

## 不同家系马尾松容器苗对基质配比及控释肥的响应

张东北<sup>1</sup>, 王秀花<sup>1</sup>, 周生财<sup>1</sup>, 吴小林<sup>1</sup>, 楚秀丽<sup>2</sup>, 周志春<sup>2</sup>

(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 杭州 311400)

**摘要:** 基质配比及养分状况是容器苗培育的关键因子, 不同家系容器苗对基质环境条件的响应亦不同。以马尾松 *Pinus massoniana* 不同家系苗为对象, 开展基质泥炭和谷壳配比及控释肥加载量的析因试验, 分析不同基质条件下马尾松家系容器苗生长及氮、磷吸收利用, 探明其优质容器苗培育的基质配比和控释肥加载量。结果表明: 单因素层面, 基质比对3个家系(32, 35和36号)容器苗无显著影响, 而控释肥加载量对各家系容器苗影响显著; 双因素分析显示, 不同家系容器苗对基质配比和控释肥加载量的交互作用响应不同, 32号家系的双因素交互效应显著, 以泥炭与谷壳体积比为5:5, 控释肥加载量为 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 组合处理的容器苗生长及氮、磷养分吸收利用均较好; 而35和36号家系的双因素交互效应均不显著, 仅对控释肥加载量表现出明显响应, 分别以2.5和 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 效果较优。经家系与控释肥双因素及容器苗各指标相关分析可知, 苗期控释肥效应较家系明显。因此, 容器苗培育不仅要注重苗高等表型指标达到出圃要求, 还应严格掌控基质养分水平以确保苗木养分吸收利用; 不同来源的容器苗应结合其生长需求分别对待。图1表4参22

**关键词:** 森林培育学; 马尾松; 家系; 容器苗; 基质; 控释肥

中图分类号: S722.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2019)05-1044-07

## Response of masson pine container seedlings from different families to substrate proportion and control released fertilizer

ZHANG Dongbei<sup>1</sup>, WANG Xiuhua<sup>1</sup>, ZHOU Shengcai<sup>1</sup>, WU Xiaolin<sup>1</sup>, CHU Xiuli<sup>2</sup>, ZHOU Zhichun<sup>2</sup>

(1. Qingyuan County Experimental Forest Farm, Qingyuan 323800, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Tree Breeding, Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** To determine the suitable substrate proportion (SP) and control released fertilizer (CRF) loading level for container seedlings from different families. SP and CRF, two key factors for container seedling cultivation, were tested. This research used mass on pine container seedlings from different families as objects. A two factor test for SP and CRF loading and for different levels of each factor was carried out with factorial test. SP was given four levels and CRF was three levels, so there were twelve treatments totally. And each treatment was replicated three times. The effects of SP and CRF loading levels and their interactions on growth, N and P absorption, and seedling use were analyzed with a single factor analysis and a correlation analysis. Then, suitable SP and CRF loadings for quality container seedlings were selected. Results showed no obvious effects from SP on three seedling families; whereas, CRF loading was significant according to the single factor analysis. The interaction of SP and CRF in the two factor analysis of different seedling families varied. Family 32 displayed a noticeable response with the best treatment group being a volume ratio of peat to chaff in the substrate of 5:5 and a CRF loading of  $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  with both growth as well as N and P use being better compared to other

收稿日期: 2018-09-27; 修回日期: 2019-01-11

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2017YFD0600301)

作者简介: 张东北, 从事林木种苗研究。E-mail: zdb6@163.com。通信作者: 楚秀丽, 助理研究员, 从事用材树种培育研究。E-mail: xiulic0207@163.com

groups. Neither family 35 or 36 showed significant differences between treatment groups, but both gave an significant response to CRF loading with family 35 having a loading of  $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  and family 36 of  $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , individually. According to the two factor analysis of family and CRF loading and the correlation analysis between growth and nutrition use indexes, the effect of CRF on seedlings was more obvious than family. Therefore, for quality seedlings, attention should be placed on 1) not only growth traits, but also on ensuring a proper substrate nutrition level for seedling requirements, and 2) different cultivation measures to be used for seedlings of different genetic background because of their different growth traits. [Ch, 1 fig. 4 tab. 22 ref.]

**Key words:** silviculture; masson pine (*Pinus massoniana*); family; container seedling; substrate; control released fertilizer

马尾松 *Pinus massoniana* 是中国亚热带地区特有的乡土树种, 自然分布广, 适应性强, 生长迅速, 广泛用于制浆造纸、建筑和松香制造等<sup>[1-2]</sup>。不仅是营建针阔混交林的首选树种, 因其树体高大、冠层稀疏, 其林分还是早期喜阴珍贵树种的天堂<sup>[3]</sup>。马尾松为传统造林树种, 过去采用裸根苗造林, 造林后易成林。随着生产力的发展, 容器苗逐步代替裸根苗。浙江等南方省份逐渐将来源广的谷壳和具有保水透气质量轻等优点的泥炭引入容器育苗基质<sup>[4-6]</sup>, 控释肥的兴起更是推进了其在容器育苗中的应用<sup>[7-8]</sup>。然而, 相关应用研究多集中于珍贵阔叶树种<sup>[9-10]</sup>, 对马尾松容器育苗基质配比<sup>[11-12]</sup>及控释肥加载量的确定多凭生产经验。马尾松为针叶树种, 对水分和养分的需求可能并不如珍贵阔叶树种大, 基质中较多泥炭和控释肥的添加造成育苗成本偏高及资源浪费, 因此, 需明确基质中泥炭比例及控释肥加载量。已有研究表明, 不同基因苗木对施肥的生长反应差异较大<sup>[13-15]</sup>。本研究以马尾松不同家系容器苗为对象, 研究其在不同基质配比、控释肥加载量及其互作下生长及养分吸收利用差异, 以期为不同来源马尾松优质容器苗培育提供实践指导和科学理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在浙江省庆元县实验林场育苗基地开展,  $27^{\circ}37'20''\text{N}$ ,  $119^{\circ}03'26''\text{E}$ , 平均海拔为 450 m, 属亚热带季风气候, 年均气温为  $17.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 7月平均气温为  $26.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 极端最高气温为  $41.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量为  $1721.3 \text{ mm}$ , 无霜期约 255 d。整个试验在苗圃具有喷雾遮阳设施的钢构大棚下进行, 棚高 2.2 m, 棚顶覆盖 1 层 50%透光率的遮阳网。

### 1.2 试验材料

供试马尾松 3 个家系种子产自浙江兰溪市苗圃马尾松种子园, 3 个家系均为双亲控制授粉后代<sup>[16]</sup>, 分别为 32 号[1145(广西) $\times$ 1139(广西)]、35 号[6627(江西) $\times$ 5907(浙江)]和 36 号[6627(江西) $\times$ 1003(广东)]家系。育苗轻基质为东北泥炭和当地主要农作物废弃物稻谷谷壳, 泥炭纤维质量分数为  $200 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 粗灰分  $158.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有机质  $720.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 总腐植酸  $381.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , pH 6.0, 全氮  $14.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全磷  $0.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全钾  $2.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 干密度  $0.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。控释肥为美国辛普劳公司生产的爱贝施(Apex), 其全氮质量分数为  $180 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效磷为  $80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全钾为  $80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 肥效 9 个月。育苗容器为  $4.5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  规格的无纺布网袋。

### 1.3 试验设计

设置了基质配比和控释肥加载量 2 因素析因设计试验, 其中基质配的泥炭和谷壳按体积比设置 4 个处理( $S_1$ : 4:6;  $S_2$ : 5:5;  $S_3$ : 6:4 和  $S_4$ : 7:3)<sup>[49,17]</sup>, 控释肥加载量设置 3 个水平( $F_1$ :  $1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $F_2$ :  $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $F_3$ :  $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )<sup>[49]</sup>, 共 12 个处理。基质和控释肥经人工数次混合后再用 2D150 型搅拌机充分搅拌均匀, 过孔径 1 cm 筛, 最终加工成网袋肠容器。将网袋肠整捆放入水池 4~6 h 浸湿消毒后, 按规格 ( $4.5 \text{ cm} \times 10.0 \text{ cm}$ ) 人工切割网袋容器, 再将其放入育苗盘中, 每育苗盘放置 81 个网袋容器, 每处理 2 个育苗盘, 即每处理 162 袋。马尾松种子经水选, 大小均一、无病虫害, 再用清水浸泡 24 h 后捞出阴干, 于 2017 年 3 月下旬进行点播育苗。育苗期间及时喷水及控水, 保持基质潮湿, 每周调换各处理育苗盘位置, 以消除边缘效应。其他管理措施同常规容器育苗。

## 1.4 测定分析方法

2017年10月底,各处理随机选择30株生长正常的容器苗,测苗高和地径,并随机取10株容器苗进行生物量及养分含量测定。植株分成根、茎、叶3部分,分别置于105℃烘箱中杀青30min,再在68℃下烘至恒量,测定各器官干质量并计算总生物量等指标。称取各部位干样,采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 法消煮,分别采用凯氏定氮法和ICP-OES(Vista-Mpx, Varian<sup>®</sup>, 美国)测定氮和磷<sup>[18]</sup>。苗木氮和磷计算参照参考文献[5]。高径比为苗高(cm)与地径(cm)的比值,根冠比则为地上部分干质量(g)与根系干质量(g)的比值;养分利用指数( $I_{Nu}$ )采用每单元叶片养分所占苗木生物量来衡量<sup>[19]</sup>。

## 1.5 数据处理

采用Excel 2007进行数据的处理及相关图形制作,利用SPSS 20.0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。当基质配比与控释肥加载量间交互效应显著时,进行两因素处理组合方差分析,反之,进行单因素方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同基质配比与控释肥加载量下马尾松容器苗生长差异

不同基质比对马尾松3个家系容器苗的生长,包括苗木高径比和根冠比均无显著影响,而控释肥加载量对3个家系容器苗苗高、地径和单株及叶生物量积累均有明显影响。基质配比和控释肥加载量对32号家系苗高、单株生物量的互作效应显著(表1)。基于此,对32号家系可进行处理组合间比较,而对35和36号家系则只需进行控释肥处理分析。

表1 家系容器苗生长的基质配比与控释肥加载量双因素方差分析

Table 1 Two factors analysis of substrate proportion and control released fertilizer loading on container seedling growth of the 3 families

因子	指标	F			指标	F		
		32号	35号	36号		32号	35号	36号
基质配比	苗高	2.571	1.611	2.620	地径	0.404	0.740	0.417
加载量	苗高	33.454**	23.444**	21.202**	地径	16.308**	28.582**	12.236**
基质配比×加载量	苗高	2.653*	1.153	0.254	地径	1.246	0.319	0.869
基质配比	生物量	0.432	0.329	0.158	叶干质量	0.220	0.416	0.101
加载量	生物量	32.586**	17.990**	15.400**	叶干质量	15.137**	14.287**	9.467**
基质配比×加载量	生物量	3.340*	1.365	0.450	叶干质量	1.769	1.560	0.438
基质配比	高径比	1.013	1.444	1.319	根冠比	0.253	0.272	0.739
加载量	高径比	0.398	0.169	1.000	根冠比	0.052	0.139	0.928
基质配比×加载量	高径比	1.772	0.661	0.935	根冠比	0.596	1.939	1.489

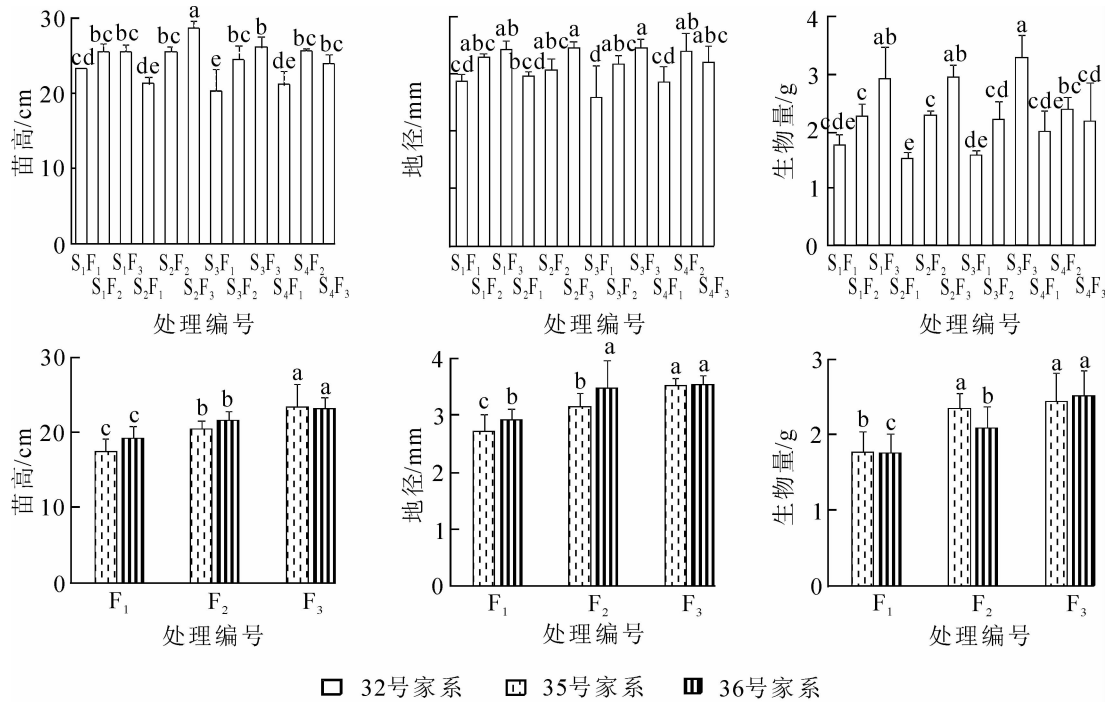
说明:\*\*表示因子对相应指标在置信度0.01水平显著;\*表示因子对相应指标在置信度0.05水平显著

从图1可以看出:同一基质配比下32号家系容器苗长势随控释肥加载量的增加而加强,较优的处理为 $S_2F_3$ 或 $S_3F_3$ ,施用 $3.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 控释肥能够较好地促进该家系容器苗生长。35和36号家系容器苗生长均随基质中控释肥加载量的增加而提高,均在添加控释肥 $3.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时长势较好,两者苗高分别为23.25和23.08 cm,地径分别为3.51和3.52 mm,单株生物量则分别为2.44和2.50 g。此外,35号家系单株生物量在控释肥加载量2.5和 $3.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 间差异不显著。

### 2.2 不同基质配比与控释肥加载量下马尾松容器苗氮和磷吸收利用差异

双因素比较分析发现:与生长情况相似,育苗基质比对家系容器苗的氮和磷吸收无显著影响,同时,亦无显著的基质配比和控释肥加载量的互作效应,仅控释肥加载量显著影响家系容器苗氮和磷的吸收,家系间存在显著差异。具体表现为:控释肥加载量仅对32号家系氮吸收及36号家系的磷吸收有显著影响;控释肥加载量对3个家系氮和磷质量均有显著影响;对3个家系容器苗氮和磷利用指数影响方面,基质配比无显著影响,加载量影响显著,而基质配比和控释肥仅对32号家系表现出显著的效应。

基于上述分析,对32号家系容器苗的氮和磷吸收利用进行基质配比和控释肥处理组合间的比较,对35和36号家系进行控释肥加载量间的比对。32号家系,除氮和磷质量分数外,不同处理组合间氮



不同小写字母表示不同处理相应指标在0.05水平差异显著

图 1 控释肥加载量对马尾松家系容器苗生长的影响

Figure 1 Effect of control released fertilizer loading on growth of the 3 families

表 2 家系容器苗氮和磷吸收利用的基质配比与控释肥加载量双因素方差分析

Table 2 Two factors analysis of Substrate proportion and control released fertilizer loading on container seedling N and P absorption and use of the 3 families

因子	指标	F			指标	F		
		32 号	35 号	36 号		32 号	35 号	36 号
基质配比	氮质量分数	1.081	1.021	2.692	磷质量分数	0.593	1.466	1.200
加载量	氮质量分数	6.086**	2.619	1.097	磷质量分数	1.741	0.121	6.353**
基质配比×加载量	氮质量分数	0.808	0.267	0.592	磷质量分数	0.690	0.370	0.830
基质配比	氮质量	0.283	0.277	0.271	磷质量	0.414	0.323	0.019
加载量	氮质量	11.747**	4.881*	6.264**	磷质量	14.478**	10.748**	14.195**
基质配比×加载量	氮质量	1.197	0.585	0.646	磷质量	1.262	0.832	0.351
基质配比	氮利用指数	1.096	1.131	1.470	磷利用指数	0.050	1.424	1.595
加载量	氮利用指数	30.688**	12.090**	14.583**	磷利用指数	34.779**	8.466**	5.764**
基质配比×加载量	氮利用指数	3.613*	0.754	0.367	磷利用指数	5.353**	0.869	0.905

说明：\*\*表示因子对相应指标在置信度 0.01 水平显著；\*表示因子对相应指标在置信度 0.05 水平显著

和磷利用指数差异显著(表 3)，均表现在处理组合 S<sub>3</sub>F<sub>3</sub> 达最大值，即基质配比泥炭和谷壳的体积比为 6:4，控释肥加载量为 3.5 kg·m<sup>-3</sup>。35 号和 36 号家系在不同控释肥加载量间表现各异。35 号家系容器苗氮和磷质量分数在不同加载量间差异不显著，而其氮和磷质量及利用指数差异显著，且 F<sub>2</sub>(2.5 kg·m<sup>-3</sup>)和 F<sub>3</sub>(3.5 kg·m<sup>-3</sup>)间差异不显著，表明加载量 2.5 kg·m<sup>-3</sup> 已能满足其氮和磷的吸收利用。36 号家系容器苗氮质量分数在不同处理间差异不显著，其他指标在不同处理间差异均显著，均在加载量 F<sub>3</sub>(3.5 kg·m<sup>-3</sup>)时达最大值。除磷质量分数外，此时氮和磷吸收利用指标均显著大于加载量 F<sub>1</sub>(1.5 kg·m<sup>-3</sup>)和 F<sub>2</sub>(2.5 kg·m<sup>-3</sup>)，表明加载量 3.5 kg·m<sup>-3</sup> 更适于 36 号家系氮和磷吸收利用。

### 2.3 家系与控释肥加载量对容器苗生长及氮和磷吸收利用的影响

不同基质配比对马尾松家系苗生长及氮和磷的吸收利用差异甚微，分析家系和控释肥两因素对容器苗的影响。结果显示(表 4)：家系效应仅体现在苗高和地径，而控释肥效应不仅体现在苗高、地径，还涉及生物量积累及氮和磷的吸收利用。家系和控释肥两因素的交互效应亦极其微弱，仅磷利用指数表现



表3 不同基质及控释肥处理下家系容器苗养分吸收利用分析

Table 3 Analysis of Substrate proportion and control released fertilizer loading on container seedling nutrition use of the three families

家系	处理	$w_{\text{氮}}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$w_{\text{磷}}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$m_{\text{氮}}/(\text{mg}\cdot\text{株}^{-1})$	$m_{\text{磷}}/(\text{mg}\cdot\text{株}^{-1})$	氮利用指数/g	磷利用指数/g
32号	S <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	9.67 ± 1.26 ab	2.20 ± 0.29	16.83 ± 2.10 c	3.87 ± 0.87 d	1.47 ± 0.30 def	7.56 ± 1.03 ef
	S <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	8.42 ± 0.80 b	2.07 ± 0.11	18.93 ± 0.32 abc	4.68 ± 0.44 bcd	2.15 ± 0.46 bcd	10.05 ± 1.69 bcd
	S <sub>1</sub> F <sub>3</sub>	9.08 ± 1.13 ab	2.32 ± 0.25	26.77 ± 8.14 a	6.85 ± 2.10 ab	2.49 ± 0.40 bc	11.09 ± 1.54 ab
	S <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	10.49 ± 0.23 a	2.44 ± 0.18	15.89 ± 1.17 c	3.72 ± 0.53 d	1.15 ± 0.16 f	5.81 ± 0.27 f
	S <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	8.59 ± 0.88 b	2.07 ± 0.30	19.57 ± 2.77 abc	4.73 ± 0.88 bcd	2.11 ± 0.17 bcd	10.10 ± 0.77 bcd
	S <sub>2</sub> F <sub>3</sub>	8.41 ± 0.43 b	2.25 ± 0.19	24.86 ± 2.98 ab	6.66 ± 1.03 abc	2.68 ± 0.21 ab	12.38 ± 0.58 a
	S <sub>3</sub> F <sub>1</sub>	9.20 ± 1.13 ab	2.09 ± 0.05	14.37 ± 1.10 c	3.28 ± 0.21 d	1.38 ± 0.21 ef	7.70 ± 0.64 ef
	S <sub>3</sub> F <sub>2</sub>	8.34 ± 0.14 b	2.24 ± 0.17	18.42 ± 2.99 bc	4.96 ± 1.08 bcd	2.09 ± 0.41 bcd	8.88 ± 0.94 cde
	S <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	7.96 ± 1.36 b	2.34 ± 0.17	26.30 ± 5.76 a	7.72 ± 0.99 a	3.26 ± 0.46 a	12.32 ± 1.74 a
	S <sub>4</sub> F <sub>1</sub>	8.98 ± 0.86 ab	2.18 ± 0.18	17.89 ± 3.37 bc	4.38 ± 1.03 cd	1.82 ± 0.44 cde	8.64 ± 1.40 de
	S <sub>4</sub> F <sub>2</sub>	8.50 ± 0.39 b	1.97 ± 0.18	20.25 ± 2.26 abc	4.70 ± 0.58 bcd	2.16 ± 0.17 bcd	10.98 ± 1.24 abc
	S <sub>4</sub> F <sub>3</sub>	8.75 ± 0.78 b	2.17 ± 0.55	19.19 ± 7.30 abc	4.95 ± 2.83 bcd	2.00 ± 0.59 cde	9.01 ± 0.55 bcde
	F	1.842	0.855	2.866*	3.434**	7.849**	9.257**
35号	F <sub>1</sub>	10.05 ± 1.97 a	2.20 ± 0.22	17.22 ± 1.43 b	3.82 ± 0.35 b	1.52 ± 0.46 b	7.81 ± 1.97 b
	F <sub>2</sub>	9.23 ± 1.43 ab	2.26 ± 0.33	21.74 ± 4.49 a	5.30 ± 0.98 a	2.11 ± 0.36 a	10.04 ± 1.58 a
	F <sub>3</sub>	8.54 ± 0.98 b	2.24 ± 0.22	20.72 ± 3.66 a	5.49 ± 1.21 a	2.38 ± 0.47 a	10.30 ± 1.31 a
	F	3.015	0.13	5.684**	11.837**	12.499**	8.342**
36号	F <sub>1</sub>	9.13 ± 1.04	2.00 ± 0.16 b	15.97 ± 3.10 b	3.50 ± 0.58 c	1.60 ± 0.33 c	8.58 ± 1.43 b
	F <sub>2</sub>	8.85 ± 0.89	2.20 ± 0.22 a	18.51 ± 3.73 b	4.62 ± 1.02 b	1.91 ± 0.28 b	8.90 ± 1.00 b
	F <sub>3</sub>	8.61 ± 0.74	2.23 ± 0.12 a	21.61 ± 4.01 a	5.59 ± 0.91 a	2.354248	10.15 ± 1.19 a
	F	1.016	6.435**	7.204**	17.903**	15.722**	5.559**

说明: \*\*表示因子对相应指标在置信度0.01水平显著; \*表示因子对相应指标在置信度0.05水平显著

表4 容器苗生长及养分吸收利用的家系和控释肥加载量双因素方差分析

Table 4 Two factors analysis of family and control released fertilizer loading on container seedling growth and nutrition use

因子	苗高	地径	生物量	氮含量	磷含量	氮质量分数	磷质量分数	氮利用指数	磷利用指数
家系	43.343**	4.812*	2.088	1.285	1.941	1.558	1.332	0.619	0.472
控释肥	62.766**	55.353**	57.813**	21.557**	40.077**	7.846**	1.796	47.169**	29.817**
家系×控释肥	1.555	1.254	2.347	2.273	1.872	0.914	2.051	1.101	2.843*

说明: \*\*表示因子对相应指标在置信度0.01水平显著; \*表示因子对相应指标在置信度0.05水平显著

出显著的两因素交互效应。

### 3 结论与讨论

本研究结果显示:所设置基质配比对马尾松3个家系生长及氮和磷吸收利用的影响均不显著。本研究是基于已有研究及生产实践,以较佳基质成分体积配比[V(泥炭):V(谷壳)=6:4]<sup>[6,11]</sup>为参考设置基质配比,结果显示:基质配比间容器苗生长差异较小,表明此配比范围内基质保水透气等特性均较适宜。生产上配备马尾松容器苗培育基质时,可在一定适宜范围内,结合育苗成本等生产实际进行调配。

控释肥是容器苗生长的主要养分来源,其加载水平将影响容器苗养分吸收,进而影响其生长及生物量积累<sup>[20-22]</sup>。本研究3个家系表型生长及养分吸收均显著受控释肥加载量的影响,随加载量的增加容器苗生长均得以显著改进。加载量为3.5 kg·m<sup>-3</sup>时,各家系容器苗氮和磷质量及利用指数亦达最大值,36号家系的氮和磷质量及利用指数显著大于其他加载量,但32和35号家系在加载量3.5和2.5 kg·m<sup>-3</sup>处理下差异不显著。所以,施肥量须控制在一定范围内,过量加载则易引起肥害<sup>[4-5]</sup>。此外,各家系容器苗养分吸收随加载量的变化表明,不同遗传背景引起了容器苗对加载量的不同响应<sup>[1]</sup>。

基质配比和控释肥加载量对容器苗品质的影响并不孤立,其交互作用亦显著影响容器苗品质<sup>[46,9]</sup>。本研究中,不同家系容器苗的基质配比和缓释肥加载量互作效应存在差异,32号家系容器苗的苗高、

地径和生物量以及氮和磷质量分数、单株氮磷含量和氮磷利用指数均表现出明显的双因素交互效应,而母本均来自江西的35和36号家系容器苗则相反,该现象也表明了母本基因效应的显著性。基于此,培育32号家系容器苗需同时考虑基质配比和控释肥加载量。通过综合比对,基质配比以泥炭:谷壳体积比为5:5,控释肥加载量为 $3.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和基质配比泥炭:谷壳体积比为6:4,控释肥加载量 $3.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 组合表现较优;在本试验基质配比范围内,35和36号家系只需合适控释肥的加载量,分别为 $2.5$ 和 $3.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。家系和控释肥交互作用下,各家系容器苗仅磷利用指数存在显著差异,此结果可能与其长期生长的土壤环境即中国南方土壤有效磷含量较低有关<sup>[1]</sup>。通常情况下,植物生长的遗传效应大于施肥等环境效应<sup>[1]</sup>,然而,本研究结果显示:3个家系容器苗的控释肥效应大于家系效应。造成该现象的原因可能为马尾松容器苗早期生长更受制于环境养分等情况,遗传效应则在后期的生长中有更明显的优势。该现象亦表明苗期基质养分供应水平对优质容器苗培育至关重要。

#### 4 参考文献

- [1] 周志春, 谢钰容, 金国庆, 等. 马尾松种源磷效率研究[J]. 林业科学, 2005, **41**(4): 25 – 30.  
ZHOU Zhichun, XIE Yurong, JIN Guoqing, *et al.* Study on phosphorus efficiency of different provenances of *Pinus massoniana* [J]. *Sci Silv Sin*, 2005, **41**(4): 25 – 30.
- [2] 刘青华, 周志春, 张开明, 等. 施用磷肥对马尾松种源生长和木材基本密度的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(2): 185 – 191.  
LIU Qinghua, ZHOU Zhichun, ZHANG Kaiming, *et al.* Influence of phosphorus on growth and wood basic density of *Pinus massoniana* provenances [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2012, **29**(2): 185 – 191.
- [3] 楚秀丽, 刘青华, 范辉华, 等. 不同生境、造林模式闽楠人工林生长及林分分化[J]. 林业科学研究, 2014, **27**(4): 445 – 453.  
CHU Xiuli, LIU Qinghua, FAN Huihua, *et al.* Growth and structure differentiation of *Phoebe bournei* plantation with different sites and modes of afforestation [J]. *For Res*, 2014, **27**(4): 445 – 453.
- [4] 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.  
MA Xuehong, HU Genchang, FENG Jianguo, *et al.* Comparison on the substrate and container size of container nursery of *Schima superba* [J]. *For Res*, 2010, **23**(4): 505 – 509.
- [5] 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.  
WANG Yi, WANG Xiuhua, WU Xiaolin, *et al.* Effects of slow-release fertilizer loading on growth and construction of nutrients reserves of *Phoebe chekiangensis* and *Phoebe bournei* container seedlings [J]. *Sci Silv Sin*, 2013, **49**(12): 57 – 63.
- [6] 吴小林, 张东北, 楚秀丽, 等. 赤皮青冈容器苗不同基质配比和缓释肥施用量的生长效应[J]. 林业科学研究, 2014, **27**(6): 794 – 800.  
WU Xiaolin, ZHANG Dongbei, CHU Xiuli, *et al.* Effects of substrate ratio and slow-release fertilizer does on the growth of containerized *Cyclobalanopsis gilva* seedlings [J]. *For Res*, 2014, **27**(6): 794 – 800.
- [7] 祝燕, 马履一, 刘勇, 等. 控释氮肥对长白落叶松苗木生长的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2011, **35**(1): 24 – 28.  
ZHU Yan, MA Lüyi, LIU Yong, *et al.* Application on controlled-release fertilizer in the cultivation of *Larix olensis* seedling [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2011, **35**(1): 24 – 28.
- [8] 楚秀丽, 孙晓梅, 张守攻, 等. 日本落叶松容器苗不同控释肥生长效应[J]. 林业科学研究, 2012, **25**(6): 697 – 702.  
CHU Xiuli, SUN Xiaomei, ZHANG Shougong, *et al.* Effect of controlled release fertilizers on net container seedlings growth of *Larix kaempferi* [J]. *For Res*, 2012, **25**(6): 697 – 702.
- [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.  
ZHOU Zhichun, LIU Qinghua, HU Genchang, *et al.* Scheme optimization of light substrate for container seedlings of

- three precious timber tree species [J]. *Sci Silv Sin*, 2011, **47**(10): 172 – 178.
- [10] 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.  
XIAO Yao, CHU Xiuli, WANG Xiuhua, *et al.* Effects of slow-release fertilizer loading on growth and N, P accumulation of container-growing seedlings for three precious tree species [J]. *For Res*, 2015, **28**(6): 781 – 787.
- [11] 林瑞荣. 轻型基质马尾松容器苗生长进程试验研究[J]. 福建林业科技, 2005, **32**(3): 86 – 89.  
LIN Ruihong. Experimental study of *Pinus massoniana* container seedling growth course with light type of substrate [J]. *J Fujian For Sci Tech*, 2005, **32**(3): 86 – 89.
- [12] 尹晓阳, 朱忠荣, 韦小丽, 等. 马尾松容器育苗质量控制技术研究[J]. 山地农业生物学报, 2006, **25**(2): 105 – 110.  
YIN Xiaoyang, ZHU Zhongrong, WEI Xiaoli, *et al.* The technological measures of improving quality of the container seedling of *Pinus massoniana* [J]. *J Mount Agric Biol*, 2006, **25**(2): 105 – 110.
- [13] 王庆仁, 李继云, 李振声. 高效利用土壤磷素的植物营养学研究[J]. 生态学报, 1999, **5**(3): 417 – 421.  
WANG Qingren, LI Jiyun, LI Zhensheng. Studies on plant nutrition of efficient utility for soil phosphorus [J]. *Acta Ecol Sin*, 1999, **5**(3): 417 – 421.
- [14] 李天芳, 姜静, 王雷, 等. 配方施肥对白桦不同家系苗期生长的影响[J]. 林业科学, 2009, **45**(2): 60 – 64.  
LI Tianfang, JIANG Jing, WANG Lei, *et al.* Effects of prescription fertilization on the seedling growth of different families of *Betula platyphylla* [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, **45**(2): 60 – 64.
- [15] MCKEAND S E, GRISSOM J E, RUBILAR R, *et al.* Responsiveness of diverse families of loblolly pine to fertilization: eight-year results from SETRES-2 [C]// MCKINLEY C R. *27th Southern Forest Tree Improvement Conference*. Stillwater: Oklahoma State University, 2003: 30 – 33.
- [16] 金国庆, 秦国峰, 储德裕, 等. 马尾松测交系杂交代子代生长性状遗传分析[J]. 林业科学, 2008, **44**(1): 70 – 76.  
JIN Guoqing, QIN Guofeng, CHU Deyu, *et al.* Genetic analysis of growth traits on tester strain progeny of *Pinus massoniana* [J]. *Sci Silv Sin*, 2008, **44**(1): 70 – 76.
- [17] 王月生, 周志春, 金国庆, 等. 基质配比对南方红豆杉容器苗及其移栽生长的影响[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24**(5): 643 – 646.  
WANG Yuesheng, ZHOU Zhichun, JIN Guoqing, *et al.* Growth of *Taxus chinensis* var. *mairei* for container seedlings in different media mixtures and for bare-root versus container seedlings in a young stand [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24**(5): 643 – 646.
- [18] WEI Hongxu, REN Jun, ZHOU Jianghua. Effect of exponential fertilization on growth and nutritional status in *Budhist pine* (*Podocarpus macrophyllus* [Thunb.] D. Don) seedlings cultured in natural and prolonged photoperiods [J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 2013, **59**: 933 – 941.
- [19] HAWKINS B J. Family variation in nutritional and growth traits in Douglas-fir seedlings [J]. *Tree Physiol*, 2007, **27**: 911 – 919. doi: 10.1093/treephys/27.6.911.
- [20] TIMMER V R, TENG Y. Pretransplant fertilization of containerized *Picea mariana* seedlings: calibration and bioassay growth response [J]. *Can J For Res*, 2004, **34**(10): 2089 – 2099.
- [21] JACKSON D P, KASTEN DUMROESE R K, BARNETT J P. Nursery response of container *Pinus palustris* seedlings to nitrogen supply and subsequent effects on outplanting performance [J]. *For Ecol Manage*, 2012, **265**: 1 – 12.
- [22] JONARD M, FÜRST A, VERSTRAETEN A, *et al.* Tree mineral nutrition is deteriorating in Europe [J]. *Glob Change Biol*, 2015, **21**(1): 418 – 430.