

HoCP 系列美国甘蔗种质资源育种价值评价

吴嘉云, 曾巧英, 陈勇生, 刘睿, 黄咏虹, 高小宁

广东省甘蔗遗传改良工程技术研究中心/广东省科学院南繁种业研究所, 广东广州 510316

摘要: 为了解美国引进的 HoCP 系列甘蔗种质资源的育种价值, 本研究以 HoCP00-1142、HoCP01-517、HoCP01-564、HoCP02-610、HoCP02-623、HoCP03-704、HoCP03-708、HoCP03-716、HoCP05-902、HoCP07-613、HoCP07-617 和 HoCP92-648 等 12 个 HoCP 品系为核心亲本配置了 73 个杂交组合, 采用家系评价方法, 对 12 个 HoCP 系列亲本及其 73 个组合 F₁ 群体的株高、茎径、有效茎数、蔗糖分和蔗茎产量等 5 个主要性状的配合力效应值、经济育种值等参数进行估算。结果表明, 5 个性状中除了株高在母本间无差异, 其他性状在母本、父本及组合间均存在显著差异。作为母本, 11 个亲本当中 HoCP03-704 的株高, HoCP02-623 的茎径, HoCP02-610 的有效茎数, HoCP07-617 的蔗糖分及 HoCP92-648 的蔗茎产量一般配合力最高; 而作为父本 HoCP03-704 的株高, HoCP02-623 的茎径, HoCP07-617 的有效茎数, HoCP03-708 的蔗糖分及 HoCP02-623 的蔗茎产量的一般配合力最高。从经济育种值来看, HoCP02-623、HoCP03-708 和 HoCP92-648 作为母本经济育种值较高, 同时蔗糖分和蔗茎产量的一般配合力效应值也较高, 适宜作高产高糖的母本。HoCP01-517 和 HoCP07-617 作为父本的经济育种值较高, 同时在蔗糖分和蔗茎产量的一般配合力效应值较高, 适宜作高产高糖的父本。73 个组合中, 以 HoCP03-704×‘内江 03-218’的株高, ‘粤糖 00-236’×HoCP00-1142 的茎径, ‘崖城 07-71’×HoCP05-902 的有效茎数, ‘粤糖 00-236’×HoCP03-708 的蔗糖分, HoCP01-564×‘桂糖 92-66’的蔗茎产量的特殊配合力最高。38 个组合的经济育种值为正值, 其中‘粤糖 94-128’×HoCP01-517, HoCP01-564×‘桂糖 92-66’、‘桂糖 02-467’×HoCP01-564 等组合蔗茎产量和蔗糖分特殊配合力和组合经济育种值均较优, 可作为今后重点的生产性家系, 而 HoCP03-716×‘福农 02-6404’, ‘粤糖 99-66’×HoCP01-564 和‘粤农 73-204’×HoCP01-564 等组合的各性状的特殊配合力较低, 同时经济育种值也低, 不适宜作为生产性家系应用。以上结果为利用美国 HoCP 系列甘蔗种质资源进行杂交组合选配提供了参考。

关键词: 甘蔗; 美国; 种质资源; 一般配合力; 特殊配合力; 经济育种值; 育种

中图分类号: S566.1 文献标识码: A

Assessment on Breeding Value of HoCP Series Sugarcane Germplasms Introduced from USA

WU Jiayun, ZENG Qiaoying, CHEN Yongsheng, LIU Rui, HUANG Yonghong, GAO Xiaoning

Guangdong Sugarcane Genetic Improvement Engineering Center / Institute of Nanfan & Seed Industry, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510316, China

Abstract: In order to assess the breeding value of HoCP series sugarcane germplasms introduced from USA, 12 HoCP sugarcane clones (HoCP00-1142, HoCP01-517, HoCP01-564, HoCP02-610, HoCP02-623, HoCP03-704, HoCP03-708, HoCP03-716, HoCP05-902, HoCP07-613, HoCP07-617 and HoCP92-648) were used as core parents in 73 sugarcane cross combinations. The effect on combining ability, economic breeding values of height, diameter, effective stem number, sugar content and cane yield for the 11 HoCP sugarcane parents and 73 F₁ population were estimated using the family test method. Significant differences were found for height among HoCP males and cross combinations, whereas no significant differences were detected for height among HoCP females, suggesting that the plant height was affected

收稿日期 2022-04-11; 修回日期 2022-06-02

基金项目 广东省现代农业产业技术体系创新团队项目 (No. 2019KJ 104-04); 财政部和农业农村部国家现代农业 (糖料) 产业技术体系项目 (No. CARS-170112); 广东省优良甘蔗品种繁育基地建设项目 (粤财农〔2021〕37号)。

作者简介 吴嘉云 (1982—), 男, 博士, 正高级农艺师, 研究方向: 甘蔗遗传育种, E-mail: jiayunng@163.com。

by only male and cross combination. For the stem diameter, effective stem number, sugar content and cane yield, there were significant differences existed among different HoCP female, male and cross combination, indicating that the four characters were affected by female, male and cross combination. Among the 12 clones, the highest general combining ability for height, diameter, effective stem number, sugar content and cane yield appeared in HoCP03-704, HoCP02-623, HoCP02-610, HoCP07-617, and HoCP92-648 as female, respectively, while HoCP03-704, HoCP02-623, HoCP07-617, HoCP03-708 and HoCP02-623 as male possessed the highest general combining ability for height, diameter, effective stem number, sugar content and cane yield, respectively. The better economy breeding value (EBV) and general combining ability (GCA) in cane yield and sugar content were detected in HoCP02-623, HoCP03-708 and HoCP92-648 as the female, and HoCP01-517 and HoCP07-617 as the male, which indicated that the clones could be used as excellent female and male with high-yield and high-sugar, respectively. Among the 73 cross combinations, the highest special combining ability for height, diameter, effective stem number, sugar content and cane yield appeared in HoCP03-704×‘Neijiang 03-218’, ‘Yuetang 00-236’×HoCP00-1142, ‘Yacheng 07-71’×HoCP05-902, ‘Yuetang 00-236’×HoCP03-708, HoCP01-564×‘Guitang 92-66’, respectively. A total of 38 cross combinations showed positive EBV. The combinations ‘Yuetang 94-128’×HoCP01-517, HoCP01-564×‘Guitang 92-66’, ‘Guitang 02-467’×HoCP01-564 had better special combining ability in cane yield, sugar content and EBV than the others, which could be considered as the most important productive families in future breeding program. However, HoCP03-716×‘Funong 02-6404’, ‘Yuetang 99-66’×HoCP01-564 and ‘Yuenong 73-204’×HoCP01-564 showed lower special combining ability in five characters and lower EBV than other combinations, suggesting that the combinations did not suit for using as productive families in future breeding program. Therefore, the results would provide helpful information for using HoCP sugarcane parents in cross combination.

Keywords: sugarcane; USA; germplasm; general combining ability; special combining ability; economic breeding value; breeding

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.02.006

甘蔗是我国重要的糖能兼用作物, 据统计, 我国 85% 以上的食糖来源于甘蔗。为保障甘蔗生产, 提高甘蔗生产效率, 必须加强优异甘蔗新品种的培育。甘蔗具有染色体数目多(100~130 条), 基因组复杂等特点^[1], 目前培育甘蔗新品种最有效、最常用的方法仍然是杂交育种, 其中亲本选配与评价是杂交育种程序中的关键环节^[2-3]。通过建国以来我国甘蔗骨干亲本的亲缘关系分析显示, 186 个甘蔗品种中有 163 个品种是由 21 个骨干亲本育成^[4], 由此可见我国甘蔗品种遗传背景相对狭窄。为解决甘蔗遗传背景狭窄问题, 持续引进国外优异品系作为亲本应用于甘蔗杂交育种是最有效的途径^[5]。我国先后从美国、法国、印度、澳大利亚等国引进大量的甘蔗品种作为杂交亲本, 以美国引进品种数量较多, 应用也最为成功^[5-6]。

美国拥有世界上保存数量最大、最全的甘蔗种质资源圃^[7], 迄今为止已经培育出 CP、HoCP、CL 等系列甘蔗品种^[8]。利用 SSR 标记分析对比中美甘蔗资源遗传多样性, 显示美国种质和中国种质间具有明显的遗传差异^[9-11], 另外美国种质遗传多样性相对较丰富^[12]。由此可见引进美国优异甘蔗品系作为杂交亲本, 有利于扩大我国甘蔗品种的遗传背景, 培育优异甘蔗品种。美国甘蔗种

质的后代具备高糖、分蘖性好的特点, 深受我国育种家重视, 美国亲本已经成为我国大陆重要的育种亲本^[13]。我国近二三十年选育成的比较著名甘蔗品种大多含美国甘蔗血缘, 例如美国引进的 CP72-1210, 以其为亲本育成了‘粤糖 93-159’‘粤糖 00-236’等高糖、丰产性皆优的甘蔗品种^[14-15]。另外我国最具有代表性的甘蔗品种——‘桂柳 05136’, 也是由美国引进的 CP81-1254 和‘新台糖 22 号’杂交选育而成^[16]。对美国引进的 CL 系列(由美国糖业公司选育)亲本分析, 发现 CL83-1163 作为母本, 糖分配合力高, 且能把高糖特性传递给后代, CL88-4730 为父本, 产量和品质性状的配合力大, 其杂交后代表现高产高糖^[17]。对用 CP 系列(由美国农业部运河点甘蔗试验站选育)甘蔗亲本育种潜力分析, 表现较好的 CP 亲本有 HoCP95-988(母本)、CP72-1210(母本)、CP85-1491(母本)、HoCP92-648(母本)、CP72-2086(父本)、CP84-1198(父本)、CP93-1382(父本)、CP94-1100(父本)^[18]。本研究以引进的美国 HoCP 系列品系(由美国农业部运河点甘蔗试验站杂交, 美国农业部甘蔗研究所选育^[19])为研究对象, 采用澳大利亚甘蔗试验总局(BSES)家系选择技术体系^[20-21], 对 HoCP 系列亲本及其

组合的配合力和育种价值进行评判, 为利用甘蔗 HoCP 系列亲本进行甘蔗杂交选配提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

以 12 个从美国引种的 HoCP 系列甘蔗种质资源: HoCP00-1142、HoCP01-517、HoCP01-564、HoCP02-610、HoCP02-623、HoCP03-704、HoCP03-708、HoCP03-716、HoCP05-902、HoCP07-613、HoCP07-617 和 HoCP92-648 为主要亲本材料, 在海南甘蔗育种场根据亲本的花期情况配制 73 个杂交组合, 共涉及 46 个亲本。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验在韶关市翁源县育种基地进行, 实生苗采用秋播春植方法种植, 杂交组合的种子于 2018 年 9 月播种, 出苗后 1 个月左右用穴盘假植。2019 年 3 月进行大田种植, 按随机区组设计, 3 次重复, 每小区 50 苗, 单行种植, 行长 16.50 m, 株距 0.33 m, 行距 1.10 m。日常管理按照大田常规栽培管理进行。

1.2.2 测定指标 实生苗调查时间为 2019 年 11 月中旬, 调查指标为: 株高 (cm)、茎径 (cm)、有效茎数 (条), 并且在 2019 年 12 月中旬进行实生苗锤度 (%) 调查。每次调查均在每小区连续抽样 10 丛进行, 每丛测定代表性单株的株高、茎径和锤度。取代表性单株中部的蔗汁进行锤度测定。按照马文清等^[22]的方法进行单茎重、蔗茎产量和蔗糖分的计算。

1.3 数据处理

利用 R-4.0.0 软件中的混合线性模型进行 HoCP 亲本和组合的方差分析、一般配合力 (general combining ability, GCA)、特殊配合力 (special combining ability, SCA) 和经济育种值 (economic breeding values, EBV) 的分析^[23]。性状经济权重参考邓祖湖等^[24]的方法进行经济育种值的计算。

2 结果与分析

2.1 性状的遗传变异分析

对 73 个组合 F₁ 代的 5 个性状的基本情况进行分析 (表 1), 各组合的株高、茎径、有效茎、蔗糖分和蔗茎产量平均值分别为: 171.24 cm、2.46 cm、97.66 千条/hm²、15.65%、65.65 t/hm²。

各个指标的变异幅度差异明显, 其中以蔗茎产量变异幅度的最大, 变异系数达 19.09%, 其次是有效茎数, 变异幅度最小的是茎径, 变异系数仅为 5.47%。

表 1 各组合产量糖分相关性状
Tab. 1 General parameters of 6 characters in 73 crosses

指标 Index	株高 Plant height /cm	茎径 Stem diameter /cm	有效茎数 Effective stem number/ (千条·hm ⁻²)	蔗糖分 Sugar content /%	蔗茎产量 Cane yield/ (t·hm ⁻²)
最大值	199.00	2.81	145.96	18.46	90.02
最小值	126.67	2.20	62.63	13.32	34.69
平均值	171.24	2.46	97.66	15.65	65.65
标准差	13.37	0.13	15.48	1.00	12.53
CV%	7.81	5.47	15.86	6.40	19.09

方差分析表明 (表 2), 株高在父本和组合间存在显著差异, 但是在母本间不存在显著差异, 可见株高受父本和组合影响更大。茎径、有效茎数、蔗糖分和蔗茎产量等 4 个性状在母本、父本和组合间均存在显著差异, 由此可见, 茎径、有效茎数、蔗糖分和蔗茎产量等 4 个性状受父本、母本和组合的影响均较大。

表 2 性状的方差分析
Tab. 2 Variance analysis of 6 characters

变异来源 Source of variation	株高 Plant height	茎径 Stem diameter	有效茎数 Effective stem number	蔗糖分 Sugar content	蔗茎产量 Cane yield
母本	396.43	0.07	787.23	3.30	450.93
误差	363.49	0.031	369.95	1.70	275.63
F 值	1.09	2.31***	2.13**	1.95**	1.64*
父本	554.82	0.08	839.38	3.85	573.08
误差	338.12	0.03	363.78	1.62	256.87
F 值	1.64*	2.53**	2.31***	2.38***	2.23***
组合	536.66	0.054	719.25	3.00	471.23
误差	283.99	0.03	285.13	1.39	215.56
F 值	1.89***	1.99***	2.52***	2.16***	2.19***

注: *表示差异显著 ($P < 0.05$), **表示差异极显著 ($P < 0.01$), ***表示差异极显著 ($P < 0.001$)。

Note: * indicates significant difference ($P < 0.05$), ** indicates extremely significant difference ($P < 0.01$), *** indicates extremely significant difference ($P < 0.001$).

2.2 HoCP 系列母本的一般配合力与经济育种值

对 11 个 HoCP 系列母本的 5 个性状的一般配合力效应进行分析 (表 3)。从株高来看, 7 个亲本的效应值为正, 其中 HoCP03-704 一般配合力最高, 而 HoCP02-623 的最低; 3 个亲本茎径一般

配合力效应值为正, 以 HoCP02-623 一般配合力最高, 而 HoCP03-716 最低; 5 个亲本的有效茎数一般配合力效应值为正, 以 HoCP02-610 的一般配合力最高, 而 HoCP00-1142 最低; 6 个亲本的蔗糖分的一般配合力效应值为正, 以 HoCP07-617 的蔗糖分的一般配合力最高, 而 HoCP00-1142 最低; 5 个亲本的蔗茎产量一般配合力效应值为正, 其中 HoCP92-648 最高, 而 HoCP07-617 最低。

利用 R 软件对 11 个母本的经济育种值进行分析, 11 个母本中有 5 个亲本的经济育种值为正, 6 个亲本的经济育种值为负。经济育种值在 -112.75~76.41 元之间, HoCP92-648 的经济育种值最高, 其次是 HoCP02-623, 而 HoCP00-1142 的经济育种值最低。

综合来看, HoCP02-623、HoCP03-708 和 HoCP92-648 作为母本蔗糖分和蔗茎产量的配合力为正, 并且经济育种值也较高, 适宜作为优异的高糖高产母本。

表 3 11 个母本 5 个性状的一般配合力 (GCA) 效应值与经济育种值 (EBV)

Tab. 3 GCA effect value of five traits and EBV in 11 HoCP parents as female

品系 Strain	一般配合力 GCA					经济育 种值 EBV/ Yuan
	株高 Plant height	茎径 Stem diameter	有效茎数 Effective stem number	蔗糖分 Sugar content	蔗茎 产量 Cane yield	
HoCP00-1142	0.04	0.03	-9.23	-0.52	-4.13	-112.75
HoCP01-517	-0.12	0.06	-8.77	0.40	-3.74	62.58
HoCP01-564	0.08	-0.03	-0.63	-0.01	-0.72	-14.75
HoCP02-610	0.12	-0.03	5.41	-0.22	3.33	-18.14
HoCP02-623	-0.17	0.09	-0.99	0.36	0.69	71.72
HoCP03-704	0.37	-0.08	0.10	-0.29	0.11	-53.69
HoCP03-708	0.12	-0.05	4.03	0.56	1.15	59.16
HoCP03-716	-0.09	-0.12	-0.52	-0.33	-5.31	-108.23
HoCP07-613	-0.08	-0.05	2.44	0.03	-0.81	-20.43
HoCP07-617	0.01	-0.11	-3.73	0.65	-5.54	45.62
HoCP92-648	0.04	0	4.64	0.31	3.38	76.41

2.3 HoCP 系列父本的一般配合力与经济育种值

对 12 个 HoCP 系列父本的 5 个性状的一般配合力效应值进行分析 (表 4)。从株高来看, 8 个亲本的效应值为正, 其中 HoCP03-704 一般配合力最高, 而 HoCP01-564 的最低; 6 个亲本茎径一般配合力效应值为正, 以 HoCP02-623 一般配合力最高, 而 HoCP07-617 最低; 7 个亲本的有效茎数一般配合力效应值为正, 以 HoCP07-617 的一般

配合力最高, 而 HoCP01-564 最低; 3 个亲本的蔗糖分的一般配合力效应值为正, 以 HoCP03-708 的蔗糖分的一般配合力最高, 而 HoCP92-648 最低; 8 个亲本的蔗茎产量一般配合力效应值为正, 其中 HoCP02-623 最高, 而 HoCP01-564 最低。

利用 R 软件对 12 个父本的经济育种值进行分析, 12 个父本中有 6 个亲本的经济育种值为正, 6 个亲本的经济育种值为负。经济育种值在 -105.89~153.19 元之间, HoCP01-517 的经济育种值最高, 其次是 HoCP03-708, 而 HoCP01-564 的经济育种值最低。

综合分析, HoCP01-517 和 HoCP07-617 蔗糖分和蔗茎产量的配合力均为正值, 并且经济育种值也相对较高, 比较适合用作高糖高产父本。

表 4 12 个父本 5 个性状的一般配合力 (GCA) 效应值与经济育种值 (EBV)

Tab. 4 GCA effect value of five traits and EBV in 12 HoCP parents as male

品系 Strain	一般配合力 GCA					经济育 种值 EBV/Y uan
	株高 Plant height	茎径 Stem diameter	有效茎数 Effective stem number	蔗糖分 Sugar content	蔗茎 产量 Cane yield	
HoCP00-1142	1.15	0.05	3.26	-0.30	5.14	-7.66
HoCP01-517	2.93	0.09	-0.33	0.58	6.81	153.19
HoCP01-564	-9.50	0.05	-3.91	-0.27	-4.10	-105.89
HoCP02-610	0.80	0.04	-1.34	-0.25	1.81	-8.98
HoCP02-623	-1.06	0.17	2.21	-0.46	9.36	74.17
HoCP03-704	4.84	-0.03	-1.93	0.00	-0.44	6.84
HoCP03-708	-1.63	-0.02	-0.80	0.71	-2.21	91.04
HoCP03-716	1.59	-0.06	7.37	-0.18	2.49	-27.49
HoCP05-902	3.54	0.06	2.26	-0.26	5.90	33.79
HoCP07-613	0.64	-0.06	1.01	-0.10	-1.18	-31.26
HoCP07-617	0.80	-0.10	12.73	0.49	3.72	56.86
HoCP92-648	-0.62	-0.03	8.29	-0.64	2.52	81.03

2.4 HoCP 亲本组合的特殊配合力及经济育种值

对 73 个组合 F_1 代 5 个性状的特殊配合力进行分析 (表 5), 34 个组合的株高特殊配合力效应值为正, 其中 HoCP03-704×‘内江 03-218’ 特殊配合力最高, 而 ‘粤农 73-204’×HoCP01-564 的最低; 38 个组合茎径特殊配合力效应值为正, 以 ‘粤糖 00-236’×HoCP00-1142 特殊配合力最高, 而 HoCP01-564×‘粤糖 99-66’ 最低; 33 个组合的有效茎数特殊配合力效应值为正, 以 ‘崖城 07-71’×HoCP05-902 特殊配合力最高, 而 ‘粤糖 99-

66' ×HoCP01-564 最低; 38 个组合的蔗糖分的特殊配合力效应值为正, 以 '粤糖 00-236' ×HoCP03-708 的蔗糖分的特殊配合力最高, 而 HoCP01-564 × '内江 03-218' 最低; 39 个组合的蔗茎产量特殊配合力效应值为正, 其中 HoCP01-564 × '桂糖 92-66' 最高, 其次是 '桂糖 02-467' ×HoCP01-564, 而 '粤糖 99-66' ×HoCP01-564 最低。

对 73 个组合的经济育种值进行分析 (表 5), 73 个组合的经济育种值为 -449.57~351.50 元, 有

38 个组合的经济育种值为正值, 经济育种值超过 300 元以上的有 3 个组合, 以 '粤糖 94-128' ×HoCP01-517 表现最突出, 其次是 HoCP01-564 × '桂糖 92-66' 和 '桂糖 02-467' ×HoCP01-564。35 个组合的经济育种值为负, 3 个组合 (HoCP03-716 × '福农 02-6404', '粤糖 99-66' ×HoCP01-564 和 '粤农 73-204' ×HoCP01-564) 的经济育种值低于 -300 元, 其中 '粤农 73-204' ×HoCP01-564 的经济育种值最低, 为 -449.57 元。

表 5 73 个组合的各性状特殊配合力效应值与经济育种值

Tab. 5 Special combining ability (SCA) effect of 5 traits and economic breeding values (EBV) in 73 crosses

组合 Cross	特殊配合力 SCA					经济育种值 EBV/Yuan
	株高 Plant height	茎径 Stem diameter	有效茎数 Effective stem number	蔗糖分 Sugar content	蔗茎产量 Cane yield	
粤糖 94-128×HoCP01-517	6.13	0.95	-0.03	0.75	9.81	351.50
HoCP01-564×桂糖 92-66	0.48	0.32	0.62	0.25	12.94	344.68
桂糖 02-467×HoCP01-564	9.19	0.37	0.25	0.09	12.79	317.46
崖城 07-71×HoCP02-623	0.63	1.17	0.23	-0.77	12.60	227.69
HoCP92-648×桂糖 92-66	-0.89	-0.07	0.41	0.54	5.96	210.19
HoCP02-623×桂糖 92-66	-7.46	0.37	0.62	0.27	6.65	208.41
HoCP92-648×HoCP00-1142	3.69	0.73	0.25	-0.56	11.05	204.82
福农 02-6404×HoCP03-708	-3.49	0.53	0.29	0.35	5.65	197.44
湛蔗 92-126×HoCP02-623	-2.27	1.43	-0.07	-0.06	5.71	171.48
HoCP03-708×ROC22	10.10	0.07	-0.19	0.88	2.57	168.58
德蔗 93-88×HoCP07-617	2.01	-1.16	0.76	0.64	5.25	168.48
HoCP92-648×桂糖 02-961	4.76	-0.45	0.33	0.40	5.47	161.34
崖城 07-71×HoCP05-902	-1.35	-0.53	1.06	-0.83	11.71	152.24
HoCP01-564×HoCP00-1142	11.02	-0.22	0.21	-0.14	7.79	149.63
HoCP92-648×ROC10	-4.41	0.55	0.15	0.17	4.29	143.08
HoCP02-623×福农 05-2848	5.06	1.28	-0.23	-0.11	5.14	137.27
HoCP01-517×崖城 07-71	-1.20	0.82	-0.07	0.18	3.48	128.41
粤糖 00-236×HoCP00-1142	-4.71	1.71	-0.07	-0.59	6.12	119.12
HoCP07-613×桂糖 92-66	3.69	-0.58	0.33	0.30	4.17	115.26
HoCP02-610×湛蔗 74-141	6.28	-0.33	0.37	-0.39	7.61	113.34
粤糖 00-236×HoCP03-708	1.55	-0.27	-0.15	1.50	-3.12	111.90
HoCP03-704×桂糖 96-211	1.86	-0.35	0.37	0.04	4.85	107.83
粤糖 94-128×HoCP05-902	7.51	0.25	-0.13	0.12	3.74	104.62
粤糖 94-128×HoCP01-564	0.63	0.80	0.07	-0.71	6.92	93.70
粤糖 03-393×HoCP05-902	-3.64	1.17	-0.21	0.21	0.45	73.62
HoCP07-612×HoCP00-1142	6.59	-0.46	0.11	0.38	1.79	71.93
福农 02-5707×HoCP00-1142	-0.74	-0.02	0.11	0.31	0.95	59.96
粤农 73-204×HoCP05-902	3.23	0.97	-0.19	-0.55	4.21	54.95
湛蔗 92-126×HoCP01-564	-3.95	0.72	0.31	-1.05	6.69	45.45
福农 02-6404×HoCP05-902	5.67	-0.38	0.03	0.06	2.09	42.71
HoCP03-708×桂糖 92-66	-3.49	-1.00	0.58	0.34	0.75	34.39
粤糖 91-976×HoCP02-610	2.01	0.42	-0.09	-0.31	2.43	28.59
柳城 06-241×HoCP03-716	3.54	-0.71	0.43	-0.23	3.44	27.48

续表 5 73 个组合的各性状特殊配合力效应值与经济育种值

Tab. 5 Special combining ability (SCA) effect of 5 traits and economic breeding values (EBV) in 73 crosses (continued)

组合 Cross	特殊配合力 SCA					经济育种值 EBV/Yuan
	株高 Plant height	茎径 Stem diameter	有效茎数 Effective stem number	蔗糖分 Sugar content	蔗茎产量 Cane yield	
柳城 05-136×HoCP01-564	-3.34	0.57	-0.23	0.56	-2.89	24.45
福农 02-5707×HoCP05-902	6.28	0.25	-0.23	-0.01	0.79	21.24
HoCP07-617×ROC22	7.05	-0.53	-0.19	0.86	-3.00	17.67
粤糖 01-71×HoCP03-704	7.81	0.03	-0.23	0.12	0.10	14.54
HoCP01-517×ROC10	-7.92	0.40	-0.13	0.64	-4.26	4.17
桂糖 02-761×HoCP01-564	-3.18	-0.46	0.33	-0.14	0.73	-11.99
HoCP92-648×HoCP01-564	-7.00	0.07	0.08	0.29	-2.45	-13.05
HoCP01-564×内江 03-218	10.10	0.20	0.01	-1.24	6.08	-19.05
桂糖 94-119×HoCP92-648	-0.74	-0.35	0.49	-0.83	3.48	-34.51
CP72-1210×HoCP00-1142	1.09	0.05	0.03	-0.47	0.99	-37.51
HoCP00-1142×HoCP03-704	12.39	-0.53	-0.23	0.14	-1.38	-40.48
粤引 11×HoCP03-704	-5.02	-0.38	0.23	-0.25	-0.56	-50.98
福农 02-6404×HoCP01-564	-4.41	0.25	-0.07	-0.17	-2.12	-60.11
HoCP01-564×ROC10	0.48	-0.46	-0.25	0.75	-6.54	-69.08
HoCP92-648×CP84-1198	7.51	-0.63	-0.31	0.41	-4.26	-72.02
HoCP01-564×粤糖 93-159	-9.14	0.03	0.27	-0.43	-1.20	-75.72
桂糖 02-467×HoCP03-708	-1.20	-0.27	0.05	-0.41	-1.10	-84.95
粤糖 99-66×HoCP07-613	1.70	-0.70	0.05	-0.12	-1.98	-85.69
HoCP01-564×柳城 05-136	-3.95	-0.28	-0.27	0.64	-7.15	-90.15
HoCP07-617×桂糖 00-122	-3.18	-1.08	0.13	0.57	-5.80	-90.30
HoCP00-1142×桂糖 92-66	-4.25	0.32	-0.21	-0.16	-3.67	-94.13
HoCP01-517×粤农 73-204	-3.18	0.05	-0.19	0.17	-5.19	-95.38
HoCP03-704×内江 03-218	12.70	-0.71	-0.01	-0.88	2.00	-97.35
湛蔗 45 号×HoCP01-564	-0.74	0.67	-0.61	0.46	-7.56	-98.85
HoCP02-623×粤糖 93-159	-7.31	0.33	-0.45	0.79	-9.31	-99.49
HoCP00-1142×CP72-1210	-4.71	0.37	-0.19	-0.53	-3.48	-134.98
HoCP03-716×ROC22	-1.05	-1.13	0.31	-0.22	-3.17	-136.52
HoCP01-517×崖城 05-164	5.37	0.37	-0.71	0.28	-8.28	-150.08
HoCP00-1142×崖城 07-71	-1.96	0.80	-0.27	-0.99	-2.08	-150.77
粤糖 94-128×HoCP03-708	-0.44	-0.76	-0.33	0.66	-9.16	-152.94
HoCP01-564×K86-110	-1.66	0.37	-0.33	-0.46	-4.54	-156.72
HoCP03-704×ROC22	5.98	-0.85	-0.31	0.01	-6.34	-179.21
HoCP07-613×HoCP00-1142	-8.38	-0.36	-0.09	-0.26	-6.34	-183.95
HoCP07-617×CP84-1198	-3.49	-1.01	-0.31	0.34	-9.51	-205.12
HoCP00-1142×粤糖 93-159	0.63	-0.02	-0.45	-0.51	-7.28	-236.65
HoCP01-564×粤糖 99-66	-2.73	-1.31	-0.28	0.47	-11.29	-241.05
桂糖 94-119×HoCP01-564	-11.89	0.35	-0.37	-0.27	-10.08	-254.42
HoCP03-716×福农 02-6404	-4.10	-1.00	-0.33	-0.54	-11.59	-368.32
粤糖 99-66×HoCP01-564	-11.73	0.03	-0.77	-0.23	-16.53	-408.55
粤农 73-204×HoCP01-564	-20.44	-0.76	-0.19	-0.53	-15.99	-449.57

3 讨论

HoCP 系列品种是美国重要的甘蔗品种系列，

选育过程中杂交在美国农业部运河点甘蔗试验站完成，在美国农业部甘蔗研究所完成品种选育。

HoCP 系列品种中 HoCP96-540 是路易斯安娜州甘蔗生产上的主要栽培品种之一^[19]。对新引进的 HoCP 系列品系性状分析显示, HoCP 品系具有出苗率高、分蘖性好、有效茎数多、早熟高糖等优异特性^[25], 可用于改良我国甘蔗品种的糖分、分蘖性、宿根性等性状。对美国引进的 CL 系列和 CP 系列亲本遗传力、配合力及育种潜力分析均显示, 不同亲本间存在差异^[17-18]。本研究中不同的 HoCP 系列亲本在株高, 茎径、有效茎数、蔗糖分、产量等一般配合力也存在较大的差异, 因此应用 HoCP 品系改良甘蔗性状时存在差异。例如在改良有效茎数方面, HoCP02-610 (母本) 和 HoCP07-617 (父本) 有效茎数的一般配合力较高, 适用于改良甘蔗的有效茎数; HoCP07-617 (母本) 和 HoCP03-708 (父本) 蔗糖分一般配合力效应值较高, 适用于改良甘蔗蔗糖分性状; HoCP92-648 (母本) 和 HoCP02-623 (父本) 的蔗茎产量一般配合力最高, 适用于改良甘蔗的产量性状。另外, 综合甘蔗主要性状蔗糖分、蔗茎产量来看, HoCP03-708 和 HoCP92-648 作为母本, HoCP01-517 和 HoCP07-617 作为父本, 在蔗糖分和蔗茎产量的一般配合力效应值均较高, 适宜作高产高糖亲本, 同时改良甘蔗的蔗糖分和产量性状。与姚丽等^[18]的研究结果相似, 本研究也发现 HoCP92-648 作为母本在蔗糖分和蔗茎产量的一般配合力效应, 以及经济育种值均较优, 是一个优异的母本。

本研究对 HoCP 亲本及其组合的评价方法, 采用了澳大利亚甘蔗试验总局 (BSES) 家系选择技术, 这种方法可以克服由于甘蔗开花习性等原因影响甘蔗杂交组合的组配及实生苗数, 使得大规模的甘蔗亲本和组合的遗传评价无法进行的限制^[26]。在家系选择技术体系中采用了经济育种值, 将性状遗传与经济效应有机结合, 避免了在甘蔗亲本评价中仅以产量和糖分作物标准进行评判, 无法反映品种的改良带来的经济效益, 因此能更合理地评价甘蔗亲本及其组合^[20, 27]。我国育种家采用家系评价技术, 开展了一系列常用甘蔗亲本及杂交组合的评价分析, 为科学利用甘蔗亲本和组合选配提供了依据^[22-24]。本研究通过对 HoCP 系列亲本的经济育种值进行分析, HoCP92-648 和 HoCP02-623 作为母本的经济育种值较高, 适宜作母本, 而 HoCP01-517 和 HoCP03-708 作为父本的经济育种值较高, 比较适

宜作为父本使用。对组合的经济育种值进行分析发现 ‘粤糖 94-128’ × HoCP01-517, HoCP01-564 × ‘桂糖 92-66’、‘桂糖 02-467’ × HoCP01-564 等组合的经济育种值表现最突出, 可以作为今后重点组合进行应用。而 HoCP03-716 × ‘福农 02-640’, ‘粤糖 99-66’ × HoCP01-564 和 ‘粤农 73-204’ × HoCP01-564 等组合经济育种值也低, 不适宜作为生产性家系应用。

综上所述, 从方差分析显示, 6 个性状中仅母本的株高不存在显著差异, 其他性状在母本、父本和组合间均存在显著差异, 因此在选择 HoCP 系列亲本作母本和父本时均需要考虑亲本的遗传效应。HoCP03-708 和 HoCP92-648 作为母本, HoCP01-517 和 HoCP07-617 作为父本, 在蔗糖分和蔗茎产量的一般配合力效应值较高, 适宜作高产高糖亲本 (母本/父本)。另外, ‘粤糖 94-128’ × HoCP01-517, HoCP01-564 × ‘桂糖 92-66’ ‘桂糖 02-467’ × HoCP01-564 等蔗茎产量和蔗糖分特殊配合力效应值和组合经济育种值均较优的组合, 可作为今后选育种的重点家系。

参考文献

- [1] WANG T, FANG J, ZHANG J. Advances in sugarcane genomics and genetics[J]. Sugar Tech, 2022, 24(1): 354-368.
- [2] MENDES D E, PAULA T O, BRASILEIRO B P, CURSI D E, FREITAS E G, DOS SANTOS J M, RESENDE M D V, KIMBENG C, PEREIRA BARBOSA M H. Establishment of gene pools for systematic heterosis exploitation in sugarcane breeding[J]. Agronomy Journal, 2020, 112(5): 3847-3858.
- [3] MBUMA N W, ZHOU M, VAN DER MERWE R. Evaluating parents for cane yield in sugarcane breeding using best linear unbiased prediction analysis of progeny data derived from family plots[J]. South African Journal of Plant and Soil, 2019, 36(1): 21-28.
- [4] 张琼, 齐永文, 张垂明, 陈勇生, 邓海华. 我国大陆甘蔗骨干亲本亲缘关系分析[J]. 广东农业科学, 2009(10): 44-48.
ZHANG Q, QI Y W, ZHANG C M, CHEN Y S, DENG H H. Pedigree analysis of genetic relationship among core parents of sugarcane in Mainland China[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2009, (10): 44-48. (in Chinese)
- [5] 黄玉新, 段维兴, 张保青, 杨翠芳, 高铁静, 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 ra-

- toon characteristics of 38 exotic sugarcane germplasm[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2019, 34(4): 564-570. (in Chinese)
- [6] 韦金菊, 周会, 李海碧, 毛莲英, 宋修鹏, 雷敬超, 桂意云, 张荣华, 李杨瑞, 刘昔辉. 广西近 40 年甘蔗种质资源引进及利用[J]. 南方农业学报, 2021, 52(2): 280-287.
WEI J J, ZHOU H, LI H B, MAO L Y, SONG X P, LEI J C, GUI Y Y, ZHANG R H, LI Y R, LIU X H. Introduction and utilization of sugarcane germplasm resources in Guangxi in the past 40 years[J]. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(2): 280-287. (in Chinese)
- [7] 陆鑫, 朱建荣, 周会, 蔡青. 美国农业部甘蔗研究所科研动向与甘蔗种质资源保存概况[J]. 中国糖料, 2013(1): 78-80.
LU X, ZHU J R, ZHOU H, CAI Q. Overview of research trends and conservation of sugarcane germplasm in USDA-ARS[J]. Sugar Crops of China, 2013(1): 78-80. (in Chinese)
- [8] 周会, 李杨瑞. 美国育成甘蔗品种分析[J]. 南方农业学报, 2012, 43(5): 570-577.
ZHOU H, LI Y R. Analysis on sugarcane varieties bred in the United States of America[J]. Guangxi Agricultural Sciences, 2012, 43(5): 570-577. (in Chinese)
- [9] WU J, WANG Q, XIE J, PAN Y, ZHOU F, GUO Y, CHANG H, XU H, ZHANG W, ZHANG C, QIU Y. SSR marker-assisted management of parental germplasm in sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids) breeding programs[J]. Agronomy, 2019, 9(8): 449.
- [10] 齐永文, 劳方业, 张垂明, 樊丽娜, 何慧怡, 刘少谋, 李奇伟, 邓海华. 中美重要甘蔗种质 SSR 遗传多样性比较[J]. 热带作物学报, 2011, 32(1): 99-104.
QI Y W, LAO F Y, ZHANG C M, FAN L N, HE H Y, LIU S M, LI Q W, DENG H H. Comparative analysis of genetic diversity of chinese and American sugarcane (*Saccharum* spp.) using SSR markers[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2011, 32(1): 99-104. (in Chinese)
- [11] YOU Q, PAN Y, XU L, GAO S, WANG Q, SU Y, YANG Y, WU Q, ZHOU D, QUE Y. 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.
- [12] 咎逢刚, 吴才文, 陈学宽, 赵培方, 赵俊, 刘家勇. 118 份甘蔗种质资源遗传多样性的 AFLP 分析[J]. 作物学报, 2014(10): 1877-1883.
ZAN F G, WU C W, CHEN X K, ZHAO P F, ZHAO J, LIU J Y. Genetic diversity of 118 sugarcane germplasm using AFLP markers[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, (10): 1877-1883. (in Chinese)
- [13] QI Y, PAN Y, LAO F, ZHANG C, FAN L, HE H, LIU R, WANG Q, LIU S, LIU F, LI Q, DENG H. Genetic structure and diversity of parental cultivars involved in China mainland sugarcane breeding programs as inferred from DNA microsatellites[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(11): 1794-1803.
- [14] QI Y, GAO X, ZENG Q, ZHENG Z, WU C, YANG R, FENG X, WU Z, FAN L, HUANG Z. Sugarcane breeding, germplasm development and related molecular research in China[J]. Sugar Tech, 2022, 24(1): 73-85.
- [15] 罗青文, 潘方胤, 敖俊华, 齐永文, 吴嘉云, 彭立冲, 梁启如, 文明富. 18 个粤糖系列甘蔗品种系谱分析及育种建议[J]. 广东农业科学, 2020, 47(7): 26-35.
LUO Q W, PAN F Y, AO J H, QI Y W, WU J Y, PENG L C, LIANG Q R, WEN M F. Parentage analysis of eighteen Yuetang series of sugarcane varieties and breeding suggestions[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2020, 47(7): 26-35. (in Chinese)
- [16] 卢文祥, 卢李威. 甘蔗新品种桂柳 05136 选育与种性研究报告[J]. 甘蔗糖业, 2015(4): 1-5.
LU W X, LU L W. Breeding and characteristics of new sugarcane varieties Guiliu 05136[J]. Sugarcane and Cane Sugar, 2015(4): 1-5. (in Chinese)
- [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[J]. 植物遗传资源学报, 2006(4): 71-75.
XU L N, DENG Z H, CHEN R K, ZHANG M Q, ZHANG H, ZHANG X, ZHENG X P. Analysis on heritability and combining ability of CL parents of sugarcane[J]. Journal of Plant Genetic Resource, 2006, 7(4): 445-449. (in Chinese)
- [18] 姚丽, 覃伟, 赵培方, 刘家勇, 赵俊, 武晋宇, 吴才文. CP 系列甘蔗亲本及杂交组合育种潜力分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2017, 43(6): 590-596.
YAO L, QIN W, ZHAO P F, LIU J Y, ZHAO J, WU J Y, WU C W. Analysis on breeding potential of series of CP parents and their cross combinations in sugarcane[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2017, 43(6): 590-596. (in Chinese)
- [19] HALE A L, TODD J R, GRAVOIS K A, MOLLOV D, MALAPI-WIGHT M, MOMOTAZ A, LABORDE C, GOENAGA R, KIMBENG C, SOLIS A, WAGUESPACK H. Sugarcane breeding programs in the USA[J]. Sugar Tech, 2022, 24(1): 97-111.
- [20] STRINGER J K, COX M C, ATKIN F C, WEI X, HOGARTH D M. Family selection improves the efficiency and effectiveness of selecting original seedlings and parents[J]. Sugar Tech, 2011, 13(1): 36-41.
- [21] 吴才文. 澳大利亚甘蔗家系选择技术简介[J]. 甘蔗糖业, 2007(1): 6-9.

- WU C W. The technique of sugarcane family selection of BSES in Australia[J]. *Sugarcane and Canesugar*, 2007(1): 6-9. (in Chinese)
- [22] 马文清, 郭强, 秦昌鲜, 黄珍玲, 闭德金, 彭崇, 施泽升, 莫周美, 唐利球. 甘蔗主要农艺性状的遗传力和育种值估计[J]. *分子植物育种*, 2019, 17(4): 1333-1345.
MA W Q, GUO Q, QIN C X, HUANG Z L, BI D J, PEN C, SHI Z S, MO Z M, TANG L Q. Estimations of heritabilities and breeding values for the main agronomic traits in sugarcane[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17(4): 1333-1345. (in Chinese)
- [23] 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. 9个云南甘蔗创新亲本作为父本的经济育种值分析[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2015, 41(2): 113-118.
AN R D, ZHOU Q M, YU H X, TAO L A, SUN Y F, YANG L H, DONG L H, JING Y F, ZHU J R. Analysis of economic breeding value on innovated parents of sugarcane in Yunnan[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2015, 41(2): 113-118. (in Chinese)
- [24] 邓祖湖, 徐良年, 韦先明, 林彦铨, 陈如凯. 经济遗传值在甘蔗选育种的应用研究 I. 经济遗传值及性状经济权重的确定[J]. *中国糖料*, 2011, (1): 39-43.
DENG Z H, XU L N, WEI X M, LIN Y Q, CHEN R K. Application studies of economic genetic value in sugarcane breeding I. Economic genetic value and the evaluation of economic weigh[J]. *Sugar Crops of China*, 2011(1): 39-43. (in Chinese)
- [25] 吴嘉云, 黄俊坚, 凌秋平, 陈勇生, 曾巧英, 杨湛端, 齐永文, 李奇伟. 12个HoCP系列甘蔗种质资源初步鉴定和评价[J]. *热带亚热带植物学报*, 2019, 27(1): 53-59.
WU J Y, HUANG J J, LING Q P, CHEN Y S, ZENG Q Y, YANG Z D, QI Y W, LI Q W. Preliminary identification and evaluation of 12 strains of HoCP series in sugarcane germplasm resources[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2019, 27(1): 53-59. (in Chinese)
- [26] 徐良年, 邓祖湖, 林彦铨, 陈如凯, 傅华英. 经济遗传值在甘蔗选育种应用研究系列(三)甘蔗亲本经济育种值 and 家系经济遗传值分析[J]. *中国糖料*, 2013(1): 5-8.
XU L N, DENG Z H, LIN Y Q, CHEN R K, FU H Y. Series studies on economic genetic value in sugarcane (III) Parent economic breeding value and family economic fenetic value analysis of sugarcane[J]. *Sugar Crops of China*, 2013(1): 5-8. (in Chinese)
- [27] 杨昆, 赵培方, 赵俊, 夏红明, 咎逢刚, 吴转娣, 吴才文, 陈学宽, 刘家勇. 甘蔗家系经济性状遗传变异分析及综合选择[J]. *热带作物学报*, 2016, 37(2): 213-219.
YANG K, ZHAO P F, ZHAO J, XIA H M, ZAN F G, WU Z T, WU C W, CHEN X K, LIU J Y. Genetic variation of main economic traits and combined selection in sugarcane families[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2016, 37(2): 213-219. (in Chinese)