

甘蔗生物量育种的 ADGE 遗传分析

周鸿凯¹, 刘桂富², 蔡华斌³, 王尚钦¹, 郭荣发^{1*}

(1. 湛江海洋大学农学院, 广东 湛江 524088; 2. 华南农业大学农学院, 广州 510642;

3. 广州甘蔗科学研究所湛江甘蔗研究中心, 广东 遂溪 524300)

摘要: 对甘蔗 11 个亲本品种及不完全双列杂交(NC design II)遗传设计的 30 个组合的 F₁ 代实生苗生物量进行加性 - 显型 - 随机环境效应模型(ADGE)分析。结果表明: 甘蔗的生物量性状遗传主要是由基因的加性、显性及加性×环境互作效应共同决定的, 但基因的加性效应作用较大; 甘蔗杂交亲本对其后代代表型的遗传作用主要为母本的遗传效应影响; 甘蔗生物量性状都具有较高的广义遗传率(h²_b)和狭义遗传率(h²_n), 且 h²_b>h²_n, 说明了对甘蔗生物量性状在选育种早期阶段的选择效果好; 通过对亲本的加性基因随机效应分析的综合, 较优良的甘蔗亲本有粤糖 72/426、粤糖 79/177、粤糖 85/177、ROC24 和 ROC25; 根据杂交组合显性随机效应分析, 认为粤糖 72/426×ROC16、粤糖 79/177×ROC24、粤糖 79/177×ROC23 及粤糖 80/101×ROC22 是较优良的高生物量甘蔗杂交组合, 可以应用于甘蔗的高生物量育种。

关键词: 甘蔗; 生物量育种; 不完全双列杂交; 遗传分析; 加性 - 显型 - 随机环境效应模型

中图分类号: S566.103.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3395(2005)03-0259-05

Genetic Analysis of Biomass in Sugarcane Using ADGE Model

ZHOU Hong-kai¹, LIU Gui-fu², CAI Hua-bing³, WANG Shang-qin¹, GUO Rong-fa¹

(1. Agronomy College, Zhanjiang Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 2. Agronomy College, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. Zhanjiang Sugarcane Research Center, Guangzhou Sugarcane Ind. Res. Institute, Suixi 524300, China)

Abstract: Thirty hybrids from 11 parent sugarcane varieties in a incomplete diallel cross model were obtained. The seedling biomass of all F₁s were analysed by a model of additive-dominance-random environment effect. The results indicated that the inheritance of sugarcane biomass was determined jointly by additive, dominance, and both additive and environment interaction effects, in which the additive effect was the most important one. The genetic effect of phenotypic characters from parents on the progenies was influenced mainly by female parent. Both broad-sense and narrow-sense heritabilities in biomass traits were relatively high, and the former was higher than the latter, suggesting that the selection of biomass traits is effective in early generation. The analyses of additive and dominant effects predicted for parents and cross combinations showed that five parents, viz. YT72/426, YT79/177, YT85/177, ROC24 and ROC25 were accounted to have higher additive effect, and four crosses to have higher dominant effect, which could be used in sugarcane breeding for high biomass.

Key words: Sugarcane; Biomass; Incomplete diallel cross; Genetic analysis; Additive-Dominance-Random environment effect model

甘蔗(*Saccharum officinarum*)既是一种重要的糖料作物,也是一种重要的高生物量的生物能源作物。地球的石油能源面临逐渐枯竭的危机,同时,由于石化能源的大量开采和使用,地球的环境污染状况日趋严重。因此,开发和利用可再生又无污染的

生物能源,已成为世界各国解决能源问题的主要研究方向。许多国家对高生物量的甘蔗品种的选育展开了研究,如美国早在 20 世纪七十年代就提出并实施能源生物甘蔗品种计划,已选育出三代能源甘蔗品种(PR980、NCo310、PR64-1791、US67-22-2 和

收稿日期:2004-06-21 接受日期:2004-09-20

基金项目:广东省“十五”重大科技专项(A20602)资助

* 通讯作者 Corresponding author

B70-701等)^[1],但国内外有关甘蔗生物量遗传行为方面的研究只有一些零星报道^[2-4]。我国在能源甘蔗方面的研究尚处于起步阶段,但在高生物量甘蔗品种选育方面取得了一定进展,已筛选出一些有高生物量潜力的甘蔗品种^[5,6]。本研究应用朱军^[7]的 ADGE 遗传模型对甘蔗 11 个亲本及其以 5×6 不完全双列杂交(NC design II)30 个组合 F₁ 代实生苗进行遗传分析,以期能为高生物量能源甘蔗品种的选育提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料和试验方法

选用甘蔗(*Saccharum officinarum*)粤糖系列 5 个品种为母本: P₁(粤糖 81/3254)、P₂(粤糖 85/177)、P₃(粤糖 72/426)、P₄(粤糖 79/177)、P₅(粤糖 80/101); 6 个新台糖品种为父本: P₆(ROC16)、P₇(ROC20)、P₈(ROC22)、P₉(ROC23)、P₁₀(ROC24)、P₁₁(ROC25),以 5×6 不完全双列杂交(NC design II)遗传分析设计配制 30 个杂交组合。

于 2000 年和 2001 年在湛江甘蔗研究中心试验地,分别种植上述 11 个亲本及其 F₁ 实生苗,三行区,行长 400 cm,行距 100 cm,每行种植 20 株实生苗或 10 个双芽苗亲本,随机排列,三次重复,田间管理同一般大田。收获时,随机调查各小区 20 丛甘蔗的茎径(cm)、茎长(cm)、丛有效茎数(简称茎数,条/丛)、单茎重(简称茎重,kg)、丛生物产量(简称产量,kg)、锤度(%)和丛锤重(丛生物产量×锤度,简称锤重,kg)。

1.2 统计分析

采用朱军提出的加性-显型-随机环境效应(Additive-Dominance-Random Environment Effect, ADGE)遗传模型和方差估算及检验的统计分析法^[7-9],分析甘蔗主要的生物量性状。

利用两年亲本及其 F₁ 世代的各小区平均数资料,用最小范数二阶无偏估计(Minimum norm quadratic unbiased estimation, MINQUE)法估算各遗传方差分量,及其与环境的互作效应,计算各项方差分量占表型方差(V_p)的比率,利用 Jackknife 法进行方差显著性检验^[10]。

采用朱军提出的无偏预测(Adjusted unbiased prediction, AUP)^[11]法,预测各项遗传效应值,分析亲本的加性和杂交组合显性随机效应,再用 Jackknife 法进行显著性检验。

2 结果和分析

2.1 方差分量分析

从表 1 可以看出,所研究的 7 个生物量性状之加性和显性遗传方差均达到 1%的极显著水平,表明这些主要生物量性状的遗传变异同时受到基因的加性和显性效应的影响,既可以通过选择加以固定培育出高生物量的甘蔗品种,也可以通过利用杂种优势挖掘出甘蔗的高生物量的潜力。

加性×环境互作效应的方差(V_{AE}),除产量外,其它性状均达到 1%极显著水平,说明了这些生物量性状的表现是受到基因加性×环境互作的影响;各性状的随机效应方差都达极显著水平,说明各性状的表现一定的程度上受到随机效应的影响。

2.2 遗传方差比率的分析

由表 2 可知,各性状的加性方差和显性方差所占表型方差的比率(V_A/V_p和 V_D/V_p),均达到极显著水平,且除锤度外,其它性状 V_A/V_p 大于 V_D/V_p,说明,对于甘蔗生物量性状表现的作用,基因的加性效应比显性效应大。

2.3 遗传率分析

遗传率是度量性状的遗传变异占表型变异相对比率的重要遗传数。广义遗传率(h²_B)是总的遗传

表 1 甘蔗主要生物量性状的方差分量估计值

Table 1 Estimates of genetic variance of major biomass characters in sugarcane

	茎径 Stalk diameter	茎长 Stalk length	茎数 Number of millable	茎重 Weight per stalk	锤度 Brix	产量 Biomass yield per plant	锤重 Brix weight per plant
V _A	0.0064**	82.8978**	0.1777**	0.0157**	0.1140**	0.1548**	0.0062**
V _D	0.0024**	52.4003**	0.0259**	0.0050**	0.2725**	0.0284**	0.0019**
V _{AE}	0.0017**	9.13305**	0.0162**	0.0020**	0.0952**	0.0000	0.0002**
V _R	0.0055**	60.1644**	0.0865**	0.0074**	0.2645**	0.0648**	0.0027**

V_A: 加性方差 Additive variance; V_D: 显性方差 Dominance variance; V_{AE}: 加性与环境互作方差 Additive-environment variance; V_R: 随机方差 Residual variance; **: P<0.01.

表 2 遗传方差分量占表型方差比率及其遗传率

Table 2 Ratios of genetic variance to phenotypic variance and heritability of biomass traits in sugarcane

	茎径 Stalk diameter	茎长 Stalk length	茎数 Number of millable	茎重 Weight per stalk	锤度 Brix	产量 Biomass yield per plant	锤重 Brix weight per plant
V_A/V_P	0.3517**	0.3272**	0.5768**	0.4588**	0.1099**	0.5079**	0.4468**
V_D/V_P	0.1301**	0.2068**	0.0840**	0.1466**	0.2626**	0.0933**	0.1340**
V_{AE}/V_P	0.0950**	0.0361*	0.0526**	0.0590**	0.0918**	0.0000	0.0125
V_R/V_P	0.3034**	0.2375**	0.2808**	0.2169**	0.2550**	0.2127**	0.1936**
h^2_N	0.3517**	0.3272**	0.5768**	0.4588**	0.1099**	0.5079**	0.4468**
h^2_B	0.4818**	0.5341**	0.6609**	0.6054**	0.3725**	0.6012**	0.5808**

V_P : 表型方差 Phenotypic variance; h^2_N : 狭义遗传率 Heritability in the narrow sense; h^2_B : 广义遗传率 Heritability in the broad sense;

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

方差占表型方差的比率 $h^2_B = V_D/V_P$ 。狭义遗传率(h^2_N)一般定义为加性遗传方差占表型方差的比率, $h^2_N = V_A/V_P$ 。

从表 2 中还可以看到,各性状的狭义和广义遗传率均达到 1% 的极显著水平, 且具有较高的狭义和广义遗传力, 尤以茎数和产量这两个性状有大于 0.5 的狭义和广义遗传率, 说明这些性状的表型变异主要取决于遗传效应, 可用遗传育种手段来改良群体的遗传组成, 取得高生物量甘蔗品种的预期效果。甘蔗生物量性状的广义遗传率均大于狭义遗传率($h^2_B > h^2_N$), 表明这些性状有较大的杂种优势, 早代选择有一定成效。

2.4 亲本主要性状的基因效应分析

从表 3 可见, 参试的亲本对其后代各生物量性状的加性随机效应是多样性的, 既有达极显著或显著的正效应或负效应, 也有未达显著水平的正或负作用。如亲本 P_6 、 P_7 、 P_9 、 P_{10} 和 P_{11} 使后代茎径变小达显著或极显著水平的负效应, 亲本 P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_5 使

后代茎径变大的极显著水平的正效应; 亲本 P_3 使后代茎长增长达极显著水平的正效应, 亲本 P_7 和 P_9 使后代茎长变短达极显著水平的负效应; 亲本 P_3 和 P_5 使后代茎重增大达极显著水平的正效应; 亲本 P_1 使后代锤度降低达极显著水平的负效应, 亲本 P_{11} 使后代锤度增高达显著水平的正效应; 对于生物产量, 亲本 P_3 和 P_{11} 使后代产量增大达极显著水平的正效应, 而亲本 P_6 和 P_9 使后代生物产量减少达极显著水平的负效应; 亲本 P_3 和 P_{11} 使后代锤重增加达极显著水平的正效应。

2.5 杂交组合的基因效应值分析

杂交组合后代其杂合显性效应 D_{ij} 是亲本 P_i 和 P_j 的等位基因内的显性互作, 是利用杂种优势的主要依据。从表 4 可见, 参试杂交组合对其后代生物量性状表现的效应呈现多样性: 如 $P_1 \times P_6$ 其茎长的负效应达显著水平, 而茎数有达显著水平的正效应; $P_1 \times P_8$ 其茎长和茎径有达显著水平的正效应, 也有对茎数和锤度达显著水平的负效应; $P_3 \times P_6$ 对于

表 3 甘蔗亲本主要生物量性状的加性随机效应(A_i)预测值

Table 3 Predicated values of additive effects of major biomass traits of parents in sugarcane

亲本 Parents	茎径 Stalk diameter	茎长 Stalk length	茎数 Number of millable	茎重 Weight per stalk	锤度 Brix	产量 Biomass yield per plant	锤重 Brix weight per plant
P_1	0.0368**	2.8906	-0.1293**	0.0488*	-0.1805**	0.0170	-0.0059
P_2	0.0326**	3.2053*	-0.1673**	0.0500*	-0.0308	-0.0334	-0.0084
P_3	0.0924**	8.7183**	-0.1864**	0.1530**	-0.0054	0.2320**	0.0443**
P_4	0.0322	4.8203*	-0.0003	0.0411	-0.1303*	0.1141	0.0150
P_5	0.0646**	-0.2268	-0.1429**	0.0812**	-0.2739*	0.0921	0.0034
P_6	-0.0337*	-6.6889*	-0.1861**	-0.0735*	-0.0543	-0.4005**	-0.0804**
P_7	-0.0796**	-9.7948**	0.5540**	-0.1323**	0.1527	0.1300	0.0337
P_8	0.0113	5.9608*	-0.2050**	0.0422	-0.1266	-0.0778	-0.0207
P_9	-0.0569**	-10.7266**	-0.3157**	-0.1096**	0.2793	-0.6080**	-0.1076**
P_{10}	-0.0564**	2.2618	0.3579**	-0.0496*	-0.1728	0.2393*	0.0381*
P_{11}	-0.0433*	-0.4206	0.4212**	-0.0514*	0.5425*	0.2951**	0.0884**

P_1 to P_5 are female parents, P_6 to P_{11} male parents. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

表 4 甘蔗杂交组合主要性状显性随机效应 D_{ij} 预测值

Table 4 Predicated values of dominant effects of major traits of cross combinations in sugarcane

		P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}
P_1	茎径 Stalk diameter	-0.0350	0.0595	0.0534*	-0.0435	-0.0483	0.0402
	茎长 Stalk length	-16.7048*	9.2112	7.2059*	-5.9467	-2.0702	0.8748
	茎数 Number of millable	0.1552*	0.0029	-0.1565*	-0.0135	-0.2242**	-0.2122
	茎重 Weight per stalk	-0.1288	0.0834	0.0621	-0.0836	-0.0256	0.0190
	锤度 Brix	0.2174	-0.3772	-0.7025*	-0.1371	-0.2470	-0.2203
	生物产量 Biomass yield per plant	-0.2078	0.2575	-0.0021	-0.2008	-0.2560	-0.1121
	锤重 Brix weight per plant	-0.0402	0.0452	-0.0204	-0.0471	-0.0615	-0.0302
P_2	茎径 Stalk diameter	0.0085	-0.0792	0.0338	0.0043	0.0067	0.0320
	茎长 Stalk length	2.7579	-9.7481	5.4235	-6.8250	2.7771	-1.5103
	茎数 Number of millable	-0.0093	0.1663	0.0396	-0.1615*	0.1523*	0.1970
	茎重 Weight per stalk	-0.0389	-0.0755	0.0597	-0.0295	-0.0072	0.0345
	锤度 Brix	-0.0304	-0.2730	0.0904	-0.5532	-0.2346	0.5266
	生物产量 Biomass yield per plant	-0.0798	-0.0938	0.1863	-0.1778	0.0992	0.2530
	锤重 Brix weight per plant	-0.0190	-0.0286	0.0415	-0.0529	0.0139	0.0726
P_3	茎径 Stalk diameter	0.0908*	0.0705*	-0.0389*	-0.0210	-0.0746	-0.0335
	茎长 Stalk length	15.5728*	3.2175	-8.2803*	-4.4067	-11.2281*	0.0040
	茎数 Number of millable	-0.1241	-0.0306	0.1050*	0.0186	0.3324*	-0.0654
	茎重 Weight per stalk	0.1802*	-0.0025	-0.0684*	-0.0488	-0.1294*	-0.0340
	锤度 Brix	0.4429	0.9961	1.2064*	-0.3400	-0.1133	-0.5150
	生物产量 Biomass yield per plant	0.3114*	0.0270	-0.0634	-0.0892	-0.0740	-0.1042
	锤重 Brix weight per plant	0.0804*	0.0374	0.0201	-0.0278	-0.0187	-0.0389
P_4	茎径 Stalk diameter	-0.0528	-0.0573	-0.053*	0.0176	0.0530	-0.0451
	茎长 Stalk length	-12.6651*	-11.6104*	-2.6165	4.7227	10.2565	1.4490
	茎数 Number of millable	-0.1181*	0.2378*	-0.2167**	0.0083	0.0926	0.2848*
	茎重 Weight per stalk	-0.0869	-0.0982*	-0.0569	0.0462	0.0684	-0.3441
	锤度 Brix	-0.0595	0.1264	-0.7345*	1.0398	0.4249*	0.1150
	生物产量 Biomass yield per plant	-0.2835*	-0.1418	-0.2989*	0.1088	0.2660	0.1049
	锤重 Brix weight per plant	-0.0630*	-0.0274	-0.0824*	0.0508	0.0708*	0.0256
P_5	茎径 Stalk diameter	-0.0417	-0.0649*	0.0152	-0.0086	0.0125	-0.0225
	茎长 Stalk length	4.5494	-0.5735	4.0508	2.0482	2.4592	-1.2255
	茎数 Number of millable	-0.0791	0.1456	0.0354	-0.1494*	-0.0159	0.1927
	茎重 Weight per stalk	0.0093	-0.0243	0.0409	0.0187	0.0499	-0.0306
	锤度 Brix	-0.6456*	-0.2608	-0.0351	0.3772	-0.0694	0.8449*
	生物产量 Biomass yield per plant	-0.0308	0.0454	0.1217*	-0.0819	0.1383	0.0729
	锤重 Brix weight per plant	-0.0222	0.0003	0.0247	-0.0089	0.0259	0.0415

P_1 to P_5 are female parents, P_6 to P_{11} male parents. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

茎径、茎长、茎重、产量和锤重达显著或极显著水平的正效应； $P_4 \times P_9$ 对除锤重外所有性状的基因显性效应值均是正值； $P_4 \times P_{10}$ 有使所有生物量性状基因显性效应值表现增强较大的正效应，其中茎长、锤度和锤重达显著水平； $P_4 \times P_{11}$ 有使茎数增加的正效应达显著水平，其它性状的正负效应均较弱； $P_5 \times P_8$ 对锤度有较弱的负效应外，对于其它 6 个生物量性状均有正效应，其中对产量的效应达显著水平； $P_5 \times P_{11}$ 有对于锤度和茎数有较显著或显著水平的正效应，其它效应均为较弱。

3 结论

通过探讨甘蔗亲本品种及其杂交组合的生物量的遗传分析，有助于加深了解亲本的生物量性状的遗传特点，使高生物量能源甘蔗品种的选育更具有针对性地选配杂交组合和选择后代无性系，本研究通过应用 ADGE 遗传模型分析发现：

甘蔗生物量性状的遗传变异同时受到基因的加性和显性效应的影响，但以基因的加性效应作用较大，除产量外，它们还受到加性 \times 环境互作效应的

影响。这比何启钧等^[9]的研究结果更进一步,他们认为,甘蔗的生物量遗传主要是由基因加性效应决定的。

甘蔗生物量性状的广义遗传率和狭义遗传率都达极显著水平,说明了甘蔗生物量性状的表型变异主要决定于遗传效应;而且,广义遗传率大于狭义遗传率,说明了生物量性状有较大的杂种优势,早期阶段选择效果好。

甘蔗亲本品种的生物量性状的遗传变异表现为多样性和复杂性:有的亲本对所有的生物量性状都是正的或是负的遗传效应;有的亲本对某些生物量性状的遗传是正效应,而对另一些生物量性状产生负效应。对甘蔗亲本的加性随机效应深入研究,有助于了解甘蔗亲本的遗传效应特性,更有针对性地选配甘蔗杂交组合,加快选育出高生物量的甘蔗品种。通过本研究发现,对茎径有使后代明显增大效应的甘蔗亲本有粤糖 81/3524、粤糖 85/177、粤糖 72/426 和粤糖 80/101;对茎长有使后代明显增长效应的亲本有粤糖 72/426、ROC22、粤糖 79/177 和粤糖 85/177;对茎数有使后代明显增多效应的亲本品种有 ROC24 和 ROC25;对茎重有使后代明显增重效应的亲本有粤糖 72/426、粤糖 80/101、粤糖 85/177 和粤糖 81/3254;对锤度有使后代增加效应的亲本只有 ROC25;对产量有使后代明显增加效应的亲本有 ROC25、ROC24 和粤糖 72/426;对锤重有使后代显著增加效应的亲本品种有 ROC25、粤糖 72/426 和 ROC24。综合各性状的加性随机效应,认为较优良的甘蔗亲本有粤糖 72/426、粤糖 79/177、粤糖 85/177、ROC25 和 ROC24。

杂交组合显性随机效应分析表明,粤糖 72/426×ROC16 后代的大多生物量性状(除茎数外)有明显的正效应,是一优良的杂交组合;粤糖 79/177×ROC24 后代的所有生物量性状均有正效应,况且除茎数外的所有性状均达显著水平,是一

良好的杂交组合;粤糖 79/177×ROC23 和粤糖 80/101×ROC22 也是使后代多数生物量性状有正效应的良好组合。这表明,具有对其后代的某些生物量性状有明显加性效应的亲本品种,在组配杂交组合时,并非都能表现出它们的正效应。

参考文献

- [1] Samuels G, 朱德琳. 以生物产量为目标的甘蔗品种 [J]. 国外农学—甘蔗, 1986, (1):7-10.
- [2] Lin Y Q(林彦铨), He Q J(何启钧), Deng Q(邓强), et al. The repeatability analysis of high biomass character performances in sugarcane [J]. Sugarcane(甘蔗), 1997, 4(4):6-10.(in Chinese)
- [3] He Q J(何启钧), Lin D B(林德波), Zheng D G(郑登高), et al. The combining ability analysis of sugarcane breeding for biomass [J]. Sugarcane(甘蔗), 1998, 5(2):1-5.(in Chinese)
- [4] Legendre B L, Burner D M. Biomass production of sugarcane cultivars and early-generation hybrids [J]. Biomass Bioenergy, 1995, 8(2):55-61.
- [5] Pan S M(潘世明), Wang Z L(王子琳), Wang S G(王水琦), et al. Collection, selection and creative utilization of the superior germplasm resources [J]. Sugarcane Cane(甘蔗糖业), 1999, (1):1-4.(in Chinese)
- [6] Wang S G(王水琦), Wang Z L(王子琳), Pan S M(潘世明), et al. Studies on germplasm resources of sugarcane [J]. Acta Agri Jiangxi(江西农业学报), 2002, 14(1):21-26.(in Chinese)
- [7] Zhu J(朱军). Analysis Methods for Genetic Models [M]. Beijing: China Agricultural Publish House, 1997. 16-55.(in Chinese)
- [8] Zhu J, Weir B S. Diallel analysis for sex-linked and maternal effects [J]. Theor Appl Genet, 1996, 92(1):1-9.
- [9] Zhu J(朱军). New approaches of genetic analysis for quantitative traits and their applications in breeding [J]. J Zhejiang Univ(Agr Life Sci)(浙江大学学报 农业与生命科学版), 2000, 26(1):1-6.(in Chinese)
- [10] Zhu J(朱军), Ji D F(季道藩), Xu F H(许馥华). A genetic approach for analysis of intra-cultivar heterosis in crops [J]. Acta Gen Sin(遗传学报), 1993, 20(3):262-271.(in Chinese)
- [11] Zhu J(朱军). Methods of predicting genotype value and heterosis for offspring of hybrids [J]. J Biomath(生物数学学报), 1993, 8(1):32-44.(in Chinese)