

组配改良剂对园林废弃物堆肥基质理化性质及鸟巢蕨生长影响

龚小强, 孙向阳*, 李 燕, 李素艳, 张 璐

(北京林业大学 林学院, 北京 100083)

摘 要:采用鸟巢蕨盆栽试验, 研究组配改良剂(竹酢液+麦饭石)施用对园林废弃物堆肥栽培基质理化性质和植株生长的影响。结果表明, 组配改良剂的施加对栽培基质容重、总孔隙度、持水空隙和通气孔隙等物理性质影响不明显; 组配改良剂的施加对化学性质有显著影响, 降低有机碳含量和基质 pH 值, 提高基质 EC 值及全氮、全磷、全钾、碱解 N、速效 P、速效 K 的含量, 同时对微量元素 Cu、Zu、Fe 含量提高有积极作用; 组配改良剂添加促进了植株生长, 提高了生物量的积累(鲜质量)、株高、冠幅, 叶绿素含量, 同时提高植株全 N、全 P、全 K 营养元素含量。将栽培后基质和植株之间各指标进行综合比较, 组配改良剂稀释 1 000 倍竹酢液 500 mL/kg+麦饭石 40 g/kg, 效果最佳。

关键词:组配改良剂; 园林废弃物; 鸟巢蕨; 栽培基质

中图分类号:S723.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)05-0126-07

Effects of Combined Amendments on Physicochemical Properties of Green Waste Compost Substrates and Growth of *Asplenium nidus*

GONG Xiao-qiang, SUN Xiang-yang*, LI Yan, LI Su-yan, ZHANG Lu

(College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The aim of this research was to evaluate the effects of combined amendments (bamboo vinegar + medical stone) on physicochemical properties of green waste compost substrates and growth and nutrition of *Asplenium nidus*. The results showed that the application of combined amendments had no significant effects on bulk density, total pore space, water hold capacity and air space value of the growing substrates. The utilization of combined amendments resulted in the decreases of organic matter content and pH of the growing substrates compared to the control. On the other hand, the application of combined amendments resulted in the increases of EC, contents of total nutrients (total N, P, K), available nutrients (available N, P, K) and micronutrients (Fe, Zn, and Cu) of the growing substrates. Combined application of bamboo vinegar and medical stone promoted plant growth, and also increased chlorophyll, N, P, K contents of the plants, which accordingly had the plant weight, plant height and leaf surface increased. The combined amendments of applying 500 mL/kg 1 000 times dilution bamboo vinegar + 40 g/kg medical stone to the green waste compost substrates had the best effect.

Key words: combined amendment; green waste; *Asplenium nidus*; growing substrate

随着中国国民经济不断提升, 城市绿化建设迅速发展, 园林废弃物如枯枝落叶、灌木修剪物、草坪修剪物和残花等的产生量也急剧增加^[1]。传统的焚烧和填埋处理方式, 不仅污染大气和水体, 而且浪费

收稿日期: 2014-11-25 修回日期: 2014-12-11

基金项目: 国家林业局林业科技成果国家级项目推广“农林废弃物生产花木栽培基质技术推广与示范”(〔2012〕39 号)。

作者简介: 龚小强, 男, 博士研究生, 研究方向: 固体废弃物资源化再利用。Email: styyl@163.com

* 通信作者: 孙向阳, 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 农林废弃物再利用与生态环境。Email: sunxy@bjfu.edu.cn

宝贵的生物质资源,因此,无害化和资源化处理是一种必然趋势^[2]。堆肥化处理是目前园林废弃物资源化处理最具前景的技术之一^[3]。堆肥法是利用微生物活动,将含大分子有机物质的园林废弃物转化为富含腐殖酸和可溶性营养元素的堆肥产品,进而可以将产品应用为栽培基质、有机肥和土壤覆盖物^[4]。然而,堆肥过程产生的大量小分子有机物及矿质营养使得产品出现 pH 值、EC 值偏高,营养不均衡等问题,在作栽培基质应用过程中,往往导致苗木出现盐害及烧苗现象^[5],使得其作为栽培基质添加比例较低。如北京林业大学张璐^[6]等研究园林废弃物堆肥产品作为青苹果竹芋替代基质,以添加 50% 为宜;张强^[7]等研究园林废弃物堆肥产品作为马齿苋、矮牵牛、彩叶草栽培基质,也以添加 50% 为宜,超过 70% 就发生毒害作用。因此,有效降低基质 pH 值、EC 值和改善堆肥基质理化性质,成为现阶段园林废弃物产品用作栽培基质急需解决的问题之一。

竹酢液是竹炭生产过程中竹材热解成分的冷凝回收液,主要是有机酸、酚类、酮类、醇类和酯类等,其中醋酸占有机成分的 50% 左右^[8],已有研究^[9-10]其能作为有效的盐碱地改良剂。麦饭石自身具有良好的溶出性能,能够溶出 Mg^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 等微量营养元素,而且对矿质营养和重金属元素具有良好的吸附和解吸作用,同时麦饭石还具有双向调节水体 pH 值作用^[11-13],已有研究^[14-16]能有效改良土壤,并对植物生长具有良好的促进作用。本文选取竹酢液和麦饭石作为改良剂,研究其对园林废弃物堆肥基质栽培后理化性质及对鸟巢蕨(*Asplenium nidus*) 生长发育影响,以期能筛选适宜鸟巢蕨生长的园林废弃物堆肥基质的最优改良配比,同时也为园林废弃物资源化利用用于花卉无土栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试园林废弃物堆肥产品来源于北京市京圃园生物工程有限公司堆肥基地,(堆肥起始条件是调节 C/N 至 25,含水量 60%~70%,加入 5 mL/kg 自制菌剂(康氏木霉和白腐菌混合菌种),堆体每 7 d 翻堆 1 次,并补充水分使得含水量达到 60%~70%,共堆肥 42 d,其中堆肥温度达到杀灭病原微生物要求 55~60℃ 为 4 d,堆肥至 42 d 时接近环境温度,达到腐熟)。堆肥产品的基本性质如下:pH 值 8.62,EC 值 $3.787\text{ ms}\cdot\text{cm}^{-1}$,有机碳 $221.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $18.93\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷 $4.16\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全钾 9.68 g

$\cdot\text{kg}^{-1}$,速效氮 $416.41\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $663.89\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $1014.35\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,总 Cu 含量 $0.42\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,总 Zn 含量 $1.34\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,总 Fe 含量 $11.03\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

供试改良剂:竹酢液精制液,购自桂林新竹大自然生物材料有限公司,pH 值 2.92,EC 值 $1.27\text{ ms}\cdot\text{cm}^{-1}$;麦饭石粉,购自桂林新竹大自然生物材料有限公司,325 目。

供试植株:为花乡花木集团顺义区草桥镇苗圃提供生长 3 个月的鸟巢蕨幼苗。

1.2 试验方案

本研究于 2012 年 4 月在北京花乡花木集团草桥镇苗圃温室内进行,将堆肥基质按表 1 所示依次加入竹酢液稀释(竹酢液添加量为按稀释后 500 mL/kg 加入,对照为添加蒸馏水 500 mL/kg 的量)和麦饭石粉,共 7 个处理,加入改良剂后放置反应 7 d 后,进行植物栽培。选取株高 14~15 cm,叶片生长健壮,根系无损伤、无病害的鸟巢蕨幼苗,置于 $150\text{ mm}\times132\text{ mm}$ 栽培,每个处理重复 60 次,整个栽培试验周期为 180 d,各个处理栽培管理均一致。

表 1 试验设计

Table 1 Design of experiment

处理	竹酢液稀释倍数/倍	麦饭石粉添加量/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
CK	无添加	无添加
T1	500	20
T2	500	40
T3	500	80
T4	1 000	20
T5	1 000	40
T6	1 000	80

植株生长 180 d 后,各个处理随机选择 10 株,取出洗净,测定株高、冠幅、鲜质量、叶绿素含量,之后植株在 105℃ 下杀青 10 min,然后在 75℃ 烘干至恒重,最后植株粉碎过 1 mm 筛,测定植株全 N、全 P、全 K 含量。同时,采集基质样品,样品分为两部分:一部分自然风干处理,测定 pH、EC,基质容重、总孔隙度、持水空隙、通气孔隙;另一部分于 75℃ 烘干至恒重后,粉碎过 1 mm 筛,测定有机碳含量,全 N、全 P、全 K 含量,速效 N、速效 P、速效 K 含量,总 Cu、总 Zn、总 Fe 含量。

1.3 测定项目及方法

基质容重、总孔隙度、持水空隙、通气孔隙特性的测定参照田赞^[17] 等方法;取风干基质加入 200 mL 容量环刀(W0)中,记录重量 W1,浸泡 24 h 后记录重量 W2,自然沥干 4 h 记录重量 W3,最后在 65℃ 烘干至恒重,记录重量 W4,按下列公式计算:基质容重($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)=(W4-W0)/200;总孔隙度

(%)=(W2-W4)×100%/200;通气空隙(%)=(W2-W3)×100%/200;持水空隙=总孔隙度-通气空隙。

基质酸碱度(pH)和电导率(EC)使用 pH 计和电导率测定仪(MP521,上海三信仪表厂)测定,固液比为 1:5。基质有机碳含量采用重铬酸钾外加热法测定;碱解 N 采用碱解扩散法;速效 P 采用 0.5 mol·L⁻¹碳酸氢钠浸提,钼锑抗比色法分析,紫外可见分光光度计(752N,上海精密科学仪器有限公司)测定;速效 K 采用 1 mol·L⁻¹乙酸铵浸提,火焰光度计(FP640,上海精密科学仪器有限公司)测定。

参照鲍士旦^[18]的方法对基质样品用浓硫酸、过氧化氢进行消解,消解液进行全 N、全 P、全 K 含量,总 Cu、总 Zn、总 Fe 含量测定。全 N 采用凯氏定氮法测定;全 P 采用钼锑抗比色法分析,紫外可见分光光度计(752N,上海精密科学仪器有限公司)测定;全 K 采用火焰光度计(FP640,上海精密科学仪器有限公司)测定,总 Cu、Zn、Fe 采用电感耦合等离子体光谱仪(prddigyXP,美国 Leeman Labs 公司)测定。

鲜质量测定:用精度 0.01 g 电子天平分别称量洗净后的鸟巢蕨新鲜成株鲜质量;

株高、冠幅测定:鸟巢蕨成株株高、冠幅均采用尺度 0~100 mm 软尺测定,株高测定基质表面至植株顶端高度,冠幅测量鸟巢蕨成株纵向和横向的冠幅直径,按公式 $S=\pi\times(d/2)^2$ 计算冠幅面积。

表 2 不同处理基质栽培 180 天后物理性质变化

Table 2 Influences of different treatments on physical properties of the media after planting for 180 days

处理	容重/(g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	持水空隙/%	通气孔隙/%
CK	0.37±0.02 ab	67.64±0.41 b	54.38±0.15 ab	13.26±0.67 cd
T1	0.40±0.02 a	68.40±0.22 ab	56.03±0.33 a	12.37±0.10 e
T2	0.36±0.03 b	67.79±0.17 b	54.96±0.47 ab	12.83±0.15 de
T3	0.37±0.03 ab	68.28±0.43 ab	55.33±0.58 ab	12.95±0.69 cde
T4	0.38±0.01 ab	67.58±0.59 b	53.94±0.15 b	13.64±0.20 bc
T5	0.41±0.03 a	68.08±0.30 ab	53.64±0.63 b	14.44±0.56 b
T6	0.38±0.02 ab	69.15±0.27 a	53.87±0.16 b	15.28±0.37 a

注:同列英文字母不同代表差异显著($p<0.05$),下同。

2.2 组配改良剂对堆肥基质化学性质的影响

温室条件下栽培 180 d 后,基质的化学性质变化如表 3 所示。组配改良剂处有机碳含量 T3 和 T5 含量相近,均显著低于对照 CK,分别降低 11.86%和 14.75%,T2、T4 和 T6 含量相近,相比对照降低 5.84%、6.28%、3.58%,与对照差异未达显著,T1 高于对照 4.52%,但差异不显著。组配改良剂处理基质中有机碳含量较对照降低,可能是由于堆肥基质在栽培过程也会发生缓慢降解^[4],而竹醋液和麦饭石添加具有促进基质当中微生物的活动,加速有机物质降解作用引起^[20]。

叶绿素含量测定参照张宪政^[19]的丙酮乙醇混合液法方法测定;

植株全 N、全 P、全 K 含量测定同上述基质测定方法。

1.4 数据处理方法

试验数据采用 Microsoft Office Excel 2003 和 SPSS 18.0 数据处理软件,进行方差分析和多重比较。

2 结果与讨论

2.1 组配改良剂对园林废弃物堆肥栽培基质物理性质的影响

温室条件下栽培 180 d 后,基质的物理性质变化如表 2 所示。可以看出,6 个组配改良剂处理对基质的容重、总孔隙度、持水空隙和通气孔隙影响不同。通过方差分析和多重比较($p<0.05$),6 个组配改良剂处理基质容重与对照均差异均不显著;6 个组配改良剂处理中,T6 总孔隙度显著高于 CK,其它处理则与对照差异不显著;6 个组配改良剂处理基质持水空隙与对照均差异均不显著;6 个组配改良剂处理中,T6、T5 通气孔隙显著高于 CK,T1 显著低于 CK,T2、T3、T4、与 CK 差异不显著。

综上所述,组配改良剂的施加对栽培基质容重、总孔隙度、持水空隙和通气孔隙影响不明显,相比于对照。其中仅 T6 处理同时对总孔隙度和通气空隙影响显著。

组配改良剂处理基质 pH 均显著低于对照处理 7.39,T1—T6 基质 pH 在 7.04~7.21 范围,均在理想范围 6.0~7.5^[21]内。对照基质相比初始 pH 降低,可能是由于栽培过程灌溉的淋洗作用。组配改良剂基质 pH 值较对照降低主要原因可能是:由于一方面竹酢液本身呈酸性,稀释加入后与基质中碱性物质发生中和反应^[5];另一方面麦饭石可以析出 Al³⁺,在碱性条件下,Al 可以 H₂AlO₃⁻形式存在,带负电荷,在酸性条件下,以 Al(OH)₂⁺形式存在,能够起到双向调节 pH 值作用^[11]。

表 3 不同处理基质栽培 180 d 后化学性质变化

Table 3 Influences of different treatments on chemical properties of the media after planting for 180 days

处理	CK	T1	T2	T3
有机碳/(g·kg ⁻¹)	159.32±4.21 ab	166.54±3.12 a	150.01±8.89 abcd	140.75±3.32 c
pH 值	7.39 ±0.03 a	7.20±0.07 b	7.21±0.15 b	7.04±0.03 c
EC 值/(ms·cm ⁻¹)	1.12±0.09 c	1.30±0.07 bc	1.35±0.05 abc	1.40±0.19 ab
全氮/(g·kg ⁻¹)	16.32±2.34 c	19.21±0.64 bc	18.53±0.71 bc	19.33±0.61 bc
全磷/(g·kg ⁻¹)	3.23±0.32 c	3.87±0.32 bc	3.34±0.36 c	3.74±0.57 c
全钾/(g·kg ⁻¹)	6.22±0.22 b	7.64±0.52 ab	8.16±0.34 a	7.54±0.21 ab
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	384.41±19.40 c	382.51±15.17 c	430.80±23.01 ab	395.56±20.71 bc
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	576.89±25.06 b	650.76±20.62 ab	641.51±31.94 ab	659.37±50.89 ab
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	934.35±24.97 a	683.33±30.38 b	720.31±54.89 b	1002.99±62.40 a
总铜/(mg·kg ⁻¹)	34.22±9.06 c	45.63±5.74 bc	38.56±4.12 bc	35.23±8.17 c
总锌/(mg·kg ⁻¹)	98.34±23.04c	139.37±0.10 10.29ab	126.33±11.24 b	127.35±14.35 b
总铁/(mg·kg ⁻¹)	972.34±9.37 b	1065.44±65.89 b	996.38±87.55 b	1012.47±114.53 b

处理	T4	T5	T6
有机碳/(g·kg ⁻¹)	149.27±2.51 bcd	135.82±7.54 d	153.62±6.14 abc
pH 值	7.19±0.05 b	7.17±0.07 b	7.16±0.03 bc
EC 值/(ms·cm ⁻¹)	1.25±0.08 bc	1.43±0.17 ab	1.58±0.19 a
全氮/(g·kg ⁻¹)	21.72±1.04 ab	24.95±2.43 a	20.21±1.71 ab
全磷/(g·kg ⁻¹)	4.61±0.43 b	6.77±0.76 a	4.02±0.54 bc
全钾/(g·kg ⁻¹)	8.27±0.63 a	8.74±0.31 a	8.32±0.66 a
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	393.36±13.48 c	443.54±22.30 a	430.89±29.47 ab
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	619.14±20.52 ab	759.87±50.49 a	758.24±28.05 a
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	753.83±73.93 b	1015.44±176.71 a	1024.98±42.12 a
总铜/(mg·kg ⁻¹)	37.24±6.41c	49.36±6.04 b	66.73±4.13 a
总锌/(mg·kg ⁻¹)	125.46±8.43 b	154.79±11.52 a	147.36±9.51 a
总铁/(mg·kg ⁻¹)	1091.57±73.65 ab	1286.67±93.24 a	1023.31±240.64 b

组配改良剂处理基质 EC 均高于对照处理 1.12 ms·cm⁻¹, T3、T5 和 T6 分别提高 25%、27.68%、41.07%, 与对照 CK 差异显著, T1、T2 和 T4 分别提高 16.07%、20.54%、11.61%, 差异未达显著, 组配改良剂 T1~T6 基质 EC 值在 1.25~1.58 ms·cm⁻¹, 均在植物生长安全 EC 值范围为 0.70~2.60 ms·cm⁻¹ 内。组配改良剂处理基质较对照 EC 值提高可能是当中麦饭石粉具有极强溶出性, 能够提供营养元素离子, 同时具有的吸附和解析能力, 能够维持基质营养均衡, 防止营养元素随灌溉淋洗出^[12]。

组配改良剂处理基质全 N 含量均高于对照处理, 其中 T4、T5 和 T6 与对照 CK 差异显著, 分别提高 33.09%、52.88%、23.84%, T1、T2 和 T3 分别提高 17.71%、13.54%、18.44%, 但与对照差异不显著。组配改良剂处理加入提高了基质全 P 含量, 其中 T4 和 T5 显著高于 CK, 分别提高 42.72% 和 109.60%, T1、T2、T3、T6 处理分别提高 19.81%、3.41%、15.79%、24.46%, 与对照差异未达显著。组配改良剂处理基质全 K 含量均高于对照处理, T2、T4、T5、和 T6 显著高于对照, 分别提高 31.19%、32.96%、40.51%、33.76%, T1 和 T3 处理分别提高 22.83%、21.22%, 与 CK 差异不显著。

组配改良剂处理基质中 N、P、K 营养元素的增加可能是由于栽培过程有机物质缓慢降解释放出营养元素所致^[23-25], 这与有机物含量降低变化一致。

组配改良剂处理基质碱解 N 含量近似或高于对照处理, T2、T5、T6 显著高于对照 CK, 分别提高 12.07%、15.38%、12.09%, T3 和 T4 分别提高 2.90%、2.33%, T1 则略降低 0.49%, 均与 CK 差异不显著。组配改良剂处理加入, 相比对照处理, 提高了基质速效 P 含量, 速效 P 含量 T5 到 T6 显著高于对照 CK, 分别提高 31.72%、31.44%, T1、T2、T3、T4 处理分别提高 12.80%、11.20%、14.30%、7.32%, 与 CK 差异未达显著。组配改良剂处理基质速效 K 含量提高, 其中 T3、T5 和 T6 高于对照 7.35%、8.68%、9.70%, 差异未达显著, T1、T2、T4 低于对照 26.87%、22.91%、19.32%, 差异显著。组配改良剂处理基质中碱解 N、速效 P、速效 K 含量提高, 同样可能是因为有机质缓慢降解, 释放营养元素引起^[23-25]。而 T1、T2、T4 速效钾含量显著低于 CK, 可能是由于灌溉不均匀淋洗作用引起。

6 个组配改良剂处理对基质的 Cu、Zn 和 Fe 含量均有积极影响。6 个组配改良剂处理基质 Cu 含量 T5 到 T6 显著高于对照 CK, 分别提高 44.12%、94.11%, T1、T2、T3、T4 与 CK 差异不显著, 分别提

高 32.35%、11.76%、2.94%、8.82%。组配改良剂处理加入提高了基质 Zn 含量,T1—T6 处理均显著高于对照 CK,分别提高 41.84%、28.57%、29.59%、27.55%、57.14%、50.00%。组配改良剂处理基质 Fe 含量均高于对照处理,T5 显著高于对照 32.30%,T1、T2、T3、T4 和 T6 分别提高9.57%、2.46%、4.12%、12.24%、5.25%,与 CK 差异不显著。基质的 Cu、Fe 和 Zn 含量增加,可能是一方面是基质有机物降解增加营养元素含量^[23-25];另一方面麦饭石自身溶出性能够提供 Cu、Fe 和 Zn 营养元素^[12]。

综上可见,组配改良剂的施加降低栽培基质有机碳含量和基质 pH 值,提高基质 EC 值及全氮、全磷、全钾、碱解 N、速效磷、速效钾营养元素含量,同时对微量元素 Cu、Zu、Fe 含量提高有积极作用。各个组配改良处理中以 T5 处理的效果最为显著,有机碳含量提高 14.75%,EC 值提高 27.68%,全氮、全磷、全钾提高 52.88%,109.60%,40.51%,碱解氮、速效磷、速效钾提高 15.38%、31.72%、8.68%,Cu、Zu、Fe 含量提高 44.12%、57.14%、32.30%,优于其他处理。

2.3 组配改良剂对鸟巢蕨植株生长的影响

从图 1 可见,T3、T5 和 T6 处理植株鲜质量均显著高于 CK 处理,其中 T5 鲜质量最高,T6 次之,T3 最低,分别较对照 CK 提高 35.79%、21.08%、13.4%,而 T1、T2 和 T4 处理植株鲜质量与对照差

异不显著,分别提高 7.54%、5.72%、7.50%。植株株高仅 T6 处理显著高于 CK 处理,提高 22.53%,而 T1、T2、T3、T4 和 T5 处理植株株高提高 1.90%、1.42%、4.62%、2.77%、9.33%,与对照差异均未达显著。

从图 1 可见,T2、T4、T5 和 T6 处理植株冠幅均高于 CK 处理,差异达显著,其中 T6 处理冠幅最高,T5、T2 次之,T4 最低,分别较对照 CK 提高 68.54%、57.02%、44.76%、42.54%,而 T1 和 T3 处理植株冠幅提高 1.92%、3.25%,与对照无显著差异。

7 个处理当中,CK 处理植株叶绿素含量最低,T1—T6 分别提高 2.53%、3.80%、7.60%、5.69%、8.22%、8.86%,但各个处理与对照差异均不显著。

综上可见,组配改良剂添加促进了植株生长,提高了生物量的积累(鲜质量)、株高、冠幅,叶绿素含量。本研究结果与鲍滨福等研究^[26]以竹酢液为调节剂作用一致,均显著地提高农林作物的产量,改善其品质。同时也与苏国立^[15]等研究以麦饭石对水稻产量品质提升作用一致。改良处理的鸟巢蕨植株生物量增加可能是由于基质相应有效营养元素含量提高引起(表 3)。其中各组配改良剂处理以 T6 效果最佳,鲜质量、株高、冠幅,叶绿素含量分别提高 35.79%、22.53%、68.54%、8.86%,T5 效果次之,鲜质量、株高、冠幅,叶绿素含量分别提高 21.08%、9.33%、57.02%、8.22%。

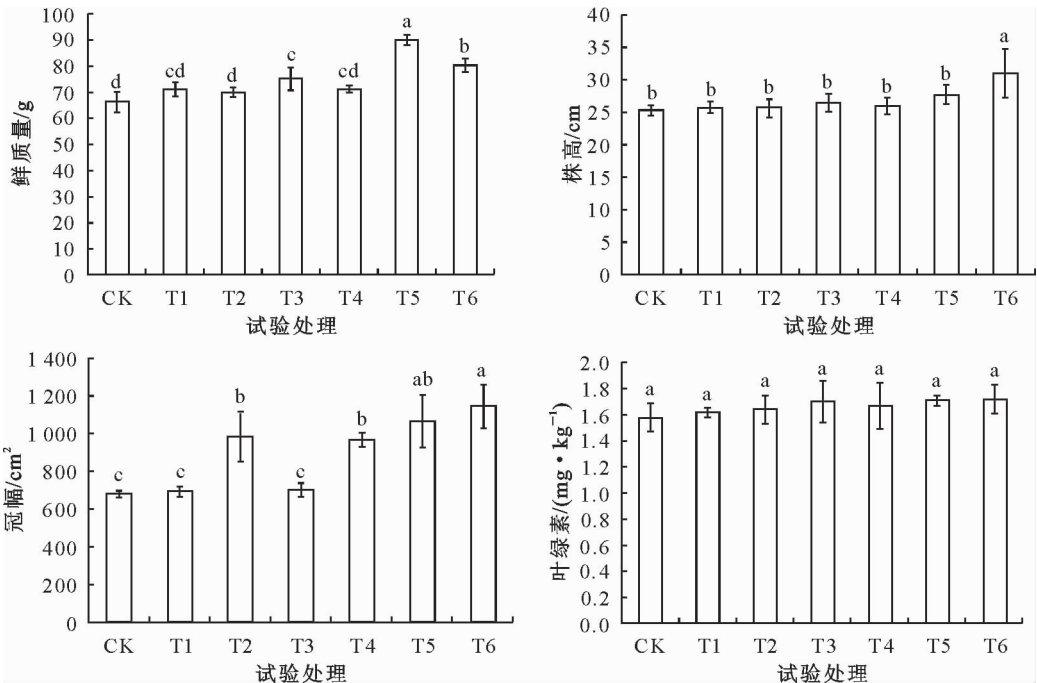


图 1 不同处理对鸟巢蕨生长影响

Fig. 1 Effects of different treatments on the growth of *A. nidus*

2.4 组配改良剂对鸟巢蕨植株营养含量的影响

从图 2 可见,组配改良剂处理植株全氮含量均高于对照组,差异显著($p<0.05$),6 个组配改良剂处理植株全氮含量为 $T5>T4>T6>T2>T3>T1$,较 CK 处理分别提高 64.88%、58.15%、54.76%、54.17%、54.16%和 39.29%。组配改良剂的加入提高了鸟巢蕨植株的全磷含量,除 T1 处理与 CK 差异不显著,T2~T6 处理均显著高于 CK,全磷提高 $T4>T5>T6>T2>T3$,相比于对照,分别提高 61.67%、55.12%、50.00%、45.04%和 18.33%。组配改良剂的加入同样提高了鸟巢蕨植株的全钾含量,其中 T2、T3、T4 和 T5 处理植株全钾含量均显著高于 CK 处理,全钾提高 $T4>T5>T3>T2$,分别提高 21.44%、18.96%、17.16%和 15.34%,而 T1 和 T6 处理全钾提高相比 CK 差不显著。改良处理的鸟巢蕨植株全氮、磷和钾的增加可能是由于基质相应有效营养提高引起(表 3)。本试验研究的结果与戚俊^[20]研究竹酢液对杉木营养元素提高效应影响一致。同时,也与赵英^[14]等研究麦饭石对植物营养含量具有提升作用一致。

综上可见,组配改良剂添加提高植株全氮、全磷、全钾营养元素含量。组配改良处理中 T4、T5 效果最佳,全氮分别提高 58.15%、64.88%,全磷分别提高 61.67%、55.12%、全钾分别提高 21.44%、18.96%。

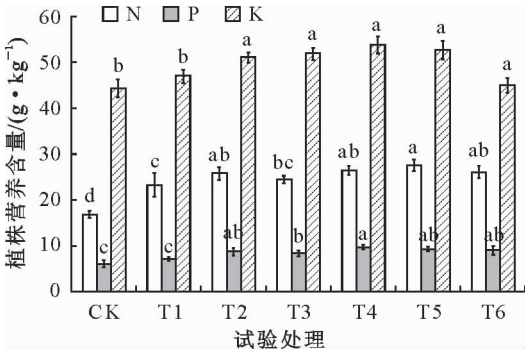


图 2 不同处理的植株营养含量

Fig. 2 Effects of different treatments on the nutritional state of *Asplenium nidus* plants

3 结论

本试验条件下,组配改良剂的施加对栽培基质容重、总孔隙度、持水空隙和通气孔隙等物理性质影响不明显。

组配改良剂的施加对栽培基质化学性质影响明显,降低有机碳含量和基质 pH 值,提高基质 EC 值及全氮、全磷、全钾、碱解 N、速效磷、速效钾营养元素含量,同时对微量元素 Cu、Zu、Fe 含量提高有积

极作用。
组配改良剂添加促进了植株生长,提高了生物量的积累(鲜质量)、株高、冠幅,叶绿素含量,同时提高植株全氮、全磷、全钾营养元素含量。
各个组配改良剂中 T5 的综合效果最为显著,即稀释 1 000 倍竹醋液 500 mL/kg+40 g/kg 组配改良剂能有改善基质理化性质,促进鸟巢蕨生长和养分积累,因此推荐生产中施用。

参考文献:

[1] 于鑫.北京市园林绿化废弃物再利用调查及堆肥实验研究[D].北京:北京林业大学,2010:1-16.

[2] 田赞,王海燕,孙向阳,等.农林废弃物环保型基质再利用研究进展与展望[J].土壤通报,2011,42(2):497-502.
TIAN Y, WANG H Y, SUN X Y, *et al.* The progress and prospects of agriculture and forest residue substrate[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(2): 497-502. (in Chinese)

[3] 田赞,王海燕,孙向阳,等.添加竹酢液和菌剂对园林废弃物堆肥理化性质的影响[J].农业工程学报,2010(8):272-278.
TIAN Y, WANG H Y, SUN X Y, *et al.* Effects of bamboo vinegar and bacterial reagent addition on physico-chemical properties of green wastes compost[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 272-278. (in Chinese)

[4] ZHANG L, SUN X Y, TIAN Y, *et al.* Effect of brown sugar and calcium superphosphate on secondary fermentation of green waste[J]. Bioresource Technology, 2013, 131: 68-75.

[5] 龚小强,孙向阳,田赞,等.复合型有机改良剂对园林废弃物堆肥基质改良研究[J].西北林学院学报,2013,28(2):196-201.
GONG X Q, SUN X Y, TIAN Y, *et al.* Application of organic composite ameliorants on the green waste compost substrate[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(2): 196-201. (in Chinese)

[6] 张璐,孙向阳,田赞.园林废弃物堆肥用于青苹果竹芋栽培研究[J].北京林业大学学报,2011,33(5):109-114.
ZHANG L, SUN X Y, TIAN Y. Application of green waste compost for *Calathea rotundifolia* cv. *fasciata* cultivation[J]. Journal of Beijing Forest University, 2011, 33(5): 109-114. (in Chinese)

[7] 张强,孙向阳,任忠秀,等.园林绿化废弃物堆肥用作花卉栽培基质的效果评价[J].中南林业科技大学学报:自然科学版,2011,31(9):7-13.
ZHANG Q, SUN X Y, REN Z X, *et al.* Effect evaluation of garden waste compost used as floriculture substrate[J]. Journal of Central South University of Forest & Technology: Nat. Sci. Ed., 2011, 31(9): 7-13. (in Chinese)

[8] 母军,于志明,吴文强,等.竹酢液对蔬菜生长调节效果的初步研究[J].竹子研究会刊,2006,25(4):37-40.
MU J, YU Z M, WU W Q, *et al.* Regulation effects of bamboo vinegar on vegetable growth[J]. Journal of Bamboo Research, 2006, 25(4): 37-40. (in Chinese)

[9] 王文杰,贺海升,祖元刚,等.施加改良剂对重度盐碱地盐碱动

态及杨树生长的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2272-2278.

WANG W J, HE H S, ZU Y G, *et al.* Dynamics of soil alkali-salinity and growth of poplar saplings after krilium addition in heavy soda saline-alkali soil in field[J]. *Acata Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2272-2278. (in Chinese)

[10] 贺海升, 王文杰, 朱虹, 等. 盐碱地土壤改良剂施用对种子萌发和生长影响[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5338-5346.

HE H S, WANG W J, ZHU H, *et al.* Influences on the seed germination and growth with addition of kriliums in saline-alkali soil[J]. *Acata Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5338-5346. (in Chinese)

[11] 王恩雷, 周凌嘉, 李洋. 麦饭石调节溶液 pH 值的影响因素[J]. 辽宁科技大学学报, 2010, 33(3): 276-278.

WANG E L, ZHOU L J, LI Y. Influence factors of pH value of solution controlled by medical stone[J]. *Journal of University of Science and Technology Liaoning*, 2010, 33(3): 276-278. (in Chinese)

[12] 同平科, 马云东, 高玉娟. 麦饭石的溶出性能及其影响因素[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2008, 26(6): 819-821.

YAN P K, MA Y D, GAO Y J. Dissolved performance and its affecting factors of medical stone[J]. *Journal of Liaoning Technical University: Nat. Sci. Edi.*, 2008, 26(6): 819-821. (in Chinese)

[13] 王强. 麦饭石在腐殖酸及重金属离子的吸附作用[J]. 地质科技情报, 1998, 17(3): 59-62.

WANG Q. Adsorption of humic acid and heavy metal-ions by marfan stone[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1998, 17(3): 59-62. (in Chinese)

[14] 赵英, 郭旭新. 不同麦饭石浸提液对黄豆芽生长试验研究[J]. 陕西农业科学, 2014, 60(8): 26-28.

ZHAO Y, GUO X X. Effect of different medical stone leaching solution on growth of soybean sprout[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 60(8): 26-28. (in Chinese)

[15] 苏国立, 郭向东, 张秀双, 等. 麦饭石及麦饭石水稻专用复混肥对水稻产量及品质的影响[J]. 北方水稻, 2009(3): 32-34.

SUN G L, GUO X D, ZHANG X S, *et al.* Effect of maifan stone and rice-specified maifan stone compound fertilizer on yield and quality of rice[J]. *North Rice*, 2009(3): 32-34. (in Chinese)

[16] 汤显强, 李金中, 李学菊, 等. 室内中试人工湿地无植物填料床去污性能研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(B10): 430-433.

TAN X Q, LI J Z, LI X, *et al.* Pollutant removal of indoor unplanted substrate beds[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(B10): 430-433. (in Chinese)

[17] TIAN Y, SUN X Y, LI S Y, *et al.* Biochar made from green waste as peat substitute in growth media for *Calathea rotundifolia* cv. [J]. *Fasciata Scientia Horticulturae*, 2012, 114: 15-18.

[18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[19] 张宪政. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学, 1986(3): 26-28.

ZHANG X Z. Determination of Chlorophyll content in plant-ace-tone ethanol mixed[J]. *Journal of Liaoning Agricultural Science*, 1986(3): 26-28. (in Chinese)

[20] 威俊. 竹酢液对杉木土壤生物化学性质和生长效应的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2009: 62-76.

[21] ADRIANO D C. Trace elements in terrestrial environment. Biogeochemistry, bioavailability, and risk of Metals[M]. New York: Springer, 2001.

[22] 刘方春, 马海林, 马丙尧, 等. 菇渣用作无纺布容器育苗成型机配套基质的研究[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(5): 477-481.

LIU F C, MA H L, MA B Y, *et al.* Use of used mushroom cultivation medium as raw material in making seedling pots of non-woven fabric[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2010, 26(5): 477-481. (in Chinese)

[23] KEELING A, MCCALLUM K, BECKWITH C. Mature green waste compost enhances growth and nitrogen uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) and oilseed rape (*Brassica napus* L.) through the action of water-extractable factors[J]. *Bioresource Technology*, 2003, 90: 127-132.

[24] MARTA B, MASAGUER A, MOLINER A, *et al.* Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability[J]. *Bioresource Technology*, 2005, 97: 2071-2076.

[25] SERGIO M, PASQUINI T, AZZARELLO E, *et al.* Evaluation of composted green waste in ornamental container-grown plants: effect on growth and plant water relations[J]. *Compost Science Utilization*, 2007, 15: 283-287.

[26] 鲍滨福, 马建义, 张齐生, 等. 竹醋液作为植物生长调节剂的开发研究(II): 田间试验[J]. 浙江农业学报, 2006, 18(4): 268-272.

BAO B F, MA J Y, ZHANG Q S, *et al.* Bamboo vinegar as potential plant growth regulat or instimulative effect(II): the field investigation[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2006, 18(4): 268-272. (in Chinese)