

甘蔗宿根关键性状及其在宿根性快速评价中的应用

覃 伟^{1,2}, 张保青³, 黄玉新³, 周 珊³, 赵丽萍^{1,2}, 李纯佳^{1,2}, 李旭娟^{1,2},
张 静^{1,2}, 李傲梅³, 任生林^{1,2}, 黄东亮³, 刘新龙^{1,2}

(¹热带作物生物育种全国重点实验室, 昆明 650205; ²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/

云南省蔗糖产业工程研究中心, 开远 661699; ³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/

农业农村部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室, 南宁 530007)

摘要: 甘蔗重要性状宿根性因甘蔗生长周期长, 其高效评价一直是研究的难点。本研究以国内外不同地区引进的212份甘蔗种质资源为研究材料, 分别在广西隆安和云南开远开展基于2个重要宿根关键性状(宿根发株率和地上部蔗株生物量)两季宿根力的快速评价。结果表明甘蔗宿根力受环境影响较大, 两个试验点所有宿根力指标均存在极显著差异, 且指标之间均呈极显著正相关。主成分分析在两个试验点(云南开远和广西隆安)均仅提取到1个主成分, 贡献率分别为80.25%和62.68%。聚类分析将212份种质分为5个类群, 第I类4个宿根力指标均处于高水平, 有9份种质, 可作为强宿根第一梯队资源; 第II类群、第III类群共有38份种质, 各宿根力指标均处于较高水平或个别宿根力指标非常突出, 可作为强宿根第二梯队资源; 第IV类群、第V类群共有165份种质资源, 各宿根力指标均一般或较差。综合以上, 利用筛选出来的强宿根资源改良甘蔗品种宿根性, 降低甘蔗生产成本对于产业的可持续发展具有重要意义。

关键词: 甘蔗; 宿根性; 权重; 快速评价

Identification of Key Factors Applicable in Rapid Evaluation of Sugarcane Ratooning Ability

QIN Wei^{1,2}, ZHANG Baoqing³, HUANG Yuxin³, ZHOU Shan³, ZHAO Liping^{1,2}, LI Chunjia^{1,2}, LI Xujuan^{1,2},
ZHANG Jing^{1,2}, LI Aomei³, REN Shenglin^{1,2}, HUANG Dongliang³, LIU Xinlong^{1,2}

(¹ National Key Laboratory for Biological Breeding of Tropical Crops, Kunming 650205; ² Sugarcane Research Institute of Yunnan

Academy of Agricultural Sciences/Yunnan Province Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement/Yunnan Engineering

Research Center of Sugar Industry, Kaiyuan 661699; ³ Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences/

Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement/Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and

Genetic Improvement (Guangxi), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanning 530007)

Abstract: Ratooning ability is a key trait in sugarcane breeding. But the high effective evaluation of ratooning ability is still a difficulty because of the long growth period of sugarcane. This study involved the utilization of 212 sugarcane germplasm resources gathered from diverse countries and regions. A rapid-cycled evaluation of sugarcane ratooning ability was performed in Longan city of Guangxi Zhuang Autonomous Region and Kaiyuan city of Yunnan province, respectively. The assessment focused on the emergence rate of seedlings

收稿日期: 2023-08-08 修回日期: 2023-10-04 网络出版日期: 2023-11-08

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20230808002>

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

通信作者: 黄东亮, 主要从事甘蔗种质资源与分子育种研究, E-mail: hdl666@163.com

刘新龙, 主要从事甘蔗分子遗传学研究, E-mail: lxlgood868@163.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2301100); 云南省基础研究计划项目(202101AT070273); 广西科技重大专项(桂科AA22117002-1); 中国科学院华南植物园重点支持项目(E36101)

Foundation projects: National Key R&D Program of China (2022YFD2301100); Yunnan Fundamental Research Projects (202101AT070273); Science and Technology Major Project of Guangxi (Guike AA22117002-1); Program of South China Botanical Garden, Chinese Academy of Science (E36101)

and aboveground stalk biomass during two seasons. The ratooning ability of sugarcane is greatly affected by environmental conditions, and extremely significant differences were found among four ratooning indexes at two field sites, and highly significant positive correlation were detected among these indexes. Principal component analysis shows that only one principal component was extracted for both experimental sites, whose contribution rate reach to 80.25% in Kaiyuan site and 62.68% in Longan site. By using cluster analysis method, 212 germplasm resources were divided into 5 clusters. Cluster I contained 9 materials, each index for ratooning ability of them performed the highest level, belonging to the strongest ratooning ability germplasm resources. There were 38 materials belonged to cluster II and cluster III with higher level performance in indexes of ratooning ability. They could be as stronger ratooning germplasm resources to be used in future breeding plans. The rest 165 materials grouped into cluster IV and cluster V as weak ratooning ability clones. Based on above analyses, it is of great significance for the sustainable development of the sugarcane industry to utilize the elite materials to improve the ratooning ability of varieties.

Key words: sugarcane; ratooning ability; weight; rapid evaluation

保留宿根是一种重要的甘蔗种植制度,具有节约种苗、节省劳动力(每公顷较新植蔗省 150 个工以上)、提早熟期、减少种植循环过程等优点,深受世界主要甘蔗生产国重视。在甘蔗品种选育过程中,宿根性也备受关注,是重要的育种目标,是判断品种优劣的关键评价指标^[1-3]。国内外研究表明,甘蔗品种宿根性表现主要受内因和外因两大因素影响,内因主要由品种的种性决定,外因则由土壤、栽培、环境、气候和病虫害等因素决定,其中品种的种性是决定甘蔗宿根性最为关键的因子^[4-9],决定了甘蔗收获后留在土壤中的地下蔗芽的萌发质量,对宿根蔗的发株至关重要,也与甘蔗最终产量的高低密切相关^[10-13],同时宿根蔗的产量相较上一季产量的增减也是评判宿根强弱的核心指标^[14-21]。

前人从甘蔗品种种性角度对宿根性的评价主要集中在宿根的发株、分蘖、株高、茎径、有效茎数、产量等性状指标上,通常使用宿根 1 季和新植季的数据比值大小来判断各性状的宿根力,即性状宿根力=宿根 1 季性状数据值/新植季性状数据值×100%^[1,21]。因甘蔗一个生长周期需要一年左右,1 季新植和 1 季宿根就需要两年的时间,整个评价周期长,耗时耗力,且仅使用了 1 季宿根的数据,加之考虑的性状和指标多,进一步增加了宿根综合评价的复杂度,从而影响宿根评价的效率和准确性,鉴于此,亟需构建新的宿根评价技术。从影响甘蔗宿根表现的核心内因分析来看,两个核心指标最为重要,即宿根发株和生物产量,宿根蔗发株的好坏直接体现了品种宿根的好坏,也是宿根产量的关键要素,而生物产量是宿根蔗长势好坏的最终体现,高

的生物产量意味着高的蔗茎产量,高的宿根蔗茎产量呈现出品种的强宿根性。前人研究表明^[22-23],宿根蔗发株情况可用于在早期判断品种的宿根性强弱。赵培方等^[24]发明强宿根甘蔗早期选择技术,利用苗期蔗株截断处理后的发株情况选择强宿根材料,并应用于甘蔗的早期选择及评价^[25],该方法在中国和泰国都得到很好的应用。基于以上结果,本研究拟以近年来新收集引进的甘蔗种质资源为评价对象,借鉴强宿根甘蔗早期选择技术,在云南开远和广西隆安布置两个试验点,在甘蔗大生长期砍收,调查发株率和地上部蔗株生物量两个重要的宿根评价指标,对亲本资源开展宿根性评价,筛选强宿根材料,为品种宿根性改良提供优异基因资源。

1 材料与方法

1.1 供试材料

以近期从国内外不同地区引进的 212 份甘蔗种质资源为研究材料,它们分别由国家甘蔗种质资源圃(开远)和广西甘蔗种质资源圃提供。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计及田间管理 试验于 2020-2021 年在云南省开远市(23°43'N, 103°16'E)和广西南宁市隆安县丁当镇丁当基地(23°6'22"N, 107°59'5"E)分别进行。2020 年 3 月种植,采用随机区组 3 重复设计,1 行区,行长 2 m,行距 1 m,每行种植 12 芽,四周设保护行,田间管理方式同常规管理。

1.2.2 测定项目与方法 为缩短宿根评价时间,采取 1 年收获两次的方式进行试验,因甘蔗栽种时间为 3 月份,收获时间定为每年的 7-8 月收获 1 次,翌

年的3月收获1次,每年这2次收获时间的选择可保证收获时大部分甘蔗株高超过1 m达到长成有效茎的标准,一般达到1.2~1.5 m为最佳。本研究于2020年7月进行新植蔗收获,于2021年3月、2021年8月进行宿根第一季和第二季收获。在收获的同时调查新植蔗和宿根蔗所有株高超过40 cm的蔗株数量。根据育种实际经验,7-8月份株高小于40 cm的蔗株在甘蔗成熟期因不能发育成有效茎故不在统计范围内;计数完毕后砍收所有蔗株,对株高超过40 cm的蔗株(包括蔗茎和叶片,下同)称重计为地上部蔗株生物量,最终获得1年新植2年宿根的试验数据。

1.2.3 评价方法 宿根发株率=宿根季蔗株数量/新植季蔗株数量 $\times 100\%$;发株宿根力和地上部蔗株生物量宿根力(RA, ratooning ability)的计算与分析参照文献[26]中的方法,各性状宿根力=宿根蔗性状值/新植蔗性状值 $\times 100\%$,计算出宿根第一季发株宿根力、宿根第一季地上部蔗株生物量宿根力、宿根第二季发株宿根力、宿根第二季地上部蔗株生物量宿根力等4个指标。对各指标的频次分布规律和相关性进行分析,然后计算各指标的隶属函数值;其次开展主成分分析,计算4个指标的主成分得分,并计算出各主成分的权重值;最后根据权重值算出综合指标F值用于衡量材料的宿根性强弱。所有计算参照文献[27]进行。

隶属函数值:

$$\mu(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

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。

$$\text{综合指标权重: } W_i = P_i / \sum_{i=1}^n P_i, i=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

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。

$$\text{综合指标值: } F = \sum_{i=1}^n \mu(X_i) \times W_i, i=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中, F 为综合指标评价值。

1.3 数据处理

数据处理及宿根力计算采用 Excel 2007 软件;利用 Origin2022 软件分析各性状的频次分布规律、数据分散情况和进行聚类分析;采用 SPSS 25.0 软件进行相关性分析和主成分分析,同时计算偏度、峰度及样本 Kolmogorov-Smirnov 检验(K-S 检验),若显著性值大于 0.05,说明样本呈正态分布^[28]。

2 结果与分析

2.1 宿根性评价指标分布规律

由图1可知,云南开远所有指标和广西隆安宿根第一季发株宿根力、宿根第二季发株宿根力分布频次呈较明显的中间高两边低的分布趋势。其中,广西隆安宿根第一季发株宿根力的众数为50%,有70份种质(占总份数的33.02%);宿根第二季发株宿根力有两个众数,分别为50%和70%,种质数量相等(都为48份,两者占总份数的45.28%);宿根第一季地上部生物量宿根力和宿根第二季地上部生物量宿根力众数均为25%,分别有99份和93份种质(分别占总份数的46.70%和43.87%)。而云南开远宿根第一季发株宿根力和宿根第二季发株宿根力众数均为90%,种质数量分别为59份和73份(分别占总份数的27.83%和34.43%);宿根第一季地上部生物量宿根力和宿根第二季地上部生物量宿根力众数均为125%,种质数量分别为98份和68份(分别占总份数的46.22%和32.08%)。由此可看出,广西隆安4个宿根力指标的众数均小于云南开远。结合直方分布图(图1)和正态性检验分析(表1),可知4个宿根力指标在两个试验点均呈离散型偏态分布,云南开远各宿根力指标相对广西隆安更接近正态分布,但未得到统计学支持,单样本K-S检验显著性值都小于0.05;广西隆安除宿根第一季发株宿根力外,其他指标均为比较明显的正偏态分布。

2.2 环境对宿根性相关指标的影响

在不同生态环境下,对宿根第一季宿根力、宿根第二季宿根力进行分析(图2),结果表明,4个指标在两点之间均存在极显著差异($P < 0.001$),说明两地较大的环境气候差异(广西隆安属于低海拔高温阴雨气候和云南开远属于高海拔强光照高温少雨气候)对甘蔗宿根力的表现具有较大影响,且云南开远各指标宿根力显著高于广西隆安,表明云南开远的气候更有利于甘蔗种质材料的宿根表现。在同一个试验点内,无论是云南开远还是广西隆安,宿根两季的发株宿根力之间均未呈现显著性差异,表明同一地点不同宿根种植季环境差异对发株宿根力的影响较小,但对于地上部蔗株生物量宿根力,广西隆安不同宿根季未呈现显著差异,而云南开远呈现显著差异,表明地上部蔗株生物量宿根力相比较发株宿根力对环境更为敏感。

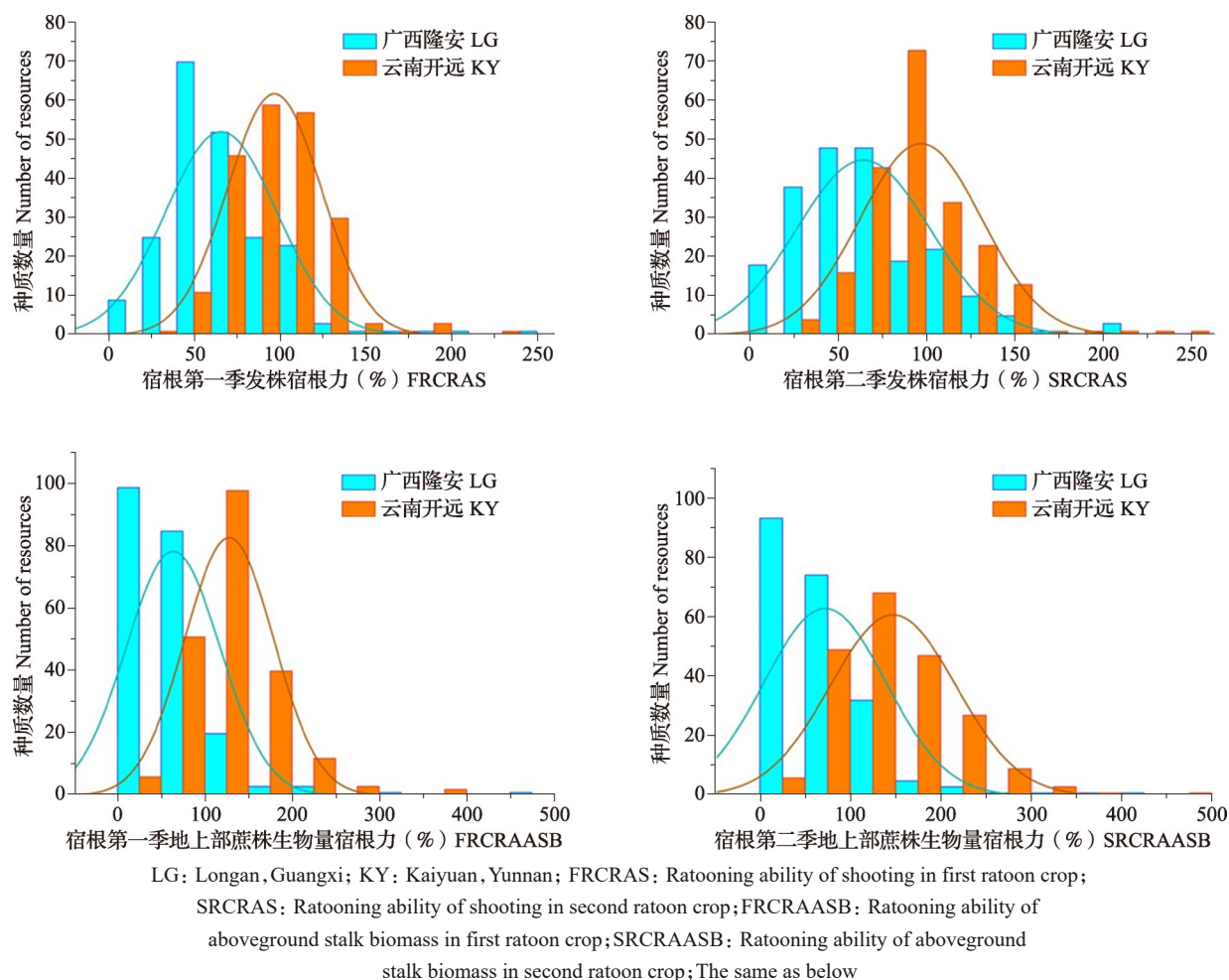


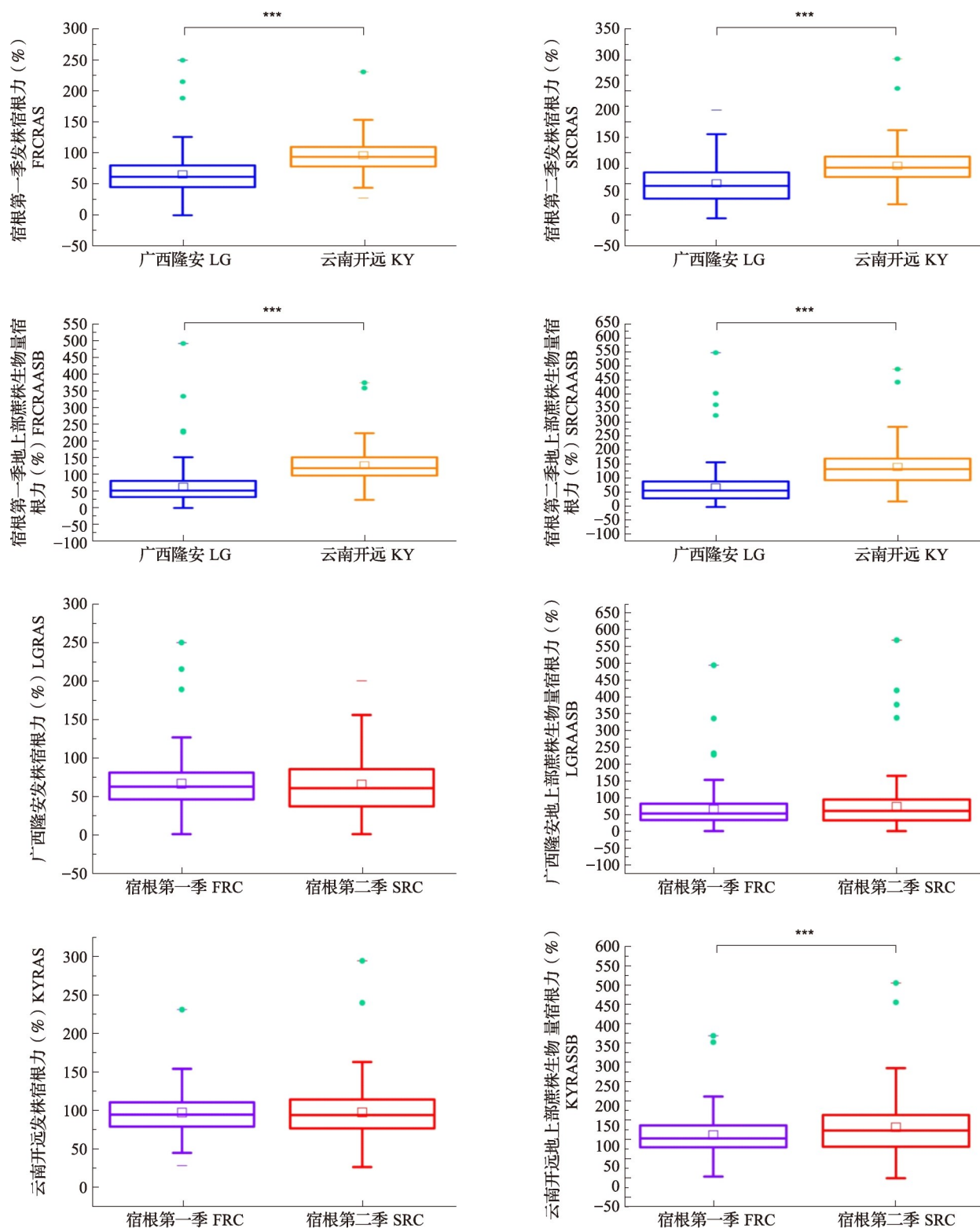
图1 两季两点4个宿根力指标的分布

Fig.1 The distribution of 4 ratooning ability indexes at two seasons and two experimental sites

表1 参试材料4个宿根力指标偏度、峰度和K-S检验

Table 1 The skewness, Kurtosis and K-S tests of 4 ratooning ability indexes for the test materials

指标 Index	地点 Site	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	显著性值 Significance value
宿根第一季发株宿根力 FRCRAS	云南开远	1.06	3.31	0.02
	广西隆安	1.74	6.75	0
宿根第二季发株宿根力 SRCRAS	云南开远	1.66	6.37	0
	广西隆安	0.93	1.30	0
宿根第一季地上部蔗株生物量宿根力 FRCRAASB	云南开远	1.40	4.25	0
	广西隆安	3.56	21.75	0
宿根第二季地上部蔗株生物量宿根力 SRCRAASB	云南开远	1.53	4.79	0
	广西隆安	3.49	18.86	0



盒图两端表示指标的极值范围;中间直线:中位线;—:最大值或最小值;□:平均值;●:个别极值;***:在 $P < 0.001$ 水平上差异显著
Both ends of the boxplot indicate the extreme range of the factors; The lines in the middle: The median line; —: Maximum value or minimum value; □: Mean value; ●: Individual extremum; ***: Significant at $P < 0.001$ level. LGRAS: Ratooning ability of shooting from Longan, Guangxi; LGRAASB: Ratooning ability of aboveground stalk biomass from Longan, Guangxi; KYRAS: Ratooning ability of shooting from Kaiyuan, Yunnan; KYRAASB: Ratooning ability of aboveground stalk biomass from Kaiyuan, Yunnan; FRC: First ratoon crop; SRC: Second ratoon crop; The same as below

图2 不同生态环境下4个指标的boxplot图

Fig. 2 The boxplot of 4 indexes in different ecological environments

2.3 相关性分析

相关性分析表明,2个性状的4个指标之间呈现出极显著的正相关关系(表2),即同一性状在宿根第一季的宿根能力强,则该性状宿根第二季的宿根能力也强;发株宿根力强的,地上部蔗株生物量宿根力也强。从两个试验点来看,云南开远各指标间对应的相关性系数明显高于广西隆安,说明云南开远各性状的相关性更高。

表2 不同生态环境下4个指标的相关性系数

Table 2 Correlation coefficients of 4 indexes in different ecological environments

地点 Site	指标 Index	宿根第一季发株宿根力 RFRCRAS	宿根第二季发株宿根力 SRCRAS	宿根第一季蔗株生物量宿根力 FRCRAASB	宿根第二季蔗株生物量宿根力 SRCRAASB
两点平均 Two-sites mean	宿根第一季发株宿根力	1			
	宿根第二季发株宿根力	0.67**	1		
	宿根第一季地上部蔗株生物量宿根力	0.75**	0.61**	1	
	宿根第二季地上部蔗株生物量宿根力	0.64**	0.78**	0.79**	1
云南开远 KY	宿根第一季发株宿根力	1			
	宿根第二季发株宿根力	0.71**	1		
	宿根第一季地上部蔗株生物量宿根力	0.71**	0.64**	1	
	宿根第二季地上部蔗株生物量宿根力	0.48**	0.74**	0.73**	1
广西隆安 LG	宿根第一季发株宿根力	1			
	宿根第二季发株宿根力	0.67**	1		
	宿根第一季地上部蔗株生物量宿根力	0.41**	0.39**	1	
	宿根第二季地上部蔗株生物量宿根力	0.49**	0.75**	0.57**	1

** : 在 $P<0.01$ 水平上显著相关

** : Significant correlation at $P<0.01$ level

2.4 主成分分析及综合评价

由表3可知,基于4个指标进行主成分分析,两个试验点均仅提取到1个主成分的特征值大于1,云南开远为3.21,广西隆安为2.51;云南开远的主成分贡献率为80.25%;广西隆安的主成分贡献率为62.68%。云南开远主成分载荷较高的为宿根第二季发株宿根力和宿根第一季地上部蔗株生物量宿根力;广西隆安主成分载荷较高的是宿根第二季发株宿根力和宿根第二季地上部蔗株生物量宿根力。根据主成分得分按公式(1)~(3)计算综合得分F值,两点试验取F值平均值,对212份甘蔗种质资源进行综合评价(表4),结果表明所有参试材料的F平均值为91.96, F值大于平均数的有93份种质,其中大于200的有2份种质(B9和福建大野),大于150的有9份种质,大于100的有67份种质,这些具有较大F值的种质在宿根性方面表现较好,可用作甘蔗品种宿根性改良的重要亲本。

表3 4个指标的主成分特征值及权重值

Table 3 The eigenvalues and weight values of the four indexes' principal components

指标 Index	云南开远 KY				广西隆安 LG				云南开远点权重值 Weight value in Kaiyuan, Yunnan	广西隆安点权重值 Weight value in Longan, Guangxi
	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4		
宿根第一季发株宿根力 FRCRAS	0.87	0.476	-0.04	0.15	0.77	-0.03	0.61	-0.16	0.24	0.25
宿根第一季地上部蔗株生物量宿根力 FRCRAASB	0.91	0	0.39	-0.12	0.69	0.71	-0.08	0.12	0.25	0.22
宿根第二季发株宿根力 SRCRAS	0.93	-0.02	-0.33	-0.17	0.86	-0.43	-0.03	0.29	0.26	0.27

表3 (续)										
指标 Index	云南开远 KY				广西隆安 LG				云南开远 点权重值 Weight value in Kaiyuan, Yunnan	广西隆安点 权重值 Weight value in Longan, Guangxi
	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4		
宿根第二季地上部蔗株生物量宿根力 SRCRAASB	0.88	-0.45	-0.02	0.16	0.84	-0.12	-0.47	-0.25	0.24	0.27
特征值Eigenvalue	3.21	0.43	0.27	0.09	2.51	0.70	0.60	0.19		
贡献率(%) Contribution	80.25	10.76	6.68	2.32	62.68	17.61	15.04	4.68		

PCA: 主成分
PCA: Principal component analysis

表4 212份甘蔗种质资源F值
Table 4 The F value of 212 sugarcane germplasm resources

序号 Number	种质名称 Germplasm name	综合指标F值 F value of comprehensive index	序号 Number	种质名称 Germplasm name	综合指标F值 F value of comprehensive index	序号 Number	种质名称 Germplasm name	综合指标F值 F value of comprehensive index
1	B9	211.02	30	桂糖 11-2119	118.96	59	桂糖 04-1045	103.44
2	福建大野	208.55	31	桂糖 11-2142	118.45	60	桂糖 08-259	103.39
3	ROC20	196.13	32	CP6	118.12	61	福农 28 号	103.37
4	新 5 号	191.55	33	CP94-1340	117.64	62	桂糖 02-210	103.30
5	Co997	185.80	34	桂糖 11-157	117.04	63	Q188	102.85
6	Co1056	177.27	35	HoCP04-856	116.44	64	台 98-0432	102.31
7	桂糖 09-816	172.69	36	桂糖 05-1474	116.34	65	桂糖 04-153	101.74
8	云蔗 08-1609	165.92	37	CP8	116.02	66	桂糖 11-1042	101.52
9	粤引 R2	165.20	38	桂糖 08-1589	116.01	67	桂糖 03-596	100.45
10	桂糖 05-3217	146.71	39	农业厅 25	115.31	68	湛江 74-141	99.67
11	崖城 96-40	140.79	40	CP7	114.63	69	桂糖 08-1045	99.37
12	桂糖 05-955	140.35	41	台 98-1606	114.50	70	K83-74	99.34
13	桂糖 33 号	137.53	42	F164	113.70	71	桂糖 13-560	98.85
14	桂糖 92-66	136.47	43	B8	112.72	72	云蔗 94-375	97.76
15	桂糖 05-1822	134.60	44	C676-17	112.57	73	Co1001	97.08
16	桂糖 09-2005	131.93	45	桂糖 08-2424	112.21	74	台引 17 号	96.98
17	Mungo	129.89	46	CP72-370	111.93	75	粤糖 96-86	96.55
18	桂糖 99-156	128.57	47	FR93-679	109.93	76	四川芦蔗	96.51
19	崖城 90-95	127.99	48	HT09-1	109.85	77	C658-75	95.39
20	Co1149	127.32	49	桂糖 09-3990	109.57	78	LCP83-396	95.14
21	粤糖 90-95	125.62	50	崖城 95-41	109.52	79	B6	95.09
22	HoCP01-523	125.51	51	桂糖 28 号	108.42	80	桂糖 04-1023	95.03
23	HOCP96-540	124.92	52	桂糖 07-994	108.12	81	桂糖 05-3256	94.54
24	桂糖 12-96	124.28	53	桂糖 05-3626	107.11	82	桂糖 05-1089	94.24
25	桂糖 04-2679	123.78	54	CP78-2114	104.21	83	崖城 90-33	94.23
26	桂糖 09-03	122.10	55	桂糖 02-1247	104.12	84	CP67-412	93.89
27	桂糖 13-532	120.47	56	桂糖 44 号	104.10	85	云蔗 99-596	93.25
28	桂糖 12-2508	120.39	57	桂糖 21 号	103.78	86	桂糖 11-2211	93.25
29	福农 94-40	119.79	58	Mex82-590	103.52	87	CP89-176	93.00

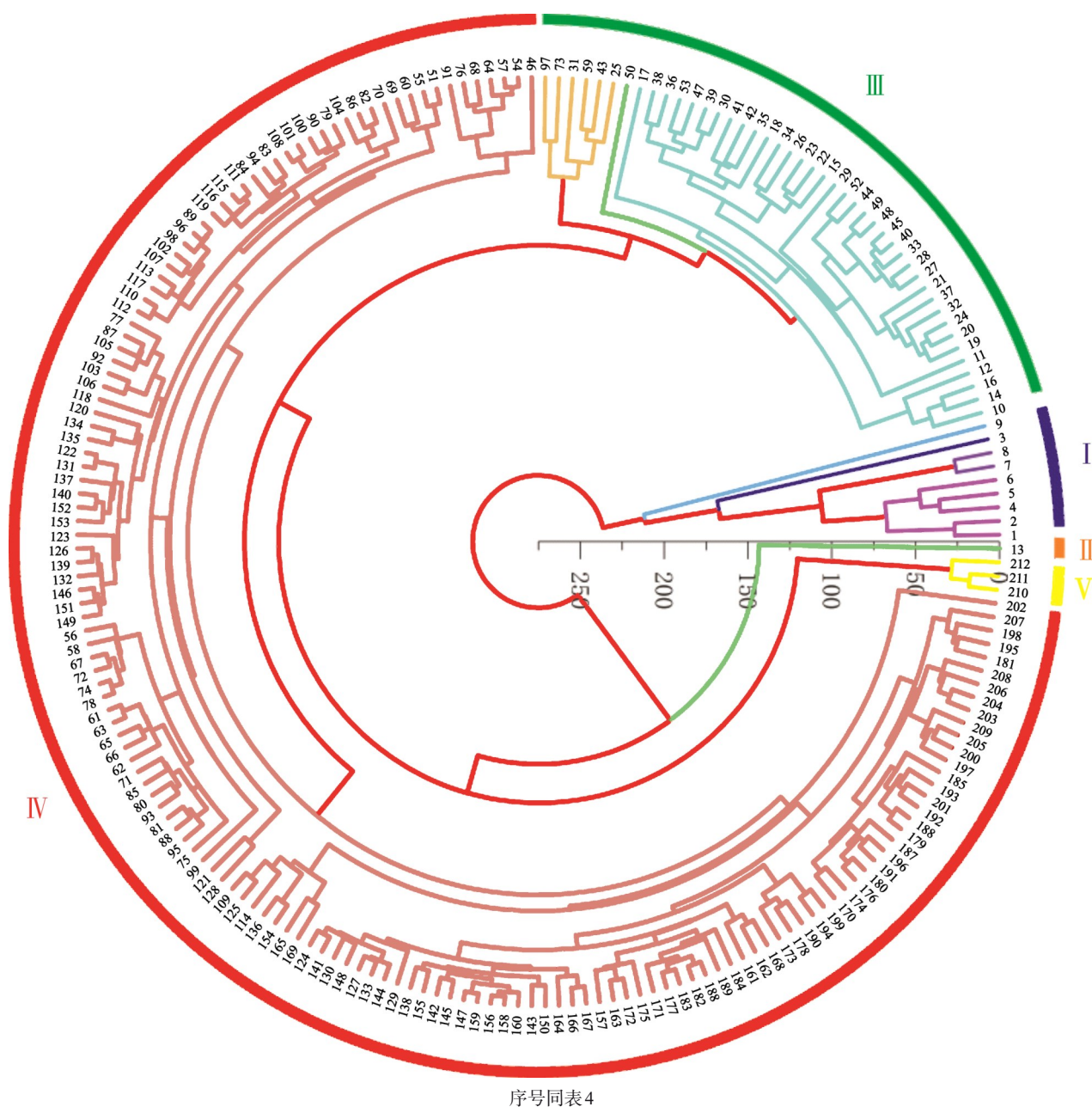
表 4 (续)

序号 Number	种质名称 Germplasm name	综合指标F值 F value of comprehensive index	序号 Number	种质名称 Germplasm name	综合指标F值 F value of comprehensive index	序号 Number	种质名称 Germplasm name	综合指标F值 F value of comprehensive index
88	F134	92.81	130	桂糖04-1007	81.14	172	桂糖75-445	67.48
89	Q124	92.55	131	NC0310	80.77	173	桂糖06-340	67.13
90	HoCP01-517	92.54	132	崖城82-96	80.47	174	FR00-97	66.44
91	Co1146	92.16	133	桂糖08-1375	80.33	175	Q27	66.20
92	云蔗05-51	92.06	134	川蔗89-103	80.14	176	桂糖97-69	64.83
93	桂糖12-2008	92.03	135	桂糖43号	80.11	177	桂糖87-7	63.97
94	桂糖10-434	91.86	136	桂糖11-80	79.56	178	RB92-5268	63.82
95	桂糖37号	91.71	137	桂糖11号	79.54	179	闽糖86-2121	63.60
96	SP80-3280	91.23	138	Q198	78.70	180	Lcp85-384	63.53
97	桂糖12-2004	90.64	139	CP75-1802	78.44	181	友巴	63.26
98	桂糖10-417	90.12	140	柳糖10-21	77.94	182	CP1	63.03
99	桂糖40号	89.90	141	桂糖41号	77.71	183	桂糖02-899	62.91
100	C297-50	89.89	142	FR96-620	77.57	184	桂糖10-2018	62.49
101	桂糖07-1062	89.81	143	桂糖73-167	77.28	185	粤糖91-976	62.34
102	桂糖11-2320	89.30	144	川蔗16号	76.12	186	K84-200	62.18
103	F175	88.32	145	Mex68-923	76.02	187	桂糖90-420	60.70
104	CP00-1100	88.28	146	桂糖10-3006	75.29	188	福农04-1826	60.65
105	桂糖42号	88.26	147	桂糖32号	74.95	189	RB85-5113	60.30
106	桂糖03-2603	88.00	148	崖城96-45	74.90	190	F160	59.71
107	桂糖05-3279	87.82	149	云蔗06-407	74.90	191	赣蔗18号	59.67
108	桂辐98-296	87.35	150	桂糖05-1212	74.68	192	桂糖35号	59.13
109	桂糖50号	87.24	151	桂糖04-101	74.67	193	桂糖03-1462	58.82
110	桂糖31号	86.92	152	桂糖10-612	74.52	194	Q127	58.56
111	粤糖00-236	86.88	153	HoCP00-961	74.11	195	潭州竹蔗	57.10
112	CP00-1301	86.80	154	ROC16	73.99	196	粤糖96-833	56.94
113	桂糖03-2287	86.43	155	CP89-2143	73.94	197	CP89-170	56.16
114	桂糖06-1827	86.30	156	桂糖34号	73.88	198	ROC1	55.94
115	HT11-109	86.19	157	桂糖08-278	73.67	199	CP81-1254	55.67
116	CP96-1602	86.14	158	CP80-1827	73.58	200	NC0376	55.25
117	Q202	86.01	159	粤糖94-128	73.45	201	卡苏华	55.13
118	崖城96-69	85.98	160	Q96	72.88	202	ROC11	52.19
119	河糖11-145	85.87	161	C134-39	72.60	203	云蔗89-351	51.21
120	台98-2817	84.89	162	桂糖46号	72.51	204	Nagans	50.50
121	桂糖10-2003	84.83	163	桂糖39号	72.12	205	RB92-2579	49.82
122	桂糖03-591	82.91	164	崖城71-374	70.98	206	福农89-10	49.68
123	RB88-5054	82.80	165	台引15号	70.89	207	Mex79-431	48.12
124	Co617	82.37	166	CP94-1100	70.29	208	福农98-10	47.52
125	F126	82.11	167	桂糖14号	70.22	209	桂糖09-439	46.67
126	HoCP01-564	81.93	168	桂糖08-1180	69.64	210	福农04-3504	36.55
127	文山竹蔗	81.77	169	CP84-1198	69.14	211	桂糖09-563	33.83
128	FR97-53	81.67	170	ROC25	68.38	212	桂糖04-1518	24.01
129	ROC24	81.22	171	CP89-172	67.59			

2.5 聚类分析

基于4个指标数据,对来自全国的212份甘蔗种质资源依据指标性状进行聚类分析,可分为10组5个类群,第I类群包括4组,有9份种质资源,分别是B9、福建大野、ROC20、新5号、Co997、Co1056、桂糖09-816、云蔗08-1609和粤引R2,占供试种质资源的4.72%。该类群的4个宿根力指标均处于高水平,可作为强宿根种质资源的第一梯队首选。第II类群仅有1份种质资源,为桂糖33号,仅有1个性状的宿根

力值很高,其他性状宿根力优势不明显。第III类群包括3组,有37份种质资源,占供试种质资源的17.45%,该类群属于各宿根力指标均处于较高水平或个别宿根力指标非常突出,可作为强宿根种质资源的第二梯队加以利用。第IV类群有162份种质资源,种质资源数量最多,占供试种质资源的76.42%,为各宿根力指标均一般或较差的种质资源,不建议作为强宿根种质资源加以利用。第V类群有3份种质资源,各宿根力指标的普遍最差。



The number is the same as table 4

图3 212份甘蔗种质资源聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of 212 sugarcane germplasm resources

3 讨论

3.1 甘蔗宿根性评价关键性状的选择及砍收时间节点的确

甘蔗是以收获蔗茎为目的的多年生无性繁殖经济作物,甘蔗品种连续多年获得高蔗茎产量,即具有强宿根性是甘蔗育种的核心目标^[9,29-30]。根据前人研究表明,对于品种宿根性强弱判断最主要的依据是能否保持前茬产量,强宿根性品种能够多年维持前茬产量,而弱宿根品种随着年份增加产量下降很快,因此产量宿根力是判断品种宿根性强弱最为重要的核心指标^[1,29]。另外,赵培方等^[24]证实了利用苗期蔗株截断处理后的发株情况来判断材料的宿根性是可行的,并发明了强宿根甘蔗早期选择技术,用于强宿根品种的筛选。而本研究结合强宿根甘蔗早期选择技术的优点,同时在大部分蔗株长成1 m以上的有效茎时才收获地上部分,使蔗桩基部的发株情况更符合甘蔗成熟季正常砍收后蔗桩的发株情况,即压缩了宿根评价的周期,使1新2宿的3年评价试验在1年半的时间完成,又尽可能地使评价收集的数据更贴近生产实际情况,提高了甘蔗种质资源宿根性评价的效率。

另外,甘蔗的生长周期长,一年为一个周期,因此宿根性的评价要多年才能完成,整个评价费时费力。鉴于此,本研究基于强宿根甘蔗早期选择技术原理思路,提出使用大生长期截断处理后的宿根发株和地上部蔗株生物量来判定材料的宿根性强弱,利用该方法,既压缩了评价周期,又节省了人力物力,提高了材料的宿根性评价效率,但试验过程中甘蔗砍收时间节点的准确判定尤为重要。本研究甘蔗栽种时间为3月份,收获时间定为每年的7-8月收获1次,翌年的3月收获1次,其中除第一年7-8月份收获的是新植蔗外,其余时间均为宿根蔗,每年这2次收获时间的选择可保证收获时大部分甘蔗株高超过1 m达到有效茎的标准。一般在时间充足情况下株高达到1.2~1.5 m最佳,同时要预留充足的时间让下一季甘蔗生长,保证在3月收获时大部分甘蔗株高也能达到1 m以上,从而达到有效茎的标准。因甘蔗栽种的时间不一样,一年中不同时期的气候条件也不一样,甘蔗的生长速度也会有所不同,因此本研究不能以两季同等的生长时间来进行收获时间的界定,而是以大部分甘蔗植株能长成1 m有效茎标准进行界定,如新植栽培时间提前,收获时间可根据甘蔗长势适当提前。根据前人的研究及

育种经验,7-8月份株高小于40 cm的蔗苗在甘蔗成熟期基本不能发育成有效茎,故不在统计范围内^[31-32]。Vasanth等^[33]使用记号笔标记的方法详细跟踪了印度4个品种从分蘖发生到分蘖苗长成有效茎或死亡的全过程,结果表明,种植45~60 d内产生的分蘖苗成茎率可达44%,60~90 d内为27%,90~120 d内为19%,120~150 d内为6%,150 d后的仅为4%;整体来看,在甘蔗品种种植120 d内发生的分蘖苗长成有效茎的比例高达90%;证实了分蘖发生越早越有利于甘蔗分蘖苗长成有效茎,从而促进蔗茎产量的提高。

3.2 宿根性相关指标的变化差异分析

本研究在广西隆安和云南开远分别开展了相关试验,由于地理位置、气候条件的差异,两点间的数据也存在一定的差异性,因此对两点间数据的差异结果进行分析,有利于更好的开展甘蔗宿根性评价。

标准型频次分布规律图为正态分布,这同样适用于甘蔗宿根性评价。在群体规模足够时,大部分甘蔗宿根性应该处于一般水平,但其中会存在少数宿根性较差、极差的材料和少数宿根性较好乃至极好的材料,这些特殊材料的存在将为优良甘蔗新品种的培育提供有利基础。从广西隆安和云南开远4个指标的频次分布可看出,云南开远各指标相较广西隆安更接近正态分布,而广西隆安呈现正偏态分布。从供试材料性状的宿根力值表现来看,广西隆安多数材料地上部生物量宿根力值普遍较低,导致了频次分布图出现了正偏态分布,这可能与广西隆安夏季降雨多、高温高湿气候及连绵阴雨天气有关,这样的天气易导致收获后根部霉变影响宿根发株,进而影响蔗株生物量的表现,导致材料的宿根力值较低,而云南开远的光照强度和紫外线强度都大于广西隆安,发株时的连续降雨时间短于广西隆安,因此更有利于宿根的发株。通过4个指标在广西隆安和云南开远两点的平均值可看出,云南开远4个指标的平均值均大于广西隆安,说明云南的气候条件更利于宿根蔗的发株和生长。宿根蔗发株的好坏与地上部蔗株生物量的高低密切相关,两个点的结果均显示2个性状的4个指标之间均呈现出极显著的正相关关系,且云南开远各指标间对应的相关性系数明显高于广西隆安,这与4个指标在广西隆安甘蔗宿根季长势不好,宿根力值较低有关;广西隆安宿根第一季地上部蔗株生物量宿根力与宿根第一季发株宿根力的相关性系数相对较低,说

明不利气候条件使甘蔗正常生长得不到保证,即使发株宿根力高,地上部蔗株生物量也不一定高,从环境对宿根性相关指标的影响研究结果,即不同试验点之间宿根力指标呈现显著差异,也证实环境对种质材料宿根性表现具有较大的影响。

在高粱的研究上,章洁琼等^[34]研究不同地点、不同播期下高粱的农艺经济性状、产量及其与主要气象因子的相关性,结果表明,不同生态区域播期对高粱产量的影响不同,且不同生态区域下高粱产量构成因素的表现不同;康晨等^[35]对不同年份多环境条件下高粱叶部性状进行遗传分析,发现同一性状在不同环境下的遗传模型存在显著差异,材料的不同及种植环境的不同也会引起同一性状遗传模型的改变。在甘蔗的研究上,徐良年等^[36]对甘蔗新品种产量品质性状的稳定性开展研究,认为不同年份和地点的光温气候土壤等条件对甘蔗糖分、单位面积蔗茎产量及含糖量有较大影响,甘蔗性状除受遗传因素控制外,亦受环境和气候条件的影响;罗俊等^[37]对甘蔗品种主要性状的基因型与环境及其互作效应的研究结果表明,甘蔗产量稳定性受年份影响显著,特别是甘蔗宿根性受环境和气候影响显著。

3.3 甘蔗宿根关键性状的综合快速评价

目前国内外甘蔗宿根性评价需要的年限均较长,关于宿根性快速评价的研究较少。本研究采用重要性状宿根力和主成分相结合的方式对212份甘蔗种质资源在两个试验点的宿根性开展了综合评价,相关方法可为今后甘蔗宿根性的快速评价提供重要参考依据。在作物性状综合评价过程中可利用主成分分析在尽量保留原始数据的前提下进行降维,简化分析过程,抽提少数几个主成分指标来代表多数性状指标,计算简化指标的权重值,最终实现性状的综合评价,该方法具有较好的可靠性和代表性^[38-39]。徐晓等^[27]利用主成分分析及聚类分析对高粱穗部表型进行精准鉴定及综合评价;赵欣蕊等^[40]利用该方法对高粱株型表型性状进行精准鉴定评价;倪永静等^[41]利用该方法对30份国内外小麦种质资源主要农艺性状进行了分析评价;张梅霞等^[42]利用该方法对粳稻的品质进行了分析评价;杨海龙等^[43]利用该方法对早籼稻种质资源的表型多样性进行了分析与评价。本研究将第一季和第二季宿根共4个宿根性相关指标简化为1个主成分,在云南开远和广西隆安的累积贡献率分别为80.25%和62.68%,包含了大部分信息量,说明4个

指标的选择较可靠,对甘蔗宿根性的快速评价均具有重要意义。

从聚类分析结果可看出,第I类群的材料数量很少,是综合表现最好的一类;第II类群仅有1份种质资源,为桂糖33号,该类群与第III类群材料的结果较为相似,但因其宿根第一季发株宿根力值是所有种质资源中最高的,为201.99%,高于多数材料近1倍,且高于这一指标宿根力值排第2的种质资源48.36%,因此在聚类分析时系统将其单独分为1类;除此之外,其他指标宿根力值与第III类群材料相似,若将其宿根第一季发株宿根力值高这一指标忽略,第II类群和第III类群应共同划分为第II类群。通过分析可知能作为强宿根材料加以利用的种质资源数量所占比例处于较低水平,且这些强宿根种质资源同时具备高产高糖生产特性的则更少,这与我国甘蔗生产中缺乏强宿根甘蔗品种的现状相一致,因此,加强及加快甘蔗种质资源的宿根性评价,对强宿根甘蔗新品种的选育将具有重要的指导。

参考文献

- [1] 马丽,应雄美,刘新龙,陆鑫,毛钧,苏火生,蔡青. 34个国外引进甘蔗种质三年宿根性产质量评价. 中国糖料, 2010(2):31-32, 36
Ma L, Ying X M, Liu X L, Lu X, Mao J, Su H S, Cai Q. Evaluation on yield and sucrose content to foreign ratoon sugarcane. Sugar Crops of China, 2010(2):31-32, 36
- [2] Ongin' jo E, Olweny C O. Determination of optimum harvesting age for sugarcane ratoon crop at the Kenyan coast. Journal of Microbiology and Biotechnology Research, 2011, 1(2):113-118
- [3] Shahid B, Mahmood U H, Naeem F, Zafrullah K, Zulfikar A. Ratooning potential of different promising sugarcane genotypes at varying harvesting dates. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, 2013, 8(5):437-440
- [4] Chandra K. Multiratooning potential of sugarcane genotypes under rainfed condition. Sugar Tech, 2001, 3(4): 171-175
- [5] Joshiya O S, Nand K, Singh D N, Singh S B. Ratooning ability of new promising varieties of sugarcane under Bhat soil condition. Indian Sugar, 2009, 58(12):15-20
- [6] Lin S, Ai J Z, Rongyu W, Zhou M M, Yuan Z N, Lin W X. Effects of sugarcane ratooning cultivation on the alteration of bacterial communities in the rhizosphere soil. Sugar Tech, 2012, 14(3): 275-283
- [7] 兰靖. 土壤中的一些有毒物质对宿根甘蔗苗期黄化的效应研究. 南宁:广西大学, 2014
Lan J. The Effect study of soil toxic substance on young shoot etiolation of ratoon sugarcane. Nanning: Guangxi University, 2014

- [8] 农泽梅, 史国英, 曾泉, 叶雪莲, 秦华东, 胡春锦. 赤红壤条件下宿根甘蔗根际可培养细菌的多样性研究. 西南农业学报, 2019, 32(5): 1079-1086
Nong Z M, Shi G Y, Zeng Q, Ye X L, Qin H D, Hu C J. Diversity of Culturable rhizosphere bacteria of ratoon sugarcane grown in latosolic red soil condition. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019, 32(5): 1079-1086
- [9] 丁雪儿, 林萍萍, 余凡, 邓祖湖. 甘蔗宿根性研究进展. 中国糖料, 2020, 42(2): 12-18
Ding X E, Lin P P, Yu F, Deng Z H. Research progress of sugarcane ratooning ability. Sugar Crops of China, 2020, 42(2): 12-18
- [10] 王鉴明. 甘蔗宿根问题. 甘蔗糖业, 1978(7): 13-21
Wang J M. Ratoon problem of sugarcane. Sugarcane and Canesugar, 1978(7): 13-21
- [11] 何建河, 许木铃. 旱地甘蔗品种宿根性研究初报. 甘蔗, 2000, 7(2): 24-27
He J H, Xu M L. Sugarcane ratoon cultivation in arid land. Sugarcane, 2000, 7(2): 24-27
- [12] 覃伟, 吴才文, 赵俊, 赵培方, 杨昆, 陈学宽, 姚丽, 曾千春. 甘蔗宿根性研究 I. 甘蔗宿根蔗形态特征与其宿根性的关系. 西南农业学报, 2017, 30(5): 989-993
Qin W, Wu C W, Zhao J, Zhao P F, Yang K, Chen X K, Yao L, Zeng Q C. Research on ratoon ability of sugarcane I. Relationship between the ratoon ability and morphological characteristics of ratoon stools. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(5): 989-993
- [13] 陆鑫, 毛钧, 刘新龙, 徐超华, 应雄美, 刘洪博, 林秀琴, 蔡青. 甘蔗双腋芽突变体表型鉴定及应用潜力评估. 植物遗传资源学报, 2020, 21(2): 314-320
Lu X, Mao J, Liu X L, Xu C H, Ying X M, Liu H B, Lin X Q, Cai Q. Phenotypic identification and evaluation of application potential in double axillary buds mutant of sugarcane. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(2): 314-320
- [14] 叶燕萍, 蒙显标, 黄立祝, 李杨瑞, 李永健, 谢爱玲, 杨丽涛. 乙烯利对宿根蔗生理生化特性和农艺性状的影响. 广西农业科学, 2005, 36(4): 308-311
Ye Y P, Meng X B, Huang L Z, Li Y R, Li Y J, Xie A L, Yang L T. Effects of ethephon on the physiological, biochemical and agronomic characters in ratoon sugarcane. Guangxi Agricultural Sciences, 2005, 36(4): 308-311
- [15] 肖关丽, 余兴华, 周平, 卢会文, 杨清辉. 宿根蔗不同蔗桩高度蔗芽分布及萌发情况调查. 中国糖料, 2013(1): 47-48, 52
Xiao G L, Yu X H, Zhou P, Lu H W, Yang Q H. Investigation on distribution and germination of different stubble height bud in ratoon cane. Sugar Crops of China, 2013(1): 47-48, 52
- [16] 樊仙, 张跃彬, 郭家文, 刘少春, 刀静梅, 李如丹, 高欣欣, 邓军. 不同地膜覆盖对耕层土壤温度及甘蔗出苗的影响. 中国糖料, 2015, 37(6): 10-12
Fan X, Zhang Y B, Guo J W, Liu S C, Dao J M, Li R D, Gao X X, Deng J. Effects of covering with different plastic films on temperature of topsoil and emergence of sugarcane. Sugar Crops of China, 2015, 37(6): 10-12
- [17] 刘少春, 张跃彬, 郭家文, 刀静梅, 邓军, 高欣欣, 李如丹, 方志存. 少雨干旱地区地膜覆盖对旱地甘蔗产量和糖分质量的影响. 节水灌溉, 2015, (7): 43-45
Liu S C, Zhang Y B, Guo J W, Dao J M, Deng J, Gao X X, Li R D, Fang Z C. Effects of whole plastic-film mulching on arid sugarcane yield and sugar in dry land. Water Saving Irrigation, 2015(7): 43-45
- [18] 樊仙, 杨绍林, 李如丹, 全怡吉, 邓军, 张跃彬. 不同铲苑深度对甘蔗根系形态和生理特性的影响. 热带作物学报, 2019, 40(9): 1671-1676
Fan X, Yang S L, Li R D, Quan Y J, Deng J, Zhang Y B. Root morphological and physiological characteristics of sugarcane stubble cutting height. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(9): 1671-1676
- [19] Bokhtiar S M, Paul G C, Alam K M. Effects of organic and inorganic fertilizer on growth, yield, and juice quality and residual effects on ratoon crops of sugarcane. Journal of Plant Nutrition, 2008, 31(10): 1832-1843
- [20] Viator R P, Dalley C D, Johnson R M, Richard E P. Early harvest affects sugarcane ratooning ability in Louisiana. Sugar Cane International, 2010, 28(3): 123-127
- [21] Mohamed O A G, Eid M. Ratooning ability of some promising egyptian sugarcane varieties. Indian Journal of Sugarcane Technology, 2017, 32(2): 50-59
- [22] Olaoje G. Estimate of ratooning ability in sugar cane under conditions of low available soil moisture in a savanna ecology of Nigeria. Moor Journal of Agricultural Research, 2001, 6(1): 16-23
- [23] 刘洪博, 应雄美, 刘新龙, 马丽, 陆鑫, 苏火生, 蔡青. 甘蔗栽培原种宿根蔗综合性状分析. 植物分类与资源学报, 2013, 35(5): 621-629
Liu H B, Ying X M, Liu X L, Ma L, Lu X, Su H S, Cai Q. Evaluation of ratoon characteristics in sugarcane cultivation protospecies. Plant Diversity and Resources, 2013, 35(5): 621-629
- [24] 赵培方, 刘家勇, 陈学宽, 赵俊, 杨昆, 夏红明, 咎逢刚, 吴才文, 姚丽, 邓军. CN201110173263.9 甘蔗实生苗大田移栽前测试宿根性的方法. 2011
Zhao P F, Liu J Y, Chen X K, Zhao J, Yang K, Xia H M, Zan F G, Wu C W, Yao L, Deng J. CN201110173263.9 method of testing ratooning of sugarcane seedlings before transplanting in field. 2011
- [25] 赵培方, 姚丽, 咎逢刚, 赵俊, 夏红明, 杨昆, 陈学宽, 吴才文, 刘家勇. 甘蔗早期选择技术研究 I. 实生苗成苗数的选择效率分析. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2015, 41(1): 24-28
Zhao P F, Yao L, Zan F G, Zhao J, Xia H M, Yang K, Chen X K, Wu C W, Liu J Y. Sugarcane early stage selection I. Analysis of selection efficiency on the amount of seedling tillers. Journal of Hunan Agricultural University: Natural

- Sciences, 2015, 41(1):24-28
- [26] Milligan S B, Gravois K A, Martin F A. Inheritance of sugarcane ratooning ability and relationship of young crop traits to old crop traits. *Crop Science*, 1996, 36(1):45-50
- [27] 徐晓,任根增,赵欣蕊,常金华,崔江慧. 中国高粱地方品种和育成品种穗部表型性状精准鉴定及综合评价. *中国农业科学*, 2022, 55(11): 2092-2108
- Xu X, Ren G Z, Zhao X R, Chang J H, Cui J H. Accurate identification and comprehensive evaluation of panicle phenotypic traits of landraces and cultivars of *Sorghum bicolor* (L.) Moench in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(11): 2092-2108
- [28] 朱红兵,何丽娟. 关于用SPSS中单样本K-S检验法进行正态分布等的一致性检验时适用条件的研究. *首都体育学院学报*, 2009, 21(4):466-470
- Zhu H B, He L J. A study on appropriate conditions in consistency test of normal distribution by single sample K-S check in SPSS. *Journal of Capital University of Physical Education and Sports*, 2009, 21(4):466-470
- [29] 杨荣仲,周会,梁强,唐仕云,王伦旺,桂意云,黄海荣,黄赞斌,贤武,雷敬超. 甘蔗家系宿根性分析. *热带作物学报*, 2021, 42(7):1932-1940
- Yang R Z, Zhou H, Liang Q, Tang S Y, Wang L W, Gui Y Y, Huang H R, Huang Z B, Xian W, Lei J C. Analysis of ratooning ability for sugarcane families. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(7):1932-1940
- [30] 林兆里,罗方喻,林承宥,张培睿,阙友雄,罗俊,张华. 应用甘蔗蔗蔸形态特征评价甘蔗宿根性研究. *南方农业学报*, 2022, 53(5):1325-1336
- Lin Z L, Luo F Y, Lin C Y, Zhang K R, Que Y X, Luo J, Zhang H. Study on the sugarcane ratooning ability evaluation by the morphological characteristics of sugarcane stubble. *Journal of Southern Agriculture*, 2022, 53(5):1325-1336
- [31] 丘立杭,范业庚,罗含敏,黄杏,陈荣发,杨荣仲,吴建明,李杨瑞. 甘蔗分蘖发生及成茎的调控研究进展. *植物生理学报*, 2018, 54(2):192-202
- Qiu L H, Fan Y G, Luo H M, Huang X, Chen R F, Yang R Z, Wu J M, Li Y R. Advances of regulation study on tillering formation and stem forming form available tillers in sugarcane (*Saccharum officinarum*). *Plant Physiology Journal*, 2018, 54(2):192-202
- [32] 李佳慧,程琴,欧克伟,谭秦亮,庞新华,周全光,吕平,宋奇琦,唐毓玮,朱鹏锦. 不同蔗区甘蔗品种(系)分蘖性状比较及其对产量和产量构成因子的影响. *作物杂志*, 2021, (5): 79-86
- Li J H, Cheng Q, Ou K W, Tan Q L, Pang X H, Zhou G Q, Lv P, Song Q Q, Tang Y W, Zhu P J. Comparison of tiller characters of sugarcane varieties (lines) in different sugarcane regions and their effects on yield and yield components. *Crops*, 2021, (5):79-86
- [33] Vasantha S, Shekinah E D, Gupta C, Rakkiyappan P. Tiller production, regulation and senescence in sugarcane (*Saccharum species hybrid*) genotypes. *Sugar Tech*, 2012, 14(2):156-160
- [34] 章洁琼,赵小敏,左晋,宋碧,胡朝凤,陈思宇,邹军. 不同播期下高粱的农艺经济性状、产量及其与主要气象因子的相关性. *贵州农业科学*, 2023, 51(4):25-34
- Zhang J Q, Zhao X M, Zuo J, Song B, Hu C F, Chen S Y, Zou J. Effects of different sowing date on agronomic and economic trait, and yield of different sorghum varieties and their correlations with meteorological factors. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2023, 51(4):25-34
- [35] 康晨,谭燕,孙安栋,高建明,罗峰,孙守钧. 不同年份多环境条件下粒用高粱叶部性状的遗传分析. *分子植物育种*, 2023, 21(16):5386-5396
- Kang C, Tan Y, Sun A D, Gao J M, Luo F, Sun S J. Genetic analysis of leaf traits of grain sorghum in different years and multiple environments. *Molecular Plant Breeding*, 2023, 21(16):5386-5396
- [36] 徐良年,邓祖湖,陈如凯,张木清,张华,高三基,罗俊. 甘蔗新品种产量品质性状的稳定性分析. *热带作物学报*, 2006, 27(2):50-54
- Xu L N, Deng Z H, Chen R K, Zhang M Q, Zhang H, Gao S J, Luo J. Stability analysis on yield and quality characters of new sugarcane varieties. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2006, 27(2):50-54
- [37] 罗俊,张华,阙友雄. 甘蔗品种主要性状的基因型与环境及其互作效应分析. *热带亚热带植物学报*, 2012, 20(5):445-454
- Luo J, Zhang H, Que Y X. Genotype, environment and their interactive effects on main traits of sugarcane varieties. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2012, 20(5):445-454
- [38] 王小娟,陈建晓,李雪娇,伍壮生,吴月燕,高芳华. 13份矮生番茄种质资源表型性状遗传多样性分析. *分子植物育种*, 2022, 20(6):1955-1964
- Wang X J, Chen J X, Li X Q, Wu Z S, Wu Y Y, Gao F H. Genetic diversity analysis of 13 dwarf tomato genoplasm resources by phenotypic traits. *Molecular Plant Breeding*, 2022, 20(6):1955-1964
- [39] 张学超,任海龙,唐式敏,朱玲,张胜军,冉昇. 伊犁天山160份野苹果种质资源表型性状的遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(6):1521-1530
- Zhang X C, Ren H L, Tang S M, Zhu L, Zhang S J, Ran S. Genetic diversity analysis of phenotypic traits in 160 germplasm resources of *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem. from Tianshan in Ili. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(6):1521-1530
- [40] 赵欣蕊,任根增,韩永亮,杨溥原,徐晓,白玉哲,赵栋婷,任玉双,张玲玉,王志博,吴盟,陈东明,常金华,崔江慧. 高粱株型表型性状精准鉴定及综合评价. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(6):1644-1659
- Zhao X R, Ren G Z, Han Y L, Yang P Y, Xu X, Bai Y Z, Zhao D T, Ren Y S, Zhang L Y, Wang Z B, Wu M, Chen D M, Chang J H, Cui J H. Accurate identification and comprehensive evaluation of plant architecture related traits in

- sorghum. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23 (6) : 1644-1659
- [41] 倪永静, 姜晓君, 卢祖权, 朱培培, 胡新, 韩同进. 30 份国内外小麦种质资源主要农艺性状的分析与评价. *中国农学通报*, 2019, 35(36):16-22
- Ni Y J, Jiang X J, Lu Z Q, Zhu P P, Hu X, Han T J. 30 worldwide wheat germplasm resources: Analysis and evaluation of main agronomic traits. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(36):16-22
- [42] 张梅霞, 陈荣江. 基于主成分分析的梗稻品质评价及聚类分析. *河南科技学院学报: 自然科学版*, 2016, 44(5):1-6
- Zhang M X, Chen R J. Japonica rice quality evaluation and cluster analysis based on principal component analysis. *Journal of Henan Institute of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2016, 44(5):1-6
- [43] 杨海龙, 王晖, 雷锦超, 蔡金洋. 浙江省早籼稻种质资源的表型多样性分析与评价. *浙江农业学报*, 2022, 34(8):1571-1581
- Yang H L, Wang H, Lei J C, Cai J Y. Analysis and evaluation of phenotypic diversities of early indica rice germplasm resources in Zhejiang province. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2022, 34(8):1571-1581