

# 基于 DUS 测试的石斛数量性状分级与遗传多样性评价

钟海丰, 陈宇华, 陈剑锋, 钟声远, 林 觅, 刘中华

(福建省农业科学院作物研究所/农业农村部植物新品种测试(福州)分中心, 福州 350013)

**摘要:** 为客观科学描述石斛数量性状, 以 85 个石斛品种为研究对象, 分析 20 个数量性状分布特点, 采用最小显著差法和极差法确定分级范围, 通过变异系数、遗传多样性指数及相关性、主成分和聚类等分析方法评价遗传多样性水平。结果表明, 植株大小等 15 个性状符合正态分布, 采用最小显著差法分级, 花数量等其他 5 个性状不符合正态分布, 采用极差法分级, 确定了 20 个数量性状的分级范围。各数量性状在品种内表现较稳定, 品种间变异丰富, 品种内和品种间的变异系数分别为 5.44%~17.33%和 24.99%~124.03%, 遗传多样性指数在 1.16~2.02 之间, 供试品种适合作为分级研究的对象。各性状间普遍呈极显著或显著相关且相关系数绝对值较大, 花纵径与花横径、侧萼片长度、花瓣长度之间, 中萼片长度与侧萼片长度、花瓣长度之间, 侧萼片长度与花瓣长度之间相关系数均在 0.95 以上, 表现出高度相关性, 可以减少此类性状, 提高 DUS 测试效率。主成分分析显示, 前 2 个主成分累计贡献率为 84.78%, 其中第一主成分贡献率为 73.54%, 代表花的大小, 第二主成分贡献率为 11.24%, 代表花的数量和植株高度。在欧式距离为 25 处可将 85 个石斛品种分为两个类群, 主要体现在植株大小和花纵横径上的差异; 第 II 类群在欧式距离为 18 处又可分为 2 个亚类群, 主要表现在花数量、花序梗长度上的差异。综合主成分和聚类分析结果, 花数量在品种间区分能力强, 可新增作为石斛 DUS 测试分组性状。

**关键词:** 石斛属; 数量性状; 分级; DUS 测试; 遗传多样性; 分组性状

## Grading of Quantitative Traits and Assessment of Genetic Diversity in *Dendrobium* Based on DUS Testing

ZHONG Haifeng, CHEN Yuhua, CHEN Jianfeng, ZHONG Shengyuan, LIN Mi, LIU Zhonghua

(Crop Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences/ Fuzhou Sub-center for New Plant Variety Tests, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Fuzhou 350013)

**Abstract:** In order to provide reference for more objective and scientific description of quantitative traits, 85 *Dendrobium* varieties were used as research objects. According to the distribution characteristics of 20 quantitative traits in the *Dendrobium* testing guidelines, the least significant difference method and the range method were used to determine the grading range. In addition, the level of genetic diversity was evaluated through the methods of coefficient of variation, genetic diversity index and the analysis of correlation, principal component and clustering. The results of K-S normality test showed that 15 quantitative traits which

收稿日期: 2024-09-25 网络出版日期:

URL:

第一作者主要从事植物种质资源评价与 DUS 测试研究, E-mail: 99700748@qq.com

通信作者: 刘中华, 主要从事植物新品种保护与 DUS 测试研究, E-mail: 40464817@qq.com

基金项目: 福建省属公益类科研院所基本科研专项(2022R1031002); 农业农村部物种品种资源保护费项目(2022350104001101); 福建省农业高质量发展超越“5511”协同创新工程项目(XTCXGC2021016)

Foundation projects: Basic Research Projects of Public Welfare Research Institutes in Fujian Province(2022R1031002); Species and Variety Resource Protection Fee Project of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs(2022350104001101); The “5511” Collaborative Innovation Project of High-quality Agricultural Development and Surpassment in Fujian Province (XTCXGC2021016)

included plant size, pseudobulb length, pseudobulb diameter, blade length, blade width, pedicel length, pedicel diameter, flower longitudinal diameter, flower transverse diameter, middle sepal length, lateral sepal length, lateral sepal width, petal length, petal width, lip petal length conformed to normal distribution and were graded by the least significant difference method, while the other quantitative traits which included number of flowers, peduncle length, peduncle diameter, middle sepal width, lip petal width were graded by the range method, and the grading range of the 20 quantitative traits were determined as the basis for describing and grading the quantitative traits of *Dendrobium* DUS (Distinctness, Uniformity and Stability) testing in the future. The performance of each quantitative trait was stable within the varieties, and the variation among the varieties was rich, with the coefficients of variation of quantitative traits within and among varieties ranging from 5.44% ~ 17.33% and 24.99% ~ 124.03%, respectively. Additionally, the genetic diversity indexes of 20 quantitative traits were between 1.16 ~ 2.02. Therefore, 85 *Dendrobium* varieties were suitable for quantitative traits grading studies. The correlation analysis results indicated that the correlation coefficients were generally highly significant or significantly correlated and the absolute values of the correlation coefficients were large among the quantitative traits. Especially, the correlation coefficients between flower longitudinal diameter and flower transverse diameter, lateral sepal length, petal length, middle sepal length and lateral sepal length, petal length, lateral sepal length and petal length are all above 0.95, which showed a high degree of correlation. In this situation, such traits with high degree of correlation could consider to reduce in the varieties DUS testing process to improve the testing efficiency. Principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the first two principal components was 84.78%, including 73.54% for the first principal component, representing the flower size, and 11.24% for the second principal component, representing the number of flower and plant height. The clustering analysis results showed that the 85 *Dendrobium* varieties could be divided into two groups at the Euclidean distance of 25, which mainly reflected the differences in plant size, flower longitudinal diameters and flower transverse diameters. Moreover, the second group could be divided into two subgroups at the Euclidean distance of 18, which mainly showed the differences in the number of flower and peduncle length. Combining the results of principal components analysis and cluster analysis, the number of flower has a strong distinguishing ability among varieties and can be added as a grouping trait for DUS testing of *Dendrobium*.

**Key words:** *Dendrobium* Sw.; quantitative traits; grading; DUS testing; genetic diversity; grouping traits

石斛为兰科 (Orchidaceae) 石斛属 (*Dendrobium* Sw.) 植物的统称, 按形态特征和对生态环境的要求, 石斛可以分为春石斛系和秋石斛系两大系别<sup>[1]</sup>, 全世界石斛属植物共 1627 个原生种<sup>[2]</sup>, 中国分布了 108 个原生种<sup>[3]</sup>。石斛与蝴蝶兰、万代兰、卡特兰并称为“四大观赏兰花”, 其花色丰富、色彩艳丽、花型高雅, 具有较高的观赏价值, 成为国际花卉市场上备受瞩目的花卉种类之一。除了观赏价值外, 石斛还具有提高机体免疫力、抗衰老、抗肿瘤、抗血小板聚集和扩张血管等多种功能<sup>[4]</sup>, 在中医药和食疗领域同样具有独特的应用价值。石斛的育种历程最早可追溯到 19 世纪, 自 1864 年世界首个石斛杂交种诞生以来<sup>[5]</sup>, 石斛植物在杂交育种中的应用逐渐增多。进入 20 世纪 50 年代后, 石斛的杂交育种工作开始全面且大规模开展<sup>[6]</sup>。截止 2023 年 9 月 15 日, 英国皇家园艺学会上登录的石斛属杂交种有 16613 个<sup>[7]</sup>。中国于 2016 年将石斛属列入中华人民共和国农业植物品种保护名录 (第十批) 中, 开始受理新品种权申请。

近年来, 有关石斛的研究主要集中在化学成分与药理作用<sup>[8,9]</sup>、分子标记<sup>[10,11]</sup>、组织培养<sup>[12,13]</sup>等方面。植物品种特异性 (Distinctness)、一致性 (Uniformity) 和稳定性 (Stability) 测试 (以下简称 DUS 测试) 指南是植物品种 DUS 测试、品种授权和维权的关键技术标准<sup>[14]</sup>。《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南-石斛属 (NY/T 2758-2015)》(以下简称石斛属测试指南) 于 2015 年发布实施<sup>[15]</sup>。在石斛属测试指南中, 数量性状仅有分级数, 并未提供每一级的具体分级范围或标准品种, 目前也未见石斛品种数量性状

分级相关报道，给 DUS 测试中数量性状的客观描述和特异性判定带来了诸多不便。另外，数量性状极易受环境条件影响，其稳定性和遗传多样性评价对数量性状选择、DUS 测试以及测试指南修订具有指导意义<sup>[16-18]</sup>。遗传多样性研究可以直观反映出个体间的表型差异，其研究方法主要包括相关性分析、主成分分析和聚类分析<sup>[19]</sup>。张本厚等<sup>[20]</sup>研究表明不同居群金钗石斛在表型性状上存在明显差异，种质资源具有丰富的遗传多样性；贺漫媚等<sup>[21]</sup>认为石斛属内各表型性状之间有着密切且复杂的关系。胡梦露等<sup>[22]</sup>利用相关性和主成分分析方法评估石斛兰原生种的育种潜力。然而这些研究主要集中在石斛属的不同种或野生群体，围绕石斛不同品种基于 DUS 测试数量性状的遗传多样性评价尚未见报道。

本研究以 85 个石斛品种为试验材料，分析 20 个主要数量性状的分布特点，选择合适的分级方法划分分级范围，并进行遗传多样性分析与评价，以期为石斛品种资源描述与评价以及 DUS 测试和指南修订提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试的 85 个石斛品种包含农业农村部植物新品种保护办公室下发的 55 个申请保护的新品种和 30 个已知品种，已知品种包含部分测试新品种的近似品种和市场上流通较广的商业品种（表 1），所有供试材料均满足特异性、一致性和稳定性要求。供试品种保存于农业农村部植物新品种测试（福州）分中心无性繁殖材料保存圃中。

表 1 供试石斛品种信息

Table 1 List of *Dendrobium* varieties tested

编号 Code	品种 Cultivar	系别 Type	来源 Origin	编号 Code	品种 Cultivar	系别 Type	来源 Origin
V1	红香妃	春石斛	福建	V44	热研精灵	秋石斛	海南
V2	拉乌莱特	春石斛	日本	V45	红粉	秋石斛	广东
V3	阳春白雪	春石斛	北京	V46	白鸽	秋石斛	广东
V4	幸运女孩	春石斛	北京	V47	紫荆	秋石斛	广东
V5	毛毛可	春石斛	日本	V48	小叮当	秋石斛	福建
V6	Brilliant Smile Royal	春石斛	日本	V49	红蜻蜓	秋石斛	福建
V7	童谣	春石斛	日本	V50	红霞	秋石斛	福建
V8	Comet King Aktsuki	春石斛	日本	V51	阿里粉红	秋石斛	福建
V9	林科春姑娘	春石斛	北京	V52	绿翡翠	秋石斛	福建
V10	樱花	春石斛	北京	V53	红玫瑰	秋石斛	福建
V11	凡茜安琪	春石斛	日本	V54	清水芙蓉	秋石斛	福建
V12	Den Joyful Day	春石斛	日本	V55	贵妇人	秋石斛	福建
V13	阿凡切	春石斛	日本	V56	三亚阳光	秋石斛	福建
V14	Sweet Pinky Nomoko	春石斛	日本	V57	久润 1 号	春石斛	浙江
V15	Wave King Akebono	春石斛	日本	V58	D001	春石斛	浙江

V16	法瑞莫	春石斛	日本	V59	九仙紫玉	春石斛	浙江
V17	Yellow Song Candy	春石斛	日本	V60	圣兰酒红	春石斛	浙江
V18	珍珠	春石斛	福建	V61	D25	春石斛	浙江
V19	黄火鸟	春石斛	福建	V62	红君仙斛	春石斛	福建
V20	彩虹	春石斛	福建	V63	奇润	春石斛	浙江
V21	春之颂	春石斛	福建	V64	锦荣 1 号	春石斛	浙江
V22	贝壳公主	春石斛	广东	V65	天目一号	春石斛	浙江
V23	美姬	春石斛	广东	V66	明斛 3 号	春石斛	福建
V24	绰约	春石斛	广东	V67	明斛 1 号	春石斛	福建
V25	大汉 D96017	春石斛	云南	V68	仙斛 1 号	春石斛	福建
V26	闽斛 1 号	春石斛	福建	V69	明斛 4 号	春石斛	福建
V27	安妮熠熠	春石斛	广东	V70	明斛 5 号	春石斛	福建
V28	安妮多多	春石斛	广东	V71	明斛 6 号	春石斛	福建
V29	艳后	春石斛	广东	V72	玲秀	春石斛	浙江
V30	安妮娇娇	春石斛	广东	V73	神元 6 号	春石斛	江苏
V31	安妮艳艳	春石斛	广东	V74	神元 2 号	春石斛	江苏
V32	安妮壮壮	春石斛	广东	V75	泰斛 1 号	春石斛	福建
V33	翰林公子	春石斛	广东	V76	粉红娃娃	春石斛	福建
V34	多吉猫	春石斛	广东	V77	泰斛 2 号	春石斛	福建
V35	腾飞	春石斛	广东	V78	竹姬	春石斛	贵州
V36	安妮楚楚	春石斛	广东	V79	明斛 7 号	春石斛	福建
V37	天籁	春石斛	广东	V80	明斛 8 号	春石斛	福建
V38	迷你红	秋石斛	广东	V81	仙斛 4 号	春石斛	福建
V39	红梅	秋石斛	广东	V82	仙斛 5 号	春石斛	福建
V40	彩云	秋石斛	广东	V83	明斛 2 号	春石斛	福建
V41	紫欣	秋石斛	广东	V84	连天福 1 号	春石斛	福建
V42	紫瑞	秋石斛	广东	V85	福斛 1 号	春石斛	福建
V43	泼墨	秋石斛	广东				

## 1.2 主要数量性状的观测

2018 年 12 月至 2023 年 7 月，对石斛属测试指南中列出的 20 个主要数量性状（表 2）进行观测，每个性状重复观测 10 株。测试时期、部位、方法和要求按照石斛属测试指南要求执行。

表 2 石斛主要数量性状

Table 2 Quantitative traits of *Dendrobium*

编号 Code	性状 Traits	编号 Code	性状 Traits
C1	植株大小 (cm) PS	C11	花纵径 (cm) FLD
C2	假鳞茎长度 (cm) PBL	C12	花横径 (cm) FTD
C3	假鳞茎直径 (mm) PBD	C13	中萼片长度 (cm) MSL
C4	叶长度 (cm) BL	C14	中萼片宽度 (cm) MSW
C5	叶宽度 (cm) BW	C15	侧萼片长度 (cm) LSL
C6	花数量 (朵) NF	C16	侧萼片宽度 (cm) LSW
C7	花序梗长度 (cm) PUL	C17	花瓣长度 (cm) PL
C8	花序梗直径 (mm) PUD	C18	花瓣宽度 (cm) PW
C9	花梗长度 (cm) PIL	C19	唇瓣长度 (cm) LPL

C10	花梗直径 (mm) PID	C20	唇瓣宽度 (cm) LPW
-----	---------------	-----	---------------

PS: Plant size; PBL: Pseudobulb length; PBD: Pseudobulb diameter; BL: Blade length; BW: Blade width; NF: Number of flowers; PUL: Peduncle length; PUD: Peduncle diameter; PIL: Pedicel length; PID: Pedicel diameter; FLD: Flower longitudinal diameter; FTD: Flower transverse diameter; MSL: Middle sepal length; MSW: Middle sepal width; LSL: Lateral sepal length; LSW: Lateral sepal width; PL: Petal length; PW: Petal width; LPL: Lip petal length; LPW: Lip petal width;  
The same as below

### 1.3 数据分析

使用 SPSS 软件进行 K-S 正态性检验和 LSD 检验，对符合正态分布或近似正态分布的性状采用最小显著差法 (LSD 法) 分级<sup>[23]</sup>。对不符合正态分布的数量性状，采用极差法分级<sup>[24]</sup>。

利用 WPS office 软件计算各数量性状最大值、最小值、中值、平均值、标准差、品种内变异系数、品种间变异系数和遗传多样性指数 ( $H'$ )。85 个品种的 20 个数量性状按上述数量性状分级范围进行赋值处理，遗传多样性指数计算公式<sup>[25]</sup>如下：

$$H' = -\sum p_i \ln(p_i)$$

式中， $P_i$  表示某一性状第  $i$  个级别内品种数占总数的百分比， $\ln$  表示自然对数。

通过 Origin 软件进行相关性、主成分和聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 数量性状正态性检验

对 20 个数量性状进行 K-S 正态性检验，结果表明：植株大小、假鳞茎长度、假鳞茎直径、叶长度、叶宽度、花梗长度、花梗直径、花纵径、花横径、中萼片长度、侧萼片长度、侧萼片宽度、花瓣长度、唇瓣长度等 14 个数量性状双侧显著性 (Sig.) >0.05，符合正态分布；花瓣宽度的 Sig.<0.05，但因其偏度和峰度的绝对值均小于 1，可接近似于正态分布处理；花数量、花序梗长度、花序梗直径、中萼片宽度、唇瓣宽度等 5 个数量性状的 Sig.<0.05 且峰度的绝对值均大于 1，不符合正态分布 (表 3)。

表 3 石斛数量性状 K-S 检验

Table 3 K-S normal test of quantitative traits of *Dendrobium*

性状 Traits	极差绝对值 Absolute value	正极差 Positive	负极差 Negative	K-S 值 K-S value	Sig. 值 Sig. value	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis
植株大小 PS	0.09	0.09	-0.07	0.83	0.50	0.31	-0.90
假鳞茎长度 PBL	0.10	0.10	-0.08	0.95	0.33	0.80	0.03
假鳞茎直径 PBD	0.14	0.14	-0.08	1.31	0.07	0.14	-1.28
叶长度 BL	0.15	0.15	-0.12	1.35	0.05	-0.17	-1.36
叶宽度 BW	0.12	0.12	-0.09	1.06	0.21	0.07	-1.33
花数量 NF	0.26	0.26	-0.18	2.37	0.00	2.43	7.10
花序梗长度 PUL	0.35	0.35	-0.25	3.20	0.00	1.62	1.07
花序梗直径 PUD	0.16	0.16	-0.11	1.45	0.03	0.16	-1.30
花梗长度 PIL	0.13	0.13	-0.07	1.20	0.11	0.77	-0.21
花梗直径 PID	0.14	0.14	-0.09	1.24	0.09	0.36	-0.66

花纵径 FLD	0.11	0.11	-0.06	0.98	0.29	0.26	-0.74
花横径 FTD	0.09	0.09	-0.08	0.85	0.46	0.43	-0.49
中萼片长度 MSL	0.11	0.11	-0.08	1.05	0.22	0.11	-1.09
中萼片宽度 MSW	0.15	0.15	-0.12	1.40	0.04	0.16	-1.14
侧萼片长度 LSL	0.12	0.12	-0.07	1.08	0.20	0.11	-1.04
侧萼片宽度 LSW	0.11	0.11	-0.06	1.03	0.24	0.37	-0.76
花瓣长度 PL	0.13	0.13	-0.07	1.19	0.12	0.11	-0.95
花瓣宽度 PW	0.16	0.16	-0.10	1.44	0.03	0.24	-0.77
唇瓣长度 LPL	0.14	0.14	-0.09	1.32	0.06	0.05	-1.26
唇瓣宽度 LPW	0.17	0.17	-0.12	1.53	0.02	0.00	-1.27

## 2.2 数量性状分级范围划分

石斛属测试指南中 20 个数量性状均分为 9 级。对符合正态分布或近似正态分布的 15 个数量性状采用最小显著差法，首先计算每个数量性状的  $LSD_{0.05}$  值，以第 5 级为中心划分分级范围，以测量数据的平均值为中心，级差大于等于 2 倍  $LSD_{0.05}$  向两侧进行等距划分，并根据实际情况对每个区间进行调整，最终分级结果如表 4 所示。

表 4 正态分布数量性状分级标准

Table 4 Normal distribution quantitative traits grading standards

性状 Traits	分级范围 Grading range									$LSD_{0.05}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
植株大小 (cm) PS	≤5.10	5.11~12.10	12.11~19.10	19.11~26.10	26.11~33.10	33.11~40.10	40.11~47.10	47.11~54.10	≥54.11	2.00
假鳞茎长度 (cm) PBL	≤4.60	4.61~12.60	12.61~20.60	20.61~28.60	28.61~36.60	36.61~44.60	44.61~52.60	52.61~60.60	≥60.61	3.00
假鳞茎直径 (mm) PBD	≤2.50	2.51~6.50	6.51~10.50	10.51~14.50	14.51~18.50	18.51~22.50	22.51~26.50	26.51~30.50	≥30.51	1.38
叶长度 (cm) BL	≤2.20	2.21~4.20	4.21~6.20	6.21~8.20	8.21~10.20	10.21~12.20	12.21~14.20	14.21~16.20	≥16.21	0.68
叶宽度 (cm) BW	≤0.30	0.31~1.30	1.31~2.30	2.31~3.30	3.31~4.30	4.31~5.30	5.31~6.30	6.31~7.30	≥7.31	0.24
花梗长度 (cm) PIL	≤0.95	0.96~1.45	1.46~1.95	1.96~2.45	2.46~2.95	2.96~3.45	3.46~3.95	3.96~4.45	≥4.46	0.23
花梗直径 (mm) PID	≤0.60	0.61~1.20	1.21~1.80	1.81~2.40	2.41~3.00	3.01~3.60	3.61~4.20	4.21~4.80	≥4.81	0.18
花纵径 (cm) FLD	≤0.95	0.96~1.95	1.96~2.95	2.96~3.95	3.96~4.95	4.96~5.95	5.96~6.95	6.96~7.95	≥7.96	0.31
花横径 (cm) FTD	≤2.50	2.51~3.50	3.51~4.50	4.51~5.50	5.51~6.50	6.51~7.50	7.51~8.50	8.51~9.50	≥9.51	0.35
中萼片长度 (cm) MSL	≤0.95	0.96~1.45	1.46~1.95	1.96~2.45	2.46~2.95	2.96~3.45	3.46~3.95	3.96~4.45	≥4.46	0.17
侧萼片长度 (cm) LSL	≤1.05	1.06~1.55	1.56~2.05	2.06~2.55	2.56~3.05	3.06~3.55	3.56~4.05	4.06~4.55	≥4.56	0.17
侧萼片宽度 (cm)	≤0.60	0.61~0.90	0.91~1.20	1.21~1.50	1.51~1.80	1.81~2.10	2.11~2.40	2.41~2.70	≥2.71	0.09



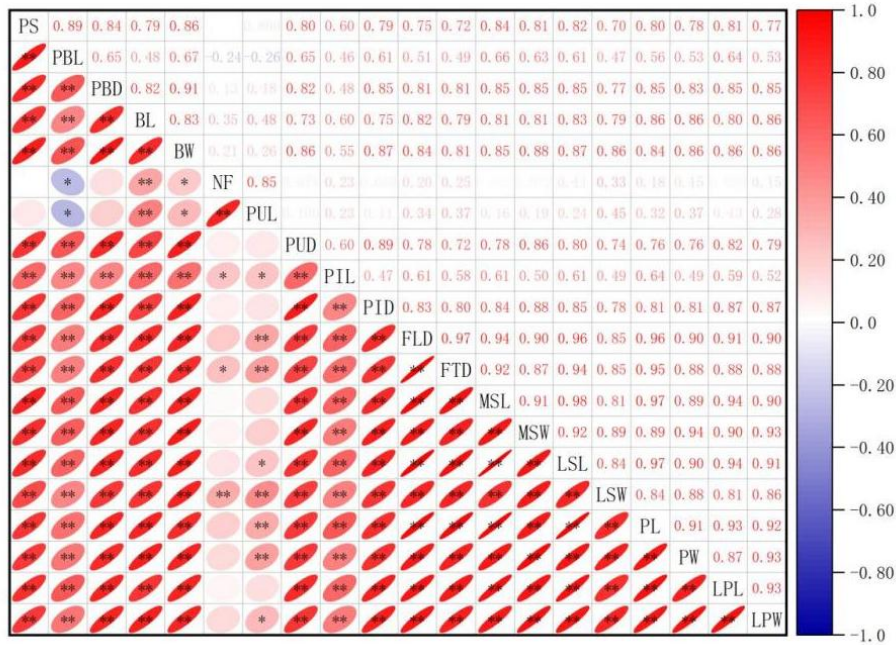
	Varieties						Varieties		
植株大小 (cm) PS	40.65	8.72	31.93	21.49	22.62	1.96	9.30	40.52	1.64
假鳞茎长度 (cm) PBL	58.7	5.08	53.62	22.30	24.68	2.95	13.32	49.30	1.75
假鳞茎直径 (mm) PBD	23.44	3.90	19.54	12.60	12.47	1.27	9.97	47.83	1.71
叶长度 (cm) BL	16.56	3.19	13.37	9.91	9.20	0.64	7.04	40.68	1.88
叶宽度 (cm) BW	4.76	0.50	4.26	2.91	2.81	0.24	8.55	42.86	1.55
花数量 (朵) NF	15.9	1.60	14.30	3.30	4.07	0.65	16.43	59.30	1.40
花序梗长度 (cm) PUL	28.93	1.02	27.91	2.71	6.50	0.98	17.33	124.03	1.16
花序梗直径 (mm) PUD	5.87	0.86	5.01	2.67	2.78	0.25	9.49	48.03	2.05
花梗长度 (cm) PIL	4.38	1.64	2.74	2.58	2.70	0.24	8.92	24.99	1.61
花梗直径 (mm) PID	4.84	0.83	4.01	2.18	2.13	0.17	8.73	45.77	1.70
花纵径 (cm) FLD	7.93	1.86	6.07	4.50	4.45	0.31	7.12	33.43	1.73
花横径 (cm) FTD	8.99	2.65	6.34	4.85	5.02	0.35	7.27	29.81	1.72
中萼片长度 (cm) MSL	4.28	1.39	2.89	2.74	2.71	0.17	6.39	27.73	1.74
中萼片宽度 (cm) MSW	2.69	0.42	2.27	1.38	1.25	0.09	7.46	45.70	1.89
侧萼片长度 (cm) LSL	4.5	1.50	3.00	2.90	2.83	0.17	6.39	28.50	1.79
侧萼片宽度 (cm) LSW	2.5	0.52	1.98	1.34	1.36	0.09	7.39	34.73	1.81
花瓣长度 (cm) PL	4.69	1.36	3.33	2.82	2.72	0.17	6.26	31.57	1.81
花瓣宽度 (cm) PW	5.2	0.44	4.76	2.12	1.95	0.14	7.48	59.21	1.71
唇瓣长度 (cm) LPL	4.25	1.26	2.99	2.61	2.54	0.13	5.44	32.49	1.67
唇瓣宽度 (cm) LPW	4.75	0.71	4.04	2.63	2.33	0.14	6.15	47.26	1.90
平均值 Mean							8.82	44.69	1.71

## 2.4 相关性与主成分分析

20 个数量性状的相关性分析结果见图 1。呈极显著相关或显著相关的性状共有 171 对，占 90.00%。相关系数绝对值在 0.76~0.85 之间的有 57 对，主要集中在植株大小、假鳞茎直径、叶长度、花序梗直径、花梗直径与其他性状之间；相关系数绝对值在 0.86~0.95 之间的有 46 对，主要集中在叶片宽度、花瓣宽度、唇瓣长度、唇瓣宽度与其他性状之间；相关系数绝对值在 0.95 以上的集中在花纵径与花横径、侧萼片长度、花瓣长度之间，中萼片长度与侧萼片长度、花瓣长度之间，侧萼片长度与花瓣长度之间，表现出高度相关性。相关性不显著的有 19 对，主要集中在花数量与其他性状之间。

主成分的特征根和贡献率是选择主成分的依据<sup>[26]</sup>。本研究以特征值大于 1，累计贡献率 80%以上作为标准提取主成分。结果表明，前 2 个主成分特征值均大于 1，累计贡献率达 84.78%（见表 7）。第一主成分的贡献率为 73.54%，包括除假鳞茎长度、花数量和花序梗长度以外的其他 17 个数量性状，其中影响比较大（特征向量绝对值比较大）的包括侧萼片长度、花瓣长度、中萼片长度，代表着花的大小；第二主成分的贡献率为 11.24%，按特征向量绝对值大小依次为花序梗长度、花数量、假鳞茎长度，主要代表了花的数量和植株高度。从载荷图（见图 2）可见，代表花部各性状、叶片和植株大小的 16 个数量性状集中为一个集群，花序梗长度和花数量则集中为另一个集群，花梗长度、假鳞茎长度相对较为孤立。





\*和\*\*分别表示 0.05 和 0.01 水平显著相关

\* and \*\* indicated significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively

图 1 各数量性状相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of the quantitative traits

表 7 各性状主成分载荷和贡献率

Table 7 Factor loading matrix and contribution rate of principal components for each trait

性状 Traits	主成分 Principal components	
	1	2
植株大小 PS	0.23	-0.16
假鳞茎长度 PBL	0.17	-0.37
假鳞茎直径 PBD	0.24	-0.05
叶长度 BL	0.23	0.15
叶宽度 BW	0.24	0.00
花数量 NF	0.05	0.60
花序梗长度 PUL	0.07	0.62
花序梗直径 PUD	0.23	-0.10
花梗长度 PIL	0.17	0.05
花梗直径 PID	0.24	-0.09
花纵径 FLD	0.25	0.06
花横径 FTD	0.24	0.09
中萼片长度 MSL	0.25	-0.08
中萼片宽度 MSW	0.25	-0.06
侧萼片长度 LSL	0.25	-0.02
侧萼片宽度 LSW	0.23	0.14
花瓣长度 PL	0.25	0.04
花瓣宽度 PW	0.25	0.05

唇瓣长度 LPL	0.25	-0.08
唇瓣宽度 LPW	0.25	0.02
特征值 Eigen value	14.71	2.25
贡献率 (%) Contribution rate	73.54	11.24
累计贡献率 (%) Cumulative contribution rate	73.54	84.78

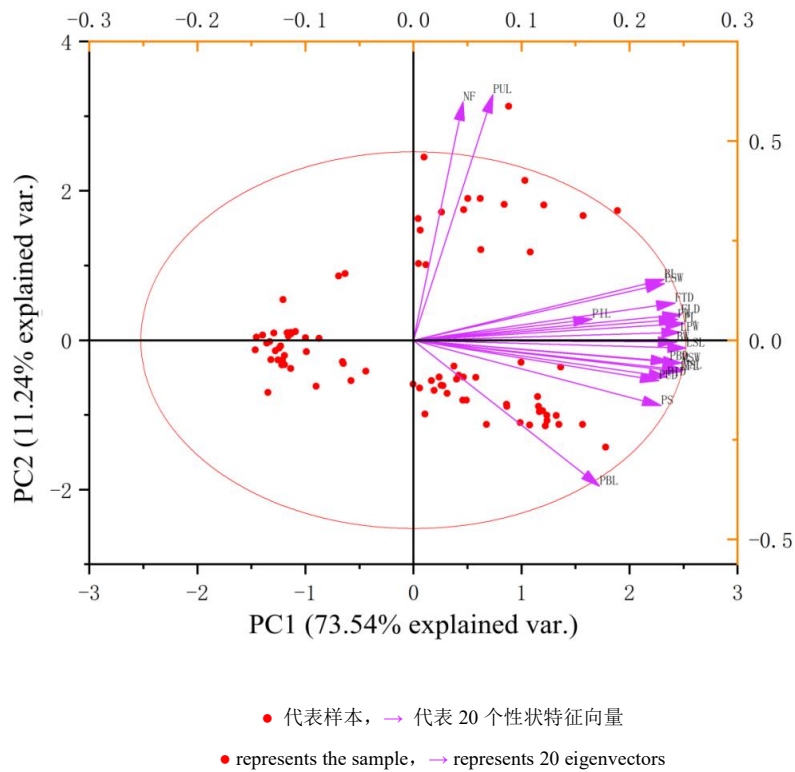


图 2 主成分二维载荷图

Fig. 2 Two-dimensional loading plots of Principal components

## 2.5 聚类分析

85 个石斛品种的聚类情况和不同类群数据统计情况见图 3 和表 8。在欧式距离为 25 处可将 85 个石斛品种分为两个类群，在植株大小、花纵横径上表现明显差异，其中第 I 类群共有 34 个品种，该类群主要特征为植株小（平均值为 14.03 cm）、花纵横径小（平均值分别为 2.93 cm 和 3.57 cm）；第 II 类群共有 51 个品种，该类群在欧式距离为 18 处又可分为两个亚类群，在花数量和花序梗长度上表现明显差异，其中第 IIa 亚类群共有 34 个品种，该类群主要特征为花数量少（平均值为 2.78 朵）、花序梗短（平均值为 1.94 cm）；第 IIb 亚类群共有 17 个品种，该类群主要特征为花数量多（平均值为 7.94 朵）、花序梗长（平均值为 21.62 cm）。

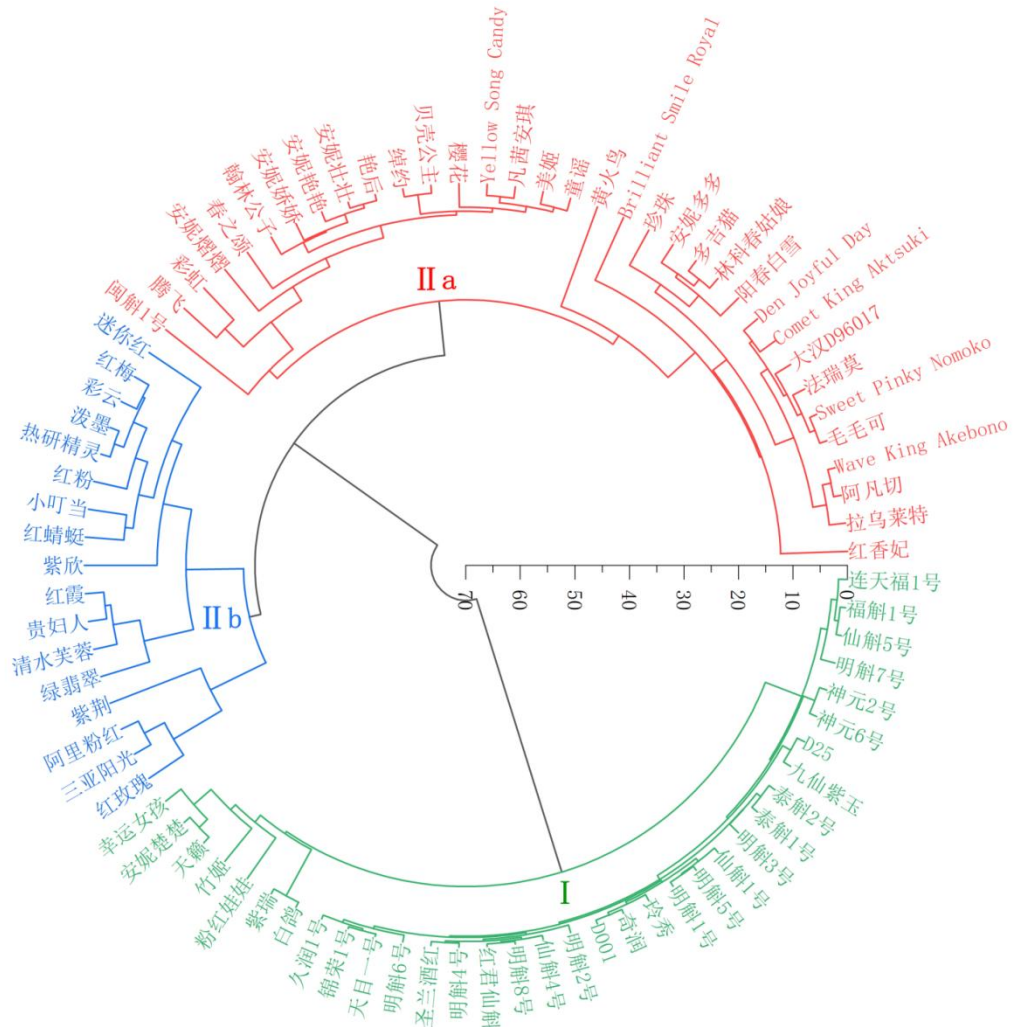


图 3 85 个石斛品种聚类图

Fig. 3 Cluster analysis of 85 Dendrobium varieties

表 8 不同类群 20 个数量性状平均值

Table 8 Average of 20 quantitative traits in different groups

性状 Traits	I类群 Group I	II类群 Group II	
		IIa 亚类群 Subgroup IIa	IIb 亚类群 Subgroup IIb
植株大小 (cm) PS	14.03	30.18	24.66
假鳞茎长度 (cm) PBL	16.97	35.32	18.81
假鳞茎直径 (mm) PBD	6.38	17.18	15.25
叶长度 (cm) BL	5.29	11.15	13.10
叶宽度 (cm) BW	1.56	3.70	3.54
花数量 (朵) NF	3.43	2.78	7.94
花序梗长度 (cm) PUL	3.49	1.94	21.62
花序梗直径 (mm) PUD	1.38	4.01	3.13
花梗长度 (cm) PIL	2.25	2.99	3.03
花梗直径 (mm) PID	1.12	2.98	2.43
花纵径 (cm) FLD	2.93	5.38	5.60

花横径 (cm) FTD	3.57	5.85	6.27
中萼片长度 (cm) MSL	1.96	3.29	3.05
中萼片宽度 (cm) MSW	0.65	1.72	1.53
侧萼片长度 (cm) LSL	2.00	3.41	3.30
侧萼片宽度 (cm) LSW	0.91	1.59	1.81
花瓣长度 (cm) PL	1.84	3.27	3.38
花瓣宽度 (cm) PW	0.74	2.68	2.91
唇瓣长度 (cm) LPL	1.69	3.23	2.87
唇瓣宽度 (cm) LPW	1.14	3.13	3.10

### 3 讨论

#### 3.1 石斛数量性状分级

数量性状的合理分级是 DUS 测试中的重要环节, 在实际测试过程中, 数量性状分级更多是根据测量数据进行划分<sup>[27]</sup>。景士西等<sup>[28]</sup>提出的等级差归类法使作物数量性状评价逐渐标准规范化和编码化, 但该方法无法准确地分析出数量性状的分布特征; 后来刘孟军提出基于数量性状分布特征的概率分级法<sup>[29]</sup>, 但该方法只能将数量性状分为 3 级或 5 级, 不适用于 DUS 测试中分级数较多 (如 7 级和 9 级) 的情况; 王永行等<sup>[30]</sup>利用 2 倍标准差法对向日葵数量性状进行分级, 对不符合正态分布的性状, 容易造成分级不合理、不科学的现象。极差法又称等距法, 该方法简单直观, 在毛花猕猴桃<sup>[31]</sup>、柚<sup>[32]</sup>等果树作物数量性状的分级中得以应用; 最小显著差法适用于符合正态分布的性状, 能够检测出较小的差异, 满足国际植物新品种保护联盟 (简称 UPOV) 提出的每个分级所包含的区间不得小于 2 倍  $LSD_{0.05}$  的要求<sup>[33]</sup>, 已广泛应用于多种作物的数量性状分级上<sup>[34-37]</sup>。本研究根据数量性状的不同分布特点, 对符合和不符合正态分布的数量性状分别采用最小显著差法和极差法进行分级, 并结合品种的田间表现及未来育种发展趋势进行分级调整, 最终各性状的分级区间均符合大于等于 2 倍  $LSD_{0.05}$  的基本要求, 可作为石斛品种 DUS 测试中数量性状分级及标准品种筛选的参考。

#### 3.2 石斛数量性状遗传多样性分析

变异系数和遗传多样性指数是评价种质资源遗传多样性的重要指标<sup>[38]</sup>, 变异系数代表性状的离散程度, 遗传多样性指数说明分析数值的丰富度和均匀度, 一般来说遗传多样性指数达到 1.00 以上即为多样性程度高<sup>[39]</sup>。在本研究中 20 个数量性状的品种内变异系数均在 20% 以内, 品种间变异系数均在 20% 以上, 遗传多样性指数在 1.16~2.05 之间, 表明所选用的 85 个石斛品种间具有丰富的遗传多样性, 品种内各数量性状表现较为稳定, 适合作为数量性状分级研究的对象。

相关性分析结果表明, 石斛各数量性状间普遍呈极显著或显著水平且相关系数绝对值较大。当性状间的相关达到极显著水平且数值较大时, 其观测值往往表现出大致相同的变化趋势, 本研究中花纵径与花横

径、侧萼片长度、花瓣长度之间，中萼片长度与侧萼片长度、花瓣长度之间以及侧萼片长度与花瓣长度之间的相关系数绝对值更是达到 0.95 以上，表现出高度相关性。主成分分析通过降维的方法可以清晰地反映造成群体差异的主要原因<sup>[40]</sup>。本研究 20 个数量性状可以根据贡献率的大小提取 2 个主成分，累计贡献率达到 84.78%，包含了 20 个数量性状的大部分信息。从载荷图可见，花序梗长度和花数量组成的集群与其他性状距离最远。聚类分析结果可反映不同品种间的亲缘关系和遗传差异，聚类结果中同一类群表型性状特征一般差异较小，而类群与类群之间则往往差异较明显<sup>[41]</sup>。本研究在欧式距离为 25 处可将 85 个石斛品种分为两个类群，第Ⅱ类群在欧式距离为 18 处又可分为两个亚类群，不同类群在植株大小、花纵横径、花数量以及花序梗长度上存在差异，与主成分分析结果基本一致。

### 3.3 遗传多样性分析在石斛 DUS 测试中的应用

品种内变异系数反映了性状在同一品种内的稳定程度<sup>[42]</sup>。本研究中 20 个数量性状的品种内变异系数均在 20%以内，符合 DUS 测试要求<sup>[43]</sup>，但是假鳞茎长度、花数量、花序梗长度等 3 个数量性状相较于其他性状，更容易受到环境条件的影响，因此在 DUS 测试过程中，除需要考虑栽培环境等因素外，应尽可能统一取样标准和测量方法，确保测试结果的准确性和可靠性。

使用高度相关的性状并不能增加品种的鉴别力，反而会增加测试成本，降低测试效率<sup>[44]</sup>。本研究中花纵径与花横径、侧萼片长度、花瓣长度之间，中萼片长度与侧萼片长度、花瓣长度之间以及侧萼片长度与花瓣长度之间表现出高度相关性，因此在石斛属 DUS 测试指南修订过程中应该减少此类性状，以提高测试效率。

分组性状可以避免在 DUS 测试中将性状差异较大的近似品种与待测品种相邻种植，对于品种类群划分和近似品种筛选也有重要意义<sup>[43]</sup>。在 DUS 测试指南的分组性状的选择上，应当充分借鉴形态性状多样性分析，尤其是主成分和聚类分析的结果，尽量把品种区分能力强、区分效果好的性状列为分组性状<sup>[45]</sup>。本研究中，除石斛属 DUS 测试指南中列出的植株大小、花纵径和花横径等分组性状外，花数量和花序梗长度也可作为分组性状之一，由于花数量和花序梗长度两个性状间呈极显著相关且相关系数较大，从观测的效率出发，选择花数量作为新增的分组性状，这与张鹏等<sup>[46]</sup>在蝴蝶兰上的研究结果一致。

数量性状是 DUS 测试指南中一类重要性状，通过最小显著差法和极差法对符合不同数据分布的数量性状进行分级，可作为石斛属 DUS 测试数量性状描述分级及今后标准品种优化的依据。变异系数、相关性、主成分以及聚类分析结果可为数量性状的选择、DUS 测试以及测试指南修订提供参考。

### 参考文献

[1] 黄定华.花卉花期调控新技术.北京: 中国农业出版社,1999:82-86

Huang D H. New technology for flowering regulation of flowers. Beijing: China Agricultural Press, 1999:82-86

[2] Chase M W, Cameron K M, Freudenstein J V, Pridgeon A M, Salazar G, Van D B C, Schuiteman A. An updated classification of

- Orchidaceae. Botanical Journal of the Linnean Society, 2015, 177(2):151-174
- [3] The Biodiversity Committee of Chinese Academy of Sciences.2023, Catalogue of Life China: 2023 Annual Checklist, Beijing, China. (2023-05-22) [2024-08-22]. <http://www.sp2000.org.cn/>
- [4] Xu L, Zeng X X, Liu Y N, Wu Z F, Zheng X J, Zhang X. Effect of *Dendrobium officinale* polysaccharides on central nervous system disease: Based on gut microbiota. International Journal of Biological Macromolecules, 2023(240):124440
- [5] 方诗迪. 紫瓣石斛新品种的培育. 昆明: 云南农业大学, 2023  
Fang S D. Cultivation of new varieties of *Dendrobium parishii* Rchb.f. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2003
- [6] 朱胜蕾. 中国石斛属植物育种潜力研究. 北京: 中国林业科学研究院, 2016  
Zhu S L. Study on the breeding potential of Chinese *Dendrobium*. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2016
- [7] 黄小艳, 夏池, 黄玮婷, 方中明. 中国一级保护野生兰科植物杂交育种进展. 植物遗传资源学报, 2024, 25(3):323-339  
Huang X Y, Xia C, Huang W T, Fang Z M. Progress in hybrid breeding of wild orchids listed in the national first-class plant protection catalog. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25 (3):323-339
- [8] 奚航献, 刘晨, 刘京晶, 张新风, 斯金平, 张磊. 铁皮石斛化学成分、药理作用及其质量标志物(Q-marker)的预测分析. 中草药, 2020, 51(11):3097-3109  
Xi H X, Liu C, Liu J J, Zhang X F, Si J P, Zhang L. Chemical components and pharmacological action for *Dendrobium officinale* and its prediction analysis on Q-marker. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2020, 51(11):3097-3109
- [9] Lou X J, Wang Y Z, Lei S S, He X, Chen S H. Beneficial effects of macroporous resin extract of *Dendrobium candidum* leaves in rats with hyperuricemia induced by a high-purine diet. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2020, 2020(10):1-10
- [10] 张萌, 单玉莹, 杨业波, 翟飞飞, 王兆山, 巨关升, 孙振元, 李振坚. 中国石斛属植物遗传资源的 AFLP 分析. 园艺学报, 2022, 49(6):1339-1350  
Zhang M, Shan Y Y, Yang Y B, Zhai F F, Wang Z S, Ju G S, Sun Z Y, Li Z J. AFLP analysis of genetic resources of *Dendrobium* from China. Acta Horticulturae Sinica, 2022, 49(6):1339-1350
- [11] 赵秋菊, 崔学强, 邓杰玲, 黄昌艳, 殷文忆, 张自斌. 石斛兰杂交后代 iPBS 标记鉴定及遗传分析. 中国农业大学学报, 2024, 29(9):78-89  
Zhao Q J, Cui X Q, Deng J L, Huang C Y, Yan W Y, Zhang Z B. Identification of iPBS markers and genetic analysis of *Dendrobium* hybrid progeny. Journal of China Agricultural University, 2024, 29(9):78-89
- [12] 李得萍, 陈一鸣, 何远秦, 董洪雨, 易元惠, 刘艳军. 晶帽石斛组培快繁体系优化. 北方园艺, 2023, (14):111-117  
Li D P, Chen Y M, He Y Q, Dong H Y, Yi Y H, Liu Y J. Optimization of tissue culture and rapid propagation system for *Dendrobium crystallinum* Rchb.f. Northern Horticulture, 2023, (14):111-117
- [13] 江金兰. 石斛新品种粉佳人增殖及生根条件优化. 热带作物学报, 2024, 45(6):1184-1193  
Jiang J L. Optimization of proliferation and rooting conditions for a new variety of *Dendrobium* Fenjiaren. Chinese Journal of Tropical Crops, 2024, 45(6):1184-1193
- [14] 陈海荣, 吕波, 顾晓君, 罗利军, 李荧, 王加红, 刘丽娟, 堵苑苑, 梁小花, 陈榕华, 韦祝山, 刘平. 上海地区植物新品种 DUS 测试技术体系的初步构建. 上海农业学报, 2009, 25 (1):37-42  
Chen H R, Lü B, Gu X J, Luo L J, Li Y, Wang J H, Liu L J, Du Y Y, Liang X H, Chen R H, Wei Z S, Liu P. Preliminary establishment of DUS testing technique system of new plant varieties in Shanghai area. Acta Agriculturae Shanghai, 2009, 25(1): 37-42
- [15] 全国植物新品种测试标准化技术委员会. 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南-石斛属: NY/T 2758-2015. 北京: 中国标准出版社, 2015:1-23  
Testing of New Varieties of Plants. Guidelines for the conduct of test for distinctness, uniformity and stability - *Dendrobium*(*Dendrobium* Sw.): NY/T 2758-2015. Beijing: Standards Press of China, 2015:1-23
- [16] 钟海丰, 陈剑锋, 陈宇华, 邱思鑫, 黄敏玲. 蝴蝶兰主要数量性状 DUS 测试性能研究. 东南园艺, 2019, 7(6):14-21  
Zhong H F, Chen J F, Chen Y H, Qiu S X, Huang M L. Study on testing performance of main quantitative characters for DUS

test in *Phalaenopsis*. Southeast Horticulture, 2019,7(6):14-21

- [17] 邓姗,任丽,章毅颖,赵洪,陈海荣,褚云霞. 基于 DUS 测试指南的茄子种质资源多样性分析. 分子植物育种,2020,18(19):6518-6529  
Deng S, Ren L, Zhang Y Y, Zhao H, Chen H R, Chu Y X. Diversity analysis of eggplant germplasm resources based on DUS test guideline. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(19): 6518-6529
- [18] 钟声远,钟海丰,陈宇华,陈剑锋,张荟,钟准钦,林兵,刘中华,邱思鑫,黄敏玲. 建兰品种资源数量性状与分组性状的 DUS 判定. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2022, 50(3): 115-124  
Zhong S Y, Zhong H F, Chen Y H, Chen J F, Zhang H, Zhong H Q, Lin B, Liu Z H, Qiu S X, Huang M L. DUS evaluation of quantitative and grouping characteristics of *Cymbidium ensifolium*. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 2022, 50(3): 115-124
- [19] 苗锦山,刘彩霞,戴振建,杨文才,王俊英,郎德山,沈火林. 葱种质资源数量性状的聚类分析、相关性和主成分分析. 中国农业大学学报, 2010, 15(3): 41-49  
Miao J S, Liu C X, Dai Z J, Yang W C, Wang J Y, Lang D S, Shen H L. Clustering, correlation and principal component analyses in welsh onion (*Allium fistulosum* L.) germplasm resources. Journal of China Agricultural University, 2010, 15(3): 41-49
- [20] 张本厚,胡燕花,牛志韬,李超,欧江涛,薛庆云,刘薇,陈集双,丁小余. 基于表型性状的金钗石斛种质资源多样性评价. 中国生物工程杂志, 2022(11): 5-17  
Zhang B H, Hu Y H, Niu Z T, Li C, Ou J T, Xue Q Y, Liu W, Chen J S, Ding X Y. Diversity evaluation of *Dendrobium nobile* germplasm resources based on phenotypic traits. China Biotechnology, 2022(11): 5-17
- [21] 贺漫媚,代色平,陈秀萍,吴俭峰,刘国锋,阮琳,王伟. 17 种石斛属植物表型性状多样性分析. 植物资源与环境学报, 2024, 33(2): 71-79, 90  
He M M, Dai S P, Chen X P, Wu J F, Liu G F, Ruan L, Wang W. Analysis on phenotypic trait diversity of 17 *Dendrobium* species. Journal of Plant Resources and Environment, 2024, 33(2): 71-79, 90
- [22] 胡梦露,李宗艳,任书娴,杨建伟,伍倩,冯尧,叶松菩. 云南 26 种石斛种质资源的形态分类与亲缘关系研究. 江苏农业科学, 1-10[2024-08-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1214.S.20240621.1445.006.html>  
Hu M L, Li Z Y, Ren S X, Yang J W, Wu Q, Feng Y, Ye S P. Morphological classification and phylogenetic relationship of 26 *Dendrobium* germplasm resources in Yunnan province. Jiangsu Agricultural Sciences, 1-10[2024-08-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1214.S.20240621.1445.006.html>
- [23] 周海涛,王凤华,姜志磊,郝彩环,王威,刘同方. 吉林省高粱 DUS 测试数量性状分级标准的研究 I. 个体测量性状. 吉林农业科学, 2015, 40(5): 21-25  
Zhou H T, Wang F H, Jiang Z L, Hao C H, Wang W, Liu T F. Studies on the classify standard for quantitative characters of sorghum DUS testing in Jilin province I. Measurement of single characters. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2015, 40(5): 21-25
- [24] 王凤华,郝彩环,周海涛,侯佳明,王威. 玉米 DUS 测试主要数量性状分级方法的研究. 玉米科学, 2011, 19(2): 144-147  
Wang F H, Hao C H, Zhou H T, Hou J M, Wang W. Study on classification method for main quantitative characters of maize DUS test. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(2): 144-147
- [25] 沈甲诚,焦越佳,张可可,何穗华,金雨晴. 筋杜鹃种质资源表型性状的遗传多样性分析. 热带作物学报, 2022, 43(9): 1801-1811  
Shen J C, Jiao Y J, Zhang K K, He S H, Jin Y Q. Analysis of genetic diversity of phenotypic traits of *Bougainvillea* germplasm resources. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(9): 1801-1811
- [26] 赵益新,赵珂,沈庆航. 多因素主成分分析及其在生态环境研究中的应用. 西南民族大学学报: 自然科学版, 2008(2): 203-206  
Zhao Y X, Zhao K, Shen Q H. Multi-factor principal components analysis and its application in study of ecological environment. Journal of Southwest University for Nationalities: Natural Science Edition, 2008(2): 203-206
- [27] 褚云霞,邓姗,陈海荣,任丽,章毅颖,赵洪. 中国草本花卉 DUS 测试现状. 中国农业大学学报, 2020, 25(2): 34-43  
Chu Y X, Deng S, Chen H R, Ren L, Zhang Y Y, Zhao H. Present status of DUS testing for herbaceous ornamentals in China. Journal of China Agricultural University, 2020, 25(2): 34-43

- [28] 景士西,李宝江.山楂种质资源性状描述系统的研究.园艺学报,1990(2):81-88  
Jing S X, Li B J. Studies on description system of hawthorn germplasm resources. Acta Horticulturae Sinica,1990(2):81-88
- [29] 刘孟军.枣树数量性状的概率分级研究.园艺学报,1996(2):105-109  
Liu M J. Studies on the variations and probability gradings of major quantitative characters of Chinese jujube. Acta Horticulturae Sinica,1996(2):105-109
- [30] 王永行,单飞彪,闫文芝,杜瑞霞,杨钦方,刘春晖,白立华.基于向日葵 DUS 测试的遗传多样性分析及代码分级.作物杂志,2019(5):22-27  
Wang Y X, Shan F B, Yan W Z, Du R X, Yang Q F, Liu C H, Bai L H. Genetic diversity analysis and code classification based on DUS testing in Sunflower. Crops, 2019(5):22-27
- [31] 郎彬彬,朱博,谢敏,张文标, Umut Ahmet Seyrek, 黄春辉,徐小彪.野生毛花猕猴桃种质资源主要数量性状变异分析及评价指标探讨.果树学报,2016,33(1):8-15  
Lang B B, Zhu B, Xie M, Zhang W B, Seyrek U A, Huang C H, Xu X B. Variation and probability grading of the main quantitative characteristics of wild *Actinidia eriantha* germplasm resources. Journal of Fruit Science, 2016, 33(1):8-15
- [32] 陈璞,徐振江,江东,易静,苏穆清,邓超,饶得花.柚类种质资源 DUS 测试数量性状分级研究.果树学报,2024,41(9):1885-1902  
Chen P, Xu Z J, Jiang D, Yi J, Su M Q, Deng C, Rao D H. Classification study on DUS testing quantitative characteristics of pomelo germplasm resources. Journal of Fruit Science, 2024, 41(9):1885-1902
- [33] UPOV. Document TGP/8/1 Use of statistical procedures in distinctness, uniformity and stability testing. 2002.
- [34] 徐丽,高玲,刘迪发,张如莲,刘维侠,黄秋葵. DUS 测试主要数量性状的测量及分级.中国蔬菜,2017(12):51-56  
Xu L, Gao L, Liu D F, Zhang R L, Liu W X. Measuring and grading of major quantitative traits of okra DUS test. China Vegetables, 2017(12):51-56
- [35] 方超,唐轩,胡桂兵,刘洪,马强,陈孟强,饶得花,徐振江.荔枝 DUS 测试数量性状分级研究.果树学报,2020,37(5):635-644  
Fang C, Tang X, Hu G B, Liu H, Ma Q, Chen M Q, Rao D H, Xu Z J. A study on grading of quantitative characteristics of litchi. Journal of Fruit Science, 2020, 37(5):635-644
- [36] 李娟,孔德章,焦爱霞,周欢欢,韦启迪,张丽娜,霍可以.基于贵州地区玉米 DUS 测试数量性状变异与分级标准研究.种子,2021,40(10):34-40  
Li J, Kong D Z, Jiao A X, Zhou H H, Wei Q D, Zhang L N, Huo K Y. Study on quantitative trait variation and grading standard of maize by DUS test in Guizhou Region. Seed, 2021, 40(10):34-40
- [37] 王红娟,蒋晓英,官玲,唐荣莉,白文钦,林清.南方春大豆品种 DUS 测试数量性状表达状态分级.分子植物育种,2023,21(3):1015-1025  
Wang H J, Jiang X Y, Guan L, Tang R L, Bai W Q, Lin Q. Grading of DUS testing quantitative characteristics of southern spring soybean varieties. Molecular Plant Breeding, 2023, 21(3):1015-1025
- [38] 李鸿雁,李悦焯,李俊,武自念,黄帆,朱琳,郭茂伟,李志勇,辛霞.内蒙古 143 份冰草属种质资源表型多样性分析与综合评价.植物遗传资源学报,2024,25(8):1254-1267  
Li H Y, Li Y X, Li J, Wu Z N, Huang F, Zhu L, Guo M W, Li Z Y, Xin X. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 143 *Agropyron* germplasm resources in Inner Mongolia, China. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25(8):1254-1267
- [39] 芮文婧,王晓敏,张倩男,胡学义,胡新华,付金军,高艳明,李建设.番茄 353 份种质资源表型性状遗传多样性分析.园艺学报,2018,45(3):561-570  
Rui W J, Wang X M, Zhang Q N, Hu X Y, Hu X H, Fu J J, Gao Y M, Li J S. Genetic diversity analysis of 353 tomato germplasm resources by phenotypic traits. Acta Horticulturae Sinica, 2018, 45 (3):561-570
- [40] 李鸿雁,李俊,黄帆,李志勇,刘磊.内蒙古 78 份葱属野生种表型遗传多样性分析.植物遗传资源学报,2017,18(4):620-628  
Li H Y, Li J, Huang F, Li Z Y, Liu L. Phenotypic diversity of 78 accessions of wild *Allium* species in Inner Mongolia. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(4):620-628
- [41] 张辉,曹学仁,张蕾,李松刚,洪继旺,吴佳,张惠云,丁灿,罗心平,王家保.褐毛荔果实表型性状多样性研究.果树学



报,2024,41(8):1546-1562

Zhang H, Cao X R, Zhang L, Li S G, Hong J W, Wu J, Zhang H Y, Ding C, Luo X P, Wang J B. Study on the fruit phenotypic characters diversity of *Litchi chinensis* var. *fulvosus*. *Journal of Fruit Science*, 2024,41(8):1546-1562

[42] 李仁伟,王晨,戴思兰,雒新艳,李宝琴,朱珺,卢洁,刘倩倩.菊花品种表型性状与 SRAP 分子标记的关联分析. *中国农业科学*,2012,45(7):1355-1364

Li R W, Wang C, Dai S L, Luo X Y, Li B Q, Zhu J, Lu J, Liu Q Q. The association analysis of phenotypic traits with SRAP markers in *Chrysanthemum*. *Scientia Agricultura Sinica*,2012,45(7):1355-1364

[43] 褚云霞,邓姗,杨旭红,黄志城,李寿国,陈海荣.六出花属 DUS 测试性状筛选与评价. *植物遗传资源学报*,2017,18(3):472-482  
Chu Y X, Deng S, Yang X H, Huang Z C, Li S G, Chen H R. Selection and assessment for *Alstroemeria* DUS testing traits. *Journal of Plant Genetic Resources*,2017,18(3):472-482

[44] 孙加梅,孙悦津,张晗,郑永胜,李华,仙丽娜,王秀娟,王东建,李汝玉.玉米 15 个 DUS 测试性状的相关性分析. *山东农业科学*,2015,47(12):10-13

Sun J M, Sun Y J, Zhang H, Zheng Y S, Li H, Xian L N, Wang X J, Wang D J, Li R Y. Correlation analysis of fifteen quantitative characters in maize DUS testing. *Shandong Agricultural Sciences*,2015,47(12):10-13

[45] 钟海丰,陈剑锋,陈宇华,钟声远,刘中华,张荟,邱思鑫,黄敏玲.基于 DUS 测试的丝瓜种质资源形态多样性分析. *东南园艺*,2021,9(6):9-18

Zhong H F, Chen J F, Chen Y H, Zhong S Y, Liu Z H, Zhang H, Qiu S X, Huang M L. Morphological diversity of *Luffa* germplasm based on DUS test. *Southeast Horticulture*,2021,9(6):9-18

[46] 张鹏,王江民,管俊娇,刘艳芳,杨晓洪,马芙蓉,张建华.蝴蝶兰品种数量性状与分组性状的 DUS 判定. *西北农林科技大学学报:自然科学版*,2018,46(11):81-88

Zhang P, Wang J M, Guan J J, Liu Y F, Yang X H, Ma F R, Zhang J H. DUS testing evaluation of quantitative and grouping characters of *Phalaenopsis*. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*,2018,46(11):81-88