

雄性榧树天然居群表型多样性及优株初选

詹利云, 刘 璘, 曾燕如, 喻卫武, 戴文圣

(浙江农林大学 省部共建亚热带森林培育国家重点实验室, 浙江 杭州 311300)

摘要: 【目的】探究雄性榧树 *Torreya grandis* 天然居群的表型多样性, 初步筛选雄性优良单株, 为科学配置优良授粉树和提高香榧 *T. grandis* ‘Merrillii’ 种实产量和品质提供参考。【方法】以 5 个雄性榧树天然居群的 121 个单株为材料, 对叶片单叶质量、叶形指数及雄球花单花质量、花形指数、花粉得率、花粉生活力等 10 个表型性状进行了分析, 探讨其表型变异程度和变异规律, 并初步筛选了雄性榧树优良单株。【结果】①在居群间除了叶长和花粉得率有显著差异 ($P < 0.05$) 外, 其他性状均无显著差异 ($P > 0.05$); 在居群内 10 个表型性状都存在显著性差异, 即居群内的变异大于居群间的变异, 表明雄性榧树表型变异主要来源于居群内, 人工选择要以单株选择为主。②10 个表型性状中雄球花指标的变异系数大于叶片, 且花粉生活力和花粉得率平均变异系数分别为 42.36% 和 34.13%, 变异较为丰富, 因此授粉优树的选择可基于雄球花性状指标。③根据雄球花性状指标综合筛选出了早、中、晚型 36 个优良单株, 可在今后的选育和造林实践中应用。【结论】雄性榧树表型性状在居群内具有更加丰富的遗传多样性, 在后期遗传改良中应重视群体内优良单株的选择, 而球花大小、花粉生活力和花粉得率是榧树雄株进行优株初选的重要表型指标。图 1 表 7 参 26

关键词: 森林培育学; 榧树; 雄球花; 天然居群; 表型多样性; 优株选择

中图分类号: S722.3 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2020)06-1120-08

Phenotypic diversity of male cones and the selection of superior plants among male populations in *Torreya grandis*

ZHAN Liyun, LIU Lian, ZENG Yanru, YU Weiwu, DAI Wensheng

(State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] With the phenotypic diversity of male *Torreya grandis* populations explored and superior male individuals initially screened, this paper is aimed to provide a reference for the scientific configuration of superior pollinator trees so as to improve the actual yield and quality of *T. grandis* ‘Merrillii’. [Method] With 121 single plants selected from 5 natural male populations in *T. grandis*, an analysis was conducted of 10 phenotypic traits including single leaf weight, leaf shape index, weight of single male cone, cone shape index, percentage of pollen yield and pollen vitality, etc to study variation in phenotype, based on which superior male individuals were selected. [Result] (1) There were no significant differences ($P > 0.05$) between populations in all the traits except leaf length and percentage of pollen yield ($P < 0.05$), but there were significant differences in all 10 traits among individuals within each population, indicating that variation within a population is the main sources of phenotypic variation in male *T. grandis* and larger than that among populations, which means that artificial selection should be based on the selection of individuals. (2) Among the 10 phenotypic traits, coefficients of variation for male cones were larger than those for leaves with 42.36% and 34.13% as the coefficient of variation for the pollen vitality and pollen yield respectively, which indicates that

收稿日期: 2019-11-18; 修回日期: 2020-05-22

基金项目: 浙江省科学技术重点研发计划项目 (2016C02052-12)

作者简介: 詹利云, 从事经济林木发育与栽培生理研究。E-mail: 2446681452@qq.com。通信作者: 戴文圣, 教授, 博士, 从事经济林发育与栽培生理、生态研究。E-mail: dai_wensheng@163.com

the selection of superior male individuals should be based on the traits of male cones. (3) 36 superior early, interim and late flowering individuals were screened out according to traits of male cones, which could be used as reference for breeding and plantation in the future. [Conclusion] The phenotypic traits of male *T. grandis* demonstrate more significant genetic diversity within the populations, and the focus should be laid on the choice of superior individuals within populations in the attempt at the establishment of later genetic improvement strategy of *T. grandis* while cone shape index, percentage of pollen yield, pollen vitality are important phenotypic indexes for the primary selection of superior individual. [Ch, 1 fig. 7 tab. 26 ref.]

Key words: silviculture; *Torreya grandis*; male cone; natural population; phenotypic diversity; superior individual selection

榧树 *Torreya grandis* 是红豆杉科 Taxaceae 榧属 *Torreya* 中国特有的植物，呈片状分布于浙江、福建、江西、湖南、安徽等省的丘陵地带^[1]。榧树雌雄异株，稀同株，种内变异十分丰富^[2]。香榧 *T. grandis* ‘Merrillii’ 是雌性榧树的一个优良栽培类型，其结实所需花粉来自雄性榧树天然居群。然而雄株因不结实而往往遭受随意砍伐，数量大幅度减少^[3]。近年来随着香榧产业的发展，人们认识到充分优质的授粉对雌株种实产量及品质影响极大，日益重视在香榧丰产造林中配置授粉雄株的作用。因此，对榧树雄株开展调查与选优是提高香榧产量及质量的重要因素之一。表型性状多样性是植物多样性最直观的反映，是衡量生物多样性的重要指标，也是了解遗传变异的重要线索^[4]。在板栗 *Castanea mollissima*^[5]、樱桃 *Cerasus pseudocerasus*^[6]、椰枣 *Phoenix dactylifera*^[7]、李 *Prunus divaricata*^[8]、玉米 *Zea mays*^[9] 等物种中都开展了表型性状多样性研究。榧树雌雄异株，天然杂交，且生长地理环境存在差异，使得天然群体内榧树变异十分丰富^[10]。近年来对榧树的研究主要集中在病害^[11]、生物学特性^[12]、栽培管理技术^[13]、分子标记^[14] 等方面。由于香榧具有极高的经济价值，研究多集中在雌性香榧上，而雄性榧树的研究鲜见报道。董雷鸣等^[15] 探讨榧树雄株若干性状的变异发现：叶片与雄球花各指标均有较大的变异系数，且不同来源的花粉对香榧幼果坐果率有显著影响，表明榧树雄株具有很大的选育潜力。本研究以来自 5 个雄性榧树天然居群的 121 个单株为研究材料，对叶片、雄球花等 10 个表型性状指标进行多样性分析，并在此基础上初选雄性榧树优株，为今后雄性榧树资源保护、授粉树配置及新品种选育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

浙江省与安徽省是榧树主要的天然分布区。榧树目前主要生产与利用的是其种子，野生雄株天然居群除采种外受到的人为干扰较少。本研究在基本呈野生状态的雄性榧树天然居群开展，分布点分别为浙江省淳安县半夏村(淳安)、杭州市临安区洪岭村(临安)、杭州市富阳区洞桥村(富阳)、浙江嵊州市榆树村(嵊州)及安徽省黄山市呈坎村(黄山)开展。在分布点的雄性榧树林中各选取 10~30 株生长旺盛，彼此间距不小于 50 m，无病虫害，树龄 50~200 a 的实生雄性榧树作为研究对象，用于试验观测与采样，同时利用全球卫星定位系统(GPS)定位采样点(表 1)。各单株采集新鲜叶片即时装入加硅胶的自封袋中，带回实验室置于-80 ℃ 冰箱保存。各单株采集 20 个带雄球花的 1 年生幼枝，枝条底部用湿纸巾包裹后置于采样袋，带回实验室进行水培。

1.2 方法

1.2.1 叶片性状测定 各单株选取 20 个叶片，用游标卡尺测量(精确至 0.01 mm)叶宽和叶长，并计算叶形指数(叶宽/叶长)；用托盘天平(PB1502-L, 瑞士)称取叶质量。

1.2.2 雄球花表型性状测定 各单株随机选取 30 个雄球花，用游标卡尺测量雄球花横径、纵径，并计算花形指数(球花横径/纵径)，同时用托

表 1 5 个雄性榧树天然居群的地理位置及采样数

Table 1 Geographic locations of five natural populations in <i>T. grandis</i>					
居群	采样数量/株	样品编号	纬度(N)	经度(E)	海拔/m
淳安	17	CA01~CA17	29°55'20"	119°12'06"	320~430
临安	24	LA01~LA24	29°59'30"	119°12'32"	305~360
富阳	24	FY01~FY24	30°05'47"	119°38'42"	360~410
嵊州	24	SZ01~SZ24	29°42'28"	120°33'22"	280~420
黄山	32	HS01~HS32	29°57'52"	118°14'18"	350~500

盘天平称取雄球花质量。

1.2.3 雄球花水培及散粉时间观察 各单株选取3个雄球花数量较多且长势良好的枝条插入水中,置于浙江农林大学校园,培养条件设置为温度20℃,湿度75%,光强 $400\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,二氧化碳摩尔分数 $520\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,2 d更换1次水,每天定期观察并记录花枝散粉情况。当雄球花的小孢子叶松散,颜色变黄,花粉囊纵裂,部分花苞散出黄色花粉时记为始花期,直至完全散粉。大约3 d时间。

1.2.4 花粉得率测定 每个单株各选30个即将散粉(即各小孢子叶松散,花苞颜色变黄,花粉囊开始纵裂)的雄球花,置干燥玻璃培养皿中,放置在室内干燥桌面上,使雄球花自然散粉。待雄球花完全开放,抖落所有花粉,收集花粉称量,计算花粉得率。花粉得率=[花粉质量/(花粉质量+撒粉后球花质量)] $\times$ 100%。

1.2.5 花粉生活力测定 在全程避光的条件下,用荧光染料反应法(fluorescein diacetate reaction,二乙酸荧光素染色)测定花粉生活力^[16]。随机观测3个不同视野,统计有活力花粉(呈绿色)数量和花粉总数(绿色和黑色)。花粉生活力=(有活力花粉数量/花粉总数) $\times$ 100%。

1.3 数据处理

运用Excel和SPSS 17.0对各指标进行数据统计和方差分析、*t*检验及相关性分析等。

2 结果与分析

2.1 雄性榧树叶片与雄球花表型性状的差异显著性分析

方差分析表明:叶片性状的叶长在居群间有显著差异($P<0.05$),雄球花性状的花粉得率在居群间呈极显著性差异($P<0.01$),其他指标均无显著差异(表2)。*t*检验分析结果显示:在居群内单株间10个表型性状均差异极显著($P<0.01$),表明雄性榧树表型性状的变异可能主要来源于居群内。

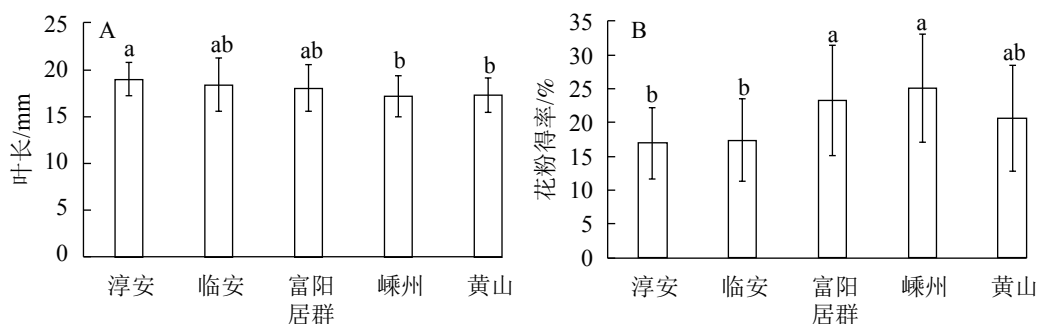
表2 雄性榧树5个居群叶片与雄球花相关指标的方差分析

Table 2 ANOVA in leaf- and male flower-associated parameters among five natural populations in *T. grandis*

指标	平方和	自由度	均方	<i>F</i>	<i>P</i>	指标	平方和	自由度	均方	<i>F</i>	<i>P</i>
叶质量	0.000	4	0.000	0.434	0.784	球花横径	0.354	4	0.089	0.310	0.871
叶宽	0.298	4	0.075	0.792	0.533	球花纵径	2.138	4	0.543	0.421	0.793
叶长	51.915	4	12.979	2.498	0.046*	花形指数	0.010	4	0.003	0.240	0.915
叶形指数	0.002	4	0.001	0.820	0.515	花粉得率	0.170	4	0.043	4.980	0.001**
球花质量	0.001	4	0.000	0.686	0.603	花粉生活力	0.095	4	0.024	0.355	0.840

说明: *表示差异显著($P<0.05$), **表示差异极显著($P<0.01$)

多重比较分析发现:叶长在5个居群间差异显著($P<0.05$),5个居群中淳安居群的叶片平均最长(18.99 mm),显著长于其他居群;嵊州与黄山居群的叶片最短,且2个居群间无显著差异;临安与富阳居群的叶片长度居中,2个居群间无显著差异(图1A)。花粉得率在5个居群间差异极显著($P<0.01$),嵊州和富阳居群的花粉得率较高,显著高于其他居群,且2个居群间无显著差异;而淳安与临安居群花粉



数值为平均值 $\pm$ 标准差;图柱上方不同字母表示不同居群间差异显著($P<0.05$)

图1 雄性榧树5个居群叶长(A)和花粉得率(B)的变化

Figure 1 Varieties among five natural populations in the leaf length(A) and pollen yield(B) in *T. grandis*

得率最低且无显著差异(图 1B)。

变异系数与性状的离散程度呈正相关，变异系数越大表明个体间的差异越大，多样性越丰富，选择的潜力就越大^[17]。本研究表明：同一性状在不同居群中变异系数不同；同一居群中不同性状的变异系数也存在差异。5 个雄性榧树居群间叶片的变异程度由大到小依次为叶质量、叶长、叶形指数、叶宽；雄球花的变异程度由大到小依次为花粉生活力、花粉得率、球花质量、球花纵径、球花横径、花形指数。花粉生活力的变异最为丰富，5 个居群的花粉生活力为 51.70%~58.51%，变异系数为 39.04%~45.40%，平均值为 42.36%；其次是花粉得率(31.03%~37.77%)，平均达 34.13%；叶宽和球花横径变异系数较小，分别为 10.82% 和 12.13%(表 3)。

表 3 5 个雄性榧树居群叶片与雄球花指标的极值与变异

Table 3 Extreme values and variation in the parameters of leaves and male flowers of five natural populations in <i>T. grandis</i>								
居群	叶质量				叶宽			
	最大值/g	最小值/g	平均值±标准差/g	变异系数/%	最大值/mm	最小值/mm	平均值±标准差/mm	变异系数/%
淳安	0.024	0.015	0.018±0.003	14.06	3.794	2.267	2.941±0.336	11.42
临安	0.025	0.012	0.018±0.003	19.44	3.775	2.400	2.901±0.345	11.90
富阳	0.023	0.013	0.017±0.003	15.36	3.422	2.344	2.850±0.281	9.86
嵊州	0.029	0.013	0.018±0.004	20.34	3.254	2.186	2.791±0.334	11.97
黄山	0.026	0.012	0.017±0.003	16.68	3.340	2.385	2.829±0.253	8.96
居群	叶长				叶形指数			
	最大值/mm	最小值/mm	平均值±标准差/mm	变异系数/%	最大值	最小值	平均值±标准差	变异系数/%
淳安	22.319	16.124	18.99±1.82	9.58	0.174	0.137	0.155±0.012	7.91
临安	25.475	13.650	18.41±2.84	15.45	0.228	0.107	0.161±0.029	18.27
富阳	25.139	15.360	18.05±2.51	13.93	0.205	0.130	0.159±0.015	9.68
嵊州	22.082	13.399	17.17±2.17	12.64	0.243	0.135	0.164±0.023	13.97
黄山	20.800	14.000	17.28±1.88	10.90	0.192	0.139	0.165±0.015	9.06
居群	球花质量				球花横径			
	最大值/g	最小值/g	平均值±标准差/g	变异系数/%	最大值/mm	最小值/mm	平均值±标准差/mm	变异系数/%
淳安	0.071	0.038	0.056±0.010	18.71	4.883	3.267	4.288±0.440	10.26
临安	0.078	0.032	0.058±0.014	24.51	5.344	2.947	4.369±0.594	13.61
富阳	0.089	0.034	0.054±0.014	25.96	6.283	3.714	4.452±0.551	12.37
嵊州	0.093	0.033	0.052±0.016	31.49	5.975	3.589	4.321±0.542	12.54
黄山	0.089	0.033	0.053±0.014	27.06	6.147	3.640	4.330±0.514	11.86
居群	球花纵径				花形指数			
	最大值/mm	最小值/mm	平均值±标准差/mm	变异系数/%	最大值	最小值	平均值±标准差	变异系数/%
淳安	6.937	4.425	5.671±0.718	12.66	0.893	0.656	0.760±0.060	7.84
临安	7.890	4.166	5.988±1.100	18.37	0.872	0.555	0.740±0.090	12.11
富阳	8.555	4.768	6.121±1.016	16.59	0.928	0.602	0.736±0.088	11.91
嵊州	10.884	4.458	5.900±1.423	24.12	0.938	0.434	0.753±0.110	14.57
黄山	9.889	4.516	5.907±1.146	19.40	0.854	0.588	0.745±0.083	11.04
居群	花粉得率				花粉生活力			
	最大值/%	最小值/%	平均值±标准差/%	变异系数/%	最大值/%	最小值/%	平均值±标准差/%	变异系数/%
淳安	26.38	5.82	17.00±5.28	31.03	92.71	21.61	58.51±25.05	42.80
临安	32.19	8.32	17.38±6.11	35.16	97.26	19.34	51.70±21.52	41.62
富阳	45.12	11.54	23.31±8.12	34.84	92.55	16.73	52.19±22.40	42.93
嵊州	41.39	10.23	25.08±7.99	31.85	92.08	11.09	56.70±25.74	45.40
黄山	36.56	8.72	20.67±7.81	37.77	94.30	23.90	56.56±22.08	39.04

居群差异体现了居群对当地环境的不同适应状况,数值大小反映了不同居群对不同环境的适应性^[18]。基于叶片的表型指标分析发现:5个天然居群的变异系数临安(16.27%)最大,其次是嵊州(14.73%),淳安(10.74%)最小;而雄球花是嵊州(26.82%)和黄山(26.42%)的变异系数较高,淳安(19.49%)最小。本研究中榧树雄株的生殖器官花的变异系数大于营养器官叶。

2.2 雄球花散粉时间的变异

榧树雄株的散粉时间不仅与遗传有关^[15],也与地域气候、环境差异有关。榧树的雌雄花期不集中,且雄株花期比雌株早^[19],散粉时间一般在4月中旬^[20]。因此在新造林中要配置适当花期的雄性授粉树,满足雌花充分受粉的要求^[15]。

经温室水培雄球花枝观测统计,雄球花散粉时间在4月7-17日,散粉周期约10 d。中花型所占比例最大(47株),占总样本数的38.84%,散粉时间在4月11-15日;晚花型比例最小(30株,24.79%),散粉时间在4月15-17日(表4)。5个居群中,淳安、临安、黄山这3个居群的中花型偏多,分别有11、13、13株,而富阳和嵊州的早花型略多,花期为4月7-11日(表4)。

表4 5个天然居群榧树雄株散粉期比较

Table 4 Pollen availability of male flowers in *T. grandis*

居群	花期	花期类型	株数/株	群内比例/%	居群	花期	花期类型	株数/株	群内比例/%
淳安	4月9-17日	早	2	11.76	嵊州	4月7-15日	早	17	70.84
		中	11	64.71			中	5	20.83
		晚	4	23.53			晚	2	8.33
临安	4月9-17日	早	6	25.00	黄山	4月7-17日	早	7	21.87
		中	13	54.17			中	13	40.63
		晚	5	20.83			晚	12	37.50
富阳	4月7-15日	早	12	50.00					
		中	5	20.83					
		晚	7	29.17					

2.3 雄性榧树叶片表型性状间的相关性分析

叶质量、叶长与叶形指数均呈极显著负相关($P<0.05$),而其他指标间均为显著正相关($P<0.05$)(表5)。这与董雷鸣等^[15]的研究结果一致。

球花质量与球花大小及花粉得率呈显著正相关($P<0.05$),球花大小与花粉得率均显著正相关($P<0.05$),花粉活力与花粉得率呈极显著正相关($P<0.01$),而球花质量和球花纵径都与花形指数呈极显著负相关,其他指标间相关性不显著(表6)。

2.4 雄性榧树优株的初选

花粉会对植株坐果率高低、果实大小以及产量等产生直接影响^[21-22]。筛选适宜的雄性优株可以提供香榧基地授粉雄株不足、香榧树体坐果率低的现状,从而促进香榧产业健康发展。营养器官叶片受环境影响较大,因而榧树可基于生殖器官的性状初选核心种质^[23]。本研究主要依据榧树雄株散粉时间、花粉生活力、花粉量的多少等综合进行雄株优株的筛选。早花类型中表现较好的优株有富阳居群的雄9、嵊州居群的雄5以及黄

表5 雄性榧树叶片各指标之间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients among indexes of leaves in male *T. grandis*

指标	叶质量	叶宽	叶长	叶形指数
叶质量	1			
叶宽	0.381**	1		
叶长	0.804**	0.476**	1	
叶形指数	-0.626**	0.376**	-0.513**	1

说明:**表示差异极显著($P<0.01$)

表6 榧树雄球花及各指标间的相关系数

Table 6 Correlation coefficients among indexes of male flowers in *T. grandis*

指标	球花质量	球花横径	球花纵径	花形指数	花粉得率	花粉生活力
球花质量	1					
球花横径	0.735**	1				
球花纵径	0.788**	0.693**	1			
花形指数	-0.412**	-0.020	-0.701**	1		
花粉得率	0.209*	0.238*	0.296*	-0.164	1	
花粉生活力	0.103	0.010	0.035	-0.081	0.441**	1

说明:*表示差异显著($P<0.05$),**表示差异极显著($P<0.01$)

山居群的雄 23，花粉生活力分别高达 92.55%、92.08%、90.01%，花粉得率也在 20% 以上；中花类型表现最佳的优株有临安居群的雄 22、嵊州居群的雄 1，花粉活力均在 90% 以上，花粉得率也不低；而晚花类型中，淳安居群的雄 3、临安居群的雄 18 以及黄山居群的雄 1 花粉生活力分别为 92.71%、92.61%、91.65%，共初选 36 个单株作为优良授粉树，占有供试材料的 29.75%(表 7)。

表 7 雄性榧树优株的初选

Table 7 Screening of male elite trees in *T. grandis*

居群	开花类型	编号	花粉生活力/%	花粉得率/%	花形指数	
淳安	早花型	CA09	65.35	26.38	0.656	
		CA07	76.97	21.95	0.790	
	中花型	CA10	82.59	21.70	0.736	
		CA15	87.36	19.27	0.736	
		CA16	85.91	15.74	0.754	
		CA01	86.00	22.19	0.743	
	晚花型	CA03	92.71	19.98	0.826	
		CA17	82.05	22.16	0.735	
		临安	早花型	LA03	66.86	18.92
	中花型		LA13	87.31	32.19	0.802
LA22			97.26	20.05	0.653	
晚花型	LA17		87.00	20.98	0.818	
	LA18		92.61	23.91	0.850	
富阳	早花型	FY03	70.56	34.28	0.782	
		FY06	81.58	32.29	0.822	
		FY09	92.55	23.02	0.605	
		FY14	85.04	30.23	0.660	
		FY19	69.44	33.37	0.602	
	晚花型	FY01	84.07	33.24	0.671	
	嵊州	早花型	SZ02	89.09	34.48	0.750
SZ05			92.08	38.23	0.725	
SZ13			66.39	20.71	0.730	
SZ16			86.05	30.28	0.799	
SZ17			82.96	25.74	0.588	
SZ24			88.63	25.67	0.766	
中花型			SZ01	91.53	23.79	0.859
早花型		HS21	68.89	35.01	0.754	
		HS23	90.01	30.98	0.764	
	HS28	62.25	29.76	0.607		
黄山	中花型	HS13	81.59	23.91	0.751	
		HS15	68.19	21.01	0.745	
		HS18	89.42	20.76	0.797	
		HS19	81.83	23.92	0.850	
		HS02	91.65	25.67	0.705	
	晚花型	HS04	87.61	21.98	0.595	
		HS29	87.16	24.81	0.801	

3 结论与讨论

本研究发现:在居群间,叶片与雄球花的10个表型指标,只有叶长和花粉得率差异显著,而居群内,单株间10个指标均差异极显著,表明居群内的变异比居群间更加丰富。该结果与刘浩凯等^[24]研究雌性榿树居群遗传多样性的结果基本一致。因此,为配置香榿授粉树的榿树雄株选育可选择优良单株。

变异系数是衡量各观测性状变异程度的一个统计指标。本研究各指标的相对极差和变异系数的变化趋势完全不同,表明榿树雄株表型性状存在丰富的表型多样性。经过长期的自然选择,不同数量性状对环境形成了不同的适应能力。相关分析表明:雄性榿树的大部分表型性状相关性达显著或极显著水平,说明这些性状在环境适应中表现出相互调节的作用。

雄性榿株以提供花粉为主要利用目的,花粉得率和花粉生活力在居群间和个体间变异大,且比较稳定,不仅有利于选择,选择结果也相对可靠。本研究显示:雄球花各指标变异系数大,球花大小与花粉得率呈显著正相关,直接影响花粉得率。因此优株初选应从花粉生活力、花粉得率及球花大小等综合考虑。基于上述指标初步筛选出36个优良雄性单株,其中8个单株的花粉生活力在90%以上。在今后的育种工作中,这些雄性优株应是优先考虑的对象。本研究所有单株的花粉得率最高值为38.23%,与董雷鸣等^[15]的研究结果类似。

居群内的变异主要受遗传因素的影响,而居群间的变异则与遗传和环境2个因素相关^[25]。由于榿树雄株不结果,以往人为破坏严重,部分地区的雄株资源已濒临绝迹,雌雄比例严重失调。易官美等^[26]对榿树资源分布进行调查发现:雌雄株比例在江西岩泉自然保护区为4:1,在福建建瓯玉山镇居群为29:1;在安徽居群为19:1;在浙江诸暨赵家镇居群为99:1。因此,加强雄性榿树资源保护刻不容缓,需加大种质资源调查与收集力度,建立雄性榿树优株资源库。

本研究仅对雄性榿树的表型多样性进行初步研究,后续的研究将扩大居群选择的范围及居群个数,并结合分子生物学从DNA水平深入揭示雄性榿树天然居群的遗传变异特点和规律。

4 参考文献

- [1] 程晓建,黎章矩,喻卫武,等.榿树的资源分布与生态习性[J].浙江林学院学报,2007,32(4):383-388.
CHENG Xiaojian, LI Zhangju, YU Weiwu, et al. Distribution and ecological characteristics of *Torreya grandis* in China [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, 32(4): 383-388.
- [2] 沈登峰,付秋华,骆成方,等.榿树变异类型的初步研究[J].林业科技开发,2014,28(2):68-71.
SHEN Dengfeng, FU Qiuhua, LUO Chengfang, et al. Preliminary analysis on special *Torreya* individuals [J]. *J For Technol Dev*, 2014, 28(2): 68-71.
- [3] 程晓建,黎章矩,戴文圣,等.榿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.
- [4] 周龙,胡建芳,许正,等.野生樱桃李天然群体表型多样性研究[J].新疆农业大学学报,2011,34(3):222-225.
ZHOU Long, HU Jianfang, XU Zheng, et al. A study on phenotypic diversity of nature populations of *Prunus divaricata* Ldb [J]. *J Xinjiang Agric Univ*, 2011, 34(3): 222-225.
- [5] LI Yu, WU Shuzhi, CAO Yongsheng, et al. A phenotypic diversity analysis of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) landraces of Chinese origin [J]. *Genet Resour Crop Evol*, 1996, 43(4): 377-384.
- [6] LI Miaomiao, CAI Yuliang, QIAO Zengqiang, et al. Genetic diversity and differentiation in Chinese sour cherry *Prunus pseudocerasus* Lindl. and its implications for conservation [J]. *Gene Resour Crop Evol*, 2009, 56(3): 455-464.
- [7] AHMED M M, BOUNA Z E, LEMINE F M, et al. Use of multivariate analysis to assess phenotypic diversity of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars [J]. *Sci Hort*, 2011, 127(3): 300-371.
- [8] 周龙,胡建芳,许正,等.野生樱桃李天然群体果实形态多样性分析[J].吉林农业大学学报,2011,33(6):637-642,653.
ZHOU Long, HU Jianfang, XU Zheng, et al. Analysis on fruit phenotypic diversity of natural populations in *Prunus divaricata* [J]. *J Jilin Agric Univ*, 2011, 33(6): 637-642, 653.
- [9] LI Yu, SHI Y S, CAO Y S, et al. A phenotypic diversity analysis of maize germplasm preserved in China [J]. *Maydica*, 2002, 47(2): 107-114.

- [10] 武栋. 安徽徽州榧树种群内种子理化性质的分析[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2012.
WU Dong. *Analysis on the Physicochemical Properties of the Seeds of Torreya grandis in Huizhou, Anhui*[D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2012.
- [11] FENG Yuxing, HU Yuanyuan, WU Jiasheng, *et al.* Change in microbial communities, soil enzyme and metabolic activity in a *Torreya grandis* plantation in response to root rot disease [J]. *For Ecol Manage*, 2019, **432**: 932 – 941.
- [12] 叶晓明, 曾燕如, 戴文圣, 等. 香榧绿藻的生物学特性及物种鉴定[J]. *浙江农林大学学报*, 2019, **36**(4): 629 – 637.
YE Xiaoming, ZENG Yanru, DAI Wensheng, *et al.* Biological characteristics and species identification of *Chlorella* sp. with *Torreya grandis* ‘Merrillii’ [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2019, **36**(4): 629 – 637.
- [13] 李麟杰. 不同立地与经营措施对香榧林地土壤肥力的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2016.
LI Linjie. *The Influence of Different Site Conditions and Different Management Measures on Soil Fertility in Woodland of Torreya grandis cv. Merrillii*[J]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2016.
- [14] YI Guanmei, ZHAO Tingting, YIN Zhinang, *et al.* Mining and characterizing EST-SSR markers from ESTs of *Torreya grandis* [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2016, **65**(6): 124 – 128.
- [15] 董雷鸣, 沈登峰, 喻卫武, 等. 榧树雄株若干性状变异初探[J]. *浙江农林大学学报*, 2012, **29**(5): 715 – 721.
DONG Leiming, SHEN Dengfeng, YU Weiwu, *et al.* Trait variations of male *Torreya grandis* trees [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2012, **29**(5): 715 – 721.
- [16] 杨先裕, 黄坚钦, 徐奎源, 等. 薄壳山核桃 ‘马汉’ 雄蕊发育特性及花粉储藏活力[J]. *浙江农林大学学报*, 2014, **31**(4): 528 – 533.
YANG Xianyu, HUANG Jianqin, XU Kuiyuan, *et al.* Flowering characteristics and pollen viability of *Carya illinoensis* ‘Mahan’ [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2014, **31**(4): 528 – 533.
- [17] CHRISTOPHER P D. Keeping taxonomy based in morphology [J]. *Trends Ecol Evol*, 2003, **18**(6): 270 – 271.
- [18] 刘子雷, 姚小华, 杨水平, 等. 浙江红花油茶果实经济性状变异的研究[J]. *西南大学学报 (自然科学版)*, 2007, **29**(4): 83 – 88.
LIU Zilei, YAO Xiaohua, YANG Shuiping, *et al.* Study of economic character variation in *Camellia chekiangoleosa* [J]. *J Southwest Univ Nat Sci Ed*, 2007, **29**(4): 83 – 88.
- [19] 张辉. 榧树花粉对香榧种实的影响及遗传多样性研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2014.
ZHANG Hui. *The Impact of Torreya grandis Pollen on Hybrid Seeds and Genetic Diversity in T. grandis ‘Merrillii’* [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2014.
- [20] 黎章矩, 戴文圣. 中国香榧[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [21] 宁允叶, 熊庆娥, 曾伟光. ‘红阳’ 猕猴桃全红型芽变 (86-3) 的果实品质及花粉形态研究[J]. *园艺学报*, 2005, **32**(3): 486 – 488.
NING Yunye, XIONG Qing’e, ZENG Weiguang. Studies on fruit quality and pollen morphology of red flesh sport from ‘Red Sun’ kiwi fruit [J]. *Acta Horti Sin*, 2005, **32**(3): 486 – 488.
- [22] 何文娟. 猕猴桃优良雄性单株观察测评与选择[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
HE Wenjuan. *Observation, Evaluation and Selection of Superior Male Single Strains of Kiwi Fruit*[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2019.
- [23] 吴昊, 喻卫武, 吴慧敏, 等. 基于种子性状及分子标记分析确定榧树核心种质[J]. *分子植物育种*, 2019, **17**(16): 5513 – 5520.
WU Hao, YU Weiwu, WU Huimin, *et al.* Determination of core germplasm in *Torreya grandis* Fort. ex Lindl. based on seed traits and molecular markers [J]. *Mol Plant Breed*, 2019, **17**(16): 5513 – 5520.
- [24] 刘浩凯, 张辉, 曾燕如, 等. 雌性榧树 4 个居群遗传多样的 SRAP 分析[J]. *经济林研究*, 2014, **32**(3): 30 – 35.
LIU Haokai, ZHANG Hui, ZENG Yanru, *et al.* SRAP marker-based analysis of genetic diversity of four malepopulations in *Torreya grandis* [J]. *Nonwood For Res*, 2014, **32**(3): 30 – 35.
- [25] 刁松峰, 邵文豪, 江景民, 等. 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究[J]. *生态学报*, 2014, **34**(6): 1451 – 1460.
DIAO Songfeng, SHAO Wenhao, JIANG Jingmin, *et al.* Phenotypic diversity in natural populations of *Sapindus mukorossi* based on fruit and seed traits [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, **34**(6): 1451 – 1460.
- [26] 易官美, 邱迎君, 李晓花, 等. 榧树的地理分布与资源调查[J]. *安徽农业科学*, 2013, **41**(19): 8200 – 8202.
YI Guanmei, QIU Yingjun, LI Xiaohua, *et al.* Geographic distribution and resource status of *Torreya grandis* [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2013, **41**(19): 8200 – 8202.