

枣干和米饭-枣混合餐餐后血糖反应

朱瑞欣, 董 洋, 范志红*, 叶 婷, 王琳琳, 林金雪娇

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京食品营养与人类健康高精尖创新中心, 北京 100083)

摘 要: 为研究烹调前后枣干及枣干配合粳米食用的餐后血糖反应, 选择粳米饭、枣干、蒸枣、炖枣、枣+米饭、枣米饭和枣米粥为研究对象, 测定了11名健康女性受试者食用上述所有样品餐后240 min的血糖反应和枣干烹调前后的质构指标, 并计算血糖指数(glycemic index, GI)及血糖反应特征值。结果表明: 几种烹调方式中, 炖制对枣干的质构影响最大。枣干、蒸枣和炖枣的GI分别为56、65和56, 其中炖枣的血糖曲线波动和血糖曲线下负面积最大。米饭、枣+米饭、枣米饭、枣米粥的GI分别为78、75、82和85。需要控制血糖者可在替代高GI碳水化合物食物的前提下少量食用未烹调的枣干, 但不宜食用烹调后的枣; 烹调后食物混合餐的GI需实际测定, 若根据公式将混合餐中各组分的GI按比例简单加和, 会引起一定误差。

关键词: 枣干; 血糖反应; 血糖指数; 烹调处理; 质构特性

Postprandial Glycemic Responses of Dried Jujubes and Jujube-Rice Meals

ZHU Ruixin, DONG Yang, FAN Zhihong*, YE Ting, WANG Linlin, LIN Jinxuejiao

(Beijing Advanced Innovation Centre for Food Nutrition and Human Health, College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: To investigate the postprandial glycemic responses of dried jujubes (DJ) and jujube-rice meals, 7 samples including cooked japonica rice, uncooked DJ, steamed DJ, simmered DJ, rice (R) plus uncooked DJ (R + DJ), cooked rice (CR) with DJ (CR + DJ) and rice congee (RC) with DJ (RC + DJ) were selected for this study. The texture properties of cooked and uncooked DJ samples and the postprandial blood glucose levels of 11 healthy subjects within 240 min were measured and the glycemic index (GI) was calculated. Although all cooking treatments led to significantly lower hardness and firmness when compared with uncooked DJ, simmering treatment exerted the greatest impact on the texture parameters. The GIs of uncooked DJ, steamed DJ and simmered DJ were 56, 65 and 56, respectively, and simmered DJ showed the greatest mean amplitudes of glycemic excursion and largest negative area under curve. The GIs of rice, R + DJ, CR + DJ and RC + DJ turned out to be 78, 75, 82 and 85, respectively. It was suggested that uncooked DJ but not cooked dried jujube could be integrated into glycemic management diets in place of high GI carbohydrate meal. The results indicated that the postprandial glycemic response of a meal needed to be actually tested but not calculated by simple summation of the GI of each food ingredient.

Keywords: dried jujubes; glycemic response; glycemic index; cooking treatment; texture properties

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180604-029

中图分类号: R151.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2019)13-0203-05

引文格式:

朱瑞欣, 董洋, 范志红, 等. 枣干和米饭-枣混合餐餐后血糖反应[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 203-207. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180604-029. <http://www.spkx.net.cn>

ZHU Ruixin, DONG Yang, FAN Zhihong, et al. Postprandial glycemic responses of dried jujubes and jujube-rice meals[J]. Food Science, 2019, 40(13): 203-207. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180604-029. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2018-06-04

第一作者简介: 朱瑞欣(1993—)(ORCID: 0000-0003-2170-4667), 女, 硕士研究生, 研究方向为食物营养与人类健康。

E-mail: zhuruixin07@126.com

*通信作者简介: 范志红(1966—)(ORCID: 0000-0002-8760-897X), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食物营养与人类健康。

E-mail: daisyfan@cau.edu.cn

枣干是鲜枣 (*Zizyphus jujuba* Mill.) 果实的干制品^[1], 是中国传统药食同源的食材之一, 常常被添加于面食、米饭、粥汤中作为主食的一部分来食用。枣干中富含三帖酸^[2]、黄酮、酚酸^[3]、脑苷脂^[4]、矿物质^[5]、多糖^[6]等物质, 大量研究证明其可能具有抗氧化^[7]、抗炎^[8]、免疫调节^[9]、预防乳腺癌^[10]等功效。

目前, 国外已有多项短期和长期的人体实验揭示了葡萄干、无花果干、苹果干、李干等富含膳食纤维、抗氧化物质和钾的水果干类食物能够显著降低餐后血糖反应^[11-12]、胰岛素反应^[13]和糖化血红蛋白的含量^[14], 但鲜见与枣干血糖指数 (glycemic index, GI) 相关的报道, 也鲜有研究对枣烹调前后不同质构状态的食物餐后血糖反应变化进行探讨。

本研究测定了枣干、蒸枣、炖枣样品的质构指标, 研究了不同烹调处理的枣以及枣+米饭、枣米饭、枣米粥等混合食物的餐后血糖反应特征, 以期对不同消化能力及有血糖控制需求的人群提供有关日常烹调食用枣的科学数据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选择产于新疆和田的枣干 (品种为‘骏枣’, *Zizyphus jujuba* Mill.) 为实验材料。

无水乙醚、二硝基水杨酸试剂、6 mol/L 氢氧化钠、无水葡萄糖、0.05 mol/L 盐酸、2 mol/L 盐酸、质量分数2%硼酸水溶液、加速剂 (无水硫酸铜10 g、硫酸钾150 g)、体积分数95%乙醇溶液、石油醚 (沸程30~60 °C)、三羟甲基氨基甲烷、2-(*N*-吗啉代)乙烷磺酸、硫酸、热稳定 α -淀粉酶 (10 000 $\pm$ 1 000) U/mL)、蛋白酶 (300~400 U/mL)、淀粉葡萄糖苷酶 (2 000~3 300 U/mL) 等。其他试剂为分析纯 北京化工厂。

1.2 仪器与设备

KDN型凯氏定氮仪 上海纤检仪器有限公司; TA.XT plus型物性测试仪 英国Stable Micro Systems公司; Synergy多功能酶标仪 美国伯腾仪器有限公司; UV-5200紫外-可见分光光度计 上海元析仪器有限公司; ONE TOUCH UltraEasy稳豪倍易型血糖仪和试纸 强生 (中国) 医疗器材有限公司。

1.3 方法

1.3.1 测试餐及其烹调方法

1.3.1.1 参比餐

粳米饭: 准确称取含有50 g可利用碳水化合物的粳米66.1 g, 加入92.5 g去离子水, 上锅常压蒸煮40 min,

功率为1 000 W。进食时配合200 mL温水。葡萄糖溶液: 准确称取50.0 g葡萄糖粉, 溶于200 mL温水中。

1.3.1.2 枣干

准确称取含有50 g可利用碳水化合物的去核枣肉84.0 g。进食时配合200 mL温水。

1.3.1.3 蒸枣

称取含有50 g可利用碳水化合物的去核枣肉84.0 g, 加入200 mL去离子水, 密封后放蒸锅中隔水蒸40 min, 功率为1 000 W。进食时配合200 mL温水。

1.3.1.4 炖枣

称取含有50 g可利用碳水化合物的去核枣肉84.0 g, 加入200 mL去离子水, 使枣全部浸泡在水中, 密封后放蒸锅中隔水炖40 min, 功率为1 000 W。实验时要求受试志愿者将炖枣水也全部喝完。

1.3.1.5 枣+米饭

取含有25 g可利用碳水化合物的已蒸好的米饭79.4 g (含33.1 g生粳米和46.3 g去离子水), 配以含有25 g可利用碳水化合物的未烹调枣肉42.0 g。进食时配合200 mL温水。

1.3.1.6 枣米饭

分别称取含有25 g可利用碳水化合物的粳米33.1 g和枣肉42.0 g, 混合均匀后加入57 mL去离子水, 上锅常压蒸煮40 min, 功率为1 000 W。进食时配合200 mL温水。

1.3.1.7 枣米粥

分别称取含有25 g可利用碳水化合物的粳米33.1 g和枣肉42.0 g, 混合均匀后加入500 mL去离子水, 于电磁炉上常压煮40 min, 功率为1 000 W。烹调完毕后, 取出直接进食。

所有测试餐样品 (每份) 的总体积大约为380 mL。

1.3.2 样品中营养素含量的测定

水分含量的测定参考GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[15]中的直接干燥法; 脂肪含量的测定参考GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[16]中的索氏抽提法; 蛋白质含量的测定参考GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[17]中的凯氏定氮法; 总膳食纤维含量的测定参考GB 5009.88—2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》^[18]中的酶重量法。

1.3.3 不同烹调处理样品的质构测定

参考Exponent软件sample project中的方法并略作改进。选取大小、形状、手感等相近的枣, 去核切成两半, 按照1.3.1节的烹调方式进行处理, 用物性测试仪的剪切探头 (HDP/BS) 测定。主要参数为: 触发力5 g; 测试前、中、后探头的运行速率分别为2.0、1.0 mm/s和2.0 mm/s; 测定剪切运行距离为25 mm; 测试运行时间35 s; 调整摩擦至零。

定义物性仪检测到的最大力 ($F_{\max}$) 为样品硬度, 单位为g; 定义受力曲线下的正面积作为样品的坚实度, 单位为g·s。

1.3.4 血糖反应实验

1.3.4.1 研究对象的选择

参考Brouns等^[19]的方法, 受试者人数为10的餐后血糖反应实验的结果具有80%的把握度。因此本研究选择在网上招募并筛选11名18~24岁的健康女性作为受试者。纳入条件如下: 身体质量指数在18~30 kg/m²; 在1年内及现阶段没有进行节食减肥, 体质量较为稳定; 在1年内及现阶段不吸烟、不饮酒; 无葡萄糖不耐受症; 血糖处在正常值范围内; 无任何代谢性疾病; 女性受试者未怀孕或处于哺乳期; 有吃早餐的习惯。本研究经中国农业大学伦理委员会许可后(伦理审批号: 2015027), 与受试者签订书面协议。要求所有受试者在整个实验期间内不能做剧烈运动, 不能有饮酒、暴饮暴食、熬夜等生活行为, 避免食用煎炸食物, 并保证在每次实验的前1 d规律饮食。

1.3.4.2 血糖反应指标测定

受试者从实验前1 d 22:00开始禁食, 实验当天8:00进食测试餐, 并在15 min内完成进食。分别于实验开始前5 min及实验开始后15、30、45、60、90、120、150、180、240 min采集指尖血, 为防止血液样品污染, 弃去第一滴血, 采集第二滴血。每位受试者均参加8次实验, 每次实验按照随机顺序进食1种测试餐, 同一受试者每次实验进食的测试餐种类均不相同。参考Wolever等^[20]的梯形法则计算各测试餐在0~60、0~120、120~240 min内血糖反应曲线下正面积($iAUC_{0-60}$ 、 $iAUC_{0-120}$ 和 $iAUC_{120-240}$)和面积(AUC_{0-60} 、 AUC_{0-120} 和 $AUC_{120-240}$), 以及血糖变化峰值、谷值、餐后240 min内最大血糖波动幅度(maximum amplitudes of glycemic excursion, $MAGE_{240}$)和血糖反应曲线下的负面积(negative area under curve, NAUC)。并根据 $iAUC_{0-120}$, 以葡萄糖作为参考食物GI(GI=100), 计算方法为含有50 g碳水化合物的测试食物或测试餐进食后引起的 $iAUC_{0-120}$ 与50 g无水葡萄糖进食后引起的 $iAUC_{0-120}$ 之比。

1.4 数据统计分析

用SPSS 21.0和Excel 2010软件对实验数据进行处理, 结果以平均值±标准差表示。组间差异分析采用成对t检验及单因素方差分析, 因素之间的相关分析采用Pearson相关分析。

2 结果与分析

2.1 测试餐中营养素的含量

测试餐中营养素的含量见表1。

表1 测试餐的营养素含量

Table 1 Nutritional composition of tested meals

样品	蛋白质含量/(g/份)	脂肪含量/(g/份)	碳水化合物含量/(g/份)	总膳食纤维含量/(g/份)	水分含量/(g/份)
粳米饭	4.8	0.3	49.9	0.3	293.3
枣干	3.8	0.4	50.0	4.4	222.5
蒸枣	3.8	0.4	50.0	4.4	222.5
炖枣	3.8	0.4	50.0	4.4	222.5
枣+米饭	4.3	0.5	50.0	2.4	262.0
枣米饭	4.3	0.5	50.0	2.4	272.6
枣米粥	4.3	0.5	50.0	2.4	515.7

注: 表中数据均换算为样品可食部的干质量; 米饭的数据参考大米包装上食品营养标签; 蒸枣和炖枣的数据由枣干的实测值推算, 枣+米饭、枣米饭和枣米粥的数据由枣干和米饭的推算。水包括因烹调处理加入和受试者随餐饮用的水。

2.2 烹调处理对枣干质构特性的影响

表2 烹调处理对枣干质构特性的影响

Table 2 Effect of cooking treatment on the texture of dried jujubes

样品	硬度/g	坚实度/(g·s)
枣干	4 913.46±453.80 ^a	28 220.01±2 240.61 ^a
蒸枣	926.50±136.66 ^b	6 889.62±1 025.24 ^b
炖枣	538.73±81.72 ^a	5 198.07±945.76 ^a

注: 同列肩标小写字母不同表示样品间差异显著($P<0.05$)。

由表2可见, 烹调前枣干的硬度及坚实度均显著高于烹调处理后的样品; 蒸枣的硬度和坚实度显著大于炖煮枣样品($P<0.05$)。这可能是由于烹调热处理破坏了枣细胞结构的完整性, 引起其中果胶、细胞壁多糖等其他组织成分水解, 从而降低细胞间的黏着力, 导致其硬度下降^[21]; 也可能是因为细胞破裂后细胞膨压的丧失^[22]。实际烹调中发现, 炖煮后枣果肉部分变得极软, 大量糖分溶出到炖煮水中, 表明细胞结构已被严重破坏。

2.3 烹调处理后枣样品对餐后血糖浓度的影响

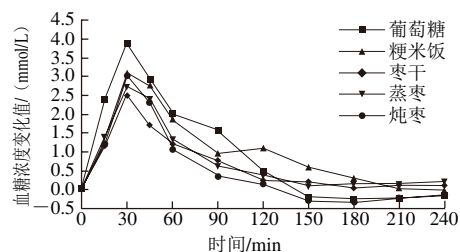


图1 烹调处理后枣样品的餐后血糖反应曲线($n=11$)

Fig. 1 Postprandial GR curves of jujubes cooked under different treatments ($n=11$)

以餐后血糖浓度减去空腹血糖浓度的变化值绘制不同烹调处理后枣样品的血糖反应曲线。由图1血糖反应曲线可见, 在餐后60 min内, 未烹调枣干的血糖浓度变化值低于葡萄糖和粳米饭, 但烹调后枣的餐后血糖反应曲线呈现快速上升而后快速下降的特征。其中蒸枣的血糖浓度变化值上升速率较快, 但后期血糖下降速率与未烹

调枣干无显著差异。炖枣的餐后血糖变化峰值与粳米饭相当，而在150 min之后甚至出现了血糖浓度低于空腹血糖浓度的情况。

表3 烹调处理枣样品的餐后血糖反应特征分析 (n=11)

指标	葡萄糖	粳米饭	枣干	蒸枣	炖枣
GI	100 ^d	78±4 ^{bc}	56±6 ^a	65±7 ^b	56±5 ^a
iAUC ₀₋₆₀ / (mmol·min/L)	153.6±6.8 ^c	120.5±8.4 ^b	90.0±6.8 ^a	108.4±7.4 ^b	106.1±7.3 ^{ab}
iAUC ₀₋₁₂₀ / (mmol·min/L)	238.9±13.7 ^d	193.6±16.0 ^c	135.5±11.5 ^a	154.3±14.9 ^{bc}	138.9±14.5 ^{ab}
iAUC ₁₂₀₋₂₄₀ / (mmol·min/L)	15.6±6.1 ^b	52.2±9.4 ^c	24.1±8.1 ^{ab}	27.6±5.2 ^b	13.6±4.0 ^b
NAUC/ (mmol·min/L)	-34.0±9.3 ^a	-7.1±3.6 ^b	-8.8±2.7 ^b	-7.9±3.4 ^b	-40.5±9.4 ^a
血糖浓度变化峰值/ (mmol/L)	4.0±0.1 ^c	3.4±0.2 ^b	2.6±0.2 ^a	3.1±0.2 ^{ab}	3.1±0.1 ^{ab}
血糖浓度变化谷值/ (mmol/L)	-0.6±0.1 ^a	-0.1±0.1 ^b	-0.2±0.1 ^b	-0.2±0.1 ^b	-0.6±0.1 ^a
MAGE ₂₄₀ / (mmol/L)	4.6±0.2 ^c	3.6±0.2 ^b	2.9±0.2 ^a	3.3±0.2 ^{ab}	3.7±0.1 ^b

注：同行肩标小写字母不同表示样品间差异显著 (P<0.05)，下同。

表3对烹调前后样品的餐后血糖反应特征进行了分析。枣干的GI与炖枣相当，都处在中等GI范围内，二者GI均高于国际血糖指数表^[23]中苹果干（29）和杏干（30）的数值，低于无花果干（61）的数值。但是，从血糖反应特征可见，炖枣的GI显著低于蒸枣，这是由于炖枣在60~120 min间血糖下降速率较快（图1），曲线下面积较小。虽然GI相同，但炖枣的MAGE₂₄₀显著大于未烹调枣干，NAUC显著小于未烹调枣干 (P<0.05)。研究提示，血糖浓度波动大是影响糖尿病并发症风险的重要因素^[26]，一般认为GI低的食物血糖浓度波动小^[24]，但本研究发现两者并不一致：炖枣的iAUC₀₋₆₀与粳米饭接近，很容易造成前期血糖浓度过高；而炖枣的NAUC与葡萄糖无显著差异，下一餐前易引起低血糖，因此它并不适合有控糖需求的人群食用。

2.4 烹调处理后枣米混合餐对餐后血糖浓度的影响

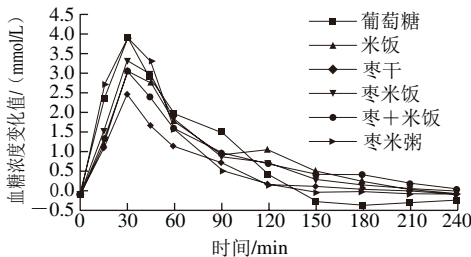


图2 3种枣粳米混合餐的餐后血糖反应曲线 (n=11)

Fig. 2 Postprandial GR curves of three jujubes and rice meals (n=11)

枣+米饭、枣米饭、枣米粥混合餐的餐后血糖反应见图2。枣米饭的血糖变化峰值超过了粳米饭参比，枣米粥的峰值甚至与葡萄糖参比处于同一水平。然而，米饭和枣混合烹调样品后期维持血糖稳定的能力较好。

不同烹调处理对枣粳米混合餐的餐后血糖反应特征分析见表4。本研究中枣米粥的GI为85，显著高于粳米饭

(P<0.05)，属于GI极高的食物，并不适合有控制血糖需求的人群食用。此外，相比于未烹调枣干和粳米饭的混合餐，枣和粳米经过烹调制成的枣米饭和枣米粥在餐后初期血糖浓度上升更快，后期下降更快，GI也更大。

表4 3种枣粳米混合餐的餐后血糖反应特征分析 (n=11)

指标	葡萄糖	粳米饭	枣干	枣+米饭	枣米饭	枣米粥
GI	100 ^d	78±4 ^{bc}	56±6 ^a	75±5 ^b	82±7 ^b	85±7 ^c
AUC ₀₋₆₀ / (mmol·min/L)	85.3±10.2 ^b	73.1±10.1 ^b	44.9±7.1 ^a	68.0±5.5 ^b	67.7±14.5 ^{ab}	47.6±10.1 ^a
AUC ₀₋₁₂₀ / (mmol·min/L)	238.9±13.7 ^d	193.6±16.0 ^c	135.5±11.5 ^a	183.9±12.0 ^b	200.3±20.1 ^{bc}	209.2±20.5 ^{bc}
AUC ₁₂₀₋₂₄₀ / (mmol·min/L)	15.6±6.1 ^b	52.2±9.4 ^c	24.1±8.1 ^{ab}	54.7±9.8 ^c	47.2±11.6 ^{bc}	22.4±5.5 ^a
NAUC/ (mmol·min/L)	-34.0±9.3 ^a	-7.1±3.6 ^b	-8.8±2.7 ^b	-4.0±1.9 ^b	-10.0±5.0 ^b	-10.8±4.3 ^b
血糖浓度变化峰值/ (mmol/L)	4.0±0.1 ^c	3.4±0.2 ^b	2.6±0.2 ^a	3.2±0.2 ^{ab}	3.7±0.2 ^{bc}	4.0±0.2 ^c
血糖浓度变化谷值/ (mmol/L)	-0.6±0.1 ^a	-0.1±0.1 ^b	-0.2±0.1 ^b	0.0±0.1 ^c	-0.2±0.1 ^{bc}	-0.2±0.1 ^{bc}
MAGE ₂₄₀ / (mmol/L)	4.6±0.2 ^c	3.6±0.2 ^b	2.9±0.2 ^a	3.3±0.2 ^{ab}	4.0±0.2 ^{bc}	4.2±0.2 ^{cd}

目前医学研究和食品研究中往往用单个食材的GI实测值来简单计算混合食物的GI^[27]。而在本研究中，根据混合食物GI计算公式^[28]代入米饭和枣干各自的GI实测值求得的米饭和枣干混合餐的GI计算值、枣+米饭的GI实测值、枣干与米饭同煮后的枣米饭样品的GI实测值分别为67、75和82，并不相等，混合餐的GI实测值明显较计算值大。这说明，采用公式计算混合食物的GI可能会带来较大的误差。该误差可能来源于两个方面：食物中其他组分对消化吸收功能造成的影响；食物烹调加工方式对消化吸收速度造成的影响。

2.5 血糖反应与质构指标的相关性分析

表5 枣样品质构指标与餐后血糖指标的相关系数

指标	血糖浓度变化峰值	MAGE ₂₄₀	GI
硬度	-0.339	-0.841*	-0.065
坚实度	-0.340	-0.836*	-0.076

注：*.显著相关 (P<0.05)。

食物的餐后血糖反应受多种因素的影响，如营养成分、糖组分、抗营养因素及质构特性等。由表5可以发现，烹调前后枣的硬度和坚实度与MAGE₂₄₀之间存在显著负相关关系 (P<0.05)，这说明烹调加工对细胞结构的破坏越大，餐后血糖波动幅度相应越大。

早在1993年，Wolever等^[29]就发现对于2型糖尿病人，新鲜水果及水果干的GI低于果汁或者罐头制品。多项研究发现整粒谷物经加工后，由于其完整性被破坏，餐后的血糖浓度会上升，在食物中碳水化合物种类不变的前提下，破坏食物天然结构对餐后血糖浓度的影响更大^[30-31]。因此，有控制血糖需求的人群可选择未烹调的枣干，而消化能力弱的人可选择对枣进行炖煮处理。

3 结 论

干枣属于中等GI食物,餐后血糖反应较为平稳,在替代部分淀粉类食物的前提下,适合有血糖控制需求的人少量食用。经蒸煮处理之后,枣的硬度和坚实度显著降低。枣与粳米的混合餐具有较好地维持后期血糖平稳的能力,但随着质地的软烂化,血糖峰值高,血糖波动幅度加大。从数据来看,枣和粳米饭的混合餐可能起到促进碳水化合物消化吸收的作用。将枣与粳米一起蒸制或煮制后食用,是消化不良人群较为理想的食用方式,但不适宜需要控制血糖的人群。此外,烹调后混合食物的血糖反应需要实测,而不能简单地通过混合食物中各单一食材的GI乘以相应的系数再相加而求得。

参考文献:

- [1] GAO Q H, WU C S, WANG M. The jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit: a review of current knowledge of fruit composition and health benefits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61: 3351-3363. DOI:10.1021/jf4007032.
- [2] GUO S, DUAN J A, QIAN D W, et al. Content variations of triterpenic acid, nucleoside, nucleobase, and sugar in jujube (*Ziziphus jujuba*) fruit during ripening[J]. Food Chemistry, 2015, 167: 468-474. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.07.013.
- [3] DU L J, GAO Q H, JI X L, et al. Comparison of flavonoids, phenolic acids, and antioxidant activity of explosion-puffed and sun-dried jujubes (*Ziziphus jujuba* Mill.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61: 11840-11847. DOI:10.1021/jf401744c.
- [4] GUO S, DUAN J, TANF Y P, et al. A new cerebroside from the fruit of *Ziziphus jujuba* var. *spinosa*[J]. Chemistry of Natural Compounds, 2014, 50: 109-111. DOI:10.1007/s10600-014-0878-z.
- [5] LI J W, FAN L P, DING S D, et al. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube[J]. Food Chemistry, 2007, 103: 454-460. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.08.016.
- [6] JI X L, PENG Q, YUAN Y P, et al. Isolation, structures and bioactivities of the polysaccharides from jujube fruit (*Ziziphus jujuba* Mill.): a review[J]. Food Chemistry, 2017, 227: 349-357. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.01.074.
- [7] WOJDYLO A, FIGIEL A, LEGUA P, et al. Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method[J]. Food Chemistry, 2016, 207: 170-179. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.03.099.
- [8] CHEN J, DU C Y Q, LAM K Y C, et al. The standardized extract of *Ziziphus jujuba* fruit (jujube) regulates pro-inflammatory cytokine expression in cultured murine macrophages: suppression of lipopolysaccharide-stimulated NF- κ B activity[J]. Phytotherapy Research, 2014, 28: 1527-1532. DOI:10.1002/ptr.5160.
- [9] CHI A P, KANG C Z, ZHANG Y, et al. Immunomodulating and antioxidant effects of polysaccharide conjugates from the fruits of *Ziziphus jujube* on Chronic Fatigue Syndrome rats[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 122: 189-196. DOI:10.1016/j.carbpol.2014.12.082.
- [10] HOSHYAR R, MOHAGHEGH Z, TORABI N, et al. Antitumor activity of aqueous extract of *Ziziphus jujube* fruit in breast cancer: an *in vitro* and *in vivo* study[J]. Asian Pacific Journal of Reproduction, 2015, 4: 116-122. DOI:10.1016/S2305-0500(15)30007-5.
- [11] BAYS H, WEITER K, ANDERSON J. A randomized study of raisins versus alternative snacks on glycemic control and other cardiovascular risk factors in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. The Physician and Sportsmedicine, 2015, 43: 37-43. DOI:10.1080/00913847.2015.998410.
- [12] ANDERSON J W, WEITER K M, CHRISTIAN A L, et al. Raisins compared with other snack effects on glycemia and blood pressure: a randomized, controlled trial[J]. Postgraduate Medicine, 2014, 126: 37-43. DOI:10.3810/pgm.2014.01.2723.
- [13] ASGHARI G, GHORBANI Z, MIRMIRAN P, et al. Nut consumption is associated with lower incidence of type 2 diabetes: the tehran lipid and glucose study[J]. Diabetes & Metabolism, 2017, 43: 18-24. DOI:10.1016/j.diabet.2016.09.008.
- [14] HERNÁNDEZ-ALONSO P, CAMACHO-BARCIA L, BULLÓ M, et al. Nuts and dried fruits: an update of their beneficial effects on type 2 diabetes[J]. Nutrients, 2017, 9: 673-707. DOI:10.3390/nu9070673.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-2.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-2.
- [17] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-3.
- [18] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定: GB 5009.88—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 1-7.
- [19] BROUNS F, BJORCK I, FRAYN K N, et al. Glycaemic index methodology[J]. Nutrition Research Reviews, 2005, 18: 145-171. DOI:10.1079/NRR2005100.
- [20] WOLEVER T. 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: 295-300. DOI:10.1079/BJN20031054.
- [21] DE ROECK A, SILA D N, DUVETTER T, et al. Effect of high pressure/high temperature processing on cell wall pectic substances in relation to firmness of carrot tissue[J]. Food Chemistry, 2008, 107: 1225-1235. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.09.076.
- [22] BUREN J P. The chemistry of texture in fruits and vegetables[J]. Journal of Texture Studies, 1979, 10: 1-23. DOI:10.1111/j.1745-4603.1979.tb01305.x.
- [23] FOSTER-POWELL K, HOLT S H A, BRAND-MILLER J C. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2002, 76: 5-56. DOI:10.1093/ajcn/76.1.5.
- [24] BRANDMILLER J C, STOCKMANN K, ATKINSON F, et al. Glycemic index, postprandial glycemia, and the shape of the curve in healthy subjects: analysis of a database of more than 1 000 foods[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2009, 89: 97-105. DOI:10.3945/ajcn.2008.26354.
- [25] US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory. USDA national nutrient database for standard reference, release 3.3, March 2018[EB/OL]. (2018-03-01)[2018-06-04]. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>.
- [26] FRIER B M. Hypoglycaemia in diabetes mellitus: epidemiology and clinical implications[J]. Nature Reviews Endocrinology, 2014, 10: 711-722. DOI:10.1038/nrendo.2014.170.
- [27] 董洋, 范志红. 食物成分对餐后血糖影响的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2014, 20(11): 70-73.
- [28] WOLEVER T M S, VUKSAN V, RELLE L K, et al. Glycaemic index of fruits and fruit products in patients with diabetes[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 1993, 43: 205-212. DOI:10.3109/09637489309027544.
- [29] 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: 984-996. DOI:10.3945/ajcn.110.005033.
- [30] EELDERINK C, NOORT M W J, SOZER N, et al. The structure of wheat bread influences the postprandial metabolic response in healthy men[J]. Food & Function, 2015, 6: 3236-3248. DOI:10.1039/c5fo00354g.
- [31] ALEGBEJO J O, AMEH D A, OGALA W N, et al. Postprandial glucose and insulin responses to grain products in diabetics and healthy subjects[J]. Nigerian Journal of Biotechnology, 2014, 28: 52-59.