

100 份甘蔗种质资源营养品质分析及评价

杨 婷, 沈石妍, 王智能, 杨 柳, 尚试雄, 崔 杰, 应雄美*

云南省农业科学院甘蔗研究所/云南省甘蔗遗传改良重点实验室, 云南开远 661699

摘 要: 甘蔗是重要的糖料作物和能源作物, 开展甘蔗种质资源的营养品质评价, 可系统地了解甘蔗种质的营养价值, 为甘蔗种质资源的开发利用及新品种的选育提供科学依据。以 100 份甘蔗种质为材料, 通过分析蔗汁中的蔗糖、还原糖、总游离氨基酸、多酚、矿物质、蛋白质等 14 个营养指标, 利用 SPSS 软件进行营养品质性状的主成分和系统聚类分析。结果表明: 100 份甘蔗种质营养成分存在差异, 部分营养成分之间存在显著相关关系, 蔗糖分与还原糖分、蛋白质、总游离氨基酸、果糖、葡萄糖含量呈极显著负相关, 蛋白质与总游离氨基酸、总多酚含量呈显著正相关, 果糖、葡萄糖、蔗糖含量与磷 (P) 含量呈极显著正相关, 矿物质元素之间, 钙 (Ca) 含量与铁 (Fe) 含量、Fe 含量与铜 (Cu) 含量之间呈正相关; 影响甘蔗种质营养品质的主要因子为还原糖因子、蛋白质因子、蔗糖因子、Ca 含量因子和钾 (K) 含量因子, 上述公因子对甘蔗营养品质综合评价的累计方差贡献率达 69.62%。系统聚类分析表明, 100 份甘蔗种质的营养品质在欧式距离 18.5 处可分为 5 个类群, 第 I 类群包含 77 份种质, 该类群蔗糖含量最高; 第 II 类群包含 6 份种质, Ca、Fe 含量较高; 第 III 类群包含 2 份种质, 该类群还原糖分、蛋白质、总游离氨基酸、总多酚、果糖、葡萄糖、P、钠 (Na) 含量平均值均较高, 平均蔗糖分和铁含量较低; 第 IV 类群包含 4 份种质, 该类群平均总游离氨基酸含量最高, 平均蛋白质和总多酚含量较高; 第 V 类群包含 11 份种质, K 平均含量最高。100 份甘蔗种质的营养品质综合评价, 排名前 5 位的种质分别是 ‘河糖 1 号’ ‘德蔗 0978’ ‘福农 40-95’ ‘中蔗 45 号’ ‘云蔗 06-193’。

关键词: 甘蔗; 种质资源; 营养品质; 分析; 评价

中图分类号: S566.1 文献标识码: A

Analysis and Evaluation of Nutritional Quality of 100 Sugarcane Germplasm Resources

YANG Ting, SHEN Shiyan, WANG Zhineng, YANG Liu, SHANG Shixiong, CUI Jie, YING Xiongmei*

Sugarcane Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences / Yunnan Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Kaiyuan, Yunnan 661699, China

Abstract: Sugarcane is an important sugar crop and energy crop. Evaluating the nutritional quality of sugarcane germplasm resources can systematically understand the nutritional value of sugarcane germplasm resources, and provide scientific basis for the development and utilization of sugarcane germplasm resources and breeding of new varieties. We carried out a study using 100 sugarcane germplasms, analyzed 14 nutritional indexes such as sucrose, reducing sugar, total free amino acid, polyphenol, mineral and protein in sugarcane juice, SPSS software was used for Principal Component Analysis (PCA) and Systematic Cluster Analysis (SCA) of nutritional quality traits. Results showed that there were differences in nutritional components among the 100 sugarcane germplasms and some nutrients had a significant correlation with each other. Sucrose content was negatively correlated with reducing sugar, protein, total free amino acid, fructose and glucose content, while protein content was positively correlated with total free amino acid and total polyphenol content. The content of fructose, glucose and sucrose was positively correlated with the content of P. Among mineral elements, Ca content and Fe content, Fe content and Cu content were positively correlated. The main factors affecting the nutritional quality of sugarcane germplasm were reduc-

收稿日期 2022-05-25; 修回日期 2022-06-14

基金项目 云南省重大科技专项计划项目 (No. 202102AE090028); 云南省甘蔗遗传改良重点实验室开放课题 (No. YKLSGI-2004)。

作者简介 杨 婷 (1994—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 甘蔗高值化利用。*通信作者 (Corresponding author): 应雄美 (YING Xiongmei), E-mail: yxu_1982@163.com。

ing sugar factor, protein factor, sucrose factor, Ca content factor and K content factor. The cumulative variance contribution rate of the common factors to comprehensive evaluation of sugarcane nutritional quality was 69.62%. SCA showed that the nutritional quality of the 100 sugarcane germplasms could be divided into 5 groups (European distance $D=18.5$). Group I contained 77 resources, which had the highest sucrose content. Group II contained 6 resources with higher Ca and Fe content. Group III contained 2 resources, the average content of reducing sugar, protein, total free amino acid, total polyphenol, fructose, glucose, P, Na was high, and the average sucrose content and Fe content were low. Group IV contained 4 resources, which had the highest average total free amino acid content, higher average protein and total polyphenol content. Group V contained 11 resources, with the highest average K content. The comprehensive evaluation of nutritional quality of the 100 sugarcane germplasms showed that the top 5 sugarcane varieties were 'Hetang 1', 'Dezhe 0978', 'Funong 40-95', 'Zhongzhe 45' and 'Yunzhe 06-193'.

Keywords: sugarcane; germplasm resource; nutritional quality; analysis; evaluation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.03.005

甘蔗 (*Saccharum officinarum* L.) 是一年生或多年生的禾本科单子叶甘蔗属植物, 也是世界上重要的糖料作物和能源作物, 广泛种植于热带和亚热带地区^[1-2]。甘蔗含有丰富的糖分、水分, 以及对人体健康有益的蛋白质、氨基酸、矿物质、维生素、黄酮、多酚等营养成分, 具有抗氧化、保护细胞等保健作用^[3-5]。随着现代科技的发展及人们对甘蔗生物活性成分的深入研究, 甘蔗除了应用于制糖, 也被应用于各种大众化食品和保健食品的开发^[6-8], 甘蔗的利用正呈现多元化的发展。选育各具特色的专用甘蔗有助于推动甘蔗的高价值利用和产业化发展。

营养品质评价是种质资源研究的重要组成部分, 也是优质种质资源挖掘和利用的基础^[9]。近年来, 营养健康问题和保健功能越来越受到人们的重视, 营养品质评价研究已成为当前的研究热点, 目前已有在蔬菜^[10]、水果^[11-12]、粮食作物^[13]等种质资源在营养品质方面的研究报道。我国的甘蔗产业在不断发展壮大, 很多国外品种也在源源不断的引进和交换^[14-15]。迄今为止, 对甘蔗种质资源的评价报道很多, 但主要集中在工艺性状^[16-17]、农艺性状^[18-19]、抗逆性^[20-22]、遗传多样性^[23-25]等方面, 而在甘蔗种质资源营养品质方面的评价鲜有报道, 樊丽娜等^[26-27]分析了 12 个广东主栽甘蔗品种蔗汁中 9 种元素 Ca、Mg、S、Si、Fe、Zn、Se、Co、Mo 含量, 以及分析研究了 18 个不同地域的甘蔗品种中蔗汁氨基酸含量差异; 赵勇等^[28]对 11 份甘蔗种质中的 Fe、Zn、Se 含量进行了分析; 杨柳等^[29-30]对 16 份甘蔗种质蔗汁的蛋白质、总游离氨基酸、总多酚、蔗糖、还原糖、灰分、氯化物、胶体、矿物质含量进行了研究。以上研究为甘蔗种质资源的开发利用提供参考, 但还不

够系统, 覆盖品种较少, 指标普遍较单一。鉴于此, 本研究利用国家甘蔗种质资源圃保存的种质资源, 挑选 100 份具有代表性的甘蔗种质, 从蔗糖分、还原糖分、果糖、葡萄糖、蔗糖、总游离氨基酸、多酚、矿物质、蛋白质等营养指标进行检测, 系统评价和分析甘蔗种质营养品质, 旨在为甘蔗种质资源的挖掘利用及新品种的选育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

参试的 100 份甘蔗种质为历史上不同年代曾大面积推广的甘蔗种质, 目前生产上主推的甘蔗种质, 具有推广潜力的甘蔗种质, 均由国家甘蔗种质资源圃提供, 其中, 国外引进种质 7 份, 国内自育种质 91 份和其他种质 2 份 (EK28 和 Kassoer); 国外种质包括印度 (Co-种质 2 份)、印度尼西亚 (POJ-种质 2 份)、美国 (CP-种质 2 份)、南非 (Nco-种质 1 份), 国内种质包括中国大陆种质 84 份、中国台湾 F-种质和 ROC-种质 7 份 (表 1)。

1.2 方法

100 份甘蔗种质于 2020 年 12 月种植于云南省农业科学院甘蔗研究所第一科研基地, 试验材料取中上部健康腋芽, 砍成单芽段种植于大田, 采用随机区组种植, 所有材料设 3 个重复, 行长 3 m, 行距 1 m, 每行种植 42 芽, 四周设保护行, 采用常规大田管理。试验地有灌溉条件, 土壤 pH 8.1, 有机质含量为 27.5 g/kg, 碱解氮为 93.8 mg/kg, 有效磷为 24.5 mg/kg, 速效钾为 75.2 mg/kg, 全氮为 1.0 g/kg, 全磷为 1.0 g/kg, 全钾为 12 g/kg, 有效铁为 49.9 mg/kg, 有效铜为 4.2 mg/kg。

表 1 100 份甘蔗种质信息
Tab. 1 Information of 100 sugarcane germplasms

编号 Code	种质 Germplasm	编号 Code	种质 Germplasm	编号 Code	种质 Germplasm	编号 Code	种质 Germplasm
001	POJ2878	026	粤糖 93-159	051	桂糖 08-1589	076	福农 40 号
002	Kassoer	027	ROC 25	052	粤甘 48 号	077	福农 43 号
003	EK28	028	ROC 20	053	云瑞 05-292	078	福农 6201
004	Nco310	029	ROC 16	054	云瑞 05-346	079	云蔗 05-596
005	CP49-50	030	ROC 10	055	云瑞 05-596	080	中糖 1 号
006	CP72-1210	031	ROC 22	056	云蔗 07-106	081	云蔗 07-2800
007	F134	032	云蔗 05-51	057	桂糖 08-120	082	云蔗 05-326
008	Co290	033	云蔗 08-1609	058	柳城 09-15	083	云蔗 06-193
009	Co419	034	桂糖 42 号	059	桂糖 13-386	084	云蔗 06-407
010	F172	035	柳城 03-182	060	中糖 1202	085	云蔗 03-194
011	华南 54-11	036	柳城 05-136	061	云蔗 11-1074	086	中糖 2 号
012	POJ 3016	037	粤糖 00-236	062	云蔗 11-3898	087	德蔗 0978
013	闽糖 69-421	038	云蔗 14-172	063	福农 09-6201	088	中蔗 6 号
014	云蔗 65-225	039	云蔗 12-237	064	桂糖 11-1076	089	中蔗 9 号
015	粤糖 63-237	040	云蔗 07-136	065	云瑞 11-450	090	中蔗福农 50
016	川糖 61-408	041	福农 41	066	粤甘 49 号	091	中蔗福农 47
017	选三	042	云蔗 11-1204	067	闽糖 11610	092	德蔗 08-33
018	桂糖 11	043	柳城 09-19	068	中糖 1201	093	粤糖 00-245
019	桂糖 15	044	海蔗 28 号	069	德蔗 12-88	094	粤糖 03-393
020	云蔗 71-388	045	粤甘 52 号	070	福农 10-3214	095	热甘 1 号
021	福引 79-8	046	福农 10-0574	071	福农 08-3214	096	德蔗 03-83
022	粤糖 71-210	047	粤甘 53 号	072	福农 11-2907	097	德蔗 07-36
023	粤糖 79-177	048	中糖 13-01	073	福农 40-95	098	河糖 1 号
024	粤糖 86-368	049	云瑞 12-236	074	中蔗 45 号	099	桂热 2 号
025	桂糖 21	050	粤甘 51 号	075	中蔗 44 号	100	中糖 3 号

于翌年 12 月中旬甘蔗成熟时统一采样, 每个种质、每个重复随机砍收 3 条蔗茎混合榨汁, 蔗汁过 100 目滤布后备用。采用福林酚法、凯氏定氮法、水合茚三酮法分别对蔗汁的总多酚、蛋白质、总游离氨基酸含量进行检测, 采用《甘蔗制糖化学管理分析方法》对蔗汁中的还原糖分、锤度、蔗糖分进行检测, 采用火焰原子吸收光谱法测定蔗汁中钾 (K)、钠 (Na)、钙 (Ca)、铁 (Fe)、铜 (Cu) 含量, 采用钼蓝分光光度法测定蔗汁中磷 (P) 含量; 采用《食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、乳糖、麦芽糖的测定: GB 5009.8—2016》中的高效液相色谱法^[31-32]检测蔗汁中的果糖、葡萄糖、蔗糖含量, 结果与分析中所有营养品质含量均为甘蔗蔗汁中的含量。

1.3 数据处理

采用 Excel 2020 软件进行数据整理, 利用 SPSS 22.0 软件进行主成分和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 甘蔗种质营养品质描述性统计分析

糖是人体主要的营养来源之一。由表 2 可知, 100 份甘蔗种质资源蔗糖分在 16.03%~21.42%之间, 平均蔗糖分为 19.09%, 变异系数为 6.39%, 变幅为 5.39%。蔗糖是甘蔗最重要的成分, 也是含量最高的糖类物质, 100 份甘蔗种质资源蔗糖含量在 6.44~256.14 mg/mL 之间, 平均蔗糖含量为 178.24 mg/mL, 变异系数为 23.15%。还原糖分在 0~4.12%之间, 甘蔗中还原糖组成以果糖、葡萄糖等为主, 平均含量分别为 2.62、1.61 mg/mL, 变幅分别为 10.87%和 10.65%。蛋白质是构成细胞的基本有机物, 食物中的蛋白质是人体中氮的唯一来源, 具有糖类和脂肪不可替代的作用^[33], 蛋白质含量在 0.10%~1.06%之间, 平均蛋白质含量为 0.46%, 变异系数为 45.65%, 变幅为 0.96%。

表 2 100 份甘蔗种质营养品质描述性统计分析

Tab. 2 Descriptive statistics analysis of nutrition components of 100 sugarcane germplasms

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	极差 Range	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
蔗糖分/%	21.42	16.03	5.39	19.09	1.22	6.39
还原糖分/%	4.12	0.00	4.12	0.51	0.69	135.29
蛋白质/%	1.06	0.10	0.96	0.46	0.21	45.65
总游离氨基酸/[mg·(100 g) ⁻¹]	608.40	70.22	538.18	202.40	109.55	54.13
总多酚/[mg·(100 g) ⁻¹]	80.30	35.37	44.93	52.60	9.18	17.45
果糖/(mg·mL ⁻¹)	10.87	0.00	10.87	2.62	2.19	83.59
葡萄糖/(mg·mL ⁻¹)	10.65	0.00	10.65	1.61	2.50	155.28
蔗糖/(mg·mL ⁻¹)	256.14	6.44	249.70	178.24	41.26	23.15
磷/(mg·kg ⁻¹)	415.05	86.05	329.00	194.00	59.74	30.79
钙/(mg·kg ⁻¹)	605.59	120.55	485.04	331.32	86.40	26.08
钾/(mg·kg ⁻¹)	1441.79	215.16	1226.63	620.54	269.48	43.43
铁/(mg·kg ⁻¹)	45.52	7.13	38.39	14.26	6.17	43.27
铜/(mg·kg ⁻¹)	1.75	0.32	1.43	0.74	0.27	36.49
钠/(mg·kg ⁻¹)	9.99	0.07	9.92	2.00	1.23	61.50

总游离氨基酸和总多酚平均含量分别为 202.40、52.60 mg/100 g, 变异系数分别为 54.13% 和 17.45%。矿物质是构成人体组织和维持生命活动的必需元素, 在 100 份甘蔗种质资源中, K 含量最高, 在 215.16~1441.79 mg/kg 之间, 平均值为 620.54 mg/kg。Cu 含量最低, 在 0.32~1.75 mg/kg 之间, 平均值为 0.74 mg/kg。甘蔗中的 6 种元素含量排序为 K>Ca>P>Fe>Na>Cu。

分析结果显示, 100 份甘蔗种质资源 14 个营养指标在不同甘蔗种质间变异程度不同, 说明甘蔗种质间营养成分存在差异, 其中还原糖分和葡萄糖含量的变异系数大于 100%, 果糖变异系数为 83.59%, 说明不同甘蔗种质间的还原糖分、葡萄糖、果糖含量差异较大, 其中未检测到还原糖分的样品占 15%, ‘中蔗 4 号’ 还原糖分最高为 4.12%。未检测到果糖含量的样品占 22%, ‘桂热 2 号’ 果糖含量最高为 10.87 mg/mL。未检测到葡萄糖含量的样品占 64%, ‘桂热 2 号’ 葡萄糖含量最高为 10.65 mg/mL。

2.2 甘蔗种质营养品质相关性分析

100 份甘蔗种质资源 14 个营养指标相关性分析结果见表 3, 蔗糖分与还原糖分、蛋白质、总游离氨基酸、果糖、葡萄糖含量呈极显著负相关, 说明甘蔗中蔗糖含量高的种质, 其还原糖、蛋白质、总游离氨基酸含量偏低, 可利用此选育具有特色的专用甘蔗; 蛋白质含量与总游离氨基酸、总多酚含量呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.94 和 0.44, 说明蛋白质与总游离氨基酸、总多酚品质性状相互联系。总游离氨基酸含量与

总多酚含量呈极显著正相关。总多酚含量与 Ca、Fe、Cu 含量之间存在显著相关性。果糖含量与葡萄糖含量表现出较高的相关系数 (0.89), 与 Fe (-0.12)、Cu (-0.15) 含量呈负相关。果糖、葡萄糖、蔗糖含量与 P 含量均表现出极显著相关性, 表明甘蔗生长发育过程中, P 元素的含量直接影响甘蔗的糖分。矿物质元素之间, 仅 Ca 含量与 Fe 含量、Fe 含量与 Cu 含量之间表现出相关性。相关性分析结果表明, 100 份甘蔗种质资源 14 个营养指标之间存在诸多相关性, 不宜直接用作系统聚类。

2.3 甘蔗种质营养品质主成分分析

100 份甘蔗种质资源 14 个营养指标主成分分析结果见表 4, 前 5 个公因子解释的累计贡献率为 69.62%, 且特征值大于 1, 表明前 5 个主成分包含了营养性状的大部分信息。第 1 主成分特征值为 2.98, 贡献率为 21.26%, 该主成分中果糖、葡萄糖含量的特征值最大, 其次是还原糖分, 因此, 将第 1 主成分称为还原糖因子; 第 2 主成分特征值为 2.50, 贡献率为 17.86%, 该主成分中蛋白质含量的特征值最大, 其次是总游离氨基酸含量, 将第 2 主成分称为蛋白质因子; 第 3 主成分特征值为 1.76, 贡献率为 12.53%, 该主成分中蔗糖含量的特征值最大, 其次是蔗糖分, 将第 3 主成分称为蔗糖因子; 第 4 主成分的贡献率为 10.49%, Ca 含量在该主成分中起决定作用, 因此, 将第 4 主成分称为 Ca 含量因子; 第 5 主成分的贡献率为 7.47%, K 含量在该主成分中起决定作用, 因此, 将第 5 主成分称为 K 含量因子。

表 3 100 份甘蔗种质营养品质相关性分析
Tab. 3 Correlation analysis of nutrition components of 100 sugarcane germplasms

性状 Trait	蔗糖分 Sucrose content	还原糖分 Reducing sugar	蛋白质 Protein	总游离 氨基酸 TFAA	总多酚 Total pol- yphenol	果糖 Fructose	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	磷 P	钙 Ca	钾 K	铁 Fe	铜 Cu	钠 Na
蔗糖分	1.00													
还原糖分	-0.45**	1.00												
蛋白质	-0.27**	-0.05	1.00											
总游离氨基酸	-0.39**	0.03	0.94**	1.00										
总多酚	0.06	-0.05	0.44**	0.29**	1.00									
果糖	-0.37**	0.70**	-0.01	0.05	0.08	1.00								
葡萄糖	-0.29**	0.66**	-0.04	0.02	0.10	0.89**	1.00							
蔗糖	0.48**	-0.12	-0.09	-0.15	0.10	0.11	0.04	1.00						
磷	0.07	0.15	0.05	0.02	0.18	0.34**	0.38**	0.21*	1.00					
钙	-0.05	0.00	0.11	0.05	0.27**	-0.02	-0.06	-0.18	-0.08	1.00				
钾	-0.06	-0.20*	-0.02	0.00	0.04	-0.08	-0.12	-0.08	0.09	0.07	1.00			
铁	-0.14	-0.07	0.18	0.11	0.22*	-0.12*	-0.21	-0.27**	-0.07	0.28**	0.11	1.00		
铜	0.08	-0.14	0.02	-0.05	0.24*	-0.15*	-0.21	0.14	0.14	0.12	0.11	0.21*	1.00	
钠	0.16	-0.02	-0.17	-0.13	-0.03	-0.01	-0.10	0.13	0.03	0.04	0.07	0.10	0.05	1.00

注: *表示显著相关 ($P<0.05$), **表示极显著相关 ($P<0.01$)。

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

表 4 100 份甘蔗种质营养品质主成分分析
Tab. 4 Principal component analysis of nutrition components of 100 sugarcane germplasms

变量 Variable	性状 Trait	主成分 Principal component				
		1	2	3	4	5
X_1	蔗糖分	-0.13	-0.09	0.36	0.03	-0.15
X_2	还原糖分	0.29	-0.07	-0.11	0.07	-0.12
X_3	蛋白质	-0.05	0.44	0.06	-0.01	-0.02
X_4	总游离氨基酸	-0.03	0.43	-0.02	-0.09	0.02
X_5	总多酚	0.06	0.18	0.25	0.32	-0.07
X_6	果糖	0.33	-0.03	0.04	0.03	0.02
X_7	葡萄糖	0.33	-0.01	0.05	-0.02	-0.01
X_8	蔗糖	0.02	0.03	0.46	-0.07	-0.07
X_9	磷	0.17	0.05	0.26	-0.03	0.37
X_{10}	钙	0.04	-0.09	-0.07	0.49	-0.20
X_{11}	钾	-0.03	-0.04	-0.12	-0.08	0.79
X_{12}	铁	-0.01	-0.06	-0.15	0.41	0.04
X_{13}	铜	-0.01	-0.05	0.15	0.27	0.22
X_{14}	钠	0.03	-0.18	0.06	0.19	0.07
	特征值	2.98	2.50	1.76	1.47	1.05
	贡献率/%	21.26	17.86	12.53	10.49	7.47
	累计贡献率/%	21.26	39.13	51.66	62.15	69.62

根据表 4, 构建各主成分得分与各营养品质间的线性关系式:

$$F_1 = -0.13X_1 + 0.29X_2 - 0.05X_3 - 0.03X_4 + 0.06X_5 + 0.33X_6 + 0.33X_7 + 0.02X_8 + 0.17X_9 + 0.04X_{10} - 0.03X_{11} - 0.01X_{12} - 0.01X_{13} + 0.03X_{14}$$

$$F_2 = -0.09X_1 - 0.07X_2 + 0.44X_3 + 0.43X_4 + 0.18X_5 - 0.03X_6 - 0.01X_7 + 0.03X_8 + 0.05X_9 - 0.09X_{10} - 0.04X_{11} - 0.06X_{12} - 0.05X_{13} - 0.18X_{14}$$

$$F_3 = 0.36X_1 - 0.11X_2 + 0.06X_3 - 0.02X_4 + 0.25X_5 + 0.04X_6 + 0.05X_7 + 0.46X_8 + 0.26X_9 - 0.07X_{10} - 0.12X_{11} - 0.15X_{12} + 0.15X_{13} + 0.06X_{14}$$

$$F_4=0.03X_1+0.07X_2-0.01X_3-0.09X_4+0.32X_5+0.03X_6-0.02X_7-0.07X_8-0.03X_9+0.49X_{10}-0.08X_{11}+0.41X_{12}+0.27X_{13}+0.19X_{14}$$

$$F_5=-0.15X_1-0.12X_2-0.02X_3+0.02X_4-0.07X_5+0.02X_6-0.01X_7-0.07X_8+0.37X_9-0.20X_{10}+0.79X_{11}+0.04X_{12}+0.22X_{13}+0.07X_{14}$$

根据 5 个主成分因子 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 的贡献率权重 (20.46%、16.04%、12.98%、11.96%、8.18%), 得出品质性状综合得分 (ZF) 公式如下:

$$ZF=20.46\%F_1+16.04\%F_2+12.98\%F_3+11.96\%F_4+8.18\%F_5$$

用上述公式计算出各样品营养品质的综合得分, ZF 值越大, 表示样品营养品质性状综合表现越好, 其中排名前 10 的甘蔗种质依次为: ‘河糖 1 号’ ‘德蔗 0978’ ‘福农 40-95’ ‘中蔗 45 号’ ‘云蔗 06-193’ ‘中糖 2 号’ ‘云蔗 07-2800’ ‘中蔗 9 号’ ‘桂糖 11’ ‘POJ2878’ (表 5)。

表 5 100 份甘蔗种质营养品质综合评价

Tab. 5 Comprehensive evaluation of nutritional components of 100 sugarcane germplasms

种质 Germplasm	主成分得分 Principal component score					综合得分 ZF	排名 Rank
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5		
河糖 1 号	10.02	225.99	26.29	60.14	665.52	103.33	1
德蔗 0978	28.50	93.22	29.20	99.01	814.55	103.04	2
福农 40-95	51.22	106.87	75.70	94.25	651.70	102.02	3
中蔗 45 号	64.24	68.33	95.27	91.07	638.54	99.59	4
云蔗 06-193	38.52	72.95	57.47	104.16	696.43	96.46	5
中糖 2 号	18.41	42.24	11.91	-34.01	1060.97	94.80	6
云蔗 07-2800	14.75	9.76	-37.04	-23.65	1181.40	93.57	7
中蔗 9 号	27.96	53.01	28.82	74.61	793.27	91.77	8
桂糖 11	7.87	4.09	-37.80	114.53	983.58	91.50	9
POJ2878	2.86	44.52	-74.91	79.10	1017.14	90.65	10

2.4 甘蔗种质资源聚类分析

将甘蔗营养品质主成分分析 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 的得分作变量进行系统聚类分析, 采用系统聚类—组间连接法, 在欧氏距离为 18.5 处, 可将 100 份甘蔗种质聚为 5 个类群 (表 6, 图 1)。其中, 第 I 类群包含 77 份种质, 该类群的特点是蔗糖含量最高, 平均蔗糖分为 19.29%, 平均蔗糖含量为

189.54 mg/mL。第 II 类群包含 6 份种质, 其特点是 Ca、Fe 含量较高, 平均含量分别为 462.37、16.72 mg/kg, 但平均果糖、葡萄糖、蔗糖含量最低, 分别仅为 1.60、0.53、71.03 mg/mL。第 III 类群包含 2 份种质, ‘柳城 09-15’ 和 ‘粤甘 49 号’, 该类群还原糖分、蛋白质、总游离氨基酸、总多酚、果糖、葡萄糖、P、Na 含量平均值均较高, 平均蔗

表 6 聚类分析类群指标值

Tab. 6 Index values of Cluster analysis group

性状 Trait	I	II	III	IV	V
蔗糖分/%	19.29±0.13 ^a	18.31±0.65 ^{ab}	17.42±0.85 ^b	18.34±0.38 ^{ab}	18.73±0.42 ^{ab}
还原糖分/%	0.52±0.08 ^b	0.59±0.19 ^b	1.74±1.50 ^a	0.42±0.28 ^b	0.27±0.08 ^b
蛋白质/%	0.45±0.02 ^b	0.42±0.08 ^b	0.95±0.05 ^a	0.91±0.06 ^a	0.37±0.05 ^b
总游离氨基酸/[mg·(100 g) ⁻¹]	186.96±9.64 ^b	186.59±47.52 ^b	458.51±49.52 ^a	501.64±38.45 ^a	163.67±19.00 ^b
总多酚/[mg·(100 g) ⁻¹]	53.07±1.09 ^a	48.80±1.92 ^a	58.55±9.60 ^a	57.63±3.64 ^a	48.53±2.35 ^a
果糖/(mg·mL ⁻¹)	2.73±0.26 ^a	1.60±0.54 ^a	3.44±1.52 ^a	2.87±1.31 ^a	2.11±0.62 ^a
葡萄糖/(mg·mL ⁻¹)	1.74±0.29 ^a	0.53±0.53 ^a	2.34±2.34 ^a	2.07±1.40 ^a	0.96±0.73 ^a
蔗糖/(mg·mL ⁻¹)	189.54±2.64 ^a	71.03±24.77 ^c	178.00±14.12 ^{ab}	141.96±38.57 ^b	170.87±8.66 ^{ab}
磷/(mg·kg ⁻¹)	198.10±6.97 ^b	137.91±12.56 ^b	282.23±12.60 ^a	157.00±11.68 ^b	193.30±14.99 ^b
钙/(mg·kg ⁻¹)	325.87±8.63 ^b	462.37±38.70 ^a	344.36±6.65 ^b	364.88±11.65 ^{ab}	283.41±34.16 ^b
钾/(mg·kg ⁻¹)	542.66±20.92 ^c	574.69±70.74 ^c	265.28±2.24 ^d	849.59±17.62 ^b	1172.04±48.52 ^a
铁/(mg·kg ⁻¹)	13.98±0.62 ^a	16.72±2.41 ^a	12.70±0.59 ^a	14.63±3.53 ^a	14.98±3.25 ^a
铜/(mg·kg ⁻¹)	0.75±0.03 ^a	0.69±0.14 ^a	0.70±0.06 ^a	0.60±0.07 ^a	0.73±0.08 ^a
钠/(mg·kg ⁻¹)	1.95±0.14 ^a	1.94±0.82 ^a	2.39±0.66 ^a	2.12±0.48 ^a	2.32±0.17 ^a

注: 表中的数据均为平均值±标准误, 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: All data in the table are mean±standard error, different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).

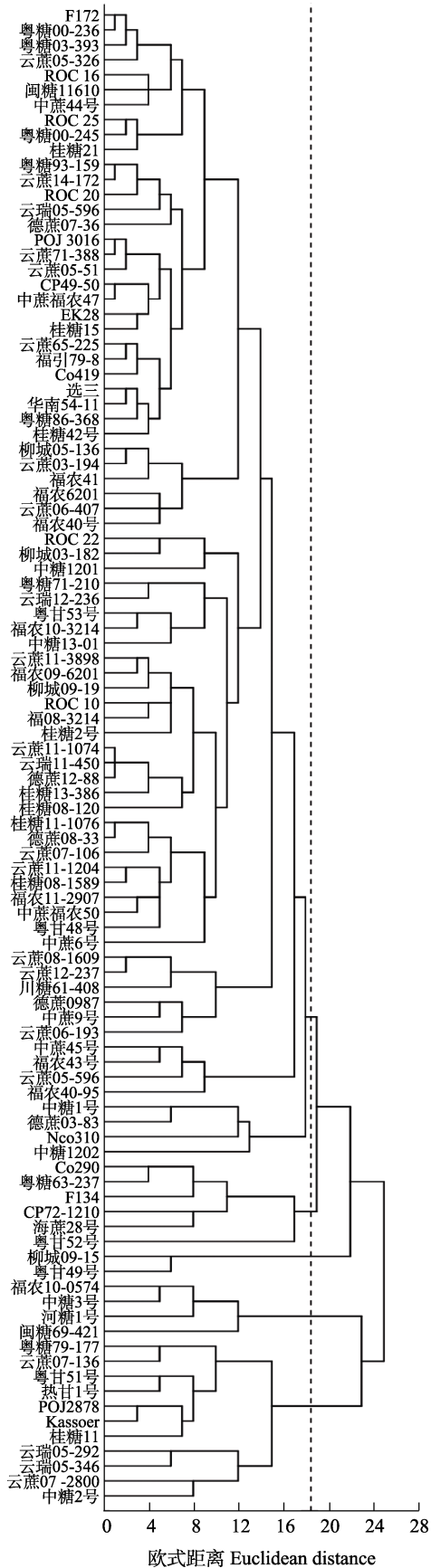


图 1 基于品质性状的系统聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis based on quality traits

糖分和铁含量较低,分别为 17.42%和 12.70 mg/kg。第Ⅳ类群包含 4 份种质,分别是‘福农 10-0574’‘中糖 3 号’‘河糖 1 号’‘闽糖 69-421’,该类群平均总游离氨基酸含量最高,为 501.64 mg/100 g,平均蛋白质和总多酚含量较高,其余营养品质平均含量均适中。第Ⅴ类群包含 11 份种质,其特点是 K 平均含量最高,为 1172.04 mg/kg,还原糖分、蛋白质、总游离氨基酸、总多酚平均含量较低。

3 讨论

甘蔗作为主要的糖料作物之一,糖分是重要的品质指标。100 份甘蔗种质资源中,蔗糖分变异系数最小,为 6.93%;葡萄糖、还原糖分、果糖变异系数则较大,分别为 155.28%、135.29%、83.59%,说明不同甘蔗种质在生长过程中还原糖的含量差异较大。因此,充分利用相应优异资源通过育种手段实现甘蔗中还原糖的改变具有较大潜力。

通过对 100 份甘蔗种质营养品质进行相关性分析,结果发现蔗糖分与还原糖分、蛋白质、总游离氨基酸、果糖、葡萄糖含量呈极显著负相关,由此可见,甘蔗中蔗糖含量高的种质,还原糖、蛋白质、总游离氨基酸含量偏低,可作为筛选适宜生产白砂糖的种质。此外,蛋白质与总游离氨基酸及总多酚含量均呈显著正相关,表明蛋白质与此二者品质性状相互联系,有助于育种过程中实现多功能成分同时选择。果糖、葡萄糖、蔗糖含量与 P 含量呈极显著正相关,P 是甘蔗体内细胞组织的必要成分,参与蔗糖的合成过程,具有促进早期甘蔗糖分积累的作用^[34]。矿物质含量之间的相关性分析表明,Ca 含量与 Fe 含量、Fe 含量与 Cu 含量之间表现出相关性。众多学者研究结果均表明作物中不同矿质元素间存在着复杂的协作或拮抗作用。樊丽娜等^[26]对甘蔗蔗汁矿质元素分析结果表明,Ca、Mg、Fe 元素含量之间呈显著正相关;匡立学等^[35]对辽宁省苹果矿质元素含量的研究表明,P 与 K、P 与 Fe 之间呈显著正相关;王思琦等^[36]对 113 份木薯种质资源矿物质相关性分析表明,Ca 含量和 K 含量呈极显著正相关,Ca 含量和 Na 含量呈极显著负相关,Ca、K 与 Fe、Na 的含量吸收可能存在一定的拮抗作用。作物矿物质元素之间的相关性研究结果不尽相同,这可能与不同作物,不同品种对同一矿质元素的吸收率不同有关^[37]。本研究结果表明,甘蔗

种质蔗汁总多酚含量与蔗汁中 Ca、Fe、Cu 含量密切相关, 应进行更深入系统地研究。

本研究对 100 份甘蔗种质资源的 14 个营养指标进行主成分分析和聚类分析, 结果表明, 100 份甘蔗种质的营养品质含量存在显著差异, 其中, ‘河糖 1 号’ ‘德蔗 0978’ ‘福农 40-95’ ‘中蔗 45 号’ ‘云蔗 06-193’ 综合营养价值较高, 可作为高营养价值的亲本材料用以改良甘蔗种质营养品质。其他综合营养品质居中的种质, 也可根据其单一指标选择某些性状较好的种质作为亲本材料, 加以利用而进行特定目标性状的改良, 如可根据 ‘粤糖 63-237’ 高钙含量, 改善甘蔗种质钙的富集能力。甘蔗营养品质受产地、环境、品种、播种期和收获期等条件的影响, 本研究只选取一个试验点, 各种质在不同产地、播种期、收获期的营养分析有待进一步研究, 同时还需结合农艺性状、工艺性状等深入研究。

参考文献

- [1] 张跃彬. 现代甘蔗糖业[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 11. ZHANG Y B. Modern sugarcane industry[M]. Beijing: Science Press, 2013: 11. (in Chinese)
- [2] 周晚秋, 娄春, 何子林, 傅峻涛. 巴西生物燃料技术现状与发展[J]. 中外能源, 2017, 22: 24-31. ZHOU W Q, LOU C, HE Z L, FU J T. Status quo and development of Brazilian biofuel technologies[J]. Sino-global Energy, 2017, 22: 24-31. (in Chinese)
- [3] MEEROD K, WEERAWATANAKORN M, PANSAK W. Impact of sugarcane juice clarification on physicochemical properties, some nutraceuticals and antioxidant activities of non-centrifugal sugar[J]. Sugar Tech, 2019, 21(3): 471-480.
- [4] OKAB E T, TODA T, INAFUKU M, WADA K, IWASAKI H, OKU H. Antiatherosclerotic function of kokuto, okinawan noncentrifugal cane sugar[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(1): 69-75.
- [5] PAYET B, ALAIN S C S, SMADJA J. Assessment of antioxidant activity of cane brown sugars by ABTS and DPPH radical scavenging assays: determination of their polyphenolic and volatile constituents[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(26): 10074-10079.
- [6] 麻少莹, 杨昌鹏, 罗英极, 周锡文, 杨枚. 甘蔗原浆饮料的研制及其保健效果[J]. 食品工业, 2020, 41(9): 24-37. MA S Y, YANG C P, LUO Y J, ZHOU X W, YANG M. The formula and health effect of sugarcane pulp beverage[J]. Food Industry, 2020, 41(9): 24-37. (in Chinese)
- [7] 李大成, 韦巧艳, 舒万鑫, 李英容, 蔡吉祥. 响应面法优化桑葚-甘蔗汁复合饮料制备工艺及其抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(9): 113-120. LI D C, WEI Q Y, SHU W X, LI Y R, CAI J X. Optimization of the preparatory process of mulberry-sugarcane juice using response surface methodology and determination of its antioxidant activity[J]. Food Research and Development, 2021, 42(9): 113-120. (in Chinese)
- [8] 陈松蔚. 甘蔗汁果醋酿造工艺优化及发酵过程中挥发性物质分析[D]. 南宁: 广西大学, 2019. CHEN S Y. Study on the brewing technology and the rules of the flavor components changes of sugarcane vinegar[D]. Nanning: Guangxi University, 2019. (in Chinese)
- [9] 刘浩, 周闲容, 于晓娜, 杨修仕, 刘三才, 么杨, 任贵兴. 作物种质资源品质性状鉴定评价现状与展望[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1): 215-221. LIU H, ZHOU X R, YU X N, YANG X S, LIU S C, YAO Y, REN G X. Current situation and prospect of identification and evaluation of quality traits in crop germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(1): 215-221. (in Chinese)
- [10] 任朝辉, 廖卫琴, 周安韦, 田欢, 田浩. 不同朝天椒品种资源营养品质分析[J]. 种子, 2020, 39(6): 71-75. REN C H, LIAO W Q, ZHOU A W, TIAN H, TIAN H. Nutritional quality analysis of different pod pepper varieties[J]. Seed, 2020, 39(6): 71-75. (in Chinese)
- [11] 李曦, 王烨熔, 黄慧俐, 钟勇, 杨谨瑛, 蒋强, 陈千付. 百色芒果栽培种果实品质多样性分析[J]. 热带作物学报, 2022, 43(4): 714-721. LI X, WANG Y R, HUANG H L, ZHONG Y, YANG J Y, JIANG Q, CHEN Q F. Diversity analysis of fruit quality in germplasm resources of mango in Baise, Guangxi, China[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(4): 714-721. (in Chinese)
- [12] 徐丹, 刘远征, 张贺, 李艳霞, 马蔚红, 刘馨怡, 王甲水, 刘进平. 不同油梨品系果实品质特征的综合评价[J]. 热带作物学报, 2022, 43(4): 722-728. XU D, LIU Y Z, ZHANG H, LI Y X, MA W H, LIU X Y, WNAG J S, LIU J P. Comprehensive evaluation of quality characteristics of fruit from different avocado strains[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(4): 722-728. (in Chinese)
- [13] 沈升法, 项超, 吴列洪, 李兵, 罗志高. 浙江省甘薯种质资源的品质鉴定与聚类分析[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(1): 247-259. SHEN S F, XIANG C, WU L H, LI B, LUO Z G. Quantification and cluster analysis of quality-related traits in sweet potato germplasm resources in zhejiang province[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(1): 247-259. (in

- Chinese).
- [14] 赵勇, 赵培方, 赵俊, 赵丽萍, 咎逢刚, 姚丽, 刘家勇. 基于投影寻踪分类法评价 43 份澳大利亚甘蔗种质资源[J]. 亚热带农业研究, 2019, 15(1): 7-13.
ZHAO Y, ZHAO P F, ZHAO J, ZHAO L P, ZAN F G, YAO L, LIU J Y. Evaluation of 43 Australian sugarcane germplasm based on projection pursuit clustering[J]. Subtropical Agriculture Research, 2019, 15(1): 7-13. (in Chinese)
- [15] 蒋洪涛, 崔新迪, 赵丽九, 许誉芝, 陈保善, 张木清. 引进甘蔗种质资源杂交后代适应性评价[J]. 中国糖料, 2020, 42(2): 1-6.
JIANG H T, CUI X D, ZHAO L J, XU Y Z, CHEN B S, ZHANG M Q. Adaptability evaluation of hybrid offspring from introduced new sugarcane germplasm resources[J]. Sugar Crops of China, 2020, 42(2): 1-6. (in Chinese)
- [16] 赵勇, 赵俊, 咎逢刚, 赵丽萍, 赵培方, 朱建荣, BURNER D M, 吴才文, 刘家勇. 86 份甘蔗种质资源工艺性状的评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(5): 466-471.
ZHAO Y, ZHAO J, ZAN F G, ZHAO L P, ZHAO P F, ZHU J R, BURNER D M, WU C W, LIU J Y. Analysis and evaluation of technological characteristics on 86 sugarcane germplasms[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2019, 45(5): 466-471. (in Chinese)
- [17] 田江, 赵勇, 咎逢刚, 赵培方, 陈学宽, 毛钧, 吴才文, 杨昆. 基于主成分对 9 个赣南系列甘蔗种质工艺性状综合评价[J]. 甘蔗糖业, 2021, 50(5): 30-35.
TIAN J, ZHAO Y, ZAN F G, ZHAO P F, CHEN X K, MAO J, WU C W, YANG K. Comprehensive evaluation of technological characters of 9 gannan sugarcane germplasm by principal component analysis[J]. Sugarcane and Canesugar, 2021, 50(5): 30-35. (in Chinese)
- [18] 赵勇, 赵培方, 胡鑫, 赵俊, 咎逢刚, 姚丽, 赵丽萍, 杨昆, 覃伟, 夏红明, 刘家勇. 基于农艺性状分级对 317 份甘蔗种质资源的评价[J]. 中国农业科学, 2019, 52(4): 602-615.
ZHAO Y, ZHAO P F, HU X, ZHAO J, ZAN F G, YAO L, ZHAO L P, YANG K, QIN W, XIA H M, LIU J Y. Evaluation of 317 sugarcane germplasm based on agronomic traits rating data[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(4): 602-615. (in Chinese)
- [19] 秦昌鲜, 闭德金, 彭崇, 郭强, 马文清, 施泽升, 唐利球. 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.
QIN C X, BI D J, PENG C, GUO Q, MA W Q, SHI Z S, TANG L Q. Evaluation of agronomic characters of new sugarcane varieties (lines) based on factor analysis and cluster analysis[J]. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(2): 317-324. (in Chinese)
- [20] 仓晓燕, 夏红明, 李文凤, 王晓燕, 单红丽, 王长秘, 李婕, 张荣跃, 黄应昆. 甘蔗优良品种(系)对黑穗病的抗性评价[J]. 作物学报, 2021, 47(11): 2290-2296.
CANG X Y, XIA H M, LI W F, WANG X Y, SHAN H L, WANG C M, LI J, ZHANG R Y, HUANG Y K. Evaluation of natural resistance to smut in elite sugarcane varieties (lines)[J]. Acta Agronomica Sinica, 2021, 47(11): 2290-2296. (in Chinese)
- [21] 蒋洪涛, 蒋夏兰, 商贺阳, 李安贵, 张木清. 利用多元统计分析方法评价甘蔗新品系的抗旱性[J]. 中国糖料, 2021, 43(3): 1-7.
JIANG H T, JIANG X L, SHANG H Y, LI A G, ZHANG M Q. Evaluation on drought-tolerance in new sugarcane clones by multiple statistics analysis[J]. Sugar Crops of China, 2021, 43(3): 1-7. (in Chinese)
- [22] 钟坤, 张丹, 孙玉勇, 何雪丹, 蒋明健, 陈伟, 李家文. 甘蔗新品种桂林区域试验及抗寒性评价[J]. 南方园艺, 2021, 32(5): 18-23.
ZHONG K, ZHANG D, SUN Y Y, HE X D, JIANG M J, CHEN W, LI J W. Regional test and cold tolerance evaluation of new sugarcane cultivars in guilin[J]. Southern Horticulture, 2021, 32(5): 18-23. (in Chinese)
- [23] PADMANABHAN T S S, HEMAPRABHA G. Genetic diversity and population structure among 133 elite genotypes of sugarcane (*Saccharum* spp.) for use as parents in sugarcane varietal improvement[J]. Biotech, 2018, 8(8): 339.
- [24] SINGH R B, SINGH B, SINGH R K. Study of genetic diversity of sugarcane (*Saccharum*) species and commercial varieties through TRAP molecular markers[J]. Indian Journal of Plant Physiology, 2017, 22(7): 1-7.
- [25] 吴建涛, 许环映, 谢静, 邱永生, 张垂明, 周峰, 刘壮, 王勤南. 粤糖系列甘蔗亲本表型性状遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2018(4): 1-17.
WU J T, XU H Y, XIE J, QIU Y S, ZHANG C M, ZHOU F, LIU Z, WANG Q N. Genetic diversity analysis of phenotypic characters of sugarcane parents in Yuetang series sugarcane varieties[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2018(4): 1-17. (in Chinese)
- [26] 樊丽娜, 何慧怡, 劳方业, 陈勇生, 余构彬, 齐永文. 甘蔗品种蔗汁矿物质元素含量分析[J]. 中国糖料, 2021, 43(3): 13-17.
FAN L N, HE H Y, LAO F Y, CHEN Y S, YU G B, QI Y W. Determination of mineral element contents in sugarcane juice of sugarcane varieties[J]. Sugar Crops of China, 2021, 43(3): 13-17. (in Chinese)
- [27] 樊丽娜, 何慧怡, 罗青文, 劳方业, 余构彬, 齐永文. 不同甘蔗品种蔗汁中氨基酸含量分析[J]. 甘蔗糖业, 2020, 49(6): 60-63.

- FAN L N, HE H Y, LUO Q W, LAO F Y, YU G B, QI Y W. Analysis of amino acid content in juice of different sugarcane varieties[J]. *Sugarcane and Canesugar*, 2020, 49(6): 60-63. (in Chinese)
- [28] 赵勇, 刀静梅, 朱建荣, 杨昆, 赵丽萍, 管逢刚, 覃伟, 刘家勇. 11份甘蔗种质蔗汁中微量元素含量的差异[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2019, 45(4): 344-347.
ZHAO Y, DAO J M, ZHU J R, YANG K, ZHAO L P, ZAN F G, QIN W, LIU J Y. Study of Juice trace elements content difference from 11 sugarcane germplasm[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2019, 45(4): 344-347. (in Chinese)
- [29] 杨柳, 王智能, 沈石妍, 杨婷, 陆鑫, 郭家文, 应雄美. 红糖加工型甘蔗种质资源评价与筛选方法的建立[J]. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(2): 532-539.
YANG L, WANG Z N, SHEN S Y, YANG T, LU X, GUO J W, YING X M. Evaluation and screening method of sugarcane germplasm resources for brown sugar production[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(2): 532-539. (in Chinese)
- [30] 杨柳, 王智能, 杨婷, 应雄美, 尚试雄, 崔杰, 沈石妍. 不同品种甘蔗矿物质元素差异研究[J]. *食品科技*, 2021, 46(6): 67-72.
YANG L, WANG Z N, YANG T, YING X M, SHANG S X, CUI J, SHEN S Y. Study on the mineral elements in different sugarcane varieties[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(6): 67-72. (in Chinese)
- [31] 杨婷, 沈石妍, 王智能, 杨柳, 尚试雄, 崔杰, 应雄美. 不同加工方式红糖营养成分与香气成分分析比较[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(19): 43-55.
YANG T, SHEN S Y, WANG Z N, YANG L, SHANG S X, CUI J, YING X M. Analysis and comparison of nutritional components and aroma components of brown sugar with different processing methods[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(19): 43-55. (in Chinese)
- [32] 国家标准化管理委员会. 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、乳糖、麦芽糖的测定: GB 5009.8—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
Standardization Administration of China. Determination of fructose, glucose, sucrose, lactose and maltose in food: GB 5009.8—2016[S]. Beijing: China Standard Publishers, 2016. (in Chinese)
- [33] 刘志皋. 食品营养学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1991.
LIU Z G. Food nutrition[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1991. (in Chinese)
- [34] 周文灵, 江永, 李奇伟, 卢颖林, 黄振瑞, 敖俊华, 陈迪文, 黄莹. 甘蔗蔗糖积累的规律、影响因素及其调控机制的研究进展[J]. *甘蔗糖业*, 2011, 6: 11-17.
ZHOU W L, JIANG Y, LI Q W, LU Y L, HUANG Z R, AO J H, CHEN D W, HUANG Y. Advances in the rules, influencing factors and regulatory mechanisms of sucrose accumulation in sugarcane[J]. *Sugarcane and Canesugar*, 2011, 6: 11-17. (in Chinese)
- [35] 匡立学, 聂继云, 李志霞, 毋永龙, 闫震, 程杨, 关棣锴. 辽宁省4种主要水果矿质元素含量及其膳食暴露评估[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(20): 3993-4003.
KUANG L X, NIE J Y, LI Z X, WU Y L, YAN Z, CHENG Y, GUAN D K. Mineral element contents of four main fruits from Liaoning province and their dietary exposure assessment[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(20): 3993-4003. (in Chinese)
- [36] 王思琦, 宋记明, 曹敏, 王睿, 唐丽, 张瑞, 田容至, 吴金山, 张肖飞, 陈银华. 不同木薯种质资源主要矿物质元素差异性分析[J]. *热带作物学报*, 2022, 43(8): 1577-1586.
WANG S Q, SONG J M, CAO M, WANG R, TANG L, ZHANG R, TIAN R Z, WU J S, ZHANG X F, CHEN Y H. Difference analysis of main mineral elements in different cassava germplasm resources[J]. *Chinese Journal of Tropical Crop*, 2022, 43(8): 1577-1586. (in Chinese)
- [37] 匡立学, 聂继云, 李志霞, 关棣锴, 毋永龙, 闫震, 程杨. 不同苹果品种果实矿质元素含量的因子分析和聚类分析[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(14): 2807-2815.
KUANG L X, NIE J Y, LI Z X, GUAN D K, WU Y L, YAN Z, CHENG Y. Factor analysis and cluster analysis of mineral elements contents in different apple varieties[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(14): 2807-2815. (in Chinese)