

云朝光,韦秋梅,陆海燕,等. 不同类型腐殖酸肥料对尾巨桉苗木生长及养分吸收的效应[J]. 江苏农业科学,2018,46(13):138-141.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.13.033

# 不同类型腐殖酸肥料对尾巨桉苗木生长及养分吸收的效应

云朝光<sup>2</sup>, 韦秋梅<sup>1</sup>, 陆海燕<sup>2</sup>, 赵毅辉<sup>1</sup>, 杨 梅<sup>1</sup>

(1. 广西大学林学院, 广西南宁 530004; 2. 广西壮族自治区南宁良凤江国家森林公园, 广西南宁 530031)

**摘要:**以尾巨桉 DH3229 组培苗木为试验材料,基施不同肥料:常规复合肥(Ⅰ)、桉树专用肥(Ⅱ)、桉树专用肥+泥炭腐殖酸(Ⅲ)、桉树专用肥+风化褐煤腐殖酸(Ⅳ),以不施肥为对照(CK),研究不同施肥处理对桉树苗木生长、养分利用和积累及土壤养分的影响。结果表明,施肥对尾巨桉苗木生长具有一定的促进作用,对根系的促生作用较为明显,施用腐殖酸施肥处理苗高、地径生长量比常规复合肥相高出 8.43%~14.41%,根系生物量增加 38.76% 和 53.00%;腐殖酸对提高尾巨桉苗木养分积累量未呈现显著优势,但泥炭腐殖酸对 P 元素积累量增加有明显的影 响,比常规和专用肥高 5.56% 和 9.08%;腐殖酸的施用能不同程度地提高培养基质中养分含量,泥炭腐殖酸对土壤速效养分及 Mg 的提高作用尤为显著,其中有效磷含量提高 59.70% 以上,风化褐煤腐殖酸处理下 N、Ca 含量最高。

**关键词:**尾巨桉 DH3229;腐殖酸;养分;土壤肥力

**中图分类号:** S792.390.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)13-0138-04

桉树(*Eucalyptus* spp.)具速生、丰产、耐贫瘠、抗逆性强、干形优良和用途广泛等特点,具有极大的经济、社会效

收稿日期:2017-10-08

基金项目:国家自然科学基金(编号:31260176);广西自然科学基金(编号:2015GXNSFAA139081)。

作者简介:云朝光(1977—),男,海南文昌人,工程师,从事林业经营管理研究。E-mail:740039991@qq.com。

通信作者:杨 梅,博士,教授,主要从事森林培育领域的工作。E-mail:fjyangmei@126.com。

粉的萌发和花粉管生长效果显著;5 mg/L 促进淮枝第 2 批花粉的萌发,5、10 mg/L 促进淮枝第 2 批花粉管的生长,15 mg/L 及以上浓度则抑制花粉管的生长。5~15 mg/L 促进第 3 批花粉的萌发,10~20 mg/L 促进第 3 批花粉管的生长。一定浓度 IBA 对花粉的萌发具有促进作用与杨斐然等的试验结果<sup>[14-15]</sup>一致。从试验结果来看,IBA 能促进荔枝花粉的萌发与生长,但对荔枝的不同品种和不同批次花的花粉而言,IBA 促进其萌发和花粉管生长的浓度有所不同。

## 参考文献:

- [1] 李建国. 荔枝学[M]. 北京:中国农业出版社,2008:1-61.
- [2] 佚名. 果树栽培学各论(南方本)[M]. 北京:中国农业出版社,1999:153-175.
- [3] 曾令达,蔡国富,尹 艳,等. 微量营养物质及生长调节剂对荔枝花粉萌发及生长的影响研究[J]. 惠州学院学报(自然科学版),2009,29(6):30-33.
- [4] 向 旭,欧良喜,邱燕萍,等. 影响荔枝花粉活力的化学因子研究[J]. 广东农业科学,2000(6):29-32.
- [5] 符 碧,杨应华,吴仁良. 几种微量物质对荔枝花粉萌发及生长的影响[J]. 曲阜师范大学学报(自然科学版),2001,27(2):78-80.

益<sup>[1-3]</sup>。目前,我国桉树人工林栽培面积达 440 多万 hm<sup>2</sup>,居世界前列,但产量却远远低于巴西、澳大利亚等国家,其中一个重要的原因是人工林森林土壤质量欠佳,退化严重<sup>[4-5]</sup>。现代化的人工林培育、施肥是改良土壤性质、提高人工林土壤生产力、增加林木产量、获得优质林分的重要经营措施之一,亦是人工林可持续经营的重要策略<sup>[6]</sup>。桉树人工林施肥技术由营养单一的化学肥料发展到配方肥、专用肥等大量元素、中微量元素与有机质、活性物质的科学配比<sup>[7]</sup>。研究表明,施肥能明显促进桉树的生长,氮磷钾肥混合施用的 3 年生桉

- [6] 倪耀源,吴素芬. 荔枝栽培[M]. 北京:中国农业大学出版社,1990:1-31.
- [7] 蔡长河,陈洁珍,欧良喜,等. 荔枝花穗花朵开放习性的观察研究[J]. 广东农业科学,2011(21):20-24.
- [8] 张展薇. 荔枝品种与栽培图说[M]. 广州:广东经济出版社,1999:50-72.
- [9] 俞 乐,刘拥海,袁伟超,等. 植物抗坏血酸积累及其分子机制的研究进展[J]. 植物学报,2016,51(3):396-410.
- [10] 石永春,杨永银,薛瑞丽,等. 植物中抗坏血酸的生物学功能研究进展[J]. 植物生理学报,2015,51(1):1-8.
- [11] 辛东华,金香花,李 旭,等. 不同条件对文冠果花粉萌发的影响[J]. 延边大学农学报,2014,36(1):34-38.
- [12] 谭晓风,袁德义,袁 军,等. 维生素 C 及植物生长调节物质对油茶花粉萌发率的影响[J]. 浙江林学院学报,2010,27(6):941-944.
- [13] 魏婵婵. 影响苹果花粉萌发率的相关因素研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016:1-20.
- [14] 杨斐翔,袁德义,范晓明,等. H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 及植物生长调节剂对锥栗花粉萌发率的影响[J]. 经济林研究,2014,32(1):70-75.
- [15] 张福平,许婉娜. 植物生长调节剂对草莓离体花粉萌发的影响[J]. 中国南方果树,2010,39(4):25-27.

树高达 6.8 m,胸径达 6.2 cm<sup>[8]</sup>;而配方施肥桉树年均增长蓄积量达 60% 以上<sup>[9]</sup>;还有报道称施用生活污水好氧堆肥制成的有机肥料,其桉树生长量比施常规无机肥高 20% 以上<sup>[10]</sup>。谭宏伟等根据桉树对矿质养分吸收的特性研究平衡施肥模式,认为实际生产中为满足桉树的生长要求,须在肥料中添加以 B 为主的微量元素或配施有机质肥料,且应根据需要加大施肥量<sup>[11]</sup>。

桉树施肥应考虑生态环境友好型肥料和提高肥料利用率,当前桉树肥料研究和应用的重心应转移到有缓、控释肥效果的新型多功能肥料上<sup>[12]</sup>。桉树长效缓释肥营养释放过程与桉树生长的需求曲线基本吻合,用其进行追肥,能使桉树极高效地吸收和利用养分,从而有效地加速桉树生长<sup>[13]</sup>。腐殖酸肥料是一种有机-无机肥,具有多种有机大分子基团,能改善土壤胶体、降低养分流失、增强植物吸收养分的能力,能与多种养分(尤其是 P)形成络合物,利于植物吸收,并且减缓肥料养分的流失<sup>[14-16]</sup>。研究表明,腐殖酸肥料能提高桉树叶片叶绿素含量、提高叶面积指数、促进光合作用、提高林木产量,且肥料品质好、稳定性强、适应性广,投入产出比高,经济效益高<sup>[17-18]</sup>。目前的研究侧重于林木产量和经济效益,未对腐殖酸的作用机理及桉树养分吸收效应进行进一步研究。本试验通过对尾巨桉 DH3229 桉组培苗木施用腐殖酸等肥料,研究对桉树苗木生长、养分元素吸收积累以及土壤肥力的影响,初

步评价腐殖酸肥料肥效,为进一步优化桉树肥料配方、提高肥料利用效率提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

试验地点位于广西南宁树木园(地理位置 108°21'E, 22°40'N),属亚热带季风气候,常年温和湿润,夏季炎热潮湿,冬季稍显干燥,夏季长而冬季短。年平均气温 21.6℃,年均降水量 1 300 mm 以上,平均相对湿度为 79%,≥10℃积温 7 200℃/年。

1.2 试验材料与方法

本试验材料为尾巨桉 DH3229 组培苗,苗龄为 1 个月(平均苗高 18.99 cm,平均地径 0.25 mm)。试验时间为 2014 年 6—9 月。盆栽试验采用随机区组设计,设 5 个处理:常规复合肥(Ⅰ)、桉树专用肥(Ⅱ)、桉树专用肥+泥炭腐殖酸(Ⅲ)、桉树专用肥+风化褐煤腐殖酸(Ⅳ)、不施肥(CK),每个处理 3 个重复,每个重复 10 株苗木,施肥量为 300 g/株,各处理肥料养分情况见表 1。盆栽容器规格为 70 cm×60 cm×50 cm,盆栽基质为黄心土:珍珠岩=7:3(体积比),基本养分含量见表 2。供水方式为人工供水,降水不足时适当喷灌,每周除草 1 次。

表 1 不同处理肥料养分含量基本情况

处理	养分配比	N、P、K 来源	微量元素	腐殖酸占比 (%)
CK				
Ⅰ	N:P:K=15:6:9	尿素、氯化铵、碳酸氢铵、钙镁磷、氯化钾	≥8.0%	0
Ⅱ	N:P:K=15:6:9	尿素、钙镁磷、氯化钾	≥8.0%	0
Ⅲ	N:P:K=15:6:9	尿素、钙镁磷、氯化钾	≥8.0%	10.0
Ⅳ	N:P:K=15:6:9	尿素、钙镁磷、氯化钾	≥8.0%	10.0

表 2 盆栽基质养分本底值

养分	本底值
N(g/kg)	0.47
P(g/kg)	0.31
K(g/kg)	1.68
Ca(g/kg)	1.55
Mg(mg/kg)	136.30
Fe(g/kg)	28.00
铵态氮(mg/kg)	18.11
硝态氮(mg/kg)	0.11
速效磷(mg/kg)	1.39
速效钾(mg/kg)	27.20

1.3 样品采集及测定

- (1)苗高、地径:试验前对桉树苗进行本底调查,每月对试验区苗木进行每木调查。
- (2)生物量:每个处理选 3~5 株平均木,将植株挖出,分别测根、茎、叶鲜质量,取样后采用恒重法测定干质量,三者相加为整株生物量。
- (3)根、茎、叶养分含量:氮、磷经硫酸-过氧化氢法消煮提取,采用全自动间断化学元素仪(SmartChem 200)进行测定;钾用碱熔-火焰光度法测定;钙、镁采用硝酸-高氯酸消

煮,原子吸收分光光度计测定。

(4)将所采平均木的培养基质混合均匀,每个处理取 3~5 个重复,每个重复取样 2 份,一份风干过 100 目筛,用于测定全量养分;另一份 4℃下保存鲜样,测速效养分含量。氮(N)、磷(P)用硫酸-高氯酸消煮,铵态氮、硝态氮分别采用 KCl、CaSO<sub>4</sub> 浸提,速效磷采用 HCl-1/2H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提,利用全自动间断化学元素仪进行测定;钙(Ca)、镁(Mg)采用硝酸-高氯酸消煮,原子吸收分光光度计测定。

1.4 数据统计

采用 SPSS 21.0、Microsoft Excel 2010 等统计分析软件对所得数据进行统计整理、方差分析及显著性检验(Duncan 新复极差法)。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理苗木生长差异分析

由表 3 可知,施肥处理苗高生长量、地径生长量及生物量均极显著高于不施肥处理,苗高、地径月平均增量达 27.22~31.36 cm、5.05~5.52 mm,总生长量高达 CK 的 2.37~10.51 倍( $P\leq 0.01$ ),其中添加腐殖酸的施肥处理Ⅲ和Ⅳ苗高、地径生长量比施用常规复合肥处理Ⅰ高出 8.52%~14.41%,差异极显著。根系生物量增加较为明显,Ⅳ根系生物量极显著

表 3 不同施肥处理下桉树苗木生长量及生物量

处理	苗高生长量 (cm)	地径生长量 (mm)	生物量(g/株)			
			根	茎	叶	单株
CK	24.39Dd	6.39Cc	6.63Cc	3.69Bb	7.28Bb	17.60Bb
I	81.67Cc	15.14Bb	39.77Bb	59.95Aa	85.27Aa	184.99Aa
II	94.09Aa	16.27Aa	43.18Bb	68.10Aa	84.62Aa	195.90Aa
III	93.44Aa	16.57Aa	46.86ABb	61.72Aa	82.43Aa	191.01Aa
IV	88.72Bb	16.43Aa	60.85Aa	57.90Aa	79.03Aa	197.78Aa

注:同列数据后不同大写字母、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。下同。

高出 I 和 II 处理 53.00% 和 40.92%,III 根系生物量比 I 处理增加 17.83%,说明腐殖酸能明显促进尾巨桉苗木的根系生长。III、IV 处理植株生物量分别比 I 处理高 3.25% 和 6.91%,但未达到显著差异水平,这可能与腐殖酸肥料的释缓效果有关,由于研究期较短,尚未表现出优势,需进一步观察研究。

2.2 不同施肥处理苗木养分积累量差异分析

从巨尾桉苗木的养分积累量(表 4)来看:各个施肥处理均能明显促进巨尾桉对养分的吸收利用,各元素养分积累量均极显著高于不施肥处理(比 CK 高 4.50 倍以上)。III 和 IV 处理 N 积累量分别比 I 和 II 处理低 29.93% 和 31.02%,差异达到极显著水平;P 积累量以 III 处理最高,比其他施肥处理显著高 5.46%、5.96% 和 9.08%,依次为 I、IV 和 II 处理,后三者之间无显著差异;各施肥处理间的 K 积累量表现为处理 II 最高,为较其他 3 个处理平均提高 16.85%;添加腐殖酸的 III 和 IV 处理 Ca 积累量较施用常规复合肥 I 处理分别高 15.38% 和 21.89%,差异达到极显著水平;Mg 积累量以 II 最高,但与 III 和 IV 处理差异不显著,而添加风化褐煤腐殖酸的 IV 处理比 I 显著高出 3.96%。

2.3 不同施肥处理对盆栽基质养分差异分析

由表 5 可看出,施肥处理增加了土壤分含量,各养分含量均高于 CK,添加腐殖酸的施肥处理 III 和 IV 基质土壤 N 含量分别较常规复合肥(I)及桉树专用肥(II)增加了 35.21%、

表 4 不同施肥处理下桉树苗木养分积累量

处理	不同养分积累量				
	N(g/株)	P(mg/株)	K(g/株)	Ca(g/株)	Mg(mg/株)
CK	0.14Cd	20.33Cc	0.43Cc	0.26Cd	12.06Cc
I	2.74Aa	241.65ABb	2.12Bb	1.69Bc	132.49Bb
II	2.74Aa	233.62Bb	2.47Aa	2.28Aa	138.91Aa
III	1.92Bb	254.84Aa	2.21ABb	1.95ABb	136.45ABab
IV	1.89Bc	240.51ABb	2.05Bb	2.06Aab	137.73ABa

65.52% 和 42.25%、74.14%( $P\leq 0.01$ ),铵态氮含量则表现为 III 处理最高,比 I 和 II 处理增加 55.65% 和 54.02%,腐殖酸对土壤 N 养分的影响较为显著;土壤全 P 及有效磷含量均表现为 III 和 IV 处理比 II 处理高 36.36%~179.74%,差异达到极显著水平,说腐殖酸对盆栽基质 P 的有一定强度的活化作用;基质土壤中 K 含量表现出 III 和 IV 处理全 K 含量分别较 II 处理高 16.95% ( $P\leq 0.05$ ),但与处理 I 无显著差异,速效钾则是 III 处理最高,高于 I、II 处理 55.01%、5.72%,差异极显著;Ca 含量表现为 IV 处理最大,高出其他处理 12.12%、81.12% 和 43.89% ( $P\leq 0.05$ ),III 处理高于 II 处理 25.87% ( $P\leq 0.05$ ),但较 I 低;Mg 含量与 N 表现出相似的结果,表现为 III 处理最高,其后依次为 IV、II、I 处理,添加腐殖酸的施肥处理 III、IV 较 I、II 增加了 8.88%~42.19%。

表 5 不同施肥处理土壤养分含量

处理	N 含量 (g/kg)	P 含量 (g/kg)	K 含量 (g/kg)	Ca 含量 (g/kg)	Mg 含量 (mg/kg)	铵态氮含量 (mg/kg)	有效 P 含量 (mg/kg)	速效 K 含量 (mg/kg)
CK	0.42De	0.30Dd	1.65Cb	1.42Cd	99.15Ee	17.21Dd	1.32Ee	18.25Dd
I	0.71Bc	0.47Aa	2.11Aa	2.31ABb	155.44Dd	21.67Bb	24.47Bb	112.70Ce
II	0.58Cd	0.33Cc	1.77BCb	1.43BCd	301.55Cc	21.90Bb	13.97Dd	165.25Bb
III	0.96Ab	0.48Aa	2.07ABa	1.80BCc	376.46Aa	33.73Aa	39.08Aa	174.70Aa
IV	1.01Aa	0.45Bb	2.07ABa	2.59Aa	328.34Bb	19.39Cc	20.54Cc	111.20Ce

3 结论与讨论

腐殖酸含有多种有机大分子基团(羧基、酚羟基等),能活化 P 等多种被土壤固定的养分元素,改善土壤胶体和化学性能,有效减少肥料养分淋溶流失<sup>[19]</sup>。有报道表明,配施腐殖酸处理下杨树根系活力增强,根和叶的生长素、赤霉素含量上升,生物量提高,根系生物量增加尤其显著(38.98%),并显著提高了杨树氮、磷、钾养分含量(35.73%、46.64% 和 34.50%)<sup>[20]</sup>;腐殖酸液肥还能提高楸树在丘陵岗地的造林成活率,2.5 kg/株的施用量能达到 96.7% 的成活率<sup>[21]</sup>。本研究表明,添加腐殖酸肥处理下桉树苗木苗高和地径月平均增量达 30 cm 和 5 mm 左右,说明腐殖酸肥料不仅供肥能力强,

同时对土壤保水及植物吸收水分具有一定协同促进作用,较大程度地满足了桉树苗木生长需求,在生物量及养分积累量方面还未有显著差异,可能与腐殖酸肥料的缓释效果有关,有待进一步延长试验时间以观察研究,但对根系的促生作用及 P 的积累有显著影响,与前人研究结果一致,这与腐殖酸增强植物根系活力、活化 P 等矿物质元素的功效相关。邢尚军等的研究也表明腐殖酸能改善杨树的生长状况,尤其能增加毛细根数量,根系发达明显,未经活化及经过硝酸活化的腐殖酸均能显著促进杨树根系生长,干重分别增加 35.14% 和 35.88%,同时 N 素利用率高达 54.76%<sup>[22]</sup>;另外,添加腐殖酸施肥玉米 N、P、K 吸收量较不添加的分别增加了 11.0%~20.4%、6.8%~22.2% 和 49.3%~59.0%<sup>[23]</sup>。腐殖酸含有

表面积巨大的多种活性基团,能够刺激植物侧根形成及增大有效吸收面积,其络合作用使土壤养分易被植物吸收<sup>[24]</sup>,腐殖酸肥料中还兼含有有机、无机养分以及微生物,其缓急相济的养分释放效率与植物养分吸收规律基本一致,使得植物对肥料养分的吸收利用达到高效<sup>[25-27]</sup>。

有研究表明,加入腐殖酸使土壤对 P 的吸附量和吸附速率明显降低,最多降低 50% ~ 60%,添加腐殖酸能改善肥料物理性状,提高其供养的稳定性和有效性<sup>[28]</sup>,当土壤腐殖酸加入量为 2.0 g/kg 时,对土壤固定 P 元素的抑制作用最佳(净固定抑制量达 192.4 mg/kg),超量抑制作用反而减弱<sup>[29]</sup>;腐殖酸缓效肥料能抑制土壤中 NO<sub>3</sub> - N 向下淋溶,0 ~ 40 cm 土壤剖面中 NO<sub>3</sub> - N 所占比例显著高于尿素及复合肥处理,分别达 59.8% 和 54.4%,同时提高土壤有机质、碱解氮、速效磷含量及阳离子交换量<sup>[30]</sup>。本研究表明,施用腐殖酸肥料能一定程度提高基质中各养分含量,尤其速效养分在泥炭腐殖酸处理下富集较为显著,但风化褐煤腐殖酸处理下速效养分有所降低,推测可能是桉树高生长量对养分的吸收量较大、利用率高,造成盆栽土壤速效养分含量相对较低,腐殖酸通过影响胡敏酸碳与富里酸的比值提高腐殖质活力,同时显著增强土壤酶活性,有利于土壤培肥<sup>[31]</sup>。胡明芳等的研究也表明,腐殖酸液肥不仅能促进植物的生长(增加 10.0% ~ 65.8%)、提高养分吸收量(增加 10.1% ~ 101.4%),还能降低土壤 pH 值,有机质含量比一般施肥增加 3.57 g/kg 以上,速效 P、K 增加 70% 以上<sup>[32]</sup>。一方面,腐殖酸在土壤酸碱度、阳离子交换量、养分含量等方面更符合土壤环境的要求<sup>[33]</sup>,另一方面,其含有的大分子团呈不同的形态,可供植物在生长发育过程中利用微生物来增强土壤养分转化,从而进一步影响土壤全量养分、速效养分<sup>[26]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 黄昭平. 广西桉树人工林种植情况及其对生态环境的影响[J]. 河北林业科技, 2011(2): 44 - 46.
- [2] 谭宏伟, 周柳强, 黄美福. 广西桉树种植区土壤条件及其可持续发展的思考[J]. 广西农学报, 2009, 40(8): 1031 - 1033.
- [3] 黄桂英, 蒋文艳, 吴庭芝. 广西桉树人工林发展现状及对策探析[J]. 科技信息(学术研究), 2008(29): 305 - 307.
- [4] 李奇, 朱建华, 冯源, 等. 中国主要人工林碳储量与固碳能力[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(4): 1 - 6.
- [5] 于福科, 黄新会, 王克勤, 等. 桉树人工林生态退化与恢复研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 393 - 398.
- [6] 蒙世协, 杨锋, 闭革林, 等. 不同配比桉树专用肥的施用效果[J]. 广西林业科学, 2015, 44(2): 191 - 193.
- [7] 臧国长, 马祥庆, 蔡丽平. 我国桉树人工林施肥研究进展[J]. 福建林业科技, 2007, 34(4): 253 - 258.
- [8] 黎明. 桉树幼林山地不同施肥试验[J]. 桉树科技, 2014, 31(2): 43 - 45.
- [9] 曹继钊, 陈海军, 张家昌, 等. 桉树新型肥料品种施肥肥效试验初探[J]. 广西林业科学, 2011, 40(1): 22 - 25.
- [10] 许文江, 许传俊, 陈丽璇, 等. 污泥好氧堆肥及桉树施肥试验研究[J]. 福建农业学报, 2010, 25(6): 759 - 765.
- [11] 谭宏伟, 杨尚东, 刘永贤, 等. 基于桉树矿质营养吸收特性的平

衡施肥模式[J]. 南方农业学报, 2015, 46(8): 1391 - 1395.

- [12] 杨启军, 曹继钊, 欧代敏, 等. 桉树人工林肥料发展[J]. 广西林业科学, 2013, 42(2): 193 - 196.
- [13] 唐春红, 吴朝学, 姚姜铭, 等. 不同桉树专用追肥对桉树生长的影响[J]. 南方农业学报, 2012, 43(8): 1154 - 1157.
- [14] Song X, Liu J, Jin S, et al. Differences of C sequestration in functional groups of soil humic acid under long term application of manure and chemical fertilizers in North China[J]. Soil Tillage Research, 2018, 176: 51 - 56.
- [15] 成绍鑫, 吴奇虎. 泥炭水解 - 氧化产物的组成性质及其利用前景[J]. 煤炭转化, 1992, 15(4): 18 - 27.
- [16] 武丽萍, 成绍鑫. 关于腐殖酸对尿素增效作用的研究与产品开发概况及发展趋势[J]. 腐植酸, 2001(1): 1 - 3.
- [17] 钱国钦. 桉树腐殖酸(HA)专用肥区域试验与配方的优选[J]. 亚热带资源与环境学报, 2007, 2(4): 15 - 23.
- [18] 何明辉. 桉树腐殖酸(HA)专用肥施用效果与经济效益分析[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(15): 89 - 91.
- [19] 吕金东, 习利群. 腐植酸复合肥在桉树栽培中的应用[J]. 江西林业科技, 2006(增刊): 14, 20.
- [20] 张敏敏, 邢尚军, 桑茂鹏, 等. 不同水分下腐殖酸对杨树生理生化特性和生长的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 24(6): 200 - 203.
- [21] 孙立峰, 杨枫林, 胥东, 等. 提高丘陵岗地桉树造林成活率的技术措施[J]. 林业工程学报, 2009, 23(4): 108 - 110.
- [22] 邢尚军, 刘方春, 杜振宇, 等. 腐殖酸肥料对杨树生长及土壤性质的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4): 126 - 129, 135.
- [23] 陈振德, 何金明, 李祥云, 等. 施用腐殖酸对提高玉米氮肥利用率的研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 52 - 54.
- [24] 张敏敏, 刘春生, 叶桂梅, 等. 腐殖酸与无机肥配施对 I - 107 欧美杨养分和土壤肥力的影响[J]. 林业科学, 2011, 47(9): 158 - 161.
- [25] 毕军, 夏光利, 毕研文, 等. 腐殖酸生物活性肥料对冬小麦生长及土壤微生物活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 99 - 103.
- [26] 王长军, 王肇陟, 王世荣. 生物有机肥、腐殖酸对水稻产量和土壤化学性质的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 93 - 95.
- [27] 马太光, 李海平, 郭秀霞, 等. 腐殖酸对 NaCl 胁迫下西葫芦胚轴和根生长及抗氧化特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(9): 189 - 192.
- [28] 李春越, 党廷辉, 王万忠, 等. 腐殖酸对农田土壤磷素吸附行为的影响研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 77 - 82.
- [29] 陈金林, 潘根兴, 吴春林, 等. 苏南丘陵森林土壤磷的固定特性研究[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(4): 113 - 115.
- [30] 刘方春, 邢尚军, 段春华, 等. 腐殖酸缓效肥料的 NO<sub>3</sub> - N 田间淋溶及土壤残留[J]. 环境科学, 2010, 31(7): 1619 - 1624.
- [31] 张敏敏, 桑茂鹏, 刘春生, 等. 不同水分下腐殖酸对杨树生长和土壤肥力的影响[J]. 中国农学通报, 2013(31): 64 - 68.
- [32] 胡明芳, 田长彦, 王平, 等. 黑液腐殖酸液体肥料对棉花生长及土壤理化性质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(12): 195 - 199.
- [33] 钟哲科, 杨慧敏, 白瑞华, 等. 氮改性褐煤的特性及其在退化土壤造林中的应用研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 213 - 216.