

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2011.00331

普通、甜、糯玉米果穗不同部位籽粒淀粉理化特性和颗粒分布差异

陆大雷 郭换粉 董 策 陆卫平*

扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室 / 农业部长江中下游作物生理生态与栽培重点开放实验室, 江苏扬州 225009

摘 要: 以普通玉米、甜玉米和糯玉米为材料, 研究了淀粉糊化特性、热力学特性和颗粒分布等在果穗不同部位(基部、中部和顶部)间的变异情况。结果表明, 甜玉米淀粉糊化特征值各项指标均为顶部籽粒较高; 普通玉米淀粉峰值黏度和崩解值亦为顶部籽粒较高, 回复值在各部位间无显著差异。糯玉米淀粉崩解值为顶部籽粒最高, 峰值黏度和回复值在各部位间相对稳定。甜玉米淀粉转变温度(起始温度、峰值温度和终值温度)均为基部籽粒较高, 而普通玉米在各部位间差异较小, 糯玉米以中部籽粒较高, 热焓值在3个类型玉米各部位间变化不一。淀粉颗粒体积均呈双峰分布, >17 μm 的体积比例以顶部籽粒最低, 中部籽粒最高, <17 μm 的体积比例以顶部籽粒最高, 中部籽粒最低。碘结合力在糯玉米不同部位间差异较小, 而甜玉米和普通玉米以顶部籽粒最低。相关分析表明, 淀粉颗粒体积分布和碘结合力等指标与糊化和热力学特征值存在一定的相关关系, 表明果穗不同部位淀粉糊化和热力学特性的差异主要由颗粒分布及淀粉链长分布变化所致。

关键词: 玉米淀粉; 糊化特性; 热力学特性; 果穗部位; 粒度分布; 碘结合力

Starch Physicochemical Characteristics and Granule Size Distribution at Apical, Middle and Basal Ear Positions in Normal, Sweet, and Waxy Maize

LU Da-Lei, GUO Huan-Fen, DONG Ce, and LU Wei-Ping*

Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University / Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Yangzhou 225009, China

Abstract: The starch physicochemical characteristics and granule size distribution at different ear positions (apical, middle, and basal) were studied using normal, sweet, and waxy maize. The results indicated that values of viscosity characteristics for sweet maize starch were higher at apical position. Normal maize starch peak viscosity (PV) and breakdown (BD) were higher at apical position; while setback (SB) was similar for three positions. Waxy maize starch presented the highest BD at apical position; while PV and SB were similar for three positions. The transition temperature (onset-, peak-, and conclusion temperatures) was higher at basal position for sweet maize, similar among three positions for normal maize, and higher at middle position for waxy maize. The change tendency for the enthalpy of gelatinization among three ear positions was different for three types of maize. Starch granule volume distribution frequency showed a typical two-peak curve. The percentage for starch granule diameter higher than 17 μm was the lowest at apical position and the highest at middle position. Iodine binding capacity was similar among three positions for waxy maize, whereas it was the lowest at apical position for sweet and normal maize. Correlations of starch granule volume distribution and iodine binding capacity with pasting and thermal characteristics indicated that the differences for pasting and thermal characteristics among different ear positions were resulted from the differences for starch granule size distribution and chain-length.

Keywords: Maize starch; Pasting property; Thermal property; Ear position; Granule size distribution; Iodine binding capacity

玉米淀粉占据了世界淀粉市场 80%左右的份额^[1]。不同来源玉米淀粉的理化特性有显著差异^[2-3]。

本研究由国家自然科学基金项目(30971731, 31000684), 江苏省作物栽培生理重点实验室开放课题(02738800372)和扬州大学博士启动基金(2009087)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 陆卫平, E-mail: wplu@yzu.edu.cn, Tel: 0514-87979377

第一作者联系方式: E-mail: ludalei0691@sina.com

Received(收稿日期): 2010-03-12; Accepted(接受日期): 2010-05-29.

即使在同一果穗上,由于不同部位籽粒灌浆结实速率以及酶活性等因素的不同^[4-7],导致其最终粒重和品质有显著差异。Ferguson 等^[8]研究发现,高直链玉米淀粉中,籽粒的直链淀粉含量从果穗基部到顶部呈逐渐降低趋势, Jellum 等^[9]研究发现,玉米籽粒中,棕榈酸、亚油酸含量从果穗基部到顶部逐渐升高,油酸含量逐渐降低,但硬脂酸和亚麻酸含量相对稳定,且不同品种间存在差异。然而,这些研究主要集中在籽粒营养成分,对玉米果穗不同部位淀粉理化特性尚缺乏相应研究。

不同类型玉米淀粉中,普通玉米直链淀粉含量约在 25% 左右,糯玉米淀粉由于 *wx* 基因突变而仅含支链淀粉,甜玉米淀粉由于 *su* 和 *sh* 等基因突变而影响了糖向淀粉的转变,造成糖含量较高而淀粉含量较低,普通玉米、糯玉米和甜玉米是目前利用最广泛的 3 个玉米类型^[2-3]。本文研究了这三类玉米果穗不同部位籽粒淀粉理化特性的差异,并从淀粉颗粒分布和链长分布层面分析了差异的原因,以期为玉米淀粉的改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料和栽培概况

2009 年于扬州大学实验农牧场种植普通玉米浚单 20、甜玉米扬甜 2 号、糯玉米苏玉糯 5 号。土质为沙壤土,地力中等。土壤含有机质 14.30 g kg^{-1} 、全氮 1.01 g kg^{-1} 、速效氮 96.50 mg kg^{-1} 、速效磷 9.56 mg kg^{-1} 、速效钾 97.35 mg kg^{-1} 。采用盘育乳苗移栽方法,单因素随机区组设计,7 月 15 日播种,7 月 21 日移栽,10 月 15 日收获;基肥施纯氮 75 kg hm^{-2} 、 P_2O_5 65 kg hm^{-2} 和 K_2O 70 kg hm^{-2} ,拔节期追氮 150 kg hm^{-2} ,2 次重复,小区面积 24 m^2 ,密度为 52 500 株 hm^{-2} ,其他管理措施统一按常规要求实施。

每个处理成熟期连续收获 15 个果穗,晒干后按 Ou-Lee 等^[4]的方法略作修改划分果穗部位,即将穗分成基部、顶部和中部 3 段,各占穗的 20%、20% 和 60% 左右。

1.2 测定项目与方法

参照 Sandhu 等^[10]的方法并稍加改进分离淀粉。称取 100 g 籽粒,经纯净水洗净放入 500 mL 的广口瓶,加 500 mL 纯净水,浸泡 48 h ,中间换水 1 次,然后用磨浆机粉碎并过 100 目筛,将浆液倒入 500 mL 广口瓶静置 2 h ,再将沉淀部分转入 50 mL 离心管, $3 \text{ 000} \times \text{g}$ 离心 10 min 后用称样勺去除上部蛋白等杂

质,重复 4 次,得到淀粉。

参照 Chang 等^[11]方法测定糊化特性。

参照本课题组已报道的方法^[12]测定热力学特性。

按本课题组前期已报道的方法^[13]分离淀粉后,用英国马尔文公司的 Malvern Mastersizer 2000 激光衍射粒度分析仪参照 Massaux 等^[14]方法分析颗粒分布,参照 Ji 等^[15]的方法进行分级。

参照 Chang 等^[16]的方法并加以改进测定碘结合力、蓝值和最大吸收波长。准确称取 0.08 g 样品,加 9 mL DMSO 和 1 mL 6 mol L^{-1} 尿素,沸水浴震荡 1 h ,待冷却后吸取 0.1 mL 溶液,加 9.7 mL 去离子水和 0.2 mL 碘试剂(2% KI 和 0.2% I_2),迅速混匀后静置 15 min ,用紫外-可见分光光度计(PE Lambda 12, Perkin Elmer, USA and Germany)于 $700\sim 500 \text{ nm}$ 扫描吸收光谱,以不加样品的空白作对照。蓝值为 635 nm 处的吸光值,最大吸收波长为最大吸光值处的波长,碘结合力为 635 nm 和 520 nm 处的吸光值之比。

1.3 数据分析

采用 DPS 7.05 软件进行统计及相关分析,采用 LSD 法测验显著性,采用 Microsoft Excel 2003 作 RVA 谱。

2 结果与分析

2.1 淀粉的糊化特性

从图 1 可知,甜、糯和普通玉米果穗不同部位籽粒淀粉 RVA 谱有显著差异。从表 1 可以看出,甜玉米淀粉的糊化特征值各项指标均为顶部较高,中部和基部无显著差异。普通玉米淀粉的峰值黏度、谷值黏度、崩解值和终值黏度 4 项指标在果穗不同部位间的变化趋势和甜玉米相似,糊化温度变化趋势和甜玉米淀粉相反,回复值和峰值时间在果穗各部位间无显著差异。糯玉米淀粉的峰值黏度、终值黏度、回复值、峰值时间和糊化温度在果穗各部位间无显著差异,谷值黏度和崩解值在中部和基部间无显著差异,但前者低于顶部,而后者高于顶部(图 1 和表 1)。比较不同类型玉米均值,淀粉峰值黏度和崩解值以糯玉米最高,甜玉米最低;淀粉谷值黏度和峰值时间以糯玉米最高,普通玉米最低;淀粉终值黏度和回复值以甜玉米最高,糯玉米最低;淀粉糊化温度在甜玉米和糯玉米间无显著差异,但均高于普通玉米。

2.2 淀粉的胶凝特性

从表 2 可知,淀粉 DSC 胶凝特征值在果穗不同

表 1 甜、糯和普通玉米果穗不同部位籽粒淀粉糊化特性
Table 1 Pasting property of grain starch at different ear positions in sweet, waxy, and normal maize

类型 Maize type	果穗部位 Ear position	峰值黏度 PV (cP)	谷值黏度 TV (cP)	崩解值 BD (cP)	终值黏度 FV (cP)	回复值 SB (cP)	峰值时间 PT (min)	糊化温度 P _{temp} (°C)
甜玉米 Sweet maize	顶部 Apical	981 a	621 a	377 a	1481 a	860 a	4.3 a	79.6 a
	中部 Middle	774 b	551 b	240 b	990 b	439 b	3.9 b	76.4 b
	基部 Basal	832 b	576 ab	256 b	1024 b	448 b	4.0 b	76.4 b
普通玉米 Normal maize	顶部 Apical	1022 a	532 a	485 a	899 a	367 a	3.7 a	75.2 b
	中部 Middle	902 b	487 ab	415 b	806 ab	319 a	3.7 a	76.3 a
	基部 Basal	851 b	436 b	416 b	745 b	309 a	3.7 a	76.3 a
糯玉米 Waxy maize	顶部 Apical	1152 a	709 a	443 b	793 a	84 a	4.3 a	77.6 a
	中部 Middle	1119 a	615 b	515 a	728 a	114 a	4.3 a	77.7 a
	基部 Basal	1130 a	610 b	531 a	726 a	117 a	4.3 a	76.8 a

Values followed by a different letter are significantly different at $P < 0.05$ according to LSD test.

PV: peak viscosity; TV: trough viscosity; BD: breakdown; FV: final viscosity; SB: setback viscosity; PT: peak time; P_{temp}: pasting temperature.

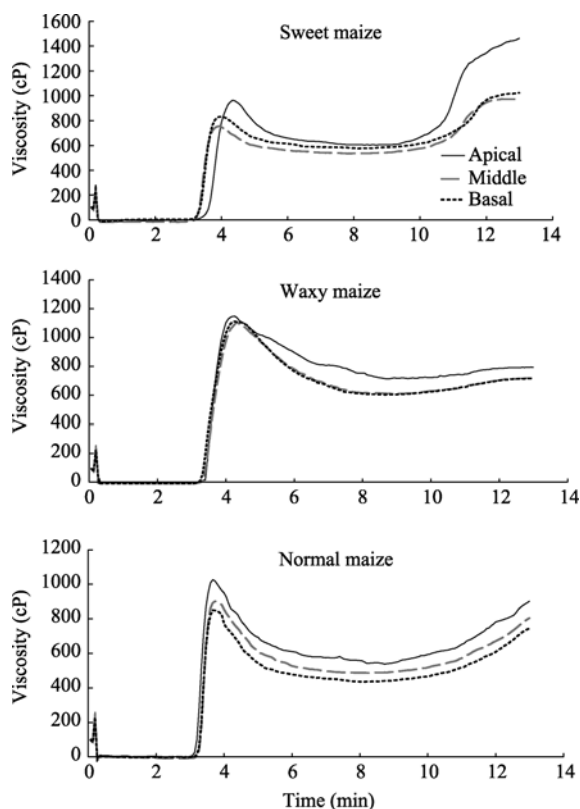


图 1 甜、糯和普通玉米果穗不同部位籽粒淀粉 RVA 图谱
Fig. 1 RVA profiles of grain starch at different ear positions in sweet, waxy, and normal maize

部位间存在显著差异。淀粉转变温度(起始温度、峰值温度和终值温度)甜玉米均表现为顶部和中部低于基部,普通玉米差异较小,糯玉米以中部较高而顶部较低。对于热焓值,普通玉米从果穗顶部到基部逐渐升高,糯玉米逐渐下降,甜玉米则以中部最高,顶部最低。不同类型玉米间比较,淀粉转变温度

以糯玉米最高,甜玉米和普通玉米差异较小,淀粉热焓值以糯玉米最高,甜玉米最低。

2.3 淀粉粒的体积分布

从表 3 可知,甜玉米、普通玉米和糯玉米籽粒淀粉颗粒体积分布在果穗不同部位间存在显著差异。淀粉粒体积均呈双峰分布,各类型淀粉均以 $> 17 \mu\text{m}$ 的比例最高,甜玉米以 $5\sim 9 \mu\text{m}$ 的比例较高,普通玉米和糯玉米以 $9\sim 13 \mu\text{m}$ 的比例较高。甜玉米 $< 13 \mu\text{m}$ 的比例以中部最高, $13\sim 17 \mu\text{m}$ 的比例以顶部最高, $> 17 \mu\text{m}$ 的比例以基部最高; $< 5 \mu\text{m}$ 的比例和 $9\sim 17 \mu\text{m}$ 的比例以基部最低, $5\sim 9 \mu\text{m}$ 的比例以顶部最低, $> 17 \mu\text{m}$ 的比例以中部最低。普通玉米 $< 5 \mu\text{m}$ 的比例在果穗各部位间无显著差异, $5\sim 17 \mu\text{m}$ 的比例以中部最高,基部最低, $> 17 \mu\text{m}$ 的比例则以基部最高,中部最低。糯玉米中部 $> 17 \mu\text{m}$ 的比例最高, $< 17 \mu\text{m}$ 的比例最低,顶部颗粒体积分布和中部相反,基部介于两者之间。

不同类型玉米间淀粉颗粒分布存在显著差异, $< 5 \mu\text{m}$ 的比例以甜玉米最高,糯玉米最低; $5\sim 9 \mu\text{m}$ 的比例同样以甜玉米最高,普通玉米最低; $9\sim 13 \mu\text{m}$ 的比例以糯玉米最高,甜玉米最低; $13\sim 17 \mu\text{m}$ 的比例同样以甜玉米最低,普通玉米最高; $> 17 \mu\text{m}$ 的比例以普通玉米最高,糯玉米最低。

2.4 淀粉的最大吸收波长、碘结合力和蓝值

从表 4 可知,糯玉米果穗不同部位籽粒淀粉最大吸收波长、碘结合力和蓝值差异均较小。甜玉米和普通玉米顶部和基部淀粉的最大吸收波长无显著差异,但甜玉米以中部较低,而普通玉米以中部较高。碘结合力甜玉米和普通玉米以顶部最低,中部

和基部无显著差异。蓝值甜玉米差异较小, 普通玉米中部最高, 顶部和基部无显著差异。比较不同类型玉米均值, 这 3 项指标均以普通玉米最高, 而以糯玉米最低。

表 2 甜、糯和普通玉米果穗不同部位籽粒淀粉胶凝特性
Table 2 Gelatinization property of grain starch at different ear positions in sweet, waxy, and normal maize

类型 Maize type	果穗部位 Ear position	起始温度 T_o (°C)	峰值温度 T_p (°C)	终值温度 T_c (°C)	热焓值 ΔH_{gel} (J g ⁻¹)
甜玉米 Sweet maize	顶部 Apical	67.1 b	73.0 b	79.5 b	8.8 c
	中部 Middle	67.0 b	73.5 b	80.0 b	12.4 a
	基部 Basal	70.2 a	76.2 a	84.8 a	9.9 b
普通玉米 Normal maize	顶部 Apical	69.6 a	73.8 a	80.3 a	10.5 c
	中部 Middle	68.3 a	74.1 a	78.9 b	11.4 b
	基部 Basal	69.6 a	74.1 a	80.0 a	15.0 a
糯玉米 Waxy maize	顶部 Apical	73.5 a	77.0 c	82.8 c	21.8 a
	中部 Middle	74.6 a	80.3 a	87.3 a	19.1 b
	基部 Basal	73.9 a	78.4 b	84.6 b	10.8 c

Values followed by a different letter are significantly different at $P < 0.05$ according to LSD test.
 T_o : onset temperature; T_p : peak temperature; T_c : conclusion temperature; ΔH_{gel} : enthalpy of gelatinization.

表 3 甜、糯和普通玉米果穗不同部位籽粒淀粉颗粒体积分布
Table 3 Granule volume distribution of grain starch at different ear positions in sweet, waxy, and normal maize (%)

类型 Maize type	果穗部位 Ear position	淀粉粒直径 Diameter of starch granule				
		<5 μm	5–9 μm	9–13 μm	13–17 μm	>17 μm
甜玉米 Sweet maize	顶部 Apical	11.61 b	19.73 c	13.31 a	6.87 a	48.48 b
	中部 Middle	15.49 a	23.55 a	13.86 a	6.49 b	40.61 c
	基部 Basal	7.61 c	20.30 b	12.82 b	6.24 c	53.03 a
普通玉米 Normal maize	顶部 Apical	5.85 a	9.08 b	18.46 b	16.79 b	49.82 b
	中部 Middle	6.07 a	10.69 a	20.17 a	17.61 a	45.46 c
	基部 Basal	5.15 a	7.15 c	15.40 c	14.61 c	57.69 a
糯玉米 Waxy maize	顶部 Apical	5.88 a	22.09 a	23.30 b	14.30 a	34.43 c
	中部 Middle	0.70 b	13.92 b	16.46 c	11.18 b	57.74 a
	基部 Basal	1.08 b	22.46 a	24.67 a	14.69 a	37.10 b

Values followed by a different letter are significantly different at $P < 0.05$ according to LSD test.

表 4 甜、糯和普通玉米果穗不同部位籽粒淀粉最大吸收波长、碘结合力和蓝值
Table 4 Starch λ_{max} , iodine binding capacity, blue value of grain starch at different ear positions in sweet, waxy, and normal maize

类型 Maize type	果穗部位 Ear position	最大吸收波长 λ_{max} (nm)	碘结合力 Iodine binding capacity	蓝值 Blue value
甜玉米 Sweet maize	顶部 Apical	584.3 a	1.190 b	0.255 a
	中部 Middle	581.3 b	1.230 ab	0.208 a
	基部 Basal	586.9 a	1.277 a	0.248 a
普通玉米 Normal maize	顶部 Apical	589.6 b	1.259 b	0.288 b
	中部 Middle	598.0 a	1.366 a	0.413 a
	基部 Basal	589.6 b	1.290 ab	0.236 b
糯玉米 Waxy maize	顶部 Apical	535.1 a	0.581 a	0.093 a
	中部 Middle	538.3 a	0.590 a	0.069 a
	基部 Basal	537.2 a	0.562 a	0.088 a

Values followed by a different letter are significantly different at $P < 0.05$ according to LSD test.

2.5 相关分析

从表 5 可知, $<5 \mu\text{m}$ 的比例与峰值黏度、崩解值、起始温度和峰值温度显著负相关(相关系数分别为 $-0.67, P<0.05$; $-0.83, P<0.01$; $-0.83, P<0.01$ 和 $-0.75, P<0.05$), 与终值黏度及回复值显著正相关(相关系数分别为 0.69 和 $0.71, P<0.05$)。 $5\sim 9 \mu\text{m}$ 的比例与谷值黏度和峰值时间显著正相关(相关系数分别为 0.72 和 $0.66, P<0.05$)。 $9\sim 13 \mu\text{m}$ 的比例与峰值黏度和崩解值显著正相关(相关系数分别为 0.71 和 $0.69, P<0.05$), 与回复值显著负相关(相关系数为 $-0.70, P<0.05$)。 $13\sim 17 \mu\text{m}$ 的比例与崩解值显著

正相关(相关系数为 $0.72, P<0.05$), 与终值黏度显著负相关(相关系数为 $-0.65, P<0.05$)。最大吸收波长和碘结合力与峰值黏度、谷值黏度和峰值时间显著负相关(相关系数分别为 -0.81 和 $-0.85, P<0.01$; -0.75 和 $-0.74, P<0.05$; -0.77 和 $-0.78, P<0.01$), 与回复值显著正相关(相关系数均为 $0.66, P<0.05$)。蓝值与谷值黏度和峰值时间显著负相关(相关系数分别为 -0.67 和 $-0.73, P<0.05$)。最大吸收波长、碘结合力和蓝值与转变温度 3 项指标均呈显著负相关, 且最大吸收波长和热焓值显著负相关(相关系数为 $-0.65, P<0.05$)。

表 5 淀粉理化特征值与淀粉颗粒体积分布以及最大吸收波长、碘结合力和蓝值之间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between starch physicochemical characteristics and starch granule volume distribution, λ_{max} , iodine binding capacity, and blue value

	PV	TV	BD	FV	SB	PT	P_{temp}	T_0	T_p	T_c	ΔH_{gel}
$<5 \mu\text{m}$	-0.67^*	-0.07	-0.83^{**}	0.69^*	0.71^*	-0.20	0.14	-0.83^{**}	-0.75^*	-0.61	-0.36
$5\sim 9 \mu\text{m}$	0.12	0.72^*	-0.36	0.31	0.07	0.66^*	0.41	0.12	0.21	0.29	0
$9\sim 13 \mu\text{m}$	0.71^*	0.32	0.69^*	-0.59	-0.70^*	0.21	-0.15	0.60	0.41	0.16	0.34
$13\sim 17 \mu\text{m}$	0.41	-0.27	0.72^*	-0.65^*	-0.56	-0.36	-0.45	0.31	0.08	-0.17	0.22
$>17 \mu\text{m}$	-0.30	-0.52	-0.02	0.04	0.22	-0.31	-0.06	-0.10	0	0.13	-0.09
λ_{max}	-0.81^{**}	-0.75^*	-0.54	0.41	0.66^*	-0.77^{**}	-0.31	-0.88^{**}	-0.85^{**}	-0.73^*	-0.65^*
IBC	-0.85^{**}	-0.74^*	-0.60	0.41	0.66^*	-0.78^{**}	-0.32	-0.89^{**}	-0.85^{**}	-0.72^*	-0.62
Blue value	-0.62	-0.67^*	-0.36	0.30	0.53	-0.73^*	-0.30	-0.78^{**}	-0.77^{**}	-0.75^*	-0.60

*: significant at $P<0.05$. **: significant at $P<0.01$.

PV: peak viscosity; TV: trough viscosity; BD: breakdown; FV: final viscosity; SB: setback viscosity; PT: peak time; P_{temp} : pasting temperature; T_0 : onset temperature; T_p : peak temperature; T_c : conclusion temperature; ΔH_{gel} : enthalpy of gelatinization; IBC: iodine binding capacity.

3 讨论

淀粉以颗粒状存在, 其形态、大小和分布显著影响其理化特性。本研究结果表明, $<17 \mu\text{m}$ 的淀粉颗粒体积(3 类玉米淀粉均值)所占比例为顶部 $>$ 中部 $>$ 基部, 而 $>17 \mu\text{m}$ 的淀粉颗粒体积所占比例恰好相反, 说明淀粉颗粒体积分布在果穗不同部位存在显著差异; 同时, 淀粉颗粒分布在不同类型淀粉间存在显著差异。本研究结果表明, 淀粉颗粒分布对淀粉黏度特征值有显著影响, $<5 \mu\text{m}$ 的比例与峰值黏度和崩解值显著负相关, 与终值黏度及回复值显著正相关; $5\sim 9 \mu\text{m}$ 的比例与谷值黏度和峰值时间显著正相关; $9\sim 13 \mu\text{m}$ 的比例与峰值黏度和崩解值显著正相关, 与回复值显著负相关; $13\sim 17 \mu\text{m}$ 的比例和崩解值显著正相关, 与终值黏度显著负相关。Peterson 等^[17]研究表明, 小麦淀粉大颗粒($>10 \mu\text{m}$)的比例与峰值黏度、崩解值和回复值显著负相关, Lu 等^[18]研究发现, 山药淀粉的平均粒径较大时, 峰值黏度和崩解

值较低, 这和本研究结果有一定差异。Zaidul 等^[19]发现, 马铃薯淀粉的平均粒径与峰值黏度和崩解值显著正相关, 与回复值和糊化温度显著负相关, Singh 等^[20]发现, 木薯淀粉中大颗粒($>25 \mu\text{m}$)的比例与峰值黏度和崩解值显著正相关, 这和本研究结果中 $9\sim 17 \mu\text{m}$ 的比例与峰值黏度和崩解值正相关相似。本研究结果表明, $<5 \mu\text{m}$ 淀粉颗粒体积比例与起始温度和峰值温度显著负相关, 其他颗粒分布比例与转变温度和热焓值无显著相关性。Ji 等^[15]研究表明, 普通玉米淀粉的颗粒分布中, $5\sim 9 \mu\text{m}$ 淀粉颗粒分布和起始温度显著负相关, 但和热焓值无显著相关关系。Vermeylena 等^[21]和 Noda 等^[22]研究同样证实, 淀粉颗粒大小对热焓值无显著影响, 这和本研究结果相似。

碘结合力可用来评价淀粉中短分支链和长分支链的比例, 糯玉米淀粉的碘结合力在 0.78 左右, 支链淀粉约为 0.55 , 而直链淀粉则大于 1.5 ^[23]。本研究结果表明, 糯玉米果穗不同部位籽粒淀粉最大吸收

波长、碘结合力和蓝值 3 项指标差异均较小,其原因可能与糯玉米淀粉几乎全部由支链淀粉组成有关。最大吸收波长和碘结合力与峰值黏度、谷值黏度和峰值时间负相关,和回复值正相关。同时,最大吸收波长、碘结合力和蓝值与转变温度显著负相关,且最大吸收波长与热焓值显著负相关。这表明淀粉中直链越多,支链淀粉含量越高,淀粉的峰值黏度越低、回复值越高,糊化温度越低且稳定性越差。Chang 等^[16]发现,最大吸收波长和蓝值均为普通玉米淀粉高于糯玉米淀粉。这和本研究中该指标表现为普通玉米>甜玉米>糯玉米淀粉的结果相似。

本研究结果表明,果穗不同部位的淀粉黏度特征值有显著差异。甜玉米的糊化特征值各项指标均表现为顶部较高。普通玉米的峰值黏度、谷值黏度、崩解值和终值黏度 4 项指标和甜玉米在果穗不同部位间表现相似,回复值和峰值时间受果穗部位影响较小。糯玉米果穗各部位的峰值黏度、终值黏度、回复值、峰值时间和糊化温度无显著差异,中部和基部的谷值黏度和崩解值无显著差异,但谷值黏度以顶部较高,而崩解值以顶部较低。在水稻上的研究^[24]表明,不同部位籽粒淀粉黏度特征值存在差异,峰值黏度、谷值黏度、崩解值呈弱势粒>中间型籽粒>强势粒的规律,而糊化温度、终值黏度和回复值则相反。淀粉热力学特征参数中,甜玉米转变温度均表现为顶部和中部低于基部,普通玉米差异较小,糯玉米以中部较高而顶部较低。普通玉米淀粉热焓值从果穗顶部到基部逐渐升高,而糯玉米淀粉逐渐下降,甜玉米淀粉则以中部最高,顶部最低。这些理化特性的差异可能是果穗不同部位籽粒灌浆特性存在差异^[6-7,25],影响品质成分合成的酶活性存在差异^[4-5],以及最终果穗不同部位中元素组成存在差异^[26]所致。总体上,上述变化可能和顶部籽粒起动灌浆迟,光合产物转化量少,而中部和基部灌浆速率高,胚乳细胞多,籽粒充实好有关。因此,生产中一要选育果穗各部位籽粒灌浆差异较小的品种;二要选择合适的生态环境,因为在适宜生态环境下穗粒性状变异系数较小,果穗发育整齐;三要采用一些农艺栽培措施,如调整施氮处理,合理施用微肥,喷施生长调节剂,来调节果穗不同部位籽粒的灌浆特性、酶活性以及籽粒组成,进而改善品质。

本研究发现,不同类型玉米淀粉理化特征值有显著差异。淀粉峰值黏度和崩解值以糯玉米最高,甜玉米最低;淀粉终值黏度和回复值以甜玉米最高,

糯玉米最低;淀粉糊化温度在甜玉米和糯玉米间无显著差异,但均高于普通玉米。Perera 等^[3]研究发现,淀粉峰值黏度、崩解值以糯玉米高于普通玉米,回复值则低于普通玉米。Singh 等^[27]研究发现,普通玉米的淀粉终值黏度和回复值高于糯玉米,而峰值黏度和崩解值低于糯玉米,Sandhu 等^[28]发现,糯玉米的淀粉峰值黏度、谷值黏度高于普通玉米粉,回复值低于普通玉米,这和本研究结果相似。Perera 等^[3]和 Singh 等^[27]研究发现甜玉米淀粉在相同条件下则不能糊化,因而峰值黏度等参数均较低,糊化温度普通玉米高于糯玉米,Sandhu 等^[28]发现,糊化温度等指标存在基因型差异,但总体上糯玉米高于普通玉米,这和本研究结果存在一定差异。本研究发现,热焓值在不同类型玉米间总体上表现为甜玉米最低,糯玉米最高,这和 Perera 等^[3]、Singh 等^[2]的研究结果相似。同时 Kuakpetoon 等^[29]亦发现,淀粉热焓值以普通玉米低于糯玉米。本研究发现,起始温度和峰值温度在甜玉米和普通玉米间差异较小,但低于糯玉米;而 Perera 等^[3]和 Singh 等^[2]则发现其为甜玉米<普通玉米<糯玉米淀粉,Kuakpetoon 等^[29]发现淀粉起始温度以糯玉米最低,峰值温度以普通玉米最低。

4 结论

甜、糯、普通玉米淀粉的糊化特性、热力学特性、淀粉粒体积分布以及最大吸收波长、蓝值和碘结合力在果穗不同部位间存在显著差异。甜玉米和普通玉米淀粉的峰值黏度、崩解值表现为顶部最高,中部和基部无显著差异,糯玉米淀粉的峰值黏度在果穗不同部位间无显著差异,崩解值表现为中部和基部高于顶部;回复值和峰值时间在普通玉米和糯玉米果穗不同部位间无显著差异,甜玉米淀粉则表现为顶部较高;糯玉米淀粉糊化温度受果穗部位影响较小,而甜玉米顶部较高,普通玉米顶部较低。淀粉转变温度(起始温度、峰值温度和终值温度)甜玉米以基部籽粒较高,普通玉米各部位间差异较小,糯玉米淀粉以中部较高,热焓值 3 个类型淀粉各部位间变化不一。淀粉粒体积分布均呈双峰分布,各类型均以>17 μm 的比例最高,甜玉米以 5~9 μm 的比例较高,普通玉米和糯玉米以 9~13 μm 的比例较高。从各类型玉米均值看,<17 μm 的比例以顶部较高,>17 μm 的比例以基部较高。糯玉米淀粉的蓝值、最大吸收波长和碘结合力在不同粒位间相对稳定,碘

结合力甜玉米和普通玉米顶部最低, 中部和基部无显著差异。淀粉蓝值甜玉米差异较小, 普通玉米中部最高, 最大吸收波长以甜玉米中部较低, 普通玉米中部较高。 $<5\ \mu\text{m}$ 的比例与峰值黏度、崩解值和峰值温度显著负相关, 与回复值显著正相关。 $9\sim 13\ \mu\text{m}$ 的比例与峰值黏度和崩解值显著正相关, 与回复值显著负相关。 $13\sim 17\ \mu\text{m}$ 的比例和崩解值显著正相关。最大吸收波长和碘结合力与峰值黏度、谷值黏度、峰值时间和转变温度显著负相关, 与回复值显著正相关, 且最大吸收波长与热焓值显著负相关。

References

- [1] Jobling S. Improving starch for food and industrial applications. *Plant Biol*, 2004, 7: 210–218
- [2] Singh N, Inouchi N, Nishinari K. Structure, thermal and viscoelastic characteristics of starches separated from normal, sugary and waxy maize. *Food Hydrocolloid*, 2006, 20: 923–935
- [3] Perera C, Lu J, Sell J, Jane J. Comparison of physicochemical properties and structures of sugary-2 corn starch with normal and waxy cultivars. *Cereal Chem*, 2001, 78: 249–256
- [4] Ou-Lee T M, Setter T L. Enzyme activities of starch and sucrose pathways and growth of apical and basal maize kernels. *Plant Physiol*, 1985, 79: 848–851
- [5] Ou-Lee T M, Setter T L. Effect of increased temperature in apical regions of maize ears on starch-synthesis enzymes and accumulation of sugars and starch. *Plant Physiol*, 1985, 79: 852–855
- [6] Shen L-X(申丽霞), Wang P(王璞), Zhang H-F(张红芳), Yi Z-X(易镇邪). Effect of nitrogen supply on grain filling at different ear position in summer maize. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2005, 31(4): 532–534 (in Chinese with English abstract)
- [7] Shen L-X(申丽霞), Wei Y-P(魏亚萍), Wang P(王璞), Yi Z-X(易镇邪), Zhang H-F(张红芳), Lan L-W(兰林旺). Effect of nitrogen supply on early kernel development and yield in summer maize (*Zea mays* L.). *Acta Agron Sin* (作物学报), 2006, 32(11): 1746–1751 (in Chinese with English abstract)
- [8] Ferguson V L, Helm J L, Zuber M S. Effect of kernel position on amylose starch content, distribution of amylose within corn endosperm (*Zea mays* L.). *Crop Sci*, 1966, 6: 273–275
- [9] Jellum M D. Fatty acid composition of corn (*Zea mays* L.) oil as influenced by kernel position on ear. *Crop Sci*, 1966, 7: 593–595
- [10] Sandhu K S, Singh N, Malhi N S. Physicochemical and thermal properties of starches separated from corn produced from crosses of two germ pools. *Food Chem*, 2005, 89: 541–548
- [11] Chang Y H, Lin J H, Lii C Y. Effect of ethanol concentration on the physicochemical properties of waxy corn starch treated by hydrochloric acid. *Carbohydr Polym*, 2004, 57: 89–96
- [12] Lu D-L(陆大雷), Wang D-C(王德成), Jing L-Q(景立权), Han Q(韩晴), Guo H-F(郭换粉), Zhao J-R(赵久然), Lu W-P(陆卫平). Starch gelatinization and retrogradation properties under different basic fertilizer regimes and nitrogen topdressing at jointing stage of waxy maize. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2009, 35(5): 867–874 (in Chinese with English abstract)
- [13] Lu D-L(陆大雷), Lu W-P(陆卫平), Zhao J-R(赵久然), Wang D-C(王德成). Effects of basic fertilizer treatments and nitrogen topdressing at jointing stage on starch RVA characteristics of waxy maize. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2008, 34(7): 1253–1258 (in Chinese with English abstract)
- [14] Massaux C, Sindic M, Lenartz J, Sinnavee G, Bodson B, Falisse A, Dardenne P, Deroanne C. Variations in physicochemical and functional properties of starches extracted from European soft wheat (*Triticum aestivum* L.): the importance to preserve the varietal identity. *Carbohydr Polym*, 2008, 71: 32–41
- [15] Ji Y, Wong K, Hasjim J, Pollak L M, Duvick S, Jane J, White P J. Structure and function of starch from advanced generation of new corn lines. *Carbohydr Polym*, 2003, 54: 305–319
- [16] Chang Y, Lin J, Chang S. Physicochemical properties of waxy and normal corn starches treated in different anhydrous alcohols with hydrochloric acid. *Food Hydrocolloid*, 2006, 20: 332–339
- [17] Peterson D G, Fulcher R G. Variation in Minnesota HRS wheats: starch granule size distribution. *Food Res Int*, 2001, 34: 357–363
- [18] Lu T, Chen J, Lin C, Chang Y. Properties of starches from cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) tubers planted in different seasons. *Food Chem*, 2005, 91: 69–77
- [19] Zaidul I S M, Yamauchi H, Takigawa S, Matsuura-Endo C, Suzuki T, Noda T. Correlation between the compositional and pasting properties of various potato starches. *Food Chem*, 2007, 105: 164–172
- [20] Singh J, McCarthy O J, Singh H. Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. *Carbohydr Polym*, 2006, 64: 569–581
- [21] Vermeylena R, Goderis B, Reynaers H, Delcour A. Gelatinisation related structural aspects of small and large wheat starch granules. *Carbohydr Polym*, 2005, 62: 170–181
- [22] Noda T, Takigawa S, Matsuura-Endo C, Kim S, Hashimoto N, Yamauchi H, Hanashiro I, Takeda Y. Physicochemical properties and amylopectin structures of large, small, and extremely small potato starch granules. *Carbohydr Polym*, 2005, 60: 245–251
- [23] Fiedorowicz M, Rebilas K. Physicochemical properties of waxy corn starch and corn amylopectin illuminated with linearly polarized visible light. *Carbohydr Polym*, 2002, 50: 315–319
- [24] Zhang G-F(张国发), Hou P-F(侯朋福). Effect of temperature during grain filling stage on rice starch RVA characteristics of different kernel positions. *J Daqing Norm Univ* (大庆师范学院学报), 2008, 28(5): 121–123 (in Chinese)

- [25] Gambin B L, Borrás L. Sorghum kernel weight: growth patterns from different positions within the panicle. *Crop Sci*, 2005, 45: 553–561
- [26] Calderini D F, Ortiz-Monasterio I. Grain position affects grain macronutrient and micronutrient concentrations in wheat. *Crop Sci*, 2003, 43: 141–151
- [27] Singh M, Sandhu K S, Kaur M. Physicochemical properties including granular morphology, amylose content, swelling and solubility, thermal and pasting properties of starches from normal, waxy, high amylose and sugary corn. *Prog Food Biopolymer Res*, 2005, 1: 43–54
- [28] Sandhu K S, Singh N, Lim S. A comparison of native and acid thinned normal and waxy corn starches: physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. *LWT Food Sci Technol*, 2007, 40: 1527–1536
- [29] Kuakpetoon D, Wang Y. Structural characteristics and physicochemical properties of oxidized corn starches varying in amylose content. *Carbohydr Res*, 2006, 341: 1896–1915

科学出版社生物分社新书推介

《生物资源与生物多样性战略研究报告(2010-2011)》

于建荣 姜治平 主编

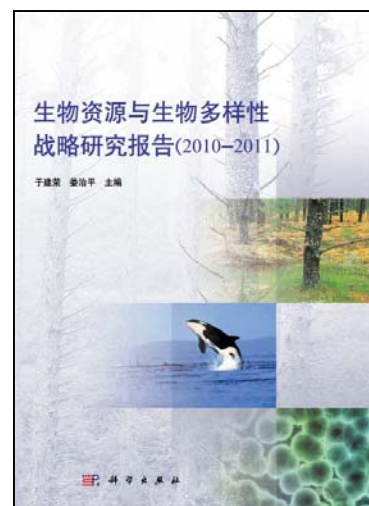
ISBN 978-7-03-029382-4/Q·2598

出版时间: 2010年12月

营销分类: 生物

定价: ¥ 50.00

本书从调查研究、战略分析、信息化管理等方面入手,通过信息的跟踪监测,以反映生物资源与生物多样性领域的国内外最新发展动态;以生物多样性为主题,根据国际科技发展前沿、国家战略需求,以及我国目前生物多样性资源的研究和管理现状,针对我国面向2020年战略生物资源科技发展规划,提出我国生物资源及其多样性领域研究的重要内容。可供科研院所、高等院校和企业等从事生物资源和生物多样性相关工作的科研管理人员、科研工作者和研发生产人员借鉴与参考。



欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书

联系人: 科学出版社科学销售中心 周文宇 电话: 010-64031535 E-mail: zhouwenyu@mail.sciencep.com

网上订购: <http://www.dangdang.com> <http://www.amazon.cn>

联系科学出版中心生物分社: 010-64012501 <http://www.lifescience.com.cn> E-mail: lifescience@mail.sciencep.com

更多精彩图书请登陆网站, 欢迎致电索要书目