

不同种源区桢楠种子形态、发芽特征及幼苗生长情况研究

谢英赞<sup>1</sup>,王朝英<sup>2</sup>,马立辉<sup>1</sup>,杨 琼<sup>1</sup>,陈本文<sup>1</sup>,方 文<sup>1,2\*</sup>

(1. 重庆市林业科学研究院,重庆 400036;2. 西南大学 生命科学学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400715)

**摘 要:**为了提高重庆地区桢楠育苗质量,加快桢楠生长速率,缩短成材年限,提高楠木经营效益,寻找适宜重庆地区的楠木优良种源,通过对湖北、四川和重庆 3 省(市)11 个种源地桢楠的种子形态特征、发芽特性和在重庆地区的苗期生长表现来判定种源的优劣。分别检测种子千粒重、纵径、横径、发芽率、发芽指数、发芽势和种子活力指数,并对 11 个不同种源桢楠苗的生长情况进行分析比较。结果表明,永川种源桢楠种子纵径(1.23 cm)、横径(0.73 cm)最大,千粒重最重(351.29 g),发芽率(90%)、发芽势(43.00)以及种子活力指数(7.75)最高,1、2 年生幼苗株高(39.25、86.25 cm)、基茎(0.360、0.838 cm)和生物量积累(15.35、62.77 g)最大;峨眉种源桢楠种子纵径(0.98 cm)最小、横径(0.59 cm)较小,千粒重最轻(285.50 g),1、2 年生幼苗株高(23.00、70.00 cm)、基茎(0.253、0.662 cm)和生物量积累(11.03、45.35 g)最小,显著<永川种源,其上各指标分别仅为永川的 79.67%、80.82%、81.27%、58.60%、81.16%、70.28%、79.00%、71.86%和 72.25%。永川种源桢楠在重庆生长表现最优,可作为重庆桢楠育苗的首选种源;宜昌、大足、江津、长宁种源整体表现较好,可作为备选种源;峨眉、都江堰种源则整体表现相对较差,不建议作为重庆地区桢楠育苗的选择种源。

**关键词:**桢楠;种源;种子;幼苗生长特性;重庆

**中图分类号:**S792.24      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2017)04-0092-08

Seed Traits and Seedling Growth of *Phoebe zhennan* from Different Provenances

XIE Ying-zan<sup>1</sup>, WANG Chao-ying<sup>2</sup>, MA Li-hui<sup>1,2</sup>, YANG Qiong<sup>1</sup>, CHEN Ben-wen<sup>1</sup>, FANG Wen<sup>1,2\*</sup>

(1. Forestry Science Research Institute of Chongqing, Chongqing 400036, China; 2. College of Life Science, Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** In order to raise the operation benefits of *Phoebe zhennan* by improving the seedling quality and accelerating the growth rate to shorten the time of timber production in Chongqing municipality, seeds of *P. zhennan* were collected from 11 provenances in Hubei, Sichuan, and Chongqing. Relative indices of the seeds were measured for the evaluation of the seed quality. It was found that the seeds from Yongchuan had the maximum longitudinal diameter (1.23 cm), transverse diameter (0.73 cm), thousand seed weight (351.29 g), germination rate (90%), germination potential (43.00) and seed vigor index (7.75). Its 1- and 2-year-old seedlings also had the maximum height (39.25 and 86.25 cm, for 1- and 2-year-seedlings, respectively), basal diameter (0.36 and 0.838 cm, respectively) and biomass accumulation (15.35 and 62.77 g, respectively). While the seeds from Emei had the minimum longitudinal diameter (0.98 cm), transverse diameter (0.59 cm) and thousand seed weight (285.5 g). Its 1- and 2-year-old seedlings also had the minimum height (23 and 70 cm, respectively), basal diameter (0.253 and 0.662 cm, respectively) and biomass accumulation (11.03 and 45.35 g, respectively), significantly lower than those of the seeds from Yong-

收稿日期:2016-11-14 修回日期:2017-01-05

基金项目:楠木类种源试验及优良个体选择研究;重庆市桢楠高效培育技术(2016YFD0600603-3)。

作者简介:谢英赞,男,工程师,研究方向:植物生理生态和林木遗传育种等。E-mail:449080978@qq.com

\* 通信作者:方 文,男,高级工程师,研究方向:生态学、森林培育和林木遗传育种等。E-mail:66967661@qq.com

chuan,the percentages of the indices mentioned above accounted for those from Yongchuan were 79.67%,80.82%,81.27%,58.6%,81.16%,70.28%,79%,71.86%,and 72.25%,respectively. Seeds from Yongchuan showed the best growth in Chongqing,which could be selected as the finest provenance introducing to Chongqing. Seeds from Yichang, Jiangjin, Dazu and Changning had relatively good performance, and could be treated as the second choice of seed resource. Seeds from Emei and Dujiangyan exhibited poor performance,and would be not recommended.

**Key words:** *Phoebe zhennan*; provenance; seed; seedling growth characteristic; Chongqing

桢楠(*Phoebe zhennan*),习称楠木,为樟科楠属常绿乔木,在我国贵州、四川、重庆、湖北等地区有天然分布,是组成常绿阔叶林的主要树种<sup>[1]</sup>。桢楠材质优良,是明清时期皇室指定的专用木材楠木的最重要原料<sup>[2]</sup>,由于桢楠的生长速度缓慢<sup>[3]</sup>,加之历代砍伐利用没有计划和节制,桢楠资源趋于枯竭,现已列为国家二级保护植物<sup>[4]</sup>。桢楠用途广泛,不仅经济价值高,还是著名的庭园观赏和城市绿化树种,人们对桢楠及其加工品的情 热持续高涨,桢楠长期处于供不应求的状态。通过人工繁育和栽培是当前解决桢楠濒危危机和市场供需问题的最有效途径。当前桢楠人工栽培主要面临苗木质量较差、生长速度较慢、生长不均匀等不利现状,亟需选择优良种源以促进桢楠的栽培效益和积极性。针对桢楠的研究主要体现在种群分布和组成<sup>[5-6]</sup>、变迁<sup>[7]</sup>、人工林的生长规律<sup>[8]</sup>、生长指标<sup>[9]</sup>、胚胎发育<sup>[10]</sup>和育苗管理<sup>[11]</sup>等方面,对种源地的筛选和研究则相对较少,在重庆进行的种源试验更是未见报道,而种源的优劣往往决定着树种育苗的质量和后期营林的效益<sup>[12-14]</sup>。本研究旨在提高重庆地区桢楠育苗质量,加快桢楠生长速率,缩短其成材年限,提高楠木经营效益,为重庆地区桢楠育苗和经营寻找适宜的优良种源。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在重庆市沙坪坝区歌乐山镇重庆市林业科

学研究院试验苗圃中进行,气候属于中亚热带季风性湿润气候区,气候温和、四季分明、雨量充沛。最冷月平均气温 5.8℃,最热月平均气温 26.5℃,年平均气温 16.3℃,无霜期 341.6 d,具有冬暖夏热和春秋多变的特点。年降水量 1 082.9 mm。地貌归属于川东平行岭谷低山丘陵区的一部分,海拔高度在 550~650 m 之间。

1.2 试验材料

以湖北省宜昌市、重庆永川区、江津区、大足县和四川省长宁县、崇州市、峨眉山、都江堰、大邑县、荣经县和天全县共 3 各省(市)11 个种源地桢楠种子和以其种子种植的幼苗作为试验材料。湖北省宜昌市种子采自夷陵区雾渡河镇三隅口村桢楠种群;重庆永川区种子采自永川国有林场张家湾林区桢楠种群;江津区种子采自江津区中山古镇筭溪河畔桢楠种群;大足县种子采自高坪镇骑龙穴桢楠种群;四川省长宁县种子采自宜宾市长宁县飞泉寺桢楠种群;崇州市种子采自崇州市街子镇凤栖山风景区崇州古寺桢楠种群;峨眉种子采自峨眉山桢楠种群;都江堰种子采自大观乡青城山普照寺桢楠种群;大邑县种子采自沙渠镇桢楠种群;荣经县种子采自云峰寺桢楠种群;天全县种子采自兴业乡罗家村桢楠种群。种子采集时间在 2013 年 11 月 22 日至 12 月 4 日,由重庆市林业科学研究院和四川省林业科学研究院课题组成员分散采摘收集。采种地地理生态因子及采种树树龄情况见表 1。

表 1 桢楠种子采种地地理生态因子

Table 1 Seed collection area geographical ecological factors of *P. zhennan*

地点	经度	纬度	海拔/m	年均温/℃	年降雨量/mm	主要树龄区间/a	采种树树龄/a
宜昌	111°17'E	31°3'N	550	16.9	1 215.6	40~100	55~60
永川	105°57'E	29°28'N	695	17.7	1 015.0	30~80	55~60
江津	106°19'E	28°50'N	306	18.2	1 034.7	30~80	60~70
大足	105°42'E	29°50'N	410	17.4	1 009.2	30~80	60~65
长宁	105°1'E	28°41'N	384	18.3	1 141.7	100~150	110~120
崇州	103°40'E	30°39'N	510	15.9	1 012.4	70~200	70~80
峨眉	102°59'E	30°01'N	840	17.2	1 922.0	30~80	55~60
都江堰	103°25'E	30°45'N	495	15.2	1 200.0	50~100	60~65
大邑县	103°01'E	30°09'N	503	16.1	1 095.5	30~100	55~60
荣经县	102°51'E	29°47'N	849	15.2	1 133.1	30~100	50~55
天全县	102°50'E	29°54'N	755	15.1	1 735.6	30~70	50~55

### 1.3 试验方法

桢楠种子长度、宽度 为每个种源随机抽取 100 粒种子测量数据算平均值,种子千粒重为每种源随机抽取 100 粒种子称重 $\times 10$ ,抽 5 次算平均值。种子发芽在人工气候箱中进行,设定发芽条件为(8/16) h=(白天/夜晚),(30/22) $^{\circ}\text{C}$ =(白天/夜晚),空气湿度 75%,光照强度 2 000 lx。每个种源设 4 个重复,每个重复使用 50 颗种子做发芽试验。苗期试验于 2014 年 4 月 30 日开始,将不同种源的桢楠 30 d 育苗袋幼苗分别移植于上下口径和高度为 28、20、30 cm 的塑料花盆中,以混拌腐殖质比例为 1:1 的园土作为栽培基质栽培,每个种源栽培试验苗木 40 株,分 2 组分别作为 1 a 苗和 2 a 苗生长指标的测定材料,试验至 2015 年 12 月结束。

### 1.4 指标测定方法

桢楠种子长度、宽度、幼苗基径使用电子游标卡尺直接测定,幼苗株高使用精确度为 0.1 cm 的卷尺测定。种子千粒重、幼苗生物量(鲜/干重)使用千分之一电子天平测定。

发芽率=发芽种子数 $\div$ 试验种子数 $\times 100\%$ (1)  
发芽势=30 d 内发芽种子数 $\div$ 供试种子数 $\times 100\%$ (2)  
发芽指数( $G_i$ )= $\sum(G_i/D_i)$ (3)  
活力指数( $VI$ )= $S\times G_i$ (4)  
式中, $G_i$ —第  $n$  日的发芽数, $D_i$ —发芽的第  $n$  日, $S$ —一种苗生长量<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种源地桢楠种子形态特征分析

不同种源地桢楠种子在种子纵径、横径和质量方面有一定的差异(表 2)。重庆永川种源桢楠种子纵径、横径最大,分别为 1.23 cm 和 0.73 cm。重庆大足(1.19 cm)种源和湖北宜昌(1.21 cm)种源桢楠与重庆永川种源种子纵径相对较长,三者之间未达到显著性差异;四川各种源地桢楠种子纵径较重庆、湖北种源相对小,且各种源地种子纵径差异较大,都江堰和大邑县种源种子纵径仅为长宁种源的 86.73%。种子横径方面,湖北宜昌(0.69 cm)、四川崇州(0.69 cm)种源种子横径稍 $<$ 重庆永川种源,统计结果表明三者间差异不显著。重庆大足种源桢楠种子横径相对较小,与重庆永川、湖北宜昌和四川崇州种源相比差异显著。其余各地种源桢楠种子横径相对更小,各种源地间差异较大,天全县种源桢楠种子横径最小(0.56 cm),仅为横径最大的永川种源的 76.71%。

在 11 个种源中,重庆永川种源桢楠种子千粒重

相对最重(351.29 g),与其余各种源地桢楠种子千粒重差异均达到显著水平( $\alpha<0.05$ )。湖北宜昌种源桢楠种子千粒重(341.91 g),在 11 个种源中排列第 2,重庆大足(335.86 g)、江津(324.59 g)种源桢楠种子千粒重分别排在第 3、第 4 位。四川省种源桢楠种子千粒重 285.50(峨眉) $\sim$ 311.72 g(天全县),峨眉种源千粒重最轻,都江堰种源千粒重稍重,二者之间以及与其余各种源地间差异显著。长宁、崇州、大邑县、荣经县和天全县种源千粒重间差异不显著。

表 2 不同种源地桢楠种子形态特征			
Table 2 Seed morphological characteristics of different provenance of <i>P. zhenman</i>			
种源地	种子纵径/cm	种子横径/cm	千粒重/g
宜昌	1.21 $\pm$ 0.010 <sup>e</sup>	0.69 $\pm$ 0.013 <sup>de</sup>	341.91 $\pm$ 1.89 <sup>a</sup>
永川	1.23 $\pm$ 0.013 <sup>e</sup>	0.73 $\pm$ 0.012 <sup>e</sup>	351.29 $\pm$ 2.91 <sup>b</sup>
江津	1.11 $\pm$ 0.015 <sup>bc</sup>	0.65 $\pm$ 0.015 <sup>bcd</sup>	324.59 $\pm$ 2.00 <sup>c</sup>
大足	1.19 $\pm$ 0.018 <sup>de</sup>	0.66 $\pm$ 0.014 <sup>cd</sup>	335.86 $\pm$ 1.75 <sup>d</sup>
长宁	1.13 $\pm$ 0.019 <sup>cd</sup>	0.57 $\pm$ 0.012 <sup>a</sup>	308.35 $\pm$ 2.28 <sup>ef</sup>
崇州	1.03 $\pm$ 0.016 <sup>ab</sup>	0.69 $\pm$ 0.011 <sup>de</sup>	310.47 $\pm$ 1.86 <sup>ef</sup>
峨眉	0.98 $\pm$ 0.011 <sup>a</sup>	0.59 $\pm$ 0.018 <sup>ab</sup>	285.50 $\pm$ 1.83 <sup>g</sup>
都江堰	0.98 $\pm$ 0.019 <sup>a</sup>	0.57 $\pm$ 0.008 <sup>a</sup>	292.45 $\pm$ 2.16 <sup>h</sup>
大邑县	1.09 $\pm$ 0.024 <sup>bc</sup>	0.59 $\pm$ 0.019 <sup>a</sup>	305.50 $\pm$ 2.30 <sup>ef</sup>
荣经县	1.09 $\pm$ 0.016 <sup>bc</sup>	0.62 $\pm$ 0.013 <sup>abc</sup>	304.21 $\pm$ 1.81 <sup>ef</sup>
天全县	1.04 $\pm$ 0.020 <sup>ab</sup>	0.56 $\pm$ 0.015 <sup>a</sup>	311.72 $\pm$ 2.23 <sup>f</sup>

注:表中数据为 mean $\pm$ SE( $n=20$ ),同列不同小写字母表示二者间差异达到显著程度,即  $P<0.05$ 。

种子的饱满程度是直观判断种子质量的标准之一,种子的大小、重量则是种子饱满程度的量化指标。通常,植物种子越饱满,千粒重越重,纵、横径越长种子则发育情况相对越好,反之则越差。永川种源桢楠种子平均纵、横径和平均千粒重在 11 个种源区均展现出绝对优势,种子既大又饱满。峨眉、都江堰 2 个种源地桢楠种子则既瘦又小。除重庆永川种源外,湖北宜昌和重庆大足、永川种源桢楠种子也相对饱满。

### 2.2 不同种源地桢楠种子发芽情况分析

桢楠种子萌发周期相对较长,从初发芽至进入快速发芽期约需 12 $\sim$ 15 d,种子完成发芽约需 30 $\sim$ 35 d。整体上,桢楠种子萌发符合逻辑斯蒂生长趋势。重庆永川桢楠种子萌发周期相对较短,都江堰、大邑县桢楠种子萌发周期相对最长(图 1)。

各种源地桢楠种子在发芽率、发芽指数、发芽势和活力指数上各有差异。从发芽率看,永川种源桢楠种子发芽率最高(90%),宜昌种源发芽率(89%)略 $<$ 永川种源,江津、大足桢楠种子发芽率也都在 85%以上。荣经县、天全县和崇州种源发芽率相对较低,显著 $<$ 其余种源地桢楠种子。除荣经县、天全

县和崇州种外,其余各种源地间桢楠种子发芽率差异未达到显著水平。从发芽指数看,都江堰桢楠种子发芽指数(4.08)在 11 个种源中为最高,永川种子发芽指数(4.04)略<都江堰,在 11 个种源中排第 2 位。除天全县桢楠种子发芽指数(3.20)最低且与其余各种源地间差异水平达到显著程度外,其余各种源地间桢楠种子发芽指数差异水平不显著。发芽势是判断种子发芽齐性的关键指标,从 11 个种源的发芽势看,永川种源发芽势最高(43.00),峨眉种源发芽势次之(39.00),都江堰(36.50)、大足(36.00)和大邑县(35.50)种源发芽势也相对较高,且 5 地之间

桢楠种子发芽势差异水平不显著。宜昌、江津、长宁、崇州、荣经县、天全县种源发芽势相对较低,与永川种源相比差异水平显著。从种子活力指数看,永川种源桢楠种子活力指数(7.75)最大,与其余 10 个种源相比差异均达到显著水平。宜昌种源活力指数(6.56)次之,在 11 个种源中排第 2 位。天全县种源桢楠种子活力指数(5.09)最低,仅为永川种源的 77.59%。综合分析,永川种源桢楠种子发芽率、发芽指数、发芽势和活力指数均表现好,宜昌种源在发芽势上有一定缺陷,大足、江津种源整体上表现较好,天全县、荣经县种源则整体较差(表 3)。

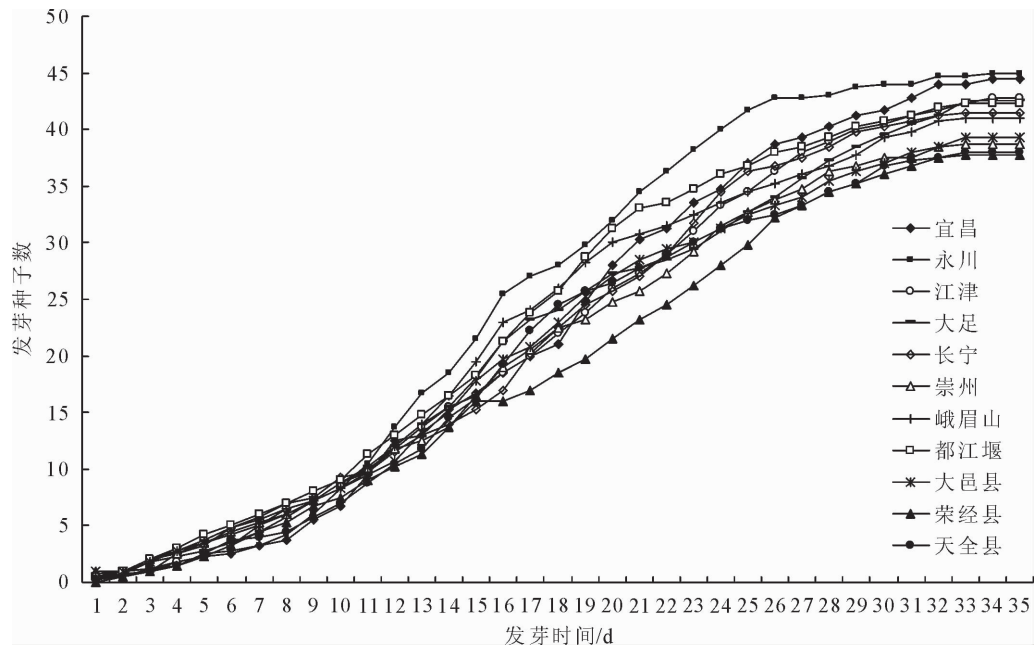


图 1 不同种源地桢楠种子发芽状况

Fig. 1 Germination of different provenances *P. zhenan* seeds

表 3 不同种源地桢楠种子发芽指标

Table 3 *P. zhenan* seed germination index of different provenances

种源地	发芽指数	发芽势/%	发芽率/%	活力指数
宜昌	3.78±0.07 <sup>ab</sup>	33.50±0.50 <sup>a</sup>	89.00±1.29 <sup>ab</sup>	6.56±0.16 <sup>a</sup>
永川	4.04±0.15 <sup>b</sup>	43.00±2.08 <sup>b</sup>	90.00±1.41 <sup>b</sup>	7.75±0.31 <sup>b</sup>
江津	3.58±0.24 <sup>ab</sup>	33.00±1.29 <sup>a</sup>	85.50±2.22 <sup>abc</sup>	5.65±0.18 <sup>cde</sup>
大足	3.61±0.14 <sup>ab</sup>	36.00±1.63 <sup>ab</sup>	85.00±2.08 <sup>abc</sup>	5.95±0.22 <sup>acd</sup>
长宁	3.70±0.16 <sup>ab</sup>	30.50±2.06 <sup>a</sup>	83.00±2.65 <sup>abc</sup>	6.04±0.24 <sup>acd</sup>
崇州	3.93±0.16 <sup>b</sup>	33.00±3.11 <sup>a</sup>	77.50±2.99 <sup>c</sup>	5.97±0.21 <sup>acd</sup>
峨眉	3.92±0.12 <sup>b</sup>	39.00±1.29 <sup>ab</sup>	82.00±2.45 <sup>abc</sup>	5.40±0.19 <sup>de</sup>
都江堰	4.08±0.08 <sup>b</sup>	36.50±2.50 <sup>ab</sup>	84.50±2.75 <sup>abc</sup>	5.62±0.24 <sup>cde</sup>
大邑县	3.95±0.07 <sup>b</sup>	35.50±1.89 <sup>ab</sup>	78.50±2.22 <sup>ab</sup>	6.21±0.20 <sup>ac</sup>
荣经县	3.57±0.14 <sup>ab</sup>	32.00±1.41 <sup>a</sup>	75.50±2.75 <sup>c</sup>	5.70±0.20 <sup>cde</sup>
天全县	3.20±0.11 <sup>a</sup>	32.50±2.22 <sup>a</sup>	76.00±2.94 <sup>c</sup>	5.09±0.16 <sup>e</sup>

注:表中数据为 mean±SE(n=4),同列不同小写字母表示二者间差异达到显著程度,即  $P<0.05$ 。

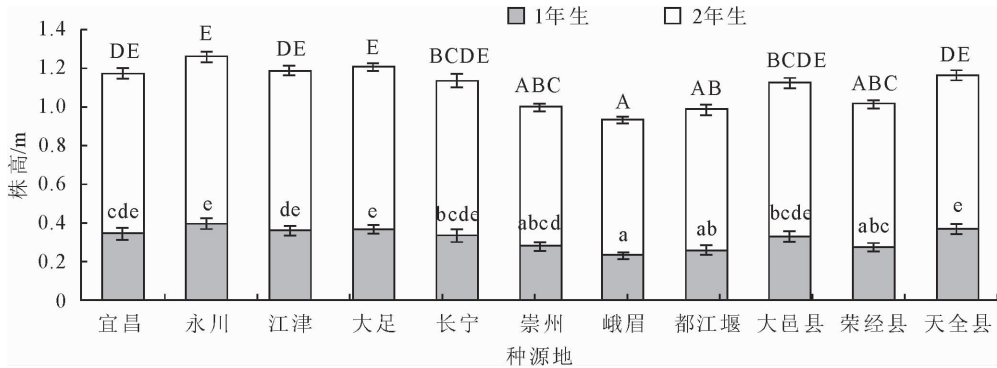
2.3 不同种源地桢楠苗期生长情况分析

2.3.1 不同种源地桢楠苗株高生长情况分析 不同种源地桢楠幼苗在重庆的生长有一定差异。播种当年冬季测定结果显示,1年生幼苗中以永川种源

表现最好(平均株高 39.25±0.027 cm),天全县种源稍次之(平均株高 36.55±0.029 cm),宜昌、江津、大足和大邑县种源株高生长亦相对较好,略小于永川、天全县种源,但 6 地之间差异未达到显著程

度。11 个种源中,峨眉种源桢楠 1 年生幼苗株高生长表现最差( $23.00\pm0.017$  cm)。播种翌年冬季测定结果显示,11 个种源中株高生长表现最好的仍为永川种源( $86.25\pm0.074$  cm),大足( $83.51\pm0.069$  cm)和宜昌( $83.05\pm0.093$  cm)种源次之,江津和长宁种源桢楠 2 年生幼苗平均株高 $>80$  cm。除崇州、峨眉、都江堰和荣经县 4 地外,本次试验中其余各种

源地桢楠 2 年生幼苗株高间未形成显著性差异,11 个种源中,峨眉( $70.00\pm0.055$  cm)种源在株高生长上表现相对最差。整体上,在株高生长指标上永川种源桢楠 1、2 年生幼苗在重庆表现最好,平均株高最高,峨眉种源表现最差,平均株高最矮。2 地 1、2 年生幼苗平均株高差异较大,峨眉种源桢楠幼苗株高分别为永川种源的 58.60%和 81.16%(图 2)。



注:不同大、小写字母均表示不同种源地之间差异显著。图下 3 同。

图 2 不同种源区桢楠幼苗株高

Fig. 2 Seedling height of *P. zhennan* in different provenance

2.3.2 不同种源地桢楠苗基径生长情况分析 播种当年冬季测定结果显示,11 个种源地中永川种源基径最大( $0.360\pm0.026$  cm),大足( $0.324\pm0.019$  cm)种源次之。除大足种源外,永川种源 1 年生桢楠幼苗基径与其余 9 地相比差异显著。各种源地中,峨眉种源 1 年生桢楠幼苗基径最小( $0.253\pm0.017$  cm),仅为永川种源的 70.34%。根据播种翌年冬季测定结果显示,各种源地桢楠 2 年生幼苗在基径生长上有一定的差异性(图 3)。永川种源 2 年生桢楠幼苗基径生长情况最好( $0.838\pm0.031$  cm),宜昌( $0.807\pm0.015$  cm)、大足( $0.787\pm0.030$  cm)

稍次,但与永川种源相比未达到显著性差异水平,永川种源桢楠 2 年生幼苗平均基径显著 $>$ 其余各种源地。崇州( $0.677\pm0.024$ )、峨眉( $0.662\pm0.027$ )和都江堰( $0.666\pm0.019$ )种源在 2 年生桢楠幼苗基径生长指标上表现较差,分别仅为永川种源的 80.78%、79.04%和 79.46%。除去这 3 地外,其余 8 个种源桢楠 2 年生幼苗平均基径均在 0.727 cm 以上。经过 2 年的测定结果表明在基径生长指标上,永川种源占据绝对优势,宜昌和大足种源次之,峨眉种源表现最差。

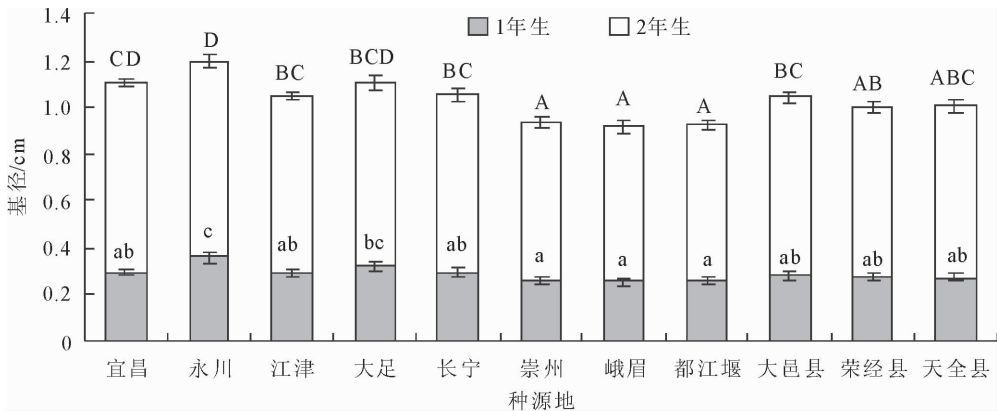


图 3 不同种源区桢楠幼苗基径

Fig. 3 Seedling base stem of *P. zhennan* in different provenance

2.3.3 不同种源地桢楠苗生物量积累情况分析 本次试验中桢楠 1 年生幼苗平均总生物量最重的是永川种源,达 15.35 g,与其余 10 个种源地相比差异

达到显著水平。宜昌(13.87 g)、大足(13.18 g)和长宁(13.05 g)种源的桢楠 1 年生幼苗平均总生物量相对较重,峨眉(11.03 g)、都江堰(11.40 g)种源

的桢楠 1 年生幼苗平均总生物量相对最轻,仅分别为永川种源的 71.86%和 74.27%。桢楠 2 年生幼苗平均总生物量最重的依然是永川种源(62.77 g),与其余 10 个种源地相比差异达到显著水平。宜昌(54.69 g)、大足(54.55 g)、长宁(54.14 g)、崇州(52.36 g)、大邑县(54.27 g)、荣经县(52.71 g)和天全县(54.96 g)种源桢楠 2 年生幼苗平均总生物量相对较重,且种源地间差异不显著。表现最差的依然是峨眉(45.35 g)和都江堰(46.12 g),2 种源地桢

楠 2 年生幼苗平均总生物量最低。与总生物量相对应,永川种源桢楠 1、2 年生幼苗地下、地上生物量在 11 个种源地中表现最好,峨眉种源表现最差。在地下生物量/地上生物量方面,各种源地桢楠 1 年生幼苗间无显著性差异,2 年生幼苗中永川种源(0.36)相对最大,显著>其余各种源地,天全县(0.29)和峨眉(0.30)种源相对最小,其余种源地间无显著性差异(表 4)。

表 4 不同种源地桢楠幼苗生物量积累情况

Table 4 <i>P. zhenan</i> seedling biomass accumulation conditions of different provenance									g
种源地	1 年生苗				2 年生苗				
	地上生物量	地下生物量	总生物量	生物量地下 / 地上	地上生物量	地下生物量	总生物量	生物量地下 / 地上	
宜昌	11.12±0.32 <sup>ab</sup>	2.75±0.070 <sup>b</sup>	13.87±0.34 <sup>b</sup>	0.25±0.02 <sup>a</sup>	41.29±1.06 <sup>bc</sup>	13.40±0.30 <sup>bc</sup>	54.69±1.31 <sup>bc</sup>	0.33±0.005 <sup>b</sup>	
永川	12.29±0.60 <sup>a</sup>	3.06±0.074 <sup>a</sup>	15.35±0.62 <sup>a</sup>	0.26±0.02 <sup>a</sup>	46.30±0.98 <sup>a</sup>	16.48±0.30 <sup>a</sup>	62.77±1.07 <sup>a</sup>	0.36±0.009 <sup>a</sup>	
江津	10.06±0.36 <sup>bcde</sup>	2.57±0.103 <sup>bcd</sup>	12.62±0.40 <sup>bcd</sup>	0.26±0.01 <sup>a</sup>	38.66±1.17 <sup>c</sup>	12.10±0.25 <sup>d</sup>	50.77±1.35 <sup>c</sup>	0.32±0.006 <sup>bcd</sup>	
大足	10.49±0.51 <sup>bc</sup>	2.69±0.087 <sup>bc</sup>	13.18±0.48 <sup>bc</sup>	0.27±0.02 <sup>a</sup>	41.01±1.28 <sup>bc</sup>	13.54±0.48 <sup>b</sup>	54.55±1.70 <sup>bc</sup>	0.33±0.006 <sup>b</sup>	
长宁	10.38±0.45 <sup>bcd</sup>	2.68±0.087 <sup>bc</sup>	13.05±0.51 <sup>bc</sup>	0.26±0.01 <sup>a</sup>	41.08±0.97 <sup>bc</sup>	13.06±0.35 <sup>bcd</sup>	54.14±1.24 <sup>bc</sup>	0.32±0.006 <sup>bc</sup>	
崇州	9.70±0.40 <sup>cde</sup>	2.46±0.082 <sup>cde</sup>	12.16±0.43 <sup>cde</sup>	0.26±0.01 <sup>a</sup>	39.93±0.92 <sup>bc</sup>	12.43±0.31 <sup>cd</sup>	52.36±1.18 <sup>bc</sup>	0.31±0.004 <sup>bcd</sup>	
峨眉	8.77±0.42 <sup>e</sup>	2.26±0.087 <sup>e</sup>	11.03±0.39 <sup>e</sup>	0.27±0.02 <sup>a</sup>	34.96±0.91 <sup>d</sup>	10.39±0.16 <sup>e</sup>	45.35±1.01 <sup>d</sup>	0.30±0.007 <sup>cd</sup>	
都江堰	9.07±0.45 <sup>de</sup>	2.34±0.072 <sup>de</sup>	11.40±0.47 <sup>de</sup>	0.27±0.02 <sup>a</sup>	35.17±0.75 <sup>d</sup>	10.95±0.25 <sup>e</sup>	46.12±0.64 <sup>d</sup>	0.32±0.012 <sup>bcd</sup>	
大邑县	9.97±0.39 <sup>bcde</sup>	2.62±0.081 <sup>bc</sup>	12.59±0.41 <sup>bcd</sup>	0.27±0.01 <sup>a</sup>	41.23±1.22 <sup>bc</sup>	13.04±0.39 <sup>bcd</sup>	54.27±1.40 <sup>bc</sup>	0.32±0.011 <sup>bc</sup>	
荣经县	10.21±0.41 <sup>bcd</sup>	2.57±0.076 <sup>bcd</sup>	12.77±0.45 <sup>bcd</sup>	0.27±0.01 <sup>a</sup>	39.98±0.98 <sup>bc</sup>	12.73±0.49 <sup>bcd</sup>	52.71±1.33 <sup>bc</sup>	0.32±0.010 <sup>bc</sup>	
天全县	10.09±0.37 <sup>bcde</sup>	2.64±0.070 <sup>bc</sup>	12.73±0.40 <sup>bcd</sup>	0.27±0.01 <sup>a</sup>	42.57±1.03 <sup>b</sup>	12.39±0.22 <sup>cd</sup>	54.96±1.18 <sup>b</sup>	0.29±0.006 <sup>d</sup>	

注:表中数据为 mean±SE(n=20),同列不同小写字母表示二者间差异达到显著程度,即 P<0.05。

3 结论与讨论

重庆地处长江上游,是我国桢楠的重要自然分布区和适生区<sup>[16]</sup>。楠木的大需求量、高品质要求与产量低、品质差之间的矛盾日益凸显。选择优良种源是促进林木高产量和高质量的有效手段<sup>[17]</sup>。研究表明,不同种源的桉木在树高、材积等指标上差异极显著<sup>[18]</sup>;种源地的不同导致水曲柳树高、胸径和材积在种源间差异极显著<sup>[19]</sup>;种源对红松生长、材性、生物量、含碳率等性状影响较大<sup>[20]</sup>,种源地不同影响无患子种子品质等级,而种子的质量与其幼苗生物量积累密切相关<sup>[21]</sup>。种源与植物抗逆能力密切相关,研究表明,不同种源花楸树幼苗在越夏能力上有显著差异<sup>[22]</sup>。不同种源胡杨种子在盐胁迫环境中的萌发率差异显著<sup>[23]</sup>,在沙枣研究中发现,沙枣对 NaCl 胁迫下的生长表现具有显著差异<sup>[24]</sup>。本研究以四川、湖北和重庆 3 个省市 11 个种源地桢楠种子和幼苗为试验材料,结果表明不同种源桢楠在种子形态、千粒重、发芽指标和幼苗株高、基径和生物量等方面上具有较大的差异。王寒冬<sup>[25]</sup>等研究表明,小麦种子千粒重与其纵横径显著相关,本试验中桢楠种子也表现出纵横径越大种子千粒重相对越

大,反之越小的趋势,如永川种源桢楠种子纵横径最大,种子千粒重最重,峨眉种源桢楠种子纵横径最小,其种子千粒重相对最轻。卞方圆<sup>[26]</sup>等研究发现,云南红豆杉种子的大小与其萌发特性密切相关,种子大其发芽率高,种子小其发芽率显著降低。王晨阳<sup>[27]</sup>等通过的研究却发现,种子大小与青藏高原东缘唇形科植物种子萌发率呈显著负相关。本试验中桢楠种子发芽率与种子的大小关系不明显,永川种源桢楠种子最大,发芽率最高,但峨眉种源桢楠种子虽最小,而发芽率>种子相对较大的崇州、大邑县、荣经县和天全县。形态和发芽率指标不是判定种子优劣的唯一指标,种子的发芽势、发芽指数和活力指数在一定程度上决定着种子的质量。发芽势和发芽指数可以反映种子的劣变程度,是灵敏地表现种子活力的重要指标,种子活力指数则反映种子形成幼苗后的生长能力。发芽势和发芽指数高,种子发芽整齐,有利于苗木统一管理;种子活力指数高则后期苗木生长能力较强,有利于高质量苗木的产生。本试验中,永川种源桢楠种子在发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数上均占明显优势。

种源的优劣,除通过种子的研究外,苗期形态是其重要的判断指标。王美婷<sup>[28]</sup>等研究揭示了班克

木早期生长与种源密切相关,李晓清<sup>[29]</sup>等研究表明种源与桢楠幼苗细根形态和生物量积累有显著相关性。倪建中<sup>[30]</sup>等发现不同种源木棉光合特性差异较大,且光合作用与其生长特性呈显著正相关,光合指标可以作为评价木棉种源优劣的指标。贾庆彬<sup>[31]</sup>等发现不同种源长白落叶松的生长、干材生物量、碳储量等差异较大<sup>[31]</sup>。本研究发现,永川种源桢楠幼苗 1、2 年生苗在株高基茎和生物量积累上优势明显,峨眉种源则表现最差,11 个种源桢楠 1、2 年生幼苗在株高、基茎生长和生物量积累上有较大的差异。通过对 11 个种源桢楠幼苗地下生物量与地上生物量的比值分析发现,总生物量积累较高的种源其地下生物量比重相对越高,这说明种源较优的桢楠幼苗不仅在生长上占据优势,还具有合适的根冠比,这对其维持后期的生长优势具有重要意义。

综上,本研究通过对桢楠 11 个种源在重庆的试验研究发现,永川种源在种子形态、发芽特性和幼苗生长等指标上具有明显优势。宜昌、大足、江津、长宁种源整体表现较好,可作为备选种源;崇州、大邑县、荣经县、天全县种源在株高、基茎和生物量积累上表现较好,但发芽率相对较低;峨眉、都江堰种源则整体表现最差,不建议作为重庆地区桢楠育苗的选择种源。

参考文献：

[1] 谭鹏,李敏华. 中国特有树种——桢楠[J]. 中国木材,2011(3): 16-17.

[2] 邓沛. 论明清时期在金沙江下游地区进行的“木政”活动[J]. 青海师专学报:教育科学,2006(2): 89-91.

[3] 周祖洪,陈孝,纪程灵,等. 桢楠径向生长量变化规律研究[J]. 湖南林业科技,2014,41(6): 66-69.

[4] 国家林业部、农业部令(第 4 号). 国家重点保护野生植物名录(第一批)[Z]. 1999-09-09.

[5] 张伟,何兴炳,唐森强,等. 四川桢楠生长特性与分布[J]. 林业科技开发,2012,26(5): 38-41.

ZHANG W, HE X B, TANG S Q, *et al.* Study on the growth characteristics and distribution of *Phoebe zhennan* in Sichuan [J]. China Forestry Science and Technology, 2012, 26(5): 38-41. (in Chinese)

[6] 王琦,李因刚,柳新红,等. 湖北恩施桢楠林群落组成与结构[J]. 林业科学研究,2013,26(1): 21-28.

WANG Q, LI Y G, LIU X H, *et al.* Community composition and structure of *Phoebe zhennan* forest in Enshi, Hubei Province[J]. Forest Research, 2013, 26(1): 21-28. (in Chinese)

[7] 林鸿荣. 古代的楠木及其分布变迁[J]. 四川林业科技, 1988(4): 48-58.

[8] 曾广腾,丁伟林,董南松,等. 桢楠轻基质网袋育苗试验及苗木生长节律研究[J]. 江西林业科技, 2014(4): 30-31.

[9] 李晓清,陈宇,张伟,等. 桢楠(*Phoebe zhennan*)不同种源幼苗比较研究[J]. 四川林业科技, 2015, 36(2): 20-23.

[10] 余道平,彭启新,胡庭兴,等. 桢楠多胚现象与多胚苗形态发育的研究[J]. 四川林业科技, 2015, 36(1): 35-37.

[11] 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.

HE W, HU T X, WANG R, *et al.* Effect of fertilization on photosynthetic physiology and growth characteristics of *Phoebe zhennan* seedlings[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2014, 34(6): 1187-1197. (in Chinese)

[12] 仲崇禄,施纯浚,王维辉,等. 华南地区山地木麻黄种源试验与筛选[J]. 林业科学, 2002, 38(6): 58-65.

ZHONG C L, SHI C F, WANG W H, *et al.* International proveance trials of *Casuarina junghuhniana* in southern China [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(6): 58-65. (in Chinese)

[13] 杨书文,刘桂丰,彭宏梅,等. 樟子松种源试验研究[J]. 东北林业大学学报, 1991(Supp. 2): 108-114.

YANG S W, LIU G F, PENG H M, *et al.* Study on the prove-nance test of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 1991 (Supp. 2): 108-114. (in Chinese)

[14] 欧建德. 观赏型南方红豆杉地理种源试验及优良地理种源的选择初步研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(4): 134-140.

OU J D. Selection of excellent geographical provenances and test of geography provenances of landscape *Taxus chinensis* var. *mairei* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(4): 134-140. (in Chinese)

[15] 赵艳艳,胡晓辉,邹志荣,等. 不同浓度 5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 62-70.

ZHAO Y Y, HU X H, ZOU Z R, *et al.* Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*) seeds under NaCl stress[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 62-70. (in Chinese)

[16] 李晓清,代仕高,龙汉利,等. 桢楠种源幼苗细根形态和生物量研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24(2): 208-214.

LI X Q, DAI S G, LONG H L, *et al.* Fine root morphology and biomass of *Phoebe zhennan* provenance seedlings [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2016, 24(2): 208-214. (in Chinese)

[17] 申文辉,朱积余,刘秀,等. 红锥种源区域试验与优良种源选择[J]. 中南林业科技大学学报, 2014(3): 11-17.

SHEN W H, ZHU J Y, LIU X, *et al.* Regional testing and superior provenance selection of *Castanopsis hystrix* provenances[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2014(3): 11-17. (in Chinese)

[18] 王军辉,顾万春,李斌,等. 桫木优良种源/家系的选择研究——生长的适应性和遗传稳定性分析[J]. 林业科学, 2000, 36(3): 59-66.

WANG J H, GU W C, LI B, *et al.* Study on selection of *Alnus cremastogyne* provenance/ family—analysis of growth adaptation and genetic stability[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2000, 36(3): 59-66. (in Chinese)

[19] 赵兴堂,夏德安,曾凡锁,等. 水曲柳生长性状种源与地点互作及优良种源选择[J]. 林业科学, 2015, 51(3): 140-147.

ZHAO X T, XIA D A, ZENG F S, *et al.* Provenances by sites



interaction of growth traits and provenance selection of *Fraxinus mandshurica* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(3): 140-147. (in Chinese)

[20] 侯丹,张莉,魏志刚,等.红松种源遗传变异及高固碳种源选择的研究[J].植物研究,2016(3):452-460.  
HOU D,ZHANG L,WEI Z G,*et al.* Genetic variation of *Pinus koraiensis* from provenances and high carbon storage provenance selection[J]. Bulletin of Botanical Research, 2016 (3):452-460. (in Chinese)

[21] 钟琳珊,李萍球,孟德悦,等.江西 4 个乡土种源无患子种子品质及苗期生长研究[J].西北林学院学报,2016,31(4):157-164.  
ZHONG L S,LI P Q,MENG D Y,*et al.* Seed quality and seedling growth characteristics of four native *Sapindus mukurossi* in Jiangxi[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016,31(4):157-164. (in Chinese)

[22] 彭松,马森,郑勇奇,等.不同种源花楸树幼苗越夏能力的比较[J].生态学杂志,2014,33(2):321-327.  
PENG S,MA M,ZHENG Y Q,*et al.* Comparision in thermotolerance over summer of seedlings among different provenances of *Sorbus pohuashanensis* (Hance) Hedl[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014,33(2):321-327. (in Chinese)

[23] 伊丽米努尔,艾力江·麦麦提,卓热木·塔西,等.NaCl 胁迫下不同种源胡杨种子萌发特性[J].西北林学院学报,2015,30(6):88-94.  
YILIMINUER,AILIJIANG M M T,ZHUOREMU T X,*et al.* Seed germination characteristics of *Populus euphratica* from different provenances under NaCl stress[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015,30(6):88-94. (in Chinese)

[24] 杨升,张华新,杨秀艳,等.NaCl 胁迫下不同种源沙枣的生长表现差异[J].林业科学,2015,51(9):51-58.  
YANG S,ZHANG H X,YANG X Y,*et al.* Differential growth performance of *Elaeagnus angustifolia* provenances under NaCl stress[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015,51(9):51-58. (in Chinese)

[25] 王寒冬,张波,陈文杰,等.青海小麦品种的种子表型性状分析[J].麦类作物学报,2015,35(4):471-478.  
WANG H D,ZHANG B,CHEN W J,*et al.* Phenotypic analysis of grain traits of wheat cultivars registered in Qinghai Province[J]. Journal of Triticeae Crops, 2015, 35(4): 471-478. (in Chinese)

[26] 卞方圆,苏建荣,刘万德,等.云南红豆杉新采收种子的形态与离体胚的萌发特性[J].生态学报,2015,35(24):8211-8220.  
BIAN F Y,SU J R,LIU W D,*et al.* Morphology of fresh seeds and germination of in vitro embryos for *Taxus yunnanensis*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(24):8211-8220. (in Chinese)

[27] 王晨阳,张春辉,刘文,等.青藏高原东缘唇形科植物种子大小对萌发的影响研究[J].草地学报,2011,19(4):601-606.  
WANG C Y,ZHANG C H,LIU W,*et al.* Effects of seed mass on germination of lamiaceae species in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Acta Agrectir Sinica, 2011,19(4):601-606. (in Chinese)

[28] 王美婷,黄应锋,陈勇,等.强力班克木 5 个种源苗期生长研究[J].林业科学研究,2015,28(5):749-752.  
WANG M T,HUANG Y F,CHEN Y,*et al.* Early growth analysis of 5 *Banksia robur* provenances[J]. Forest Research, 2015,28(5):749-752. (in Chinese)

[29] 李晓清,代仕高,龙汉利,等.桢楠种源幼苗细根形态和生物量研究[J].热带亚热带植物学报,2016,24(2):208-214.  
LI X Q,DAI S G,LONG H L,*et al.* Fine root morphology and biomass of *Phoebe zhennan* provenance seedlings [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2016,24(2):208-214. (in Chinese)

[30] 倪建中,王伟,郁书君,等.不同种源木棉生长及光合特性研究[J].南京林业大学学报:自然科学版,2015(6):185-189.  
NI J Z,WANG W,YU S J,*et al.* Analysis of growth traits and photosynthetic characteristics of *Bombax ceiba* among different provenances[J]. Journal of Nanjing Forestry University; Natural Science Edition, 2015(6):185-189. (in Chinese)

[31] 贾庆彬,张含国,姚宇,等.长白落叶松高固碳种源选择研究[J].林业科学研究,2014,27(3):341-348.  
JIA Q B,ZHANG H G,YAO Y,*et al.* High carbon content larch (*Larix olgensis*) provenances selection[J]. Forest Research, 2014,27(3):341-348. (in Chinese)