

育苗基质对米老排容器苗生长及叶绿素荧光特性的影响

黎少玮, 尹光天*, 杨锦昌, 李荣生, 邹文涛, 余纽

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520)

摘要: 为筛选米老排容器苗生长的最佳基质配方, 研究了黄心土和轻基质不同配比对容器苗生长和叶绿素荧光特性的影响。结果表明, 米老排苗高、地径和总生物量随轻基质比例的增加呈先增加后降低的趋势, 且以 T₅ 处理(黄心土:轻基质=5:5)达最大值, 分别是对照的 3.60、1.97 和 13.5 倍。除主根长外, 各处理的根系指标均大于对照。随轻基质比例的增加, 米老排幼苗总根长、总根表面积、总根体积等均表现为先增加后减少的趋势, 以 T₅ 处理达到峰值; 而根系平均直径则随轻基质的增加呈增大的趋势。T₅ 处理的初始荧光 F₀ 最小、最大荧光 F_m 和 PSII 最大光化学效率(F_v/F_m)最大, 其光化学能力最强。因此, 米老排容器苗在黄心土:轻基质=5:5 中生长最优, 建议推广轻基质比例为 50%~60% 的混合基质作为米老排容器育苗基质。

关键词: 米老排; 容器苗; 基质配方; 荧光特性

doi: 10.11926/jtsb.3871

Effect of Media on Growth and Chlorophyll Fluorescence Characteristics of *Mytilaria laosensis* Container Seedlings

LI Shao-wei, YIN Guang-tian*, YANG Jin-chang, LI Rong-sheng, ZOU Wen-tao, YU Niu

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

Abstract: In order to screen out the optimal media formula for *Mytilaria laosensis* container seedling, the effect of different proportion of yellow soil and light media on the growth and chlorophyll fluorescence characteristics of container seedlings was investigated. The results showed that the seedling height, root diameter and total biomass tended to increase at first and then decrease with the increment of light media proportion, reaching up to the peak grown in T₅ media (yellow soil : light media=5 : 5), which were 3.60, 1.97 and 13.5 times more than those of control (yellow soil), respectively. Except of length of main root, the root indicators grown in all media were larger than those in control. With the increment of light substrate proportion, the total length, surface area and volume of seedlings root in all media increased at first and decreased later, and the peak appeared in T₅ media. The average diameter of seedling root generally increased with the increment of light media proportion. Among all media, the initial fluorescence (F₀) of seedlings grown in T₅ was the smallest, and the maximum fluorescence (F_m) and PSII maximum photochemical efficiency (F_v/F_m) in T₅ were the largest, showing the highest photochemical capacity. Therefore, the growth of *M. laosensis* container seedlings was the best in T₅ media (yellow soil : light media=5 : 5), it was suggest that the mixture media with 50% -60% of light media could be used as container nursery media for *M. laosensis*.

收稿日期: 2017-12-29

接受日期: 2018-02-02

基金项目: 广东省林业科技创新项目(2016KJCX004)资助

This work was supported by the Project for Forestry Science and Technology Innovation in Guangdong Province (Grant No. 2016KJCX004).

作者简介: 黎少玮(1992~), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为苗木培育理论与技术

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: yinguangtian@126.com

Key words: *Mytilaria laosensis*; Container seedling; Media formula; Fluorescence characteristics

育苗基质是苗木生长发育的载体,为苗木提供养分和水分,是影响苗木质量的关键因素之一^[1]。现在普遍认为比较适宜苗木生长的基质是草炭土与蛭石的混合基质,原因在于其具有容重小、密度适宜、透气性能好、阳离子交换能力强等优点^[2]。有研究表明,草炭土:蛭石=3:1的混合基质适宜大部分北美针叶树种的生长,并且常被用于培育斑克松(*Pinus banksiana*)、黑云杉(*Picea mariana*)和白云杉(*P. glauca*)等树种的苗木^[3]。Barnett 等认为泥炭和蛭石的混合基质对苗木生长效果较好^[4]。高继银等筛选出蛭石:泥炭=2:1和蛭石:河沙:泥炭=10:5:1两种比较适合山茶(*Camellia japonica*)盆栽苗生长的基质^[5]。金国庆等指出容器苗在以泥炭土为主的配比基质中生长较快,而以沤制后锯屑为主的配比基质中容器苗生长较慢^[6]。但是,随着林业的发展,生产上对泥炭的需求越来越大,而泥炭是不可再生资源,所以苗木培育者正竭力寻找泥炭的替代品,其中有机农林废弃物的利用成为未来基质选料的主要方向之一^[7]。因此,国内外开始关注当地农林废弃物的利用和轻质育苗基质的研发,包括树皮粉、椰糠、木屑、牛粪、枯枝落叶、炭化稻壳等^[8-9]。尚秀丽等研究表明,适合桉树(*Eucalyptus*)育苗的优质配方是腐熟椰糠:腐熟稻壳:腐熟木屑=2:1:4^[7]。王艺等研究表明,泥炭:谷壳或泥炭:树皮粉体积比为7:3的混合基质适宜浙江楠(*Phoebe chekiangensis*)容器苗生长,体积比为8:2较适宜闽楠(*P. bournei*)容器苗生长^[10]。李贵雨等建议推广以木耳废弃菌棒为主的混合基质作为白桦(*Betula platyphylla*)容器育苗基质^[11]。

米老排(*Mytilaria laosensis* Lecomte)别名壳菜果、三角枫、山桐油,是金缕梅科(Hamamelidaceae)壳菜果属常绿阔叶树种,主要天然分布于广东、广西和云南3个省区,是优良的速生用材树种^[12],同时也是混交造林、水土保持、土壤改良以及生物防火的优良树种,具有良好的经济和生态价值^[13]。国内对米老排的研究主要集中在人工纯林和混交林的生长效应和生态效益^[12,14-15]、材性分析^[16]和凋落物^[17]等方面。近年来,随着米老排在生产上不断得到推广应用,加强其苗木质量控制以及培育优质苗木显得尤为重要^[18]。育苗基质则是影响苗木质量的关键因素之一,而有关米老排容器育苗基质的相关

研究鲜有报道。因此,本研究以米老排常规育苗基质黄心土为对照,设置黄心土与农林废弃物轻基质的不同配比,探究不同基质配比对容器苗生长以及叶绿素荧光特性的影响,旨在筛选出米老排容器苗培育的最佳基质配方,为培育米老排优质苗木提供理论和技术支持。

1 材料和方法

1.1 材料

试验于2017年7-11月在中国林业科学研究院热带林业研究所(113°17' E, 23°8' N)温室大棚中开展。试验期间,没有使用人工光源,日平均温度26℃,日平均湿度68%。

试验材料为米老排实生苗,选取健壮、大小一致(高约3.5 cm)的沙床牙苗移植于育苗杯中,移定植时间为2017年7月16日。育苗容器为白色泡沫育苗盘,其外形尺寸是50 cm×32 cm×20 cm(长×宽×高),每盘有15个育苗杯,每杯尺寸为9 cm×4 cm×11 cm(上径×下径×高)。

育苗基质为黄心土和轻基质(广西省林业科学研究院研制),轻基质主要成分为农林废弃物(枯枝落叶)、珍珠岩、复合肥等,其中农林废弃物与珍珠岩体积比为5:1,复合肥添加量为6 g kg⁻¹。将黄心土和轻基质过筛(6目),用0.5%高锰酸钾溶液消毒,风干后备用。

1.2 试验设计

采用随机区组设计,以消毒备用的黄心土和轻基质的体积比为处理,共设10种基质配比(表1),以100%黄心土为对照。试验重复3次,每小区15株苗,试验共33个小区495株苗木。苗木移植后按常规育苗方法进行管理,试验期间共施入复合肥(N:P:K=15:15:15)共4次,每次每株施肥140 mg,施肥时间分别是2017年9月5、25日和10月12、31日。

1.3 基质理化性质的测定

容重的测量 将风干基质装入环刀中称总质量,容重=(总质量-环刀质量)/100。

孔隙度、持水力的测量 参照王春荣等^[19]的方

法。在环刀底部铺一张滤纸编号称重(W), 将烘干基质装入环刀内称总质量(W₁), 然后放入水盆中浸泡, 吸水达到饱和状态后称重(W₂), 将环刀倒置(有孔端朝下),

让环刀中的水流出, 直至环刀中没有水渗出为止, 称重(W₃)。总孔隙 = (W₂-W₁)/100 × 100%, 持水力 = (W₃-W₁) × 100 / (W₁-W)。各基质的物理性质见表 2。

表 1 基质配比(V/V)

Table 1 Media ratio (V/V)

基质 Media	对照 Control	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀
黄心土 Yellow soil	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
轻基质 Light media	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

表 2 不同育苗基质的物理性质

Table 2 Physical properties of different seedling-raising medium

基质 Matrix	容重 (g cm ⁻³) Volume weight	总孔隙 /% Total porosity	持水力 /% Water retention ability	基质 Matrix	容重 (g cm ⁻³) Volume weight	总孔隙 /% Total porosity	持水力 /% Water retention ability
对照 Control	1.14	41.83	32.14	T ₆	0.73	50.50	59.67
T ₁	1.09	43.35	33.54	T ₇	0.63	52.50	76.72
T ₂	1.05	44.00	34.09	T ₈	0.53	56.88	99.51
T ₃	0.99	46.38	37.30	T ₉	0.41	58.33	134.56
T ₄	0.84	45.20	50.02	T ₁₀	0.31	62.53	191.09
T ₅	0.82	46.47	49.57				

化学性质的测定 参照秦爱丽等^[20]的方法。用酸度计测定各基质的 pH (基质 : 水 = 1 : 2.5); 黄心土的 pH 为 4.83, 有机质含量 2.37 g kg⁻¹, 碱解氮、速效磷和速效钾分别为 16.56、0.14 和 27.41 mg kg⁻¹; 轻基质的 pH 为 5.46, 有机质含量 430.36 g kg⁻¹, 碱解氮、速效磷和速效钾分别为 1 641.28、3 148.38 和 4 443.88 mg kg⁻¹。

1.4 生长特性

苗高和地径 2017 年 8 月至 11 月, 每月中旬测量米老排的苗高和地径, 计算高径比, 其中苗高用钢尺测定, 精度 0.1 cm; 地径采用数显卡尺测定, 精度 0.01 mm。

生物量 试验结束时, 每小区选取 3 株平均标准苗木进行测定, 将苗木用去离子水洗净、晾干, 按根、茎、叶分别称鲜重, 置于 105℃ 烘箱中杀青 25 min, 然后在 70℃ 下烘至恒重, 用电子天平进行称量(精度为 0.01 g)。

根系发育特征 利用生物量测定所选定的苗木, 在苗木洗净后, 用高分辨率的平板扫描仪 (Win RHIZO, 加拿大) 获取根系图像, 然后用 Win RHIZO 根系分析系统测定苗木的总根长、总根表面积、总根体积和平均直径等。

叶面积 试验结束时, 每小区选取 3 株平均标准木, 每株从上往下数第 3、4 片健康叶片置于

密封袋中, 于实验室内用 LI-3000C 叶面积仪测定叶面积,

叶绿素荧光 试验结束时, 用 OS-30P+ 荧光仪测定叶绿素荧光参数, 包括初始荧光(F₀)、可变荧光(F_v)、最大荧光(F_m)和 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)。每小区选取 3 株平均标准木, 选取每株从上往下数第 4 片成熟叶片进行测量, 单片叶片重复 3 次。

1.5 数据分析

用 Excel 2013 软件对数据进行处理分析, 并制作图表。利用 SPSS 18.0 软件对数据进行方差分析, 采用 Duncan 法进行多重比较。采用 Fuzzy 函数法^[21]对苗木质量进行综合评价, 指标函数值计算公式为 R(X_i) = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}), 式中 X_i 为第 i 个指标值, X_{min} 和 X_{max} 分别是所有处理某一指标的最小值和最大值。

$$\text{综合评价值 } \Delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R(X_i), \text{ 式中 } n \text{ 为苗木质量}$$

指数。

2 结果和分析

2.1 基质配比对苗高和地径的影响

苗高 各基质对米老排苗生长初期苗高无显著影响, 从 9 月开始, 苗高在各基质间存在显著

差异($P<0.05$)。对照和 T_1 在生长初期苗高增长速度较快,从 9 月中旬开始增速变缓; T_2 、 T_6 、 T_7 、 T_8 、 T_9 、 T_{10} 在整个生长期的苗高增长速度基本保持稳定;而 T_3 、 T_4 、 T_5 的苗高增速持续加大。试验结束时, T_5 的苗高最大(31.7 cm), 其次为 T_4 (30.3 cm), 分别是对照(8.8 cm)的 3.60 和 3.44 倍, 他们与 T_2 、 T_3 和 T_7 间均无显著差异($P>0.05$); 所有处理中以 T_9 的苗高最小, 为 17.6 cm, 其次为 T_{10} , 两者间无显著差异($P>0.05$), 所有处理的苗高均显著高于对照($P<0.05$)。农林废弃物轻基质的加入有效改善了育苗基质的理化性质, 苗高生长随轻基质比例的增加基本呈现先增加后降低的趋势(表 3)。

地径 在米老排苗生长初期各基质间的地径无显著差异, 从 9 月开始, 各基质间的地径存在显著差异($P<0.05$)。对照和 T_9 的地径增速较稳定, 对照从 10 月中旬开始增速减缓; T_1 、 T_7 、 T_{10} 在整个生长期的地径增长速度基本稳定; 而 T_2 、 T_3 、

T_4 、 T_5 、 T_6 、 T_8 的地径增速持续加大, 其中 T_3 、 T_4 、 T_5 增速较大。试验结束时, 以 T_5 的地径最大(4.72 mm), 其次为 T_4 (4.66 mm), 分别是对照(2.40 mm)的 1.97 和 1.94 倍, 他们与 T_3 和 T_6 间均无显著差异($P>0.05$)。所有处理中 T_1 的地径最小(3.32 mm), 其次是 T_9 , 且差异不显著($P>0.05$), 所有处理的地径均显著高于对照($P<0.05$)。可见, 地径生长随轻基质比例的增加大体呈先增加后降低的趋势(表 3)。

高径比 苗木高径比是反映苗木质量的重要指标之一, 高径比相对越低, 苗木质量越高。试验结束时, 对长势较好的处理(T_3 、 T_4 和 T_5)进行比较, 以 T_3 的苗木高径比最大(6.78), 其次为 T_5 (6.60), T_4 的最小, 但差异未达显著水平($P>0.05$)。所有处理中以 T_9 苗木的高径比最小(4.86), 其次为 T_1 和 T_{10} , 且差异不显著($P>0.05$)。除 T_9 外, 各处理的苗木高径比均显著大于对照(3.69)。

表 3 不同育苗基质对米老排容器苗生长指标的影响

Table 3 Effect of different medium on the growth indices of *Mytilaria laosensis* container seedling

	8-21		9-21		10-20		11-20		高径比 Ratio of height to ground diameter
	苗高 Height (cm)	地径 (mm) Ground diameter	苗高 Height (cm)	地径 (mm) Ground diameter	苗高 Height (cm)	地径 (mm) Ground diameter	苗高 Height (cm)	地径 (mm) Ground diameter	
对照 Control	5.8 ± 0.1	1.89 ± 0.01	7.2 ± 0.1d	2.11 ± 0.02c	7.7 ± 0.1d	2.26 ± 0.04f	8.8 ± 0.2e	2.40 ± 0.03f	3.69 ± 0.11e
T_1	6.8 ± 0.4	1.99 ± 0.07	10.7 ± 0.9bc	2.36 ± 0.10abc	15.5 ± 1.0bc	2.78 ± 0.10e	17.7 ± 1.6d	3.32 ± 0.10e	5.19 ± 0.33cd
T_2	6.6 ± 0.2	2.07 ± 0.04	12.4 ± 0.3abc	2.52 ± 0.05ab	19.4 ± 0.9ab	3.08 ± 0.06cde	25.9 ± 3.4abc	3.92 ± 0.19de	6.81 ± 0.64a
T_3	6.6 ± 0.1	1.92 ± 0.09	13.9 ± 0.9a	2.60 ± 0.05ab	20.9 ± 0.9a	3.24 ± 0.10abcd	30.0 ± 1.3ab	4.37 ± 0.11ab	6.78 ± 0.44ab
T_4	6.1 ± 0.4	1.99 ± 0.09	13.0 ± 1.5abc	2.69 ± 0.17a	20.9 ± 1.1a	3.57 ± 0.16ab	30.3 ± 0.5ab	4.66 ± 0.10a	6.35 ± 0.23abc
T_5	6.1 ± 0.6	1.97 ± 0.04	12.4 ± 0.7abc	2.67 ± 0.11a	20.6 ± 1.3a	3.61 ± 0.12a	31.7 ± 1.0a	4.72 ± 0.08a	6.60 ± 0.29ab
T_6	6.1 ± 0.5	2.04 ± 0.15	11.9 ± 1.0abc	2.71 ± 0.18a	17.2 ± 1.6abc	3.31 ± 0.03abc	24.7 ± 1.5bc	4.28 ± 0.08ab	5.60 ± 0.27abcd
T_7	6.1 ± 0.3	1.87 ± 0.06	12.4 ± 0.6abc	2.69 ± 0.14a	18.6 ± 0.9ab	3.24 ± 0.08abcd	25.1 ± 2.4abc	3.99 ± 0.10bc	5.96 ± 0.58abcd
T_8	6.4 ± 0.4	2.01 ± 0.05	13.5 ± 0.9ab	2.74 ± 0.04a	18.9 ± 1.9ab	3.36 ± 0.05abc	24.7 ± 3.1bc	4.21 ± 0.09bc	5.84 ± 0.62abcd
T_9	5.5 ± 0.4	1.85 ± 0.10	10.0 ± 1.1c	2.26 ± 0.15bc	13.8 ± 1.6c	2.90 ± 0.17de	17.6 ± 1.7d	3.51 ± 0.16de	4.86 ± 0.35de
T_{10}	5.8 ± 0.4	1.92 ± 0.08	11.1 ± 1.3abc	2.58 ± 0.19ab	15.9 ± 1.5bc	3.22 ± 0.20bcd	21.3 ± 2.9cd	3.83 ± 0.36cd	5.43 ± 0.29bcd

同列数后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Data followed different letters indicate significant differences at 0.05 level. The same is following Tables.

2.2 基质比对生物量的影响

生物量是反映苗木物质积累的重要指标之一。由图 1 可以看出, 随着轻基质比例的增加, 米老排苗木单株总生物量呈先增加后下降的变化趋势。总生物量以 T_5 (6.90 g) 最大, 其次为 T_6 (6.57 g), 分别是对照(0.51 g)的 13.5 和 12.9 倍, 但差异不显著($P>0.05$)。所有处理中总生物量最小的是 T_1 (2.60 g), 其

次是 T_9 (3.02 g), 均显著大于对照。地上生物量表现为先增加后下降的变化趋势, 以 T_5 的最大, 为 5.67 g, 其次为 T_6 (5.42 g), 分别是对照(0.34 g)的 16.7 和 15.9 倍; 所有处理中 T_1 的地上生物量最小, T_9 的次之, 均显著大于对照($P<0.05$); 地下生物量大体也表现出先增加后下降的变化趋势, 以 T_5 的最大(1.23 g), 是对照(0.17 g)的 7.3 倍, 所有处理中地

下生物量最小的是 T₉, 均显著大于对照($P < 0.05$)。

2.3 基质比对根系形态的影响

从表 4 可看出, 不同基质配比间的苗木主根长、总根长、总根表面积、总根体积和根平均直径均有显著差异($P < 0.05$)。对照的主根长显著大于各基质处理, 但其总根长、总表面积、总体积和平均直径均小于各基质处理。T₅ 的总根长最大(3 519.44 cm), 其次分别为 T₆、T₂、T₃, 三者间无显著差异($P > 0.05$), 但显著大于对照(559.96 cm); T₅ 的总根表面积最大(619.09 cm²), 其次是 T₆(578.30 cm²), 差异不显著($P > 0.05$), 但显著大于对照(70.03 cm²); 同样, T₅ 的总根体积最大(8.67 cm³), T₆的(578.30 cm³)次之, 差异不显著($P > 0.05$), 但显著大于其他处理。根系平均直径随轻基质比例的增加呈逐渐增大的趋势, 对照的根平均直径(0.42 mm)显著小于各基质处理($P < 0.05$)。

表 4 不同育苗基质对米老排容器苗根系形态指标的影响

Table 4 Effect of different medium on the root morphological indices of *Mytilaria laosensis* container seedlings

处理 Treatment	主根长 (cm) Length of main root	总根长 (cm) Total length of root	总表面积 (cm ²) Total superficial area	总体积 (cm ³) Total volume	平均直径 (mm) Average diameter
对照 Control	13.6 ± 0.8a	559.96 ± 109.76c	74.03 ± 13.94e	0.78 ± 0.14c	0.42 ± 0.01e
T ₁	9.0 ± 0.3c	1 613.78 ± 308.75bc	257.62 ± 50.41cde	3.28 ± 0.66bc	0.51 ± 0.01cd
T ₂	9.1 ± 0.1c	2 570.11 ± 545.44a	390.63 ± 77.21bc	4.73 ± 0.87b	0.49 ± 0.01d
T ₃	10.1 ± 0.3bc	2 492.74 ± 530.48ab	402.44 ± 86.85bc	5.17 ± 1.13b	0.51 ± 0.00cd
T ₄	9.5 ± 0.4bc	1 657.82 ± 264.61bc	276.41 ± 42.65cde	3.67 ± 0.55bc	0.53 ± 0.01bcd
T ₅	9.7 ± 0.3bc	3 519.44 ± 612.68a	619.09 ± 118.11a	8.68 ± 1.80a	0.56 ± 0.01bc
T ₆	9.9 ± 0.8bc	3 261.67 ± 369.65a	578.30 ± 89.29ab	8.24 ± 1.68a	0.56 ± 0.03bc
T ₇	9.2 ± 0.8c	1 568.32 ± 159.66bc	285.51 ± 26.36cd	4.14 ± 0.36b	0.58 ± 0.01ab
T ₈	11.6 ± 0.1b	1 515.06 ± 375.65bc	272.80 ± 70.82cde	3.93 ± 1.09b	0.57 ± 0.03ab
T ₉	10.9 ± 0.2bc	938.71 ± 239.87c	180.21 ± 38.48de	2.76 ± 0.48bc	0.62 ± 0.03a
T ₁₀	9.8 ± 1.4bc	1 715.85 ± 252.43bc	303.36 ± 42.13cd	4.28 ± 0.59b	0.57 ± 0.01b

2.4 基质比对叶面积的影响

由图 2 可知, 不同基质配比间的米老排容器苗单片叶面积差异显著($P < 0.05$)。试验结束时, 米老排苗叶面积随轻基质比例的增加表现为先增加后下降的变化趋势(图 2), 以 T₆ 的叶面积最大(171.36 cm²), T₅(153.91 cm²)的次之, 分别是对照(19.26 cm²)的 8.9 和 8.0 倍。T₉ 的叶面积最小, 其次是 T₂。T₅、T₆、T₇ 间和 T₁、T₈、T₉ 和 T₁₀ 间的叶面积差异不显著($P > 0.05$), 但各处理的叶面积显著大于对照($P < 0.05$)。

2.5 基质比对叶绿素荧光特性的影响

由表 5 可知, 各处理间的初始荧光(F₀)、最大

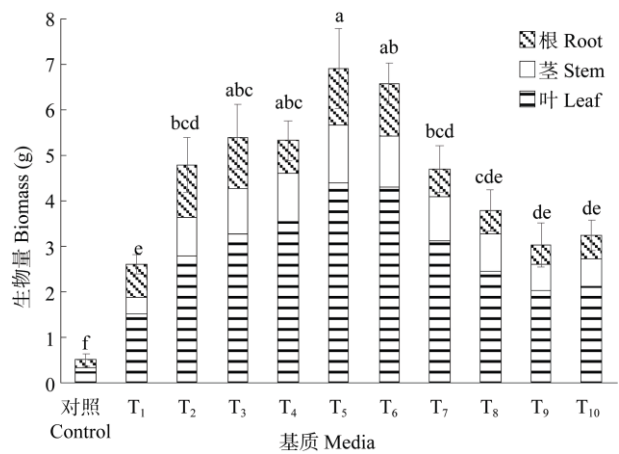


图 1 不同育苗基质对米老排容器苗生物量的影响。柱上不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

Fig. 1 Effect of different medium on biomass of *Mytilaria laosensis* container seedlings. Different Letters upon column indicate significant differences in total biomass at 0.05 level. The same is followed Figures.

荧光(F_m)和最大光化学效率(F_v/F_m)等指标均达显著差异($P < 0.05$)。F₀ 是 PS II 反应中心全部开放时的荧光, 与叶绿素含量有关, 而与光合作用光化学反应无关^[22]。所有处理中, 以 T₉ 的 F₀ 最大(349.5), T₁ 次之(306.8), 而 T₃~T₆ 基质上幼苗长势较好, F₀ 均较小。F_m 是 PS II 反应中心完全关闭时的荧光, 是光合作用的理论最大值。各基质上幼苗叶片的 F_m 均显著大于对照($P < 0.05$), 以 T₅ 的最大(1 301.1), 其次为 T₇ (1 295.0), 分别是对照(965.3)的 1.35 和 1.34 倍。F_v/F_m 表示 PS II 的最大量子产量, 反映植物 PS II 反应中心的光能转换效率^[23], 以 T₅ 的最大(0.806), 其次为 T₈ (0.801), 而 T₉ 的最小。

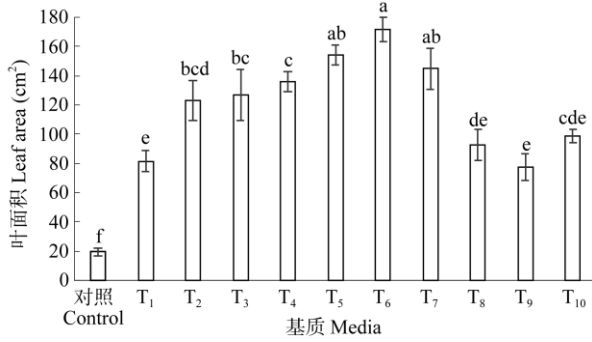


图 2 育苗基质对米老排容器苗叶面积的影响
Fig. 2 Effect of substrate matrix on leaf area of *Mytilaria laosensis* container seedlings

2.6 综合评价

运用 Fuzzy 函数法对 11 个基质上的米老排苗木质量进行综合评价(表 6), 结果表明, 综合评价排名

第一的是 T₅, 其次是 T₆, T₃、T₅ 和 T₆ 的综合评价价值均大于 0.8。综合评价最差的是对照, 苗木生长情况最差, 其次是 T₉, 综合评价价值仅为 0.37。因此, 米老排苗木生长的最佳基质配比是 T₅ (黄心土: 轻基质=5:5), 其次是 T₆ (黄心土: 轻基质=4:6)。

3 讨论和结论

育苗基质是容器育苗的关键影响因素之一, 其理化性质对苗木生长具有决定性作用。苗木地上形态的变化直接体现不同育苗基质对容器苗的影响情况^[11]。本研究以常规育苗基质黄心土为对照, 设置黄心土与农林废弃物轻基质的不同配比, 旨在探究适合米老排容器苗生长的最佳基质。从各基质理化性质来看, 各基质的 pH 为 4.50~5.94, 符合米老排苗的生长需求。本研究结果表明, 各基质培育的

表 5 不同育苗基质对米老排容器苗叶绿素荧光参数的影响

Table 5 Effect of different medium on chlorophyll fluorescence parameters of *Mytilaria laosensis* seedlings

处理 Treatment	初始荧光 (Fo) Minimal fluorescence	可变荧光 (Fv) Variable fluorescence	最大荧光 (Fm) Maximum fluorescence	最大光化学效率 (Fv/Fm) Maximum photochemical efficiency
对照 Control	271.3 ±12.5bc	694.0 ±19.4e	965.3 ±25.4c	0.719 ±0.010e
T ₁	306.8 ±20.0b	939.7 ±32.5abc	1 246.5 ±42.9ab	0.754 ±0.116d
T ₂	266.5 ±5.4c	1 025.8 ±29.8ab	1 292.3 ±32.0a	0.793 ±0.005abc
T ₃	260.5 ±7.2c	943.3 ±13.7abc	1 203.8 ±17.0ab	0.783 ±0.005abcd
T ₄	262.4 ±6.0c	919.3 ±49.7bcd	1 181.6 ±49.5b	0.774 ±0.012bcd
T ₅	251.9 ±4.8c	1 049.3 ±8.84a	1 301.1 ±12.4a	0.806 ±0.002a
T ₆	258.3 ±13.2c	903.5 ±16.2cd	1 161.8 ±17.6b	0.778 ±0.010abcd
T ₇	273.5 ±20.4bc	1 021.5 ±13.0ab	1 295.0 ±25.6a	0.789 ±0.012abc
T ₈	249.6 ±11.8c	1 010.1 ±45.4abc	1 259.7 ±55.6ab	0.801 ±0.004ab
T ₉	349.5 ±14.0a	844.3 ±24.1d	1 193.8 ±18.4ab	0.706 ±0.013e
T ₁₀	273.3 ±10.5bc	919.3 ±61.4bcd	1 192.5 ±53.1ab	0.768 ±0.018cd

表 6 苗木质量的指标函数值和综合评价

Table 6 Index function values and comprehensive evaluation of seedling quality

处理 Treatment	苗高 Height (cm)	地径 (mm) Ground diameter	地上生物量 Above-ground biomass (g)	地下生物量 Under-ground biomass (g)	总生物量 Total biomass (g)	叶面积 Leaf area (cm ²)	综合评价价值 Comprehensive evaluation value	排名 Rank
对照 Control	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11
T ₁	0.39	0.40	0.29	0.50	0.33	0.41	0.39	9
T ₂	0.77	0.65	0.62	0.93	0.67	0.68	0.72	5
T ₃	0.91	0.85	0.73	0.91	0.76	0.71	0.81	3
T ₄	0.94	0.98	0.80	0.51	0.75	0.77	0.79	4
T ₅	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.98	1
T ₆	0.64	0.81	0.96	0.92	0.95	1.00	0.88	2
T ₇	0.69	0.68	0.70	0.42	0.66	0.83	0.66	6
T ₈	0.68	0.78	0.55	0.32	0.51	0.48	0.55	7
T ₉	0.35	0.48	0.43	0.22	0.39	0.38	0.37	10
T ₁₀	0.49	0.62	0.45	0.32	0.43	0.52	0.47	8

米老排苗木的苗高、地径和叶面积随轻基质比例的增加呈现先增加后降低的变化趋势,且均显著优于黄心土培育的苗木,这与陈连庆等^[24]的研究结果相同。综合各生长指标来看, T_5 (黄心土:轻基质=5:5)最有利于米老排容器苗的生长,其次为 T_6 (黄心土:轻基质=4:6),而 T_9 (黄心土:轻基质=1:9)和 T_{10} (100%轻基质)上的苗木长势较差。

育苗基质中营养元素含量直接影响苗木生物量的积累。本研究结果表明,不同配比基质上的苗木生物量积累均大于对照(黄心土),可能是黄心土总孔隙较低、养分含量不足等导致。随着轻基质比例的增加,基质理化性质得到改善,不仅为苗木根系生长提供了相适应的生长环境,也为苗木生长提供了养分供应^[25],因而促进了苗木生物量的积累。但是,轻基质比例也不是越多越好,单株总生物量积累随轻基质比例的增加呈先增加后下降的趋势,以 T_5 的总生物量最大(6.90 g),其次为 T_6 (6.57 g)。 T_4 (黄心土:轻基质=6:4)的养分含量高于 T_3 ,但苗木根系的生长量反而较小,说明 T_4 基质比 T_3 基质不利于米老排苗木根系生长,具体原因有待进一步研究。此外, T_9 (黄心土:轻基质=1:9)和 T_{10} (100%轻基质)上的米老排苗木长势不佳,且易出现烂根现象,可能是轻基质比例高,养分含量过高,反而对苗木产生毒害作用^[26-27]。因此,黄心土和轻基质混合配比中轻基质比例宜在50%~60%内,过多或过少均不利于米老排容器苗的生长发育。

基质能否适合培育苗木生长的基本要求是看能否满足植株根系生长的需要^[28]。秦国峰等指出,容重低、疏松通气、有机质和氮磷含量高的基质,有利于苗木生长和根系发育,相反,苗木生长和根系发育就会受到影响^[29]。本研究结果表明,不同基质配比对米老排容器苗的主根长、总根长、总根表面积、总根体积以及根平均直径等指标的影响均显著($P<0.05$),除主根长外,各基质的根系指标均大于对照。随轻基质比例的增加,苗木的总根长、总根表面积、总根体积等均表现为先增加后下降的变化趋势,以 T_5 基质上的苗木最大,这可能是该配比基质的理化性质为米老排苗生长提供了适宜的水、肥、气、热环境,有利于根系的生长发育,这与李贵雨等^[1]的研究结果相似。从表2可以看出,随轻基质比例的增加,基质容重越来越小,总孔隙度不断增加,而苗木根系平均直径也不断增加,说明容重越低、总孔隙越大,苗木根系越粗壮。

PS II对逆境胁迫很敏感,植物叶片的PS II的光化学反应特性是衡量逆境胁迫对光合器官的有效指标^[30]。因此,光化学反应特性一定程度反映了苗木的生长状况。各配比基质中,以 T_9 (黄心土:轻基质=1:9)的长势最差,其初始荧光(F_0)也最大,表明该基质配比不利于米老排苗根系的生长发育。苗木生长状况较差,初始荧光值较大。而长势较好的苗木,初始荧光值均较低,最大荧光(F_m)和最大光化学效率(F_v/F_m)均较高,潜在最大光合能力较强, T_5 基质(黄心土:轻基质=5:5)上苗木的 F_m 和 F_v/F_m 最大,表明PS II活性和光化学效率较高,有助于光合色素将所捕获的光能以较高的效率转化为化学能,有利于光合效率的提高,从而促进植株生长发育^[31]。

目前,泥炭资源匮乏且不可再生,价格也比较昂贵,因此,在满足苗木生长需求的情况下,寻求来源丰富、易获取且成本低的农林废弃物来替代泥炭对容器育苗的发展至关重要^[8-11]。本研究以黄心土和轻基质为主要材料,探究不同基质配比对米老排容器苗生长的影响,结果表明,轻基质比例为50%~60%的混合基质较适合苗木根系和地上部分的生长。从育苗基质成本上看,1 m³的进口泥炭价格约为667元,而容易获得、成本较低的轻基质价格约为200元,黄心土价格约为78元。混合基质不仅节约了育苗成本,也可减少农林废弃物的焚烧,从而起到保护环境的作用^[9]。因此,利用农林废弃物混合基质代替泥炭土栽培米老排幼苗更加经济且符合当前建设生态化城市的要求。

用以黄心土和农林废弃物轻基质所组成基质培育的米老排容器苗,其苗高、地径、叶面积、生物量积累和根系发育均优于常规黄心土容器苗。综合来看,米老排容器苗适宜在以黄心土和轻基质的混合基质中生长,不仅弥补了黄心土育苗的缺陷,为苗木生长提供适宜的生长环境和养分条件,也节省育苗成本。因此,考虑泥炭土资源的不可再生性,采用成本较低的黄心土与质量较轻的农林废弃物混合基质作为米老排容器育苗基质具有一定的可行性,建议推广轻基质比例为50%~60%的混合基质作为米老排容器育苗基质。

参考文献

- [1] DENG Y, LIU Z F. Study on growing medium and growth law for containerized seedling stocks grown in greenhouse [J]. Sci Silv Sin, 2000, 36(5): 33-39. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2000.05.006.

- 邓煜, 刘志峰. 温室容器育苗基质及苗木生长规律的研究 [J]. 林业科学, 2000, 36(5): 33–39. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2000.05.006.
- [2] LOU J S, LIU Y, MA L Y, et al. Effect of mushroom residue compost medium on growth of containerized *Larix principis-rupprechtii* Mayr seedlings [J]. J NE For Univ, 2015, 43(5): 1–5. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2015.05.001.
- 娄军山, 刘勇, 马履一, 等. 蘑菇渣堆肥做基质对华北落叶松容器苗生长的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(5): 1–5. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2015.05.001.
- [3] PHIPPS H M. Growing media affect size of container-grown red pine [C]// North Central Forest Experiment Station, Forest Service. Minnesota: U. S. Department of Agriculture, 1974: 1–4.
- [4] BARNETT J P, BRISSETTE J C. Producing Southern Pine Seedlings in Containers [M]. New Orleans, LA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1986: 71.
- [5] GAO J Y, SHAO B B, XU H M. Selection of artificial potting media and formulations of fertilization for *Camellia japonica* [J]. For Res, 1991, 4(3): 309–313.
- 高继银, 邵蓓蓓, 许宏明. 山茶花人工盆栽基质及施肥配方的选择 [J]. 林业科学研究, 1991, 4(3): 309–313.
- [6] JIN G Q, ZHOU Z C, HU H B, et al. Studies on container seedlings cultural techniques of three native broad-leaved tree species [J]. For Res, 2005, 18(4): 387–392. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2005.04.004.
- 金国庆, 周志春, 胡红宝, 等. 3 种乡土阔叶树种容器育苗技术研究 [J]. 林业科学研究, 2005, 18(4): 387–392. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2005.04.004.
- [7] SHANG X H, XIE Y J, YANG X H, et al. Different mixing proportion media on *Eucalyptus* seedling [J]. Chin J Trop Crops, 2012, 33(12): 2150–2155. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2012.12.006
- 尚秀华, 谢耀坚, 杨小红, 等. 不同配比的腐熟基质对桉树育苗效果影响的研究 [J]. 热带作物学报, 2012, 33(12): 2150–2155. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2012.12.006.
- [8] REZA N M, FREDERIC S, JEAN-PIERRE F, et al. Potential use of biochar in growing media [J]. Vadose Zone J, 2015, 14(6): 1–8. doi: 10.2136/vzj2014.06.0074.
- [9] WANG X Y, LIN X Z, LI L, et al. Physical and chemical properties of several kinds of agriculture and forestry waste composite matrix and their effect on container seedling of *Phoebe chekiangensis* [J]. J Zhejiang Agric For Univ, 2013, 30(5): 674–680. doi: 10.11833/j.issn.2095-0756.2013.05.007.
- 王旭艳, 林夏珍, 李琳, 等. 几种农林废弃物复合基质的理化特性及对浙江楠容器育苗的效果 [J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(5): 674–680. doi: 10.11833/j.issn.2095-0756.2013.05.007.
- [10] WANG Y, WANG X H, ZHANG L Z, et al. Effects of different cultivation substrates on growth and root system development of container seedlings of *Phoebe chekiangensis* and *P. bournei* [J]. J Plant Resour Environ, 2013, 22(3): 81–87. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.03.13.
- 王艺, 王秀花, 张丽珍, 等. 不同栽培基质对浙江楠和闽楠容器苗生长和根系发育的影响 [J]. 植物资源与环境学报, 2013, 22(3): 81–87. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.03.13.
- [11] LI G Y, WEI X, TANG Y Y, et al. Growth and nutrient content of *Betula platyphylla* container seedling in different light media [J]. Sci Silv Sin, 2016, 52(7): 30–37. doi: 10.11707/j.1001-7488.20160704.
- 李贵雨, 卫星, 汤园园, 等. 白桦不同轻基质容器苗生长及养分分析 [J]. 林业科学, 2016, 52(7): 30–37. doi: 10.11707/j.1001-7488.20160704.
- [12] GUO W F, CAI D X, JIA H Y, et al. Growth laws of *Mytilaria laosensis* plantation [J]. For Res, 2006, 19(5): 585–589. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2006.05.008.
- 郭文福, 蔡道雄, 贾宏炎, 等. 米老排人工林生长规律的研究 [J]. 林业科学研究, 2006, 19(5): 585–589. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2006.05.008.
- [13] HUANG Z T, WANG S F, JIANG Y M, et al. Exploitation and utilization prospects of eximious native tree species *Mytilaria laosensis* [J]. Guangxi Agric Sci, 2009, 40(9): 1220–1223. doi: 10.3969/j.issn.2095-1191.2009.09.026.
- 黄正墩, 王顺峰, 姜仪民, 等. 米老排的研究进展及其开发利用前景 [J]. 广西农业科学, 2009, 40(9): 1220–1223. doi: 10.3969/j.issn.2095-1191.2009.09.026.
- [14] GUO W F. An analysis of relationship between growth and site condition of *Mytilaria laosensis* plantation [J]. For Res, 2009, 22(6): 835–839. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2009.06.015.
- 郭文福. 米老排人工林生长与立地的关系 [J]. 林业科学研究, 2009, 22(6): 835–839. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2009.06.015.
- [15] MING A G, TAO Y, WU G Z, et al. The study of the growth and biomass of *Mytilaria laosensis* plantation in different slope positions [J]. Chin Agric Sci Bull, 2011, 27(28): 90–93.
- 明安刚, 陶怡, 吴光枝, 等. 不同坡位米老排人工林生长量与生物量的研究 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(28): 90–93.
- [16] LIANG S Q, LUO J J. Study of physical and mechanical properties of wood from *Mytilaria laosensis* plantation [J]. J CS Univ For Technol, 2007, 27(5): 97–100,116.
- 梁善庆, 罗建举. 人工林米老排木材的物理力学性质 [J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(5): 97–100,116.
- [17] ZHANG Y F, YIN G T, YANG J C, et al. Effects of planting densities on production and dynamics of litter of *Mytilaria laosensis* plantation [J]. Bull Bot Res, 2017, 37(5): 768–777. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2017.05.018.

- 张阳锋, 尹光天, 杨锦昌, 等. 造林密度对米老排凋落物量及动态的影响 [J]. 植物研究, 2017, 37(5): 768–777. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2017.05.018.
- [18] YAN C X, YANG J C, YIN G T, et al. Analysis of the morphological characteristics of height-classified *Mytilaria laosensis* seedlings [J]. For Resour Manag, 2013(5): 98–102. doi: 10.13466/j.cnki.lyzygl.2013.05.025.
- 闫彩霞, 杨锦昌, 尹光天, 等. 米老排不同高度级苗木形态特征的分析 [J]. 林业资源管理, 2013(5): 98–102. doi: 10.13466/j.cnki.lyzygl.2013.05.025.
- [19] WANG C R, BI J, DING Y J, et al. Effects of nursery substrates on the growth of *Pinus tabulaeformis* container seedlings [J]. Chin For Sci Technol, 2010, 24(5): 84–87. doi: 10.3969/j.issn.1000-8101.2010.05.023.
- 王春荣, 毕君, 丁玉洁, 等. 不同基质对油松容器苗生长的影响 [J]. 林业科技开发, 2010, 24(5): 84–87. doi: 10.3969/j.issn.1000-8101.2010.05.023.
- [20] State Forestry Bureau. Standards for Forestry of the People's Republic of China: Forest Soil Analysis Method [S]. Beijing: China Standards Press, 1999.
- 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准——森林土壤分析方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [21] QIN A L, GUO Q S, JIAN Z J, et al. Effects of different nursery substrates on germination rate and seedling growth of *Thuja sutchuenensis* [J]. Sci Silv Sin, 2015, 51(9): 9–17. doi: 10.11707/j.1001-7488.20150902.
- 秦爱丽, 郭泉水, 简尊吉, 等. 不同育苗基质对圃地崖柏出苗率和苗木生长的影响 [J]. 林业科学, 2015, 51(9): 9–17. doi: 10.11707/j.1001-7488.20150902.
- [22] HUANG Q X, ZHAO S, LIU C M, et al. Effects of shading treatments on chlorophyll fluorescence characteristics of *Sabina vulgaris* seedlings grown in iron tailings media [J]. Sci Silv Sin, 2015, 51(6): 17–26. doi: 10.11707/j.1001-7488.20150603.
- 黄秋娴, 赵顺, 刘春梅, 等. 遮荫处理对铁尾矿基质臭柏实生苗快速叶绿素荧光特性的影响 [J]. 林业科学, 2015, 51(6): 17–26. doi: 10.11707/j.1001-7488.20150603.
- [23] WAN P, XIONG X Z, HUANG X H, et al. Effects of pesticides stress on the chlorophyll fluorescence characteristics and growth of *Vernicia fordii* seedlings [J]. Sci Silv Sin, 2016, 52(7): 22–29. doi: 10.11707/j.1001-7488.20160703.
- 万盼, 熊兴政, 黄小辉, 等. 2种农药胁迫对油桐幼苗叶绿素荧光特性及生长的影响 [J]. 林业科学, 2016, 52(7): 22–29. doi: 10.11707/j.1001-7488.20160703.
- [24] CHEN L Q, HAN N L. Study on mediums for seedlings in pot of masson pine and Chinese fir [J]. For Res, 1996, 9(2): 165–169.
- 陈连庆, 韩宁林. 马尾松、杉木容器苗培育基质研究 [J]. 林业科学研究, 1996, 9(2): 165–169.
- [25] HEISKANEN J. Effects of compost additive in sphagnum peat growing medium on Norway spruce container seedlings [J]. New For, 2013, 44(1): 101–118. doi: 10.1007/s11056-011-9304-6.
- [26] HU J W, LIU Y, MA L Y, et al. Effects of garden waste compost additive in growing medium on *Pinus tabulaeformis* container seedlings [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci), 2015, 39(5): 81–86. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.2015.05.013.
- 胡嘉伟, 刘勇, 马履一, 等. 园林废弃物堆肥替代油松容器苗基质材料的研究 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(5): 81–86. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.2015.05.013.
- [27] CUI N N, ZHAN C S, HU J J, et al. Effects of different substrate materials on growth biomass and nutrient element contents of *Camellia oleifera* container seedlings [J]. Bull Bot Res, 2017, 37(1): 96–103. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2017.01.013.
- 崔娜娜, 詹长生, 胡娟娟, 等. 不同基质材料对油茶容器苗生长生物量及养分含量的影响 [J]. 植物研究, 2017, 37(1): 96–103. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2017.01.013.
- [28] CHANG J, WANG K L, YAO X H, et al. Research on growth of pecan seedlings and roots affected by different substrate and container [J]. J SW Chin Norm Univ (Nat Sci), 2012, 37(8): 86–91. doi: 10.13718/j.cnki.xsxb.2012.08.008.
- 常君, 王开良, 姚小华, 等. 不同基质、不同容器对薄壳山核桃苗木根系生长影响的研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2012, 37(8): 86–91. doi: 10.13718/j.cnki.xsxb.2012.08.008.
- [29] QIN G F, WU T L, JIN G Q, et al. Studies on techniques for breeding seedlings of *Pinus massoniana* with root-thinning container [J]. J Zhejiang For Sci Technol, 2000, 20(1): 68–73.
- 秦国峰, 吴天林, 金国庆, 等. 马尾松舒根型容器苗培育技术研究 [J]. 浙江林业科技, 2000, 20(1): 68–73.
- [30] JIA Y X, SUN J, WANG L P, et al. Thermal dissipation pathway in cucumber seedling leaves under hypoxia stress [J]. Chin J Appl Ecol, 2011, 22(3): 707–712.
- 贾永霞, 孙锦, 王丽萍, 等. 低氧胁迫下黄瓜植株热耗散途径 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 707–712.
- [31] YAN X, WEN S Z, GUO W P, et al. Effects of fertilization treatment on *Phoebe bournei* seedlings chlorophyll fluorescence characteristics in high temperature season [J]. J CS Univ For Technol, 2015, 35(8): 73–76. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923X.2015.08.015.
- 颜珣, 文仕知, 郭文平, 等. 施肥处理在高温季节对闽楠幼林叶绿素荧光特性的影响 [J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(8): 73–76. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923X.2015.08.015.