

郁金香花器官表型性状多样性分析

戚梅丽¹, 么玉龙¹, 秦斗文^{1,2}, 巨秀婷^{1,2}

(¹青海大学农牧学院, 西宁 810016; ²青海省园林植物与观赏园艺重点实验室/青海大学高原花卉研究中心, 西宁 810016)

摘要: 为探究郁金香种质资源花器官表型性状的多样性, 以60个郁金香品种为试验材料, 测定9个花器官表型性状。利用主成分分析、聚类分析等方法研究其花器官表型性状的遗传多样性, 为郁金香种质资源的评价鉴定与利用提供参考依据。结果表明: 60个郁金香品种的5个数量性状(花冠纵径、花冠横径、柱头长度、柱头周长和柱头直径)和4个质量性状(花冠主色、花粉颜色、柱头形状和始花期)均存在不同程度的差异。花冠纵径和花冠横径变异系数分别为19.35%、23.41%, 品种间的变异较大, 离散程度相对较高, 而柱头长度、柱头周长和柱头直径的变异相对较小, 分布集中且离散程度相对较低。92%的供试品种柱头形状为三棱柱, 有5个品种出现柱头形状变异。供试品种中早花、中花、晚花的比例分别为20%、68%、12%。主成分分析共提取到5个主成分, 累计贡献率为85.179%。通过构建郁金香表型性状综合评价模型, 综合得分大于0.5的品种共有12个, 其中‘糖果王子’‘狡猾狐步舞’得分较高, 属于中花品种, 柱头长且粗, 花器官综合性状表现优异。系统聚类分析表明, 60个郁金香品种可分为4大类, 第I类51个品种, 主要以花型较大且颜色艳丽、柱头较粗且花器官综合性状表现优异的郁金香品种为主; 第II类仅‘紫色梦想’1个品种, 其花器官特征为花冠细长且柱头粗长; 第III类6个品种, 特征为柱头短小且花器官性状综合表现一般; 第IV类2个品种, 特征为柱头形状变异。研究结果可从形态学方面为郁金香品种的分类及其亲缘关系的演化研究提供支撑, 为进一步开发郁金香优异花器官观赏性状、种质创新和品种改良提供参考依据。

关键词: 郁金香; 种质资源; 花器官; 表型多样性; 综合评价

Diversity Analysis of Floral Organ Phenotypic Traits in *Tulipa gesneriana* L.

QI Meili¹, YAO Yulong¹, QIN Douwen^{1,2}, JU Xiuting^{1,2}

(¹College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016; ²Key Laboratory of Landscape Plant and Horticulture of Qinghai Province/Plateau Flower Research Center, Qinghai University, Xining 810016)

Abstract: To explore the diversity of floral organ phenotypic traits in tulip germplasm resources, a study was conducted on 60 tulip cultivars, assessing nine distinct floral organ phenotypic traits. The genetic diversity of these traits was evaluated by principal component analysis and cluster analysis, providing a reference for the evaluation, identification and utilization of tulip germplasm resources. The results revealed significant variation in five quantitative traits (petal diameter, petal cross diameter, stigma length, stigma circumference, and stigma diameter) and four quality traits (corolla main color, pollen color, stigma shape, and flowering period). The variation coefficients of corolla longitudinal diameter and corolla transverse diameter were 19.35% and 23.41%, respectively, indicating a relatively large variation between cultivars with a high degree of dispersion. However, the variation in stigma length, stigma circumference, and stigma diameter was relatively small, with a concentrated distribution and lower degree of dispersion. 92% of the tested varieties have a triangular prism

收稿日期: 2024-04-17 网络出版日期: 2024-11-27

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240417002>

第一作者研究方向为观赏植物栽培, E-mail: 2915387891@qq.com

通信作者: 巨秀婷, 研究方向为观赏植物遗传育种, E-mail: juxiuting@163.com

基金项目: 中国科学院“西部之光”项目([2022]4号); 青海省“昆仑英才”科技领军人才培养项目([2022]1号); 青海大学农牧学院大学生科研训练项目(NKX202301)

Foundation projects: “Light in the West” Projects of the Chinese Academy of Sciences ([2022]No.4); Qinghai Province “Kunlun Talent” Science and Technology Leading Talent Training Projects ([2022]No.1); Student Research Training Program at the College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University (NKX202301)

shaped stigma, while five cultivars showed variation in stigma shape. The proportions of early, middle, and late flowering cultivars are 20%, 68%, and 12%, respectively. Principal component analysis extracted a total of five principal components with a cumulative contribution rate of 85.179%. By establishing a comprehensive evaluation model for the phenotypic traits of tulips, 12 cultivars with a comprehensive score above 0.5 were identified. 'Candy Prince' and 'Foxy Foxtrot' stood out with higher scores, being middle-flowered cultivars characterized by long and thick stigmas and excellent overall floral organ traits. Cluster analysis categorized the 60 tulip cultivars into four groups. Group I comprised of 51 cultivars, primarily large and colorful tulip varieties with thick stigmas and superior overall performance. Group II included only one variety 'Purple Dream', characterized by slender corolla and thick and long stigma. Group III consisted of 6 cultivars, characterized by short stigma and general performance of floral organ traits. Group IV included 2 varieties, notable for their stigma shape variation. These results can support the classification of tulip cultivars and the exploration of their phylogenetic relationships from the morphological perspective. This study provides a reference for further development of excellent floral organ ornamental traits, germplasm innovation, and variety improvement in tulips.

Key words: *Tulipa gesneriana* L.; germplasm resource; floral organ; phenotypic diversity; comprehensive evaluation

郁金香(*Tulipa gesneriana* L.)又叫洋荷花、草麝香^[1],是百合科郁金香属多年生鳞茎类球根花卉,原产于地中海沿岸、中亚细亚及土耳其等地^[2]。我国新疆地区是世界郁金香属植物的自然分布区之一,其郁金香属植物种类占世界种类的10%左右^[3]。郁金香花型高贵典雅,花朵单生在茎顶,多呈高脚杯状或重瓣鹦鹉型,花色丰富多样,是荷兰、土耳其、匈牙利等多国的国花,现已成为切花、盆花、园林绿化、城市造景和花海旅游的重要材料。近年来,国内诸多学者围绕郁金香生长发育特性^[4-6]、栽培技术^[7-9]、种球繁育^[10-11]等方面开展相关研究,均致力于实现我国郁金香种球及品种的国产化,而对郁金香种质资源的鉴定和评价是种质创新的关键,是育种工作的基础。

表型是植物种质资源遗传多样性的主要表现形式,开展表型性状分析是种质资源鉴定的重要环节,同时形态学标记是种质资源研究的重要途径和方法,也是分类学研究的重要依据^[12]。观赏植物的表型如花期、花型、花态等是花器官的重要观赏性状,花器官作为植物重要的繁殖器官,是植物经典分类学的重要分类特征,在植物进化过程中发挥着重要的作用。国内针对植物花器官表型性状多样性的研究已在荷花(*Nelumbo nucifera* Gaertn.)^[13]、切花月季(*Rosa chinensis* Jacq.)^[14]、牡丹(*Paeonia*)^[15]、梅花(*Prunus mume* Siebold & Zucc.)^[16]等多种观赏植物中开展,研究认为花器官的数量性状、质量性状均有丰富的遗传多样性,有利于种质资源的鉴定与

筛选。

郁金香因其特殊的花器官结构成为全球重要的观赏植物之一,开展形态学尤其是花器官的表型特征研究对于郁金香种质资源的开发尤为重要。目前,针对郁金香花器官表型特征进行遗传多样性分析的研究报道相对较少。因此,本研究以60份郁金香种质资源为材料,通过对9个花器官表型性状的观测和分析,基于其观测数据进行主成分和聚类分析,以郁金香各品种间的表型性状差异作为辅助分类方法,为郁金香种质资源的评价鉴定与利用、新品种选育提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

60个郁金香品种均为荷兰进口种球,购自北京圃朗特园艺有限公司(表1、图1)。供试品种均于2021年10月种植于青海大学高原花卉研究中心郁金香种质资源圃,种植深度12 cm,株行距15 cm×12 cm,各品种的种植数量不少于100粒。

1.2 试验方法

于2022年4月、2023年4月分别采集郁金香各供试品种盛花期正常开放的花朵,每品种各采集10朵花,观测花器官的5个数量性状和4个质量性状。观察和测量的标准参照《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 郁金香属》^[17],5个数量性状中花冠纵径、花冠横径、柱头长度、柱头直径均采用游标卡尺进行测量,柱头周长使用软绳将其紧贴在柱

表 1 郁金香供试材料

Table 1 The materials of *T. gesneriana* L. used in this study

编号 Code	品种名称 Cultivar name	英文名称 English name	编号 Code	品种名称 Cultivar name	英文名称 English name	编号 Code	品种名称 Cultivar name	英文名称 English name
1	橙色皇帝	Orange Emperor	21	欲望都市	Cosmopolitan	41	汤姆王朝	Tom Dynasty
2	肉色印象	Salmon Impression	22	谢多夫	Seadov	42	白雪公主	Snow Lady
3	旗袍	Roi du Midi	23	双公主	Double Princess	43	重生	Reborn
4	神秘范依克	Mystic Van Eijk	24	范思哲	Versaci	44	世界美人	World's Beauty
5	勒菲伯记忆	Lefeber's Memory	25	纯金	Strong Gold	45	王朝	Dynasty
6	阿波罗精华	Apeldoorn's Elite	26	斯拉瓦	Slawa	46	香奈儿	Chanel
7	林荫大道	Avenue	27	丹麦	Denmark	47	红色印象	Red Impression
8	性格	Caractere	28	马卡尔斯尔	Makarska	48	白日梦	Daydream
9	斯普里	Spryng	29	恰丹	Cadans	49	美国梦	American Dream
10	闪光钻石	Diamond Shiner	30	重瓣小黑人	Negrita Double	50	阿波罗	Apeldoorn
11	狡猾狐步舞	Foxy Foxtrot	31	解救	Rescue	51	琳马克	Leen Van Der Mark
12	紫衣王子	Purple Prince	32	艾思密	Esmee	52	粉色印记	Pink Impression
13	联盟	Coalition	33	里约狂欢节	Carnaval De Rio	53	杏色印记	Apricot Impression
14	维兰迪	Verandi	34	紫眼	Purple Eye	54	小黑人	Negrita
15	糖果王子	Candy Prince	35	阿玛尼	Armani	55	班雅	Banja Luka
16	范依克	Van Eijk	36	红色标志	Red Mark	56	长安小姐	Miss Chang'an
17	新潟	Niigata	37	玛丽琳	Marilyn	57	普瑞斯玛	Purissima
18	凯瑟琳娜公主	Princess Catharina	38	紫色梦想	Purple Dream	58	幸福一代	Happy Generation
19	橙色范依克	Orange Van Eijk	39	水晶星	Crystal Star	59	牛津	Oxford
20	阿波罗美人	Beauty of Apeldoorn	40	紫旗	Purple Flag	60	皇家十	Royal Ten

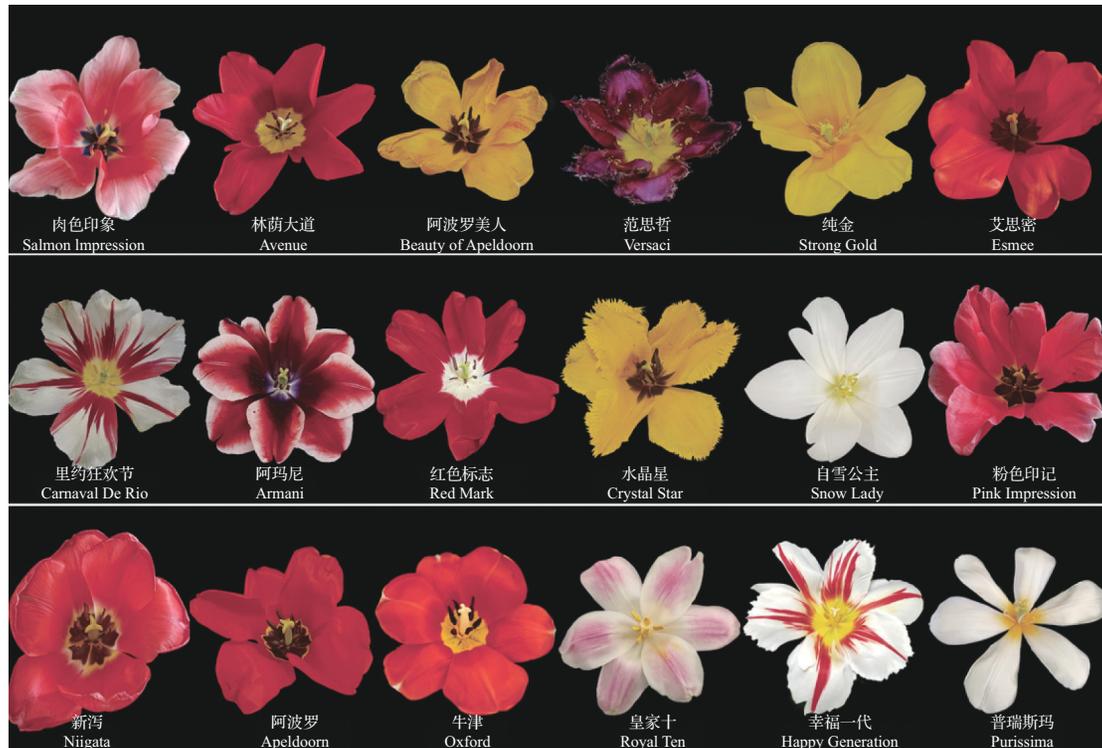


图 1 郁金香部分供试品种

Fig. 1 Partial test cultivar of *T. gesneriana* L.

头最粗的部分绕一圈后标记软绳重叠的位置,测量起点和标记点之间的距离。4个质量性状(花冠主色、花粉颜色、柱头形状、始花期)采用直接观察法,质量性状赋值标准见表2,其中花冠主色(每朵花冠

的中心位置)和花粉颜色均在同一环境条件下利用英国皇家园林协会 RHSCC 植物比色卡(RHS Colour Chart)的标准进行记载。

表2 郁金香花器官质量性状赋值标准

Table 2 Standard for assigning qualitative traits of floral organ in *T. gesneriana* L.

质量性状 Qualitative traits	1	2	3	4	5	6	7
花冠主色 Corolla main color	白色	黄色	橙红色	红色	粉色	紫色	-
花粉颜色 Pollen color	绿色	黄色	黄色和紫色	紫色或黑色	-	-	-
柱头形状 Stigma shape	三棱柱	三、四棱柱	三、六棱柱	四、五棱柱	-	-	-
始花期 Flowering period	-	-	早花	-	中花	-	晚花

-: 无数据

-: No data

1.3 数据分析

利用 SPSS 26.0 统计分析供试材料 5 个数量性状的平均值、标准差、极大值、极小值、极差和变异系数各项指标参数。4 个质量性状参照表 2 的标准,利用 Excel 2019 进行数量化赋值,统计各表型性状的变幅和频率分布。采用 SPSS 26.0 进行主成分分析,对测定的 9 个花器官表型性状原始数据进行标准化处理,根据累计贡献率确定具有代表性的主成分,计算每个特征向量的系数,构建得分函数表达式,以主成分所对应的方差贡献率为权重,构建郁金香花器官表型性状综合评价模型。利用 R 语言进行主成分聚类分析;利用 SPSS 26.0 进行系统聚类分析,采用平均联接法,样本之间的距离为平方欧氏距离。

2 结果与分析

2.1 郁金香花器官数量性状变异分析

60 个郁金香品种在花器官的表型性状上均存在着不同程度的差异(表 3)。其中花冠纵径范围在 4.53~11.58 cm 之间,平均值为 8.11 cm,极差值(7.05 cm)在 5 个数量性状中最大,变异系数为 19.35%;花冠

横径范围在 2.28~7.40 cm 之间,平均值为 4.74 cm,极差值为 5.13 cm,变异系数为 23.41%,在 5 个数量性状中最大;且花冠纵径和花冠横径的标准差均大于 1,说明品种间的变异范围较大,离散程度相对较高,郁金香各品种间花冠大小存在明显差异。柱头长度和柱头周长的极差分别是 2.24 cm、2.42 cm,柱头直径的极差最小,为 0.76 cm,且柱头长度、柱头周长和柱头直径的标准差均不超过 0.5,品种间的变异范围较小,分布集中且离散程度相对较低,表明郁金香各品种在柱头长度、周长和直径方面差异较小。

2.2 郁金香花器官质量性状分布分析

郁金香花器官 4 个质量性状分布类型和频率(图 2)表明,60 个郁金香品种花色丰富,因颜色饱和程度及明暗程度的差异,在 RHSCC 比色卡上有 39 个色相,分为白色系、黄色系、橙色系、红色系、粉色系和紫色系 6 大色系。从花冠主色分布来看,主要以红色系(38.33%)为主,粉色系、黄色系、紫色系、橙色系各占 15.00%、13.33%、13.33%、11.67%,5 个白色系品种占 8.33%。花粉颜色共有 4 大类型,其中 24 个品种(40.00%)的花粉颜色为黄色,8 个品种(13.33%)为绿色,23 个品种(38.33%)的花粉颜色

表3 郁金香花器官数量性状分布

Table 3 Variations in quantitative traits of flower organs in *T. gesneriana* L.

性状 Traits	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV	极大值 Max.	极小值 Min.	极差 Range
花冠纵径(cm) Petal diameter	8.11	1.57	19.35	11.58	4.53	7.05
花冠横径(cm) Petal cross diameter	4.74	1.11	23.41	7.40	2.28	5.13
柱头长度(cm) Stigma length	2.84	0.50	17.60	3.77	1.53	2.24
柱头周长(cm) Stigma perimeter	2.75	0.48	14.45	3.83	1.41	2.42
柱头直径(cm) Stigma diameter	0.88	0.15	17.04	1.22	0.46	0.76

紫色、黑色共存,5个品种(8.33%)的花粉黄色、紫色共存。60个郁金香品种的柱头形状多为三棱柱(92.00%),有5个品种柱头形状变异,其中‘小黑人’柱头形状既有四棱柱也有五棱柱,‘闪光钻石’柱头形状既有三棱柱也有六棱柱,而‘维兰迪’‘斯拉瓦’

和‘紫眼’柱头形状既有三棱柱也有四棱柱。根据始花期的观测,60个郁金香品种中有早花品种12个(20%),中花品种41个(68%),晚花品种相对较少,仅7个品种(12%)。

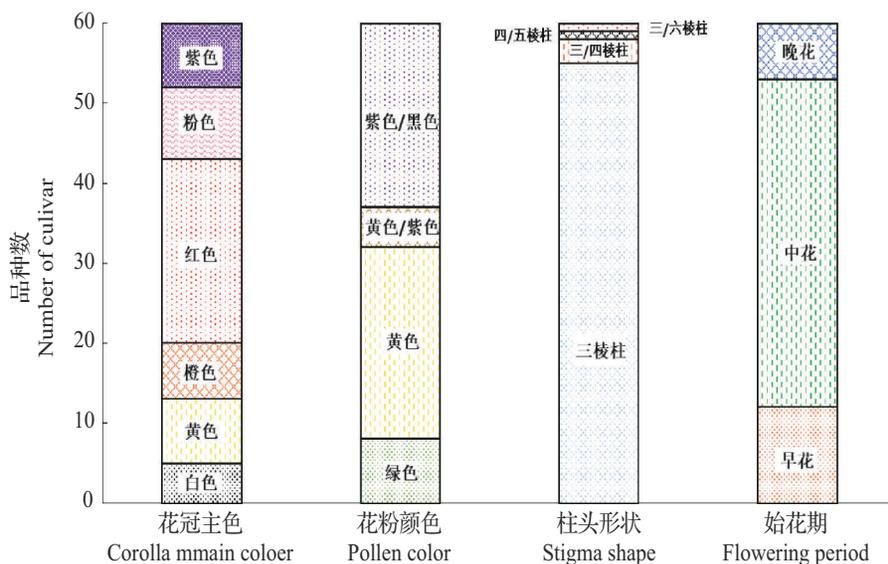


图2 郁金香花器官质量性状的变异类型分布

Fig. 2 Distribution of variation types in qualitative traits of flower organs in *T. gesneriana* L.

2.3 郁金香花器官表型性状的相关性分析

郁金香花器官表型性状间的关联程度(表4)表明,5个数量性状中花冠纵径与花冠横径、柱头长度、柱头周长、柱头直径均呈极显著正相关;花冠横径与柱头周长、柱头直径均呈极显著正相关,与柱头长

度之间呈显著正相关;柱头长度与柱头周长、柱头直径均呈极显著正相关,相关系数分别为0.711、0.687,柱头周长与柱头直径呈极显著正相关,相关系数为0.991。

表4 郁金香花器官表型性状的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of phenotypic traits of flower organs in *T. gesneriana* L.

表型性状 Phenotypic traits	花冠纵径 Petal diameter	花冠横径 Petal cross diameter	柱头长度 Stigma length	柱头周长 Stigma perimeter	柱头直径 Stigma diameter	花冠主色 Corolla main color	花粉颜色 Pollen color	柱头形状 Stigma shape	始花期 Flowering period
花冠纵径 Petal diameter	1								
花冠横径 Petal cross diameter	0.590**	1							
柱头长度 Stigma length	0.612**	0.268*	1						
柱头周长 Stigma perimeter	0.508**	0.328**	0.711**	1					
柱头直径 Stigma diameter	0.506**	0.331**	0.687**	0.991**	1				
花冠主色 Corolla main color	0.122	-0.142	0.221*	0.258*	0.229*	1			
花粉颜色 Pollen color	-0.024	0.182	-0.073	-0.118	-0.127	-0.268*	1		
柱头形状 Stigma shape	-0.154	-0.077	-0.133	-0.025	-0.025	0.227*	-0.112	1	
始花期 Flowering period	-0.140	-0.053	-0.155	-0.277	-0.248	-0.164	0.134	0.094	1

*: 在 $P < 0.05$ 水平上显著相关; **: 在 $P < 0.01$ 水平上极显著相关

*: Significant correlation at the $P < 0.05$ level; **: Highly significant correlation at the $P < 0.01$ level

2.4 郁金香花器官表型性状的主成分分析

主成分分析以累计方差贡献率大于85%为标准共提取到5个主成分(表5),其中第1主成分的特征值为3.427,方差贡献率为38.080%,贡献较大的性状有柱头周长(0.920)、柱头直径(0.909)、柱头长度(0.832)3个数量性状;第2主成分的特征值为1.603,方差贡献率为17.816%,贡献较大的性状有

花冠主色、花粉颜色、花冠横径;第3主成分的特征值为1.04,方差贡献率为11.553%,贡献较大的性状为柱头形状(0.718);第4主成分、第5主成分的方差贡献率分别为9.105%、8.625%,5个主成分累计方差贡献率达到85.179%,基本包含了郁金香花器官表型性状的绝大部分信息。

表5 主成分的特征值、方差贡献率、累计方差贡献率及成分载荷矩阵

Table 5 Eigenvalues, variance contribution rate, cumulative variance contribution rate and component load matrix of principal components

表型性状 Phenotypic traits	主成分 Principal component				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
花冠纵径 Petal diameter	0.758	0.286	0.103	-0.051	-0.359
花冠横径 Petal cross diameter	0.508	0.564	0.262	-0.357	-0.339
柱头长度 Stigma length	0.832	0.009	0.007	0.266	0.087
柱头周长 Stigma perimeter	0.920	-0.114	0.026	0.080	0.240
柱头直径 Stigma diameter	0.909	-0.100	0.039	0.097	0.225
花冠主色 Corolla main color	0.295	-0.689	0.124	-0.047	0.035
花粉颜色 Pollen color	-0.133	0.648	0.179	-0.203	0.637
柱头形状 Stigma shape	-0.108	-0.482	0.718	-0.378	0.058
始花期 Flowering period	-0.337	0.231	0.628	0.645	-0.079
特征值 Eigenvalue	3.427	1.603	1.040	0.819	0.776
方差贡献率(%) Contribution rate	38.080	17.816	11.553	9.105	8.625
累计方差贡献率(%) Accumulated contribution rate	38.080	55.896	67.449	76.555	85.179

2.5 郁金香花器官表型性状综合评价

以主成分对应的方差贡献率为权重,构建郁金香表型性状综合评价模型,得到郁金香花器官观赏价值综合评价公式:综合得分=0.3808×Y₁+0.17816×Y₂+0.11553×Y₃+0.0911×Y₄+0.0863×Y₅,其中Y₁~Y₅为第1~5主成分。利用该公式计算60个郁金香品种的综合得分,范围在-1.78~1.22(表6),综合得分大于0.5的共有12个品种,其中‘糖果王子’(编号15)得分最高,属于粉色系中花品种,‘狡猾狐步舞’(编号11)排第二,属于黄色系中花品种,2个品种柱头长且粗,花冠横径、花冠纵径适中。‘紫旗’(编号40)、“紫衣王子”(编号12)为2个得分较高的紫色系

中花品种,花冠纵径在8.5~9.5 cm之间、花冠横径在4.5~5.5 cm之间,柱头长度在3.4~3.6 cm之间、柱头周长在3.1~3.4 cm之间、柱头直径在0.8~1.0 cm之间。红色系品种中‘勒菲伯记忆’(编号5)、“王朝”(编号45)、“斯普里”(编号9)、“重生”(编号43)综合得分较高,4个品种的花粉颜色为紫色、黑色共存的类型,柱头形状均为三棱柱,具有相对一致的质量性状。‘橙色皇帝’(编号1)、“阿波罗精华”(编号6)是得分最高的2个橙色系品种,在数量性状上保持一致,花冠纵径在8.4~8.6 cm之间、花冠横径均为4.8 cm。黄色系品种中‘纯金’(编号25)得分最高,花冠横径、花冠纵径比例适宜。

表6 主成分因子得分及综合排名

Table 6 Principal component factor scores and comprehensive rankings

品种编号 Code	色系 Color system	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	综合得分 Comprehensive score	排序 Ranking
1	橙色系	2.74	-1.72	-0.98	-0.35	0.51	0.63	9
2	粉色系	0.14	-1.46	-1.53	-0.60	0.83	-0.37	47
3	红色系	0.70	-1.39	-1.63	-0.42	0.48	-0.17	38

表6(续)

品种编号 Code	色系 Color system	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	综合得分 Comprehensive score	排序 Ranking
4	粉色系	1.49	-0.17	0.47	0.07	-1.98	0.43	16
5	红色系	1.40	0.49	0.26	0.41	1.18	0.79	3
6	橙色系	0.71	0.91	0.14	0.16	1.05	0.55	11
7	红色系	-1.33	0.89	-0.16	-0.14	0.37	-0.35	45
8	黄色系	-0.94	0.30	-0.60	0.34	0.71	-0.28	43
9	红色系	1.05	1.63	0.83	-0.48	-0.17	0.73	8
10	粉色系	-0.38	-2.85	2.14	-0.78	-0.47	-0.52	52
11	黄色系	3.03	-1.39	-0.05	1.31	1.01	1.11	2
12	紫色系	2.00	-0.39	0.04	0.81	0.05	0.77	5
13	红色系	0.53	-1.98	-0.58	0.98	-0.27	-0.15	36
14	红色系	0.38	0.77	1.92	-1.46	0.59	0.42	17
15	粉色系	3.20	-0.99	0.16	1.18	0.58	1.22	1
16	红色系	0.37	0.00	0.24	0.10	-0.23	0.16	26
17	红色系	-0.56	-0.18	-0.32	0.05	-1.55	-0.41	48
18	橙色系	-1.09	0.04	-0.39	0.12	-0.86	-0.52	51
19	橙色系	-0.68	0.72	0.12	-0.17	0.27	-0.11	33
20	黄色系	-1.05	1.37	-0.14	-0.18	0.48	-0.15	35
21	粉色系	0.23	-1.90	-0.68	1.14	0.58	-0.18	39
22	红色系	0.02	1.02	0.11	-0.08	0.81	0.27	20
23	紫色系	-1.90	-1.00	-0.71	0.14	-0.27	-0.99	57
24	红色系	-1.95	-0.82	-0.57	-0.18	-0.44	-1.01	58
25	黄色系	1.53	0.79	0.01	0.58	-0.40	0.74	7
26	红色系	0.76	-0.55	1.43	-0.26	1.29	0.44	14
27	红色系	2.01	-0.86	-0.10	0.89	-0.57	0.63	10
28	红色系	-0.41	1.56	0.44	-0.73	-1.00	0.02	30
29	橙色系	0.47	1.06	0.17	0.07	0.85	0.47	13
30	紫色系	1.28	-1.88	-0.17	0.69	0.64	0.25	21
31	红色系	-1.05	0.97	0.00	-0.45	0.51	-0.23	40
32	红色系	0.05	1.46	0.50	-0.60	-2.09	0.10	28
33	白色系	-1.92	1.04	0.48	1.34	-0.88	-0.45	50
34	紫色系	0.06	-0.99	2.32	0.89	0.01	0.20	25
35	红色系	-0.81	1.35	1.26	0.77	0.66	0.20	24
36	红色系	-1.55	1.88	1.35	0.64	-0.39	-0.07	32
37	白色系	-0.93	1.41	0.65	1.89	-1.42	0.02	29
38	紫色系	-0.57	-0.59	1.09	1.79	-1.47	-0.16	37
39	黄色系	-0.77	2.05	1.25	1.00	0.18	0.32	19
40	紫色系	1.23	0.82	0.08	0.60	1.27	0.79	4
41	粉色系	2.02	-1.28	-1.47	0.01	0.77	0.44	15
42	白色系	0.46	0.12	-1.71	-0.67	0.30	-0.04	31
43	红色系	1.21	1.57	-0.42	-1.85	0.19	0.54	12
44	橙色系	1.66	-0.57	-1.25	-0.76	-0.83	0.25	22
45	红色系	2.04	-0.85	-0.23	1.24	0.56	0.76	6

表 6 (续)

品种编号 Code	色系 Color system	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	综合得分 Comprehensive score	排序 Ranking
46	粉色系	-0.56	-1.44	-0.40	0.32	-1.30	-0.60	53
47	红色系	0.92	1.39	-0.55	-1.79	0.28	0.40	18
48	黄色系	-1.46	1.09	-0.31	-0.19	0.83	-0.34	44
49	黄色系	-0.28	1.01	0.11	-0.31	0.79	0.13	27
50	红色系	-0.86	1.11	0.08	-0.44	0.50	-0.12	34
51	红色系	-1.80	0.03	-0.34	-0.14	0.82	-0.66	54
52	粉色系	-0.20	-0.29	-0.90	-1.72	-0.28	-0.41	49
53	橙色系	1.15	0.57	-0.83	-1.29	-1.27	0.22	23
54	紫色系	-1.30	-3.88	3.92	-2.58	0.19	-0.95	56
55	黄色系	-1.13	1.13	0.04	-0.45	0.35	-0.24	42
56	紫色系	0.58	-0.27	-1.03	-1.13	-2.05	-0.23	41
57	白色系	-0.96	0.25	-0.97	1.08	-0.18	-0.35	46
58	白色系	-4.18	0.27	-1.19	-0.25	-0.93	-1.78	60
59	红色系	-1.95	0.18	-0.52	-0.20	1.33	-0.68	55
60	粉色系	-2.85	-1.56	-0.84	0.06	-0.51	-1.50	59

2.6 郁金香花器官表型性状的聚类分析

对 60 个郁金香品种的 9 个花器官表型性状进行主成分聚类分析(图 3), 第 1 主成分贡献率为 38.080%, 第 2 主成分贡献率为 17.816%, 累计贡献率 55.896%。主成分聚类结果表明, 60 个郁金香品种可分为 4 个类群, 其中第 I 类群共 14 个品种, 占供试材料的 23.3%, 包括柱头形状变异的‘小黑人’‘闪光钻

石’‘紫眼’‘斯拉瓦’等红色系、紫色系品种。第 II 类群共 13 个品种, 占供试材料的 21.7%, 第 III 类群共 11 个品种, 占供试材料的 18.3%, 第 II 类群、第 III 类群特征差异较小, 主要以三棱柱的早花、中花品种为主, 包括了综合评价中得分前 10 的品种, 属于花器官综合性状较佳的品种类群。第 IV 类群包括 22 个品种, 占供试材料的 36.7%, 主要以中、晚花品种为主。

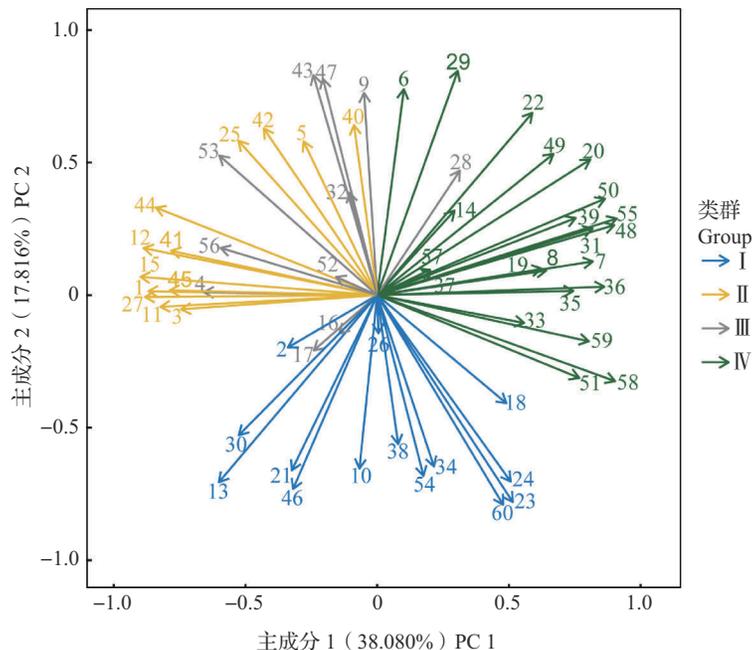


图 3 供试郁金香品种的主成分聚类分析

Fig. 3 PCA analysis plot of tested tulip cultivars

利用组间联接法和平方欧氏距离对供试品种进行系统聚类分析(图4),在平方欧氏距离为15时,可将60个郁金香品种分为4大类,第I类有51个品种,占供试材料的85%;第II类仅有1个品种,占供试材料的1.67%;第III类有6个品种,占供试材料的10%;第IV类有2个品种,占供试材料的3.33%。第I类的51个品种主要以花型较大且颜色艳丽、柱头较粗且花器官综合性状表现优异的郁金香品种为

主;第II类仅‘紫色梦想’1个品种,花器官的表现特点为花冠细长且柱头粗长;第III类聚集了6个柱头短小且花器官性状综合表现一般的品种;第IV类是柱头形状变异的2个品种,为‘闪光钻石’和‘小黑人’。在主成分分析中综合得分最高和最低的品种在系统聚类中均分别被聚为一类,与主成分分析结果基本吻合。

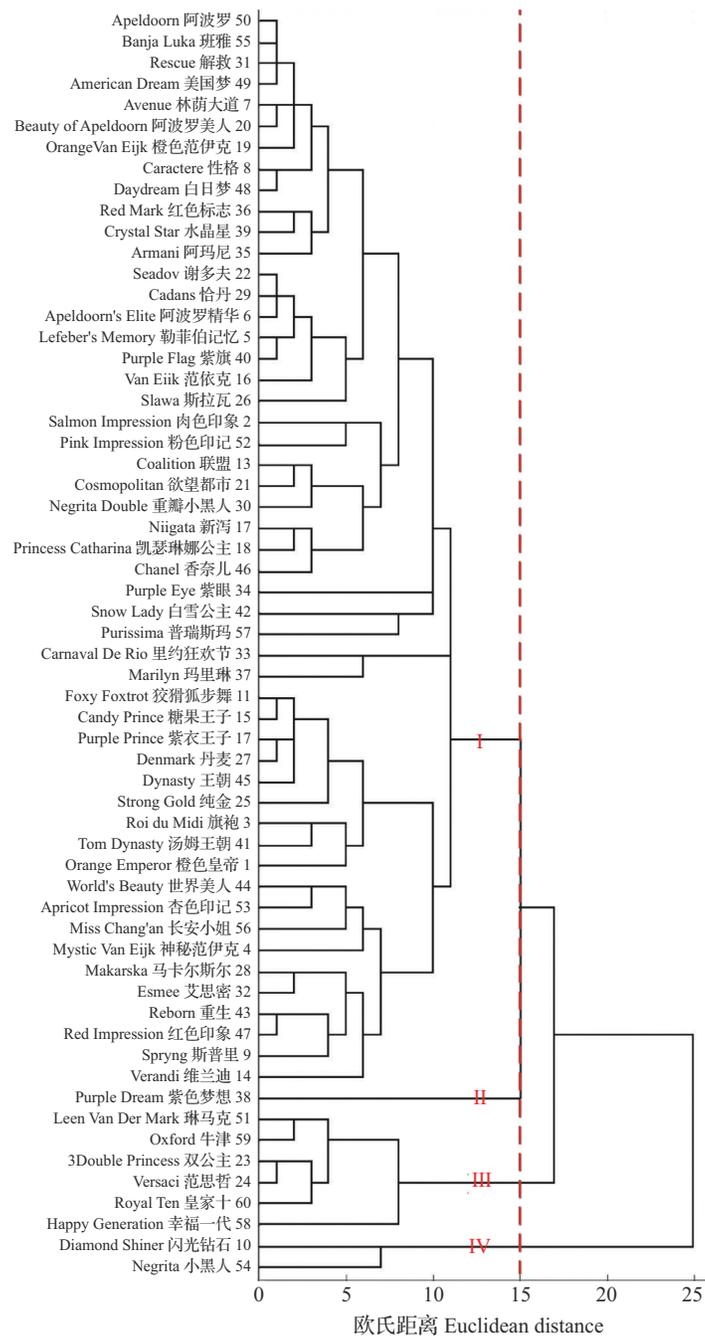


图4 基于9个表型性状的60个郁金香品种的聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis of 60 tulip cultivars based on the phenotype at nine traits

3 讨论

植物的形态多样化来自对不同环境的适应,这些特定的外部形态特征在环境与基因型共同作用下形成^[18]。开展植物表型性状鉴定可以提高对种质资源遗传多样性的认识,对新种质的挖掘和利用具有重要意义^[19]。对于观赏植物,花作为重要的繁殖器官,在植物长期进化过程中为适应多变环境呈现出丰富的表型变异。在对我国新疆地区的野生郁金香开展物候学观测及资源评价的过程中,发现在株高、叶片大小、花大小、花色及花期上均存在种间或种内不同居群间的差异,充分说明郁金香属植物的可塑性非常强,在不同生境中形态变化丰富^[20]。在胡颓子属落叶组植物的柱头形态研究中发现,柱头形状在单株中属于极不稳定的性状,每一株均有变异,且变异程度相对较大^[21]。本研究中60个郁金香品种的花粉颜色和柱头形状均出现不同程度的变异情况,丰富的遗传特征为郁金香优质育种材料筛选及种质创新提供了可能性。供试品种中68%的郁金香为中花品种,花期相遇程度较高,为后续开展花粉采集、授粉工作具有良好的指导意义。

变异系数是反映品种的固有特征及品种间的个体差异的重要指标,变异系数的大小能够体现出性状遗传的多样性,系数越大,则表明遗传背景的丰度越高,越易于鉴定品种^[22]。一般情况下变异系数大于10%即表示样本间差异较大^[23],本研究中郁金香各品种花器官的各数量性状的变异系数均高于14%,表明供试的郁金香各品种间差异较大,变异程度及资源类型均非常丰富。性状的相关性可以通过一种性状的选择间接达到选择另一种性状的效果,从而可以提高选择效率,加快育种的进程^[24]。花冠纵径与花冠横径、柱头长度、柱头周长和柱头直径均呈极显著正相关,说明供试的郁金香品种在花冠形态、繁殖策略和适应性方面存在着联系,较大的花冠和柱头可能有助于吸引更多的传粉者,增加授粉机会,从而提高植物的繁殖成功率。主成分分析在不损失原有基础信息的条件下,利用降维将大量的表型性状指标整合压缩成少量的反映较多信息的综合指标^[25-26],既简化了选择的程序,又可以体现出表型性状的综合特征。本研究提取的5个主成分累计贡献率达到85.179%,可以清楚地显示郁金香各性状指标的重要程度,‘狡猾狐步舞’和‘糖果王子’2个品种的花器官综合性状表现

优异,可为后续郁金香育种工作的亲本选择和遗传改良提供一定的理论依据。

郁金香作为重要的园林观赏植物,花部性状是其最具有观赏价值的部位,其变化对研究花型的发展和进化有着重要意义。表型性状的变异在一定程度上可以反映出基因型上的变异,而聚类结果可以反映出各类群的亲缘关系^[27],‘紫色梦想’因花冠细长、柱头粗且长被单独聚类,可能受到自身遗传特性或是环境因素的影响,导致其花器官表型性状与其他品种的表现差异较为明显,与其他品种亲缘关系距离较远。在杜鹃花器官性状调查和评价研究中,被单独聚类的品种同样在花形态上区别于其他类群^[28],与本研究结果一致。

种质资源是作物遗传改良和相关研究的物质基础^[29]。对种质资源进行花器官表型性状调查及遗传多样性分析,可以为育种工作提供重要信息。本研究对60个郁金香常规栽培品种的花器官进行9个表型性状特征的调查测定,采用变异分析、主成分分析、聚类分析和综合评价等多种方法对各性状进行综合评价,初步探明郁金香花器官数量性状和质量形状的评价体系,通过评价花器官的形态学性状的遗传变异水平,明确郁金香种质资源的性状特点与遗传多样性,研究结果可为进一步开发郁金香的优异花器官观赏性状、种质创新和品种改良提供依据。

参考文献

- [1] 熊亚运,夏文通,王晶,刘燕,潘万春.基于观赏价值和种球再利用的郁金香品种综合评价与筛选.北京林业大学学报, 2015, 37(1):107-114
Xiong Y Y, Xia W T, Wang J, Liu Y, Pan W C. Comprehensive evaluation and screening of tulip cultivars based on their ornamental value and reuse of bulbs. Journal of Beijing Forestry University, 2015, 37(1):107-114
- [2] 胡新颖,印东生,颜范悦,裴新辉,左金富,刘莉.北方地区郁金香切花栽培技术要点.北方园艺, 2010(5):120-122
Hu X Y, Yin D S, Yan F Y, Pei X H, Zuo J F, Liu L. Key points of tulip cut flower cultivation technology in the northern region. Northern Horticulture, 2010(5):120-122
- [3] 谭敦炎.新疆的郁金香属种质资源.植物杂志, 2001(6):0-1
Tan D Y. Germplasm resources of Tulip in Xinjiang. Plants, 2001(6):0-1
- [4] 陈欣晨,赵慧敏,王森,邬思敏,向林,产祝龙,王艳平.不同温度对郁金香花芽分化的影响及相关基因表达分析.园艺学报, 2023, 50(5):1037-1047
Chen X C, Zhao H M, Wang S, Wu S M, Xiang L, Chan Z L, Wang Y P. Analysis of floral bud differentiation and related

- genes expression under different temperatures in *Tulipa gesneriana*. *Acta Horticulturae Sinica*, 2023, 50 (5): 1037-1047
- [5] 李静芳. 氮磷钾配施对郁金香种球膨大的影响及相关基因应用研究. 武汉: 华中农业大学, 2023
Li J F. Effects of NPK fertilizers on tulip bulbs enlargement and application research of related genes. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2023
- [6] 程陈, 余卫东, 闫锦涛, 刘海鹏, 冯利平. 不同品种郁金香鲜切花物质积累及分配的模拟. 中国农业气象, 2019, 40 (12): 758-771
Chen C, Yu W D, Yan J T, Liu H P, Feng L P. Simulation model of material accumulation and distribution of fresh cut tulips of different varieties. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2019, 40 (12): 758-771
- [7] 张晗, 过雪莹, 沈强, 唐东芹. 上海地区郁金香引种栽培与品种综合评价. 热带亚热带植物学报, 2023, 31 (2): 201-210
Zhang H, Guo X Y, Shen Q, Tang D Q. Introduction cultivation and comprehensive evaluation of tulip varieties in Shanghai. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2023, 31 (2): 201-210
- [8] 姚文武, 张福建. 稻壳配施复合肥对郁金香生理特性及杂草防治的影响. 核农学报, 2023, 37 (5): 1022-1029
Yao W W, Zhang F J. Effect of combined application of rice husk and compound fertilizer on physiological characteristics of tulips and weed control. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2023, 37 (5): 1022-1029
- [9] 张艳秋, 邢桂梅, 崔玥晗, 代勇, 杨迪, 屈连伟. 低温处理时间对郁金香生物学性状及种球繁殖的影响. 北方园艺, 2019 (1): 103-109
Zhang Y Q, Xing G M, Cui Y H, Dai Y, Yang D, Qu L W. Effect of cooling treatment duration on biological traits and propagation of tulip. *Northern Horticulture*, 2019 (1): 103-109
- [10] 陈娟娟. 两种野生郁金香种子萌发特性及多倍体诱导研究. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018
Chen J J. Studies on seed germination and polyploid induction of two *Tulipa* species. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018
- [11] 孙琪. IAA 和 JA 途径调控郁金香种球发育和鳞茎再生的研究. 武汉: 华中农业大学, 2022
Sun Q. Research of IAA and JA pathways regulated tulipa bulb enlargement and regeneration. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022
- [12] 王夏, 孙菲菲, 王强. 萝卜种质资源的遗传多样性和聚类分析. 江西农业学报, 2013, 25 (9): 37-40
Wang X, Sun F F, Wang Q. Genetic diversity and cluster analysis of *Radish* germplasm resources. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2013, 25 (9): 37-40
- [13] 吴芳芳, 原鑫, 苏少文, 贺丹, 刘艺平, 孔德政. 荷花品种的花器官表型性状及花色多样性分析. 河南农业大学学报, 2020, 54 (1): 24-29, 37
Wu F F, Yuan X, Su S W, He D, Liu Y P, Kong D Z. Analysis on flower organ phenotypic traits and flower color diversity of lotus cultivars. *Journal of Henan Agricultural University*, 2020, 54 (1): 24-29, 37
- [14] 尹世华, 王康, 黄晓霞, 李淑斌, 程小毛. 47 份月季品种表型多样性分析及综合评价. 江西农业大学学报, 2021, 43 (1): 94-105
Yin S H, Wang K, Huang X X, Li S B, Cheng X M. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 47 rose resources. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2021, 43 (1): 94-105
- [15] 罗莎, 李冰洁, 付雅琪, 孔晨, 杨佳维, 高星, 赵婷婷, 王浩任, 张延龙, 史倩倩. 基于表型聚类和 CDDP 标记的牡丹花瓣色斑遗传多样性分析. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2024, 52 (5): 110-123
Luo S, Li B J, Fu Y Q, Kong C, Yang J W, Gao X, Zhao T T, Wang H R, Zhang Y L, Shi Q Q. Genetic diversity analysis of basal blotch in tree peony petal based on phenotypic clustering and CDDP molecular markers. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2024, 52 (5): 110-123
- [16] 顾婧婧, 金则新, 熊能. 濒危植物夏蜡梅花的形态变异. 植物研究, 2010, 30 (4): 461-467
Gu J J, Jin Z X, Xiong N. Morphological variation of flowers in endangered plant *Sinocalycanthus chinensis*. *Bulletin of Botanical Research*, 2010, 30 (4): 461-467
- [17] 葛红, 赵世伟, 周肖红, 杨树华, 李秋香, 杨坤, 田睿, 王甜甜, 杨爽, 刘娟. NY/T 2226-2012 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 郁金香属. 北京: 全国植物新品种测试标准化技术委员会, 2012
Ge H, Zhao S W, Zhou X H, Yang S H, Li Q X, Yang K, Tian R, Wang T T, Yang S, Liu J. NY/T 2226-2012 Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability-Tulip (*Tulipa* L.). Beijing: National Plant New Variety Testing Standardization Technical Committee, 2012
- [18] 李祥栋, 潘虹, 陆秀娟, 魏心元, 陆平, 石明, 练启仙. 葱苣属种质资源的主要表型性状多样性研究. 植物遗传资源学报, 2019, 20(1): 229-238
Li X D, Pan H, Lu X J, Wei X Y, Lu P, Shi M, Lian Q X. Analysis of main phenotypic characteristics in *Coix* L. germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20 (1): 229-238
- [19] 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
- [20] 王玉荣. 新疆郁金香属植物生物学特性及资源评价研究. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2002
Wang Y R. Studies on the biological characters and resources evaluation of *Tulipa* from Xinjiang. Urumqi: Xinjiang

- Agricultural University, 2002
- [21] 王盼盼. 基于形态性状研究的新疆胡颓子属植物变异式样. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015
Wang P P. The variation pattern of *Elaeagnus* L. in Xinjiang based on morphological characters. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015
- [22] Alizadeh K, Fatholahi S, Teixeira D S J A. Variation in the fruit characteristics of local pear (*Pyrus spp.*) in the Northwest of Iran. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2015, 62: 635-641
- [23] 孙铭, 符开欣, 范彦, 张新全, 张成林, 郭志慧, 汪霞, 马啸. 15份多花黑麦草优良引进种质的表型变异分析. *植物遗传资源学报*, 2016, 17 (4): 655-662
Sun M, Fu K X, Fan Y, Zhang X Q, Zhang C L, Guo Z H, Wang X, Ma X. Analysis of phenotypic variations in 15 introduced elite germplasm of *Lolium multiflorum* Lam. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17 (4): 655-662
- [24] 刘子记, 申龙斌, 杨衍, 曹振木. 甜椒核心种质遗传多样性与亲缘关系分析. *江苏农业科学*, 2016, 44 (5): 199-202
Liu Z J, Shen L B, Yang Y, Cao Z M. Analysis of genetic diversity and kinship of bell pepper core germplasm. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44 (5): 199-202
- [25] 郭宝林, 杨俊霞, 李永慈, 于树胜. 主成分分析法在仁用杏品种主要经济性状选种上的应用研究. *林业科学*, 2000, 36 (6): 53-56
Guo B L, Yang J X, Li Y C, Yu S S. The application of principal component analysis on mainly economic characters and superior variety selection of apricot for nucleolus using. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36 (6): 53-56
- [26] 张莹, 曹玉芬, 霍宏亮, 徐家玉, 田路明, 董星光, 齐丹, 张小双, 刘超, 王立东. 基于枝条和叶片表型性状的梨种质资源多样性. *中国农业科学*, 2018, 51 (17): 3353-3369
Zhang Y, Cao Y F, Huo H L, Xu J Y, Tian L M, Dong X G, Qi D, Zhang X S, Liu C, Wang L D. Diversity of pear germplasm resources based on twig and leaf phenotypic traits. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51 (17): 3353-3369
- [27] 刘冬云, 刘燕. 山丹不同居群花器官的形态多样性研究. *植物遗传资源学报*, 2012, 13 (6): 997-1004
Liu D Y, Liu Y. Floral diversity of the different populations of *Lilium pumilum* DC.. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2012, 13 (6): 997-1004
- [28] 林昭. 不同色系杜鹃花品种花部性状、花色成分分析和杂交育种试验. 杭州: 浙江农林大学, 2023
Lin Z. Analysis of floral traits, flower pigment composition and hybrid breeding experiments of different color cultivars of *Rhododendro*. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2023
- [29] 黎裕, 李英慧, 杨庆文, 张锦鹏, 张金梅, 邱丽娟, 王天宇. 基于基因组学的作物种质资源研究: 现状与展望. *中国农业科学*, 2015, 48 (17): 3333-3353
Li Y, Li Y H, Yang Q W, Zhang J P, Zhang J M, Qiu L J, Wang T Y. Genomics-Based crop germplasm research: Advances and perspectives. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48 (17): 3333-3353