

王媛,李文庆,李晗灏. 生物质炭与草炭混配基质的养分状况及其对凤仙花生长的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(5): 656-663.

WANG Yuan, LI Wen-qing, LI Han-hao. Effect of biochar and peat on the growth of *Impatiens balsamina* as a growth medium[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(5): 656-663.

生物质炭与草炭混配基质的养分状况及其对凤仙花生长的影响

王媛^{1,2}, 李文庆^{1,2*}, 李晗灏^{1,2}

(1. 土壤资源高效利用国家工程实验室, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

摘要:为减少无土栽培对草炭等不可再生资源的依赖,促进农业废弃物资源化利用,本研究探讨以生物质炭替代传统栽培基质进行凤仙花栽培,通过盆栽试验研究了生物质炭及草炭不同比例混配作为生长基质对凤仙花生长的影响。试验设置了生物质炭与草炭不同的混配比例,分别是单一草炭基质(B0P5),生物质炭与草炭体积比为1:4(B1P4)、2:3(B2P3)、3:2(B3P2)、4:1(B4P1)和单一生物质炭基质(B5P0)共6个处理,分析了不同配比基质的化学性质,并对各处理凤仙花生长情况及观赏指标进行了统计分析。结果表明,随着生物质炭添加量的增加基质pH逐步升高,添加生物质炭的基质(B1P4、B2P3、B3P2、B4P1、B5P0)pH分别为7.01、6.90、7.34、7.83和9.05,较单一草炭基质提高了18.76%~55.77%,且差异均达显著水平;B1P4处理和B2P3处理的基质有效磷含量分别为292.10、266.53 mg·kg⁻¹,较单一草炭基质提高28.57%、17.32%,差异达显著水平。适量添加生物质炭可有效调节基质pH、并提高基质有效磷含量,并促进凤仙花生长,其中B1P4处理株高在苗期、生长期、开花期和成熟期分别较单一草炭基质提高42.39%、81.83%、23.66%、24.72%。B2P3处理开花数最多,整个花期分别较单一草炭基质处理增加21.05%~133.33%,且差异显著。研究表明,草炭混配适量生物质炭可有效促进凤仙花生长,增加凤仙花观赏价值。

关键词:生物质炭;草炭;基质;凤仙花;养分

中图分类号:S216.2;S681.1 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2019)05-0656-08 doi: 10.13254/j.jare.2018.0233

Effect of biochar and peat on the growth of *Impatiens balsamina* as a growth medium

WANG Yuan^{1,2}, LI Wen-qing^{1,2*}, LI Han-hao^{1,2}

(1. National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, Tai'an 271018, China, 2. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: In order to promote the utilization of agricultural waste and reduce the dependence on non-renewable resources such as peat in soilless culture, the corn stalks were converted into biochar and replaced the traditional substrate for *Impatiens* cultivation. Pot experiments including 6 treatments as B0P5 (single peat matrix), B1P4 (biochar to peat was 1:4), B2P3 (biochar to peat was 2:3), B3P2 (biochar to peat was 3:2), B4P1 (biochar to peat was 4:1) and B5P0 (the single biochar matrix) were conducted to study the effects of different ratios of biochar and peat as growth substrate on the growth of *Impatiens balsamina*. The chemical properties and nutrient status of the substrates with different proportions were studied, and statistical analysis was performed on the growth and ornamental indicators of *Impatiens balsamina*. The results showed that the pH of the substrate increased with the increase of biochar addition, reached at 7.01 (B1P4), 6.90 (B2P3), 7.34 (B3P2), 7.83 (B4P1) and 9.05 (B5P0), respectively, which was 18.76%~55.77% higher than that of the sole peat substrate, and the

收稿日期:2018-09-10 录用日期:2018-10-30

作者简介:王媛(1995—),女,山东德州人,硕士研究生,主要从事生物质炭研究。E-mail: wangyuansddz@163.com

*通信作者:李文庆 E-mail: wqli2003@aliyun.com

基金项目:山东省重点研发计划项目(2016CYJS05A02, 2017CXGC0306);山东省发展计划项目(2013GNC11309)

Project supported: The Shandong Provincial Key Research and Development Plan (2016CYJS05A02, 2017CXGC0306); The Shandong Province Development Plan (2013GNC11309)

difference was significant. The effective phosphorus content of B1P4 and B2P3 was $292.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $266.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively, which was higher than that of the single peat substrate. The content increased by 28.57% and 17.32%, and the difference reached a significant level. Appropriate addition of biochar could effectively adjust the pH of the matrix and increase the available phosphorus content of the matrix and promote the growth of *Impatiens balsamina*. In the flowering and maturation stage, the plant height of *Impatiens balsamina* increased first and then decreased with the addition of biochar in the substrate. B1P4 treatment was 42.39% (seedling), 81.83% (growth), 23.66% (flowering) and 24.72% (maturity) higher than that of single peat substrate in each growth period, the flowering number of B2P3 was the most, and the whole flowering period increased by 21.05%~133.33% compared with the single peat substrate treatment, and the difference was significant. The appropriate addition of biochar to peat effectively improved the physicochemical properties of the substrate and thus increased plant height and stem diameter of *Impatiens balsamina*, delayed leaf chlorosis, prolonged flowering period, and effectively increased the ornamental value of *Impatiens balsamina*.

Keywords: biochar; peat; matrix; *Impatiens balsamina*; nutrient

由于无土栽培在水肥管理及病害控制等方面的优势,其在花卉及蔬菜栽培中应用越来越广泛,其中又以基质栽培为主要形式。而传统的草炭(又名“泥炭”)、蛭石等无土栽培基质均为不可再生资源^[1]。开发不破坏生态环境、易于获取、栽培效果好的可再生基质极为必要^[2]。

生物质炭是由农业有机废弃物在缺氧条件下热裂解得到的固态产物,其具有孔隙丰富、比表面积大、吸附能力强的特点,能够有效吸持水分及养分,具备作为栽培基质的特征。前人已经对生物质炭作为粮食及蔬菜作物的栽培基质进行了研究^[3-5]。有研究发现基质中生物质炭与泥炭的比例为2:3时,能促进西瓜幼苗生长,且效果优于单一泥炭基质^[6]。2/3生物质炭+1/3耕层土壤的育苗基质可作为烤烟育苗的新基质,能达到烤烟育苗壮苗的要求,可显著提高烟苗素质^[7]。基质添加适量生物质炭可以增加基质孔隙度,降低基质容重,增加基质保水性及养分含量,相较于传统栽培基质,其理化性质有所改善^[8]。但也有研究表明,6%的生物质炭替代泥炭能够促进铁皮石斛萌芽,但其成活率较低^[9]。目前生物质炭替代草炭用作粮食、蔬菜及中药栽培基质均有一定效果,但其作为基质主成分用于花卉栽培的研究鲜有报道。本研究以凤仙花为供试作物,研究生物质炭混配草炭为栽培基质对凤仙花生长及形态的影响,并分析不同混配比例下基质的化学性质,以期减少草炭消耗、筛选最

佳生物质炭替代比例、生产优质高效的花卉栽培基质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验采用盆栽方式,于2017年8月15日—10月30日在山东农业大学土肥资源高效利用国家工程实验室南校区试验站日光温室进行。试验选用13 cm×13 cm的塑料花盆,每盆装基质800 g,每盆播种4~6粒凤仙花种,出苗7 d后间苗,每盆留一株长势相近的凤仙花幼苗,生育期每日浇水500 mL,为更好观察基质自身性质对花卉生长的影响,本试验期间未额外添加任何养分。供试凤仙花品种为粉煦茶花凤仙(*Impatiens balsamina* L.),生长适宜温度为18~40℃,种子发芽需6~15 d。

供试草炭购自山东省泰安市花卉市场;供试生物质炭为利用自主设计的生产设备在缺氧条件下经热裂解炭化而成的玉米秸秆炭。供试基质基本理化性质见表1。

1.2 试验设计

试验共设6个处理,每个处理设置4个重复。具体混配比例如表2所示。

1.3 测定项目与方法

基质有效磷含量(风干基质样品)用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的碳酸氢钠浸提,采用全自动间断化学分析仪(Smart

表1 供试基质基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the tested matrix

基质 Matrix	pH	电导率 EC/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	全氮 Total nitrogen/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全磷 Total phosphorus/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全钾 Total potassium/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
生物质炭 Biochar	9.05	670.33	7.53	0.83	16.65
草炭 Peat	5.81	145.90	11.75	2.14	3.89

表2 基质混配处理

Table 2 Matrix compounding treatment

处理 Treatments	基质配方 Matrix formula	生物质炭与草炭体积比 Volume ratios of biochar to peat
B0P5	单一草炭	0:5
B1P4	生物质炭配草炭	1:4
B2P3	生物质炭配草炭	2:3
B3P2	生物质炭配草炭	3:2
B4P1	生物质炭配草炭	4:1
B5P0	单一生物质炭	5:0

200)测定;基质速效钾含量用 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 醋酸铵浸提,火焰光度法测定;基质无机氮含量用 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 CaCl_2 浸提(水土比10:1),浸提液中 NO_3^--N 和 NH_4^+-N 含量采用连续流动注射分析仪(SEAL,AA3,德国)测定;基质pH用PHSJ-3F型pH计进行测定(水土比2.5:1);基质全氮、全磷分别按土化分析方法消煮后采用全自动间断化学分析仪(Smart 200)测定^[10]。

分别于凤仙花苗期、生长期、开花期及成熟期采用SPAD仪测定植株绿度,用卷尺测定植株株高,用游标卡尺测定植株成熟期茎粗。于2017年9月30日(播种后46 d)开始计录植株开花数目,每5 d记录一次。于2017年10月30日(播种后77 d)收获植株,立即测定植株鲜质量,然后将植株置于烘箱中 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 杀青1 h,将温度调制 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒重,取出测定干质量。植株磨细过筛后,用凯氏定氮法测定植株氮含量,用全自动间断化学分析仪(Smart 200)测定植株磷含量,火焰分光光度法测定植株钾含量。

1.4 数据统计分析

用Microsoft Excel 2003软件对数据进行预处理及制图,用SAS 8.0进行方差分析及差异显著性检验(邓肯法 $\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同生物质炭与草炭对比对基质化学性质的影响

不同生物质炭与草炭配比基质化学性质表现出差异(表3)。基质pH随生物质炭添加量增加而逐渐升高,生物质炭与草炭混配的基质均呈中性或弱碱性,单一草炭基质呈弱酸性,单一生物质炭基质pH则高达9.05,呈碱性,处理B1P4、B2P3、B3P2和B4P1的pH分别较单一草炭基质提高20.65%、18.76%、26.33%和34.77%,且差异均达显著水平($P<0.05$)。添加生物质炭后,基质硝态氮和铵态氮含量也较单一草炭基质有所提高,但差异未达显著水平。基质速效钾含量随生物质炭添加量增加呈下降趋势,处理B2P3、B3P2和B4P1速效钾含量分别较单一草炭基质下降24.05%、31.54%和32.20%,且差异均达显著水平($P<0.05$),处理B1P4速效钾含量虽较单一草炭基质有所下降,但差异未达显著水平。不同生物质炭与草炭配比基质有效磷含量差异较大,其中处理B1P4有效磷含量最高,较单一草炭基质增加了28.58%,且差异达显著水平($P<0.05$)。基质全氮及全磷含量随生物质炭添加量增加呈下降趋势,处理B2P3、B3P2和B4P1全氮分别较单一草炭基质下降22.04%、33.87%和45.78%,处理B3P2和B4P1全磷含量分别较单一草炭基质下降15.89%和21.03%,且差异均达显著水平($P<0.05$)。处理B1P4全氮及全磷含量也较单一草炭基质略有下降,但差异未达显著水平。

2.2 不同生物质炭与草炭对比对凤仙花形态指标的影响

2.2.1 不同基质对比对凤仙花株高和茎粗的影响

从表4可知,整个生育期内,各生物质炭与草炭混配处理凤仙花株高均高于单一草炭处理,在苗期和生长期随基质中生物质炭添加量增加凤仙花株高未

表3 不同生物质炭与草炭配比基质的化学性质

Table 3 Chemical properties of matrix with different ratios of biochar to peat

处理 Treatments	pH	硝态氮 $\text{NO}_3^-/\text{N}/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	铵态氮 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	速效钾 Available potassium/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	有效磷 Available phosphorus/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	全氮 Total nitrogen/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	全磷 Total phosphorus/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
B0P5	5.81±0.30d	57.69±3.05ab	14.23±1.35a	647.80±60.61a	227.18±9.93cd	11.75±0.67a	2.14±0.07a
B1P4	7.01±0.08c	66.12±0.86a	16.69±3.80a	559.80±28.01ab	292.10±12.98a	10.61±0.57ab	2.07±0.07a
B2P3	6.90±0.04c	47.96±6.55b	22.19±4.09a	492.00±23.13bc	266.53±7.23ab	9.16±0.45bc	2.03±0.04a
B3P2	7.34±0.12bc	56.52±4.66ab	19.42±4.29a	443.46±42.80bc	210.23±9.24d	7.77±1.06cd	1.80±0.06b
B4P1	7.83±0.24b	55.83±3.44ab	21.28±2.48a	439.23±18.51bc	247.60±4.55bc	6.37±0.61d	1.69±0.07b
B5P0	9.05±0.15a	61.68±3.24a	16.59±2.98a	368.25±56.80c	240.75±9.40bc	7.53±0.35cd	0.83±0.07c

注:同列不同字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。下同。

Note: Different letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

表现出明显规律,开花期及成熟期随基质中生物质炭添加量增大凤仙花株高呈先上升后下降趋势,其中处理 B1P4 株高在各时期(苗期、生长期、开花期和成熟期)较单一草炭基质处理分别提高 42.39%、81.83%、23.66% 和 24.72%(表 4)。其他处理成熟期株高与单一草炭及单一生物质炭基质处理相比,差异未达显著水平。说明生物质炭混配草炭作为栽培基质,对凤仙花株高有促进作用,且生物质炭与草炭混配比例为 1:4 时,效果最显著。生物质炭与草炭混配处理凤仙花成熟期茎粗较单一草炭显著增加,处理 B1P4、B2P3、B3P2、B4P1 凤仙花茎粗较单一草炭基质分别增加 32.71%、47.71%、54.58%、43.02%,且差异达显著水平($P<0.05$)。说明生物质炭混配草炭能够有效增加凤仙花成熟期茎粗,且生物质炭与草炭混配比例为 3:2 时效果最显著。

2.2.2 不同基质配比下凤仙花 SPAD 值动态变化

植物叶片叶绿素含量与 SPAD 值呈正相关关系。苗期及生长期凤仙花叶片 SPAD 值随基质中生物质炭添加量增大呈下降趋势,但开花期及成熟期该值随基质中生物质炭添加量增大呈先上升后下降趋势(表 5)。与单一草炭基质相比,处理 B1P4、B2P3、B3P2、B4P1 的凤仙花叶片 SPAD 值在整个生育期内未表现出显著差异。处理 B4P1 及 B5P0 凤仙花叶片 SPAD 值

在整个生育期都比较低,说明生物炭添加量过高会影响凤仙花叶片叶绿素含量。凤仙花生长后期处理 B1P4 叶片 SPAD 值均处于最高水平,说明适量生物质炭混配草炭,能够有效延缓叶片失绿。

2.2.3 不同基质配比下凤仙花开花数动态变化

开花动态是反映花卉观赏价值的重要指标之一。不同生物质炭与草炭混配比例下的凤仙花开花时间及花朵数量也有差异(表 6)。处理 B1P4、B2P3、B3P2 开花数总体上高于单一草炭基质处理,但差异未达显著水平。处理 B1P4、B2P3、B3P2 花朵衰败速度比单一草炭基质处理缓慢。处理 B2P3 开花数量最多,整个花期分别较单一草炭基质处理增加 21.05%~133.33%,且在后期差异达显著水平。说明生物质炭与草炭以 1:4、2:3、3:2 的比例进行混配时,能够显著增加凤仙开花数目并能有效延长花期,其中以生物质炭与草炭混配比例为 2:3 时效果最为显著。

2.3 不同生物质炭与草炭对比对凤仙花生物量的影响

生物质炭混配草炭能够显著增加凤仙花生物量(图 1)。所有处理凤仙花生物量由高到低为 B2P3>B3P2>B1P4>B4P1>B5P0>B0P5,其中处理 B2P3 凤仙花生物量最高,地上部鲜质量为 $51.72\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$,干质量为 $16.23\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$,鲜质量较单一草炭基质处理增加 99.69%,干质量增加 179.35%,且差异达显著水平。

表 4 不同生物质炭与草炭配比基质下凤仙花株高及茎粗

Table 4 Plant height and stem diameter of *Impatiens balsamina* under different ratios of biochar to peat

处理 Treatments	株高 Plant height/cm				成熟期茎粗 Stem diameter in maturity period/mm
	苗期 Seedling period	生长期 Growth period	开花期 Flowering period	成熟期 Maturity period	
B0P5	7.95±0.85b	12.22±0.52d	29.58±1.20ab	30.75±1.41b	9.60±0.69c
B1P4	11.32±1.15a	22.22±1.68a	36.58±1.90a	38.35±1.55a	12.74±0.47ab
B2P3	10.78±1.35ab	17.82±1.81bc	32.70±3.45ab	34.45±2.89ab	14.18±0.81a
B3P2	12.22±0.84a	20.60±1.61ab	32.30±3.12ab	34.00±3.36ab	14.84±0.75a
B4P1	11.78±0.71a	22.12±0.99a	30.72±0.59ab	32.20±0.89ab	13.73±1.01a
B5P0	10.02±0.81ab	15.90±0.85cd	28.38±1.05b	29.45±1.20b	10.82±0.66bc

表 5 不同生物质炭与草炭配比基质下凤仙花各生育期 SPAD 值

Table 5 SPAD values of *Impatiens balsamina* under different ratios of biochar to peat

处理 Treatments	苗期 Seedling period	生长期 Growth period	开花期 Flowering period	成熟期 Maturity period
B0P5	31.95±0.64a	40.67±3.28a	43.00±1.24ab	39.50±3.19a
B1P4	29.12±1.29ab	40.00±3.38a	47.82±2.93a	42.00±2.88a
B2P3	29.30±1.11ab	39.00±1.91a	46.02±2.77ab	38.48±5.06a
B3P2	27.30±2.04ab	37.67±1.72a	43.05±1.55ab	41.95±4.00a
B4P1	28.18±1.69ab	36.69±1.61a	40.84±2.43ab	32.35±4.11a
B5P0	24.4±3.18b	36.33±1.71a	37.88±3.63b	35.52±3.98a

处理 B1P4、B2P3、B3P2 凤仙花生物量差异未达显著水平,说明生物质炭与草炭混配能够有效增加凤仙花生物量,且混配比例为 2:3 时效果最显著。

2.4 不同生物质炭与草炭比对凤仙花植株养分吸收的影响

不同生物质炭与草炭配比基质下凤仙花植株养分含量有所差异(表 7)。植株氮、磷、钾含量随生物质炭添加量增加呈下降趋势,其中处理 B0P5 植株氮含量为 $12.31 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、磷含量为 $2.92 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、钾含量为 $20.97 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。处理 B2P3、B3P2、B4P1、B5P0 植株氮含量较单一草炭基质处理下降 53.21%、20.71%、36.07%、57.84%,磷含量下降 67.81%、48.97%、58.22%、70.21%,钾含量下降 46.69%、43.35%、2.43%、

34.14%。处理 B1P4 凤仙花植株氮、磷、钾含量与单一草炭基质处理均没有显著差异,各处理间植株钾含量未见显著差异。

3 讨论

土壤酸碱性可以通过影响花青苷的积累,从而影响花色,对花卉观赏价值具有重要作用^[11]。吲哚乙酸是一种可以促进作物生长的激素,呈酸性,故碱性环境会抑制吲哚乙酸发挥作用^[12]。土壤 pH 值过低容易导致果树发生缺钙等生理病害,从而影响果实品质及产量^[13]。单一生物质炭作为栽培基质其 pH 较高,可以通过用水淋洗或与酸性物料混配等手段来降低其 pH,使基质 pH 处于中性水平。前人研究也表明,发

表 6 不同生物质炭与草炭配比基质下凤仙花开花数动态变化

Table 6 Dynamic changes of flowering number of *Impatiens balsamina* under different ratios of biochar to peat

处理 Treatments	9月30日 September 30	10月5日 October 5	10月10日 October 10	10月15日 October 15	10月20日 October 20	10月25日 October 25
B0P5	2.25±0.25ab	4.75±0.85a	6.25±1.03abc	9.50±0.96abc	6.00±0.58abc	2.25±0.48bc
B1P4	2.00±0.41abc	4.75±0.75a	7.00±1.08abc	10.50±1.71ab	6.50±0.87abc	4.00±0.41a
B2P3	3.00±0.41a	5.75±0.48a	8.75±0.25a	13.00±0.41a	8.50±0.65a	5.25±0.63a
B3P2	2.00±0.71abc	4.50±1.04ab	7.50±1.76ab	10.75±2.5ab	7.00±1.47ab	4.75±0.75a
B4P1	1.50±0.29bc	3.75±0.85ab	5.25±0.95bc	7.25±1.31bc	5.00±0.82bc	3.75±0.48ab
B5P0	0.75±0.25c	2.25±0.25b	4.00±0.58c	5.75±0.48c	3.75±0.48c	2.00±0.41c

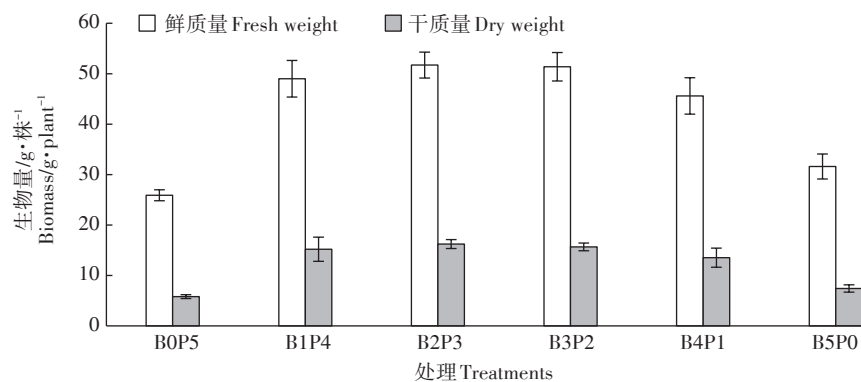


图 1 不同生物质炭与草炭配比基质下凤仙花生物量

Figure 1 *Impatiens balsamina* biomass under different ratios of biochar to peat

表 7 不同生物质炭与草炭配比基质下植株氮、磷、钾含量

Table 7 N, P, K content of plants under different ratios of biochar to peat

处理 Treatments	氮含量 Nitrogen content/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	磷含量 Phosphorus content/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	钾含量 Potassium content/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
B0P5	12.31±1.05ab	2.92±0.10a	20.97±0.50a
B1P4	15.5±1.79a	2.27±0.49a	18.8±5.26a
B2P3	5.76±0.45cd	0.94±0.03b	11.18±0.93a
B3P2	9.76±1.32bc	1.49±0.02b	11.88±0.54a
B4P1	7.87±2.04cd	1.22±0.20b	20.46±6.43a
B5P0	5.19±0.43d	0.87±0.05b	13.81±2.20a

酵玉米芯 pH 较高,但通过与蛭石、草炭等物料配施, pH 得到明显改善,具备黄瓜育苗基质的基本潜力^[14]。单一草炭基质呈酸性,本文通过生物质炭与草炭混配的方法来调节基质 pH,有效改善了基质酸碱环境,有利于作物生长,提高了花卉观赏价值。养分水平是影响作物生长发育的关键因素。土壤速效养分含量的增加可以显著提高花生产量^[15]。张国全等^[16]研究表明养分水平的提高能显著促进鸡冠花生长,提高其花鲜质量、茎叶鲜质量和总生物量。赵华等^[17]研究也发现土壤中施入污泥堆肥后,碱解氮、速效钾和有效磷含量显著增加,极大地促进了凤仙花生长,提高了观赏度。

本研究中,随生物质炭添加量的增加,凤仙花生物量及开花数目呈先上升后下降趋势,通过对基质理化性质进行分析发现,随基质中生物质炭比例的增加,其 pH 逐渐升高,有效磷含量先上升后下降,但速效钾含量呈下降趋势,说明相对的中性环境和有效磷含量的增加,可能是凤仙花生物量及开花数增加的主要原因。各基质处理铵态氮含量未表现出明显差异,生物质炭与草炭以 2:3 比例混配时,基质硝态氮含量显著降低,这可能是因为硝、铵态氮易转化损失,而供试材料均为风干样品,在样品风干过程中部分硝、铵态氮转化或损失。单一生物质炭基质有效磷含量与单一草炭基质无显著差异,但当生物质炭与草炭以体积比 1:4 进行混合后,其有效磷含量较两种单一基质均有显著增加,与生物质炭和草炭以 2:3 进行混合的处理则无显著差异。这主要是因为生物质炭是一种多孔、比表面积大的材料,对磷有吸附作用^[18-19]。部分被吸附的磷以难溶态存在,可提取性差,但草炭为弱酸性物质,在弱酸性环境中部分难溶态磷可转化为可提取态磷,从而少量生物质炭与草炭混配时,有效磷含量增加。但随生物质炭含量增加,基质 pH 逐渐升高,难溶态磷向可提取态磷的转化减少,有效磷含量降低。Chintala 等^[20]研究表明,与钙质土壤相比,生物质炭加入酸性土壤后,其对磷的吸附显著降低,这与本研究结果一致。综合各混配处理养分含量来看,生物质炭与草炭以体积比 1:4 和 2:3 进行混配时,基质养分含量处于较高水平,满足栽培基质基本条件,对作物生长有促进作用。且从试验结果来看,单一生物质炭基质处理下凤仙花生物量显著高于单一草炭基质处理,这说明纯生物质炭完全可作为凤仙花的栽培基质,维持凤仙花的生长。但在试验过程中,发现单一生物质炭基质下凤仙花发芽率较低,

另外考虑到凤仙花为观赏作物,受纯生物质炭基质 pH 偏高等因素影响,其开花数较少,花色较浅(图 2),故生物质炭完全替代草炭应用于生产可行性尚不足。

此外,生物质炭大多由农业废弃物制备而成,原料来源广泛且成本较低,是一种可再生的新型能源。我国农业废弃物累积量大、再利用率低,在浪费资源的同时对生态环境也存在一定威胁。我国每年作物秸秆产量高达 $6.5 \times 10^8 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,但由于认识不足、技术落后,仅有 1/3 左右的秸秆可以被再利用,且存在利用方式粗放、利用效率低等问题^[21]。近年来,关于将作物秸秆、树枝、畜禽粪便等农业废弃物制备成生物质炭的研究备受重视,这不仅解决了农业废弃物利用粗放、闲置严重的问题,同时生物质炭因其孔隙丰富、比表面积大、表面含氧官能团丰富、阳离子交换量大且富含营养元素等特性,被广泛应用于污染土壤、水体修复,土壤改良及农业生产等多个领域,且效果良好。生物质炭应用于作物栽培基质中,也是目前关于生物质炭利用研究的重要方向之一^[22-24]。利用生物质炭部分替代草炭用于基质生产,减少了对草炭能源的过度开采及消耗,同时改善了栽培基质的理化性质,有利于作物生长,对低碳生态、可持续农业的发展具有重要意义。

4 结论

(1) 生物质炭混配草炭能够改变土壤 pH,改善基质酸碱状况。各基质混配处理铵态氮含量无显著差异,生物质炭占比超过 1/4 时,基质速效钾含量降低,但添加有生物质炭的基质有效磷含量较单一草炭基质显著提高。



图2 不同草炭与生物质炭配比基质下凤仙花生长形态

Figure 2 Growth pattern of *Impatiens balsamina* under different ratios of biochar to peat

(2) 生物质炭混配草炭作为栽培基质, 对凤仙花株高和茎粗均有促进作用, 生物质炭与草炭混配比例为1:4时, 效果最显著。适量生物质炭混配草炭, 能够有效延缓叶片失绿, 生物质炭与草炭混配比例为1:4时, 凤仙花叶片SPAD值最高。生物质炭与草炭以1:4、2:3、3:2的比例进行混配时, 能够显著增加凤仙开花数目并能有效延长花期, 其中以生物质炭与草炭混配比例2:3时效果最为显著。

参考文献:

- [1] 晋建勇, 孟宪民, 刘 静. 欧洲园艺泥炭的开发与环境问题[J]. 腐植酸, 2006(6): 17-21.
JIN Jian-yong, MENG Xian-min, LIU Jing. Exploitation and environmental problems of horticulture peat in Europe[J]. *Humic Acid*, 2006(6): 17-21.
- [2] 高继平, 隋阳辉, 霍铁琼, 等. 生物炭用作水稻育苗基质的研究进展[J]. 作物杂志, 2014(2): 16-21.
GAO Ji-ping, SUI Yang-hui, HUO Yi-qiong, et al. The research progress and prospects on biochar used as matrix in rice seedling[J]. *Crops*, 2014(2): 16-21.
- [3] 武春成, 李天来, 曹 霞, 等. 添加生物炭对连作营养基质理化性质及黄瓜生长的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(8): 1534-1539.
WU Chun-cheng, LI Tian-lai, CAO Xia, et al. Physicochemical properties of nutrition medium and cucumber growth under continuous cropping[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2014, 28(8): 1534-1539.
- [4] 朱优娇, 李文庆, 田晓飞. 生物炭基质对番茄幼苗生长及光合特性的影响[J]. 长江蔬菜, 2016(22): 18-21.
ZHU You-jiao, LI Wen-qing, TIAN Xiao-fei. Effects of biochar substrate on growth and photosynthetic characteristics of tomato seedlings[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2016(22): 18-21.
- [5] 王晓燕, 方玉凤, 庞荔丹, 等. 生物炭配合有机物料对水稻育秧基质的影响[J]. 安徽农业科学, 2015(36): 188-191.
WANG Xiao-yan, FANG Yu-feng, PANG Li-dan, et al. Effects of biochar combined with organic materials on rice seedling substrates[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015(36): 188-191.
- [6] 戚 琳, 马存琛, 谢伟芳, 等. 不同比例生物炭替代泥炭栽培基质对西瓜幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(25): 55-58.
QI Lin, MA Cun-chen, XIE Wei-fang, et al. Effect of different substitution ratio of peat with biochar as substrates on growth of watermelon seedlings[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(25): 55-58.
- [7] 刘光亮, 王永利, 吕国新, 等. 不同生物炭配比育苗基质对烟苗素质的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(5): 84-87.
LIU Guang-liang, WANG Yong-li, LÜ Guo-xin, et al. Effects of different ratios of biochar in culture media on tobacco seedling quality[J]. *Jiangsu Agriculture Science*, 2018, 46(5): 84-87.
- [8] 陈慧玲, 林向阳, 罗登来, 等. 生物炭作为无土栽培基质的初步探究[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2017, 45(2): 280-284.
CHEN Hui-ling, LIN Xiang-yang, LUO Deng-lai, et al. Explore of bio carbon as matrix of soilless cultivation[J]. *Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition)*, 2017, 45(2): 280-284.
- [9] 陈庆飞, 石 岩, 刘玉学, 等. 生物炭替代泥炭栽培基质对铁皮石斛生长的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(13): 30-35.
CHEN Qing-fei, SHI Yan, LIU Yu-xue, et al. Effects of biochar replacing peat in culture media on the growth of *Dendrobium officinale*[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(13): 30-35.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
BAO Shi-dan. Soil agrochemical analysis[M]. 3rd Edition. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [11] 姜卫兵, 徐莉莉, 翁忙玲. 环境因子及外源化学物质对植物花色苷的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1546-1552.
JIANG Wei-bing, XU Li-li, WENG Mang-ling. Effects of environmental factors and exogenous chemicals on anthocyanins in plants: A review[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(4): 1546-1552.
- [12] 王京元, 阎俊崎, 陈 霞, 等. 土壤 pH 值对盆栽大豆幼苗的影响[J]. 江西农业学报, 2012, 24(2): 96-97.
WANG Jing-yuan, YAN Jun-qi, CHEN Xia, et al. Effect of soil pH value on seedling of potted soybean[J]. *Acta Agricultural Jiangxi*, 2012, 24(2): 96-97.
- [13] 李庆军, 林 英, 李俊良, 等. 土壤 pH 和不同酸化土壤改良剂对苹果果实品质的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(14): 209-213.
LI Qing-jun, LIN Ying, LI Jun-liang, et al. Effects of soil pH and some meliorators of acidified soil on fruit qualities of apples (*Malus domestica*) [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(14): 209-213.
- [14] 张 硕, 余宏军, 蒋卫杰. 发酵玉米芯或甘蔗渣基质的黄瓜育苗效果[J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 236-242.
ZHANG Shuo, YU Hong-jun, JIANG Wei-jie. Seedling effects of corncob and bagasse composting substrates in cucumber[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(11): 236-242.
- [15] 许小伟, 樊剑波, 陈 晏, 等. 不同有机无机肥配比比例对红壤旱地花生产量、土壤速效养分和生物学性质的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(18): 5182-5190.
XU Xiao-wei, FAN Jian-bo, CHEN Yan, et al. Effects of combined application of organic and chemical fertilizers on the yield of peanut, soil available nutrient and biological properties in the upland red soil in subtropical China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(18): 5182-5190.
- [16] 张国全, 聂立水, 罗盼盼, 等. 缓释肥翠筠一号与等养分速效肥拉多美复合肥对盆栽鸡冠花的肥效[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(5): 52-55.
ZHANG Guo-quan, NIE Li-shui, LUO Pan-pan, et al. Effects of slow-release fertilizer cuiyun No.1 and equal nutrition of fast-release fertilizer on *Celosia cristata* L. by pot experiment[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2014, 42(5): 52-55.
- [17] 赵 华, 马 玲, 龚 萍, 等. 施用污泥堆肥对凤仙花生长和土壤的影响[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(6): 1317-1319.

- ZHAO Hua, MA Ling, GONG Ping, et al. Effects of land utilization of sewage sludge compost on *Impatiens balsamina* growth and soil environment[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2010, 49(6):1317-1319.
- [18] 李仁英, 吴洪生, 黄利东, 等. 不同来源生物炭对土壤磷吸附解吸的影响[J]. *土壤通报*, 2017, 48(6):1398-1403.
- LI Ren-ying, WU Hong-sheng, HUANG Li-dong, et al. Effect of bio-char of different sources on adsorption and desorption of phosphorus in soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2017, 48(6):1398-1403.
- [19] 郎印海, 王 慧, 刘 伟. 柚皮生物炭对土壤中磷吸附能力的影响[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2015, 45(4):78-84.
- LANG Yin-hai, WANG Hui, LIU Wei. Effect of pomelo peel biochars on adsorption performance of phosphorus in soil[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2015, 45(4):78-84.
- [20] Chintala R, Schumacher T E, McDonald L M, et al. Phosphorus sorption and availability from biochars and soil / biochar mixtures[J]. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 2014, 42(5):626-634.
- [21] 彭 靖. 对我国农业废弃物资源化利用的思考[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(2):794-798.
- PENG Jing. Review and discussion on utilization of agricultural waste resources in China[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(2):794-798.
- [22] 陈温福, 张伟明, 孟 军. 农用生物炭研究进展与前景[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(16):3324-3333.
- CHEN Wen-fu, ZHANG Wei-ming, MENG Jun. Advances and prospects in research of biochar utilization in agriculture[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(16):3324-3333.
- [23] 李 力, 刘 娅, 陆宇超, 等. 生物炭的环境效应及其应用的研究进展[J]. *环境化学*, 2011, 30(8):1411-1421.
- LI Li, LIU Ya, LU Yu-chao, et al. Review on environmental effects and applications of biochar[J]. *Environmental Chemistry*, 2011, 30(8):1411-1421.
- [24] 丁文川, 曾晓岚, 王永芳, 等. 生物炭载体的表面特征和挂膜性能研究[J]. *中国环境科学*, 2011, 31(9):1451-1455.
- DING Wen-chuan, ZENG Xiao-lan, WANG Yong-fang, et al. Characteristics and performances of biofilm carrier prepared from agro-based biochar[J]. *China Environmental Science*, 2011, 31(9):1451-1455.