

甘蔗野生种割手密远缘杂交后代品质性状的遗传研究

吴才文¹, Phillip Jackson², 刘家勇¹, 赵培方¹, 赵俊¹, 范源洪¹, 刘新龙¹

(¹云南省农业科学院甘蔗科学研究所 云南甘蔗遗传改良重点实验室, 开远 661600; ²澳大利亚联邦科学院, 昆士兰 4814)

摘要: 利用甘蔗品种 Co419与野生种割手密云南 75-1-2远缘杂交, ROC25与远缘杂交后代云野 02-356进行回交, 分别获得 F₁和 BC₁群体; 利用 R软件, 分析了 2 个群体全部真实后代品质性状的遗传表现。结果表明, 杂交后代品质性状广义遗传力高, 正态分布特性明显, 品质性状间显著正相关; F₁含糖量和纤维含量高于商业亲本, 但甘蔗蔗糖分、蔗汁糖分、蔗汁锤度和简纯度等性状劣于商业亲本; BC₁除含糖量高于双亲外, 其他性状介于双亲之间, 但主要性状均优于 F₁, 后代性状恢复快。

关键词: 甘蔗; 远缘杂交; 品质性状; 遗传

Inheritance of Quality Traits of the Distant Crossing between *S. officinarum* and *S. spontaneum*

WU Caiwen¹, PHILLIP Jackson², LIU Jia-yong¹, ZHAO Pei-fang¹, ZHAO Jun¹,
FAN Yuan-hong¹, LIU Xin-bing¹

(¹Yunnan Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement/Sugarcane Research Institute Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kaiyuan 661600; ²Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Plant Industry, Davies Laboratory, PMB, PO Aitkenvale, Townsville, QLD 4814, Australia)

Abstract The distant hybridization of commercial cultivar Co419 × a wild clone of *S. Spontaneum* Yunnan75-1-2 was fulfilled Yunye02-356 one clone of F₁ generation, was backcrossed as male by commercial cultivar ROC25. The seedlings from the two populations of Co419 × Yunnan75-1-2 (F₁) and Yunye02-356 × ROC25 (BC₁), were selected for propagation. All clones including F₁, BC₁ and their parents were planted in one trial with random complete block design of three repeats. The inheritance of quality traits of real progenies from the two populations was analysed with R software. The results showed that the broad-sense heritability of quality traits of the two populations is high. All quality traits displayed a obvious normal distribution regularity. All quality traits showed significantly and positively related. Both sugar yield and fibre content are higher in the F₁ populations than commercial parent, but other traits including commercial cane sugar, sugar content in cane juice, brix in cane juice and apparent purity of cane juice are all worse in the F₁ population than in the commercial parent. The performances of quality traits are almost between the two parents except sugar yield higher in the BC₁ population, and the main traits are better in BC₁ population than in F₁ population.

Key words *Saccharum*; Distant hybrid; Quality traits; Inheritance

甘蔗是主要的糖料作物, 蔗糖产量占世界食糖总产的 75% 以上 (中国达 90% 以上)。甘蔗百年育

收稿日期: 2010-01-21 修回日期: 2010-08-09
基金项目: 澳大利亚国际农业研究中心 ACIAR (CSI/200/038); 现代农业产业技术建设专项资金 (nycytx-024-01-03); 农业部“948”项目 (2006-G37); 国家科技支撑计划项目 (2007BA30B01, 2007BAD30B02); 国家“863”计划 (2007AA100701)
作者简介: 吴才文, 研究员, 研究方向为甘蔗遗传良种。E-mail gksky_waw@163.com
通讯作者: 范源洪, 研究员。E-mail fhyhsr@vip.sohu.com

种利用野生种质与热带种的远缘杂交产生了大量优良品种和亲本,如 POJ2878、Co419、F134、CP49/50等,都是甘蔗远缘杂交的后代,甘蔗单产和糖分不断提高,为世界糖业做出了重大贡献,促进了蔗糖业的巨大发展^[1-2]。在甘蔗的野生种中,蕴藏着大量的优异基因,如丛生性、适应性、抗病、抗寒、抗旱及抗倒等,但近半个世纪以来,世界甘蔗育种中野生种质、远缘杂交有效利用少,育种效益不高,没有产生突破性品种,因此,开展珍贵野生种质与栽培原种、商业品种间的远缘杂交并进行遗传规律研究已引起甘蔗育种工作者的普遍关注。

近年来,世界各国甘蔗育种工作者开展了大量的甘蔗远缘杂交基础性工作,并取得了重要进展^[3-13]。但研究对象仅限于其中的优良单株及其工农艺性状,很少涉及群体性状。作为研究对象为远缘杂交 F_1 和 BC_1 的全部真实性后代个体,其农艺性状的遗传规律已专题报道^[13],本文的研究内容为全部真实性后代个体含糖量、纤维分、甘蔗糖分、蔗汁糖分、蔗汁锤度和简纯度等与制糖有关的品质性状及其遗传表现,以期对甘蔗野生资源的杂交利用及品质性状优良的甘蔗品种培育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

商业品种 Co419、ROC25 及割手密野生种云南 75-1-2 皆来自于国家甘蔗种质资源圃。

F_1 群体: 2001 年于云南省农科院甘蔗科学研究所 Co419 为母本、云南 75-1-2 为父本,在所内专用杂交温室内隔离授粉,2002 年培育实生苗,获得所需群体。

BC_1 群体: 2002 年底利用 ROC25 回交 F_1 群体中自然开花、花粉发育良好的无性系个体云野 02-356 所产生的种子于 2003 年 3 月初在温室内培育出苗,于当年 5 月底栽种于大田,获得所需群体。

1.2 方法

1.2.1 田间试验设计 为保证试验所需的足够种苗数量和试验材料的一致性,2004 年再次对 F_1 和 BC_1 2 个群体无性系于同一地块进行繁殖,出苗后取叶片采用 SSR 法进行真实性鉴定,分别获得 F_1 和 BC_1 真实性后代材料 288 个和 284 个。2005 年取 2 个群体真实性后代及 3 个亲本共计 575 个材料,按 3 次重复,随机区组设计,安排田间试验,每小区栽种 1 行,行长 2.5m,行距 0.9m,每行面积 2.25m²。2006 年继续保留宿根试验。

1.2.2 数据收集 成熟期调查有效茎数、单茎重,并以此计算蔗茎产量。有效茎调查每行原料茎长 1m 以上茎秆,折算为每 hm² 有效茎,有效茎 (条/hm²) = 行茎数 / 2.25 × 10000。单茎重为取样去尖后的原料茎重量与原料茎数之商。蔗茎产量 (kg/hm²) = 单茎重 × 有效茎。含糖量 (kg/h) = 蔗茎产量 × 甘蔗糖分 %。

1.2.3 品质检测 参试后代材料全部进行品质检测,每小区 (重复) 取 6 棵,称重后送检。由于后代群体大、样品多,为了减少品质检测工作量,每个群体各取 15 个样品 (包括亲本),2 个群体共计 30 个样品按 3 次重复送检,其余样品 (新植和宿根各 545 个,死亡材料为亲本云南 75-1-2 因生长慢、竞争生长弱,在新植后期死亡) 3 个重复混合,作为一个综合样品送检。

品质检测方法参照李文凤等^[14]的一次旋光法,检测项目为纤维分、甘蔗蔗糖分、蔗汁蔗糖分、蔗汁锤度和简纯度等品质性状。

1.2.4 遗传力分析 线型模型为 $X_i = b \text{ bck} + (1 | \text{c bne}) + r$ 其中 b bck 为固定模型,表示重复数, (1 | c bne) 为随机模型,表示来自群体内部的无性系, r 为误差项,分别计算 F_1 和 BC_1 群体新植宿根 3 次重复检糖的 15 个样品的误差方差,分析工具为 R 软件,分别利用 4 个误差方差估算 4 个群体的广义遗传力。广义遗传力 (h^2) 的计算参照 Aitken^[10]的方法,表型方差计算参照季道藩^[15]的方法, $h^2 = \sigma_g^2 / (\sigma_p^2 \times 100\%)$, σ_g^2 为遗传方差, σ_p^2 为表型方差; $\sigma_g^2 = \sigma_p^2 - \sigma_e^2 / r$, σ_e^2 为误差方差, r 为重复次数。

2 结果与分析

2.1 杂交后代品质性状的遗传力分析

杂交后代不同性状遗传力大小不同,体现出亲本不同性状遗传传递能力的差异^[9]。试验中远缘杂交后代 F_1 及其回交一代 BC_1 , 亲本传递后代群体品质性状的平均遗传力 (表 1) 皆较高 (67.8% ~ 87.6%), 且各性状间遗传力差异不大,因此在甘蔗野生种割手密资源利用时,除了重视抗逆性、适应性和宿根性外,选用品种品质性状优良,即甘蔗糖分 (CCS) 高、锤度 (Brix) 高、简纯度 (AP) 高、纤维含量 (fibre) 适中的材料,有利于培育出后代品质性状更为优良的创新种质。分析 F_1 和 BC_1 2 个群体遗传力变化规律发现, F_1 新植群体纤维分遗传力表现偏低可能是由于当年该群体倒伏差异较大的原因所致。

表 1 F₁及 BC₁群体产量性状遗传力

Table 1 Heritability of quality characters in F₁ and BC₁ populations

群体 Population	植期 Stage	含糖量 (t/lm ²) TSH	纤维分 (%) Fibre	甘蔗糖分 (%) CCS	蔗汁糖分 (%) SCJ	蔗汁锤度 (%) BJ	简纯度 (%) AP
F ₁	新植	80.2	38.4	83.6	86.3	86.6	86.5
	宿根	84.1	74.5	88.6	89.9	90.3	81.9
BC ₁	新植	73.7	83.5	84.3	85.3	82.2	86.8
	宿根	82.4	74.8	87.0	88.9	89.0	90.6
平均 Average		80.1	67.8	85.9	87.6	87.0	86.5

TSH: tons of sugar yield per hectare CCS: commercial cane sugar SCJ: sugar content in sugarcane juice BJ: brix in sugarcane juice AP: apparent purity

2.2 杂交后代品质性状的表现与分离状况

2.2.1 杂交后代品质性状的表现 甘蔗为非整倍性的异源多倍体作物, 遗传基础复杂, 后代群体分离大^[9]。试验利用甘蔗细茎野生种与商业品种杂交, 所产生的后代继续与商业品种回交。后代品质性状结果(表 2)表明, 甘蔗割手密细茎野生种远缘杂交 F₁的平均含糖量 (6.39t/lm²) 和纤维分 (12.27%) 明显高于商业亲本 (5.11t/lm² 和 9.78%), 甘蔗蔗糖分、蔗汁蔗糖分、蔗汁锤度和简纯度则劣于商业亲

本; BC₁群体平均含糖量 (9.36t/lm²) 明显高于双亲, 纤维含量与商业亲本相当, 但明显低于含野生血缘的父本, 其余性状均介于 2 个亲本之间。比较 2 个群体品质性状的变化情况发现, F₁群体的含糖量和纤维含量明显优于商业亲本, 有利于从中培育高含糖量和高纤维的能量甘蔗品种; BC₁群体的含糖量、甘蔗蔗糖分、蔗汁蔗糖分、蔗汁锤度和简纯度等性状较 F₁恢复快, 说明野生甘蔗杂交后代继续回交利用有利于培育出优良的糖料甘蔗品种。

表 2 亲本及杂交后代群体品质性状的平均表现

Table 2 Average value of quality traits of offspring populations and parents

群体 Population	植期 Stage	含糖量 (t/lm ²) TSH	纤维分 (%) Fibre	甘蔗蔗糖分 (%) CCS	蔗汁蔗糖分 (%) SCJ	蔗汁锤度 (%) BJ	简纯度 (%) AP
母本 Co419	新植	4.73	10.77	8.74	10.40	15.38	66.97
	宿根	5.49	8.79	10.71	12.42	14.59	85.14
F ₁ 群体	新植	5.36	12.89	4.33	5.29	12.33	42.08
	宿根	7.41	11.64	3.81	4.58	11.59	38.32
母本 ROC25	新植	7.67	13.95	11.68	14.41	17.48	82.84
	宿根	7.68	12.62	12.13	15.29	18.50	82.64
父本云野 02-356	新植	4.45	16.11	5.16	6.55	13.92	46.78
	宿根	3.38	13.73	2.92	3.60	10.15	35.32
BC ₁ 群体	新植	8.34	13.53	8.57	10.55	15.85	66.13
	宿根	10.37	12.10	8.33	10.09	15.32	69.94

2.2.2 杂交后代品质性状的分离状况 甘蔗蔗糖分、纤维分、蔗汁蔗糖分、蔗汁锤度和简纯度等均属于甘蔗品质性状, 各性状数值的大小和相互间的协调状况将直接影响到甘蔗压榨性能的好坏、甘蔗的用途及品种的推广价值, 研究杂交后代品质性状的分离状况, 对多用途甘蔗育种和品种定向改良具有重要的意义。试验中甘蔗远缘杂交 F₁和 BC₁新植、宿根各品质性状分布均表现出明显的数量性状特征(图 1), 且不同性状群体间的差异各异。F₁和 BC₁甘蔗纤维含量差异不大, 新植略高于宿根(图 1-A),

通过分析造成这种现象的原因可能是两年的气候差异及品质检测时间新植 (2005 年 11 月 30 日至 12 月 9 日) 较宿根 (2006 年 11 月 24 日至 12 月 9 日) 迟。远缘杂交后代再次与商业品种回交后产生 BC₁群体的甘蔗蔗糖分、蔗汁蔗糖分、蔗汁锤度和简纯度等重要品质性状的数量皆较 F₁群体高(图 1-B、1-C、1-D、1-E), 说明利用商用品种回交野生血缘高的 F₁个体, 后代品质性状恢复快, 有利于筛选出品质性状更为优良的后代。

含糖量是一个群体指标, 是甘蔗产量和糖分性

状的综合表现,是甘蔗品种最重要的品质性状,分析 F_1 和 BC_1 2个后代群体新植、宿根含糖量分布状况和曲线图(图 1-F),可知 F_1 、 BC_1 及新植宿根间单位面积含糖量差异较大,重心明显偏向于低含糖量个体, BC_1 群体含糖量高的个体较 F_1 群体多,且分布范围十分广泛。其中 F_1 新植、宿根含糖量分别为 3~

12t/hm²和 3~ 24t/hm², BC_1 新植、宿根含糖量分别为 3~ 18t/hm²和 3~ 30t/hm²,且 2个群体宿根含糖量分布范围较新植更大,为野生甘蔗的杂交利用和筛选糖分高宿根性强的甘蔗品种奠定了良好的基础。

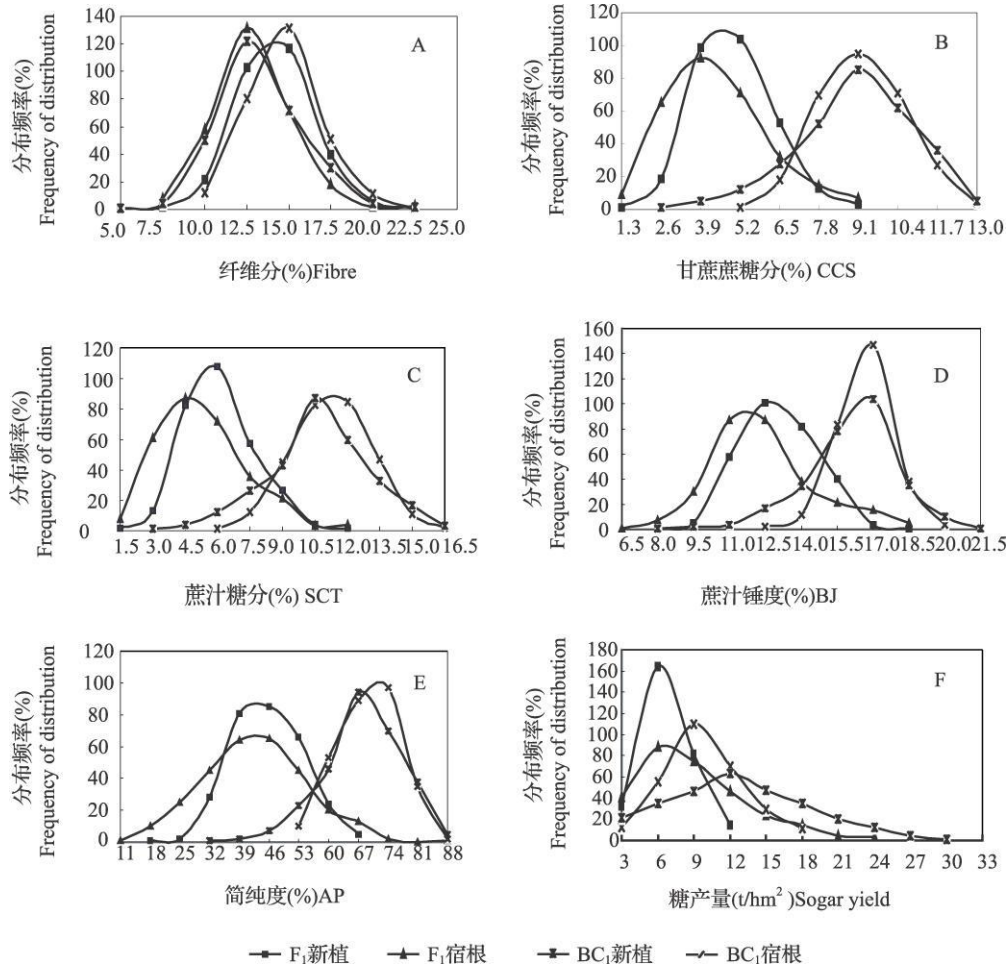


图 1 远缘杂交 F_1 和 BC_1 群体品质性状的分离
Fig 1 Segregations of quality traits in F_1 and BC_1 plants and tatoon progenies

2 3 杂交后代品质性状间的相关性分析

甘蔗品质性状是品种固有的性状,除了受环境影响外,主要受遗传因素的影响,本文研究品质性状间相关性的目的是为今后甘蔗品质育种奠定基础。表 3、表 4表明, F_1 和 BC_1 新植、宿根甘蔗品质性状中的甘蔗含糖量、甘蔗蔗糖分、纤维分、蔗汁蔗糖分、蔗汁锤度和简纯度各性状间的相关系数虽有波动 (0.242~ 0.996),但均表现出极显著的正相关,且 2个群体各品质性状相关系数变化趋势相同,为甘蔗品质性状的优化和高品质甘蔗育种创造了条件。试

验研究还表明利用野生甘蔗远缘杂交、回交利用可以选育出含糖量和纤维含量兼顾的甘蔗品种,为解决生产上高产高糖品种易倒伏问题创造了条件。

3 讨论

3 1 远缘杂交后代品质性状的遗传效应

甘蔗远缘杂交及其低代回交,主要品质性状的遗传力皆较高,因此在甘蔗野生资源利用时,通过评价选用甘蔗蔗糖分、纤维分、锤度等性状优良的种质易于培养出品质性状更为优良的后代。

表 3 F₁新植和 F₁宿根甘蔗品质性状间的相关性

Table 3 Relativity among quality traits of in plant F₁ population and ratoon F₁ population

项目 Item	F ₁ 新植 Plant F ₁					F ₁ 宿根 Ratoon F ₁				
	TSH	Fibre	CCS	SCJ	BJ	TSH	Fibre	CCS	SCJ	BJ
Fibre	0.312 [*]					0.255 [*]				
CCS	0.672 [*]	0.246 ^{**}				0.780 [*]	0.198 [*]			
SCJ	0.684 [*]	0.330 [*]	0.996 [*]			0.787 [*]	0.256 [*]	0.996 [*]		
BJ	0.705 [*]	0.406 [*]	0.910 [*]	0.922 [*]		0.648 [*]	0.333 [*]	0.754 [*]	0.764 [*]	
AP	0.654 [*]	0.274 [*]	0.969 [*]	0.969 [*]	0.814 [*]	0.727 [*]	0.212 [*]	0.941 [*]	0.940 [*]	0.544 [*]

* : 显著水平为 5%; ** : 显著水平为 1%。下同
* : the P value level of significant difference at 0. 05; ** : significant difference at 0. 01. The same as below

表 4 BC₁新植和 BC₁宿根甘蔗品质性状间的相关性

Table 4 Relativity among quality traits of plant BC₁ population and ratoon BC₁ population

项目 Item	BC ₁ 新植 Plant BC ₁					BC ₁ 宿根 Ratoon BC ₁				
	TSH	Fibre	CCS	SCJ	BJ	TSH	Fibre	CCS	SCJ	BJ
Fibre	0.242 [*]					0.457 [*]				
CCS	0.531 [*]	0.296 [*]				0.628 [*]	0.389 [*]			
SCJ	0.531 [*]	0.206 [*]	0.951 [*]			0.625 [*]	0.498 [*]	0.992 [*]		
BJ	0.542 [*]	0.343 [*]	0.985 [*]	0.924 [*]		0.587 [*]	0.485 [*]	0.911 [*]	0.919 [*]	
AP	0.485 [*]	0.379 [*]	0.902 [*]	0.961 [*]	0.788 [*]	0.614 [*]	0.431 [*]	0.940 [*]	0.942 [*]	0.755 [*]

3 2 远缘杂交后代品质性状的分离

甘蔗含糖量、甘蔗蔗糖分、纤维分、蔗汁蔗糖分、蔗汁锤度和简纯度等品质性状均表现为明显的数量性状, 研究表明作为非整倍性的异源多倍体, 甘蔗商业品种与野生种远缘杂交、优良个体继续与商业品种回交后代品质性状分离大、类型多, 为有价值的新种质、新材料的创制提供了机会。研究发现甘蔗含糖量、甘蔗蔗糖分、蔗汁蔗糖分、蔗汁锤度和简纯度等品质性状 BC₁较 F₁大幅回升, 说明加强野生种质的创新, 利用商业品种进行回交, 可培育出性状更为优良的后代。

参考文献

[1] 吴才文. 甘蔗亲本创新与突破性品种培育的探讨 [J]. 西南农业学报, 2005, 18 (6): 858-861
[2] 骆君骥. 甘蔗学 [M]. 广州: 广州甘蔗学会, 1984
[3] 王丽萍, 马丽. 提高甘蔗远缘杂交后代花粉育性的研究 [J]. 亚热带农业研究, 2005, 1 (1): 1-3
[4] 李富生, 林位夫, 何顺长, 等. 甘蔗杂种的染色体和 RAPD 鉴定研究 [J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6 (1): 48-52
[5] 王丽萍, 蔡青, 范源洪, 等. 甘蔗细茎野生种 (*S. spontaneum*) 远

缘杂种 F₂ 代模糊综合评判分析 [J]. 种子, 2006, 25 (11): 4-7
[6] 刘文荣, 邓祖湖, 张木清, 等. 甘蔗斑茅的杂交利用及其杂种后代鉴定系列研究 III. 甘蔗斑茅远缘杂交后代细胞遗传分析 [J]. 作物学报, 2004, 30 (11): 1093-1096
[7] 王丽萍, 蔡青, 范源洪, 等. 甘蔗 (*Saccharum*) 与斑茅 (*Erianthus arundinaceus*) 远缘杂交利用研究 [J]. 西南农业学报, 2007, 20 (4): 721-726
[8] 曾华宗, 郑成木, 朱稳, 等. 甘蔗种质间亲缘关系及特异标记的 RAPD 分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2003, 4 (2): 99-103
[9] 谢仙环. 野生甘蔗 *S. spontaneum* 和 *S. robustum* 杂种后代的种性表现及其在育种上的应用 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 1984, 13 (1): 1-14
[10] Aiken K S, Jackson P A, McIntyre C L. Quantitative trait loci identified for sugar related traits in a sugarcane (*Saccharum* spp.) cultivar × *Saccharum officinarum* population [J]. Theor Appl Genet 2006, 112: 1306-1317
[11] 徐良年, 邓祖湖, 陈如凯, 等. CL 系列甘肃亲本的遗传力及配合力分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7 (4): 445-449
[12] 桃联安, 楚连璧, 经艳芬, 等. 云南割手密 82-114 种间杂交后代 SSR 分子标记鉴定 [J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10 (1): 132-135
[13] 吴才文, Jackson P, 范源洪, 等. 甘蔗割手密远缘杂交后代产量性状的遗传及分离 [J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10 (2): 262-266
[14] 李文凤, 范源洪, 陈学宽, 等. 甘蔗糖分的快速测定方法 [J]. 中国糖料, 2009 (2): 14-15
[15] 季道藩, 米景九. 遗传学 [M]. 北京: 农业出版社, 1984