共筑“土肥和谐”命运共同体 使命光荣

曾宪成 李　双
中国腐植酸工业协会 北京 100120

摘　要：气候变化，一个地球。腐植酸是地球碳循环的重要一环。面对全球气候变化，直面粮食生产系统碳排放，充分发挥腐植酸联土、联肥、联生态的重要作用，通过大力反哺黑色腐植酸、腐植酸本色肥料，构筑“土肥和谐”命运共同体，腐植酸人使命光荣。本文重点剖析了腐植酸直面“双碳农业”的四个维度，即储碳控碳维度、粮食安全维度、土壤安全维度、肥料安全维度，提出了新时期做好“腐植酸＋”的 12 项具体行动，为推动腐植酸肥料产业高质量发展提供了根本遵循。

关键词：腐植酸；土肥和谐；四个维度；命运共同体；12 项具体行动
中图分类号：TQ314.1　　**文章编号：**1671-9212(2024)01-0001-11
文献标识码：A　　**DOI：**10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2024.01.001

The Glorious Mission of Building a Community of Common Destiny for “Soil and Fertilizer Harmony”

Zeng Xiancheng, Li Shuang
China Humic Acid Industry Association, Beiging, 100120

Abstract: Climate change, one earth. Humic acid is an important part of the earth’s carbon cycle. In the face of global climate change, we should face the carbon emissions of grain production system, give full play to the important role of humic acid combined with soil, fertilizer and ecology, and build a community of common destiny for “soil and fertilizer harmony” by vigorously feeding back humic acid and humic acid natural fertilizers. The mission of humic acid people is glorious. Facing “dual-carbon” agriculture, this paper focused on the four dimensions of carbon storage and control, food security, soil security and fertilizer security, and put forward twelve specific actions to do a good job of “humic acid+” in the new period, which will provide a fundamental basis for promoting the high-quality development of humic acid fertilizer industry in the new period.

Key words: humic acid; soil and fertilizer harmony; four dimensions; a community of common destiny; twelve specific actions

2023 年，全球气温创历史新高，极端天气此起彼伏。11 月 30 日—12 月 12 日，第 28 届联合国气候变化大会（COP28）在阿联酋迪拜召开，这次大会吸引了全球 200 多个国家 7 万多人参会，凸显了解决气候变化问题的紧迫性，以及国际社会对这一问题的高度重视。12 月 7 日—8 日，“第八届全国土肥和谐大会”在广东湛江召开，与 COP28 同步进行。铭记历史，传承发展。回顾 1974 年时任国务院副总理王震将军亲临现场指导近千人在湛江召开的全国腐植酸类肥料试验推广经验交流会的生动场景，直面“双碳农业”，共筑“土肥和谐”命运共同体，使命落在了我们肩上。

[收稿日期] 2023-11-20
[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。

“土肥和谐”的要义就是“土离不开肥，肥离不开土，土肥一家亲”。腐植酸是构筑“土肥和谐”的不二法宝，是直面解决“土壤问题 - 肥料问题 - 粮食问题 - 气候问题”等系统性问题的神兵利器，是直面“双碳农业”的重要抓手。本文从储碳控碳维度、粮食安全维度、土壤安全维度、肥料安全维度等四个维度，提出新时期构筑“土肥和谐”新关系、开展“腐植酸 + 行动”的 12 项行动，以期推动腐植酸行业为加速开创“双碳农业”新局面作出新贡献。

1 储碳控碳维度

气候变化，一个地球。应对气候变化，重在储碳控碳。

1.1 深刻认识全球气候危机

最近一个多月，地球升温的坏消息接踵而来，全球各大气候组织发布气候警告，科学家拿出最新证据，气候变化进入“危机模式”的速度远超预期。

5 大组织发布警告：① 2023 年 11 月 14 日，根据中国国家气候中心监测数据 [1] 显示，一次中等强度厄尔尼诺事件已经形成，并将持续到明年春季。赤道中东部太平洋仍处于厄尔尼诺状态，将触须超过 0.5 ℃。预计将会形成中等强度厄尔尼诺事件，并持续到冬季，峰值强度大约在 1.5 ~ 2 ℃之间。② 11 月 20 日，欧洲联盟气候监测机构哥白尼气候变化服务局 [2] 公布，本月 17 日，全球平均气温较工业化前的 1850 年至 1900 年间平均水平高 2.07 ℃，系有记录以来全球单日平均气温升温水平首次突破 2 ℃；本月 18 日的全球平均气温升温水平同样超过 2 ℃，达到 2.06 ℃左右。③ 11 月 20 日，联合国环境规划署发布年度重磅报告——《2023 年排放差距报告：打破纪录——气温创下新高，世界（再次）未能达到减排目标》[3]。报告显示，从 2021 年到 2022 年，全球温室气体排放量增加了 1.2%，2022 年全球温室气体排放量再创新高，达到创纪录的 574 亿吨二氧化碳当量。到 2030 年，全球恐将面临升温 2.5 ~ 2.9 ℃的情景，即便是在最乐观的情况下，将升温控制在 1.5 ℃的可能性仅为 14%。④ 11 月 30 日，世界气象组织在 COP28 开幕当天发布暂定版《2023 全球气候状况报告》[4]，并宣布 2023 年是有记录以来人类历史上最热的一年。⑤ 11 月 30 日，世界卫生组织发布的《2023 年世界疟疾报告》[5] 指出，2022 年全球疟疾病例估计达到 2.49 亿例，比 2019 年多 1600 万例。气候变化对疟疾防治构成巨大风险，因此全球需要采取紧急行动减缓全球变暖的步伐，降低其造成的影响。

9 项研究 [6] 拿出证据：① 2023 年 10 月 30 日，美国《循环》（*Circulation*）月刊发表的一项新研究，预计到 2036 年至 2065 年期间，美国因极端高温导致的心血管相关疾病死亡人数将增加 1.6 倍，增至约 4320 例。研究预测，美国 65 岁及以上老年人以及非裔美国人受到的冲击最大。② 10 月 30 日，《自然气候变化》[（*Nature Climate Change*）*Science*] 发表的一项研究表明，如果全球继续以目前的速度进行温室气体排放，那么可能到 2029 年年初，全球变暖就将突破 1.5 ℃升温阈值这一危险临界点。这可能会导致积雪和永久冻土层的减少，水资源短缺，热浪和极端天气的增加等现象，其中许多变化均不可逆转。③ 10 月 31 日，英国《自然综述·地球与环境》（*Nature Reviews Earth & Environment*）发表的一项新研究表明，人类活动正在提升地球空气、土壤和淡水的含盐量，在全球范围内破坏自然“盐循环”。如果该趋势持续下去，可能会对人类构成“生存威胁”。这一现象归因于采矿、土地开发、农业生产等人类活动促成了人为的“盐循环”，在全球范围内影响了盐的浓度和循环。④ 11 月 4 日，《地球与环境通信》（*Communications Earth & Environment*）杂志上发表的一项研究显示，2022 年春季，南极洲的海冰面积创下历史新低，并持续了一整年。科学家通过卫星图像发现，帝企鹅发生了有记录以来首次大规模繁殖失败。研究人员认为，这显然与海冰范围的大规模收缩有关。⑤ 11 月 9 日，《自然气候变化》[（*Nature Climate Change*）*Science*] 上发表的一项研究显示，根据对 1890 年到 2022 年 1000 多条格陵兰岛外围冰川的长度变化统计分析，因全球变暖，过去 20 年格陵兰岛外围冰川退缩速度是 20 世纪的两倍。⑥ 11 月 15 日，

《2023 年柳叶刀人群健康与气候变化倒计时全球报告：必须采取以健康为中心的应对措施来应对不可逆转的危害》显示，根据全球预测显示，继续推迟应对气候变化的行动将不断加剧健康威胁，到本世纪中叶，全球与高温有关的死亡人数可能会增加 4.7 倍。⑦ 11 月 20 日，《自然地理科学》（*Nature Geoscience*）期刊上发表的一项研究显示，在过去三十年里，海洋底部发生的海洋热浪事件数量显著增加。频繁的海洋热浪会对生态系统和人类社会产生重大影响，并带来复杂的社会经济后果。⑧ 11 月 21 日，《自然通讯》（*Nature Communications*）上的发表一项研究显示，过去三年（2020—2022 年）南极上空出现了大范围的长期臭氧空洞。自 2004 年以来，臭氧洞核心损失达 26%。研究人员表示气候变化已经引发了新的臭氧消耗源。⑨ 11 月 30 日，《科学》（*Science*）杂志在线发表的一项研究显示，大气中二氧化碳浓度增加一倍会使任何给定的二氧化碳增加量的影响增加约 25%。这意味着，人为排放的二氧化碳越多，大气中的二氧化碳浓度越高，其对气候的影响就越为严重。

现任联合国秘书长古特雷斯表示：我们正在实时经历气候崩溃，其影响是毁灭性的。2023 年，世界各地遭受了山火、洪灾和灼热高温的袭击，温室气体（二氧化碳、甲烷和一氧化二氮）浓度、全球温度、海面温度、海洋热含量、海平面上升、冰冻圈等多项气候记录被打破。现在的气候变化趋势，正在让地球逐渐接近升温 3 ℃的“死局”。而根据科学家研究表明，如果全球气温上升 3 ℃，热浪、暴雨、飓风等极端天气将成为我们日常生活中的家常便饭，这将意味着历史上本身十年一次的严重高温，将变成每年一次。农田难以耕种，农业产量大幅下降，每年将会有将近五百万人死于极端高温与粮食危机中。应对气候变化，没有一个国家和个人可以置身事外，没有一个人应该袖手旁观。

1.2 重点聚焦粮食系统减排增汇

根据联合国粮农组织 2021 年 3 月 9 日发布的一项合作研究显现 [7]：①世界粮食体系占全球人为温室气体排放量的三分之一以上。②全球粮食体系大约三分之二的排放量来自以土地为基础的部门，包括农业、土地利用和土地用途变更。③粮食的生产阶段（包括肥料等生产投入）是目前整个粮食体系排放的主要贡献环节，占排放总量的 39%。土地利用及其相关因素占 38%，分配阶段当前占比为 29%，但预计将持续增长。④甲烷（CH_4）约占粮食体系温室气体排放量的 35%，发达国家和发展中国家的这一比例大致相同，且主要源自畜牧业和水稻种植。

2023 年 11 月 29 日，联合国粮农组织发布《2023 年统计年鉴》，从 2000 年到 2021 年，农业粮食体系的温室气体排放量增长了 10%，农场排放在其中的占比接近一半 [8]。

2023 年 12 月 1 日，在 COP28 大会上，134 个国家和地区签署了《关于韧性粮食体系、可持续农业及气候行动的阿联酋宣言》，旨在解决全球温室气体排放问题的同时，保护在受气候变化影响最大地区的农民的生命和生计。这也是 COP28 食品系统议程的核心内容之一。签署《宣言》的所有国家共代表 57 亿人口、70% 的粮食生产力和 76% 的全球粮食系统温室气体排放量 [9]。

2023 年 12 月 1 日，联合国防治荒漠化公约秘书处发布《2023 年全球干旱概况》报告指出，过去两年因人为活动导致的干旱引发前所未有的紧急状况。报告强调，土地恢复和可持续管理对于加强抗旱能力至关重要 [10]。

2023 年 12 月 1 日，联合国环境规划署发布了甲烷预警和响应系统的首次调查结果。甲烷的强度是二氧化碳的 80 多倍，造成全球暖化三分之一的原因都归咎于甲烷。目前，地球大气中的甲烷已达到有记录以来的最高水平。其中，农业、废弃物和化石燃料行业的人类活动导致了全球一半以上的甲烷排放量，按照目前的人类活动速度，2020 年至 2030 年期间甲烷排放水平或将上升 13%，而要将全球变暖限制在 1.5 ℃以内，同期甲烷排放需要下降 60%[11]。

显然，粮食安全与气候变化是彼此的“双刃剑”。对此，我们必须正确认识粮食生产碳源和碳汇效应的双重属性 [12, 13] 识别热点排放环节，重点做好肥料减排和土壤碳库增汇工作。①根据联合

国粮农组织发布的全球土壤碳储量图，地表以下 30 cm 范围内的土壤里含有约 6800 亿吨碳，几乎是大气中的两倍，也大大高于全球植被中储存的 5600 亿吨碳。保护和增加土壤的碳储量对于粮食生产和减缓气候变化至关重要。全球有三分之一的土壤出现了退化，已经促使碳大量释放到大气中。②“施肥效应”对生态系统“碳汇”功能的促进作用不失为一种积极地应对气候变化的策略 [14]。

1.3 腐植酸储碳控碳加减法

腐植酸是地球碳循环的重要一环。在土壤碳库中腐植酸碳占 80%。腐植酸是化肥的最佳伴侣，平均提高化肥利用率 10 个百分点以上。直面粮食生产系统减排增汇，通过与土壤同根同源的腐植酸肥料反哺，做好“土壤—肥料—作物”加减“三步曲”，一体化推进粮食生产体系储碳控碳。

（1）“土壤固碳”增加“碳汇”。治表，关了就是（能不能关另说）；治本，大地岂能关住，这才是要害处。研究表明 [15]，施用泥炭和腐植酸可促进不同粒级土壤团聚体、特别是 >0.25 mm 粒级水稳性团聚体的形成，可增加复垦土壤和 >2 mm 粒级团聚体中颗粒态有机碳、矿物结合态有机碳含量，其中泥炭处理土壤矿物结合态有机碳含量增幅为 31.53% ~ 94.39%，腐植酸处理增幅为 13.19% ~ 39.01%。

（2）“化肥减排”控制“碳源”。化肥是种植业生产过程中的第一大碳排放源，占投入环节碳排放总量的 60% 左右。持续推进化肥减量化是促进农业绿色发展、持续改善环境质量的重要内容。腐植酸肥料减排控碳两头算。①从化肥生产源头控制排放来说，每生产 1 kg 腐植酸，可节能约 62500 kJ，折合 2 kg 标煤，相应少排 5.60 kg CO_2[16]。按照 2022 年我国氮肥施用量 1654.18 万吨（折纯）计算，实物量 3596.04 万吨，腐植酸含量按照 5% 计算，179.80 万吨腐植酸，可节能 1.12×10^{14} kJ，折合 359.60 万吨标煤，相应减少 CO_2 排放 1006.88 万吨。②从肥料消费端，腐植酸可平均提高肥料利用率 10 个百分点以上，相当于当今肥料利用率净增 30% 以上。按照肥料利用率 40% 计算，则腐植酸肥料利用率为 40% × 130%=52%，如果 2022 年氮肥全部使用腐植酸氮肥，则氮肥多施用了 3596.04 ×（0.52-0.40）=431.52 万吨（实物量）。每施用 1 kg 腐植酸可减少 0.7 kg NO_2 排放，如果 2022 年所施氮肥全部为腐植酸氮肥，则减少 N_xO 排放 12.86 万吨。按照 N_2O 的增温潜势为 CO_2 的 265 倍 [17]，相当于减少 3407.90 万吨 CO_2 排放。同时，腐植酸氮肥可以抑制土壤硝化率 60%，减少 33.5% ~ 65.0% 氨损失 [15]。

（3）作物增绿增加“碳汇”。研究表明，每施用 1 kg 腐植酸，植物吸收 CO_2 量增加 240 kg[18]。如果 2022 年我国氮肥全部为腐植酸氮肥 1654.18 万吨（折纯），腐植酸含量按 5% 计算，则植物吸收 CO_2 量增加 4.32 亿吨。

综上，直面“双碳农业”，通过“大量反哺腐植酸肥料——提高肥、料利用率 + 减少化肥施用量 + 减少碳排放——增加土壤碳汇 + 作物增绿碳汇”科学机制，始终坚持“让黑色腐植酸、腐植酸肥料从土壤中来到土壤中去”的反哺路线，是腐植酸、腐植酸肥料最能彰显时代品格、赢得未来发展的根本所在。

2 粮食安全维度

气候变化对农业粮食体系产生直接和间接影响。近年来，在地区冲突、极端天气、发展放缓等因素叠加冲击之下，全球粮食生产遭遇挑战，供应链受到冲击，粮食安全面临威胁。

2.1 全球粮食安全问题突出

2023 年 7 月 12 日，联合国粮农组织发布《2023 年世界粮食安全和营养状况》报告 [19]。报告指出，2022 年，24 亿人处于中度或重度粮食不安全状况，约占全世界人口的 29.6%，其中约有 9 亿人深陷重度粮食不安全状况，占全世界人口的 11.3%。到 2030 年，全世界预计仍将有近 6 亿人面临饥饿，非洲形势尤为严峻。这些都是粮食不安全和营养不良背后的主要因素，已成为全世界“新常态”。

2023 年 7 月 24 日至 26 日，在联合国粮食体系峰会阶段成果总结推进大会上，联合国秘书长古特雷斯表示，“全球粮食体系‘已崩溃’，弱势群体付出代价，必须改变粮食生产和消费的方式。”

2023 年 11 月 20 日，全球粮食安全峰会在英国伦敦举行，本次峰会旨在提高国际社会对全球粮食安全问题的关注度、推动实现“零饥饿”、消除营养不良问题，并通过科技与创新，提高全球人民生活质量。

2023 年 12 月 1 日，联合国粮农组织在 COP28 期间发布全新报告，指出气候变化造成各种损失和损害，农业粮食体系面临的威胁与日俱增。其中，2007—2022 年灾害给各部门造成的全部损失中，农业所受损失平均占 23%。而农业部门遭受的损失中有 65% 以上是由干旱这一单一灾害造成。粮农组织研究人员深入分析了 168 个国家截至 2023 年 6 月 30 日的国家自主贡献，40% 的国家明确表示农业遭受了经济损失，且均是受影响最严重的部门，相关损失的比例高达 37%[20]。

显然，农业在各种气候相关挑战面前是脆弱的。对此，世界各方必须团结一心，加快行动步伐，大力推动全球农业粮食体系向更高效、更包容、更有韧性且更可持续的方向转型。

2.2 聚焦我国粮食安全

中国人依靠自身力量端牢了自己的饭碗，实现了由“吃不饱”到“吃得饱”到“吃得好”的历史性转变，探索出了一条适合中国国情、粮情的中国特色粮食安全之路。纵观新时期我国粮食安全新格局，面临五个变量要素和一个不变底线。

五个“粮食”要素在变。①粮食需求内涵：以前注重数量转为数量质量并重，在保障数量供给的同时，更加注重农产品质量和食品安全。在吃得饱的基础上，满足城乡居民吃得好、吃得营养、吃得健康的需求。②粮食生产方式：已经由传统人畜力为主转变为机械化、半机械化作业为主。③老百姓食物结构：从过去以米面为主食的消费习惯，逐渐转变为丰富多样的菜果茶、肉蛋奶等“副食”成为老百姓餐桌上的“主角”，形成了多元化的大食物观。④粮食生产资源：由原来的向土地要粮食，逐步拓展向森林、江河湖海、设施农业、植物动物微生物要食物，形成了全方位多途径开发的大食物观。⑤粮食安全关系：在原来的数量安全基础上，转为协调好粮食安全、生态安全与食品安全三者的发展关系。

一个“底线”不变。牢牢守住 18 亿亩耕地红线，确保中国人的饭碗牢牢端在自己手中，要装自己的粮食，这是守住我国国家粮食安全的核心和底线。

新时期，保障国家粮食安全，如何实现追求数量、质量与生态的平衡，是腐植酸人、特别是腐植酸肥料人应当关注的重点，也是最能彰显实力的出发点和落脚点。

2.3 腐植酸保障粮食源头生产安全

从国际来看，要保障世界 70 亿人的口粮安全，没有量不行。如果只重视“量”的需求，不考虑“质”，那量也就化为乌有。从国内看，要保障中国近 14 亿人的口粮需求，没有足够的投入量更是不行的。大量研究和田间应用证明，通过反哺腐植酸肥料，可以实现“增强土壤活力 + 提升土壤肥力 + 提高肥料利用率 + 增强作物抗性 + 增加作物产量 + 改善作物品质 + 减少环境污染 + 减少温室气体排放”等集合效应。

（1）腐植酸提高粮食产量。

例 1：土壤资源高效利用国家工程实验室山东农业大学资源与环境学院杨柳等 [21] 以“济麦 22”为材料，连续 2 年研究了腐植酸增效复混肥料（HF）在轻度、中度、重度 3 种盐渍化程度土壤上的田间试验效果。结果表明：与常规复混肥料相比，施用腐植酸增效复混肥料有效提高小麦产量，平均提高幅度为 25.26%（2018 年）和 19.17%（2019 年），不同盐渍化程度土壤上小麦的穗数、穗粒数和千粒重均有所增加；在轻、中、重度盐碱土壤上，施用腐植酸增效复混肥料增产幅度分别为 31.68%、20.53%、23.56%（2018 年）和 33.28%、18.86%、5.36%（2019 年）。

例 2：辽宁省农业发展服务中心王颖等 [22] 在沈阳市辽中区、抚顺市新宾县、辽阳市辽阳县、辽阳市灯塔市、铁岭市开原市 5 个水稻主产县，研究了不同含腐植酸土壤调理产品在 5 个不同水稻品种上的应用效果。结果表明：与常规施肥相比，施用含腐植酸土壤调理产品可在一定程度上提升水稻实粒数，减少瘪粒数，实现水稻增产，较常规施肥增产 3.83% ~ 18.80%。

例 3：许昌市农业技术推广站尚大朋等 [23] 研究了腐植酸控释掺混肥对玉米产量及土壤肥力的影响。结果表明：与普通氮磷钾掺混肥（CK）相比，腐植酸控释掺混肥（T1 ~ T4）处理玉米穗粒数增加 1.66% ~ 12.03%，百粒重提高 3.43% ~ 9.05%，单产提高 6.76% ~ 24.16%，增收 62.6 ~ 263.4 元 /667 m^2。

例 4：河南心连心化学工业集团股份有限公司梁帅等 [24] 研究了添加腐植酸和微量元素的套餐施肥方案对马铃薯产量的影响。结果表明：与常规施肥处理相比，心连心马铃薯套餐肥处理的马铃薯产量提高了 8.69%；商品率由 66.39% 升至 84.54%，收益增幅 62.79%；大薯率由 42.86% 升至 63.41%。

例 5：山东农大肥业科技股份有限公司 / 农业农村部腐植酸类肥料重点实验室朱福军等 [25] 研究了含控释钾腐植酸复合肥对甘薯产量及品质的影响。结果表明：施用含控释钾腐植酸复合肥可提高甘薯膨大期土壤速效钾养分 9.31% ~ 49.08%，降低甘薯 T/R 值 8.33% ~ 10.84%，增大甘薯单株结薯数 0 ~ 12.82%，增加商品薯率 1.43% ~ 21.09%，不同品种甘薯产量显著提高 13.57% ~ 43.60%，淀粉含量提高 6.30% ~ 13.50%，可溶性糖含量提高 6.18% ~ 16.02%，净利润率提高 25.52% ~ 156.12%。

（2）腐植酸提高农产品品质。

例 1：山东农大肥业科技股份有限公司刘晓辰等 [26] 研究了腐植酸与锌肥配施对小麦籽粒产量、品质及锌含量的影响。结果表明：施用锌肥后，小麦籽粒产量增加 295.04 ~ 535.30 kg/hm^2，且在锌肥与腐植酸协同作用下产量有进一步提高的趋势，增幅范围在 24.90 ~ 201.14 kg/hm^2 之间。施用锌肥后，淀粉、蛋白质含量显著增加，增幅范围分别为 2.54% ~ 9.16%、1.92% ~ 12.64%。在施用锌肥的基础上增施腐植酸，可进一步增加淀粉及蛋白质含量，增幅范围分别为 1.45% ~ 2.64%、3.05% ~ 5.02%。

例 2：四川省农业科学院农业资源与环境研究所上官宇先等 [27] 通过田间试验揭示不同钝化剂处理（海泡石、秸秆生物炭、石灰、石灰 + 腐植酸、石灰 + 海泡石、石灰 + 偏硅酸钠 + 硫酸镁）对土壤镉及小麦“川麦 104”吸收镉的影响。结果表明：石灰 + 腐植酸（施用质量比为 2 ∶ 1）能使小麦田土壤 pH 提升 16.8%。从不同钝化材料对小麦镉转移系数的影响来看，石灰 + 腐植酸能够降低小麦对镉的转移系数，降幅为 39.7%，是降低镉转移系数最佳的钝化材料。

例 3：河南农业大学白亚丽 [28] 研究了有机肥替代及化肥减施对番茄生长的影响。结果表明：三维复混肥氮减量 15%+ 牛粪，腐植酸追肥处理能显著提高番茄定植后 60、120 天根系活力和产量，分别比对照（常规化肥施用 50 kg/667 m^2+ 鸡粪）提高 31.9%、93.1% 和 11%。番茄的可溶性糖、Vc 和蛋白质含量，分别比对照提高 12.55%、27.28% 和 25.40%。

例 4：延安大学生命科学学院赵满兴等 [29] 研究了减量化肥配施腐植酸肥对红枣农艺性状、产量及品质的影响。结果表明：与常规施用化肥比较，化肥减量（20%、40% 和 60%）配施腐植酸肥较常规施用化肥红枣产量分别增加了 31.2%、24.6% 和 5.6%，单枣重增加 26.8%、9.0% 和 14.8%，灰分含量增加 49.9%、37.5% 和 9.4%，可食率增加 0.7%、1.3% 和 0.9%，出干率增加 20.9%、16.7% 和 19.8%；蛋白质含量增加 1.3%、29.8% 和 4.9%，Vc 含量增加 2.7%、12.1% 和 19.0%，还原糖增加 7.6%、13.0% 和 28.5%，可溶性总糖增加 22.1%、44.3% 和 34.5%，有机酸增加 7.5%、3.5% 和 2.9%，黄酮增加 53.3%、50.6% 和 15.7%。

例 5：辽宁普天同乐肥业有限公司项国栋等 [30] 研究了腐植酸果蔬专用肥对葡萄产量及品质的影响。结果表明：施用腐植酸果蔬专用肥能增加葡萄产量，比对照增加 11.03% ~ 24.41%，比 NPK 复合肥增加 3.73% ~ 16.24%，增产效果极显著，适宜施用量为 60 kg/667 m^2；能增加经济收入，比对照增收 10.85% ~ 24.13%，比 NPK 复合肥增收 3.72% ~ 16.13%，增收效果显著；能增加葡萄可溶性糖、可溶性固形物、Vc 和有机酸含量，降低其硝酸盐含量，降低葡萄重金属铅、镉含量，效果均极显著；能增加葡萄叶绿素 a 和叶绿素 b 含量。

（3）腐植酸与环境友好。

例 1：河北农业大学资源与环境科学学院李长

青等[31]天然增效剂与化学抑制剂复配对小麦 / 玉米轮作体系产量、氮素利用及氮平衡的影响。结果表明：与单施尿素（N）处理相比，尿素 + 腐植酸 + 双氰胺（NHD）和尿素 + 沸石 + 双氰胺（NPD）处理小麦季、玉米季和周年的氮素利用效率均明显提高，两季的 80 ~ 100 cm 土层土壤硝态氮累积量显著降低，而土壤氮素盈余量分别较尿素 + 腐植酸（NH）和尿素 + 沸石（NP）处理下降了 10.7% 和 13.9%。

例 2: 湖南农业大学资源环境学院黄家怡等[32]以早稻“陵两优 268”和晚稻“桃优香”为供试材料，研究了氮、磷各减量 20% 配施腐植酸（900 kg/hm^2）、生物炭（2250 kg/hm^2）对水稻产量和氮、磷流失的影响。结果表明：氮、磷减量 20% 同时配施腐植酸和生物炭处理双季稻产量高，且氮、磷流失少，是最好的施肥方式，该施肥方式相比于氮、磷各减量 20% 处理早稻田面水中总氮、可溶性氮、铵态氮、硝态氮、总磷、可溶性磷质量浓度分别下降了 16.35%、13.45%、17.39%、14.06%、13.21%、13.95%，晚稻田面水中相应指标分别下降了 10.51%、10.78%、9.43%、16.90%、12.90%、13.33%。

例 3：内蒙古农业大学高惠敏[33]研究了不同盐碱改良剂对河套灌区盐碱土壤性状及向日葵产量的影响。经过一年室内试验和两年土壤改良试验，结果表明：腐植酸施用量 0.6 t/hm^2+ 脱硫石膏施用量 3 t/hm^2 处理具有促进作物生长发育、提高产量、降低盐分、改善土壤性质等特性，是适宜于河套灌区盐碱土较好的改良剂。

例 4：山东农业大学园艺科学与工程学院 / 作物生物学国家重点实验室陈倩等[34]研究了腐植酸与化肥配施对富士苹果产量、品质和氮素吸收利用及损失的影响。结果表明：与不施腐植酸对照（CK）相比，腐植酸（1.5 kg/ 株）分 1 次（HA1）、2 次（HA2）和 3 次（HA3）施用处理：均显著提高了苹果各器官对氮素的吸收征调能力（Ndff 值），各器官的 Ndff 值均表现为 HA3>HA2>HA1>CK。与 CK 处理相比，3 个施用腐植酸处理 ^{15}N 利用率分别提高了 5.08 ~ 13.34 个百分点，而损失率分别降低了 10.27 ~ 20.17 个百分点，均以 HA3 处理效果最佳。

例 5：山东农业大学胡美美[35]研究了黄腐酸对 Cu、Cd 胁迫下番茄生长的影响。结果表明：叶片喷施黄腐酸可显著降低 Cu、Cd 胁迫对番茄幼苗体内 Cu、Cd 含量及积累。喷施黄腐酸可使 Cu 单一胁迫时，根、茎、叶 Cu 含量分别降低 6.49%、26.26%、17.08%，使 Cd 单一胁迫下时，根、茎、叶 Cd 含量分别提高 21.06%、30.00%、38.10%。

3 肥料安全维度

肥料不仅仅是粮食的粮食，更是土壤、粮食和环境的交叉点，有着牵一发动全身的重要作用。直面肥料安全（数量和质量），做好“腐植酸 ± 化肥”这个加减法，是系统解决土壤—肥料—粮食—环境问题的关键一环和重要抓手。

3.1 推动肥料变革问题

肥料是肥田的，田是基础。化肥相当于西药，强身必须哺育好土壤。“身体（土壤）”没了，西药就用不上。化肥，化学肥料，化字在前。肥料，养分料理，肥字在前。化肥生产是问题，投放利用率低是问题，板结土壤不能长久。当农业生产率低下时，“化肥一把撒”，没人说不好。发展现代绿色农业、低碳农业、高品质农业等，则必须改变现状。改变使用化肥的传统观念，必须树立正确的思想理论。化肥作为养分材料，通过源于土壤本源性的物质改造它、利用它、发展它，“腐植酸 + 化肥”就是最好的例证。由此形成的“两机互补”“两个最大”“黑白交慧”一系列指导理论，可以有效推动肥料变革走上可持续发展。

3.2 肥料安全利用问题

对于我国而言，总量上受地缘政治影响不大，能够满足国内种植业生产用肥需求。在安全利用上，重点关注三大问题，即肥料质量安全、数量安全和养分均衡问题。

（1）肥料质量安全问题。目前，市场上肥料种类较多，除了传统的化肥，还有近年来兴起的畜禽粪便、城市餐厨垃圾、工农业有机废弃资源及相关副产物、各种有机废弃资源的复合物等制成的肥料。前者可能存在重金属超标的隐患，后者则存在

重金属含量超标、亚硝酸盐超标、抗生素及其他有机污染物含量超标等复合安全性问题。一旦不安全的肥料进入土壤，不仅短期内将难以根除[36]，通过食物链进入人体，对人类健康隐患重重。

（2）肥料数量安全问题。这个问题的关键提高化肥利用率、减少化肥施用量，也就是当前我们大力开展的化肥减量化行动的核心。投入量管控失调的后果我们已经经历，要么导致土壤结构颠覆，要么影响地下水和生态环境，要么无法现实生产。

（3）肥料养分均衡的问题。这一个科学产肥（配方）、科学施肥、科学管理的复合问题。调节养分配比，必须要有科学的依据，应以土壤和作物生长的需要为前提。根据木桶理论，多与少，少与多，补多补少，要考虑植物营养的全面性。

3.3 腐植酸本源性肥料优势

立足国内肥料利用现状，腐植酸肥料有 5 个优势。

（1）肥料安全性。我们必须深刻认识到，工农业副产的有机质不一定安全，而腐植酸富存的有机质一定安全[37]。凡是有机质不一定是腐植酸，凡是腐植酸一定是最好的有机质[36]。

（2）土壤本源性。大量研究结果表明，煤炭腐植酸与土壤腐植酸的物理特性、化学组成、分子结构及分子量范围，具有一致的应用特性。通过工业化开发利用腐植酸，与化肥相结合，契合点多（多元融合），契合度高。

（3）养分科学性。大量产业实践表明，腐植酸与矿物质结合，可以调控无机养分释放速度和释放量，实现与植物供需曲线协调一致。

（4）结构团粒性。团粒结构是农业上最宝贵的结构。在土壤固相组成中，矿物质占固体部分的 95% 以上，土壤有机质不到 5%。目前，一味大量秸秆还田反哺有机质，导致土壤固相结构被破坏，北方作物扎根不实，南方作物腐烂多病。

（5）转化腐熟性。有机质的腐殖化过程少则两三年，多则一百年。工业开发利用腐植酸可以缩短有机质的腐殖化时间，使之当年受益甚至当季当期受益，让土壤及时补充能量并休养生息。

面向国际，腐植酸肥料出口或将迎来更大机遇和市场。

4 土壤安全维度

众所周知，土壤是人类赖以生产、生活和生存的物质基础。当前，全球性土壤安全问题（数量和质量）突出，抓住土壤腐植酸这个“核心”，坚持“让腐植酸从土壤中来到土壤中去”的反哺路线，维护土壤健康安全，促进土壤可持续生产，是腐植酸人义不容辞的责任，更是腐植酸人对大地母亲最好的回报。

4.1 土壤承载着“地球生存”的使命

土壤是地球生命的基石。如果离开土壤，人类将无法生存。12 月 5 日，是联合国第 10 个“世界土壤日”，主题为“土壤和水资源：生命之源”，进一步强调了土壤对人类的重要性，以及土壤和水的共生关系对农业系统的影响，它们之间的宝贵联系决定着地球的生存。① 95% 食物直接或间接源自土壤。②全球 25% 的生物多样性蕴含在土壤中；一克土壤里有 10 亿个细菌细胞、成千上万的菌落、超过 200 m 的菌丝以及各种各样的其他生物。③土壤是水供给的调节器，水的流失、利用和净化都受土壤的影响。④土壤是原材料的再循环器。⑤土壤是大气的调理器。……还有很多重要的生态服务功能。正如国际土壤学联合会主席康斯坦丁所言，“尽管土壤因隐藏在地下而经常被遗忘，但是我们的日常活动和地球的未来离不开土壤。”[38]

4.2 土壤承载着“万物健康”的使命

如果说过去土壤承载的是“食以土为本”的功能，那么现代土壤承载的就是“万物健康”的使命，是支持人类、动物和整个生态系统“共同健康”的重要基础[39]。根据联合国粮农组织 2015 年发布的《世界土壤资源状况报告》，世界土壤面临的十大威胁：侵蚀、土壤有机碳和生物多样性的损失、污染、酸化和凝固、盐渍化、养分失衡、压实、封闭和内涝。土壤面临的这些健康压力，严重限制了它们为人类福祉提供关键生态系统服务的能力。据联合国粮农组织资料，地球表面形成 2 ~ 3 cm 厚的土壤，需要长达 1000 年的时间！这意味着，在我们有生

之年，我们所看到的土壤即是全部的土壤，“守护净土”需要我们所有人行动起来！

4.3 腐植酸本源性肥料优势

腐植酸是土壤中最深刻的“核心物质”。200 多年前，人们对土壤中的“黑东西”搞不明白，总以为“幽灵”在“作怪”。后来，土壤学家把它称之为“暗色物质”。直到 1761 年，第一部农业化学著作《农业化学原理》（华莱士 Wallerius 著）问世，华莱士首先提出“腐殖质”这一名称 [40]。1807 年，德国汤姆森（Thomson）用碱液首次从土壤中提取出腐植酸 [40]。对此，经过长期、复杂的探索过程，终于形成了对“黑东西”→“暗色物质”→“腐殖质”→“腐植酸”认识的演变过程，这才明确认识了土壤中最深刻的“暗色物质”就是腐植酸 [41]。前苏联科学家科诺诺娃将“腐植酸”称之为“土壤的活力素”。

实施土壤“反哺”工程，工业化利用腐植酸最匹配（智慧利用）。土壤中的腐植酸不可提取（也不必提取），工业化利用腐植酸方为解决之道。研究发现，工业提取的煤炭腐植酸与土壤腐植酸具有相似的物理特性、化学组成、分子结构及分子量范围，有着一致性的应用特性 [42]。另外，生物腐植酸可加工利用。因此，坚持“让腐植酸从土壤中来到土壤中去”的反哺路线，通过工业利用腐植酸反哺土壤，成为补充土壤腐植酸的重要来源和潜在库存。

土壤是重要的自然资源资产，这个资产决不能流失、贬值。让腐植酸育化土壤，腐植酸具足力量。中国腐植酸环境友好产业发展 66 年来，腐植酸在净化“土壤血统”建设中最为亮眼，既做到了生态建设产业化，也做到了产业发展生态化。特别是近 10 年，以腐植酸为主体的土壤环境治理工程遍地开花，在耕地质量提升、黑土地保护、高标准农田建设、中低产田改造、盐碱地治理、酸性土壤改良、矿山土壤修复、重金属污染修复、“为了千万众，救赎一克土”等一系列工程行动发挥了重要作用，进一步彰显了“腐植酸”是“土壤血统”形成并起主导作用的有机物，在“土壤血统”建设中具有无比重要的地位 [43]。

5 腐植酸 + 行动

直面“双碳农业”，我们构建“土壤—肥料—作物—环境—健康”安全生产体系。对此，可重点做好 12 项“腐植酸 +”法。

5.1 腐植酸种衣剂越来越重要

近 40 年的研究和实践证明，腐植酸种子包衣剂（拌种剂、浸种剂、保鲜剂等），不仅可以提高种子出苗质量还可以减少种子用量，从而降低生产成本，减轻劳动强度，同时还具有防治作物病虫害、促进植物生长、提高作物产量的作用。

5.2 腐植酸提升耕地质量本质要求

让腐植酸直面耕地质量提升、黑土地保护、高标准农田建设、中低产田改造、盐碱地治理、酸化土壤治理、矿山污染土壤修复、设施农业等领域，做好“腐植酸 + 耕地”的大文章，属于腐植酸的本分事。

5.3 腐植酸提质增效减量化肥始终给力

腐植酸 + 大量元素、中量元素、微量元素、有益元素、有益微生物，既可以一元复合，也可以多元复合，完全可以开发出满足现代农业生产不同用肥需求的腐植酸肥料产业体，创新道路十分宽广。

5.4 腐植酸可降解地膜保水保肥养土

经过腐植酸行业专家几代的技术改进和优化，腐植酸可降解地膜兼有地膜的保墒、保水、增温作用和肥料的提质增效作用，完全可以通过产业化替代禁止、限制不可降解的白色地膜污染，扩大腐植酸可降解地膜使用，确保土壤生态环境不断向好。

5.5 腐植酸绿色环保农药开发空间巨大

腐植酸与农药配伍，具有缓释增效农药、增强农药稳定性、降低农药毒性、减少农药残留等作用。参阅协会系列丛书之《腐植酸类绿色环保农药》。

5.6 腐植酸绿色环保除草剂功效显著

腐植酸与除草剂配伍，能提高除草剂药效 10% ~ 20%，药效进程可提前 2 ~ 5 天，而且还能促进作物生长，增强作物抗性。从这个意义上讲，腐植酸除草剂既能减量又绿色安全。

5.7 腐植酸水稻硅肥独树一帜

硅是水稻健康生长的必需元素。我国大部分水

稻产区土壤有效硅含量不足，成为制约水稻高产的重要因素之一。腐植酸能够充分保证硅的活性，同时又能促进植物生长以及对有益矿物质的吸收，增强作物抗逆性，提高稻米品质。2023 年 1 月 1 日，协会团体标准《腐植酸水溶硅钾肥》正式施行，将有力规范和促进腐植酸水溶硅肥护航水稻丰产增收。

5.8 腐植酸小麦一喷三防黄金搭档

腐植酸 / 黄腐酸小麦“一喷三防”产品已经成为确保小麦稳产增产的一款“黄金产品”，深受广大农民喜欢。2023 年，小麦“一喷三防”首次写入中央一号文件，腐植酸 / 黄腐酸小麦“一喷三防”产品，承载着“腐植酸人”的荣耀，将其培育好、发展好是“腐植酸人”的历史责任。

5.9 腐植酸生物刺激剂博采众长

在 5 大类生物刺激素家族（腐植酸、氨基酸、微生物、海藻酸、无机合成物）中，腐植酸具有天然、质优、物美价廉等特点。当前，全球土壤、粮食、生态环境等安全问题日益突出，充分发挥腐植酸生物刺激素的居间调节作用，可为第 5 次农资变革举旗定标。

5.10 腐植酸抗旱剂经典永流传

经过长期的实践，腐植酸保水剂、腐植酸土壤修复剂、腐植酸生根粉、腐植酸抗蒸腾剂等一批抗旱产品已成为经典，在恢复土壤团粒结构、提高土壤自调能力、改善土壤理化性质、调节土壤 pH、增强土壤微生物活力、调控植株叶面蒸腾、提高作物抗逆性等方面功效显著，不仅可以促进植物和微生物生长，还可以改善土壤生物化学循环以及微生态调节，将有效促进抗旱节水工作。

5.11 腐植酸盐碱地治理抗逆性突出

盐碱地是重要的后备土壤资源，改良利用后，可以增加耕地面积，缓解人地矛盾。我国约有 15 亿亩盐碱地，其中约 5 亿亩具有开发利用潜力。腐植酸是改良盐碱地的挚友，与土壤结合后，能够增加阳离子的吸附量，起到隔盐、吸盐作用，抑制盐分上升，降低表土盐分含量。充分利用腐植酸土壤调理剂和盐碱地改良产品，千方百计做好盐碱地改良。

5.12 腐植酸污染土壤治理功能化强大

维护土壤安全在于确保农业投入品安全，腐植酸是土壤的核心物质，可通过物理吸附、化学吸附、络（螯）合、离子交换、氧化还原、光敏化等作用对进入环境的污染物进行吸附、络合、光解；或与其他物质形成复合吸附剂对污染物进行吸附；或作为添加剂对污染物的降解起促进作用。充分发挥腐植酸专用产品在污染土壤治理中的重要作用，因地制宜，因土施策，对建设良好的土壤环境尤为重要。

6 携手共进使命光荣

在一个地球的四大圈碳库中，土壤碳库最大，腐植酸碳作为土壤的“稳碳器”占 80%。工业利用腐植酸美丽因子是人类的智慧结晶。腐植酸肥料的“五大作用”是中国为世界农业可持续发展作出的重大贡献。我们必须加快推进“矿源腐植酸绿色动力资源库”“矿源腐植酸营养效素产业体”“腐植酸肥料全营养系产业体”3 大产业高质量发展。

在新征程上，我们一定自觉肩负起开创“双碳农业”的新使命，聚焦于“腐植酸 + 土壤，反哺为宗”“腐植酸 + 肥料，本色为怀”“腐植酸 + 粮食，健康为本”“腐植酸 + 碳库，稳碳为基”……共筑“土肥和谐”命运共同体，让腐植酸农事说出气候变化大事。我们坚信，一旦腐植酸肥料进入碳市场，必将改变我国农业气候变化，也必将改变世界农业气候变化。有道是：厚植土肥，真情奉献；双碳农业，使命光荣。

（本文系 2023 年 12 月 7 日曾宪成名誉会长在“第八届全国土肥和谐大会”上的主旨报告）

参考文献

[1] 中国气象局 . 最新监测：厄尔尼诺事件已形成！最暖年纪录或再被打破！ [EB/OL]. https://mp.weixin.qq.com/s/51jdJXxvFSq7O1RlcDvj3g.

[2] 王鑫方 . 欧盟机构：全球单日平均气温升温水平首次突破 2 摄氏度 [EB/OL]. https://www.360kuai.com/pc/detail?url=http%3A%2F%2Fzm.news.so.com%2F678d89cfcf6142f09f238beee2a4dffe&check=42185f680671e827&sign=360_3aa2b959&uid=e59f259095bf03702489461e3ca8fc87.

[3] United Nations Environment Programme. Emissions Gap Report 2023: broken record-temperatures hit new highs, yet worldfails to cut emissions (again)[M]. https://www.unep.org/zh-hans/resources/2023nianpaifangchajubaogao.

[4] 世界气象组织报告：2023 年是有记录以来人类历史上最热一年 [EB/OL]. https://news.cnr.cn/sq/20231201/t20231201_526504747.shtml.

[5] 2023 年世界疟疾报告：全球疟疾发病率下降 28% 需重视气候变化对其影响 [EB/OL]. https://health.huanqiu.com/article/4FdDwNJTqRl.

[6] 11 月全球前沿气候科学研究 [EB/OL]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_25386007.

[7] 粮食体系在全球温室气体排放量中占比超过三分之一 [EB/OL]. https://news.un.org/zh/story/2021/03/1079852.

[8] 粮农组织：全球健康膳食成本上升 [EB/OL]. https://news.un.org/zh/story/2023/11/1124432.

[9] 联合国气候变化迪拜大会签署粮食、农业和气候行动宣言 [EB/OL].https://www.cls.cn/detail/1533475.

[10] 白华兵 . 直击 COP28 丨 85% 受干旱影响的人生活在中低收入国家 [EB/OL]. https://www.bjnews.com.cn/detail/1701566378169759.html.

[11] 白华兵 . 直击 COP28 丨联合国环境规划署：上线甲烷跟踪系统促气候行动 [EB/OL]. https://www.bjnews.com.cn/detail/1701566397168323.html.

[12] 蔡祖聪，徐华，马静 . 稻田生态系统 CH_4 和 N_2O 排放 [M]. 合肥：中国科学技术大学出版社，2009.

[13] 夏龙龙，逯超普，朱春梧，等 . 中国粮食生产的温室气体减排策略以及碳中和实现路径 [J]. 土壤学报，2023，60（5）：1277 ~ 1288.

[14] 冯兆忠，李品，张国友，等 . 二氧化碳浓度升高对陆地生态系统的影响：问题与展望 [J]. 植物生态学报，2020，44（5）：461 ~ 474.

[15] 张昊 . 改良剂施用方式对复垦土壤团聚体分布及有机碳含量的影响 [D]. 山西农业大学硕士学位论文，2022.

[16] 曾宪成 . 腐植酸本源性肥料可持续发展 [J]. 腐植酸，2013（4）：1 ~ 6.

[17] IPCC. Climate change 2014: impact, adaptation, and vulnerability[M/OL]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/.

[18] 曾宪成，李双 . 新时期开展腐植酸肥料“三化效应”研究势在必行 [J]. 腐植酸，2015（4）：1 ~ 8.

[19] 最新发布丨《2023 年世界粮食安全和营养状况》[M/OL]. https://www.fao.org/3/cc3017en/cc3017en.pdf.

[20] 联合国粮农组织发布最新报告，指出气候变化所致损失和损害日益冲击农业粮食部门 [EB/OL]. https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-report-agrifood-sector-faces-growing-threat-from-climate-change-induced-loss-and-damage/zh.

[21] 杨柳，李絮花，胡斌 . 腐植酸增效复混肥对不同盐渍化程度土壤小麦产量和氮素利用的影响 [J]. 中国土壤与肥料，2021（2）：123 ~ 132.

[22] 王颖，姜娟，李慧昱，等 . 含硅土壤调理产品在辽宁水稻上的应用效果 [J]. 辽宁农业科学，2021（4）：7 ~ 11.

[23] 尚大朋，孙翠英，付文，等 . 腐植酸控释掺混肥对玉米产量及土壤肥力的影响研究 [J]. 腐植酸，2023（5）：34 ~ 42.

[24] 梁帅，贾胜辉，国凯凯，等 . 添加腐殖酸和微量元素的套餐施肥方案对马铃薯产量的影响 [J]. 肥料与健康，2022，49（5）：20 ~ 23.

[25] 朱福军，孟庆羽，郭新送，等 . 含控释钾腐植酸复合肥对甘薯产量及品质的影响 [J]. 腐植酸，2023（3）：36 ~ 45.

[26] 刘晓辰，杨忠浩，郭新送，等 . 腐植酸与锌肥配施对小麦籽粒产量、品质及锌含量的影响 [J]. 腐植酸，2023（4）：47 ~ 52.

[27] 上官宇先，尹宏亮，徐懿，等 . 不同钝化剂对水稻小麦籽粒镉吸收的影响 [J]. 生态环境学报，2022，31（2）：370 ~ 379.

[28] 白亚丽 . 日光温室果菜有机肥替代及化肥减施对其生长和土壤环境的影响 [D]. 河南农业大学硕士学位论文，2018.

[29] 赵满兴，刘慧，白二磊，等 . 减量化肥配施腐殖酸肥对红枣农艺性状、产量及品质的影响 [J]. 陕西农业科学，2019，65（5）：17 ~ 20.

[30] 项国栋，邹德乙 . 腐植酸果蔬专用肥对葡萄产量及品质的影响 [J]. 腐植酸，2020（2）：65 ~ 69.

[31] 李长青，纪萌，马萌萌，等 . 天然增效剂与化学抑制剂复配对小麦 / 玉米轮作体系产量、氮素利用及氮平衡的影响 [J]. 应用生态学报，2023，（下转第 39 页）

腐植酸含量的影响 [J]. 化学工业与工程技术，1999（1）：34 ~ 35.
[11] 张永霞 . 华宁褐煤制备腐植酸钾及应用研究 [D]. 中国矿业大学（徐州）硕士学位论文，2022.
[12] 王锋 . 腐植酸钾的研制及对食用型甘薯产量品质形成的影响 [D]. 山东农业大学硕士学位论文，2009.
[13] 郭若禹，张盼，马鸿文 . 赤峰某地褐煤制取腐植酸钾实验研究 [J]. 应用化工，2017，46（9）：1720 ~ 1722.
[14] 王小杰，梁利宝 . 山西风化煤提取腐植酸的工艺研究 [J]. 腐植酸，2023，2023（4）：36 ~ 40.
[15] 李善祥 编 . 腐植酸产品分析及标准 [M]. 北京：化学工业出版社，2007.
[16] Hakli Ö, Dumanli A G, Nalbant A, et al. The conversion of low-rank Kilyos coal to nitrogeneous fertilizers[J]. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 2010, 33(2): 164 ~ 170.
[17] 刘宝蔓，初茉，白书霞，等 . 用油页岩灰制备沸石分子筛及响应面优化 [J]. 硅酸盐学报，2020，48（8）：1317 ~ 1324.
[18] 库万卡·木扎热提 . 煤中腐殖酸的提取工艺研究 [D]. 伊犁师范大学硕士学位论文，2020.
[19] 张殿凯，李艳红，王苗，等 . 氧化法提取褐煤腐植酸的研究进展 [J]. 应用化工，2021，50（10）：2851 ~ 2855，2860.
[20] 姜文勇，张辉，刘波 . 硝化反应对风化煤腐植酸反应性官能团的影响 [J]. 腐植酸，2000（3）：10 ~ 12.
[21] 任麒帆，刘海飞，李洋，等 . 浅谈矿物源腐植酸的理化性质、活化提取及应用展望 [J]. 腐植酸，2021（4）：7 ~ 12.
[22] 惠璠 . 风化煤中腐植酸的提取工艺研究 [D]. 西安工程大学硕士学位论文，2016.
[23] Doskočil L, Burdíková-Szewieczková J, Enev V, et al. Spectral characterization and comparison of humic acids isolated from some European lignites[J]. Fuel, 2018(213): 123 ~ 132.
[24] Enev V B U O, Pospisilova L M U I, Klucakova M B U O, et al. Spectral characterization of selected humic substances[J]. Soil and Water Research (Czech Republic), 2014, 9(1): 9 ~ 17.
[25] 吕飞勇, 易浩然, 王玉环, 等 . 煤基腐植酸对 Cd^{2+} 的吸附—解吸特性研究 [J]. 煤炭工程, 2022, 54（6）: 172 ~ 176.
[26] 袁蕊，王学江，李峰 . 风化煤氧化改性对其提取物腐植酸钾抗硬水性能影响 [J]. 磷肥与复肥，2018，33（11）：4 ~ 6.
[27] 成绍鑫 . 腐植酸类物质概论（第二版）[M]. 北京：化学工业出版社，2020.

（上接第 11 页）34（9）：2391 ~ 2397.
[32] 黄家怡，荣湘民，侯坤，等 . 氮、磷减量配施生物炭和腐植酸对双季稻产量和氮、磷流失的影响 [J]. 河南农业科学，2020，49（8）：31 ~ 44.
[33] 高惠敏 . 不同调控措施对河套灌区盐碱土壤性状及向日葵产量的影响研究 [D]. 内蒙古农业大学硕士学位论文，2020.
[34] 陈倩，李秉毓，张鑫，等 . 腐植酸分次施用明显提高富士苹果产量、品质和氮素利用率 [J]. 植物营养与肥料学报，2020，26（4）：757 ~ 764.
[35] 胡美美 . 黄腐酸对铜、镉复合胁迫下番茄的缓解效应研究 [D]. 山东农业大学硕士学位论文，2018.
[36] 曾宪成，李双 . 让腐植酸在优化土肥关系中发挥重要作用 [J]. 腐植酸，2014（6）：1 ~ 7.
[37] 史忠良 . 秸秆养畜过腹还田技术 [J]. 甘肃畜牧兽医，2012（6）：60 ~ 61
[38] 耿苏强，李煜强 .《杨凌倡议》凝聚珍爱保护土壤国际共识 [N]. 农业科技报，2023-09-21（003）.
[39] Keith A M, Schmidt O, Mcmahon B J. Soil stewardship as a nexus between ecosystem services and one health[J]. Ecosystem Services, 2016, 17: 40 ~ 42.
[40] 成绍鑫 . 腐植酸类物质概论（第二版）[M]. 北京：化学工业出版社，2020.
[41] 曾宪成 . 腐植酸从哪里来，到哪里去 [J]. 腐植酸，2012（4）：1 ~ 10，30.
[42] 武丽萍，曾宪成 . 煤炭腐植酸与土壤腐殖酸性能对比研究 [J]. 腐植酸，2012（3）：1 ~ 10，21.
[43] 曾宪成 . 开展“维土革命”，净化“土壤血统”——充分发挥腐植酸修复土壤的重要作用 [J]. 腐植酸，2012（5）：1 ~ 13.