 DOI：10.13430/j.cnki.jpgr.20250917003

玉兰属品种资源表型多样性分析

李玉萍[1]，王　晶[2]，秦梦瑶[1]，曹丽仙[3]，王亚玲[1]

（[1]海南大学热带农林学院/海南省热带特色林木花卉遗传与种质创新教育部重点实验室，海口 570228；[2]棕榈生态城镇发展股份有限公司，河南郑州 450000；[3]中国林业科学研究院亚热带林业实验中心，江西新余 336600）

摘要：通过综合评价玉兰属品种资源的表型多样性特征，揭示其性状变异规律，建立兼具科学性和实用性的评价体系，筛选综合性状优良的品种，为玉兰属种质创新与定向选育提供理论依据。以 66 份玉兰属品种资源为研究对象，测定其 37 个表型性状，采用变异系数、多样性指数、主成分分析、隶属函数法及聚类分析等多元统计方法，对玉兰属品种资源进行表型多样性分析和综合评价。结果表明，66 份玉兰属品种资源的多样性指数为 0.36~2.15，变异系数为 8.20%~30.02%，花色、花直径、叶片长度等性状多样性指数较高；10 个数量性状间的 45 对性状组合中，34 对的相关性系数达到 0.05 的显著水平，叶片长度与叶片宽呈极显著正相关，而花被片数量与叶片长度呈极显著负相关。主成分分析显示，前 4 个主成分分别代表营养器官整体生长、花部相对大小、花部结构、花梗发育，其累计贡献率达 88.42%，可解释大部分表型变异，表明花部与株型性状是品种鉴别的关键性状。隶属函数法分析表明 66 份玉兰属品种资源的 F 值范围为-1.97~2.4，筛选出弗兰克杰作、赫尔默和星球大战等 10 个综合性状优异的玉兰属品种。聚类分析将玉兰属数量性状和品种资源分别聚为 3 类，R 型聚类结果直观展示了不同数量性状指标之间的关联性,与相关性分析结果一致；Q 型聚类结果将品种分为 3 类，第Ⅰ类为大花乔木型，占比 63.64%，第Ⅱ类为过渡类型，占比 18.18%，第Ⅲ类为小花紧凑型，占比 18.18%。本研究可为玉兰属品种科学评价、高效利用提供依据与方法。

关键词：玉兰属品种资源；表型性状；主成分分析；聚类分析

Phenotypic Diversity Analysis of Yulania Cultivar Resources

LI Yuping[1], WANG Jing[2], QIN Mengyao[1], CAO Lixian[3], WANG Yaling[1]

(*[1] College of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University/Key Laboratory of Genetics and Germplasm Innovation of Tropical Special Forests and Flowers of Ministry of Education, Hainan University, Haikou 570228; [2] Palm Eco-Town Development Co., Ltd., Zhengzhou450000, Henan; [3] Experimental Center of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Xinyu 336600, Jiangxi*)

Abstract: This study aims to reveal the patterns of phenotypic variation in *Yulania* cultivar resources through a comprehensive evaluation of their phenotypic diversity characteristics, establish a scientific and practical evaluation system, screen cultivars with superior comprehensive traits, and provide a theoretical basis for germplasm enhancement and targeted breeding in *Yulania.* Sixty-six *Yulania* cultivar resources were used as research objects, and 37 phenotypic traits were measured. Multiple statistical methods, including the coefficient of variation, diversity index, principal component analysis, membership function method, and cluster analysis, were employed to analyze phenotypic diversity and conduct a comprehensive evaluation. The results showed that the diversity index of the 66 *Yulania* cultivar resources ranged from 0.36 to 2.15 and the coefficient of variation ranged from 8.20% to

收稿日期：2025-09-17　　**网络出版日期：**
URL:https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250917003
第一作者研究方向为园林植物种质资源与遗传育种，E-mail : 3516529226@qq.com
通信作者：王亚玲，研究方向为木兰科植物育种及应用推广，E-mail :996216@hainanu.edu.cn
基金项目：海南省重点研发项目(ZDYF2025XDNY071);国家林业和草原局林业科技发展项目(KJZXZF2019003)；陕西省科学技术厅创新人才推进计划-科技创新团队项目(2021TD-33)
Foundation projects: Hainan Provincial Key R&D Program (ZDYF2025XDNY071); National Forestry and Grassland Administration Forestry Science and Technology Development Project (KJZXZF2019003); Shaanxi Provincial Department of Science and Technology Innovation Talent Promotion Plan—Science and Technology Innovation Team Project (2021TD-33)

30.02%. Traits such as flower color, flower diameter, and leaf length exhibited high diversity indices. Among the 45 pairs of combinations of 10 quantitative traits, 34 pairs showed correlation coefficients significant at the 0.05 level, leaf length was significantly positively correlated with leaf width, while it was significantly negatively correlated with the number of tepals..Principal component analysis indicated that the top four principal components were overall growth of vegetative organs (PC1), relative flower size (PC2), floral structure (PC3), and pedicel development (PC4), collectively accounting for 88.42% of the cumulative contribution rate and covering the core morphological variations. This suggests that floral and plant architecture traits are key classification indicators. Using the membership function method, the F-values of the 66 *Yulania* cultivar resources were calculated to range from -1.97 to 2.4, leading to the identification of 10*Yulania* cultivars with outstanding comprehensive traits ,including Frank's Masterpiece, Helmer, and Star Wars. Cluster analysis categorized the quantitative traits and cultivar resources into three groups each. The R-type clustering results visually demonstrated the associations among different quantitative trait indicators, consistent with the correlation analysis results. The Q-type clustering results divided the cultivars into three categories: Group I, comprising large-flowered arboreal types (63.64%); Group II, comprising transitional types (18.18%); and Group III, comprising small-flowered compact types (18.18%). This study provides a basis and methodology for the scientific evaluation and efficient utilization of *Yulania* cultivar resources.

Key words: *Yulania* cultivar resources; phenotypic traits; principal component analysis; cluster analysis

玉兰属（*Yulania Spach*）是木兰科（Magnoliaceae）植物中最重要的观赏类群之一。中国暖温带是玉兰属植物的现代分布中心和多样性中心[1-2]。玉兰属植物也是中国栽培最久和最普及的木本花卉之一，树姿挺拔，花色丰富，花型优美，香气怡人，观赏价值极高，是优秀的园林绿化早春观花树种，部分种类还兼具药用和香用，具有重要的生态价值、经济价值和文化寓意[3]。玉兰属包括多种落叶乔灌木，常见的栽培种类有紫玉兰（*Y. liliiflora*)、白玉兰（*Y. denudata*)、二乔玉兰（*Y.*×*soulangeana*)及望春玉兰（*Y.biondii*)等[4]。当前，玉兰属植物种质创新以杂交育种为主要手段，通过属间、种间或品种间杂交获得兼具观赏性与适应性的后代。然而，该过程存在童期长、性状分离复杂等问题，导致新品种选育周期长、效率低。陕西省西安植物园木兰资源保护和利用团队通过筛选自然变异单株和人工杂交后代，已成功培育出玉灯、小璇和紫韵等多个代表性新品种[5-7]。这些品种在花型、花色及株型等性状上呈现显著分化且遗传稳定，为表型多样性研究提供了丰富材料。截至 2022 年，全球育成的木兰科植物新品种超 2000 个[8]，但实际应用仍集中在少数传统品种。

玉兰属植物作为我国传统观赏花木，其丰富的表型是种质资源遗传多样性的直观体现。玉兰属栽培品种繁多，表型变异显著，花色可以分为白色系、黄色系、黄绿色系、粉色系、红色系和紫色系 6 个色系[9]；花被片形状从狭长圆形、披针形、卵形至近圆形，变化丰富，涵盖多种形态类型；小枝颜色及叶片先端与基部形状也呈现出丰富变异。目前，玉兰属植物在系统分类、遗传规律、起源与分布、种质资源调查、引种驯化、迁地保护和新品种选育等多个领域取得进展[1,3,10]。植物的表型是其自身基因型与环境相互作用的

综合结果，在排除环境干扰条件下，能够直观反映其遗传特征。目前，玉兰属种质资源的表型性状变异规律及鉴定评价研究仍较匮乏，缺乏系统性分析。本研究基于特异性、一致性和稳定性（DUS，distinctness, uniformity and stability）测试指南，系统观测 66 份玉兰属品种资源的 37 个表型性状，通过量化分析花被片数量、花枝节间长度、花色参数等关键性状，揭示其表型变异丰富度及关联规律，为玉兰属新品种选育、测试及高效育种提供理论依。

1 材料与方法

1.1 试验材料

66 份玉兰属品种资源（表 1）引种自瑞典农业大学（46 份）及西安植物园（20 份），定植于河南省平顶山郏县豫兰生态科技有限公司木兰新品种研发基地（33.97°N，113.22°E，海拔 175 m）。供试材料在种质资源圃中定植 5 年以上，统一水肥管理。所有表型性状于 2024 年和 2025 年连续观测，花部性状于每年春季 3-4 月观测，叶部性状于每年 8-9 月观测。

表 1 玉兰属品种资源名录

Table 1 Inventory of *Yulania* cultivar resources

编号 No.	品种名 CultivarName	杂交组合及来源 Origin/Parentage	编号 No.	品种名 CultivarName	杂交组合及来源 Origin/Parentage
1	金光	*Yulania acuminata* 实生选育	34	紫嫣	*Y.soulangeana*
2	金杯	'Lennei' × 'Elizabeth'	35	黄鸟	'Evamaria'×*acuminata* var. *subcordata*
3	诺曼古尔德	*Y. kobus* 人工诱变	36	丹馨	*Y.soulangeana*
4	简普兰特	*Y. stellata* 实生选育	37	皮鲁埃特	*Y.*×*loebneri* ('Ballerina'×实生选育)
5	菊花	*Y.*×*loebneri*	38	尼尔	*Y. stellata* 实生选育
6	皇冠	*liliiflora*×*veitchii*	39	艾俄兰斯	'Lennei'×'Mark Jury'
7	长安西施	*Y.*×*soulangeana*	40	简	*liliiflora*×*stellata*
8	佛兰克杰作	'Deep Purple Dream' × 'Paul Cook'	41	狄娃	*Y. sprengeri.* 实生选育
9	爱娃玛瑞	*acuminata*×*liliiflora*	42	梅丽尔	*Y.*×*loebneri*
10	瓦达的回忆	*kobus*×*salicifolia*	43	瓦达的油画	*Y.soulangeana*
11	金色弗兰克	*Y. acuminata* 实生选育	44	热电	'Woodsman'×'Elizabeth'
12	赫尔默	*acuminata*×*sargentiana*	45	拉赫姆	*acuminata*×*sargentiana*
13	粉人	*liliiflora* 'Reflorescens'×*stellata* 'Rosea'	46	艾斯佛雷	*Y. salicifolia* 实生选育
14	瑞奇	*liliiflora* 'Nigra'×*stellata*	47	日出	'Woodsman'×'Tina Durio'
15	布鲁克林	*acuminata*×*liliiflor*a	48	画廊	*liliiflora* 'Nigra'×'Diva'
16	莱纳德	*Y.*×*loebneri*	49	黄色灯笼	'Miss Honeybee'×'Alexandrina'
17	苏珊	*liliiflora* 'Nigra'×*stellata* 'Rosea'	50	绿星	*Y. cylindrica* 芽变
18	兰迪	*liliiflora* 'Nigra' × *stellata*	51	鲁布拉	*Y.*×*soulangeana*
19	白玫瑰	*Y.* ×*loebneri* ('Ballerina' ×实生选育)	52	金色礼物	('Miss Honeybee'×[*acuminata*×*denudata*])
20	如兰	来源不明	53	红玉	'Yudeng'×*virdula*
21	复色	'Woodsman'×'Elizabeth'	54	林奈	*Y.*×*soulangean*a
22	小可人	*cylindrica*×'Galaxy'	55	贝蒂	*liliiflora* 'Nigra'×*stellata* 'Rosea'
23	玉灯	*Y. denudata* 芽变	56	美脉	*Y. denudata* 实生选育
24	星球大战	*campbellii*×*liliiflora*	57	银河	*liliiflora* 'Nigra'×'Diva'
25	春天喜悦	'Royal Star'×'Wada's Memory'	58	柳叶	*Y. salicifolia* 单株无性系
26	朱迪	*liliiflora* 'Nigra'×*stellata*	59	安妮	*liliiflora* 'Nigra'×*stellata* 'Rosea'
27	白玫瑰 2	*Y.* ×*loebneri* ('Ballerina'×实生选育)	60	德清 4#	*liliiflora* 'Nigra'×*stellata* 'Rosea'

28	五峰	*Y. sprengeri* 实生选育	61	德清 5#	*liliiflora* 'Nigra'×*stellata* 'Rosea'
29	一个女孩	*liliiflora 'Nigra'×stellata*	62	黑色蝴蝶	*Y. cylindrica var. purpurascens*×'Hong Yuanbao'
30	洛伊思	*acuminata*×'Elizabeth' sibling	63	红运	*Y.*×*soulangean*a
31	青皮	*Y.virdula* 单株无性系	64	简爱	*Y.*×*loebneri*
32	景新	*Y. sinostellata* 实生选育	65	詹妮	*liliiflora 'Nigra'*×*stellata 'Rosea'*
33	红元宝	*Y. liliiflora* 实生选育	66	皮卡德红宝石	*Y.*×*soulangean*a

1.2 试验方法

1.2.1 性状选取与测量 参考 LY/T2097—2013《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 木兰属》[11]及实地测量性状，选取植株、枝、叶、花 4 类性状，包括花直径、花梗长度、花被片数量等 10 个数量性状，花型、第一轮花被片形状、外侧的主色等 18 个假质量性状，以及第一轮花被片外侧的第三色有和无等 9 个质量性状，共计 37 个具有代表性且稳定表达的表型性状，进行赋值(详见 https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250917003，附表 1)。

采用精度为 0.01 cm 的标准直尺测量数量性状；通过目测法测定质量性状；使用英国皇家园艺学会（RHS, Royal Horticultural Society）比色卡进行颜色性状测定并记录[12]。测量时，每个性状至少测量 6 株独立个体，每株重复 2 次，数量性状测量数据取平均值，质量性状和假质量性状以 60%样本表现的性状类型为准。

1.2.2 性状测试方法及时间 （1）植株性状观测在休眠期进行。（2）一年生小枝颜色观测部位为植株上半部向阳面枝条；花枝节间长度观测部位为开花枝条的中段；佛焰苞颜色观测需在盛花期前、佛焰苞苞片脱落前完成。（3）成熟叶片观测位置为植株上半部朝南面当年生枝条中段完全展开的叶片。（4）花部性状观测于盛花期进行，若存在多次开花现象则以首次开花期为观测时段；观测时选择晴朗天气下植株上半部完全开放的花朵，观测时间为雄蕊群不紧抱柱头且花药开始散粉时。花被片性状观测中，萼片状花被片指第一轮花被片，其大小、质地与花瓣状花被片存在明显区别；若无萼片状花被片，则第一轮花被片视为第一轮花瓣状花被片。颜色观测时，主色为占表面积最大的颜色，第二色为占表面积第二大的颜色，第三色为占表面积第三大的颜色。若主色与第二色面积相近难以区分，以较深颜色为主色；若第二色与第三色面积相近难以区分，较深颜色为第二色。

1.3 数据分析

运用 Excel 2019 软件对原始数据进行整理分析，分别计算数量性状平均值、最大值、最小值、中值、极差、标准差、变异系数和多样性指数各项指标参数。质量性状及假质量性状根据各类型分布情况计算多样性指数。

利用 SPSS 25.0 软件对数据进行正态性检验、相关性分析、主成分分析及聚类分析。参照张江妹等[13]和李景豪等[14]综合评价方法，首先对 10 个数量性状原始数据进行标准化处理，基于累计贡献率≥85%的主成分提取结果，通过特征向量系数构建得分函数，并以主成分方差贡献率为权重建立表型综合评价模型。

分析中使用的箱线图和聚类图在 Origin 和 Photoshop 中绘制而成。

2 结果与分析

2.1 玉兰属品种资源表型多样性分析

2.1.1 质量性状和假质量性状多样性分析 经对调查数据取均值并处理缺失值后，对 66 份品种的 27 个质量性状和假质量性状数据进行频率分布及多样性分析（表 2），结果表明，27 个性状共检测到 153 个变异类型，平均每个性状的变异类型为 5.67 个。各性状的变异类型的频率分布存在差异，其中第一轮花瓣状花被片外侧的主色、第一轮花瓣状花被片的第二色和第二轮花瓣状花被片外侧的第二色变异类型数最多，均表现出 11 种类型；第一轮花瓣状花被片外侧第二色的位置（10 种类型）和第二轮花瓣状花被片外侧的主色（10 种类型）次之；花蕾在花枝上的位置、叶片背面颜色、萼片状花被片有和无、第一轮花瓣状花被片外侧的第三色有无和第一轮花瓣状花被片内侧第二色的分布变异类型数最少，均表现 2 种类型。

27 个质量性状及假质量性状的多样性指数范围为 0.36~2.15，其中 19 个性状的多样性指数大于 1，表明玉兰属品种资源的质量性状和假质量性状的多样性水平较高。第一轮花瓣状花被片形状中倒卵形（占比 26.19%）和狭倒卵形（占比 23.62%）为优势表型，但仍存在其他丰富的形状表现。第一轮花瓣状花被片外侧第三色有和无的频率分别为 88.10%和 11.09%，叶片背面颜色的频率分布分别为绿色 82.30%和黄绿色 17.70%，表现出高度保守的表型。第一轮花瓣状花被片外侧的主色、第一轮花瓣状花被片外侧的第二色、第一轮花瓣状花被片外侧第二色的位置、第一轮花瓣状花被片形状和第二轮花瓣状花被片外侧的第二色的多样性指数超过 1.72，并且变异范围较大，表明这 5 个质量性状的多样性水平较高，可作为玉兰属品种鉴别、新品种测试指标优化的重要参考性状。

表 2 玉兰属品种质量性状及假质量性状分析

Table 2 Analysis of qualitative and pseudo-qualitative characteristics in *Yulania*

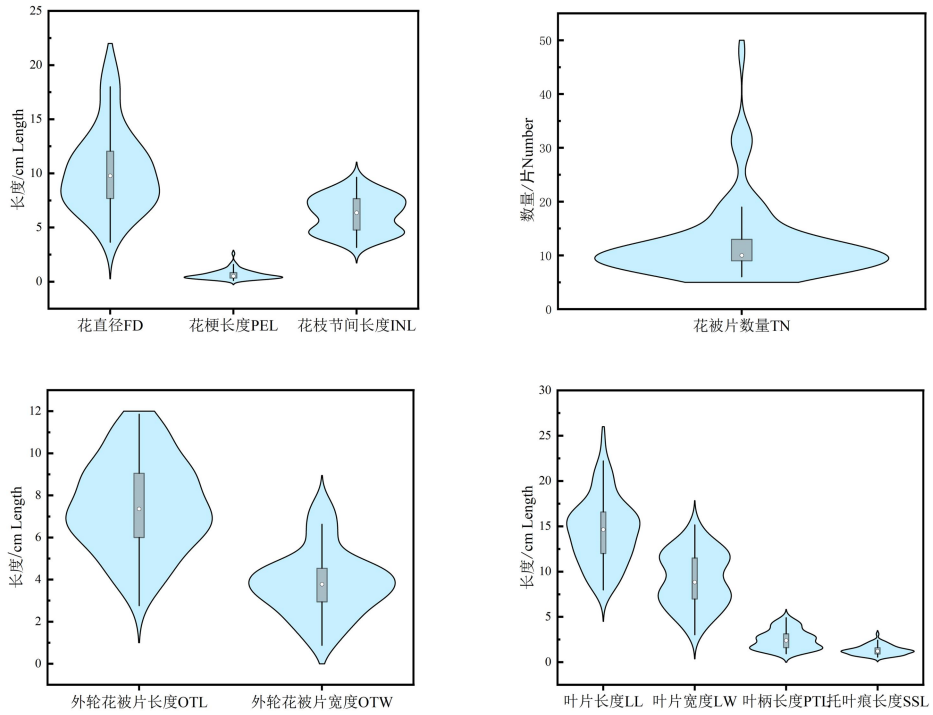
性状 Characteristics	频率分布(%) Frequency distribution											多样性指数 *H'*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
植株生长习性 PGH	29.73	45.10	21.62	3.55	0							1.17
花蕾在花枝上的位置 PFB	71.17	28.83	0									0.60
一年生小枝颜色 OST	15.38	37.36	24.18	7.69	13.19	0						1.46
叶片基部形状 LSB	50.55	28.57	12.09	4.40	2.20	0	0					1.18
叶片先端形状 LSA	1.10	15.38	7.69	2.20	24.18	48.35	1.10	3.30				1.48
叶片背面颜色 LCU	82.30	17.70	0									0.50
叶片腹面颜色 LCL	50.55	38.46	10.99									0.96
叶片质地 LT	52.25	34.23	11.71	1.80	0	0						1.03
佛焰苞颜色 CSB	35.16	52.75	1.10	6.59	2.20	1.10						1.07
花型 FF	0	0	10.71	5.95	53.57	0	3.57	4.76	0	16.67	4.76	1.45
萼片状花被片有无 ST	45.20	54.80										0.69
第一轮花瓣状花被片形状 FTS	2.38	2.38	0	8.33	26.19	23.62	7.24	4.95	25.00			1.78
第一轮花瓣状花被片外侧的主色 FTM	15.48	36.90	23.81	10.71	4.76	2.38	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.73
第一轮花瓣状花被片外侧的第二色 FTC	27.38	2.38	3.57	17.86	5.95	1.19	2.38	1.19	2.38	1.19	33.33	1.74
第一轮花瓣状花被片外侧第二色的	36.90	11.90	5.95	13.10	7.14	2.38	9.52	3.57	7.14	7.14	0	2.15

位置 FTD												
第一轮花瓣状花被片外侧第二色的分布 FTP	35.71	26.19	36.90	1.19	0	0	0					1.14
第一轮花瓣状花被片外侧的第三色有无 FTT	88.10	11.90										0.36
第一轮花瓣状花被片内侧的主色 FMS	68.75	8.00	11.00	5.00	1.00							0.90
第一轮花瓣状花被片内侧的第二色 FTO	19.05	23.81	19.05	9.52	9.50	14.29						1.70
第一轮花瓣状花被片内侧第二色的位置 FSP	63.33	18.33	3.33	1.67	5.00	1.67	6.67	0	0	0	0	1.18
第一轮花瓣状花被片内侧第二色的分布 FSO	68.18	31.82	0	0	0	0	0					0.63
第二轮花瓣状花被片外侧的主色 STM	36.90	25.00	14.29	10.71	3.57	2.38	1.19	1.19	1.19	1.19		1.65
第二轮花瓣状花被片外侧的第二色 STD	36.90	28.57	15.48	5.59	3.57	3.57	2.38	2.38	1.19	1.19	1.19	1.75
第二轮花瓣状花被片外侧第二色的位置 STS	39.28	15.48	5.95	17.86	8.33	2.38	0	0	0	0	0	1.43
第二轮花瓣状花被片外侧第二色的分布 STP	40.48	25	35.52	0	0	0	0					1.08
花丝颜色 SCF	69.77	23.26	5.81	1.16	0							0.81
柱头颜色 GCS	58.33	22.62	11.9	5.95	1.19	0						1.13

表中性状赋值同附表 1

The characteristics coding in this table follows appendix table 1; PGH：Growth habit of plant；PFB：Position of flower buds；OST：Color of one-year-old shoot；LSB：Shape of base of leaf blade；LSA：Shape of apex of leaf blade；LCU：Color of upper side of leaf blade；LCL：Color of lower side of leaf blade；LT：Texture of leaf blade；CSB：Color of spathaceous bract；FF：Flower form；ST: Sepaloid tepals；FTS：Shape of first whorl petaloid tepals；FTM：Main color of outer side of first whorl petaloid tepals；FTC：Secondary color of outer side of first whorl petaloid tepals；FTD：Distribution of secondary color on outer side of first whorl petaloid tepals；FTP：Pattern of secondary color of outer side on first whorl petaloid tepals；FTT：Tertiary color of outer side of first whorl petaloid tepals；FMS：Main color of inner side of first whorl petaloid tepals；FTO：Secondary color of inner side of first whorl petaloid tepals；FSP：Distribution of secondary color on inner side of first whorl petaloid tepals；FSO：Pattern of secondary color of inner side on first whorl petaloid tepals；STM：Main color of outer side of second whorl petaloid tepals; STD: Secondary color of outer side of second whorl petaloid tepals; STS：Distribution of secondary color on outer side of second whorl petaloid tepals; STP: Pattern of secondary color of outer side on second whorl petaloid tepals; SCF: Color of filament of stamens；GCS: Color of stigma of gynoecium

2.1.2 数量性状多样性分析　玉兰属品种资源数量性状的数据分布见图 1。正态性检验结果显示，花直径、外轮花被片长度和叶片长度的 *P* 值大于 0.05，表明这 3 个性状的数据符合正态分布，其余数量性状的数据均不符合正态分布。



中心白色圆圈代表中位数，中央直线代表各数量性状数据分布范围，外侧曲线为密度曲线

The central white circle represents the median, the box and whiskers depict the data spread for each quantitative trait, and the outer curve is the density curve

图 1 玉兰属品种数量性状数据分布

Fig. 1 Data distribution of quantitative characteristics in *Yulania* cultivar resources

对玉兰属品种资源 10 个数量性状的多样性进行统计分析（表 3），包括枝条、花部和叶片的形态特征。66 份玉兰属品种资源间数量性状变异系数范围为 8.20%~30.02%，说明数量性状的变异幅度相对较大。其中叶柄长度的变异系数最大，托叶痕长度次之，花梗长度第三，均大于 20%，说明这 3 个数量性状的离散程度相对较高，遗传改良潜力较大。花被片数量和外轮花被片长度的变异系数较小，表明这两个性状在种群内遗传相对稳定，可作为鉴定玉兰属品种分类的关键特征。就性状变异的极差来看，花被片数量的极差最大，达到了 49.00 片；外轮花被片长度的极差也较大，但二者的变异系数均处于较低水平，说明尽管这两个性状的绝对变异幅度较广，但因变异系数较小，其相对自身均值的低波动特性未受到影响，因此不影响其作为稳定分类特征的核心价值。花直径的极差也较大，变异系数相对较高，说明其不仅绝对变异范围广，相对自身均值的波动也更为显著，因此具有高度的表型可塑性。

表 3 玉兰属品种数量性状分析

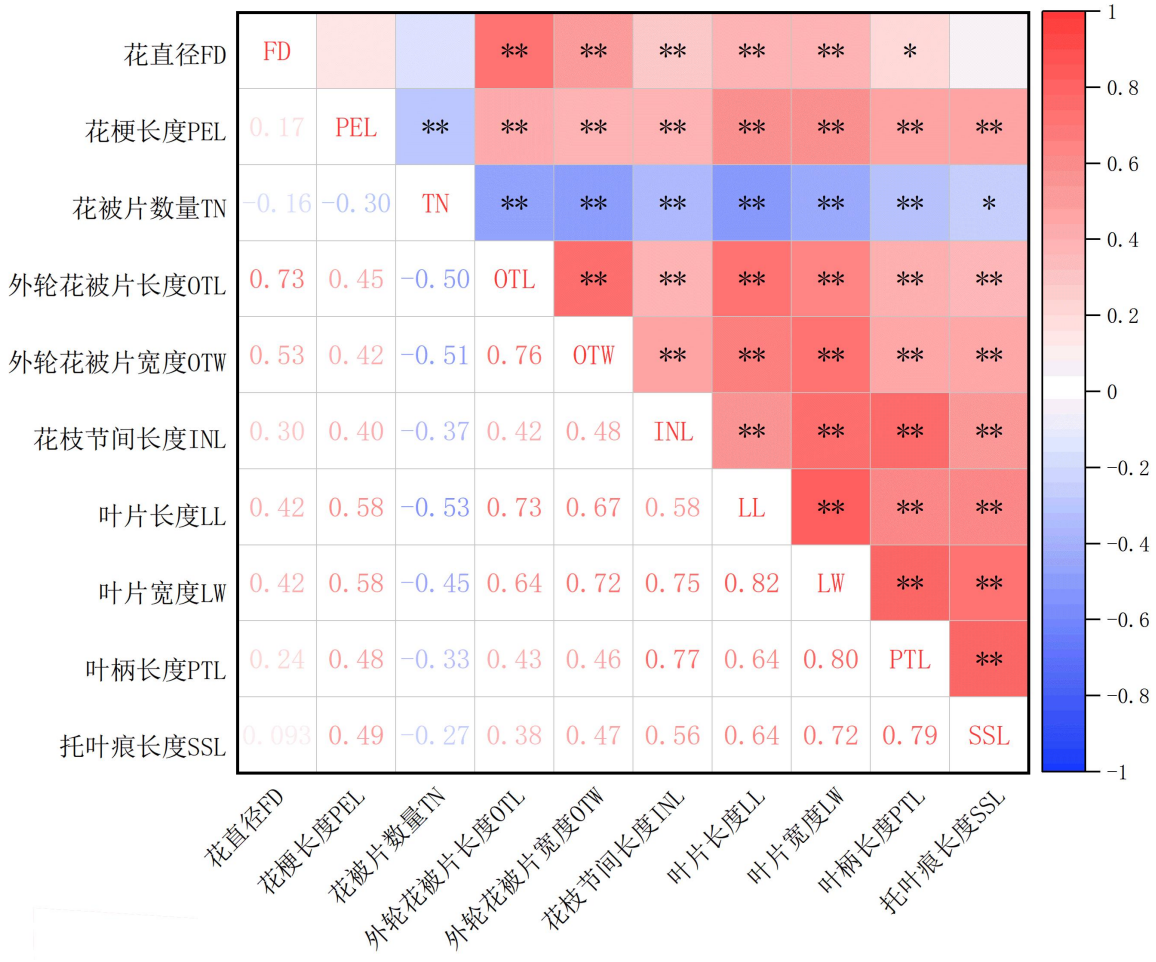
Table 3. Analysis of quantitative characteristics in *Yulania*

性状 Characteristics	最大值 Max.	最小值 Min.	中值 Med.	极差 Range	平均值 Mean	标准差 *SD*	变异系数（%） *CV*
花枝节间长度（cm）INL	13.50	2.20	6.75	11.30	4.24	1.26	19.59
叶片长度（cm）LL	30.50	2.30	15.20	28.20	14.33	1.93	13.28
叶片宽度（cm）LW	20.60	2.30	9.55	18.30	8.97	1.35	14.43
叶柄长度（cm）PTL	14.40	0.60	2.50	13.80	2.49	0.91	30.02

托叶痕长度（cm）SSL	7.00	0.10	1.20	6.90	1.31	0.40	27.66
花梗长度（cm）PEL	3.10	0.10	0.55	3.00	0.64	0.14	22.32
花直径（cm）FD	23.00	1.00	10.39	22.00	10.19	1.23	12.52
花被片数量 TN	55.00	6.00	9.00	49.00	12.85	1.15	8.20
外轮花被片长度（cm）OTL	13.60	1.10	7.25	12.50	7.39	0.77	10.29
外轮花被片宽度（cm）OTW	9.50	0.30	3.63	9.20	3.78	0.69	17.24

INL: Internode length of flowering shoot; LL: Leaf length; LW: Leaf width; PTL: Petiole length; SSL: Stipule scar length; PEL: Pedicel length; FD: Flower diameter; TN: Tepal number; OTL: Outer tepal length; OTW: Outer tepal width; The same as below

2.2 玉兰属品种资源数量性状相关性分析



*表示在 0.05 水平显著相关；**表示在 0.01 水平极显著相关

* indicates significant correlation at $P<0.05$ level ; ** indicates highly significant correlation at $P<0.01$ level

图 2 玉兰属品种数量性状相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of quantitative **characteristics** in *Yulania* cultivar resources

进一步对 10 个数量性状进行相关性进行分析（图 2）。10 个性状间 45 对性状组合中，34 对达到显著或极显著相关，其中正相关 25 对，负相关 9 对。叶片长度与叶片宽度之间呈极显著正相关（r=0.82），花被片数量与叶片长度呈极显著负相关（r=-0.53）。

花直径与外轮花被片长度、外轮花被片宽度、叶片长度和叶片宽度均呈极显著正相关，与花梗长度、托叶痕长度呈不显著正相关，表明花直径不仅与花被片的大小存在显著协同性，还与叶片、花梗及托叶痕的生长存在一

定程度的关联，花直径较大的植株，叶片也倾向于更大。花梗长度与叶片长度、叶片宽度、叶柄长度、托叶痕长度均呈极显著正相关，与花被片数量呈极显著负相关，表明花梗较长的花，花被片数目多数较少。花被片数量与外轮花被片长度、外轮花被片宽度均呈极显著负相关，当花被片数量增加时，外轮花被片长度、外轮花被片宽普遍减小。叶片长度与叶片宽度呈极显著正相关，且二者均与叶柄长度、托叶痕长度极显著正相关，表明叶片各性状指标可能受共同遗传机制调控。花枝节间长度与叶片宽度、叶柄长度、托叶痕长度均呈极显著正相关，说明花枝节间较长的枝条，其叶片和叶柄也倾向于更长。托叶痕长度与花梗长度呈极显著正相关。综上所述，玉兰属品种资源大部分表型性状间表现为相互影响的关系。

2.3 玉兰属品种资源数量性状主成分及综合评价分析

2.3.1 主成分分析 为探究各性状对表型变异的贡献，对 66 份玉兰属品种资源的 10 个数量性状进行主成分分析（表 4），以累计方差贡献率>85%为标准提取到 4 个主成分，累计方差贡献率达到 88.446%，可以代表原始数据大于 85%的信息量。第 1 主成分特征值为 5.979，方差贡献率为 59.794%，其中特征向量较大的是叶片宽度（0.932）、叶片长度（0.920）、叶柄长度（0.800）和花枝节间长度（0.831），代表植株整体大小维度。第 2 主成分特征值为 1.465，方差贡献率为 14.648%，主要以花直径和外轮花被片长度这 2 个性状为主，揭示了花直径和外轮花被片长度是体现花大小的关键性状。第 3 主成分特征值为 0.736，方差贡献率为 7.364%，主要由花被片数量（0.718） 主导，辅以花直径（0.407）。第 4 主成分特征值为 0.664，方差贡献率为 6.640%，特征向量较大的性状为花梗长度（0.750）。因此，在育种实践中，若以株型或观叶为主要目标，应重点考察第 1 主成分中载荷较高的叶片性状；若以培育大花品种为目标，则应重点关注第 2 主成分所代表的花部性状；育种时可结合多个主成分中的代表性性状进行综合筛选。

表 4 玉兰属品种数量性状主成分分析

Table 4 Principal component analysis of quantitative characteristics in *Yulania* cultivars

性状	主成分 Principal components			
Characteristics	PC1	PC2	PC3	PC4
叶片宽度 LW	0.932	0.124	0.098	-0.028
叶片长度 LL	0.920	-0.077	-0.026	0.070
叶柄长度 PTL	0.800	0.458	0.137	-0.135
外轮花被片宽度 OTW	0.809	-0.299	-0.081	-0.069
外轮花被片长度 OTL	0.791	-0.526	0.027	0.009
花枝节间长度 INL	0.831	0.341	0.122	-0.163
托叶痕长度 SSL	0.755	0.515	0.021	-0.096
花直径 FD	0.548	-0.666	0.407	-0.097
花被片数量 TN	-0.610	0.190	0.718	0.166
花梗长度 PEL	0.642	0.086	-0.054	0.750
特征值 Eigenvalue	5.979	1.465	0.736	0.664
方差贡献率(%)Variance contribution rate	59.794	14.648	7.364	6.640
累计贡献率(%)Cumulative variance contribution rate	59.794	74.442	81.806	88.446

2.3.2 **综合评价**　对玉兰属品种资源进行综合评价，在主成分分析降维的基础上，计算各品种的综合评价得分（F 值）。首先根据特征向量矩阵及标准化后的 10 个表型性状数据得到各品种在 4 个主成分的得分系数（表 5），再根据主成分分析结果分别计算各个主成分得分。将主成分依次代入表 5 中对应的系数进行计算。为消除各主成分得分间的量纲差异，将 4 个主成分得分用隶属函数归一化处理，最后根据各因子的贡献率计算对应因子的权重系数，得到综合评价 F 值，其计算公式为：$F=0.57394F_1+0.14005F_2+0.0827F_3+0.06742F_4$。

66 份玉兰品种资源的综合得分 F 值变化范围为-1.97~2.4，均值为 0.07（详见详见 https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250917003，附表 2）。综合表现前 10 的品种分别为‘弗兰克杰作’、‘赫尔默’、‘金色弗兰克’、‘黄色灯笼’、‘艾俄兰斯’、‘如兰’、‘星球大战’、‘贝蒂’、‘爱娃玛瑞’和‘复色’（图 3）。其中‘弗兰克杰作’得分值最高，花大色艳，花型硕大，花直径 25 cm 左右，展现出优异的综合表型。上述 10 个品种在大花（花直径 10~20 cm)、花被片颜色丰富(外轮花瓣状花被片第二色，外轮花瓣状花被片第二色的位置）等目标性状上具有优势，可作为具有潜在育种价值的候选材料进行深入研究。

表 5 主成分得分系数

Table 5 Principal component score coefficients

性状	成分得分系数矩阵 Matrix of component score coefficients			
Characteristics	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
叶片宽度 LW	3.11	0.86	0.73	-0.29
叶片长度 LL	-2.20	0.17	0.73	-0.72
叶柄长度 PTL	-3.58	-3.85	-2.35	1.92
外轮花被片宽度 OTW	-3.49	2.84	0.89	0.46
外轮花被片长度 OTL	1.26	-1.64	0.07	0.42
花枝节间长度 INL	0.44	0.32	0.28	-0.57
托叶痕长度 SSL	4.70	6.24	1.42	0.85
花直径 FD	1.64	-4.34	3.58	-0.17
花被片数量 TN	-0.05	0.03	0.16	0.08
花梗长度 PEL	3.11	1.71	-2.11	9.08

1~10 分别为玉兰‘弗兰克杰作’、‘赫尔默’、‘金色弗兰克’、‘黄色灯笼’、‘艾俄兰斯’、‘如兰’、‘星球大战’、‘贝蒂’、‘爱娃玛瑞’、‘复色’

1-10 were respectively 'Frank's Masterpiece', 'Helmer', 'Gold Flinck', 'Yellow Lantern', 'Iolanthe', 'Rullan' ,'Star Wars','Betty,"Eva Maria' ,'Sunsation'

图 3 综合得分前 10 的玉兰品种

Fig. 3 Top 10 *Yulania* cultivars ranked by comprehensive evaluation score

2.4 玉兰属品种资源数量性状聚类分析

2.4.1 R 型聚类分析 对 10 个数量性状进行 R 型聚类分析，可划分为 3 个结构清晰的类群（图 4），该结果是对相关性分析所揭示的性状协同变异规律的凝练与可视化。第 I 类包含花直径、外轮花被片长度和宽度，各性状间存在显著正相关，主要反映花大小情况。第 II 类包含叶片长度、叶片宽度、叶柄长度和托叶痕长度等，主要反映叶部性状。第 III 类仅包含花被片数量，其独立性源于它与前两类多数性状间缺乏显著相关或呈负相关，与其他形态特征属于不同分类维度。

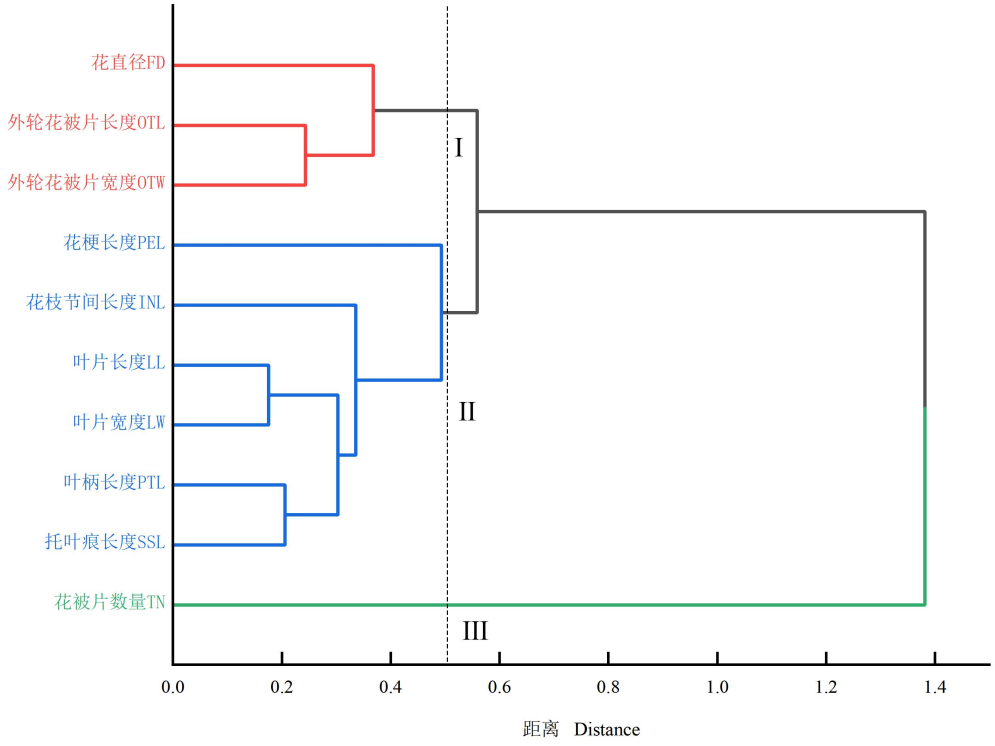
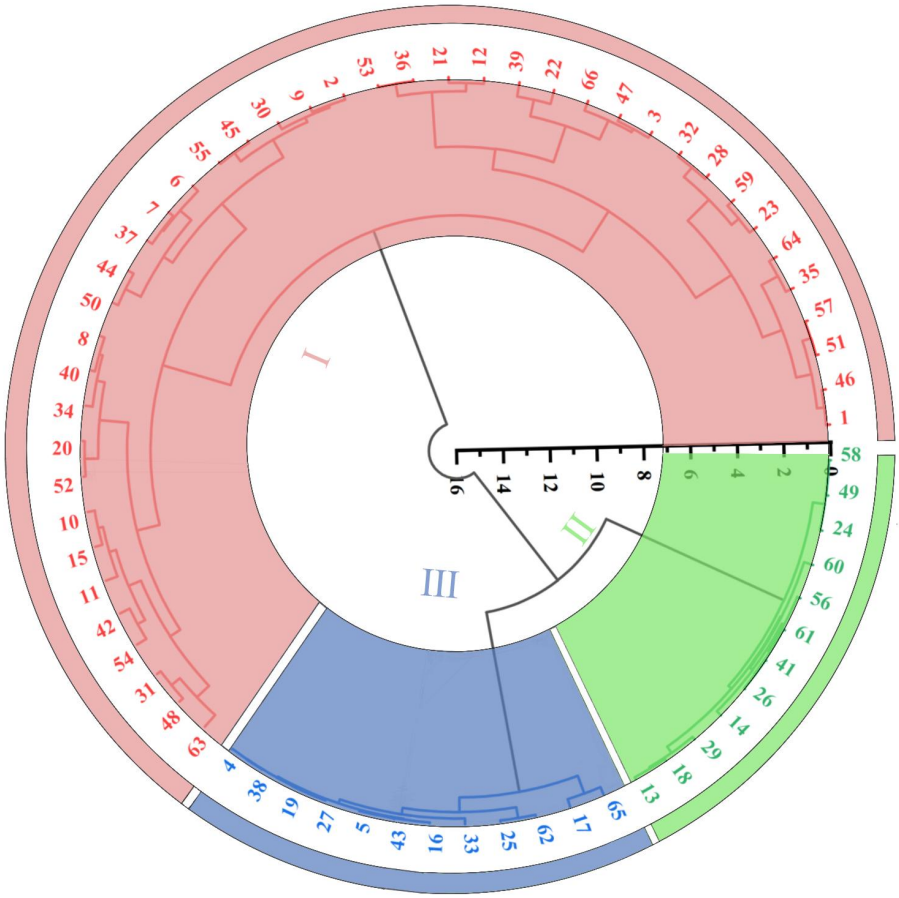


图 4 玉兰属品种数量性状 R 型聚类分析

Fig. 4 R-type cluster analysis of quantitative traits in *Yulania* cultivar resources

2.4.2 Q 型聚类分析 上述 R 型聚类揭示了数量性状间的关联结构，而 Q 型聚类的目的在于基于数量性状的综合信息对品种进行分类。根据 10 个数量性状，进一步采用 Q 型聚类可将 66 份玉兰品种资源分为 3 大类（图 5），第 I 类包含 42 个品种，第 II 类包含 12 个品种，第 III 类包含 12 个品种。



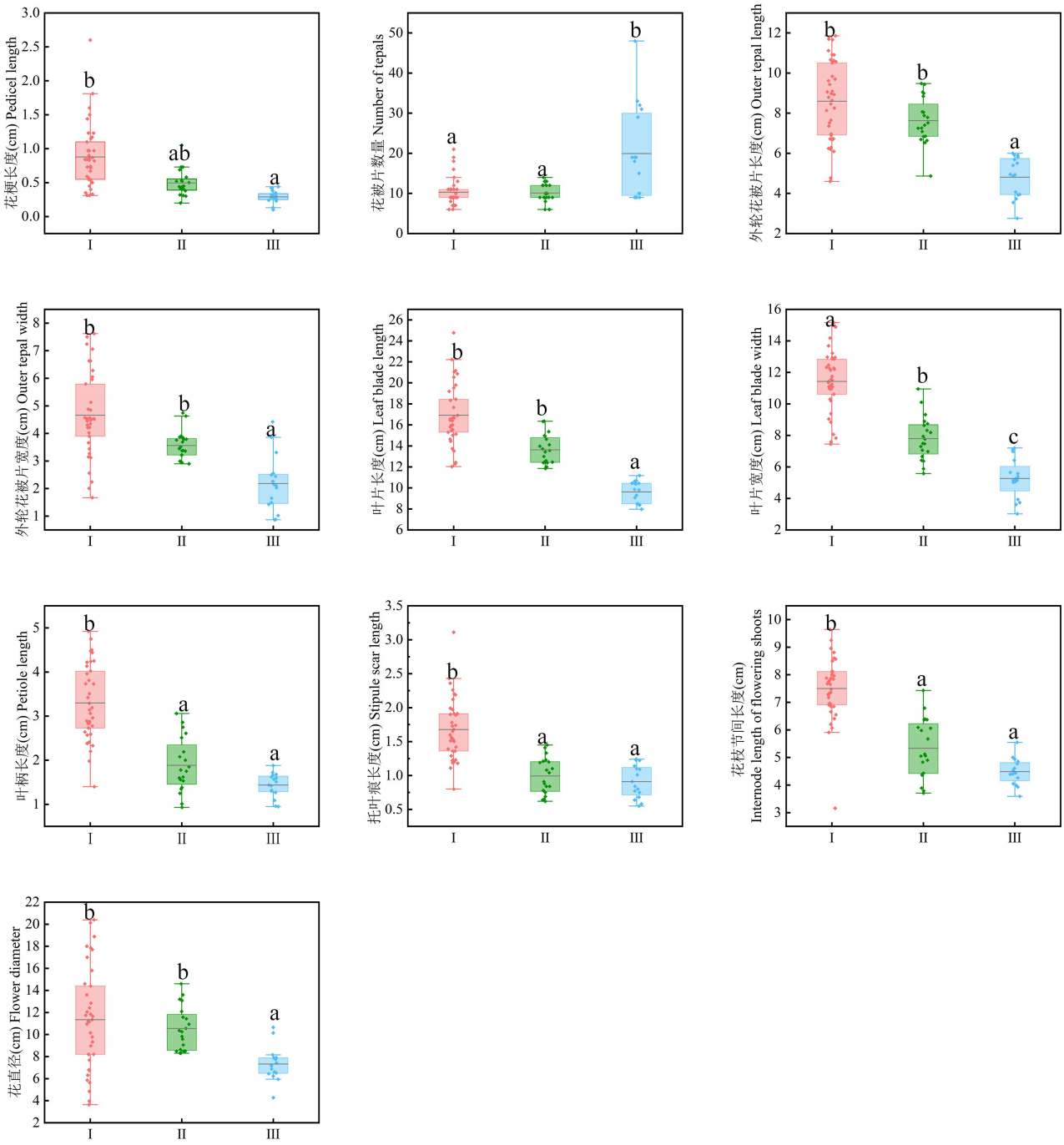
品种编号同表 1

Cultivar designations correspond with those in table 1

图 5 基于数量性状的玉兰属品种 Q 型聚类分析

Fig. 5 Q-type cluster analysis based on quantitative characteristics of *Yulania* cultivars

进一步对不同聚类组群品种的 10 个数量性状进行差异分析，发现 10 个性状均存在不同程度的差异（图 6）。第 I 类的花梗长度、花枝节间长度、叶片长度、叶片宽度和托叶痕长度显著高于第 II、III 类，第 II 类的花直径、外轮花被片长度和宽度显著高于第 III 组，第 III 组的花被片数量显著高于第 I、II 类。



不同小写字母表示 $P < 0.05$ 差异显著

Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$

图 6 各类群玉兰属品种数量性状对比分析

Fig. 6 Comparative analysis of quantitative characteristics among clustered groups of *Yulania* cultivars

结合聚类分析和对比分析，各类群品种的特征如下：第I类品种的总体特征为花直径大，均值为12.73 cm，外轮花被片长度、外轮花被片宽度大，均值分别为7.94 cm、4.41 cm，花被片数量少，为6~9片，花枝节间长度较长，均值为7.15 cm，叶部性状如叶片长度、叶片宽度和叶柄长度均较大，均值分别为15.50 cm、10.49 cm和3.04 cm，生长势最强，代表品种有‘瓦达的油画’、‘弗兰克杰作’和‘如兰’等。第II类品种的外轮花被

片长度较长，均值为 8.54 cm，外轮花被片宽度略狭，均值为 3.65 cm，其余性状均处于中等水平，代表品种有‘兰迪’、‘瑞奇’和‘贝蒂’等，花被片数目 9~14 片，花直径均值 10.55 cm，是较常见的玉兰品种。第 III 类品种的花被片数量最多，均值在 24 片，最高可达 50 片，花部性状如花被片长度、花被片宽度偏小，均值分别为 4.63 cm、1.86 cm，代表品种有‘皮鲁埃特’和‘白玫瑰’等。

3 讨论

3.1 玉兰属品种资源表型多样性

植物的表型是其基因型与环境因素共同作用的综合体现[15]。玉兰属植物在株高、叶片形态和花部特征等表型上有丰富的变异，这种变异既反映了物种的遗传背景，也体现了对不同生境的适应策略[16-17]。变异系数和多样性指数是衡量表型多样性的关键指标[18]。在大豆[19]、马铃薯[20]、苹果[21]等很多植物表型多样性评价中得到应用。研究表明，当变异系数大于 10%，遗传多样性指数大于 1 时，表明性状变异显著且多样性丰富[22]。本研究观测发现，玉兰属品种质量性状和假质量性状的平均多样性指数为 1.42，数量性状中有 70%以上的性状变异系数超过 10%，表明这 66 份玉兰属品种资源间存在显著差异且性状变异类型丰富。而变异系数越大，表明遗传背景的丰度越高，越易于鉴定品种。进一步分析发现，花直径和外轮花被片长度的均值相近，但花直径极差更大，这可能与花瓣展开程度有关；叶柄长度的中值明显低于均值，表明数据呈右偏分布，存在少量叶柄较长的个体。

玉兰属品种丰富的表型多样性为其种质创新与品种选育提供了重要基础。本研究结果表明，花色分布、外轮花被片外侧第二色位置等性状具有较高的多样性，可作为筛选特色新品种的首选指标。而叶片先端形状与花型在群体中呈现均衡的多峰分布，即两种性状均形成多个界限清晰且比例协调的表型集中类型，表明其可能受少数主效基因控制，有利于育种中的性状稳定与组合。这些显著的表型分化为品种鉴别提供了直观稳定的依据，也对品种分组具有重要价值[23]。因此，在制定玉兰属品种测试指南时，应综合运用高多样性花部性状进行主体区分，并参考叶片先端等营养器官的稳定特征予以佐证，以建立更科学实用的测试指南。

3.2 玉兰属品种资源表型的综合评价

通过统计分析明确各性状间的关联规律，可指导亲本选配与杂交后代早期筛选以提高育种效率，优化品种评价体系[24]。本研究显示，有 34 对性状的相关性达到显著或极显著，如叶片长度和叶片宽度与花直径均呈极显著正相关，这与文心兰、樱花研究结果一致[25-26]。玉兰属品种表型性状相关性分析显示，花部与叶部性状通过生长协同或资源分配形成网络关联，其中外轮花被片长度和外轮花被片宽度、叶片长度和叶片宽度等核心性状可作为表型评价的关键指标，又因其与多个其他性状高度关联，实操中可减少新品种测试时的性状数量，提高测试效率。若仅需快速评估相关表型整体趋势或初步筛选材料，可优先选择其中一个代表性性状进行测定，通过其特征大致推断其他性状，从而减少测定工作量。

利用主成分分析可以对数据进行降维与信息浓缩[27]。赵天荣等[28]通过主成分分析将 58 个蟹爪兰品种的 16 个表型指标简化为 10 个主成分因子，筛选出叶状茎宽度、始花期、花托颜色等 11 项关键评价性状。李艳冬等[29]采用主成分分析构建蝴蝶兰质量评价模型，确定花瓣长、中萼片 L*值、花序梗直径等 7 个性状为质量评价核心指标。本研究中主成分分析将 10 个表型性状降维为 4 个独立综合因子，反映了供试品种的大部分变异，累计方差贡献率达 88.446%。从特征值和贡献率可知，玉兰属品种表型差异主要体现在花直径、外轮花被片长度和外轮花被片宽度、叶片长度和叶片宽度等性状上，这些性状可作为杂交育种中亲本选择的重要依据。该分析结果不仅验证了相关性分析的结论，进一步揭示了性状间的层级控制关系，简化了评价体系，更为重要的是揭示了影响玉兰属品种资源表型多样性的关键因子及其相对重要性，为玉兰属定向育种提供了更精准的调控维度。后续研究可在此基础上，利用 SSR 或 SNP 等分子标记，进一步解析这些栽培品种的遗传背景与亲缘关系，并通过关联分析挖掘与关键表型性状相连锁的遗传位点，从而实现表型到基因的深入解析。

聚类分析是一种基于相似性度量的无监督分类方法，以数据为导向，将复杂的生物多样性转化为结构化的分类体系，在植物表型研究中具有重要的理论意义和实践价值[30-31]。本研究通过 Q 型聚类将 66 份玉兰品种资源划分为大花乔木型（I类）、过渡型（II类）与小花紧凑型（III类）3 个典型类群，这一分类结果具有明晰的生产实践意义。在生产应用上，大花乔木型生长势强、花型硕大，适合作为公园、广场等开阔空间的主体景观树；小花紧凑型株型相对矮小、花部结构精巧，花被片数量多，更适合用于庭院绿化或盆栽观赏；过渡型则代表了常见的普适性品种，应用性广泛。该品种分类与 R 型聚类揭示的性状模块相互印证：R 型聚类的第 I 类群花部性状在 Q 型聚类的第 I 类品种中表现突出，而 R 型聚类的第 III 类群花被片数目性状仅在 Q 型聚类的第 III 类品种中富集。

综上，玉兰属表型性状间的相关性分析、主成分分析、综合评价及聚类分析四者之间存在内在一致性。例如，外轮花被片宽度既与花直径显著相关，又在花部器官主成分上载荷较高，最终获得高综合评价得分。这种基于客观数据的多方法相互验证形成了从性状解析到实践应用的完整支撑体系：相关性与主成分分析结合，可通过挖掘性状关联，提取核心因子，为早期性状筛选提供理论依据和实用指标；主成分分析可进一步实现测试性状的优化与简化；综合评价结合聚类分析，则通过量化品种综合价值，明确类群分化特征，为亲本选配提供科学参考。这几种方法相结合既提升了种质评价的科学性与可靠性，也为观赏植物育种早期筛选提供了可借鉴的方法论。基于此，未来可优先利用弗兰克杰作等高分品种作为核心亲本，针对性改良小花品种的花直径等性状，或通过杂交将不同维度的优良性状进行组合，培育综合性状更优的玉兰新品种。

4 结论

研究结果表明玉兰属品种资源表型存在丰富的多样性，筛选出第一轮花瓣状花被片外侧主色与第一轮花瓣状花被片第二色、花被片数量、叶柄长度等核心变异性状，并揭示大部分数量性状间存在较强相关性。利用主成分分析筛选出了对表型变异贡献最大的性状，包括花直径、外轮花被片长度和外轮花被片宽度、叶片长度和叶片长度宽度等，为亲本选择和种质创新提供了关键指标。结合隶属函数法，筛选出弗兰克杰作、赫尔默和星球大战等优良种质。本研究为玉兰属种质资源的科学评价与杂交后代的早期筛选提供了有效方法。

参考文献

[1] 刘荷芬. 玉兰属植物起源与地理分布. 河南科学，2008（8）：924-927

Liu H F. Origin and geographical distribution of Magnolia plants. Henan Science,2008 (8):924-927

[2] 傅大立. 玉兰属的研究. 武汉植物学研究，2001（3）：191-198

Fu D L. Notes on Yulania spach. Plant Science Journal,2001 (3):191-198

[3] 李福星，李芹，王广领，张伟，王磊. 玉兰属植物种质资源研究综述. 乡村科技，2024，15（6）：130-133

Li F X, Li Q, Wang G L, Zhang W, Wang L. Review on research of Magnolia germplasm resources. Rural Science and Technology, 2024,15 (6):130-133

[4] 宣晶，李敏. 玉兰属观赏植物. 生命世界，2020（4）：94-95

Xuan J, Li M. Ornamental plants of Magnolia. Life World,2020 (4):94-95

[5] 李仁娜，王亚玲，王宏，王琪，冯胜利，樊璐，叶卫. 玉兰新品种‘紫韵’. 园艺学报，2022，49（5）：1177-1178

Li R N, Wang Y L, Wang H, Wang Q, Feng S L, Fan L, Ye W. A new Magnolia cultivar 'Ziyun'. Acta Horticulturae Sinica,2022,49 (5):1177-1178

[6] 谢斌，王亚玲，叶卫. 玉兰新品种‘小璇’. 园艺学报，2020，47（5）：1015-1016

Xie B, Wang Y L, Ye W. A new Magnolia cultivar ‘Xiaoxuan’. Acta Horticulturae Sinica,2020,47 (5):1015-1016

[7] 闫会玲，王亚玲，李仁娜，李倩，李阳，叶卫，樊璐. 玉兰新品种‘变叶莲’. 园艺学报，2024，51（10）：2481-2482

Yan H L, Wang Y L, Li R N, Li Q, Li Y, Ye W, Fan L. A new Magnolia cultivar ‘Bianyelian’. Acta Horticulturae Sinica,2024,51 (10):2481-2482

[8] 国家林业和草原局. 中国林业年鉴 2022. 北京：中国林业出版社，2022：186

National Forestry and Grassland Administration. China Forestry Yearbook 2022. Beijing: China Forestry Publishing House,2022:186

[9] 杜习武，叶康，秦俊，胡永红. 玉兰品种花色表型数量分类研究. 种子，2021，40（11）：68-73, 2

Du X W, Ye K, Qin J, Hu Y H. Study on quantitative classification of flower color phenotypes of Yulania varieties. Seed,2021,40 (11):68-73,2

[10] 李秀玉，唐继敏，殷晓洁，刘一飞，李子康. 应用优化最大熵模型的珍稀濒危玉兰属物种适生区预测. 东北林业大学学报，2025，53（1）：64-66

Li X Y, Tang J M, Yin X J, Liu Y F, Li Z K. Predicting the suitable habitat of rare and endangered Yulania spach species using optimization maxEnt modeling. Journal of Northeast Forestry University,2025,53 (1):64-66

[11] 靳晓白，周建仁，黄发吉，王琼，李东方，许心，程红焱，王伟青. LY/T 2097-2013 植物新品种特异性、一致性、稳定性测试指南木兰属.北京,中国标准出版社,2013

Jin X B, Zhou J R, Huang F J, Wang Q, Li D F, Xu X, Cheng H Y, Wang W Q. LY/T 2097-2013 Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability—Magnolia (Magnolia L.). Beijing, Standards Press of China, 2013.

[12] Royal Horticultural Society. RHS colour chart . 6th edn. London: Royal Horticultural Society, 2015

[13] 张江妹，李艺含，陈子茁，李凤，马小河，黄丽萍，王敏，朱悦，荀志丽，赵旗峰. 324 份葡萄种质果实性状多样性分析及综合评价. 植物遗传资源学报，2025, 26 (10): 1967-1981.

Zhang J M, Li Y H, Chen Z Z, Li F, Ma X H, Huang L P, Wang M, Zhu Y, Xun Z L, Zhao Q F. Diversity analysis and comprehensive evaluation of fruit traits in 324 grape germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources，2025, 26 (10): 1967-1981.

[14] 李景豪，李胜男，邓植，吴则东. 107 份甜菜种质资源的表型变异及遗传多样性分析. 植物遗传资源学报，2025, 26 (10): 1956-1966.

Li J H, Li S N, Pi Z, Wu Z D.Analysis of phenotypic variation and genetic diversity in 107 sugar beet germplasm resources Journal of Plant Genetic Resources,2025, 26 (10): 1956-1966.

[15] 王晓鸣，邱丽娟，景蕊莲，任贵兴，李英慧，李春辉，秦培友，谷勇哲，李龙. 作物种质资源表型性状鉴定评价：现状与趋势. 植物遗传资源学报，2022，23（1）：12-20

Wang X M, Qiu L J, Jing R L, Ren G X, Li Y H, Li C H, Qin P Y, Gu Y Z, Li L. Evaluation on phenotypic traits of crop germplasm: Status and development. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23 (1):12-20

[16] 贺薇，余学琼，杨志建，周虎，田彦，田文晓，王庆民，徐功元，余洲，刘青林. 河南省南召县玉兰遗传多样性 SRAP 分析. 分子植物育种，2019，17（13）：4320-4330

He R, Yu X Q, Yang Z J, Zhou H, Tian Y, Tian W X, Wang Q M, Xu G Y, Yu Z, Liu Q L. SRAP Analysis of Yulania genetic diversity in nanzhao county, Henan Province. Molecular Plant Breeding,2019,17 (13):4320-4330

[17] 朱仲龙，桑子阳，贾忠奎，马履一. 红花玉兰新品种‘娇丹’. 园艺学报，2020，47（S2）：3088-3089

Zhu Z L, Sang Z Y, Jia Z K, Ma L Y. A new Magnolia cultivar 'Jiaodan'. Acta Horticulturae Sinica,2020,47 (S2):3088-3089

[18] 苏群，杨亚涵，田敏，张进忠，毛立彦，唐毓玮，卜朝阳，卢家仕. 49 份睡莲资源表型多样性分析及综合评价. 西南农业学报，2019，32（11）：2670-2681

Su Q, Yang Y H, Tian M, Zhang J Z, Mao L Y, Tang Y W, Bu C Y, Lu J S. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 49 waterlily resources Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019 ,32 (11): 2670-2681

[19] 彭任文，孙丽萍，赵朝森，厉苏宁，王小翠，徐将，王勇军，吴佳姗，赵现伟，郭兵福. 北美大豆种质资源农艺性状分析与优异种质筛选. 植物遗传资源学报， 2025, 26 (10): 1928-1941.

Peng R W, Sun L P, Zhao C S, Li S N, Wang X C, Xu J, Wang Y J, Wu J S, Zhao X W, Guo B F. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 49 waterlily resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2025, 26 (10): 1928-1941.

[20] 高志昌，杨梦平，张金鹏，邢金月，娄树宝，李志新，宋继玲，崔江慧. 马铃薯种质资源表型性状鉴定与综合评价. 植物遗传资源学报，2025, 26 (11): 2131-2144.

Gao Z C, Yang M P, Zhang J P, Xing J Y, Lou S B, Li Z X, Song J L, Cui J H. Identification and comprehensive evaluation of phenotypic traits of potato germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources,2025, 26 (11): 2131-2144.

[21] 倪志华，孙清荣，李林光，王海波，王森，王颖. 不同倍性苹果种质花器官表型性状多样性研究 植物遗传资源学报，2025, 26 (12): 2361-2372

Ni Z H, Sun Q R, Li L G, Wang H B, Wang S, Wang Y. A study on the diversity of phenotypic traits of floral organs in apple germplasms with different ploidy levels. Journal of Plant Genetic Resources,2025, 26 (12): 2361-2372

[22] 戚梅丽，么玉龙，秦斗文，巨秀婷. 郁金香花器官表型性状多样性分析. 植物遗传资源学报，2025, 26 (2): 284-295

Qi M L, Yao Y L, Qin D W, Ju X T. Diversity analysis of floral organ phenotypic traits in *Tulipa gesneriana* L.. Journal of Plant Genetic Resources, 2025, 26 (2): 284-295

[23] 刘志红，解庆. 蔷薇科早春开花树种花形态特征与分类分析. 种子, 2023, 42（1）: 91-98, 104, 157

Liu Z H, Xie Q. Flower morphological characteristics of rosaceae taxa blooming in early spring and their classification analysis. Seed, 2023, 42 (1): 91-98, 104, 157

[24] 李丹，白丽霞，唐卓越，杨康慧，杨璐，程平. 新疆 105 份桃种质资源果实性状多样性分析. 果树学报，2025, 42 (7): 1377-1388

Li D, Bai L X, Tang Z Y, Yang K H, Yang L, Cheng P. Diversity analysis of fruit traits of 105 peach germplasm resources in Xinjiang. Journal of Fruit Science, 2025, 42 (7): 1377-1388

[25] 张叶，叶蓓蕾，邬静，刘乐，黎维诗，郝代成，谢尚潜，凌鹏. 77 份文心兰种质资源表型性状遗传多样性分析. 热带作物学报，2021，42（8）：2183-2190
Zhang Y, Ye B L, Wu J, Liu L, Li W S, Hao D C, Xie S Q, Ling P. Analysis of genetic diversity of phenotypic traits of 77 Oncidium germplasm resources chinese. Journal of Tropical Crops, 2021, 42 (8): 2183-2190
[26] 孙泽硕，李永华，柳新红，沈鑫，李因刚，蒋冬月. 四十一份樱花品种资源表型性状遗传多样性分析. 北方园艺，2022（22）：57-66
Sun Z S, Li Y H, Liu X H, Shen X, Li Y G, Jiang D Y. Genetic diversity analysis of phenotypic traits in 41 cultivars of oriental cherry. Northern Horticulture, 2022 (22): 57-66
[27] 李景伟，姜超，王小光，宋昌海，王英琪，李莉，宋瑛琪. 基于主成分分析和隶属函数法对不同马铃薯种质资源农艺性状的综合评价. 中国瓜菜，2025, 38 (9): 84-91
Li J W, Jiang C, Wang X G, Song C H, Wang Y Q, Li L, Song Y Q. Comprehensive evaluation of agronomic traits of different potato germplasm resources based on principal component analysis and membership function method. China Cucurbits and Vegetables,2025, 38 (9): 84-91
[28] 赵天荣，凌建刚，任锡亮. 蟹爪兰品种的 DUS 测试性状主成分分析及其亲缘关系研究. 园艺学报，2024，51（6）：1321-1331
Zhao T R, Ling J G, Ren X L. Principal component analysis and genetic relationship research on cultivars of *Schlumbergera truncata* based on morphological characteristics for DUS testing. Acta Horticulturae Sinica, 2024, 51 (6): 1321-1331
[29] 李艳冬，李运兴，殷益明，赵根，张飞雪，史星雲. 基于主成分分析蝴蝶兰质量评价模型建立. 北方园艺，2024（6）：61-68
Li Y D, Li Y X, Yin Y M, Zhao G, Zhang F X, Shi X Y. Establishment of quality evaluation model of Phalaenopsis based on principal component analysis. Northern Horticulture, 2024 (6): 61-68
[30] 杨志刚，张鹏程，常海文，康立茹，左毅，向浩鑫，韩凤英. 基于形态学性状和 SSR 标记的辣椒种质资源遗传多样性分析. 植物学报，2025，60（2）：218-234
Yang Z G, Zhang P C, Chang H W, Kang L R, Zuo Y, Xiang H X, Han F Y. Genetic diversity analysis of pepper germplasms based on morphological traits and SSR markers. Chinese Bulletin of Botany, 2025, 60 (2): 218-234
[31] 任丽华，高秋美，刘洪冲，米真如，董秋颖，蒲高斌，韩加坤. 菊花种质资源遗传多样性分析及综合评价. 南方农业学报，2025，56（2）：462-473
Ren L H, Gao Q M, Liu H C, Mi Z R, Dong Q Y, Pu G B, Han J K. Genetic diversity and comprehensive evaluation of chrysanthemum germplasm resources. Journal of Southern Agriculture, 2025, 56 (2): 462-473

附表 1 玉兰品种资源 27 个质量性状及假质量性状的分级标准

Appendix 1 Grading standards for 27 qualitative and pseudo-qualitative traits in *Yulania* cultivar resources

性状 Characteristics	分级标准 Grade and standard										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
植株生长习性 PGH	抱枝型	直立型	直立至开张型	开张型	下垂型						
花蕾在花枝上的位置 PFB	仅顶生	顶生与腋生	仅腋生								
一年生小枝颜色 OST	绿色	黄绿色	棕紫色	棕色	黄棕色	灰色					
叶片基部形状 LSB	渐狭	锐尖楔形	钝圆楔形	圆形	平截	心形	耳垂形				
叶片先端形状 LSA	尾尖	渐尖	短尖	锐尖	钝尖	圆形	微凹	微凹			
叶片背面颜色 LCU	绿色	黄绿色	灰绿色								
叶片腹面颜色 LCL	绿色	黄绿色	白色								
叶片质地 LT	薄纸质	中纸质	厚纸质	薄革质	中革质	厚革质					
佛焰苞颜色 CSB	绿色	黄绿色	灰绿色	黄色	灰橙色	灰褐色					
花型 FF	卵形	球形	窄杯状	钟形	阔杯状	碗状	碟状	杯碟状	金鱼形	星花形	不规则形
萼片状花被片有无 ST	无萼片状花被片	具萼片状花被片									
第一轮花瓣状花被片形状 FTS	圆形	椭圆形	长圆形	阔倒卵形	中倒卵形	窄倒卵形	倒披针形	阔匙形	窄匙形		
第一轮花瓣状花被片外侧的主色 FTM	RHS 标准比色卡（需标注编号）										
第一轮花瓣状花被片外侧的第二色 FTC	RHS 标准比色卡（需标注编号）										
第一轮花瓣状花被片外侧第二色的位置 FTD	无	仅基部	基部及部分中部	基部及中部	基部四分之一及中部	基部四分之一及部分中部	基部四分之一	基部二分之一	基部二分之一及中部	远端二分之一	远端四分之一
第一轮花瓣状花被片外侧第二色的分布 FTP	无	仅晕染	晕染及条纹	仅条纹	针状纹	晕染和针状纹	斑点				
第一轮花瓣状花被片外侧的第三色有无 FTT	无	有									
第一轮花瓣状花被片内侧的主色 FMS	RHS 标准比色卡（需标注编号）										
第一轮花瓣状花被片内侧的第二色 FTO	RHS 标准比色卡（需标注编号）										
第一轮花瓣状花被片内侧第二色的位置 FSP	无	仅基部	基部及部分中部	基部四分之一及部分中部	基部四分之一	基部二分之一	远端二分之一	远端四分之一	仅顶端	基部横向	仅边缘
第一轮花瓣状花被片内侧第二色的分布 FSO	无	仅晕染	晕染和条纹	仅条纹	针状纹	晕染和针状纹	斑点				
第二轮花瓣状花被片外侧的主色 STM	RHS 标准比色卡（需标注编号）										
第二轮花瓣状花被片外侧的第二色 STD	RHS 标准比色卡（需标注编号）										
第二轮花瓣状花被片外侧第二色的位置 STS	无	仅基部	基部及部分中部	基部及中部	基部四分之一及中部	基部四分之一及部分中部	基部四分之一	基部二分之一	基部二分之一及中部	远端二分之一	远端四分之一
第二轮花瓣状花被片外侧第二色的分布 STP	无	仅晕染	晕染及条纹	仅条纹	针状纹	晕染和针状纹	斑点				
花丝颜色 SCF	白色	黄色	红色	紫红色	紫色						
柱头颜色 GCS	绿色	绿黄色	黄色	红色	紫红色	紫色					

PGH：Growth habit of plant；PFB：Position of flower buds；OST：Color of one-year-old shoot；LSB：Shape of base of leaf blade；LSA：Shape of apex of leaf blade；LCU：Color of upper side of leaf blade；LCL：Color of lower side of leaf blade；LT：Texture of leaf blade；CSB：Color of spathaceous bract；FF：Flower form；ST: Sepaloid tepals；FTS：Shape of first whorl petaloid tepals；FTM：Main color of outer side of first whorl petaloid tepals；FTC：Secondary color of outer side of first whorl petaloid tepals；FTD：Distribution of secondary color on outer side of first whorl petaloid tepals；FTP：Pattern of secondary color of outer side on first whorl petaloid tepals；FTT：Tertiary color of outer side of first whorl petaloid tepals；FMS：Main color of inner side of first whorl petaloid tepals；FTO：Secondary color of inner side of first whorl petaloid tepals；FSP：Distribution of secondary color on inner side of first whorl petaloid tepals；FSO：Pattern of secondary color of inner side on first whorl petaloid tepals；STM：Main color of outer side of second whorl petaloid tepals; STD: Secondary color of outer side of second whorl petaloid tepals; STS：Distribution of secondary color on outer side of second whorl petaloid tepals; STP: Pattern of secondary color of outer side on second whorl petaloid tepals; SCF: Color of filament of stamens；GCS: Color of stigma of gynoecium

附表 2 玉兰品种资源综合得分排名

Appendix 2 Ranking of *Yulania* cultivar resources based on comprehensive scores

排名 Rank.	品种名 Cultivar name	综合得分 Score	排名 Rank.	品种名 Cultivar name	综合得分 Score
1	佛兰克杰作 'Frank's Masterpiece'	2.40	34	瓦达的回忆 'Wada's Memory'	0.06
2	赫尔默 'Helmer'	2.00	35	长安西施 'Chang'an Xishi'	-0.05
3	金色弗兰克 'Gold Flinck'	1.7	36	美脉 'Meimai'	-0.05
4	黄色灯笼 'Yellow Lantern'	1.57	37	一个女孩 'One of girls'	-0.34
5	艾俄兰斯 'Iolanthe'	1.55	38	丹馨 'Danxin'	-0.38
6	如兰 'Rullan'	1.14	39	兰迪 'Randy'	-0.39
7	星球大战 'Star Wars'	1.13	40	紫嫣 'Ziyan'	-0.43
8	贝蒂 'Betty'	1.07	41	皮鲁埃特 'Mag's Pirouette'	-0.49
9	爱娃玛瑞 'Eva Maria'	1.04	42	小可人 'Xiao Keren'	-0.55
10	复色 'Sunsation'	1.00	43	简爱 'Jane Eyre'	-0.57
11	金光 'Golden Glow'	0.99	44	红元宝 'Hong Yuanbao'	-0.59
12	金杯 'Gold Cup'	0.97	45	黑色蝴蝶 'Black Butterfly'	-0.66
13	日出 'Daybreak'	0.95	46	粉人 'Pinkie'	-0.69
14	林奈 'Lennei'	0.95	47	绿星 'Lvxing'	-0.72
15	银河 'Spectrum'	0.90	48	春天喜悦 'Spring Joy'	-0.76
16	皮卡德红宝石'Pickard's Ruby'	0.81	49	德清 5# 'Deqing5#'	-0.77
17	热电 'Hot Flash'	0.78	50	简 'Jane'	-0.80
18	瓦达的油画 'Wada's Picture'	0.73	51	艾斯佛雷 'Else Frey'	-0.81
19	黄鸟 'Yellow Bird'	0.67	52	白玫瑰 'White Rose'	-0.82
20	红玉 'Hongyu'	0.60	53	德清 4# 'Deqing4#'	-0.83
21	拉赫姆 'Laholm'	0.58	54	白玫瑰 2 'White Rose2'	-1.00
22	金色礼物 'Golden Gift'	0.49	55	诺曼古尔德 'Norman Gould'	-1.01
23	布鲁克林 *brooklynensis*	0.45	56	瑞奇 'Ricki'	-1.03
24	鲁布拉 'Rustica Rubra'	0.44	57	安妮 'Annie'	-1.08
25	画廊 'Galaxy'	0.42	58	梅丽尔 'Merrill'	-1.29
26	洛伊思 'Lois'	0.35	59	莱纳德 'Leonard Messel'	-1.32
27	青皮 *virdula*‘No.1’	0.28	60	苏珊 'Susan'	-1.33
28	皇冠 'Royal Crown'	0.24	61	尼尔 'Neil Mceachern'	-1.37
29	狄娃 'Diva'	0.24	62	詹妮 'Jenny'	-1.37
30	红运 'Hongyun'	0.24	63	菊花 'Chrysanthemumi Flora'	-1.38
31	玉灯 'Yudeng'	0.20	64	简普兰特 'Jane Platt'	-1.43
32	朱迪 'Judy'	0.12	65	柳叶 'Salicifolia'	-1.52
33	五峰 'Wufengensis'	0.09	66	景新 'Jingxin'	-1.97