



## 腐植酸水溶肥料分类及其田间应用效果综述

潘佳怡<sup>1</sup> 熊家军<sup>2</sup> 李俊燕<sup>1\*</sup> 周小强<sup>1</sup>

1 渭南师范学院化学与材料学院 渭南 714099

2 焦作华生化工有限公司 焦作 454750

**摘要：**腐植酸水溶肥料作为新型高效肥料代表，凭借其精准施用、养分利用率高和环境友好等优势，已成为推动我国农业发展的重要发展方向。本文系统梳理了腐植酸水溶肥料的产品类型：按功能组分和应用特点分为营养型与功能型；按原料来源可分为矿源型与生化型；按物理剂型可分为固体颗粒型与液体型。同时，从激活土壤微生物、增强土壤水分调控与作物抗逆性、促进作物根系发育、提升作物产量和品质及阻控重金属迁移等方面，深入分析其田间应用效果，并展望了腐植酸水溶肥料在农业增效中的应用前景。

**关键词：**腐植酸；水溶肥；土壤改良；田间应用；农业增效

**中图分类号：**TQ444.6    **文章编号：**1671-9212(2025)06-0027-10

**文献标识码：**A    **DOI：**10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.06.002

### A Review of the Classification and Field Application Effects of Humic Acid Water-soluble Fertilizers

Pan Jiayi<sup>1</sup>, Xiong Jiajun<sup>2</sup>, Li Junyan<sup>1\*</sup>, Zhou Xiaoqiang<sup>1</sup>

1 School of Chemistry and Materials, Weinan Normal University, Weinan, 714099

2 Jiaozuo Huasheng Chemical Co. Ltd., Jiaozuo, 454750

**Abstract:** As a kind of novel high-efficiency fertilizer, humic acid water-soluble fertilizers have become a significant developmental direction ascribed to their advantages of precise application, high nutrient use efficiency and environmental friendliness. This paper reviewed systematically the product types of humic acid water-soluble fertilizers. Humic acid water-soluble fertilizers were classified as nutritional and functional types based on functional components and application characteristics, as mineral-sourced and biochemical types based on raw material sources, or as solid granular and liquid types based on physical formulations. Furthermore, their field application effects—including the activation of soil microorganisms, regulation of soil water, enhancement of crop stress resistance, promotion of crop root development, improvement of crop yield and quality, and control of heavy metal migration—were analyzed. The application prospects of humic acid water-soluble fertilizers for enhancing agricultural efficiency were also discussed.

**Key words:** humic acid; water-soluble fertilizers; soil improvement; field application; agricultural efficiency enhancement

[基金项目] 国家级大学生创新创业训练计划项目（项目编号 s202510723015）；渭南师范学院横向项目（项目编号 2025 HX106）。

[收稿日期] 2025-06-30

[作者简介] 潘佳怡，女，2004 年生，本科在读，主要专业方向为精细化学品的合成与综合利用，E-mail: 2483205838@qq.com。\* 通讯作者：李俊燕，女，博士 / 副教授，E-mail: 359698039@qq.com。



肥料是作物的“粮食”，在保障国家粮食安全、促进农业绿色发展扮演着不可或缺的角色<sup>[1]</sup>。然而，当前我国农业生产中化肥过量施用现象普遍存在，部分地区存在科学施肥意识不足，肥料利用率偏低、土壤质量退化及农业面源污染等问题<sup>[2]</sup>。在此背景下，发展高效、环保的新型肥料及精准施肥技术成为推动农业绿色转型的关键突破点。其中，水溶肥通过水肥一体化技术实现精准施用，不仅能够大幅降低劳动力成本、提升农业生产效率，更能直接作用于作物根系或叶面，有效减少养分流失和土壤固定，显著提高养分利用率，已成为现代农业肥料体系的重要发展方向<sup>[3]</sup>。

腐植酸水溶肥料是指以适合植物生长所需比例的腐植酸为主要活性成分，配合适量氮、磷、钾及中微量元素等营养物质，采用特定工艺制成的、能够完全溶解于水的一类肥料。其兼具营养供给、土壤改良、作物抗逆增强等多重功能，可通过滴灌、喷灌、叶面喷施等多种方式施用，已成为可持续农业发展的关键投入品，被誉为“水溶肥王冠上的明珠”<sup>[4]</sup>。据农业农村部种植业管理司网站公布数据统计，截至2025年1月6日，农业农村部登记的腐植酸水溶肥料产品3410个，占登记水溶肥料总数的37.2%，足见其市场认可度与应用潜力<sup>[5]</sup>。

鉴于此，本文基于近10年的科学研究数据，系统梳理腐植酸水溶肥料产品的类型，分析其在改善土壤环境、促进作物根系发育以及提升作物产量和品质方面的田间应用效果，旨在为腐植酸肥料的工艺优化与推广应用提供理论参考，助力农业绿色低碳转型与生态环境协同修复。

## 1 腐植酸水溶肥料产品类型

### 1.1 按功能组分和应用特点分类

依据功能成分与应用特点，腐植酸水溶肥料可划分为营养型和功能型两大类。二者在作物种植体系中发挥着互补而差异化的作用，共同满足现代农业的多元化需求。

#### 1.1.1 营养型腐植酸水溶肥料

此类肥料以腐植酸为核心活性成分，搭配作物

生长必需的矿质营养元素，旨在为作物提供全面、均衡的基础养分，满足其生长发育的基本需求。夏桂平等<sup>[6]</sup>通过粉碎、称重、溶解、过滤、pH调节及封装等工艺，成功研制出一种富含锌、锰、铜、铁、钼、硼等多种必需微量元素的高效活性腐植酸水溶肥料，对番茄增产效果显著，较传统尿素处理产量提高26%。庄严等<sup>[7]</sup>开发了一种高浓度腐植酸水溶肥料，配方包含腐植酸、磷酸氢二钾、醋酸钾、硼砂、聚谷氨酸、鼠李糖脂及尿素，并采用羟甲基纤维素进行乳化。该产品在多种作物上展现出优异的增产性能：西瓜较空白对照增产率达17.4%；小麦增产率达21.0%；红薯增产率达42.4%；芹菜增产率达35.2%。倪龙珠<sup>[8]</sup>则聚焦于合成含腐植酸的大量元素水溶肥料，其配方涵盖大中微量元素、有机质、腐植酸、氨基酸、海藻类活性物质及甲壳素等。值得注意的是，其中海藻类活性物质和微量元素源自巨藻等海藻的特殊生化处理提取物，富含40余种矿物质元素及多种维生素，具备调节作物内源激素平衡的潜在功能。

#### 1.1.2 功能型腐植酸水溶肥料

功能型腐植酸水溶肥料在提供基础营养的同时，通过复配特定功能组分，赋予产品超越基础营养供给的附加价值。这类肥料在实际应用中展现出优化作物生长表现、提升农产品品质、增强作物抗逆（如抗旱、抗病等）能力等多重功效，更契合现代农业对肥料多功能化、精准化的需求，其研发方向呈现多元化趋势。

(1) 复合增效型。为强化腐植酸水溶肥料的效力，引入稀土元素成为重要策略。姚继唐等<sup>[9]</sup>开发的腐植酸螯合稀土水溶肥料，其制备过程涉及腐植酸依次与碱、磺化剂、稀土化合物及微量元素的反应，并需专用的腐植酸反应装置、螯合反应装置及后处理装置。红外光谱分析证实，腐植酸分子中的羧基、羟基官能团与稀土铈、锌元素发生了络合/螯合反应。田间试验效果显著：与对照相比，黄瓜增产27.8%，果实维生素C含量提升15%，还原糖含量增加27.8%，霜霉病发病率降至零（对照组为15.6%）。刘益仁等<sup>[10]</sup>创新性地将杨树树叶粉与尿素在氮气氛围下高温处理，再与七水合硫



酸铁进行水热复合反应，制备出负载  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  的高活性腐植酸，进而添加大量元素和微量元素制成水溶肥料。该肥料应用于水稻种植，产量较常规氮磷钾肥料处理提高 6%。

(2) 土壤改良功能型。针对特定土壤问题(如干旱区板结、酸化、盐渍化)，此类肥料注重土壤修复与健康维护。王秀峰等<sup>[11]</sup>将腐植酸水溶肥料与天然纳米矿石材料结合，研发出纳米矿物腐植酸水溶肥料。该产品不仅能补充土壤有机质和矿物元素，更能有效修复土壤酸化、盐渍化及板结问题，表现为降低土壤电导率(EC 值)，提升土壤 pH(从 5.4 升至 6.6)。应用于生菜的效果显示，株高提高 22.01%，净重增加 46.24%，叶片叶绿素和氮含量分别提升 8.40% 和 8.70%。李东等<sup>[12]</sup>以秸秆为原料，通过同时添加碱与尿素的温和处理工艺，制备出腐植酸型水溶肥。该工艺生成的腐植酸型水溶肥的氮元素含量较无尿素添加的处理组提高 33.89%，更利于土壤对氮元素的保固与吸收；且在酸性条件下固形物含量低，受 pH 影响小，能保持良好的稳定性，既可有效调节盐碱地土壤 pH，又能避免堵塞水肥一体化设备，更适配盐碱地等严苛环境应用。

(3) 缓释控释型。为满足作物生长期稳定供肥、减少施肥频次的需求，缓释型腐植酸水溶肥料应运而生。陈宏<sup>[13]</sup>以黄腐酸钾为主要原料，加入微量聚天冬氨酸和乙二胺四乙酸二钠(EDTA-2Na)，促使锌、硼、镁等养分在溶解过程中被络合，从而实现缓慢释放。施用效果显示，玉米亩增产 8.7%，油菜亩增产 24.4%，甘蓝亩增产 6.27%。陈丰山等<sup>[14]</sup>同样研发了一种腐植酸缓释水溶肥料，其原料包括矿源腐殖质、磷酸二铵、碳酰胺、莎梵婷及乙二胺二邻羟苯基乙酸(EDDHA)。氮素释放曲线及释放总量分析证实了该产品的缓释性能。在辣椒种植试验中，添加莎梵婷和 EDDHA 的腐植酸水溶肥料处理组，产量从 107.8 kg/35 m<sup>2</sup> 提升至 126.4 kg/35 m<sup>2</sup>。

(4) 富集特定元素型。为响应市场对功能性农产品(如富硒产品)及特定养分高效供给的需求，富硒型、高氮型等专用腐植酸水溶肥料得到发展。孙茂旭等<sup>[15]</sup>通过添加亚硒酸钠成功研制出可

提高草莓硒含量的腐植酸水溶肥料，其生产工艺流程见图 1。施用后，草莓果实硒含量由对照组的 6.5 μg/kg 显著提升至 36.9 μg/kg，同时亩产量增加 7.2% ~ 10.2%。王缉成<sup>[16]</sup>则专注于有机硒转化，其工艺先将亚硒酸钠通过小麦发芽过程转化为有机硒，再与酸化腐植酸一起经搅拌、螯合、浓缩处理，制成富硒腐植酸水溶肥料。该产品对早稻的增产率达 16.7%，并显著提高稻米硒含量(平均提高 20.3%)，降低镉含量(平均下降 13.3%)。将该肥应用于芥蓝菜，还能促进高浓度毒死蜱残留的降解，喷药后第 3 天和第 7 天，添加该肥料的处理组毒死蜱绝对残留量较未添加组分别下降 47.5% 和 65.8%。孙小刚等<sup>[17]</sup>研制的含黄腐酸高氮型水溶肥料，氮含量高达 25% ~ 35%。叶面喷施该产品后，甘蓝平均亩产达 4595.9 kg，较清水对照组增产 8.5%。

## 1.2 按原料来源分类

腐植酸水溶肥料的性质与功效与其原料来源密切相关。依据腐植酸来源的不同，主要可分为矿源腐植酸水溶肥料和生化腐植酸水溶肥料两大类。

### 1.2.1 矿源腐植酸水溶肥料

矿源腐植酸水溶肥料主要以提取自泥炭、褐煤、风化煤等的腐植酸作为核心活性成分制成。陈丰山等<sup>[18]</sup>的工艺颇具代表性：将褐煤经破碎(可选择进行氧化预处理)、碱溶、酸析得腐植酸，再经磺化、干燥制得磺化褐煤腐植酸产品，最后通过研磨并与无机复合肥搅拌制成腐植酸水溶肥料。应用于葡萄种植的结果表明，与常规施肥相比，其在大砾点和缙云点的葡萄产量分别提高 22.5% 和 18.5%。

### 1.2.2 生化腐植酸水溶肥料

鉴于矿源腐植酸受限于风化煤、褐煤、泥炭等不可再生原料的储量和分布，其大规模生产面临挑战。近年来，利用工业发酵或化学降解技术处理农业废弃物(如秸秆、糖蜜、造纸废液等)获得结构与功能类似矿源腐植酸的物质——生化腐植酸，已成为重要研究方向。以其为活性中心制备的生化腐植酸水溶肥料，因其原料来源广泛、可再生性强，已成为该领域的研究热点与发展趋势。

范超<sup>[19]</sup>以荞麦壳为原料,经发酵后采用水热法制备出适用于土豆的液体腐植酸水溶肥料。施用该肥料可使土豆平均淀粉含量提高47.7%、维生素C含量提升235.1%、亩增产22.53%。宿新泰等<sup>[20]</sup>提出了一种资源化利用新途径:以棉秆、稻壳、树木等农林生物质固体废弃物为原料,在催化剂和活化剂的作用下转化为类风化煤前驱体,再经氧化剂

作用将有机质高效转化为性质优异的超矿源腐植酸,最终通过简单工艺制成液态或固态的大量元素型腐植酸水溶肥料。梁枭等<sup>[21]</sup>则着眼于糖蜜发酵液的资源化利用。利用其中富含的腐植酸、有机质、氨基酸及氮、磷、钾等植物必需的营养元素,直接制备含腐植酸水溶肥料,实现了“变废为宝”,有力推动了农业资源的循环利用和可持续发展。

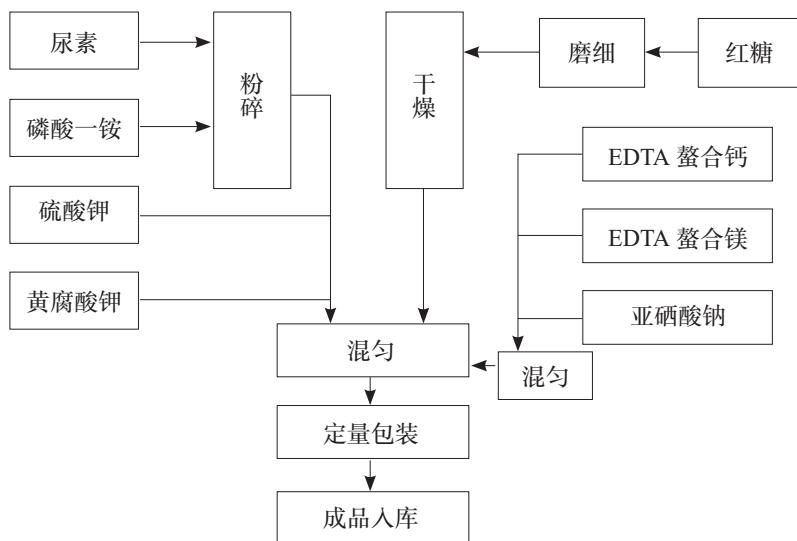


图1 提高草莓硒含量的腐植酸水溶肥料生产流程图<sup>[15]</sup>

Fig.1 Production chart of humic acid water-soluble fertilizer for enhancing strawberry selenium content<sup>[15]</sup>

### 1.3 按物理剂型分类

腐植酸水溶肥料的不同物理剂型直接影响其储存、运输、施用方式及效果,主要分为固体颗粒型和液体型两大类。

#### 1.3.1 固体颗粒型

固体颗粒型水溶肥料具有便于储存运输、养分含量高等特点。高进华等<sup>[22]</sup>创新性地采用塔式熔体造粒工艺,成功制备出黄腐酸钾大量元素水溶肥颗粒。该产品颗粒圆润光滑,水分含量极低,抗压强度高,不易板结,且溶解速度快、无残渣。田间试验数据表明,与普通粉状水溶肥相比,该颗粒产品可使西红柿产量提升48.5%、根系活力指数提高28.6%、果实中可溶性糖和维生素C含量分别增加24.0%和19.6%。

#### 1.3.2 液体型

液体剂型通常具有溶解迅速、使用方便、易

于添加功能性助剂等优势。曾鲸津等<sup>[23]</sup>研制出一种具有创新施用方式的液体腐植酸水溶肥料——可直接喷涂或涂抹于果树树干表面。其制备工艺相对简单,主要通过水中超声混合矿源腐植酸、肥料成分和纤维素制成。在桃树苗木上的试验表明,该水溶肥料组合物能够通过树干表皮被吸收利用,显著增加桃树的开花量和结果数量;同时,树干表面涂覆该肥料能有效减少桃树流胶病的发生,为果园的大规模、高效率补肥提供了一种新途径。

## 2 腐植酸水溶肥料田间应用效果

腐植酸水溶肥料的田间应用效果可通过土壤—作物系统的多维度改善得以体现,其对土壤健康维护与植物生长促进的关键作用如图2所示。

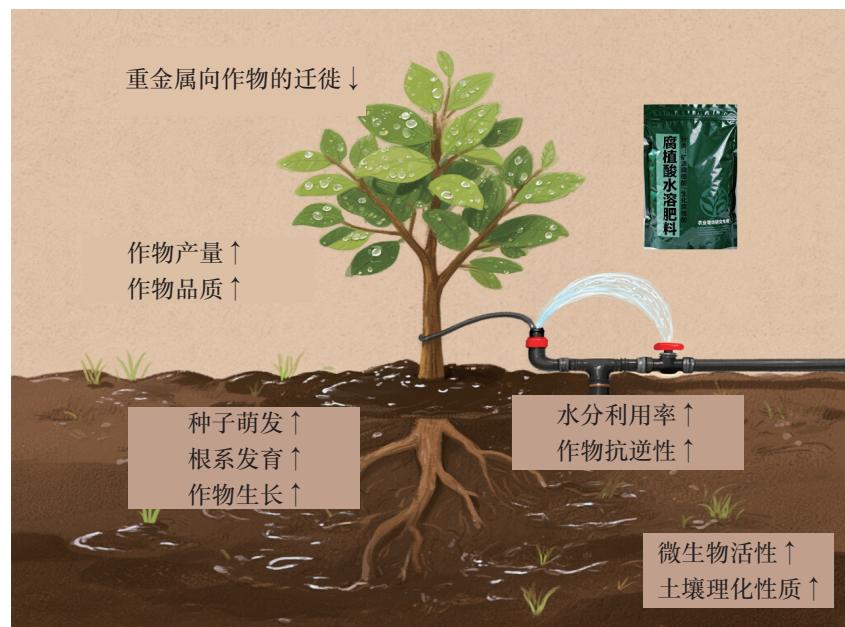


图2 腐植酸水溶肥料对土壤健康和植物生长的影响

Fig.2 Effects of humic acid water-soluble fertilizers on soil health and plant growth

## 2.1 激活土壤微生物群落，全面提升土壤质量

土壤微生物群落是表征土壤质量的核心生物指标。高质量土壤须具备稳定的微生物结构、较高的微生物量及良好的代谢活性。腐植酸水溶肥料通过提供丰富的营养元素及植物激素物质，为土壤微生物创造优越的生存环境，同时抑制病原生物增殖。Wang 等<sup>[24]</sup>以稻草为原料，通过常温人工腐殖化工艺制备腐植酸水溶性肥料。田间应用结果显示，该肥料可显著提升土壤中有益细菌的相对丰度：其中，谷氨酸杆菌属相对丰度增至 36.07%，较空白对照组和化学肥料组分别提升 2.8、2.1 倍；假单胞菌属相对丰度达 3.64%，较空白对照组和化学肥料组分别提升 3.2、2.5 倍。与此同时，该肥料还能显著降低病原真菌（如镰刀菌属）的相对丰度，且同步提升被孢霉属、赤霉菌属等有益真菌的相对丰度，有效优化土壤微生物群落结构。

腐植酸水溶肥料对土壤理化性质的优化同样显著。王子豪等<sup>[25]</sup>证实，施用腐植酸水溶肥料可有效提升土壤有机质含量，降低土壤 EC 值，并改善土壤速效养分供应状况，从而促进玉米苗的生长，实现土壤质量与作物品质的协同提升。吾斯曼·依马尔尼牙孜等<sup>[26]</sup>发现，微生物菌剂与腐植酸水溶

肥料联用后，壤土和沙壤土的土壤速效氮、磷、钾及有机质含量显著增加；沙土虽水溶性盐分降低，但养分含量亦有所增加。可见，腐植酸水溶肥料可强化土壤保肥能力，为作物创造稳定生长基底。

## 2.2 增强土壤水分调控与作物抗逆性能

腐植酸水溶肥料通过改善土壤理化性质 [ 如提高阳离子交换容量 (CEC) ] 和调节植物生理过程，为土壤—作物系统构建了稳定的水分与抗逆调节体系，同时增强作物应对干旱、盐碱等逆境能力<sup>[27]</sup>。刘伟等<sup>[28]</sup>的田间试验证实，在水分胁迫时喷施腐植酸水溶肥料，可使小麦叶绿素含量和净光合速率增加，蒸腾速率减弱，水分利用效率提高，最终实现增产 4.48% ~ 7.75%。增产幅度表现为正常供水 > 适度控水 > 中度水分胁迫，这一效应对缓解干旱半干旱地区的水资源短缺问题具有重要意义。

腐植酸水溶肥料对作物抗逆性的提升效果在不同作物与环境中均有体现。例如，Ma 等<sup>[29]</sup>在我国西北干旱区的试验进一步验证了腐植酸水溶肥料的抗旱功效。数据显示，即使在低灌溉压力 (380 mm) 条件下，采用 0.5% 腐植酸与微纳米曝气协同的水肥气耦合滴灌技术，仍能使加工番茄



产量提升 57.2%。扫描电镜分析表明，该技术可提高土壤含氧量，降低土壤充水孔隙度和蒸散量。Abu-Ria 等<sup>[30]</sup>对比研究也发现，在重度干旱胁迫下，经腐植酸水溶肥料处理的玉米光合同化速率提升 29.2%，显著高于高粱的 15.0%。这一效应源于腐植酸诱导的叶绿素总量增加、气孔导度改善、相对含水量提升及渗透调节物质（蔗糖、可溶性糖、脯氨酸等）积累等多重生理响应。

此外，腐植酸水溶肥料在缓解盐胁迫方面同样效果显著<sup>[31]</sup>。Wang 等<sup>[32]</sup>利用高效催化剂促进亚硫酸铵浆液（ASS）对褐煤的活化，生产出高生物活性腐植酸水溶肥料。在 100 mM NaCl 盐胁迫下，处理组水稻种子发芽率较对照组提高 26.67%、根长增加 94.62%，且根细胞膜电位超极化程度从 -13.59 mV 变为 -39.07 mV。闫夏等<sup>[33]</sup>研究显示，施用黄腐酸含量 15% 的水溶肥料后，土壤全盐从犁地前的 5.48 g/kg 降到 1.07 g/kg，降幅达 80.47%；棉籽产量比对照组增加 3.6%，充分体现其在盐渍化土壤改良与作物增产中的双重价值。

### 2.3 促进作物根系发育和植物生长

腐植酸水溶肥料通过调节土壤养分形态与植物生理代谢，为根系生长提供充足营养与适宜环境，同时激活植物自身生长调节机制。Aguirre 等<sup>[34]</sup>证实，腐植酸水溶肥料可显著提高水稻、玉米、小麦等粮食作物的种子萌发率，促进侧根形成与发育，最终实现增产提质。其作用机制包括两方面：一是腐植酸中的多聚阴离子增强土壤阳离子交换量，抑制磷酸钙沉淀的形成，提高土壤有效磷含量<sup>[35]</sup>；二是调节根部 H<sup>+</sup>-ATP 酶活性，增强植物对营养元素的吸收和转运能力<sup>[36]</sup>。

腐植酸水溶肥料对不同作物生长的促进效应已得到多维度验证。魏莎莎等<sup>[37]</sup>研究发现，施用腐植酸水溶肥料一周后，草莓植株平均株高和冠径增长量较清水对照组分别提高 60.0% 和 62.0%，且叶片绿叶素含量始终高于对照组。张梅萍等<sup>[38]</sup>在“红地球”葡萄中的应用显示，施用腐植酸水溶肥料后成枝率提高 15.88%，果枝率提高 12.14%。熊玉坛等<sup>[39]</sup>的研究进一步表明，不同用量腐植酸水溶肥料均能降低玉米株高，增大茎粗和单株叶面

积，虽然种子几何平均直径差异不显著，但种子长度略有缩短，体现出其对作物生长形态的精细化调控作用。这些证据共同表明，腐植酸水溶肥料可通过优化根系发育与植株形态，为作物高产优质奠定坚实基础。

### 2.4 提高作物产量和品质

作物产量与品质是农业生产的的核心目标，直接反映施肥技术的应用成效。腐植酸水溶肥料通过协调土壤—作物系统的物质循环与能量转化，实现产量提升与品质改善的协同发展。Ge 等<sup>[40]</sup>在泰安市岱岳区开展番茄应用效果研究结果显示，相较于同期喷施等量清水处理，施用腐植酸水溶肥料后番茄平均每公顷增产达 6883.5 kg，增产率 8.9%，每公顷增收 2463.5 元；与常规施肥处理相比，每公顷增产 4450.5 kg，增产率 5.6%，增收 1719.8 元，经济效益提升效应显著。

施肥方式对腐植酸水溶肥料的功效发挥同样具有重要影响。马梦谦等<sup>[41]</sup>通过系统对比根施和叶面喷施两种途径对空心菜的作用差异发现，与空白对照及常规施肥组相比，腐植酸水溶肥料处理组的空心菜在粗蛋白与维生素 C 含量上均有显著提升。深入分析结果表明，叶面喷施在改善营养品质方面效果更优，其作用机制在于促进作物体内蛋白质合成、增强叶片光合效率，从而加速营养物质累积；而根施处理在促进空心菜产量增长方面表现更为突出，这充分体现了不同施肥方式的功能特异性。表 1 详细概述了腐植酸水溶肥料对 12 种不同作物产量和品质的影响<sup>[42~52]</sup>，这些研究共同证实，通过科学施用腐植酸水溶肥料，可实现作物产量与品质的同步提升，为高效农业生产提供有力支撑。

### 2.5 阻控重金属迁移

受工业化、矿业过程及化肥过量投入等因素的影响，农田环境质量日趋下降，土壤重金属污染问题日益突出。数据显示，我国耕地土壤重金属污染物点位超标率为 19.4%，其中以 Cd 污染物超标点位占比最高，达 7.0%<sup>[53]</sup>。Cd 具有较强生物毒性与生物迁移性，且在环境中难降解<sup>[54]</sup>。近年来的研究显示，腐植酸水溶肥料可阻控 Cd 向植物体迁移积累<sup>[55]</sup>。冯剑等<sup>[56]</sup>研究发现，腐植酸水溶肥料部



分替代化学氮肥略微增加土壤有效态 Cd 含量（其随替代比例增加而升高，但差异不显著）；同时显著提高 Cd 向叶片和茎秆的转运系数，降低向稻米的转运系数，抑制 Cd 向稻米迁移分配。苏冰霞

等<sup>[57]</sup>的研究则显示，与常规施肥相比，施用腐植酸水溶肥料使抽穗期水稻各部位（根部、穗部、叶片、茎部等）Cd 含量降低 91.78% ~ 98.79%，灌浆期水稻各部位 Cd 含量降低 41.82% ~ 72.80%。

表 1 腐植酸水溶肥料对不同作物产量和品质的影响

Tab.1 Effects of humic acid water-soluble fertilizers on the yield and quality of different crops

作物	处理方法	效果	参考文献
竹笋	复合肥料与腐植酸水溶肥料按 0.7 : 1 和 0.7 : 2 比例进行喷洒施肥	与单施复合肥相比，产量分别提升 32.33% ~ 40.37%、41.63% ~ 50.23 %。	[42]
青椒	采用灌溉方式施用 Humic Blast 和 Humistar 两种腐植酸水溶肥料	Humic Blast 处理组全采收期表现最优：单株产量较未处理组增幅 108.4%，葡萄糖、果糖含量分别提高 10%、18%。	[43]
毛豆	喷施浓度为 0、1、2 g/L 的腐植酸水溶肥料	1 g/L 处理效果最佳，发芽率增加 15.0%，叶绿素、可溶性糖含量分别提高 12.7%、35.3%。	[44]
黄瓜	腐植酸大量元素水溶肥料（腐植酸钾 ≥30 g/L，N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O≥200 g/L），用量 70 g/ 亩	与常规施肥相比，单株结果数增加 127%，产量提升 198%。	[45]
小白菜	腐植酸大量元素水溶肥料（水剂，腐植酸 ≥3.0%，N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O≥42.0%，氮磷钾比例 0-21-21，水不溶物 ≤5.0%，水分 ≤5.0%）	较常规施肥增产 215 kg/ 亩，较喷施清水处理增产 391.7 kg/ 亩。	[46]
大蒜	高浓度腐植酸水溶肥料（矿源腐植酸 ≥200 g/L，N≥100 g/L，P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ≥40 g/L，K <sub>2</sub> O≥60 g/L）	处理组平均亩产量达 2868.30 kg，较传统施肥对照组增产 575.49 kg，增幅 25.10%。	[47]
枇杷	大量元素型水溶肥料（腐植酸浓度约 45.627 g/L，N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O≥350 g/L），稀释 1000 倍后叶面喷施	单果重较对照组增加 26.49%，果实硬度降低 14.27%，可溶性总糖含量增加了 18.58% ~ 21.25%。	[48]
番茄、辣椒	腐植酸水溶肥料（腐植酸 ≥40 g/L），稀释 1000 倍后浇灌	番茄、辣椒产量分别较对照组增产 11.75%、5.73%；果实中氮、磷、钾养分及蛋白含量均有提高。	[49]
杨梅	常规施肥基础上，于开花前期、幼果期和果实膨大期喷施含腐植酸水溶肥料（腐植酸 ≥30 g/L）	较常规施肥产量增产 18.3%，富民点、盘龙点单果重分别增加 41.60%、35.59%，可溶性固形物、总糖、维生素 C 含量均显著提高。	[50]
三色堇	常规施肥配合基施 / 追施腐植酸水溶性肥料（腐植酸 ≥30 g/L），盆栽	两种施肥方式均能增强光合效率：追施对花朵、叶片及单株鲜重的促进效果更显著，基施对株高的提升更明显。	[51]
烤烟	灌根喷施浓度为 0、60、90、120 mg/L 的腐植酸水溶肥料（腐植酸 ≥30 g/L）	90、120 mg/L 处理的株高、叶面积、烟叶等级均优于低浓度组；两者评吸质量相近，90 mg/L 处理的产量、产值最佳。	[52]



### 3 结语

腐植酸作为一种具有独特生理活性的天然物质，在农业领域展现出显著的应用价值。以腐植酸为核心活性成分的腐植酸水溶肥料，凭借产品类型的多样性（涵盖营养型与功能型、矿源与生化来源、固体与液体剂型），已成为推动农业绿色转型的重要投入品。

在农业实践中，腐植酸水溶肥料的作用机制与应用效果已得到充分验证：通过激活土壤微生物群落、优化土壤理化性质（提升有机质、降低EC值、调节pH等），全面改善土壤健康；通过增强土壤水分调控能力与作物抗逆性（抗旱、耐盐碱），为作物构建稳定的生长环境；通过促进根系发育与植株生长，优化作物形态与生理代谢；最终实现作物产量与品质的协同提升，同时展现出阻控重金属（如Cd）向植物体迁移的生态价值。

未来的研究应主要集中在两个方面：基础研究层面，需深入解析腐植酸对作物生理调控的分子机制，明确其在土壤—植物—微生物系统中的环境行为与作用路径；应用层面，应加强不同类型腐植酸水溶肥料在多样化农业场景（不同土壤类型、气候条件、作物种类）中的田间验证，优化施肥方式与用量，提升产品适配性与稳定性，为其工艺优化与规模化推广提供更坚实的理论与实践支撑，助力农业绿色低碳发展与生态环境协同修复。

### 参考文献

- [1] 李虎. 含腐植酸水溶肥料研制及应用研究 [D]. 合肥工业大学硕士学位论文, 2020.
- [2] 朱亚娟,甄志高,王晓林,等. 不同活性腐殖酸复合肥用量在花生上的应用效果研究 [J]. 农业科技通讯, 2024 (9) : 136 ~ 138.
- [3] 梁嘉敏,杨虎晨,张立丹,等. 我国水溶性肥料及水肥一体化的研究进展 [J]. 广东农业科学, 2021, 48 (5) : 64 ~ 75.
- [4] 王苗,李艳红,张殿凯,等. 腐植酸肥料应用研究进展 [J]. 应用化工, 2022, 51 (7) : 2052 ~ 2056.
- [5] 孙海龙. 3种腐植酸水溶肥料在小青菜上的应用效果初探 [J]. 腐植酸, 2024 (5) : 26 ~ 30.
- [6] 夏桂平,郑路,黄岩,等. 一种高效活性含腐植酸类水溶肥料及其制配方法: ZL201310586577.0[P]. 2015-08-15.
- [7] 庄严,陈养平. 一种含高浓度腐植酸的水溶肥及其制备方法: ZL201310357167.9[P]. 2015-02-11.
- [8] 倪龙珠. 一种含腐植酸大量元素水溶肥料及其生产工艺: ZL201410156647.3[P]. 2015-12-30.
- [9] 姚继唐,孙拥军,程宽利,等. 腐植酸螯合稀土水溶肥的制造设备及制造方法: ZL202010371182.9[P]. 2024-06-21.
- [10] 刘益仁,吕真真,蓝贤瑾,等. 一种新型腐殖酸水溶肥及其制备方法: ZL202310541274.0[P]. 2024-10-01.
- [11] 王秀峰,齐明阳,金树杰,等. 一种纳米矿物腐植酸水溶肥及其制备方法: ZL202210600913.1[P]. 2023-10-24.
- [12] 李东,邓放,王儒贤,等. 一种秸秆联产腐殖酸型水溶肥与粗纤维素的方法: ZL202210985693.9[P]. 2024-10-11.
- [13] 陈宏. 一种含腐植酸缓释性水溶肥及其制备方法: ZL201210423539.9[P]. 2014-10-22.
- [14] 陈丰山,杨艳,陈文建. 含腐殖酸的缓释水溶肥: ZL202010189418.7[P]. 2021-11-16.
- [15] 孙茂旭,孙磊,苏群,等. 提高草莓硒含量的含腐殖酸水溶肥料及其制备方法与应用: 201610206177.6[P]. 2019-06-21.
- [16] 王缉成. 一种富硒腐殖酸水溶肥料的制备方法: ZL201410215622.6[P]. 2017-07-14.
- [17] 孙小刚,郑有其. 含黄腐酸的高氮型水溶肥料: ZL201410742221.6[P]. 2017-03-29.
- [18] 陈丰山,杨艳,陈文建. 一种适用于葡萄的含腐植酸水溶肥料及其制备方法和使用方法: 202010090396[P]. 2021-11-30.
- [19] 范超. 一种荞麦壳制备的土豆专用腐植酸水溶肥料: ZL201710497143.1[P]. 2018-10-02.
- [20] 宿新泰,杨博,楚沙沙,等. 一种利用农林生物质固废制备含超矿源腐植酸水溶肥料的方法:



- ZL202211344371.2[P]. 2023-10-20.
- [ 21 ] 梁枭, 温标堂, 覃敬源, 等. 利用糖蜜酒精发酵液制作含腐植酸水溶肥料: ZL201510401005.X[P]. 2018-10-26.
- [ 22 ] 高进华, 陈迪荣, 何守学, 等. 塔式熔体造粒含黄腐酸钾大量元素水溶肥及其制备方法: ZL201310712780.8[P]. 2015-05-20.
- [ 23 ] 曾鲸津, 刘江, 卢情, 等. 一种可喷涂式含腐殖酸的水溶肥料组合物及其防治苗木流胶的直涂式施肥方法: ZL 202210075034.1[P]. 2022-12-27.
- [ 24 ] Wang R X, Li D, Deng F, et al. Production of artificial humic acid from rice straw for fertilizer production and soil improvement[J]. Science of the Total Environment, 2024, 906: 167548.
- [ 25 ] 王子豪, 周雪, 张冬寒, 等. 含腐植酸水溶肥料对玉米苗生长及土壤改良的影响 [J]. 中国农业科技导报 (中英文), 2025 (4) : 209 ~ 220.
- [ 26 ] 吾斯曼·依马尔尼牙孜, 沈其云, 木斯塔帕·海比布, 等. 微生物菌剂与腐殖酸水溶肥联用对不同土壤质地葡萄生长的影响 [J]. 农业开发与装备, 2025 (4) : 122 ~ 124.
- [ 27 ] Liu Y H, Gao L P, Wang C, et al. Biochar combined with humic acid improves the soil environment and regulate microbial communities in apple replant soil[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2024, 283: 116958.
- [ 28 ] 刘伟, 刘景辉, 萨如拉, 等. 腐殖酸水溶肥料对水分胁迫下小麦光合特性及产量的影响 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (3) : 196 ~ 200.
- [ 29 ] Ma J Y, Chen R, Yue W, et al. Processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Miller) yield and quality in arid regions through micro-nano aerated drip irrigation coupled with humic acid application[J]. Agricultural Water Management, 2025, 308: 109317.
- [ 30 ] Abu-Ria M E, Elghareeb E M, Shukry W M, et al. Mitigation of drought stress in maize and sorghum by humic acid: differential growth and physiological responses[J]. BMC Plant Biology, 2024, 24: 514.
- [ 31 ] Patel M C, Deven V. Effect of humic acid on vegetable crops-a review[J]. Environment and Ecology, 2023, 41(4A): 2440 ~ 2445.
- [ 32 ] Wang S Y, Yao Y Y, Gao B, et al. Ammonium sulfite slurry activates lignite for water-soluble humic acid: catalytic oxidation, characteristics, and salt tolerance in rice[J]. Environmental Technology & Innovation, 2025, 37: 104021.
- [ 33 ] 闫夏, 阿布力孜·卡得尔. 盐碱地施用不同含量的腐殖酸肥料比较试验 [J]. 新疆农业科技, 2017 (3) : 18 ~ 19.
- [ 34 ] Aguirree E, Lemenager D, Bacaicoa E, et al. The root application of a purified leonardite humic acid modifies the transcriptional regulation of the main physiological root responses to Fe deficiency in Fe-sufficient cucumber plants[J]. Plant Physiol Biochem, 2009, 47(3): 215 ~ 223.
- [ 35 ] 谢尚强, 王文霞, 张付云, 等. 植物生物刺激素研究进展 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35 (3) : 487 ~ 496.
- [ 36 ] Trevisan S, Botton A, Vaccaro S, et al. Humic substances affect *Arabidopsis* physiology by altering the expression of genes involved in primary metabolism, growth and development[J]. Environmental and Experimental Botany, 2011, 74: 45 ~ 55.
- [ 37 ] 魏莎莎, 李清斌, 秦奔奔, 等. 腐殖酸水溶肥对大棚草莓生长发育和品质的影响 [J]. 农业工程, 2025, 15 (1) : 76 ~ 79.
- [ 38 ] 张梅萍, 张琪, 赵慧, 等. 腐植酸水溶肥对红地球葡萄生长发育影响试验 [J]. 陕西农业科学, 2022, 68 (12) : 101 ~ 103.
- [ 39 ] 熊玉坛, 党燕霞, 段天江, 等. 不同用量腐植酸水溶肥对制种玉米生长、产量及种子性状的影响 [J]. 腐植酸, 2025 (3) : 21 ~ 27.
- [ 40 ] Ge J Q. Experiment of water soluble fertilizers containing humic acid in tomato planting[J]. Asian Agricultural Research, 2022, 14(7): 58 ~ 59.
- [ 41 ] 马梦谦, 樊海丹, 李红娜, 等. 含腐植酸水溶肥对空心菜生长及土壤养分性状的影响 [J]. 环境工程技术学报, 2024, 14 (5) : 1444 ~ 1450.
- [ 42 ] Ni H J, Zhao J C, Yang Z Y. Effects of compound



- fertilizer decrement and water-soluble humic acid fertilizer application on soil properties, bacterial community structure, and shoot yield in Lei Bamboo (*Phyllostachys praecox*) plantations in subtropical China [J]. *Forests*, 2024, 15: 400.
- [43] Zamljen T, Grohar M C, Slatnar A. Effects of pre- and post-transplantation humic acid biostimulant treatment and harvest date on yield quantity and quality parameters of sweet peppers (*Capsicum annuum* L.)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2024, 338: 113747.
- [44] 黄敏, 刘颖瑜, 闫晓东, 等. 腐殖酸水溶肥料对毛豆生长的影响 [J]. 广东农工商职业技术学院学报, 2024, 40 (3) : 22 ~ 24.
- [45] 孔浩. 腐殖酸型水溶肥料在黄瓜和番茄上的应用效果及推广应用 [D]. 吉林农业大学硕士学位论文, 2023.
- [46] 王海孝. 含腐植酸水溶肥在小白菜田施用肥效试验 [J]. 农村科技, 2022 (1) : 32 ~ 34.
- [47] 杨小粉, 韩新爱, 张攀. 高浓度腐植酸水溶肥在大蒜上的冲施效果研究 [J]. 腐植酸, 2024 (4) : 42 ~ 46.
- [48] 徐雅欣. 腐植酸水溶肥对枇杷生长、养分吸收及果实品质的影响 [D]. 四川农业大学硕士学位论文, 2024.
- [49] 孙勰, 姜春月, 陆芳, 等. 含腐植酸水溶肥和水溶硼肥对茄果类蔬菜产量和品质的影响 [J]. 浙江农业科学, 2021, 62 (11) : 2133 ~ 2134.
- [50] 余小芬, 吴攀道, 雷铁玲, 等. 含腐植酸水溶肥料对杨梅果实产量和品质的影响 [J]. 西南农业学报, 2019, 32 (10) : 2355 ~ 2359.
- [51] 杨媛, 李志敏, 田振亚, 等. 腐植酸水溶肥对三色堇生长发育及光合特性的影响 [J]. 腐植酸, 2024 (2) : 38 ~ 41.
- [52] 关峰, 刘义梅, 汪安斌, 等. 腐植酸水溶肥对高海拔烤烟生长及品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2024 (5) : 136 ~ 142.
- [53] 胡鹏杰, 李柱, 吴龙华. 我国农田土壤重金属污染修复技术、问题及对策刍议 [J]. 农业现代化研究, 2018, 39 (4) : 535 ~ 542.
- [54] Zhan J, Zhang Q P, Li T X, et al. Effects of NTA on Pb phytostabilization efficiency of *Athyrium wardii* (Hook.) grown in a Pb-contaminated soil [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2019, 19(10): 3576 ~ 3584.
- [55] 王剑. 土壤镉钝化和稻米镉积累阻控技术研究 [D]. 浙江大学硕士学位论文, 2021.
- [56] 冯剑, 范琼, 酒元达, 等. 腐植酸水溶肥部分替代化学氮肥对土壤 - 水稻体系镉迁移富集的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2024 (3) : 159 ~ 167.
- [57] 苏冰霞, 赵敏, 邓爱妮, 等. 含腐植酸水溶肥料对生长期水稻不同部位镉含量的影响 [J]. 热带农业科学, 2020, 40 (10) : 30 ~ 34.

## 腐植酸：土壤质量和作物生产力的天然促进剂

腐殖物质，商品腐植酸，已成为改善土壤肥力和促进作物生产力的“天然促进剂”。

近日，印度马杜赖农业大学与研究所土壤与环境系研究人员 N. Anitha 等发表了一篇题为《腐植酸：土壤质量和作物生产力的天然促进剂》(Humic acid: a natural enhancer of soil quality and crop productivity)的文章，综述了腐植酸在改善土壤结构、提高养分有效性和促进植物生长方面的综合作用。该文发表在《土壤科学与植物分析通讯》(Communications in Soil Science and Plant Analysis)上。

该文探讨了腐植酸的多种施用方法，包括土壤施用、叶面喷施、种子处理、浸根、滴灌以及与无机肥料配合施用等，其中土壤施用被一致证实是最有效的方法。腐植酸有多种商品化剂型，如液体、粉末、颗粒和片状等。多种作物试验研究表明，施用腐植酸可改善植物性状、提高产量，并增强土壤的理化性质。该文阐明了腐植酸在现代农业中的多重效益，强调其作为可持续工具在改善土壤健康和提高作物生产力方面的潜力。

(2025年9月3日中腐协秘书处供稿)