



腐植酸土壤稳定性与永久农田建设

土壤是农业生产的根基，其健康状况与生态功能直接关系到粮食安全和生态安全。然而，在全球范围内，土壤退化、重金属污染、有机质流失等问题日益严峻，传统粗放型农业生产模式已难以满足可持续发展的需求。在这一背景下，“永久农田”理念的提出，为破解耕地保护与农业可持续发展难题提供了新方向。腐植酸作为一种天然有机物质，含有多种活性官能团，具有独特的物理化学特性和生物活性，在土壤改良、地力提升和生态修复等方面展现出不可替代的作用，是实现土壤长期稳定和构建永久农田的关键物质基础。本文紧扣国家粮食安全战略，从耕地质量提升与永久农田建设的国家响应、腐植酸土壤稳定性的决定性作用、腐植酸土壤稳定性与永久农田建设的模式创新等方面进行探讨，旨在为推进农业高质量发展提供理论支撑和实践路径。

一、土壤稳定性提升与永久农田建设的国家响应

腐植酸作为土壤地力的核心物质，是践行“藏粮于地”国家战略的关键技术支撑和重要物质基础。通过工业制取的腐植酸反哺土壤，是直面解决“土壤问题—肥料问题—粮食问题—气候问题”等系统性问题的法宝。土壤稳定性是耕地质量提升的基础。近10年来，国家相关部门相继出台了一系列政策文件，为耕地质量保护和永久农田建设提供了制度保障。研究表明，腐植酸在土壤改良、养分提升、生态修复等多方面具有显著功效，能从物理、化学、生物三个维度协同推进耕地质量提升，为永久农田建设提供全方位的技术支撑。

(1) 2015年4月25日，《关于加快推进生态文明建设的意见》（中央一号文件）要求，强化农田生态保护，实施耕地质量保护与提升行动，加大退化、污染、损毁农田改良和修复力度，加强耕地质量调查监测与评价。

(2) 2015年10月28日，《耕地质量保护与提升行动方案》明确了开展耕地质量保护与提升行动的总体思路、基本原则和行动目标，重点遵循“改、

培、保、控”四字要领，突出粮食主产区和主要农作物优势产区，对东北黑土区、华北及黄淮平原潮土区、长江中下游平原水稻土区、南方丘陵岗地红壤区、西北灌溉及黄土型旱作农业区等5大区域，结合区域农业生产特点，针对耕地质量突出问题，因地制宜开展耕地质量建设。

(3) 2016年1月27日，《关于落实发展新理念加快农业现代化实现全面小康目标的若干意见》（中央一号文件）提出，实施耕地质量保护与提升行动，全面推进建设占用耕地剥离耕作层土壤再利用，探索建立粮食生产功能区，将口粮生产能力落实到田块地头，保障措施落实到具体项目。

(4) 2016年7月27日，《耕地质量调查监测与评价办法》发布，要求农业农村部和省级人民政府农业主管部门每5年发布一次全国耕地质量等级信息和省级行政区域耕地质量等级信息，定期发布年度耕地质量监测报告。

(5) 2017年1月9日，《关于加强耕地保护和改进占补平衡的意见》指出，进一步加强耕地保护，改进占补平衡工作，确保国家粮食安全。

(6) 2019年11月13日，《关于切实加强高标准农田建设提升国家粮食安全保障能力的意见》指出，按照“五统一”管理体制，大力推进高标准农田建设。已建成高标准农田项目区，要注重地力培肥和土壤改良，提升耕地地力，解决“高标准、低产能”问题；新建高标准农田项目区，要坚持数量、质量、生态“三位一体”，不断优化建设内容，统筹考虑田间基础设施、耕地地力及土壤健康等要素，确保新建成的高标准农田集中连片、旱涝保收、质量提升、稳产高产、生态友好。

(7) 2021年9月6日，《全国高标准农田建设规划》分析了当前全国高标准农田建设面临的形势，提出了今后一个时期高标准农田建设的总体要求、建设标准和建设内容、建设分区和建设任务、建设监管和后续管护、效益分析、实施保障等，成为指导各地科学有序开展高标准农田建设的重要依据。



(8) 2022 年 10 月 16 日, 党的二十大首次提出“加快建设农业强国”。坚决守住 18 亿亩耕地红线, 逐步把永久基本农田全部建成高标准农田。高标准农田定义为“适宜耕作, 旱涝保收, 高产稳产”划定为永久基本农田的耕地。

(9) 2023 年 5 月 5 日, “二十届中央财经委员会第一次会议”强调“要更加重视藏粮于技, 突破耕地等自然条件对农业生产的限制”。解决国家粮食安全“卡脖子”问题最佳途径在于提高“肥、水、种”利用效率(控碳), 以构建土肥和谐环境。

(10) 2023 年 7 月 20 日, “二十届中央财经委员会第二次会议”聚焦“加强耕地保护和盐碱地综合改造利用等问题”, 落实“藏粮于地、藏粮于技”战略, 切实加强耕地保护, 全力提升耕地质量。

(11) 2023 年 9 月 11 日, 《关于推动盐碱地综合利用的意见》对开展盐碱地综合利用提出了明确要求, “到 2025 年, 盐碱地综合利用取得阶段性成效。力争利用盐碱地等耕地后备资源新增耕地 500 万亩左右, 盐碱耕地治理取得有效进展。到 2035 年, 盐碱地综合利用取得全方位成效。利用盐碱地等耕地后备资源新增耕地 1500 万亩左右, 改造提升盐碱耕地 1 亿亩以上, 有效遏制现有耕地盐碱化趋势、不发生大面积次生盐碱化。”

(12) 2024 年 2 月 5 日, 《关于加强耕地保护提升耕地质量完善占补平衡的意见》指出, 从加强高标准农田建设、加强耕地灌排保障体系建设、实施黑土地保护工程、加强退化耕地治理、抓好盐碱地综合改造利用、实施有机质提升行动、完善耕地质量建设保护制度等方面全面提升耕地质量。

(13) 2025 年 3 月 30 日, 《逐步把永久基本农田建成高标准农田实施方案》明确, 到 2030 年, 力争累计建成高标准农田 13.5 亿亩, 累计改造提升 2.8 亿亩, 统筹规划、同步实施高效节水灌溉, 新增高效节水灌溉面积 8000 万亩; 到 2035 年, 力争将具备条件的永久基本农田全部建成高标准农田, 累计改造提升 4.55 亿亩, 新增高效节水灌溉面积 1.3 亿亩。

二、腐植酸土壤稳定性的 4 个决定性作用

腐植酸通过物理胶结、化学络合和生物调控三

重协同机制, 从微观尺度到宏观层面提升土壤结构稳定性、增强土壤化学缓冲能力和调控土壤生态系统韧性。这种多维度的生态干预, 使腐植酸成为维持土壤健康的核心活性物质, 可以显著提升土壤稳定性、增强土壤持续生产能力, 为构建高产稳产的永久农田体系提供关键物质保障。

1. 腐植酸土壤物理调控

土壤健康的核心在于其团粒结构的质量与稳定性。作为土壤结构最基本的单元, 团粒结构由有机质(特别是腐殖质-腐植酸)和矿物颗粒、微生物分泌物以及铁铝氧化物等物质通过复杂的物理-化学-生物过程相互粘结形成的复合体, 直径一般在 1 ~ 10 mm 之间。这种土壤团粒结构的稳定性直接决定土壤的透气性、保水性和抗侵蚀能力。腐植酸因其独特的分子结构特征, 具有吸附性、络合性和胶体性等特点, 在团粒形成过程中发挥着关键作用: 通过阳离子桥键与黏粒矿物形成有机-无机复合体; 作为天然胶结剂促进微团聚体向大团聚体转化; 调控微生物分泌多糖类物质的动态过程(孙倩, 2016)。刘艳等(2022)研究结果表明, 施用新型大颗粒活化腐植酸肥显著提高了土壤水稳性大团聚体含量, > 2 mm 和 2 ~ 0.25 mm 粒径团聚体含量分别提高了 53.4% ~ 77.5% 和 12.3% ~ 17.0%, 且提高幅度随施肥量的增加而增大。这些发现为腐植酸在提升土壤质量、构建健康耕层方面的应用提供了量化依据, 也为践行“藏粮于地”战略提供了关键的技术支撑。

2. 腐植酸土壤化学调控

腐植酸作为一种具有高度异质性的天然有机大分子, 其功能特性源于其独特的分子构效关系。从分子结构来看, 腐植酸具有致密的碳链结构和丰富的含氧活性官能团, 如羧基(-COOH)、酚羟基(-OH)和醌基(=O)等, 这些官能团赋予腐植酸三大核心功能。(1) 结构稳定功能。腐植酸通过 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 等金属离子桥接黏土矿物, 形成“有机-无机复合体”; 促进土壤颗粒从微团聚体(< 0.25 mm)向大团聚体(> 2 mm)转化, 提高土壤团聚体水稳性, 显著降低风蚀和水蚀风险。

(2) 化学调控功能。腐植酸的羧基和酚羟基可吸



附 Na^+ 、 Al^{3+} 等有害离子, 缓解盐碱化和酸化问题。在盐碱化土壤中, 腐植酸通过置换 Na^+ 可降低土壤 pH 2 ~ 3 个单位; 在酸性土壤中, 腐植酸可螯合 Al^{3+} 减轻铝毒, 同时将土壤缓冲容量提升 40% ~ 60%。(3) 养分循环功能。腐植酸对氮、磷、钾的吸附容量高达 200 ~ 300 mg/g, 可形成“腐植酸-养分”缓释复合体, 减少养分流失; 同时提高肥料利用效率, 延长肥料养分供应时间, 逐步释放供作物吸收; 通过醌-氢醌氧化还原体系增强土壤固碳速率, 促进土壤有机碳封存, 构建起“短期供肥—长期储碳”的可持续肥力系统。

3. 腐植酸土壤生物多样性

健康的土壤依赖于活跃的微生物群落, 而腐植酸正是土壤微生物的“能量源”和“栖息地”。研究表明, 施用腐植酸对微生物数量、微生物群落结构组成和多样性等均能产生积极影响。在碳氮循环层面, 秸秆源黄腐酸与化肥配施可以促进小麦根际土壤碳氮磷循环相关酶活性、提高 *Nitrospira-nxr B* 基因丰度和增加氮循环硝酸盐还原途径、反硝化途径以及硝化途径功能基因数量, 改善小麦根际土壤微环境(朱启明, 2023)。在群落结构优化层面, 化肥减量配施腐植酸生物肥增加了真菌子囊菌门(Ascomycota)和细菌变形菌门(Proteobacteria)的相对丰度, 促进了土壤真菌和细菌多样性的提高。在土壤酶激活层面, 腐植酸生物肥协同作用提高了土壤酶活性, 土壤碱性磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和蛋白酶活性分别提高了 11.8% ~ 34.6%、10.1% ~ 48.4%、10.4% ~ 14.7% 和 13.7% ~ 35.2%(孔德庸, 2023)。这种微生物功能强化效应为构建具有自维持能力的土壤生态系统提供了生物学基础。

4. 同构腐植酸土壤生态系统

腐植酸物理、化学、生物三维协同的核心在于各维度功能相互关联、相互促进, 形成正向循环。物理→化学: 稳定的团粒结构提供化学反应界面, 促进腐植酸对养分和有害离子的吸附/解吸。化学→生物: 改善后的土壤溶液环境(如低盐、高养分)为微生物提供适宜生存条件, 激活其代谢活动。生物→物理: 微生物分泌物(如多糖、酶)与腐植酸共同参与团粒粘结, 根系生长进一步巩固结

构。最终通过多维协同, 形成“结构稳定→化学平衡→生物活跃”的良性循环, 实现土壤生产力的持续提升。3 项长期定位研究提供实证支撑: 尚大朋等(2023)连续 5 年开展腐植酸控释掺混肥对玉米产量与土壤肥力的影响研究表明, 腐植酸控释掺混肥能显著增加玉米产量和经济效益, 产量提高 6.76% ~ 24.16%, 增收 62.6 ~ 263.4 元/667 m²; 同时还能够持续改善土壤理化性状, 降低土壤容重, 提高土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量等, 为化肥减量增效和玉米一次性施肥提供了可靠技术物化保障。于晓东等(2020)通过连续 3 年小麦定位试验, 研究腐植酸土壤调理剂对黄河三角洲盐碱土的改良效果。结果表明, 与常规施肥相比, 施用腐植酸土壤调理剂后, 土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量分别提高 3.8% ~ 5.0%、8.6% ~ 12.0%、16.4% ~ 29.2%、27.3% ~ 30.7%, pH 降低 0.30 ~ 0.43 个单位, 碱化度降低 4.6% ~ 27.2%, 脱盐率为 17.28% ~ 23.53%; 小麦产量提高 7.47% ~ 25.83%。黄登豫(2024)通过连续 3 年田间定位试验, 探讨了矿源腐植酸钾的合理施用量以及其对豫北地区土壤肥力和作物生长的调控作用。结果表明, 腐植酸钾能有效提升小麦和玉米根系生长, 提升土壤有机质、碱解氮和速效钾等理化性质, 提升土壤酶活性和细菌多样性, 促进作物籽粒产量和养分吸收。针对豫北小麦/玉米轮作区, 采用 90 kg/hm² 腐植酸钾与化肥配合施用效果最佳。这些研究成果为构建“腐植酸—土壤—作物”协同系统提供了理论依据和技术参数, 证实腐植酸在实现“藏粮于地”战略中具有不可替代的生态价值。

三、腐植酸土壤稳定性与永久农田建设的产业模式

要实现农田的长期稳定与高效生产, 必须从土壤结构、养分循环、生态平衡和产业模式等多个维度协同推进。腐植酸作为贯穿土壤—植物—微生物系统的核心调控因子, 其“腐植酸+”模式的叠加效应正重塑现代农业的底层逻辑——以腐植酸为纽带, 联结智慧农业、生态修复、循环农业、品质农业、“双碳”农业等多元场景, 将其转化为品质农业的内生增长动能, 全面筑牢永久农田稳定性, 为



端稳中国饭碗、实现“双碳”目标提供兼具科学性与实践性的解决方案。

1. 不断优化“腐植酸+”技术模式

根据不同土壤类型和退化程度，制定差异化修复方案，精准匹配“腐植酸+”的复合配方与技术路径，确保修复的针对性与高效性。以下列举 6 项研究成果，通过“腐植酸+”技术路径等，针对性解决不同土壤的结构退化、盐碱化、污染及生物功能衰退等问题，且在提升土壤肥力、作物产量与生态安全性方面效果显著。

(1) 腐植酸钾+菌剂配施可以提升露天矿排土场土壤的含水率，调节 pH，提升有效磷、硝态氮等养分含量（陈曦，2024）。(2) 腐植酸+生物炭配施能够降低根际土壤 pH，显著提高根际土壤中的矿质营养元素的含量、根际土壤中的脲酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶的活性，促使根际土壤中微生物群落发生变化，从而有利于作物幼苗的生长发育（陈艺，2023）。(3) 腐植酸+磷石膏+膨润土配施可以改善盐碱土壤理化性质，与对照组相比，各处理组的电导率降低幅度为 1.51% ~ 33.49%，土壤盐分含量降低幅度为 11.40 ~ 35.46%，土壤可溶性 Na^+ 浓度显著降低 39.47 ~ 63.20%；碱解氮、速效磷和速效钾含量提升幅度分别为 8.27% ~ 40.02%、3.20 ~ 34.81% 和 4.41% ~ 10.78%（徐鑫，2023）。(4) 腐植酸+脱硫石膏能显著降低盐碱地 pH 和电导率，减少土壤含盐量。其中脱硫石膏 12.5 g/kg 配施 2 g/kg 腐植酸效果最佳，pH 显著降低 3.09% ~ 7.91%，电导率显著降低 27%、29%、38%、20%（闫晶蓉等，2025）。(5) 腐植酸+凹凸棒石复配可以不同程度地降低人工模拟 Cd 污染土壤和矿区污染土壤中重金属的生物有效态。当腐植酸与凹凸棒石配比为 1 : 5 时，土壤中 CaCl_2 -Cd 萃取态、DTPA-Cd 萃取态、TCLP-Cd 萃取态含量均达到了最低，较对照分别降低了 34.03%、26.62% 和 43.66%；Pb 和 Ni 的钝化效果最好，其中 DTPA 萃取态 Pb 含量较对照降幅最大为 38.23%，TCLP 萃取态 Ni 含量较对照降幅最大为 72.23%（任汉儒，2022）。(6) 腐植酸+土壤调理剂配施能提高连作障碍土壤 pH、降低土壤

容重，改善西瓜品质、提高西瓜可溶性固形物含量，不同程度地提高西瓜的耐湿性、耐寒性、耐高温、抗病性等，使西瓜增产 63.56%（聂文芳，2018）。

2. 不断创新“腐植酸+”产业模式

以腐植酸改良土壤、增效肥料、环境修复、生物刺激等多元功能为基础，通过“腐植酸+产业生态”的融合，催生出了一批极具生命力的腐植酸绿色循环经济模式。这些模式，将黑色腐植酸转化为推动传统资源向高附加值产业转型的创新实践，不仅破解了传统农业的生态困局，更塑造了“资源增值—环境改善—产业升级”的可持续发展模式。列举国内 7 项“腐植酸+”产业模式的典型案例。他们以腐植酸为技术纽带，将土壤健康修复、化肥减量增效、农药减量增效、粮食产能提升、生态价值转化等目标有机统一，展现了腐植酸在破解农业可持续发展难题中的关键作用，印证了腐植酸在农业可持续发展中的多元价值。

(1) 拉多美科技集团股份有限公司“养土工程中国行”产业模式。通过在全国 22 个省举办近 200 场“养土工程”公益行活动，建立“土壤检测—配方定制—技术培训—效果跟踪”全链条服务体系，推动“用地养地结合”理念深入基层。(2) 山东农大肥业科技股份有限公司“了不起的腐植酸”实打实收中国行产业模式。通过开展“实打实收中国行”田间观摩活动，直观展示腐植酸在小麦、玉米、水稻等作物上的增产提质效果，推动“药肥双减”“新一轮千亿斤粮食产能提升”行动落地，让更多的农民用上更好的肥料，造福更多百姓。(3) 辽宁金秋肥业有限责任公司“专业化生产+规模化种植”产业闭环模式。采用“专业化生产腐植酸肥料+订单式规模化种植”模式，实现“肥料生产—种植管理—粮食收购”一体化运营，实现了腐植酸产业与现代农业协同发展的新范式。(4) 西安珍佰农“腐植酸绿色农资+绿色农副产品”直供平台产业模式。通过搭建“绿色农资（腐植酸肥料/农药）+绿色农副产品”双向直供平台，实现从“腐植酸投入品”到“健康农产品”的质量追溯，实现了“腐植酸减药减肥—农产品提质增效—消费者健康保障”链条，



开创了腐植酸绿色农业价值传递通道。(5) 中国石油大学(华东)田原宇教授团队首创的“农林废弃物快速热解创制腐植酸环境材料”产业模式。首创“快速热解+定向转化”工艺,将秸秆、稻壳等废弃物转化为高活性腐植酸,既解决了秸秆焚烧的社会问题,又实现“废弃物资源化—腐植酸低成本化—生态修复高效化”三重突破。(6) 陕西科技大学牛育华教授团队研发的“腐植酸苹果免套袋膜技术”产业模式。研发的腐植酸基生物膜,可替代传统塑料套袋,兼具防虫、保水、增光功能,不仅降低了人工成本,还减少了白色污染和农药残留,带动果树产业向“绿色化、轻简化、高品质”转型。(7) 华北理工大学孙晓然教授团队“活化腐植酸+微生物+有机质+元素营养剂”四位一体盐碱地原位精准改良技术产业模式。该模式采用“活化腐植酸+微生物+有机质+元素营养剂”协同方案,针对不同盐碱类型精准配比“腐植酸+”产品,降低 pH,提高出苗率,且改造成本大幅降低,为粮食安全拓展新耕地资源……这些案例印证,新质腐植酸正从单一农业投入品升级为服务新土肥的核心引擎,为新时期“双碳”目标下的农业可持续发展提供了丰富的实践样本。

3. 不断提升“腐植酸+”内生循环模式

坚持“让腐植酸从土壤中来回到土壤中去”的反哺路线,不断深化“腐植酸+”内生循环模式,需以土壤生态系统的自我维持能力为核心,构建“原料循环—技术集成—产业协同—价值增值”的全维度升级体系,推动农业从“外源输入驱动”向“内生循环进化”跃迁。列举四大提升“腐植酸+”技术与实践的内生循环路径。

(1) 有机结合:强化功能定制与协同增效双轮驱动,包括深化腐植酸分子重组,利用腐植酸大中小分子聚合的特点,定向开发腐植酸功能性产品;深化腐植酸与微生物菌剂、氨基酸、海藻酸等功能性物质的协同机制研究;提升作物在干旱、低温等逆境下的生存能力的研究等,全面提升腐植酸肥料的应用效能与市场竞争力。

(2) 产业协同:从单一改良到系统共生,包括积极探索腐植酸肥料与 AI、物联网等前沿技术

的融合路径;强化“农业废弃物→腐植酸→土壤改良→高品质农产品→品牌溢价→反哺生态农业”的循环体系等。

(3) 创生价值:包括腐植酸治理面源污染,获得生态补偿金;布局腐植酸进入碳市场,实现腐植酸+碳汇金融;推动腐植酸绿色供应链采购;主导制定国际腐植酸标准;“HA”商标品牌矩阵建设等。

(4) 生物质资源循环利用:包括农林废弃物高值化利用和畜禽粪污资源化升级。

综上,通过持续迭代“腐植酸+”模式,将土壤从被动接受者转变为主动赋能者,这一过程不仅是技术的革新,更是农业范式的革命,深度诠释了新质腐植酸“内生动力”的核心价值——让土地在自我更新中孕育无限生机,不仅为中国的“藏粮于地”战略提供了技术底盘,更向全球展示了一条“生态与发展共赢”的可持续路径。

提高土壤结构内稳定性、促进耕地质量提升,是永久农田建设的根本所在;前者是基础,后者是保障,二者有机结合、协同发展。腐植酸被誉为“黑色黄金”(优良有机质),既是土壤的“生命核”,更是推动永久农田建设的“绿色引擎”。在全球气候变化与粮食安全的双重挑战下,腐植酸绿色动力资源、腐植酸绿色低碳技术和腐植酸田园生态产业模式的不断重构,为创建“生态修复—生产增效”双赢体系提供了解决方案。在智能农业与“双碳”农业战略驱动下,通过智能化生产控制系统与土壤监测大数据深度融合,实现了腐植酸肥料精准投放、“少量多次”的动态优化应用模式,同时为农业减排开辟了新路径。展望未来,需要进一步深化腐植酸—微生物—植物的分子互作机制研究,整合多学科优势研发新型智能修复材料,并建立政策引导与市场激励双轮驱动的推广体系。这场以腐植酸为核心的“维土革命”,不仅是一项耕地质量提升的科技实践,更是实现“藏粮于地”战略目标、迈向农业永续发展的重要里程碑。当每寸土地都焕发持久生命力时,“越种越肥”的良田沃土必将成为支撑人类可持续发展的坚实根基。

(2025 年 5 月 26 日本编辑部 供稿)