

57NG208 与南涧果蔗正反交后代的抗倒伏性评价

俞华先^{1,2}, 安汝东^{1,2*}, 桃联安^{1,2}, 经艳芬^{1,2}, 郎荣斌^{1,2}, 边 蕊^{1,2}, 张 钰^{1,2},
刘新龙^{1,2}, 刘家勇^{1,2*}, 赵丽萍^{1,2}, 刘洪博^{1,2}, 张革民³, 张保青³

1. 热带作物生物育种全国重点实验室, 云南昆明 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, 云南开远 661699; 3. 广西壮族自治区农业科学院甘蔗研究所/广西甘蔗遗传改良重点实验室, 广西南宁 530000

摘 要: 倒伏是甘蔗高产、高糖和机收的重要限制因素之一, 也是甘蔗宜机化育种亟待解决的问题。本研究以 24 份大茎野生种 57NG208 与南涧果蔗正反交后代和 1 份 PT43-52 (CK) 为研究材料, 测定其株高、基部茎径、中部茎径、锤度、重心高度、单茎重、抗倒伏指数、基部和中部茎径比值和茎秆折断力 9 个指标, 采用相关性分析、主成分分析、隶属函数法和聚类分析对其进行综合评价。结果表明: 25 份材料抗倒伏指数和农艺性状等 9 个指标的变异系数分布在 11.57%~30.80% 之间, 性状明显分离, 变异丰富。相关性分析结果表明, 抗倒伏指数与锤度、基部茎径、基部和中部茎径比值、重心高度、单茎重和茎秆折断力呈极显著正相关, 与株高和中部茎径呈负相关。主成分分析结果表明, 前 3 个主成分累计贡献率达 75.7717%, 代表了参试材料抗倒伏的绝大部分信息; 聚类分析结果表明, 25 份材料可聚为 3 大类, 与隶属函数评价结果基部吻合, 其中第 I 类中的 13 份材料抗倒伏性能优异, 综合评价得分较高, 尤其是云瑞 12-9-45、云瑞 12-9-5、云瑞 12-38-32、PT43-52 和云瑞 12-38-46 等 5 份种质材料, 除云瑞 12-38-46 的抗倒伏指数为 2.94 外, 其余种质的抗倒伏指数均为 3.00, 其综合评价 E 值位于前 5 位, 可在今后品种的抗倒性改良中重点利用。

关键词: 大茎野生种; 南涧果蔗; 抗倒伏; 农艺性状

中图分类号: S566.1

文献标志码: A

Lodging Resistance Evaluation of Reciprocal Hybrids Between 57NG208 and Nanjian Chewing Cane

YU Huaxian^{1,2}, AN Rudong^{1,2*}, TAO Lianan^{1,2}, JING Yanfen^{1,2}, LANG Rongbin^{1,2}, BIAN Xin^{1,2},
ZHANG Yu^{1,2}, LIU Xinlong^{1,2}, LIU Jiayong^{1,2*}, ZHAO Liping^{1,2}, LIU Hongbo^{1,2}, ZHANG Gemin³,
ZHANG Baoqing³

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

Abstract: Lodging was one of the important limiting factors for high yield, high sugar content and mechanized harvesting of sugarcane, and it was also an urgent problem to be solved in sugarcane mechanized breeding. In this study, 24 reciprocal hybrids of 57NG208 and Nanjian chewing cane and PT43-52 (CK) were used as research materials. The plant height, basal stem diameter, middle stem diameter, brix, center of gravity height, single stem weight, the lodging resistance index, basal and middle stem diameter ratio and stem breaking force were measured. The correlation analysis, principal component analysis, membership function method and cluster analysis were used to comprehensively evaluate them. The results showed that the coefficient of variation of 9 indexes such as lodging resistance index and agronomic

收稿日期 2024-10-11; 接受日期 2024-11-11

基金项目 广西甘蔗遗传改良重点实验室开放课题项目 (No. 21-238-16K-01-01); 国家重点研发计划项目 (No. 2022YFD2301100); 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): 安汝东 (AN Rudong), E-mail: ynard@163.com; 刘家勇 (LIU Jiayong), E-mail: lljjyy1976@163.com。

traits of 25 materials was between 11.57% and 30.80%, and the traits were obviously separated and the variation was abundant. The correlation analysis showed that the lodging resistance index was significantly positively correlated with brix, basal stem diameter, basal and middle stem diameter ratio, center of gravity height, single stem weight and stem breaking force, and negatively correlated with plant height and middle stem diameter. The results of principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the first three principal components was 75.7717%, which represented most of the information of lodging resistance of the tested materials. Cluster analysis showed that 25 materials could be clustered into three categories, and the results were consistent with the results of membership function evaluation. Among them, 13 materials in the first category had excellent lodging resistance and high comprehensive evaluation scores, especially Yunrui 12-9-45, Yunrui 12-9-5, Yunrui 12-38-32, PT43-52 and Yunrui 12-38-46. The lodging resistance index of the remaining germplasms was 3.00 except Yunrui 12-38-46, and the comprehensive evaluation E value was in the top 5, which should be used in the future improvement of lodging resistance.

Keywords: *Saccharum robustum*; Nanjian chewing cane; lodging resistance; agronomic traits

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.04.014

甘蔗是全球重要的糖料和能源作物, 80%的糖和40%的生物乙醇的主要原料, 年产值超过900亿美元, 其中甘蔗糖分别占世界和我国食糖总量的70%和88%^[1-2], 甘蔗产业对全球农业经济发展和食糖安全保障发挥着重要作用^[3]。据统计, 全球有103个国家种植甘蔗^[4], 2022/2023榨季中国甘蔗种植面积约140万hm²^[5], 居世界第3位^[6]。近年来, 随着极端天气事件和虫害频发, 尤其台风和季风的影响, 导致甘蔗大田生产中倒伏现象普遍发生, 已严重限制了甘蔗机械化收获和节本增效, 成为我国糖料蔗生产的“瓶颈”问题之一。2018年, 台风“山竹”造成广西甘蔗倒伏面积约14.0万hm², 占全区甘蔗种植面积的18%, 其中6.6万hm²为严重倒伏^[7]; 2024年, 台风“摩羯”造成海南省甘蔗倒伏面积7333hm², 其中全倒伏3600hm², 半倒伏3800hm², 受风折断尾面积超过1333hm², 全省甘蔗预计减产10%^[8]。倒伏是造成甘蔗产量下降的主要原因, 甘蔗倒伏后不仅影响产量和品质^[9], 也对机械化收获造成了障碍, 而且还会传播病害。甘蔗倒伏是当前甘蔗宜机化育种关注的重点性状, 大茎野生种甘蔗(*Saccharum robustum* L.), 别名伊里安野生种, 具有纤维分和生物产量高、宿根性好、抗风抗虫等特点^[9], 其血缘后代材料具有宿根萌芽率高、生势强、抗倒伏等优点。因此, 系统评价大茎野生种57NG208与南涧果蔗正反交后代的抗倒伏特性, 对改良或培育抗倒伏新品种具有重要指导意义。

甘蔗倒伏性是一个复杂的数量性状, 不仅与株高、基部茎径和重心高度等内在因素有关, 还与蔗田土质条件、栽培管理和气候因素等外在因素相关^[10]。目前, 众多学者针对甘蔗倒伏性开展

了大量研究。陈纪元^[11]开展随机风载作用甘蔗倒折机理研究; 李翔^[12]从抗倒伏指数、生化成分、转录组等对不同类型的甘蔗种质进行抗倒伏性评级及抗倒伏机制研究; 沈银娟等^[13]对117份甘蔗品系材料开展蔗茎机械强度形成的生物学机制研究; 闫鹏等^[14]采用室内外试验研究不同浓度配比NAA/KT浸种对新植蔗产量、根系发育及抗倒伏能力的影响; 刘富成等^[15]研究不同种植密度和深度对甘蔗品种中糖3号的产量及抗倒伏性的影响; 李笑含^[16]基于无人机遥感影像技术对甘蔗倒伏信息开展研究。在水稻上, 日本学者崛内久满^[17]首先提出用“倒伏指数”来评价水稻品种的抗倒伏能力, 该指数能综合反映水稻茎秆物理性状, 综合了水稻株高、鲜重和茎秆折断力等部分参数, 目前被公认是抗倒伏性的衡量指标^[18]。孙旭初^[19]1987年提出水稻“抗倒伏指数”是较为公认的计算方法, 李翔^[12]在2019年提出了甘蔗抗倒伏指数计算方法。

甘蔗育种实践中, 利用甘蔗材料本身抗倒伏性育种是解决甘蔗倒伏问题最经济有效的手段。因此, 明确甘蔗倒伏与抗倒伏性的相关性, 对甘蔗种质进行科学客观的评价鉴定是开展甘蔗抗倒伏育种的基础和前提。基于甘蔗抗倒伏性为品种特性, 本研究以25份大茎野生种后代种质为材料, 在成熟期对其抗倒伏指数和农艺性状指标进行测定和分析, 旨在通过种质材料间差异筛选出优异抗倒伏种质材料, 为甘蔗抗倒伏育种提供种质基础和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料亲本信息详见表1。在25份参试材

料中,编号 1~24 号种质材料是以真实性鉴定过的 24 份大茎野生种 NG57208 (P₁) 与南涧果蔗(P₂) 的正反交后代^[20],该批种质材料由云南省农业科学院甘蔗研究所瑞丽育种站创制,其中 P₁×P₂ 为正交材料 9 份,P₂×P₁ 为反交材料 15 份,以 PT43-52 为对照材料,其中 PT43-52 是由台湾糖业公司屏东甘蔗育种站 1946 年选出的含大茎野生种血缘 F₂ 种质材料^[21],其抗风能力特强,在 1951 年后利用它及其后代为亲本培育出一系列抗风力强,且高产、高糖的 F 系列及台糖系列著名品种在生产上利用,如 F146、F160、F172、ROC16、ROC10、ROC22^[22-23]。

表 1 25 份参试种质亲本信息

Tab. 1 Parental information of 25 germplasms			
编号 Code	材料名称 Material name	母本 Female	父本 Male
1	云瑞 12-9-45	57NG208	南涧果蔗
2	云瑞 12-9-4		
3	云瑞 12-9-5		
4	云瑞 12-9-6		
5	云瑞 12-9-7		
6	云瑞 12-9-8		
7	云瑞 12-9-9		
8	云瑞 12-9-10		
9	云瑞 12-9-1		
10	云瑞 12-38-29	南涧果蔗	57NG208
11	云瑞 12-38-30		
12	云瑞 12-38-31		
13	云瑞 12-38-32		
14	云瑞 12-38-34		
15	云瑞 12-38-48		
16	云瑞 12-38-47		
17	云瑞 12-38-46		
18	云瑞 12-38-45		
19	云瑞 12-38-43	POJ2878	(POJ2875×S.rob)
20	云瑞 12-38-42		
21	云瑞 12-38-40		
22	云瑞 12-38-27		
23	云瑞 12-38-19		
24	云瑞 12-38-18		
25	PT43-52 (CK)	POJ2878	(POJ2875×S.rob)

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验地位于云南省农业科学院甘蔗研究所瑞丽育种站(24°1'33"N,97°51'44"E),采用随机区组设计,3 次重复,每小区 5 行,行

长 8 m,行距 1.2 m。试验于 2023 年 2 月种植,田间管理与大田生产管理一致。

1.2.2 项目测定 于甘蔗成熟期调查株高、基部茎径、中部茎径和锤度等农艺性状。随机选取 5 株近地面 30 cm 蔗茎,参照沈银娟等^[13]的方法,用植物茎秆强度测定仪测定茎秆折断力。

参照王秀凤等^[24]的方法测定重心高度。倒伏角是指甘蔗头部和蔗茎基部连线与地面垂直线之间的夹角。参照郝文录等^[25]的方法,基于倒伏角对甘蔗进行倒伏级数划分(表 2)。

表 2 甘蔗抗倒伏田间分级标准
Tab. 2 Field grading standard of sugarcane lodging resistance

倒伏级别 Lodging level	倒伏角 Lodging angle/(°)
1 级	≥ 60
2 级	30~60
3 级	≤ 30

抗倒伏指数参照谢子四等^[26]和李朝生等^[27]的方法计算。计算公式:抗倒伏指数=Σ(各级级别数×该级别株数)/调查株数。甘蔗抗倒伏评价标准详见表 3。

表 3 甘蔗抗倒伏评价标准
Tab. 3 Sugarcane lodging resistance evaluation criteria

倒伏级别 Lodging grade	抗倒伏指数 Lodging resistance index	倒伏程度 Lodging level
1 级	1.0≤LRI≤1.6	全倒伏
2 级	1.6<LRI≤2.3	半倒伏(倾斜)
3 级	2.3<LRI≤3.0	直立

1.2.3 评价分析 对抗倒伏指数和农艺性状等 9 个指标进行遗传多样性和相关性分析,求出各指标隶属函数值。然后进行主成分分析,计算 9 个指标的主成分得分,同时求出各主成分的权重值。最后计算综合评价值 E,参照覃伟等^[28]的方法进行隶属函数分析。

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

$$W_i=P_i\div\sum p_{i,i=1,2,3,\cdots,n}\quad(2)$$

$$E=\sum\left[Z\left(X_j\right) \times W_i\right], i=1,2,3, \cdots, n\quad(3)$$

式中,Z(X_j)表示参试种质材料第 j 个综合指标的隶属函数值。X 表示参试种质材料综合指标

的测定值， $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$ 分别表示第 j 个综合指标的最小值和最大值。 j 表示各综合指标， W_i 为第 i 个综合指标在所有综合指标中的权重， P_i 为各种质材料通过主成分分析得出的第 i 个综合指标的贡献率； E 为综合评价值。

1.3 数据处理

用 Excel 2022 软件处理原始数据，分别利用 DPSV 9.5 和 SPSS 22.0 软件作描述性统计分析和相关性分析,采用DPSV 9.5 软件作主成分和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 25 份种质材料各指标的遗传多样性分析
57NG208 与南涧果蔗正反交后代抗倒伏指数

和农艺性状表现见表 4。由表 4 可知，9 个指标的变异系数分布幅度较大，为 11.57%~30.80%。其中抗倒伏指数的变异系数最大，达到 30.80%，变幅为 1.05~3.00；其次是折断力的变异系数，最大为 27.41%，变幅为 206.00~492.00 N。说明 25 份种质材料的抗倒伏遗传变异最为多样。锤度、株高、基部茎径、中部茎径、基部和中部茎径比值、重心高度、单茎重的变异系数依次为 11.57%、11.86%、17.49%、11.96%、22.07%、12.67%、22.62%。前人研究认为变异系数高于 10.00%表示样本间的差异较大^[29]。本研究中 9 个主要指标的变异系数均大于 10.00%，说明这 25 份种质性状明显分离，变异丰富。

表 4 参试材料抗倒伏指数和农艺性状表现
Tab. 4 Lodging resistance index and agronomic traits of tested materials

性状 Character	最大值 Max	最小值 Min	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
抗倒伏指数（LRI）	3.00	1.05	2.21	0.68	30.80
锤度/(°Bx)	24.17	14.37	18.46	2.14	11.57
株高/cm	388.33	249.00	316.69	37.56	11.86
基部茎径/cm	3.25	1.75	2.59	0.45	17.49
中部茎径/cm	3.10	1.95	2.45	0.29	11.96
基部和中部茎径比值	1.41	0.60	1.06	0.23	22.07
重心高度/cm	265.00	159.00	205.80	26.08	12.67
单茎重/kg	2.33	0.80	1.64	0.37	22.62
折断力/N	492.00	206.00	335.28	91.89	27.41

2.2 相关性分析

由表 5 可知，抗倒伏指数与锤度、基部茎径、基部和中部茎径比值、重心高度、单茎重和折断力呈极显著正相关，与株高和中部茎径呈负相关；锤度与基部茎径、基部和中部茎径比值呈极显著正相关，与单茎重呈显著正相关；株高与重心高度呈极显著正相关，与中部茎径呈正相关，与其他指标呈负相关；基部茎径与基部和中部茎径比值呈极显著正相关，与重心高度和折断力呈显著正相关；中部茎径与基部和中部茎径比值呈极显著负相关；基部和中部茎径比值与重心高度和折断力呈显著正相关。

2.3 主成分分析

用倒伏相关的 9 个指标进行主成分分析，其 KMO 检验结果为 0.648，sig 值为 0，适用主成分分析法来计算权重。从主成分分析结果（表 6）可知，前 3 个特征值≥1 且累计贡献率为 75.7717%，特征

向量的总和为 6.8195，因此可用前 3 个主成分反映该 25 份材料 9 个抗倒伏性状的指标情况。主成分 1 的特征值为 4.0856，贡献率为 45.3951%，此主成分特征向量中，抗倒伏指数、基部和中部茎径比值的特征向量最大依次分别是 0.4747 和 0.4508，其次是基部茎径（0.4114）和折断力（0.3476）。因此可把主成分 1 称为茎径力学因子。主成分 2 的特征值为 1.5750，贡献率为 17.5001%，此主成分特征向量中，株高、重心高度的特征向量最大依次分别是 0.7221 和 0.5619，其次是中部茎径（0.2142）。因此可把主成分 2 称为株高茎径因子。主成分 3 的特征值为 1.1589，贡献率为 12.8764%，此主成分特征向量中，中部茎径和单茎重的特征向量最大依次分别是 0.7166 和 0.4632，其次是锤度（0.3102），由此可把主成分 3 称为农艺因子。

2.4 综合评价

基于主成分得分，依照公式（1）~（3）求综

表 5 抗倒伏指数与蔗茎折断力和农艺性状的相关系数

Tab. 5 Correlation coefficient between lodging resistance index and sugarcane stalk breaking force and agronomic traits

性状 Trait	抗倒伏指 数 LRI	锤度 Brix	株高 Plant height	基部茎径 Base stem diameter	中部茎径 Middle stem diameter	基部和中部茎 径比值 Ratio of middle in basal stem diameter	重心高度 Height of center of gravity	单茎重 Single stem weight	折断力 Break- ing-resista nce
抗倒伏指数	1.000	0.632**	-0.010	0.793**	-0.346	0.888**	0.557**	0.508**	0.521**
锤度		1.000	0.098	0.515**	-0.057	0.525**	0.252	0.456*	0.380
株高			1.000	-0.145	0.084	-0.099	0.539**	-0.008	-0.225
基部茎径				1.000	-0.138	0.807**	0.411*	0.314	0.407*
中部茎径					1.000	-0.562**	-0.095	0.005	-0.194
基部和中部茎径比值						1.000	0.441*	0.369	0.411*
重心高度							1.000	0.331	0.068
单茎重								1.000	0.388
折断力									1.000

注：*表示处理间显著相关（ $P<0.05$ ），**表示处理间极显著相关（ $P<0.01$ ）。

Note: * indicates significant correlation among treatments ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation among treatments ($P<0.01$).

表 6 参试材料的特征值、贡献率和累积贡献率

Tab. 6 Eigenvalues, contribution rates and cumulative contribution rates of tested materials

性状 Characters	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3
抗倒伏指数	0.4747	0.0121	-0.0425
锤度	0.2920	0.0647	0.3102
株高	-0.0031	0.7221	-0.1085
基部茎径	0.4114	-0.0704	0.0129
中部茎径	-0.1867	0.2142	0.7166
基部和中部茎径比值	0.4508	-0.0966	-0.2849
重心高度	0.2763	0.5619	-0.1391
单茎重	0.2913	0.0704	0.4632
折断力	0.3476	-0.3056	0.2481
特征值	4.0856	1.5750	1.1589
贡献率/%	45.3951	17.5001	12.8764
累计百分率/%	45.3951	62.8952	75.7717

合评价 E 值, E 值大小综合反映出 25 份材料农艺性状对抗倒伏的综合特性, E 值越大则抗倒伏性能越佳。由表 7 可知, 25 份参试材料中, $0.5000<E<0.6000$ 的有云瑞 12-38-48、云瑞 12-38-40 和云瑞 12-9-9 等 3 份; $0.6000<E<0.7000$ 的有云瑞 12-38-30、云瑞 12-38-31、云瑞 12-38-43 和云瑞 12-9-7 等 4 份; $E>0.7000$ 的有 PT43-52、云瑞 12-9-45、云瑞 12-38-32、云瑞 12-9-5 和云瑞 12-38-4 等 5 份, 是比较好的抗倒伏材料。其中, 云瑞 12-9-5 和云瑞 12-38-46 的 $E>0.8000$, 说明这

2 份材料的抗倒伏性能在所有材料中最优。

2.5 聚类分析

基于抗倒伏指数, 参照李翔^[12]的方法进行系统聚类分析, 在卡方距离为 1.00 处将 25 份大茎野生种血缘后代种质材料分成三大类型, 结合表 3 的评价标准可知, 第 I 类抗倒伏指数为 2.35~3.00, 抗倒伏材料 13 份, 占 52%, 其中云瑞 12-9-45、云瑞 12-9-5、云瑞 12-38-32 和 PT43-52 的抗倒伏指数为 3.00, 其综合评价 E 值分别排在第 4、1、5、3 位; 第 II 类抗倒伏指数为 1.05~1.46, 倒伏材料 5 份, 占 20%; 第 III 类抗倒伏指数为 1.58~2.00, 半倒伏材料 7 份, 占 28% (图 1)。

3 讨论

3.1 不同倒伏类型种质材料倒伏相关指标的多样性分析

大茎野生种血缘后代农艺性状和茎秆折断力的遗传多样性分析是利用大茎野生种进行抗倒伏设计育种的前提, 甘蔗种质资源性状的遗传多样性是其育种的基础^[30], 科学高效挖掘大茎野生种血缘后代抗倒伏相关性状的遗传多样性, 是充分利用大茎野生种改良和培育抗倒伏甘蔗品种的关键。遗传变异系数是反映作物种质间遗传变异差异的重要指标^[31], 亦是遗传变异潜力大小的标志, 可直接反映该正反交后代选育优良种质的阈值。周珊等^[32]认为性状变异系数大, 则表示从该

表 7 参试种质的 CI、Wi、Z(X_j)、E 及综合评价结果
Tab. 7 CI, W_i, Z(X_j), E and comprehensive evaluation results of tested germplasms

材料 Material	CI			Z(X _j)			E	排序 Order
	CI ₁	CI ₂	CI ₃	Z(X ₁)	Z(X ₂)	Z(X ₃)		
云瑞 12-9-45	1.8178	0.1291	1.4040	0.8058	0.3738	0.8579	0.7876	4
云瑞 12-9-4	-3.1347	-0.7353	-1.5199	0.0643	0.1878	0.1563	0.1195	25
云瑞 12-9-5	2.5121	-0.9698	1.9963	0.9097	0.1373	1.0000	0.8227	1
云瑞 12-9-6	-2.1954	-0.8290	1.0667	0.2049	0.1676	0.7770	0.3234	21
云瑞 12-9-7	1.0266	1.2229	-0.5501	0.6873	0.6093	0.3890	0.6816	11
云瑞 12-9-8	0.7754	2.1505	0.5460	0.6497	0.8090	0.6520	0.7568	6
云瑞 12-9-9	1.5422	-1.5612	-0.5095	0.7645	0.0100	0.3988	0.5818	12
云瑞 12-9-10	-1.0361	-1.6075	0.6610	0.3785	0.0000	0.6796	0.3771	18
云瑞 12-9-1	-0.7868	1.0555	-0.5684	0.4158	0.5732	0.3846	0.4924	15
云瑞 12-38-29	-0.2791	3.0380	0.7494	0.4918	1.0000	0.7008	0.7104	7
云瑞 12-38-30	0.9896	0.9941	0.0477	0.6818	0.5600	0.5325	0.6923	8
云瑞 12-38-31	1.7148	1.4842	-2.1714	0.7904	0.6655	0.0000	0.6911	9
云瑞 12-38-32	2.9299	-0.8860	-0.0405	0.9723	0.1553	0.5113	0.7770	5
云瑞 12-38-34	-1.3059	-1.5807	-1.2278	0.3381	0.0058	0.2264	0.2670	22
云瑞 12-38-48	0.5180	-0.5755	-0.7921	0.6112	0.2222	0.3309	0.5219	13
云瑞 12-38-47	0.3690	-0.7993	-1.7725	0.5889	0.1740	0.0957	0.4509	16
云瑞 12-38-46	2.2606	0.8704	0.1549	0.8721	0.5334	0.5582	0.8159	2
云瑞 12-38-45	-0.2772	-0.6849	-0.6494	0.4921	0.1986	0.3652	0.4438	17
云瑞 12-38-43	1.7427	0.2102	-0.6988	0.7945	0.3913	0.3533	0.6902	10
云瑞 12-38-42	-3.5314	-0.3957	0.1304	0.0049	0.2609	0.5523	0.1730	24
云瑞 12-38-40	-0.9772	-0.4024	1.9736	0.3873	0.2594	0.9946	0.5079	14
云瑞 12-38-27	-2.5544	1.4466	-0.1311	0.1512	0.6574	0.4896	0.3588	19
云瑞 12-38-19	-3.5643	0.6073	0.9616	0.0000	0.4768	0.7517	0.2621	23
云瑞 12-38-18	-1.6711	-0.7336	0.4429	0.2834	0.1881	0.6273	0.3524	20
PT43-52 (CK)	3.1150	-1.4478	0.4973	1.0000	0.0344	0.6403	0.7887	3
权重				0.1616	0.0056	0.1035		

群体中选出具有该性状优质材料的几率高。本研究表明, 25 份大茎野生种血缘后代种质材料具有丰富的遗传多样性, 9 个指标的遗传变异系数均大于 10%, 其中单茎重和抗倒伏指数的遗传变异系数最大分别为 22.62%和 30.80%, 锤度的遗传变异系数最小为 11.57%。从农艺性状株高和茎径的变异系数大小来看, 本研究中 25 份材料株高和茎径的变异系数表现为中部茎径 (茎径) > 株高, 与周珊等^[32]对 160 份甘蔗品种/亲本材料的遗传多样性结论一致。沈银娟^[10]在对 440 份甘蔗种质群体材料的折断力进行多样性分析中发现其折断力的变异幅度范围为 6.6~32.1 N, 变异系数为 30%。而本研究中 25 份大茎野生种血缘后代种质的折断力范围为 206.00~492.00 N, 变异系数为 27.41%, 茎秆折断力比沈银娟所用材料结果高 100

多倍, 分析其原因一方面可能是大茎野生种血缘后代种质材料本身纤维含量和机械强度高, 其次是本研究测定时间在 2 月即甘蔗成熟期所致。

3.2 抗倒伏性状的相关性及综合评价

作物倒伏是诸多因素综合影响造成, 当前众多学者针对茎秆的相关指标如节间长、株高、单茎重、弯曲高度、重心高度、节间长度和穿刺强度等开展研究^[33]。刘明等^[34]研究认为作物形态特征直接影响作物受力情况, 进而影响作物倒伏。作物茎秆强度与植株形态和茎秆力学特性密切相关。周蓉等^[35]提出作物地上部分重量、株高和直径等形态指标可作为评价倒伏的间接指标。据在大豆和水稻上直接影响抗倒伏性方面报道, 茎秆强度与直径呈正相关, 与株高呈负相关, 茎秆基部强度对倒伏的影响最大^[36-39], 李召峰等^[40]对 40 份新

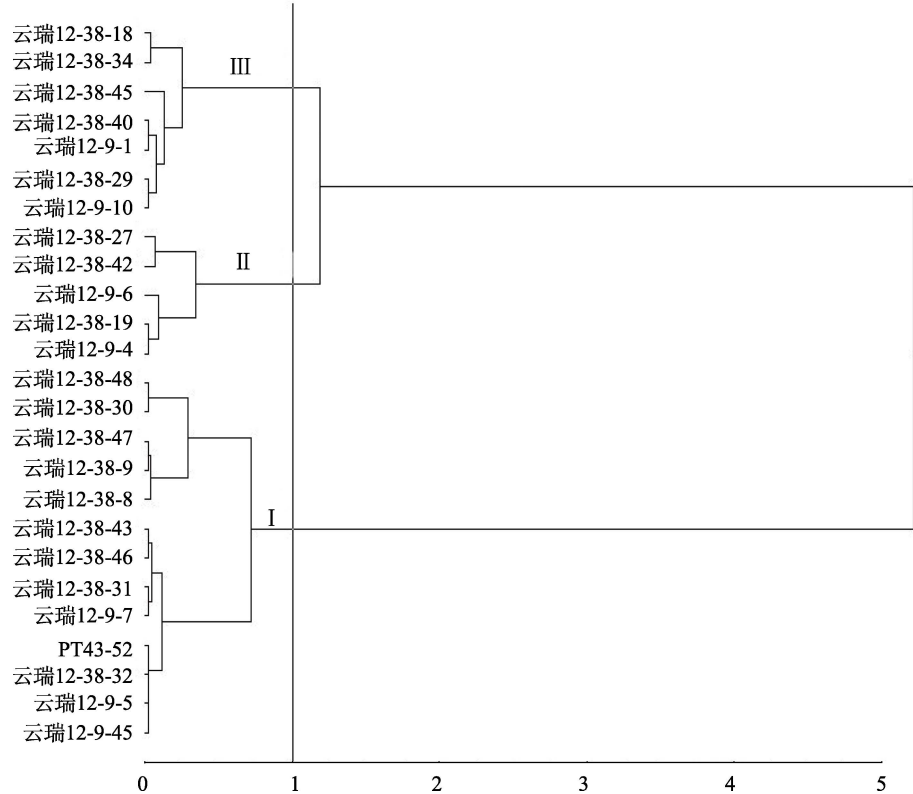


图 1 25 份大茎野生种血缘后代材料的抗倒伏性聚类结果

Fig. 1 Lodging resistance clustering results of 25 wild species with large stem blood descendants

疆小麦品种资源茎秆形态特征与抗倒伏性开展研究,得出重心高度和地上部分鲜重是抗倒伏性的决定因素,白羿雄等^[41]基于 35 份青稞种质资源的 32 个农艺性状开展抗倒伏评价体系研究发现,茎长、茎重、茎秆强度适合作为青稞抗倒伏性评价指标。在甘蔗上,沈银娟^[10]和李翔^[12]提出用茎秆折断力和穿刺力,抗倒伏指数及锤度、株高、基部茎径、基部和中部茎径比值等指标来评价甘蔗种质材料的抗倒伏性。本研究采用株高、基部茎径、基部和中部茎径比值、抗倒伏指数和折断力等 9 个指标,结合隶属函数法和聚类分析法对 25 份大茎野生种血缘后代的抗倒伏性进行评价结果表明,25 份大茎野生种血缘后代种质材料被分成 3 类,第 I 类为抗倒伏材料的有 13 份,占 52%,其中云南 12-9-45、云南 12-9-5、云南 12-38-32 和 PT43-52 的抗倒伏指数为 3.00,其综合评价 *E* 值分别排在第 4、1、5、3 位,说明这 4 份种质抗倒伏性能优良,但综合评价 *E* 值排在对照 PT43-52 前的材料有云南 12-9-5 和云南 12-38-46 两份,云南 12-38-46 的抗倒伏指数为 2.94,综合评价 *E* 位于第 2,云南 12-9-5 抗倒伏指数为 3,综合评

价排第 1。

姜元华等^[42]认为抗倒伏指数是研究作物抗倒伏性的重要评价指标,为作物茎秆对外作用力的反作用力表征指数,其数值越大则抗倒伏性越强。刘唐兴等^[43]对 8 份甘蓝型油菜品种的抗倒伏性与茎秆农艺性状进行关联分析,得出株高、单株重与抗倒伏指数呈正相关;陈有军等^[44]对 7 份燕麦品种田间的倒伏性状研究发现,株高、第一茎节间干重与抗倒伏指数呈显著正相关。在甘蔗上,李翔^[12]研究发现新植蔗的抗倒伏指数与基部和中部茎径比值、锤度呈显著正相关,本研究结论与其结论相吻合。

4 结论

甘蔗种质材料的抗倒伏性是一个受多基因控制的复杂数量性状,不同的大茎野生种血缘种质材料具有不同的抗倒伏性,科学高效挖掘利用这些种质材料的抗倒伏性是甘蔗抗倒伏育种的重点。本研究的 25 份大茎野生种血缘后代种质材料中,聚为第 I 类中的 13 份材料抗倒伏性能优异,综合评价得分较高,尤其是云南 12-9-45、云南 12-9-5、云

瑞 12-38-32、PT43-52 和云瑞 12-38-46 等 5 份种质材料, 除云瑞 12-38-46 的抗倒伏指数为 2.94 外, 其余种质的抗倒伏指数均为 3.00, 其综合评价 E 值位于前 5, 建议在今后品种的抗倒伏性改良中重点加以利用。

参考文献

- [1] 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室. 广西大学张木清、陈保善团队联合中国农业科学院深圳农业基因组研究所张兴坦研究员团队破译甘蔗现代杂交栽培种基因组[EB/OL]. (2024-04-16)[2024-09-19]. <https://sklcsa.gxu.edu.cn/info/1095/2732.htm>. State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropicalagro-Bioresources. ZHANG M Q and CHEN Baoshan's team from Guangxi University and Zhang Xingtang's team from Shenzhen Institute of Agricultural Genomics, Chinese Academy of Agricultural Sciences, deciphered the genome of sugarcane modern hybrid cultivar[EB/OL]. (2024-04-16)[2024-09-19]. <https://sklcsa.gxu.edu.cn/info/1095/2732.htm>. (in Chinese)
- [2] 张跃彬, 赵培方, 胡朝晖, 阙友雄. 近年我国甘蔗品种的育种成就与发展趋势[J]. 中国糖料, 2024, 46(1): 87-92. ZHANG Y B, ZHAO P F, HU Z H, QUE Y X. The recent achievements and development trends of sugarcane improvement in China[J]. Sugar Crops of China, 2024, 46(1): 87-92. (in Chinese)
- [3] 刘庆庭, 刘晓雪, 武涛, 区颖刚. 我国甘蔗机械化“十四五”规划与甘蔗产业可持续发展[J]. 现代农业装备, 2020, 41(6): 2-9. LIU Q T, LIU X X, WU T, OU Y G. The 14th Five-year plan of sugarcane mechanization and sustainable development of sugarcane industry in China[J]. Modern Agricultural Equipment, 2020, 41(6): 2-9. (in Chinese)
- [4] 张木清, 姚伟. 现代甘蔗栽培育种学[M]. 北京: 科技出版社, 2021. ZHANG M Q, YAO W. Modern sugarcane cultivation and breeding[M]. Beijing: Science and Technology Press, 2021. (in Chinese)
- [5] 吴传云, 王建合, 杨瑶, 李丹阳, 李曦, 严然. 我国经济作物产业发展现状与机械化趋势分析[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(1): 1-13. WU C Y, WANG J H, YANG Y, LI D Y, LI X, YAN R. Analysis of the development status and mechanization trends of economic crop industry in China[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2024, 45(1): 1-13. (in Chinese)
- [6] 陆盼. 广西甘蔗机械化收获发展现状调查及影响因素研究[D]. 南宁: 广西大学, 2022. LU P. Investigation on the development status of sugarcane mechanized harvest in Guangxi and influencing factors[D]. Nanning: Guangxi University, 2022. (in Chinese)
- [7] 作物生物育种. 中国热科院甘蔗中心积极开展台风灾后调研和指导恢复生产工作[EB/OL]. (2024-09-10)[2024-09-20]. <https://mp.weixin.qq.com/s/3AnLPJXQik4lcTCPMGtO3Q>. Crop Biological Breeding. Sugarcane Center of Chinese Academy of Heat Sciences actively carried out post-typhoon research and guidance to restore production[EB/OL]. (2024-09-10)[2024-09-20]. <https://mp.weixin.qq.com/s/3AnLPJXQik4lcTCPMGtO3Q>. (in Chinese)
- [8] LI X, LIN S H, HUANG Q Y, LIANG Q, LI Y J, YANG L T, LI Y R. Advances in research of lodging and evaluation in sugarcane[J]. Applied Ecology and Environmental Research, 2019, 17(3): 6095-6105.
- [9] 陈如凯. 现代甘蔗遗传育种[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010. CHEN R K. Modern sugarcane genetics and breeding[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010. (in Chinese)
- [10] 沈银娟. 甘蔗茎秆机械强度的精准评价及机制解析[D]. 南宁: 广西大学, 2022. SHEN Y J. Accurate evaluation and mechanism analysis of mechanical strength of sugarcane stems[D]. Nanning: Guangxi University, 2022. (in Chinese)
- [11] 陈纪元. 基于数值模拟的随机风载甘蔗倒折机理研究[D]. 南宁: 广西大学, 2018. CHEN J Y. Study on the mechanism of random wind-induced sugarcane setback based on numerical simulation[D]. Nanning: Guangxi University, 2018. (in Chinese)
- [12] 李翔. 甘蔗抗倒伏性评价及抗性机制研究[D]. 南宁: 广西大学, 2019. LI X. Sugarcane lodging resistance evaluation and resistance mechanism research[D]. Nanning: Guangxi University, 2019. (in Chinese)
- [13] 沈银娟, 马富民, 王茂瑶, 李欣茹, 张木清, 黄江锋. 蔗茎机械强度精准评价及机制解析[J]. 热带作物学报, 2022, 43(1): 207-215. SHEN Y J, MA F M, WANG M Y, LI X R, ZHANG M Q, HUANG J F. Accurate evaluation and mechanism analysis of mechanical strength of sugarcane stalk[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(1): 207-215. (in Chinese)
- [14] 闫鹏, 董学瑞, 卢霖, 房孟颖, 李毅杰, 王维赞, 董志强. NAA/KT 浸种对新植蔗产量、根系发育及抗倒伏能力的影响[J]. 作物杂志, 2022(4): 99-106. YAN P, DONG X R, LU L, FANG M Y, LI Y J, WANG W Z, DONG Z Q. Effects of NAA/KT presoaking on sugarcane yield, root development and lodging resistance[J]. Crops, 2022(4): 99-106. (in Chinese)
- [15] 刘富成, 李照杰, 蔡文伟, 吴伟. 种植密度和深度对甘蔗产量及抗倒伏的影响[J]. 热带作物学报, 2024, 45(2): 330-339.

- LIU F C, LI Z J, CAI W W, WU W. Effects of planting density and depth on yield and lodging resistance in sugarcane[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2024, 45(2): 330-339. (in Chinese)
- [16] 李笑含. 基于无人机遥感影像的甘蔗作物倒伏信息提取研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2021.
- LI X H. Information of sugarcane crops based on UAV remote sensing images[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2021. (in Chinese)
- [17] 幅内久满, 古贺义昭. 水稻抗倒伏性与育种[J]. 农业技术, 1989, 44(9): 41-45.
- KUO N J M, GU H Y Z. Rice lodging resistance and breeding[J]. Agricultural Technology, 1989, 44(9): 41-45. (in Chinese)
- [18] 胡继松, 彭伟正, 庞伯良, 杨震, 周丽君. 水稻抗倒伏性及评价指标体系研究进展[J]. 湖南农业科学, 2011(13): 41-44.
- HU J S, PENG W Z, PANG B L, YANG Z, ZHOU L J. Research progress on rice lodging resistance and evaluation index system[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2011(13): 41-44. (in Chinese)
- [19] 孙旭初. 水稻茎秆抗倒性的研究[J]. 中国农业科学, 1987, 20(4): 32-37.
- SUN X C. Study on lodging resistance of rice stem[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1987, 20(4): 32-37. (in Chinese)
- [20] 朱建荣, 边芯, 郎荣斌, 俞华先, 冯蔚, 桃联安, 董立华, 安汝东, 经艳芬. 57NG208 与南涧果蔗正反交后代的遗传变异分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2015, 41(2): 119-124.
- ZHU J R, BIAN X, LANG R B, YU H X, FENG W, TAO L A, DONG L H, AN R D, JING Y F. Heredity and variation analysis on hybrid generation from reciprocal crosses between *Saccharum robustum* of 57NG208 and fruit sugarcane of Nanjian[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences Edition), 2015, 41(2): 119-124. (in Chinese)
- [21] 张纯. 几个大茎野生种后代作亲本的育种效果[J]. 甘蔗糖业, 1988(7): 5-8, 4.
- ZHANG C. Breeding effects of several wild species with large stems as parents[J]. Sugarcane Industry, 1988(7): 5-8, 4. (in Chinese)
- [22] 陈俊吕, 张垂明, 周峰, 胡后祥, 邱永生, 谢源, 王勤南. 2010—2020 年我国育成甘蔗新品种的亲本分析[J]. 中国糖料, 2021, 43(3): 8-12.
- CHEN J L, ZHANG C M, ZHOU F, HU H X, QIU Y S, XIE Y, WANG Q N. Parent analysis of new sugarcane varieties developed in China from 2010 to 2020[J]. Sugar Crops of China, 2021, 43(3): 8-12. (in Chinese)
- [23] 吴才文, 赵培方, 夏红明. 现代甘蔗杂交育种及选择技术[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- WU C W, ZHAO P F, XIA H M. Modern sugarcane hybrid breeding and selection techniques[M]. Beijing: Science Press, 2014. (in Chinese)
- [24] 王秀凤, 党立华, 都华, 郭玉华, 苗雨佳. 水稻茎秆抗倒性构成因素的研究[J]. 北方水稻, 2008(2): 16-21, 39.
- WANG X F, DANG L H, DU H, GUO Y H, MIAO Y J. Studies on the composition of lodging resistance in rice[J]. North Rice, 2008(2): 16-21, 39. (in Chinese)
- [25] 郝文录, 刘恒新, 朱良, 孟庆华. GB/T 5262—2008 农业机械试验条件测定方法的一般规定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- HAO W L, LIU H X, ZHU L, MENG Q H. GB/T 5262—2008 Agricultural machinery testing conditions-general rules for measuring methods[S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2008. (in Chinese)
- [26] 谢子四, 张欣, 陈业渊, 罗石荣, 魏守兴. 10 份香蕉种质对枯萎病的抗性评价(简报)[J]. 热带作物学报, 2009, 30(3): 362-364.
- XIE Z S, ZHANG X, CHEN Y Y, LUO S R, WEI S X. Assessment of banana germplasm for resistance to *Fusarium wilt*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2009, 30(3): 362-364. (in Chinese)
- [27] 李朝生, 霍秀娟, 韦绍龙, 韦弟, 韦华芳, 黄素梅. 5 份香蕉种质对枯萎病的抗性评价[J]. 南方农业学报, 2012, 43(4): 449-453.
- LI C S, HUO X J, WEI S L, WEI D, WEI H F, HUANG S M. Evaluation of 5 banana varieties for resistance to *Fusarium wilt* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*)[J]. Journal of Southern Agriculture, 2012, 43(4): 449-453. (in Chinese)
- [28] 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)
- [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. (in Chinese)
- [30] 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. 云南八倍体割手密 84-268 血缘 F₂ 群体表型多样性分析[J]. 热带作物学报, 2023, 44(1): 49-63.
- YU H X, AN R D, DONG L H, TAO L A, LIU J Y, TIAN C

- Y, JING Y F, LANG R B, BIAN X, ZHOU Q M, SUN Y F, ZHANG Y. Phenotypic diversity analysis of F₂ population of Yunnan octaploid clones of *saccharum spontaneum* 84-268[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2023, 44(1): 49-63. (in Chinese)
- [31] 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, CHENG X Z. Evaluation and agronomic traits and bruchid genetic diversity analysis of resistance using 481 worldwide mungbean germplasms[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(3): 549-559. (in Chinese)
- [32] 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)
- [33] 胡卫国, 张玉娥, 赵虹, 王西成, 曹廷杰, 曹颖妮, 陈渝, 杨剑. 小麦抗倒性评价方法的比较分析[J]. 西北农业学报, 2018, 27(12): 1780-1788.
- HU W G, ZHANG Y E, ZHAO H, WANG X C, CAO T J, CAO Y N, CHEN Y, YANG J. Comparison and analysis of the methods for evaluating wheat lodging resistance[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2018, 27(12): 1780-1788. (in Chinese)
- [34] 刘明, 王贞杰, 孙亚男, 赵彩桐, 韩德志, 李文滨, 姜振峰. 基于主茎力学特性的大豆种质资源抗倒伏性分析[J]. 大豆科学, 2023, 42(1): 23-31.
- LIU M, WANG Z J, SUN Y N, ZHAO C T, HAN D Z, LI W B, JIANG Z F. Analysis of lodging resistance of soybean germplasm resources based on mechanical properties of main stem[J]. Soybean Science, 2023, 42(1): 23-31. (in Chinese)
- [35] 周蓉, 王贤智, 张晓娟, 沙爱华, 吴学军, 涂赣英, 邱德珍, 周新安. 大豆种质倒伏抗性评价方法研究[J]. 大豆科学, 2007(4): 484-489.
- ZHOU R, WANG X Z, ZHANG X J, SHA A H, WU X J, TU G Y, QIU D Z, ZHOU X A. Evaluation method of lodging resistance in soybean germplasm[J]. Soybean Science, 2007(4): 484-489. (in Chinese)
- [36] 袁新捷, 刘潇, 陈国兴. 水稻核心种质资源茎秆抗倒伏性研究[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(1): 147-153.
- YUAN X J, LIU X, CHEN G X. Stem lodging resistance of rice core germplasm[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40(1): 147-153. (in Chinese)
- [37] TIAN B H, WANG J G, ZHANG L X, LI Y J, WANG S Y, LI H J. Assessment of resistance to lodging of landrace and improved cultivars in foxtail millet[J]. Euphytica, 2010, 172(3): 295-302.
- [38] ZHOU F, HUANG J L, LIU W Y, DENG T, JIA Z K. Multiscale simulation of elastic modulus of rice stem[J]. Biosystems Engineering, 2019, 187: 96-113.
- [39] 吴晓强, 何晓莉, 吕桦, 陈烈, 罗钢, 陶铸. 大豆茎秆压缩力学特性随株高的变化规律[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(2): 721-725, 739.
- WU X Q, HE X L, LYU H, CHEN L, LUO G, TAO Z. Compressive mechanical property of soybean stem with the variation of its plant height[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(2): 721-725, 739. (in Chinese)
- [40] 李召锋, 黄润, 刘晓欢, 柴亚茹. 新疆春小麦资源茎秆形态特征与抗倒性的关系[J]. 西南农业学报, 2017, 30(4): 717-721.
- LI Z F, HUANG R, LIU X H, CHAI Y R. Relationship between characters of culm and culm lodging resistance in Xinjiang spring wheat germplasm resources[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(4): 717-721. (in Chinese)
- [41] 白羿雄, 姚晓华, 姚有华, 吴昆仑. 青稞抗倒伏性状的基因型差异[J]. 中国农业科学, 2019, 52(2): 228-238.
- BAI Y X, YAO X H, YAO Y H, WU K L. Difference of traits relating to lodging resistance in hulless barley genotypes[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(2): 228-238. (in Chinese)
- [42] 姜元华, 张洪程, 赵可, 许俊伟, 韦还和, 王文婷, 孟天瑶, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 郭保卫. 机插条件下籼粳杂交稻茎秆的抗倒性评价及成因分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 19-29.
- JIANG Y H, ZHANG H C, ZHAO K, XU J W, WEI H H, WANG W T, MENG T Y, DAI Q G, HUO Z Y, XU K, WEI H Y, GUO B W. Evaluation and cause analysis of rice-stem lodging resistance from mechanical transplanted indica-japonica hybrid rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(19): 19-29. (in Chinese)
- [43] 刘唐兴, 官春云. 油菜倒伏指数和茎秆生化成分及农艺性状的灰色关联分析[J]. 中国油料作物学报, 2008(2): 152-156.
- LIU T X, GUAN C Y. Grey relational analysis between lodging index and biochemistry components of stem, agronomic characteristics in rapeseed (*Brassica napus* L.)[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2008(2): 152-156. (in Chinese)
- [44] 陈有军, 周青平, 孙建, 田莉华. 不同燕麦品种田间倒伏性状研究[J]. 作物杂志, 2016(5): 44-49.
- CHEN Y J, ZHOU Q P, SUN J, TIAN L H. Comparison of lodging resistance among different oats (*Avena sativa* L.)[J]. Crops, 2016(5): 44-49. (in Chinese)