

# 基于农艺性状对 57NG208 与南涧果蔗正反交后代的综合评价

俞华先<sup>1,2</sup> 安汝东<sup>1,2</sup> 桃联安<sup>1,2</sup> 郎荣斌<sup>1,2</sup> 边芯<sup>1,2</sup> 张钰<sup>1,2</sup>  
刘新龙<sup>1,2</sup> 刘家勇<sup>1,2</sup> 赵丽萍<sup>1,2</sup> 刘洪博<sup>1,2</sup> 张革民<sup>3</sup> 张保青<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>热带作物生物育种全国重点实验室, 650205, 云南昆明; <sup>2</sup>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, 661699, 云南开远; <sup>3</sup>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, 530000, 广西南宁)

**摘要** 以 24 份大茎野生种与南涧果蔗的正反交后代为材料, 对其 7 个重要农艺性状进行相关性、主成分和聚类分析及综合评价。结果表明, 同一植期试验中不同种质材料间各农艺性状存在差异, 同一种质材料在不同植期的试验中各农艺性状指标也存在差异。不同农艺性状的变异系数为 11.17%~43.37%, 其中糖产量和蔗茎产量的变异最大, 分别为 43.37%和 42.20%, 株高的变异较小。相关分析表明, 蔗茎产量和糖产量均与单茎重、有效茎数呈极显著正相关, 蔗茎产量与糖产量呈极显著正相关; 通过主成分分析提取了产量糖分因子、茎径糖分因子和茎径质量因子, 累计贡献率达 81.39%; 聚类分析结果显示, 在欧式距离 6.00 处将 24 份种质材料分为 3 个类群, 其与主成分得分结果基本一致, 其中类群 III 的 7 个农艺指标表现优异, 具有高产高糖特性, 云瑞 12-38-27、云瑞 12-38-18、云瑞 12-9-45、云瑞 12-9-9 和云瑞 12-38-29 等 5 份材料的综合评价 *D* 值排名前 5 位。

**关键词** 大茎野生种; 南涧果蔗; 农艺性状; 主成分分析; 隶属函数法; 综合评价

大茎野生种别名伊里安野生种 (*Saccharum robustum* L.), 是甘蔗属中的一个重要野生种, 具有蔗茎纤维分和生物产量高、抗氧化成分丰富、宿根年限长以及茎硬抗风、抗虫和抗旱性强等特性<sup>[1-3]</sup>。多年来以大茎野生种为亲本的甘蔗种质创制及利用是多数育种家关注的热点<sup>[4-5]</sup>, 研究和创制大茎野生种种质材料对丰富甘蔗品种的基因库和品种改良意义非凡。近年来, 众多学者针对大茎野生种开展了大量研究, 李思程等<sup>[6]</sup>从转录层面分析大茎野生种与其他甘蔗近缘属代表性种质的差异; 冯梦凡等<sup>[7]</sup>从净光合速率方面对大茎野生种进行了初步分析, 发现甘蔗种质间的净光合速率存在差异, 野生种质的净光合速率显著高于其他种质; 胡鑫等<sup>[8]</sup>对甘蔗进行黑穗病抗性鉴定与评价分析, 筛选出了优异种质。国内外一些育种专家<sup>[1]</sup>用大茎野生种与热带种或品种杂交、回交, 选育出了大量优质甘蔗品种或亲本。澳大利亚选育了“32MQ”, 该品系因其优异的抗逆性和育种价值被广泛研究和应用<sup>[9]</sup>; 美国佛罗里达运河点甘蔗育种计划<sup>[10]</sup>也成功将大茎野生种的基因导入商

业品种, 选育出“CP36-105”等重要品种/亲本, 显著提升了当地品种的适应性和产量潜力。同样, 在美国夏威夷, 源自大茎野生种的 F<sub>3</sub> 种质“H37-1933”的培育与应用, 为甘蔗品种贡献了强大的生长势和抗病性, 成为全球甘蔗育种中一个标志性的野生种质资源<sup>[11]</sup>。我国以大茎野生种及其血缘后代为亲本的品种改良成果斐然, 至今已育成闽糖 92-949、桂糖 18 号等优良品种<sup>[4]</sup>, 以及崖城 75-270<sup>[12]</sup>、云蔗 2000-505<sup>[13]</sup>、云瑞 14-204<sup>[14]</sup>等优异亲本材料, 这些新品种和亲本材料的快速应用极大地促成了中国甘蔗产业的蓬勃发展, 为其提供了坚实的种源支撑。然而, 当前育种实践表明, 要持续推动产业进步, 尤其是实现抗倒伏、宜机械化新品种的突破, 必须对含有大茎野生种血缘的后代种质进行更为系统、客观和精准的评价。深入挖掘大茎野生种所携带的优异基因, 明确其在不同遗传背景下的贡献, 这已成为当前甘蔗育种中一项关键且紧迫的基础性工作。

农艺和产量性状能客观反映作物品种的综合特性, 且其表型可直接用工具调查, 因此常被育种

作者简介: 俞华先, 主要从事甘蔗遗传育种研究, E-mail: yuhuaxian19841219@163.com

安汝东为通信作者, 研究方向为甘蔗遗传育种, E-mail: ynard@163.com; 刘家勇为共同通信作者, 研究方向为甘蔗遗传育种与种质资源利用, E-mail: lljyy1976@163.com

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFD2301100); 广西甘蔗遗传改良重点实验室开放课题项目 (21-238-16K-01-01); 云南省农业基础研究联合专项 (202301BD070001-226)

收稿日期: 2024-10-27; 修回日期: 2024-12-31; 网络出版日期: 2025-03-14

家<sup>[15-17]</sup>作为种质资源评价鉴定的重要指标。聚多个优良农艺性状于一体是甘蔗育种所追求的理想目的，选择农艺性状优质的亲本配制杂交组合是甘蔗品种改良的重要途径<sup>[18]</sup>。国内外广大育种工作者基于农艺性状、抗性和品质等表型指标对甘蔗种质资源开展了大量评价与筛选工作，并取得了丰硕成果。在国际上，相关研究起步较早且体系成熟。例如，Jackson 等<sup>[19]</sup>利用多性状综合评价方法，系统分析了上百份甘蔗种质的产量、糖分和抗病性，为后续商业杂交组合的选配奠定了表型基础；Bokhtiar 等<sup>[20]</sup>对多个热带地区的甘蔗种质资源进行农艺性状聚类分析，有效区分了高产、高糖和抗逆性强的种质群，为针对性育种提供了指导；随着精准农业的发展，Silva 等<sup>[21]</sup>结合高通量表型技术与传统农艺调查，对巴西核心种质库进行了大规模评价，显著提升了优良种质筛选的效率和准确性。在国内，谭秦亮等<sup>[22]</sup>基于主成分和聚类分析对 10 个甘蔗新品种（系）的农艺及产量性状评价，筛选出可在广西南宁蔗区种植的甘蔗新品种桂热 2 号；杨翠芳等<sup>[23]</sup>基于农艺性状和质量性状对 164 份桂糖系列甘蔗种质资源进行评价，不仅证明了遗传多样性丰富，而且筛选出高糖和高产类型种质材料；周珊等<sup>[24]</sup>评价了国内不同地区的 160 份甘蔗种质材料，并且通过聚类分析筛选出高糖高产种质材料；徐超华等<sup>[25]</sup>针对云南省的 191 份野生甘蔗种质资源进行评价，筛选出了蔗茅 Ef2021-1、滇蔗茅 Er2021-29、斑茅 Ea2021-8 和割手密 Sp2021-25 等优质甘蔗种质材料。

目前，云南省农业科学院甘蔗研究所瑞丽育种站创制了相当多的大茎野生种血缘后代种质材料，这些种质材料是突破性甘蔗品种选育的基础。大茎野生种与南涧果蔗正反交后代材料是研究大茎野生种 57NG208 遗传规律的原始创新组合，目前对其大田农艺性状的全面评价鲜见报道。鉴于甘蔗种质资源的鉴定评价是资源合理利用的前提，而表型性状可直观、便捷地鉴定出育种目标<sup>[26]</sup>。本研究以 24 份大茎野生种与南涧果蔗正反交后代种质为材料，在成熟期调查其农艺性状指标，旨在通过种质材料间表型性状的评价和鉴定筛选出对育种性状改良有益的种质材料，为大茎野生种血缘后代种质材料的进一步研究和利

用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以 24 份大茎野生种 NG57208 ( $P_1$ ) 与南涧果蔗 ( $P_2$ ) 正反交后代为供试材料，这些材料经朱建荣等<sup>[27]</sup>真实性鉴定为真，其中正交材料 9 份 ( $P_1 \times P_2$ )，反交材料 15 份 ( $P_2 \times P_1$ )，参试材料亲本信息详见表 1。

表 1 种质材料亲本信息

Table 1 Parental information of germplasm materials			
编号 Number	材料名称 Material name	母本 Female	父本 Male
YR12-9-45	云瑞 12-9-45	57NG208	南涧果蔗
YR12-9-4	云瑞 12-9-4	57NG208	南涧果蔗
YR12-9-5	云瑞 12-9-5	57NG208	南涧果蔗
YR12-9-6	云瑞 12-9-6	57NG208	南涧果蔗
YR12-9-7	云瑞 12-9-7	57NG208	南涧果蔗
YR12-9-8	云瑞 12-9-8	57NG208	南涧果蔗
YR12-9-9	云瑞 12-9-9	57NG208	南涧果蔗
YR12-9-10	云瑞 12-9-10	57NG208	南涧果蔗
YR12-9-1	云瑞 12-9-1	57NG208	南涧果蔗
YR12-38-29	云瑞 12-38-29	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-30	云瑞 12-38-30	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-31	云瑞 12-38-31	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-32	云瑞 12-38-32	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-34	云瑞 12-38-34	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-48	云瑞 12-38-48	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-47	云瑞 12-38-47	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-46	云瑞 12-38-46	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-45	云瑞 12-38-45	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-43	云瑞 12-38-43	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-42	云瑞 12-38-42	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-40	云瑞 12-38-40	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-27	云瑞 12-38-27	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-19	云瑞 12-38-19	南涧果蔗	57NG208
YR12-38-18	云瑞 12-38-18	南涧果蔗	57NG208

### 1.2 测定项目与方法

试验于 2022 年 2 月在云南省农业科学院甘蔗研究所瑞丽育种站 (24°1'33" N, 97°51'44" E) 进行，该地海拔 772.3 m，全年无霜，年均降水量 1394.8 mm，年均气温 21 °C。试验设 3 个重复，每小区 4 行，行长 6 m，行距 1.2 m，下芽密度为 12 芽/m，采用随机区组的方式，常规田间管理。

于 2022 年 11 月中旬和 2023 年 11 月下旬，在大田测定新植和宿根甘蔗的株高、茎径、有效茎数和锤度，参照经艳芬等<sup>[28]</sup>的方法计算单茎

重、蔗茎产量和蔗糖分，农艺性状数据为两新一宿的平均值。其中，蔗茎产量 ( $t/hm^2$ ) = 单茎重  $\times$  有效茎数 (条/ $hm^2$ )；单茎重 (kg) =  $0.7854 \times$  (株高 - 50)  $\times$  茎径  $^2/1000$ ；甘蔗蔗糖分 (%) =  $1.0825 \times$  田间锤度 - 7.703；糖产量 ( $t/hm^2$ ) = 蔗茎产量  $\times$  甘蔗蔗糖分 (%)。

### 1.3 统计分析

利用 Excel 2022 和 SPSS 22.0 处理原始数据，利用 DPSV 9.5 进行主成分、方差和聚类分析，其中采用 LSD 法进行多重比较。利用 SPSS 22.0 的 Pearson 法作相关分析。参考计雅男等<sup>[29]</sup>和覃伟等<sup>[30]</sup>的方法进行隶属函数分析，即基于主成分得分求权重，最后利用权重法计算综合评价  $D$  值。

$$Z(X_j) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

$$W_i = P_i / \sum P_i, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

$$D = \sum [Z(X_j) \times W_i], i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

式中， $Z(X_j)$  表示参试种质材料第  $j$  个综合指标的隶属函数值。 $X$  表示参试种质材料综合指标的测定值， $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$  分别表示第  $j$  个综合指标的最小值和最大值。 $j$  表示各综合指标， $W_i$  为第  $i$  个综合指标在所有综合指标中的权重， $P_i$  为各种质材料通过主成分分析得出的第  $i$  个综合指标的贡献率； $D$  为综合评价值。

## 2 结果与分析

### 2.1 参试种质主要农艺性状指标分析

从表 2~4 可知，24 份大茎野生种正反交后代两新一宿农艺性状材料间差异明显。从表 2 可知，在第 1 年新植中，24 份大茎野生种正反交后代种质材料株高最高的是 YR12-9-9，其明显高于其余

表 2 24 份种质材料第 1 年新植农艺性状表现  
Table 2 Performance of agronomic traits of 24 germplasm materials in the first year

编号 Number	株高 Plant height (cm)	茎径 Stalk diameter (cm)	锤度 Brix (%)	单茎重 Single stalk weight (kg)	有效茎数 ( $\times 10^3$ 条/ $hm^2$ ) Effective stalk number ( $\times 10^3$ stalk/ $hm^2$ )	蔗茎产量 Sugarcane stalk yield ( $t/hm^2$ )	糖产量 Sugar yield ( $t/hm^2$ )
YR12-9-45	372.0abcAB	2.4abcdefABCDE	18.0cdefghCDEFG	1.7abcAB	82.0defgDEFGH	138.0bcdefABCDE	17.1cdefgBCDEFGH
YR12-9-4	285.0fghiBCDE	2.0efghijCDEF	14.3II	0.9defBC	60.2hijHIJK	51.1hiEF	4.5hiHI
YR12-9-5	298.0defghABCDE	2.3abcdefgABCDE	24.5aA	1.3bcdefABC	77.3efghDEFGHI	98.8efghiCDEF	18.9bcdeBCDE
YR12-9-6	307.0bcdefghABCDE	2.7abcABC	17.8cdefghCDEFGH	1.7abAB	44.6jK	76.0efghiEF	9.4efghiDEFGHI
YR12-9-7	295.0efghABCDE	1.6ijF	15.7hijklFGHI	0.6fC	92.3deCDEFG	53.2hiEF	5.5hiFGHI
YR12-9-8	290.0efghiABCDE	2.4abcdeABCDE	18.7bcdefgCDEF	1.3bcdeABC	95.5cdeCDEF	130.1cdefgABCDE	17.3cdefBCDEFGH
YR12-9-9	383.0aA	2.2bcdefghABCDEF	18.9bcdefgCDE	1.4abcdABC	145.5aA	205.4abAB	27.8abAB
YR12-9-10	255.0hiDE	2.2bcdefghABCDEF	19.2bcdefCDE	1.0cdefBC	72.7fghiEFGHI	69.5fghiEF	9.5fghiDEFGHI
YR12-9-1	255.0hiDE	2.5abcdeABCDE	19.5bcdeCDE	1.2bcdefABC	55.9ijLJK	66.3fghiEF	9.4efghiDEFGHI
YR12-38-29	338.0abcdefgABCD	2.9aA	17.3efghiDEFGHI	2.2aA	87.60defgCDEFG	190.1abcABC	22.7abcABC
YR12-38-30	359.0abcdeABC	1.8ghijDEF	19.0bcdefgCDE	1.0cdefBC	95.5cdeCDEF	88.4efghiDEF	11.8defghiCDEFGHI
YR12-38-31	368.0abcdAB	2.1cdefghiBCDEF	18.1bcdefgCDEFG	1.3bcdefABC	86.4defgDEFG	109.2defghBCDEF	13.8cdefghCDEFGHI
YR12-38-32	378.0abAB	2.0defghijBCDEF	20.4bBC	1.2bcdefABC	97.4cdCDE	122.5cdefghABCDEF	18.0cdefBCDEF
YR12-38-34	296.0efghABCDE	1.9fghijDEF	14.9jklHI	0.8defBC	68.7ghiGHIJ	51.7hi	4.8hiGHI
YR12-38-48	291.0efghiABCDE	2.2bcdefghABCDEF	22.8aAB	1.1bcdefBC	111.8bcBC	121.1EF	21.0bcdABCD
YR12-38-47	301.0cdefghABCDEF	2.4abcdefABCDEF	17.1fghijDEFGHI	1.5abcdABC	43.3jK	65.6fghiEF	6.4hiEFGHI
YR12-38-46	358.0abcdeABC	2.3abcdefgABCDE	20.0bcBCD	1.6abcAB	85.7defgDEFG	150.4abcdeABCDE	21.6bcABCD
YR12-38-45	255.0hiDE	1.7hijEF	16.7ghijklEFGHI	0.6efC	100.0cdCD	57.9ghiEF	6.4hiEFGHI
YR12-38-43	325.0abcdefgABCD	1.5jF	17.6defghiCDEFGH	0.6efC	41.7jK	24.4fF	3.0II
YR12-38-42	310.0bcdefghABCDEF	2.1cdefghiBCDEF	14.9jklHI	1.1bcdefBC	86.8defgCDEFG	92.4efghiCDEF	8.7fghiDEFGHI
YR12-38-40	222.0iE	2.8aAB	19.9bcdBCD	1.3bcdefABC	71.2ghiFGHI	93.9efghiCDEF	13.2cdefghCDEFGHI
YR12-38-27	343.0abcdefABCD	2.5abcdeABCD	19.9bcdBCD	1.7abAB	126.6abAB	219.9aA	31.9aA
YR12-38-19	271.0ghiCDE	2.1defghijBCDEF	14.4kII	0.9cdefBC	91.5defCDEFG	85.1efghiDEF	7.5ghiEFGHI
YR12-38-18	285.0fghiBCDE	2.7abAB	15.4ijklGHI	1.7abAB	100.1cdCD	177.0abcdABCD	17.8cdefBCDEFG

不同小写字母表示在  $P < 0.05$  水平差异显著，不同大写字母表示在  $P < 0.01$  水平差异极显著，下同。

Different lowercase letters indicate significant differences at  $P < 0.05$  level, and different uppercase letters indicate extremely significant differences at  $P < 0.01$  level, the same below.

种质材料；茎径以 YR12-38-29 最大，YR12-38-43 最小；锤度以 YR12-9-5 最高，YR12-9-4 最低；单茎重以 YR12-38-29 最大，YR12-9-7 最小；有效茎数以 YR12-9-9 最多，YR12-38-43 最少；蔗茎产量、糖产量以 YR12-38-27 和 YR12-9-9 最高，极显著高于其余种质材料。

从表 3 可知，在第 2 年新植中，24 份大茎野生

种正反交后代种质材料株高以 YR12-38-27 最高，YR12-38-40 最低；茎径以 YR12-38-18 最大，YR12-38-43 最小；锤度以 YR12-9-5 最高，YR12-9-4 最低；单茎重以 YR12-38-18 最重，YR12-38-43 最轻；有效茎数以 YR12-9-9 最多，YR12-9-1 最少；蔗茎产量、糖产量以 YR12-38-18 和 YR12-38-27 最高，极显著高于其余种质材料。

表 3 24 份种质材料第 2 年新植农艺性状指标表现  
Table 3 Performance of agronomic traits of 24 germplasm materials in the second year

编号 Number	株高 Plant height (cm)	茎径 Stalk diameter (cm)	锤度 Brix (%)	单茎重 Single stalk weight (kg)	有效茎数 ( $\times 10^3$ 条/hm <sup>2</sup> ) Effective stalk number ( $\times 10^3$ stalk/hm <sup>2</sup> )	蔗茎产量 Sugarcane stalk yield (t/hm <sup>2</sup> )	糖产量 Sugar yield (t/hm <sup>2</sup> )
YR12-9-45	368.0abAB	2.5cdefgBCDE	18.6defghCDEFGH	1.8bcBC	55.6fghiEFG	103.0bcdeCDEFG	13.6bcdeCDEF
YR12-9-4	342.0abcdeABCD	1.6klGH	14.9J	0.7hijFG	71.3defghCDEFG	49.6ghiFG	4.6gG
YR12-9-5	272.0ghDEFG	2.7bcBC	24.3aA	1.6bcdeBCD	68.9efghCDEFG	105.4bcdeCDEFG	20.0abABC
YR12-9-6	315.0bcdefgABCDEF	2.6bcdeBCD	16.0jklIJ	1.7bcdBCD	71.8defgCDEFG	127.7bBCD	13.6bcdeCDEF
YR12-9-7	302.0cdefgBCDEF	2.3cdefghCDEF	19.6bcdefCDEF	1.3cdefghCDEFG	70.9defghCDEFG	87.3bcdefghiCDEFG	12.4cdefCDEFG
YR12-9-8	315.0bcdefgABCDEF	1.6jklGH	19.8bcdeCDE	0.6ijG	18.8cdeCDE	52.2fghiEFG	7.5efgEFG
YR12-9-9	345.0abcdeABCD	1.7ijklFGH	18.4defghCDEFGHI	0.8hijEFG	168.2aA	132.2bBC	17.2bcABCD
YR12-9-10	295.0defghBCDEF	3.1abAB	18.8cdefgCDEFGH	2.1bAB	56.5fghiEFG	117.8bcCDE	15.8bcdBCDE
YR12-9-1	264.0ghiEFG	2.2efghCDEFG	19.2bcdefCDEFG	1.0efghijCDEFG	44.9iG	44.9hiG	6.2fgFG
YR12-38-29	349.0abcdABC	2.1fghiCDEFGH	17.9fghiEFGHI	1.2cdefghiCDEFG	76.1cdefCDEF	91.9bcdefghCDEFG	11.4cdefCDEFG
YR12-38-30	352.0abcABC	2.0ghijkDEFGH	18.2defghiDEFGHI	1.2defghijCDEFG	82.7cdeCDE	98.5bcdefgCDEFG	12.5cdefCDEFG
YR12-38-31	314.0bcdefgABCDEF	2.3cdefghCDEF	19.1bcdefCDEFG	1.3cdefghCDEFG	81.8cdeCDE	100.4bcdefCDEFG	13.7bcdeCDEF
YR12-38-32	349.0abcdABC	2.1fghiCDEFGH	19.8bcdeCDE	1.2cdefghiCDEFG	91.5cdBCD	112.3bcdCDEF	16.11bcdBCDE
YR12-38-34	300.0cdefgBCDEF	2.5cdefBCD	16.8hijkGHIJ	1.5cdefgBCDEF	50.6ghiFG	73.5cdefghiCDEFG	8.5efgDEFG
YR12-38-48	244.0hiFG	2.4cdefgCDE	20.5bcBCD	1.1efghijCDEFG	94.9bcBC	106.4bcdeCDEFG	15.9bcdBCDE
YR12-38-47	280.0fghCDEFG	2.1fghijCDEFGH	16.5ijklHIJ	1.0fghijDEFG	56.6fghiEFG	52.5fghiEFG	5.8fgFG
YR12-38-46	299.0cdefghBCDEF	2.3cdefghCDEF	19.4bcdefCDEF	1.2cdefghiCDEFG	81.3bcBC	99.5bcdefgCDEFG	13.8bcdeCDEF
YR12-38-45	293.0efghCDEF	2.2defghCDEFG	20.0bcdCDE	1.2defghiCDEFG	82.8cdeCDE	95.2bcdeCDEFG	14.0bcdeCDEF
YR12-38-43	304.0cdefgBCDEF	1.5IH	20.8bBC	0.6jG	64.0efghiDEFG	40.4iG	6.2fgFG
YR12-38-42	293.0efghCDEF	2.1fghiCDEFGH	15.2klJ	1.0efghijCDEFG	77.9cdefCDEF	82.1bcdefghiCDEFG	7.9efgEFG
YR12-38-40	210.0iG	2.7bcdBC	22.7aAB	1.2defghijCDEFG	48.9hiFG	56.5efghiEFG	9.7defgDEFG
YR12-38-27	380.0aA	2.3cdefghCDEF	18.4defghCDEFGHI	1.6bcdefBCDE	117.4bB	187.7aAB	24.4aAB
YR12-38-19	331.0abcdefABCDE	1.9hijklEFGH	18.1efghiDEFGHI	1.0ghijDEFG	68.6efghCDEFG	63.1defghiDEFG	8.1efgEFG
YR12-38-18	304.0cdefgBCDEF	3.4aA	17.2ghijFGHIJ	2.8aA	81.2cdeCDE	218.6aA	25.8aA

由表 4 可知，在宿根蔗中，24 份大茎野生种正反交后代种质材料株高以 YR12-38-30 最高，YR12-9-1 最低；茎径以 YR12-38-42 最大，YR12-38-48 最小；锤度以 YR12-9-5 最高，YR12-38-42 最低；单茎重以 YR12-38-42 和 YR12-38-45 最重，YR12-38-48 最轻；有效茎数以 YR12-9-9 最多，YR12-38-47 最少；蔗茎和糖产量以 YR12-9-9 最高，YR12-38-47 最低，与其余材料存在明显差异。

由此可见，同一植期试验中不同种质材料间各农艺性状存在差异，相同种质材料在不同年份植期的试验中农艺性状指标也存在差异，其中 YR12-9-9 在第 1 年新植、第 2 年新植和宿根蔗中有效茎数均最多；YR12-9-9 在宿根蔗中蔗茎产量和糖产量最高，YR12-38-27 在第 1 年的新植蔗中蔗茎产量和糖产量最高，YR12-38-18 在第 2 年的新植蔗中蔗茎产量和糖产量最高。

表 4 24 份种质材料宿根蔗农艺性状指标表现  
Table 4 Performance of agronomic traits of 24 germplasm materials in ratooning

编号 Number	株高 Plant height (cm)	茎径 Stalk diameter (cm)	锤度 Brix (%)	单茎重 Single stalk weight (kg)	有效茎数 ( $\times 10^3$ 条/hm <sup>2</sup> ) Effective stalk number ( $\times 10^3$ stalk/hm <sup>2</sup> )	蔗茎产量 Sugarcane stalk yield (t/hm <sup>2</sup> )	糖产量 Sugar yield (t/hm <sup>2</sup> )
YR12-9-45	380.0abcABC	2.5abcABC	18.9cdefCDEFG	1.9abABC	71.0efghCDEFGH	132.1cdeBCDE	17.8bcdBCD
YR12-9-4	336.0abcdefABCDEF	1.8fgEF	17.8efghEFGH	0.9fghijEFGH	44.9ijGH	40.2hiG	5.0ghEF
YR12-9-5	299.0defghDEFGH	2.3bcdeABCDE	24.2aA	1.2cdefgCDEFGH	54.6fghijFGH	69.1fghiEFG	13.0defgCDEF
YR12-9-6	323.0bcdefgABCDEF	2.4bcdABCD	17.1ghiFGHI	1.5bcdABCDE	57.7fghijDEFGH	84.4efghiCDEFG	9.9defghDEF
YR12-9-7	305.0defghBCDEFGH	1.8fgEF	19.6bcdCDE	0.8ghijFGH	76.0cdefCDEFG	63.1fghiEFG	8.9efghDEF
YR12-9-8	308.0defghBCDEFGH	1.8fgEF	19.3cdeCDEF	0.8fghijFGH	87.8bcdeBCDE	71.0fghiEFG	9.8defghDEF
YR12-9-9	382.0abAB	2.6abAB	17.4fghiEFGH	2.0aAB	177.3aA	249.5aA	30.4aA
YR12-9-10	284.0fghFGH	2.5abcABC	18.9cdefCDEFG	1.4bcdeBCDEF	50.5ghijGH	73.7fghiDEFG	9.9defghDEF
YR12-9-1	255.0hH	2.6cdefBCDEF	19.1cdeCDEFG	0.9fghijEFGH	47.6hijGH	46.2hiFG	6.2ghDEF
YR12-38-29	358.0abcdABCDEF	2.4bcdABCD	19.2cdeCDEF	1.6abcABCD	72.8defgCDEFGH	114.8cdefCDEF	15.8cdefBCDE
YR12-38-30	389.0aA	1.8fgEF	18.6defgDEFG	1.0defghijDEFGH	100.5bcBC	103.6cdefgCDEFG	13.7defgBCDEF
YR12-38-31	302.0defghCDEFGH	2.2cdefBCDEF	18.1defghDEFG	1.1defghijDEFGH	69.6efghiCDEFGH	81.5efghiDEFG	10.3defghDEF
YR12-38-32	321.0cdefgABCDEF	2.0efgCDEF	18.5defghDEFG	1.0efghijEFGH	94.0bcdeBC	91.2defghCDEFG	12.0defgCDEF
YR12-38-34	295.0efghEFGH	2.2cdefBCDEF	15.8ijHIJ	1.1defghijDEFGH	74.6defgCDEFG	84.8efghiCDEFG	8.8efghDEF
YR12-38-48	285.0fghFGH	1.7gF	23.0aAB	0.6jH	90.0bcdeBCD	56.3ghiFG	9.9defghDEF
YR12-38-47	274.0ghGH	1.9efgDEF	15.0jI	0.8hijGH	40.9jH	30.0iG	2.9hF
YR12-38-46	373.0abcABCDE	2.5abcABC	24.0aA	1.8abABC	72.0defghCDEFGH	133.5cdeBCDE	24.8bB
YR12-38-45	378.0abcABCD	2.6abAB	20.3bcCD	2.1aA	77.4efghCDEFGH	156.4bcBC	23.4bcBC
YR12-38-43	345.0abcdeABCDEF	2.1defgCDEF	21.0bBC	1.2cdefghDEFGH	72.8defgCDEFGH	83.9efghiCDEFG	13.3defgBCDEF
YR12-38-42	330.0abcdefgABCDEF	2.8aA	14.2jJ	2.1aA	96.0bcdBC	196.5bB	17.2bcdeBCD
YR12-38-40	308.0defghBCDEFGH	2.3bcdeABCDE	14.9jI	1.3cdefCDEFG	55.3fghijEFGH	72.8fghiDEFG	7.4fghDEF
YR12-38-27	305.0defghBCDEFGH	2.3bcdeABCDE	16.9hiGHI	1.3cdefgCDEFG	110.1bB	144.8bcdBCD	16.4bcdeBCDE
YR12-38-19	301.0defghCDEFGH	1.7gF	18.8cdefCDEFG	0.7ijGH	100.3bcBC	67.7fghiEFG	9.1defghDEF
YR12-38-18	325.0bcdefgABCDEF	2.0defgCDEF	18.0defghEFGH	1.1defghijDEFGH	86.7bcdeBCDEF	89.5efghCDEFG	11.3defghDEF

## 2.2 参试种质的遗传变异分析

从表 5 可知, 24 份大茎野生种正反交后代两新一宿试验各农艺性状材料间差异明显, 变异系数均大于 10.00%, 变异系数在 11.17%~43.37%, 其中糖产量和蔗茎产量的变异系数最大, 分别是 43.37% 和 42.20%, 糖产量的变幅在 5.1~28.2 t/hm<sup>2</sup>, 蔗茎产量的变幅在 43.4%~219.7 t/hm<sup>2</sup>。由此表明, 糖产量和蔗茎产量的遗传变异最为丰富, 在大茎野生

种创新种质的选择利用上要着重关注糖分和产量; 其次有效茎数的变异系数为 31.71%, 变幅为 46.9~163.6 条/hm<sup>2</sup>; 单茎重的变异系数为 24.51%, 茎径、锤度和株高的变异系数在 10.50%~12.5%, 其中株高的变异系数最小为 10.87%。由此可知, 这 24 份大茎野生种正反交后代种质材料的性状分离明显, 变异范围广, 某些种质材料的育种潜力优势明显。

表 5 参试材料 7 个农艺性状指标的表现  
Table 5 Performance of seven agronomic trait indicators in the tested materials

性状 Trait	最大值 Max.	最小值 Min.	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV (%)
株高 Plant height (cm)	373.3	246.7	314.2	34.14	10.87
茎径 Stalk diameter (cm)	2.7	1.7	2.2	0.27	12.07
锤度 Brix (%)	24.2	14.8	18.5	2.07	11.17
单茎重 Single stalk weight (kg)	1.8	0.7	1.2	0.30	24.51
有效茎数 ( $\times 10^3$ 条/hm <sup>2</sup> ) Effective stalk number ( $\times 10^3$ stalk/hm <sup>2</sup> )	163.6	46.9	79.8	24873.37	31.17
蔗茎产量 Sugarcane stalk yield (t/hm <sup>2</sup> )	219.7	43.4	98.5	41.56	42.20
糖产量 Sugar yield (t/hm <sup>2</sup> )	28.2	5.1	12.9	5.59	43.37

### 2.3 参试种质的相关性分析

利用 Pearson 法对 24 份大茎野生种的 7 个农艺性状进行相关性分析 (表 6)。株高与有效茎数、蔗茎产量和糖产量呈极显著正相关, 与茎径和锤度

呈负相关; 茎径与单茎重呈极显著正相关, 与有效茎数呈负相关; 锤度与单茎重和蔗茎产量呈负相关, 与其他性状呈正相关; 单茎重、有效茎数分别与蔗茎产量和糖产量呈极显著正相关; 蔗茎产量与

表 6 参试材料主要农艺性状的相关性  
Table 6 Correlation of main agronomic traits of tested materials

性状 Trait	株高 Plant height	茎径 Stalk diameter	锤度 Brix	单茎重 Single stalk weight	有效茎数 Effective stalk number	蔗茎产量 Sugarcane stalk yield	糖产量 Sugar yield
株高 Plant height	1.00	-0.17	-0.10	0.30	0.52**	0.57**	0.52**
茎径 Stalk diameter		1.00	0.00	0.89**	-0.12	0.40	0.36
锤度 Brix			1.00	-0.05	0.07	-0.01	0.33
单茎重 Single stalk weight				1.00	0.11	0.64**	0.58**
有效茎数 Effective stalk number					1.00	0.83**	0.80**
蔗茎产量 Sugarcane stalk yield						1.00	0.94**
糖产量 Sugar yield							1.00

糖产量呈极显著正相关。

### 2.4 参试种质的主成分分析

基于 24 份大茎野生种正反交后代的 7 个农艺性状作主成分分析 (表 7), 参照曲志华等<sup>[31]</sup>的方法, 以特征值  $\geq 1$  为标准提取前 3 个因子, 这 3 个因子的累计贡献率为 81.39%, 基本代表了大茎野生种正反交后代种质材料农艺性状的绝大部分信息。第 1 主成分 (PC1) 的贡献率为 43.02%, 特征值为 3.87, 蔗茎产量和糖产量的特征向量值在此主成分特征向量中最大, 分别是 0.48 和 0.46, 其次是有效茎数、单茎重和株高, 其特征向量值分别为 0.37、0.35 和 0.33, 主要反映蔗茎产量和糖产量, 故把 PC1 概括为产量糖分因子; 第 2 主成分 (PC2) 的贡献率为 20.04%, 特征值为 1.80, 其特征向量以茎径和单茎重最大, 分别为 0.61 和 0.47, 其次是锤度和糖产量, 其特征向量值分别为

0.14 和 0.09, 主要反映茎径、单茎重、锤度和糖产量, 可概括为茎径糖分因子; 第 3 主成分 (PC3) 的贡献率为 18.33%, 特征值为 1.65, 其特征向量以茎径和单茎重最大, 分别为 0.30 和 0.21, 其次是株高和蔗茎产量, 其特征向量值分别为 -0.12 和 -0.16, 主要反映茎径和单茎重, 可概括为茎径质量因子。

### 2.5 参试种质的综合评价分析

对 24 份大茎野生种正反交后代的 7 个重要农艺性状指标值进行标准化处理, 求解出 7 个重要农艺性状的 3 个主成分得分。参照覃伟等<sup>[30]</sup>的方法, 依次利用公式(1)~(3)求综合评价  $D$  值, 可反映 24 份大茎野生种正反交后代种质大田综合性状的表现情况,  $D$  值越大则田间表现越理想。从表 8 可看出, 综合评价  $D$  值在 0.500~0.700 的材料有 11 份, 占参试种质的 45.833%, 大田表现优良, 其中云瑞 12-38-27、云瑞 12-38-18、云瑞 12-9-45、云瑞 12-9-9 和云瑞 12-38-29 等 5 份种质的  $D$  值大于 0.590, 可对其加强利用。

### 2.6 参试种质的聚类分析

基于 24 份大茎野生种正反交后代种质材料的 3 个主成分, 以欧式距离为遗传距离、以离差平方和法为聚类方法进行系统聚类分析 (图 1)。在遗传距离为 6.00 处将 24 份种质材料分成 3 个类群。结合表 9 可见, 类群 I 有 6 份种质材料, 占比 25%, 该类材料株高、茎径、有效茎数和锤度的均值依次是 301.2 cm、2.0 cm、781.2 $\times 10^3$  条/hm<sup>2</sup> 和 19.4%, 锤度均值在 3 个类群中最高, 但单产低,

表 7 参试材料的特征值、贡献率和累计贡献率

Table 7 Eigenvalues, contribution rates and cumulative contribution rates of the tested materials

性状 Trait	PC1	PC2	PC3
株高 Plant height	0.33	-0.30	-0.12
茎径 Stalk diameter	0.22	0.61	0.30
锤度 Brix	0.02	0.14	-0.39
单茎重 Single stalk weight	0.35	0.47	0.21
有效茎数 Effective stalk number	0.37	-0.26	-0.36
蔗茎产量 Sugarcane stalk yield	0.48	0.06	-0.16
糖产量 Sugar yield	0.46	0.09	-0.28
特征值 Eigenvalue	3.87	1.80	1.65
贡献率 Contribution rate	43.02	20.04	18.33
累计贡献率 Cumulative contribution rate	43.02	63.06	81.39

表 8 参试种质的 PC、Z(X<sub>i</sub>)、D 值及综合评价结果  
Table 8 PC, Z(X<sub>i</sub>), D value, and comprehensive evaluation results of the tested germplasms

编号 Number	材料名称 Material name	PC1	PC2	PC3	Z(X <sub>1</sub> )	Z(X <sub>2</sub> )	Z(X <sub>3</sub> )	D	排序 Order
YR12-9-45	云瑞 12-9-45	2.071	0.624	0.892	0.639	0.648	0.706	0.656	3
YR12-9-4	云瑞 12-9-4	-1.881	-0.998	0.652	0.139	0.351	0.662	0.309	19
YR12-9-5	云瑞 12-9-5	0.455	1.175	-0.160	0.435	0.749	0.512	0.530	10
YR12-9-6	云瑞 12-9-6	-0.056	1.696	1.043	0.370	0.845	0.734	0.569	7
YR12-9-7	云瑞 12-9-7	-2.398	-0.348	-1.785	0.074	0.471	0.212	0.203	23
YR12-9-8	云瑞 12-9-8	-0.462	-1.718	0.212	0.319	0.220	0.581	0.353	18
YR12-9-9	云瑞 12-9-9	4.923	-1.397	-1.887	1.000	0.278	0.193	0.641	4
YR12-9-10	云瑞 12-9-10	-0.805	2.263	0.103	0.275	0.949	0.560	0.505	11
YR12-9-1	云瑞 12-9-1	-2.981	1.588	-0.596	0.000	0.825	0.432	0.300	20
YR12-38-29	云瑞 12-38-29	1.373	1.307	-0.251	0.551	0.774	0.495	0.593	5
YR12-38-30	云瑞 12-38-30	0.958	-2.917	0.791	0.498	0.000	0.688	0.418	14
YR12-38-31	云瑞 12-38-31	0.183	-0.459	0.232	0.400	0.450	0.584	0.454	13
YR12-38-32	云瑞 12-38-32	0.203	-0.406	-1.669	0.403	0.460	0.234	0.379	16
YR12-38-34	云瑞 12-38-34	-1.307	-0.337	1.147	0.212	0.472	0.753	0.398	15
YR12-38-48	云瑞 12-38-48	-1.286	0.817	-2.935	0.215	0.684	0.000	0.282	21
YR12-38-47	云瑞 12-38-47	-2.176	-0.491	1.703	0.102	0.444	0.856	0.356	17
YR12-38-46	云瑞 12-38-46	1.441	0.535	-0.511	0.560	0.632	0.447	0.552	9
YR12-38-45	云瑞 12-38-45	0.350	-0.616	0.378	0.421	0.421	0.611	0.464	12
YR12-38-43	云瑞 12-38-43	-2.845	-1.362	-1.210	0.017	0.285	0.318	0.151	24
YR12-38-42	云瑞 12-38-42	0.901	-0.541	1.955	0.491	0.435	0.902	0.570	6
YR12-38-40	云瑞 12-38-40	-0.347	0.691	2.485	0.333	0.661	1.000	0.564	8
YR12-38-27	云瑞 12-38-27	3.657	-0.357	-0.002	0.840	0.469	0.541	0.681	1
YR12-38-19	云瑞 12-38-19	-1.676	-1.295	-0.445	0.165	0.297	0.459	0.264	22
YR12-38-18	云瑞 12-38-18	1.705	2.544	-0.141	0.593	1.000	0.516	0.676	2

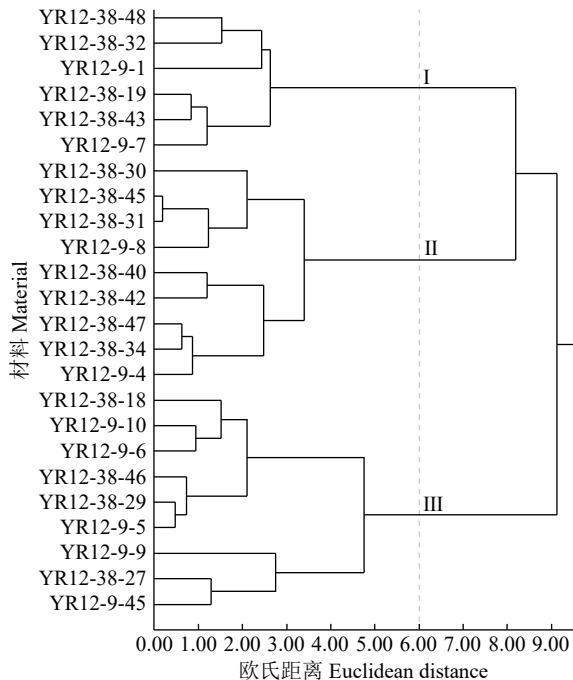


图 1 24 份种质正反交后代种质材料聚类图  
Fig.1 Cluster diagram of 24 germplasms and their reciprocal offsprings

可考虑作为高糖亲本利用；类群II有 9 份种质，占比 37.5%，其株高、茎径，蔗茎产量和糖产量的均值适中，依次是 314.4 cm、2.2 cm、95.4 t/hm<sup>2</sup> 和 11.5 t/hm<sup>2</sup>，有效茎数、蔗茎产量和糖产量的变异系数在 3 个类群中为最大，分别是 41.88%、53.48% 和 59.02%，可选择性利用或部分淘汰；类群III有 9 份种质，占比 37.5%，该类材料株高、茎径、有效茎数、蔗茎产量和产糖量均值在 3 个类群中最高，依次为 322.3 cm、2.4 cm、890.0×10<sup>3</sup> 条/hm<sup>2</sup>、130.0 t/hm<sup>2</sup> 和 17.5 t/hm<sup>2</sup>，可作为高产高糖亲本重点利用。基于聚类结果对 3 个类群的性状作多重比较（表 9），类群间差异较大，茎径、单茎重、蔗茎产量和糖产量在不同类群间达到显著水平（ $P < 0.05$ ），茎径和单茎重达到极显著水平（ $P < 0.01$ ），其中单茎重不同类群间均存在显著差异（ $P < 0.05$ ）。综合评价 D 值前 5 位的云瑞 12-38-27、云瑞 12-38-18、云瑞 12-9-45、云瑞 12-9-9 和云瑞 12-38-29 均聚在类群III中。

表 9 聚类类群及其性状特征  
Table 9 Cluster groups and their trait

性状 Trait	类群 Group					
	I (n=6; 25.00%)		II (n=9; 37.50%)		III (n=9; 37.50%)	
	平均值 Mean value	变异系数 CV (%)	平均值 Mean value	变异系数 CV (%)	平均值 Mean value	变异系数 CV (%)
株高 Plant height (cm)	301.2aA	11.02	314.4aA	12.28	322.3aA	9.43
茎径 Stalk diameter (cm)	2.0bB	10.21	2.2bB	9.94	2.4aA	7.54
锤度 Brix (%)	19.4aA	8.64	17.3aA	9.80	19.1aA	11.93
单茎重 Single stalk weight (kg)	0.9cB	16.54	1.1bB	14.59	1.5aA	12.31
有效茎数 (×10 <sup>3</sup> 条/hm <sup>2</sup> ) Effective stalk number (×10 <sup>3</sup> stems/hm <sup>2</sup> )	781.2aA	25.20	82.2aA	41.88	89.0aA	37.48
蔗茎产量 Sugarcane stalk yield (t/hm <sup>2</sup> )	72.1bA	33.31	95.4abA	53.48	130.0aA	35.37
糖产量 Sugar yield (t/hm <sup>2</sup> )	10.2bA	39.97	11.5bA	59.02	17.5aA	31.50

### 3 讨论

农艺性状的大田表现是区别不同甘蔗种质材料差异最简单、最基础的依据，通过农艺性状数据的收集和整理能直接了解其种性，苗锦山等<sup>[32]</sup>和段志芬等<sup>[33]</sup>认为农艺性状是研究种质资源最基本、最快速和最重要的方法，具有简便、高效和准确的特点，对其开展遗传多样性研究，可快速了解甘蔗种质的利用价值，以便精准育种。变异系数表示性状数值离散性特征，其大小反映出性状离散程度的情况<sup>[34]</sup>，即性状遗传变异潜力大小。本研究基于 7 个农艺性状对 24 份大茎野生种正反交后代种质进行综合评价，结果显示 7 个农艺性状差异明显，变异幅度较大（11.17%~43.37%），变异系数均大于 10%，其中糖产量和蔗茎产量变异系数最大，与杨翠芳等<sup>[23]</sup>和赵俊<sup>[35]</sup>的研究结论基本一致。产量和糖分是甘蔗育种首要考虑的重要性状，在甘蔗育种过程中可有针对性地用这些高遗传变异来改良当代甘蔗主栽品种。在对云南省<sup>[25]</sup>和贵州省<sup>[36]</sup>甘蔗野生资源的表型遗传多样性分析中，农艺性状的变异系数均超过本研究，出现这样的情况一方面是本研究材料为南亚热带季风性气候型的瑞丽保育的大茎野生种，且评价体系不同；另外一方面本研究的 24 份种质材料是大茎野生种与南涧果蔗正反交的后代，其血缘固定，而徐超华等<sup>[25,36]</sup>云南和贵州采集的同种属野生资源材料可能存在天然杂交种质。周珊等<sup>[24]</sup>分析国内 8 个不同地区 160 份甘蔗种质材料的农艺性状，发现变异系数大小表现为有效茎数 > 茎径 > 株高，本研究与其结论相吻合，并且数值大小相近。

甘蔗育种的核心在于取舍，明确各性状间的相互关系，找出与育种目标紧密相关的指标，以便快速优化育种和栽培策略。本研究针对 24 份大茎野生种与南涧果蔗正反交后代的 7 个农艺性状开展相关分析，结果表明，单茎重和有效茎数对蔗茎产量的贡献最大，茎径对单茎重作用最大，这与谭秦亮等<sup>[22]</sup>的研究结论类似。有效茎数与蔗茎产量呈极显著正相关、蔗茎产量与糖产量呈极显著正相关等结论，与赵俊等<sup>[37]</sup>、吴建涛等<sup>[38]</sup>、俞华先等<sup>[39]</sup>、秦昌鲜等<sup>[40]</sup>和杨翠芳等<sup>[23]</sup>的研究结果一致。锤度与单茎重和蔗茎产量呈负相关，与生产实践相吻合。在育种过程中，有效茎数和单茎重应优先考虑。

本文基于主成分得分聚类，既剔除了部分无足轻重的重叠信息，降低了统计分析的复杂性，又避免了以少数性状作可视化和主观性分类的弊端。这种方法对甘蔗种质资源的分类比较有效，可清晰掌握所研究的甘蔗种质所属类型及其特性，这样便可以根据育种目的按照性状互补的原理选择亲本，使亲本选配更合理。本研究将 24 份大茎野生种后代种质系统聚为 3 类，较好地揭示出创新材料的遗传特点，类群 I 材料可作为高糖亲本利用，类群 II 材料可选择性利用或淘汰，类群 III 可作为高产高糖亲本重点利用。

### 4 结论

通过对 24 份大茎野生种正反交后代种质农艺性状的综合评价，发现 7 个重要农艺性状的变异系数在 11.17%~43.37%，具有丰富的遗传变异。基于主成分提取了产量糖分因子、茎径糖分因子

和茎径质量因子, 累计贡献率为 81.39%。综合评价  $D$  值排前 5 位的为云瑞 12-38-27、云瑞 12-38-18、云瑞 12-9-45、云瑞 12-9-9 和云瑞 12-38-29, 种质  $D$  值大于 0.590, 田间表现好, 可加强利用。聚类分析将 24 份种质材料分成 3 个类群, 聚类结果与主成分得分情况基本吻合。

#### 参考文献

- [1] 李杨瑞. 现代甘蔗学. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [2] 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: 45-49.
- [3] Chandran K, Nisha M, Gireesan P P. Characterization of progenies from polycrosses of *S. robustum* clones *F. sanguineum*. *Sugar Tech*, 2020, 22(3): 379-388.
- [4] 俞华先, 桃联安, 田春艳, 等. 大茎野生种 57NG208 在云瑞系列亲本创制中的利用. *中国糖料*, 2019, 41(2): 1-7.
- [5] 吴嘉云. 甘蔗与斑茅后代染色体遗传分析及抗性初步评价. 福州: 福建农林大学, 2013.
- [6] 李思程, 冯梦凡, 杨细平. 甘蔗属及其近缘属代表性种质的转录组比较分析. *基因组学与应用生物学*, 2023, 42(12): 1323-1337.
- [7] 冯梦凡, 汤震, 黄有总, 等. 甘蔗净光合速率及其影响因素的初步分析. *分子植物育种*. (2024-10-25)[2024-10-27]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20220727.1715.010>.
- [8] 胡鑫, 罗正英, 赵培方, 等. 甘蔗野生种割手密和大茎野生种的黑穗病抗性鉴定与评价. *中国糖料*, 2022, 44(3): 54-59.
- [9] Berding N, Roach B T. Germplasm collection, maintenance, and use//Heinz D J. *Sugarcane Improvement through Breeding*. Amsterdam: Elsevier, 1987: 143-210.
- [10] Tai P Y P, Miller J D. A core collection for *Saccharum spontaneum* L. from the world collection of sugarcane. *Crop Science*, 2001, 41(3): 879-885.
- [11] Heinz D J, Tew T L. *Hybridization Procedures*. Amsterdam: Elsevier, 1987: 313-342.
- [12] 王勤南, 符成, 常海龙, 等. 崖城系列甘蔗亲本及组合经济育种种植评价. *西南农业学报*, 2014, 27(5): 1827-1833.
- [13] 俞华先, 经艳芬, 安汝东, 等. 大茎野生种 57NG208 血缘  $F_2$  代的综合评价与聚类分析. *西南农业学报*, 2020, 33(5): 913-919.
- [14] 俞华先, 桃联安, 田春艳, 等. 大茎野生种血缘  $F_1$  和  $F_2$  的主要农艺性状分析与综合评价. *南方农业学报*, 2020, 51(4): 767-774.
- [15] 赵朝森, 王瑞珍, 赵现伟. 国外大豆种质资源农艺及品质性状分析与评价. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(3): 665-673.
- [16] 于跃, 孙健, 张静, 等. 198 份大麻种质资源农艺及品质性状综合评价. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(4): 1021-1030.
- [17] 李贵龙, 何浩宁, 匡博文, 等. 385 份甘蔗种质资源的表型评价. *西南农业学报*, 2024, 37(3): 524-531.
- [18] 马文清, 郭强, 秦昌鲜, 等. 甘蔗主要农艺性状的遗传力和育种值估计. *分子植物育种*, 2019, 17(4): 1333-1345.
- [19] Jackson P A, Rattey A, Cox M, et al. Quantitative trait loci identified for sugar yield and related traits in a sugarcane (*Saccharum* spp.) cultivar  $\times$  *Saccharum officinarum* population. *Field Crops Research*, 2001, 70(1): 21-33.
- [20] Bokhtiar S M, Paul G C, Rashid M H, et al. Genetic diversity and trait association in sugarcane germplasm based on agronomic characters. *Journal of Agricultural Science*, 2012, 4(8): 81-92.
- [21] Silva P P, Maciela G M, Siquieroli A, et al. High-throughput phenotyping for the evaluation of agronomic performance in sugarcane core collection. *Field Crops Research*, 2021, 271: 108255.
- [22] 谭秦亮, 朱鹏锦, 李穆, 等. 基于主成分与聚类分析的甘蔗新品种(系)主要农艺及产量性状的评价. *热带农业科学*, 2022, 42(3): 32-38.
- [23] 杨翠芳, 段维兴, 黄玉新, 等. 桂糖系列甘蔗种质表型性状的遗传多样性. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2024, 39(3): 25-32.
- [24] 周珊, 黄玉新, 段维兴, 等. 国内甘蔗种质资源表型性状的遗传多样性分析. *热带作物学报*, 2023, 44(6): 1123-1134.
- [25] 徐超华, 陈学宽, 毛钧, 等. 191 份云南野生甘蔗种质资源采集及遗传多样性分析. *南方农业学报*, 2023, 54(11): 3125-3135.
- [26] 王晓鸣, 邱丽娟, 景蕊莲, 等. 作物种质资源表型性状鉴定评价: 现状与趋势. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(1): 12-20.
- [27] 朱建荣, 边芯, 郎荣斌, 等. 57NG208 与南润果蔗正反交后代的遗传变异分析. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2015, 41(2): 119-124.
- [28] 经艳芬, 边芯, 桃联安, 等. 云南割手密血缘  $F_1$  创新种质的因子和聚类分析. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(1): 177-181.
- [29] 计雅男, 贺海耘, 张倩, 等. 早实核桃杂交后代生长和叶绿素荧光特性比较研究. *甘肃农业大学学报*, 2022, 57(1): 114-122.
- [30] 覃伟, 张保青, 黄玉新, 等. 甘蔗宿根关键性状及其在宿根性快速评价中的应用. *植物遗传资源学报*, 2024, 25(3): 399-412.
- [31] 曲志华, 张丽丽, 胡杨, 等. 国外引进亚麻种质资源的农艺性状评价. *作物杂志*, 2023(6): 47-53.
- [32] 苗锦山, 刘彩霞, 戴振建, 等. 葱种质资源数量性状的聚类分析、相关性和主成分分析. *中国农业大学学报*, 2010, 15(3): 41-49.
- [33] 段志芬, 刘本英, 汪云刚, 等. 云南野生茶树资源农艺性状多样性分析. *西北农业学报*, 2013, 22(1): 125-131.
- [34] 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. *生物多样性*, 2002, 10(2): 181-188.
- [35] 赵俊. 国外甘蔗种质农艺性状的相关性及遗传多样性分析. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [36] 徐超华, 刘洪博, 覃伟, 等. 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. *热带作物学报*, 2023, 44(6): 1135-1145.
- [37] 赵俊, 吴才文, 赵培方, 等. 引进甘蔗种质工艺与农艺性状的相关性及聚类分析. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2012, 38(5): 476-481.
- [38] 吴建涛, 刘福业, 杨俊贤, 等. 粤糖系列甘蔗品种产量因子间相关和通径分析. *中国农学通报*, 2012, 28(12): 66-71.
- [39] 俞华先, 田春艳, 经艳芬, 等. 云南割手密创新种质  $F_2$  的主成分聚类分析及其评价. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(3): 624-633.
- [40] 秦昌鲜, 闭德金, 彭崇, 等. 基于因子分析与聚类分析的甘蔗新品种(系)农艺性状评价. *南方农业学报*, 2021, 52(2): 317-324.

## Comprehensive Evaluation of Reciprocal Cross Hybrids between 57NG208 and Nanjian Chewing Cane Based on Agronomic Traits

Yu Huaxian<sup>1,2</sup>, An Rudong<sup>1,2</sup>, Tao Lianan<sup>1,2</sup>, Lang Rongbin<sup>1,2</sup>, Bian Xin<sup>1,2</sup>, Zhang Yu<sup>1,2</sup>, Liu Xinlong<sup>1,2</sup>, Liu Jiayong<sup>1,2</sup>, Zhao Liping<sup>1,2</sup>, Liu Hongbo<sup>1,2</sup>, Zhang Gemin<sup>3</sup>, Zhang Baoqing<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>National Key Laboratory for Biological Breeding of Tropical Crops, Kunming 650205, Yunnan, China; <sup>2</sup>Sugarcane Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences/Yunnan Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Kaiyuan 661699, Yunnan, China; <sup>3</sup>Sugarcane Research Institute of Guangxi Academy of Agricultural Sciences/Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Nanning 530000, Guangxi, China)

**Abstract** A total of 24 progenies from *Saccharum robustum* L. and Nanjian chewing cane through reciprocal crosses were used. Correlation analysis, principal component analysis, cluster analysis, and comprehensive evaluation associated with seven important agronomic traits were performed. The results showed that there were differences in agronomic traits among different germplasm materials in the same planting period experiment, and there were differences in agronomic traits among different planting period experiment in the same germplasm materials. The variation coefficient of agronomic traits ranged from 11.17% to 43.37%. The variation of sugar yield and sugarcane stalk yield was the largest, which was 43.37% and 42.20%, respectively, the variation of plant height was small. The correlation analysis showed that sugarcane stalk yield and sugar yield were significantly positively correlated with single stalk weight and effective stalk number, respectively, and sugarcane stalk yield was significantly positively correlated with sugar yield. The yield-sugar factor, stalk diameter-sugar factor and stalk diameter-quality factor were extracted via principal component analysis, and the cumulative contribution rate was 81.39%. The results of cluster analysis showed that the 24 germplasm materials were divided into three groups at the Euclidean distance of 6.00, which were basically consistent with the results of principal component scores. Among them, the seven agronomic indexes of group III were excellent, with high yield and high sugar. Yunrui 12-38-27, Yunrui 12-38-18, Yunrui 12-9-45, Yunrui 12-9-9 and Yunrui 12-38-29 ranked top five based on their comprehensive evaluation *D* values.

**Key words** *Saccharum robustum* L.; Nanjian chewing cane; Agronomic traits; Principal component analysis; Membership function method; Comprehensive evaluation