

不同种源掌叶木果实和种子表型性状 多样性分析及综合评价

郭松^{1,2}, 李在留², 薛建辉^{1,3,①}, 李雪萍⁴, 陈晶晶²

[1. 南京林业大学江苏省林业生态工程重点实验室, 江苏南京 210037; 2. 广西大学林学院, 广西南宁 530004;
3. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏南京 210014; 4. 河南科技大学林学院, 河南洛阳 471003]

摘要:以广西乐业、广西田林、广西凤山、广西环江和贵州独山 5 个种源掌叶木 [*Handeliidendron bodinieri* (Lévl.) Rehd.] 为研究对象, 对各种源果实和种子的 11 个表型性状进行了多样性分析, 对表型性状间及其与地理-气候因子进行了相关性分析, 并对各种源进行了聚类分析; 在表型性状主成分分析基础上, 对各种源进行了综合评价。结果表明: 各种源间的单果质量差异不显著, 果形系数差异显著 ($P < 0.05$), 其余 9 个表型性状差异极显著 ($P < 0.01$); 全部表型性状的种源间变异系数平均值 (10.74%) 大于种源内变异系数平均值的均值 (6.86%); 总体来看, 种子表型性状的种源重复力较高。果实直径与果实长度、单种子质量与单果质量、单种子质量与种子直径均呈显著正相关, 相关系数分别为 0.913、0.927 和 0.952; 种子千粒质量与种子长度呈极显著正相关, 相关系数为 0.960; 各表型性状与纬度、经度和年均降水量的相关性均不显著, 其中, 果实直径、单果质量、种子长度、种子直径、单种子质量、种子含水量和种子千粒质量与年均降水量均呈负相关。聚类分析结果表明: 5 个种源被分成 3 组, 其中, 广西田林和广西凤山 2 个种源各自单独聚为一组, 其余 3 个种源聚为一组。主成分分析结果表明: 前 3 个主成分的特征值均大于 1, 累计贡献率为 92.28%, 种子千粒质量、种子长度、种子出仁率、种形系数、种子含水量和单种子质量的权重系数均较大。供试种源中, 广西凤山种源的综合得分最高, 广西田林种源的综合得分最低。研究结果显示: 掌叶木果实和种子的表型性状变异丰富, 并以种源间变异为主, 且具有随机变异的特点; 种子表型性状是评价掌叶木种源的主要指标, 且广西凤山种源掌叶木的表型性状最优。

关键词: 掌叶木; 表型性状多样性; 相关性分析; 聚类分析; 主成分分析; 综合评价

中图分类号: Q948.11; S792.99; S722.5 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2018)04-0011-10
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.04.02

Diversity analysis and comprehensive evaluation on phenotypic traits of fruit and seed of *Handeliidendron bodinieri* from different provenances GUO Song^{1,2}, LI Zailiu², XUE Jianhui^{1,3,①}, LI Xueping⁴, CHEN Jingjing² (1. Jiangsu Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China; 3. Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 4. College of Forestry, He'nan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2018, 27(4): 11-20

Abstract: Taking five provenances of *Handeliidendron bodinieri* (Lévl.) Rehd. from Leye of Guangxi, Tianlin of Guangxi, Fengshan of Guangxi, Huanjiang of Guangxi, and Dushan of Guizhou as research objects, diversity analysis of eleven phenotypic traits of fruit and seed from different provenances was carried out, correlation analysis among phenotypic traits and between them and geographic-climatic factors were conducted, and cluster analysis of different provenances was performed; on the basis of principal component analysis of phenotypic traits, comprehensive evaluation of different provenances was

收稿日期: 2018-04-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31560200; 31600530)

作者简介: 郭松 (1979—), 男, 重庆人, 博士研究生, 主要从事濒危植物保护与利用方面的研究。

①通信作者 E-mail: jhxue@njfu.com.cn

conducted. The results show that the difference in weight per fruit among different provenances is not significant, that in coefficient of fruit form is significant ($P < 0.05$), and that in other nine phenotypic traits is extremely significant ($P < 0.01$). Average (10.74%) of coefficient of variation among provenances of all phenotypic traits is greater than average (6.86%) of that within provenance. In general, provenance repeatability of phenotypic traits of seed is relatively high. There are significant positive correlations between fruit diameter and fruit length, weight per seed and weight per fruit, and weight per seed and seed diameter, with correlation coefficients of 0.913, 0.927, and 0.952, respectively. There is an extremely significantly positive correlation between 1 000-grain weight of seed and seed length, with correlation coefficient of 0.960. There is no significant correlation of each phenotypic trait with latitude, longitude, and annual mean precipitation, in which, there are negative correlations of fruit diameter, weight per fruit, seed length, seed diameter, weight per seed, moisture content in seed, and 1 000-grain weight of seed with annual mean precipitation. The cluster analysis result shows that five provenances are clustered into three groups, in which, two provenances from Tianlin of Guangxi and Fengshan of Guangxi are independently clustered into one group, and other three provenances are clustered into one group. The principal component analysis result shows that eigenvalues of the first three principal components are all greater than 1, their cumulative contribution rate is 92.28%, and weight coefficients of 1 000-grain weight of seed, seed length, seed kernel rate, coefficient of seed form, moisture content in seed, and weight per seed are relatively big. Among tested provenances, the comprehensive score of provenance from Fengshan of Guangxi is the highest, while that of provenance from Tianlin of Guangxi is the lowest. It is suggested that the variation of phenotypic traits of fruit and seed of *H. bodinieri* is rich, which is mainly among provenances, and has a random variation trait. Phenotypic traits of seed are main indexes for evaluating provenances of *H. bodinieri*, and phenotypic traits of *H. bodinieri* from Fengshan of Guangxi provenance are the best.

Key words: *Handeliidendron bodinieri* (Lévl.) Rehd.; diversity of phenotypic trait; correlation analysis; cluster analysis; principal component analysis; comprehensive evaluation

掌叶木 [*Handeliidendron bodinieri* (Lévl.) Rehd.] 隶属于无患子科 (Sapindaceae) 掌叶木属 (*Handeliidendron* Rehd.), 为中国特有种, 仅分布在桂、黔、滇交界处海拔 500~1 500 m 的岩溶石山地区; 其花果颜色艳丽, 叶形奇特, 耐瘠薄, 适合当地城市园林绿化和岩溶地区石漠化治理; 其种子含油率高 (42.92%)^[1], 被评为贵州生物柴油原料林优先选择树种^[2], 具有重要的经济价值。然而, 掌叶木在自然条件下繁殖力较弱, 加上动物取食及当地群众的采伐破坏, 目前已处于濒危状态, 被列为国家 I 级重点保护野生植物^[3-4], 因此, 开展掌叶木种质资源保护和利用方面的研究具有重要意义。

表型分析是研究植物遗传多样性的重要方法, 研究植物的表型性状多样性不仅有助于了解植物对生态环境的响应和遗传变异规律, 还有助于筛选经济价值和生态价值较高的性状, 对促进植物的种质资源创新和高效利用具有重要意义^[5]。果实和种子是植物繁殖系统的重要组成部分, 也是植物表型多样性研究的常用器官^[6-9]。目前, 虽然国内学者已经对掌叶木进行了许多研究^[10-20], 但尚未见关于不同种源掌叶

木果实和种子表型性状多样性的研究报道, 一定程度上阻碍了掌叶木优良种源的筛选和育种工作。

鉴于此, 在对掌叶木分布区域全面调查的基础上, 作者对来源于广西和贵州 5 个种源掌叶木果实和种子的表型性状进行了多样性分析, 对各表型性状间及其与种源地地理-气候因子进行了相关性分析, 并对 5 个种源进行了聚类分析, 基于各表型性状的主成分分析结果对 5 个种源进行了综合评价, 以期揭示掌叶木果实和种子表型性状的变异规律及其与地理-气候因子的关系, 筛选出最优掌叶木种源, 为其种质资源收集和保存、优良种源筛选和良种选育提供基础研究数据。

1 种源地概况和研究方法

1.1 种源地概况

在对掌叶木分布区域全面调查的基础上, 根据掌叶木分布区域的海拔, 选择广西乐业、田林、凤山和环江以及贵州独山的 5 个野生掌叶木种源进行采样, 各种源地的自然概况见表 1。

表1 供试5个掌叶木种源产地的自然概况

Table 1 Natural status of locations of five tested provenances of *Handeliodendron bodinieri* (Lévl.) Rehd.

种源 Provenance	纬度 Latitude	经度 Longitude	平均海拔/m Mean altitude	年均气温/℃ Annual mean temperature	年均降水量/mm Annual mean precipitation	年均日照时数/h Annual mean sunshine hours	无霜期/d Frostless period
广西乐业 Leye of Guangxi	N24°48'	E106°29'	1 201	16.4	1 440.0	1 446	302
广西田林 Tianlin of Guangxi	N24°29'	E106°21'	1 096	13.7	1 666.2	957	270
广西凤山 Fengshan of Guangxi	N24°39'	E107°05'	846	20.1	1 564.0	1 441	362
广西环江 Huanjiang of Guangxi	N25°10'	E108°01'	678	19.9	1 395.4	1 392	330
贵州独山 Dushan of Guizhou	N25°23'	E107°30'	932	15.0	1 429.9	1 287	297

各种源地均处于中亚热带季风气候区,属于喀斯特山地地形,坡度 $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$,岩石裸露率在85%以上,土壤多为黑色或棕色石灰土。广西乐业种源的伴生植物有青冈〔*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.〕、石楠〔*Photinia serrulata* Lindl.〕、漆〔*Toxicodendron vernicifluum* (Stokes) F. A. Barkl.〕、枫香树〔*Liquidambar formosana* Hance〕、火棘〔*Pyracantha fortuneana* (Maxim.) Li〕和肾蕨〔*Nephrolepis auriculata* (Linn.) Trimen〕等;广西田林种源的伴生植物有银木荷〔*Schima argentea* Pritz. ex Diels〕、罗浮锥〔*Castanopsis faberi* Hance〕、木莲〔*Manglietia fordiana* Oliv.〕、山杜英〔*Elaeocarpus sylvestris* (Lour.) Poir.〕、盐肤木〔*Rhus chinensis* Mill.〕和粗叶悬钩子〔*Rubus alceaefolius* Poir.〕等;广西凤山种源的伴生植物有托盘青冈〔*Cyclobalanopsis patelliformis* (Chun) Y. C. Hsu et H. W. Jen〕、阴香〔*Cinnamomum burmanni* (Nees et T. Nees) Blume〕、钟花樱桃〔*Cerasus campanulata* (Maxim.) Yu et Li〕、粗糠柴〔*Mallotus philippensis* (Lam.) Muell. Arg.〕和乌莓〔*Cayratia japonica* (Thunb.) Gagnep.〕等;广西环江种源的伴生植物有菜豆树〔*Radermachera sinica* (Hance) Hemsl.〕、红背山麻杆〔*Alchornea trevioides* (Benth.) Muell. Arg.〕、桂野桐〔*Mallotus conspurcatus* Croiz.〕、粗糠柴、香叶树〔*Lindera communis* Hemsl.〕和火棘等;贵州独山种源的伴生植物有漆、水青冈〔*Fagus longipetiolata* Seem.〕、栲〔*Castanopsis fargesii* Franch.〕和枫香树等。

1.2 方法

1.2.1 果实和种子的采集方法 于2017年8月下旬至9月上旬(即掌叶木果实成熟期),随机选取各种源生长正常、无明显缺陷和病虫害且株龄10~20 a的样株10~20株,样株间距25 m以上。在样株阳面树冠的中上部随机采集10个果序,每个种源采集的各样株果序等量混合。

1.2.2 各表型性状指标的检测方法 将同一种源果序上的果实充分混匀,采用四分法按20个果实为1组,随机抽取3组共60个果实;从同一种源果实中剥出种子,充分混匀后采用四分法按20粒种子为1组,随机抽取3组共60粒种子。利用数显游标卡尺(精度0.01 mm)分别测量各组果实和种子的长度(从果实或种子基部到顶部的长度)和直径(果实或种子最粗部位的直径),并根据测量结果计算果形系数和种形系数,计算公式分别为果形系数=果实长度/果实直径和种形系数=种子长度/种子直径;利用电子天平(精度0.001 g)分别称量各组果实和种子的总质量,并根据称量结果计算单果质量和单种子质量,计算公式分别为单果质量=每组果实的总质量/20和单种子质量=每组种子的总质量/20;参照GB 2772—1999中的方法检测种子含水量;参照GB/T 5519—2008中的方法称量种子千粒质量;参照GB/T 5499—2008中的方法检测种子出仁率。其中,种子含水量、种子千粒质量和种子出仁率均重复测定3次,结果取平均值。

每个种源随机选取30个完整果序,对单果种子数量进行统计。由于广西环江种源未采到完整果序,因此,本研究仅对其余4个种源的单果种子数量进行了统计。

1.3 数据处理和分析

利用EXCEL 2010软件对基础数据进行录入、整理和统计;利用SPSS 22.0统计分析软件对相关数据进行方差分析、显著性检验和Pearson相关性分析,并采用Duncan's新复极差法对相关数据进行多重比较。采用离差平方和法,根据欧氏距离对各种源进行聚类分析;各表型性状的种源重复力(T)依据公式“ $T=1-1/F$ ”^[8]进行估算。式中, F 为该表型性状种源间方差分析的 F 值。

对供试种源果实和种子的表型性状进行主成分

分析,在此基础上对各种源进行综合评价^[21]。鉴于种子含水量低更利于贮藏和运输,将种子含水量通过变换倒数方式进行正向转换^[22]。所有表型性状均按照公式“ $x_{ij}^* = (x_{ij} - \bar{x}_j) / S_j$ ”进行标准化处理。式中, x_{ij}^* 为第*i*个种源第*j*个表型性状的标准值, x_{ij} 为第*i*个种源第*j*个表型性状的观测值, \bar{x}_j 为第*j*个表型性状观测值的平均值, S_j 为第*j*个表型性状观测值的标准差。将各表型性状转换成均值为 0、标准差为 1 的无量纲数据;利用 SPSS 22.0 统计分析软件对标准化数据进行主成分分析,按照特征值大于 1 的标准提取主

成分,以各表型性状的特征向量值为依据确定各主成分的权重并构建综合得分函数方程,最后根据综合得分进行种源排序。

2 结果和分析

2.1 不同种源掌叶木果实和种子表型性状的多样性分析

不同种源掌叶木果实和种子表型性状的比较和分析结果见表 2。结果表明:广西乐业种源的果实长

表 2 不同种源掌叶木果实和种子表型性状的比较和分析($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 2 Comparison and analysis on phenotypic traits of fruit and seed of *Handeliidendron bodinieri* (Lévl.) Rehd. from different provenances ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

种源 Provenance	果实长度/mm Fruit length	果实直径/mm Fruit diameter	果形系数 Coefficient of fruit form	单果质量/g Weight per fruit
广西乐业 Leye of Guangxi	31.98±4.14dD(12.95%)	14.87±2.21bB(14.83%)	2.17±0.24cC(11.27%)	3.230±0.088abA(2.72%)
广西田林 Tianlin of Guangxi	33.79±3.78cCD(11.18%)	14.80±1.92bB(13.00%)	2.30±0.27aA(11.56%)	2.974±0.138bA(4.63%)
广西凤山 Fengshan of Guangxi	37.24±4.99aA(13.41%)	16.35±1.88aA(11.47%)	2.29±0.32abAB(13.85%)	3.310±0.131aA(3.95%)
广西环江 Huanjiang of Guangxi	36.21±3.52abAB(9.73%)	16.27±1.49aA(9.16%)	2.23±0.21abcAB(9.56%)	3.349±0.267aA(7.96%)
贵州独山 Dushan of Guizhou	34.89±3.62bcBC(10.38%)	15.92±1.76aA(11.07%)	2.20±0.20bcAB(9.21%)	3.069±0.085abA(2.76%)
平均值 Average	34.82±4.42(11.53%)	15.64±1.97(11.91%)	2.24±0.26(11.09%)	3.186±0.198(4.40%)
$CV_2/\%$	12.70	12.61	11.42	6.23
<i>F</i>	15.508**	9.804**	3.124*	3.151
<i>T</i>	0.936	0.898	0.680	0.683

种源 Provenance	种子长度/mm Seed length	种子直径/mm Seed diameter	种形系数 Coefficient of seed form	单种子质量/g Weight per seed
广西乐业 Leye of Guangxi	10.47±0.88bB(8.38%)	7.17±0.69abA(9.61%)	1.47±0.12cC(8.34%)	0.310±0.016bA(5.23%)
广西田林 Tianlin of Guangxi	9.88±0.72cC(7.27%)	6.50±0.79cB(12.14%)	1.54±0.18bABC(11.79%)	0.223±0.016dC(7.28%)
广西凤山 Fengshan of Guangxi	11.37±0.53aA(4.70%)	7.21±0.46aA(6.41%)	1.58±0.13abAB(8.27%)	0.341±0.010aA(2.84%)
广西环江 Huanjiang of Guangxi	10.54±0.76bB(7.18%)	6.94±0.67bA(9.64%)	1.53±0.16bBC(10.58%)	0.307±0.014bA(4.43%)
贵州独山 Dushan of Guizhou	10.57±0.64bB(6.08%)	6.61±0.55cB(8.26%)	1.61±0.14aA(8.80%)	0.262±0.009cB(3.56%)
平均值 Average	10.57±0.86(6.72%)	6.89±0.70(9.21%)	1.55±0.16(9.56%)	0.289±0.044(4.67%)
$CV_2/\%$	8.09	10.16	10.10	15.32
<i>F</i>	33.085**	15.175**	8.141**	35.832**
<i>T</i>	0.970	0.934	0.877	0.972

种源 Provenance	种子出仁率/% Seed kernel rate	种子含水量/% Moisture content in seed	种子千粒质量/g 1 000-grain weight of seed	$CV_1/\%$
广西乐业 Leye of Guangxi	64.24±0.97bB(1.51%)	42.11±1.57bB(3.74%)	170.823±2.766bB(1.62%)	7.29
广西田林 Tianlin of Guangxi	64.80±2.46bB(3.80%)	39.23±0.84cC(2.13%)	128.757±4.811dD(3.74%)	8.05
广西凤山 Fengshan of Guangxi	68.89±0.55aA(0.80%)	38.97±1.48cdC(3.80%)	210.018±5.256aA(2.50%)	6.54
广西环江 Huanjiang of Guangxi	55.73±0.37cC(0.67%)	45.27±0.09aA(0.20%)	153.567±3.967cC(2.58%)	6.52
贵州独山 Dushan of Guizhou	65.04±0.48bB(0.74%)	37.08±0.61dC(1.65%)	174.866±4.239bB(2.42%)	5.90
平均值 Average	63.74±4.60(1.50%)	40.53±3.10(2.30%)	167.606±27.889(2.57%)	6.86
$CV_2/\%$	7.22	7.65	16.64	10.74
<i>F</i>	45.833**	26.713**	145.250**	
<i>T</i>	0.978	0.963	0.993	

¹⁾ 同列中不同的小写和大写字母分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著 Different lowercases and capitals in the same column indicate the significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively. 括号内百分数为变异系数 Percentages in the brackets represent coefficients of variation. CV_1 : 种源内变异系数平均值 Average of coefficient of variation within provenance; CV_2 : 种源间变异系数 Coefficient of variation among provenances; *F*: *F* 值 *F* value; *T*: 种源重复力 Provenance repeatability. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

度、果形系数和种形系数均最小;广西田林种源的果形系数最大,而果实直径、单果质量、种子长度、种子直径、单种子质量和种子千粒质量均最小,果实长度、种形系数、种子出仁率和种子含水量也较小;广西凤山种源的果实长度、果实直径、种子长度、种子直径、单种子质量、出仁率和种子千粒质量均最大,果形系数、单果质量和种形系数也较大,仅种子含水量较小;广西环江种源的单果质量和种子含水量均最大,种子出仁率最小;贵州独山种源的种形系数最大,种子含水量最小。

多重比较结果显示:11个表型性状均在2个或2个以上种源间存在显著($P < 0.05$)差异;除单果质量外,其余10个表型性状均在2个或2个以上种源间存在极显著($P < 0.01$)差异,说明不同种源掌叶木果实和种子的表型性状多样性较高。方差分析结果表明:各种源间的单果质量差异不显著,果形系数差异显著,其余9个表型性状差异极显著,也说明不同种源掌叶木果实和种子的表型性状多样性较高。

从全部表型性状种源内变异系数平均值来看,广西田林种源最大(8.05%),贵州独山种源最小(5.90%),说明广西田林种源掌叶木果实和种子表型性状的稳定性最差,而贵州独山种源掌叶木果实和种子表型性状的稳定性最好。从各表型性状的种源间变异系数来看,种子千粒质量的种源间变异系数最大

(16.64%),单果质量的种源间变异系数最小(6.23%),说明在掌叶木种子油脂生产实践中应重视种源的选择。全部表型性状的种源间变异系数平均值(10.74%)大于种源内变异系数平均值的均值(6.86%),说明掌叶木果实和种子的表型性状变异主要为种源间变异。

从种源重复力来看,果实表型性状的种源重复力较低,尤其是果形系数和单果质量的种源重复力,分别仅为0.680和0.683;种子表型性状的种源重复力较高,其中种子千粒质量的种源重复力最高(0.993),说明利用掌叶木果实表型性状选择优良种源存在较大的误判风险,而利用种子表型性状选择优良种源则相对稳定。

在广西乐业、广西田林、广西凤山和贵州独山4个种源的1593个果实中共收集到2286粒种子,平均单果种子数为1.4粒,各种源单果种子数比例的比较结果见表3。结果表明:各种源单果种子数为1粒的比例最高,且单果种子数相对集中在1~3粒,少见4粒,偶见5粒,罕见6粒(仅广西凤山种源),说明掌叶木雌花的6枚胚珠极少完全发育成种子,每个果实大多只形成1粒种子。值得注意的是,4个种源果实的空籽率平均值为6.3%,其中贵州独山种源果实的空籽率最高(12.5%),说明掌叶木果实空籽现象较为普遍。

表3 不同种源掌叶木单果种子数比例的比较

Table 3 Comparison on percentage of seed number per fruit of *Handeliidendron bodinieri* (Lévl.) Rehd. from different provenances

种源 Provenance	不同单果种子数比例/% Percentage of different seed numbers per fruit						
	0	1	2	3	4	5	6
广西乐业 Leye of Guangxi	3.7	59.8	26.4	9.1	1.0	0.0	0.0
广西田林 Tianlin of Guangxi	3.5	56.5	27.1	8.9	3.5	0.4	0.0
广西凤山 Fengshan of Guangxi	5.3	62.9	21.9	7.6	1.3	0.7	0.3
贵州独山 Dushan of Guizhou	12.5	52.5	25.9	7.5	1.2	0.5	0.0
平均值 Average	6.3	57.4	25.6	8.4	1.9	0.4	0.0

2.2 掌叶木果实和种子各表型性状间的相关性分析

掌叶木果实和种子各表型性状间的相关性分析结果见表4。结果表明:掌叶木果实和种子的11个表型性状间存在不同程度相关性。其中,果实直径与果实长度、单种子质量与单果质量、单种子质量与种子直径均呈显著($P < 0.05$)正相关,相关系数分别为0.913、0.927和0.952;种子千粒质量与种子长度呈极显著($P < 0.01$)正相关,相关系数为0.960;其他表

型性状间的相关性均不显著。

2.3 掌叶木果实和种子表型性状与地理-气候因子的相关性分析

掌叶木果实和种子各表型性状与地理-气候因子的相关性分析结果见表5。结果表明:果实长度和果实直径与平均海拔均呈显著($P < 0.05$)负相关,相关系数分别为-0.883和-0.912;单果质量与年均气温,单种子质量与年均气温、年均日照时数和无霜期,

表 4 掌叶木果实和种子表型性状间的相关系数¹⁾Table 4 Correlation coefficient among phenotypic traits of fruit and seed of *Handeliodendron bodinieri* (Lévl.) Rehd.¹⁾

表型性状 Phenotypic trait	不同表型性状间的相关系数 Correlation coefficient among different phenotypic traits										
	FL	FD	CFF	WF	SL	SD	CSF	WS	SKR	MCS	GWS
FL	1.000										
FD	0.913*	1.000									
CFF	0.537	0.148	1.000								
WF	0.465	0.623	-0.169	1.000							
SL	0.659	0.748	0.059	0.693	1.000						
SD	0.159	0.294	-0.226	0.854	0.721	1.000					
CSF	0.681	0.618	0.387	-0.201	0.384	-0.363	1.000				
WS	0.413	0.571	-0.180	0.927*	0.860	0.952*	-0.110	1.000			
SKR	-0.028	-0.159	0.277	-0.329	0.353	0.092	0.345	0.032	1.000		
MCS	-0.020	0.082	-0.238	0.648	-0.099	0.408	-0.670	0.365	-0.824	1.000	
GWS	0.466	0.590	-0.081	0.549	0.960**	0.694	0.364	0.795	0.520	-0.267	1.000

¹⁾ FL: 果实长度 Fruit length; FD: 果实直径 Fruit diameter; CFF: 果形系数 Coefficient of fruit form; WF: 单果质量 Weight per fruit; SL: 种子长度 Seed length; SD: 种子直径 Seed diameter; CSF: 种形系数 Coefficient of seed form; WS: 单种子质量 Weight per seed; SKR: 种子出仁率 Seed kernel rate; MCS: 种子含水量 Moisture content in seed; GWS: 种子千粒质量 1 000-grain weight of seed. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

表 5 掌叶木果实和种子表型性状与地理-气候因子的相关系数¹⁾Table 5 Correlation coefficient of phenotypic traits of fruit and seed of *Handeliodendron bodinieri* (Lévl.) Rehd. with geographic-climatic factors¹⁾

表型性状 Phenotypic trait	与不同地理-气候因子的相关系数 Correlation coefficient with different geographic-climatic factors						
	纬度 Latitude	经度 Longitude	平均海拔 Mean altitude	年均气温 Annual mean temperature	年均降水量 Annual mean precipitation	年均日照时数 Annual mean sunshine hours	无霜期 Frostless period
FL	0.159	0.662	-0.883*	0.696	0.003	0.242	0.751
FD	0.486	0.850	-0.912*	0.768	-0.391	0.532	0.807
CFF	-0.620	-0.158	-0.249	0.091	0.821	-0.514	0.152
WF	0.162	0.525	-0.569	0.955*	-0.535	0.864	0.863
SL	0.104	0.363	-0.456	0.770	-0.224	0.764	0.932*
SD	-0.146	0.057	-0.106	0.759	-0.323	0.866	0.766
CSF	0.332	0.416	-0.479	0.030	0.130	-0.127	0.236
WS	0.058	0.327	-0.373	0.886*	-0.427	0.927*	0.909*
SKR	-0.457	-0.593	0.476	-0.244	0.558	-0.080	0.066
MCS	0.077	0.337	-0.326	0.519	-0.459	0.358	0.219
GWS	0.108	0.201	-0.227	0.588	-0.220	0.752	0.802

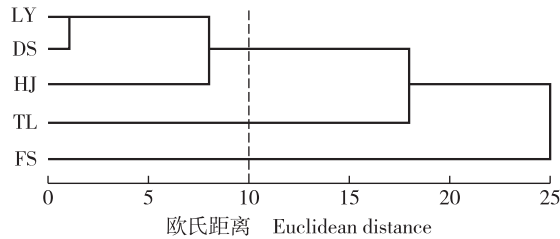
¹⁾ FL: 果实长度 Fruit length; FD: 果实直径 Fruit diameter; CFF: 果形系数 Coefficient of fruit form; WF: 单果质量 Weight per fruit; SL: 种子长度 Seed length; SD: 种子直径 Seed diameter; CSF: 种形系数 Coefficient of seed form; WS: 单种子质量 Weight per seed; SKR: 种子出仁率 Seed kernel rate; MCS: 种子含水量 Moisture content in seed; GWS: 种子千粒质量 1 000-grain weight of seed. *: $P < 0.05$.

种子长度与无霜期均呈显著正相关,相关系数分别为 0.955、0.886、0.927、0.909 和 0.932。此外,各表型性状与经度和纬度的相关性均不显著,各表型性状与年均降水量的相关性也不显著,其中,果实直径、单果质量、种子长度、种子直径、单种子质量、种子含水量和种子千粒质量与年均降水量均呈负相关,说明掌叶木果实和种子的表型性状受地理位置影响不显著,但多数果实和种子的表型性状随年均降水量升高而降低。

2.4 不同种源掌叶木的聚类分析

基于掌叶木果实和种子表型性状,采用离差平方和法,根据欧氏距离对 5 个种源掌叶木进行聚类分析,结果见图 1。结果表明:在欧氏距离为 10 处,供试 5 个种源被分成 3 组,其中,广西乐业、广西环江和贵州独山 3 个种源聚为一组,广西田林和广西凤山 2 个种源各自单独聚为一组。从各种源的地理分布上看,广西乐业种源的经度大于广西田林种源但小于广西凤山种源,且广西乐业种源和贵州独山种源的地

理距离和平均海拔均相差较大,然而各种源的聚类结果并未呈现区域板块梯度化特征,说明各种源间掌叶木果实和种子的表型性状未形成连续变异,具有随机变异的特点。



LY: 广西乐业 Leye of Guangxi; DS: 贵州独山 Dushan of Guizhou; HJ: 广西环江 Huanjiang of Guangxi; TL: 广西田林 Tianlin of Guangxi; FS: 广西凤山 Fengshan of Guangxi.

图 1 基于果实和种子表型性状的不同种源掌叶木的聚类分析结果
Fig. 1 Cluster analysis result of different provenances of *Handeliidendron bodinieri* (Lévl.) Rehd. based on phenotypic traits of fruit and seed

2.5 不同种源掌叶木果实和种子表型性状的主成分分析

对不同种源掌叶木果实和种子的 11 个表型性状数据进行标准化处理,结果见表 6;以各表型性状的标准化数据为变量进行主成分分析,以特征值大于 1 为标准提取主成分,结果见表 7。结果表明:前 3 个主成分的特征值均大于 1,累计贡献率达 92.28%,表明这 3 个主成分可以代表掌叶木果实和种子 11 个表型性状的绝大部分信息。第 1 主成分的贡献率最高,达 46.53%,其中,果实长度、果实直径、单果质量、种子长度、种子直径、单种子质量和种子千粒质量的特征向量均较高,说明第 1 主成分主要由这 7 个表型性状决定。第 2 主成分的贡献率为 29.38%,其中,果形系数、种形系数和种子含水量的特征向量均较高,说明第 2 主成分主要由这 3 个表型性状决定。第 3 主成分的贡献率为 16.37%,其中,种子出仁率的特征向量较高,说明第 3 主成分主要由种子出仁率决定。

表 6 不同种源掌叶木果实和种子表型性状的标准化数值

Table 6 Standardized value of phenotypic traits of fruit and seed of *Handeliidendron bodinieri* (Lévl.) Rehd. from different provenances

种源 Provenance	各表型性状的标准化数值 ¹⁾ Standardized value of each phenotypic trait ¹⁾										
	FL	FD	CFF	WF	SL	SD	CSF	WS	SKR	MCS	GWS
广西乐业 Leye of Guangxi	-1.382	-1.028	-1.231	0.272	-0.178	0.889	-1.433	0.463	0.103	-0.550	0.108
广西田林 Tianlin of Guangxi	-0.503	-1.112	1.080	-1.327	-1.290	-1.196	-0.137	-1.421	0.218	0.369	-1.301
广西凤山 Fengshan of Guangxi	1.174	0.934	0.930	0.773	1.517	0.998	0.712	1.131	1.064	0.457	1.420
广西环江 Huanjiang of Guangxi	0.677	0.835	-0.114	1.015	-0.057	0.176	-0.296	0.398	-1.654	-1.425	-0.470
贵州独山 Dushan of Guizhou	0.034	0.371	-0.664	-0.734	0.009	-0.867	1.154	-0.571	0.269	1.149	0.243

¹⁾ FL: 果实长度 Fruit length; FD: 果实直径 Fruit diameter; CFF: 果形系数 Coefficient of fruit form; WF: 单果质量 Weight per fruit; SL: 种子长度 Seed length; SD: 种子直径 Seed diameter; CSF: 种形系数 Coefficient of seed form; WS: 单种子质量 Weight per seed; SKR: 种子出仁率 Seed kernel rate; MCS: 种子含水量 Moisture content in seed; GWS: 种子千粒质量 1 000-grain weight of seed.

表 7 不同种源掌叶木果实和种子表型性状的主成分分析

Table 7 Principal component analysis on phenotypic traits of fruit and seed of *Handeliidendron bodinieri* (Lévl.) Rehd. from different provenances

主成分 Principal component	特征向量 ¹⁾ Eigenvector ¹⁾							特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
	FL	FD	CFF	WF	SL	SD	CSF			
1	0.692	0.803	0.019	0.854	0.963	0.787	0.249	5.118	46.53	46.53
2	0.438	0.254	0.553	-0.496	0.207	-0.463	0.892	3.232	29.38	75.91
3	-0.566	-0.479	-0.370	-0.155	0.170	0.357	-0.256	1.800	16.37	92.28

主成分 Principal component	特征向量 ¹⁾ Eigenvector ¹⁾				特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
	WS	SKR	MCS	GWS			
1	0.931	0.105	-0.157	0.869	5.118	46.53	46.53
2	-0.317	0.641	0.893	0.249	3.232	29.38	75.91
3	0.172	0.718	0.389	0.413	1.800	16.37	92.28

¹⁾ FL: 果实长度 Fruit length; FD: 果实直径 Fruit diameter; CFF: 果形系数 Coefficient of fruit form; WF: 单果质量 Weight per fruit; SL: 种子长度 Seed length; SD: 种子直径 Seed diameter; CSF: 种形系数 Coefficient of seed form; WS: 单种子质量 Weight per seed; SKR: 种子出仁率 Seed kernel rate; MCS: 种子含水量 Moisture content in seed; GWS: 种子千粒质量 1 000-grain weight of seed.

2.6 不同种源掌叶木果实和种子表型性状的综合评价

将各表型性状对应主成分的特征向量先除以对应主成分特征值的算术平方根,再乘以对应主成分的贡献率,3个主成分同一表型性状计算结果的总和即为该表型性状的权重系数,例如:果实长度的权重系数 $= (0.692/\sqrt{5.118}) \times 46.53\% + (0.438/\sqrt{3.232}) \times 29.38\% + (-0.566/\sqrt{1.8}) \times 16.37\% = 0.145$ 。根据各表型性状的权重系数构建的各种源掌叶木果实和种子表型性状综合得分的函数方程为 $Y_i = 0.145X_{i1} + 0.148X_{i2} + 0.049X_{i3} + 0.076X_{i4} + 0.253X_{i5} + 0.130X_{i6} + 0.166X_{i7} + 0.161X_{i8} + 0.270X_{i9} + 0.161X_{i10} + 0.214X_{i11}$ 。式中, Y_i 为第*i*个种源的综合得分, X_{i1} 为果实长度的标准化数值, X_{i2} 为果实直径的标准化数值, X_{i3} 为果形系数的标准化数值, X_{i4} 为单果质量的标准化数值, X_{i5} 为种子长度的标准化数值, X_{i6} 为种子直径的标准化

数值, X_{i7} 为种形系数的标准化数值, X_{i8} 为单种子质量的标准化数值, X_{i9} 为种子千粒质量的标准化数值, X_{i10} 为种子含水量的标准化数值, X_{i11} 为种子出仁率的标准化数值。根据各表型性状的权重系数,种子千粒质量、种子长度、种子出仁率、种形系数、种子含水量和单种子质量6个种子表型性状的权重系数均较大,而果实各表型性状的权重系数相对较小,说明种子表型性状是评价掌叶木种源的主要指标。

不同种源掌叶木果实和种子表型性状的综合评价结果见表8。结果表明:各种源掌叶木果实和种子表型性状的综合得分从高到低依次为广西凤山种源、贵州独山种源、广西乐业种源、广西环江种源、广西田林种源,说明广西凤山种源掌叶木果实和种子的表型性状最佳,广西田林种源掌叶木果实和种子的表型性状最差,其余3个种源掌叶木果实和种子的表型性状居中,与上述聚类分析结果相同。

表8 不同种源掌叶木果实和种子表型性状的综合评价结果

Table 8 Comprehensive evaluation result of phenotypic traits of fruit and seed of *Handeliidendron bodinieri* (Lévl.) Rehd. from different provenances

种源 Provenance	特征向量得分 ¹⁾ Score of eigenvector ¹⁾						
	FL	FD	CFF	WF	SL	SD	CSF
广西乐业 Leye of Guangxi	-0.200	-0.152	-0.061	0.021	-0.045	0.115	-0.238
广西田林 Tianlin of Guangxi	-0.073	-0.165	0.053	-0.100	-0.326	-0.155	-0.023
广西凤山 Fengshan of Guangxi	0.170	0.138	0.046	0.059	0.383	0.130	0.118
广西环江 Huanjiang of Guangxi	0.098	0.124	-0.006	0.077	-0.014	0.023	-0.049
贵州独山 Dushan of Guizhou	0.005	0.055	-0.033	-0.056	0.002	-0.112	0.191

种源 Provenance	特征向量得分 ¹⁾ Score of eigenvector ¹⁾				综合得分 Comprehensive score	排序 Ranking
	WS	SKR	MCS	GWS		
广西乐业 Leye of Guangxi	0.074	0.022	-0.089	0.029	-0.523	4
广西田林 Tianlin of Guangxi	-0.228	0.047	0.059	-0.351	-1.262	5
广西凤山 Fengshan of Guangxi	0.182	0.228	0.074	0.383	1.910	1
广西环江 Huanjiang of Guangxi	0.064	-0.354	-0.230	-0.127	-0.394	3
贵州独山 Dushan of Guizhou	-0.092	0.058	0.185	0.066	0.269	2

¹⁾ FL: 果实长度 Fruit length; FD: 果实直径 Fruit diameter; CFF: 果形系数 Coefficient of fruit form; WF: 单果质量 Weight per fruit; SL: 种子长度 Seed length; SD: 种子直径 Seed diameter; CSF: 种形系数 Coefficient of seed form; WS: 单种子质量 Weight per seed; SKR: 种子出仁率 Seed kernel rate; MCS: 种子含水量 Moisture content in seed; GWS: 种子千粒质量 1 000-grain weight of seed.

3 讨论和结论

掌叶木为国家 I 级重点保护野生植物,在生物质能源、石漠化治理、食用保健和园林绿化等方面具有应用价值,是一种不可多得的适合在岩溶石山地区生长的多用途树种,然而掌叶木野生资源稀少,严重制

约其推广利用,因此,亟待收集和保护掌叶木野生种质资源。本研究中,掌叶木果实和种子的9个表型性状在种源间存在极显著($P < 0.01$)差异,说明掌叶木果实和种子的表型性状存在明显的地理分化,遗传改良潜力巨大,为优质种源选育提供了必要条件。总体来看,掌叶木种子各表型性状的种源重复力高于果实,其各表型性状的种源重复力均值为0.955,说明

掌叶木种子表型性状稳定,可作为地理变异研究的主要性状。

掌叶木果实和种子11个表型性状种源间变异系数为6.23%~16.64%,平均值为10.74%,明显大于种源内变异系数平均值的均值(6.86%);掌叶木果实和种子11个表型性状种源内变异系数的平均值为1.50%~11.91%,均小于各表型性状的种源间变异系数,表明掌叶木果实和种子的表型性状存在丰富的变异,且其表型性状变异主要为种源间变异,这一研究结果与滕婕华等^[23]利用分子标记获得的相关研究结果恰好相反,这可能是由于表型性状和分子标记的变异模式不同,前者呈连续型变异,而后者则呈离散型分布^[24]。相关研究结果^[25-26]表明:种源间变异能够反映植物在地理和生殖隔离上的变异,是植物种内多样性的重要组成部分;而种源内变异反映植物在不同环境中的适应状况,种源内变异系数越大,表明植物的适应范围越广。据此推测,不同种源掌叶木的生殖隔离和喀斯特复杂环境可能是造成其果实和种子表型性状变异的主要原因,而且单种子质量、种子出仁率、种子含水量和种子千粒质量的种源内变异系数平均值远小于种源间变异系数可能是导致掌叶木分布区狭窄和珍稀濒危的原因之一。

相关性分析结果表明:掌叶木果实和种子多数表型性状间的相关性不显著,仅果实直径与果实长度、单种子质量与单果质量、单种子质量与种子直径呈显著($P<0.05$)正相关,表明仅能通过单果质量评估单种子质量,果实其余表型性状均不能用于判断种子表型性状。另外,种子千粒质量与种子长度呈极显著正相关,以种子长度为自变量 x 、种子千粒质量为因变量 y 获得的线性回归方程为 $y = -403.082 + 54.005x$,运用该线性回归方程可通过掌叶木的种子长度估算其种子千粒质量,为研究者在野外初步评估种子质量提供了便利。

本研究中,掌叶木果实和种子各表型性状与经度和纬度的相关性不显著,与李雪萍等^[18]利用ISSR和SRAP标记获得的研究结果一致,说明掌叶木的生存和分布空间广阔,例如:陈星星等^[27]在云南富宁县海拔1500 m以上区域发现掌叶木。掌叶木的果实长度和直径与平均海拔呈显著负相关,果形系数、单果质量及种子各表型性状与平均海拔的相关性均不显著,说明海拔对掌叶木果实和种子表型性状的影响有限,仅对果实大小有显著影响。掌叶木果实和种子

各表型性状与年均降水量的相关性均不显著,但果实直径、单果质量、种子长度、种子直径、单种子质量、种子含水量和种子千粒质量7个表型性状与年均降水量均呈负相关,说明随着年均降水量减少,这些表型性状均增大,间接表明掌叶木能够适应干旱少雨的岩溶石山环境。中国是世界上喀斯特分布面积最大的国家,西南地区的石漠化程度更为严重^[28],因此,建议应用掌叶木在西南地区进行绿化造林,但掌叶木能否适应广东、重庆、湖南、浙江和陕西等地的喀斯特分布区尚待进一步深入研究。

本研究结果显示:掌叶木果实和种子的表型性状变异丰富,并以种源间变异为主,且具有随机变异的特点;种子表型性状是评价掌叶木种源的主要指标,以广西凤山种源掌叶木表型性状最优。

参考文献:

- [1] 陈波涛,郁建平,邓伯龙,等.贵州木本燃油植物掌叶木的经济性状分析[J].资源开发与市场,2007,23(6):514-516.
- [2] 陈波涛,陈润生,邓伯龙,等.贵州生物柴油原料林树种的选择[J].贵州农业科学,2010,38(5):173-176.
- [3] 贵州省林业厅.贵州野生珍贵植物资源[M].北京:中国林业出版社,2000:159.
- [4] 傅立国.中国植物红皮书:稀有濒危植物(第一册)[M].北京:科学出版社,1992:590-591.
- [5] 王永康,吴国良,赵爱玲,等.枣种质资源的表型遗传多样性[J].林业科学,2014,50(10):33-41.
- [6] MORENO S, MARTÍN J P, ORTIZ J M. Inter-simple sequence repeats PCR for characterization of closely related grapevine germplasm[J]. Euphytica, 1998, 101: 117-125.
- [7] 岳华峰,李相宽,杨超伟,等.不同产地光皮木瓜果实和种子表型性状多样性[J].东北林业大学学报,2015,43(11):52-55.
- [8] 陈丽君,邓小梅,丁美美,等.苦楝种源果核及种子性状地理变异的研究[J].北京林业大学学报,2014,36(1):15-20.
- [9] 社会聪,蒋雅婷,张莹,等.浙江省蜡梅野生种群果实表型性状变异及其与土壤相关因子的关系[J].植物资源与环境学报,2018,27(2):77-84.
- [10] 高锦伟,谢国文,林志纲,等.广西乐业县掌叶木种群动态研究[J].广东农业科学,2015(18):43-48.
- [11] 常进雄,杨龙,黄威廉.贵州南部掌叶木种群生态研究[J].贵州科学,2002,20(2):1-15.
- [12] 熊志斌,冉景丞,谭成江,等.濒危植物掌叶木种子生态特征[J].生态学报,2003,23(4):820-825.
- [13] 李在留,李雪萍,郭松,等.珍稀濒危植物掌叶木的开花生物学特性与繁育系统[J].园艺学报,2015,42(2):311-320.
- [14] 彭健,李在留,李磊,等.不同贮藏条件对掌叶木种子生理特性的影响[J].北方园艺,2013(7):63-66.
- [15] 熊志斌,杨婷婷,玉屏,等.掌叶木百日苗培育与造林技术

- 研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(33): 233-234, 294.
- [16] 刘燕, 孙超, 祁翔, 等. 掌叶木扦插繁殖研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2012, 30(6): 16-19.
- [17] 张娜, 郭志勇, 李在留, 等. 掌叶木叶化学成分研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2015, 37(3): 96-99.
- [18] 李雪萍, 郭松, 熊俊飞, 等. 广西野生濒危植物掌叶木遗传多样性的 ISSR 与 SRAP 分析[J]. 园艺学报, 2015, 42(2): 386-394.
- [19] WANG J, GAO P, KANG M. Isolation and characterization of polymorphic microsatellite markers for the endangered tree *Handeliidendron bodinieri* (Sapindaceae) [J]. Conservation Genetics, 2008, 9: 727-729.
- [20] HE R, WANG J, HUANG H. Long-distance gene dispersal inferred from spatial genetic structure in *Handeliidendron bodinieri*, an endangered tree from karst forest in southwest China [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2012, 44: 295-302.
- [21] 林海明, 杜子芳. 主成分分析综合评价应该注意的问题[J]. 统计研究, 2013, 30(8): 25-31.
- [22] 郭亚军, 于兆吉. 综合评价的合理性问题[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2002, 23(9): 844-847.
- [23] 滕婕华, 卫家贤, 李象钦, 等. 濒危特有种掌叶木的微卫星遗传多样性研究[J]. 广西植物, 2017, 37(11): 1471-1479.
- [24] 张元燕, 虞木奎, 方炎明. 麻栎不同种源的表型性状变异分析[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(3): 36-44.
- [25] ZIZUMBO-VILLARREAL D, PIÑERO D. Pattern of morphological variation and diversity of *Cocos nucifera* (Arecaceae) in Mexico [J]. American Journal of Botany, 1998, 85: 855-865.
- [26] 郑健, 胡增辉, 郑勇奇, 等. 花椒树种源间表型性状的地理变异分析[J]. 植物资源与环境学报, 2012, 21(3): 50-56.
- [27] 陈星星, 宣晓晓, 丘林凤, 等. 云南无患子科一新记录属: 掌叶木属[J]. 西南林业大学学报, 2017, 37(2): 85-87.
- [28] 王世杰. 喀斯特石漠化: 中国西南最严重的生态地质环境问题[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(2): 120-126.

(责任编辑: 佟金凤)

欢迎订阅 2019 年《植物资源与环境学报》

全国中文核心期刊 中国科技核心期刊
中国科学引文数据库核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊(A⁻)

《植物资源与环境学报》为江苏省中国科学院植物研究所和江苏省植物学会联合主办的学术刊物, 国内外公开发行。本刊为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊和 RCCSE 中国核心学术期刊(A⁻), 并为 BA (预评)、CAB、BCI、中国生物学文摘、中国环境科学文摘、中国科学引文数据库、万方数据——数字化期刊群、中国学术期刊(光盘版)、超星期刊出版平台和中文科技期刊数据库等国内外著名刊库收录。2013 年荣获“首届江苏省新闻出版政府奖期刊奖”及江苏省精品科技期刊项目; 2015 年荣获“第六届江苏省科技期刊金马奖·精品期刊奖”及江苏省精品科技期刊Ⅲ类项目; 2016 年和 2017 年均荣获江苏省精品科技期刊Ⅰ类项目。

本刊围绕植物资源与环境两个中心命题, 报道我国植物资源的考察、开发利用和植物物种多样性保护, 自然保护区与植物园的建设和管理, 植物在保护和美化环境中的作用, 环境对植物的影响以及与植物资源和植物环境有关学科领域的原

始研究论文、研究简报和综述等。凡从事植物学、生态学、自然地理学以及农、林、园艺、医药、食品、轻化工和环境保护等领域的科研、教学、技术人员及决策者均可以从本刊获得相关学科领域的研究进展和信息。

本刊为季刊, 大 16 开本, 每期 120 页。全国各地邮局均可订阅, 每期定价 20 元, 全年 80 元。若错过征订时间或需补齐 1992 年至 2017 年各期, 请直接与编辑部联系邮购。1992 年至 1993 年每年 8 元; 1994 年至 2000 年每年 16 元; 2001 年至 2005 年每年 24 元; 2006 年至 2008 年每年 40 元; 2009 年至 2011 年每年 60 元; 2012 年至 2018 年每年 80 元(均含邮资, 如需挂号另付挂号费 3 元)。

编辑部地址: 江苏省南京市中山门外 江苏省中国科学院植物研究所内(邮编: 210014); 电话: 025-84347014; QQ: 2219161478; E-mail: zwzybjb@163.com。本刊仅接收在线投稿, 投稿网址: <http://zwzy.cnbg.net>。

欢迎订阅! 欢迎投稿!