

# 体内外实验测定荞麦淀粉消化特性

洪 雁, 顾 娟, 顾正彪

(食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122)

**摘 要:** 通过体内外实验测定、比较荞麦淀粉与荞麦粉、玉米淀粉、小麦淀粉的消化特性。通过人体实验得到了4种样品的血糖生成指数(GI), 同时采用灌胃法直接将样品注入小鼠体内, 观察其2h内血糖变化, 参照Englyst方法建立体外消化模型, 测定样品的体外消化曲线。结果表明, 荞麦淀粉的消化吸收要慢于玉米淀粉和小麦淀粉, 但是快于荞麦粉。

**关键词:** 荞麦; 淀粉; 消化

## Digestion Properties of Buckwheat Starch

HONG Yan, GU Juan, GU Zheng-biao

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, School of Food Science and Technology,  
Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** The digestion properties of buckwheat starch were investigated through the determination and comparison of digestion rates *in vitro* and *in vivo* among buckwheat starch, corn starch, wheat starch and buckwheat flour. The glycemic index of four samples was determined by human clinical trial. Meanwhile, the blood glucose level in mice orally administered these samples was investigated at 15, 30, 45, 60, 90 min and 120 min postadministration. A digestion model *in vitro* was established according to Englyst method and the digestion curves of these sample *in vitro* were also achieved. Results indicated that buckwheat starch exhibited a slower absorption than corn starch and wheat starch, whereas a faster absorption than buckwheat flour.

**Key words:** buckwheat; starch; digestion

中图分类号: TS235

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2010)05-0293-05

目前, 肥胖、糖尿病和心血管疾病已经成为发达社会中的重要健康问题, 而血糖和胰岛素水平与这些疾病的发病机理密切相关, 因而淀粉类食物摄入后的血糖反应受到健康机构和食品加工者的更多关注。目前衡量食物餐后血糖反应的主要指标是血糖指数, 但其测定需做人体摄食研究, 获得大量数据较为困难, 因此研究探讨能够预测血糖反应的体外方法具有重要意义。研究发现, 食物的血糖反应在很大程度上与其中碳水化合物的消化速度相关, 如用混合酶类对食物样品进行分解, 测定水解后的还原糖量以确定消化程度和进程, 就可以对食物的血糖反应加以预测。

荞麦具有热能低、不饱和脂肪酸含量高、氨基酸组成合理、蛋白质生物价较高等特点, 被誉为21世纪最受欢迎的保健食品之一。食用荞麦制品容易使人产生饱腹感, 且能长时间地维持饱腹状态。淀粉是荞麦(粉)的主要组成成分, 其特性对荞麦制品的品质以及消化性有着直接的影响, 所以研究荞麦淀粉的体内外消化特

性, 可以反映荞麦制品的消化特性, 具有重要的科学价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

荞麦淀粉 宁夏泽发荞麦制品有限公司; 小麦淀粉 河南省华瑞实业公司; 玉米淀粉 诸城兴贸玉米开发有限公司; 荞麦粉 市售; 葡萄糖 石家庄市华营联合葡萄糖厂。

无水乙醇、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、葡萄糖、3,5-二硝基水杨酸、氢氧化钠、酒石酸钾钠, 均为分析纯。

胰酶(8 × U.S.P.) Sigma公司; 糖化酶(8.5 × 10<sup>6</sup> U/g) 无锡酶制剂厂。

### 1.2 仪器与设备

AB-104N 电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; 旋转式恒温振荡器 太仓市实验设备厂; WFJ2000 分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司; ONETOUCH 血糖仪 强生(中国)医疗器材有限公司; 低速大容量多管离心机 无锡市瑞江分析仪器有限公司。

收稿日期: 2009-06-25

作者简介: 洪雁(1974—), 女, 副教授, 博士, 主要从事淀粉资源开发利用研究。E-mail: foodstarch@yahoo.cn

### 1.3 方法

#### 1.3.1 荞麦淀粉人体内消化

实验对象为12名健康志愿者,男女各半,志愿者体质量正常,饮食习惯规律,无慢性病家族史,无吸烟史,轻中度体力活动,可以忍受10~14h的禁食,实验前及实验期间不饮酒,可以完成所有实验。

实验对象于实验前一天晚餐后至实验当天早上(共10~14h)禁食,实验当天早晨缓步至实验室,空腹经手指取静脉血,分别进样品25g(荞麦粉、荞麦淀粉和玉米淀粉分别调制淀粉糊,葡萄糖调成溶液),15min内吃完,从开始进食计算时间,于餐后15、30、45、60、90、120min取静脉血,测定血糖浓度。以时间为横坐标,人体血糖浓度为纵坐标,作人体血糖反应曲线<sup>[1-3]</sup>。结果以血糖生成指数(GI)来表示<sup>[4]</sup>。

$$GI\% = \frac{\text{被测食物餐后血糖反应曲线下增值面积}}{\text{参考食物餐后血糖反应曲线下增值面积}} \times 100$$

#### 1.3.2 荞麦淀粉小鼠体内消化

选择30只健康雄性小鼠,体质量为(30±5)g,随机分组,正常喂养饲料和水5d后进行实验。实验前小鼠禁食8h,测定小鼠的空腹血糖,然后按0.72g/kg bw(根据体内实验人体进食50g样品,而成年男性一般体质量65kg计算而得)的样品量,分别以葡萄糖、荞麦粉、荞麦淀粉、玉米淀粉和小麦淀粉对小鼠灌胃,在进食后的15、30、45、60、90、120min取小鼠尾血测定血糖浓度。以时间为横坐标,小鼠血糖浓度为纵坐标,作小鼠血糖反应曲线<sup>[5-6]</sup>。

#### 1.3.3 荞麦淀粉体外消化

在Englyst方法基础上进行调整,确定合适的酶用量及其比例、反应pH值等,建立体外消化模型。

配制2g/100g的淀粉浆,用磷酸盐缓冲液调节至一定pH值,沸水浴糊化10min,37℃水浴回旋振荡,加入一定量酶液,于加酶液后的0、5、10、20、30、45、60、90、120、180min分别取样0.20mL,加入4mL无水乙醇,3000r/min离心20min,取上清液。用3mL蒸馏水洗涤沉淀,3000r/min离心20min,合并上清液,振荡混匀。取2mL清液,加入1.5mL 3,5-二硝基水杨酸试剂(DNS试剂),沸水浴反应7min,冷却3min,补足25mL,520nm下测定吸光度<sup>[7]</sup>。结果以还原糖质量浓度(即反应液中所含的还原糖质量浓度/(mg/mL))和样品水解率来表示<sup>[8]</sup>。

$$\text{水解率}/\% = \frac{\text{取样时间点反应液中的还原糖释放量} \times 0.9}{\text{总干物质量}} \times 100$$

## 2 结果与分析

### 2.1 荞麦淀粉在人体内消化

荞麦淀粉、玉米淀粉及荞麦粉在人体内消化情况见图1、2。

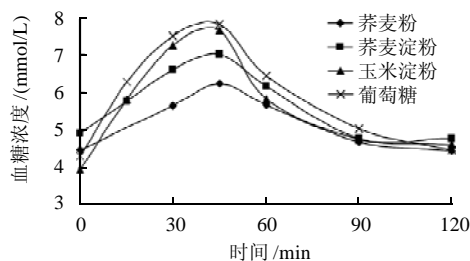


图1 人体血糖反应曲线

Fig.1 Blood glucose concentration curves in human body after given different starch pastes

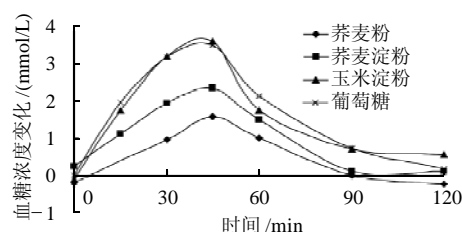


图2 人体血糖变化反应曲线

Fig.2 Blood glucose change curves in human body after given different starch pastes

食物血糖生成指数(GI)是描述食物生理学参数的指标,表达了不同种类碳水化合物对血糖有不同影响的新概念<sup>[9-10]</sup>。人体对食品的血糖反应很大程度上取决于食品的消化速度,低血糖指数食品中的碳水化合物的消化速度低于高血糖指数食品中的碳水化合物<sup>[11-12]</sup>。以葡萄糖GI值为100%,根据GI值的大小可以将富碳水化合物食品分为不同等级,GI小于55%的食品被认为是低GI食品,在55%~70%范围之间的为中GI食品,70%以上的为高GI食品。

根据GI值计算公式,由图2可以计算出,荞麦粉的GI值约为47.58%,荞麦淀粉和玉米淀粉的GI值分别约为53.16%和98.51%。因此,荞麦粉和荞麦淀粉属于低GI食品,玉米淀粉属于高GI食品,在人体内荞麦粉消化要慢于荞麦淀粉,而玉米淀粉消化最快。

### 2.2 荞麦淀粉小鼠体内消化

从图3、4可看出,荞麦粉血糖曲线较葡萄糖平缓,其对血糖影响较小,荞麦淀粉次之。餐后血糖反应缓慢上升有利于饱腹感的维持,减缓饥饿感的产生。从血糖浓度的变化曲线来看,荞麦粉的餐后血糖绝对增加值显著小于葡萄糖,而荞麦淀粉的餐后血糖绝对增加值要稍大,但是小于玉米淀粉和小麦淀粉的。由此说明荞麦粉消化得最慢,荞麦淀粉次之,玉米淀粉和小

麦淀粉消化较快。

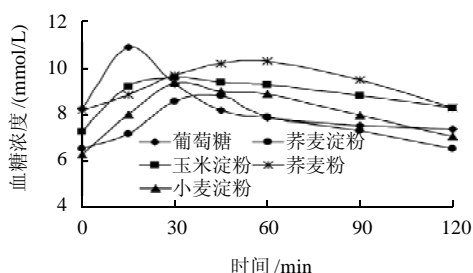


图3 小鼠体内血糖反应曲线

Fig.3 Blood glucose concentration curves in mice administered different starches

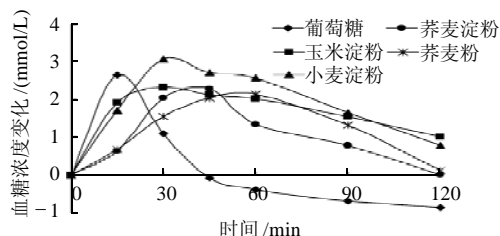


图4 小鼠体内血糖变化反应曲线

Fig.4 Blood glucose change curves in mice administered different starches

### 2.3 荞麦淀粉体外消化

#### 2.3.1 酶液用量选择

分别配制 1g/L 的胰酶液和 1g/L 的糖化酶液，两者按 1:1 的比例混合，4000r/min 离心 15min 即为工作酶液。

配制 2g/100g 荞麦淀粉浆，用磷酸缓冲液调节其 pH 值为 6.2，沸水浴糊化 10min 后分别加入上述工作酶液 1、2、3、4、5mL 反应，定点取样，处理后测定其中还原糖的含量。本实验所用胰酶中含有  $\alpha$ -淀粉酶，与糖化酶共同作用于淀粉主要生成葡萄糖，所以反应后体系中还原糖主要为葡萄糖，结果以葡萄糖量表示，结果见图 5、6。

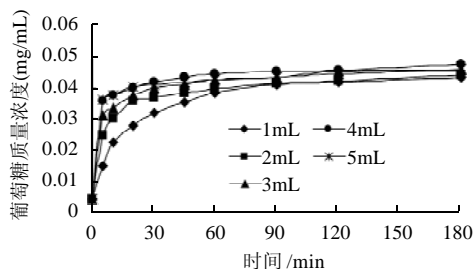


图5 酶用量对生成还原糖质量浓度的影响

Fig.5 Effect of enzyme amount on reducing sugar concentration

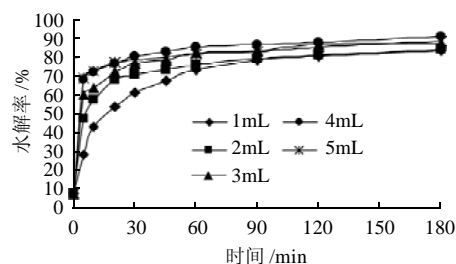


图6 酶用量对样品水解率的影响

Fig.6 Effect of enzyme amount on rate of *in vitro* starch hydrolysis

从图 5、6 可看出，加入工作酶液，葡萄糖的质量浓度先快速上升，后缓慢增大，渐渐趋于平稳，达到最大值，即样品在酶液作用下开始快速水解，后水解减慢直至达到稳定。随着用酶量的增加，样品水解的速度也加快，当加酶液 1mL 时，水解比较平缓，葡萄糖质量浓度增加较缓慢，大约 90min 达到最大值，而加酶 5mL 时，水解较快，开始葡萄糖质量浓度迅速增加，30min 基本就达到平稳。当加酶量大于 3mL 时，水解率提高不大，所以综合水解效果和经济考虑，最终确定反应用酶液量为 3mL，且此用量下反应曲线最接近体内实验的曲线。

#### 2.3.2 酶液比例的确定

分别配制 1g/L 的胰酶液和 1g/L 的糖化酶液，两者分别按 3:1、2:1、1:1、1:2、1:3 的比例混合，4000r/min 离心 15min 即为工作酶液。

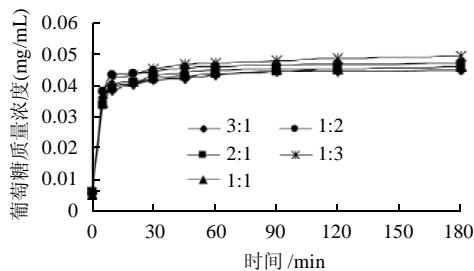


图7 酶液比例对生成还原糖质量浓度的影响

Fig.7 Effect of trypsin/glucoamylase ratio on reducing sugar concentration

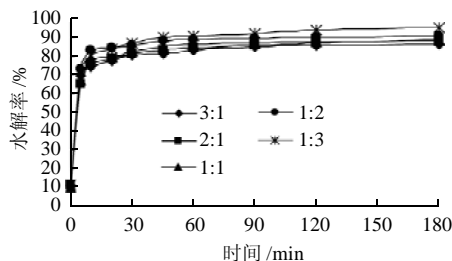


图8 酶液比例对样品水解率的影响

Fig.8 Effect of trypsin/glucoamylase ratio on rate of *in vitro* starch hydrolysis

配制 2g/100g 荞麦淀粉浆, 用磷酸盐缓冲液调节其 pH 值为 6.2, 沸水浴糊化 10min 后分别加入上述工作酶液 3mL 反应, 定点取样, 处理后测定其中还原糖的含量。结果如图 7、8 所示。

结果显示, 加入不同比例的酶液, 反应最终生成的葡萄糖质量浓度差异不大, 葡萄糖质量浓度增加的速度基本相似, 亦即样品的水解速度变化不大, 提高一种酶的量对样品的水解率影响很小。当胰酶与糖化酶的比例为 1:3 时, 达到稳定的水解率最大, 水解最充分, 所以确定反应工作酶液中胰酶与糖化酶的比例为 1:3。

### 2.3.3 反应体系 pH 值确定

分别配制 1g/L 的胰酶液和 1g/L 的糖化酶液, 两者按 1:3 的比例混合, 4000r/min 离心 15min 即为工作酶液。

分别配制 2g/100g 荞麦淀粉浆, 根据胰酶和糖化酶的最适 pH 值分别为 5.2 和 7.2, 用磷酸盐缓冲液调节反应液 pH 值为 5.2、5.7、6.2、6.7、7.2, 沸水浴糊化 10min 后分别加入上述工作酶液 3mL 反应, 定点取样, 处理后测定其中还原糖的含量。结果如图 9、10 所示。

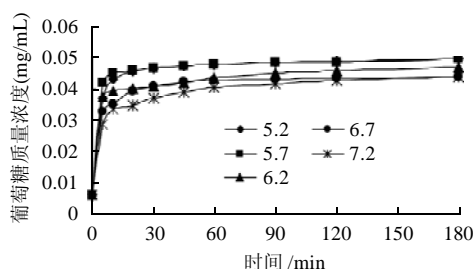


图9 体系 pH 值对生成还原糖质量浓度的影响

Fig.9 Effect of pH on reducing sugar concentration

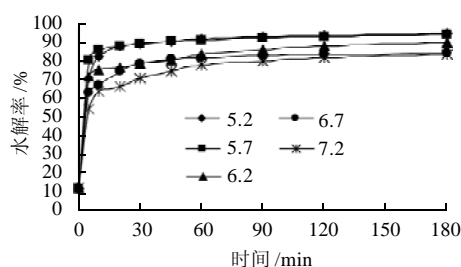


图10 不同 pH 值体系对样品水解率的影响

Fig.10 Effect of pH on rate of *in vitro* starch hydrolysis

每一种酶都有其反应的最适 pH 值条件, 在该 pH 值条件下才会充分发挥其作用, 所以反应体系的 pH 值对样品的水解率有较大的影响。由图 9 可以看出, 随着 pH 值由 5.2 升高至 7.2, 最终葡萄糖质量浓度反而呈下降趋势, 即最终水解率降低, 所以确定反应体系 pH 值为 5.2。

### 2.3.4 样品体外消化

根据建立的体外消化模型, 比较荞麦淀粉、玉米淀粉、小麦淀粉以及荞麦粉的体外消化性质, 其中荞麦粉分两种情况, 荞麦粉 1 中 2g/100g 含量按荞麦粉计算, 荞麦粉 2 中 2g/100g 含量按荞麦粉中净淀粉量计算。结果如图 11、12 所示。

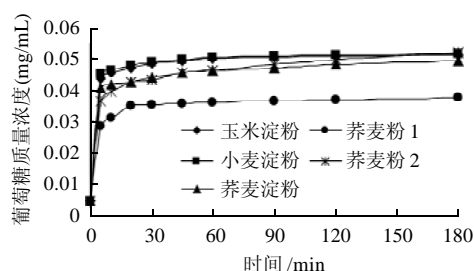


图11 不同样品体外消化的还原糖质量浓度曲线

Fig.11 Reducing sugar concentration curves of different starches digested *in vitro*

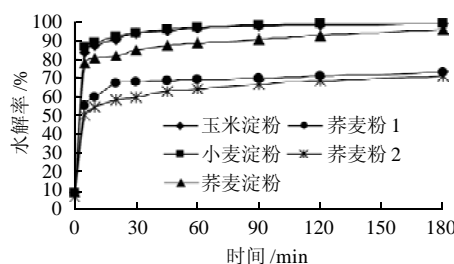


图12 不同样品体外消化的水解率曲线

Fig.12 Hydrolysis rate curves of different starch samples digested *in vitro*

体外消化实验结果显示, 小麦淀粉反应产生的葡萄糖最快最多, 大约在 30min 即达到稳定; 玉米淀粉大约也在 30min 稳定, 但其反应最终糖质量浓度稍小于小麦淀粉的; 荞麦淀粉产生葡萄糖大约在 60min 达到稳定, 且糖质量浓度要小于小麦淀粉和玉米淀粉的; 两个荞麦粉样产生葡萄糖均较慢, 其中荞麦粉 2 由于淀粉含量与其他淀粉样相同, 最终的糖质量浓度与荞麦淀粉相似, 但是产生速度要稍慢, 荞麦粉 1 则相对葡萄糖质量浓度要低。可以得出结论, 小麦淀粉消化稍快于玉米淀粉, 快于荞麦淀粉, 两种荞麦粉样品消化比较慢。这一结果与体内消化趋势一致, 可以确定本实验方法可行, 该体外消化模型可以用来简便快速地测定淀粉的体外消化曲线, 能反映淀粉的消化情况。

## 3 结论

实验可以得出, 荞麦粉、荞麦淀粉和玉米淀粉的 GI 值分别约为 47.58%、53.16% 和 98.51%, 荞麦粉和荞麦淀粉属于低 GI 食品, 玉米淀粉即属于高 GI 食品, 荞

麦粉消化要慢于荞麦淀粉，而玉米淀粉消化最快。

小鼠实验看出，荞麦粉和荞麦淀粉的血糖反应曲线相对比较平稳，餐后血糖绝对增加值小于葡萄糖，且增加值最高点的出现也慢于葡萄糖，可以说明其消化比较慢。

从动物实验和人体实验的结果可以发现：两者的消化曲线具有相似性，都可以在一定程度上说明荞麦粉的消化速度最慢，而荞麦淀粉要慢于玉米淀粉。参照Englyst方法建立了体外消化模型，通过测定比较样品的体外消化曲线得出结论，荞麦淀粉的水解率大于荞麦粉的水解率，小麦淀粉水解最快，玉米淀粉次之。

#### 参考文献：

- [1] 曾悦, 刘芳, 刘波, 等. 稻谷类碳水化合物消化速度影响因子的研究[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(1): 95-99.
- [2] 郭宝福, 翟成凯, 姜明霞, 等. 复配式初杂粮的营养成分特征及其对人体血糖生成的影响[J]. 卫生研究, 2006, 35(4): 450-452.
- [3] HEACOCK P M, HERTZLER S R, WOLF B. The glycemic, insulinemic, and breath hydrogen responses in humans to a food starch esterified by 1-octenyl succinic anhydride[J]. Nutrition Research, 2004, 24(8): 581-592.
- [4] 徐宝成, 廖洪波, 李洪军. 低血糖指数食品研究进展及展望[J]. 粮食与油脂, 2003(7): 22-24.
- [5] 陈光娟, 汤臣康, 王德华. 知柏地黄丸对小鼠血糖的影响[J]. 中药药理与临床, 1993(4): 2-4.
- [6] 吴立根, 王岸娜, 毛文君. 几种低聚琼脂糖的制备和对小鼠血糖的影响研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2008, 29(1): 48-51.
- [7] 曾悦, 刘芳, 刘波. 一种淀粉类食品消化速度体外测定法的探讨及应用[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(5): 114-118.
- [8] ENGLYST H N, KINGMAN S M, CUMMINGS J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992, 46(Suppl 2): 33-50.
- [9] 王竹, 杨月欣, 王国栋, 等. 淀粉的消化特性与血糖生成指数[J]. 卫生研究, 2003, 32(6): 622-624.
- [10] CHUNG H J, SHIN D H, LIM S T. *In vitro* starch digestibility and estimated glycemic index of chemically modified corn starches[J]. Food Research International, 2008, 41(6): 579-585.
- [11] 钟耕. 葛根淀粉和藕淀粉的理化性质及血糖指数体外测定的研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2003.
- [12] SANDHU K S, LIM S T. Structural characteristics and *in vitro* digestibility of mango kernel starches[J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 92-97.