

国内甘蔗种质资源表型性状的遗传多样性分析

周 珊, 黄玉新, 段维兴, 高轶静, 杨翠芳, 周忠凤, 陆衫羽, 张革民, 张保青*

广西农业科学院甘蔗研究所/广西甘蔗遗传改良重点实验室/中国农业科学院甘蔗研究所/农业农村部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室, 广西南宁 530007

摘要: 对我国甘蔗种质资源表型性状进行分析, 研究其遗传变异规律, 为甘蔗遗传育种亲本的选择、核心种质群体的构建提供理论依据。以来自国内 8 个不同地区的 160 份甘蔗品种/亲本为材料, 参照《甘蔗种质资源描述规范和数据标准》进行表型性状评价。结果表明: 大部分性状表现出丰富的遗传多样性, 20 个质量性状的多样性指数在 0.07~1.40 之间, 平均为 0.84, 以芽型最大, 茎形最小; 5 个数量性状的变异系数 (CV) 在 8.74%~38.26% 之间, 平均为 17.69%, 有效茎的变异系数最大 (38.26%), 株高的变异系数最小 (8.74%), 多样性指数 (H') 分布在 1.46~1.83 之间, 平均为 1.64, 株高的多样性指数最高 (1.83), 有效茎的多样性指数最低 (1.46); 不同地区供试材料的平均变异系数为 13.56%~22.33%, 来自海南的品种群体的变异系数最大 (22.33%), 数量性状的离散程度最大; 来自福建的品种群体的变异系数最小 (13.56%)。以 4 个数量性状为基础的聚类分析将 160 份种质材料分为 7 类, 其中, 第 5 类占总资源量的 90.62%, 该类群资源具有高产高糖的特性。该研究结果为甘蔗种质资源的利用、亲本选择及品种选育等提供重要参考。

关键词: 甘蔗; 种质资源; 表型性状; 遗传多样性

中图分类号: S566.1 文献标识码: A

Genetic Diversity Assessment of Sugarcane Native of Domestic with Phenotypic Traits

ZHOU Shan, HUANG Yuxin, DUAN Weixing, GAO Yijing, YANG Cuifang, ZHOU Zhongfeng, LU Shanyu, ZHANG Gemin, ZHANG Baoqing*

Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences / Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement / Sugarcane Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement (Guangxi), Ministry of Agriculture & Rural Affairs, Nanning, Guangxi 530007, China

Abstract: The phenotypic characters of sugarcane germplasm resources native of domestic were analyzed to study the law of genetic variation, so as to provide a theoretical basis for the selection of sugarcane genetic breeding parents and the construction of core germplasm population. 160 sugarcane varieties / parents from 8 different regions native of domestic were used as materials to evaluate the phenotypic traits with reference to the specification and data standard for sugarcane germplasm resources description. Most traits showed rich genetic diversity. Among them, the diversity index of the 20 quality traits was 0.07–1.40, with a mean of 0.84, which was the highest in bud type and the lowest in stalk shape. Five quantitative traits had 8.74%–38.26% of the coefficient of variation, with a mean of 17.69%, which was the highest in millable stalks (38.26%) and the smallest in stalk length (8.74%). The diversity index (H') of the five traits was 1.46–1.83, with a mean of 1.64, which was the highest in stalk length (1.83) and the lowest in millable stalks (1.46). The average coefficient of variation of the tested materials in different regions was 13.56%–22.33%. The coefficient of

收稿日期 2022-06-21; 修回日期 2022-07-27

基金项目 广西科技重大专项项目 (桂科 AA22117002-1); 中国科学院华南植物园重点支持项目 (No. E36101); 广西农业科学院基本科研业务专项项目 (桂农科 2021YT004)。

作者简介 周 珊 (1985—), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 甘蔗育种及种质资源创新。*通信作者 (Corresponding author): 张保青 (ZHANG Baoqing), E-mail: zbzqaxau@126.com。

variation of the variety population from Hainan was the largest (22.33%), and the dispersion of quantitative characters was the largest. The coefficient of variation of variety population from Fujian was the lowest (13.56%). By cluster analysis, 160 accessions materials were divided into seven categories based on four traits, among them class 5 accounted for 90.62% of the total germplasm resources. This group resource has the characteristics of high yield and sugar content. The results could provide an important reference for the utilization of sugarcane germplasm resources, parental selection and variety breeding.

Keywords: sugarcane; germplasm resources; phenotypic traits; genetic diversity

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.06.006

甘蔗 (*Saccharum spp. hybrid*) 是我国重要的糖料和生物能源作物, 具有高度的非整倍体、复杂的基因组、极端的杂合性等特点, 遗传背景复杂^[1]。当前, 我国甘蔗品种遗传基础比较狭窄, 遗传关系相近, 导致杂交育种中有利性状的遗传增量变小, 影响甘蔗优良品种的选育。因此, 充分利用我国丰富的甘蔗种质资源, 扩大遗传基础, 实现甘蔗高产高糖高抗育种的新突破, 是甘蔗育种在相当长时间内的首要任务。甘蔗种质资源的鉴定评价是资源合理利用的前提, 通过表型性状可以直观、便捷地鉴定出育种目标^[2-3]。因此, 国内外学者通过农艺性状、品质及抗逆性等相关表型性状对甘蔗种质资源进行了广泛的研究报道。如刘新龙等^[4]、咎逢刚等^[5]、YANG 等^[6]、唐仕云等^[7]、TANG 等^[8]、吴建涛等^[9]、黄玉新等^[10]、庞新华等^[11]、谢静等^[12]通过表型性状的鉴定评价对国内外甘蔗品种资源进行遗传多样性分析、聚类分析。还有不少学者针对甘蔗野生近缘属种质资源如斑茅、割手密、滇蔗茅等表型变异、多样性及聚类关系进行分析。如邓念丹^[13]、黄忠兴等^[14]、刘新龙等^[15]、陆鑫等^[16]、徐超华等^[17]、XU 等^[18]、黄玉新等^[19]、WU 等^[1]、王春芳等^[20]。上述研究表明表型性状的评价鉴定可广泛用于甘蔗种质资源的遗传多样性研究。目前, 广西农业科学院甘蔗种质资源圃保存有国内外资源 1337 份, 前期已对大部分国外种质进行了表型多样性分析, 但对国内甘蔗种质资源的多样性缺乏了解, 影响了高糖高产高抗新品种的选育。本研究通过表型性状的评价和鉴定对 160 份国内甘蔗品种资源进行遗传多样性分析, 以期了解国内甘蔗种质资源的遗传多样性, 丰富我国甘蔗资源表型数据库信息, 从各类型甘蔗种质资源中挖掘出对育种性状改良有益的亲本, 为甘蔗种质资源的利用及品种选育等提供重要参考。

1 材料与方法

1.1 材料

材料来源于广西壮族自治区农业科学院甘蔗种质资源圃保育的 160 份国内甘蔗种质资源, 包括来自福建的 23 份、广东的 43 份、云南的 23 份、海南的 27 份、台湾的 23 份、其他的 21 份 (江西的 3 份、四川的 8 份、来源不详的 10 份), 具体材料信息见表 1。

1.2 方法

本研究在广西壮族自治区农业科学院甘蔗种质资源圃进行。材料于 2017 年 3 月种植, 单行栽培, 随机排列, 行长 5 m, 行宽 1.2 m, 每米下种量为 12 芽, 常规田间管理。参照《甘蔗种质资源描述规范和数据标准》的方法^[21], 调查和检测成熟期每份材料的 6 个数量性状 (株高、茎径、锤度、有效茎、节间长度及黑穗病田间自然发病率) 和 20 个质量性状 (气生根、茎形、节间形状、曝光前节间颜色、曝光后节间颜色、蜡粉带、木栓、生长裂缝、生长带形状、根点排列、芽形、芽位、芽沟、叶姿、脱叶性、57 号毛群、内叶耳、外叶耳、蒲心和空心)。

1.3 数据处理

各性状的原始数据通过 Microsoft Excel 2017 软件进行处理, 计算各性状的最大值、最小值、平均值、极差和变异系数。为了便于数量化和统计分析, 将质量性状予以赋值 (表 2), 数量性状按照隶属函数进行分级, 采用 SPSS 18.0 软件分析各性状的 Shannon-Wiener 多样性指数, 计算公式为: $H' = -\sum P_i \ln P_i$, 其中 P_i 为某一性状第 i 个级别出现的概率 (引用)。聚类分析参考吴建涛等^[9]的方法使用 DPS18.10 进行, 利用模糊隶属函数计算出数量性状的隶属函数值, 采用 UPGMA 法进行聚类分析。隶属函数 $R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, 式中, X_i 为指标测定值; X_{\max} 、 X_{\min} 为所有参试材料某一指标的最大值和最小值。

表 1 甘蔗种质资源来源地情况

Tab. 1 Origins and sample size of sugarcane germplasm resources in present study

序号 No.	来源地 Origin	名称 Name	序号 No.	来源地 Origin	名称 Name	序号 No.	来源地 Origin	名称 Name
1	台湾	ROC10	55	福建	福农 02-3924	108	广东	粤糖 96-794
2	台湾	ROC11	56	福建	福农 04-1826	109	广东	粤糖 96-833
3	台湾	ROC16	57	福建	福农 04-3504	110	广东	粤糖 96-89
4	台湾	ROC20	58	福建	福农 28 号	111	广东	粤引 R2
5	台湾	ROC21	59	福建	福农 76-22	112	广东	粤引印尼 1 号
6	台湾	ROC22	60	福建	福农 81-745	113	广东	湛江 74-141
7	台湾	ROC24	61	福建	福农 82-36	114	广东	珠江 57-32
8	台湾	ROC25	62	福建	福农 89-10	115	广东	华南 56-12
9	台湾	ROC5	63	福建	福农 89-606	116	广东	粤糖 96-107
10	台湾	台 88-99	64	福建	福农 91-21	117	云南	云野 06-28
11	台湾	台 98-0432	65	福建	福农 98-10	118	云南	云野 06-450
12	台湾	台 98-1606	66	福建	福农 98-1103	119	云南	云野 06-456
13	台湾	台 98-2817	67	福建	福农 99-20169	120	云南	云野 06-88
14	台湾	台引 11 号	68	福建	福农 99-907	121	云南	云野 06-9
15	台湾	台引 12 号	69	福建	闽糖 78-201	122	云南	云野 07-114
16	台湾	台引 13 号	70	福建	闽糖 78-8	123	云南	云野 07-49
17	台湾	台引 15 号	71	福建	闽糖 85-660	124	云南	云野 07-70
18	台湾	台引 16 号	72	福建	闽糖 85-68	125	云南	云蔗 03-258
19	台湾	台引 17 号	73	福建	闽糖 86-2121	126	云南	云蔗 03-403
20	台湾	台引 21 号	74	广东	粤辐 90-95	127	云南	云蔗 03-422
21	台湾	台引 2 号	75	广东	粤农 81-762	128	云南	云蔗 03-74
22	台湾	台引 4 号	76	广东	粤农 85-17	129	云南	云蔗 06-103
23	台湾	台引 8 号	77	广东	粤糖 00-236	130	云南	云蔗 06-281
24	海南	崖城 58-14	78	广东	粤糖 56-568	131	云南	云蔗 65-490
25	海南	崖城 58-21	79	广东	粤糖 57-423	132	云南	云蔗 68-154
26	海南	崖城 62-10	80	广东	粤糖 58-135	133	云南	云蔗 71-548
27	海南	崖城 62-40	81	广东	粤糖 59-65	134	云南	云蔗 72-701
28	海南	崖城 64-173	82	广东	粤糖 62-79	135	云南	云蔗 73-159
29	海南	崖城 64-389	83	广东	粤糖 63-237	136	云南	云蔗 81-173
30	海南	崖城 65-621	84	广东	粤糖 64-395	137	云南	云蔗 89-159
31	海南	崖城 71-119	85	广东	粤糖 66-1454	138	云南	云蔗 94-375
32	海南	崖城 71-374	86	广东	粤糖 69-11	139	云南	云蔗 95-128
33	海南	崖城 73-521	87	广东	粤糖 70-129	140	其他	川蔗 16 号
34	海南	崖城 75-284	88	广东	粤糖 71-210	141	其他	川蔗 58-181
35	海南	崖城 76-186	89	广东	粤糖 76-268	142	其他	川蔗 68-108
36	海南	崖城 77-119	90	广东	粤糖 76-329	143	其他	川蔗 69-58
37	海南	崖城 82-96	91	广东	粤糖 81-854	144	其他	川蔗 71-319
38	海南	崖城 84-125	92	广东	粤糖 83-271	145	其他	川蔗 75-223
39	海南	崖城 89-7	93	广东	粤糖 83-494	146	其他	川蔗 81-548
40	海南	崖城 90-33	94	广东	粤糖 84-153	147	其他	川蔗 88-111
41	海南	崖城 90-35	95	广东	粤糖 84-289	148	其他	赣南 95-108
42	海南	崖城 90-55	96	广东	粤糖 89-120	149	其他	赣蔗 66-154
43	海南	崖城 90-95	97	广东	粤糖 89-240	150	其他	赣蔗 76-216
44	海南	崖城 93-31	98	广东	粤糖 90-4	151	其他	农业厅 25
45	海南	崖城 95-41	99	广东	粤糖 91-1002	152	其他	轻引 98-3
46	海南	崖城 96-40	100	广东	粤糖 91-976	153	其他	水电 25
47	海南	崖城 96-45	101	广东	粤糖 92-1387	154	其他	水电 C
48	海南	崖城 96-66	102	广东	粤糖 92-373	155	其他	武宣 1 号
49	海南	崖城 96-69	103	广东	粤糖 93-159	156	其他	新 10 号
50	海南	崖城 98-8	104	广东	粤糖 93-730	157	其他	新 3 号
51	福建	闽糖 86-5	105	广东	粤糖 94-128	158	其他	新 4 号
52	福建	闽糖 86-877	106	广东	粤糖 94-835	159	其他	新 5 号
53	福建	闽糖 88-103	107	广东	粤糖 95-1589	160	其他	选 3
54	福建	闽糖 96-619						

表 2 甘蔗种质资源质量性状的分级和赋值

Tab. 2 Descriptors and data standard for sugarcane germ-plasm resources

性状 Trait	级别 Grade	赋值标准 Assignment criterion	性状 Trait	级别 Grade	赋值标准 Assignment criterion
脱叶	难	1	外叶耳 形状	退化	0
	易	2		三角形	1
芽沟	无	1	倒钩形	2	
	浅	2	镰刀形	3	
	深	3	披针形	4	
蒲心	无	1	钩形	5	
	轻	2	芽型	三角形	1
	中	3		椭圆形	2
	重	4		倒卵形	3
空心	无	1		五角形	4
57号毛群	有	2	菱形	5	
	无	1	圆形	6	
	少	2	卵圆形	7	
	较多	3	长方形	8	
蜡粉带	多	4	鸟嘴形	9	
	无	1	曝光前 节间颜色	黄色	1
	薄	2		黄绿色	2
厚	3	深绿色		3	
气根	无	1	红色	4	
	有	2	紫色	5	
茎形	直立	1	深紫色	6	
	弯曲	2	绿条纹色	7	
木栓	无	1	黄条纹色	8	
	条纹	2	曝光后节 间颜色	黄色	1
	斑块	3		黄绿色	2
水裂	无	1		深绿色	3
根点排列	浅	2	红色	4	
	深	3	紫色	5	
	成行	1	深紫色	6	
生长带 形状	不规则	2	绿条纹色	7	
	突出	1	黄条纹色	8	
内叶耳 形状	不突出	2	芽位	上	1
	退化	0		平	2
叶姿	三角形	1	下	3	
	倒钩形	2	节间形状	圆筒形	1
	镰刀形	3		腰鼓形	2
	披针形	4		细腰形	3
	钩形	5		圆锥形	4
倒圆锥形	5	倒圆锥形		5	
叶姿	披散	1	弯曲形	6	
	挺直叶 尖下垂	2			
	挺直	3			

2 结果与分析

2.1 质量性状遗传多样性分析

质量性状的多样性指数反映了性状在不同级别上的分布情况,对 160 份甘蔗种质资源的 20 个质量性状进行遗传多样性分析,如表 3 所示。其遗传多样性指数变化范围在 0.07~1.40 之间,平均为 0.84,芽型和内叶耳形状的变异类型较为丰富,遗传多样性指数相对较高,分别为 1.40 和 1.39,其中芽型的多样性指数最高(1.40),主要以卵圆形为主,频率为 52.50%,占到总材料数一半,有 36.25%的材料内叶耳性状为三角形。茎形的遗传多样性最小,仅为 0.07,98.75%表现为直立茎形。

2.2 数量性状遗传多样性分析

对供试的 160 份甘蔗种质材料的 5 个数量性状(株高、茎径、有效茎、锤度和节间长度)进行均值、极差、标准差、变异系数和遗传多样性指数(H')的统计分析,结果见表 4。多样性指数分布在 1.46~1.83 之间,平均多样性指数值为 1.64。其中株高的多样性指数最高(1.83),其次是茎径、锤度、节间长度、有效茎,多样性指数值均大于 1。

观察 5 个数量性状的变异系数可发现,160 份供试材料存在不同程度的变异,变异系数在 8.74%~38.26%之间,平均为 17.69%,其中有效茎、茎径和节间长度具有较大的离散程度,有效茎的变异系数最大(38.26%),其他性状的变异系数较小、变异程度较低,变异程度最小的性状为株高(8.74%)。综合各数量性状的极差、变异系数、多样性指数,数量性状中有效茎呈现出明显的遗传差异。

2.3 数量性状变异系数分析

从表 5 可以看出,不同地区供试材料的平均变异系数为 13.56%~22.33%,其中株高以海南的最大(10.15%),广东的最小(7.26%);茎径以海南的最大(14.50%),福建的最小(9.17%);田间锤度的变异系数以海南的最大(13.52%),台湾的最小(5.00%);有效茎数以海南的最大(48.06%),福建的最小(24.21%);节间长度以台湾的最大(26.13%),云南的最小(13.21%)。从各性状变异系数的平均值来看,来自海南的品种群体的变异系数最大(22.33%),数量性状的离散程度最大;来自福建地区的品种群体的变异系数最小(13.56%)。因为数量性状是作物品质的重

表 3 甘蔗种质资源质量性状频率分布和遗传多样性指数
Tab. 3 Frequency distribution and diversity index of sugarcane germplasm quality traits

性状 Trait	遗传多样性指数 H'	分布频率 Distribution frequency/%									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
脱叶性	0.64		33.75	66.25							
芽沟	0.71		75.63	16.25	8.12						
蒲心	0.96		67.50	16.25	10.00	6.25					
空心	0.47		81.88	18.12							
57号毛群	1.21		52.50	16.87	16.88	13.75					
蜡粉带	0.66		5.00	76.87	18.13						
气根	0.60		71.25	28.75							
茎型	0.07		98.75	1.25							
木栓	0.61		76.87	21.25	1.88						
水裂	0.39		90.00	3.12	6.88						
根点排列	0.56		24.38	75.62							
生长带形状	0.69		45.00	55.00							
内叶耳形状	1.39	24.37	36.25	2.50	10.63	26.25	0				
外叶耳形状	1.05	49.38	39.37	1.25	1.88	8.12	0				
芽型	1.40		15.00	3.75	3.75	0	8.12	16.25	52.50	0.63	0
曝光前节间颜色	1.31		32.50	40.63	2.50	13.13	9.38	1.88			
曝光后节间颜色	1.25		13.75	50.00	11.88	14.38	3.75	6.25			
芽位	1.02		15.63	41.25	43.12						
节间形状	0.69		79.38	1.87	1.25	15.00	2.50				
叶姿	1.05		28.13	23.12	48.75						

表 4 甘蔗种质资源数量性状遗传多样性分析
Tab. 4 Analysis of genetic diversity of quantitative traits of sugarcane germplasm

性状 Trait	遗传多样性指数 H'	最小值 Min	最大值 Max	极差 Range	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV%
株高/cm	1.83	184.00	338.00	154.00	276.94	24.21	8.74
茎径/mm	1.74	15.52	36.60	21.08	25.37	3.05	12.02
锤度/%	1.58	10.00	25.33	15.33	20.76	1.98	9.54
有效茎数	1.46	10.00	123.00	113.00	33.74	12.91	38.26
节间长度/cm	1.58	6.90	25.00	18.10	11.60	2.30	19.90

表 5 不同来源地甘蔗资源数量性状的变异系数
Tab. 5 Coefficient of variance of quantitative traits for decaploids of sugarcane from different regions %

来源地 Origin	株高 Stalk lengt	茎径 Stalk diamete	锤度 Brix	有效茎 Millable stalks	节间长度 Internode length	平均值 Mean
云南	8.93	10.26	6.44	36.83	13.21	15.13
台湾	9.46	10.58	5.00	29.22	26.13	16.08
福建	8.05	9.17	8.43	24.21	17.93	13.56
广东	7.26	11.99	10.06	29.67	18.65	15.53
海南	10.15	14.50	13.52	48.06	25.42	22.33
其他	9.04	9.87	8.60	26.96	13.88	13.67
平均值	8.82	11.06	8.68	32.49	19.20	

要体现，品种选育的主要检测指标，因此在实际的品种选育过程中，应对具有丰富数量性状遗传

变异的品种群体进行优先评价和利用，如分子遗传关系评价、优异数量性状品种亲本的筛选。

2.4 甘蔗种质资源优异性状综合分析

对供试的 160 份甘蔗种质材料的 5 个数量性状（株高、茎径、有效茎、锤度和节间长度）排名前十的材料进行统计分析，结果见表 6。在各性状筛选出的前 10 份材料中可以看出，台湾品种（系）的株高占比较高；广东品种（系）茎径较粗，占 6 个，余下 4 个均为台湾品种（系）；锤度较高的为广东和云南，各占 3 个；有效茎数排名前五的均为海南品种（系），占 5 个；在节间长度

性状方面，海南、广东、云南、福建和台湾品种（系）各占 2 个。对各数量性状筛选出的前 10 份材料进行优异性状综合分析，有 2 个性状排名前十的材料有 6 个，分别是崖城 90-95、崖城 76-186、云野 07-70、云蔗 68-154、粤糖 89-240、珠江 57-32；有 3 个性状排名前十的材料有 2 个，分别是粤糖 91-976、台 98-1606，由此说明大部分材料难以兼顾产量和糖分，应根据育种目标选择相应的材料作为育种亲本。

表 6 甘蔗种质资源各数量性状排名前十的材料
Tab. 6 Excellent materials of quantitative traits of sugarcane germplasm

排名 No.	来源地 Origin	名称 Name	株高 Stalk lengt/cm	来源地 Origin	名称 Name	茎径 Stalk dia- mete/mm	来源地 Origin	名称 Name	锤度 Brix/%	来源地 Origin	名称 Name	有效茎数 Millable stalks	来源地 Origin	名称 Name	节间长度 Internode length/cm
1	海南	崖城 76-186	338.00	广东	粤糖 57-423	36.60	广东	粤糖 89-240	25.33	海南	崖城 58-21	123.00	海南	崖城 90-55	25.00
2	其他	川蔗 88-111	336.00	台湾	台 98-0432	33.36	云南	云蔗 68-154	24.33	海南	崖城 58-14	74.00	台湾	新台糖 11	19.20
3	台湾	新台糖 22	326.00	台湾	台引 15号	32.82	广东	粤糖 91-976	24.00	海南	崖城 96-40	64.00	台湾	台 98-1606	16.50
4	台湾	台引 12号	324.00	台湾	台引 21号	30.74	海南	崖城 89-7	24.00	海南	崖城 90-95	61.00	海南	崖城 90-95	16.00
5	福建	闽糖 86-877	324.00	广东	粤糖 91-976	30.62	台湾	台引 17号	24.00	海南	崖城 95-41	60.00	福建	福农 76-22	16.00
6	广东	粤糖 91-976	319.00	台湾	台 98-1606	30.06	云南	云蔗 71-548	23.33	福建	福农 98-10	59.00	广东	粤糖 89-240	15.80
7	云南	云蔗 68-154	318.00	广东	粤糖 59-65	30.00	广东	粤糖 76-329	23.33	广东	粤糖 93-730	56.00	广东	珠江 57-32	15.60
8	广东	珠江 57-32	316.00	广东	粤糖 96-89	29.68	云南	云野 07-70	23.33	云南	云蔗 81-173	56.00	福建	福农 82-36	15.50
9	云南	云蔗 03-258	316.00	广东	粤糖 84-289	29.62	其他	水电 25	23.33	海南	崖城 76-186	54.00	云南	云野 06-88	15.10
10	台湾	台 98-1606	312.00	广东	粤糖 83-271	29.58	福建	福农 89-606	23.33	云南	云蔗 06-103	51.00	云南	云野 07-70	15.00
		平均值	322.90			31.31			23.83			65.80			16.97
		160份材料均值	276.94			25.37			20.76			33.00			11.60

2.5 甘蔗品种（系）间黑穗病发病情况

从 160 份甘蔗品种（系）中检测到共有 40 份材料感染黑穗病（表 7）。其中，福建品种（系）发病材料占比数最高，占其参试品种（系）的 43.48%；广东品种（系）发病材料占比数最小，为 16.28%。台湾品种（系）黑穗病平均发病率最高，为 8.73%，说明台湾品种（系）最易感染黑穗病。其余大部分品种（系）抗性较好，黑穗病平均发病率范围在 5.07%~8.73%之间，其中，海南品种（系）对黑穗病的抵抗能力最强，平均发

病率为 5.07%。

2.6 聚类分析

利用 DPS18.0 数据统计软件，对 160 份甘蔗种质资源的数量性状进行聚类分析（图 1），在遗传距离为 3.25 处聚为 7 大组群，不同组群甘蔗种质的表型性状具有一定差异（表 8）。

第 1 组群只包括 1 份来自海南的崖城 96-45。其主要特征是株高较高，茎径粗，有效茎中等，但锤度最低，为 10.0。该种质资源锤度较低，主要做为抗性材料利用。

表 7 甘蔗品种(系)间黑穗病发病情况比较
Tab. 7 Comparison of incidence of smut among sugarcane varieties (lines)

来源地 Origin	发病材料 Susceptible material	发病材料占比 Susceptible material ratio%	平均发病率 Average incidence%
广东	粤糖 56-568、粤糖 64-395、粤糖 69-11、粤糖 83-494、粤糖 91-976、湛江 74-141、珠江 57-32	16.28	7.44
海南	崖城 58-14、崖城 58-21、崖城 62-40、崖城 71-374、崖城 75-284、崖城 84-125、崖城 90-95、崖城 93-31	29.63	5.07
台湾	ROC16、ROC21、ROC24、台引 15 号	17.39	8.73
福建	福农 02-3924、福农 04-1826、福农 04-3504、福农 28 号、福农 81-745、福农 89-10、福农 89-606、福农 98-10、闽糖 85-68、闽糖 96-619	43.48	5.71
云南	云野 06-450、云蔗 03-258、云蔗 89-159、云蔗 94-375	17.39	7.27
其他	水电 25、武宣 1 号、新 10 号、新 3 号、新 5 号、选 3、川蔗 68-108	33.33	7.75

表 8 甘蔗种质资源 7 类群数量性状均值
Tab. 8 Mean of quantitative traits among sugarcane germplasm in different clusters

性状 Character	种质群 Germplasm group						
	1	2	3	4	5	6	7
株高/cm	289.00	257.00	184.00	295.33	271.58	277.35	250.00
茎径/mm	21.38	36.60	25.61	28.15	19.37	25.58	21.76
锤度/%	10.00	18.00	19.67	15.44	17.69	21.12	18.00
有效茎数	37.00	11.00	12.00	30.00	52.50	32.53	123.00

第 2 组群包含 1 个材料,来自广东的粤糖 57-423。其主要特征是株高中等,茎径最粗,锤度中等,有效茎数最少。这一类群的资源可作为增加茎径育种目标选育的杂交亲本。

第 3 组群包含 1 份材料,来自海南的崖城 71-119。其各方面性状相比较其他类群的甘蔗品种(系)差,株高最矮,为 184.0 cm;茎径中等;锤度中等;有效茎数少。主要作为中间材料来利用。

第 4 组群包含 3 份材料,其中 2 份材料是来自广东的粤糖 96-794 和粤糖 56-568,1 份为福建的闽糖 86-877。这一类资源株高平均值最高,茎径较粗,但锤度较低,平均值为 15.44;有效茎数少。该类甘蔗可作为选育外形高大的甘蔗亲本。

第 5 组群材料最多(145 份),占 90.62%,包括广东 102 份,四川 53 份,海南 39 份,江西 2 份,福建 60 份,云南 20 份,四川 1 份,其他地区 7 份。其主要特征为:大部分株高较高,茎径较粗,锤度平均值最高;有效茎数中等。该类资源符合培育高产高糖的甘蔗品种。

第 6 组群包含 8 份材料,其中来源于海南 4 份,来源于福建 2 份,来源于广东 1 份,来源于四川 1 份。主要表现为株高较高,茎径平均值最低;锤度中等;有效茎数较多。此类材料可作为株高和有效茎数育种目标的亲本。

第 7 组群包含 1 份材料,来源于海南的崖城

58-21。主要表现为有效茎数最多,株高、茎径和锤度表现中等。该品种含野生种质资源割手密的血缘,因此有效茎数多达 123 条。此类材料可以作为增加有效茎数育种目标的亲本。

3 讨论

植物表型性状的多样性是遗传多样性与环境多样性的综合体现,对表型性状的研究可以从整体上了解研究对象的多样性程度。近年来随着育种进程的加快,使得甘蔗杂交育种主要集中在少数性状优良的亲本上,导致甘蔗种质基因的遗传总变异缩小,大部分新育成品种的有利性状的变异幅度减小,甚至可能达到了某种形式的极限。育种工作者已深刻认识到要继续提高甘蔗的育种水平,必须提高育种基础材料的遗传多样性。因此,调查和分析甘蔗种质资源的表型性状,既是种质资源研究的首要工作,也是甘蔗育种的基础工作,同时也是一种简便有效的方法。本研究从表型性状的角度对 160 份甘蔗种质资源进行系统分析,为现有甘蔗资源的有效利用提供理论依据。分析甘蔗遗传多样性的指标包括变异系数和多样性指数。多样性指数不仅能够反映变异范围的大小,而且还能反映出基因型频率的分布,在形态多样性的研究中,多样性指数越高,表明形态性状的多样性越丰富,Shannon-Weiner 多样性指数

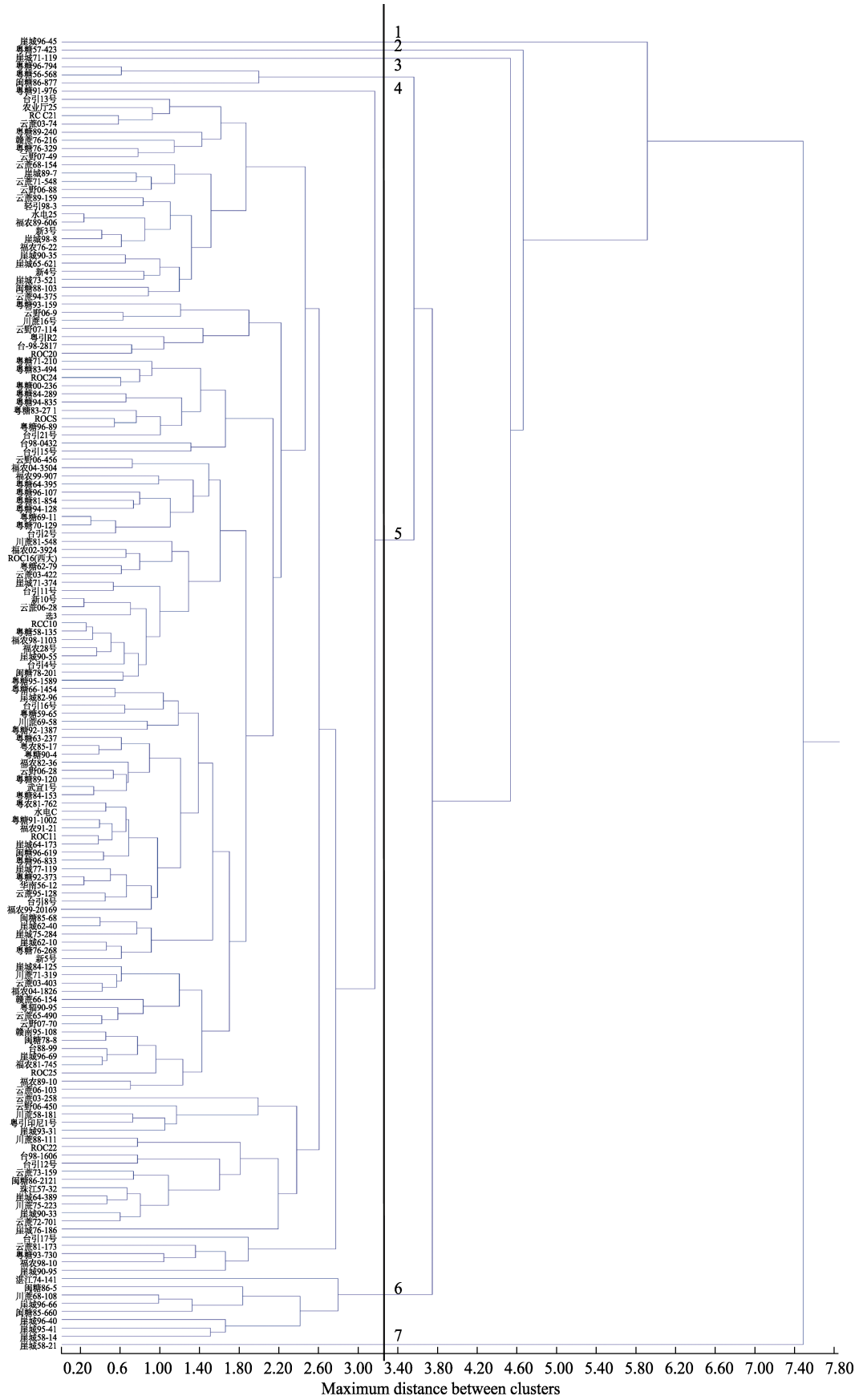


图 1 甘蔗种质资源聚类树状图

Fig. 1 Clustering graph of sugarcane germplasm resource

被广泛应用于表型性状中质量性状的多样性评价^[22]。本研究分别利用变异系数和多样性指数对现有的甘蔗资源进行系统的遗传多样性分析，通过表型变异简便经济地对甘蔗的遗传多样性做出了评价。

3.1 甘蔗种质资源性状的遗传多样性分析

在农艺性状中株高、茎径、有效茎数、节间长度这 4 项指标是培育甘蔗高产品种的首要考量指标，变异系数大的性状说明从该群体中选出具有该性状的优良个体的几率大^[23]。研究表明，数量性状变异系数大小顺序为有效茎 > 节间长度 > 茎径 > 株高，群体中有效茎的离散程度最大；质量性状的遗传变异主要来自芽型、芽位、曝光前后节间颜色、内外叶耳形状、57 号毛群 7 个性状，其多样性指数都大于 1，这些性状可作为甘蔗育种亲本评价和选择的主要形态指标。本研究发现，变异系数最大的性状有效茎数（38.26%），其遗传多样性指数最低，为 1.46；而株高的变异系数最小，仅有 8.74%，但其遗传多样性指数最大，为 1.83。变异系数与遗传多样性指数之间变化趋势不一致，不存在相关关系，可能的原因是数量性状受多基因控制，易受到环境影响，而质量性状的遗传受环境影响较小，比较稳定。如有效茎受非加性基因效应所制约，株高受父母本加性基因效应和非加性基因效应所制约，茎径受母本加性基因效应和非加性基因效应所制约^[24]。

本研究对来自 8 个不同来源地的甘蔗资源进行统计分析，发现不同来源地资源之间差异不大，变异系数范围为 13.56%~22.33%。其中来自海南的品种资源遗传变异系数最大，和前人研究结论一致^[25]。因此可以考虑多从海南品种资源中选取适合的品种（系）作为甘蔗育种亲本。

3.2 病害分析

甘蔗黑穗病是一种世界性的重要真菌病害，严重影响甘蔗的产量和品质，可使甘蔗产量损失 10%~50%，糖分下降 0.5~1 个百分点，威胁到甘蔗产业的稳定和发展^[26]。随着黑穗病的发生呈日趋加重的势态，特别在宿根蔗地上更为严重，抗黑穗病品种的选育尤为重要。本研究对供试的 160 份材料进行了黑穗病调查，结果发现有 40 份材料发病，发病率为 5.07%~8.73%，对照 ROC22 自然发病率为 18%，福建地区来源的品种（系）发病材料比例最高，广东品种（系）感病材料比例最低。前人研究发现：ROC22 高感黑穗病，ROC20、

粤糖 00-236、粤糖 93-159、云蔗 03-258 未感染黑穗病^[27-29]。本研究中，ROC20、粤糖 00-236、粤糖 93-159 均未感染黑穗病，云蔗 03-258 感染黑穗病，发病率为 7.25%，与前人研究结果略有差异。有研究表明黑穗病发生受到年度、作物季、亲本和亲本 × 试验类型等因素的显著影响^[30]，因此，对黑穗病的评价应多年多点进行。目前，我国在抗病育种方面还比较落后，甘蔗抗黑穗病亲本相对较少，需加强抗病育种材料（野生资源）的收集、抗性评价和利用工作。有研究表明，不同的甘蔗病害之间互相影响^[30]，因此，从长远来看，应全面开展杂交亲本材料以及主栽品种的各类病害抗性评价。此外，开展抗病连锁分子标记研究，将常规育种和生物技术育种相结合，有利于缩短育种周期。

3.3 聚类分析

本研究借助于聚类分析方法，依据 5 个数量性状（株高、茎径、有效茎、锤度和节间长度）对 160 份甘蔗品种（系）进行了聚类分析，使其性状相近的聚为一类，从而克服了仅以个别性状进行直观、经验性分类的弊端。该方法是甘蔗种质资源分类的有效方法。通过聚类分析，明确了甘蔗种质资源的不同类型，根据育种目标可以选择性状互补的亲本配制组合，使甘蔗育种中亲本的选配更趋合理。本研究把 160 份甘蔗种质资源分为 7 大类，第 1 类群糖分低，不易用作高糖亲本，第 2 类群为培育大茎育种目标的亲本，第 3 类群的有益性状不明显，第 4 类群为培育高大型育种目标的亲本，第 5 类群为高糖高产育种目标的亲本，第 6 类群为选育株高和有效茎数多的育种目标的亲本，第 7 类群为增加有效茎育种目标的亲本。从聚类结果来看，90.62% 的种质聚集在第 5 类群，间接反映了我国甘蔗种质资源的遗传基础较为狭窄。随着甘蔗产业发展与升级，甘蔗育种目标将呈现出多元化趋势，除了高糖、高产外，也更加注重宿根性、抗病性、抗逆性、耐压性、营养高效，适宜全程机械化等。根据当前甘蔗育种目标的需要，采用最佳方案，从聚类结果中选择相应的亲本材料进行种质资源的优化组合，选育出具有不同利用价值的甘蔗品种。由于农艺性状易受自然环境和人为因素的影响，并且反映的信息有限，以致于根据农艺性状来分析种质资源间的遗传变异，难以详细、准确地阐明其遗传变异情况。因此，应针对现有甘蔗种质资源

的表型多态性, 对其进行更深入的鉴定, 充分利用各种细胞生物学及分子生物学方法, 从甘蔗种质资源中发掘有利基因, 进行基因推导定位, 并与常规育种相结合, 挖掘和利用其育种潜力, 为促进甘蔗性状的遗传改良提供更可靠的依据。

参考文献

- [1] WU J T, WANG Q N, XIE J, PAN Y B, ZHOU F, GUO Y Q, CHANG H L, XU H Y, ZHANG W, ZHANG C M, QIU Y S. SSR marker-assisted management of parental germplasm in sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids) breeding programs[J]. *Agronomy*, 2019, 9(8): 449
- [2] 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)
- [3] 王晓鸣, 邱丽娟, 景蕊莲, 任贵兴, 李英慧, 李春辉, 秦培友, 谷勇哲, 李龙. 作物种质资源表型性状鉴定评价: 现状与趋势[J]. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(1): 12-20.
- WANG X M, QIU L J, JING R L, REN G X, LI Y H, LI C H, QIN P Y, GU Y Z, LI L. Evaluation on phenotypic traits of crop germplasm: status and development[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23(1): 12-20. (in Chinese)
- [4] 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)
- [5] 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)
- [6] YANG C F, ZHANG CH Y, YANG L T, LI Y R. Phenotypic and genetic diversity of sugarcane (*Saccharum* L.) protospecies and landraces[J]. *Guihaia* Aug, 2015, 35(4): 556-563, 602.
- [7] 唐仕云, 王伦旺, 杨荣仲, 李翔, 黄海荣, 经艳, 邓宇驰, 谭芳, 黄家雍, 杨丽涛. 糖能兼用甘蔗新品系的性状遗传分析及综合选择[J]. *中国农业大学学报*, 2016, 21(2): 9-19.
- TANG S Y, WANG L W, YANG R Z, LI X, HUANG H R, JING Y, DENG Y C, TANG F, HUANG J Y, YANG L T. Genetic analysis and comprehensive selection of new sugar and energy cane lines[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2016, 21(2): 9-19. (in Chinese)
- [8] TANG S Y, YANG R Z, WANG L W, ZHANG B Q, DENG Y C, YANG C F, ZHOU S, XIAN W, TAN F, TAN H W, YANG L T. Genetic determination and selection of sugarcane families[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2017, 18(1): 5-11.
- [9] 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)
- [10] 黄玉新, 段维兴, 张保青, 杨翠芳, 高轶静, 周珊, 张革民, 李翔. 138份国外引进甘蔗品种(系)宿根性评价[J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2019, 34(4): 564-570.
- HUANG Y X, DUAN W X, ZHANG B Q, YANG C F, GAO Y J, ZHOU S, ZHANG G M, LI X. Evaluation of ratoon characteristics of 138 exotic sugarcane germplasm[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2019, 34(4): 564-570. (in Chinese)
- [11] 庞新华, 檀小辉, 韦丽君, 梁芳, 张继, 吕平, 程琴, 黄秋伟, 周全光. 35份甘蔗种质的遗传多样性分析及DNA指纹图谱构建[J]. *南方农业学报*, 2019, 50(6): 1157-1164.
- PANG X H, TAN X H, WEI L J, LIANG F, ZHANG J, LYU P, CHENG Q, HUANG Q W, ZHOU Q G. Genetic diversity analysis for 35 sugarcane germplasm resources and construction of DNA fingerprint[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2019, 50(6): 1157-1164. (in Chinese)
- [12] 谢静, 邱永生, 刘少谋, 符成, 吴建涛, 王勤南. 甘蔗品种‘粤糖09-13’(海蔗22号)杂交育种潜力分析[J]. *分子植物育种*, 2020, 18(14): 4725-4733.
- XIE J, QIU Y SH, LIU S M, FU C, WU J T, WANG Q N. Analysis of breeding potential of sugarcane variety (*Saccharum* spp. hybrid) ‘Yuetang 09-13’ (Haizhe22)[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2020, 18(14): 4725-4733. (in Chinese)
- [13] 邓念丹. 中国五节芒表型多样性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.
- DENG N D. Morphological traits of *Miscanthus floridulus* in China[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010.

- (in Chinese)
- [14] 黄忠兴, 周峰, 王勤南, 金玉峰, 符成, 胡后祥, 张垂明, 常海龙, 吉家乐, 吴其卫, 齐永文, 刘少谋. 国内外割手密资源农艺性状表型遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(5): 825-829.
HUANG Z X, ZHOU F, WANG Q N, JIN Y F, FU C, HU H X, ZHANG C M, CHANG H L, JI J L, WU Q W, QI Y W, LIU S M. Genetic diversity assessment of *Saccharum spontaneum* L. native of domestic and overseas with phenotype agronomic traits[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(5): 825-829. (in Chinese)
- [15] 刘新龙, 苏火生, 应雄美, 马丽, 陆鑫, 刘洪博, 邓祖湖. 中国十倍体割手密资源的表型相关性及其遗传多样性[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2012, 38(6): 574-579.
LIU X L, SU H S, YING X M, MA L, LU X, LIU H B, DENG Z H. Phenotypic correlation and genetic diversity of decaploids of *Saccharum spontaneum*[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2012, 38(6): 574-579. (in Chinese)
- [16] 陆鑫, 刘新龙, 毛钧, 刘洪博, 苏火生, 马丽, 蔡青. 甘蔗野生种滇蔗茅利用研究Ⅲ. 滇蔗茅杂种 F₁ 群体的表型变异与遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(4): 749-753.
LU X, LIU X L, MAO J, LIU H B, SU H S, MA L, CAI Q. Utilization of *Erianthus rockii* Ⅲ. Genetic diversity analysis of phenotypic traits in F₁ population of *Saccharum officinarum* L. × *E. rockii*[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(4): 749-753. (in Chinese)
- [17] 徐超华, 陆鑫, 刘洪博, 林秀琴, 刘新龙, 苏火生, 马丽, 毛钧, 李旭娟, 蔡青. 甘蔗近缘种滇蔗茅(*Erianthus rockii*) 表型性状遗传多样性研究[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(6): 1369-1373.
XU C H, LU X, LIU H B, LIN X Q, LIU X L, SU H S, MA L, MAO J, LI X J, CAI Q. Genetic diversity analysis of phenotypic traits in *Erianthus rockii* wild species[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(6): 1369-1373. (in Chinese)
- [18] 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]. Agricultural Science & Technology, 2015, 16(1): 35-39.
- [19] 黄玉新, 张保青, 高轶静, 段维兴, 周珊, 杨翠芳, 张革民, 王泽平. 广西斑茅表型性状遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2019, 40(9): 1706-1712.
HUANG Y X, ZHANG B Q, GAO Y J, DUAN W X, ZHOU S, YANG C F, ZHANG G M, WANG Z P. Phenotypic traits and genetic diversity of *Erianthus arundinaceum* germplasm from Guangxi[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(9): 1706-1712. (in Chinese)
- [20] 王春芳, 余兴华, 王先宏, 杨清辉. 基于主要表型性状的不同采集地斑茅种质资源遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2020, 41(6): 1108-1116.
WANG C F, YU X H, WANG X H, YANG Q H. Genetic diversity analysis based on main phenotypic characteristics of *Erianthus arundinaceum* germplasm from different regions[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(6): 1108-1116. (in Chinese)
- [21] 蔡青, 范源洪. 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: 7-31.
CAI Q, FAN H Y. China Agricultural Press[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2006: 7-31. (in Chinese)
- [22] 张叶, 叶蓓蕾, 邬静, 刘乐, 黎维诗, 郝代成, 谢尚潜, 凌鹏. 77 份文心兰种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2021, 42(8): 2183-2190.
ZHANG Y, YE B L, WU J, LIU L, LI W S, HAO D C, XIE S Q, LING P. Analysis of genetic diversity of phenotypic traits of 77 *Oncidium* germplasm resources[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(8): 2183-2190. (in Chinese)
- [23] 吴欣明, 郭璞, 池惠武, 方志红, 石永红, 王运琦, 刘建宁, 王赞, 王学敏. 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.
WU X M, GUO P, CHI H W, FANG Z H, SHI Y H, WANG Y Q, LIU J N, WANG Z, WANG X M. Diversity analysis of phenotypic traits and quality characteristics of alfalfa (*Medicago sativa*) introduced from abroad germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(1): 103-111. (in Chinese)
- [24] 王勤南, 符成, 常海龙, 张垂明, 周峰, 胡后祥, 金玉峰, 黄忠兴, 吕文兵, 刘少谋. 崖城系列甘蔗亲本及组合经济育种值评价[J]. 西南农业学报, 2014, 27(5): 1827-1833.
WANG Q N, FU C, CHANG H L, ZHANG C M, ZHOU F, HU H X, JIN Y F, HUANG Z X, LYU W B, LIU S M. Analysis on breeding values of Yacheng sugarcane parents and their cross[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(5): 1827-1833. (in Chinese)
- [25] 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)
- [26] BHUIYAN S A, MAGAREY R C, MCNEIL M D, AITKEN K S. Sugarcane smut, caused by *Sporisorium scitamineum*, a major disease of sugarcane a contemporary review[J]. Phytopathology, 2021, 111(11): 1905-1917.
- [27] 熊国如, 蔡文伟, 王文治, 伍苏然, 杨本鹏, 张树珍. 23 个

- 甘蔗品种对甘蔗黑穗病的抗性测定[J]. 中国糖料, 2016, 38(1): 13-14, 18.
- XIONG G R, CAI W W, WANG W Z, WU S R, YANG B P, ZHANG S Z. Evaluation of 23 sugarcane varieties for smut resistance[J]. Sugar Crops of China, 2016, 38(1): 13-14, 18. (in Chinese)
- [28] 罗霆, 段维兴, 唐仕云, 黄有总, 李毅杰, 王泽平, 林善海. 柳州和来宾蔗区黑穗病的发生及甘蔗品种抗性表现[J]. 中国糖料, 2017, 39(2): 39-41, 44.
- LUO T, DUAN W X, TANG S Y, HUANG Y Z, LI Y J, WANG Z P, LIN S H. Occurrence and varieties resistance performance of sugarcane smut disease in Liuzhou and Lai-bin cities[J]. Sugar Crops of China, 2017, 39(2): 39-41, 44. (in Chinese)
- [29] 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)
- [30] 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)