

毛健绿茶化学成分及促消化功能分析

高健健¹, 周正阳², 宋燕华³, 于帅¹, 鹿伟^{3,*}, 林智¹, 戴伟东^{1,*}

(1. 农业农村部茶树生物学与资源利用重点实验室, 中国农业科学院茶叶研究所, 浙江 杭州 310008;

2. 山西中医药大学第三临床学院, 山西 晋中 030619; 3. 浙江省疾病预防控制中心, 浙江 杭州 310008)

摘要: 采用保健食品功效学研究中的小鼠小肠运动评价, 大鼠体质量、体质量增量、摄食量、食物利用率评价、大鼠胃蛋白酶活性及胃蛋白酶排出量测定等实验评估毛健绿茶水提物的促消化效果, 并进一步结合基于超高效液相色谱-四极杆-静电轨道阱质谱的代谢组学方法对其化学成分进行系统解析。动物实验结果表明, 与模型对照组相比, 高剂量毛健绿茶水提物组 (0.83 g/(kg·d)) 小鼠小肠墨汁推进率显著升高 ($P < 0.05$), 与阴性对照组 (去离子水组) 相比, 中剂量毛健绿茶水提物组 (0.21 g/(kg·d)) 大鼠胃蛋白酶排出量显著升高 ($P < 0.05$), 结合两者结果表明毛健绿茶具有一定的促消化功能; 代谢组学分析在毛健绿茶水提物中共鉴定出98个化合物, 其中黄酮 (芹菜素和木犀草素, 0.14~0.77 mg/g)、黄烷酮 (柚皮素和圣草酚, 0.49~1.49 mg/g)、黄酮-7-*O*-葡萄糖苷 (0.57~9.07 mg/g) 和黄烷酮-7-*O*-葡萄糖苷 (4.49~38.98 mg/g) 为主要成分。本研究较为系统地评价了毛健绿茶水提物的促消化功能, 并解析其主要化学成分, 为日后毛健绿茶及其新产品的推广和开发利用提供了相应的理论依据。

关键词: 毛健绿茶; 化学成分; 代谢组学; 液相色谱-质谱联用; 促消化功能

Chemical Constituents and Digestion-Promoting Effect of Maojian Green Tea

GAO Jianjian¹, ZHOU Zhengyang², SONG Yanhua³, YU Shuai¹, LU Wei^{3,*}, LIN Zhi¹, DAI Weidong^{1,*}

(1. Key Laboratory of Tea Biology and Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,

Tea Research Institute, Chinese of Agricultural Academy Sciences, Hangzhou 310008, China;

2. Third Clinical College, Shanxi University of Chinese Medicine, Jinzhong 030619, China;

3. Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou 310008, China)

Abstract: In this study, the digestion-promoting function of an aqueous extract from Maojian green tea extract (MJ-GTE) was evaluated by small intestinal motility in mice as well as body mass, body mass gain, food intake, food utilization rate, gastric pepsin activity, and gastric pepsin excretion in rats. The chemical composition of MJ-GTE was then systematically analyzed using metabolomics based on ultra-high performance liquid chromatography-quadrupole electrostatic orbitrap mass spectrometry (UPLC-Q-Exactive/MS). The results of animal experiments showed that the intestinal propulsion ratio of ink in the high-dose MJ-GTE group (0.83 g/(kg·d)) was significantly increased compared with the model group ($P < 0.05$), and gastric pepsin excretion in the medium-dose MJ-GTE group (0.21 g/(kg·d)) was significantly increased compared with the negative control group (deionized water) ($P < 0.05$), which collectively indicated that MJ-GTE has a digestion-promoting effect. The metabolomics analysis identified 98 compounds, among which, flavones (apigenin and luteolin, 0.14~0.77 mg/g), flavanones (naringenin and eriodictyol, 0.49~1.49 mg/g), flavone-7-*O*-glycosides (0.57~9.07 mg/g), and flavanone-7-*O*-glycosides (4.49~38.98 mg/g) were the major components in MJ-GTE. This study will provide a theoretical basis for the promotion and development of Maojian green tea and related products in the future.

Keywords: Maojian green tea; chemical composition; metabolomics; liquid chromatography-mass spectrometry; digestion-promoting effect

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20230324-238

中图分类号: S571.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2024) 01-0109-09

收稿日期: 2023-03-24

基金项目: 浙江省自然科学基金杰出青年项目 (LR23C160002)

第一作者简介: 高健健 (1998—) (ORCID: 0000-0002-3370-8561), 女, 硕士研究生, 研究方向为茶叶加工品质化学。

E-mail: gjj_tricaas@163.com

*通信作者简介: 鹿伟 (1976—) (ORCID: 0009-0003-0121-123X), 男, 主管医师, 硕士, 研究方向为健康相关产品安全性和功能评价。E-mail: wlu@cdc.zj.cn

戴伟东 (1987—) (ORCID: 0000-0002-9593-138X), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为茶叶加工品质化学。

E-mail: daiweidong@tricaas.com

引文格式:

高健健, 周正阳, 宋燕华, 等. 毛建绿茶化学成分及促消化功能分析[J]. 食品科学, 2024, 45(1): 109-117. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20230324-238. <http://www.spkx.net.cn>

GAO Jianjian, ZHOU Zhengyang, SONG Yanhua, et al. Chemical constituents and digestion-promoting effect of Maojian green tea[J]. Food Science, 2024, 45(1): 109-117. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20230324-238. <http://www.spkx.net.cn>

毛建草又名岩青兰 (*Dracocephalum rupestre* Hance), 是一种多年生唇形科草本植物, 广泛分布在我国山西、内蒙古、河北、辽宁及甘肃等地, 主要生长在海拔650~2 400 m的高山草甸^[1], 资源较为丰富。作为一种传统草本植物, 岩青兰具有多种健康益处, 如抗炎、抗氧化、抗肿瘤和肝保护等功能^[1-4]。目前对于毛建草的化学成分了解还并不深入, 仅有少数研究报道其富含黄酮和三萜类化合物^[5-7], 阻碍了毛建草进一步的深入开发和研究。在晋北当地, 岩青兰可制作成茶叶进行饮用, 被称为毛健茶, 其传统加工工艺为直接将新鲜的嫩茎叶在阳光下晒干后沸水冲泡饮用, 但该方法制得的毛健茶具有强烈的草药气味, 口感欠佳。为了提高毛健茶的风味品质, 目前市面上销售的毛健茶, 大多为参考茶叶绿茶加工工艺(鲜叶→摊放→杀青→揉捻→干燥)制成的毛健绿茶, 相比于传统毛健茶, 其在外型、汤色和感官品质等方面均得到了较大改善, 深受消费者的喜爱^[8]。

功能性消化不良是由消化功能紊乱所引起胃肠道不适应的消化道疾病, 具有慢性和易复发性等特点, 常伴有上腹痛、食欲不振、恶心、呕吐等症状^[9-11], 近年来发病率呈现逐年增长趋势。据流行病学统计, 目前功能性消化不良在门诊中占消化内科疾病的1/3, 严重影响患者的身体健康和生活质量^[12]。现阶段用于治疗药物如甲氧氯普胺等虽然疗效好但长期服用仍然存在较多副作用^[13], 因此, 从天然植物中探索具有促消化功能且副作用小的食品原材料具有较高的市场前景和社会价值。

在山西民间, 毛健茶素有促消化功能的说法, 但关于其促消化功能的研究目前鲜有报道。因此本研究以毛健绿茶水提物为研究对象, 结合保健食品功效学研究, 以功能性消化不良小鼠和大鼠为模型, 予以低、中、高剂量毛健绿茶水提物干预, 观察其对小鼠小肠墨汁推进率, 大鼠体质量、体质量增量、摄食量、食物利用率, 大鼠胃蛋白酶活性和胃蛋白排出量的影响, 并结合基于超高效液相色谱-四极杆-静电轨道阱质谱 (ultra-high performance liquid chromatography-quadrupole orbitrap mass spectrometry, UPLC-Q-Exactive/MS) 的代谢组学方法对其内含成分进行系统解析, 以期评价其促消化功能并探明其内含成分, 从而为毛健绿茶的推广和新产品的开发利用提供相应的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料、动物与试剂

毛健茶样品由山西神达朝凯芦芽山农业开发有限公司提供, 并经绿茶加工工艺制成毛健绿茶: 摊放(室温, 6 h)、杀青(270 °C、3 min)、揉捻(45 min)、干燥(110 °C、1.5 h)^[8]。上述毛健绿茶与沸水以1:20 (g/mL)的比例煮沸30 min, 过滤后取上清液, 继续加入等量的沸水煮沸30 min, 过滤后取上清液, 合并两次上清液, 冷冻干燥获得毛健绿茶水提物粉末, 密封后置于干燥处保存备用。

实验用昆明种雄性小鼠50只 (SPF级), 3~4周龄, 初始体质量为18~22 g, 由浙江维通利华实验动物技术有限公司提供, 实验动物生产许可证号为SCXK(浙)2021-0006; 实验用SD雄性大鼠 (SPF级) 40只, 4~5周龄, 初始体质量120~150 g, 由上海斯莱克实验动物有限责任公司提供, 实验动物生产许可证号为SCXK(沪)2017-0005。实验动物均饲养于浙江省疾病预防控制中心实验动物房, 使用许可证号为SYXK(浙)2018-0018, 温度20~24 °C, 相对湿度40%~70%, 实验前在动物房环境中适应性喂养4 d。

甲醇、甲酸、乙腈(均为色谱级) 德国Merck公司; 诺哌丁胺、活性炭粉、阿拉伯树胶、芹菜素、圣草酚、木犀草素、柚皮素、芹菜素-7-O-葡萄糖苷、圣草酚-7-O-葡萄糖苷、木犀草素-7-O-葡萄糖苷、槲皮素-3-半乳糖苷、异牡荆素、芹菜素-6,8-C-双葡萄糖苷、芹菜素-6-C-葡萄糖基-8-C-阿拉伯糖苷、精氨酸、天冬酰胺、天冬氨酸、 γ -氨基丁酸、谷氨酸、亮氨酸、组氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、脯氨酸、色氨酸、缬氨酸、苯甲基樱草糖苷、苯乙基樱草糖苷、绿原酸、奎宁酸、哌啶酸、焦谷氨酸、腺苷、腺嘌呤核糖核苷酸、胆碱和(S)-5'-脱氧-5'-(甲基亚磺酰基)腺苷及其他色谱或质谱级化合物或试剂 美国Sigma公司; 去离子水由Milli-Q超纯水制备系统生产。

1.2 仪器与设备

UPLC-Q-Exactive/MS仪 美国赛默飞世尔科技有限公司; 粉碎研磨机 德国IKA公司; SQP电子天平赛多利斯科学仪器(北京)有限公司; DK-S11型电热恒温水浴锅 上海森信实验仪器有限公司; 5810R型高速冷冻离心机 德国艾本德股份公司。

1.3 方法

1.3.1 干预组毛健绿茶水提物剂量计算

按照成年人（平均体质量60 kg）每日平均饮茶量5 g计算，饮茶剂量为83.33 mg/(kg·d)^[14-15]。按照上述茶叶提取物制备方法，提取率约为50%（两次提取过滤冷冻干燥后获得的茶叶提取物与茶叶质量的占比），则换算成毛健绿茶提取物粉末的剂量则为41.6 mg/(kg·d)。参考《允许保健食品声称的保健功能目录非营养素补充剂（2020年版）（征求意见稿）》中的“有助于消化功能检验方法”，小鼠实验剂量以相当于人推荐量的5、10倍和20倍分别设置为低、中、高3个剂量组，即0.21、0.42、0.83g/(kg·d)；大鼠实验剂量以相当于人推荐量的2.5、5倍和10倍分别设置为低、中、高3个剂量组，即0.10、0.21、0.42 g/(kg·d)。每次临用前用去离子水配制成各剂量，超声助溶，充分混匀后供试。

1.3.2 小鼠小肠运动实验

参考《允许保健食品声称的保健功能目录非营养素补充剂（2020年版）（征求意见稿）》和彭章蒙等^[16]的实验方法并作适当修改，实验设3个毛健绿茶水提物剂量组（0.21、0.42、0.83 g/(kg·d)）、一个阴性对照组（去离子水）和一个模型对照组（洛哌丁胺），每组10只小鼠。毛健绿茶低、中、高3个剂量组小鼠灌胃给予不同剂量的毛健绿茶水提物溶液，每天一次，连续31 d；灌胃容量均按10 mL/kg体质量计；不同剂量的毛健绿茶水提物溶液配制方法为分别称取0.21、0.42、0.83 g毛健绿茶水提物粉末，加去离子水至10 mL，样品每日临用前新鲜配制。实验结束前禁食不禁水24 h，于测定当天各实验组给予一次受试样品，阴性及模型对照组给予一次去离子水，30 min后各实验组和模型对照组给予3.33 mg/kg洛哌丁胺，阴性对照组给予去离子水，30 min后各组再给予指示剂墨汁（含5%的活性炭粉和10%阿拉伯树胶），25 min后断颈椎脱臼处死小鼠，计算墨汁推进率。墨汁推进率按下式计算：

$$\text{墨汁推进率}/\% = \frac{\text{墨汁推进长度}/\text{cm}}{\text{小肠总长度}/\text{cm}} \times 100 \quad (1)$$

1.3.3 大鼠体质量、体质量增量、摄食量、食物利用率、胃蛋白酶活性及胃蛋白酶排出量测定

参考《允许保健食品声称的保健功能目录非营养素补充剂（2020年版）（征求意见稿）》和叶美玉等^[17]的实验方法并作适当修改，共设3个毛健绿茶水提物剂量组（0.10、0.21、0.42 g/(kg·d)）和一个阴性对照组（去离子水），每组10只大鼠。毛健绿茶低、中、高3个剂量组大鼠灌胃给予不同剂量的毛健绿茶水提物溶

液，每天1次，连续29 d；灌胃容量均按10 mL/kg体质量计；不同剂量的毛健绿茶水提物溶液配制方法为分别称取0.625、1.250 g和2.500 g毛健绿茶水提物粉末，加去离子水至60 mL。期间每周测2次体质量和食物摄入量，并在实验结束时计算大鼠体质量、体质量增量、总摄食量和食物利用率。食物利用率为动物每摄入100 g饲料所增长的体质量。

实验结束前各组动物禁食不禁水24 h，麻醉后进行大鼠幽门结扎术收集5 h内排出的胃液，每组选取手术成功动物8只，测定单位时间内胃液量。取胃液1 mL放入50 mL的三角烧瓶中，加入15 mL（0.05 mol/L）盐酸溶液摇匀，放入新鲜制作的蛋白管两根。塞好瓶口，在37℃恒温箱中孵育24 h，取出蛋白管，用尺测量蛋白管两端透明部分的长度（mm），以四端之值求其平均值。按下式计算大鼠胃蛋白酶活性和胃蛋白酶排出量：

$$\text{胃蛋白酶活性}/(\text{U/mL}) = \text{四端蛋白管透明部分长度均值}^2 \times 16 \quad (2)$$

$$\text{胃蛋白酶排出量}/(\text{U/h}) = \text{胃蛋白酶活性} \times \text{每小时胃液量} \quad (3)$$

1.3.4 代谢组学样品前处理

参考课题组前期建立的方法并进行适当修改^[18]，将10 mL 100℃的沸水加入到0.1 g毛健绿茶水提物粉末中，于70℃条件下水浴加热10 min，取1.5 mL上清液于离心管中，8 000×g离心10 min，得到的上清液通过0.45 μm滤膜进行过滤，用于后续代谢组学检测分析；每个茶样按照以上步骤平行处理3份（n=3）。

1.3.5 毛健绿茶水提物中主要成分检测及定量

参考课题组前期建立的方法^[19]，采用UPLC-Q-Exactive/MS检测毛健绿茶水提物中的主要化学成分，使用Xcalibur 4.2（ThermoFisher，美国）软件，根据标准品的m/z和保留时间进行定性，根据峰面积进行定量。

液相色谱条件：色谱柱：HSS T3柱（100 mm×2.1 mm，1.8 μm）；柱温40℃；二元流动相：A为超纯水（含0.1%甲酸），B为乙腈（含0.1%甲酸）；流速0.4 mL/min；进样量3 μL；洗脱程序：0~0.5 min，92% A、2% B；0.5~10.0 min，98%~85% A、2%~15% B；10~18 min，85%~60% A、15%~40% B；18~20 min，60%~10% A、40%~90% B；20.0~20.9 min，10% A、90% B；20.9~21.0 min，10%~98% A、90%~2% B；21~25 min，98% A、2% B。

质谱条件：电喷雾电离源，正离子模式；扫描范围m/z 80~1 200；喷雾电压3.5 kV；鞘气和辅助气流速分别为45 L/min和10 L/min；辅助气温度350℃；离子传输管温度300℃。采用外标法测定黄酮/黄酮苷元及7-O-葡萄糖苷的含量，芹菜素、圣草酚、木犀草素、柚皮

素、芹菜素-7-*O*-葡萄糖苷、圣草酚-7-*O*-葡萄糖苷和木犀草素-7-*O*-葡萄糖苷以1、2、5、10、20、50、100、500、1 000 $\mu\text{g/mL}$ 的标准品质量浓度建立标准曲线, 柚皮素-7-*O*-葡萄糖苷使用芹菜素-7-*O*-葡萄糖苷的标准曲线计算含量。

1.4 数据处理

数据统计和显著性分析使用SPSS 19.0软件, 所有计量数据均为 $\bar{x} \pm s$, 先对数据作方差齐性检验, 方差齐, 采用单因素方差分析进行比较, 两两比较采用 q 检验; 原始数据不能满足方差齐性的, 改用秩和检验; 检验水准 α 均取0.05。UPLC-Q-Exactive/MS采集的数据使用Xcalibur 4.2 (ThermoFisher, 美国) 软件, 根据标准品的质荷比和保留时间进行定性, 根据峰面积进行定量。

2 结果与分析

2.1 毛健绿茶水提物促消化功能

2.1.1 毛健绿茶水提物对小鼠小肠运动功能的影响

消化不良主要与小肠的蠕动有关^[20], 因此可通过测定小肠运动功能评价消化功能状态。洛哌丁胺为临床常用止泻药物, 过量服用则可导致便秘^[21], 相关文献报道, 洛哌丁胺能够明显减弱小鼠胃肠蠕动, 可用于构建消化不良模型^[22]。为探究毛健绿茶水提物对小鼠小肠运动功能的影响, 本实验对阴性对照、模型对照及低、中、高剂量毛健绿茶水提物组小鼠连续灌胃给药31 d, 通过测定墨汁推进率评价其促消化效果, 结果如表1所示, 与阴性对照组((69.9±8.1)%)相比, 模型对照组小鼠小肠墨汁推进率((42.5±14.3)%)显著降低($P<0.05$), 表明消化不良模型构建成功, 引起小鼠肠道便秘; 当通过不同剂量毛健绿茶水提物干预饲养后, 发现与模型对照组((42.5±14.3)%)相比, 高剂量毛健绿茶水提物组((62.1±9.8)%)可以显著提高小鼠墨汁推进率($P<0.05$), 而低、中剂量组小鼠墨汁推进率也有所提高, 但未达到显著差异水平, 表明高剂量毛健绿茶水提物(0.83 g/(kg·d))可以通过促进小鼠小肠推进运动、增加肠蠕动能力, 从而对功能性消化不良引起的小肠推进缓慢起到明显的改善作用。

表1 毛健绿茶水提物对小鼠墨汁推进率的影响($n=10$)
Table 1 Effect of MJ-GTE on intestinal propulsion ratio of ink in mice ($n=10$)

组别	动物数/只	小肠总长度/cm	墨汁推进长度/cm	墨汁推进率/%
阴性对照(去离子水)组	10	50.0±3.9	35.1±6.4	69.9±8.1
模型对照(洛哌丁胺)组	10	49.2±1.9	20.9±7.0	42.5±14.3 ^Δ
低剂量组	10	50.5±5.1	25.9±7.5	50.7±12.1
中剂量组	10	51.5±3.4	26.4±5.6	51.7±12.1
高剂量组	10	52.0±3.0	32.2±4.3	62.1±9.8 [#]
F 值			8.710	
P 值			0.000	

注: Δ 、与阴性对照比较, $P<0.05$; #、与模型对照组比较, $P<0.05$ 。

2.1.2 毛健绿茶水提物对大鼠体质量、体质量增量、摄食量和食物利用率的影响

如表2所示, 在大鼠饲养的29 d中, 阴性对照及低、中、高剂量毛健绿茶水提物组大鼠的体质量均表现出逐步增长趋势, 但各组之间无显著差异($P>0.05$)。各组之间的体质量增量、摄食量和食物利用率与阴性对照组相比, 均无显著差异($P>0.05$), 表明0.10、0.21、0.42 g/(kg·d)剂量的毛健绿茶水提物给药对大鼠体质量、体质量增量、摄食量和食物利用率无明显影响。

表2 毛健绿茶水提物对大鼠体质量、体质量增量、摄食量和食物利用率的影响($n=10$)

Table 2 Effect of MJ-GTE on body mass, body mass gain, food intake, and food utilization in rats ($n=10$)

组别	动物数/只	始质量/g	终质量/g	体质量增量/g	摄食量/g	食物利用率/%
阴性对照(去离子水)组	10	140.5±9.2	372.2±34.0	231.7±30.3	699.4±46.6	33.0±2.8
低剂量组	10	141.9±8.7	364.0±18.3	222.1±17.7	693.0±33.6	32.0±1.4
中剂量组	10	141.3±10.4	357.4±20.5	216.1±18.2	667.7±36.1	32.4±1.9
高剂量组	10	140.3±8.3	362.7±33.2	222.4±31.2	677.5±55.0	32.7±2.2
F 值		0.068	0.495	0.653	1.093	0.426
P 值		0.977	0.688	0.586	0.365	0.736

2.1.3 毛健绿茶水提物对大鼠胃液量、胃蛋白酶活性与胃蛋白酶排出量的影响

食物在胃肠中进行消化主要是通过消化酶的消化和胃肠运动^[23], 本研究通过测定胃蛋白酶活性和胃蛋白酶排出量研究毛健绿茶水提物的促消化效果。如表3所示, 与阴性对照组的胃蛋白酶活性((138.9±58.3) U/mL)相比, 各剂量毛健绿茶水提物组均无显著差异($P>0.05$), 但中剂量组胃蛋白酶排出量((527.6±231.4) U/h)相较于阴性对照组((277.7±94.2) U/h)则显著升高($P<0.05$)。参考《允许保健食品声称的保健功能目录非营养素补充剂(2020年版)(征求意见稿)》中的“有助于消化功能检验方法”, 按照“实验组与阴性对照组比较, 胃液量、胃蛋白酶活性、胃蛋白酶排出量3项指标中任一指标增加, 经统计处理差异有显著性, 可判定该实验结果阳性”的标准, 可判定0.21 g/(kg·d)剂量的毛健绿茶水提物可以通过促进胃蛋白酶排出量以改善功能性消化不良。

表3 毛健绿茶水提物对大鼠胃液量、胃蛋白酶活性和胃蛋白酶排出量的影响($n=8$)

Table 3 Effect of MJ-GTE on gastric juice volume, pepsin activity, and pepsin excretion in rats ($n=8$)

组别	动物数/只	5 h胃液量/mL	胃蛋白酶活性/(U/mL)	胃蛋白酶排出量/(U/h)
阴性对照(去离子水)组	8	10.9±3.5	138.9±58.3	277.7±94.2
低剂量组	8	14.0±5.0	140.3±48.5	373.2±113.3
中剂量组	8	13.7±3.6	187.5±47.1	527.6±231.4 [#]
高剂量组	8	14.4±4.5	144.3±39.9	412.8±184.8
F 值		1.158	1.815	8.474
P 值		0.343	0.167	0.037

注: #、与阴性对照比较, 秩和检验, $P<0.05$ 。

2.2 基于UPLC-Q-Exactive/MS的毛健绿茶水提取物化学成分分析

采用UPLC-Q-Exactive/MS对毛健绿茶水提取物中的主要成分进行分析, 通过与标准品、代谢组学数据库(HMDB和Metlin)、保留时间、精确分子质量、二级质谱等相关信息比对并结合课题组前期的实验结果^[24-26]共鉴定出98个化合物, 包括4个黄酮/黄烷酮类化合物(芹菜素、圣草酚、木犀草素和柚皮素), 17个黄酮/黄烷醇/黄烷酮-O-糖苷类化合物(芹菜素-7-O-葡萄糖苷、圣草酚-7-O-葡萄糖苷、圣草酚-7-O-双葡萄糖苷、木犀草素-7-O-葡萄糖苷等), 4个黄酮-C-糖苷类化合物, 1个三萜类化合物(三萜皂苷I), 12个氨基酸类化合物, 2个氨基酸衍生物类化合物, 3个香气前体类化合物,

13个酚酸类化合物, 9个有机酸类化合物, 12个脂类化合物, 11个生物碱类化合物及10个其他类化合物, 具体信息见表4。

本实验前期对毛健绿茶代谢组学化学成分解析表明黄酮/黄烷酮苷元及其对应的7-O-葡萄糖苷是毛健绿茶的主要成分^[8], 因此本实验进一步对这些关键成分进行定量分析。黄酮/黄烷酮苷元及7-O-葡萄糖苷标准品及其在毛健绿茶水提取物中的色谱图如图1所示。定量结果表明毛健绿茶水提取物中的黄酮/黄烷酮苷元总量为(2.89±1.18) mg/g, 其中圣草酚含量最高(圣草酚>木犀草素>柚皮素>芹菜素), 为(1.49±0.43) mg/g。黄酮/黄烷酮苷-7-O-糖苷总量为(53.11±1.97) mg/g,

表4 毛健绿茶水提取物中鉴定出的化合物信息
Table 4 Information of compounds identified from MJ-GTE

序号	化合物		保留时间/min	m/z		误差/%
	中文名称	英文名称		理论值	测定值	
黄酮/黄烷酮类						
1	芹菜素*	apigenin	17.87	271.059 2	271.060 7	-0.005 39
2	圣草酚*	eriodictyol	16.09	289.069 7	289.070 7	-0.003 39
3	木犀草素*	luteolin	16.52	287.054 2	287.055 0	-0.002 96
4	柚皮素*	naringenin	17.63	273.074 9	273.075 7	-0.002 89
黄酮/黄烷醇/黄烷酮-O-糖苷类						
5	芹菜素-7-O-葡萄糖苷*	apigenin-7-O-glucoside	14.29	433.111 4	433.112 8	-0.003 32
6	圣草酚-7-O-葡萄糖苷*	eriodictyol-7-O-glucoside	12.99	451.121 9	451.123 5	-0.003 55
7	圣草酚-7-O-双葡萄糖苷	eriodictyol-7-O-diglucoside	13.03	613.173 8	613.175 6	-0.002 92
8	木犀草素-7-O-葡萄糖苷*	luteolin-7-O-glucoside	13.48	449.107 8	449.107 7	0.000 22
9	柚皮素-7-O-葡萄糖苷	naringenin-7-O-glucoside	14.31	435.126 7	435.128 3	-0.003 68
10	2-吡咯烷酮-圣草酚	2-pyrrolidinone-eriodictyol	15.26	372.106 6	372.108 0	-0.003 76
11	2-吡咯烷酮-圣草酚同分异构体1	2-pyrrolidinone-eriodictyol isomer 1	14.72	372.106 3	372.108 0	-0.004 62
12	二甲基木犀草素	dimethyl luteolin	19.91	315.085 2	315.086 4	-0.003 75
13	2-吡咯烷酮-柚皮素	2-pyrrolidinone-naringenin	16.78	356.111 8	356.113 0	-0.003 37
14	芸香苷	rutin	12.80	611.158 5	611.159 7	-0.001 90
15	槲皮素-3-半乳糖苷*	quercetin-3-galactoside	13.13	465.101 5	465.102 2	-0.001 35
16	山柰酚-3-葡萄糖酰吡喃糖苷	kaempferol-7-glucopyranoside	13.51	449.106 3	449.107 6	-0.002 85
17	山柰酚-3-(6-乙酰半乳糖苷)	kaempferol-3-(6-acetyl-galactoside)	15.53	491.117 7	491.118 0	-0.000 51
18	(+)-7-表-丁香树脂酚-4'-葡萄糖苷	(+)-7-epi-syringaresinol-4'-glucoside	14.39	603.202 8	603.204 5	-0.002 75
19	3-甲基鞣花酸-8-鼠李糖苷	3-methylgallagic acid-8-rhamnoside	13.47	463.085 6	463.087 1	-0.003 26
20	5-羟基黄酮	5-hydroxyflavone	19.97	423.106 0	423.107 1	-0.002 65
21	鹰嘴豆芽素A芸香糖苷	biochanin A rutinoside	16.42	593.184 8	593.186 5	-0.002 95
黄酮-C-糖苷类						
22	牧荆素*	vitexin	13.03	433.111 3	433.112 6	-0.003 02
23	木犀草素-8-C-葡萄糖苷	luteolin-8-C-glucoside	12.00	449.106 8	449.107 4	-0.001 43
24	芹菜素-6,8-C-双葡萄糖苷*	apigenin-6,8-C-diglucoside	10.74	595.163 7	595.165 1	-0.002 30
25	芹菜素-6-C-葡萄糖基-8-C-阿拉伯糖苷	apigenin-6-C-glucosyl-8-C-arabinoside	12.09	565.153 8	565.154 6	-0.001 34
三萜类						
26	三萜皂苷I	pitheduloside I	20.79	489.356 2	489.357 4	-0.002 41
氨基酸类						
27	精氨酸*	arginine	0.64	213.074 3	213.074 8	-0.002 53
28	天冬酰胺*	asparaginate	0.66	133.060 5	133.061 1	-0.004 58
29	天冬氨酸*	aspartic acid	0.67	134.044 5	134.044 8	-0.002 09
30	γ-氨基丁酸*	γ-aminobutyric acid	0.67	104.071 5	104.071 3	0.001 54

续表4

序号	化合物		保留时间/min	m/z		误差/%
	中文名称	英文名称		理论值	测定值	
31	谷氨酸*	glutamic acid	0.67	130.049 6	130.0499	-0.002 15
32	亮氨酸*	leucine	1.50	132.101 7	132.102 0	-0.002 27
33	组氨酸*	histidine	0.66	156.076 4	156.077 0	-0.003 84
34	苯丙氨酸*	phenylalanine	3.15	166.085 9	166.086 5	-0.003 67
35	酪氨酸*	tyrosine	1.27	182.061 7	182.061 7	0.000 05
36	脯氨酸*	proline	0.73	116.070 5	116.070 8	-0.002 24
37	色氨酸*	tryptophan	5.40	205.096 7	205.097 1	-0.002 19
38	缬氨酸*	valine	0.70	118.086 2	118.086 4	-0.001 19
氨基酸衍生物类						
39	N-(1-脱氧-1-果糖基)亮氨酸	N-(1-deoxy-1-fructosyl)leucine	1.72	294.154 0	294.154 7	-0.002 31
40	N-(1-脱氧-1-果糖基)缬氨酸	N-(1-deoxy-1-fructosyl)valine	1.05	280.138 4	280.139 1	-0.002 53
香气前体类						
41	苯甲基葡萄糖醛酸苷	benzyl glucuronide	9.34	299.075 3	299.076 2	-0.003 11
42	苯甲基樱草糖苷*	benzyl primeveroside	9.65	425.140 5	425.141 1	-0.001 41
43	苯乙基樱草糖苷*	phenylethyl primeveroside	11.79	439.156 2	439.156 9	-0.001 57
酚酸类						
44	3-香豆酰奎宁酸	3-coumaroylquinic acid	9.15	339.106 4	339.107 1	-0.002 06
45	4-香豆酰奎宁酸	4-coumaroylquinic acid	7.26	339.106 3	339.106 6	-0.000 74
46	绿原酸*	chlorogenic acid	8.02	355.101 9	355.102 3	-0.001 13
47	4-O-咖啡酰奎宁酸	4-O-caffeoylquinic acid	8.41	355.101 1	355.1019	-0.002 39
48	3,5-O-双咖啡酰奎宁酸	3,5-O-dicaffeoylquinic acid	14.73	517.133 0	517.133 7	-0.001 39
49	异绿原酸B	isochlorogenic acid B	14.20	517.132 7	517.133 8	-0.002 22
50	反式肉桂酸	trans-cinnamic acid	3.15	149.0593	149.059 7	-0.002 82
51	香豆酸	cumaric acid	1.49	165.054 3	165.055 0	-0.004 00
52	七叶内酯	aesculetin	12.71	179.033 5	179.033 9	-0.002 12
53	双食子酰葡萄糖	galloylglucose	2.36	333.081 4	333.081 7	-0.000 93
54	鲁米诺酸	lucuminic acid	10.82	469.130 3	469.131 3	-0.001 98
55	甲基没食子酸	methylgallic acid	2.51	185.044 1	185.044 4	-0.001 73
56	乙基水杨酸	hexyl salicylic acid	12.68	223.132 3	223.132 9	-0.002 69
有机酸类						
57	奎宁酸*	quinic acid	0.76	193.070 2	193.070 6	-0.002 33
58	泛酸	pantothenic acid	4.33	220.117 5	220.117 9	-0.002 00
59	柠檬酸	citric acid	1.17	193.033 7	193.034 5	-0.004 04
60	香草酸	vanillic acid	0.67	169.057 9	169.058 7	-0.004 79
61	哌啶酸*	pipecolic acid	1.04	130.096 8	130.096 8	-0.000 31
62	焦谷氨酸*	pyroglutamic acid	1.26	130.049 7	130.049 9	-0.001 92
63	5-羟甲基-2-糠醛	5-hydroxymethyl-2-furfural	4.62	127.038 8	127.039 8	-0.007 95
64	4-羟基-2-丙酮二羧酸	4-hydroxy-2-oxoglutaric acid	1.47	163.023 2	163.023 7	-0.003 01
65	2,2'-(3-甲基环己烷-1,1-二基)二乙酸	2,2'-(3-methylcyclohexane-1,1-diyl)diacetic acid	12.98	197.116 7	197.117 0	-0.001 52
脂类						
66	甘油单酯(15:0)	MG(15:0)	19.99	334.294 1	334.294 9	-0.002 39
67	溶血磷脂酰胆碱(18:3)	lysoPC(18:3)	20.88	518.322 5	518.323 5	-0.001 85
68	棕榈酸	palmitic acid	19.92	274.273 3	274.273 8	-0.001 82
69	棕榈酰胺	palmitic amide	20.88	256.262 8	256.263 3	-0.002 11
70	鞘氨醇	sphinganine	20.34	302.304 6	302.305 1	-0.001 69
71	植物鞘氨醇	phytosphingosine	19.97	318.299 2	318.299 8	-0.001 85
72	六聚乙二醇	hexamethylene glycol	7.84	283.174 4	283.175 1	-0.002 47
73	七聚乙二醇	heptaethylene glycol	9.18	327.200 3	327.201 3	-0.003 12
74	八聚乙二醇	octaethylene glycol	10.38	371.226 4	371.227 6	-0.003 26
75	半乳糖基甘油	galactosylglycerol	0.74	255.106 6	255.107 4	-0.003 21
76	羟基十六烷酸	hydroxyhexadecanoic acid	19.99	290.268 1	290.268 7	-0.001 89
77	蒲葶苷A	ptelatoside A	12.98	415.157 3	415.159 9	-0.006 31
生物碱类						
78	腺嘌呤	adenine	0.79	136.061 7	136.061 8	-0.000 59
79	腺苷*	adenosine	1.99	268.103 4	268.103 9	-0.001 75
80	腺嘌呤核糖核苷酸*	AMP	1.28	348.069 5	348.070 0	-0.001 41

续表4

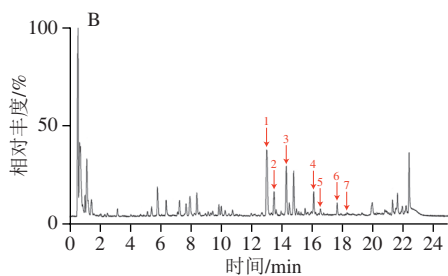
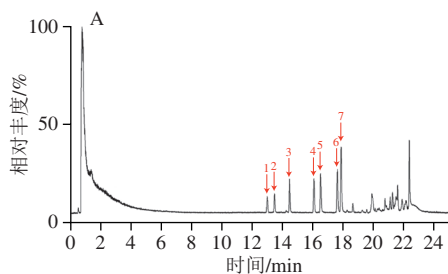
序号	化合物		保留时间/min	m/z		误差/%
	中文名称	英文名称		理论值	测定值	
81	胆碱*	choline	0.66	104.106 9	104.107 2	-0.002 31
82	胞嘧啶	cytosine	0.77	112.050 6	112.050 5	0.001 25
83	甘油磷酸胆碱	glycerophosphocholine	0.69	258.109 4	258.109 8	-0.001 47
84	次黄嘌呤	hypoxanthine	1.20	137.045 7	137.045 8	-0.000 88
85	N-乙酰乙醇胺	N-lactoyl ethanolamine	0.68	134.080 9	134.081 0	-0.001 42
86	胆碱磷酸	phosphocholine	0.67	184.072 9	184.073 2	-0.001 47
87	5'-甲硫腺苷	5'-methylthioadenosine	6.09	298.096 3	298.096 6	-0.001 01
88	(S)-5'-脱氧-5'-(甲基亚磺酰基)腺苷*	(S)-5'-deoxy-5'-(methylsulfinyl)adenosine	1.88	314.090 9	314.091 5	-0.002 01
其他类						
89	6''-O-乙酰黄豆黄苷	6''-O-acetylglucitin	14.99	489.137 2	489.139 1	-0.003 86
90	菊苣苷	cichoriin	7.70	341.085 7	341.086 7	-0.002 93
91	顺式-草木樨苷	cis-melilotoside	6.38	327.106 3	327.107 4	-0.003 30
92	二氢猕猴桃内酯	dihydroactinidiolide	19.14	181.121 9	181.122 3	-0.001 88
93	果糖	fructose	14.80	181.049 0	181.049 9	-0.004 75
94	葡萄糖	glucose	0.72	203.052 2	203.052 4	-0.001 18
95	葡萄糖-1-磷酸	glucose-1-phosphate	0.69	261.036 3	261.037	-0.002 87
96	麦芽三糖	maltotriose	0.76	527.156 7	527.158 0	-0.002 39
97	茶氨酸葡萄糖苷	theanine glucoside	1.18	337.159 3	337.160 2	-0.002 70
98	D-1-[(3-羧丙基)氨基]-1-脱氧果糖	D-1-[(3-carboxypropyl)amino]-1-deoxyfructose	0.69	266.122 6	266.123 4	-0.002 89

注：*。该化合物的结构鉴定经过标样验证。

是其对应游离苷元总量的18倍，芹菜素-7-O-葡萄糖苷、圣草酚-7-O-葡萄糖苷、木犀草素-7-O-葡萄糖苷和柚皮素-7-O-葡萄糖苷的含量分别为(0.57±0.04)、(38.98±0.62)、(9.07±0.31) mg/g和(4.49±0.10) mg/g(表5)。

表5 毛健绿茶水提取物中主要黄酮/黄烷酮苷元及其7-O-葡萄糖苷含量
Table 5 Contents of major flavones/ flavanones and their 7-O-glycosides in MJ-GTE

化合物	含量/(mg/g)
芹菜素	0.14±0.09
圣草酚	1.49±0.43
木犀草素	0.77±0.48
柚皮素	0.49±0.18
黄酮/黄烷酮苷元总量	2.89±1.18
芹菜素-7-O-葡萄糖苷	0.57±0.04
圣草酚-7-O-葡萄糖苷	38.98±0.62
木犀草素-7-O-葡萄糖苷	9.07±0.31
柚皮素-7-O-葡萄糖苷	4.49±0.10
黄酮/黄烷酮苷-7-O-糖苷总量	53.11±1.97



1.圣草酚-7-O-葡萄糖苷; 2.木犀草素-7-O-葡萄糖苷; 3.芹菜素-7-O-葡萄糖苷; 4.圣草酚; 5.木犀草素; 6.柚皮素; 7.芹菜素。

图1 黄酮/黄烷酮苷元及7-O-葡萄糖苷标准品(A)和毛健绿茶水提取物中黄酮/黄烷酮苷元及7-O-葡萄糖苷(B)色谱图

Fig. 1 Chromatograms of standards of flavone/flavanone aglycones and their 7-O-glycosides (A), and chromatograms of flavone/flavanone aglycones and their 7-O-glycosides from MJ-GTE (B)

2.3 毛健绿茶水提取物促消化功能与化学成分关系探讨

胃肠道是营养物质摄取、消化与吸收的器官，对食物的消化功能主要依靠胃肠运动的机械性消化和消化酶的化学消化完成，如果某一食品或药品能对此环节具有调节作用，便有可能起到促进消化的作用^[23]。本实验结果可以看出，尽管各剂量组毛健绿茶水提取物对正常大鼠的体质量、体质量增量、摄食量和食物利用率无显著影响，但结合高剂量毛健绿茶水提取物组可以显著提高小鼠墨汁推进率和中剂量毛健绿茶水提取物组可以显著促进大鼠胃蛋白酶排出量这两个指标，可以得出毛健绿茶水提取物具有一定的促消化作用。

进一步采用基于UPLC-Q-Exactive/MS的代谢组学方法对毛健绿茶水提取物化学成分进行解析，共鉴定出98个化合物，其中，黄酮(芹菜素和木犀草素，0.14~0.77 mg/g)、黄烷酮(柚皮素和圣草酚，

0.49~1.49 mg/g)、黄酮-7-*O*-葡萄糖苷(0.57~9.07 mg/g)和黄烷酮-7-*O*-葡萄糖苷(4.49~38.98 mg/g)是其特性成分,其中圣草酚-7-*O*-葡萄糖苷含量最高(38.98±0.62) mg/g)。近些年来,关于黄酮类化合物对促消化功能的研究报道相对较多。Wu Lei等^[27]研究发现毛健绿茶水提物可以显著促进大鼠的胃排空和小肠推进作用,并通过增加有益菌群的丰度改善胃肠蠕动,推测可能与其富含黄酮类化合物如圣草酚、木犀草素、圣草酚-7-*O*-葡萄糖苷和木犀草素-7-*O*-葡萄糖苷等有关;另一项研究也表明^[28],毛健绿茶醇提物可以显著修复胃肠蠕动活动的慢性破坏如改善大鼠胃排空延迟和小肠推进功能下降等现象。王煜姣等^[29]发现木犀草素和柚皮素是治疗功能性消化不良的主要活性成分,如木犀草素能直接作用于胃肠道平滑肌,对大鼠回肠收缩和蠕动有兴奋作用,而柚皮素则具有显著促进胃肠蠕动等药效作用,从而对肠道运动产生调节作用。傅曼琴等^[23]研究表明黄酮类化合物可能是广陈皮发挥促消化功能的主要活性成分,如川陈皮素、橘皮素、橙皮苷及三者组合(川陈皮素、橘皮素、橙皮苷质量比1:1:5)可以显著促进胃液、胃蛋白酶的排出,提高胃蛋白酶活性并增强其消化能力;另有研究表明不同剂量橙皮苷(50、100 mg/kg和200 mg/kg)均可显著提高功能性消化不良大鼠的小肠推进率和胃排空率^[30]。吴镇宇等^[31]报道枳实总黄酮苷提取物对功能性消化不良大鼠近端胃适应性具有一定的调节作用,其作用途径可能与降低近端胃体平滑肌张力有关。程秋月等^[32]的研究也表明高良姜总黄酮可以显著抑制回肠收缩运动,这种效应可能主要通过H受体介导、胆碱能受体、Ca²⁺通道或对平滑肌直接起作用而改善消化系统。因此推测,本研究毛健绿茶水提物具有一定的促消化作用可能也与其含有丰富的黄酮类化合物有关。此外,有研究报道山楂及其水提液可以通过收缩大鼠肠平滑肌和增加胃蛋白酶分泌而显著促进胃肠运动作用,这可能与富含的绿原酸有关^[33-34],本研究化学成分分析表明毛健绿茶提取物中也含有一定量的绿原酸(表4)。后续实验将进一步对上述化合物单体成分的促消化功能及其作用机理进行深入研究。

3 结论

本研究采用保健食品功效学实验对毛健绿茶水提物的促消化功能进行评价,并结合UPLC-Q-Exactive/MS的代谢组学方法对毛健绿茶水提物的化学成分进行系统解析。动物实验结果表明高剂量毛健绿茶水提物组(0.83 g/(kg·d))小鼠墨汁推进率和中剂量毛健绿茶水提物组(0.21 g/(kg·d))大鼠胃蛋白酶排出量均显著升

高($P<0.05$),表明毛健绿茶具备一定的促消化功能;代谢组学分析在毛健绿茶水提物中鉴定出98种化合物,其中黄酮(芹菜素和木犀草素,0.14~0.77 mg/g)、黄烷酮(柚皮素和圣草酚,0.49~1.49 mg/g)、黄酮-7-*O*-葡萄糖苷(0.57~9.07 mg/g)和黄烷酮-7-*O*-葡萄糖苷(4.49~38.98 mg/g)为毛健绿茶水提物的主要特性成分。毛健绿茶水提物通过促进小肠推进运动和胃蛋白酶排出量,进而增强肠道蠕动发挥促消化作用,推测可能与其富含的黄酮类化合物有关,后续将进一步对具体化合物的促消化功能进行深入探讨。

参考文献:

- [1] ZHU C S, LIU K, WANG J L, et al. Antioxidant activities and hepatoprotective potential of *Dracocephalum rupestre* Hance extract against CCl₄-induced hepatotoxicity in Kunming mice[J]. Journal of Food Biochemistry, 2018, 42(2): e12484. DOI:10.1111/jfbc.12484.
- [2] 王枫,董培智,裴香萍,等.岩青兰的研究进展[J].中国民族民间医药,2022,31(22):50-55. DOI:10.3969/j.issn.1007-8517.2022.22.zgmzmjyzz202222013.
- [3] 孙兴,任娟,詹燕,等.白桦脂酸及其衍生物的制备方法和药理作用研究进展[J].中国药房,2019,30(4):570-576. DOI:10.6039/j.issn.1001-0408.2019.04.28.
- [4] ALI E M, ALI S, HOSSEIN M M. Oxidative stress protective effect of *Dracocephalum multicaule* essential oil against human cancer cell line[J]. Natural Product Research, 2014, 28(11): 848-852. DOI:10.1080/14786419.2014.881364.
- [5] 梁永锋,陈作涛,刘立红.毛建草化学成分的研究[J].中国中药杂志,2008(19):2201-2203. DOI:10.3321/j.issn.1001-5302.2008.19.012.
- [6] REN D M, QU Z, WANG X N, et al. Simultaneous determination of nine major active compounds in *Dracocephalum rupestre* by HPLC[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2008, 48(5): 1441-1445. DOI:10.1016/j.jpba.2008.09.013.
- [7] 欧阳丹薇.岩青兰化学成分的研究[D].太原:山西医科大学,2006:1-2.
- [8] GAO J J, WANG Z, CHEN D, et al. Metabolomic characterization of the chemical compositions of *Dracocephalum rupestre* Hance[J]. Food Research International, 2022, 161: 111871. DOI:10.1016/j.foodres.2022.111871.
- [9] FORD A C. Eradicating *helicobacter pylori* in functional dyspepsia[J]. Gastroenterology, 2012, 142(7): 1613-1614. DOI:10.1053/j.gastro.2012.04.022.
- [10] POTTER M, TALLEY N J. New insights into functional dyspepsia: further evidence for postprandial distress syndrome as a distinct disease[J]. Lancet Gastroenterology & Hepatology, 2018, 3(4): 217-218. DOI:10.1016/S2468-1253(18)30010-4.
- [11] 陶睿智,顾任钧,夏雅雯,等.功能性消化不良动物模型的研究进展[J].中国实验动物学报,2022,30(2):283-290. DOI:10.3969/j.issn.1005-4847.2022.02.018.
- [12] 崔二丽,王智昊,王丽波,等.功能性消化不良的诊治进展[J].中国老年学杂志,2015,35(9):2564-2568. DOI:10.3969/j.issn.1005-9202.2015.09.126.
- [13] 邓晰文,彭新安,林倩如,等.余甘子提取物及其复配物对功能性消化不良小鼠的改善作用[J].现代食品科技,2023,39(5):8-13. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.5.0028.
- [14] 彭佳莹,戴伟东,颜涌泉,等.永春佛手茶对溃疡性结肠炎的辅助保护功能及主要成分分析[J].食品科学,2022,43(19):129-136. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210914-162.

- [15] 陈美艳, 刘芬, 林勇, 等. *L*-茶氨酸对CUMS抑郁大鼠海马和肠道损伤的干预作用研究[J]. 茶叶科学, 2021, 41(4): 511-524. DOI:10.13305/j.cnki.jts.2021.04.005.
- [16] 彭章蒙, 孟晓伟, 刘朋朋, 等. 白萝卜促消化功能的研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(16): 105-106. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2013.16.030.
- [17] 叶美玉, 李安平, 蔡金颖, 等. 基于活性优选的复方党参健脾养胃方提取工艺研究[J]. 时珍国医国药, 2019, 30(4): 858-861. DOI:10.3969/j.issn.1008-0805.2019.04.027.
- [18] YANG C, HU Z Y, LU M L, et al. Application of metabolomics profiling in the analysis of metabolites and taste quality in different subtypes of white tea[J]. Food Research International, 2018, 106: 909-919. DOI:10.1016/j.foodres.2018.01.069.
- [19] PENG J K, DAI W D, LU M L, et al. New insights into the influences of baking and storage on the nonvolatile compounds in oolong tea: a nontargeted and targeted metabolomics study[J]. Food Chemistry, 2022, 375: 131872. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.131872.
- [20] OSHIMA T, MIWA H. Epidemiology of functional gastrointestinal disorders in Japan and in the world[J]. Journal of Neurogastroenterology and Motility, 2015, 21(3): 320-329. DOI:10.5056/jnm14165.
- [21] 雷静, 熊瑞, 张秀, 等. 复方山楂水提物与醇提物有效成分及促消化效果的对比研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(11): 52-59. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.11.008.
- [22] 赵宏宇, 王玉, 刘新宇, 等. 山楂沙棘片对小鼠通便功能实验研究[J]. 特产研究, 2017, 39(2): 24-27. DOI:10.16720/j.cnki.tcyj.2017.02.005.
- [23] 傅曼琴, 肖更生, 吴继军, 等. 广陈皮促消化功能物质基础的研究[J]. 中国食品学报, 2018, 18(1): 56-64. DOI:10.16429/j.1009-7848.2018.01.008.
- [24] 陈丹, 赵燕妮, 彭佳堃, 等. 基于代谢组学的不同年份晒青红茶化学成分分析[J]. 食品科学, 2022, 43(4): 150-159. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210325-314.
- [25] CHEN D, ZHAO Y N, PENG J K, et al. Metabolomics analysis reveals four novel *N*-ethyl-2-pyrrolidinone-substituted theaflavins as storage-related marker compounds in black tea[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(46): 14037-14047. DOI:10.1021/acs.jafc.1c05850.
- [26] GAO J J, ZHOU M X, CHEN D, et al. High-throughput screening and investigation of the inhibitory mechanism of α -glucosidase inhibitors in teas using an affinity selection-mass spectrometry method[J]. Food Chemistry, 2023, 422: 136179. DOI:10.1016/j.foodchem.2023.136179.
- [27] WU L, JIN X, ZHENG C W, et al. Bidirectional effects of mao jian green tea and its flavonoid glycosides on gastrointestinal motility[J]. Foods, 2023, 12(4): 854. DOI:10.3390/foods12040854.
- [28] WU L, GAO L M, JIN X, et al. Ethanol extract of Mao Jian green tea attenuates gastrointestinal symptoms in a rat model of irritable bowel syndrome with constipation via the 5-hydroxytryptamine signaling pathway[J]. Foods, 2023, 12(5): 1101. DOI:10.3390/foods12051101.
- [29] 王煜姣, 贾庆玲, 郭丽坤, 等. 枳实治疗功能性消化不良作用机制的网络药理学分析[J]. 中药新药与临床药理, 2022, 33(5): 666-673. DOI:10.19378/j.issn.1003-9783.2022.05.013.
- [30] JIA Q L, LI L, WANG X X, et al. Hesperidin promotes gastric motility in rats with functional dyspepsia by regulating Drp1-mediated ICC mitophagy[J]. Frontiers in Pharmacology, 2022, 13: 945624. DOI:10.3389/fphar.2022.945624.
- [31] 吴镇宇, 张声生, 卢小芳, 等. 枳实总黄酮苷提取物对功能性消化不良大鼠近端胃适应性的影响[J]. 中国中西医结合消化杂志, 2016, 24(3): 188-193. DOI:10.3969/j.issn.1671-038X.2016.03.07.
- [32] 程秋月, 郭菁, 张成义. 黄酮类化合物药理作用的研究[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2011, 12(2): 180-183. DOI:10.3969/j.issn.1009-4822.2011.02.012.
- [33] 陈希苗, 李美英, 许秋莉, 等. 体外模拟胃肠消化山楂多酚及抗氧化活性的变化[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 31-37. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20170930-447.
- [34] 石晓晨, 刘红艳, 刘谦, 等. 一测多评法测定山楂中7种成分含量[J]. 中药材, 2019, 42(1): 116-121. DOI:10.13863/j.issn1001-4454.2019.01.025.