

266 份木薯种质资源农艺性状分析评价

黄渝岚, 李艳英, 周佳, 劳承英, 周灵芝, 韦本辉, 李素平, 申章佑*

广西农业科学院经济作物研究所, 广西南宁 530007

摘要: 以木薯种质资源为对象, 对其 8 个主要农艺性状数据进行统计学分析。结果表明: 8 个农艺性状数据呈正态分布, 变异系数范围为 7.2%~46.9%, 其中淀粉产量的变异系数达 46.9%, 薯干率的变异系数最小, 为 7.2%。相关分析结果表明, 不同性状之间存在一定的显著正相关, 其中单株鲜薯质量与茎径呈极显著正相关。进一步利用主成分分析方法将 8 个农艺性状简化为 3 个主成分, 发现 2 年的累计贡献率分别达 92.55%、93.67%。第一主成分是单株鲜薯质量、鲜薯产量、淀粉产量、薯干产量, 第二主成分是淀粉含量和薯干率。通过聚类分析表明, 在欧式距离为 6.0 处, 可将各年份的资源分为 4 个类群, 其中第 II 类群 (单株鲜薯质量、鲜薯产量、淀粉产量、薯干产量) 表现优异, 可优先作为高产优质木薯新品种选育的亲本材料。

关键词: 木薯; 种质资源; 农艺性状; 相关性分析; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S533 文献标志码: A

Analysis and Evaluation of Agronomic Traits of 266 Cassava Germplasm Resources

HUANG Yulan, LI Yanying, ZHOU Jia, LAO Chengying, ZHOU Lingzhi, WEI Benhui, LI Suping, SHEN Zhangyou*

Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007, China

Abstract: Eight main agronomic traits were statistically analyzed using cassava germplasm resources. The result showed that the data for the eight agronomic traits were normally distributed, with the coefficients of variation ranging from 7.2% to 46.9%. The coefficient of variation for starch yield was 46.9% and the coefficient of variation for the dry matter rate was 7.2%. Correlation analysis showed that there was a degree of significant positive correlation between the different traits, with a highly significant positive correlation between weight of fresh tuberous root per plant and stem diameter. Principal component analysis combined eight traits into three main components. The cumulative contribution rates in each year amounted to 92.55% and 93.67%, respectively. The first principal components were weight of fresh tuberous root per plant, fresh tuberous root yield, starch yield and dry tuberous root yield. The second principal components were starch content and dry matter. Cluster analysis suggested that the resources could be divided into four groups in each year at the Euclidean distance of 6.0. Group II had excellent performances in weight of fresh tuberous root per plant, fresh tuberous root yield, starch yield and dry tuberous root yield, which could be preferred as parental materials for new cassava varieties selection and breeding of high yield and good quality.

Keywords: cassava; germplasm resources; agronomic traits; correlation analysis; principal component analysis; cluster analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.04.007

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 是大戟科 (Euphorbiaceae) 木薯属 (*Manihot*) 植物, 是世

收稿日期 2023-01-28; 修回日期 2023-02-10

基金项目 国家木薯产业技术体系项目 (No. CARS-11); 广西农业科学院稳定资助科研团队项目 (桂农科 2021YT056)。

作者简介 黄渝岚 (1986—), 女, 博士研究生, 助理研究员, 研究方向: 薯类作物生理生态。*通信作者 (Corresponding author): 申章佑 (SHEN Zhangyou), E-mail: shzhyou@126.com。

界三大薯类作物之一^[1], 是世界 8 亿以上人口的主要食粮^[2-4]。木薯于 19 世纪 20 年代传入我国, 主要种植在海南、广西、广东等热带、亚热带地区^[5]。木薯用途广泛, 不仅是粮食和饲料作物, 更是重要的工业原料, 主要用来生产燃料乙醇、淀粉、变异淀粉等。但因我国木薯种植面积有限、单产偏低、经济效益过低, 使得我国木薯种植面积逐年减少, 导致鲜薯产量供不应求^[6], 进口量在逐年增加, 从 2005 年开始, 我国成为全球最大的木薯进口国^[7], 加强高产优质木薯新品种的选育势在必行。

木薯是一个遗传背景复杂、种质资源多样的物种, 开展种质资源鉴定评价与开发利用, 是选育高产优质木薯品种的基础。目前, 已有很多科研工作者开展了木薯种质资源的分析评价。宋记明等^[8]对引进云南的 10 个木薯新品种的农艺性状进行分析和评价, 筛选得到 4 个高产优质的木薯新品种。叶剑秋等^[9]对从瑞士引进的 19 份木薯种质资源的 6 个农艺性状进行分析评价, 研究得到 2 个高产优质的瑞士 NO12 和瑞士 D12, 以及 3 个地上部高产的瑞士 13M、瑞士 S8 和瑞士 88。谢向誉等^[10]开展了 31 份木薯种质资源农艺性状的鉴定评价, 主要从植物学性状、农艺性状和氢氰酸含量等方面筛选得到 2 份单株产量较高且氢氰酸含量较低的种质。肖鑫辉等^[11]对国内外栽培木薯种质资源表型多样性的研究表明, 288 份不同的木薯种质资源具有丰富的遗传多样性, 数量性状存在较大的变异, 并利用聚类分析将 288 份木薯种质资源划分为两大类群, 类群 I 的特征是产量较高, 主茎较粗, 类群 II 的特征是干物率较高。李月仙等^[12]对 50 份木薯种质资源的形态多样性及形态标记进行变异分析、多样性分析与聚类分析, 研究发现变异系数最大的是叶脉色, 多样性指数最大的是中间裂叶长度, 并在欧式距离 1.0 处将 50 份木薯种质资源划分为 6 大类。周惠文等^[13]利用 SCoT 分子标记法对 28 份木薯种质资源的遗传多样性进行分析, 将 28 份木薯种质资源聚为 5 大类。杨守臻等^[14]采用了主成分分析将 14 个木薯品种的 9 个农艺性状提取成 4 个主成分因子。

目前对不同木薯种质资源产量、表型多样性、形态多样性分析等方面的报道较多, 但针对不同木薯种质资源高产优质的综合分析评价报道较少。目前广西农业科学院已保存木薯种质资源 300

多份, 这些种质资源产量品质多样性研究尚未系统报道。因此, 本研究以 266 份木薯种质资源为材料, 对株高、茎径、单株鲜薯质量、鲜薯产量、淀粉含量、淀粉产量、薯干率、薯干产量 8 个主要农艺性状的遗传变异情况进行鉴定评价, 探究产量与其他农艺性状的相关性, 旨在挖掘出高产优质的木薯种质资源, 为木薯新品种的选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验在广西南宁市隆安县进行, 位于东经 107°52'32", 北纬 22°59'17", 海拔 87 m, 属于亚热带湿润季风气候, 年平均气温为 21.7 °C, 年平均降雨量为 1282.7 mm, 年平均日照时数为 1596 h, 无霜期为 357 d。试验地为丘陵地貌, 土壤类型为赤红壤, pH 4.95, 有机质含量为 31.0 g/kg, 碱解氮含量为 140.1 mg/kg, 速效磷含量为 32.2 mg/kg, 速效钾含量为 586.2 mg/kg, 前茬作物为木薯。供试的 266 份木薯种质资源来源于广西农业科学院经济作物研究所(表 1), 其中, 审定品种 15 个, 育种品系 251 个。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2020 年 4 月至 2022 年 1 月进行, 小区长 6 m, 宽 5 m, 面积为 30 m², 株行距为 1.0 m×1.0 m, 3 次重复。每年 4 月种植, 生育期约 250 d。田间管理按常规进行。

1.2.2 测定项目与方法 木薯收获时, 每个小区随机选取 15 株进行测定。用卷尺测量地面到新叶的垂直高度作为株高 (plant height, PH)。用游标卡尺测量距离地面 10~15 cm 的木薯茎秆基部直径作为茎径 (stem diameter, SD)。将 15 株木薯的块根全部挖出, 砍下所有块根, 将块根表面的泥土清理干净, 称重, 计量单株鲜薯质量 (weight of fresh tuberous root per plant, WFTP) 并折算单位面积鲜薯产量 (fresh tuberous root yield, FTRY)。

测完鲜薯产量后, 称取代表性的新鲜块根约 5 kg, 分别测定其在空气中和水中的质量, 根据国际热带农业中心确立的方法计算鲜薯淀粉含量 (starch content, SC)、薯干率 (dry matter rate, DMR)、淀粉产量 (starch yield, SY) 和薯干产量 (dry tuberous root yield, DTRY), 计算公式为: 鲜薯淀粉含量 (%) = 210.8 × 鲜薯空气中质量 / (鲜

表 1 266 份木薯种质资源一览表
Tab. 1 Variety list of 266 cassava germplasm resources

品种来源 Variety origin	份数 Number	名称 Name
育种品系	251	A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7、A8、A9、A10、A11、A12、A13、A14、A15、A16、A17、A18、A19、A22、A24、A25、A26、A28、A29、A30、A31、B1、B2、B3、B4、B6、B8、B9、B10、B14、B15、B16、B17、B18、B19、B20、B21、B22、B25、B27、B28、B30、B31、B32、B33、B34、B35、B37、B38、B40、B41、B42、B44、B45、B46、B47、B49、B50、B51、B52、B53、B54、B56、B58、B59、B60、B61、B62、B63、B64、B65、B66、B67、B68、B69、B70、B71、B72、B73、B74、B75、B76、B77、B78、B79、B80、B81、B82、B83、B84、B86、B87、B88、B89、B90、B91、B92、B93、B94、B95、B96、B97、B98、B99、B100、B102、B103、B104、B105、B106、B107、B108、B110、B111、B112、B114、B115、B116、B117、D2、D4、D5、D6、D8、D9、D10、D11、D12、D13、D18、D346、D804、D771、D774、E1、E2、E4、E5、E6、E7、E10、E13、E15、E17、E18、E20、E21、E22、E23、E24、E26、E29、E31、E33、E34、E36、E37、E39、E40、E41、E333、E339、E497、E508、E1340、E1395、F1、F8、F9、F10、F11、F13、F406、F701、F706、F716、GC5、GC6、GC7、GC9、GC10、GC11、GC15、GC18、GC20、GC21、GC22、GC23、GC33、GC36、GC37、GC39、GC40、GC41、GC42、GC43、GC44、GC46、GC49、GC50、GC52、GC53、GC56、GC57、GC58、GC59、S3、S4、S5、S7、X10、X24、1、4、5、6、8、9、12、14、16、17、18、19、20、21、24、25、27、28、30、31、08-3、08-4、08-5、08-6、08-9、08-10、08-13、08-18、08-19、08-20、08-21、08-22、08-23
审定品种	15	桂热 3 号(GR3)、桂热 4 号(GR4)、桂热 8 号(GR8)、桂热 891 号(GR891)、华南 5 号(SC5)、华南 6 号(SC6)、华南 9 号(SC9)、华南 12 号(SC12)、华南 205 号(SC205)、南植 199(NZ199)、桂木薯 1 号(M1)、桂木薯 2 号(M2)、桂木薯 3 号(M3)、桂木薯 4 号(M4)、桂木薯 5 号(M5)

薯空气中质量-鲜薯水中质量)-213.4;薯干率(%)=158.3×鲜薯空气中质量/(鲜薯空气中质量-鲜薯水中质量)-142.0;淀粉产量=鲜薯产量×鲜薯淀粉含量;薯干产量=鲜薯产量×薯干率。

1.3 数据处理

根际各性状的平均观测值($\bar{x}_i$)与标准差(δ)进行性状等级划分,按照 $\bar{x}_i \pm k\delta$ (其中 $k=0、0.5、1、1.5、2、2.5$)将各个性状的观测值划分为1~10级。

分布频率 $p_{ij}=n_{ij}/n$,式中, p_{ij} 为第*i*个性状的第*j*个变异的分布频率, n_{ij} 为第*i*个性状的第*j*个变异的材料个数, n 为材料的总数。根据各性状各级别的频率分布作8个农艺性状的散点图。

利用变异系数(coefficient of variation, CV)表示某一性状的离散程度,公式: $CV=\delta/\mu$ (δ 为

标准差, μ 为平均值)。利用 Excel 2007 软件绘制频率分布散点图,利用 SPSS 22.0 软件进行相关分析、主成分分析、方差分析(新复极差法),采用 Rstudio 软件包进行聚类分析(欧式距离、离差平方和法)。

2 结果与分析

2.1 木薯种质农艺性状的遗传变异情况

将8个农艺性状数据进行频率分布直方图展示(图1),结果显示8个农艺性状数据呈现很好的正态分布,数据分布范围较广,表明这266份木薯种质资源存在广泛的遗传多样性。对8个农艺性状数据进行描述统计分析(表2),8个性状变异系数的范围为7.2%~46.9%。变异系数最大的均是淀粉产量,分别为46.9%、39.2%;变异系

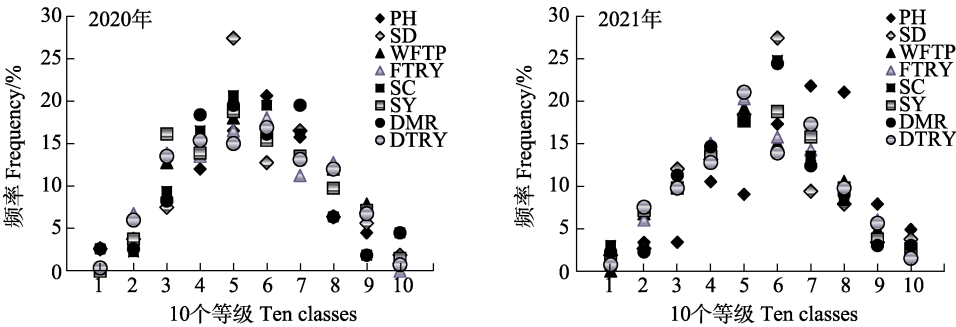


图 1 266 份木薯种质资源 8 个性状 10 个等级分布频率散点图

Fig. 1 Frequency scatter plots of ten classes for eight agronomic traits in 266 cassava germplasm resources

表 2 266 份木薯种质资源 8 个农艺性状的变异比较

Tab. 2 Comparison variation of eight agronomic traits in 266 cassava germplasm resources

性状 Trait	2020	2021	平均 Mean	变异系数 Coefficient of variation/%		
				2020	2021	平均 Mean
株高/cm	335.7±44.4 ^b	350.5±44.8 ^a	343.1±40.7	13.3	12.8	13.1
茎径/cm	3.55±0.45 ^b	3.63±0.45 ^a	3.59±0.39	12.8	12.5	12.7
单株鲜薯质量/kg	4.3±1.8 ^a	3.7±1.4 ^b	4.0±1.3	43.4	37.9	40.7
鲜薯产量/(t·hm ⁻²)	47.2±20.5 ^a	38.2±14.4 ^b	42.7±14.5	43.4	37.9	35.7
淀粉含量/%	18.0±3.1 ^b	20.5±3.2 ^a	19.3±2.7	16.9	15.8	16.4
淀粉产量/(t·hm ⁻²)	8.5±4.0 ^a	7.9±3.1 ^b	8.2±2.9	46.9	39.1	43.0
薯干率/%	31.8±2.3 ^b	33.6±2.4 ^a	32.7±2.1	7.2	7.3	7.3
薯干产量/(t·hm ⁻²)	15.0±6.6 ^a	13.0±4.8 ^b	14.0±4.6	44.1	36.8	40.5

注：同行不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

数最小的均是薯干率，分别为 7.2%、7.3%。研究表明当变异系数大于 10%时，样本间的差异较大^[15]。本研究中薯干率的变异系数最低，且小于 10%，表明此性状变异幅度较小，遗传较稳定。变异系数较大的有淀粉产量、薯干产量、鲜薯产量、单株鲜薯质量，变异范围为 36.7%~46.9%，表明这几个性状变异比较丰富。可见，266 份木薯种质

资源具有丰富的遗传多样性，不同的种质间性状存在较大的差异。对 266 份材料 2020 年和 2021 年 2 个环境的数据进行单因素方差分析表明，8 个农艺性状 2 年均表现出显著差异，受环境影响较大。

2.2 木薯种质农艺性状的相关性分析

8 个农艺性状的相关分析结果如表 3、表 4 所示，8 个农艺性状之间呈现不同程度的相关性，

表 3 2020 年 266 份木薯种质资源 8 个农艺性状相关性分析

Tab. 3 Correlation analysis of eight agronomic traits in 266 cassava germplasm resources in 2020

性状 Trait	株高 PH	茎径 SD	单株鲜薯质量 WFTP	鲜薯产量 FTRY	淀粉含量 SC	淀粉产量 SY	薯干率 DMR	薯干产量 DTRY
株高	1							
茎径	0.417**	1						
单株鲜薯质量	0.024	0.403**	1					
鲜薯产量	0.023	0.401**	1.000**	1				
淀粉含量	-0.052	-0.083	0.067	0.065	1			
淀粉产量	-0.036	0.320**	0.886**	0.884**	0.411**	1		
薯干率	-0.029	-0.073	0.072	0.070	0.985**	0.385**	1	
薯干产量	-0.017	0.373**	0.944**	0.943**	0.219**	0.972**	0.206**	1

注：**表示极显著相关（ $P<0.01$ ）。

Note: ** indicated extremely significant correlation ($P<0.01$).

表 4 2021 年 266 份木薯种质资源 8 个农艺性状相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis of eight agronomic traits in 266 cassava germplasm resources in 2021

性状 Trait	株高 PH	茎径 SD	单株鲜薯质量 WFTP	鲜薯产量 FTRY	淀粉含量 SC	淀粉产量 SY	薯干率 DMR	薯干产量 DTRY
株高	1							
茎径	0.429**	1						
单株鲜薯质量	0.050	0.378**	1					
鲜薯产量	0.050	0.378**	1.000**	1				
淀粉含量	-0.240**	-0.050	0.047	0.046	1			
淀粉产量	-0.029	0.340**	0.932**	0.932**	0.367**	1		
薯干率	-0.241**	-0.051	0.047	0.047	1.000**	0.368**	1	
薯干产量	0.015	0.367**	0.986**	0.986**	0.193**	0.979**	0.193**	1

注：**表示极显著相关（ $P<0.01$ ）。

Note: ** indicated extremely significant correlation ($P<0.01$).

其中茎径与株高呈极显著正相关；单株鲜薯质量与茎径呈极显著正相关；鲜薯产量与茎径、单株鲜薯质量呈极显著正相关；淀粉产量与茎径、单株鲜薯质量、鲜薯产量、淀粉含量呈极显著正相关；薯干产量与茎径、单株鲜薯质量、鲜薯产量、薯干率呈极显著正相关。综上可知，茎径是影响单株鲜薯质量的主要因素；茎径、单株鲜薯质量是影响鲜薯产量的主要因素；鲜薯产量、淀粉含量是影响淀粉产量的主要因素；鲜薯产量、薯干率是影响薯干产量的主要因素。

2.3 木薯种质农艺性状的主成分分析

对 8 个农艺性状数据进行主成分分析(表 5)，结果表明，前 3 个主成分的累积方差贡献率分别为 92.55%、93.67%，包含了木薯 8 个农艺性状的绝大部分变异信息。第 1 主成分(PC1)特征值分别为 4.115、4.170，贡献率分别为 51.44%、52.13%；薯干产量的特征向量值正值最大，分别为 0.976、0.990；此外，单株鲜薯质量、鲜薯产量、淀粉产量的特征向量值与最大值接近，说

明薯干产量、单株鲜薯质量、鲜薯产量、淀粉产量对第 1 主成分影响最大。第 2 主成分(PC2)特征值分别为 2.033、2.176，贡献率分别为 25.41%、27.20%；淀粉含量的特征向量值正值最大，分别为 0.919、0.910；薯干率的特征向量值与淀粉含量的特征向量值接近，说明淀粉含量和薯干率对第 2 主成分影响最大。第 3 主成分(PC3)特征值分别为 1.259、1.147，贡献率分别为 15.70%、14.34%；株高的特征向量值正值最大，分别为 0.873、0.712；此外茎径的特征向量值分别为 0.587、0.622，说明株高对第 3 主成分影响最大，其次是茎径。第 1 主成分结果表明鲜薯产量、淀粉产量、薯干产量较高的种质，其单株鲜薯质量亦较高。第 2 主成分结果表明，随着淀粉含量和薯干率的提高，淀粉产量也缓慢增加。第 3 主成分结果表明，随着株高、茎径的提高，淀粉含量和薯干率也缓慢增加。综上可知，3 个主成分基本反映了 266 份木薯种质资源绝大部分的农艺性状信息。

表 5 266 份木薯种质材料农艺性状的特征向量及主成分贡献率
Tab. 5 Eigenvector and principle component contribution rate of 266 cassava germplasm resources

性状 Trait	2020			2021		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
株高	0.050	-0.251	0.873	0.044	-0.531	0.712
茎径	0.452	-0.409	0.587	0.447	-0.381	0.622
单株鲜薯质量	0.950	-0.230	-0.131	0.964	-0.195	-0.165
鲜薯产量	0.949	-0.232	-0.132	0.964	-0.195	-0.165
淀粉含量	0.325	0.919	0.207	0.281	0.910	0.303
淀粉产量	0.972	0.122	-0.083	0.985	0.116	-0.408
薯干率	0.320	0.911	0.230	0.281	0.910	0.302
薯干产量	0.976	-0.075	-0.123	0.990	-0.057	-0.115
特征值	4.115	2.033	1.259	4.170	2.176	1.147
贡献率/%	51.44	25.41	15.70	52.13	27.20	14.34
累计贡献率/%	51.44	76.85	92.55	52.13	79.33	93.67

2.4 木薯农艺性状的聚类分析及高产优质种质资源的初步筛选

对木薯种质资源进行聚类分析及不同类群间农艺性状的方差分析，结果表明，在欧式距离为 6.0 处可将木薯种质资源划分为 4 个类群(图 2、表 6、表 7)。第 I 类群包含了 72 份种质资源，占总资源数的 27.1%。此类群茎径、单株鲜薯质量、鲜薯产量、淀粉产量、薯干产量均显著低于其他类群。第 II 类群包含了 34 份种质资源，占总资源

数的 12.8%。此类群茎径、单株鲜薯质量、鲜薯产量、淀粉产量、薯干产量均显著高于其他类群，其中 B84 的单株鲜薯质量(7.78 kg)与鲜薯产量(86.4 t/hm²)最高。第 III 类群包含了 66 份种质资源，占总资源数的 24.8%。此类群株高显著低于其他类群，淀粉含量、薯干率显著高于其他类群，其中，NZ199 株高最矮(228.2 cm)，NZ199 的淀粉含量(27.0%)与薯干率(38.5%)最高。第 IV 类群包含了 94 份种质资源，占总资源数的 35.3%；

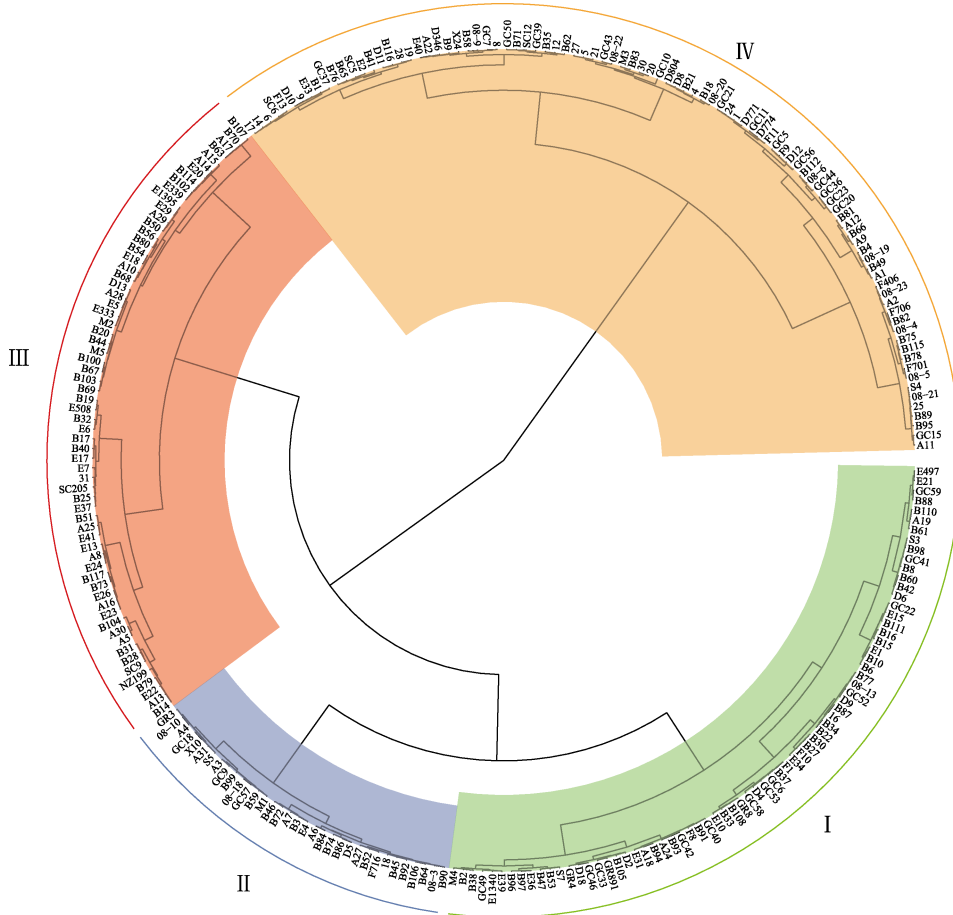


图 2 基于 2020 年 8 个农艺性状的木薯种质资源聚类分析结果

Fig. 2 Cluster analysis of cassava germplasm resources based on eight agronomic traits in 2020

表 6 266 份木薯种质 2020~2021 年不同类群间农艺性状的分 析

Tab. 6 Analysis of variance on agronomic traits among different clusters of 266 cassava germplasm resources in 2020 to 2021 year

年份 Year	类群 Group	样本数量 Sample number	株高 PH/cm	茎径 SD/cm	单株鲜薯质量 WFTP/kg	鲜薯产量 FTRY /(t·hm ⁻²)	淀粉含量 SC/%	淀粉产量 SY/(t·hm ⁻²)	薯干率 DMR/%	薯干产量 DTRY /(t·hm ⁻²)
2020	I	72	323.5±1.8 ^c	3.4±0.0 ^b	3.1±0.1 ^d	34.9±1.7 ^d	18.1±0.3 ^{ab}	6.4±0.3 ^d	31.9±0.2 ^{ab}	11.1±0.6 ^d
	II	34	345.7±1.3 ^b	3.8±0.1 ^a	6.4±0.1 ^a	70.9±1.6 ^a	18.0±0.4 ^{ab}	12.7±0.3 ^a	31.8±0.3 ^{ab}	22.5±0.5 ^a
	III	66	278.1±3.0 ^d	3.4±0.1 ^b	4.7±0.2 ^b	52.1±2.1 ^b	18.9±0.4 ^a	9.8±0.4 ^b	32.5±0.3 ^a	16.9±0.7 ^b
	IV	94	381.8±2.0 ^a	3.7±0.0 ^a	4.0±0.2 ^c	44.6±2.2 ^c	17.4±0.3 ^b	7.8±0.4 ^c	31.3±0.2 ^b	14.0±0.7 ^c
2021	I	67	331.4±1.9 ^c	3.3±0.1 ^d	2.9±0.1 ^c	29.3±1.3 ^c	19.7±0.3 ^b	6.0±0.3 ^c	33.0±0.3 ^b	10.0±0.5 ^c
	II	51	286.1±4.2 ^d	3.5±0.1 ^c	4.3±0.2 ^a	44.2±1.7 ^a	21.4±0.4 ^a	9.5±0.4 ^a	34.2±0.3 ^a	15.3±0.5 ^a
	III	31	419.7±2.8 ^a	3.9±0.1 ^a	3.7±0.3 ^b	37.4±3.1 ^b	20.9±0.6 ^{ab}	7.7±0.6 ^b	33.9±0.5 ^{ab}	12.4±1.0 ^b
	IV	117	370.9±1.5 ^b	3.8±0.0 ^b	4.0±0.1 ^{ab}	40.6±1.3 ^{ab}	20.6±0.3 ^a	8.4±0.3 ^b	33.7±0.2 ^{ab}	13.8±0.4 ^{ab}

注：同列不同小写字母表示相同年份不同类群间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between different class groups in the same year ($P<0.05$).

此类群株高显著高于其他类群；淀粉含量与薯干率显著低于其他类群，其中 B66 的株高（431.4 cm）最高，B41 的淀粉含量（8.5%）、薯干率（24.6%）均最低。

2021 年聚类分析及不同类群间农艺性状的方

差分析结果表明，在欧式距离为 6.0 处可将木薯种质资源划分为 4 大类群（I~IV）（图 3、表 6、表 7）。第 I 类群包含了 67 份种质资源，占总资源数的 25.2%。此类群株高适中，其他性状显著低于其他类群。第 II 类群包含了 51 份种质资

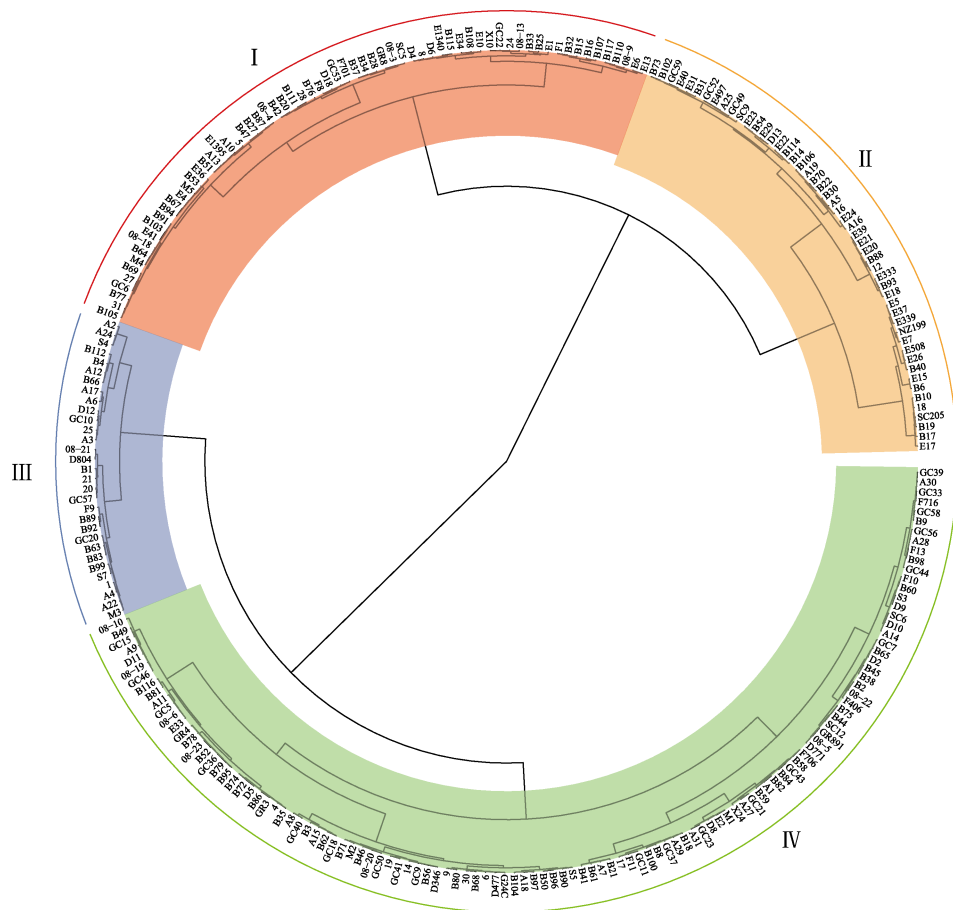


图 3 基于 2021 年 8 个农艺性状的木薯种质资源聚类分析结果

Fig. 3 Cluster analysis of cassava germplasm resources based on eight agronomic traits in 2021

表 7 性状特殊种质

Tab. 7 Special germplasm in traits

编号 No.	特殊性状 Special trait	年份 Year		编号 No.	特殊性状 Special trait	年份 Year	
		2020	2021			2020	2021
1	株高最高/cm	B66(431.4)	A2(457.2)	9	株高最低/cm	NZ199(228.2)	B6(214.2)
2	茎径最粗/cm	F13(5.4)	M5(4.8)	10	茎径最细/cm	B25(2.4)	B25(2.3)
3	单株鲜薯质量最重/kg	B84(7.78)	08-10(7.4)、A17(7.4)	11	单株鲜薯质量最轻/kg	B41(0.6)	B41(0.5)
4	鲜薯产量最高/(t·hm ⁻²)	B84(86.4)	08-10(75.3)、A17(75.3)	12	鲜薯产量最低/(t·hm ⁻²)	B41(6.7)	B41(5.0)
5	淀粉含量最高/%	NZ199(27.0)	B99(29.0)	13	淀粉含量最低/%	B41(8.5)	B41(7.1)
6	淀粉产量最高/(t·hm ⁻²)	A2(19.5)	08-10(16.6)	14	淀粉产量最低/(t·hm ⁻²)	B41(0.6)	B41(1.2)
7	薯干率最高/%	NZ199(38.5)	B99(40.0)	15	薯干率最低/%	B41(24.6)	B41(23.6)
8	薯干产量最高/(t·hm ⁻²)	B104(30.0)	08-10(26.2)	16	薯干产量最低/(t·hm ⁻²)	B41(1.6)	B21(2.9)

注：表中括号的值为性状指标值，括号前为品种名。
Note: The values in parentheses in the table are trait indicator values, preceded by the variety name in parentheses.

源，占据总资源数的 19.2%。此类群茎径适中；株高显著低于其他类群；其他性状显著高于其他类群。其中 B6 株高（214.2 cm）最矮。第Ⅲ类群包含了 31 份种质资源，占总资源数的 11.6%。此类群株高和茎径显著高于其他类群。其中 A2 株高（457.2 cm）最高。第Ⅳ类群包含了 117 份种

质资源，占总资源数的 44.0%。此类群株高偏高，茎径偏粗，淀粉含量适中，单株鲜薯质量、鲜薯产量、淀粉含量、薯干率、薯干产量均较高。其中，08-10 的单株鲜薯质量（7.4 kg）、鲜薯产量（75.3 t/hm²）、淀粉产量（16.6 t/hm²）、薯干产量（26.2 t/hm²）均最高；B41 单株鲜薯质量（0.5 kg）、

鲜薯产量 (5.0 t/hm^2)、淀粉含量 (7.1%)、淀粉产量 (1.2 t/hm^2)、薯干率 (23.6%) 均最低; B21 薯干产量 (2.9 t/hm^2) 最低。从 4 个类群农艺性状的方差分析 (表 6) 可以看出, 2 年聚类分析结果均表明第 I 类群株高、茎径适宜; 淀粉含量与薯干率属于中等偏差; 其他产量性状表现较差; 2 次聚类中有 33 份相同种质被划分在此类群中。第 II 类群株高、茎径适宜, 其他性状表现优良, 可优先作为高产优质木薯育种的亲本材料。种质 18 和 B106 两次聚类均被划分到此类群。第 III 类群属于中等类型, 此类群的株高与茎径两年的表现不太一致, 而其他性状表现较一致, 种质 A17 与 B63 两次聚类均被划分在此类群。第 IV 类群亦属于中间型, 59 份相同种质 2 次聚类均被划分在第 IV 类群。第 III 和 IV 类群 2 年聚类分析结果表现不太一致, 可能与环境以及测定时的人为选择有关。性状特殊种质可能出现在任一类群。2 年聚类分析发现 266 份木薯种质的 8 个农艺性状的特殊种质几乎不相同, 但种质 B25 和 B41 表现特异, B25 两年的茎径均最细, B41 两年的单株鲜薯质量、鲜薯产量、淀粉含量、淀粉产量、薯干率均最低。综上可知, 高产优质木薯选育可优先考虑第 II 类群的种质资源。

3 讨论

木薯种质资源的评价是选育高产优质木薯新品种的重要前提。不同的木薯种质农艺性状存在显著差异, 由木薯种质的遗传基因决定^[16]。本研究中 266 份木薯种质资源 8 个农艺性状的矩形频率分布直方图呈现很好的正态分布, 说明供试的 266 份木薯种质资源遗传多样性丰富, 是木薯新品种的选育良好材料。据报道, 当种质资源的遗传变异系数大于 10% 时, 样本间的差异较大。本研究结果表明变异系数较大的性状有淀粉产量、单株鲜薯质量、鲜薯产量、薯干产量, 变异系数范围是 36.7%~46.9%, 与相关报道基本一致^[11, 14]。

木薯不同的农艺性状之间关系密切, 能够不同程度的影响作物产量^[14, 17]。本研究通过对 8 个农艺性状进行相关分析, 可知茎径是影响单株鲜薯质量的主要因素; 茎径、单株鲜薯质量是影响鲜薯产量的主要因素; 鲜薯产量、淀粉含量是影响淀粉产量的主要因素; 鲜薯产量、薯干率是影响薯干产量的主要因素。

利用主成分分析可以将多个变量降维成少数

几个可以代表绝大部分性状并且彼此不相关的变量。使用主成分分析对种质资源进行综合评价, 已在植物遗传多样性上得到广泛应用^[18-22], 如对苦荞^[18]、苕麻^[19]、大白菜^[20]、建兰^[22]等作物的种质资源综合比较与评价, 结果既客观又可靠。本研究对 266 份木薯种质资源的 8 个农艺性状数据分别进行主成分分析, 均可降维得到 3 个主成分, 2020~2021 年前 3 个主成分总的累计贡献率分别为 92.55% 和 93.67%, 3 个主成分反映了木薯种质资源大部分的性状信息。主成分分析结果表明鲜薯产量、淀粉产量、薯干产量越高的种质, 其单株鲜薯质量亦较高, 在高产优质木薯选育时可主要考察单株鲜薯质量这个指标。

利用表型性状数据进行聚类分析, 可以在一定程度上反映基因型的差异, 同时聚类分析的结果能够初步反映出类群的相似性及亲缘关系^[23-28]。已有大量的研究利用聚类分析对水稻^[23]、高粱^[24]、小麦^[25]、大豆^[26]、花生^[27]等作物的种质资源进行遗传关系和分类研究, 旨在为种质资源的相关性提供直观的分类^[28]。本研究通过对 266 份木薯种质资源的 8 个农艺性状表型数据进行聚类分析, 发现均可在欧式距离 6.0 处将 266 份木薯种质资源划分为 4 个类群。第 II 类群的单株鲜薯质量、鲜薯产量、淀粉产量、薯干产量表现优异, 淀粉含量、薯干率、株高、茎径表现优良, 可优先作为高产优质木薯育种的亲本材料。第 I 类群各性状表现较差, 第 III 和 IV 类群表现属于中等。

综上所述, 本研究对 266 份木薯种质资源的株高、茎径、单株鲜薯质量、鲜薯产量、淀粉含量、淀粉产量、薯干率、薯干产量这 8 个农艺性状进行了评价, 是木薯种质资源鉴定和评价的基础性工作, 对木薯种质资源利用、科研育种具有一定的参考意义。本研究主要以筛选高产优质的木薯品种为目标, 而不同的育种目标可关注不同的农艺性状, 以收获茎叶为育种目标可着重参考木薯的株高、茎径、茎秆产量、收获指数等性状参数。科研工作者需要根据育种目标对木薯种质资源进行深入鉴定与评价, 以满足不断发展的社会需求。

参考文献

- [1] 罗秀芹, 薛晶晶, 蔡杰, 安飞飞, 朱文丽, 陈松笔. GA₃ 处理对木薯类胡萝卜素生物合成的影响[J]. 热带作物学报,

- 2022, 43(2): 346-352.
- LUO X Q, XUE J J, CAI J, AN F F, ZHU W L, CHEN S B. Effects of GA₃ treatment on carotenoids biosynthesis in cassava[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(2): 346-352. (in Chinese)
- [2] TIZE I, FOTSO A K, NUKENINE E N, MASSO C, NGOME F A, SUB C, LENDZEMO V W, NCHOUTNJI I, MANGA G, PAARKES E, KULAKOW P, KOUEBOU C, FIABOE K K M, KANNA R. New cassava germplasm for food and nutritional security in central Africa[J]. Scientific Reports, 2021, 11: 73994.
- [3] BEN-HUR S R, ADALTON M F, BRUNO G, JESION G S N, ROGÉRIO P S. Liming and phosphorus fertilization increase cassava root yield without affecting its cooking time[J]. Agronomy Journal, 2021, 113(5): 4386-4395.
- [4] WAHYUNI T S, NOERWIJATI K. Tuber yield, morphology, and chemical properties variability of sweet cassava germplasm[J]. Ilmu Pertanian (Agricultural Science), 2021, 6(2): 77-87.
- [5] 王惠君, 王文泉, 李文彬, 陈新, 卢诚, 黎明, 陈友. 木薯的抗寒性及北移栽培技术研究进展综述[J]. 热带作物学报, 2016, 37(7): 1437-1443.
- WANG H J, WANG W Q, LI W B, CHEN X, LU C, LI M, CHEN Y. Research progress of cold resistance and cultivation practice for cassava moving northward[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(7): 1437-1443. (in Chinese)
- [6] 黄渝岚, 龙盛风, 叶兴枝, 李艳英, 申章佑, 周佳, 周灵芝, 劳承英, 韦本辉. 木薯在湖北恩施的农艺性状及产量品质研究[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(9): 46-55.
- HUANG Y L, LONG S F, YE X Z, LI Y Y, SHEN Z Y, ZHOU J, ZHOU L Z, LAO C Y, WEI B H. Study on the agronomic characters, yield and quality of cassava in Enshi of Hubei province[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2021, 23(9): 46-55. (in Chinese)
- [7] 刘海清, 刘恩平, 李海亮. 中国木薯产业市场拓展策略研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(21): 4908-4911.
- LIU H Q, LIU E P, LI H L. Research on the market expanding strategy of cassava industry in China[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(21): 4908-4911. (in Chinese)
- [8] 宋记明, 张林辉, 段春芳, 姜太玲, 刘倩, 熊贤坤, 常瑞娜, 刘光华. 10 个木薯新品系主要农艺性状分析与综合评价[J]. 广东农业科学, 2020, 47(4): 8-15.
- SONG M, ZHANG L H, DUAN C F, JIANG T L, LIU Q, XIONG X K, CHANG R S, LIU G H. Analysis and comprehensive evaluation of main agronomic traits of ten new lines of cassava[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2020, 47(4): 8-15. (in Chinese)
- [9] 叶剑秋, 张洁, 肖鑫辉, 李开绵. 19 份瑞士木薯资源的育种特性评价[J]. 热带农业工程, 2017, 41(3): 1-6.
- YE J Q, ZHANG J, XIAO X H, LI K M. Breeding characteristics evaluation of 19 cassava germplasm from Switzerland[J]. Topical Agricultural Engineering, 2017, 41(3): 1-6. (in Chinese)
- [10] 谢向誉, 陆柳英, 曾文丹, 赖大欣, 严华兵. 31 份木薯种质资源的鉴定及遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2017, 48(3): 393-400.
- XIE X Y, LU L Y, ZENG W D, LAI D X, YAN H B. Identification, evaluation and genetic diversity analysis of 31 cassava germplasm resources[J]. Journal of Southern Agriculture, 2017, 48(3): 393-400. (in Chinese)
- [11] 肖鑫辉, 李开绵, 许瑞丽, 周建国, 张洁, 王明, 万仲卿, 叶剑秋. 国内外栽培木薯(*Manihot esculenta* Crantz)种质资源表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(1): 94-105.
- XIAO X H, LI K M, XU R L, ZHOU J G, ZHANG J, WANG M, WAN Z Q, YE J Q. Phenotypic diversity analysis of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm from China and abroad[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(1): 94-105. (in Chinese)
- [12] 李月仙, 刘倩, 严炜, 宋记明, 段春芳, 沈绍斌, 张林辉, 姜予强, 刘光华. 木薯种质资源在云南的形态多样性及其标记聚类分析[J]. 华中农业大学学报, 2018, 37(3): 10-18.
- LI Y X, LIU Q, YAN W, SONG J M, DUAN C F, SHEN S B, ZHANG L H, LOU Y Q, LIU G H. Morphological diversity and clustering analysis of cassava germplasm resources in Yunnan province[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2018, 37(3): 10-18. (in Chinese)
- [13] 周惠文, 单建伟, 冯斗, 严华兵. SCoT 分子标记技术在木薯遗传多样性分析中的应用[J]. 热带作物学报, 2015, 36(8): 1440-1444.
- ZHOU H W, SHAN J W, FENG D, YAN H B. Application of SCoT molecular marker in the genetic diversity analysis of cassava[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(8): 1440-1444. (in Chinese)
- [14] 杨守臻, 陈怀珠, 李初英, 孙祖东. 木薯主要农艺性状的遗传变异、相关性和主成分分析[J]. 农艺科学, 2006, 22(7): 232-234.
- YANG S Z, CHEN H Z, LI C Y, SUN Z D. Genetic variation, correlation and principal component analyses on major agronomic characters of cassava[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(7): 232-234. (in Chinese)
- [15] 李慧琴, 于娅, 王鹏, 刘记, 鲁丽丽, 秦文强. 270 份陆地棉种质资源农艺性状与品质性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(4): 903-910.
- LI H Q, YU Y, WANG P, LIU J, LU L L, QIN W Q. Genetic diversity analysis of the main agronomic and fiber quality characteristics in 270 upland cotton germplasm re-

- sources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(4): 903-910. (in Chinese)
- [16] AYLING S, FERGUSON M, ROUNSLEY S, KULAKOW P. Information resources for cassava research and breeding[J]. Tropical Plant Biology, 2012, 5(1): 140-151.
- [17] 罗兴录, 黄小凤, 吴美艳, 刘珊迁, 赵博伟. 5 个木薯品种生理特性与主要农艺性状的研究[J]. 作物杂志, 2020(5): 182-187.
- LUO X L, HUANG X F, WU M Y, LIU S Q, ZHAO B W. Studies on physiological characteristics and main agronomic traits of five cassava varieties[J]. Crops, 2020(5): 182-187. (in Chinese)
- [18] 吕丹, 黎瑞源, 郑冉, 郑俊青, 朱丽伟, 石桃雄, 陈庆富. 213 份苦荞种质资源主要农艺性状分析及高产种质筛选[J]. 南方农业学报, 2020, 51(10): 2429-2439.
- LYU D, LI R Y, ZHENG R, ZHENG J Q, ZHU L W, SHI T X, CHEN Q F. Main agronomic traits and selection of high seed yield germplasm in 213 tartary buckwheat materials[J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(10): 2429-2439. (in Chinese)
- [19] 白雪花, 王延周, 魏忆萍, 马永红, 饶晶, 高馨悦, 扶雅芬, 王满生, 刘头明, 朱四元. 298 份苧麻种质资源纤维产量形状综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(1): 106-122.
- BAI X H, WANG Y Z, WEI Y P, MA Y H, RAO J, GAO X Y, FU Y F, WANG M S, LIU T M, ZHU S Y. Comprehensive evaluation of fiber yield traits of 298 ramie germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(1): 106-122. (in Chinese)
- [20] 范伟强, 尹婧, 王超楠, 黄志银, 李梅, 张红, 刘晓辉, 张胜雪, 张斌. 33 个大白菜品种表型遗传多样性评价[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(10): 32-38.
- FAN W Q, YIN J, WANG C N, HUANG Z Y, LI M, ZHANG H, LIU X H, ZHANG S X, ZHANG B. Phenotypic genetic diversity evaluation of 33 Chinese cabbage varieties[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2021, 34(10): 32-38. (in Chinese)
- [21] 傅巧娟, 赵福康, 张晓莹, 李春楠, 阮若昕. 62 份建兰种质表型多样性分析与综合评价[J]. 分子植物育种, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210830.1654.012.html>.
- FU Q J, ZHAO F K, ZHANG X Y, LI C N, RUAN R X. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 62 *Cymbidium ensifolium* Resources[J]. Molecular Plant Breeding, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210830.1654.012.html>. (in Chinese)
- [22] 魏晓羽, 刘红, 翟辉, 李凤童, 袁媛, 刘春贵, 马辉, 张甜, 包建忠, 孙叶. 158 份春兰种质资源的表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(2): 398-411.
- WEI X Y, LIU H, ZHAI H, LI F T, YUAN Y, LIU C G, MA H, ZHANG T, BAO J Z, SUN Y. Phenotypic diversity analysis of 158 *Cymbidium goeringii* germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(2): 398-411. (in Chinese)
- [23] 潘晓雪, 胡明瑜, 王忠伟, 吴红, 雷开荣. 不同水稻种质资源重要农艺性状与发芽期耐寒性鉴定研究[J]. 作物杂志, 2021(4): 47-53.
- PAN X X, HU M Y, WANG Z W, WU H, LEI K R. Evaluation of agronomic traits and cold tolerance at germination stage in rice (*Oryza sativa* L.) germplasm[J]. Crops, 2021(4): 47-53. (in Chinese)
- [24] 高杰, 封广才, 李晓荣, 李青凤, 彭秋. 贵州不同地区高粱种质资源表型多样性与聚类分析[J]. 作物杂志, 2020(6): 54-60.
- GAO J, FENG G C, LI X R, LI Q F, PENG Q. Phenotypic diversity and clustering analysis of sorghum germplasm resources in different regions of Guizhou province[J]. Crops, 2020(6): 54-60. (in Chinese)
- [25] 刘宁涛, 张志成, 邵立刚, 车京玉, 李长辉, 马勇, 张起昌, 田超, 尹雪巍, 邹东月. 寒带小麦种质资源农艺形状综合评价[J]. 中国种业, 2020(12): 46-50.
- LIU N T, ZHANG Z C, SHAO L G, CHE J Y, LI C H, MA Y, ZHANG Q C, TIAN C, YIN X W, ZOU D Y. Comprehensive evaluation of agronomic characters of wheat germplasm resources in frigid zone[J]. China Seed Industry, 2020(12): 46-50. (in Chinese)
- [26] 徐泽俊, 齐玉军, 邢兴华, 童飞, 王幸. 黄淮海大豆种质农艺与品质形状分析及综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(2): 468-479.
- XU Z J, QI Y J, XING X H, TONG F, WANG X. Analysis and evaluation of agronomic and quality traits in soybean germplasm from Huang-Huai-Hai region[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(2): 468-479. (in Chinese)
- [27] 黄杨, 熊信果, 邹小云, 丁戈, 谷德平. 江西地方花生种质资源主要农艺形状分析与评价[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(6): 1550-1558.
- HUANG Y, XIONG X G, ZOU X Y, DING G, GU D P. Analysis and evaluation of main agronomic traits of local peanut germplasms in Jiangxi province[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(6): 1550-1558. (in Chinese)
- [28] 李晓曼, 段蒙蒙, 王鹏, 汪精磊, 张晓辉, 邱杨, 王海平, 宋江萍, 李锡香. 栽培萝卜植株地上部表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(4): 668-675.
- LI X M, DUAN M M, WANG P, WANG J L, ZHANG X H, QIU Y, WANG H P, SONG J P, LI X X. Phenotypic diversity analysis of cultivated radish (*Raphanus sativus* L.)[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(4): 668-675. (in Chinese)