——	——	——
土壤板结性 ^{b, d}	——	★★★★	——	——	——
土壤 EC 值 ^b	——	★★★★	——	——	——
土壤酶 ^a	★★★★	——	——	★★★★	——
土壤硝态氮 ^b	★	★	——	——	——
土壤 pH ^{b, d}	★★	★★★★	★★★★	★★★★	——
土壤呼吸 ^{a, b, c}	★★★★	——	★	★★★★	★★
土壤结构和大孔 ^{b, d}	★★	★★	★	★	★★
总有机碳 ^a	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★

a 实验室/办公室方法	e 可变性需要大样本数	i 重量到体积的转换很重要，
b 野外方法	f 也许是最有信息性的物理指标	小的采样误差会导致重大的
c 耗费时间	g 对于旱易发地区很重要	解释问题
d 简单目测	h 有效的教育方法	j 定性的

第3节 生物学指标综述

生物指标与土壤功能

土壤生物指标为了解土壤的活性成分提供了依据。与理化指标相似，生物指标与土壤功能也有一定的关系，可以对土壤功能进行评价。这些指标是动态土壤特性，对土地管理、自然干扰和化学污染物非常敏感。Doran 和 Safley(1997)和 Pankhurst 等人(1997)提出一个指标，无论其性质如何，必须满足以下标准：

- 1) 可解释；
- 2) 与生态系统过程具有良好的相关性；
- 3) 整合土壤的物理、化学、生物特性和过程；
- 4) 多用户可访问；
- 5) 对变化敏感。

此外，指标必须具有可重复性、较低的时间和空间变异性以及简单的采样和分析方法。

重要的是要了解测试哪些指标，适当管理土壤需要什么信息，以及从哪里获得这些信息。一般来说，告诉我们由土壤有机体介导的土壤过程的生物指标是关于土壤功能的最重要信息。

在土壤表面的薄层中有无数的生物。它们在土壤有机质的分解、养分循环、土壤污染物的降解、土壤结构的形成和稳定等方面发挥着关键作用。它们适应环境的变化，例如由于干旱、洪水、基质短缺(例如粮食短缺)和污染物造成的压力。土壤生物群对土壤管理和土地利用变化也能做出快速反应，可以作为土壤质量指标的候选指标。然而，直接测量土壤生物作为土壤质量指标存在着局限性。因此，生物动态特性(呼吸作用、POM、PMN 和酶)经常被选择作为测量由土壤生物群介导的过程的替代品。磷脂脂肪酸和 DNA 在学术和研究实验室中也越来越受欢迎。土壤呼吸是在野外和野外办事处测量的。蚯蚓的种类往往不多，易于计算，但不

论受过什么特殊训练，蚯蚓都被认为是唯一可用作生物指标的生物群，目前在实地通过确定其数量来进行测量。生物指标可以反映土壤微生物的总体数量、类型、活性和生物多样性，特别是微生物种群数量。一些生物指标与有机质组分(POM, 葡萄糖糖苷酶)、氮池(PMN)或土壤生物区系(呼吸作用)有关。

土壤管理和自然干扰可以对土壤生物区系产生积极或消极的影响。

耕作和残留管理的影响。通过土地管理来改变土壤条件，如耕作或残留物管理，可以对土壤生物群(啮齿动物、螨虫、蚯蚓、甲虫、细菌、真菌、原生动物、线虫等)产生积极或消极的影响。Gupta 和 Yeates(1997)报告说，耕作和植物残留管理对微区系种群(细菌、真菌、原生动物和线虫)的规模、活性和群落结构的影响可能归因于以下一个或多个因素：

- 1) 食物供应(在残留物返回土壤的地方，细菌和真菌的数量会增加)；
- 2) 次级分解者种群的变化(如捕食线虫的小节肢动物和捕食原生动物线虫)；
- 3) 改变土壤的物理性质(例如，由于减少耕作制度而提高了团聚体的稳定性，以及由于残留物的保留而提高了水分的有效性)；
- 4) 土壤剖面中有机质残留分布的变化(例如，有机质在耕作土壤中的分布比在最低耕作土壤中更为均匀，后者的有机质残留集中在土壤表层)；
- 5) 杀虫剂、杀菌剂和其他对生物群有毒的化学品的应用；
- 6) 种植制度(轮作、覆盖作物、常规耕作、肥料等)；

土壤酸化的影响。连续栽培或施用酸化肥料(硫酸铵或硝酸铵、硫)导致土壤酸化，可降低土壤 pH 值，抑制细菌种群(嗜酸性细菌除外)的生长和活性。与细菌不同，真菌能适应大范围的 pH 值。其最佳 pH 值为 7。

灌溉和加盐的影响。高含盐量的灌溉水也可能是土壤盐碱化的一个来源，放线菌和真菌对盐碱化的敏感性不如细菌，盐生菌(耐盐)除外；

保护措施的效果。植物轮作对菌根真菌的影响特别大，因为有些植物物种很容易感染真菌，而有些则不会。将豆科植物包括在轮作序列中可以刺激根瘤菌，但也可能是抑制其他细菌生长的土壤酸化的一个来源。

自然干扰和压力的影响。自然干扰(例如，火灾、干旱和洪水)和管理干扰(例如，涉及耕作、化肥、杀虫剂和除草剂的土壤管理)导致微生物的应激条件。这

些压力(见表 1)可以是暂时的，也可以是永久的。为了应对短期的干扰，健康土壤中的生物群落将相对迅速地恢复到初始状态。长期或慢性应激会导致长期的演化，导致生态系统各组成部分之间形成新的动态平衡 (van Bruggen 和 Semenov, 2000)。

表 1. 压力源

物理的	化学的	生物的
极端温度	pH	营养的不足或过量 ^a
基质势（变干和变湿交替进行）	无机营养的过量或缺乏	外来入侵生物
渗透势	缺氧	特殊生物的不可控生长如病原菌与捕食者
高压（e. g., 来源于农业机械）	盐度	
	杀虫剂、重金属等	

^a. 贫营养环境和富营养环境就是例子。

矩阵中的许多生物指标与有机质有关，与营养循环、生物多样性和生产力功能有关。表 2 显示了与土壤质量函数相关的生物指标。

表 2. 与土壤质量功能相关的生物指标。(星号的数量表示指示符和函数之间的关系强度。例如，3 个星号表示该化学品是主要指标，1 或 2 个星号表示该化学品是次要指标。)

土壤质量指标	土壤功能				
	维持土壤生物的多样性、活性和生产力 “D”	调节和分配水分与溶质流动 “W”	过滤、缓冲、分解解毒 “F”	营养和 C 素的贮存与循环 “N”	给植物提供物理稳定和支撑 “S”
蚯蚓 ^{b, d}	★★★	—	★★★	★★★	★★★
颗粒有机物 ^{a, c}	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★
潜在矿化氮	★★★	—	—	★★★	—
土壤酶 ^a	★★★	—	—	★★★	—
土壤呼吸 ^{a, b, c}	★★★	—	★	★★★	★★

^a 实验室/办公室方法 ^b 田间方法 ^c 耗时 ^d 简单的肉眼观察

蚯蚓原产于北美非冰河期地区，但在这些地区也有来自欧洲和亚洲的非本地物种。它们根据栖息地被分为三组。垃圾-居住者生活在垃圾中，摄取植物残余物，并且可能在犁过的、无垃圾的土壤中缺失。矿物质土壤-居住者生活在富含有机质的表层土壤中。它们挖出狭窄的通道，以土壤和植物残基的混合物为食。深层土壤-挖洞者(夜行者)在深土层中挖出长而大的洞，它们携带植物残基供食用。蚯蚓粪便(cast)是被消化后排泄回土壤的物质。粪便在蠕虫的消化系统中富含营养物质(N、P、K和Ca)和微生物。粪便是一个强烈的微生物活动和营养循环的场所。蚯蚓为土壤提供养分，改善孔隙度、耕作和根系发育。它们还有助于建立土壤结构和团聚体稳定。

土壤酶增加植物残渣分解和释放植物有效养分的反应速率。它们是催化剂——不用经历永久的改变，它们使化学反应在更快的速率下进行(Tabatabai, 1994)。被土壤酶作用的物质称为底物。例如，葡萄糖苷酶(土壤酶)从植物中常见的一种化合物糖苷(底物)中裂解葡萄糖(糖)。酶是特定于底物的，具有与底物结合形成临时复合体的活性位点。酶促反应释放出一种产物，该产物可以是底物中所含的营养物质。

土壤酶不能代表真实的原位活性水平，必须视为一个指标。酶对土壤发生的变化做出反应会更快(2年)。

粒径小于2毫米和大于0.053毫米的颗粒有机质(POM)，正如在本文中讨论的，是总土壤有机质(SOM)的组成部分(Cambardella和Elliot, 1992)。POM具有生物和化学活性，是SOM不稳定(易于分解)池的一部分。

研究表明，根据农业生态系统和管理实践，在加拿大东部和美国的一些土壤中，POM在土壤C中所占比例从小到大(20%或更多)。更多POM-C在未受扰动的土壤中比在受扰动的土壤中(例如在常规耕作的土壤中)进行了测量(Cambardella和Elliot, 1992年)。

潜在可矿化氮(PMN)可以定义为在特定的温度、湿度、通气和时间条件下转化为植物可利用(或矿物)形式的有机氮的比例。测定PMN水平可以估计土壤中有效氮的含量。PMN主要来源于微生物生物质和动植物组织，是有机氮库的主要来

源。它代表土壤微生物容易分解的氮的比例，被认为是生长季节(如果在那个时期测量的话)氮素有效性的间接测量。

虽然厌氧氮矿化的潜力可能是土壤供应氮潜力的良好指标，但它不一定反映微生物生物质的氮水平。结果表明，矿化氮与总有机氮的比值可以作为土壤有机质差异的敏感指标。

第4节 蚯蚓

蚯蚓原产于北美非冰河期地区，但这里也有来自欧洲和亚洲的非本地物种。蚯蚓根据它们的栖息地被分为三组。垃圾居住者生活在凋落物中，摄取植物残余物，在犁过的、无垃圾的土壤中可能没有。矿物质土壤居民生活在富含有机质的表层土壤中。它们在狭窄的沟渠中挖洞，以土壤和植物残基的混合物为食。深土挖洞者(夜行者)在深土层中挖长而大的洞。它们携带植物残基供食用。蚯蚓粪便 是被消化后排泄回土壤的物质。Cast 在蠕虫的消化系统中富含营养物质(N、P、K 和 Ca)和微生物。新铸是一个强烈的微生物活动和营养循环的场所。蚯蚓为土壤提供养分，改善孔隙度、耕作和根系发育。它们的单位是数量/m²在。

1. 影响因素

内在的-蚯蚓存在于不同的环境中，但是季节和气候的变化会影响它们的数量、分布和活动。它们在春天和秋天最活跃。土壤湿度、通气、温度和质地影响蚯蚓的数量。水占了蚯蚓体重 75%以上，所以潮湿的土壤是防止脱水的首选。蚯蚓通过移动到潮湿的地点或进入静止状态来迅速适应环境。在没有覆盖物的情况下，极高或冰冻的土壤温度可以在短时间内急剧减少蚯蚓的数量，但不同物种的致死温度是不同的。蚯蚓活动的广义温度范围为 32 – 86 华氏度。稳定的团聚体含有有机质，改善孔隙度，从而改善空气循环、排水和渗透，有利于蚯蚓的生长。

相对于有机质含量和持水性较低、干燥和温度较低的砂土，持水性和有机质较高的粉质土壤为蚯蚓提供了理想的栖息地。深的土壤是蚯蚓最喜欢的生态位，特别是浅层土壤-挖洞者。

动态的—蚯蚓的丰度和活性随植物残基的数量和质量的变化而变化。地膜有助于保持土壤水分和缓和土壤小气候,为蚯蚓提供足够的时间迁移和躲避高温或冰冻温度。免耕和其他保护措施为蚯蚓创造了理想的环境。免耕农田的数量可以达到传统耕作方式的 2 - 3 倍(图 1)。在传统耕作制度下,由于洞穴的破坏和地表残留物的消耗,凋落物和夜行动物的数量可能减少甚至消失。由于草地表面覆盖较厚,而且不断有剩余物和动物粪便作为食物供应,因此,草地的蚯蚓种群数量普遍较高且活跃。

虽然中性的 pH 值是理想的,但蚯蚓可以适应 pH 5-8,有些物种甚至能忍受酸性土壤。氧的需要量也因物种的不同而不同,有些物种的需要量较低。氨和氨基肥料对蚯蚓是有毒的,因为使用它们会产生酸性条件。如果以推荐的速度使用,除草剂对蚯蚓的毒性往往较低,特别是在带状地区使用时。然而,广泛使用的莠去津据报道有轻微毒性。氨基甲酸酯类杀虫剂(表 1)和杀菌剂(多菌灵、苯甲酰)对蚯蚓有严重的不良影响。

2. 与土壤功能的关系

尽管有一些保留意见,但有证据表明蚯蚓有助于作物生产。蚯蚓通过产生新的团聚体和孔隙来改变土壤的物理结构,从而改善土壤的耕作、通气、渗入和排水,在这方面发挥着关键作用。蚯蚓能产生粘合剂,负责形成水稳定的较大的团聚体。它们通过挖洞和混合土壤来提高土壤的孔隙度。蚯蚓在进食时,参与植物残渣的分解、养分循环和土壤剖面中养分的再分配。它们的粪便,以及死去或腐烂的蚯蚓,都是营养的来源。这些有益的作用促进根系的生长和深入土壤的繁殖,以满足养分和水分的需求。根通常跟随蚯蚓的洞穴,并吸收与粪便有关的可用营养。地龙,或夜行虫,和其他非本地的蚯蚓已经取代了美国的许多本地物种。在北部森林,它们的数量可以达到如此高的水平,以至于森林地面无法维持垃圾。

3. 种群少的问题

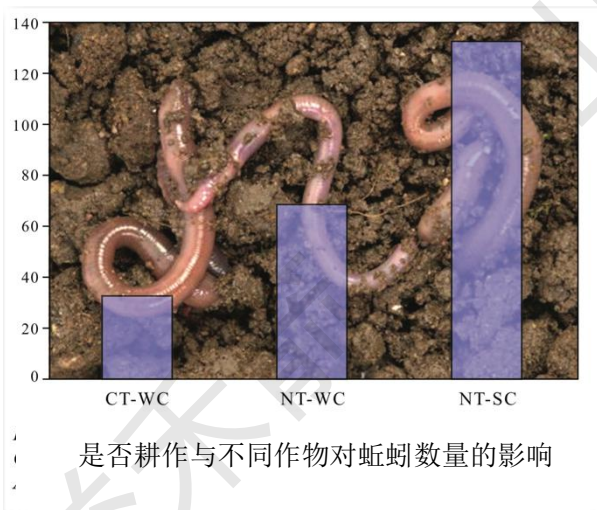
蚯蚓数量的少或无是土壤中有有机残留物少或无,以及/或土壤温度高低和土壤湿度高低的指示器,这些因素不仅对蚯蚓造成压力,而且对农作物的可持续生产也造成压力。蚯蚓促进有机物分解。缺乏蚯蚓可能会降低养分循环和植物吸收的有效性。此外,自然排水和团聚体的稳定性也会降低。可能需要进行土壤修复,

以增加养分循环，打破密实的土层以改善通气和排水，并稳定土壤以保护其不受侵蚀。有些土壤由于其固有的特性，在没有蚯蚓的情况下也能自然生长。

4. 提高种群数量

免耕增加了植物残渣，改善了土壤结构，为蚯蚓提供了更好的栖息地。在中西部进行的研究表明，在免耕系统中，土壤湿度、温度和食物供应质量的组合是蚯蚓数量增长的重要因素。豆类，无论是单独的还是轮作的，似乎都是蚯蚓的首选，因为它们能提供高质量的食物(图 1)。在犁过的耕地中缺少深土-挖洞者，所以如果不首先引进它们，只靠改变免耕方式可能不会帮助它们迅速建立起来种群。

播种蚯蚓是一种有潜力的重新引入蚯蚓的技术，但不适合大规模应用。与其他生态系统相比，农业土壤通常被那些适应干扰、低



有机物含量、缺乏地表凋落物的物种统治，因此，下面列出的管理措施应该会增加蚯蚓的数量。沙质或湿重的黏土土壤可能不会自然孕育大量蚯蚓，但灌溉和排水可以帮助提供有利条件使蚯蚓茁壮成长。(在以恢复本地物种为目标的地区，清除外来物种是必须的。)

以下做法可以增加蚯蚓的数量：

耕作管理(免耕、条带耕作、垄作耕作)

作物轮作(豆类)和覆盖作物

肥料和有机副产品应用

牧场和草地管理

土壤反应(pH)管理

灌溉或排水

5. 测量蚯蚓的丰度

按照《土壤质量检测试剂盒指南》第 10 章第 1 节第 22-23 页所述，通过计算每平方米蚯蚓的数量来测定蚯蚓种群。结果的解释见第二节，第 9 章。

专业设备，快捷方式，小窍门：

使用推荐的产品将深埋在土壤表面的蚯蚓带出来。在农田里每平方米 100 只蚯蚓就被认为是好的。

表 1: 杀虫剂对土壤蚯蚓的影响

杀虫剂	
Common Name	Trade Name
Aldicarb	Temik
Carbaryl	Sevin
Carbofuran	Furadan
Clorpirifos	Dursban
Methomyl	Lannate

所需时间: 30 分钟

第 5 节 潜在矿化氮 (PMN)

PMN 可以定义为：在特定的温度、湿度、通气和时间条件下，有机氮中可转化为植物可利用 (矿化的) 形态的那部分氮。测定 PMN 水平可以估计土壤中有效氮的含量。

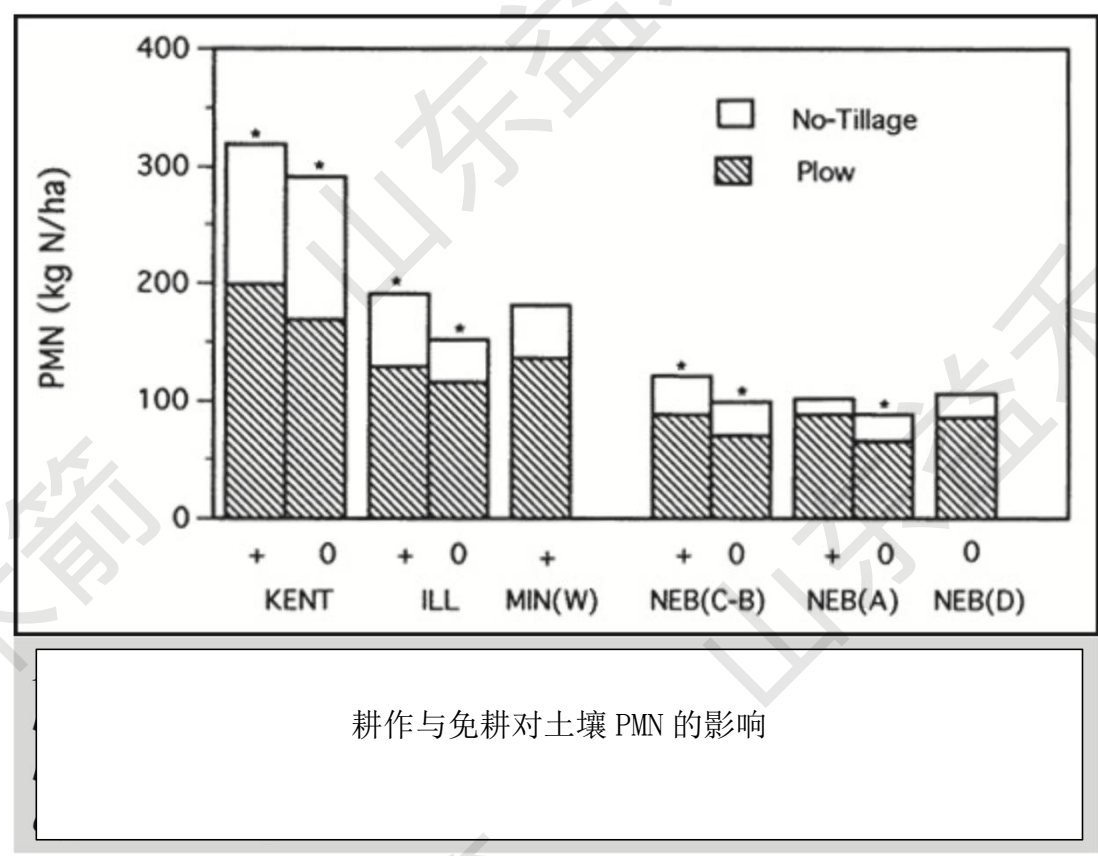
PMN 主要来源于微生物生物物质、植物和动物组织—有机氮池的主要来源。它代表土壤微生物容易分解的氮的比例，被认为是作物生长季节 (如果在那个时期测量的话) 氮素有效性的间接测量。

虽然厌氧氮矿化潜力可能是土壤提供氮素潜力的良好指标，但它不一定反映微生物生物物质的氮水平。结果表明，矿化氮与总有机氮的比值可以作为土壤有机质差异的敏感指标。

1. 影响因素

内在的—PMN 的内在水平可能在潮湿气候中最高，在干燥气候中较低，因为潮湿气候通常提高生物质产量。粘土具有物理保护有机质和有机氮的能力，因此，相关 PMN 不被微生物降解。在土壤培养测定 PMN 的过程中，土壤粘土颗粒能在阳离子交换络合物上吸引并暂时保留铵。基岩的深度会影响土壤的水文性质(例如，地下水位的波动和随后的土壤水分变化，从而导致水分过多或过低水分含量)，这反过来决定了 N 矿化的化学最终产物，即铵或硝酸盐。田间低洼区(地形洼地)的有机质和总氮、有效氮和 PMN 的积累可能比高洼区多。

动态的—影响有机质和有机氮动态的土壤特性和土壤管理措施最终将影响有效氮和 PMN 水平。不补充外部有机质的土地连续耕作会耗尽土地的有机质和氮储备以及相关的有效 PMN。相反地，重复增加农场粪肥或作物残馀物(如免耕或覆盖作物)通常会增加有效氮含量，可能还会增加 PMN 含量(如图 1 所示)；免耕比耕田和施肥显著提高 PMN 水平。与不稳定团聚体的土壤相比，具有稳定团聚体的土壤可以保护土壤有机质和相关有效氮不受微生物的降解。据报道，土壤中的小



团聚体含有较大比例的易矿化有机氮；因此，有小团聚体的土壤比有大团聚体的

土壤可获得更多的 PMN。氮素的积累和矿化也取决于添加到土壤中的改良剂的碳氮比。

2. 与土壤功能的关系

作为总氮中一个容易获得的组分, PMN 是作物生长和产量的重要的潜在氮源, 特别是在不使用合成化学氮肥的农业操作中 (如有机耕作)。PMN 可以是一个微生物有效氮的来源, 间接促进微生物的生长和活性, 包括碳和氮循环。在排水良好的土壤中, PMN 主要以硝酸盐的形式通过有氧矿化向植物和微生物提供。在排水差的土壤 (如稻田) 中, PMN 以铵的形式通过厌氧矿化获得。

3. 缺乏活力的问题

天然有机质含量低的土壤, 或因管理不善而枯竭的土壤, PMN 含量会较低。在没有活的植被的情况下, PMN 池输送的大量有效氮会积累起来, 成为地下水硝酸盐污染的潜在来源。在随后的非常潮湿季节或在大量灌溉下 (这些产品中的许多, 如一氧化二氮, 是温室气体), 来自于 PMN 池的过量的硝酸盐会以气态氮的形式散失到大气中。

4. 改善管理

以下措施可以增加土壤中的有效氮:

- a. 施用有机残留物和农家肥, 增加微生物生物量和有机氮;
- b. 按推荐量和最佳时间施氮;
- c. 采用保护措施, 如免耕 (见图 1) 和覆盖作物;
- d. 控制侵蚀以减少沉积物向河流和其他水体中有效氮的输送;

从图 1 可以看出, 与常规耕作相比, 免耕管理下土壤表层 (0-7.5cm 深度) PMN 水平最大。与干燥气候相比, 湿润气候下的结果更为显著。生物量和 PMN 水平在犁过的土壤 7.5cm 土层以下中最高。PMN 水平首先与微生物生物质碳 (MBC) 和总氮供应有关。

图 2 显示了厌氧培养获得的 PMN; 高水平 PMN 可以由补充作物残渣 (水稻) 的土壤获得。

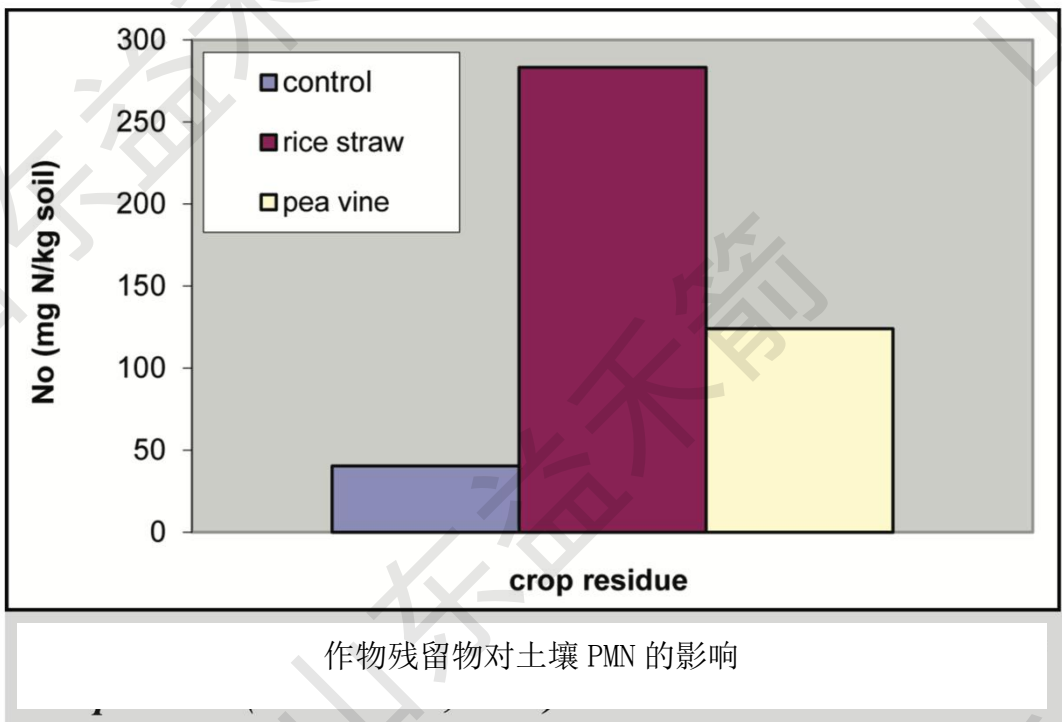
5. 测量 PMN

● 厌氧法(Waring and Bremner, 1964):通过在实验室测定厌氧条件下培养 1 周土壤中产生的铵态氮，估算 PMN。

● 有氧法(Stanford and Smith, 1972): 在实验室通过测量土壤在好氧条件下培养 30 天产生的铵态氮和硝态氮来估算 PMN。

在数学模型中使用累积 N 计算 PMN。

● 还提出了其他方法，但在本文件中不予以讨论。



第 6 节 颗粒有机物 (POM)

本文所指的颗粒有机物(POM)组份包括所有尺寸小于 2 毫米和大于 0.053 毫米的土壤有机质(SOM)颗粒(Cambardella and Elliot, 1992)。POM 具有生物和化学活性，是不稳定(易分解)的土壤有机质(SOM)池的一部分。图 1 显示了免耕管理下从土壤中分离出的细小 POM 碎屑(0.25 mm < POM 尺寸 < 0.5 mm)在分解的不同阶段。研究表明，根据农业生态系统和管理实践，在加拿大东部和美国的一些土壤中，POM 在土壤 C 中所占比例从低到高(20%以上)不等(表 1)。

1. 影响因素

影响生物量生产、积累和/或分解的固有和动态土壤特性和人类活动将影响土壤中的 POM 含量。

固有的—气候条件，如降雨和温度，可以影响植物生物质产量和残体物进入土壤的数量，从而影响 POM 在土壤中的积累。土壤类型，特别是土壤质地，影响 POM 的积累。例如，粘土与 POM 关系密切，是微生物进入的物理屏障，因此减少了微生物的分解，增加了 POM 积累。地形，特别是高程和坡度，由于不同海拔的温度和植被类型的不同，以及不同坡度的侵蚀敏感性的不同，会造成 POM 分布的梯度。

动态的—添加植物残体或其他有机修复剂会增加总有机碳及与其关联的 POM 碳(图 2 和图 3)。低碳/氮比(高氮含量)的有机残体会迅速分解，减少 POM 的积



免耕土壤中的颗粒有机物

累。土壤的扰动，如耕作破坏团聚体和湿润与干燥交替变换，使有机质暴露于微生物的分解之下，减少土壤中的 POM 含量。

稳定的土壤团聚体增强了 POM 的积累，它通过保护团聚体内外的有机物(OM)不受微生物的快速分解而实现。但适当的土壤湿度、温度和曝气条件均能加速 SOM 及其 POM 组分的矿化。

2. 与土壤功能的关系

作为或许除微生物生物质外，最容易分解的无生命 SOM 的组分，POM 执行了许多 OM 介导的土壤功能。它是微生物和土壤动物的食物/能量来源，也是植物生长的养料来源。颗粒状有机质增强了团聚体的稳定性、水的入渗和土壤的通气性；它能提高阳离子交换容量和缓冲 pH 值，还能与重金属和农药等环境污染物结合。颗粒有机质在通过堆肥抑制土壤传播疾病(如黄瓜)方面发挥着重要作用。这可能是由于在堆肥中，POM 是微生物抑制疾病的重要食物/能量来源。

3. POM 与贫乏的土壤功能

在管理不善的土壤中，富含 POM 的沉积物因侵蚀而进入河流和其他水体，可能导致水质和水生生物的改变。这些有机物质的形成和矿化导致了湖泊和河流的富营养化。在排水很差的土壤中，POM- C 的不完全矿化会导致甲烷的形成，甲烷逃逸到大气中，导致臭氧耗竭。

影响 SOM 积累的管理也会影响土壤中 POM 的含量(图 2 和 3)。土壤中 POM 的增加意味着碳和其他营养物质被储存在中间有效池中，不会遭受损失(例如，淋滤)，但在需要时仍然有效。

以下实践可提升 POM 水平：

耕作管理(免耕、条带和垄作)

作物轮作、覆盖作物和种植频率(休耕频率减少)

施肥/堆肥和有机副产品

牧场和草地管理(如轮放牧和割干草)

4. 测量 POM

有几种不同的实验室方法来估计 POM 及其关联的碳。目前还没有可靠的现场检测方法。实验室的 POM 测量也是费时的(1 到几天)。

References:

Cambardella CA and Elliot ET. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci Soc Am J* 56:777-83.

Carter MR, Angers DA, Gregorich EG, and Bolinder MA. 2003. Characterizing organic matter retention for surface soils in eastern Canada using density and particle size fractions. *Can J Soil Sci* 83:11-23.

Fronning BE, Thelen KD, and Min D. 2008. Use of manure, compost, and cover crops to supplant crop

全部土壤的平均 C、POM、POM-C (0-10cm 土壤深度)

地点	管理措施	总 C	POM (C g/Soil kg)	POM (%)
St. Rosalie	Cont. corn	30.2	8.2	22.5
La Pocatiere	Barley/clover	23.7	2.8	11.8
Normandie	Barley/clover	22.2	5.0	22.5
Nappan	Cont. grass	27.1	10.1	37.2
Benton	Potato rotation	20.3	12.1	12.0
Harrow	Corn/oats	21.5	2.7	12.5
St. Lambert	Cont. corn	22.3	3.9	17.5
Ottawa	Cont. corn	27.2	4.9	21.5
Chicott	Cont. corn	14.5	4.3	29.3
Harrington	Barley/soybean	21.2	2.8	10.8
Delhi	Corn/soybean/ grain/tobacco	7.6	1.4	18.4

residue carbon in corn stover removed cropping systems. Agron J 100:1703-10.

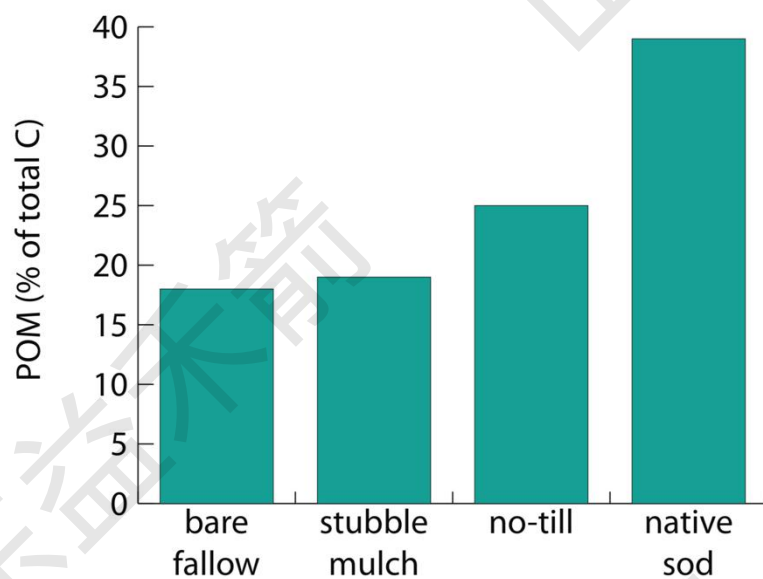
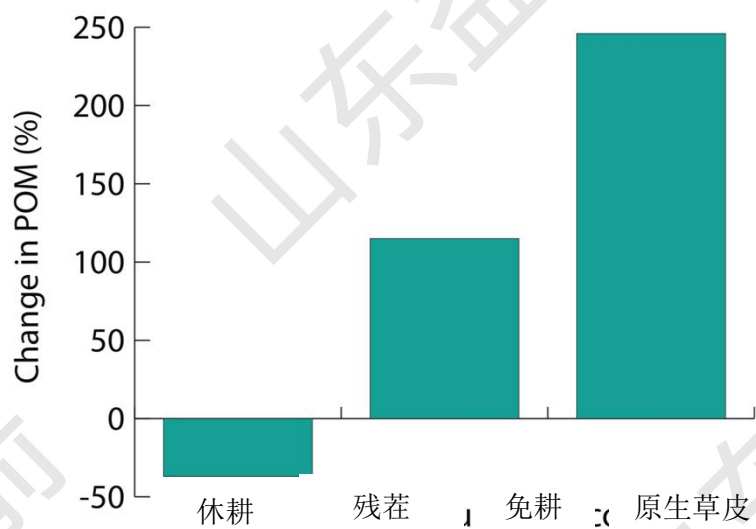


Figure 3. Effect of soil amendments on POM. Adapted from Cambardella and Elliot, 1992.



不同处理方式对土壤 POM 的影响