

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.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.05.020

## 叶用莴苣种质资源表型性状及营养品质综合评价

田雪珂, 钟启文, 孙雪梅, 张广楠, 杨世鹏, 谭 龙, 王丽慧

(青海大学农林科学院, 青海省蔬菜遗传与生理重点实验室, 青海 西宁 810016)

**摘要:** 利用表型性状综合评价、营养成分综合评价、主成分分析和聚类分析等方法, 对叶用莴苣种质资源 10 个农艺性状及 6 个营养成分进行了系统分析。结果表明: (1) 叶用莴苣种质资源各性状之间变异系数存在较大差异, 变异系数范围为 17.94%~91.86%。13 份叶用莴苣种质资源的多样性指数变化范围为 1.38~1.99, 叶长的多样性指数最高; (2) 通过聚类分析将 13 份叶用莴苣种质资源分为 5 个类群。 (3) 采用主成分分析的方法, 从 16 项基本指标中提取出产量、营养成分主成分因子, 可代表叶用莴苣 95.44% 的信息量。综合评价结果表明: 各优质种质资源综合得分范围为 -2.07~3.65, 综合得分排名较高的 4 个种质依次为普希金 (3.65) > 超级意大利 (3.47) > 绿雅 (2.75) > 京研意大利 (1.98)。

**关键词:** 叶用莴苣; 种质资源; 遗传多样性; 营养品质; 综合评价

**中图分类号:** S636.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)05-1330-10

## Comprehensive evaluation on phenotypic traits and nutritional quality of leaf lettuce germplasm resources

TIAN Xue-ke, ZHONG Qi-wen, SUN Xue-mei, ZHANG Guang-nan, YANG Shi-peng, TAN Long, WANG Li-hui

(Qinghai Key Laboratory of Vegetable Genetics and Physiology, Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining 810016, China)

**Abstract:** Ten agronomic traits and six nutrient components of leaf lettuce germplasm resources were systematically analyzed by comprehensive evaluation of phenotypic traits, comprehensive evaluation of nutrient components, principal component analysis and cluster analysis. The results showed that there were significant differences in the coefficients of variation between the traits of leaf lettuce germplasm resources, and the coefficients of variation ranged from 17.94% to 91.86%. The genetic diversity indices of 13 leaf lettuce germplasm resources ranged from 1.38 to 1.99, and the diversity index of leaf length was the highest. The 13 leaf lettuces were divided into five groups by cluster analysis. The principal component analysis method was used to extract two principal component factors of yield and nutrient composition from 16 basic indicators, which could represent 95.44% of the information of leaf lettuce. The comprehensive evaluation results showed that the comprehensive scores of high-quality germplasm resources ranged from -2.07 to 3.65, and the four germplasms with higher comprehensive scores were Pushkin (3.65) > Super Italy (3.47) > Greenya (2.75) > Jingyan Italy (1.98).

**收稿日期:** 2022-05-25

**基金项目:** 青海省科技厅科技成果转化专项 (2020-NK-121); 中央引导地方专项 (2022-ZY-011); 青海省科技厅重点实验室项目 (2020-ZJ-Y02)

**作者简介:** 田雪珂 (1996-), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事蔬菜育种研究。 (E-mail) txk18238687133@163.com

**通讯作者:** 王丽慧, (E-mail) qhwlhwh@126.com

**Key words:** leaf lettuce; germplasm resources; genetic diversity; nutritional quality; comprehensive evaluation

叶用莴苣 (*Lactuca sativa* L.), 又被称为生菜, 属菊科莴苣属, 一年生或两年生草本作物<sup>[1]</sup>, 具有生

育期短、产量高的特点,在设施栽培中应用广泛<sup>[2]</sup>。叶用莴苣喜冷凉<sup>[3]</sup>,可分为皱叶生菜、散叶生菜、结球生菜三类<sup>[4]</sup>。叶用莴苣含有丰富的类胡萝卜素、维生素 C、可溶性碳水化合物等营养物质<sup>[5]</sup>,具有降血压、预防心律失常<sup>[6]</sup>等保健功能。维生素 C 通常被转化成 2 种形式:一是抗坏血酸(AA),具有抗氧化特性;二是氧化产物脱氢抗坏血酸(DHAA)<sup>[7]</sup>,用于维持人体正常生长发育。维生素 C 人体不能自身合成,必须通过食物获取,且容易被高温破坏,而叶用莴苣营养丰富,可做凉菜食用<sup>[8]</sup>,作为补充维生素 C 的蔬菜具有较大优势。

种质资源是研究作物遗传生长的基础<sup>[9]</sup>,也是影响现有遗传资源质量和数量、创新改良深度以及支持当今农业发展的关键因素<sup>[10]</sup>。种质资源鉴定是科学研究的主要任务之一。通过资源的鉴定,评价遗传资源在生产和科研方面的应用潜力<sup>[11]</sup>。种质资源表型评价比分子评价更为直接,已被广泛应用于核心种质的构建和分类<sup>[12]</sup>。如 Lebeda 等利用该方法对野生莴苣进行农艺性状的调查<sup>[13]</sup>。董洁等<sup>[14]</sup>利用表型评价对 55 份叶用莴苣进行研究,其变异系数分布范围为 8.82%~98.85%。目前随着中国对生菜多样性需求的增加,资源的引进和种质资源的丰富显得极其重要。种质资源引进是丰富遗传资源多样性的重要手段<sup>[15-17]</sup>。据不完全统计,截至 2021 年中国已收集莴苣资源 4 000 份<sup>[18]</sup>,并开展了农艺性状调查、抗病试验、品质分析,通过试验验证培育出了一些优良品种。采用主成分分析、聚类分析、多样性指数等统计分析方法对种质资源质量进行综合评价,可使质量评价更加科学可靠。近年来,将主成分分析和聚类分析相结合的综合评价分析方法应用于葡萄<sup>[19]</sup>、杨梅<sup>[20]</sup>、苹果<sup>[21]</sup>、猕猴桃<sup>[22]</sup>和枸杞子<sup>[23]</sup>等果实品质评价的研究已成为热点。

本研究以青海省农林科学院收集的 13 份叶用莴苣种质资源为材料,于 2021 年在青海省西宁市园艺创新基地进行栽培及鉴定,对叶形和叶色等质量性状以及叶柄厚等数量性状进行评价,结合聚类分析和主成分分析进行综合评价并筛选优良种质。

## 1 材料方法

### 1.1 试验材料

供试材料为青海大学农林科学院园艺创新基地

收集到的叶用莴苣种质资源,共计 13 份。

### 1.2 试验方法

调查并记录叶用莴苣的株高、叶长、叶宽、叶柄长、叶柄厚、叶柄宽、叶数。对质量性状进行赋值并将数据进行标准化,赋值标准参考李锡香等<sup>[24]</sup>的《莴苣种质资源描述规范和数据标准》(表 1)。

表 1 叶用莴苣种质资源 10 个描述型性状及分级标准

Table 1 Ten descriptive traits and grading criteria of leaf lettuce germplasm resources

描述型性状	记载标准及分级
叶形	1=扁圆,2=近圆,3=椭圆,4=长椭圆,5=卵形,6=倒卵,7=匙形,8=披针形,9=提琴形
叶尖	1=锐尖,2=尖,3=钝尖,4=圆
叶缘	1=全缘,2=钝齿状,3=细锯齿,4=重锯齿,5=不规则锯齿
叶裂	0=无缺裂,1=浅裂,2=深裂
叶面褶皱	1=平滑,2=微皱,3=皱,4=多皱
叶面光泽	0=无,1=有
叶色	1=浅绿,2=黄绿,3=绿,4=深绿,5=紫红
结球性	1=结球,2=半结球,3=散生
叶球紧实度	1=紧,2=中,3=松
叶球形状	1=扁圆,2=近圆,3=高圆
球顶形状	1=平,2=圆,3=尖

试验材料于 2020 年种植于青海省农林科学院园艺创新基地,从每份材料中选择 3 株生物学重复对其农艺性状进行调查,并选取 3 个独立的生物学样本用于后续营养指标的测定。栽培基质为珍珠岩:蛭石=1:1(质量比),混合均匀。

### 1.3 数据统计分析

使用 Excel2019 对测试数据进行整理,利用 SPSS21.0 对数据进行统计分析、聚类分析、主成分分析。并对 13 份叶用莴苣种质资源的 10 个农艺性状及 6 个营养指标的平均值( $\mu$ )、范围( $R$ )、标准差( $s$ )、变异系数( $CV$ )和多样性指数( $H'$ ),使用 Duncan's 多重比较法分析差异的显著性。根据各性状数据的平均值和标准差对多样性指数进行分级,分为 9 个级别:第 1 级为 $[X_i < (\mu - 2.0s)]$ , $[X_i < (\mu - 1.5s)]$ 为第 2 级,每级增加 0.5s,至第 9 级为 $[X_i > (\mu + 2.0s)]$ 。因此,根据相对频率( $P_i$ )计算多样性指数  $H'$ 。采用香农多样性指数( $H'$ ),计算公式如下<sup>[25]</sup>:

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

隶属函数计算公式如下<sup>[26]</sup>：

$$R(xi) = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

$X_i$  为所调查各指标的测定值,  $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$  为样品某一指标的最大值、最小值。

#### 1.4 营养品质性状测定

1.4.1 可溶性蛋白质含量测定 参考王学奎等方法<sup>[27]</sup>进行测定。

1.4.2 有机酸含量测定 有机酸提取方法: 预冷研钵, 称取 2 g 叶片, 加入 2.5 ml  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  缓冲液, 研磨均匀, 再用 2.5 ml  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  缓冲液冲洗研钵, 移至 10 ml 离心管中, 定容, 12 000 r/min 离心 10 min, 取 1 ml 上清液, 过 0.22  $\mu\text{m}$  滤膜, 放入样品瓶中采用二元梯度液相色谱仪进行测定。流动相 A 为缓冲液  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 流动相 B 为甲醇 (色谱纯), 流速 0.5 ml/min, 柱温 35  $^{\circ}\text{C}$ , 检测波长 210 nm、214 nm, 进样量 20  $\mu\text{l}$ 。

1.4.3 可溶性碳水化合物含量测定 可溶性碳水化合物的提取方法: 称取肉质茎粉末 0.84 g 于试管中, 加 20 ml 超纯水, 摇匀, 沸水浴 30 min, 晾至室温, 将上清液倒入 10 ml 离心管中, 12 000 r/min 离心 10 min, 吸取上清液, 用蒸馏水定容至 25 ml。取上清液 1 ml, 过 0.22  $\mu\text{m}$  过滤器, 用高效液相色谱仪测定可溶性碳水化合物含量。流动相为超纯水, 进样量 5  $\mu\text{l}$ , 柱温 80  $^{\circ}\text{C}$ , 流速 1 ml/min。

#### 1.5 试验仪器

可溶性碳水化合物含量测定仪器: 日本岛津高效液相色谱仪 (RID-20A), 色谱柱 Shodex SUGAR SC1011, 预柱 Shodex SUGAR SC- G6B, 检测器为示差检测器。有机酸含量测定仪器: 日本岛津高效液相色谱仪 (SPD-20A), 色谱柱 Shodex SUGAR SC18, 预柱 Shim-pack GIST, 检测器为紫外检测器。分光光度计: Specord 210plus 型可见光分光光度计 (德国耶拿分析仪器股份公司产品), 离心机: AG 22331 Hamburg 型离心机 (Eppendorf 公司产品)。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶用莴苣种质资源农艺性状及营养品质的遗传多样性分析

由表 2 可知, 13 份叶用莴苣种质资源的 16 个

性状均呈现不同程度的多样性, 各指标的变异系数范围为 17.94%~91.86%, 其中苹果酸含量的变异系数最高 (91.86%), 变幅为 882.13~9 528.48  $\mu\text{g/g}$ , 其余指标的变异系数依次排列为葡萄糖含量 (59.61%) > 蔗糖含量 (56.24%) > 抗坏血酸含量 (55.38%) > 叶柄长 (48.2%) > 果糖含量 (44.48%) > 叶片数 (38.41%) > 叶柄厚 (32.54%) > 叶柄宽 (27.51%) > 叶宽 (27.06%) > 单株质量 (24.53%) > 干质量 (24.06%) > 株高 (23.89%) > 叶长 (23.52%) > 鲜质量 (20.80%), 可溶性蛋白质含量的变异系数最小, 为 17.94%, 变化范围为 2.72~5.19 mg/g。其中叶柄长、叶柄厚、叶片数、蔗糖含量、葡萄糖含量、果糖含量、抗坏血酸含量和苹果酸含量变异系数均  $\geq 30\%$ , 具有较大的改良潜力。多样性指数的变化范围为 1.38~1.99, 以叶长为最大, 其余依次是单株质量 > 葡萄糖含量 > 抗坏血酸含量 > 叶宽 > 叶柄长 = 果糖含量 > 可溶性蛋白含量 > 株高 = 叶柄宽 = 叶柄厚 = 鲜质量 > 干质量 > 蔗糖含量 > 苹果酸含量, 叶片数的多样性指数最小, 为 1.38, 所有性状的多样性指数均大于 1.3。

### 2.2 叶用莴苣主要农艺性状的鉴定评价

叶片是叶用莴苣的主要食用部位<sup>[4]</sup>。13 份叶用莴苣种质资源中, 结球莴苣 1 份, 散叶莴苣 12 份。其中紫叶莴苣有 6 份, 绿叶莴苣 7 份。各性状调查结果见表 3。由表 3 可以看出, 叶用莴苣的农艺性状表现出多种类型, 其中结球莴苣为绿叶莴苣 (那罗), 且结球性较松。叶片形状以提琴形为主, 匙形次之。叶尖分为圆形、钝尖、尖。叶缘以钝齿状为主。叶裂以无裂为主。叶面均有光泽。叶片颜色以浅绿色和紫红色为主。

### 2.3 叶用莴苣资源基本性状的相关性

叶片是叶用莴苣加工利用的主要部分, 在叶用莴苣栽培过程中, 选择叶片较长、较宽且单株质量较大的资源具有重要意义。由表 4 可知, 样品干质量与叶柄宽相关性最大, 为 0.890; 叶宽与可溶性蛋白质含量呈正相关关系, 与叶片数呈负相关关系。叶长与叶柄长、果糖含量正相关, 叶柄宽与叶柄厚正相关, 样品鲜质量、干质量均与单株质量极显著正相关。在实际生产中, 株高可以用叶长来衡量, 而利用叶柄长短可以衡量叶片的长度, 从而预测叶用莴苣的产量和品质。

表 2 叶用莴苣种质资源表型及品质性状的变异情况

Table 2 Variation of phenotype and quality traits of leaf lettuce germplasm resources

性状	最大值	最小值	均值	极差	标准差	性状	变异系数 (%)	多样性指数
株高 (cm)	27.27	13.40	19.98	13.87	4.78	株高	23.89	1.61
叶长 (cm)	25.33	11.27	17.80	14.07	4.19	叶长	23.52	1.99
叶宽 (cm)	12.87	5.17	9.63	7.70	2.61	叶宽	27.06	1.70
叶柄长 (cm)	8.33	1.97	4.28	6.37	2.06	叶柄长	48.20	1.67
叶柄宽 (cm)	17.88	7.84	11.75	10.04	3.23	叶柄宽	27.51	1.61
叶柄厚 (mm)	3.07	0.91	1.88	2.16	0.61	叶柄厚	32.54	1.61
叶片数	48.33	14.67	22.41	33.67	8.61	叶片数	38.41	1.38
样品鲜质量 (g)	76.36	40.06	59.19	36.31	12.31	样品鲜质量	20.80	1.61
样品干质量 (g)	5.18	2.04	3.54	3.14	0.85	样品干质量	24.06	1.52
单株质量 (g)	91.10	41.63	66.21	49.47	16.24	单株质量	24.53	1.93
可溶性蛋白质含量 (mg/g)	5.19	2.72	3.58	2.47	0.64	可溶性蛋白质含量	17.94	1.63
蔗糖含量 (mg/g)	221.46	27.62	110.15	193.84	61.94	蔗糖含量	56.24	1.46
葡萄糖含量 (mg/g)	226.51	34.15	99.34	192.36	59.21	葡萄糖含量	59.61	1.75
果糖含量 (mg/g)	215.43	43.91	126.52	171.52	56.28	果糖含量	44.48	1.67
抗坏血酸含量 (μg/g)	290.35	29.53	135.62	260.82	75.11	抗坏血酸含量	55.38	1.72
苹果酸含量 (μg/g)	9 528.48	882.13	2 703.72	8 646.35	2 483.68	苹果酸含量	91.86	1.43

表 3 13 份叶用莴苣种质资源形态学特征

Table 3 Morphological characteristics of 13 leaf lettuce germplasm resources

种质资源	叶形	叶尖	叶缘	叶裂	叶面褶皱	叶面光泽	叶色	结球性	叶球紧实度	叶球形状	球顶形状
京研罗马	4	3	2	0	1	0	3	3			
超级意大利	7	4	2	0	2	1	1	3			
红象	9	3	5	1	1	0	5	3			
红莎	9	3	4	2	1	0	5	3			
绿雅	7	4	2	0	2	1	1	3			
京研意大利	7	4	2	0	2	1	1	3			
普希金	7	4	3	0	2	1	1	3			
耶罗	3	4	1	0	1	1	3	2	3	3	3
罗生 1 号	9	3	3	0	4	1	5	3			
绿莎	9	2	2	2	2	1	3	3			
凤蝶	3	4	4	0	1	0	5	3			
雅丹	9	2	2	2	2	1	5	3			
贝尔紫	4	4	4	0	1	1	5	3			

描述型性状及分级标准见表 1。

表 4 叶用莴苣 16 个基本性状的相关性

Table 4 Correlation of 16 basic traits of leaf lettuce

	株高	叶长	叶宽	叶柄长	叶柄宽	叶柄厚	叶数	样品鲜质量	样品干质量	单株质量	可溶性蛋白质含量	蔗糖含量	葡萄糖含量	果糖含量	抗坏血酸含量	苹果酸含量
株高	1.000															
叶长	0.905 **	1.000														
叶宽	0.131	0.235	1.000													
叶柄长	0.643 *	0.705 **	-0.036	1.000												
叶柄宽	0.216	0.401	0.544	-0.165	1.000											
叶柄厚	0.293	0.571 *	0.320	0.347	0.688 **	1.000										
叶数	-0.315	-0.384	-0.738	-0.244	-0.342	-0.223	1.000									
样品鲜质量	-0.110	0.054	0.534	-0.246	0.740 **	0.586 *	-0.406	1.000								
样品干质量	0.442	0.593 *	0.430	0.004	0.890 **	0.661 *	-0.395	0.677 *	1.000							
单株质量	0.259	0.509	0.407	0.305	0.657 *	0.795 **	-0.321	0.744 **	0.722 **	1.000						
可溶性蛋白质含量	0.344	0.272	0.684 **	0.149	0.077	0.010	-0.535	0.084	0.229	0.150	1.000					
蔗糖含量	0.599 *	0.604 *	-0.262	0.314	0.233	0.274	-0.201	0.017	0.409	0.134	-0.319	1.000				
葡萄糖含量	0.549	0.645 *	0.183	0.387	0.288	0.572	-0.301	0.124	0.312	0.331	0.065	0.501	1.000			
果糖含量	0.594 *	0.815 **	0.235	0.502	0.670 *	0.784 **	-0.344	0.276	0.667 *	0.597 *	-0.087	0.584 *	0.655 *	1.000		
抗坏血酸含量	0.044	0.020	0.198	0.237	0.254	0.319	-0.055	0.132	0.167	0.280	0.259	-0.442	-0.261	0.187	1.000	
苹果酸含量	0.432	0.441	0.373	0.678 *	-0.085	0.079	-0.288	-0.310	-0.151	-0.041	0.425	-0.287	0.339	0.272	0.392	1.000

\*\* 表示在 0.01 水平显著相关; \* 表示在 0.05 水平显著相关。

2.4 叶用莴苣资源来源及隶属函数分析

由表 5 可知,13 份叶用莴苣资源的隶属函数均值介于 0.427~0.532,隶属函数均值为 0.493。大于均值的资源名称分别是京研罗马、超级意大利、红象、红莎、绿雅、普希金、罗生 1 号、绿莎及贝尔紫。其中罗生 1 号均值最高(0.532),原因是该材料在表型性状上极具优势,尤其是集中在叶宽、鲜质量及单株质量方面。

2.5 叶用莴苣种质资源聚类分析

利用 SPSS16.0 对 13 份叶用莴苣资源农艺性状进行聚类分析(图 1),在欧氏距离为 4 处将 13 份叶用莴苣资源聚为 5 大类。其中,类群 1 中包括 5 份资源,该类资源的叶长分布在 13.07~19.53 cm,干质量分布在 2.87~3.38 g,单株质量分布在 54.27~57.91 g。类群 2 包括 1 份资源。类群 3 包括 3 份资源,该类资源的株高主要分布在 23.03~26.83 cm,叶柄厚主要集中在 2.29~2.45 mm。类群 4 包括 3 份资源,该类资源的叶宽分布在 10.93~11.40 cm,鲜质量主要分布在 75.38~76.36 g。类群 5 包括 1 份

资源。

表 5 13 份叶用莴苣资源 10 个性状隶属函数均值

Table 5 Membership functions of ten traits in 13 leaf lettuce resources

叶用莴苣资源	隶属函数均值
京研意大利	0.427
雅丹	0.433
凤蝶	0.460
那罗	0.476
红莎	0.495
超级意大利	0.503
红象	0.503
绿莎	0.504
京研罗马	0.509
贝尔紫	0.515
普希金	0.525
绿雅	0.528
罗生 1 号	0.532



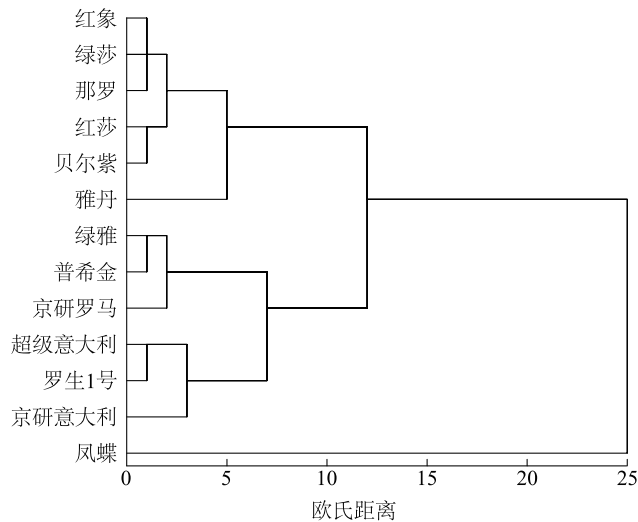


图1 13份叶用莴苣资源基于10个性状的聚类结果

Fig.1 Clustering results of 13 leaf lettuce resources based on ten traits

## 2.6 叶用莴苣种质资源主成分分析

以特征值大于1、方差贡献率在80%以上为标准,对叶用莴苣16个指标进行主成分分析,得到累计方差贡献率为95.44%,可以解释近90%的遗传信息。

质量指标聚类分析可以从多个维度分析评价指标<sup>[28-29]</sup>。由表6可知,第1主成分因子能够反映原始数据中41.804%的信息,其中与株高、叶长和叶宽相关的指数因子载荷值高于0.817。第2主成分因子的方差贡献率为21.157%,主要由样品的鲜质量和干质量决定,负荷值分别为0.811和0.691。叶用莴苣的产量取决于植株高度、叶片长度、叶片宽度和鲜质量<sup>[30]</sup>,增加其中一个可以提高产量,因此第1和第2主要成分可以定义为产量影响因子。第3主成分因子的方差贡献率为18.093%,决定其大小的分别为单株质量、可溶性蛋白质含量和抗坏血酸含量,特征值分别为0.419、0.663和0.701。决定第4主成分大小的因子主要为叶柄厚及叶片数,特征值分别为0.474和0.650。第5主成分因子的方差贡献率为6.798%,各指标之间相差不大,仅抗坏血酸、果糖含量等表现较为突出,因此可将第3、4、5主成分命名为营养成分影响因子。前5个主成分共筛选出株高、鲜质量、单株质量、可溶性蛋白质含量、叶柄厚、抗坏血酸含量、果糖含量7个代表性指标,作为叶用莴苣种质资源评选和选育工作的重要指标。

以 $X_1 \sim X_{16}$ 分别代表标准化的16个指标数据数值代入到2个主成分中,获得5个主成分因子得分公式<sup>[31-32]</sup>如下: $F_1 = 0.096X_1 + 0.094X_2 + 0.849X_3 + 0.367X_4 + 0.744X_5 + 0.784X_6 - 0.517X_7 + 0.303X_8 + 0.637X_9 + 0.681X_{10} + 0.641X_{11} + 0.156X_{12} + 0.601X_{13} + 0.871X_{14} + 0.333X_{15} + 0.507X_{16}$ ,  $F_2 = -0.199X_1 - 0.224X_2 + 0.048X_3 - 0.870X_4 + 0.556X_5 + 0.152X_6 - 0.482X_7 + 0.811X_8 + 0.691X_9 + 0.431X_{10} + 0.075X_{11} + 0.105X_{12} - 0.095X_{13} - 0.217X_{14} - 0.160X_{15} - 0.743X_{16}$ ,  $F_3 = -0.229X_1 - 0.338X_2 + 0.272X_3 + 0.238X_4 - 0.184X_5 + 0.077X_6 - 0.041X_7 + 0.328X_8 - 0.146X_9 + 0.419X_{10} + 0.663X_{11} - 0.941X_{12} - 0.452X_{13} - 0.44X_{14} + 0.701X_{15} + 0.189X_{16}$ ,  $F_4 = -0.236X_1 - 0.008X_2 - 0.387X_3 + 0.096X_4 + 0.044X_5 + 0.474X_6 + 0.650X_7 - 0.087X_8 + 0.044X_9 - 0.014X_{10} - 0.159X_{11} - 0.167X_{12} + 0.322X_{13} + 0.216X_{14} + 0.306X_{15} + 0.208X_{16}$ ,  $F_5 = 0.164X_1 + 0.057X_2 - 0.115X_3 - 0.132X_4 + 0.267X_5 - 0.180X_6 + 0.110X_7 - 0.303X_8 + 0.290X_9 - 0.340X_{10} + 0.135X_{11} + 0.147X_{12} - 0.553X_{13} + 0.174X_{14} + 0.493X_{15} + 0.009X_{16}$ 。各指标综合得分公式为 $F = 0.418F_1 + 0.212F_2 + 0.181F_3 + 0.076F_4 + 0.068F_5$ ,按照计算公式得到叶用莴苣种质资源综合得分。综合得分越大,种质资源越好。由表7可知,综合得分排名较高的4个品种依次为普希金(3.65) > 超级意大利(3.47) > 绿雅(2.75) > 京研意大利(1.98),在种质资源应用中可优先考虑这些品种。

表 6 叶用莴苣种质资源主成分特征值

Table 6 Principal component characteristic values of leaf lettuce germplasm resources

指标	主成分				
	1	2	3	4	5
株高	0.906	-0.199	-0.229	-0.236	0.164
叶长	0.904	-0.224	-0.338	-0.008	0.057
叶宽	0.849	0.048	0.272	-0.387	-0.115
叶柄长	0.367	-0.870	0.238	0.096	-0.132
叶柄宽	0.744	0.556	-0.184	0.044	0.267
叶柄厚	0.784	0.152	0.077	0.474	-0.180
叶片数	-0.517	0.482	-0.041	0.650	0.110
鲜质量	0.303	0.811	0.328	-0.087	-0.303
干质量	0.637	0.691	-0.146	0.044	0.290
单株质量	0.681	0.431	0.419	-0.014	-0.340
可溶性蛋白质含量	0.614	0.075	0.663	-0.159	0.135
蔗糖含量	0.156	0.105	-0.941	-0.167	0.147
葡萄糖含量	0.601	-0.095	-0.452	0.322	-0.553
果糖含量	0.817	-0.217	-0.440	0.216	0.174
抗坏血酸含量	0.333	-0.160	0.701	0.306	0.493
苹果酸含量	0.507	-0.743	0.189	0.208	0.009
特征值	6.689	3.385	2.895	1.214	1.088
贡献率(%)	41.804	21.157	18.093	7.588	6.798
累积贡献率(%)	41.804	62.961	81.054	88.642	95.440

表 7 叶用莴苣性状综合评价表

Table 7 Comprehensive evaluation table of leaf lettuce traits

种质资源	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F$	排名
普希金	5.54	5.12	1.18	-1.41	1.98	3.65	1
超级意大利	7.03	3.91	-1.34	0.68	-1.85	3.47	2
绿雅	7.38	-4.05	1.58	2.84	0.15	2.75	3
京研意大利	3.88	3.68	-1.96	-0.72	-0.27	1.98	4
罗生 1 号	-1.54	2.45	3.82	-1.53	-0.75	0.40	5
雅丹	-1.47	-0.45	3.99	0.82	-0.04	0.07	6
红象	-0.66	-1.02	-2.16	-0.14	-0.13	-0.90	7
绿莎	-3.15	0.11	-1.72	-1.78	-0.94	-1.81	8
那罗	-4.31	-0.10	-1.44	-0.26	0.63	-2.07	9

$F_1 \sim F_5$  分别代表第 1~第 5 主成分得分,  $F$  代表 5 个主成分的综合得分。

## 2.7 叶用莴苣农艺性状显著性差异分析

由表 8 可知,各品种之间农艺性状存在显著差异。贝尔紫的株高最高,为 27.27 cm,株高最小的品种为那罗(13.83 cm)。叶长最大的品种为京研

罗马(25.33 cm),最短的品种为凤蝶(11.27 cm)。叶宽值最大的品种为红莎,最小的品种为凤蝶(仅为 5.17 cm)。叶柄最长的品种为绿雅,京研罗马次之;叶柄最宽的为普希金,最窄的为凤蝶;叶柄厚最

厚的为超级意大利,最薄的为红莎(0.91 mm);叶片数最多的品种为凤蝶,最少的品种为红莎和绿雅。样品鲜质量和干质量最大的品种为超级意大利和普

希金,最低的品种均为凤蝶。单株质量最大的为超级意大利,京研罗马次之。综上所述,京研罗马的农艺性状表现较好,在品种选育时可重点关注该品种。

表 8 13 份叶用莴苣资源农艺性状差异显著性分析

Table 8 The significance analysis of agronomic traits of 13 leaf lettuce germplasm resources

品种	株高 (cm)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	叶柄长 (mm)	叶柄宽 (mm)	叶柄厚 (mm)	叶片数	样品鲜 质量(g)	样品干 质量(g)	单株质量 (g)
京研罗马	26.83±1.11a	25.33±1.94a	6.90±0.79d	8.10±1.01a	10.67±1.37def	2.29±0.36b	27.67±2.08b	52.61±3.94bcd	4.20±0.47ab	87.41±9.32ab
超级意大利	20.33±0.58de	20.53±0.64c	11.40±0.17abc	3.60±0.35bcd	15.66±0.63b	3.07±0.32a	20.67±1.15de	76.36±17.21a	4.48±0.95a	91.10±6.37a
红象	20.03±2.04de	19.53±0.50c	10.17±2.02bc	5.17±0.76bc	11.45±1.38d	1.92±0.17bc	20.33±2.52de	50.76±4.10cd	3.19±0.70bc	56.43±6.25ef
红莎	21.30±0.75cd	17.17±1.26d	12.87±1.60a	3.33±2.02bcd	8.79±0.05gh	0.91±0.11e	14.67±0.58g	46.87±9.51cd	3.12±0.38bc	46.81±8.67fg
绿雅	24.97±3.62ab	22.83±0.76b	12.30±1.41ab	8.33±1.53a	12.84±1.32c	2.45±0.46b	14.67±1.53g	53.59±12.97bcd	3.32±0.40bc	75.41±6.75bcd
京研意大利	20.93±0.51cd	19.23±0.93c	11.13±1.63abc	2.60±0.36cd	17.04±0.31a	2.15±0.18b	21.00±0de	75.38±8.26a	4.66±0.13a	72.32±6.98cd
普希金	23.03±0.25bc	19.67±0.29c	12.27±1.54ab	2.47±0.50d	17.88±0.65a	2.32±0.32b	19.00±2.65ef	71.77±11.77ab	5.18±0.78a	79.08±10.98abcd
那罗	13.83±1.04f	13.90±0.20ef	6.53±0.23d	2.63±0.15cd	11.34±0.36d	1.45±0.42cd	23.33±0.58cd	52.27±4.13bcd	3.38±0.16bc	54.28±5.92efg
罗生 1 号	15.00±1.00f	13.07±2.53fg	10.93±1.1abc	3.60±3.82bcd	11.08±0.74de	1.47±0.23cd	18.67±0.58ef	75.51±5.60a	3.28±0.53bc	82.50±14.42abc
绿莎	18.10±0.96e	15.77±0.67de	10.03±0.64bc	3.53±0.75bcd	9.51±0.2fg	1.50±0.25cd	17.00±1.00fg	58.80±3.89abcd	2.88±0.34cd	57.91±1.99ef
凤蝶	14.77±1.10f	11.27±0.50g	5.17±1.15d	1.97±0.21d	7.84±0.56h	1.12±0.24de	48.33±3.21a	40.06±18.65d	2.04±0.92d	41.63±2.05g
雅丹	13.40±1.28f	13.07±1.1fg	9.43±0.93c	4.40±0.69bcd	9.90±0.61efg	2.31±0.33b	24.33±2.31c	65.58±13.52abc	3.06±0.57c	65.70±2.77de
贝尔紫	27.27±0.87a	20.07±0.81c	6.10±0.66d	5.93±0.51ab	8.75±0.31gh	1.53±0.32cd	21.67±1.53cde	49.92±2.98cd	3.24±0.28bc	50.18±1.01fg

同一指标中不同小写字母代表 0.05 水平差异显著。

## 2.8 叶用莴苣营养成分差异显著性分析

由图 2 可知,绿莎的抗坏血酸含量最高,为 290.35  $\mu\text{g/g}$ ,含量最低的为罗生 1 号(29.53  $\mu\text{g/g}$ )。苹果酸的含量最高的品种为京研罗马(9 528.48  $\mu\text{g/g}$ ),最低的品种为普希金(882.13  $\mu\text{g/g}$ )。贝尔紫中可溶性蛋白质含量最高,为 5.19  $\text{mg/g}$ ,含量最低的品种为雅丹,仅为 2.72  $\text{mg/g}$ ,极差为 2.47  $\text{mg/g}$ 。叶片中果糖含量最高的品种为绿雅,达到 215.43  $\text{mg/g}$ ,超级意大利次之,果糖含量为 181.08  $\text{mg/g}$ ,凤蝶的果糖含量最低,仅为 43.91  $\text{mg/g}$ 。葡萄糖含量最高的品种为超级意大利,为 226.51  $\text{mg/g}$ 。蔗糖含量最高的品种为贝尔紫,为 221.46  $\text{mg/g}$ ,红莎的蔗糖含量最低,为 27.62  $\text{mg/g}$ 。综上所述,贝尔紫的可溶性蛋白质含量及蔗糖含量较高,在生产中可根据需求培育高品质的品种。

## 3 讨论

### 3.1 叶用莴苣资源表型性状及营养品质的多样性

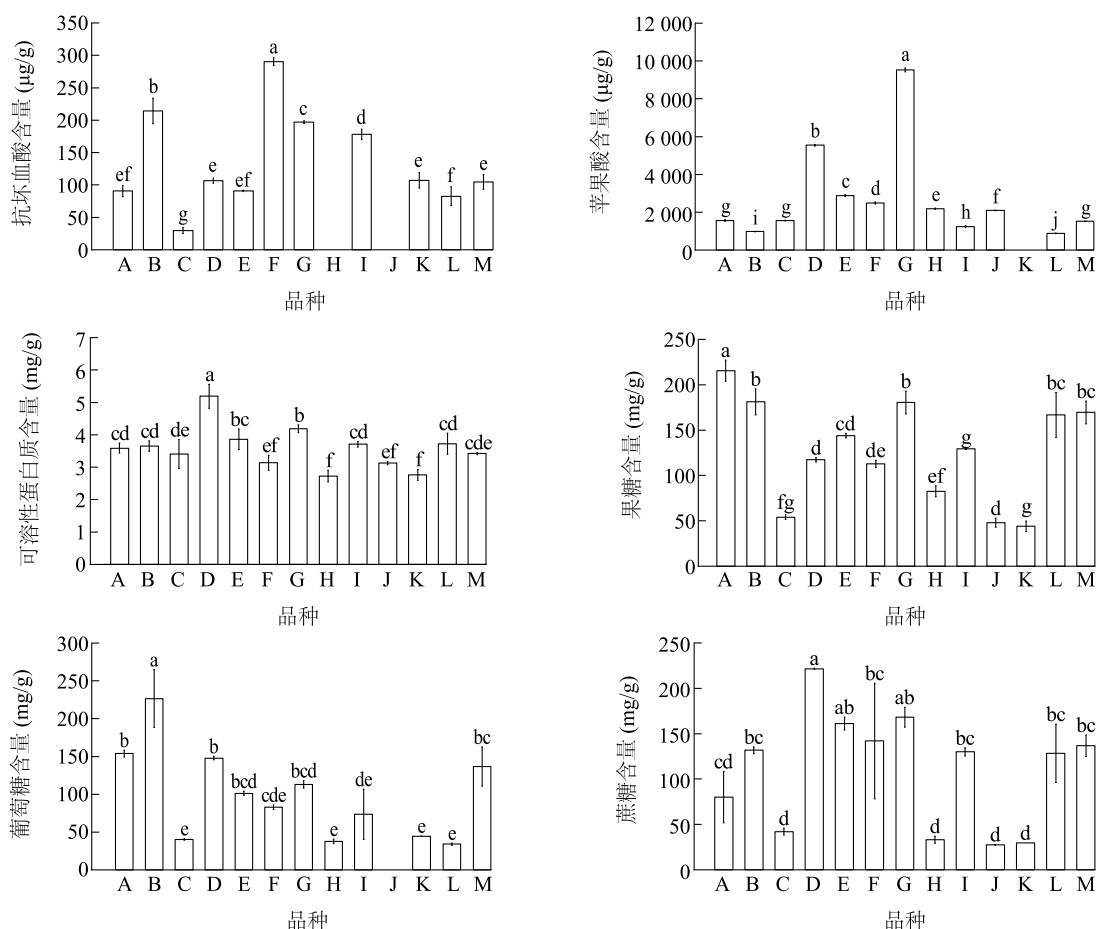
植物的表型性状具有较为直观、便于调查等特点,是评价种质资源多样性的重要指标。表型性状受遗传因素与环境因素的共同影响。株型中的重要

表型性状是株高和茎粗,能够反映植株的活力及生长状况<sup>[33]</sup>。本研究对 13 份叶用莴苣的 10 个农艺性状及 6 个营养成分进行多样性指数计算、主成分分析、生理指标的测定,结果表明这些种质资源的遗传背景较为丰富,这与小麦<sup>[34]</sup>、高粱<sup>[35-36]</sup>、黄瓜<sup>[37]</sup>等其他作物的研究结果相似。变异系数通常用来反映性状之间的离散程度以及在种质资源之间的变异程度<sup>[38-39]</sup>。本研究中测得的指标数据的变异系数均大于 10%,变异系数最大的是苹果酸含量,为 85%,变化范围为 882.13~9 528.48  $\mu\text{g/g}$ ,可溶性蛋白质含量的变异系数最小(17.94%),变化范围为 2.72~5.19  $\text{mg/g}$ ,表明所收集到的资源遗传多样性较为丰富。

### 3.2 叶用莴苣种质资源表型性状及营养品质的综合评价

基于主成分分析进行种质资源表型性状评价已广泛应用于西瓜<sup>[40]</sup>、番茄<sup>[41]</sup>、桃子<sup>[42]</sup>、柑橘<sup>[43]</sup>等作物。本研究中将 16 个性状分为 5 个主成分,累计贡献率达到 95.44%,将 1、2、3 主成分归为产量影响因子,4、5 主成分归为营养成分影响因子,各主成分所包含的性状可以作为叶用莴苣种质资源创新的参考。





A:绿雅;B:超级意大利;C:罗生1号;D:贝尔紫;E:红象;F:绿莎;G:京研罗马;H:雅丹;I:那罗;J:红莎;K:凤蝶;L:普希金;M:京研意大利。同一指标中不同小写字母代表0.05水平差异显著。

图2 叶用莴苣各营养成分含量

Fig.2 Nutrient content of leaf lettuce

聚类分析可根据性状的相似程度对资源进行分类,用于反映亲缘关系的远近<sup>[44-46]</sup>。基于表型性状对物种进行聚类分析已被广泛应用于蔬菜研究中。如王业社等<sup>[47]</sup>利用聚类分析方法将紫薇品种划分为5大族群,将具有相对一致特征的品种划分为一个族群,族群间具有较大的差异。本研究把13份叶用莴苣材料分为5个群,族群1中包括6份资源,该类资源的叶长分布在13.07~19.53 cm,干质量分布2.87~3.38,单株质量分布在54.27~57.91 g。族群2包括1份资源。族群3包括3份资源,该类资源的株高主要分布在23.03~26.83 cm,叶柄厚主要集中在2.29~2.45 mm。族群4包括3份资源,该类资源的叶宽分布在10.93~11.40 cm,鲜质量主要分布在75.38~76.36 g。族群5包括1份资源。开展种质资源评价是种质资源筛选的主要环节,根据筛选结

果可以选出大量优异种质资源。本研究根据综合得分对13份叶用莴苣种质资源进行评价,综合得分排名较高的4个品种依次为普希金(3.65)>超级意大利(3.47)>绿雅(2.75)>京研意大利(1.98),在后续品种选育过程中可根据品种抗逆性及产量稳定性等持续观测。

#### 参考文献:

- [1] 倪水员. 生菜营养价值及栽培技术 [J]. 吉林蔬菜, 2011(5): 23.
- [2] 翟克清, 张昕昱, 周念念, 等. 光学干涉膜下生菜的生理指标变化及品质分析 [J]. 浙江农业学报, 2019, 31(9): 1493-1501.
- [3] 杨攀, 杨诗雯, 李磊, 等. 生菜研究进展综述 [J]. 现代园艺, 2020, 43(15): 34-36.
- [4] 陈青君, 韩莹琰, 谷建田, 等. 叶用莴苣种质资源的主要农艺性状鉴定与耐热性评价 [J]. 中国蔬菜, 2011(20): 20-27.
- [5] 严妍, 雷波, 汪力威, 等. 不同昼夜温度对水培生菜生长和

- 品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2010(24): 39-42.
- [6] 宋晓晓, 邹志荣, 曹凯, 等. 不同有机基质对生菜产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(6): 153-160.
- [7] LEE S K, KADER A A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops[J]. Postharvest Biology & Technology, 2000, 20(3): 207-220.
- [8] 徐文栋, 刘晓英, 焦学磊, 等. 蓝光量对莴苣生长和品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(6): 890-895.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 魏仕伟, 杨华, 张前荣, 等. 基于表型性状的叶用莴苣资源多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(5): 871-876.
- [13] LEBEDA M, VLAČEK P, DRAHOKOUPIL J. Influence of nitrogen interstitials in  $\alpha$ -titanium and nitrogen vacancies in  $\delta$ -titanium nitride on lattice parameters and bulk modulus - computational study[J]. Computational Materials Science, 2022, 211: 111509.
- [14] 董洁, 范双喜, 陈青君, 等. 叶用莴苣遗传多样性的初步研究[J]. 北京农学院学报, 2009, 24(4): 7-10, 31.
- [15] 曾潮武, 梁晓东, 李建疆. 中亚引进春小麦种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 作物杂志, 2017(2): 67-71.
- [16] 刘丽琴, 田海燕. 27份引进杜果种质资源果实品质性状多样性评价[J]. 中国南方果树, 2017, 46(1): 50-54.
- [17] 解松峰, 欧行奇, 张百忍, 等. 大麦引进种质资源表型的多样性与模糊聚类分析[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 5-14.
- [18] 董洁. 叶用莴苣优异种质资源的鉴定和筛选[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2009.
- [19] 李伟, 郜海燕, 陈杭君, 等. 基于主成分分析的不同品种杨梅果实综合品质评价[J]. 中国食品学报, 2017, 17(6): 161-171.
- [20] 张淑文, 梁森苗, 鄧锡良, 等. 杨梅优良果实品质的主成分分析及综合评价[J]. 果树学报, 2018, 35(8): 977-986.
- [21] 公丽艳, 孟宪军, 刘乃侨, 等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 276-285.
- [22] 刘磊, 李争艳, 雷华, 等. 30个猕猴桃品种(单株)主要果实品质特征的综合评价[J]. 果树学报, 2021, 38(4): 530-537.
- [23] 王益民, 张珂, 许飞华, 等. 不同品种枸杞子营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 34-38.
- [24] 李锡香, 王海平. 莴苣种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 5-12.
- [25] 王永康, 吴国良, 赵爱玲, 等. 枣种质资源的表型遗传多样性[J]. 林业科学, 2014, 50(10): 33-41.
- [26] 吴欣明, 郭璞, 池惠武, 等. 国外紫花苜蓿种质资源表型性状与品质多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(1): 103-111.
- [27] 王学奎, 李合生, 伍素辉, 等. CaM拮抗剂对麦苗氮素同化酶及干物重的影响[J]. 武汉植物学研究, 2000, 18(1): 21-25.
- [28] 颜孙安, 史梦竹, 林香信, 等. 基于主成分与聚类分析不同品种鲜食葡萄的氨基酸品质评价[J]. 食品工业科技, 2022, 43(6): 372-379.
- [29] 倪志华, 张思思, 辜青青, 等. 基于多元统计法的南丰蜜橘品质评价指标的选择[J]. 果树学报, 2011, 28(5): 918-923.
- [30] 杨玉梅. 不同西瓜种质资源糖分积累规律与糖代谢相关酶关系的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [31] 杨航, 于二汝, 魏忠芬, 等. 贵州地方芝麻种质资源品质性状的分析和评价[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(2): 369-376.
- [32] 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.
- [33] 石利娟. 水稻理想株型育种研究进展[J]. 杂交水稻, 2006, 21(4): 1-6.
- [34] 李晓荣, 张中平, 孙永海, 等. 西南麦区96份小麦育种材料重要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2021, 52(9): 2358-2368.
- [35] 郑甲成, 刘婷, 李杰勤, 等. 32份甜高粱种质资源形态特征和分子遗传多样性分析[C]//中国草学会. 中国草学会年会论文集. 成都: 四川农业大学, 2018: 549.
- [36] 周瑜, 李泽碧, 黄娟, 等. 高粱种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(3): 654-664.
- [37] 赵陆滢, 许俊强, 许彬, 等. 236份黄瓜种质资源农艺性状的遗传多样性分析及优质种质筛选[J]. 南方农业学报, 2021, 52(1): 145-154.
- [38] 林存学, 杨晓华, 刘海荣. 东北寒地96份李种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 园艺学报, 2020, 47(10): 1917-1929.
- [39] 童跃伟, 代力民, 唐杨, 等. 红松种子园种群表型多样性研究[J]. 生态学报, 2019, 39(17): 6341-6348.
- [40] 李清, 郭禄芹, 方晓霞, 等. 100份西瓜种质果实品质相关性状的遗传多样性分析[J]. 中国瓜菜, 2019, 32(1): 12-17.
- [41] 张静, 白瑞, 贾莹, 等. 番茄种质资源的多样性和聚类分析[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(2): 11-14.
- [42] 张斌斌, 蔡志翔, 沈志军, 等. 观赏桃种质资源表型性状多样性评价[J]. 中国农业科学, 2021, 54(11): 2406-2420.
- [43] 孙珍珠, 李秋月, 王小柯, 等. 宽皮柑橘种质资源表型多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2017, 50(22): 4362-4383.
- [44] 冯勇. 基于主成分和聚类分析的不同品种猕猴桃品质指标综合评价[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(22): 180-185.
- [45] 秦昌鲜, 闭德金, 彭崇, 等. 基于因子分析与聚类分析的甘蔗新品种(系)农艺性状评价[J]. 南方农业学报, 2021, 52(2): 317-324.
- [46] 万述伟, 宋风景, 郝俊杰, 等. 271份豌豆种质资源农艺性状遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(1): 10-18.
- [47] 王业社, 侯伯鑫, 索志立, 等. 紫薇品种表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(1): 71-79.

(责任编辑: 张震林)