

粉状富淀粉传统保健食材碳水化合物体外消化特性

梁晓丽 范志红* 王淑颖

(中国农业大学 食品科学与营养工程学院,北京 100083)

摘要 探讨焙烤后打粉冲糊方法对富淀粉保健食材碳水化合物消化特性的影响。采用体外模拟消化方法测定各样品快消化淀粉、慢消化淀粉和抗性淀粉的含量及水解率,并对淀粉糊化温度、糊化度等进行研究。试验结果表明:冲糊水量和温度显著影响样品的水解速率和淀粉类型,增加沸水量可使所有样品的水解指数超过蒸煮处理水平,蒸煮处理山药干、芡实、莲子、薏米和红小豆血糖负荷评估值分别为 47.38、42.28、29.05、42.79 和 28.96;沸水量大冲糊方法的血糖负荷评估值分别为 51.80、55.49、50.19、50.93 和 40.26。控制冲糊方法或可有效控制粉状淀粉食材的消化速度和淀粉类型比例,为不同生理状况的人群控制其血糖反应提供可能性。

关键词 保健食材粉; 冲糊方式; 碳水化合物; 体外消化速度; 淀粉类型

中图分类号 TS 210.1

文章编号 1007-4333(2011)05-0138-06

文献标志码 A

In vitro carbohydrate digestion properties of traditional powder starchy food materials

LIANG Xiao-li, FAN Zhi-hong*, WANG Shu-ying

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract To study the effects of pasting condition on roasted and powdered starchy materials with respect of carbohydrate digestion characteristics. The contents of various starch fractions such as rapid digestion starch, slow digestion starch, resistant starch and hydrolysis rate were measured by *in vitro* pancreatic digestion enzyme hydrolysis procedure. The pasting temperatures were determined by rapid viscosity analyzer. The degree of gelatinization also was measured. The results indicated that the temperature and volume of boiling water added significantly affected the hydrolysis rate and the ratio of starch types of the starchy paste samples. Increasing the volumes of boiling water may render remarkably higher hydrolysis index comparing to that of the normal cooking treatments in all samples. The expected glucose loads of dry yams, gordon euryales, lotus seeds, coix seeds and adzuki beans were 47.38, 42.28, 29.05, 42.79 and 28.96, respectively, in normal cooking treatments, while the expected glucose loads were 51.80, 55.49, 50.19, 50.93 and 40.26, respectively, in more boiling water pasting procedures. There is the possibility that carbohydrates digestion rate and the starch type profile be effectively modified by adjusting the pasting procedures so as to accommodate the needs of the people of different physiological conditions in terms of blood glucose response.

Key words roasted and powdered starchy materials; pasting procedures; carbohydrates; *in vitro* digestibility; starch types

中国传统的药食两用淀粉食材如芡实、莲子、山药和薏米的淀粉含量均在 70% 以上,与谷类相近^[1]。红小豆属于淀粉类豆,淀粉质量分数约 60%,均为中老年人和各种慢性病患者的常见保健食

材,其中有些食材如莲子可能对预防和控制糖尿病等慢性疾病有利^[2],而山药、芡实的血糖反应较高^[3]。目前许多超市销售经低温烘焙后打成粉的保健食材,部分居民用其冲糊后替代主食;然而也有人

收稿日期: 2011-03-30

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2008BAD91B01); 大城市现代营养配餐技术研究与示范

第一作者: 梁晓丽,硕士研究生, E-mail: kdlxl1985@126.com

通讯作者: 范志红,副教授,主要从事食物营养研究, E-mail: daisyfan@vip.sina.com

担心经打粉后可能提高其血糖反应,或担心加热不足影响消化率。烘焙后冲糊食用方式对这些食材中碳水化合物的消化速度及血糖反应的影响,目前未见报道。

本研究选用芡实、莲子、山药、薏米和红小豆为原料,测定粉状样品冲糊后的淀粉组分及体外模拟小肠碳水化合物消化特性,与同样原料传统煮粥方法的样品进行比较,旨在为科学食用这类打粉保健食品提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 材料及试剂

试验材料:芡实(产地:广东肇实)、莲子(湖南)、山药干(广西)、薏米(贵州)和红小豆(北京),经90℃焙烤30 min,再于120℃焙烤5 min,用微粉磨粉机打成粉,过100目筛制成粉状原料。样品原料由深圳香雅食品有限公司提供。用于对照的粳米为金健牌特级,购自学院路超市发超市。

试剂:胰酶(pancreatin)、淀粉葡萄糖苷酶(amyloglucosidase)(Sigma公司产品),3,5-二硝基水杨酸试剂、pH5.2磷酸钠缓冲液、7 mol/L KOH溶液、0.5 mol/L 乙酸溶液和无水乙醇。

1.2 仪器设备

快速黏度分析仪,澳大利亚 Newport 科学仪器公司;水浴恒温振荡器,江苏金坛容华仪器制造有限公司;飞鸽牌离心机,上海安亭科学仪器厂;紫外可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;磨粉机等。

1.3 试验方法

1.3.1 样品前处理

常压烹调处理。山药干、芡实、莲子、薏米和红小豆加入纯净水($m(\text{水}):m(\text{食材})=6:1$),于4℃分别浸泡10、24、7、6和24 h^[4]。山药干、莲子、薏米加6倍水,水沸后蒸煮40 min;芡实、红小豆蒸煮60 min。粳米不浸泡直接加6倍水蒸煮40 min。烹调后自然降温到50℃以下时取出,在匀浆器内加工10 s,取样测定。

粉状样品的冲糊方法。根据试验测得的总淀粉含量(TS)计算得到含50 g淀粉各样品的质量分别为:山药粉70.62 g、芡实粉62.81 g、莲子粉74.40 g、薏米粉70.32 g和红小豆粉78.86 g(表3)。处理

1:先加入125 mL纯净水(室温)充分混匀,再加入375 mL沸水搅拌均匀,样品加水后混合温度约为67℃;处理2:加入25 mL纯净水(室温)充分混匀,再加入475 mL沸水搅拌均匀,样品加水后混合温度为76℃。取充分搅匀的糊状样品进行测定。

糊化特性试验样品的制备。将原料样品放到烘箱中,60℃干燥4 h后,再用粉碎机粉碎,过40目筛,即得用于糊化分析的样品。

1.3.2 主要试验方法

淀粉消化组分及预测血糖负荷值的测定。以常压蒸煮40 min粳米作为对照样品,采用体外模拟消化试验,按Englyst等的酶解方法进行^[5]。样品中总淀粉(TS)、快消化淀粉(RDS)、慢消化淀粉(SDS)、抗消化淀粉(RS)的质量分数及淀粉消化指数(SDI)、水解指数(HI)和血糖负荷评估值(EGL)计算公式如下:

$$w(\text{SDI})/\%=(m(\text{RDS})/m(\text{TS}))\times 100$$

$$\text{HI}/\%=(a_1/a_2)\times 100$$

$$\text{EGL}=\text{HI}\times w_1$$

式中: a_1 和 a_2 分别为样品消化曲线和对照样品消化曲线与 x 轴间的面积; w_1 为样品中可利用碳水化合物的质量分数,按照Englyst酶解方法测定并计算。

加入酶液后,于0、2、5、10、20、30、60、120和180 min取样测定还原糖质量分数,研究各样品碳水化合物的水解率随水解时间的变化规律,并对其血糖负荷进行评估。

糊化温度的测定。根据AACC 61—02标准方法^[6]稍加改进。测定过程中罐内温度变化如下:50℃保持1 min,以12℃/min速率上升到95℃(该过程需要3.75 min);95℃下保持2.5 min,以后下降到50℃(3.75 min);50℃保持1.4 min。搅拌器初始10 s内转速为960 r/min,之后维持在160 r/min。测得糊化温度。

糊化度的测定。根据熊易强方法^[7]稍加改进。

$$\text{糊化度}/\%=(\text{测定样品的吸光值}-\text{空白吸光值})/(\text{全糊化样品吸光值}-\text{空白吸光值})\times 100$$

统计分析方法。所有试验数据经Excel软件处理,并用SPSS17.0软件包进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 糊化温度及糊化度

各食材原料黏度开始上升时的糊化温度和不同烹调方式的糊化度见表1。冲糊方式1(冲后67℃)

和冲糊方式2(冲后76℃)均未达到各样品原料黏度开始上升时的糊化温度,故不可能所有淀粉粒全部糊化;但因沸水的注入使得局部温度超过糊化温度,且原料经过烤制和物理粉碎,提高了传热效率与水的接触速度,仍有很大部分淀粉被糊化。

表1 样品的糊化温度及糊化度

Table 1 Pasting temperature and gelatinization degree of the samples

测定指标	烹调方法	山药干	芡实	莲子	薏米	红小豆
糊化温度/℃		76.03±0.02	79.80±0.02	84.95±0.00	82.93±0.43	80.08±0.02
糊化度/%	蒸煮	63.26±1.31	73.23±1.62	65.64±2.87	85.95±3.94	61.07±3.28
	冲糊1	50.10±4.82	78.49±5.78	68.73±1.49	87.75±2.35	65.32±4.53
	冲糊2	79.49±4.21	84.87±3.73	78.57±2.64	92.70±4.56	82.25±4.38

注:测定结果以测定平均值±标准差的形式给出,下表同。

2.2 碳水化合物体外水解进程

对常压烹调和2种冲糊方法处理的各食材样品的消化进程进行对比,碳水化合物水解率随消化时

间的变化见表2。除芡实和红小豆在消化时间2 min、薏米在消化时间180 min时未表现出显著差异之外,各样品不同冲糊方法在消化过程中水解率均

表2 碳水化合物水解率随消化时间的变化

Table 2 Change in carbohydrate hydrolysis rate with digestion duration

样品	烹调方法	消化时间/min								/%
		2	5	10	20	30	60	120	180	
对照 ^①	蒸煮	46.82±2.17 d	56.71±0.07 d	63.64±1.00 d	72.26±1.00 d	75.65±2.98 d	81.02±1.65 d	85.81±1.02 d	87.82±1.20 d	
山药干	蒸煮	30.54±1.68 b	39.54±1.39 b	45.33±1.30 b	51.09±1.93 b	55.15±1.88 b	60.91±2.46 b	65.79±1.91 b	67.68±1.96 b	
	冲糊1	13.96±0.83 a	17.24±0.50 a	21.03±0.52 a	24.91±0.50 a	27.19±1.04 a	33.33±0.52 a	38.86±0.50 a	40.99±0.50 a	
	冲糊2	38.46±2.90 c	45.03±0.28 c	51.33±1.42 c	56.13±1.69 c	60.52±1.38 b	66.89±1.41 c	71.35±1.41 c	74.30±2.83 c	
芡实	蒸煮	15.59±1.66 a	20.20±2.06 a	26.13±1.33 a	30.62±1.22 a	39.06±0.92 c	47.22±1.46 a	57.33±1.26 a	62.52±0.09 a	
	冲糊1	21.17±0.50 b	23.34±0.19 b	25.43±0.35 a	29.48±0.12 a	35.09±0.64 c	53.86±0.61 b	65.05±0.12 b	70.09±0.33 b	
	冲糊2	21.35±0.73 b	25.91±0.32 c	33.98±1.96 b	39.27±0.48 b	44.96±0.51 a	59.01±0.64 c	76.15±1.05 c	84.33±1.10 d	
莲子	蒸煮	21.46±0.81 a	27.18±0.38 b	29.24±0.71 a	37.70±0.57 b	38.67±4.51 c	39.99±0.58 a	41.32±0.57 a	43.34±0.84 a	
	冲糊1	11.16±1.90 b	14.96±1.90 a	18.90±2.34 b	25.00±3.25 a	30.44±5.29 a	42.80±4.81 a	54.52±2.75 b	62.90±3.15 b	
	冲糊2	23.04±1.55 a	38.03±1.62 a	49.62±2.43 c	59.46±3.00 c	64.72±2.17 b	71.85±1.28 c	73.31±0.21 c	74.87±0.67 c	
薏米	蒸煮	17.00±0.90 a	21.44±0.66 a	27.59±1.93 a	31.41±1.69 a	39.47±1.58 c	53.73±1.85 a	64.81±1.33 b	67.73±0.34 b	
	冲糊1	18.13±0.82 a	22.31±1.19 a	28.20±1.76 a	38.97±1.73 b	45.37±3.23 a	55.79±2.91 a	68.03±3.82 bc	74.74±2.62 c	
	冲糊2	28.23±0.95 b	33.31±1.00 b	38.39±1.06 b	44.38±1.05 c	55.82±4.34 b	68.68±1.13 b	73.47±0.92 c	75.96±0.53 c	
红小豆	蒸煮	10.09±0.07 a	14.65±0.30 a	20.42±0.01 a	27.12±0.16 a	32.85±0.35 a	40.44±0.93 a	47.76±0.53 a	52.24±0.43 a	
	冲糊1	16.40±0.04 b	21.57±1.53 b	26.84±1.92 b	33.96±0.99 a	39.17±1.93 c	48.81±1.51 b	51.62±0.50 a	53.20±1.49 a	
	冲糊2	17.98±1.06 b	25.21±0.50 c	32.32±1.41 c	40.97±0.71 b	48.33±1.06 b	59.40±1.41 c	65.74±1.16 b	68.35±1.41 b	

注:①以粳米为对照样品。同列数据不同字母表示同种样品及对照间差异显著($P<0.05$)。下表同。

表现出显著或极显著差异。

与蒸煮烹调样品相比，沸水添加量较大的冲糊方法 2 表现出较高的淀粉水解率，除莲子样品消化时间 2 min 之外，所有各样品消化时间淀粉水解率均显著高于蒸煮样品。

沸水添加比例较低的冲糊方法 1 淀粉水解率则相对略低，仅薏米和红小豆两个样品消化时间点的淀粉水解率高于蒸煮样品，莲子和芡实在 60 min 后的淀粉水解率均高于蒸煮样品，而山药片样品各消化时间点的淀粉水解率均低于蒸煮样品。

与对照样品相比，各保健食材的蒸煮或冲糊各处理均表现出较低的淀粉水解率，2~180 min 消化时间内均有极显著差异，而在消化进程早期这种差

异更为突出。

2.3 碳水化合物类型及预期血糖反应

水解指数(HI)可对食物的血糖指数(glycemic index, GI)进行预测^[8]，而血糖负荷评估值(EG)综合考虑了食物中碳水化合物的含量和消化速度，可对食物的血糖负荷(glycemic load, GL)进行预测^[9]。

各样品不同处理条件下的碳水化合物消化速度见表 3。对于所有试验样品，不同的前处理方式均影响淀粉组分的含量。冲糊方式 1 与冲糊方式 2 相比，均表现为快消化淀粉(RDS)极显著降低，同时抗消化淀粉(RS)极显著增加。其淀粉消化指数(SDI)、HI 和 EGL 均显著或极显著低于冲糊方式 2。

表 3 各处理样品淀粉组分、水解指数和预期血糖负荷值

Table 3 Starch fractions, hydrolysis index and expected glycemic load of the samples

样品	烹调方法	w(TS)/ (g/100g)	w(RDS)/ (g/100g)	w(SDS)/ (g/100g)	w(RS)/ (g/100g)	SDI/%	HI	EGL
对照	蒸煮	79.38±0.01 a	65.04±0.90 a	12.20±0.02 a	2.14±0.92 d	81.93±1.14 d	100 d	79.38
山药干	蒸煮	72.72±0.46 b	45.98±0.80 b	13.23±0.78 a	13.51±1.12 a	63.23±0.70 a	65.15±1.68 a	47.38
	冲糊 1	72.64±0.08 b	22.42±0.37 c	12.55±0.02 a	37.67±0.43 c	30.87±0.53 b	36.99±0.59 b	26.87
	冲糊 2	72.52±0.28 b	50.51±1.52 d	13.70±0.25 a	8.31±1.56 b	69.65±2.37 c	71.42±1.92 c	51.80
芡实	蒸煮	78.32±0.35 c	27.55±1.10 b	24.05±0.04 b	26.72±0.78 a	35.18±1.25 a	53.98±1.01 a	42.28
	冲糊 1	78.92±0.23 c	26.53±0.11 b	32.01±0.01 c	20.38±0.25 b	33.62±0.17 a	59.75±0.03 b	47.16
	冲糊 2	78.77±0.20 c	35.34±0.43 c	33.19±0.52 c	10.24±1.14 c	44.86±0.66 b	70.44±0.96 c	55.49
莲子	蒸煮	68.58±0.47 d	33.93±0.72 b	3.26±0.01 b	31.39±0.26 a	49.47±0.56 a	42.36±1.14 a	29.05
	冲糊 1	69.00±0.32 d	22.50±2.70 c	26.57±0.39 c	19.93±2.37 b	32.61±3.97 b	50.66±3.67 b	34.95
	冲糊 2	68.28±0.16 d	53.51±2.70 d	12.47±2.52 d	2.30±0.33 d	78.37±4.12 d	73.50±1.05 c	50.19
薏米	蒸煮	71.95±0.03 e	28.27±1.52 b	30.06±1.80bc	13.63±1.20 a	39.29±2.11 a	59.47±0.90 a	42.79
	冲糊 1	72.00±0.11 e	30.57±1.78 b	30.65±3.15 b	10.78±1.48 a	42.46±2.42 a	63.35±0.37 a	45.61
	冲糊 2	71.69±0.43 e	39.94±0.94 c	26.18±1.21 c	5.57±0.40 d	55.71±1.34 b	71.05±0.66 b	50.93
红小豆	蒸煮	64.01±0.13 f	24.41±0.14 b	18.58±0.34 b	21.03±0.59 a	38.13±0.29 a	45.25±0.29 a	28.96
	冲糊 1	63.95±0.11 f	30.56±0.89 c	15.89±0.45 a	17.50±0.49 a	47.79±1.42 b	50.04±1.79 a	32.00
	冲糊 2	64.01±0.21 f	36.88±0.64 d	22.29±1.68 c	4.84±0.83 d	57.61±1.18 c	62.90±1.23 b	40.26

注：TS,总淀粉；RDS,快消化淀粉；SDS,慢消化淀粉；RS,抗消化淀粉；SDI,淀粉消化指数；EGL,血糖负荷评估值；HI,水解指数，以粳米水解指数数值作为 100 进行计算。

与蒸煮烹调的样品相比，以冲糊方式 1 处理时，只有山药样品出现了 RS 的极显著增加，芡实和莲子样品表现出 SDS 的极显著增加，薏米样品的 SDS

和 RS 含量与蒸煮样品相比无显著差异，甚至红小豆样品还出现了显著下降。

从 HI 看，以冲糊方式 2 处理，芡实、山药、莲

子、薏米均达到粳米粥的70%以上,而红小豆也达到了62.9%,均属于消化速度较快的食物。而冲糊方法1处理时,除薏米达到对照的62%之外,其他样品均低于60%,山药粉样品仅为36%。而从相对EGL来看,冲糊方法2处理时,芡实、山药、莲子、薏米均达到50以上,而红小豆粉仅有40,约为粳米粥的50%。

3 讨论

目前国内外研究支持需要控制血糖的糖尿病患者选择富含淀粉的种子和薯类替代精白米作为主食的一部分^[10]。但本研究表明,同种食材的不同烹调方式,以及糊粉样品的不同冲糊方法,均可能导致其碳水化合物消化速度的显著差异。有研究证实,烹调处理条件会影响淀粉碳水化合物的消化特性^[11],物理淀粉粒度小则淀粉类食材的淀粉水解速度和人体血糖反应均会上升^[12],淀粉水解指数HI和GI之间有好的相关性,而EGL与GL也有较高相关性,能较可靠地预测碳水化合物食品餐后的血糖反应^[13]。山药、芡实本来就属于高血糖指数食物^[3],而食品制成糊粉状,具有较高的HI时,对糖尿病患者可能意味着提高餐后血糖反应而不利于血糖控制。

焙烤后打成粉的加工方式显著降低了样品的物理颗粒细度,且具有更高的吸水性和可溶性^[14],使样品容易与热水接触而糊化,这可能是冲糊方法2具有较高HI的主要原因。但是本研究证实,如果加入沸水较少,冲糊温度降低,与其糊化温度距离较远,那么即便是打成糊状的样品,其消化速度也可以控制在较低水平,并不比正常蒸煮烹调方法更高。这就意味着,不同生理状况的消费者可以采用不同冲糊方法。消化能力较差的人可以采用提高冲糊温度,甚至进行后续加热的方法,使淀粉充分糊化而达到促进消化吸收的作用;而需要控制血糖的消费者可以降低冲糊温度,保留较多的慢消化淀粉和抗性淀粉,从而控制血糖的快速上升。

研究证明,几种淀粉类食材的HI和EGL差异较大,可能与食材中淀粉本身的特性有关。山药淀粉平均粒径小,相对表面积较大^[15],表面存在众多可向颗粒内部渗透的的毛孔,有利于淀粉酶进入淀粉粒进行消化。此外,其支链淀粉含量较高^[16],打

粉后在充足沸水冲糊的条件下消化速度很快。芡实的单淀粉颗粒呈不规则多面体,以高度聚合的团粒形式存在^[17],团粒的存在使酶进入淀粉的过程受阻,可能会降低碳水化合物的消化速度^[18]。莲子淀粉颗粒中直链淀粉含量高,氢键相互作用较强减少了与酶的接触,可能与莲子消化速度低的结果有关^[19],与其血糖反应较低的研究结果^[2]是一致的。与其他样品相比,红小豆淀粉粒表面上没有空隙,又有膳食纤维和蛋白质将其紧紧包裹,淀粉水解速率低^[20]。同时,脂类,有机酸,单宁,植酸,胰蛋白酶抑制剂等抗营养因子的存在^[21],也可能与红小豆淀粉消化速度低有一定关系。

焙烤后打粉并用充足沸水冲糊之后,部分消除了样品物理性质上的差异,几种淀粉性质不同的食材在消化速度方面的差距有缩小的趋势,但作为淀粉豆类的红小豆仍与其他淀粉食材有较大差异。此前曾有研究证实,红小豆打粉之后进行高压烹调,可以显著提高其酶消化速度,但其消化速度仍然远远低于谷类食品^[22],属于有益糖尿病人控制血糖的食材^[23]。

以上几种淀粉食材打粉后不同冲糊方法对血糖反应的具体影响,还有待人体血糖试验的进一步验证。

4 结论

1)无论是蒸煮或打粉后冲糊,富含淀粉的保健食材的消化速度和预期血糖负荷均显著低于粳米粥,可以作为粗粮纳入需要控制血糖者的膳食当中。

2)各食材在焙烤后冲糊时,所添加冲糊用水的温度和数量对其中碳水化合物的消化速度有显著影响。提高冲糊温度有利于提高淀粉的酶解速度。

3)通过控制冲糊温度,可以有效控制粉状淀粉食材中不同消化速度的淀粉类型比例,从而为不同生理状况的人群控制其预期血糖反应提供了可能性。

参 考 文 献

- [1] 杨月欣. 中国食物成分表[M]. 北京:北京大学医学出版社, 2009:27-103
- [2] 田建华,胡建民,周菲. 食物中添加山药、莲子对46例2型糖尿病的影响[J]. 陕西中医, 2005, 26(3):198-200
- [3] 吴晓梅,何志谦,余斌杰. 五种淀粉类食物引起的血糖和C肽反应[J]. 营养学报, 1994, 16(2):175-178

- [4] Xu Baojun, Chang S K C. Effect of soaking, boiling and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes[J]. *Food Chemistry*, 2008, 10(1): 1-13
- [5] Englyst H N, Kingman S M, Hudson G J, et al. Measurement of resistant starch in vitro and in vivo[J]. *The British Journal of Nutrition*, 1996, 75(5): 749-755
- [6] American Association of Cereal Chemists. Approved methods of the AACC (10th ed.), methods 61-02 for RVA [S]. The Association; St. Paul, Minn, 2000
- [7] 熊易强. 饲料淀粉糊化度(熟化度)的测定[J]. *饲料工业*, 2000, 21(3): 30-32
- [8] Foster-Powell K, Holt S H A, Brand-Miller J C, et al. International table of glycemic index and glycemic load values; 2002[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 76(1): 5-56
- [9] 杨月欣. 食物血糖生成指数: 一个关于调节血糖的新概念[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2004: 9-62
- [10] Nadis S, Calcagno C, Zumin P, et al. Nutritional benefits for developing cereals for functional foods [J]. *Cereal Research Communications*, 2003, 31(3/4): 445-452
- [11] 刘波, 范志红, 曹展. 烹调处理条件对米饭碳水化合物消化特性的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2008, 13(2): 67-72
- [12] Hyun-Jung C, Hyesook S L, Seung-Taik L. Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch[J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 43: 53-359
- [13] Sharma P, Gujral H S, M. Rosell C M. Effects of roasting on barley β -glucan, thermal, textural and pasting properties[J]. *Journal of Cereal Science*, 2011, 53(1): 25-30
- [14] Araya H, Pak N, Vera G, et al. Digestion rate of legume carbohydrates and glycemic index of legume-based meals[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2003, 54: 19-126
- [15] Wang Shujun, Liu Hongyan, Gao Wenyuan, et al. Characterization of new starches separated from different Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) cultivars[J]. *Food Chemistry*, 2006, 99(1): 30-37
- [16] Oates C G. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 1997, 8(11): 375-382
- [17] 宋晶, 吴启南. 中药材芡实的 X 射线衍射 Fourier 图谱分析研究[J]. *河南中医*, 2010, 30(6): 557-558
- [18] Lindebom N, Chang P R, Tyler R T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches; a review [J]. *Starch/Stärke*, 2004, 56(3/4): 89-99
- [19] 曾绍校, 郑宝东, 林鸳缘, 等. 莲子淀粉颗粒特性的研究[J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(8): 63-64
- [20] 徐向东, 黄立新, 宁玄鹤, 等. 红小豆淀粉的性质研究[J]. *中国粮油学报*, 2010, 25(5): 34-38
- [21] Hoover R, Ratnayake W S. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada[J]. *Food Chemistry*, 2002, 78(4): 489-498
- [22] 刘芳, 曾悦, 范志红. 加工方法对红小豆碳水化合物消化速度的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(10): 89-92
- [23] 王彤, 何志谦, 梁奕铨, 等. 眉豆、绿豆及赤小豆对餐后血糖影响的研究[J]. *食品科学*, 2001, 22(5): 74-76

(责任编辑: 刘迎春)