

容器规格和养分加载对珍贵树种容器苗生长的影响

王秀花¹,张东北¹,吴小林¹,楚秀丽^{2*},周志春²

(1. 浙江省庆元县实验林场,浙江 庆元 323800;

2. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所,浙江省林木育种技术研究重点实验室,浙江 富阳 311400)

摘要:容器规格和养分加载量是影响容器苗生长的关键因素。以红豆树、浙江楠、浙江樟和赤皮青冈的2a生容器苗为对象,设置容器规格和缓释肥加载量2因素4水平的析因试验,分析不同容器规格、缓释肥加载量及其交互作用对各珍贵树种生长的影响,筛选适宜的容器规格及缓释肥加载量。结果表明,随容器规格和缓释肥加载量增大,各树种容器苗生长势愈好,容器规格为C3(18 cm×20 cm)时,各树种容器苗苗高、地径和生物量最大,容器规格增大到C4(20 cm×20 cm),仅赤皮青冈苗高有显著提高;而容器苗生长量较大时对应的加载量则因树种而不同,红豆树和赤皮青冈为F2(2 kg·m⁻³),而浙江楠和浙江樟则为F3(3 kg·m⁻³)。根系生长量亦随容器规格变大而增加,红豆树、浙江楠、浙江樟和赤皮青冈根系分别在容器规格C3、C2(16 cm×18 cm)、C4和C4时发育较好;红豆树根系随加载量增加变细变长,其根系体积在加载量F2时最大,浙江楠和浙江樟分别在加载量F3和F1时根系各项指标值较大,加载量增加反而抑制浙江樟根系生长,赤皮青冈根系则受加载量的影响不明显。各树种根冠比随容器规格增加变化不大,但随着加载量的增加,均表现出减小的趋势,最小加载量F1(1 kg·m⁻³)时,根冠比最大。除红豆树外,容器规格和加载量2因素对各树种的交互效应明显,经初步评价,红豆树、浙江楠、浙江樟和赤皮青冈优质容器苗培育的组合分别为C3F2、C3F3、C3F3和C4F2,相对其他3树种,赤皮青冈更适宜于较大规格的容器;浙江楠和浙江樟较红豆树和赤皮青冈要求更多的基质养分。

关键词:珍贵树种;2年生容器苗;容器规格;缓释肥加载;生长

中图分类号:S723.133 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2019)03-0118-07

Effects of Container Size and Nutrition Loading on the Seedling Growth of Precious Tree Species

WANG Xiu-hua¹, ZHANG Dong-bei¹, WU Xiao-lin¹, CHU Xiu-li^{2*}, ZHOU Zhi-chun²

(1. Qingyuan County Experimental Forest Farm of Zhejiang Province, Qingyuan 323800, Zhejiang, China;

2. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Zhejiang Provincial Key Laboratory of Tree Breeding, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract:Container size (CS) and slow-release fertilizer (SRF) loading were the key factors affecting the growth of container seedlings. In this study, 2-year-old container seedlings of 4 key precious tree species in southern China were used as research objects, including *Ormosia hosiei*, *Phoebe chekiangensis*, *Cinnamomum japonicum* and *Cyclobalanopsis gilva*. A factorial test with 2 factors and 4 levels of CS and SRF loading was carried out. The effects of different CS, SRF loading and their interactions on the growth of 4 precious tree species were analyzed. And the suitable CS and SRF loading for the growth of the container seedlings were selected. The results showed that with the increase of CS and SRF loading, the growth of the

收稿日期:2018-07-26 修回日期:2018-09-13

基金项目:浙江省院合作林业科技项目(2017SY19);中央财政林业科技推广示范资金项目([2017]TS 17号);浙江省省院合作林业科技项目(2016SY03)。

作者简介:王秀花,女,硕士,研究方向:珍贵树种种苗培育。E-mail:flower.8239@163.com

*通信作者:楚秀丽,女,博士,研究方向:珍贵树种高效培育。E-mail:xiulic0207@163.com

container seedlings becoming better. When the CS was C3 (18 cm×20 cm), the seedling height, the root collar diameter and the biomass were the largest, with the CS increased to C4 (20 cm×20 cm), and the height of the seedlings increased significantly only for *C. gilva*. While the suitable SRF loading was different with varied tree species. The better SRF loading dose for *O. hosiei* and *C. gilva* was F2 (2 kg·m⁻³), and that for *P. chekiangensis* and *C. japonicum* was F3 (3 kg·m⁻³). The root growth also increased with the CS, and the roots of *O. hosiei*, *P. chekiangensis*, *C. japonicum* and *C. gilva* were better developed in C3, C2 (16 cm×18 cm), C4 and C4, respectively. And the root of *O. hosiei* was thinner and longer with the increase of SRF loading, the root volume was the largest with loading dose of F2. While, the larger root index values of *P. chekiangensis* and *C. japonicum* were at the loading dose of F3 and F1, respectively. And the root growth of *C. japonicum* was inhibited by the increasing loading, but *C. gilva* was not. The root to shoot ratio of each tree species changed little with the increase of CS, decreased with the added loading dose. The root to shoot ratio was the largest with the minimum loading of F1 (1 kg·m⁻³). Except for *O. hosiei*, the interaction effect of CS and SRF loading on the growth of the seedlings was obvious. After preliminary evaluation, the optimal combinations for the seedling growth of *O. hosiei*, *P. chekiangensis*, *C. japonicum* and *C. gilva* cultivations were C3F2, C3F3, C3F3 and C4F2 respectively, which indicating that relative to the other 3 species, *C. gilva* was more suitable for larger size containers, while *P. chekiangensis* and *C. japonicum* required more nutrients than *O. hosiei* and *C. gilva*.

Key words: precious tree species; 2-years-old container seedling; container sizes; slow-release fertilizer loading; growth

较优的表型特别是发达的根系直接影响苗木造林后水分和养分吸收^[1],是人工更新和造林成败的关键^[2-3]。高质量苗木应具有合理的苗高、地上部分结构及根系系统,以确保造林后的生长建成和竞争^[2,4]。相对裸根苗,容器苗具有明显的造林等优势^[5],同时,缓释肥的应用解决了容器苗的养分持续需求问题^[6]。容器规格和缓释肥决定容器苗的生长空间和获得的养分,进而影响其生长发育^[7-12]。通常,较大容器和适量缓释肥为容器苗生长提供更大的空间、更多水分和适宜养分,从而培育优质容器苗^[1,3,10-13]。然而,不同树种特性不同,如主根明显的深根性树种,要求适宜的容器高度^[14],而侧根发达的树种,则对容器直径更敏感,早期生长较慢的珍贵树种,尤其2年生及以上容器苗,容器直径、高度以及基质缓释肥均将影响其苗期生长。本研究以红豆树(*Ormosia hosiei*)、浙江楠(*Phoebe chekiangensis*)、浙江樟(*Cinnamomum japonicum*)和赤皮青冈(*Cyclobalanopsis gilva*)4种我国南方重点发展的珍贵树种2年生容器苗为对象,对其在不同容器规格和缓释肥加载量下的表型生长和根系发育进行分析,明确各树种优质容器苗培育适宜的容器规格和缓释肥加载量,为生产中低成本培育优质容器苗提供技术指导和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于浙江省庆元县实验林场,海拔

510 m, 27°38'48"N, 119°01'25"E, 属于亚热带季风气候, 年均温 17.6℃, 年降水量 1 721.3 mm, 无霜期 245 d。其省级保障性苗圃育苗钢构大棚内设有自动喷雾设施, 大棚通风性能良好, 同时也能有效防止雨水渗入, 棚高 2.2 m, 顶盖覆有 50% 透光率的遮阳网。

1.2 试验材料

选用苗高和地径等基本一致的1年生红豆树、浙江楠、浙江樟和赤皮青冈容器苗作为培育2年生大规格容器苗的试验用苗。育苗基质配方为:40%泥炭+30%谷壳+30%黄泥(按体积比)。试验所用缓释肥为美国辛普劳公司生产的爱贝施(Apex)长效控释肥,全氮含量 180 g·kg⁻¹,有效磷含量 80 g·kg⁻¹,全钾含量 80 g·kg⁻¹,肥效 9 个月。

1.3 试验设计

采用析因试验设计,设置容器规格和施肥量2个因素,容器设置4种规格(直径×高度),C1:14 cm×18 cm,C2:16 cm×18 cm,C3:18 cm×20 cm,C4:20 cm×20 cm;每立方基质控释肥加载量设置4个水平,F1:1 kg·m⁻³,F2:2 kg·m⁻³,F3:3 kg·m⁻³,F4:4 kg·m⁻³;每树种16个处理,每处理30盆,重复3次,计1 440盆,4树种共计5 760盆。

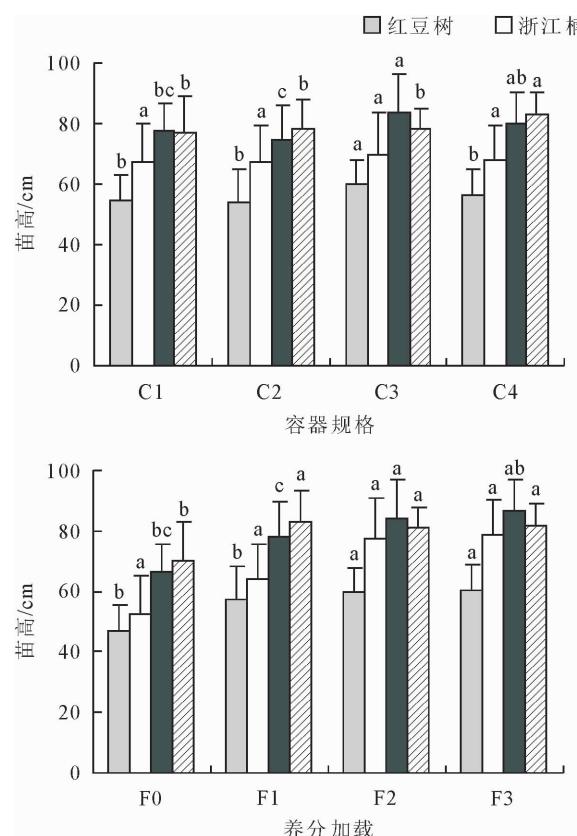
1.4 苗木管理措施与测定指标

2015年4月下旬,将1年生容器苗移栽至大规格容器,定株量测试验植株的初始苗高和地径(分别精确至0.1 cm和0.01 mm),红豆树、浙江楠、浙江

樟和赤皮青冈容器苗平均苗高分别为 36.7、31.0、34.0 cm 和 29.7 cm, 平均地径分别为 5.41、4.58、4.73 mm 和 4.20 mm。移栽当天浇透水, 生长期问, 每天早晚喷雾 10~15 min, 确保容器基质湿润, 雨天注意排水; 高温时段棚顶覆盖 70% 透光率遮阳网; 生长期注意圃地和容器内除草及病虫害防治, 10~15 d 喷洒百菌清等 1 次。季末进行株高和地径测量, 同时, 各小区选 4 株代表性苗木收获, 将根、茎、叶分开, 分别树种和处理重复进行根系参数扫描(采用加拿大 Regent 公司生产 RHIZO Pro STD1600+型根系图像分析系统); 再将各处理重复器官分别置于 105℃ 烘箱中杀青 30 min, 再在 68℃ 下烘至恒重, 测定各器官干重并计算其总生物量等指标。

1.5 数据分析

采用 Excel 2007 和 Origin9.0 软件进行数据的处理及相关图形制作, 利用 SPSS20.0 程序进行方差分析、Duncan's 检验($\alpha = 0.05$)和一般线性模型多因素分析。容器规格和控释肥加载量隶属值计算参照隶属函数的方法^[15], 相关各指标的具体隶属值计算公式:



注:图中字母分别表示各树种不同容器规格及养分加载处理间比较结果,字母相同表示处理间差异不显著,字母不同表示差异显著,下同。

图 1 容器规格和养分加载对 4 树种容器苗生长量的影响

Fig. 1 Effects of container type and fertilization on container seedlings growth of the four kinds of precious tree species

红豆树和赤皮青冈对养分的需求相对较小, 2 树种容器苗苗高和地径生长量在加载量为 F2 时即较大, 分别为 57.44、83.19 cm 和 12.03、9.72 mm,

$$\text{隶属值} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: X 为某处理的某指标值; X_{\max} 为该指标的最大值; X_{\min} 为该指标的最小值。

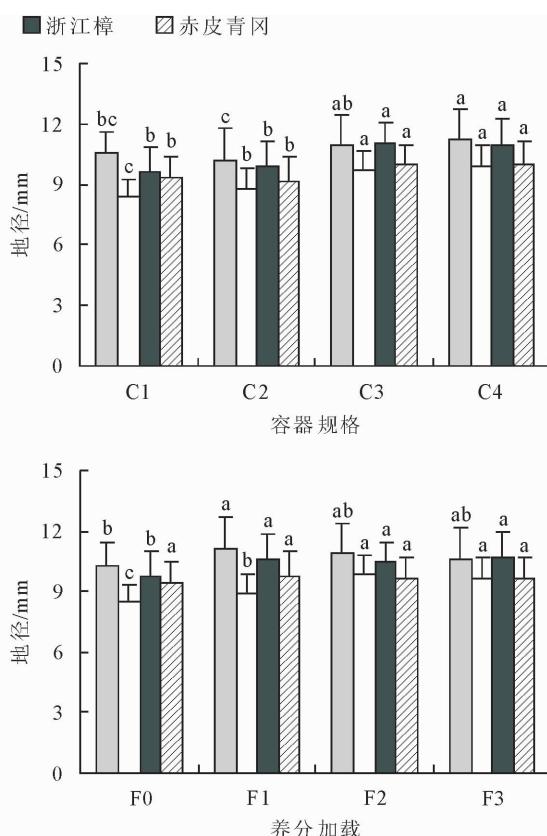
若某一指标与苗木生长等呈反向关系, 则通过反隶属函数计算其隶属值:

$$\text{隶属值} = (1 - \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}) \times 100\% \quad (2)$$

2 结果与分析

2.1 容器规格和养分加载对苗木生长量的影响

容器规格显著影响苗木生长量, 由图 1 可知, 除浙江楠苗高受容器规格的影响不明显外, 其他 3 种珍贵树种容器苗的生长显著受容器规格的影响, 总体上苗高和地径生长随容器规格变大而增加。参试树种容器苗的生长量基本表现出在容器规格为 C3 时较大, 容器规格增大到 C4 时, 仅赤皮青冈苗高(82.77 cm)显著大于其在容器规格为 C3 的容器苗苗高, 其地径及其他树种苗高和地径生长量均未显著增加。



随加载量再增加, 2 树种苗高并无明显变化, 地径甚至呈略降低的趋势。浙江楠和浙江樟容器苗生长量则在加载量增至 F3 时生长量较大, 2 树种苗高和地径

径分别为 77.19、83.94 cm 和 9.84、10.45 mm, 显著大于加载量 F1 的对应值, 加载量继续增加其生长量不再显著增高(图 1)。

2.2 不同容器规格和养分加载下 2 年生容器苗生物量积累及分配

4 树种生物量积累随容器规格的增大呈增加趋势(表 1), 容器规格为 C3 时, 红豆树、浙江楠、浙江樟和赤皮青冈的生物量分别为 36.22、35.65、36.32 g 和 36.83 g, 显著大于较小容器规格的容器苗生物量, 容器规格继续增大, 各树种生物量增加不明显。各树种根冠比在容器规格间无明显差异(表 1), 表明容器苗生物量分配受容器规格影响不大。

加载量显著影响参试树种容器苗生物量积累

表 1 容器规格和养分加载对 4 树种容器苗生物量积累及根冠比的影响

Table 1 Effects of container type and fertilization on biomass accumulation and ratio of root to shoot of the four kinds of precious tree species container seedlings

树种	容器规格	生物量	根冠比	养分加载	生物量	根冠比
红豆树	C1	28.53±9.24b	0.50±0.12b	F1	26.51±9.34b	0.62±0.16a
	C2	28.71±11.18b	0.52±0.11ab	F2	34.21±10.22a	0.54±0.13b
	C3	36.22±9.36a	0.55±0.15ab	F3	33.38±10.35a	0.48±0.08c
	C4	34.64±11.78a	0.58±0.16a	F4	33.80±11.98a	0.49±0.08c
	F 值	6.974 **	2.539	F 值	5.434 **	12.748 **
浙江楠	C1	24.53±6.52c	0.38±0.11a	F1	24.82±6.24c	0.52±0.10a
	C2	31.97±9.02b	0.41±0.09a	F2	30.14±7.23b	0.41±0.08b
	C3	35.65±9.29a	0.41±0.11a	F3	36.23±9.20a	0.35±0.06c
	C4	37.47±9.36a	0.40±0.11a	F4	38.45±10.30a	0.33±0.05c
	F 值	21.131 **	0.782	F 值	25.825 **	63.940 **
浙江樟	C1	29.00±8.70b	0.45±0.17a	F1	27.93±7.43c	0.60±0.15a
	C2	29.97±9.83b	0.49±0.18a	F2	31.66±8.22bc	0.51±0.18b
	C3	36.32±9.21a	0.48±0.16a	F3	33.77±10.13b	0.39±0.11c
	C4	36.16±10.15a	0.49±0.12a	F4	38.09±11.26a	0.41±0.09c
	F 值	8.197 **	0.815	F 值	9.803 **	25.110 **
赤皮青冈	C1	30.92±7.29b	0.37±0.12a	F1	31.82±7.28b	0.45±0.13a
	C2	31.63±9.04b	0.33±0.10a	F2	37.28±8.42a	0.36±0.10b
	C3	36.83±7.82a	0.35±0.11a	F3	34.96±9.72a	0.31±0.09c
	C4	39.23±9.02a	0.35±0.13a	F4	34.56±9.67a	0.30±0.07c
	F 值	11.251 **	1.256	F 值	3.089 *	22.626 **

注: * 表示处理间 0.05 水平显著差异, ** 表示处理间 0.01 水平极显著差异。下同。

2.3 容器规格和养分加载下 2 年生容器苗根系发育特征

不同树种容器苗根系发育受容器规格的影响程度各异(图 2)。除根系平均直径外, 红豆树和浙江楠其他根系指标显著受容器大小影响, 随容器的增大而增大。红豆树根系在容器规格为 C3 时发育较好, 容器继续增大, 其根系相应指标无显著变化; 浙江楠则在容器规格为 C2 时, 其根系总长、表面积和体积分别为 1 571.27 cm、456.37 cm² 和 10.68 cm³, 显著 > 容器规格 C1 各值, 分别较其大 21.87%、19.17% 和 15.57%, 且与较大容器规格

(表 1), 与生长量类似, 红豆树和赤皮青冈对养分的需求相对较小, 加载量为 F2 时, 二者生物量均达最大, 分别为 34.21 g 和 37.28 g, 均显著 > 加载量 F1 处理, 但与加载量 F3 和 F4 处理差异未达到显著水平; 浙江楠和浙江樟均在加载量 F4 时生物量最大, 分别为 38.45 g 和 38.09 g, 此时, 浙江楠生物量显著 > 加载量 F1 和 F2 处理, 而与 F3 处理差异不显著, 浙江樟则表现出加载量 F4 生物量显著 > 其他处理。随加载量增加, 容器苗根冠比均表现出降低的趋势, 加载量 F1 时, 各树种容器苗根冠比最大, 且均显著 > 其他处理, 即养分的增加显著促进容器苗地上部分的生长。

C3 和 C4 对应各值无显著差异。浙江樟根系体积受容器规格影响不显著, 而该树种其他根系指标及赤皮青冈根系指标值均受容器规格的显著影响, 均在容器规格 C4 时较大。

4 树种容器苗根系发育对加载量的响应亦因树种不同而变化(图 2)。红豆树根系随加载量的增加而变长变细, 加载量 F4 时根系总长 1 440.51 cm, 显著 > 加载量 F1 和 F2, 根系平均直径则随加载量的增加呈减小趋势, 根系体积随加载量的增加先增大再减小, 加载量为 F2 时, 根系体积最大(8.28 cm³), 显著 > 其他处理值, 而根系表面积随加载量

变化未表现出明显增减。浙江楠根系指标值随加载量的增加先升高再降低,根系平均直径在加载量F2时最大,显著>其他处理,而其他根系指标均在加载量F3时较大,总根长、根表面积和根体积分别为1 631.28 cm、485.87 cm²和11.67 cm³。除根系总

长外,浙江樟其他根系指标值则随加载量的增加呈降低趋势,均在加载量为F1时最大,且根系直径和体积均显著>F2处理。赤皮青冈根系发育受加载量的影响不显著。

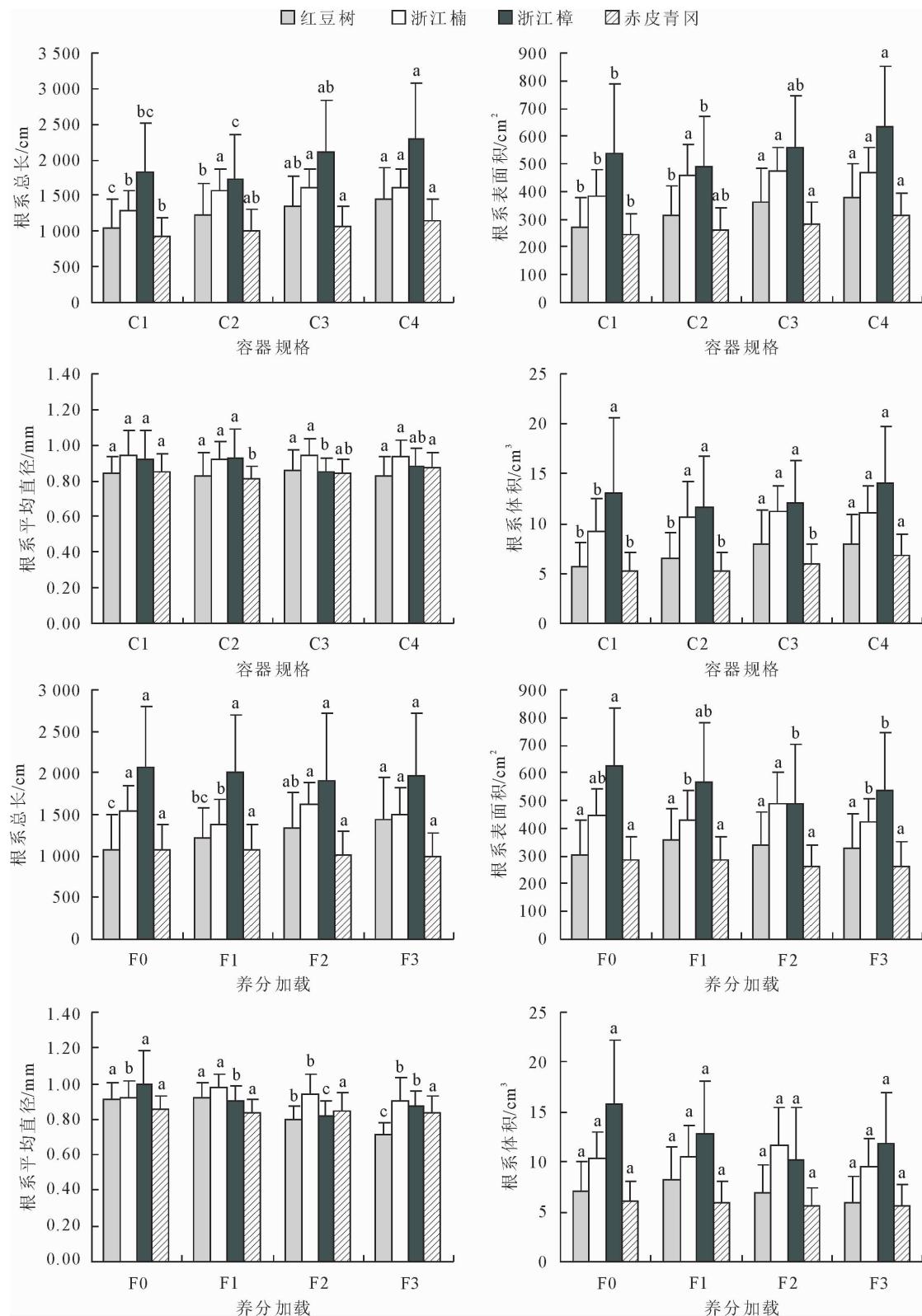


图2 容器规格和养分加载对4树种容器苗根系发育的影响

Fig. 2 Effects of container type and fertilization on container seedlings root growth of the four kinds of precious tree species

2.4 容器规格和养分加载对2年生容器苗生长的交互效应

容器规格和养分加载2因素对各树种生长的交互效应方差分析表明(表2),浙江楠、浙江樟和赤皮青冈3树种容器苗生长存在显著的容器规格和养分

加载交互效应,而红豆树仅根系直径的2因素交互效应明显,表明2因素对浙江楠、浙江樟和赤皮青冈容器苗生长的交互效应较大,而对红豆树容器苗生长的交互效应较小。

表2 容器规格和养分加载2因素对4树种容器苗生长指标的交互效应

Table 2 Interaction effects of container type and fertilization on container seedlings growth of the four kinds of precious tree species

树种	统计参数	苗高	地径	生物量	根长	根表面积	根直径	根体积
红豆树	F值	1.898	1.859	0.992	1.413	1.240	3.424**	1.504
	sig.	0.055	0.061	0.449	0.186	0.273	0.001	0.149
浙江楠	F值	2.525*	3.129**	1.972*	1.760	3.685**	35.295**	8.634**
	sig.	0.010	0.002	0.045	0.079	0.000	0.000	0.000
浙江樟	F值	3.617**	1.711	2.233*	1.728	2.967**	16.701**	5.265**
	sig.	0.000	0.090	0.022	0.086	0.003	0.000	0.000
赤皮青冈	F值	4.456**	1.380	1.698	2.027*	2.502*	3.841**	2.888**
	sig.	0.000	0.200	0.092	0.039	0.010	0.000	0.003

2.5 珍贵树种2年生容器苗容器规格和养分加载方案优选

基于存在显著差异的4树种容器苗生长指标,算出各树种隶属函数均值,表明4树种优质容器苗培育的较适宜容器规格和养分加载量不同(表3)。由隶属均值知,红豆树容器苗生长性状优良度排名前3对应的容器规格和养分加载分别为C3F2、

C4F2和C4F3,浙江楠为C2F3、C3F3和C4F3,浙江樟为C4F4、C3F3和C4F2,赤皮青冈则为C4F4、C4F3和C4F2。据此结果,结合成本和生长,红豆树、浙江楠、浙江樟和赤皮青冈优质容器苗培育适宜的容器规格和养分加载处理分别为C3F2、C3F3、C3F3和C4F2。

表3 各处理下4树种容器苗生长及根系发育指标隶属均值比较

Table 3 Membership value for the container type and fertilization treatments on container seedlings growth and root of the four kinds of precious tree species

处理		红豆树	排名	浙江楠	排名	浙江樟	排名	赤皮青冈	排名
养分加载	容器规格								
F1	C1	0.255	15	0.148	16	0.583	7	0.401	12
F1	C2	0.013	16	0.321	13	0.244	15	0.250	15
F1	C3	0.638	8	0.467	9	0.451	11	0.777	4
F1	C4	0.599	10	0.462	10	0.517	9	0.612	8
F2	C1	0.327	15	0.211	15	0.503	10	0.550	9
F2	C2	0.612	9	0.446	11	0.294	14	0.494	10
F2	C3	0.913	1	0.443	12	0.620	6	0.726	5
F2	C4	0.806	2	0.527	6	0.681	3	0.904	2
F3	C1	0.478	13	0.233	14	0.161	16	0.411	11
F3	C2	0.680	7	0.810	3	0.360	12	0.641	7
F3	C3	0.582	11	0.941	1	0.749	2	0.401	13
F3	C4	0.756	3	0.857	2	0.653	5	0.783	3
F4	C1	0.430	14	0.477	7	0.332	13	0.172	16
F4	C2	0.517	12	0.472	8	0.519	8	0.346	14
F4	C3	0.702	5	0.686	5	0.674	4	0.696	6
F4	C4	0.731	4	0.699	4	0.860	1	0.940	1

3 结论与讨论

植物体型大小与容器高度或直径存在显著的相关关系,规格较小的容器可利用的养分和水分有限,

限制植物个体发育及根系生长^[8],生长在较大规格容器的苗木具有较高苗高、地径和生物量^[8,16]。本研究4树种容器苗苗高、地径及生物量均表现出在C3(18 cm×20 cm)时较大,均显著>较小规格容器

苗,但与 C4(20 cm×20 cm)的容器苗并无明显差异。参试 4 种容器规格 C1、C2、C3 和 C4 的变化主要体现于直径大小,而直径大小主要限制侧根的生长发育,红豆树、浙江楠和浙江樟较佳的容器育苗规格均为 C3,而赤皮青冈根系体积则在 C4 为最大,可能因赤皮青冈侧根较发达而适宜于直径更大的容器,但其根系须根较少,致使其根系总长、表面积及体积等在数值上均<其他 3 树种,也表明树种间容器规格效应不同^[1,13]。然而,不同类型容器培育的苗木根冠比却较为稳定^[13,17],本研究 4 树种容器苗根冠比随容器规格的增大亦无明显变化。

规格较小的容器限制容器苗根系发育^[8],且施肥仍不能弥补较小体积容器对苗木根系发育的限制^[18-19]。但适宜的容器规格并不能代表全部,容器苗生长空间有限,养分是限制其生长的另一重要因素^[6,9]。适当增加缓释肥加载量明显促进 4 树种容器苗的生长,加载量 F2 时,红豆树和赤皮青冈 2 树种容器苗苗高、地径和生物量较大,而浙江楠和浙江樟则在加载量 F3 时生长较好,这与前人研究结果一致^[12,20-22],而赤皮青冈地径变化对加载量响应不明显甚至有降低的趋势,可能养分更趋于促进高生长而非地径生长^[23]。而加载量继续增加,4 树种生长均表现出受到抑制现象,表明过多的加载量将导致毒害作用^[24]。4 树种容器苗根冠比随加载量增加逐步降低,表明基质养分含量升高后容器苗将更多的生物量调配到地上部分,这也是植物正常的生理现象^[10,25]。

容器规格与养分对容器苗生长存在明显的互作效应^[9,26],而不同树种对容器规格和缓释肥加载量交互效应的响应不同,本研究中红豆树的 2 因素交互效应较小,而赤皮青冈、浙江楠和浙江樟的响应相对强烈。造成该现象的原因,首先可能是基于树种生物学特性^[1,13,27-28],另外,有研究证实容器规格和缓释肥的交互作用对容器苗苗高的影响较大^[26],本研究中红豆树的苗高在参试树种中最小,可能导致其对 2 因素交互效应响应的降低。因此,应分不同树种结合容器成本等考虑容器规格和缓释肥交互效应进而确定较优的育苗措施。

参考文献:

- [1] MC CONNUGHAY K D M, BAZZAZ F A. Is physical space a soil resource[J]. Ecology, 1991, 72(1): 94-103.
- [2] MALTONI A, MARIOTTI B, TANI A, et al. Relation of *Fraxinus excelsior* seedling morphology to growth and root proliferation during field establishment[J]. Scand J. For. Res., 2010, 25: 60-67.
- [3] MARIOTTI B, MALTONI A, CHIARABAGLIO P M, et al. Can the use of large, alternative nursery containers aid in field establishment of *Juglans regia* and *Quercus robur* seedlings [J]. New Forests, 2015, 46: 773-794.
- [4] DRENOU C. Pruning trees; the problem of forks[J]. J Arboric, 2000, 26(5): 264-269.
- [5] 徐玉梅, 唐红燕, 张建珠, 等. 不同轻基质配方对思茅松容器育苗的影响[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6): 147-150.
- XU Y M, TANG H Y, ZHANG J Z, et al. Effects of different light substrates on container seedling quality of *Pinus kesiya* var. *langbianensis*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 147-150. (in Chinese)
- [6] 楚秀丽, 张守攻, 孙晓梅, 等. 日本落叶松容器苗不同控释肥营养元素效应分析[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(6): 47-54.
- CHU X L, ZHANG S G, SUN X M, et al. Mineral nutrition efficiency of controlled release fertilizers in net container seedlings of *Larix kempferi* Sarg[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2012, 34 (6): 47-54. (in Chinese)
- [7] SOUTH D B, HARRIS S W, BARNETT J P, et al. Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, U. S. A. [J]. Forest Ecology and Management, 2005, 204: 385-398.
- [8] DOMINGUEZ LERENA S, SIERRA N H, MANZANO I C, et al. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field[J]. Forest Ecology and Management, 2006, 221: 63-71.
- [9] 周志春, 刘青华, 胡根长, 等. 3 种珍贵用材树种轻基质网袋容器育苗方案优选[J]. 林业科学, 2011, 47(10): 172-178.
- [10] 王艺, 王秀花, 吴小林, 等. 缓释肥加载对浙江楠和闽楠容器苗生长和养分库构建的影响[J]. 林业科学, 2013, 49(12): 57-63.
- [11] 肖遥, 楚秀丽, 王秀花, 等. 缓释肥加载对 3 种珍贵树种大规格容器苗生长和 N、P 库构建的影响[J]. 林业科学研究, 2015, 28(6): 781-787.
- [12] FU Y L, OLIET J A, LI G L, et al. Effect of controlled release fertilizer type and rate on mineral nutrients, non-structural carbohydrates, and field performance of Chinese pine container-grown seedlings[J]. Silva Fennica, 2017, 51(2): 1607.
- [13] HSU Y M, TSENG M J, LIN C H. Container volume affects growth and development of wax apple[J]. Hort Science, 1996, 31(7): 1139-1142.
- [14] 刘军, 姜景民, 陈益泰, 等. 闽楠种子轻基质容器育苗及优良家系选择[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(6): 70-73.
- LU J, JIANG J M, CHEN Y T, et al. Cultural techniques of container seedlings with light medium and family selection for *Phoebe bournei*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(6): 70-73. (in Chinese)
- [15] 乔志霞, 沈火林, 安岩. 番茄耐高温胁迫能力鉴定方法的研究[J]. 西北农业学报, 2006, 15(6): 114-120.
- [16] O'REILLY C, OWENS J N, ARNOTT J T, et al. Effects of nursery culture and morphological development of western hemlock seedlings during field establishment; flushing, shoot elongation and bud development[J]. Can. J. For. Res., 1994, 24: 53-70.
- [17] KRAMER P J, KOZLOWSKI T T. Physiology of woody plants [M]. New York: Academic, 1979.

- University, 2016, 31(5): 188-193. (in Chinese)
- [22] SAITOU N, NEI M. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees [J]. Molecular Biology and Evolution, 1987, 4(4): 406-425.
- [23] NEI M. Relative efficiencies of different tree-making methods for molecular data [M]// MIYAMOTO M M, CRACRAFT J L. Phylogenetic analysis of DNA sequences. Oxford: Oxford University Press, 1991.
- [24] HOLDER M, LEWIS P O. Phylogeny estimation: traditional and bayesian approaches [J]. Nature Reviews Genetics, 2003, 4(4): 275-284.
- [25] 潘彦平, 范鑫磊, 田呈明. 山西省壳囊孢属真菌分类学 [J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(11): 79-88.
PAN Y P, FAN X L, TIAN C M. Taxonomy of *Cytospora* in Shanxi Province, northern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2016, 38(11): 79-88. (in Chinese)
- [26] 李美娜, 王金友. 苹果树腐烂病病原菌来源的探讨 [J]. 北方果树, 1990(2): 28-30.
LI M N, WANG J Y. A study on the source of pathogens of apple tree Valsacanker [J]. Northern Fruits, 1990(2): 28-30. (in Chinese)
- [27] KOBAYASHI T. Taxonomic study on Japanese fung [J]. Journal of the Japanese Plant Pathology, 1972, 38: 170-173.
- [28] KANEHIRA T, KAMEOKA Y, SHINOHARA M. Electrophoretic Patterns of the enzymes from *Valsa Ceratosperma* [J]. Transaction of the Mycological Society of Japan, 1991, 32: 199-205.
- [29] SUZAKI K, YOSHIDA K, ITO T. Pathogenicity to apple branch and phloridzin degrading activity of *Valsa ceratosperma* isolated from some broad leaf trees including apple tree [J]. Annual Report of the Society of Plant Protection of North Japan, 1997, 48: 145-147.
- [30] 臧睿. 中国苹果树腐烂病菌的种群组成、分子检测及其ISSR遗传分析 [D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2012.
- [31] 曹支敏, 梁英梅, 马晓. 花椒干腐病研究 [J]. 植物保护学报, 1992, 19(4): 58-63.
CAO Z M, LIANG Y M, MA X. Study on dry rot of wild pepper [J]. Journal of Plant Protection, 1992, 19(4): 58-63. (in Chinese)
- [32] 黄世钰, 王建国. 刺槐干腐病的研究 [J]. 林业科学, 1983, 19(4): 366-370.
HUANG S Y, WANG J G. Study on stem rot of black locust [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1983, 19(4): 366-370. (in Chinese)
- [33] 赵晓军, 周建波, 赵子俊, 等. 枣树干腐病病原菌的鉴定 [J]. 菌物学报, 2009, 28(3): 332-335.
ZHAO X J, ZHOU J B, ZHAO Z J, et al. the pathogen causing stem dry rot of *Ziziphus jujuba* [J]. Mycosistema, 2009, 28(3): 332-335. (in Chinese)
- [34] 张璐璐, 贾桂民, 叶建丰, 等. 浙江临安山核桃干腐病发生发展规律 [J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(1): 148-152.
ZHANG L L, JIA G M, YE J F, et al. Frequency of carya cathayensis canker disease in Lin'an City, Zhejiang Province [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2013, 30(1): 148-152. (in Chinese)

(上接第 124 页)

- [18] RICHARDS D, ROWE R N. Effects of root restriction, root pruning, and 6-benzyl-aminopurine on the growth of peach seedlings [J]. Ann. Bot., 1977, 41: 729-740.
- [19] GUREVITCH J P, WILSON J L, STONE P, et al. Competition among old field perennials at different levels of soil fertility and available space [J]. J. Ecol., 1990, 78: 727-744.
- [20] IRINO K O, IBA Y, ISHIZUKA S, et al. Effects of controlled-release fertilizer on growth and ectomycorrhizal colonization of pot-grown seedlings of the dipterocarp *Dryobalanops lanceolata* in a tropical nursery [J]. Soil Science & Plant Nutrition, 2004, 50(5): 747-753.
- [21] KLOOSTER W S, CREGG B M, FERNANDEZ R T, et al. Growth and physiology of deciduous shade trees in response to controlled-release fertilizer [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 135: 71-79.
- [22] SANTELICES R, ESPINOZA S, ARIZA A C, et al. Effect of shading and fertilization on the development of container-grown *Nothofagus glauca* seedlings, a threatened species from central Chile [J]. Southern Forests: A Journal of Forest Science, 2013, 75(3): 145-148.
- [23] WEI H X, REN J, ZHOU J H. Effect of exponential fertilization on growth and nutritional status in *Buddhist pine* (*Podocarpus macrophyllus* [Thunb.] D. Don) seedlings cultured in natural and prolonged photoperiods [J]. Soil Sci. Plant Nutr., 2013, 59: 933-941.
- [24] OLIET J, PLANELLES R, SEGURA M L, et al. Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedlings under controlled-release fertilizer [J]. Scientia Horticulturae, 2004, 103: 113-129.
- [25] HERMANS C, HAMMOND J P, WHITE P J, et al. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? [J]. Trends in Plant Science, 2006, 11(12): 610-617.
- [26] 马雪红, 胡根长, 冯建国, 等. 基质配比、缓释肥量和容器规格对木荷容器苗质量的影响 [J]. 林业科学研究, 2010, 23(4): 505-509.
- [27] FRANCESCO F, FRANCESCO P N. Effect of container type nursery techniques on growth and chlorophyll content of *Acer platanoides* L. and *Liquidambar styraciflua* L. plants [J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2006, 4(3/4): 209-213.
- [28] 陈秋夏, 郑坚, 林霞, 等. 不同容器对木荷等 3 个容器苗生长的影响 [J]. 西北林学院学报, 2009, 24(2): 75-79.
CHEN Q X, ZHENG J, LIN X, et al. Effects of different containers on the growth of seedlings of 3 tree species [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(2): 75-79. (in Chinese)