

甘蔗糖浆中酚类提取物的抗氧化、降血糖活性及其在低 GI 月饼中的应用

方嘉沁¹, 董宇豪², 潘振辉¹, 陈春², 高彤¹, 黄强², 扶雄^{2*}
(1. 广州酒家集团利口福食品有限公司, 广东广州 511442)
(2. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

摘要: 以糖浆为原料, 通过 Amberlite XAD-2 大孔吸附树脂提取分得到酚类物质, 测定酚类提取物的理化性质。结果表明, 糖浆中提取得到的酚类物质总酚含量为 36.41 μg GAE/mg 没食子酸当量, DPPH 及 ABTS⁺ 自由基清除能力的 IC₅₀ 值分别为 0.05、0.31 mg/mL, 氧化自由基吸收能力 (Oxygen Radical Absorbance Capacity, ORAC) 为 1 528.48 μmol TE/gtrolox 当量, 此外, 其抑制 α -葡萄糖苷酶的 IC₅₀ 值为 0.05 mg/mL, 表现出较优的抗氧化及降血糖活性。进一步将甘蔗糖浆作为原料应用到月饼的加工中, 以添加等量低聚麦芽糖糖浆的月饼作为对比, 结果表明, 添加甘蔗糖浆的月饼具有更优的感官及更低的血糖生成指数, 其感官评价达 93 分, 人体血糖生成指数 (Glycemic Index, GI) 测试结果显示 GI 值为 30.81, 属于低 GI 食品。因此, 富含酚类物质的活性糖浆一定程度上改善了月饼的品质, 赋予其低升糖指数性能, 为活性糖浆在低 GI 健康食品中的研究和应用提供了参考。

关键词: 糖浆; 多酚; 抗氧化活性; 月饼; 低 GI

文章编号: 1673-9078(2023)10-271-277

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.10.1324

Antioxidant and Hypoglycemic Activities of Polyphenol Extracts from Sugarcane Molasses and Their Application in Low-GI Mooncakes

FANG Jiaqin¹, DONG Yuhao², PAN Zhenhui¹, CHEN Chun², GAO Tong¹, HUANG Qiang², FU Xiong^{2*}
(1. Guangzhou Restaurant Group Likofu Food Co. Ltd., Guangzhou 511442, China)

(2. College of Food Science and Technology, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Polyphenol extracts were obtained from sugarcane molasses using Amberlite XAD-2 adsorbent resin, and their physicochemical properties were determined. The total phenolic content of the polyphenol extract was 36.41 μg GAE/mg (gallic acid equivalent). The IC₅₀ values for DPPH and ABTS⁺ free radical scavenging were 0.049 mg/mL and 0.311 mg/mL, respectively. The oxygen radical absorbance capacity (ORAC) was 1 528.48 μmol TE/g (Trolox equivalent). Furthermore, according to the hypoglycemic activity analysis with respect to α -glucosidase, the IC₅₀ of the polyphenol extract was 0.05 mg/mL. These results suggest high antioxidant and hypoglycemic activities of the extract. Subsequently, sugarcane molasses were added during the production of mooncakes. The products were compared to those containing equal amounts of oligo-maltose molasses. The results indicate that mooncakes containing sugarcane molasses had superior sensory quality score (93) and a lower glycemic index (GI; 30.81). Thus, mooncakes containing sugarcane molasses constitute a low GI food. In summary, molasses rich in polyphenols exhibit good antioxidant activity, and their addition to mooncakes improves the associated quality and GI value. This study provides a theoretical basis for the study and application of molasses as a low-GI healthy food.

引文格式:

方嘉沁, 董宇豪, 潘振辉, 等. 甘蔗糖浆中酚类提取物的抗氧化、降血糖活性及其在低 GI 月饼中的应用[J]. 现代食品科技, 2023, 39(10):271-277

FANG Jiaqin, DONG Yuhao, PAN Zhenhui, et al. Antioxidant and hypoglycemic activities of polyphenol extracts from sugarcane molasses and their application in low-GI mooncakes [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(10): 271-277

收稿日期: 2022-10-17

基金项目: 企业委托项目 (31-C-2020-027)

作者简介: 方嘉沁 (1988-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向: 焙烤食品研究和开发, E-mail: 253224902@qq.com

通讯作者: 扶雄 (1971-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 功能碳水化合物, E-mail: lxfu@scut.edu.cn

Key words: molasses; polyphenol; antioxidant activity; mooncake; low GI

国际糖尿病联盟(International Diabetes Federation, IDF)的调查报告显示,全球有4.51亿的糖尿病患者(18~99岁),并预计患病数将在2045年达到6.93亿^[1]。糖尿病患者表现出的慢性高血糖将对器官和组织造成损害,如神经系统、心脏、血管、肝脏和肾脏等。然而,目前没有找到根治糖尿病的方法,而常用药物中的化学成分会对机体产生不同方面的副作用^[2]。因此,对血糖的控制是糖尿病的治疗和预防中起到关键作用。

多酚作为一种天然产物具有丰富的活性,包括抗氧化、降血糖等^[3]。氧化应激被认为时糖尿病的重要发病机制之一,而糖尿病会诱发患者体内活性氧水平升高,同时加剧了氧化应激作用^[4];而 α -葡萄糖苷酶抑制剂作为常见的治疗糖尿病的药物,可以缓解葡萄糖的生成及释放速率,调节餐后血糖及胰岛素敏感性,由此起到降血糖的效果。甘蔗糖蜜是一种制糖工业的副产物,含有大量的酚类物质,但由于其本身含糖量较高,因此酚类物质的提取和开发利用较困难,当前对于甘蔗糖蜜酚类提取物的研究尚不足,关于提取物的抗氧化和降血糖活性还不清楚。

血糖生成指数常用来评价食物引起的餐后血糖应答情况,以衡量食物中碳水化合物对于体内血糖的影响^[5]。低GI食物的升糖指数低于55,食用后的餐后血糖波动幅度小且峰值低,是一种对糖尿病患者友好的食物。月饼作为我国传统的中秋节食品,自古以来受到人们的喜爱。然而,目前市面上现有月饼大都具有高热量、高糖的特点,血糖生成指数高,不适合糖尿病患者食用。

因此,本实验从糖浆中提取酚类物质,对总酚含量及抗氧化、降血糖活性进行测定,并将糖浆作为原料物质应用到月饼的加工制作中,测定其营养成分、感官性能及血糖生成指数,为糖浆在食品加工中的应用提供参考,同时为糖尿病患者的饮食及人们的健康饮食提供有效的选择。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

福林酚(Biochemical Reagent, BR)来自麦克林公司(上海);没食子酸(99%)来自阿拉丁公司(上海);Trolox、荧光素钠、APPH、DPPH、抗坏血酸(99%)及ABTS来自Sigma公司(美国);Amberlite XAD-2大孔树脂购于东鸿试剂厂。所有试剂均为分析纯。甘蔗糖浆来源于珠海中美普莱健康科技有限公司,4℃

条件下储存。

1.2 仪器与设备

Milli-Q Academic A10超纯水系统,Millipore公司;AHYQ数显恒温水浴锅,澳华仪器有限公司(常州);XW-80A微型漩涡混合仪,精科实业有限公司(上海);SpectraMax i3多功能酶标仪,Molecular Devices公司(美国);Varioskam Flash荧光酶标仪,Thermo Fisher公司(美国);BY-1000B台式离心机,白洋医疗器械有限公司(北京)。

1.3 方法

1.3.1 糖浆中酚类物质的提取

对Amberlite XAD-2大孔树脂进行预处理:(1)95%乙醇(V/V)浸泡12h,蒸馏水反复洗涤至无明显乙醇气味;(2)盐酸溶液(5%, m/V)浸泡3h,蒸馏水重复淋洗至洗涤液呈中性;(3)NaOH溶液(5%, m/V)浸泡3h,蒸馏水重复淋洗至洗涤液呈中性。

糖浆中酚类物质的提取参照孙春丽^[6]、孔繁晟^[7]的方法并稍作调整。取糖浆(20g)溶解在380mL酸化水中(用1mol/L盐酸调整pH值为5),室温下磁力搅拌至溶解均匀,加入预处理后的Amberlite XAD-2树脂(100g)。于30℃,150r/min下振荡12h进行静态吸附,随后将上清液与树脂分离。在树脂中加入400mL乙醇(50%, V/V),于30℃,150r/min下振荡12h进行静态吸附,取上清液经旋转蒸发后冻干得到糖浆酚类物质提取物(Extraction of Sugarcane Molasses, ESM)。

1.3.2 糖浆酚类提取物总酚含量测定

采用福林酚法测定总酚含量。以没食子酸作为标准品,取一定浓度的样品及标准品溶液0.5mL,后加入0.5mL福林酚试剂,静置反应5min;后加入0.75mL Na₂CO₃(20%, m/V)和3.75mL蒸馏水,混匀反应20min。最后,测定在760nm处吸光度。总多酚含量以 μg 没食子酸当量(GAE)/mg样品表示^[8]。

1.3.3 糖浆酚类提取物抗氧化活性测定

1.3.3.1 DPPH自由基清除力测定

DPPH的测定参考Zheng等^[9]的方法并稍作调整。具体来说,将2mL的DPPH溶液(0.2mmol/L,无水乙醇配制)与2mL样品混合,充分混匀后避光静置30min,采用酶标仪测定517nm处吸光度。以抗坏血酸作为阳性对照。DPPH自由基清除率采用公式(1)计算:

$$SR_{DPPH} = \left(1 - \frac{A_{s1} - A_c}{A_1}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

SR_{DPPH} —DPPH 自由基清除率, %;

A_{s1} —样品组吸光值;

A_c —无水乙醇代替 DPPH 的空白组吸光值;

A_1 —蒸馏水代替样品的对照组吸光值。

1.3.3.2 ABTS⁺自由基清除力测定

参照 Xiao 等^[10]的方法测定样品对 ABTS⁺自由基的清除力。将相同体积的 ABTS 溶液 (7 mmol/L) 与过硫酸钾溶液 (2.45 mmol/L) 混匀, 避光反应 16 h。用磷酸缓冲液 (pH 值 7.4) 稀释, 测定 734 nm 下的吸光值在 0.7±0.02。然后将 ABTS 与样品溶液混合, 避光反应 30 min。测定在 734 nm 处的吸光值。以抗坏血酸作为阳性对照。以公式 (2) 计算 ABTS⁺自由基清除率:

$$SR_{ABTS} = \left(1 - \frac{A_{s2}}{A_2}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

SR_{ABTS} —ABTS⁺自由基清除率, %;

A_{s2} —样品组吸光值;

A_2 —蒸馏水代替样品的空白组吸光值。

1.3.3.3 氧化自由基吸收能力 (ORAC) 测定

样品 ORAC 值的测定参照 Zhang 等^[11]的方法并稍作调整。取 20 μL 一定浓度的样品及标准溶液与加入 200 μL 荧光素钠溶液 (95.6 nmol/L) 混合, 混匀并孵育 10 min, 反应温度设定 37 °C。随后, 快速加入 20 μL AAPH 溶液 (119.4 mmol/L) 并混匀。每 4 min 测定荧光强度 (激发波长 485 nm, 吸收波长 535 nm), 共 35 次。最后, 根据荧光强度测定结果绘制荧光猝灭面积。以 Trolox 为标准品, ORAC 值以 μmol Trolox 当量 (TE)/g 样品表示。

1.3.4 糖浆酚类提取物对 α-葡萄糖苷酶的抑制活性测定

采用之前的方法^[12]测定样品对 α-葡萄糖苷酶的抑制活性, 配置浓度为 0.1 U/mL 的 α-葡萄糖苷酶溶液, 以 1.5 mmol/L 的 4-硝基酚-α-D-呋喃葡萄糖苷 (pPNG) 作为反应底物, 反应在 37 °C 下进行, 最终以 1 mol/L 的 Na₂CO₃ 溶液终止反应, 所有试剂均使用磷酸盐缓冲液 (0.1 mol/L, pH 值 6.9) 配置。最终, 测定反应液在 405 nm 下的吸光值, 通过公式 (3) 计算样品在不同浓度下对 α-葡萄糖苷酶的抑制率, 并以此计算 IC₅₀ 值。

$$IR = \left(1 - \frac{A_{s3} - A_b}{A_n}\right) \times 100\% \quad (3)$$

式中:

IR —α-葡萄糖苷酶抑制率;

A_{s3} —样品组吸光度;

A_b —缓冲溶液代替 α-葡萄糖苷酶的背景对照组吸光度;

A_n —缓冲溶液代替样品溶液的空白对照组吸光度。

1.3.5 糖浆在月饼中的应用

1.3.5.1 月饼的制作工艺

根据前期预试, 得到月饼样品的较优原料配比, 具体配方量如表 1 所示。通过以下步骤制备月饼:

步骤一、原料准备, 取所需原料称重、清洗, 并置于清水中浸泡备用;

步骤二、制浆制泥, 将预处理后的银耳在 100 °C 下打浆 5 次, 每次打浆 90 s, 每次间隔 30 s; 将白芸豆加水在 100 °C 下煮熟, 冷却后打浆至无明显颗粒;

步骤三、饼皮制备, 将配方量的低升糖糖浆、低聚糖糖浆混匀, 再依次加入酸度调节剂、食用油和银耳浆混匀, 最后加入淀粉混匀、静置 2 h, 即得到月饼饼皮;

步骤四、馅料制备, 将配方量的风味原料、低升糖粉末、淀粉、食用油、水、银耳浆、白芸豆泥混匀, 即得到月饼馅料;

步骤五、成型, 按照比例将一定质量的馅料加入饼皮中 (饼皮:馅料=1:3), 加入蛋黄, 包裹后置于模具, 轻轻压实使成型;

步骤六、烘烤, 将脱模后的月饼进行烤制, 设置底火 130 °C, 面火 210 °C, 烘烤 15 min。

表 1 月饼原料配比

Table 1 Raw material ratio of moon cake

原料种类/质量份		低 GI 月饼	对照月饼
饼皮	淀粉 小麦淀粉	50	50
	低升糖糖浆 甘蔗糖浆	35	/
	低聚糖糖浆 低聚麦芽糖糖浆	35	70
	食用油 花生油	20	20
	酸度调节剂 碳酸氢钠	0.8	0.8
	银耳浆	3	3
馅料	风味原料 莲蓉	20	20
	低升糖糖粉末	32	32
	淀粉 小麦淀粉	1.2	1.2
	食用油 花生油	8	8
	银耳浆	15	15
	白芸豆泥	15	15
水	48	48	

1.3.5.2 月饼的感官评价

对月饼进行感官评定, 选取 20 名志愿者, 对产品的组织状态、口感、风味、色泽进行评分, 满分 100 分, 具体感官指标评分标准如表 2 所示。

表 2 感官评价标准

Table 2 Standard of sensory evaluation

指标	评价标准
外形 (15 分)	轮廓分明, 外形饱满, 花纹清晰, 无明显凹缩、爆裂、塌斜和漏馅现象
组织状态 (25 分)	饼皮松软, 薄厚均匀; 馅料细腻无僵粒, 均匀无夹生
口感 (30 分)	饼皮松软, 甜度适中, 口感较好
风味 (15 分)	具有月饼的正常风味, 无异味
色泽 (15 分)	饼皮棕黄或棕红色, 色泽均匀, 无焦

1.3.5.3 月饼的营养成分分析

对月饼进行营养成分检测, 检测依据为 GB 28050-2011《食品安全国家标准预包装食品营养标签通则》。食品中能量和营养成分的含量以每 100 g 食品可食部中的具体数值标示, 营养素参考值以营养成分含量占营养素参考值 (NRV) 的百分数计算。

1.3.5.4 月饼的血糖生成指数人体实验

选择健康成年志愿者 12 例 (男女各半) 进行测试, 志愿者年龄 23~33 岁, 平均年龄 (26.50±4.12) 岁, 平均身体质量指数 (BMI): (20.72±1.15) kg/m², 轻体力劳动者, 无糖尿病史, 无其他代谢性疾病、消化系统疾病、内分泌系统疾病和精神疾病等。血糖生成指数测试方法参照 WS/T 652-2019《食物血糖生成指数测定方法》进行。研究经许可, 并与志愿者签订知情同意书。实验方法采用指尖毛细血管法测试血糖。

受试者于测试前一日晚 20:00 开始禁食, 至次日清晨, 用指尖毛细血管法测定空腹血糖, 后进食一定质量的月饼 (等量 50 g 碳水化合物), 分别于进食后第 15、30、45、60、90 和 120 min 用测定指尖毛细血管法血糖。以同样方法测定食用 50 g 葡萄糖后的血糖水平作为参照, 不同食物的测试间隔大于 72 h。

分别计算每个受试者对两种食物的血糖应答曲线下面积, 并根据以下公式 (3) 计算血糖生成指数:

$$GI = \frac{AUC_S}{AUC_G} \quad (4)$$

式中:

GI —血糖生成指数;

AUC_S —待测食物餐后血糖应答曲线下面积;

AUC_G —葡萄糖餐后血糖应答曲线下面积。

1.3.6 数据分析

每组试验重复三次, 数据结果以平均值±标准差 (mean±SD) 形式表示, 显著性水平为 0.05。采用 GraphPad Prism 8 进行数据分析及作图。

2 结果与分析

2.1 糖浆酚类提取物的总酚含量

通过大孔树脂对糖浆中酚类物质的分离提取, 20 g 糖浆原料得到 1.84 g 酚类物质提取物。测定糖浆酚类提取物的总酚含量。ESM 总酚含量为 36.41 μg GAE/mg, 由此可见, 甘蔗糖浆原料中含有一定量的酚类物质, 且该提取方法除去了糖浆原料中大部分的糖类物质及水分, 为后续体外抗氧化、降血糖活性的研究及其在低血糖生成指数月饼中的应用提供基础。

2.2 糖浆酚类提取物的抗氧化活性评价

DPPH 是一种稳定的氮中心自由基, 与自由基清除剂反应后会降低自由基数量, 导致溶液在 517 nm 处的吸光值降低, 根据吸光值降低程度可判断物质的自由基清除能力^[13]。测定样品在不同的质量浓度下的 DPPH 自由基清除能力, 结果如图 1 所示, 可见, 随着样品浓度的增加, 其对 DPPH 自由基的清除能力均呈现上升趋势, 在 0.3 mg/mL 质量浓度下具有 97.04% 的 DPPH 自由基清除率。计算 ESM 清除 DPPH 自由基的 IC₅₀ 值为 0.05 mg/mL。

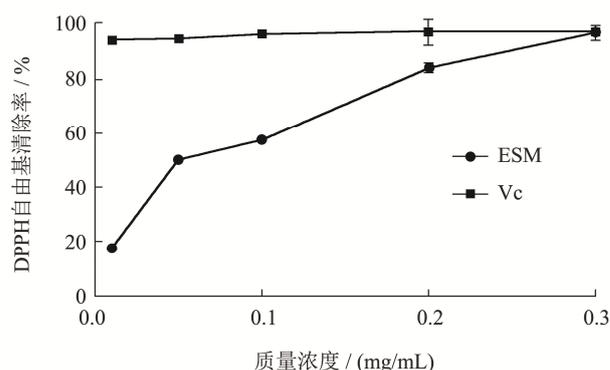


图 1 样品的 DPPH 自由基清除能力

Fig.1 The scavenging activity against DPPH of samples

同 DPPH 法一样, ABTS 法是一种常用的评价抗氧化活性的方法。ABTS 与 K₂S₂O₈ 反应生成阳离子自由基, 该自由基在 734 nm 处存在最大吸光值, 与自由基清除剂反应降低自由基数量从而使降低反应体系的吸光值, 根据吸光值降低程度判断添加物的抗氧化水平^[14]。三种样品在不同质量浓度梯度下的 ABTS⁺ 自由基清除能力结果如图 2 所示。可见, 与 DPPH 自由基清除能力相同, ABTS⁺ 自由基清除能力同样呈现

剂量相关性, 多酚提取物在较低的浓度下可达到较高的清除率。计算得 ESM 清除 ABTS⁺自由基的 IC₅₀ 值为 0.31 mg/mL。

ORAC 法根据自由基破坏荧光探针改变荧光强度的原理, 抗氧化剂可以抑制由自由基引起的荧光变化, 变化程度可以反映其抗氧化能力, 是另一种体外评价物质体外抗氧化水平的方法^[15]。测定结果显示, 多酚

提取物的 ORAC 值为 1 528.48 μmolTE/g。

综上所述, 结合上述对于样品 DPPH 自由基清除能力、ABTS⁺自由基清除能力及 ORAC 的分析结果, 可见, 酚类提取物在 DPPH、ABTS⁺自由基清除能力和氧化自由基吸收能力均表现出较好的体外抗氧化活性, 这可能与提取物中的酚类物质有关^[16]。为后续甘蔗糖浆在月饼中的应用提供基础。

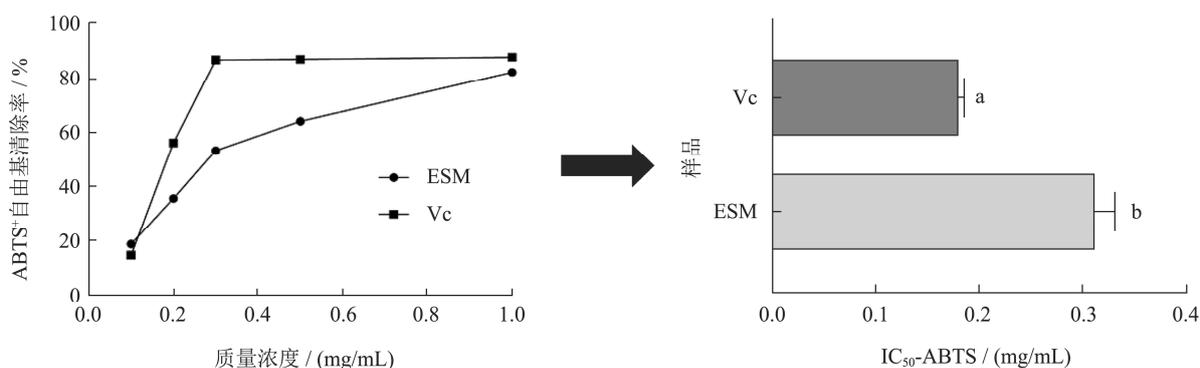


图2 样品的 ABTS⁺自由基清除能力

Fig.2 The scavenging activity against ABTS⁺ of samples

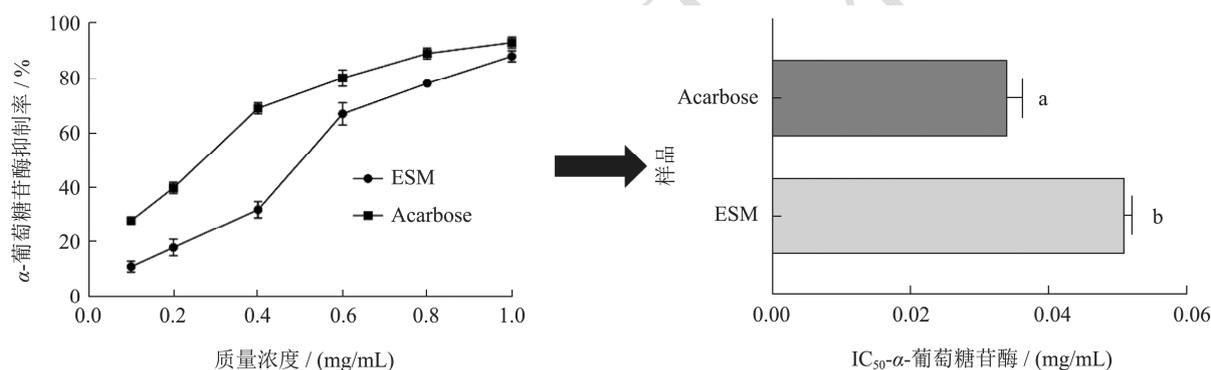


图3 样品对 α-葡萄糖苷酶活性的抑制作用

Fig.3 Inhibitory effect of samples on α-glucosidase activity

2.3 糖浆酚类提取物的降血糖活性评价

作为关键的淀粉消化酶之一, α-葡萄糖苷酶在消化过程中将低聚糖分解生成葡萄糖, 从而释放到血液中, 因此, 具有抑制酶活性的物质可以缓解葡萄糖的生成及释放速率, 进而调节餐后血糖及胰岛素敏感性, 由此起到降血糖的效果^[17]。以阿卡波糖作为阳性对照, 测定样品在不同质量浓度下对于 α-葡萄糖苷酶的抑制率, 并计算 IC₅₀ 值, 结果如图 3, 在 0.01~0.1 mg/mL 质量浓度范围内, 抑制率随样品浓度的增加呈现上升趋势, 在质量浓度为 0.1 mg/mL 时, ESM 对于 α-葡萄糖苷酶的抑制率达 88%, 多酚提取物及阿卡波糖的 IC₅₀ 分别计算为 0.05 mg/mL 及 0.03 mg/mL, 在孔繁晟^[7]对于甘蔗糖蜜提取物的研究中, 结果显示样品对于 α-葡萄糖苷酶的 IC₅₀ 为 4.69 mg/mL, 由此可判断,

本实验所提取得到的 ESM 样品具有较优的抑制淀粉消化酶活性, 同时, 结果说明甘蔗糖浆是具有丰富酚类含量及良好的体外活性的物质, 并且这些酚类物质对于糖浆的良好生物活性起到关键作用, 进一步表明糖浆可以作为原料用于低升糖指数月饼的生产。

2.4 糖浆在月饼中的应用研究

2.4.1 月饼原料配比及感官评价分析

对月饼进行感官评价分析 (表 3), 结果显示, 通过上述工艺制备的月饼, 色泽均匀、外形饱满、风味较优、具有良好的口感和组织状态。与对比例相比较, 甘蔗糖浆的加入在月饼的口感、风味及色泽方面均具有显著的改善作用, 使用甘蔗糖浆为原料的月饼在感官评价方面显著优于使用低聚糖糖浆为原料的月饼。

表3 月饼的感官评价结果(分)

Table 3 The sensory evaluation results of moon cake

感官评价得分	外形	组织状态	口感	风味	色泽	总计
低GI月饼	14.83±0.37	23.25±0.92	26.16±1.07	14.75±0.43	14.42±0.49	93.42±1.44
对照月饼	12.08±1.26	22.25±1.01	19.75±0.72	12.08±1.04	11.92±0.95	78.08±1.85

2.4.2 月饼的营养成分评价

测定月饼的营养成分,结果如表4所示。可见,每100g月饼能量为1896kJ,三大营养物质含量为:蛋白质5.4g,脂肪24.3g(不含反式脂肪),碳水化合物53.2g。

表4 月饼的营养成分表

Table 4 Nutrition facts of moon cake

项目	每100g	营养素参考值/(NRV%)
能量	1896kJ	23
蛋白质	5.4g	9
脂肪	24.3g	40
-反式脂肪(酸)	0g	-
碳水化合物	53.2g	18
钠	76mg	4

2.4.3 月饼在人体中的血糖生成指数评价

分别测定受试者在各个时间点的血糖值,并绘制血糖应答曲线(图4),以食用葡萄糖后的血糖应答曲线作为参照,计算月饼的血糖生成指数。其中,血糖应答曲线反映的是摄入食物后2h内引起的体内血糖应答水平,以时间为横坐标,以血糖水平为纵坐标。各受试者在食用月饼和葡萄糖后的血糖应答曲线下面积及GI值如表5所示,食物的GI值是指待测食物的血糖应答曲线下面积与葡萄糖标准血糖应答曲线下面积的比值,因此,对于同一个体而言,摄入待测样品后血糖的应答水平约平缓,峰值越低,说明其具有更低的血糖生成指数。可见,与食用葡萄糖及对照组月饼相比,食用低GI月饼后人体的血糖值变化较平缓且峰值较低,对于每个受试者,与葡萄糖参照物相比较,食用低GI月饼后的血糖应答曲线下面积均低于葡萄糖及对照月饼。计算GI值可知,受试者食用低GI月饼的GI值在5.63~64.63之间,平均GI值为30.81,小于55,属于低GI食品。而对照组月饼GI值计算为73.21,显著高于以甘蔗糖浆为原料的低升糖指数月饼,分析可知,与低聚麦芽糖糖浆相比,原料采用的甘蔗糖浆是一种低升糖糖浆,并且具有一定的酚类含量,且其酚类提取物具有DPPH、ABTS⁺、氧自由基清除能力及α-葡萄糖苷酶抑制活性,因此具有更好的控制血糖效果。江岩等^[18]报道,含有葛根添加物的低GI月饼的升糖指数为52,由此可见,本研究的添加

糖浆的月饼在该品类控制血糖方面具有一定优势。

综合上述研究结果可知,月饼的低升糖指数的特征可能与原料甘蔗糖浆中酚类物质的良好的抗氧化、降血糖活性有关^[19]。糖浆中丰富的酚类物质具有良好的生物活性,在月饼中添加糖浆后,可以在保证口感和风味的时候,降低餐后血糖应答,改善了传统月饼血糖生成指数高的缺陷,对于糖尿病的治疗和预防具有积极作用。

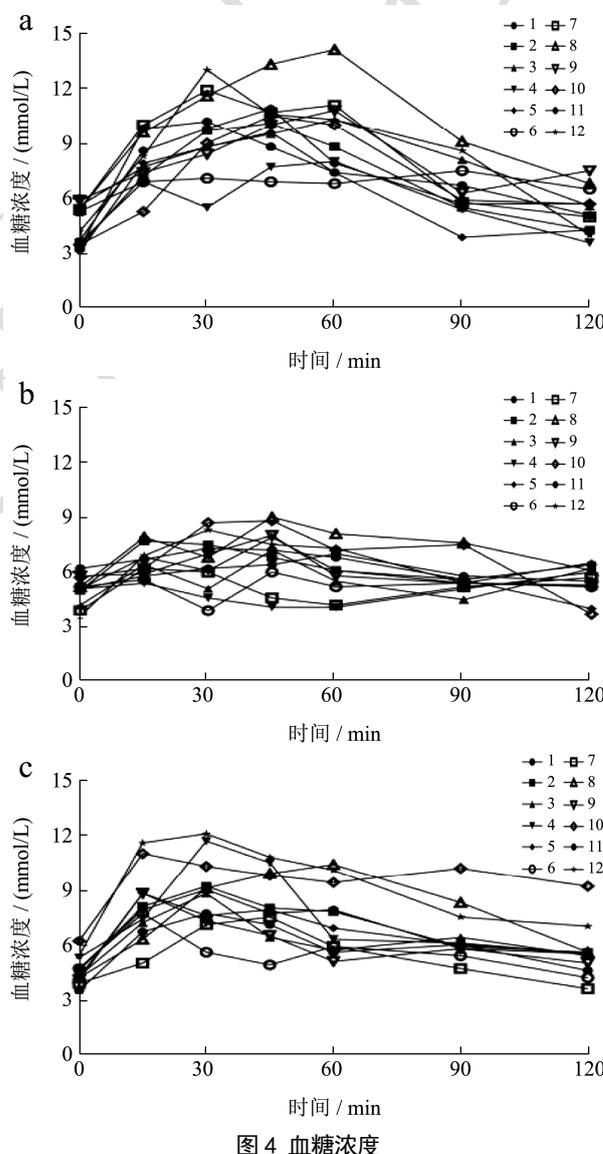


图4 血糖浓度

Fig.4 The blood glucose concentration

注: a 食用葡萄糖; b 食用低GI月饼; c 食用对照组月饼。

表5 月饼的GI值

Table 5 The GI values of moon cake

受试者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	AV	SD
IUAC(葡萄糖)	504.75	450.00	318.75	294.75	393.75	192.75	380.25	602.25	267.75	465.75	457.50	555.89	407.01	122.20
IUAC(低GI月饼)	48.75	146.25	159.75	16.59	114.85	22.25	149.25	272.25	52.50	172.54	116.25	359.25	135.87	101.45
GI值(低GI月饼)	9.66	32.50	50.12	5.63	29.17	11.54	39.25	45.21	19.61	37.05	25.41	64.63	30.81	17.70
IUC(对照月饼)	303.82	298.57	253.53	255.00	309.82	105.17	184.26	474.03	241.56	424.52	274.56	467.31	299.31	105.49
GI值(对照月饼)	60.18	66.33	79.52	87.18	78.67	54.51	48.06	78.70	90.18	91.13	60	84.06	73.21	14.13

3 结论

通过测定糖浆中酚类提取物的总酚含量及体外活性, 确定甘蔗糖浆中丰富的酚类物质含量及其在抗氧化、降血糖方面的良好活性。将糖浆应用到月饼的加工中, 得到了具有良好口感和低血糖生成指数的产品, 改善了传统月饼在感官评价及血糖生成指数较高等方面的不足, 为糖尿病患者的饮食及人们的健康饮食提供一种有效的选择。

参考文献

- [1] Amer Diabet A. Diagnosis and classification of diabetes mellitus [J]. Diabetes Care, 2014, 37: S81-S90.
- [2] Zhu J, Liu W, Yu J P, et al. Characterization and hypoglycemic effect of a polysaccharide extracted from the fruit of *Lycium barbarum* L [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 98(1): 8-16.
- [3] Lund M N. Reactions of plant polyphenols in foods: Impact of molecular structure [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 112: 241-251.
- [4] Wu G, Bai Z, Nie S P. Antidiabetic effects of polysaccharide from azuki bean (*Vigna angularis*) in type 2 diabetic rats via insulin/PI3K/AKT signaling pathway [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 101: 105456.
- [5] 孙建琴,沈秀华,陈霞飞.食物血糖指数与糖尿病防治[J].肠外与肠内营养,2005,5:311-314.
- [6] 孙春雨.洋槐蜜中多酚类化合物提取方法及提取物种类研究[D].北京:中国农业科学院,2015.
- [7] 孔繁晟.甘蔗糖浆中活性因子降血糖血脂作用及机理研究[D].广州:华南理工大学,2015.
- [8] Zheng R, Su S, Li J B, et al. Recovery of phenolics from the ethanolic extract of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) baggase and evaluation of the antioxidant and antiproliferative activities [J]. Industrial Crops and Products, 2017, 107: 360-369.
- [9] Zheng R, Su S, Zhou H F, et al. Antioxidant/antihyperglycemic activity of phenolics from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) baggase and identification by UHPLC-HR-TOFMS [J]. Industrial Crops and Products, 2017, 101: 104-114.
- [10] Xiao H, Fu X, Cao CL, et al. Sulfated modification, characterization, antioxidant and hypoglycemic activities of polysaccharides from *Sargassumpallidum* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 121: 407-414.
- [11] Zhang J Q, Li C, Huang Q, et al. Comparative study on the physicochemical properties and bioactivities of polysaccharide fractions extracted from *Fructus Mori* at different temperatures [J]. Food & Function, 2019, 10(1): 410-421.
- [12] 董宇豪,陈春,扶雄.桑葚、百香果、柚子及火龙果复合果汁协同抑制 α -葡萄糖苷酶的作用及机制[J].现代食品科技, 2022,38(2):87-93.
- [13] Yu X T, Wang R Y, Lai B, et al. Effect of *Auricularia auricula* fermentation broth on the liver and stomach of mice with acute alcoholism [J]. Food & Function, 2021, 12(1): 191-202.
- [14] Sun Y N, Li S S, Zeng H F, et al. Functional components, antioxidant activity and hypoglycemic ability following simulated gastro-intestinal digestion of pigments from walnut brown shell and green husk [J]. Antioxidants, 2019, 8(12): 573.
- [15] Gramza-Michalowska A, Kobus-Cisowska J, Kmiecik D, et al. Antioxidative potential, nutritional value and sensory profiles of confectionery fortified with green and yellow tea leaves (*Camellia sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2016, 211: 448-454.
- [16] 董蕊,丛海迪,郑毅男.单花蜂蜜多酚类物质的抗氧化活性[J].食品科学,2012,33(11):94-98.
- [17] 扶雄,张伟,朱思明等.香椿叶多酚的提取分离及其体外对糖尿病关键酶活性的抑制作用[J].现代食品科技,2014,30(7):10-15,62.
- [18] 江岩.一种葛根无糖低GI组合物及其制备方法:CN202210189933.4[P].2022-05-06.
- [19] Patar A K, Sharma A, Syiem D, et al. Chlorophyllin supplementation modulates hyperglycemia-induced oxidative stress and apoptosis in liver of streptozotocin-administered mice [J]. Biofactors, 2018, 44(5): 418-430.