

## 自然低温条件下甘蔗品种的抗寒性及适应性评价

唐仕云<sup>1</sup>, 王祖辉<sup>2</sup>, 钟 坤<sup>3</sup>, 周 会<sup>1</sup>, 黄东亮<sup>1</sup>, 刘昔辉<sup>1</sup>, 邓宇驰<sup>1</sup>, 贤 武<sup>1</sup>,  
吴炫柯<sup>4</sup>, 杨荣仲<sup>1</sup>, 黄赞斌<sup>1</sup>

1. 广西农业科学院甘蔗研究所/农业农村部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室/广西甘蔗遗传改良重点实验室, 广西南宁 530007; 2. 全州县农作物良种研究所, 广西桂林 541501; 3. 桂林市农业科学研究中心, 广西桂林 541006; 4. 柳州市气象局, 广西柳州 545003

**摘 要:** 为筛选抗寒性强、综合性状优良的甘蔗品种, 在广西全州县对近年来国内培育出的 40 个甘蔗新品种(系)进行品种抗寒性及适应性试验。结果表明: 自然低温下, 新植蔗株高、茎径、有效茎数、单茎质量、甘蔗产量均高于宿根蔗, 其中株高、单茎质量和甘蔗产量间的差异极显著。不同品种的株高、茎径、有效茎数、单茎质量和甘蔗产量间差异显著或极显著。新宿田间锤度、甘蔗蔗糖分及纯度在第 1 次强低温天气来临前表现为上升, 之后逐渐下降。新宿茎长受害率在 3 次调查中逐渐增大, 绿叶百分率逐渐减小, 第 1 次调查时株受害率在品种间有差异, 第 2、3 次调查时各品种株受害率均达 100%。隶属函数法评价结果表明, GT51、GT32、GT13-532、DZ09-78、GT58 和 GT52 抗寒性较强。最大熵-最小残差综合评价指数模型评价结果表明, 宿根含糖量、宿根甘蔗产量、宿根有效茎数的权重系数位列前 3, 对品种综合评价的影响较大, DZ07-36、ZT1、ZZ6、YT07-913、FN38、DZ09-78、GT55、GT51、GT52、GT42、GT58 等品种综合表现较好, 适宜在偏北低温蔗区推广种植。

**关键词:** 甘蔗; 品种; 抗寒性; 适应性

中图分类号: S566.1 文献标志码: A

## Evaluation of Cold Tolerance and Adaptability of Sugarcane Varieties under Natural Low-temperature Conditions

TANG Shiyun<sup>1</sup>, WANG Zuhui<sup>2</sup>, ZHONG Kun<sup>3</sup>, ZHOU Hui<sup>1</sup>, HUANG Dongliang<sup>1</sup>, LIU Xihui<sup>1</sup>, DENG Yuchi<sup>1</sup>,  
XIAN Wu<sup>1</sup>, WU Xuanke<sup>4</sup>, YANG Rongzhong<sup>1</sup>, HUANG Zanbin<sup>1</sup>

1. Institute of Sugarcane, Guangxi Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement (Guangxi), Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Nanning, Guangxi 530007, China; 2. Quanzhou County Research Institute of Crop Variety, Guilin, Guangxi 541501, China; 3. Guilin Research Center of Agricultural Sciences, Guilin, Guangxi 541006, China; 4. Liuzhou Meteorological Bureau, Liuzhou, Guangxi 545003, China

**Abstract:** 40 newly developed domestic sugarcane varieties (lines) were used to screen sugarcane varieties with strong cold tolerance and excellent comprehensive traits in Quanzhou county, Guangxi. The results indicated that the value of plant height, stem diameter, millable stalk number, single stalk weight and cane yield of plant crop were higher than those in ratoon crop under natural low temperature conditions, with extremely significant difference observed in plant height, single stalk weight, and cane yield between plant crop and ratoon crop. There were significant or highly significant difference in plant height, stem diameter, millable stalk number, single stalk weight and cane yield among different varieties. Field brix, sucrose content and purity of plant crop and ratoon crop exhibited an ascending trend before the arrival of the first strong low-temperature weather, afterwards exhibited a declining trend. Stalk length

收稿日期 2025-05-12; 接受日期 2025-06-11

基金项目 国家重点研发计划项目 (No. 2022YFD2301100); 广西科技重大专项 (桂科 AA22117002); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系建设项目 (No. CARS-170105)。

作者简介 唐仕云 (1978—), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 甘蔗育种; E-mail: tangshiyunok@163.com。

damage rate (SDR) demonstrated a progressive increase across three survey periods in both plant crop and ratoon crop, but green leaves percentage (GLP) was gradually decreasing. Plant damage rate (PDR) differed among varieties initially, while in the second and third investigation, PDR reached 100% for all varieties. GT51, GT32, GT13-532, DZ09-78, GT58 and GT52 exhibited strong cold tolerance based on the subordinate function method. The result from maximum entropy-minimum residual composite index model demonstrated that sugar content, cane yield and millble cane number in ratoon crop ranked the top three in weight coefficients, exerting significant impacts on the comprehensive evaluation of sugarcane varieties. DZ07-36, ZT1, ZZ6, YT07-913, FN38, DZ09-78, GT55, GT51, GT52, GT42 and GT58 showed overall superior performance and are suitable for promotion in colder northern sugarcane-growing regions.

**Keywords:** sugarcane; variety; cold resistance; adaptability

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.10.013

甘蔗是我国重要的糖料作物，以甘蔗为主的糖料作物占我国食糖产量的 85%以上<sup>[1]</sup>。但在我国甘蔗主产区早春或冬季寒害频现，导致甘蔗生产和制糖工业发展受阻，经济受损<sup>[2]</sup>。甘蔗新品种的选育应用是甘蔗糖业可持续发展的重要基础<sup>[3]</sup>，选用抗寒性强的品种是减少寒害对蔗糖产业影响最为有效的措施之一<sup>[4]</sup>。开展抗寒性甘蔗新品种的选育对稳定甘蔗糖业的发展具有重要意义。近年来，国内外在甘蔗抗寒性评价指标<sup>[5-6]</sup>、抗寒性鉴定技术与方法<sup>[7-9]</sup>、甘蔗种质<sup>[10-12]</sup>、亲本组合<sup>[13-14]</sup>、自育<sup>[2, 4, 15-18]</sup>与引进<sup>[19-20]</sup>甘蔗品种（系）的抗寒性评价鉴定等方面进行了大量研究，建立了较完善的甘蔗抗寒性评价技术，筛选出了一批优异抗寒甘蔗种质亲本及品种（系），为进一步开展甘蔗抗寒育种打下了坚实基础。甘蔗品种抗寒性评价主要包括甘蔗抗寒性形态学评价<sup>[9, 21-22]</sup>、生理生化指标评价<sup>[2, 11, 23]</sup>及不同品种抗寒性分子机制的比较研究<sup>[24-25]</sup>等。在甘蔗抗寒形态学方面，甘蔗蔗茎（节间和节）、叶片（叶色）、生长点、芽（侧芽、地下芽）、幼苗（宿根发株苗）、分蘖等易受低温寒害影响。杨荣仲等<sup>[21]</sup>认为选用茎长冻损率、上位叶绿叶百分率进行甘蔗耐寒性评价简单易行。在甘蔗传统“五圃制”育种过程中，由于受试验条件的限制，对品种抗寒性的评价具有一定局限性。本研究对近年来国内选育出的甘蔗新品种，利用自然低温条件进行抗寒性鉴定，明确新品种的抗寒性及适应性表现，为抗寒甘蔗品种的选育推广提供参考与依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料

以 40 个甘蔗品种（系）为参试材料，材料名称及简写如下：桂糖 11-2320（GT11-2320）、桂糖 12-96（GT12-96）、桂糖 13-532（GT13-532）、

桂糖 29（GT29）、桂糖 31（GT31）、桂糖 32（GT32）、桂糖 42（GT42）、桂糖 43（GT43）、桂糖 44（GT44）、桂糖 46（GT46）、桂糖 47（GT47）、桂糖 49（GT49）、桂糖 50（GT50）、桂糖 51（GT51）、桂糖 52（GT52）、桂糖 53（GT53）、桂糖 54（GT54）、桂糖 55（GT55）、桂糖 56（GT56）、桂糖 57（GT57）、桂糖 58（GT58）、新台糖（ROC22）、德蔗 07-36（DZ07-36）、德蔗 09-78（DZ09-78）、福农 38（FN38）、福农 41（FN41）、福农 43（FN43）、粤糖 07-913（YT07-913）、粤糖 08-172（YT08-172）、粤糖 08-196（YT08-196）、云端 09-895（YR09-895）、云蔗 05-51（YZ05-51）、中糖 1 号（ZT1）、中糖 2 号（ZT2）、中蔗 1 号（ZZ1）、中蔗 6 号（ZZ6）、中蔗 9 号（ZZ9）、中蔗 10 号（ZZ10）、中蔗福农 44（ZZFN44）、中蔗福农 48（ZZFN48）。其中桂糖（GT）21 个，中蔗（ZZ）4 个，中蔗福农（ZZFN）2 个，德蔗（DZ）2 个，福农（FN）3 个，粤糖（YT）3 个，云蔗（YZ）1 个，云端（YR）1 个，中糖（ZT）2 个，新台糖（ROC）1 个。

### 1.2 方 法

1.2.1 试验地点 试验在广西桂林市全州县绍水镇全州县农作物良种研究所核心基地进行。试验地位于 110°50'20"E，25°51'38"N，海拔 148.5 m。

1.2.2 试验地天气 新宿月平均气温、月最低气温结果如表 1 所示，新宿 12 月—翌年 2 月月最低气温均低于 4℃，是低温寒害危害甘蔗的主要时期。新植蔗 12 月—翌年 2 月各月最低气温均低于宿根蔗。新植蔗极端低温为 -2.2℃，低于宿根蔗的 -0.1℃，从整体上看，新植蔗成熟期间受低温影响更大。

新植蔗成熟期气温变化如图 1 所示，新植蔗

表 1 新植蔗和宿根蔗平均气温及最低气温

Tab. 1 Average temperature and minimum temperature data of plant crop and ratoon crop

类别 Type	3月 Mar.	4月 Apr.	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sept.	10月 Oct.	11月 Nov.	12月 Dec.	翌年1月 Following Jan.	翌年2月 Following Feb.	植期 Planting season
新植平均	15.4	19.4	23.8	27.3	30.8	29.1	26.4	21.4	16.5	9.8	9.0	7.7	19.7
宿根平均	15.7	21.2	23.0	25.9	30.4	29.4	27.9	20.7	17.4	9.7	10.5	8.5	20.0
新植最低	7.3	9.8	12.9	20.9	25.0	20.8	20.5	14.1	6.3	-0.6	-2.2	-1.3	-2.2
宿根最低	4.8	13.0	15.0	18.8	23.1	24.6	21.1	12.2	7.1	2.0	0.6	-0.1	-0.1

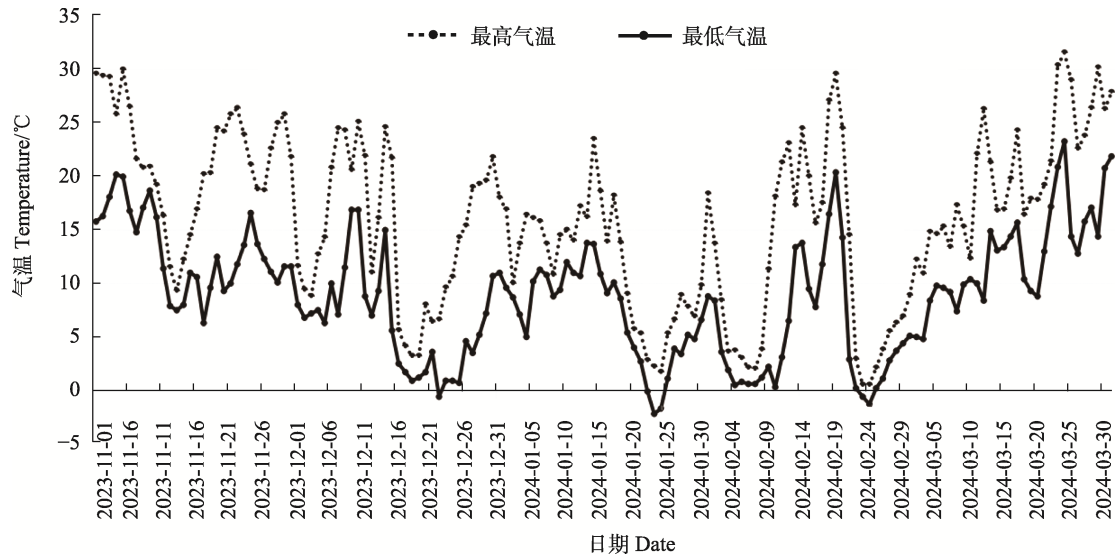


图 1 新植蔗成熟期间日气温变化曲线

Fig. 1 Daily temperature change curve during maturity stage of plant crop

成熟期间发生了4次较强低温影响。第1次在2023年12月16—27日,试验地出现连续12 d日最低气温低于5℃的强寒潮低温天气,其中12月23日出现严重霜冻,最低气温为-0.6℃。第2次在2024年1月20—27日,试验地连续8 d日最低气温低于5℃,其中22—23日出现降雪,最低气温为-2.2℃。第3次在2024年2月2—11日,期间最低气温为0.3℃。第4次在2024年2月21—29日,期间最低气温为-1.3℃。

宿根蔗成熟期气温变化结果如图2所示,宿根蔗成熟期间发生了4次较强低温天气影响。第1次在2024年12月12—19日,其中12月16日发生霜冻,最低气温为2℃。第2次在2025年1月4—16日,其中1月12日出现严重霜冻,最低气温为0.8℃。第3次在2025年1月27日,发生短暂极端低温天气,试验地出现较大霜冻,最低气温为0.6℃。第4次在2025年2月7—10日,其中2月9日出现严重霜冻,最低气温为-0.1℃。

1.2.3 试验设计与田间管理 采用随机区组设计,1个品种为1个处理,3次重复。每处理种植2行,行长4.0 m,行距1.2 m。2023年3月3日种植新植蔗,2024年3月25日砍收新植蔗,新植砍收后留宿根1 a。其他栽培管理措施按甘蔗常规种植方法进行。

1.2.4 项目测定及调查方法 调查新植蔗的出苗率,宿根蔗的发株率,新宿成熟期株高、茎径、有效茎数、单茎质量和蔗茎产量。单茎质量按每小区砍取20条甘蔗,称重,求得小区平均单茎质量。甘蔗产量计算公式:甘蔗产量=单茎质量×有效茎数,含糖量计算公式:含糖量=甘蔗产量×甘蔗糖分。

品种抗寒性调查参照 GB/T 35836—2018 标准和梁强等<sup>[9]</sup>、杨荣仲等<sup>[13, 22]</sup>的方法进行,分别调查绿叶百分率、茎长受害率、株受害率等甘蔗抗寒指标。

从气象部门获取试验所在地的气温数据,同时记录试验地霜冻降雪发生情况。结合天气变化,

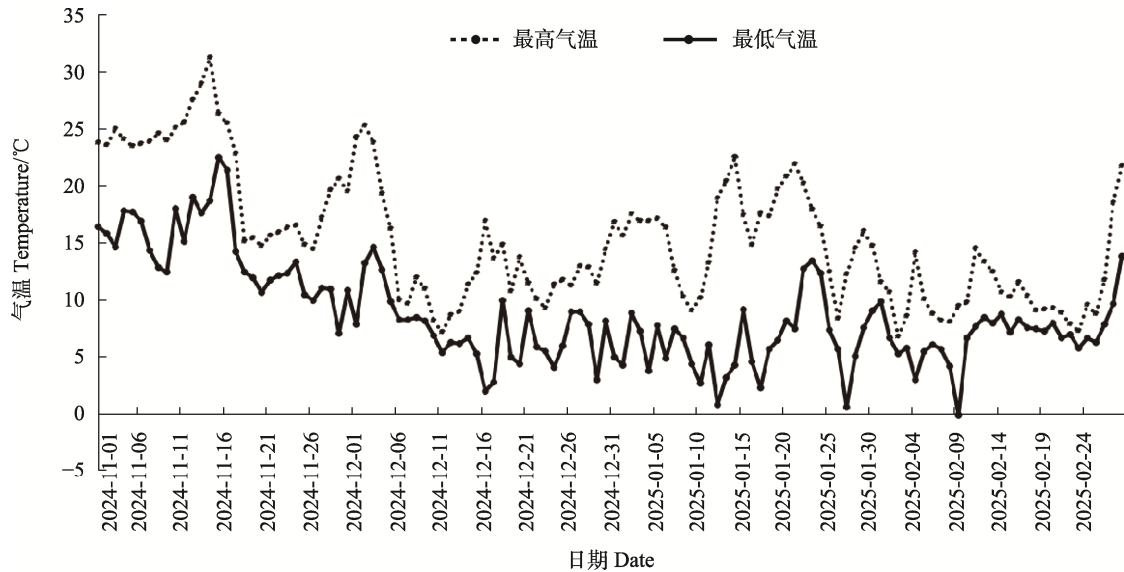


图 2 宿根蔗成熟期间日气温变化曲线

Fig. 2 Daily temperature change curve during maturity stage of ratoon crop

新植蔗 (PC) 与宿根蔗 (RC) 抗寒性调查均进行 3 次。新植蔗 3 次调查时间分别为第 1 次强寒潮天气来临前的 2023 年 12 月 12 日、第 1 次强寒潮天气结束后的 2023 年 12 月 28 日、第 2 次持续低温天气结束后的 2024 年 1 月 31 日。宿根蔗 3 次调查时间分别为第 1 次强霜冻发生后的 2024 年 12 月 19 日、第 2 次强霜冻发生后的 2025 年 1 月 16 日、第 3、4 次低温干旱天气后的 2025 年 2 月 18 日。

新植蔗和宿根蔗田间锤度及甘蔗糖分均测定 4 次，第 1 次均在抗寒性调查前的 11 月进行，调查时间分别是 2023 年 11 月 14 日和 2024 年 11 月 20 日。第 2、3、4 次测定结合抗寒性调查进行。

### 1.3 数据处理

对新宿主要农艺性状、不同时期调查的抗寒性性状均采用多个季节随机区组试验设计统计模型进行方差分析及多重比较，锤度等百分数数据统计时进行反正弦平方根转换。

参照张文娥等<sup>[26]</sup>报道的隶属函数法对品种进行抗寒性综合评价。以新宿株受害率、茎长受害率、叶片绿叶率构建抗寒性隶属函数。株受害率、茎长受害率与抗寒性为负相关，采用反隶属函数进行转换，叶片绿叶率采用正相关隶属函数进行转换，计算各指标隶属函数值和品种平均隶属度。按照平均隶属度将品种抗寒性分为 5 级：0.700~1.000 为高抗 (high resistance, HR)；0.600~0.699 为抗 (resistance, R)；0.400~0.599 为中抗 (middle resistance, MR)；0.300~0.399 为低抗 (lower re-

sistance, LR)；0~0.299 为不抗 (susceptible, S)。

采用最大熵-最小残差综合评价指数模型 (MEMR 模型)<sup>[27]</sup>评价品种的综合表现，以新宿出苗率、宿根发株率，新宿株高、茎径、有效茎数、单茎质量、甘蔗产量、甘蔗蔗糖分、含糖量、株受害率 (PDR)、茎长受害率 (SDR)、叶片绿叶率 (GLP) 为构建综合指数的因子，综合评价品种的优劣性。出苗率、发株率、株高、茎径、有效茎数、单茎质量、甘蔗产量、甘蔗蔗糖分、含糖量、叶片绿叶率为正向指标，株受害率、茎长受害率为负向指标，分别进行性状指标标准化处理，性状权重采用最大熵-最小残差非线性数值优化方法进行估计，建立综合评价数学模型。综合评价模型为  $y_i = x_{i1}w_1 + x_{i2}w_2 + x_{i3}w_3 + \dots + x_{ip}w_p$ ,  $x_{ij}$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ;  $j=1, 2, 3, \dots, p$ ) 为  $n$  个样本  $p$  个因子的观测值， $w_j$  ( $j=1, 2, 3, \dots, p$ ) 为各个因子的权重系数。根据得到的综合评价模型，计算品种综合评价指数  $y_i$ 。综合评价指数越大，品种 (样本) 综合表现越好。

以上所有数据均使用 Excel 软件和 DPS 数据处理系统 (V21.05) 进行分析<sup>[28]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 自然低温对甘蔗主要农艺性状、甘蔗品质及含糖量的影响

2.1.1 自然低温对新宿甘蔗主要农艺性状的影响  
新宿主要农艺性状方差分析结果见表 2。从表 2 可以看出，不同作物季的株高、单茎质量和甘蔗

表 2 新宿主要农艺性状的方差分析

Tab. 2 Analysis of variance for major agronomic traits between plant crop and ratoon crop

变异来源 Source of variation	自由度 Degree of freedom	株高 $F$ 值 $F$ value of plant height	茎径 $F$ 值 $F$ value of stalk diameter	有效茎数 $F$ 值 $F$ value of millble cane number	单茎质量 $F$ 值 $F$ value of single stem weight	甘蔗产量 $F$ 值 $F$ value of cane yield
作物季	1	237.70**	5.80	0.04	420.80**	28.30**
品种	39	2.10*	2.30**	2.10**	2.00*	2.70**
品种×作物季	39	3.20**	2.40**	4.30**	2.70**	2.30**

注: \*\*表示差异极显著 ( $P<0.01$ ), \*表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: \*\* indicates extremely significant difference ( $P<0.01$ ), \* indicates significant difference ( $P<0.05$ ).

产量间差异极显著。不同品种的株高、茎径、有效茎数、单茎质量和甘蔗产量间差异显著或极显著,说明不同品种主要农艺性状间存在真实的差异,这为抗寒品种筛选提供品种基础。从品种×作物季的互作来看,品种×作物季在所有性状间差异极显著,说明应具体分析每个品种在不同作物季的表现。

对新宿主要农艺性状进行比较分析,结果如

表 3 所示,新植蔗株高、茎径、有效茎数、单茎质量、甘蔗产量均比宿根蔗高,其中株高、单茎质量和甘蔗产量间的差异极显著。这可看出本次试验中低温寒害天气发生在新植蔗的后期(成熟期),对新植蔗甘蔗产量等性状影响较小。而低温寒害天气对宿根蔗发株、宿根蔗前期甘蔗生长等具有较大影响,导致宿根甘蔗产量减产。

表 3 新宿主要农艺性状的比较

Tab. 3 Comparison of main agricultural characters between plant crop and ratoon crop

作物季 Crop cycle	株高 Plant height/cm	茎径 Stalk diameter/mm	有效茎数 Number of millble cane/hm <sup>2</sup>	单茎质量 Single stem weight/kg	甘蔗产量 Cane yield/(t·hm <sup>-2</sup> )
新植蔗	282.3 <sup>Aa</sup>	25.9 <sup>Aa</sup>	85 204 <sup>Aa</sup>	1.364 <sup>Aa</sup>	115.2 <sup>Aa</sup>
宿根蔗	188.2 <sup>Bb</sup>	24.4 <sup>Aa</sup>	84 544 <sup>Aa</sup>	0.997 <sup>Bb</sup>	85.4 <sup>Bb</sup>

注: 不同大写字母表示差异极显著 ( $P<0.01$ ); 不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Different uppercase letters indicate extremely significant difference ( $P<0.01$ ); Different lowercase letters indicate significant difference ( $P<0.05$ ).

2.1.2 自然低温对不同调查时期甘蔗品质的影响  
对不同调查时期新宿田间锤度、甘蔗蔗糖分及纯度进行比较分析,结果如表 4 所示,新宿田间锤度、甘蔗蔗糖分及纯度在第 1 次与第 2 次调查期间表现为上升,第 2 次至第 4 次调查期间表现为

逐渐下降。这说明新宿甘蔗品质在 12 月第 1 次强低温天气来临前,由于未受强低温寒害影响,表现为逐渐上升,在强低温天气来临后,破坏甘蔗蔗糖分的积累,甘蔗品质逐渐下降。新植蔗时,田间锤度、甘蔗蔗糖分和纯度高峰值(第 2

表 4 新宿田间锤度、甘蔗蔗糖分及纯度的比较

Tab. 4 Comparison of field brix, sucrose content and purity of plant crop and ratoon crop

调查(时间) Investigation (Time)	新植蔗 PC			调查(时间) Investigation (Time)	宿根蔗 RC		
	田间锤度 Field brix/%	甘蔗蔗糖分 Sucrose content/%	纯度 Purity rate/%		田间锤度 Field brix/%	甘蔗蔗糖分 Sucrose content/%	纯度 Purity rate/%
第 1 次 (2023-11-14)	17.3 <sup>Aab</sup>	10.11	78.4	第 1 次 (2024-11-20)	19.3 <sup>Aa</sup>	11.69	83.7
第 2 次 (2023-12-12)	17.8 <sup>Aa</sup>	11.98	83.7	第 2 次 (2024-12-19)	19.4 <sup>Aa</sup>	12.56	86.7
第 3 次 (2023-12-28)	16.4 <sup>ABb</sup>	11.00	80.5	第 3 次 (2025-01-16)	18.4 <sup>Bb</sup>	12.11	84.0
第 4 次 (2024-01-31)	15.0 <sup>Bc</sup>	7.81	66.4	第 4 次 (2025-02-18)	17.4 <sup>Cc</sup>	10.53	81.1

注: 不同大写字母表示差异极显著 ( $P<0.01$ ); 不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Different uppercase letters indicate extremely significant difference ( $P<0.01$ ); Different lowercase letters indicate significant difference ( $P<0.05$ ).

次)比受严重冻害后的第 4 次分别高 2.8、4.17、17.3 个百分点(绝对值),宿根蔗时分别高 2.0、2.03、5.6 个百分点(绝对值),新植蔗品质性状受冻害后下降的幅度更大,这与新植蔗成熟期间受低温影响更大有关。

**2.1.3 自然低温对不同品种的甘蔗产量、甘蔗蔗糖分及含糖量影响** 对各品种的甘蔗产量、甘蔗蔗糖分及含糖量进行比较分析,结果见表 5。新宿平均甘蔗产量较高的品种依次为 DZ07-36、ZT1、ZZ6、FN38、GT55、YT07-913、ZZFN48、DZ09-78、GT58、ZZ9 等品种。新宿平均甘蔗蔗糖分较高的品种依次为 GT42、DZ07-36、GT55、GT53、GT29、FN38、GT56、GT47、FN41 等品种。新宿平均含糖量较高的品种依次为 DZ07-36、FN38、ZT1、GT55、ZZ6、YT07-913、ZZFN48、GT42、DZ09-78 等品种,平均含糖量在 12.0 t/hm<sup>2</sup> 以上。

## 2.2 自然低温条件下甘蔗抗寒性的表现

**2.2.1 不同调查时期甘蔗抗寒性的表现** 分别对不同调查时期甘蔗抗寒性状进行比较,结果如表 6 所示,新宿株受害率第 1 次调查时表现较好,与第 2、3 次新宿株受害率间有极显著差异,第 2、3 次新宿株受害率均为 100%;新宿茎长受害率在 3 次调查中逐渐增大,新宿绿叶百分率逐渐减小至 0%。

**2.2.2 自然低温条件下不同品种抗寒性的表现** 对株受害率、茎长受害率、绿叶百分率进行比较,结果如表 7 所示,新宿平均株受害率较低的前 10 位的品种依次是 GT52、GT46、GT58、ZZ6、GT43、GT51、ZZ9、GT49、YT07-913、YZ05-51,这些品种对前期低温胁迫表现出较好的抗寒性。新宿平均茎长受害率较低的前 10 位品种是 GT29、GT52、DZ09-78、GT58、ZZFN48、GT11-2320、GT31、ZZFN44、GT51、GT50。新宿平均叶片绿叶率较高的前 11 位品种是 DZ07-36、GT13-532、GT32、GT51、GT31、ZZ9、FN43、ZZ1、GT12-96、GT44、GT57。

采用隶属函数法进行品种抗寒性评价,结果表明高抗(HR)品种只有 GT51,占比为 2.5%;表现为抗(R)的品种分别是 GT32、GT13-532、DZ09-78、GT58 和 GT52,占比为 12.5%;表现为中抗(MR)的品种有 29 个,占比为 72.5%;表现为低抗(LR)的品种有 3 个,占比为 7.5%;表现为不抗(S)的品种是 YR09-895 和 ROC22,占

比为 5.0%,其中 ROC22 抗寒性最弱。从以上分析可以看出,此次参试品种中中抗品种占比最多,高抗和不抗的品种占比都很少,品种抗寒性总体上表现为“中间多两头少”分布。其中,高抗和抗品种总共 6 个,分别是 GT51、GT32、GT13-532、DZ09-78、GT58 和 GT52,这些品种表现出较强的抗寒性。

## 2.3 自然低温条件下甘蔗品种的综合评价

采用最大熵-最小残差综合评价指数模型(MEMR 模型),对新宿 34 个性状进行因子权重系数评估,结果如表 8 所示,宿根含糖量、宿根甘蔗产量、宿根有效茎数的因子权重位列前 3,在本试验中对品种适应性和抗寒性的综合评价尤为重要。

采用 MEMR 模型对 40 个参试品种进行综合性评价,结果见图 3,从左至右品种综合指数依次降低,其中 DZ07-36、ZT1、ZZ6、YT07-913、FN38、DZ09-78、GT55、GT51、GT52、GT42、GT58 等综合指数较高,这些品种(系)在农艺、产质量和抗寒性等方面综合表现相对较优,适宜在偏北低温蔗区推广种植。

## 3 讨论

甘蔗是喜温作物,种植于热带亚热带地区<sup>[23]</sup>,近年来,随着极端天气的频发,在高海拔高纬度地区种植的甘蔗易发生不同等级低温寒、冻害<sup>[29]</sup>。低温寒害会造成甘蔗减产,蔗糖分、蔗汁品质和产糖率下降,冻死留种蔗芽,降低种苗质量,影响宿根蔗生长等不良影响<sup>[20]</sup>。本研究结果表明,新植蔗与宿根蔗甘蔗品质的田间锤度、甘蔗蔗糖分及纯度在第 1 次强低温天气来临前,表现为上升,第 1 次强低温天气后逐渐下降。在生产上应时刻关注低温天气的变化,根据品种到达甘蔗蔗糖分高峰期的时间及时进行砍收。低温寒害天气对宿根蔗的甘蔗产量等农艺性状具有重要影响,不同品种在甘蔗产量等农艺性状间表现出极显著差异,因而,选用抗寒性强的品种具有重要意义。

低温对甘蔗的影响是复杂的,用单一指标很难反映其抗寒本质,在进行甘蔗品种抗寒性鉴定时,应以多个指标进行综合评价<sup>[23]</sup>。采用模糊数学的方法对植物抗寒性进行综合评价为一种更为有效的方法<sup>[26]</sup>,基于模糊数学原理的隶属函数法

表 5 不同品种甘蔗产量、蔗糖分及含糖量

Tab. 5 Cane yield, sucrose content and sugar content in different sugarcane varieties

品种 Variety	甘蔗产量 Cane yield				新植甘蔗蔗糖分 Sucrose content of PC/%										新宿平均 Mean of PC and RC				含糖量 Sugar content		
	新植 PC (t·hm <sup>-2</sup> )	宿根 RC (t·hm <sup>-2</sup> )	平均 Mean/ (t·hm <sup>-2</sup> )	排名 Ranking	2023- 11-14	2023- 12-12	2023- 12-28	2024- 01-31	平均 Mean	2024- 11-20	2024- 12-19	2024- 01-16	2025- 02-18	平均 Mean	新植 PC (t·hm <sup>-2</sup> )	宿根 RC (t·hm <sup>-2</sup> )	平均 Mean (t·hm <sup>-2</sup> )	排名 Ranking			
GT11-2320	114.3	71.7	93.0	28	9.92	12.85	11.60	8.40	10.69	11.86	13.00	8.93	9.14	10.73	12.2	7.7	10.0	29			
GT12-96	112.1	35.8	73.9	38	9.07	12.35	12.39	9.12	10.73	9.79	10.30	10.51	8.46	9.77	12.0	3.5	7.8	37			
GT13-532	107.3	74.8	91.0	29	9.85	11.65	11.41	8.75	10.42	11.60	12.20	12.67	11.63	12.03	11.2	9.0	10.1	27			
GT29	110.1	65.1	87.6	32	10.96	11.94	12.50	6.02	10.36	13.46	14.50	13.39	11.79	13.29	11.82	8.6	10.0	30			
GT31	92.0	54.3	73.2	39	9.78	11.96	10.52	7.94	10.05	11.34	12.22	10.41	9.46	10.86	10.45	5.9	7.6	39			
GT32	115.8	77.9	96.8	23	10.28	11.61	10.24	7.11	9.81	11.20	11.99	13.17	11.33	11.92	11.4	9.3	10.3	25			
GT42	107.9	88.2	98.0	22	13.36	12.45	10.72	9.91	11.61	14.76	14.06	13.51	12.44	13.69	12.65	12.1	12.3	8			
GT43	96.1	105.0	100.6	18	10.02	13.18	11.49	5.78	10.12	11.23	13.03	12.01	9.92	11.55	10.83	12.1	10.9	20			
GT44	129.5	80.2	104.8	13	9.86	11.46	12.69	5.42	9.86	11.99	13.43	13.52	11.62	12.64	11.25	10.1	11.5	14			
GT46	112.1	88.4	100.2	19	9.80	11.10	10.16	8.63	9.92	11.55	12.02	12.33	9.95	11.46	10.69	10.1	10.6	22			
GT47	117.2	81.9	99.6	20	11.83	13.24	12.32	6.56	10.99	10.56	13.89	12.71	11.46	12.16	11.57	10.0	11.4	16			
GT49	130.6	84.9	107.8	11	9.51	13.75	10.20	4.54	9.50	13.82	14.15	11.91	10.99	12.72	11.11	10.8	11.6	11			
GT50	103.7	76.0	89.8	30	9.78	13.32	11.04	9.55	10.92	10.17	13.55	12.16	10.03	11.48	11.20	8.7	10.0	31			
GT51	99.2	94.0	96.6	24	8.79	13.21	9.77	10.78	10.64	11.11	12.53	13.00	10.58	11.81	11.22	11.1	10.8	21			
GT52	114.7	94.6	104.6	14	10.69	11.08	13.77	6.11	10.41	13.00	13.03	10.70	10.92	11.91	11.16	11.3	11.6	12			
GT53	114.6	83.1	98.9	21	11.59	13.61	11.07	7.99	11.07	12.91	13.73	13.43	11.50	12.89	11.98	10.7	11.7	10			
GT54	101.9	86.9	94.4	26	10.69	12.89	9.96	8.34	10.47	11.58	12.17	11.59	10.81	11.54	11.00	10.0	10.3	26			
GT55	140.5	97.2	118.9	5	10.97	12.17	11.14	9.94	11.06	13.66	12.58	14.05	11.75	13.01	12.03	12.6	14.1	4			
GT56	110.0	77.8	93.9	27	9.19	11.77	12.52	6.49	9.99	14.32	13.22	14.02	11.30	13.22	11.60	10.3	10.6	23			
GT57	99.9	65.6	82.8	36	9.45	12.93	11.45	5.81	9.91	12.53	11.94	12.50	10.29	11.82	10.86	7.8	8.8	33			
GT58	116.9	100.7	108.8	9	10.22	11.26	8.41	8.33	9.56	10.30	13.34	13.31	10.04	11.75	10.65	11.2	11.5	15			
ROC22	101.7	73.5	87.6	33	8.22	8.83	10.96	6.23	8.56	10.13	11.56	11.77	9.13	10.65	9.60	7.8	8.3	35			
DZ07-36	151.1	139.5	145.3	1	12.15	13.04	12.84	7.73	11.44	13.95	13.76	13.04	12.39	13.29	12.36	17.3	18.5	1			
DZ09-78	125.5	96.9	111.2	8	10.02	10.95	12.35	8.85	10.54	10.31	11.99	11.30	11.01	11.15	10.85	13.2	10.8	9			
FN38	130.3	132.3	131.3	4	9.94	14.40	10.85	8.60	10.95	13.54	13.05	11.78	11.66	12.51	11.73	14.3	16.5	2			
FN41	97.4	95.1	96.2	25	10.92	14.11	12.09	7.60	11.18	12.38	12.73	11.56	10.73	11.85	11.52	10.9	11.3	17			
FN43	111.3	19.4	65.4	40	9.66	9.91	12.13	9.48	10.30	9.28	10.12	9.00	9.48	9.47	9.88	11.5	1.8	40			

续表 5 不同品种甘蔗产量、蔗糖分及含糖量  
Tab. 5 Cane yield, sucrose content and sugar content in different sugarcane varieties (continued)

品种 Variety	甘蔗产量 Cane yield				新植甘蔗蔗糖分 Sucrose content of PC/%								宿根甘蔗蔗糖分 Sucrose content of RC/%				含糖量 Sugar content			
	新植 PC (t·hm <sup>-2</sup> )	宿根 RC (t·hm <sup>-2</sup> )	平均 Mean/ (t·hm <sup>-2</sup> )	排名 Ranking	2023- 11-14	2023- 12-12	2023- 12-28	2024- 01-31	平均 Mean	2024- 11-20	2024- 12-19	2025- 01-16	2025- 02-18	平均 Mean	新植 PC (t·hm <sup>-2</sup> )	宿根 RC (t·hm <sup>-2</sup> )	平均 Mean (t·hm <sup>-2</sup> )	排名 Ranking	平均 Mean (t·hm <sup>-2</sup> )	排名 Ranking
YT07-913	133.1	103.4	118.2	6	9.66	11.05	13.01	9.30	10.76	12.60	13.35	11.34	11.56	12.21	14.3	12.6	13.5	10	11.48	10
YT08-172	114.1	58.8	86.5	34	6.27	9.22	9.53	7.20	8.06	9.84	12.06	12.17	9.55	10.91	9.2	6.4	7.8	40	9.48	40
YT08-196	117.7	94.5	106.1	12	10.50	11.63	11.85	9.20	10.80	12.82	11.18	11.36	9.44	11.20	12.7	10.6	11.6	20	11.00	20
YR09-895	95.7	75.3	85.5	35	6.58	12.74	8.25	7.15	8.68	9.76	12.29	13.14	8.37	10.89	8.3	8.2	8.3	38	9.79	38
YZ05-51	108.7	93.6	101.2	15	11.49	13.13	10.15	6.89	10.42	11.10	12.38	13.10	10.19	11.69	11.3	10.9	11.1	18	11.05	18
ZT1	137.9	129.6	133.8	2	11.91	10.74	8.33	8.77	9.94	12.31	12.69	11.78	11.09	11.97	13.7	15.5	14.6	21	10.95	21
ZT2	129.0	72.8	100.9	16	8.86	10.27	10.67	8.41	9.55	8.04	13.36	11.51	10.15	10.77	12.3	7.8	10.1	36	10.16	36
ZZ10	110.3	67.1	88.7	31	12.23	13.02	9.99	7.48	10.68	11.45	11.16	11.71	9.26	10.90	11.8	7.3	9.5	26	10.79	26
ZZ1	101.8	99.8	100.8	17	8.42	12.72	10.29	9.08	10.13	11.39	11.65	10.32	9.79	10.79	10.3	10.8	10.5	32	10.46	32
ZZ6	151.0	113.5	132.2	3	10.66	13.19	7.77	6.04	9.42	11.47	13.16	12.05	10.33	11.75	14.2	13.3	13.8	30	10.58	30
ZZ9	119.3	97.1	108.2	10	9.99	9.71	9.84	8.07	9.40	10.99	11.36	12.47	10.17	11.25	11.2	10.9	11.1	34	10.33	34
ZZFN44	103.3	55.8	79.6	37	10.04	12.12	11.83	7.48	10.37	13.39	11.26	12.48	11.20	12.08	10.7	6.7	8.7	12	11.23	12
ZZFN48	121.5	113.4	117.5	7	11.16	8.72	11.74	7.16	9.70	10.21	12.46	12.52	10.45	11.41	11.8	12.9	12.4	31	10.55	31

表 6 新植不同调查时期抗寒性状比较

Tab. 6 Comparison of cold resistance traits of plant crop and ratoon crop during different investigation periods

调查 (时间) Investigation (Time)	新植蔗 PC			宿根蔗 RC		
	株受害率 PDR/%	茎长受害率 SDR/%	绿叶百分率 GLP/%	株受害率 PDR/%	茎长受害率 SDR/%	绿叶百分率 GLP/%
第 1 次 (2023-12-12)	42.5 <sup>Bb</sup>	5.6 <sup>Bb</sup>	94.0 <sup>Aa</sup>	71.0 <sup>Bb</sup>	2.2 <sup>Cc</sup>	70.3 <sup>Aa</sup>
第 2 次 (2023-12-28)	100.0 <sup>Aa</sup>	89.2 <sup>Aa</sup>	9.0 <sup>Bb</sup>	100.0 <sup>Aa</sup>	65.9 <sup>Bb</sup>	27.9 <sup>Bb</sup>
第 3 次 (2024-01-31)	100.0 <sup>Aa</sup>	93.0 <sup>Aa</sup>	0 <sup>Cc</sup>	100.0 <sup>Aa</sup>	85.5 <sup>Aa</sup>	0 <sup>Cc</sup>

注：同列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )；同列不同大写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。  
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ( $P < 0.05$ ); Different uppercase letter in the same column indicate extremely significant difference ( $P < 0.01$ ).

表 7 40 个甘蔗品种的抗寒性表现  
Tab. 7 Cold resistance performance of 40 sugarcane varieties

品种 Variety	新植株受 害率 PDR of PC/%		宿根株 受害率 PDR of RC/%		新植平均 株受害率 Mean PDR between PC and RC/%		新植茎长受害率 SDR of PC/%		宿根茎长受害率 SDR of RC/%		新植平均 茎长受害 率 Mean SDR between PC and RC/%		新植叶片绿叶率 GLP of PC/%		宿根叶片绿叶率 GLP of RC/%		新植平均 叶片绿叶率 Mean GLP between PC and RC/%		平均隶 属度 Mean mem- bership degree	抗寒性 等级 Cold hardness grade		
	2023- 12-12	2024- 12-19	2023- 12-19	2024- 12-19	2023- 12-28	2024- 01-31	2023- 12-28	2024- 01-16	2023- 12-12	2024- 12-19	2023- 12-28	2024- 12-19	2023- 12-28	2024- 01-16	2023- 12-12	2024- 01-16	2023- 12-28	2024- 01-16				
	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean				
GT11-2320	26.7	80.0	80.0	53.4	1.8	92.6	98.0	64.1	3.2	34.2	77.7	38.4	51.3	94.4	9.7	52.1	67.0	29.6	48.3	50.2	0.537	MR
GT12-96	53.3	80.0	80.0	66.7	7.0	93.5	87.4	62.6	2.0	90.3	90.9	61.1	61.9	96.6	15.2	55.9	74.7	24.6	49.7	52.8	0.513	MR
GT13-532	40.0	53.3	46.7	46.7	4.3	78.5	96.5	59.8	1.7	64.3	85.7	50.6	55.2	96.3	14.0	55.2	80.4	38.2	59.3	57.2	0.647	R
GT29	46.7	80.0	80.0	63.4	6.5	77.1	89.5	57.7	1.2	54.8	62.8	39.6	48.7	94.0	8.7	51.4	57.8	30.2	44.0	47.7	0.576	MR
GT31	20.0	80.0	80.0	50.0	1.0	92.1	97.4	63.5	2.5	40.7	74.7	39.3	51.4	94.5	6.7	50.6	81.4	33.7	57.6	54.1	0.574	MR
GT32	60.0	40.0	40.0	50.0	5.2	93.4	80.6	59.7	0.8	91.4	66.5	52.9	56.3	96.4	10.2	53.3	81.1	34.1	57.6	55.5	0.654	R
GT42	46.7	80.0	80.0	63.4	4.8	100.0	96.2	67.0	2.6	75.0	100.0	59.2	63.1	94.5	8.1	51.3	69.7	34.7	52.2	51.8	0.408	MR
GT43	13.3	66.7	66.7	40.0	0.4	97.4	92.9	63.6	1.9	84.3	98.6	61.6	62.6	94.7	7.4	51.1	69.7	19.6	44.7	47.9	0.459	MR
GT44	93.3	86.7	86.7	90.0	17.4	96.9	97.1	70.5	1.7	94.2	68.8	54.9	62.7	95.7	15.2	55.5	63.3	36.9	50.1	52.8	0.417	MR
GT46	6.7	66.7	66.7	36.7	0.2	95.0	99.0	64.7	1.2	90.7	90.5	60.8	62.8	94.5	17.7	56.1	67.6	21.7	44.7	50.4	0.524	MR
GT47	66.7	100.0	100.0	83.4	5.3	98.6	98.0	67.3	2.1	72.3	77.9	50.8	59.1	94.1	4.0	49.1	70.5	23.7	47.1	48.1	0.364	LR
GT49	20.0	66.7	66.7	43.4	1.6	84.0	85.8	57.1	0.8	69.8	79.9	50.2	53.7	92.9	6.8	49.9	57.5	19.5	38.5	44.2	0.527	MR
GT50	46.7	93.3	93.3	70.0	3.1	91.8	95.7	63.5	3.3	40.9	85.7	43.3	53.4	93.3	7.0	50.2	74.6	29.4	52.0	51.1	0.456	MR
GT51	40.0	40.0	40.0	40.0	3.0	84.2	87.5	58.2	0.8	61.5	74.1	45.5	51.9	96.5	11.9	54.2	79.5	30.6	55.1	54.6	0.702	HR
GT52	26.7	40.0	40.0	33.4	1.7	88.8	95.8	62.1	1.0	41.1	69.7	37.3	49.7	93.1	6.1	49.6	81.6	29.7	55.7	52.6	0.616	R
GT53	60.0	46.7	46.7	53.4	10.1	96.2	96.8	67.7	1.8	63.3	68.7	44.6	56.2	92.4	7.4	49.9	60.5	26.9	43.7	46.8	0.437	MR
GT54	40.0	53.3	53.3	46.7	3.9	92.6	81.9	59.5	1.4	72.3	95.3	56.3	57.9	93.5	10.0	51.8	75.4	18	46.7	49.2	0.514	MR
GT55	60.0	80.0	80.0	70.0	9.0	92.9	81.5	61.1	1.6	51.3	94.7	49.2	55.2	92.5	4.9	48.7	62.5	30.7	46.6	47.7	0.431	MR
GT56	40.0	66.7	66.7	53.4	4.6	97.9	91.6	64.7	2.2	54.0	98.5	51.6	58.2	95.8	12.6	54.2	63.8	22.7	43.3	48.7	0.500	MR
GT57	46.7	100.0	100.0	73.4	5.2	92.0	97.7	65.0	2.4	67.5	87.1	52.3	58.7	94.8	11.7	53.3	77.7	27.1	52.4	52.8	0.459	MR
GT58	13.3	60.0	60.0	36.7	1.3	91.2	78.4	57.0	1.5	34.1	92.5	42.7	49.9	93.1	8.8	51.0	71.2	33.4	52.3	51.6	0.629	R

续表 7 40 个甘蔗品种的抗寒性表现  
Tab. 7 Cold resistance performance of 40 sugarcane varieties (continued)

品种 Variety	新植株受 害率 PDR of PC/%		宿根株 受害率 PDR of RC/%		新植平均 株受害率 Mean PDR between PC and RC/%		新植茎长受害率 SDR of RC/%			宿根茎长受害率 SDR of PC/%			新植叶片绿叶率 GLP of PC/%			宿根叶片绿叶率 GLP of RC/%			平均隶 属度 Mean mem- bership degree	抗寒性 等级 Cold hardness grade		
	2023- 12-12	2024- 12-19	2023- 12-12	2024- 12-19	2023- 12-12	2024- 12-19	2023- 12-12	2024- 01-16	2025- 02-18	2023- 12-28	2024- 01-31	2025- 02-18	2023- 12-12	2023- 12-28	2024- 01-16	2025- 01-16	2023- 12-19	2024- 12-19			2025- 01-16	
	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean			Mean	
ROC22	73.3	100.0	86.7	86.7	15.5	86.8	100.0	67.4	5.0	94.6	100.0	66.5	67.0	92.0	9.5	50.8	44.5	7.5	26.0	38.4	0.137	S
DZ07-36	53.3	93.3	73.3	73.3	12.3	79.2	99.2	63.6	5.5	78.3	86.2	56.7	60.2	96.4	14.8	55.6	75.4	43.3	59.4	57.5	0.485	MR
DZ09-78	40.0	66.7	53.4	53.4	2.8	70.8	90.9	54.8	2.4	39.9	92.0	44.8	49.8	96.1	14.7	55.4	58.5	32.0	45.3	50.3	0.641	R
FN38	66.7	86.7	76.7	76.7	9.2	87.8	90.2	62.4	1.8	58.6	83.1	47.8	55.1	92.2	3.9	48.1	55.0	20.8	37.9	43.0	0.364	LR
FN41	53.3	93.3	73.3	73.3	12.5	98.2	98.3	69.7	5.9	38.0	67.5	37.1	53.4	94.4	9.6	52.0	75.1	29.1	52.1	52.1	0.427	MR
FN43	40.0	73.3	56.7	56.7	3.3	67.3	88.6	53.1	2.8	75.4	89.8	56.0	54.6	93.0	6.5	49.8	76.2	37.1	56.7	53.2	0.540	MR
YT07-913	46.7	40.0	43.4	43.4	2.9	86.3	94.1	61.1	0.5	78.0	91.9	56.8	59.0	92.8	5.8	49.3	76.5	30.0	53.3	51.3	0.501	MR
YT08-172	33.3	80.0	56.7	56.7	1.9	86.0	92.9	60.3	2.2	63.8	92.7	52.9	56.6	95.6	10.4	53.0	65.9	19.4	42.7	47.8	0.509	MR
YT08-196	86.7	60.0	73.4	73.4	8.1	96.2	88.5	64.3	1.5	99.3	98.6	66.5	65.4	93.1	9.0	51.1	80.6	21.9	51.3	51.2	0.369	LR
YR09-895	60.0	80.0	70.0	70.0	15.5	93.8	86.7	65.3	7.1	93.8	93.7	64.9	65.1	92.7	12.1	52.4	61.8	12.6	37.2	44.8	0.260	S
YZ05-51	60.0	26.7	43.4	43.4	6.5	91.9	96.2	64.9	1.1	69.7	86.7	52.5	58.7	93.0	8.2	50.6	73.9	23.1	48.5	49.6	0.476	MR
ZT1	46.7	46.7	46.7	46.7	8.6	77.1	96.6	60.8	1.0	91.3	62.4	51.6	56.2	92.9	5.4	49.2	74.4	36.7	55.6	52.4	0.536	MR
ZT2	6.7	86.7	46.7	46.7	0.8	95.9	98.4	65.0	2.5	75.4	95.1	57.7	61.4	93.4	7.9	50.7	81.7	23.0	52.4	51.5	0.440	MR
ZZ10	20.0	86.7	53.4	53.4	1.0	85.1	93.5	59.9	3.3	39.2	99.0	47.2	53.6	92.4	4.9	48.7	59.9	37.1	48.5	48.6	0.464	MR
ZZ1	13.3	80.0	46.7	46.7	0.4	91.1	93.8	61.8	1.5	73.9	98.8	58.1	60.0	94.3	16.7	55.5	72.7	28.1	50.4	53.0	0.544	MR
ZZ6	20.0	53.3	36.7	36.7	2.2	97.2	100.0	66.5	1.0	72.9	99.3	57.7	62.1	92.7	3.2	48.0	74.0	29.5	51.8	49.9	0.426	MR
ZZ9	20.0	60.0	40.0	40.0	0.7	82.2	97.4	60.1	1.1	58.5	98.1	52.6	56.4	93.0	3.0	48.0	82.8	34.9	58.9	53.4	0.523	MR
ZZFN44	33.3	93.3	63.3	63.3	2.1	83.2	95.5	60.3	3.4	54.2	70.9	42.8	51.6	92.9	5.8	49.4	74.1	34.7	54.4	51.9	0.508	MR
ZZFN48	60.0	73.3	66.7	66.7	18.9	83.4	94.0	65.4	2.1	32.9	75.4	36.8	51.1	94.1	5.8	50.0	62.8	21.0	41.9	45.9	0.442	MR

注：新植第 2、3 次所有品种株受害率均为 100%，新植第 3 次所有品种叶片绿叶率均为 0.0%，表中未列出。  
Note: During the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> surveys, PDR for all varieties of both plant crop and ratoon crop was 100%, and GLP for all varieties in the 3<sup>rd</sup> survey dropped to 0.0%. These values are not listed in the table.

表 8 性状权重系数  
Tab. 8 Trait weight coefficient

新植性状 Trait of PC	权重系数 Weight coefficient	排序 Ranking	宿根性状 Trait of RC	权重系数 Weight coefficient	排序 Ranking
新植出苗率	0.02816	20	宿根发株率	0.02871	16
新植株高	0.02817	19	宿根株高	0.03403	5
新植茎径	0.02413	29	宿根茎径	0.02080	33
新植有效茎数	0.03057	12	宿根有效茎数	0.03898	3
新植单茎质量	0.03090	11	宿根单茎质量	0.02985	13
新植甘蔗产量	0.02791	21	宿根甘蔗产量	0.04072	2
新植第 1 次甘蔗蔗糖分	0.03638	4	宿根第 1 次甘蔗蔗糖分	0.03320	7
新植第 2 次甘蔗蔗糖分	0.02700	24	宿根第 2 次甘蔗蔗糖分	0.03260	8
新植第 3 次甘蔗蔗糖分	0.02734	23	宿根第 3 次甘蔗蔗糖分	0.02691	25
新植第 4 次甘蔗蔗糖分	0.02870	17	宿根第 4 次甘蔗蔗糖分	0.03339	6
新植含糖量	0.03240	9	宿根含糖量	0.04354	1
新植第 1 次株受害率	0.02755	22	宿根第 1 次株受害率	0.02982	14
新植第 1 次茎长受害率	0.02391	31	宿根第 1 次茎长受害率	0.02848	18
新植第 2 次茎长受害率	0.02924	15	宿根第 2 次茎长受害率	0.02521	27
新植第 3 次茎长受害率	0.02641	26	宿根第 3 次茎长受害率	0.02406	30
新植第 1 次叶片绿叶率	0.02064	34	宿根第 1 次叶片绿叶率	0.02490	28
新植第 2 次叶片绿叶率	0.02354	32	宿根第 2 次叶片绿叶率	0.03187	10

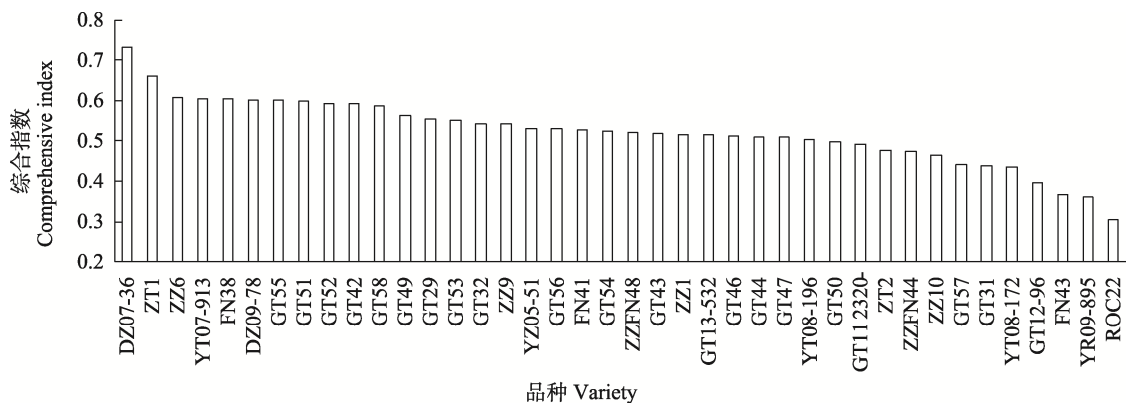


图 3 品种综合评价指数

Fig. 3 Comprehensive evaluation index of variety

已广泛应用于甘蔗抗寒性评价<sup>[2, 4, 12, 19, 23]</sup>。本研究采用隶属函数法对 40 个甘蔗品种进行抗寒性评价, 鉴定出 GT51、GT32、GT13-532、DZ09-78、GT58 和 GT52 等品种抗寒性较强。在随机抽取未进行抗寒性鉴定的甘蔗品种中, 表现为中抗的品种占比高达 72.5%, 品种抗寒性分布表现为“中间多两头少”。在不抗寒品种中, ROC22 抗寒性最弱, 前人研究结果表明 ROC22 抗寒性差<sup>[4, 19, 30]</sup>, 本研究结果与前人报道一致。

农作物品种的综合评价是育种工作的重要环节, 甘蔗品种的优劣是多个性状共同作用的结果<sup>[31]</sup>。为了确保新培育的品种能够满足实际生产

需求, 需要综合考虑品种的蔗茎产量、蔗糖分、产糖量、抗性等多方面因素<sup>[32]</sup>。最大熵-最小残差综合评价指数模型综合评价方法结合最大熵原理和最小残差原则, 合理确定各评价指标的权重和计算综合评价指数, 是在尽可能全面地兼顾各个因子(信息)前提下, 运用最小二乘技术提取各个因子所具有的共同趋势来建立综合评价模型<sup>[27]</sup>。本研究采用最大熵-最小残差综合评价指数模型评价, 结果表明, 宿根含糖量、宿根甘蔗产量、宿根有效茎数的权重系数位列前 3, 对品种综合评价的影响较大。根据建立的综合评价模型, 鉴定出了 DZ07-36、ZT1、ZZ6、YT07-913、FN38、

DZ09-78、GT55、GT51、GT52、GT42、GT58 等品种综合性状相对优良、适宜在偏北低温蔗区推广种植。

## 参考文献

- [1] 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)
- [2] 全怡吉, 樊仙, 李如丹, 杨绍林, 邓军. 不同甘蔗品种对低温胁迫的生理响应及耐寒性综合评价[J]. 热带作物学报, 2020, 41(1): 63-68.  
QUAN Y J, FAN X, LI R D, YANG S L, DENG J. Integrative assessments on physiological response and cold tolerance of different sugarcane varieties to low temperature[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(1): 63-68. (in Chinese)
- [3] 唐仕云, 王伦旺, 李翔, 贤武, 刘晓燕, 黄海荣, 李杨瑞, 谭芳, 杨荣仲, 经艳, 邓宇驰. 甘蔗新品种桂糖 58 号的选育及种性分析[J]. 中国糖料, 2022, 44(2): 1-5.  
TANG S Y, WANG L W, LI X, XIAN W, LIU X Y, HUANG H R, LI Y R, TAN F, YANG R Z, JING Y, DENG Y C. Breeding and varietal characteristics analysis of sugarcane variety Guitang 58[J]. Sugar Crops of China, 2022, 44(2): 1-5. (in Chinese)
- [4] 韦巧云, 潘介春. 甘蔗品种间抗寒性比较试验初报[J]. 中国糖料, 2016, 38(6): 15-16.  
WEI Q Y, PAN J C. A preliminary report on the cold resistance of different sugarcane varieties[J]. Sugar Crops of China, 2016, 38(6): 15-16. (in Chinese)
- [5] 谭宗琨, 黄城华, 孟翠丽, 潘有强. 甘蔗寒冻害等级指标及灾损指标的初步研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(28): 169-181.  
TAN Z K, HUANG C H, MENG C L, PAN Y Q. Study on the grade indexes of sugar-cane chilly injury or freezing injury and loss[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(28): 169-181. (in Chinese)
- [6] 李世成, 李斌, 董有波, 黄丕忠, 林文根, 周云, 唐吉昌, 段绍玲. 临沧市甘蔗霜冻害温度指标的建立与应用[J]. 广东气象, 2023, 45(6): 92-95.  
LI S C, LI B, DONG Y B, HUANG P Z, LIN W G, ZHOU Y, TANG J C, DUAN S L. Establishment and application of temperature index for sugarcane frost damage in Lincang city[J]. Guangdong Meteorology, 2023, 45(6): 92-95. (in Chinese)
- [7] 朱秋珍. 甘蔗抗寒性鉴定方法研究[J]. 广西农业科学, 1995(6): 264-265  
ZHU Q Z. Research on the identification method of cold resistance in sugarcane[J]. Guangxi Agricultural Sciences, 1995(6): 264-265. (in Chinese)
- [8] 陈能武, 杨荣仲, 吴才文, 黄久凯. 甘蔗品种抗寒性鉴定技术研究[J]. 甘蔗糖业, 1996(4): 1-9.  
CHEN N W, YANG R Z, WU C W, HUANG J K. Studies on the technic of identification for freeze resistance in sugarcane[J]. Sugarcane and Canesugar, 1996(4): 1-9. (in Chinese)
- [9] 梁强, 黄伟华, 李德洋, 李翔, 董文斌, 陈荣发, 李毅杰, 王维赞, 杨荣仲, 李杨瑞. 广西地方标准《甘蔗霜冻灾害调查规范》的建立[J]. 中国糖料, 2016, 38(3): 40-45.  
LIANG Q, HUANG W H, LI D Y, LI X, DONG W B, CHEN R F, LI Y J, WANG W Z, YANG R Z, LI Y R. The establishment of the Guangxi local standard of sugarcane frost disaster investigation[J]. Sugar Crops of China, 2016, 38(3): 40-45. (in Chinese)
- [10] 陈能武, 杨荣仲, 吴才文, 黄久凯, 王贵华. 四川割手密 (*S. spontaneum*) 资源的杂交育种利用潜力研究[J]. 甘蔗, 1996(4): 1-7.  
CHEN N W, YANG R Z, WU C W, HUANG J K, WANG G H. Studies on breeding potential of *S. spontaneum* of Sichuan province[J]. Sugarcane, 1996(4): 1-7. (in Chinese)
- [11] 丁灿, 杨清辉, 李富生, 林位夫. 低温胁迫对割手密和斑茅游离脯氨酸含量的影响 (II)[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(5): 846-849.  
DING C, YANG Q H, LI F S, LIN W F. Effect of cold stress on the content of free-proline in leaf of *Saccharum spontaneum* L. and *Sclerostachya* (II)[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2006, 34(5): 846-849. (in Chinese)
- [12] 杨洋, 王先宏, 杨清辉. 不同采集地割手密种质资源的耐寒性评价[J]. 热带作物学报, 2019, 40(4): 638-648.  
YANG Y, WANG X H, YANG Q H. Evaluation of cold tolerance of *Saccharum spontaneum* L. clones collected from different habitats[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(4): 638-648. (in Chinese)
- [13] 杨荣仲, 吕达, 周会, 肖祎, 刘昔辉, 陈道德, 雷敬超, 黄赞斌, 唐仕云, 黄海荣, 陶宇. 甘蔗常用亲本的田间自然耐寒性测定及评价[J]. 西南农业学报, 2022, 35(5): 991-999.  
YANG R Z, LYU D, ZHOU H, XIAO Y, LIU X H, CHEN D D, LEI J C, HUANG Z B, TANG S Y, HUANG H R, TAO Y. Test and evaluation of cold tolerance of sugarcane main parents under natural frost[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022, 35(5): 991-999. (in Chinese)
- [14] 杨荣仲, 贤武, 廖诗童, 周会, 梁强, 桂意云, 李杨瑞. 甘蔗杂交组合耐寒评价分析[J]. 西南农业学报, 2011, 24(6):

- 2062-2066.  
YANG R Z, XIAN W, LIAO S T, ZHOU H, LIANG Q, GUI Y Y, LI Y R. Cold Tolerance evaluation of sugarcane crosses[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(6): 2062-2066. (in Chinese)
- [15] 李瑞美, 杨昆正, 林一心, 谢木水. 几个自育甘蔗品种抗寒性测定[J]. 甘蔗, 1998, 5(2): 17-20.  
LI R M, YANG K Z, LIN Y X, XIE M S. Study on freeze resistance of several sugarcane varieties[J]. Sugarcane, 1998, 5(2): 17-20. (in Chinese)
- [16] 肖祎, 吕达, 陈道德, 吴才文. 甘蔗品种抗寒性试验[J]. 甘蔗糖业, 2015(4): 6-9.  
XIAO Y, LYU D, CHEN D D, WU C W. Cold resistance test of sugarcane cultivars[J]. Sugarcane and Cane sugar, 2015(4): 6-9. (in Chinese)
- [17] 黄有总, 徐建云, 陈超君, 何雪银. 几个甘蔗新品种的抗旱性和抗寒性比较研究[J]. 广西农业生物科学, 2002, 21(2): 101-104.  
HUANG Y Z, XU J Y, CHEN C J, HE X Y. Comparative tests on drought resistance and frost resistance of several new sugarcane varieties[J]. Journal of Guangxi Agricultural and Biological Science, 2002, 21(2): 101-104. (in Chinese)
- [18] 吴才文, 赵俊, 肖祎, 刘家勇, 姚丽, 吕达, 覃伟, 赵培方, 杨昆, 赵丽萍, 夏红明, 陈道德. 云蔗型甘蔗品种(系)在北缘蔗区的表现及抗寒性评价[J]. 中国糖料, 2017, 39(6): 8-12.  
WU C W, ZHAO J, XIAO Y, LIU J Y, YAO L, LYU D, QIN W, ZHAO P F, YANG K, ZHAO L P, XIA H M, CHEN D D. Evaluation on cold resistance and performance of sugarcane clones in the north marginal cane-growing region[J]. Sugar Crops of China, 2017, 39(6): 8-12. (in Chinese)
- [19] 陈超君, 韦汉文, 吴建明, 黄敏, 李杨瑞, 何红. 引进甘蔗品种抗寒性评价[J]. 南方农业学报, 2012, 43(6): 744-748.  
CHEN C J, WEI H W, WU J M, HUANG M, LI Y R, HE H. Evaluation on cold resistance of sugarcane cultivars newly introduced to Guangxi[J]. Journal of Southern Agriculture, 2012, 43(6): 744-748. (in Chinese)
- [20] 肖祎, 刘军, 周英明, 吕达, 陈道德, 吴才文. 云引甘蔗品种抗寒性试验[J]. 中国糖料, 2015, 37(6): 33-35.  
XIAO Y, LIU J, ZHOU Y M, LYU D, CHEN D D, WU C W. Testing cold tolerance of sugarcane cultivars from Yunnan[J]. Sugar Crops of China, 2015, 37(6): 33-35. (in Chinese)
- [21] 杨荣仲, 李杨瑞, 王维赞, 朱秋珍, 周会, 唐仕云, 罗亚伟. 干旱霜冻条件下甘蔗耐寒性评价分析[J]. 西南农业学报, 2011, 24(1): 52-57.  
YANG R Z, LI Y R, WANG W Z, ZHU Q Z, ZHOU H, TANG S Y, LUO Y W. Evaluation on cold tolerance of sugarcane under drought and frost conditions[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(1): 52-57. (in Chinese)
- [22] 杨荣仲, 李杨瑞, 王维赞, 杨丽涛, 梁圆, 周会, 黄杏, 罗亚伟, 莫磊兴. 阴雨霜冻条件下的甘蔗耐寒评价分析[J]. 西南农业学报, 2011, 24(3): 1065-1071.  
YANG R Z, LI Y R, WANG W Z, YANG L T, LIANG T, ZHOU H, HUANG X, LUO Y W, MO L X. Evaluation for cold tolerance of sugarcane under rain frost condition[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(3): 1065-1071. (in Chinese)
- [23] 张保青, 杨丽涛, 李杨瑞. 自然条件下甘蔗品种抗寒生理生化特性的比较[J]. 作物学报, 2011, 37(3): 496-505.  
ZHANG B Q, YANG L T, LI Y R. Comparison of physiological and biochemical characteristics related to cold resistance in sugarcane under field conditions[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(3): 496-505. (in Chinese)
- [24] 唐仕云, 杨丽涛, 李杨瑞. 低温胁迫下不同甘蔗品种的转录组比较分析[J]. 生物技术学报, 2018, 34(12): 116-124.  
TANG S Y, YANG L T, LI Y R. Comparative analysis on transcriptome among different sugarcane cultivars under low temperature stress[J]. Biotechnology Bulletin, 2018, 34(12): 116-124. (in Chinese)
- [25] 朱鹏锦, 宋奇琦, 谭秦亮, 程琴, 李佳慧, 庞新华, 周全光, 吕平, 欧克纬, 卢业飞, 农泽梅. 3个甘蔗品种响应低温胁迫的转录组分析[J]. 广西科学, 2023, 30(2): 267-276.  
ZHU P J, SONG Q Q, TAN Q L, CHENG Q, LI J H, PANG X H, ZHOU Q G, LYU P, OU K W, LU Y F, NONG Z M. Transcriptome analysis of three sugarcane varieties in response to low temperature stress[J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(2): 267-276. (in Chinese)
- [26] 张文娥, 王飞, 潘学军. 应用隶属函数法综合评价葡萄种间抗寒性[J]. 果树学报, 2007, 24(6): 849-853.  
ZHANG W E, WANG F, PAN X J. Comprehensive evaluation on cold hardiness of *Vitis* species by subordinate function (SF)[J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(6): 849-853. (in Chinese)
- [27] TANG Q Y, LIN Y X. Maximum Entropy-Minimum Residual Model: an optimum solution to comprehensive evaluation and multiple attribute decision making[J]. Entropy, 2025, 27(2): 203.
- [28] 唐启义. DPS<sup>®</sup>数据处理系统(第5版)[M]. 北京: 科学出版社, 2020.  
TANG Q Y. DPS<sup>®</sup> data processing system volume (Fifth edition)[M]. Beijing: Science Press, 2020. (in Chinese)
- [29] 黄维, 李莉, 吴炫柯, 李华实, 邹颖俊, 何芊姗, 匡昭敏. 广西甘蔗产量灾损风险时空变化分析[J]. 甘蔗糖业, 2024,

- 53(1): 34-45.
- HUANG W, LI L, WU X K, LI H S, ZOU Y J, HE Q S, KUANG Z M. Analysis of spatio-temporal variations in yield loss risk of sugarcane in Guangxi[J]. *Sugarcane and Canesugar*, 2024, 53(1): 34-45. (in Chinese)
- [30] 邓展云, 刘海斌, 张革民, 方锋学, 何红, 李杨瑞, 杨荣仲, 李鸣, 陈赶林, 梁朝旭, 闭少玲. 2007—2008 年榨季广西甘蔗霜冻发生危害规律的调查[J]. *中国糖料*, 2009(1): 47-50.
- DENG Z Y, LIU H B, ZHANG G M, FANG F X, HE H, LI Y R, YANG R Z, LI M, CHEN G L, LIANG C X, BI S L. Investigation of frost bitten sugarcane in Guangxi from 2007 to 2008[J]. *Sugar Crops of China*, 2009(1): 47-50. (in Chinese)
- [31] 赵俊, 范源洪, 吴才文, 刘家勇, 杨洪昌, 赵陪方, 陈学宽. 119 个国外引进甘蔗品种的灰色关联度分析[J]. *中国糖料*, 2007(2): 27-29, 32.
- ZHAO J, FAN Y H, WU C W, LIU J Y, YANG H C, ZHAO P F, CHEN X K. Comprehensive evaluation of 19 introduced sugarcane varieties by gray correlation degree[J]. *Sugar Crops of China*, 2007(2): 27-29, 32. (in Chinese)
- [32] 苏小茜, 杨业彬, 邓思, 韦荣维, 韦慧明, 何晓媚, 周建平, 韦开军. 广西甘蔗新品系的 DTOPSIS 法综合评价[J]. *中国糖料*, 2024, 46(4): 1-10.
- SU X H, YANG Y B, DENG S, WEI R W, WEI H M, HE X M, ZHOU J P, WEI K J. Comprehensive evaluation of new sugarcane lines in Guangxi by DTOPSIS method[J]. *Sugar Crops of China*, 2024, 46(4): 1-10. (in Chinese)