

基于主成分分析和聚类分析评价 141 份中蔗优良品系资源

郭 强^{1,2}, 江清梅¹, 何洪良¹, 黎正英¹, 梁永检¹, 秦昌鲜¹, 唐利球^{1,2*}

1. 广西南亚热带农业科学研究所, 广西龙州 532415; 2. 蔗糖产业省部共建协同创新中心, 广西南宁 530004

摘 要: 科学地评价甘蔗种质资源, 可为甘蔗杂交育种提供优质的亲本材料。本研究采用主成分分析和聚类分析等方法, 对 141 份中蔗优良品系资源的 7 个表型性状进行多样性评价。结果表明: 黑穗病率、蔗茎产量、有效茎数、单茎重和蔗糖分的变异系数均大于 10%, 其中黑穗病率的变异系数最大, 达到 67.21%。相关性分析结果表明, 蔗茎产量与株高、茎径、有效茎数和单茎重呈极显著正相关, 茎径与有效茎数呈极显著负相关, 蔗糖分与黑穗病率呈极显著负相关。主成分分析结果表明, 提取 3 个主成分的累计贡献率达到 74.725%, 其中第一主成分反映的是产量性状, 第二主成分反映的是茎数和品质性状, 第三主成分反映的是病害和品质性状。聚类分析将 141 份中蔗品系划分为 3 个类群, 第Ⅰ类群蔗株高大, 高产高糖, 抗病性强, 宿根性强, 各性状表现优异; 第Ⅱ类群各性状综合表现较差; 第Ⅲ类群各性状综合表现一般。根据主成分分析结果和聚类分析结果筛选出 60 份综合表现优异的种质资源, 其中中蔗 153303、中蔗 150505、中蔗 165201 和中蔗 151106 等 4 个种质可作为高糖亲本; 中蔗 15710、中蔗 160913、中蔗 162026、中蔗 112819、中蔗 1415219、中蔗 1510055、中蔗 140802 和中蔗 151106 等 8 个种质可作为抗黑穗病亲本; 中蔗 134007、中蔗 118607、中蔗 167010、中蔗 144101 和中蔗 156615 等 5 个种质可作为高产亲本。

关键词: 甘蔗; 种质资源; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S324 文献标识码: A

Evaluation of 141 Excellent Zhongzhe Sugarcane Germplasms Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

GUO Qiang^{1,2}, JIANG Qingmei¹, HE Hongliang¹, LI Zhengying¹, LIANG Yongjian¹, QIN Changxian¹, TANG Liqiu^{1,2*}

1. Guangxi South Subtropical Agricultural Science Research Institute, Longzhou, Guangxi 532415, China; 2. Province and Ministry Co-sponsored Collaborative Innovation Center of Sugar Industry, Nanning, Guangxi 530004, China

Abstract: Scientific evaluation of sugarcane germplasm resources can provide high quality parental materials for sugarcane cross breeding. In this study, seven phenotypic traits of 141 excellent sugarcane germplasm were evaluated for diversity using methods such as principal component analysis and cluster analysis. The variation coefficients of smut rate, cane yield, millable stalks, stalk weight and sucrose content were all greater than 10%, with the variation coefficients of smut rate being the largest at 67.21%. Correlation analysis showed that the cane yield was highly significantly positively correlated with plant height, stalk diameter, millable stalks and stalk weight, and the stalk diameter was highly significantly negatively correlated with millable stalks, and the sucrose content was highly significantly negatively correlated with smut rate. The results of principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of 3 principal component factors was 74.725%, among which the first principal component was related to yield traits, the second principal component was related to stems and quality traits, the third principal component was related to disease traits and quality traits. Based on cluster analysis, the 141 sugarcane germplasm resources could be divided into 3 groups, among which group I had the taller plants, highest yield and highest sucrose content, highest disease

收稿日期 2022-09-21; 修回日期 2022-11-23

基金项目 广西科技重大专项(桂科 AA22117002-6); 国家现代农业产业技术体系广西创新团队建设项目(No. nycytxgxcxtd-2021-03-04); 广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科 2021YT161)。

作者简介 郭 强(1987—), 男, 硕士, 农艺师, 研究方向: 甘蔗杂交育种及病害。*通信作者(Corresponding author): 唐利球(TANG Liqiu), E-mail: 401754719@qq.com。

resistance, strong persisrence, and had excellent performance for all traits. Group II had the smaller plants, lowest yield and lowest sucrose content, lowest disease resistance, poor persisrence, and had poor performance for all traits. Group III had average performance for all traits. 60 germplasm resources were selected with excellent overall performance by principal compoment analysis results and cluster analysis results, among which ZZ153303, ZZ150505, ZZ165201 and ZZ151106 could be used as high sugar content parents, ZZ15710, ZZ160913, ZZ162026, ZZ112819, ZZ1415219, ZZ1510055, ZZ140802 and ZZ151106 could be used as highly resistant smut parents, ZZ134007, ZZ118607, ZZ167010, ZZ144101 and ZZ156615 could be used as high yield parents.

Keywords: sugarcane; germplasm resources; orincipal compoment analysis;cluster analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.01.006

甘蔗 (*Saccharum spp. hybrids*) 是热带作物, 原产于热带和亚热带地区, 属于禾本科单子叶植物, 是世界上最主要的糖料作物之一^[1]。我国是世界第三大甘蔗生产国, 蔗糖总量占全国食糖总量的 90%以上^[2]。因此, 蔗糖产业的可持续发展对保障国家食糖安全有着举足轻重的作用。

甘蔗杂交育种能否获得成功, 主要依赖于杂交组合的科学选配, 而杂交组合的科学组配则需要对甘蔗亲本材料进行系统地鉴定评价^[3]。目前, 绝大多数甘蔗育种单位均是根据海南甘蔗育种场提供的亲本信息进行组配杂交组合, 然后委托海南甘蔗育种场进行培育杂交种子。像这样将获得的杂交种子到各个育种单位种植, 很大一部分杂交组合的实生苗长势非常差, 完全筛选不出优良单株。这主要是由于各育种单位的科技人员不了解亲本材料在当地的表现, 只能通过海南甘蔗育种场提供的亲本信息和技术员自身的经验进行组配。因此, 育种单位自行开展种质资源的收集、鉴定和评价, 是提高种质利用率和甘蔗杂交育种效率的重要保障。

目前, 甘蔗种质资源的研究最直接最基本的方法依然是表型性状的鉴定和描述^[4], 虽然分子标记技术手段已广泛应用于甘蔗遗传多样性分析^[5-9], 但是表型性状具有简单明确、经济有效、数据收集简便快速、与生产实际联系紧密等特点, 具有不可替代的作用^[10]。目前已有大量学者对甘蔗种质资源的表型性状进行了遗传多样性分析。刘新龙等^[11]利用 17 个质量性状和 5 个数量性状对 1160 份甘蔗种质资源进行了遗传多样性分析, 结果表明, 不同来源地品种群体的数量遗传变异有较大差异, 美国、中国台湾、澳大利亚等 3 个地区的甘蔗种质创新比较活跃, 甘蔗品种群体表型性状的遗传变异主要来自来源地内部, 且不同来源地品种群体之间存在较大的基因

交流。吴建涛等^[4]利用 35 个表型性状对 116 份甘蔗种质资源进行了遗传多样性分析, 结果发现粤糖系列甘蔗亲本遗传多样性水平较高, 叶片宽度和曝光后茎色多样性非常丰富, 20 世纪 80 年代粤糖亲本多样性指数最高。赵勇等^[3]采用农艺性状快速分级的方法对 317 份甘蔗种质资源进行评价, 结果表明, 株高、茎径、有效茎、叶部病害程度和总体生势等是反映甘蔗种质资源田间表现的重要农艺性状指标。咎逢刚等^[12]利用 29 个表型性状对 104 份国外引进甘蔗种质进行种间表型多样性分析, 结果发现, 104 份国外甘蔗种质的质量性状多样性十分丰富, 数量性状遗传变异较大。毛钧等^[13]利用表型数据结合分子标记数据对 147 份斑茅无性系种质进行分析, 筛选出了 16 份优良材料并构建斑茅微核心种质。徐超华等^[14]以 162 份斑茅种质资源为材料, 对其表型性状及其遗传多样性进行研究, 结果发现, 斑茅种质资源质量性状的遗传多样性指数整体偏低, 数量性状的遗传变异较为丰富, 群体的遗传变异主要来自于采集地内部, 群体之间存在较大的基因交流, 遗传结构分化不明显。

虽然已有学者对甘蔗种质资源的表型性状进行了分析评价的一系列报道, 但是桂西南蔗区甘蔗种质资源收集保存、鉴定评价却鲜有报道, 导致桂西南蔗区甘蔗育种进展较为缓慢。目前, 桂西南蔗区主栽品种桂糖 42 号和柳城 05136 均易感黑穗病, 而广西大学选育的中蔗系列甘蔗新品系最突出的特点就是高抗黑穗病和高产^[9]。本研究基于主成分分析和聚类分析, 以广西大学引进 141 份中蔗优良品系资源为研究材料, 对其表型性状及遗传多样性进行研究, 以期筛选出桂西南蔗区表现优异的甘蔗种质资源, 尤其是高抗黑穗病的优异种质, 为下一步桂西南蔗区甘蔗杂交育种提供优质的亲本。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 植物材料 参试甘蔗种质资源共 141 份，均为广西大学自主选育的中蔗优良品系，为育种

中间材料，于 2019 年从广西大学引进，所有种质均保存于广西南亚热带农业科学研究所甘蔗种质资源圃中。各甘蔗种质资源具体信息详见表 1。

1.1.2 试验地概况 试验基地位于广西崇左市龙

表 1 141 份甘蔗种质资源的基本信息
Tab. 1 Information of 141 sugarcane germplasm resources

序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin
1	中蔗 151102	广西大学	40	中蔗 154508	广西大学	79	中蔗 167506	广西大学
2	中蔗 114715	广西大学	41	中蔗 150703	广西大学	80	中蔗 1321501	广西大学
3	中蔗 150505	广西大学	42	中蔗 1009	广西大学	81	中蔗 14509	广西大学
4	中蔗 160941	广西大学	43	中蔗 121003	广西大学	82	中蔗 1613503	广西大学
5	中蔗 161007	广西大学	44	中蔗 1611704	广西大学	83	中蔗 16803	广西大学
6	中蔗 118607	广西大学	45	中蔗 1220318	广西大学	84	中蔗 168804	广西大学
7	中蔗 162422	广西大学	46	中蔗 1623503	广西大学	85	中蔗 163205	广西大学
8	中蔗 1514701	广西大学	47	中蔗 156008	广西大学	86	中蔗 15710	广西大学
9	中蔗 167010	广西大学	48	中蔗 163706	广西大学	87	中蔗 156402	广西大学
10	中蔗 1421418	广西大学	49	中蔗 16701	广西大学	88	中蔗 1520409	广西大学
11	中蔗 1418504	广西大学	50	中蔗 15794	广西大学	89	中蔗 161343	广西大学
12	中蔗 1419406	广西大学	51	中蔗 151005	广西大学	90	中蔗 1423804	广西大学
13	中蔗 114715	广西大学	52	中蔗 1620903	广西大学	91	中蔗 21302	广西大学
14	中蔗 153303	广西大学	53	中蔗 155404	广西大学	92	中蔗 1412506	广西大学
15	中蔗 24201	广西大学	54	中蔗 128506	广西大学	93	中蔗 154203	广西大学
16	中蔗 160913	广西大学	55	中蔗 15702	广西大学	94	中蔗 1612032	广西大学
17	中蔗 16401	广西大学	56	中蔗 1414707	广西大学	95	中蔗 1120318	广西大学
18	中蔗 161315	广西大学	57	中蔗 152802	广西大学	96	中蔗 1518106	广西大学
19	中蔗 148903	广西大学	58	中蔗 140802	广西大学	97	中蔗 153312	广西大学
20	中蔗 153315	广西大学	59	中蔗 19607	广西大学	98	中蔗 134007	广西大学
21	中蔗 1422004	广西大学	60	中蔗 142802	广西大学	99	中蔗 167137	广西大学
22	中蔗 1610012	广西大学	61	中蔗 167701	广西大学	100	中蔗 9614	广西大学
23	中蔗 1421107	广西大学	62	中蔗 160134	广西大学	101	中蔗 19609	广西大学
24	中蔗 16183	广西大学	63	中蔗 161015	广西大学	102	中蔗 165044	广西大学
25	中蔗 168801	广西大学	64	中蔗 161218	广西大学	103	中蔗 161318	广西大学
26	中蔗 1513304	广西大学	65	中蔗 142244	广西大学	104	中蔗 162097	广西大学
27	中蔗 1618006	广西大学	66	中蔗 22452	广西大学	105	中蔗 161207	广西大学
28	中蔗 167705	广西大学	67	中蔗 15701	广西大学	106	中蔗 168309	广西大学
29	中蔗 155301	广西大学	68	中蔗 152010	广西大学	107	中蔗 1510707	广西大学
30	中蔗 144101	广西大学	69	中蔗 165201	广西大学	108	中蔗 151106	广西大学
31	中蔗 154513	广西大学	70	中蔗 1420701	广西大学	109	中蔗 161016	广西大学
32	中蔗 167718	广西大学	71	中蔗 156201	广西大学	110	中蔗 1415418	广西大学
33	中蔗 143413	广西大学	72	中蔗 1612506	广西大学	111	中蔗 1422606	广西大学
34	中蔗 161324	广西大学	73	中蔗 1611728	广西大学	112	中蔗 15452	广西大学
35	中蔗 156707	广西大学	74	中蔗 162801	广西大学	113	中蔗 168806	广西大学
36	中蔗 168716	广西大学	75	中蔗 156002	广西大学	114	中蔗 15793	广西大学
37	中蔗 149407	广西大学	76	中蔗 1414325	广西大学	115	中蔗 1415219	广西大学
38	中蔗 10165001	广西大学	77	中蔗 165402	广西大学	116	中蔗 162026	广西大学
39	中蔗 167722	广西大学	78	中蔗 156204	广西大学	117	中蔗 156013	广西大学

续表 1 141 份甘蔗种质资源的基本信息
Tab.1 Information of 141 sugarcane germplasm resources (continued)

序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin
118	中蔗 160306	广西大学	126	中蔗 15421	广西大学	134	中蔗 1410006	广西大学
119	中蔗 1410226	广西大学	127	中蔗 152301	广西大学	135	中蔗 1234	广西大学
120	中蔗 156615	广西大学	128	中蔗 1421601	广西大学	136	中蔗 148704	广西大学
121	中蔗 1424720	广西大学	129	中蔗 1421001	广西大学	137	中蔗 1414701	广西大学
122	中蔗 1418004	广西大学	130	中蔗 1611713	广西大学	138	中蔗 112819	广西大学
123	中蔗 160952	广西大学	131	中蔗 1520403	广西大学	139	中蔗 152809	广西大学
124	中蔗 1417910	广西大学	132	中蔗 1511106	广西大学	140	中蔗 160701	广西大学
125	中蔗 1612026	广西大学	133	中蔗 0574	广西大学	141	中蔗 1421002	广西大学

州县，属于南亚热带季风气候，气候暖和湿润，土壤为红壤土，耕作层有机质含量为 2.40%~3.73%，全氮为 1.36%~1.99%，速效磷为 1125 g/kg，速效钾为 60~130 g/kg，pH 4.5~6.5。前茬作物为甘蔗。

1.2 方法

本试验于 2019 年 6 月份种植，种质鉴定顺序排列，不设重复，试验小区行长 10 m，单行区，行距 120 cm，每行种植 120 芽，四周设保护行。田间管理按当地管理水平管理。试验于 2020—2021 年连续 2 a 对甘蔗种质资源宿根蔗的株高、茎径、有效茎数、单茎重、蔗茎产量、黑穗病率、蔗糖分等 7 个性状进行测量。参照《甘蔗种质资源描述规范和数据标准》^[15]的方法，在甘蔗成熟期，即 12 份选取连续 15 株健康甘蔗测量株高、茎径；调查小区内株高 1 m 以上的蔗株数量和黑穗病发病蔗株数量，计算每公顷有效茎数和黑穗病发病率，估算蔗茎产量；选取 10 株甘蔗，实际称量其总重量，计算单茎重。次年 1 月随机选取 6 株健康甘蔗，参考李文凤等^[16]的一次旋光法测定甘蔗糖分。

1.3 数据处理

运用 Excel 2010 软件对数据进行整理，并计

算各性状的最大值、最小值、平均值、标准差和变异系数。采用 SPSS 20.0 软件对各性状数据进行方差分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析，其中 2 个宿根季数据取平均值进行相关统计分析。

2 结果与分析

2.1 遗传多样性分析

由表 2 可知，141 份中蔗品系资源的表型性状差异明显，变异系数在 7.53%~67.21%之间，其中黑穗病率的变异系数（67.21%）最大，其次是蔗茎产量（27.32%）、有效茎数（23.49%）、单茎重（17.20%）和蔗糖分（11.91%），均大于 10%，表明这 5 个表型性状具有较大的离散程度，资源类型丰富，进行遗传改良的潜力较大；其他 2 个性状变异系数较小，均小于 10%。

2.2 相关性分析

7 个表型性状的相关性分析结果表明（表 3），蔗茎产量与株高、茎径、有效茎数和单茎重呈极显著正相关，说明蔗茎产量与株高、茎径、有效茎数和单茎重等产量性状密切相关；单茎重与株高、茎径呈极显著正相关，说明越是高大的品种

表 2 参试材料各性状的多样性分析
Tab. 2 Diversity analysis of traits of test materials

性状 Trait	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Average	极差 Range	标准差 SD	变异系数 CV/%
株高/cm	351.33	252.87	299.23	98.46	22.53	7.53
茎径/cm	3.32	1.98	2.55	0.77	0.22	8.50
有效茎数/(条·hm ⁻²)	131 945.10	27 777.92	77 108.34	104 167.18	18 110.21	23.49
单茎重/kg	2.48	0.92	1.62	1.56	0.28	17.20
蔗茎产量/(kg·hm ⁻²)	219 153.87	58 731.77	134 594.33	160 422.10	36 771.72	27.32
黑穗病率/%	100.00	0.00	45.12	100.00	30.32	67.21
蔗糖分/%	16.02	8.08	12.99	7.94	1.55	11.91

表 3 参试材料各性状的相关性分析
Tab. 3 Correlation analysis of traits of test materials

性状 Trait	株高 Plant height	茎径 Stalk diameter	有效茎数 Millable stalks	单茎重 Stalk weight	蔗茎产量 Cane yield	黑穗病率 Smut rate	蔗糖分 Sucrose content
株高	1.000						
茎径	0.003	1.000					
有效茎数	0.048	-0.254**	1.000				
单茎重	0.531**	0.571**	-0.133	1.000			
蔗茎产量	0.358**	0.406**	0.714**	0.415**	1.000		
黑穗病率	0.097	0.148	-0.047	0.050	0.081	1.000	
蔗糖分	0.026	-0.186*	0.257**	-0.028	0.110	-0.394**	1.000

注：*代表在 0.05 水平上显著相关；**代表在 0.01 水平上极显著相关。
Note: * indicates correlation significant at $P<0.05$; ** indicates extremely correlation significant at $P<0.01$ 。

单茎重越大；茎径与有效茎数呈极显著负相关，与蔗糖分呈显著负相关，蔗糖分与有效茎数呈极显著正相关，说明大茎品种的有效茎数相对小茎品种要少，蔗糖分相对较低，有效茎数多的品种蔗茎较小，蔗糖分较高；黑穗病率与蔗糖分呈极显著负相关，说明受黑穗病危害严重的甘蔗品种，蔗糖分显著下降，严重影响甘蔗的品质。

2.3 主成分分析

对 7 个表型性状进行主成分分析，以特征值大于 1 为标准提取主成分，结果显示（表 4），7 个表型性状的主要信息集中在前 3 个主成分中，累计贡献率达到了 74.725%。主成分中各变量的系数是该性状作用大小的一个主要指标。第一主成分的特征值为 2.233，方差贡献率为 31.905%，其特征向量中，载荷较高且为正值性状包括蔗茎产量（0.825）、单茎重（0.813）、茎径（0.625）和株高（0.618），主要反映的是产量性状。第二主成分的特征值为 1.795，方差贡献率为 25.636%，其特征向量中，载荷较高且为正值性状包括有效茎数（0.832）和蔗糖分（0.662），主要反映的是茎数和品质性状。第三主成分的特征值为 1.203，方差贡献率为 17.183%，其特征向量中，载荷较高且为正值性状包括黑穗病率（0.705）和蔗糖分（0.507），主要反映的是病害和品质性状。确定主成分后，计算 141 份中蔗品系资源的主成分综合得分，综合得分越大，表明该种质的综合表现越优。

2.4 聚类分析

根据主成分综合得分，以欧式距离平方法对 141 份中蔗品系资源进行系统聚类分析，在欧氏距离为 10 处可将全部种质资源划分为 3 个类群

表 4 参试材料各性状的主成分载荷与贡献率
Tab. 4 Factor loading matrix and contribution rate of traits of test materials

性状 Trait	第一 主成分 First component	第二 主成分 Second component	第三 主成分 Third component
株高	0.618	0.044	0.164
茎径	0.625	-0.462	0.142
有效茎数	0.269	0.832	-0.449
单茎重	0.813	-0.260	0.374
蔗茎产量	0.825	0.443	-0.284
黑穗病率	-0.213	0.430	0.705
蔗糖分	-0.038	0.662	0.507
特征值	2.233	1.795	1.203
贡献率/%	31.905	25.636	17.183
累计贡献率/%	31.905	57.541	74.725

（图 1），各类群各性状的平均值见表 5。第Ⅰ类群包括 60 份中蔗品系资源，该类群主成分综合得分高，其蔗株高大，高产高糖，抗病性强，宿根性强，各性状表现优异，与其他类群相比差异显著。第Ⅱ类群包括 10 份中蔗品系资源，该类群主成分综合得分低，植株矮小，产量低，糖分低，抗病性较差，宿根性不强，各性状综合表现较差。第Ⅲ类群包括 71 份中蔗品系资源，该类群主成分综合得分较低，蔗株中等，产量一般，蔗糖分较高，抗病性较差，宿根性一般，各性状综合表现一般。

2.5 优异种质的挖掘

通过田间调查和统计分析，第Ⅰ类群的 60 份中蔗品系综合表现优异，相关性状见表 6。通过综合评价，这 60 份中蔗品系高产高糖，抗逆性强，宿根性好，可作为甘蔗杂交亲本加以利用。其中，

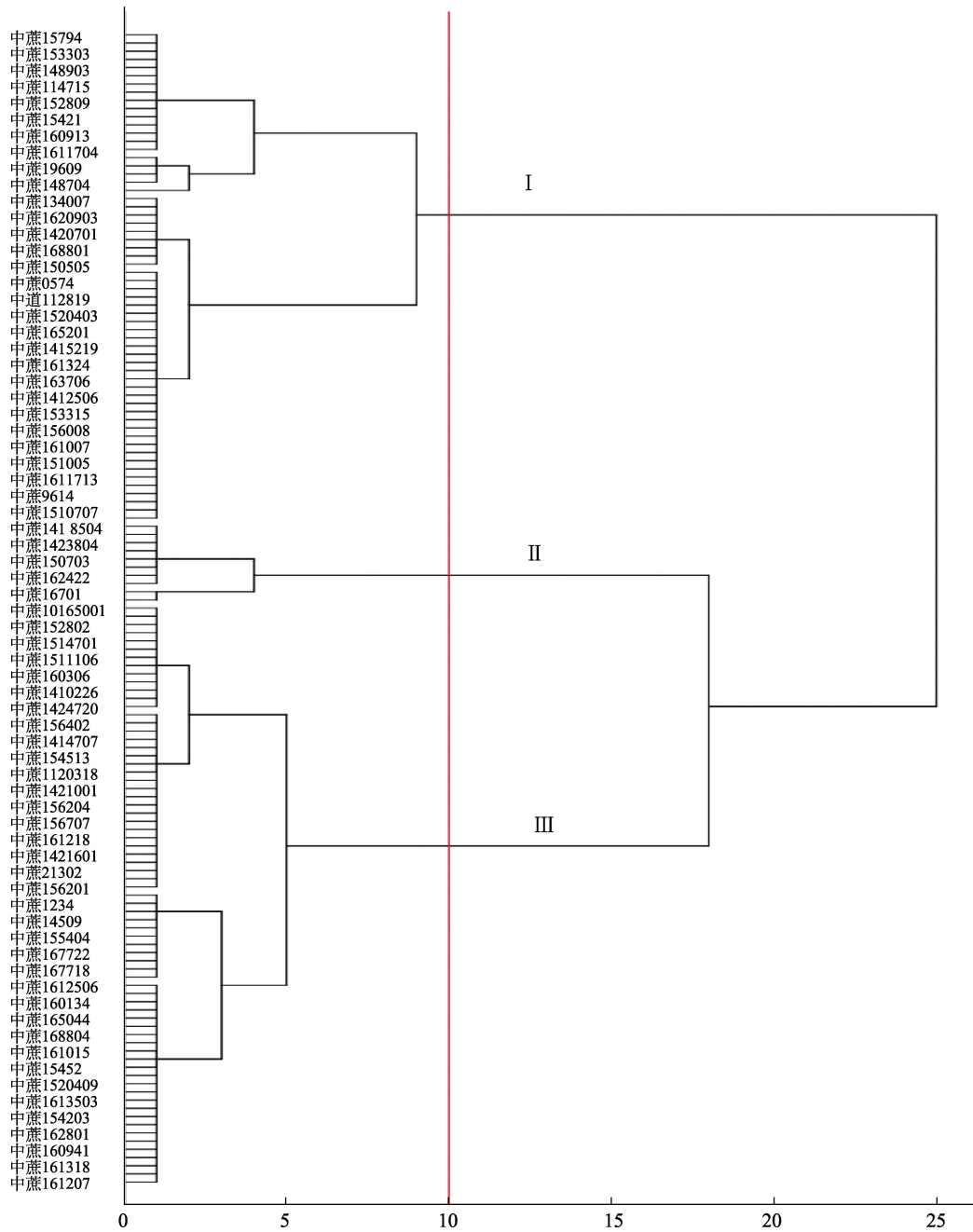


图 1 参试材料的聚类分析图

Fig. 1 Cluster analysis of test materials

表 5 各类群各性状原始数据平均值

Tab. 5 Average of the primary data on three groups

类群 Group	材料数 Number of materials	主成分综合 得分 (均值) Principal component comprehensive scores (average)	原始分级数据 (均值) Primary grade data(average)						
			株高 Plant height/cm	茎径 Stalk diameter/cm	有效茎数 Millable stalks /(条·hm ⁻²)	单茎重 Stalk weight/kg	蔗茎产量 Cane yield /(kg·hm ⁻²)	黑穗病率 Smut rate/%	蔗糖分 Sucrose content/%
第Ⅰ类群	60	0.77 ^a	311.66 ^a	2.60 ^a	86 574.51 ^a	1.77 ^a	163 635.07 ^a	35.62 ^b	13.51 ^a
第Ⅱ类群	10	-1.62 ^c	281.87 ^b	2.41 ^b	64 028.10 ^b	1.32 ^c	92 524.97 ^c	62.82 ^a	9.90 ^b
第Ⅲ类群	71	-0.42 ^b	291.18 ^b	2.52 ^{ab}	70 951.06 ^b	1.53 ^b	115 978.12 ^b	50.66 ^{ab}	12.98 ^a

注：同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the same column mean significant difference ($P<0.05$).

表 6 筛选的优异种质资源
Tab. 6 Selected elite germplasm resources

种质名称 Germplasm name	排序 Sorting	主成分综合得分 Principal component comprehensive scores	株高 Plant height/cm	茎径 Stalk diameter/cm	有效茎数 Millable stalks /(条·hm ⁻²)	单茎重 Stalk weight/kg	蔗茎产量 Cane yield /(kg·hm ⁻²)	黑穗病率 Smut rate/%	蔗糖分 Sucrose content/%
中蔗 144101	1	1.93	336.73	2.83	87 500.44	2.24	215 439.66	46.15	13.81
中蔗 118607	2	1.76	331.07	2.60	106 944.98	1.81	217 890.02	26.67	13.79
中蔗 148704	3	1.67	345.40	2.79	79 167.06	2.26	194 716.59	53.85	13.56
中蔗 1421107	4	1.59	339.07	2.59	93 056.02	2.05	192 978.07	35.71	13.58
中蔗 19609	5	1.53	324.07	2.47	101 389.40	1.85	181 624.98	6.25	14.29
中蔗 1612026	6	1.41	337.20	2.69	76 389.27	2.07	170 288.09	21.43	13.82
中蔗 15421	7	1.37	336.80	2.48	97 222.71	1.83	183 226.90	26.67	13.66
中蔗 1611704	8	1.33	336.33	2.81	77 778.17	2.28	187 829.44	75.00	13.16
中蔗 15710	9	1.29	307.13	2.81	83 333.75	2.06	182 937.15	0.00	12.81
中蔗 167010	10	1.27	302.87	2.72	106 944.98	1.64	215 929.79	30.77	13.43
中蔗 160913	11	1.26	311.00	2.14	131 945.10	1.47	170 367.64	0.00	14.59
中蔗 114715	12	1.19	295.73	2.88	90 278.23	2.30	198 659.82	53.85	12.34
中蔗 148903	13	1.15	317.27	2.74	86 111.54	2.10	185 977.49	42.86	12.66
中蔗 1421002	14	1.14	351.33	2.52	94 444.92	1.96	192 978.85	63.16	11.81
中蔗 153303	15	1.11	292.87	2.40	108 333.88	1.64	164 385.21	13.33	15.48
中蔗 167137	16	1.09	313.13	2.71	81 944.85	1.78	171 005.35	20.00	14.38
中蔗 15794	17	1.06	332.27	3.00	70 833.69	2.48	192 661.71	100.00	11.51
中蔗 1518106	18	1.06	329.47	2.70	80 555.96	1.88	175 749.80	35.71	13.21
中蔗 152809	19	0.98	338.73	2.50	97 222.71	1.66	188 310.37	50.00	12.73
中蔗 160952	20	0.95	348.13	2.48	91 667.13	1.77	179 765.46	57.14	12.54
中蔗 162026	21	0.86	286.47	2.59	98 611.60	1.56	169 913.91	0.00	14.22
中蔗 134007	22	0.86	299.73	3.32	73 611.48	2.11	219 153.87	61.54	10.45
中蔗 1620903	23	0.85	310.00	2.66	80 555.96	1.96	159 979.11	8.33	12.52
中蔗 1420701	24	0.81	340.93	2.56	73 611.48	1.81	149 586.74	46.15	13.84
中蔗 121003	25	0.80	302.80	2.68	76 389.27	2.03	149 316.77	8.33	13.00
中蔗 1414701	26	0.79	333.27	2.87	54 166.94	2.42	135 100.41	40.00	12.02
中蔗 161016	27	0.76	313.80	2.73	76 389.27	1.95	161 037.31	76.92	14.46
中蔗 168801	28	0.74	307.73	2.59	94 444.92	1.73	175 748.55	75.00	14.27
中蔗 150505	29	0.70	300.80	2.24	104 167.19	1.60	141 479.87	30.77	15.26
中蔗 112819	30	0.60	320.33	2.52	68 055.90	1.92	125 895.49	0.00	13.06
中蔗 142802	31	0.59	318.60	2.66	76 389.27	1.70	155 730.36	35.71	13.34
中蔗 24201	32	0.56	321.33	2.09	100 000.50	1.50	127 656.07	13.33	14.38
中蔗 0574	33	0.56	289.80	2.67	88 889.33	1.88	164 524.03	40.00	12.80
中蔗 156002	34	0.52	282.40	2.69	90 278.23	1.66	165 022.37	43.75	14.12
中蔗 165201	35	0.52	291.87	2.63	87 500.44	1.46	158 554.31	38.46	15.02
中蔗 1415219	36	0.52	279.13	2.71	83 333.75	1.48	152 599.99	0.00	14.53
中蔗 1422606	37	0.51	282.27	2.61	98 611.60	1.59	169 971.81	46.15	13.96
中蔗 1520403	38	0.50	314.80	2.26	112 500.56	1.48	163 725.57	46.67	12.89
中蔗 156013	39	0.50	291.27	2.45	109 722.77	1.51	172 485.37	33.33	12.88
中蔗 1422004	40	0.50	332.13	2.42	56 944.73	1.99	101 097.70	14.29	14.10
中蔗 161324	41	0.47	311.87	2.34	109 722.77	1.38	169 982.38	46.67	13.08
中蔗 1220318	42	0.47	331.93	2.36	81 944.85	1.83	137 436.72	28.57	12.15
中蔗 163706	43	0.46	296.00	2.78	84 722.65	1.78	173 826.63	86.67	13.73

续表 6 筛选的优异种质资源
Tab. 6 Selected elite germplasm resources (continued)

种质名称 Germplasm name	排序 Sorting	主成分综合得分 Principal component comprehensive scores	株高 Plant height/cm	茎径 Stalk diameter/cm	有效茎数 Millable stalks/(条·hm ⁻²)	单茎重 Stalk weight/kg	蔗茎产量 Cane yield/(kg·hm ⁻²)	黑穗病率 Smut rate/%	蔗糖分 Sucrose content/%
中蔗 1412506	44	0.45	305.80	2.57	90 278.23	1.72	164 965.98	78.57	13.69
中蔗 168716	45	0.45	305.00	2.95	55 555.83	1.97	133 376.51	33.33	13.47
中蔗 143413	46	0.44	305.67	2.79	70 833.69	1.97	152 388.62	53.85	12.70
中蔗 151005	47	0.41	285.00	2.39	83 333.75	1.76	121 538.53	0.00	14.36
中蔗 161315	48	0.38	326.27	2.51	81 944.85	1.50	152 885.87	7.14	11.73
中蔗 161007	49	0.38	303.73	2.82	61 111.42	1.47	133 048.46	8.33	14.72
中蔗 1418004	50	0.34	300.20	2.52	93 056.02	1.64	160 239.32	64.29	13.40
中蔗 9614	51	0.34	316.20	2.40	79 167.06	1.60	130 681.92	21.43	13.60
中蔗 140802	52	0.34	318.13	2.13	97 222.71	1.39	126 607.81	0.00	13.45
中蔗 156615	53	0.33	334.40	2.56	104 167.19	1.59	208 227.09	93.33	9.65
中蔗 1510707	54	0.32	278.67	2.72	88 889.33	1.36	163 060.24	46.67	14.91
中蔗 151102	55	0.28	278.07	2.69	70 833.69	1.63	127 256.12	7.69	14.77
中蔗 1611713	56	0.28	314.60	2.62	76 389.27	1.44	148 923.49	50.00	14.03
中蔗 156008	57	0.24	310.40	2.41	77 778.17	1.55	126 809.04	35.71	14.40
中蔗 168309	58	0.22	276.07	2.54	94 444.92	1.53	149 689.66	50.00	14.45
中蔗 151106	59	0.19	283.60	2.57	68 055.90	1.45	113 905.11	0.00	15.65
中蔗 153315	60	0.19	271.93	2.75	77 778.17	1.39	141 952.89	7.69	14.52

中蔗 153303、中蔗 150505、中蔗 165201 和中蔗 151106 等 4 个种质蔗糖分较高,均达到 15%以上,可作为高糖亲本重点利用。中蔗 15710、中蔗 160913、中蔗 162026、中蔗 112819、中蔗 1415219、中蔗 1510055、中蔗 140802 和中蔗 151106 等 8 个种质表现出高抗黑穗病,田间调查中均未发现感染黑穗病,可作为抗黑穗病亲本加以利用。中蔗 134007、中蔗 118607、中蔗 167010、中蔗 144101 和中蔗 156615 等 5 个种质产量较高,蔗茎产量均达到 200 000 kg/hm² 以上,可作为高产亲本加以利用。

3 讨论

甘蔗种质资源的发掘利用,是突破性育种和遗传改良的关键,而种质资源研究最基本方法则是通过表型性状的鉴定评价,表型性状是甘蔗杂交育种中选配亲本的重要依据,选择综合性状优良的亲本配制杂交组合是甘蔗杂交育种选配组合的原则之一^[3, 17]。桂西南蔗区恰恰是缺乏对种质资源的鉴定评价,导致甘蔗育种科技人员缺乏对亲本材料在桂西南蔗区表现的了解,只能依靠海南甘蔗育种场提供的亲本信息和技术员自身的经验进行组合配制,此杂交组合培育的实生苗多数

表现出植株矮小,长势差,病害严重,很难选育出优良单株。因此,本研究希望通过对 141 份中蔗优良品系资源的 7 个表型性状进行分析,筛选出桂西南蔗区表现优异的种质资源,作为桂西南蔗区甘蔗杂交组合配制的优质亲本。

遗传多样性分析发现,变异系数变化范围在 7.53%~67.21%之间,说明甘蔗种质资源具有丰富的遗传变异;其中变异系数最大的是黑穗病率,说明该性状具有丰富的遗传基础,蕴藏着较大的选择潜力;而株高和茎径的变异系数均在 10%以下,说明株高和茎径的遗传相对稳定,改良空间较小。这与武晋宇等^[18] (5.68%~51.55%) 和罗赣丰等^[19] (8.85%~67.61%) 的研究报道基本一致。

相关性分析结果表明,蔗茎产量与株高、茎径、有效茎数和单茎重呈极显著正相关,这与蒋洪涛等^[20] 研究结果基本一致。说明株高、茎径、有效茎数和单茎为影响产量的主要性状,尤其是有效茎数对产量的影响效应最大。茎径与有效茎数呈极显著负相关,说明大茎品种往往分蘖性较差,有效茎数相对小茎品种要少。黑穗病率与蔗糖分呈极显著负相关,据杨荣仲等^[21] 研究结果表明,黑穗病的发生与甘蔗株高、茎径、单茎重、蔗茎产量等不存在显著相关性,对甘蔗产量没有

显著影响,这与本研究结果一致,造成这一结果主要是由于受黑穗病为害的蔗株,最终整株死亡,对甘蔗株高、茎径、产量影响不大,但会对蔗糖分的转化造成严重影响,尤其对从侧芽抽出黑穗病鞭的蔗株危害严重,说明受黑穗病危害严重的甘蔗品种,蔗糖分显著下降,严重影响甘蔗的品质。

主成分分析法是利用降维的方法,用少数几个主成分概括多个性状指标的统计分析方法,用于作物表型性状评价上,既能把握其综合性状表现,又能简化程序,更具科学性^[22-23]。本研究通过主成分分析发现,7 个表型性状可提取 3 个主成分,累计贡献率达到了 74.725%,第一主成分反映的是产量性状,第二主成分反映的是茎数和品质性状,第三主成分反映的是病害和品质性状。这 3 个特征是造成甘蔗种质表型多样化的主要因素,可根据这 3 个特征有针对性地发掘育种中间材料,为甘蔗杂交育种提供优质的亲本材料。

通过系统聚类分析,将 141 份中蔗品系划分为 3 个类群,第 I 类群蔗株高大,高产高糖,抗病性强,宿根性强,各性状表现优异。第 II 类群植株矮小,产量低,糖分低,抗病性较差,宿根性不强,各性状综合表现较差。第 III 类群蔗株中等,产量一般,蔗糖分较高,抗病性较差,宿根性一般,各性状综合表现一般。综合表现优异的是第 I 类群,其中包括 60 份种质,可作为杂交亲本进行组合配制,运用家系评价的方法进一步评价其作为杂交亲本的优异表现。此外,中蔗 153303、中蔗 150505、中蔗 165201 和中蔗 151106 等 4 个种质可作为高糖亲本加以利用。而中蔗 15710、中蔗 160913、中蔗 162026、中蔗 112819、中蔗 1415219、中蔗 1510055、中蔗 140802 和中蔗 151106 等 8 个种质可作为抗黑穗病亲本。抗黑穗病育种是我国甘蔗抗病育种的主要育种目标之一,而抗黑穗病育种进展较为缓慢,主要是由于高抗黑穗病的亲本材料仅占 8.16%,这一现状给甘蔗抗黑穗病育种带来了严峻挑战^[21],因此需要筛选出更多的高抗黑穗病亲本。中蔗 134007、中蔗 118607、中蔗 167010、中蔗 144101 和中蔗 156615 等 5 个种质可作为高产亲本加以利用。目前,我国的甘蔗高产育种与高糖育种相比进展缓慢,而一味地强调高糖育种而忽视高产育种,将会导致亲本群体产量限制而无法获得有效突破^[24],因此需要筛选出更多的高产亲本。

本研究仅针对桂西南蔗区引进甘蔗种质资源

的表型性状进行分析,具有一定的主观性,同时也容易受到环境因素的影响,获得的结论往往不够客观。因此,计划下一步利用分子标记对甘蔗种质资源进行深入的遗传多样性分析和基因挖掘,以期更加客观地评价甘蔗种质资源,揭示其内在的遗传信息,提高资源利用效率,更好地为桂西南蔗区甘蔗杂交育种服务。

参考文献

- [1] 邓国富. 广西农作物种质资源: 甘蔗卷[M]. 北京: 科学出版社, 2020: 1-3.
DENG G F. Guangxi crop germplasm resources: sugarcane volume[M]. Beijing: Science Press, 2020: 1-3. (in Chinese)
- [2] 李杨瑞, 杨丽涛. 20 世纪 90 年代以来我国甘蔗产业和科技的新发展[J]. 西南农业学报, 2009, 22(5): 1469-1476.
LI Y R, YANG L T. New developments in sugarcane industry and technologies in China since 1990s[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2009, 22(5): 1469-1476. (in Chinese)
- [3] 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)
- [4] 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, 19(4): 748-759.
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 traits in yuetang serial sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) parental resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(4): 748-759. (in Chinese)
- [5] 刘新龙, 李旭娟, 刘洪博, 马丽, 徐超华, 范源洪. 云南甘蔗常用亲本资源遗传多样性的 SSR 分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(6): 1214-1222.
LIU X L, LI X J, LIU H B, MA L, XU C H, FAN Y H. Genetic diversity analysis of Yunnan commonly-used parents by using SSR marker[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(6): 1214-1222. (in Chinese)
- [6] 王英, 陈守俊, 朱相成, 庄南生. 80 份甘蔗种质 RAMP 标记遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(4): 525-532.
WANG Y, CHEN S J, ZHU X C, ZHUANG N S. Genetic diversity of 80 sugarcane germplasm using RAMP

- markers[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(4): 525-532. (in Chinese)
- [7] YOU Q, PAN Y B, XU L P, GAO S W, WANG Q N, SU Y C, YANG Y Q, WU Q B, ZHOU D G, QUE Y X. Genetic diversity analysis of sugarcane germplasm based on fluorescence-labeled simple sequence repeat markers and a capillary electrophoresis-based genotyping platform[J]. Sugar Tech, 2016, 18(4): 380-390.
- [8] OLIVEIRA L A R, MACHADO C A, CARDOSO M N, OLIVEIRA A C A, AMARAL A L, RABBANI A R C, SILVA A V C, LEDO A S. Genetic diversity of *Saccharum* complex using ISSR markers[J]. Genetics and Molecular Research, 2017, 16(3): 1-9.
- [9] 赵理贤, 肖雪, 陈悦佳, 刘丹丹, 黄有总, 邹承武, 陈保善. 33 份甘蔗种质资源的 ISSR 标记和遗传多样性[J/OL]. 分子植物育种: 1-21 [2022-7-28]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220728.1128.006.html>. ZHAO L X, XIAO X, CHEN Y J, LIU D D, HUANG Y Z, ZOU C W, CHEN B S. ISSR marker polymorphism and genetic diversity of 33 sugarcane germplasm resources[J/OL]. Molecular Plant Breeding: 1-21 [2022-7-28]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220728.1128.006.html>. (in Chinese)
- [10] 刘新龙, 马丽, 蔡青, 应雄美, 陆鑫, 苏火生, 毛钧, 范源洪. 云南甘蔗品种表型性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(6): 703-708. LIU X L, MA L, CAI Q, YING X M, LU X, SU H S, MAO J, FAN Y H. Genetic diversity analysis of phenotypic traits in Yunnan sugarcane varieties[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(6): 703-708. (in Chinese)
- [11] 刘新龙, 蔡青, 吴才文, 马丽, 应雄美, 陆鑫, 范源洪. 甘蔗品种资源的表型遗传多样性[J]. 生物多样性, 2010, 18(1): 37-43. LIU X L, CAI Q, WU C W, MA L, YING X M, LU X, FAN Y H. Phenotypic diversity of sugarcane variety germplasm[J]. Biodiversity Science, 2010, 18(1): 37-43. (in Chinese)
- [12] 咎逢刚, 吴才文, 赵培方, 赵俊, 夏红明, 杨昆, 姚丽, 覃伟, 刘家勇. 国外引进甘蔗种质表型性状的遗传多样性分析[J]. 西南农业学报, 2014, 27(4): 1369-1373. ZAN F G, WU C W, ZHAO P F, ZHAO J, XIA H M, YANG K, YAO L, QIN W, LIU J Y. Study on phenotypic diversity in exotic sugarcane germplasm[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(4): 1369-1373. (in Chinese)
- [13] 毛钧, 刘新龙, 苏火生, 陆鑫, 林秀琴, 蔡青, 范源洪. 基于表型与分子数据的斑茅核心种质构建[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(4): 607-615. MAO J, LIU X L, SU H S, LU X, LIN X Q, CAI Q, FAN Y H. Constructing core collection of *Saccharum arundinaceum* L. based on phenotype and molecular markers[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(4): 607-615. (in Chinese)
- [14] 徐超华, 陆鑫, 马丽, 刘新龙, 刘洪博, 苏火生, 林秀琴, 蔡青. 斑茅种质资源的表型性状及遗传多样性[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(2): 117-121. XU C H, LU X, MA L, LIU X L, LIU H B, SU H S, LIN X Q, CAI Q. Phenotypic traits and genetic diversity of *Erianthus arundinaceum* germplasm[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2014, 40(2): 117-121. (in Chinese)
- [15] 蔡青, 范源洪, 马丽, 应雄美, 黄应昆, 王丽萍. 甘蔗种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006. CAI Q, FAN H Y, MA L, YING X M, HUANG Y K, WANG L P. Sugarcane germplasm resources description norms and data standards[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2006. (in Chinese)
- [16] 李文凤, 范源洪, 陈学宽, 夏红明, 李复琴, 王炎炎. 甘蔗糖分的快速测定方法[J]. 中国糖料, 2009(2): 14-15. LI W F, FAN Y H, CHEN X K, XIA H M, LI F Q, WANG Y Y. Rapid determination method of cane sugar content[J]. Sugar Crops of China, 2009(2): 14-15. (in Chinese)
- [17] 李杨瑞. 现代甘蔗学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 103-109. LI Y R. Modern sugarcane science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010: 103-109. (in Chinese)
- [18] 武晋宇, 应雄美, 朱建荣, 赵俊, 刘家勇, 吴才文, ELGAMAL I S H, 赵勇. 基于投影寻踪分类法的甘蔗种质综合评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(2): 144-149. WU J Y, YING X M, ZHU J R, ZHAO J, LIU J Y, WU C W, ELGAMAL I S H, ZHAO Y. Comprehensive evaluation of sugarcane germplasms based on projection pursuit classification[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2020, 46(2): 144-149. (in Chinese)
- [19] 罗赣丰, 梁小敏, 刘小全. 江西甘蔗种质资源主要性状的变异与相关研究[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(6): 910-916. LUO G F, LIANG X M, LIU X Q. A study on the main character variation and correlation of sugarcane germplasm resources in Jiangxi Province[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2007, 29(6): 910-916. (in Chinese)
- [20] 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)
- [21] 杨荣仲, 周会, 李文教, 黄赞斌, 唐仕云, 雷敬超, 刘昔辉, 梁强, 黄海荣. 甘蔗重要亲本田间自然抗黑穗病测定[J]. 中国糖料, 2022, 44(2): 51-57.
- YANG R Z, ZHOU H, LI W J, HUANG Z B, TANG S Y, LEI J C, LIU X H, LIANG Q, HUANG H R. Test of smut resistance of sugarcane main parents under natural infection[J]. Sugar Crops of China, 2022, 44(2): 51-57. (in Chinese)
- [22] 李小胜, 陈珍珍. 如何正确应用 SPSS 软件做主成分分析[J]. 统计研究, 2010, 27(8): 105-108.
- LI X S, CHEN Z Z. Correctly using SPSS software for principal components analysis[J]. Statistical Research, 2010, 27(8): 105-108. (in Chinese)
- [23] 李基光, 王艳兰, 向兰舟, 邓晶, 朱建宇, 王利群, 汤睿, 余应弘. 69 份穆子地方种质资源表型多样性评价[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(6): 1509-1520.
- LI J G, WANG Y L, XIANG L Z, DENG J, ZHU J Y, WANG L Q, TANG R, YU Y H. Evaluation of phenotypic diversity of 69 finger millet germplasms[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(6): 1509-1520. (in Chinese)
- [24] 杨荣仲, 周会, 唐仕云, 刘昔辉, 梁强, 黄海荣. 广西甘蔗育种思考[J]. 中国糖料, 2021, 43(3): 18-27.
- YANG R Z, ZHOU H, TANG S Y, LIU X H, LIANG Q, HUANG H R. A few thoughts on sugarcane breeding in Guangxi[J]. Sugar Crops of China, 2021, 43(3): 18-27. (in Chinese)