

稻谷类碳水化合物消化速度影响因子的研究

曾悦 刘芳 刘波 范志红

(中国农业大学 食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

摘要 为探讨谷物种类、烹调方法及豆类混合烹调对谷类碳水化合物消化速度的影响,以及体外模拟消化法和人体餐后血糖反应法评价消化速度的一致性,采用胰酶法体外模拟消化方法多时间点测定其反应进程,并与人体血糖指数测定标准方法进行对比分析。结果表明:黑米饭和粳糯米饭体外碳水化合物消化速度和样品血糖指数比籼米饭低,即食米饭碳水化合物消化速度最慢,冷粳糯米饭碳水化合物消化速度最快。豆类可降低谷类碳水化合物的消化速度,以红小豆效果最佳。体外模拟消化结果与人体血糖指数有较高的相关性, $r = 0.910 (P < 0.05)$ 。认为原料配合和加工方法均对碳水化合物消化速度产生影响,豆类混合烹调可降低粳米的淀粉消化速度,体外模拟消化方法可在一定程度上预测食品血糖指数。

关键词 谷类; 豆类; 碳水化合物; 消化速度; 血糖反应

中图分类号 TS 201.23; R 151.1

文章编号 1007-4333(2006)01-0095-05

文献标识码 A

Study on in vitro carbohydrate digestion rates of cereal foods

Zeng Yue, Liu Fang, Liu Bo, Fan Zhihong

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

Abstract To examine the effects of rice types, cooking methods, and rice-legume mixed cooking on the carbohydrate digestion rate of rice foods and the consistency between the in vitro simulative digestion method and the evaluated digestion rate of glycemic response after meal, a simulative digestion procedures was measured by the in vitro simulative digestion method with the pancreas-derived enzymes and a comparative study of glycemic index (GI) with the in vitro results of 4 food samples was made. The in vitro digestion rates of black rice and sticky rice were much lower than that of indica rice, and the GI of the samples showed the same trend. The parboiled rice showed the lowest digestion rate; while the cold sticky rice the highest. Addition of legumes in rice lowers the digestion rate considerably even when legume is removed from the co-cooked congee. We concluded that the digestion rate of carbohydrate in rice foods could be affected by cooking methods and the kind of rice; some ingredients in legumes, especially the azuki beans, could lower the digestion rate of rice food; and there were significant correlation between the GI of food samples and the in vitro digestion rate of the samples.

Key words rice; legume; carbohydrate; digestion rate; glycemic response

稻谷是我国 60% 以上人口的主食,是重要谷类作物。有关稻谷的生产方法、稻米理化指标以及感官品质的研究较多,而有关人体摄入稻米后生理效应的研究较少。2002 年全国营养调查结果表明,我国城市居民近 30% 超重或肥胖,成人糖尿病发病率达 6.6%^[1];因而,食物摄入后的血糖反应亟待更多的关注。

国外大量研究结果表明,通过体外模拟消化法测定食物碳水化合物消化速度,可以有效预测食物的餐后血糖反应^[2-3],其采用的主要指标是血糖指数(glycemic index, GI)。由于碳水化合物主要存在于主食中,所以主食的消化速度是影响血糖波动的主要因素^[4],然而在我国,不同种类谷物碳水化合物消化速度间的差异,烹调方法、混合膳食等因素对

收稿日期: 2005-03-14

作者简介: 曾悦,硕士研究生;范志红,副教授,博士,通讯作者,主要从事食品营养与食品化学(以主食和乳制品为主)研究,
E-mail: daisyfan@vip.sina.com

消化速度的影响等数据十分缺乏。为此,本研究采用体外模拟消化法和人体餐后血糖反应法,研究稻谷碳水化合物消化速度的影响因子,并比较2种方法结果的一致性。

1 主要材料与仪器

实验材料:市售精白粳米、精白籼米、精白糯糯米、即食米(伊妹牌)、红香米、黑米、红小豆、绿豆、黑大豆、红芸豆。

试剂:血糖测试试剂盒(中生北控生物科技股份有限公司);猪胰酶、转化酶、淀粉葡萄糖苷酶(美国Sigma公司);0.2 mol/L, pH 7.2 磷酸缓冲液;3, 5-二硝基水杨酸试剂^[5]。

仪器:7070全自动生化分析仪(日本日立);SHA-B水浴恒温振荡器(江苏金坛容华仪器制造有限公司);LD4-2A型离心机(北京医用离心机厂);752型紫外可见分光光度计(上海精密科学仪器有限公司)。

2 实验方法

2.1 研究食物

研究食物均购自超市。粳米、籼米、糯糯米在1.5倍(质量比)的水中浸泡1 h,黑米浸泡12 h,将泡好的稻米置于碗内,放入沸腾的蒸锅中中火加热1 h(根据预实验,黑米需蒸煮1 h,为保证烹调方法一致,所用样品均加热1 h),一次蒸熟。冷糯糯米饭烹调完成后4 放置12 h,即食米按要求沸水浸泡8 min,粳米粥和豆粥(豆类 and 粳米质量比为1:1)均加12倍(质量比)水,121 高压烹制20 min,自然冷却10 min,然后取出样品,豆粥除去豆粒后进行测定。煮后样品加入37 蒸馏水稀释,使其碳水化合物质量分数约为10%,除粥匀浆3 s外,其余样品匀浆10 s。

2.2 体外模拟消化实验

体外模拟消化实验按Englyst等的酶解方法进行^[6]。为了解食物摄入后不同时间点血糖的变化,对该法稍加改动,于加入酶液的0、2、5、10、30、60、120、180 min取样测定还原糖浓度。样品碳水化合物消化速度分别用水解率和水解指数(hydrolysis index, HI)进行评价。

碳水化合物水解率 = (取样时间点已水解碳水化合物质量 / 总碳水化合物质量) × 100 %

水解指数 = (样品碳水化合物水解率曲线下面积 / 参比样品碳水化合物水解率曲线下面积) × 100 %^[3]

积 / 参比样品碳水化合物水解率曲线下面积) × 100 %^[3]

2.3 血糖指数测定

根据国内外较为经典的血糖指数测定方法^[7-8]确定本实验方法。

2.3.1 研究对象

以符合下列条件的10名(男7名,女3名)在校大学生作为研究对象:身体健康,体重正常,无任何代谢性疾病、糖尿病家族史和其他代谢病史,无碳水化合物不耐受症,糖耐量不正常者经口服葡萄糖实验后被排除。研究对象平均年龄22.60 ± 1.75,平均体质指数21.10 ± 0.66。

2.3.2 实验方法

葡萄糖耐量合格者2 d后继续进行摄食实验。受试者空腹10 h后空腹采静脉血,然后食用相当于50 g可消化碳水化合物的1种受试食物,分别于餐后15、30、60、120 min采肘前静脉血2 mL。受试食物包括籼米饭、热糯糯米饭、冷糯糯米饭和黑米饭,每个实验间隔2~7 d。

血糖测定采用葡萄糖氧化酶法,使用自动生化仪测定。用食物血糖指数(glycemic index, GI)反映餐后血糖反应,以葡萄糖为参照物(GI为100)。血糖指数 = (餐后2 h血浆葡萄糖曲线下面积 / 等量葡萄糖2 h血浆葡萄糖曲线下面积) × 100 %。

2.4 碳水化合物和干物质含量测定

鉴于各国相关实验中样品碳水化合物含量多根据本国食物成分表确定^[9-10],本实验碳水化合物含量根据我国食物成分表确定^[11]。按文献[12]测定每组样品的含水量,计算干物质含量,以对最终结果加以校正。

2.5 统计方法

采用SPSS 11.5软件包进行方差分析和Pearson相关分析。

3 结果与讨论

3.1 不同种谷类碳水化合物消化速度的比较

实验结果(图1)表明,籼米饭和粳米饭的碳水化合物水解率在反应初期就达到较高的程度,60 min后基本达到稳定,消化速度较快;红香米饭的消化速度较籼米饭和粳米饭稍慢,水解曲线呈稳步上升趋势;糯糯米饭和黑米饭在酶水解开始后30 min碳水化合物水解率仍不及籼米饭的40%,120 min后水解仍在进行,说明其初始消化速度比较慢,

这与摄入糯米和黑米食品之后可较长时间维持饱腹感相一致。从理论上来说,这种状况有利于降低胰岛素的分泌量,预防血糖的快速上升,同时有利于控制总食量^[13]。

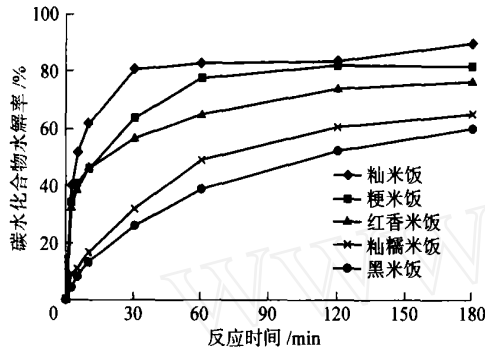


图 1 不同谷类碳水化合物消化速度

Fig. 1 Carbohydrate digestion rate of different cereals

由于这几种食物的含水量、蛋白质和脂肪含量比较接近,所以造成消化速度差异的主要原因可能是淀粉结构和膳食纤维含量的不同。已有众多文献报道,不溶性和可溶性膳食纤维均可降低谷类食物的消化速度^[14],这可以解释红香米饭和黑米饭的消化速度低于粳米饭和籼米饭的实验结果。

虽然一些文献认为较高的直链淀粉含量与较低的血糖指数相关联^[4],但本研究结果显示籼米饭的消化速度略高于粳米饭,籼糯米饭消化速度最低;然而此结果仅是体外模拟消化反应结果,餐后血糖反应实验是否具有同样的效果,还需通过人体餐后血糖反应研究进行验证。

3.2 不同加工方法对谷类碳水化合物消化速度的影响

不同加工方法对食物碳水化合物消化速度也会产生比较大的影响。本实验以粳米饭、粳米粥和即食米饭、籼糯米饭和冷籼糯米饭作为样品,研究日常膳食中常见烹调方法对谷类碳水化合物消化速度的影响,结果见图 2。可以看出,蒸煮所得粳米饭的碳水化合物水解率在 5 min 时即已达到比较高的程度,60 min 后水解基本稳定;而即食米饭的碳水化合物水解率一直保持缓慢上升趋势,直到 180 min 时其水解率仍低于粳米饭。这与杨月欣等对即食米饭和大米饭血糖指数的测定结果一致,主要原因是热水浸泡后即食米的淀粉糊化程度低于蒸煮后的粳米^[7]。

反应开始后的 30 min 内粳米粥与粳米饭的消化速度比较接近,30~180 min 其碳水化合物水解

率均低于粳米饭。有关粳米饭和粳米粥碳水化合物消化速度的研究相对较少,从血糖反应文献值来看,不同研究者的研究结果差异较大。杨月欣等的研究显示大米粥的血糖指数为 69.4,低于大米饭的 83.2^[4],而劳干诚等人则认为米粥引起的餐后血糖反应明显高于米饭^[15]。本研究中,样品均为粳米,烹调因素为加水量不同(粳米饭米水质量比 1:1.5,粳米粥为 1:12)和烹调方法不同(粳米饭为蒸煮烹调,粳米粥为高压烹调)。有文献证实,破坏食物原料植物学结构及物理性状的加工方法如高压加工,会增强餐后血糖及胰岛素的反应^[16]。Sagum 等的研究发现米水比例相等的情况下,高压加工加快了稻米碳水化合物的体外消化速度^[17]。笔者认为,加水量不同对稻米淀粉结构或米饭质地的影响可能是上述情况产生的主要原因。值得注意的是,籼糯米饭与冷籼糯米饭的碳水化合物消化速度显示出非常大的差异,因此进一步加深烹饪后米饭的质地指标与其碳水化合物消化速度关系的研究也是非常有意义的。

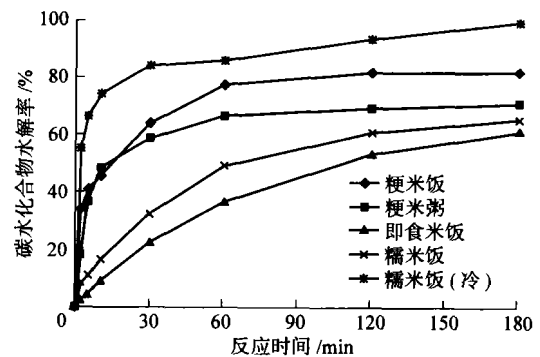


图 2 烹调方法对稻谷类碳水化合物消化速度的影响

Fig. 2 Effect of preparation procedures on carbohydrate digestion rate of cereal samples

3.3 谷豆混合物中豆类对谷类碳水化合物消化速度的影响

谷豆混合食用是我国膳食的优良传统,有研究发现,同时摄入谷类和豆类食物时,人体餐后血糖、胰岛素的稳定性强于单独摄入馒头时,有利于餐后血糖控制^[18];同时食用米饭和豆类制品,血糖指数可降低约 30%^[19]。本研究预实验结果也显示,豆米混合物的碳水化合物消化速度低于米本身而高于豆类。但是不同种类豆与谷类混合烹调时,对非豆类组分的消化速度及血糖反应将产生何种影响,尚未见报道。本实验选用几种较常见的豆类与谷类混合烹调后,除去豆粒,进行消化速度测定,结果见图 3。

可以看出,豆类与粳米混合烹调后,即便除去豆粒,对粳米碳水化合物消化速度仍会产生不同程度的影响。鉴于本实验中烹调方式以及稻米种类的一致性,从不同豆类以及烹调后豆粒状态进行分析:红小豆和绿豆豆粒种皮基本破损,对粳米影响最大;而黑

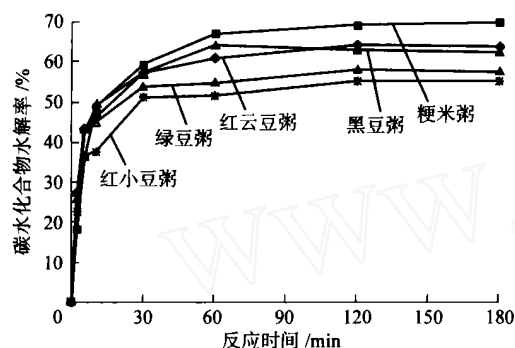


图3 不同种豆类对粳米碳水化合物消化速度的影响

Fig. 3 Effects of different legumes on digestion rate of carbohydrate of rice

豆和红芸豆烹调后豆粒仍然完整,影响相对较小。豆类中能够降低谷类碳水化合物消化速度的成分包括直链淀粉、膳食纤维、低聚糖、蛋白质、单宁类物质及酶抑制剂等^[20],因此可能是豆类种属不同,所含成分不同,对稻米碳水化合物消化速度的影响不同;也可能是红小豆和绿豆种皮破损,种皮内可溶成分和少量胚乳以及子叶成分溶于粥汤中,故对消化速度影响较大,而红芸豆和黑豆溶出成分较少,故影响相对较小。

3.4 部分样品血糖指数和水解指数的相关性分析

为了进一步验证 3.1 和 3.2 中的结果,并对本研究中体外模拟消化方法的可靠性进行评价,对部分米类样品的血糖指数进行测定,并与体外模拟消化法所得相应样品的水解指数进行相关性分析,结果见表 1。可以看出,研究中所采用的体外模拟消化方法所获结果与对应的人体血糖指数有较高的相关性,因此认为体外模拟消化方法可以在一定程度

表 1 部分米类样品血糖指数和水解指数及其 Pearson 相关分析结果

Table 1 GI, HI of 4 rice samples and Pearson correlations between the indexes

测定项目	葡萄糖	籼米饭	籼糯米饭(热)	黑米饭	籼糯米饭(冷)
血糖指数/ %	100.0	67.8 ±15.4	62.1 ±9.2	55.0 ±6.7	89.2 ±10.2
水解指数/ %	100.0	80.0	43.7	35.9	86.5
<i>r</i>			0.910*		
<i>p</i>			0.032		

注: * $P < 0.05$

上预测食品血糖指数。

体内和体外实验结果均显示,籼糯米饭引起的餐后血糖反应低于籼米饭,可见影响谷类碳水化合物消化速度的因素是复杂的,不能绝对地推断支链淀粉含量较高的食物必定具有较高的消化速度和血糖反应。杨月欣等提出,食物的糊化度、粒度、黏度等物理性状均对消化吸收速度有显著的影响^[7]。在大分子溶胶体系中,黏度是影响分子移动性的重要因素之一,根据预试验,籼糯米饭黏度较高,可能影响到其与酶的接触。相关研究也证明,高黏度物质会减缓食糜在消化道内前移的速度和葡萄糖扩散到小肠绒毛表面的速度^[21],这可能是产生上述结果的原因之一。

籼糯米是直链淀粉含量极低的食物,几乎不发生老化回生反应,然而冷籼糯米饭引起的血糖反应高于籼糯米饭,其具体原因有待进一步研究,如抗性

淀粉含量变化和黏度曲线变化的测定等。值得关注的是,目前血糖指数测定的标准方法中,没有对食物的前处理进行具体规定,而这可能是同一食品血糖指数测定值存在差异的重要原因。

4 结论

体外模拟消化实验结果表明,稻谷种类和烹调方法均会对碳水化合物消化速度产生较大影响。碳水化合物消化速度的影响因素较为复杂,不能仅凭直链淀粉含量确定。豆类与稻谷类共同烹调后,豆类表皮、胚乳或子叶中的某些成分溶出,可有效降低碳水化合物消化速度,以红小豆的效果最佳。

研究测定了部分样品的人体血糖反应,结果与体外模拟消化结果具有较高的相关性。鉴于体外模拟消化的简便性,可用其进行食品血糖反应的初步筛选。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国卫生部,中华人民共和国科学技术部,中华人民共和国国家统计局. 中国居民营养与健康现状[J]. 中国心血管病研究杂志, 2004, 2(12): 919-923
- [2] Skrabanja V, Liljeberg H G M, Hedley C L, et al. Influence of genotype and processing on the *in vitro* rate of starch hydrolysis and resistant starch formation in peas [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1999, 47: 2033-2039
- [3] Granfeldt Y, Björck I, Drews A, et al. An *in vitro* procedure based on chewing to predict metabolic response to starch in cereal and legume product [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992, 46: 649-660
- [4] 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
- [5] 张龙翔, 张庭芳, 李令媛. 生物化学实验方法和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997: 1-3
- [6] 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: 33-50
- [7] 杨月欣, 崔红梅, 王岩, 等. 常见谷类和薯类的血糖生成指数[J]. 营养学报, 2003, 25(2): 185-189
- [8] Wolever T M S, Vorster H H, Björck I, et al. Determination of the glycaemic index of foods: interlaboratory study [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2003, 57: 475-482
- [9] Tatsuhiro M, Yasuhiro M, Maki K, et al. Estimation of glycaemic and insulinemic responses to short-grain rice (*Japonica*) and a short-grain rice-mixed meal in healthy young subjects [J]. Asia and Pacific Journal Clinical Nutrition, 1999, 8: 190-194
- [10] 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, 6: 174-178
- [11] 杨月欣. 中国食物成分表 [M]. 北京: 北京医科大学出版社, 2002
- [12] GB/T 14769—1993 食品中水分的测定方法 [S]
- [13] Morris K L, Zemel M B. Glycemic index, cardiovascular disease, and obesity [J]. Nutrition Reviews, 1999, 57(1): 273-276
- [14] Johnson I T, Southgate D. Dietary fibre and related substances [M]. London: James & James (Science Publishers) Ltd, 1994: 39-64
- [15] 劳干诚, 陈上云, 刘薇. 大米两种烹调方法对糖尿病患者餐后血糖影响的研究 [J]. 中国糖尿病杂志, 1997, 5(2): 99-101
- [16] Björck I, Branfeldt Y, Liljeberg H, et al. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1994, 9: 699-705
- [17] 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 amylase [J]. Food Chemistry, 2000, 70: 107-111
- [18] 王彤, 何志谦, 梁奕铨, 等. 混合食物对糖尿病人和健康人群餐后血糖和 C 肽的影响 [J]. 营养学报, 2000(2): 166-170
- [19] Sugiyama M, Tang A C, Wakaki Y, et al. Glycemic index of single and mixed meal foods among common Japanese foods with white rice as a reference food [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2003, 57: 743-752
- [20] Zecharia M, Aleza H S. New legume sources as therapeutic agents [J]. British Journal of Nutrition, 2002, 88: 287-292
- [21] Gee J M, Johnson I T. Rates of starch hydrolysis and changes in viscosity in a range of common foods subject to simulated digestion *in vitro* [J]. Journal of Science Food Agriculture, 1985, 36: 614-620