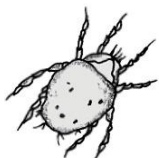


下载地址: www.gr-rocket.com =>土壤健康专栏

《土壤健康指南》第六部分

土壤酶、土壤呼吸、土壤总有机碳



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3章 土壤健康评价

第8节 生物指标-土壤酶

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。被土壤酶作用的物质称为底物。例如，葡萄糖苷酶(土壤酶)从植物中常见的化合物——葡萄糖苷(底物)中裂解葡萄糖。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。

土壤酶的来源包括：活的和死的微生物，植物的根和残留物，以及土壤动物。酶稳定在土壤基质中与有机质(腐殖质)、粘土和腐殖质-粘土复合体积累或形成复合物，但不再与活细胞联系。据认为，40-60%的酶活性可以来自稳定的酶，所以活性不一定与微生物生物量或呼吸高度相关。因此，酶活性是取样时微生物长期活性和活菌群活性的累积效应。然而，脱氢酶是一种只能反映活细胞活性的酶的一个例子，在理论上只能发生在活细胞中，而不能发生在稳定的土壤复合体中。

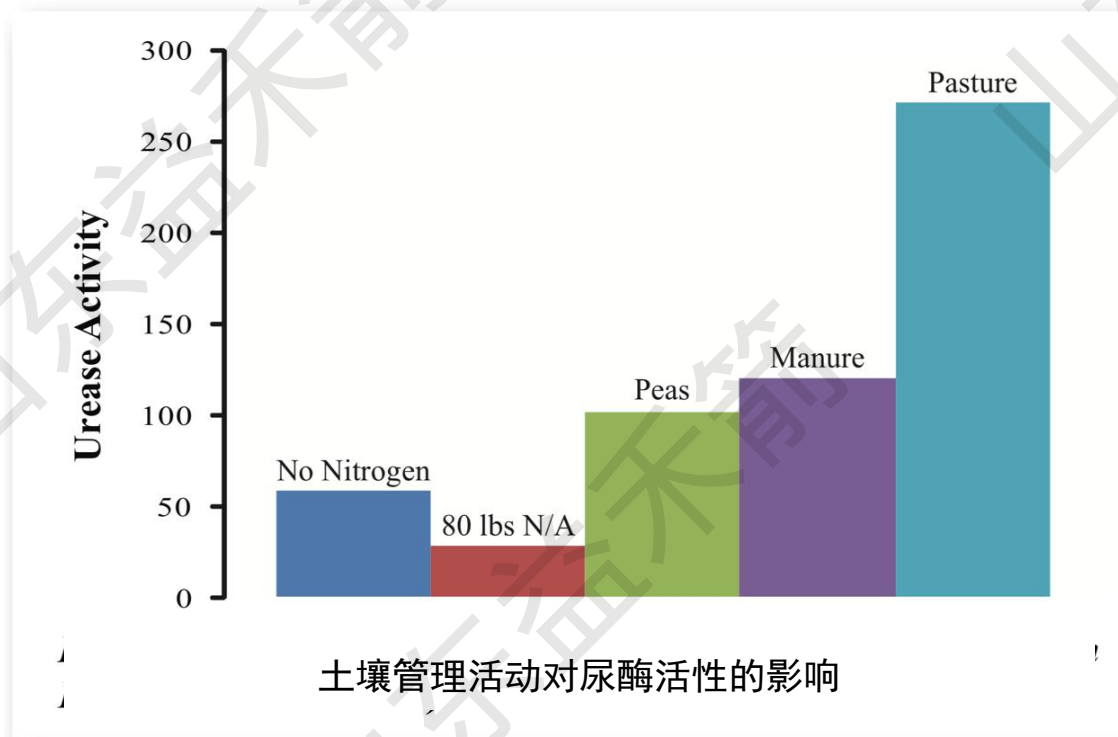
1. 影响因素

内在的-土壤酶在最适宜的 pH 值和温度下发挥最大有效作用，例如分别参与磷循环、硫循环和氮循环的磷酸酶、芳基硫酸酯酶和酰胺酶的活性与土壤 pH 值的变化密切相关。由于酶的结构和底物结合会因高温和极低温而发生改变，因此在最适温度以上和以下酶活性均会下降。许多酶的活性通常也与土壤含水量有关，干旱可能抑制酶的活性。土壤质地影响酶活性，酶活性通常与粘粒含量呈显著正相关。粘土具有更强的储存有机质的能力，促进微生物群落，粘土形成粘土酶复合体。相反的是，砂质土壤通常表现出较低的酶活性，因为它们天然有机质含量低，持水能力差，导致微生物生物量较低，因此酶活性较低。

动态的-有机调理剂的添加和采用增加土壤有机质的管理措施，可提高酶活性(图 1 和图 2)。植物根系促进酶活性，因为它们对微生物活性积极影响，根系还产生分泌物，这些分泌物富含酶作用的底物。

酶促反应的最终化合物的浓度在土壤中升高，可以通过反馈抑制，抑制酶的活性。例如在缺磷土壤中，磷酸酶活性升高，而在高磷土壤中，磷酸酶活性降低。同样，氨基氮肥也可能抑制脲酶活性，因为铵是脲酶活性的产物(图 2)。

土壤压实可能会限制与养分矿化有关的酶的活性, 因为土壤中的氧气减少了, 而那些反应或生物体恰恰需要有氧环境。相反, 压实或水饱和造成的厌氧条件, 增加了与反硝化有关的酶的反应速率。含有重金属的材料的使用, 可以降低酶的活性(例如酰胺酶), 因为它们对土壤生物和根系有毒性作用, 或者直接抑制酶的反应。



2. 与土壤功能的关系

酶对土壤管理变化的响应早于其他土壤质量指标的变化。土壤酶在有机物分解和养分循环中发挥重要作用(表 1)。有些酶只促进有机物的分解(如水解酶、葡萄糖苷酶), 有些酶参与养分矿化(如酰胺酶、脲酶、磷酸酶、硫酸盐)。除了磷酸酶活性, 没有有力的证据表明酶活性与养分利用率或作物产量直接相关。这种关系可能是间接的, 考虑到营养矿化为植物可利用形态是在酶的参与下完成的。

3. 活性低的问题

土壤酶的缺乏或抑制, 可以阻碍或减少影响植物营养的过程。酶活性差(例如杀虫剂降解酶)可导致对环境有害的化学物质的积累; 其中一些化学物质可能会进一步抑制土壤酶的活性。

4. 改善酶的活性

有机修补剂的应用、作物轮作和覆盖作物均可提高酶活性(图 1 和图 2)。放牧的积极作用(图 2)可能与动物粪便的输入和较少的土壤干扰有关。改变土壤 pH 值的农业方法(如石灰)也能改变酶的活性。

5. 酶活性的检测

酶的活性是在实验室中用生化试剂来间接测定的。酶测定只能反映潜在活性，不能反映真实的原位活性水平，必须作为一种指标。

6. 解释和评价

在可能时，比较一下取自邻近同一土壤类型的未受扰动场地的土壤样本。或者，对于一个新实施的土地管理系统，通过每年抽样来跟踪从 0 年到 5 年或更长时间的变化，以检测土壤酶活性随时间的变化。

专用仪器、便捷方法、小窍门

分光光度计，在某些情况下，一个通风柜、离心机和/或振动筛。为了更好的结果，要使用酶的最佳温度和 pH 值。

耗时：可变，30-60 分钟

表 1: 土壤酶的作用

酶	作用的有机物	产物	意义	土壤功能预测
葡萄糖苷酶	碳水化合物	葡萄糖 (糖)	为微生物提供能源	有机质降解
FDA 水解酶	有机质	碳或各种营养	为微生物提供营养或测量微生物生物量	有机质降解和营养循环
酰胺酶	碳或氮化合物	铵 (NH ₄)	植物可利用 NH ₄	营养循环
脲酶	氮 (脲)	氨 (NH ₃) 或二氧化碳 (CO ₂)	植物可利用 NH ₄	营养循环
磷酸酶	磷	磷酸根 (PO ₄)	植物可利用 P	营养循环
硫酸酯酶	硫	硫酸 (SO ₄)	植物可利用 S	营养循环

第9节 土壤呼吸

从土壤表面释放的二氧化碳(CO₂)称为土壤呼吸。二氧化碳的产生有多种来源,包括土壤有机质(SOM)的需氧微生物分解以获取其生长和功能所需的能量(微生物呼吸)、植物根系和动物群的呼吸,以及最终土壤溶液中碳酸盐的溶解。土壤呼吸是测量生物活性和分解的一种方法。CO₂的释放速率以CO₂-C 磅/英亩/天(或kg/ha/d)表示。它可以通过简单的现场方法(如图1)或更复杂的现场和实验室方法进行测量。在SOM分解过程中,有机质中所含的有机养分(如有机磷、氮和硫)转化为可供植物吸收的无机形式。这种转变称为矿化。土壤呼吸也称为碳矿化。

1. 影响因素

内在的-和所有生物体一样,土壤微生物有适宜的生长条件。土壤呼吸速率取决于SOM的数量和质量、温度、湿度和通气。土壤生物体的生物活性随季节和日常变化而变化。微生物呼吸量每上升10°C就会增加一倍以上,最高可达到35~40°C(95~104华氏度),超过这个温度就会受到限制。另一方面,SOM分解和微生物活动实际上在5摄氏度(41华氏度)(生物零摄氏度)以下停止。

土壤呼吸随土壤水分水平的提高而增加,直到低氧浓度(缺乏曝气)干扰生物体的呼吸能力(图2)。土壤呼吸的最佳土壤含水量,随着地点不同而改变,但已有报道的值为,高达60%的土壤孔隙被水充满。在干燥的土壤中,由于土壤水分不足限制了微生物的活动,呼吸作用下降。相反,在极端潮湿的土壤中,低氧水平导致有机质分解和呼吸率较低。在这些土壤中,会产生厌氧的副产品,如甲烷或硫化物。中等质地的土壤(粉土)通常具有良好的透气性和含水量,有利于土壤呼吸。在粘土中,相当数量的SOM被粘土颗粒和其他团聚体保护着不被分解。实际上,土壤呼吸对温度和湿度的耦联作用作出反应,特别是对二个因素中最有限的做出反应。

动态的—影响 SOM、水分、聚集和 pH 值的动态土壤管理措施会影响土壤呼吸。在土壤表面留下作物残余物的做法，如免耕、使用覆盖作物或其他添加有机质的做法，通常促进土壤呼吸。低碳氮 (C:N) 比的作物残体，如豆类，比高碳氮比的残体(如麦秆)分解更快，产生更高的二氧化碳率。高碳氮比的作物加上(任何来源的)氮肥增加了 SOM 的分解和累积。增加 SOM 的做法也能改善土壤的聚集性和孔隙度，从而改善通气性和土壤含水量。相反，连续耕作和其他传统耕作方法—移除、掩埋或焚烧作物残留物，会减少 SOM 的含量和微生物活性，因为它们降低了团聚体的稳定性和孔隙度，增加了表面层的侵蚀，这些表面层通常是 SOM 的最高层和对土壤呼吸至关重要的生物种群居住地。干旱条件下的灌溉和湿润土壤的排水均能显著促进土壤呼吸。

土壤 pH 调节养分的有效性和分布，调节土壤生物活性分解和其他有助于土壤呼吸的过程。化肥可以刺激根系生长和滋养微生物；然而在高浓度下，由于 pH 值的变化及其潜在毒性，一些肥料可能对负责土壤呼吸的微生物有害。同样，含有高浓度重金属的有机改性剂以及杀虫剂和杀菌剂可能对微生物种群有毒，导致微生物多样性、丰度和呼吸作用降低。

2. 与土壤功能的关系

土壤呼吸反映了土壤维持包括作物、土壤动物和微生物在内的土壤生命的能力，描述了微生物活性水平、有机质含量及其分解情况。在实验室中，土壤呼吸可以用来估计土壤微生物量，并对土壤中的养分循环作出推断。土壤呼吸也提供了土壤维持植物生长能力的指示。过度呼吸和 SOM 分解通常发生在耕作后，这是由于破坏了之前保护 SOM 和增加土壤通气的土壤团聚体。缺乏 SOM、土壤聚集性减少、植物和微生物的养分可利用性有限，在没有额外投入的情况下，可能导致作物减产。如果不知道碳的添加量，很难预测有机质的积累和损失之间的阈值。

3. 功能缺乏问题

土壤呼吸速率的降低表明土壤中 SOM 或需氧微生物的活性很少或没有。这也可能意味着有助于土壤呼吸的土壤属性(土壤温度、湿度、通气、有效氮)限制了生物活性和 SOM 分解。随着土壤呼吸的减少，养分不能从 SOM 中释放出来，以供养植物和土壤其他生物。这会影响植物的根系呼吸，从而导致植物死亡。SOM 的

不完全矿化经常发生在饱和或淹没的土壤中,导致对植物根系有害的化合物的形成(例如甲烷和酒精)。在这种厌氧环境中,常发生反硝化和硫挥发,导致温室气体排放和酸沉积。

4. 改善土壤呼吸

在有利的温度和湿度条件下,土壤呼吸速率通常受到 SOM 供应的限制。增加 SOM 的农业实践通常能促进土壤呼吸。以下做法有潜力显著改善 SOM 和当其他因素处于最佳状态时,间接提高土壤呼吸:

- 保护性耕作(免耕、条播、地膜耕作等)
- 施用粪肥和其他有机副产品
- 高残留和深根作物轮作
- 覆盖作物和绿肥作物
- 灌溉或排水
- 控制交通

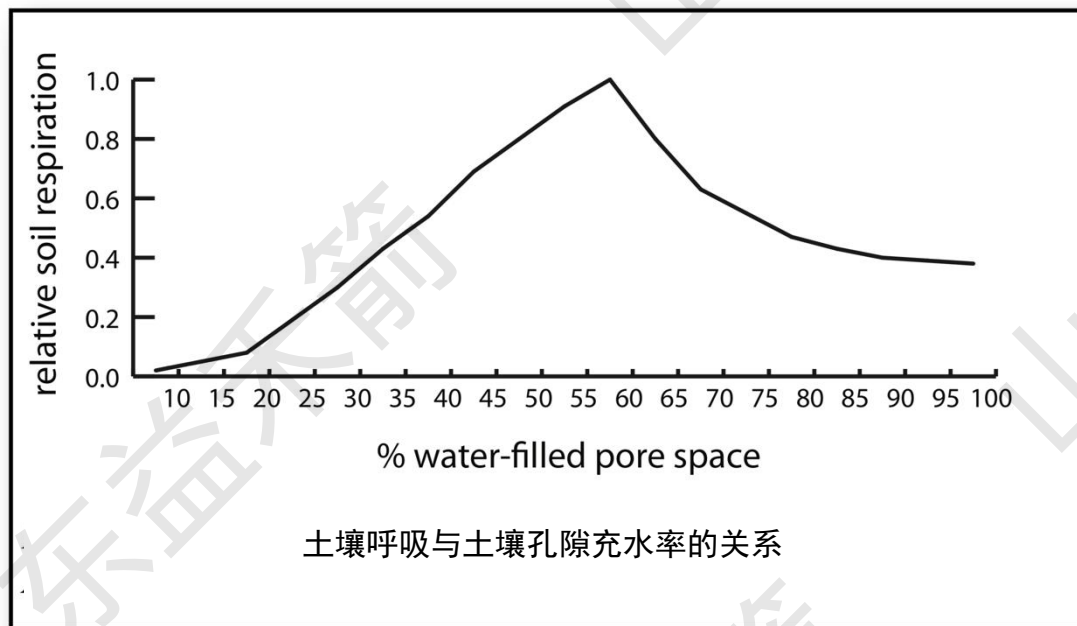
5. 测量土壤呼吸

土壤呼吸是用《土壤质量检测试剂盒指南》(第 2 章, p4 - 6)中描述的 Draeger-Tube®方法测量的。结果的解释见第 1 章第二节,第 52 - 54 页。

专业设备,快捷方式,小窍门:

Draeger-Tubes®(图 1)含有在 CO₂ 存在下会变色的化学试剂。颜色变化的长度表示 CO₂ 的测量浓度。在使用 Draeger-Tube®之前,请检查其有效期,并将其保存在推荐的温度下。另一种流行的评估方法是 Solvita®土壤测试。提及的商业产品并不构成美国农业部的官方认可。

耗时：30 分钟



第 10 节 土壤总有机碳

总有机碳 (TOC) 是储存在土壤有机质 (SOM) 中的碳 (C)。有机碳 (OC) 通过植物和动物的残留物、根系分泌物、活的和死的微生物以及土壤生物群的分解进入土壤。SOM 是土壤的有机组成部分，**不含未分解的动植物残体**。然而，大多数分析方法并不区分已分解的残留物和未分解的残留物。SOM 是一种不均匀的动态物质，其颗粒大小、C 含量、分解率和周转时间各不相同。

土壤有机碳 (SOC) 是土壤微生物的主要能量来源。SOC 可用的简易性和速度与它所处的 SOM 组分数有关。在这方面，SOC 可以根据包含它的 SOM 的大小和分解率将其划分为多个部分 (表 1)。前三个部分是 SOM 活性池的一部分。这个碳池中的碳源相对容易分解。

SOM 大约含有 58% 的 C；因此，可以用因子 1.72 将 OC 转化为 SOM。石灰性土壤中无机碳含量高于 TOC。TOC 以每 100 克土壤中 C 的百分比表示。

1. 影响因素

植物残渣	≥ 2.0	< 5	辨认出植物枝叶和根
颗粒有机质	$0.06 - 2.0$	< 100	部分降解的植物材料、菌丝、种子等
土壤微生物生物物质	多种多样	< 3	土壤有机质的活性池, 特别是细菌和真菌
腐殖质	≤ 0.0053	$< 100 - 5000$	稳定降解的最终阶段, 稳定化合物主导

内在的-土壤质地、气候和时间都影响有机碳的积累。富含粘土的土壤可以通过稳定粘在粘土表面的物质分解, 保护 SOM 免受损害。黏土的存在使聚集成为可能, 也保护 SOM 免受微生物矿化。可萃取的铝和异素(存在于火山土壤中)可以与 SOM 形成稳定的化合物, 抵抗微生物的分解。温暖的气温通过增加分解速率而降低有机碳含量, 而高的年平均降水量, 通过刺激植物生物量和相关有机碳的生产而增加积累。随着时间的推移, SOM 的分解产生腐殖质-碳, 它抵抗微生物的分解。

土壤侵蚀造成的碳损失导致土壤有机碳随地形坡度而变化。水平地形比其他坡级具有更多的有机碳。海拔和地形梯度在一定程度上控制着当地的气候、植被分布和土壤性质, 以及相关的生物地球化学过程, 包括有机碳动力学。高程下的小气候降温有利于有机碳的积累。通过对美国相连地区 C 的影响因素分析, 土地利用、地形(海拔和坡度)、年平均降水量对有机碳的影响比年平均气温更明显。然而, 当其他变量受到高度限制时, 随温度升高, SOC 明显下降。

动态的-土壤有机碳含量的增加取决于 C 矿化的速率、植物残渣的数量和分解阶段以及添加到土壤中的有机补给剂。各种有机物质的周转时间不同表明, 腐殖质碳矿化缓慢, 因此在土壤中积累, 而微生物生物物质 C 可能会相对较快地消失(表 1)。不同大小和稳定性的土壤团聚体可能是 SOM 的物理保护场所, 使其免于分解和 C 矿化。土壤扰动和团聚体的破坏可能是团聚体中物理保护的 SOM 暴露于生物降解的主要因素。

作物残体返还土壤或留在土壤表面可减少侵蚀和沉积物中有机碳的损失。石灰增加酸性土壤的 pH 值, 会增加微生物的活性、有机物的分解和二氧化碳的释放。土壤微生物种群的多样性也影响土壤有机碳, 例如, 当土壤细菌通过矿化积极参与 C 的损失时, 一些真菌, 如菌根, 被认为通过将 SOM 与粘土和矿物质聚集

在一起来减缓 SOM 的腐烂。在团聚体内部，SOM 和 SOC 比在自由状态下更具抗性。土壤深度影响有机碳的分布，因为受限制的矿化率，耕作过的深层土壤往往会在受扰动的表层土壤下面累积有机碳。

2. 与土壤功能的关系

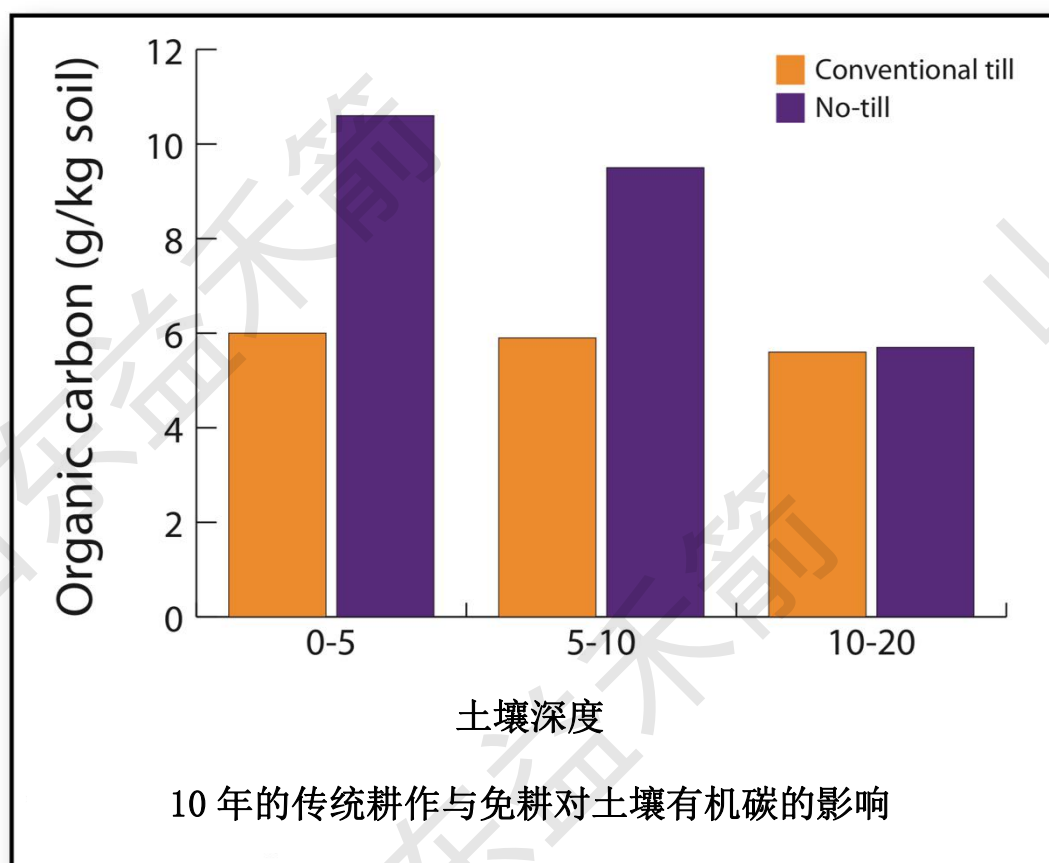
有机碳是土壤中最重要成分之一，因为它既能作为能量来源，又能通过矿化触发养分的有效性。活性池中的有机碳组分，如上所述，是土壤微生物能量和养分的主要来源。腐殖质参与了团聚体的稳定性、营养和水分的保持能力。OC 类化合物，如多糖(糖)将矿物颗粒结合在一起形成微聚集物。球囊霉素是一种 SOM 物质，可能占土壤碳含量的 20%，它可以粘合在一起，稳定土壤结构，使土壤抗侵蚀，但多孔性足够允许空气、水和植物根系在土壤中移动。有机酸(例如草酸)通常由有机残留物和粪肥分解释放出来，可以防止粘土矿物固定磷，提高植物的有效性，特别是在亚热带和热带土壤中。SOM 和 C 总量的增加导致土壤生物多样性的增加，从而增加了植物病虫害的生物防治。数据还显示，从粪便中释放的溶解 OC 与农药之间的相互作用可能会增加或减少农药通过土壤进入地下水的流动。

3. 土壤碳缺少造成的问题

SOC 缺少的一个直接影响是，由于能源短缺导致微生物生物量、活性和养分矿化降低。在非钙质土壤中，团聚体稳定性、渗透、排水和气流都减少了。缺乏有机碳会导致土壤生物多样性减少，从而有破坏食物链平衡的风险，这可能导致土壤环境的紊乱(如植物病虫害的增加，有毒物质的积累)。

4. 提高碳水平

汇编数据显示,耕作方式已导致美国土壤流失了大约 4.4×10^9 吨的碳,其中大部分是 OC。为了弥补这些损失,免耕等做法可能会增加有机碳(图 1)。其他增



加有机碳的做法包括持续施用粪肥和堆肥,以及使用夏季和/或冬季覆盖作物。燃烧、收割或以其他方式清除残留物会降低有机碳。

5. 测量有机碳总量

目前,还没有现场测量 TOC 的方法。已经尝试开发出颜色与 TOC 含量相匹配的颜色图表,但它只在土壤土景内相关性较好,适用于少数土壤。近红外光谱法已经尝试在实地直接测量 C,但它是昂贵的。还有许多实验室方法可用。

所需时间:实验室方法多种多样。