

# 容器规格和添加生物炭的基质配方对西南桦幼苗生长的影响

刘士玲<sup>1,2</sup> 贾宏炎<sup>1,2</sup> 陈琳<sup>1,2\*</sup> 杨保国<sup>1,2</sup> 雷丽群<sup>1,2</sup> 庞圣江<sup>1,2</sup> 张培<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西凭祥 532600; <sup>2</sup>广西友谊关森林生态系统国家定位观测研究站, 广西凭祥 532600)

**摘要** 为了揭示容器规格和添加生物炭的基质配方对西南桦(*Betula alnoides*)无性系幼苗生长的影响,以3个西南桦优良无性系(FB4、FB4<sup>+</sup>和FB01)作为研究对象,选用3种容器规格(4.5 cm×8.0 cm, 6.0 cm×9.0 cm, 8.0 cm×12.0 cm, 直径×高)和6种基质配方(黄心土、沤制树皮、锯末、炭化树皮和竹炭不同比例)开展育苗试验,通过比较不同处理幼苗生长和根系形态等指标,结合育苗效果综合评价,确定适宜的容器规格和基质配方。结果表明:基质配方、容器规格、无性系均显著影响西南桦幼苗的地径、苗高、叶面积、叶片数、生物量和根系形态,且存在显著的交互效应。比较所有无性系在相同基质种类下不同基质比例之间的生长表现后发现:6个基质配方中,基质4表现出明显的生长优势,其地径、苗高、生物量、分枝数、叶面积、叶片数、根长、根表面积、根体积和根平均直径分别是其他基质配方的1.01~1.36、1.11~1.62、1.13~2.94、1.05~3.94、1.05~2.86、1.03~2.44、1.29~2.17、1.29~2.20、1.32~2.44和1.00~1.60倍。所有无性系幼苗的地径、苗高、叶面积、叶片数、生物量和根系形态特征均随着容器规格的增大而增加,表明容器规格越大对幼苗生长的促进作用越明显。对西南桦幼苗的生长指标和根系形态指标进行主成分分析,筛选出叶面积、根表面积、根平均直径和存活率作为苗木质量综合评价指标,进一步计算综合评价指数发现,无性系FB4<sup>+</sup>、容器规格3(8.0 cm×12.0 cm)和基质4(74.625%黄心土+24.875%沤制树皮+0.5%竹炭)的综合评价指数最大(1.566),其育苗效果最好。

**关键词** 西南桦; 生物炭; 无性系; 主成分分析; 根系形态

**Effects of container size and medium formula with biochar addition on the growth of *Betula alnoides* seedlings.** LIU Shi-ling<sup>1,2</sup>, JIA Hong-yan<sup>1,2</sup>, CHEN Lin<sup>1,2\*</sup>, YANG Bao-guo<sup>1,2</sup>, LEI Li-qun<sup>1,2</sup>, PANG Sheng-jiang<sup>1,2</sup>, ZHANG Pei<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Guangxi, China; <sup>2</sup>Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang 532600, Guangxi, China).

**Abstract:** We examined the effects of container size and medium formula with biochar addition on the growth of *Betula alnoides* seedlings with three superior clones of *B. alnoides* (FB4, FB4<sup>+</sup> and FB01) grown under three container sizes (4.5 cm×8.0 cm, 6.0 cm×9.0 cm, 8.0 cm×12.0 cm, diameter and height) and six medium formulas (different ratios of yellow soil, composted bark, sawdust, charred bark and bamboo charcoal). The optimum container size and media formula were determined by comparing seedling growth and root morphology, with a comprehensive evaluation of seedling growth. The results showed that the media formula, container size, clone and their interactions had significant effects on root collar diameter, seedling height, leaf area, leaf number, biomass, and root morphology. When considering the growth performance of all clones among different media ratios under the same medium type, the optimal growth performance occurred in the medium 4, in which the root collar diameter, seedling height, biomass, branch

“十三五”国家重点研发计划子课题“广西西南桦高效培育技术研究”(2016YFD0600604-01)资助。

收稿日期: 2018-12-05 接受日期: 2019-05-19

\* 通讯作者 E-mail: daqiqiu@163.com

number, leaf area, leaf number, root length, root surface area, root volume, average root diameter were 1.01–1.36, 1.11–1.62, 1.13–2.94, 1.05–3.94, 1.05–2.86, 1.03–2.44, 1.29–2.17, 1.29–2.20, 1.32–2.44 and 1.00–1.60 times higher than those of other media formulas, respectively. With the increases of container size, root collar diameter, seedling height, leaf area, leaf number, biomass and root morphological characteristics of all clone seedlings increased, indicating that larger container facilitated seedling growth. Principal component analysis was used to analyze the growth and root morphology indexes of *B. alnoides* seedlings, the results from which showed that the leaf area, root surface area, average root diameter and survival rate were comprehensive evaluation indices of seedling quality. After further calculation of the comprehensive evaluation index, the combination of clone FB4<sup>+</sup>, container size 3 (8.0 cm×12.0 cm) and medium 4 (74.625% yellow heart soil, 24.875% bark, and 0.5% bamboo charcoal) showed the largest comprehensive evaluation index (1.566), exhibiting the strongest effects on seedling growth performance.

**Key words:** *Betula alnoides*; biochar; clone; principal component analysis; root morphology.

容器育苗是指以配制好的基质或营养土装入不同材料制成的容器中进行培育苗木的先进技术,因具有育苗期短、造林成活率高、易于运输等特点,而被世界各国广泛应用于林木育苗,并形成一系列苗木质量调控技术。培育和利用高质量容器苗造林成为林业领域研究的热点(Oliet *et al.*, 2009)。如何提高容器苗木的质量,国内外学者从容器类型和规格(Aphalo *et al.*, 2003; Close *et al.*, 2010)、基质配方(邓华平等, 2011)、容器苗菌根化(邹慧等, 2018)、施肥技术(Oliet *et al.*, 2009)、优良无性系选择(贾宏炎等, 2012)、遮荫处理(杜澜等, 2019)等方面进行了诸多研究。

选择适宜的容器规格是培育高质量容器苗的基础。王琰等(2016)对油松(*Pinus tabulaeformis*)容器苗研究表明,长规格的容器更促进苗木生长; Close等(2010)对蓝桉(*Eucalyptus globulus*)的研究表明,大容器培育苗木质量更优,造林效果更好; Ning等(2017)研究表明,最佳容器规格随物种、生长密度、环境条件和生长季节的长度等因素而不同。但是培育大规格容器苗会大大增加生产成本和运输成本,因此选择适宜的容器规格就显得至关重要。Valero等(2017)指出,适合容器苗生长的基质配方应物理化学性质稳定、提供营养物质、保水及透气性良好。研究发现,生物炭(biochar)有利于容器育苗系统中植物的生长(Dumroese *et al.*, 2011a),并已显示出有潜力作为泥炭(Vaughn *et al.*, 2013; Dumroese *et al.*, 2018)和无机成分的替代品(Headlee *et al.*, 2014)。生物炭对植物的作用效果受生物炭类型、施用量、土壤类型和植物种类等因素的影响(南江宽等, 2018)。植物生长及其产量对生物炭施用的

响应,是农业增产研究的热门领域(Hossain *et al.*, 2010)。生物炭在林业的应用研究相对较少(许文欢, 2016; 李莹, 2018; 刘志刚等, 2018; 王国兵等, 2019),且主要集中在土壤及微生物等方面。然而,添加生物炭作为容器育苗基质,揭示不同添加水平下林木幼苗的生长表现,从而提出适宜的生物炭添加量的研究尚未见报道。

西南桦是我国热带、亚热带地区的优良乡土珍贵用材树种,具有较高的经济和生态价值。近十余年来,其人工林面积已超过13.3万hm<sup>2</sup>(王春胜等, 2013)。随着西南桦种植业发展迅速,对容器苗数量和质量的要求不断提高。目前,西南桦常规育苗以黄心土为主,或趋向于采用林业废弃物(如树皮和锯末)作为基质材料进行工厂化轻基质育苗。鉴于此,本研究以生产上常用的两种基质(基质1和基质2)为对照,首次添加竹炭为基质原料,选取3个西南桦无性系开展3种容器规格和6种基质配方对比研究,揭示不同容器规格和基质配方对西南桦不同无性系生长的影响,结合育苗效果综合评价筛选出适宜的容器规格和基质配方,为西南桦优质容器苗培育提供科技支撑和理论依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 试验区概况

试验地点位于广西友谊关森林生态系统国家定位观测研究站中国林业科学研究院热带林业实验中心站点(22°05′00″N, 106°48′12″E),地处南亚热带,属于季风气候,干湿季节明显。年均气温21.5℃,最冷月(1月)平均气温13.5℃,最热月(7月)平均气温27.6℃,全年日照时数1218~1620 h, ≥10℃

积温 6000~7600 ℃,年均降水量 1200~1600 mm,相对湿度 80%~84%。

1.2 试验设计

2018 年 1—5 月在热带林业实验中心苗圃开展不同容器规格和基质配方对西南桦无性系幼苗生长的影响试验。采用裂区试验设计,主区为容器规格,容器大小按无纺布袋的直径和高度设置 3 个水平,分别为规格 1(4.5 cm×8.0 cm)、规格 2(6.0 cm×9.0 cm)和规格 3(8.0 cm×12.0 cm),主裂区为 6 个基质配方(表 1),副裂区为 3 个无性系,每个无性系 25 株为一个小区,3 次重复(区组),合计 4050 株。移苗前将各基质按试验设计的比例充分混合,装入 3 种规格的无纺布袋中,置于塑料盘中,育苗盘下方铺 1 层防草布以防止苗木根系穿入土壤。试验期间根据天气情况对西南桦苗木进行遮阴处理,不进行任何施肥处理,仅每天定期喷 3 次水,雨天不喷。

基质材料:以黄心土和林业废弃物沤制树皮、锯末为基质主料,以炭化树皮和竹炭为基质辅料。其中,黄心土为热带林业实验中心林区 20~40 cm 土层的土壤;树皮为马尾松(*Pinus massoniana*)树皮,沤制树皮、炭化树皮和锯末均取自热带林业实验中心轻基质厂;竹炭购自上海时科生物有限公司,pH 6.0~8.0,NPK≥5%,有机质≥45%。

供试苗木:参试的 3 个西南桦无性系 FB01、FB4、FB4<sup>+</sup>,其组培苗来自热带林业实验中心苗圃,平均高度均约 4 cm。

1.3 生长测定

试验结束时,统计每个小区幼苗的存活率,测定所有幼苗的苗高、地径、分枝数等。每个小区分别选取 5 株标准西南桦无性系幼苗,用于生物量、叶面积和根系形态等指标的测定。用去离子水将苗木冲洗干净,将苗木分为根、茎、叶 3 部分取样。吸干叶片表面水分,应用 Microtek Scan Maker 9700XL 扫描仪

表 1 基质配方  
Table 1 Compositions of growth medium

| 基质编号 | 组成  |
|------|---|
| 1    | 75%黄心土+25%沤制树皮(对照 1)                          |
| 2    | 54.55%沤制树皮+27.27%锯末+9.09%炭化树皮+9.09%黄心土(对照 2)  |
| 3    | 74.5%黄心土+24.5%沤制树皮+1%竹炭                       |
| 4    | 74.625%黄心土+24.875%沤制树皮+0.5%竹炭                 |
| 5    | 54%沤制树皮+27%锯末+9%炭化树皮+9%黄心土+1%竹炭               |
| 6    | 54.27%沤制树皮+27.13%锯末+9.05%炭化树皮+9.05%黄心土+0.5%竹炭 |

获取叶片图像,叶面积计算采用 Chen 等(2012)的方法。苗木根系形态的测定采用 LA-S 型植物根系分析仪系统(杭州万深监测科技有限公司),设定 3 个根径等级(0<d≤1 mm 小细根、1<d≤2 mm 粗细根、d>2 mm 粗根)测定根总体积、根平均直径、根总长和根总表面积等根系形态参数。将根、茎、叶分别放入 65 ℃的烘箱内连续烘 48 h 至恒质量,测定各部分的干物质量。

1.4 苗木质量评价

利用主成分分析法(杨梅花等,2016)构建最小数据集指标,并应用模糊数学中的隶属函数值法(魏永胜等,2005),综合评价西南桦生长对不同处理的响应。综合评价指数  $CEI = \sum_{i=1}^n W_i Z_i$ ,CEI 愈大,说明育苗效果愈好,愈小则育苗效果愈差。其中,n 为指标的数量,W<sub>i</sub> 和 Z<sub>i</sub> 分别是第 i 个指标的权重和隶属函数值,  $W_i = C_i / \sum_{i=1}^n C_i$  (C<sub>i</sub>为第 i 个苗木质量评价指标载荷);  $Z_i = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ,其中,X<sub>i</sub>为指标测定值,X<sub>min</sub>和 X<sub>max</sub>为所有参试材料某一指标的最小值和最大值,若为负相关,则  $Z_i = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。

1.5 数据分析

利用 SPSS 19.0 软件一般线性模型对西南桦幼苗生长指标(地径、苗高、分枝数、叶面积、叶片数、生物量、根冠比、根长、根表面积、根体积、根平均直径和成活率)进行方差分析和 Duncan 多重比较分析,并利用其降维处理对所有指标进行主成分分析,应用隶属函数法计算不同处理的综合评价指数。

2 结果与分析

2.1 生长表现

由多因素方差分析结果可知(表 2),基质配方对西南桦幼苗生长产生的影响最大,容器规格的影响效应次之,无性系仅对西南桦幼苗的地径、苗高、叶面积、叶片数、生物量、根体积和根平均直径有显著性影响(P<0.01)。双因素交互效应中,容器规格×基质配方的交互作用对西南桦幼苗生长产生的影响最大,其次是基质配方×无性系的交互作用,容器规格×无性系的交互作用影响最小。容器规格×基质配方×无性系三因素交互作用对叶面积、叶片数、生物量和根平均直径有显著性影响(P<0.01)。由此可以看出,基质配方和容器规格是影响西南桦幼

表 2 西南桦幼苗生长和根系形态指标多因素方差分析 *F* 值  
Table 2 *F*-value of multivariate variance of growth and root morphological indices of *Betula alnoides* seedlings

| 指标    | 容器规格      | 基质配方       | 无性系       | 容器规格×<br>基质配方 | 容器规格×<br>无性系 | 基质配方×<br>无性系 | 容器规格×基质<br>配方×无性系 |
|-------|-----------|------------|-----------|---------------|--------------|--------------|-------------------|
| 分枝数   | 22.54 * * | 129.00 * * | 0.13      | 5.41 * *      | 1.04         | 2.31 *       | 0.67              |
| 地径    | 26.84 * * | 126.76 * * | 25.81 * * | 10.40 * *     | 0.47         | 3.89 * *     | 1.20              |
| 苗高    | 30.86 * * | 161.11 * * | 23.55 * * | 5.35 * *      | 4.08 * *     | 5.24 * *     | 1.45              |
| 叶面积   | 53.25 * * | 209.55 * * | 25.15 * * | 31.96 * *     | 3.51 *       | 3.62 * *     | 4.24 * *          |
| 叶片数   | 31.08 * * | 181.99 * * | 17.24 * * | 20.00 * *     | 0.62         | 2.78 * *     | 2.94 * *          |
| 生物量   | 33.19 * * | 262.65 * * | 42.94 * * | 30.03 * *     | 3.67 * *     | 5.35 * *     | 4.03 * *          |
| 根冠比   | 1.71      | 29.52 * *  | 1.70      | 3.08 * *      | 1.53         | 0.86         | 0.81              |
| 根长    | 73.47 * * | 67.23 * *  | 1.84      | 7.52 * *      | 0.58         | 2.47 * *     | 1.45              |
| 根表面积  | 69.21 * * | 85.06 * *  | 0.76      | 8.12 * *      | 2.66 * *     | 1.43         | 1.66              |
| 根体积   | 25.07 * * | 48.91 * *  | 4.21 * *  | 3.89 * *      | 5.16 * *     | 0.98         | 1.53              |
| 根平均直径 | 1.36      | 3.09 * *   | 11.71 * * | 1.90          | 1.17         | 2.92 * *     | 2.47 * *          |
| 存活率   | 5.09 * *  | 59.15 * *  | 0.18      | 1.14          | 0.37         | 0.44         | 0.35              |

容器规格、基质配方、无性系、容器规格×基质配方、容器规格×无性系、基质配方×无性系、容器规格×基质配方×无性系自由度分别为 2, 5, 2, 10, 4, 10, 20; \* 和 \* \* 分别表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ ) 和极显著 ( $P<0.01$ ), 样本量  $n=810$ 。

苗生长的主要因素。

多重比较发现(表 3),容器规格 3(8.0 cm×12.0 cm)的西南桦幼苗苗高、地径、生物量、叶面积、叶片数和分枝数显著高于其他两种容器规格,分别为容器规格 1(4.5 cm×8.0 cm)和容器规格 2(6.0 cm×9.0 cm)的 1.36、1.21、1.85、2.48、2.01、2.94 倍和 1.21、1.10、1.45、1.71、1.41、1.39 倍。容器规格 3 的根冠比显著低于其他两种容器规格,3 种容器规格的幼苗存活率无显著差异。西南桦幼苗存活率随着竹炭添加量的增加显著减少,其他生长指标则随着竹炭添加量的增加先增大后减小,6 个基质配方中,基质 4 的地径、苗高、生物量、分枝数、叶面积和叶片数生长表现最优,除与基质 3(苗高除外)无显著差异外,均显著高于其他基质配方。无性系间比较,FB01 的地径和生物量显著高于 FB4<sup>+</sup> 和 FB4,但其苗高显著低于 FB4<sup>+</sup> 和 FB4,FB4<sup>+</sup> 和 FB4 的各生长指标均无显著性差异。

### 2.2 根系形态状况

由表 2 可知,容器规格、基质配方及其二者的交互作用对西南桦幼苗的根长、根表面积和根体积影响达极显著水平( $P<0.01$ ),这与西南桦幼苗生长指标相似,基质配方和容器规格亦是影响西南桦幼苗总根长、根表面积、根体积生长的主要因素。

在大容器中生长的幼苗具有更加扩展的根系,容器规格 3 的根系形态表现较好,显著高于其他两种规格(表 4),其根长、根表面积和根体积分别比容器规格 1、容器规格 2 提高了 102.00%、101.71%和 95.85%,47.85%、44.80%和 36.22%。西南桦幼苗根系形态参数随着竹炭添加量的增加先增大后减小,6 个基质配方中,基质 4 的根系形态参数最大,其根

表 3 西南桦无性系生长对容器规格和基质配方的响应  
Table 3 Seedling growth response to container size and medium for *Betula alnoides* clones

| 处理                         |                  | 分枝数         | 地径<br>(mm)  | 苗高<br>(cm)    | 叶面积<br>(cm <sup>2</sup> · 株 <sup>-1</sup> ) | 叶片数           | 生物量<br>(g · 株 <sup>-1</sup> ) | 根冠比         | 存活率<br>(%)   |
|----------------------------|------------------|-------------|-------------|---------------|---|---------------|-------------------------------|-------------|--------------|
| 容器规格<br>( <i>n</i> = 270 ) | 1                | 1.70±1.81 c | 1.74±0.20 c | 11.56±2.72 c  | 21.24±11.69 c                               | 13.10±5.59 c  | 0.59±0.29 b                   | 0.51±0.14 a | 85.7±15.36 a |
|                            | 2                | 3.60±2.71 b | 1.91±0.30 b | 13.08±2.65 b  | 30.71±12.96 b                               | 18.60±7.12 b  | 0.75±0.35 b                   | 0.50±0.13 a | 86.0±18.19 a |
|                            | 3                | 5.00±3.01 a | 2.11±0.41 a | 15.77±3.66 a  | 52.66±30.77 a                               | 26.30±12.86 a | 1.09±0.65 a                   | 0.44±0.11 b | 90.8±13.48 a |
| 基质配方<br>( <i>n</i> = 135)  | 1                | 1.70±1.56 b | 1.77±0.17 b | 10.99±1.52 c  | 20.57±5.57 b                                | 12.40±3.26 b  | 0.57±0.14 b                   | 0.61±0.09 a | 98.8±5.41 a  |
|                            | 2                | 1.90±1.73 b | 1.68±0.20 b | 11.21±2.45 c  | 21.81±12.77 b                               | 13.90±6.19 b  | 0.48±0.22 b                   | 0.56±0.15 a | 99.1±2.31 a  |
|                            | 3                | 6.40±2.38 a | 2.26±0.35 a | 16.04±2.76 b  | 56.00±32.18 a                               | 29.20±10.17 a | 1.25±0.61 a                   | 0.40±0.07 c | 68.7±12.53 c |
|                            | 4                | 6.70±2.22 a | 2.29±0.31 a | 17.83±2.97 a  | 58.78±23.62 a                               | 30.20±12.11 a | 1.41±0.43 a                   | 0.39±0.09 c | 92.7±10.53 b |
|                            | 5                | 2.00±1.49 b | 1.75±0.22 b | 12.39±1.92 c  | 25.70±11.15 b                               | 14.80±4.53 b  | 0.54±0.21 b                   | 0.46±0.11 b | 70.9±12.99 c |
|                            | 6                | 2.00±1.68 b | 1.76±0.15 b | 12.37±2.51 c  | 26.37±10.46 b                               | 15.50±5.06 b  | 0.61±0.13 b                   | 0.48±0.10 b | 94.7±8.88 ab |
| 无性系<br>( <i>n</i> = 270 )  | FB4 <sup>+</sup> | 3.46±3.16 a | 1.89±0.37 b | 14.10±4.02 a  | 32.92±21.59 a                               | 20.76±11.31 a | 0.74±0.45 b                   | 0.49±0.12 a | 87.0±16.86 a |
|                            | FB4              | 3.38±2.98 a | 1.85±0.33 b | 13.70±3.41 ab | 31.88±21.28 a                               | 19.88±10.79 a | 0.74±0.42 b                   | 0.49±0.13 a | 88.1±15.64 a |
|                            | FB01             | 3.48±2.53 a | 2.02±0.33 a | 12.60±2.84 b  | 39.82±24.21 a                               | 17.36±9.31 a  | 0.94±0.60 a                   | 0.47±0.14 a | 87.4±15.34 a |

小写字母为多重比较结果,字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。



表 4 容器规格和基质配方对西南桦无性系根系形态的影响  
Table 4 Effects of container size and medium on root morphological indices of *Betula alnoides* clones

| 处理                |                  | 根长 (cm)         | 根表面积 (cm <sup>2</sup> ) | 根体积 (cm <sup>3</sup> ) | 根平均直径 (mm)    |
|-------------------|------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|---------------|
| 容器规格<br>(n = 270) | 1                | 452.17±191.03 c | 80.62±36.21 c           | 2.17±1.11 c            | 0.620±0.07 a  |
|                   | 2                | 617.79±183.73 b | 112.31±36.06 b          | 3.12±1.40 b            | 0.630±0.06 a  |
|                   | 3                | 913.39±369.48 a | 162.62±63.80 a          | 4.25±2.06 a            | 0.620±0.05 a  |
| 基质配方<br>(n = 135) | 1                | 613.63±260.52 c | 103.29±40.52 c          | 2.55±1.02 c            | 0.600±0.06 c  |
|                   | 2                | 484.68±153.66 c | 84.47±29.94 c           | 2.16±0.92 c            | 0.610±0.06 ab |
|                   | 3                | 786.85±381.75 b | 143.95±67.18 b          | 4.00±2.06 b            | 0.630±0.06 ab |
|                   | 4                | 1016.7±366.01 a | 185.94±59.34 a          | 5.28±1.98 a            | 0.640±0.06 a  |
|                   | 5                | 468.06±119.75 c | 84.72±26.97 c           | 2.23±0.84 c            | 0.630±0.05 ab |
|                   | 6                | 596.78±193.21 c | 108.72±36.07 c          | 2.88±1.03 c            | 0.640±0.05 a  |
| 无性系<br>(n = 270)  | FB4 <sup>+</sup> | 677.64±323.12 a | 115.55±53.60 a          | 2.93±1.37 a            | 0.602±0.06 b  |
|                   | FB4              | 672.63±356.24 a | 119.35±59.29 a          | 3.17±1.68 a            | 0.621±0.06 b  |
|                   | FB01             | 633.09±292.36 a | 120.64±61.36 a          | 3.44±1.78 a            | 0.646±0.06 a  |

长、根表面积、根体积和根平均直径分别是其他基质的 1.29~2.17、1.29~2.20、1.32~2.44 和 1.00~1.07 倍。分析不同无性系的根系形态表现可以看出,FB01 的根平均直径与 FB4 和 FB4<sup>+</sup>差异显著,其他 3 个根系形态参数均差异不显著,FB4<sup>+</sup>和 FB4 的各根系形态参数均无显著性差异。

2.3 苗木质量综合评价

不同处理西南桦生长指标和根系形态指标的主成分分析结果显示,有 3 个特征值大于 1 的主成分,其累计贡献率为 80.816%,这 3 个成分能够反映出西南桦生长对不同容器规格和基质配方的响应。从主成分分析中可以看出,第一主成分中分枝数、地径、苗高、叶面积、叶片数和生物量的载荷较大,且相关分析表明这 6 个指标呈极显著的正相关关系,因此纳入最小数据集的指标为载荷较大的叶面积;第二主成分中载荷较大的指标是根长、根表面积和根体积,相关分析亦表明三者为极显著正相关,因此将载荷较大的根表面积纳入最小数据集;第三主成分

中根平均直径和存活率的载荷较大,纳入最小数据集。因此,最终纳入最小数据集的是叶面积、根表面积、根平均直径和存活率 4 个指标,构成西南桦苗木质量综合评价的指标。

鉴于不同容器规格、基质配方和无性系组合对西南桦幼苗生长的影响各异,采用隶属函数法对不同组合的育苗指标进行综合评价。54 个处理中综合评价指数排名前 10 位的组合育苗效果见表 5。不同容器规格中,容器规格 3 在综合评价指数排名前 10 位组合中占了 6 个,表明较大规格的容器有利于西南桦幼苗的生长。在综合评价指数排名前 10 位组合中只有基质 4(6 个)和基质 3(4 个),说明基质 4 的育苗效果较好,同时进一步说明本试验所设计的添加 0.5% 竹炭的基质配方的西南桦生长优于对照基质配方,且优于添加 1% 竹炭的基质配方;不同无性系比较,FB4<sup>+</sup>、FB4 和 FB01 在综合评价指数排名前 10 位组合中分别有 5、2、3 个,说明在相同的容器规格和基质配方处理下无性系 FB4<sup>+</sup> 的生长表

表 5 容器规格和基质配方对西南桦生长影响的综合评价  
Table 5 Comprehensive evaluation on response to container size and medium for *Betula alnoides* clones

| 组合               |      |    | 隶属函数值 |       |       |       | 综合评价<br>指数 | 排序 |
|------------------|------|----|-------|-------|-------|-------|------------|----|
| 无性系              | 容器规格 | 基质 | 叶面积   | 根表面积  | 根平均直径 | 存活率   |            |    |
| FB4 <sup>+</sup> | 3    | 4  | 4.190 | 0.209 | 0.609 | 0.979 | 1.566      | 1  |
| FB01             | 3    | 4  | 4.201 | 0.138 | 0.448 | 1     | 1.514      | 2  |
| FB4              | 3    | 4  | 3.910 | 0.276 | 0.644 | 0.917 | 1.504      | 3  |
| FB4 <sup>+</sup> | 3    | 3  | 3.983 | 0.079 | 0.494 | 0.625 | 1.378      | 4  |
| FB4 <sup>+</sup> | 2    | 4  | 2.233 | 0.508 | 0.770 | 0.896 | 1.127      | 5  |
| FB01             | 3    | 3  | 3.100 | 0.115 | 0.356 | 0.521 | 1.088      | 6  |
| FB4              | 3    | 3  | 2.814 | 0.153 | 0.356 | 0.573 | 1.028      | 7  |
| FB01             | 2    | 4  | 1.827 | 0.352 | 0.678 | 0.813 | 0.929      | 8  |
| FB4 <sup>+</sup> | 1    | 4  | 1.817 | 0.212 | 0.598 | 0.833 | 0.869      | 9  |
| FB4 <sup>+</sup> | 2    | 3  | 1.830 | 0.364 | 0.345 | 0.604 | 0.816      | 10 |

现较好。各育苗因素组合中,组合无性系 FB4<sup>+</sup>、容器规格 3(8.0 cm×12.0 cm)和基质 4(74.625%黄心土+24.875%沤制树皮+0.5%竹炭)的综合评价指数最大(1.566),其育苗效果最好。

### 3 讨 论

众多研究表明,大规格容器有利于苗木对水肥的利用,更有利于苗木的根系发育,且对苗木生长的促进作用随着苗龄的增加而增加,尤其是根系生长量超过小规格容器的承受范围时(South *et al.*, 2005; Dumroese *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2008)。本研究结果表明,不同容器规格的育苗效果存在差异性,西南桦幼苗的地径、苗高、叶面积、叶片数、生物量和根系形态参数随容器规格的增大而增加,表明增加容器大小对幼苗生长具有明显积极影响,与油棕(*Elaeis guineensis*) (Akpo *et al.*, 2014)、金合欢(*Acacia koa*) (Dumroese *et al.*, 2011b)、柠檬桉(*Eucalyptus citriodora*) (Vaknin *et al.*, 2009)和意大利松(*Pinus pinea*) (Dominguez *et al.*, 2006)等研究结果一致,而与香樟(*Cinnamomum camphora*) (金国庆等, 2005)、圆齿野鸦椿(*Euscaphis konishii*) (贺婷, 2017)等的研究结果不一致,说明育苗容器规格对不同树种幼苗生长的影响存在差异。其原因可能在于西南桦、柠檬桉和意大利松等为速生树种,需要较大的生长空间,而容器规格对圆齿野鸦椿、香樟等早期生长较慢的苗木则影响作用不大。Ning (2017)和 Akpo (2014)等研究发现,容器规格对幼苗生长的影响大于基质配方,表明肥料添加或基质选择不能否决容器尺寸效应。本研究中,基质配方对西南桦幼苗生长和根系形态的影响大于容器规格,说明通过选择合适的容器规格亦不能否决基质配方效应。容器规格和基质配方面存在交互作用,在育苗过程中不仅要考虑容器规格或基质配比的单因素效应,还要结合两者的交互作用进行综合考虑。

本研究结果表明,基质配方对西南桦幼苗的生长影响极显著( $P<0.01$ ),幼苗生长表现为基质 4>基质 3>基质 1,基质 6>基质 5>基质 2,说明添加竹炭显著提高了苗木的生长,这与王芬(2018)和 Lin 等(2017)认为生物炭能促进植物生长的研究结论一致。同时,本研究也表明,添加 0.5%竹炭的基质配方更有利于西南桦幼苗的生长,其幼苗存活率

(89.78%~99.56%)显著高于添加 1%竹炭的基质配方的幼苗存活率(63.11%~74.67%),但又略低于对照(96.44%~100%)。可见,容器苗的生长表现取决于生物炭的添加率,在低生物炭添加率时具有正效应,但对较高比率具有负面影响。其原因可能在于生物炭具有很高的碳氮比,吸附性能较好,超量施入可能导致氮固定增加,降低了植物吸收利用氮素的有效性(Khan *et al.*, 2008, 2011; Vaughn *et al.*, 2013);也可能由于其较强的吸附性,使得炭粒周围失水严重,若生物炭在土壤中含量过高,可能造成植物根系损伤,从而影响苗木生长;或高浓度的生物炭添加可能会改变土壤功能,诱导对微生物群落结构和活动的不利影响(Huang *et al.*, 2017),当然也可能是与生物炭自身的高 pH 有关,具体原因有待进一步深入研究。

本研究中,基质 3、4 的西南桦幼苗生长优于基质 5、6,但由于前两个基质中黄心土比重较大,且前人研究结果表明生物炭可作为肥料的载体,吸附缓释养分,抑制反硝化作用,减少 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的损失,提高肥料利用率,肥料与生物炭混施比单施处理效果好(Zwieten *et al.*, 2010; Farrell *et al.*, 2014),因此从基质材料来源和生物炭性能方面考虑,建议生产上采用基质 6 与肥料混施培育西南桦苗木。此外,生物炭高度稳定,肖婧等(2017)研究发现,施用生物炭超过 2 年时,其对作物的增产效果仍然显著,可达 9.6%。因此,今后应开展生物炭与肥料的混施试验,并且开展苗木造林效果研究,加强苗木培育与造林生产的联系,更好地评价容器苗质量。

### 4 结 论

容器规格、基质配方和无性系均显著影响了西南桦幼苗的生长,且存在交互作用,因此西南桦容器育苗应综合考虑这 3 个因素。育苗综合评价显示,组合容器规格 3(8.0 cm×12.0 cm),基质 4(74.625%黄心土+24.875%沤制树皮+0.5%竹炭),无性系 FB4<sup>+</sup>的育苗效果较好。

### 参考文献

- 邓华平, 杨桂娟, 王正超, 等. 2011. 容器大苗培育技术研究现状. 世界林业研究, 24(2): 36-41.
- 杜 澜, 谢锦忠, 赖秋香, 等. 2019. 遮荫对绿竹容器苗光合作用及生长的影响. 生态学杂志, 38(1): 67-73.

- 贺 婷. 2017. 容器类型、规格及基质配比对圆齿野鸦椿容器苗质量的影响(硕士学位论文). 南昌: 江西农业大学.
- 贾宏炎, 曾 杰, 黎 明, 等. 2012. 西南桦组培苗培育的轻基质筛选. 林业科学研究, **25**(2): 241–245.
- 金国庆, 周志春, 胡红宝. 2005. 3 种乡土阔叶树种轻型基质容器育苗技术研究. 林业科学研究, **18**(3): 60–65.
- 李 莹. 2018. 杉木生物炭特性及其对土壤碳稳定性影响的研究(博士学位论文). 福州: 福建农林大学.
- 刘志刚, 朱晨曦, 陈敏健, 等. 2018. 施用生物炭对杉木人工林土壤碳氮的影响. 森林与环境学报, **38**(4): 393–399.
- 南江宽, 王 浩, 王劲松, 等. 2018. 不同水分条件下秸秆生物炭对高粱生长和养分含量的影响. 植物营养与肥料学报, **24**(4): 1027–1038.
- 王 芬, 刘 会, 冯敬涛, 等. 2018. 牛粪和生物炭不同配比对苹果根系生长、土壤特性和氮素利用的影响. 中国生态农业学报, **26**(12): 1795–1801.
- 王 琰, 刘 勇, 李国雷, 等. 2016. 容器类型及规格对油松容器苗底部渗灌耗水规律及苗木生长的影响. 林业科学, **52**(6): 10–17.
- 王春胜, 赵志刚, 曾 冀, 等. 2013. 广西凭祥西南桦中幼林林木生长过程与造林密度的关系. 林业科学研究, **26**(2): 257–262.
- 王国兵, 王 瑞, 徐 瑾, 等. 2019. 生物炭对杨树人工林土壤微生物量 C、N、P 及其化学计量特征的影响. 南京林业大学学报: 自然科学版, **43**(2): 1–8.
- 魏永胜, 梁宗锁, 山 仑, 等. 2005. 利用隶属函数值法评价苜蓿抗旱性. 草业科学, **22**(6): 33–36.
- 肖 婧, 徐 虎, 蔡岸冬, 等. 2017. 生物炭特性及施用管理措施对作物产量影响的整合分析. 中国农业科学, **50**(10): 1827–1837.
- 许文欢, 邓芳芳, 方水元, 等. 2016. 生物炭对杨树人工林土壤微生物量及碳源代谢多样性的影响. 南京林业大学学报: 自然科学版, **40**(5): 14–20.
- 杨梅花, 赵小敏, 王芳东, 等. 2016. 基于主成分分析的最小数据集的肥力指数构建. 江西农业大学学报, **38**(6): 1188–1195.
- 邹 慧, 王春胜, 陆俊锟, 等. 2019. 6 种外生菌根真菌对西南桦幼苗的接种效应. 微生物学通报, **46**(3): 453–460.
- Akpo E, Stomph TJ, Kossou DK, *et al.* 2014. Effects of nursery management practices on morphological quality attributes of tree seedlings at planting: The case of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Forest Ecology and Management*, **324**: 28–36.
- Aphalo P, Rikala R. 2003. Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests*, **25**: 93–108.
- Chen L, Zeng J, Jia HY, *et al.* 2012. Growth and nutrient uptake dynamics of *Mytilaria laosensis* seedlings under exponential and conventional fertilizations. *Soil Science and Plant Nutrition*, **58**: 618–626.
- Close DC, Paterson S, Corkrey R, *et al.* 2010. Influences of seedling size, container type and mammal browsing on the establishment of *Eucalyptus globulus* in plantation forestry. *New Forests*, **39**: 105–115.
- Dominguez LS, Herrero SN, Carrasco MI, *et al.* 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management*, **221**: 63–71.
- Dumroese RK, Davis AS, Jacobs DF. 2011b. Nursery response of *Acacia koa* seedlings to container size, irrigation method, and fertilization rate. *Journal of Plant Nutrition*, **34**: 877–887.
- Dumroese RK, Heiskanen J, Englund K, *et al.* 2011a. Pelleted biochar: Chemical and physical properties show potential use as a substrate in container nurseries. *Biomass Bioenergy*, **35**: 2018–2027.
- Dumroese RK, Pinto JK, Heiskanen J, *et al.* 2018. Biochar can be a suitable replacement for sphagnum peat in nursery production of *Pinus ponderosa* seedlings. *Forests*, **9**: 232–252.
- Dumroese RK, Pinto JR, Jacobs DF, *et al.* 2006. Subirrigation reduces water use nitrogen loss and moss growth in a container nursery. *Native Plants Journal*, **7**: 253–261.
- Farrell M, Macdonald LM, Butler G, *et al.* 2014. Biochar and fertiliser applications influence phosphorus fractionation and wheat yield. *Biology and Fertility of Soils*, **50**: 169–178.
- Headlee WL, Brewer CE, Hall RB. 2014. Biochar as a substitute for vermiculite in potting mix for hybrid poplar. *Bioenergy Research*, **7**: 120–131.
- Hossain MK, Strezov V, Chan KY, *et al.* 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere*, **78**: 1167–1171.
- Huang DL, Liu LS, Zeng GM, *et al.* 2017. The effects of rice straw biochar on indigenous microbial community and enzymes activity in heavy metal-contaminated sediment. *Chemosphere*, **174**: 545–553.
- Karrhu K, Mattila T, Bergstrom I, *et al.* 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity: Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **140**: 309–313.
- Khan MA, Kim KW, Wang M, *et al.* 2008. Nutrient-impregnated charcoal: An environmentally friendly, slow-release fertilizer. *Environment Systems and Decisions*, **28**: 231–235.
- Lin ZB, Liu Q, Liu G, *et al.* 2017. Effects of different of bio-

- chars on *Pinus elliottii* growth, N use efficiency, soil N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions and C storage in a subtropical area of China. *Pedosphere*, **27**: 248–261.
- Ning T, Sheng ZF, Wan XY, *et al.* 2017. Influence of container type and growth medium on seedling growth and root morphology of *Cyclocarya paliurus* during nursery culture. *Forests*, **8**: 387–402.
- Oliet JA, Planells R, Artero F, *et al.* 2009. Field performance of *Pinus halpensis* planted in mediterranean arid conditions; Relative influence of seedling morphology and mineral nutrition. *New Forests*, **37**: 313–331.
- Pinto JR, Chandler RA, Dumroese RK. 2008. Growth, nitrogen use efficiency, and leachate comparison of subirrigated and overhead irrigated pale purple coneflower seedlings. *HortScience*, **43**: 897–901.
- South DB, Harris SW, Barnett JP, *et al.* 2005. Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, U. S. A. *Forest Ecology and Management*, **204**: 385–398.
- Vaknin Y, Dudai N, Murkhovsky L, *et al.* 2009. Effects of pot size on leaf production and essential oil content and composition of *Eucalyptus citriodora* Hook. (Lemon-Scented Gum). *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, **15**: 164–176.
- Valero OA, López CI, Salazar DM, *et al.* 2017. Physical mechanisms produced in the development of nursery almond trees (*Prunus dulcis* Miller) as a response to the plant adaptation to different substrates. *Rhizosphere*, **3**: 44–49.
- Vaughn SF, Kenar JA, Thompson AR, *et al.* 2013. Comparison of biochars derived from wood pellets and palletized wheat straw as replacements for peat in potting substrates. *Industrial Crops and Products*, **51**: 437–443.
- Zwieten LV, Kimber S, Morris S, *et al.* 2010. Influence of biochars on flux of N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> from Ferrosol. *Soil Research*, **48**: 555–568.
- 
- 作者简介** 刘士玲,女,1987年生,硕士研究生,从事植物营养与施肥研究。E-mail: liushiling725@163.com
- 责任编辑** 张 敏
-