

刘鹏莉, 陈英乡, 遇艳萍, 等. 无花果营养成分及生物活性研究进展 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(6): 424–431. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050002

LIU Pengli, CHEN Yingxiang, YU Yanping, et al. A Review of Nutritional Components and Biological Activity of *Ficus carica*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(6): 424–431. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050002

· 专题综述 ·

无花果营养成分及生物活性研究进展

刘鹏莉¹, 陈英乡¹, 遇艳萍¹, 于学娟¹, 李 钢¹, 邹晓宇²

(1. 烟台职业学院食品与生化工程系, 山东烟台 264670;

2. 威海市教育教学研究院, 山东威海 264200)

摘要: 无花果是一种药食两用型水果, 口感酸甜、肉质软糯, 深受消费者喜爱。无花果富含糖、氨基酸、多酚等营养成分, 具有很高的营养价值。无花果具有抗氧化、抗肿瘤、降血脂等生物活性, 是开发功能性食品的优质资源。本文对无花果的营养成分进行介绍, 分析其抗氧化、降血脂、抗肿瘤、抗炎及抗菌等方面的生物活性, 并对无花果的研究方向进行展望, 旨在为无花果功能性食品的开发和产业化提供理论依据。

关键词: 无花果, 营养成分, 生物活性, 抗氧化活性

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)06-0424-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050002

本文网刊:



A Review of Nutritional Components and Biological Activity of *Ficus carica*

LIU Pengli¹, CHEN Yingxiang¹, YU Yanping¹, YU Xuejuan¹, LI Gang¹, ZOU Xiaoyu²

(1. Department of Food and Biochemical Engineering, Yantai Vocational College, Yantai 264670, China;

2. Weihai Education and Teaching Research Institute, Weihai 264200, China)

Abstract: *Ficus carica* is a kind of edible medicinal fruit, which is accepted by mostly customer because its sweet and sour taste and soft fleshy. *Ficus carica* is rich in nutritional components such as sugar, amino acids and polyphenols, which has high nutritional values. *Ficus carica* has significant physiological activities such as antioxidant, antitumor, and lowering blood lipid, which makes it high-quality resource for functional foods. In this paper, the nutritional compositions and biological activities such as antioxidant, lowering blood lipid, antitumor, anti-inflammatory and anti-microbico of *Ficus carica* are reviewed, and the future research directions are prospected. This paper provides theoretical basis for further development and industrialization of *Ficus carica* functional food.

Key words: *Ficus carica*; nutritional components; biological activity; antioxidant activity

无花果又称隐花果、蜜果, 是桑科榕属多年生木本落叶灌木无花果树的果实。无花果于汉代传入我国新疆南部, 唐代由“丝绸之路”传入内地, 在我国已有近 2000 年种植历史^[1]。目前无花果栽培面积和产量较高的国家有土耳其、埃及、阿尔及利亚、伊朗、摩洛哥和中国, 我国无花果种植区域主要分布在山东、新疆、江苏和云南等地^[2]。无花果季节性较强, 果实多为椭圆形, 因品种不同, 无花果果皮呈绿色到深紫色不等^[3], 果肉质地软糯, 口感酸甜。近年来, 无

花果由于具有丰富的营养成分和生理功效受到广泛的关注。《本草纲目》记载“无花果味甘、平、无毒, 主开胃, 止泄痢, 治五痔、咽喉痛”, 具有补脾益胃、润肺通便、利咽消肿的作用^[4]。无花果富含糖类、氨基酸、不饱和脂肪酸、多酚及矿物质等成分, 具有抗氧化、降血脂、抗肿瘤、抗菌等多重功效^[5-8]。

无花果果皮薄、含水量高、果肉柔软, 且在达到可食用状态后方可从树上采摘下来, 因此无花果极易受到微生物污染和机械损伤而发生腐烂变质^[9], 极大

收稿日期: 2022-05-06

基金项目: 烟台职业学院本科科研项目 (2020XBYB007); 烟台职业学院博士科研基金项目 (2020002)。

作者简介: 刘鹏莉 (1987-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 果蔬加工, E-mail: liupengli2020@163.com。

地限制了无花果销售的时间和区域。无花果深加工能够延长无花果销售时间, 扩大销售范围。对无花果成分及生物活性的系统梳理是开展深加工的前提。因此, 本文全面总结无花果的营养成分和生物活性, 以为无花果精深加工提供参考。

1 无花果的营养成分

1.1 碳水化合物

无花果中主要营养成分为碳水化合物, 包括单糖、双糖和多糖, 其含量占无花果干重的 44.0%~74.3%^[10]。无花果中的单糖以葡萄糖和果糖为主, 此外还含有少量山梨糖醇^[11]。Aljane 等^[12]发现 27 种无花果中葡萄糖含量为 1.12~5.68 g/100 g 鲜重(Fresh Weight, FW), 果糖含量为 0.86~5.43 g/100 g FW。无花果中葡萄糖和果糖含量与果皮颜色存在相关性, 黑色果皮无花果中葡萄糖和果糖含量低于绿色果皮无花果和棕色果皮无花果^[13]。环境气候、栽培措施和采收时间会影响无花果中糖分含量。郭傲等^[14]对“波姬红”无花果中的可溶性糖进行分析, 其果糖含量为 30.5 mg/g FW, 葡萄糖含量为 26.7 mg/g FW, 施钾肥处理后, 可溶性糖含量升高, 且葡萄糖含量超过果糖。

无花果中的双糖主要为蔗糖。曹丽春等^[15]对 5 种无花果果实蔗糖积累情况进行检测, 结果显示无花果成熟过程中蔗糖含量不断升高, 成熟期无花果蔗糖含量为 2~12 mg/g。此外, Palmeira 等^[16]从彼得蜜无花果中测定出少量海藻糖存在, 果皮中含量为 0.21 g/100 g FW, 果肉中含量为 0.161 g/100 g FW。

无花果中的多糖主要为果胶和中性多糖, 无花果中部分多糖的结构特征如表 1 所示。Du 等^[17-18]采用热水-超声辅助提取法、碱液浸提法和模拟胃液提取法从无花果中分离得到四个纯度高于 95% 的多糖组分, 四种无花果多糖的平均分子量在 2.19×10^4 ~ 1.21×10^5 Da 之间, 其单糖组成为甘露糖、半乳糖、阿拉伯糖、葡萄糖和鼠李糖, 为支链多糖, 不具有三螺旋结构。

Gharibzadeh 等^[19]采用超声辅助法提取无花果果皮中的果胶, 得到果胶平均分子质量为 6.89×10^3 kDa, 由葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖、果糖、阿拉伯糖、半乳糖、鼠李糖和甘露糖组成, 酯化度 33.65%。

1.2 蛋白质和氨基酸

无花果中蛋白质含量约占无花果鲜重的 4.4%~6.7%^[20]。无花果中氨基酸总量在 3724~8091 mg/kg FW 之间^[21], 氨基酸分析结果表明, 无花果中含有 17 种氨基酸, 包括除色氨酸外的 7 种必需氨基酸、2 种鲜味氨基酸(天冬氨酸和谷氨酸)和 8 种非必需氨基酸^[22], 其必需氨基酸与总氨基酸的比值为 43.05%^[23], 高于国际粮农组织和世界卫生组织推荐的理想模式(40%)。无花果中含量最高的氨基酸为天冬氨酸, 含量为 960~2257 mg/kg FW, 其次为谷氨酸, 含量为 489~1237 mg/kg FW^[21]。

1.3 脂类

无花果中脂肪酸含量在 1~2.25 g/100 g 之间^[24], 其中亚油酸和亚麻酸含量最高。无花果中不饱和脂肪酸占总脂肪酸含量的 80% 以上, 由于品种不同, 无花果中脂肪酸种类及含量存在差异。强立敏等^[25]采用超临界 CO₂ 萃取绿果无花果中的脂肪酸, 并采用 GC-MS 对无花果中脂肪酸的组成进行分析, 共鉴定出 20 种脂肪酸, 其含量由高到低分别为: 亚油酸(46.89%)、亚麻酸(31.11%)、棕榈酸(11.02%)、硬脂酸(2.65%)、10-十八碳烯酸(1.98%)、丁酸(1.22%)、山俞酸(1.16%)、二十三烷酸(0.86%)、棕榈油酸(0.61%)、二十四烷酸(0.54%)、十五烷酸(0.40%)、十三烷酸(0.34%)、10-十九碳烯酸(0.32%)、花生酸(0.21%)、十九碳烯酸(0.18%)、二十一烷酸(0.18%)、油酸(0.17%)、珠光脂酸(0.08%)、豆蔻酸(0.03%)和 11-二十碳烯酸(0.03%)。Palmeira 等^[16]采用 GC-FID 对彼得蜜无花果的果皮和果肉中脂肪酸进行分析, 共鉴定出 23 种脂肪酸, 无花果果皮中

表 1 无花果中多糖的结构特征
Table 1 Structural characteristics of polysaccharides in ficus fig

编号	平均分子量(kDa)	单糖组成	主链结构	支链结构	参考文献
1	121	Rha:Ara:Gal:Glc:Man =2.69:23.85:49.68:3.74:1.00	→4,6)-β-D-Gal-(1→ →3,6)-β-D-Man-(1→ →5)-α-L-Ara-(1→	→4)-α-D-Glc-(1→ →3)-β-L-Rha-(1→	[18]
2	22.5	Ara:Gal:Glc:Man =1.59:1.42:1.00:13.70	→6)-β-D-Gal-(1→ →3,6)-β-D-Man-(1→ →2,6)-β-D-Man-(1→ →5)-α-L-Ara-(1→	→6)-β-D-Gal-(1→ →6)-α-D-Glc-(1→ →4)-α-D-Glc-(1→	[18]
3	102.9	Rha:Ara:Gal:Glc:Man =1.14:6.71:9.25:1.07:1.00	→6)-β-D-Gal-(1→ →2,6)-β-D-Man-(1→ →5)-α-L-Ara-(1→ →2)-β-D-Man-(1→	→6)-α-D-Glc-(1→ →3)-β-L-Rha-(1→	[18]
4	21.9	Rha:Ara:Gal:Glc =1.37:8.35:13.63:1.00	→6)-β-D-Gal-(1→ →3,6)-β-D-Gal-(1→ →5)-α-L-Ara-(1→ →4)-β-D-Gal-(1→	→4)-β-L-Rha-(1→ →4)-α-D-Glc-(1→ →6)-α-D-Glc-(1→	[18]
5	6.89×10^3	GlcA:GalA:Glc:Fuc:Ara:Gla:Rha:Man =0.2:3.6:0.6:0.4:0.2:1.0:0.3:0.2			[19]

亚麻酸含量最高,占脂肪酸总量的28.0%,其次为棕榈酸(23.9%)、亚油酸(12.6%)和油酸(12.2%);无花果果肉中亚麻酸含量最高,占脂肪酸总量的51.8%,其次为亚油酸(19.9%)、棕榈酸(11.2%)和油酸(8.8%)。

1.4 矿物质和维生素

无花果中含有钾、钙、钠、铁、锌、硒等矿物质,其中含量最高的为钾元素和钙元素。无花果中硒元素含量明显高于其他水果,属于富硒水果^[21]。无花果中各种矿物质含量因品种及产地不同存在显著差异。Pereira等^[20]对9种无花果中矿物质含量进行分析,9种无花果中钾含量为8.2~11.4 g/kg DW,钙含量为1.9~3.1 g/kg DW,磷含量为1.0~1.4 g/kg DW,镁含量为1.0~1.5 g/kg DW,铁含量为30.2~40.0 mg/kg DW,锌含量为6.2~11.9 mg/kg DW,且随着无花果的逐渐成熟,各种矿物质含量不断降低。Turco等^[26]对意大利(样品数量n=20)、希腊(样品数量n=8)和土耳其(样品数量n=8)三个地区的无花果进行元素分析,钾含量分别为8.12、3.50和4.86 g/kg DW,钙含量分别为1.46、2.35和4.49 g/kg DW,硒含量为0.14、0.12和0.06 mg/kg DW。

无花果中含有丰富的维生素C和维生素E。维生素C的含量为8~90 mg/kg DW^[27],果皮中维生素E含量为4.14 mg/100 g FW,果肉中维生素E含量为3.7 mg/100 g FW^[16]。无花果中的维生素E有4种存在形式,分别为 α -生育酚、 β -生育酚、 γ -生育酚和 δ -生育酚。果皮中含量最高的为 α -生育酚,含量为2.78 mg/100 g FW,果肉中含量最高的为 γ -生育酚,含量为2.68 mg/100 g FW^[16]。

1.5 类胡萝卜素和有机酸

无花果中的类胡萝卜素化合物包括叶黄素、 β -胡萝卜素、玉米黄素、 β -玉米黄素、紫黄素、番茄红素,类胡萝卜素总量为7.71 $\mu\text{g/g}$ FW,其中叶黄素含量最为丰富,其含量为4.43 $\mu\text{g/g}$ FW^[28]。无花果中类胡萝卜素含量随着果实的成熟逐渐减少。

有机酸是水果中重要呈味物质,不仅能够赋予果实丰富的口味,还具有促进消化、软化血管的功能。无花果中的有机酸主要为苹果酸和柠檬酸,此外还有琥珀酸、草酸、奎宁酸、丁二酸、延胡索酸和莽草酸^[29]。Hssaini等^[30]对11种无花果中苹果酸和柠檬酸的含量进行测定,结果显示所有被测样品中苹果酸含量均显著高于柠檬酸,苹果酸最高含量达到499 mg/100 g DW,柠檬酸含量在31~100 mg/100 g DW之间,且深色无花果中有机酸含量低于浅色无花果。Palmeira等^[16]分析无花果不同部位有机酸含量,果皮中含量最多的有机酸为柠檬酸,其含量为827 mg/100 g FW,果肉中含量最多的有机酸为琥珀酸,其含量为484 mg/100 g FW^[16]。

1.6 酚类化合物

酚类化合物是水果中含量最丰富的抗氧化物质之一,能够有效清除自由基、保护机体生物大分子以及抗肿瘤、抗动脉硬化等^[31]。无花果中的酚类化合物包括酚酸和黄酮类两大类,总酚含量在186~715 mg/100 g DW之间^[10,24]。无花果中酚类化合物种类及含量因产地及品种不同存在显著差异,黑皮无花果比绿皮无花果含有更高的酚类物质^[24]。无花果部分品种中主要酚类化合物含量如表2所示。无花

表2 无花果中酚类物质含量
Table 2 Phenolics content in ficus fig

酚类化合物含量(mg/100 g DW)	无花果品种				
	Verdal brevas	Campera	Bouhouli	Germencik	Nazilli
槲皮素	\	\	19	\	\
槲皮-3-葡萄糖苷	\	\	57	\	\
槲皮素-3-O-芸香苷	328.3	42.9	73	36.44	43.75
槲皮素-3-O-丙二酰-半乳糖苷	58.0	15.3	\	\	\
槲皮素-3-半乳糖苷	11.9	8.9	\	\	\
儿茶素	90.6	20.6	424	\	\
原花青素	73.0	56.7	\	\	\
咖啡酸	\	\	313	\	\
二羟基苯甲酸	\	\	135	\	\
绿原酸	51.0	9.4	88	5.14	3.48
表儿茶素	43.1	9.0	\	67.52	60.82
矢车菊素-3-O-芸香糖苷	40.9	14.4	90	\	\
矢车菊素-3,5-O-二葡萄糖苷	1.4	0.7	84	\	\
山柰酚-3-O-芸香糖苷	9.6	4.1	\	\	\
芹黄素-C-己糖苷-戊糖苷	6.4	3.3	\	\	\
丁香酸	\	\	\	3.03	3.27
没食子酸	\	\	\	1.15	1.35
天竺葵素-3-O-芸香糖苷	0.7	0.6	\	\	\
参考文献	[10]	[10]	[33]	[34]	[34]

果中的酚类化合物主要包括槲皮素及其衍生物、儿茶素、原花青素、咖啡酸、二羟基苯甲酸、绿原酸、表儿茶素、矢车菊素衍生物等。Palmeira 等^[16]采用液相色谱-光电二极管阵列检测-电喷雾串联质谱法在葡萄牙无花果中鉴定出 18 种酚类物质,其中无花果果皮主要酚类物质为芦丁,占酚类化合物总量的 33.8%,果肉中的主要酚类物质是咖啡酸衍生物。国内对于无花果酚类物质的研究主要集中于总酚的提取及活性测定,无花果酚类物质组成分析鲜有涉及,且关于无花果酚类组成的研究未明确无花果品种^[32]。

2 无花果的生物活性

2.1 无花果的抗氧化活性

体内产生的自由基会造成脂质过氧化、蛋白质氧化和 DNA 损伤,从而危害身体健康。无花果提取物具有清除自由基、提高抗氧化酶活性和抑制脂质过氧化的能力^[6],其抗氧化能力主要来源于多酚和多糖类物质^[35]。蔡惠钿等^[36]采用 AB-8 树脂分离纯化无花果多糖,并对其体外抗氧化活性进行评价,结果表明无花果多糖具有清除超氧阴离子自由基和羟基自由基能力,且其抗氧化活性与无花果多糖浓度有关,当无花果多糖浓度为 2500 $\mu\text{g/mL}$ 时,其超氧阴离子自由基清除率和羟基自由基清除率最高,分别为 75% 和 38%。无花果乙醇提取物中富含酚类化合物,具有 DPPH 自由基清除能力、还原能力、抑制胡萝卜素漂白能力和细胞抗氧化能力,且果皮部分抗氧化效果优于果肉部分。无花果果皮乙醇提取物清除 DPPH 自由基、还原能力、抑制胡萝卜素漂白的 IC_{50} 分别为 0.46、3.58、0.135 mg/mL ,无花果果肉乙醇提取物清除 DPPH 自由基、还原能力、抑制胡萝卜素漂白的 IC_{50} 分别为 1.13、4.34、0.048 mg/mL ,细胞抗氧化活性试验证明,无花果乙醇提取物能够抑制氧化溶血,果皮部分 IC_{50} 为 0.85 mg/mL ,果肉部分 IC_{50} 为 1.21 mg/mL ^[16]。Beluith 等^[6]研究发现,无花果乙醇提取物具有体内抗氧化活性,能够提高高血脂症大鼠的抗氧化酶活力,降低硫代巴比妥酸反应物的含量,与高血脂症大鼠相比,喂食无花果乙醇提取物的大鼠肝脏谷胱甘肽过氧化物酶活力由 1.5 $\mu\text{mol GSH/min/mg}$ 提高至 2.8 $\mu\text{mol GSH/min/mg}$,超氧化物歧化酶活力由 134 U/mg 提高至 240 U/mg , H_2O_2 酶活力由 86.6 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/mg}$ 提高至 156.4 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/mg}$,硫代巴比妥酸反应物含量由 0.29 nmol MDA/mg 下降至 0.18 nmol MDA/mg 。

2.2 无花果的降血脂活性

高血脂症是引发心脑血管疾病的重要原因,2020 年我国死于心脑血管疾病的人数高达 457.66 万人^[37],居各种死因首位。无花果中的酚类物质具有明显的降血脂作用。Beluith 等^[6]用乙醇提取无花果中的活性成分,并研究其对高血脂症大鼠的降血脂作用,饲养 8 周后,大鼠脂质谱得到明显改善,与高血脂症大鼠相比,其血液中总胆固醇含量由 3.06 mmol/L

降至 2.07 mmol/L ,甘油三酯含量由 2.65 mmol/L 降至 1.50 mmol/L ,低密度脂蛋白含量由 0.97 mmol/L 降至 0.45 mmol/L ,高密度脂蛋白含量由 0.34 mmol/L 升高至 0.53 mmol/L ,无花果降血脂活性可能与其含有的黄酮类化合物有关。Tawfik 等^[38]研究发现,无花果能够改善高脂饮食造成的小鼠体重增加和肝脏重量增加,降低天冬氨酸转氨酶和丙氨酸转氨酶的活力。叶文斌等^[39]研究了无花果多糖对四氧嘧啶诱导糖尿病大鼠血脂代谢的影响,与模型组相比,无花果多糖能够显著降低糖尿病大鼠血清中甘油三酯和胆固醇含量,从而提高主动脉内膜平坦度,减少内皮黏附及浸润于内膜的单核细胞数量,降低内膜厚度,说明无花果多糖能够降低糖尿病大鼠血脂水平,并对血管并发症具有一定的改善作用。无花果降血脂功效可能通过增加粪便胆汁酸和胆固醇的排泄、减少胆固醇的生物合成和酯化作用来实现。

2.3 无花果的抗肿瘤活性

癌症是全球最严重的公共卫生问题之一,其发病率高治愈率低,是威胁人类健康的第二大疾病^[40]。无花果提取物能够通过促进癌细胞凋亡抑制肿瘤细胞增殖,从而起到抗肿瘤作用。周宁等^[7]研究了无花果水提液对宫颈癌细胞 Hella 和肝癌细胞 Hepg2 的抑制作用,用无花果水提液处理癌细胞后,细胞形态发生明显改变,细胞固缩,失去正常形态,凋亡细胞数增多。Soltana 等^[41]研究证明无花果乙酸乙酯提取物对人结肠癌细胞 HCT-116 和 HT-29 具有显著抑制增殖效果,经无花果乙酸乙酯提取物处理 24 h 后,癌细胞相对活力显著降低,无花果乙酸乙酯提取物抑制癌细胞 HCT-116 的 IC_{50} 为 391 $\mu\text{g/mL}$,抑制癌细胞 HT-29 的 IC_{50} 为 381 $\mu\text{g/mL}$,蛋白免疫印迹分析结果表明,无花果乙酸乙酯提取物通过提高聚腺苷二磷酸-核糖聚合酶的表达促进癌细胞凋亡。Gurung 等^[42]采用分子对接和动力学模拟探索无花果提取物抗肿瘤活性的分子机制,筛选出 13 种具有可接受的类药性质的活性化合物,作用靶点包括细胞周期蛋白依赖性激酶-2、细胞周期蛋白依赖性激酶-6、拓扑异构酶 I、拓扑异构酶 II、B 细胞淋巴瘤-2 和血管内皮生长因子受体-2。

2.4 无花果的抗炎活性

炎症反应能够引发多种疾病,无花果中的黄酮类化合物和多糖具有高效的抗炎作用。Liu 等^[43]研究无花果中 16 种异戊烯基黄酮衍生物的抗炎效果,16 种黄酮衍生物对脂多糖诱导小鼠巨噬细胞 RAW 264.7 生成 NO 均有明显的抑制作用, IC_{50} 值在 0.89~8.49 $\mu\text{mol/L}$ 之间,结构分析表明,这些化合物的抗炎作用与其固有的化学结构有关,C-3'处有氢原子、C-2"处有异丙醇并且具有呋喃环的化合物,或者具有取代形式的苯环,或者具有对二取代苯环的化合物,对 NO 的生成具有更显著的抑制作用。Zou 等^[44]证明无花果多糖对改善小鼠溃疡性结肠炎具有

显著效果,与葡聚糖硫酸钠诱导结肠炎小鼠相比,口服饲养无花果多糖 5 周后,小鼠结肠长度增加,杯状细胞数增多,炎性细胞浸润减少,紧密连接蛋白 claudin-1 表达增加,细胞因子 TNF- α 和 IL-1 β 生成受到抑制,无花果多糖抗结肠炎作用与其对肠道菌群的调节有关,无花果多糖能够通过提高 S24-7、拟杆菌属和粪球菌属的丰度,抑制大肠杆菌和梭状芽胞杆菌来改造肠道菌群,同时促进短链脂肪酸的生成。Rtibi 等^[45]研究了无花果水提物对硫酸葡聚糖钠(DSS)诱导的急性结肠炎大鼠胃排空障碍和溃疡性结肠炎运动障碍的改善作用,结果表明口服无花果水提物能够明显提高实验大鼠的胃肠传输率水平,缩短胃排空时间,减轻结肠炎引起的便秘程度。

2.5 无花果的抗菌活性

人类多种疾病与细菌感染有关,如结核病、尿路感染等,无花果中的酚类物质能够抑制细菌生物被膜的形成,从而起到抗菌效果^[16]。Palmeira 等^[16]研究了无花果乙醇提取物对 5 种革兰氏阴性菌和 4 种革兰氏阳性菌的抑菌效果,结果表明无花果果皮和果肉乙醇提取物具有几乎相同的抗菌能力,且对革兰氏阳性菌抑菌效果优于革兰氏阴性菌,特别是对甲氧西林敏感金黄色葡萄球菌抑菌效果最明显,其最低抑菌浓度为 2.5 mg/mL。Souhila 等^[46]研究了无花果水提物和甲醇提取物对 3 种阴沟肠杆菌的抑菌效果,无花果水提物和甲醇提取物均能有效抑制阴沟肠杆菌的生长,其抑菌圈直径为 10~17 mm,最低抑菌浓度

表 3 无花果主要生理活性
Table 3 Major biological activity of ficus fig

活性	活性成分	模型	指标	测量值或变化情况	参考文献
抗氧化	乙醇提取物	高脂饮食诱导高脂血症大鼠	TBARS 含量	下降 38%	[6]
			谷胱甘肽过氧化物酶活力	上升 87%	
			超氧化物歧化酶活力	上升 79%	
			过氧化氢酶活力	上升 81%	
			DPPH 自由基清除能力	果皮 IC ₅₀ =0.46 mg/mL 果肉 IC ₅₀ =1.13 mg/mL	
	乙醇提取物	还原能力	还原能力	果皮 IC ₅₀ =3.58 mg/mL 果肉 IC ₅₀ =4.43 mg/mL	[16]
	多糖	体外自由基清除能力	抑制胡萝卜素漂白能力	果皮 IC ₅₀ =0.135 mg/mL 果肉 IC ₅₀ =0.048 mg/mL	[36]
			超氧阴离子自由基清除率	下降 75%	
			羟基自由基清除率	下降 38%	
降血脂	乙醇提取物	高脂饮食诱导高脂血症大鼠	总胆固醇含量	下降 32%	[6]
			甘油三酯含量	下降 43%	
			低密度脂蛋白含量	下降 54%	
			高密度脂蛋白含量	上升 56%	
			体重	下降 14.8%	[38]
	干燥无花果	高脂饮食诱导动脉粥样硬化仓鼠	肝脏重量	下降 9.5%	
			天冬氨酸转氨酶活力	下降 31.6%	
			丙氨酸转氨酶	下降 28.8%	
			甘油三酯含量	下降 32.5%	
			胆固醇含量	下降 17.5%	
抗肿瘤	水提物	宫颈瘤细胞(Hella)	细胞增殖	下降 66%	[7]
		肝癌细胞(Hepg2)	细胞增殖	下降 97%	
		人结肠癌细胞 HCT-116	细胞凋亡	IC ₅₀ =391 μ g/mL	
	乙酸乙酯提取物	人结肠癌细胞 HT-29	细胞凋亡	IC ₅₀ =381 μ g/mL	[41]
抗炎	异戊烯基异黄酮衍生物	脂多糖诱导小鼠巨噬细胞 RAW 264.7	NO 抑制效果	IC ₅₀ =0.89~8.49 μ mol/L	[43]
抗菌	水提物	阴沟肠杆菌	最低抑菌浓度	2.34 mg/mL	[46]
	甲醇提取物	阴沟肠杆菌	最低抑菌浓度	2.34 mg/mL	[46]
	乙醇提取物	甲氧西林敏感金黄色葡萄球菌	最低抑菌浓度	2.5 mg/mL	[16]
		大肠杆菌	最低抑菌浓度	5 mg/mL	
		摩根氏菌	最低抑菌浓度	5 mg/mL	
抗辐射	水提物	铯 137 辐射白鼠 72 h	丙氨酸转氨酶活力	下降 26.0%	[49]
			天冬氨酸转氨酶活力	下降 58.1%	
			尿素	下降 52.4%	
降血糖	无花果多糖	四氧嘧啶诱导 II 型糖尿病大鼠	白蛋白	上升 112.5%	[39]
			空腹血糖水平	下降 45.5%	
			糖化血红蛋白水平	下降 28.0%	

为 1.17~37.75 mg/mL, 甲醇提取物的抑制效果优于乙醇提取物。

2.6 无花果其他生物活性

无花果还具有抗辐射、降血糖、调节免疫、提高记忆力等多种活性^[47-48]。无花果主要生物活性见表3所示。Fouad等^[49]发现无花果能减弱 γ 射线辐射大鼠血清中丙氨酸转氨酶和天门冬氨酸转氨酶的活力,降低尿素含量,提高白蛋白水平,能够有效减弱 γ 辐射造成的肝脏和肾脏损伤。叶文斌^[39]对四氧嘧啶诱导糖尿病大鼠模型进行无花果多糖灌胃治疗,灌胃处理28 d后,糖尿病大鼠空腹血糖水平及糖化血红蛋白含量显著降低,且呈现明显的量效关系,高剂量组(400 mg/kg 体重)模型小鼠空腹血糖水平由27.15 mmol/L下降至14.79 mmol/L,糖化血红蛋白含量由13.54%下降至9.75%。Du等^[17]从无花果中分离出一种新型多糖,体外试验证明这种多糖能够明显促进NO、肿瘤坏死因子、白细胞介素-6分泌,增加RAW264.7巨噬细胞的吞噬作用,具有免疫调节活性。Raafat等^[50]对无花果低聚糖的抗痉挛活性作用机理进行研究,发现其作用机制是由甘氨酸受体的增强介导的。

3 结论与展望

无花果含有丰富的多糖、多酚、矿物质、维生素等营养成分,具有抗氧化、降血脂、抗炎、抑菌等多种生理活性,可作为功能食品的原料进行深度开发利用。目前市场上无花果加工产品种类较少,主要为无花果干制品、果脯、果酱、罐头、果醋、果酒、果汁等产品^[51-54],初加工产品比重较大。由于加工工艺粗放,产品的品质较差,果汁色泽暗沉、果干表皮皱缩、果脯味道苦涩,对消费者吸引力小,影响其市场推广。随着对无花果生理活性的深入了解,生产高附加值、具有生理活性的无花果功能食品有望形成市场前景广阔、经济效益显著的新兴产业。此外,无花果生理活性主要与其多糖和多酚有关,目前研究主要集中在多糖、多酚类物质的分离纯化和活性验证,其活性机理及构效关系有待进一步探索,无花果在抗氧化、抗菌等方面的积极作用,可用于开发具有抗氧化、抗菌功能的添加剂和包装材料。未来的无花果的研究方向及重点主要包括:a.无花果不同部位活性成分数据库的建立;b.不同活性成分功能机理的探究;c.无花果活性成分在功能材料开发方面的应用;d.无花果功能性食品开发。这些将为无花果的高值化利用提供理论技术和数据支撑。

参考文献

[1] 于磊. 无花果栽培技术研究[J]. 中国林副特产, 2015(5): 53-54. [YU L. Study on cultivation technology of fig[J]. China Deputy Forest Specialty, 2015(5): 53-54.]

[2] 柴金珍, 黄远英, 袁根良, 等. 无花果的药理作用研究进展[J]. 中成药, 2016, 38(8): 1805-1810. [CHAI J Z, HUANG Y Y, YUAN G L, et al. Research progress on the pharmacology of fig[J].

Chinese Traditional Medicine, 2016, 38(8): 1805-1810.]

[3] 刘庆帅, 戴婧豪, 蔡云鹏, 等. 无花果种质资源的研究进展[J]. 北方果树, 2021(3): 1-4. [LIU Q S, DAI J H, CAI Y P, et al. Research progress of fig germplasm resources[J]. Northern Fruits, 2021(3): 1-4.]

[4] 蔡子康. 气调包装和纳米材料包装对无花果采后品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2015. [CAI Z K. Effect of modified atmosphere packaging and nano-material packaging on preservation quality of postharvest[J]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015.]

[5] 韩涛. 无花果含药血清对C6胶质瘤细胞抑制作用及凋亡的影响[D]. 济南: 山东中医药大学, 2009. [HAN T. Experimental study on the inhibition effect of *Ficus carica* upon glioma on rats[D]. Jinan: Shandong University of Traditional Chinese Medicine: 2009.]

[6] BELUITH H O, AMMAR S, CONTRERAS M D M, et al. Antihyperlipidemic and antioxidant activities of edible Tunisian *Ficus carica* L. fruits in high fat diet-induced hyperlipidemic rats[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2016, 71(2): 183-189.

[7] 周宁, 陈江涛, 于文燕. 无花果水提取液对抑制肿瘤细胞增殖作用的初步研究[J]. 新疆医科大学学报, 2016, 39(1): 42-47. [ZHOU N, CHEN J T, YU W Y. Antiproliferation activity of water extract from *Ficus carica* L. fruit on cervical cancer cell line[J]. Journal of Xinjiang Medical University, 2016, 39(1): 42-47.]

[8] 张雪丹, 安森, 张倩, 等. 无花果采后生理和贮藏保鲜研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(23): 363-369. [ZHANG X D, AN M, ZHANG Q, et al. Research advances in postharvest physiology and preservation of fig fruits[J]. Food Science, 2013, 34(23): 363-369.]

[9] 杜佳铭, 谷诗雨, 杨永佳, 等. 1-MCP复合MAP包装对无花果贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2022, 43(7): 11-17. [DU J M, GU S Y, YANG Y J, et al. Effects of combined treatment of 1-MCP and MAP packaging on storage quality of figs[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(7): 11-17.]

[10] WOJDYLO A, NOWICKA P, CARBONELL B Á A, et al. Phenolic compounds, antioxidant and antidiabetic activity of different cultivars of *Ficus carica* L. fruits[J]. Journal of Functional Foods, 2016, 25: 421-432.

[11] MASCELLANI A, NATALI L, CAVALLINI A, et al. Moderate salinity stress affects expression of main sugar metabolism and transport genes and soluble carbohydrate content in ripe fig fruits (*Ficus carica* L. cv. Dottato)[J]. Plants (Basel), 2021, 10(9): 1861.

[12] ALJANE F, NEILY M H, MSADDAK A. Phytochemical characteristics and antioxidant activity of several fig (*Ficus carica* L.) ecotypes[J]. Italian Journal of Food Science, 2020, 32(4): 755-768.

[13] ÇALISKAN O, POLAT A A. Effects of genotype and harvest year on phytochemical and fruit quality properties of Turkish fig genotypes[J]. Spanish Journal of Agricultural Research: SJAR, 2012, 10(4): 1048-1058.

[14] 郭傲, 林绪坚, 高欢欢, 等. 不同施钾水平对无花果糖积累及相关酶活性的影响[J]. 福建农业学报, 2019, 34(12): 1388-1396. [GUO A, LIN X J, GAO H H, et al. Effects of potassium fertiliza-

- tion on sugar metabolism and related enzymatic activities in *Ficus carica*[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 34(12): 1388–1396.]
- [15] 曹丽春, 徐翔宇, 李金平, 等. 不同色泽无花果果皮色素变化特征及其与果实糖分累积的关系[J]. *中国农业大学学报*, 2017, 22(2): 54–60. [CAO L C, XU X Y, LI J P, et al. Peel pigment change during the development of figs with different colors an the correlation with soluble sugar accumulation[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(2): 54–60.]
- [16] PALMEIRA L, PEREIRA C, DIAS M I, et al. Nutritional, chemical and bioactive profiles of different parts of a Portuguese common fig (*Ficus carica* L.) variety[J]. *Food Research International*, 2019, 126: 108572.
- [17] DU J, LI J J, ZHU J H, et al. Structural characterization and immunomodulatory activity of a novel polysaccharide from *Ficus carica*[J]. *Food Funct*, 2018, 9(7): 3930–3943.
- [18] 杜娟. 无花果多糖的分离纯化、结构表征及药理活性的初步研究[D]. 广州: 暨南大学, 2018. [DU J. Isolation, purification, structural characterization and primary biological activities of polysaccharides from *Ficus carica*[D]. Guangzhou: Jinan University, 2018.]
- [19] GHARIBZAHEDI S M T, SMITH B, GUO Y. Ultrasound-microwave assisted extraction of pectin from fig (*Ficus carica* L.) skin: optimization, characterization and bioactivity[J]. *Carbohydr Polym*, 2019, 222: 114992.
- [20] PEREIRA C, CORRALES M L, MARTIN A, et al. Physico-chemical and nutritional characterization of brebas for fresh consumption from nine fig varieties (*Ficus carica* L.) grown in Extremadura (Spain)[J]. *Journal of Food Quality*, 2017(5): 1–12.
- [21] 孙锐, 贾明, 杨莉, 等. 山东引种无花果氨基酸及矿物元素成分分析与评价[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(19): 352–356. [SUN R, JIA M, YANG L, et al. Amino acid and minerals element composition analysis and evaluation of figs in Shandong[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(19): 352–356.]
- [22] 王振斌, 马海乐, 吴守一. 无花果残渣中氨基酸和微量元素的测定[J]. *食品研究与开发*, 2005(4): 132–133. [WANG Z B, MA H L, WU S Y. Determination of amino acids and trace elements in fig residue[J]. *Food research and development*, 2005(4): 132–133.]
- [23] 康明. 无花果与果干营养品质及低糖果酱的研制[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020. [KANG M. Study on nutritional qualities of figs (*Ficus carica* Linn) and dried figs and development of low sugar fig jam[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.]
- [24] KHADHRAOUI M, BAGUES M, ARTES F, et al. Phytochemical content, antioxidant potential, and fatty acid composition of dried Tunisian fig (*Ficus carica* L.) cultivars[J]. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 2019, 92: 143–150.
- [25] 强立敏, 苑社强, 韩璐, 等. 超临界 CO₂ 萃取无花果脂肪酸的 GC-MS 分析[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(20): 288–290. [QIANG L M, YUAN S Q, HAN L, et al. Analysis of supercritical carbon dioxide extraction of fatty acids from *Ficus carica* L. by GC-MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(20): 288–290.]
- [26] TURCO V L, POTORI A G, TROPEA A, et al. Element analysis of dried figs (*Ficus carica* L.) from the Mediterranean areas[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2020, 90: 103503.
- [27] PEREIRA C, CORRALES M L, SERRADILLA M J, et al. Influence of ripening stage on bioactive compounds and antioxidant activity in nine fig (*Ficus carica* L.) varieties grown in Extremadura, Spain[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2017, 64: 203–212.
- [28] NAWADE B, HARPAZ L S, YAHYAA M, et al. Analysis of apocarotenoid volatiles during the development of *Ficus carica* fruits and characterization of carotenoid cleavage dioxygenase genes[J]. *Plant Science*, 2020, 290: 110292.
- [29] PANDE G, AKOH C C. Organic acids, antioxidant capacity, phenolic content and lipid characterisation of Georgia-grown underutilized fruit crops[J]. *Food Chemistry*, 2010, 120: 1067–1075.
- [30] HSSAINI L, CHARAFI J, RAZOUK R, et al. Assessment of morphological traits and fruit metabolites in eleven fig varieties (*Ficus carica* L.)[J]. *International Journal of Fruit Science*, 2020, 20(S2): 8–28.
- [31] 赵伟, 李建科, 何晓叶, 等. 几种常见植物多酚降血脂作用及机制研究进展[J]. *食品科学*, 2014, 35(21): 258–263. [ZHAO W, LI J K, HE X Y, et al. Progress in understanding of lipid-lowering effects and mechanisms of several common plant polyphenols[J]. *Food Science*, 2014, 35(21): 258–263.]
- [32] 秦丹丹, 张生万, 郭萌, 等. 干燥方式对无花果酚类物质及其抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(9): 102–107. [QIN D D, ZHANG S W, GUO M, et al. Effect of drying methods on polyphenol composition and antioxidant activities of figs (*Ficus carica* L.)[J]. *Food Science*, 2018, 39(9): 102–107.]
- [33] GAALICHE B, LADHARI A, ZARRELLI A, et al. Impact of foliar potassium fertilization on biochemical composition and antioxidant activity of fig (*Ficus carica* L.)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 253: 111–119.
- [34] NAKILCILGLU E, HISIL Y. Research on the phenolic compounds in Sarilop (*Ficus carica* L.) fig variety[J]. *The Journal of Food*, 2013: 267–274.
- [35] PETKOVA N, IVANOV I, DENEV P. Changes in phytochemical compounds and antioxidant potential of fresh, frozen, and processed figs (*Ficus carica* L.)[J]. *International Food Research Journal*, 2019, 26(6): 1881–1888.
- [36] 蔡惠钿, 张逸. 无花果多糖分离纯化工艺及抗氧化性能研究[J]. *中国调味品*, 2021, 46(1): 1–4. [CAI H T, ZHANG Y. Study on separation and purification process and antioxidant properties of fig polysaccharides[J]. *China Condiment*, 2021, 46(1): 1–4.]
- [37] WANG W, LIU Y N, LIU J M, et al. Mortality and years of life lost of cardiovascular diseases in China, 2005–2020: empirical evidence from National Mortality Surveillance System[J]. *International Journal of Cardiology*, 2021, 340: 105–112.
- [38] TAWFIK M S, ALHEJY M. Antioxidants in fig (*Ficus carica* L.) and their effects in the prevention of atherosclerosis in hamsters[J]. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2014, 2(4): 138–145.
- [39] 叶文斌. 无花果多糖提取工艺及其功能研究[J]. *甘肃农业*

- 大学学报, 2016, 51(3): 140–149. [YE W B. Optimization of polysaccharide extraction process from *Ficus carica* and its function[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2016, 51(3): 140–149.]
- [40] 黄薇, 荣黎, 陈耀凯, 等. 红景天甙对人胃癌细胞增殖及凋亡影响的研究[J]. 中国免疫学杂志, 2019, 35(6): 676–679. [HUANG W, RONG L, CHEN Y K, et al. Influence of salidroside on biological behaviour of gastric cancer cells[J]. *Chinese Journal of Immunology*, 2019, 35(6): 676–679.]
- [41] SOLTANA H, PINON A, LIMAMI Y, et al. Antitumoral activity of *Ficus carica* L. on colorectal cancer cell lines[J]. *Cellular and Molecular Biology*, 2019, 65(6): 6–11.
- [42] GURUNG A B, ALI M A, LEE J, et al. Molecular docking and dynamics simulation study of bioactive compounds from *Ficus carica* L. with important anticancer drug targets[J]. *Plos One*, 2021, 16(7): e0254035.
- [43] LIU Y P, GUO J M, YAN G, et al. Anti-inflammatory and antiproliferative prenylated isoflavone derivatives from the fruits of *Ficus carica* [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(17): 4817–4823.
- [44] ZOU Q H, ZHANG X, LIU X S, et al. *Ficus carica* polysaccharide attenuates DSS-induced ulcerative colitis in C57BL/6 mice[J]. *Food and Function*, 2020, 11(7): 6666–6679.
- [45] RTIBI K, GRAMI D, WANNES D, et al. *Ficus carica* aqueous extract alleviates delayed gastric emptying and recovers ulcerative colitis-enhanced acute functional gastrointestinal disorders in rats[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2018, 224: 242–249.
- [46] SOUHILA B, ASMA B, BOUMEDIENE M, et al. Antimicrobial activity of dried fig (*Ficus carica* L.) extracts from the region of Mascara (Western Algeria) on *Enterobacter cloacae* identified by MALDI-TOF/MS[J]. *European Journal of Biological Research*, 2021, 11(2): 234–241.
- [47] ARAFA E A, HASSAN W, MURTAZA G, et al. *Ficus carica* and *Sisigium cumini* regulate glucose and lipid parameters in high-fat diet and streptozocin-induced rats[J]. *Journal of Diabetes Research*, 2020: 6745873.
- [48] ALHARTHY N A, BAWAZIR A E. Effects of the mixture dried figs (*Ficus carica*) and olive oil on amnesia model of alzheimer's induced by scopolamine in male albino rats[J]. *Pharmacophore*, 2019, 10(4): 62–71.
- [49] FOUAD D, ALHATEM H, ABDEL G R, et al. Hepatotoxicity and renal toxicity induced by Gamma-radiation and the modulatory protective effect of *Ficus carica* in male albino rats[J]. *Research in Veterinary Science*, 2019, 125: 24–35.
- [50] RAAFAT K, WURGLICS M. Phytochemical analysis of *Ficus carica* L. active compounds possessing anticonvulsant activity[J]. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 2019, 9(4): 263–270.
- [51] 郭晓, 唐玲玲, 梁静, 等. 无花果脆片膨化工艺中试研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 193–198. [GUO X, TANG L L, LIANG J, et al. Pilot study on fig crisp chips puffing process[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(3): 193–198.]
- [52] 谭海刚, 赵群, 李静, 等. 无花果果醋酿造工艺研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(11): 94–97. [TAN H G, ZHAO Q, LI J, et al. Study on the brewing technology of *Ficus carica* vinegar[J]. *China Condiment*, 2019, 44(11): 94–97.]
- [53] 信思悦, 唐玲, 盛怀宇, 等. 陈酿方式对无花果果酒理化特性及体外抗氧化性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(5): 121–126. [XIN S Y, TANG L, SHENG H Y, et al. Effects of aging methods on physicochemical properties and in vitro antioxidant activity of fig fruit wine[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(5): 121–126.]
- [54] 张倩, 胡金涛, 王晓芳, 等. 无花果果脯加工工艺研究[J]. 落叶果树, 2016, 48(5): 46–47. [ZHANG Q, HU J T, WANG X F, et al. Study on processing technology of preserved fruit[J]. *Deciduous Fruits*, 2016, 48(5): 46–47.]