

# 烹制工艺对米饭品质及体外消化特性的影响

卢薇, 王金梅, 杨晓泉

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

**摘要:** 本文以东北米、丝苗米和香软米为原料, 研究了烹制工艺对米饭品质和体外消化特性的影响。结果表明, 大米种类和烹制工艺对米饭的食味及其淀粉、蛋白的消化影响较大。具有低温吸水程序(40~70 °C)的智能煮制米饭的色泽、形态、口感和冷饭质地明显好于线性升温的传统煮, 且智能煮米饭有较高的吸水率、膨胀率和粘性, 硬度较小。体外消化证实, 智能煮米饭在消化过程中更易释放还原糖, 东北米在240 min时释放率可达80%。智能煮米饭具有更好的蛋白消化性, 对于丝苗米和香软米, 其氮释放量较传统煮米饭可提高20%。以上证实烹制工艺中的低温吸水过程可明显改善米饭的食味品质和营养价值。

**关键词:** 米饭; 烹制工艺; 感官评分; 质构特性; 体外消化

文章篇号: 1673-9078(2013)2-264-268

## Effect of Cooking Process on Quality

## Properties and *in vitro* Digestibility of Cooked Rice

LU Wei, WANG Jin-mei, YANG Xiao-quan

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** The effect of cooking process on quality properties (sensory evaluation, water absorption, expansion ratio and textural properties) and *in vitro* digestibility of cooked rice were investigated. The eating quality of cooked rice and *in vitro* digestibility of starch and protein from cooked rice depended strongly on the varieties of rice and cooking process. In contrast to linear heating, heating at low temperature (40~70 °C) for several minutes during the cooking process improved the color, shape, mouth-feel and texture of cooked rice after cooling. This process also led to the increase in the water absorption, expansion ratio, and adhesiveness of cooked rice with the decrease in the hardness. Furthermore, higher releases of reducing sugar and soluble nitrogen during digestion were also observed for cooked rice prepared by this process, suggesting better nutritional value.

**Key words:** cooked rice; cooking process; sensory evaluation; textural properties; *in vitro* digestibility

米饭是我国人民消费量最大的主食之一, 随着经济的飞速发展, 人们对米饭品质的新需求不仅仅体现在食味方面, 米饭的营养价值也越来越受到重视。米饭可以提供人体每日能量所需的 25~30%, 基本满足人体所需的碳水化合物<sup>[1]</sup>。大米蛋白作为米饭中另一个重要的营养成分(约占大米含量的 8%), 其氨基酸组成平衡合理, 具有其它植物蛋白无法比拟的营养特性, 如低过敏性、降胆固醇、降血脂及抗癌。目前, 如何建立原料大米理化性质与米饭品质的相关性、选育优质的稻米品种或优化米饭的烹制工艺等方式来满足消费者对米饭食味和营养价值的需求已逐渐成为研究者关注的热点问题<sup>[2~4]</sup>。

收稿日期: 2012-10-15

基金项目: 广东伊立浦电器股份有限公司资助项目

作者简介: 卢薇(1989-), 女, 硕士研究生, 主要从事植物蛋白加工与利用

通讯作者: 杨晓泉, 男, 1965 年出生, 教授, 博士生导师, 主要从事植物蛋白加工与利用

大量报道证实, 烹制温度和时间等米饭烹制工艺显著影响了产品的成分组成、感官品质和质构特性<sup>[4~6]</sup>。米饭的蛋白质、粗脂肪、游离氨基酸含量均会发生显著改变。张瑞霞等<sup>[4]</sup>研究发现, 采用较长时间低温保温(50~60 °C, 20~30 min)、高温蒸煮(110~120 °C)工艺烹制的米饭滋味、香气和口感最好, 水溶性蛋白、游离氨基酸和不饱和脂肪酸含量最高。许永亮等<sup>[6]</sup>研究了蒸煮工艺对米饭应力松弛特性的影响, 发现低温蒸煮米饭的硬度较大, 高温蒸煮米饭的粘性较大。在营养特性方面, 现有研究集中于烹制工艺对米饭中淀粉体外消化特性的影响<sup>[7~8]</sup>。然而, 烹制工艺对米饭中蛋白消化影响的相关研究缺乏。微电脑煲控制的高压长时工艺米饭中淀粉的消化速度较快<sup>[7]</sup>。

本文以 3 种不同类型大米为原料, 使用广东伊立浦电器股份有限公司开发的 CFXB50-51 型传统煲和 FD30/40/50-CT71 型智能电饭煲来控制不同的烹制工艺, 进行蒸煮米饭, 研究了烹制工艺对米饭的感官品

质、膨胀率和质构特性的影响, 并采用体外模拟消化法研究了米饭中淀粉和蛋白质的消化特性, 用以评价烹制工艺对米饭营养品质的影响, 为开发新型智能电饭煲提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

大米: 金龙鱼东北大米(粳米): 益海嘉里(盘锦)粮油工业有限公司; 珍香丝苗米(籼米), 台山市粮食购销总公司; 太粮靓虾王香软米(晚籼米), 东莞市太粮米业有限公司; 胃蛋白酶(效价 1:3000), 胰蛋白酶(效价 1:250), Sigma 分装; 淀粉酶  $\alpha$ -amylase (35000 U/mL), 糖化酶 (5000 U/mL), 丹麦诺维信公司; 胰酶, 广州齐云生物技术有限公司; 其他试剂均为分析纯。

CFXB50-51型传统煲、FD30/40/50-CT71型智能电饭煲, 广东伊立浦电器股份有限公司; TA.XT2i/5质构仪, 美国TA公司; CR22G冷冻离心机, 日本Hitachi公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 米饭的烹制

将原料大米洗米两次后, 按照广东伊立浦电器股份有限公司的电饭煲使用说明推荐的米水比加入水(1:1.0~1:1.4), 按给定烹制工艺蒸煮米饭, 烹制结束后保温一定时间后待测。传统煮烹制工艺使用传统煲进行, 智能快煮和慢煮使用智能电饭煲进行, 使用温度数据采集仪测定米饭烹制过程的温度曲线, 见图 1。传统煮烹制时, 没有低温吸水段, 快速升温后直接进入高温段; 智能快慢煮设有低温吸水程序(40~70℃)。

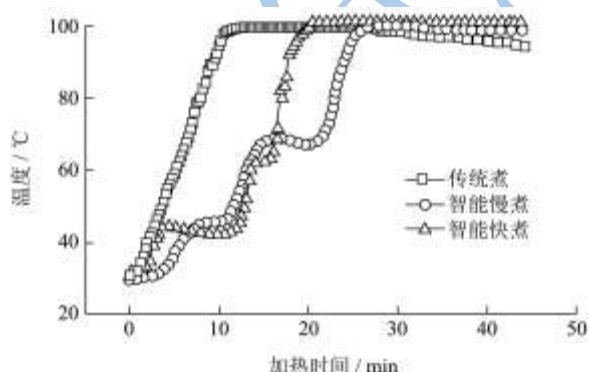


图 1 米饭烹制过程中的温度曲线

Fig.1 The temperature profile during rice cooking

#### 1.2.2 米饭的感官评价

由 15 位评审人员从多方面对米饭口感进行评定, 评分标准见表 1。

#### 1.2.3 米饭的膨胀率

按照设定烹制工艺制备米饭, 称量米饭重量为

$W_1$ , 取米饭 50 g 置于 100 mL 量筒内, 注入 50 mL 水后立即测定体积  $V_1$ , 则 50 g 米饭体积  $V_2 = V_1 - 50$  (mL), 米饭总体积  $V_3 = V_2(W_1/50)$ ; 按同样方法测定原料米的总体积  $V_0$ , 则膨胀率 =  $(V_3 - V_0)/V_0 \times 100\%$ 。

表 1 米饭的感官评分标准

Table 1 The sensory evaluation standard of cooked rice

项目	评价指标	评分标准
色泽 (15分)	颜色均一, 光泽正常	10~15分
	颜色不均一, 光泽不足	6~9分
	颜色发暗发黄	0~5分
形态 (5分)	均匀完整, 结构紧密	3~5分
	不均匀, 不完整, 松散	0~2分
气味 (20分)	天然米饭香气浓郁	15~20分
	天然香气不浓, 但无不良气味	9~14分
	无米饭香气, 有明显不良气味	0~8分
滋味 (20分)	滋味香浓, 丰厚悠长	15~20分
	滋味一般	9~14分
	滋味较差	0~8分
口感 (30分)	爽滑, 粘弹性、咀嚼强度、柔韧性适中	21~30分
	较爽滑, 粘弹性不足, 较硬或较软烂	6~20分
	不爽滑, 粘弹性差, 有夹生或软烂	0~5分
冷饭质地 (10分)	饭团柔软, 不结团	6~10分
	回生严重, 米粒较硬	0~5分

#### 1.2.4 米饭的质构特性

本实验采用 TA.XT Plus 型质构仪测定米饭的质构特性, 测定参数根据毛根武等<sup>[9]</sup>报道选取。测试方法选用 TPA 模式, 触发力为 5 g, 数据采集速率为 200 pps。质构探头选用 P/1S( $\Phi$ )圆球形探头。探头的测前、测中和测后速度分别为 60、60 和 120 mm/min, 样品受压变形设定为 50%。测定时, 称取 60 g 米饭装入样品预压组件的底座内(底座: 内径  $\Phi 75 \times 6.5$  mm; 压头: 质量 0.354 kg), 并用压头对底座内米饭下压保持 1 min 后进行质构测试获得米饭硬度和粘度数据, 每次试验进行 7 次平行测定, 取平均值。

#### 1.2.5 米饭中淀粉的模拟体外消化

称取米饭 2.5 g 于碾钵中, 加入少量磷酸氢二钠-柠檬酸缓冲液 (pH 5.2), 研成糊状, 转入 50 mL 比色管中, 定容至 50 mL。米饭浆液于 37℃ 下预热 5 min, 之后加入 1% (m/V) 的胰酶和糖化酶各 4 mL, 于 37℃ 水解一定时间后沸水浴灭酶 5 min, 将酶解液于 10000 g 下离心 5 min, 得水解液。采用 3,5-二硝基水杨酸法 (DNS 法) 测定水解液中的还原糖含量来计算消化过程中的还原糖释放量, 用以评价米饭淀粉的消化特性。

#### 1.2.6 米饭中蛋白质的模拟体外消化

米饭蛋白的体外消化试验根据 Nunes 等<sup>[10]</sup>报道的

体外消化模型进行, 具体操作步骤如下: 取适量米饭溶于 pH=1.5 的 HCl 溶液中形成 10% 的分散液, 置于 37 °C 水浴锅中预热, 然后加入 1% 的胃蛋白酶 (酶/蛋白=1:100, m/m) 进行酶解, 分别在不同消化时间(0, 1, 5, 10, 30, 60, 120 min)取样待测, 所取样品调至 pH 7.0 中止反应。待胃蛋白酶消化结束(120 min)后, 调至 pH=7.0, 加入 1% 的胰蛋白酶 (酶/蛋白=1:100, w/w), 再消化 120 min, 不同消化时间取样待测。

米饭消化过程中的可溶性氮释放量采用 TCA-NSI 法<sup>[11]</sup>测定。取 10 mL 样品溶液加入 10 mL 10% TCA, 静置 30 min 后离心(8000×g, 30 min), 弃去上清液, 使用 10 mL 10% TCA 洗涤沉淀两次得到 TCA 不溶组分, 采用凯式定氮法测定米饭样品的总氮和 TCA 不溶组分的氮含量。消化过程中氮释放量(%) =  $\frac{N_t - N_0}{N_{tot}} \times 100$ ,  $N_t$  为消化 t min 的 TCA 不溶性氮(mg);  $N_0$  为消化 0 min 的 TCA 不溶性氮(mg);  $N_{tot}$  为米饭样品的总氮量(mg)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 烹制工艺对米饭感官品质的影响

目前, 评价米饭食味品质主要是通过人工品尝, 感官评分量化米饭的色泽、形态、气味、滋味和口感等指标。不同烹制工艺米饭的感官评定结果见表 2。不同大米种类米饭的感官评分无明显区别。对于三种大米品种, 智能快煮和智能慢煮工艺米饭的总分均高于传统煮, 具体表现在色泽、形态、口感和冷饭质地方面, 说明智能煮工艺制备米饭拥有最好的感官品质, 米饭爽滑, 粘弹性、咀嚼强度、柔韧性适中, 更能满足人们对于米饭食味的需求。所有样品的气味和滋味未见明显差别, 且智能快慢煮米饭之间的感官评分亦没有明显区别。

感官品质的差别可能与大米淀粉在蒸煮过程中吸水和糊化有关。大米吸水通道是淀粉的细胞间隙, 米粒腹部和背部的细胞间隙存在一定差异, 传统煮工艺蒸煮时, 米粒未充分吸水且温度快速上升, 米粒腹部迅速吸水, 体积迅速膨大, 背部吸水较慢, 两部分体积偏差的瞬间引起米粒龟裂, 淀粉粒从龟裂处涌出, 破坏了米饭的形态, 导致口感降低, 食味品质明显变劣。而智能快慢煮有低温吸水保温的过程, 大米中淀粉充分吸水, 加温过程中不破坏米粒的外形, 淀粉糊化均匀, 改善了米饭的感官品质。

米饭经过 3 h 放置变冷后, 感官质地变差, 米饭在贮藏过程中发生了硬度的增加, 与郑轶恒等<sup>[12]</sup>报道一致。这是由于贮藏过程中发生了淀粉的回生。与传

统煮相比, 智能快慢煮米饭的冷饭质地更好, 可能与米饭的吸水与淀粉糊化有关。

### 2.2 烹制工艺对米饭膨胀率和质构特性的影响

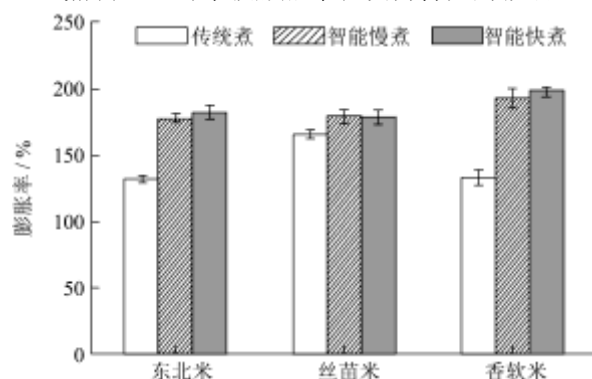


图2 不同烹制工艺米饭的膨胀率  
Fig.2 The expansion ratio of cooked rice prepared with different cooking processing method

米饭食味品质的优劣还可通过测定相关的理化指标来间接地反应。图 2 为不同烹制工艺米饭的膨胀率。由图可知, 大米种类对米饭膨胀率影响较小, 智能快慢煮米饭的膨胀率明显高于传统煮样品, 进一步支持了低温吸水程序有利于大米在蒸煮过程中吸水和糊化的推测(表 2)。智能快煮与智能慢煮米饭膨胀率未见明显区别。米饭吸水率数据与膨胀率相一致(数据未列出)。

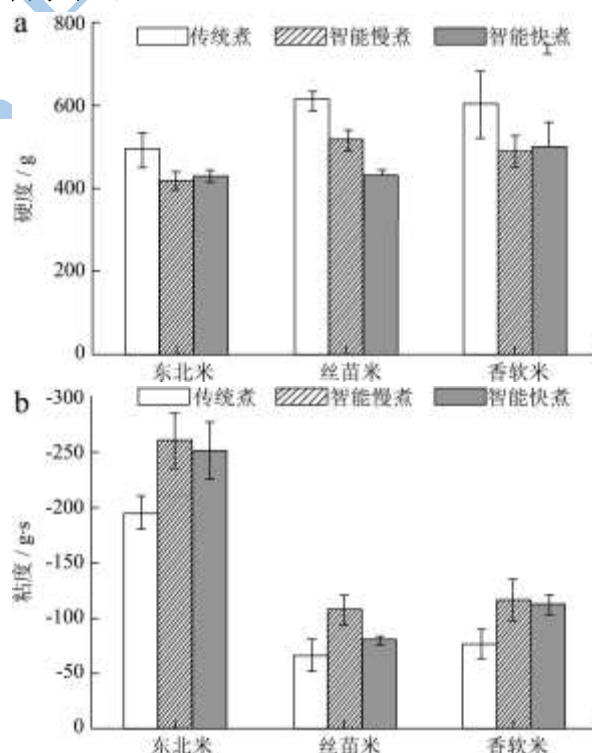


图3 不同烹制工艺米饭的硬度 (a) 和粘度 (b)  
Fig.3 The hardness (a) and viscosity (b) of cooked rice prepared by different cooking processes

表 2 不同烹制工艺制备米饭的感官评分

Table 2 Sensory score of cooked rice prepared by different cooking processes

米种类	工艺	色泽	形态	气味	滋味	口感	冷饭质地	总分
东北米	传统煮	11.83±2.04	2.83±0.75	15.00±3.35	14.67±1.97	18.50±2.74	5.83±1.17	69.67±7.94
	智能快煮	12.71±1.38	4.00±1.15	14.43±1.51	13.71±2.06	21.71±1.50	6.29±1.60	72.86±6.77
	智能慢煮	12.67±2.07	3.67±0.52	15.17±2.48	14.83±1.47	20.33±3.98	6.00±1.79	72.67±6.95
丝苗米	传统煮	11.00±1.00	3.80±0.84	14.80±1.30	14.00±1.58	20.80±1.30	6.40±1.52	70.80±5.22
	智能快煮	12.44±1.13	4.11±0.93	14.89±1.76	15.78±2.11	22.78±2.22	7.67±1.00	77.67±6.12
	智能慢煮	12.56±1.01	4.22±0.67	16.22±1.39	15.00±2.06	23.44±2.55	7.67±1.58	80.22±4.44
香软米	传统煮	11.89±1.83	3.55±0.88	15.89±2.03	13.33±1.94	14.56±6.21	4.89±1.17	64.22±8.18
	智能快煮	12.67±1.50	4.22±0.44	14.67±2.45	14.56±2.46	21.78±4.71	7.67±1.12	75.56±7.67
	智能慢煮	12.80±1.40	3.90±0.74	15.00±1.94	15.30±3.65	21.60±3.34	6.80±0.79	75.60±7.44

本研究使用质构仪模拟口腔咀嚼运动来辅助量化米饭的食味品质，反应米饭的质构特征。图 3 为不同烹制工艺米饭的硬度和粘度。不同大米种类米饭的硬度差异不大，粘度明显不同。相对于传统煮，智能快慢煮米饭具有更低的硬度，更高的粘度，与感官评定数据相一致（表 2）。大米淀粉在蒸煮过程中的吸水和糊化可能直接影响了米饭的粘性和硬度。对于东北米和香软米，智能快煮与智能慢煮米饭的硬度和粘度差别不明显，而对于丝苗米，两者差别较大，这可能与大米中淀粉和蛋白组份不同有关。

### 2.3 烹制工艺对米饭中淀粉消化性能的影响

本研究采用胰酶和糖化酶进行体外模拟消化试验，可通过检测不同烹制工艺米饭在体外消化过程中还原糖的释放量变化来评价淀粉的消化程度和进程，结果见图 4。烹制工艺及大米种类均影响了米饭中淀粉的消化。消化初期，所有米饭样品中还原糖快速释放，之后释放速度缓慢增加，还原糖释放趋于基本平衡。三种米的还原糖释放在不同时间达到基本平衡。相对于丝苗米，东北米与香软米的还原糖释放程度和速率都较高，说明大米种类对淀粉消化性有较大影响，这可能与不同大米种类中淀粉组成的不同相关。一般认为，籼稻有较多的直链淀粉，其淀粉的酶解速度较慢。对于晚籼香软米，详细原因需要进一步研究阐明。

依据不同大米品种，不同工艺烹制米饭的淀粉消化速率和程度明显不同，特别是对于东北米而言。具有低温吸水程序的智能快煮和智能慢煮烹制米饭在消化过程中释放了较多的还原糖，240 min 释放率可达 80%，说明智能控制的烹制工艺可以改善米饭中淀粉的消化（图 4a）。张习军等<sup>[7]</sup>研究发现，低温保温和高温焖饭的蒸煮工艺可以提高米饭消化过程中还原糖的释放，与本文结果一致。

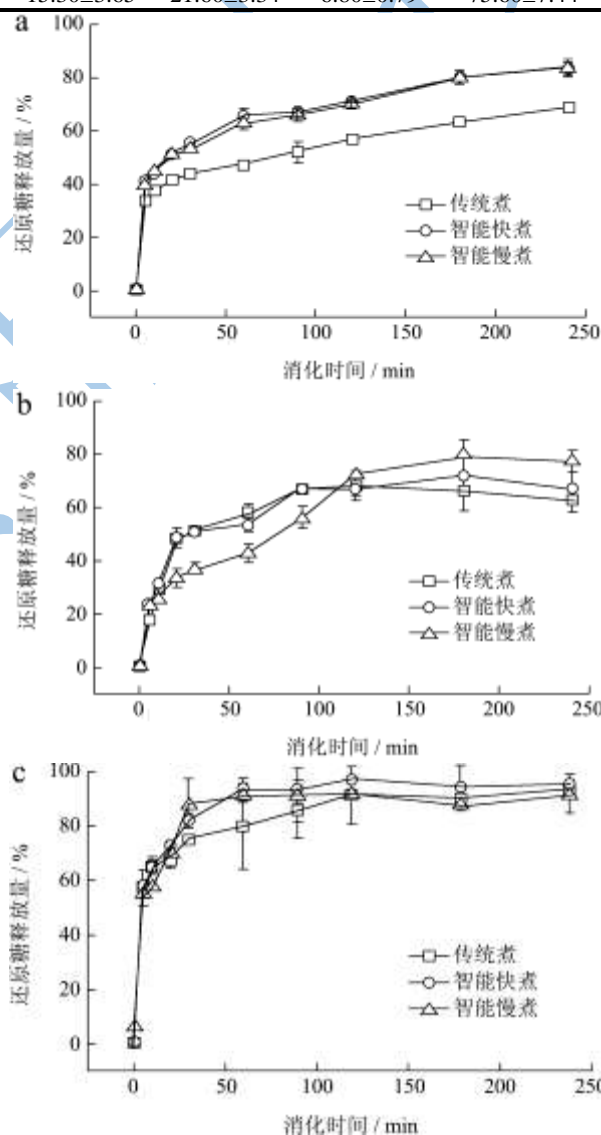


图 4 体外消化过程中不同烹制工艺米饭的还原糖释放量变化

Fig.4 The % reducing sugar release of cooked rice prepared by different cooking processes during *in vitro* digestion

注：A：东北米；B：丝苗米；C：香软米。

淀粉的糊化程度和分子结构是影响淀粉消化吸收的重要因素。与传统煮相比,智能快慢煮烹制工艺具有低温吸水阶段,这将有利于淀粉分子充分吸水,使糊化时水分子对结晶区域的渗入加速,从而提高淀粉的糊化程度,进而增加淀粉与酶的接触机会,从而加快了淀粉的酶解进程,增加了还原糖的释放。米饭的膨胀率数据支持这一结果(图2)。由图4可知,对于三种大米而言,智能快煮与智能慢煮烹制米饭中淀粉的消化特性差异不明显,说明保温过程中的温度变化对淀粉吸水 and 糊化影响不大,与膨胀率结果一致(图2)。

2.4 烹制工艺对米饭中蛋白消化性能的影响

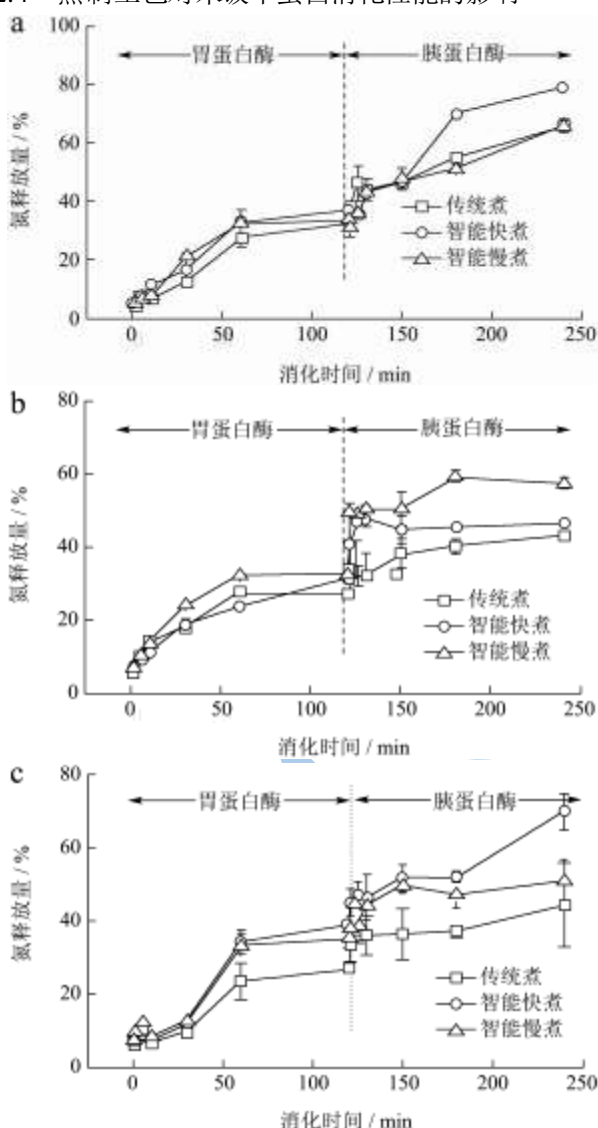


图5 体外消化过程中不同烹制工艺米饭的氮释放量变化  
 Fig.5 The nitrogen release of cooked rice prepared by different cooking processes during pepsin and subsequent trypsin digestion

注: a-东北米; b-丝苗米; c-香软米。

图5为体外消化过程中不同烹制工艺米饭的氮释

放量变化,可以间接反映米饭在人体内的消化过程。在胃蛋白酶消化阶段,所有样品的可溶性氮释放量增加趋势相似,消化初始阶段(0~30 min)急剧增加,然后增加趋缓,进入胰蛋白酶消化阶段,可溶性氮继续释放,说明消化进一步进行。依据大米品种的不同,烹制工艺会不同程度的影响米饭中蛋白的消化。对于东北米和丝苗米而言,三种烹制工艺制备米饭在胃蛋白酶阶段的差异不大(图5a b)。而对于香软米,智能快慢煮米饭的可溶性氮释放量明显高于传统煮样品,消化120 min时,可溶性氮释放量分别为38.50%和35.02%(图5c)。

后续的胰蛋白酶消化阶段,三种烹制工艺制作米饭的可溶性氮释放率表现了较大的差异。总体而言,具有低温吸水程序的智能煮工艺米饭较传统煮工艺米饭更易消化,与淀粉体外消化过程中还原糖释放结果一致(图4),烹制米饭时的低温过程有利于淀粉粒的膨胀、崩解和糊化,这一过程将有利于打开大米中淀粉-蛋白复合体结构<sup>[13]</sup>,使大米蛋白分子中的酶作用位点暴露出来,加速酶对蛋白质的降解。

值得注意的是,丝苗米的智能慢煮米饭表现了最高的氮释放量增长(图5b),这可能与蛋白质在高温下的变性有关。在烹制过程中,尤其是智能慢煮程序中保温温度较高,高于蛋白的变性温度(66.46℃)<sup>[13]</sup>。在此温度下长时间的热处理会增加蛋白质分子的变性程度,使其结构更为伸展,原来藏于分子内部的酶作用位点更多的暴露出来,进而有效地加速酶降解的速度。而对于东北米和香软米而言,智能快煮与智能慢煮释放趋势呈现了不同的趋势,这可能与大米蛋白的组成不同有关,大米蛋白组成成分是其体外消化的重要影响因素<sup>[13]</sup>。

3 结论

大米种类和烹制工艺对米饭的膨胀率,质构及感官评分等食味指标和米饭中淀粉、蛋白的消化有较大影响。工艺中具有保低温吸水程序的智能快煮和智能慢煮烹制的米饭更易吸水,使米饭膨胀率更高,增加了淀粉的糊化,使米饭硬度减小,粘性增加,减少了米饭的回生,感官评分最高。与传统煮工艺相比,智能煮米饭中淀粉和蛋白更易消化,具体表现为还原糖和可溶性氮释放量的较快增长。上述结果将对细化米饭烹制工艺,开发新型智能控制的营养电饭煲产品有重大意义。

参考文献

[1] 中国营养协会编著.中国居民膳食营养素参考摄入量[M].

- 北京:中国轻工业出版社,2001
- [2] 王玉珠,林伟锋,陈中.大米理化指标与米饭品质相关性的研究[J].现代食品科技,2011,27(11):1312-1315
- [3] 周治宝,王晓玲,余传元,等.籼稻米饭食味与品质性状的相关性分析[J].中国粮油学报,2012,21(7):1-5
- [4] 张瑞霞,熊善柏,赵思明,等.蒸煮工艺对米饭脂质及感官品质的影响[J].中国粮油学报,2008,23(5):4-8
- [5] 龚婷,赵思明,熊善柏,等.蒸煮工艺对米饭蛋白质及氨基酸的影响[J].中国粮油学报,2008,23(4):14-17
- [6] 许永亮,熊善柏,赵思明.蒸煮工艺和化学成分对米饭应力松弛特性的影响[J].农业工程学报,2007,23(10):235-240
- [7] 张习军,熊善柏,周威,等.蒸煮工艺对米饭中淀粉消化性能的影响[J].农业工程学报,2009,25(1):92-96
- [8] 刘波,范志红,曹展.烹制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
- [9] 毛根武,董德良,杨瑞征,等.米饭质构特性测定方法的研究(I)-米饭样品制作与质构测试方法探讨[J].中国粮油学报,2012,27(3):1-5
- [10] Nunes A, Correia I, Barros A. Sequential *in vitro* pepsin digestion of uncooked and cooked sorghum and maize samples [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(7): 2052-2058
- [11] Wolf W J, Schaer M L, Abbott T P. Nonprotein nitrogen content of defatted jojoba meals [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1994, 65: 277-288
- [12] 郑轶恒,陈中,林伟锋,等.米饭贮藏过程中的品质变化[J].现代食品科技,2011,27(12):1437-1439
- [13] Ning Xia, Jin-Mei Wang, Qian Gong, et al. Characterization and *in vitro* digestibility of rice protein prepared by enzyme-assisted microfluidization: comparison to alkaline extraction [J]. Journal of Cereal Science, 2012, 56: 482-489