

不同品种稻米中碳水化合物的消化特性

王淑颖 范志红* 刘波

(中国农业大学 食品科学与营养工程学院,北京 100083)

摘要 以体外模拟消化方法测定 10 个品种稻米中碳水化合物的消化特性和淀粉组分,同时测定稻米中直链淀粉的质量分数,以及稻米的胶稠度、糊化温度和质构特性。结果表明:淀粉消化指数以粳糯米最高,粳米样品又高于籼米样品,但各籼米样品间仍有很大差异。直链淀粉质量分数、胶稠度和糊化温度与抗性淀粉质量分数有显著的相关关系($r=0.846, P<0.05; r=-0.765, P<0.01; r=-0.735, P<0.05$),但直链淀粉质量分数并不能作为预测淀粉消化特性的有效指标。凝聚性与淀粉消化指数显著正相关($r=0.634, P<0.05$),可以利用米饭的质构特性推测其消化特性。

关键词 稻米; 体外消化; 直链淀粉; 胶稠度; 糊化温度; 质构

中图分类号 TS 213.3

文章编号 1007-4333(2012)04-0129-06

文献标志码 A

Influence of rice variety on digestion of rice carbohydrate

WANG Shu-ying, FAN Zhi-hong*, LIU Bo

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

Abstract *In vitro* digestion method was used to investigate the carbohydrate digestion rate of 10 rice cultivars, and amylose contents, gel consistency, gelatinization temperature and texture of these samples were also measured during the investigation. The results showed that the waxy Japonica rice ranks the highest in terms of starch digestion index (SDI), followed by the japonica rice cultivars, which are also significantly higher than that of the *indica* rice cultivars. However, the SDI differs considerably among the *indica* rice samples. Amylose contents, gel consistency and gelatinization temperature have significant correlation with the resistant starch contents ($r = 0.846, P < 0.05; r = -0.765, P < 0.01; r = -0.735, P < 0.05$), but the amylose contents could not serve as an indicator to predict starch digestion characteristics. It is noticed that the cohesiveness have a significant positive correlation with SDI ($r = 0.634, P < 0.05$), which suggests that the textural properties of cooked rice may be used to estimate the postprandial glycemic response of the rice cultivars.

Key words rice; *in vitro* digestion; amylose; gel consistency; gelatinization temperature; texture

按照我国对稻谷的分类方法,可将大米分为 3 大类:籼米、粳米和糯米^[1]。不同水稻品种直链淀粉的质量分数差异很大,大部分粳稻品种的直链淀粉质量分数较低,少数为中等;籼稻的直链淀粉质量分数有高有低;糯稻的直链淀粉质量分数近于 0^[2]。研究表明,餐后血糖反应与肥胖、糖尿病和心血管疾病等慢性病的发病率密切相关^[3-4],通过体外模拟消

化法测定食物碳水化合物消化速度,可以有效预测餐后血糖反应^[5],而直链淀粉可能与淀粉消化速度负相关^[6],黏度等质构因素也可能与淀粉消化特性相关^[7]。

目前,有关稻米血糖反应的研究大多集中于直链淀粉含量较高的籼米,对于黏度相对较高,直链淀粉含量较低的粳米和糯米的研究较少。研究表明,

收稿日期: 2012-02-22

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2008BAD91B01)

第一作者: 王淑颖,硕士研究生, E-mail: wsyhenrw@163.com

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

不同直链淀粉质量分数的稻米蒸煮食用品质^[8]、质构特性^[9-10]以及淀粉物化性质和糊化特性^[11]都有较大差异,但对同一类稻米,不同品种之间消化特性的差异,以及胶稠度、糊化温度和质构能否预测碳水化合物消化特性的研究较少。

本研究拟对籼米、粳米、糯米这3类稻米碳水化合物的消化特性进行分析,探究直链淀粉质量分数、胶稠度、糊化温度和质构对稻米中碳水化合物消化特性的影响。

1 材料与方法

1.1 试剂、仪器及材料

1) 试验试剂。胰酶、淀粉葡萄糖苷酶、转化酶, 3,5-二硝基水杨酸试剂、0.2 mol/L pH7.2 磷酸缓冲液、0.1 mol/L 乙酸钠缓冲液和无水乙醇。

2) 仪器设备。SHA-BA 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; RT-2002D. D 型流变仪, 日本 RHEO TECHG 公司。

3) 试验材料。收集我国市面上常见的 10 个品种稻米, 分别属于籼米、粳米和糯米(表 1)。

表 1 稻米品种及来源

Table 1 Species and sources of rice samples

品种	名称	来源
籼米	泰香米	湖南金健米业股份有限公司
	两优培九	湖南金健米业股份有限公司
	湘晚籼 11	湖南金健米业股份有限公司
	马坝银占	广西农乐有限公司
	油占八号	广西农乐有限公司
粳米	桂华占 1	广西农乐有限公司
	5 优-C	湖南金健米业股份有限公司
	泗稻 10 号	湖南金健米业股份有限公司
糯米	籼糯米	安徽恒发粮油贸易有限公司
	粳糯 120-5	安徽恒发粮油贸易有限公司

1.2 试验方法

1.2.1 样品制备

籼米和粳米加 1.5 倍体积水于 135 mm×102

mm×52 mm 的乐扣盒中浸泡 1 h, 蒸煮 30 min。糯米于 1 倍体积水中浸泡 1 h, 蒸煮 30 min, 蒸煮过程中将相当于米样 0.5 倍体积的水分 2 次均匀撒在米的表面, 以防止表面干结。蒸煮过程中均不加盒盖。

1.2.2 主要试验方法

1) 稻米淀粉消化组分及淀粉消化指数的测定。采用体外模拟消化试验, 按 Englyst 等的酶解方法进行^[12]。测定样品中总淀粉(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):

$$SDI/\% = (m(RDS)/m(TS)) \times 100$$

式中: $m(RDS)$ 和 $m(TS)$ 分别为 RDS 和 TS 的质量。加入酶液后的 0、2、5、10、30、60、120、180 min 取样测定还原糖质量分数, 研究不同品种稻米碳水化合物的水解率随时间的变化规律, 以评价其淀粉的消化速度。

2) 稻米直链淀粉、胶稠度和糊化温度的测定。按照国标测定 10 种稻米的直链淀粉质量分数^[13]、胶稠度^[14]和糊化温度^[15]。

3) 稻米质构测试试验。用流变仪测定 10 种米饭样品的质地品质。以规格一致的 50 mL 小玻璃烧杯盛装样品。载物台速度 60 mm/min, 载荷范围 2 kg, 插入深度定为 20 mm, 根据需要进行两次压缩。流变仪配套软件的参数设定为: 放大倍数 4, 读数时间间隔 1 min, 时间曲线范围为 100 ms, 样品放在保温锅内, 温度 50 °C。根据图谱, 计算米饭的质地指标^[16]。

4) 数据处理与统计方法。试验数据用 Excel 软件进行处理, 并用 SPSS17.0 软件包进行 2 个样品间配对 t 检验、多个样品间单因素方差分析和 Pearson 相关分析。米饭质构初始数据使用 Originpro7.5 进行处理。

2 结果与讨论

2.1 稻米的碳水化合物消化特性

2.1.1 籼米

各种籼米的碳水化合物水解曲线见图 1。泰香米、桂华占 1、油占 8 号三者的水解曲线面积较大, 早期消化进程也较其他品种快。湘晚籼 11 号于反应前 10 min 的水解率较快, 但之后反应渐渐缓和,

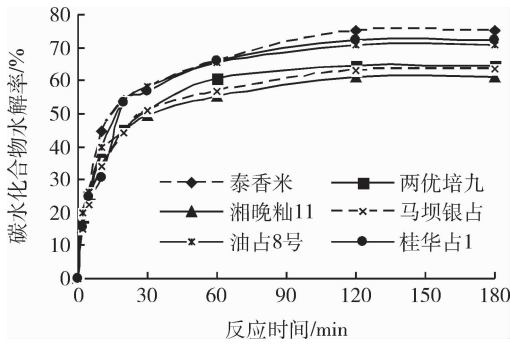


图 1 籼米样品碳水化合物的水解进程

Fig. 1 Hydrolysis process of different indica rices

表 2 籼米样品的淀粉消化组分与淀粉消化指数

Table 2 Starch fractions of indica rices and starch digestion index

样品	$w(\text{RDS})/(\text{g}/100 \text{ g})$	$w(\text{SDS})/(\text{g}/100 \text{ g})$	$w(\text{RS})/(\text{g}/100 \text{ g})$	$w(\text{TS})/(\text{g}/100 \text{ g})$	SDI/%
泰香米	54.54±1.41 a	20.73±0.27 a	0.62±0.04 a	76.40±0.35 a	72.64±2.21 a
油占 8 号	53.75±1.14 a	17.27±1.75 b	2.45±0.56 bc	73.47±1.50 a	73.20±2.65 a
桂华占 1	51.63±1.45 a	20.66±1.03 a	1.25±0.07 b	73.90±1.52 a	69.87±1.87 ab
两优培九	45.93±0.64 b	20.26±0.37 a	1.69±0.16 b	67.88±0.61 b	67.66±0.70 b
湘晚籼 11 号	43.63±1.15 b	19.02±0.87 a	2.82±0.32 c	64.78±1.74 b	67.35±0.72 b
马坝银占	43.88±0.85 b	21.39±0.08 a	2.22±0.45 bc	67.51±0.55 b	64.85±1.03 b

注：测定结果以测定平均值±标准差的形式给出；同一列数据中，相同小写字母表示不同样品之间差异不显著，不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。TS, 总淀粉; RDS, 快速消化淀粉; SDS, 慢速消化淀粉; RS, 抗消化淀粉; SDI, 淀粉消化指数。下表同。

2.1.2 粳米

从粳米样品的碳水化合物水解曲线可以看出, 5 优-C 和 泗稻 10 号消化曲线趋势相似, 反应在前 30 min 内比较剧烈, 此后水解率缓慢上升并趋于平衡 (图 2)。各时间点配对检验的结果表明, 反应时间为 10、20 和 180 min 时, 2 者的水解率存在显著差异 ($P < 0.05$)。分析各淀粉组分结果表明, 泗稻 10 号的 RDS、TS 质量分数均显著高于 5 优-C ($P < 0.05$)。SDI 是碳水化合物消化速度的代表性指标, 与籼米样品相比, 粳米样品的 SDI 值略偏高。

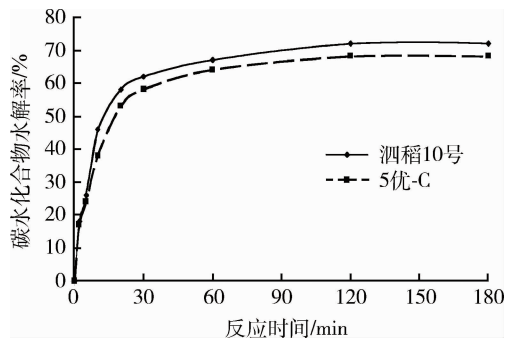


图 2 粳米样品碳水化合物的水解进程

Fig. 2 Hydrolysis process of different japonica rices

表 3 粳米样品的淀粉消化组分及淀粉消化指数

Table 3 Starch fractions of japonica rices and starch digestion index

样品	$w(\text{RDS})/(\text{g}/100 \text{ g})$	$w(\text{SDS})/(\text{g}/100 \text{ g})$	$w(\text{RS})/(\text{g}/100 \text{ g})$	$w(\text{TS})/(\text{g}/100 \text{ g})$	SDI/%
5 优-C	53.15±1.17 a	15.14±0.63 a	1.50±0.39 a	68.54±0.21 a	77.55±1.73 a
泗稻 10 号	58.00±0.23 b	12.60±0.75 a	2.26±0.51 b	72.87±1.27 b	79.61±1.36 a

2.1.3 糯米

反应时间为5、10、20、30 min时,籼糯米和粳糯120-5的水解率存在显著性差异($P < 0.05$),60 min后的水解趋势基本一致(图3)。籼糯的SDI极显著低于粳糯米($P < 0.01$),与籼米样品较为接近(表4)。这主要是由于籼糯的RDS低于粳糯,而RS高于粳糯所致($P < 0.05$)。因此可以推测粳糯米的餐后血糖升高较快,而籼糯米更有利于血糖的稳定控制,与曾悦^[18]和杨月欣^[19]的研究结果一致。因此对于需要控制血糖的人群,应尽量减少粳糯及其加工品的摄入。

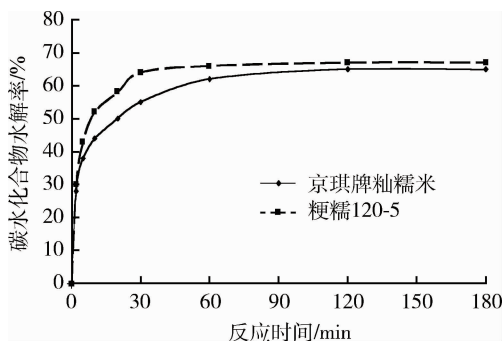


图3 糯米样品碳水化合物的水解进程

Fig. 3 Hydrolysis process of different waxy rices

表4 糯米样品的淀粉消化组分与淀粉消化指数

Table 4 Starch fractions of waxy rices and starch digestion index

样品	$w(\text{RDS})/(\text{g}/100 \text{ g})$	$w(\text{SDS})/(\text{g}/100 \text{ g})$	$w(\text{RS})/(\text{g}/100 \text{ g})$	$w(\text{TS})/(\text{g}/100 \text{ g})$	SDI/%
籼糯米	50.95±1.22 a	19.05±1.02 a	0.51±0.04 a	70.51±0.17 a	72.36±0.56 a
粳糯 120-5	56.31±1.27 b	9.53±0.56 b	1.36±0.38 b	68.11±0.71 a	83.19±1.19 b

2.2 直链淀粉的质量分数、胶稠度和糊化温度对糯米碳水化合物消化特性的影响

目前中国优质稻谷质量标准中,已将胶稠度、直链淀粉的质量分数作为评定稻谷质量等级的指标。不同品种的糯米直链淀粉的质量分数有较大差异,糯米的直链淀粉质量分数最低(表5)。

表5 米饭样品的直链淀粉质量分数、胶稠度及碱消值

Table 5 Amylose content, gel consistency and alkali spreading of rice samples

品种	名称	$w(\text{直链淀粉})/\%$	胶稠度/mm	碱消值
籼米	泰香米	21.8	97	5.0
	两优培九	21.2	98	6.0
	湘晚籼 11	16.0	60	6.0
	马坝银占	12.4	83	7.0
	油占八号	12.2	59	7.0
	桂华占 1	12.2	72	7.0
粳米	5 优-C	21.5	78	6.0
	泗稻 10 号	16.3	75	7.0
糯米	京琪牌籼糯米	0.0	100	6.0
	粳糯 120-5	3.1	100	6.0

胶稠度是糯米淀粉胶的一种胶体特性,是糯米胚乳中直链淀粉质量分数以及直链淀粉和支链淀粉

分子性质综合作用的反映。按照凝胶长度,胶稠度可分为硬($\leq 40 \text{ mm}$)、中($41 \sim 60 \text{ mm}$)和软($\geq 61 \text{ mm}$)3类。本试验测定的糯米胶稠度以软胶为主。

糯米的初始糊化温度是指糯米的淀粉粒在水中加热开始发生不可逆的膨胀、丧失其双折射性和结晶性的临界温度,一般用碱消值表示。碱消值分为7级,糊化温度高($> 74 \text{ }^\circ\text{C}$)、中($70 \sim 74 \text{ }^\circ\text{C}$)、低($< 70 \text{ }^\circ\text{C}$),分别对应碱消值的1~3级、4~5级、6~7级。试验结果在5~7级之间,属于中、低糊化温度范围。

2.2.1 直链淀粉质量分数对消化速度的影响

直链淀粉质量分数能否作为评价糯米血糖反应和消化速度的决定性因素,一直存在争议。有研究认为,直链淀粉质量分数较高的糯米的体外酶解速度慢,体内血糖反应较低^[20],原因是直链淀粉含有大量分子内和分子间氢键,微晶束结构限制了加热过程中淀粉膨胀和糊化的程度,从而降低淀粉的消化和吸收速度^[21]。然而,也有研究表明,直链淀粉对于衡量糯米碳水化合物消化特性并不是一个很有效的指标^[22-23]。本试验中,对于直链淀粉质量分数较低的糯米($w(\text{直链淀粉}) < 20\%$)而言,RS质量分数与直链淀粉呈显著正相关($r = 0.846, P < 0.05$),在直链淀粉质量分数较低的糯米中,随着直链淀粉质量分数的增加,RS质量分数也会相应增加,Hu等^[6]的研究也有相同的结论。

2.2.2 胶稠度与碱消值对消化速度的影响

Panlasigui 等^[24]通过人体试验发现,血糖指数 GI 与稻米的胶稠度呈负相关关系,与碱消值呈显著正相关。本试验的体外消化结果中,胶稠度和碱消值与 SDI 没有相关关系,但是与淀粉消化组分的相关性分析结果显示,胶稠度和碱消值与稻米的 RS 质量分数具有显著的相关关系($r = -0.765, P < 0.01; r = 0.735, P < 0.05$)。RS 质量分数越大,样品的胶稠度越低,而碱消值却相对越高。但由于本研究尚未在人体研究中加以验证,因而胶稠度与碱

消值是否为预测碳水化合物消化特性的有效指标,应进一步深入研究。

2.3 米饭质构对稻米碳水化合物消化特性的影响

通过计算分析,10种米饭的5项质构指标见表6。硬度指压缩样品达到一定变形所需的力,出现在稻米的最大变形处;凝聚性表示测试样品经过第1次压缩变形后所表现出来的对第2次压缩的相对抵抗能力;粘着性指反映的是探头由于测试样品的粘着作用所消耗的功;黏性用于描述测试样品的黏性特性,数值上用硬度和凝聚性的乘积表示。

表6 米饭的质构特性参数
Table 6 Texture parameters of rices

样品	硬度/g	凝聚性	粘着性/g·s	黏性/g·s	胶黏性/g·s
泰香米	0.078±0.000 a	0.201±0.001 a	0.204±0.009 a	0.016±0.002 a	0.028±0.000 a
两优培九	0.095±0.000 b	0.242±0.014 a	0.515±0.020 b	0.023±0.009 b	0.043±0.002 b
湘晚粳11号	0.090±0.000 b	0.247±0.007 a	0.568±0.015 b	0.022±0.002 b	0.044±0.004 b
马坝银占	0.094±0.001 b	0.254±0.022 a	0.464±0.023 c	0.023±0.003 b	0.041±0.002 b
油占8号	0.086±0.001 ab	0.259±0.041 a	0.565±0.009 b	0.027±0.002 b	0.046±0.002 b
桂华占1	0.089±0.001 ab	0.248±0.008 a	0.485±0.016 c	0.020±0.002 ab	0.038±0.000 b
5优-C	0.093±0.014 b	0.289±0.005 b	0.574±0.003 b	0.024±0.001 b	0.039±0.001 b
泗稻10号	0.088±0.001 ab	0.258±0.006 a	0.473±0.029 c	0.021±0.002 ab	0.042±0.002 b
粳糯米	0.124±0.019 d	0.309±0.008 b	0.455±0.018 c	0.039±0.001 c	0.034±0.004 ab
粳糯120-5	0.045±0.001 c	0.382±0.006 c	0.389±0.012 d	0.025±0.012 b	0.027±0.001 a

由表6可以看出,糯米样品的质构指标与其他样品不同,粳糯米的硬度和黏性都显著高于其他稻米($P < 0.05$),粳糯米的硬度最低,而凝聚性最高($P < 0.05$)。糯米样品这种独特的质构性质可能与其淀粉组成有关,有研究证明直链淀粉和支链淀粉的质量分数、空间结构及其相互关系是影响米饭质地主要因素^[25]。Kim 等^[26]提出米制品的理化形式和质地可能会影响稻米体内外的消化速度,对米饭的5种质构参数与淀粉组分进行相关分析结果显示,SDI 与米饭的凝聚性显著正相关($r = 0.634, P < 0.05$),SDS 与凝聚性显著负相关($r = -0.736, P < 0.05$),此结果初步反映了米饭的结构致密性对消化特性的影响。

粳米中部分品种的 SDI 与粳米接近,部分品种低于粳米和粳糯米。

2)对于直链淀粉质量分数较低的稻米,其碳水化合物消化特性存在的差异,并不能由直链淀粉质量分数来完全解释,但直链淀粉质量分数与米饭的抗性淀粉质量分数有显著相关关系。

3)胶稠度和碱消值与淀粉消化指数没有相关关系,但与抗性淀粉质量分数有显著的相关关系。胶稠度和碱消值指标能否为预测碳水化合物消化特性的有效指标,需要进一步深入研究。

4)米饭质构特性对于预测其消化特性有一定作用,然而本研究只是体外预测试验,尚需人体试验加以验证。

3 结论

1)粳糯米的碳水化合物水解速率和淀粉水解指数显著高于其他类型稻米,不利于餐后血糖的控制。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国国家技术监督局. GB1354—2009 大米[S]. 北

- 京:中国标准出版社,2009
- [2] 李兆丰,顾正彪,洪雁. 稻米淀粉的研究进展[J]. 食品科学, 2004,25(12):184-188
- [3] Sieri S, Krogh V, Berrino F, et al. Dietary glycemic load and index and risk of coronary heart disease in a large Italian cohort [J]. Archives of Internal Medicine, 2010,170(7):640-647
- [4] Sun Q, Spiegelman D, 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):961-969
- [5] Englyst K N, Englyst H N. Carbohydrate bioavailability[J]. British Journal of Nutrition, 2005,94(1):1-11
- [6] Hu P, Zhao H, Duan Z, et al. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylase contents[J]. Cereal Science, 2004,40(3):231-237
- [7] Panlasigui L, Thompson L, Juliano B, et al. Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1991,54(4):871-877
- [8] 周治宝. 米饭食味特性与稻米理化指标的相关性研究[D]. 南昌:江西农业大学, 2011
- [9] 余晨,李雪,李秀娟,等. 大米品种特性与面窝品质的相关分析[J]. 食品科学, 2011,32(05):75-78
- [10] Ramesh M, Ali S Z, Bhattacharya K R. Structure of rice starch and its relation to cooked-rice texture [J]. Carbohydrate Polymers, 1999,38(4):337-347
- [11] 程科,陈季旺,许永亮,等. 大米淀粉物化特性与糊化曲线的相关性研究[J]. 中国粮油学报, 2006,21(6):4-8
- [12] Englyst H N, Kingsman S, Cummings J. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992,46(2):33-50
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 15683—2008. 大米直链淀粉含量的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2008
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 22294—2008. 粮油检验 大米胶稠度的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2008
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T17891—1999. 优质稻谷[S]. 北京:中国标准出版社, 1999
- [16] 李里特. 食品物性学[M]. 北京:中国农业出版社, 2001:99-100
- [17] Rashmi S, Urooj A. Effect of processing on nutritionally important starch fractions in rice varieties [J]. International Journal of Food Science Nutrition, 2003,54(1):27-36
- [18] 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
- [19] 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
- [20] Miller J, Pang E, Bramall L. Rice: a high or low glycemic index food? [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1992, 56(6):1034-1036
- [21] Larsen H N, Christensen C, Rasmussen O W, et al. Influence of parboiling and physic-chemical characteristics of rice on the glycemic index in non-insulin- dependent diabetic subjects[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1996,50(1):22-27
- [22] Frei M, Siddhuraju P, Becker P. Studies on the *in vitro* starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines[J]. Food Chemistry, 2003, 83(3):395-398
- [23] Ou S, Kwok K, Li Y, et al. In vitro study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(2): 1026-1029
- [24] Panlasigui L N, Thompson L U, Juliano B O. Extruded rice noodles: Starch digestibility and glycemic response of healthy and diabetic subjects with different habitual diets[J]. Nutrition Research, 1992,12(10):1195-1204
- [25] Hizukuri S, Takeda Y, Maruta N. Molecular structure of rice starch[J]. Carbohydrate Research, 1989,18(9):227-235
- [26] Kim J C, Kim J I, Kong Y W, et al. Influence of the physical form of processed rice products on the enzymatic hydrolysis of rice starch *in vitro* and on the postprandial glucose and insulin responses in patients with type 2 diabetes mellitus [J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2004, 68(9): 1831-1836

责任编辑:刘迎春