

北美红栎优树子代测定试验初报

董筱昀,黄利斌,孙海楠,吕运舟,梁珍海

(江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153)

摘要:以15个纳塔栎优树、17个舒马栎优树和1个水栎优树自由授粉子代为材料,对造林2 a时的树高、地径、冠幅、一级侧枝数等性状进行测定与分析,结果表明:(1)纳塔栎和舒马栎不同家系间各性状存在显著或极显著差异,其树高、地径、冠幅、一级侧枝数4个性状的家系间遗传力分别为0.68—0.96和0.56—0.85,家系选择具有较好的遗传改良潜力;(2)纳塔栎和舒马栎家系生长性状间均存在一定的正相关趋势。其中,纳塔栎树高与一级侧枝数,舒马栎树高与地径、树高与冠幅、地径与冠幅、树高与一级侧枝数的相关系数达显著或极显著水平,高、径生长量与树冠、分枝性状可以进行联合改良;(3)纳塔栎和舒马栎优树的树高和胸径与子代的树高和地径生长有一定的正相关趋势。其中,纳塔栎优树胸径与子代地径、优树树高与子代一级侧枝数、优树冠幅与子代地径间存在显著或极显著的正相关,但舒马栎优树冠幅与子代树高间存在显著的负相关;(4)根据造林2 a子代测定林树高、地径、冠幅和一级侧枝数4个性状综合评价,纳塔栎N2,N4,N5,N8,N11,N13,N15,水栎W1和舒马栎S1,S4,S15,S16等12个家系的综合性状表现较优。

关键词:北美红栎;优树;子代测定;家系遗传力;聚类分析

中图分类号:S722.3⁺3;S792.18

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2019.04.004

北美红栎(*Quercus rubra*)是分布于北美地区的红栎组(Sect. *Lobatae*)树种统称,共有50余种,主要分布于美国、加拿大东部地区,大多为落叶高大乔木,是北美地区主要的森林组成树种,也是重要的优质商品用材和绿化观赏树种。北美红栎一般树龄10 a左右进入开花结实期,种子需要2个生长季才能成熟、叶片或裂片先端通常有芒尖以及木材心材的早材管孔中无侵填体等特征与白栎组(Sect. *Quercus*)树种相区分^[1-2]。美国自上世纪70年代开始,对红栎组的多个树种开展了种源、家系试验。对北方红栎14年生种源试验林测定结果显示,来自北部地区的种源生长较慢,分布于西部边缘地区的种源对夏季高温干旱的抗性较强,但种源内家系间的生长变异远大于种源群体间^[3]。水栎(*Q. nigra*)68个种源、家系5 a试验结果表明,种源、家系间生长存在显著差异,来自路易斯安那西南的种源生长表现突出,但没有发现明显的地理模式^[4]。对纳塔栎(*Q. texana*)全分布区范围内28个种源42个家系在3个地点的试验结果表明,地理种源、家系间成活

率和生长差异显著,树高和胸径的遗传力分别达0.72—0.96和0.22—0.95,种源与立地存在显著的互作效应^[5]。Joshua等对樱皮红栎(*Q. pagoda*)8个种源、37个半同胞家系测定结果,其树高、胸径和材积的遗传力分别达0.5—0.7,0.55—0.7和0.4—0.65,并提出10 a时按胸径选择可获得较高的遗传增益^[6-7]。我国于20世纪90年代末开始进行较系统的北美栎树引种试验工作,先后从北美引进红栎组树种10多个,北美红栎多个树种在我国生长表现良好,如纳塔栎、舒马栎(*Q. shumardii*)、水栎、柳叶栎(*Q. phellos*)、南方红栎(*Q. falcate*)、樱皮红栎、黑栎(*Q. velutina*)等在我国长江中下游地区表现出良好的适应性和速生性^[8-10],沼生栎(*Q. palustris*)、北方红栎和猩红栎(*Q. coccinea*)等在山东、河北等北方地区也表现出较好的引种生长潜力^[11]。我国日益重视北美红栎引种,栽培面积不断扩大^[12]。目前,我国较早引种驯化的北美红栎试验林已进入开花结实阶段,对其开展优树选择及子代测定、选育优良家系,并营建种子园,对于促进北美红栎的遗

收稿日期:2019-06-08;修回日期:2019-06-30

基金项目:江苏省重点研发(现代农业)项目“优质用材及观赏北美栎树良种选育”(BE2015370);江苏省农业科技自主创新资金项目“彩叶观赏北美红栎新品种选育”[CX(16)1033];江苏省林业科学研究院自主科研项目“北美红栎遗传多样性研究”(BM2018022-3)

作者简介:董筱昀(1983-),女,河南正阳人,助理研究员,硕士。研究方向:林木新品种培育。

传改良,提高引种造林效益具有积极意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

于 2015 年秋季对南京及周边地区引种的北美红栎 11 a 林分进行优树调查与选择,包括舒马栎、纳塔栎和水栎 3 个树种,引种种源主要来自美国密西西比州和路易斯安那州。优树选择采用优势木比较法。选择标准为树高比周围 4 株优势木平均值大 10%,胸径大 20%,且生长健壮,主干通直,枝叶浓密,病害少。对一些孤立木、林缘木,参考上述标准采用目测法进行选择。共选择纳塔栎优树 15 株(N1—15),舒马栎优树 17 株(S1—17),水栎优树 1 株(W1)。当年秋季从选择的优树上进行采集种子,2016 年采用无纺布袋容器育苗,容器规格为 12 cm(口径)×18 cm(高),基质为 50%泥炭+50%田园表土。2017 年 3 月进行试验造林。造林地位于句容市边城镇赵庄村,该区属北亚热带湿润季风气候,年均气温 15.1 ℃,极端最高气温 41.1 ℃,极端最低气温-13.8 ℃,年均降雨量 1 038 mm,无霜期 229 d,年日照 2 199.5 h。造林地为平地,海拔高度 30 m,土壤为黄棕壤。在同一地块分别安排纳塔栎、舒马栎、水栎的子代测定,试验采用随机区组设计,纳塔栎 16 个处理,包括 15 个家系、1 个路易斯安娜(LA)种源对照(CK1);舒马栎 18 个处理,包括 17 个家系、1 个密西西比(MS)种源对照(CK2);水栎 1 个家系。造林都采用单行 10 株小区,重复 3 次,株

行距为 1 m×2 m。

1.2 调查与分析方法

对优树调查的记录内容包括地点、树龄、树高、胸径、枝下高、冠幅、枝叶浓密度等,采集种子并测定种子千粒质量和纵径、横径。2018 年 11 月对造林 2 a 的试验林进行每木调查,调查性状包括树高、胸径、冠幅和一级侧枝数等 4 个。利用 DPS 数据处理软件进行方差分析、多重比较、性状相关分析和聚类分析^[13]。

2 结果与分析

2.1 不同优树种子形态变异

3 个树种的种子形态存在较大的差异(见表 1)。纳塔栎的种子最大,平均千粒质量达 3.4 kg,种子纵径 1.93 cm,横径 1.72 cm;舒马栎种子略小于纳塔栎,平均千粒质量为 3.1 kg,种子平均纵径 1.93 cm,平均横径 1.59 cm。2 个树种的种子均呈椭圆形。水栎种子较小,平均千粒质量 0.8 kg,种子纵径 0.98 cm,横径 1.12 cm,纵径小于横径,种子呈扁圆形。

由表 1 可知,同一树种不同优树单株间的种子大小和形态存在显著的变异,种子千粒质量、种子纵径和横径的方差分析 *F* 值均达极显著水平。纳塔栎和舒马栎优树单株最大种子的千粒质量分别是最小种子的 2.94 倍和 3.5 倍,最大种子纵径分别是最小种子的 1.7 倍和 1.55 倍,最大种子横径分别是最小种子的 1.44 倍和 1.62 倍。

表 1 不同树种优树的种子形态变异

树种	千粒质量/kg			种子纵径/cm			种子横径/cm		
	均值	变幅	<i>F</i> 值	平均	变幅	<i>F</i> 值	平均	变幅	<i>F</i> 值
纳塔栎	3.41	1.69—4.97	23.33 **	1.93	1.28—2.18	6.97 **	1.72	1.35—1.95	5.44 **
舒马栎	3.1	1.68—5.89	176.5 **	1.93	1.53—2.37	7.62 **	1.59	1.22—1.98	7.05 **
水栎	0.8			0.98			1.12		

注: ** 表示方差分析 *F* 值在 *P*=0.01 水平的差异显著性。

2.2 不同家系的生长变异

造林 2 a 时,纳塔栎家系的平均树高 2.24 m,地径 2.29 cm,冠幅 1.45 m,一级侧枝数 22.1 个;舒马栎家系的平均树高 1.9 m,地径 1.96 cm,冠幅 0.86 m,一级侧枝数 11.9 个,水栎家系树高 2.33 m,地径 2.32 cm,冠幅 1.5 m,一级侧枝数 33.3 个。水栎和纳塔栎的树高、地径和冠幅生长量相近,舒马栎生长量较小。一级侧枝数水栎最多,其次纳塔栎,舒马栎较少(见表 2)。

纳塔栎和舒马栎不同家系间各性状存在显著或极显著差异(见表 2,3)。纳塔栎和舒马栎家系树高、地径、冠幅、一级侧枝数 4 个性状的家系遗传力分别为 0.68—0.96 和 0.56—0.85,家系生长性状受中等以上的遗传因素控制,家系选择具有较好的遗传改良效果。在纳塔栎家系中,树高超过 CK1 的有 N5,N11 这 2 个家系;地径超过 CK1 的有 N5,N12,N8 共 3 个家系,其中 N5,N12 与 CK1 之间差异达显著性水平;冠幅超过 CK1 的有 N6,N9,N11,N12 共 4

表 2 纳塔栎不同家系生长表现及方差分析

家系号	树高/m	地径/cm	冠幅/m	一级侧枝数
N1	2.36 bcd	2.46 c	1.50 ab	17.33 abcd
N2	2.22 bcdef	2.19 cde	1.32 ab	26.33 abcd
N3	2.49 abc	2.35 cd	1.25 ab	20.83 abcd
N4	2.45 bc	1.93 def	1.43 ab	24.00 abcd
N5	2.92 a	3.04 b	1.62 a	29.67 ab
N6	1.75 f	1.67 f	1.45 ab	17.00 bcd
N7	1.9e f	1.9 def	0.90 b	19.83 abcd
N8	2.26 bcde	2.55 c	1.53 ab	30.00 a
N9	1.99 def	1.91 def	1.80 a	15.83 d
N10	2.24 bcde	2.12 cdef	1.20 ab	20.67 abcd
N11	2.58 ab	2.36 cd	1.72 a	29.00 abc
N12	2.08 cdef	3.64 a	1.63 a	16.50 cd
N13	2.09 cdef	2.16 cde	1.55 ab	24.17 abcd
N14	1.94 ef	1.80 ef	1.10 ab	15.67 d
N15	2.06 cdef	2.10 cdef	1.55 ab	28.50 abcd
CK1	2.54 ab	2.51 c	1.60 ab	18.17 abcd
平均值	2.24	2.29	1.45	22.09
F 值	10.92 **	28.8 **	3.17 **	4.60 **
遗传力 H^2	0.91	0.96	0.68	0.78

注: ** 表示方差分析 F 值在 $P=0.01$ 水平的差异显著性, 数字后字母表示 Tukey 法多重比较 $P=0.05$ 水平的差异显著性, 含相同字母表示差异不显著。

表 3 舒马栎不同家系生长表现及方差分析

家系号	树高/m	地径/cm	冠幅/m	一级侧枝数
S1	2.24 a	3.41 a	1.27 a	10.83 ab
S2	2.05 ab	1.97 bc	0.98 ab	11.00 ab
S3	1.95 ab	1.95 bc	0.88 ab	14.00 ab
S4	2.23 a	2.29 b	1.15 ab	14.33 ab
S5	1.82 abc	1.94 bc	1.13 ab	10.33 ab
S6	1.14 c	1.34 c	0.58 b	9.83 ab
S7	1.89 ab	1.78 bc	0.72 ab	14.67 ab
S8	1.9 ab	1.76 bc	0.95 ab	12.67 ab
S9	1.80 abc	1.75 bc	0.75 ab	7.83 ab
S10	1.41 bc	1.64 bc	0.52 b	6.67 b
S11	1.79 abc	1.91 bc	0.95 ab	10.33 ab
S12	1.9 ab	1.92 bc	0.78 ab	13.83 ab
S13	1.89 ab	2.00 bc	0.75 ab	11.50 ab
S14	1.73 abc	1.47 bc	0.67 ab	15.17 ab
S15	2.20 a	2.18 bc	0.92 ab	16.83 a
S16	2.27 a	2.28 b	0.93 ab	12.67 ab
S17	2.07 ab	1.72 c	0.7 ab	10.50 ab
CK2	1.97 ab	1.95 bc	0.84 ab	10.47 ab
平均值	1.90	1.96	0.86	11.86
F 值	4.41 **	6.68 **	2.49 *	2.25 *
遗传力 H^2	0.77	0.85	0.60	0.56

注: * 和 ** 分别表示方差分析 F 值在 $P=0.05$ 和 $P=0.01$ 水平的差异显著性, 数字后字母表示 Tukey 法多重比较 $P=0.05$ 水平的差异显著性, 含相同字母表示差异不显著。

个家系;一级侧枝数超过 CK1 的有 N5,N8,N11 等 10 个家系。在舒马栎家系中,树高超过 CK2 的有 S1,S2,S3,S4,S15,S16,S17 共 7 个家系;地径超过 CK2 的有 S1,S2,S13,S15,S16 共 5 个家系,其中 S1 与 CK2 之间差异达显著性水平;冠幅超过 CK2 的有 S1,S2,S3,S4,S5,S8,S9, S11,S12 共 9 个家系;一级侧枝数超过 CK2 的有 S3,S4,S7,S8,S12,S13,S14,S15,S16,S17 共 10 个家系。

2.3 性状间的相关分析

2.3.1 家系生长性状间相关性 纳塔栎和舒马栎家系生长性状间均存在一定的正相关趋势(见表 4)。其中,纳塔栎树高与一级侧枝数之间的相关系数达显著水平;舒马栎树高与地径、树高与冠幅、地径与冠幅间的相关系数达极显著水平,树高与一级侧枝数间的相关系数达显著水平。说明纳塔栎和舒马栎家系的高、径生长与树冠枝叶浓密性状可以进行联合改良。

表 4 纳塔栎和舒马栎家系生长性状间的相关性分析

	树高	地径	冠幅	一级侧枝数
树高	1	0.467 1	0.289 0	0.587 4 *
地径	0.701 1 **	1	0.396 6	0.181 9
冠幅	0.689 9 **	0.778 8 **	1	0.258 2
一级侧枝数	0.490 8 *	0.127 9	0.221 9	1

注:上三角为纳塔栎家系相关系数,下三角为舒马栎家系相关系数;* 表示显著相关($P<0.05$), ** 表示极显著相关($P<0.01$)。

2.3.2 优树与子代间性状的相关性 纳塔栎和舒马栎优树的测定性状与子代生长性状有一定的相关性(见表 5)。其中,纳塔栎优树胸径与子代地径、优树树高与子代一级侧枝数、优树冠幅与子代地径之间正相关性达到显著或极显著水平。舒马栎优树冠幅与子代树高间存在显著的负相关性,反映出优树冠幅越大,子代树高生长量越小的趋势。纳塔栎和舒马栎优树的枝下高,种子千粒质量,种子纵径、横径性状,与优树子代生长性状间相关系数很小,没有呈现明显规律,说明这些优树性状对子代生长的影响很小。

2.4 不同家系的聚类分析

采用卡方距离法对纳塔栎和舒马栎家系进行系聚类分析结果见图 1,2。由图 1 可知,根据树高、地径、冠幅和一级侧枝数等生长性状,可将 17 个纳塔栎(因水栎没有数据支撑) W1 家系生长和分枝习性接近纳塔栎,故归入纳塔栎家系进行分析)划分为 3 类:第 1 组包括 N2,N4,N5,N8,N11,N13,N15

和 W1 共 8 个家系,主要特征是枝叶较浓密,一级侧枝数较多,树高和地径生长量较大,可以作为初选优良家系;第 2 组包括 N1, N3, N10, N12, CK1 (LA 种源) 共 5 个家系,其主要特征是树高和地径生长量较大,但一级侧枝数略少,枝叶浓密度中等;第 3 组包括 N6, N7, N9, N14 共 4 个家系,主要特征是生长量小,一级侧枝数少,枝叶稀疏,属于生长表现最差的家系。

表 5 纳塔栎和舒马栎优树与子代性状间的相关性分析

树种	子代性状	优树性状						
		树高	胸径	冠幅	枝下高	千粒质量	种子纵径	种子横径
纳塔栎	树高	0.254 8	0.440 7	-0.150 6	0.039 6	0.120 6	0.375 7	0.100 2
	地径	0.120 6	0.620 2 *	0.654 2 **	-0.399 5	0.146 7	0.400 1	0.165 1
	冠幅	0.013 0	0.034 8	0.367 0	-0.115 0	0.158 5	0.232 6	0.164 6
	一级侧枝数	0.617 3 *	0.444 8	-0.155 3	0.088 9	-0.011 0	0.366 1	-0.002 6
舒马栎	树高	0.365 8	0.312 8	-0.512 0 *	0.215 7	0.053	-0.085 1	0.051 2
	地径	0.455 2	0.325 0	-0.239 8	0.044 7	0.094 6	-0.048 3	0.181 8
	冠幅	0.254 8	0.259 4	-0.371 8	0.060 8	-0.007 6	0.021 5	0.339 4
	一级侧枝数	0.167 5	-0.014 7	-0.393 6	0.238 9	-0.006 5	-0.114 6	0.003 3

注: * 表示显著相关($P<0.05$), ** 表示极显著相关($P<0.01$)。

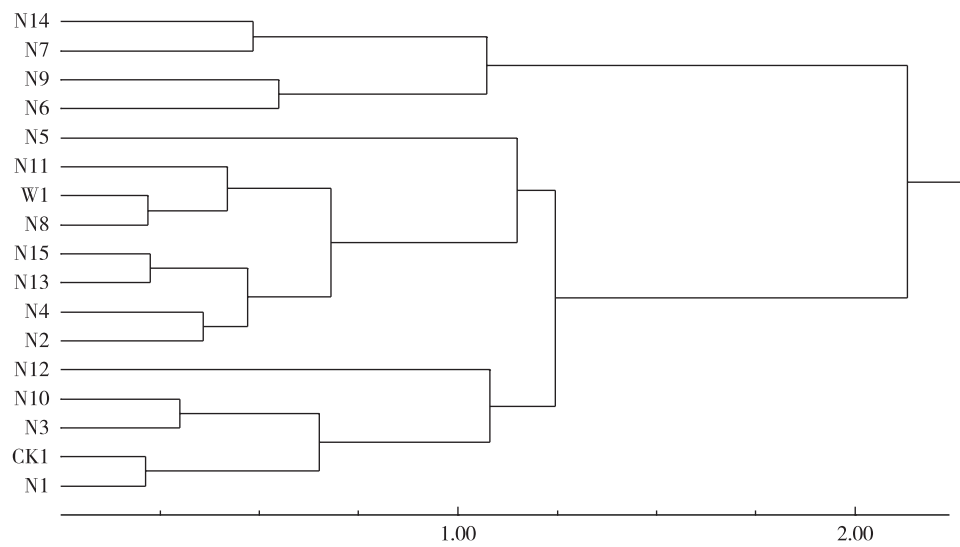


图 1 纳塔栎家系聚类分析

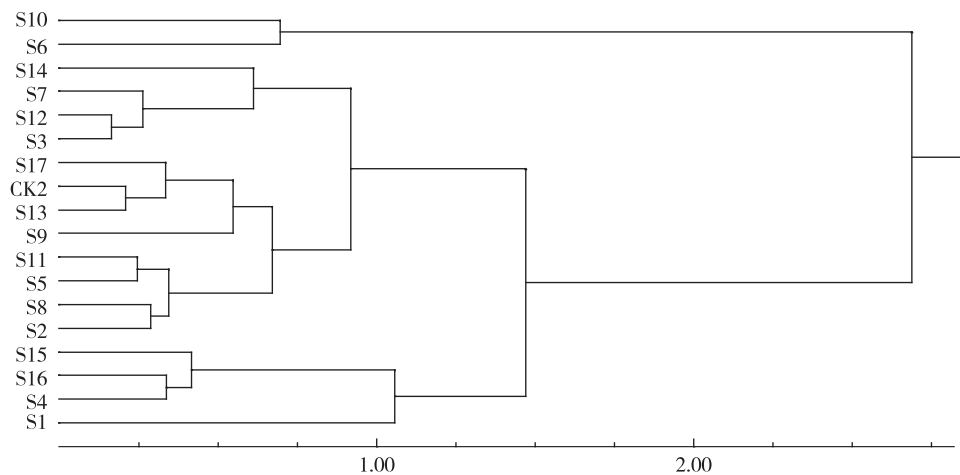


图 2 舒马栎家系聚类分析

由图 2 可知,18 个舒马栎家系也可以划分为 3 类,第 1 组包括 S1,S4,S15,S16 共 4 个家系,主要特征是枝叶较浓密,一级侧枝数较多,树高和地径生长量较大,可以作为初选优良家系;第 2 组包括 S2,S3,S5,S7,S8,S9,S11,S12,S13,S14,S17,CK2(MS 种源)等 12 个家系,其生长量和枝叶浓密度中等;第 3 组包括 S6,S10 这 2 个家系,主要特征是生长量小,一级侧枝数少,枝叶稀疏,属于生长表现最差的家系。

3 结论与讨论

本文研究了纳塔栎、舒马栎和水栎 3 种北美红栎共 35 个家系(含对照)造林 2 a 的生长变异,结果显示,纳塔栎和舒马栎不同家系间树高、地径、冠幅、一级侧枝数 4 个性状存在显著或极显著差异,其家系遗传力分别为 0.68—0.96 和 0.56—0.85,这与 Gwaze 等对纳塔栎和 Joshua 等对樱皮红栎种源、家系研究结果相似^[5-6],说明北美红栎家系的生长性状受中等程度以上的遗传因子控制,开展优良家系选择可获得较好的遗传改良效果。在供试的纳塔栎家系中,N5,N12 这 2 个家系的地径生长量显著超过对照种源,舒马栎家系中,S1 的地径生长量显著超过对照种源。

研究育种群体不同性状间的相关性是制定林木育种策略、开展多性状联合改良的重要基础。本研究中,纳塔栎和舒马栎家系树高、地径、冠幅和一级侧枝数 4 个生长性状间存在明显的正相关趋势。其中,纳塔栎家系的树高与一级侧枝数,舒马栎家系的树高与地径、树高与冠幅、地径与冠幅、树高与一级侧枝数存在显著或极显著的正相关关系,说明家系的生长量与树冠分枝形态有较密切的正相关性,在一定程度上可以选育出生长速度快、枝叶浓密,满足用材和绿化观赏需求的北美红栎优良家系。从优树与子代间的性状相关分析看,纳塔栎和舒马栎优树的树高和胸径与子代树高和地径性状有一定的正相关趋势,其中纳塔栎优树胸径与子代地径、优树树高与子代一级侧枝数、优树冠幅与子代地径间表现出显著或极显著的正相关,但舒马栎优树冠幅与子代树高间存在显著的负相关。优树的表型性状是遗传与环境共同作用的结果,通过严格的子代测定才能排除环境生产影响,筛选出优良

的遗传基因型。

采用聚类分析方法,对北美红栎 2 a 子代林中不同家系树高、地径、冠幅和一级侧枝数 4 个性状进行综合评价,认为 N2,N4,N5,N8,N11,N13,N15 等 7 个为纳塔栎优良家系,S1,S4,S15,S16 等 4 个为舒马栎优良家系,水栎家系 W1 综合性状表现较优。由于本研究造林试验时间较短,北美红栎一般在造林后 3 a 才能进入速生阶段,因此对上述初选家系的后续生长表现,还需要进一步跟踪观测。

参考文献:

- [1] JOHNSON P S, SHIFLEY S R. The ecology and silviculture of oaks[M]. New York: CABI Publishing, 2001.
- [2] MILLER H A, LAMB S H. Oaks of North America[M]. California: Naturegraph Publishers, Inc., 1985.
- [3] KRIEBEL H B, BAGLEY W T, DENEKE F J, et al. Geographic variation in *Quercus rubra* in North Central United States plantations[J]. Silvae Genetica, 1976, 25:118-122.
- [4] ADAMS J C. Five year growth results of water oak provenances[C] //Proceedings of the 20th Southern Forest Tree Improvement Conference, Charleston, SC, USA, 1989.
- [5] GWAZE D P, BYRAM T D, RALEY E M. Performance of Nuttall oak provenances in the western Gulf Region[C] //Proceedings of the 27th Southern Forest Tree Improvement Conference, 2003.
- [6] JOSHUA P, RANDALL J. Height and diameter growth differences among eight cherrybark oak provenances[C] //McKEAND S E, LI B. Proceedings of the 28th Southern Forest Tree Improvement Conference, Raleigh, NC: National Technical Information Service, USA, 2005.
- [7] SCRHLABANN S, McCONNELL J. Research and management in a young northern oak seedling seed orchard[C] //Proceedings of the 23rd Southern Forest Tree Improvement Conference: Seed orchard management, 1993:52-58.
- [8] 黄利斌. 北美栎树引种栽培技术研究[D]. 南京:南京林业大学, 2007.
- [9] 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.
- [10] 王 慧,潘 彪,黄利斌. 引进优质用材树种美国红橡的生长特性[J]. 安徽农业大学学报, 2018, 45(6): 1044-1048.
- [11] 孙晓妮,林登峰,李 斌,等. 临沂地区红叶栎树引种试验研究[J]. 陕西林业科技, 2018, 46(4): 71-73.
- [12] 黄利斌,窦全琴,汤 瑾,等. 栎树的生物学特性与栽培研究综述[J]. 江苏林业科技, 2014, 41(6): 43-47.
- [13] 唐启义. DPS 数据处理系统-实验设计、统计分析与数据挖掘: 2 版[M]. 北京:科学出版社, 2009.