

超甜玉米籽粒果皮厚度及灌浆特性研究

乐素菊¹, 张 璧¹, 刘厚诚², 王小明¹

(1 仲恺农业技术学院 农学系, 广东 广州 510225; 2 华南农业大学 园艺学院, 广东 广州 510642)

摘要: 对 4 个不同超甜玉米品种籽粒果皮厚度及灌浆特性进行了分析. 结果表明, 不同品种和不同授粉天数的果皮厚度差异明显; 同一品种籽粒内不同部位间的果皮厚度也有较大差异, 这种差异在灌浆前期更为明显, 主要表现为胚背面的果皮较胚面薄, 之后这种差异逐渐缩小. 灌浆期间, 籽粒体积和鲜质量变化呈 Logistic 曲线, 相应的拐点分别是授粉后 12 d 和 12.7 d; 籽粒含水量直线下降, 干物质则直线上升.

关键词: 超甜玉米; 果皮厚度; 籽粒灌浆

中图分类号: S649

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2003)03-0013-03

超甜玉米的食用品质主要取决于甜度、风味、果皮柔嫩性、保甜期及果穗的外观等性状. 而我国目前推广应用的超甜玉米新品种一般表现为皮厚渣多、甜度较低、保甜期较短等缺点^[1]. Bailey 等^[2]认为果皮柔嫩性与果皮厚度呈显著负相关. 自 Wolf 等^[3]首次使用测微计测量籽粒果皮厚度以来, Helm 等^[4]对马齿型玉米采收期与籽粒果皮厚度之间的关系, Tracy 等^[5]和 Helm 等^[6]对超甜玉米胚乳类型和突变体对果皮厚度的影响作过有关的研究. 对超甜玉米籽粒发育中的果皮厚度变化规律的研究较少. 笔者以不同超甜玉米品种为参试材料, 采用测微计法直接测定其灌浆过程中籽粒的果皮厚度, 以探讨超甜玉米籽粒灌浆过程中果皮厚度的变化规律, 为超甜玉米食用品质的有关指标制定和高产、优质、高效益的新品种选育提供参考依据.

1 材料与方法

1.1 材料

粤甜 3 号和穗美 9701 分别是广东省农业科学院玉米研究室和华南农业大学甜玉米课题组育成的超甜玉米杂交种, 美国金良粟(全称为美国水果型金良粟超甜玉米)和申甜 971 分别由东莞市农业种子研究所和上海农业科学院玉米研究室提供. 4 个品种均为广东省生产上普遍使用的超甜玉米单交种, 具有整齐一致、甜度较高、风味较好等特点.

1.2 方法

试验于 2000 年 6 月和 2001 年 2 月在仲恺农业技术学院农场进行. 每个品种均采用套袋和人工授粉方式以防止各品种间互相串粉, 提高测定的准确

性. 从授粉后第 4 d 开始, 每隔 4 d 取 3~4 个鲜果穗测定籽粒体积、鲜质量和含水量; 果皮厚度的测定则从授粉后 12 d 开始, 每隔 2 d 收获 3 个果穗作果皮厚度测量用, 之后每个果穗取 10 粒中部籽粒在 FAA 固定液固定 24 h, 分别切取籽粒胚面和胚背面的果皮, 于水和甘油混合液($V_{\text{水}}:V_{\text{油}}=1:3$)中软化 20 h^[7], 后将所有果皮置于 27℃ 条件下干燥 24 h, 以保证果皮含水量一致. 分别用测微计对每块果皮测量 2 次, 取其平均值.

2 结果与分析

2.1 灌浆期籽粒果皮厚度的变化

超甜玉米灌浆期籽粒果皮厚度逐渐增加(表 1), 至授粉后 22 d, 则有不同程度的下降. 但 4 个品种果皮厚度差异明显, 美国金良粟籽粒果皮最薄, 授粉后 14~24 d 果皮平均厚度为 62 μm ; 其次是粤甜 3 号和申甜 971, 分别为 69 和 72 μm ; 穗美 9701 的果皮最厚, 平均为 95 μm .

籽粒内不同部位果皮厚度差异较大(表 1). 在灌浆前期, 向胚一面(胚面)的果皮明显厚于背胚一面(胚背面), 但随着灌浆的进行, 胚面的果皮厚度增幅不大, 而胚背面则有较大幅度的增加, 在授粉后 12~20 d, 胚面果皮增幅为 6~27 μm , 而胚背面果皮则为 21~53 μm . 随着籽粒的成熟, 两者之间的差异越来越小, 至授粉后 24 d, 胚背面的果皮甚至比胚面还要厚.

不同品种胚背面的果皮厚度与授粉天数的相关系数在 0.767~0.996 之间, 呈显著或极显著正相关($r_{0.05}=0.754$, $r_{0.01}=0.875$), 而胚面果皮厚度与授粉

表 1 不同品种超甜玉米籽粒果皮厚度的变化¹⁾

Tab. 1 Pericarp thickness of varieties of super sweet corn μm

品种 variety	授粉后天数 days after pollination	胚面 geminal surface	胚背面 abgeminal surface	平均 average
美国金良粟	12	61c	42d	52e
Jingensu	14	64bc	47d	56de
	16	65bc	47d	56de
	18	64bc	56c	60cd
	20	67b	63b	65bc
	22	81a	70a	76a
	24	67b	74a	70b
平均 average		67	57	62
粤甜 3 号	12	68b	45e	56c
Yuetian No. 3	14	71b	51d	61c
	16	80a	55d	68b
	18	82a	62c	72ab
	20	84a	69b	76a
	22	80a	73ab	76a
	24	73b	77a	75a
平均 average		77	62	69
穗美 9701	12	88d	48d	68d
Suimei 9701	14	97c	54d	75d
	16	104bc	72c	88c
	18	104bc	95b	100b
	20	115a	101b	108a
	22	113a	112a	114a
	24	110ab	118a	114a
平均 average		104	86	95
申甜 971	12	64c	44d	54d
Shentian971	14	67c	58c	62c
	16	77b	68b	72b
	18	82ab	73b	78ab
	20	82ab	86a	84a
	22	85a	84a	84a
	24	76b	69b	72b
平均 average		76	69	72

1) 表中同一品种同列数据后字母不相同者,表示在 5% 水平上差异显著(DMRT 法)

天数间的相关系数在 0.466 ~ 0.885 之间,小于胚背面果皮厚度与授粉天数间的相关。表明在灌浆过程中胚背面果皮厚度的增加对籽粒果皮的增厚影响更大。

2.2 不同品种超甜玉米灌浆特性

2.2.1 灌浆期籽粒干物质和含水量的变化 籽粒干

表 3 籽粒灌浆过程单粒体积和鲜质量模拟方程¹⁾

Tab. 3 Simulation equations of volume and fresh mass of the kernel filling process of super sweet corn

品种 variety	v (单粒 per kernel)/ cm^3				鲜质量 fresh mass per kernel/g			
	模拟方程 simulation equation	$\ln a/b$	r		模拟方程 simulation equation	$\ln a/b$	r	
美国金良粟 Jingensu	$y = 0.333 / (1 + 48.63e^{-0.332x})$	11.4	0.991 1		$y = 0.322 / (1 + 69.92e^{-0.355x})$	12.0	0.984 0	
粤甜 3 号 Yuetian No. 3	$y = 0.396 / (1 + 57.24e^{-0.321x})$	12.6	0.989 1		$y = 0.385 / (1 + 57.40e^{-0.304x})$	13.3	0.992 4	
穗美 9701 Suimei9701	$y = 0.465 / (1 + 60.70e^{-0.336x})$	12.2	0.983 5		$y = 0.476 / (1 + 86.32e^{-0.351x})$	12.7	0.989 0	
申甜 971 Shentian 971	$y = 0.376 / (1 + 56.36e^{-0.332x})$	12.1	0.994 6		$y = 0.355 / (1 + 69.15e^{-0.334x})$	12.6	0.990 7	

1) $n = 7, r_{0.05} = 0.754, r_{0.01} = 0.875$

1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

物质含量在灌浆期直线上升,与授粉天数间呈极显著正相关(表 2)。由模拟方程可知,美国金良粟干物质含量增长速度最小,申甜 971 增长速度最大,粤甜 3 号和穗美 9701 则介于两者之间。说明申甜 971 干物质积累最快,而美国金良粟最慢。籽粒含水量与授粉天数间表现为极显著负相关关系(表 2),由模拟方程可知,申甜 971 脱水速度最快,美国金良粟则相反,说明美国金良粟比申甜 971 保水能力强,这可能与美国金良粟含糖量很高有关^[1]。

2.2.2 灌浆期籽粒体积和鲜质量的变化 不同品种灌浆期籽粒体积和鲜质量的模拟方程见表 3。结果表明,超甜玉米籽粒体积和鲜质量的变化符合 Logistic 生长曲线,这与孙政才等^[8]和周文伟等^[9]的研究结果基本一致。4 个超甜玉米品种籽粒体积和鲜质量的生长曲线平均拐点($x = \ln a/b$)为授粉后 12.1 和 12.7 d,表明籽粒体积和鲜质量分别在授粉后 12.1 和 12.7 d 之前,其增长速度则由小趋大,表现为指数增长关系,之后其增长速度则由大趋小。不同的品种和拐点出现的时间略有不同,美国金良粟籽粒体积的增大高峰期出现得较早,一般在授粉后 11 ~ 12 d,而粤甜 3 号的增大高峰期较晚,一般在授粉后 12 ~ 13 d,穗美 9701 和申甜 971 的高峰期介于两者之间。此外,籽粒鲜质量的增长高峰期一般比籽粒体积增大高峰期推迟约半天时间,这一现象符合先扩大体积后充实内容物的生长规律。

表 2 籽粒灌浆过程干物质和含水量模拟方程¹⁾

Tab. 2 Simulation equations of dry matter and moisture contents during the kernel filling process of super sweet corn

品种 variety	w (干物质 dry matter)/ %	w (水 moisture)/ %	r
美国金良粟 Jingensu	$y = 7.24 + 0.8757x$	$y = 92.76 - 0.8757x$	0.979 1
粤甜 3 号 Yuetian No. 3	$y = 6.03 + 0.9143x$	$y = 93.07 - 0.9143x$	0.988 9
穗美 9701 Suimei9701	$y = 4.06 + 0.9814x$	$y = 95.94 - 0.9814x$	0.994 8
申甜 971 Shentian 971	$y = 4.61 + 1.0614x$	$y = 95.39 - 1.0614x$	0.989 3

1) $n = 7, r_{0.05} = 0.754, r_{0.01} = 0.875$

3 结论与讨论

果皮的柔嫩性直接影响超甜玉米的食用品质, 因而增加籽粒果皮的柔嫩性是重要的选育种目标. Bailey 等^[2]报道, 果皮柔嫩性与果皮厚度呈显著负相关, 果皮越薄, 果皮柔嫩性越好. 本试验的 4 个品种中, 美国金良粟和粤甜 3 号籽粒果皮较薄, 鲜食时清爽渣少, 口感好; 穗美 9701 籽粒虽然比较爽脆(因含水量较高^[1]), 但由于其果皮较厚, 口感较粗糙; 而申甜 971 果皮虽薄, 但较坚韧, 其柔嫩性并不比穗美 9701 好. 因此, 笔者认为果皮的柔嫩性除了与果皮厚度有关外, 与果皮组织结构的关系也很密切. Khalil 等^[10]对不同采收期的玉米籽粒果皮结构研究认为, 收获较早的果穗, 其籽粒果皮组织结构较疏松, 果皮较嫩, 而收获较晚的果穗, 其籽粒果皮组织比较致密, 果皮较硬. 超甜玉米籽粒果皮的柔嫩性与果皮组织结构的关系还有待进一步探讨.

随着灌浆的进行, 超甜玉米籽粒果皮厚度明显增加, 但胚面与胚背面果皮在籽粒果皮厚度增加的过程中所起的作用不同. 在籽粒灌浆前期, 胚面的果皮较厚, 胚背面较薄, 胚面的果皮对籽粒果皮厚度的贡献较胚背面大, 这种差异主要表现在授粉后 12~18 d. 随着籽粒的成熟, 胚面与胚背面果皮厚度的差异越来越小, 此时籽粒的果皮厚度则受胚面与胚背面果皮的共同影响. 乐素菊等^[1]认为超甜玉米在授粉后 14~18 d 籽粒粗纤维含量较低, 食用品质较佳, 这与授粉后 14~18 d 其胚背面的果皮厚度保持较低的水平有一定的关系.

参考文献:

[1] 乐素菊, 刘厚诚, 张 璧. 超甜玉米籽粒乳熟期碳水化合物变化及食用品质研究[J]. 华南农业大学学报, 2003, 24(2): 9—11.

[2] BAILEY D M, BAILEY R M. The relation of the pericarp to tenderness in sweet com[J]. Proc Amer Soc Hort Sci, 1938, 36: 555—559.

[3] WOLF M J, CULL I M, HELM J L, et al. Measuring thickness of excised mature corn pericarp[J]. Agron J, 1969 61: 777—779.

[4] HELM J L, ZUBER M S. Effect of harvest date on pericarp thickness of dent corn[J]. Can J Plant Sci, 1970, 50: 411—413.

[5] TRACY W F, SCHMIDT D H. Effect of endosperm type on pericarp thickness in sweet corn inbred[J]. Crop Sci, 1987, 27: 692—694.

[6] HELM J L, GLOVER D V, ZUBER M S. Effect of endosperm mutants on pericarp thickness in corn[J]. Crop Sci, 1970, 10: 105—106.

[7] HELM J L, ZUBER M S. Inheritance of pericarp thickness in corn belt maize[J]. Crop Sci, 1972, 12: 428—430.

[8] 孙政才, 陈国平. 甜玉米与普通玉米籽粒发育过程中碳水化合物及氨基酸消长规律的比较研究: I . 籽粒灌浆特性及碳水化合物消长规律[J]. 作物学报, 1992, 18 (4): 301—306.

[9] 周文伟, 宋万友, 张子梅, 等. 甜玉米籽粒灌浆特性的研究[J]. 杂粮作物, 2001, 21 (5): 27—28.

[10] KHALIL T, KRAMER A. Histological and histochemical studies of sweet com pericarp as influenced by maturity and processing[J]. J Food Sci, 1971, 36: 1 064—1 069.

Pericarp Thickness and Kernel Filling Characteristics of Super Sweet Corn

YUE Su-ju¹, ZHANG Bi¹, LIU Hou-cheng², WANG Xiao-ming¹

1 Dept. of Agronomy, Zhongkai Agrotechnical College, Guangzhou 510225, China;
2 College of Horticulture, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: Pericarp thickness and kernel filling characteristics of 4 super sweet corn varieties were studied. the result showed that pericarp thickness was significantly different among different varieties and among different days after pollination. There were significant difference in pericarp thickness in different position within kernels of the same variety, this difference was significant at the beginning of kernel filling, the pericarp thickness of the abgeiminal side was thinner than that of the germinal side. During kernel filling, the changes of size and mass of the kernels were in ‘ Logistic ’ curvilinear equation form, the turning point was 12.1 days and 12.7 days after pollination. Moisture contents of the kernels decreased linearly and dry matter contents of the kernels increased linearly.

Key words: super sweet corn; pericarp thickness; kernel filling

【责任编辑 周志红】