

· 研究报告 ·

## 不同高粱品系的淀粉糊化特征

周福平\*, 柳青山, 张晓娟, 张一中, 邵强, 张春来

山西省农业科学院高粱研究所, 晋中 030600

**摘要** 利用差示扫描量热分析仪(DSC)和淀粉快速黏度分析仪(RVA)测定了14个高粱(*Sorghum bicolor*)品系的直链淀粉含量和淀粉糊化特性参数, 并分析了各特征参数的变化规律及其相互关系。研究结果表明, 高粱品系间直链淀粉含量存在较大差异, 变幅为0.29%–29.45%; DSC分析所得糊化特性也表现出一定的差异, 直链淀粉含量低的高粱品系的起始温度( $T_o$ )、峰值温度( $T_p$ )、终止温度( $T_c$ )和热焓变化( $\Delta H$ )都较高; 而直链淀粉含量高的高粱品系的 $T_o$ 、 $T_p$ 、 $T_c$ 和 $\Delta H$ 都相对较低。不同品系的RVA谱差异主要表现在各个黏滞性特征值上, 直链淀粉含量低的高粱品系的RVA谱具有较高的峰值黏度和最高的消减值; 而直链淀粉含量高的高粱品系具有较低的峰值黏度。相关分析表明, 直链淀粉含量和膨胀势与其它特征值间的相关性均达显著水平; 峰值黏度(PV)与最终黏度(FV)、回冷恢复值、糊化时间和糊化温度间呈极显著负相关, 与崩解值和消减值则呈极显著正相关。将直链淀粉含量的选择与RVA谱测定相结合, 有助于提高选择的准确率, 进而为高粱品质改良和育种提供理论依据。

**关键词** 高粱, 淀粉, 糊化特性, 差示扫描量热分析仪, 快速黏度分析仪

周福平, 柳青山, 张晓娟, 张一中, 邵强, 张春来 (2014). 不同高粱品系的淀粉糊化特征. 植物学报 49, 306–312.

淀粉是高粱(*Sorghum bicolor*)籽粒中含量最多且最重要的碳水化合物, 一般含量为50%–70%, 高者可达70%以上。其它成分为蛋白质(4.4%–21.1%)、单宁(0.05%–2.89%)、水分(13%–15%)、粗纤维(3%)、脂肪(3%)和灰分(1%)等(宋高友等, 1987)。直链淀粉含量的高低对高粱淀粉特性具有重要影响。直链淀粉含量低和糊化温度低的高粱品系适合酿酒, 酿造时可节水、节时和节约能源(丁国祥等, 1996)。因此, 深入研究不同高粱品系籽粒中直链淀粉的含量、糊化特性和特征参数的变化规律, 分析其相互关系, 不仅对高粱品质育种具有重要的理论意义, 而且对高粱资源的开发加工具有重要的应用价值。

目前, 国内外学者已对高粱淀粉糊化特性的差异作过较深入的研究(Subrahmanyam and Hosney, 1995; Stolt et al., 2001; Choi et al., 2004; Boudries et al., 2009; Vallons and Arendt, 2009), 如Taylor等(2006)发现生长在南非的高粱淀粉凝胶化温度变化范围为67–73°C, 生长在印度的为71–81°C。Sang等(2008)研究认为, 糯质和非纯糯质高粱淀粉有较低的糊化温度和较高的黏度。Olayinka等(2008)研究表明,

湿热处理可以使白高粱淀粉的糊化温度轻微升高, 但黏度、断裂性和回生度明显降低。以上研究主要侧重于高粱淀粉糊化特性的某一方面, 而系统分析高粱直链淀粉含量与糊化特性之间的相互关系, 客观反映其糊化特性变化规律的研究尚未见报道。本研究以14个高粱品系为材料, 通过测定直链淀粉含量和膨胀势不同的高粱品系淀粉糊化特性参数, 采用方差分析和相关性分析等方法对高粱淀粉糊化特性和变化规律进行了评价, 以期阐明不同高粱淀粉糊化特性参数的变化趋势及消长规律, 为高粱品种改良和利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

14个高粱(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)品系KS378(S1)、L88021B(S2)、HC356(S3)、HC356/5346(S4)、L8808B(S5)、J7645/w2(S6)、SH6(S7)、L9137(S8)、SK70B(S9)、456B(S10)、265-1Y(S11)、DK33B(S12)、SK147B(S13)和L88032/1383.H3(S14), 于

收稿日期: 2013-07-05; 接受日期: 2013-09-29

基金项目: 山西省科技攻关项目(No.20120312001, No.20130311003-3)和山西省农业科学院育种工程(No.11yzgc020)

\* 通讯作者。E-mail: zhoufuping2005@126.com

2012年5月栽种在山西省农业科学院农场实验田,成熟后收获籽粒,分别制备淀粉并测定其各项参数值,淀粉的制备参照Collado和Corke(1997)所述方法(水提法)。

## 1.2 直链淀粉含量的测定

直链淀粉含量的测定采用碘蓝比色法,并参考国标法GB8648-87(罗玉坤等,1988;谈移芳和张启发,2001)。每个高粱品系称取0.1 g样品,加入1 mL无水乙醇充分湿润,再分别加入9 mL  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaOH,于沸水浴中分散10分钟后,迅速冷却,并用水定容至100 mL。取20 mL分散液加入8 mL石油醚脱脂2~3次,吸取5 mL分散液加入蒸馏水50 mL,再加入1  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  乙酸溶液和碘试剂各1 mL,定容至100 mL,显色10分钟,测定620 nm处吸光度,从标准曲线上查出对应的直链淀粉含量。

## 1.3 膨胀势的测定

膨胀势(swelling power, SP)的测定参照McCormick等(1991)所述方法。

## 1.4 糊化温度和糊化过程中热力特性的测定

使用美国Perkin-Elmer公司DSC-7型差示扫描量热分析仪测定糊化温度和热力特性(程方明等,2002)。具体步骤如下:用十万分之一电子天平精确称取2.50 mg淀粉样品,置于铝盒中,加入7.5  $\mu\text{L}$ 蒸馏水,然后用配套铝盖密封,室温平衡1小时后,以每分钟 $10^\circ\text{C}$ 的加热速率使铝盒温度从 $30^\circ\text{C}$ 上升至 $110^\circ\text{C}$ 。以密封空白铝盒作为对照,每样品重复测定2次。采用配套分析程序PC Series DSC-7 Multitasking Software version 2.1记录并计算吸热曲线上的起始温度(onset temperature,  $T_o$ )、峰值温度(peak temperature,  $T_p$ )、终止温度(conclusion temperature,  $T_c$ )和糊化时的热焓变化(enthalpy of transition,  $\Delta H$ )。

## 1.5 淀粉黏滞性测定

采用澳大利亚Newport Scientific仪器公司生产的3-D型快速黏度分析仪(RVA)测定淀粉的黏滞性。具体操作过程参照黄华宏等(2002)的报道,每样品重复测定2次。并用温控仪(thermal cycle for windows, TCW)配套软件进行分析,按照美国谷物化学协会(Ameri-

can Association of Cereal Chemists, AACC)制定的操作规程(1995 61-02)(1995)进行测定。样品量为3.00 g,蒸馏水25.00 mL。测定过程中罐内温度变化如下:  $50^\circ\text{C}$ 保持1分钟,之后以每分钟 $12^\circ\text{C}$ 上升到 $95^\circ\text{C}$ (3.75分钟),  $95^\circ\text{C}$ 保持2.5分钟,再以每分钟 $12^\circ\text{C}$ 下降到 $50^\circ\text{C}$ (3.75分钟),  $50^\circ\text{C}$ 保持1.4分钟。搅拌器在起始10秒内转速为每分钟960转,以后保持在每分钟160转。黏滞性单位为RVU(rapid visco units)。

RVA谱特征值主要用最高黏度(peak paste viscosity, PV)、热浆黏度(hot paste viscosity, HV)、最终黏度或冷胶黏度(final paste viscosity, FV)、崩解值(breakdown, BV)(崩解值=最高黏度-热浆黏度)、消减值(setback, SV)(削减值=最终黏度-最高黏度)和回冷恢复值(consistence, CV)(回冷恢复值=最终黏度-热浆黏度)等表示。同时记录糊化温度(pasting temperature)(即黏度开始增加时的温度,是糊化给定试样所需要的最低温度)和糊化时间(peak time)(即最高黏度出现所需的时间)。

## 1.6 数据分析

采用SAS统计软件进行基本统计量分析和方差分析,计算相关系数并分析各指标间的相关性。

# 2 结果与讨论

## 2.1 高粱品种的淀粉特性遗传变异

14份高粱品系主要淀粉特性的测定结果(表1)表明,淀粉特性变异范围广泛。其中,直链淀粉含量、膨胀势、热焓变化、峰值黏度、崩解值、最终黏度、回冷恢复值、糊化时间和消减值等指标的变异系数较大,特别是直链淀粉含量、膨胀势、崩解值、回冷恢复值和消减值的变异系数分别达到了41.5%、33.2%、22.7%、36%和80.6%;起始温度、峰值温度、热浆黏度和糊化温度的变异系数较小,变异范围介于67.1%~69.5%之间;淀粉终止温度的变异系数最小,只有1.1%。大部分高粱品系的直链淀粉含量集中在24%~29%之间,低于2%的品系有2份,占总数的14.2%;峰值黏度高于290BU的品系有5份,占总数的35.6%;崩解值高于200BU的品系有3份,占总数的21.4%;在直链淀粉含量、峰值黏度和崩解值3个指标中,两项表现良好的品系有3份,占总数的21.4%,

表1 高粱品系的淀粉糊化特性

Table 1 Starch pasting properties of sorghum cultivars

Item	Mean	Minimum	Maximum	Coefficient of variation (%)
Amylose content (%)	23.82	0.29	29.45	41.5
Swelling power (%)	29.26	20.51	51.27	33.2
Onset temperature T <sub>o</sub> (°C)	62.51	61.00	64.65	2.1
Peak temperature T <sub>p</sub> (°C)	77.44	75.50	79.60	1.4
Conclusion temperature T <sub>c</sub> (°C)	68.13	67.10	69.50	1.1
Enthalpy of transition ΔH (J·g <sup>-1</sup> )	9.68	8.20	11.40	10.4
Peak paste viscosity (RVU)	262.06	215.54	311.83	14.7
Hot paste viscosity (RVU)	95.62	85.12	103.88	6.7
Breakdown (RVU)	165.66	118.89	227.21	22.7
Final paste viscosity (RVU)	193.9	124.17	263.01	17.9
Consistence (RVU)	98.19	23.96	166.01	36.0
Peak time (min)	7.34	5.39	9.02	14.2
Pasting temperature (°C)	87.88	76.35	95.82	6.8
Setback (RVU)	72.31	6.60	200.00	80.6

表2 高粱品系的直链淀粉含量和DSC热力学参数

Table 2 DSC thermal parameters and amylose content of sorghum cultivars

Variety (lines)	Amylose content (%)	Swelling power (%)	Onset temperature T <sub>o</sub> (°C)	Peak temperature T <sub>p</sub> (°C)	Conclusion temperature T <sub>c</sub> (°C)	Enthalpy of transition ΔH (J·g <sup>-1</sup> )
KS378	25.51 bc	29.78 d	61.15 f	78.35 abcd	67.70 cd	10.15 abc
L88021B	1.13 d	51.27 a	64.45 a	79.05 ab	69.20 a	11.20 ab
HC356	26.71 abc	28.61 e	61.95 cdef	76.75 def	67.50 d	9.60 bcdef
HC356/5346	27.53 abc	26.81 f	62.45 bcde	75.50 f	67.05 e	8.15 f
L8808B	0.29 d	48.72 b	64.65 a	79.60 a	69.50 a	11.45 a
J7645/W2	28.31 d	21.80 j	61.55 ef	76.45 ef	67.75 cd	9.90 abcde
SH6	27.64 ab	26.47 fg	61.80 def	77.10 cdef	67.90 c	9.80 bcde
L9137	28.50 abc	25.83 g	61.95 cdef	76.10 ef	67.90 c	8.85 cdef
SK70B	27.55 ab	20.51 k	62.25 cde	77.35 cde	67.90 c	10.30 abc
456B	29.24 abc	23.91 h	61.00 f	77.20 cde	67.50 d	9.85 bcde
265-1Y	28.87 ab	22.74 i	63.45 b	78.55 abc	69.35 a	8.30 ef
DK33B	28.20 abc	24.23 h	62.75 bcd	77.55 bcde	68.50 b	9.95 abcd
SK147B	29.45 a	21.58 j	63.00 bc	77.45 bcde	67.90 c	8.40 def
L88032/1383.H3	24.65 c	37.40 c	62.75 bcd	77.15 cde	68.75 b	9.55 cdef

数据后不同字母表示在0.05水平上差异显著。

The data followed by different small letters indicated significant difference at 0.05 level.

三者皆优的品系只有2份，占总数的14.2%。

2.2 相变温度和糊化过程中的热焓变化

淀粉粒是一种生物合成的半结晶颗粒，连续分布于非结晶区和结晶区。任何物体在发生相转变的同时，都伴随着热量的吸收或释放。淀粉体系中晶体含量增加，

融化晶体所需的热焓也增加。DSC法可以根据晶体融化温度的不同区分支链淀粉结晶、直链淀粉与脂质复合物结晶及直链淀粉结晶。

不同高粱品系淀粉相变温度和热焓变化结果(表2)表明，直链淀粉含量低(低于2%)的高粱品系L88-021B和L8808B的起始温度(T<sub>o</sub>)、峰值温度(T<sub>p</sub>)、终止

温度( $T_c$ )和糊化时的热焓变化( $\Delta H$ )都最大;而直链淀粉含量高的高粱品系的 $T_o$ 、 $T_p$ 、 $T_c$ 和 $\Delta H$ 都相对较小。膨胀势的变幅为21.58%–51.27%, 14个高粱品系中, HC356/5346与SH6、L9137和456B与DK33B, 265-1Y与J7645/W2、J7645/W2与SK147B之间的差异不显著;其它品系之间的差异则达极显著水平。 $T_o$ 的变幅为61–64.65°C, 14份材料中L88021B和L8808B的 $T_o$ 最高, 且无显著性差异。 $T_p$ 变幅为75.50–79.60°C, 其中L88021B、KS378和L8808B的 $T_p$ 最高, HC356/5346最低。 $T_c$ 的变幅为67.05–69.50°C, L88021B、265-1Y和L8808B的 $T_c$ 均较高, 且差异不显著。 $\Delta H$ 的波动范围为8.15–11.45 J·g<sup>-1</sup>, 其中L88021B和L8808B的 $\Delta H$ 最大, HC356/5346最小, 说明直链淀粉含量低的高粱品系L88021B和L8808B的淀粉粒内结晶区所占比例较大, HC356/5346则较小。

### 2.3 淀粉的黏滞性

不同类型高粱品系的淀粉糊化性质有很大的差异(表3)。直链淀粉含量低的高粱品系L88021B和L8808B的峰值黏度(分别为323.93 RVU和295.80 RVU)和消减值(200 RVU和168.58 RVU)均较高;糊化时间、糊化温度、回冷恢复值和最终黏度均较低, 且最终黏度

低于峰值黏度。而直链淀粉含量高的高粱品系一般峰值黏度较低, 且最终黏度低于峰值黏度。在14个高粱品系中, 265-1Y的峰值黏度低, 最终黏度值最大, 为263.01 RVU。不同高粱品系的RVA谱差异明显, 主要表现在各个黏滞性特征值上。由表3可知, 峰值黏度变幅为215.54–323.93 RVU, 其中直链淀粉含量低的高粱品系L88021B和L8808B峰值黏度最高, 说明直链淀粉含量低的高粱的淀粉膨胀能力最强。关于热浆黏度, L8808B该值最大, 为103.88 RVU; DK33B最小, 只有85.12 RVU。最终黏度主要表征淀粉糊的硬度, 14个品系中265-1Y的最终黏度值最大, 为263.01 RVU; L88021B和L8808B的最终黏度值最小, 分别为124.17 RVU和127.92 RVU。可见冷却后直链淀粉含量低的高粱品系淀粉糊的硬度相对较小。崩解值、回冷恢复值和消减值的变幅相对较大, 分别为118.89–227.21、23.96–166.01和6.60–200.00 RVU。

### 2.4 相关性分析

高粱淀粉各糊化特征值间的相关性分析见表4。从表4可以看出, 热浆黏度(HV)与其它特征值间的相关性均未达到显著水平;直链淀粉含量与峰值黏度(PV)和

表3 高粱品系的淀粉糊化特征参数

Table 3 Starch pasting parameters of sorghum cultivars

Variety (lines)	Peak paste viscosity (RVU)	Hot paste viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final paste viscosity (RVU)	Consistence (RVU)	Peak time (min)	Pasting temperature (°C)	Setback (RVU)
KS378	271.46 d	92.9 de	178.33 d	184.5 d	91.41 e	6.9 f	85.29 h	82.31 e
L88021B	323.93 a	95.59 cde	227.21 a	124.17 f	28.34 f	5.39 i	76.35 k	200 a
HC356	291.71 c	97.76 bcd	193.675 c	204.12 c	106.23 c	7.03 f	86.21 g	83.19 e
HC356/5346	311.83 b	102.63 a	203.26 b	207.56 bc	104.74 cd	6.61 g	83.57 i	93.31 d
L8808B	295.8 c	103.88 a	192.55 c	127.92 f	23.96 g	5.56 h	77.33 j	168.58 b
J7645/W2	243.49 f	102.14 ab	141.42 g	214.92 b	112.65 b	7.46 d	88.84 e	29.49 hi
SH6	259.89 e	99.23 abc	160.595 e	205.85 c	106.23 c	7.23 e	87.39 f	52.82 f
L9137	243.38 f	103.46 a	139.915 g	204.92 c	101.46 d	8.24 b	93.25 c	38.46 gh
SK70B	215.54 i	92.9 de	118.89 i	208.05 bc	115.12 b	8.19 b	93.14 c	6.6 j
456B	226.62 h	88.04 fg	138.54 g	204.13 c	116.11 b	8.36 b	94.26 b	23.77 i
265-1Y	218.42 i	97.28 cde	121.285 i	263.01 a	166.01 a	9.02 a	95.83 a	36.53 gh
DK33B	233.85 g	85.12 g	148.61 f	188.42 d	103.26 cd	7.91 c	91.47 d	44.46 fg
SK147B	221.31 hi	92.42 ef	128.955 h	200.2 c	107.71 c	7.97 c	91.85 d	22.41 i
L88032/1383.H3	311.7 b	85.39 g	226.03 a	176.86 e	91.41 e	6.93 f	85.54 gf	130.42 c

数据后不同字母表示在0.05水平上差异显著。

The data followed by different small letters indicated significant difference at 0.05 level.

表4 高粱品系淀粉各糊化特征值间的相关系数

Table 4 Correlation coefficients for starch pasting parameter values of sorghum cultivars														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 Amylose content	1													
2 Swelling power	-0.94**	1												
3 Onset temperature	-0.77**	0.69**	1											
4 Peak temperature	-0.71**	0.61*	0.64*	1										
5 Conclusion temperature	-0.66**	0.62*	0.82**	0.80**	1									
6 Enthalpy of transition	-0.73**	0.66**	0.29	0.62*	0.41	1								
7 Peak paste viscosity	-0.60*	0.78**	0.36	0.1	0.15	0.31	1							
8 Hot paste viscosity	-0.24	0.12	0.15	-0.13	-0.06	-0.06	0.19	1						
9 Breakdown	-0.58*	0.79**	0.35	0.14	0.18	0.34	0.98**	0.02	1					
10 Final paste viscosity	0.86**	-0.88**	-0.52*	-0.51	-0.39	-0.77**	-0.64**	0.03	-0.67**	1				
11 Consistence	0.89**	-0.89**	-0.54*	-0.48	-0.37	-0.75**	-0.67**	-0.16	-0.67**	0.98**	1			
12 Peak time	0.81**	-0.86**	-0.48	-0.35	-0.25	-0.60*	-0.88**	-0.26	-0.85**	0.85**	0.89**	1		
13 Pasting temperature	0.83**	-0.88**	-0.52*	-0.39	-0.3	-0.59*	-0.89**	-0.28	-0.86**	0.83**	0.87**	1.00**	1	
14 Setback	-0.87**	0.97**	0.65**	0.5	0.53*	0.53*	0.89*	0.14	0.90**	-0.82**	-0.83**	-0.90**	-0.93**	1

\*P<0.05; \*\* P<0.01

\* $P<0.05$ ; \*\*  $P<0.01$

崩解值呈显著负相关,与最终黏度(FV)、回冷恢复值、糊化时间和糊化温度呈极显著正相关,与其它特征值均呈极显著负相关;膨胀势与峰值温度( $T_p$ )和终止温度( $T_c$ )呈显著正相关,与崩解值、最终黏度、回冷恢复值、糊化时间和糊化温度呈极显著负相关,与其它特征值均呈极显著正相关;起始温度( $T_o$ )与峰值温度( $T_p$ )呈显著正相关,与最终黏度和回冷恢复值呈显著负相关,与终止温度和消减值呈极显著正相关;峰值温度与终止温度呈极显著正相关,与热焓变化( $\Delta H$ )呈显著正相关;终止温度与消减值呈显著正相关,与其它特征值则不具相关性;热焓变化与消减值呈显著正相关,与糊化时间和糊化温度呈显著负相关,与最终黏度和回冷恢复值呈极显著负相关;峰值黏度与最终黏度、回冷恢复值、糊化时间和糊化温度呈极显著负相关,与崩解值和消减值呈极显著正相关;崩解值与最终黏度、回冷恢复值、糊化时间和糊化温度呈极显著负相关,与消减值呈极显著正相关;最终黏度与回冷恢复值、糊化时间和糊化温度,回冷恢复值与糊化时间和糊化温度,糊化时间与糊化温度也呈极显著正相关;消减值与最终黏度、回冷恢复值、糊化时间和糊化温度呈极显著负相关。

2.5 讨论

淀粉糊化实质上是淀粉晶体的溶解,涉及淀粉晶体、支链淀粉双螺旋结构的断裂和分解,淀粉体间排列的紧密程度和淀粉体形状的差异,直链淀粉从淀粉体中的浸出以及支链淀粉链的分子组成等(Cheetham and Tao, 1998; Buleon et al., 1998; Meadows, 2002; Noda et al., 2003; Vandeputtea et al., 2003; Cameron and Wang, 2005)。因此,将直链淀粉含量与淀粉黏性特征结合起来研究,更能充分揭示高粱淀粉的糊化特性。

长期以来,直链淀粉含量一直是评价高粱糯性品质的主要指标。它直接影响着高粱的糊化特性,进而影响高粱面粉的食用品质。本研究的相关性分析进一步表明,直链淀粉含量与最终黏度(FV)、回冷恢复值、糊化时间和糊化温度呈极显著正相关,与峰值黏度(PV)和崩解值呈显著负相关,与其它特征值均呈极显著负相关。其中,与回冷恢复值的相关系数最高( $R=0.89$ ),最终黏度次之( $R=0.86$ ),说明高粱在直链淀粉含量上的差异可表现出不同的RVA谱特征值。这

与舒庆尧等(1998)、吴殿星等(2001)和张艳霞等(2007)的研究结果相似,但本研究结果与上述文献在RVA谱特征值变化规律上的差异可能与研究的作物品种类型、品种数目和取样方法的不同有关。

淀粉糊化特性是反映淀粉品质的重要指标,对淀粉的应用品质有重要影响。RVA参数主要反映淀粉的黏滞性。本研究结果表明,直链淀粉含量低的高粱品系L88021B和L8808B的峰值黏度和消减值均较高;糊化时间、糊化温度、回冷恢复值和最终黏度均较低,且最终黏度低于峰值黏度。而直链淀粉含量高的高粱品系峰值黏度一般较低,且最终黏度低于峰值黏度。这与丁国祥等(1996)和蔡一霞等(2006)的研究结果一致。因此,在品质育种中,将直链淀粉含量的选择与RVA谱的测定相结合,对提高选择准确率具有重要意义。

DSC测定的糊化温度反映了淀粉中微晶质量的优劣程度(有效的双螺旋长度),而热焓变化反映了淀粉的整体结晶度和淀粉结构的稳定性。本研究结果表明,直链淀粉含量低的高粱品系L88021B和L8808B的起始温度、峰值温度、终止温度和糊化时的热焓变化均最高;而直链淀粉含量高的高粱品系的上述热力学参数值均相对较低。本研究采用差示扫描量热法(DSC)分析高粱淀粉的糊化特性,所需样品少且重复性好,所得糊化温度和热焓变化等参数较全面地反映了淀粉的糊化特性,能较好地预测淀粉结构的稳定性,可用于今后的相关研究。

## 参考文献

- 蔡一霞,王维,朱智伟,张祖建,杨建昌,朱庆森(2006). 不同类型水稻支链淀粉理化特性及其与米粉糊化特征的关系. *中国农业科学* **39**, 1122–1129.
- 程方明,钟连进,舒庆尧,黄华宏,石春海,吴平(2002). 早籼水稻垩白部位淀粉的蒸煮食味品质特征. *作物学报* **28**, 363–368.
- 丁国祥,戴清炳,曾庆曦,唐玉明(1996). 不同淀粉结构高粱籽粒的酿酒工艺参数研究. *绵阳农专学报* **13**, 4–5.
- 黄华宏,陆国权,舒庆尧(2002). 高色素甘薯淀粉糊化特征的基因型差异. *作物学报* **31**, 92–96.
- 罗玉坤,林榕辉,陈玉英,吴戊君,闵捷(1988). 中华人民共和国农业部颁标准NY147-88, 米质测定方法. 北京: 中国标准测定出版社. pp. 4–6.
- 舒庆尧,吴殿星,夏英武,高明尉(1998). 稻米淀粉RVA谱特征与食用品质的关系. *中国农业科学* **31**, 25–29.
- 宋高友,张纯慎,苏益民,廖英丹(1987). 高粱籽粒品质性状优势利用. *辽宁农业科学* (3), 1–7.
- 谈移芳,张启发(2001). 水稻蜡质基因引导区的两个SSR序列与直链淀粉含量的相关性. *植物学报* **43**, 146–150.
- 吴殿星,舒庆尧,夏英武(2001). RVA分析辅助选择食用优质早籼稻的研究. *作物学报* **27**, 165–172.
- 张艳霞,丁艳锋,李刚华,王强盛,黄丕生,王绍华(2007). 直链淀粉含量不同的稻米淀粉结构、糊化特性研究. *作物学报* **33**, 1201–1205.
- American Association of Cereal Chemistry (AACC) (1995). Methods 61-02 for RVA. 9th ed. St. Paul, MN: AACC.
- Boudries N, Belhaneche N, Nadjemi B, Deroanne C, Mathlouthi M, Roger B, Sindic M (2009). Physico-chemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. *Carbohydr Polym* **78**, 475–480.
- Buleon A, Colonna P, Planchot V (1998). Mini review: starch granules: structure and biosynthesis. *Int J Biol Macromol* **23**, 85–112.
- Cameron DK, Wang YJ (2005). A better understanding of factors that affect the hardness and stickiness of long-grain rice. *Cereal Chem* **82**, 113–119.
- Cheetham NWH, Tao L (1998). Variation in crystalline type with amylase content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study. *Carbohydr Polym* **36**, 277–284.
- Choi H, Kim W, Shin M (2004). Properties of Korean Amaranth starch compared to waxy millet and waxy sorghum starches. *Starch (Strake)* **56**, 469–477.
- Collado LS, Corke H (1997). Properties of starch noodles as affected by sweet potato genotype. *Cereal Chem* **74**, 182–187.
- McCormick KM, Panozzo JF, Hong SH (1991). A swelling power test selecting potential noodle quality wheats. *Aust J Agr Res* **42**, 317–323.
- Meadows F (2002). Pasting process in rice flour using rapid visco analyzer curves and first derivatives. *Cereal Chem* **79**, 559–562.
- Noda T, Nishiba Y, Sato T, Suda I (2003). Properties of starches from several low-amylose rice cultivars. *Cereal Chem* **80**, 193–197.
- Olayinka OO, Adebawale KO, Oluo Owolabi BI (2008). Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of white sorghum starch. *Food Hydrocoll* **22**,

225–230.

**Sang YJ, Bean S, Seib PA, Shi YC** (2008). Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content. *J Agric Food Chem* **56**, 6680–6685.

**Stolt M, Oinonen S, Autio K** (2001). Effect of high pressure on the physical properties of barley starch. *Innov Food Sci Emerg Technol* **1**, 167–175.

**Subrahmanyam SN, Hoseney RC** (1995). Shear thinning properties of sorghum starch. *Cereal Chem* **72**, 7–10.

**Taylor JRN, Schober TJ, Bean SR** (2006). Novel food and

non-food uses for sorghum and millets. *J Cereal Sci* **44**, 252–271.

**Vallons KJR, Arendt EK** (2009). Effects of high pressure and temperature on the structural and rheological properties of sorghum starch. *Innov Food Sci Emerg Technol* **10**, 449–456.

**Vandeputtea GE, Vermeylena R, Geeroms J, Delcour JA** (2003). Rice starches III. Structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. *J Cereal Sci* **38**, 61–68.

## Genetic Variation in the Starch Pasting Properties of Different Sorghum Cultivars

Fuping Zhou<sup>\*</sup>, Qingshan Liu, Xiaojuan Zhang, Yizhong Zhang, Qiang Shao, Chunlai Zhang

*Sorghum Institute of Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Jinzhong 030600, China*

**Abstract** To further understand the inheritance of sorghum quality characteristics, we measured 14 sorghum breeding lines for amylose content and parameters for starch pasting properties by differential scanning calorimetry (DSC) and starch rapid visco analyzer (RVA). We also examined the genetic variation in these characteristics and their mutual relationships. Amylose content varied greatly among sorghum lines, from 0.29%–29.45%. Pasting properties differed. In general, low-amylose-content sorghum had higher  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  and  $\Delta H$  values and high-amylose-content sorghum had relatively lower  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ , and  $\Delta H$  values. RVA profile differences among different lines were mainly manifested in various viscosity characteristics. RVA profiles of low-amylose-content sorghum showed higher peak viscosity (PV) and maximum setback, whereas high-amylose-content sorghum showed lower PV. Amylose content and swelling power were correlated, and the value of other characteristics were significant. We found a negative correlation between PV and final viscosity (FV), consistence, gelatinization time, and pasting temperature. Correlations between PV, breakdown and setback were positive. Selection based on the combination of amylose content and determination of RVA profiles will help improve selection accuracy. This method can provide a theoretical basis for breeding improvement.

**Key words** sorghum, starch, pasting property, differential scanning calorimetry, rapid visco analyzer

**Zhou FP, Liu QS, Zhang XJ, Zhang YZ, Shao Q, Zhang CL** (2014). Genetic variation in the starch pasting properties of different sorghum cultivars. *Chin Bull Bot* **49**, 306–312.

---

<sup>\*</sup> Author for correspondence. E-mail: zhouluping2005@126.com