

云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 群体表型多样性分析

俞华先, 安汝东, 董立华, 桃联安, 刘家勇, 田春艳, 经艳芬*, 郎荣斌, 边 芯, 周清明, 孙有芳, 张 钰

云南省农业科学院甘蔗研究所瑞丽育种站, 云南瑞丽 678600

摘 要: 本研究以 100 份云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 群体创新种质为材料, 对其株高、茎径、锤度、有效茎数、单茎重、蔗茎产量和糖产量等 7 个主要农艺性状进行频率分布直方图分析、遗传多样性分析、相关分析、主成分分析和聚类分析。结果表明: 该群体的 7 个农艺性状数据表现出较好的正态分布、变异较丰富, 变异系数在 9.91%~50.76% 之间, 其中糖产量的变异系数最大达到 50.76%; 相关和逐步回归分析表明, 蔗茎产量与株高、茎径和有效茎数呈极显著正相关, 决定系数为 0.9282; 糖产量主要由株高、茎径、锤度、单茎重和有效茎数 5 个因素决定, 决定系数为 0.9160; 主成分分析将 7 个农艺性状综合为 3 个主要成分, 其累积贡献率达 86.985%, 其中第一主成分即蔗茎产量糖分因子是最重要的因子, 其贡献率达 47.615%; 在欧氏距离为 6.00 处将 100 份创新材料分为 3 类, 结果与主成分得分结果一致, 其中第 I 类群的 7 个性状指标均优异, 共筛选出 15 个优质材料, 其主成分综合得分较高, 尤其值得关注的是云割 F₂18-226-7、云割 F₂18-226-14、云割 F₂18-226-89、云割 F₂18-226-48、云割 F₂18-226-96、云割 F₂18-226-21、云割 F₂18-226-43 和云割 F₂18-226-5 等 8 份材料, 可以进一步筛选作为亲本材料或后备核心种质。

关键词: 割手密; 八倍体; 遗传多样性; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S31 文献标识码: A

Phenotypic Diversity Analysis of F₂ population of Yunnan Octaploid Clones of *Saccharum spontaneum* 84-268

YU Huaxian, AN Rudong, DONG Lihua, TAO Lian'an, LIU Jiayong, TIAN Chunyan, JING Yanfen*, LANG Rongbin, BIAN Xin, ZHOU Qingming, SUN Youfang, ZHANG Yu

Ruili Breeding Station, Sugarcane Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Ruili, Yunnan 678600, China

Abstract: In this study, 100 materials of innovative germplasm from Yunnan octaploid *Saccharum spontaneum* L. 84-268 bloodline F₂ population were used as materials, and 7 main agronomic factors including plant height, stalk diameter, brix, effective stalk number, single stalk weight, cane yield and sugar yield were measured, and frequency distribution histogram analysis, coefficient of variation analysis, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis were done. The results showed that the data of the 7 agronomic traits presented a good normal distribution and abundant variation with the variation coefficient ranging from 9.91% to 50.76%, and the maximum variation coefficient of sugar yield was 50.76%. Correlation analysis and stepwise regression analysis showed that the cane yield was significantly and positively correlated with plant height, stalk diameter and effective stalk number, having a determination coefficient of 0.9282. The sugar yield was mainly determined by plant height, stalk diameter, brix, single stalk weight and effective stalk number, and the coefficient of determination was 0.9160. The seven agronomic traits were integrated into three main components by principal component analysis, and the cumulative contribution rate was 86.985%. The first principal component, cane yield and sugar factor, was the most important factor, which contributing rate was 47.615%. At the Euclidean distance of 6.00, the 100 innovative materials were divided into 3 categories, and

收稿日期 2022-05-19; 修回日期 2022-06-29

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 31860406, No. 31960448); 云南省农业联合专项重点项目(No. 202101BD070001-025)。

作者简介 俞华先(1984—), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 甘蔗遗传育种。*通信作者(Corresponding author): 经艳芬(JING Yanfen), E-mail: rljyf@126.com。

the results were consistent with the principal component scoring. The 7 traits were excellent in group I, and a total of 15 high-quality materials were screened out, which had a high principal component score. In particular, it was worth of paying high attention to YGF₂18-226-7, YGF₂18-226-14, YGF₂18-226-89, YGF₂18-226-48, YGF₂18-226-96, YGF₂18-226-21, YGF₂18-226-43 and YGF₂18-226-5. These materials can be further screened as the parents or reserved as core germplasm for breeding research.

Keywords: *Saccharum spontaneum* L.; octoploid; genetic diversity; principal component analysis; cluster analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.01.006

割手密 (*Saccharum spontaneum* L.) 即甘蔗细茎野生种, 又名甜根子草、小巴茅, 是禾本科 (Gramineae) 蜀黍族 (Andropogoneae) 甘蔗属 (*Saccharum*) 及其近缘属植物中一个最有研究价值和育种价值的野生种^[1]。现代甘蔗品种几乎都含有割手密的血缘, 其血缘占现代甘蔗品种血缘的 10%~20%^[2-3]。割手密在甘蔗属的野生种中分布最广, 基因型变异较丰富, 具有抗逆性强、适应性广、强宿根性、较高糖分等特性, 最早被用于高贵化育种, 是拓宽甘蔗遗传基础最有利用价值的野生种质资源^[4]。中国既是割手密的原产地之一, 也是割手密重要的多样性分布中心之一^[5]。我国割手密主要分布在北纬 18°15'~33°20'、东经 97°~122°, 海拔 1~2460 m^[6], 据陈辉等^[7]和范源红等^[8]的研究结果, 云南省可能是割手密资源的重要起源中心。割手密是染色体数极其复杂的多倍体植物, 染色体数 (2n) 介于 40~128 之间, 染色体以 8 为基数, 其中 2n=64、80、96、112 和 128 等 5 种染色体类型最多^[9]。蔡青等^[10]以国家甘蔗种质资源圃保育的 247 份割手密开展染色体类型研究, 结果发现整倍体割手密主要有 5 种, 依次是八倍体 (2n=64)、九倍体 (2n=72)、十倍体 (2n=80)、十二倍体 (2n=96)、十三倍体 (2n=104), 其中材料数以 2n=80 (十倍体) 最多, 其次为 2n=64 (八倍体)。陈如凯^[11]研究认为与“甘蔗属复合体”的野生种相比, 割手密与甘蔗栽培原种或品种杂交, 染色体的亲和力和重组率高, 后代具有较好的抗逆性、适应性、分蘖力、长势等特性。

回顾世界各个国家的甘蔗育种史, 可发现整倍体割手密对世界甘蔗产业的发展起着重要作用, 如利用十四倍体的爪哇割手密 (2n=112)、八倍体的印度割手密 (2n=64) 所育成的 POJ2878、Co281、Co290 和 Co213 等重要亲本, 极大地改良了甘蔗品种的产量、糖分及抗性^[12-13]。20 世纪中期, 中国海南甘蔗育种场基于崖城割手密

(2n=64, 八倍体) 创制了一系列崖城亲本, 并基于这些亲本选育出 32 个品种, 大大推动了中国甘蔗产业的快速发展^[14]。鉴于整倍体割手密资源对于甘蔗品种改良的重要性, 前人对中国保育的整倍体割手密资源开展了大量研究。刘新龙等^[9]2012 年对 171 份中国十倍体割手密资源表型性状的表型相关性 & 遗传多样性进行评价, 研究结果为十倍体割手密资源的利用提供了重要的参考依据; 李旭娟等^[15]2014 年对中国保育的 50 份十倍体割手密抗逆功能标记的遗传多样性进行研究, 结果发现十倍体割手密在抗旱功能标记方面表现出更为丰富的遗传变异; 刘新龙等^[16]2014 年对国家甘蔗种质资源圃保育的 30 份云南八倍体割手密资源进行产量和品质性状相关性和聚类分析, 研究结果表明云南八倍体割手密资源产量性状的遗传变异较品质性状丰富; 李旭娟等^[17]2015 年对国家甘蔗种质资源圃保育的 30 份云南八倍体割手密资源的抗逆功能标记遗传多样性进行了探讨, 研究发现八倍体割手密中还有很多抗逆血缘未渗透到现代甘蔗品种中; 刘新龙等^[5]2017 年对 62 份不同倍性的割手密的遗传多样性及抗病分蘖基因多态性展开研究, 结果发现八倍体和十倍体割手密在形态、品质性状和基因组水平上拥有更为丰富的遗传变异, 并且具有较大的潜力可挖掘; 近年来, 云南省农业科学院甘蔗研究所利用内陆型的云南蛮耗割手密 (2n=80), 创制了一系列云瑞亲本^[18-19]。另外我国的甘蔗种质资源圃也保育了大量的整倍型割手密, 由于对它们所具备的优异特性、遗传背景和评价利用研究较少, 致使其优异性状或优异基因开发利用率不高。八倍体割手密是我国倍数较低的整倍体割手密, 其杂交一、二代 (F₁、F₂) 的创新种质, 是甘蔗有性杂交育种中云南八倍体割手密优良基因世代升级的遗传载体, 亦是云南八倍体割手密在利用过程中克服细茎、低糖和早花等不利野生性状, 保留其广适应性、强宿根性和抗逆性的重要途径, 对其 F₂ 创

新种质开展表型性状的多样性研究是甘蔗优良品种选育的基础。云南省农业科学院甘蔗研究所瑞丽甘蔗育种站（国家内陆甘蔗杂交育种站）课题组一直致力于利用云南割手密创新种质、培育创新亲本、改良甘蔗品种抗逆性的研究^[20-27]，在 2018/2019 杂交季节创制了云南八倍体割手密 84-268 的 F₂ 群体材料，目前针对该群体资源的遗传多样性的评价研究还是空白，极大限制了该类资源在甘蔗品种改良中的利用，鉴于此，本研究针对该群体的 100 份种质材料的倍性性状进行评价、鉴定、筛选和分类，为下一步对该群体的创新利用及优异基因挖掘提供重要指导。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为云瑞新创制优良亲本云瑞 06-1598（白楼蔗×51NG90）与云南八倍体割手密血缘 F₁ 优良种质云瑞 14-258（云瑞 09-163×云南 84-268）杂交所创制的云南割手密 F₂ 群体材料，共计 208 个杂交单株，通过 SSR 标记鉴定真假杂种和剔除病死单株，最终获得 1 个包含 100 个杂交后代材料的云南八倍体割手密 F₂ 群体，由于该新群体组合号为 226 号，对其重新编号为云割 F₂18-226-1 至云割 F₂18-226-100。

1.2 试验设计

试验布置在东经 97°51'44"、北纬 24°1'33"，海拔 778.6 m 的云南省农业科学院甘蔗研究所瑞丽育种站内，该试验地光温资源丰富，年均温 20℃，年降雨量 1394 mm，属于南亚热带季风性湿润蔗区。试验地前作为甘蔗，土壤为沙壤土，肥力均匀。于 2018 年 3 月上旬完成试验材料实生苗播种，4 月中旬假植，5 月下旬完成大田定植。试验采用

随机区组设计，设 3 个重复。小区面积 7.2 m²，小区行长 6 m，行距 1.2 m，田间管理与大田生产一致。

1.3 测定项目与方法

分别于 2018 年 11 月中旬和 2019 年 11 月下旬，大田收集每行成活丛数、茎径、有效茎数（大于 1 m 的蔗茎）、锤度、株高和茎径等农艺性状的新植和宿根数据，其中株高、茎径和锤度每丛随机选取 3 株进行调查，选用 2018、2019 年 1 月中旬的新植、宿根锤度，参照经艳芬等^[28]的方法利用以下公式计算单茎重、单产和 11 月理论糖产量，参试农艺性状的指标取新植、宿根平均值。

$$\text{单茎重 (kg)} = (\text{株高} - 50) \times \text{茎径}^2 \times 0.785 / 1000$$

$$\text{单产 (t/hm}^2\text{)} = \text{茎径}^2 \times (\text{株高} - 50) \times 0.785 \times \text{丛有效茎数} \times 10^{-6}$$

$$\text{糖产量 (t/hm}^2\text{)} = \text{单产} \times 11 \text{ 月份理论蔗糖分} / 100$$

式中，株高、茎径单位为 cm，丛有效茎数为每公顷有效茎数（条/hm²），理论蔗糖分单位为 %。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 软件整理各农艺性状指标的原始数据，采用 SPSS22 软件计算各农艺性状的平均值、标准差、变异系数并制作频数分布图，利用 DPS 13.5 数据处理系统进行逐步回归分析、主成分分析和判别分析，利用 RStudio 的软件包进行相关分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 7 个主要农艺性状的种质频数分布

云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 创新种质材料主要农艺性状的频数分布见图 1~图 4。从图 1~图 4 可知，该群体的 7 个主要农艺性状频数分布呈现较好的正态分布。不同性状的频数分布峰

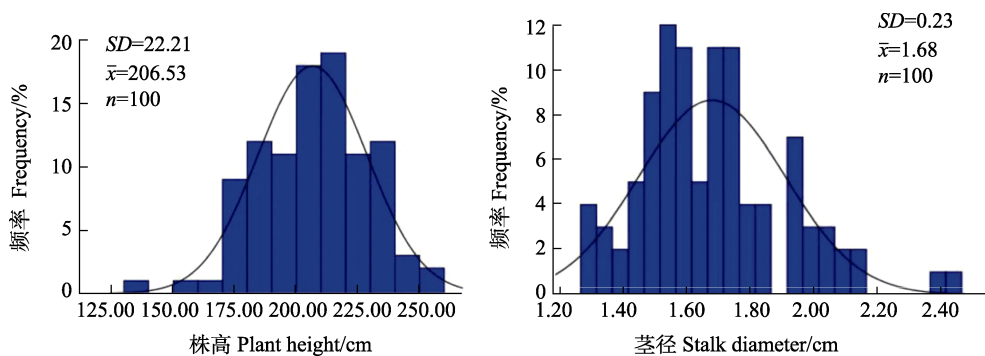


图 1 株高和茎径频率分布直方图

Fig. 1 Histogram of frequency distribution of plant height and stalk diameter

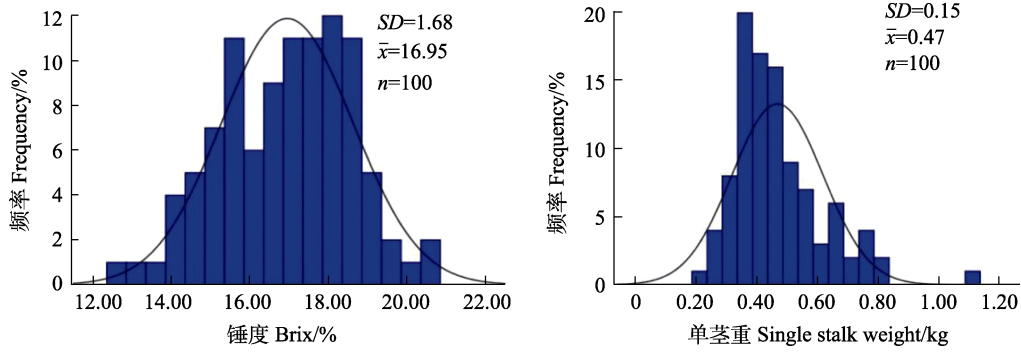


图 2 锤度和单茎重频率分布直方图

Fig. 2 Histogram of frequency distribution of brix and single stalk weight

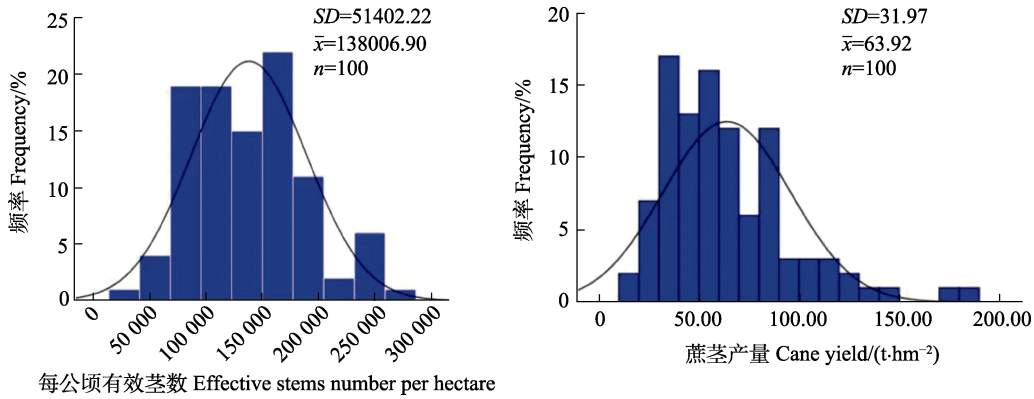


图 3 有效茎数和蔗茎产量频率分布直方图

Fig. 3 Histogram of frequency distribution of effective stem number and cane yield

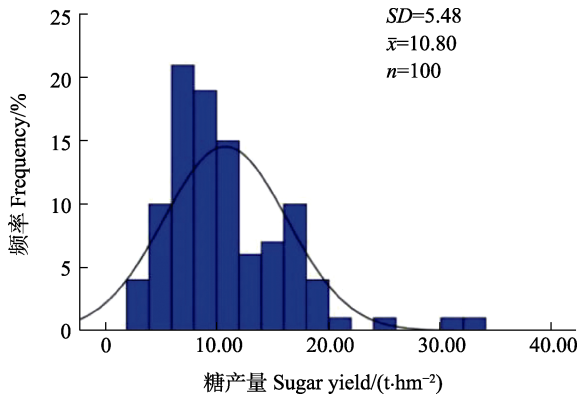


图 4 糖产量频率分布直方图

Fig. 4 Histogram of frequency distribution of sugar yield

值与 Y 轴的距离有差异, 数据分布范围较广, 表明这 100 份云南八倍体割手密 84-268 血缘 F_2 创新种质材料确实存在广泛的遗传多样性。

2.2 主要农艺性状的遗传多样性分析

由表 1 可见, 云南八倍体割手密 84-268 血缘 F_2 创新种质材料 7 个农艺性状间的变异系数分布幅度比较大, 范围为 9.91%~50.76%, 其中变异系数最大的是糖产量达到 50.76%, 变幅为 2.94~32.45 t/hm², 其次是蔗茎产量的变异系数最大,

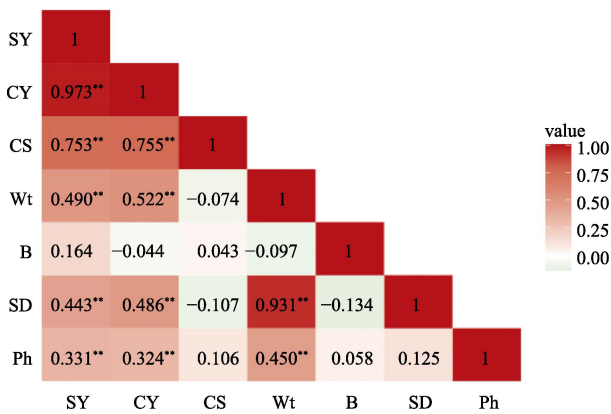
达到 50.03%, 变幅为 19.08~181.98 t/hm², 由此说明, 这 100 份云南八倍体割手密 84-268 血缘 F_2 创新种质材料的糖产量和蔗茎产量遗传变异最为丰富。因此, 在云南割手密创新种质材料的选择利用上要重点考虑糖分和产量; 有效茎数、单茎重、茎径、株高和锤度的变异系数依次为 37.25%、32.13%、13.75%、10.75%和 9.91%, 其变幅依次为 27 274.09~272 740.91 条/hm²、0.21~1.09 kg、1.29~2.43 cm、134~255 cm 和 12.60~20.80%。孙铭等^[29]研究认为变异系数大于 10%表示样本间差异较大, 本研究中 7 个主要农艺性状的变异系数除锤度的变异系数为 9.91%外, 其余性状变异系数均大于 10%, 说明该群体材料性状分离明显、变异丰富, 存在可利用的特异性种质材料。

2.3 7 个农艺性状的相关性分析

由图 5 的相关性分析可见, 株高、茎径与单茎重呈极显著正相关, 蔗茎产量、蔗糖产量与株高、茎径、单茎重和有效茎数呈极显著正相关, 蔗茎产量与锤度呈负相关, 蔗茎产量与糖产量呈极显著正相关。由此可知, 各农艺性状指标之间存在显著相关性, 7 项指标间是相互影响、相互

表 1 云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 群体的农艺性状表现
Tab. 1 Performance of agronomic traits of *Saccharum spontaneum* L. F₂ population in Yunnan

性状 Character	最大值 Max	最小值 Min	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
株高/cm	255.00	134.00	206.53	22.21	10.75
茎径/cm	2.43	1.29	1.68	0.23	13.75
锤度/%	20.80	12.60	16.95	1.68	9.91
单茎重/kg	1.09	0.21	0.47	0.15	32.13
每公顷有效茎数	272 740.91	27 274.09	138 006.90	51 402.22	37.25
蔗茎产量/(t·hm ⁻²)	181.98	19.08	63.92	31.97	50.03
糖产量/(t·hm ⁻²)	32.45	2.94	10.80	5.48	50.76



Ph: 株高; SD: 茎径; B: 锤度; Wt: 单茎重;
CS: 每公顷有效茎数; CY: 蔗茎产量; SY: 糖产量。

*表示显著相关 ($P < 0.05$), **表示极显著相关 ($P < 0.01$)。

Ph: Plant height; SD: Stalk diameter; B: Brix; Wt: Weight of single stalk; CS: Effective stems number per hectare; CY: Cane yield;

SY: Sugar yield. * indicates significant correlation ($P < 0.05$),

** indicates extremely significant correlation ($P < 0.01$).

图 5 群体参试材料农艺性状的相关性分析

Fig. 5 Correlation analysis of agronomic traits in the tested materials

制约的, 若直接利用这些指标进行群体创新材料的评价会产生信息重叠, 为了科学客观地利用云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 群体创新材料农艺性状指标, 有必要对其降维处理。

2.4 蔗茎产量和糖产量的逐步回归分析

分别以蔗茎产量 (y_1) 和糖产量 (y_2) 为因变量, 以株高 (x_1)、茎径 (x_2)、锤度 (x_3)、单茎重 (x_4)、有效茎数 (x_5) 为自变量进行多元逐步线性回归分析, 分别得到回归方程:

$$y_1 = -278.4781 + 0.4721x_1 + 132.7984x_2 - 98.0620x_4 + 0.0005x_5$$

$$y_2 = -52.6577 + 0.0692x_1 + 19.3600x_2 + 0.6289x_3 - 11.6935x_4 + 0.0001x_5$$

方程的决定系数依次为 $R_1 = 0.9282$ 和 $R_2 = 0.9160$ 。从回归方程可以看出, 蔗茎产量主要由株高、茎径、单茎重和有效茎数 4 个因素决定,

糖产量有株高、茎径、锤度、单茎重和有效茎数 5 个因素决定。

2.5 主成分分析

对该群体的 7 个主要农艺性状进行主成分分析 (表 2), 根据主成分分析的原理, 结合特征值 ≥ 1 的原则或主成分累积方差贡献率应 $\geq 85\%$ 的标准^[30-31], 取前 3 个特征值作为 100 份云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 群体材料的主成分。从表 2 可以看出, 选取的前 3 个主成分的累计贡献率为 86.985%, 特征向量总和为 6.089, 概括了该群体的绝大部分信息。主成分 1 的特征值为 3.333, 贡献率为 47.615%, 此主成分特征向量中, 糖产量和蔗茎产量的特征向量最大依次分别为 0.519 和 0.511, 其次是单茎重 (0.410) 和茎径 (0.368), 因此把主成分 1 称为糖分产量因子。主成分 2 的特征值为 1.718, 贡献率为 24.545%, 此主成分特征向量中, 有效茎数向量值最大为 0.587, 其次是糖产量和锤度分别为 0.244 和 0.232, 因此把主成分 2 称为茎数因子。主成分 3 的特征值为 1.038, 贡献率为 14.824%, 此主成分特征向量中, 锤度的向量值最大为 0.831, 其次是株高 (0.476) 和单茎重 (0.096), 因此把主成分 3 称为锤度株型因子。参照陆鑫等^[32]、田江等^[33]和俞华先等^[34]的方法计算主成分得分系数矩阵 (表 3)。根据主成分计算公式, 得到 3 个主成分与 7 项农艺性状的线性方程组合:

$$W_1 = 0.077X_1 + 0.111X_2 + 0.000X_3 + 0.123X_4 + 0.094X_5 + 0.156X_6 + 0.153X_7$$

$$W_2 = -0.053X_1 - 0.293X_2 + 0.315X_3 - 0.287X_4 + 0.342X_5 + 0.113X_6 + 0.142X_7$$

$$W_3 = 0.458X_1 - 0.081X_2 + 0.801X_3 + 0.092X_4 - 0.199X_5 - 0.146X_6 + 0.024X_7$$

式中, W 表示主成分得分, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 分别表示经标准化处理后的株高、茎径、

表 2 群体参试材料的特征值、贡献率和累积贡献率
Tab. 2 Eigenvalues, contribution rates and cumulative contribution rates of the tested materials

性状 Character	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3
株高	0.258	-0.091	0.476
茎径	0.368	-0.503	-0.085
锤度	0.000	0.232	0.831
单茎重	0.410	-0.493	0.096
每公顷有效茎数	0.315	0.587	-0.207
蔗茎产量	0.519	0.195	-0.151
糖产量	0.511	0.244	0.025
特征值	3.333	1.718	1.038
贡献率/%	47.615	24.545	14.824
累计百分率/%	47.615	72.160	86.985

有效茎数、单茎重、锤度、蔗茎产量、糖产量数值。将 7 个农艺性状数值代入以上公式即可得到主成分得分 (表 4)。

参照张军科等^[35]的方法, 利用数学模型:
 $S=b_1y_1+b_2y_2+\dots+b_ny_n$ (S 表示综合得分值; b_n 为第 n 个主成分对应的方差贡献率; y_n 为第 n 个主成分的得分), 求 100 份创新材料农艺性状综合得分, 并把农艺性状综合得分值依次降序排列 (表 4), 由表 4 可知, 100 份云南八倍体割手密 84-268 血缘 F_2 群体材料 7 个农艺性状综合评价得分依次为: 云割 F_2 18-226-7>云割 F_2 18-226-14>云割 F_2 18-226-89>云割 F_2 18-226-48>.....>云割 F_2 18-226-58。

表 3 主成分及其得分系数矩阵

Tab. 3 Matrix of principal components and their scoring coefficients

性状 Character	特征向量 Eigenvector			得分系数 Scoring coefficient		
	1	2	3	1	2	3
株高	0.258	-0.091	0.476	0.077	-0.053	0.458
茎径	0.368	-0.503	-0.085	0.111	-0.293	-0.081
每公顷有效茎数	0.000	0.232	0.831	0.000	0.135	0.801
单茎重	0.410	-0.493	0.096	0.123	-0.287	0.092
锤度	0.315	0.587	-0.207	0.094	0.342	-0.199
蔗茎产量	0.519	0.195	-0.151	0.156	0.113	-0.146
糖产量	0.511	0.244	0.025	0.153	0.142	0.024

表 4 主成分得分及其综合得分

Tab. 4 Scores of principal components and their comprehensive scores

创新种质及编号 Innovative germ-plasm and No.	主成分得分 Score of principal components			综合得分 Synthesis score	位次 Order	创新种质及编号 Innovative germ-plasm and No.	主成分得分 Score of principal components			综合得分 Synthesis score	位次 Order
	1	2	3				1	2	3		
云割 F_2 18-226-1 YGF ₂ 18-38-1	0.703	0.744	0.643	0.613	24	云割 F_2 18-226-51 YGF ₂ 18-38-51	-1.800	-0.360	0.867	-0.817	87
云割 F_2 18-226-2 YGF ₂ 18-38-2	-2.106	0.190	1.805	-0.689	80	云割 F_2 18-226-52 YGF ₂ 18-38-52	0.283	0.109	0.764	0.275	32
云割 F_2 18-226-3 YGF ₂ 18-38-3	-2.136	2.589	0.291	-0.338	60	云割 F_2 18-226-53 YGF ₂ 18-38-53	0.373	-2.416	-0.450	-0.482	66
云割 F_2 18-226-4 YGF ₂ 18-38-4	1.563	0.605	1.364	1.095	14	云割 F_2 18-226-54 YGF ₂ 18-38-54	-0.074	-0.475	-1.186	-0.328	58
云割 F_2 18-226-5 YGF ₂ 18-38-5	1.906	0.817	2.270	1.445	8	云割 F_2 18-226-55 YGF ₂ 18-38-55	-2.384	-0.659	-1.260	-1.484	96
云割 F_2 18-226-6 YGF ₂ 18-38-6	-1.385	1.453	0.182	-0.276	57	云割 F_2 18-226-56 YGF ₂ 18-38-56	-2.134	-0.882	-1.330	-1.430	95
云割 F_2 18-226-7 YGF ₂ 18-38-7	6.178	1.243	0.281	3.288	1	云割 F_2 18-226-57 YGF ₂ 18-38-57	2.256	0.063	-1.297	0.897	17
云割 F_2 18-226-8 YGF ₂ 18-38-8	1.438	1.346	1.260	1.202	12	云割 F_2 18-226-58 YGF ₂ 18-38-58	-2.972	-0.031	-2.803	-1.838	100
云割 F_2 18-226-9 YGF ₂ 18-38-9	1.767	-2.599	1.415	0.413	28	云割 F_2 18-226-59 YGF ₂ 18-38-59	-0.167	-2.760	0.673	-0.657	79
云割 F_2 18-226-10 YGF ₂ 18-38-10	1.130	0.441	0.469	0.716	22	云割 F_2 18-226-60 YGF ₂ 18-38-60	-0.017	-2.051	-0.285	-0.554	71

续表 4 主成分得分及其综合得分

Tab. 4 Scores of principal components and their comprehensive scores (continued)

创新种质及编号 Innovative germ- plasm and No.	主成分得分 Score of principal components			综合得分 Synthesis score	位次 Order	创新种质及编号 Innovative germ- plasm and No.	主成分得分 Score of principal components			综合得分 Synthesis score	位次 Order
	1	2	3				1	2	3		
云割 F ₂ 18-226-11 YGF ₂ 18-38-11	-0.647	-1.814	2.114	-0.440	65	云割 F ₂ 18-226-61 YGF ₂ 18-38-61	-0.984	-0.841	1.177	-0.500	67
云割 F ₂ 18-226-12 YGF ₂ 18-38-12	0.928	2.765	0.566	1.204	11	云割 F ₂ 18-226-62 YGF ₂ 18-38-62	-0.166	0.333	0.731	0.111	37
云割 F ₂ 18-226-13 YGF ₂ 18-38-13	-0.650	-0.378	0.440	-0.337	59	云割 F ₂ 18-226-63 YGF ₂ 18-38-63	-0.908	1.880	0.150	0.051	42
云割 F ₂ 18-226-14 YGF ₂ 18-38-14	5.822	1.354	-0.129	3.085	2	云割 F ₂ 18-226-64 YGF ₂ 18-38-64	-1.069	-0.658	-0.962	-0.813	86
云割 F ₂ 18-226-15 YGF ₂ 18-38-15	-1.961	-0.378	0.486	-0.954	89	云割 F ₂ 18-226-65 YGF ₂ 18-38-65	-1.300	-0.724	-1.583	-1.031	90
云割 F ₂ 18-226-16 YGF ₂ 18-38-16	-1.552	0.211	0.511	-0.611	77	云割 F ₂ 18-226-66 YGF ₂ 18-38-66	-1.038	0.660	0.450	-0.266	54
云割 F ₂ 18-226-17 YGF ₂ 18-38-17	2.363	-0.428	-0.210	0.989	16	云割 F ₂ 18-226-67 YGF ₂ 18-38-67	-1.682	0.176	0.237	-0.722	82
云割 F ₂ 18-226-18 YGF ₂ 18-38-18	-1.129	1.511	0.828	-0.044	47	云割 F ₂ 18-226-68 YGF ₂ 18-38-68	-2.330	0.390	-0.410	-1.075	92
云割 F ₂ 18-226-19 YGF ₂ 18-38-19	-2.584	-1.074	-0.483	-1.566	99	云割 F ₂ 18-226-69 YGF ₂ 18-38-69	-2.366	0.470	-0.249	-1.048	91
云割 F ₂ 18-226-20 YGF ₂ 18-38-20	-1.887	-0.896	-0.880	-1.249	94	云割 F ₂ 18-226-70 YGF ₂ 18-38-70	-1.478	0.456	-0.684	-0.693	81
云割 F ₂ 18-226-21 YGF ₂ 18-38-21	3.307	-0.472	0.478	1.530	6	云割 F ₂ 18-226-71 YGF ₂ 18-38-71	-0.459	-0.492	-1.791	-0.605	76
云割 F ₂ 18-226-22 YGF ₂ 18-38-22	-0.883	-0.754	1.608	-0.367	61	云割 F ₂ 18-226-72 YGF ₂ 18-38-72	0.776	0.317	-0.142	0.426	27
云割 F ₂ 18-226-23 YGF ₂ 18-38-23	1.219	2.157	-0.646	1.014	15	云割 F ₂ 18-226-73 YGF ₂ 18-38-73	-0.666	0.811	-0.617	-0.210	50
云割 F ₂ 18-226-24 YGF ₂ 18-38-24	-0.954	-0.324	0.078	-0.522	68	云割 F ₂ 18-226-74 YGF ₂ 18-38-74	-0.981	-1.042	0.568	-0.639	78
云割 F ₂ 18-226-25 YGF ₂ 18-38-25	-0.185	-1.217	-0.971	-0.531	69	云割 F ₂ 18-226-75 YGF ₂ 18-38-75	-0.038	0.056	0.324	0.044	43
云割 F ₂ 18-226-26 YGF ₂ 18-38-26	1.365	-0.108	-0.595	0.535	25	云割 F ₂ 18-226-76 YGF ₂ 18-38-76	-0.752	2.208	-0.791	0.067	39
云割 F ₂ 18-226-27 YGF ₂ 18-38-27	-1.771	1.457	-0.511	-0.561	72	云割 F ₂ 18-226-77 YGF ₂ 18-38-77	-0.720	-0.739	1.980	-0.230	51
云割 F ₂ 18-226-28 YGF ₂ 18-38-28	-2.808	-0.847	-0.103	-1.560	98	云割 F ₂ 18-226-78 YGF ₂ 18-38-78	-1.869	-0.691	-0.210	-1.091	93
云割 F ₂ 18-226-29 YGF ₂ 18-38-29	1.237	-2.098	1.829	0.345	30	云割 F ₂ 18-226-79 YGF ₂ 18-38-79	-0.708	1.645	-0.497	-0.007	46
云割 F ₂ 18-226-30 YGF ₂ 18-38-30	2.626	1.064	-1.748	1.252	10	云割 F ₂ 18-226-80 YGF ₂ 18-38-80	-0.532	0.620	1.103	0.063	41
云割 F ₂ 18-226-31 YGF ₂ 18-38-31	-0.966	0.396	-0.116	-0.380	62	云割 F ₂ 18-226-81 YGF ₂ 18-38-81	1.014	2.662	0.276	1.177	13
云割 F ₂ 18-226-32 YGF ₂ 18-38-32	-3.177	0.182	-0.613	-1.559	97	云割 F ₂ 18-226-82 YGF ₂ 18-38-82	-0.197	1.713	0.442	0.392	29
云割 F ₂ 18-226-33 YGF ₂ 18-38-33	-0.968	-0.340	0.056	-0.536	70	云割 F ₂ 18-226-83 YGF ₂ 18-38-83	0.440	-2.122	0.389	-0.254	53
云割 F ₂ 18-226-34 YGF ₂ 18-38-34	-0.154	-0.837	0.066	-0.269	55	云割 F ₂ 18-226-84 YGF ₂ 18-38-84	-0.751	0.838	-0.623	-0.244	52
云割 F ₂ 18-226-35 YGF ₂ 18-38-35	1.207	-1.720	-0.135	0.133	35	云割 F ₂ 18-226-85 YGF ₂ 18-38-85	1.092	1.076	-0.008	0.783	20
云割 F ₂ 18-226-36 YGF ₂ 18-38-36	-0.093	-0.381	-0.926	-0.275	56	云割 F ₂ 18-226-86 YGF ₂ 18-38-86	1.837	0.907	-1.700	0.845	19

续表 4 主成分得分及其综合得分
Tab. 4 Scores of principal components and their comprehensive scores (continued)

创新种质及编号 Innovative germ-plasm and No.	主成分得分 Score of principal components			综合得分 Synthesis score	位次 Order	创新种质及编号 Innovative germ-plasm and No.	主成分得分 Score of principal components			综合得分 Synthesis score	位次 Order
	1	2	3				1	2	3		
云割 F ₂ 18-226-37 YGF ₂ 18-38-37	-1.128	-0.559	-0.819	-0.796	85	云割 F ₂ 18-226-87 YGF ₂ 18-38-87	-1.941	0.432	0.424	-0.755	84
云割 F ₂ 18-226-38 YGF ₂ 18-38-38	0.806	0.025	-0.866	0.262	33	云割 F ₂ 18-226-88 YGF ₂ 18-38-88	1.054	1.031	-0.249	0.718	21
云割 F ₂ 18-226-39 YGF ₂ 18-38-39	-1.273	-0.606	1.214	-0.575	74	云割 F ₂ 18-226-89 YGF ₂ 18-38-89	4.793	-0.255	-0.125	2.201	3
云割 F ₂ 18-226-40 YGF ₂ 18-38-40	3.866	-2.184	-2.900	0.875	18	云割 F ₂ 18-226-90 YGF ₂ 18-38-90	1.992	-0.523	-1.083	0.660	23
云割 F ₂ 18-226-41 YGF ₂ 18-38-41	0.191	1.240	-0.364	0.341	31	云割 F ₂ 18-226-91 YGF ₂ 18-38-91	1.165	-1.619	0.055	0.165	34
云割 F ₂ 18-226-42 YGF ₂ 18-38-42	0.240	-0.711	1.068	0.098	38	云割 F ₂ 18-226-92 YGF ₂ 18-38-92	-0.555	1.031	0.033	-0.007	45
云割 F ₂ 18-226-43 YGF ₂ 18-38-43	2.995	-0.180	0.848	1.508	7	云割 F ₂ 18-226-93 YGF ₂ 18-38-93	1.171	0.058	-0.253	0.534	26
云割 F ₂ 18-226-44 YGF ₂ 18-38-44	1.454	-5.711	0.729	-0.602	75	云割 F ₂ 18-226-94 YGF ₂ 18-38-94	-0.504	0.328	-1.769	-0.422	63
云割 F ₂ 18-226-45 YGF ₂ 18-38-45	0.811	-0.885	-1.015	0.019	44	云割 F ₂ 18-226-95 YGF ₂ 18-38-95	-0.498	0.310	0.248	-0.124	49
云割 F ₂ 18-226-46 YGF ₂ 18-38-46	-0.754	0.104	-0.695	-0.436	64	云割 F ₂ 18-226-96 YGF ₂ 18-38-96	1.854	2.779	-0.200	1.535	5
云割 F ₂ 18-226-47 YGF ₂ 18-38-47	1.179	-0.673	-2.223	0.067	40	云割 F ₂ 18-226-97 YGF ₂ 18-38-97	-1.245	-0.071	0.278	-0.569	73
云割 F ₂ 18-226-48 YGF ₂ 18-38-48	3.643	-0.724	0.171	1.582	4	云割 F ₂ 18-226-98 YGF ₂ 18-38-98	-1.770	0.257	0.263	-0.741	83
云割 F ₂ 18-226-49 YGF ₂ 18-38-49	-0.869	0.739	1.017	-0.082	48	云割 F ₂ 18-226-99 YGF ₂ 18-38-99	-0.282	0.447	0.997	0.123	36
云割 F ₂ 18-226-50 YGF ₂ 18-38-50	-2.147	0.033	1.227	-0.832	88	云割 F ₂ 18-226-100 YGF ₂ 18-38-100	1.458	1.581	1.765	1.344	9

2.6 聚类分析

根据主成分的分析结果,利用 R 语言软件,对 100 份云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 群体材料 7 个农艺性状的综合评价得分值进行标准化转换,以欧氏距离、可变类平均法对种质进行系统聚类分析。由图 6 和表 5 可知,在欧氏距离 6.00 处,可将 100 份种质资源分为 3 个大类群,第 I 类包括云割 F₂18-226-7、云割 F₂18-226-14、云割 F₂18-226-4 和云割 F₂18-226-17 等 33 份创新材料,占总材料的 33.00%,该类材料植株高大、中茎,平均锤度最高,有效茎数最多,蔗茎产量和糖产量最高,可以考虑重点加强利用;第 II 类包括云割 F₂18-226-76、云割 F₂18-226-47、云割 F₂18-226-80、云割 F₂18-226-75 和云割 F₂18-226-63 等 29 份材料,占总材料的 29.00%,7 个农艺性状变异系数均大于 8.10%,该类材料中大茎、蔗茎

产量和糖产量的变异系数最大,田间表现为高产高糖,要选择性利用。第 III 类包括云割 F₂18-226-33、云割 F₂18-226-25、和云割 F₂18-226-24 等 38 份材料,占总材料的 38.00%,其变异系数锤度为 10.34%,其余性状的变异系数均大于 11.00%,其余农艺性状的变异系数变幅在 11.24~35.67%,这些材料表现为植株高大、中茎,蔗茎产量和糖分不很理想,可以考虑选择性利用或者淘汰。

为了判断聚类结果是否可靠,采用多类逐步判别法对其进行判别(表 6)。结果表明,第 I 类群判对概率为 78.79%,第 II 类群判对概率为 89.66%,第 III 类判对概率为 97.37%,根据判别分析原理可知,判别概率越高,证明种质被正确分类的机率越大。从表 6 可以看出,每个种质被正确分类的概率较高,平均判对概率为 88.61%。

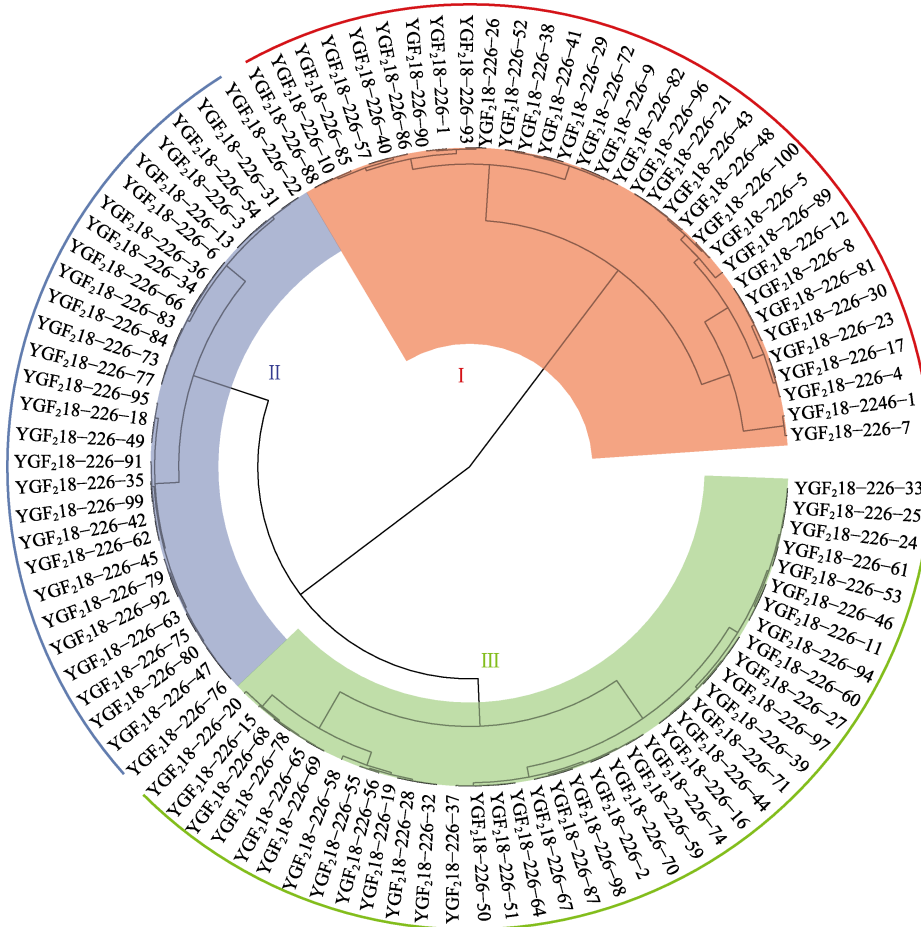


图 6 基于 7 个农艺性状综合评价得分值的聚类图

Fig. 6 Dendrogram of Cluster diagram based on the score values of the comprehensive evaluation of 7 agronomic traits

表 5 3 个聚类群及其性状特征

Tab. 5 Three Cluster groups and their characteristics

性状 Trait	类群 Group					
	I (n=33; 33%)		II (n=29; 29%)		III (n=38; 38%)	
	平均值 Mean	变异系数 CV/%	平均值 Mean	变异系数 CV/%	平均值 Mean	变异系数 CV/%
株高/cm	216.42	9.63	208.38	8.95	196.53	11.24
茎径/cm	1.79	13.11	1.61	13.04	1.63	12.90
每公顷有效茎数	184 306.74	23.70	140 132.40	24.24	96 177.05	30.02
单茎重/kg	0.55	25.89	0.43	27.31	0.42	35.67
锤度/%	17.29	10.50	17.10	8.18	16.54	10.34
蔗茎产量/(t·hm ⁻²)	98.98	29.14	57.53	19.46	38.34	28.70
糖产量/(t·hm ⁻²)	16.95	28.70	9.71	14.16	6.28	26.35

注：括号中的百分数表示该类型种质材料占所有种质材料的比例。

Note: The percentage in brackets indicates the proportion of this type of germplasm material in all germplasm materials.

表 6 判别分析矩阵

Tab. 6 Lists of discriminant analysis matrices

类别 Group	种质材料数 Number of germplasm materials				正确率 Accuracy/%
第 I 类	26	7	0	33	78.79
第 II 类	0	26	3	29	89.66
第 III 类	0	1	37	38	97.37
均值					88.61

3 讨论

遗传多样性是生物多样性的主要内容之一，也是生物所携带遗传信息的总和，研究生物遗传多样性具有重要的理论和实际意义^[36]。尽管现代分子生物学手段为种质资源的研究提供了稳定有效的方法，但对于表型性状的调查和分析仍不可

缺少,尤其对于云南野生割手密的鉴定和创新利用,表型农艺性状的评价尤为重要。割手密倍性遗传多样性的分析是割手密种质资源保育和育种方案设计的前提,甘蔗种质资源的遗传多样性是其育种工作的基础^[37],充分挖掘云南八倍体割手密农艺性状的遗传变异和遗传背景,可以为甘蔗育种工作提供理论基础。遗传变异系数是种质间遗传变异性状差异的一种标志^[38],也是遗传变异潜力大小的标志,表示群体中直接选择的范围。刘建乐等^[39]认为变异系数大的性状,从该群体中选出具有该性状的优良个体的几率大,反之则小。本研究发现 100 份云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 群体材料具有丰富的遗传变异性,7 个农艺性状除锤度的变异系数为 9.91 外,其余性状的变异系数均大于 10%,其中糖产量的变异系数最大为 50.76%,其次是蔗茎产量变异系数为 50.03%,锤度的变异系数最小为 9.91%。齐永文等^[40]对 64 份广东割手密资源农艺性状遗传多样性评价中,其株高、茎径、锤度的变异系数远远低于本研究结果,这可能是其实验材料来源地都是广东地区,遗传距离接近所致;张革民等^[41-42]在 2006 年对 94 份割手密主要数量性状的主成分及聚类分析及 2007 年对 21 份广西高糖割手密无性系遗传多样性的表型和 PAPD 进行的分析中,株高、茎径、锤度和蔗茎产量等表型性状的变异系数与本研究结果近似。另外,本研究中单茎重的变异系数为 32.13%,与刘新龙等^[16]在对 30 份云南八倍体割手密的 6 个产量性状和 3 个品质性状研究中单茎重的变异系数达到 60.70%不一致,其原因可能是本研究的试验材料是同一个无性系,以及不同评价体系所造成。

相关性分析表明,株高、茎径分别与单茎重、蔗茎产量、蔗糖产量呈极显著正相关;单茎重与蔗茎产量、蔗糖产量均呈极显著正相关,蔗茎产量与蔗糖产量呈极显著正相关;糖分相关性状如修正锤度与蔗糖分呈极显著正相关等结论与张革民等^[41]、刘新龙等^[16]、齐永文等^[40]和俞华先等^[43]的研究结果基本一致。此外,本研究群体材料是特定的云南八倍体割手密杂交 F₂ 群体,在相关性分析中,株高与蔗糖产量呈极显著正相关,蔗茎产量与蔗糖产量呈极显著正相关,与赵俊等^[44]对 113 个国外甘蔗种质 13 个工农艺性状的相关性相关分析的结论一致;有效茎数与蔗茎产量和糖含量呈极显著正相关,与陆鑫等^[45]、秦昌鲜等^[46]

的研究结果一致;其中有效茎数与茎径呈负相关,与生产实践相吻合。在对 100 份云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 群体材料的 7 个性状的回归分析表明,对高产高糖甘蔗种质的选育中,株高、茎径、锤度和有效茎数是要重点考察的关键性状,该结论与徐志军等^[47]对 209 个甘蔗 F₁ 群体材料 8 个性状的回归分析和吴建涛等^[48]对 10 个粤糖系列甘蔗产量与产量构成因子多元回归分析结论一致。

云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 群体材料的农艺性状大多数受微效多基因控制,结合本研究的相关性分析可知,不同农艺性状间存在不同程度的相关性,即其中某一性状的改变会导致其他性状的改变,郭元元等^[49]认为在育种中改良重要性状的同时也会引起次要性状的改变。赵俊等^[44]、秦昌鲜等^[46]和俞华先等^[50]研究认为甘蔗各农艺性状指标间存在相互联系、相互制约关系,各农艺性状在大田生产中的综合信息容易出现交叉重叠,若直接用这些性状进行分析评价,结果会存在较大误差,为了科学评价参试材料,本研究采用主成分分析法对原始数据进行降维处理。

主成分分析作为一种多元统计分析技术,其各主成分之间就是一个独立系统,数值直观、容易分析,且可以简化资源筛评、价选的程序。朱东旭等^[51]、唐启明等^[52]认为,主成分分析法有利于提高育种水平和多目标育种的亲本选配效率。本研究将 7 个性状简化为 3 个主成分即糖分产量因子、茎数因子和株型因子,累积贡献率为 86.985%,说明这 3 个主成分反映了 100 份云南八倍体割手密血缘 F₂ 的 7 个农艺性状的绝大部分信息,与张革民等^[42]、秦昌鲜等^[46]的研究结果存在差异,可能与甘蔗的血缘基础和所分析的农艺性状不同有关。

在主成分分析的基础上进行聚类分析,可有效剔除一些不重要的重叠信息,减少统计分析的复杂性,使得分析结果更加客观科学。闫世江等^[53]认为聚类分析结果可为育种决策提供有价值的参考依据。本研究基于 100 份云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 群体材料 7 个农艺性状的综合评价得分值进行系统聚类,将 100 份材料分成各具特征的三大类群,为了判断聚类结果是否可靠,采用多类逐步判别法对其进行判别,其平均判别率为 88.61%,较科学客观地反应出该群体材料基因型分离的差异性与相似性特点,在以后的高产

高糖材料育种或研究中, 可以利用该系统聚类图结合育种目标选择高糖、高产和高抗类型的极端材料, 从而提高育种或研究效率。

本研究仅针对 100 份云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 群体创新种质材料的 7 个表型性状进行了分析评价, 毕竟所研究的表型农艺性状有限且受到环境的影响较大, 因此下一步还有待于从分子生物学角度进一步对这些资源进行研究, 以期更加客观地评价云南八倍体割手密种质资源特性, 促进割手密优质种质资源的高效创新利用。

参考文献

- [1] MING R, MOORE P H, WU K K, D'HONT A, GLASZMANN J C, TEW T L, MIRKOV T E, SILVA J D, JIFON J, RAI M, SCHNELL R J, BRUMBLEY S M, LAKSHMANAN P, COMSTOCK J C, PATERSON A H. Sugarcane improvement through breeding and biotechnology[J]. *Plant Breed Reviews*, 2006, 27: 115-118.
- [2] D'HONT A. Unravelling the genome structure of polyploids using FISH and GISH: examples of sugarcane and banana[J]. *Cytogenetic and Genome Research*, 2005, 109: 27-33.
- [3] CUADRADO A, ACEVEDO R, MORENO DIAZ LA ESPINA S, JOUVE N, DE LA TORRE C. Genome remodelling in three modern *S. officinarum* × *S. spontaneum* sugarcane cultivars[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55: 847-854.
- [4] 常丹, 鄢家俊, 白史且, 梁绪振, 干友民, 李达旭, 游明鸿, 杨富裕, 张蕴薇. 割手密种质资源研究进展[J]. *草业科学*, 2011, 28(4): 636-641.
CHANG D, YAN J J, BAI S Q, LIANG X Z, GAN Y M, LI D X, YOU M H, YANG F Y, ZHANG Y W. Advances in germplasm of *Saccharum spontaneum*[J]. *Pratacultural Science*, 2011, 28(4): 636-641. (in Chinese)
- [5] 刘新龙. 不同倍性割手密遗传多样性及抗病分蘖基因多态性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2017.
LIU X L. The genetic diversity and gene polymorphism of genes resistance to disease-resistance and tillering in different ploidy clones of *Saccharum spontaneum*[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017. (in Chinese)
- [6] 常丹, 鄢家俊, 白史且, 梁绪振. 野生割手密种质生产性能评价[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(3): 206-212.
CHANG D, YAN J J, BAI S Q, LIANG X Z. Evaluation of production performance for wild *Saccharum spontaneum* L. germplasm[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(3): 206-212. (in Chinese)
- [7] 陈辉, 范源洪, 史宪伟, 蔡青, 张明, 张亚平. 甘蔗细茎野生种(*Saccharum spontaneum* L.) 的遗传多样性和系统演化研究[J]. *作物学报*, 2001(5): 645-652.
CHEN H, FAN Y H, SHI X W, CAI Q, ZHANG M, ZHANG Y P. Research on genetic diversity and systemic evolution in *Saccharum spontaneum* L.[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2001(5): 645-652. (in Chinese)
- [8] 范源洪, 陈辉, 史宪伟, 蔡青, 张明, 张亚平. 甘蔗细茎野生种云南不同生态类型的 RAPD 分析[J]. *云南植物研究*, 2001(3): 298-308.
FAN Y H, CHEN H, SHI X W, CAI Q, ZHANG M, ZHANG Y P. RAPD analysis of *Saccharum spontaneum* from different ecospesific colonies in Yunnan[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2001(3): 298-308. (in Chinese)
- [9] 刘新龙, 苏火生, 应雄美, 马丽, 陆鑫, 刘洪博, 邓祖湖. 中国十倍体割手密资源的表型相关性及其遗传多样性[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2012, 38(6): 574-579.
LIU X L, SU H S, YING X M, MA L, LU X, LIU H B, DENG Z H. Phenotypic correlation and genetic diversity of decaploids of *Saccharum spontaneum*[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences Edition)*, 2012, 38(6): 574-579. (in Chinese)
- [10] 蔡青, 文建成, 范源洪, 王丽萍, 马丽. 甘蔗属及其近缘植物的染色体分析[J]. *西南农业学报*, 2002(2): 16-19.
CAI Q, WEN J C, FAN Y H, WANG L P, MA L. Chromosome analysis of *Saccharum* L. and related plants[J]. *Southwest Journal of Agriculture*, 2002(2): 16-19. (in Chinese)
- [11] 陈如凯. 现代甘蔗遗传育种[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 1-19.
CHEN R K. Modern sugarcane genetic breeding[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2011: 1-19. (in Chinese)
- [12] 张木清, 王华忠, 白晨. 糖料作物遗传改良与高效育种[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 51-52.
ZHANG M Q, WANG H Z, BAI C. Genetic improvement and efficient breeding of sugar crops[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2006: 51-52. (in Chinese)
- [13] HENRY R J, KOLE C. Genetics, genomics and breeding of sugarcane[M]. Science Publishers Enfield: New Hampshire, 2010.
- [14] 刘少谋, 王勤南, 黄忠兴, 张垂明, 胡后祥, 符成, 周峰. 崖城系列亲本在我国甘蔗育种中的利用效果[J]. *甘蔗糖业*, 2011(4): 5-10.
LIU S M, WANG Q N, HUANG Z X, ZHANG C M, HU H X, FU C, ZHOU F. Utilization of sugarcane parents of yacheng series in sugarcane breeding of China[J]. *Sugarcane and Canesugar*, 2011(4): 5-10. (in Chinese)
- [15] 李旭娟, 徐超华, 刘洪博, 林秀琴, 马丽, 刘新龙. 中国十倍体割手密资源抗逆功能标记的遗传多样性分析[J]. 西

- 北植物学报, 2014, 34(8): 1540-1548.
- LI X J, XU C H, LIU H B, LIN X Q, MA L, LIU X L. Genetic diversity of decaploid *Saccharum spontaneum* L. in China according to functional markers related stress tolerance[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2014, 34(8): 1540-1548. (in Chinese)
- [16] 刘新龙, 苏火生, 刘洪博, 马丽, 徐超华, 范源洪. 云南八倍体割手密资源产量和品质性状相关性和聚类分析[J]. 西南农业学报, 2014, 27(4): 1382-1386.
- LIU X L, SU H S, LIU H B, MA L, XU C H, FAN Y H. Correlation and clustering relationship analysis of Yunnan octoploid clones of *Saccharum spontaneum* in China on basis of yield and quality related traits[J]. Southwest Journal of Agriculture, 2014, 27(4): 1382-1386. (in Chinese)
- [17] 李旭娟, 李纯佳, 陆鑫, 毛钧, 刘洪博, 林秀琴, 徐超华, 刘新龙. 云南八倍体割手密抗逆功能标记遗传多样性探讨[J]. 亚热带农业研究, 2015, 11(4): 222-229.
- LI X J, LI C J, LU X, MAO J, LIU H B, LIN X Q, XU C H, LIU X L. Analysis of genetic diversity among octoploid clones of *Saccharum spontaneum* L. from Yunnan with functional markers of stress resistance genes[J]. Subtropical Agricultural Research, 2015, 11(4): 222-229. (in Chinese)
- [18] 王丽萍, 马丽, 夏红明, 陆鑫, 蔡青, 范源洪, 陈辉, 刘新龙. 甘蔗细茎野生种(*S. spontaneum*)在杂交育种中的利用[J]. 中国糖料, 2006(1): 1-4.
- WANG L P, MA L, XIA H M, LU X, CAI Q, FAN Y H, CHEN H, LIU X L. Application of *S. spontaneum* in sugarcane cross-breeding[J]. Sugar Crops of China, 2006(1): 1-4. (in Chinese)
- [19] 经艳芬. 中国利用甘蔗细茎野生种培育创新亲本的主要进展[J]. 分子植物育种, 2011, 9(1): 1274-1283.
- JING Y F. Development of sugarcane microstem wild varieties in China[J]. Molecular Plant Breeding, 2011, 9(1): 1274-1283. (in Chinese)
- [20] 桃联安, 经艳芬, 董立华, 安汝东, 杨李和, 周清明, 段惠芬, 朱建荣. 云南甘蔗细茎野生种82-114测交后代主要性状遗传分析[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(3): 419-424.
- TAO L A, JING Y F, DONG L H, AN R D, YANG L H, ZHOU Q M, DUAN H F, ZHU J R. Genetic analysis of main traits in descendants of crossing with *Saccharum spontaneum* 82-114 in Yunnan[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(3): 419-424. (in Chinese)
- [21] 朱建荣, 桃联安, 董立华, 周清明, 段惠芬, 杨李和, 安汝东, 刘洪博, 经艳芬. 中国本土割手密血缘创新亲本材料的利用潜力分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2011, 26(1): 12-19.
- ZHU J R, TAO L A, DONG L H, ZHOU Q M, DUAN H F, YANG L H, AN R D, LIU H B, JING Y F. Breeding potential of creation parents derived from China native *Saccharum spontaneum* in sugarcane[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2011, 26(1): 12-19. (in Chinese)
- [22] 桃联安, 杨李和, 安汝东, 经艳芬, 董立华, 俞华先. 5种分析方法对08系列云南割手密血缘F₂代的综合分析及比较[J]. 西南农业学报, 2015, 28(5): 1907-1915.
- TAO L A, YANG L H, AN R D, JING Y F, DONG L H, YU H X. Comprehensive analysis and comparison of five methods for 08 Series *Saccharum spontaneum* F₂ in Yunnan[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(5): 1907-1915. (in Chinese)
- [23] 边芯, 董立华, 孙有芳, 桃联安, 朱建荣, 周清明, 杨李和, 安汝东, 郎荣斌, 俞华先, 冯蔚, 经艳芬. 云南割手密及其血缘F₁代材料抗旱相关性状的主成分分析[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(3): 56-61.
- BIAN X, DONG L H, SUN Y F, TAO L A, ZHU J R, ZHOU Q M, YANG L H, AN R D, LANG R B, YU H X, FENG W, JING Y F. Principal component analysis of drought resistance related traits of *Saccharum spontaneum* L. and its F₁ hybrids[J]. Agricultural Research in the Areas, 2014, 32(3): 56-61. (in Chinese)
- [24] 桃联安, 张家瑞. 云南割手密与斑茅血缘F₁代优良材料抗砍晒种质特性初步研究[J]. 甘蔗, 1997(2): 9-11.
- TAO L A, ZHANG J R. A preliminary study on the anti-sunning germplasm characteristics of the excellent material of the F₁ generation of Yunnan *Saccharum spontaneum* and *Saccharum arundinaceum* Retz.[J]. Sugarcane, 1997(2): 9-11. (in Chinese)
- [25] 经艳芬, 董立华, 孙有芳, 桃联安, 朱建荣, 周清明, 杨李和, 安汝东. 云南不同生态型割手密及其血缘F₁代种质的抗旱性遗传分析[J]. 湖南农业大学学报(自科版), 2013(s1): 1-6.
- JING Y F, DONG L H, SUN Y F, TAO L A, ZHU J R, ZHOU Q M, YANG L H, AN R D. Drought resistance genetic analysis of different ecological cutters in yunnan and their consanguineous F₁ generations[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2013(s1): 1-6. (in Chinese)
- [26] 田春艳, 桃联安, 俞华先, 董立华, 经艳芬, 边芯, 郎荣斌, 周清明, 安汝东, 孙有芳, 杨李和. 5种气候生态型割手密F₁和F₂杂种的耐旱性评价[J]. 中国农业科学, 2017, 50(22): 4408-4421.
- TIAN C Y, TAO L A, YU H X, DONG L H, JING Y F, BIAN X, LANG R B, ZHOU Q M, AN R D, SUN Y F, YANG L H. Drought resistance evolution of F₁ and F₂ hybrids from five climatic ecotypes *Saccharum spontaneum* L.[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(22): 4408-4421.

- (in Chinese)
- [27] 俞华先, 桃联安, 安汝东, 经艳芬, 边芯, 董立华, 郎荣斌, 周清明, 杨李和, 孙有芳, 田春艳. 云南甘蔗细茎野生种 F₂ 群体主要农艺性状的主成分分析与综合评价[J]. 热带作物学报, 2021, 42(1): 54-61.
YU H X, TAO L A, AN R D, JING Y F, BIAN X, DONG L H, LANG R B, ZHOU Q M, YANG L H, SUN Y F, TIAN C Y. Principal component analysis and comprehensive evaluation of main agronomic traits in *Saccharum spontaneum* L. blood F₂ progeny innovated in Yunnan[J]. Journal of Tropical Crops, 2021, 42(1): 54-61. (in Chinese)
- [28] 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 F₁ 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 F₁ of *S. spontaneum*[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(1): 177-181. (in Chinese)
- [29] 孙铭, 符开欣, 范彦, 张新全, 张成林, 郭志慧, 汪霞, 马啸. 15 份多花黑麦草优良引进种质的表型变异分析[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(4): 655-662.
SUN M, FU K X, FAN Y, ZHANG X Q, ZHANG C L, GUO Z H, WANG X, MA X. Analysis of phenotypic variations in 15 introduced elite germplasm of *Lolium multiflorum* Lam.[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(4): 655-662.
- [30] 唐启义. DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 719-761.
TANG Q Y. DPS data processing system[M]. Beijing: Science Press, 2010: 719-761. (in Chinese)
- [31] 刘少春, 张跃彬, 郭家文, 刀静梅, 李如丹, 崔雄维, 樊仙, 邓军, 高欣欣, 方志存. 基于养分丰缺分级的蔗田土壤肥力主成分综合分析[J]. 西南农业学报, 2016, 29(3): 611-617.
LIU S C, ZHANG Y B, GUO J W, DAO J M, LI R D, CUI X W, FAN X, DENG J, GAO X X, FANG Z C. Comprehensive analysis of main components of soil fertility of sugarcane field based on soil nutrient grades[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(3): 611-617. (in Chinese)
- [32] 陆鑫, 蔡青, 王丽萍, 马丽, 范源洪. 大茎野生种 57NG208 杂种后代综合评价[J]. 中国糖料, 2008(3): 15-17.
LU X, CAI Q, WANG L P, MA L, FAN Y H. Comprehensive evaluation of *S. robustum* 57NG208 offspring[J]. Sugar Crops of China, 2008(3): 15-17. (in Chinese)
- [33] 田江, 赵勇, 咎逢刚, 赵培方, 陈学宽, 毛钧, 吴才文, 杨昆. 基于主成分对 9 个赣南系列甘蔗种质工艺性状综合评价[J]. 甘蔗糖业, 2021, 50(5): 30-35.
TIAN J, ZHAO Y, ZAN F G, ZHAO P F, CHEN X K, MAO J, WU C W, YANG K. Comprehensive evaluation of technological characters of 9 Gannan sugarcane germplasm by principal component analysis[J]. Sugarcane and Cane Sugar, 2021, 50(5): 30-35. (in Chinese)
- [34] 俞华先, 经艳芬, 安汝东, 郎荣斌, 董立华, 桃联安, 孙有芳, 杨李和, 边芯, 周清明, 田春艳. 大茎野生种 57NG208 血缘 F₂ 代的综合评价与聚类分析[J]. 西南农业学报, 2020, 33(5): 913-919.
YU H X, JING Y F, AN R D, LANG R B, DONG L H, TAO L A, SUN Y F, YANG L H, BIAN X, ZHOU Q M, TIAN C Y. Comprehensive evaluation and cluster analysis of *Saccharum robustum* 57NG208 F₂ generation[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(5): 913-919. (in Chinese)
- [35] 张军科, 桑春果, 李嘉瑞, 李莉, 朱延庆. 杏品种资源抗寒性主成分分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 1999, 27(6): 79-84.
ZHANG J K, SHUANG C G, LI J R, LI L, ZHU Y Q. Cold resistance evaluation of apricot cultivars[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 1999, 27(6): 79-84.
- [36] 季维智, 宿兵. 遗传多样性研究的原理与方法[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1999: 1-12.
JI W Z, SU B. Principles and methods of genetic diversity research[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1999: 1-12. (in Chinese)
- [37] 李慧琴, 于娅, 王鹏, 刘记, 胡伟, 鲁丽丽, 秦文强. 270 份陆地棉种质资源农艺性状与品质性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(4): 903-910.
LI H Q, YU Y, WANG P, LIU J, HU W, LU L L, QIN W Q. Genetic diversity analysis of the main agronomic and fiber quality characteristics in 270 upland cotton germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(4): 903-910. (in Chinese)
- [38] 陈红霖, 胡亮亮, 杨勇, 郝曦煜, 李姝彤, 王素华, 王丽侠, 程须珍. 481 份国内外绿豆种质农艺性状及豆象抗性鉴定评价及遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(3): 549-559.
CHEN H L, HU L L, YANG Y, HAO X Y, LI S T, WANG S H, WANG L X, CHEN X Z. Evaluation and genetic diversity analysis of agronomic traits and bruchid resistance using 481 worldwide mungbean germplasms[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(3): 549-559. (in Chinese)
- [39] 刘建乐, 白昌军, 严琳玲, 贾庆麟, 罗灿, 张瑜. 43 份割手密资源农艺性状遗传多样性评价[J]. 热带作物学报, 2015,

- 36(2): 229-236.
- LIU J L, BAI C J, YAN L L, JIA Q L, LUO C, ZHANG Y. Genetic diversity assessment of 43 *Saccharum spontaneum* L. varieties with agronomic traits[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(2): 229-236. (in Chinese)
- [40] 齐永文, 樊丽娜, 何慧怡, 陈勇生, 敖俊华, 邓海华. 广东割手密资源农艺性状遗传多样性评价[J]. 甘蔗糖业, 2009(3): 7-10, 20.
- QI Y W, FAN L N, HE H Y, CHEN Y S, AO J H, DENG H H. Genetic diversity assessment of *Saccharum spontaneum* L. native to Guangdong area with agronomic traits[J]. Sugarcane and Canesugar, 2019(3): 7-10, 20. (in Chinese)
- [41] 张革民, 杨荣仲, 刘海斌, 方位宽. 割手密主要数量性状的主成分及聚类分析[J]. 西南农业学报, 2006, 19(6): 1127-1131.
- ZHANG G M, YANG R Z, LIU H B, FANG W K. Principal component analysis for 7 quantitative traits and cluster analysis based on 7 quantitative traits of *Saccharum spontaneum* L.[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2006, 19(6): 1127-1131. (in Chinese)
- [42] 张革民, 廖江雄, 黄宏套, 黎焕光, 容凤玉, 杨荣仲, 方位宽, 闭少玲, 贤武, 谭芳. 广西高糖割手密遗传多样性的表型分析和 RAPD 分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2007(8): 83-88.
- ZHANG G M, LIAO J X, HUANG H T, LI H G, RONG F Y, YANG R Z, FANG W K, BI S L, XIAN W, TAN F. Genetic diversity of *Saccharum spontaneum* L. with high sugar content in Guangxi based on phenotypic traits and RAPD markers[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2007(8): 83-88. (in Chinese)
- [43] 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 yunnan *Saccharum spontaneum* L. materials[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(3): 624-633. (in Chinese)
- [44] 赵俊, 吴才文, 赵培方, 夏红明, 暂逢刚, 杨昆, 李复琴, 刘家勇. 引进甘蔗种质工艺与农艺性状的相关性及聚类分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2012, 38(5): 476-481.
- ZHAO J, WU C W, ZHAO P F, XIA H M, ZAN P G, YANG K, LI F Q, LIU J Y. Principal component analysis and cluster analysis of agronomic and quality traits of exotic sugarcane germplasm[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2012, 38(5): 476-481. (in Chinese)
- [45] 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)
- [46] 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)
- [47] 徐志军, 孔冉, 苏俊波, 周峰, 张垂明, 吴小丽, 刘洋. 甘蔗 F₁ 群体构建及主要农艺性状遗传变异分析[J]. 热带作物学报, 2021, 42(2): 333-338.
- XU Z J, KONG R, SU J B, ZHOU F, ZHANG C M, WU X L, LIU Y. Construction of sugarcane F₁ population and main agronomic traits genetic variation analysis[J]. Chinese Journal of Tropical Crops 2021, 42(2): 333-338. (in Chinese)
- [48] 吴建涛, 刘福业, 杨俊贤, 吴文龙, 潘方胤, 邓海华, 齐永文, 陈月桂, 谢静, 陈勇生. 粤糖系列甘蔗品种产量因子间相关和通径分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(12): 66-71.
- WU J T, LIU F Y, YANG J X, WU W L, PAN F Y, DENG H H, QI Y W, CHEN Y G, XIE J, CHEN Y S. Correlation and path coefficient analysis of yield components in Yuetang series of sugarcane varieties[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(12): 66-71. (in Chinese)
- [49] 郭元元, 周生茂, 陈振东, 蒋月喜, 尚小红, 张力, 宋焕忠, 车江旅, 陈琴, 蒋万. 广西黄瓜地方品种鉴定评价及遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(7): 1273-1281.
- GUO Y Y, ZHOU S M, CHEN Z D, JIANG Y X, SHANG X H, ZHANG L, SONG H Z, CHE J L, CHEN Q, JIANG W. Identification, evaluation and genetic diversity analysis of local cucumber varieties from Guangxi[J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(7): 1273-1281. (in Chinese)
- [50] 俞华先, 桃联安, 田春艳, 安汝东, 周清明, 边芯, 董立华, 郎荣斌, 吴才文, 经艳芬. 大茎野生种血缘 F₁ 和 F₂ 的主要农艺性状分析与综合评价[J]. 南方农业学报, 2020, 51(4): 767-774.
- YU H X, TAO L A, TIAN C Y, AN R D, ZHOU Q M, BIAN X, DONG L H, LANG R B, WU C W, JING Y F. Analysis and comprehensive evaluation of main agronomic traits of *Saccharum robustum* Brandes and Jeswiet ex Grassl

- F₁ and F₂ generations[J]. *Journal of Southern Agriculture* 2020, 51(4): 767-774. (in Chinese)
- [51] 朱东旭, 关中波, 徐桂真, 徐婧, 郭元章. 油用向日葵品种主要农艺性状的主成分分析和聚类分析[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(12): 152-156.
ZHU D X, GUAN Z B, XU G Z, XU J, GUO Y Z. Principal component analysis and cluster analysis of main agronomic traits of oil-sunflower varieties[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(12): 152-156. (in Chinese)
- [52] 唐启明, 冯明光. DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 727-734.
TANG Q M, FENG M G. DPS data processing system[M]. Beijing: Science Press, 2007: 727-734. (in Chinese)
- [53] 闫世江, 张继宁, 刘洁. 聚类分析在黄瓜育种中的应用[J]. *当代生态农业*, 2012(1): 9-12.
YAN S J, ZHANG J N, LIU J. Cluster analysis was used for cucumber breeding plant[J]. *Contemporary Eco-Agriculture*, 2012(1): 9-12. (in Chinese)