



乐昌含笑不同家系的叶形态与生长差异分析

梁龙, 胡德活, 王润辉, 郑会全, 晏姝, 曾碧欣, 韦如萍

引用本文:

梁龙, 胡德活, 王润辉, 等. 乐昌含笑不同家系的叶形态与生长差异分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(5): 503–508.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4331>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

优良单株家系辣木叶的表型性状分析

Analysis on Leaf Phenotypic Traits of Excellent Single Plant Family *Moranga oleifera*

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 185–191 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4096>

桉树及其杂交种叶片形态的遗传变异特征

Genetic Variation Patterns in Leaf Morphology on Eucalypts and Their Hybrids

热带亚热带植物学报. 2018, 26(6): 589–596 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3882>

华南地区裸子植物与被子植物季节性水分利用的比较研究

Comparative Studies on Seasonal Water Use of Gymnosperms and Angiosperms in South China

热带亚热带植物学报. 2020, 28(5): 463–471 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4179>

滇南亚高山巨桉种源/家系变异及早期选择研究

Variation Analysis and Early Selection for *Eucalyptus grandis* Provenances/Families in Central South Yunnan Province

热带亚热带植物学报. 2017, 25(3): 257–263 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3692>

卡西亚松家系幼林的生长节律

Growth Rhythm for Half-sib Families of Young *Pinus kesiya* Plantations in Southern Yunnan, China

热带亚热带植物学报. 2019, 27(4): 399–407 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3981>

向下翻页, 浏览PDF全文

乐昌含笑不同家系的叶形态与生长差异分析

梁龙¹, 胡德活², 王润辉², 郑会全², 晏姝², 曾碧欣², 韦如萍^{2*}

(1. 肇庆市国有大坑山林场, 广东 肇庆 526400; 2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东省林业科学研究院, 广州 510520)

摘要: 为了解乐昌含笑(*Michelia chapensis*)叶形态和生长性状的家系变异特征, 对 15 个家系的叶形态性状和生长指标及其相关性进行了分析。结果表明, 乐昌含笑叶片形态在家系间和家系内均存在显著差异, 不同家系间以帽子峰家系叶形态的平均变异系数最大(23.55%), 乐九 5 家系的最小(12.63%); 不同叶形态性状间以干物质质量的变异系数最大(25.50%), 叶柄长宽比的最小(5.14%); 树冠浓密度、胸径和树高在家系内的变异比家系间的显著。相关分析表明, 叶长与叶宽、叶干物质质量与叶面积之间均呈显著正相关关系($P < 0.05$)。根据聚类分析结果, 15 个家系可分为 4 类, 第 I 类家系具有树冠浓密、树体高大等特征; 第 II、III 类家系具有树冠较稀疏且树体较矮小等特征; 第 IV 类家系具有树冠较稀疏但树体较高等特征。因此, 这为乐昌含笑树种的合理开发利用提供了理论依据。

关键词: 乐昌含笑; 家系; 叶; 形态; 生长

doi: 10.11926/jtsb.4331

Analysis of Leaf Morphology and Growth Differences among *Michelia chapensis* Families

LIANG Long¹, HU Dehuo², WANG Runhui², ZHENG Huiquan², YAN Shu², ZENG Bixing², WEI Ruping^{2*}

(1. Dakengshan Forest Farm, Zhaoqing 526400, Guangdong, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization, Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

Abstract: In order to explore the variability of leaf characters and growth traits among different families of *Michelia chapensis*, the leaf morphology, growth indexes and their correlations of 15 families were analyzed. The results showed that there were significant differences in leaf characters among *M. chapensis* families. The coefficient of variation (CV) of leaf characters in Maozifeng family was the largest (23.55%) among 15 families, and that in lejiu5 family was the smallest (12.63%). Among seven leaf characters, the CV of dry matter mass was the largest (25.50%), and that of petiole length-width ratio was the smallest (5.14%). The variation of crown density, DBH and tree height (H) within families was more significant than that between families. The correlation analysis showed that leaf length had significant positive correlation with leaf width ($P < 0.05$), as well as the correlation between leaf dry matter mass and leaf area. According to cluster analysis, 15 families could be divided into 4 categories. The families in category I had dense crown and tall tree, those in categories II and III had sparse crown and short tree, and those in category IV had sparse crown but tall tree. Therefore, these would provide a theoretical basis for the rational development and utilization of *M. chapensis*.

Key words: *Michelia chapensis*; Family; Leaf; Phenotype; Growth

收稿日期: 2020-11-03 接受日期: 2021-01-07

基金项目: 中央财政林业科技推广示范项目([2019]GDTK-03)资助

This work was supported by the Project for Forestry Science and Technology Promotion Demonstration of Central Finance (Grant No. [2019]GDTK-03).

作者简介: 梁龙(1978~), 男, 硕士, 林业工程师, 主要从事森林培育研究和林业管理工作。E-mail: vonlong2008@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: wrpgx@163.com

乐昌含笑(*Michelia chapensis*)又名南方白兰花、广东含笑、景烈含笑等,是华南地区优良的乡土阔叶树种,其材质优良、树干挺拔、花香四溢,可用于城市园林绿化,是营造风景林和生态公益林的主要树种,具有重要的经济价值和生态价值^[1]。对乐昌含笑的研究近十余年来进展较快,已在群落特征^[2]、种源家系选择^[3-4]、育苗和栽培技术^[5-6]、园林绿化^[7-8]等方面取得较大成果。近些年各地积极践行“绿水青山就是金山银山”的生态理念,包括乐昌含笑在内的一大批优良乡土阔叶树种得到大力推广应用,因而对其生物学特性的研究也受到重视^[9]。叶片是植物进行光合作用、蒸腾作用、气体交换功能的主要场所,也是植物感知外界光照、温度、水分等环境变化的重要器官^[10]。叶片的性状特征,不仅体现了其系统发生和遗传信息^[10],还是植物内在生理行为的外在展示以及个体适应环境变化所形成的一种生存对策,对植物的基本行为和功能具有重要影响^[9,11]。因此,对植物叶片性状的研究已成为当前植物生态学等领域的热点^[9],但目前还尚未见关于乐昌含笑家系叶片形态特征的研究报道。本文通过对多年生乐昌含笑家系试验林中 15 个家系叶片形态特征和生长情况的调查测定,分析了不同家系的叶形态差异及其对植株生长的影响,以期乐昌含笑优良基因资源的挖掘和利用提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

乐昌含笑家系试验林位于广东省肇庆市国有大坑山林场,北纬 23°58',东经 112°10',海拔高度 120~200 m,坡度 35°,年均温 20.9℃,年均积温 6 520.5℃,年均降水量 1 770 mm,试验林土壤为黄岗岩成土,红壤,土层深 1.1 m 以上。2005 年 3 月造林,株行距 3 m×3 m,初植密度 1 110 ind./hm²,4 株小区,8 次重复。

1.2 材料

在广东省北部和江西省南部乐昌含笑自然分布区进行乐昌含笑优树选择,于 2003 年分单株(家系)采种,2004 年培育容器苗,2005 年造林。参试家系共 15 个,包括来自广东省乐昌县大源镇的乐大 1、乐大 6、乐大 7 家系,乐昌县九峰镇的乐九 3、乐九 4、乐九 5、乐九 7,乐昌县两江镇的乐两 3A、

乐两 4、乐两 6、乐两 12、乐两 14、乐两 15、乐两 16,以及来自南雄市帽子峰镇的帽子峰家系。

1.3 方法

于 2019 年 11 月,测量参试家系所有重复的植株胸径和树高,然后从每个家系中选择 3 株胸径接近家系内群体平均值的植株,采集植株中下部侧枝中部的叶片,每株随机采集 100 片叶,要求叶形完整,叶色正常。叶片采集后放入封口袋中带回实验室。叶长指叶基部(不含叶柄)至叶尖的长度,叶宽指叶中部的宽度。采用 Expression 11000XL (EPSON)扫描叶片后用万深 LA-S 叶面积分析系统获取叶形态参数指标。然后,所有叶片样品先 105℃杀青 30 min,再在 85℃下烘至恒重,称量每片叶的干物质质量。树冠浓密度采用评分制:3 分为浓密,2 分为较浓密,1 分为稀疏^[3]。

1.4 数据的统计分析

利用 Microsoft Excel 2010 和 SAS 8.1 软件进行数据的统计分析。表型变异系数 $CV=S/X$, S 为标准差, X 为平均数^[12];相对极差 $R'=R_i/R_0 \times 100\%$, R_i 为第 i 性状家系内极差, R_0 为第 i 性状的家系间总体极差^[12]。

2 结果和分析

2.1 叶形态的变异分析

由家系间叶片形态指标多重比较结果(表 1)可知,除叶柄长宽比在家系间的差异较小外,其余 6 个叶形态指标在家系间存在较大差异,其中,来自乐昌九峰镇的 4 个家系叶长、叶长宽比的变异较大,分别为 10.52~14.15 cm 和 2.35~3.14;来自乐昌两江镇的 7 个家系叶宽、叶面积、干物质质量的变异较大,分别为 3.63~5.23 cm、34.04~56.75 cm² 和 0.19~0.38 g;乐昌大源镇的 3 个家系的比叶面积变异较大,为 128.93~149.41。表明乐昌含笑叶片形态在不同来源地的家系间和同一来源地的家系间均存在明显差异。

乐昌含笑家系内叶片形态指标的变异系数不同(表 2),以帽子峰的最大(23.55%),乐九 5 的最小(12.63%)。叶片形态指标在不同家系间的变异系数也存在较大差异,为 5.14%~25.50%,以叶柄长宽比的最小,叶干物质质量的最大。

2.2 生长特征的变异分析

从表 3 可知,除胸径在家系间有差异外,树高

表 1 乐昌含笑家系叶形态指标的多重比较

Table 1 Multiple comparison of leaf morphological indices of *Michelia chapensis* families

家系 Family	L (cm)	W (cm)	A (cm ²)	L/W	PL/PW	SLA (g/cm ²)	DW (g)
乐大 1 Leda1	12.59±0.15bcd	4.81±0.07abc	50.97±1.37abc	2.64±0.03de	3.17±0.27b	149.41±1.52ab	0.34±0.01abcd
乐大 6 Leda6	13.15±0.31ab	4.76±0.08abc	52.29±2.13abc	2.76±0.04c	2.99±0.19b	138.66±2.73b	0.39±0.02a
乐大 7 Leda7	11.68±0.13cde	4.53±0.05bc	44.39±0.90cd	2.59±0.03e	2.59±0.20b	128.93±1.77c	0.35±0.01abc
乐九 3 Lejiu3	13.54±0.23ab	4.32±0.07cd	47.47±1.53abcd	3.14±0.03a	2.93±0.11b	181.75±1.80a	0.26±0.01bcde
乐九 4 Lejiu4	13.47±0.25ab	4.60±0.09bc	51.37±1.68abc	2.95±0.05b	3.24±0.26b	136.39±2.04b	0.38±0.02a
乐九 5 Lejiu5	14.15±0.27a	5.05±0.07ab	60.49±2.01a	2.80±0.03c	3.09±0.03b	167.69±1.99ab	0.36±0.01ab
乐九 7 Lejiu7	10.52±0.27e	4.49±0.10cd	41.13±1.56abcd	2.35±0.04g	2.87±0.15b	181.13±3.32a	0.23±0.01de
乐两 4 Leliang4	10.92±0.15e	4.03±0.06de	39.20±0.97bcd	2.72±0.03cd	2.34±0.22b	159.36±2.97ab	0.25±0.01cde
乐两 6 Leliang6	10.49±0.18e	4.49±0.07cd	39.42±1.18bcd	2.34±0.03g	3.54±0.24b	167.11±2.73ab	0.24±0.01de
乐两 12 Leliang12	11.46±0.23de	4.30±0.10cd	43.15±1.59abcd	2.68±0.05cde	3.50±0.31b	163.81±2.86ab	0.27±0.01bcde
乐两 14 Leliang14	13.18±0.26ab	4.71±0.07bc	50.31±1.64abc	2.80±0.03c	2.75±0.03b	132.61±1.14b	0.38±0.01a
乐两 15 Leliang15	10.90±0.20e	3.63±0.06e	34.04±1.00d	3.01±0.03b	4.78±0.35a	187.24±3.41a	0.19±0.01e
乐两 16 Leliang16	13.17±0.21ab	4.37±0.08cd	48.47±1.51abcd	3.03±0.04ab	3.03±0.11b	166.17±2.62ab	0.30±0.01abcd
乐两 3A Leliang3A	12.91±0.24abc	5.23±0.09a	56.75±1.90ab	2.47±0.02f	2.90±0.27b	167.04±2.33ab	0.35±0.01abc
帽子峰 Maozifeng	11.65±0.23cde	4.55±0.10cd	45.37±1.33abcd	2.59±0.05e	1.99±0.22b	153.78±5.38ab	0.30±0.01abcd

同列数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。L: 长; W: 宽; A: 面积; PL/PW: 叶柄长宽比; SLA: 比叶面积; DW: 干物质质量。下表同。

Different letters within column indicate significant differences at 0.05 level. L: Length; W: Width; A: Area; PL/PW: Petiole length-width ratio; SLA: Specific leaf area; DW: Dry weight. The same is following Tables.

表 2 乐昌含笑叶形态指标的变异系数(%)

Table 2 Coefficient of variation of different families of *Michelia chapensis*

家系 Family	L	W	A	L/W	PL/PW	SLA	DW	平均 Mean
乐大 1 Leda1	8.15	10.92	18.94	7.73	6.61	7.19	19.93	19.07
乐大 6 Leda6	15.88	11.48	27.57	9.75	4.00	13.34	32.28	22.04
乐大 7 Leda7	8.17	8.39	14.31	7.18	5.25	9.73	15.25	17.47
乐九 3 Lejiu3	11.88	10.99	22.81	7.78	2.30	7.00	25.88	16.23
乐九 4 Lejiu4	12.80	13.63	22.82	10.95	5.55	10.48	27.67	22.13
乐九 5 Lejiu5	12.53	9.31	21.76	7.95	5.97	7.77	23.11	12.63
乐九 7 Lejiu7	16.11	13.66	23.96	10.15	3.85	11.59	30.68	20.00
乐两 4 Leliang4	9.97	11.09	17.42	8.17	6.68	13.20	24.51	21.58
乐两 6 Leliang6	11.92	10.51	20.60	8.99	4.26	11.19	23.68	19.16
乐两 12 Leliang12	13.08	14.29	23.61	10.75	5.26	11.17	28.00	22.59
乐两 14 Leliang14	13.44	10.77	22.29	7.43	7.42	5.92	24.14	13.06
乐两 15 Leliang15	12.84	10.85	20.73	7.78	5.05	12.87	29.66	20.83
乐两 16 Leliang16	10.78	12.21	21.12	9.38	2.69	10.71	25.24	16.30
乐两 3A Leliang3A	13.11	12.82	23.69	6.26	6.18	9.86	28.77	22.96
帽子峰 Maozifeng	11.94	13.74	17.64	11.86	6.05	21.01	23.63	23.55
平均 Mean	12.17	11.64	21.28	8.81	5.14	10.87	25.50	

和树冠浓密度的差异不显著;但在家系内,3个指标的变异幅度均较大,分别为24.38%~42.55%、25.33%~39.88%和31.02%~44.41%。15个家系的平均胸径为9.76 cm、平均树高为7.71 m、树冠浓密度均值为1.61。乐九4、乐两12、乐两15、帽子峰4个家系生长较好,胸径为11.07~11.27 cm,树高为8.07~8.48 m,树冠浓密度为1.64~1.93;而乐大6、乐九7、乐两16、乐两6家系生长较差,胸径

为8.11~8.94 cm,树高为6.35~7.42 m,树冠浓密度为1.45~1.67。表明乐昌含笑生长指标在家系间和家系内均存在较大变异,并以家系内的变异更明显。

2.3 相关性分析

15个参试家系形态和生长指标的偏相关分析结果表明(表4),叶长与叶宽呈显著正相关,与叶长宽比和叶面积呈极显著正相关;叶宽与叶长宽比呈极显著

负相关, 与叶面积呈极显著正相关。叶干物质质量与叶面积呈显著正相关, 与比叶面积呈极显著负相关。由此可见, 7 个叶片形态指标与树冠浓密度、胸径和树高 3 个指标间均未有显著相关性, 但叶面积和叶柄长宽比对树冠浓密度有积极影响, 且叶宽与胸径间有一定的负相关趋势, 与树高间有一定的正相关趋势。

2.4 聚类分析

对 15 个家系进行多指标系统的聚类分析, 结果表明(图 1), 在阈值为 1.00 时, 可把 15 个家系分为 4

个类别。第 I 类家系只有乐两 15, 其叶面积较小、叶柄细长、叶片短细呈窄倒卵形、树冠浓密且树体高大; 第 II 类家系有乐九 7、乐两 4 和乐两 6, 具有叶面积较小、叶片短宽呈短圆状倒卵形、树冠较稀疏且树体较矮小等特征; 第 III 类家系有乐大 6 和乐两 16, 具有叶面积较大、叶片细长呈窄倒卵形、树冠较稀疏且树体矮小等特征; 第 IV 类家系有乐大 1、乐大 7、乐九 3、乐九 4、乐九 5、乐两 12、乐两 14、乐两 3A、帽子峰共 9 个家系, 具有叶面积较大、叶片细长呈窄倒卵形、树冠较稀疏但树体较高大等特征。

表 3 乐昌含笑不同家系生长差异分析

Table 3 Variation of growth indices of *Michelia chapensis* families

家系 Family	DBH		H		CD 树冠浓密度 Crown density	
	平均 Mean (cm)	CV /%	平均 Mean (cm)	CV /%	平均 Mean (cm)	CV /%
乐大 1 Leda1	10.04±0.52ab	24.38	8.14±0.44a	25.33	1.52±0.13a	39.48
乐大 6 Leda6	8.11±0.69b	40.78	6.35±0.50a	37.55	1.52±0.14a	43.33
乐大 7 Leda7	9.49±0.69ab	36.88	8.17±0.56a	34.78	1.46±0.10a	34.78
乐九 3 Lejiu3	9.51±0.91ab	35.80	8.06±0.60a	35.80	1.50±0.14a	34.59
乐九 4 Lejiu4	11.27±0.75a	34.37	8.46±0.50a	30.44	1.67±0.11a	33.52
乐九 5 Lejiu5	10.05±0.76ab	37.13	8.02±0.51a	30.96	1.54±0.13a	42.68
乐九 7 Lejiu7	8.48±0.60b	30.95	7.15±0.56a	33.96	1.58±0.16a	43.86
乐两 4 Leliang4	9.45±0.68ab	34.73	7.20±0.60a	39.88	1.70±0.15a	41.45
乐两 6 Leliang6	8.59±0.74ab	39.47	7.42±0.53a	32.89	1.67±0.14a	38.54
乐两 12 Leliang12	11.25±0.65a	28.66	8.48±0.51a	29.94	1.88±0.12a	31.92
乐两 14 Leliang14	9.50±0.84ab	42.55	7.30±0.54a	35.43	1.55±0.11a	32.98
乐两 15 Leliang15	11.22±0.84ab	39.05	8.10±0.59a	37.62	1.93±0.12a	31.96
乐两 16 Leliang16	8.94±0.74ab	38.81	6.90±0.53a	36.27	1.45±0.11a	35.04
乐两 3A Leliang3A	9.37±0.74ab	38.00	7.78±0.57a	35.02	1.61±0.10a	31.02
帽子峰 Maozifeng	11.07±0.77a	32.75	8.07±0.50a	28.87	1.64±0.15a	44.41

DBH: 胸径; H: 树高; CD: 树冠浓密度; CV: 变异系数。下表同。

DBH: Diameter at breast height; H: Tree height; CD: Crown density; CV: Coefficient of variation. The same is following Tables.

表 4 乐昌含笑家系叶形态和生长指标的偏相关系数

Table 4 Partial correlation coefficients of leaf morphology and growth indices of *Michelia chapensis* families

	L	W	DW	L/W	A	PL/PW	SLA	CD	DBH	H
L	1	0.81*	-0.19	0.95**	0.87**	-0.31	-0.19	-0.18	0.40	-0.39
W		1	0.34	-0.95**	0.88**	0.39	0.30	0.03	-0.68	0.62
DW			1	0.29	0.83*	0.42	-0.99**	0.01	0.39	-0.53
L/W				1	0.01	0.46	0.27	0.04	-0.52	0.49
A					1	-0.41	0.62	0.60	0.21	-0.04
PL/PW						1	0.46	0.67	0.15	0.02
SLA							1	0.05	0.32	-0.48
CD								1	0.63	-0.39
DBH									1	0.91**
H										1

** : $P < 0.01$; * : $P < 0.05$.

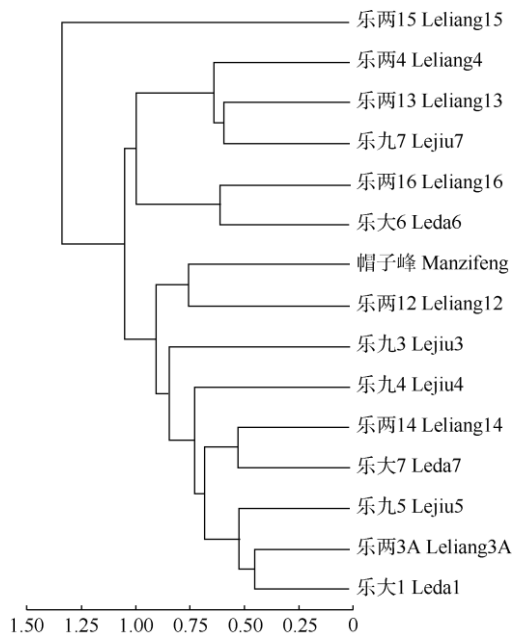


图 1 乐昌含笑家系的表型聚类图

Fig. 1 Phenotypic dendrogram of *Michelia Lechang* families

3 结论和讨论

植物叶片的发育由叶原基起始, 期间涉及转录因子、小分子 RNA 及生长调节剂参与的一系列细胞分裂和分化程序, 最终发育成形态大小固定的成熟叶^[13]; 整个发育过程是植物内因和外部环境因素共同作用的结果, 因而即使遗传背景相同, 同一株树上也长不出两片完全相同的叶子^[12-14]。由 15 个乐昌含笑家系叶片形态分析结果可知, 叶长、叶宽、叶面积、叶长宽比、比叶面积、叶干物质质量在不同来源地和同一来源地的家系间和家系内均存在明显差异。由此推测, 位于同一试验林内的 15 个家系, 其叶片形态发育过程除了受到外部环境因素的影响外, 可能更多的是内部遗传因素的调控。由于本试验限于一片家系试验林, 今后还应通过多个试验点数据的系统分析, 以深入解析乐昌含笑家系叶形态发育与环境的互作效应。

叶的基本功能是光合作用和蒸腾作用^[15], 叶面积越大, 叶片对光的吸收量得到增强, 叶片的光合效率提高, 对植株接收和利用光能有重要意义^[16]。蔡锡安等研究表明, 低光下梅叶冬青(*Ilex asprella*)的叶厚度变小, 而叶长、叶宽、比叶面积及单叶面积明显增大, 并指出叶片形态结构的改变是梅叶冬青对低光的一种适应策略^[17]。乐昌含笑属于喜光树种, 在温暖、湿润、土壤肥沃、阳光充足的环境中生长良好^[18]。本研究对 15 个乐昌含笑家系的 10 个形态和生长指标的相

关性分析表明, 叶宽与胸径间呈现出较密切的负相关趋势, 与树高呈正相关关系(表 4), 即叶片越宽, 植株高生长可能越明显, 胸径生长则越小。这可能也暗示了试验林中存在着较激烈的个体竞争, 为了获取更好的光照条件, 植株更趋于向上层空间伸展。

乐昌含笑是兼具景观和用材特性的优良乡土阔叶树种, 基于多个指标的聚类分析结果, 可对 15 个乐昌含笑家系进行合理应用, 对于第 I 类家系的乐两 15, 第 IV 类家系的乐大 1、乐大 7、乐九 3、乐九 4、乐九 5、乐两 12、乐两 14、乐两 3A、帽子峰等, 可在林业生态建设和城市园林景观建设中应用。第 I 类家系乐两 15 具有树体高大、树冠浓密等特性, 尤其适合在城市(道路)绿化美化中单植、列植或群植; 第 IV 类家系因具有树体高大、树冠较稀疏等特性, 可在相似区域的工业用材林基地中应用; 对于第 II、III 类家系, 可作为乐昌含笑基因资源进行适当保存。当然, 由于本研究局限于单一地点, 今后还应扩展区域试验或适应性试验, 以充分了解其形态变异特征, 尤其是生长特性和适生性后再大面积的推广应用, 以期乐昌含笑这一优良乡土阔叶树种的合理开发提供科学依据。

参考文献

- [1] ZHANG W H, WANG R H, ZHEGN H Q, et al. Multi-site family trials and selection of superior families for *Michelia chapensis* [J]. *J Zhejiang Agric For Univ*, 2015, 32(5): 763-769. doi: 10.11833/j.issn.2095-0756.2015.05.016.
张伟红, 王润辉, 郑会全, 等. 乐昌含笑优树多点子代测定及优良家系选择 [J]. *浙江农林大学学报*, 2015, 32(5): 763-769. doi: 10.11833/j.issn.2095-0756.2015.05.016.
- [2] MA L, WU L F, YE H G, et al. Studies on community characteristics of *Michelia chapensis* in Yeijingbei, Zengcheng, Guangzhou [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2012, 20(2): 169-176. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.02.011.
马磊, 吴林芳, 叶华谷, 等. 广州增城叶迳背乐昌含笑林群落特征研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2012, 20(2): 169-176. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.02.011.
- [3] WANG R H, ZHANG W H, ZHEGN H Q, et al. Study on mutil-site provenance trials and superior provenances selection of *Michelia chapensis* [J]. *J CS For Technol*, 2015, 35(5): 16-21,34. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2015.05.003.
王润辉, 张伟红, 郑会全, 等. 乐昌含笑多点种源试验与优良种源选择 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2015, 35(5): 16-21,34. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2015.05.003.

- [4] ZOU S M, YAN S, WANG R H, et al. Study on early trials of *Michelia chapensis* dandy families [J]. Guangdong For Sci Technol, 2009, 25(2): 10–15. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2009.02.002.
邹寿明, 晏妹, 王润辉, 等. 乐昌含笑家系试验初报 [J]. 广东林业科技, 2009, 25(2): 10–15. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2009.02.002.
- [5] ZHANG W H, YAN S, WANG R H, et al. Grafting techniques for plus tree of *Michelia chapensis* Dandy [J]. Mod Agric Sci Technol, 2018(6): 147–148. doi: 10.3969/j.issn.1007-5739.2018.06.094.
张伟红, 晏妹, 王润辉, 等. 乐昌含笑优树嫁接技术 [J]. 现代农业科技, 2018(6): 147–148. doi: 10.3969/j.issn.1007-5739.2018.06.094.
- [6] LIE Z Y, LI J, ZHOU T T, et al. Density effect on nutrient content and accumulation of *Michelia chapensis* plantations [J]. Hunan For Sci Technol, 2016, 43(1): 44–47, 60. doi: 10.3969/j.issn.1003-5710.2016.01.008.
列志翊, 李洁, 周彤彤, 等. 密度对乐昌含笑幼苗养分积累的影响 [J]. 湖南林业科技, 2016, 43(1): 44–47, 60. doi: 10.3969/j.issn.1003-5710.2016.01.008.
- [7] LIU S Z, XUE K N, KONG G H, et al. Effects of air pollution on the growth of 35 garden plants [J]. J Trop Subtrop Bot, 2003, 11(4): 329–335. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2003.04.004.
刘世忠, 薛克娜, 孔国辉, 等. 大气污染对 35 种园林植物生长的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2003, 11(4): 329–335. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2003.04.004.
- [8] QIU E F, XU F, WANG C, et al. Population distribution and structure characteristics of village roadside forest in Fujian Province, eastern China [J]. J Beijing For Univ, 2012, 34(6): 68–74. doi: 10.13332/j.1000-1522.2012.06.023.
邱尔发, 许飞, 王成, 等. 福建省乡村道路林种群分布及结构特征研究 [J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(6): 68–74. doi: 10.13332/j.1000-1522.2012.06.023.
- [9] XUE L, ZHANG R, XI R C, et al. Seasonal change of leaf morphological traits of six broadleaf seedlings in South China [J]. Acta Ecol Sin, 2012, 32(1): 123–134. doi: 10.5846/stxb201011291691.
薛立, 张柔, 奚如春, 等. 华南地区 6 种阔叶幼苗叶片形态特征的季节变化 [J]. 生态学报, 2012, 32(1): 123–134. doi: 10.5846/stxb201011291691.
- [10] KE J X, CHEN D, GUO Y P. Designing leaf marginal shapes: Regulatory mechanisms of leaf serration or dissection [J]. Biodiv Sci, 2018, 26(9): 988–997. doi: 10.17520/biods.2018127.
柯锦秀, 陈多, 郭延平. 植物叶缘形态的发育调控机理 [J]. 生物多样性, 2018, 26(9): 988–997. doi: 10.17520/biods.2018127.
- [11] WANG Y L, WANG W F, ZHANG Y X, et al. Responses of leaf morphological structure and physiological characteristics of *Populus euramericana* cv. ‘BYu’ to drought stress [J]. Sci Silv Sin, 2019, 55(4): 42–50. doi: 10.11707/j.1001-7488.20190405.
王怡霖, 王卫锋, 张芸香, 等. 碧玉杨叶形态结构与生理特性对干旱的响应 [J]. 林业科学, 2019, 55(4): 42–50. doi: 10.11707/j.1001-7488.20190405.
- [12] YAN D T. Leaf morphological differences of *Ulmus macrocarpa* (Ulmaceae) [D]. Linfen: Shanxi Normal University, 2017: 1–53.
闫冬婷. 大果榆叶形态差异研究 [D]. 临汾: 山西师范大学, 2017: 1–53.
- [13] LE L N, HUANG M R, CHEN Y. The research progress on molecular regulation of leaf morphogenesis [J]. Mol Plant Breed, 2016, 14(11): 3205–3213. doi: 10.13271/j.mpb.014.003205.
乐丽娜, 黄敏仁, 陈英. 植物叶形态建成的分子机理研究进展 [J]. 分子植物育种, 2016, 14(11): 3205–3213. doi: 10.13271/j.mpb.014.003205.
- [14] RONG W T, XING F W, YI Q F. Effects of climatic factors on leaf discoloration peak period of 5 species in Macao [J]. J Trop Subtrop Bot, 2020, 28(6): 574–582. doi: 10.11926/jtsb.4232.
容文婷, 邢福武, 易绮斐. 澳门 5 种植物叶变色盛期对气候因子的响应 [J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(6): 574–582. doi: 10.11926/jtsb.4232.
- [15] WANG S, YU Y M, ZHOU Z L, et al. Different clones of *Catalpa fargesii* Bureau simple leaves morphological characteristics growth dynamic and correlation studies [J]. J Gansu Agric Univ, 2019, 54(5): 135–139. doi: 10.13432/j.cnki.jgsau.2019.05.017.
王桑, 于永明, 周卓玲, 等. 灰楸不同无性系单叶形态特征生长动态及其相关性 [J]. 甘肃农业大学学报, 2019, 54(5): 135–139. doi: 10.13432/j.cnki.jgsau.2019.05.017.
- [16] HE M H, LIU Z W, CHEN W N. Study on morphology and structure of leaves of *Davidia involucrata* Bail [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2018, 24(13): 94–96. doi: 10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2018.13.045.
何明惠, 刘中伟, 陈文年. 珙桐叶形态结构研究 [J]. 安徽农学通报, 2018, 24(13): 94–96. doi: 10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2018.13.045.
- [17] CAI X A, RAO X Q, LIU Z F, et al. Effects of shading on leaf morphology, photosynthetic characteristics, and growth of *Ilex asprella* [J]. J Trop Subtrop Bot, 2020, 28(1): 25–34. doi: 10.11926/jtsb.4077.
蔡锡安, 饶兴权, 刘占锋, 等. 遮荫处理对梅叶冬青叶片形态、光合特性和生长的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(1): 25–34. doi: 10.11926/jtsb.4077.
- [18] ZHANG F Q, LI X Q, PAN W, et al. Cultivation Techniques of Ecological Landscape Trees in Guangdong Province [M]. Beijing: China Forestry Press, 2012: 95–97.
张方秋, 李小川, 潘文, 等. 广东生态景观树种栽培技术 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2012: 95–97.