

仰小东,龙燕兰,汤 鹏,等. 郁金香表型性状的遗传变异及多样性分析[J]. 江苏农业科学,2025,53(11):133-140.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.11.019

# 郁金香表型性状的遗传变异及多样性分析

仰小东,龙燕兰,汤 鹏,梁海英  
(江苏开放大学环境生态学院,江苏南京 210036)

**摘要:**揭示不同种质资源郁金香品种的表型性状的多样性,为后续郁金香的遗传育种、种质评价和园林应用奠定良好基础。以 27 份郁金香种质资源为供试材料,对 12 个数量性状和 9 个质量性状进行观测,结合方差分析、相关性分析、聚类分析和主成分分析等多元统计分析方法解析郁金香种质资源表型性状的遗传变异和多样性。结果表明,不同郁金香品种之间大部分的数量性状之间差异较大,数量性状的表型变异系数在 14.52%~90.39% 之间,遗传变异系数略小于表型变异系数;所有数量性状中广义遗传力均较高,数值范围在 0.72~0.97 之间;而 9 个质量性状的变异系数范围为 20.67%~52.05%。质量性状的 Shannon-Wiener 指数为 0.50~3.66,而大部分数量性状的多样性指数均在 2.70 以上,说明数量性状的多样性更为丰富。相关性分析结果表明在不同性状之间共有 45 对达到显著或极显著相关,表明不同性状间具有一定的相关性;从 21 个表型性状中提炼出 7 个主成分,累计贡献率达 81.29%,反映了大部分表型性状的信息。此外,聚类分析发现在欧氏距离为 10 时,可以将 27 份郁金香品种资源分为 3 个大类,分类结果与郁金香品种的生长状况和形态较为吻合。综上所述,郁金香品种资源的表型性状具有丰富多样性,基于表型性状的种质资源筛选潜力较大,花瓣数量、株高和花葶长等性状在早期选择的潜力较大、效果好。

**关键词:**郁金香;遗传变异;表型性状;多样性分析;聚类分析

**中图分类号:**S682.2<sup>+</sup>63.032 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)11-0133-08

郁金香为百合科郁金香属(*Tulipa* L.)观赏植物,在欧洲、亚洲、美洲皆有广泛栽培,是全球栽培

收稿日期:2024-05-28

基金项目:江苏省基础研究计划(自然科学基金)(编号: BK202301116);江苏省高等学校自然科学研究面上项目(编号: 21KJB220005);华东地区花卉生物学国家林业和草原局重点实验室开放课题(编号:KF202103)。

作者简介:仰小东(1991—),男,浙江湖州人,博士,讲师,主要从事园林植物遗传育种与分子生物学等研究工作。E-mail: yangxd@jso.u.edu.cn。

数量最大的球根花卉,享有“世界花后”的美誉<sup>[1]</sup>。因其具有花大色艳、色彩丰润、适应性好、抗逆性强、花期较长等优点,在园林、盆栽及鲜切花等领域均具有重要的经济价值<sup>[2]</sup>。随着人民生活水平的日益提高,对郁金香品种的需求也日趋多样化,为产业发展带来巨大的空间。虽然我国作为郁金香的原产地之一,但优异郁金香品种大多从国外引进,缺乏自主知识产权品种严重制约了相关产业的可持续发展。因此,开展郁金香种质资源调查,明

activities of *in vitro*-grown *Solanum tuberosum* L. under salt stress [J]. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 2016, 52(1):81-91.

[34] 郑爱珍. 镉胁迫对芥蓝根系膜过氧化及 ATPase 活性的影响 [J]. *生态学报*, 2012, 32(2):483-488.

[35] Muslu A, Ergün N. Effects of copper and chromium and high temperature on growth, proline and protein content in wheat seedlings [J]. *Bangladesh Journal of Botany*, 2013, 42(1):105-112.

[36] Abbas T, Rizwan M, Ali S, et al. Effect of biochar on alleviation of cadmium toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on Cd-contaminated saline soil [J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2018, 25(26):25668-25680.

[37] Liu W X, Shang S H, Feng X, et al. Modulation of exogenous selenium in cadmium-induced changes in antioxidative

metabolism, cadmium uptake, and photosynthetic performance in the 2 tobacco genotypes differing in cadmium tolerance [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2015, 34(1):92-99.

[38] Khan A, Bilal S, Khan A L, et al. Silicon-mediated alleviation of combined salinity and cadmium stress in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) by regulating physio-hormonal alteration [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, 188:109885.

[39] Sardar R, Ahmed S, Ahmad Yasin N. Seed priming with karrikinolide improves growth and physiochemical features of *Coriandrum sativum* under cadmium stress [J]. *Environmental Advances*, 2021, 5:100082.

[40] Mauad M, Crusciol C A C, Nascente A S, et al. Effects of silicon and drought stress on biochemical characteristics of leaves of upland rice cultivars [J]. *Revista Ciência Agronômica*, 2016, 47(3):532-539.

确郁金香重要表型性状的遗传特性和多样性,有利于推进郁金香种业创新和全产业链的国产化。

郁金香常见的叶型、花形等表型性状不仅受自身遗传影响,还容易受外界栽培条件的影响。近年来,围绕郁金香品种选育、种球繁育、栽培应用等方面的研究正逐步开展起来。巨秀婷等利用 ISSR 分子标记技术对郁金香品种进行遗传多样性分析<sup>[3]</sup>,为后续杂交育种工作中亲本选配提供一定的参考依据。马秀花等利用 11 个数量性状和 9 个质量性状对 62 份郁金香资源的表型遗传多样性及观赏价值进行综合评价<sup>[4]</sup>,为郁金香遗传关系研究和新品种选育提供了理论依据。杨延红等发现郁金香中以四面体型四分体居多,并通过花粉离体萌发的方法明确花粉萌发的适宜培养基组分<sup>[5]</sup>。张晗等基于 AHP- GRA 法对栽培在上海地区的 29 份引进品种进行综合评级,筛选出优良品种<sup>[6]</sup>,为后续针对适生品种开展本土化栽培研究提供了依据。此外,还有一些研究者从分子生物学角度阐述了郁金香花色和花芽分化的分子机制<sup>[7-8]</sup>。综上,可以发现有

关郁金香的研究已取得良好进展,但有关其遗传评价研究相对较少。

本研究拟通过调查分析 27 个郁金香品种的主要表型性状,一方面从群体遗传学角度估测不同性状之间的遗传力、遗传进度等遗传特性;同时基于表型性状对郁金香品种之间的多样性进行剖析,研究结果将有助于补充郁金香种质资源评价利用体系,为后续重要表型性状的遗传改良提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究以 27 份郁金香主要栽培品种(表 1)为试验材料,在 2022 年的 11—12 月将种球露天定植于南京市建邺区南京中国绿化博览园荷兰园中(118.709 695°E,32.019 756°N),采用常规的水肥管理。每个品种至少种植 100 株,株、行距均为 10 cm,定植深度为 10 cm。在其盛花期间对其 21 个表型性状进行观测。

表 1 供试的 27 份郁金香种质资源信息

序号	品种名称	瓣型	花形	花色	花瓣边缘颜色	序号	品种名称	瓣型	花形	花色	花瓣边缘颜色
1	丹麦	单瓣	杯形	红/黄	黄	15	白衣王子	单瓣	碗形	白	白
2	印象设计	单瓣	碗形	淡粉	黑	16	皇家 10 号	单瓣	杯形	淡粉	白
3	珊瑚君主	单瓣	碗形	红/黄	黑	17	奥尔良	单瓣	杯形	淡黄	黄
4	害羞君主	单瓣	杯形	黄/红	红	18	大微笑	单瓣	碗形	黄	黄
5	礼物	单瓣	杯形	红	红	19	桌舞重瓣	重瓣	碗形	粉	粉
6	红色君主	单瓣	碗形	红	黑	20	阳关恋人重瓣	重瓣	碗形	橙	橙
7	格罗特	单瓣	杯形	黄	黄	21	普瑞斯玛	单瓣	碗形	白	白
8	荷兰时尚	单瓣	百合形	淡粉	白	22	粉色印象	单瓣	碗形	粉	黑
9	幸福一代	单瓣	杯形	红/白	淡红	23	女王夜晚	单瓣	杯形	紫黑	紫黑
10	紫旗	单瓣	杯形	紫	紫	24	克斯奈丽丝	单瓣	杯形	黄/红	红
11	金色牛津	单瓣	碗形	黄	黄	25	玛丽莲	单瓣	杯形	红/白	淡红
12	神秘罗马	单瓣	杯形	粉	粉	26	吉米	单瓣	杯形	粉橙	粉橙
13	糖果王子	单瓣	杯形	紫	紫	27	性格	单瓣	杯形	黄	黄
14	哥伦布重瓣	重瓣	碗形	粉/白	粉						

注:“/”表示间色,例如“黄/红”表示黄色占主导,“红/黄”则表示红色占主导。

### 1.2 郁金香表型性状调查

2023 年 3—4 月,参照 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》和高星等记载的测量标准对郁金香表型性状<sup>[9]</sup>进行测定。使用游标卡尺和卷尺对株高、叶数、茎生叶长、茎生叶宽、花冠长度、花径、花瓣数量、花瓣长、花瓣宽、花葶长、花葶宽和冠幅等 12 个数量性状

进行测定,单个品种重复 9 次。质量性状主要有瓣型、花形、花色、花外部颜色数量、花瓣边缘颜色、雄蕊颜色、花粉颜色、花柱头颜色和花须边程度等 9 个性状,主要通过目测法观测并登记。

### 1.3 数据统计分析

通过 Microsoft Excel 2019 软件和 SPSS 22.0 软件对表型性状进行数据分析,计算最大值、最小值、

平均值和标准差,并进行主成分分析和聚类分析,在聚类分析中,采用组间连接法进行聚类。聚类类型采用欧氏距离,采用 R 软件进行相关性分析并作图。数量性状的 Shannon - Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 的计算方法参考孙东雷等的方法<sup>[10-11]</sup>,先计算出总体平均数 ( $\bar{x}$ ) 和标准差 ( $SD$ ),每个等级间相差  $0.5SD$ ,第 1 级为  $\bar{x}_1 = (\bar{x} - 2SD)$  到第 10 级  $\bar{x}_{10} = (\bar{x} + 2SD)$ ,通过计算出每级的相对频率  $P_i$ ,然后计算出多样性指数。质量性状则先赋值,然后根据分布类型计算分布频率。计算公式为:

$$H' = - \sum P_i \times \ln P_i。$$

式中: $i$  为性状的第  $i$  个类型; $P_i$  为第  $i$  个类型所占的比例; $\ln$  为自然对数。

广义遗传力、遗传进度和相对遗传进度计算方法参照张飞等的方法<sup>[12-13]</sup>,具体公式为:

$$\text{广义遗传力: } h_B^2 = \delta_G^2 / [\delta_G^2 + (\delta_{G \times E}^2 / n) + \delta_e^2 / nm];$$

$$\text{表型变异系数: } PCV = \sqrt{\delta_G^2 + (\delta_{G \times E}^2 / n) + \delta_e^2 / nm} / \bar{x} \times 100\%;$$

$$\text{遗传变异系数: } GCV = \sqrt{\delta_G^2} / \bar{x} \times 100\%;$$

遗传进度  $\Delta G = K \times \delta_G \times \sqrt{h_B^2}$  ( $K$  为 5% 选择压下的选择强度,为 2.06);

相对遗传进度  $\Delta G' = (K \times \delta_G \times \sqrt{h_B^2}) / \bar{x} \times 100\%$ 。

其中, $\delta_G^2$  表示遗传方差; $\delta_{G \times E}^2$  表示环境和基因

型互作方差; $\delta_e^2$  表示误差方差; $n$  表示环境的数目; $m$  表示每个环境中重复的数目。

## 2 结果与分析

### 2.1 郁金香品种数量性状的遗传变异及多样性分析

由表 2 可知,不同郁金香品种之间大部分的数量性状之间差异较大。从株高性状看,最矮的仅为 20.20 cm,而最高株高为 65.71 cm,前者仅为后者的 1/3。花瓣数量的平均值为 8.57 张,大部分花数量为 5 张,而重瓣品种花瓣数量最多可达 46 张。花萼宽性状在不同品种之间的差异较小,分布范围为 0.42 ~ 1.02 cm,标准差仅为 0.09。各性状之间,表型变异系数的分布范围较大,为 14.52% ~ 90.39%,花瓣数量的表型变异系数最大,达到了 90% 以上,进一步证明了不同品种间花瓣数量差异较大,而叶数、花瓣长、花瓣宽和花萼宽性状的表型变异系数均小于 20%,说明这 4 个性状在品种之间的差异较小,剩余的性状如株高、茎生叶长、茎生叶宽等 7 个性状的表型变异系数均介于 20% ~ 27% 之间,变异幅度一般。从数值看,遗传变异系数略小于表型变异系数,其分布范围为 12.76% ~ 89.02%,同样发现,花萼宽性状的遗传变异系数最小,而花瓣数量的遗传变异系数最大。

表 2 郁金香品种数量性状表型统计分析

数量性状	最小值	最大值	均值	标准差	表型变异系数 (%)	遗传变异系数 (%)
株高 (cm)	20.20	65.71	45.59	9.48	21.03	20.21
叶数 (张)	2.00	8.00	4.81	1.40	18.51	16.82
茎生叶长 (cm)	10.10	32.11	19.57	4.08	21.15	18.62
茎生叶宽 (cm)	5.05	17.18	10.17	2.45	24.36	20.63
花冠长度 (cm)	3.97	12.46	8.42	1.75	20.90	20.28
花径 (cm)	4.33	15.42	9.36	2.47	26.71	25.89
花瓣数量 (枚)	5.00	46.00	8.57	7.62	90.39	89.02
花瓣长 (cm)	5.08	12.12	8.52	1.58	18.78	17.99
花瓣宽 (cm)	3.03	7.57	5.17	0.94	18.25	16.25
花萼长 (cm)	10.40	34.50	22.16	5.85	26.83	24.99
花萼宽 (cm)	0.42	1.02	0.64	0.09	14.52	12.76
冠幅 (cm)	11.00	38.80	21.53	5.27	24.68	22.95

广义遗传力、遗传进度、相对遗传进度等遗传参数分析结果见表 3。结果表明,12 个性状的广义遗传力均较高,数值范围在 0.72 ~ 0.97 之间,其中茎生叶长 (0.78)、茎生叶宽 (0.72)、花瓣宽 (0.79)

和花萼宽 (0.77) 等性状的广义遗传力相对较低,而株高、花冠长度、花径、花瓣数量和花瓣长等 5 个性状的广义遗传力在 0.9 以上,花瓣数量的最大,为 0.97。遗传进度结果显示,株高、花瓣数量的遗传进

度较高,花葶宽的较低,仅为 0.15。相对遗传进度同样在花瓣数量上表现较高(180.59%),在花葶宽中最低。通过对遗传进度和相对遗传进度分析发现,花瓣数量在遗传进度和相对遗传进度上均表现较高,说明在人工选择下,获得遗传增量较大。对 Shannon - Wiener 指数分析发现,除花瓣数量的多样性指数最小,仅为 0.97 之外,其他 11 个性状的多样性指数均在 2.70 及以上,其中花径和花瓣长 2 个性状的多样性指数均在 2.90 以上,分别为 2.91 和 2.99。研究结果说明花瓣长、花径、花葶长和花葶宽等性状的多样性丰富,变异更为广泛,而花瓣数量性状的多样性相对较低。

表 3 郁金香品种数量性状的遗传系数和多样性分析

数量性状	广义遗传力	遗传进度	相对遗传进度(%)	Shannon - Wiener 指数
株高	0.92	18.17	39.86	2.75
叶数	0.83	1.52	31.60	2.82
茎生叶长	0.78	6.65	33.97	2.80
茎生叶宽	0.72	3.67	36.10	2.88
花冠长度	0.94	3.41	40.49	2.85
花径	0.94	4.84	51.69	2.91
花瓣数量	0.97	15.48	180.59	0.97
花瓣长	0.92	3.03	35.58	2.99
花瓣宽	0.79	1.53	29.62	2.84
花葶长	0.87	10.65	48.07	2.86
花葶宽	0.77	0.15	23.42	2.89
冠幅	0.87	9.52	44.22	2.70

### 2.2 郁金香资源质量性状的变异及多样性

27 份郁金香品种 9 个质量性状的变异系数及多样性指数见表 4。从各性状的频次分布发现,瓣型较为单一,主要可分为单瓣和重瓣,单瓣在统计品种中占据绝对优势;而郁金香花色性状比较丰富,14 种不同的色彩均在郁金香中占有一定的比例,黄色占比最大,为 14.81%;花外部颜色主要有 1 种、2 种,其占比分别为 59.26%、40.74%。在 9 个质量性状中,变异系数最大的是花色和花瓣边缘颜色,两者均在 50% 以上,分别为 52.05%、51.28%,其次是花须边程度、花形、花外部颜色数量、花柱头颜色、瓣型、雄蕊颜色,最小的则是花粉颜色。综合分析发现,有 6 个性状的变异系数均在 30% 以上,说明郁金香花形表型数据变异较为广泛,可作为杂种亲本。多样性指数在不同性状之间的差异较大,瓣型性状的多样性指数仅为 0.50,而花色(3.66)和

表 4 郁金香品种质量性状的变异及多样性

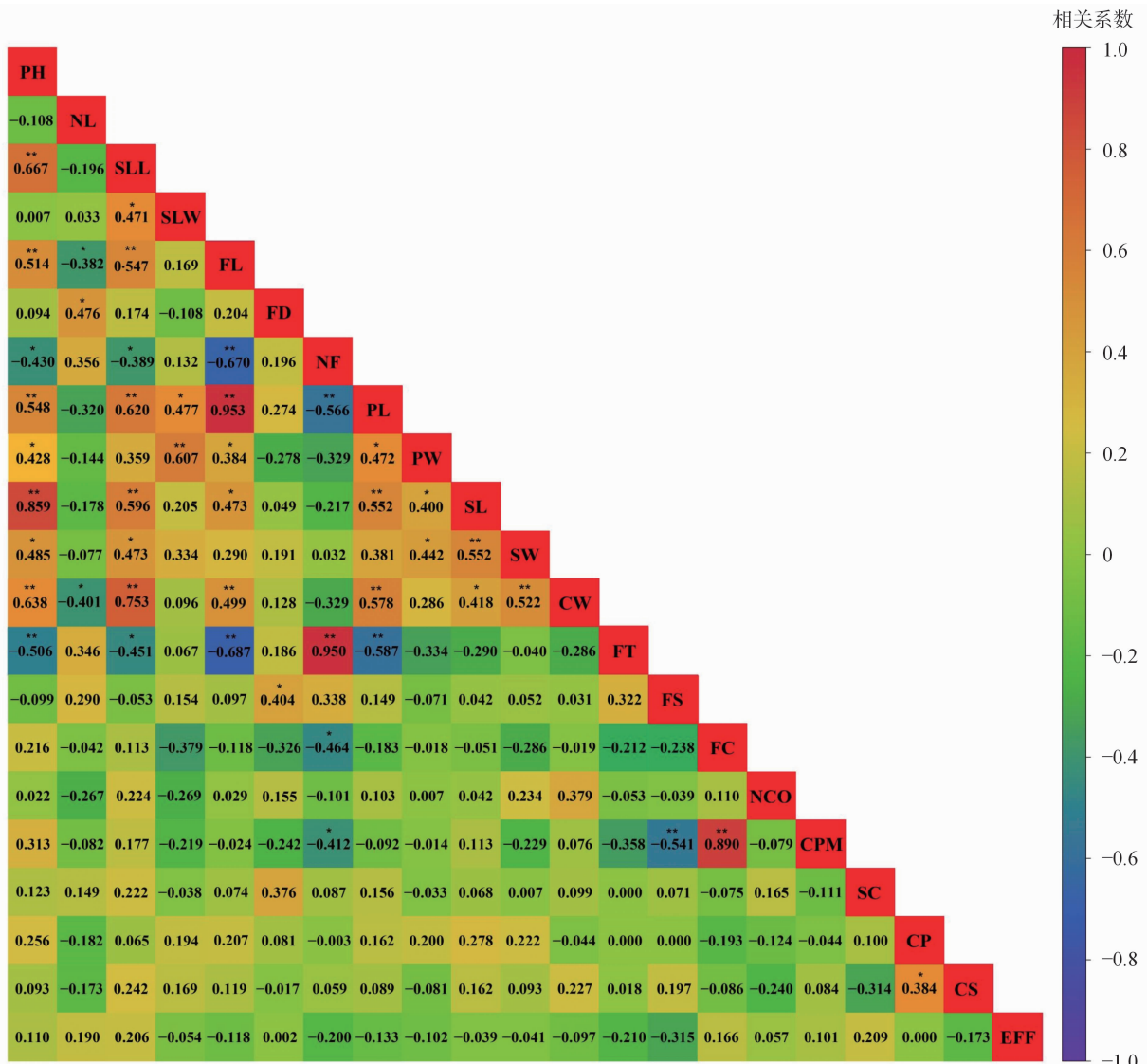
质量性状	性状类型及赋值	材料份数(份)	分布比例(%)	变异系数(%)	Shannon - Wiener 指数
瓣型	单瓣(1)	24	88.89	28.82	0.50
	重瓣(2)	3	11.11		
花形	杯形(1)	15	55.56	39.14	1.17
	碗形(2)	11	40.74		
	百合形(3)	1	3.70		
花色	白(1)	2	7.41	52.05	3.66
	橙(2)	1	3.70		
	粉(3)	3	11.11		
	粉/白(4)	1	3.70		
	淡粉(5)	3	11.11		
	粉橙(6)	1	3.70		
	红(7)	2	7.41		
	红/白(8)	2	7.41		
	红/黄(9)	2	7.41		
	黄(10)	4	14.81		
	黄/红(11)	2	7.41		
	淡黄(12)	1	3.70		
	紫(13)	2	7.41		
	紫黑(14)	1	3.70		
花外部颜色数量	1 种(1)	16	59.26	35.58	0.98
	2 种(2)	11	40.74		
花瓣边缘颜色	白(1)	4	14.81	51.28	3.09
	橙(2)	1	3.70		
	粉(3)	3	11.11		
	粉橙(4)	1	3.70		
	黑(5)	4	14.81		
	红(6)	3	11.11		
	淡红(7)	2	7.41		
雄蕊颜色	黄(8)	6	22.22	26.58	1.30
	紫(9)	2	7.41		
	紫黑(10)	1	3.70		
	白(1)	2	7.41		
花粉颜色	黑(2)	14	51.85	20.67	1.18
	黄(3)	11	40.74		
	淡绿(1)	1	3.70		
	黑(2)	2	7.41		
花柱头颜色	黄(3)	20	74.07	31.53	1.46
	绿(4)	4	14.81		
	白(1)	4	14.81		
花须边程度	黄(2)	11	40.74	49.30	1.16
	绿(3)	12	44.44		
	无(1)	19	70.37		
	浅裂(2)	5	18.52		
	深裂(3)	3	11.11		

花瓣边缘颜色(3.09)的多样性指数较高,其余性状的多样性指数分布较为集中,主要在 0.98 ~ 1.50 之间。上述结果也同样说明了郁金香花色和花瓣边缘颜色较为丰富,而在瓣型上分布较为单一。

### 2.3 郁金香性状间相关性分析

郁金香 21 个性状间的相关性分析结果如图 1 所示。Pearson 相关性分析结果表明,在 210 对性状之间共有 24 对达到极显著相关,还有 21 对性状表现为显著相关,表明不同性状间具有一定的相关性。在数量性状中,株高与茎生叶长、花冠长度、花瓣长、花瓣宽和冠幅等均具有显著或极显著正相关性(0.43 < r < 0.86),但与花瓣数量呈显著负相关;叶数仅与花径呈显著正相关,相关系数为 0.48,而

与花冠长度和冠幅呈显著负相关;茎生叶长与茎生叶宽、花冠长度、花瓣长、花萼长、花萼宽、冠幅等性状均呈显著或极显著正相关,而与花瓣数量呈显著负相关;茎生叶宽仅与花瓣长和花瓣宽存在显著正相关;花冠长度与花瓣长、花瓣宽、花萼长和冠幅均存在显著或极显著正相关,其中与花瓣长的相关系数高达 0.95;花瓣长、宽和花萼长、宽之间,都达到显著或极显著正相关水平。9 个质量性状彼此之间的相关性较弱,花柱头颜色和花粉颜色存在显著正相关;花瓣边缘颜色则和花形存在极显著负相关,与花色存在极显著正相关,相关系数分别为 -0.54 和 0.89。此外,还发现质量性状瓣型与数量性状株高、茎生叶长、花冠长度、花瓣长等呈显著或极显著负相



\*\*、\* 分别表示在 0.01、0.05 水平上显著相关; PH-EFF 依次表示株高、叶数、茎生叶长、茎生叶宽、花冠长度、花径、花瓣数量、花瓣长、花瓣宽、花萼长、花萼宽、冠幅、瓣型、花形、花色、花外部颜色数量、花瓣边缘颜色、雄蕊颜色、花粉颜色、花柱头颜色、花须边程度

图1 21 个表型性状间的相关性分析

关,与花瓣数量呈极显著正相关,花瓣边缘颜色与花瓣数量存在显著负相关,相关系数为 $-0.41$ 。

#### 2.4 郁金香性状主成分分析

由表 5 可知,以特征值 1 为阈值,可以从 21 个表型性状中提炼出 7 个主成分,其贡献率分别为 27.02%、16.77%、10.28%、7.97%、7.16%、6.86%、5.23%,累计贡献率达 81.29%,包括了测量的大部分表型性状信息。第 1 主成分的特征值为 5.67,主要涵盖了株高、茎生叶长、花冠长度、花瓣长和花葶长等性状,这些性状均具有较高正向负载系数( $>0.70$ ),大致反映出郁金香的生长态势。在第 2 主成分中,主要反映出花形和花色特点,其中花形

的正向负载系数最大为 0.71,花色和花瓣边缘颜色的负向负载系数绝对值较大,分别为 $-0.88$ 和 $-0.77$ 。第 3 和第 4 主成分中,负载系数较大的分别是花径和叶数性状,其负载系数分别为 0.64 和 0.59。第 5 和第 6 主成分集中反映出花柱头颜色性状,在 2 个主成分中绝大多数性状的负载系数绝对值均较小,仅花柱头颜色具有较高的正向负载系数,在 2 个主成分中的负载系数分别为 0.42 和 0.58;此外,花瓣宽在第 6 主成分中具有较大负向负载系数。在第 7 主成分中,花粉颜色性状的负向负载系数绝对值较大,为 0.72,说明该主成分主要反映花粉性状。

表 5 郁金香品种资源表型性状的主成分分析结果

性状	各主成分的负载系数						
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5	主成分 6	主成分 7
株高	0.78	-0.03	0.09	0.40	0.16	0.14	0.01
叶数	-0.43	0.21	0.30	0.59	-0.20	0.14	0.39
茎生叶长	0.81	0.08	0.21	0.16	0.22	-0.02	0.14
茎生叶宽	0.19	0.46	-0.58	0.31	-0.23	-0.28	0.15
花冠长度	0.83	0.15	0.01	-0.24	-0.37	0.21	-0.04
花径	0.03	0.51	0.64	0.14	-0.07	0.36	0.06
花瓣数量	-0.69	0.54	-0.01	0.16	0.37	-0.09	0.01
花瓣长	0.84	0.25	0.11	-0.21	-0.28	0.15	0.02
花瓣宽	0.55	0.13	-0.40	0.15	-0.18	-0.51	0.15
花葶长	0.73	0.22	-0.05	0.30	0.25	0.03	0.02
花葶宽	0.52	0.48	0.01	0.16	0.37	-0.33	0.04
冠幅	0.69	0.16	0.16	-0.28	0.35	-0.11	0.20
瓣型	-0.73	0.48	-0.01	0.08	0.38	-0.08	0.02
花形	-0.12	0.71	0.10	-0.16	-0.12	0.30	0.25
花色	0.12	-0.88	0.07	0.17	0.18	0.09	0.19
花外部颜色数量	0.18	-0.06	0.58	-0.42	0.36	-0.37	-0.12
花瓣边缘颜色	0.21	-0.77	-0.07	0.27	0.26	0.24	0.17
雄蕊颜色	0.09	0.18	0.59	0.27	-0.19	-0.13	-0.27
花粉颜色	0.23	0.26	-0.28	0.25	0.10	0.21	-0.72
花柱头颜色	0.16	0.20	-0.43	-0.05	0.42	0.58	-0.06
花须边程度	0.03	-0.29	0.31	0.48	-0.14	-0.20	-0.29
特征值	5.67	3.52	2.16	1.67	1.50	1.44	1.10
方差贡献率(%)	27.02	16.77	10.28	7.97	7.16	6.86	5.23
累计贡献率(%)	27.02	43.79	54.07	62.04	69.20	76.06	81.29

#### 2.5 郁金香群体聚类分析

基于 21 个性状对 27 个郁金香品种采用了组间连接法进行聚类分析,聚类类型采用 Ward 法。由图 2 可知,在欧氏距离为 10 时,可以将 27 份郁金香

品种资源分为 3 类,其中第 1 类包括 11 个郁金香品种,第 2 类主要包括了 3 个郁金香品种,第 3 类则包含了 13 个郁金香品种。仔细分析发现,第 1 类主要包涵的郁金香品种主要特征是株高较矮,冠幅较

小,花萼较细弱短小,花瓣较小,花型较小,花色较为丰富,花粉基本以黄色主。第 2 类的 3 个品种均为重瓣品种,除花瓣数量较多之外,花形均为碗形,花冠较短,花径大,花瓣卵形全缘,无明显须边,基生叶数较多,花色以粉橙系为主,花粉和雄蕊颜色主要为黄色。第 3 类郁金香品种的主要特征是株型高大,一般都在 50 cm 以上,叶型较大,花瓣大而长,花萼粗而长,叶数较多,冠幅大,花外部主要以单色为主,花粉和柱头颜色主要为黄色。

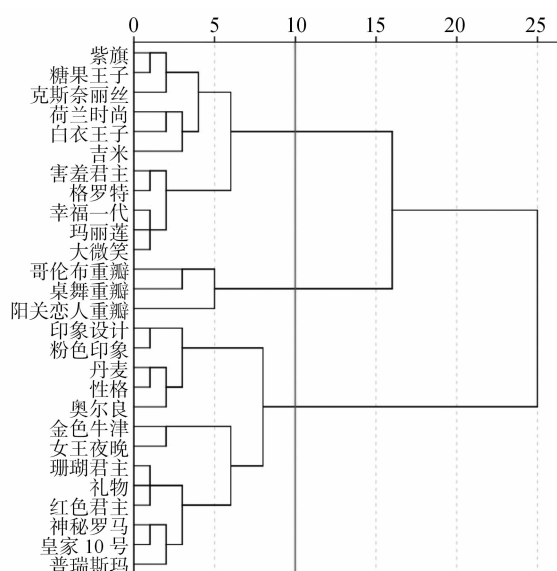


图2 基于 21 个表型性状的 27 份郁金香种质树状聚类分析

### 3 讨论

郁金香是世界著名观赏花卉之一,花色繁多,色彩丰润,深受消费者喜爱,自首次被人们发现并开始人工培育以来,经不断育种改良,目前世界范围内登记品种已达 8 000 多个<sup>[3]</sup>。表型是植物自身遗传因素与外界环境因素相互作用的结果,了解和掌握表型性状的多样性,是植物种质资源研究的最直观、最基本的方法和途径之一<sup>[14-16]</sup>。

本研究中,利用 21 个表型性状对 27 个郁金香品种进行了表型评估和多样性分析。结果表明,群体数量性状的表型变异系数范围为 14.52% ~ 90.39%,平均为 21.18%;而数量性状的遗传变异系数范围为 12.76% ~ 89.02%,表明供试材料的表型性状表现出丰富的多样性和变异,可为后续郁金香遗传育种提供丰富的种质资源。相似的结果在其他观赏植物如菊花、卡特兰和月季之中也较为常见<sup>[15-17]</sup>。多样性指数也从侧面证实了上述结论,本研究中大部分数量性状的 Shannon - Wiener 指数在

2.70 以上,研究结果略高于马秀花等在郁金香表型性状上的多样性指数数值,造成差异的主要原因可能是因为选择材料种类的不同<sup>[4]</sup>。此外,还发现数量性状比质量性状具有更高的多样性指数,说明郁金香种质资源的数量性状比质量性状具有更大变异,这一结论与之前在冰草以及老芒麦等表型多样性上的研究<sup>[18-19]</sup>相一致。

为进一步评估郁金香数量性状遗传改良的潜力,选择了广义遗传力、遗传进度、相对遗传进度等遗传参数进行分析。本研究中数量性状具有较高的广义遗传力(0.72 ~ 0.97),表明大部分数量主要由遗传因素控制,受基因之间的加性效应影响较大,能稳定遗传,可以进行早期的世代选择<sup>[20]</sup>。在 5% 选择压下,株高和花瓣数量的遗传进度较高,叶数、花瓣宽和花萼宽的遗传进度较低。大部分性状的相对遗传进度都较高(>30%),其中花瓣数量具有较高的相对遗传进度(>180%),推测可能是筛选的郁金香群体的花瓣数量具有较高的变异造成的。花瓣数量、株高和花萼长等性状的广义遗传力、遗传进度和相对遗传进度均较高,表明这 3 个性状主要由加性基因控制,在早期选择的潜力较大、效果好。

对植物不同性状进行相关性分析,可以通过某一性状预测其他性状的情况,在育种中具有重要意义<sup>[21]</sup>。本研究中表型性状之间的相关性分析结果表明,大部分数量性状之间存在显著相关关系,而表型性状之间的相关性较弱。因此,在后续育种过程中,可在一定程度上利用数量性状之间的相关性改良目标性状。本研究中,株高与花冠长度、花瓣长、花瓣宽和冠幅均具有显著或极显著正相关性,但与花瓣数呈显著负相关,可在后续杂交育种过程中,选择一些花朵大、重瓣型的父母本进行杂交,进而选育出生长性状良好、花瓣数量多、花形好的郁金香新品种。

主成分分析是通过降维的方法,将多个表型特征简化为几个重要的成分,从而清楚地显示各性状的重要程度<sup>[22]</sup>。本研究中从 21 个表型性状中提炼出 7 个主成分,累计贡献率达 81.29%,反映了供试品种的大部分表型性状信息。不同主成分中包含的各性状的负载值差异较大,株高、茎生叶长、花冠长度、花瓣长、花萼长、瓣型等性状在各个主成分中负载值贡献率较大,可作为后续郁金香形态鉴定分类的主要依据。聚类分析结果表明,在欧氏距离为

10 时,可以将 27 份郁金香种质划分为 3 类,分类结果与郁金香品种的生长状况和形态较为吻合,其中第 2 类包括了材料中的所有重瓣品种,说明基于表型性状的聚类分析能在一定程度上反映植物种质资源的表型特征,为后续亲本选择和选配提供参考依据,但对其遗传多样性和亲缘关系鉴定仍有一定的局限性,需要借助 SSR、SRAP 和 SNP 等遗传标记进行分析<sup>[23]</sup>。

#### 4 结论

本试验通过对郁金香种质表型数量性状和质量性状分析发现,数量性状比质量性状存在更大的变异,为今后选择优良亲本奠定良好基础。遗传分析结果显示,花瓣数量、株高和花葶长等性状的广义遗传力、遗传进度和相对遗传进度均较高,表明这 3 个性状主要由加性基因控制,在早期选择的潜力较大、效果好。此外还明确了郁金香种质资源的表型性状的遗传变异和各性状之间存在不同程度的相关性。研究结果可为今后郁金香新品种选育及园林应用等方面提供理论和实践参考。

#### 参考文献:

[1] 秦斗文,么玉龙,冯伊玲,等. 伊犁郁金香叶绿体基因组微卫星序列特征分析[J]. 种子,2023,42(12):9-16.

[2] 葛 翎,黄晓德,张峰伦,等. 郁金香的化学成分及药理活性研究进展[J]. 中国野生植物资源,2019,38(5):79-83.

[3] 巨秀婷,潘阿青,蒋福娟,等. 郁金香种质资源遗传多样性的 ISSR 分析[J]. 基因组学与应用生物学,2019,38(8):3667-3674.

[4] 马秀花,唐 楠,唐道城,等. 郁金香的表型遗传多样性及观赏价值综合评价[J]. 分子植物育种,2021,19(4):1320-1336.

[5] 杨延红,宋桂全,李孔栋,等. 郁金香小孢子发育与花粉萌发特性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2022,50(6):93-100.

[6] 张 晗,过雪莹,沈 强,等. 上海地区郁金香引种栽培与品种综合评价[J]. 热带亚热带植物学报,2023,31(2):201-210.

[7] Wang Y S, Chen L J, Yang Q L, et al. New insight into the pigment composition and molecular mechanism of flower coloration in tulip (*Tulipa gesneriana* L.) cultivars with various petal colors[J]. Plant

Science,2022,317:111193.

[8] 陈欣晨,赵慧敏,王 森,等. 不同温度对郁金香花芽分化及相关基因表达分析[J]. 园艺学报,2023,50(5):1037-1047.

[9] 高 星,吕 彤,臧凤岐,等. 北京地区郁金香常见品种的数量分类[J]. 分子植物育种,2017,15(7):2863-2873.

[10] 孙东雷,卞能飞,陈志德,等. 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选[J]. 植物遗传资源学报,2018,19(5):865-874.

[11] 李祥栋,潘 虹,陆秀娟,等. 葱苣属种质资源的主要表型性状多样性研究[J]. 植物遗传资源学报,2019,20(1):229-238.

[12] 张 飞,房伟民,陈发棣,等. 切花菊花器性状的遗传变异与相关性研究[J]. 浙江林学院学报,2008,25(3):293-297.

[13] Su J S, Zhang F, Li P R, et al. Genetic variation and association mapping of waterlogging tolerance in chrysanthemum[J]. Planta, 2016,244(6):1241-1252.

[14] Yang X D, Ao N, Qu Y X, et al. Genetic characterization of anemone-type chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*) using floral morphology and SRAP markers[J]. Plant Breeding, 2020, 139(2):419-427.

[15] 李 香,袁必局,张 叶,等. 46 份卡特兰种质资源表型性状遗传多样性分析[J/OL]. 分子植物育种,2023:1-15(2023-12-25)[2024-05-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20231225.0956.004.html>.

[16] 秦斗文,徐庭亮,闫京艳,等. 柔毛郁金香叶绿体基因组密码子偏好性分析[J]. 江苏农业科学,2023,51(22):41-47.

[17] Xia A N, Yang A A, Meng X S, et al. Development and application of rose (*Rosa chinensis* Jacq.) SNP markers based on SLAF-seq technology[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2022, 69(1):173-182.

[18] 杨 靖,张晓明,陈 越,等. 内蒙古 30 份冰草属种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 中国草地学报,2023,45(9):1-11.

[19] 尹婷婷,谷丽丽,闫 锋,等. 59 份老芒麦种质资源的表型多样性分析[J]. 西南农业学报,2021,34(11):2307-2317.

[20] 杨翔宇,刘禹夫,刘海龙,等. 花生主要农艺性状配合力及遗传参数分析[J]. 分子植物育种,2023,21(14):4755-4761.

[21] 刘 畅,任爱华,韩继龙,等. “龙香”梨杂交后代果实品质性状多样性分析[J]. 北方园艺,2023(23):45-52.

[22] 关 峰,石 博,万新建,等. 江西省地方冬瓜种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2022,23(2):385-397.

[23] 杜孝敬,张燕红,文孝荣,等. 355 份粳稻种质资源在新疆的遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业大学学报,2024,29(3):13-26.