

糖能兼用甘蔗新品系的性状遗传分析及综合选择

唐仕云^{1,2} 王伦旺² 杨荣仲² 李翔^{1,2} 黄海荣² 经艳²

邓宇驰² 谭芳² 黄家雍² 杨丽涛^{1*}

(1. 广西大学 农学院/亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室, 南宁 530005;

2. 广西农科院 甘蔗研究所/中国农科院甘蔗研究中心/农业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, 南宁 530007)

摘要 为选育糖能兼用甘蔗新品种,以自育的27个新品系和2个对照品种为试验材料,通过调查测定出苗率、分蘖率、宿根发株率、枯心苗率、黑穗病发病率、株高、茎径、公顷有效茎数、田间锤度、甘蔗蔗糖分、甘蔗纤维分、公顷蔗茎产量、公顷产糖量和公顷总可发酵糖量等性状,对各性状进行方差分析、遗传变异和遗传相关分析,对公顷产糖量和公顷总可发酵糖量进行多性状指数选择,并与单性状选择做比较。结果表明:除新植枯心苗率之外,所测性状在试验材料间均具有显著或极显著的差异,公顷有效茎数、公顷蔗茎产量、公顷产糖量和公顷可发酵糖量的遗传变异系数较大且广义遗传率较高,株高、茎径和田间锤度的遗传变异系数较小且广义遗传率较低。公顷有效茎数与公顷蔗茎产量、公顷产糖量、公顷可发酵糖量的表型和遗传相关性达显著水平。用指数选择法进行综合选择,13个新品系入选,且有8个入选材料的新宿平均公顷产糖量和新宿平均公顷可发酵糖量均超过双对照,指数选择法能获得较高的遗传增益,可用于糖能兼用甘蔗新品种的评价选择。

关键词 甘蔗;糖能兼用甘蔗品系;遗传分析;指数选择

中图分类号 S 566.1

文章编号 1007-4333(2016)02-0009-11

文献标志码 A

Genetic analysis and comprehensive selection of new sugar and energy cane lines

TANG Shi-yun^{1,2}, WANG Lun-wang², YANG Rong-zhong², LI Xiang^{1,2}, HUANG Hai-rong², JING Yan², DENG Yu-chi², TAN Fang², HUANG Jia-yong², YANG Li-tao^{1*}

(1. Agricultural College/State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-Bioresources,

Guangxi University, Nanning 530005, China;

2. Sugarcane Research Institute/Sugarcane Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences/

Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement (Guangxi), Ministry of Agriculture/

Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China;)

Abstract In order to develop new sugar and energy cane varieties, 27 new lines and 2 control varieties were selected as plant materials. Multiple traits, including tillering, shoot in ratoon, dead heart seedling and smut incidence, plant height, stalk diameter, millable stalks per hectare (MSH), Brix, contents of sucrose and fibre, tons per hectare in cane (TCH), sugar (TSH) and total fermentable sugar (TFSH), were investigated. And further analyzes of variance, genetic variation and genetic correlation were also conducted. The index selection for TSH and TFSH was conducted by multiple traits, which was compared to single trait selection. The results showed that there were significant or highly significant differences among the investigated traits except for the rate of dead heart seedling. Both genetic variation coefficient

收稿日期: 2015-06-05

基金项目: 广西自然科学基金项目(2013GXNSFBA019055); 广西特聘专家专项经费(2013); 广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科 2013YQ08)

第一作者: 唐仕云, 副研究员, 博士研究生, 主要从事甘蔗遗传育种研究, E-mail: tangshiyunok@163.com

通讯作者: 杨丽涛, 教授, 博士, 主要从事甘蔗生理及分子生物学研究, E-mail: liyr@gxu.edu.cn

and broad-sense heritability were higher in MSH, TCH, TSH and TFSH and lower in plant height, stalk diameter, and brix. The correlations of MSH with TCH, TSH and TFSH were significant. Thirteen new lines were selected based on comprehensive selection by using index selection method. Among which, 8 new lines showed that the averages of TSH and TFSH in both plant and ratoon cane were higher than those in 2 control varieties. The results indicated that higher rate of genetic gains can be obtained by index selection method, which can be applied for evaluation of sugar and energy cane varieties.

Keywords sugar cane; sugar and energy cane lines; genetic analysis; index selection

随着化石能源的过度开采和使用,世界各国面临着不同程度的化石能源短缺和生态危机,开发和利用清洁可再生能源已成为各国关注的焦点^[1]。生物质能源是一种可再生、低污染、分布广泛的清洁能源^[2]。未来世界生物质能源的发展趋势是发展非粮生物燃料^[3]。甘蔗属 C_4 高光效植物,生物产量高,是最适宜发展生物能源生产的非粮作物之一^[4-5]。巴西已成功地将甘蔗用于生产燃料酒精,解决能源紧张的问题^[6]。中国是世界上第三大产糖国,拥有大量可供生产能源甘蔗的边角荒地,只要市场因素、经济效益和综合政策等各方面的时机成熟,便可大规模地发展“蔗糖-乙醇”联产,开展糖能兼用甘蔗研究将具有很大的生产潜力和深远的意义。

“能源甘蔗”(Energy cane)最早是由美国植物生理学家 Alexander^[7]提出,即利用甘蔗属的热带种与热带杂草杂交育成的高生物量、高可发酵糖的一种非食用甘蔗新品种。它是甘蔗育种的一种新方向^[4],目前国内各甘蔗育种单位都开展了能源或糖能兼用甘蔗新品种选育研究^[8-10]。糖能兼用甘蔗品种的育种目标,要求生物产量和总可发酵糖量高,同时还要求蔗糖分、蔗汁重力纯度等指标能满足糖料甘蔗制糖时的条件^[11]。与单一用作制糖原料的糖料甘蔗相比,糖能兼用甘蔗品种选育时,所需选择的目标性状更多,需对多性状进行综合性选择。与国外相比,我国能源甘蔗的研究起步较晚^[4-6],需不断尝试糖能兼用甘蔗品种选育的新方法,提高甘蔗育种效率。

本研究拟在单性状选择研究^[12-13]的基础上,通过对糖能兼用甘蔗新品系主要性状的遗传分析,采用多性状的指数选择法,筛选优良糖能兼用甘蔗新品系,以期更好地为甘蔗产业生产服务。

1 材料与方 法

1.1 材 料

以甘蔗品种选育品比圃的 27 个新品系为试验材料,命名分别为 GT08-56、GT08-88、GT08-179、GT08-183、GT08-221、GT08-278、GT08-297、GT08-

460、GT08-549、GT08-751、GT08-921、GT08-1045、GT08-1147、GT08-1180、GT08-1225、GT08-1235、GT08-1314、GT08-1365、GT08-1409、GT08-1457、GT08-1497、GT08-1533、GT08-1544、GT08-1589、GT08-1628、GT08-1674 和 GT08-2408,以 ROC16 和 ROC22 为双对照。

1.2 方 法

1.2.1 试验设计和田间管理

2013—2015 年,在广西农科院甘蔗研究所丁当基地进行了 1 年新植和 1 年宿根的品种比较试验,种植时采用随机区组设计,3 次重复,4 行小区,行长 7 m,行距 1.2 m,2013 年 3 月 24 日播种,下种量为 12 万芽/hm²,于 2014 年 3 月 6 日砍收,之后及时进行宿根蔗田间管理,宿根蔗于 2015 年 3 月 5 日砍收。新植蔗和宿根蔗的所有管理同一般大田生产。

1.2.2 性状调查

调查的性状包括新植蔗的出苗率、分蘖率、枯心苗率和 6 月时株高,宿根蔗的发株率、黑穗病发病率和枯心苗率,以及新植和宿根蔗收获前的株高、茎径、公顷有效茎数(Millable stalks per hectare, MSH)。调查新植蔗和宿根蔗的田间锤度,11 月份—12 月份的为早期锤度,次年 1 月份—2 月份的为后期锤度。新植蔗和宿根蔗的甘蔗蔗糖分和纤维分,采用混合采样法,每年的 11 月份一次年 2 月份,每月每个品种(系)从每个小区取 2 条甘蔗,共取 6 条甘蔗,委托农业部甘蔗及制品检测中心(南宁)化验分析。新植蔗和宿根蔗砍收时分别测量甘蔗实际产量,所有性状均按甘蔗常规方法进行调查。按照公顷产糖量(Tons per hectare in sugar, TSH)=公顷蔗茎产量(Tons per hectare in cane, TCH)×甘蔗蔗糖分,估算 TSH;公顷总可发酵糖量(Total fermentable sugar, TFSH)参照王伦旺等^[12]的方法估算:TFSH=TCH×(甘蔗纤维分+甘蔗锤度)。

1.2.3 统计分析方法

1)数据处理和方差分析。测试性状以小区为单位进行统计分析,对新植出苗率、宿根黑穗病发病

率、新植和宿根枯心苗率、田间锤度的百分比数字进行反正弦转换。新植蔗、宿根蔗的性状按单因素随机区组设计进行方差分析,数据模型为 $Y_{ij} = u + T_i + B_j + E_{ij}$,其中 u 为群体均值, T_i 为处理效应, B_j 为区组效应, E_{ij} 为机误。对新植蔗平均锤度、宿根蔗平均锤度和由新植宿根平均值估算的各性状按多个季节随机区组设计对处理和季节进行联合方差分析,数据模型为 $Y_{ij} = u + T_i + S_j + (TS)_{ij} + B_{kj} + E_{ijk}$,其中 u 为群体均值, T_i 为处理效应, S_j 为季节效应, $(TS)_{ij}$ 为处理与季节互作效应, B_{kj} 为区组效应, E_{ijk} 为机误,对方差分析的结果分解期望均方时,假定处理固定,季节随机。

2) 遗传参数的估计。对单因素设计的新植蔗和宿根蔗的性状,广义遗传力、表型和遗传相关系数按刘来福等^[14]的方法进行, $h_B^2 = 100 \times V_G / V_P = 100 \times (V_1 - V_2) / (V_1 + (r-1)V_2)$,其中, h_B^2 、 V_G 、 V_P 、 V_1 、 V_2 和 r 分别为广义遗传率、基因型方差、表现型方差、品种(系)间方差、机误和重复次数。表型变异系(PCV)、遗传变异系数(GCV)和相对遗传进度(RGA)按马育华^[15]、李玉潜^[16]方法进行, $PCV/\% = (\sigma_p / X) \times 100$, $GCV/\% = (\sigma_g / X) \times 100$, $RGA = k \times h \times GCV$, σ_p 、 σ_g 、 X 、 k 和 h 分别为表型标准差、遗传型标准差、群体均值、选择强度和广义遗传率的平方根。选择响应按孔繁玲^[17]的方法进行,选择响应 $R = h_B^2 \times S$, h_B^2 为广义遗传力, S 为选择差, $S = X_1 - X$, X_1 为某性状的留种个体平均值, X 为群体的性状平均值。遗传增益 ΔG 按刘忠松等^[18]的方法进行, $\Delta G = R / X \times 100\%$, 为选择响应除以群体的平均值所得的百分率。

由新植蔗和宿根蔗平均值估算的性状,广义遗传率按孔繁玲^[17]和郑仁华等^[19]的方法 $h_B^2 = 100 \times V_G / V_P = 100 \times V_G / (\sigma_g^2 + \sigma_s^2 / s + \sigma_e^2 / (r \times s))$ 估算, V_G 为遗传方差, V_P 为表型方差, s 为生产季节数, r 为重复次数, σ_g^2 、 σ_s^2 和 σ_e^2 分别为处理的遗传方差、处理与季节互作方差和试验误差。

3) 选择分析。利用多性状指数选择法^[20]进行优良新品种的评选,各性状的权重采用等权法^[21]估算,按盛志廉等^[22]的方法估算指数估计准确度(r_{IH})、指数遗传力(H_I^2)、指数的期望遗传进度(ΔH)。

对由指数选择法入选的群体计算各改良性状的遗传增益 $\Delta G = (h_B^2 \times S) / X \times 100\%$, h_B^2 为广义遗传

力, S 为入选群体的均值与群体的性状均值的离差, X 为群体均值。再分别计算各改良性状与指数选择法同等选择强度时的直接选择的遗传增益 $\Delta G = k \times h \times \sigma_g / X$, σ_g 、 X 、 k 和 h 分别为遗传型标准差、群体均值、选择强度和广义遗传率的平方根。

以上所有数据处理和计算采用 excel 和 DPS 系统软件^[23]进行。

2 结果与分析

2.1 糖能兼用甘蔗主要性状的遗传变异

从表1可以看出,除新植枯心苗率外,其他性状的 F 值均达显著或极显著水平,说明除新植枯心苗率外,参试品系(种)在其他性状上存在真实的遗传差异,为甘蔗新品种的选育提供了遗传基础,通过性状鉴定对新品系的改良有效可行。

从性状遗传力的大小来看,新植出苗率和分蘖率的广义遗传率相对较高,在50%以上;宿根发株率、黑穗病发病率、宿根枯心苗率的广义遗传率均较低,不及40%。从产量及产量构成性状来看,新宿株高的遗传率中等,分别为35.9%和56.5%。茎径的遗传率在新植和宿根之间差异大,分别为56.6%和38.7%。新宿有效茎数的遗传率较高,分别为64.5%和64.9%。新宿锤度性状单次测定的遗传率较低,在27.5%~50.4%;而新宿平均锤度的遗传率较高,分别为63.7%和88.4%。新宿蔗茎产量、新宿公顷产糖量和新宿公顷可发酵糖量均具有较高广义遗传率,达50%以上。

从变异系数来看,遗传变异系数最大的性状是宿根黑穗病发病率,其次是新植蔗分蘖率;从产量及产量构成性状来看,新宿公顷有效茎数、新宿蔗茎产量、新宿公顷产糖量和新宿公顷可发酵糖量的变异系数相对较高;而新宿株高、新宿茎径和新宿锤度的变异系数相对较低。

由相对遗传进度分析可知,新植分蘖率的相对遗传进度最大,其次是宿根黑穗病发病率,说明对这2个性状直接选择效果较好。从产量和产量构成性状来看,无论新植还是宿根,公顷有效茎数、蔗茎产量、公顷产糖量和公顷可发酵糖量都具有较大的相对遗传进度,均在10%以上,说明直接对这些性状的表型选择效果较好。从株高性状来看,6月底时株高的相对遗传进度较大,为10.76%,新宿年底株高的相对遗传进度较小,在6%以下,说明株高以早

表1 糖能兼用甘蔗主要性状的遗传变异分析

Table 1 Genetic variation of main traits in sugar and energy cane

性状 Trait	F 值 F value	广义遗传 率/% Broad-sense heritability	遗传变异 系数/% Genetic variation coefficient	相对遗传 进度/% Relative genetic advance
新植出苗率 Emergence rate of plant crop	6.347**	64.1	6.10	8.67
新植分蘖率 Tillering rate of plant crop	4.293**	52.3	34.94	44.85
新植枯心苗率 Dead heart rate of plant crop	1.110	3.5	5.77	1.92
宿根发株率 Shoot rate of ratoon crop	2.744**	36.8	14.08	15.16
宿根黑穗病发病率 Incidence rate of smut of ratoon crop	1.765*	20.3	43.96	35.16
宿根枯心苗率 Dead heart rate of ratoon crop	2.267**	29.7	14.86	14.37
新植6月株高 Plant height in June of plant crop	3.855**	48.8	8.68	10.76
新植年底株高 Plant height in December of plant crop	2.680**	35.9	3.01	3.20
宿根年底株高 Plant height in December of ratoon crop	4.892**	56.5	4.32	5.76
新宿平均年底株高 Average plant height in December of both plant crop and ratoon crop	2.241*	55.4	2.68	3.54
新植茎径 Stalk diameter of plant crop	4.895**	56.6	4.44	5.93
宿根茎径 Stalk diameter of ratoon crop	2.890**	38.7	3.20	3.53
新宿平均茎径 Average stalk diameter of both plant crop and ratoon crop	3.731**	73.2	3.42	5.19
新植公顷有效茎数 MSH of plant crop	6.447**	64.5	9.21	13.13
宿根公顷有效茎数 MSH of ratoon crop	6.551**	64.9	15.05	21.52
新宿平均公顷有效茎数 Average MSH of both plant crop and ratoon crop	5.466**	81.7	10.65	17.09
新植早期锤度 Brix at early stage of plant crop	2.604**	34.8	1.42	1.49
新植后期锤度 Brix at later stage of plant crop	2.139**	27.5	1.44	1.34
新植平均锤度 Average brix of plant crop	8.670**	88.4	1.71	2.85
宿根早期锤度 Brix at early stage of ratoon crop	4.043**	50.4	1.93	2.43
宿根后期锤度 Brix at later stage of ratoon crop	2.800**	37.5	1.24	1.35
宿根平均锤度 Average brix of ratoon crop	3.224**	69.0	1.39	2.05
新宿平均锤度 Average brix of both plant crop and ratoon crop	2.751**	63.7	1.19	1.69
新植公顷产蔗量 TCH of plant crop	4.864**	56.3	8.76	11.67
宿根公顷产蔗量 TCH of ratoon crop	4.759**	55.6	15.08	19.96
新宿平均公顷产蔗量 Average TCH of both plant crop and ratoon crop	3.064**	67.4	9.38	13.67
新植公顷产糖量 TSH of plant crop	5.398**	59.4	9.28	12.70
宿根公顷产糖量 TSH of ratoon crop	6.459**	64.5	17.81	25.39
新宿平均公顷产糖量 Average TSH of both plant crop and ratoon crop	2.923**	65.8	10.26	14.77
新植公顷总可发酵糖量 TFSH of plant crop	4.013**	50.1	7.99	10.04
宿根公顷总可发酵糖量 TFSH of ratoon crop	4.718**	55.3	15.15	20.00
新宿平均公顷总可发酵糖量 Average TFSH of both plant crop and ratoon crop	2.547**	60.7	7.93	10.97

注: * 表示达 0.05 的显著水平, ** 表示达 0.01 的显著水平。MSH 为公顷有效茎数, TCH 为公顷产蔗量, TSH 为公顷产糖量, TFSH 为公顷总可发酵糖量, 以下各表同。相对遗传进度按中选比例为 10%, 选择强度 $k=1.775$ 时计算。

Note: * means significant difference at the 0.05 level, ** means significant difference at the 0.01 level. MSH represents the abbreviation for millable stalks per hectare; TCH represents the abbreviation for tonnage of cane per hectare; TCH represents the abbreviation for tonnage of cane per hectare. tonnage of sugar per hectare; TFSH represents the abbreviation for tons of total fermentable sugar per hectare. The notes for the following tables are same as this. The result of RGA is evaluated with the selected rate of 10% and the selection intensity of 1.775.

期观察的数据进行选择效果较好,易于选到早生快发的品种。而新宿茎径和新宿锤度性状,相对遗传进度均较小,数值在 6% 以下,因而对茎径和锤度的直接选择难度大。

2.2 糖能兼用甘蔗主要性状的相关分析

从表 2 可以看出,在新植蔗时,公顷蔗茎产量与公顷产糖量和公顷总可发酵糖量存在显著的表型和遗传正相关关系,表明蔗茎产量与公顷产糖量和公顷总可发酵糖量存在紧密的关系,蔗茎产量是构成公顷产糖量和公顷总可发酵糖量的最重要因子。在蔗茎产量构成性状中,公顷有效茎数与蔗茎产量、公顷产糖量、公顷可发酵糖量都具有显著的表型和遗传正相关系数,而株高、茎径与蔗茎产量、公顷产糖量、公顷可发酵糖量之间的表型和遗传相关系数相对较小。公顷有效茎数与茎径之间存在显著负相关,选种时需兼顾两者关系。早期锤度和后期锤度与公顷蔗茎产量的遗传相关系数均达到了显著的负相关,表明蔗茎产量和锤度之间存在矛盾,在产量性状选择时,需兼顾锤度性状。早期和后期锤度性状与公顷产糖量和公顷总可发酵糖量之间存在微弱的负相关,表明糖能兼用甘蔗品种选育时,应适当降低对锤度性状的要求,以选到高产糖量和高可发酵糖量的材料。分蘖率与公顷有效茎数、公顷蔗茎产量、公顷产糖量与公顷可发酵糖量都有显著的遗传正相关,表明分蘖率对有效茎数的构成非常重要,进而对各目标产量性状的影响很大,在新植蔗选种时,可作为前期选择的重要指标。

从表 3 可以看出,在宿根蔗时,蔗茎产量性状与公顷产糖量和公顷总可发酵糖量的表型和遗传相关系数也非常大,表明蔗茎产量对公顷产糖量和公顷总可发酵糖量的选择在宿根蔗时也至关重要。在蔗茎产量构成性状中,公顷有效茎数与公顷蔗茎产量、公顷产糖量、公顷可发酵糖量都具有显著的表型和遗传正相关系数,但与茎径存在显著的负相关,选种时应协调好有效茎数与茎粗的关系。宿根发株率与蔗茎产量、公顷产糖量和公顷可发酵糖量均具有较高的表型和遗传相关系数,表明宿根发株率可作为重要的前期选择性状。宿根蔗的枯心苗率和黑穗病发病率与锤度、蔗茎产量、公顷产糖量和公顷可发酵糖量都有较高的负相关关系,表明虫害和病害对产量和品质性状产生了较大的负面影响,相对新植蔗而言,宿根蔗比新植蔗更易鉴别品种的抗性,应引起高度的重视。

综合新植和宿根蔗时的各性状相关关系,可以看出,公顷蔗茎产量对公顷产糖量和公顷可发酵糖量 2 个目标性状的影响最大,公顷有效茎数与公顷蔗茎产量、公顷产糖量、公顷可发酵糖量都具有很高的表型和遗传正相关系数,在品种选育中,公顷有效茎数是最重要的间接辅助选择性状。决定公顷有效茎数的 2 个前期性状,即新植分蘖率和宿根发株率,也可作为重要的前期间接选择性状。

2.3 糖能兼用甘蔗的指数选择

本研究采用遗传力较高、变异系数较大的新植公顷产糖量、新植公顷总可发酵糖量、宿根公顷产糖量和宿根公顷总可发酵糖量构建指数方程,按等权法(权重为性状均值标准差的倒数)计算得到 4 个性状的权重分别为 0.573 2、0.269 6、0.385 1 和 0.181 4,构建的无性系选择指数方程为: $I = 0.075 4 X_1 + 0.295 3 X_2 + 1.703 7 X_3 - 0.517 2 X_4$,式中 I 为选择指数值, X_1 为新植公顷产糖量, X_2 为新植公顷总可发酵糖量, X_3 为宿根公顷产糖量, X_4 为宿根公顷总可发酵糖量。指数估计的准确度和指数遗传力均较高,分别为 0.809 9 和 0.709 9。

根据指数方程,计算各品种(系)选择指数值并进行排序。结果如表 4,从表 4 中可以看出,选择指数值依次从大到小且超过 ROC16 和 ROC22 双对照的新品系是 GT08-460、GT08-1589、GT08-2408、GT08-1533、GT08-1314、GT08-1457、GT08-183、GT08-921、GT08-549、GT08-1235、GT08-1497、GT08-1365 和 GT08-88,共 13 个,若以超过双对照的选择指数值为入选标准,新品系的入选率约为 45%,则选择强度为 0.880。从入选材料的新宿平均公顷产糖量来看,仅有 GT08-921 和 GT08-88 不及对照 ROC22,其他新品系的新宿平均公顷产糖量均超过对照。从入选材料的新宿平均公顷总可发酵糖量来看,GT08-1314、GT08-183、GT08-921、GT08-1497 和 GT08-88 不及对照 ROC22,其他新品系的新宿平均公顷总可发酵糖量均超过对照。入选的 GT08-460、GT08-1589、GT08-2408、GT08-1533、GT08-1457、GT08-549、GT08-1235 和 GT08-1365 共 8 个新品系的新宿平均公顷产糖量和新宿平均公顷可发酵糖量均超过双对照。

2.4 遗传增益的估算及比较

以选择指数值超过 ROC22 和 ROC16 双对照的 13 个新品系作为入选群体,入选率为 45%,选择强度为 0.880。利用已入选品系的均值与备选群体

表2 新植糖能兼用甘蔗主要性状的相关系数
Table 2 Correlation coefficients between the main traits in plant crop of sugar and energy cane

性状 Trait	出苗率 Emergence rate	分蘖率 Tillering rate	6月株高 Plant height in Jun	年底株高 Plant height in Dec	茎径 Stalk diameter	公顷有效茎数 MSH	早期锤度 Brix at early stage	后期锤度 Brix at later stage	公顷产蔗量 TCH	公顷产糖量 TSH	公顷总可发酵糖量 TFSH
出苗率 Emergence rate	1	-0.757**	0.064	0.127	-0.231	0.066	0.246	0.340	-0.001	0.031	0.117
分蘖率 Tillering rate	-0.668**	1	-0.327	-0.182	0.007	0.397*	-0.179	0.132	0.366*	0.423*	0.414*
6月株高 Plant height in June	0.038	-0.221	1	0.599**	-0.371*	0.283	0.092	0.010	0.168	0.195	0.273
年底株高 Plant height in December	0.012	-0.008	0.472**	1	-0.334	-0.149	-0.095	0.135	0.081	0.022	0.245
茎径 Stalk diameter	-0.207	-0.053	-0.352	-0.261	1	-0.673**	-0.365*	-0.454*	-0.160	-0.261	-0.486**
公顷有效茎数 MSH	0.063	0.337	0.280	-0.122	-0.568**	1	-0.217	-0.184	0.695**	0.727**	0.766**
早期锤度 Brix at early stage	0.215	-0.164	0.151	0.046	-0.281	-0.154	1	0.556**	-0.711**	-0.464**	-0.241
后期锤度 Brix at later stage	0.217	0.003	0.007	0.038	-0.326	-0.106	0.790**	1	-0.504**	-0.241	-0.089
公顷产蔗量 TCH	-0.037	0.319	0.165	0.077	-0.152	0.618**	-0.477**	-0.283	1	0.946**	0.870**
公顷产糖量 TSH	0.008	0.353	0.202	0.050	-0.232	0.650**	-0.294	-0.118	0.958**	1	0.890**
公顷总可发酵糖量 TFSH	0.069	0.320	0.260	0.198	-0.404*	0.666**	-0.123	0.071	0.889**	0.902**	1

注: 左上角代表遗传相关系数, 左下角代表表型相关系数, 表3同。

Note: Genotypic correlation coefficient(r_G) in the upper right corner, Phenotypic correlation coefficient(r_P) in the lower left corner. The same as in table 3.

表 3 宿根糖能兼用甘蔗主要性状的相关系数
Table 3 Correlation coefficients between the main traits in ratoon crop of sugar and energy cane

性状 Trait	宿根 发株率 Shoot rate	枯心苗率 Dead heart rate	黑穗病 发病率 Incidence rate of smut	年底株高 Plant height in Dec	茎径 Stalk diameter	公顷有效 茎数 MSH	早期锤度 Brix at early stage	后期锤度 Brix at later stage	公顷 产蔗量 TCH	公顷 产糖量 TSH	公顷总可 发酵糖量 TFSH
宿根发株率 Shoot rate	1	-0.245	0.046	-0.135	-0.266	0.251	0.282	-0.207	0.308	0.342	0.367*
枯心苗率 Dead heart rate	-0.134	1	0.338	0.374*	-0.419*	-0.228	-0.295	-0.729**	-0.453*	-0.490**	-0.496**
黑穗病发病率 Incidence rate of smut	-0.073	0.075	1	0.329	-0.297	-0.120	-0.632**	-0.662**	-0.290	-0.250	-0.448*
年底株高 Plant height in Dec	-0.007	0.250	0.098	1	0.047	-0.091	-0.411*	-0.526**	0.037	-0.015	0.040
茎径 Stalk diameter	-0.221	-0.267	-0.215	-0.043	1	-0.458*	0.063	0.039	-0.107	-0.144	-0.160
公顷有效茎数 MSH	0.328	-0.203	-0.119	-0.015	-0.374*	1	0.035	0.365*	0.913**	0.931**	0.921**
早期锤度 Brix at early stage	0.241	-0.153	-0.408*	-0.366*	0.031	0.050	1	0.732**	-0.117	0.014	0.086
后期锤度 Brix at later stage	-0.094	-0.340	-0.333	-0.452*	0.006	0.251	0.578**	1	0.243	0.375*	0.374*
公顷产蔗量 TCH	0.358	-0.325	-0.229	0.061	-0.076	0.869**	-0.063	0.193	1	0.981**	0.970**
公顷产糖量 TSH	0.364*	-0.359	-0.201	0.021	-0.100	0.892**	0.031	0.293	0.983**	1	0.974**
公顷总可发酵糖量 TFSH	0.394*	-0.346	-0.318	0.059	-0.109	0.870**	0.115	0.311	0.975**	0.975**	1

表4 入选优良糖能兼用甘蔗品种(系)目标改良性状的表现

Table 4 Performances of the objective traits in the selected lines for sugar and energy cane

品系 Line	选择指数值 Value of selection index	指数排名 Index ranking	新植		宿根 TSH/ (t/hm ²)		新植平均 TSH/(t/hm ²)		新植 TFSH/ (t/hm ²)		宿根 TFSH/ (t/hm ²)		新植平均 TFSH/(t/hm ²)	
			TSH/(t/hm ²) plant crop	TSH of ratoon crop	TSH of ratoon crop	Average TSH of both plant crop and ratoon crop	TFSH of plant crop	TFSH of ratoon crop	TFSH of plant crop	TFSH of ratoon crop	Average TFSH of both plant crop and ratoon crop			
GT08-460	21.221 02	1	16.945 9	15.276 2	16.111 0	35.588 6	15.276 2	15.276 2	25.432 4					
GT08-1589	21.091 46	2	18.012 7	15.206 0	16.609 4	39.323 4	15.206 0	15.206 0	27.264 7					
GT08-2408	20.749 15	3	17.507 7	15.025 3	16.266 5	37.311 2	15.025 3	15.025 3	26.168 3					
GT08-1533	20.142 45	4	16.268 7	14.410 2	15.339 4	38.046 1	14.410 2	14.410 2	26.228 1					
GT08-1314	18.575 15	5	13.950 8	13.905 7	13.928 2	32.249 1	13.905 7	13.905 7	23.077 4					
GT08-1457	18.498 23	6	15.268 3	13.696 8	14.482 5	34.587 8	13.696 8	13.696 8	24.142 3					
GT08-183	18.286 81	7	13.037 0	16.084 1	14.560 6	28.635 8	16.084 1	16.084 1	22.360 0					
GT08-921	18.274 14	8	14.626 5	12.320 3	13.473 4	33.617 7	12.320 3	12.320 3	22.969 0					
GT08-549	17.995 88	9	15.161 0	12.081 0	13.621 0	36.728 8	12.081 0	12.081 0	24.404 9					
GT08-1235	17.985 75	10	15.146 9	12.768 6	13.957 7	35.747 3	12.768 6	12.768 6	24.258 0					
GT08-1497	17.874 43	11	15.693 2	12.845 7	14.269 5	32.326 1	12.845 7	12.845 7	22.585 9					
GT08-1365	17.650 71	12	13.894 8	13.776 3	13.835 5	33.291 9	13.776 3	13.776 3	23.534 1					
GT08-88	17.432 17	13	15.061 6	11.227 7	13.144 6	34.847 7	11.227 7	11.227 7	23.037 7					
ROC22	17.332 25	14	15.501 8	11.655 9	13.578 9	34.955 1	11.655 9	11.655 9	23.305 5					
GT08-179	17.235 81	15	14.431 1	11.847 8	13.139 4	33.151 8	11.847 8	11.847 8	22.499 8					
GT08-1180	16.887 06	16	15.203 5	11.676 7	13.440 1	35.597 4	11.676 7	11.676 7	23.637 0					
GT08-56	16.875 91	17	16.075 3	10.679 0	13.377 1	36.230 9	10.679 0	10.679 0	23.455 0					
ROC16	16.803 49	18	15.209 3	11.133 7	13.171 5	34.992 4	11.133 7	11.133 7	23.063 0					

总均值的选择差,计算选择后群体各目标性状的遗传增益。并分别计算各目标性状单性状选择时的遗传增益,结果见表 5。从表 5 可以看出,尽管多性状指数选择法选择后的各改良性状的遗传增益均略低

于对各性状直接选择的遗传增益,但指数选择法对各需改良性状能保持相对较高的遗传增益,且指数选择法是对多性状做综合性的选择,能同时改良多个性状。

表 5 指数选择与单性状直接选择的遗传增益比较

Table 5 Comparison of genetic gains between index selection and single trait selection

选择方法 Selection method	新植	宿根	新宿平均 TSH/%	新植	宿根	新宿平均 TFSH/%
	TSH/%	TSH/%	Average TSH of	TFSH/%	TFSH/%	Average TFSH of
	TSH of	TSH of	both plant crop	TFSH of	TFSH of	both plant crop
	plant crop	ratoon crop	and ratoon crop	plant crop	ratoon crop	and ratoon crop
多性状指数选择 Multiple-traits index selection	3.226 5	10.342 1	6.694 4	2.351 0	8.866 9	4.657 0
单性状直接选择 Single-trait selection	6.294 0	12.085 3	7.323 9	4.976 8	9.914 2	5.436 9

3 讨论与结论

目前甘蔗常规杂交育种工作量大,所需时间长,育种效率低,选育具有突破性的品种较为困难。研究甘蔗性状的遗传参数和遗传规律,有助于提高甘蔗育种的效率^[24-25]。对糖能兼用甘蔗新品种的性状遗传分析,有利于掌握新材料的性状遗传特点、性状改良和优良无性系的选择。从本研究新品系的性状遗传变异来看,公顷有效茎数、蔗茎产量、公顷产糖量、公顷总可发酵糖量均具有较大的遗传变异系数和较高的遗传率,而株高、茎径、锤度性状的遗传变异和遗传率均较低,这与谭中文等^[26]、陈坚^[25]、李杨瑞^[20]、陈西文等^[27]和李玉潜等^[16]报道的一致,表明对本研究的新品系选择时,应以各种产量性状作为新品种选育的目标选择性状。从遗传相关来看,无论新植还是宿根,蔗茎产量对公顷产糖量和公顷总可发酵糖量均具有显著的正相关,公顷有效茎数与公顷蔗茎产量、公顷产糖量、公顷总可发酵糖产量均具有较高的正相关,这与谭中文等^[28]、李杨瑞^[20]、龚得明等^[29]和黄家雍等^[30]报道的对糖料甘蔗选择时的结果相同,表明本研究中新品系的公顷有效茎数是构成各种目标产量性状的一个最重要的因素,可作为新品系各产量性状的间接选择性状。锤度是反映能源甘蔗酒精发酵产率的重要指标,现阶段则以锤度为糖能兼用甘蔗品质改良的重要选择指标^[31]。本研究中,锤度性状与公顷产糖量和公顷总可发酵糖量间存在微弱负相关,表明在新品系筛选时,不能

过于追求高锤度,应适当降低对锤度的要求,以便获得更多高可发酵糖量和高含糖量品种。这与高三基等^[32]报道的一致,他们认为含糖量主要取决于产量性状,适当提高产量性状的选择强度,降低蔗糖分指标的选择强度,有利于高含糖量后代入选。这也与糖能兼用甘蔗品种选育目标要求生物产量高、可发酵糖量高,蔗汁蔗糖分和重力纯度能达到制糖时的要求相一致。

甘蔗选育种的最终目标是选育出使甘蔗原料生产及其加工整个产业经济效益最好的品种,甘蔗选育种过程中涉及株高、茎径、单茎重、锤度、有效茎、纤维分、蔗茎产量和抗病虫性等多个性状,人们不仅希望单个性状得到改进,更期望多个性状同时获得遗传进展,为此在选留无性系时,常常对多个性状进行综合选择^[33-34]。Smith-Hazel 指数选择法按照性状遗传力、经济价值及相互间的表型和遗传相关关系等因素,构成一个总指数作为选择的唯一指标,是动植物育种中较为理想的多性状综合选择方法^[35]。指数选择法优于其他方法的相对效率随性状数增加而提高,但是随相对重要性差异增加而下降,在相对重要性相同时,其优越性最大^[22]。糖能兼用甘蔗应能满足制糖和生产乙醇的双重要求,产糖量与可发酵糖量两者具有同等重要性。本研究采用等权法,通过构建选择指数方程,选出了 13 个选择指数值超过双对照的新品系,其中有 8 个新品系的公顷产糖量和公顷可发酵糖量均超过双对照,与公顷产糖量和公顷可发酵糖量单性状选择相比,需改良的各目

标性状都能获得相对较高的遗传增益,选择效果较好。但指数选择法具有遗传参数估计存在误差,各性状经济权量的准确估计有相当难度,群体太小会导致选择强度估计偏高,使预期选择响应偏高,对信息性状的控制技术影响选择的预期效果^[17,22]。因而,本试验利用指数选择法筛选到的优良新品系,有待于今后更进一步的实践验证。

参 考 文 献

- [1] 贾敬敦,孙康泰,蒋大华,魏珣,张辉,亓伟,朱华平,任晓锋,李杨,李强,葛毅强,蒋丹平. 我国生物质能源产业科技创新发展对策研究[J]. 中国农业科技导报,2014,16(1):1-6
Jia J D, Sun K T, Jiang D H, Wei X, Zhang H, Qi W, Zhu H P, Ren X F, Li Y, Li Q, Ge Y Q, Jiang D P. Challenges and counter measures for the development of biomass energy industry in china[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2014, 16(1): 1-6 (in Chinese)
- [2] 张素清. 生物质的产量和贸易概述[J]. 南方农业, 2015, 9(3): 90-91
Zhang S Q. Summary for the output and trade of biomass[J]. *South China Agriculture*, 2015, 9(3): 90-91 (in Chinese)
- [3] 刘洪霞,冯益明. 世界生物质能源发展现状及未来发展趋势[J]. 世界农业, 2015(5): 117-120
Liu H X, Feng Y M. Current situation and development of biomass energy in the world[J]. *World Agriculture*, 2015 (5): 117-120 (in Chinese)
- [4] 李金宝,何丽莲,李富生. 甘蔗作为能源作物的优势分析及前景展望[J]. 中国农学通报, 2007, 23(12): 427-733
Li J B, He L L, Li F S. Analysis of advantage and outlook on sugarcane as energy-crop[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(12): 427-733 (in Chinese)
- [5] 李杨瑞,谭裕模,李松,杨荣仲. 甘蔗作为生物能源作物的潜力分析[J]. 西南农业学报, 2006, 19(4): 742-746
Li Y R, Tan Y M, Li S, Yang R Z. Analyses on the potential of sugarcane as a bio-energy crop in China[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2006, 19 (4): 742-746 (in Chinese)
- [6] 李松,杨荣仲,谭裕模,莫磊兴,谭芳. 我国发展能源甘蔗研究生生产的现实意义[J]. 广西蔗糖, 2003(3): 44-45
Li S, Yang R Z, Tan Y M, Mo L X, Tan F. Significance of research and production of China's developmental energy-sugarcane[J]. *Guangxi Sugarcane & Canesugar*, 2003(3): 44-45 (in Chinese)
- [7] Alexandar A G. *The Energycane Alternative* [M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1985
- [8] 吴嘉云,邓祖湖,徐良年,高三基,张华,罗俊,陈如凯. 能糖兼用甘蔗新品种的评价与利用[J]. 福建农林大学学报:自然科学版, 2009, 38(1): 1-5
Wu J Y, Deng Z H, Xu L N, Gao S J, Zhang H, Luo J, Chen R K. Evaluation and utilization of new varieties of sugarcane for energy and sugar [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition*, 2009, 38(1): 1-5 (in Chinese)
- [9] 毛钧,陆鑫,刘新龙,苏火生,刘洪博,蔡青. “甘蔗复合群”能源植物遗传育种研究进展[J]. 植物分类与资源学报, 2014, 36(1): 89-98
Mao J, Lu X, Liu X L, Su H S, Liu H B, Cai Q. Progress on the breeding of energy plant comprising the “Saccharum Complex” [J]. *Plant Diversity and Resources*, 2014, 36 (1): 89-98 (in Chinese)
- [10] 李昱,李奇伟,邓海华,齐永文,吴嘉云. 我国能源植物概况与能源型甘蔗斑茅后代前景展望[J]. 甘蔗糖业, 2014 (3): 51-58
Li Y, Li Q W, Deng H H, Qi Y W, Wu J Y. General situation of energy plant and the cultivation of energy type sugarcane and *Erianthus Arundinaceus* progeny prospect in China [J]. *Sugarcane and Canesugar*, 2014 (3): 51-58 (in Chinese)
- [11] 李杨瑞. 现代甘蔗学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 521
Li Y R. *Modern Sugarcane Science* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010: 521 (in Chinese)
- [12] 王伦旺,李翔,黄家雍,黎焕光,方锋学,杨荣仲,唐仕云,谭芳,黄海荣. 16个糖能兼用甘蔗品种(系)种性比较[J]. 中国农学通报, 2010, 26(17): 408-415
Wang L W, Li X, Huang J Y, Li H G, Fang F X, Yang R Z, Tang S Y, Tan F, Huang H R. Comparison of characteristics among 16 sugar and energy cane varieties [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26 (17): 408-415 (in Chinese)
- [13] 唐仕云,王伦旺,杨荣仲,杨丽涛,李翔,黄海荣,经艳,邓宇驰,谭芳,黄家雍. 糖能兼用甘蔗主要性状的遗传参数与改良效果的分析[J]. 热带作物学报, 2015, 36(4): 665-672
Tang S Y, Wang L W, Yang R Z, Yang L T, Li X, Huang H R, Jing Y, Deng Y C, Tan F, Huang J Y. Analyses of genetic parameters and improvement effect in sugar and energy cane [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2015, 36(4): 665-672 (in Chinese)
- [14] 刘来福,毛盛贤,黄远樟. 作物数量遗传[M]. 北京: 农业出版社, 1984: 110-180
Liu L F, Mao S X, Huang Y Z. *Crop Quantitative Genetics* [M]. Beijing: Agriculture Press, 1984: 110-180 (in Chinese)
- [15] 马育华. 植物育种的量遗传学基础[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1982: 300-302
Ma Y H. *Basis of Quantitative Trait Genetics for Plant Breeding* [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1982: 300-302 (in Chinese)
- [16] 李玉潜. 甘蔗遗传参数的研究产量和品质性状的基因型变异、广义遗传力和相对遗传进度[J]. 甘蔗糖业, 1983(8): 35, 41-42
Li Y Q. Research on genetic parameters in sugarcane genetic variation, broad-sense heritability and relative genetic advance of yield and quality traits [J]. *Sugarcane and Canesugar*, 1983 (8): 35, 41-42 (in Chinese)
- [17] 孔繁玲. 植物数量遗传学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 183-239
Kong F L. *Quantitative Genetics in Plant* [M]. Beijing: China

- Agricultural University Press, 2006; 183-239 (in Chinese)
- [18] 刘忠松, 罗赫荣. 现代植物育种学[M]. 北京: 科学出版社, 2010; 274-283
Liu Z S, Luo H R. *Modern Plant Breeding* [M]. Beijing: Science Press, 2010; 274-283 (in Chinese)
- [19] 郑仁华, 蔡天贵, 陈国金, 肖晖, 涂育合, 杨宗武, 傅玉狮, 黄春华, 黄如金, 黄金桃. 马尾松优树子代测定及速生优良家系选择的研究[J]. 福建林业科技, 1998, 25(3): 11-16
Zheng R H, Cai T G, Chen G J, Xiao H, Tu Y H, Yang Z W, Fu Y S, Huang C H, Huang R J, Huang J T. Studies on the plus tree progeny test and fast-growing fine family selection of *pinus massoniana* [J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 1998, 25(3): 11-16 (in Chinese)
- [20] 李杨瑞. 甘蔗引进品种产量性状的遗传、相关及选择指数[J]. 福建农学院学报, 1986, 15(4): 317-326
Li Y R. The inheritance and interrelationship of the yield characters of introduced sugarcane cultivars and the index selection [J]. *Journal of Fujian Agricultural College*, 1986, 15(4): 317-326 (in Chinese)
- [21] Cotterill P P, Jachson N. On index selection I: Methods of determining economic weight [J]. *Silvae Genetica*, 1985, 34(2/3): 56-63
- [22] 盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 1999; 260-267
Sheng Z L, Chen Y S. *Quantitative Genetics* [M]. Beijing: Science Press, 1999; 260-267 (in Chinese)
- [23] 唐启义. DPS 数据处理系统实验设计、统计分析 & 数据挖掘 [M]. 北京: 科学出版社, 2007
Tang Q Y. *DPS Data Processing System: Experimental Design, Statistical Analysis, and Data Mining* [M]. Beijing: Science Press, 2007 (in Chinese)
- [24] 何启钧, 林彦铨, 张加明, 林德波. 甘蔗产量性状与品质性状的相关与通径分析[J]. 甘蔗, 1995, 2(3): 6-12
He Q J, Lin Y Q, Zhang J M, Lin D B. Analysis of correlation and path of yield and quality characters in sugarcane [J]. *Sugarcane*, 1995, 2(3): 6-12 (in Chinese)
- [25] 陈坚. 甘蔗性状遗传参数的研究[J]. 江西农业科技, 1993(3): 14-16
Chen J. Investigation of traits genetic parameters of sugarcane [J]. *Jiangxi Agricultural Science & Technology*, 1993(3): 14-16 (in Chinese)
- [26] 谭中文, Martin F A. 甘蔗的遗传相关及与环境互作的研究 [J]. 华南农业大学学报, 1987, 8(3): 47-52
Tan Z W, Martin F A. Investigation of heritability correlation and interaction of genotype-environment in sugarcane [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 1987, 8(3): 47-52 (in Chinese)
- [27] 陈西文, 陈勇生, 邓海华. 斑茅蔗 BC₁ 后代产量性状遗传分析 [J]. 广东农业科学, 2011, 38(5): 44-46
Chen X W, Chen Y S, Deng H H. Genetic analysis of the characters related to the yield of BC₁ lines of *Erianthus arundinaceus* [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, 38(5): 44-46 (in Chinese)
- [28] 谭中文, 谭启超, 梁耀祥. 甘蔗品种性状的遗传、相关及其通径分析[J]. 甘蔗糖业: 甘蔗分刊, 1982(4): 12-17
Tan Z W, Tan Q C, Liang Y X. The inheritance, interrelationship and path analysis of the characters of sugarcane cultivars [J]. *Sugarcane and Cane Sugar*, 1982(4): 12-17 (in Chinese)
- [29] 龚得明, 林彦铨, 陈如凯. 甘蔗蔗茎产量、蔗糖分和蔗糖产量的通径分析[J]. 甘蔗糖业, 1992(4): 9-14
Gong D M, Lin Y Q, Chen R K. Path coefficient analysis for cane yield, sugar content and sugar yield in sugarcane [J]. *Sugarcane and Cane Sugar*, 1992(4): 9-14 (in Chinese)
- [30] 黄家雍, 诸葛莹, 刘海斌, 谭芳, 闭少玲. 甘蔗主要性状的遗传相关及通径分析[J]. 甘蔗, 1999, 6(3): 6-9
Huang J Y, Zhu G Y, Liu H B, Tan F, Bi S L. The genetic correlation and path analysis on several main characteristics of sugarcane [J]. *Sugarcane*, 1999, 6(3): 6-9 (in Chinese)
- [31] 朱金亮, 邓祖湖, 徐良年, 陈如凯. 糖能兼用甘蔗新品系宿根季评价[J]. 中国糖料, 2011(1): 16-19
Zhu J L, Deng Z H, Xu L N, Chen R K. Evaluation of new sugarcane lines in rationing for energy and sugar [J]. *Sugar Crops of China*, 2011(1): 16-19 (in Chinese)
- [32] 高三基, 陈如凯, 傅华英, 邓祖湖, 张华, 徐良年, 罗俊. 甘蔗实生苗群体主要经济性状的遗传变异及选择[J]. 热带作物学报, 2006, 27(1): 49-53
Gao S J, Chen R K, Fu H Y, Deng Z H, Zhang H, Xu L N, Luo J. Genetic variation and selection of main economic traits in sugarcane (*Saccharum* spp) seedling populations [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2006, 27(1): 49-53 (in Chinese)
- [33] 邓祖湖, 徐良年, 韦先明, 林彦铨, 陈如凯. 经济遗传值在甘蔗选育种的应用研究 I 经济遗传值及性状经济权重的确定[J]. 中国糖料, 2011(1): 39-43
Deng Z H, Xu L N, Wei X M, Lin Y Q, Chen R K. Application studies of economic genetic value in sugarcane breeding I economic genetic value and the evaluation of economic weight [J]. *Sugar Crops of China*, 2011(1): 39-43 (in Chinese)
- [34] 徐良年, 邓祖湖, 林彦铨, 陈如凯, 傅华英. 经济遗传值在甘蔗选育种中应用研究系列(三)甘蔗亲本经济育种值 and 家系经济遗传值分析[J]. 中国糖料, 2013(1): 5-8
Xu L N, Deng Z H, Lin Y Q, Chen R K, Fu H Y. Series studies on economic genetic value in sugarcane (III) parent economic breeding value and family economic genetic value analysis of sugarcane [J]. *Sugar Crops of China*, 2013(1): 5-8 (in Chinese)
- [35] 马妮, 仲崇祿, 张勇, 姜清彬, 陈羽, 陈珍, 方法之, 胡盼, 朱德武. 7年生短枝木麻黄优良无性系选择的研究[J]. 林业科学研究, 2014, 27(5): 662-666
Ma N, Zhong C L, Zhang Y, Jiang Q B, Chen Y, Chen Z, Fang F Z, Hu P, Zhu D W. Superior clone selection of *Casuarina equisetifolia* [J]. *Forest Research*, 2014, 27(5): 662-666 (in Chinese)