

不同鲜食玉米灌浆期子粒主要营养成分的积累动态

李水琴, 罗吉, 朱志妍, 刘海英, 谭静

(云南大学农学院, 昆明 650500)

摘要: 通过理化方法对 5 种不同类型的 14 个鲜食玉米品种在不同灌浆期子粒的营养成分进行分析, 研究不同类型鲜食玉米子粒主要营养成分的积累动态, 筛选能够指示不同类型鲜食玉米最佳采收期的客观理化指标。结果表明, 鲜食玉米灌浆期子粒的可溶性总糖、蔗糖、还原糖、蛋白质、支链淀粉、直链淀粉和含水量在不同品种间、不同灌浆期间差异极显著。随着子粒的发育, 不同类型鲜食玉米品种的可溶性总糖和蔗糖含量呈动态曲线变化, 变化趋势都是先上升后下降; 还原糖含量和含水量呈不断下降的趋势; 直链淀粉和支链淀粉含量呈不断上升的趋势; 蛋白质含量变化幅度很小, 变化趋势不明显。根据鲜食玉米营养成分与品质的关系, 提出子粒含水量结合可溶性糖含量和粗淀粉含量可分别作为甜玉米和糯玉米最佳采收期的指标。

关键词: 鲜食玉米; 营养成分; 品质; 采收期

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Dynamic of the Main Nutrient Ingredients Accumulated in Different Fresh Corn Grains During Filling Stage

LI Shui-qin, LUO Ji, ZHU Zhi-yan, LIU Hai-ying, TAN Jing

(School of Agriculture, Yunnan University, Kunming 650500, China)

Abstract: The main nutrient ingredients of grains in 14 fresh corn varieties were analyzed, and the accumulated dynamic of these ingredients during filling stage were studied, aiming to screen the physicochemical index related with optimum harvesting time for fresh corn. The fresh corn was involved in five types, that is, sweet, enhanced-sweet, super-sweet, waxy, and waxy+sweet. Many indexes of grain among filling stages and varieties showed significant difference, which included total soluble sugar content, sucrose content, reducing sugar content, protein content, amylopectin content, amylose content and moisture content. Along with grain developing, the dynamic curves of total soluble sugar content and sucrose content were similar, both increasing gradually and then decreasing gradually; the reducing sugar and moisture contents gradually decreased; the amylopectin and amylose contents gradually increased; protein content was relatively stable. According to the relationships between grain nutrient ingredients and grain quality, that moisture content together with total soluble sugar content and crude starch content in grain should be adopted as optimum harvesting index of sweet corn and waxy corn.

Key words: Fresh corn; Nutrient ingredient; Quality; Harvesting time

鲜食玉米是指乳熟期采摘鲜嫩果穗用于食用的果蔬兼用型玉米, 主要包括甜玉米、糯玉米、甜加糯

玉米以及少量的笋玉米等。作为蔬菜或水果鲜食, 鲜食玉米的品质成为衡量品种的首要标准, 其中, 食用品质和营养品质尤为重要。食用品质也称适口性或蒸煮品质, 主要体现在甜度、柔嫩度、风味等方面; 营养品质是品质的内在要求和基础, 主要包括糖分、淀粉、氨基酸、脂肪、蛋白质等营养成分, 这些成分含量的高低不仅是鲜食玉米营养全面均衡的体现, 同时有些成分含量对食用品质具有重要影响^[1~3]。不同类型的鲜食玉米受不同的基因控制, 仅甜玉米就

录用日期: 2018-05-21

基金项目: 云南省应用基础研究重点项目“利用单倍体诱导系选育创新优质鲜食玉米种质”(2015FA012)

作者简介: 李水琴(1991-), 女, 广西贵港人, 硕士, 主要研究方向为玉米种质改良与遗传育种。E-mail: tanjingli@sina.com
谭静为本文通讯作者。

已发现引起其糖分变化的隐性突变基因 *su1*、*su2*、*su1se1*、*sh1*、*sh2*、*sh4*、*bt1*、*bt2* 等十几种,这些突变基因对玉米子粒中营养成分的含量和组成的影响是不同的,从而导致不同类型鲜食玉米的品质各不相同^[4~7]。

鲜食玉米的品质除了受不同的基因控制外,适时收获对保证其品质和产量具有重要意义。鲜食玉米的食用品质随着子粒的生育进程而变化,同一品种采收期不同口感截然不同;采收太早则子粒太嫩、水分多而干物质含量少,口感差并且产量低;采收过迟则果皮变厚、子粒变老、可溶性糖下降,口感糯而不甜,食用品质下降,最佳食用品质时期就是最适宜的采收期^[8~10]。目前,鲜食玉米品种试验中采用授粉后统一天数确定各品种的采收期,表明这种方法采收的鲜食玉米并不是最佳品质,有关鲜食玉米更加准确、客观的适宜采收标准尚有待研究确定。

随着我国经济的持续发展及人民生活水平的不断提高,人们在鲜食玉米需求量急剧增加的同时,

对鲜食玉米的品质也提出了更高的要求。虽然目前我国甜玉米品种的产量、抗性已接近或超过美国甜玉米品种,但品质与世界先进水平还有很大差距,使得国产甜玉米在国内外市场上的竞争力大大降低,这严重阻碍了我国鲜食玉米产业的进一步发展^[11]。本研究通过理化方法对5种不同类型鲜食玉米品种在不同灌浆期子粒的营养成分进行分析,研究不同类型鲜食玉米子粒主要营养成分的积累动态,筛选能够充分反映品种品质特性的客观理化指标,为鲜食玉米最佳采收期标准的确定以提高我国鲜食玉米的品质提供理论参考和试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

通过市场购买云南省生产上常见的鲜食玉米品种,经过前期杂交测试确定其基因类型,选择5种不同类型,包括普甜、超甜、加强甜、糯玉米以及甜加糯共14个鲜食玉米品种,试验材料具体信息见表1。

表 1 鲜食玉米品种类型及其来源
Table 1 Types and sources of the fresh corn varieties in the study

品 种 Variety	类 型 Type	来 源 Source
超甜脆黄玉米	普甜	昆明市华龙种业有限公司
泰国晶晶乐	普甜	昆明春喜农业科技开发有限公司
双色先蜜	超甜	先正达种苗(北京)有限公司
美珍 204	超甜	北京宝丰种子有限公司
华珍	超甜	农友种苗股份有限公司
珠贝粒	加强甜	北京凤鸣雅世科技发展有限公司
甜单 10	加强甜	北京思农种业有限公司
金玉娃娃	加强甜	私人交流
渝糯 7 号	糯玉米	重庆科光种苗有限公司
云糯 3 号	糯玉米	云南田瑞种业有限公司
京科糯 2000	糯玉米	北京华奥农科玉育种开发有限责任公司
浙糯玉 5 号	甜加糯	浙江农科种业有限公司
京科糯 978	甜加糯	北京华奥农科玉育种开发有限责任公司
京科糯 928	甜加糯	北京华奥农科玉育种开发有限责任公司

1.2 试验方法

14 个鲜食玉米品种于 2016 年 5 月种植在云南省安宁市,每个品种种植 70 株,其中,50 株进行严格人工授粉用来取样作品质分析,另 20 株作测产用。为保证品种内取样果穗灌浆的一致性,每个品种于吐丝前套袋,盛花期同一天进行人工自交授粉并挂牌标记。甜玉米在授粉后 15~27 d、糯玉米在授粉后 17~29 d,每两天于同一时间(上午 8:30 左右)取 1 次样品;每个品种取 3 穗(3 次重复)用作营养品质

分析,试验期间还调查试验材料的主要农艺性状和产量性状。

取下的果穗用装有冰袋的泡沫箱立即带回室内进行处理:每穗剥取一部分中部子粒称鲜重后,先置于 105℃ 的烘箱中杀青 30 min,再于 80℃ 条件下烘干至恒重;将烘干材料磨碎并过 100 目筛,在干燥器中保存,用于测定蛋白质、直链淀粉和支链淀粉含量;另再剥取每穗中部的子粒,取其中完好的子粒用锡箔纸包好并做好标记,立即用液氮冷冻处理后放入

密闭的保鲜袋中,在-80℃冰箱保存备用,用于可溶性总糖、还原糖、蔗糖的测定。含水量通过烘干前后子粒重量直接计算,可溶性总糖采用蒽酮比色法测定,还原糖和蔗糖含量采用3,5-二硝基水杨酸法测定,蛋白质含量采用考马斯亮蓝G-250染色法测定,直链淀粉和支链淀粉含量采用双波长比色法测定。

试验获得的数据采用Excel 2007、DPS 14.5软件进行处理分析。

2 结果与分析

对14个鲜食玉米品种在7个不同灌浆期子粒的7种营养成分的检测分析结果进行方差分析。表2结果表明,营养成分可溶性总糖含量、蔗糖含量、还原糖含量、蛋白质含量、支链淀粉含量、直链淀粉含量和含水量在不同品种以及不同灌浆期之间均存在极显著的差异,因而有必要进行进一步的分析。

表2 鲜食玉米灌浆期子粒的主要营养成分的方差分析
Table 2 ANOVA of the main nutrient ingredients in fresh corn grains during filling stage

变异来源 Variation source	自由度 DF	F值 F-value						
		可溶性总糖含量 Total soluble sugar content	蔗糖含量 Sucrose content	还原糖含量 Reducing sugar content	蛋白质含量 Protein content	支链淀粉含量 Amylopectin content	直链淀粉含量 Amylose content	含水量 Moisture content
灌浆期	6	8.39**	7.35**	68.92**	2.30	39.06**	9.75**	90.25**
品 种	13	35.49**	24.38**	7.72**	451.11**	37.03**	11.62**	19.73**

注:**表示0.01水平下差异显著。下表同。
Note: ** mean significant differences at 1%. The same as below.

2.1 可溶性总糖含量的动态变化

从表3可以看出,玉米灌浆期的子粒可溶性总糖含量在不同的鲜食玉米品种以及不同的取样时间之间均存在极显著差异,其中,甜玉米的子粒可溶性总糖含量显著高于糯玉米。随着灌浆期的推迟,甜玉米的子粒可溶性总糖含量呈现先上升后下降的趋

势,但不同品种的变化速率不同,其中,普甜和加强甜玉米可溶性总糖含量的下降速率较慢,甜加糯玉米可溶性总糖含量上升快、下降也快,超甜玉米可溶性总糖含量的变化速率有快有慢。随着灌浆期的推迟,糯玉米子粒可溶性总糖含量表现持续下降,其下降的速率明显高于甜玉米。

表3 14个鲜食玉米7个取样时间子粒可溶性总糖含量的检测分析结果
Table 3 The results for total soluble sugar content of grains in 14 fresh corn varieties at seven sampling times %

取样时间(d) Sampling time	超甜脆	晶晶乐	双色 先蜜	美珍	华珍	珠贝粒	甜单10	金玉 娃娃	渝糯 7号	云糯 3号	京科糯 2000	浙糯玉 5号	京科糯 978	京科糯 928	平均值 Mean	SSR _{0.01}
15/17	19.95	17.20	21.24	19.47	25.01	15.24	17.42	24.47	13.29	12.77	12.57	19.50	19.73	16.46	18.17	C
17/19	20.77	19.20	23.32	24.36	25.66	19.34	24.39	25.27	12.02	13.18	11.25	19.47	18.38	20.59	19.80	BC
19/21	23.49	25.26	25.44	27.32	25.80	19.93	24.81	26.13	11.69	12.34	12.36	21.17	20.60	23.54	21.42	AB
21/23	26.32	26.24	27.01	27.08	23.28	24.88	27.39	27.54	12.84	11.78	10.08	22.48	21.89	26.88	22.55	A
23/25	26.23	26.23	27.05	25.34	20.15	26.79	26.93	27.13	10.80	11.71	10.73	27.48	27.83	25.29	22.83	A
25/27	25.54	25.81	25.27	21.60	24.01	21.33	27.04	25.55	10.07	10.45	10.83	24.63	24.73	25.38	21.59	AB
27/29	23.96	23.90	23.26	17.26	20.26	15.43	24.72	23.88	10.15	10.13	8.39	19.45	23.14	21.85	18.99	C
平均值	23.75	23.41	24.66	23.20	23.45	20.42	24.67	25.71	11.55	11.76	10.89	22.03	22.33	22.85	20.76	
SSR _{0.01}	AB	AB	A	AB	AB	B	A	A	C	C	C	AB	AB	AB		

2.2 蔗糖含量的动态变化

从表4可以看出,玉米灌浆期的子粒蔗糖含量在不同的鲜食玉米品种以及不同的取样时间之间均存在极显著差异,其中,甜玉米的子粒可溶性总糖含量显著高于糯玉米。随着灌浆期的推迟,不同类型

鲜食玉米的子粒蔗糖含量表现出与可溶性总糖含量相同的变化趋势,即甜玉米的子粒蔗糖含量呈现先上升后下降的趋势,糯玉米则表现持续下降。不同品种子粒蔗糖含量达到最高值的具体时间及其变化速率也与可溶性总糖含量非常接近。

表4 14个鲜食玉米7个取样时间子粒蔗糖含量的检测分析结果

Table 4 The results for sucrose content of grains in 14 fresh corn varieties at seven sampling times																%
取样时间(d)	超甜脆	晶晶乐	双色	美珍	华珍	珠贝粒	甜单10	金玉	渝糯	云糯	京科糯	浙糯玉	京科糯	京科糯	平均值	SSR _{0.01}
Sampling time			先蜜					娃娃	7号	3号	2000	5号	978	928	Mean	
15/17	9.22	10.95	14.87	12.19	16.83	9.11	11.53	13.72	9.58	9.58	9.54	10.20	10.20	11.55	11.36	B
17/19	12.49	11.22	15.98	16.03	19.13	11.06	15.03	18.64	7.45	8.80	8.44	13.63	11.17	12.53	12.97	AB
19/21	12.52	16.29	16.71	20.18	19.72	11.48	15.61	19.45	7.32	8.10	7.97	14.82	11.65	16.48	14.17	A
21/23	16.44	17.68	20.65	18.50	16.30	11.47	18.28	19.28	6.85	7.24	7.03	15.73	15.32	18.81	14.97	A
23/25	15.43	14.35	20.55	17.72	14.93	11.92	18.12	18.35	6.19	6.60	7.75	19.24	19.48	17.70	14.88	A
25/27	11.32	13.54	18.57	16.41	12.59	8.85	16.07	17.89	5.85	6.75	6.38	17.24	17.31	17.76	13.32	AB
27/29	9.01	11.11	17.16	15.36	11.18	7.32	13.56	15.17	4.29	5.99	5.88	13.62	16.20	15.29	11.51	B
平均值	12.35	13.59	17.79	16.63	15.81	10.17	15.46	17.50	6.79	7.58	7.57	14.93	14.48	15.73		
SSR _{0.01}	DE	CD	A	ABC	ABC	EF	ABCD	AB	G	FG	FG	ABCD	BCD	ABC		

2.3 还原糖含量的动态变化

从表5可以看出,玉米灌浆期的子粒还原糖含量在不同的鲜食玉米品种以及不同的取样时间之间

均存在极显著差异,其中,甜玉米的子粒还原糖含量显著高于糯玉米。随着灌浆期的推迟,不同类型鲜食玉米的子粒还原糖含量均呈现持续下降的趋势。

表5 14个鲜食玉米7个取样时间子粒还原糖含量的检测分析结果

Table 5 The results for reducing sugar content of grain in 14 fresh corn varieties at seven sampling times																%
取样时间(d) Sampling time	超甜脆	晶晶乐	双色 先蜜	美珍	华珍	珠贝粒	甜单10	金玉 娃娃	渝糯 7号	云糯 3号	京科糯 2000	浙糯玉 5号	京科糯 978	京科糯 928	平均值 Mean	SSR _{0.01}
15/17	3.76	3.84	3.47	3.53	2.47	3.06	3.84	4.04	2.81	2.98	2.92	3.23	3.70	3.39	3.36	A
17/19	3.60	3.29	3.10	3.09	2.51	3.77	3.97	3.49	2.02	1.94	2.43	2.99	3.06	2.81	3.00	B
19/21	3.10	2.17	2.04	1.87	2.42	3.00	3.15	3.14	2.04	1.73	2.04	2.41	2.30	2.61	2.43	C
21/23	2.14	2.80	2.73	2.41	2.05	2.03	3.01	3.05	1.84	1.69	1.51	2.18	2.19	1.83	2.25	C
23/25	2.22	2.09	1.95	1.99	2.08	1.75	2.13	2.66	1.64	1.66	1.50	1.57	1.64	1.98	1.92	D
25/27	1.63	1.71	1.46	1.48	1.97	1.85	2.34	2.19	1.59	1.56	1.35	1.59	1.39	1.53	1.69	DE
27/29	1.50	1.31	1.42	1.29	1.76	1.83	1.87	1.48	1.44	1.59	1.33	1.35	1.50	1.33	1.50	E
平均值	2.56	2.46	2.31	2.24	2.18	2.47	2.90	2.86	1.91	1.88	1.87	2.19	2.25	2.21		
SSR _{0.01}	AB	AB	BC	BC	BC	AB	A	A	C	C	C	BC	BC	BC		

2.4 蛋白质含量的动态变化

表6 14个鲜食玉米7个取样时间子粒蛋白质含量的检测分析结果

Table 6 The results for protein content of grains in 14 fresh corn varieties at seven sampling times																%
取样时间(d) Sampling time	超甜脆	晶晶乐	双色 先蜜	美珍	华珍	珠贝粒	甜单10	金玉 娃娃	渝糯 7号	云糯 3号	京科糯 2000	浙糯玉 5号	京科糯 978	京科糯 928	平均值 Mean	SSR _{0.01}
15/17	3.43	3.17	3.09	3.29	3.41	3.44	3.00	2.30	12.01	12.70	12.86	12.42	3.50	3.40	5.86	A
17/19	3.17	3.11	2.72	2.77	3.34	3.33	3.23	2.21	12.19	12.19	11.97	11.32	3.17	3.17	5.56	AB
19/21	3.36	3.31	2.70	2.83	2.99	3.25	3.22	2.38	11.81	11.07	11.42	12.18	3.11	3.20	5.49	AB
21/23	3.53	3.31	2.66	2.90	3.20	3.37	3.38	2.92	11.03	10.65	10.52	11.47	2.86	2.86	5.33	AB
23/25	3.97	3.98	2.72	2.57	3.26	3.13	3.65	2.72	10.50	10.52	10.64	11.16	2.66	2.55	5.29	B
25/27	4.31	3.91	2.63	2.55	3.46	3.27	3.89	3.14	10.60	10.83	10.29	11.39	2.43	2.56	5.37	AB
27/29	4.42	3.43	2.94	2.68	3.55	3.30	3.72	2.92	9.91	11.27	10.94	11.35	2.39	2.57	5.39	AB
平均值	3.74	3.46	2.78	2.80	3.32	3.30	3.44	2.66	11.15	11.32	11.23	11.61	2.87	2.90		
SSR _{0.01}	B	BC	CD	CD	BCD	BCD	BC	B	A	A	A	A	CD	CD		

从表6可看出,玉米灌浆期的子粒蛋白质含量在不同的鲜食玉米品种之间存在极显著差异,其中,糯玉米的子粒蛋白质含量显著高于甜玉米。不同的取样时间之间子粒蛋白质含量的差异较小,趋势不明显。

2.5 支链淀粉含量的动态变化

从表7可以看出,玉米灌浆期的子粒支链淀粉

含量在不同的鲜食玉米品种以及不同的取样时间之间均存在极显著差异,其中,糯玉米的子粒支链淀粉含量显著高于甜玉米。随着灌浆期的推迟,不同类型鲜食玉米的子粒支链淀粉含量均呈现持续增加的趋势,其中,支链淀粉含量的增加速率是糯玉米>甜加糯玉米>超甜玉米>普甜和加强甜玉米。

表7 14个鲜食玉米7个取样时间子粒支链淀粉含量的检测分析结果

Table 7 The results for amylopectin content of grains in 14 fresh corn varieties at seven sampling times %

取样时间(d) Sampling time	超甜脆	晶晶乐	双色 先蜜	美珍	华珍	珠贝粒	甜单10	金玉 娃娃	渝糯 7号	云糯 3号	京科糯 2000	浙糯玉 5号	京科糯 978	京科糯 928	平均值 Mean	SSR _{0.01}
15/17	1.29	1.10	0.27	3.16	1.80	1.07	0.84	0.79	17.98	9.04	16.84	1.35	0.98	0.25	4.05	E
17/19	1.26	2.16	3.56	5.45	3.26	1.38	1.56	0.88	25.43	18.93	27.03	5.99	3.13	12.20	8.02	E
19/21	2.93	6.65	13.82	16.73	7.95	1.58	1.63	1.34	37.86	34.89	40.28	15.45	18.35	21.05	15.75	D
21/23	4.74	10.23	21.32	14.99	15.63	3.36	5.18	4.67	42.94	39.68	54.07	20.54	28.12	27.99	20.96	CD
23/25	8.22	13.30	19.37	13.60	18.92	6.59	7.19	6.39	48.99	40.80	51.47	27.01	32.40	36.93	23.65	BC
25/27	8.61	13.86	23.44	26.08	20.73	8.83	11.22	7.23	61.46	45.63	49.87	31.34	37.38	44.33	27.86	AB
27/29	8.51	17.00	23.15	24.48	22.66	10.57	11.49	8.83	65.20	53.30	57.03	31.55	42.25	47.12	30.22	A
平均值	5.08	9.19	14.99	14.92	12.99	4.77	5.59	4.30	42.84	34.61	42.37	19.03	23.23	27.12		
SSR _{0.01}	G	FG	DEF	DEF	EFG	G	G	G	A	AB	A	CDE	CD	BC		

2.6 直链淀粉含量的动态变化

从表8可以看出,玉米灌浆期的子粒直链淀粉含量在不同的鲜食玉米品种以及不同的取样时间之间均存在极显著差异,其中,糯玉米的子粒直链淀粉含量显著高于甜玉米。随着灌浆期的推迟,不同类

型鲜食玉米的子粒直链淀粉含量均呈现持续增加的趋势,其中,糯玉米的子粒直链淀粉含量的增加速率最快,其次是甜加糯玉米,其他类型甜玉米的子粒直链淀粉含量的增加速率最慢。

表8 14个鲜食玉米7个取样时间子粒直链淀粉含量的检测分析结果

Table 8 The results for amylose content of grains in 14 fresh corn varieties at seven sampling times %

取样时间(d) Sampling time	超甜脆	晶晶乐	双色 先蜜	美珍	华珍	珠贝粒	甜单10	金玉 娃娃	渝糯 7号	云糯 3号	京科糯 2000	浙糯玉 5号	京科糯 978	京科糯 928	平均值 Mean	SSR _{0.01}
15/17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	D
17/19	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	0.28	1.03	0.00	0.00	0.00	0.19	D
19/21	0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.62	2.59	3.15	0.00	0.39	0.00	0.78	CD
21/23	0.00	1.58	0.15	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	4.37	3.22	5.31	0.57	1.66	0.71	1.26	BCD
23/25	0.00	1.19	0.15	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	6.33	3.49	5.93	1.60	2.33	1.84	1.69	ABC
25/27	0.00	2.19	0.68	0.91	1.05	0.00	0.00	0.00	10.29	4.51	5.25	1.91	2.97	3.24	2.36	AB
27/29	0.00	2.65	1.01	0.59	1.59	0.00	0.00	0.00	10.54	5.98	6.10	2.00	4.13	3.79	2.74	A
平均值	0.00	1.29	0.28	0.21	0.51	0.00	0.00	0.00	5.18	2.87	3.82	0.87	1.64	1.37		
SSR _{0.01}	D	CD	D	D	D	D	D	D	A	BC	AB	D	CD	CD		

2.7 含水量的动态变化

从表9可以看出,玉米灌浆期的子粒含水量在不同的鲜食玉米品种以及不同的取样时间之间均存在极显著差异,其中,甜玉米的子粒含水量显著高于

糯玉米。随着灌浆期的推迟,不同类型鲜食玉米的子粒含水量均呈现持续下降的趋势,其中,糯玉米子粒含水量的下降速率明显快于甜玉米。

表9 14个鲜食玉米7个取样时间子粒含水量的检测分析结果

Table 9 The results for moisture content of grains in 14 fresh corn varieties at seven sampling times %

取样时间(d) Sampling time	超甜脆	晶晶乐	双色 先蜜	美珍	华珍	珠贝粒	甜单10	金玉 娃娃	渝糯 7号	云糯 3号	京科糯 2000	浙糯玉 5号	京科糯 978	京科糯 928	平均值 Mean	SSR _{0.01}
15/17	77.25	74.63	76.98	77.25	74.33	79.31	77.13	76.35	73.25	75.25	75.50	76.88	77.48	76.88	76.32	A
17/19	75.63	76.69	75.25	75.00	74.92	77.25	74.50	76.75	70.00	72.13	71.38	76.13	75.75	75.38	74.77	A
19/21	73.59	73.31	73.53	73.50	74.1%	76.25	74.13	71.63	66.83	67.64	67.14	72.38	73.38	71.81	72.08	B
21/23	71.50	71.84	70.88	70.88	72.09	74.96	70.85	69.63	61.62	65.93	64.20	70.50	69.13	70.50	69.61	C
23/25	70.77	67.73	70.13	68.81	70.47	73.14	69.27	68.13	59.28	60.60	61.93	67.99	66.75	67.92	67.35	D
25/27	65.22	68.95	68.76	66.90	69.76	70.85	67.88	65.76	63.38	53.26	57.90	65.97	64.13	65.52	65.30	E
27/29	65.23	66.26	67.17	67.50	67.92	69.95	66.35	67.02	54.81	56.99	55.82	63.74	62.42	63.41	63.90	E
平均值	71.31	71.34	71.82	71.40	71.93	74.53	71.44	70.75	64.17	64.54	64.84	70.51	69.86	70.20		
SSR _{0.01}	B	B	AB	B	AB	A	B	B	C	C	C	B	B	B		

2.8 不同营养成分之间的相关关系

从表10可以看出,不同类型鲜食玉米的子粒含水量与还原糖含量、可溶性总糖含量与蔗糖含量、直链淀粉含量与支链淀粉含量之间呈极显著正相关,含水量与直链淀粉和支链淀粉含量、蛋白质含量与可溶性总糖和蔗糖含量、还原糖含量与支链淀粉含量之间呈极显著负相关。

表10 鲜食玉米灌浆期子粒的主要营养成分的相关分析

Table 10 Correlation analysis of the main nutrient ingredients in fresh corn grains at filling stage

项 目 Item	含水量 Moisture content	可溶性总糖含量 Total soluble sugar content	还原糖含量 Reducing sugar content	蔗糖含量 Sucrose content	蛋白质含量 Protein content	直链淀粉含量 Amylose content
可溶性总糖	0.348 2**					
还原糖	0.786 3**	0.124 6				
蔗糖	0.298 9**	0.883 3**	0.099 2			
蛋白质	-0.379 7**	-0.725 3**	-0.253 0*	-0.609 5**		
直链淀粉	-0.782 9**	-0.585 9**	-0.536 9**	-0.511 8**	0.479 8**	
支链淀粉	-0.846 6**	-0.544 8**	-0.713 9**	-0.388 5**	0.526 9**	0.893 0**

3 结论与讨论

3.1 鲜食玉米营养成分的积累动态

本研究中不同类型鲜食玉米品种的可溶性总糖含量以及出现最大值的时期有所差异,但可溶性总糖含量的变化趋势基本一致,都是先上升后下降。随着子粒不断发育,光合作用产物不断形成和积累,灌浆前期可溶性总糖含量不断上升;乳熟期胚乳发育开始贮藏大量营养物质,而可溶性总糖是甜玉米的主要营养物质,乳熟期可溶性总糖含量是最高的;随着成熟度的不断提高,可溶性总糖逐渐转化为淀粉贮存于种子,可溶性总糖含量又呈下降趋势^[12~15]。蔗糖是甜玉米可溶性总糖的主要成分,其含量与可溶性总糖含量呈极显著高度正相关,其积累过程与可溶性总糖一致,随着子粒的发育呈现先上升后下

降的趋势;还原糖含量在灌浆初期较高,随后呈下降趋势^[16~19]。不同类型鲜食玉米子粒的直链淀粉含量与支链淀粉含量之间呈极显著高度正相关,两者呈现一致的变化趋势,都是随着子粒的发育含量持续增加^[20~22]。本研究中甜加糯玉米没有检测到直链淀粉,普甜玉米和超甜玉米中虽然检测到直链淀粉,但含量甚微而且变化很小,这可能与不同品种、种植环境和检测方法有关。前期研究认为^[23~25],蛋白质在甜玉米子粒中的积累动态呈“高一低一高”的变化趋势,灌浆初期子粒蛋白质含量最高;随着子粒的发育、贮藏物质主要是可溶性糖逐渐增多,蛋白质含量相对降低;之后随着子粒成熟度的提高,一些低分子化合物转化为大分子化合物,蛋白质含量又有所增加。糯玉米灌浆期子粒蛋白质含量的变化趋势是灌

浆初期较高、随子粒灌浆进程逐步下降,下降速率初期较快,中后期下降逐渐变慢。本研究中不同灌浆期蛋白质含量的变化幅度很小,蛋白质含量的变化趋势并不明显;而且甜玉米和甜加糯玉米的蛋白质含量普遍较低,这可能与不同品种、种植环境和检测方法有关。

前期研究表明,鲜食玉米的含水量随着授粉天数的延迟而呈不断下降的趋势^[26,27]。种皮结构、温度、湿度等因素共同决定子粒的脱水速度,因此不同类型的鲜食玉米脱水速度不同,总体上糯玉米的脱水率要比甜玉米的快。

3.2 鲜食玉米营养成分与品质和采收期的关系

鲜食玉米子粒中各种营养成分的含量是品质评价的重要方面,也是食用品质的主要影响因素,如甜玉米的甜度主要与子粒中糖分含量及其组成有关,而糯玉米的糯性主要是由于子粒中高支链淀粉含量造成的。研究鲜食玉米子粒营养成分的积累动态,对于理解鲜食玉米食用品质的变化规律以及最佳采收期的确定具有一定的指导意义。

前期大量的研究表明^[28-30],甜玉米的食用口感与甜度呈极显著正相关,而甜度评分与可溶性总糖含量、蔗糖含量呈显著或极显著正相关、与还原糖含量相关不显著;而且鲜食玉米子粒中的可溶性总糖、蔗糖和还原糖含量是随着子粒的发育呈动态变化,因此要在可溶性总糖和蔗糖含量达到最高时采收才能保证最好的口感。本研究中虽然不同品种子粒可溶性总糖和蔗糖含量达到最高值的具体时间略有不同,但普遍集中在授粉后21~23 d,同时,由于不同品种子粒可溶性总糖含量的变化速率不同,不同品种采收期的期限长短不同,其中,加强甜玉米由于可溶性总糖含量的下降速率较慢,保持较高可溶性总糖含量的适宜采收期相对较长,一般为授粉后21~25 d甚至延长至27 d子粒的可溶性总糖含量仍在23%以上;而甜加糯玉米可溶性总糖含量上升快、下降也快,因此,适宜的采收期较短,这与大多数同类品种的表现一致。本研究中普甜玉米可溶性总糖含量的下降速率较慢、超甜玉米可溶性总糖含量的变化速率有快有慢,这与大多数同类品种的表现不一致,这可能与研究采用的品种不同有关。

前期的研究还表明,甜玉米的食用品质还与含水量呈极显著正相关,熟期一致的子粒含水量高则较爽脆、口感较好,因此,要改善甜玉米的食用品质除了要提高子粒甜度、还不能忽视子粒的含水量。前期研究认为,最适采收期的子粒含水量甜玉米为70%、糯玉米为60%左右^[31,32]。以此为标准,本研究

大部分甜玉米的最适采收期在21~23 d、糯玉米在授粉后23~25 d,这与最适采收期可溶性总糖和蔗糖含量最高的时间吻合。

蛋白质对食用品质也有重要的影响。前期研究表明,糯玉米的品质与支链淀粉的状态及中间成分、非淀粉成分的含量密切相关,正是由于这些差异导致了不同糯玉米之间淀粉糊化性质的差异和食用品质的差异^[34]。糯玉米最佳品质时品尝评分与子粒粗淀粉含量极显著正相关、与子粒可溶性糖含量关系不密切、与支链淀粉占总淀粉比例的相关性在不同生态区表现不一致。

对鲜食玉米适时收获是保证其品质和产量的关键环节,迄今已报道的采收期确定方法主要有测定子粒含水量、计算吐丝天数、授粉后天数以及有效积温等^[35-37]。目前,鲜食玉米品种试验中采用授粉后统一天数确定各品种的采收期,然后依据蒸煮品尝评分对食用品质进行评价。大量的试验结果表明,按授粉后统一天数采收的鲜食玉米品质并不是最佳,而且品尝评分的影响因素较多,具体指标难把握,已严重影响品种品质准确客观的评价。本研究认为,子粒含水量结合可溶性糖含量和粗淀粉含量可作为甜玉米和糯玉米最佳采收期的指标,但能否作为鲜食玉米适宜采收和品质评价的统一标准及其准确性和适用性还有待进一步的研究验证。

参考文献:

- [1] 李惠生,董树亭,高荣岐.鲜食玉米品质特性研究概述[J].玉米科学,2007,15(2):144-146.
Li H S, Dong S T, Gao R Q. Research on quality characteristic of fresh corn[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(2): 144-146. (in Chinese)
- [2] 史振声,张喜华.鲜食型玉米育种目标和品种标准的探讨[J].玉米科学,2002,10(4):16-18.
Shi Z S, Zhang X H. Study on breeding goal and variety standard of fresh-eating corn[J]. Journal of Maize Sciences, 2002, 10(4): 16-18. (in Chinese)
- [3] 魏俊杰.甜玉米的品质性状及育种对策[J].现代园艺,2012(8):55.
Wei J J. Quality traits and breeding strategy of sweet corn[J]. Xian-dai Horticulture, 2012(8): 55. (in Chinese)
- [4] 王洲飞,胡晋.甜玉米子粒主要营养品质研究现状与展望[J].种子,2004,23(11):48-50.
Wang Z F, Hu J. Research status and prospect for main quality traits in grain of sweet corn[J]. Seed, 2004, 23(11): 48-50. (in Chinese)
- [5] Garwood D L, Mcardle F J, Vanderslice S F, et al. Postharvest carbohydrate transformations and processed quality of high sugar maize genotypes[J]. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1976, 101(4): 400-404.
- [6] Rowe D E, Garwood D L. Effects of four maize endosperm mutants

- on kernel vigor[J]. Crop Sci., 1978, 18: 709-712.
- [7] Wann E V. Factors associated with seed quality and seedling vigor in high-sugar sweet corn genotypes[J]. Hortscience, 1986, 21(4): 942.
 - [8] 黄玉碧, 荣廷昭. 我国糯玉米种质资源的遗传多样性和起源进化[J]. 作物杂志, 1998(增刊): 77-80.
Huang Y B, Rong T Z. The genetic diversity and origin & evolution of chinese waxy corn germplasm[J]. Crops, 1998(S): 77-80. (in Chinese)
 - [9] 汤国民, 龙丽萍, 夏德君, 等. 糯玉米杂交种选育指标的研究[J]. 中国农学通报, 2003, 19(1): 33-35.
Tang G M, Long L P, Xia D J, et al. Studies on selecting indicators of glutinous maize hybrid[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2003, 19(1): 33-35. (in Chinese)
 - [10] 禹玉华, 梁承邓, 段俊, 等. 外引超甜玉米品种试种初报[J]. 广东农业科学, 2001(2): 20-22.
Yu Y H, Liang C Y, Duan J, et al. A Preliminary report on introduction and trial-planting of sweet corn[J]. Guangdong Agricultural Science, 2001(2): 20-22. (in Chinese)
 - [11] 李小琴, 吴景强, 叶翠玉, 等. 我国甜玉米育种概况及面临的挑战[J]. 作物杂志, 2002(5): 45-46.
Li X Q, Wu J Q, Ye C Y, et al. General breeding situation and challenges for sweet corn in China[J]. Crops, 2002(5): 45-46. (in Chinese)
 - [12] 陈骁熠, 李建生. 甜玉米乳熟期营养成分变化规律的研究[J]. 食品研究与开发, 2000, 21(4): 28-33.
Chen R Y, Li J S. Study on changing regulation of nutrient composition during filling stage of sweet corn[J]. Food Research and Development, 2000, 21(4): 28-33. (in Chinese)
 - [13] 齐建双, 铁双贵, 孙建军, 等. 采收时期对鲜食糯玉米品质和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(17): 41-43.
Qi J S, Tie S G, Sun J J, et al. Effect of harvesting time to yield and quality of fresh-eating waxy corn[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(17): 41-43. (in Chinese)
 - [14] 张雅君, 曾慕衡, 梁佳勇. 鲜食糯玉米不同发育时期的品质分析[J]. 农业与技术, 2008, 28(4): 41-42.
Zhang Y J, Zeng M H, Liang J Y. Analysis of quality during different developmental stages of fresh waxy corn[J]. Agriculture and Technology, 2008, 28(4): 41-42. (in Chinese)
 - [15] 赵健, 罗艳, 王永宏, 等. 影响糯玉米鲜食品质的因素研究[J]. 宁夏农林科技, 2012, 53(12): 1-3.
Zhao J, Luo Y, Wang Y H, et al. A Study of factors affecting edible quality of waxy corn[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2012, 53(12): 1-3. (in Chinese)
 - [16] 程新奇, 王文龙, 罗永兰, 等. 甜玉米子粒发育糖分积累差异的研究[J]. 常德师范学院学报(自然科学版), 2002, 14(4): 70-72.
Cheng X Q, Wang W L, Luo Y L, et al. Preliminary studies on sugar accumulation differences in different types of sweet corn[J]. Journal of Changde Teachers University(Natural Science Edition), 2002, 14(4): 70-72. (in Chinese)
 - [17] 乐素菊, 王晓明, 张璧, 等. 果蔬型糯玉米与普通玉米乳熟期子粒碳水化合物含量及果皮厚度研究[J]. 广东农业科学, 2004(6): 40-42.
Yue S J, Wang X M, Zhang B, et al. Study on carbohydrate content and pericarp thickness of waxy and normal corn[J]. Agricultural Science in Guangdong, 2004(6): 40-42. (in Chinese)
 - [18] 刘萍. 中国鲜食甜、糯玉米品种试验产量与品质评价体系的建立[D]. 扬州大学, 2007.
 - [19] 甄畅迪, 杨泉女, 陈文胜, 等. 超甜玉米不同采收期主要品质性状变化规律研究[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2009, 27(1): 6-9.
Zhen C D, Yang Q N, Chen W S, et al. Study on change of the main quality characters of super sweet corn in different harvest times[J]. Journal of Foshan University(Natural Science Edition), 2009, 27(1): 6-9. (in Chinese)
 - [20] 陈江, 王燕, 黄斌全, 等. 不同类型玉米子粒淀粉积累、相关酶活及基因表达差异分析[J]. 核农学报, 2012, 26(2): 217-230.
Chen J, Wang Y, Huang B Q, et al. Analysis of starch accumulation, corresponding enzyme activity and gene expression among different types of corns[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26(2): 217-230. (in Chinese)
 - [21] 刘萍, 王从亮, 王风格, 等. 糯玉米不同品种的果穗增重与子粒灌浆特征[J]. 作物学报, 2006, 32(10): 1589-1591.
Liu P, Wang C L, Wang F G, et al. Ear growth and grain filling characteristics of different cultivars in waxy maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(10): 1589-1591. (in Chinese)
 - [22] 张海艳. 不同类型玉米子粒的营养品质及其与子粒质地的关系[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(1): 19-22.
Zhang H Y. Nutrient qualities of kernels in different types of maize and its relationship with kernel texture[J]. Plant Physiology Communications, 2009, 45(1): 19-22. (in Chinese)
 - [23] 白玉璋. 甜玉米子粒营养成分的动态变化[J]. 吉林农业科学, 1988(3): 8-11.
Bai Y Z. The Variation of the nutritional component in the seed of sweet corn[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1988(3): 8-11. (in Chinese)
 - [24] 王玉兰. 速冻保鲜甜玉米的营养品质分析[J]. 玉米科学, 1994, 2(2): 74-76.
Wang Y L. Nutrition analysis of the fresh-keeping sweetcorn in fast-freezing storage[J]. Journal of Maize Sciences, 1994, 2(2): 74-76. (in Chinese)
 - [25] 张全德, 季吟秋. 甜单3号甜玉米不同留叶数与鲜果穗产量关系的研究[J]. 浙江农业科学, 1990(4): 159-161.
Zhang Q D, Ji Y Q. Study on relation between number of leaves and fresh ear yield of sweet corn tiandan No.3[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 1990(4): 159-161. (in Chinese)
 - [26] 陈永欣, 翟广谦. 甜糯玉米采收与保鲜技术研究[J]. 华北农学报, 2001, 16(4): 87-91.
Chen Y X, Zhai G Q. Studies on the techniques of optimum-harvesting and Fresh-keeping of sweet and waxy maize[J]. Acta Agriculturae Boreall-sinica, 2001, 16(4): 87-91. (in Chinese)
 - [27] 刘春菊, 卓成龙, 陈伟, 等. 鲜食糯玉米农艺性状和品质的关系及适采期研究[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(11): 82-85.
Liu C J, Zuo C L, Chen W, et al. Study on harvesting time and relation between agronomy traits and quality of fresh waxy corn[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(11): 82-85. (in Chinese)

- [28] 黄炳生, 张志高. 利用回交转育的方法选育甜玉米杂交种[J]. 中国农学通报, 1993, 9(1): 31-33.
- Huang B S, Zhang Z G. Develop Sweet Hybrids by Backcrossing[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 1993, 9(1): 31-33. (in Chinese)
- [29] 王立秋. *su₁*型甜玉米杂种优势分析[J]. 玉米科学, 1997, 5(1): 27-29.
- Wang L Q. Heterosis analysis of *su₁* sweet corn[J]. Journal of Maize Sciences, 1997, 5(1): 27-29. (in Chinese)
- [30] 郑洪建, 顾卫红, 张 燕. 甜玉米研究现状及发展[J]. 上海蔬菜, 2001(2): 12, 42.
- Zheng H J, Gu W H, Zhang Y. Research status and development of sweet corn[J]. Shanghai Vegetables, 2001(2): 12, 42. (in Chinese)
- [31] 宋连启, 杜 红, 李铁庄, 等. 甜玉米子粒发育规律的研究[J]. 河南农业科学, 1997(9): 4-5.
- Song L Q, Du H, Li T Z, et al. Study on developing regulation of sweet corn 's grain[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 1997 (9): 4-5. (in Chinese)
- [32] 孙月轩, 姜先梅, 张作木, 等. 夏玉米灌浆与温度、子粒含水率关系的初步探讨[J]. 玉米科学, 1994, 2(1): 54-57.
- Sun Y X, Jiang X M, Zhang Z M, et al. Research on development dynamics and water content of rice seeds[J]. Journal of Maize Sciences, 1994, 2(1): 54-57. (in Chinese)
- [33] 常大军, 张亚田, 刘晓广, 等. 糯玉米果皮厚度遗传变异初探[J]. 现代化农业, 1996(2): 16-18.
- Chang D J, Zhang Y T, Liu X G, et al. Preliminary research on genetic variety of pericarp thickness for waxy corn[J]. Modernizing Agriculture, 1996(2): 16-18. (in Chinese)
- [34] 刘 萍, 陆卫平, 陆大雷. 鲜食糯玉米品质差异及适宜采收指标的研究[J]. 玉米科学, 2009, 17(6): 5-8.
- Liu P, Lu W P, Lu D L. Study on quality differences and index for the optimum harvest stage in fresh waxy corn[J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(6): 5-8. (in Chinese)
- [35] 栾春荣, 鞠章网, 丁 慧, 等. 鲜食糯玉米适宜采收期与有效积温的关系研究[J]. 江苏农业学报, 2004(2): 22-24.
- Luan C R, Ju Z W, Ding H, et al. Study on relation between harvesting time and effective accumulated temperature of fresh waxy corn [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2004(2): 22-24. (in Chinese)
- [36] 辛德财. 鲜食糯玉米新组合评价指标体系的研究[D]. 天津农学院, 2010.
- [37] 宋朝玉, 朱丕生, 刘树堂, 等. 子粒含水量与鲜食糯玉米适宜采收期关系的研究[J]. 山东农业科学, 2014, 46(11): 43-45.
- Song C Y, Zhu P S, Liu S T, et al. Study on relationship between seed water content and optimum harvest period of fresh waxy maize [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2014, 46(11): 43-45. (in Chinese)

(责任编辑: 朴红梅)