

榧树雄株若干性状变异初探

董雷鸣¹, 沈登锋¹, 喻卫武¹, 曾燕如¹, 吴智敏², 戴文圣¹

(1. 浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省龙泉市林业局, 浙江 龙泉 323700)

摘要: 通过调查统计野生榧树 *Torreya grandis* 雄株的叶长、叶宽及叶片厚度, 球花大小、花粉质量及开花时间等的差异变化, 结合花粉粒的扫描电镜观察和香榧 *Torreya grandis* ‘Merrillii’ 授粉试验, 探讨榧树雄株相关性状的变异。结果表明: ①雄株叶片要比雌株叶片长, 叶片长度均值为 2.12 cm (变幅 1.53~3.20 cm), 叶片宽度均值为 0.32 cm (变幅 0.28~0.39 cm), 叶厚均值为 0.23 mm (变幅 0.17~0.32 mm); 雄球花纵径均值为 0.79 cm (变幅 0.49~1.32 cm), 横径均值为 0.42 cm (变幅 0.32~0.54 cm), 雄球花质量均值为 1.19 g (变幅 0.33~2.66 g), 花粉质量均值为 0.170 g (0.151~0.548 g)。叶片及雄球花的各指标均有较大的变异系数, 其中花粉质量的变异系数最大, 达 55.29%; 叶片宽度的变异系数最小, 也有 8.83%; ②雄株开始开花时间主要集中在 4 月 16~18 日, 不同单株的雄花始花时间存在约 1 周的差异, 营造香榧林时可以按需选择配置, 特别应该适当配置晚花类型的雄株; ③花粉近球型, 直径为 22~26 μm ; 不同地区、同一地区不同单株的花粉在外观上无明显差异; ④不同来源的花粉显著影响香榧幼果坐果率, 表明榧树雄株具有开展选优的潜力。图 2 表 4 参 27

关键词: 植物学; 榧树; 雄株; 雄球花

中图分类号: S718.4; Q944.5

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2012)05-0715-07

Trait variations of male *Torreya grandis* trees

DONG Lei-ming¹, SHEN Deng-feng¹, YU Wei-wu¹, ZENG Yan-ru¹, WU Zhi-min², DAI Wen-sheng¹

(1. The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Forest Enterprise of Longquan City, Longquan 323700, Zhejiang, China)

Abstract: Variation in traits associated with male trees of *Torreya grandis* were studied using a survey of leaf length, width, and thickness; size of staminate strobilus; pollen weight; and flowering time. A scanning electron microscope (SEM) was used to observe pollen grains and a pollination test with pollen from different 3 locations and 2 individual male trees of the same location was conducted in *T. grandis* ‘Merrillii’ that is the only female cultivar of *T. grandis*. Results showed that for male trees on the average, leaf length was 2.12 cm (ranging from 1.53 to 3.20 cm), width was 0.32 cm (0.28–0.39 cm), and thickness was 0.23 mm (0.17–0.32 mm) with the length longer than that of leaves from female trees (1.1–2.5 cm); for staminate strobilus, length was 0.79 cm (ranging from 0.49–1.32 cm), width was 0.42 cm (0.32–0.54 cm), and weight was 1.19 g (0.33–2.66 g); and pollen weight was 0.170 g (ranging from 0.151–0.548 g). For leaf and staminate strobilus characteristics, CVs (coefficients of variation) varied from 55.3% for pollen weight to 8.8% for leaf width. Male trees mainly started flowering from the 16th to the 18th of April with a 1-week difference between one another in flowering time. Also, pollen was ball-shaped with a diameter of 22–26 μm . No differences were found in pollen morphology among different origins or individuals located in the same area. Finally, pollen of different origins had a strong effect ($P=0.016$) on the young fruit-setting percentage of *T. grandis* ‘Merrillii’.

收稿日期: 2011-09-13; 修回日期: 2012-01-16

基金项目: 浙江省科学技术攻关项目(2008C22003)

作者简介: 董雷鸣, 从事经济林培育与利用研究。E-mail: dongleiming2008@126.com。通信作者: 曾燕如, 教授, 博士, 从事经济林培育与利用研究。E-mail: yrzeng@zafu.edu.cn

Thus, differences in flowering time, especially selecting those late in flowering, could be used to select male trees when establishing a *T. grandis* 'Merrillii' plantation, and the fruit-set indicated a potential for selection of *T. grandis* male, elite individuals. [Ch, 2 fig. 4 tab. 27 ref.]

Key words: botany; *Torreya grandis*; male tree; staminate strobilus

榿树 *Torreya grandis* 隶属于红豆杉科 Taxaceae 榿树属 *Torreya*, 雌雄异株, 稀同株, 天然分布于江苏南部、浙江、福建北部、江西北部、安徽南部、湖南西南部及贵州松桃等地^[1], 其中的香榿 *T. grandis* 'Merrillii' 是榿树中优良变异类型经无性繁殖培育而成的唯一优良品种^[2], 其种子是中国重要的干果之一。由于香榿极高的经济价值, 作为浙江省重要的经济树种之一, 多年来有关榿树的研究多集中在有关香榿的生物学特性^[3]、病害^[4]、林地土壤养分^[5]、栽培管理技术^[6-7]、无性繁殖技术^[8-10]、假种皮化学物质的提取方法^[11]、假种皮提取物的成分分析和药理作用^[12]等, 仅在近几年才基于选育种的需求, 对榿树开展了一些研究。研究发现, 雌性榿树营养体、产量以及榿籽种实和化学成分等天然种群内和种群间均存在较大的差异^[13], 存在着极其丰富的遗传多样性^[14-15], 其中不乏一些综合性状优良、种子品质达到或超过香榿的优株^[16-17]。榿树雌雄异株的特性对其遗传多样性做出了重要贡献, 但是关于雄性榿树的研究则鲜有报道。雄性榿树的性状如花粉量的多少、始花期及花期的长短等, 是香榿生产中雌雄配置的理论依据。本文是对雄性榿树叶片形态、球花大小、开花时间、花粉量及花粉形态初步研究结果的报道, 对今后榿树雄株选择、香榿新造林雌雄株配置、榿树多样性保护具有一定的意义。

1 材料与方法

1.1 采样地点

2009 年 4 月采集试验用榿树叶片及雄球花。采样区位于浙江省淳安县与临安市交界处, 29°11'~30°02'N, 118°20'~119°20'E; 海拔约为 560 m; 年平均气温为 17.8 °C, 年极端最低气温-13.3 °C, 年极端最高气温 40.7 °C; 年降水量为 1 425.7 mm。该区域榿树雄株分布较为集中, 且受人为干扰少, 基本保持了野生状态。同时, 在当地进行雄球花开花期观测。

花粉形态观测用样品采自浙江省临安市湍口镇洪岭村、淳安县临歧镇朱塔村、诸暨市、嵊州市。授粉试验用的花粉采自浙江省嵊州市、临安市和淳安县, 选择生长势良好, 树龄在 50~80 a 间的榿树雄株。

1.2 方法

1.2.1 采样 选择树龄 30~50 a, 凭经验评估雄花量为中等以上, 生长旺盛、长势均一, 无明显病虫害的榿树雄株为样本株, 共 60 株, 分别编号。采样时仔细挑选着生在树木中部粗壮大枝上无病害, 叶片整齐均匀, 带有雄球花的 1 年生幼枝, 采集 15 个·株⁻¹, 置于封口塑料袋中带回实验室。

1.2.2 叶片性状测定 选取大小均一的小枝, 由枝条基部起同侧连续取 5 片小叶, 分别测定叶长、叶宽(叶片最宽处)及叶片厚度(5 片小叶总厚度的平均值), 测量时注意叶片平展, 并计算叶形指数(叶宽/叶长)、标准差、变异系数、Pearson 相关指数。

1.2.3 雄球花性状的测定 随机选取 15 个球花, 用游标卡尺测量每个球花的纵径、横径并称量, 计算球花形指数(横径/纵径)。然后置于硫酸纸上, 待花粉充分散出后(2 d), 抖尽球花中的花粉并称量。然后计算出粉率, 出粉率(%)=(花粉质量/球花质量)×100。

1.2.4 开花时间观察 观察并记录各个样本株的球花始花时间。

1.2.5 花粉电镜扫描 使用扫描电镜(荷兰飞利浦 XL30-ESEM)观察不同地点采集的雄株花粉形态。

1.2.6 香榿授粉试验 2010 年 4 月下旬在浙江省临安市选择进入盛果期不久的香榿单株为试验材料, 于雌花开放前用硫酸纸袋套袋, 套袋 36 个·株⁻¹, 以单株为重复, 重复 3 次。2010 年 4 月 17-25 日, 在浙江省嵊州市、临安市、淳安县各采集 3 株即将开放的榿树雄花枝, 分单株编号。室内晾晒出的花粉分单株收集, 并放入干燥器置于 4 °C 冰箱保存。4 月底(4 月 29 日)雌花大量开放(授粉滴呈圆珠状)的第 3 天, 单面打开硫酸纸袋, 统计雌花数后用毛笔蘸施花粉, 后再次封闭硫酸纸袋。2 d 后重复同一过程。授粉 5 d 后去袋, 2 个月后统计幼果数, 计算坐果率。

2 结果与分析

2.1 雄株叶片性状的变异

从统计数据(表 1)可以看出：榧树雄株叶片的长、宽、厚均存在一定变异，其中叶片长度最长 3.20 cm，最短 1.53 cm，最长叶片约为最短叶片长度的 2 倍，平均为 2.12 cm；叶宽集中在 0.28~0.39 cm 范围内，平均为 0.32 cm；叶片厚度变异也较大，最大值为 0.32 mm，最小为 0.17 mm，平均为 0.23 mm。变异系数(coefficient of variation, CV)以叶片长度最大，为 14.99%；叶厚变异系数略小于叶片长度的变异系数；叶宽最小，为 8.83%。叶长与叶宽及叶厚在 0.01 水平显著正相关，Pearson 相关系数分别为 0.563 和 0.360；叶宽和叶厚相关性不显著(表 2)。一般而言，不同植物叶片的形态大小千差万别，同种植物的叶片形态也会因遗传背景^[18]、生境^[19]，甚至是叶序^[20]的不同而有所差异。本研究不同榧树雄株单株的叶片长度的最大值和最小值相差近 1 倍，由于样株采自一地，长势均一，因此叶片形态上的差异是由各自的遗传特性决定的。

表 1 榧树雄株叶片、球花表型特征值

Table 1 Phenotypical values of leaves and male cone- shaped flowers in <i>Torreya grandis</i>										
项目	叶长/cm	叶宽/cm	叶厚/mm	叶形指数	球花纵径/cm	球花横径/cm	球花形指数	球花质量/g	花粉质量/g	出粉率/%
最大值	3.20	0.39	0.32	0.20	1.32	0.54	0.86	2.66	0.548	38.03
最小值	1.53	0.28	0.17	0.12	0.49	0.32	0.38	0.33	0.051	5.05
均值	2.12	0.32	0.23	0.15	0.79	0.42	0.55	1.19	0.170	13.89
标准差	0.317	0.028	0.030	0.019	0.185	0.044	0.103	0.429	0.094	4.93
变异系数/%	14.99	8.83	13.22	12.24	23.48	10.60	18.80	35.93	55.29	35.49

2.2 雄球花性状的变异

从研究结果看，单株间雄球花纵径有较大的变异，最大为 1.32 cm，最小 0.49 cm，最长的球花约为最小的 3 倍，平均约为 0.79 cm，变异系数为 23.48%；球花横径变异小于纵径，最大值为 0.54 cm，最小为 0.32 cm，均值为 0.42 cm，变异系数为 10.60%；球花质量为 0.33~2.66 g，平均质量为 1.19 g；花粉净质量为 0.051~0.548 g，最大值约为最小值的 10 倍，平均单个球花内花粉质量为 0.170 g，变异系数为 55.29%，为各指标之最；出粉率最大为 38.03%，最低 5.05%，相差 7 倍之多，平均出粉率较高，约 13.89%(表 1)。对各指标进行 Pearson 相关系数检验，发现榧树雄球花横径与纵径呈极显著性相关(0.625, $P<0.01$)；球花横径与球花质量及花粉质量呈极显著相关，相关系数分别为 0.619 和 0.431；球花质量与花粉质量相关系数为 0.739，花粉质量与出粉率相关系数为 0.749，均达到极显著水平。其余指标则相关性不显著($P>0.05$)。

表 2 雄株叶片各指标相关性系数

Table 2 Correlation coefficients among indexes of leaves in male <i>Torreya grandis</i>			
指标	叶长	叶宽	叶形指数
叶宽	0.563**		
叶形指数	-0.778**	0.055	
叶厚	0.360**	0.176	-0.339**

说明：** 表示 0.01 水平相关极显著。

表 3 榧树雄球花及花粉各指标之间相关系数

Table 3 Correlation coefficients among indexes of male flowers and pollen in <i>Torreya grandis</i>					
指标	球花纵径	球花横径	球花形指数	球花质量	花粉质量
球花横径	0.625**				
球花形指数	-0.829**	0.129			
球花质量	0.201	0.619**	0.133		
花粉质量	-0.013	0.431**	0.270	0.739**	
出粉率	-0.223	0.035	0.260	0.126	0.749**

说明：** 表示 0.01 水平相关极显著。

2.3 雄球花始花期的变异

从相同地点、相近海拔的雄花始花时间(图 1)看,最早的为 4 月 16 日,最迟的 4 月 22 日,相差近 1 周,集中开放于 4 月 16-18 日,其中 4 月 17 日始花的最多,为 26 株;16-18 日开始开花的共 43 株,占观测样本株(56 株)的 76.8%(由于样本株分布较为分散,4 个样本株未观测到始花)。了解榧树开花时间的差异对榧树生产、榧树林的营建生产有一定的指导意义,因为榧树雌花并非集中开放,在混合芽开展的数天内,陆续有雌花成熟,并且雌花有等待授粉的习性。所以,造林时配置始花期早、中、晚不一的授粉树,有利于雌花充分授粉,而且特别应该适当配置晚花类型的雄株。

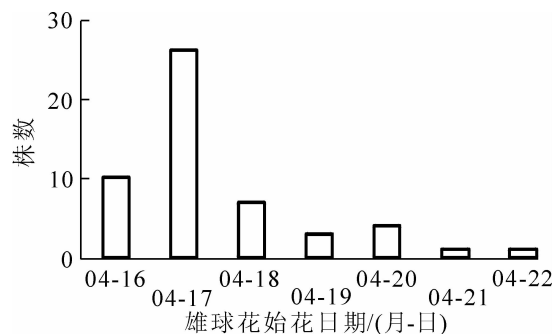


图 1 不同始花期的雄株数

Figure 1 Number of male *Torreya grandis* trees starting to bloom at different times

2.4 花粉形态观察

从榧树花粉的电镜扫描图像(图 2)可以看出:榧树花粉单粒,近球形,直径为 22~26 μm;外壁表面呈颗粒状,上具有稀疏、大小不均的颗粒状凸起;无沟孔。不同地点或同一地点不同单株采集的花粉在表观上无明显差异,这与一般认为的一种植物花粉形态具有很强遗传保守性的观点是吻合的^[21-22]。

2.5 不同产地榧树花粉对香榧的授粉试验

幼果坐果率在很大程度上决定了香榧的产量。授粉试验结果(表 4)表明:以嵊州雄株花粉所授雌花坐果率最高,为 34.10%;临安与淳安花粉坐果率次之,分别为 26.53%和 25.61%。3 地花粉坐果率的方差分析及多重比较显示,不同产地的花粉在授粉试验中差异显著($P=0.016$);临安与淳安花粉的幼果坐果率无显著差异,而嵊州花粉授粉的幼果坐果率显著高于临安与淳安花粉。

表 4 不同雄株花粉的授粉结果比较

Table 4 Comparison among the results of pollination with pollen from different male trees

花粉来源	香榧编号	授粉雌花数/朵	幼果数/个	坐果率/%	平均坐果率/%
嵊州	1 号	198	71	35.86	34.10 a
	2 号	308	91	29.55	
	3 号	263	97	36.88	
临安	1 号	276	75	27.17	26.53 b
	2 号	256	64	25.00	
	3 号	237	65	27.43	
淳安	1 号	203	50	24.63	25.61 b
	2 号	430	104	24.19	
	3 号	257	72	28.02	

说明:不同小写英文字母为差异达显著水平($P<0.05$)。

3 讨论

榧树雄株的叶片和球花各指标单株间均存在变异,两性状分别以叶片长度和花粉质量差异最为显著,变异系数分别达到 14.99%和 55.29%。这与其生物学特性是密切相关的。雌雄异株、风媒授粉、生活史长的树种均有此特点^[23-24]。变异是育种的基础。变异系数越大,说明单株间的表型差异越显著,多样性越丰富,优株选育时可供选择的潜力越大。

本研究中榧树雄株叶长同叶宽呈极显著正相关,而在叶宽差异不十分明显的条件下,叶片长度越长,则意味着叶面积越大,单位时间内的光合速率有可能较大,这样有助于树木营养生长,提高它对自

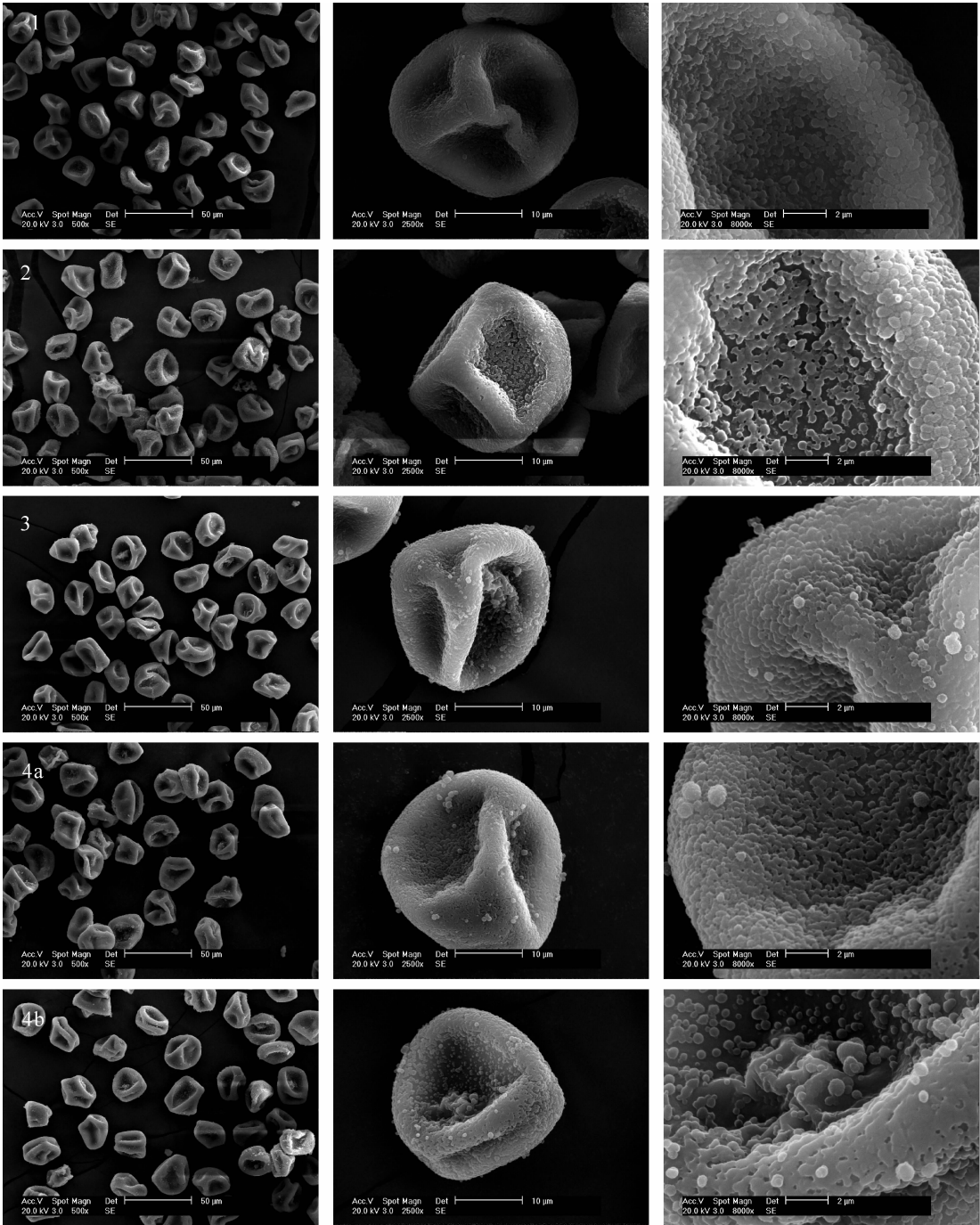


图 2 榧树花粉扫描电镜照片(从左至右放大倍数：500×，2 500×，8 000×；从上至下：1 诸暨，2 嵊州，3 临安，4 淳安，其中淳安 4a 和 4b 为 2 个单株)

Figure 2 Morphological photos of pollen scanned through scanning electron microscope in *Torreya grandis* (From left to right: 500×, 2 500× and 8 000×; from up to down: pollen from Zhuji (1), Shengzhou (2), Lin'an (3), and Chun'an (4); 4a and 4b are the pollens from 2 sampled trees in Chun'an)

然环境的适应能力，同时也可能有利于榧树营养的生殖分配。然而本研究结果表明，叶长与每个雄球花的花粉质量、出粉率相关不显著(相关系数分别为 -0.035 和 -0.037)。植物的营养生长与生殖生长关系复杂，彼此间存在碳/氮平衡关系。因此，不能简单地用叶片大小来反映生殖器官生产力的大小，也即它们之间的相关性，尽管营养器官与生殖器官间存在库与源、库对源营养分配具有拉动的作用。研究还发现，雄株叶片的长度范围(1.53~3.20 cm)也比康宁等^[1]描述的榧树叶片长度范围(1.1~2.5 cm)要大。康宁等在对榧树及榧属其他种进行分类时首先采用的是种子性状，再依次基于枝条及叶片性状进行分类，对叶片长度的描述未分别雌雄株。

本研究雄株生殖器官的变异比营养器官的变异要大,在雌株中也有类似的情况^[25]。球花大小、球花质量、花粉的多少都是进行雄性授粉优株选择时可以做出直观判断的凭据。在香榧林地配置雄株,或雄株嫁接育苗,或将雄株接穗嫁接到雌株上,或者将雄株用于今后的育种工作,花粉量大的雄株都是应予以优先考虑的对象。榧树雄球花花期短而雌球花花期长,香榧雌株单株花期为15~20 d^[26]。为达到香榧充分授粉提高产量的目的,必须配置不同花期的雄株。本研究中雄花始花期相差约1周时间,并且集中开放于前3 d,应当特别关注开花较晚的单株。不同来源的榧树花粉外部形态基本一致,然而同属裸子植物的银杏 *Ginkgo biloba* 则在花粉形态上表现出多样性和复杂性^[27],说明花粉形态因物种而异。

高产是经济林栽培的三大目标之一,而提高坐果率是有效途径之一。花粉直感是父本花粉对种子或果实发育及性状的影响^[28],多种果树中都存在该现象^[29]。本研究发现,榧树也具有花粉直感现象,不同产地的花粉对香榧的坐果率有显著影响。该结果有助于发掘更多优良的榧树雄株,为榧树优良品种的选育奠定基础。

由于榧树的种实是经济产量的主要体现,以往的研究多集中在对雌株的研究上,对雄株的研究鲜有报道,但雄株对榧树遗传多样性方面的贡献很大。本研究只是雄性榧树研究的初步结果。今后,本研究小组将进一步通过不同雄株花粉对不同香榧单株的双列杂交来研究榧树雄株的花粉直感作用,并从DNA水平入手研究雄性榧树的遗传多样性。所有这些研究将为榧树雄株选择提供理论依据。

参考文献:

- [1] 郑万钧,傅立国.中国植物志:第7卷[M].北京:科学出版社,1978:459.
- [2] 黎章矩,程晓建,戴文圣,等.香榧品种起源考证[J].浙江林学院学报,2005,22(4):443-448.
LI Zhangju, CHENG Xiaojian, DAI Wensheng, et al. Origin of *Torreya grandis* 'Merrillii' [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, 22(4): 443-448.
- [3] 程晓建,黎章矩,喻卫武,等.香榧雌花芽的形态分化[J].林业科学,2009,45(10):155-157.
CHENG Xiaojian, LI Zhangju, YU Weiwu, et al. Morphological differentiation of female flower bud of *Torreya grandis* 'Merrillii' [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, 45(10): 155-157.
- [4] 马正三,童品璋,曹若彬,等.香榧细菌性褐斑病的初步研究[J].浙江林业科技,1982,2(3):23-25.
MA Zhengsan, TONG Pinzhang, CAO Ruobin, et al. A preliminary study of bacterial brown spot in *Torreya grandis* 'Merrillii' [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 1982, 2(3): 23-25.
- [5] 戴文圣,黎章矩,程晓建,等.香榧林地土壤养分状况的调查分析[J].浙江林学院学报,2006,23(2):140-144.
DAI Wensheng, LI Zhangju, CHENG Xiaojian, et al. Soil nutrients in *Torreya grandis* 'Merrillii' plantation [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, 23(2): 140-144.
- [6] 姜新兵,陈力耕,何新华.香榧体细胞胚发生的研究[J].园艺学报,2004,31(5):654-656.
JIANG Xinbing, CHEN Ligeng, HE Xinhua. Studies on the somatic embryogenesis of *Torreya grandis* [J]. *Acta Horti Sin*, 2004, 31(5): 654-656.
- [7] 刘海琳,陈力耕,童品璋,等.香榧茎段离体培养再生植株的研究[J].果树学报,2007,24(4):477-482.
LIU Hailin, CHEN Ligeng, TONG Pinzhang, et al. in vitro organogenesis and plant regeneration from stem segments of *Torreya grandis* [J]. *J Fruit Sci*, 2007, 24(4): 477-482.
- [8] 金航标.香榧组织培养及室内嫩枝嫁接技术研究[D].临安:浙江农林大学,2008.
JIN Hangbiao. *Study on the Technique of Tissue Culture and the Shoots-grafting of Torreya grandis* 'Merrillii' in Greenhouse [D]. Lin'an: Zhejiang A & F University, 2008.
- [9] 王贝贝.香榧外种皮化学成分的提取研究[D].南京:南京林业大学,2008.
WANG Beibei. *Study on the Chemical Composition of the Extractive from the Episperm of Torreya grandis* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2008.
- [10] 鲍建峰.香榧假种皮提取物成分分析及功能研究[D].杭州:浙江大学,2010.
BAO Jianfeng. *Studies on Components of Aril of Torreya grandis and Its Biological Activity* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.

- [11] 李扬. 榧树天然种群主要性状变异规律研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
LI Yang. *The Study on Major Character Variation of Torreya grandis in Natural Population* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2009.
- [12] 戴正, 陈力耕, 童品璋. 香榧品种遗传变异与品种鉴定的 ISSR 分析[J]. 园艺学报, 2008, **35** (8): 1125 – 1130.
DAI Zheng, CHEN Ligeng, TONG Pinzhang. Genetic variation and fingerprinting of *Torreya grandis* cultivars detected by ISSR markers [J]. *Acta Horti Sin*, 2008, **35** (8): 1125 – 1130.
- [13] 闵会, 程诗明, 康志雄, 等. 香榧天然群体遗传多样性的 AFLP 分析[J]. 林业科学研究, 2009, **22** (3): 367 – 372.
MIN Hui, CHENG Shiming, KANG Zhixiong, *et al.* Genetic diversity of different *Torreya grandis* populations by AFLP [J]. *For Res*, 2009, **22** (3): 367 – 372.
- [14] 沈登锋, 曾燕如, 喻卫武, 等. 榧树种质资源的收集与种子理化性质的初步分析[J]. 浙江农林大学学报, 2011, **28** (5): 747 – 752.
SHEN Dengfeng, ZENG Yanru, YU Weiwu, *et al.* Collection of *Torreya grandis* germplasm and analysis of seeds' physico-chemical characteristics [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, **28** (5): 747 – 752.
- [15] 程晓建, 黎章矩, 戴文圣, 等. 榧树种质资源调查与评价[J]. 果树学报, 2009, **26** (5): 654 – 658.
CHENG Xiaojian, LI Zhangju, DAI Wensheng, *et al.* Investigation and evaluation of *Torreya grandis* germplasm resource [J]. *J Fruit Sci*, 2009, **26** (5): 654 – 658.
- [16] 伊华林, 荣融. 柑橘体细胞杂种有性后代叶形态遗传变异研究[J]. 果树学报, 2006, **23** (2): 169 – 172.
YI Hualin, RONG Rong. Study on the heredity and variation of leaf morphological character of sexual progenies of the citrus somatic hybrid [J]. *J Fruit Sci*, 2006, **23** (2): 169 – 172.
- [17] WILLIAM K S, PARK S N. Influence of irradiation, soil water potential, and leaf temperature on leaf morphology of a desert broadleaf, *Encelia farinosa* Gray (Compositae)[J]. *Amer J Bot*, 1978, **65** (4): 429 – 432.
- [18] 盛宝龙, 赵洪亮, 马连宝, 等. 银杏叶片形态研究[J]. 植物遗传资源学报, 2004, **5** (1): 65 – 68.
SHENG Baolong, ZHAO Hongliang, MA Lianbao, *et al.* Leaf characteristics of *Ginkgo biloba* L. [J]. *J Plant Genet Resour*, 2004, **5** (1): 65 – 68.
- [19] SOLOMON A M. Pollen morphology and plant taxonomy of white oaks in eastern north America [J]. *Amer J Bot*, 1983, **70** (4): 481 – 494.
- [20] HEBDA R J, CHINNAPPA C C. Studies on pollen morphology of Rosaceae in Canada [J]. *Rev Palaeobot Palynol*, 1990, **64**: 103 – 108.
- [21] 张恒庆, 安利佳, 祖元刚. 天然红松种群形态特征地理变异的研究[J]. 生态学报, 1999, **19** (6): 932 – 938.
ZHANG Hengqing, AN Lijia, ZU Yuangang. Geographical variation of morphology characters for natural populations of *Pinus koraiensis* [J]. *Acta Ecol Sin*, 1999, **19** (6): 932 – 938.
- [22] 王娅丽, 李毅, 陈晓阳. 祁连山青海云杉天然群体表型性状遗传多样性分析[J]. 林业科学, 2008, **44** (2): 70 – 77.
WANG Yali, LI Yi, CHEN Xiaoyang. Phenotypic diversity of natural populations in *Picea crassifolia* in Qilian Mountains [J]. *Sci Silv Sin*, 2008, **44** (2): 70 – 77.
- [23] 沈登锋. 榧树种质资源的收集、评价及核心种质的确定[D]. 临安: 浙江农林大学, 2011.
SHEN Dengfeng. *Collection and Evaluation of Germplasms and Identification of Core Germplasms in Torreya grandis* [D]. Lin'an: Zhejiang A & F University, 2011.
- [24] 黎章矩, 戴文圣. 中国香榧[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [25] 王国霞, 曹福亮, 方炎明. 古银杏雄株花粉超微形态特征类型[J]. 浙江林学院学报, 2010, **27** (3): 474 – 477.
WANG Guoxia, CAO Fuliang, FANG Yanming. Pollen morphology of ancient *Ginkgo biloba* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27** (3): 474 – 477.
- [26] DENNY J O. Xenia includes metaxenia [J]. *HortScience*, 1992, **27** (7): 722 – 728.
- [27] 沙海峰, 朱元娣, 高琪洁, 等. 花粉直感对京白梨品质的影响[J]. 果树学报, 2006, **23** (2): 287 – 289.
SHA Haifeng, ZHU Yuandi, GAO Qijie, *et al.* Effect of xenia on fruit quality of Jingbaili pear cultivar [J]. *J Fruit Sci*, 2006, **23** (2): 287 – 289.