

胡慧影,郭伟,韦娜,等. 化肥减量配施腐殖酸对土壤特性、玉米植株养分含量及其干物质积累的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(1):232-240.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.01.0

化肥减量配施腐殖酸对土壤特性、玉米植株养分含量及其干物质积累的影响

胡慧影^{1,2}, 郭伟², 韦娜², 邢力文²

(1. 北大荒农垦集团黑龙江二龙山农场有限公司农业发展部,黑龙江五大连池 164131;

2. 黑龙江八一农垦大学农学院/黑龙江省现代农业栽培技术与作物种质改良重点实验室,黑龙江大庆 163319)

摘要:化肥减量配施腐殖酸肥是缓解土壤肥力下降、提高化肥利用率的有效途径,对提高土壤质量及改善生态系统具有重要意义。为了调节土壤酶活性、活化土壤养分、促进玉米养分吸收,研究未施化肥(CK)、1/2 全量化肥(1/2CF)、3/4 全量化肥(3/4CF)和全量化肥(CF)分别配施 0 mg/kg 腐殖酸(HA0)、250 mg/kg 腐殖酸(HA250)、500 mg/kg 腐殖酸(HA500)对土壤养分含量、酶活性及玉米植株矿质营养含量的影响,为化肥减量施用应用于玉米实际生产中提供理论依据。结果表明,化肥减量配施腐殖酸对土壤酶活性、土壤养分含量及玉米植株矿质营养含量均有明显的影响。在玉米抽雄期、成熟期,3/4CF + HA250 处理的土壤酶活性较CF + HA0 处理明显增强。而在玉米拔节期和抽雄期,3/4CF + HA250 处理植株干质量较CF + HA0 用量分别显著提高 110.7% 和 154.6%,抽雄期 3/4CF + HA250 处理的玉米植株全氮含量较CF + HA0 处理提高 36.6%。1/2CF + HA250 和 3/4CF + HA250 处理的玉米植株全磷含量较CF + HA0 处理增加 38.0% 和 74.8%。与CF + HA0 处理相比,化肥减量配施不同用量腐殖酸降低了拔节期、抽雄期植株全钾含量。化肥减量配施腐殖酸能显著增强土壤酶活性,提高土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量,同时增加玉米植株的干质量。综上,3/4CF + HA250 处理对于提高玉米植株养分含量、改善土壤特性、提升玉米干物质量较为适宜。

关键词:玉米;化肥;腐殖酸;土壤特性;植株养分;干质量

中图分类号:S513.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)01-0232-08

在我国农业生产中,过量施肥已成为一个严峻的问题。农民为了获得作物高产,常常不合理甚至盲目过量施肥,从而造成氮肥、磷肥的施用量显著高于历史水平^[1]。化肥促使粮食增产,但长期过量或不合理施用会导致土壤板结、酸化、肥力下降、营养元素失衡,硝酸盐污染和次生盐渍化等问题,还会直接影响土壤酶活性及土壤养分的利用与积累^[2]。化肥和有机肥含有的重金属和有机污染物也会随施肥带入土壤,造成土壤质量下降,氮肥、磷肥利用率降低^[3],肥料的增产效应逐渐降低,农作

物的损失增加等问题,从而限制农业的可持续发展^[4]。因此,针对当前现状如何改善土壤环境、提高作物产量、促进化肥减量增效,已逐渐成为解决我国农业可持续发展的重要问题。为解决上述问题,近年来国内外相继开展了在农业生产中用新型肥料部分代替化肥的探索^[5-7],目前施用腐殖酸是达到化肥使用量“零增长”、改良土壤性状和提高作物产量的主要措施之一^[8]。腐殖酸具有增强土壤肥力、提高土壤疏松度、调控土壤微生物组成和结构、降低土传病害、拮抗病菌、活化土壤养分、改善土壤环境等优势,同时还可达到增产 20% 左右并减施 20% 化肥的效果^[9-10]。腐殖酸对植物生长的影响一直受到关注,它能够促进作物生长并提高产量^[11]。腐殖酸作为一种廉价、高效、无污染的肥料增效剂,在改善土壤水、肥、气、热,促进作物养分吸收利用,提高作物产量等方面发挥了独特的作用,并且腐殖酸本身就是土壤有机体的一部分,对环境无污染,被誉为“绿色环保肥料”^[12]。研究发现,腐

收稿日期:2022-09-16

基金项目:黑龙江八一农垦大学“揭榜挂帅”科技攻关项目(编号:JB20220001)。

作者简介:胡慧影(1995—),女,黑龙江五大连池人,硕士,研究方向为寒地作物全程机械化优质高效生产。E-mail:643608928@qq.com。

通信作者:郭伟,博士,教授,博士生导师,研究方向为作物生理生态。E-mail:agrigw@163.com。

殖酸作为氮肥和磷肥的增效剂少量施用即可显著促进作物生长,提高作物产量和肥料利用率^[13];向尿素中添加腐殖酸后可提高尿素氮的稳定性和作物氮肥利用率^[14];腐殖酸还可活化土壤中的难溶性磷,减少磷素在土壤中的吸附与固定,提高磷在土壤中的有效性^[15]。Melero 等发现,单施大量有机肥能够提高土壤有机质、全氮与速效磷的含量^[16]。叶静宜等的研究表明,相比于常规施肥,单施大量有机肥与有机肥替代部分化肥的土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾含量均不同程度升高;而且增施有机肥能显著提高土壤微生物量,增强土壤酶活性,改善土壤生态环境^[17]。

本试验利用化肥减量配施腐殖酸,研究其对不同生育时期玉米根际土壤酶活性、土壤养分含量及玉米植株矿质营养含量的影响,探讨研究区玉米农田的合理施肥量投入阈值,为寻求环境友好和作物高产的土壤生态环境,寻找既能增产又能改善土壤的最佳减增配比方案,为玉米增产、化肥减施增效提供切实可行的技术支持和理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2019 年在黑龙江八一农垦大学农学院校园试验盆栽场采用盆栽方式进行。土壤类型为草甸土,含有机质 28.2 g/kg、碱解氮 58.3 mg/kg、有效磷 10.1 mg/kg、速效钾 101.2 mg/kg,pH 值 8.4。供试玉米品种为郑单 958。试验用的肥料包括尿素(含 N 46%)、磷酸二铵(含 N 18%、P₂O₅ 46%)、硫酸钾(含 K₂O 50%)、腐殖酸(BR,黄腐酸含量≥90%,西亚试剂有限责任公司)。

1.2 试验设计

盆栽试验采用的容器为高 30 cm、直径 28 cm 的塑料圆桶,先将底部加土至 8 kg,按照试验设计将化肥、腐殖酸及 0.5 kg 的土壤混合并倒入桶内,再加入 10 kg 土铺平。将玉米种子按照 5 粒/桶均匀种到桶内,最后覆盖 1 层表土(2 kg/桶),出苗后保留 4 株/桶。腐殖酸用量设置为 0 mg/kg(HA0)、250 mg/kg(HA250)、500 mg/kg(HA500)等水平,化肥用量设置不施化肥 0(CK)、1/2 全量(1/2CF)、3/4 全量(3/4CF)、全量(CF)等水平,共 12 个处理,每个处理 5 次重复,试验设计及处理代号详见表 1。

1.3 取样方法

植株取样时期分别为玉米的拔节期与抽雄期。

表 1 试验设计及处理代号

处理编号	处理代号	HA 用量 (mg/kg)	化肥用量(kg/hm ²)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	CK + HA0	0	0	0	0
2	CK + HA250	250	0	0	0
3	CK + HA500	500	0	0	0
4	1/2CF + HA0	0	38.4	27.6	20
5	1/2CF + HA250	250	38.4	27.6	20
6	1/2CF + HA500	500	38.4	27.6	20
7	3/4CF + HA0	0	57.6	41.4	30
8	3/4CF + HA250	250	57.6	41.4	30
9	3/4CF + HA500	500	57.6	41.4	30
10	CF + HA0	0	76.8	55.2	40
11	CF + HA250	250	76.8	55.2	40
12	CF + HA500	500	76.8	55.2	40

注:HA 为腐殖酸;CF 为化肥。下表同。

取样处理后的植株置于鼓风干燥箱中,在 110 ℃ 下杀青 1 h,80 ℃ 烘干至恒质量,冷却至室温后称质量,测定植株养分含量。

土壤取样时期分别为玉米的抽雄期与成熟期。用直径 5 cm 的土钻采集土壤样品,采用随机 3 点取样法,在深度 10 ~ 15 cm 土层的根际土壤取样,每次取 10 g,每个处理重复 3 次,每个处理土样混匀后约 30 g 放入同一自封袋,带回实验室进行室内通风阴干,去除杂质,用于测定速效养分含量以及土壤酶活性。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 土壤酶活性的测定 土壤脲酶活性采用苯酚-次氯酸钠比色法^[18]测定;土壤蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[18]测定;土壤磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法^[18]测定;土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法^[18]测定;土壤过氧化物酶活性采用比色法^[18]测定。

1.4.2 土壤养分含量的测定 采用氢氧化钠-硼酸碱解扩散法^[19]进行土壤碱解氮含量的测定;土壤有效磷含量采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法^[19]测定;土壤速效钾含量采用醋酸铵浸提-火焰光度法^[19]测定。

1.4.3 植株矿质营养含量的测定 植株全氮含量采用凯氏定氮法测定;植株全磷含量采用钒钼黄比色法测定;植株全钾含量采用原子吸收分光光度法测定。

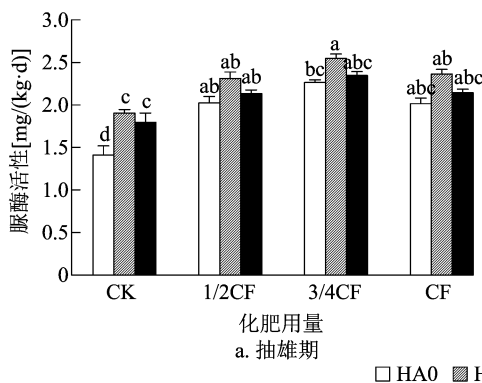
1.5 数据处理与分析方法

利用 WPS 进行数据处理、分析及绘图,用 SPSS Statistics 25 软件进行数据统计分析(α=0.05)。

2 结果与分析

2.1 化肥减量配施腐殖酸对土壤酶活性的影响

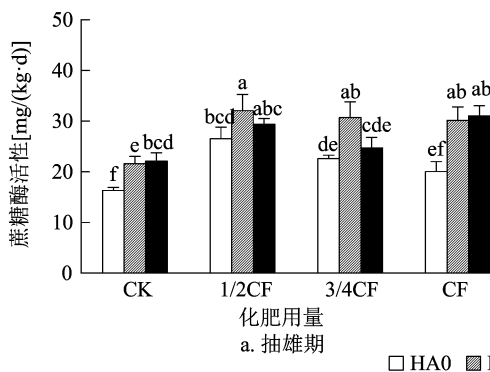
2.1.1 土壤脲酶活性 从图 1 可以看出,抽雄期、成熟期土壤脲酶活性在不同腐殖酸处理下均呈现出“低—高一低”的变化趋势,即 HA250 > HA500 > HA0。在抽雄期,1/2CF + HA250、3/4CF + HA250、CF + HA250 处理三者间无显著差异,但较 CK + HA250 处理分别显著提高 21.3%、33.8%、24.1%,



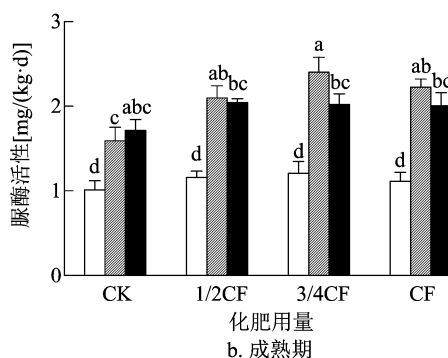
柱上不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)。下图同

图1 化肥减量配施腐殖酸对土壤脲酶活性的影响

2.1.2 土壤蔗糖酶活性 蔗糖酶直接参与土壤碳循环,常用来表征土壤碳素营养状况。从图 2 可以看出,在抽雄期和成熟期,不同化肥减量配施不同用量腐殖酸的蔗糖酶活性明显高于单施化肥,而不同化肥用量配施 250 mg/kg 腐殖酸的处理间无显著差异。在抽雄期,1/2CF + HA500、3/4CF + HA500 处理下土壤蔗糖酶活性较 CF + HA0 处理分别提高 46.5%、23.3%。在成熟期,1/2CF + HA500 处理下土壤蔗糖酶活性最高,较 3/4CF + HA500 和 CF + HA0 处理分别显著提高 53.9% 和 67.1%。蔗糖酶活性主要反映土壤中的碳素营养状况,而腐殖酸本身就有较高的可利用碳素含量,它的施用改变了土壤的碳氮比,激发了土壤蔗糖酶的活性。



1/2CF + HA500 处理较 CK + HA500 处理显著提高 18.7%;在成熟期,未配施腐殖酸处理的脲酶活性显著低于配施腐殖酸处理的脲酶活性,3/4CF + HA250 处理较 CF + HA250、1/2CF + HA250 处理分别提高 8.0%、14.6%,不同化肥用量配施 500 mg/kg 腐殖酸(HA500)处理间无显著差异。可见,化肥减量配施腐殖酸不同程度上提高了土壤脲酶活性,尤其是在玉米成熟期效果显著,其中 3/4CF + HA250 处理的土壤脲酶活性在成熟期最高。



2.1.3 土壤酸性磷酸酶活性 从图 3 可以看出,随着化肥用量的增加,玉米抽雄期土壤酸性磷酸酶活性整体上表现为逐渐升高的趋势,而成熟期土壤酸性磷酸酶活性表现为先上升后下降的趋势。在不施化肥处理下,抽雄期、成熟期土壤酸性磷酸酶活性与 CF 处理差异明显。在抽雄期,HA250 处理酶活性明显高于 HA500 和 HA0 处理,3/4CF + HA250 和 CF + HA250 处理较 CF + HA0 处理分别提高 11.8% 和 18.5%。在成熟期,3/4CF + HA250 处理较 3/4CF + HA0 处理提高 19.6%;而当化肥减量配施 500 mg/kg 腐殖酸时,随着化肥施入量的增加,土壤酸性磷酸酶的活性反而逐渐降低。在化肥减量配施 250 mg/kg 腐殖酸时土壤酶活性较为稳定,能

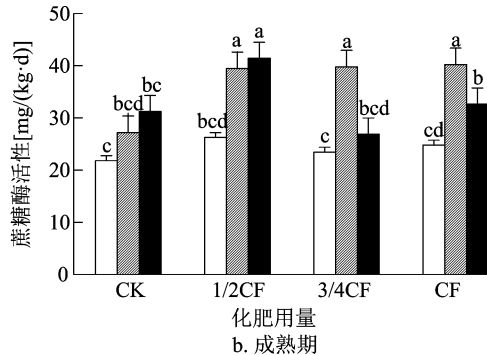


图2 化肥减量配施腐殖酸对土壤蔗糖酶活性的影响

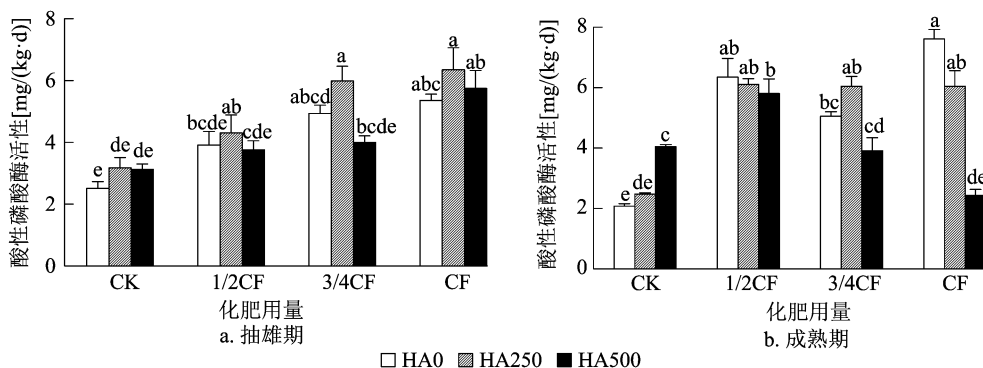


图3 化肥减量配施腐殖酸对土壤酸性磷酸酶活性的影响

减少化肥中对土壤有效养分的释放,最终提高土壤的供肥能力。

2.1.4 土壤过氧化氢酶活性 过氧化氢酶活性常用来表征土壤的氧化强度。从图 4 可以看出,HA500 处理过氧化氢酶活性明显高于 HA250 和 HA0 处理。随着化肥施入量的增加,过氧化氢酶活性也逐渐提高。在抽雄期,3/4CF + HA250 处理的过氧化氢酶活性较 1/2CF + HA250 和 CF + HA0 处

理分别显著提高 30.6% 和 52.5%,与 CF + HA250 处理无显著差异。在成熟期,3/4CF + HA250 处理过氧化氢酶活性较 CF + HA250 处理提高 16.3%,与 1/2CF + HA250 处理间无显著差异。3/4CF + HA500 处理过氧化氢酶活性较 1/2CF + HA500 处理显著提高 17.6%,但与 CF + HA500 处理间无显著差异。综合考虑,化肥减量 25% 增施腐殖酸可稳定土壤中过氧化氢酶活性。

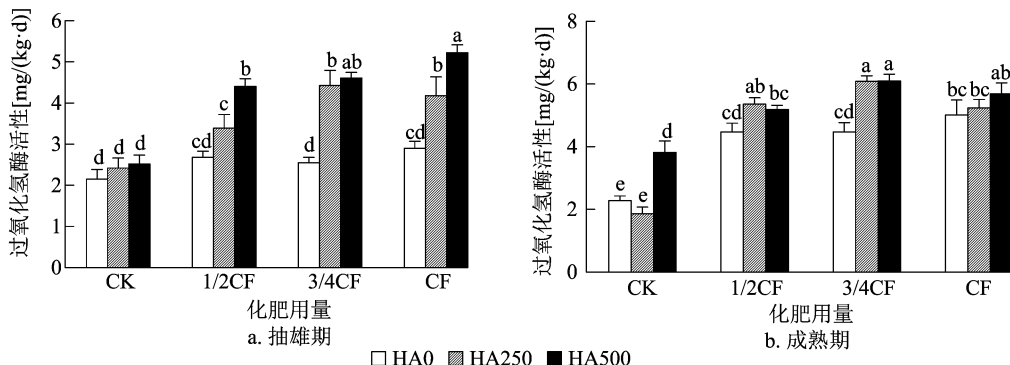


图4 化肥减量配施腐殖酸对土壤过氧化氢酶活性的影响

2.1.5 土壤过氧化物酶活性 从图 5 可以看出,抽雄期土壤过氧化物酶活性呈现先升后降的变化趋势,成熟期则呈上升趋势。在抽雄期,1/2CF + HA250 和 3/4CF + HA250 处理过氧化物酶活性较 CF + HA250 处理分别显著提高 23.6% 和 37.5%,但二者间无显著差异,1/2CF + HA500 和 3/4CF + HA500 处理过氧化物酶活性均显著高于 CF + HA500 处理。在成熟期,3/4CF + HA250 处理土壤过氧化氢酶活性较 1/2CF + HA250 显著提高 23.1%,而不同化肥施入量配施 HA500 处理之间无显著差异。

2.2 化肥减量配施腐殖酸对土壤养分含量的影响

2.2.1 化肥减量配施腐殖酸对抽雄期土壤养分含量的影响 从表 2 可以看出,与单施化肥处理相比,配施不同施用量的腐殖酸处理整体上提高抽雄期

土壤碱解氮含量。其中,CF + HA250 处理碱解氮含量最高,较 CF + HA0 处理显著增加 43.6%,1/2CF + HA250 处理较 CF + HA0 处理提高 16.2%。1/2CF + HA500 处理较 3/4CF + HA500 处理显著提高 22.0%。抽雄期 CK + HA500 处理土壤有效磷含量最高,较 1/2CF + HA250 和 3/4CF + HA250 处理分别显著提高 11.9% 和 14.6%,可见化肥减量配施 250 mg/kg 腐殖酸可显著增加抽雄期土壤有效磷含量。在抽雄期,各处理之间的土壤速效钾含量无显著差异。

2.2.2 化肥减量配施腐殖酸对成熟期土壤养分含量的影响 从表 3 可以看出,1/2CF + HA250 和 1/2CF + HA500 处理土壤碱解氮含量较 CF + HA0 处理分别显著提高 17.3% 和 27.4%,3/4CF + HA250 和 3/4CF + HA500 处理土壤碱解氮含量较 CF + HA0

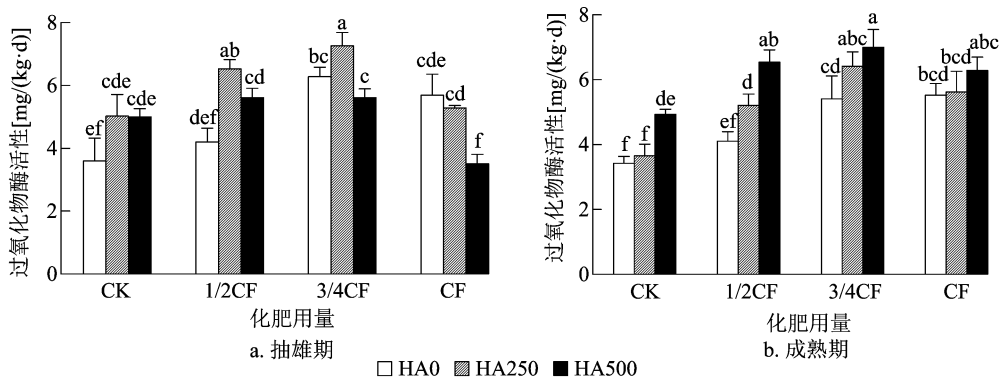


图5 化肥减量配施腐殖酸对土壤过氧化物酶活性的影响

表 2 化肥减量配施腐殖酸对抽雄期土壤养分含量的影响			
化肥处理	碱解氮含量 (mg/kg)		
	HA0	HA250	HA500
CK	39.78 ± 3.21h	50.33 ± 0.84bcde	48.76 ± 2.68cdef
1/2CF	45.20 ± 2.29fg	53.21 ± 0.99bc	54.72 ± 3.94b
3/4CF	43.62 ± 3.27gh	47.60 ± 2.90defg	44.84 ± 0.94fg
CF	45.79 ± 2.46efg	65.77 ± 5.81a	50.80 ± 4.19bcd
化肥处理	有效磷含量 (mg/kg)		
	HA0	HA250	HA500
CK	6.26 ± 0.58e	11.57 ± 0.83ab	12.28 ± 0.73a
1/2CF	6.21 ± 0.47e	10.97 ± 0.46bc	6.75 ± 0.43ef
3/4CF	6.42 ± 0.24ef	10.72 ± 0.38c	7.19 ± 0.28e
CF	6.97 ± 0.55ef	8.07 ± 0.46d	8.18 ± 0.29d
化肥处理	速效钾含量 (mg/kg)		
	HA0	HA250	HA500
CK	137.81 ± 1.04a	136.53 ± 1.36a	139.22 ± 2.82a
1/2CF	138.88 ± 1.68a	137.55 ± 2.37a	137.77 ± 1.50a
3/4CF	137.21 ± 2.23a	137.81 ± 1.47a	139.05 ± 1.06a
CF	139.65 ± 1.89a	139.82 ± 2.79a	138.32 ± 2.25a

注:同一指标数据后不同小写英文字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

处理分别显著提高 16.6% 和 12.6%。1/2CF + HA250 和 1/2CF + HA500 处理土壤有效磷含量较 3/4CF + HA500 处理显著提高 11.5% 和 20.0%,但与 CF + HA0 处理无显著差异。化肥减量配施不同用量腐殖酸处理的土壤速效钾含量逐渐增加,但无显著变化。因此,化肥减量配施腐殖酸一定程度上提高了成熟期土壤速效钾含量。

2.3 化肥减量配施腐殖酸对玉米植株养分含量的影响

2.3.1 化肥减量配施腐殖酸对植株全氮含量的影响 从图 6 可以看出,在不施化肥条件下,施用腐殖酸对拔节期植株全氮含量影响不显著。1/2CF、3/4CF 和 CF 处理配施不同用量腐殖酸处理之间植株全氮含量无显著差异。在抽雄期,各处理组合间

表 3 化肥减量配施腐殖酸对成熟期土壤养分含量的影响			
化肥处理	碱解氮含量 (mg/kg)		
	HA0	HA250	HA500
CK	47.74 ± 2.31e	53.10 ± 3.07cde	54.97 ± 4.21bcd
1/2CF	53.53 ± 2.34bcd	58.82 ± 3.26abc	63.88 ± 5.85a
3/4CF	51.05 ± 2.81de	58.47 ± 3.20abc	56.43 ± 3.66bcd
CF	50.13 ± 3.41e	63.47 ± 4.04a	59.01 ± 3.84ab
化肥处理	有效磷含量 (mg/kg)		
	HA0	HA250	HA500
CK	3.13 ± 0.35f	4.13 ± 0.40zbc	5.22 ± 0.33ab
1/2CF	3.14 ± 0.21f	5.03 ± 0.34abc	5.41 ± 0.25a
3/4CF	3.74 ± 0.05e	4.76 ± 0.14bcd	4.51 ± 0.44d
CF	4.95 ± 0.39abcd	4.65 ± 0.21cd	3.20 ± 0.15f
化肥处理	速效钾含量 (mg/kg)		
	HA0	HA250	HA500
CK	133.45 ± 2.06e	134.09 ± 1.50de	137.04 ± 0.86abcd
1/2CF	134.09 ± 2.15de	136.36 ± 1.68abcde	136.70 ± 1.64abcd
3/4CF	137.04 ± 1.27abcd	137.43 ± 2.12abc	138.88 ± 2.40a
CF	135.29 ± 1.58bcde	134.86 ± 1.98cde	138.20 ± 3.13ab

呈先上升后下降的变化趋势,其中 3/4CF + HA250 处理较 3/4CF + HA500 处理显著提高 56.3%,化肥减量配施 250 mg/kg 腐殖酸的各处理间无显著差异,其中 3/4CF + HA250 处理较 CF + HA0 处理增加 36.6%。

2.3.2 化肥减量配施腐殖酸对植株全磷含量的影响 从图 7 可以看出,拔节期、抽雄期 2 个时期内植株全磷含量均呈现出“低—高一低”的变化趋势。在拔节期,3/4CF + HA250 处理较 1/2CF + HA250 和 CF + HA250 处理分别显著提高 21.2% 和 13.1%,3/4CF + HA500 处理较 CF + HA500 处理显著提高 12.6%。在抽雄期,3/4CF + HA250 处理植株全磷含量较 1/2CF + HA250 和 CF + HA250 处理分别显著提高 26.7% 和 58.6%,3/4CF + HA500 处

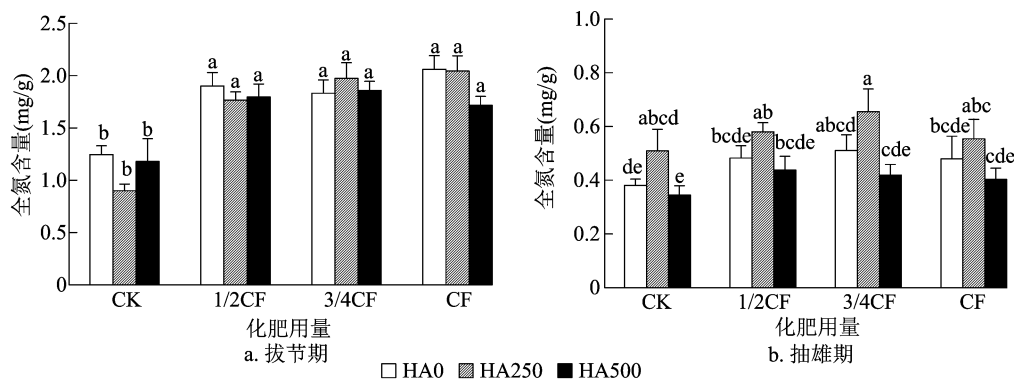


图6 化肥减量配施腐殖酸对植株全氮含量的影响

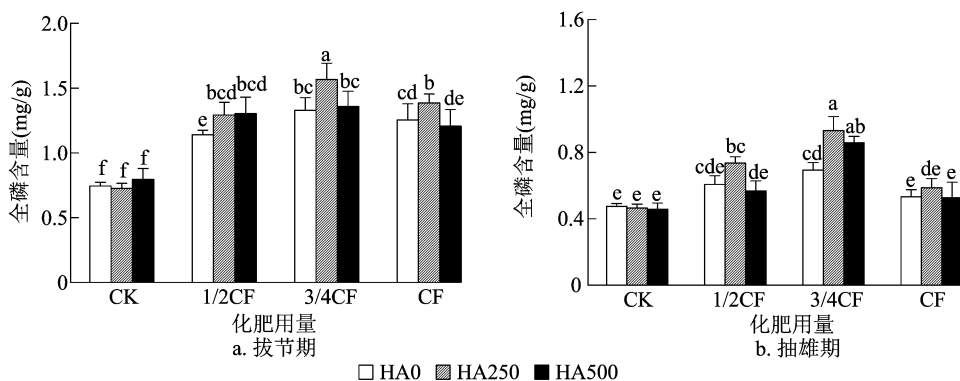


图7 化肥减量配施腐殖酸对植株全磷含量的影响

理植株全磷含量较 1/2CF + H500 和 CF + HA500 处理分别显著提高 51.2% 和 63.0%。

2.3.3 化肥减量配施腐殖酸对植株全钾含量的影响 从图 8 可以看出,在拔节期单独施用不同量的腐殖酸对植株全钾含量无显著影响,而化肥减量配施腐殖酸不同程度地提高了植株全钾含量,其中 3/4CF + HA250 和 CF + HA250 处理植株全钾含量

较 1/2CF + HA250 处理分别提高 24.1% 和 26.8%,而化肥减量配施 500 mg/kg 腐殖酸各处理间无显著差异。抽雄期植株的全钾含量低于拔节期各相同处理;抽雄期施用化肥处理的植株全钾含量显著低于不施化肥处理,且施用化肥处理间无显著差异,而施用腐殖酸处理与不施用腐殖酸处理间无显著差异。

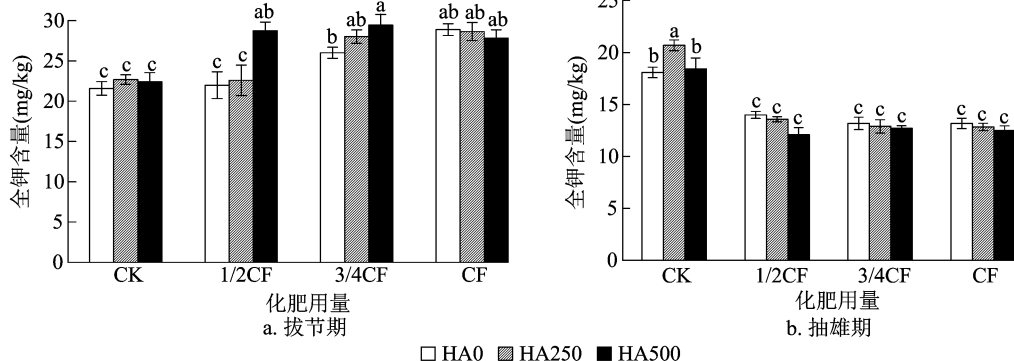


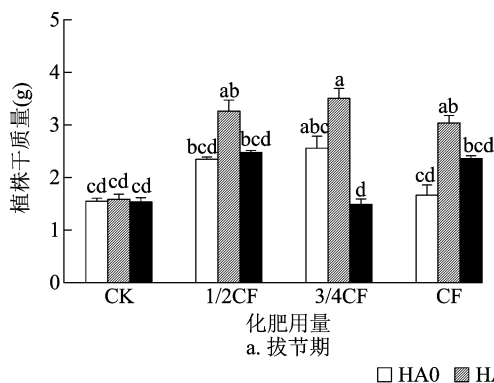
图8 化肥减量配施腐殖酸对植株全钾含量的影响

2.4 化肥减量配施腐殖酸对玉米植株干质量的影响

从图 9 可以看出,拔节期、抽雄期玉米植株干质

量呈现出先升后降的变化趋势。与 CF + HA0 处理相比,化肥减量配施腐殖酸明显增加了拔节期、抽雄期玉米植株干质量。其中,拔节期 3/4CF +

HA250 处理较 CF + HAO 处理显著增加 110.7%, 而 CF + HA250 处理的干质量较 CF + HAO 处理显著增加 82.6%。抽雄期各处理间植株干质量存在显著差异, 其中 3/4CF + HA250 处理的植株干质量最高,



较 1/2CF + HA250 和 CF + HA250 处理分别显著增加 44.0% 和 66.6%, 并且 3/4CF + HA500 处理植株干物质较 1/2CF + HA500 和 CF + HA500 处理分别显著增加 40.1% 和 37.3%。

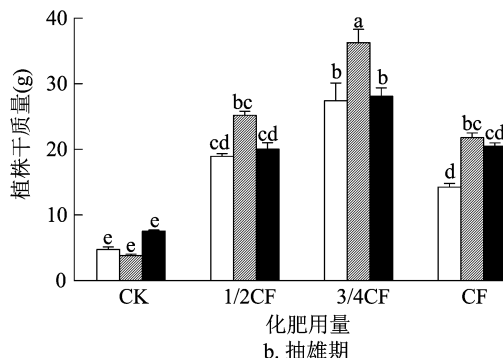


图9 化肥减量配施腐殖酸对植株干质量的影响

3 讨论

3.1 施用腐殖酸对土壤酶活性的影响

在玉米的生产过程中, 化肥起着至关重要的作用, 它也是粮食增产的关键因素, 随着化肥施用量逐年提高, 土壤养分利用效率逐年降低。因此, 适量减施化肥的同时改变施肥方式是提高肥料利用率和玉米产量的有效途径^[20]。本研究发现, 化肥减量配施腐殖酸不同程度地提高了土壤酶活性、土壤养分含量和植株养分含量。土壤酶很大程度上来源于土壤微生物, 表明酶的活性能反映出土壤生物活性、生化反应强度及微生物参与土壤物质循环、提高土壤养分转化的能力, 从而提高玉米植株养分含量^[21]。腐殖酸提高了土壤中的碱解氮含量, 表明腐殖酸固氮效果相对较好, 施用腐殖酸后抽雄期土壤脲酶活性也相对增强, 说明提高土壤有机氮的转化效率能丰富土壤中的氮素积累, 从而满足玉米生长后期的需要。腐殖酸还可通过促进作物的根系代谢, 增加更多的根系分泌物, 从而加快微生物的繁殖速度, 提高酶活性, 其本身含有一定数量的酶, 通过增加土壤酶的数量、提高土壤酶的活性、活化土壤养分, 从而增加玉米植株养分吸收利用率。本研究发现, 在化肥配施腐殖酸的条件下, 随着化肥施用量的提高, 土壤酶活性均呈现出先逐渐升高再降低的变化趋势。这可能由于施入化肥后, 土壤中释放出大量的氨态氮和磷素, 底物浓度的增大抑制了土壤中酶的活性, 施用腐殖酸处理与仅施化肥处理相比酸性磷酸酶(抽雄期)、蔗糖酶、过氧化氢酶、

过氧化物酶、脲酶活性增强, 这与杜社妮等的研究结果^[22-23]相似。董睿潇等的研究表明, 化肥减量配施腐殖酸可以使土壤中的蔗糖酶活性显著增强^[24]。在本试验条件下, 化肥减量配施腐殖酸的土壤蔗糖酶活性与单施化肥相比均有所增强, 当腐殖酸用量为 250 mg/kg 时, 不同化肥用量下土壤蔗糖酶活性相对稳定, 说明腐殖酸施用量达到了肥料中的缓释作用水平, 从而使肥料中碳素的释放较为缓慢, 平衡土壤中蔗糖酶活性的保持。可见, 化肥减量 25% 配施 250 mg/kg 腐殖酸可有效提高土壤蔗糖酶活性。李姣等的研究表明, 复合肥配施生物肥对比单施复合肥可以使土壤过氧化氢酶活性增强^[25]。过氧化氢酶可促进土壤中多种化合物氧化, 防止过氧化物累积而对植物造成伤害, 与好氧微生物数量和土壤肥力密切相关, 表征土壤的氧化强度及肥力状况^[26]。土壤中过氧化物酶活性随着有机质含量的提高而增强^[27]。本试验中土壤过氧化物酶活均呈先升高后降低的趋势, 说明化肥减量配施腐殖酸可能会通过影响土壤微生物活动来影响土壤酶的活性水平, 相对于只施化肥, 化肥减量 25% 配施腐殖酸更有利于提高土壤酶活性。

3.2 施用腐殖酸对土壤养分含量的影响

土壤速效养分含量是土壤肥力的重要指标, 是提高作物产量的重要物质基础^[28]。不同化肥施用量配施腐殖酸处理与常规施肥 CF + HAO 处理相比, 提高了土壤的碱解氮、有效磷、速效钾含量。此外, 与 CF + HAO 处理相比, 土壤养分中的碱解氮含量增加最多, 表明腐殖酸与氮肥结合后能使氮肥缓慢释

放,有利于植物吸收利用。土壤养分含量的提高可促进酶活性增强,而酶活性的增强反过来又会加快有机质分解^[29]。施用腐殖酸会增加作物对土壤养分的吸收,且腐殖酸对植株生长的促进作用与腐殖酸用量密切相关,用量过高会导致作物营养过剩,对养分的吸收利用率降低^[30]。

3.3 施用腐殖酸对植株养分含量的影响

本研究结果显示,腐殖酸用量为 250 mg/kg 时,土壤酶活性、玉米植株养分含量达到最大值;而腐殖酸用量为 500 mg/kg 时,土壤酶活性、玉米植株养分含量反而下降。这可能是由于腐殖酸与生长素作用类似,表现出“低浓度促进、高浓度抑制”的规律。也可能是由于腐殖酸具有良好的促根效果,会促进分生组织细胞分裂,增强其代谢活性。可见,减少化肥投入量、增施适量腐殖酸有利于玉米植株养分吸收及土壤质量的改善。本研究仅分析腐殖酸对土壤养分吸收酶活性及玉米生长的影响,对于土壤微生物数量的影响程度有待进一步研究。

4 结论

与单施化肥相比,不同化肥用量配施 250 mg/kg 腐殖酸均会不同程度地提高土壤酶活性,增加土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量,其中抽雄期的 3/4CF + HA250 处理磷酸酶、蔗糖酶、脲酶、过氧化物酶活性较 CF + HA0 处理均显著增强,同时也提高了植株的全磷含量及干质量。综上,3/4CF + HA250 处理对于促进土壤养分吸收、改善土壤理化性质、提高玉米产量较为适宜。

参考文献:

- [1] 曹志洪. 施肥与大气环境质量——论施肥对环境的影响(1)[J]. 土壤, 2003, 35(4): 265–270.
- [2] 周东兴, 李磊, 李晶, 等. 玉米—大豆轮作下不同施肥处理对土壤微生物生物量及酶活性的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(6): 1856–1864.
- [3] 肖晓璐, 原向阳, 董淑琦, 等. 叶面喷施腐殖酸钾对张杂谷 10 号光合特性及产量的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2018, 38(2): 42–46.
- [4] Canellas L P, Olivares F L, Aguiar N O, et al. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 196: 15–27.
- [5] 麻坤, 刁钢. 化肥对中国粮食产量变化贡献率的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(4): 1113–1120.
- [6] 谢婷婷, 赵欢, 肖厚军, 等. 鲜食玉米干物质积累、氮素利用及产量对新型缓释肥料的响应[J]. 生态学杂志, 2021, 40(7): 2024–2032.

- [7] 王红丽, 张绪成, 于显枫, 等. 半干旱区氮肥运筹对全膜双垄沟播玉米水肥利用和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(2): 449–458.
- [8] 陈平, 杜青, 周丽, 等. 减量施氮及施肥距离对玉米/大豆套作系统增产节肥的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3247–3256.
- [9] Wang S, Xu J P, Zhang X, et al. Structural characteristics of humic-like acid from microbial utilization of lignin involving different mineral types[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26: 23923–23936.
- [10] Ng L C, Sariah M, Sariam O, et al. Bio-efficacy of microbial-fortified rice straw compost on rice blast disease severity, growth and yield of aerobic rice[J]. Australasian Plant Pathology, 2012, 41(5): 541–549.
- [11] Calvo P, Nelson L, Kloepper J W. Agricultural uses of plant biostimulants[J]. Plant and Soil, 2014, 383(1): 3–41.
- [12] Leite J M, Pitumpe Arachchige P S, Ciampitti I A, et al. Co-addition of humic substances and humic acids with urea enhances foliar nitrogen use efficiency in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.)[J]. Heliyon, 2020, 6(10): e05100.
- [13] 裴瑞杰, 王俊忠, 冀建华, 等. 腐殖酸肥料与氮肥配施对土壤理化性质的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(19): 331–334.
- [14] Rowlings D W, Scheer C, Liu S, et al. Annual nitrogen dynamics and urea fertilizer recoveries from a dairy pasture using ¹⁵N; effect of nitrification inhibitor DMPP and reduced application rates[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2016, 216: 216–225.
- [15] Lam S K, Suter H, Mosier A R, et al. Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N₂O emission: a double-edged sword? [J]. Global Change Biology, 2017, 23(2): 485–489.
- [16] Melero S, Porras J C R, Herencia J F, et al. Chemical and biochemical properties in a silty loam soil under conventional and organic management[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 90(1/2): 162–170.
- [17] 叶静宜, 和文龙, 孙连飞, 等. 不同栽培方式对菜地土壤养分和生物学特性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011(5): 32–37.
- [18] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] Cortez J, Bouché M. Decomposition of Mediterranean leaf litters by *Nicodrilus meridionalis* (Lumbricidae) in laboratory and field experiments[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(15): 2023–2035.
- [21] 宋以玲, 于建, 陈士更, 等. 腐殖酸生物有机肥对土壤性质及小麦产量的影响[J]. 腐植酸, 2019(3): 34–41, 47.
- [22] 杜社妮, 梁银丽, 徐福利, 等. 施肥对日光温室土壤微生物与酶活性变化的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 68–71.
- [23] 谷思玉, 汪睿, 耿泽铭, 等. 生物有机肥对盐渍土酶活性和腐殖质组分的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 147–151.
- [24] 董睿潇, 莫力闻, 刘丹阳, 等. 腐殖酸对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 腐植酸, 2020(4): 21–27.

顾 钊,陈小磊,江建峰,等.施用不同类型生物质炭对红黄壤团聚体碳氮分布的影响[J].江苏农业科学,2024,52(1):240-247.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.01.034

施用不同类型生物质炭对红黄壤团聚体碳氮分布的影响

顾 钊¹,陈小磊²,江建峰³,杨海峻³,李子川¹,张 睿¹,袁梦婷¹,柴彦君¹

(1.浙江科技学院环境与资源学院,浙江杭州 310023;2.浙江省地质院,浙江杭州 311203;

3.浙江省衢州市衢江区农业技术推广中心,浙江衢州 324022)

摘要:于 2018—2020 年开展定位试验,在同一温度(350 ℃)下热裂解的玉米秸秆炭、水稻秸秆炭、猪粪炭分别以 0、0.75%、2.25% 的添加量施入种植油菜—玉米的新垦红黄壤农田中,研究不同类型的生物质炭及其不同施用量对土壤团聚体粒径分布、碳氮分布规律的影响。结果表明,不同类型的生物质炭及其不同施用量对土壤团聚体粒径分布均未产生显著的影响。与对照(CK)相比,各施炭处理中猪粪炭 2.25% 施用量处理(PMB2)对各粒径团聚体中全氮含量的提升最为显著,在 >0.250、0.250~0.053、<0.053 mm 粒径团聚体中分别显著提高 106.49%、32.82%、78.57% ($P<0.05$)。施用生物质炭显著提升了红黄壤各粒径团聚体中有机碳含量,>0.250 mm 粒径团聚体中 2.25% 施用量的玉米秸秆炭(CSB2)、猪粪炭(PMB2)提升效果最好,分别提高 308.40%、328.46%。在 >0.250 mm 与 0.250~0.053 mm 粒径团聚体重组组分中,猪粪炭 2.25% 施用量处理(PMB2)对于全氮含量提升效果最显著,其他施炭处理相比对照(CK)均显著提升了全氮含量但是不显著。猪粪炭 2.25% 施用量处理(PMB2)对于 >0.250、0.250~0.053 mm 粒径团聚体重组组分有机碳含量提升最明显,<0.053 mm 粒径团聚体中玉米秸秆炭 2.25% 施用量处理(CSB2)提升最高,猪粪炭 2.25% 施用量处理(PMB2)次之。团聚体与重组碳氮比在 >0.250、<0.053 mm 2 个粒径团聚体中均是玉米秸秆炭 2.25% 施用量处理(CSB2)下最高,且 >0.250、0.250~0.053 mm 粒径中重组碳氮比显著高于原土。原土和重组中碳氮比与贡献率之间仅在 >0.250 mm 粒径团聚体中存在显著弱相关,在其他粒径团聚体中均不相关。说明新垦红黄壤农田中施用生物质炭 2 年后,土壤中碳氮等理化性质受到了生物质炭引发的激发效应,但是未影响土壤团聚体分布。

关键词:生物质炭;粒径;团聚体;碳氮比;重组;有机碳;全氮;红黄壤

中图分类号:S152.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)01-0240-08

土壤团聚体为土壤结构的最基本单元^[1]。不

同粒径的团粒组合影响着表土层的土壤结构,综合协调着土壤水分循环与养分分布^[2],团聚体稳定与否反映土壤是否具备优异的适于农业生产的土壤结构^[3]。土壤有机碳作为团粒结构的胶结物质之一^[4],与土壤中碎散腐殖质、菌丝等多种物质胶结而成的团粒结构在外力挤压的影响下形成了土壤的稳定状态。团聚体固相骨架所具有的高孔隙度特点不但为微生物提供更适宜的栖息环境^[5],也对

收稿日期:2023-02-14

基金项目:浙江省公益计划(编号:LG18D010004);浙江省自然资源厅科技项目(编号:2022-83)。

作者简介:顾 钊(1998—),男,山东滨州人,硕士研究生,研究方向为生物质资源利用。E-mail:guzhao112@163.com。

通信作者:柴彦君,博士,副研究员,研究方向为退化与污染农田的改良与修复。E-mail:chaiyanjun@zust.edu.cn。

[25]李 姣,刘国顺,高 琴,等.不同生物有机肥与烟草专用复合肥配施对烤烟根际土壤微生物及土壤酶活性的影响[J].河南农业大学学报,2013,47(2):132-137.

[26]韦泽秀,梁银丽,山田智,等.不同水肥条件下番茄土壤微生物群落多样性及其与产量品质的关系[J].植物生态学报,2009,33(3):580-586.

[27]许 江,戴慧敏,刘国栋,等.不同土地利用方式下土壤酶活性的变化研究[J].地质与资源,2020,29(6):579-584.

[28]徐 娜,党廷辉,刘文兆.黄土高塬沟壑区农田土壤养分与作物

产量变化的长期监测[J].植物营养与肥料学报,2016,22(5):1240-1248.

[29]白世红,马风云,李树生,等.黄河三角洲不同退化程度人工刺槐林土壤酶活性、养分和微生物相关性研究[J].中国生态农业学报,2012,20(11):1478-1483.

[30]Canellas L P,Oliveres F L,Okorokova - Façanha A L,et al. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H^{+} -ATPase activity in maize roots[J]. Plant Physiology,2002,130(4):1951-1957.