

云蔗创新种质关键农艺性状综合评价

孔春艳^{1,2}, 毛 钧^{1,2}, 林秀琴^{1,2}, 徐超华^{1,2}, 李旭娟^{1,2}, 刘洪博^{1,2}, 陆 鑫^{1,2*}

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, 云南开远 661699; 2. 热带作物生物育种全国重点实验室, 云南昆明 650205

摘 要: 为综合评价 15 份云蔗系列甘蔗创新种质在云南开远蔗区的农艺性状表现并筛选高产高糖优良亲本, 以主栽品种云蔗 05-51 为对照, 在新植及宿根条件下测定株高、茎径、单茎质量、有效茎数、蔗茎产量、纤维分、出汁率、简纯度和蔗糖分等 9 个关键农艺性状, 采用主成分分析、隶属函数法和聚类分析进行多性状综合评价。结果表明: 各性状变异系数为 4.81%~21.02%, 其中单茎质量和蔗茎产量变异系数最大; 相关性分析结果显示, 株高、茎径和单茎质量均与蔗茎产量呈显著正相关。主成分分析提取出 3 个主成分, 累计贡献率达 82.436%, 分别代表产量因子、糖分因子和茎数因子。基于隶属函数法的综合评价值 (D) 排序结果, 有 11 份材料高于 CK, 排序为: 云蔗 2018-124>云蔗 2018-95>云蔗 2018-120>云蔗 2017-121>云蔗 2018-92>云蔗 2016-166>云蔗 2017-131>云蔗 2016-145>云蔗 2014-170>云蔗 2014-224>云蔗 2014-222>云蔗 05-51。聚类分析将种质划分为三类, 第 I 类为高产型, 第 III 类为高糖型。进一步筛选出单一性状突出的种质: 高产型包括云蔗 2017-121、云蔗 2018-124、云蔗 2018-95 等; 高糖型包括云蔗 2014-222、云蔗 2016-145、云蔗 2017-152 等; 高纤维型包括云蔗 2017-152、云蔗 2018-120 等, 适合作为机械化品种选育的亲本。云蔗 2018-124 和云蔗 2018-95 在产量性状和品质指标上均表现优异, 具有作为高产高糖骨干亲本的潜力, 可为云南及相似生态区甘蔗品种选育提供材料支撑。

关键词: 甘蔗; 农艺性状; 主成分分析; 隶属函数法; 聚类分析; 综合评价

中图分类号: S566.1 文献标志码: A

Comprehensive Evaluation of Key Agronomic Traits in Yunzhe Innovative Sugarcane Germplasm

KONG Chunyan^{1,2}, MAO Jun^{1,2}, LIN Xiuqin^{1,2}, XU Chaohua^{1,2}, LI Xujuan^{1,2}, LIU Hongbo^{1,2}, LU Xin^{1,2*}

1. Sugarcane Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences / Yunnan Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Kaiyuan, Yunnan 661699, China; 2. National Key Laboratory for Biological Breeding of Tropical Crops, Kunming, Yunnan 650205, China

Abstract: A systematic multi-trait assessment was conducted using principal component analysis, membership function method, and cluster analysis to comprehensively evaluate the agronomic performances of 15 Yunzhe-type innovative sugarcane germplasm lines in Kaiyuan, Yunnan and identify superior parents for high-yield and high-sugar breeding. The main cultivated variety Yunzhe 05-51 was used as the control. Nine key agronomic traits, plant height (PH), stalk diameter (SD), single stalk weight (SSW), millable stalk number per hectare (MSPH), cane yield (CY), fiber content (FC), juice extraction rate (JE), apparent purity (AP), and sucrose content in cane (SC) were measured under both plant cane and first ratoon conditions. The results showed that the coefficients of variation for the traits ranged from 4.81% to 21.02%, with single stalk weight and cane yield exhibiting the greatest variation. Correlation analysis indicated that plant height, stalk diameter, and single stalk weight were significantly positively correlated with cane yield. Principal

收稿日期 2025-10-02; 接受日期 2025-10-27

基金项目 国家重点研发计划项目 (No. 2022YFD2301100); 中央引导地方科技发展资金项目 (No. 202407AB110007); 云南省农业基础研究联合专项面上项目 (No. 202301BD070001-207)。

作者简介 孔春艳 (1993—), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 甘蔗种质创新与利用。*通信作者 (Corresponding author): 陆 鑫 (LU Xin), E-mail: xinlu_ky@126.com。

component analysis extracted three principal components, which together accounted for 82.436% of the total variance, representing yield structure, sugar quality, and stalk population characteristics, respectively. Based on the comprehensive evaluation D-values derived from the membership function method, there were 11 materials higher than the control. They were ranked as follows from high to low, Yunzhe 2018-124>Yunzhe 2018-95>Yunzhe 2018-120>Yunzhe 2017-121>Yunzhe 2018-92>Yunzhe 2016-166>Yunzhe 2017-131>Yunzhe 2016-145>Yunzhe 2014-170>Yunzhe 2014-224>Yunzhe 2014-222>Yunzhe 05-51. Cluster analysis classified the germplasm into three groups. Group I was identified as the high-yield type, and Group III as the high-sugar type. Further screening identified the germplasm with outstanding single traits. High-yield types included Yunzhe 2017-121, Yunzhe 2018-124, and Yunzhe 2018-95. High-sugar types included Yunzhe 2014-222, Yunzhe 2016-145, and Yunzhe 2017-152. High-fiber types included Yunzhe 2017-152 and Yunzhe 2018-120, which are suitable as the parents for breeding mechanization-adapted varieties. Both Yunzhe 2018-124 and Yunzhe 2018-95 demonstrated excellent performances in yield and quality related traits, indicating a high potential as core parents for high-yield and high-sugar sugarcane breeding. The materials could provide valuable germplasm support for sugarcane variety selection in Yunnan and other ecologically similar regions.

Keywords: sugarcane; agronomic traits; principal component analysis; membership function method; cluster analysis; comprehensive evaluation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2026.01.006

甘蔗 (*Saccharum* spp.) 是全球最重要的糖料和能源作物之一, 在我国乃至世界范围内都具有举足轻重的地位。其产业不仅关系到国家食糖安全, 也对生物能源发展、农民增收及区域振兴具有重要意义^[1-2]。当前, 我国甘蔗产业面临着品种遗传基础狭窄及优良亲本匮乏、环境胁迫等多重挑战。发掘我国丰富的甘蔗种质资源优势, 创制新种质、培育新品种是突破诸多现实挑战的重要手段^[3-7]。在此过程中, 对所创制的新种质的关键农艺性状进行客观、准确的系统评价, 是筛选优异创新种质并进行持续遗传改良的重要依据和关键环节^[5-6, 8-9]。

近年来, 甘蔗育种目标日趋多元化。除高产稳产外, 蔗糖分、纤维分和出汁率等品质性状也已成为评价甘蔗品种优劣的关键指标^[10]。前人研究中, 多种多元统计方法, 如主成分分析、聚类分析、DTOPSIS 法和隶属函数法, 已被广泛应用于青稞^[8]、大豆^[11]及玉米^[12]等作物的综合评价, 并逐渐成为甘蔗育种中间材料综合评价的有效工具^[3, 7, 13-15]。在甘蔗研究领域, 诸多学者采用该方法开展了系统评价工作。例如, 任生林等^[14]采用 DTOPSIS 法对国家区试品种进行多性状综合评价; 俞华先等^[3]利用主成分分析和聚类分析对大茎野生种后代进行分类筛选与高产高糖种质筛选; 覃伟等^[13]应用隶属函数法评价创新种质; 经艳芬等^[16]和陆鑫等^[17]通过聚类与因子分析评价割手密后代及创新种质的性状结构; 谭秦亮等^[4]、周珊等^[6]、秦昌鲜等^[18]及徐超华等^[19]的研究则表明, 甘蔗种质在株高、茎径、产量和蔗糖分等

性状上存在丰富变异和遗传改良潜力。这些研究为甘蔗育种提供重要的理论支持和材料基础, 充分体现了多元统计方法在种质资源评价中的应用价值。

为综合评价云蔗创新种质的关键农艺性状, 本研究以 15 份云蔗创新种质为材料, 对其新植和宿根条件下的株高、茎径、单茎质量、有效茎数、蔗茎产量、纤维分、出汁率、简纯度及甘蔗蔗糖分等 9 个关键农艺性状进行测定, 并运用主成分分析、相关性分析、聚类分析及隶属函数法进行综合评价。本研究旨在综合评价关键农艺性状基础上, 筛选综合性状优良的创新材料用于育种。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为 16 份, 其中云蔗系列创新种质 15 份, 由云南省农业科学院甘蔗所种质资源团队创制, 以主栽品种云蔗 05-51 为对照 (CK), 详见表 1。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验地点位于云南省农业科学院甘蔗研究所第一科研基地。试验地土壤为红壤土, 肥力中等, 地力均匀, 地面平整, 排灌良好, 前茬作物为甘蔗。试验采用随机区组设计, 5 行区 3 重复, 行长 6 m, 种植行距 1 m, 每小区面积 30 m², 下芽量 105 000 芽/hm²。于 2023 年 3 月 10 日下种, 下种后施足底肥, 覆盖 3~4 cm 厚的薄土, 全膜覆盖, 后续按新植 1 a、宿根 1 a 甘蔗大田生产规程进行常规水肥管理和砍收。

表 1 供试甘蔗材料基本信息
Tab. 1 Basic information of tested sugarcane materials

编号 No.	材料名称 Material name	亲本组合 Parental combination	血缘世代 Innovation blood
YZ05-51 (CK)	云蔗 05-51	崖城 90-56×ROC23	割手密 F ₅
YZ2014-115	云蔗 2014-115	CP94-1100×云蔗 03-258	大茎野生种 F ₇
YZ2014-170	云蔗 2014-170	川糖 66-131×云蔗 2007-86	大茎野生种 F ₄
YZ2014-222	云蔗 2014-222	云蔗 03-194×云野 2007-86	大茎野生种 F ₄
YZ2014-224	云蔗 2014-224	云蔗 03-194×云野 2007-86	大茎野生种 F ₄
YZ2016-145	云蔗 2016-145	云蔗 94-343×云蔗 08-2060	割手密 F ₈
YZ2016-166	云蔗 2016-166	CP94-1100×云蔗 08-1609	割手密 F ₄
YZ2017-49	云蔗 2017-49	CP94-1100×粤糖 85-68	大茎野生种 F ₇
YZ2017-121	云蔗 2017-121	CP94-1100×云蔗 2012-248	割手密 F ₅
YZ2017-131	云蔗 2017-131	云蔗 2007-86×粤甘 55 号	大茎野生种 F ₄
YZ2017-148	云蔗 2017-148	云蔗 94-343×云蔗 2012-247	割手密 F ₅
YZ2017-152	云蔗 2017-152	云蔗 02-588×云蔗 2012-196	大茎野生种 F ₆
YZ2018-120	云蔗 2018-120	柳城 03-1137×云蔗 2012-201	大茎野生种 F ₆
YZ2018-124	云蔗 2018-124	柳城 05-136×云蔗 2012-248	割手密 F ₅
YZ2018-92	云蔗 2018-92	云蔗 03-258×云蔗 2012-237	割手密 F ₅
YZ2018-95	云蔗 2018-95	云蔗 03-258×云蔗 2012-237	割手密 F ₅

1.2.2 调查项目 分别于新植和宿根成熟期，收集甘蔗的株高 (plant height, PH)、茎径 (stalk diameter, SD)、单茎质量 (single stalk weight, SSW)、有效茎数 (millable stalk per hectare, MSPH)、蔗茎产量 (cane yield, CY)、纤维分 (fiber content, FC)、出汁率 (juice extraction, JE)、简纯度 (apparent purity, AP)、蔗糖分 (sucrose content, SC) 等指标，其中品质性状由一次旋光法测定。

1.3 数据处理

使用 Excel 2016 处理原始数据，利用 DPS 2024.01.20 作主成分、方差和聚类分析，其中采用 LSD 法进行多重比较。采用 SAS 13 软件的 PROC CORR 过程进行 Pearson 相关分析。参考俞华先等^[3]和覃伟等^[13]的方法进行隶属函数分析，即基于主成分得分求权重，最后利用权重计算综合评价值。

$$Z(X_j) = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

式中， X_i 为第 i 个综合指标， $X_{\min}$ 为第 i 个综合指标的最小值， $X_{\max}$ 为第 i 个综合指标的最大值。

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

式中， W_i 为第 i 个综合指标在所有综合指标中的权重， P_i 为各品种第 i 个综合指标的贡献率。

$$D = \sum [z(x_j) \times w_i], i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

2 结果与分析

2.1 云蔗创新种质主要农艺性状指标分析

由表 2、表 3 可知，无论新植还是宿根条件下，不同甘蔗种质的农艺性状均存在明显无性系差异。由表 2 可知，新植条件下，除云蔗 2018-120、云蔗 2018-92 和云蔗 2018-95 的株高极显著高于 CK 外，其余种质均极显著低于 CK；9 份种质的茎径极显著高于 CK，1 份极显著低于 CK；7 份种质的单茎质量极显著高于 CK，2 份极显著低于 CK；5 份种质的有效茎数极显著高于 CK，2 份显著高于 CK；云蔗 2016-166、云蔗 2017-121、云蔗 2017-131、云蔗 2017-148、云蔗 2017-152、云蔗 2018-120、云蔗 2018-124、云蔗 2018-92 和云蔗 2018-95 9 份种质的蔗茎极显著高于 CK，而云蔗 2017-49 显著低于 CK。其他性状方面，15 份种质的纤维分均低于 CK，其中 5 份极显著、2 份显著低于 CK；1 份种质的出汁率极显著高于 CK，2 份极显著、1 份显著低于 CK；所有种质的简纯度与 CK 差异不显著；蔗糖分方面，15 份种质均显著高于 CK，但云蔗 2017-148 和云蔗 2018-120 显著低于 CK。总体而言，这些创新种质在产量性状如蔗茎产量、茎径、单茎质量上表现突出，多数显著优于 CK，但在品质性状如甘蔗蔗糖分、纤维分上部分种质存在劣势，需结合育种目标进一步筛选。

表 2 供试甘蔗材料新植农艺性状表现

Tab. 2 Performances of agronomic traits in tested sugarcane materials in plant crop

材料名称 Material name	株高 PH/cm	茎径 SD/cm	单茎质量 SSW/kg	有效茎数 MSPH/($\times 10^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	蔗茎产量 CY/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	纤维分 FC/%	出汁率 JE/%	简纯度 AP/%	蔗糖分 SC/%
云蔗 05-51 (CK)	288.6 ^{ce}	2.9 ^h HI	1.6 ^f Ef	86.0 ^g Ef	133.8 ^c DE	14.7 ^a A	67.3 ^{bcd} Bc	84.7 ^{abc} A	14.1 ^{ab} AB
云蔗 2014-115	255.6 ^{ff}	3.3 ^{cd} BcDE	1.7 ^{de} DE	78.1 ^g f	133.6 ^c DE	14.2 ^{ab} AB	62.0 ^d DE	86.5 ^a A	13.2 ^{abc} AB
云蔗 2014-170	275.1 ^d D	3.0 ^{gh} GHI	1.6 ^f Ef	88.6 ^{ef} Ef	137.7 ^c D	13.5 ^{abc} AB	66.8 ^{bcd} Bc	87.4 ^a A	13.7 ^{abc} AB
云蔗 2014-222	255.5 ^{ff}	2.9 ^h ⁱ GHI	1.4 ^{gh} G	90.5 ^{ef} Ef	125.8 ^{cd} DE	13.3 ^{abc} AB	67.6 ^{bcd} Bc	88.1 ^a A	14.9 ^a A
云蔗 2014-224	245.3 ^g G	3.1 ^{fg} FG	1.5 ^{fg} f	96.5 ^d ecDE	141.1 ^c D	13.5 ^{abc} AB	67.0 ^{bcd} Bc	83.6 ^{abc} A	13.1 ^{abcd} AB
云蔗 2016-145	258.8 ^{ff}	3.1 ^{ef} DEf	1.6 ^f Ef	89.8 ^{ef} Ef	143.4 ^{cc} D	12.8 ^{bc} ABc	65.4 ^{de} Bc	85.5 ^a A	14.6 ^a A
云蔗 2016-166	255.6 ^{ff}	3.4 ^{bc} ABc	1.8 ^{cd} D	92.5 ^{ef} DE	169.3 ^b Bc	13.8 ^{abc} AB	65.7 ^{cde} Bc	86.4 ^a A	13.9 ^{ab} AB
云蔗 2017-49	244.6 ^g G	2.7 ^j J	1.1 ⁱ I	97.5 ^d ecDE	109.0 ^d E	12.0 ^{cd} Bc	66.0 ^{cde} Bc	84.1 ^{abc} A	12.6 ^{abcd} AB
云蔗 2017-121	268.8 ^e E	3.3 ^{bcd} ABc	1.9 ^{cd} D	104.8 ^{cd} BcD	199.3 ^a A	13.4 ^{abc} AB	66.6 ^{bcd} Bc	84.9 ^{ab} A	14.2 ^{ab} AB
云蔗 2017-131	270.5 ^d DE	3.2 ^{dec} DE	1.8 ^{cd} D	111.2 ^{bc} B	200.3 ^a A	12.7 ^{bc} ABc	68.2 ^{bc} B	84.5 ^{abc} A	12.7 ^{abcd} AB
云蔗 2017-148	266.6 ^e E	3.0 ^{fgh} GHI	1.5 ^{fg} Ef	116.9 ^b B	179.2 ^{ab} AB	14.0 ^{ab} AB	66.5 ^{bcd} Bc	74.4 ^c A	10.6 ^{cd} AB
云蔗 2017-152	248.8 ^g G	2.8 ⁱ IJ	1.2 ^h ⁱ GH	135.4 ^a A	168.5 ^b Bc	14.3 ^{ab} AB	61.1 ^f E	86.8 ^a A	14.2 ^{ab} AB
云蔗 2018-120	308.8 ^b B	3.3 ^{bcd} BcD	2.2 ^b AB	88.6 ^{ef} Ef	194.4 ^a AB	10.5 ^{dec} D	68.8 ^b B	74.5 ^{bc} A	9.8 ^d B
云蔗 2018-124	266.9 ^e E	3.5 ^a A	2.1 ^b Bc	92.9 ^{ef} DE	193.9 ^a AB	9.2 ^{ef} D	72.0 ^a A	81.5 ^{abc} A	11.7 ^{abcd} AB
云蔗 2018-92	315.5 ^a A	3.0 ^{fgh} GHI	1.9 ^{cd} D	106.1 ^{cd} Bc	200.2 ^a A	8.6 ^f D	68.3 ^{bc} B	77.9 ^{abc} A	11.1 ^{bcd} AB
云蔗 2018-95	310.3 ^b AB	3.4 ^{ab} AB	2.4 ^a A	78.3 ^g f	186.5 ^{ab} AB	12.0 ^{cd} Bc	64.7 ^c cd	83.2 ^{abc} A	12.5 ^{abcd} AB

注：不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ），不同大写字母表示处理间差异极显著（ $P<0.01$ ）。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

表 3 供试甘蔗材料宿根农艺性状表现

Tab. 3 Performances of agronomic trait indicators in tested sugarcane materials in ratoon crop

材料名称 Material name	株高 PH/cm	茎径 SD/cm	单茎质量 SSW/kg	有效茎数 MSPH/($\times 10^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	蔗茎产量 CY/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	纤维分 FC/%	出汁率 JE/%	简纯度 AP/%	蔗糖分 SC/%
云蔗 05-51 (CK)	295.4 ^b Bc	2.9 ^d Ef	1.6 ^{fgh} FG	90.0 ^d efcd	144.8 ^d efcd	15.0 ^b AB	68.2 ^a AB	88.3 ^{ab} AB	15.6 ^{abc} A
云蔗 2014-115	249.8 ^{gh} ⁱ HI	3.2 ^{ce} DE	1.6 ^{gh} EfG	81.5 ^{ef} D	127.6 ^{ef} D	14.0 ^{bcd} ABc	61.1 ^c Bc	87.1 ^{ab} AB	15.2 ^{abc} A
云蔗 2014-170	279.1 ^d deDef	3.1 ^c DE	1.7 ^d efgDEf	94.5 ^c defBcD	162.4 ^b cdABcD	14.4 ^{bc} ABc	65.9 ^{ab} AB	84.7 ^{abc} AB	14.6 ^{abc} A
云蔗 2014-222	255.0 ^{gh} ⁱ GHI	3.2 ^c BcDE	1.6 ^{efgh} DEfG	91.5 ^c defBcD	148.7 ^c defBcD	13.3 ^{bcd} Bc	65.0 ^{abc} AB	89.6 ^{ab} AB	16.2 ^a A
云蔗 2014-224	247.7 ^h ⁱ HI	3.3 ^{bc} BcD	1.7 ^{efgc} DEf	92.0 ^c defBcD	155.6 ^c edeABcD	14.5 ^{bc} AB	65.3 ^{ab} AB	87.3 ^{ab} AB	14.9 ^{abc} A
云蔗 2016-145	259.9 ^{fgh} GHI	3.3 ^{bc} BcD	1.8 ^c defgcDEf	89.9 ^d efcd	157.5 ^c edeABcD	12.4 ^{bcd} Bc	65.4 ^{ab} AB	88.8 ^{ab} AB	16.3 ^a A
云蔗 2016-166	263.9 ^{efg} FGH	3.5 ^{ab} AB	2.0 ^{bc} Bc	96.5 ^c edeBcD	197.0 ^a A	14.2 ^{bcd} ABc	67.6 ^{ab} A	88.9 ^{ab} AB	16.2 ^a A
云蔗 2017-49	243.8 ⁱ I	2.9 ^d Ef	1.3 ⁱ G	94.9 ^c defBcD	120.1 ^f D	13.0 ^{bcd} Bc	64.0 ^{bc} AB	86.2 ^{abc} AB	14.9 ^{abc} A
云蔗 2017-121	285.7 ^{cd} BcDE	3.3 ^{bc} ABcD	2.0 ^{bcd} BcD	99.2 ^b edeBcD	200.5 ^a A	12.8 ^{bcd} Bc	65.8 ^{ab} AB	87.9 ^{ab} AB	15.7 ^{abc} A
云蔗 2017-131	272.0 ^d efFG	3.2 ^c BcDE	1.8 ^c defgcDE	109.4 ^{bc} ABc	193.3 ^{ab} AB	12.0 ^{cde} Bc	66.6 ^{ab} AB	86.9 ^{abc} AB	14.6 ^{abc} A
云蔗 2017-148	276.7 ^d decDef	2.8 ^d f	1.4 ^h ⁱ FG	114.8 ^{ab} AB	157.4 ^c edeABcD	14.3 ^{bc} ABc	64.0 ^{bc} AB	79.1 ^c B	13.0 ^{bc} A
云蔗 2017-152	271.1 ^d efFG	2.7 ^d f	1.3 ⁱ G	127.9 ^a A	157.7 ^c edeABcD	17.3 ^a A	57.3 ^d c	89.9 ^a A	16.0 ^{ab} A
云蔗 2018-120	304.0 ^{ab} AB	3.1 ^c DE	1.9 ^{cde} BcDE	95.1 ^c defBcD	182.0 ^{ab} ABc	12.1 ^{cde} Bc	69.1 ^a A	81.6 ^{bc} AB	12.8 ^c A
云蔗 2018-124	275.5 ^d deDef	3.6 ^a A	2.3 ^{ab} AB	87.7 ^{ef} cd	199.7 ^a A	11.6 ^{de} Bc	69.1 ^a A	85.5 ^{abc} AB	14.7 ^{abc} A
云蔗 2018-92	293.3 ^{bc} BcD	3.1 ^c DE	1.9 ^{cde} fcDE	106.5 ^{bcd} ABc	200.4 ^a A	10.9 ^{ec}	68.1 ^{ab} A	85.0 ^{abc} AB	14.9 ^{abc} A
云蔗 2018-95	314.3 ^a A	3.5 ^{ab} ABc	2.5 ^a A	76.7 ^f D	190.1 ^{ab} AB	13.1 ^{bcd} Bc	65.6 ^{ab} AB	85.1 ^{abc} AB	14.6 ^{abc} A

注：不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ），不同大写字母表示处理间差异极显著（ $P<0.01$ ）。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

由表 3 可知，宿根条件下，产量性状方面，云蔗 2018-124、云蔗 2018-92 和云蔗 2018-95 等多个种质显著或极显著高于 CK，凸显其高产潜力；而多数种质的株高均显著低于 CK，仅云蔗

2018-95 表现突出。品质性状方面,云蔗 2014-115、2017-152 和 2018-92 等部分种质的纤维分和出汁率显著较低;仅云蔗 2017-148 的简纯度显著低于 CK,而所有甘蔗种质的蔗糖分差异不显著。因此,这些创新种质在产量性状上具有明显优势,但部分品质性状需进一步改良,以筛选出综合性能优良的甘蔗创新材料。

综上所述,同一栽培条件下不同甘蔗种质间各农艺性状存在差异,相同种质在新植和宿根条件下农艺性状指标也存在差异,其中云蔗 2017-152 在新植和宿根条件下的有效茎数均极显著高于其他种质,表现最为稳定;云蔗 2017-131 在新植条件下蔗茎产量最高,云蔗 2017-121 在宿根条件下蔗茎产量最高,二者均极显著优于其他种质,表现出强高产能力和良好的宿根特性;云蔗 2018-124 在新植和宿根条件下茎径均最大,农艺性状稳定性突出。此外,云蔗 2018-95 在新植和宿根条件下均表现出株高和单茎质量最大的显著优势,而云蔗 2017-49 在各性状上均表现最差。

2.2 甘蔗种质 9 个农艺性状的遗传变异分析

由表 4 可知,新植和宿根条件下,16 份甘蔗种质的各农艺性状之间差异明显。除出汁率(4.81%)和简纯度(6.47%)外,其余性状变异系数均大于 8.23%,变异幅度为 8.23%~21.02%。其中单茎质量(21.02%)和蔗茎产量(20.06%)的变异系数最大,蔗茎产量为 95.21~246.42 t/hm²;其次为有效茎数(16.75%)和蔗糖分(15.20%),纤维分的变异系数为 14.96%;而茎径(8.40%)和株高(8.23%)的变异系数相对较小,其中株高

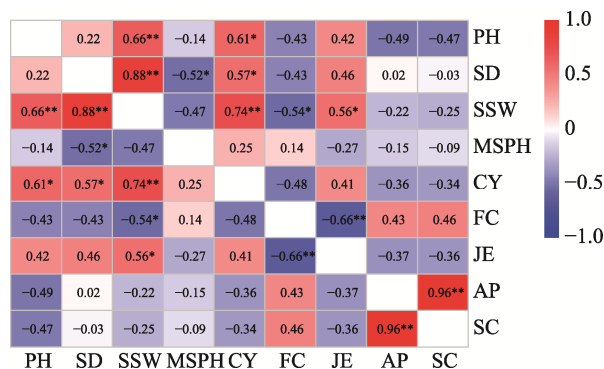
表 4 供试甘蔗材料 9 个农艺性状表现
Tab. 4 Performances of 9 agronomic trait indicators in tested sugarcane materials

性状 Character	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准 差 SD	变异系 数 CV/%
株高 PH/cm	230.00	325.33	272.58	22.44	8.23
茎径 SD/cm	2.43	3.80	3.14	0.26	8.40
单茎质量 SSW/kg	1.00	3.12	1.74	0.37	21.02
有效茎数 MSPH ($\times 10^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	63.95	161.75	96.94	16.24	16.75
蔗茎产量 CY/(t·hm ⁻²)	95.21	246.42	165.96	33.30	20.06
纤维分 FC/%	6.92	18.55	13.05	1.95	14.96
出汁率 JE/%	49.22	72.32	66.00	3.17	4.81
简纯度 AP/%	62.43	92.15	84.87	5.49	6.47
蔗糖分 SC/%	7.24	17.66	13.97	2.12	15.20

的变异系数最小。由此可见,这 16 份甘蔗品种材料的性状差异明显,变异范围广,单茎质量和蔗茎产量的遗传变异最为丰富,在甘蔗创新种质的选择利用上应着重关注这 2 个性状。

2.3 甘蔗种质 9 个农艺性状相关性分析

由图 1 可知,甘蔗种质 9 个农艺性状指标均存在显著或极显著相关性,指标间相关系数的绝对值越大,则表明指标之间的联系越紧密。根据相关性分析结果可知,株高与单茎质量呈极显著正相关($r=0.66^{**}$),与蔗茎产量呈显著正相关($r=0.61^{*}$);茎径与单茎质量呈极显著正相关($r=0.88^{**}$),与蔗茎产量呈显著正相关($r=0.57^{*}$),与有效茎数呈显著负相关($r=-0.52^{*}$);单茎质量与蔗茎产量呈极显著正相关($r=0.74^{**}$),与出汁率呈显著正相关($r=0.56^{*}$),与纤维分呈显著负相关($r=-0.54^{*}$);纤维分与出汁率呈极显著负相关($r=-0.66^{**}$);简纯度与甘蔗蔗糖分呈极显著正相关($r=0.96^{**}$)。



*表示显著相关($P<0.05$), **表示极显著相关($P<0.01$); 颜色越红表示正相关性越强, 越蓝表示负相关性越强。

* indicate significant correlation ($P<0.05$), ** indicate extremely significant correlation ($P<0.01$); the more red, the more positive correlation, and the more blue, the more negative correlation.

图 1 供试甘蔗材料 9 个农艺性状指标的相关性

Fig. 1 Correlation of 9 agronomic trait indicators of tested sugarcane materials

2.4 甘蔗种质 9 个农艺性状主成分分析

对甘蔗株高、茎径、单茎质量、有效茎数、蔗茎产量、纤维分、出汁率、简纯度及蔗糖分这 9 个产量与品质性状进行主成分分析。依据特征值大于 1 的原则提取主成分, 得到 3 个主成分, 其累计贡献率达 82.436% (表 5), 表明这 3 个主成分能够较好地代表原始数据的绝大部分信息。其中, 第 1 主成分的特征值为 4.336, 方差贡献率为 48.179%, 是最重要的主成分; 第 2 和第 3 主

表 5 供试甘蔗材料 9 个农艺性状特征值与方差贡献率
Tab. 5 Eigenvalues and variance contribution of agronomic traits in tested sugarcane materials

成分 Component	初始特征值 Initial eigenvalues			提取荷载平方和 Extraction sums of squared loadings		
	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Proportion rate/%	累计百分率 Cumulative proportion rate/%	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Proportion rate/%	累计百分率 Cumulative proportion rate/%
1	4.336	48.179	48.179	4.336	48.179	48.179
2	2.007	22.300	70.479	2.007	22.300	70.479
3	1.076	11.957	82.436	1.076	11.957	82.436
4	0.712	7.913	90.349			
5	0.512	5.693	96.042			
6	0.306	3.400	99.442			
7	0.043	0.477	99.919			
8	0.006	0.067	99.986			
9	0.001	0.014	100.000			

成分的特征值分别为 2.007 和 1.076，方差贡献率分别为 22.300%和 11.957%，重要性依次递减。一般认为，累计方差贡献率超过 70%即可反映原始数据的主要信息。本研究前 3 个主成分累计贡献率已达 82.436%，能够充分代表 16 份甘蔗材料在上述 9 个性状上的综合表现，因此可用这 3 个主成分替代原有指标进行甘蔗种质的综合评价。

3 个主成分的载荷矩阵如表 6 所示，通常认为，载荷值绝对值越大，对应指标对主成分的影响越重要。成分矩阵分析结果表明，第 1 主成分与单茎质量（0.85）、出汁率（0.76）、株高（0.74）和茎径（0.64）相关性较高；第 2 主成分主要与茎径（0.66）、简纯度（0.70）和甘蔗蔗糖分（0.65）相关；第 3 主成分则与有效茎数（0.67）和蔗茎

产量（0.72）密切相关。以上 3 个主成分集中反映了甘蔗主要产量与品质性状的综合表现，因此可通过这 3 个综合性指标对甘蔗种质资源进行高效评价与筛选。

2.5 甘蔗种质 9 个农艺性状综合评价

对 16 份甘蔗材料的 9 个主要农艺与品质性状进行标准化处理后，通过主成分分析得到 3 个主成分得分，参照覃伟等^[13]和俞华先等^[3]的方法计算综合评价值。*D* 值可全面反映甘蔗种质资源的田间综合表现，*D* 值越大表明综合性状越优。由表 7 可知，供试材料的 *D* 值排序依次为：云蔗 2018-124（0.8322）>云蔗 2018-95（0.8234）>云蔗 2018-120（0.6996）>云蔗 2017-121（0.6910）>云蔗 2018-92（0.6862）>云蔗 2016-166（0.6647）>云蔗 2017-131（0.6254）>云蔗 2016-145（0.5304）>云蔗 2014-170（0.4795）>云蔗 2014-224（0.4577）>云蔗 2014-222（0.4469）>云蔗 05-51（0.4468）>云蔗 2014-115（0.4300）>云蔗 2017-148（0.3550）>云蔗 2017-49（0.2541）>云蔗 2017-152（0.2401）。其中，*D* 值大于 CK 的材料有 11 份；*D* 值大于 0.600 的材料共有 6 份，占总数的 37.5%，包括云蔗 2018-124、云蔗 2018-95、云蔗 2018-120、云蔗 2017-121、云蔗 2018-92 和云蔗 2016-166。这些材料田间综合表现优良，尤其在产量构成因子和品质性状方面优势明显。排名前两位的云蔗 2018-124 和云蔗 2018-95 的 *D* 值均超过 0.82，综合表现最为突出，具有重要的育种利用价值。进一步从单一性状角度筛选出以下优异种质：高产型种质为云蔗 2017-121、云蔗 2018-124、云蔗 2018-95、云蔗 2018-92、云蔗 2016-166，其蔗茎

表 6 供试甘蔗材料 9 个农艺性状成分矩阵与特征向量矩阵
Tab. 6 Component matrix and eigenvector matrix of agronomic traits in tested sugarcane materials

性状 Character	成分矩阵 Component matrix			特征向量矩阵 Eigenvector matrix		
	V1	V2	V3	Y1	Y2	Y3
株高 PH/cm	0.74	-0.17	0.08	0.36	-0.12	0.07
茎径 SD/cm	0.64	0.66	0.04	0.32	0.46	0.03
单茎质量 SSW/kg	0.85	0.41	0.06	0.42	0.29	0.05
有效茎 MSPH/(×10 ³ ·hm ⁻²)	-0.19	-0.67	0.67	-0.10	-0.47	0.61
蔗茎产量 CY/(t·hm ⁻²)	0.66	-0.01	0.72	0.33	-0.01	0.65
纤维分 FC/%	-0.80	0.02	-0.01	-0.40	0.01	-0.01
出汁率 JE/%	0.76	0.10	-0.10	0.38	0.07	-0.09
简纯度 AP/%	-0.60	0.70	0.31	-0.30	0.49	0.28
蔗糖分 SC/%	-0.62	0.65	0.35	-0.30	0.46	0.32

表 7 供试甘蔗材料的 C、Z(X_j)、D 及综合评价结果
Tab. 7 C, Z(X_j), D and comprehensive evaluation results of tested sugarcane materials

编号 No.	材料名称 Material name	C1	C2	C3	Z(X ₁)	Z(X ₂)	Z(X ₃)	D	排序 Order
YZ05-51	云蔗 05-51	-1.0178	0.2516	-0.7867	0.3850	0.7632	0.1617	0.4468	12
YZ2014-115	云蔗 2014-115	-1.6962	1.0591	-0.9371	0.2920	0.9208	0.1248	0.4300	13
YZ2014-170	云蔗 2014-170	-0.6601	0.1433	-0.4980	0.4341	0.7420	0.2325	0.4795	9
YZ2014-222	云蔗 2014-222	-1.7368	1.1903	-0.5580	0.2864	0.9464	0.2178	0.4469	11
YZ2014-224	云蔗 2014-224	-1.0333	0.3371	-0.5662	0.3829	0.7798	0.2158	0.4577	10
YZ2016-145	云蔗 2016-145	-0.8757	1.2841	-0.2469	0.4045	0.9647	0.2942	0.5304	8
YZ2016-166	云蔗 2016-166	0.0377	1.7032	0.9139	0.5298	1.0465	0.5790	0.6647	6
YZ2017-49	云蔗 2017-49	-2.2668	-0.9130	-1.7598	0.2137	0.5359	-0.0770	0.2541	15
YZ2017-121	云蔗 2017-121	0.6570	0.8810	1.4927	0.6148	0.8860	0.7210	0.6910	4
YZ2017-131	云蔗 2017-131	0.7676	-0.2893	1.1020	0.6300	0.6576	0.6251	0.6254	7
YZ2017-148	云蔗 2017-148	-0.0171	-3.4204	-0.2209	0.5223	0.0465	0.3005	0.3550	14
YZ2017-152	云蔗 2017-152	-3.8624	-1.5072	2.3159	-0.0052	0.4199	0.9230	0.2401	16
YZ2018-120	云蔗 2018-120	3.4268	-1.6052	-0.8147	0.9948	0.4008	0.1548	0.6996	3
YZ2018-124	云蔗 2018-124	3.1081	0.9664	-0.1188	0.9511	0.9027	0.3256	0.8322	1
YZ2018-92	云蔗 2018-92	2.5761	-1.3898	0.3989	0.8781	0.4428	0.4526	0.6862	5
YZ2018-95	云蔗 2018-95	2.5929	1.3088	0.2837	0.8804	0.9695	0.4243	0.8234	2
权重					0.5740	0.2657	0.1425		

产量显著高于 CK；高糖分种质为云蔗 2014-222、云蔗 2016-145、云蔗 2017-152，其甘蔗蔗糖分表现优异；高纤维分种质为云蔗 2017-152、云蔗 2018-120，其纤维分含量高，适合作为机械化收割品种的亲本材料。

2.6 聚类分析

基于供试材料的 3 个主成分得分，以欧氏距离为遗传距离，采用离差平方和法进行系统聚类分析（图 2）。在遗传距离为 4.50 处，可将 16 份材料划分为 I、II、III 三类。结合聚类结果及各类群性状的多重比较（表 8）可以看出：第 I 类群包含 5 份材料（占 31.25%），该类群在株高（293.20 cm）、茎径（3.20 cm）和单茎质量（2.00 kg）方面表现最优，蔗茎产量较高（188.37 t/hm²），但甘蔗蔗糖分（12.56%）和简纯度（80.79%）显著低于其他类群，纤维分也较低（11.64%），可作为高产型种质资源加以利用；第 II 类群包含 3 份材料（占 18.75%），表现出较高的有效茎数（114.67×10³ stalks/hm²）和优良的糖分品质性状（甘蔗蔗糖分 14.57%，简纯度 86.81%），但出汁率较低（64.28%），单茎质量较小（1.70 kg），其蔗茎产量和纤维分的变异系数较大，表明该类群材料性状稳定性较差，应选择性利用；第 III 类群包含 8 份材料（占 50.00%），在糖分相关性状上

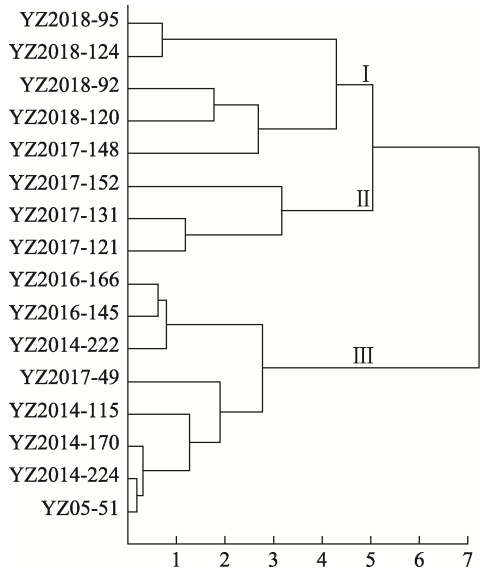


图 2 16 份甘蔗材料的系统聚类图
Fig. 2 Systematic clustering diagram of 16 sugarcane materials

表现突出，甘蔗蔗糖分（14.62%）、简纯度（86.70%）和纤维分（13.67%）均显著高于其他类群，但有效茎数（90.65×10³ stalks/hm²）和蔗茎产量（144.21 t/hm²）最低，可作为高糖优质亲本重点利用。进一步筛选出高纤维型种质（如云蔗 2017-152、云蔗 2018-120），其纤维分含量高，适合作为机械化收割品种的育种亲本。此外，综

表 8 聚类类群及其性状特征
Tab. 8 Cluster groups and their traits

指标 Index	类群 Group								
	I (n=5; 31.25%)			II (n=3; 18.75%)			III (n=8; 50.00%)		
	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
株高 PH/cm	293.20 ^{aA}	20.15	6.87	269.50 ^{bB}	13.16	4.88	260.90 ^{cB}	16.90	6.48
茎径 SD/cm	3.20 ^{aA}	0.28	8.83	3.10 ^{bA}	0.29	9.30	3.10 ^{bA}	0.23	7.34
单茎质量 SSW/kg	2.00 ^{aA}	0.39	19.47	1.70 ^{bB}	0.35	21.00	1.60 ^{bB}	0.25	15.48
有效茎 MSPH/(×10 ³ ·hm ⁻²)	96.35 ^{bB}	15.31	15.89	114.67 ^{aA}	17.17	14.98	90.65 ^{cB}	10.83	11.95
蔗茎产量 CY/(t·hm ⁻²)	188.37 ^{aA}	21.48	11.40	186.60 ^{aA}	24.52	13.14	144.21 ^{bB}	27.68	19.19
纤维分 FC/%	11.641 ^{bB}	2.18	18.74	13.77 ^{aA}	1.93	14.05	13.67 ^{aA}	1.25	9.15
出汁率 JE/%	67.61 ^{aA}	2.58	3.82	64.28 ^{bB}	4.70	7.31	65.64 ^{bAB}	2.30	3.51
简纯度 AP/%	80.79 ^{bB}	6.91	8.55	86.81 ^{aA}	3.56	4.10	86.70 ^{aA}	3.38	3.89
蔗糖分 SC/%	12.56 ^{bB}	2.33	18.56	14.57 ^{aA}	1.74	11.94	14.62 ^{aA}	1.68	11.50

注：不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ），不同大写字母表示处理间差异极显著（ $P<0.01$ ）。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

合评价值排名前 3 的材料（云蔗 2018-124、云蔗 2018-95、云蔗 2018-120）均集中在第 I 类群，表明该类群材料综合农艺性状最优，具有重要的育种价值。聚类分析结果与主成分分析结果相互印证，为甘蔗种质资源的评价与利用提供可靠依据。

3 讨论

甘蔗产业面临高产、高糖与多抗逆性协同改良的育种目标,需要我们对种质资源进行更为精细和系统的鉴定^[20-21],并对其衍生出的一系列新种质进行甄别。创新种质是遗传改良进程中数量庞大、多样性丰富的分离群体,需通过科学评价,方可从大量材料中精准筛选出具有特定育种价值的中间材料或亲本。农艺性状的大田表现是区分不同甘蔗种质材料最简单、最基础的依据,通过大田农艺性状数据的收集与整理可直接了解其种性,并对其开展遗传多样性研究,可快速评估其甘蔗种质的利用价值,为精准育种提供依据^[3, 22]。本研究系统评价了 15 份云蔗系列甘蔗种质在新植与宿根条件下的 9 个主要农艺与品质性状,通过遗传变异、相关性、主成分、聚类及综合评价等分析,系统揭示了其性状表现与分类特征,为甘蔗高产高糖育种提供了重要的种质资源与理论依据。

本研究发现,供试材料在单茎质量和蔗茎产量上表现出较大的变异幅度（CV 分别为 21.02% 和 20.06%）,这与谭秦亮等^[4]、徐超华等^[19]及杨

翠芳等^[5]的研究结果一致,表明这些性状具有较高的遗传选择潜力,为通过选择育种提升产量提供了依据。相关性分析表明,株高、茎径与单茎质量呈极显著正相关（ $r=0.66^{**}$, 0.88^{**} ）,与前人研究^[4, 17, 19]相符,表明通过协同提高株高和茎径可有效提升单茎质量和产量。纤维分与出汁率呈极显著负相关（ $r=-0.66^{**}$ ）,这与杨柳等^[10]关于加工型甘蔗资源的研究结果一致,提示在果蔗等加工型甘蔗品种选育过程中应注意适度控制纤维分含量。

多元统计方法已成为现代作物种质资源评价的重要工具。如俞华先等^[3]对大茎野生种后代、任生林等^[14]基于 DTOPSIS 法对国家区试品种,以及汪洋等^[23]对苹果品质的综合评价,均证明了主成分分析、聚类分析等方法在降维、分类和综合评价中的有效性与客观性。本研究通过主成分分析提取出 3 个主成分,累计贡献率达 82.44%,能够代表原始性状绝大部分信息。第一主成分代表植株形态与出汁能力,第二主成分反映糖分品质,第三主成分与群体产量构成相关,该结果与周珊等^[6]、俞华先等^[9]及秦昌鲜等^[18]在甘蔗性状评价中的主成分结构较为一致,说明甘蔗性状评价具有一定的共性规律。聚类分析将 16 份材料划分为 3 个类群,第 I 类群以高产、大茎、高出汁率为特征,第 II 类群有效茎数多但性状稳定性较差,第 III 类群糖分性状突出但产量较低,这一分类结果与覃伟等^[13]关于宿根性状的评价、俞华先

等^[3]对大茎野生种后代的分类结果及杨柳等^[10]关于红糖加工型甘蔗资源筛选的研究相呼应,进一步验证了聚类分析在种质资源分类中的实用性和可靠性。

甘蔗的宿根性是影响其生产效益的关键,许多优良品种在新植季表现突出,但宿根性能衰退。结合新植 1 a、宿根 1 a 两个生长季的调查数据进行综合评价,是针对甘蔗多年生作物特性的深化研究。本研究不仅关注单季表现,更注重材料在双季下的稳定性。例如,云蔗 2017-152 在新植和宿根条件下均表现出极高的有效茎数,云蔗 2018-124 的茎径性状稳定,这些信息对于选育宿根性强、稳产性好的品种至关重要。覃伟等^[13]的研究也强调了宿根性状评价的重要性。本研究在此基础上,将宿根表现纳入综合评价体系,使评价结果更具生产指导价值。

基于隶属函数法的综合评价实现了多性状量化比较,为优异种质筛选提供了直观、可靠的指标。综合评价结果显示,排名前 11 位的甘蔗创新种质,其综合性状均优于对照云蔗 05-51。其中云蔗 2018-124、云蔗 2018-95、云蔗 2018-120 等材料的 *D* 值均高于 0.68,表现出优良的综合农艺性状。尤其是云蔗 2018-124 和云蔗 2018-95,在 *D* 值排序中位列前 2 位,且在新植与宿根条件下均表现稳定,具有重要的育种价值。相比之下,云蔗 2017-152、云蔗 2017-49 等材料 *D* 值较低,综合性状较差,但可作为特异性状资源加以利用。例如,云蔗 2017-152 具有极高的有效茎数和纤维分含量,适合作为亲本用于改良群体结构或抗逆性。在种质创新过程中,除关注综合性状外,还应重视单一性状的优异表现。通过上述评价,筛选出的高产型种质(如云蔗 2018-124、云蔗 2018-95)、高糖型种质(如云蔗 2014-222、云蔗 2016-145)以及高纤维型种质(如云蔗 2017-152),分别在产量、糖分和机械化适应性方面具有突出潜力,可为不同育种目标提供精准的亲本选择。本研究采用的隶属函数法结合主成分权重分配,综合了多性状贡献,提高了评价的客观性与准确性,与覃伟等^[13]和俞华先等^[3]的研究方法一致,适用于甘蔗种质的系统性评价。

综上所述,本研究通过多性状综合评价,筛选出一批综合性状优良的甘蔗种质资源,为其在

育种中的合理利用提供科学依据。后续可结合分子标记辅助选择与多年多点试验,进一步验证其性状稳定性和生态适应性,推动甘蔗育种向高产、高糖、高效方向发展。

4 结论

本研究综合运用主成分分析、隶属函数法和聚类分析,对 15 份云蔗创新种质材料进行了系统评价。结果表明,供试材料在 9 个农艺与品质性状上均表现出广泛变异,其中单茎质量和蔗茎产量的变异系数最大,显示出较强的遗传改良潜力。主成分分析共提取出 3 个主成分,累计贡献率为 82.44%,分别代表产量构成、糖分品质和茎数特征,可用于甘蔗种质资源的综合评判。基于隶属函数法的 *D* 值综合评价进一步明确,云蔗 2018-124 和云蔗 2018-95 综合表现最优,适宜作为高产高糖育种的亲本。聚类分析将种质划分为高产型、中间型和高糖型三类,为不同育种目标提供了具有针对性的中间材料。此外,本研究进一步筛选出单一性状突出的种质,包括高产型(如云蔗 2018-124、云蔗 2018-95)、高糖型(如云蔗 2014-222、云蔗 2016-145)和高纤维型(如云蔗 2017-152),为精准亲本配置及专用型品种选育奠定了材料基础。综上,本研究鉴定了云蔗 2018-124、云蔗 2018-95、云蔗 2017-152 等一批综合性状优良或特异性状突出的创新种质,为甘蔗高产高糖育种及适宜机械化品种的遗传改良提供重要的亲本材料和理论依据。

参考文献

- [1] LIU J Y, RAN M Y, ZHAO L P, TAO L A, ZAN F G, YAO L, HU X, REN S L, ZHAO Y, XIA H M, ZHANG J, PU X Y, ZHANG Z F, DENG Z H. The enhancement of a *Saccharum spontaneum* population and a genetic impact analysis of the agronomic and yield traits of its progeny[J]. *Plants*, 2025, 14(12): 1750.
- [2] 赵婷婷, 孙婷婷, 王俊刚, 王文治, 冯翠莲, 刘新龙, 甘仪梅, 赵培方, 徐超华, 林继山, 曹峥英, 张树珍. 甘蔗育种研究进展[J]. *中国科学: 生命科学*, 2024, 54(10): 1814-1832.
ZHAO T T, SUN T T, WANG J G, WANG W Z, FENG C L, LIU X L, GAN Y M, ZHAO P F, XU C H, LIN J S, CAO Z Y, ZHANG S Z. The research progress on sugarcane breeding[J]. *Scientia Sinica (Vitae)*, 2024, 54(10): 1814-1832. (in Chinese)

- [3] 俞华先, 安汝东, 桃联安, 郎荣斌, 边芯, 张钰, 刘新龙, 刘家勇, 赵丽萍, 刘洪博, 张革民, 张保青. 基于农艺性状对 57NG208 与南涧果蔗正反交后代综合评价[J/OL]. 作物杂志, (2025-03-14)[2025-05-14]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=VkJzIsHyPdhQiEseiS6_zBeCxVXO-j88UDHRcoSHBu7S-sfGBf_B-N1_IP7r1DI63ww9CMoS_LdOdjaOd4MHMr6vifVRkRWzgPLICE1BefQw_PnZWq2-gnDKuYvhqgO7-dcMgfgniPIi432avW4JtvMeiIrTmXh5C-35YLzaV-t6pd_Pqeg6boFw==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
YU H X, AN R D, TAO L A, LANG R B, BIAN X, ZHANG Y, LIU X L, LIU J Y, ZHAO L P, LIU H B, ZHANG G M, ZHANG B Q. Comprehensive evaluation of the reciprocal hybrids of 57NG208 and Nanjian chewing cane based on agronomic traits[J/OL]. Crops, (2025-03-14)[2025-05-14]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=VkJzIsHyPdhQiEseiS6_zBeCxVXO-j88UDHRcoSHBu7S-sfGBf_B-N1_IP7r1DI63ww9CMoS_LdOdjaOd4MHMr6vifVRkRWzgPLICE1BefQw_PnZWq2-gnDKuYvhqgO7-dcMgfgniPIi432avW4JtvMeiIrTmXh5C-35YLzaV-t6pd_Pqeg6boFw==&uniplatform=NZKPT&language=CHS. (in Chinese)
- [4] 谭秦亮, 朱鹏锦, 李穆, 程琴, 周全光, 庞新华. 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[J]. 热带农业科学, 2022, 42(3): 32-38.
TAN Q L, ZHU P J, LI M, CHENG Q, ZHOU Q G, PANG X H. Evaluation of main agronomic and yield traits of new sugarcane varieties (lines) based on principal component and cluster analysis[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2022, 42(3): 32-38. (in Chinese)
- [5] 杨翠芳, 段维兴, 黄玉新, 周珊, 高轶静, 周忠凤, 张革民, 张保青. 桂糖系列甘蔗种质表型性状的遗传多样性[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2024, 39(3): 25-32.
YANG C F, DUAN W X, HUANG Y X, ZHOU S, GAO Y J, ZHOU Z F, ZHANG G M, ZHANG B Q. Genetic diversity of phenotypic traits in the germplasm resources of Guitang series sugarcane[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2024, 39(3): 25-32. (in Chinese)
- [6] 周珊, 黄玉新, 段维兴, 高轶静, 杨翠芳, 周忠凤, 陆衫羽, 张革民, 张保青. 国内甘蔗种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2023, 44(6): 1123-1134.
ZHOU S, HUANG Y X, DUAN W X, GAO Y J, YANG C F, ZHOU Z F, LU S Y, ZHANG G M, ZHANG B Q. Genetic diversity assessment of sugarcane native of domestic with phenotypic traits[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2023, 44(6): 1123-1134. (in Chinese)
- [7] KONG C Y, WICKRAMASINGHE K P, XU C H, MAO J, LIU H B, KUMAR T, LIN X Q, LI X J, TIAN C Y, ZHAO P F, LU X. Recent advances in sugarcane leaf scald disease: pathogenic insights and sustainable management approaches[J]. Plants, 2025, 14(4): 508.
- [8] 刘雅洁, 李茂, 李超, 李文博, 田敏, 潘佳佳, 赵辉, 余国武, 冯宗云. 75 份青稞种质的品质性状综合评价[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(7): 855-864.
LIU Y J, LI M, LI C, LI W B, TIAN M, PAN J J, ZHAO H, YU G W, FENG Z Y. Comprehensive evaluation on quality traits of 75 highland barley germplasm[J]. Journal of Triticeae Crops, 2024, 44(7): 855-864. (in Chinese)
- [9] 俞华先, 田春艳, 经艳芬, 安汝东, 郎荣斌, 边芯, 董立华, 周清明, 杨李和, 孙有芳, 桃联安. 云南割手密创新种质 F₂ 的主成分聚类分析及其评价[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(3): 624-633.
YU H X, TIAN C Y, JING Y F, AN R D, LANG R B, BIAN X, DONG L H, ZHOU Q M, YANG L H, SUN Y F, TAO L A. Principal component clustering analysis and evaluation of F₂ generation from Yunnan *Saccharum spontaneum* L. innovation germplasm[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(3): 624-633. (in Chinese)
- [10] 杨柳, 王智能, 沈石妍, 杨婷, 陆鑫, 郭家文, 应雄美. 红糖加工型甘蔗种质资源评价与筛选方法的建立[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(2): 532-539.
YANG L, WANG Z N, SHEN S Y, YANG T, LU X, GUO J W, YING X M. Evaluation and screening method of sugarcane germplasm resources for brown sugar production[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(2): 532-539. (in Chinese)
- [11] 李明雪, 孙旭红, 张勇, 王磊, 杨兴勇, 庞泽, 宋继玲. 北美大豆种质资源农艺综合性状鉴定与分析[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(10): 69-74.
LI M X, SUN X H, ZHANG Y, WANG L, YANG X Y, PANG Z, SONG J L. Identification and analysis of comprehensive agronomic traits in North American soybean germplasm resources[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(10): 69-74. (in Chinese)
- [12] 杨喜翠, 崔锐, 宋碧, 邹军. 27 个鲜食玉米品种主要农艺性状的主成分及聚类分析[J]. 耕作与栽培, 2025, 45(7): 40-44.
YANG X C, CUI R, SONG B, ZOU J. Principal component and cluster analysis of major agronomic traits in 27 fresh corn varieties[J]. Tillage and Cultivation, 2025, 45(7): 40-44. (in Chinese)
- [13] 覃伟, 张保青, 黄玉新, 周珊, 赵丽萍, 李纯佳, 李旭娟, 张静, 李傲梅, 任生林, 黄东亮, 刘新龙. 甘蔗宿根关键性状及其在宿根性快速评价中的应用[J]. 植物遗传资源学报, 2024, 25(3): 399-412.
QIN W, ZHANG B Q, HUANG Y X, ZHOU S, ZHAO L P, LI C J, LI X J, ZHANG J, LI A M, REN S L, HUANG D L,

- LIU X L. Identification of key factors applicable in rapid evaluation of sugarcane ratooning ability[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25(3): 399-412. (in Chinese)
- [14] 任生林, 张静, 赵丽萍, 覃伟, 赵培方, 赵勇, 姚丽, 赵俊. 基于 DTOPSIS 法的甘蔗新品种综合评价[J]. 热带作物学报, 2025, 46(8): 1826-1834.
- REN S L, ZHANG J, ZHAO L P, QIN W, ZHAO P F, ZHAO Y, YAO L, ZHAO J. Comprehensive evaluation of new *Saccharum officinarum* varieties based on DTOPSIS method[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2025, 46(8): 1826-1834. (in Chinese)
- [15] 郭强, 莫建文, 江清梅, 何洪良, 马文清, 莫勇武, 唐利球. 基于多元统计分析的甘蔗新品系适应性评价[J]. 热带作物学报, 2023, 44(4): 699-705.
- GUO Q, MO J W, JIANG Q M, HE H L, MA W Q, MO Y W, TANG L Q. Evaluation on adaptation in new sugarcane lines by multiple statistics analysis[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2023, 44(4): 699-705. (in Chinese)
- [16] 经艳芬, 边芯, 桃联安, 董立华, 周清明, 朱建荣, 安汝东, 杨李和, 郎荣斌, 俞华先, 冯蔚. 云南割手密血缘 F_1 创新种质的因子和聚类分析[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1): 177-181.
- JING Y F, BIAN X, TAO L A, DONG L H, ZHOU Q M, ZHU J R, AN R D, YANG L H, LANG R B, YU H X, FENG W. Factor and cluster analysis of Yunnan innovated germplasm materials F_1 of *spontaneum*[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(1): 177-181. (in Chinese)
- [17] 陆鑫, 毛钧, 应雄美, 刘新龙, 苏火生, 马丽, 蔡青. 甘蔗创新种质的因子分析与聚类分析[J]. 西南农业学报, 2011, 24(6): 2072-2076.
- LU X, MAO J, YING X M, LIU X L, SU H S, MA L, CAI Q. Factor and cluster analysis of sugarcane innovation germplasm[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(6): 2072-2076. (in Chinese)
- [18] 秦昌鲜, 闭德金, 彭崇, 郭强, 马文清, 施泽升, 唐利球. 基于因子分析与聚类分析的甘蔗新品种(系)农艺性状评价[J]. 南方农业学报, 2021, 52(2): 317-324.
- QIN C X, BI D J, PENG C, GUO Q, MA W Q, SHI Z S, TANG L Q. Evaluation of agronomic characters of new sugarcane varieties (lines) based on factor analysis and cluster analysis[J]. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(2): 317-324. (in Chinese)
- [19] 徐超华, 陈学宽, 毛钧, 赵培方, 赵俊, 赵勇, 林秀琴, 孔春艳, 陆鑫. 191 份云南野生甘蔗种质资源采集及遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2023, 54(11): 3125-3135.
- XU C H, CHEN X K, MAO J, ZHAO P F, ZHAO J, ZHAO Y, LIN X Q, KONG C Y, LU X. Collection and genetic diversity analysis of 191 wild sugarcane germplasm resources in Yunnan[J]. Journal of Southern Agriculture, 2023, 54(11): 3125-3135. (in Chinese)
- [20] PIPERIDIS N, D'HONT A. Chromosome composition analysis of various *Saccharum* interspecific hybrids by genomic in situ hybridisation (GISH)[J]. The Plant Journal, 2020, 103(3): 1219-1229.
- [21] 刘家勇, 咎逢刚, 赵培方, 赵丽萍, 姚丽, 赵俊, 赵勇, 胡鑫, 夏红明, 覃伟, 吴才文, 张跃彬, 杨昆. 甘蔗种质资源蔗糖分性状遗传变异分析及高糖种质发掘[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(3): 746-756.
- LIU J Y, ZAN F G, ZHAO P F, ZHAO L P, YAO L, ZHAO J, ZHAO Y, HU X, XIA H M, QIN W, WU C W, ZHANG Y B, YANG K. Genetic variation of sucrose content and exploration of high sugar genotypes in sugarcane germplasm[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(3): 746-756. (in Chinese)
- [22] 段志芬, 刘本英, 汪云刚, 谢瑾, 孙雪梅, 宋维希, 矣兵, 马玲. 云南野生茶树资源农艺性状多样性分析[J]. 西北农业学报, 2013, 22(1): 125-131.
- DUAN Z F, LIU B Y, WANG Y G, XIE J, SUN X M, SONG W X, YI B, MA L. Diversity analysis of agronomic traits of wild tea plants in Yunnan[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2013, 22(1): 125-131. (in Chinese)
- [23] 汪洋, 赵晓峰, 史妍妍, 杜丽君, 李春辉, 张满让. 12 个苹果品种的果实品质综合评价[J]. 中国果树, 2025(5): 21-27.
- WANG Y, ZHAO X F, SHI Y Y, DU L J, LI C H, ZHANG M R. Comprehensive evaluation of fruit quality for 12 apple varieties[J]. China Fruits, 2025(5): 21-27. (in Chinese)