

果蔗叶片生理生化指标与品质性状的典范相关分析

林江波^{1,2}, 潘大仁^{1*}, 潘世明², 林一心², 吴水金²

(1. 福建农林大学作物学院, 福州 350002; 2. 福建省农业科学院甘蔗研究所, 福建 漳州 363005)

摘要: 选用果蔗(*Saccharum officinarum* L.) 14 个品种, 用典范相关分析法研究不同生育期叶片生理生化指标对果蔗品质性状的影响。结果表明: 分蘖期类胡萝卜素含量与蔗茎蔗糖含量, 可溶性总糖含量与蔗茎含水率, 可溶性总糖含量与蔗汁还原糖含量均呈正相关; 伸长初期叶绿素含量、CAT 活性与蔗茎蔗糖含量, 可溶性蛋白质含量与蔗茎纤维含量均呈正相关; 伸长盛期 Mg^{2+} -ATP 酶活性与蔗茎纤维含量, 可溶性总糖含量与蔗茎蔗糖含量呈正相关, C/N 与蔗茎含水率呈负相关; 成熟期类胡萝卜素含量与蔗茎蔗糖含量呈正相关, 可溶性总糖含量与蔗汁还原糖含量呈负相关。

关键词: 果蔗; 生理生化指标; 品质性状; 典范相关分析

中图分类号: S566.101

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2008)03-0230-06

Canonical Correlation Analysis of Physiological and Chemical Index in Leaves and Quality Characters in Chewing Cane

LIN Jiang-bo^{1,2}, PAN Da-ren^{1*}, PAN Shi-ming², LIN Yi-xin², WU Shui-jin²

(1. College of Crop Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Sugarcane Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Zhangzhou 363005, China)

Abstract: The relationship between ten physiological and chemical indexes in leaves of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) and five quality characters of stalks were conducted by using method of canonical correlation analysis. The results indicated that at tillering stage, there were positive correlations between content of carotenoid and sucrose content in cane, content of total soluble sugar and water content in cane, content of total soluble sugar and reducing sugar in juice, respectively. At early elongating stage, there were positive correlations between contents of chlorophyll, activity of catalase and sucrose contents in cane, content of soluble protein and content of cane fibre, respectively. At middle elongating stage, there were positive correlations between activity of Mg^{2+} -ATPase and cane fibre, content of soluble sugar and sucrose content in cane, respectively, but there was negative correlation between carbon-nitrogen ratio (C/N) and water content in cane. At the maturing stage, there was positive correlation between content of carotenoid and sucrose content in cane, and negative correlation between content of soluble sugar and reducing sugar in juice.

Key words: Chewing cane; Physiological and chemical index; Quality characters; Canonical correlation analysis

中国是甘蔗(*Saccharum*)的起源地之一, 具有丰富的甘蔗种质资源。果蔗(*Saccharum officinarum* L.)的栽培历史及栽培范围比糖蔗(*Saccharum* spp.)

更早且更广, 种植历史至少已有 2 000 a 左右, 主要分布在我国长江以南各省区, 主产地有福建、广东、广西、浙江、云南、四川、江西等地。关于果蔗的栽

培和品质性状等方面的研究已有一些报道^[1-2],但对不同生育期叶片生理生化指标与品质性状间相互关系的综合研究还未见报道。应用典范相关分析能对随机变量之间的相关性进行综合分析^[3],可以计算变量组合间相互独立的相关系数,同时建立相应的线性方程。因此,应用典范相关分析有助于更清晰地了解果蔗不同类型性状变量间的综合表现,以及相互独立的不同类型性状的线性变量间起主导作用的主要性状。典范相关分析方法在肉桂(*Cinnamomum cassia*)^[4]、小麦(*Triticum aestivum*)^[5]、早籼稻(*Oryza sativa* subsp. *indica*)^[6]和菜用大豆(*Glycine max*)^[7]等作物上的应用已有报道。本研究选用14个果蔗品种的10个叶片生理生化指标和5个品质性状,利用典范相关分析方法对果蔗不同生育期叶片生理生化指标和品质性状的相关影响因子进行分析,旨在为果蔗的遗传改良提供科学依据。

1 材料和方法

材料 由福建省农业科学院甘蔗研究所育种室提供的14个果蔗(*Saccharum officinarum* L.)品种:温州果蔗、金华果蔗、肚度果蔗、大田雪蔗、白玉果蔗、罗汉果蔗、歪干担果蔗、同安果蔗、丰城青皮果蔗、福安果蔗、白鳝果蔗、拔地拉、广东黄皮蔗和闽选703(果、糖兼用)。

田间实验设计 采用完全随机实验设计,重复3次。小区为3行区,行长5.0 m,行距1.2 m,小区面积18 m²。采用双芽段下种,下种量为每行100芽,折合每公顷约165 000芽。2006年1月23日种植于福建省农业科学院甘蔗研究所农场,按生产田进行常规管理。

取样 按果蔗生长的进程,分别在分蘖期(5月9日)、伸长初期(7月9日)、伸长盛期(9月9日)、成熟期(12月21日)取样,每小区8株。取+3叶(最高可见肥厚带的第一完全展开叶为+1叶),截取叶片中段长30 cm切段,先留取小部分鲜样用做测定叶绿素含量,然后将其余叶样用保鲜袋包好,置于-20℃低温冰箱中保存,用于测定叶片其它生理指标。

2006年12月21日(成熟期)每个品种选取12条有代表性的主茎进行果蔗品质分析。

测定方法与统计分析 参照波钦若克^[8]的方法测定叶绿素和类胡萝卜素含量;参照Bradford^[9]的方法测定蛋白质含量;参照刘祖祺和张石诚^[10]的方法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性;参照李合生^[11]的方法测定过氧化氢酶(CAT)活性、脯氨酸含量、可溶性总糖含量和蔗汁游离氨基酸总量;参照李合生^[11]和李杨瑞^[12]的方法测定Mg²⁺-ATPase活性。所获数据采用DPS统计软件^[13]进行典范相关分析。

2 结果和分析

2.1 分蘖期果蔗叶片生理指标与品质性状的典范相关分析

表1表明,分蘖期叶片生理指标与品质性状的5个相互独立的典范相关系数中有3个达到显著或极显著水平,且包含了总相关信息的66.47%,说明分蘖期叶片生理指标对品质性状有一定的影响。达到极显著的第1对典范变量中,U₁的x₂系数(-0.65)绝对值最大,V₁的y₃系数(-0.78)绝对值最大,即变量U₁和V₁之间主要是叶片类胡萝卜素含量与蔗茎蔗糖含量呈正相关;第2对典范变量中,U₂的x₈系数(-0.62)绝对值最大,V₂的y₁系数(-0.69)绝对值最大,即变量U₂和V₂之间主要是叶片可溶性总糖含量与蔗茎含水率呈正相关;第3对典范变量中,U₃的x₈系数(-0.64)绝对值最大,V₃的y₄系数(-0.66)绝对值最大,即变量U₃和V₃之间主要是叶片可溶性总糖含量与蔗汁还原糖含量呈正相关。

以上3对变量的组成及相关特性表明:分蘖期叶片生理指标与品质性状的相关主要集中在叶片类胡萝卜素含量与蔗茎蔗糖含量、叶片可溶性总糖含量与蔗茎含水率及蔗汁还原糖含量的相互关系上。

2.2 伸长初期果蔗叶片生理指标与品质性状的典范相关分析

表2表明,伸长初期叶片生理指标与品质性状的5个相互独立的典范相关系数中有3个达到显著或极显著水平,且包含了总相关信息的67.18%,说明伸长初期叶片生理指标对品质性状有一定的影响。达到极显著的第1对典范变量中,U₁的x₁系

数(0.61)绝对值最大, V_1 的 y_3 系数(0.78)绝对值最大,即变量 U_1 和 V_1 之间主要是叶片叶绿素含量与蔗茎蔗糖含量呈正相关;第2对典范变量中, U_2 的 x_6 系数(-0.61)绝对值最大, V_2 的 y_3 系数(-0.59)绝对值最大,即变量 U_2 和 V_2 之间主要是叶片CAT活性与蔗茎蔗糖含量呈正相关;第3对典范变量中, U_3 的 x_7 系数(0.73)绝对值最大, V_3 的 y_2 系数

(0.75)绝对值最大,即变量 U_3 和 V_3 之间主要是叶片可溶性蛋白质含量与蔗茎纤维含量呈正相关。

以上3对变量的组成及相关特性表明:伸长初期叶片生理指标与品质性状的相关主要集中在叶片叶绿素含量与蔗茎蔗糖含量、叶片CAT活性与蔗茎蔗糖含量、叶片可溶性蛋白质含量与蔗茎纤维含量的相互关系上。

表1 分蘖期叶片生理指标与蔗茎品质性状的典范相关系数

Table 1 Canonical correlation coefficients between physiological indexes of leaves and quality characters at tillering stage

典范相关系数 Canonical correlation coefficient	X_a^2	df	P	线性组合 Linearity combination
1.000 **	207.23	50	0.000	$U_1 = 0.30x_1 - 0.65x_2 + 0.17x_3 - 0.23x_4 + 0.31x_5 - 0.07x_6 + 0.40x_7 - 0.13x_8 + 0.29x_9 + 0.20x_{10}$ $V_1 = -0.33y_1 - 0.47y_2 - 0.78y_3 + 0.26y_4 + 0.05y_5$
0.999 *	41.64	36	0.000	$U_2 = -0.19x_1 + 0.07x_2 - 0.15x_3 + 0.08x_4 - 0.07x_5 + 0.13x_6 + 0.54x_7 - 0.62x_8 + 0.48x_9 - 0.03x_{10}$ $V_2 = -0.69y_1 - 0.50y_2 - 0.46y_3 - 0.24y_4 - 0.05y_5$
0.936 *	12.08	24	0.029	$U_3 = 0.03x_1 + 0.20x_2 - 0.07x_3 + 0.06x_4 - 0.12x_5 + 0.02x_6 + 0.37x_7 - 0.64x_8 - 0.62x_9 - 0.09x_{10}$ $V_3 = -0.50y_1 + 0.36y_2 - 0.18y_3 - 0.66y_4 - 0.39y_5$
0.879	3.87	14	0.996	
0.602	0.45	6	0.998	

x_1 :叶绿素含量 Content of chlorophyll; x_2 :类胡萝卜素含量 Content of carotenoid; x_3 :脯氨酸含量 Content of proline; x_4 :SOD活性 Activity of superoxide dismutase; x_5 :POD活性 Activity of peroxidase; x_6 :CAT活性 Activity of catalase; x_7 :可溶性蛋白质含量 Content of soluble protein; x_8 :可溶性总糖含量 Content of soluble sugar; x_9 :C/N; x_{10} : Mg^{2+} -ATP酶活性 Activity of Mg^{2+} -ATPase; y_1 :蔗茎含水率 Water content in cane; y_2 :蔗茎纤维含量 Content of cane fibre; y_3 :蔗茎蔗糖含量 sucrose content in cane; y_4 :蔗汁还原糖含量 Reducing sugar in juice; y_5 :蔗汁总氨基酸含量 Content of amino acid in juice;**和*分别为0.01和0.05水平差异显著性。**and*present significant difference at 0.01 and 0.05 level, respectively.下同 The same as below.

表2 伸长初期叶片生理指标与蔗茎品质性状的典范相关系数

Table 2 Canonical correlation coefficients between physiological indexes of leaves and quality characters at early elongating stage

典范相关系数 Canonical correlation coefficient	X_a^2	df	P	线性组合 Linearity combination
1.000 **	103.42	50	0	$U_1 = 0.61x_1 - 0.07x_2 + 0.37x_3 + 0.04x_4 - 0.22x_5 - 0.09x_6 + 0.42x_7 + 0.18x_8 - 0.26x_9 + 0.39x_{10}$ $V_1 = 0.42y_1 + 0.09y_2 + 0.78y_3 - 0.12y_4 + 0.45y_5$
0.999 *	43.17	36	0.0178	$U_2 = -0.40x_1 + 0.10x_2 + 0.32x_3 + 0.12x_4 + 0.19x_5 - 0.61x_6 + 0.50x_7 - 0.09x_8 - 0.08x_9 + 0.20x_{10}$ $V_2 = -0.57y_1 - 0.52y_2 - 0.59y_3 - 0.25y_4 + 0.02y_5$
0.920 *	11.21	24	0.0431	$U_3 = 0.00x_1 - 0.11x_2 - 0.38x_3 + 0.05x_4 + 0.14x_5 + 0.15x_6 + 0.73x_7 - 0.09x_8 + 0.02x_9 + 0.52x_{10}$ $V_3 = 0.45y_1 + 0.75y_2 + 0.33y_3 - 0.03y_4 + 0.36y_5$
0.882	3.72	14	0.9867	
0.544	0.35	6	0.9987	

2.3 伸长盛期果蔗叶片生理指标与品质性状的典范相关分析

表 3 表明,伸长盛期叶片生理指标与品质性状的 6 个相互独立的典范相关系数中有 3 个达到显著或极显著水平,且包含了总相关信息的 66.48%,说明伸长盛期叶片生理指标对品质性状有一定的影响。达到极显著的第 1 对典范变量中, U_1 的 x_{10} 系数(0.55)绝对值最大, V_1 的 y_2 系数(0.70)绝对值最大,即变量 U_1 和 V_1 之间主要是叶片 Mg^{2+} -ATP 酶活性与蔗茎纤维含量呈正相关;第 2 对典范变量中, U_2 的 x_9 系数(0.71)绝对值最大, V_2 的 y_1 系数

(-0.76)绝对值最大,即变量 U_2 和 V_2 之间主要是叶片 C/N 和蔗茎含水量呈负相关;第 3 对典范变量中, U_3 的 x_8 系数(0.71)绝对值最大, V_3 的 y_3 系数(0.85)绝对值最大,即变量 U_3 和 V_3 之间主要是叶片可溶性总糖含量与蔗茎蔗糖含量呈正相关。

以上 3 对变量的组成及相关特性表明:伸长盛期叶片生理指标与品质性状的相关主要集中在叶片 Mg^{2+} -ATP 酶活性与蔗茎纤维含量、叶片 C/N 与蔗茎含水量、叶片可溶性总糖含量和蔗茎蔗糖含量的相互关系上。

表 3 伸长盛期叶片生理指标与蔗茎品质性状的典范相关系数

Table 3 Canonical correlation coefficients between physiological characters of leaves and quality characters at middle elongating stage

典范相关系数 Canonical correlation coefficient	X_a^2	df	P	线性组合 Linearity combination
1.000**	121.17	50	0.0000	$U_1 = -0.16x_1 + 0.28x_2 - 0.17x_3 - 0.01x_4 - 0.25x_5 + 0.38x_6 - 0.31x_7 + 0.41x_8 - 0.32x_9 + 0.55x_{10}$ $V_1 = 0.05y_1 + 0.70y_2 + 0.58y_3 - 0.34y_4 - 0.21y_5$
0.999*	48.30	36	0.0179	$U_2 = -0.10x_1 - 0.01x_2 - 0.11x_3 + 0.12x_4 + 0.12x_5 - 0.01x_6 + 0.15x_7 + 0.65x_8 + 0.71x_9 + 0.00x_{10}$ $V_2 = -0.76y_1 - 0.49y_2 - 0.41y_3 + 0.02y_4 + 0.11y_5$
0.936*	12.17	24	0.0456	$U_3 = 0.02x_1 - 0.01x_2 + 0.06x_3 + 0.01x_4 - 0.10x_5 + 0.07x_6 + 0.10x_7 + 0.71x_8 + 0.69x_9 + 0.05x_{10}$ $V_3 = 0.28y_1 + 0.18y_2 + 0.85y_3 - 0.37y_4 - 0.17y_5$
0.883	3.92	14	0.9961	
0.597	0.44	6	0.9994	
0.001	0.00	0	1.0001	

2.4 成熟期果蔗叶片生理指标与品质性状的典范相关分析

表 4 表明,成熟期叶片生理指标与品质性状的 5 个相互独立的典范相关系数中有 2 个达到显著或极显著水平,且包含了总相关信息的 65.08%,说明成熟期叶片生理指标对品质性状有一定的影响。达到极显著的第 1 对典范变量中, U_1 的 x_2 系数(-0.50)绝对值最大, V_1 的 y_3 系数(-0.73)绝对值最大,即变量 U_1 和 V_1 之间主要是叶片类胡萝卜素含

量与蔗茎蔗糖含量呈正相关;第 2 对典范变量中, U_2 的 x_8 系数(0.55)绝对值最大, V_2 的 y_4 系数(-0.73)绝对值最大,即变量 U_2 和 V_2 之间主要是叶片可溶性总糖含量与蔗汁还原糖含量呈负相关。

以上 2 对变量的组成及相关特性表明:成熟期叶片生理指标与品质性状的相关主要集中在叶片类胡萝卜素含量与蔗茎蔗糖含量、叶片可溶性总糖含量与蔗汁还原糖含量的相互关系上。

表 4 成熟期叶片生理指标与蔗茎品质性状的典范相关系数

Table 4 Canonical correlation coefficients between physiological indexes of leaves and quality characters at mature stage

典范相关系数 Canonical correlation coefficient	X_a^2	df	P	线性组合 Linearity combination
1.000**	207.23	50	0.0000	$U_1 = -0.43x_1 - 0.50x_2 + 0.09x_3 - 0.03x_4 + 0.05x_5 + 0.18x_6 - 0.45x_7 + 0.42x_8 - 0.37x_9 + 0.06x_{10}$ $V_1 = -0.55y_1 - 0.30y_2 - 0.73y_3 - 0.27y_4 - 0.03y_5$
0.999*	44.61	36	0.0154	$U_2 = -0.40x_1 - 0.42x_2 + 0.19x_3 - 0.27x_4 + 0.19x_5 + 0.14x_6 - 0.21x_7 + 0.55x_8 - 0.13x_9 + 0.36x_{10}$ $V_2 = -0.12y_1 - 0.22y_2 + 0.64y_3 - 0.73y_4 + 0.03y_5$
0.717	1.72	14	1.0000	
0.356	0.14	6	1.0000	
0.001	0.00	0	1.0000	

3 讨论

从相关信息可以看出,果蔗分蘖期、伸长初期、伸长盛期和成熟期叶片生理生化性状对品质性状的显著典范相关分别达总相关信息的 66.47%、67.18%、66.48% 和 65.08%,说明不同生育期叶片生理生化性状对品质性状都存在一定的影响。果蔗蔗茎蔗糖含量和纤维含量是 2 个重要的品质性状。李杨端的研究表明不同基因型甘蔗叶片水溶性蛋白质含量和 Mg^{2+} -ATP 酶活性确实存在差异^[12,14],并认为有可能成为甘蔗育种的生化指标。从我们建立的典范变量线性组合看,伸长初期的可溶性蛋白质含量和伸长盛期的 Mg^{2+} -ATP 酶活性与蔗茎纤维含量呈正相关关系,将其作为蔗茎纤维含量遗传改良早中期选择的参考指标,会有一定的预测效果。但可溶性蛋白质含量和 Mg^{2+} -ATP 酶活性受栽培环境影响较大,且不同部位差异也较大,在应用时应注意。

从我们建立的典范变量线性组合看,分蘖期类胡萝卜素含量和伸长初期的叶绿素含量、CAT 活性与蔗茎蔗糖含量都呈正相关性,这说明前期的光合作用及抗逆性对成熟期的蔗糖含量累积显得特别重要。选育前期高叶绿素含量及高抗逆性,是果蔗育种值得考虑的方向。

从达到显著或极显著的典范相关信息可以看出,所选的 10 个叶片生理生化性状都没有对蔗汁总氨基酸含量存在较大影响的性状,可能是所选指标对蔗汁总氨基酸含量确实影响不大,或者是蔗汁

总氨基酸含量是一个相对独立的遗传因子,这有待进一步研究。

参考文献

- [1] Huang J H(黄金华). Yield structure and cultivation of fruit sugarcane [J]. *Sugarcane*(甘蔗), 2000(2): 31-33.(in Chinese)
- [2] Tang H(汤浩), Wang Z L(王子琳), Pan S M(潘世明), et al. Preliminary studies on characteristics of main chewing cane varieties [J]. *Acta Agri Jiangxi*(江西农业学报), 2001, 13(4): 29-34.(in Chinese)
- [3] Zhou Y F(周以飞), Huang H K(黄华康). Experimentation and Statistic Analysis of Crop [M]. Fuzhou: Fujian Science Press, 2004: 35-37, 312-318.(in Chinese)
- [4] Liang Y C(梁一池), Wu Z Z(吴志庄). Analysis of canonical correlation between the medicinal and growth characters of *Cinnamomum cassia* Presl [J]. *Acta CS For Univ*(中南林学院学报), 2000, 20(1): 46-48.(in Chinese)
- [5] Zhang J(张娟), Cui D Q(崔党群), Fan P(范平), et al. Canonical correlations analysis between the canopy structures and yield with its components in wheat [J]. *Acta Agri Boreal-Sin*(华北农学报), 2000, 15(3): 39-44.(in Chinese)
- [6] Yang Z M(杨泽敏), Li Y Q(李玉群), Zhou Z Q(周竹青). Canonical correlation analysis of agronomy traits and quality traits of early *Indica* rice [J]. *Sci Agri Anhui*(安徽农业科学), 2003, 31(6): 922-924.(in Chinese)
- [7] Zhou Y F(周以飞), Zhou D Y(周德银). Canonical correlation analysis of growing period, agronomic character, yield and quality character in the spring vegetable soybean [J]. *J Fujian Agri For Univ* (Nat Sci) (福建农林大学学报: 自然科学版), 2005, 34(1): 11-17.(in Chinese)
- [8] 波钦若克 X H. Translated by Jing J H(荆家海), Ding Z L(丁钟荣). *Analytic Approach of Plant Biochemistry* [M]. Beijing: Science Press, 1981.(in Chinese)

- [9] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. *Anal Biochem*, 1976, 72: 248-254.
- [10] Liu Z Q(刘祖祺), Zhang S C(张石诚). *Plants Resistant Physiology* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994: 371-372.(in Chinese)
- [11] Li H S(李合生), Sun Q(孙群), Zhao S J(赵世杰), et al. *Principle and Technique of Crop Physiological and Biochemical Experimentation* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000. (in Chinese)
- [12] Li Y R(李杨瑞). Studies on activity of ATPase in sugarcane varieties [J]. *Acta Agro Sin(作物学报)*, 1992, 18(6): 453-457.(in Chinese)
- [13] Tang Q Y(唐启义), Feng G M(冯光明). *Statistic Analysis and DPS Data Processing System* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 367-372.(in Chinese)
- [14] Li Y R(李杨瑞). Studies on soluble protein contents and water contents of leaves in sugarcane varieties [J]. *Sugar Cane (甘蔗糖业)*, 1989(1): 20-24.(in Chinese)