

澳大利亚引进甘蔗花穗在中国育种潜力评价

章 伟¹, 蔡 青^{1,2}, 吴才文¹, 王晓燕¹, 陈学宽¹, P. A. Jackson³, 韦先明³, 赵 俊¹, 咎逢刚¹,
赵培方¹, 杨 昆¹, 姚 丽¹, 刘家勇¹, 夏红明¹, 赵丽萍¹, 朱建荣¹, 赵 勇¹, 范源洪¹

(¹ 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, 开远 661699;

² 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明 650223;

³ CSIRO Plant Industry, ATSIP, Private Mail Bag PO, Aitkenvale, QLD, 4814, Australia)

摘要: 为深入了解澳大利亚引进甘蔗杂交花穗在中国培育优良甘蔗新品种的潜力, 以 12 个引进花穗和 15 个中国花穗为材料, 采用家系评价法对有性杂交后代蔗茎产量、糖产量、株高、茎径、有效茎数和锤度 6 个重要性状的方差、遗传力、父母本一般配合力及组合特殊配合力进行研究。分析结果表明: (1) 参试组合内中国杂交组合间多数性状差异不显著, 且遗传力低; 澳大利亚杂交组合间多数性状差异均较显著, 且遗传力高; (2) 澳大利亚杂交组合新植蔗与宿根蔗的糖产量、蔗茎产量、株高、有效茎数和锤度这 5 个性状父母本一般配合力及组合特殊配合力高于中国组合, 但茎径配合力低于中国组合, 12 个组合中新植蔗有 9 个组合宿根蔗有 10 个组合的茎径特殊配合力为负值, 多数属于细茎; (3) 澳大利亚杂交组合后代材料产量及糖分较高, 但茎径较细, 不适合中国目前的种植制度, 不能作为生产品种使用; (4) 通过引进国外杂交组合花穗在国内培育出优良后代作亲本使用, 为国内亲本融入新的优异血缘, 有利于培育突破性甘蔗新品种。

关键词: 甘蔗; 澳大利亚; 引进花穗; 家系评价

Evaluating the Breeding Potential of Sugarcane Resources Imported from Australia

QIN Wei¹, CAI Qing^{1,2}, WU Cai-wen¹, WANG Xiao-yan¹, CHEN Xue-kuan¹, P. A. Jackson³,
WEI Xian-ming³, ZHAO Jun¹, ZAN Feng-gang¹, ZHAO Pei-fang¹, YANG Kun¹, YAO Li¹,
LIU Jia-yong¹, XIA Hong-ming¹, ZHAO Li-ping¹, ZHU Jian-rong¹, ZHAO Yong¹, FAN Yuan-hong¹

(¹ Sugarcane Research Institute of Yunnan Academy of Agricultural Sciences/Yunnan Province

Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Kaiyuan 661699;

² Biotechnology & Genetic Resources Institute, Yunnan Academy of Agriculture Sciences, Kunming 650223;

³ CSIRO Plant Industry, ATSIP, Private Mail Bag PO, Aitkenvale, QLD, 4814, Australia)

Abstract: In order to investigate whether fuzzy imported from Australia is imported in Chinese sugarcane breeding, a family trial by using 12 families generated from fuzzy imported from Australia and 15 families from domestic fuzzy was conducted. The variance analysis, heritability, general combining ability (GCA) and special combining ability (SCA) of 6 important traits, including cane yield, sugar yield, plant height, stalk diameter, amount of stalks and brix were evaluated. The results indicated that: (1) no significant at more of the major traits among domestic families was detected, and the heritability was low; By contrast, the significant differences were observed among Australia families, and their heritability were much higher; (2) the GCA and SCA of sugar yield, cane yield,

收稿日期: 2017-10-27 修回日期: 2018-01-31 网络出版日期: 2018-04-02

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180402.1513.002.html>.

基金项目: 云南省高端科技人才引进计划(2012HA001); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-170101); 云南省科技计划青年项目(2017FD022); 云南省创新人才培养计划(2016HB031); 云南省甘蔗遗传改良重点实验室开发课题基金(ysri201202); 云南省甘蔗产业技术体系; 国家糖料产业技术体系开远综合试验站(CARS-170718); 云南省科技创新人才计划(2014HC015)

第一作者研究方向为甘蔗遗传育种、生理与分子研究。E-mail: weiqin20100707@163.com

通信作者: 范源洪, 研究方向为甘蔗种质资源与分子生物学研究。E-mail: fyhsri@vip.sohu.com

height, stalk and brix of Australia families were higher than domestic families for both plant and ratoon crops, but the GCA and SCA of diameter was lower than the domestic, 9 in planting stage and 10 in ratooning stage out of 12 families performed negative SCA, respectively, and most of the progenies performed thin stalks; (3) Australia families outperformed on cane and sugar yields, with an inferior of thin stalk which is not suitable for the cultivation system in China, so they were not recommended for commercial breeding in China; (4) the imported fuzzy could be utilized potentially in breeding via hybridization with domestic parental clones, thus being helpful in enlarging the Chinese sugarcane gene pool and also breeding for elite varieties.

Key words: sugarcane; Australia; imported fuzzy; family evaluation

甘蔗育种包括有性杂交育种、转基因育种、分子标记辅助育种和诱变育种等^[1-3]。甘蔗有性杂交育种是目前世界上最常用、最普遍、育种成效最大的一种方法,在我国育成的甘蔗品种中,通过有性杂交育成的甘蔗品种占 98% 以上。由于国内外的甘蔗栽培方式不同,因此对甘蔗品种的性状要求也有所不同^[1]。我国旱坡地甘蔗面积大,以山地为主;坡度大,栽培方式主要以人工为主;机械化程度低,对甘蔗品种单株性状要求较高,以中大茎、易脱叶、高产高糖品种为主^[4-5]。这样的生产需求更加注重甘蔗的单株性状,使得长期以来,我国甘蔗品种选育均为人工直接根据田间表现进行选择,需投入大量时间和人力。澳大利亚为当今世界蔗糖业发达国家,甘蔗单产和甘蔗糖分皆处于世界最高水平^[6]。澳大利亚甘蔗试验总局(BSES)采用家系选择技术,对杂交组合的遗传力和配合力进行评价分析,选育出大批适应性强、推广面积大的甘蔗新良种^[6-9]。

2005 年云南省农业科学院甘蔗研究所研究人员从澳大利亚引进家系选择技术,并育成了一系列甘蔗新品种。为使甘蔗新品种的选育取得更大进展,2012 年云南省农业科学院甘蔗研究所通过中澳合作项目,开创国内首次从国外引进花穗进行培育的先例,从澳大利亚引进 12 个甘蔗杂交组合花穗,并与国内 15 个杂交组合花穗同时进行播种栽种。本研究采用家系评价选择技术对国内外组合进行评价选择,以期充分了解中国与澳大利亚在甘蔗杂交组合上存在的差异,筛选出优良的家系及优良甘蔗新品种,推进我国蔗糖产业不断向前发展。

1 材料与方法

1.1 供试材料

参试甘蔗杂交组合有 27 个,其中澳大利亚引进杂交组合花穗 12 个,每个组合均至少有一个亲本为

澳大利亚育成的 Q 型甘蔗品种;中国杂交组合花穗 15 个,每个组合均至少有一个亲本为国内育成的甘蔗品种。

1.2 试验设计及田间管理

试验于 2013 年 10 月 11 日进行杂交花穗播种,中国组合播种于普通温室,澳大利亚组合播种于检验检疫温室,进行有效隔离,并严格按检疫程序进行检疫性病害检测。11 月 25 日假植到育苗盘,2014 年 4 月 15 日定植于土壤肥力均匀的大田内,采用随机区组田间设计。3 次重复,单行区,每行定植 20 株,株距 0.35 m,行长 7.5 m,行距 1.0 m。新植蔗于 2015 年 2 月砍收后平整蔗苑,进行宿根蔗管理,让蔗苑发株形成宿根甘蔗。新植蔗与宿根蔗田间管理同大田生产。

1.3 测定项目与方法

新植蔗与宿根蔗试验分别于 2014 年 11 月 27 日和 2015 年 12 月 15 日进行田间数据调查。调查时从各小区内选取连续的 5 丛,测定株高、茎径、锤度和小区有效茎数。并计算每 hm^2 有效茎数、每 hm^2 蔗茎产量和糖产量^[10]。

1.4 评价方法

采用家系评价法^[6,10]对杂交组合及亲本进行分析。蔗茎产量、糖产量、株高、茎径、有效茎数和锤度 6 个重要性状的一般配合力、特殊配合力和遗传力的计算参照文献[10]中的方法。

分析线型模型为 $\chi\bar{i} = \text{repeat} + (1 | \text{cross}) + r$ 和 $\chi\bar{i} = \text{repeat} + (1 | \text{female}) + (1 | \text{male}) + r$, 其中 repeat 重复为固定模型, $(1 | \text{female})$ 、 $(1 | \text{male})$ 和 $(1 | \text{cross})$ 分别为父本、母本和组合的随机模型, r 为误差项,计算杂交组合及亲本对应的一般配合力、特殊配合力和遗传力。广义遗传力 h^2 的计算参照 Aitken 等^[11]的方法, $h^2 = \sigma_g^2 / \sigma_p^2 \times 100\%$ 。

σ_g^2 为遗传随机方差, σ_p^2 为表型随机方差; $\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \sigma_e^2 / r$, σ_e^2 为误差方差, r 为重复次数。配合力遗传值为最佳线性无偏差估计值。

1.5 数据处理

数据处理采用 Excel 2003 软件;组合的方差分析、一般配合力、特殊配合力和遗传力采用 R 软件^[10]。

2 结果与分析

2.1 杂交组合对后代性状的影响

由表 1 可知,中国杂交组合数据进行方差分析结果表明,仅有新植蔗茎产量、茎径和宿根蔗有效茎数、锤度存在显著或极显著差异,其他性状无显著差异,说明大部分中国杂交组合间的差异较小,选育出

突破性优良甘蔗新品种的概率较小。对澳大利亚组合数据进行方差分析结果表明,澳大利亚组合仅新植蔗有效茎数和宿根蔗株高不存在显著差异,其他性状存在的差异均达显著或极显著水平,说明澳大利亚组合间差异大,选育出突破性优良甘蔗新品种的概率大。将中国与澳大利亚组合数据合并分析结果表明,仅新植蔗株高的差异不显著,其他性状均达显著或极显著水平。由此可知,中国与澳大利亚参试杂交组合数据合并分析后各个性状的差异均比较明显,有利于选择出多种不同类型的优良甘蔗后代材料。

表 1 杂交组合性状的方差分析结果

Table 1 Variance analysis of characters among crosses

变异来源 Sources of variation	植期 Planting stage	均方 Mean square					
		糖产量 Sugar yield	蔗茎产量 Cane yield	有效茎数 Stalks	株高 Height	茎径 Diameter	锤度 Brix
中国	新植	36.38	1625.30 *	644.91	756.51	0.05 **	0.59
China	宿根	19.56	1016.42	830.56 **	456.50	0.02	1.97 *
误差	新植	19.58	754.24	342.52	403.53	0.02	1.07
Error	宿根	11.22	720.52	213.05	281.00	0.03	0.83
澳大利亚	新植	50.12 **	1919.00 **	793.17	511.20 *	0.10 **	6.74 **
Australia	宿根	40.90 **	1297.83 *	1214.95 **	271.38	0.06 *	3.36 **
误差	新植	14.32	497.10	358.08	166.50	0.02	0.54
Error	宿根	9.68	535.56	144.94	257.72	0.02	0.50
中澳	新植	41.03 **	1693.70 **	971.43 **	656.30	0.11 **	3.18 **
China & Australia	宿根	31.43 **	1138.16 *	1363.03 **	561.96 *	0.09 **	3.04 **
误差	新植	17.47	659.90	340.91	397.70	0.01	0.89
Error	宿根	10.26	628.04	182.31	310.30	0.03	0.71

*, ** 分别代表 0.05 和 0.01 显著水平

*, ** significant at the $P=0.05$ and 0.01 levels, respectively

2.2 杂交组合的性状遗传力分析

由表 2 可知,中国杂交组合遗传力较低,且新植蔗锤度和宿根蔗茎径的遗传力为 0,说明中国组合间的性状差异不明显,遗传表现差,因此选育出的后代材料性状优势也将不明显。澳大利亚组合除宿根蔗株高的遗传力外,其他性状在新植蔗和宿根蔗的遗传力均大于中国组合,说明澳大利亚杂交组合亲本的基因遗传力高,后代性状表现好,有利于优良后代材料的筛选;同时,澳大利亚组合新植蔗和宿根蔗的锤度及糖产量遗传稳定性好,且遗传力高,有利于高糖后代材料的选育。中澳组合数据合并分析结果显示,在新植蔗和宿根蔗中,组合茎径、有效茎数和锤度的遗传力均较糖产量、蔗茎产量和株高大,说明组合对后代材料的茎径、有效茎数和锤度影响很大,进

行组合选配时,应充分考虑这个性状的选配。同时,结合方差分析结果可看出,中国、澳大利亚及中澳共同评价这 3 个类型材料各自的分析结果均表现为方差显著性差异大的性状其遗传力也相对较大,差异小的遗传力也小,同时也说明中国组合性状差异小、遗传力低,澳大利亚组合性状差异大、遗传力高。

2.3 母本重要性状的一般配合力

2.3.1 新植蔗母本重要性状一般配合力分析 由表 3 可知,新植蔗中母本糖产量和株高一般配合力结果相似,正值的均为 9 个,且澳大利亚(澳方)母本有 6 个,中国(中方)仅有 3 个;有效茎数一般配合力为正值的 10 个母本中,澳方母本有 7 个,中方仅有 3 个;蔗茎产量和锤度一般配合力结果相似,正值均为 9 个,其中澳方母本有 5 个,中方有 4 个;

表 2 杂交组合的性状遗传力

Table 2 Broad-sense heritability of characters among crosses

来源 Sources	植期 Planting stage	遗传力(%) Hereditary capacity					
		糖产量 Sugar yield	蔗茎产量 Cane yield	有效茎数 Stalks	株高 Height	茎径 Diameter	锤度 Brix
中国	新植	46.18	53.60	46.89	46.67	65.51	0
China	宿根	42.62	29.11	74.34	38.44	0	57.64
澳大利亚	新植	71.92	74.50	55.37	68.05	77.35	91.99
Australia	宿根	76.76	59.63	88.27	8.46	59.39	85.37
中澳	新植	57.86	61.40	65.19	40.19	82.24	72.28
China & Australia	宿根	67.64	45.33	86.82	45.33	68.09	76.78

表 3 新植蔗母本重要性状一般配合力

Table 3 GCA of effects of major characters for hybridization progeny of females in planting stage

母本 Female	来源 Sources	一般配合力 GCA					
		糖产量 Sugar yield	蔗茎产量 Cane yield	株高 Height	茎径 Diameter	锤度 Brix	有效茎数 Stalks
桂糖 02-467	中国	4.04	34.61	17.30	0.20	0.08	8.50
Q208	澳大利亚	2.09	23.15	11.83	-0.02	-0.92	19.87
桂糖 00-122	中国	1.44	13.92	-3.04	0.16	-0.08	7.40
QN85-1271	澳大利亚	1.08	6.37	1.65	-0.09	0.50	16.26
粤糖 85-177	中国	1.05	11.22	8.69	0.19	-0.34	-7.32
CP88-1540	澳大利亚	0.74	-3.02	6.35	-0.19	1.75	7.10
QN86-2139	澳大利亚	0.65	3.87	-4.14	-0.03	-0.17	6.88
QS01-969	澳大利亚	0.21	9.16	3.22	0.12	-1.01	0.44
QN80-3425	澳大利亚	0.16	0.32	4.46	-0.25	0.24	22.69
云蔗 03-194	中国	-0.07	0.31	3.85	-0.05	-0.17	2.28
云蔗 05-43	中国	-0.26	-3.62	-0.69	0.13	0.19	-10.92
云野 07-27	中国	-0.32	-3.15	-0.69	-0.01	-0.01	-3.70
云蔗 05-51	中国	-0.45	-3.47	-5.39	0.19	-0.23	-13.71
CP72-1312	中国	-0.69	-5.32	-6.17	0.08	-0.12	-6.22
QS95-6019	澳大利亚	-0.69	-10.08	4.78	-0.22	0.94	2.11
QN02-738	澳大利亚	-1.05	-12.78	-5.39	-0.13	0.67	-2.60
桂糖 94-119	中国	-1.13	-8.70	-5.91	0.10	0.09	-11.00
CB43-3	中国	-1.64	-10.63	-12.12	-0.00	-0.37	-5.94
桂糖 02-901	中国	-2.10	-20.30	-9.30	-0.02	0.45	-18.15
QA94-6577	澳大利亚	-3.03	-21.89	-9.30	-0.17	-1.47	-13.98

茎径一般配合力为正值的 8 个母本中,中方有 7 个,澳方仅有 1 个。由此可看出,新植蔗澳方母本的糖产量、株高和有效茎数一般配合力优势较为显著;双方蔗茎产量和锤度为正值的个数相差不大,但正值母本中澳方锤度的值普遍大于中方;中方母本茎径配合力较澳方优势明显。

2.3.2 宿根蔗母本重要性状一般配合力分析 由表 4 可知,宿根蔗糖产量一般配合力为正值的 9 个母本中,澳方有 6 个,中方仅 3 个;蔗茎产量一般配合力为正值的 12 个母本中,澳方有 6 个,占澳方 9 个母本的 66.6%,中方有 6 个,占中方 11 个母本的 54.5%;株高一般配合力为正值的 10 个母本中,澳

方有 8 个,中方仅 2 个;锤度一般配合力为正值 8 个母本中,澳方 6 个,中方仅 2 个;有效茎数一般配合力为正值 9 个母本中,澳方有 6 个,中方仅 3 个;茎径一般配合力为正值 10 个母本中,中方 9 个,澳方仅 1 个。由此可知,宿根蔗澳方母本糖产

量、株高、锤度和有效茎数一般配合力优势明显,中澳双方母本蔗茎产量虽然为正值 9 个母本中,澳方有 6 个,中方仅 3 个;茎径一般配合力为正值 10 个母本中,中方 9 个,澳方仅 1 个。由此可知,宿根蔗澳方母本糖产

表 4 宿根蔗母本重要性状一般配合力

Table 4 GCA of effects of major characters for hybridization progeny of females in ratooning stage

母本 Female	来源 Sources	一般配合力 GCA					
		糖产量 Sugar yield	蔗茎产量 Cane yield	株高 Height	茎径 Diameter	锤度 Brix	有效茎数 Stalks
QN86-2139	澳大利亚	2.99	9.51	8.59	0.06	0.65	6.14
Q208	澳大利亚	2.81	9.16	2.74	-0.19	0.47	38.11
QS95-6019	澳大利亚	2.46	3.44	6.76	-0.14	1.47	21.43
QN85-1271	澳大利亚	2.32	3.15	7.45	-0.04	1.52	7.54
桂糖 00-122	中国	1.64	6.11	-3.58	0.14	-0.07	5.45
云蔗 05-51	中国	1.31	2.50	2.63	0.01	0.52	2.33
QN80-3425	澳大利亚	1.04	2.77	8.41	-0.20	0.34	22.84
桂糖 94-119	中国	0.91	3.54	-8.14	0.16	0.20	-3.65
QS01-969	澳大利亚	0.02	1.32	2.63	-0.05	-0.48	7.54
桂糖 02-467	中国	-0.11	0.69	6.76	0.11	-0.26	-12.97
CP88-1540	澳大利亚	-0.33	-3.71	4.01	-0.06	0.83	-8.46
云蔗 03-194	中国	-0.54	1.13	-3.60	0.05	-0.66	-0.52
粤糖 85-177	中国	-0.56	1.93	-2.20	0.14	-1.34	-3.59
云野 07-27	中国	-1.09	-3.74	-0.82	0.12	-0.07	-18.18
CP72-1312	中国	-1.22	-0.37	-9.10	-0.02	-0.97	7.51
CB43-3	中国	-1.24	-4.83	-4.09	0.11	-0.26	-15.13
云蔗 05-43	中国	-1.92	-6.29	-6.34	0.00	-0.29	-12.63
QN02-738	澳大利亚	-2.27	-4.94	-6.34	-0.06	-1.14	-4.63
QA94-6577	澳大利亚	-2.72	-9.09	1.94	-0.24	-0.26	-5.99
桂糖 02-901	中国	-3.50	-12.30	-7.72	0.08	-0.19	-33.12

2.4 父本重要性状的一般配合力

2.4.1 新植蔗父本重要性状一般配合力分析 表 5 新植蔗父本重要性状一般配合力结果表明,糖产量和有效茎数结果相似,正值均为 10 个,澳方 8 个,中方仅 2 个;蔗茎产量为正值 10 个父本中,澳方 7 个,中方仅 3 个;株高为正值 11 个父本中,澳方 8 个,中方仅 3 个;锤度为正值 12 个父本中,澳方 7 个,中方 5 个,中方为正值 12 个父本中有 3 个是所有正值的后 3 个,且小于 0.1;茎径为正值 10 个父本中,中方为 8 个,澳方仅有 2 个。由此可知,除茎径外,新植蔗澳方父本的重要性状一般配合力要优于中方。

2.4.2 宿根蔗父本重要性状一般配合力分析 表 6 宿根蔗父本重要性状一般配合力结果表明,糖产量为正值 8 个父本中,澳方 5 个,中方 3 个;蔗茎产量、锤度和有效茎数结果相似,正值均为 10 个,澳方 7 个,中方仅 3 个;株高为正值 12 个父本中,澳方 10

个,中方仅 2 个;茎径为正值 11 个父本中,中方为 9 个,澳方仅有 2 个。由此可知,除茎径外,宿根蔗澳方父本的重要性状一般配合力要优于中方。

2.5 组合重要性状的特殊配合力

2.5.1 新植蔗组合重要性状特殊配合力分析 由表 7 可知,糖产量特殊配合力为正值 12 个组合中,澳方组合有 8 个,中方组合仅有 4 个;蔗茎产量特殊配合力为正值 10 个组合中,澳方组合有 6 个,中方组合仅有 4 个;株高和有效茎数特殊配合力为正值 14 个,且澳方组合均有 9 个,中方组合仅有 5 个;锤度特殊配合力为正值 13 个组合中,澳方组合有 7 个,中方组合仅有 6 个;茎径特殊配合力为正值 13 个组合中,澳方组合仅有 3 个,中方组合有 10 个。由此可看出,新植蔗澳方组合在糖产量、蔗茎产量、株高、有效茎数和锤度上较中方组合有优势,但茎径表现较差,多数组合均为细茎。

表 5 新植蔗父本重要性状一般配合力

Table 5 GCA of effects of major characters for hybridization progeny of males in planting stage

父本 Male	来源 Sources	一般配合力 GCA					
		糖产量 Sugar yield	蔗茎产量 Cane yield	株高 Height	茎径 Diameter	锤度 Brix	有效茎数 Stalks
CP75-1322	澳大利亚	1.72	6.19	0.46	0.15	0.78	6.27
ROC22	中国	1.60	8.49	2.63	0.19	0.09	-4.01
QA94-6577	澳大利亚	1.05	4.56	2.48	-0.04	0.46	9.01
CP88-1540	澳大利亚	0.67	2.15	0.46	-0.06	0.59	12.96
QS88-6001	澳大利亚	0.48	-0.72	1.56	-0.16	1.97	5.34
QS00-2319	澳大利亚	0.18	3.00	0.83	0.14	-1.06	-0.21
QC90-353	澳大利亚	0.18	3.22	2.65	-0.10	-1.30	13.20
QC93-745	澳大利亚	0.15	0.43	1.19	-0.19	0.23	14.60
云瑞 10-550	中国	0.08	0.79	-0.64	0.13	-0.29	-5.89
Q166	澳大利亚	0.07	0.04	0.31	-0.17	0.30	13.47
云野 07-20	中国	-0.09	-0.90	-0.08	0.15	0.25	-9.66
崖城 06-166	中国	-0.09	0.03	-0.63	-0.00	-0.28	3.95
云蔗 05-49	中国	-0.12	-0.76	-0.08	0.01	0.03	-3.65
云瑞 08-1037	中国	-0.21	-1.00	-1.91	-0.01	-0.02	1.42
云瑞 05-704	中国	-0.22	-1.24	1.01	-0.07	0.06	-1.11
粤糖 91-976	中国	-0.31	-1.44	0.28	0.11	-0.02	-10.34
云蔗 04-241	中国	-0.32	-1.42	-1.36	0.09	-0.09	-5.75
QN99-1683	澳大利亚	-0.53	-3.70	-1.18	-0.10	0.78	-2.74
云蔗 02-588	中国	-0.59	-3.63	-2.09	0.19	0.66	-15.92
云瑞 08-1032	中国	-0.98	-3.67	-2.09	0.05	-0.57	-10.60
MQ239	澳大利亚	-1.08	-3.94	-1.72	-0.16	-1.01	1.87
Q243	澳大利亚	-1.64	-6.48	-2.09	-0.14	-1.57	-12.21

表 6 宿根蔗父本重要性状一般配合力

Table 6 GCA of effects of major characters for hybridization progeny of males in ratooning stage

父本 Male	来源 Sources	一般配合力 GCA					
		糖产量 Sugar yield	蔗茎产量 Cane yield	株高 Height	茎径 Diameter	锤度 Brix	有效茎数 Stalks
QA94-6577	澳大利亚	4.25	11.67	6.90	-0.14	0.96	36.35
MQ239	澳大利亚	2.99	8.34	7.00	0.06	0.27	9.52
CP88-1540	澳大利亚	2.21	2.75	7.70	-0.04	1.22	6.11
云蔗 02-588	中国	1.96	4.05	-0.70	0.14	0.46	-0.67
Q166	澳大利亚	1.68	2.99	3.14	-0.09	0.53	17.64
CP75-1322	澳大利亚	1.53	2.65	5.60	0.06	0.56	-1.33
崖城 06-166	中国	0.90	4.77	-11.90	0.14	-0.26	6.80
云瑞 10-550	中国	0.75	5.43	3.94	0.01	-0.52	6.55
QC93-745	澳大利亚	-0.09	0.08	8.40	-0.22	-0.09	18.64
QS00-2319	澳大利亚	-0.09	1.07	2.80	-0.05	-0.46	6.11
QC90-353	澳大利亚	-0.17	-1.17	1.40	-0.22	0.19	19.33
云瑞 08-1037	中国	-0.39	-0.08	0.70	0.07	-0.46	-6.42
QS88-6001	澳大利亚	-0.45	-3.55	4.20	-0.06	0.64	-9.49
云瑞 05-704	中国	-1.09	-3.66	-7.70	0.10	0.15	-13.89
ROC22	中国	-1.09	-2.14	-2.79	0.16	-0.63	-14.63
云蔗 05-49	中国	-1.21	-3.58	-0.70	0.13	-0.11	-18.97
粤糖 91-976	中国	-1.23	-4.11	-2.10	0.13	0.05	-18.97
云蔗 04-241	中国	-1.34	-0.48	-9.10	-0.02	-0.87	6.09
云瑞 08-1032	中国	-1.81	-5.93	-6.30	0.14	-0.03	-22.35
云野 07-20	中国	-2.05	-5.93	-6.30	0.00	-0.30	-13.56
QN99-1683	澳大利亚	-2.40	-4.68	-6.30	-0.06	-1.02	-5.76
Q243	澳大利亚	-2.85	-8.51	2.10	-0.24	-0.28	-7.08

表 7 组合重要性状新植蔗特殊配合力

Table 7 SCA of effects of major characters for hybridization progeny of crosses in planting stage

组合 Cross	来源 Sources	特殊配合力 SCA					
		糖产量 Sugar yield	蔗茎产量 Cane yield	株高 Height	茎径 Diameter	锤度 Brix	有效茎数 Stalks
桂糖 02-467 × ROC22	中国	5.54	37.82	14.95	0.23	0.12	8.33
QN86-2139 × CP75-1322	澳大利亚	4.06	21.42	1.55	0.15	0.77	8.05
Q208 × QA94-6577	澳大利亚	3.81	28.71	5.57	0.11	-0.29	15.87
桂糖 00-122 × ROC22	中国	2.00	15.22	-2.47	0.18	-0.05	7.18
QN85-1271 × CP88-1540	澳大利亚	1.49	6.97	1.55	-0.09	0.57	16.43
粤糖 85-177 × ROC22	中国	1.46	12.27	7.58	0.22	-0.34	-8.18
CP88-1540 × QS88-6001	澳大利亚	1.03	-3.28	5.57	-0.21	1.95	6.87
云蔗 03-194 × 云瑞 10-550	中国	0.57	5.68	1.55	0.01	-0.29	3.98
QS01-969 × QS00-2319	澳大利亚	0.32	10.02	2.89	0.14	-1.06	-0.08
Q208 × QC90-353	澳大利亚	0.30	10.82	9.59	-0.14	-1.31	16.74
QN80-3425 × QC93-745	澳大利亚	0.24	0.83	4.23	-0.24	0.21	18.50
QN80-3425 × Q166	澳大利亚	0.09	-0.42	1.15	-0.23	0.29	18.03
云蔗 05-43 × 云野 07-20	中国	-0.34	-3.94	-0.46	0.15	0.24	-11.94
桂糖 94-119 × 崖城 06-166	中国	-0.36	-0.60	-2.47	-0.02	-0.29	5.14
云野 07-27 × 云蔗 05-49	中国	-0.42	-3.42	-0.46	-0.00	0.02	-4.40
云蔗 05-51 × 云瑞 10-550	中国	-0.59	-3.77	-4.48	0.22	-0.22	-14.85
CB43-3 × 云瑞 08-1037	中国	-0.65	-4.28	-7.15	-0.03	-0.03	1.96
云蔗 03-194 × 云瑞 05-704	中国	-0.67	-5.12	3.56	-0.10	0.04	-1.21
桂糖 94-119 × 粤糖 91-976	中国	-0.88	-5.84	0.88	0.11	-0.03	-12.79
CP72-1312 × 云蔗 04-241	中国	-0.92	-5.80	-5.14	0.09	-0.10	-7.03
QS95-6019 × QA94-6577	澳大利亚	-0.92	-11.00	4.23	-0.24	1.06	1.66
QN02-738 × QN99-1683	澳大利亚	-1.42	-13.94	-4.48	-0.14	0.77	-3.25
桂糖 94-119 × 云蔗 02-588	中国	-1.55	-13.70	-7.82	0.20	0.65	-19.79
CB43-3 × 云瑞 08-1032	中国	-2.50	-13.82	-7.82	0.03	-0.58	-13.12
QN86-2139 × MQ239	澳大利亚	-2.75	-14.78	-6.48	-0.20	-1.02	2.53
桂糖 02-901 × ROC22	中国	-2.85	-22.15	-7.82	-0.02	0.53	-19.48
QA94-6577 × Q243	澳大利亚	-4.12	-23.89	-7.82	-0.18	-1.57	-15.14

2.5.2 宿根蔗组合重要性状特殊配合力分析 由表 8 可知,糖产量特殊配合力为正值的 10 个组合中,澳方组合有 6 个,中方组合仅有 4 个;蔗茎产量特殊配合力为正值的 13 个组合中,澳方组合有 7 个,占澳方总组合数的 58.3%,中方组合仅有 6 个,占中方总组合数的 40%;株高特殊配合力为正值的 15 个组合中,澳方组合有 11 个,中方组合仅有 4 个;有效茎数特殊配合力为正值的 13 个组合中,澳

方组合有 8 个,中方组合仅有 5 个;锤度特殊配合力为正值的 12 个组合中,澳方组合有 8 个,中方组合仅有 4 个;茎径特殊配合力为正值的 13 个组合中,澳方组合仅有 2 个,中方组合有 11 个。由此可看出,宿根蔗澳方组合在糖产量、蔗茎产量、株高、有效茎数和锤度上仍较中方组合有优势,但茎径弱势更加明显,仅为正值的 2 个组合,其数值在 13 个正值中排在后位。

表 8 组合重要性状宿根蔗特殊配合力

Table 8 SCA of effects of major characters for hybridization progeny of crosses in ratooning stage

组合 Cross	来源 Sources	特殊配合力 SCA					
		糖产量 Sugar yield	蔗茎产量 Cane yield	株高 Height	茎径 Diameter	锤度 Brix	有效茎数 Stalks
Q208 × QA94-6577	澳大利亚	5.03	19.86	2.98	-0.10	0.51	50.56
QN86-2139 × MQ239	澳大利亚	3.41	14.04	7.51	0.05	0.38	10.83
QS95-6019 × QA94-6577	澳大利亚	2.66	4.97	7.51	-0.15	1.51	22.38
QN85-1271 × CP88-1540	澳大利亚	2.51	4.50	8.27	-0.05	1.56	6.95
桂糖 94-119 × 云蔗 02-588	中国	2.21	6.72	-0.80	0.13	0.61	-0.77
QN80-3425 × Q166	澳大利亚	1.98	5.33	3.39	-0.09	0.75	21.11
QN86-2139 × CP75-1322	澳大利亚	1.72	4.34	6.00	0.05	0.74	-1.53
桂糖 00-122 × ROC22	中国	1.72	9.16	-3.82	0.13	-0.10	4.64
云蔗 05-51 × 云瑞 10-550	中国	1.33	3.49	2.98	0.00	0.51	1.16
桂糖 94-119 × 崖城 06-166	中国	0.99	7.95	-12.89	0.12	-0.28	7.73
云蔗 03-194 × 云瑞 10-550	中国	-0.04	7.86	2.98	-0.01	-1.49	11.96
QN80-3425 × QC93-745	澳大利亚	-0.16	-0.06	9.02	-0.22	-0.08	21.22
QS01-969 × QS00-2319	澳大利亚	-0.16	1.63	2.98	-0.05	-0.54	6.95
Q208 × QC90-353	澳大利亚	-0.25	-2.19	1.47	-0.22	0.28	22.00
桂糖 02-467 × ROC22	中国	-0.31	0.65	7.51	0.10	-0.31	-15.82
CB43-3 × 云瑞 08-1037	中国	-0.49	-0.33	0.71	0.05	-0.54	-7.31
CP88-1540 × QS88-6001	澳大利亚	-0.56	-6.25	4.49	-0.06	0.84	-10.82
粤糖 85-177 × ROC22	中国	-0.83	2.60	-2.31	0.13	-1.43	-5.40
云蔗 03-194 × 云瑞 05-704	中国	-1.31	-6.44	-8.35	0.08	0.23	-15.82
云野 07-27 × 云蔗 05-49	中国	-1.44	-6.32	-0.80	0.11	-0.10	-21.61
桂糖 94-119 × 粤糖 91-976	中国	-1.46	-7.21	-2.31	0.12	0.10	-21.61
CP72-1312 × 云蔗 04-241	中国	-1.60	-1.01	-9.86	-0.03	-1.05	6.92
CB43-3 × 云瑞 08-1032	中国	-2.14	-10.32	-6.84	0.12	-0.00	-25.46
云蔗 05-43 × 云野 07-20	中国	-2.41	-10.32	-6.84	-0.00	-0.33	-15.45
QN02-738 × QN99-1683	澳大利亚	-2.82	-8.19	-6.84	-0.07	-1.23	-6.56
QA94-6577 × Q243	澳大利亚	-3.34	-14.72	2.22	-0.24	-0.31	-8.07
桂糖 02-901 × ROC22	中国	-4.24	-19.75	-8.35	0.08	-0.23	-38.19

3 讨论

目前,国内多数关于杂交组合后代性状表现的研究试验局限于不完全双列杂交设计^[12-18],甘蔗因孕穗难、抽穗难、开花难、花期不相遇等原因,其评价亲本数量受到限制。近年来,采用的家系评价方法,因方法简单、育种效益好、适用于大规模亲本和组合评价等优点,受到国内外育种家的青睐^[13,19-21]。云南省农业科学院在引进澳大利亚家系评价方法的同时,率先首次引进澳大利亚甘蔗杂交组合花穗并与国内杂交组合花穗一同进行播种、栽种及评价分析,

使能充分了解掌握目前中国的甘蔗杂交组合在育种领域上与国外杂交组合存在的差异,有利于进一步指导我国突破性甘蔗杂交组合的选配及优良后代材料的选择,推动甘蔗育种工作不断向前迈进。

本研究结果表明,参试组合中国内组合间多数性状差异不显著、遗传力低,说明组合亲本间遗传背景差异较小,不同组合亲本间血缘交叉可能较多,导致后代性状表现较为相似,不利于突破性优良后代材料的选择。而国内育成品种的亲本网络结构图也显示,国内育成种的血缘交叉很多,大多均具有为 POJ2878、Co419 和 NCo310 等品种的血缘,后代材料

间的反复杂交并不能注入新的血缘,从而导致突破性新品种的选育难以实现。澳大利亚组合间多数性状差异均较显著、遗传力高,有利于优良后代材料的选择。中澳共评分析表明,后代材料除新植蔗株高外其他性状差异均显著,说明中澳组合间的遗传背景存在一定差异。我国甘蔗育种一直注重野生近缘属材料的研究利用^[22-26],但研究周期长,引入澳大利亚组合,从中选出优良后代材料作为亲本杂交使用,有利于扩大我国甘蔗后代血缘范围,且较野生材料的利用成效快,有利于突破性甘蔗新品种的选育。

从配合力分析结果可看出,新植蔗及宿根蔗的母本、父本一般配合力和组合特殊配合力分析结果较为一致,澳大利亚组合均表现为在糖产量、蔗茎产量、株高、有效茎数和锤度这5个性状较中国组合有优势,亲本一般配合力和组合特殊配合力为正值的组合数多于中国组合。然而,新植蔗和宿根蔗的分析结果也同时显示,澳大利亚组合在茎径上无优势,亲本一般配合力和组合特殊配合力低,多数均属于细茎。由此可看出,澳大利亚杂交组合后代产量及糖分性状表现均较好,有利于高产、高糖后代材料的培育;细茎对于机械化程度较高的澳大利亚而言,对品种的选育和推广无显著影响;然而我国机械化程度低,主要以人工种植收获为主,细茎品种费工费时,收获成本投入高,经济效益低,不利于推广应用。因此澳大利亚杂交组合的后代材料不可直接用于生产种植。通过杂交组合花穗的引进,在中国进行培育,选育出适应国内生长环境条件的优良后代材料作为亲本使用,比单纯的品种引进更具针对性。因引进品种不一定适应国内的生长环境,因此成为优良亲本的概率也相对较低。引进花穗在国内培育出的优良后代材料与国内亲本进行选配杂交,将澳大利亚杂交组合后代材料中的高产、高糖和有效茎数多等优良性状基因融入到国内亲本的血缘当中,进一步扩大我国亲本的优异血缘基础,将有望培育出突破性甘蔗新品种。

参考文献

- [1] 吴才文,赵培方,夏红明. 现代甘蔗杂交育种及选择技术. 北京:科学出版社,2014:1
- [2] 李杨瑞. 现代甘蔗学. 北京:中国农业出版社,2010:117-144
- [3] 陈如凯. 现代甘蔗遗传育种. 北京:中国农业出版社,2011:1-7
- [4] 陈如凯. 现代甘蔗育种的理论与实践. 北京:中国农业出版社,2003:75-81
- [5] 覃伟,吴才文,曾千春,赵俊,赵培方,刘家勇,杨昆,夏红明,姚丽,咎逢刚. 用新台糖甘蔗品种作母本培育强宿根后代的潜力评价. 湖南农业大学学报:自然科学版,2012,38(1):1-7
- [6] 吴才文. 澳大利亚甘蔗家系选择技术简介. 甘蔗糖业,2007

- (1):6-9
- [7] 安汝东,周清明,俞华先,桃联安,孙友芳,杨李和,董立华,经艳芬,朱建荣,边芯,郎荣斌. 9个云南甘蔗创新亲本作为父本的经济育种值分析. 湖南农业大学学报:自然科学版,2015,41(2):113-118
- [8] Wei X M, Jackson P, Stringer J, Cox M, Bruce R C. Relative economic genetic value (rEGV) - an improved selection index to replace Net Merit Grade (NMG) in the Australian sugarcane variety improvement program. revista da Associação Médica Brasileira, 2008,23(1):10-13
- [9] Wei X M, Jackson P, Atkin F, Cox M, Piperidis G, Parfitt R. How well are the predicted breeding values of parental clones associated with family performance in the bses-csiro sugarcane breeding program. International Sugar Journal, 2012,115(1371):208-211
- [10] 吴才文,赵俊,赵培方,刘家勇,杨昆,夏红明,咎逢刚. 几个新台糖甘蔗品种杂交育种潜力研究. 西南农业学报,2010,23(5):1413-1417
- [11] Aitken K S, Jackson P A, McIntyre C L. Quantitative trait loci identified for sugar related traits in a sugarcane (*Saccharum*, spp.) cultivar $\times$ *Saccharum officinarum*, population. Tag. theoretical & Applied Genetics, theoretische Und Angewandte Genetik, 2006,112(7):1306-1317
- [12] 陈如凯,林彦铨,薛其清,薛其清,陈志坚,张旭玲. 甘蔗高糖育种中亲本的配合力与野生血缘的利用. 福建农学院学报,1989,18(2):139-144
- [13] 林彦铨,陈如凯,何启钧,曾献军. 从配合力探讨新 CP 甘蔗品种的育种潜力. 福建农学院学报,1991,20(2):123-128
- [14] 曾献军,林彦铨,邓祖湖,陈如凯. 甘蔗主要性状的配合力和亲本组合的评价. 福建农业大学学报:自然科学版,1994,23(2):134-139
- [15] 陈如凯,林彦铨,薛其清,邓祖湖,曾献军,何启钧,王建南. 配合力分析在甘蔗育种上的应用. 福建农业大学学报:自然科学版,1995,24(1):1-8
- [16] 吕建林,陈如凯,张木清,罗俊,林彦铨,方文成. 甘蔗光合性状的遗传分析和高光效亲本评价研究. 中国农业科学,2000,33(6):95-97
- [17] 徐良年,邓祖湖,陈如凯,张木清,张华,张熙,郑晓平. CL 系列甘蔗亲本的遗传力及配合力分析. 植物遗传资源学报,2006,7(4):445-449
- [18] 徐良年,罗俊,陈如凯,邓祖湖,张木清,张华,高三基. 甘蔗杂交后代主要荧光性状的遗传力及配合力分析. 热带作物学报,2007,28(1):34-39
- [19] 贤武,杨荣仲,周会,方锋学,桂意云,雷敬超,梁强,黄家雍. 甘蔗家系配合力研究与应用. 亚热带农业研究,2010,6(1):4-9
- [20] 刘少谋,王勤南,符成,张垂明,周峰. 甘蔗常用亲本及杂交组合家系评价. 植物遗传资源学报,2011,12(2):234-240
- [21] 邓祖湖,林彦铨,陈如凯,胡裕森. 甘蔗实生苗及其宿根性状配合力分析. 福建农林大学学报:自然科学版,2000,29(3):286-291
- [22] 林秀琴,陆鑫,刘新龙,刘洪博,李旭娟,蔡青. 甘蔗-滇蔗茅杂交 F_1 花粉母细胞减数分裂过程 GISH 分析. 植物遗传资源学报,2016,17(3):497-502
- [23] 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. 植物遗传资源学报,2016,17(4):607-615
- [24] 桃联安,董立华,经艳芬,周清明,安汝东,杨李和,朱建荣,冯蔚. 甘蔗属原种间杂交 F_1 灰色接近度综合评价. 植物遗传资源学报,2014,15(6):1248-1254
- [25] 王平,李和平,黄永吉,张树河,余凡,潘世明,邓祖湖. 拟三属间杂交品系神农高糖蔗种质来源鉴定. 植物遗传资源学报,2015,16(5):1103-1110
- [26] 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. 植物遗传资源学报,2014,15(5):962-966