

◆特邀栏目◆

基于灰色关联度及 TOPSIS 法的甘蔗综合性状评价*

欧克纬, 农泽梅, 卢业飞, 吕平, 庞新华, 程琴, 周全光, 宋奇琦, 朱鹏锦**

(广西壮族自治区亚热带作物研究所, 广西南宁 530001)

摘要:为选育高产、高糖、抗逆性强且适应广西蔗区种植的甘蔗(*Soccharum officinarum*)优良新品种,以甘蔗新品种(系)桂热1号(GR1)和桂热2号(GR2)为试验材料,以新台糖22号(ROC22)为对照,进行多年多点的跟踪种植试验,所得结果运用灰色关联度及 TOPSIS 法进行分析。灰色关联度分析结果表明,影响产糖量的因素依次为蔗茎产量>有效茎>株高>分蘖率>蔗糖分>茎径。对3个品种甘蔗的 TOPSIS 综合评价高低排序为 GR2>GR1>ROC22。GR2 的蔗茎产量最高、有效茎条数多、综合评价最优,是优良的甘蔗品种,适宜进一步推广种植。

关键词:甘蔗品种(系);田间试验;灰色关联度;TOPSIS 法;综合评价

中图分类号:S556.1 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2023)04-0804-09

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20230928.020

甘蔗(*Soccharum officinarum*)是重要的制糖原料,原产于热带和亚热带地区。广西是我国重要的产糖基地,甘蔗种植面积和产量均位居全国之首^[1]。近年来,由于甘蔗生产成本不断攀升、机械化程度低^[2]、优良品种缺乏等因素的影响,广西蔗糖产业发展受到一定程度的冲击。选育和推广优良甘蔗品种是保障蔗糖产业健康持续发展的有效途径^[3],而科学合理的甘蔗综合性状评价方法和结果可为甘蔗品种的选育和推广提供重要参考^[4]。

灰色关联度分析可衡量系统内各因素之间的关联程度,对研究对象的贡献度作出评价^[5]。TOPSIS 法作为一种解决多属性决策问题的方法,已应用于多种作物的综合评价^[6]。目前已有部分研究采用灰色关联度对甘蔗性状作评价,而 TOPSIS 法则较少运用在甘蔗综合性状的评价中,这可能会导致一些具备优良综合性状的甘蔗品种难以得到应用。因此,综合运用灰色关联度及 TOPSIS 法对甘蔗综合性状进行客观评价,对选育和推广高产、高糖、抗逆性强的甘蔗

收稿日期:2023-02-15

修回日期:2023-03-15

* 广西自然科学基金项目(2023GXNSFAA026327),广西农科院科技发展基金项目(桂农科 2022JM93),广西农科院基本科研业务专项(桂农科 2023YM10,桂农科 2021YT151)和广西科技计划项目(桂科 AA22117002-6,桂科 AA22117002-7)资助。

【第一作者简介】

欧克纬(1986-),女,硕士,高级实验师,主要从事作物遗传育种及栽培研究,E-mail:707008920@qq.com。

【**通信作者】

朱鹏锦(1983-),男,硕士,高级农艺师,主要从事热带亚热带作物的选育种及栽培研究,E-mail:329669037@qq.com。

【引用本文】

欧克纬,农泽梅,卢业飞,等.基于灰色关联度及 TOPSIS 法的甘蔗综合性状评价[J].广西科学,2023,30(4):804-812.

OU K W, NONG Z M, LU Y F, et al. Evaluation of Sugarcane Based on Comprehensive Characters Using Grey Correlation Degree and TOPSIS Method [J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(4): 804-812.

优良新品种具有重要意义。桃联安等^[7]采用灰色关联度对云南 82-114 割手密 F1 代的 9 个性状进行分析后发现,蔗茎产量对产糖量的影响最大,提高甘蔗产量能更有效地提高单位面积产糖量。赵俊等^[8]对 19 个国外引进的甘蔗品种的 9 个主要性状进行灰色关联度分析后也发现,公顷蔗茎产量与公顷含糖量之间的关联度最大。黄婷等^[9]对玉米(*Zea mays*)自交系各性状进行灰色关联度分析,结果发现秃尖长性状与产量构成性状关联度最密切。李小玉等^[10]对 12 份油菜(*Brassica napus*)品种在不同处理条件下的多个指标进行灰色关联度分析,得出干旱胁迫下与单株产量关联度最密切的是产量因子的结论。姜敏等^[11]对 18 份贵州地区花生(*Arachis hypogaea*)种质资源的 10 个主要农艺性状与花生产量的相关性进行灰色关联度分析发现,与产量关联度最密切的指标为成苗率,其次为单株生产力,最后为结果数,同时指出为提高产量,在花生栽培过程中要注重对成苗率、单株生产力等指标的选择。曹燕燕等^[12]以 4 个小麦(*Triticum aestivum*)品种为材料,测定其植株在受到低温胁迫影响下,叶片中超氧化物歧化酶(SOD)等生理指标的活性变化并测定其单株产量等指标,经灰色关联度分析发现,脯氨酸和可溶性蛋白含量与小麦产量降幅关联度最大。单晓敏等^[13]运用 TOPSIS 法与其他方法进行联合分析,建立并验证了甘蔗联合收割机液压系统设计方案的有效性及其合理性。梁秋萍等^[14]通过对 10 个不同品种甜樱桃(*Prunus avium*)理化性质及总酚物质进行测定并构建 TOPSIS 模型,筛选出抗氧化能力最强且综合营养价值最高的樱桃优良品种。包淑英等^[15]将 TOPSIS 法用于 13 个绿豆(*Vigna radiata*)品种(系)的综合评价,获得 4 个可示范推广的优良品种。雷涌涛等^[16]将 11 个大麦(*Hordeum vulgare*)新品系的产量、基本苗等 10 个性状作为正向指标,以白粉病等 3 个性状作为负向指标,进行 TOPSIS 评价,筛选出保大麦 10-J5 等 4 个适合在云南推广种植的大麦新品系。安东等^[17]将 33 个原产于南部地区的大豆(*Glycine max*)品种引种到黄土高原地区,对其粗蛋白等多个指标进行 TOPSIS 分析,发现华夏 3 号等 2 个大豆品种产量和品质表现优良,适宜作为优质饲草大豆品种推广应用。目前,对甘蔗农艺性状的评价大多采用方差分析方法,运用灰色关联度和 TOPSIS 方法对甘蔗农艺性状进行评价的研究鲜见报道。本研究以桂热 1 号(GR1)和桂热 2 号(GR2)甘蔗品种(系)为试验材料,

以新台糖 22 号(ROC22)为对照,进行 6 次新植 4 次宿根(6 新 4 宿)种植试验,对其产糖量等 7 个主要农艺性状进行灰色关联度分析,筛选出与产糖量关联度最大的性状因子,同时将黑穗病等 3 个病虫害发病率作为负向指标、产糖量等 8 个农艺性状作为正向指标,运用 TOPSIS 法进行综合分析,以筛选出综合性状最优的甘蔗品种,为甘蔗新品种的选育和推广提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

参试甘蔗品种(系)包括 GR1 和 GR2,以 ROC22 为对照(CK)。其中,甘蔗品系 GR1 原编号为 LZ03-75,其母本为粤糖 91-976^[18],父本为 ROC10^[19];甘蔗品种 GR2 原编号为 LZ02-6,其母本同为粤糖 91-976,而父本为 ROC20^[20]。GR1 和 GR2 是由其父、母本分别通过传统杂交育种方式选育,并经过单株筛选、株系选择、初级品比试验及在攀西蔗区进行区域性试验筛选出的甘蔗优良新品种(系),由广西壮族自治区亚热带作物研究所(以下简称“广西热作所”)与四川省凉山州亚热带作物研究所合作,于 2012 年引入广西蔗区种植^[21]。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

在 2012-2017 年,共进行 6 新 4 宿的小区品比试验。试验地分别设在广西热作所第二试验区、金光农场、新兴农场、良圻农场和滨海农场。各试验品种(系)种植小区设 3 个重复,随机排列,每小区行长 7.0 m,共设 5 行,行距为 1.2 m,小区面积约为 42.0 m²,边际设保护行。田间栽培管理遵循当地蔗田栽培管理模式,同时按时对参试品种(系)进行数据调查和收集。

1.2.2 调查项目及方法

下种后 30 d 开始调查统计各品种(系)的出苗率,且每隔 15 d 再调查 1 次,共调查 3 次;自蔗苗分蘖开始,每隔 15 d 调查各小区各品种(系)分蘖率,共调查 3 次;于 5 月中旬调查各品种(系)甘蔗的枯心苗数、黑穗病苗数和梢腐病苗数;新植蔗收获后的次年调查各小区各品种(系)宿根蔗的分蘖率;第二年开始于每年 1 月测定各小区各品种(系)的株高、茎径、有效茎数、蔗茎产量、蔗糖分和产糖量^[3]。

病虫害率(%) = 病虫害植株数/植株总数 × 100%,

有效茎数(株/hm²) = 小区有效茎数/小区面积 × 10⁴,

蔗茎产量(t/hm²) = 单茎重 × 公顷有效茎数,

单茎重(kg) = (茎径)² × 茎长 × 0.7854 ×

1/1000(其中1表示茎比重),

蔗糖分(%) = (平均田间锤度 × 1.0825 - 7.703) × 100%,

产糖量(t/hm²) = 蔗糖分 × 蔗茎产量,

式中,平均田间锤度为随机测量各小区各品种(系)中间行15-20株甘蔗田间锤度的平均值。

1.2.3 分析方法

根据邓聚龙^[22]的灰色系统理论,将3个甘蔗品种(系)6新4宿的6个主要农艺性状调查结果作为子序列,以产糖量作为母序列,进行灰色关联度分析,再对3个病虫害发病率(负向指标)及产糖量等8个农艺性状(正项指标)进行TOPSIS分析。灰色关联度有关指标的计算方法如下。

数据的标准化处理: $x_i(k)' = [x_i(k) - \bar{x}_i] / s$,

绝对差值: $\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|, 1 \leq$

$i \leq m$,

关联系数: $L_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta_{\max}}$,

式中, x_i 表示比较数列, x_0 表示参考序列, \bar{x}_i 为该性状的平均值, s 为该性状的标准差; Δ_{\max} 和 Δ_{\min} 分别表示比较序列绝对差值中的最大值和最小值, ρ 为分辨系数,取值为0.1。

TOPSIS法分析步骤为

①数据同趋势化处理:将调查得到的黑穗病病害率、枯心苗率和梢腐病率进行逆向化(取倒数)处理。

②数据的平方和归一化处理:

表1 3个甘蔗品种(系)的抗病虫能力

Table 1 Ability to resist pests and diseases of 3 sugarcane varieties (lines)

年份 Year	地点 Site	新宿 New-planting and ratoon sugarcane	品种(系) Variety (lines)	黑穗病率/% Rate of smut/%	枯心苗率/% Rate of dead shoots/%	梢腐病率/% Rate of pokkah boeng/%
2012-2013	Second experimental area of Guangxi Subtropical Crop Research Institute	New-planting	GR1	0.00	0.00	0.00
			GR2	0.00	0.00	0.00
			CK	0.00	0.00	0.00
		Ratoon	GR1	0.00	0.00	0.00
			GR2	0.00	0.00	0.00
			CK	0.00	0.00	0.00

$$A_{ij} = X_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}。$$

③找出最优矩阵向量 A^+ 和最劣矩阵向量 A^- : $A^+ = (A_1^+, A_2^+, A_3^+, \dots, A_n^+)$, $A^- = (A_1^-, A_2^-, A_3^-, \dots, A_n^-)$ 。

④分别计算各个评价对象与正、负理想解的距离 D^+ 和 D^- :

$$D^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m W_j \times (A_j^+ - A_{ij})^2},$$

$$D^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m W_j \times (A_j^- - A_{ij})^2}。$$

⑤结合距离值计算得出评价对象与最优方案的接近程度 C 值并进行排序:

$$C = D^- / (D^+ + D^-)。$$

以上式子中,假定为 i 个评价对象、 m 个评价指标, A_{ij} 表示规范化决策矩阵中的元素, X_{ij} 表示矩阵中的元素, W_j 表示权重值。

1.3 统计分析

试验数据采用 Excel 2003 进行整理,采用 SPSS 18.0 进行方差分析和 TOPSIS 分析,采用 DPS V9.01 进行灰色关联度分析。

2 结果与分析

2.1 各甘蔗品种(系)抗病虫能力比较

由表1可知,各甘蔗品种(系)6新4宿的病虫害发生率中,CK的平均枯心苗率、平均黑穗病率和平均梢腐病率均最高,而GR2均为最低。值得注意的是,2012-2013年广西热作所第二试验区3个品种(系)新植及宿根蔗的枯心苗、黑穗病和梢腐病发病率均为0.00%,可能与试验区的土壤环境及当时的温度气候等有一定的关系。

续表

Continued table

年份 Year	地点 Site	新宿 New-planting and ratoon sugarcane	品种(系) Variety (lines)	黑穗病率/% Rate of smut/%	枯心苗率/% Rate of dead shoots/%	梢腐病率/% Rate of pokkah boeng/%
2013	Jinguang farm	New-planting	GR1	0.00	5.90	3.00
			GR2	0.33	6.07	1.00
			CK	4.67	4.50	0.67
2013	Xinxing farm	New-planting	GR1	0.00	0.43	6.80
			GR2	0.00	0.83	0.00
			CK	7.63	0.13	0.00
2016 - 2017	Xinxing farm	New-planting	GR1	1.16	0.09	0.79
			GR2	0.00	0.90	0.39
			CK	2.41	0.19	2.89
		Ratoon	GR1	1.22	0.08	0.67
			GR2	0.00	0.82	0.42
			CK	2.51	0.12	2.75
	Liangqi farm	New-planting	GR1	0.07	3.16	0.80
			GR2	0.00	0.90	3.13
			CK	0.20	1.23	1.11
		Ratoon	GR1	0.00	1.06	3.08
			GR2	0.00	0.95	4.46
			CK	0.09	3.10	4.38
	Binhai farm	New-planting	GR1	1.01	2.90	3.23
			GR2	0.18	2.50	1.28
			CK	11.90	5.20	16.44
		Ratoon	GR1	8.60	2.85	5.19
			GR2	6.13	2.96	0.13
			CK	8.60	2.95	5.19
2012 - 2017	Mean value	6 times of new - plant and 4 times of ratoon	GR1	1.21	1.65	2.36
			GR2	0.66	1.59	1.08
			CK	3.80	1.74	3.34

2.2 各甘蔗品种(系)的主要农艺性状表现

由表 2 可知,3 个品种(系)的新植蔗平均出苗率、平均分蘖率、平均株高及平均茎径之间没有显著差异,平均出苗率最高的为 GR2,比 CK 高 6.14%;平均分蘖率最高的为 GR1,比 CK 高 11.66%,GR2 的平均分蘖率比 CK 高 8.23%;平均株高最高的为 CK,比 GR2 高 0.41 cm;平均茎径最大的为 GR1,其

次为 GR2;GR2 的平均有效茎数显著高于 GR1 和 CK,较 CK 的增幅达 22.00%。2016 - 2017 年,GR2 在新兴农场和滨海农场的宿根蔗的有效茎数均显著高于 CK;GR1 在新兴农场的新植蔗的有效茎数显著高于 CK。综上所述,在多年多点的跟踪种植试验中,GR2 在有效茎数方面的表现优势明显。

表 2 3个甘蔗品种(系)的主要农艺性状

Table 2 Main agronomic characters in 3 sugarcane varieties (lines)

年份 Year	地点 Site	新宿 New-planting and ratoon sugarcane	品种(系) Variety (lines)	出苗率/% Emergence rate/%	分蘖率/% Tillering rate/%	株高/cm Plant height/cm	茎径/cm Stalk diameter/ cm	有效茎数/ (Plants/hm ²) Millable stalks/ (Plants/hm ²)	
2012-2013	Second experi- mental area of Guangxi Sub- tropical Crop Research Insti- tute	New-planting	GR1	58.03 ± 0.48	67.43 ± 5.53	348.97 ± 0.27	2.90 ± 0.13	69 265	
			GR2	57.40 ± 3.44	69.77 ± 5.64	377.10 ± 13.09	2.70 ± 0.03	79 655	
			CK	61.23 ± 3.46	59.13 ± 9.44	366.37 ± 11.74	2.52 ± 0.25	72 725	
		Ratoon	GR1		91.03 ± 6.86	286.33 ± 10.63 b	2.67 ± 0.10	55 099	
			GR2		98.10 ± 6.09	331.63 ± 7.45 a	2.85 ± 0.10	71 498	
			CK		81.27 ± 5.41	326.83 ± 7.24 a	2.56 ± 0.18	58 510	
2013	Jinguang farm	New-planting	GR1	67.77 ± 3.61	70.63 ± 7.47	290.47 ± 15.14	2.55 ± 0.09	84 414	
			GR2	68.67 ± 3.67	71.63 ± 12.45	289.23 ± 2.25	2.47 ± 0.09	97 671	
			CK	68.47 ± 1.94	74.50 ± 8.06	314.17 ± 9.37	2.28 ± 0.05	85 990	
2013	Xinxing farm	New-planting	GR1	62.10 ± 2.86	51.83 ± 2.77	283.33 ± 8.57	2.54 ± 0.16	71 392	
			GR2	62.83 ± 2.77	63.60 ± 5.58	295.00 ± 13.32	2.35 ± 0.12	75 282	
			CK	51.33 ± 4.20	63.20 ± 3.60	305.67 ± 5.33	2.47 ± 0.09	66 670	
2016-2017	Xinxing farm	New-planting	GR1	40.41 ± 11.28 b	69.50 ± 9.95	285.67 ± 2.85	2.68 ± 0.05	73 728 a	
			GR2	49.85 ± 12.13 b	55.48 ± 16.19	295.67 ± 5.90	2.65 ± 0.04	77 381 a	
			CK	24.34 ± 12.26 a	33.51 ± 7.5	290.00 ± 1.15	2.77 ± 0.11	48 645 b	
		Ratoon	GR1		50.29 ± 3.22 a	333.67 ± 8.17	2.57 ± 0.05	61 349 ab	
			GR2		58.41 ± 4.24 a	355.67 ± 8.09	2.66 ± 0.02	66 427 a	
			CK		33.31 ± 3.14 b	344.67 ± 9.82	2.64 ± 0.07	39 365 b	
		Liangqi farm	New-planting	GR1	54.15 ± 2.69	73.11 ± 11.31 ab	319.33 ± 6.67 b	2.70 ± 0.03	64 320 b
				GR2	61.41 ± 2.65	85.56 ± 9.82 a	328.67 ± 3.18 b	2.47 ± 0.04	85 360 a
				CK	57.55 ± 1.87	50.74 ± 10.04 b	351.00 ± 6.00 a	2.66 ± 0.14	68 210 ab
	Ratoon		GR1		84.12 ± 7.63 ab	306.67 ± 10.27	2.73 ± 0.08	60 745	
			GR2		77.82 ± 6.90 b	332.67 ± 8.21	2.69 ± 0.11	56 220	
			CK		116.04 ± 7.70 a	329.33 ± 0.67	2.81 ± 0.05	71 860	
	Binhai farm	New-planting	GR1	52.70 ± 1.80	64.04 ± 6.25 a	236.97 ± 13.12	2.68 ± 0.08	60 745	
			GR2	55.71 ± 1.20	36.68 ± 4.93 b	254.03 ± 5.83	2.59 ± 0.09	83 140	
			CK	56.11 ± 2.34	36.78 ± 6.41 b	232.70 ± 39.83	2.62 ± 0.09	65 905	
		Ratoon	GR1		124.79 ± 12.63 a	298.33 ± 6.39	2.76 ± 0.06	66 700 b	
			GR2		97.19 ± 4.18 ab	319.33 ± 8.96	2.75 ± 0.02	86 950 a	
			CK		83.42 ± 6.26 b	306.00 ± 16.37	2.69 ± 0.09	61 140 b	
2012-2017	Mean value	6 times of new-plant and 4 times of ratoon	GR1	55.86 ± 3.82	74.85 ± 7.63	298.97 ± 9.82	2.68 ± 0.03	66 776 b	
			GR2	59.31 ± 2.65	71.42 ± 6.07	316.26 ± 12.44	2.62 ± 0.05	77 958 a	
			CK	53.17 ± 6.22	63.19 ± 8.37	316.67 ± 11.88	2.60 ± 0.05	63 902 b	

Note: different lowercase letters after the data of different varieties in the same year, the same site and the same crop indicate significant differences ($P < 0.05$), different lowercase letters after the mean value of different varieties indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.3 各甘蔗品种(系)的蔗茎产量和产糖量比较

表 3 显示, GR2 的平均蔗茎产量最高, 较 CK 增产 25.04 t/hm², 增幅达 29.14%; GR1 的平均蔗茎产

量次之, 较 CK 增产 8.04 t/hm², 增幅为 9.36%。GR2 的平均蔗茎产量显著高于 GR1 和 CK。平均蔗糖分最高的为 CK, 其次为 GR2; GR2 和 CK 的平均

蔗糖分均超过 13%。平均产糖量最高的为 GR2, 较 CK 增产 3.35 t/hm², 增幅达 28.03%; GR1 的平均产糖量较 CK 增产 0.67 t/hm², 增幅为 5.61%。GR2 新植蔗在 2012-2013 年广西热作所第二试验区、2013 年及 2016-2017 年新兴农场蔗茎产量显著高于 CK, 在 2013 年及 2016-2017 年新兴农场产糖

量显著高于 CK; 相较于新植蔗, GR2 宿根蔗的表现则更突出, 其蔗茎产量均显著高于 CK, 蔗糖分平均值与 CK 差异不显著, 而在宿根蔗产糖量方面, 除 2012-2013 年广西热作所第二试验区表现与 CK 差异不显著外, 其余年份均显著高于 CK, 总体上 GR2 宿根蔗的蔗茎产量和产糖量均表现出显著优势。

表 3 3 个甘蔗品种(系)的蔗茎产量、蔗糖分及产糖量

Table 3 Cane yield, sucrose content and sugar yield in 3 sugarcane varieties (lines)

年份 Year	地点 Site	新宿 New-planting and ratoon sugarcane	品种 (系) Variety (lines)	蔗茎产量/ (t/hm ²) Cane yield/ (t/hm ²)	蔗茎产量 与 CK 比 较/% Cane yield compare to CK/%	蔗糖分/% Sucrose content/%				产糖量/ (t/hm ²) Sugar yield/(t/hm ²)	产糖量与 CK 比 较/% Sugar yield compare to CK/%
						11月 November	12月 December	1月 January	平均 Average		
2012- 2013	Second experi- mental area of Guangxi Sub- tropical Crop Research Insti- tute	New- planting	GR1	113.79 ± 1.60 b	9.45	11.64	12.38	13.32	12.45 ± 0.49	14.84 ± 0.13	11.92
			GR2	130.99 ± 4.48 a	25.99	12.38	13.3	14.06	13.25 ± 0.49	15.87 ± 1.29	19.68
			CK	103.97 ± 5.47 b		12.38	13.01	13.76	13.05 ± 0.40	13.26 ± 1.18	
		Ratoon	GR1	77.28 ± 2.3 c	-15.19	12.15	12.67	12.97	12.60 ± 0.24 b	10.25 ± 0.49 b	-22.52
			GR2	113.34 ± 0.45 a	24.39	12.4	13.55	14.69	13.55 ± 0.66 ab	16.11 ± 0.29 a	21.77
			CK	91.12 ± 0.45 b		12.92	13.53	15.46	13.97 ± 0.77 a	13.23 ± 1.63 a	
2013	Jinguang farm	New- planting	GR1	116.24 ± 9.51	1.53	12.97	13.33	13.61	13.30 ± 0.19	15.46 ± 1.27	-4.92
			GR2	128.47 ± 1.74	12.21	13.25	14.17	14.46	13.96 ± 0.36	17.93 ± 0.24	10.27
			CK	114.49 ± 8.93		13.94	14.28	14.38	14.20 ± 0.13	16.26 ± 1.27	
2013	Xinxing farm	New- planting	GR1	99.53 ± 3.61 ab	8.72	13.72	14.14	14.6	14.15 ± 0.25	14.08 ± 0.51 ab	4.37
			GR2	110.37 ± 4.85 a	20.56	13.95	14.81	15.14	14.63 ± 0.35	16.15 ± 0.71 a	19.72
			CK	91.55 ± 4.10 b		13.92	14.95	15.32	14.73 ± 0.42	13.49 ± 0.60 b	
2016- 2017	Xinxing farm	New- planting	GR1	79.52 ± 3.55 a	29.24	8.6	11.0	12.1	10.57 ± 1.03	10.45 ± 0.47 ab	21.79
			GR2	88.51 ± 3.47 a	43.85	10.8	11.1	12.5	11.47 ± 0.52	12.20 ± 0.51 a	42.19
			CK	61.53 ± 3.99 b		10.6	11.6	13.2	11.80 ± 0.76	8.58 ± 0.77 b	
		Ratoon	GR1	95.28 ± 5.02 b	17.69	8.1	11.5	12.4	10.67 ± 1.31	11.28 ± 0.55 b	8.99
			GR2	126.05 ± 6.19 a	55.69	10.8	11.8	13.4	12.00 ± 0.76	16.32 ± 0.99 a	57.68
			CK	80.96 ± 4.01 b		11.3	12.3	13.1	12.23 ± 0.52	10.35 ± 0.47 b	
	Liangqi farm	New- planting	GR1	105.00 ± 4.82	-3.14	9.42	10.93	12.82	11.06 ± 0.98 b	14.33 ± 0.34	-3.50
			GR2	99.02 ± 4.24	-8.65	10.96	12.82	13.78	12.52 ± 0.83 ab	14.13 ± 0.95	-4.85
			CK	108.40 ± 10.12		13.74	13.75	13.93	13.81 ± 0.06 a	14.85 ± 0.97	
		Ratoon	GR1	104.00 ± 2.86 ab	28.46	10.92	11.21	13.37	11.83 ± 0.77	13.90 ± 0.34 ab	17.20
			GR2	122.23 ± 8.74 a	50.98	11.82	12.45	14.45	12.91 ± 0.79	17.69 ± 1.43 a	49.16
			CK	80.96 ± 7.66 b		12.92	13.22	14.56	13.57 ± 0.50	11.86 ± 1.52 b	
Binhai farm	New- planting	GR1	65.15 ± 10.04	-4.08	11.71	13.34	15.05	13.37 ± 0.96	8.81 ± 1.51	-5.78	
		GR2	85.68 ± 10.84	26.15	12.19	12.92	13.71	12.94 ± 0.44	11.83 ± 1.52	26.52	
		CK	67.92 ± 8.18		12.33	12.59	13.96	12.96 ± 0.51	9.35 ± 1.17		
	Ratoon	GR1	83.83 ± 5.53 b	43.69	11.46	12.75	14.62	12.94 ± 0.92	12.80 ± 0.99 a	54.22	
		GR2	104.98 ± 4.45 a	79.95	12.33	13.46	13.78	13.19 ± 0.44	14.78 ± 0.43 a	78.07	
		CK	58.34 ± 7.78 c		12.55	13.16	14.39	13.37 ± 0.54	8.30 ± 1.17 b		
2012- 2017	Mean value	6 times of new-plant and 4 times of ratoon	GR1	93.96 ± 5.34 b	9.36	11.07	12.33	13.49	12.30 ± 0.70	12.62 ± 0.72 b	5.61
			GR2	110.96 ± 5.15 a	29.14	12.09	13.04	14.00	13.04 ± 0.55	15.30 ± 0.66 a	28.03
			CK	85.92 ± 6.18 b		12.66	13.24	14.21	13.37 ± 0.45	11.95 ± 0.86 b	

Note: different lowercase letters after the data of different varieties in the same year, the same site and the same crop indicate significant differences ($P < 0.05$), different lowercase letters after the mean value of different varieties indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.4 产糖量与主要农艺性状的关联度分析

根据灰色关联度分析法,以产糖量为母序列,蔗茎产量、有效茎数、株高、分蘖率、蔗糖分和茎径等主要农艺性状为子序列,计算序列之间的关联系数。由表4可知,与产糖量关系最密切的是蔗茎产量,其次为有效茎数,再次为株高;而茎径与产糖量的关联系数最小。这说明蔗茎产量对产糖量的影响最大,其次为有效茎数、株高和分蘖率,茎径对产糖量影响最小。

表4 产糖量与主要农艺性状间的关联度

Table 4 Degree of association between sugar yield and main agronomic characters

因子 Factor	关联系数 Association coefficient	排序 Sorting
Cane yield	0.672 9	1
Millable stalks	0.422 8	2
Plant height	0.391 9	3
Tillering rate	0.369 1	4
Sucrose content	0.343 9	5
Stalk diameter	0.301 6	6

2.5 不同品种(系)甘蔗农艺性状的综合评价

根据TOPSIS法首先计算3个品种(系)甘蔗6新4宿11个指标的正、负理想解(A^+ 和 A^-),结果如表5所示,正理想解 A^+ 表示各评价指标的最大值,而负理想解 A^- 表示各评价指标的最小值;然后计算出各评价对象分别与正、负理想解的距离值 D^+ 和 D^- 。与正理想解的几何距离最近、负理想解的几何距离最远的为最佳方案(品种),结果如表6所示。经TOPSIS法计算得出,3个品种(系)甘蔗农艺性状的综合评价得分排序为 $GR2 > GR1 > CK$ 。

表5 各评价指标的正、负理想解

Table 5 Positive and negative ideal solutions for each evaluation index

因子 Factor	正理想解 A^+ Positive ideal solution A^+	负理想解 A^- Negative ideal solution A^-
Sucrose content	0.661	0.516
Sugar yield	0.598	0.550
Cane yield	0.657	0.509
Millable stalks	0.645	0.528
Stalk diameter	0.588	0.570
Plant height	0.588	0.555
Emergence rate	0.617	0.521
Tillering rate	0.610	0.547
Rate of pokkah boeng	0.868	0.151
Rate of dead shoots	0.602	0.550
Rate of smut	0.872	0.282

表6 不同品种(系)甘蔗综合性状的TOPSIS法评价结果

Table 6 Evaluation results of comprehensive characters different sugarcane varieties (lines) by TOPSIS method

品种(系) Variety (lines)	D^+	D^-	C	排序 Sorting
GR1	0.646	0.364	0.361	2
GR2	0.035	0.966	0.965	1
CK	0.967	0.058	0.057	3

Note: D^+ and D^- represent the distance between the evaluation object and the positive and negative ideal solution, respectively. C represents the proximity of the evaluation object to the optimal scheme.

3 讨论

选育高产、高糖和抗逆性强的甘蔗品种是提高甘蔗产量和蔗糖分的有效途径^[3]。目前,我国经过长期多单位的大量选育种已获得较多甘蔗新品种,但对这些新品种大多采用方差分析方法进行某一性状的比较^[23,24]。甘蔗品种(系)GR1和GR2由四川省攀西蔗区引入广西,目前已有近10年的种植时间,期间朱鹏锦等^[25]通过低温胁迫处理耐寒性不同的甘蔗品种发现,GR2等品种具有较强的低温耐受能力;欧克纬等^[21]通过对10个甘蔗品种(系)在柳州地区种植后的各性状进行比较后发现,GR2在产量和产糖量方面均表现出优势;单彬等^[26]使用5种除草剂对GR2做安全性测试后,得出GR2对敌草隆、莠灭净等常见除草剂具有较好的耐受性的结论。上述试验多采用方差分析对甘蔗的某单一性状作评价,这可能使得甘蔗品种(系)的综合性状难以得到客观全面的体现。为评估GR2等甘蔗品种(系)在广西蔗区的适应性及产量潜力,本研究特对其进行跨地点、跨年份的跟踪种植调查并采用灰色关联度和TOPSIS法对其综合性状进行评价。

灰色关联度在分析作物多种性状方面的评价效果较好,其评价结果有利于在开展作物品种选育时把握好方向,已应用于包括甘蔗在内的多种作物产量与相关农艺性状的关系研究^[27-30]。王尊欣^[31]对31个甘蔗品种的公顷蔗产量与其他10个性状进行灰色关联度分析后发现,公顷含糖量与公顷蔗茎产量之间的关联度最大。刘晓燕等^[32]将10个引进的甘蔗新品种的公顷含糖量与其他7个性状进行灰色关联度分析后发现,与公顷含糖量关联度最大的是公顷实产。TOPSIS法能对作物品种多个评价指标与理想化目标的接近程度作出分析,进而以此作为依据评估作物品种的优劣,是一种较全面且客观的评价方法^[33]。

宁东贤等^[34]利用 TOPSIS 法对 12 个花生品种(系)作出综合评价,获得冀花 13 号等 4 个可推广种植的品种。上述研究结果均可作为选育作物品种的侧重点参考,以及评估作物品种综合性状和推广价值的参考依据。

本研究中,3 个甘蔗品种(系)6 新 4 宿试验结果表明,GR2 的平均产糖量达 15.30 t/hm²,GR1 达 12.62 t/hm²,分别较 CK 增产 3.35 t/hm² 和 0.67 t/hm²,增幅分别达 28.03% 和 5.61%。GR2 在以各试验地为代表的桂中地区、桂北地区以及桂南地区的种植中均表现出产量及产糖量优势,这与其他同类研究的结果一致,如在来宾蔗区 GR2 的产量和产糖量均为最高^[35],在柳州蔗区 GR2 宿根蔗的产量和产糖量方面也表现出较大优势^[21];而 GR1 则在桂南地区的种植中表现出优势。灰色关联度分析与 TOPSIS 法评价的结果较一致。TOPSIS 法评价结果表明,3 个品种综合性状的评价排序为 GR2>GR1>ROC22。灰色关联度分析结果表明,与产糖量关联度最高的是蔗茎产量,这与桃联安等^[7]及赵俊等^[8]的研究结果一致。综合评价排名第一的 GR2 的蔗茎产量平均值最高,达 110.96 t/hm²,其有效茎数平均值也显著高于 GR1 和 CK,达 77 958 株/hm²。此外,从 11 月至次年 1 月的甘蔗蔗糖分变化趋势可以看出,GR2 属于晚熟品种^[36]。1 月之后,GR2 在一些地区的平均蔗糖分在 14% 以上,如 2013 年新兴农场 GR2 新植蔗 1 月的蔗糖分在 15% 以上。广西蔗区的榨季为 11 月中下旬一直持续到次年 3 月,十分有利于 GR2 等晚熟甘蔗品种的推广。

4 结论

甘蔗新品种 GR2 具有蔗茎产量高、有效茎数多、宿根性强等特点,经灰色关联度和 TOPSIS 法综合评价,其综合性状优于 GR1 和 ROC22,是优良的晚熟甘蔗品种,适宜在广西蔗区进一步推广种植。

参考文献

- [1] 李杨瑞,杨丽涛. 20 世纪 90 年代以来我国甘蔗产业和科技的新发展[J]. 西南农业学报,2009,22(5):1469-1476.
- [2] 欧克纬,卢业飞,农泽梅,等. 不同品种甘蔗脱叶性和机收含杂率的测定与比较分析[J]. 热带农业科学,2020,40(12):91-96.
- [3] 李杨瑞. 现代甘蔗学[M]. 北京:中国农业出版社,2010.
- [4] 李杨瑞. 甘蔗 7 个性状对产量的效应[J]. 福建农学院学报 1987,16(4):287-292.
- [5] 张浩,安玉发. 基于灰色关联分析的我国农产品出口结构优化研究[J]. 国际贸易问题,2009(6):11-15.
- [6] 刘军. 基于熵权和 TOPSIS 集成的农作物综合评价[J]. 安徽农业科学,2010,38(12):6078-6079.
- [7] 桃联安,经艳芬,董立华,等. 甘蔗属割手密种云南 82-114F1 代灰色关联度综合评价及分类[J]. 南方农业学报,2015,46(2):188-193.
- [8] 赵俊,范源洪,吴才文,等. 19 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.
- [9] 黄婷,张思亲,王治中,等. 基于灰色关联度、DTOPSIS 与模糊概率法的玉米姊妹系综合评价[J/OL]. 分子植物育种,2021(2021-11-15)[2023-02-15]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20211111.1557.006.html>.
- [10] 李小玉,田宏先,王瑞霞. 灰色关联度分析和主成分分析在油菜抗旱育种中的应用[J]. 种子,2021,40(9):92-97.
- [11] 姜敏,饶庆琳,胡廷会,等. 贵州花生产量与农艺性状灰色关联度分析[J]. 贵州农业科学,2021,49(11):41-46.
- [12] 曹燕燕,张宏套,郭春强,等. 不同冬小麦品种拔节期低温生理生化反应及其灰色关联度分析[J]. 山东农业科学,2021,53(8):37-42.
- [13] 单晓敏,王丛瑞,黄云战,等. 基于区间数 TOPSIS 法的甘蔗联合收割机液压系统设计评估[J]. 机械设计与制造,2017(10):67-70.
- [14] 梁秋萍,严学迎. 基于熵权 TOPSIS 法不同品种甜樱桃营养品质综合评价[J]. 食品研究与开发,2021,42(16):59-64.
- [15] 包淑英,贺明,杨波,等. 吉林省绿豆主栽品种综合评价[J]. 东北农业科学,2020,45(4):9-12,44.
- [16] 雷涌涛,于亚雄,杨金华,等. 用 TOPSIS 综合评价云南大麦新品系推广价值[J]. 西南农业学报,2015,28(3):982-985.
- [17] 安东,来兴发,邓建强,等. TOPSIS 法评价南方大豆品种在黄土高原地区的饲用潜力[J]. 草地学报,2019,27(6):1710-1717.
- [18] 刘少谋,王勤南,邱永生,等. ‘粤糖 91-976’的选育及在甘蔗育种中的利用效果[J]. 热带农业科学,2017,37(2):43-47.
- [19] 彭绍光. 台湾省新台糖(ROC)甘蔗品种介绍[J]. 广西农业科学,1998(5):14-18.
- [20] 张翔袖,陈耀煌,蔡英治. 甘蔗新品种新台糖 20 号(ROC 20)[J]. 甘蔗糖业,1996(3):10-14.
- [21] 欧克纬,卢业飞,李佳慧,等. 广西引进甘蔗品种(系)的比较筛选与综合评价[J]. 福建农业学报,2020,35(4):414-421.

- [22] 邓聚龙. 农业系统灰色理论与方法[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1988.
- [23] 甘仪梅, 杨本鹏, 武媛丽, 等. 强宿根性甘蔗新品种中糖1号的选育[J]. 种子, 2020, 39(3): 120-123.
- [24] 潘世明, 张树河, 李瑞美, 等. 甘蔗新品种闽糖061405的选育[J]. 福建农业学报, 2019, 34(4): 387-392.
- [25] 朱鹏锦, 庞新华, 谭秦亮, 等. 低温胁迫对不同甘蔗品种叶片光合色素和光合生理特性的影响[J]. 热带作物学报, 2019, 40(5): 875-881.
- [26] 单彬, 覃茜, 颜克成, 等. 五种除草剂对甘蔗桂热2号的室内安全性评价[J]. 农业研究与应用, 2020, 33(4): 23-27.
- [27] 陈优强, 陈骏佳, 张湘博. 灰色系统理论综合评估甘蔗工艺性状[J]. 甘蔗糖业, 2021, 50(1): 46-50.
- [28] 黄海荣, 徐林, 李翔, 等. 274个甘蔗常用亲本主要叶部病害和黑穗病的抗性评价[J]. 热带作物学报, 2022, 43(7): 1485-1496.
- [29] 范荣尚, 康琪, 罗甸县鲜食玉米产量与主要农艺性状的灰色关联度分析[J]. 现代农业科技, 2021(22): 4-6.
- [30] 张淑霞, 杨晓云, 张清霞, 等. 苗用白菜主要农艺性状与单株产量的灰色关联度分析[J]. 北方园艺, 2018(15): 1-5.
- [31] 王尊欣. 31个甘蔗品种田间综合评价及优良品种的抗旱性分析[D]. 海口: 海南大学, 2014.
- [32] 刘晓燕, 何红, 朱秋珍, 等. 甘蔗引进新品种的灰色关联度分析[J]. 广东农业科学, 2011, 38(6): 36-38.
- [33] 虞晓芬, 傅玳. 多指标综合评价方法综述[J]. 统计与决策, 2004(11): 119-121.
- [34] 宁东贤, 闫翠萍, 赵玉坤, 等. 不同花生品种农艺、经济和品质性状 TOPSIS 方法评价[J]. 山西农业科学, 2018, 46(12): 1986-1989.
- [35] 农泽梅, 覃凤金, 欧克纬, 等. 不同甘蔗品种在来宾地区的表现初探[J]. 广西糖业, 2022, 42(3): 17-20.
- [36] 卢业飞, 欧克纬, 罗清, 等. 甘蔗‘桂热2号’和‘桂柳05136’成熟期转录组比较分析[J]. 分子植物育种, 2021, 19(9): 2846-2855.

Evaluation of Sugarcane Based on Comprehensive Characters Using Grey Correlation Degree and TOPSIS Method

OU Kewei, NONG Zemei, LU Yefei, LÜ Ping, PANG Xinhua, CHENG Qin, ZHOU Quanguang, SONG Qiqi, ZHU Pengjin^{**}

(Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Nanning, Guangxi, 530001, China)

Abstract: In order to breed new varieties of sugarcane (*Soccharum officinarum*) with high yield, high sugar content, strong stress resistance and suitable for planting in Guangxi sugarcane area, the new sugarcane varieties (lines) Guire 1 (GR1) and Guire 2 (GR2) were taken as experimental materials, and new Taitang (ROC22) was used as control. The multi-year and multi-point tracking planting experiment was carried out, and the results were analyzed by grey correlation degree and TOPSIS method. The results of grey correlation analysis showed that the factors affecting sugar yield were sugarcane yield > effective stem > plant height > tillering rate > sucrose content > stem diameter. The order of TOPSIS comprehensive evaluation of three sugarcane varieties was GR2 > GR1 > ROC22. GR2 has the highest cane yield, more effective stems and the best comprehensive evaluation, so it is an excellent sugarcane variety and is suitable for further promotion and planting.

Key words: sugarcane variety (lines); field experiment; grey correlation degree; TOPSIS method; comprehensive evaluation

责任编辑: 梁 晓