

糯性加工食品餐后血糖及饱腹感评价

潘海坤, 王淑颖, 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: 为了研究糯性加工食品餐后生理反应, 选择以粳糯米和籼糯米为原料制成的米饭、年糕、油饭、油糕为研究对象, 测定各糯性加工食品餐后120 min的血糖和饱腹感反应, 计算血糖生成指数(glycemic index, GI)与饱腹感指数(satiety index, SI)。结果表明: 各样品的GI值为: 粳糯米饭94.42、籼糯米饭84.47、粳糯年糕125.47、籼糯年糕110.87、粳糯油饭89.66、籼糯油饭80.13、粳糯油糕112.34、籼糯油糕99.10, 即全部糯性加工食品均为高GI食物。对于同品种糯米, 米粉加工食品年糕、油糕GI值分别高于对应整粒加工食品米饭、油饭; 加入猪油制成的油饭、油糕的血糖反应较米饭、年糕略微降低; 对于同种糯性加工食品, 粳糯比籼糯具有更高的血糖反应; 各糯性加工食品SI值为0.99~1.15, 样品间无显著性差异, 数值与参比粳米相近; 与未添加猪油的样品相比, 添加猪油并未增加餐后饱腹感, 等能量比较时饱腹感反而更低。由此说明不同糯米品种、粒度以及脂肪的添加都会影响糯性加工食品的餐后血糖反应。但整体看来糯性加工食品血糖反应较高, 不适合控制血糖者食用。

关键词: 糯性加工食品; 血糖反应; 血糖指数; 饱腹感

Postprandial Glycemic Response and Satiety Evaluation of Glutinous Rice Foods

PAN Haikun, WANG Shuying, FAN Zhihong*

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

Abstract: To investigate the postprandial response of glutinous rice foods, rice, rice cake, oil rice, oil rice cake made from two varieties of glutinous rice, short-grained and long-grained, were selected. The blood glucose and satiety within 120 min were measured after ingestion of the samples and then glycemic index (GI) and satiety index (SI) were calculated. The GI of short-grained glutinous rice is 94.42, long-grained glutinous rice 84.47, short-grained rice cake 125.47, long-grained rice cake 110.87, short-grained oil glutinous rice 89.66, long-grained oil glutinous rice 80.13, short-grained oil rice cake 112.34, long-grained oil rice cake 99.10. The results indicated that all samples were foods with high GI values. Compared with glutinous rice foods, glutinous rice flour foods had higher GI value. Similarly, long-grained rice foods had higher GI value than short-grained rice foods. The addition of lard could decrease the GI value, but could not increase the satiety. The SI values of all glutinous samples were similar. Therefore, the postprandial glycemic response of glutinous rice foods could be regulated by rice variety, food particle size and fat addition. Considering that all the samples have high GI values, people who need to control blood glucose should be careful about eating them.

Key words: glutinous rice foods; glycemic response; glycemic index; satiety response

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201617038

中图分类号: R151.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)17-0225-05

引文格式:

潘海坤, 王淑颖, 范志红. 糯性加工食品餐后血糖及饱腹感评价[J]. 食品科学, 2016, 37(17): 225-229. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201617038. <http://www.spkx.net.cn>

PAN Haikun, WANG Shuying, FAN Zhihong. Postprandial glycemic response and satiety evaluation of glutinous rice foods[J]. Food Science, 2016, 37(17): 225-229. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201617038. <http://www.spkx.net.cn>

根据2013年国际糖尿病联盟公布的数据显示, 我国糖尿病患者约有0.98亿, 居全球首位, 而这个数字在2035年预计将增长为1.41亿^[1]。流行病学研究表明, 与空腹血糖相比, 控制餐后血糖对降低糖化血红蛋白^[2]、心脑血管

血管疾病发生风险具有更重要的意义^[3]。餐后高血糖也是糖尿病的早期症状^[4]。一般认为, 选择低血糖生成指数(glycemic index, GI)、高饱腹感的膳食, 有利于控制体质量^[5], 降低糖尿病及其并发症的发病风险^[6]。

收稿日期: 2015-08-17

作者简介: 潘海坤(1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食物营养。E-mail: 790104647@qq.com

*通信作者: 范志红(1966—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食物营养。E-mail: daisyfan@vip.sina.com

在我国饮食中,糯米及其加工食品为居民所喜食,常作为节庆食物。有研究认为糯米饭消化速度快,血糖反应过高^[7-8],不适合糖尿病患者。但糯米有粳糯米和籼糯米之分,它们的营养成分近似,但文献中两者所制成米饭的GI值差异很大^[9]。以糯米为原料的糯性加工食品主要是以整粒糯米或糯米粉加工制成,有些还添加了猪油。民间认为糯性加工食品不易消化,餐后血糖反应是否很高还有争议,而不同制作方法和脂肪的加入对糯性加工食品餐后血糖和饱腹感有何影响,目前鲜少见可靠数据。因此,选择分别由粳糯米和籼糯米制成的米饭、年糕、油饭、油糕作为研究对象,测定人体餐后血糖反应和饱腹感反应,旨在为不同糯性加工食品的食用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

粳糯米、籼糯米产于黑龙江,购于北京市美廉美学清路超市;粳米 湖南金健米业股份有限公司;猪油江苏扬州慧嘉有限公司。

口服五维葡萄糖 北京市燕京药业有限公司。

糯性加工食品加工方法见表1。

表1 糯性加工食品加工方法
Table 1 Sample processing methods

食物名称	原料	加工方法
米饭	粳糯米	米水比1.0:1.2 (m/m,下同),浸泡20 min后常压蒸煮40 min
	籼糯米	米水比1.0:1.2,浸泡20 min后常压蒸煮40 min
	粳米	米水比1.0:1.5,常压蒸煮40 min
年糕	粳糯米粉	粉水比1.0:1.2,浸泡20 min后常压蒸煮40 min
	籼糯米粉	粉水比1.0:1.2,浸泡20 min后常压蒸煮40 min
油饭	粳糯米、猪油	米、水、猪油比为1.0:1.2:0.2,浸泡20 min后常压蒸煮40 min
	籼糯米、猪油	米、水、猪油比为1.0:1.2:0.2,浸泡20 min后常压蒸煮40 min
油糕	粳糯米粉、猪油	粉、水、猪油比为1.0:1.2:0.2,浸泡20 min后常压蒸煮40 min
	籼糯米粉、猪油	粉、水、猪油比为1.0:1.2:0.2,浸泡20 min后常压蒸煮40 min

1.2 仪器与设备

稳豪血糖仪 美国强生集团有限公司;电磁炉广州美的电器制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 对象

招募9名(男3名、女6名)无吸烟酗酒等不良习惯的志愿者作为研究对象^[10],要求所有志愿者身体健康,无代谢性疾病、糖尿病家族史和其他代谢病史,无葡萄糖不耐受,一个月内没有节食减肥及服用任何药物。志愿者平均年龄(22.75 ± 1.39)岁,平均身体质量指数(body mass index, BMI)值为(22.94 ± 3.00) kg/m²。研究经中国农业大学伦理委员会许可,与志愿者签订书

面协议。实验前所有志愿者被告知,在实验期间避免剧烈运动、暴饮暴食、饮酒、熬夜等不良生活行为,避免食用刺激性食物,每次测试的前一晚需正常饮食,按时休息。

1.3.2 人体血糖应答实验

按照Wolever等^[10]的方法进行GI测定。实验安排在上午8:00至11:00进行。志愿者从前一天晚上20:00接到实验组织者通知,开始禁食,可少量饮水。实验当天7:50进入实验室,8:00开始实验,要求所有志愿者在15 min内进食样品完毕,以口服葡萄糖和粳米饭为参照食物。分别于进食前1 min内及进食开始后的15、30、45、60、90、120 min采集指尖血,使用血糖仪进行血糖浓度测定。

参考Wolever^[11]的标准方法计算各样品血糖反应曲线下面积(area under the curve, AUC)。分别用葡萄糖、粳米饭作为参考食物(GI=100)计算相对GI。

1.3.3 饱腹感和进食问卷

参照Holt等^[12]的方法对饱腹感进行评价,计算饱腹感AUC和饱腹感指数(satiety index, SI)。记录志愿者进食所用时间,并对样品进行喜好度、厌恶度评价(每项0~10分)。记录进食开始后0、15、30、60、90、120 min的饱腹感。

1.3.4 进食速率

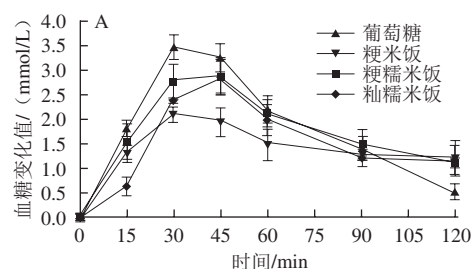
记录受试者从开始进食到放下筷子停止进食的时间。根据样品质量和志愿者进食时间,以g/min为单位计算进食速率。

1.4 数据统计分析

用SPSS 18.0软件处理实验结果,组间差异采用成对t检验和单因素方差分析,因素间的相关分析采用Pearson's相关分析,以 $P < 0.05$ 作为显著性差异, $P < 0.01$ 为极显著差异。

2 结果与分析

2.1 各样品餐后血糖应答



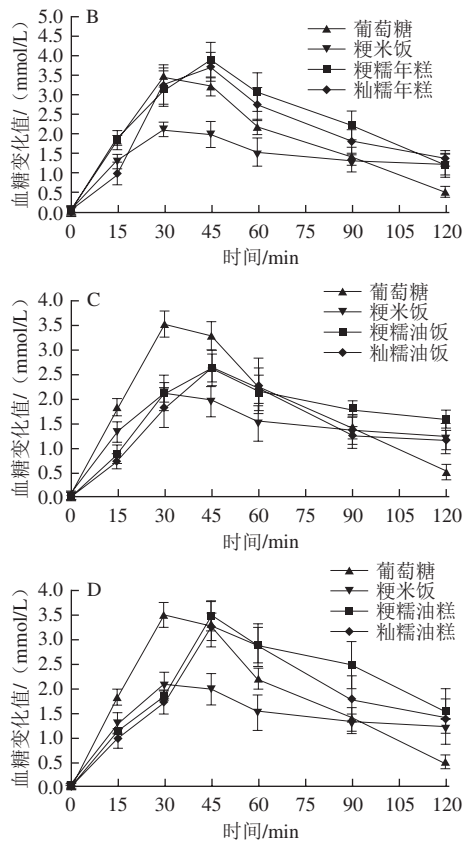


图1 进食各样品后血糖浓度增量 ($n=9$)

Fig. 1 Postprandial glycemic response of the samples ($n=9$)

各样品餐后120 min血糖反应如图1所示。参比食物口服葡萄糖和粳米饭餐后血糖峰值出现在餐后30 min, 食用各糯性加工食品后血糖峰值出现在餐后45 min。餐后120 min内, 各样品餐后血糖值均高于空腹。早期0~30 min间, 各加工食品血糖增量均低于口服葡萄糖, 油糕和油饭的血糖浓度低于粳米饭, 粳糯米饭和粳糯米糕高于粳米饭。在30~60 min之间, 糯米饭和年糕的血糖浓度高于粳米饭, 而油饭和油糕在45 min和60 min时高于粳米饭。在60~120 min之间, 糯米粉加工食品年糕和油糕样品的血糖浓度高于2种参比食物和对应整粒加工食品。120 min时, 各样品血糖浓度均高于参比葡萄糖。特别值得注意的是, 60 min前, 加入猪油样品的血糖浓度要低于未加样品, 说明添加油脂可以延缓早期血糖上升的速率, 而在60 min以后, 添加猪油样品的血糖浓度高于或非常接近不加油的相应食品。整体看来, 粳糯加工食品餐后血糖水平高于对应籼糯加工食品, 米粉加工食品餐后血糖浓度高于整粒加工食品。

各样品GI、血糖峰值如表2所示。各糯性加工食品均属于高GI的食物, 平均GI值均高于粳米饭。对于同一种加工食品而言, 粳糯加工食品的GI值显著高于籼糯加工食品 ($P<0.05$), 这可能与糯米支链淀粉的链长和分支程度影响有关。研究表明, 粳糯米淀粉中支链淀粉少, 与籼

糯米相比易糊化, 不易回生^[13]。You等^[14]测定了韩国6种常见糯米支链淀粉的分子结构和糊化温度, 结果发现长支链比例最高的糯米品种具有最高的糊化温度和峰值黏度。

糯米粉加工食品年糕、油糕的GI值要高于对应糯米粒加工食品米饭和油饭 ($P<0.05$)。这说明同种糯米制成的糯米粉加工食品的血糖反应高于整粒加工食品, 其原因可能是淀粉粒度影响消化。淀粉的消化速率在一定程度上取决于酶与淀粉颗粒表面的接触面积, 减小颗粒粒度, 比表面积增大, 有利于淀粉酶解, 从而影响淀粉初始消化速率^[15]。与整粒状态相比, 粉状原料会使得本来紧实致密的食材消除物理屏障^[16], 提高食品的消化速率和血糖反应。

加入猪油制成的油饭、油糕较对应加工食品年糕和米饭相比, GI值略微降低, 但无显著性差异 ($P>0.05$)。米饭的餐后血糖增量峰值最低, 粳糯米糕血糖峰值最高 ($P<0.05$)。粳糯米糕与籼糯米糕、粳糯米油糕、葡萄糖的餐后血糖峰值无显著性差异 ($P>0.05$)。对于同一品种糯米而言, 油饭和油糕的血糖反应有略微下降的趋势可能是脂肪延缓胃排空以及和淀粉结合形成淀粉-脂质复合物共同作用的结果。许多研究都表明, 脂肪的摄入与血糖反应密切相关。如Bao Jiansong等^[17]通过研究健康年轻人的餐后2 h血糖反应发现, 对于121种单一食物来说, 食物的GI值与脂肪的含量呈显著负相关, 脂肪可通过延迟胃排空时间和增强肠促胰岛素分泌^[18-19]来降低餐后血糖。

此外, 淀粉可与脂肪形成淀粉-脂质复合物, 延缓消化过程。未糊化的直链淀粉分子和支链淀粉的较长分支有螺旋结构。脂肪酸的碳氢链靠疏水作用进入螺旋内部, 与疏水基团形成稳定的淀粉-脂质复合物^[20], 抑制淀粉颗粒膨胀, 干扰淀粉糊化^[21]。淀粉-脂质复合物的稳定性随脂肪链长度的增加而降低^[22], 随不饱和度的增加而降低^[23]。

表2 进食各样品的血糖反应 ($\bar{x} \pm s$, $n=9$)
Table 2 Glycemic response of the samples ($\bar{x} \pm s$, $n=9$)

名称	原料	血糖峰值 浓度/(mmol/L)	GI _G	GI _R
葡萄糖	葡萄糖	3.48±0.77 ^b	100	128.32±36.24 ^b
米饭	粳米	2.10±0.61 ^a	78.28±22.50 ^a	100
米饭	粳糯	2.89±1.17 ^{ab}	94.42±20.16 ^{ab}	119.27±27.00 ^{ab}
	籼糯	2.83±1.13 ^{ab}	84.47±21.29 ^a	105.64±28.71 ^a
年糕	粳糯	3.92±1.35 ^b	125.47±37.66 ^c	164.65±41.08 ^c
	籼糯	3.72±1.20 ^b	110.87±33.78 ^{bc}	141.59±42.75 ^{bc}
油饭	粳糯	2.62±0.81 ^{ab}	89.66±29.13 ^{ab}	114.53±39.73 ^{ab}
	籼糯	2.60±1.66 ^{ab}	80.13±23.54 ^a	101.30±33.53 ^a
油糕	粳糯	3.48±0.96 ^b	112.34±36.94 ^{bc}	142.54±40.89 ^{bc}
	籼糯	3.28±1.40 ^{ab}	99.10±31.03 ^{ab}	128.66±38.96 ^b

注: GI_G 以葡萄糖为参比计算的GI值; GI_R 以粳米饭为参比计算的GI值; 参比值GI=100; 同列小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

特别需要注意的是,在主食中添加油脂虽然使当餐的血糖反应有所降低,但并不意味着适合糖尿病患者食用。研究表明较多的脂肪会降低胰岛素敏感性^[24],不利于长期血糖控制。同时,2种油糕的血糖峰值相当于葡萄糖,后期血糖浓度均居高不下,可能不利于糖尿病患者控制糖化血红蛋白的水平。

2.2 各样品餐后饱腹感应答

表3 各样品餐后SI ($\bar{x} \pm s, n=9$)
Table 3 Satiety response of the samples ($\bar{x} \pm s, n=9$)

名称	原料	等质量碳水化合物		等能量	
		SI _G	SI _R	SI _G	SI _R
米饭	粳糯	1.19±0.30	0.99±0.28	1.19±0.30 ^{ab}	0.99±0.28 ^{ab}
	籼糯	1.22±0.38	1.02±0.39	1.22±0.38 ^{ab}	1.02±0.39 ^{ab}
年糕	粳糯	1.37±0.32	1.15±0.25	1.37±0.32 ^b	1.15±0.25 ^b
	籼糯	1.34±0.36	1.13±0.28	1.34±0.36 ^b	1.13±0.28 ^b
油饭	粳糯	1.30±0.32	1.09±0.30	0.97±0.32 ^a	0.82±0.30 ^a
	籼糯	1.32±0.26	1.12±0.25	1.00±0.26 ^a	0.84±0.25 ^a
油糕	粳糯	1.28±0.23	1.07±0.19	0.97±0.23 ^a	0.81±0.19 ^a
	籼糯	1.31±0.25	1.10±0.06	1.00±0.25 ^a	0.83±0.06 ^a

注: SI_G以葡萄糖为参比计算的SI值; SI_R以粳米饭为参比计算的SI值; 参比值SI=1。

各样品餐后120 min的SI值如表3所示,各加工食品SI与粳米饭相近。当以等质量碳水化合物计算SI时,各糯性加工食品间没有显著差异,但当以等能量计算时,油饭、油糕的SI小于米饭和年糕。这说明添加饱和脂肪猪油不能增强饱腹感,等能量的情况下,脂肪的加入还会降低饱腹感。前人的研究也证明,对于体型偏瘦的人而言,在各个时间点的饱腹感不会高于碳水化合物;对于体型偏胖的人,如果进行自由取食,达到同等饱的程度,摄入脂肪的能量是碳水化合物能量的2倍^[25]。Clegg等^[26]测定了在含50 g碳水化合物煎饼的基础上添加202 kcal不同饱和度脂肪的饱腹感。结果表明不饱和脂肪的添加能增强饱腹感,而饱和脂肪黄油的添加却不能起到类似的作用。Maljaars等^[27]也发现,多不饱和脂肪酸能促进饱腹感相关激素缩胆囊素的产生,增强饱感,降低下一餐能量的摄入,但饱和脂肪没有这种效果。

2.3 各样品进食速率和喜好评分

由表4可知,各糯性加工食品进食速率无显著性差异,均显著低于参比口服葡萄糖($P<0.05$)。全部糯性加工食品的喜好度评分都高于葡萄糖,其中粳糯米饭的喜好度评分最高。糯性加工食品中,粳糯年糕厌恶度评分最高,粳糯米饭厌恶度评分最低。

表4 各样品进食速率和口味喜好评分 ($\bar{x} \pm s, n=9$)

Table 4 Eating rates and acceptability scores of the samples ($\bar{x} \pm s, n=9$)

样品	原料	进食速率/(g/min)	喜好度评分	厌恶度评分
参比米饭	粳米	35.48±11.59 ^a	6.33±1.56 ^{bc}	2.51±1.87 ^a
参比葡萄糖	葡萄糖	113.68±90.32 ^b	2.00±1.53 ^a	4.50±3.40 ^{ab}
米饭	粳糯	29.77±6.56 ^a	7.40±2.01 ^c	3.10±3.28 ^a
	籼糯	30.30±22.92 ^a	5.60±2.67 ^b	4.00±3.06 ^a
年糕	粳糯	24.47±6.50 ^a	4.00±1.94 ^b	6.33±1.66 ^b
	籼糯	25.28±8.15 ^a	5.38±1.41 ^b	4.75±1.58 ^{ab}
油饭	粳糯	32.79±16.62 ^a	5.56±2.64 ^b	3.22±2.91 ^a
	籼糯	29.11±11.90 ^a	6.00±2.20 ^b	3.38±2.26 ^a
油糕	粳糯	31.69±8.53 ^a	4.25±2.05 ^b	5.25±2.19 ^{ab}
	籼糯	28.35±5.80 ^a	4.63±2.20 ^b	5.00±2.14 ^{ab}

2.4 相关性分析

表5 各样品GI与SI和进食评分的相关系数(r)

Table 5 Pearson correlation coefficients (r value) among glycemic index, satiety index and food scores

指标	参数	GI _G	GI _R	SI _G		进食速率	喜好度	厌恶度
				等质量碳水化合物	等能量			
GI _G	r		0.768*	0.041	0.345	-0.330	-0.460	0.688
	P		0.026	0.923	0.403	0.425	0.251	0.059
GI _R	r	0.768*		0.405	0.169	-0.485	-0.612	0.735*
	P	0.026		0.319	0.690	0.224	0.107	0.038
血糖峰值	r	0.880**	0.860**	0.248	0.471	-0.583	-0.587	0.839**
	P	0.004	0.006	0.553	0.239	0.129	0.126	0.009

注: *.显著相关($P<0.05$); **.极显著相关($P<0.01$)。

由表5可知,以葡萄糖为对照的GI值与以粳米饭为对照的GI值之间有显著的相关性($r=0.768, P<0.05$),可见用我国居民普遍食用的粳米也能起到有效的参比作用。血糖峰值与2种方式计算的GI均有极显著的相关性($P<0.01$)。GI与SI之间没有显著相关性。对于糯性加工食品而言,厌恶度与以粳米饭为对照GI值和血糖峰值均呈显著正相关($P<0.05, P<0.01$)。

3 结 论

研究所用全部糯性加工食品均为高GI食物。原料品种、原料粒度以及脂肪的添加都会影响餐后血糖浓度。对于同一品种的糯米,米粉加工食品血糖增加量高于整粒加工食品;对于同种加工食品,粳糯米比籼糯米具有更明显的升糖反应。糯米粉加工食品中添加猪油在早期能在一定程度上延缓血糖上升,但进食60 min以后的血糖浓度长期保持在高水平上,不利于需要控制血糖者食用。糯性加工食品饱腹感与粳米饭相近,额外添加猪油不能增强其餐后饱腹感;等能量比较时,加入猪油的糯性加工食品饱腹感降低。糯性加工食品为高GI食物,不适合糖尿病人食用。传统添加猪油的糯性加工食品除了带来额外能量的摄入并不能增强饱腹感。脂肪添加对餐后120 min之后的血糖反应影响如何,以及粳糯和籼糯之间支链淀粉结构和质构指标的差异未来还有待进一步的研究和探讨。

参考文献:

- [1] GUARIGUATA L, WHITING D R, HAMBLETON I, et al. Global estimates of diabetes prevalence for 2013 and projections for 2035[J]. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 2014, 103(2): 137-149. DOI:10.1016/j.diabres.2013.11.002.
- [2] STROJEK K, YOON K H, HRUBA V, et al. Effect of dapagliflozin in patients with type 2 diabetes who have inadequate glycaemic control with glimepiride: a randomized, 24-week, double-blind, placebo-controlled trial[J]. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 2011, 13(10): 928-938. DOI:10.1111/j.1463-1326.2011.01434.x.
- [3] CAVALOT F, PAGLIARINO A, VALLE M, et al. Postprandial blood glucose predicts cardiovascular events and all-cause mortality in type 2 diabetes in a 14-year follow-up: lessons from the San Luigi Gonzaga Diabetes Study[J]. *Diabetes Care*, 2011, 34(10): 2237-2243. DOI:10.2337/dc10-2414.
- [4] AUGUSTIN L S, KENDALL C W C, JENKINS D J A, et al. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: an international scientific consensus summit[J]. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2015, 25(9): 795-815. DOI:10.1016/j.numecd.2015.05.005.
- [5] LUDWIG D S. Dietary glycemic index and obesity[J]. *The Journal of Nutrition*, 2000, 130(Suppl 2): 280-283.
- [6] HOWLETT J, ASHWELL M. Glycemic response and health: summary of a workshop[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2008, 87(Suppl 1): 212-216.
- [7] 王淑颖, 范志红, 曾悦, 等. 不同米饭对餐后血糖和饱腹感反应的影响[J]. *营养学报*, 2013, 35(3): 236-240. DOI:10.13325/j.cnki.acta.nutr.sin.2013.03.014.
- [8] SHOBANA S, KOKILA A, LAKSHMIPRIYA N, et al. Glycaemic index of three Indian rice varieties[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2012, 63(2): 178-183. DOI:10.3109/09637486.2011.615300.
- [9] 王璐. 糯性食物碳水化合物消化特性的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2010: 4-5.
- [10] WOLEVER T M, VORSTER H H, BJÖRCK I, et al. Determination of the glycaemic index of foods: interlaboratory study[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2003, 57(3): 475-482. DOI:10.1038/sj.ejcn.1601551.
- [11] WOLEVER T M. Effect of blood sampling schedule and method of calculating the area under the curve on validity and precision of glycaemic index values[J]. *British Journal of Nutrition*, 2004, 91(2): 295-300. DOI:10.1079/BJN20031054.
- [12] HOLT S H A, MILLER J C B, PETOCZ P, et al. A satiety index of common foods[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1995, 49(9): 675-690.
- [13] 周颖, 钱海峰, 张晖. 糯米的化学成分与其米糕淀粉老化的关系研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(16): 136-139. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.16.077.
- [14] YOU S Y, LIM S T, LEE J H, et al. Impact of molecular and crystalline structures on *in vitro* digestibility of waxy rice starches[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 112: 729-735. DOI:10.1016/j.carbpol.2014.06.065.
- [15] KONG B W, KIM J I, KIM M J, et al. Porcine pancreatic α -amylase hydrolysis of native starch granules as a function of granule surface area[J]. *Biotechnology Progress*, 2003, 19(4): 1162-1166. DOI:10.1021/bp034005m.
- [16] JENKINS D J A, KENDALL C W C, AUGUSTIN L S A, et al. Glycemic index: overview of implications in health and disease[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 76(Suppl 1): 266-273. DOI:10.1201/b12261-41.
- [17] BAO J, ATKINSON F, PETOCZ P, et al. Prediction of postprandial glycemia and insulinemia in lean, young, healthy adults: glycemic load compared with carbohydrate content alone[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2011, 93(5): 984-996. DOI:10.3945/ajcn.110.005033.
- [18] SUN L, RANAWANA D V, LEOW M K S, et al. Effect of chicken, fat and vegetable on glycaemia and insulinaemia to a white rice-based meal in healthy adults[J]. *European Journal of Nutrition*, 2014, 53(8): 1719-1726. DOI:10.1007/s00394-014-0678-z.
- [19] KAMEYAMA N, MARUYAMA C, MATSUI S, et al. Effects of consumption of main and side dishes with white rice on postprandial glucose, insulin, glucose-dependent insulinotropic polypeptide and glucagon-like peptide-1 responses in healthy Japanese men[J]. *British Journal of Nutrition*, 2014, 111(9): 1632-1640. DOI:10.1017/S0007114513004194.
- [20] IMMEL S, LICHTENTHALER F W. The hydrophobic topographies of amylose and its blue iodine complex[J]. *Starch-Stärke*, 2000, 52(1): 1-32. DOI:10.1002/(SICI)1521-379X(200001)52:1%3C1::AID-STAR1>3.0.CO;2-H.
- [21] 姜培彦. 淀粉-脂质复合物形成及其在食品中作用[J]. *粮食与油脂*, 2007(6): 7-9. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2007.06.003.
- [22] SOONG Y Y, GOH H J, HENRY C J K. The influence of saturated fatty acids on complex index and *in vitro* digestibility of rice starch[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2013, 64(5): 641-647. DOI:10.3109/09637486.2013.763912.
- [23] KARKALAS J, MA S, MORRISON W R, et al. Some factors determining the thermal properties of amylose inclusion complexes with fatty acids[J]. *Carbohydrate Research*, 1995, 268(2): 233-247. DOI:10.1016/0008-6215(94)00336-E.
- [24] TALUKDAR S, BANDYOPADHYAY G, LI D, et al. Neutrophils mediate insulin resistance in mice fed a high-fat diet through secreted elastase[J]. *Nature Medicine*, 2012, 18(9): 1407-1412. DOI:10.1038/nm.2885.
- [25] BLUNDELL J E, BURLEY V J, COTTON J R, et al. Dietary fat and the control of energy intake: evaluating the effects of fat on meal size and postmeal satiety[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1993, 57(Suppl 5): 772-777.
- [26] CLEGG M E, PRATT M, MARKEY O, et al. Addition of different fats to a carbohydrate food: impact on gastric emptying, glycaemic and satiety responses and comparison with *in vitro* digestion[J]. *Food Research International*, 2012, 48(1): 91-97. DOI:10.1016/j.foodres.2012.02.019.
- [27] MALJAARS J, ROMEYN E A, HADDEMAN E, et al. Effect of fat saturation on satiety, hormone release, and food intake[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2009, 89(4): 1019-1024. DOI:10.3945/ajcn.2008.27335.