

黑果腺肋花楸在体外模拟消化过程中 酚类物质及抗氧化性的变化规律

饶雪甜¹, 曾新安¹, 林松毅², 刘仲华³, 孙佳江⁴

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510641) (2. 大连工业大学食品学院、国家海洋食品工程技术研究中心, 辽宁大连 116034) (3. 湖南农业大学国家植物功能成分利用工程技术研究中心, 湖南长沙 410125) (4. 广东喜之郎集团有限公司, 广东深圳 518054)

摘要: 本研究探讨了体外胃肠道消化模拟对黑果腺肋花楸中酚类物质的含量及抗氧化活性的影响, 采用福林酚法和硝酸铝显色法测定黑果腺肋花楸消化前后总酚和总黄酮的含量。通过 DPPH· 和 ABTS⁺ 自由基清除能力来验证胃肠消化处理对黑果腺肋花楸抗氧化活性的影响。实验结果表明: 在模拟体外消化过程中, 黑果腺肋花楸的多酚和黄酮含量表现出不同的变化趋势。其中, 黑果腺肋花楸多酚在胃消化模拟过程中稳定性较好, 黄酮含量显著增加 ($p < 0.05$), DPPH· 和 ABTS⁺ 自由基清除能力均无显著性变化 ($p > 0.05$); 在模拟肠液消化过程中, 多酚和黄酮含量显著增加, 分别是提高了 1.33、1.38 倍 ($p < 0.05$), DPPH· 和 ABTS⁺ 自由基清除率分别降低了 36.84% 和 8.55%。胃肠道中胃蛋白酶、胃酸、胰蛋白酶对黑果腺肋花楸中多酚和黄酮的释放有一定的促进作用, 但胰蛋白酶会降低果实的抗氧化能力, 这可能与有机酸的分解有关。本研究结果为黑果腺肋花楸天然产品的开发及应用提供科学依据。

关键词: 黑果腺肋花楸; 体外模拟消化; 抗氧化性; 多酚; 黄酮

文章编号: 1673-9078(2020)12-77-83

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.12.0012

Changing Trends in the Phenolic Substances and Antioxidant Activities of Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) Subjected to *in Vitro* Simulated Digestion

RAO Xue-tian¹, ZENG Xin-an¹, LIN Song-yi², LIU Zhong-hua³, SUN Jia-jiang⁴

(1. College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

(2. National Engineering Research Center of Seafood, School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China) (3. National Research Center of Engineering Technology for Utilization Ingredients from Botanicals, Hunan Agricultural University, Changsha 410125, China)

(4. Guangdong Strong (Group) Co. Ltd., Shenzheng 518054, China)

Abstract: The effects of *in vitro* simulated gastrointestinal digestion on the phenolic content and antioxidant activity of Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) were investigated. The contents of total phenolics and flavonoids before and after digestion of the chokeberries were evaluated by the Folin phenol and aluminum chloride-sodium nitrite methods. The effect of gastrointestinal digestion on the antioxidant activity of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) was examined by the DPPH· and ABTS⁺ free radical scavenging capacity assays. The experimental results

引文格式:

饶雪甜, 曾新安, 林松毅, 等. 黑果腺肋花楸在体外模拟消化过程中酚类物质及抗氧化性的变化规律[J]. 现代食品科技, 2020, 36(12):

77-83

RAO Xue-tian, ZENG Xin-an, LIN Song-yi, et al. Changing trends in the phenolic substances and antioxidant activities of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) subjected to *in vitro* simulated digestion [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12): 77-83

收稿日期: 2020-01-06

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFD0500500)

作者简介: 饶雪甜 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 天然产物化学

通讯作者: 曾新安 (1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品绿色加工

showed that the contents of polyphenols and flavonoids in chokeberry showed different trends during the *in vitro* simulated digestion. The polyphenols of chokeberry exhibited higher stability during the simulated gastric digestion, with the flavonoid content increasing significantly ($p < 0.05$) and no significant changes in DPPH \cdot and ABTS $^{+}$ scavenging activities ($p > 0.05$). After the simulated intestinal digestion, the contents of polyphenols and flavonoids increased significantly ($p < 0.05$) (by 1.33 and 1.38 times, respectively), with the DPPH \cdot and ABTS $^{+}$ scavenging rates decreasing by 36.84% and 8.55%, respectively ($p < 0.05$). The pepsin, gastric acid, and trypsin in the gastrointestinal tract may promote the release of polyphenols and flavonoids in chokeberry to certain extents, whereas, trypsin can reduce the antioxidant activity of the fruit, which may be related to the decomposition of organic acids. The results of this study provide a scientific basis for the development and application of natural products of chokeberry.

Key words: *Aronia melanocarpa*; *in vitro* simulated digestion; antioxidant activity; polyphenols; flavonoids

黑果腺肋花楸 (*Aronia melanocarpa*) 又名不老莓、野樱莓等, 属蔷薇科。原产于北美东部和加拿大东部, 后来传入欧洲及前苏联。而在 2018 年 9 月我国国家卫生健康委员会正式通过了黑果腺肋花楸新食品原料的审查。黑果腺肋花楸被称为“超级食品”、“花青素之王”和“浆果中的黄金”, 其表现出了降血脂^[1]、降血糖^[2]、抗癌^[3]、抗炎作用^[4]等多种药理作用, 而它的显著抗氧化能力则被认为是发挥药理学作用的重要基础。

虽然黑果腺肋花楸中含有大量营养成分, 但这些生物活性物质必须在人体消化过程中以可吸收的形式从食物基质中释放出来, 被胃肠道吸收后并进入血液循环系统, 参与到新陈代谢, 才能发挥它们的营养价值, 因此, 确定生物活性物质经过胃肠道消化后的变化更有意义^[5]。尽管临床和动物模型试验等体内消化研究能够提供更具体的活性成分生物利用度信息, 但其成本较高, 并存在一定的伦理学问题。而体外模拟胃肠道消化模型具有简单、快速、重现性好等优点, 可用于替代体内消化实验而被广泛应用。

国内许多学者已对蓝莓、柑橘、芒果、苹果、山楂、银杏果、黑果枸杞、刺梨等富含多酚的果实进行了体外消化模拟实验, 研究各果实在消化模拟过程中酚类物质的变化规律。现已有研究表明, 黑果腺肋花楸在众浆果中表现出较高的多酚含量和较强的抗氧化活性^[6]。近年来, 关于黑果腺肋花楸多酚的研究主要集中在其成分的提取、含量测定、结构和生理学活性的分析, 黑果腺肋花楸在经过消化后的酚类物质含量和抗氧化活性变化规律鲜少报到。因此, 本文旨在通过对黑果腺肋花楸进行体外口腔、胃和肠的模拟, 评价其在消化道环境中多酚、黄酮含量及其抗氧化能力的变化规律, 为黑果腺肋花楸的营养价值评估和综合利用提供一定的理论基础。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

黑果腺肋花楸 (*Aronia melanocarpa*) 来源于辽宁富康源黑果花楸科技开发有限公司; α -淀粉酶 (枯草杆菌, 酶活力 ≥ 4000 u/g)、胃蛋白酶 (猪胃粘膜, 酶活力 1:30000)、胰酶 (酶活力 1:4000)、猪胆粉 (BR)、1,1-二苯基-2-三硝基苯胍 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氨-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐 (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid diammonium salt radical, ABTS) 均购自上海源叶生物科技有限公司; 其它试剂的纯度均为分析纯, 实验用水为超纯水。

1.2 仪器与设备

SCIENTZ-10N 冷冻干燥机, 宁波新芝生物科技股份有限公司; FJ200-SH 高速分散均质机, 上海沪析实业有限公司; SHA-C 水浴恒温振荡器, 常州市金坛区环宇科学仪器厂; JW-3021HR 台式离心机, 安徽嘉仪仪器装备有限公司; UV-5200 紫外可见分光光度计, 上海元析仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 黑果腺肋花楸粉的制备

取适量黑果腺肋花楸冻果, 洗净, 置于 -80 $^{\circ}\text{C}$ 冷冻后冻干, 用中草药粉碎机粉碎, 过 80 目筛得到黑果腺肋花楸粉末, 备用。

1.3.2 有机溶剂提取多酚

1.3.2.1 丙酮法提取游离酚

参考文献^[7], 并进行适当修改。准确称取黑果腺肋花楸粉 1.0 g, 加入 25 mL 预冷的 80%丙酮, 在冰浴条件下 14000 r/min 高速匀浆 5 min, 于 4 $^{\circ}\text{C}$, 8000 r/min 下离心 10 min, 重复提取 3 次, 取上层清液, 合并, 45 $^{\circ}\text{C}$ 旋转蒸干, 用去离子水定容至 100 mL, -20 $^{\circ}\text{C}$ 储存备用, 3 次平行实验。

1.3.2.2 碱水解法提取结合酚

采用碱水解法进行结合酚的提取。向提取完游离酚的果渣中加入 20 mL 2 M NaOH, 室温下避光振荡

消化 60 min。用浓盐酸调 pH 至 2.0。加入 10 mL 正己烷, 去脂, 重复 2 次, 去上层液。随后加入 15 mL 乙酸乙酯萃取 5 次, 合并上层清液, 45 °C 旋转蒸干, 去离子水定容至 10 mL, -20 °C 备用。

1.3.3 体外模拟口腔、胃和肠消化

1.3.3.1 模拟消化液储备液的制备

参照文献^[8]的方法制备模拟唾液 (SSF)、模拟胃液 (SGF) 和模拟肠液 (SIF) 电解质储备溶液。

1.3.3.2 体外模拟口腔消化

取 5.0 g 黑果腺肋花楸果粉, 加入 3.5 mL SSF 储备液、0.5 mL 淀粉酶 (酶活为 1500 U/mL)、25 μL 0.3 M CaCl₂ 和 975 μL 蒸馏水, 充分搅匀, 置于 37 °C 恒温振荡器中消化 2 min, 消化后迅速放入 -80 °C 终止反应, 备用。

1.3.3.3 体外模拟胃消化

经过口腔消化后的消化物不灭酶, 加入 10 mL 由 7.5 mL SGF 电解质储备液、1.6 mL 猪胃蛋白酶 (酶活为 25000 U/mL)、5 μL 0.3 M CaCl₂, 702 μL 5 M HCl (调节 pH 至 3.0) 和 193 μL 蒸馏水组成的消化液。胃酸对照组: 加入 10 mL 由 9.1 mL SGF 电解质储备液, 5 μL 0.3 M CaCl₂, 500 μL 5 M HCl (调节 pH 至 3.0) 和 395 μL 蒸馏水组成的消化液。空白对照组: 加入 10 mL 生理盐水替代消化液。充分混匀后, 置于 37 °C 恒温振荡器中消化 2 h, 分别在 0 h、0.5 h、1 h、1.5 h、2 h 取样。消化后迅速放入 -80 °C 终止反应。离心后取上层胃消化液进行多酚、黄酮和抗氧化活性的测定。

1.3.3.4 体外模拟肠消化

经过胃消化后的胃糜, 加入 20 mL 由 11 mL SIF 电解质储备液、5 mL 胰酶 (酶活为 800 U/mL)、2.5 mL 4% 猪胆汁、40 μL 0.3 M CaCl₂, 460 μL 5 M NaOH (调节 pH 至 7.0) 和 1.0 mL 蒸馏水组成的消化液。空白对照组: 加入 20 mL 由 18.5 mL SIF 电解质储备液、40 μL 0.3 M CaCl₂, 100 μL 5 M NaOH (调节 pH 至 7.0), 1.36 mL 蒸馏水组成的消化液。充分混匀后, 置于 37 °C 恒温振荡器中消化 2 h, 分别在 0 h、0.5 h、1 h、1.5 h、2 h 取样。消化结束后迅速放入 -80 °C 终止反应。离心后取上层肠消化液进行多酚、黄酮和抗氧化活性的测定。

1.3.4 多酚、黄酮含量

多酚含量采用福林酚法, 以没食子酸为标准品, 多酚含量表示为 100 g 黑果腺肋花楸中没食子酸的质量。黄酮含量采用硝酸铝显色法, 以芦丁为标准品, 黄酮含量表示为 100 g 黑果腺肋花楸中芦丁的含量。

1.3.5 抗氧化能力测定

1.3.5.1 DPPH 自由基清除能力测定

参考 Mezdari 等^[9]的方法并作适当修改。制备 50 μg/mL 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 工作液, 置于 4 °C、棕色瓶避光储存。移取 0.5 mL 待测样品, 加入 2.5 mL DPPH 工作液, 涡漩振荡混匀, 避光 37 °C 水浴 30 min, 在 517 nm 波长处测吸光度。以无水乙醇作为空白对照。按照公式 (1) 计算 DPPH 自由基清除率。

$$\text{DPPH 自由基清除率} \% = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中: A_0 为 0.5 mL 无水乙醇和 2.5 mL DPPH 工作液的吸光度; A_1 为 0.5 mL 样品溶液和 2.5 mL DPPH 工作液的吸光度; A_2 为 0.5 mL 样品溶液和 2.5 mL 无水乙醇的吸光度。

1.3.5.2 ABTS⁺清除能力测定

参考 Roberta 等^[10]的方法并作适当修改, 取 440 μL 140 mM 过硫酸钾溶液加入 25 mL 7 mM ABTS 溶液混合, 制备 ABTS 自由基储备液, 室温避光反应 16 h。使用前用无水乙醇稀释 ABTS 储备液, 使其在 734 nm 波长处的吸光度为 0.700±0.002。取样品溶液 0.3 mL, 加入 2.7 mL ABTS 稀释液, 在室温避光反应 10 min, 于 734 nm 波长下测定吸光度。ABTS⁺自由基清除率如式 (2) 所示计算。

$$\text{ABTS}^+ \text{ 自由基清除率} \% = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: A_0 为 0.3 mL 蒸馏水和 2.7 mL ABTS 稀释液的吸光度; A_1 为 0.3 mL 样品溶液和 2.7 mL ABTS 稀释液的吸光度。

1.3.6 数据处理

采用 SPSS 22.0 软件对实验数据进行单因素方差分析, Origin 9.1 软件作图。数值用平均值±标准差表示 (n=3), $p < 0.05$ 表示具有显著统计学意义。

2 结果与分析

2.1 黑果腺肋花楸果实多酚、黄酮含量

食品中多酚以游离态和结合态形式存在。其中, 游离态多酚因其吸附于食品基质, 易溶于水或有机溶剂。而结合态多酚因其与基质以共价键形式相结合, 较难萃取, 只有利用酸、碱、酶解等方式才能使其游离并萃取出来^[11]。

如表 1 所示, 黑果腺肋花楸中游离多酚和结合多酚的含量分别为 3856.81 mg/100 g 和 269.60 mg/100 g, 游离黄酮和结合黄酮的含量分别为 341.62 mg/100 g 和 13.77 mg/100 g。由此可得出, 黑果腺肋花楸多酚构成以游离多酚和游离黄酮为主。黑果腺肋花楸总多酚、总黄酮含量分别为 4126.21、355.39 mg/100 g, 比

蓝莓(多酚1.83倍、黄酮1.79倍)、树莓(多酚2.08倍、黄酮2.18倍)^[6]、山楂(黄酮16.34倍)^[12]、猕猴桃(多酚3.81倍)^[13]、梨(鸭梨、蜜梨、香梨)^[14]、

苹果^[15]、6种黑色食品(黑米、黑苦荞、黑麦、黑豆、黑绿豆、黑小米)^[16]等富含多酚的食物要高。

表1 黑果腺肋花楸中多酚、黄酮含量

| 指标 | 游离态 | 结合态 | 总量 |
|-----------------|---------------|--------------|---------------|
| 多酚含量/(mg/100 g) | 3856.81±73.19 | 269.60±12.83 | 4126.21±86.02 |
| 黄酮含量/(mg/100 g) | 341.62±15.31 | 13.77±1.15 | 355.39±16.46 |

2.2 体外消化模拟对黑果腺肋花楸多酚、黄酮

含量的影响分析

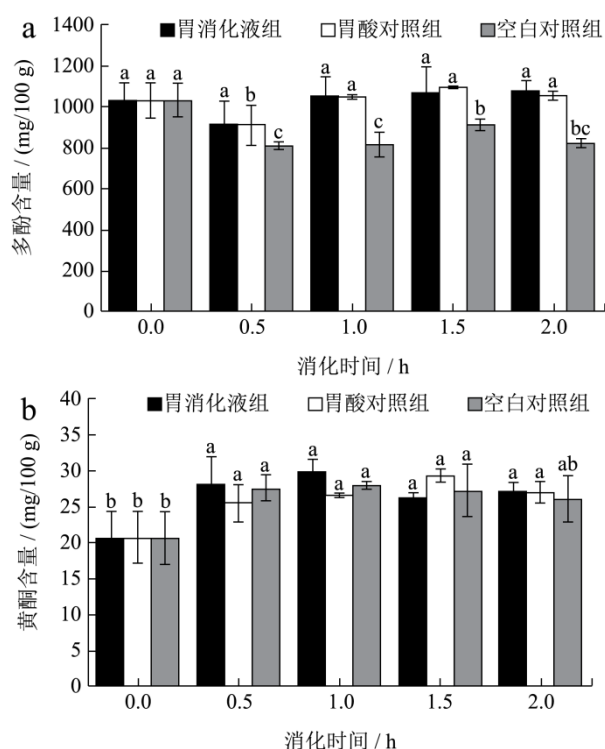


图1 黑果腺肋花楸模拟胃消化过程中多酚、黄酮含量的变化

Fig.1 Changes in total polyphenol and flavonoid contents of *Aronia melanocarpa* during gastric digestion

注: a: 多酚含量; b: 黄酮含量; 不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。下同。

由图1可知,在模拟胃消化的2.0 h内,胃消化组的多酚含量略微增长(1031.77→1079.56 mg/100 g),但无显著性差异 ($p > 0.05$);而黄酮含量呈先上升,在1 h时其含量达到最大,随之含量略有下降并趋于稳定,2 h内黄酮含量由20.61 mg/100 g增加至26.98 mg/100 g。与胃消化0 h相比,2.0 h消化后多酚和黄酮的含量提高了1.05、1.31倍。胃酸对照组变化规律与胃消化组变化规律大致相同,而空白对照组多酚含量随着消化过程有明显的减少,黄酮的含量稍有增加,但无显著性变化 ($p > 0.05$)。多酚和黄酮含量:胃消

化组>胃酸对照组>空白对照组。这说明胃蛋白酶和胃酸环境对黑果腺肋花楸多酚和黄酮的释放有一定的促进作用。胃蛋白酶可以水解多酚与细胞内外蛋白质结合形成的化学键(共价键、氢键等),使得与蛋白质结合的多酚游离,也会减弱部分酚酸与细胞壁相互作用的酯键,使得酚酸被释放^[16],同时,在酸性环境下,多酚类物质也会发生水解反应,一些苷类化合物转化成苷元,使得多酚含量增加^[17]。这与从彦丽^[12]、胡义东^[18]、李贻^[19]等人的体外模拟胃消化的变化规律相一致。

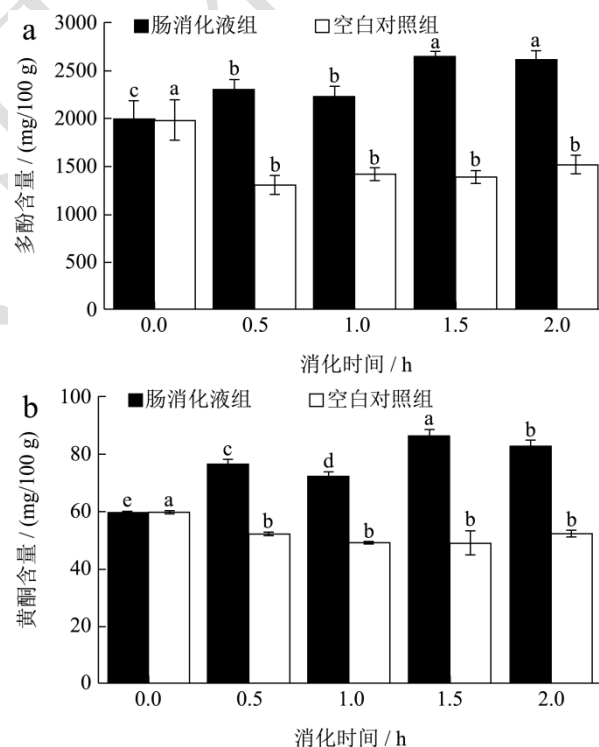


图2 黑果腺肋花楸模拟肠消化过程中多酚、黄酮含量的变化

Fig.2 Changes in total polyphenol and flavonoid contents of *Aronia melanocarpa* during intestinal digestion

黑果腺肋花楸模拟肠消化时多酚和黄酮含量变化趋势如图2所示,肠消化组多酚、黄酮含量整体呈明显的上升趋势,两者含量分别从1969.71、59.73 mg/100 g升高到2611.89、82.49 mg/100 g,分别提高了1.33、1.38倍 ($p < 0.05$)。可见,经过胃肠道消化后多酚和黄酮均有很好的保留。有研究发现多酚、黄酮在肠道

消化过程中稳定性差, 含量有所下降, 降解量大于释放量^[20]。但在本研究中, 肠消化多酚黄酮含量明显增多, 可见释放量要大于其降解量。这可能是因为肠消化组中加入的胰酶和胆汁能够水解多酚与细胞内外蛋白质相互结合的化学键, 中性或偏碱性多酚可能在肠消化液介质中稳定, 部分酚类化合物转化成结构更稳定的衍生物, 不易被分解^[21]。多酚、黄酮含量肠消化组>空白对照组。空白对照组多酚、黄酮含量在 0.5 h 出现下降并保持稳定 ($p>0.05$), 可能由于结合态多酚的释放已经达到平衡, 部分酸性酚类化合物发生降解。对比柑橘、黑果枸杞、鸭梨、刺梨、山楂等果实经过肠消化后多酚、黄酮的含量显著减少, 黑果腺肋花楸经过胃肠消化后总酚和总黄酮含量反而显著增加, 这与熊云霞^[14]、陆俊^[16]等研究结果相类似, 但黑果腺肋花楸经过消化后最终可利用的多酚、黄酮含量仍然比其他果实要高得多。可见, 黑果腺肋花楸是一种生物接受度较高的食品原料。

2.3 体外消化模拟对黑果腺肋花楸抗氧化活性的影响分析

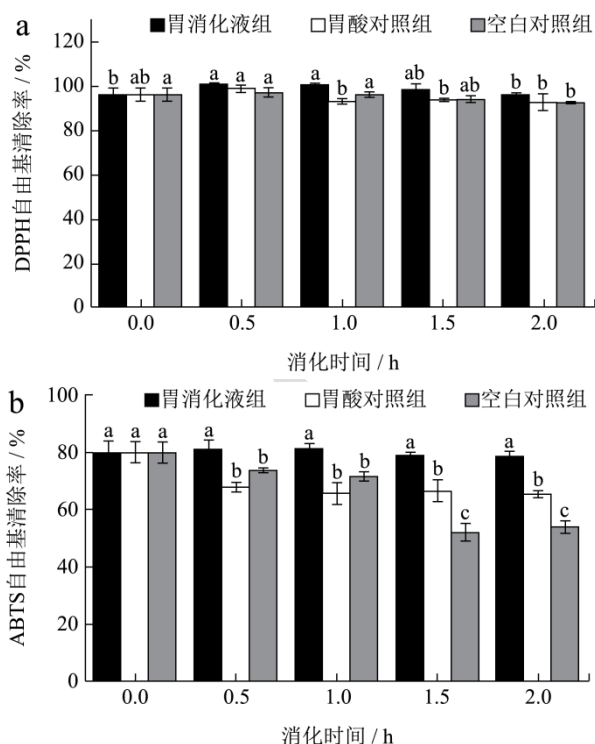


图3 黑果腺肋花楸模拟胃消化过程中抗氧化活性的变化
Fig.3 Changes in antioxidant activity of *Aronia melanocarpa* during gastric digestion

注: a: DPPH 自由基清除率; b: ABTS⁺ 自由基清除率; 下同。

如图3所示, 胃消化过程中两种自由基清除能力

先呈上升至 0.5 h 达到最大值后略微下降, 1 h 后趋于稳定。不同时间点之间无显著性差异 ($p>0.05$)。胃消化组的自由基清除能力均大于胃酸对照组和空白对照组, 说明胃蛋白酶促进抗氧化活性物质释放。

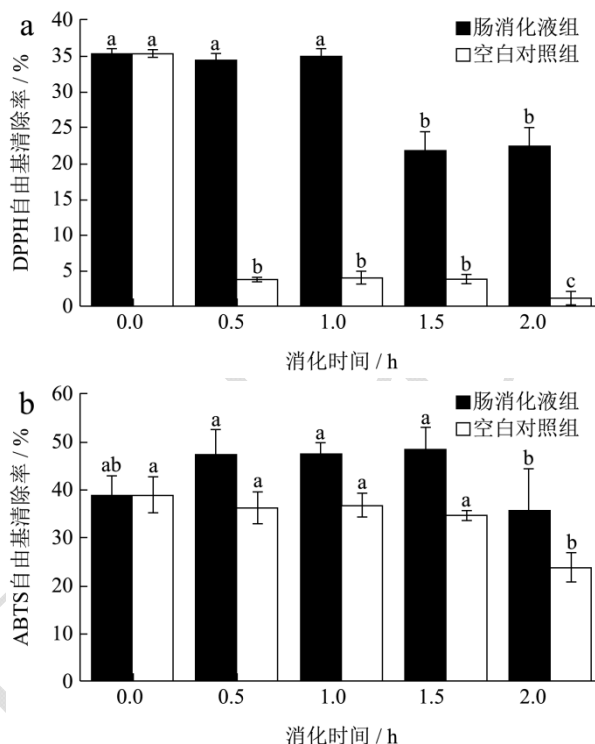


图4 黑果腺肋花楸模拟肠消化过程中抗氧化活性的变化
Fig.4 Changes in antioxidant activity of *Aronia melanocarpa* during intestinal digestion

由图4可知, 黑果腺肋花楸肠消化液 DPPH 自由基清除能力在消化 1 h 内无显著性差异, 消化 2 h 出现下降 ($p<0.05$), 降低了 36.84%。ABTS⁺ 自由基清除能力先上升后稍有降低, 与 0 h 相比无显著性差异 ($p>0.05$)。空白对照组的自由基清除率表现出更明显的降低。有研究发现, 经过肠道消化后的有机酸含量减少 75%, 也伴随着抗氧化性的显著降低^[22]。因此, 空白组自由基清除率的降低可能是由于黑果腺肋花楸中的有机酸在碱性肠道环境下发生分解, 含量减少进而导致肠消化后抗氧化性的下降。同时, 彭梦雪等^[23]研究结果指出肠消化阶段酚类物质和抗氧化活性相关关系较弱 ($r=-0.47\sim-0.47, p<0.05$)。因此, 多酚含量高, 抗氧化活性不一定强。

3 结论

黑果腺肋花楸以游离态多酚和黄酮为主, 结合态含量较低。黑果腺肋花楸多酚在模拟胃消化中稳定性好, 其总黄酮有显著性的增加, 两者分别提高了 1.05、1.31 倍, 而抗氧化活性无显著性变化。在肠消化中, 黑果腺肋花楸总多酚、总黄酮均有显著性的增加, 分

别提高了 1.33、1.38 倍, DPPH·和 ABTS⁺自由基清除率稍有下降, 分别降低了 36.84%、8.55%。同时, 对比多种经过体外消化后的果实, 黑果腺肋花楸的多酚含量更高。该研究从模拟人体胃肠道消化角度对黑果腺肋花楸中的活性成分含量及抗氧化性进行了评估, 为黑果腺肋花楸天然产品的开发及应用提供科学依据。

参考文献

- [1] S Valcheva-Kuzmanova, K Kuzmanov, S Tsanova-Savova, et al. Lipid-lowering effects of *Aronia melanocarpa* fruit juice in rats fed cholesterol-containing diets [J]. Journal of Food Biochemistry, 2007, 31: 589-602
- [2] S B Simeonov, N P Botushanov, E B Karahanian, et al. Troev effects of *Aronia melanocarpa* juice as part of the dietary regimen in patients with diabetes mellitus V [J]. Folia medica, 2002, 44: 20-23
- [3] R Balansky, G Ganchev, M Ilcheva, et al. Inhibition of lung tumor development by berry extracts in mice exposed to cigarette smoke [J] International Journal of Cancer, 2012, 131: 1991-1997
- [4] B M Loo, I Erlund, R Koli, et al. Consumption of chokeberry (*Aronia mitschurinii*) products modestly lowered blood pressure and reduced low-grade inflammation in patients with mildly elevated blood pressure [J]. Nutrition Research, 2016(36): 1222-1230
- [5] 马玉荣. 加热及模拟胃肠道消化处理对豆浆活性成分和抗氧化能力的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2014
MA Yu-rong. Effect of heat treatment and *in vitro* gastrointestinal digestion on the bioactive compounds contents and antioxidant activity of soyilk [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014
- [6] 王纯, 甘庆萌, 孟菲, 等. 四种小浆果浆汁活性成分及其抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 71-76
WANG Chun, GAN Qing-meng, MENG Fei, et al. Active components and antioxidant activities of four kinds small berry juices [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(5): 71-76
- [7] 陈希苗, 李美英, 许秋莉, 等. 体外模拟胃肠消化中山楂多酚及抗氧化活性的变化[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 31-37
CHEN Xi-miao, LI Mei-ying, XU Qiu-li, et al. Changes in polyphenol contents and antioxidant activity in Hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bunge) during simulated gastrointestinal digestion [J]. Food Science, 2019, 40(5): 31-37
- [8] Minekus M, Alminger M, Alvito P, et al. A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food-an international consensus [J]. Food & Function, 2014, 5: 1113-1124
- [9] T Mezadri, D Villano, M S Fernandez-Pachon, et al. Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2008, 21: 282-290
- [10] R Re, N Pellegrini, A Proteggente, et al. Rice-Evans. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay [J]. Free Radical Biology and Medicine, 1999, 26: 1231-1237
- [11] 颜才植, 叶发银, 赵国华. 食品中多酚形态的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 249-254
YAN Cai-zhi, YE Fa-yin, ZHAO Guo-hua. A review of studies on free and bound polyphenols in foods [J]. Food Science, 2015, 36(15): 249-254
- [12] 齐会娟, 张春英, 李中宾, 等. 大兴安岭地区 6 种浆果主要品质特性对比分析[J]. 林业科技情报, 2019, 51(3): 1-6
QI Hui-juan, ZHANG Chun-ying, LI Zhong-bin, et al. Comparative analysis of main quality characteristics of six berries in greater Khingan range [J]. Forestry Science and Technology Information, 2019, 51(3): 1-6
- [13] 刘佩, 谢佳璇, 秦栋, 等. 五种寒地果树果实的多酚含量、抗氧化活性及抗 α -淀粉酶活性分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(4): 282-288
LIU Pei, XIE Jia-xuan, QIN Dong, et al. Analysis of polyphenolic content, antioxidant capacity and α -amylase inhibitory activity of five fruit [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(4): 282-288
- [14] 从彦丽, 彭梦雪, 王慧清, 等. 梨体外模拟胃肠消化过程中多酚、黄酮及抗氧化活性的变化规律[J]. 现代食品科技, 2016, 32: 29-34, 84
CONG Yan-li, PENG Meng-xue, WANG Hui-qing, et al. Changes in polyphenol and flavonoid content and antioxidant activity of pears during *in vitro* simulated gastrointestinal digestion [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32: 29-34, 84
- [15] 熊云霞. 体外模拟消化对苹果和梨的抗氧化活性及抗癌细胞增殖活性影响的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013
XIONG Yun-xia. Study of the effect of *in vitro* digestion on antioxidant activity and antiproliferative activity of apple and pear [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013
- [16] 陆俊, 敦惠瑜, 向孝哲, 等. 体外模拟胃、肠消化对 6 种黑色食品抗氧化成分及其活性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(5):

- 47-56
LU Jun, GUO Hui-yu, XIANG Xiao-zhe, et al. Effect of *in vitro* simulated gastrointestinal digestion on bioactive components and antioxidant activity of six kinds of black foods [J]. Food Science, 2018, 39(5): 47-56
- [17] 邓娜,乔沈,高芯,等.响应面法优化石榴皮多酚提取工艺及石榴不同部位多酚的抗氧化活性分析[J].食品科学,2016,37(6):39-43
DENG Na, QIAO Shen, GAO Xin, et al. Optimization of extraction process of polyphenols from pomegranate peel by response surface methodology and antioxidant activity analysis of polyphenols in different parts of pomegranate fruit [J]. Food Science, 2016, 37(6): 39-43
- [18] 胡义东,文良娟.体外模拟胃肠消化对芒果抗氧化成分及其活性的影响[J].南方农业学报,2014,45:1652-1656
HU Yi-dong, WEN Liang-juan. Antioxidant effect of mango *in vitro* simulated gastrointestinal tract model [J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 45: 1652-1656
- [19] 李贻,贺君,张鹏敏.体外模拟胃肠道消化下刺梨抗氧化成分的释放[J].现代食品科技,2020,36(2):102-107
LI Yi, HE Jun, ZHANG Peng-min. Antioxidant components release of *Rosa roxburghii* Tratt by *in vitro* simulated gastrointestinal digestion [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(2): 102-107
- [20] U Svedstrom, H Vuorela, R Kostianen, et al. Fractionation of polyphenols in hawthorn into polymeric procyanidins, phenolic acids and flavonoids prior to high-performance liquid chromatographic analysis [J]. Journal of Chromatography A, 2006, 1112: 103-111
- [21] 贾娜,刘丹,谢振峰.植物多酚与食品蛋白质的相互作用[J].食品与发酵工业,2016,42(7):277-282
JIA Na, LIU Dan, XIE Zhen-feng. Interaction between plant polyphenol and protein in food [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(7): 277-282
- [22] 封易成,牟德华.体外模拟胃肠消化过程中山楂的活性成分及抗氧化性规律[J].食品科学,2018,39(7):139-145
FENG Yi-cheng, MOU De-hua. Changes in active components and antioxidant activity of Hawthorn during simulated gastrointestinal digestion *in vitro* [J]. Food Science, 2018, 39(7): 139-145
- [23] 彭梦雪,从彦丽,刘冬.模拟胃肠消化评价苹果多酚、黄酮及抗氧化活性的相关性[J].现代食品科技,2016,32(1):122-128, 296
PENG Meng-xue, CONG Yan-li, LIU Dong. Determination of antioxidant activity and the contents of polyphenols and flavonoids of apples by simulated gastrointestinal digestion [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(1): 122-128, 296

(上接第 42 页)

- [39] 罗梦幽,贺苏皖,白凤岚,等.成都市市售即食食品中克罗诺杆菌的分离鉴定及药敏检测[J].西南民族大学学报(自然科学版),2018,44(6):602-608
LUO Meng-you, HE Su -wan, BAI Feng-lan, et al. Isolation, identification and antimicrobial susceptibility detection of *Cronobacter* spp. from ready-to-eat food bought in Chengdu [J]. Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition), 2018, 44(6): 602-608

(上接第 306 页)

- [19] 柯振华,张雅薇,陈筱婷,等.食品接触材料中 3 种致病菌的多重荧光 PCR 检测[J].食品研究与开发,2018,39(23):134-141
KE Zhen-hua, ZHANG Ya-wei, CHEN You-ting, et al. Multiplex real-time PCR assays for detection of three pathogenic bacteria in food contact material [J]. Food Research and Development, 2018, 39(23): 134-141
- [20] 游淑珠,王小玉,蔡教英,等.食品中大肠埃希氏菌 O121 荧光 PCR 检测方法的研究[J].食品研究与开发,2018,39(15): 117-122
YOU Shu-zhu, WANG Xiao-yu, CAI Jiao-ying, et al. Research on a real-time PCR method for detection of *Escherichia coli* O121 in food [J]. Food Research and Development, 2018, 39(15): 117-122