

马永征,何舒怀,唐巍,等. 3 种楠属植物 2 年生苗生长规律及光合生理特性[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):122-125.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.032

# 3 种楠属植物 2 年生苗生长规律及光合生理特性

马永征<sup>1</sup>, 何舒怀<sup>1</sup>, 唐巍<sup>2</sup>, 王东<sup>3</sup>, 费永俊<sup>1</sup>

(1. 长江大学园艺园林学院, 湖北荆州 434025; 2. 基因组科学与政策研究所, 美国北卡罗来纳州达勒姆市 27708;  
3. 品道建筑园林工程有限公司, 湖北武汉 430040)

**摘要:**以闽楠 [*Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang]、浙江楠 (*Phoebe chekiangensis* C. B. Shang)、桢楠 (*Phoebe zhennan*) 3 种楠属植物 2 年生幼苗作为试材进行移栽, 并测量其苗高、基径、春夏秋梢生长量、叶数和分枝数等生长指标, 测定了其净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )、气孔导度 ( $G_s$ ) 等光合指标, 以及可溶性蛋白、超氧化物歧化酶 (SOD)、丙二醛 (MDA) 等生理指标。结果表明, 桢楠的生长和生理指标都优于浙江楠、闽楠, 桢楠生长状况最好, 对环境的适应能力较强。

**关键词:**楠属植物; 生长规律; 光合特性; 生理特性

**中图分类号:** Q945.32; S792.240.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0122-04

楠木为中国及南亚特有的珍贵树种, 它包括樟科 (Lauraceae) 润楠属 (*Machilus* Nees) 和楠属 (*Phoebe* Nees) 植物。因其在家具制作、木雕工艺及园林绿化等方面具有广泛的应用价值和经济价值, 楠木资源遭到了严重的掠夺, 天然林资源濒临枯竭。楠属植物中桢楠 (*Phoebe zhennan*)、浙江楠 (*Phoebe chekiangensis* C. B. Shang) 和闽楠 [*Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang] 均为国家 II 级重点保护野生植物<sup>[1-2]</sup>。现存的楠木资源多作为古树名木或风水林被保存, 散生于村边或祠堂旁<sup>[3-4]</sup>, 因此, 在学术界掀起了楠木研究热潮。范剑明等全面研究了楠木播种育苗技术<sup>[5-7]</sup>; 朱雁阐述了楠木容器苗芽苗移栽技术<sup>[8]</sup>; 王艺等研究了不同栽培基质对楠木根系发育的影响<sup>[9]</sup>; 钟灼坤指出, 播种密度、苗期追肥以及病虫害的防治与楠木高效快速育苗具有相关性<sup>[10]</sup>; 刘刚等则对楠木进行了胁迫试验, 研究其相应的抗逆生理特性<sup>[11-12]</sup>。本研究以桢楠、浙江楠、闽楠 2 年生苗为研究对象, 系统研究楠木幼苗的生长规律、光合和生理指标, 以期明确楠木的生长习性 & 应激反应, 对楠木生产与珍稀树种的保育都具有重要的实践指导意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 用地概况及试验材料

试材移栽后置于湖北省荆州市长江大学盆景园内, 位于 30°21'16"N、112°08'31"E, 地处亚热带季风气候区, 四季分明, 热量丰富, 光照适宜, 年平均温度 15.9~16.6℃, 年降水量在 1 100~1 300 mm, 年无霜期 250~267 d, 太阳年总辐射约 435~460 kJ/cm<sup>2</sup>, 平均年日照时数为 1 800~2 000 h<sup>[13]</sup>。

收稿日期: 2017-04-10

基金项目: 湖北省科技支撑计划 (编号: 2013BBB24)。

作者简介: 马永征 (1992—), 男, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要从事园林植物种质资源与利用方面的研究。E-mail: myz812@163.com。

通信作者: 费永俊, 博士, 教授, 主要从事园林植物种质资源的评价与研究。E-mail: fyj2010@163.com。

2016 年 3 月, 从盆景园中选取生长状况一致的桢楠、浙江楠、闽楠 2 年生苗各 60 株 (分别编号 ZN 1~60 号, ZJN 1~60 号, MN 1~60 号), 移栽于聚乙烯塑料花盆中 (上口口径 15 cm, 下口径 12 cm, 高 13 cm), 每盆栽种 1 株, 统一采用黑土和木屑 (3:1) 的混合基质, 基质提前 24 h 用 800 倍多菌灵液消毒处理。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 育苗管理** 栽种后 2 个月内将所有试验苗进行遮阴处理, 以保证其成活率。育苗期间进行合理的除草、常规浇水及适当的病虫害防治等措施, 保证所有试验苗正常生长; 于 2016 年 8—9 月用含腐殖酸 50% 的肥料对部分苗木进行多次追肥处理。夏季高温时适当遮阴处理。

**1.2.2 测定指标** 标号 1~30 的楠木用于测量株高、基径等生长指标, 研究 3 种楠木的生长特性; 对标号 31~60 的楠木进行追肥处理, 并测定光合及生理指标, 研究 3 种楠木的光合及生理特性。

**1.2.2.1 生长指标** 2016 年 3—11 月, 每月进行 3 次抽样测量, 每次抽样 5 株, 3 次重复; 使用游标卡尺 (精度 0.02 mm) 和直尺 (精度 1 mm) 测量基径、株高, 并记录叶片数和分枝数。要求基径测量植株茎与土壤接触处的直径; 株高测量植株顶梢处到土壤表面的垂直距离; 分枝数计数从植株茎上发出的一级分枝。

**1.2.2.2 光合指标** 2016 年 8 月 16 日 09:00—11:00 (天气晴朗情况下), 采用美国 Li-6400 便携式光合分析仪对植株进行测定, 每个处理测 3 次重复, 随机抽取 3 株, 每株检测 3 张叶片, 每次测定都选取植株冠层中部的成熟功能叶片的同一位置。待数据稳定后, 记录其净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 指标值<sup>[14]</sup>。

**1.2.2.3 叶绿素含量** 2016 年 9 月, 采用 SPAD-502Plus 便携式叶绿素测定仪对植株进行测定。每个处理测 3 次重复, 记录其叶绿素相对含量。

**1.2.2.4 生理指标** 2016 年 11 月, 至试验苗停止生长后, 分别从 3 种楠木中随机采集足够量的当年生叶片, 用透明自

封袋袋装,贴上标签,用冰盒带回实验室,于超低温冰箱中保存,进行试验操作,测量其可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、丙二醛含量、超氧化物歧化酶活性以及根活性,均进行 3 次重复。

1.3 数据处理

利用 SAS8.0 统计软件对观测数据进行差异性分析,图表制作和数据计算均采用 Excel 2007 软件完成。

2 结果与分析

2.1 幼苗生长特性

闽楠、浙江楠、桢楠幼苗移栽后的生长状况存在差异(表 1),但都具特有的生长规律。(1)桢楠生长状况好且生长速率快,苗高、基径增长迅速;新生叶片数量多、鲜红色,老叶脱落速率快;分枝数量多,梢长而细。(2)浙江楠生长状况一般,苗高、基径增长较快;新生叶片和老叶的更换速率缓慢;分枝数量也较少,秋梢较春梢和夏梢明显增长。(3)闽楠生长状况最缓慢,苗高、基径生长慢;叶片小而多;分枝少且梢短。

2.1.1 基径和苗高 从表 1 可以看出,浙江楠的平均基径最粗,桢楠其次,闽楠最细;桢楠的基径与浙江楠差异不明显,而

浙江楠的基径与闽楠差异显著,且前者比后者高 16.38%。相对于苗高而言,桢楠>浙江楠>闽楠;闽楠的苗高与浙江楠差异不显著,而桢楠苗高与闽楠、浙江楠苗高差异显著,且比闽楠高 42.82%,比浙江楠高 29.37%。表明 3 种楠木中,桢楠幼苗高大挺拔,浙江楠幼苗基径粗壮,桢楠与浙江楠的幼苗长势较好,而闽楠的幼苗则较为弱小。

2.1.2 苗高、春梢、夏梢、秋梢比较 从表 1 可以看出,桢楠的苗高增量最大,闽楠最小;桢楠的苗高增量与闽楠差异显著,桢楠比闽楠苗高增量高 59.27%,而浙江楠的苗高增量与闽楠、桢楠差异不显著。3 种楠木不同季节的树梢生长量也不尽相同,春梢生长量处于 3.11~6.43 cm;浙江楠>桢楠>闽楠,浙江楠、桢楠的春梢生长量与闽楠差异显著,分别高于闽楠 106.75%、97.75%,浙江楠与桢楠差异不显著。夏梢生长量在 4.98~5.66 cm;桢楠>闽楠>浙江楠,三者之间差异不显著。秋梢生长量为 9.31~16.19 cm;桢楠>浙江楠>闽楠,桢楠的秋梢生长量与闽楠差异显著,桢楠高于闽楠 73.90%,而浙江楠与桢楠、闽楠则差异不显著。分析结果,秋季是楠木幼苗苗高生长的高峰期,显著高于春、夏 2 季,桢楠幼苗纵向生长速率最快。

表 1 3 种楠木幼苗生长特性

种类	生长指标 (cm)						分枝数 (条)
	基径	苗高	苗高增量	春梢	夏梢	秋梢	
闽楠	0.574 ± 0.097a	30.97 ± 8.13a	17.58 ± 6.63a	3.11 ± 1.74a	5.17 ± 1.45a	9.31 ± 4.98a	4.00 ± 2.30a
浙江楠	0.668 ± 0.128b	34.19 ± 10.96a	23.39 ± 9.43ab	6.43 ± 2.80b	4.98 ± 2.19a	11.98 ± 8.51ab	4.13 ± 2.50a
桢楠	0.641 ± 0.113ab	44.23 ± 16.16b	28.00 ± 13.88b	6.15 ± 2.60b	5.66 ± 3.42a	16.19 ± 11.48b	5.93 ± 2.96a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05),表 2 同。

2.1.3 分枝数量的变化 从图 1 可以看出,3 种楠木 2 年生幼苗的一级分枝数量在 4~6 条;桢楠>浙江楠>闽楠,且三者的分枝数差异不显著;3 种楠木分枝数的生长峰值期都为 3—5 月,其他时间平缓增长,与时间呈一定的正相关,而桢楠在 8—9 月又进行了一次较为迅速的生长期。

2.1.4 新老叶数量的变化 从图 2 可以看出,测量初始期闽楠和浙江楠的老叶数多于桢楠,新叶数则低于桢楠;随着老叶的脱落和新叶的生长,测量结束时桢楠的新、老叶数都据首位;老叶的脱落速度为闽楠>浙江楠>桢楠,主要集中在 3—5 月脱落;新叶的增长速度为桢楠>闽楠>浙江楠,叶片在 7—9 月间达到生长峰值;桢楠老叶脱落速度明显较低,但其新叶生长速度最快。

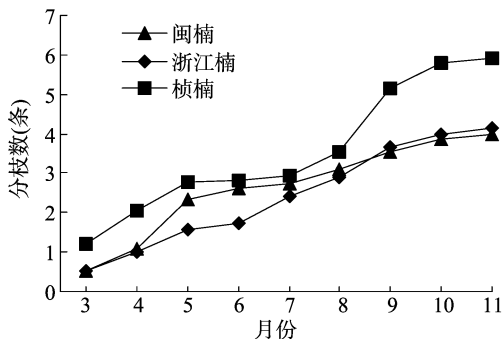


图 1 3 种楠木分枝数量的变化

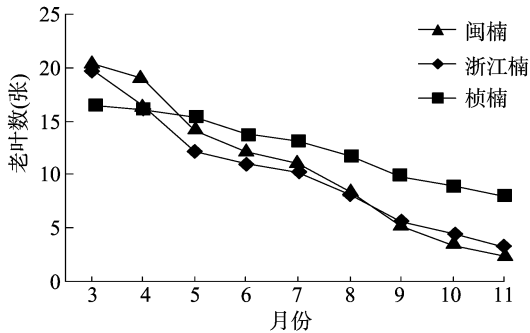
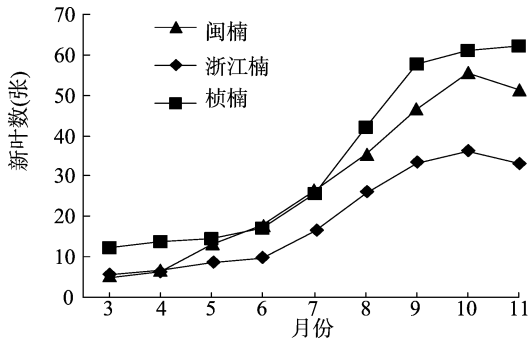


图 2 3 种楠木新老叶数量的变化



2.2 幼苗光合特性

2.2.1 净光合速率 从图 3-A 可以看出,比较 3 种楠木的

净光合速率,净光合率为桢楠>浙江楠>闽楠,桢楠、浙江楠的净光合速率与闽楠差异显著,桢楠与浙江楠差异不显著;追

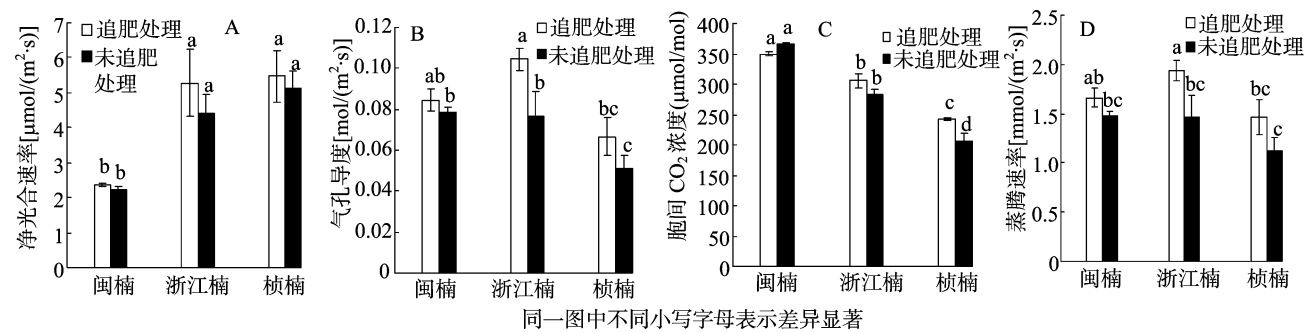


图3 3种楠木光合特性

肥处理结果相同,但相应提高了净光合速率,桢楠、浙江楠、闽楠净光合速率追肥处理分别高于未追肥处理 6.20%、20.00%、6.58%,但差异不显著。

2.2.2 气孔导度 从图 3 - B 可以看出,追肥处理的 3 种楠木气孔导度都比未追肥处理的高,未追肥处理的楠木中,闽楠的气孔导度最高,桢楠最低,桢楠的气孔导度与闽楠、浙江楠差异显著,气孔导度桢楠比闽楠、浙江楠分别低 35.44%、32.89%,闽楠与浙江楠差异不显著,前者比后者高 3.68%;追肥处理的楠木中,浙江楠的气孔导度最高,桢楠最低,桢楠与浙江楠差异显著,桢楠低于浙江楠 35.58%,而闽楠与桢楠、浙江楠差异不显著。

2.2.3 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 从图 3 - C 可以看出,闽楠胞间 CO<sub>2</sub> 浓度最高,桢楠最低,追肥处理得到相同的结果,且追肥处理可以适当增加楠木幼苗的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度,但闽楠追肥处理效果不明显;未追肥处理的闽楠、浙江楠、桢楠幼苗胞间 CO<sub>2</sub> 浓度间差异显著,且闽楠比浙江楠高 28.91%,比桢楠高 78.28%,浙江楠比桢楠高 38.30%;追肥处理闽楠、浙江楠、桢楠胞间 CO<sub>2</sub> 浓度间差异显著,且闽楠比浙江楠高 14.43%,比桢楠高 44.36%,浙江楠比桢楠高 26.15%。桢楠追肥处理

和未追肥处理幼苗间差异显著,追肥处理比未追肥处理高 17.86%。

2.2.4 蒸腾速率 从图 3 - D 可以看出,未追肥处理 3 种楠木的蒸腾速率都低于追肥处理的,未追肥处理的闽楠叶片蒸腾速率最高,桢楠最低;追肥处理的浙江楠蒸腾速率最高,桢楠最低。未追肥处理的幼苗中,闽楠、浙江楠蒸腾速率间差异不显著;追肥处理幼苗中,闽楠与浙江楠蒸腾速率差异不显著,但浙江楠与桢楠间差异显著,浙江楠比桢楠高 32.49%。浙江楠中追肥处理和未追肥处理间差异显著,追肥处理比未追肥处理高 32.39%。

2.3 幼苗生理特性

2.3.1 叶绿素相对含量 从表 2 可以看出,桢楠的叶绿素相对含量最高,闽楠其次,浙江楠最低,追肥处理可以提高楠木幼苗叶绿素相对含量,但闽楠却呈下降趋势;未追肥处理的 3 种幼苗中,桢楠、闽楠与浙江楠差异显著,分别高于浙江楠 14.63%、14.33%,桢楠与闽楠间差异不显著;追肥处理的闽楠与浙江楠、桢楠间差异显著,追肥处理的浙江楠与桢楠间差异不显著;追肥处理与未追肥处理的同种幼苗间差异显著。

表 2 3 种楠木生理指标比较

处理	叶绿素 (spad)	可溶性糖 (%)	可溶性蛋白 (mg/g)	超氧化物歧化酶 (U/g)	丙二醛 (μmol/L)	根活力 [mg/(g·h)]
闽楠追肥处理	30.4 ± 0.7a	1.334 ± 0.290a	7.209 ± 2.543a	106.894 ± 0.205a	0.408 ± 0.157a	80.203 ± 1.705a
闽楠未追肥处理	37.5 ± 1.3b	1.219 ± 0.672a	7.334 ± 0.542a	99.044 ± 4.174ab	0.698 ± 0.136ab	71.596 ± 5.547abc
浙江楠追肥处理	40.2 ± 0.4bc	6.630 ± 1.453b	17.919 ± 1.930b	80.751 ± 5.985c	1.053 ± 0.039c	61.033 ± 1.174cd
浙江楠未追肥处理	32.8 ± 0.9a	4.514 ± 0.443b	13.240 ± 2.675ab	92.218 ± 4.237b	0.970 ± 0.114bc	68.858 ± 3.971bcd
桢楠追肥处理	41.8 ± 1.2c	0.493 ± 0.214a	13.053 ± 1.842ab	99.727 ± 2.709ab	0.802 ± 0.006bc	62.207 ± 0.678cd
桢楠未追肥处理	37.6 ± 0.2b	1.051 ± 0.468a	12.061 ± 2.273ab	107.235 ± 0.871a	0.743 ± 0.042bc	78.638 ± 2.347ab

2.3.2 营养物质含量 从表 2 可以看出,3 种楠木幼苗的可溶性糖含量为浙江楠 > 闽楠 > 桢楠,且浙江楠的可溶性糖含量与闽楠、桢楠差异显著,闽楠与桢楠间则差异不显著;追肥处理后,可适当提高幼苗内可溶性糖的含量,与未追肥处理幼苗差异不显著,追肥处理导致桢楠幼苗可溶性糖含量下降。3 种幼苗的可溶性蛋白含量由高到低依次为浙江楠 > 桢楠 > 闽楠。追肥处理可以提高楠木幼苗可溶性蛋白含量,但对闽楠效果不佳,且与未追肥处理的幼苗之间差异不明显;追肥处理后,浙江楠的可溶性蛋白含量急剧增高,与闽楠差异显著。

2.3.3 超氧化物歧化酶活性 从表 2 可以看出,桢楠幼苗的 SOD 活性最强,闽楠最低,桢楠与浙江楠差异显著,闽楠与浙江楠间差异不显著;追肥处理会降低楠木幼苗的 SOD 活性,

追肥处理与未追肥处理浙江楠的 SOD 活性差异显著,追肥有效降低浙江楠幼苗的 SOD 活性,但增强了闽楠幼苗的 SOD 活性。

2.3.4 丙二醛含量 由表 2 可知,浙江楠幼苗的 MDA 含量最高,桢楠其次,闽楠最低;追肥处理提高浙江楠、桢楠幼苗叶片中 MDA 含量,分别高出未处理幼苗 8.56%、7.94%,但差异不显著,追肥处理却使闽楠幼苗叶片中 MDA 含量迅速下降,下降了 41.55%,追肥处理闽楠的 MDA 含量与浙江楠、桢楠差异显著。

2.3.5 根系活力 由表 2 可知,追肥处理桢楠与浙江楠的根系活力下降,分别下降 20.89%、11.36%,但闽楠的根系活力上升 12.02%,追肥仅对桢楠幼苗的根系活力有显著影响。

### 3 结论与讨论

植物株高、基径以及叶枝数量的变化是植物生长最直观的表现,研究楠木幼苗生长的基本指标有助于了解楠木幼苗生长特性的规律<sup>[15]</sup>。本研究结果,3 种楠木幼苗的基径随时间均匀增长,与时间呈一定的线性关系;苗高增长高峰期出现在 7—9 月,由于此时雨水增多、温度适宜,促进楠木幼苗生长发育,这与黄志玲等的研究结果<sup>[16-17]</sup>一致;分枝数量在 3—5 月迅速增长,新叶增长速率的高峰期在 7—9 月出现,而老叶在 3—5 月集中脱落,这是由于楠木幼苗经过寒冬后,对开春温度上升的反应,逐渐进入生长高峰期;10 月之后,荆州天气开始降温,3 种楠木幼苗的生长都趋于平缓,至 11 月接近停止生长,而闽楠的新叶出现部分脱落现象,这与闽楠喜阴而不耐寒的特性相吻合<sup>[18]</sup>。比较 3 种楠木幼苗的生长性状可知,桢楠的苗高、苗高增量、分枝数量等生长指标都高于浙江楠与闽楠,为移栽后表现最好的幼苗,闽楠则表现最差。

植物通过光合作用进行营养物质的积累,光合特性是检验植株生长状况的有效指标<sup>[19]</sup>。分析表明,叶绿素含量与光合速率呈显著或极显著正相关<sup>[20-22]</sup>。本研究结果表明,3 种楠木幼苗中叶绿素相对含量与净光合速率呈正相关,气孔导度、胞间  $\text{CO}_2$  浓度、蒸腾速率与净光合速率呈负相关;影响桢楠净光合速率的主要因子是叶绿素含量。追肥处理对 3 种楠木幼苗的光合生理具有明显作用,可提高净光合速率 6.20%~20.00%,桢楠反应最为显著,相关研究表明,随施肥浓度的增加净光合速率呈先上升后下降的趋势<sup>[23]</sup>,3 种幼苗对相同浓度的肥料感应敏感程度不同,可适当增加闽楠和浙江楠的肥料浓度;追肥处理后,浙江楠的气孔导度与蒸腾速率急剧上升,由于其胞间  $\text{CO}_2$  浓度未随之上升,因此不影响其净光合速率。比较 3 种楠木幼苗的光合指标,桢楠的光合作用能力最强,与其生长指标优于浙江楠和闽楠相一致。

生理指标可以反映植物生长状况,同时也反映了植物的生长能力<sup>[24]</sup>。本试验研究表明,在营养物质含量上,桢楠和浙江楠在一定程度上都高于闽楠,与三者的生长差异相符合,由于可溶性糖和蛋白质类似于信号分子的存在,参与调控苗木的生长、发育、成熟和衰老等过程<sup>[25]</sup>;SOD 活性和 MDA 含量桢楠和浙江楠也相对优于闽楠,表明桢楠和浙江楠在适应环境、抵抗外界干扰的能力上要强于闽楠;桢楠的根活力最强,说明桢楠根吸收水和养分的能力更强,与其生长指标相对应。追肥处理后,有助于提升楠木可溶性糖和可溶性蛋白及 MDA 含量,而降低 SOD 含量与根系活力,但闽楠表现异常,这与其生长状况相联系。

在 3 种楠木幼苗中桢楠生长状况最好,对环境的适应能力较强,生长也相对较快,适于作为园林应用树种进行推广,同时也可作为保护楠木的典型树种进行大量繁殖栽培。本试验研究范围有限,楠属的其他几种楠木,如紫楠、滇楠、白楠等未进行研究,还有待今后进一步研究完善。

### 参考文献:

[1] 葛继稳,吴金清,朱兆泉,等. 湖北省珍稀濒危植物现状及其就地保护[J]. 生物多样性,1998,6(3):220-228.

- [2] 李冬林,丁彦芬,向其柏. 浙江楠引种育苗技术[J]. 林业科技开发,2003,17(3):43-45.
- [3] 李冬林,金雅琴,向其柏. 我国楠木属植物资源的地理分布、研究现状和开发利用前景[J]. 福建林业科技,2004,31(1):5-9.
- [4] 葛永金,王军峰,方伟,等. 闽楠地理分布格局及其气候特征研究[J]. 江西农业大学学报,2012,34(4):749-753,761.
- [5] 范剑明,谢金兰. 楠木栽培技术[J]. 广东林业科技,2007,23(6):94-96.
- [6] 林朝楷,黄世贵. 浅谈楠木播种育苗技术[J]. 中国园艺文摘,2010,26(1):91.
- [7] 王伏琴. 楠木容器播种育苗技术研究[J]. 现代农业科技,2013(10):150-151.
- [8] 朱雁. 珍贵树种楠木容器苗芽苗移栽技术[J]. 中国林副特产,2010(3):54-55.
- [9] 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.
- [10] 钟灼坤. 楠木高效快速育苗试验分析[J]. 现代园艺,2016(3):10-11.
- [11] 刘刚,涂铭,朱丽,等. 不同浓度盐胁迫下闽楠和楠木光合生理研究[J]. 湖北林业科技,2014,43(6):9-12,20.
- [12] 黄晓蓉,李玮婷,刘刚,等. 水分胁迫对楠木幼苗抗逆生理特性的影响[J]. 北方园艺,2015(7):68-71.
- [13] 李晓明. 荆州市休闲观光农业发展研究[D]. 荆州:长江大学,2013.
- [14] 麻文俊,张守攻,王军辉,等. 1 年生楸树无性系苗期生长特性[J]. 林业科学研究,2012,25(5):657-663.
- [15] 肖遥,楚秀丽,尹增芳,等. 不同产地南方红豆杉各家系幼苗生长、光合生理与株高生长节律的差异分析[J]. 植物资源与环境学报,2016,25(1):34-42.
- [16] 黄志玲,郝海坤,庞世龙,等. 红锥种源苗期生长节律研究[J]. 林业科技开发,2012,26(3):24-28.
- [17] 周诚,廖海红,王丽艳,等. 毛红椿播种苗苗期生长规律分析[J]. 林业科技开发,2013,27(1):18-21.
- [18] 李玮婷,宗卫,费永俊. 水杨酸和氯化钙对低温条件下闽楠生理指标的影响[J]. 林业科技开发,2015,29(5):23-26.
- [19] Tuittila E S, Vasander H, Laine J. Sensitivity of C sequestration in reintroduced sphagnum, to water - level variation in a cutaway peatland[J]. Restoration Ecology, 2004, 12(4):483-493.
- [20] 姜义龙,刘振兴. 烟草光合作用的遗传研究 IV. 叶绿素含量的遗传及其与产量的关系[J]. 山地农业生物学报,1994,13(2):1-7.
- [21] 徐坤,邹琦. 生姜光合特性研究再探[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2000,31(2):147-150.
- [22] 魏书奎,于继洲,宣有林,等. 核桃叶片的叶绿素含量与光合速率的研究[J]. 北京农业科学,1994,12(5):31-33.
- [23] 贺维,胡庭兴,王锐,等. 施肥对桢楠幼苗光合生理及生长特性的影响[J]. 西北植物学报,2014,34(6):1187-1197.
- [24] 常冀原. 施肥对江南油杉幼苗生理特性的影响[D]. 长沙:中南林业科技大学,2015.
- [25] Geigenberger P, Stitt M. Sucrose synthase catalyses a readily reversible reaction *in vivo* in developing potato tubers and other plant tissues[J]. Planta, 1993, 189(3):329-339.