

# 山茱萸科 4 个生物质能源树种轻基质容器育苗研究

杜 坤,杨亚萍,沙 红,马建伟\*

(甘肃省小陇山林业科学研究所,甘肃 天水 741022)

**摘 要:**选用灯台树、红棕子、毛柞木、柞木 4 个生物能源树种,用 9 种配比的基质进行容器育苗,试验研究了 4 个树种在 9 种基质上苗木的苗高、地径、一级侧根数、二级侧根数、单株干生物量 5 个性状。结果显示,4 个树种在 9 种基质上苗木的生长指标存在极显著差异。用多目标决策法综合评价筛选出适宜的基质,灯台树为泥炭土:珍珠岩:蛭石=8:1:1 的配比基质;红棕子为纯炭化稻壳的基质;毛柞木、柞木为纯泥炭土的基质;经对建立的 4 个树种容器苗干生物量与基质理化性质的 Douglas 方程模型进行优化分析,4 树种容器苗适宜的基质理化性质指标值为 pH6.12~6.90、速效钾 665~667 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷 73 mg·kg<sup>-1</sup>、碱解氮 123 mg·kg<sup>-1</sup>、有机质含量≥214 g·kg<sup>-1</sup>、全 N19.27 g·kg<sup>-1</sup>、全 P2.1 g·kg<sup>-1</sup>、电导率 0.11 m·s<sup>-1</sup>、容重 0.29~0.3 g·cm<sup>-3</sup>、持水量 201%~212%、孔隙度 71%~75%。

**关键词:**轻基质;容器育苗;Douglas 模型

**中图分类号:** S723.133      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-7461(2011)05-0105-06

## Seedling Raising of Four Bio-energy Tree Species of Cornaceae with Light Medium Containers

DU Kun, YANG Ya-ping, SHA Hong, MA Jian-wei\*

(Xiaolongshan Research Institute of Forestry, Tianshui, Gansu 741022, China)

**Abstract:** Container nursery with 9 different proportions of light media was adopted to raise seedlings of 4 bio-energy tree species. Characteristics of seedling height, ground diameter, number of the first lateral second lateral roots, and single plant biomass were examined. The results showed that there were very significant differences among the growth indices of the 4 tree species growing on 9 media. Optimal medium for each tree species were selected by multi-object decision method: namely, peat soil: perlite: vermiculite = 8:1:1 for *Bothrocaryum controversum*, pure carbonized rice husk medium for *Cornus hemsleyi* and pure peat soil medium for *Cornus macrophylla* and *Cornus walteri*. Through the optimization analysis by Douglas equation model on the container seedling biomass and medium physicochemical properties, physico-chemical indices of suitable media were as follows: pH 6.12~6.90, available K 665~667 mg·kg<sup>-1</sup>, available P 73 mg·kg<sup>-1</sup>, available nitrogen 123 mg·kg<sup>-1</sup>, content of organic matter≥214 g·kg<sup>-1</sup>, total N 19.27 g·kg<sup>-1</sup>, total P 2.1 g·kg<sup>-1</sup>, conductivity 0.11 m·s<sup>-1</sup>, bulk density 0.29~0.3 g·cm<sup>-3</sup>, moisture capacity 201%~212%, and porosity 71%~75%.

**Key words:** medium; container seedling; Douglas-model

基质是为苗木成活和生长发育提供养分和水分的载体,是决定苗木质量的关键因素,故如何选择适合的基质对容器育苗的成败起关键的作用<sup>[1-6]</sup>。以

山茱萸科的灯台树(*Bothrocaryum controversum*)、柞木(*Cornus macrophylla*)、毛柞木(*Cornus walteri*)、红棕子(*Cornus hemsleyi*)<sup>[7]</sup>等 4 个新兴的生

收稿日期:2010-10-11 修回日期:2011-01-17  
基金项目:天水市科技支撑计划课题(2009-48-48-5)。  
作者简介:杜 坤,男,林业高级工程师,主要从事林业种苗研究。  
\* 通讯作者:马建伟,男,林业高级工程师,主要从事林木遗传育种研究。

物质能源树种<sup>[8]</sup>为对象,系统试验研究 4 个树种进行轻型基质网袋容器育苗的基质选择、基质理化性质,达到优选基质的目的,为阔叶树工厂化育苗提供技术支撑<sup>[9]</sup>,同时为发展生物质能源树种储备技术。

1 材料与方法

1.1 试验材料

灯台树(*B. controversum*)种子由江西九江林科所提供,千粒重 88.3 g。红棕子(*C. hemsleyi*)、毛桉木(*C. walteri*)、桉木(*C. macrophylla*)种子采自甘肃小陇山林区。红棕子千粒重 61.5 g;毛桉木千粒重 75.8 g;桉木千粒重 82.1 g。

1.2 试验区概况

试验地设于甘肃省小陇山林业科学研究所院内,地理纬度 105°54′37″E、34°28′50″N,海拔 1 160 m。年降雨量 600~800 mm,年蒸发量 1 290 mm,

年平均气温 10.7℃,≥10℃积温 3 359℃,极端高温 39℃,极端低温-19.2℃。正常年份 4—9 月晴天日平均光照时数 13~14 h,夏季日最高光照强度 2 500 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,无霜期 190 d。

1.3 试验方法

基质:试验以轻型材料炭化稻壳、泥炭土、珍珠岩、蛭石<sup>[10]</sup>为原料,采用不同的体积配比配制成 9 种育苗基质(表 1)。容器选用可降解的无纺布网袋,规格 45 mm(*d*)×100 mm(*h*)在中国林科院林业研究所生产的轻基质网袋容器袋生产线成型,成型肠状容器按高度 100 mm 切好,直立排在育苗盘内,运到育苗现场,摆放于架空床上。播前用 0.5%的高锰酸钾溶液浇灌杀菌消毒,用清水淋溶后播种。

以不同配比基质为处理,采用完全随机区组,3 次重复,每小区播种 20 袋。试验开始时取样测定理化性质(表 2)。

表 1 网袋容器育苗基质配比

Table 1 Proportions of the ingredients of light medium with mesh bagcontainer seedling raising									%
类型	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
泥炭土	30	50	80		100				50
炭化稻壳				50		80	100	30	50
珍珠岩	60	40	10	40		10		60	
蛭石	10	10	10	10		10		10	

表 2 9 种基质配比的理化性质

Table 2 Physico-chemical properties of 9 media

处理	pH	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	电导率/ (m·s <sup>-1</sup> )	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	持水量/ %	孔隙度/ %
M <sub>1</sub>	5.41	265	14.4	128.0	214	9.25	2.14	0.15	0.21	175	80.0
M <sub>2</sub>	5.57	265	17.3	228.0	234	15.00	1.85	0.17	0.24	271	74.4
M <sub>3</sub>	5.33	516	16.5	193.0	287	33.90	1.78	0.24	0.28	133	82.6
M <sub>4</sub>	7.12	566	36.3	29.1	272	4.46	2.13	0.19	0.30	295	79.5
M <sub>5</sub>	5.01	265	13.4	170.0	312	16.80	2.11	0.16	0.24	147	84.0
M <sub>6</sub>	7.13	742	98.7	24.5	287	5.23	1.93	0.31	0.18	141	74.2
M <sub>7</sub>	6.79	1 069	132.4	22.0	298	8.90	1.98	0.50	0.19	108	65.0
M <sub>8</sub>	6.89	466	31.2	16.6	235	5.73	2.78	0.26	0.20	190	71.0
M <sub>9</sub>	5.74	667	24.3	85.3	272	12.30	1.96	0.12	0.19	292	78.0

苗木生长量指标:苗木停止生长落叶后,从每种配比基质容器苗每一重复中完整的取出 10 株,测定苗高、地径、主根长、一级侧根的数量、长度,测定后分茎枝和根系两部分,分装,烘干、用 1%的电子天秤分单株称量茎、根系干质量。每个处理共调查 30 株。

1.4 数据分析

用 DPS 数据处理软件对试验调查数据进行单因素方差分析和 LDS 多重比较分析,模型拟合,优

化分析。

2 结果与分析

2.1 基质对容器苗性状指标的影响

经对 9 种配比基质的容器苗的苗高、地径、一级侧根数、二级侧根数、单株生物量等 5 个性状指标进行方差分析表明,基质间差异显著,并进行 LSD 多重比较(表 3)。

表 3    9 种配比基质苗木性状指标 LSD 多重比较及综合评价

Table 3    LSD multiple comparison and comprehensive evaluation values of seedling characteristics under 9 media

树 种	基 质	性状指标 LSD 多重比较					性状指标测定值综合评价					P	排序
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>		
灯 台 树	M <sub>1</sub>	6.3bc	1.8cd	16.4ab	26.5ab	0.22cd	0.55	0.80	0.92	0.96	0.43	0.72	5
	M <sub>2</sub>	7.4b	2.2a	17.2a	27.1ab	0.30b	0.63	1.00	0.96	0.99	0.60	0.83	3
	M <sub>3</sub>	11.6a	2.2a	17.9a	27.5a	0.50a	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1
	M <sub>4</sub>	5.0c	1.7cd	14.0b	19.6c	0.23bcd	0.43	0.76	0.78	0.71	0.46	0.62	8
	M <sub>5</sub>	6.8b	1.6cd	15.8ab	20.6bc	0.21cd	0.58	0.74	0.88	0.75	0.42	0.66	6
	M <sub>6</sub>	6.6bc	2.0ab	14.9ab	27.4a	0.28bc	0.57	0.91	0.83	1.00	0.55	0.76	4
	M <sub>7</sub>	6.0bc	1.6d	15.4ab	14.5c	0.18d	0.52	0.71	0.86	0.53	0.36	0.59	9
	M <sub>8</sub>	5.9bc	1.8bc	14.0b	20.7bc	0.22cd	0.51	0.82	0.78	0.75	0.45	0.65	7
	M <sub>9</sub>	11.4a	2.1a	16.0ab	27.4a	0.50a	0.98	0.97	0.89	1.00	0.98	0.97	2
红 棕 子	M <sub>1</sub>	9.3b	1.9a	21.1b	27.8ab	0.31b	0.56	1.00	0.87	0.86	0.75	0.80	3
	M <sub>2</sub>	6.7cd	1.7b	19.5bc	21.4bc	0.22cd	0.40	0.89	0.81	0.66	0.52	0.65	4
	M <sub>3</sub>	9.5b	1.8ab	20.4b	31.9a	0.30bc	0.57	0.94	0.84	0.99	0.72	0.81	2
	M <sub>4</sub>	4.7e	1.1d	16.7cd	8.9ef	0.10ef	0.28	0.59	0.69	0.28	0.23	0.40	8
	M <sub>5</sub>	7.5c	1.5c	14.5d	16.5cd	0.18de	0.45	0.76	0.60	0.51	0.43	0.54	5
	M <sub>6</sub>	5.2de	1.2d	16.9cd	14.1de	0.13def	0.31	0.62	0.70	0.44	0.32	0.47	7
	M <sub>7</sub>	16.7a	1.6bc	24.1a	32.3a	0.41a	1.00	0.85	1.00	1.00	1.00	0.97	1
	M <sub>8</sub>	4.3e	1.1d	11.1e	5.23f	0.07f	0.26	0.58	0.46	0.16	0.16	0.32	9
	M <sub>9</sub>	6.4cd	1.4c	14.7d	17.4cd	0.16de	0.38	0.74	0.61	0.54	0.39	0.53	6
毛 桉 子	M <sub>1</sub>	4.8e	1.2cd	14.8c	14.2de	0.08c	0.27	0.46	0.62	0.30	0.10	0.34	5
	M <sub>2</sub>	9.9c	1.9b	18.8b	36.4bc	0.49b	0.56	0.74	0.79	0.77	0.65	0.70	3
	M <sub>3</sub>	7.1d	1.7b	17.9bc	31.8c	0.40b	0.39	0.65	0.75	0.67	0.54	0.60	4
	M <sub>4</sub>	4.7e	1.0d	13.3c	16.6de	0.07c	0.26	0.40	0.56	0.35	0.10	0.32	6
	M <sub>5</sub>	17.9a	2.6a	23.9a	47.2a	0.75a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1
	M <sub>6</sub>	4.6e	1.3cd	13.5e	11.0e	0.09c	0.26	0.49	0.56	0.23	0.12	0.32	6
	M <sub>7</sub>	4.5e	1.1cd	14.5c	18.1d	0.08c	0.25	0.41	0.61	0.38	0.10	0.34	5
	M <sub>8</sub>	4.7e	1.3c	14.2c	14.6de	0.08c	0.26	0.51	0.59	0.31	0.10	0.34	5
	M <sub>9</sub>	14.1b	2.6a	20.6b	39.1b	0.70a	0.79	1.00	0.86	0.83	0.94	0.88	2
桉 木	M <sub>1</sub>	6.5d	1.7d	16.5bc	17.3d	0.12d	0.35	0.59	0.56	0.34	0.14	0.38	5
	M <sub>2</sub>	13.6b	2.7b	24.4a	51.3a	0.74b	0.73	0.93	0.83	1.00	0.88	0.88	2
	M <sub>3</sub>	5.8de	1.9c	14.8c	16.4d	0.12d	0.31	0.66	0.50	0.32	0.14	0.37	6
	M <sub>4</sub>	5.3de	1.6d	16.0bc	25.4c	0.15d	0.28	0.57	0.55	0.49	0.18	0.40	4
	M <sub>5</sub>	18.7a	2.9a	29.3a	41.6b	0.84a	1.00	1.00	1.00	0.81	1.00	0.96	1
	M <sub>6</sub>	4.8e	1.6d	13.2c	15.9d	0.12d	0.25	0.55	0.45	0.31	0.14	0.33	8
	M <sub>7</sub>	5.9de	1.7d	14.1c	9.8e	0.09d	0.31	0.58	0.48	0.19	0.11	0.32	9
	M <sub>8</sub>	5.3de	1.6d	16.4bc	16.3d	0.13d	0.29	0.55	0.56	0.32	0.16	0.36	7
	M <sub>9</sub>	12.0c	2.6b	23.0ab	38.5b	0.64c	0.64	0.90	0.78	0.75	0.77	0.77	3

注：X<sub>1</sub> = 苗高/cm、X<sub>2</sub> = 地径/mm、X<sub>3</sub> = 一级侧根数/个、X<sub>4</sub> = 二级侧根数/个、X<sub>5</sub> = 单株干生物量 g、P = 综合评价值。

由表 3 看出,灯台树 9 种配比基质的容器苗在苗高、地径、二级侧根数,单株干生物量间差异极显著,一级侧根数间差异不显著,多重比较苗高以 M<sub>3</sub> 基质最优、M<sub>9</sub> 为次优基质,且与另 7 种基质间差异显著;地径以 M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub>、M<sub>9</sub> 3 种基质为优;二级侧根数以 M<sub>3</sub>、M<sub>9</sub> 基质为优;单株干生物量以 M<sub>3</sub>、M<sub>9</sub> 最优,且与另 7 种基质间差异显著。

红棕子 9 种基质的容器苗在苗高、地径、一级侧根数、二级侧根数,单株干生物量 5 个性状指标间差异极显著。LSD 多重比较显示,苗高、一级侧根数、

单株干生物量 3 个性状指标均以 M<sub>7</sub> 基质最优,且与另外 8 种基质间差异显著,特别是单株干生物量 9 种基质间差异悬殊,最优的是 M<sub>7</sub> 基质,M<sub>7</sub> 基质上单株苗的干生物量是 9 种基质平均单株干生物量 1.99 倍,是最差基质 M<sub>8</sub> 的 6.11 倍;二级侧根数也以 M<sub>7</sub> 基质最优,但与另 8 种基质间差异不显著;地径以 M<sub>1</sub> 基质最优。

毛桉木 9 种配比基质的容器苗在苗高、地径、一级侧根数、二级侧根数,单株干生物量 5 个性状指标间差异极显著。多重比较显示,苗高、一级侧根数、

二级侧根数 3 个性状均为  $M_5$  基质最优,且与另外 8 种基质间差异显著;地径、单株干生物量以  $M_5$ 、 $M_9$  基质为优,且与另 7 种基质间差异显著。苗高、单株干生物量 9 种配比基质间悬殊非常大, $M_5$  基质上的苗高是 9 种基质平均苗高(8.02 cm)的 2.23 倍,是  $M_7$ (4.5 cm)的 3.98 倍;单株干生物量  $M_5$  基质是 9 种基质平均(0.304 g)的 2.47 倍,是最差基质  $M_4$ (0.072 g)的 10.42 倍。

桉木 9 种配比基质的容器苗在苗高、地径、一级侧根数、二级侧根数,单株干生物量 5 个性状指标间差异极显著。多重比较显示,苗高、地径、单株干生物量以  $M_5$  基质为优,一级侧根数以  $M_5$ 、 $M_2$  基质优,但与另 7 种基质间差异不显著,二级侧根数以  $M_2$  基质最多,且与另 8 种基质间差异显著,苗高、单株干生物量 9 种配比基质间悬殊非常大, $M_5$  基质上的苗高是 9 种基质平均苗高(8.64 cm)的 2.16 倍,是最差基质  $M_6$ (4.75 cm)的 3.93 倍;单株干生物量  $M_5$  基质是 9 种基质平均(0.326 g)的 2.56 倍,是最差基质  $M_7$ (0.091 g)的 9.19 倍。同时反映出  $M_5$  基质适于桉木容器苗苗高、地径、单株干生物量的生长和积累; $M_2$  基质是桉木容器苗根系生长的适宜基质。

## 2.2 4 树种适宜生长的最佳基质筛选

根据以上 4 个树种在 9 种配比基质上的容器苗在苗高、地径、一级侧根数、二级侧根数,单株干生物

量 5 个性状指标的分析,各基质间差异极显著。但 5 个性状指标的差异程度各不相同,为了科学的评价各基质上生长的容器苗的优劣,用多目标决策方法进行综合评价<sup>[11-12]</sup>。

以各性状指标中的最大值为  $U_{\max}$ ,令  $U_{\max}=1$ ,计算出各基质容器苗性状指标的系数,对苗木的 5 个性状指标根据其重要程度各附于不同的权重,使总权重为 1,苗高、地径、一级侧根数、二级侧根数各附于 0.19 的权重,单株干生物量能提供苗木形态特征大部分的信息,是评价苗木质量的重要指标<sup>[14]</sup>,因此附于 0.24 的权重,权重与各性状系数之积为不同基质容器苗的得分,同一基质容器苗各性状指标得分之和为对各基质的评价价值。从表 3 可知,培育灯台树容器苗的最适基质为  $M_3$ ,即泥炭土:珍珠岩:蛭石=8:1:1 的配比基质;培育红棕子容器苗的最适基质为  $M_7$ ,即纯炭化稻壳的基质;培育毛桉木、桉木容器苗的最适基质为  $M_5$  基质,即为纯泥炭土的基质。

## 2.3 基质理化性质与苗木生物量相关性 & 最优值的选择

容器苗的生物量是苗木各器官质量的总和,能提供苗木形态特征大部分的信息,因此是评价苗木质量的重要指标<sup>[13]</sup>,用单株干生物量与基质的 11 个理化性质指标进行典型相关分析(表 4)。

表 4 4 树种生物量与基质理化指标相关系数

Table 4 Correlation coefficients between the biomass of 4 tree species and medium physicochemical index

指标	pH	速效钾	速效磷	碱解氮	有机质	全 N	全 P	电导率	容重	持水量	孔隙度
灯台树	-0.367	0.014	-0.348	0.371	0.104	0.656	-0.472	-0.348	0.463	-0.427	0.519
红棕子	-0.328	0.300	0.334	0.269	0.117	0.385	-0.500	0.469	0.144	0.45	0.514
毛桉木	-0.735	-0.351	-0.505	0.638	0.329	0.523	-0.351	-0.536	0.851	0.194	0.567
桉木	-0.603	-0.460	-0.458	0.586	0.142	0.194	-0.215	-0.546	0.650	0.486	0.286

从表 4 典型相关分析可知,灯台树容器苗的生物量与全 N、孔隙度、容重、碱解氮为正相关;与全 P、持水量、pH、速效磷、电导率为负相关;与速效钾、有机质相关性较低。红棕子容器苗的生物量与孔隙度、电导率、持水量、全 N、速效磷、速效钾、碱解氮为正相关,与全 P、pH 为负相关,与有机质、容重相关性较低;毛桉木容器苗的生物量与容重、碱解氮、孔隙度、全 N、有机质为正相关,与 pH、电导率、速效磷、速效钾、全 P 为负相关,与持水量相关性较低;桉木容器苗的生物量与容重、碱解氮、持水量、孔隙度呈正相关,与 pH、电导率、速效钾、速效磷、全 P 呈负相关,与全 N、有机质相关性较低。

选取容器苗生物量与基质理化指标相关系数 $\geq$

0.2 或 $\leq -0.2$  的理化指标进行柯布一道格拉斯(Douglas)方程拟合<sup>[14-15]</sup>。灯台树选取 pH( $X_1$ )、速效磷( $X_2$ )、碱解氮( $X_3$ )、全 N( $X_4$ )、全 P( $X_5$ )、电导率( $X_6$ )、容重( $X_7$ )、持水量( $X_8$ )、孔隙度( $X_9$ )9 个指标;红棕子选取 pH( $X_1$ )、速效钾( $X_2$ )、速效磷( $X_3$ )、碱解氮( $X_4$ )、全 N( $X_5$ )、全 P( $X_6$ )、电导率( $X_7$ )、持水量( $X_8$ )、孔隙度( $X_9$ )9 个指标;毛桉木选取 pH( $X_1$ )、速效钾( $X_2$ )、速效磷( $X_3$ )、碱解氮( $X_4$ )、有机质( $X_5$ )、全 N( $X_6$ )、全 P( $X_7$ )、电导率( $X_8$ )、容重( $X_9$ )、孔隙度( $X_{10}$ )10 个指标;桉木选取 pH( $X_1$ )、速效钾( $X_2$ )、速效磷( $X_3$ )、碱解氮( $X_4$ )、全 P( $X_5$ )、电导率( $X_6$ )、容重( $X_7$ )、持水量( $X_8$ )、孔隙度( $X_9$ )9 个指标,建立经验模型(表 5)。

表 5    4 树种容器苗生物量与基质理化指标的 Douglas 方程

树种		Douglas 方程	检验值		
			$R^2$	$F$	$P$
灯台树		$y=1.936E-5x_1^{-0.267}x_2^{0.708}x_3^{-0.593}x_4^{0.055}x_5^{0.505}x_6^{-2.062}x_7^{0.962}x_8^{0.447}x_9^{1.195}$	0.852	5.130	0.015 5
红棕子		$y=4.87E-18x_1^{-0.614}x_2^{3.705}x_3^{-1.973}x_4^{2.734}x_5^{-3.499}x_6^{2.129}x_7^{3.498}x_8^{0.768}x_9^{4.538}$	0.951	36.366	0.000 1
毛桉木		$y=2.07E-7x_1^{3.306}x_2^{-2.748}x_3^{3.534}x_4^{-0.709}x_5^{2.237}x_6^{5.085}x_7^{4.332}x_8^{-5.401}x_9^{-1.49}x_{10}^{-5.149}$	0.964	43.895	0.000 1
桉木		$y=5.699E-22x_1^{11.589}x_2^{2.421}x_3^{-1.568}x_4^{0.913}x_5^{2.947}x_6^{-1.981}x_7^{2.251}x_8^{3.245}x_9^{-1.295}$	0.973	69.241	0.000 1

经对模型检验,灯台树  $F=5.13$ ,显著水平  $P=0.015\ 5$ ,达显著水平,决定系数  $R^2=0.852$ ;红棕子  $F=19.778$ ,显著水平  $P=0.000\ 1$ ,达极显著水平,决定系数  $R^2=0.898$ ;毛桉木  $F=43.895$ ,显著水平  $P=0.000\ 1$ ,达极显著水平,决定系数  $R^2=0.964$ ;桉木  $F=69.241$ ,显著水平  $P=0.000\ 1$ ,达极显著

水平,决定系数  $R^2=0.974$ 。表明经验模型能很好地拟合实际观察数据。

将经验模型进行优化分析<sup>[15]</sup>,使目标函数(容器苗生物量)达最大值时其相应的自变量(理化指标)(表 6)。

表 6    容器苗生物量达最大值时其相应的基质理化指标值

Table 6    Relevant medium physicochemical index as the biomass of container seedling reaches the maximum value										
树种	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
灯台树	6.12	73.12	123.37	19.27	2.09	0.11	0.29	212.59	74.72	
红棕子	6.15	667.67	73.12	123.44	19.24	2.12	0.53	201.15	74.56	
毛桉木	6.43	665.03	73.12	122.98	291.58	19.35	2.45	0.11	0.29	74.66
桉木	6.90	667.53	73.00	122.98	2.15	0.11	0.30	211.82	71.99	

经模型优化分析后,可得出 4 树种容器苗适宜的基质理化性质指标值。

灯台树为  $pH=6.12$ 、速效磷 $=73.12\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $=123.37\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全  $N=19.27\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全  $P=2.09\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、电导率 $=0.11\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、容重 $=0.29\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、持水量 $=212.59\%$ 、孔隙度 $=74.722\%$ ;

红棕子为  $pH=6.15$ 、速效钾 $=667.67\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $=73.17\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $=123.44\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全  $N=19.24\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全  $P=2.12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、电导率 $=0.53\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、持水量 $=201.15\%$ 、孔隙度 $=74.56\%$ ;

毛桉木为  $pH=6.43$ 、速效钾 $=665.03\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $=73.12\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $=122.293\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有机质 $=291.58\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全  $N=19.35\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全  $P=2.45\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、电导率 $=0.11\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、容重 $=0.29\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、孔隙度  $74.66\%$ ;

桉木为  $pH=6.90$ 、速效钾 $=667.53\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $=73.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $=122.98\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全  $P=2.15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、电导率 $=0.11\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、容重 $=0.29\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、持水量 $=211.82\%$ 、孔隙度  $74.66\%$ 。

### 3 结论与讨论

灯台树、红棕子、毛桉木、桉木 4 个树种 9 种配

比基质上的容器苗在苗高、地径、一级侧根数、二级侧根数,单株干生物量 5 个性状指标各基质间差异极显著。用多目标决策法综合评价筛选出适宜的基质,灯台树为泥炭土:珍珠岩:蛭石 $=8:1:1$  的配比基质;红棕子为纯炭化稻壳的基质;毛桉木、桉木为纯泥炭土的基质。得出容器苗单株干生物量与基质理化性质的 Douglas 方程(表 5)。

对模型优化分析,灯台树、红棕子、毛桉木、桉木 4 个树种在轻基质容器育苗条件下,对基质理化性质要求的条件差异不大,比较理想的基质理化性质为: $pH\ 6.12\sim 6.90$ 、速效钾  $665\sim 667\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷  $73\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮  $123\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有机质含量 $\geq 214\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全  $N19.27\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全  $P2.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、电导率  $0.11\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、容重  $0.29\sim 0.3\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}$ 、持水量  $201\%\sim 212\%$ 、孔隙度  $71\%\sim 75\%$ 。

### 参考文献:

[1] 鲁敏,李永义,葛亭魁. 油松容器育苗基质的研究[J]. 华北农学报,2000,15(增刊):167-174.  
LU M ,LI Y Y ,GE T K. Studies on the medium of container seedling of chinese pine[J]. Acta Agriculturae Boreali - Sinica, 2000,15(Supp.):167-174. (in Chinese)  
[2] 张会军,杜坤,郑子龙. 基质对侧柏网袋容器苗生长的影响[J]. 甘肃林业科技,2010(2):51-53.  
ZHANG H J,DU K,ZHENG Z L. Effect of matrix on growth

of patycladus orientalis seedlings with mesh bag container[J]. Journal of Gansu Forestry Science and Technolog, 2010(2): 51-53. (in Chinese)

[3] LANDIS D, TINUS R W, DONALD M S, *et al.* The Container Treenursery Manual, Vol. Two: Containers and Growing Media[M]. Washington: USDA Forest Service, 1990: 674.

[4] 常金宝, 邹受益, 周健荣. 梭梭容器育苗试验研究[J]. 内蒙古林学院学报, 1995(2): 96-104.

CHANG J B, ZOU S Y, ZHOU J Y. A study on container seedling of carcayr[J]. Journal of Inner Mongolia Forestry College, 1995(2): 96-104. (in Chinese)

[5] 刘勇. 我国苗木培育理论与技术进展[J]. 世界林业研究, 2000, 13(5): 43- 49

LIU Y. Advances in theory and techniques of seedling culture in China[J]. World Forestry Research, 2000, 13(5): 43- 49. (in Chinese)

[6] 刘勇, 朱学存. 兴安落叶松容器苗化学修根效果与根生长潜力测定的研究[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(2): 21-25.

LIU Y, ZHU X C. A study of the chemical root pruning technique for larix gmellini containerized seedlings[J]. Journal of Eeijing Forestry University, 1991, 13(2): 21-25. (in Chinese)

[7] 牛春山. 陕西树木志[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 928-935.

[8] 裴会明, 张瑛春, 张建华, 等. 甘肃南部生物质能源树种调查及应用[J]. 甘肃林业科技, 2007(4): 61-62.

[9] 段晓明, 顾文毅, 盛海彦. 不同基质对唐古特莢扦插容器育苗的影响[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(6): 62-64.

DUAN X M, GU W Y, SHENG H Y, *et al.* Effect of container-grown seedlings of different media for *Caryopteris tangutica* cutting[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(6): 62-64. (in Chinese)

[10] 侯元兆. 现代林业育苗的理念与技术[J]. 世界林业研究, 2007, 20(4): 25-29

HOU Y Z. Ideas and techniques of modern forest seedling cultivation[J]. World Forestry Research, 2007, 20(4): 25-29. (in Chinese)

[11] 李振问, 阮传成. 中国南方主要防火树种的防火特性及开发利用研究[J]. 自然资源学报, 1997, 12(4): 336-341.

LI Z W, RUAN C C. A study on the fire prevention characteristics and the development and utilization of the main fire prevention tree species in South China[J]. Journal of Natural Resources, 1997, 12(4): 336-341. (in Chinese)

[12] 林霞, 郑坚, 陈秋夏, 等. 无柄小叶榕容器育苗轻型基质配方筛选[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25(3): 401-404.

LIN X, ZHENG J, CHEN Q X, *et al.* Container seedling substrate with a light medium for *Ficus concl* var. *sudsessilis* [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2008, 25(3): 401-404. (in Chinese)

[13] 朱锦茹, 江波, 袁位高, 等. 阔叶树容器育苗关键技术研究[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(5): 0728-0733.

ZHU J R, JIANG B, YUAN W G, *et al.* Studies on the key technics for containerized seedling raising of broad-leaved trees[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2006, 28(5): 0728-0733. (in Chinese)

[14] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 811-838.

[15] 聂艳华. 中国建筑业生产技术及贡献的计量分析[J]. 惠州学院学报: 自然科学版, 2008, 28(3): 80-85

NIE Y H. Analysis of technology and contribution of China architectural industry[J]. Journal of Huizhou University, 2008, 28(3): 80-85. (in Chinese)

(上接第 52 页)

[13] GRANATO T C, RAPER C D. Proliferation of maize root in response to localized supply of nitrate[J]. Journal of Experimental Botany, 1989, 40: 263-275.

[14] HACKETT C. A method of applying nutrients locally to roots under controlled conditions and some morphological effect of locally applied nitrate on the branching of wheat roots[J]. Australia Journal of Biological Science, 1972, 25: 1169-1180.

[15] 孙向丽, 张启翔. 菇渣和锯末作为丽格海棠栽培基质的研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(1): 117-120.

SUN X L, ZHANG Q X. Studies on mushroom residue and the sawdust for growing media of *Begonia* × *elatior* [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(1): 117-120. (in Chinese)

[16] 刘丽娜, 徐程扬, 段永宏, 等. 北京市 3 种针叶绿化树种根系结构分析[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(1): 34-39.

LIU L N, XU C Y, DUAN Y H, *et al.* Root morphology of three greening conifer species in Beijing[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30(1): 34-39. (in Chinese)

[17] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.