

100 年前科学家的困惑：什么是腐殖质？

人们在不同的时期提出了几种理论来解释黑色有机物的起源，这些黑色有机物构成了土壤有机物的大部分，也就是我们通常所知道的“腐殖质”。然而，这些理论都不能充分解释复杂的土壤有机质的形成过程，因而不能被普遍接受。尽管关于其中一些成分（即“腐植酸”）的广泛文献是可用的，但对这种“腐殖质”的化学成分的本质，人们对其知之甚少。

人们提出了许多定量测定土壤“腐殖质”和“腐植酸”的方法，因为这通常被认为是土壤有机质中可用的部分。然而，没有一种方法被证明令人满意。同一土壤用不同方法得到的结果差异很大，对于土壤有机质的性质、组成和理化性质的研究仍有不足之处。Schreiner 和 Shorey 在 1909 年总结了有关这一课题的文献，得出这样的结论：“最显著的特征是缺乏有关土壤有机质的具体知识”从那以后，新的理论和新的方法被不断提出，但即使是现在，“关于土壤有机质性质的知识完全缺乏，在腐殖质和其他的有机物之间的模糊界限仍然是土壤科学最薄弱的环节，无论是在土壤分类上，还是在其他一些问题上。”

关于正常土壤中最重要成分的具体知识缺乏，在很大程度上是由于很少有人尝试研究“腐殖质”是如何在土壤中形成的。当有机物—以绿肥、植物残茬、秸秆、叶、根等形式添加到土壤中时，分解就立即开始，这一点可以很容易地检测，并由二氧化碳的增加来证明。分解的速率和特点依赖于有关生物和土壤环境条件。在容易利用的材料被分解后，或早或晚地，分解速率变成或多或少相一致。残余的有机质变为了土壤一部分，被转化成了“腐殖质”，或者被称为“腐殖化”了。这种“腐殖质”只是缓慢的分解，将在普通土壤中坚持相当长的时间。

为什么会发生这种事情？为什么一部分有机质分解迅速，而另一部分则分解缓慢？这在经济上非常重要，因为通过天然有机物料引入到土壤中的氮和矿物质仍然被束缚在土壤“腐殖质”中。

它们是如何发生的？腐殖质形成，是因为有机物质分解到此并不再继续；或者，是因为初始有机物质的特定成分被分解，而别一部分没有；或者，是因为原

始有机物质的降解中微生物活性合成了某些顽固的新物质？

化学家通过灼烧、碱提取、不同试剂处理土壤分析了土壤有机质。他认为土壤有机质处于静态状态，有时候得出这样的结论：腐殖质不是在土壤形成的，类似的提取物可以从天然有机物质中得到。生物学家只局限于这样一种笼统的论述，即：土壤中各种种类的微生物都积极地参与了土壤腐殖质的形成，但是为什么及什么程度还不知道。甚至有人指出(Falck)，添加到土壤中的天然有机物被分解而产生的土壤有机质的性质，完全取决于参与分解的生物体的性质，后者在很大程度上受环境条件的影响。然而，还缺乏一些实验事实，来明确确定什么天然有机物的成分有助于“腐殖质”或“土壤有机物”的形成，以及发生了什么化学反应；这在很大程度上是因为缺乏有关土壤“腐殖质”及其各种成分(如“腐殖酸”)的性质的知识。它们并不完全，或仅仅在非常有限的范围内受到绝大多数土壤微生物的作用。

在各种已经提出的解释“腐植酸”形成的理论之间，Fischer 的理论应该得到仔细研究。他们宣称，“腐殖质”、泥炭、软煤很可能来源于木质素-它构成了大部分天然有机物的相当一部分。木质素相当抗分解。因此，费歇尔认为，纤维素、戊聚糖和其他碳水化合物、蛋白质及其衍生物以及各种其他细胞成分迟早会被不同的土壤微生物分解，而木质素和脂肪则不会分解。这此物质的积累导致了土壤“腐殖质”、草炭土和煤的形成。**这一理论或可以说明煤的形成，但不能充分地说明“腐殖质”的形成，由于几个原因：**

1) 它不能解释土壤“腐殖质”中存在大量氮的起源。从土壤肥力的角度来看，这是一个非常重要的组成部分。

2) 它没有考虑到这样一个事实：在正常的土壤中，碳和氮的比例总是恒定的，即大约是 10:1。

3) 它没体现栖息在土壤中的无数微生物对土壤中有机质的形成起作用，多达 20-40%的有机物分解后，作为可用能量的来源，可以合成为微生物原质。

4) 它没有考虑到这样一个事实：当土壤保持在最佳条件下，不添加新鲜的有机物时，即使是具有抵抗力的土壤“腐殖质”也会逐渐分解，这一点很容易证明。**不断向耕作的土壤中添加有机物可能足以保持土壤有机质的平衡。**

5) 有毫无争议的证据，土壤有机质由几个部分组成：(a) 一部分不溶于水和

碱(乌敏素 ulmin 和胡敏素 humin) (b)一部分可溶于碱, 但不溶于醇(胡敏酸 humic acid), (c)一部分可溶于碱和醇(hymetomelanic 酸), (d)可溶于水(黄腐酸 fulvic acid)。Gortner 发现, 在可溶于碱的部分中有深色和浅色部分, 这取决于用于提取的碱的性质。

在研究这个问题时, 人们首先尝试不去了解什么是“腐殖质”, 而是它是如何在土壤中形成的, 什么样的化学条件和微生物作用, 在环境条件的影响下, 促成了它的形成。“腐殖质”的化学和物理性质, 就会被更好地理解。这些研究将在之后被详细公布。在这里, 我们只需要注意几个能给这个复杂问题带来一些启发的结果就足够了。

土壤有机质或“腐殖质”可方便地被分为 3 个通用组:

- a) 不溶于碱的部分, 如 5% NaOH, 这包括了大多数未分解的植物残留物, 如纤维素、戊聚糖、一些蛋白质等, 以及某些合成物质, 如几丁质。
- b) 部分溶于碱和酸沉淀; 这包括 60%到 70%的正常土壤的有机物质, 包括各种“腐殖酸”。
- c) 可溶于碱而不被酸沉淀的部分; 这部分包括土壤有机质的水溶性部分和被氢氧化钠水解作用而溶解的部分。

第二部分是最重要和最有趣的。它通常在碱性萃取物中直接测定(在这种情况下, 土壤有机质的第三部分也包括在内), 或者用酸沉淀, 然后用重量法或比色法测定。当正常矿质土壤的碱性萃取物被盐酸仔细中和时, 形成重沉淀物; 当加入过量的酸时, 一部分沉淀物被重新溶解。碱处理所溶解的土壤有机物可以方便地分为两部分。对这些组分的认识不足, 常常导致在定量和定性的结果中出现很大的混淆。从土壤有机质部分中分离出来的两组分(溶于碱和酸沉淀)是: a) 组分 α : 溶于稀碱, 不溶于稀酸中, 和 b) 组分 β : 既溶于稀碱, 又溶于稀酸, 而且能够在大于或小于分离等电点(pH 接近 4.8)时沉淀。

发现这 2 个组分在土壤中被不同的过程所派生, 很可能在土壤中担负着不同功能。组分 α 或“腐植酸”给土壤以黑色, 大部分起源于天然有机物质的木质素与土壤微生物的细胞。它含有最大量的氮。它占支配地位, 也是土壤中有机物大量积累的唯一部分, 就像泥炭土壤和森林霉菌一样, 这可能是无法获得最大限度土壤氮的原因。组分 β 给予土壤缓冲物性, 这在很大程度上解释了通常认为是不

确定的“有机土壤胶体”造成的各种现象。它与加入或形成的酸、碱结合，防止它们变得对植物和微生物的生长有害。这部分在数量上十分可变，根据土壤条件升高或降低。在碱性溶液中重新溶解 β 组分时，少量无机物质可能仍不溶解；过滤溶液，用酸调节 pH 至 4.8, 重新沉淀 β 组分，可得到一种稻草色，水冲洗沉淀，干燥、称重、点燃。在样有机质也得到了定量回收。

组分 α 是由于不断添加新鲜有机物(如植物的根和残茬、绿肥和稳定的肥料)而积累在土壤中的一部分有机质，它可被分解，但只是十分缓慢，只被非常有限的土壤微生物，大部分放线菌和少数非芽孢细菌。 β 组分的起源仍然不清楚。泥炭土壤含大量 α 组分，而矿物土除含 α 组分外，也有 β 组分，而且甚至数量更大，**这一事实表明了泥炭土和矿物土的有机质特性明显不同。**这一事实被大多数关于“腐殖酸”的研究者所忽视。

土壤有机质的这两部分(α 和 β)的知识，它们在定量上占有机质的大部分，土壤中的氮和可能在土壤过程中起不同作用的氮，以及更好地理解土壤中这两个组分的起源，似乎有助于更清楚地理解土壤现象。