

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

李佳慧 程琴 欧克纬 谭秦亮 庞新华
周全光 吕平 宋奇琦 唐毓玮 朱鹏锦

(广西壮族自治区亚热带作物研究所, 530001, 广西南宁)

摘要 为明确不同蔗区甘蔗品种(系)间的分蘖性状差异及其对产量及产量构成因子的影响,在3个蔗区的5个试验点对4个不同甘蔗品种(系)的分蘖农艺性状、产量构成因子进行显著性、相关性、变异系数和通径分析。结果表明,不同蔗区甘蔗品种(系)间的分蘖性状差异显著,分蘖率和分蘖苗数对有效茎的产生具有重要作用;根据分蘖农艺性状的差异将甘蔗分为低分蘖甘蔗品种(系)(新台糖22号、桂糖42号)和高分蘖甘蔗品种(系)(桂热2号、凉蔗03-81),与高分蘖甘蔗品种(系)产量相关性最高的产量构成因子是有效茎数(0.76**),低分蘖甘蔗品种(系)则是单茎重(0.83**),高分蘖(0.64*)和低分蘖品种(系)的分蘖率(0.68*)与有效茎数呈显著正相关关系;有效茎数对2种类型甘蔗产量的直接通径系数最大,是影响甘蔗产量的主要因子;分蘖苗数和分蘖率的变异系数最大,具有较高的改良潜力。综上所述,分蘖可以显著提高有效茎数,从而影响甘蔗产量,且影响甘蔗产量和产量构成因子之间的关系。

关键词 甘蔗;分蘖;有效茎;产量构成因子

甘蔗是重要的糖料作物和能源作物,具有很高的经济价值。2016年广西甘蔗年种植面积95.1万 hm^2 ,占全国种植面积的60.5%,是我国重要的甘蔗生产基地,广西甘蔗产量对保证我国食糖供给和安全起到重要作用^[1]。分蘖是禾本科植物的特性之一,可以通过影响茎穗数的多少来影响作物单产^[2]。甘蔗分蘖发生在茎秆基部而非延长节上,从主茎分出的新蔗苗成为第1分蘖,从第1分蘖上再发生的分蘖成为第2分蘖,后续类推第3、第4分蘖^[3]。分蘖是甘蔗理想株型建成和合理群体结构形成的关键,分蘖多是甘蔗分蘖力强的具体表现,是选育甘蔗新品种的第一要素,且甘蔗的分蘖率与其宿根性呈极显著正相关,分蘖率越强的甘蔗品种宿根性越好^[4-5]。和其他禾本科作物一样,甘蔗分蘖也分有效分蘖和无效分蘖,在甘蔗收获时能长成1m以上蔗茎的分蘖称为有效分蘖,形成有效茎,反之则为无效分蘖,因此促进甘蔗有效分蘖是增加单位面积有效茎数和产量的关键^[6]。

高产高糖是甘蔗育种和栽培的主要目标,单位面积蔗茎产量=单位面积有效茎数×单茎重,单茎重

取决于茎长和茎径,单位面积有效茎数由主茎和分蘖茎组成。以茎长、茎径和有效茎数等产量构成因子估测蔗茎产量,可为甘蔗品种选育和栽培模式优化以及大田估产提供有效方法。陆中华^[7]利用32个甘蔗品种进行蔗茎产量及其构成因子间相关性分析和通径分析表明,茎高、有效茎与蔗茎产量呈极显著正相关,且茎长对产量的直接贡献最大,其次为有效茎;吴建涛等^[8]则认为相对于茎长和茎径,有效茎数与蔗茎产量关系最密切,对蔗茎产量的贡献最大,增加有效茎数可显著提高蔗茎产量。刘福业等^[9]研究表明,蔗茎产量与有效茎数、茎长、单茎重呈极显著正相关,与茎径呈不显著正相关。可见有效茎数是甘蔗产量的关键构成因素,而有效茎数来源于主茎苗和分蘖苗,且甘蔗分蘖与品种特性密切相关^[10],不同甘蔗品种分蘖数的多少在很大程度上决定了有效茎数,进而影响甘蔗产量,但是目前关于甘蔗品种(系)不同分蘖类型对产量及其构成因子的影响却鲜见报道。

鉴于此,本研究在3个蔗区的5个试验点对不同甘蔗品种(系)的分蘖农艺性状与产量构成因子

作者简介:李佳慧,主要从事甘蔗遗传育种与生理生化研究, E-mail: 1558779830@qq.com

朱鹏锦为通信作者,主要从事热带亚热带作物生理生态学研究, E-mail: zhupengjin04@163.com

基金项目:广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻1598006-1-1B);广西自然科学基金(2017JJB130314);广西农业科学院科技发展基金项目(桂农科2020YM132);广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科2021YT151)

收稿日期:2020-12-08;修回日期:2021-02-04;网络出版日期:2021-08-25

进行比较分析,调查不同甘蔗品种(系)在不同蔗区的分蘖苗数、分蘖率、总苗数等分蘖农艺性状及茎长、茎径、有效茎数、单茎重等产量构成因子的差异,分析不同类型甘蔗品种(系)的分蘖性状与产量及其构成因子之间的关系,明确影响甘蔗产量的主要因子,为甘蔗增产和新品种选育的性状选择提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及试验材料

试验在广西桂南蔗区的滨海农场、昌菱农场,广西桂中蔗区的良圻农场、金光农场和广西桂北蔗区的柳兴农场 3 个蔗区的 5 个试验点进行。参试甘蔗品种(系)为广西壮族自治区亚热带作物研究所选育的品种桂热 2 号、优异新品系凉蔗 03-81,以及主栽品种桂糖 42 号和新台糖 22 号。

1.2 试验方法

采取随机排列,每个品种种植 3 个小区,在金光农场、良圻农场、柳兴农场和滨海农场试验点,每小区 5 行,行长 7m,行宽 1.2m,小区面积 42m²;在昌菱农场试验点每小区 3 行,行长 10m,行宽 1.2m,小区面积 36m²。下种密度均约为 106 710

芽/hm²。甘蔗于 2016 年 3 月种植,2017 年 2 月收获,田间管理与当地甘蔗高产栽培管理相同。

1.3 性状指标调查

调查的性状有基本苗数、分蘖苗数、总苗数、茎长、茎径、单茎重、有效茎数和田间锤度,基本苗数为蔗芽萌芽结束时的苗数;分蘖苗数为分蘖期结束时的总苗数减去基本苗数;分蘖率为分蘖苗数除以基本苗数;收获时调查单位面积有效茎数(高于 120cm 的茎数),每小区选取 10 条无病虫害甘蔗测定甘蔗田间锤度、茎长、茎径、单茎重,测量小区蔗茎产量,并计算蔗茎理论产量、有效茎数、成茎率(有效茎数除以总苗数)和甘蔗蔗糖分,蔗糖分(%)=田间锤度×1.0825-7.703。

1.4 数据处理

利用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理,用 DPS 7.05 软件^[1]进行方差分析、相关性分析、通径分析和变异系数分析。

2 结果与分析

2.1 不同蔗区甘蔗品种(系)的分蘖性状分析

在 5 个试验点对 4 个甘蔗品种(系)的分蘖农艺性状和有效茎数进行比较分析,结果如表 1 所

表 1 不同蔗区甘蔗品种(系)的分蘖性状比较分析
Table 1 Comparative analysis of tiller characters of sugarcane varieties (lines) in different sugarcane regions

试验点 Test site	品种(系) Variety (line)	基本苗数 Basic shoots (×10 ³ stems/hm ²)	分蘖苗数 Tiller (×10 ³ stems/hm ²)	总苗数 Total shoots (×10 ³ stems/hm ²)	分蘖率 Tillering rate (%)	有效茎数 Available cane number (×10 ³ stems/hm ²)	成茎率 Stem rate (%)
金光农场 Jinguang farm	桂热 2 号	59.51bB	53.31bB	112.82bA	89.57cC	85.76aA	76.01aAB
	桂糖 42 号	66.72aA	36.77dD	103.48cB	55.11dD	66.23bB	64.00bC
	凉蔗 03-81	50.11cC	69.69aA	119.81aA	139.08aA	82.58aA	68.92bBC
	新台糖 22 号	38.26dD	44.73cC	82.99dC	116.93bB	65.91bB	79.42aA
良圻农场 Liangqi farm	桂热 2 号	72.49aA	69.35bB	141.84bB	95.67bB	85.37aA	60.18aA
	桂糖 42 号	66.56bA	43.98dD	110.53dD	66.08dD	57.57dD	52.09bB
	凉蔗 03-81	70.90abA	81.19aA	152.08aA	114.51aA	78.62bB	51.69bB
	新台糖 22 号	68.85abA	57.59cC	126.43cC	83.64cC	68.21cC	53.95bAB
昌菱农场 Changling farm	桂热 2 号	68.76bAB	86.81aA	155.58aA	126.25aA	106.91aA	68.71aA
	桂糖 42 号	63.30cB	61.22bB	124.52bB	96.72cC	61.79dD	49.62cC
	凉蔗 03-81	73.51aA	83.42aA	156.93aA	113.48bB	94.31bB	60.09bB
	新台糖 22 号	73.24aA	75.79abA	149.03abA	103.48cB	69.95cC	44.74cC
柳兴农场 Liuxing farm	桂热 2 号	70.65aA	60.61bB	131.26bB	85.78bB	77.34bB	58.92cB
	桂糖 42 号	68.56aA	45.33cC	113.89cC	66.12cC	57.72cC	50.68dC
	凉蔗 03-81	68.76aA	74.52aA	143.28aA	108.37aA	92.51aA	64.56bAB
	新台糖 22 号	47.24bB	21.52dD	68.76dD	45.56dD	48.68dD	70.79aA
滨海农场 Binhai farm	桂热 2 号	72.16aA	42.65aA	114.81aA	59.11aA	83.15aA	72.42aA
	桂糖 42 号	66.74bA	40.09aAB	106.83bAB	60.07aA	56.15cB	52.56bB
	凉蔗 03-81	68.35abA	35.55bBC	103.90bB	57.01aA	57.48cB	55.32bB
	新台糖 22 号	53.70cB	29.89cC	83.59cC	55.67aA	61.14bB	73.14aA

不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著,下同
Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level, and different capital letters indicate extremely significant difference at 0.01 level, the same below

示在金光农场，基本苗数最高的是桂糖 42 号，在昌菱农场最高的是凉蔗 03-81，良圻农场、柳兴农场和滨海农场最高的均是桂热 2 号；在金光农场、良圻农场、昌菱农场和柳兴农场分蘖苗数和总苗数较高的均是凉蔗 03-81 和桂热 2 号，在滨海农场是桂热 2 号和桂糖 42 号；在金光农场分蘖率较高的是凉蔗 03-81 和新台糖 22 号，在良圻农场、昌菱农场和柳兴农场较高的均是凉蔗 03-81 和桂热 2 号，在滨海农场较高的是桂糖 42 号和桂热 2 号；有效茎数在金光农场、良圻农场、昌菱农场和柳兴农场

较高的是桂热 2 号和凉蔗 03-81，极显著高于桂糖 42 号和新台糖 22 号，在滨海农场较高的是桂热 2 号和新台糖 22 号，但桂热 2 号极显著高于其他品种；在金光农场、柳兴农场和滨海农场成茎率最高的是新台糖 22 号，在良圻农场、昌菱农场最高的是桂热 2 号。

从表 2 可知，桂热 2 号和凉蔗 03-81 的平均分蘖苗数、平均总苗数、平均分蘖率均高于桂糖 42 号和新台糖 22 号，平均有效茎数极显著高于桂糖 42 号和新台糖 22 号。

表 2 不同蔗区甘蔗品种（系）的分蘖性状平均值

Table 2 Average of tiller characters of sugarcane varieties (lines) in different sugarcane regions

品种（系） Variety (line)	基本苗数 Basic shoots ($\times 10^3$ stems/hm ²)	分蘖苗数 Tiller ($\times 10^3$ stems/hm ²)	总苗数 Total shoots ($\times 10^3$ stems/hm ²)	分蘖率 Tillering rate (%)	有效茎数 Available cane number ($\times 10^3$ stems/hm ²)	成茎率 Stem rate (%)
桂热 2 号 Guire 2	68.71aA	62.55aA	131.27aA	91.28abAB	87.71aA	66.81aA
桂糖 42 号 Guitang 42	66.38aA	45.48bB	111.86bB	68.82cB	59.90bB	53.55bA
凉蔗 03-81 Liangzhe 03-81	66.33aA	68.88aA	135.21aA	105.49aA	81.09aA	60.06abA
新台糖 22 号 Xintaitang 22	56.26aA	47.37bB	103.62bB	83.056bAB	62.78bB	61.51abA

由此可见，同一试验点不同甘蔗品种（系）的分蘖农艺性状存在差异，相同品种（系）在不同试验点的分蘖农艺性状也不同，但除滨海农场外，其他试验点桂热 2 号和凉蔗 03-81 的分蘖苗数和总苗数要高于桂糖 42 号、新台糖 22 号，同时有效茎数也高于桂糖 42 号和新台糖 22 号，说明桂热 2 号和凉蔗 03-81 是高分蘖类型的甘蔗品种（系），且甘蔗

的分蘖农艺性状虽然受不同蔗区环境的影响，但更加受到甘蔗品种（系）特性的影响。此外分蘖苗数和分蘖率的高低对有效茎数的产生具有重要作用，甘蔗的有效茎数受甘蔗分蘖影响。

2.2 不同蔗区甘蔗品种（系）的产量性状比较

比较分析不同蔗区各个甘蔗品种（系）的理论产量及其构成因子，结果如表 3 所示，茎长在金光

表 3 不同蔗区甘蔗品种（系）的产量性状比较分析

Table 3 Comparative analysis of yield components of sugarcane varieties (lines) in different sugarcane regions

试验点 Test site	品种（系） Variety (line)	茎长 Stem length (cm)	茎径 Stem diameter (cm)	单茎重 Single stem weight (kg)	有效茎数 Available cane number ($\times 10^3$ stems/hm ²)	理论产量 Theoretical yield (t/hm ²)
金光农场 Jinguang farm	桂热 2 号	262.00aA	2.54bcB	1.18bB	85.76aA	91.20aA
	桂糖 42 号	257.00aA	2.74aA	1.35aA	66.23bB	80.58bB
	凉蔗 03-81	226.00bB	2.57bB	1.01cC	82.58aA	80.09bB
	新台糖 22 号	253.00aA	2.47cB	1.07cBC	65.91bB	73.37cC
良圻农场 Liangqi farm	桂热 2 号	329.00bA	2.47cB	1.43cC	85.37aA	99.02bB
	桂糖 42 号	336.00abA	2.78aA	1.88aA	57.57dD	86.28cC
	凉蔗 03-81	307.00cB	2.69bA	1.57bB	78.62bB	106.32aA
	新台糖 22 号	351.00aA	2.66bA	1.80aA	68.21cC	108.41aA
昌菱农场 Changling farm	桂热 2 号	278.00bAB	2.56bcB	1.28bB	106.91aA	103.44aA
	桂糖 42 号	299.00aA	2.70aA	1.54aA	61.79dD	80.93bB
	凉蔗 03-81	259.00cB	2.60bAB	1.21bB	94.31bB	107.55aA
	新台糖 22 号	286.00abA	2.50cB	1.25bB	69.95cC	74.93cB
柳兴农场 Liuxing farm	桂热 2 号	295.70aA	2.65cB	1.63bB	77.34bB	88.56bB
	桂糖 42 号	299.30aA	2.87aA	1.38cC	57.72cC	72.39cC
	凉蔗 03-81	287.00aA	2.55dB	1.83aA	92.51aA	98.10aA
	新台糖 22 号	290.00aA	2.77bA	1.06dD	48.68dD	61.56dD
滨海农场 Binhai farm	桂热 2 号	254.00aA	2.59bB	1.18aA	83.15aA	85.67aA
	桂糖 42 号	245.00abA	2.64bAB	1.19aA	56.15cB	63.86bB
	凉蔗 03-81	234.00bA	2.75aA	1.21aA	57.48cB	64.80bB
	新台糖 22 号	233.00bA	2.62bB	1.11aA	61.14bB	67.92bB

农场、柳兴农场和滨海农场较高的是桂热 2 号和桂糖 42 号，在良圻农场、昌菱农场较高的是新台糖 22 号和桂糖 42 号；茎径在金光农场、良圻农场、昌菱农场和柳兴农场最高的均是桂糖 42 号，其次是凉蔗 03-81 或新台糖 22 号，在滨海农场最高的是凉蔗 03-81；单茎重在金光农场、昌菱农场较高的是桂糖 42 号，在良圻农场较高的是桂糖 42 号和新台糖 22 号，在柳兴农场较高的是凉蔗 03-81 和桂热 2 号，在滨海农场最高的凉蔗 03-81，但品种（系）间无显著性差异；有效茎数在金光农场、良圻农场、昌菱农场和柳兴农场较高的是桂热 2 号和凉蔗 03-81，极显著高于桂糖 42 号和新台糖 22 号，在滨海农场较高的是桂热 2 号和新台糖 22 号，但桂热 2 号极显著高于其他品种（系）；理论产量在

金光农场最高的是桂热 2 号，最低的是新台糖 22 号，良圻农场理论产量最高的是新台糖 22 号，最低的是桂糖 42 号，昌菱农场和柳兴农场理论产量最高的均是凉蔗 03-81，其次是桂热 2 号，最低的是新台糖 22 号，滨海农场理论产量最高的是桂热 2 号，极显著高于其他品种（系）。

相同甘蔗品种（系）在不同蔗区间的理论产量及其构成因子存在差异，从方差分析来看，茎长和茎径在不同蔗区品种（系）间的变化差异较小，单茎重、有效茎数、产量的变化差异较大。且由表 4 可知，各品种（系）间平均茎长、平均茎径和平均单茎重之间没有显著差异，平均有效茎数和平均产量存在显著性差异，且平均有效茎数和平均产量最高的均是桂热 2 号，其次是凉蔗 03-81，极显著高

表 4 不同蔗区甘蔗品种（系）的产量及其构成因子
Table 4 Yield and its components of sugarcane varieties (lines) at different test sites

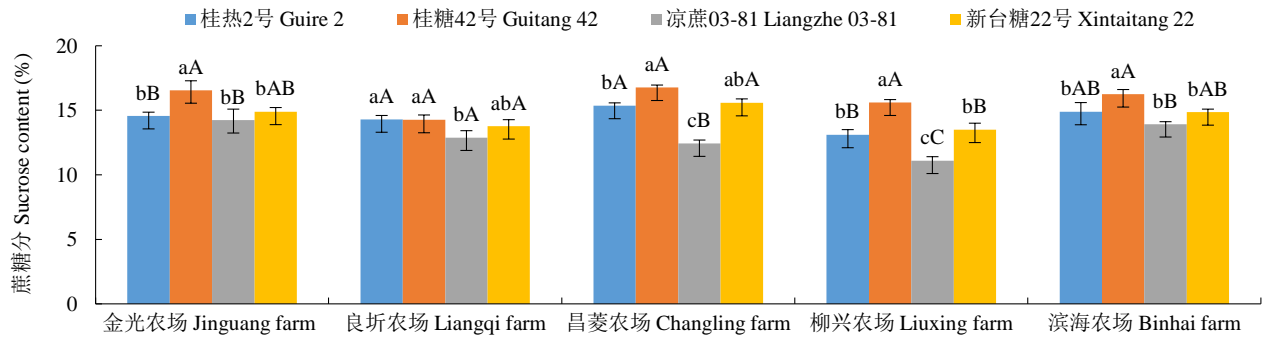
品种（系） Variety (line)	茎长 Stem length (cm)	茎径 Stem diameter (cm)	单茎重 Single stem weight (kg)	有效茎数 Available cane number (×10 ³ stems/hm ²)	产量 Theoretical yield (t/hm ²)
桂热 2 号 Guire 2	283.74aA	2.56aA	1.34aA	87.71aA	93.58aA
桂糖 42 号 Guitang 42	287.26aA	2.75aA	1.47aA	59.90bB	76.81bB
凉蔗 03-81 Liangzhe 03-81	262.60aA	2.63aA	1.37aA	81.09aA	91.37aA
新台糖 22 号 Xintaitang 22	282.60aA	2.60aA	1.26aA	62.78bB	77.24bB

于桂糖 42 号和新台糖 22 号。

2.3 不同蔗区甘蔗品种（系）的蔗糖分比较分析

在不同蔗区各个甘蔗品种（系）的蔗糖分如图 1 所示，在金光农场，桂糖 42 号的蔗糖分极显著高于其他品种（系），其次是新台糖 22 号；在良圻农

场桂热 2 号和桂糖 42 号间没有显著性差异，显著高于凉蔗 03-81，在昌菱农场、柳兴农场和滨海农场蔗糖分最高的均是桂糖 42 号，最低的均是凉蔗 03-81，表明桂糖 42 号具有较高的蔗糖分，凉蔗 03-81 的蔗糖分偏低。



不同小写字母和大写字母分别表示在 0.05 和 0.01 水平下差异显著
The different lowercase letters and capital letters indicate significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively

图 1 不同蔗区甘蔗品种（系）的蔗糖分比较分析

Fig.1 Comparative analysis of sucrose content of sugarcane varieties (lines) in different regions

2.4 甘蔗分蘖农艺性状和产量构成因子的变异系数分析

对 5 个试验点不同品种（系）甘蔗分蘖农艺性状和产量构成因子的变异系数分析（表 5）发现，

9 个性状变异丰富，变异系数为 4.17%~34.99%。其中分蘖苗数变异系数最大，为 34.99%，其次是分蘖率，为 32.53%，最小的是茎径，为 4.17%。9 个甘蔗性状变异系数依次为分蘖苗数>分蘖率>总苗

数>有效茎数>单茎重>理论产量>基本苗数>茎长>茎径。由此可见，供试甘蔗品种（系）的分蘖苗数和分蘖率存在较大的变异，具有较高的改良潜力，而茎径性状趋于稳定。

表 5 甘蔗分蘖农艺性状和产量构成因子的变异系数分析
Table 5 Variation coefficient analysis of tillering characters and yield components of sugarcane

性状 Trait	平均值 Average value	标准差 Standard deviation	变异系数 Variation coefficient (%)	实际变幅 Actual range
基本苗数 Basic shoots ($\times 10^3$ stems/hm ²)	64.42	9.72	15.09	47.24~73.24
分蘖苗数 Tiller ($\times 10^3$ stems/hm ²)	56.07	19.61	34.99	21.52~86.81
总苗数 Total shoots ($\times 10^3$ stems/hm ²)	120.48	25.56	21.22	68.76~156.93
分蘖率 Tillering rate (%)	87.16	28.35	32.53	45.56~126.25
有效茎数 Available cane number ($\times 10^3$ stems/hm ²)	72.87	15.43	21.18	48.68~106.91
茎长 Stem length (cm)	279.05	35.26	12.64	233.00~351.00
茎径 Stem diameter (cm)	2.64	0.11	4.17	2.47~2.87
单茎重 Single stem weight (kg)	1.36	0.27	19.67	1.01~1.88
理论产量 Theoretical yield (t/hm ²)	84.75	15.26	18.00	61.56~108.41

2.5 高分蘖类型甘蔗品种（系）分蘖农艺性状和产量构成因子的关系

根据分蘖农艺性状的差异（表 1 和表 2）将不同甘蔗品种（系）分为高分蘖类型和低分蘖类型。高分蘖甘蔗品种（系）（桂热 2 号、凉蔗 03-81）的分蘖农艺性状与产量及其构成因子的相关性如表 6 所示，与产量相关性最高的产量构成因子是有效茎数（0.76**），呈极显著正相关关系，其次是茎长（0.64*），产量与单茎重呈中等正相关关系，与茎

径呈中等负相关关系；此外产量也与分蘖苗数、总苗数呈极显著正相关（0.85**、0.91**），与分蘖率呈中等正相关关系（0.57）；有效茎数与分蘖苗数呈极显著正相关，与总苗数、分蘖率呈显著正相关，与茎径呈显著负相关。表明高分蘖甘蔗品种（系）的产量与有效茎数的相关性大于其他产量构成因子，且分蘖苗数与产量呈极显著正相关表明，在一定范围内提高分蘖苗数和分蘖率可以增加有效茎数进而提高甘蔗产量。

表 6 高分蘖甘蔗品种（系）分蘖农艺性状和产量构成因子的相关性
Table 6 Correlation between tiller agronomic characters and yield components of high-tillering sugarcane varieties (lines)

性状 Trait	基本苗数 Basic shoot	分蘖苗数 Tiller	总苗数 Total shoots	分蘖率 Tillering rate	有效茎数 Available cane number	茎长 Stem length	茎径 Stem diameter	单茎重 Single stem weight	理论产量 Theoretical yield
基本苗数 Basic shoots	1								
分蘖苗数 Tiller	0.08	1							
总苗数 Total shoots	0.45	0.93**	1						
分蘖率 Tillering rate	-0.04	0.88**	0.64*	1					
有效茎数 Available cane number	0.06	0.74**	0.69*	0.64*	1				
茎长 Stem length	0.56	0.43	0.59	0.11	0.25	1			
茎径 Stem diameter	0.15	-0.34	-0.25	-0.38	-0.68*	-0.32	1		
单茎重 Single stem weight	0.49	0.29	0.44	0.02	0.07	0.72*	0.02	1	
理论产量 Theoretical yield	0.40	0.85**	0.91**	0.57	0.76**	0.64*	-0.43	0.39	1

“*” 和 “**” 分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著相关，下同
“*” and “**” indicate significant correlation at the 0.05 and 0.01 levels, respectively, the same below

2.6 低分蘖甘蔗品种（系）的分蘖农艺性状和产量构成因子的关系

低分蘖甘蔗品种（系）（桂糖 42 号、新台糖 22 号）的分蘖农艺性状与产量及其构成因子的相关性如表 7 所示，与产量相关性最高的产量构成因子是单茎重（0.83**），呈极显著正相关，其次是茎长（0.74*）、有效茎数（0.57），产量与茎径不相关；

而产量与总苗数和分蘖苗数呈中等正相关关系（0.48、0.47），与分蘖率呈弱相关关系；有效茎数与分蘖苗数、分蘖率呈显著正相关，与茎径呈负相关。低分蘖甘蔗品种（系）的单茎重是与产量相关性最大的产量构成因子，在一定范围内提高单茎重可以显著提高分蘖性较低甘蔗品种（系）产量，而分蘖苗数、分蘖率与产量呈中等正相关关系。此外

高分蘖甘蔗品种（系）和 low 分蘖甘蔗品种（系）的有效茎数均与分蘖苗数、分蘖率呈显著正相关，与

表 7 低分蘖甘蔗品种（系）分蘖农艺性状和产量构成因子的相关性
Table 7 Correlation between tiller agronomic traits and yield components of low-tillering sugarcane varieties (lines)

性状 Trait	基本苗数 Basic shoot	分蘖苗数 Tiller	总苗数 Total shoots	分蘖率 Tillering rate	有效茎数 Available cane number	茎长 Stem length	茎径 Stem diameter	单茎重 Single stem weight	理论产量 Theoretical yield
基本苗数 Basic shoot	1								
分蘖苗数 Tiller	0.55	1							
总苗数 Total shoots	0.82**	0.93**	1						
分蘖率 Tillering rate	-0.05	0.79**	0.52	1					
有效茎数 Available cane number	0.28	0.70*	0.60	0.68*	1				
茎长 Stem length	0.41	0.36	0.43	0.11	0.04	1			
茎径 Stem diameter	0.30	-0.42	-0.16	-0.71*	-0.59	0.39	1		
单茎重 Single stem weight	0.58	0.34	0.49	0.04	0.20	0.84**	0.38	1	
理论产量 Theoretical yield	0.41	0.48	0.47	0.30	0.57	0.74*	0.04	0.83**	1

茎径呈负相关，表明分蘖可以提高有效茎数。

2.7 甘蔗产量及其构成因子的通径分析

相关分析仅是简单测定了 2 个经济性性状间的相互关系，而不能了解其中的相关原因和效应大小。通径分析可将相关系数剖解为直接作用和间接作用，并可估量各分量对总决定度的相对贡献^[12]。以高分蘖和低分蘖甘蔗品种（系）的产量构成因子对产量进行通径分析，结果（表 8）表明，高分蘖甘

蔗品种（系）有效茎数对产量的直接通径系数最大（0.8603），其次是茎长（0.6519）、茎径（0.3691），这三者对产量的直接作用均是正向的，单茎重对产量的直接通径系数为负值，对产量的直接作用是负向的；从间接通径系数可知，单茎重通过茎长对产量的间接正作用影响最大（0.4682），其次茎径通过有效茎数、茎长对产量有间接负作用（-0.5860、-0.2099），表明茎径越大，有效茎数和茎长越低，

表 8 高分蘖甘蔗品种（系）产量及其构成因子的通径分析
Table 8 Path analysis of yield and its components of high-tillering sugarcane varieties (lines)

性状 Trait	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient				相关系数 Correlation coefficient
		$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$	$X_4 \rightarrow Y$	
茎长 Stem length (X_1)	0.6519		-0.1188	-0.1087	0.2134	0.6378
茎径 Stem diameter (X_2)	0.3691	-0.2099		-0.0028	-0.5860	-0.4296
单茎重 Single stem weight (X_3)	-0.1513	0.4682	0.0068		0.0623	0.3860
有效茎数 Available cane number (X_4)	0.8603	0.1617	-0.2514	-0.0110		0.7596

产量也越低。

对低分蘖甘蔗品种（系）产量直接作用最大的是有效茎数（0.4681）（表 9），其次是单茎重（0.4548）和茎长（0.3320），表明单茎重是除了有效茎数外影响低分蘖甘蔗品种（系）产量的重要性状，而茎径对于对产量的直接作用是正向的；从间接通径系数可知，茎长通过单茎重对产量的间接正作用影响最

大（0.3831），单茎重通过茎长对产量的间接影响也较大（0.2797），茎径通过有效茎数对产量有间接负作用（-0.2775）。由此可以看出，2 种分蘖类型甘蔗的产量构成因子对产量的作用存在差异，但是对产量直接作用最大的产量构成因子都是有效茎数，表明有效茎数是影响甘蔗产量的主要因子。单茎重对于低分蘖甘蔗品种（系）有比较大的正向直接效

表 9 低分蘖甘蔗品种（系）产量及其构成因子的通径分析
Table 9 Path analysis of yield and yield components of low-tillering sugarcane varieties (lines)

性状 Trait	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient				相关系数 Correlation coefficient
		$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$	$X_4 \rightarrow Y$	
茎长 Stem length (X_1)	0.3320		0.0043	0.3831	0.0198	0.7392
茎径 Stem diameter (X_2)	0.0111	0.1283		0.1735	-0.2775	0.0354
单茎重 Single stem weight (X_3)	0.4548	0.2797	0.0042		0.0948	0.8335
有效茎数 Available cane number (X_4)	0.4681	0.0140	-0.0066	0.0922		0.5677

应,对于高分蘖甘蔗品种(系)单茎重的直接效应是负值。

3 讨论

分蘖成茎是甘蔗产量形成的关键,在甘蔗品种选育过程中,分蘖性状已成为重要育种目标,低分蘖的杂交后代材料往往被直接淘汰。分蘖属于多基因控制的数量性状,其表型变化受多种内部因素和外部环境条件的共同调控和影响^[13-14],同时分蘖与品种(系)的特性密切相关,不同品种(系)甘蔗的分蘖率差别较大^[15-18],遗传因子从本质上决定了甘蔗分蘖的强弱及与环境的关系。本研究结果也表明甘蔗的分蘖农艺性状和产量性状虽然受不同蔗区环境的影响,但更加受到甘蔗品种(系)特性的影响。在本研究中同一试验点不同甘蔗品种(系)的分蘖农艺性状和产量构成因子存在差异,相同品种(系)在不同试验点的分蘖农艺性状和产量构成因子也不同,但变化趋势大致相同,即凉蔗 03-81 和桂热 2 号的分蘖率、分蘖苗数和总苗数高于桂糖 42 号、新台糖 22 号,同时凉蔗 03-81 和桂热 2 号的有效茎数和蔗茎产量也高于桂糖 42 号、新台糖 22 号,表明分蘖苗数的多少和分蘖率的高低对有效茎的产生具有重要作用,有效茎数多的甘蔗品种(系)蔗茎产量也较高。在 5 个试验点中,桂糖 42 号的蔗糖分都高于或者显著高于其他品种(系),表明桂糖 42 号是高糖甘蔗品种,而凉蔗 03-81 的蔗糖分最低。

甘蔗产量是由有效茎数、茎长和茎径等产量构成因子决定的,单茎重、茎长、茎径和有效茎数与蔗茎产量之间表现出较为密切的关系。同时刘新龙等^[19]研究表明,出苗率、分蘖苗占总苗数比例和分蘖苗成茎率与甘蔗产量表现出显著的正相关关系,且主苗数和分蘖苗数可作为早期筛选甘蔗品种的重要指标。由此可见,甘蔗的分蘖农艺性状与产量及其构成因素存在密切的联系。在本研究中,根据分蘖农艺性状的不同,将不同甘蔗品种(系)分为高分蘖型(桂热 2 号、凉蔗 03-81)和低分蘖型(桂糖 42 号、新台糖 22 号)2 种类型,分析不同类型甘蔗品种(系)的分蘖农艺性状与产量及其构成因子之间的关系,及分蘖对产量及其构成因子的影响;结果表明高分蘖甘蔗品种(系)和 low 分蘖甘蔗品种(系)与蔗茎产量相关程度最高的产量构成因子有所不同,高分蘖甘蔗品种(系)与蔗茎产量相

关性最高的是有效茎数,其次是茎长和单茎重,茎径与产量呈负相关关系,分蘖苗数和总苗数与蔗茎产量呈极显著正相关关系;低分蘖甘蔗品种(系)与蔗茎产量相关性最高的是单茎重,其次是茎长、有效茎数,分蘖苗数与总苗数与蔗茎产量呈中等正相关关系,表明分蘖可以影响产量构成因子与产量之间的关系。通过通径分析进一步研究了不同分蘖类型甘蔗产量及其构成因子之间的关系,结果表明 2 种分蘖类型甘蔗对产量直接作用最大的产量构成因子都是有效茎数,直接通径系数分别为 0.8603 和 0.4681,表明有效茎数是影响甘蔗产量的主要因子,对蔗茎产量的贡献最大,这与前人的研究结果^[7-8]相符。

变异系数是反映不同观测值变异程度的一个重要统计参数,常常被用来衡量作物遗传稳定性的重要指标^[20],本研究在 5 个试验地点对 4 个甘蔗品种(系)的分蘖性状和产量构成因子进行变异系数分析,发现其变异系数幅度 4.17%~34.99%,表明这些性状遗传多样性较为丰富,其中分蘖苗数和分蘖率的变异系数最大,变异系数为 34.99%和 32.53%,具有较高的改良潜力。

4 结论

分蘖影响甘蔗的蔗茎产量及产量构成因子与产量的关系,甘蔗的分蘖农艺性状和产量性状虽然受不同蔗区环境的影响,更加受到甘蔗品种(系)特性的影响,有效茎数多的甘蔗品种(系)产量也高,分蘖率与有效茎数呈显著正相关关系;高分蘖甘蔗品种(系)有效茎数与产量的相关性最大,低分蘖甘蔗品种(系)单茎重与产量的相关性最大,但是直接通径系数最大的产量构成因子均是有效茎数,表明有效茎数是影响甘蔗产量的主要因子。分蘖苗数和分蘖率的变异系数最大,具有较高的改良潜力。这些可为甘蔗新品种选育过程中性状选择和高产栽培提供依据。

参考文献

- [1] 李炳杨. 广西甘蔗种植现状、问题及对策. 热带农业科学, 2018, 38(4): 119-127.
- [2] Li X, Qian Q, Fu Z, et al. Control of tillering in rice. Nature, 2003, 422(6932): 618-621.
- [3] 张荣华, 桂意云, 韦金菊, 等. 作物分蘖特性研究进展. 园艺与种苗, 2017, 28(7): 71-75.
- [4] 彭绍光. 甘蔗育种学. 北京: 农业出版社, 1990.
- [5] 吕爱丽, 吴才文, 刘新龙, 等. 甘蔗分蘖性状研究进展. 中国糖料, 2016, 38(2): 60-62.
- [6] 丘立杭, 范业庚, 罗含敏, 等. 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.
- [7] 陆中华. 甘蔗产量构成因素与产量的关系. 种子, 2002(3): 38-39, 65.
- [8] 吴建涛, 刘福业, 杨俊贤, 等. 粤糖系列甘蔗品种产量因子间相关和通径分析. 中国农学通报, 2012, 28(12): 66-71.
- [9] 刘福业, 邓海华, 杨俊贤, 等. 早中熟甘蔗新品种粤糖 94-128 种性分析. 中国糖料, 2008, 25(2): 25-27.
- [10] Ming R, Wang Y W, Draye X, et al. Molecular dissection of complex traits in autopolyploids: mapping QTLs affecting sugar yield and related traits in sugarcane. Theoretical and Applied Genetics, 2002, 105: 332-345.
- [11] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2010.
- [12] 王曙光, 谢成林, 谢仁康, 等. 杂交中籼稻产量与主要经济性状关系的分析. 中国稻米, 2009(2): 11-14.
- [13] Mitchel J H, Rebetzke S C, Chapman S C, et al. Evaluation of reduced-tillering (tin) wheat lines in managed, terminal water deficit environments. Journal of Experimental Botany, 2013, 64(11): 3439-3451.
- [14] Hussien A, Tavakol E, Horner D S, et al. Genetics of tillering in rice and barley. Plant Genome, 2014, 7(1): 32-39.
- [15] 谭秦亮, 朱鹏锦, 程琴, 等. 不同甘蔗品种(系)的产量构成因素及品质比较. 作物杂志, 2019(3): 49-54.
- [16] 覃耀冠, 周忠凤, 周顺, 等. 广西甘蔗新品种区试柳州点 7 个甘蔗新品种 DTOPSIS 法综合评价. 南方农业学报, 2014, 45(6): 938-943.
- [17] 周丽, 何海波, 刘嘉琪, 等. 五个甘蔗品种(系)的生长性能及相关性分析. 广西糖业, 2019, 12(6): 3-7.
- [18] 李佳慧, 欧克玮, 谭秦亮, 等. 甘蔗新品种(系)在广西防城港蔗区的品比试验总结. 种子, 2020(1): 117-121.
- [19] 刘新龙, 马丽, 毛钧, 等. 甘蔗杂交品种初级核心种质苗期性状与产量性状相关性评价. 中国糖料, 2015, 37(5): 7-9.
- [20] 郭峰, 阮建, 王莹莹, 等. 利用变异系数分析花生品质性状对环境变化的遗传稳定性研究. 山东农业科学, 2017, 49(9): 25-31.

Comparison of Tiller Characters of Sugarcane Varieties (Lines) in Different Sugarcane Regions and Their Effects on Yield and Yield Components

Li Jiahui, Cheng Qin, Ou Kewei, Tan Qinliang, Pang Xinhua,
Zhou Quanguang, Lü Ping, Song Qiqi, Tang Yuwei, Zhu Pengjin

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

Abstract The study was designed to understand the difference of tillering characters between sugarcane varieties (lines) and its influence on yield and yield components. The significance, correlation, coefficient of variation and path analysis of tiller agronomic characters and yield components of four different sugarcane varieties (lines) were carried out at five test sites in three sugarcane regions. The results showed that there were significant differences in tiller characters among sugarcane varieties (lines) in different sugarcane regions, and the tillering rate and the number of tillers played an important role in the production of available canes. Sugarcane varieties (lines) were divided into low-tillering sugarcane varieties (lines) (Xintaitang 22, Guitang 42) and high-tillering sugarcane varieties (lines) (Guire 2, Liangzhe 03-81). The highest correlation with the yield of high-tillering sugarcane varieties (lines) was available stem number (0.76**), while that of low-tillering sugarcane varieties (lines) was single stem weight (0.83**), and there was a significant positive correlation between tillering rate and available canes (0.64*, 0.68*). The number of available canes had the greatest direct path coefficients on the yield of the two types of sugarcane and the available canes were the main factors affecting the yield of sugarcane. The variation coefficients of tiller number and tillering rate were the highest, which had the high potential for improvement. In conclusion, the tillering of sugarcane could significantly increase the number of available canes and influence on sugarcane yield, and affect the relationship between sugarcane yield and yield components.

Key words Sugarcane; Tillering; Available canes; Yield components