

不同种源交趾黄檀种子形态及多点发芽率的差异

李 科, 洪 舟, 杨曾奖, 张宁南, 刘小金, 徐大平

(中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520)

摘要: 研究不同种源交趾黄檀 *Dalbergia cochinchinensis* 种子形态特征及在华南不同地区的发芽率差异, 为交趾黄檀适地引种和遗传改良提供基础。以来自泰国、柬埔寨、中国等 10 个种源 25 个家系的交趾黄檀种子为研究对象, 对种子进行形态参数的测定, 并在中国 4 个地区(海南乐东、广东阳江、广东广州和福建漳州)进行种子发芽试验。研究发现: 交趾黄檀种子长度、种子宽度、种子厚度的变幅分别为 6.09~7.19, 3.84~4.28 和 0.98~1.19 mm; 千粒重变幅为 15.80~33.76 g。在 4 个播种地的试验发现: 平均发芽率以阳江最好, 达 78%; Prachin Buri(巴真)种源种子在 4 个地区的平均发芽率最高, 达 83%; Kampong Cham(磅湛)种源(79%), Pursat(菩萨)种源(92%), Prachin Buri(巴真)种源(90%), Prachin Buri(巴真)种源(87%)的种子发芽率分别在广东广州、福建漳州、广东阳江、海南乐东达到了最高水平。不同种源间、播种地间的种子发芽率各自均差异极显著($P < 0.01$)。千粒重与种子在 4 个地区的发芽率相关性均不显著($P > 0.05$)。不同种源种子在阳江、乐东两地的发芽率变化极为相似。聚类分析将此次引种的交趾黄檀分为 3 大产区。种子形态特征和发芽状况可作为引种、选种的依据, 交趾黄檀种子总体上以泰国 Prachin Buri(巴真)种源发芽表现最好。图 1 表 4 参 26

关键词: 森林培育学; 交趾黄檀; 种源; 种子形态; 发芽率

中图分类号: S792.28

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2018)01-0121-07

Morphological variations in seeds from various provenances of *Dalbergia cochinchinensis* with a multi-site germination test

LI Ke, HONG Zhou, YANG Zengjiang, ZHANG Ningnan, LIU Xiaojin, XU Daping

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: To provide a basis for introduction to appropriate regions and to further improve genetic traits for *Dalbergia cochinchinensis*, seed morphology from various provenances and different germination rates in various regions were studied. Morphological parameters, including seed length, seed width, seed thickness and 1 000-seed weight, were measured and a germination test (RCB design with 50-seed plot and 4 replications) was conducted in four districts (Guangzhou, Zhangzhou, Yangjiang, and Ledong) with 25 families of *D. cochinchinensis* seeds collected from 10 provenances in Thailand, Cambodia, and China. ANOVA analysis, correlation analysis, and cluster analysis were conducted with different traits. Results showed that seed length ranged from 6.09 mm to 7.19 mm, seed width ranged from 3.84 mm to 4.28 mm, seed thickness ranged from 0.98 mm to 1.19 mm, and the 1 000-seed weight ranged from 15.80 g to 33.76 g. The highest average germination rate was in Yangjiang with seeds from 'Prachin Buri' having the highest average germination rate (up to 83%) of the four regions. Highly significant differences among the provenances and the sowing locations ($P < 0.01$) were found with the highest seed germination rate by provenance and planting location being 'Kampong Cham' in Guangzhou (79%), 'Pursat' in Zhangzhou (92%), 'Prachin Buri' in Yangjiang (90%), and 'Prachin Buri' in Ledong (87%). No correlation between the 1 000-seed weight and germination rate for the four regions was

收稿日期: 2016-11-25; 修回日期: 2017-03-28

基金项目: 国家林业局引进国际先进林业科学技术计划项目(2015-04-11)

作者简介: 李科, 从事交趾黄檀培育研究。E-mail: 327932443@qq.com。通信作者: 洪舟, 助理研究员, 从事南方珍贵树种育种研究。E-mail: hzhou1981@sina.com

found ($P>0.05$). In both Yangjiang and Ledong habitats, variation in germination rates of seeds was similar. A cluster analysis indicated that the seeds of *D. cochinchinensis* could be divided into three categories. Thus, morphology and seed germination could be used as a basis for introduction and selection with *D. cochinchinensis* seeds from ‘Prachin Buri’ performing the best overall from this study. [Ch, 1 fig. 4 tab. 26 ref.]

Key words: silviculture; *Dalbergia cochinchinensis*; provenance; seed morphology; germination rate

交趾黄檀 *Dalbergia cochinchinensis* 属豆科 Leguminosae 黄檀属 *Dalbergia*, 俗称大红酸枝、老挝红酸枝、柬埔寨檀、老红木等, 其木材在国家标准 GB/T 18107-2000《红木》中被归为红酸枝木类^[1], 是一种具备光泽、高强度、耐腐蚀、加工性能好的高档名贵木材。交趾黄檀主要分布于中南半岛 22°~10°N 的区域, 遍布泰国、柬埔寨、老挝境内的大多数地区, 越南南部地区也有少量分布。交趾黄檀是一种速生半落叶乔木, 明清时期作为宫廷专用的“三大贡木”, 主要用作红木家具、乐器、雕刻等用材^[2]。鉴于交趾黄檀具有较高的经济价值, 近年来学者开展了交趾黄檀树种的相关研究, 主要围绕着利用光谱、色谱仪器及分子生物学技术对交趾黄檀树种的鉴别、心材化学成分的分离鉴定以及木材的结构构造、物理性能等研究工作^[3-10], 而在种源选择和培育领域研究较少。种子作为林木的繁殖材料, 其数量的多少、质量的优劣与林业建设的成败息息相关^[11-12]。因此, 良种选育首要工作就要开展种源试验。本研究以来自泰国、柬埔寨、中国等 10 个不同产地 25 个家系的交趾黄檀的种子为研究对象, 对其种子特征以及在中国广东广州、广东阳江、福建漳州、海南乐东等 4 个地区对各种源的种子发芽率开展相关研究, 旨在为交趾黄檀在中国不同栽植区域进行引种和遗传改良等科研工作提供一定的理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验研究所用交趾黄檀种子来自于柬埔寨、泰国和中国等 10 个种源的 25 个家系, 其中 Chachoengsao(北柳)种源包含 10 个家系, Prachin Buri(巴真)种源包含 7 个家系, 其余各种源地均为 1 个家系。种子采收于 2014 年 12 月。种源的相关信息详见表 1。

表 1 交趾黄檀种子的种源信息

Table 1 Information of various seed provenances

国家	种源	编号	纬度/(°N)	经度/(°E)	海拔/m	年均气温/℃	年均降水量/mm
柬埔寨	马德望 Battambang	C-BTB	13.10	103.20	17	23.8~33.8	1 180
柬埔寨	磅湛 Kampong Cham	C-KC	11.99	105.46	21	25.0~33.9	2 150
柬埔寨	菩萨 Pursat	C-PS	12.47	103.89	39	25.0~30.8	1 350
柬埔寨	暹粒 Siem Reap	C-SR	13.37	103.84	18	23.8~33.8	1 180
泰国	北柳 Chachoengsao	T-CCS	13.69	101.08	7	22.0~31.8	1 420
泰国	巴真 Prachin Buri	T-PB	14.04	101.66	19	24.1~34.3	1 840
泰国	孔敬 Khon Kaen	T-KK	16.44	102.84	169	22.5~32.7	1 304
泰国	呵叻 Nakorn Rachassima	T-NR	14.98	102.10	184	23.2~33.0	1 161
泰国	彭世洛 Phitsanulok	T-PSL	16.82	100.27	50	22.9~33.2	1 412
中国	阳江 Yangjiang	C-YJ	21.86	111.98	4	20.0~26.5	2 040

1.2 研究方法

1.2.1 种子形态指标测量 选取种子的长度(纵轴)、宽度(横向最大宽度)、厚度以及千粒重作为形态指标。随机抽取种子 30 粒·家系⁻¹, 并用精度为 0.01 mm 的游标卡尺分别测量其种子长度(L), 种子宽度(W), 种子厚度 (T), 各 3 次重复, 共测量种子数为 90 粒·家系⁻¹。种子千粒重的测量参照 GB 2772-1999《林木种子检验规程》^[13], 采用百粒法, 重复 3 次, 用电子天平称量。种形系数=种子长度(L)/种子宽度(W)。多家系种源值以家系间均值计算。

1.2.2 发芽试验及发芽率测定 于 2015 年 8 月分别在广东广州、广东阳江、福建漳州、海南乐东等 4 个地区的室外苗圃进行试验。试验前, 将随机挑选出来的各个家系的供试种子在 25 ℃室温下浸水 24.0

h, 然后供试种子用 m (高锰酸钾): m (蒸馏水)=3:1 000 水溶液消毒 0.5 h, 再用蒸馏水洗净, 播种于已编号的育苗盘内。播种基质均为同种规格的河沙, 采用随机区组设计, 随机选取种子 50 粒·家系⁻¹, 4 次重复, 共计种子 200 粒·家系⁻¹。每天定时观测种子发芽状况, 定期补水, 保证基质湿润, 并做好发芽数的记录工作, 连续 2 d 没有新增种子发芽数时结束统计^[13]。发芽率=(已发芽种子数/观测的种子总数)×100%。变异系数=(性状标准偏差/性状平均值)×100%。多家系种源值以家系间均值计算。

1.3 统计分析

按种源单因素进行方差分析检验种源差异显著性, 按照种源和播种地双因素检测不同种源在不同播种地差异的显著性; 利用最小显著差法(Duncan, $P<0.05$)进行不同种源以及不同播种地间种子形态特征/发芽率差异分析; 通过种子形态特征以及种子发芽参数与产地地理气候因子的简单相关(Pearson 相关)分析以揭示和阐明交趾黄檀的地理变异模式及其气候生态学基础, 利用平均连接法基于种子相关形态特征、发芽率、地理气候因子等指标进行聚类分析。所有分析都在 SPSS 19.0 中进行, 并用 SigmaPlot 13.0 对分析结果进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同种源交趾黄檀的种子形态特征分析

在同一物种或品种内, 种子的大小被认为是相对稳定的, 而在种群间、种群内甚至个体间会存在一定差异^[14]。由表 2 可知: 本试验测得 10 个产地的交趾黄檀种子平均长、宽、厚分别为 6.71, 4.03 和 1.12 mm, 变幅分别为 6.09~7.19, 3.84~4.28 和 0.98~1.19 mm, 千粒重达 25.20 g, 种形系数为 1.67, 形状呈椭圆形。千粒重最大的种子来自于柬埔寨的 Pursat(菩萨)种源(33.76 g), 最小的为中国的阳江种源(20.68 g)。不同种源的种子长、宽、厚变异系数最大的分别是 Chachoengsao(北柳)种源(8.33%), Nakorn Rachassima(呵叻)种源(13.54%), Nakorn Rachassima(呵叻)种源(15.45%), 说明这 2 个产地内的种子形状变异较大。不同种源间种宽随着种长的波动而呈现出较为相似的走势变化, 种厚的变化趋势较平缓。不同种源种子长、宽、厚均表现出极显著差异($P<0.01$), 表明交趾黄檀产地间种子形态存在丰富的性状遗传变异。

2.2 不同种源交趾黄檀种子在 4 个地区播种的发芽率差异分析

交趾黄檀不同种源间、不同播种地间的种子发芽率各自均差异极显著($P<0.01$), 发芽率结果见表 3。10 个种源种子的平均发芽率在阳江表现最好, 为 78%, 并与其他 3 个播种地差异极显著($P<0.01$), 说明这批种子总体上较适宜在该地区进行播种。Prachin Buri(巴真)种源在 4 个地区的平均发芽率

表 2 不同种源种子的形态特征比较

Table 2 Comparison of morphological characteristics of seeds from different habitats														
种源	种子长度/mm				种子宽度/mm				种子厚度/mm				平均种形系数(L/W)	平均千粒重/g
	长度±标准差	极小值	极大值	变异系数/%	宽度±标准差	极小值	极大值	变异系数/%	厚度±标准差	极小值	极大值	变异系数/%		
马德望	6.09 ± 0.23 a	5.42	6.82	3.78	3.86 ± 0.13 a	3.58	4.29	3.37	0.98 ± 0.08 a	0.72	1.26	8.16	1.58	21.15
磅湛	6.19 ± 0.33 ab	5.70	7.97	4.31	4.02 ± 0.17 ab	3.47	4.79	4.23	1.00 ± 0.06 ab	0.84	1.24	6.00	1.54	21.30
菩萨	7.19 ± 0.31 e	6.49	8.08	4.31	4.28 ± 0.25 de	3.78	5.11	5.84	1.19 ± 0.12 b	0.97	1.53	10.08	1.68	33.76
暹粒	6.94 ± 0.41 de	5.79	7.86	5.91	4.28 ± 0.25 bcd	3.57	4.94	5.84	1.10 ± 0.11 b	0.84	1.39	10.00	1.62	33.71
北柳	6.48 ± 0.54 bc	0.30	7.47	8.33	3.87 ± 0.38 de	0.32	7.28	9.82	1.14 ± 0.15 a	0.67	1.55	13.16	1.67	23.23
巴真	7.13 ± 0.45 e	5.52	8.85	6.31	4.22 ± 0.31 de	3.27	5.32	7.35	1.14 ± 0.12 b	0.25	1.63	10.53	1.69	27.54
孔敬	6.64 ± 0.43 bcd	5.42	7.59	6.48	4.00 ± 0.29 cd	3.24	4.59	7.25	1.14 ± 0.13 ab	0.87	1.41	11.40	1.66	24.98
呵叻	6.78 ± 0.46 cde	5.44	7.95	6.78	3.84 ± 0.52 bcd	5.85	0.65	13.54	1.10 ± 0.17 a	1.49	0.74	15.45	1.76	23.52
彭世洛	7.02 ± 0.35 de	6.16	8.17	4.99	4.06 ± 0.21 bcd	3.64	4.72	5.17	1.10 ± 0.11 ab	0.95	1.44	10.00	1.72	25.72
阳江	6.29 ± 0.22 ab	5.59	6.84	3.50	4.02 ± 0.18 abc	3.47	4.38	4.48	1.04 ± 0.09 ab	0.83	1.26	8.65	1.56	20.68
均值	6.71			5.47	4.03			6.69	1.12			10.34	1.67	25.20
极差	6.09~7.19				3.84~4.28				0.98~1.19					

说明: 同列不同字母表示差异显著($\alpha=0.05$)。

(83%), 优于其他 9 个种源, Siem Reap(暹粒)种源和 Phitsanulok(彭世洛)种源在 4 个地区的发芽结果较差。可见: Kampong Cham(磅湛)种源(79%)和 Pursat(菩萨)种源(92%)的种子发芽率分别在广州、漳州达到了最高水平, Prachin Buri(巴真)种源在阳江、乐东也分别呈现最高的发芽率(90%和 87%), 这为以上 4 个地区交趾黄檀种源引种工作的初步筛选提供了一定理论参考。由表 3 的多重比较分析进一步可知: Siem Reap(暹粒)种源、Phitsanulok(彭世洛)种源分别与其他 8 个种源种子发芽率差异均显著, Battambang(马德望)种源与 Prachin Buri(巴真)种源种子发芽率达显著差异, 而 Yangjiang(阳江)、Khon Kaen(孔敬)、Nakorn Rachassima(呵叻)、Chachoengsao(北柳)、Kampong Cham(磅湛)、Pursat(菩萨)种源种子发芽率两两之间差异均不显著。综上, Siem Reap(暹粒)和 Phitsanulok(彭世洛)2 个种源种子整体适应性较差, Prachin Buri(巴真)种源播种品质较好。

表 3 不同种源种子在 4 个地区的发芽率统计

Table 3 Statistics of seed germination rate in 4 regions

种源	种子发芽率/%				播种地均 值/%
	阳江	漳州	乐东	广州	
巴真	90 aA	79 aB	87 aA	76 aB	83 a
磅湛	86 ab	68 ab	81 ab	79 a	79 ab
菩萨	86 ab	92 ab	73 ab	65 ab	79 ab
北柳	87 abA	76 abBC	78 abBC	71 abC	78 ab
呵叻	87 ab	76 ab	74 ab	66 ab	76 ab
孔敬	79 abc	69 ab	65 b	65 ab	70 bc
阳江	77 bc	65 abc	69 b	58 b	67 bc
马德望	63 deAB	58 bcAB	51 bcB	77 aA	62 c
暹粒	54 e	51 d	43 cd	34 c	46 d
彭世洛	70 cdA	47 cdB	39 dC	27 cC	46 d
种源均值	78 a	68 b	66 b	62 b	

说明: 同一指标的数值后相同字母表示没有显著差异, 不同字母表示差异显著($\alpha=0.05$), 小写字母表示种源内地点间差异, 大写字母表示地点内种源间差异。

2.3 不同种源交趾黄檀种子性状、地理气候因子及发芽率的相关性分析

交趾黄檀各指标相关性分析结果如表 4 所示。不同种源间种子长与宽呈显著正相关($P<0.05$), 种子长度与厚度呈极显著正相关($P<0.01$)。千粒重是衡量种子饱满程度的一个有力指标, 种子饱满度可一定程度上表征其所含营养物质多少; 种子发芽率可反映种子活力, 而种子活力高低最主要由遗传性状决定^[15]。在本试验中千粒重与种子的发芽率相关性均不显著($P>0.05$), 反而存在一定的负相关关系, 这说明种子活力高低与种子形态大小之间并不存在绝对的正相关关系, 与汪殿蓓等^[16]、陈浩等^[17]、邢丹等^[18]的研究结果一致。不同种源种子在乐东的种子发芽率与其余 3 个地区均表现出了极显著正相关($P<0.01$), 尤其与阳江种源种子发芽率的相关系数最大($r=0.901$), 说明不同种源种子在阳江、乐东两地的发芽率变化趋势极为相似。种子性状、发芽率分别与产地的地理和气候因子相关性均不显著。

2.4 不同种源交趾黄檀种子的聚类分析

将不同种源种子进行一定程度的产区分类, 对于引种、良种选育等科研工作十分必要。根据所测 10 个种源种子的相关形态特征、发芽率、地理气候因子等指标, 对种子进行 Q 型聚类分析。聚类分析采用类平均法(average linkage), 如图 1 所示。在欧氏距离为 16 时, 可将 10 个种源大体上分为三大产区。第 1 区包括来自柬埔寨 Battambang(马德望)、Kampong Cham(磅湛)种源, 泰国 Chachoengsao(北柳)、Khon Kaen(孔敬)、Nakorn Rachassima(呵叻)种源种子。本区种源的发芽表现较为接近, 平均发芽率可达 73%。第 2 区包括泰国的 Prachin Buri(巴真)、Phitsanulok(彭世洛)种源和柬埔寨的 Pursat(菩萨)、Siem Reap(暹粒)种源。本产区以 Prachin Buri(巴真)、Pursat(菩萨)种源种子质量和播种品质最优, 引种驯化应优先考虑这 2 个种源。中国 Yangjiang(阳江)种源种子被单独划分为一区, 这与该种源存在于较高的经纬度地区有一定关系。

3 结论与讨论

同一树种的遗传变异可体现在个体、组织细胞、分子等不同水平, 使其发生的形态变异往往具有一定的生态适应意义^[19-20]。种子作为受环境影响相对较小的繁殖器官, 其形态是一种比较稳定的性状, 可为林木的分类鉴定和遗传研究提供一定的参考^[21-22]。种子大小的变异程度, 会对种子的萌发和扩散有影响, 与幼苗成活密切相关^[23-24]。不同种源间交趾黄檀种子形态特征的试验结果表明, 长、宽、厚存在极显著差异, 种子长度、种子宽度、种子厚度具有 6%~7% 的变化幅度, 千粒重的变幅高达 16%, 说明不

表 4 不同种源种子性状、地理气候因子与 4 个地区种子发芽率的相关关系

Table 4 Correlations among seed traits, geographical and climatic factors, and germination rate in 4 regions															
相关系数	种子长度	种子宽度	种子厚度	千粒重	经度	纬度	海拔	年均降水量	年均低温	年均高温	平均发芽率	发芽率 (广州)	发芽率 (阳江)	发芽率 (漳州)	发芽率 (乐东)
种子长度	1														
种子宽度	0.686*	1													
种子厚度	0.818**	0.452	1												
千粒重	0.815**	0.840**	0.671*	1											
经度	-0.451	0.068	-0.413	-0.264	1										
纬度	-0.134	-0.158	-0.086	-0.361	0.572	1									
海拔	0.171	-0.327	0.264	-0.056	-0.283	0.099	1								
年均降水量	-0.292	0.125	-0.313	-0.386	0.569	0.269	-0.439	1							
年均低温	0.307	0.391	0.071	0.459	-0.454	-0.884**	-0.027	-0.130	1						
年均高温	0.189	0.033	-0.032	0.183	-0.772**	-0.738**	0.171	-0.325	0.713*	1					
平均发芽率	-0.073	-0.143	0.220	-0.204	0.044	-0.239	0.112	0.380	0.179	-0.085	1				
发芽率 (广州)	-0.445	-0.358	-0.183	-0.429	0.085	-0.329	0.013	0.301	0.213	0.061	0.861**	1			
发芽率 (阳江)	0.113	-0.146	0.366	-0.212	-0.069	-0.064	0.216	0.420	0.064	-0.131	0.902**	0.612	1		
发芽率 (漳州)	0.243	0.102	0.530	0.169	-0.006	-0.259	0.153	0.121	0.231	-0.190	0.893**	0.646*	0.814**	1	
发芽率 (乐东)	-0.057	-0.075	0.205	-0.210	0.130	-0.146	0.037	0.524	0.093	-0.128	0.969**	0.785**	0.901**	0.826**	1

说明： ** 代表在 0.01 的水平相关； * 代表在 0.05 的水平相关。

同种源间的种子可能受自身遗传因素和外界环境因子的共同影响发生了形态上的变异，以更好地适应不同生境。种形系数变异幅度较小，表明这 10 个种源种子在形状上总体无明显差异。种子的表型性状与产地的地理、气候因子相关性不显著，表明交趾黄檀种子受制于环境因子影响较小，更多的表型变异可能源于自身遗传物质的差异性表达。因此，可以利用现代分子生物学技术对其种子进行相关性状的遗传改良。

交趾黄檀种子在不同种源间和不同播种地间的种子发芽率差异均极显著，而种子千粒重与种子发芽率的相关性不显著，因此，在选种时无须过多考虑千粒重这一指标。千粒重大小虽能评估种子饱满度及所含营养物质成分多少，但影响种子发芽品质的因素往往来源于遗传和环境双因子互作综合效应^[25-26]，具体的调控机制还需作进一步探究。种子在阳江地区的平均发芽率有着最优的表现，这可能与该地区的气候因素有关。阳江地区播种苗圃位于粤西南的广东省(阳江市)合山镇百盛园，21°58'49"N，112°10'34"E，气候属亚热带气候，年平均气温为 23 ℃，最高气温 38 ℃，最低气温 0 ℃；年平均降水量为 2 345 mm，无霜期为 350 d，偶有低温霜冻。海南乐东尖峰岭地区年气温较

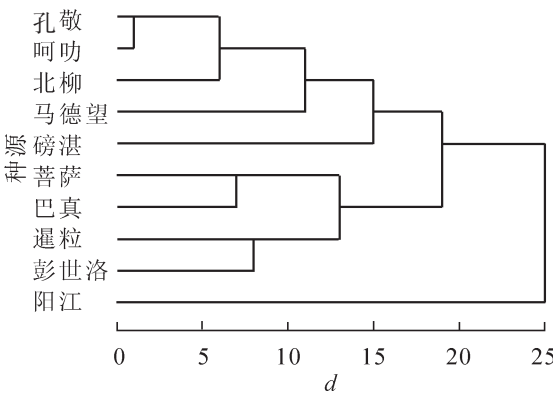


图 1 不同种源种子的聚类分析树状图
Figure 1 Cluster analysis of different provenances of *Dalbergia cochinchinensis*

高(25℃),然而年降水量仅为1 150 mm;广州、漳州两地冬天较冷,每年生长期比阳江短2~3个月。不同种源在阳江、乐东两地具有极相似的发芽率变化趋势,这说明在乐东地区通过对外界某一环境因子的调控,可达到在阳江一样的发芽品质。综合这批种子在广州、阳江、漳州、乐东的发芽结果,可为这4个地区进行交趾黄檀的适地适种选育提供一定理论指导。聚类分析将这10个种源的种子分为三大产区,据此选出Prachin Buri(巴真)和Pursat(菩萨)两大优良种源种子。

4 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 18107-2000 红木[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [2] 孙书冬, 周旭, 罗妍, 等. 4种红酸枝木类树种的鉴别[J]. 林产工业, 2012, 39(3): 50-53.
SUN Shudong, ZHOU Xu, LUO Xin, et al. Identification of four kinds of *Dalbergia* [J]. *China For Prod Ind*, 2012, 39(3): 50-53.
- [3] 朱益萍, 陈奶荣, 饶久平, 等. 交趾黄檀心边材径向弯曲蠕变性能[J]. 福建林业科技, 2016, 43(2): 112-116.
ZHU Yiping, CHEN Nairong, RAO Jiuping, et al. Study on the radial flexural creep performance of *Dalbergia cochinchinensis*'s heartwood and sapwood [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2016, 43(2): 112-116.
- [4] 何拓, 罗建举. 交趾黄檀及其相似树种木材构造的比较分析[J]. 林业工程学报, 2016, 1(4): 58-63.
HE Tuo, LUO Jianju. Comparison and analysis of the wood structure of *Dalbergia cochinchinensis* Pierre and its similar species [J]. *J For Eng*, 2016, 1(4): 58-63.
- [5] LIU Ronghua, LI Yuyi, SHAO Feng, et al. A new chalcone from the heartwood of *Dalbergia cochinchinensis* [J]. *Chem Nat Comp*, 2016, 52(3): 405-408.
- [6] 钟艳霞, 黄日明, 周孝君, 等. 交趾黄檀心材化学成分的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2013, 25(11): 1515-1518.
ZHONG Yanxia, HUANG Riming, ZHOU Xiaojun, et al. Chemical constituents from the heartwood of *Dalbergia cochinchinensis* [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2013, 25(11): 1515-1518.
- [7] ZHANG Fangda, XU Changhua, LI Mingyu, et al. Identification of *Dalbergia cochinchinensis*, (CITES Appendix II) from other three *Dalbergia* species using FT-IR and 2D correlation IR spectroscopy [J]. *Wood Sci Technol*, 2016, 50(4): 1-12.
- [8] HIEN V T T. Genetic diversity among endangered rare *Dalbergia cochinchinensis* (Fabaceae) genotypes in Vietnam revealed by random amplified polymorphic DNA (RAPD) and inter simple sequence repeats (ISSR) markers [J]. *Afr J Biotechnol*, 2012, 11(35): 8632-8644.
- [9] 倪茜茜, 祁亨年, 周竹, 等. 基于高光谱成像技术的红酸枝木材种类识别[J]. 浙江农林大学学报, 2016, 33(3): 489-494.
NI Qianqian, QI Hengnian, ZHOU Zhu, et al. Identifying *Dalbergia* spp. wood with hyperspectral imaging technology [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2016, 33(3): 489-494.
- [10] 杨柳, 方崇荣, 于海霞, 等. 顶空/气质联用鉴别交趾黄檀与微凹黄檀[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(12): 151-156.
YANG Liu, FANG Chongrong, YU Haixia, et al. Identification of *Dalbergia cochinchinenses* and *Dalbergia retusa* by headspace gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Cent South Univ For Technol*, 2013, 33(12): 151-156.
- [11] 林玲, 叶彦辉, 罗建, 等. 青藏高原特有种砂生槐不同种源地种子萌发特征研究[J]. 林业科学研究, 2014, 27(4): 508-513.
LIN Ling, YE Yanhui, LUO Jian, et al. Seed germination of different provenances of *Sophora moorcroftiana*, an endemic species to the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *For Res*, 2014, 27(4): 508-513.
- [12] 李世全, 喻才员. 不同种源苦楝种子形态特征和播种品质差异研究[J]. 江西林业科技, 2009(3): 9-12.
LI Shiquan, YU Caiyuan. Differences in morphological characteristics and seeding quality of *Melia azedarach* seeds from different provenances [J]. *J Jiangxi For Sci Technol*, 2009(3): 9-12.
- [13] 国家质量技术监督局. GB2772-1999 林木种子检验规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 116.
The State Bureau of Quality and Technical Supervision. Rules for Forest Tree Seed Testing [S]. Beijing: China Standard Press, 1999: 116.

- [14] 傅家瑞. 种子生理[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 219 – 258.
- [15] 方升佐, 朱梅, 唐罗忠, 等. 不同种源青檀种子的营养成分及种子活力的差异[J]. 植物资源与环境学报, 1998, 7(2): 16 – 21.
FANG Shengzuo, ZHU Mei, TANG Luozhong, *et al.* A preliminary study on seed nutrient ingredient contents and seed vigour for various provenances of *Pteroceltis tatarinowii* Maxim [J]. *J Plant Resour Environ*, 1998, 7(2): 16 – 21.
- [16] 汪殿蓓, 李建华, 艾娜, 等. 野生青檀种子的形态特征及其发芽率[J]. 种子, 2011, 30(1): 35 – 38.
WANG Dianpei, LI Jianhua, AI Na, *et al.* The morphological characteristics and germination rate of wild *Pteroceltis tatarinowii* seeds [J]. *Seed*, 2011, 30(1): 35 – 38.
- [17] 陈浩, 朱延林, 王念, 等. 女贞不同种源种子特性研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(4): 24 – 28.
CHEN Hao, ZHU Yanlin, WANG Nian, *et al.* Research on seed characteristics of *Ligustrum lucidum* Ait from different provenances [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2015, 31(4): 24 – 28.
- [18] 邢丹, 王文全, 李卫东, 等. 不同来源知母种子千粒重及发芽率比较分析及相关性研究[J]. 世界科学技术: 中医药现代化, 2011, 13(2): 348 – 352.
XING Dan, WANG Wenquan, LI Weidong, *et al.* Correlational research and comparative analysis on thousand-grain weight and germination of *Anemarrhena asphodeloides* seeds from different areas [J]. *World Sci Technol/Modern Trad Chin Med Mat Med*, 2011, 13(2): 348 – 352.
- [19] SCHAAL B A, LEVERICH W J, ROGSTAD S H, *et al.* Comparison of methods for assessing genetic variation in plant conservation biology [C]// FALK D A, HOLSINGER K E. *Genetics and Conservation of Rare Plants*. New York: Oxford University Press, 1991: 123 – 134.
- [20] 牟凤娟, 李一果, 李双智, 等. 大翼厚皮橙叶片及种子形态变异研究[J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(3): 54 – 59.
MOU Fengjuan, LI Yiguo, LI Shuangzhi, *et al.* Studies on morphological variation of leaf and seed of *Citrus macroptera* var. *kerrii* [J]. *J Southwest For Univ*, 2016, 36(3): 54 – 59.
- [21] 栗宏林, 张志翔, 张鑫. 小桐子不同产地种子形状及苗期生长差异研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(2): 204 – 208.
LI Honglin, ZHANG Zhixiang, ZHANG Xin. Study on seed morphology and seedling growth of *Jatropha curcas* L. from different provenances [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2010, 24(2): 204 – 208.
- [22] WCRKCR E. *Seed Anatomy* [M]. Berlin: Stuttgart Borntraeger, 1997: 1 – 6.
- [23] 渠纪腾, 闫毛毛, 戴晓港, 等. 马尾松、黄山松及其杂种域球果形态和种子性状变异[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2012, 36(6): 143 – 146.
QU Jiteng, YAN Maomao, DAI Xiaogang, *et al.* Variation in cone morphology and seed characteristics for *Pinus massoniana* Lamb., *P. taiwanensis* Hayata, and their hybrid zone [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2012, 36(6): 143 – 146.
- [24] PECO B, TRABA J, LEVASSOR C, *et al.* Seed size, shape and persistence in dry Mediterranean grass and scrubland [J]. *Seed Sci Res*, 2003, 13(1): 87 – 95.
- [25] MURALI K S. Patterns of seed size, germination and seed viability of tropical tree species in southern India [J]. *Biotropica*, 1997, 29(3): 271 – 279.
- [26] 武高林, 杜国祯. 植物种子大小与幼苗生长策略研究进展[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 191 – 197.
WU Gaolin, DU Guozhen. Relationships between seed size and seedling growth strategy of herbaceous plant: a review [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, 19(1): 191 – 197.