

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.05.012

麻栎不同种源幼林生长和生物量的变异

苑海静^{1,2}, 邢文黎¹, 徐海东¹, 汪阳东¹, 成向荣^{1*}, 张春祥³

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 华东沿海防护林生态系统国家定位观测研究站, 浙江 杭州 311400;

2. 南京林业大学, 江苏 南京 210037; 3. 安徽省滁州市红琊山林场, 安徽 滁州 239000)

摘要: [目的] 通过种源试验研究麻栎生长动态变化及不同种源生长差异, 为麻栎炭用林高效培育提供优良种植材料。[方法] 以安徽省滁州市红琊山国有林场麻栎种源试验林为研究对象, 通过调查 35 个种源的存活率, 以及 1 年生、4 年生、7 年生和 11 年生麻栎生长和地上生物量变化, 分析种源间林木生长差异, 并对生长性状进行聚类分析和综合评价。[结果] 不同种源麻栎 1 年生幼苗平均成活率为 89.50%, 11 年生林分平均保存率为 72.82%, 不同种源间变异系数为 13.70%。不同种源树高、胸径(地径)、地上单株生物量的差异随林龄增加逐渐减小, 总体上地上单株生物量变异最大, 其次为胸径(地径), 而树高变异程度相对较小。聚类分析发现, 四川、贵州等地种源在试验区幼林期具有较高的保存率和生长优势, 而山东、湖北等地的种源表现较差。[结论] 麻栎种源间生长量和生物量差异随林龄增加呈动态变化, 试验区以云贵高原地区种源的生长表现较好。

关键词: 麻栎; 生长; 地上单株生物量; 种源变异

中图分类号: S722.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)05-0097-09

种源试验可以揭示林木种内变异规律, 为造林地区选育高产的优良种质资源提供理论依据^[1-2]。我国已对杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)^[3]、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)^[4]等主要造林树种开展全分布区的种源试验, 证实不同种源在生长、形态等方面存在显著的遗传变异, 并结合生产需要筛选优良种源推广应用。不同种源林木发育特性不一, 有些种源在苗期生长迅速, 而另一些则早期生长速度较慢, 中后期生长较快^[5]。林木生长特征和生物量可以反映植物的资源利用能力和物质积累状况, 是林木的基本生物学特征和功能性状之一^[6]。植物生长性状受遗传特性和环境因素共同影响, 因而不同种源林木生长表现具有较大变异性^[7]。

麻栎(*Quercus acutissima* Carruth.) 广泛分布于我国亚热带和暖温带地区, 其深根、喜光, 耐干

旱瘠薄, 在山区、丘陵和岗地均可栽植^[8]。麻栎萌芽能力强, 生产潜力大, 是生产优质木炭的重要原料。江淮低山丘陵地区是麻栎重要分布区, 近年来麻栎人工林发展迅速, 其中安徽省滁州市是我国麻栎中心产区之一, 将麻栎能源林培育作为重点发展的林业产业, 现已营造麻栎人工林 3 万 hm^2 以上。但目前该地区缺乏优良种质资源, 严重制约当地麻栎炭用林及其栎炭加工产业发展^[9]。开展麻栎种源试验, 筛选适宜于江淮分水岭贫瘠易旱区发展的优良种质资源, 对促进麻栎短轮伐期炭用林高效培育具有重要意义。

麻栎分布范围广, 地理变异大, 具有丰富的遗传资源和高度的遗传变异特质, 这为麻栎优良种质资源的发掘利用提供了重要基础。麻栎全分布区的种源试验, 前期主要集中于不同种源麻栎苗期生长^[10-11]和叶片性状^[12]的变异, 而不同种源麻栎随

收稿日期: 2019-12-26 修回日期: 2020-04-10

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目“白栎、麻栎及国外栎类优良种质资源收集与培育技术研究”(CAFYBB2018ZB001-3)

* 通讯作者: 成向荣. E-mail: chxr@caf.ac.cn

林龄增长的生长表现尚缺乏深入研究。基于此,本试验根据设置在安徽省滁州市的35个种源麻栎幼林连续生长调查数据,分析麻栎林分保存率以及树高、胸径(地径)和地上单株生物量随林龄的变化特征,为试验区麻栎炭用林的高效培育筛选优良种植材料。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于安徽省滁州市南谯区红琊山国有林场(32°10' N, 118°04' E)。试验区属北亚热带季风气候,年平均气温15.4℃,年降水量1035.8 mm,无霜期218 d,≥10℃年积温4800.4℃。试验地海拔高度100~300 m,土壤为黄棕壤,土层较薄,较贫瘠。

麻栎在全国分布区(的采种及育苗方法本团队在前期已进行系统描述^[12],种源地概况见表1。于2008年3月选取1年生健壮裸根实生苗(苗高45.17~79.76 cm,地径0.59~1.09 cm)造林,栽植株行距为2 m×3 m。采用完全随机区组设计,6株单列小区,6次重复。

1.2 生长量、生物量和保存率测定

麻栎种源试验林于每年12月底进行每木检尺,测定树高和胸径(地径),为全面的展示不同林龄生长的变异,本文选取1^[11]、4、7和11年的生长数据进行详细分析,其中存活率仅分析1和11年生林分。

不同林龄麻栎地上单株生物量通过前期对试验区麻栎人工林样地调查获得的生物量模型来估算:在试验区邻近的麻栎人工林内选择1年生、3年生、5年生、8年生、10年生和13年生林分,共建立15 m×15 m临时样地12块,在每个样地内选择5株平均木,每个林龄共10株,伐倒标准木测定地上单株生物量,并通过生物量与树高、胸径(地径)的实测值构建生物量模型。

1年生林木地上生物量模型为: $W = 0.0071 \times e^{0.9382 \times D_{0.1}} (R^2=0.9472)$;

4年生、7年生和11年生林木地上生物量模型为: $W=0.116105(D^2H)^{0.832016} (R^2=0.9785)$ 。

式中, W 为地上单株生物量(kg), $D_{0.1}$ 为地径(cm), D 为胸径(cm)(1年生时为地径), H 为树高(m)。经 F 检验,相关系数均达

到显著水平。

1.3 数据处理

试验数据采用Excel 2010和SPSS 22.0软件进行统计分析。相对生长差异性比较是以滁州当地种源树高、胸径(地径)和地上单株生物量的平均值为对照,将其它各种源生长性状与滁州种源的差值进行比较,进而分析各种源在滁州的适应性和生长表现差异。种源聚类采用R 3.60软件内“Pheatmap”程序包完成。

2 结果与分析

2.1 不同麻栎种源存活率分析

造林当年麻栎幼苗成活率调查表明,麻栎各种源幼苗平均成活率为89.50%,变异系数为6.83%(图1)。成活率最高的为浙江建德种源,达100.00%,最差的种源为山东沂水种源,成活率仅为66.67%。试验区11年生麻栎林分各种源的平均保存率为72.82%,变异系数为13.70%,不同种源间适应性差异逐渐增大。四川(万源、泸州1[#]、泸州2[#])、贵州(榕江、三穗、黄平)、浙江(开化、龙泉)等地麻栎种源在观测期内始终保持较高的保存率,尤其贵州榕江、浙江开化和龙泉的保存率均超过90.00%;山东沂水和湖北襄樊的保存率较低,仅为56.67%。

2.2 麻栎种源生长量和生物量的变异

麻栎种源间树高、胸径(地径)和地上单株生物量具有较大的变异(表2)。种源间1年生树高变异系数较大,为22.06%,最大值是最小值的2.32倍,而4年生、7年生和11年生的种源树高变异系数相对较小,均低于13.00%。胸径(地径)的种源变异系数随林龄增加逐渐减小,1年生、4年生、7年生和11年生时不同种源胸径(地径)最大值分别是最小值的2.50、3.10、2.16和1.98倍。种源地上单株生物量的变异系数也随林龄增加逐渐减小,但其变异程度远高于树高和胸径。进一步分析发现,麻栎树高在7~11 a间生长最快,年平均生长量达1.17 m,在1~4 a间生长较慢,年平均生长量为0.58 m;胸径在4~7 a间生长最快,年平均生长量达1.32 cm,在1~4 a间生长较慢,仅为0.41 cm;地上单株生物量在7~11 a间生长最快,年平均生长量达7.23 kg,在1~4 a间生长较慢,仅为0.30 kg。由此可见,麻栎种源

表1 35个麻栎种源地的概况
Table 1 Basic conditions of 35 *Q. acutissima* provenances

| 编号 Order | 种源 Provenance | 地理坐标 Geographical coordinates | | 年均温 Annual mean temperature / °C | 年降水量 Annual total precipitation / mm | 无霜期 Frostless period / d | ≥10 °C年积温 Annual accumulated temperature / °C |
|-------------|--|----------------------------------|---------|-------------------------------------|---|-----------------------------|--|
| | | N | E | | | | |
| A | 陕西汉中 Hanzhong, Shaanxi | 33°04' | 107°01' | 14.3 | 858.6 | 197 | 4 279.3 |
| C1 | 山东沂水 Yishui, Shandong | 35°47' | 118°37' | 13.3 | 782.1 | 205 | 4 183.7 |
| C2 | 山东费县 Feixian, Shandong | 35°16' | 117°58' | 13.6 | 856.4 | 197 | 4 279.3 |
| C3 | 山东蒙阴 Mengyin, Shandong | 35°42' | 117°56' | 12.8 | 820.3 | 200 | 4 380.3 |
| C4 | 山东平邑 Pingyi, Shandong | 35°30' | 117°38' | 13.2 | 784.8 | 212 | 5 100.4 |
| D | 河南南召 Nanzhao, Henan | 33°29' | 112°25' | 14.8 | 839.5 | 216 | 4 685.4 |
| E1 | 安徽黄山 Huangshan, Anhui | 30°09' | 118°09' | 15.5 | 1 670.3 | 237 | 4 856.4 |
| E2 | 安徽六安 Lu'an, Anhui | 31°44' | 116°31' | 15.2 | 1 085.2 | 242 | 5 004.5 |
| E3 | 安徽潜山 Qianshan, Anhui | 30°37' | 116°34' | 16.3 | 1 336.2 | 242 | 5 177.1 |
| E4 | 安徽太湖 Taihu, Anhui | 30°27' | 116°17' | 16.4 | 1 363.5 | 249 | 5 214.2 |
| E5 | 安徽休宁 Xiuning, Anhui | 29°47' | 118°10' | 16.1 | 1 773.4 | 231 | 5 129.1 |
| E6 | 安徽泾县 Jingxian, Anhui | 30°41' | 118°25' | 15.6 | 1 556.4 | 240 | 4 950.8 |
| E7 | 安徽滁州 Chuzhou, Anhui | 32°18' | 118°19' | 15.4 | 1 035.8 | 218 | 4 800.4 |
| E8 | 安徽池州 Chizhou, Anhui | 30°40' | 117°29' | 16.5 | 1 556.9 | 220 | 5 129.1 |
| F | 江苏句容 Jurong, Jiangsu | 31°56' | 119°10' | 15.2 | 1 105.3 | 229 | 4 859.2 |
| H1 | 浙江富阳 Fuyang, Zhejiang | 30°02' | 119°57' | 16.9 | 1 463.8 | 232 | 5 064.5 |
| H2 | 浙江开化 Kaihua, Zhejiang | 29°08' | 118°24' | 17.2 | 1 901.4 | 250 | 5 125.4 |
| H3 | 浙江龙泉 Longquan, Zhejiang | 28°04' | 119°08' | 17.6 | 1 669.7 | 263 | 5 572.6 |
| H4 | 浙江建德 Jiande, Zhejiang | 29°28' | 119°16' | 17.0 | 1 600.7 | 254 | 5 270.1 |
| I2 | 湖北襄樊 Xiangfan, Hubei | 32°0' | 112°07' | 15.6 | 1 012.8 | 248 | 4 272.4 |
| I3 | 湖北远安 Yuan'an, Hubei | 31°03' | 111°38' | 15.5 | 1 100.5 | 241 | 4 895.4 |
| I4 | 湖北浠水 Xishui, Hubei | 30°27' | 115°15' | 15.9 | 1 350.7 | 257 | 5 405.8 |
| J1 | 湖南常德 Changde, Hunan | 29°01' | 111°41' | 16.8 | 1 274.2 | 265 | 5 189.1 |
| J2 | 湖南岳阳 Yueyang, Hunan | 29°21' | 113°07' | 15.6 | 1 331.6 | 279 | 4 958.6 |
| J3 | 湖南长沙 Changsha, Hunan | 28°13' | 112°56' | 17.2 | 1 361.6 | 263 | 5 457.8 |
| J4 | 湖南桑植 Sangzhi, Hunan | 29°24' | 110°09' | 16.0 | 1 530.6 | 235 | 5 200.3 |
| K1 | 四川万源 Wanyuan, Sichuan | 32°04' | 108°02' | 14.7 | 1 169.3 | 240 | 4 242.6 |
| K2 | 四川泸州2 [#] Luzhou 2 [#] , Sichuan | 28°52' | 105°26' | 17.8 | 1 188.5 | 265 | 5 770.1 |
| K3 | 四川泸州1 [#] Luzhou 1 [#] , Sichuan | 28°52' | 105°26' | 17.8 | 1 188.5 | 265 | 5 770.1 |
| K4 | 四川广元 Guangyuan, Sichuan | 32°26' | 105°50' | 16.2 | 1 363.8 | 264 | 4 515.6 |
| L1 | 贵州榕江 Rongjiang, Guizhou | 27°58' | 106°55' | 18.1 | 1 200.6 | 310 | 5 717.1 |
| L2 | 贵州三穗 Sansui, Guizhou | 26°57' | 108°40' | 16.9 | 1 147.1 | 276 | 5 437.4 |
| L3 | 贵州黄平 Huangping, Guizhou | 26°54' | 107°54' | 16.3 | 1 050.6 | 258 | 5 500.5 |
| M | 广西融水 Rongshui, Guangzhou | 25°04' | 109°15' | 19.3 | 1 824.8 | 320 | 6 258.4 |
| N | 广东乐昌 Lechang, Guangzhou | 25°07' | 113°20' | 19.6 | 1 522.6 | 300 | 6 386.5 |

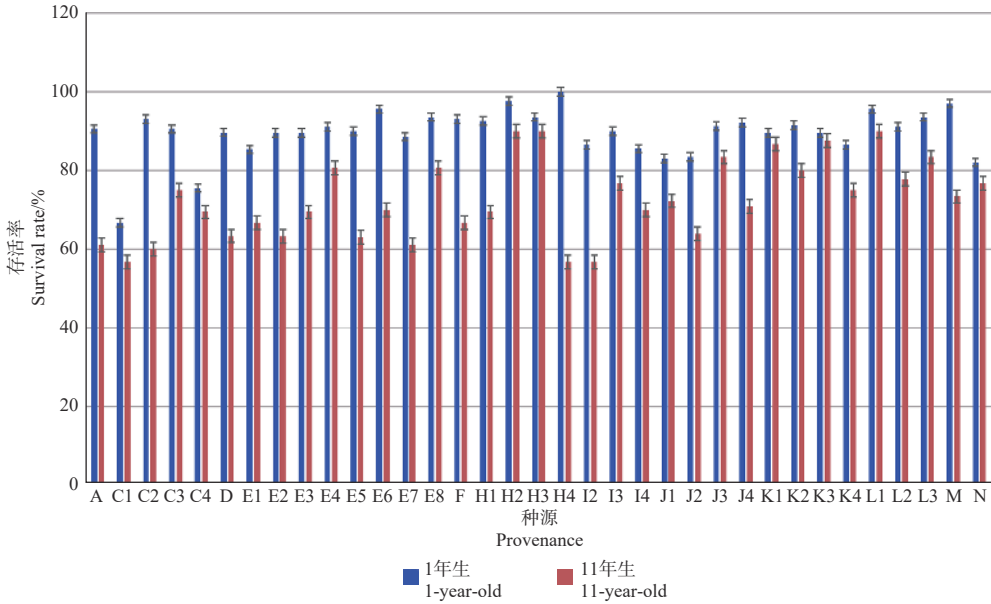


图1 1年生和11年生麻栎种源林存活率

Fig. 1 Survival rates of 1 and 11-year-old *Q. acutissima* among different provenances

表2 不同林龄麻栎种源间生长变异分析

Table 2 Statistical analysis on growth characteristics among *Q. acutissima* provenances

| 性状 Traits | 林龄 Stand age /a | 最小值 Minimum | 最大值 Maximum | 平均值 Average | 标准差 SD | 变异系数 CV / % | F |
|------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|--------|-------------|----------------------------|
| 树高 H / m | 1 | 0.41 | 0.95 | 0.68 | 0.15 | 22.06 | $F_{(34, 175)}=14.39^{**}$ |
| | 4 | 1.73 | 2.90 | 2.41 | 0.30 | 12.45 | $F_{(34, 144)}=1.98^{**}$ |
| | 7 | 3.69 | 6.12 | 5.04 | 0.58 | 11.42 | $F_{(34, 171)}=4.28^{**}$ |
| | 11 | 7.26 | 12.04 | 9.75 | 1.18 | 12.11 | $F_{(34, 170)}=5.55^{**}$ |
| 胸径 DBH / cm | 1 | 0.60 | 1.50 | 0.98 | 0.23 | 23.43 | $F_{(34, 175)}=11.05^{**}$ |
| | 4 | 1.00 | 3.10 | 2.21 | 0.55 | 24.74 | $F_{(34, 142)}=2.29^{**}$ |
| | 7 | 3.80 | 8.20 | 6.18 | 1.07 | 17.29 | $F_{(34, 170)}=4.52^{**}$ |
| | 11 | 6.57 | 13.02 | 10.20 | 1.49 | 14.53 | $F_{(34, 170)}=5.36^{**}$ |
| 地上单株生物量 AGB / kg | 1 | 0.02 | 0.21 | 0.08 | 0.05 | 58.03 | $F_{(34, 175)}=9.40^{**}$ |
| | 4 | 0.18 | 1.85 | 0.97 | 0.43 | 44.55 | $F_{(34, 160)}=2.29^{**}$ |
| | 7 | 3.45 | 17.27 | 9.60 | 3.46 | 35.92 | $F_{(34, 168)}=4.53^{**}$ |
| | 11 | 13.85 | 65.85 | 38.5 | 12.26 | 31.86 | $F_{(34, 170)}=4.62^{**}$ |

注:1年生数据来自文献[9]。*表示0.05水平差异显著,**表示0.01水平差异显著。下同。

Note: The 1-year old data were obtained from literature [9]. *Indicates significant difference at $P<0.05$, **indicates significant difference at $P<0.01$. The same below.

间幼林期林木生长量及生物量变异较大,随林龄增加种源间差异逐渐减小。此外,地上单株生物量的种源间变异最大,其次为胸径,树高的种间变异最小。

2.3 不同林龄麻栎种源间的生长差异

不同林龄麻栎种源树高相对生长差异分析表明,1年生时树高相对生长量大于当地种源的种源数量占全部种源的40.00%,树高相对生长量较大

的前3个种源为:浙江建德、浙江开化和浙江富阳。4年生和7年生时树高相对生长量高于当地种源的种源数量占全部种源的62.86%和65.71%,其中4年生时贵州三穗、四川泸州1[#]、浙江富阳种源树高生长表现较好,7年生时为四川泸州1[#]、四川泸州2[#]、贵州三穗种源(图2a)。11年生时麻栎树高相对生长量高于当地种源数量占全部种源的34.29%,树高相对生长量较大的前3个种源为:四

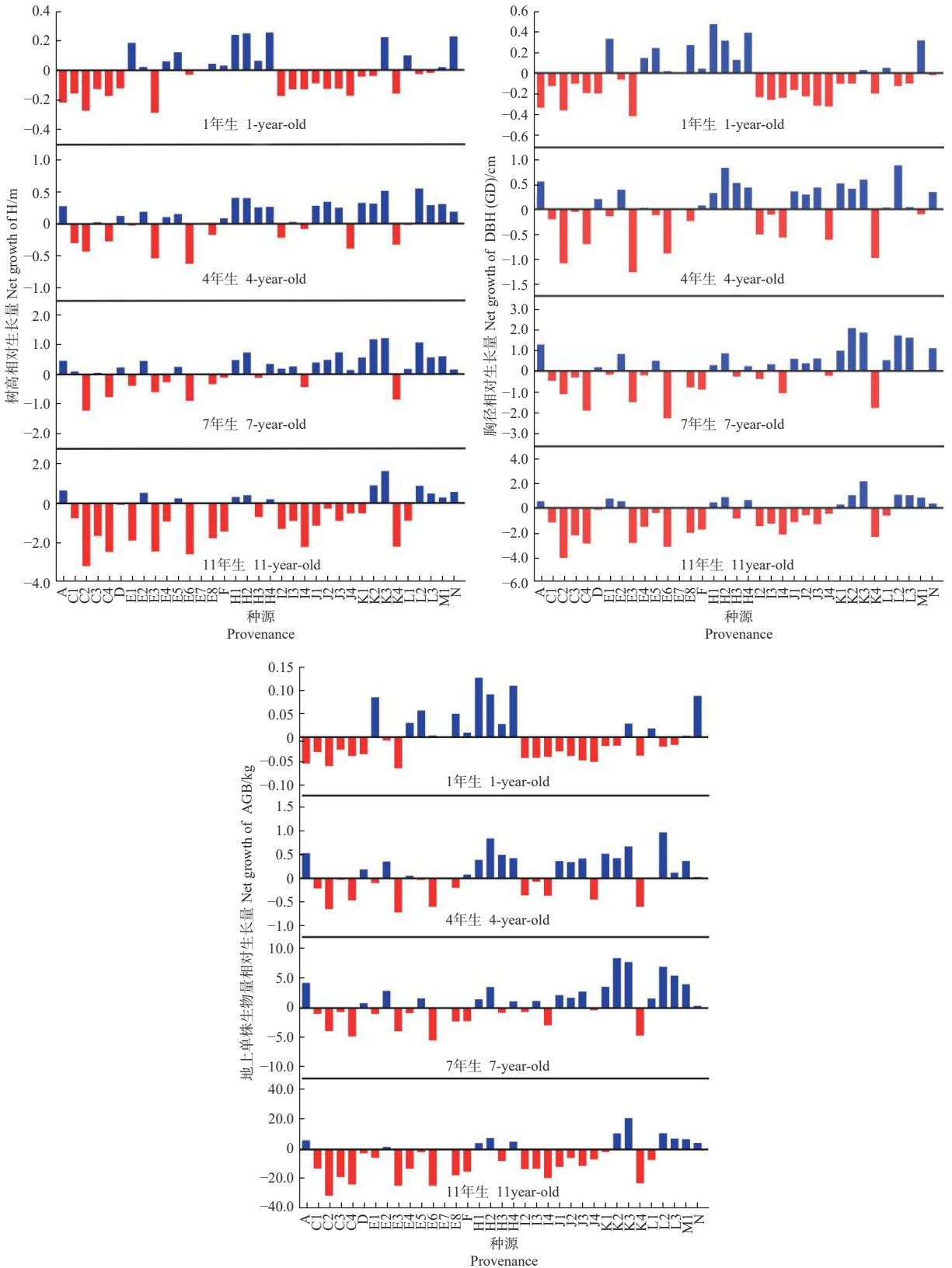


图 2 不同林龄种源树高、胸径和地上单株生物量的相对生长量变化

Fig. 2 Variation of relative growth in H, DBH and AGB at different stand ages

川泸州 1[#]、四川泸州 2[#]和贵州三穗。

不同林龄种源胸径（地径）相对生长量分析发

现, 1 年生时地径相对生长量大于当地种源的种源数量占全部种源的 37.14%, 地径相对生长量较大

的前3个种源为：浙江富阳、浙江建德和安徽黄山。4年生和7年生时胸径相对生长量大于当地种源的种源数量均占全部种源的51.43%，其中4年生时贵州三穗、浙江开化、四川泸州1[#]种源胸径生长量较高，7年生时为四川泸州2[#]、四川泸州1[#]和贵州三穗种源（图2b）。11年生时麻栎胸径相对生长量大于当地种源的种源数量占全部种源的37.14%，胸径相对生长量较大的前3个种源为：四川泸州1[#]、贵州三穗和四川泸州2[#]。

不同林龄种源地上单株生物量相对生长量分析显示，1年生时地上单株生物量相对生长量大于当地种源的数量占总种源的34.29%，地上单株生物量相对生长量较大的前3个种源为：浙江富阳、浙江建德和浙江开化（图2c）。4年生和7年生麻栎的优势种源分别占比51.43%和54.29%，其中4年生时贵州三穗、浙江开化、四川泸州1[#]种源地上单株生物量相对生长量较大，7年生时为四川泸州2[#]、四川泸州1[#]和贵州三穗种源。11年生时麻栎地上单株生物量相对生长量高于当地种源占比31.43%，地上单株生物量相对生长量较大的前3个种源为：四川泸州1[#]、贵州三穗和四川泸州2[#]。

分析表明，试验区麻栎不同种源树高、胸径（地径）和地上单株生物量的相对生长量在不同林龄间存在差异。7年生后不同种源间生长性状的变异逐渐减小。

2.4 麻栎幼林期种源聚类分析

以11年生麻栎幼林的树高、胸径（地径）、地上单株生物量和保存率为指标，对不同种源麻栎进行Q型聚类（图3）。根据聚类热图可将供试的35个麻栎种源划分为3大组，第1组种源特性为树高、胸径（地径）生长快，地上单株生物量大，保存率较高，在参试种源中生长优势明显，包括四川（万源、泸州2[#]、泸州1[#]）、贵州（溶江、三穗、黄平）等地10个种源，该组种源平均树高、胸径（地径）、地上单株生物量和保存率分别为11.09 m、11.13 cm、45.80 kg、83.69%。第2组种源特性为树高、胸径（地径）、地上单株生物量和保存率均为中等水平，包括湖南（岳阳、桑植）、安徽（休宁、滁州、黄山、六安）等地11个种源，平均树高、胸径（地径）、地上单株生物量和保存率分别为10.18 m、10.92 cm、43.37 kg、70.00%。第3组种源生长较差，树高、胸径（地径）、地上单株生物量和保存率均较低，包括山东（费县、平邑）、湖北（襄樊、浠水）等地14个种源，平均树高、胸径（地径）、地上单株生物量和保存率分别为7.57 m、9.21 cm、29.35 kg、65.44%。

分析表明，11年生麻栎种源试验林中，四川、贵州等地种源表现出良好的生长优势和保存率，而山东、湖北等地的种源生长表现相对较差，不适宜在试验区栽培。

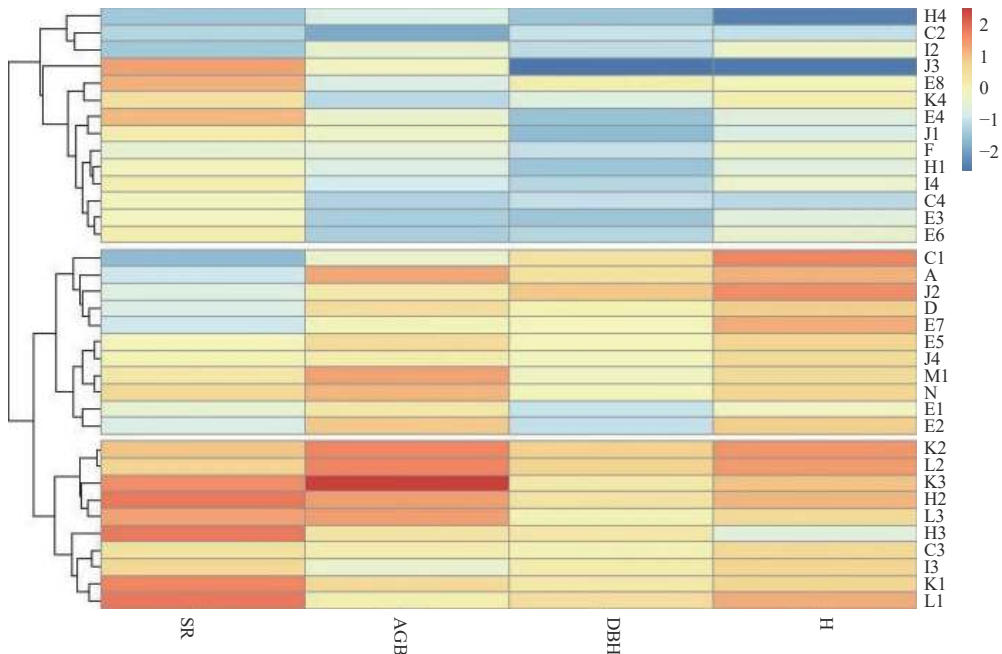


图3 11年生麻栎种源的聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of 11-year-old *Q. acutissima* provenances

3 讨论

林木存活率是反映种源适应性的重要指标之一,受遗传和环境因素的共同影响,在特定生境中同一物种不同种源间的存活率具有差异^[13]。Gülcü等^[14]研究表明,13年生欧洲赤松(*P. sylvestris* L.)在30个不同种源间的存活率具有显著性差异。本研究中不同种源间麻栎的存活率也均具有较大差异,造林当年成活率普遍较高,而随着林龄增加不同种源间存活率差异增大,且呈减少的趋势。这与现有的许多研究结果一致^[15-16]。种源间存活率的变化与其对特定生境的适应性有关。研究区地处江淮分水岭山丘区,土层较薄,石粒含量高,土壤贫瘠易旱,个别年份存在严重的季节性干旱,这些不利环境因素均可能影响林木的存活。此外,还发现存活率较高的种源具有较高的生长速率,而Ulbrichová等对欧洲云杉(*Picea abies* (L.) Karst)种源试验的研究却表明,具有较高保存率的种源其个体生长表现较差^[17]。由此可见,林木种源的保存率与其生长表现并无一致结论,种源间的变化主要与不同树种间的适应性差异有关。

遗传、变异和选择为物种的进化提供了动力,选择的基础是变异,变异幅度越大,可供选择的区间越广,物种进化的机会越多^[18]。本研究中麻栎不同种源间生长性状存在较大变异。总体上种源间的生长差异随林龄增加逐渐减小,而不同种源生长速率的变化特征也存在较大变异。这可能与各种源可塑性大小和对试验区环境的适应性有关^[19]。对欧洲中部地区36年生欧洲云杉种源试验的研究发现,引种地环境差异显著影响各种源林木生长表现,种源间树高和胸径的变异达15.00%~20.00%^[17]。同时对杉木种源试验的长期研究结果表明,杉木种源在不同林龄具有显著的生长差异,主要生长性状的遗传力逐渐增加并呈现出相对稳定的趋势,6~12年生时更有利于提高杉木遗传改良的效率^[20]。本研究还发现,随着林龄增加,与滁州当地种源相比较,引入种源表现优异的数量逐渐减少。这可能与林木生长对资源的需求增加,环境因素对林木生长的影响增大有关。Worrell等^[21]对欧洲赤松的种源研究同样表明,相对于引入种源,当地种源因较好的适应性随林龄增加逐渐处于优势生长地位。如上所述,试验区贫瘠的土壤条件对外来种源生长的限制作用可能随林龄增加逐渐增大,导致不同种源

生长表现具有较大差异,尤其对南方降水量较高,土壤质量较好区域的种源(如浙江开化、富阳等)产生较大影响。

一些研究表明,林木前期与后期生长存在密切关系,苗期的种源变异可以作为早期优良种源选择的参考^[22],对引种树种进行苗期相关评价可以间接估测其后期生长表现,以此缩短育种周期及进程^[23-25]。本研究对11年生麻栎的聚类分析发现,四川、贵州等地区的种源在幼林期生长表现较好。而刘志龙等^[11]对麻栎苗期不同种源生长性状的聚类分析表明,浙江、安徽和江苏地区的种源生长表现较好。王标等^[10]基于31个麻栎种源盆栽试验苗期的生长性状分析得出,江西、浙江(龙泉、开化、富阳)、贵州三穗等地的种源生长状况良好。这与本研究中11年生麻栎的聚类结果不同,表明麻栎幼林期的生长差异随林龄增长发生较大变化,苗期时的生长差异并不能完全反映幼林期的生长表现。刘军等^[26]对乐东拟单性木兰(*Parakmeria lotungensis* (Chun et C.Tsoong) Law)的研究也发现,因苗期林木性状具有不稳定性,导致不同种源间苗期和幼林期的相关性较弱,生长差异较大。

4 结论

对35个麻栎种源存活率及生长特征分析表明,不同种源间的存活率具有较大差异,造林当年成活率普遍较高,而随着林龄增加保存率逐渐降低,且种源间差异增大。麻栎不同种源间的生长量和生物量也具有显著差异,总体上随林龄增加不同种源间生长差异逐渐减小。苗期的生长差异并不能完全反映幼林期的总体生长表现,东南部种源前期生长表现较好,而7年以后西南地区种源生长较快。因此,试验区短轮伐期麻栎炭用林培育应优先选择四川、贵州等地种源生产的种子进行造林。本文仅分析不同种源幼林阶段生长性状变化,而麻栎种源间木材品质和热值等变异,以及大径材培育种源的生长表现有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 沈熙环. 油松、华北落叶松良种选育实践与理论[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [2] 刘宇, 徐煥文, 尚福强, 等. 16年生白桦种源变异及区划[J]. 林业科学, 2016, 52(9): 48-56.
- [3] 伍汉斌, 段爱国, 张建国. 杉木地理种源不同林龄生长变异及选

- 择[J]. 林业科学, 2019, 55(10): 181-192.
- [4] 刘青华, 金国庆, 张蕊, 等. 24年生马尾松生长、形质和木材基本密度的种源变异与种源区划[J]. 林业科学, 2009, 45(10): 55-61.
- [5] 秦国峰, 王锦上, 张丽瑶, 等. 马尾松优质高产纸浆林培育技术及经营效益[J]. 林业科学研究, 2003, 16(1): 45-51.
- [6] Poorter H, Niklas K J, Reich P B, *et al.* Biomass allocation to leaves stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environment control[J]. *New Phytologist*, 2012, 193(1): 30-50.
- [7] Pike C C, Warren J C, Montgomery R A. Allometry of early growth in selected and wild sources of white spruce, *Picea glauca* (Moench) Voss[J]. *New Forests*, 2016, 47(1): 131-141.
- [8] 成向荣, 虞木奎, 葛乐, 等. 不同间伐强度下麻栎人工林碳密度及其空间分布[J]. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1175-1180.
- [9] 刘志龙. 麻栎炭用林种源选择与关键培育技术研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2010.
- [10] 王标, 虞木奎, 王臣, 等. 不同种源麻栎苗期生长性状差异及聚类分析[J]. 植物资源与环境学报, 2008, 17(4): 1-8.
- [11] 刘志龙, 虞木奎, 唐罗忠, 等. 不同地理种源麻栎苗期变异和初步选择[J]. 林业科学研究, 2009, 22(4): 486-492.
- [12] 张慧, 郭卫红, 杨秀清, 等. 麻栎种源林叶片碳、氮、磷化学计量特征的变异[J]. 应用生态学报, 2016, 27(7): 2231-2238.
- [13] Barzdajn W, Kowalkowski W, Chmura D J. Variation in growth and survival among European provenances of *Pinus sylvestris* in a 30-year-old experiment[J]. *Dendrobiology*, 2016, 75(7): 67-77.
- [14] Gülcü, Süleyman, Bilir Nebi. Growth and survival variation among Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances[J]. *International Journal of Genomics*, 2017.
- [15] 张亮战. 中国马褂木六个种源在广西的生长表现研究[D]. 南宁: 广西大学, 2016.
- [16] Ballian D, Šito S. Analysis of differences of growth and phenology of provenances of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in provenance experiment at Žepče[J]. *Biosystem Diversity*, 2017, 25(3): 228-235.
- [17] Ulbrichová I, Podrázský V, Beran F, *et al.* *Picea abies* provenance test in the Czech Republic after 36 years – Central European provenances[J]. *Journal of Forest Science*, 2015, 61(11): 465-477.
- [18] 张志毅. 林木遗传学基础[M]. 2版. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [19] 毛爱华, 李建祥, 张超英, 等. 19年生侧柏种源变异及选择研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(1): 63-68.
- [20] 伍汉斌, 段爱国, 张建国, 等. 杉木地理种源长期选择效果研究[J]. 林业科学研究, 2019, 32(3): 9-17.
- [21] Worrell R. A comparison between European continental and British provenances of some British native trees: growth, survival and stem form[J]. *Environment & Planning B*, 1992, 24(3): 798-802.
- [22] 肖遥, 姚淑均, 杨桂娟, 等. 滇楸无性系早期木材性状变异与评价[J]. 林业科学研究, 2019, 32(4): 79-87.
- [23] 赵阳, 毕泉鑫, 句娇, 等. 文冠果种子及苗期生长性状地理种源变异[J]. 林业科学研究, 2019, 32(1): 163-171.
- [24] 张双, 谷俊涛, 王进茂, 等. 刺槐群体引种试验及遗传多样性分析[J]. 园艺学报, 2017, 44(8): 1609-1618.
- [25] 廖怀建, 邓疆, 杜婷, 等. 引进种源印度黄檀优株选择及优良无性系选择与评价[J]. 林业科学研究, 2017, 30(6): 916-920.
- [26] 刘军, 姜景民, 刘昭息, 等. 乐东拟单性木兰地理种源变异与选择研究[J]. 林业科学研究, 2012, 25(5): 564-568.

Variation in Growth and Biomass of *Quercus acutissima* Provenances

YUAN Hai-jing^{1,2}, XING Wen-li¹, XU Hai-dong¹, WANG Yang-dong¹,
CHENG Xiang-rong¹, ZHANG Chun-xiang³

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, East China Coastal Forest Ecosystem Long-term Research Station, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 2. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 3. Hongyashan Forest Farm of Chuzhou City, Anhui Province, Chuzhou 239000, Anhui, China)

Abstract: [Objective] To investigate the dynamic changes of growth traits in *Quercus acutissima* based on provenance test in order to select excellent materials for fuelwood plantation. [Method] Provenance test of *Q. acutissima* was conducted in Hongyashan Forest Farm of Chuzhou City, Anhui Province. The survival rate, growth and above-ground biomass (AGB) of 35 provenances were investigated within 11 years. The variation of growth traits of various *Q. acutissima* provenances were investigated and analyzed every three years by cluster analysis. [Result] The average survival rate of 1-year-old *Q. acutissima* was 89.50%, and it was 72.82% at the age of 11 with a 13.70% coefficient of variation. The differences in tree height (H), diameter at breast height (DBH) (or ground diameter (GD)) and AGB of individual trees among the 35 provenances became smaller with the increase of tree age. The variation of AGB of individual tree was the largest among the provenances, followed by DBH (or GD), and H was smallest. The cluster analysis of growth traits showed that provenances from Sichuan and Guizhou had higher growth rates, while the growth rates were lower in Shandong and Hubei provenances. [Conclusion] The performance of growth and above-ground biomass among provenances varied with increasing stand age. At the stage of young age, the *Q. acutissima* provenances from Yunnan-Guizhou Plateau showed better growth performance in the study area.

Keywords: *Quercus acutissima*; growth; above-ground biomass; provenances variation

(责任编辑: 金立新)

更正: 我刊第4期第63页的图4、图5有误, 现更正如下:

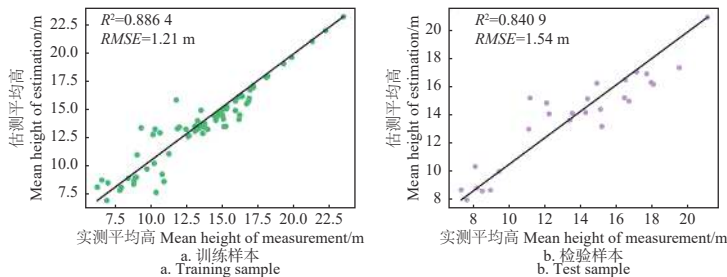


图4 支持向量机回归模型预测林分平均高和实测平均高对比图

Fig. 4 Comparison of stand mean height between and the SVR model estimations the ground measured values

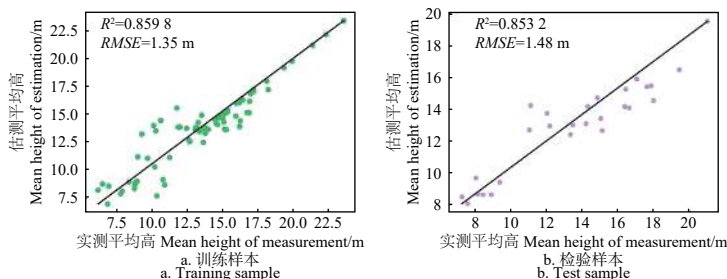


图5 组合回归模型预测林分平均高和实测平均高对比图

Fig. 5 Comparison of stand mean height between and the RFR&SVR model estimations the ground measured values