



李峰卿, 姚甲宝, 曾平生. 光照强度和容器规格对纳塔栎 1 年生容器苗生长的影响[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(3): 87-92.

# 光照强度和容器规格对纳塔栎 1 年生容器苗生长的影响

李峰卿<sup>1,2</sup>, 姚甲宝<sup>1</sup>, 曾平生<sup>1</sup>

(1 中国林业科学研究院 亚热带林业实验中心, 江西 分宜 336600; 2 国家林业局桉树研究开发中心, 广东 湛江 524022)

**摘要:**【目的】通过了解不同光照强度下纳塔栎 *Quercus nuttallii* 的苗期生长节律, 筛选出适宜幼苗生长的光照强度及容器规格, 为今后生产中容器苗培育及管理提供理论依据和实践指导。【方法】采用单因素试验设计研究光照强度 [50%、75% 和 100% (对照)] 和容器规格 (8 cm × 10 cm、10 cm × 15 cm 和 15 cm × 20 cm) 对容器苗生长的影响, 并用 Logistic 方程对不同光照强度下苗高和地径生长动态进行拟合。【结果】在生长前期 (6 月 26 日前), 遮阴处理明显促进了苗高生长, 至生长季末, 各处理间的苗高差异却不显著; 在整个生长季, 遮阴处理皆显著提高了幼苗地径生长, 均表现为 75% 光照强度处理最优。纳塔栎苗高和地径生长节律有所差异, 遮阴处理使得苗高线性生长起始期和末期均提前, 相比对照, 50% 光照强度处理的苗高线性生长期缩短 21 d, 75% 光照强度处理的线性生长期与对照无显著差异, 50% 和 100% 光照强度处理的地径线性生长期分别比 75% 光照强度处理延长了 19 和 16 d; 苗高的线性生长持续时间均远低于地径, 这表明纳塔栎苗高停止生长后, 地径还在持续生长。容器规格对苗高、地径及高径比具有显著影响; 随着容器规格的增大, 苗高和地径显著增长; 在较大容器规格 (15 cm × 20 cm) 中, 苗高和地径均达到最大值, 分别为 98.83 cm 和 11.68 mm。【结论】在生产中应选用较大规格容器 (15 cm × 20 cm) 培育纳塔栎优质苗木。纳塔栎苗高和地径存在异速生长, 在苗木管理中, 幼苗生长前期采用 50% 光照强度培养, 苗高线性生长期采用 75% 光照强度培养, 秋季转移到全光照下培养, 生长末期应以地径作为判断苗木是否进入停止生长的指标。

**关键词:** 纳塔栎; 容器苗; 苗高; 地径; Logistic 模型; 容器规格; 光照强度

中图分类号: S828

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2017)03-0087-06

## Effects of light intensity and container size on growth of one-year-old seedlings of *Quercus nuttallii*

LI Fengqing<sup>1,2</sup>, YAO Jiabao<sup>1</sup>, ZENG Pingsheng<sup>1</sup>

(1 Experimental Center of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600, China;

2 China Eucalypt Research Center, Zhanjiang 524022, China)

**Abstract:**【Objective】To study the growth rhythm of Nuttall oak (*Quercus nuttallii*) seedlings under different light intensities, find out the appropriate light intensity and container size for seedling growth, and provide a theoretical basis and guidance for cultivation and management of container seedlings in the future. 【Method】Single factor experiments were used to study the effects of light intensities (50%, 75% and 100%) and container sizes (8 cm × 10 cm, 10 cm × 15 cm and 15 cm × 20 cm) on seedling growth. Logistic equations were used to fit the growth of seedling height and ground diameter under different light intensities. 【Result】At the early stage of growth (before June 26), shading clearly promoted growth of seedling height. By the end of the growth season, the increments of seedling height were not significantly different among light treatments. Throughout the growth season, ground diameter was significantly en-

收稿日期: 2016-06-23 优先出版时间: 2017-04-12

优先出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20170412.1446.036.html>

作者简介: 李峰卿 (1980—), 女, 博士研究生, E-mail: 475077338@qq.com; 通信作者: 曾平生 (1964—), 男, 高级工程师, E-mail: lfqnjfu@163.com

基金项目: 国家级林业科学技术推广项目 ([2014] 06 号)

hanced by shading with the optimal light intensity being 75%. The growth rhythms of seedling height and ground diameter were generally consistent. Shading shifted the initial and final stages of linear growth of seedling height to earlier time. The linear growth days (LGD) of 50% light was 21 days shorter compared to 100% light, and the LGD of 75% and 100% light were not significantly different, while the LGD of ground diameter of 50% and 100% light were longer 19 days and 16 days than that of 75% light, respectively. LGD of seedlings height was substantially longer than that of ground diameter, indicating that when seedling height growth stopped, the ground diameter continued to grow. Container size significantly influenced seedling height, ground diameter and the ratio of height to diameter. Seedling height and ground diameter significantly increased by larger containers, and both were the highest (98.83 cm and 11.68 mm) in the 15 cm × 20 cm container. 【Conclusion】 Larger container (15 cm × 20 cm) should be used to cultivate high quality seedlings of *Q. nuttallii*. Considering seedling height and ground diameter, we should use 50% light at the early stage of growth, then 75% light during the linear growth stage, and full light starting from Fall. At the late stage, ground diameter should be used as the index for detecting the ending of growth.

**Key words:** *Quercus nuttallii*; container seedling; seedling height; ground diameter; Logistic model; container size; light intensity

光照是植物生长发育必须、时空异质性最大的环境因子,不同植物在各生长发育阶段对光照强度的响应不同<sup>[1-3]</sup>。容器规格直接影响根系发育及育苗成本。大量研究表明:光照强度和容器规格对苗木质量的影响显著<sup>[4-7]</sup>。国内已开展多种珍贵树种(木荷 *Schima superba*、台湾相思 *Acacia richii* 和青冈栎 *Cyclobalanopsis glauca* 等)<sup>[6-8]</sup>此方面的研究,推动了珍贵用材树种的培育和发展。

纳塔栎 *Quercus nuttallii* 原产美国,系高大落叶乔木,其材质优良、树姿优美,是集经济、生态和环境价值于一体的硬阔树种之一。我国自 19 世纪末 20 世纪初引种栎树以来,已成功引种 10 余种,皆显示栎树引种前景良好。经证实,纳塔栎能适应长江三角洲平原地区的自然条件,并且作为秋色叶树种在上海、杭州等地推广。国内外研究表明:该树种耐涝能力较强、适合水库滩地造林<sup>[9-10]</sup>,被列为南方平原区速生丰产林的优良树种<sup>[11]</sup>,市场前景可观。目前,国内外对纳塔栎的研究侧重于生物生态学特性,种质资源的引种、收集,抗逆性、耐水湿筛选及引种造林后阶段研究<sup>[11-13]</sup>等。据检索,关于纳塔栎容器育苗配套技术的研究甚少,仅见育苗基质筛选<sup>[14]</sup>,并认为按照体积比 50% 泥炭 + 25% 珍珠岩 + 25% 菜园土的育苗效果最好,但是探讨不同光照控制条件下幼苗生长的研究鲜见报道。夏季强光是限制容器苗生长发育的关键因素之一,对苗木的各种生理生化过程皆会产生深刻影响,苗木生长节律是森林培育的重要研究内容,在不同的光照条件下,由于幼苗对光照强度的响应不同,所表现出的生长节律可能有所

差异。本文探讨了光照强度及容器规格对纳塔栎容器苗生长的影响,模拟其苗期生长曲线方程,旨在掌握 1 年生纳塔栎容器苗的生长节律,确定线性生长期(即速生期),为更好地科学培育、生产管理等方面提供理论参考和技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于江西省分宜县中国林业科学研究院亚热带林业实验中心苗圃,地处 28°08'N, 114°51'E, 属亚热带季风气候区,年均气温 17.2 °C, 年均降水量 1 600 mm, 且降雨多集中在 4—6 月份,无霜期为 268 d。苗圃育苗钢构大棚内配置自动喷雾设施,以满足维持纳塔栎幼苗正常生长的需水量,大棚通风性良好,棚高 2.2 m, 顶盖覆有不同透光率(50%, 75% 和 100%)的遮阳网。

### 1.2 试验材料及处理

选择引种潜力较大的纳塔栎作为试验材料,供试种子来自中国林业科学研究院亚热带林业研究所;育苗基质为泥炭、谷壳和黄泥(体积比 4:3:3),选用美国生产的艾贝斯(Apex)缓释肥(其中全氮 180 g · kg<sup>-1</sup>, 有效磷 80 g · kg<sup>-1</sup>, 速效钾 80 g · kg<sup>-1</sup>), 肥效 6 个月, 加载量为 3 kg · m<sup>-3</sup>, 2014 年底,将纳塔栎种子预处理后均匀撒播在沙床上,将种子平摊于沙面,覆沙 2 cm, 保持苗床湿润。2015 年 4 月中旬,待种子发芽后(以芽长 < 2 cm 较优),移栽至装有基质的无纺布袋中,每袋 1 株。在同一条件下(遮阴)常规管理 10 d,待苗木恢复生长,苗高 2 ~

5 cm,挑选整齐健壮的植株移入不同光照强度小区进行试验。

### 1.3 试验设计与方法

1.3.1 试验设计 采用单因素试验设计:(1)设50%、75%和100%光照强度3个处理,其中100%光照强度为对照(CK)。容器规格均为10 cm × 15 cm,每处理3次重复,9个小区;(2)100%光照强度下设置3种规格的容器袋:8 cm × 10 cm、10 cm × 15 cm和15 cm × 20 cm,每种规格3次重复,9个小区。

1.3.2 指标测定 幼苗移栽后置于同一条件下培养10 d,选取长势一致的苗木于不同光照强度下处理15 d(移栽后第25天)开始测定,按照系统抽样标记待测植株,每小区选取代表性植株20株,每月测量记录每样株的苗高与地径(前2次每隔13~15 d测苗高,地径于移栽后28 d开始测量)直至11月25日结束(移栽后197 d),苗高和地径分别采用钢卷尺和游标卡尺测定(精确度0.10 cm和0.01 mm)。

1.3.3 苗木生长模型的建立及相关参数计算 用Logistic方程对纳塔栎幼树或幼苗的苗高、地径生长节律进行拟合和参数估计<sup>[15]</sup>,其表达式: $y = k / (1 + ae^{-bt})$ ,式中,WTBX|y为苗高或地径生长量,t为生长时间(以不同光照强度下处理开始设为0算起),参数a与生长初始值及生长特征点出现的时间有关,b为生长速率参数,k为既定条件下苗高或地径

生长可能达到的极限值,可用倒数求和法计算。对方程进行3次求导,计算各树种苗高日生长量变化最大的生长拐点( $t_1$ 和 $t_2$ ),其中: $t_1 = (a - 1.317) / b$ , $t_2 = (a + 1.317) / b$ 。借助 $t_1$ 和 $t_2$ 将植物的年生长过程划分为3个阶段:生长前期(0— $t_1$ )、速生期( $t_1$ — $t_2$ )、生长后期( $t_2$ —生长季末)。

生长参数的计算参照朱仁海等<sup>[16]</sup>的方法,计算公式:线性生长期(LGD) =  $2.634/b$ ;最大线性生长速率(MGR) =  $1/4bk$ ;线性生长速率(LGR) =  $2/9bk$ ;线性生长量(TLG) =  $k/\sqrt{3}$ 。

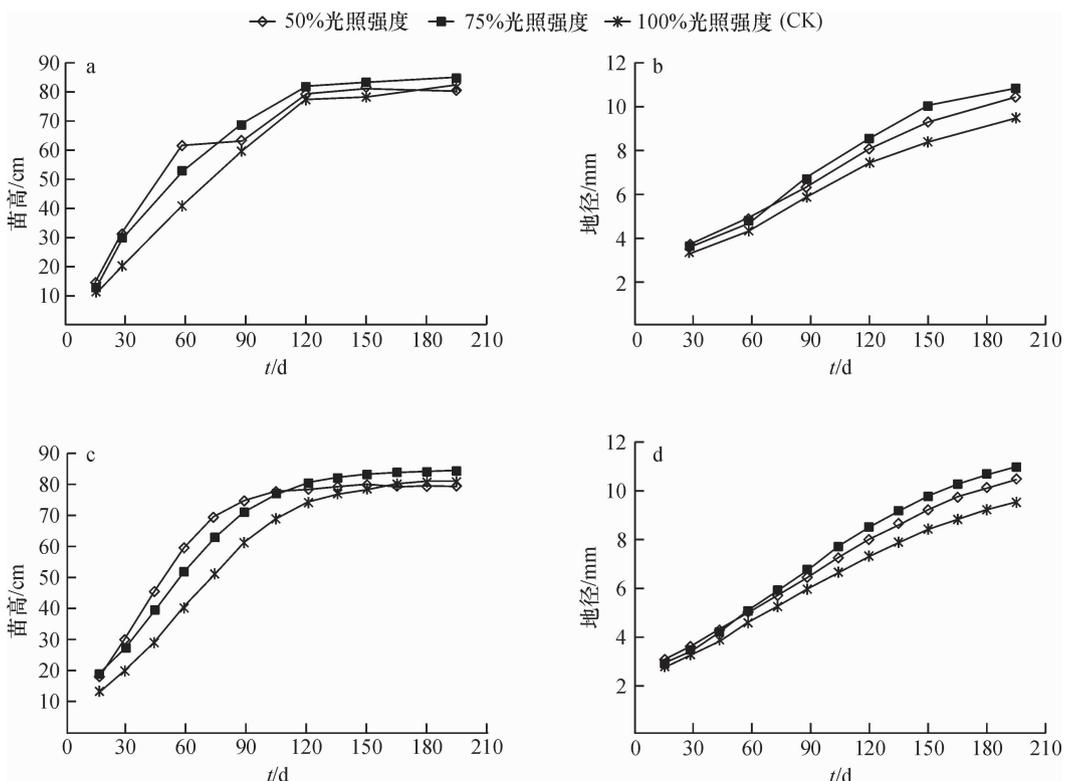
### 1.4 数据处理与分析

采用SPSS 20.0软件对苗高、地径生长动态进行Logistic拟合回归分析,并用Duncan's法对数据进行多重比较,简单数据计算及图表制作在Excel 2007中完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同光照强度下的苗高和地径

图1a、1b显示,不同光照条件对纳塔栎幼苗前期(移栽后28~58 d)生长影响较大,遮阴处理的苗高生长极显著或显著高于100%光照强度处理( $P < 0.001$ 或 $P = 0.043$ ),但不同遮阴程度间无显著差异( $P = 0.062$ ),移栽后88 d,75%光照强度处理的苗



a、b为实测值,c、d为拟合曲线。

图1 不同遮阴处理纳塔栎生长及Logistic拟合曲线

Fig. 1 Growth and Logistic curves of *Quercus nuttallii* under different light intensities

高显著高于 50% 和 100% 光照强度处理 ( $P = 0.045$ )。移栽 120 d 后,纳塔栎苗高生长在不同光照强度间无显著差异,可见,纳塔栎幼苗在生长前期需要遮光,后期增强光照有利于其苗高生长。在整个生长季,容器苗地径始终呈缓慢生长状态,地径生长对光照强度的响应比苗高更敏感,除移栽后 28 d 时 3 个处理间差异不显著 ( $P = 0.223$ ) 外,其余阶段 3 个处理间差异均达到极显著水平 ( $P < 0.001$ )。可见强光皆不同程度地抑制了纳塔栎苗高和地径生长,均表现出 75% 光照强度下最优,其次为 50% 光照强

度,全光照强度下最差。

## 2.2 幼苗生长模型的建立与拟合

对不同光照强度下测得的纳塔栎苗高、地径数据进行 Logistic 拟合,建立了纳塔栎高生长及地径生长的曲线模型(图 1c、1d)。结合表 1 可看出,各处理下苗高、地径 Logistic 拟合方程决定系数分别为 0.925 ~ 0.979 和 0.943 ~ 0.994,回归方程检验均达到了极显著水平,用 Logistic 模型拟合的苗高、地径与实测值符合程度较高,说明用 Logistic 方程拟合纳塔栎苗高、地径生长节律是可行的。

表 1 不同光照强度下纳塔栎苗高、地径 Logistic 生长曲线方程的拟合参数

Tab.1 Parameters of Logistic equations for height and ground diameter of *Quercus muttallii* under different light intensities

指标	光照处理	生长极限( $k$ )	待定系数( $a$ )	待定系数( $b$ )	决定系数( $R^2$ )	$F$	显著水平( $P$ )
苗高	50%	79.831	7.709	0.539	0.979	30.914	0.003
	75%	84.495	6.520	0.404	0.925	61.510	0.001
	100% (CK)	81.529	9.284	0.378	0.944	84.616	0.000
地径	50%	12.520	3.831	0.157	0.975	154.373	0.000
	75%	12.472	4.261	0.182	0.943	65.815	0.001
	100% (CK)	14.250	5.251	0.170	0.994	630.596	0.000

根据不同光照强度下的苗木生长 Logistic 模型及其特点,可将纳塔栎容器苗生长划分为 3 个阶段:生长前期、速生期和生长后期,并依此获得物候期参数( $t_1$  和  $t_2$ ) 和生长参数(LGD、MGR、LGR 和 TLG),结果见表 2。不同光照强度下,纳塔栎苗高和地径生长进程有所差异,苗高生长前期、速生期和生长后期 3 个阶段的持续时间分别为 13 ~ 24、48 ~ 69、102 ~ 133 d,地径分别为 1 ~ 8、136 ~ 155、40 ~ 59 d。遮阴处理(50% 和 75% 光照强度)使得纳塔栎苗高线性生长始期和线性生长末期均先于 100% 光照强度处理。相比 100% 光照,50% 光照强度处理的苗高 LGD 缩短了 21 d,100% 和 75% 光照强度处理间无较大差异;50% 和 100% 光照强度处理地径 LGD 分别比

75% 光照强度处理延长了 19 和 16 d。

随光照强度的增加,纳塔栎苗高的 MGR 和 LGR 变化趋势相同,皆是依次递减,地径的 MGR 和 LGR 则表现为 75% 光照强度处理最高。TLG 在苗高和地径指标表现略有差异,75% 光照强度处理,苗高 TLG 最大,100% 光照强度次之,50% 光照强度最小,遮阴处理和对照间差异不明显 ( $P = 0.172$ );地径 TLG 表现为对照显著低于 75% 光照强度处理 ( $P = 0.018$ ),2 个遮阴处理间差异不大。从线性生长持续时间看,苗高生长的持续时间均低于地径生长的持续时间,这表明纳塔栎容器苗的苗高停止生长后,地径还在持续生长,即苗高与地径存在异速生长现象。

表 2 不同光照下纳塔栎苗高、地径的 Logistic 参数<sup>1)</sup>

Tab.2 Logistic parameters of heights and ground diameters of *Quercus muttallii* under different light intensities

指标	光照处理	物候期参数		生长参数			
		$t_1$ /d	$t_2$ /d	LGD/d	MGR	LGR	TLG
苗高	50%	13.46	62.32	48.87	10.76	9.56	46.09a
	75%	13.81	79.00	65.20	8.53	7.59	48.78a
	100% (CK)	24.11	93.78	69.68	7.70	6.85	47.07a
地径	50%	1.39	156.31	154.90	0.51	0.14	6.91a
	75%	7.76	143.51	135.80	0.59	0.19	6.98a
	100% (CK)	1.23	151.49	151.40	0.47	0.14	6.20b

1) 物候期自移栽后第 10 天(4 月 28 日)为第 0 天;MGR 和 LGR 在苗高和地径的单位分别为  $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$  和  $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ; TLG 在苗高和地径单位分别为 cm 和 mm;同一指标的同列数据后,凡是有一个相同字母者,表示不同处理间在 0.05 水平差异不显著(Duncan's 方法)。

### 2.3 不同光照强度和容器规格的苗木生长差异分析

表3表明,与对照相比,遮阴处理对地径、高径比的影响达极显著水平,对苗高影响不明显,50%和75%光照强度处理对容器苗生长的影响差异不明显。在75%光照强度处理条件下,纳塔栎苗高和地径分别达到84.68 cm和10.85 mm,较之其他2个光照处理,苗高和地径分别提高3.37%~4.63%和3.83%~14.09%。相比75%光照强度处理,50%光照强度处理下纳塔栎苗木的高径比降低了1.42%。鉴于苗高、地径及高径比是影响苗木造林成活率的关键因素,且考虑到50%和100%光照强度处理下纳塔栎苗高生长差异不显著,试验中对这3个指标数据采用排队评分法<sup>[17]</sup>进行分析,最终得出:75%光

照强度处理下纳塔栎生长最优,其次为50%光照强度处理,最差为100%光照强度处理。

单因素方差分析表明:容器规格对1年生纳塔栎苗木生长的影响均达显著水平。随着无纺布容器规格增大,纳塔栎苗高和地径生长极显著提高,这与较大规格容器空间大、养分充足有关。与8 cm×10 cm的容器规格相比,当容器规格为10 cm×15 cm时,其苗高、地径和高径比分别提高25.20%、8.19%和15.9%;当容器规格为15 cm×20 cm时,较之10 cm×15 cm容器规格,其苗高和地径又大幅提高,分别高出20.64%和22.82%,而高径比则降低了1.50%,故宜选用15 cm×20 cm规格的网袋容器进行纳塔栎育苗。

表3 光照强度和容器规格对容器苗生长的影响<sup>1)</sup>

Tab.3 The effects of light intensity and container size on seedling growth

光照处理	苗高/cm	地径/mm	高径比	容器规格	苗高/cm	地径/mm	高径比
50%	80.93 ± 13.93a	10.45 ± 1.25A	7.77 ± 1.18B	15 cm × 20 cm	98.83 ± 16.49A	11.68 ± 1.73A	8.54 ± 1.55A
75%	84.68 ± 16.33a	10.85 ± 1.20A	7.88 ± 1.71B	10 cm × 15 cm	81.92 ± 13.11B	9.51 ± 1.22B	8.67 ± 1.55A
100% (CK)	81.92 ± 13.11a	9.51 ± 1.22B	8.70 ± 1.51A	8 cm × 10 cm	65.43 ± 14.57C	8.79 ± 1.15C	7.48 ± 1.42B

1)表中数据为3次重复的平均值±标准差;同列数据后凡是有一个小写或大写字母相同者,表示0.05或0.01水平差异不显著(Duncan's法)。

### 3 讨论与结论

光照是植物生长的基础,适宜的光照强度可改善生态环境<sup>[18]</sup>,促进苗木生长。不同树种幼苗期对光照强度的要求差异很大,其光照强度控制是容器育苗调控技术的重要内容之一。本研究中,纳塔栎幼苗苗高生长在前期(5月26日—6月26日)对光照强度的响应各异,遮阴处理的苗高生长显著高于100%光照强度处理,但是光照强度对1年生苗高生长量的影响差异不大,平均达到(82.51 ± 14.46) cm。从地径生长动态来看,在各生长阶段,75%光照强度处理的地径生长皆显著高于50%和100%光照强度处理,最高达到(10.85 ± 1.20) mm。可见,在幼苗生长前期,遮阴在不同程度上促进了纳塔栎容器苗高生长,在整个生长发育阶段,皆显著提高了其地径生长,说明纳塔栎幼苗在生长的前期需要一定程度的遮阴,75%光照强度处理最优。这可能与夏季强光(100%光照强度)下气孔限制,导致纳塔栎的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率日变化呈双峰曲线,发生“午休”现象<sup>[19]</sup>有关。本研究中得出的最优光照强度(75%光照强度处理)要高于罗宁<sup>[20]</sup>对黄金榕 *Ficus microcarpa* cv. *Golden Leaves* 等的研究结果(50%光照强度处理),而低于大叶栎 *Castanopsis fissa* 的光照强度(100%光照强度处理)<sup>[21]</sup>,分析原因,

可能是彩叶植物与绿叶植物的叶绿体结构或 RuBP 酶活性存在差异<sup>[22-23]</sup>,导致彩叶植物的光能利用率低,因此,需要较高的光照强度。遮阴对纳塔栎幼苗前期苗高生长影响较大,建议在幼苗生长初期(5月26日前),用50%光照强度;苗高生长进入指数生长期后,75%光照强度更能促进纳塔栎苗木生长。这也充分体现了光对植物生长的双重效应,适宜的光照促进光合作用、增加有机物积累,光照过弱或过强,皆可导致光合作用下降。另外,在幼苗生长阶段(6月26日—7月26日),50%光照强度处理幼苗生长出现缓慢增长现象,原因可能与当年此阶段雨水较多,强遮阴使其最大净光合速率降低<sup>[24]</sup>有关。

用 Logistic 方程对纳塔栎苗高生长量和地径生长量进行拟合,皆呈现出明显的“慢-快-慢”的生长节律,说明纳塔栎幼苗生长符合“S”型生长曲线。遮阴处理使得苗高和地径生长具有速生期持续时间短,但生长量较大的特点,但在不同光照强度下,苗高和地径生长进程有所差异,地径生长比苗高生长先进入速生期,与大叶栎和乌桕 *Apium sebiferum* 的生长相类似<sup>[25-26]</sup>,可能与苗木不同发育时期的生长中心不同有关,也可能是因为纳塔栎种子较大,萌发出的幼苗根茎较粗的缘故。但也有研究报道苗高速生期进入时间早于地径<sup>[27]</sup>或差异不大<sup>[28]</sup>。此外,速生期持续时间表现为地径生长比苗高长(平均延长

72 d),而相对生长速度与之相反。在高山松 *Pinus densata*、乌桕等苗期生长中亦发现苗高速生长期持续时间短于地径<sup>[26-27]</sup>。

综上所述,本研究认为,纳塔栎1年生容器苗培育过程中,采用大规格容器(15 cm × 20 cm)为宜,较之苗高生长,以地径作为评判幼苗是否进入停止生长的指标更为有效,生长前期(5月26日前)采用50%光照强度,苗高速生长期(6月初—8月底)采用75%光照强度,秋季转移到全光照下培养,可延长速生期。另外,对于苗木质量评价还应从根系发育、养分储存及后续造林方面进行深入研究,以便更全面、客观地评价苗木质量。

#### 参考文献:

- [1] TOLEDO-ACEVES T, SWAINE M D. Above- and below-ground competition between the liana *Acacia kamerunensis*, and tree seedlings in contrasting light environments [J]. *Plant Ecol*, 2008, 196(2):233-244.
- [2] 王娟婷. 辽东栎幼苗生长特性及其主要影响因素[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [3] 叶飞英,陈子林,郑伟成,等. 不同光强下濒危植物伯乐树幼苗叶片光合生理参数比较[J]. *浙江农林大学学报*,2015, 32(5):716-721.
- [4] 陈闯,刘勇,李国雷,等. 底部渗灌和容器规格对栓皮栎容器苗生长及营养元素含量的影响[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2015, 39(3):59-64.
- [5] 夏海涛,陈秋夏,卢翔,等. 不同光照处理对山桐子容器苗生长和苗木质量的影响研究[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(28):84-89.
- [6] 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.
- [7] 陈秋夏,廖亮,郑坚,等. 光照强度对青冈栎容器苗生长和生理特征的影响[J]. *林业科学*, 2011, 47(12):53-59.
- [8] 刘永安,陈小勇,王友芳,等. 攀西地区台湾相思适宜育苗容器和基质[J]. *东北林业大学学报*, 2012, 40(10):98-102.
- [9] VREUGDENHIL S J, KRAMER K, PELSMA T. Effects of flooding duration, -frequency and -depth on the presence of saplings of six woody species in north-west Europe [J]. *Forest Ecol Manag*, 2006, 236(1):47-55.
- [10] 张晓磊. 几种南方栎类树种耐涝性研究[D]. 泰安:山东农业大学,2010.
- [11] 陈益泰,孙海菁,王树凤,等. 5种北美栎树在我国长三角地区的引种生长表现[J]. *林业科学研究*, 2013, 26(3):344-351.
- [12] 王树凤,陈益泰,孙海菁,等. 盐胁迫下弗吉尼亚栎生长和生理生化变化[J]. *生态环境*, 2008, 17(2):747-750.
- [13] 黄利斌,杨静,何开跃,等. 纳塔栎和南方红栎2年生苗耐水湿性试验[J]. *东北林业大学学报*, 2009, 37(5):7-9.
- [14] 郁春柳. 纳塔栎容器育苗基质筛选[J]. *江苏林业科技*, 2016,43(1):18-20.
- [15] 李春喜,王志和,王文林,等. *生物统计学*[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [16] 朱仁海,杨琪瑜,沈文瑛. *统计分析方法*[M]. 北京:中国林业出版社,1990.
- [17] 王青华,向蓉美,杨作虞. 一种简单实用的综合评价方法:排队计分法[C]//中国统计学会. 纪念新中国政府统计机构成立五十周年暨全国统计科学研讨会. 北京:中国统计学会,2002.
- [18] 付晓青,陈佩,秦志敏,等. 遮荫处理对丘陵茶园生态环境及茶树气体交换的影响[J]. *中国农学通报*,2011, 27(8):40-46.
- [19] 姜琳,杨暖,姜官恒,等. 三种不同叶色栎树光合特性研究[J]. *山东林业科技*,2016,46(2):12-16.
- [20] 罗宁. 不同遮荫强度对几种苗木生长的影响[J]. *林业勘察设计*,2005,30(5):25-27.
- [21] 曹艳云,郝海坤,潘月芳,等. 大叶栎容器育苗试验[J]. *广西林业科学*,2008,37(3):150-152.
- [22] 王艳琳. 2种彩叶植物光合生理特性研究[D]. 成都:四川农业大学,2010.
- [23] RAVEH E, WANG N, NOBEL P S. Gas exchange and metabolite fluctuations in green and yellow bands of variegated leaves of the monocotyledonous CAM species *Agave americana* [J]. *Physiol Plant*, 1998, 103(1):99-106.
- [24] 王满莲,韦霄,唐辉,等. 光强对三种喀斯特植物幼苗生长和光合特性的影响[J]. *生态学杂志*,2015,34(3):604-610.
- [25] 庞世龙,黄志玲,郝海坤,等. 大叶栎苗期生长模型及分析[J]. *林业科技开发*,2011,25(5):36-39.
- [26] 金雅琴,何锐,张纪林,等. 乌桕1年生播种苗生长规律[J]. *东北林业大学学报*,2010,38(9):10-12.
- [27] 蔡年辉,许玉兰,白青松,等. 不同种群高山松1年生播种苗木生长节律及其变异[J]. *东北林业大学学报*, 2013, 41(5):11-15.
- [28] 湫香香,方升佐,汪红卫,等. 青檀一年生播种苗的年生长规律[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*,2001,25(6):11-14.

【责任编辑 李晓卉】