

张倩男, 杨彩玲, 买自珍, 等. 百合种质资源农艺与营养品质性状分析及综合评价[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(4): 721-733.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.04.016

百合种质资源农艺与营养品质性状分析及综合评价

张倩男¹, 杨彩玲¹, 买自珍¹, 马 贵²

(1. 宁夏农林科学院固原分院, 宁夏 固原 756000; 2. 宁夏师范学院资源环境与生命科学学院, 宁夏 固原 756000)

摘要: 以 17 份百合种质资源为材料, 采用变异系数和 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 对 12 个质量性状和 27 个数量性状进行遗传多样性分析, 利用相关性分析、主成分分析、隶属函数和逐步回归分析的方法对百合种质资源的农艺与营养品质性状进行综合评价, 并筛选评价指标, 以期百合新品种选育提供参考。结果表明, 12 个质量性状中检测出 47 个变异类型, Shannon-Wiener 多样性指数为 0.36~1.71; 27 个数量性状变异系数为 0.06~0.58, Shannon-Wiener 多样性指数为 1.23~1.97; 表明百合种质资源各性状间存在较大差异且变异类型较为丰富。27 个数量性状的相关性分析结果表明, 百合表型性状与品质性状间存在显著或极显著的相关关系。聚类分析将 17 份百合种质资源聚为 6 类。主成分分析从 27 个指标性状中提取了 7 个主成分, 可代表百合 89.02% 的遗传信息。采用隶属函数综合评价排名前 3 的百合种质资源为 LZ1(兰州百合)、SD5(自育品种)、JD1(卷丹百合)。采用逐步线性回归方法筛选出 4 个百合种质资源综合评价指标, 分别为膳食纤维含量、铁含量、总磷脂含量、鳞茎鲜质量。

关键词: 百合; 种质资源; 遗传多样性; 农艺性状; 营养品质性状; 综合评价

中图分类号: S644.1; S682.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)04-0721-13

Analysis and comprehensive evaluation of agronomic and nutritional quality traits of lily germplasm resources

ZHANG Qian-nan¹, YANG Cai-ling¹, MAI Zi-zhen¹, MA Gui²

(1. Guyuan Branch, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Guyuan 756000, China; 2. School of Resources, Environment and Life Sciences, Ningxia Normal University, Guyuan 756000, China)

Abstract: Using 17 lily germplasm resources as materials, the genetic diversity of 12 quality traits and 27 quantitative traits was analyzed by variance coefficient and Shannon-Wiener diversity index (H'), and the agronomic and nutritional quality traits of lily germplasm resources were comprehensively evaluated by correlation analysis, principal component analysis, membership function and stepwise regression analysis. The evaluation indices were screened to provide reference for the breeding of new lily varieties. The results showed that 47 variation types were detected by analyzing 12 quality traits. The Shannon-Wiener diversity index ranged from 0.36 to 1.71. The coefficient of variation of 27 quantitative traits ranged from 0.06 to 0.58. And the Shannon-Wiener diversity index ranged from 1.23 to 1.97. The results showed that there were significant differences among the traits and the variation types were abundant. The correlation analysis of 27 quantitative traits showed that there were significant or extremely significant correlations between phenotypic traits and quality traits. The 17 lily germplasm resources were clustered into six classes by cluster analysis. Through principal component analysis, seven principal components were extracted from 27 traits, which could represent 89.02% of the genetic information of lily. LZ1 (Lanzhou lily), SD5 (self-cultivated variety) and JD1

收稿日期: 2023-03-14

基金项目: 宁夏农林科学院农业科技自主创新科技成果转化项目 (NNKZZCGZH-2021-06); 固原市科技计划项目 (2019GKNS006、2021GYKYF036); 宁夏农林科学院农业科技自主创新科技先导项目 (NKYG-2019-08)

作者简介: 张倩男 (1992-), 女, 宁夏固原人, 硕士, 助理研究员, 主要从事蔬菜新品种引种、选育及栽培技术研究。(E-mail) 894061615@qq.com

通讯作者: 杨彩玲, (E-mail) 15909640861@163.com

LZ1 (Lanzhou lily), SD5 (self-cultivated variety) and JD1

(*Lilium lancifolium* Ker Gawl.) were the top three lily varieties evaluated comprehensively by subordinate function. By using stepwise linear regression method, four comprehensive evaluation indexes of lily germplasm resources were selected, which were dietary fiber content, iron content, total phospholipid content and fresh weight of bulb.

Key words: lily; germplasm resources; genetic diversity; agronomic traits; nutritional quality traits; comprehensive evaluation

百合(*Lilium* spp.)是百合科百合属多年生草本球根花卉,主要分布在亚洲东部、欧洲及北美洲等北温带地区,具有较高的观赏价值,是世界四大切花之一^[1-2]。有研究结果表明百合鳞茎和花中含有蛋白质、脂肪、纤维素、淀粉、可溶性糖、维生素等营养物质^[3]以及钙、铁、锌、硒等微量元素^[4]和多糖、黄酮类化合物,具有降血糖、免疫调节、抗氧化、消除自由基、抗肿瘤和抑制细菌等作用,是药食兼用型植物,具有较好的开发利用价值和发展前景^[5-6]。

种质资源的收集、鉴定、评价、保存及开发利用是创制优质新品种的基础^[7];遗传多样性的研究是了解作物起源、计算基因分布、推测种质适应性、筛选核心种质、创新种质资源等工作的关键^[8-9]。采用表型性状可直观地鉴定、评价种质资源,还能有效评价遗传资源在生产中的应用潜力,在核心种质构建和种质创制等工作中也常被广泛利用^[10]。利用隶属函数与主成分分析相结合对种质资源进行综合评价的方法在番茄^[11]、莴苣^[12]、甘蓝型油菜^[13]等作物中已得到应用。

宁夏冷凉区位于宁夏南部、六盘山北麓、黄土高原中西部,当地海拔高,光照资源丰富,气候冷凉,土壤肥沃,非常适合百合生长。百合既可作为绿色食品,又可作为观赏花卉。随着宁夏“六新六特六优”产业以及固原市“五大绿色产业”迅速发展,百合已成为宁夏冷凉区重要的经济型作物之一^[14]。但由于百合生产周期长,种球成本高,生产上基本沿用自选自留的混杂品种,经过长期的无性繁殖,病毒积累、品种退化、种质资源混杂等问题愈加严峻^[15],因此筛选、引进优质百合品种、增加当地种质资源、加强品种多样性、培育优质百合新品种对满足日益增长的百合生产需求及对百合产业持续健康发展均具有重要意义。

本研究以 17 份百合种质资源为材料,于 2019 年 11 月种植于宁夏农林科学院固原分院隆德观庄科研基地,连续 3 年对 12 个质量性状和 27 个数量性状进行统计观测,结合多样性分析、隶属函数法、相关分析、主成分分析等方法综合评价,为百合新品

种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为宁夏农林科学院固原分院收集的 17 份百合种质资源(表 1),野生种分别采集于云南、湖南、兰州、山东,商业化种植品种引自荷兰,自育品种引自山东沂水百合研究开发中心和云南宣威市贵艳种植专业合作社。

表 1 17 份百合种质资源

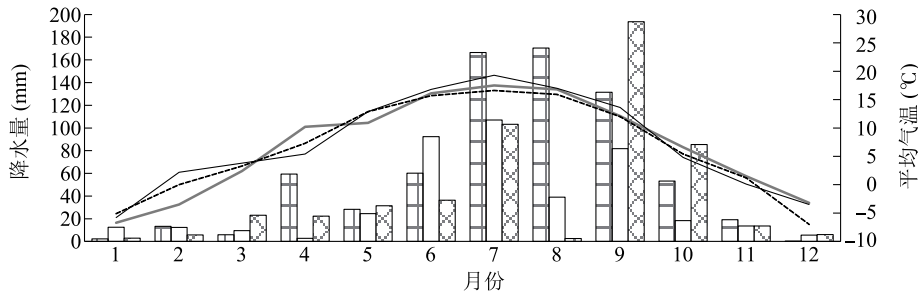
Table 1 Seventeen lily germplasm resources

序号	编号	种质	来源	类型
1	SD1	川百合	云南	野生种
2	SD2	云南 7 号	云南宣威市贵艳种植专业合作社	自育品种
3	SD3	小火箭	荷兰	商业化种植品种
4	SD4	粉色宫殿	荷兰	商业化种植品种
5	SD5	杂种单株	山东沂水百合研究开发中心	自育品种
6	SD6	山百合-1	山东	野生种
7	SD7	杂种单株	山东沂水百合研究开发中心	自育品种
8	SD8	杂种单株	山东沂水百合研究开发中心	自育品种
9	SD9	山百合-2	山东	野生种
10	YN1	野百合	云南曲靖	野生种
11	YN2	野百合	云南曲靖	野生种
12	YN3	山百合-3	云南宣威市西泽乡	野生种
13	YN4	山百合-4	云南宣威市西泽乡	野生种
14	YN5	穿梭	荷兰	商业化种植品种
15	YN6	山百合-5	云南宣威市西泽乡	野生种
16	JD1	卷丹百合	湖南龙山县	野生种
17	LZ1	兰州百合	兰州市七里河区	野生种

1.2 试验地概况

试验地位于宁夏农林科学院固原分院隆德观庄试验基地(35°37'N, 106°27'E),海拔 2 390.5 m,属

中温带半湿润半干旱区,昼夜温差大,年均气温 5.6°C ,降水量 747.2 mm ,日照时数 $2\,226\text{ h}$ 。2019–2021年气温和降雨量如图1所示。土壤为黑垆土,肥力中上,pH 6.5 ,有机质含量 36.9 g/kg ,速效钾含量 515.3 mg/kg ,有效磷含量 34.9 mg/kg ,碱解氮含量 95.1 mg/kg ,全盐含量 0.075 g/kg ^[16]。试验地前茬作物为豌豆。



□ 2019年月降水量; □ 2020年月降水量; ▨ 2021年月降水量; — 2019年月平均气温; — 2020年月平均气温; — 2021年月平均气温

图1 2019–2020年试验地区月降水量和月均气温

Fig.1 Monthly precipitation and average monthly temperature in the experimental site from 2019 to 2020

1.3.1 表型性状调查 依照《百合种质资源描述规范和数据标准》^[17]调查记录百合株高、茎粗、冠幅、叶长、叶宽、叶片数、花朵数、花径、鳞茎鲜质量、鳞茎纵径、鳞茎横径、鳞茎指数、鳞茎体积、花朵外被片基部色、外被片中部色、外被片外侧色、内被片中基部色、内被片外侧色、外被片斑点、内被片斑点、被片端部形状、着生状态、外被片状态、鳞茎形状、鳞片形状等25个农艺性状。用RSH Colour Chart比色卡比对花朵颜色,游标卡尺测量百合茎粗、叶长、叶宽、花径、鳞茎纵径、鳞茎横径;卷尺测量百合株高;电子天平测量百合鳞茎鲜质量;依据公式计算鳞茎指数及鳞茎体积。对质量性状进行赋值(表2)。

$$SI_L = \frac{H_L}{R_L} \quad (1)$$

$$V_L = \frac{2}{3} \pi R_{L_{\max}} \cdot H_L \cdot R_{L_{\min}} \quad (2)$$

式中, SI_L 表示百合鳞茎指数, V_L 表示百合鳞茎体积, R_L 表示百合鳞茎横径(mm), H_L 表示百合鳞茎纵径(mm), $R_{L_{\max}}$ 表示最长鳞茎横径, $R_{L_{\min}}$ 表示最短鳞茎横径。

1.3.2 营养品质检测 按照食品安全国家标准^[18–28]测量水溶性多糖、水分、灰分、蛋白质、膳食纤维、碳水化合物、钙、铁、锌、有机硒、维生素C、脂肪含量等品质指标。按照《出口食品中磷脂的测

1.3 试验方法

试验自2019年至2022年连续开展3年。随机区组设计,小区面积 16.8 m^2 ,3次重复,株行距 $20\text{ cm} \times 40\text{ cm}$,密度为每 1 hm^2 125 000株。精耕细耙整地,结合整地施有机肥 $45\,000\text{ kg/hm}^2$ 、复合肥 600 kg/hm^2 。11月中旬播种,定植前低温处理,气调库温度 $4\sim 6^{\circ}\text{C}$ 。开沟直播,沟深 $12\sim 18\text{ cm}$ 。常规大田管理。

定》^[29]方法测定总磷脂含量,按照《出口食品中总黄酮的测定》^[30]方法测定总黄酮含量。具体试验方法及主要试验仪器见表3。

表2 百合种质资源12个描述型性状及分级标准

Table 2 Twelve descriptive traits and classification criteria of lily germplasm resources

部位	描述型性状	记载标准及分级
花朵	外被片基部色	1:白色,2:绿白色,3:黄色,4:绿黄色,5:红色,6:粉红色,7:橙红色,8:橘红色,9:洋红色,10:石榴红色,11:紫红色,12:紫色
	外被片中部色	1:白色,2:绿白色,3:黄色,4:绿黄色,5:红色,6:粉红色,7:橙红色,8:橘红色,9:洋红色,10:石榴红色,11:紫红色,12:紫色
	内被片中基部色	1:白色,2:绿白色,3:黄色,4:绿黄色,5:红色,6:粉红色,7:橙红色,8:橘红色,9:洋红色,10:石榴红色,11:紫红色,12:紫色
	外被片外侧色	1:白色,2:黄色,3:红色,4:紫红色,5:紫色
	内被片外侧色	1:白色,2:黄色,3:红色,4:紫色
	外被片斑点	0:无,1:少,2:中,3:多
鳞茎	内被片斑点	0:无,1:少,2:中,3:多
	被片端部形状	1:尖,2:钝尖,3:圆,4:凹缺
	花着生状态	1:下垂,2:平伸,3:直立
	外花被片状态	1:平展,2:翻卷
	鳞茎形状	1:扁圆球,2:圆球
	鳞片形状	1:近圆形,2:阔卵形,3:披针形

表 3 具体测定方法及主要试验仪器

Table 3 Specific determination methods and main test instruments

项目	标准方法及计算公式	主要仪器
水溶性多糖含量	NY/T 1278-2007《铜还原碘量法》 ^[18]	25 ml 滴定管
水分含量	GB 5009.3-2016 ^[19]	DNP-9162 型电热恒温干燥箱
灰分含量	GB 5009.4-2016 ^[20]	SRJX-4-13 高温箱式电阻炉
蛋白质含量	GB 5009.5-2016 ^[21]	HGK-50 凯氏定氮仪
膳食纤维含量	GB 5009.88-2014 ^[22]	DNP-9162 电热恒温干燥箱、CPJ603 万分之一电子天平
钙含量	GB 5009.92-2016《火焰原子吸收光谱法》 ^[23]	AA-6880F 原子吸收分光光度计
铁含量	GB 5009.90-2016《火焰原子吸收光谱法》 ^[24]	AA-6880F 原子吸收分光光度计
锌含量	GB 5009.14-2017《火焰原子吸收光谱法》 ^[25]	AA-6880F 原子吸收分光光度计
有机硒含量	GB 5009.93-2017 ^[26]	AFS-8220 原子荧光光度计
碳水化合物含量	碳水化合物含量 = 100% - 水分含量 - 灰分含量 - 脂肪含量 - 蛋白质含量	/
维生素 C 含量	GB 5009.86-2016《2,6-二氯酚酚滴定法》 ^[27]	25 ml 滴定管
脂肪含量	GB 5009.6-2016《酸水解法》 ^[28]	电热恒温干燥箱,CPJ603 万分之一电子天平
总黄酮含量	SN/T 4592-2016 ^[29]	T6 新世纪紫外分光光度计
总磷脂含量	SN/T 3851-2014 ^[30]	T6 新世纪紫外分光光度计

“/”表示无。

1.4 数据统计与分析

数据整理与分析在 Excel2017、SPSS21.0 和 Origin2021软件中进行。

对 17 个百合品种的 27 个数量性状(13 个农艺数量性状和 14 个品质数量性状)进行主成分分析,根据模糊隶属函数公式,利用标准差系数赋予权重法,计算每份种质的综合得分(公式 3、公式 4)。

模糊隶属函数值计算公式^[31]:

$$u(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad j = 1, 2, \dots, n$$
 (3)

式中, X_j 表示第 j 个指标, X_{\min} 、 X_{\max} 分别表示第 j 个指标的最小值及最大值。

权重计算公式^[11]:

$$w_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$
 (4)

式中, P_j 表示第 j 个指标的贡献率。

综合评价 D 值计算公式^[11]:

$$D = \sum_{j=1}^n [u(X_j) \times w_j] \quad j = 1, 2, \dots, n$$
 (5)

2 结果与分析

2.1 百合种质资源农艺性状及营养品质的遗传多样性分析

17 份百合种质的铁含量和花径的极差和标准

差较大,鳞茎指数和维生素 C 含量的极差和标准差较小,表明不同百合品种铁含量和花径差异较大,而鳞茎指数和维生素 C 含量差异不大(表 4)。27 个数量性状变异系数为 0.06~0.58,其中鳞茎纵径和膳食纤维含量的变异系数最小,仅 0.06,钙含量的变异系数最大,为 0.58,不同品种百合钙含量为 19.80~95.50 mg/kg,叶宽、叶片数以及总磷脂、灰分、脂肪、钙、铁含量的变异系数大于 0.30,具有较大的改良潜力。27 个数量性状 Shannon-Wiener 多样性指数(H')为 1.23~1.97,均大于 1.2,表明各百合种质的数量性状遗传多样性较为丰富。其中叶长的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')最大,为 1.97,其次为鳞茎横径,Shannon-Wiener 多样性指数(H')为 1.93,灰分含量和钙含量的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')最低,为 1.23。

2.2 百合种质资源质量性状比较分析

对 17 份百合种质资源的 12 个质量性状分析统计(表 5),共检测到 47 个变异类型,每个性状平均产生 3.92 个变异类型,且各性状种类分布频率均不同。

12 个质量性状的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')为 0.36~1.71,外被片基部色、外被片中部色、外被片外侧色、内被片中基部色、内被片外侧色、外

被片斑点、内被片斑点这 7 个质量性状的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')均大于 1.00,其中外被片中部色的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')最高,为 1.71,鳞茎形状和鳞片形状的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')最低,均为 0.36。

17 份百合资源在 7 种外被片中部色中均有分布,以石榴红分布频率最高,为 24%;外被片基部色

以橙红色为主,占比 35%;外被片外侧色以红色紫色占比最多,均为 35%。内被片中基部色则以黄色、橘红色为主,占比均为 24%,内被片外侧色主要为红色,占比为 47%。有 47%的资源外被片斑点少,41%的资源花内被片斑点少。扁圆球形鳞茎和披针形鳞片资源分布率最高,均为 88%。

表 4 百合种质资源数量性状的变异情况
Table 4 Variability of quantitative traits of lily germplasm resources

性状	最大值	最小值	均值	极差	标准差	性状	变异系数	Shannon-Wiener 多样性指数
株高 (cm)	73.25	18.37	57.89	54.88	12.85	株高	0.22	1.57
茎粗 (mm)	15.83	4.89	11.44	10.94	2.52	茎粗	0.22	1.78
冠幅 (mm)	244.04	163.26	208.03	80.78	27.04	冠幅	0.13	1.71
叶长 (mm)	124.70	57.96	93.41	66.74	18.81	叶长	0.20	1.97
叶宽 (mm)	23.02	2.94	15.73	20.08	5.38	叶宽	0.34	1.67
叶片数	133.67	40.33	75.25	93.34	27.69	叶片数	0.37	1.81
花朵数	9.33	3.33	6.12	6.00	1.47	花朵数	0.24	1.79
花径 (mm)	194.04	57.43	139.58	136.61	30.01	花径	0.22	1.62
鳞茎鲜质量 (g)	162.23	61.42	107.52	100.81	27.56	鳞茎鲜质量	0.26	1.87
鳞茎纵径 (mm)	51.16	41.54	44.87	9.62	2.49	鳞茎纵径	0.06	1.71
鳞茎横径 (mm)	86.34	59.42	71.17	26.92	6.91	鳞茎横径	0.10	1.93
鳞茎指数	0.71	0.54	0.63	0.17	0.04	鳞茎指数	0.07	1.82
鳞茎体积 (mm ³)	35.17	14.52	22.69	20.65	5.38	鳞茎体积	0.24	1.85
水溶性多糖含量 (%)	21.39	11.09	14.47	10.30	2.89	水溶性多糖含量	0.20	1.68
总磷脂含量 (mg/g)	0.77	0.21	0.32	0.56	0.13	总磷脂含量	0.41	1.46
总黄酮含量 (mg/g)	34.31	16.37	21.69	17.94	5.52	总黄酮含量	0.25	1.49
水分含量 (%)	79.30	54.30	62.12	25.00	5.14	水分含量	0.08	1.54
灰分含量 (%)	2.91	0.26	1.85	2.65	0.62	灰分含量	0.34	1.23
蛋白质含量 (%)	4.20	1.91	2.70	2.29	0.70	蛋白质含量	0.26	1.75
脂肪含量 (%)	0.66	0.25	0.42	0.41	0.13	脂肪含量	0.31	1.61
膳食纤维含量 (%)	1.81	1.39	1.66	0.42	0.10	膳食纤维含量	0.06	1.71
碳水化合物含量 (%)	42.80	15.30	32.90	27.50	5.42	碳水化合物含量	0.16	1.55
维生素 C 含量 (mg/g)	0.31	0.17	0.22	0.14	0.03	维生素 C 含量	0.13	1.69
钙含量 (mg/kg)	95.50	19.80	38.20	75.70	22.21	钙含量	0.58	1.23
铁含量 (mg/kg)	481.00	90.20	210.69	390.80	101.41	铁含量	0.48	1.63
锌含量 (mg/kg)	7.30	3.10	5.39	4.20	0.97	锌含量	0.18	1.75
有机硒含量 (μg/kg)	15.84	5.80	8.13	10.04	2.27	有机硒含量	0.28	1.45

2.3 百合种质资源 27 个数量性状的相关性分析

对 17 份百合种质资源的 27 个数量性状进行相关性分析,结果显示各性状间存在不同程度的相关性(图 2)。百合株高与茎粗、叶宽、花径、膳

食纤维含量均呈极显著正相关($P<0.01$);鳞茎鲜质量与鳞茎横径、鳞茎纵径和鳞茎体积呈极显著正相关($P<0.01$);茎粗与冠幅、叶长呈极显著正相关($P<0.01$),与花朵数、鳞茎鲜质量、鳞茎纵径、鳞茎横径、鳞茎体积、膳食纤维含量均呈显著正相关($P<0.05$);叶长与锌含量呈显著负相关($P<0.05$);叶宽与花径呈极显著正相关($P<0.01$),与叶片数呈极显著负相关($P<0.01$),与脂肪含量呈显著正相关,与有机硒含量呈显著负相关($P<0.05$);叶片数与铁含量、锌含量、有机硒含量呈显著正相关($P<0.05$);鳞茎纵径、鳞茎横径与鳞茎体积呈极显著正相关($P<0.01$);总磷脂与总黄酮、有机硒含量呈极显著正相关($P<0.01$);水分含量与灰分含量呈极显著正相关($P<0.01$),与钙含量呈显著相关($P<0.05$),与碳水化合物呈极显著负相关($P<0.01$);水溶性多糖与蛋白质呈极显著正相关($P<0.01$);钙含量与铁含量呈极显著正相关($P<0.01$)。在实际生产中,通过观察株高、茎粗、叶长、叶宽、叶片数等农艺性状,可对鳞茎鲜质量、膳食纤维含量、脂肪含量以及铁、锌、有机硒含量等性状进行预测。

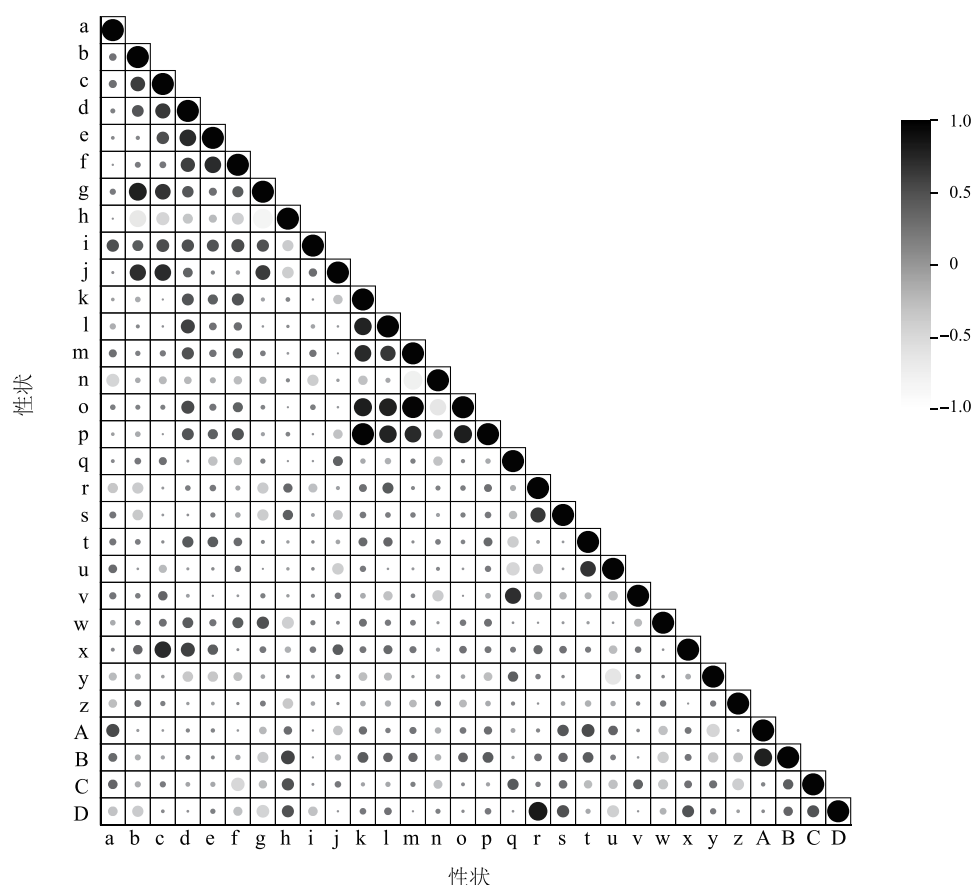
2.4 百合种质资源聚类分析

图 3 中列中聚为一类的品种其亲缘关系较近,行中聚为一类的性状表示这些性状在所有种质资源中的变化趋势相近,可以用于重要性状的筛选,基于 27 个数量性状将 17 份百合种质资源聚为 6 类。其中第 1 类包括 3 份种质资源,该类资源各性状综合表现较差。第 2 类包括 2 份种质资源,该类资源鳞茎纵径、鳞茎鲜质量、鳞茎体积、鳞茎横径、冠幅、茎粗较大,铁、钙、灰分、水分含量较高。第 3 类包含 2 份种质资源,该类资源的有机硒、总磷脂、总黄酮、锌含量表现较高,鳞茎相关性状表现较好,叶片数较多,是非常适合食用的资源类群。第 4 类包含 2 份种质资源,该类资源鳞茎纵径、鳞茎鲜质量、鳞茎体积、鳞茎横径较小,冠幅、茎粗较小。第 5 类包含 4 份种质资源,该类资源鳞茎纵径、鳞茎鲜质量、鳞茎体积、鳞茎横径较大,叶长、叶宽较大,花朵数较多,营养物质含量也相对较高,是可发展为兼食用与观赏为一体的资源类群。第 6 类同样包含 4 份种质资源,该类资源的鳞茎体积较小且鲜质量较小,但其株高较高,花期较长,整体营养物质含量相对较高,可作为选育赏食两用百合新品种的种质资源材料。

表 5 百合种质资源质量性状调查结果

Table 5 Investigation results of quality traits of lily germplasm resources

性状	性状种类	遗传多样性指数	资源分布份数	资源分布频率
外被片基部色	白	1.41	2	0.12
	黄		4	0.24
	绿黄		2	0.12
	橙红		6	0.35
	洋红		1	0.06
	石榴红		1	0.06
	紫红		1	0.06
	白		2	0.12
	黄		3	0.18
外被片中部色	红	1.71	1	0.06
	粉红		2	0.12
	橙红		2	0.12
	橘红		3	0.18
	石榴红		4	0.24
	白		2	0.12
	黄		3	0.18
	红		6	0.35
	紫		6	0.35
内被片中基部色	绿白	1.40	2	0.12
	黄		4	0.24
	粉红		2	0.12
	橙红		3	0.18
	橘红		4	0.24
	石榴红		1	0.06
	紫红		1	0.06
	白		2	0.12
	黄		3	0.18
内被片外侧色	红	1.25	8	0.47
	紫		4	0.24
	无		5	0.29
	少		8	0.47
	中多		1	0.06
	多		3	0.18
	无		3	0.18
	少		7	0.41
	中多		3	0.18
被片端部形状	多	0.67	4	0.24
	尖		7	0.41
	钝尖		10	0.59
	下垂		3	0.18
	直立		14	0.82
	平展		14	0.82
	翻卷		3	0.18
	扁圆球		15	0.88
	圆球		2	0.12
鳞片形状	阔卵形	0.36	2	0.12
	披针形		15	0.88



a:生育期;b:花期;c:株高;d:茎粗;e:冠幅;f:叶长;g:叶宽;h:叶片数;i:花朵数;j:花径;k:鳞茎鲜质量;l:鳞茎纵径;m:鳞茎横径;n:鳞茎指数;o:鳞茎体积;p:产量;q:水溶性多糖含量;r:总磷脂含量;s:总黄酮含量;t:水分含量;u:灰分含量;v:蛋白质含量;w:脂肪含量;x:膳食纤维含量;y:碳水化合物含量;z:维生素C含量;A:钙含量;B:铁含量;C:锌含量;D:有机硒含量。黑色圆形表示正相关,白色圆形表示负相关。圆形越大表示相关系数的绝对值越大。

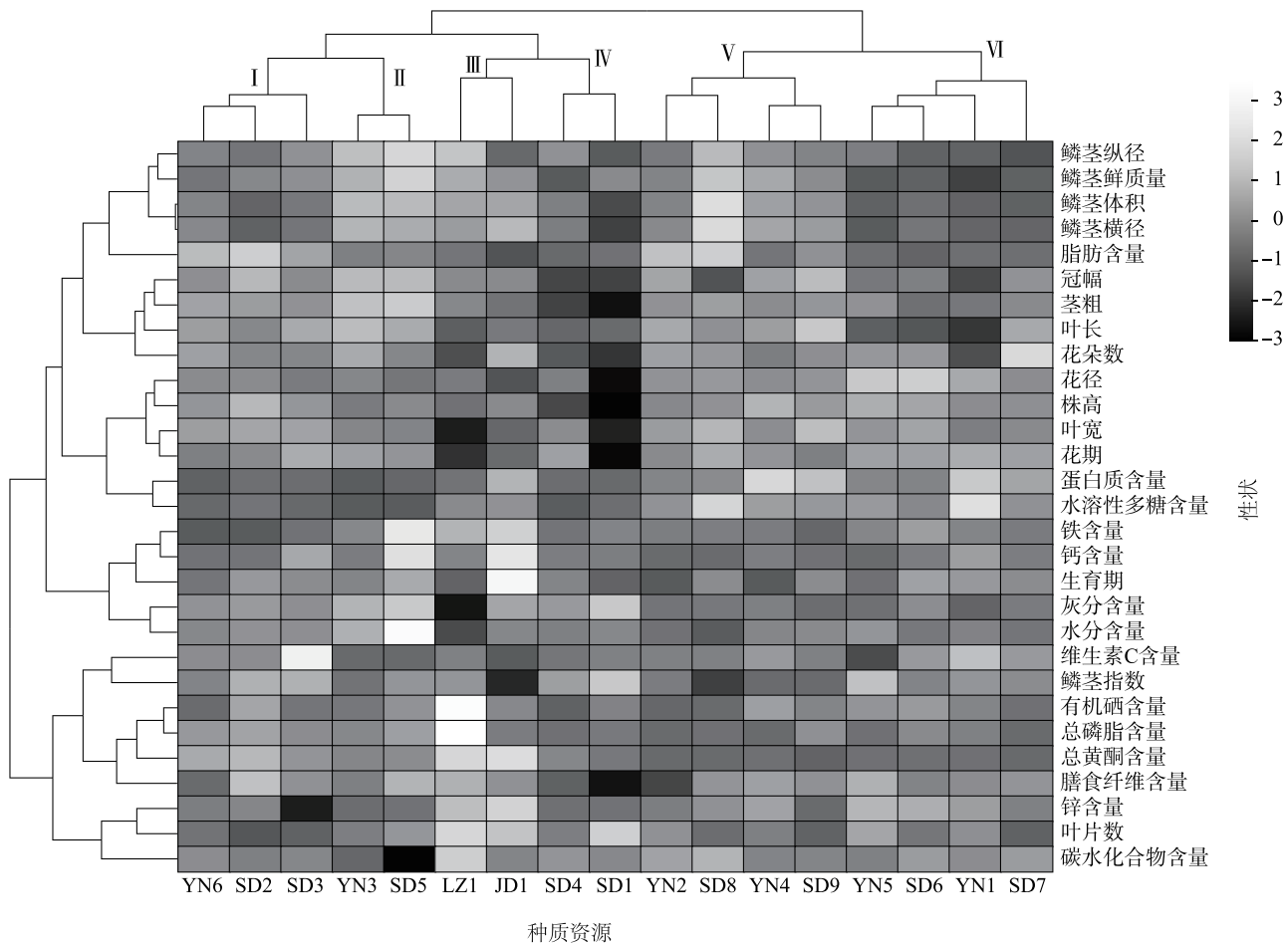
图2 百合种质资源数量性状 Pearson 相关性分析结果

Fig.2 Pearson correlation analysis of quantitative traits of lily germplasm resources

2.5 百合种质资源营养成分差异显著性分析

对 17 份百合种质资源的 14 个营养成分进行测定,结果(图 4)显示,YN1 的水溶性多糖含量最高,为 21.39%,其次是 SD8,水溶性多糖含量最低的是 YN3,仅有 11.09%。LZ1 的总磷脂含量为 0.77 mg/g,显著高于其他百合种质资源 ($P < 0.05$),SD7 的总磷脂含量最低,为 0.21 mg/g。JD1 的总黄酮含量最高,为 34.31 mg/g,因此常作为药用百合,LZ1 总黄酮含量为 33.37 mg/g,仅次于 JD1,YN2 的总黄酮含量最低。LZ1 的水分含量最少,为 54.31%;SD5 的灰分含量最高,为 2.91%,证明其无机盐含量较高。YN4 的蛋白质含量最高,为 4.20%,其次是 YN1,为 3.88%。17 份百合种质资源的脂肪含量均较低,其中 SD2 和 SD8 的

脂肪含量最高,也仅 0.66%,JD1 的脂肪含量只有 0.25%。SD2 的膳食纤维含量较高,为 1.81%。LZ1 的碳水化合物含量显著高于其他百合种质资源 ($P < 0.05$),为 42.80%。SD3 的 V_c 含量最高,为 0.31 mg/g。JD1 的钙含量显著高于其他百合种质资源 ($P < 0.05$),为 95.50 mg/kg。SD5 的铁含量最高,为 481.00 mg/kg。JD1 的锌含量最高,为 7.30 mg/kg。LZ1 的有机硒含量最高,为 15.84 μ g/kg,显著高于其他种质资源 ($P < 0.05$)。综上所述,LZ1 的总磷脂、总黄酮、膳食纤维、碳水化合物、锌含量及有机硒含量较高,SD5 的水分、灰分、膳食纤维、钙、铁含量较高,JD1 的总黄酮、钙、铁、锌含量较高,在生产中可根据实际需要利用这些种质资源培育高品质品种。



SD1、SD2、SD3、SD4、SD5、SD6、SD7、SD8、SD9、YN1、YN2、YN3、YN4、YN5、YN6、JD1、LZ1 见表 1。图中列表示不同百合种质资源,行表示不同性状,每个单元格的表示对应列品种的性状的行性状的表现情况。白色表示该性状在该种质资源中表现高,黑色表示该性状在该种质资源中表现低。

图 3 17 份百合种质资源基于 29 个性状的聚类热图

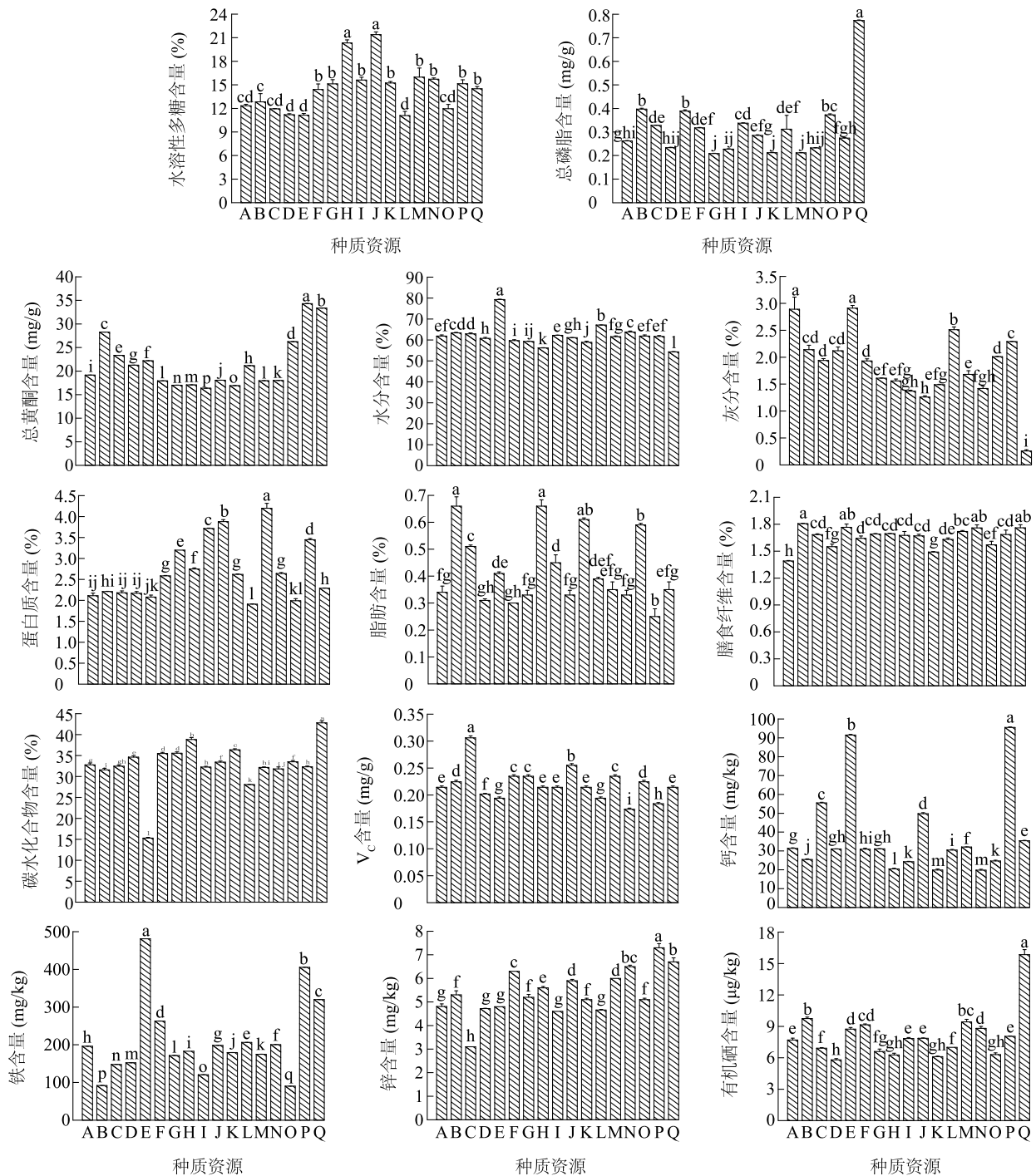
Fig.3 Cluster heat map of 17 lily germplasm resources based on 29 traits

2.6 不同百合种质资源生长特性及营养价值综合评价

通过主成分分析将多指标转换为少数指标,揭示各表型性状在百合遗传多样性中的构成作用,从而减少种质资源评价过程中各性状间相关性所产生的影响。因此,对 17 份百合种质资源的 27 个主要性状及产量和纯收入进行主成分分析(表 5),根据特征值大于 1 提取了 7 个主成分,累计贡献率为 89.02%。

第 1 主成分的特征值为 6.255,贡献率为 23.17%,对应的特征向量大于 0.7 的性状有茎粗、冠幅、叶长、鳞茎鲜质量、鳞茎横径、鳞茎体积,主要是与植株和鳞茎产量相关的性状,碳水化合物含量的载荷负向值最高,说明在第 1 主成分中碳水化合

物含量会制约百合植株、鳞茎性状。第 2 主成分特征值为 5.400,贡献率为 20.00%,对应的特征向量最大的性状是叶片数(0.827),叶宽特征向量(-0.821)在负值中绝对值最大,表明第 2 主成分中各百合种质资源叶片宽度与叶片数呈负相关。第 3 主成分特征值为 4.401,贡献率为 16.30%,其中灰分的特征向量(-0.821)在负值中绝对值最大,而锌含量特征向量(0.735)、水溶性多糖含量特征向量(0.702)正向较大,表明第 3 主成分主要是与百合品质相关的性状,其锌含量制约灰分含量。第 4 主成分特征值为 2.759,贡献率为 10.22%,对应特征向量最大的是总磷脂含量(0.681),蛋白质含量的特征向量(-0.518)在负值中绝对值最大,表明这一主成分中蛋白质含量制约总磷脂含量。第 5 主成分



A; SD1; B; SD2; C; SD3; D; SD4; E; SD5; F; SD6; G; SD7; H; SD8; I; SD9; J; YN1; K; YN2; L; YN3; M; YN4; N; YN5; O; YN6; P; JD1; Q; LZ1. SD1、SD2、SD3、SD4、SD5、SD6、SD7、SD8、SD9、YN1、YN2、YN3、YN4、YN5、YN6、JD1、LZ1 见表1。图柱上不同小写字母表示种质资源的差异显著 ($P < 0.05$)。

图4 百合种质资源各营养成分含量

Fig.4 Content of each nutrient component of lily germplasm resources

特征值为 2.521, 贡献率为 9.39%, 对应特征向量最大的是膳食纤维含量 (0.515), 鳞茎体积特征向量 (-0.486) 在负值中绝对值最大, 表明在第 5 主成分

中鳞茎体积会制约膳食纤维含量。第 6 主成分特征值为 1.388, 贡献率为 5.14%, 其中鳞茎纵径的特征向量 (0.415) 最大, 花朵数的特征向量 (-0.528) 在

负值中绝对值最大,其次是总黄酮含量(−0.497),说明在第 6 主成分中花朵数和总黄酮含量会制约鳞茎纵径。第 7 主成分特征值为 1.311,贡献率为 4.86%,对应特征向量最大的是维生素 C 含量

(0.762),其次是钙含量(0.441),花径的特征向量(−0.321)在负值中绝对值最大,表明第 7 主成分反映营养品质、微量元素和花径相关的性状,且维生素 C、钙含量与花径均存在抑制作用。

表 5 不同百合种质资源部分农艺性状和品质性状的主成分分析

Table 5 Principal component analysis of some agronomic traits and quality traits in different lily germplasm resources

性状	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	0.504	−0.447	0.490	0.065	0.479	−0.065	0.051
茎粗	0.892	−0.136	0.118	0.215	0.163	0.059	−0.092
冠幅	0.732	−0.051	−0.049	0.237	0.264	−0.380	−0.003
叶长	0.721	−0.294	−0.323	0.065	−0.242	−0.258	0.115
叶宽	0.454	−0.821	0.012	−0.038	0.066	0.096	−0.056
叶片数	−0.370	0.827	0.128	−0.144	−0.059	−0.015	−0.130
花朵数	0.510	−0.425	0.075	−0.273	0.129	−0.528	−0.192
花径	0.141	−0.574	0.497	0.086	0.364	0.265	−0.321
鳞茎鲜质量	0.708	0.453	−0.045	0.073	−0.376	0.124	0.116
鳞茎纵径	0.661	0.410	0.028	0.303	−0.256	0.415	−0.121
鳞茎横径	0.723	0.202	0.329	−0.246	−0.485	0.055	0.006
鳞茎指数	−0.491	0.035	−0.449	0.524	0.405	0.243	−0.095
鳞茎体积	0.742	0.263	0.270	−0.139	−0.486	0.175	−0.034
水溶性多糖含量	−0.162	−0.290	0.702	−0.333	−0.111	0.329	0.181
总磷脂含量	0.078	0.584	0.316	0.681	0.037	−0.070	0.065
总黄酮含量	0.093	0.643	0.181	0.266	0.068	−0.497	0.131
水分含量	0.534	0.234	−0.580	−0.142	0.469	0.248	−0.031
灰分含量	0.184	0.141	−0.821	−0.347	0.082	−0.053	−0.037
蛋白质含量	−0.060	−0.264	0.539	−0.518	0.124	0.035	0.399
脂肪含量	0.373	−0.423	−0.089	0.449	−0.377	−0.010	0
膳食纤维含量	0.511	0.048	0.514	0.218	0.515	0.108	0.108
碳水化合物含量	−0.529	−0.194	0.577	0.230	−0.460	−0.233	−0.018
维生素 C 含量	−0.162	−0.393	−0.056	0.343	0.014	0.070	0.762
钙含量	0.302	0.580	−0.121	−0.398	0.326	−0.053	0.441
铁含量	0.287	0.764	0.101	−0.356	0.242	0.093	0.017
锌含量	−0.169	0.338	0.735	−0.334	0.197	−0.147	−0.291
有机硒含量	−0.058	0.590	0.536	0.469	0.232	0.013	0.028
特征值	6.255	5.400	4.401	2.759	2.521	1.388	1.311
贡献率(%)	23.17	20.00	16.30	10.22	9.39	5.14	4.86
累计贡献率(%)	23.17	43.17	59.47	69.69	79.02	84.16	89.02

将数据标准化后,通过公式 3 计算 $u(X_j)$,通过公式 2 计算 7 个主成分的贡献率权重(0.26、0.22、0.18、0.11、0.10、0.06、0.05),通过公式 3 计算出综

合评价 D 值(表 6),最后依据综合评价 D 值大小对 17 份百合种质资源表型性状进行综合评价, D 值越大,其综合表型性状越好。

表 6 不同百合种质资源综合评价结果

Table 6 Comprehensive evaluation results of different lily germplasm resources

品种	主成分值							D 值	排名
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7		
SD1	-13.42	6.27	-8.57	-0.84	-2.36	0.17	0.14	0.29	13
SD2	1.80	-2.84	-0.73	4.49	2.65	-1.17	-0.03	0.50	5
SD3	1.40	-3.28	-4.48	3.50	0.30	0.06	3.00	0.46	7
SD4	-6.64	0.18	-4.01	-0.61	-1.57	0.85	-0.98	0.34	12
SD5	12.95	8.58	-5.72	-0.98	3.12	1.97	0.11	0.69	2
SD6	-3.66	-2.71	2.42	-0.73	2.44	0.03	-0.79	0.43	9
SD7	-1.77	-5.91	0.04	-1.29	1.56	-1.84	0.32	0.36	11
SD8	5.57	-3.68	4.85	-1.43	-5.87	1.86	-0.31	0.47	6
SD9	4.14	-5.14	1.08	0.03	-0.77	-0.16	0.57	0.45	8
YN1	-8.06	-2.10	3.88	-1.86	2.21	2.30	1.76	0.45	8
YN2	-0.07	-4.38	-0.70	-0.23	-2.47	-0.79	-0.85	0.36	11
YN3	8.24	1.35	-3.70	0.14	-1.45	-0.26	-1.46	0.50	5
YN4	2.74	-1.61	3.41	-1.71	-0.01	0.57	1.21	0.51	4
YN5	-3.32	-1.90	2.44	-0.19	4.15	1.03	-2.78	0.46	7
YN6	1.27	-3.00	-2.11	2.06	-1.06	-1.50	-0.71	0.41	10
JD1	1.72	8.01	3.23	-6.18	0.46	-2.87	0.81	0.54	3
LZ1	-2.88	12.14	8.66	5.84	-1.34	-0.24	-0.02	0.71	1

SD1、SD2、SD3、SD4、SD5、SD6、SD7、SD8、SD9、YN1、YN2、YN3、YN4、YN5、YN6、JD1、LZ1 见表 1。

根据各主成分因子得分,17 份百合种质资源平均 D 值为 0.47,兰州百合(LZ1)的 D 值最高,为 0.71,说明兰州百合在本地种植综合表现最好,该种质花期平均为 41 d,为细叶型百合,叶片多,花朵外被片基部、中部、外侧色分别为黄色、橘红色、红色,内被片基部、外部色为黄色、红色,花朵下垂着生,斑点多,呈翻卷状态,圆球状阔卵形鳞茎,且具有鳞茎鲜质量较重,总磷脂、水分、灰分、碳水化合物含量高,总黄酮含量较高,有机硒含量高等特点。其次是由山东沂水百合研究开发中心选育的杂种单株(SD5)(0.69),该种质平均花期 44 d,花朵被片色为石榴红和红色,颜色艳丽,花朵斑点少,观赏价值高,圆球状阔卵形鳞茎,植株茎秆粗,鳞茎鲜质量最大,且纵横径较大,水分、碳水化合物含量及钙、铁含量高。排名第 3 的是来自湖南的卷丹百合,该种质生育期 159~168 d,花期短,仅 25~26 d,花朵以黄色为主,外被片外侧色为红色,花朵斑点多,外被片翻卷严重,扁圆球、披针形鳞茎,鳞茎指数高,总黄酮含量和钙、铁、锌含量高。来自云南的川百合(SD1)的 D 值最低,为 0.29,该种质不管是表型性状还是品质

性状表现均较差。

2.7 百合种质资源综合评价指标筛选

将 27 个表型性状数据作为自变量,综合得分 D 值作为因变量,构建逐步线性回归方程: $Y = 0.466 + 0.051X_{21} + 0.036X_{25} + 0.039X_{15} + 0.029X_9$ (X_{21} 、 X_{25} 、 X_{15} 、 X_9 分别表示膳食纤维含量、铁含量、总磷脂含量、鳞茎鲜质量 4 个性状,其直接通径系数分别为 0.463、0.324、0.358、0.259),该回归方程的相关系数为 0.978,复确定系数 R^2 为 0.956,调整 R^2 为 0.942,表明用膳食纤维含量、铁含量、总磷脂含量、鳞茎鲜质量 4 个性状可以解释百合总变异的 94.2%, F 值为 65.69,回归方程达到极显著。

3 讨论

表型性状能够非常直观地显示品种优劣,且具备观测简单、测量方便等特点。调查比较不同百合种质资源的农艺性状,全面了解不同百合种质资源的形态特征,对利用现有百合种质具有重要参考价值^[32-33]。本研究对不同观赏百合表型性状进行为期 3 年的观测以及系统化的分析,发现 17 份百合种

质资源的花朵颜色较为丰富艳丽,花朵着生状态有直立、下垂两种类型,外被片状态有翻卷、平展两种类型,鳞茎形状有扁圆球和圆球两种,且各百合种质均具有较强的观赏性。

变异系数通常能够反映种质资源各性状之间的离散程度及变异程度;Shannon-Wiener 多样性指数则可反映一个群落的多样性;相关性分析可以衡量两个变量之间的相关密切程度。本研究计算了 17 份百合种质资源的 12 个质量性状和 27 个数量性状的多样性指数,结果表明这 17 份百合种质资源的遗传背景较丰富,数量性状较质量性状遗传多样性更为丰富,在今后百合新品种选育工作中可重点关注数量性状中的优异性状。对 17 份百合种质的 27 个数量性状进行相关分析,发现株高、茎粗、叶长、叶宽、叶片数、花朵数等重要农艺性状与鳞茎鲜质量、膳食纤维、脂肪、铁、锌、有机硒等产量、品质性状之间存在显著或极显著的相关关系,在实际生产中可通过观察百合种质资源的重要农艺性状对部分产量及品质性状进行估测。

百合富含营养物质和微量元素,碳水化合物是其主要的营养成分;水溶性多糖、水分、灰分等物质与百合甜度、质构呈正相关;膳食纤维、维生素则关系到调节肠道健康、增强免疫力以及预防心血管疾病、糖尿病等;磷脂、黄酮等活性物质含量主要因百合种质而异,具有抗肿瘤、降血糖、抗氧化、消炎等保健作用^[25]。本研究对不同百合种质分别进行水溶性多糖、总磷脂、总黄酮、蛋白质、膳食纤维、碳水化合物等营养成分含量及钙、铁、锌、硒 4 项微量元素含量进行测定,对比胡悦等^[34]、罗耀华等^[35]、郎利新等^[36]的研究结果,发现本研究所选用的 17 份百合种质水溶性多糖、总黄酮、蛋白质、膳食纤维、碳水化合物含量以及硒含量较高,而水分、钙、铁、锌含量较低,这可能与当地气候条件、栽培管理模式及百合种质遗传等原因息息相关。针对本地土壤富含硒元素这一自然优势,本研究在收获期对 17 份百合种质的有机硒含量进行测定,LZ1、SD2、SD6、YN4 这 4 个种质含硒量表现较为突出。

聚类分析将 17 份百合种质资源分为 7 类,各类群百合种质间具有区别于其他类群的特征,在种质资源利用过程中可根据不同的需要进行选择利用。对种质资源进行综合评价采用隶属函数与主成分分析相结合的方法,可以简化资源筛评程序,且能全

面、客观反映种质资源综合性状的优异^[37],本研究通过主成分分析提取 7 个主成分,全面反映出不同百合种质资源指标信息,揭示出植株性状、鳞茎性状、品质性状在实际资源利用中具有非常重要的作用。采用隶属函数法计算各百合种质资源的综合得分 D 值,得出百合种质排名为 LZ1>SD5>JD1>YN4>YN3>SD2>SD8>YN5>SD3>SD9>YN1>SD6>YN6>SD7>YN2>SD4>SD1,这些种质资源在后续新品种选育以及实际生产过程中,需结合具体的目标性状加以选择。

作物种质资源各性状间复杂的相关关系,在一定程度上影响着该作物种质资源的高效利用,采用逐步回归分析法可以对多个性状指标进行筛选,选出对综合评价结果具有显著影响的性状指标作为主要指标,从而提高种质资源利用效率。本研究通过逐步回归分析,筛选出 4 个百合种质资源综合评价重要性状,分别为膳食纤维含量、铁含量、总磷脂含量、鳞茎鲜质量,为百合种质资源高效利用提供参考。

参考文献:

- [1] 曹 兴,郭尚敬,高祥斌,等. 百合转录辅激活因子 *LI MBF1c* 基因的克隆与表达分析[J]. 江苏农业学报,2018,34(5): 1120-1127.
- [2] 王云霞,张 萍,葛蓓蕾,等. 渥丹百合农艺性状及活性成分对钾元素的响应[J]. 草业学报,2021,30(6):205-213.
- [3] 李淑洁. 基于表型和遗传学分析的兰州百合染色体加倍效应研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2020.
- [4] 丁 青,邓淙友,梁月仪,等. 百合药材质量评价研究[J]. 中药材,2022,45(1):158-161.
- [5] 张铭芳,李 卉,韩东洋,等. 不同百合种质资源对灰霉病的抗性[J]. 江苏农业学报,2022,38(4):1078-1084.
- [6] 徐 倩,孙泽晨,龙 月,等. 3 种百合属植物鳞茎甲醇提取物中酚类物质抗氧化活性及黄酮类及相关化合物的组成和代谢分析[J]. 植物资源与环境学报,2022,31(1):42-52.
- [7] 辛佳佳,张南峰,程华萍,等. 江西省地方蚕豆种质资源遗传多样性分析及优异资源挖掘[J]. 江苏农业学报,2022,38(1): 20-29.
- [8] 兴 旺,崔 平,潘 荣,等. 不同国家甜菜种质资源遗传多样性研究[J]. 植物遗传资源学报,2018,19(1):76-86.
- [9] 李自超,张洪亮,孙传清,等. 植物遗传资源核心种质研究现状与展望[J]. 中国农业大学学报,1999,4(5):51-62.
- [10] 陈雪燕,王亚娟,雒景吾,等. 陕西省小麦地方品种主要性状的遗传多样性研究[J]. 麦类作物学报,2007,27(3):51-62.
- [11] 张倩男. 基于表型性状及 SSR、SNP 标记的樱桃番茄种质资源遗传多样性分析[D]. 银川:宁夏大学,2018.

- [12] 田雪珂,钟启文,孙雪梅,等. 叶用莴苣种质资源表型性状及营养品质综合评价[J]. 江苏农业学报,2022,38(5):1330-1339.
- [13] 唐章林,王 霖,张娅茹,等. 甘蓝型油菜种质资源苗期耐湿性综合评价与筛选[J]. 西南大学学报(自然科学版),2022,44(12):19-28.
- [14] 杨彩玲,马 贵,买自珍,等. 百合在固原冷凉地区引种的适应性[J]. 北方园艺,2021(19):69-77.
- [15] 杨彩玲,买自珍,曹少娜,等. 百合生长发育规律、光合特性及产量构成性状研究[J]. 广东农业科学,2020,47(10):25-33.
- [16] 周佳民,宋 荣,曹 亮,等. 不同百合(品)种生长发育特性、光合特性的比较分析及综合评价[J]. 中国中药杂志,2019,44(21):4581-4587.
- [17] 李锡香,明 军. 百合种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2014.
- [18] 中华人民共和国农业部. 蔬菜及其制品中可溶性糖的测定 铜还原碘量法;NY/T 1278-2007[S]. 北京:中国农业出版社,2007.
- [19] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定;GB 5009.5-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [20] 中华人民共和国卫生部,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定;GB 5009.6-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [21] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中水分的测定;GB 5009.3-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [22] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定;GB 5009.4-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [23] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定;GB 5009.88-2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [24] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中锌的测定;GB 5009.14-2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [25] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中铁的测定;GB 5009.90-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [26] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中钙的测定;GB 5009.92-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [27] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中硒的测定;GB 5009.93-2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [28] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定;GB 5009.86-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [29] 国家认证认可监督管理委员会. 出口食品中磷脂的测定比色法;SN/T 3851-2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [30] 国家认证认可监督管理委员会. 出口食品中总黄酮的测定比色法;SN/T 4592-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [31] 芮文婧,王晓敏,张倩男,等. 番茄 353 份种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 园艺学报,2018,45(3):561-570.
- [32] 郭 燕,张树航,李 颖,等. 燕山板栗种质资源叶片表型性状多样性研究[J]. 园艺学报,2022,49(8):1673-1688.
- [33] 杨朋娟,张世文,王振山,等. 多环境评估谷子资源主要农艺性状遗传参数[J]. 植物遗传资源学报,2022,23(4):1046-1054.
- [34] 胡 悦,杜运鹏,张 梦,等. 12 种百合主要营养成分和活性成分的分析评价[J]. 天然产物研究与开发,2019,31(2):292-298.
- [35] 罗耀华,王馨雨,陈 晟,等. 7 种百合内外鳞片营养品质及抗氧化特性评价[J]. 食品工业科技,2021,42(24):247-255.
- [36] 郎利新,窦晓莹,孔 滢,等. 不同(品)种及产地的百合鳞茎营养成分分析[J]. 食品工业科技,2022,43(10):339-350.
- [37] 徐泽俊,齐玉军,邢兴华,等. 黄淮海大豆种质农艺与品质性状分析及综合评价[J]. 植物遗传资源学报,2022,23(2):468-480.

(责任编辑:成纾寒)