

贵州省黔西南州甘蔗野生种质资源考察收集与表型性状初步研究

徐超华, 刘洪博, 覃伟, 毛钧, 林秀琴, 陆鑫*

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: 贵州省黔西南州属珠江水系南北盘江流域, 属典型的低纬度高海拔山区, 其独特的气候类型和地理环境孕育了丰富的甘蔗野生种质资源。为进一步提高和丰富国家甘蔗种质资源圃(开远)的资源保存数量与遗传多样性, 探明黔西南州甘蔗野生种质资源分布状况, 2020年5月9—22日云南省农业科学院甘蔗研究所组织考察队对黔西南州4市(县)进行甘蔗野生种质资源的系统调查与采集工作。考察队系统调查兴义市、兴仁市、晴隆县、普安县等4市(县)33个乡镇的甘蔗野生种质资源分布情况, 采集到3个属5个种共92份野生甘蔗种质资源, 其中滇蔗茅(*Erianthus rockii*, Er)6份、割手密(*Saccharum spontaneum*, Sp)16份、芒(*Micanthus sinensis*, Ma)25份、斑茅(*Erianthus arundinacius*, Ea)13份、蔗茅(*Erianthus fulvus*, Ef)32份。调查分析发现, 黔西南州甘蔗野生种质资源种间性状变异丰富, 变异系数为11.4%~78.0%, 平均变异系数在30%以上。聚类分析显示, 割手密第Ⅲ大类群(Sp-2)、芒第Ⅱ大类群(Ma-8)、斑茅第Ⅱ大类群(Ea-2、Ea-9)、蔗茅第Ⅲ大类群(Ef-10、Ef-11)、蔗茅第Ⅴ大类群(Ef-26)及滇蔗茅(Er-1、Er-3、Er-4)产量性状和品质性状优良, 具有育种利用潜力, 可推荐作为甘蔗高产高糖育种亲本进行发掘利用。此次采集行动弥补了国家甘蔗种质资源圃(开远)在黔西南州系统调查的空白, 部分特异材料具有其他甘蔗野生资源所不具备的优异性状, 为甘蔗育种提供了宝贵的基因资源。

关键词: 甘蔗; 黔西南州; 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

Investigation and Phenotypic Traits Analysis of Wild Sugarcane Germplasm Resource in Southwest Guizhou Autonomous Prefecture of China

XU Chaohua, LIU Hongbo, QIN Wei, MAO Jun, LIN Xiuqin, LU Xin*

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

Abstract: Southwest Guizhou Autonomous Prefecture is a typical mountainous area with low latitude and high altitude and has abundant water resources. The specific climate and geographical environment of this region enables the appearance of abundant wild sugarcane germplasm resources. In order to enrich the wild germplasm resources and genetic diversity of National Germplasm Repository of Sugarcane (NGRS), and reveal the distribution of wild sugarcane germplasm resources in the region, the wild sugarcane resource investigation team of Sugarcane Research Institute of Yunnan Academy of Agricultural Sciences conducted a survey and collection for 14 days in 4 cities of the region from May 9 to May 22, 2020. Four cities, Xingyi, Xingren, Qinglong and Pu'an, were selected as the main collection areas, and a total of 92 wild sugarcane resources were collected. We collected 6 materials of *Erianthus rockii*, 16 of *Saccharum*

收稿日期 2022-08-02; 修回日期 2022-08-25

基金项目 政府购买服务项目(No. 19230834); 国家作物种质资源库甘蔗分库运行服务(No. NCGRC-2023-42); 开远甘蔗生长与环境云南省野外科学观测研究站(No. 202205AM070001)。

作者简介 徐超华(1986—), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向: 甘蔗种质资源。*通信作者(Corresponding author): 陆鑫(LU Xin), E-mail: xinlu_ky@126.com。

spontaneum, 25 of *Micanthus sinensis*, 13 of *Erianthus arundinaci* and 32 of *Erianthus fulvus*. The results revealed that there were abundant phenotypic variation in the species collected from this region with variation coefficient ranging from 11.4% to 78.0% and the average over 30%. Cluster analysis showed that *Sacchuram spontaneum* group III (Sp-2), *Micanthus sinensis* Group II (Ma-8), *Erianthus arundinaci* Group III (Ea-2, Ea-9), *Erianthus fulvus* Group III (Ef-10, Ef-11), *Erianthus fulvus* Group V (Ef-26) and *Erianthus rockii* (Er-1, Er-3, Er-4) had good yield and quality characters, and were recommended to be used as sugarcane breeding materials in further research. The germplasm collections changed the situation of CNNSGR collection system without collections from southwest Guizhou Autonomous Prefecture, and some specific materials had unique excellent characters that other wild sugarcane resources did not have, which might serve as the genetic resources for sugarcane breeding.

Keywords: sugarcane; Southwest Guizhou Autonomous Prefecture; germplasm resource; phenotypic traits; genetic diversity

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.06.007

甘蔗种质资源的收集、保存和鉴定评价是进行甘蔗品种遗传改良的重要基础。在世界各国蔗糖发展史上,每次甘蔗单产的飞跃均与种质资源的发掘利用密切相关。最具代表性的当属爪哇割手密、印度割手密和崖城割手密的发掘利用,对品种产量和抗性的改良都做出了突破性贡献^[1-2]。近年来,因城市化进程加快和人类生产活动范围扩张,野生资源原生境正在遭到破坏,加上大量杂交新品种的推广应用,我国名、特、优、稀、古老的甘蔗地方品种、野生种和野生近缘属种植物正在急剧减少。

目前,甘蔗育种工作面临两大挑战:一是甘蔗育种遗传基础狭窄,导致育种亲本数量少,多次重复利用,育成品种之间同质化程度高^[3];二是逆境胁迫(病虫害、干旱等)不断加剧,现有甘蔗品种抗病虫、抗旱能力弱,导致甘蔗单产长期在低位徘徊^[4-5]。这就需要育种家与资源工作者合力,从育种工作的源头入手,对珍贵的古老地方品种、野生近缘植物进行补充采集和抢救性保护,通过鉴定评价挖掘育种有益基因,为甘蔗育种储备新的、丰富的基因源。

黔西南布依族苗族自治州(以下简称“黔西南州”)位于贵州省西南部,地处贵州、云南、广西三省交界,总面积达 16 804 km²,属典型的低纬度高海拔山区,最高海拔 2207.2 m。州内地貌复杂,南盘江、北盘江、红水河 3 条大河贯穿州内,阳光充足,雨量充沛,多年平均气温为 13.8~19.4 °C,年平均降水量为 1352.8 mm,属亚热带季风湿润气候。其独特的气候类型和地理位置为植物的生长繁衍提供了得天独厚的自然条件^[6-7]。为了探明黔西南州甘蔗野生种质资源分布状况,并对当地甘蔗野生种质资源进行采集和抢救性保

护,丰富国家甘蔗种质资源圃(开远)圃存资源数量与遗传多样性,云南省农业科学院甘蔗研究所种质资源考察队赴黔西南州进行甘蔗野生种质资源系统调查与采集,以期找到具有育种潜力的甘蔗种质资源,为现代甘蔗育种研究储备优异亲本。

1 材料与方法

1.1 野生资源采集

2020年5月9—22日,云南省农业科学院甘蔗研究所甘蔗种质资源团队赴贵州省黔西南州兴义市、兴仁市、晴隆县、普安县等4市(县)33个乡镇(镇),开展甘蔗野生种质资源系统调查与收集。在整个系统调查与收集行动中,全程保持移动电话上的GPS工具箱APP线路追踪模块始终处于运行状态,设置经纬度坐标格式为度、分、秒,记录整个考察采集路线和样品采集点地理信息。

在样本采集过程中,同一类型种质按直线距离间隔 30 km 以上或海拔高低落差 100 m 以上取样 1 次。采样时,同一种群内选择优势单株,先用十字镐挖出 5 条以内含地上部和地下部的植株,待样品表型性状调查和图像采集完成后,再用枝剪去除植株地上部分,保留地下根茎(地下种芽),挂好写有采集编号的标签牌,装入塑料袋中。每隔 1~2 d 将采集样本通过快递集中邮寄回单位,单位收到样品后立即将采集样本种植于塑料桶中,并将样本标签牌挂于桶上,定期浇水、施肥和喷施农药,确保样本萌发和健康生长。

1.2 方法

在野生资源采集过程中,填写甘蔗种质资源野外调查采集表,采集表包括基本信息、形态学特征和生物学特征、抗病性(自然感病)3个部分。基本信息包括采集日期、采集编号、种质类

型、采集地点(含经度、纬度、海拔)、照片编号、种质群落、采集地形、采集地势、分布类型、采集地小环境。形态学特征和生物学特征包括 6 个数量性状和 16 个质量性状,数量性状包括叶片长度、叶片宽度、株高、茎径、节间长度、锤度;质量性状包括气生根、蜡粉带、空心、蒲心等 16 个性状。自然感病包括黑穗病、花叶病、锈病、褐条病等病害。6 个数量性状和 16 个质量性状指标测定参照《甘蔗种质资源描述规范和数据标准》^[8]。表型性状分析主要针对数量性状,聚类分析主要针对割手密(*Sacchuram spontaneum*)、芒(*Micanthus sinensis*)、斑茅(*Erianthus arundinacius*)、蔗茅(*Erianthus fulvus*)。

1.3 数据处理

运用 GIS 软件绘制甘蔗野生种质资源采集分布图,运用 Excel 2010 软件对调查数据进行整理与分类。采用 SPSS 17.0 软件对数量性状进行变异系数(CV)分析,描述 6 个数量性状的离散程度。使用 NTSYSpc 2.1 软件计算各样品间的 SM 相似性系数(simple matching coefficient),并采用非加权配对算术平均法绘制聚类关系图。

2 结果与分析

2.1 甘蔗野生种质资源生态地理分布情况

通过对黔西南州兴义市、兴仁市、晴隆县、普安县等 4 市(县)33 个乡镇系统采集,发现黔西南州甘蔗野生种质资源分布广泛,在山腰、公路旁边和荒野处均可见甘蔗野生种质资源,尤其是野生近缘种蔗茅分布最为广泛。此次采集的 92 份野生甘蔗种质资源主要分布于 104°47.40'~105°29.90'E, 24°47.00'~26°0.25'N 和海拔 774~1727 m 之间,通过植物表型分类鉴定,采集到滇蔗茅(*Erianthus rockii*, Er) 6 份、割手密(*Sacchuram spontaneum*, Sp) 16 份、芒(*Micanthus sinensis*, Ma) 25 份、斑茅(*Erianthus arundinacius*, Ea) 13 份、蔗

茅(*Erianthus fulvus*, Ef) 32 份。通过考察发现,不同类型野生种质资源在黔西南州 4 市(县)的分布不同,其分布和生长环境详见表 1 和图 1。

2.2 表型性状变异分析

表型性状数据分析结果显示,92 份野生甘蔗种质资源在数量性状上存在一定程度的遗传变异(表 2,表 3)。此次考察,采集到 6 份滇蔗茅,其中株高最高为 419.0 cm,最低只有 156.0 cm;茎径最粗为 2.00 cm,最细为 0.65 cm;锤度(Bx)最高为 13.8%,最低为 6.0%;节间长度最长为 31 cm,最短为 14.0 cm;叶长最长为 56.1 cm,最短为 40.5 cm;叶宽最宽为 4.5 cm,最窄为 3.3 cm。割手密 16 份,其中株高最高为 121.0 cm,最低只有 18.0 cm;茎径最粗为 0.72 cm,最细为 0.32 cm;锤度最高为 11.2%,最低为 3.0%;节间长度最长为 15 cm,最短为 4.2 cm;叶长最长为 107.0 cm,最短为 27.4 cm;叶宽最宽为 1.8 cm,最窄为 0.5 cm。芒 25 份,其中株高最高为 255.0 cm,最低只有 20.0 cm;茎径最粗为 0.85 cm,最细为 0.32 cm;锤度最高为 10.2%,最低为 3.6%;节间长度最长为 27.0 cm,最短为 2.0 cm;叶长最长为 109.0 cm,最短为 49.5 cm;叶宽最宽为 3.3 cm,最窄为 0.7 cm。斑茅 13 份,其中株高最高为 475.0 cm,最低只有 31.0 cm;茎径最粗为 2.70 cm,最细为 0.65 cm;锤度最高为 9.0%,最低为 3.4%;节间长度最长为 29.0 cm,最短为 5.0 cm;叶长最长为 276.0 cm,最短为 76.0 cm;叶宽最宽为 5.6 cm,最窄为 1.8 cm。蔗茅 32 份,其中株高最高为 89.0 cm,最低只有 27.0 cm;茎径最粗为 0.95 cm,最细为 0.32 cm;锤度最高为 12.6%,最低为 3.4%;节间长度最长为 13.5 cm,最短为 2.15 cm;叶长最长为 95 cm,最短为 49.2 cm;叶宽最宽为 3.6 cm,最窄为 0.6 cm。对采集的 92 份野生甘蔗种质资源进行自然感病情况调查(表 2)。在自然条件下,滇蔗茅、割手密、芒、蔗茅均存

表 1 甘蔗野生种质资源种类、数量及分布

Tab. 1 Species, quantity and distribution of wild sugarcane germplasm resources

种质 Germplasm	数量 Number	分布地区 Distribution area	生境类型 Habitat type	海拔范围 Altitude rang/m
滇蔗茅	6	兴义	山腰、公路旁边、碎石坡、林下	804~1375
割手密	16	兴义、兴仁、晴隆、普安	山腰、公路旁边、碎石坡、田埂、林下	1018~1540
芒	25	兴义、兴仁、晴隆、普安	山腰、公路旁边、碎石坡、田埂、林下	801~1595
斑茅	13	兴义、兴仁、晴隆、普安	山腰、公路旁边、田埂、灌丛下	774~1503
蔗茅	32	兴义、兴仁、晴隆、普安	山腰、公路旁边、碎石坡、田埂、林下	933~1727

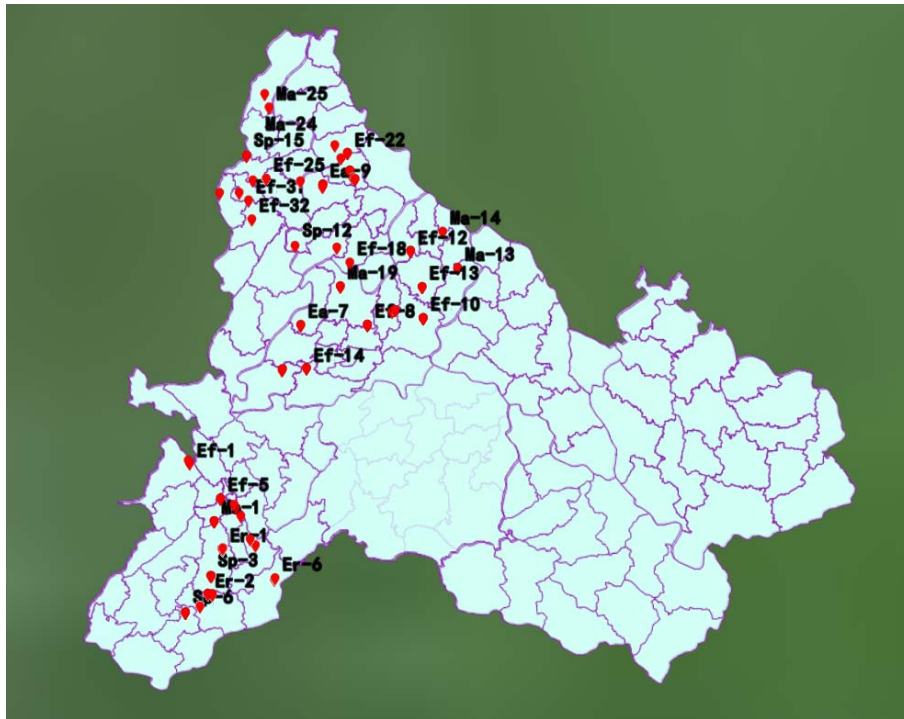


图 1 黔西南州甘蔗野生种质资源的分布情况

Fig. 1 Distribution of wild sugarcane germplasm resources in Southwest Guizhou Autonomous Prefecture

表 2 野生甘蔗种质资源主要农艺性状及自然感病情况

Tab. 2 Main agronomic characters and naturally infected diseases in collected wild sugarcane resources

种质 Germplasm	编号 Code	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	株高 Plant height/cm	茎径 Stalk diameter/cm	节间长度 Internode length/cm	锤度 Brix/%	自然感病 Naturally infected disease
滇蔗茅	Er-1	48.00	3.90	178.00	0.75	20.00	13.80	褐条病
	Er-2	51.00	4.50	160.00	0.90	15.00	7.40	褐条病
	Er-3	40.50	3.30	183.00	0.75	14.00	10.40	褐斑病
	Er-4	56.10	3.90	419.00	2.00	31.00	6.00	褐条病
	Er-5	44.00	3.80	156.00	0.65	19.20	7.20	无
	Er-6	50.00	4.50	187.00	0.70	18.00	9.00	无
割手密	Sp-1	82.30	1.05	117.00	0.50	7.50	4.60	褐斑病
	Sp-2	27.40	1.70	74.00	0.75	4.20	5.40	无
	Sp-3	72.50	1.40	64.00	0.55	12.50	3.00	褐条病
	Sp-4	92.00	1.80	65.00	0.55	12.00	6.00	无
	Sp-5	63.20	0.70	120.00	0.45	13.10	7.00	褐斑病
	Sp-6	61.00	1.00	34.00	0.35	5.00	4.80	叶焦病
	Sp-7	57.50	0.70	121.00	0.50	12.50	8.40	无
	Sp-8	107.00	1.30	101.00	0.73	15.00	5.60	无
	Sp-9	80.00	0.50	79.00	0.40	7.90	5.00	无
	Sp-10	81.00	0.70	42.00	0.40	7.10	4.00	无
	Sp-11	70.00	0.70	39.00	0.35	5.90	5.60	轮斑病
	Sp-12	46.00	1.00	32.00	0.48	7.30	5.20	无
	Sp-13	47.00	0.70	18.00	0.35	7.00	5.00	无
	Sp-14	61.00	0.70	110.00	0.55	11.20	11.20	无

续表 2 野生甘蔗种质资源主要农艺性状及自然感病情况

Tab. 2 Main agronomic characters and naturally infected diseases in collected wild sugarcane resources (continued)

种质 Germplasm	编号 Code	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	株高 Plant height/cm	茎径 Stalk diameter/cm	节间长度 Internode length/cm	锤度 Brix/%	自然感病 Naturally infected disease
芒	Sp-15	76.00	1.00	74.00	0.40	8.00	3.20	无
	Sp-16	77.00	1.20	48.00	0.32	5.50	7.00	无
	Ma-1	83.00	2.30	182.00	0.75	17.50		眼斑病
	Ma-2	56.30	1.20	20.00	0.50	17.00	5.00	无
	Ma-3	109.00	3.10	114.00	0.75	10.80	3.20	无
	Ma-4	56.20	1.10	51.00	0.51	9.40	8.80	无
	Ma-5	76.20	2.00	68.00	0.55	7.60	3.20	无
	Ma-6	77.50	1.30	87.50	0.45	10.00	3.60	黄斑病
	Ma-7	68.50	1.30	74.80	0.55	11.00	5.20	无
	Ma-8	83.50	3.30	255.00	0.85	27.00	4.20	无
	Ma-9	76.00	1.70	38.00	0.35	2.00	7.00	无
	Ma-10	75.00	2.10	92.00	0.50	7.00	7.50	赤腐病
	Ma-11	65.00	1.40	76.00	0.60	8.60	5.40	无
	Ma-12	58.00	2.10	78.50	0.60	9.50	6.80	无
	Ma-13	49.50	0.80	43.00	0.40	3.50	5.40	无
	Ma-14	87.00	2.60	76.50	0.45	9.30	4.80	无
	Ma-15	96.00	1.50	69.00	0.65	14.40	5.20	赤腐病
	Ma-16	54.00	1.00	86.80	0.43	7.60	3.40	赤腐病
	Ma-17	63.00	0.90	100.00	0.52	9.60	6.00	无
	Ma-18	62.00	1.10	39.00	0.45	4.80	3.40	无
	Ma-19	76.00	1.00	43.00	0.35	9.50	5.20	褐条病
	Ma-20	54.50	1.00	31.00	0.35	3.80	4.20	无
	Ma-21	83.00	1.50	38.00	0.60	4.80	7.40	无
	Ma-22	57.00	1.40	27.00	0.50	3.30	3.40	无
	Ma-23	52.00	1.30	34.00	0.32	3.70	10.20	无
Ma-24	70.00	0.70	76.00	0.40	11.00	3.60	无	
Ma-25	81.00	1.90	74.00	0.40	5.40	5.60	无	
斑茅	Ea-1	136.00	3.00	121.00	0.90	13.50	5.00	无
	Ea-2	164.00	4.40	475.00	2.25	29.00	5.60	无
	Ea-3	276.00	5.60	283.00	1.50	19.00	3.40	无
	Ea-4	153.00	2.50	80.00	1.30	10.80	3.60	无
	Ea-5	153.00	2.90	250.00	1.40	27.00	4.00	无
	Ea-6	158.00	3.80	160.00	1.30	15.00	6.20	无
	Ea-7	170.00	2.10	119.00	1.15	10.50	6.20	无
	Ea-8	150.00	2.20	146.00	1.00	10.20	5.60	无
	Ea-9	178.00	4.40	208.00	2.70	16.50	9.00	无
	Ea-10	103.00	2.60	31.00	1.25	23.00	3.60	无
	Ea-11	98.00	2.30	52.00	0.85	5.40	4.20	无
	Ea-12	76.00	1.80	66.00	1.20	5.00	5.40	无
	Ea-13	118.00	2.60	60.00	0.65	5.80	6.20	无
蔗茅	Ef-1	85.50	1.60	40.00	0.70	3.80	8.00	褐斑病
	Ef-2	78.20	1.70	79.00	0.41	7.10	7.40	赤腐病
	Ef-3	90.70	1.30	71.00	0.44	8.70	8.40	褐斑病

续表 2 野生甘蔗种质资源主要农艺性状及自然感病情况
 Tab. 2 Main agronomic characters and naturally infected diseases in collected wild sugarcane resources (continued)

种质 Germplasm	编号 Code	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	株高 Plant height/cm	茎径 Stalk diameter/cm	节间长度 Internode length/cm	锤度 Brix/%	自然感病 Naturally infected disease
	Ef-4	78.50	1.40	46.00	0.34	9.50	6.60	褐斑病
	Ef-5	61.00	1.35	38.00	0.45	5.50	12.20	褐斑病
	Ef-6	89.00	0.80	68.00	0.44	11.10	5.00	锈病
	Ef-7	87.00	1.10	67.00	0.38	11.80	10.40	赤腐病
	Ef-8	58.50	1.15	31.20	0.50	3.60	5.00	锈病
	Ef-9	75.00	1.00	64.00	0.40	10.20	7.80	赤腐病
	Ef-10	49.20	1.00	54.50	0.35	10.50	9.20	褐条病
	Ef-11	59.20	0.56	89.00	0.56	9.20	6.80	褐条病
	Ef-12	79.00	1.40	48.00	0.45	4.10	7.20	赤腐病
	Ef-13	78.80	1.20	43.00	0.50	11.00	3.40	无
	Ef-14	60.00	1.40	39.00	0.70	4.40	8.40	锈病
	Ef-15	94.00	1.70	65.00	0.50	8.50	3.60	无
	Ef-16	72.00	1.70	42.00	0.45	5.70	9.20	褐条病
	Ef-17	92.00	3.60	43.00	0.58	4.20	7.80	无
	Ef-18	79.00	1.80	69.50	0.50	6.00	7.00	锈病
	Ef-19	83.50	1.80	58.00	0.60	5.60	11.40	褐条病
	Ef-20	95.00	2.00	70.00	0.35	10.50	6.80	锈病
	Ef-21	64.00	1.00	31.00	0.35	4.00	4.00	锈病
	Ef-22	68.00	1.60	36.00	0.40	5.40	9.40	褐条病
	Ef-23	68.00	1.50	42.00	0.45	10.50	9.00	锈病
	Ef-24	61.00	1.20	54.00	0.35	5.80	8.00	赤腐病
	Ef-25	72.00	1.50	30.00	0.55	2.70	4.60	锈病
	Ef-26	87.00	2.00	59.00	0.95	4.00	12.60	锈病
	Ef-27	95.00	2.00	53.00	0.52	6.50	9.00	赤腐病
	Ef-28	72.00	1.60	43.00	0.46	6.00	4.20	无
	Ef-29	95.00	1.20	42.50	0.60	3.00	5.00	赤腐病
	Ef-30	67.00	0.70	27.00	0.32	4.10	6.00	无
	Ef-31	78.00	1.20	41.00	0.45	2.15	8.40	无
	Ef-32	72.00	1.40	51.00	0.45	13.50	7.40	褐条病

在一定程度自然感病,斑茅未发现自然感病情况。

由表 3 可知,滇蔗茅的植株较为高大,平均株高为 213.8 cm,其次为斑茅,平均株高为 157.8 cm;蔗茅的植株最矮,平均株高为 51.1 cm,割手密、芒株高较为接近,平均株高均在 70 cm 左右。斑茅植株茎径较粗,平均茎径为 1.34 cm;其次为滇蔗茅,平均茎径为 0.96 cm;割手密、芒、蔗茅的茎径较细,均值为 0.48~0.51 cm。滇蔗茅锤度较高,平均值为 8.97%;其次为蔗茅,平均锤度为 7.48%;割手密、斑茅、芒的锤度较为接近,均值为 5%~6%。滇蔗茅节间长度最长,均值为 19.53 cm,蔗茅节间长度最短,均值为 6.83 cm。

斑茅叶片长度占有绝对优势,均值为 148.69 cm;滇蔗茅叶片最短为,均值为 48.27 cm;滇蔗茅叶片最宽,均值为 3.98 cm;割手密叶宽最窄,均值为 1.01 cm。

滇蔗茅、割手密、芒、斑茅、蔗茅 6 个数量性状的变异系数均存在一定的差异(表 3)。由表 3 可知,滇蔗茅平均变异系数为 33.1%,变异幅度为 11.4%~54.0%,茎径变异系数最高为 54.0%,叶长变异系数最小为 11.4%;割手密平均变异系数为 35.7%,变异幅度为 26.9%~48.3%,株高变异系数最高为 48.3%,茎径变异系数最小为 26.9%;芒平均变异系数为 43.5%,变异幅度为

21.1%~68.0%，株高变异系数最高为 68.0%，叶长变异系数最低为 21.1%；斑茅平均变异系数为 45.5%，变异幅度为 29.5%~78.0%，株高变异系数最高为 78.0%，锤度变异系数最低为 29.5%；蔗茅平均变异系数为 31.3%，变异幅度为 16.5%~

45.7%，节间长度变异系数最高为 45.7%，叶长变异系数最小为 16.5%。从整体上来看，在该野生群体中数量性状的遗传变异主要来自于株高、茎径、节间长度和锤度，叶长和叶宽 2 个性状相对稳定。

表 3 野生甘蔗资源主要性状遗传变异分析
Tab. 3 Genetic variation of main agronomic characters of wild sugarcane resources

种质 Germplasm	性状 Trait	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	标准差 SD	标准误 SE	变异系数 CV/%
滇蔗茅	叶长/cm	40.50	56.10	48.27	5.485	2.239	11.4
	叶宽/cm	3.30	4.50	3.98	0.458	0.187	11.5
	株高/cm	156.00	419.00	213.83	101.283	41.348	47.4
	茎径/cm	0.65	2.00	0.96	0.517	0.211	54.0
	节间长度/cm	14.00	31.00	19.53	6.088	2.486	31.2
	锤度/%	6.00	13.80	8.97	2.821	1.152	31.5
割手密	叶长/cm	27.40	107.00	68.81	19.284	4.821	28.0
	叶宽/cm	0.50	1.80	1.01	0.384	0.096	38.0
	株高/cm	18.00	121.00	71.13	34.349	8.587	48.3
	茎径/cm	0.32	0.75	0.48	0.128	0.032	26.9
	节间长度/cm	4.20	15.00	8.86	3.333	0.833	37.6
	锤度/%	3.00	11.20	5.69	2.013	0.503	35.4
芒	叶长/cm	49.50	109.00	70.77	14.967	2.993	21.1
	叶宽/cm	0.70	3.30	1.58	0.690	0.138	43.6
	株高/cm	20.00	255.00	74.96	50.944	10.189	68.0
	茎径/cm	0.32	0.85	0.51	0.136	0.027	26.6
	节间长度/cm	2.00	27.00	9.12	5.498	1.100	60.3
	锤度/%	3.60	10.20	5.11	2.108	0.422	41.3
斑茅	叶长/cm	76.00	276.00	148.69	49.096	13.617	33.0
	叶宽/cm	1.80	5.60	3.09	1.124	0.312	36.4
	株高/cm	31.00	475.00	157.77	123.029	34.122	78.0
	茎径/cm	0.65	2.70	1.34	0.563	0.156	41.9
	节间长度/cm	5.00	29.00	14.67	7.962	2.208	54.3
	锤度/%	3.40	9.00	5.23	1.545	0.428	29.5
蔗茅	叶长/cm	49.20	95.00	76.38	12.577	2.223	16.5
	叶宽/cm	0.56	3.60	1.45	0.537	0.095	37.0
	株高/cm	27.00	89.00	51.08	15.458	2.733	30.3
	茎径/cm	0.32	0.95	0.48	0.130	0.023	26.8
	节间长度/cm	2.15	13.50	6.83	3.120	0.552	45.7
	锤度/%	3.40	12.60	7.48	2.379	0.421	31.8

2.3 聚类分析

以 6 个数量性状为指标，对 92 份样品进行聚类分析（图 2）。结果表明，16 份割手密之间的遗传距离变幅为 0.355~2.330，其中 Sp-5 和 Sp-17 之间的遗传距离最小为 0.355，Sp-8 和 Sp-13 之间的遗传距离最大为 2.330。当遗传距离为 1.5 时，

16 份割手密可以划分为 3 大类群，其中第 I 大类群由 Sp-1 等 12 份材料组成。从类群特征上分析（表 4），整体上第 I 大类群在 3 个类群中平均锤度最高，为 5.92%，株高、茎径在 3 个类群中最小，分别为 69.50、0.42 cm。第 II 大类群由 Sp-3、Sp-4 和 Sp-8 等 3 个材料组成，整体上第 II 大类群

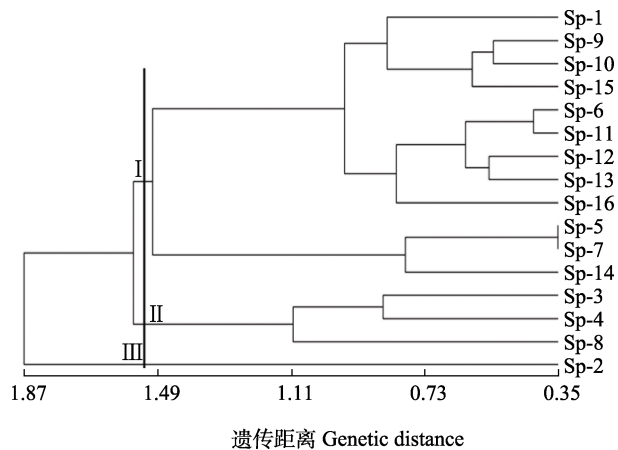


图 2 基于表型性状割手密聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis based on phenotypic traits of *Saccharum spontaneum*

平均株高最高，为 46.67 cm，茎径相对较粗，为 0.61 cm；平均锤度在 3 个类群中最小，为 4.87%。第 III 大类群由 Sp-2 单独聚为一类，茎径在 16 份割手密材料中最粗，为 0.75 cm，株高和锤度相对较高，分别为 74.0 cm 和 5.4%。

25 份芒之间的遗传距离变幅为 0.262~3.54，其中 Ma-7 和 Ma-11 之间的遗传距离最小为 0.262，Ma-8 和 Ma-23 之间的遗传距离最大为 3.54。从图 3 可看出，当遗传距离为 1.42 时，25 份芒可以划分为 3 大类群，其中第 I 大类群由 Ma-1 和 Ma-3 材料组成。从类群特征上分析（表 4），整体上第 I 大类群株高相对较高，为 148 cm，茎径相对较

粗，为 0.75 cm；平均锤度在 3 个类群中最低，为 3.2%。第 II 大类群由 Ma-8 单独聚为一类，株高和茎径在 25 份材料中最高，分别为 255.0、0.85 cm，平均锤度相对较高，为 4.2%。第 III 大类群由 Ma-2 等 22 份材料组成，整体上第 III 大类群在 3 个类群中平均锤度较高，为 5.47%，株高和茎径在 3 个类群中最低，分别为 60.14、0.48 cm。

13 份斑茅之间的遗传距离变幅为 0.272~2.460，其中 Ea-7 和 Ea-8 之间的遗传距离最小为 0.272，Ea-3 和 Ea-12 之间的遗传距离最大为 2.460。从图 4 可看出，当遗传距离为 1.490 时，13 份斑茅可以划分为 3 大类群，其中第 I 大类群由 Ea-1 等 10 份材料组成。从类群特征上分析（表 4），整体上第 I 大类群平均锤度相对较高，为 5.0%，株高和茎径在 3 个类群中最小，分别为 108.5、1.10 cm。第 II 大类群由 Ea-2 和 Ea-9 两份材料组成，株高、茎径和锤度在 3 个类群中表现最高，分别为 341.5 cm、2.48 cm、7.3%。第 III 大类由 Ea-3 单独聚为一类，株高和茎径相对较高，分别为 283.0、1.5 cm，锤度在 3 个类群中表现最低，为 3.40%。

32 份蔗茅之间的遗传距离变幅为 0.274~2.900，其中 Ef-16 和 Ef-22 之间的遗传距离最小为 0.274，Ef-11 和 Ef-17 之间的遗传距离最大为 2.90。从图 5 可看出，当遗传距离为 1.24 时，32 份蔗茅可以划分为 5 大类群，其中第 I 大类群由

表 4 野生甘蔗种质资源类群特征分析

Tab. 4 Characteristics for each group of wild sugarcane germplasm resources

种质	类群	数量	叶长	叶宽	株高	茎径	节间长度	锤度
Germplasm	Group	Number	Leaf length/cm	Leaf width/cm	Plant height/cm	Stalk diameter/cm	Internode length/cm	Brix/%
割手密	I	12	66.83	0.83	69.50	0.42	8.17	5.92
	II	3	90.50	1.50	76.67	0.61	13.17	4.87
	III	1	74.00	1.70	74.00	0.75	4.20	5.40
芒	I	2	96.00	2.70	148.00	0.75	14.15	3.20
	II	1	83.50	3.30	255.00	0.85	27.00	4.20
	III	22	67.90	1.40	60.14	0.48	7.85	5.47
斑茅	I	10	131.50	2.58	108.50	1.10	12.62	5.00
	II	2	171.00	4.40	341.50	2.48	22.75	7.30
	III	1	276.00	5.60	283.00	1.50	19.00	3.40
蔗茅	I	16	73.22	1.40	40.86	0.49	4.52	7.50
	II	12	82.10	1.41	61.29	0.43	9.87	6.90
	III	2	54.20	0.78	71.75	0.46	9.85	8.00
	IV	1	92.00	3.60	43.00	0.58	4.20	7.80
	V	1	87.00	2.00	59.00	0.95	4.00	12.60

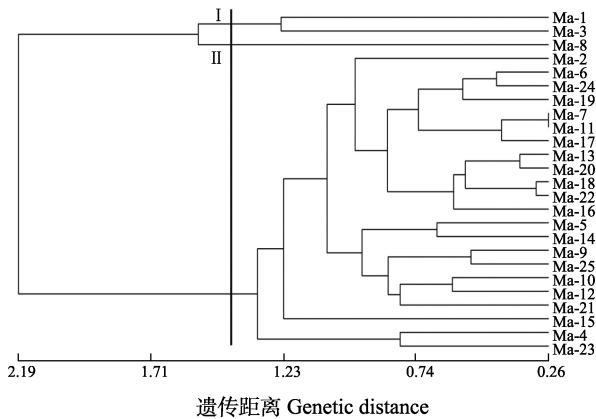


图 3 基于表型性状芒聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis based on phenotypic traits of *Micanthus sinensis*

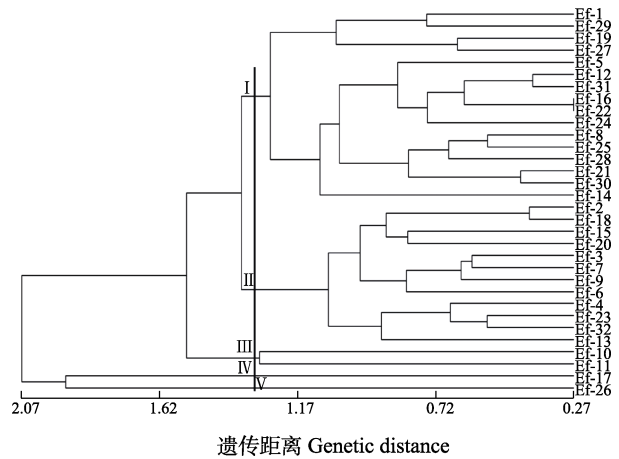


图 5 基于表型性状蔗茅聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis based on phenotypic traits of *Erianthus fulvus*

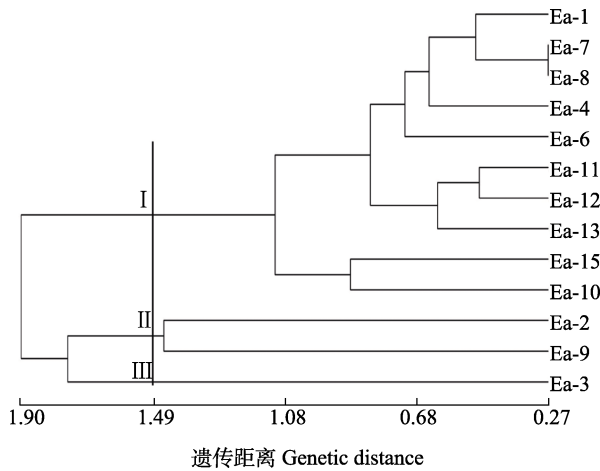


图 4 基于表型性状斑茅聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis based on phenotypic traits of *Erianthus arundinacius*

Ef-1 等 16 份材料组成。从类群特征上分析(表 4), 整体上第 I 大类群平均锤度相对较低, 只高于第 II 大类群, 为 4.5%; 茎径在 5 个类群中表现中等, 为 0.49 cm; 株高在 5 个类群中最低, 为 40.86 cm。第 II 大类群由 Ef-2 等 12 份材料组成, 株高相对较高, 仅次于第 III 大类群, 为 61.29 cm; 茎径和锤度在 5 个类群中最低, 分别为 0.43 cm、6.9%。第 III 大类群由 Ef-10 和 Ef-11 两份材料组成, 株高在 5 个类群中最高, 为 71.75 cm; 锤度相对较高, 仅次于第 V 大类群, 为 8.0%; 茎径相对较细, 仅高于第 II 大类群, 为 0.46 cm。第 IV 大类群单独由 Ef-17 一份材料组成, 茎径相对较粗, 仅次于第 V 大类群, 为 0.58 cm; 株高相对较矮, 为 43.0 cm; 锤度在 5 个类群中表现中等, 为 7.8%。第 V 大类群也单独由 Ef-26 一份材料组成, 茎径和锤度在 32 份材料中表现最高, 分别为 0.95 cm、12.6%; 株高在 5 个类群中表现中等, 为 59.0 cm。

综上所述, 割手密第 III 大类群的 Sp-2、芒第 II 大类群的 Ma-8、斑茅第 II 大类群的 Ea-2 和 Ea-9、蔗茅第 III 大类群的 Ef-10 和 Ef-11、蔗茅第 V 大类群的 Ef-26 以及滇蔗茅的 Er-1、Er-3 和 Er-4 综合性状较优, 具有一定的育种利用价值(表 5)。在此次采集过程中, 斑茅 Ea-2 和滇蔗茅 Er-4 植株非常高大, 株高分别为 475 cm 和 419 cm 在历次资源采集过程中非常少见, 远远高于国家甘蔗种质资源圃(开远)同类型保育的材料, 可为甘蔗优良品种产量性状遗传改良及探讨产量性状形成的理论机制提供重要的理想材料。

3 讨论

甘蔗种质资源是甘蔗科技原始创新、现代甘蔗种业发展的物质基础, 是保障国家食糖安全、促进西南边疆少数民族地区农民增收实现精准扶贫、支撑蔗糖产业可持续发展的战略性资源。甘蔗种质资源在我国分布较为广泛, 主要分布于我国的云南、贵州、广东、广西、福建、海南、四川、江西、浙江、安徽、湖北、湖南、河南、江苏、山西、陕西、西藏等地区^[9]。黔西南州因其独特的气候类型和地理位置孕育了丰富的甘蔗野生种质资源, 但目前尚未见国内有关黔西南州甘蔗野生种质资源系统考察与收集的研究报道, 国家甘蔗种质资源圃(开远)对该地区的甘蔗野生种质资源保存也基本处于空白。为此, 云南省农业科学院甘蔗研究所计划通过 2~3 次系统调查, 完成黔西南州全境甘蔗野生种质资源的采集。由于新冠肺炎疫情影响, 目前仅完成了兴义市、兴

表 5 优异种质资源
Tab. 5 Excellent wild sugarcane germplasm resources

种质 Germplasm	编号 Code	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	株高 Stalk height/cm	茎径 Stalk diameter/cm	节间长度 Internode length/cm	锤度 Brix/%
滇蔗茅	Er-1	48.00	3.90	178.00	0.75	20.00	13.80
	Er-3	40.50	3.30	183.00	0.75	14.00	10.40
	Er-4	56.10	3.90	419.00	2.00	31.00	6.00
割手密	Sp-2	74.0	1.70	74.00	0.75	4.20	5.40
芒	Ma-8	83.50	3.30	255.00	0.85	27.00	4.20
斑茅	Ea-2	164.00	4.40	475.00	2.25	29.00	5.60
	Ea-9	178.00	4.40	208.00	2.70	16.50	9.00
蔗茅	Ef-10	49.20	1.00	54.50	0.35	10.50	9.20
	Ef-11	59.20	0.56	89.00	0.56	9.20	6.80
	Ef-26	87.00	2.00	59.00	0.95	4.00	12.60

仁市、晴隆县、普安县等 4 市（县）的系统调查和采集工作，余下的贞丰县、安龙县、册亨县、望谟县及义龙新区将视疫情情况适时开展。

此次考察历时 14 d，共采集到野生甘蔗种质资源 92 份，其中滇蔗茅 6 份、割手密 16 份、芒 25 份、斑茅 13 份、蔗茅 32 份，涉及甘蔗复合群（*Saccharum complex*）5 个种^[10]。此次考察发现，滇蔗茅、割手密、芒、斑茅、蔗茅大多生长在山坡上，甚至在陡峭的石壁岩缝，说明野生甘蔗种质资源具有极强的耐旱和耐瘠能力，与刘洋等^[11]在海南和胡存脉等^[12]在西藏野生资源采集报道结果一致。目前，国家甘蔗种质资源圃（开远）已编目保存的野生甘蔗种质资源滇蔗茅海拔分布在 693~2340 m，蔗茅海拔分布在 1097~3014 m^[13]，芒海拔分布在 4~1953 m，此次考察采集的野生甘蔗种质资源蔗茅在 933~1727 m，拓宽了之前未采集到的海拔范围，此次考察进一步丰富了野生甘蔗种质资源库，对扩大甘蔗遗传基础、选育抗逆新品种提供了资源储备。

用变异系数表示性状值离散性特征，变异系数越大则性状离散程度越大^[14]。从遗传多样性角度来看，甘蔗复合群 5 个种 6 个表型性状均存在丰富的遗传变异，5 个种 6 个数量性状平均变异系数为 31.3%~45.5%，平均变异系数均在 30.0% 以上，表现出较高的遗传多样性，这可能与多样化的生境有很大关系。从聚类结果来看，16 份割手密聚成 3 类，第Ⅲ大类群的 Sp-2 植株高大、茎径最粗，锤度较高；25 份芒聚成 3 类，第Ⅱ大类群的 Ma-8 植株高大、茎径最粗、节间长度最长、锤度较高；13 份斑茅聚成 3 类，第Ⅱ大类群的 Ea-2 和 Ea-9 具有植株高大、茎径最粗、节间

长度最长、锤度最高；32 份蔗茅聚成 5 类，第Ⅲ大类群的 Ef-10、Ef-11 和第Ⅴ大类群的 Ef-26 具有较高的株高、茎径和锤度；以及滇蔗茅的 Er-1、Er-3 和 Er-4，合计 10 份优异材料，可以作为育种利用的首选材料。在此次采集过程中，斑茅 Ea-2 和滇蔗茅 Er-4 植株非常高大，株高分别为 475 cm 和 419 cm，在历次资源采集过程中非常少见，远远高于国家甘蔗种质资源圃（开远）保育的同类型材料。通过采集野生资源主要农艺性状初步评价，已初步筛选出了一批特性突出、有育种利用价值的野生甘蔗种质资源，但多数资源还未从分子水平和基因水平开展资源的精细、深度鉴定评价，优良、特异基因资源亟待进一步深入挖掘。

鉴于野生资源的重要性和极易丢失等特点，有必要在未采集的适生地开展更大规模的收集工作。应借助《全国农作物种质资源保护与利用中长期发展规划（2015—2030）》（农种发〔2015〕）颁布实施的最佳政策环境，加强甘蔗种质资源适生区、富集区的系统调查与抢救性保护，以及对多样性丰富的区域进行补充性采集，加快完成我国古老地方品种和优异野生资源的抢救性收集和保护工作。

参考文献

- [1] 陈如凯. 现代甘蔗遗传育种[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
CHEN R K. Theory and practice in modern sugarcane breeding[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011. (in Chinese)
- [2] 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(*Eianthus 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)
- [3] 李杨瑞. 现代甘蔗学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- LI Y R. Modern sugarcane[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010. (in Chinese)
- [4] 徐超华, 李纯佳, 苏火生, 陆鑫, 李旭娟, 刘洪博, 林秀琴, 毛钧, 字秋艳, 刘新龙. 甘蔗非生物胁迫抗性研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(3): 483-493.
- XU C H, LI C J, SU H S, LU X, LI X J, LIU H B, LIN X Q, MAO J, ZI Q Y, LIU X L. Progress in the studies on abiotic stress resistance of sugarcane (*Saccharum* spp.)[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(3): 483-493. (in Chinese)
- [5] 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)
- [6] 陈维林, 马莹, 罗元雄, 蔡坤伦, 龚德勇. 浅议黔西南州发展优质烤烟生产的优势及策略[J]. 江西农业学报, 2014, 26(3): 54-57.
- CHEN W L, MA Y, LUO Y X, CAI K L, GONG D Y. A preliminary discussion on advantages and strategy of producing high-quality flue-cured tobacco in Qianxinan prefecture[J]. Acta Agriculture Jiangxi, 2014, 26(3): 54-57. (in Chinese)
- [7] 岑爱华, 肖鹏, 邓伟, 莫熙礼, 邹芬, 黄蔚. 黔西南州野生柃叶资源及其开发利用现状[J]. 南方农业, 2016, 10(7): 38-40.
- CEN A H, XIAO P, DENG W, MO X L, ZOU F, HUANG W. Development and utilization of wild *Phrynium capitatum* wild in Southwest Guizhou Autonomous Prefecture of China[J]. South China Agriculture, 2016, 10(7): 38-40. (in Chinese)
- [8] 中华人民共和国农业部. 甘蔗种质资源描述规范: NY/T 2936—2016[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Descriptors and data standard for sugarcane (*Saccharum officinarum* L.): NY/T 2936—2016[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2006. (in Chinese)
- [9] CHANG D, YANG FY, YAN J J, WU Y Q, BAI S Q, LIANG X Z, GAN Y M. SRAP analysis of genetic diversity of nine native populations of wild sugarcane, *Saccharum spontaneum*, from Sichuan, China[J]. Genetics Molecular Research, 2012, 11(2): 1245-1253.
- [10] 毛钧, 陆鑫, 刘新龙, 苏火生, 刘洪博, 蔡青. “甘蔗复合群”能源植物遗传育种研究进展[J]. 植物分类与资源学报, 2014, 36(1): 89-98.
- MAO J, LU X, LIU X L, SU H S, LIU H B, CAI Q. Progress on the breeding of energy plants comprising the “*Saccharum* complex”[J]. Plant Diversity and Resources, 2014, 36(1): 89-98. (in Chinese)
- [11] 刘洋, 刘新龙, 苏火生, 刘洪博, 姚艳丽, 苏俊波. 海南甘蔗野生种质资源的收集与遗传多样性初析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(1): 199-208.
- LIU Y, LIU X L, SU H S, LIU H B, YAO Y L, SU J B. Collection and genetic diversity analysis of wild germplasm resource in sugarcane from Hainan province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(1): 199-208. (in Chinese)
- [12] 胡存脉, 王先宏, 余兴华, 杨清辉. 藏南甘蔗野生种质资源的考察与植物学性状分析[J]. 云南农业大学学报, 2015, 30(3): 351-356.
- HU C M, WANG X H, YU X H, YANG Q H. Investigation and botanical character analysis of wild sugarcane germplasm resources of Southern Tibet[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2015, 30(3): 351-356. (in Chinese)
- [13] 徐超华, 陆鑫, 刘新龙, 刘洪博, 苏火生, 马丽, 毛钧, 林秀琴, 李旭娟, 蔡青. 甘蔗近缘种蔗茅 *Erianthus fulvus* 考察收集与表型性状初步研究[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(5): 962-966.
- XU C H, LU X, LIU X L, LIU H B, SU H S, MA L, MAO J, LIN X Q, LI X J, CAI Q. Exploration and phenotypic traits analysis of *Erianthus fulvus*[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(5): 962-966. (in Chinese)
- [14] 李斌, 顾万春, 卢宝明. 白皮松天然群体种实性状表型多样性研究[J]. 生物多样性, 2002, 10(2): 181-188.
- LI B, GU W C, LU B M. A study on phenotypic diversity of seeds and cones characteristics in *Pinus bungeana*[J]. Biodiversity Science, 2002, 10(2): 181-188. (in Chinese)