

文章编号:1673-1689(2005)06-0066-05

乳熟期鲜食玉米穗不同部位碳水化合物的变化

任亚梅¹, 刘兴华¹, 袁春龙², 郑建梅¹, 罗安伟¹

(1. 西北农林科技大学 食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 葡萄酒学院 陕西 杨凌 712100)

摘要: 对乳熟期鲜食玉米穗不同部位碳水化合物的变化研究表明, 籽粒中可溶性总糖(TSC)质量分数为先增加后降低, 蔗糖(SUC)和 TSC 的变化趋势相似, 淀粉质量分数逐渐增加, 可溶性酸性蔗糖转化酶的活性先增加后降低。穗轴中 SUC 及 TSC 质量分数在授粉后任何时期总是高于籽粒, 淀粉质量分数远低于籽粒。苞皮中 TSC 与 SUC 质量分数缓慢减少, 在籽粒灌浆初期积累有大量的 TSC, 为籽粒迅速灌浆做出了贡献, 淀粉质量分数远低于穗轴。鲜食玉米采收后应低温放置或及时加工, 以抑制糖快速转化为淀粉, 防止鲜食玉米品质下降。

关键词: 鲜食玉米穗; 籽粒; 可溶性总糖; 蔗糖

中图分类号:

文献标识码: A

Study on the Carbohydrate Change at Different Parts of Fresh Unripe Maize Ears

REN Ya-mei¹, LIU Xing-hue¹, YUAN Chun-long², ZHENG Jian-mei¹, LUO An-wei¹

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China; 2. Ecology of College, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstract: In this paper, the carbohydrate change at different positions of fresh maize ears during the milk stage was studied. The results showed that the changing curve of the total soluble candy (TSC) content of kernel was a form of parabola and the changing pattern of the sucrose (SUC) content of kernel was similar to that of TSC content, the changing pattern of starch content was straight line, (VS time) and the changing curve of the soluble and acidic sucrose's activity of kernel was a kind of parabola (VS time) during the milk stage. The TSC and SUC content of cob was always higher than kernel, the starch content was lower than kernel. The TSC and SUC content of bract decreased, slowly, and the TSC content was always higher at early milk stage, these were beneficial for the grouting of maize. As a result, the starch content is lower than cob. When the fresh unripe maize is harvested, it should be kept at low temperature or processed in time to avoid the quick candy conversion to starch and the quality descending.

Key words: fresh unripe maize ears; kernel; total soluble candy; sucrose

鲜食玉米是当今世界新开发的蔬菜, 畅销国际市场^[1,2]。玉米鲜食具有多种医疗保健功效, 可防治

收稿日期: 2004-09-04; 修回日期: 2005-03-11.

作者简介: 任亚梅 (1970-), 女, 陕西永寿人, 讲师, 果蔬加工硕士研究生。

便秘及肥胖症,降低血压和血脂,有预防癌症和健脑提神的作用^[3~5]。

玉米叶源端的光合产物以蔗糖形式运至果穗,需要在穗轴、小穗柄及籽粒中分解为果糖和葡萄糖,尔后在籽粒的淀粉质体中合成淀粉^[6,7]。有研究表明,玉米籽粒在发育早期,胚乳中催化蔗糖水解以转化酶为主^[8]。进一步研究表明,酸性蔗糖转化酶在控制蔗糖的卸载进而调节淀粉合成过程中起着重要作用,并且该酶主要分布在穗轴和穗柄中^[9,10]。

通过对 2000 年种植的 2 个玉米品种授粉后籽粒、穗轴、苞皮碳水化合物的测定,可以分析出它们之间碳水化合物的变化规律,探讨碳水化合物在籽粒、穗轴、苞皮之间如何运输,为鲜食玉米穗速冻及其他加工前采收期的确定、采收后存放温度条件的确定提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 试验材料 2000 年将陕白糯 11 号(糯玉米)和辽青 92(普通玉米)于 6 月 10 日播种于西北农林科技大学试验三站,田间试验均设 3 次重复,小区面积 $6 \times 8 \text{ m}^2$,种植密度 6 株/ m^2 ,肥水供应充足,各品种田间生长正常,未发生严重病虫害现象。吐丝期选择生长一致的植株挂牌,套袋后连续 2 日中午 9~10 时人工授粉。

1.1.2 仪器与设备 万分之一天平,鼓风式干燥箱,液氮罐,超低温冰柜,723 分光光度计,电热三用恒温水浴锅,高速冷冻离心机,低速台式离心机,粉碎机,真空封口机等。

1.1.3 试剂 浓硫酸,蒽酮,考马斯亮蓝,氢氧化钠,葡萄糖,愈疮木酚等均为分析纯。

1.2 方 法

2000 年将 2 个玉米品种分别于授粉后 10,13,16,20,23,27,34 d 采样,每个品种每次随机采玉米穗 10 个,将籽粒、苞皮、穗轴分开,从玉米穗中部 3~6 行取样,手工剥粒并计粒数,测籽粒的可溶性酸性蔗糖转化酶活性,然后迅速测定籽粒、穗轴和苞皮的水分质量(烘干法^[11])、干样的 TSC、SUC、淀粉的质量(均用蒽酮硫酸比色法^[11,12]),换算成鲜重的质量分数。

1.2.1 可溶性酸性蔗糖转化酶活性的测定 称取 5 g 鲜籽粒,在液氮条件下速冻后装塑料袋放于 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 超低温冰箱保存。测定前取保存的冷冻样品置于预冷的研钵中,分批加 10 mL 提取缓冲液(50

mmol/L Tris-HCl, pH 7.0, 2 mmol/L EDTA- Na_2 , 体积分数 2% 乙二醇, 2% PVP), 冰浴研磨提取 20 min, 在 $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 、10 000 r/min 离心 20 min, 上清液装入透极袋中, 置透极缓冲液(10 mmol/L Tris-HCl, pH 7.5, 2.5 mol/L MgCl_2 , 体积分数 1% 乙二醇)中, $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 下透析过夜, 其间更换透析液 3 次, 取透析后的酶液定溶于 50 mL。取稀释后的酶液 10 mL, 加入 0.1 mL, 50 mmol/L 蔗糖液(对照在 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 水浴中煮 5 min)和 0.3 mL, 0.2 mol/L 的醋酸钠缓冲液(pH 4.8), 在 $37 \text{ }^\circ\text{C}$ 下温浴 30 min 后加入 0.5 mL 蒸馏水。然后用 3,5-二硝基水杨酸法^[13~15]测定蔗糖转化的葡萄糖(GLU)。可溶性酸性蔗糖转化酶活性用 30 min 内每粒玉米所产生葡萄糖的微摩尔数表示, 单位为 μmol /粒。

1.2.2 数据处理 采用 SAS 软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 乳熟期鲜食玉米穗不同部位碳水化合物的变化(以鲜重计)

玉米籽粒在授粉后发育过程中,由不同品种间碳水化合物的质量比较结果可知,无论是在 5% 水平还是在 1% 水平下,两个品种间的结果存在显著差异,且陕白糯 11 号所测得的平均值高于辽青 92。授粉后 23d, 陕白糯 11 号和辽青 92 的 TSC 最高值,分别为 2.88% 和 2.46%(见表 1,2)。

由不同授粉后天数间碳水化合物的多重比较可知,在 5% 水平下,20 d 和 27 d 所测得的结果没有显著性差异,其余各天数下所测得的结果间有显著差异;在 1% 水平下,23 d 和 30 d, 20 d 和 27 d, 13 d 和 16 d 所测得的结果没有显著性差异。且授粉后不同天数下所测得的结果随天数的不同呈波浪状变化,16 d 所测得的值最低,到 23 d 时达到一个峰值,到 27 d 时降至谷底,此后又逐渐回升(见表 3)。

由不同指标间碳水化合物的多重比较结果可知,在 5% 和 1% 水平下,不同指标间结果均有显著性差异,且淀粉质量分数所测得的值最高, SUC 质量分数所测得的值最低(见表 4)。

玉米籽粒在授粉后发育过程中,可溶性总糖(TSC)质量分数前期较低,中期上升,后期又下降,呈抛物线型变化。陕白糯 11 号和辽青 92 在授粉后 23 d, 其籽粒 SUC 质量分数达到高峰,分别为 2.26% 和 1.88%。随后,辽青 92 籽粒 SUC 质量分数缓慢下降,陕白糯 11 号 SUC 质量分数下降后又回升(见表 1)。

表 1 乳熟期鲜食玉米穗不同部位碳水化合物的变化

Tab. 1 The change of carbohydrate at different parts of fresh unripe maize ears' during the milk stage

部位	品种	授粉后 天数/d	指标			部位	品种	授粉后 天数/d	指标		
			TSC 质量 分数/%	SUC 质量 分数/%	淀粉质量 分数/%				TSC 质量 分数/%	SUC 质量 分数/%	淀粉质量 分数/%
籽粒	陕白糯 11 号	13	2.75	1.76	1.35	籽粒	辽青 92	13	3.10	1.98	1.05
		16	1.79	1.22	6.36			16	1.94	1.50	4.35
		20	2.35	1.48	15.62			20	1.82	1.55	5.07
		23	2.88	2.26	15.88			23	2.46	1.88	6.13
		27	1.59	0.99	17.04			27	1.60	1.16	6.89
		30	1.64	1.05	20.52			30	1.47	1.02	7.50
		34	1.70	1.16	25.00			34	1.24	0.88	8.28
穗轴	陕白糯 11 号	13	4.82	1.27	2.16	穗轴	辽青 92	13	4.45	1.30	2.11
		16	3.69	1.15	1.81			16	3.21	1.20	1.09
		20	4.11	2.46	2.16			20	4.72	2.07	3.57
		23	4.99	2.19	1.18			23	6.90	2.67	1.58
		27	3.53	1.26	2.12			27	6.52	2.52	2.22
		30	3.68	1.50	1.64			30	6.77	3.01	1.58
		34	3.91	1.80	0.82			34	7.00	4.51	0.86
苞皮	陕白糯 11 号	13	6.71	1.94	0.51	苞皮	辽青 92	13	7.51	2.14	0.88
		16	4.27	1.87	0.43			16	5.99	1.91	0.55
		20	4.37	0.94	0.50			20	4.37	1.13	0.50
		23	4.01	2.09	0.82			23	4.74	2.25	1.47
		27	2.98	1.64	0.61			27	2.80	1.77	0.44
		30	3.13	1.79	0.81			30	3.01	1.82	0.80
		34	3.44	2.15	1.03			34	3.31	2.07	0.99

表 2 不同品种间碳水化合物的多重比较

Tab. 2 The many-sided comparison of carbohydrate in different varieties

品种	平均质量 分数值/%	$P < 5\%$	$P < 1\%$
陕白糯 11 号	3.56	<i>a</i>	<i>A</i>
辽青 92	2.91	<i>b</i>	<i>B</i>

注:字母表示处理间在该水平的差异显著性,无相同字母表示处理间差异显著。

表 4 不同指标间碳水化合物的多重比较

Tab. 4 The many-sided comparison of carbohydrate in different indexes

指标	平均质量 分数值/%	$P < 5\%$	$P < 1\%$
淀粉	4.20	<i>a</i>	<i>A</i>
TSC	3.74	<i>B</i>	<i>B</i>
SUC	1.77	<i>C</i>	<i>C</i>

注:字母表示处理间在该水平的差异显著性,无相同字母表示处理间差异显著。

表 3 不同授粉后天数间碳水化合物的多重比较

Tab. 3 The many-sided comparison of carbohydrate in different days after pollinating

授粉后天数/d	平均质量 分数值/%	$P < 5\%$	$P < 1\%$
34	3.90	<i>a</i>	<i>A</i>
23	3.69	<i>b</i>	<i>B</i>
30	3.53	<i>c</i>	<i>B</i>
20	3.23	<i>d</i>	<i>C</i>
27	3.20	<i>d</i>	<i>C</i>
13	2.63	<i>e</i>	<i>D</i>
16	2.46	<i>f</i>	<i>D</i>

注:字母表示处理间在该水平的差异显著性,无相同字母表示处理间差异显著。

籽粒淀粉质量分数的变化几乎呈直线式增加,但增加幅度稍有差异.玉米授粉后 13 d 时,淀粉积累很少,从授粉后 13 d 开始,淀粉质量分数迅速上升.玉米授粉后 34 d,陕白糯 11 号籽粒淀粉质量分数为 25.00%,辽青 92 为 8.28%.

从籽粒 TSC 和淀粉质量分数之间的关系可以看出,在授粉后 13~23 d,籽粒 TSC 质量分数增加最快,同时淀粉质量分数增加也最快;随后 TSC 质量分数和淀粉累积速率均下降.说明 TSC 作为淀粉合成的底物,其质量分数多少与淀粉累积状况密切相关.籽粒中 SUC 作为 TSC 的主要组分,其质量分数比 TSC 稍低,但变化趋势相似,因而与淀粉

累积状况之间也有类似的相关性。

由不同部位间碳水化合物的多重比较结果可知,在 5%和 1%水平下,不同部位间结果均有显著性差异,且在籽粒上测得的值最高,苞皮上测得的值最低(见表 5)。穗轴中 TSC 在授粉后 23 d 之前稍低,23 d 时达最大值,此后有所下降;SUC 在授粉后 16 d 之前质量分数较低,有可能授粉后 16 d 之前,还原糖是穗轴中碳水化合物的主要存在形式,并随着籽粒灌浆的推进呈下降趋势。穗轴中 TSC 及 SUC 质量分数在授粉后大多时间高于籽粒,说明 SUC 的累积主要发生在穗轴中,籽粒灌浆速度最快时,穗轴中 TSC 及 SUC 向籽粒的运输速率越快,穗轴与籽粒中 TSC 及 SUC 质量分数的差值越小。籽粒灌浆速率减缓的时候,也就是穗轴向籽粒运输 TSC 及 SUC 速率较慢的时候,导致穗轴和籽粒中 TSC 及 SUC 质量分数的差值增大。

表 5 不同部位间碳水化合物的多重比较

Tab. 5 The many-sided comparison of carbohydrate in different positions

部位	平均质量分数值/%	$P < 5\%$	$P < 1\%$
籽粒	4.49	a	A
穗轴	2.91	b	B
苞皮	2.31	c	C

注:字母表示处理间在该水平的差异显著性,无相同字母表示处理间差异显著。

穗轴中淀粉质量分数远低于籽粒,质量分数比较稳定。可见穗轴中的 TSC 主要向籽粒运输,在籽粒上 TSC 转化为淀粉,迅速累积起来。

不同品种苞皮中 TSC 与 SUC 质量分数呈缓慢减少趋势(见表 1)。SUC 质量分数在乳熟中期之前较低,之后与 TSC 质量分数有相似的变化趋势。所以,还原糖在乳熟中期之前质量分数较高,是苞皮中碳水化合物的主要存在形式,此变化规律与穗轴及籽粒中的变化规律相同。在授粉后 20 d 之前,苞皮中的 TSC 质量分数大于穗轴,20 d 之后小于穗轴。可见,苞皮在籽粒灌浆初期积累有大量的 TSC,为籽粒初期的迅速灌浆作出了贡献。

苞皮中淀粉质量分数远低于穗轴及籽粒,由于苞皮中的单糖及双糖并不象籽粒一样合成淀粉,而是部分合成了纤维素、木质素等。

2.2 乳熟期籽粒中可溶性酸性蔗糖转化酶活性的变化

在乳熟期,籽粒中可溶性酸性蔗糖转化酶的活性变化趋势相似,大体是前期低,中期高,后期稍低(见图 1)。

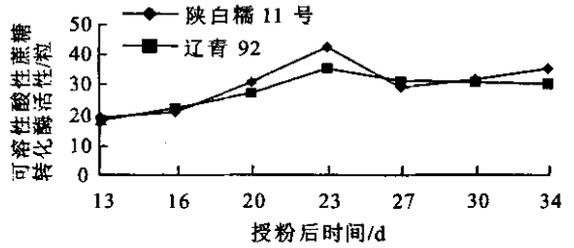


图 1 籽粒中可溶性酸性蔗糖转化酶活性的变化

Fig. 1 The change of soluble and acidic sucrose inversion enzyme's activity in kernel

表 6 不同授粉后天数间可溶性酸性蔗糖转化酶活性的多重比较

Tab. 6 The many-sided comparison of soluble and acidic sucrose inversion enzyme's activity in different days after pollinating

授粉后天数/d	平均质量分数值/%	$P < 5\%$	$P < 1\%$
23	38.58	a	A
34	32.50	b	AB
30	31.00	b	B
27	30.00	b	B
20	28.82	b	B
16	21.39	c	C
13	18.29	c	C

注:字母表示处理间在该水平的差异显著性,无相同字母表示处理间差异显著。

由不同授粉后天数间酶活性的多重比较结果可知,在五水平下,34 d,30 d,27 d 和 20 d 时的酶活性没有显著性差异,16 d 和 13 d 的酶活性没有显著性差异;在 1%水平下,23 d 时的酶活性和 34 d 时的酶活性没有显著性差异,但与其余各天数的酶活性有显著性差异,34,30,27,20 d 时的酶活性没有显著性差异,16 d 和 13 d 的酶活性没有显著性差异。随天数的不同,酶活性大小也不同,其中,在 23 d 时酶活性达到最高水平。籽粒在授粉后 18 d 之前,可溶性酸性蔗糖转化酶活性低,说明细胞分裂和扩张慢,形成的库容较小;授粉后 21~24 d 该酶活高,说明 SUC 分解及淀粉合成速率最快,干物质积累迅速,籽粒灌浆速率较快。在授粉后 25~34 d,该酶活相对较高,能促使干物质较快积累。授粉后 23 d 左右,这个时期正是籽粒扩张生长快速期和体积快速扩张期,也是籽粒细胞分裂期和灌浆期的转折点,是干物质快速积累的时期。从感官品质分析,这两品种在授粉后(23±1)d 采收适宜,即鲜食玉米的适宜采收期是籽粒中可溶性酸性蔗糖转化

酶活性出现高峰时采收.采收后,应及时加工,可采用烫漂以钝化酶的活性,防止糖向淀粉的转化.

3 讨论

籽粒中 TSC 质量分数的变化趋势是先上升后下降,鲜食玉米穗一般应在 TSC 质量分数最高时采收,这样可以保证其良好的商品质量和口感. SUC 和还原糖也有类似的变化趋势.淀粉一般在授粉后 10 d 左右开始出现,淀粉质量分数几乎是线性增加,籽粒内合成淀粉最旺盛的时期是乳熟期,即有效灌浆期^[16].本研究发现,在乳熟期苞皮、穗轴中可溶性总糖质量分数很高,但淀粉质量分数很低,是否苞皮、穗轴中的可溶性总糖向籽粒运输促进籽粒的灌浆,其运输机理及运输途径有待进一步研究.

可溶性酸性蔗糖转化酶活性测定国内只见到

北京农业大学王纪华^[15]测过,但其发表的论文中的方法写得很简单,本试验中该酶活性的测定方法是在国内、外人研究的基础上摸索出来的^[14,15],文中所写的方法比较详细和实用,这是此论文的主要亮点.

籽粒中可溶性总糖质量分数为抛物线型变化,蔗糖有相似的变化趋势,淀粉质量分数几乎呈直线增加,可溶性酸性蔗糖转化酶活性呈抛物线形变化.穗轴中蔗糖及可溶性总糖质量分数在授粉后任何时候总是高于籽粒,淀粉质量分数远低于籽粒.不同品种苞皮中 TSC 与 SUC 质量分数缓慢减少,在籽粒灌浆初期积累有大量的 TSC,为籽粒迅速灌浆作出了贡献,淀粉质量分数远低于穗轴和籽粒.鲜食玉米的适宜采收期,籽粒中 TSC、SUC 质量分数和可溶性酸性蔗糖转化酶的活性都几乎最高,玉米采收后应低温放置或及时加工,以抑制糖向淀粉的快速转化,防止鲜食玉米品质下降.

参考文献:

- [1] 李淑霞,徐占宏.甜玉米开发利用的必要性及应注意的几个问题[J].黑龙江农业科学,1994,(3):38-39.
- [2] 许越先.发展优质农产品的问题与对策[M].中国农业科技出版社,1999,(9):23-25.
- [3] 杨若明,李玉田.玉米鲜食的功效和鲜食玉米的研究开发[J].北京农业科学,1997,15(5):40-43.
- [4] 刘亚军.玉米的营养价值与人的健康[J].粮食与饲料工业,1993,(5):25-26.
- [5] 江山,胡刚,王清.甜玉米品质分析及加工[J].中国食物与营养,1996(1):26-27.
- [6] Hanft J M. Kernel abortion in maize[J]. *Plant Physiol*,1986,81, 511~515
- [7] 李杰芳.植物生理学[M].北京:北京师范大学出版社,1988.
- [8] 山东农科院玉米所,玉米生理[M].北京:农业出版社,1987.114-134.
- [9] Hanft J M, Carbohydrate concentration patterns and acid invertase activity of maize kernels induced to abort in vitro[J]. *Plant physiol*, 1986, 81,503-510.
- [10] 西北农业大学植物生理生化教研组.植物生理学实验指导[M].西安:陕西科技出版社,1987.
- [11] 上海植生学会.植物生理学实验手册[M].上海:上海科技出版社,1985.134-138.
- [12] 文树基.基础生物化学实验指导[M].西安:陕西科学技术出版社,1994.
- [13] Jack C. SHANNON. Movement of ¹⁴C-labeled assimilates into kernels of zea mays L[J]. *Plant Physiol*,1972,49,203-206.
- [14] 王纪华,王树安.玉米籽粒发育的调控研究[J].作物学报,1996,22(2):208-213.
- [15] 李新海,焦少杰.甜玉米品质的遗传改良[J].黑龙江农业科学,1996,(3),34-35.
- [16] 杨引福.速冻鲜食玉米棒加工技术[J].西部粮油科技,1999,24(6),29-30.

(责任编辑:杨勇,杨萌)