

呼吸作用与土壤有机质

土壤呼吸作用是测量土壤释放的二氧化碳(CO₂)。它是通过土壤微生物、植物根系和土壤动物分解土壤有机质和植物凋落物而释放出来的。土壤有机质的含量和分解是衡量土壤微生物活性水平和土壤有机质含量的重要指标。它也反映了土壤的物理和化学环境状况。在短期内，高土壤呼吸率不一定是可取的；这可能表明土壤系统不稳定，以及过度耕作或其他因素造成的 SOM 损失。土壤呼吸可以用简单的方法或更复杂的实验室方法来测量。它表明有机物中的营养物质转化为可供植物利用的形式(例如，磷酸盐为 PO₄，硝酸盐氮为 NO₃，硫酸盐为 SO₄)。

影响土壤呼吸的因素

土壤呼吸受气候、土壤质地等内在因素的影响。孔隙度较低的土壤呼吸速率也较低。土壤呼吸速率也依赖于土壤动态因子，包括 SOM 含量、温度、水分、盐度、pH 值和通气量。土壤生物的生物活性每天都有季节性变化。土壤温度每升高 10 摄氏度(18 华氏度)，微生物呼吸就会增加一倍以上，最高可达 35 到 40 摄氏度(95 到 104 华氏度)。土壤温度太高时，就会限制植物生长、微生物活动和呼吸。

土壤呼吸一般随土壤水分的增加而增加；然而，当土壤孔隙被水填满时，氧气就会受到限制，从而干扰土壤生物的呼吸能力(图 2)。理想的土壤含水量是接近田间容量，或当孔隙空间约 60%被水填满时。在干燥的土壤中，由于缺乏微生物活动和其他生物活动所需的水分，呼吸作用受到限制。当水填充孔隙空间的 80%以上，土壤呼吸减少到最低水平，最需氧微生物就会“变轨”，开始使用硝酸(NO₃)，代替氧气，导致氮损失如氮气(N₂和氮氧化物)、潜在温室气体的排放、减少产量和需要增加氮(N)肥料开支，从而增加成本。

中等质地的土壤(粉质和壤质土壤)有利于土壤呼吸，因为良好的透气性好、有效含水量高。在粘质土壤中，相当数量的 SOM 受到粘粒及团聚体保护，免于分解，限制了土壤呼吸和相关有机 N 的矿化。沙土通常有机质含量低，有效含水量低，限制了土壤呼吸和氮的矿化。

土壤呼吸管理

管理措施可以增加或减少土壤有机质 (SOM)。土壤有机质含量的增加有利于土壤健康和土壤长期呼吸。在土壤表面留下作物残留物、使用免耕、使用覆盖作物或其他增加有机物的做法, 都会增加土壤呼吸。低碳氮比作物(如大豆渣)分解速度快于高碳氮比作物(如麦秸)。高残余作物加上添加的 N(任何来源的)增加了 SOM 的分解和积累。相反, 去除、掩埋或焚烧作物残体, 减少 SOM 含量的耕作方法, 会长期降低土壤呼吸。

干旱条件下的灌溉和湿润土壤的排水对土壤呼吸有显著的促进作用。由于植物根系对土壤呼吸的贡献增加, 作物行内土壤呼吸比行间土壤呼吸要高。由于曝气少, 排水少, 含水量高, 像车轮轨道这样的压实区域的呼吸作用比非压实区域要低。

管理土壤 pH 值和盐含量(盐度)是重要的, 因为它们调节作物生长和养分有效性与分布(影响负责 SOM 分解的土壤生物), 和有助于土壤呼吸的其他过程。肥料可以刺激根的生长和滋养微生物; 然而, 在高浓度下, 由于 pH 值或盐度的增加, 一些肥料可能对负责土壤呼吸的微生物有害。同样, 污泥或其他有机物质含有高浓度的重金属、某些杀虫剂或者杀菌剂和盐可能对微生物种群有毒, 降低呼吸作用。

改善土壤有机质和/或土壤孔隙度的措施:

减少土壤扰动和土壤湿时农用设备活动; 设备能行使用指定田间或行间道路; 减少跨田间的运行; 扰动现有压实层的底土; 耕作制度, 包括持续免耕、覆盖作物、固体粪肥或堆肥应用、多样化的轮作(高残留作物、多年生豆科植物或在轮作中使用草)的组合。在土壤表面留下未被破坏的残留物, 而不是翻耕还田、燃烧或移除。

如表 1 所示, 土壤呼吸速率对管理措施, 如植物残渣、有机肥添加、耕作和施氮等响应。某些管理措施会导致土壤呼吸的暂时性增加, 对 SOM 和长期土壤呼吸有负面影响。

土壤呼吸问题及其与土壤功能的关系

土壤呼吸反映了土壤维持植物生长、土壤动物区系和微生物的能力。它表

明了微生物活性、SOM 含量及其分解水平。土壤呼吸速率可用于评价土壤养分循环和土壤维持植物生长和生物活性的能力。

过度呼吸和有机质降解发生在耕作后，由于土壤团聚体的破坏和土壤通气性的增加。这就消耗了土壤有机质，限制了营养的有效性，减少了产量。

较低的土壤呼吸速率表明土壤中很少或没有 SOM 或土壤微生物活动。土壤温度、湿度、通气量、有效氮等土壤条件限制了生物活性和 SOM 分解。土壤呼吸作用低时，养分不能从土壤 SOM 中释放出来，供养养植物和土壤生物。当土壤被淹没或水饱和时就发生呼吸减少，通过反硝化作用氮损失，通过挥发作用硫损失。

表 1. 解释管理对土壤呼吸和土壤有机质的影响

管理措施	用途	短期影响	长期影响
固体粪肥或有机物料的应用	为微生物提供额外的碳和氮源来分解和增加生物量生产。	增加肥料开始分解时的呼吸作用和增加生物量产量。	对土壤结构、肥力和 SOM 含量有正向影响。
轮作中使用高碳氮比、高残留作物或覆盖作物	高碳氮比作物与添加氮(来自任何来源)增加了 SOM 的分解和积累。	高碳氮比作物秸秆暂时束缚氮以分解秸秆，增加土壤水分，减少土壤侵蚀。	对土壤质量、肥力和 SOM 含量的长期积极影响。
耕种如每年耙耕或翻耕	搅拌土壤，为微生物分解碳源提供暂时的氧气增加。	在耕作后立即释放大量的氮、其他营养物质和二氧化碳。增加侵蚀率，残渣分解率和其他碳源。	降低 SOM、土壤质量、土壤肥力。
作物残茬管理	残渣留于地面，增加保护土壤的土地覆盖物。	增加作物秸秆覆盖可以暂时束缚氮，以分解秸秆，增加土壤水分，减少侵蚀和降低土壤温度。	对土壤质量、肥力和 SOM 含量的长期积极影响。
氮肥或粪肥施用	提供氮(能量)来源，让微生物更快分解高碳氮比的残留物(如玉米秸秆、麦秸)。	由于有机物质分解速率的增加而引起的呼吸短暂增加。	如果管理得当，可以通过提高生产水平和残留物数量，对 SOM 和土壤质量产生全面的积极影响。
机械或农业设备交通	致密土壤降低了孔隙度、水运动、微生物所需要的氧气和源自反硝化的氮损失。	降低呼吸、产量、渗透性；增加了径流。	生产降低、增加了土壤侵蚀和径流；降低土壤质量、压实土壤、降低微生物活性。

相关术语：

土壤微生物：负责土壤呼吸和许多重要的土壤过程如养分循环的土壤生物，如细菌、真菌、原生动物和藻类。（在一汤勺肥沃土壤中土壤生物的数量可以超过 90 亿，相当于世界总人口的 1.5 倍。）

呼吸作用：二氧化碳的释放有几个来源：土壤微生物的 SOM 分解，植物根和土壤动物的呼吸。它可以通过简单的方法或更复杂的实验室方法进行测量。

矿化作用：有机质分解，释放出植物可利用形式的营养物质（如磷、氮和硫），这些发生在呼吸过程中。

氨化作用：从 SOM（土壤有机质）分解中产生铵（ NH_4 ）。

反硝化作用：硝态氮到亚硝酸盐和 NO 、 N_2O 、 N_2 气体的厌氧转化和损失。

硝化作用：一种好氧微生物过程—转化土壤铵态氮为植物有效硝酸盐（或当 pH、EC 或氧水平影响好氧活性时，转化为亚硝酸盐、 NO 和 N_2O ）。