

甘蔗品种(种)贮藏蔗糖潜力与其生理特性间关系的研究*

谭文中 赵文宜 李玉潜
(农学系)

摘要 研究了不同蔗糖贮藏潜力品种(种)的一些生理特性。结果表明蔗糖贮藏潜力大的高糖品种从伸长期至成熟期光合强度高于贮藏潜力中等和较低的中糖品种和低糖品种。在成熟期间,高糖品种的光合产物转移量比中、低糖品种大。离体蔗糖贮藏组织的主动吸糖和被动吸糖能力及 AFS (%) 值均为高糖品种大。贮藏细胞壁厚及细胞间隙横切面积高糖品种大于低糖品种。成熟期的光合强度与蔗糖分含量呈显著正相关,整个成熟过程中光合产物转移量与蔗糖分表现为显著和极显著正相关。通径分析表明成熟初期的光合产物转移量和成熟期的光合强度对蔗糖分有较大的直接作用。

被动吸糖能力对蔗糖分的直接贡献最大。

关键词 甘蔗, 品种, 种, 生理特性, 贮藏蔗糖潜力

甘蔗品种间蔗糖贮藏潜力相差很大,蔗糖分含量高者达17%以上,低的不及10%。对于品种间这一影响蔗糖分高低的生理因素,有人进行过一些探讨。范隆葆^[1]的研究结果指出,在糖分积累期间,早熟高糖品种的光合强度和光合产物转移量较大;Oworu 等^[2]认为高糖无性系比低糖无性系的离体蔗糖贮藏组织可吸收更多的外部糖分;而 Adam 等^[3]研究报导,甘蔗品种的蔗糖百分比含量与蔗茎贮藏组织中 AFS (Apparent Free Space) 值成正相关。但上述结果均从某个侧面说明一些生理性状与糖分间的关系,研究尚欠系统深入。为进一步探讨甘蔗品种(种)的贮藏蔗糖潜力与某些生理性状间的关系,本研究选用高糖、中糖和低糖3类型不同贮藏蔗糖潜力的品种和2个种,于甘蔗生长和工艺成熟过程中,主要研究其光合性状,茎蔗糖贮藏组织的生理特性及解剖特征与蔗糖分含量的关系,为高产高糖的品种选育和栽培,提供一些生理指标和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试验设计

供试甘蔗品种有 Q75, 赣蔗14号, 桂糖1号, 粤农76/169 (代表早熟高糖类型品种); 粤糖65/1240, C₃331, 粤糖71/210 (代表迟熟偏低糖类型品种); 台糖134, 粤糖57/423, 粤糖63/237 (介乎上述两类型品种之间的中熟中糖类型品种); 热带种 Badila 和小茎野生种崖城割手密。试验采用双芽种苗, 大田试验设计为随机区组, 3次重复, 每处理面积为21m²。植后田间管理与大田生产相同。

1.2 各项性状指标的测定方法

• 本文为国家自然科学基金资助项目。

1991-11-21收稿

- 1.2.1 光合作用强度测定 分别在甘蔗不同生育期间于上午8~9时取样,每处理选取有代表性的3条植株,于肥厚带位置剪取+1叶,剪口平整,迅速把叶片装进密封塑料袋中,切口部位插入清水中,带回实验室.用红外线 CO₂分析仪进行测定。
- 1.2.2 光合产物运输速率测定 参照范隆葆方法^[1],选取植株+3叶,测出光合产物夜间转移运输速率。
- 1.2.3 蔗茎离体贮糖组织主动吸糖、被动吸糖能力及 AFS (%) 值测定 按 Oworu 等的方法^[4,5]测定茎离体贮糖组织的吸糖能力和 AFS (%) 值。
- 1.2.4 蔗茎蔗糖分、产量及其组成性状的测定 于甘蔗工艺成熟过程中,取样于室内进行蔗糖分析,于田间测定产量及其组成性状。
- 1.2.5 蔗茎贮藏细胞壁厚度和细胞间隙横切面积测定 取成熟节间于华南农业大学电镜室测定细胞壁厚度和细胞间隙横切面积。
- 1.3 数理统计分析方法
- 参考张全德等^[2]方法进行方差分析、新复极差法测验、相关和通径分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种（种）蔗糖贮藏潜力、产量及其组成性状比较

对12个甘蔗品种（种）于工艺成熟初期和成熟期蔗茎蔗糖分、产量及其组成性状进行分析.结果表明（表1），不论在成熟初期或成熟期，高糖类型品种（种）比中糖和低糖类型品种（种）蔗茎蔗糖分含量高，达显著或极显著差异水平，而同一类型品种则差异很小.理论蔗糖产量与蔗茎产量表现完全相异的结果，前者为高糖品种>低糖品种，后者则低糖品种>高糖品种.但 Badila 与崖城割手密之间，虽然蔗茎产量崖城割手密极显著高于 Badila，而理论糖产量之间两者差异不显著。

表1 不同品种蔗糖分、产量及其组成性状比较

	品种 (种)	遗传 背景	蔗茎蔗糖分(%)		株高 (cm)	亩有效茎数 (条)	单茎重 (kg/条)	蔗茎产量 (kg/亩)	理论蔗糖产量 (kg/亩)
			成熟初期	成熟期					
高糖 类型	Q75	生产品种	11.64	14.39	286.0	3 743	1.70	7 065.4	1 016.7
	赖蔗14	生产品种	12.41	14.24	287.1	4 300	1.46	7 106.2	1 011.9
	粤农76/169	生产品种	12.94	16.08	288.7	2 800	2.40	7 242.2	1 164.5
	桂糖57/624	生产品种	11.87	15.49	285.3	1 923	2.63	5 414.0	838.6
	平均		12.11A*	15.05aA	286.8a	3 192	2.10	6 703.2cB	1 007.7aA
中糖 类型	粤糖57/423	生产品种	9.32	13.51	262.8	2 467	3.36	8 289	1 119.8
	F134	生产品种	7.79	12.84	280.4	3 067	1.93	6 018.3	772.7
	粤糖63/237	生产品种	10.48	14.72	276.1	2 167	3.19	6 980.0	1 027.4
	平均		9.20B	13.69bAb	273.1a	2 567	2.77	7 110.8bA	973.3aA
低糖 类型	粤糖65/1240	生产品种	5.94	11.82	278.9	3 500	2.05	7 166.7	847.1
	C-331	生产品种	6.54	12.44	282.9	4 223	1.43	6 018.3	748.6
	粤糖71/210	生产品种	7.36	12.29	254.9	3 836	2.31	8 871.6	1 090.3
	平均		6.61C	12.18CB	272.2a	3 853	1.93	7 436.3aA	895.3bA
	Badila	热带种	8.62A ₁ * *	12.37A ₁	173.0B ₁	1 590	1.70	2 703.0 B ₁	334.4a ₁
	崖城割手密	小茎野生种	1.10B ₁	3.07B ₁	296.7A ₁	9 466	0.98	9 276.7A ₁	284.8a ₁

*** 分别表示不同类型品种（种）间性状差异显著程度，表中有相同字母者为 Duncan 氏新复极差测验不显著，小写字母和大写字母分别表示 LSR_{0.05} 和 LSR_{0.01} 显著水平，不同。

2.2 不同蔗糖贮藏潜力品种(种)光合作用强度比较

从表2看、蔗糖贮藏潜力大的高糖品种光合作用强度大于蔗糖贮藏潜力小的低糖品种,而中糖类型品种为最低.但在成熟期,光合作用强度则表现为高糖品种>中糖品种>低糖品种.从甘蔗不同生育期光合作用强度的变化分析,高糖和中糖类型品种的光合作用强度,从分蘖期至伸长期呈上升趋势,且于伸长期达到最高峰,以后逐渐下降;而低糖类型品种的光合作用强度高峰出现于分蘖期,以后一直下降.而热带种 Badila 和小茎野生种崖城割手密的光合作用强度变化趋势与高糖类型品种相似,但在各生育期中,崖城割手密的光合作用强度均大于 Badila,成熟期时前者为后者的2.11倍.

表2 不同蔗糖贮藏潜力品种(种)不同时期
光合作用强度(单位:CO₂ mg/dm²·h)

	品种 (种)	生育时期				平 均
		分蘖期	伸长期	成熟初期	成熟期	
高糖类型	Q75	32.26	36.32	24.75	15.25	27.38aA
	赖蔗14	31.51	35.83	23.50	13.99	
	粤农76/169	37.10	37.13	25.75	16.15	
	桂糖57/624	33.90	38.04	23.65	13.00	
	平均	33.69	36.83	24.41	14.60	
中糖类型	粤糖57/432	18.38	30.11	20.45	12.26	23.80bA
	F134	35.59	28.94	19.93	10.11	
	粤糖63/237	29.31	37.63	27.39	15.51	
	平均	27.76	32.23	22.59	12.63	
低糖类型	粤糖65/1240	36.17	31.17	24.44	12.07	25.83abA
	C.331	34.22	31.51	21.76	13.30	
	粤糖71/210	36.78	33.66	22.99	11.86	
	平均	35.72	32.11	23.06	12.41	
	Badila	27.87	33.81	19.92	6.86	22.12B ₁
	崖城割手密	29.89	40.25	25.10	14.46	27.43A ₁

2.3 不同蔗糖贮藏潜力品种(种)光合产物夜间转移速率

表3结果说明,无论在甘蔗成熟初期或成熟期,蔗糖贮藏潜力大的高糖类型品种其光合产物夜间单位时间的转移量均比其他类型品种大,且整个成熟过程中转移速率变化不大.光合产物转移速率的大小排列是高糖类型品种>中糖类型品种>低糖类型品种.而种间的表现则崖城割手密大于 Badila,但两个种的转移量都比品种的小.中糖和低糖类型品种的光合产物转移速率从成熟初期至成熟期呈上升的趋势.

表3 不同蔗糖贮藏潜力品种（种）光合产物
夜间转移速率（单位：mg/dm²·h）

	品种 (种)	时期		平均
		成熟初期	成熟期	
高糖类型	Q75	46.66	48.48	
	赖蔗14	48.23	48.12	
	粤农76/169	50.05	49.59	
	桂糖57/624	48.02	46.29	
	平均	48.24	48.12	48.18aA
中糖类型	粤糖57/432	45.62	44.76	
	F134	40.14	42.77	
	粤糖63/237	39.64	46.51	
	平均	41.80	44.68	43.24abA
低糖类型	粤糖65/1240	39.59	44.60	
	C.331	37.15	42.70	
	粤糖71/210	40.89	42.37	
	平均	39.21	43.22	41.22bA
	Badila	30.20	23.70	26.95 B ₁
	崖城割手密	40.30	25.60	32.95A ₁

2.4 不同蔗糖贮藏潜力品种（种）的贮藏组织特性差异比较

2.4.1 离体贮藏组织对蔗糖溶液的吸收能力及 AFS（%）值 从表4结果可知，不同品种（种）离体贮藏组织在2%蔗糖溶液中对蔗糖吸收能力的差异是显著的。在甘蔗工艺成熟过程中，高糖类型品种贮藏组织的被动吸糖能力平均为10.87，主动吸糖为0.288，AFS 值为44.72%；中糖类型品种平均是6.14%，0.203%和28.61%；而低糖类型品种各性状值最小，分别是4.38%，0.194%和19.93%。在上述性状中均表现为高糖类型品种>中糖类型品种>低糖类型品种，且成熟初期各性状指标大于成熟期。不同种间的比较与品种间的趋势一致，各性状都是高糖的 Badila>低糖的崖城割手密。

表4 不同蔗糖贮藏潜力品种（种）离体贮藏组织
对蔗糖溶液的吸收能力及 AFS（%）值比较

	品种 (种)	被动吸糖 (mg/g·f. wt.)			主动吸糖 (mg/g·f. wt. h)			AFS (%)		
		成熟初期	成熟期	平均	成熟初期	成熟期	平均	成熟初期	成熟期	平均
高糖类型	Q75	13.33	14.22	13.78	0.422	0.106	0.264	55.54	58.34	56.94
	赖蔗14	12.70	11.44	12.07	0.207	0.116	0.162	52.61	48.81	50.71
	粤农76/169	10.83	8.77	9.780	0.781	0.073	0.427	40.26	38.37	40.50
	桂糖57/624	8.98	6.69	7.84	0.373	0.224	0.299	30.39	31.05	30.72
	平均	11.46	10.28	10.87A	0.446	0.130	0.288AA	45.20	44.23	44.72A
中糖类型	粤糖57/432	9.81	8.12	8.97	0.367	0.051	0.209	25.61	46.51	36.56
	F134	5.79	4.21	5.00	0.219	0.133	0.176	39.52	19.80	29.66
	粤糖63/237	5.01	3.86	4.454	0.220	0.230	0.225	20.95	18.24	19.60
	平均	6.63	5.40	6.14B	0.269	0.138	0.203aAB	29.03	28.05	28.61B
低糖类型	粤糖65/1240	4.42	3.33	3.88	0.779	0.043	0.411	19.99	15.86	17.93
	C.331	6.89	5.790	6.34	0.152	0.023	0.088	36.00	15.87	25.94
	粤糖71/210	3.33	2.50	2.92	0.068	0.096	0.082	19.80	12.04	15.92
	平均	4.88	3.87	4.38C	0.333	0.054	0.194C ₂	25.26	14.59	19.93C
	Badila	3.80	3.33	3.57a1A ₁	0.133	0.095	0.114A ₁	17.93	15.87	16.90a1A ₁
	崖城割手密	2.51	1.67	2.09b1A ₁	0.074	0.002	0.038B ₁	12.00	8.13	10.06b1A ₁

2.4.2 茎蔗糖贮藏组织细胞壁厚度及细胞间隙面积 于甘蔗工艺成熟期,对高糖品种桂糖 57/624、中糖品种粤糖 63/237 和低糖品种粤糖 71/210 的茎贮藏组织细胞壁厚度和细胞间隙横切面积大小进行了电镜观察。据结果(表 5)表明,高糖品种桂糖 57/624 在细胞壁厚度和细胞间隙横切面积都比其余二个品种大。可见,茎贮藏组织细胞壁厚度和细胞间隙面积大,可能是蔗糖贮藏潜力较大的品种的解剖特征之一。

表 5 三个品种贮藏细胞壁厚度和细胞间隙横切面积比较

品 种	细胞壁厚度 ($\times 10^{-4}\text{cm}$)	细胞间隙横切面积 ($\times 10^{-4}\text{cm}^2$)
桂糖 57/624	3.74aA	29.79aA
粤糖 63/237	3.44aA	28.68aAB
粤糖 71/210	2.25bA	24.82bB

2.5 光合性状与蔗茎蔗糖分的相关及通径分析

以甘蔗工艺成熟初期的光合作用强度 (x_1)、光合产物转移速率 (x_3) 和成熟期的光合作用强度 (x_2)、光合产物转移速率 (x_4) 及蔗茎蔗糖分 (y_0) 进行相关分析,同时以 x_1 , x_2 , x_3 和 x_4 为自变量, y_0 为依变量,进行通径分析。相关分析结果(表 6)表明,在成熟过

表 6 成熟期间光合性状、蔗茎蔗糖分的相关关系

性 状	x_1	x_2	x_3	x_4
x_2	0.803**			
x_3	0.195	0.0452		
x_4	0.649	0.828**	0.795*	
y_0	0.513	0.716*	0.776*	0.829**

注: ($r_{0.05}=0.666$, $r_{0.01}=0.798$)

程中,光合性状间 x_1 与 x_2 呈极显著正相关 ($r_{1,2}=0.803^{**}$), x_2 与 x_4 及 x_3 与 x_4 分别表现为极显著和显著正相关 ($r_{1,4}=0.828^{**}$, $r_{3,4}=0.795^{*}$)。这说明成熟初期光合作用强度大,成熟期亦大;成熟初期光合产物转移速率大、成熟期光合作用大,则成熟期光合产物转移量也多。而光合性状与蔗茎蔗糖分之间,均表现为正相关关系。其中成熟期光合作用强度与蔗糖分达显著正相关 ($r_{2,0}=0.716^{*}$);而整个工艺成熟过程中,光合产物转移速率与蔗糖分都达显著或极显著正相关关系 $r_{3,0}=0.776^{*}$, $r_{4,0}=0.829^{**}$)。这表明成熟过程中光合性状对蔗糖分的高低有密切关系。

表 7 光合性状与蔗茎蔗糖分的通径分析

性状	相关系数 r_{ij}	直接作用	间接作用			
		P_{ij}	总和	x_1	x_2	x_3 x_4
x_1	0.513	0.100	0.413		0.289	0.113 0.010
x_2	0.716	0.360	0.356	0.080		0.263 0.013
x_3	0.776	0.581	0.195	0.020	0.163	 0.013
x_4	0.829	0.016	0.813	0.065	0.298	0.462
决定	$d_{11}=0.010$	$d_{12}=0.0021$	$d_{13}=0.009$		$d_{14}=0.000$	3
系数	$d_{12}=0.057$	$d_{13}=0.129$	$d_{14}=0.338$			
(d)	$d_{13}=0.022$	$d_{14}=0.189$	$d_{15}=0.014$			

从光合性状与蔗茎蔗糖分的通径分析(表 7)可知,成熟初期的光合产物转移速率对蔗糖

分的直接贡献最大，而成熟期的光合作用强度次之。成熟期光合产物转移速率对蔗糖分的贡献主要是通过其他性状的间接作用来实现。

2.6 茎离体贮藏组织性状与蔗茎蔗糖分相关及通径分析 以成熟初期茎离体贮藏组织的被动吸糖 (x_1)、主动吸糖 (x_3)、AFS (x_5) 值和成熟期的被动吸糖 (x_2)、主动吸糖 (x_4)、AFS (x_6) 值及蔗茎蔗糖分 (y_0) 进行相关及通径分析。据表 8 结果, x_1 分别与 x_2 , x_5 , x_6 表现为极显著正相关, x_5 与 x_6 为显著正相关; 而 x_4 与 x_1 , x_2 , x_3 , x_5 均为微弱的负相关。这说明成熟初期被动吸糖大的, 在成熟期亦大, 而被动吸糖大的, AFS 值亦大。主动吸糖能力的大小则与被动吸糖和 AFS 值没多大的关联性。但上述各性状与蔗糖分均为正相关关系。

表 8 蔗茎贮藏组织性状、蔗茎蔗糖分的相关关系

性状	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_2	0.974**					
x_5	0.211	0.165				
x_4	-0.045	-0.081	-0.136			
x_5	0.838**	0.860**	0.027	-0.136		
x_6	0.955**	0.952**	0.217	0.016	0.729*	
y_0	0.611	0.509	0.273	0.532	0.843	0.536

注: ($r_{x_1, x_5}=0.666$, $r_{x_5, x_6}=0.798$)

通径分析的结果 (表 9) 指出, 被动吸糖从成熟期初期至成熟期对蔗糖分的高低都起着最大的直接作用, 而 AFS 值则最小。决定系数的排列分别是 d_1 , d_5 , d_{13} , d_3 , d_{35} 和 d_2 , d_4 , d_{24} , d_6 , d_{46} , d_{26} 。这说明在成熟初期, 被动吸糖对蔗糖分高低的主效最大; 成熟期则被动吸糖和主动吸糖对蔗糖分的主效和互作效应都是很重要的。

表 9 茎离体贮藏组织性状与蔗茎蔗糖分的通径分析

成熟 初期 性状	相关 系数 r_{xy}	直接 作用 P_{iy}	间接作用			成熟 初期 性状	相关 系数 r_{iy}	直接 作用 p_{iy}	间接作用		
			x_1	x_3	x_5				x_2	x_4	x_6
x_1	0.611	0.916		0.019	-0.324	x_3	0.509	0.584		-0.047	-0.028
x_2	0.273	0.090	0.193		-0.010	x_4	0.532	0.580	-0.047		-0.001
x_5	0.384	-0.387	0.768	0.002		x_6	0.536	-0.029	-0.556	0.009	
决定	$d_1=0.8391$	$d_{13}=0.0348$	$d_{35}=-0.0019$			决定	$d_2=0.3411$	$d_4=0.3364$	$d_6=0.0008$		
系数	$d_3=0.0081$	$d_{35}=-0.5941$	$d_6=0.1498$			系数	$d_{24}=0.0549$	$d_{46}=-0.0322$	$d_{46}=-0.0005$		

3 讨论

甘蔗的总干物质中 90%~95% 都是通过光合作用合成的。这些干物质中一部分用于植物体本身的建造, 另一部分主要以蔗糖形式积累于蔗茎之中。因此研究品种的茎蔗糖贮藏潜力与有关生理特性的关系, 对于栽培和育种都有一定的理论和实践意义。本研究的结果表明, 蔗糖贮藏潜力大的高糖品种在工艺成熟过程中其光合强度、光合产物夜间转移量比贮藏潜力较小的中糖和低糖品种大。这与人研究结果^[1]基本上是一致的。但从不同生长阶段分析, 低糖品种在分蘖期光合强度最大, 从伸长期始高糖品种才高于低糖品种; 而中糖

品种虽然整个生育阶段的平均光合强度小于低糖品种,但在伸长期和成熟期高于低糖品种。这说明品种蔗糖贮藏潜力的大小受伸长期、成熟期的光合强度影响最大。因此在栽培上应考虑在伸长期、成熟期采用有助于光合强度的生产措施,而育种上可据伸长期、成熟期光

对蔗茎离体贮藏组织的生理特性研究结果表明,贮藏组织对外部糖液的主动吸糖、被动吸糖能力、AFS 值及贮藏细胞的壁厚、细胞间隙的大小,品种间均表现较为一致的趋势:高糖品种>中糖品种>低糖品种。结果与前人的研究极为相似^[3-5]。但上述性状的差异在成熟初期比成熟期更为明显。其中被动吸糖能力的大小与蔗糖分成中等强度的正相关,对蔗糖分的通径系数为 0.916,比 AFS 值对蔗糖分的直接贡献大得多。因此育种上,依被动吸糖能力的大小作为无性系糖分高低的选汰根据,比采用 AFS 值^[3]更为可靠和迅速。

另外,本试验中种间的研究结果与品种间的有所不同。高糖基因型 Badila 在各生育阶段的光合强度、光合产物转移量都小于低糖基因型崖城割手密。种间的这种差异是否与其光合产物的分配与积累方式不同,抑或其他因素影响有关?值得进一步的研究。

综合上述研究结果,可以认为,影响品种蔗糖贮藏潜力大小的生理因素是多方面的,而叶片光合性状及茎贮藏组织的被动吸糖能力应是重要方面。育种过程中,若对早期世代无性系进行这些方面的鉴别,可预测无性系的熟性及蔗糖贮藏潜力,这在一定程度上可加速育种的进程。

参 考 文 献

- 1 范隆葆·甘蔗的几个生理生化参数与蔗糖积累的关系·甘蔗糖业,1989,3,20~27
- 2 张全德等.农业试验统计模型和 Basic 程序.杭州:浙江科学技术出版社,1985.84~89,444~462
- 3 Adam Hamdan M, et al. Sucrose storage in cell in vitro—a possible selection tool in sugarcane. Tropical Agriculture, 1984, 61 (2), 128~132
- 4 Oworu O O, et al. A comparison of rates of storage of sucrose in eight clones of sugarcane as measured by sucrose uptake in vitro. Bot. 1977, 41, 393~399
- 5 Oworu O O, et al. The anatomy of the storage tissue of sugarcane in relation to sugar uptake. Ann. Bot., 1977, 41, 401~404

STUDIES ON THE RELATIONSHIP BETWEEN SUGAR—STORING POTENTIAL ABILITY AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERS IN SUGARCANE VARIETIES (SPECIES)

Tan Zhogwen Zhao Wenyi Li Yuqian

(Agronomy Department)

Abstract Some physiological characters of sugarcane varieties with different sugar—storing potential ability were studied. The results indicated that the high quality varieties with high sugar—storing ability had the highest values of photosynthesis from growing of stem elongation to maturing period. During maturing period, the transport rate of photosynthesis product of high quality varieties was higher than the both varieties with low and medium quality. The high quality varieties had the highest values in activity sucrose uptake, passive sucrose uptake and AFS (%) in

sugarstoring tissue of stem in vitro. There was a significant positive correlation coefficient between photosynthesis and sugar—storing potential ability of cane. In primary maturity stage and maturity stage, statistically significant and high significant correlations existed between transport rate of photosynthesis product and sugar—storing potential ability of cane, respectively. Results of path analysis showed that transport rate of photosynthesis product in primary maturity stage and maturity stage had directly greater contribution to sucrose of cane. The passive sucrose uptake of the tissue had the greatest contribution to sucrose content of cane.

Key words Sugarcane; Variety; Species; Physiological character; Sugar—storing potential ability