

4 个楠属树种苗期生长节律*

周新华^{1,2}, 胡 霏³, 李军绍², 吴喜昌², 武晓玉¹, 曾平生¹

(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. 分宜县林业局, 江西 分宜 336600;
3. 新余市林业局, 江西 新余 338000)

摘要:为了揭示闽楠(*Phoebe bournei*)、浙江楠(*Phoebe chekiangensis*)、紫楠(*Phoebe chekiangensis*)和桢楠(*Machilus chinensis*) 4 个楠属树种的苗期生长规律,为珍贵树种苗木培育和营造林管理提供科学依据和理论支撑,本试验对 4 个楠属树种 2 年生苗木的苗高和地径进行定期测定,利用方差分析得到各树种间的生长差异,利用 Logistic 模型拟合各树种苗高和地径的生长曲线,并估算出生长参数。结果表明:4 个树种苗高和地径生长均呈现“S”型生长曲线,苗高生长的决定系数为 0.987~0.990,地径生长的决定系数为 0.976~0.993,均为极显著水平,可以用 Logistic 模型对各树种生长进行动态拟合;4 个树种的苗高和地径生长均可分为生长前期、速生期和生长后期 3 个阶段;闽楠的苗高生长速生期持续时间最长,持续时间为 132 d,期内苗高和地径生长量均最大;浙江楠地径生长速生期持续时间最长,持续时间为 146 d,期内苗高和地径生长量均第二;紫楠的苗高生长速生期持续时间最短,仅为 97 d;闽楠和紫楠的地径生长速生期最短,仅为 125 d。得到的结论是:4 个楠属树种的苗高和地径生长具有明显的阶段性,不同树种在生长期内的生长量也具有显著差异。综合考虑,闽楠和浙江楠的苗期生长潜力较大,可作为珍贵用材林营造的优选树种,但实际造林效果如何,有待于后期进一步研究。

关键词: 闽楠;浙江楠;紫楠;桢楠;生长节律

中图分类号: S792.24

文献标识码: A

文章编号: 2097-0285(2022)11-0026-05

DOI: 10.13456/j.cnki.lykt.2022.07.18.0004

闽楠(*Phoebe bournei*)、浙江楠(*P. chekiangensis*)、

紫楠(*P. sheareri*)和桢楠(*Machilus chinensis*)皆属于樟科(Lauraceae)楠属(*Phoebe*)常绿阔叶乔木,海拔 1 000 m 以下可见,主要生长在江西、浙江、湖南、湖北、四川、云南、陕西等省份,均是我国亚热带地区重要的珍贵阔叶用材木、行道树和风景树种^[1-4]。闽

* 十三五国家重点研发计划项目“楠木、樟树等珍贵树种定向培育技术集成与示范”(2017YFD0601102)。

第一作者:周新华(1986-),硕士,高级工程师,主要从事森林经理和林木遗传育种研究。E-mail:jxlczxh@163.com

出 ISSR-PCR 扩增体系中各个影响因素对反应体系的影响。而正交试验虽然可以考虑到各个因素之间的交互作用,确定各个因素之间的主次关系,但操作较为复杂繁琐,且时间较长^[7],每个体系中各个因素所加量均不相同,在配反应体系中容易造成失误,并未达到理想效果。

综上,本试验建立和优化了适合金佛山方竹的反应体系。25 μL 的反应体系,其中含 16.5 μL Taq 2× PCR Master Mix、0.6 μmol/L 引物、80 ng 模版 DNA,剩余用 ddH₂O 补齐。该反应体系的建立与优化可为后期分析金佛山方竹遗传多样性及亲缘关系分析提供理论基础,也是今后进行方竹种质资源库构建的前提。

参考文献:

- [1] 徐雯,瞿印权,陈剑成,等.绿竹 ISSR-PCR 反应体系的建立与优化[J].江苏农业科学,2017,45(15):34-38.
- [2] 丁波,殷建强,刘世农,等.金佛山方竹研究进展及其开发

- 利用[J].贵州农业科学,2011,39(10):175-178.
- [3] 何选泽.基于 ISSR 标记的合江方竹遗传多样性分析[D].贵阳:贵州大学,2019.
- [4] ZIETKIEWICZ E,RAFALSKI A,LABUDA D.Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification[J].Genomics,1994,20:176-183.
- [5] 邢新婷,江泽慧.分子标记在竹类植物遗传多样性保护中的应用[J].世界竹藤通讯,2004(3):12-15.
- [6] 李炎梅,何天友,陈凌艳,等.巨竹 ISSR 反应体系的建立与优化[J].亚热带农业研究,2012,8(1):51-56.
- [7] 陈云飞.基于遗传多样性的金佛山方竹采样策略初探[D].贵阳:贵州大学,2018.
- [8] 徐雯,瞿印权,韩笑,等.正交设计优化绿竹 ISSR-PCR 体系和引物筛选[J].生物技术通报,2017,33(8):103-110.
- [9] 瞿印权,徐雯,沈露,等.大头典竹 ISSR 反应体系建立与优化[J].江苏农业科学,2017,45(10):34-39.
- [10] 赵丽华,李强,杜鹃属 ISSR-PCR 反应体系优化[J].现代园艺,2021,44(13):14-15.★

楠、浙江楠和桢楠均为国家二级重点保护野生植物，三者树干通直圆满、树冠浓荫繁茂、木材质地坚硬、纹理致密美观、气味芳香怡人、不易开裂变形、抗虫耐腐性强，是建筑、高级家具和雕刻的良好用材^[5-7]。紫楠又称金丝楠木，中国特有树种，亦是楠属植物中珍贵的用材树种，其木材和闽楠、浙江楠、桢楠相似，坚硬致密、纹理直、有光泽、有香味，是高档家具、建筑和雕刻的上等用材^[8]。随着珍贵用材树种自然分布的不断锐减，人工定向培育珍贵用材林越来越受到人们的关注，闽楠、浙江楠、紫楠和桢楠均是我国亚热带地区重点发展的珍贵阔叶树种，但有关这4个珍贵树种的研究主要集中在容器苗培育^[9-11]、光合特性分析^[12-13]、种源的遗传变异^[14-16]、人工造林技术^[17-18]和林下套种^[19-20]等方面，对这4个树种苗高和地径生长的动态变化研究却罕见报道。因此，本研究以闽楠、浙江楠、紫楠和桢楠2年生苗木为研究对象，定期观测4个树种的苗高和地径，分析其生长节律的差异，为亚热带地区发展珍贵用材林的树种选择和种苗培育提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在江西省分宜县中国林科院亚林中心苗木繁育基地内，地理位置 27°49'09"N、114°39'28"E，海拔 126 m，亚热带季风气候，光热充足，冬寒期短，四季分明，气候温和，年均气温 17.2℃，7月的平均气温为 28.8℃，1月平均气温为 5.5℃，无霜期 270 d，降水量 1 643.6 mm，年蒸发量 1 503 mm，年日照时数 1 535.3 h。

1.2 试验材料

2015年10-12月间在闽楠、浙江楠、紫楠和桢楠分布区，采集4个树种的种子，种子采集地点详细情况见表1。

表1 4个树种种子采集地理位置和气候因子

树种	地点	纬度	经度	海拔/m
闽楠	江西遂川	26°20'09" N	114°20'18" E	345
浙江楠	浙江杭州	30°09'40" N	119°53'02" E	279
紫楠	江西分宜	27°39'09" N	114°40'09" E	529
桢楠	湖南邵阳	26°43'19" N	110°46'24" E	450

1.3 试验方法

2016年4月上旬，将在苗床催芽后的闽楠、浙江楠、紫楠和桢楠苗，移植到无纺布容器（规格：直径

4.0 cm、长度 6.0 cm）中，育苗基质为泥炭、稻壳、木屑（体积比：5:2.5:2.5），培育成1年生容器苗。2017年3月底，各树种分别挑选长势一致的1年生容器苗，将其移植到2年生苗木培育容器（规格：直径 10 cm、长度 18 cm）中，育苗基质同上。每个树种设3次重复，每个重复30株，共360株。从4月10日开始，每隔30 d不锈钢直尺和数显游标卡尺定期测量苗木的苗高和地径，11月5日待苗木生长停止后不再测量，共计210 d。

1.4 数据处理

利用 SPSS 22.0 软件进行方差分析和生长曲线的拟合，有 Excel 2016 软件进行数据简单计算和图表制作。

Logistic 曲线拟合方程^[21]为：

$$Y = \frac{A}{1 + Be^{-kt}} \quad (1)$$

式中：Y 为苗高和地径生长量，t 为时间，B、k 为待定系数，A 为特定条件下苗高或地径生长可能达到的极限值。

对(1)式进行二阶求导，可得到连日生长量变化速率曲线：

$$\frac{d^2Y}{dt^2} = \frac{BAk^2e^{-kt}}{(1 + Be^{-kt})^3}(1 - Be^{-kt}) \quad (2)$$

令 $\frac{d^2Y}{dt^2} = 0$ ，得到 $t_0 = \frac{1}{k} \ln B$ ，它是连日生长速率

由快变慢的转折点，即生长拐点(G)。

对(1)式进行三阶求导，得到：

$$\frac{d^3Y}{dt^3} = \frac{BAk^3e^{-kt}}{(1 + Be^{-kt})^4}(B^2e^{-2kt} - 4Be^{-kt} + 1) \quad (3)$$

令 $\frac{d^3Y}{dt^3} = 0$ ，得 $t = \frac{1}{k} \ln \frac{B}{2 \pm \sqrt{3}}$ ，即 $t_1 = \frac{1}{k} \ln \frac{B}{2 + \sqrt{3}}$ ，

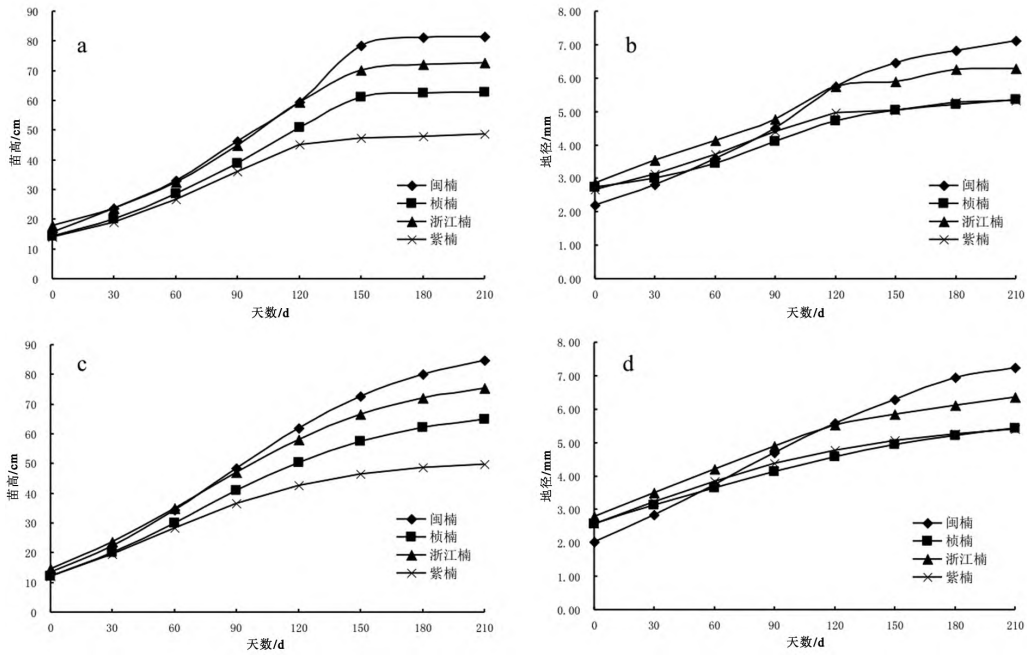
$t_2 = \frac{1}{k} \ln \frac{B}{2 - \sqrt{3}}$ ， t_1 、 t_2 分别是萌动到快速增长、快速增长转慢的分界点， t_1 、 t_2 两点之间为速生期^[22]。根据模型拟合所得数据，来划分4个树种苗高和地径的生长时期。

2 结果与分析

2 结果与分析

2.1 生长模型的建立

从图1可以看出，4个楠属树种苗期的苗高和地径生长情况均呈现“慢—快—慢”的趋势，生长曲线为典型的“S”型曲线，但不同树种的苗高和地径生长存在差异性。从表2可以看出，4个楠属树种间苗高和地径生长均存在极显著差异，其中闽楠苗高和地径生长在4个树种中最高，其次是浙江楠，紫楠的苗高和地径生长在4个树种中最为缓慢。



a、b为实测值,c、d为拟合曲线
图1 4个楠属树种生长及 Logistic 拟合曲线

表2 4个楠属树种2年生苗木苗高和地径多重比较

树种	苗高/cm	地径/mm
闽楠	81.79±19.13c	7.20±1.58c
浙江楠	72.76±19.71b	6.17±1.76b
栎楠	62.96±20.80b	5.56±1.78ab
紫楠	46.96±15.08a	5.18±1.27a
F 值	52.369**	26.339**
P 值	0.000	0.000

表3 4个楠属树种苗高、地径生长的 Logistic 回归曲线参数

树种	指标	生长极限 (A)	待定系数 (B)	待定系数 (k)	决定系数 (R ²)	F	P
闽楠	苗高	91.122	9.711	0.026	0.987	76.572	P<0.01
	地径	7.978	6.939	0.021	0.993	96.733	P<0.01
浙江楠	苗高	79.793	8.423	0.026	0.987	68.685	P<0.01
	地径	7.183	4.891	0.018	0.976	109.610	P<0.01
栎楠	苗高	68.317	8.584	0.026	0.990	61.672	P<0.01
	地径	6.058	5.346	0.019	0.985	98.669	P<0.01
紫楠	苗高	51.005	7.222	0.027	0.988	38.235	P<0.01
	地径	5.640	5.202	0.021	0.989	51.701	P<0.01

从表3可知,4个楠属树种苗高、地径生长模型与“S”型生长曲线拟合均达到极显著水平。4个楠属树种苗期苗高生长拟合方程的相关系数最小为0.987,最大为0.990,平均为0.988;地径生长拟合方程的相关系数最小为0.976,最大为0.993,平均为0.986。说明4个楠属树种苗期苗高、地径生长均能用 Logistic 生长曲线进行模拟,使用 Logistic 方程来估测其生长情况是可靠可行的。

2.2 4个楠属树种苗期生长阶段划分和特点

从表4可以看出,4个楠属树种苗期苗高生长在生长前期占生长总量的10.50%~21.44%,在速生期的生长量占总生长量的66.59%~67.60%,生长后期的生长量占总生长量的11.46%~21.90%;地径生长在生长前期占总生长量的5.70%~10.69%,在速生期占生长总量的72.48%~79.10%,在生长后期占总生长量的15.20%~19.48%。苗高在生长前期占比

表4 4个楠属树种苗期生长节律

树种	指标	生长前期		速生期		生长后期			
		生长量/mm	占比/%	生长量/mm	占比/%	持续时间/d	日生长量/(mm/d)	生长量/mm	占比/%
闽楠	苗高	107.49	13.61	526.12	66.59	132	3.991	156.40	19.80
	地径	0.68	10.69	4.61	72.48	125	0.037	1.07	16.83
浙江楠	苗高	83.950	12.24	460.67	67.19	101	4.561	141.03	20.57
	地径	0.30	5.70	4.15	79.10	146	0.028	0.80	15.20
栎楠	苗高	73.10	21.44	394.42	67.10	101	3.905	120.31	11.46
	地径	0.33	7.14	3.50	76.73	138	0.025	0.735	16.13
紫楠	苗高	45.75	10.50	294.47	67.60	97	3.036	95.40	21.90
	地径	0.28	6.43	3.256	74.09	125	0.026	0.86	19.48

最大的是桢楠,其占比为 21.44%;在速生期和生长后期占比最大的是紫楠,其占比分别为 67.60% 和 21.90%。地径在生长前期占比最大的是闽楠,其占比率为 10.69%;在速生期占比最大的是浙江楠,其占比率为 79.10%;在生长后期占比最大的是紫楠,其占比率为 19.48%。

4 个楠属树种中,苗高速生期持续时间最长的树种是闽楠,其持续时间为 132 d,持续时间最短的树种是紫楠,仅为 97 d,浙江楠和桢楠持续时间相同为 101 d;地径速生期持续时间最长的树种为浙江楠,持续时间为 146 d,闽楠和紫楠的持续时间均最短,为 125 d,桢楠的持续时间为 138 d;在速生期内,苗高日平均生长量最大的树种是浙江楠,其值为 4.561 mm/d,最小的是紫楠,仅为 3.303 mm/d;地径日平均生长量最大的树种是闽楠,其值为 0.037 mm/d,最小的是紫楠,仅为 0.026 mm/d。

通过对 4 个楠属树种进行方程模拟可知,各树种苗期的苗高、地径生长具有明显的阶段性,模型可推导各生长阶段所对应的时间,具体见表 5。结果显示,4 个树种均可分为生长前期、速生期和生长后期 3 个阶段,苗高在这 3 个阶段的持续时间分别为 24~37、101~132、79~88 d,地径分别为 15~30、125~146、64~85 d。

表 5 4 个楠属树种苗高、地径的生长阶段

树种	指标	物候期参数		生长前期	速生期	生长后期	生长拐点
		t_1/d	t_2/d				
闽楠	苗高	36.78	138.09	4月10日—5月17日	5月17日—8月27日	8月27日—之后	7月8日
	地径	29.53	154.96	4月10日—5月10日	5月10日—9月12日	9月12日—之后	7月13日
浙江楠	苗高	31.31	132.61	4月10日—5月12日	5月12日—8月22日	8月22日—之后	7月2日
	地径	15.03	161.35	4月10日—4月25日	4月25日—9月18日	9月18日—之后	7月10日
桢楠	苗高	32.04	133.34	4月10日—5月12日	5月12日—8月23日	8月23日—之后	7月4日
	地径	18.92	157.54	4月10日—4月29日	4月29日—9月15日	9月15日—之后	7月10日
紫楠	苗高	24.45	122.00	4月10日—5月5日	5月5日—8月12日	8月12日—之后	6月24日
	地径	15.81	141.24	4月10日—4月26日	4月26日—8月30日	8月30日—之后	6月29日

4 个楠属树种苗期的生长阶段存在一定的差异,在苗高速生期上,紫楠的苗高速生期起始时间最早,为 5 月 5 日,结束时间最早,为 8 月 12 日,且生长拐点也最早,为 6 月 24 日;闽楠的苗高速生期起始时间最晚,为 5 月 17 日,结束时间最晚,为 8 月 27 日,拐点也最晚,为 7 月 8 日。在地径速生期上,浙江楠进入地径速生期的时间最早,为 4 月 25 日,结束时间最晚,为 9 月 18 日;闽楠的地径速生期时间最晚,为 5 月 10 日,拐点出现也最晚,为 7 月 10 日。

3 结论与讨论

在测定的 210 d 内,闽楠、浙江楠、桢楠和紫楠 2 年生苗木苗期生长均呈现“慢—快—慢”的生长规律,符合“S”型生长模型,这与韩东花等^[23]对楸树、郭欢欢等^[24]对黄连木和付佳秀等^[25]对云南紫薇等树种生长节律的研究结果类似。利用 Logistic 数学模型拟合 4 个楠属树种的苗高、地径数据,4 个树种的苗高生长 Logistic 模型决定系数在 0.987~0.990,地径生长模型的决定系数在 0.976~0.993,都达到了极显著水平,说明利用 Logistic 模型来拟合闽楠、浙江楠、桢楠和紫楠苗高和地径的生长节律准确度较高。4 个楠属树种的速生期起始时间、结束时间和持续时间存在差异,且各树种内部苗高和地径的生长节律也存在差异,这些差异可为定向培育闽楠、浙江楠、桢楠和紫楠提供参考。

4 个楠属树种的苗高和地径生长具有明显的阶段性,具体可划分为生长前期、速生期和生长后期 3 个生长阶段,不同树种各时期的划分起止时间存在明显差异。就苗高生长进入速生期的时间而言,紫楠进入的时间最早为 5 月 5 日,但持续时间最短为 97 d;闽楠进入的时间最晚为 5 月 17 日,但闽楠速生期持续的时间最长,为 132 d。就地径生长进入速生期的时间而言,浙江楠进入的时间最早为 4 月 25 日,但生长的拐点也最晚为 7 月 10 日;闽楠进入的时间最晚为 5 月 10 日,但持续的时间最长为 146 d。同时,4 个树种在苗高和地径生长方面均差异极显著,说明在珍贵树种培育选择方面具有现实意义。以速生珍贵用材培育为目标时,速生期的持续时间和生长速度可以作为速生选择的基本参考标准^[26-28]。闽楠苗高生长速生期持续时间最长,速生期内苗高和地径生长量均最大,综合生长表现最优秀,可作为珍贵用材树种培育的首选树种。此外,浙江楠地径生长速生期持续时间最长,期内苗高和地径生长量在 4 个树种中均排名第二,也可作为珍贵用材培育树种的选择对象。在江西

开展珍贵用材林培育造林时,可以优先考虑闽楠和浙江楠 2 个树种,但考虑到生态多样性问题,也可适当选择桢楠和紫楠造林。

树种的选择,是珍贵用材林培育成功与否的关键因素之一,对 4 个楠属珍贵树种苗期生长节律进行研究,可为苗木的树种选择和珍贵用材林营造提供技术支撑和理论依据。为提高珍贵用材林培育效率,在造林苗木树种选择时要有目的地选择树种,在该树种苗木生长速生期前及速生期中加强水肥管理,以利于该树种的培育。但是,本研究针对的是闽楠、浙江楠、桢楠和紫楠等 4 个珍贵树种苗期阶段,但实际造林效果如何,还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 范辉华,李莹,汤行昊,等.不同密度杉木林分下套种闽楠的生长分析[J].森林与环境学报,2020,40(2):184-189.
- [2] 邓波,燕季鹏,刘桂华,等.遮光和施肥对桢楠苗期生长和氮素积累的影响[J].浙江农林大学学报,2020,37(3):489-495.
- [3] 李鑫,沈永宝,朱文杰,等.不同芽苗切根强度对紫楠容器苗生长的影响[J].东北林业大学学报,2019,47(11):17-22.
- [4] 陆云峰,裴男才,朱亚军,等.渐危植物浙江楠群落结构及叶片性状多样性[J].应用生态学报,2018,29(7):2101-2110.
- [5] 王曦,胡红玲,胡庭兴,等.干旱胁迫对桢楠幼树渗透调节与活性氧代谢的影响及施氮的缓解效应[J].植物生态学报,2018,42(2):240-251.
- [6] 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.
- [7] FANG Y P, LIN C, YONG Z J, et al. Bio-based UV protective films prepared with polylactic acid (PLA) and *Phoebe zhenan* extractives[J]. International Journal of Biological Macromolecules,2018,119: 582-587.
- [8] 李军,陆云峰,杨安娜,等.紫楠天然群落物种多样性对不同干扰强度的响应[J].浙江农林大学学报,2019,36(2):279-288.
- [9] 陈德云,谢敏,廖德志,等.桢楠容器育苗基质筛选及富根壮苗培育[J].广西林业科学,2017,46(4):444-447.
- [10] 邱勇斌,乔卫阳,刘军,等.容器、基质和施肥对浙江楠容器大苗的影响[J].东北林业大学学报,2016,44(9):20-23.
- [11] 陈献志.浙江楠等 4 种珍贵树种容器育苗试验[J].浙江林业科技,2011,31(5):33-36.
- [12] 郭昉晨,刘世荣,温远光,等.南亚热带 11 种珍贵阔叶树种光合特性研究[J].广西科学,2015,22(6):606-611.
- [13] 殷国兰,谭斌,杨金亮,等.3 种珍贵用材树种 1 年生苗木光合特性研究[J].西部林业科学,2014,43(3):81-87.
- [14] 吴际友,黄明军,陈明皋,等.闽楠种源苗期生长差异与早期选择研究[J].中南林业科技大学学报,2015,35(11):1-4.
- [15] 朱雁,张季,王玉奇,等.桢楠优树子代苗期性状遗传变异研究[J].中国林副特产,2015(1):18-19.
- [16] 刘芳.楠木优树子代苗期性状遗传变异研究[J].福建林业科技,2008(2):39-41.
- [17] 许亮.浙江珍贵树种造林技术浅析[J].防护林科技,2017(5):99-100+102.
- [18] 邓荔生,曾佩玲,黄春妹,等.珍贵阔叶树种多树种混交造林技术[J].安徽农学通报,2014,20(22):99-100+143.
- [19] 刘敏,王胜坤,张宁南,等.珍贵树种林下套种广东紫珠的密度效应研究[J].林业与环境科学,2019,35(4):56-59.
- [20] 侯倩,刁灿林.珍贵树人工林下套种金花茶技术研究[J].江西农业,2018(16):82-83.
- [21] 邝雷,邓小梅,陈思,等.4 个任豆种源苗期生长节律的研究[J].华南农业大学学报,2014,35(5):98-101+107.
- [22] 董江水.应用 SPSS 软件拟合 Logistic 曲线研究[J].金陵科技学院学报,2007(1):21-24.
- [23] 韩东花,杨桂娟,肖遥,等.楸树无性系早期生长变异和优选[J].林业科学研究,2019,32(4):96-104.
- [24] 郭欢欢,刘勇,姚飞,等.黄连木苗期年生长节律、生物量分配及养分积累[J].中南林业科技大学学报,2018,38(7):71-75.
- [25] 付佳秀,任四妹,苏志龙,等.濒危树种云南紫薇一年生播种苗生长节律研究[J].种子,2017,36(12):61-63+66.
- [26] 唐继新,贾宏炎,王科,等.密度调控对米老排中龄人工林生长的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(1):45-53.
- [27] 贾晨,辜云杰,何承忠,等.川西高原 5 种乡土杨树生长特性研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(2):79-87.
- [28] 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.★