黄腐酸复合肥对水稻生长和产量的影响

马晓晶 张洪江 * 刘光海 马 强
龙蟒大地农业有限公司 德阳 618200

摘　要：为了探讨黄腐酸复合肥对水稻生长的作用，研究了施用矿物源黄腐酸复合肥、生物源黄腐酸复合肥对水稻生长势、灌浆速率、产量及稻米品质的影响情况。结果表明，黄腐酸复合肥可以一定程度上促进水稻分蘖期和灌浆期的生长势，促进水稻分蘖期至成熟期单株干物质量的积累，能提高水稻灌浆速率，促进水稻增产，改善稻米品质。矿物源黄腐酸复合肥和生物源黄腐酸复合肥处理的灌浆速率分别为 112.355 毫克 /（100 粒·天）和 104.807 毫克 /（100 粒·天），与普通复合肥处理的 99.479 毫克 /（100 粒·天）差异达显著水平；矿物源黄腐酸复合肥和生物源黄腐酸复合肥处理的产量分别比普通复合肥提高 15.43% 和 11.60%，且矿物源黄腐酸与复合肥结合的效果优于生物源黄腐酸。

关键词：矿物源黄腐酸 生物源黄腐酸 复合肥 水稻
中图分类号：TQ314.1，S511　　**文章编号：**1671-9212(2021)04-0043-07
文献标识码：A　　**DOI：**10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2021.04.008

Effects of Fulvic Acid Compound Fertilizers on Growth and Yield of Rice

Ma Xiaojing, Zhang Hongjiang*, Liu Guanghai, Ma Qiang
Lomon Land Agricultural Co. Ltd., Deyang, 618200

Abstract: In order to know the effect of fulvic acid compound fertilizers on rice growth, mineral fulvic acid (MFA) compound fertilizers and biological fulvic acid (BFA) compound fertilizers on rice growth, grouting rate, yield and rice quality were studied. The results showed that fulvic acid compound fertilizers could promote the growth potential of rice at tillering and filling stages, the accumulation of dry matter quantity per plant from tillering to maturity, improve the filling rate of rice, increase rice yield and improve rice quality. The filling rates of MFA compound fertilizers and BFA compound fertilizers were 112.355 mg/100 grains·d and 104.807 mg/100 grains·d, that significantly higher than those of common compound fertilizers 99.479 mg/100 grains·d. The yields of the treatment of MFA and BFA compound fertilizers were increased by 15.43% and 11.60% compared with common compound fertilizers. The combination effect of MFA compound fertilizers was better than that of BFA compound fertilizers.

Key words: mineral fulvic acid; biological fulvic acid; compound fertilizers; rice

水稻是我国第二大粮食作物，稻米的优质丰产是我国现阶段粮食生产的目标。稻米的品质和产量除了受自身遗传特性影响外，营养调控也是重要因素之一。早在 19 世纪人们就开始认识到腐植酸对植物生长的重要性 [1，2]。黄腐酸是腐植酸中应用最广的一种。黄腐酸分子量小，含有较多的氧和较少的碳 [3]，被植物吸收利用率高。黄腐酸结构中含有羧基、酚羟基等活性基团 [4]，具有一定的缓冲性能，

[收稿日期] 2021-03-18
[作者简介] 马晓晶，女，1991 年生，农艺师，主要从事功能性复合肥及应用开发、农业技术推广工作，E-mail：mxj@lomon.com。* 通讯作者：张洪江，男，农艺师，E-mail：zhj@lomon.com。

能够调节土壤酸碱度，同时具有的离子交换能力和吸附能力，能够与糖、肽、金属离子等进行络合，提高植物对土壤中的营养元素，尤其是中微量元素的利用效率。黄腐酸的凝絮限度高，可直接溶于水、乙醇、稀酸和稀碱，在实际应用中表现出很高的生理活性。有研究表明，在稻麦轮作系统中，黄腐酸可降低植物蒸腾速率，提高作物对氮肥的利用效率，黄腐酸与控释尿素协同施用可显著提高水稻和小麦的产量 [5]。同时，在夏玉米上叶面喷施黄腐酸，也能够增强玉米叶片的光合速率和水分利用效率 [6]。李小为等 [7] 研究结果表明，在水稻生长期间叶面喷施黄腐酸，能够显著提高水稻叶片颜色，提高植株抗病性，最终达到增产的目的。本研究拟通过矿物源黄腐酸和生物源黄腐酸与复合肥料结合，探讨其结合对水稻生长过程、产量和品质的影响，为开发含黄腐酸的肥料产品提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与供试品种

试验地点位于四川省德阳市绵竹市遵道镇龙蟒农业技术研究院示范基地（经度 31.36°，纬度 104.12°），土壤类型为黄壤，土层湿润。土壤基本化学性质见表 1。供试作物为水稻，品种为“川 6 优 713”，采用插秧（插秧规格 30 cm × 13 cm，每穴 3 ~ 4 株）的方式进行种植。

表 1 土壤基本化学性质

Tab.1 Basic chemical properties of soil

碱解氮（mg/kg）	有效磷（mg/kg）	速效钾（mg/kg）	有机质（g/kg）	pH
46.2	6.28	110	10.6	6.0

1.2 供试肥料

供试肥料为龙蟒大地农业有限公司研制的矿物源黄腐酸复合肥、生物源黄腐酸复合肥和普通复合肥，产品由尿素（四川美丰化工股份有限公司）、磷酸一铵（四川龙蟒磷化工有限公司）、氯化钾（青海盐湖工业股份有限公司）、矿物源黄腐酸（龙蟒大地农业有限公司）、生物源黄腐酸（安琪酵母股份有限公司）等原料造粒而成，各原料养分见表 2。产品 N-P_2O_5-K_2O 指标为 25-8-7（中氯），采用《复混肥料（复合肥料）》（GB 15063-2009）标准指定的检测方法，各处理养分相同，供试肥料基本化学性质见表 3。

表 2 供试原料各养分含量

Tab.2 Nutrient content of tested raw materials **%**

供试原料	N	P_2O_5	K_2O	Cl	黄腐酸
尿素	46.4	—	—	—	—
磷酸一铵	9.8	48.4	—	—	—
氯化钾	—	—	59.6	47.6	—
矿物源黄腐酸	—	—	—	—	52.0
生物源黄腐酸	—	—	—	—	55.0

表 3 供试肥料基本化学性质

Tab.3 Basic chemical properties of tested fertilizers

供试肥料	N（%）	P_2O_5（%）	K_2O（%）	pH	Cl（%）	黄腐酸	
						种类	含量（%）
矿物源黄腐酸复合肥	25.2	8.6	7.3	7.2	22.4	矿物源黄腐酸	5.2
生物源黄腐酸复合肥	25.1	8.7	7.2	6.9	23.1	生物源黄腐酸	5.2
普通复合肥	25.4	8.4	7.3	6.4	24.2	—	—

1.3 试验设计

试验于 2019 年 3 月 10 日至 9 月 10 日进行。共 3 个处理，每个处理重复 3 次，小区面积 18 m^2，共 9 个小区，随机排列。试验处理及肥料施用量见表 4。按照试验处理施肥，所有小区均按标准且一致的田间管理方法。

表 4 试验处理及肥料施用量

Tab.4 Experimental treatment and fertilizer application rate

处理	肥料施用量（kg/m^2）	小区肥料施用量（kg）
矿物源黄腐酸复合肥	0.075	1.35
生物源黄腐酸复合肥	0.075	1.35
普通复合肥	0.075	1.35

1.4 样品测定与数据处理

（1）水稻生长势：在分蘖期和灌浆期分别测定叶片叶绿素相对含量（SPAD 值）、叶长、叶宽和株高。SPAD 值使用型号为 YF-LS 叶绿素仪进行测定。样品叶长、株高采用直尺进行测量，叶宽采用游标卡尺进行测量。

（2）水稻单株干物质量：于水稻分蘖期、孕穗期、灌浆期、成熟期，每个小区随机采取水稻植株样品 5 株，105 ℃杀青 30 min，80 ℃烘干称至恒重。

（3）水稻灌浆速率：水稻出穗期选择出穗程度一致（穗抽出叶鞘 5 cm）的穗挂标牌，每个处理标记 100 穗，出穗后 7、14、21、28、35、42、49 天（均为灌浆期）分别取样，每次取 10 穗，在 105 ℃条件下烘干 15 min，杀青，然后自然风干，备用。成熟期亦采收挂牌的 10 穗与灌浆期取样的穗做比较。样品风干后，每次从 10 穗中选取有代表性的穗 5 穗，按照穗的上、中、下 3 个部位划分区段，分别测定总粒重、粒数，统计出千粒重和百粒重，通过 2 次粒重的差值和日数，计算平均日灌浆速率。

（4）产量：每小区各取 3 m^2，计算每平方米水稻产量，算出平均值，进行亩产换算。

（5）稻米质量：糙米采用试验电动砻谷机（京奥 JLGJ-45 型，浙江台州）进行制备。糙米率和精米率按照国家标准《米质测定方法》（NY/T 83-2017）进行测定；垩白粒率和垩白度使用 JWMT12 型稻米外观品质扫描仪进行测定；直链淀粉含量按照国家标准《大米 直链淀粉含量的测定》（GB/T 15683-2008）进行测定；蛋白质含量测定方法依据国家标准《食品中蛋白质的测定》（GB 5009.5-2016）进行测定；胶稠度按照国家标准《粮油检验大米胶稠度的测定》（GB/T 22294-2008）进行测定。

（6）采用 Excel 软件对试验数据进行统计分析处理，并采用 SPSS 软件对数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 黄腐酸复合肥对水稻分蘖期和灌浆期生长势的影响

由表 5 可以看出，与普通复合肥处理相比，在复合肥中添加黄腐酸能够提高水稻的生长势。水稻分蘖期，矿物源黄腐酸复合肥处理下水稻叶片 SPAD 值为 25.1，显著高于生物源黄腐酸复合肥处理，2 个黄腐酸复合肥处理显著高于普通复合肥处理；矿物源黄腐酸复合肥处理的水稻叶长显著高于其他 2 个处理；2 个黄腐酸复合肥处理水稻叶宽显著高于普通复合肥处理；3 个处理间株高无显著性差异。水稻灌浆期，矿物源黄腐酸复合肥处理的 SPAD 值显著高于其他 2 个处理，生物源黄腐酸复合肥和普通复合肥处理之间无显著性差异；2 个黄腐酸复合肥处理水稻叶长、叶宽和株高显著高于普通复合肥处理，但 2 个黄腐酸复合肥处理之间无显著性差异。说明在复合肥中添加黄腐酸

能够显著提高水稻的生长势，矿物源黄腐酸效果优于生物源黄腐酸。

表 5 黄腐酸复合肥对水稻分蘖期和灌浆期生长势的影响

Tab.5 Effects of fulvic acid compound fertilizers on growth potential of rice at tillering and filling stages

处理	分蘖期				灌浆期			
	SPAD 值	叶长（cm）	叶宽（mm）	株高（cm）	SPAD 值	叶长（cm）	叶宽（mm）	株高（cm）
矿物源黄腐酸复合肥	25.1a	16.9a	0.98a	51.4a	36.4a	26.2a	2.03a	103.1a
生物源黄腐酸复合肥	23.2b	15.7b	0.93a	51.7a	32.7b	25.7a	1.97a	102.4a
普通复合肥	20.8c	14.9b	0.83b	51.1a	31.4b	23.4b	1.77b	97.6b

注：同列数据中不同小写字母表示差异显著（$P < 0.05$），下同。

2.2 黄腐酸复合肥对水稻单株干物质量的影响

水稻单株干物质量随着时间的增加而增加。矿物源黄腐酸复合肥处理水稻各个时期的单株干物质量均高于其他 2 个处理（表 6）。其中，矿物源黄腐酸复合肥处理水稻干物质量在分蘖期、孕穗期、灌浆期相较于生物源黄腐酸复合肥处理分别显著提高了 11.50%、9.77% 和 5.43%，说明矿物源黄腐酸在提高水稻干物质量方面显著优于生物源黄腐酸。与普通复合肥处理相比，生物源黄腐酸复合肥处理能够显著提高水稻的各个生育期的单株干物质量，分蘖期、孕穗期、灌浆期和成熟期分别提高了 9.34%、6.13%、6.57% 和 8.28%。说明在复合肥中添加黄腐酸能够显著提高水稻的单株干物质量，矿物源黄腐酸效果优于生物源黄腐酸。

表 6 黄腐酸复合肥对水稻单株干物质量的影响

Tab.6 Effects of fulvic acid compound fertilizers on dry matter quantity per plant of rice %

处理	分蘖期	孕穗期	灌浆期	成熟期
矿物源黄腐酸复合肥	10.57a	32.13a	57.12a	72.80a
生物源黄腐酸复合肥	9.48b	29.27b	54.18b	70.12a
普通复合肥	8.67c	27.58c	50.84c	64.76b

2.3 黄腐酸复合肥对水稻灌浆速率的影响

由图 1 可知，在复合肥中添加黄腐酸可以显著提高水稻籽粒的灌浆速率。水稻灌浆速率在出穗后 28 天达到最高水平，其中矿物源黄腐酸复合肥处理为 112.355 毫克 /（100 粒·天），生物源黄腐酸复合肥处理为 104.807 毫克 /（100 粒·天），均高于普通复合肥处理的 99.479 毫克 /（100 粒·天）。出穗 28 天后水稻灌浆速率开始下降。水稻出穗第 7 天到第 42 天矿物源黄腐酸复合肥处理水稻籽粒灌浆速率显著高于生物源黄腐酸复合肥，出穗第 42 天到 49 天，2 个处理灌浆速率基本趋于一致，无显著性差异。生物源黄腐酸复合肥与普通复合肥相比，能够提高水稻籽粒的灌浆速率，但在出穗第 7 天到第 14 天、第 28 天到第 42 天 2 个处理之间无显著性差异，出穗第 14 天到第 21 天、第 42 天到第 49 天普通复合肥处理灌浆速率显著低于生物源黄腐酸复合肥处理。说明施用黄腐酸复合肥能够提高水稻的灌浆速率，矿物源黄腐酸效果优于生物源黄腐酸。

2.4 黄腐酸复合肥对水稻产量的影响

由图 2 可知，施用黄腐酸复合肥能够显著提高水稻的产量，矿物源黄腐酸复合肥处理与普通复合肥处理相比产量显著提高了 15.43%，生物源黄腐酸复合肥处理与普通复合肥处理相比产量显著提高了 11.60%，矿物源黄腐酸复合肥处理产量高于生物源黄腐酸复合肥处理，但两者之间差异不显著。

说明在复合肥中添加黄腐酸能够提高水稻的产量，矿物源黄腐酸效果略优于生物源黄腐酸。

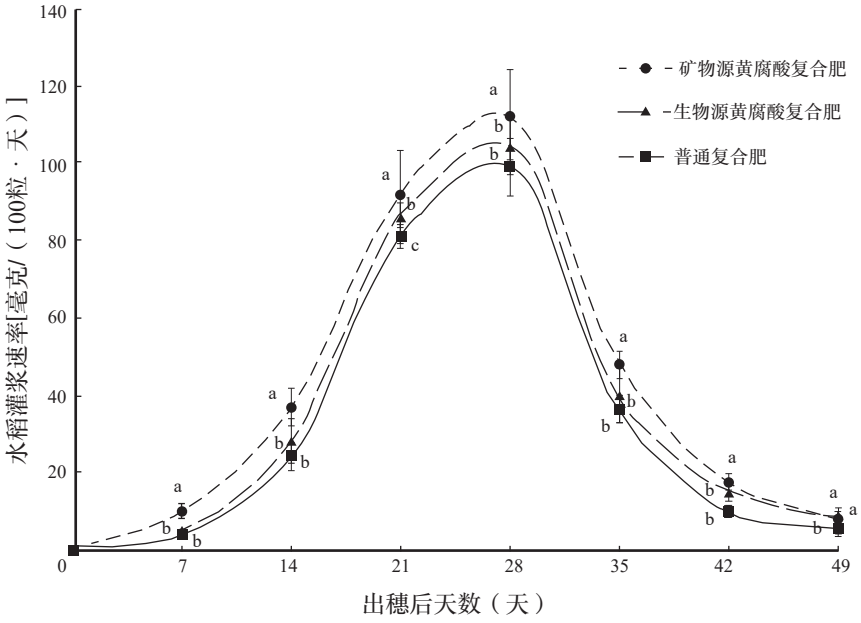

图 1 黄腐酸复合肥对水稻灌浆速率的影响

Fig.1 Effects of fulvic acid compound fertilizer on grain filling rate of rice

注：图中不同小写字母表示差异显著（P<0.05），下同。

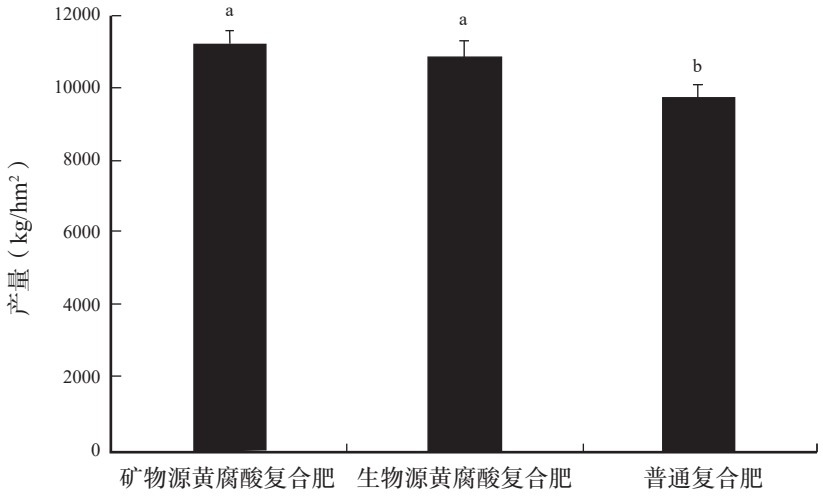

图 2 黄腐酸复合肥对水稻产量的影响

Fig.2 Effects of fulvic acid compound fertilizers on yield of rice

2.5 黄腐酸复合肥对稻米品质的影响

由表 7 可以看出，在复合肥中添加黄腐酸能够显著提高稻米的加工品质、外观品质和蒸煮食味品质。糙米率是稻米品质的一个重要指标，直接关系着水稻产量的多少，矿物源黄腐酸复合肥处理相较与普通复合肥处理糙米率提高 2.5%，精米率提高 1.8%，均达到显著水平；生物源黄腐酸复合肥处理比普通复合肥处理糙米率提高 0.9%，精米率提高 0.9%，未达到显著水平，矿物源黄腐酸复合肥处理较生物源黄腐酸复合肥处理糙米率和精米率

均显著提高。说明在复合肥中添加矿物源黄腐酸或生物源黄腐酸均能够提高稻米的糙米率和精米率，且矿物源黄腐酸效果显著优于生物源黄腐酸。同时矿物源黄腐酸复合肥处理还能降低大米的垩白粒率和垩白度，且与普通复合肥处理间差异达到显著水平，其中垩白粒率与生物源黄腐酸复合肥处理差异达到显著水平。稻米中直链淀粉含量、蛋白质含量和胶稠度在一定程度范围内与米饭的食味品尝评分值有关。试验结果表明，与普通复合肥相比，矿物源黄腐酸复合肥能够显著提高稻米中直链淀粉含量、蛋白质含量和胶稠度。矿物源黄腐酸复合肥处理直链淀粉含量比生物源黄腐酸复合肥提高了 1.4 个百分点，达到了 19.8%，胶稠度增加了 5 mm，差异均达显著水平，蛋白质含量差异未达到显著水平；比普通复合肥提高了 2.3 个百分点，蛋白质含量提高 0.80 个百分点，胶稠度增加了 8 mm，差异均达显著水平；生物源黄腐酸复合肥处理比普通复合肥处理直链淀粉含量提高 0.9 个百分点，蛋白质含量提高了 0.55 个百分点，差异均达显著水平，胶稠度增加了 3 mm，未达差异显著水平。说明施用黄腐酸复合肥能够显著提高稻米的品质，且矿物源黄腐酸效果优于生物源黄腐酸。

表 7 黄腐酸复合肥对稻米品质指标的影响

Tab.7 Effects of fulvic acid compound fertilizers on quality of rice

处理	加工品质		外观品质		蒸煮食味品质		
	糙米率（%）	精米率（%）	垩白粒率（%）	垩白度（%）	直链淀粉含量（%）	蛋白质含量（%）	胶稠度（mm）
矿物源黄腐酸复合肥	77.4a	48.9a	11.4c	1.3b	19.8a	7.33a	91a
生物源黄腐酸复合肥	75.8b	48.0b	13.1b	1.4b	18.4b	7.08a	86b
普通复合肥	74.9b	47.1b	14.9a	1.7a	17.5c	6.53b	83b

3 讨论和结论

3.1 讨论

黄腐酸按照提取原料的不同分为矿物源黄腐酸和生物源黄腐酸，矿物源黄腐酸是从褐煤、风化煤中直接提取出来，必需经过活化才能成为植物可直接吸收的成分，其组成结构单一，主要是芳香族羟基、羧基类物质，有机质纯度 98% 以上 [8]。张德和等 [9] 研究表明，矿物源黄腐酸中的小分子多数为苯羧酸、酚酸和少量的长链脂肪酸及烷烃，即连接了大量含氧官能团的苯环之间通过分子氢键结合而成的聚合物 [10]。生物源黄腐酸是将农产品废弃物秸秆、稻草、废渣、糠麸等进行降解而得到一些小分子化合物，除了类黄腐酸物质外还包含水溶性碳水化合物、核酸、氨基酸、蛋白质、糖酸类物质成分，组成较复杂，真正的黄腐酸组分只占一部分。据研究报道，生物源黄腐酸热裂解产物中含氧脂肪族化合物含量较低，稠环芳香族化合物含量较高 [11]。因此，矿物源黄腐酸复合肥效果优于生物源黄腐酸复合肥的原因还有待进一步研究。

本试验没有对黄腐酸添加量形成一个梯度研究，还将在后续的试验中继续探究矿物源黄腐酸和生物源黄腐酸不同使用量对作物生长的影响。

3.2 结论

本试验结果表明，与普通复合肥相比，黄腐酸复合肥能显著增加水稻分蘖期的 SPAD 值和叶宽，灌浆期的叶长、叶宽和株高，分蘖期、孕穗期、灌浆期和成熟期的单株干物质量；与生物源黄腐酸复合肥相比，矿物源黄腐酸复合肥能显著增加分蘖期的 SPAD 值和叶长，灌浆期的 SPAD 值，分蘖期、孕穗期和灌浆期的单株干物质量。在复合肥中添加矿物源黄腐酸能显著提高水稻的灌浆速率，灌浆速率可达 112.355 毫克 /（100 粒·天），与普通复合肥相比，灌浆速率提高了 12.9%，产量提高了 15.43%。在复合肥中添加生物源黄腐酸也能够提高水稻的灌浆速率和产量，灌浆速率可以达到

104.807 毫克 /（100 粒·天），产量提高 11.60%。此外，使用矿物源黄腐酸和生物源黄腐酸也能够提高稻米的加工品质、外观品质和蒸煮食味品质，与普通复合肥相比，施用矿物源黄腐酸复合肥和生物源黄腐酸复合肥水稻的糙米率分别上升 2.5 和 0.9 个百分点，垩白粒率分别下降 3.5 和 1.7 个百分点，直链淀粉含量增加了 2.3 和 0.9 个百分点，蛋白质含量增加了 0.80 和 0.55 个百分点，胶稠度分别增加了 8 和 3 mm。说明在复合肥中添加矿物源黄腐酸和生物源黄腐酸能够提高水稻产量和稻米的品质，且矿物源黄腐酸的应用效果优于生物源黄腐酸。

参考文献

[1] Choi H S. Molecular recognition: a-cyclodextrin and ASA inclusion complexation[J]. Bull Korean Chem Soc, 1992, 13: 474 ~ 479.

[2] Kapetanovic I M, Bauer K S, Tessier D M, et al. Comparison of pharmacokinetic and pharmacodynamic profiles of aspirin following oral gavage and diet dosing in rats[J]. Chem Biol Interact, 2009, 179: 233 ~ 239.

[3] Connors K A, Amido G L, Stella V J. Chemical stability of pharmaceuticals[J]. New York: Wiley, 1986, 18 ~ 26.

[4] Busnot A, Busnot F, Le Querler J F, et al. Characterization of humic substances extracted from different sediments of the lower normal region[J]. Thermo Chemical Act, 1995, 254: 319 ~ 330.

[5] 姚媛媛，王晓琪，杨越超，等 . 控释尿素与黄腐酸提高稻麦轮作系统产量和效益的协同效应 [J]. 植物营养与肥料学报，2019，25（12）：2122 ~ 2132.

[6] 李娜，李菲，李凤鸣，等 . 黄腐酸对夏玉米水分利用效率及生理指标的影响 [J]. 水土保持应用技术，2021（2）：1 ~ 3.

[7] 李小为，金俊艳 . 水稻施用黄腐酸叶面肥效果的研究 [J]. 黑龙江农业科学，2015（8）：167 ~ 168.

[8] 杨鑫 . 褐煤的微生物降解及其黄腐酸特性的研究 [D]. 昆明理工大学硕士学位论文，2014.

[9] 张德和，宋恩蓝，杨国仪，等 . 风化煤黄腐酸的结构表征 [J]. 化学学报，1981（5）：401 ~ 409.

[10] Schnitzer, M. Reactions between fulvic acid, a soil humic compound and inorganic soil constituents[J]. Soil Science Society of America Journal, 1969, 33(1): 75 ~ 81.

[11] 王智 . 黄腐酸的化学组成、矿源识别及活性分子研究 [D]. 昆明理工大学硕士学位论文，2020.

（上接第 6 页）修复中的作用 [J]. 腐植酸，2014(4)：30 ~ 34，65.

[36] Schulten H. Interactions of dissolved organic matter with xenobiotic compounds: molecular modeling in water[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 1999, 18(8): 1643 ~ 1655.

[37] 丁海涛，赵青，宋薇，等 . 溶解性腐殖酸与多环芳烃相互作用机理 [J]. 生态学杂志，2020，39（7）：2292 ~ 2301.

[38] 刘晋湘 . 腐殖质对农残降解的作用研究 [D]. 中国海洋大学硕士学位论文，2005.

[39] 王昌济 . 重金属离子吸附剂的制备及性能研究 [D]. 淮北师范大学硕士学位论文，2013.

[40] 张亚萍，谢水波，杨金辉，等 . 腐植酸吸附水中铀的特性与机理 [J]. 腐植酸，2013（1）：37.

[41] 陆中桂，黄占斌，李昂，等 . 腐植酸对重金属铅镉的吸附特征 [J]. 环境科学学报，2018，38(9)： 3721 ~ 3729.

[42] 徐雪松 . 褐煤腐殖酸对含染料废水结合吸附作用研究 [D]. 辽宁工程技术大学硕士学位论文，2011.

[43] 欧晓霞，孙红杰，王崇，等 . 有机污染物在腐植酸作用下的光降解研究进展 [J]. 腐植酸，2013（2）：43.

[44] 申静秀，顾闽，范梦婕，等 . 腐植酸在环境治理中的研究及应用进展 [J]. 现代化工，2021，41（1）：30 ~ 33.

[45] 程相涵，侯宇朋，寇太记 . 简述腐植酸修复污染土壤的研究进展 [J]. 腐植酸，2016（5）：13 ~ 18.

[46] 曾宪成，李双 . 大气雾霾之疡，腐植酸反哺土壤固本之切——让腐植酸在土壤生态环境治理中发挥重要作用 [J]. 腐植酸，2014（1）：1 ~ 8.

[47] 王杰，周霞萍，王丽娜，等 . 腐植酸抗雾霾功能制剂研究初探 [J]. 腐植酸，2016（3）：8 ~ 11，37.