

# 广西建兰表型多样性分析及核心种质构建

曾艳华, 王丰顺, 何荆洲, 卜朝阳<sup>①</sup>

(广西壮族自治区农业科学院花卉研究所, 广西 南宁 530007)

**摘要:**为更好地评价和利用广西建兰 [*Cymbidium ensifolium* (Linn.) Sw.] 种质资源, 以来自广西 6 个中国兰花 (*Cymbidium* spp.) 主要产区的 248 份建兰材料为研究对象, 对其 9 个质量性状和 16 个数量性状进行多样性分析、主成分分析和聚类分析, 并构建核心种质。结果表明: 248 份建兰材料 9 个质量性状的 Shannon-Wiener 多样性指数为 0.114~1.800; 16 个数量性状的 Shannon-Wiener 多样性指数为 1.672~2.054, 变异系数为 11.44%~29.55%。主成分分析结果显示: 前 6 个主成分的累计方差贡献率为 79.093%。基于系统聚类法将 248 份建兰材料划分为 3 组。在取样比例 25% 下, 采取聚类结合评分的取样方法, 备选核心种质的极差符合率和遗传多样性保留率为 100.00%, 变异系数变化率为 140.83%。采用优先取样和遗传距离动态聚类, 并结合综合评分筛选核心种质, 最终构建含 62 份建兰材料的核心种质。综合以上研究结果, 广西 248 份建兰材料表型多样性丰富, 采用优先取样和遗传距离动态聚类, 并结合综合评分的方法构建的核心种质能够代表原始种质的遗传多样性。

**关键词:** 建兰; 表型性状; 核心种质; 主成分分析; 系统聚类; 广西

中图分类号: Q944; S682.31 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2026)03-0044-10

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2026.03.05

**Phenotypic diversity analysis and core collection construction of *Cymbidium ensifolium* in Guangxi** ZENG Yanhua, WANG Fengshun, HE Jingzhou, BU Zhaoyang<sup>①</sup> (Flowers Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2026, 35(3): 44-53

**Abstract:** To better evaluate and utilize the germplasm resources of *Cymbidium ensifolium* (Linn.) Sw. in Guangxi, 248 *C. ensifolium* accessions from six major *Cymbidium* spp. production areas in Guangxi were taken as research materials, diversity analysis, principal component analysis, and cluster analysis were conducted on 9 qualitative traits and 16 quantitative traits, and a core collection was constructed. The results show that the Shannon-Wiener diversity indexes of the 9 qualitative traits are 0.114-1.800 among the 248 *C. ensifolium* accessions; the Shannon-Wiener diversity indexes of the 16 quantitative traits are 1.672-2.054, and the coefficients of variation are 11.44%-29.55%. The principal component analysis results show that the cumulative variance contribution rate of the first six principal components is 79.093%. Based on the hierarchical clustering method, the 248 *C. ensifolium* accessions are divided into three groups. Under a sampling ratio of 25%, using the screening method of cluster combined with score, the range coincidence rate and genetic diversity retention rate of the alternative core collection are 100.00%, and the coefficient of variation change rate is 140.83%. Using priority sampling and genetic distance dynamic clustering, combined with comprehensive score to screen the core collection, and a core collection containing 62 *C. ensifolium* accessions is ultimately constructed. Based on the above research results, the 248 *C. ensifolium* accessions in Guangxi exhibit rich phenotypic diversity, and the core collection constructed by priority sampling and genetic distance dynamic clustering, combined with comprehensive score, can represent the genetic diversity of the original collection.

收稿日期: 2025-08-15

基金项目: 广西科技重大专项(桂科 AA17204046-1); 广西科技先锋队专项(桂农科盟 202512)

作者简介: 曾艳华(1979—), 女, 湖南蓝山人, 硕士, 高级农艺师, 主要从事花卉种质资源与遗传育种方面的研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: yangnv@126.com

引用格式: 曾艳华, 王丰顺, 何荆洲, 等. 广西建兰表型多样性分析及核心种质构建[J]. 植物资源与环境学报, 2026, 35(3): 44-53.

**Key words:** *Cymbidium ensifolium* (Linn.) Sw.; phenotypic trait; core collection; principal component analysis; hierarchical clustering; Guangxi

建兰[*Cymbidium ensifolium* (Linn.) Sw.]又称四季兰,是重要的兰科(Orchidaceae)观赏植物。建兰栽培历史悠久,名种甚多,且有清香气味,深受广大兰友喜爱。中国南方地区建兰分布广泛,在福建、台湾、四川、广东、广西、云南、浙江、江西、湖南、贵州等地均有分布<sup>[1]</sup>。广西是中国建兰分布较多的省份之一<sup>[2]</sup>,在大部分山区海拔约400 m的林下、山谷、石山中均有分布<sup>[3]</sup>。多年来,作者所在研究团队从广西中国兰花(*Cymbidium* spp.,以下简称国兰)主要产区收集了近300份建兰材料,科学评价和高效利用这些种质资源,是建兰遗传研究和育种应用的基础。核心种质(core collection)旨在以最少的样本数量最大限度地保留整个种质资源的遗传多样性<sup>[4]</sup>。表型多样性作为遗传多样性的直接体现,是种质资源评价的重要依据<sup>[5]</sup>。因此,基于系统评估建兰表型多样性构建核心种质,对建兰资源的保护、创新与利用具有重要意义。

在兰属(*Cymbidium* Sw.)植物核心种质的构建过程中,表型数据收集是个难点,一是大多数兰属植物1~2 a开花1次;二是兰属植物表型性状的种类多而复杂,《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 兰属》(NY/T 2441—2013)(以下简称《测试指南》)<sup>[6]</sup>中规定的兰属基本性状有76个,加上选测性状共有92个。因此兰属植物核心种质方面的研究明显落后于其他园艺作物。前人基于形态学或分子标记对兰属植物的遗传多样性进行了大量研究<sup>[7-11]</sup>,也对兰属植物核心种质构建进行了探讨<sup>[12]</sup>,但针对建兰核心种质构建的研究十分有限<sup>[13-15]</sup>。建兰一年可多次开花,相较于其他国兰品种,其观赏性状相关的表型数据更易于收集,为该类植物的核心种质研究提供了有利条件。艾叶等<sup>[13-14]</sup>基于形态学标记构建了包含60个建兰品种的核心种质,其表型保留率达100%;并应用SSR荧光标记,对226个建兰品种构建了包含73个品种的核心种质库,与原始种质遗传参数无明显差异。陈明堃等<sup>[15]</sup>对311份建兰材料进行SSR分子标记分析,发现其遗传多样性丰富,同时构建含51份材料的核心库,占原有建兰材料总数的16.4%,有效等位基因数保留率达130%。目前建兰核心种质构建主要针对商业化品种,还未见构建建兰

地方资源核心种质的报道。

前人对核心种质的构建从采样策略、核心种质库大小确定及分析方法等角度进行了广泛的研究。缪黎明等<sup>[16]</sup>对完成核心种质构建的57种园艺作物的采集数据方法、聚类方法以及组内取样方法进行了统计,结果显示:绝大多数园艺作物采用形态学数据进行样品分组;聚类方法应用频率最高的为非加权组平均法(UPGMA),其次是离差平均和法;组内取样方法中,聚类取样法应用最广,其次为随机取样法。近年来多数园艺植物的报道,如落羽杉[*Taxodium distichum* (Linn.) Rich.]<sup>[17]</sup>、菊花[*Chrysanthemum × morifolium* (Ramat.) Hemsl.]<sup>[18-19]</sup>、茶梅(*Camellia sasanqua* Thunb.)<sup>[20]</sup>、蝴蝶兰(*Phalaenopsis aphrodite* Rchb. f.)<sup>[21]</sup>、黄花苜蓿(*Medicago falcata* Linn.)<sup>[22]</sup>等,采用了形态学数据进行分组。然而,由于不同植物的生长习性和遗传特性差异很大,目前还没有形成公认的标准方法。鉴于此,本研究提出一种多维度性状权重分配与动态聚类相结合的策略筛选核心种质,旨在为建兰核心种质构建方法的选择提供理论依据和技术参考,同时为建兰种质资源的科学管理和高效利用提供理论支撑。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

于2015—2022年从广西壮族自治区南宁市、桂林市、百色市、河池市、柳州市、玉林市6个国兰主要产区的16个县级行政区收集248份建兰材料,其中容县89份(编号RX1至RX89)、三江侗族自治县38份(编号SJ1至SJ38)、荔浦市36份(编号LP1至LP36)、恭城瑶族自治县25份(编号GC1至GC25)、阳朔县16份(编号YS1至YS16)、隆林各族自治县13份(编号LL1至LL13)、乐业县7份(编号LEY1至LEY7)、永福县6份(编号YF1至YF6)、柳北区5份(编号LB1至LB5)、凤山县3份(编号FS1至FS3)、那坡县3份(编号NP1至NP3)、天峨县2份(编号TE1和TE2)、凌云县2份(编号LIY1和LIY2)、马山县1份(编号MS1)、平乐县1份(编号PL1)、田林县1份(编号TL1)。所有材料种植于广西壮族自治区

农业科学院观赏植物研发与推广中心温室大棚(北纬 22.846°、东经 108.245°)内并进行常规管理,大棚内光照度 5 000~18 000 lx、平均温度 15~30 °C,空气相对湿度 40%~70%。

## 1.2 方法

1.2.1 表型性状测定 参考文献[7-8,13]的研究方法,于建兰盛花期,选取 9 个有序多态质量性状和 16 个数量性状进行观测。每个材料选取 5 株健壮、开花植株,连续观测 3 a,记录表型性状数据。质量性状和数量性状的界定及观测方法参照《测试指南》<sup>[6]</sup>。于中午无直射光的条件下,使用英国皇家园艺学会标准比色卡确定花色。因部分材料的花色在《测试指南》中未被准确描述,参考艾叶等<sup>[13]</sup>对萼片颜色、花主色、花瓣颜色和唇瓣颜色的描述进行调整;参照郭宇迪<sup>[23]</sup>的方法观察中萼片顶端角度、唇瓣中裂片顶端角度和花瓣顶端角度,中萼片顶端角度和唇瓣中裂片顶端角度按照 [10°, 30°)、[30°, 60°)、[60°, 90°)、[90°, 120°] 划分,花瓣顶端角度按照 [10°, 30°)、[30°, 60°)、[60°, 90°] 划分。花序梗长度使用直尺(精度 1 mm)测量;花序梗粗、花长度、花宽度、中萼片长度、中萼片宽度、中萼片厚度、侧萼片长度、侧萼片宽度、花瓣长度、花瓣宽度、花瓣厚度、唇瓣长度、唇瓣宽度、唇瓣厚度使用游标卡尺(精度 0.01 mm)测量。

1.2.2 核心种质构建及评价方法 核心种质取样采用优先取样和遗传距离动态聚类,并结合综合评分的方法;采用简单比例法取样。基于表型性状数据,采用 UPGMA 法进行系统聚类,根据聚类树状图从欧氏距离最小的一组聚类中挑选性状权重综合评分最高的建兰材料进入下一轮的聚类,其余剔除,如此反复,直至获取需要的核心种质数量。性状权重综合评分计算方法参考文献[24-26]:基于标准化后的表型性状数据进行主成分分析(PCA),得到各主成分的特征向量和贡献率;计算性状权重( $W_j$ ),公式为  $W_j = \sum_{k=1}^p (|a_{jk}| \times \lambda_k)$ 。其中, $a_{jk}$ 是第  $j$  个性状在第  $k$  个主成分上的载荷, $\lambda_k$ 是第  $k$  个主成分的方差贡献率。按照龙达等<sup>[26]</sup>的方法计算各建兰材料的综合评分。

核心种质的评价采用表型多样性分析和统计检验的方法,比较核心种质与原始种质在表型性状上的分布,确保核心种质能够覆盖原始种质的多样性;使用  $t$  检验比较核心种质与原始种质在表型性状上的

差异,确保无显著差异。

## 1.3 数据统计和分析

质量性状赋值后进行分析。数量性状数据进行分析前先进行 Shapiro-Wilk 检验,若检验结果显示  $P$  值小于 0.05,则表明数据不符合正态分布,数据需转换使其符合正态分布。利用 SPSS 25.0 软件进行数据统计分析。按照裴帅帅等<sup>[24]</sup>的方法计算 Shannon-Wiener 多样性指数。根据统计结果,将每个数量性状基于平均值( $\bar{X}$ )和标准差( $SD$ )划分为 10 个等级:第 1 级, $X_i \leq (\bar{X} - 2SD)$ ;第 10 级, $X_i > (\bar{X} + 2SD)$ 。其中, $X_i$ 为第  $i$  级的数据。系统聚类图由微生信数据分析与绘图平台(<https://www.bioinformatics.com.cn>)在线生成。

## 2 结果和分析

### 2.1 质量性状描述统计分析

广西 248 份建兰材料质量性状的赋值、频率及 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )见表 1。结果显示:广西 248 份建兰材料萼片颜色中黄绿有条纹和黄底红条纹较多,二者频率合计 52.4%;红和白最少,频率均仅 0.4%。花主色以黄绿和黄为主,二者频率合计 64.9%;白最少,频率仅 0.4%;观赏价值较高的红、紫红和粉的频率合计 23.1%。花瓣颜色以白底红条纹和黄底红条纹为主,二者频率合计 75.0%,为建兰常见花色。唇瓣颜色以牙黄和白为主,二者频率合计 86.2%;绿白频率仅 0.4%。中萼片顶端角度、唇瓣中裂片顶端角度和花瓣顶端角度均以 [30°, 60°) 为主,即大部分建兰为中萼片和花瓣顶端尖细的竹叶瓣型,三角形唇瓣;0.4%的中萼片顶端角度在 [90°, 120°] 之间,为珍贵的梅瓣或荷瓣花;10.1%的唇瓣中裂片顶端角度在 [90°, 120°] 之间,唇瓣偏圆。株形以半直立为主(频率为 80.7%),唇瓣无斑点的素舌花的频率为 2.4%。 $H'$ 值大多在 0.50 以上,其中萼片颜色的  $H'$ 值最高,达 1.800,其次是花主色和花瓣颜色,说明供试建兰花色较丰富。

### 2.2 主成分分析

广西 248 份建兰材料的主成分分析结果见表 2。结果显示:根据特征值大于 1,前 6 个主成分的累计方差贡献率为 79.093%。第 1 主成分方差贡献率为 35.450%,其中,花主色、中萼片长度、侧萼片长度和花瓣长度的特征向量绝对值较大,是花朵主要外形因

表 1 广西 248 份建兰材料质量性状的赋值、频率及 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )  
Table 1 Assignment, frequency, and Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ) of qualitative traits of 248 *Cymbidium ensifolium* (Linn.) Sw. accessions in Guangxi

性状 Trait	赋值(频率) Assignment (frequency)									$H'$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
萼片颜色 <sup>1)</sup> Sepal color <sup>1)</sup>	S1(28.6%)	S2(11.7%)	S3(5.6%)	S4(6.5%)	S5(17.4%)	S6(0.4%)	S7(23.8%)	S8(0.4%)	S9(5.6%)	1.800
花主色 <sup>2)</sup> Flower main color <sup>2)</sup>	F1(38.3%)	F2(26.6%)	F3(6.0%)	F4(10.9%)	F5(0.4%)	F6(5.6%)	F7(2.8%)	F8(9.4%)		1.637
花瓣颜色 <sup>3)</sup> Petal color <sup>3)</sup>	P1(14.6%)	P2(1.2%)	P3(30.2%)	P4(0.8%)	P5(1.6%)	P6(44.8%)	P7(6.0%)	P8(0.8%)		1.370
唇瓣颜色 <sup>4)</sup> Lip color <sup>4)</sup>	L1(34.6%)	L2(51.6%)	L3(13.3%)	L4(0.4%)						0.999
中萼片顶端角度 Median sepal top angle	[10°, 30°] (13.3%)	[30°, 60°] (77.8%)	[60°, 90°] (8.5%)	[90°, 120°] (0.4%)						0.723
唇瓣中裂片顶端角度 Median lobe top angle of lip	[10°, 30°] (0.8%)	[30°, 60°] (60.1%)	[60°, 90°] (29.0%)	[90°, 120°] (10.1%)						0.935
花瓣顶端角度 Petal top angle	[10°, 30°] (9.3%)	[30°, 60°] (86.7%)	[60°, 90°] (4.0%)							0.474
株型 <sup>5)</sup> Plant type <sup>5)</sup>	T1(9.3%)	T2(80.7%)	T3(10.1%)							0.625
唇瓣斑点 Lip spot	无 Without (2.4%)	有 With (97.6%)								0.114

<sup>1)</sup> S1: 黄绿有条纹 Yellowish-green with stripes; S2: 黄绿 Yellowish-green; S3: 复色 Multiple color; S4: 绿 Green; S5: 黄 Yellow; S6: 红 Red; S7: 黄底红条纹 Yellow background with red stripes; S8: 白 White; S9: 绿白 Greenish-white.  
<sup>2)</sup> F1: 黄绿 Yellowish-green; F2: 黄 Yellow; F3: 绿 Green; F4: 红 Red; F5: 白 White; F6: 绿白 Greenish-white; F7: 紫红 Fuchsia; F8: 粉 Pink.  
<sup>3)</sup> P1: 黄绿有条纹 Yellowish-green with stripes; P2: 黄绿 Yellowish-green; P3: 黄底红条纹 Yellow background with red stripes; P4: 黄 Yellow; P5: 复色 Multiple color; P6: 白底红条纹 White background with red stripes; P7: 白 White; P8: 绿白 Greenish-white.  
<sup>4)</sup> L1: 白 White; L2: 牙黄 Teeth yellow; L3: 黄绿 Yellowish-green; L4: 绿白 Greenish-white.  
<sup>5)</sup> T1: 直立 Upright; T2: 半直立 Semi-upright; T3: 披散 Spread out.

表 2 广西 248 份建兰材料表型性状的主成分 (PC) 分析结果<sup>1)</sup>  
Table 2 Result of principal component (PC) analysis on phenotypic traits of 248 *Cymbidium ensifolium* (Linn.) Sw. accessions in Guangxi<sup>1)</sup>

PC	各表型性状的特征向量 Eigenvector of each phenotypic trait													
	$C_s$	$C_f$	$C_p$	$C_l$	$\theta_{ms}$	$\theta_{ml}$	$\theta_p$	PT	LS	$n_f$	$l_{p1}$	$D_p$	$l_f$	$b_f$
1	-0.681	-0.888	0.604	0.605	0.090	0.069	-0.095	0.041	0.052	0.304	0.611	0.569	0.319	0.638
2	0.344	0.332	0.306	-0.233	0.484	0.165	0.499	-0.199	-0.217	0.470	0.204	0.380	-0.297	-0.293
3	0.313	0.407	0.634	-0.623	-0.382	-0.141	-0.255	0.114	-0.277	0.297	0.255	0.180	0.643	0.029
4	0.502	0.355	0.237	-0.198	0.137	-0.025	-0.101	0.045	-0.363	-0.700	-0.423	-0.507	-0.057	0.109
5	-0.309	0.336	-0.329	-0.219	0.320	-0.403	0.298	-0.242	0.406	-0.019	0.077	-0.057	0.185	0.068
6	-0.069	-0.301	0.063	-0.215	0.213	-0.303	0.349	0.359	-0.023	0.046	0.092	0.009	0.004	-0.065

PC	各表型性状的特征向量 Eigenvector of each phenotypic trait											EV	VCR/%	CVCR/%
	$l_{ms}$	$b_{ms}$	$d_{ms}$	$l_{ls}$	$b_{ls}$	$l_{p2}$	$b_p$	$d_p$	$l_l$	$b_l$	$d_l$			
1	0.837	0.696	0.677	0.854	0.777	0.816	0.584	0.694	0.681	0.582	0.656	8.862	35.450	35.450
2	-0.336	0.349	0.123	-0.326	0.311	-0.203	0.281	0.131	-0.283	0.218	0.025	4.570	18.282	53.732
3	0.181	-0.219	-0.584	0.139	-0.182	0.226	-0.090	-0.208	0.075	-0.156	-0.206	1.989	7.954	61.686
4	0.027	0.007	0.154	0.019	-0.029	-0.089	0.087	0.352	0.209	0.013	0.310	1.964	7.857	69.543
5	0.201	-0.055	-0.122	0.164	-0.025	0.201	0.048	-0.242	0.110	-0.077	0.404	1.373	5.494	75.037
6	0.037	-0.432	0.128	0.001	-0.200	-0.051	-0.497	0.129	0.227	-0.110	0.180	1.014	4.056	79.093

<sup>1)</sup>  $C_s$ : 萼片颜色 Sepal color;  $C_f$ : 花主色 Flower main color;  $C_p$ : 花瓣颜色 Petal color;  $C_l$ : 唇瓣颜色 Lip color;  $\theta_{ms}$ : 中萼片顶端角度 Median sepal top angle;  $\theta_{ml}$ : 唇瓣中裂片顶端角度 Median lobe top angle of lip;  $\theta_p$ : 花瓣顶端角度 Petal top angle; PT: 株型 Plant type; LS: 唇瓣斑点 Lip spot;  $n_f$ : 花朵数量 Number of flowers;  $l_{p1}$ : 花序梗长度 Pedicel length;  $D_p$ : 花序梗粗 Pedicel diameter;  $l_f$ : 花长度 Flower length;  $b_f$ : 花宽度 Flower width;  $l_{ms}$ : 中萼片长度 Median sepal length;  $b_{ms}$ : 中萼片宽度 Median sepal width;  $d_{ms}$ : 中萼片厚度 Median sepal thickness;  $l_{ls}$ : 侧萼片长度 Lateral sepal length;  $b_{ls}$ : 侧萼片宽度 Lateral sepal width;  $l_{p2}$ : 花瓣长度 Petal length;  $b_p$ : 花瓣宽度 Petal width;  $d_p$ : 花瓣厚度 Petal thickness;  $l_l$ : 唇瓣长度 Lip length;  $b_l$ : 唇瓣宽度 Lip width;  $d_l$ : 唇瓣厚度 Lip thickness. EV: 特征值 Eigenvalue; VCR: 方差贡献率 Variance contribution rate; CVCR: 累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate.

子;第 2 主成分方差贡献率为 18.282%,其中,中萼片顶端角度和花瓣顶端角度的特征向量绝对值较大,是瓣型因子;第 3 主成分方差贡献率为 7.954%,其中,

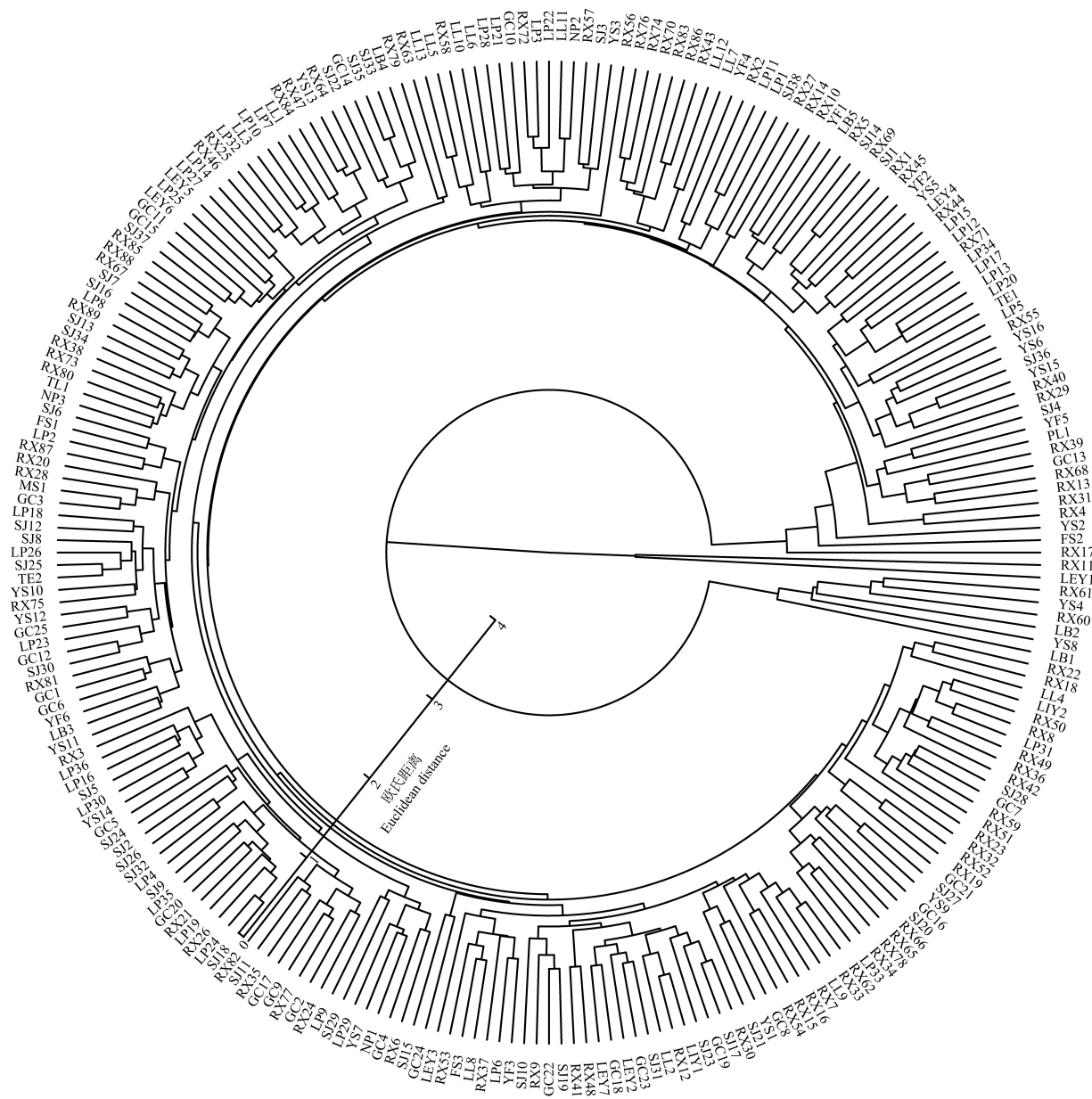
花瓣颜色、唇瓣颜色和花长度的特征向量绝对值较大,是内三瓣花色和花大小因子;第 4 主成分方差贡献率为 7.857%,其中,花朵数量的特征向量绝对值最

大,是花量因子;第 5 主成分方差贡献率为 5.494%,其中,唇瓣中裂片顶端角度、唇瓣斑点和唇瓣厚度的特征向量绝对值较大;第 6 主成分方差贡献率为 4.056%,其中,中萼片宽度和花瓣宽度的特征向量绝对值较大。综合考虑方差贡献率、性状的相关性以及育种目标,将前 3 个主成分中特征向量绝对值较大的

花主色、中萼片长度、侧萼片长度、花瓣长度、中萼片顶端角度、花瓣顶端角度、花瓣颜色、唇瓣颜色、花长度作为核心表型指标。

### 2.3 系统聚类分析

广西 248 份建兰材料的系统聚类图见图 1。结果显示:广西 248 份建兰材料在欧氏距离 4 处被分为



RX: 容县 Rongxian County; SJ: 三江侗族自治县 Sanjiang Dong Autonomous County; LP: 荔浦市 Lipu City; GC: 恭城瑶族自治县 Gongcheng Yao Autonomous County; YS: 阳朔县 Yangshuo County; LL: 隆林各族自治县 Longlin Ge Autonomous County; LEY: 乐业县 Leye County; YF: 永福县 Yongfu County; LB: 柳北区 Liubei District; FS: 凤山县 Fengshan County; NP: 那坡县 Napo County; TE: 天峨县 Tian'e County; LIY: 凌云县 Lingyun County; MS: 马山县 Mashan County; PL: 平乐县 Pingle County; TL: 田林县 Tianlin County.

图 1 广西 248 份建兰材料的系统聚类图

Fig. 1 The hierarchical clustering diagram of 248 *Cymbidium ensifolium* (Linn.) Sw. accessions in Guangxi

3 个组。第 1 组包括来源于乐业县的 LEY1 和来源于容县的 RX11, 该组与其他建兰材料的遗传距离最远, LEY1 的侧萼片从基部向后反折, 花形独特; RX11 的花色黄绿、糯质, 瓣型接近水仙瓣; 第 2 组包括来源于容县的 RX61 和 RX60, 来源于阳朔县的 YS4 和 YS8, 以及来源于柳北区的 LB1 和 LB2, 其中 LB1 与组内其余材料遗传距离较远, 属于较少见的素心建兰; 第 3 组包括剩余的 240 份材料, 其中来源于容县的

RX17、来源于凤山县的 FS2 和来源于阳朔县的 YS2 与组内其他材料遗传距离较远, RX17 糯质水仙瓣, FS2 紫梗紫花, YS2 红杆红花, 花色特别。从形态学上看, 遗传距离相对远的材料均在花色或花形上有独特的表型。供试 248 份材料的系统聚类结果与地理来源无直接关联。

2.4 核心种质筛选

结果(表 3)显示: 广西 248 份建兰材料的综合评

表 3 广西 248 份建兰材料综合评分<sup>1)</sup>  
Table 3 Comprehensive score of 248 *Cymbidium ensifolium* (Linn.) Sw. accessions in Guangxi<sup>1)</sup>

编号 No.	CS	编号 No.	CS	编号 No.	CS	编号 No.	CS	编号 No.	CS	编号 No.	CS	编号 No.	CS
RX1	2.247	RX37	1.542	RX73	2.304	SJ20	1.079	LP18	1.634	GC18	2.046	LL13	1.447
RX2	1.944	RX38	2.457	RX74	2.484	SJ21	1.641	LP19	1.824	GC19	1.942	LEY1	2.731
RX3	2.096	RX39	2.004	RX75	2.028	SJ22	2.152	LP20	2.768	GC20	1.561	LEY2	1.960
RX4	1.537	RX40	2.727	RX76	2.408	SJ23	2.101	LP21	2.211	GC21	0.824	LEY3	2.041
RX5	1.668	RX41	2.082	RX77	1.192	SJ24	1.686	LP22	2.152	GC22	1.740	LEY4	1.710
RX6	2.298	RX42	1.425	RX78	1.592	SJ25	2.051	LP23	2.215	GC23	1.981	LEY5	2.487
RX7	1.535	RX43	1.782	RX79	1.770	SJ26	1.720	LP24	1.859	GC24	2.066	LEY6	2.525
RX8	1.203	RX44	1.504	RX80	2.466	SJ27	1.599	LP25	1.885	GC25	2.079	LEY7	1.977
RX9	1.685	RX45	1.621	RX81	2.211	SJ28	1.626	LP26	2.182	YS1	1.312	YF1	1.961
RX10	2.280	RX46	2.020	RX82	1.592	SJ29	2.266	LP27	1.998	YS2	2.183	YF2	2.086
RX11	6.170	RX47	2.073	RX83	1.964	SJ30	2.289	LP28	1.814	YS3	2.509	YF3	2.039
RX12	1.948	RX48	2.395	RX84	2.006	SJ31	1.671	LP29	1.879	YS4	1.759	YF4	2.715
RX13	1.763	RX49	1.454	RX85	2.576	SJ32	2.173	LP30	1.738	YS5	1.580	YF5	2.268
RX14	1.583	RX50	1.322	RX86	2.380	SJ33	1.938	LP31	1.507	YS6	2.837	YF6	2.040
RX15	1.238	RX51	1.600	RX87	2.429	SJ34	2.434	LP32	2.345	YS7	2.397	LB1	1.349
RX16	1.566	RX52	1.144	RX88	3.063	SJ35	2.205	LP33	2.236	YS8	1.969	LB2	2.960
RX17	2.490	RX53	2.149	RX89	2.443	SJ36	2.639	LP34	2.583	YS9	1.864	LB3	2.054
RX18	1.395	RX54	1.243	SJ1	1.970	SJ37	2.084	LP35	1.911	YS10	2.059	LB4	2.117
RX19	0.983	RX55	2.404	SJ2	2.077	SJ38	2.073	LP36	2.026	YS11	2.267	LB5	1.889
RX20	2.261	RX56	1.474	SJ3	2.226	LP1	2.030	GC1	2.189	YS12	2.323	FS1	2.202
RX21	1.731	RX57	1.830	SJ4	2.197	LP2	1.970	GC2	1.998	YS13	2.006	FS2	2.013
RX22	1.466	RX58	1.911	SJ5	2.192	LP3	2.428	GC3	1.903	YS14	1.525	FS3	1.994
RX23	1.767	RX59	1.540	SJ6	1.978	LP4	1.878	GC4	2.415	YS15	2.594	NP1	2.215
RX24	1.568	RX60	1.048	SJ7	2.822	LP5	3.426	GC5	1.718	YS16	2.741	NP2	2.136
RX25	2.101	RX61	2.198	SJ8	2.054	LP6	2.358	GC6	2.383	LL1	1.760	NP3	2.208
RX26	1.761	RX62	1.824	SJ9	1.674	LP7	2.205	GC7	1.596	LL2	1.871	TE1	3.315
RX27	1.540	RX63	2.217	SJ10	1.991	LP8	2.587	GC8	1.086	LL3	2.283	TE2	2.159
RX28	1.924	RX64	2.025	SJ11	2.082	LP9	2.429	GC9	1.469	LL4	1.506	LIY1	1.996
RX29	2.770	RX65	2.074	SJ12	2.061	LP10	2.390	GC10	2.253	LL5	1.839	LIY2	1.491
RX30	2.159	RX66	2.208	SJ13	2.412	LP11	2.512	GC11	2.443	LL6	1.936	MS1	2.231
RX31	1.669	RX67	2.484	SJ14	2.127	LP12	2.926	GC12	2.270	LL7	1.805	PL1	1.868
RX32	1.241	RX68	1.993	SJ15	1.739	LP13	2.786	GC13	2.021	LL8	1.726	TL1	2.283
RX33	1.430	RX69	1.991	SJ16	2.580	LP14	2.456	GC14	2.391	LL9	1.491		
RX34	1.774	RX70	2.502	SJ17	2.106	LP15	2.704	GC15	1.847	LL10	1.752		
RX35	1.860	RX71	2.800	SJ18	1.868	LP16	1.923	GC16	1.374	LL11	2.306		
RX36	1.775	RX72	2.137	SJ19	1.853	LP17	2.639	GC17	1.442	LL12	1.605		

<sup>1)</sup> CS: 综合评分 Comprehensive score. RX: 容县 Rongxian County; SJ: 三江侗族自治县 Sanjiang Dong Autonomous County; LP: 荔浦市 Lipu City; GC: 恭城瑶族自治县 Gongcheng Yao Autonomous County; YS: 阳朔县 Yangshuo County; LL: 隆林各族自治县 Longlin Ge Autonomous County; LEY: 乐业县 Leye County; YF: 永福县 Yongfu County; LB: 柳北区 Liubei District; FS: 凤山县 Fengshan County; NP: 那坡县 Napo County; TE: 天峨县 Tian'e County; LIY: 凌云县 Lingyun County; MS: 马山县 Mashan County; PL: 平乐县 Pingle County; TL: 田林县 Tianlin County.

分为0.824~6.170,排名前3的分别为来源于容县的RX11、来源于荔浦市的LP5、来源于天峨县的TE1。

根据系统聚类分组情况,将3个组中遗传距离较远的材料,即来源于乐业县的LEY1、来源于容县的RX11和RX17、来源于柳北区的LB1、来源于凤山县的FS2和来源于阳朔县的YS2直接纳入核心库;来源于马山县的MS1、来源于平乐县的PL1、来源于田林县的TL1均为其来源地唯一材料,也优先纳入核心库;其余239份材料采用遗传距离动态聚类结合综合评分的方法逐一筛选。

基于遗传距离动态聚类,结合4种取样比例(15%、20%、25%和30%)形成8种取样策略,不同取样比例和取样方法下广西建兰备选核心种质的参数见表4。结果显示:取样比例25%的备选核心种质的极差符合率、变异系数变化率和遗传多样性保留率较高,确定最佳筛选方案为25%取样比例。该取样比例下聚类结合评分取样的极差符合率和遗传多样性保留率均达100.00%,变异系数变化率达140.83%,明显优于随机取样,最终筛选62份材料进入备选核心种质库。

## 2.5 核心种质的评价与确认

2.5.1 质量性状评价 基于建兰9个质量性状保留数量对广西建兰原始种质和备选核心种质进行比较,结果显示:除花瓣颜色缺失“黄”和唇瓣颜色缺失“绿

表4 不同取样比例和取样方法下广西建兰备选核心种质参数比较<sup>1)</sup>  
Table 4 Comparison of alternative core collection parameters of *Cymbidium ensifolium* (Linn.) Sw. in Guangxi with different sampling ratios and screening methods<sup>1)</sup>

取样比例/% Sampling ratio	取样方法 Screening method	<i>n</i>	R1/%	R2/%	R3/%
15	A	37	95.61	156.25	98.85
	B	37	48.02	88.23	90.43
20	A	50	95.87	146.45	100.00
	B	50	66.12	91.19	92.63
25	A	62	100.00	140.83	100.00
	B	62	69.18	96.62	98.80
30	A	74	96.39	132.86	95.94
	B	74	62.49	96.06	98.08

<sup>1)</sup> *n*: 样本数量 Number of samples; R1: 极差符合率 Range coincidence rate; R2: 变异系数变化率 Coefficient of variation change rate; R3: 遗传多样性保留率 Genetic diversity retention rate. A: 聚类结合评分 Cluster combined with score; B: 随机 Random.

白”外,其余性状在备选核心种质均完整保留。

2.5.2 数量性状评价 广西建兰原始种质与备选核心种质16个数量性状的比较结果见表5。结果显示:建兰原始种质和备选核心种质16个数量性状的最小值和最大值完全相符,极差符合率为100%;备选核心种质中花瓣宽度的Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )最小,为1.642,其余均大于1.800,与原始种质的 $H'$ 值接近;备选核心种质的标准差和变异系数均高于原始种质,说明备选核心种质基本保留了原始

表5 广西建兰原始种质与备选核心种质的数量性状比较<sup>1)</sup>

Table 5 Comparison of quantitative traits between original collection and alternative core collection of *Cymbidium ensifolium* (Linn.) Sw. in Guangxi<sup>1)</sup>

统计量 Statistic	花朵数量 Number of flowers		花序梗长度/cm Pedicel length		花序梗粗/mm Pedicel diameter		花长度/cm Flower length		花宽度/cm Flower width	
	OC	ACC	OC	ACC	OC	ACC	OC	ACC	OC	ACC
Min	1.5	1.5	9.50	9.50	1.60	1.60	2.00	2.00	1.35	1.35
Max	9.0	9.0	47.50	47.50	4.18	4.18	9.28	9.28	7.71	7.71
$\bar{x}$	4.4	4.4	22.74	23.44	2.52	2.55	4.58	4.47	4.00	3.95
<i>SD</i>	1.3	1.6	5.74	7.62	0.42	0.50	0.74	1.08	0.69	1.02
<i>CV</i> /%	29.55	36.36	25.24	32.51	16.67	19.61	16.16	24.16	17.25	25.82
$H'$	1.973	1.992	2.054	2.050	2.034	2.019	1.964	1.934	1.978	1.878
统计量 Statistic	中萼片长度/cm Median sepal length		中萼片宽度/cm Median sepal width		中萼片厚度/mm Median sepal thickness		侧萼片长度/cm Lateral sepal length		侧萼片宽度/cm Lateral sepal width	
	OC	ACC	OC	ACC	OC	ACC	OC	ACC	OC	ACC
Min	1.90	1.90	0.47	0.47	0.20	0.20	1.63	1.63	0.39	0.39
Max	5.73	5.73	1.51	1.51	0.73	0.73	5.39	5.39	1.51	1.51
$\bar{x}$	2.81	2.82	0.76	0.79	0.46	0.46	2.72	2.73	0.68	0.69
<i>SD</i>	0.36	0.53	0.12	0.18	0.08	0.10	0.36	0.55	0.11	0.17
<i>CV</i> /%	12.81	18.79	15.79	22.78	17.39	21.74	13.24	20.15	16.18	24.64
$H'$	1.964	1.815	1.992	1.950	2.049	2.001	1.952	1.828	1.936	1.908

续表5 Table 5 (Continued)

统计量 Statistic	花瓣长度/cm Petal length		花瓣宽度/cm Petal width		花瓣厚度/mm Petal thickness		唇瓣长度/cm Lip length		唇瓣宽度/cm Lip width		唇瓣厚度/mm Lip thickness	
	OC	ACC	OC	ACC	OC	ACC	OC	ACC	OC	ACC	OC	ACC
Min	1.70	1.70	0.41	0.41	0.22	0.22	1.20	1.20	0.40	0.40	0.22	0.22
Max	4.58	4.58	2.63	2.63	0.81	0.81	3.34	3.34	1.49	1.49	0.85	0.85
$\bar{x}$	2.36	2.37	0.78	0.83	0.41	0.42	1.88	1.89	0.80	0.82	0.44	0.45
SD	0.27	0.42	0.17	0.30	0.07	0.10	0.22	0.32	0.12	0.18	0.08	0.11
CV/%	11.44	17.72	21.79	36.14	17.07	23.81	11.70	16.93	15.00	21.95	18.18	24.44
H'	1.925	1.879	1.672	1.642	2.028	2.019	1.954	1.917	1.992	2.009	2.024	2.019

<sup>1)</sup> OC: 原始种质 Original collection; ACC: 备选核心种质 Alternative core collection. Min: 最小值 Minimum; Max: 最大值 Maximum;  $\bar{x}$ : 均值 Mean; SD: 标准差 Standard deviation; CV: 变异系数 Coefficient of variation; H': Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index.

种质的遗传变异。*t* 检验的 *P* 值均大于 0.05, 表明备选核心种质和原始种质 16 个数量性状均值均无显著差异。筛选过程中仅丢失了花宽度 (5.39, 5.89] cm 这 1 个分级, 其余所有数量性状均完整保留。

2.5.3 核心种质的确认 针对广西建兰备选核心种

质质量性状和数量性状评价情况, 将来源于阳朔县的花瓣黄色的 YS1、唇瓣绿白色的 YS8 以及来源于容县的花宽度分别为 5.40 和 5.51 cm 的 RX63 和 RX72 替换掉相对冗余的 4 份材料, 最终确认含 62 份建兰材料的核心种质(表 6), 表型性状保留率达 100%。

表 6 基于表型性状构建的广西建兰核心种质

Table 6 Core collection of *Cymbidium ensifolium* (Linn.) Sw. in Guangxi constructed based on phenotypic traits

编号 No.	来源地 Origin
RX2, RX4, RX11, RX14, RX17, RX19, RX22, RX27, RX32, RX58, RX60, RX63, RX68, RX70, RX72, RX76, RX86	容县 Rongxian County
SJ10, SJ20, SJ22, SJ26, SJ29, SJ34, SJ36, SJ38	三江侗族自治县 Sanjiang Dong Autonomous County
LP1, LP4, LP32, LP34	荔浦市 Lipu City
GC4, GC9, GC11, GC14, GC21	恭城瑶族自治县 Gongcheng Yao Autonomous County
YS1, YS6, YS8, YS9	阳朔县 Yangshuo County
LL4, LL5, LL12	隆林各族自治县 Longlin Ge Autonomous County
LEY1, LEY2, LEY3, LEY4, LEY5, LEY7	乐业县 Leye County
YF1, YF4, YF5	永福县 Yongfu County
LB1, LB2, LB4	柳北区 Liubei District
FS2	凤山县 Fengshan County
NP2, NP3	那坡县 Napo County
TE1	天峨县 Tian'e County
LIY1, LIY2	凌云县 Lingyun County
MS1	马山县 Mashan County
PL1	平乐县 Pingle County
TL1	田林县 Tianlin County

### 3 讨论和结论

植物表型性状是遗传物质与环境互作后表现出的可观测特征, 分析表型性状可有效鉴定物种的遗传多样性。广西 248 份建兰材料的花色具有丰富的表型多样性, 且分布频率有明显规律: 萼片和花瓣颜色以有条纹为主, 花主色以黄绿和黄为主。这种分布规律与建兰在自然生境中的传粉适应策略密切相

关<sup>[27]</sup>。而观赏价值较高的建兰材料较少, 红、紫红和粉色花共占 23.1%, 白色花占比极低(0.4%)。萼片颜色、花主色、花瓣颜色的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')较高, 与傅巧娟等<sup>[8]</sup>的研究结果一致, 进一步印证了花色是建兰易发生变异的性状之一。特殊颜色类型如绿白唇瓣, 频率虽低(0.4%), 却是花色创新的关键材料, 具有重要的保存价值。花器官形态是建兰品种分类的核心依据<sup>[11]</sup>。建兰中萼片、唇瓣中裂片和花瓣的顶端角度以[30°, 60°)为主, 对应三角形

唇瓣和尖细瓣形,是典型的竹叶瓣特征。这种形态与建兰原始类群一致,与高度特化的奇花、蝶花相比,竹叶瓣型更接近于普通的叶片。从分子生物学的角度看,建兰花器官发育受到 MADS-box 等转录因子的精确调控<sup>[28]</sup>。将花瓣或萼片发育成类似叶片的简单形态,可能需要的基因调控网络更简单,能量消耗更少,代表了该物种在演化早期的一种“节能”方案<sup>[29]</sup>。中萼片顶端角度在 $[90^\circ, 120^\circ]$ 之间的偏圆瓣型仅占0.4%,瓣型变异度极低,钟海丰等<sup>[30]</sup>的研究结果也显示建兰瓣型变异极低。

供试建兰16个数量性状中,花朵数量的变异系数(CV)最高,达29.55%,花序梗长度和中萼片厚度的 $H'$ 值较高,分别为2.054和2.049,与朱尾银<sup>[7]</sup>、傅巧娟等<sup>[8]</sup>对建兰表型性状的研究结果存在差异,主要原因可能包括以下2点:其一,本研究材料为广西本地建兰,而上述2项研究则主要针对建兰商业化品种,可能研究材料差别较大;其二,表型性状受环境条件影响较大,同一品种在不同地域或栽培条件下的表现也可能有所差异。花瓣和萼片的厚度与其保水性密切相关<sup>[31]</sup>。中萼片厚度的CV值较高,在延长花期方面的育种中具有潜力。

针对遗传复杂、种类众多的观赏植物,构建核心种质是高效挖掘和利用优异基因的重要手段。目前核心种质构建依据的基础数据主要有表型性状和分子标记。在原始种群数量大、群体遗传多样性丰富的情况下,宜优先使用表型性状构建初级核心种质<sup>[19]</sup>。基于表型性状构建核心种质的研究中,取样方法是研究的重点,常用的取样方法有随机取样、优先取样和聚类取样等。毛名义等<sup>[32]</sup>认为,聚类取样法是组内最佳取样方法。李慧峰等<sup>[33]</sup>认为,逐步聚类取样法优于随机取样法。Liu等<sup>[34]</sup>结合优先取样和聚类取样成功构建了具有代表性的核心种质。在遗传距离计算方法的选择上,常用的有马氏距离和欧氏距离,多数研究采用基于欧氏距离的UPGMA法进行系统聚类<sup>[35-40]</sup>。Gopal等<sup>[41]</sup>在逐步聚类中比较了基于随机数、主成分得分和欧氏距离3种取样方法构建的核心种质,结果表明基于主成分得分取样显著优于其他2种方法。基于遗传距离的逐步聚类取样法目前在核心种质筛选中虽较为普遍,但在组内样本挑选中主要依靠主观判断,没有明确的标准。本研究基于建兰的表型性状,采取优先取样和遗传距离动态聚类,并结合综合评分的筛选策略,即在选择同样遗传距离的

不同样本时,取综合得分高的进入下一轮聚类,可以减少主观影响。优先取样即将具有优异性状的种质直接选入核心种质库<sup>[33]</sup>,可以有效保留原始种质中具有特殊价值的材料。本研究在表型性状分析和聚类分析的过程中发现有9份建兰材料在性状多样性、来源地、遗传距离等方面具有不同的代表性,直接纳入核心库,最大限度保留了原始种质的遗传结构和变异。适合的取样比例也是构建核心种质的关键,取样比例一般根据样本量大小和变异丰富程度而定,通常占原始材料的5%~30%<sup>[21]</sup>。艾叶等<sup>[13]</sup>基于形态学性状构建建兰核心种质的结果表明:总体取样比例为25%时构建核心种质效果最佳,而该比例为15%和20%时会造成表型变异丢失较多,为30%时不能有效减少冗余,与本研究结果相吻合。

核心种质有效性的检验是评价其是否具有代表性的关键,检验指标一般采用均值、标准差、变异系数等连续性数据参数。当方差差异百分率和均值差异百分率均低于20%、极差符合率和变异系数变化率均高于80%时,为有效的核心种质<sup>[40]</sup>。本研究在取样比例25%下,采取遗传距离动态聚类结合综合评分的取样方法,构建的备选核心种质各性状变异系数变化率为140.83%,极差符合率达100%,符合上述要求;进一步将筛选过程中性状丢失的4份材料替换较冗余的材料,使最终构建核心种质的表型性状保留率达100%,说明抽取的核心种质较好地代表了全部种质遗传多样性。

综合上述分析,以25%作为总体取样比例,采用简单比例取样法,通过优先取样、遗传距离动态聚类,并结合综合评分的策略构建的建兰核心种质能有效降低冗余,并较好地保留原始种质的遗传多样性。

#### 参考文献:

- [1] 许东生. 中国建兰名品赏培[M]. 北京:中国林业出版社, 2000: 1.
- [2] 宁惠娟. 国兰种及品种的分类研究[D]. 北京:北京林业大学, 2010: 2.
- [3] 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所. 广西植物志: 第五卷[M]. 南宁:广西科学技术出版社, 2016: 495.
- [4] BROWN A H D. Core collections: a practical approach to genetic resources management[J]. Genome, 1989, 31: 818-824.
- [5] 王晓英, 王长宪, 华芳霞. 春兰的遗传多样性研究进展[J]. 山东林业科技, 2013(3): 96-99.
- [6] 中华人民共和国农业部. 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 兰属: NY/T 2441—2013[S]. 北京:中国标准出版

- 社, 2013: 1-22.
- [7] 朱尾银. 77份建兰种质表型性状多样性分析[J]. 热带作物学报, 2025, 46(1): 59-69.
- [8] 傅巧娟, 赵福康, 张晓莹, 等. 62份建兰种质表型多样性分析与综合评价[J]. 分子植物育种, 2024, 22(21): 7132-7141.
- [9] 魏晓羽, 刘红, 马辉, 等. 基于ISSR标记的96份兰属种质资源遗传多样性分析及指纹图谱构建[J]. 植物遗传资源学报, 2024, 25(4): 586-599.
- [10] 寇帅, 李政, 李先源, 等. 蕙兰SSR引物开发及渝贵川地区兰属遗传多样性研究[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(2): 338-348.
- [11] 姜殿强, 李良珍, 杨璐, 等. 建兰、寒兰花表型分析[J]. 现代园艺, 2017(11): 3-5.
- [12] 何仁锋, 陈喆, 姜梦莹, 等. 兰属植物遗传资源核心种质构建探讨[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2015, 14(2): 202-209.
- [13] 艾叶, 陈璐, 兰思仁, 等. 基于形态学性状构建建兰品种核心种质[J]. 分子植物育种, 2019, 17(23): 7924-7934.
- [14] 艾叶, 陈璐, 谢泰祥, 等. 基于SSR荧光标记构建建兰品种核心种质[J]. 园艺学报, 2019, 46(10): 1999-2008.
- [15] 陈明堃, 陈璐, 孙维红, 等. 建兰种质资源遗传多样性分析及核心种质构建[J]. 园艺学报, 2022, 49(1): 175-186.
- [16] 缪黎明, 王神云, 邹明华, 等. 园艺作物核心种质构建的研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(5): 791-800.
- [17] 陈若男, 王紫阳, 於朝广, 等. 65份落羽杉材料表型性状分析及核心种质筛选[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(4): 65-73.
- [18] 赵立民, 李嘉伟, 张飞, 等. 基于表型数据构建切花小菊核心种质[J]. 园艺学报, 2022, 49(10): 2273-2284.
- [19] 李嘉伟, 苏江硕, 张飞, 等. 基于表型性状构建传统菊花核心种质[J]. 中国农业科学, 2021, 54(16): 3514-3526.
- [20] 张莹, 解丰羽, 孙迎坤, 等. 基于表型性状的茶梅初级核心种质构建[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(2): 82-88.
- [21] 钟淮钦, 罗宇婷, 钟声远, 等. 基于表型性状的蝴蝶兰初级核心种质构建[J]. 福建农业学报, 2025, 40(1): 53-62.
- [22] 于秀明, 杜雨, 汪鹏, 等. 基于表型性状的新疆野生黄花苜蓿核心种质构建[J]. 草地学报, 2023, 31(10): 3032-3039.
- [23] 郭宇迪. 墨兰品种的花型数量化定义及全基因组性状关联分析[D]. 佛山: 佛山科学技术学院, 2022: 15.
- [24] 裴帅帅, 牛富婷, 王秋宝, 等. 132份连翘种质资源农艺性状的遗传多样性分析和综合评价[J]. 中国现代中药, 2025, 27(11): 2031-2037.
- [25] 洪冰, 胡婷婷, 弓浩然, 等. 河南小麦品种加工品质特性分析与综合评价[J/OL]. 食品工业科技, 2025-11-12. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2025080093>.
- [26] 龙达, 鄢洪星, 邱林, 等. 信阳市不同油茶种质资源果实品质的综合评价[J/OL]. 经济林研究, 2025-11-20. <https://link.cnki.net/urlid/43.1117.S.20251120.1437.004>.
- [27] LUNAU K, DYER A G. The modelling of flower colour: spectral purity or colour contrast as biologically relevant descriptors of flower colour signals for bees depending upon the perceptual task[J]. Plant Biology, 2024, 26(6): 896-910.
- [28] WEI Y L, JIN J P, YAO X N, et al. Transcriptome analysis reveals clues into leaf-like flower mutant in Chinese orchid *Cymbidium ensifolium*[J]. Plant Diversity, 2020, 42: 92-101.
- [29] SALTHER S N. Darwin and some leading ideas of contemporary Western culture[J]. Ludus Vitalis, 2009, 17(32): 173-178.
- [30] 钟海丰, 钟声远, 陈剑锋, 等. 建兰种质资源主要数量性状变异与概率分级研究[J]. 东南园艺, 2021, 9(5): 8-16.
- [31] 王文越. 牡丹长单花寿命形成机制及花期性状候选基因挖掘[D]. 新乡: 河南科技学院, 2025: 2.
- [32] 毛名义, 杨文荟, 管艳伟, 等. 基于表型性状构建禾初级核心种质[J]. 中国稻米, 2024, 30(1): 18-25.
- [33] 李慧峰, 陈天渊, 黄咏梅, 等. 基于形态性状的甘薯核心种质取样策略研究[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(1): 91-96.
- [34] LIU S L, ZHENG C, XIANG W, et al. A sampling strategy to develop a primary core collection of *Miscanthus* spp. in China based on phenotypic traits[J]. Agronomy, 2022, 12(3): 678.
- [35] LI L, JIANG F, WANG L, et al. Constructing core collections of sorghum for Jiang-flavor Baijiu production in Chishui River Basin[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2025, 72: 7723-7737.
- [36] WANG J C, HU J, GUAN Y J, et al. Effect of the scale of quantitative trait data on the representativeness of a cotton germplasm sub-core collection[J]. Journal of Zhejiang University-Science B (Biomedicine and Biotechnology), 2013, 14(2): 162-170.
- [37] STUDNICKI M, MAJRY W, SCHMIDT J. Comparing the efficiency of sampling strategies to establish a representative in the phenotypic-based genetic diversity core collection of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.)[J]. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 2013, 49(1): 36-47.
- [38] WANG J C, GUAN Y J, WANG Y, et al. A strategy for finding the optimal scale of plant core collection based on Monte Carlo simulation[J]. The Scientific World Journal, 2014, 2014: 503473.
- [39] UPADHYAYA H D, DWIVEDI S L, SINGH S K, et al. Forming core collections in barnyard, kodo, and little millets using morphoagronomic descriptors[J]. Crop Science, 2014, 54: 2673-2682.
- [40] HU J, ZHU J, XU H M. Methods of constructing core collections by stepwise clustering with three sampling strategies based on the genotypic values of crops[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2000, 101(1/2): 264-268.
- [41] GOPAL J, KUMAR V, KUMAR R, et al. Comparison of different approaches to establish a core collection of *Solanum tuberosum* Group *Andigena* potatoes[J]. Potato Research, 2013, 56: 85-98.

(责任编辑: 张明霞)