

[编者按] 2025 年 11 月 7 日, 协会法人代表、名誉会长、《腐植酸》杂志主编曾宪成应邀在“中国腐植酸第一直播间”做了题为《土壤生命: “有机质—腐殖质—腐植酸(微生物)” 根魂所在》的直播报告, 引起了业界的热烈反响。该报告将“有机质—腐殖质—腐植酸(微生物)”这个土壤生命科学, 与宏观产业发展、土肥文明乃至人类可持续发展紧密地联结了起来, 促进了人们对土壤生命的深刻认识。本编辑部应广大读者的要求, 将直播报告修订为特约稿编发, 希冀全行业始终坚持“两个毫不动摇”方针更加充满力量。

## 土壤生命: “有机质—腐殖质—腐植酸(微生物)” 根魂所在

曾宪成

中国腐植酸工业协会 北京 100120

**摘 要:** 土壤, 一个充满生机的系统。在这一生命系统中, “有机质—腐殖质—腐植酸”的转化链条, 构成了土壤生命的“根”与“魂”。其中, 腐植酸作为有机质转化的高级形态和核心载体, 通过与矿物质形成“有机无机复合体”, 扮演着土壤生态系统“构建者”与“调控者”的关键角色。本文从科学与哲学的双重维度, 深入剖析腐植酸在复合体中的独特作用, 阐述其作为“微观宇宙”的纽带, 连接生命与非生命世界, 维系土壤肥力、结构稳定与生态平衡, 进一步唤起对腐植酸在构筑土肥和谐新关系、开创农耕文明新气象中的高度重视。

**关键词:** 土壤生命; 有机质; 腐殖质; 腐植酸; 有机无机复合体; 土壤微生物; 土肥和谐; 农耕文明; 哲学启示

中图分类号: TQ314.1      文章编号: 1671-9212(2025)06-0022-05

文献标识码: A      DOI: 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.06.001

Soil Life: the Essence and Foundation of “Organic Matter-Humus-Humic Acid (Microorganisms)”

Zeng Xiancheng

China Humic Acid Industry Association, Beijing, 100120

**Abstract:** Soil is a vibrant system. Within the soil life system, the transformation chain of “organic matter→humus→humic acid (microorganisms)” forms the “root” and “soul” of soil life. Among these, humic acid, serving as the advanced form and core carrier of organic matter transformation, plays a key role in the formation and regulation of the soil organic-inorganic complex through their interactions with mineral substrates. From both scientific and philosophical perspectives, this study delved into the unique role of humic acid within this complex, illustrating its function as a link in the microcosm that connects the living and non-living worlds, sustaining soil fertility, structural stability and ecological balance. Furthermore, it aimed to draw heightened attention to the critical role of humic acid in fostering a new harmony between

[收稿日期] 2025-11-07

[作者简介] 曾宪成, 男, 1958 年生, 中国腐植酸工业协会名誉会长, 主要从事全国腐植酸行业管理, 重点开展农业和环境领域的研究工作, E-mail: chaia@126.com。



soil and fertilizer and pioneering a new vision for agricultural civilization.

**Key words:** soil life; organic matter; humus; humic acid; organic-inorganic complex; soil microorganisms; soil and fertilizer harmony; agricultural civilization; philosophical revelation

当我们俯身抓起一把沃土，指尖传来的不仅是湿润与颗粒感，更是一种深邃的生命悸动。这看似平凡疏松的基质被誉为地球的皮肤，是地壳表面岩石经历近千年缓慢风化而成的奇迹。它承载着绿色植物的根基，吞吐着水分与空气，更是无数微生物的繁华都市。何为土壤的生命力？传统观念往往将其简化为氮、磷、钾等无机养分的含量。然而，现代土壤科学揭示，土壤的真正灵魂，深藏于其有机组成部分，尤其是那条由“有机质”到“腐殖质”，再到其精华“腐植酸”的动态转化路径之中<sup>[1]</sup>。

有机质是土壤中所有含碳有机物的总称，是生命的遗骸与代谢产物，如同土壤的“血肉”。而腐殖质，则是这些有机残体经过复杂生物化学过程（主要是微生物的分解与合成）后形成的一类性质稳定、结构复杂的高分子有机聚合物，是土壤物质组成的“核心”与“灵魂”。腐植酸，则是腐殖质中既能溶于稀碱又能被酸沉淀的核心组分，是这一“灵魂”中最具生物活性和反应活性的部分。它如同一位技艺高超的“生命工程师”（暗香盈动），在微观世界中，与黏土矿物等无机颗粒发生深刻的相互作用，构建起土壤最基本的结构单元——有机无机复合体。这一复合体的形成，不仅是土壤物理、化学和生物学性质的根源，更是土壤从“母质”升华为“生命温床”具有肥力的质变标志。

本文将遵循“从现象到本质，从科学到哲理”的路径，首先厘清有机质、腐殖质与腐植酸的科学内涵与转化关系；继而，重点深入探讨腐植酸在形成有机无机复合体中的核心机制与功能，揭示其作为“土壤根魂”的物质基础；最后，将这一微观过程置于更宏大的生态与哲学视野中，思考其对维护地球生命共同体及指导农业可持续发展的深远意义。

## 1 生命循环的腐殖化：从有机质到腐植酸的蜕变

土壤生命的故事，始于一场永不落幕的生死循环与物质转化。

### 1.1 有机质：生命交辉与初始能量

土壤有机质初始来源系动植物残体、微生物细胞及其代谢产物。这些物质蕴含着生命积攒的能量与信息（如碳水化合物、蛋白质、脂质、木质素等）。它们的回归土壤，是一场宏大的“生命交辉”，为土壤生态系统注入了初始的物质和能量流。如同遵循着一份写于生命起源之处的古老契约，每一个生命个体都在其终点，将自身储存的能量与构建躯体的物质，如数交割给土壤这个庞大的“生态银行”。然而，新鲜有机质并不稳定，易被微生物快速分解，其释放的养分如暴风骤雨，虽猛烈却难以持久。

### 1.2 腐殖质：微生物协作的杰作与稳定碳库

在微生物（细菌、真菌、放线菌等）的协同作用下，有机质的分解过程与合成过程交织进行。一部分简单物质被彻底矿化，释放出  $\text{CO}_2$  和矿质养分；另一部分难以分解的组分（如木质素）以及在代谢过程中产生的中间产物，通过微生物的“巧手”，重新聚合、缩合，形成一系列结构复杂、性质稳定的新物质——这就是腐殖质。这个过程被称为“腐殖化作用”。腐殖质的形成，是自然选择下的一种高效碳封存策略，它将活跃的碳转变为相对惰性的形态，形成了一个巨大的陆地碳库，对调控全球碳循环与气候变化至关重要<sup>[2]</sup>。腐殖质如同土壤的“免疫系统”和“能量场”，提供了缓冲性能、保水保肥能力和长期的养分供应潜力。

### 1.3 腐植酸：腐殖质的活性灵魂

腐殖质是一个混合物，包括腐殖物质和非腐殖物质。腐殖物质根据溶解性可分为腐植酸（胡敏酸）、黄腐酸（富里酸）、腐黑物（胡敏素）<sup>[3]</sup>。其中，腐植酸承上启下，地位非凡。它分子量适中，含有

丰富的芳香环和多种官能团,如羧基(-COOH)、酚羟基(-OH)、甲氧基(-OCH<sub>3</sub>)等。这些官能团使腐植酸同时具备亲水性和疏水性,并带有大量的负电荷。正是这些化学特性,赋予了腐植酸非凡的反应活性,使其成为与无机矿物相互作用、构建土壤微观世界的绝对主角。可以说,有机质是原料,腐殖质是半成品,而腐植酸则是经过精炼的、具备强大功能的“活性精华”。它是土壤生命链条从“量变”到“质变”的飞跃点<sup>[4]</sup>。

## 2 微观宇宙的构建者:腐植酸在有机无机复合体中的核心作用

土壤肥力的奥秘,并不在于养分离子的简单堆积,而在于一个稳定而富有活力的微结构来协调水、肥、气、热。这个结构的基石,便是由腐植酸与层状硅酸盐黏粒(如蒙脱石、伊利石)通过物理化学作用桥接而成的“有机无机复合体”。腐植酸在此过程中,扮演了不可替代的“构建者”角色。也可以说是土壤团粒结构的缔造者。

### 2.1 化学桥接:离子键与配位键的共舞

黏土矿物表面通常带有永久负电荷,但其晶格边缘在酸性条件下会因断键而带有正电荷。腐植酸分子上丰富的羧基和酚羟基,如同无数只灵巧的“手”。这些“手”可以通过阳离子桥(如Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Al<sup>3+</sup>)与黏粒表面的负电荷区域形成离子键结合;更直接的是,其官能团可以与黏粒边缘的铝氧八面体或硅氧四面体中的铝离子(Al<sup>3+</sup>)、铁离子(Fe<sup>3+</sup>)等发生配位反应,形成稳定的内圈络合物。这种结合力强大而牢固,相当于用分子级别的“铆钉”将有机与无机两部分紧紧锚定在一起。这是复合体得以稳定存在的化学基础。

### 2.2 物理包裹:范德华力与疏水作用的协同

腐植酸分子并非僵直的棍棒,而是具有复杂多维空间结构的柔性高分子。它可以通过范德华力吸附在黏粒表面,甚至可以像“毯子”一样将多个微小黏粒包裹、缠绕起来。同时,腐植酸分子中的疏水片段之间会产生疏水相互作用,进一步促进其自身的聚集以及与矿物的结合。这种物理包裹作用,

增加了结合的接触面积和稳定性,使复合体结构更为致密。

### 2.3 功能赋能:复合体何以成为“土壤精华”

腐植酸与矿物的结合,并非简单的“1 + 1 = 2”,而是产生了“1 + 1 > 2”的协同效应,使复合体成为土壤中最宝贵、最富生命力的部分。

(1) 结构之根:团粒结构的形成者。单个的复合体是微小的。但无数个复合体在钙离子等多价阳离子的桥接下,或通过菌丝、根系分泌物的缠绕,能够进一步胶结形成直径在0.25 ~ 10 mm的水稳性团粒结构。团粒结构是理想土壤结构的标志,它创造了孔隙的级配:团粒内为小孔隙,用于保水保肥;团粒间为大孔隙,用于通气排水。腐植酸作为“土壤团粒”的“构建者”,赋予了土壤疏松、通透的物理性状,为根系伸展和微生物栖息提供了理想的物理空间。

(2) 养分之库:保肥供肥的调节器。腐植酸本身含有碳、氮、硫、磷等营养元素,是一个“缓释库”。更重要的是,其巨大的比表面积和负电性,使其能通过离子吸附和交换,将钾离子(K<sup>+</sup>)、铵根离子(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)等养分牢牢吸附在复合体表面,防止淋失。当植物需要时,又能通过根系交换将其缓慢释放。这种“吸附—解吸”的动态平衡,如同一个智能缓冲系统,实现了对养分的“保蓄”与“供应”的统一,避免了化肥的快速流失与环境污染<sup>[5]</sup>。

(3) 生命之巢:微生物的庇护所与共荣圈。有机无机复合体是土壤微生物最核心的栖息地。腐植酸作为优质的碳源和能源,吸引并滋养着特定的微生物群落。同时,复合体的微孔结构为微生物提供了躲避干旱、淹水等环境胁迫的物理避难所。微生物在分解利用腐植酸的同时,其代谢活动又反过来促进腐植酸的进一步转化和更新,并与矿物发生相互作用。这是一个动态的、共生的“微生态系统”<sup>[6]</sup>。没有腐植酸构建的复合体,微生物将暴露在严酷的环境中,难以形成稳定而多样的群落。

(4) 环境之肾:污染物的解毒剂。腐植酸能通过吸附、络合、氧化还原等作用,固定土壤中的重金属离子或降解有机污染物,降低其生物有效性





和毒性<sup>[7]</sup>，扮演着土壤“净化器”的角色。

### 3 土壤生命根魂所系：腐植酸联结的哲学启示

腐植酸在有机无机复合体中的作用，超越了单纯的化学或物理过程，它揭示了一系列深刻的自然哲学原理，引导我们重新审视土壤、生命与农耕文明的关系。

#### 3.1 联结的哲学：微观宇宙中的“关系性存在”

腐植酸本身，就是“关系”的产物——它是无数微生物生命活动协作的结晶。而它最大的价值，又体现在构建另一种更高级的“关系”——有机无机复合体。这启示我们，土壤的生命力乃至一切生态系统的繁荣，并不取决于某个孤立组分的多寡，而在于组分之间能否建立稳定、高效、动态的联结网络。腐植酸是“联结”的化身，它打破了有机与无机、生命与非生命、动物植物与微生物之间的绝对界限，将它们编织成一个不可分割的整体。在这个微观宇宙中，存在即是关系，功能源于互动。这是一种深刻的整体论和系统论世界观。

#### 3.2 稳定与活力的辩证法：永恒的“成住坏空”

有机无机复合体并非永恒不变。它处于不断地形成（“成”）、稳定存在（“住”）、缓慢降解（“坏”）和更新（“空”）的动态平衡中。腐植酸赋予了复合体相对的“稳定性”，使其能抵御分解，长期发挥功能；但同时，它又通过滋养微生物，为整个系统注入“活力”，驱动着物质的循环与结构的更新。过度的稳定意味着僵化（如过度聚合形成惰性胡敏素），而过度的活力则意味着系统的崩溃（如有机质过快矿化）。土壤的健康，恰恰在于这种“稳中求变，变中求稳”的辩证统一。腐植酸，正是这一平衡艺术的慧域大师。

#### 3.3 生命对非生命世界的“驯化”与“赋能”

地球早期的岩石圈是荒芜的。是生命的出现，特别是其死亡后形成的有机质及其高级形态腐植酸，才开始“驯化”这些坚硬的矿物。腐植酸像一位智慧的使者，将无机矿物“邀请”进入生命的循环，赋予其保水、保肥、供养生命的新功能。原本只具备物理支撑作用的矿物，在腐植酸的改造下，

变成了有“灵魂”、有“功能”的生命支持系统。这体现了生命作为一种强大的地质营力，如何主动地改造环境，使其更适合自身的存在与发展<sup>[8]</sup>。这是一种生命与非生命世界的共演哲学，是土壤肥力形成的关键。

#### 3.4 对人类文明的启示：尊重“根魂”的智慧

人类农耕文明史，从某种意义上说，是一部与土壤“根魂”的互动史。传统农业强调施用有机肥，其本质就是补充和培育土壤中的腐殖质和腐植酸，维护有机无机复合体的健康。而近代以来的化学农业，过度依赖化肥农药，忽视有机物的归还，实质上是切断了“有机质——腐殖质——腐植酸”这一生命链条，导致复合体结构破坏、团粒结构消失、土壤板结、地力衰竭。这无异于“竭泽而渔”，只索取而不滋养其“根魂”。况且，向土壤强烈投放外源性物质是会“反噬”的。

因此，可持续发展的智慧农业，必须回归对土壤生命本质的尊重<sup>[9]</sup>。工业化制取的腐植酸是人类反哺土壤的智慧结晶。施用腐植酸营养要素、腐植酸类肥料，推广秸秆还田（腐熟性）、种植绿肥（性价比）等措施，都不是简单的技术选择，而是重新连接并滋养土壤“根魂”的哲学实践。我们不是在“管理”一个无生命的基质，而是在“照料”一个充满智慧的、由腐植酸这类关键物质所维系的土壤生命共同体。保护土壤，就是保护这个联结万物的“根魂”，也就是保护人类文明赖以生存的根本。毕竟“万物土中生”。

### 4 结论

土壤，这个我们赖以生存的“衣食父母”，其奥秘深藏于微观世界。一条由“有机质”经物理、化学、微生物的共同作用转化为“腐殖质”，并淬炼其活性精华“腐植酸”的路径，构成了土壤生命的核心链条。而腐植酸，作为这一链条的巅峰与灵魂，通过其独特的化学性质，与无机矿物构建起稳定的“有机无机复合体”。这一复合体，是土壤团粒结构的基石、养分循环的枢纽、微生物的家园和净化土壤环境的核心，是土壤一切优



良特性的物质载体。

恩格斯指出：“当我们深思熟虑地考察自然界或人类历史或我们自己的精神活动的时候，首先呈现在我们眼前的，是一幅由种种联系和相互作用无穷无尽地交织起来的画面，其中没有任何东西是不动的和不变的，而是一切都在运动、变化、产生和消失。”<sup>[10]</sup>从哲学视角看，腐植酸是“慧域”联结的象征，它体现了关系性存在、稳定与活力的辩证法以及生命对非生命世界的驯化智慧。它告诫我们，土壤的健康与活力，根植于这个由微观过程所维系的、复杂而精妙的生命系统。

当我们再次捧起那杯沃土，我们应感知到的，不再仅仅是泥土，而是一个由无数腐植酸分子构筑的、充满生机与智慧的微观宇宙。它是地球生命的“根”，亦是自然智慧的“魂”。珍视并恢复土壤中的“有机质——腐殖质——腐植酸”  
微生物 微生物 体系，不仅是农业科学的重要方向，更是人类作为地球生命共同体一分子，所应秉持的生态伦理与生存智慧。唯有如此，农耕文明的根基才能如健康的土壤一般，深厚、肥沃、永续长存。

## 参考文献

- [1] 曾宪成. 一克土宣言 [J]. 腐植酸, 2016 (4): 3.
- [2] 中腐协秘书处. 腐植酸与土壤气候变化 [J]. 腐植酸, 2017 (6): 54 ~ 55.
- [3] 成绍鑫 编. 腐植酸类物质概论 (第二版) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2020.
- [4] 中国腐植酸工业协会. 腐植酸, 土壤团聚体是个宝 [J]. 中国农资, 2017 (19): 18.
- [5] 曾宪成, 李双. 腐植酸低碳肥料与土壤碳中和 [J]. 腐植酸, 2021 (1): 1 ~ 6.
- [6] 《腐植酸》编辑部. 科普简报: 腐植酸与土壤微生物 [J]. 腐植酸, 2016 (2): 44 ~ 45.
- [7] 成绍鑫. 修复土壤, 腐植酸能做什么 [J]. 腐植酸, 2007 (1): 1 ~ 11.
- [8] 曾宪成, 李双. 走进新时代: 腐植酸构筑“土肥和谐”的历史使命 [J]. 腐植酸, 2018 (1): 1 ~ 10, 19.
- [9] 曾宪成, 李双. 腐植酸与气候智慧型农业 [J]. 腐植酸, 2018 (6): 11 ~ 19.
- [10] 臧安民. 用党的创新理论改造主观世界和客观世界 [N]. 人民日报, 2025-09-24.

## 救赎土壤生命，缔造“微房子”

——坚决捍卫《世界土壤宪章》即“土壤为地球生命之本”

“土壤生命”在哪里，就在“微团粒”里。

先前大家这样说，“团粒结构”是土壤最宝贵的结构。

如今情势危急，救赎“土壤生命”必须加快缔造“微房子”。

有了“微房子”，“土壤生命”就有了“归宿”。

营造土壤的“微房子”，贵在聚合“微团粒”。

“腐植酸”在，“微团粒”在；“腐植酸”散，“微团粒”散。

“微团粒”在，“土族”在；“微团粒”散，“土族”散。

“微团粒”就是“微房子”；缔造“微房子”，反哺腐植酸，当真？！

一粒“微房子”，情系“土壤生命”数以万计。

救赎“土壤生命”，速递“团粒宝贝”、优化肥料家族，携手进入土壤，整装“微房子”。

在光复“土壤生命”中，让“腐植酸·团粒宝贝—微团粒·微房子—微生命”永续土壤活力。

如是“反哺”，专业救赎，粒粒资生，方化大地。

(2015 年 8 月 17 日曾宪成题)