

# 加工方式对全谷物粳米制品 体外消化特性的影响

杨新生<sup>1,2</sup>, 翟小童<sup>2</sup>, 谭斌<sup>2</sup>, 刘艳香<sup>2</sup>, 刘明<sup>2</sup>, 吴娜娜<sup>2</sup>, 肖志刚<sup>1</sup>

(1. 沈阳师范大学, 辽宁 沈阳 110034; 2. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037)

**摘要:**在体外“三段式”模拟消化体系下,评价了以同一品种粳糙米与粳白米为原料通过传统蒸制、煮制以及现代挤压加工方式制得的饭类、粥类和速食粥类制品的消化特性、葡萄糖扩散以及流变特性。结果表明,精白米制品初始还原糖含量(35%~50%)高于糙米制品(10%~25%);精白米制品在消化反应30~45 min后上升趋势变缓,而糙米饭类、粥类制品在消化过程持续90 min时仍有增长。糙米饭、粥、速食粥制品的血糖生成指数(GI)分别为76.51、83.78和65.49,分别低于精白米米饭、粥、速食粥制品的81.62、85.61和82.94。粥类制品在体外消化过程中葡萄糖扩散速率较快,扩散量大;糙米饭与精白米饭的葡萄糖扩散速率分别为0.08和0.17 g/min;糙米速食粥的葡萄糖扩散速率于消化反应30 min后开始升高,整体扩散量较少。不同加工方式都会影响米制品的消化特性,挤压加工对提高糙米制品消化体系粘度,降低糙米制品消化速率,葡萄糖扩散具有较为明显的作用。

**关键词:**全谷物;粳米制品;蒸煮;挤压膨化;体外消化特性;葡萄糖扩散;流变特性

**中图分类号:**TS 210.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2017)02-0005-06

## Effects of processing methods on the *in vitro* digestion characteristics of rice products

YANG Xin-sheng<sup>1,2</sup>, ZHAI Xiao-tong<sup>2</sup>, TAN Bin<sup>2</sup>, LIU Yan-xiang<sup>2</sup>,  
LIU Ming<sup>2</sup>, WU Na-na<sup>2</sup>, XIAO Zhi-gang<sup>1</sup>

(1. Shenyang Normal University, Shenyang Liaoning 110034;

2. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037)

**Abstract:** In order to evaluate the different effects of processing techniques on the *in vitro* digestion characteristics of rice products and brown rice products, steaming, boiling and extrusion techniques were used to make rice products, and their digestion characteristics, glucose diffusion and rheological property during digestion were stimulated by an *in vitro* oral-gastric-intestinal tract model. The results show that the glucose contents of white rice products (WRP) were 35%~50%, higher than those of brown rice products (BRP) which were about 10%~25%. The digestion rate of WRP slowed down after 30~45 min, while BRP could last for 90 min. The glycemic index (GI) of cooked BR, BR porridge and BR instant porridge were 76.51, 83.78 and 65.49, all less than WR products (81.62, 85.61 and 82.94, respectively). The porridge products performed higher glucose diffusion with more rapid rate than other type of products. The glucose diffusion rates of cooked BR and WR were 0.08g/min and 0.17g/min. The glucose diffusion of BR instant porridge started to increase after 30min digestion, with smaller amount. In conclusion, processing techniques affect the digestion characters of rice products. Extrusion could apparently enhance the viscosity of the digestion systems, decrease the digestion and glucose diffusion rates of brown rice produces.

**Key words:** whole grain; rice products; cooking; extrusion; *in vitro* digestion characteristics; glucose diffusion; rheology properties

收稿日期:2016-11-23

作者简介:杨新生,1992年出生,女,硕士研究生.

通讯作者:肖志刚,1972年出生,教授,博士,博士生导师.

长期以来,为了追求良好的食用品质和感官享

受,精加工米面制品已成为我国居民粮食消费的主要品种,导致我国初期代谢综合症、肥胖症、II型糖尿病、冠心病、癌症等慢性疾病高发呈增加的趋势<sup>[1]</sup>。研究表明,长期摄入血糖生成指数(GI值)较低的食物,延缓食物的消化和吸收速率对慢性疾病的防治具有重要作用<sup>[2]</sup>,经常食用全谷物制品将降低慢性疾病的患病风险<sup>[3]</sup>,食品的餐后消化规律和对血糖的影响与其组成成分和加工方式密切相关<sup>[4]</sup>。我国约有3/5的人口以稻米为主食<sup>[5]</sup>,传统的食用方式以粒食为主,包括蒸制或煮制的白米饭、白米粥等,南方地区较为常见的还有米线、米粉等。糙米是一种典型的全谷物,其糠层含有非淀粉多糖、脂类、维生素、矿物质和各种生理活性物质<sup>[6]</sup>,如同一个“营养素包”,相较于精白大米营养更为丰富<sup>[7]</sup>。为解决糙米制品“不好吃”、颜色较暗、货架期较短等问题,挤压膨化、超微粉碎等加工方式的运用,在提升了糙米制品的食用品质和方便性的同时,丰富了市场上产品的多样性。目前,国内外针对稻米制品的消化特性以及加工方式对其消化规律影响的系统研究依然缺乏。本研究通过对不同粳米制品消化过程的三段式体外模拟,评价了糙米、白米制品的餐后消化和葡萄糖扩散规律,探讨了传统的蒸煮加工方式和现代挤压加工方式对其消化特性的影响,以期在全谷物糙米制品的科学生产和消费提供理论参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 仪器与设备

TYQLQ-40型谷物筛选去石组合机:山东汶上凯华机械有限公司;LM400-3G睿谷脱壳糙米机:山东汶上凯华机械有限公司;CBS300BS碾米机:日本佐竹株式会社;SR-DE电饭煲:日本松下电器产业株式会社;Fibertec 2010纤维测定仪:丹麦福斯特卡托公司;快速定氮仪:德国Elementar Analysensysteme GmbH公司;FMHE36双螺杆挤压机:湖南富马科食品工程技术有限公司;FW-135型中草药粉碎机:天津泰斯特公司;磁力搅拌水浴锅:金坛市良友仪器有限公司;TA-XT2质构仪:英国Stable Micro Systems公司;T6紫外可见分光光度计:北京谱析通用仪器有限责任公司;AR-

2000动态流变仪:上海曲晨机电技术有限公司。

### 1.2 材料与试剂

粳稻(HYJ),产地黑龙江,2015年收获;糙米:通过中试设备去石、砻谷制成;精白米:糙米经碾米机2次碾磨制得精白米,糙出白率约为89%。

$\alpha$ -淀粉酶(A3176-500KU)、脂肪酶(L3126-500G)、胃蛋白酶(77161-100G)、胰蛋白酶(T1426-250MG)、胆盐(48305-50G-F):均购于sigma公司。

葡萄糖、氯化钾、磷酸二氢钾、碳酸氢钠、氯化钠、六水合氯化镁、碳酸铵、二水合氯化钙、3,5-二硝基水杨酸、苯甲酸、酒石酸钾钠、苯酚、氢氧化钠、亚硫酸钠、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠:均为国产分析纯。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 基本组分测定

水分含量测定:采用AACC 44-19,135℃干燥法;蛋白质含量测定:采用GB/T 24318-2009,杜马斯燃烧法;总淀粉含量测定:采用Megazyme总淀粉测定试剂盒(K-TAST 04/2009)测定;直链淀粉含量测定:采用Megazyme直链淀粉测定试剂盒(K-AMYZ 07/11)测定;粗纤维含量测定:GB/T 5009.10-2003,植物类食品中粗纤维的测定;可利用碳水化合物计算参照Frias. J<sup>[8]</sup>等人的方法。

#### 1.3.2 米制品制作

米饭的制作参照GB/T 15682-2008并稍作改动,将洗好的米加入1.6倍的水,用电饭煲的“标准”档位制作,焖制时间为15 min。米粥的制作在范志红等人的<sup>[9]</sup>实验方法上稍作改动,其中,糙米粥中加水6倍,于4℃下浸泡24 h,用电饭煲“稀粥”档位,常压煮制1 h;精白米粥加水8倍,常压煮制1 h。挤压速食粥的制作方法为:稻米原料经过粉碎、水分调节后,使用双螺杆挤压机挤压,高速旋转切刀切割造粒制成速食粥。挤压工艺参数为:机筒温度II区、III区、IV区、V区、VI区温度分别为60、90、115~120、40、30℃,物料水分16%,喂料速度18 kg/min,螺杆转速180 r/min,烤炉温度250℃。

#### 1.3.3 消化过程的体外模拟方法

食物在人体口腔和胃肠道消化过程的三段式体

外模拟参照 M. Minekus<sup>[10]</sup> 等人的方法并稍作改动, 每组平行实验 3 次。称取米饭、米粥、速食粥样品各 25 g 待测, 口腔模拟阶段加入  $\alpha$ -淀粉酶(7.5 U/mL), 体系温度 37 °C, 消化时间 2 min。胃部模拟阶段加入胃蛋白酶(100 U/mL), 用 1M HCl 调 pH 至 3.0, 体系温度 37 °C, 消化时间为 2 h。肠道模拟阶段加入  $\alpha$ -淀粉酶(10 U/mL)、胰蛋白酶(5 U/mL)和脂肪酶(10 U/mL), 用 1M NaOH 调节 pH 至 7.0, 体系温度 37 °C, 分别于消化时间为 0、5、10、20、30、45、60、90、120 和 180 min 时均匀取样 3 mL, 于沸水浴中灭酶 5 min 后, 冷却至室温, 用于还原糖含量和粘度测定。

### 1.3.4 还原糖含量测定

采用 3,5-二硝基水杨酸法测定还原糖。以 1 mg/mL 葡萄糖为标准样品, 以葡萄糖毫克数为横坐标、吸光度为纵坐标绘制标准曲线, 求得回归方程。将 1.3.3 中待测样品离心(3 500 r/min) 10 min, 取上清液测定还原糖含量。待测样品中还原糖含量(%)采用以下公式计算。

$$\text{还原糖含量} = \frac{\text{由回归方程求得的还原糖的质量} \times \frac{\text{提取液的体积}}{\text{显色时取用体积}}}{\text{样品质量}} \times 1000 \times 100\%$$

### 1.3.5 米制品的 GI 值计算

根据 Goni 等人<sup>[11]</sup> 的方法, 分别计算在模拟体系下, 样品的水解指数(HI)和 GI 值。

### 1.3.6 消化过程中葡萄糖扩散测定

参照 Fabek 等人<sup>[12]</sup> 的方法并稍作改动。按照 1.3.3 的方法进行口腔和胃部消化过程的体外模拟, 肠道反应阶段的模拟实验在分子截留量为 8 000 ~ 12 000 Da 的透析袋(美国 Viskase 公司)中进行。

将透析袋两端扎紧放入 450 mL 磷酸钠缓冲液中, 保持振荡使消化反应充分, 分别于消化时间为 0、5、10、20、30、45、60、90、120 和 180 min 时均匀取样 1 mL, 取上清液测定还原糖含量。每次取样后需在反应体系内加入等体积的磷酸钠缓冲液。

### 1.3.7 粘度测定

参照 Fabek<sup>[12]</sup> 等人的方法并稍作改动。流变仪选用配件为  $\phi$  40 mm、1°的锥形板, 间距设定为 50  $\mu$ m, 剪切速率为 0.2 ~ 600 s<sup>-1</sup>, 检测时体系温度为 (37  $\pm$  0.1) °C。1.3.3 中待测样品每次均匀取样 2 mL 用于粘度测定, 平行实验 3 次。

## 1.4 数据处理

实验数据采用 Excel 和 SPSS 21 进行分析处理, 方差分析选取 Ducan 检验, 在  $P < 0.05$  检验水平对数据进行统计学分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 加工方式对粳米制品基本组分的影响

为探讨不同加工方式对粳米制品体外消化特性的影响, 测定了由同一来源粳糙米和粳白米制成的米饭、米粥、速食粥等加工制品的基本组成, 计算了不同米制品中可利用碳水化合物的含量。由表 1 可知, 不同粳米制品基本组分之间的差别主要在于糙米和精白米之间的差异。糙米制品间基本组成成分差别不大, 其中, 总淀粉和蛋白质含量平均为 74.53% 和 9.56%, 与精白米制品相比, 糙米制品总淀粉含量低约 10%, 而蛋白质含量高约 15.7%。此外, 精白米制品中几乎不含粗纤维, 而糙米制品中粗纤维含量显著提高。

表 1 不同加工方式米制品主要组分

	粳糙米饭	粳糙米粥	粳糙米速食粥	粳白米饭	粳白米粥	粳白米速食粥
总淀粉	76.89 $\pm$ 1.16 <sup>bc</sup>	71.4 $\pm$ 4.07 <sup>cd</sup>	75.29 $\pm$ 2.73 <sup>cd</sup>	81.9 $\pm$ 1.21 <sup>d</sup>	83.82 $\pm$ 3.14 <sup>a</sup>	79.34 $\pm$ 1.79 <sup>b</sup>
直链淀粉	15.99 $\pm$ 0.73 <sup>c</sup>	15.7 $\pm$ 2.28 <sup>ab</sup>	15.22 $\pm$ 1.63 <sup>ab</sup>	12.22 $\pm$ 4.88 <sup>a</sup>	13.25 $\pm$ 0.76 <sup>b</sup>	12.94 $\pm$ 0.96 <sup>c</sup>
粗纤维	0.034 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.06 $\pm$ 0.008 <sup>a</sup>	0.026 $\pm$ 0.000 3 <sup>b</sup>	0.007 $\pm$ 0.001 <sup>c</sup>	0.008 $\pm$ 0.000 4 <sup>c</sup>	0.007 $\pm$ 0.003 <sup>c</sup>
蛋白质	10.1 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>	9.16 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>	9.42 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>	8.11 $\pm$ 0.15 <sup>e</sup>	8.61 $\pm$ 0.2c	8.07 $\pm$ 0.1d

注: 基本组分测定样品均经干燥至恒重, 数据结果均以干基计算, 表中数字表示平均值  $\pm$  标准偏差, 同行字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

由表 2 可知, 饭类和速食粥类制品中水分含量较粥类制品低, 分别为 61.54%、60% 和 88.89%; 饭类和

速食粥类制品的可利用碳水化合物含量约为 31% ~ 34%, 远高于粥类制品的 8% ~ 10%。因此, 为了使可

利用碳水化合物含量达到一致,需消耗粥类制品的量约为饭类和速食粥类制品的 3.5 倍。与糙米制品相

比,精白米制品中可利用碳水化合物含量略高,即可利用碳水化合物含量相同时,糙米制品消耗量较大。

表 2 不同加工方式的米制品碳水化合物利用量

	糙米饭	糙米粥	糙米速食粥	精白米饭	精白米粥	精白米速食粥
水分含量/%	61.54	88.89	60	61.54	88.89	60
可利用碳水化合物/%	31.23	8.45	31.84	33.27	9.91	33.53
可利用碳水化合物/g	50	50	50	50	50	50
消耗量/g	160.12	591.64	157.04	150.30	504.37	149.13

2.2 加工方式对粳米制品体外消化特性的影响

选择典型的粳糙米和粳白米制品作为研究对象,探讨了不同加工方式对粳米制品消化特性的影响,以及糙米与白米制品之间消化特性的差异。不同加工方式对粳米制品体外消化过程中还原糖释放量的影响结果如图 1 所示,所有制品的还原糖释放速率均基于制品干重计算,用以评价不同米制品的消化程度与进程。从整体来看,精白米制品较糙米制品更易被快速消化。精白米制品初始还原糖含量(35%~50%)高于糙米制品(10%~25%),还原糖释放量较高,在消化过程中还原糖释放速率更快。精白米制品在消化反应 30~45 min 后上升趋势变缓,而糙米饭类、粥类制品在消化过程持续 90 min 时仍有增长。已有研究表明,其原因主要在于糙米表皮富含非淀粉多糖的糠层结构在消化过程中起到了屏障的作用,阻碍了消化酶反应的进程<sup>[13]</sup>。

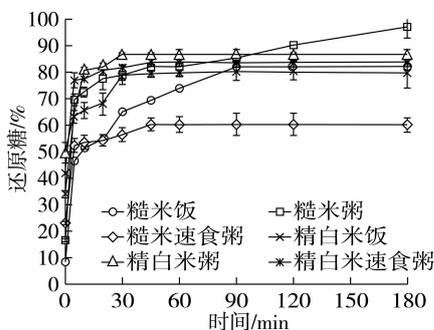


图 1 加工方式对粳米制品体外消化过程中还原糖释放量的影响

粥类比饭类制品初始还原糖含量高,还原糖释放量大,体外消化过程还原糖释放速率稍快,原因可能是与蒸制加工相比,煮制过程米淀粉在热和水作用下糊化程度更高,淀粉的膨胀和破裂导致可溶性淀粉更多,更易于被消化酶利用降解<sup>[14]</sup>。Snow 和 O’Dea 等人研究表明米糠层的物理形态对于米制

品的消化吸收起着重要作用<sup>[15]</sup>,图 1 中糙米粥的消化速率接近于精白米粥,可能是煮制过程破坏了米糠层对淀粉的包裹状态,淀粉与消化酶充分接触进而发生水解。精白米速食粥的还原糖释放量高于精白米饭,糙米速食粥在消化过程前 20 min 时略高于糙米饭,随后远低于糙米饭的还原糖释放量。可能是由于部分大米淀粉经过挤压糊化降解生成糊精、麦芽糖等小分子,导致还原糖含量增加<sup>[16]</sup>,另一方面在高温、高压、高剪切力作用下,糙米制品中水溶性非淀粉多糖含量增加<sup>[17]</sup>,消化液的粘度增大,因此延缓淀粉的消化速率<sup>[13]</sup>。

通过计算得到的不同加工方式对粳米制品 GI 值的影响结果如表 3 所示。精白大米制品自身 GI 值较高<sup>[18]</sup>,为 81.62,与 Goni 等人 1996 年的实验结论一致。糙米制品的 GI 值范围在 65~84 之间,低于精白米制品。粥类制品 GI 值高于饭类,精白米速食粥 GI 值(82.94)略高于精白米饭 GI 值(81.62),低于精白米粥 GI 值(85.61)。糙米速食粥 GI 值最低,为 65.49,表明挤压加工对降低糙米制品餐后血糖反应具有较为明显的作用。

表 3 加工方式对粳米制品 GI 值的影响

	糙米饭	糙米粥	糙米速食粥	精白米饭	精白米粥	精白米速食粥
HI 值	67.03	80.28	46.96	76.34	83.61	78.75
GI 值	76.51	83.78	65.49	81.62	85.61	82.94

2.3 加工方式对粳米制品体外消化过程中葡萄糖扩散的影响

用于模拟消化过程中小肠内葡萄糖扩散实验结果如图 2 所示。从整体来看,与饭类和速食粥类相比,粥类制品在体外消化过程葡萄糖的扩散速率较快,扩散量大,糙米粥与精白米粥变化趋势接近,100

g 制品在消化反应进行 5 min 后葡萄糖扩散量约以 0.3 g/min 的速率增加,至 90 min 后减缓为 0.2 g/min。糙米饭的葡萄糖扩散量低于精白米饭,二者均于消化反应 15 min 后检测到较为明显的葡萄糖扩散程度,扩散速率分别约为 0.08、0.17 g/min,以上结论与 2.2 中实验结果表明的粥类消化速率较快、白米饭比糙米饭消化更快一致,符合 Sagum 等人的研究结论<sup>[19]</sup>。精白米速食粥在消化过程葡萄糖扩散的趋势接近于精白米饭,糙米速食粥的葡萄糖扩散速率于消化反应 30 min 后开始升高,整体扩散量较小。一方面可能是由于糙米糠层中非淀粉多糖的物理“屏障”作用延缓了制品的消化进程以及水解产物的向外释放,另一方面是由于挤压过程,水不溶性非淀粉多糖转化为可溶性非淀粉多糖,从而在消化体系中形成黏性胶体,阻碍了葡萄糖扩散。

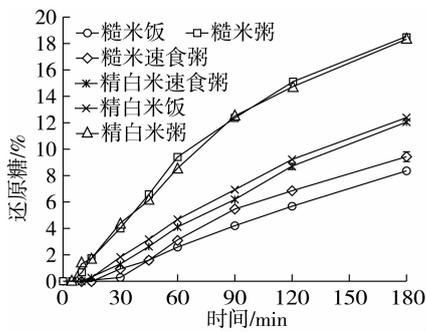
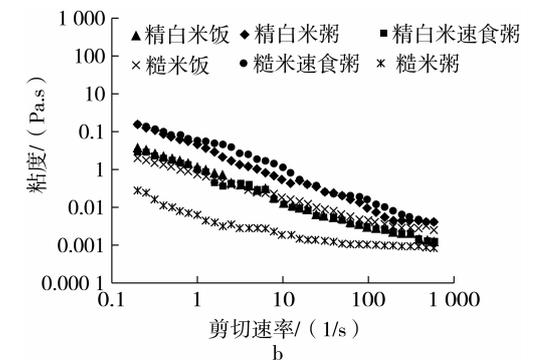
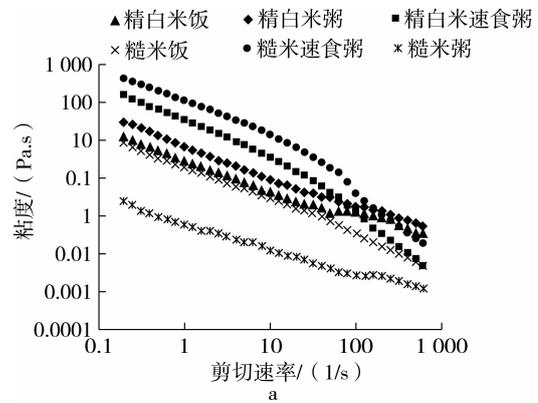


图2 加工方式对粳米制品体外消化过程中葡萄糖扩散的影响

#### 2.4 加工方式对粳米制品体外消化体系流变特性的影响

不同米制品消化前后体系的表观粘度与剪切速率之间的应变关系如图 3 所示。随着剪切速率的递增,制品消化体系粘度下降,属于剪切变稀型流体。消化开始前,速食粥类制品体系粘度大于饭类、粥类制品,糙米速食粥粘度稍大于精白米速食粥,糙米、精白米饭类制品体系粘度差别不大,精白米粥体系粘度远大于糙米粥。经过 3 h 消化后,所有制品体系粘度均有较大幅度下降,精白米制品较糙米制品下降幅度更大,不同制品间粘度差异缩小,速食糙米粥体系粘度较高,糙米粥体系粘度最低。结合 2.2 与 2.3 的结果分析,消化过程中影响制品体系粘度的主要因素为糊化淀粉的消化降解,其次为非淀粉

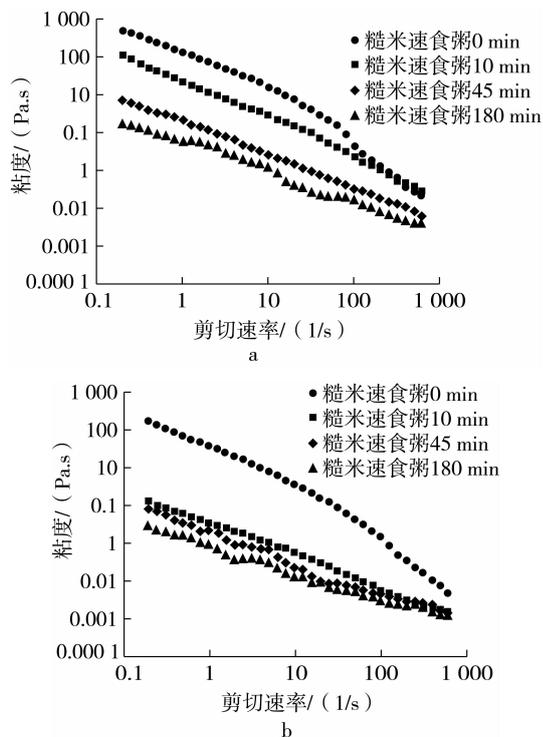
多糖的组成和结构对体系粘度的影响。蒸制、煮制加工可改变非淀粉多糖的网络结构,但对体系粘度的改变不大,挤压加工过程中随着部分水不溶性非淀粉多糖转化为水溶性非淀粉多糖,一方面通过改变非淀粉多糖与淀粉的结合形态影响制品与消化酶的相互作用,另一方面由于水溶性非淀粉多糖含量的增加影响了消化体系的粘度。



(a 消化前制品体系粘度;b 3h 消化后制品体系粘度)

图3 加工方式对粳米制品体外消化体系流变特性的影响

为探究挤压加工对糙米和精白米制品消化特性的影响,比较了消化过程糙米速食粥和精白米速食粥体系粘度变化的差异,如图 4 所示。随着消化时间的延长,糙米速食粥与精白米速食粥体系粘度均有降低。精白米速食粥在消化开始后 10 min 内体系粘度剧降,随后下降趋势平缓,其原因主要是由于制品中的淀粉在前 10 min 内的快速消化降解。与之相比,消化前糙米速食粥体系粘度稍大,随着消化反应的推进,体系粘度逐步递减,在反应终止时(180 min)体系粘度仍大于精白米制品。鉴于糙米与精白米制品基本组成的差异,这一结论表明通过挤压加工的米糠层部分可以增大体系粘度并在一定程度上抑制淀粉的水解程度和速度。



(a 糙米速食粥体系粘度;b 精白米速食粥体系粘度)

图4 挤压加工对糙米速食粥制品消化体系粘度的影响

### 3 结论

与全谷物糙米制品比较,精白米制品更易被快速消化,葡萄糖扩散速率较快,糙米制品的GI值低于精白米制品。不同加工方式会影响米制品的消化特性,煮制的粥类制品比蒸制的饭类制品更易被消化,还原糖释放量较高。挤压加工对提高糙米制品消化体系粘度,降低糙米制品消化速率、葡萄糖扩散具有较为明显的作用。

#### 参考文献:

[1]石福艳,赵倩,潘静,等. 潜类别模型在常见慢性病与日常生活方式关联性研究中的应用[J]. 中国卫生统计, 2015(5):784-788.  
 [2]Greenwood D C, Threapleton D E, Evans C E, Cleghorn C L, Nykjaer C, Woodhead C, Burley V J. Glycemic index, glycemic load, carbohydrates, and type 2 diabetes: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. [J]. Diabetes Care, 2013, 36(12):4166-4171.  
 [3]谭斌,谭洪卓,刘明,等. 粮食(全谷物)的营养与健康[J]. 中国粮油学报,2010, 25(4):100-107.  
 [4]Nayak B, Berrios J D J, Tang J. Impact of food processing on the glycemic index (GI) of potato products[J]. Food Research International, 2014, 56(56):35-46.

[5]周显青. 稻谷精深加工技术[M]. 化学工业出版社, 2006.  
 [6]Saunders R M. The properties of rice bran as a foodstuff. [J]. Cereal Foods World, 1990:632, 634-636.  
 [7]谭斌,刘明,吴娜娜,汪丽萍,田晓红. 发展糙米全谷物食品 改善国民健康状况[J]. 食品与机械, 2012, 28(5):2-6.  
 [8]Frias J, Vidalvalverde C, Sotomayor C, et al. Influence of processing on available carbohydrate content and antinutritional factors of chickpeas. [J]. European Food Research and Technology, 2000, 210(5):340-345.  
 [9]周威,范志红,王璐,等. 豆类对粥食血糖反应和饱腹感的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(5):298-301.  
 [10]Minekus M, Alminger M, Alvito P, et al. A standardised static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus. [J]. Food & Function, 2014, 5(6):1113-1124.  
 [11]Goñi I, Garcia-Alonso A, Saura-Calixto F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index [J]. Nutrition Research, 1997, 17(3):427-437.  
 [12]Fabek H, Messerschmidt S, Brulport V, et al. The effect of in vitro digestive processes on the viscosity of dietary fibres and their influence on glucose diffusion[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 35(3):718-726.  
 [13]Panlasigui L N, Thompson L U. Blood glucose lowering effects of brown rice in normal and diabetic subjects. [J]. International Journal of Food Sciences & Nutrition, 2006, 57(3-4):151-8.  
 [14]熊善柏,赵思明,冯醒桥,等. 淀粉在过量水分下糊化机理研究[J]. 粮食与油脂, 2001(9):2-4.  
 [15]Snow P, O'Dea K. Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in food. [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1981, 34(12):2721-7.  
 [16]杨勇,任健. 速溶婴幼儿营养米粉的挤压膨化工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(12):129-132.  
 [17]Wang S S, Chiang W C. Application of an energy equivalent concept to study the kinetics of starch conversion during extrusion[J]. Food extrusion science and technology,1992:165-167.  
 [18]Sun Q, Spiegelman D, van Dam R M, et al. White rice, brown rice, and risk of type 2 diabetes in US men and women. [J]. Archives of Internal Medicine, 2010, 170(11):961-9.  
 [19]Sagum R, Arcot J. Effect of domestic processing methods on the starch, non-starch polysaccharides and in vitro starch and protein digestibility of three varieties of rice with varying levels of amylose [J]. Food Chemistry, 2000, 70(1):107-111. 