

园林废弃物堆肥替代泥炭用于红掌和鸟巢蕨栽培

李燕, 孙向阳, 龚小强

(北京林业大学 林学院, 北京 100083)

摘要: 为促进园林废弃物资源化利用, 将改良后的园林废弃物堆肥分别以 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 替代泥炭进行红掌 *Anthurium andraeanum* 和鸟巢蕨 *Asplenium nidus* 栽培研究。该研究共设 6 个处理 3 次重复。结果表明: 园林废弃物堆肥的添加显著提高栽培基质容重、持水孔隙, 降低了总孔隙度、通气孔隙 ($P < 0.05$); 园林废弃物堆肥的添加显著降低基质有机碳质量分数 ($P < 0.05$), 提高基质 pH 值、电导率值、营养元素质量分数 ($P < 0.05$); 鸟巢蕨栽培中, 以添加园林废弃物堆肥 60%~80% 效果明显, 植株鲜质量、株高、冠幅、叶绿素质量分数分别提高 11.91%~51.18%, 4.09%~5.12%, 31.72%~43.08%, 18.06%~14.84% ($P < 0.05$); 红掌栽培中, 以添加园林废弃物堆肥 60% 效果最好, 鲜质量、株高、冠幅, 叶绿素质量分数分别提高 27.00%, 23.74%, 13.05%, 10.15% ($P < 0.05$)。园林废弃物堆肥可以部分替代泥炭用于红掌和鸟巢蕨栽培。图 2 表 3 参 15

关键词: 园艺学; 园林废弃物堆肥; 泥炭; 红掌; 鸟巢蕨; 栽培基质

中图分类号: S725.71 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)05-0736-07

Use of green waste compost as a peat surrogate in substrates for *Anthurium andraeanum* and *Asplenium nidus* cultivation

LI Yan, SUN Xiangyang, GONG Xiaoqiang

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

Abstract: This study examined the possibility of using modified green waste compost (GWC) as a cultural substrate component for growth of *Asplenium nidus* and *Anthurium andraeanum*. Culture substrates were prepared by mixing modified GWC and peat at the volumetric rates of 0% to 100%, 20% to 80%, 40% to 60%, 60% to 40%, 80% to 20%, and 100% to 0%. The study was conducted by 6 treatments, each with 3 replications. Results showed that GWC in the culture substrates increased bulk density and water-holding porosity ($P < 0.05$ according to LSD test), but decreased total porosity and aeration porosity ($P < 0.05$ according to LSD test). In most cases, GWC in the culture substrates reduced the organic carbon content ($P < 0.05$ according to LSD test) and increased pH, electrical conductivity, and nutritive elements ($P < 0.05$ according to LSD test). Compared to a peat control group, the most *Asplenium nidus* plants were obtained from 60% and 80% GWC-based substrates with increased fresh weight (11.9%–51.2%), plant weight (4.1%–5.1%), canopy (31.7%–43.1%), and chlorophyll (18.1%–14.8%) ($P < 0.05$ according to LSD test). Also, compared to a peat control group, the most *Anthurium andraeanum* plants were obtained from 60% GWC based substrates with increased fresh weight (27.0%), plant weight (23.7%), canopy (13.1%), and chlorophyll (10.2%) ($P < 0.05$ according to LSD test). The findings suggest that green waste compost can replace partly peat surrogate in substrates for *Anthurium andraeanum* and *Asplenium nidus* cultivation. [Ch, 2 fig. 3 tab. 15 ref.]

Key words: horticulture; green waste compost (GWC); peat; *Anthurium andraeanum*; *Asplenium nidus*; culture substrates

收稿日期: 2014-12-02; 修回日期: 2015-01-06

基金项目: 北京市教育委员会科学研究与研究生培养共建项目(BLCXY201509)

作者简介: 李燕, 从事固体废弃物资源化再利用研究。E-mail: nybf1990@163.com。通信作者: 孙向阳, 教授, 博士生导师, 从事农林废弃物再利用与生态环境研究。E-mail: sunxy@bjfu.edu.cn

随着世界各国设施农业的迅速发展，对栽培基质泥炭的需求也急剧增加^[1]。然而，泥炭是一种不可再生资源，它的过度开采会对湿地生态环境造成严重破坏。诸多国家已禁止对泥炭进行开采应用，并转而寻找其他可替代资源^[2-3]。近年来，许多研究表明：有机固体废弃物，例如城市污泥、蘑菇渣、牛粪、秸秆等，经过合适的堆肥处理，均能用作栽培基质替代泥炭^[4]。在各种有机固体废弃物当中，园林绿化废弃物由于易降解、有机成分含量高、无重金属污染等优点而备受关注^[5]。已有众多研究表明：园林绿化废弃物经堆肥处理后能够替代泥炭用作栽培。例如北京林业大学张璐等^[6]研究园林废弃物堆肥产品作为青苹果竹芋 *Calathea rotundifolia* ‘Fasciata’ 替代基质，可替代 50% 泥炭；张强等^[7]研究园林废弃物堆肥产品作为马齿苋 *Parlane herb*，矮牵牛 *Petunia hybrida*，彩叶草 *Coleus blume* 栽培基质，能替代 50% 泥炭。为促进园林绿化废弃物的资源化利用，减少泥炭开采应用对生态环境破坏，笔者研究了经组配改良剂改良后的园林绿化废弃物用于替代泥炭进行红掌和鸟巢蕨栽培研究，以期筛选出 2 种花卉最优基质配比。

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碳氮比(C/N)至 25，含水量 60%~70%，加入 5 mL·kg⁻¹ 自制菌剂：木霉 *Trichoderma* spp. 和白腐菌 *Phanerochaete chrysosporium* 混合菌种，堆体隔 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 °C 为 4 d，堆肥至 42 d 时接近环境温度，达到腐熟。供试改良剂：竹醋液精制液，购自桂林新竹大自然生物材料有限公司，pH 2.92，电导率(EC)值 1.27 mS·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 个月的红掌和鸟巢蕨幼苗。

1.2 试验方案

本研究于 2012 年 10 月至 2013 年 3 月在北京花乡花木集团草桥镇苗圃温室内进行。首先，堆肥产品应用本课题组筛选的最佳组配改良剂进行改良处理，即加入稀释 1 000 倍竹醋液 500 mL·kg⁻¹+麦饭石 40 g·kg⁻¹^[8]，改良处理后放置 3 d，之后按表 1 所示进行不同比例替代泥炭处理配制基质，同时，采集基质样品，样品分为 2 个部分：一部分自然风干处理，测定 pH 值和电导率(EC)值、基质容重、总孔隙度、持水空隙和通气孔隙；另一部分于 75 °C 烘干至恒量后，粉碎过 1 mm 筛，测定有机碳、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾、总铜、总锌和总铁质量分数。

植物栽培：选取株高 14~15 cm，叶片生长健壮，根系无损伤、无病害的红掌和鸟巢蕨幼苗，置于 150 mm × 132 mm 的花盆中栽培，重复 60 次·处理⁻¹，整个栽培试验周期为 180 d，各个处理栽培管理均一致。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、叶绿素质量分数。

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等^[9]的方法：取风干基质加入 200 mL 容量环刀(w_0)中，记录质量 w_1 ，浸泡 24 h 后记录质量 w_2 ，自然沥干 4 h 记录质量 w_3 ，最后在 65 °C 下烘干至恒量，记录质量 w_4 ，按下列公式计算：基质容重($g \cdot cm^{-3}$)= $(w_4-w_0)/200$ ；总孔隙度(%)= $(w_2-w_4) \times 100\%/200$ ；通气空隙(%)= $(w_2-w_3) \times 100\%/200$ ；持水空隙=总孔隙度-通气空隙。

基质化学性质参照鲍士旦^[10]的方法测定。鲜质量测定：用精度 0.01 g 电子天平分别称量洗净后的红掌 *Athurium andraemum* 和鸟巢蕨 *Asplenium nidus* 新鲜成株鲜质量；株高、冠幅测定：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，冠幅测量成株纵向和横向的冠幅

表 1 试验设计

Table 1 Design of experiment

处理	基质材料比例/%	
	园林废弃物堆肥	泥炭
T1	0	100
T2	20	80
T3	40	60
T4	60	40
T5	80	20
T6	100	0

直径,按公式 $S=\pi\times(d/2)^2$ 计算。

叶绿素质量分数参照张宪政^[10]的丙酮乙醇混合液法测定。

1.4 数据处理方法

实验数据采用 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 园林废弃物堆肥替代泥炭对栽培基质物理性质的影响

如表 2 所示:各处理基质容重表现为 $T6>T5>T4>T3>T2>T1$, $T1\sim T6$ 处理基质容重为 $0.31\sim 0.38\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,均处于一般理想基质容重要求范围 $<4.00\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。同时,基质容重提高有利于基质稳固植株能力。各处理基质总孔隙度为 $T6<T5<T3<T4<T2<T1$,其中 $T1\sim T4$ 处理基质总孔隙度为 $70.25\%\sim 72.06\%$,均达到一般理想栽培基质要求 $70\%\sim 90\%$ 范围^[12], $T5$ 和 $T6$ 处理分别为 69.14% 和 67.36% ,略低于理想基质范围。各处理持水孔隙表现为 $T6>T5>T4>T3>T2>T1$, $T1\sim T6$ 处理基质持水孔隙在 $43.59\%\sim 54.65\%$,持水孔隙增加有利于基质保水能力增加,减少栽培过程植物受干旱影响。各处理基质通气孔隙为 $T6<T5<T4<T3<T2<T1$,其中 $T1\sim T4$ 处理为 $19.53\%\sim 28.24\%$,在理想栽培基质 $20\%\sim 30\%$ 范围内^[12], $T5$ 和 $T6$ 分别为 16.91% 和 12.71% ,均低于这一范围,通气孔隙过低可能在栽培过程不利植物根系生长和根际微生物活动^[13]。

综上所述:栽培基质容重和持水孔隙随着园林废弃物堆肥的添加量升高而逐渐提高,基质总孔隙和通气孔隙则随着园林废弃物堆肥的添加量升高而逐渐降低,除 $T5$ 和 $T6$ 处理基质的总空隙度和通气孔隙低于理想范围外,其他处理的物理性质均达到理想基质要求范围。

表 2 不同处理基质物理性质

Table 2 Physical properties of the growing media

处理	容重/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	总孔隙/ %	持水孔隙/ %	通气孔隙/ %
T1	$0.31 \pm 0.01\text{ e}$	$72.06 \pm 0.38\text{ a}$	$43.59 \pm 1.03\text{ e}$	$28.24 \pm 0.78\text{ a}$
T2	$0.33 \pm 0.01\text{ d}$	$71.02 \pm 0.28\text{ b}$	$48.13 \pm 0.24\text{ d}$	$22.89 \pm 0.69\text{ b}$
T3	$0.34 \pm 0.11\text{ c}$	$70.07 \pm 0.97\text{ bc}$	$48.94 \pm 1.44\text{ cd}$	$21.13 \pm 0.93\text{ c}$
T4	$0.35 \pm 0.10\text{ b}$	$70.25 \pm 0.91\text{ bc}$	$50.45 \pm 0.67\text{ bc}$	$19.53 \pm 0.57\text{ d}$
T5	$0.37 \pm 0.00\text{ a}$	$69.14 \pm 0.86\text{ b}$	$52.23 \pm 0.91\text{ b}$	$16.91 \pm 0.91\text{ e}$
T6	$0.38 \pm 0.01\text{ a}$	$67.36 \pm 0.45\text{ d}$	$54.65 \pm 1.56\text{ a}$	$12.71 \pm 1.10\text{ f}$

说明:同列英文字母不同代表差异显著($P<0.05$)。

2.2 园林废弃物堆肥替代泥炭对栽培基质化学性质的影响

园林废弃物堆肥的添加对基质的化学性质影响显著。由表 3 可见:堆肥基质 $T2\sim T6$ 处理有机碳质量分数均显著低于 $T1$ (对照),6 种栽培基质表现为 $T6<T5<T4<T3<T2<T1$ 。 $T6$, $T5$, $T4$, $T3$, $T2$ 与 $T1$ 相比,分别降低 50.01% , 38.24% , 28.70% , 19.79% , 9.42% 。

堆肥基质 $T2\sim T6$ 处理 pH 值均显著高于 $T1$ (对照),6 种栽培基质表现为 $T6>T5>T4>T3>T2>T1$ 。 $T6$, $T5$, $T4$, $T3$, $T2$ 与 $T1$ 相比,分别升高 2.09 , 2.04 , 1.67 , 1.53 , 1.15 个单位, $T2\sim T6$ 处理基质 pH $6.49\sim 7.43$,均在理想范围 $6.00\sim 7.50$ 内^[14-15]。

堆肥基质 $T2\sim T6$ 处理电导率(EC)值显著高于 $T1$ (对照)处理,6 种栽培基质表现为 $T6>T5>T4>T3>T2>T1$ 。 $T6$, $T5$, $T4$, $T3$, $T2$ 与 $T1$ 相比分别提高 190.09% , 156.06% , 122.73% , 89.39% , 43.94% 。 $T2\sim T6$ 处理电导率(EC)为 $0.95\sim 1.92\text{ ms}\cdot\text{cm}^{-1}$,均在植物生长安全电导率(EC)范围 $0.70\sim 2.60\text{ ms}\cdot\text{cm}^{-1}$ 内^[14-15]。

堆肥基质 $T2\sim T6$ 处理与 $T1$ (对照)处理全磷质量分数无显著差异,全氮和全钾质量分数差异达显著,并均表现为 $T6>T5>T4>T3>T2>T1$ 。 $T6$, $T5$, $T4$, $T3$, $T2$ 与 $T1$ 相比全氮质量分数分别提高 142.31% , 118.02% , 89.88% , 58.08% , 26.41% ,全钾质量分数分别提高 567.11% , 448.32% , 334.23% , 208.05% , 112.08% 。

栽培基质碱解氮为 $T6>T5>T4>T3>T2>T1$,其中 $T6$, $T5$, $T4$ 与对照 $T1$ 差异显著,分别提高

16.06%，11.46%和 6.46%。T2 和 T3 则与对照 T1 差异不显著，分别提高 3.01%和 0.90%。堆肥基质 T2~T6 处理速效磷和速效钾均显著高于对照 T1 处理，各处理质量分数变化表现一致，均为 T6>T5>T4>T3>T2>T1。T6，T5，T4，T3，T2 与 T1 相比，速效磷质量分数分别提高 25.82%，17.30%，11.27%，8.84%，4.69%；速效钾质量分数分别提高 36.12%，19.91%，14.48%，11.63%，4.98%。

栽培基质的总铜质量分数表现为 T6>T5>T4>T2>T3>T1，其中 T6，T5，T4，T3 与对照 T1 差异显著，分别提高 54.82%，38.41%，27.36%，18.73%，T2 与对照 T1 差异不显著，提高 8.01%。堆肥基质 T2~T6 处理总锌和总铁质量分数均显著高于对照 T1 处理，各处理表现为 T6>T5>T4>T3>T2>T1。T6，T5，T4，T3，T2 与 T1 相比，总锌质量分数分别提高 144.75%，116.11%，79.44%，51.63%，33.19%，总铁质量分数分别提高 189.00%，149.72%，101.89%，56.43%，34.41%。

综上所述，园林废弃物堆肥的添加降低栽培基质有机碳质量分数，提高基质 pH 值和电导率(EC)，对基质全磷无显著影响，全氮、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、总铜、总锌、总铁质量分数随堆肥添加量增大而逐渐提高。

表 3 不同处理基质化学性质

Table 3 Chemical properties of the growing media

处理	有机碳/(g·kg ⁻¹)	pH 值	电导率/(ms·cm ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	全钾/(g·kg ⁻¹)
T1	384.42 ± 9.77 a	5.34 ± 0.08 d	0.66 ± 0.04 f	7.61 ± 0.58 f	1.06 ± 0.08 a	1.49 ± 0.20 f
T2	348.22 ± 7.08 b	6.49 ± 0.10 c	0.95 ± 0.09 e	9.62 ± 0.86 e	1.06 ± 0.17 a	3.16 ± 0.17 e
T3	308.35 ± 7.55 c	6.87 ± 0.15 b	1.25 ± 0.05 d	12.03 ± 0.72 d	1.18 ± 0.16 a	4.59 ± 0.51 d
T4	274.09 ± 9.35 d	7.01 ± 0.19 b	1.47 ± 0.14 c	14.45 ± 0.53 c	1.05 ± 0.25 a	6.47 ± 0.19 c
T5	237.40 ± 3.15 e	7.38 ± 0.06 a	1.69 ± 0.04 b	16.59 ± 0.37 b	1.07 ± 0.05 a	8.17 ± 0.17 b
T6	192.20 ± 13.69 f	7.43 ± 0.14 a	1.92 ± 0.16 a	18.44 ± 0.49 a	1.13 ± 0.17 a	9.94 ± 0.97 a
处理	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	总铜/(mg·kg ⁻¹)	总锌/(mg·kg ⁻¹)	总铁/(mg·kg ⁻¹)
T1	383.12 ± 10.28 d	587.16 ± 12.34 e	680.59 ± 7.77 e	28.51 ± 0.56 d	85.61 ± 10.41 e	1 249.41 ± 86.67 f
T2	394.67 ± 4.44 d	614.72 ± 7.17 d	714.45 ± 8.84 d	30.81 ± 0.96 d	114.02 ± 13.63 d	1 679.35 ± 113.49 e
T3	386.53 ± 6.26 d	639.05 ± 5.94 c	759.75 ± 7.18 c	33.85 ± 2.01 c	129.81 ± 17.44 d	1 954.40 ± 60.80 d
T4	407.89 ± 5.40 c	653.34 ± 11.34 c	779.17 ± 11.28 c	36.31 ± 0.83 c	153.62 ± 16.25 c	2 522.51 ± 126.25 c
T5	427.03 ± 4.29 b	688.76 ± 10.94 b	816.11 ± 19.14 b	39.46 ± 0.86 b	185.01 ± 10.28 b	3 120.15 ± 110.05 b
T6	444.64 ± 9.58 a	738.75 ± 17.41 a	926.39 ± 23.93 a	44.14 ± 2.72 a	209.53 ± 9.44 a	3 610.85 ± 137.01 a

说明：同列英文字母不同代表差异显著(P<0.05)。

2.3 不同栽培基质对鸟巢蕨植株生长的影响

从图 1 可见：T3，T4 和 T5 处理植株鲜质量均高于 T1 处理，差异达显著，T2 和 T6 处理植株鲜质量与对照 T1 差异不显著，各种栽培基质植株鲜质量表现为 T5>T4>T3>T2>T6>T1。T5，T4，T3，T2 和 T6 相对于对照 T1 处理，植株鲜质量分别提高 51.18%，11.91%，10.75%，7.51%和 7.34%。

植株株高同样为 T3，T4 和 T5 处理均显著高于 T1 处理，T2 和 T6 处理较对照有提高，但差异不显著。各种栽培基质植株株高表现为 T5>T4>T3>T6>T2>T1。T5，T4，T3，T6 和 T2 相对于对照 T1 处理，植株株高分别提高 5.12%，4.09%，2.92%，1.74%和 0.87%。

堆肥基质 T2~T6 植株冠幅均高于 T1 处理，差异达显著，植株冠幅表现为 T4>T5>T3>T2>T6>T1。T4，T5，T3，T2 和 T6 分别较对照 T1 提高 43.08%，31.72%，30.59%，20.24%和 19.80%。

堆肥基质 T2~T6 植株叶绿素质量分数均高于 T1 处理，差异达显著，植株叶绿素质量分数表现为 T4>T5>T3>T6>T2>T1。T4，T5，T3，T6，T2 分别较对照 T1 提高 18.06%，14.84%，13.55%，10.97%和 8.39%。

综上所述，园林废弃物堆肥的添加促进了鸟巢蕨的植株生长，对 T2~T5 处理而言，随着添加量的升高，鸟巢蕨生物量的积累(鲜质量)、株高、冠幅、叶绿素质量分数随之增高，而 100%替代即 T6 处理，则出现降低趋势。改良处理的鸟巢蕨植株生物量增加可能是由于园林废弃物堆肥含有大量营养元素(表 3)，它的添加促使基质相应有效营养元素提高引起，而出现降低趋势则可能是由于堆肥基质的总孔隙度和通气孔隙过低引起(表 2)。其中堆肥基质处理 T4 和 T5 效果明显，即添加园林废弃物堆肥 60%~80%，

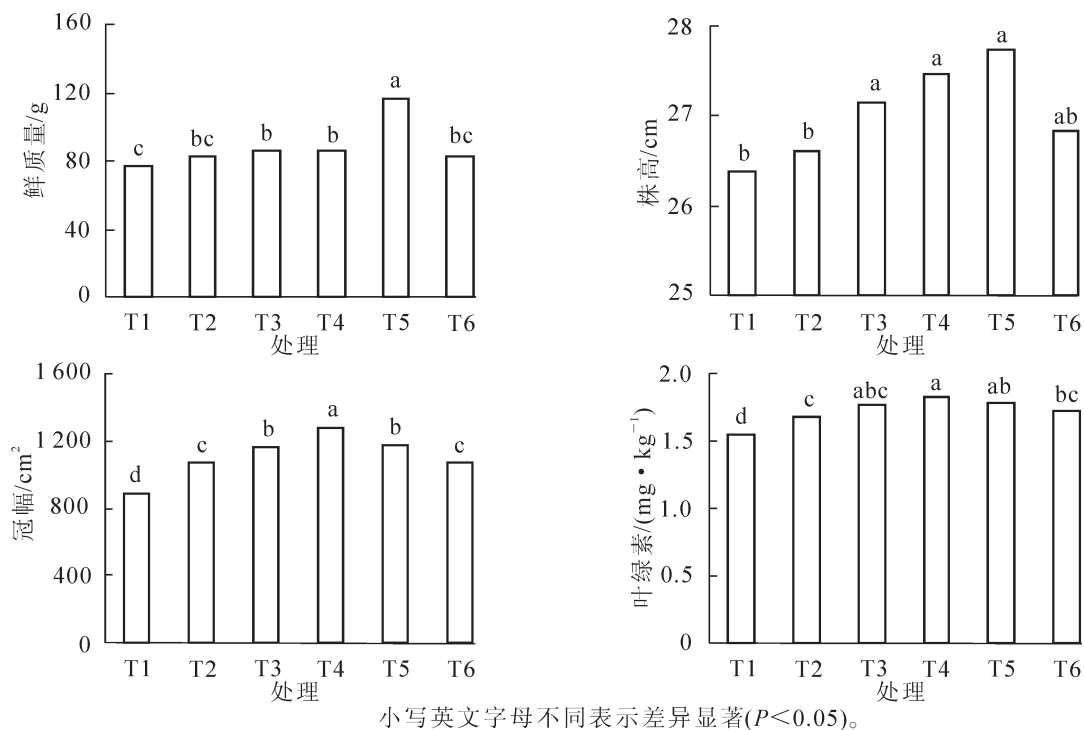


图1 不同处理对鸟巢蕨生长影响

Figure 1 Effects of different treatments on the growth of *Asplenium nidus*

对鸟巢蕨生长具有较好的效果, T4 鲜质量、株高、冠幅、叶绿素质量分数相对于对照 T1 分别提高 11.91%, 4.09%, 43.08%和 18.06%, T5 分别提高 51.18%, 5.12%, 31.72%和 14.84%。

2.4 不同栽培基质对红掌植株生长的影响

从图 2 可见: T3, T4, T5 和 T6 处理植株鲜质量均高于 T1 处理, 差异达显著。T2 处理植株鲜质量与对照 T1 差异不显著, 各种栽培基质植株鲜质量表现为 T4>T3>T5>T6>T2>T1。T4, T3, T5, T6

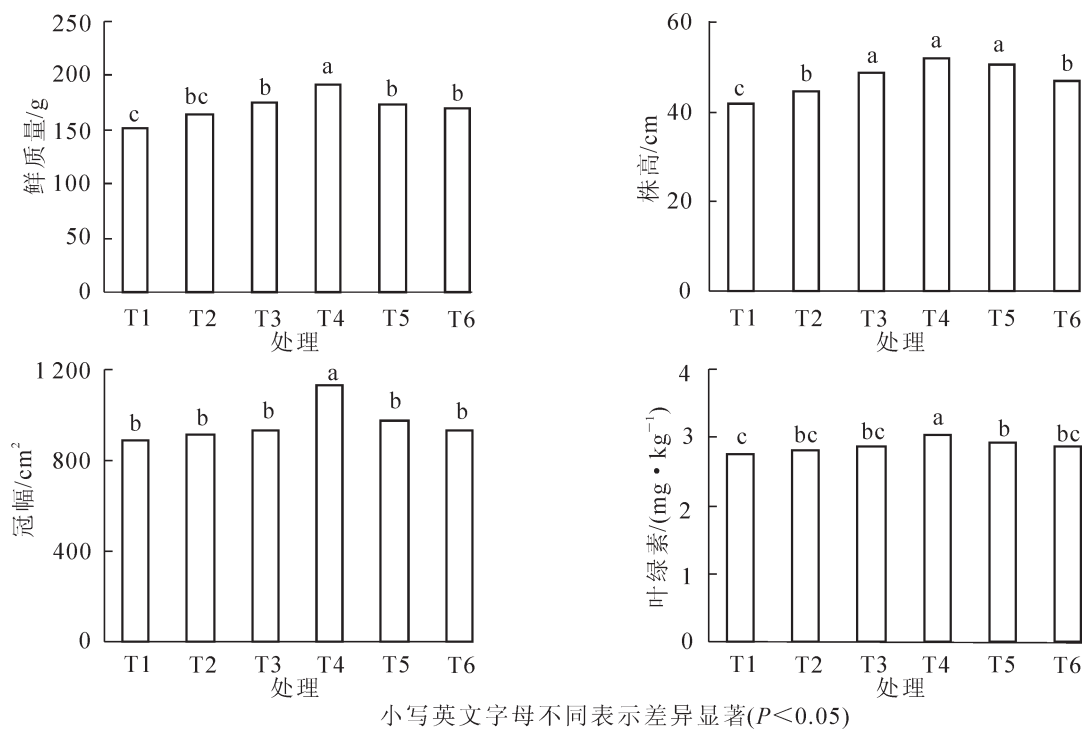


图2 不同处理对红掌生长影响

Figure 2 Effects of different treatments on the growth of *Anthurium andraeanum*

和 T2 相对于对照 T1 处理, 植株鲜质量分别提高 27.00%, 15.15%, 14.32%, 11.63% 和 8.69%。

堆肥基质 T2~T6 植株株高均显著高于 T1 处理, 各种栽培基质植株株高表现为 T4>T5>T3>T6>T2>T1。T4, T5, T3, T6 和 T2 相对于对照 T1 处理, 植株株高分别提高 23.74%, 20.37%, 16.14%, 12.10% 和 6.01%。

T4 处理植株冠幅显著高于 T1 处理, 而 T2, T3, T5 和 T6 处理较对照有提高, 但差异不显著, 植株冠幅表现为 T4>T5>T6>T3>T2>T1。T4, T5, T6, T3 和 T2 分别较对照 T1 提高 13.05%, 4.81%, 2.72%, 2.62% 和 1.82%。

T4 和 T5 处理植株叶绿素显著高于 T1 处理, 而 T2, T3 和 T6 处理较对照有提高, 但差异不显著, 植株叶绿素质量分数表现为 T4>T5>T3>T6>T2>T1。T4, T5, T3, T6 和 T2 分别较对照 T1 提高 10.15%, 5.43%, 3.99%, 3.62% 和 2.17%。

综上所述, 园林废弃物堆肥的添加促进了红掌的植株生长, 在 20%~60% 范围即 T2~T4 处理, 随着添加量的升高, 红掌生物量的积累(鲜质量)、株高、冠幅、叶绿素质量分数随之增高, 而 80%~100% 替代即 T5~T6 处理, 则出现降低趋势。改良处理的红掌植株生物量增加同样可能是由于园林废弃物堆肥添加提高栽培基质营养元素引起(表 3), 它的添加促使基质相应有效营养元素质量分数提高。而出现降低趋势则同样可能是由于堆肥基质的总孔隙度和通气孔隙过低导致(表 2)。其中堆肥基质处理以 T4 效果最佳, 即园林废弃物堆肥替代 60% 效果最佳, 鲜质量、株高、冠幅和叶绿素质量分数分别提高 27.00%, 23.74%, 13.05% 和 10.15%。

3 结论

园林废弃物堆肥的添加提高了栽培基质容重、持水孔隙, 增加了基质对植物固持能力和保水能力, T2~T6 处理即园林废弃物添加量 20%~100% 均在理想基质要求范围; 园林废弃物堆肥的添加降低了总孔隙度和通气孔隙, 除 T5 和 T6 即添加 80% 和 100% 园林废弃物堆肥外, T2~T4 处理均处在理想基质要求范围。

园林废弃物堆肥的添加降低栽培基质有机碳质量分数, 提高基质 pH 值和电导率(EC), 对基质全磷无显著影响, 全氮、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾, 总铜、总锌、总铁营养元素质量分数随堆肥添加量增大而逐渐提高。

园林废弃物堆肥替代泥炭应用于鸟巢蕨栽培中, 以堆肥基质处理以 T4 和 T5 效果明显, 即添加园林废弃物堆肥 60%~80%, 对植株生长具有良好效果。

园林废弃物堆肥替代泥炭应用于红掌栽培中, 堆肥基质处理以 T4 效果最佳, 即添加园林废弃物堆肥 60%, 对植株生长具有最佳效果。

4 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.
YU Xin. *Survey on the Recycling Status of Beijing Garden waste and Study on Garden waste Composting* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010: 1 - 16.
- [2] 田贇, 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 Yun, WANG Haiyan, SUN Xiangyang, *et al.* The progress and prospects of agricultural and forest residue substrate [J]. *Chin J Soil Sci*, 2011, 42(2): 497 - 502.
- [3] 张庆费, 辛雅芬. 城市枯枝落叶的生态功能与利用[J]. 上海建设科技, 2005, 26(2): 40- 41.
ZHANG Qingfei, XIN Yafen. The ecological functions and utilizations of litter in the city [J]. *Shanghai Constr Sci Technol*, 2005, 26(2): 40 - 41.
- [4] 田贇, 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, 26(8): 271 - 278.
TIAN Yun, WANG Haiyan, SUN Xiangyang, *et al.* Effects of bamboo vinegar and bacterial reagent addition on physico-chemical properties of green wastes compost [J]. *Trans CSAE*, 2010, 26(8): 271 - 278.

- [5] ZHANG Lu, SUN Xiangyang, TIAN Yun, *et al.* Effects of brown sugar and calcium superphosphate on secondary fermentation of green waste [J]. *Bioresour Technol*, 2013, **131**(3): 68 – 75.
- [6] 张璐, 孙向阳, 田贇. 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 Lu, SUN Xiangyang, TIAN Yun. Application of green waste compost for *Calathea rotundifolia* cv. Fasciata cultivation [J]. *J Beijing For Univ*, 2011, **33**(5): 109 – 114.
- [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 Qiang, SUN Xiangyang, REN Zhongxiu, *et al.* Effect evaluation of garden waste compost used as floriculture substrate [J]. *J Cent South Univ For & Technol*, 2011, **31**(9): 7 – 13.
- [8] 龚小强, 孙向阳, 田贇, 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 Xiaoqiang, SUN Xiangyang, TIAN Yun, *et al.* Application of organic composite ameliorants on the green wastes compost substrate. Fasciata cultivation [J]. *J Northwest For Univ*, 2013, **28**(2): 193 – 201.
- [9] TIAN Yun, SUN Xiangyang, LI Sunyan, *et al.* Biochar made from green waste as peat substitute in growth media for *Calathea rotundifolia* cv. Fasciata [J]. *Sci Horti*, 2012, **114**(1): 15 – 18.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 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 Xianzheng. Measuring the chlorophyll content: by the mixture of acetone and wthanol method [J]. *Liaoning Agric Sci*, 1986(3): 26 – 28.
- [12] ADRIANO D C. *Trace Elements in Terrestrial Environment. Biogeochemistry, Bioavailability, and Risk of Metals* [M]. Newyork: Springer, 2001.
- [13] 黄松殿, 梁机, 梁小春, 等. 不同育苗基质对擎天树容器苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2012, **28**(4): 28 – 31.
HUANG Songdian, LIANG Ji, LIANG Xiaochun, *et al.* Effect of different nursery substrates on container seedlings growth of *Parashorea chinensis* [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2012, **28**(4): 28 – 31.
- [14] 李静, 赵秀兰, 魏世强, 等. 无公害蔬菜无土栽培基质理化特性研究[J]. 西南农业大学学报, 2000, **22**(2): 112 – 115.
LI Jing, ZHAO Xiulan, WEI Shiqiang, *et al.* Study on the physicochemical properties of soil-less cultural substrates of pollution-free vegetable [J]. *J Southwest Agric Univ*, 2000, **22**(2): 112 – 115.
- [15] 李谦盛, 郭世荣, 李式军. 利用工农业有机废弃物生产优质无土栽培基质[J]. 自然资源学报, 2002, **17**(4): 515 – 519.
LI Qiansheng, GUO Shirong, LI Shijun. Utilization of organic wastes for manufacturing soilless media [J]. *J Nat Re-sour*, 2002, **17**(4): 515 – 519.