



142 篇腐植酸类物质治理污染土壤成果摘要

2024 年，是《国务院转发燃化部、农林部关于积极试验、推广和发展腐植酸类肥料报告的通知》（国发〔1974〕110 号）发布 50 周年。本编辑部以中国知网学术期刊数据库为源，筛选了近 50 年

（1974—2024 年）论文题目中，腐植酸类物质在土壤应用领域涉及污染、修复、改良、重金属、治理、吸附、钝化、净化或胁迫等关键词的文献 142 篇，其污染土壤治理成果摘要列表 1。

表 1 142 篇腐植酸类物质治理污染土壤成果摘要

序号	文献题目	主要成果
1	黄县褐煤对重金属离子 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 的吸收	黄县褐煤对 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 的吸附效果很好，对 Zn^{2+} 的吸附比对 Ni^{2+} 的好。在 pH 值为 6 时， Zn^{2+} 的残留浓度降至 0.067 mg/L， Ni^{2+} 的残留浓度降至 0.15 mg/L。
2	泥炭和褐煤对 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 等重金属离子的吸附特征	天然有机吸附剂褐煤、泥炭对重金属离子 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 的吸附基本符合 Langmuir 吸附等温线，且对这 3 种离子的吸附能力均为 $Pb^{2+}>Cu^{2+}>Zn^{2+}$ 。褐煤吸附效果优于泥炭。
3	重金属离子在腐植酸上吸附的研究	Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 的吸附等温线为 F 型，而 Cd^{2+} 等温线为 L 型； $2.5<pH<3.5$ 时，竞争吸附次序为 $Cu^{2+}>Pb^{2+}>Cd^{2+}>Zn^{2+}$ ； $pH>5.0$ 时， $Cd^{2+}>Cu^{2+}>Zn^{2+}>Pb^{2+}$ ； Cu^{2+} 在腐植酸上的吸附主要是以与腐植酸形成配合物的方式相互结合。
4	巯基泥炭对重金属离子吸附性能研究	巯基泥炭是一种价廉、高效的重金属固体吸附剂，在 $pH=5$ ，低温下较未处理泥炭吸附量提高 5 倍左右；对重金属离子的吸附均表现出 Langmuir 特征。
5	石灰与泥炭配施对重金属污染土壤上小白菜生长和营养元素吸收的影响	石灰（L）、石灰加低量泥炭（LP1）、石灰加高量泥炭（LP2）处理都消除了 Cd、Pb、Zn 重金属对土壤的毒害症状，小白菜的生物量较对照提高 2 ~ 5 倍。
6	腐植酸钠和表面活性剂对黄土中石油污染物解吸增溶作用	腐植酸钠对黄土中柴油的解吸有显著增溶作用，使柴油的解吸量明显增加，柴油的去除率最高可达 63%。
7	舒兰褐煤对 Ni^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 等重金属离子的吸附特性	当褐煤用量为 4.5 g，对 Pb^{2+} 的吸附几乎达到最好效果，对 Zn^{2+} 的吸附优于对 Ni^{2+} 的吸附效果。
8	腐植酸钠对柴油污染土壤的增溶解吸作用研究	柴油的解吸量随腐植酸钠的浓度增大呈线性增加关系，且增溶效果的顺序为腐植酸钠 - 十二烷基苯磺酸钠（LAS）> 腐植酸钠 - 十二烷基硫酸钠（SDS）> 腐植酸钠 > LAS > SDS，最大去除率可达 49.37%。
9	腐植酸钠对镉胁迫小麦幼苗生物效应的研究	不同腐植酸钠处理可缓解重金属镉元素的毒害作用，促进小麦幼苗干物质积累，且轻度污染土壤中可显著抑制小麦幼苗对镉元素的吸收，并促进小麦幼苗对 Cu、Zn、Fe、Mn 营养元素的吸收和积累。
10	浇灌黄腐酸对肾蕨生长及吸收重金属的影响	随着黄腐酸浇灌次数的增多，肾蕨叶长、叶宽、羽片对数以及每盆肾蕨的干重增加显著；同时肾蕨对各种重金属离子吸收总量也显著提高。因此，在利用污泥作为土壤肥料的同时，使用黄腐酸强化植物修复以移除其中的重金属，可减轻土壤污染。
11	泥炭对重金属离子的吸附性能	采用壳聚糖与泥炭复配吸附 Cu^{2+} ，吸附率可达到 85.28%。
12	腐植酸在去除水体和土壤中有有机污染物的作用	腐植酸通过提高多环芳烃（PAHs）的溶解性和加速 PAHs 对微生物的生物可利用性来加速 PAHs 的生物降解。
13	腐植酸做表面活性剂对加油站油污土壤的修复	腐植酸去除土壤中污染油效果明显，最高可达 56.6%。



序号	文献题目	主要成果
14	腐植酸对污染土壤中镉解吸的影响	富里酸能显著促进污染土中镉的解吸，提高土壤镉的有效性；胡敏酸却显著降低污染土中镉的溶出。
15	镍污染土壤与腐植酸修复研究	腐植酸对土壤中镍洗脱率较大且洗脱速率较快，洗脱速率常数为 $27.5 \times 10^{-3}/\text{min}$ ，腐植酸洗脱 Ni^{2+} 污染土壤的动力学模型以动力学一级方程拟合为最好。
16	泥炭保护紫花苜蓿根系对柴油污染土壤修复的研究	泥炭保护苜蓿根系处理的柴油降解率高达 66.1%。
17	胡敏酸钠对镉锌复合污染的降毒研究	胡敏酸钠可以增加镉锌复合污染胁迫下的玉米地上部生物量，减少重金属镉、锌含量，具有显著降低镉锌复合污染毒性的作用。
18	腐植酸对 Cr 在污染土壤中吸附形态影响的研究	在污染土壤中加入腐植酸，可以改变有毒阴离子 Cr 形态分布比率，从而对土壤起到净化作用。
19	腐植酸对铬在砂质土壤中吸附行为的影响研究	砂土对 Cr^{6+} 的吸附随着溶液 pH 值的升高而减弱，pH 值为 3 时铬去除率仅有 22%；但当溶液中存在腐植酸时，砂土对 Cr^{6+} 吸附能力明显增强，同样条件下 Cr^{6+} 去除率增加了 30%。
20	天祝褐煤对重金属离子的吸附特征	褐煤对几种重金属离子的吸附平衡基本符合 Langmuir 模型，介质酸度对吸附效果有显著的影响， $\text{pH}>5.00$ 时吸附率均可达 90%。
21	腐植酸制剂防治棚菜硝酸盐污染技术研究	腐植酸防治技术对降低芹菜、小白菜中硝酸盐含量均达到极显著水平，下降幅度 38.99% ~ 68.81%。
22	胡敏酸和柠檬酸对铜在土壤中吸附 - 解吸行为的影响	胡敏酸有显著促进土壤对铜吸附的趋势，但在碱性土壤中比在酸性土壤中的促进效果更为明显。
23	泥炭对菜心 - 土壤系统中重金属生物有效性的效应研究	在 0 ~ 5% 范围内的泥炭施用量能降低铜、铬、铅重金属污染土壤的生物有效性，0 ~ 3% 范围内的泥炭施用量能提高菜心产量。
24	腐植酸对固废拆解地重金属污染土壤修复效果的研究	腐植酸可以有效修复固体废弃物拆解地重金属（Zn、Cu、Pb、Ni）污染土壤，每 100 g 土壤中加入 30 mg 腐植酸最为合适。
25	腐植酸对土壤吸附四溴双酚 A 的影响	腐植酸的加入均增加了四溴双酚 A 在土壤中的吸附量，在潮土和草甸棕壤中，四溴双酚 A 的吸附量随添加腐植酸浓度的增加而逐渐增加；在灰色石灰土中，腐植酸添加浓度为 9 和 18 mg/L 时，吸附量分别增加了 93.6% 和 182.6%，而在添加浓度 $>18 \text{ mg/L}$ 后吸附量的增加量变化不大。
26	硅、腐植酸对铬污染土壤中小白菜生理的影响	腐植酸在一定程度上能缓解铬毒害引起的过氧化（POD 和 SOD）胁迫。
27	腐植酸对电动法修复污染土壤的影响	当加入 16.7 mg/L 腐植酸溶液时，苯酚在阳极的富集浓度可以达到未添加腐植酸的 1.26 倍。腐植酸还可以改变镍的迁移方向，使其在距阳极 8 cm 处富集，富集浓度达到 120%。
28	硅酸盐及腐植酸对 Cr-Pb 污染土壤中小白菜的生长和生理的影响	腐植酸能在一定程度上提高超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）的活性，缓解 Cr-Pb 污染对小白菜的毒害。
29	滩涂泥提取腐植酸及其对土壤重金属含量的影响	腐植酸影响重金属水溶态及有效态试验表明，Cu、Zn、Pb、Ni 水溶态及有效态含量均有明显下降，30 mg/100 g 土壤的腐植酸加入量为合适的土壤改良剂量，而吸附、络合平衡时间约为 3 h。



序号	文献题目	主要成果
30	腐植酸对铈污染土壤中铈形态和分布的影响	添加腐植酸后，铈的酸可交换比重由 30.51% 下降到 13.57%，铈的 Fe/Mn 氧化物结合比重由 3.7% 增加到 10.96%，铈的有机质结合态比重由 0.67% 增加到 11.08%。
31	腐植酸对 Cd 在西部黄土上吸附特性影响的研究	在 25 °C 时，10 mL 55 mg/L 的腐植酸能使土样对 Cd 的饱和吸附量由 29.22 mmol/kg 增加到 31.39 mmol/kg。
32	腐植酸强化电动法修复铜污染土壤的模拟研究	当施加的腐植酸浓度大于临界胶束浓度（10 mg/L）时，可以有效地提高铜离子在土壤中的迁移效果，并使得铜离子在阴极附近富集。
33	腐植酸对电动法修复污染土壤的影响	当加入 16.7 mg/L 腐植酸溶液时，苯酚在阳极的富集浓度可以达到未添加腐植酸的 1.26 倍。
34	风化煤对碱性土壤中重金属镉、铅有效态的影响	风化煤对镉污染土壤中有效态镉的去除率达到 49.8% ~ 79.7%，有效态铅的去除率达到 26.3% ~ 39.6%。
35	腐植酸对多环芳烃在污染土壤中淋出及截留分解的效果研究	随着腐植酸加入量的增加，菲、萘、荧蒽、芘和 Σ PAHs 的淋出量显著提高，在污染红壤中最大淋出率分别为 52.9%、70.1%、30.5%、46.1% 和 42.8%，在污染水稻土中最大淋出率分别为 51.8%、67.3%、35.0%、38.3% 和 35.5%，同时多环芳烃的截留分解率也相对较高，而污染红壤和水稻土的总修复率分别达到 56.3% 和 49.8%。
36	腐植酸钠对镉胁迫小白菜生物效应的研究	腐植酸钠可以明显降低污染土壤中镉元素的生物有效性，减少镉向地上部转移。
37	腐植酸吸附土壤 Cr（VI）条件优化	当腐植酸浓度为 1.86 g/L、pH 值 5.5、振荡时间为 8.6 h 和反应温度 25.2 °C 时，土壤中 Cr（VI）潜在去除率最大，达 80.0%。
38	砷污染土壤中施用黄腐酸对烤烟（ <i>Nicotiana tabacum</i> L.）氮代谢的影响	本试验条件下，以土壤中施用 600 mg/kg 的黄腐酸对减轻砷毒害效果最好。
39	黄腐酸吸附土壤 Cr^{6+} 的模型研究	当黄腐酸浓度为 2.11 g/L，溶液 pH 值为 5.65，反应时间为 8.8 h 和反应温度为 23.8 °C 时，土壤 Cr^{6+} 潜在去除率最大，达 78.27%。
40	铜-菲复合污染在腐植酸洗提中的溶出特性及交互作用	当腐植酸加入量为 5 mg/g 土壤时，复合污染土壤中铜离子饱和溶出量可达 516.6 mg/kg 以上，菲最大溶出量为 569.1 mg/kg。
41	腐植酸矿粉钝化红沙泥中镉的效应与作用机理研究	红沙泥中外源镉经陈化后约 80% 以交换态镉形态存在，施用腐植酸矿粉能有效降低红沙泥中二乙基三胺五乙酸（DTPA）提取镉的含量，其降幅为 4.8% ~ 25.8%。
42	腐植酸钠对镉胁迫小麦幼苗的生物效应	不同腐植酸钠处理能明显抑制小麦幼苗对镉元素的吸收，促进小麦幼苗对 Cu、Zn、Fe、Mn 营养元素的吸收和积累。
43	天然腐植酸对柴油在寒旱区黄土上吸附特性的影响	随着腐植酸质量浓度的增大，柴油在黄土上的吸附量呈先增大后减小的趋势，当腐植酸质量浓度为 40 mg/L 时达到最大吸附点。
44	腐植酸与活性污泥对污染土壤联合修复研究	接种 2.0% 活性污泥，温度为 35 °C，pH 值为 6.5，腐植酸加入量为 5 mg/g 的土壤为最佳修复条件，在此条件下菲、萘、芘的总修复率分别为 73.4%、80.5% 和 68.2%；重金属离子 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Pb^{3+} 的总修复率分别为 75.5%、64.2% 和 71.7%。
45	腐植酸钠淋洗原油污染砂土方法与效果	自制的腐植酸钠、碱水和市售腐植酸的最大除油率分别是 21.83%、24.89%、22.28%。



序号	文献题目	主要成果
46	风化煤、风化煤接枝尿素材料对 Hg^{2+} 的吸附性能研究	风化煤和风化煤尿素平均吸附率分别为 97.5% 和 91.3%，平均解析率分别为 0.67% 和 2.45%。
47	施用复合肥和腐植酸液肥对苋菜重金属富集与转运的影响	腐植酸液肥对铅在苋菜体内的富集有明显的抑制作用，可将部分铅有效地阻滞于根部。
48	腐植酸改良铅污染土壤对蔬菜生长及其养分利用的影响	重度铅污染土壤改良可通过加大腐植酸用量改土调肥实现逆境高产栽培，但轻度铅污染土壤上应慎用腐植酸改良土壤。
49	土壤修复：腐植酸作为天然表面活性剂淋洗高度污染土壤	天然表面活性剂如腐植酸溶液，在洗涤污染土壤方面，与合成表面活性剂的效率相同，推荐使用环保的腐殖质修复污染严重的土壤。
50	煤基腐植酸对外源砷胁迫下玉米生长及生理性状的影响	8 和 9 号供试煤基腐植酸可以替代乙二胺四乙酸（EDTA）活化土壤砷，与植物配合以提高砷污染土壤的植物修复速度和效果，而 6 和 10 号供试煤基腐植酸则可用于土壤砷钝化剂，以保证作物产品的安全。
51	胡敏酸改性膨润土钝化污染土壤 Pb&Cd 及机理	胡敏酸改性膨润土能显著降低小白菜中 Pb、Cd 的含量，在添加 Cd（3 mg/kg）/ Pb（250 mg/kg）污染土壤和 Cd（10 mg/kg）/ Pb（500 mg/kg）污染土壤上小白菜地上部分 Pb 含量分别比对照降低 19.08% 和 47.91%，Cd 含量分别比对照降低 9.79% 和 14.89%。
52	生物炭和腐植酸类对猪粪堆肥重金属的钝化效果	添加生物腐植酸处理对重金属 Zn 的钝化效果为 64.94%。
53	石油烃污染土壤中腐植酸对草本植物吸收重金属的影响	腐植酸大幅度地降低了污染土壤中可溶性和交换态重金属含量，但提高了植物可利用态重金属含量。
54	土壤腐殖质对有机污染物吸附行为的研究	胡敏素对污染物的平衡吸附量是胡敏酸的 7 ~ 8 倍，在质量浓度较高时其平衡吸附量是胡敏酸的 3 ~ 6 倍。
55	不锈钢尾渣与腐植酸配施对铅胁迫下黑麦草生理特征的影响	不锈钢尾渣 + 腐植酸能够有效促进黑麦草对外源铅胁迫的抵抗作用，减轻铅对黑麦草的胁迫。
56	腐植酸在土壤中对 Cu^{2+} 的吸附特性影响	随着腐植酸加入量增加，土壤样品对 Cu^{2+} 的吸附量显著增加。
57	煤基腐植酸吸附 Cu^{2+} 特征的影响因素	pH 值是影响煤基腐植酸吸附 Cu^{2+} 的最主要因素，pH 值 3 ~ 6 时 Cu^{2+} 吸附率急剧增加，增长曲线整体呈“S”形。共存 Na^+ 浓度增加（0 ~ 1.0 mol/L）， Cu^{2+} 在煤基腐植酸上的吸附受抑制。
58	碱性条件下胡敏酸吸附镉的特征研究	在 60 min 内的快速反应阶段和 60 min 至 6 h 间的慢速反应阶段，胡敏酸对镉的吸附量分别为 2.895 和 3.342 mg/g。
59	腐植酸和水旱轮作对镉污染土壤种植的稻糙米品质的影响	在稻田土和菜田土中分别添加 10.0 和 1.0 g/m ² 腐植酸，糙米中镉含量分别比空白对照降低了 40% 和 14.8%。
60	腐植酸对土壤重金属镉的淋溶效果及吸附解吸机制研究	在酸性条件下，各处理腐植酸对镉的吸附性显著；在碱性条件下，当 pH=11 时，各处理土壤对镉的吸附量达到最大且基本稳定。
61	腐植酸对汞污染稻田中甲基汞行为的影响	腐植酸组土壤甲基汞浓度时间加权平均值显著下降 41.7%，土壤间隙水中甲基汞浓度（时间加权平均值）显著增加 277.0%。
62	环境因子对胡敏酸吸附 3, 3', 4, 4' - 四氯联苯的影响	低 pH 值、低离子强度、低温条件下，利于腐植酸对 3, 3', 4, 4' - 四氯联苯的吸附。
63	泥炭对 Pb、Cd 污染菜地土壤修复效果评价	15 g/kg 泥炭用量对修复珠三角地区 Pb、Cd 污染菜地土壤效果最好而且持久性好。



序号	文献题目	主要成果
64	褐煤基改良剂对石灰性土壤复合体铅赋存形态的影响	褐煤改性后比改性前主要提高了交换态铅和碳酸盐态铅质量分数, 降低了强、弱有机态铅质量分数。
65	腐植酸对石油污染土壤特性和生物修复效果的影响	腐植酸质量分数为 100 mg/g 土壤样品的 30 d 石油烃降解率达到 27.7%, 而对照土壤样品只有 5.9%。
66	腐植酸强化电动修复铅锌矿区复合重金属污染农田土的实验研究	在电动修复中, 当修复电压达到 17.6 V/cm, 修复时间为 7 d 时, 腐植酸对土壤中铅、镉、铜、锌的去除效率分别达到 65.04%、94.92%、89.88%、91.05%。
67	黑龙江黑土区设施土壤锌积累特征及风化煤制剂修复研究	施用风化煤制剂能显著降低黑土区设施土壤中弱酸可提取态 Zn 含量。
68	褐煤基改良剂对石灰性土壤复合体镉赋存形态的影响	褐煤、硝化褐煤、腐植酸显著提高水稳性复合体强有机态镉质量分数, 平均分别提高 27.26%、23.90% 和 40.05%; 显著降低交换态镉质量分数和水稳性复合体碳酸盐态镉质量分数, 平均降低幅度分别为 14.63% ~ 22.79% 和 14.31% ~ 34.56%。
69	铅胁迫下腐植酸对番茄种子萌发及抗氧化系统的影响	适宜浓度高活性腐植酸浸种对铅胁迫下番茄种子萌发均有不同的缓解效果, 其中 470 倍的高活性腐植酸稀释液作用效果最好。
70	风化煤提取的胡敏酸对镉的吸附性能及其应用潜力	在 pH=4.3、Cd ²⁺ 初始质量浓度为 80 mg/L 的同等条件下, 新疆风化煤提取的胡敏酸对 Cd ²⁺ 的吸附量为 86.97 mg/g, 高于国际腐殖质协会胡敏酸标样 ¹ R ¹⁰⁶ H 对 Cd ²⁺ 的吸附量 (73.49 mg/g)。
71	土壤矿物、胡敏酸和微生物的混合体系对 Cd 的吸附特征	在混合体系对 Cd 的吸附作用上, 腐植酸和蒙脱石、蒙脱石和微生物、硅藻土和微生物具有加和性; 腐植酸和硅藻土之间, 腐植酸、微生物和硅藻土之间, 以及腐植酸和微生物之间表现为协同作用。
72	腐植酸对铅污染土壤中油菜生长的影响	在 500 mg/kg 中等浓度铅污染土壤中, 施用 0.50% 的腐植酸时富集系数达到最小值 7.33×10^{-7} 。
73	含腐植酸风化煤对土壤-蔬菜系统重金属镉污染修复效果研究	活化的含腐植酸风化煤比未活化的含腐植酸风化煤对土壤重金属镉钝化作用显著。
74	腐植酸钠对镉胁迫下冬小麦种子萌发及根系生长的影响	以 50 μ mol/L 腐植酸钠 (HA-Na) 溶液处理对 Cd ²⁺ 胁迫的缓解效果最好, 但随着 HA-Na 浓度的增大, 其缓解效应逐渐减弱; 当 HA-Na 浓度达 200 μ mol/L 时, 会明显加剧 Cd ²⁺ 胁迫的毒害作用。
75	腐植酸对李氏禾累积铜和镍的影响	腐植酸可提高铜和镍的转运系数, 低浓度的腐植酸能更好地促进李氏禾对铜和镍的转运。
76	磷酸盐、腐植酸与粉煤灰联合钝化处理模拟铅镉污染土壤	施用磷酸盐、腐植酸和粉煤灰可以促进铅、镉由活性较高的弱酸提取态向活性低的残渣态转化, 从而有效降低铅、镉的迁移能力。
77	含腐植酸风化煤对镉污染土壤理化性质及小白菜生理指标的研究	含腐植酸风化煤能改善镉污染土壤理化性质, 促进植株健康生长, 以活化含腐植酸风化煤为佳。
78	有机肥-膨润土-腐植酸复合调理剂对黄壤土吸附氮素的影响	土壤调理剂对土壤 NH ₄ ⁺ -N 吸附的影响随着培养时间的延长表现出逐渐增加的趋势, 土壤培养 60 d 氮素吸附量达到最高值 546.34 mg/kg。
79	腐植酸钠对铅、镉胁迫小麦种子萌发及生长的影响	对于铅胁迫, 以 30 mg/L 腐植酸钠溶液处理的缓解效果最好; 对于镉胁迫, 以 50 μ mol/L 腐植酸钠溶液处理的缓解效果最好。
80	腐殖质纳米颗粒对镉污染土壤的修复	腐植酸钾去除土壤镉的效率随淋洗剂浓度增加而提高, 在 10 g/L 的浓度时, 单次淋洗可去除高达 38.1% 的镉。



序号	文献题目	主要成果
81	不同生物炭配施腐植酸对铬污染土壤中油菜品质及铬含量的影响	不同生物炭与腐植酸配施能够显著降低油菜中铬的含量，其中小麦秸秆炭 6 g/kg 施用量下与腐植酸配施，铬含量降低效果达到最优，较 CK 降低了 63%。
82	低积累水稻品种联合腐植酸、海泡石保障重镉污染稻田安全生产的潜力	在重镉污染土壤上，低镉积累水稻品种联合腐植酸和海泡石配施是实现重镉污染土壤安全生产的优选措施。
83	腐植酸对铅污染土壤理化性质的影响	腐植酸能有效降低铅在土壤中的迁移、转化和生物毒性，随着腐植酸施用量的增加，土壤中铅去除率最大可以达到 15%。
84	腐植酸对重金属铅镉的吸附特征	风化煤腐植酸对 Pb^{2+} 吸附率在 85.85% 左右，受 pH 值影响较小。腐植酸吸附 Cd^{2+} 随着 pH 增加而增加，对铅镉复合中 Cd^{2+} 吸附量从 0.50 mg/g 增加到 0.58 mg/g，吸附率从 83.11% 上升到 96.63%，单一 Cd^{2+} 吸附量从 0.46 mg/g 增加到 0.55 mg/g，吸附率从 76.71% 上升到 91.67%。
85	腐植酸和含磷物质对模拟铅污染农田土壤的钝化效应	腐植酸与羟基磷灰石（P/Pb 物质的量比为 2.4）复配施用时效果最明显，土壤乙二胺四乙酸（EDTA）和 PBET 提取态铅的质量分数分别降低了 29.7%、18.1%。
86	腐植酸促进土壤有效态重金属钝化规律研究	在 10 °C、pH 值 11、腐植酸掺量 5% 条件下，污染土壤 Cu、Pb、Cd 有效态含量可达到最低，分别为 35.704 mg/kg、375.2 mg/kg、4.3 mg/kg。
87	黄腐酸对铜镉复合胁迫的缓解效应	叶片喷施 1000 mg/L 黄腐酸可显著缓解铜、镉胁迫对番茄幼苗生长产生的胁迫。
88	风化煤对农田土壤重金属汞的钝化修复	土柱试验中，风化煤用量为 1、2、4、8 g 时，淋溶液中汞含量分别下降 2.62、1.66、1.10、0.70 μ g/g；盆栽试验中，使用风化煤后黄壤中汞含量下降了 0.14 和 0.09 μ g/kg。
89	零价铁与腐殖质复合调理剂对稻田镉砷污染钝化的效果研究	单独施加腐殖质，早稻和晚稻稻米总镉质量分数下降至（0.30 ± 0.11）mg/kg 和（0.34 ± 0.02）mg/kg，总砷下降至（0.68 ± 0.05）mg/kg 和（0.83 ± 0.01）mg/kg。
90	膨润土、褐煤及其混合添加对铅污染土壤钝化修复效应研究	膨润土与褐煤混合处理使土壤中铅的弱酸提取态含量降幅达 19.1% ~ 50.8%，残渣态含量增幅达 4.8% ~ 40.5%，其中 1.5% 膨润土 +5% 褐煤的复配处理对铅污染土壤的钝化修复效果最佳。
91	保水剂负载腐植酸的制备及其对镉的吸附性能研究	3% 新型复合材料腐植酸保水剂对重金属镉的吸附效果较优，pH 值为 5 时达最佳去除效率 84%。
92	土壤铬污染和腐植酸对李氏禾生长和光合生理的影响	在 200 mg/kg 铬污染土壤下，李氏禾没有表现出明显的毒害作用，腐植酸的加入也能提高李氏禾地上部干物质量。
93	褐煤、泥炭、草木灰组合对农田土壤中重金属的钝化效果研究	当褐煤添加 10.0 g/kg、泥炭添加 10.0 g/kg、草木灰添加 2.5 g/kg 时，有效态铜的钝化效率可达到 62.50%，有效态砷的钝化效率可达到 73.96%；当褐煤添加 10.0 g/kg、泥炭添加 2.5 g/kg、草木灰添加 10.0 g/kg 时，有效态镍的钝化效率可达到 65.38%；当褐煤添加 10.0 g/kg、泥炭添加 10.0 g/kg、草木灰添加 10.0 g/kg 时，有效态锌的钝化效率可达到 81.37%。
94	富里酸结合叶面硒肥用于油菜修复低汞污染农田土壤	当富里酸投加量为 0.075 kg/m ² 时，修复后土壤总汞含量由 0.45 mg/kg 降低为 0.35 mg/kg，土壤有效汞含量由 1.45 μ g/kg 降低为 1.02 μ g/kg。
95	针铁矿 - 富里酸复合材料对铅镉污染土壤的钝化修复性能	富里酸钝化修复后的土壤可交换态及碳酸盐结合态铅含量降低，残渣态铅含量增加，土壤中镉可交换态含量降低，铁锰氧化态及残渣态镉含量显著增加。



序号	文献题目	主要成果
96	生物炭与腐植酸复配对油菜 (<i>Brassica campestris</i> L.) 生长与镉累积的影响	1% 生物炭处理组和 1% 腐植酸处理组的土壤有效态镉分别降低 28.76% 和 22.06%。同时不同比例生物炭和腐植酸的复配显著降低油菜中镉的累积量, 降低地上部分和地下部分镉的含量幅度分别为 30.76% ~ 90.79% 和 29.88% ~ 92.46%。
97	腐植酸钝化剂对土壤重金属形态和玉米生长的影响	腐植酸型土壤重金属钝化剂有效降低了重金属的生物有效性, 可改变土壤重金属形态分布, 其适宜用量为 500 kg/667 m ² 。
98	海南热带雨林土壤中胡敏酸对 Pb ²⁺ 、Cu ²⁺ 的吸附解吸特性研究	胡敏酸对 Pb ²⁺ 的吸附过程中 4 种结合方式的先后饱和顺序为: 物理吸附、络合、离子交换和氢键结合; 对 Cu ²⁺ 的吸附过程中 4 种结合方式的先后饱和顺序为: 络合、氢键结合、离子交换和物理吸附。
99	石灰、腐植酸单施及复配对污染土壤铅镉生物有效性的影响	石灰配施 5% 腐植酸处理使有效态铅、镉含量较对照分别降低 89.45% 和 89.63%。
100	腐植酸三元聚合物的合成及其对土壤中 Pb ²⁺ 的钝化研究	在钝化温度为 45 °C、钝化时间为 48 h 条件下, 土壤中添加质量分数为 1.0% 的腐植酸钠、2- 丙烯酰胺 -2- 甲基丙磺酸、丙烯酰胺三元共聚物对 Pb ²⁺ 的钝化效率达到 73.86%。
101	蚓粪腐植酸对 Cd ²⁺ 的吸附作用研究	蚓粪腐植酸对 Cd ²⁺ 的吸附作用较为稳定, 吸附 40 min 后基本达到饱和。
102	富里酸促进棉花对低汞污染农田土壤修复的研究	富里酸投加量为 0.075 kg/m ² 时促进效果最好, 修复后, 土壤总汞含量由 0.45 mg/kg 降低到 0.34 mg/kg, 土壤有效汞含量由 1.45 μg/kg 降低到 0.28 μg/kg。
103	腐植酸改性生物质电厂灰固定化微生物修复石油烃污染土壤	用改性腐植酸修复石油污染土壤, 修复 60 d 后, 固定化菌剂对污染土壤中石油烃的降解率达到 51.9%, 比游离菌提高了 25.0%, 对长链正构烷烃、芳香烃及胶质的降解率分别提高了 9.6%、31.7% 和 37.5%。
104	腐植酸 - 海泡石复合钝化剂的制备及其对 Cd 污染土壤的修复	制备腐植酸 - 海泡石复合钝化剂的最佳工艺条件为: 腐植酸与海泡石质量比 2 : 1, 氢氧化钠质量浓度 0.04 g/mL, 热反应时间 40 min, 热反应温度 80 °C; 复合钝化剂的最佳添加量为 7% (w), 培养 3 d 后, 钝化效率达 46.87%。
105	腐植酸类营养液改良镉污染稻田土壤和保障水稻安全生产	以中轻度镉污染稻田为试验对象, 腐植酸类营养液可使土壤有效镉含量降低 0.15 ~ 0.6 mg/kg。
106	凹凸棒石和腐植酸对重金属超标土壤镉钝化和菜薹安全生产的影响	试验后各处理的土壤有效镉含量, 均比试验前降低了 60%; 单独加腐植酸的处理试验后土壤总镉含量下降最多, 说明就降低土壤总镉含量来说, 单独加腐植酸的处理更加合适。
107	腐植酸类液体肥调理剂对稻米重金属含量的影响研究	腐植酸类液体肥调理剂对于降低稻米重金属 (尤其是镉) 的含量有明显的效果, 对稻米籽粒中重金属镉、铬、汞和砷含量分别降低了 67.4%、33.7%、35.3% 和 2.1%。
108	腐植酸水溶肥应用于重金属污染稻田的效果研究	施用腐植酸水溶肥 150 ~ 900 kg/hm ² 的稻米 As、Pb 含量分别下降了 33.96% ~ 44.92% (P<0.05) 和 21.38% ~ 27.90% (P<0.05)。
109	奈安与腐植酸促进烤烟生长及消减烟叶镉污染的协同效应	施用腐植酸能显著降低土壤有效态镉含量 (11.95% ~ 14.64%)。
110	富里酸促进印度芥菜 - 棉花轮作对汞污染农田土壤修复的研究	在种植印度芥菜、棉花汞污染土壤中投加 0.075 kg/m ² 富里酸, 促进效果最好, 修复后, 土壤总汞含量由 (0.56 ± 0.05) mg/kg 降低至 (0.32 ± 0.04) mg/kg, 土壤有效汞含量由 (2.13 ± 0.04) μg/kg 降低至 (0.48 ± 0.05) μg/kg。



序号	文献题目	主要成果
111	铁改性木本泥炭对镉砷复合污染稻田的修复效果研究	施加铁改性木本泥炭可显著降低稻米镉、砷含量，下降率分别达到了 41.3% ~ 57.6% 和 40.1% ~ 55.8%。
112	腐植酸对镰刀菌 ZH-H2 降解老化污染土壤 4 环芳烃效果的影响	添加 2.5 g/kg 腐植酸强化 ZH-H2 对 4 环多环芳烃的降解起到了良好的效果，降解时间也较快，为污染老化土壤原位修复提供了重要依据。
113	富里酸促进苧麻对汞污染农田土壤修复的研究	在种植苧麻污染土壤中投加富里酸，投加量为 0.075 kg/m ² 时促进效果最好，修复后，土壤中总汞含量由 (0.56 ± 0.05) mg/kg 降低至 (0.38 ± 0.03) mg/kg，土壤中有汞含量由 (2.13 ± 0.04) μg/kg 降低至 (0.97 ± 0.07) μg/kg。
114	蒙脱土-腐植酸复合体制备及其对镉的吸附性能研究	蒙脱土-腐植酸复合体对镉的吸附以化学吸附为主，受 pH 值变化的影响较小，受离子强度、有机物浓度变化的影响大。
115	天宝岩 4 种湿地植被泥炭对 Pb ²⁺ 的吸附特征	泥炭藓和灯芯草植被泥炭在 pH 值为 6 时，Pb ²⁺ 吸附量最大，分别为 4.59 和 4.51 mg/g，水竹和垂穗石松植被泥炭在 pH 值为 8 时，Pb ²⁺ 吸附量最大，分别为 4.72 和 4.97 mg/L。
116	黄腐酸对镉胁迫下小麦种子萌发及幼苗生长的影响	适宜浓度黄腐酸可以显著提高小麦幼苗的抗逆性，在 50 mg/L CdCl ₂ 胁迫下黄腐酸最适浓度为 100 mg/L。
117	富里酸-纳米零价铁复合物对土壤中铅的钝化	添加富里酸质量占 1% 的复合物（富里酸和纳米零价铁复合）时尤为显著，土壤中铅的可交换态和碳酸盐结合态分别降低了 50.61% 和 66.90%。
118	风化煤提取的不溶腐殖质对铅的吸附性能及应用潜力	HA、Ca-HA 和 Ca-CPAM-HA 对 Pb ²⁺ （CaCl ₂ 阳离子聚丙烯酰胺）均具有较高吸附能力，分别是 212.3、179.8、185.2 mg/g。
119	优化水铁矿-腐植酸复合材料对镉、铅污染土壤的稳定化	施加水铁矿-不溶性腐植酸（Fh-IHA）复合材料，可使土壤稳定态镉、铅百分比含量分别升高 22.1% ~ 34.0%、15.6% ~ 21.4%，且经 90 d 监测未出现活化现象。
120	腐植酸粉对油菜生长和砷吸附的影响	施用 20 g/kg 腐植酸粉时，油菜根部砷含量降低 59.68%；施用 16 g/kg 腐植酸粉时茎叶部分砷元素含量降低 23.14%；施用 20 g/kg 腐植酸粉时荚壳部分砷含量降低 35.58%；施用 16 g/kg 腐植酸时籽粒部分砷含量最大降低率为 46.06%。因此，加入 16 ~ 20 g/kg 腐植酸粉效果最为明显。
121	铅镉胁迫下柠檬酸、胡敏酸对刺槐幼苗根系发育及土壤特性的影响	高浓度柠檬酸、胡敏酸可促进刺槐修复铅污染土壤，改善土壤特性，其中 10 mmol/kg 胡敏酸效果最优。
122	腐植酸作用下生物炭对 Cd 污染土壤的修复效果	1%（w/w）的富里酸和稻壳生物炭复配添加对 Cd 污染土壤的修复效果最佳，其使污染土壤 CEC、SOM 和有效磷含量上升了 24.56%、27.14% 和 34.81%，并且使重金属 Cd 迁移指数下降了 65.85%。
123	改性泥炭土对稻田土壤汞污染的修复效果研究	未改性草本泥炭土能明显降低土壤中甲基汞及有效态汞含量，平均降低率分别为 14%、23%；泥炭土经巯基及亚硒酸钠改性后对土壤甲基汞和有效态汞的降低作用均显著提升，平均降低率为 37% ~ 55%。
124	锑胁迫下腐殖质对头花蓼体内锑形态及生化特性影响	相比于胡敏素和胡敏酸，富里酸更容易活化头花蓼体内的 Sb，在 4% 富里酸添加量下，头花蓼体内乙醇提取态的 Sb 含量从 16% 上升到 30%，盐酸态 Sb 含量由 10% 上升到 16%。
125	腐植酸钠和十二烷基苯磺酸钠修复多菌灵农药类污染地块研究	5 mg/L 的腐植酸钠对土壤中多菌灵和有机质的增溶效果最显著，去除率分别可达 81% 和 82%；15 mg/L 的腐植酸钠在初始阶段和总淋滤过程中对 COD（Cr）的淋洗效果最佳；5 mg/L 的腐植酸钠对氨氮的总淋滤效果最好。



序号	文献题目	主要成果
126	腐植酸淋洗对重金属污染土壤微生物群落结构影响研究	腐植酸淋洗剂具有良好的土壤重金属去除和微生物群落结构改善能力，是一种高效且环境友好的土壤淋洗剂。
127	镉胁迫下生化黄腐酸对玉米种子萌发及幼苗生长的影响	施用适宜浓度黄腐酸明显缓解镉胁迫对玉米种子萌发影响，镉胁迫浓度为 10 mg/kg 时，黄腐酸施用最适浓度为 100 mg/L。
128	腐植酸在土壤改良和污染修复中的应用成效	腐植酸可有效抑制土壤中重金属的活性并降低其含量，减弱重金属等有毒有害物质向作物中迁移，具有较好的污染修复效果。
129	水铁矿 - 人工合成类腐植酸复合材料的土壤重金属钝化效果及机制	施加水铁矿 - 人工合成类腐植酸复合材料培养 30 d 后，土壤中二乙基三胺五乙酸（DTPA）提取态 Pb、Cd 和 Zn 含量分别降低了 65.98%、29.68% 和 60.89%。
130	腐植酸添加对土壤中重金属释放特征的影响	当土壤中腐植酸添加量为 3% 时，重金属 Cu 和 As 显著（ $P<0.05$ ）低于 CK 16.85% 和 5.41%。
131	腐植酸在修复温室大棚污染土壤中的应用	采用腐植酸 20 kg/m ² + 枯草芽孢杆菌 3 g/m ² 治理污染土壤，具有明显的效果。
132	红叶石楠结合泥炭调理剂修复 Cd 污染土壤的研究	在 Cd 污染土壤中加入调理剂（泥炭）可降低红叶石楠对 Cd 的转运和富集能力。
133	腐植酸复配凹凸棒石对土壤 Cd 污染的钝化效果	腐植酸和凹凸棒石质量比为 1 : 5 时，土壤中重金属 Cd 的酸溶态含量较对照组降低 34.10%。
134	改性腐植酸基复合材料钝化土壤重金属的应用研究	改性腐植酸基复合材料对污染土壤中的重金属有效含量实现了络合与转化，土壤中重金属 Hg 含量平均能降低 52.5%、Cr 含量平均降低 59.5%、Cd 含量平均降低 21.5%、Pb 含量平均降低 45.8%。
135	沼渣腐殖质对 Cd 污染土壤的淋洗效果及性质影响	当液土比为 4 : 1（质量比），淋洗时间为 120 min 时，沼渣腐殖质溶液淋洗低含量和高含量 Cd 污染土壤对土壤中 Cd 去除率分别为 57.73% 和 54.66%。
136	钙基胡敏酸改性生物炭的制备及其对镉污染的修复	生物炭与胡敏酸质量比为 1 : 1，碱性石灰水中 Ca ²⁺ 浓度为 1.5 g/L 的改性生物炭（RHB1-1）对 Cd ²⁺ 的吸附性能最佳，最大吸附容量为 74.46 mg/g，较改性前提高了约 61%。
137	富里酸对聚乙烯微塑料污染土壤水分入渗过程的影响	添加 0.3% 富里酸，可使聚乙烯微塑料在土壤中垂直向下的迁移速度分别提高 33.33%、37.50% 和 38.33%。
138	生物炭 - 腐植酸 - 磷酸盐联合修复土壤重金属 Cd 污染研究	生物炭、腐植酸和过磷酸钙的联合配施，可使土壤中重金属 Cd 的有效态质量分数降低了 51.62%，修复后土壤中的 Cd 主要以较稳定的可氧化态和残渣态形式存在。
139	褐煤基改性材料对石灰性土壤团聚体及其重金属镉分布的影响	褐煤基腐植酸和去矿化褐煤对水稳性团聚体的形成和镉的富集赋存作用较好。
140	腐植酸营养液对镉胁迫下树仔菜幼苗生理生化特性及重金属积累的影响	在镉浓度为 45 mg/kg 时，腐植酸营养液处理促进了树仔菜叶片和根部对镉的吸收以及叶片对锌的富集，分别显著增加了 134.7%、39.0% 和 36.9%。
141	富里酸改性 FeMnNi-LDH 复合材料对砷镉复合污染土壤的钝化修复	富里酸 - 铁锰镍层状双氢氧化物（FeMnNi-LDH）复合材料对砷和镉复合污染土壤具有显著的同步钝化效果。
142	腐植酸对汞在棕壤中吸附 - 解吸的影响	添加腐植酸增加了土壤对汞的吸附并减弱了汞的解吸。

(2024 年 3 月 19 日本编辑部 供稿)