

## 余甘果生物活性成分的研究进展

黄炳旗, 杨蘅晖, 王宏, 白卫东, 赵文红, 肖更生, 胡海娥, 李学莉

### Research Progress on Bioactive Ingredients of *Phyllanthus emblica* L.

HUANG Bingqi, YANG Henghui, WANG Hong, BAI Weidong, ZHAO Wenhong, XIAO Gengsheng, HU Haie, and LI Xueli

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022070317>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

玉米须活性成分提取及其保健机理研究进展

Extraction of Active Ingredients from Corn Silk (*Zea mays* L.) and Its Health Care Mechanism

食品工业科技. 2021, 42(8): 388-395 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070069>

葱属植物中的生物活性物质及功效研究进展

Research Progress on Bioactive Substances and Efficacy of *Allium* Plants

食品工业科技. 2019, 40(13): 270-276,282 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.13.045>

余甘子贮藏与加工研究进展

Research Progress on Storage and Processing of *Phyllanthus emblica*

食品工业科技. 2021, 42(11): 342-347 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060209>

余甘子总多酚的提取及其抗氧化活性研究

Extraction and Antioxidant Activity of Polyphenols from *Phyllanthus emblica* L.

食品工业科技. 2019, 40(16): 151-155,162 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.16.025>

昆仑雪菊的化学成分与功效研究进展

Research Progress on Chemical Composition and Efficacy of *Coreopsis tinctoria*

食品工业科技. 2019, 40(13): 335-339 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.13.056>

茶皂素提取技术及生物活性研究进展

Research Progress on Extraction Technology and Biological Activity of Tea Sapoin

食品工业科技. 2019, 40(7): 326-331 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.07.056>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

黄炳旗, 杨藿晖, 王宏, 等. 余甘果生物活性成分的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(13): 407-416. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070317

HUANG Bingqi, YANG Henghui, WANG Hong, et al. Research Progress on Bioactive Ingredients of *Phyllanthus emblica* L.[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(13): 407-416. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070317

· 专题综述 ·

## 余甘果生物活性成分的研究进展

黄炳旗<sup>1</sup>, 杨藿晖<sup>1</sup>, 王宏<sup>1,2,\*</sup>, 白卫东<sup>1,2,\*</sup>, 赵文红<sup>1,2</sup>, 肖更生<sup>1,2</sup>, 胡海娥<sup>3</sup>, 李学莉<sup>3</sup>

(1.仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东广州 510225;

2.仲恺农业工程学院广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 农业农村部岭南特色食品绿色加工与智能制造重点实验室, 现代农业工程创新研究院, 广东广州 510225;

3.东鹏饮料(集团)股份有限公司, 广东深圳 518055)

**摘要:**余甘果(*Phyllanthus emblica* L.)最早记载于《太平御览》, 历史悠久, 常用作治疗胆道疾病、支气管炎、糖尿病等。现代研究表明, 余甘果的生物活性成分有余甘多糖、单宁、酚酸、黄酮、木脂素等, 具有抗氧化、抗炎、抗癌、护肝、降血糖等功效。目前, 对余甘果生物活性物质的研究大多集中在余甘多糖和余甘多酚方面, 随着研究越来越深入, 其提取技术也逐渐向绿色、经济、高效可循环的方向发展, 使得余甘果的应用也越来越广。本文对余甘果生物活性成分的种类与组成、结构、提取技术和功效进行归纳与论述, 为余甘果在食品和医药的研究和精深加工利用提供理论依据。

**关键词:**余甘果, 活性成分, 提取技术, 功效, 研究进展

中图分类号: TS255.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)13-0407-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070317



本文网刊:

## Research Progress on Bioactive Ingredients of *Phyllanthus emblica* L.

HUANG Bingqi<sup>1</sup>, YANG Henghui<sup>1</sup>, WANG Hong<sup>1,2,\*</sup>, BAI Weidong<sup>1,2,\*</sup>, ZHAO Wenhong<sup>1,2</sup>,  
XIAO Gengsheng<sup>1,2</sup>, HU Haie<sup>3</sup>, LI Xueli<sup>3</sup>

(1.College of Light Industry and Food Sciences, Zhongkai University of Agriculture and Engineering,  
Guangzhou 510225, China;

2.Guangdong Provincial Key Laboratory of Lingnan Specialty Food Science and Technology, Key Laboratory of Green Processing and Intelligent Manufacturing of Lingnan Specialty Food, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Academy of Contemporary Agricultural Engineering Innovations, Zhongkai University of Agriculture and Engineering,  
Guangzhou 510225, China;

3.Eastroc Beverage Group Co., Ltd., Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** *Phyllanthus emblica* L. (PE) was first recorded in the "Taiping Imperial Library" and has a long history of use as a treatment for biliary tract diseases, bronchitis, and diabetes. Modern research has shown that the bioactive ingredient contained in PE include PE polysaccharides, tannins, phenolic acids, flavonoids, lignans and so on, which have antioxidant, anti-inflammatory, anti-cancer, liver protection and hypoglycemic effects. At present, most of the research on the bioactive ingredient of PE is focused on PE polysaccharides, and PE polyphenols, and as the research becomes more in-depth, the extraction technology is gradually developed in the direction of green, economic, efficient and recyclable, which makes the application of PE more and more extensive. The types and composition, structure, extraction techniques and efficacy of the bioactive ingredients of PE are summarized and discussed in this review to provide a theoretical evidence for future

收稿日期: 2022-08-02

基金项目: 仲恺农业工程学院研究生教育创新计划项目(KA220160241、KJCX2023007); 广州市科技计划项目一般项目(202201010268); 广东省研究生教育创新项目(2023SFKC\_056)。

作者简介: 黄炳旗(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学, E-mail: 291062087@qq.com。

\* 通信作者: 王宏(1988-), 女, 博士, 特聘副教授, 研究方向: 食品活性成分与功能评价, E-mail: whongaq@163.com。

白卫东(1967-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品生物化学, E-mail: whitebai2001@163.com。

research and deep processing and utilization of PE in food industry and medicine.

**Key words:** *Phyllanthus emblica* L.; bioactive ingredient; extraction technology; efficacy; research progress

余甘果(*Phyllanthus emblica*), 又称为油甘、望果、滇橄榄, 为药食同源水果, 主要分布于两广地区, 是岭南特色水果之一。《本草纲目》中用“初食苦涩, 良久更甘”描述了余甘果初食味酸而苦涩、食用之后回甜生津的独特口味<sup>[1]</sup>。我国主要将余甘果制作成盐制品、蜜饯、高营养型食品、调制果汁等。余甘果在民间已有 2000 年的食用历史, 人们总结了余甘果具有治疗血热血瘀、消化不良、腹胀、咳嗽、喉痛、口干等多种功效。此外, 余甘果产量丰富、价格低廉, 因此具有广阔的市场开发前景。

2016 年, 党中央在《“健康中国 2030”规划纲要》中, 首次将健康中国上升为国家战略, 我国大健康产业蓬勃发展。挖掘食物中活性成分是深入开展食物营养功能评价研究的基础。余甘果中活性成分主要是余甘多糖、余甘多酚, 余甘多糖具有降血糖、抗氧化等功效, 目前主要应用于治疗糖尿病及并发症, 提取余甘多糖的方法主要是水提醇沉法和超声辅助提取法; 余甘多酚具有抗氧化、抗癌、消炎等功效, 有研究证明, 余甘多酚可以抑制癌细胞生长、破坏自由基链和调节肠道微生物群等功效, 目前主要应用于化妆品、肝药、保健品和营养补充剂; 提取余甘多酚的方法有水浴热回流法、有机溶剂法、超声微波辅助提取法、复合酶法、热水浸提法, 其中超声微波辅助提取有利于提高多酚的得率和大大缩短提取时间, 因此近年来许多提取植物多酚的研究中都加入了这一辅助手段。目前, 有文献介绍了余甘果的活性成分及功效, 也有文献研究了余甘果活性成分的提取工艺及含量, 部分文章还对余甘果主要活性成分的结构和组成进行了测定。但值得注意的是, 不同文献中余甘果活性成分的提取工艺不同, 得率会有所差别<sup>[2-4]</sup>。随着余甘果研究的深入, 和生物活性物质的应用越来越广泛, 为研究者更加充分了解和更好地利用余甘果生物活性物质, 本文将创新性地对余甘果生物活性物质进行分类综述, 并对其功效进行阐述, 还介绍了余甘果生物活性物质的提取技术发展现状。文章从多角度较为详细地概括了余甘果活性成分的研究进展, 为读者了解和加工利用余甘果提供方便, 为余甘果的精深加工和高附加值利用提供参考和依据。

## 1 余甘果生物活性成分

### 1.1 余甘多糖

余甘多糖是一种从余甘果肉中分离出来的水溶性  $\alpha$ -吡喃杂多糖, 其母核是含有一个氧原子的完全饱和六元杂环化合物, 亚甲基处于氧原子的邻位, 其分子结构如图 1-a 所示。余甘多糖分布于余甘果各个部位, 并且参与余甘果多种生理反应。不同的取代基通过与母核上不同位置的碳原子连接, 构成不同种类的单糖, 如  $\beta$ -D-半乳糖、 $\beta$ -L-鼠李糖、 $\alpha$ -L-阿拉伯糖等。 $\beta$ -D-半乳糖(图 1-b)中的第 3 位碳原子和  $\beta$ -L-鼠李糖(图 1-c)的第 1 位碳原子相连构成余甘多糖结构的主链, 其中每四个  $\beta$ -L-鼠李糖相连, 再与一个  $\beta$ -D-半乳糖连接, 支链连接在  $\beta$ -D-半乳糖上, 末端为  $\alpha$ -L-阿拉伯糖<sup>[5]</sup>。

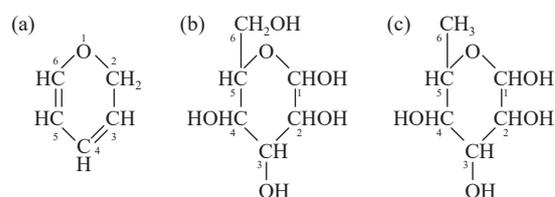


图 1 余甘多糖母核、 $\beta$ -D-半乳糖和  $\beta$ -L-鼠李糖的化学结构  
Fig.1 The chemical structure of parent nucleus,  $\beta$ -D-galactopyranose and  $\beta$ -L-rhamnopyranose of *Phyllanthus emblica* polysaccharides

余甘多糖经分离纯化后的单糖组成可采用气相色谱分析<sup>[6]</sup>、高效液相色谱分析<sup>[7]</sup>或离子色谱分析<sup>[5]</sup>等(见表 1)。大多数研究分析方法都表明, 余甘多糖的组成成分中包括半乳糖、鼠李糖和阿拉伯糖, 但根据孟祯等<sup>[7]</sup>使用高效液相色谱法分析的结果, 并没有出现这三种单糖。通过比较, 认为是该方法中没有使用半乳糖、鼠李糖和阿拉伯糖的标品进行对比分析, 因此结果没有这三种单糖。余甘多糖中含量最高的单糖是半乳糖, 尽管许丽宾等<sup>[6]</sup>在提取余甘多糖时, 将其分为两个组分进行分析, 但半乳糖仍然是含量最高的单糖组分。

余甘多糖的组成和种类, 决定了余甘多糖的分子量大小。广东揭阳的余甘果多糖通过凝胶渗透色谱法分析, 测得分子量为 4.7 kDa<sup>[5]</sup>, 其中, 半乳糖、鼠

表 1 余甘多糖的单糖组成

Table 1 Monosaccharide composition of *Phyllanthus emblica* polysaccharides

| 产地   | 多糖组分     | 单糖组成(含量从高到低)        | 比例                          | 分析方法      | 参考文献 |
|------|----------|---------------------|-----------------------------|-----------|------|
| 福建泉州 | PEPs I   | 半乳糖、阿拉伯糖、鼠李糖、葡萄糖、木糖 | 61.63:16.349:11.535:9.525:1 | 气相色谱      | [6]  |
|      | PEPs II  | 阿拉伯糖、鼠李糖、半乳糖        | 1.867:1.137:1               |           |      |
| 福建福州 | PEPs     | 葡萄糖、木糖、葡萄糖醛酸、岩藻糖    | 8.3:1.8:0.5:0.3             | 高效液相色谱    | [7]  |
| 广东揭阳 | PEPW80-1 | 半乳糖、鼠李糖、阿拉伯糖        | 4.23:3.02:1                 | 离子色谱      | [5]  |
| 福建泉州 | PEP      | 半乳糖、半乳糖酸、鼠李糖、阿拉伯糖   | 6.59:3.21:1:0.23            | 气相色谱-质谱联用 | [8]  |

李糖和阿拉伯糖的比例为 4.23:3.02:1。Li 等<sup>[8]</sup>测得余甘果多糖分子量为  $1.31 \times 10^5$  Da, 其中, 半乳糖、半乳糖酸、鼠李糖和阿拉伯糖的比例为 6.59:3.21:1:0.23, 该研究还表明, 余甘多糖含有少量葡萄糖、木糖和甘露糖。与 Li 等的研究方法不同, 许丽宾等<sup>[6]</sup>将余甘多糖分离纯化得到两种组分, 分别是中性多糖 (I) 和酸性多糖 (II), 采用高效液相色谱法测定两种余甘多糖的分子量, 测得 (I) 分子量为  $1.49 \times 10^5$  Da、(II) 分子量为  $1.51 \times 10^5$  Da。不同地区的余甘果其多糖分子量相差较大, 但相同城市的余甘果其多糖分子量也有差别, 其原因归结为以下几点: a. 纯化方法与检测方法的不同; b. 构成余甘多糖的单糖比例不同; c. 余甘多糖的提取方法不同。目前, 大部分余甘多糖的研究都偏向于提取工艺及生物活性的方向, 专门探究余甘多糖分子量的文章较少。

## 1.2 单宁及酚酸类

这类化合物主要包括没食子酸类化合物、鞣质类化合物和其他酚类及其衍生物<sup>[4, 9-10]</sup>, 在余甘果的各部分均有分布, 并且参与各种生理活动。余甘单宁及酚酸类化合物中不同种类的化合物其构型各不相同, 本文将列举没食子酸、鞣质及其他酚类化合物的构型的母核, 并对部分衍生物进行介绍。王淑慧等<sup>[11-12]</sup>对没食子酸类化合物进行了分析, 得到没食子酸类化合物及其衍生物的母核如图 2-a 所示, 没食子酸、双没食子酸和没食子酸甲酯的结构中,  $R_1$  基分别被 -OH、-G 和 -OCH<sub>3</sub> 取代。Yang 等<sup>[13]</sup>对鞣质类化合物进行了分析, 得到鞣质类化合物及其衍生物的母核如图 2-b 所示, 其中, 甲基河黎勒酸、二甲基新河黎勒酸的  $R_1$ 、 $R_3$ 、 $R_6$  分别都由 -G、-HHDP 和 -HHDP 取代, 两者的区别在于  $R_2$  与  $R_4$  两个取代基的不同。鞣质又称为单宁, 是余甘果内结构复杂的多元酚类, 具有多种生物活性, 在成熟的余甘果内含量最高可

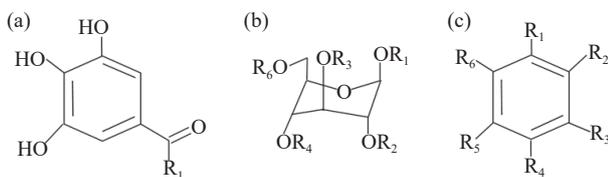


图 2 余甘果中没食子酸类化合物、鞣质类化合物及其他酚类化合物的母核结构

Fig.2 Structures of parent nucleus of gallic acids, tannins and other phenols in *Phyllanthus emblica*

达 4.5%<sup>[14]</sup>, 是余甘多酚的重要组成部分。其他酚类化合物及其衍生物则是基于图 2-c 的母核等<sup>[11-12]</sup>, 通过取代不同的  $R_n$  基生成不同的酚类化合物, 如对羟基苯甲醛、原儿茶酸、反式肉桂酸等。余甘单宁及酚酸类化合物绝大多数都是基于以下三种母核, 通过不同的取代基构成不同的化合物, 这些化合物的种类和含量决定了余甘果的功效。

余甘果单宁及酚酸类物质的组成分析可采用高效液相色谱法、核磁共振波谱等方法<sup>[9, 15-19]</sup>, 目前, 使用最多的方法是高效液相色谱法, 该方法在许多实验中, 被用来证实某种功效中发挥主要作用的具体的成分, 但要确定该物质的分子结构, 目前最常用的方法仍然是核磁共振波谱分析。Chahal 等<sup>[20]</sup>通过高效液相色谱法, 证实了余甘果中含量最高的是鞣花酸和没食子酸, 并且在不同提取溶剂的体系中, 鞣花酸和没食子酸的含量仍为最高。表 2 列举了部分常见的单宁及酚酸类化合物, 这些化合物参与了余甘果内部的多重生理活动。Olennikov 等<sup>[22]</sup>通过分析得到余甘果中含有黏酸及其衍生物, 而这些物质会与余甘果中大量存在的没食子酸及其衍生物进行结合, 并产生多种酚酸类化合物。

## 1.3 黄酮及木脂素类

余甘果含有丰富的黄酮类及木脂素类化合物, 这类化合物对余甘果的生长、开花、结果以及抵御异物的侵袭方面起重要作用。王淑慧等<sup>[11-12]</sup>通过核磁共振波谱分析得到余甘果中的槲皮素、柚皮素等黄酮类化合物的母核如图 3-a 所示, 槲皮素的结构中,  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_5$ 、 $R_6$  基被 -H 取代,  $R_4$  基被 -OH 取代, 而柚皮素的  $R_1$ - $R_6$  基皆被 -H 取代, 两者的不同之处在于  $R_4$  基, 而这个母核的结构, 通过不同的取代基取代 R 基, 从而形成多种黄酮类化合物。Zhang 等<sup>[23]</sup>对余甘果中的黄烷醇及其衍生物进行分析, 得到黄烷醇及其衍生物的母核如图 3-b 所示, 如 (+)-没食子酰儿茶素和 (+)-儿茶素, 其  $R_4$  基分别被 -OH 和 -H 取代。郭晓江<sup>[24]</sup>对余甘果中的木脂素类化合物进行研究和分析, 得到 4-羰基松脂酚、丁香脂素、杜仲树脂酚等木脂素类化合物的母核如图 3-c 所示, 4-羰基松脂酚的  $R_1$  基和  $R_2$  基分别被 -OH 和 -H 取代, 而丁香脂素和杜仲树脂酚的  $R_1$  基都被 -OCH<sub>3</sub> 取代, 两者不同之处在于其  $R_2$  基分别被 -OCH<sub>3</sub> 和 -H 取代。不同的取代基通过取代母核上面的  $R_n$  基, 形成了不

表 2 余甘果中的单宁及酚酸类化合物

Table 2 Tannins and phenolic acids in *Phyllanthus emblica*

| 多酚组成 (含量从高到低)         | 分析方法                                   | 多酚组分   | 比例/含量              | 参考文献     |
|-----------------------|--|--------|--------------------|----------|
| 鞣花酸、没食子酸              | 高效液相色谱法                                | BUT    | 1.40:1             | [20]     |
| 没食子酸                  |  | EA     | 1.14:1             |          |
| 没食子酸甲酯、原儿茶酸           | 核磁共振波谱分析, 薄层色谱法、高效液相色谱法、硅胶色谱法、半制备液相色谱法 | Fr.4.4 | 120 mg/g           | [11-12]  |
| 反式肉桂酸、松柏醛、对羟基苯甲醛、异香草酸 |  | Fr.4   | 8.33:1             |          |
| 河子鞣酸、二甲基新河黎勒酸、甲基河黎勒酸  | 核磁共振波谱( <sup>1</sup> H-NMR)            | Fr.2   | 17.55:10.27:6.73:1 |          |
|                       |  |        | 4.12:1.71:1        | [13, 21] |

同的黄酮及木脂素类化合物,这些化合物的组成和含量决定了余甘果的功效。

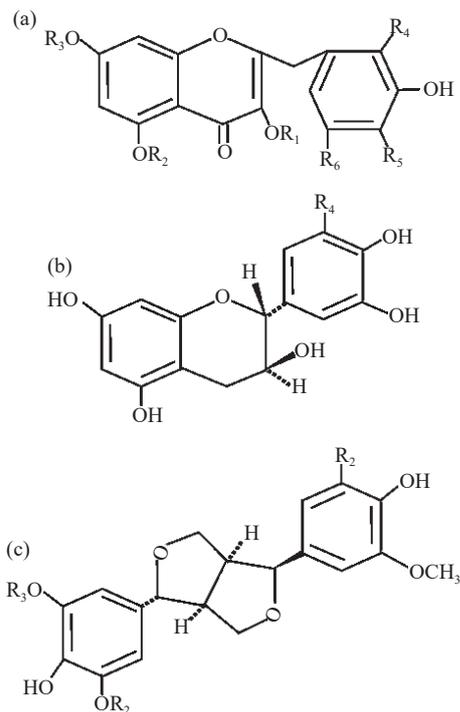


图3 余甘果中黄酮类化合物、黄烷醇类化合物及木脂素类化合物的母核结构

Fig.3 Structures of parent nucleus of flavonoids, flavanols and their derivatives and lignans in *Phyllanthus emblica*

余甘果黄酮及木脂素类物质的组成分析可采用高效液相色谱法、核磁共振波谱等方法(见表3)。王淑慧等<sup>[11-12]</sup>分析得到,余甘果中具有丰富的黄酮及木脂素类物质,其中槲皮素的含量最高,是这类物质的主要成分。Zhang等<sup>[23]</sup>从余甘果中发现表没食子茶素没食子酸酯、表没食子儿茶素、没食子儿茶素、(-)-表儿茶素、(-)-表阿夫儿茶精等,通过分析,这些物质的单体并不属于鞣质类化合物,但这类化合物通过缩合反应,可以形成鞣质类物质。

### 1.4 其他物质

余甘果中,主要的生物活性物质是余甘多糖、余甘多酚和余甘黄酮,除此之外,还含有氨基酸、维生素和矿物质等。但余甘果在这些方面的研究和应用较少,故文章仅在该部分进行简单列举,为读者提供参考。

1.4.1 维生素 维生素C作为水溶性维生素的一种,

在不同水果、不同环境中含量不同,余甘果被称为宝藏水果,特别之处在于其维生素C含量高,新鲜余甘果维生素C的含量可达200~1561 mg/100 g<sup>[20]</sup>。研究表明,余甘果不管是新鲜的果汁,还是干渣和干粉,其维生素C均能保持在较高的含量,表明其维生素C的稳定性较好,加工方式对其影响较小<sup>[25]</sup>。除了维生素C,余甘果还含有微量的维生素B<sub>1</sub>、维生素B<sub>2</sub>、胡萝卜素、烟酸等。研究表明,余甘果中维生素B<sub>1</sub>、维生素B<sub>2</sub>、胡萝卜素和烟酸的含量依次为49 μg/g、31 μg/g、69 mg/100 g和20 μg/g<sup>[26]</sup>。

1.4.2 矿物质 余甘果中的矿物质种类丰富、含量颇高。目前余甘果主要以鲜食食用或作为调配果汁食用,余甘果和余甘果汁中均含有P、S、K、Ca、Mg等大量元素<sup>[26-27]</sup>,两者的区别主要在于一些微量元素的种类及元素含量。此外,余甘果中还含有有机硒,在生物体内有机硒一般以硒蛋氨酸形式存在,参与蛋白质的合成。

1.4.3 氨基酸 余甘果的氨基酸种类丰富,并且含量较高,能够补充日常所需的绝大多数氨基酸。不同产地的余甘果都含有人体8种必需氨基酸,此外,余甘子中其他非必需氨基酸含量也非常丰富,如:丙氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、脯氨酸等<sup>[28-30]</sup>。从含量角度,每天摄入100 g余甘子,即能满足成年人每日的必需氨基酸需要量。余甘果氨基酸的种类与含量容易受种植气候、种植环境和采摘期的影响,故不同来源的余甘果在氨基酸组成上往往存在较为显著的差别。

## 2 余甘果生物活性成分提取技术

### 2.1 余甘多糖

目前,余甘多糖的提取主要以余甘果鲜果为原料,方法有水提醇沉法、乙醇浸煮辅助法、超声辅助法等,且多以水提醇沉法为主。在优化工艺时,主要以水提醇沉法作为基础方案,通过外加物理场、增加前处理等手段,达到提高余甘多糖得率的目的。尽管现在已有多种提取工艺在余甘多糖的制备中发挥重要作用,但余甘多糖的提取仍然面临着提取工艺不够高效、纯化工艺不够高效、提取工艺流程较为复杂等问题,故开发更为绿色、高效、简便的余甘多糖提取工艺和纯化工艺,是余甘多糖产业化的基础。

表4列举了余甘多糖的提取方法以及得率,提取原料皆为余甘果,故方法具有可比性。不同方法之

表3 余甘果中的黄酮及木脂素类化合物

Table 3 Flavonoids and lignans in *Phyllanthus emblica*

| 多酚组成(含量从高到低)   | 分析方法                        | 多酚组分       | 比例/含量                 | 参考文献    |
|--|-----------------------------|------------|-----------------------|---------|
| 槲皮素、山柰酚-3-O-α-L-鼠李糖  | 高效液相色谱法、核磁共振波谱              | Fr.3       | 1.25:1                | [11-12] |
| 杨梅素、柚皮素  |                             | Fr.4       | 1.67:1                |         |
| 表没食子茶素没食子酸酯、表没食子儿茶素、没食子儿茶素、(-)-表儿茶素、(-)-表阿夫儿茶精                         | 核磁共振波谱                      | Fr.4, Fr.5 | 7.76:2.24:1.76:1.41:1 | [23]    |
| Vermixocins B、Vermixocins A、丁香脂素、鹅掌楸树脂酚 A、Vermixocins D、杜仲树脂酚、异落叶松树脂酯醇 | 硅胶薄层色谱、核磁共振波谱               | 乙酸乙酯提取成分   | 1.5:1.5:1.5:1:1:1:1   | [24]    |
| 芳基四氢萘型木脂素  | 核磁共振波谱( <sup>1</sup> H-NMR) | Fr.4.4.2   | 0.282 mg/g            | [13]    |

表 4 余甘多糖提取技术

Table 4 Extraction technology of *Phyllanthus emblica* polysaccharides

| 生物活性物质 | 提取方法       | 提取工艺参数   | 得率          | 优点   | 缺点  | 参考文献 |
|--------|------------|--|-------------|--|---|------|
| 余甘多糖   | 水提醇沉法      | 料液比1:20、100 °C浸提4 h,冷却过100目筛,反复浸提2次,滤液合并。3000 r/min离心10 min,加入5倍95%乙醇沉淀,离心、干燥、过筛。  | 1.18%       | 仪器设备容易获得,提取成本低,可直接离心去除杂质。                                      | 提取温度高,提取时间长,提取率低。   | [6]  |
|        |            | 加入20倍去离子水、煮沸5 h,冷却、抽滤,滤渣加入15倍去离子水煮沸5 h,过滤,加入4倍体积95%乙醇沉淀,脱水、脱色,干燥。  | 1.69%       | 所需要的仪器设备要求较低且容易获得,提取成本低,以水为溶剂,提取后可直接或者离心去除杂质。                  | 提取温度高,提取时间长,提取率低。   | [31] |
|        | 乙醇浸煮-水提醇沉法 | 100 °C、95%乙醇浸煮1 h,反复3次。纱布过滤、干燥,加蒸馏水于100 °C回流提取2 h,反复3次,溶液合并真空浓缩至1/3,加入3倍95%乙醇沉淀,烘干、冷冻。   | 7.43%±0.05% | 在普通水提醇沉法的基础上,增加提取前的乙醇浸煮步骤,有效提高了多糖得率,所使用的仪器设备容易获得。              | 乙醇浸煮的反应条件需要100 °C水浴,反应条件较剧烈,提取时间长,操作较为复杂。                           | [7]  |
|        | 超声辅助法      | 鲜果去核、粉碎、干燥过筛,料液比1:10加入石油醚,超声清洗器浸提30 min,反复2次,干燥20 h;加入250 mL蒸馏水超声浸提30 min,反复3次;加入3倍体积95%乙醇沉淀30 min,减压抽滤、真空干燥。                  | 4.61%       | 大大缩短提取时间,提高有效成分的得率,提高了原料的利用率。该方法的超声辅助用于提取多糖,提取条件温和,操作简单。       | 需配备超声设备,对提取容器的选择有要求。  | [32] |
|        |            | 去核烘干粉碎过筛、加入30倍80%乙醇,超声功率250 W浸提,料液比1:30加入去离子水于100 °C水浴浸提90 min,抽滤、真空浓缩、80%乙醇于4 °C冰箱浸提24 h,加入氯仿:正丁醇=1:4混合液,离心,二次醇沉、无水乙醇洗涤、真空干燥。 | 6.51%       | 大大缩短提取时间,提高有效成分的得率,提高了原料的利用率,超声波提取温度低。该方法的超声辅助用在提取前的除杂,易于分离杂质。 | 提取成本较高,需要配备超声波设备,对提取容器有体积要求,设备占地面积大。多糖提取条件仍然是在100 °C水浴中加热浸提,没有简化操作。 | [33] |

间存在操作难易程度、提取时间和得率等方面的不同。通过对比,在没有辅助手段使用水提醇沉法时,余甘多糖的得率最高为 1.69%,并且提取时间较长,提取效率低。孟祯等<sup>[7]</sup>在提取余甘多糖前先使用乙醇浸煮,这种辅助手段使得余甘多糖的得率达到了 7.43%,但该方法并没有缩短提取时间,并且增加了操作难度,延长了提取工艺流程。超声辅助提取技术则可以大大缩短提取时间,简化提取工艺流程,与无辅助手段的水提醇沉法相比,其得率最高也达到 6.51%<sup>[33]</sup>,相比于乙醇预先浸煮的方法,超声辅助提取的条件更加温和、能耗更低、操作更加方便,还可以除去部分杂质,超声辅助提取技术具有极大的发展潜力和应用前景,在未来对余甘多糖的研究中,超声辅助法将会成为主流提取方案。值得注意的是,部分提取技术中需要使用氯仿、石油醚等有毒试剂,具有一定的安全隐患,因此,提取效率更高、低毒、绿色的提取技术是未来研究和发展的趋势。

## 2.2 单宁及酚酸类

目前,国内提取余甘果单宁及酚酸类化合物主要是以余甘果鲜果作为提取原料,提取手段主要包括有机溶剂法、超声辅助提取法、微波辅助提取法等。近年来,以有机溶剂为基础,在对提取工艺进行优化时,大多采用了超声、微波等外加物理场的辅助手段,大大提高了余甘果单宁及酚酸类化合物的提取率。除此以外,有研究表明使用天然深共晶溶剂提取植物单宁及酚酸类物质具有绿色环保、提取率高的特点,即使用无毒或低毒的溶剂组成一个提取的溶剂体系,用来提取植物单宁及酚酸<sup>[33-36]</sup>。这种方法提取

成本更低、可生物降解、可重复使用、可与水混溶,同时,该体系具有良好的热稳定性和稳定的化学性质,这种溶剂体系毒性低、绿色环保,能快速准确地提取植物单宁及酚酸。故开发更加高效、绿色的提取工艺,有利于余甘果单宁及酚酸类物质更大规模的产业化和更广泛的应用。

表 5 列举了余甘果单宁及酚酸类化合物的提取方法及得率,提取原料为余甘果,方法具有可比性。苏宁等<sup>[38]</sup>使用有机溶剂法进行提取,其得率最高为 8.84%,该方法虽然操作简单,但提取温度较高、提取时间长,故直接使用有机溶剂法的提取效率较低。杨冰鑫等<sup>[39]</sup>在有机溶剂提取的基础上,加入了超声波辅助提取,其得率提高至 13.94%。目前,尚未有将天然深共晶溶剂应用于余甘果单宁及酚酸类化合物的提取工艺中,这种溶剂可有效地弥补有机溶剂的缺点,可以预想,超声微波辅助天然深共晶溶剂提取会成为余甘单宁及酚酸类化合物新型的、高效的、具有高社会效益的提取方法。

## 2.3 黄酮及木脂素类

目前,提取余甘果黄酮及木脂素类化合物主要是以余甘果鲜果作为原料,已有多项提取工艺手段在余甘果黄酮及木脂素类化合物中发挥了重要作用,如:溶剂浸提法、超声和微波等物理场辅助提取法、生物酶提取法等,大大推动了余甘果黄酮及木脂素类化合物的发展。在使用溶剂提取的方法中,多以乙醇作为提取溶剂,但乙醇能与水互溶,同时能溶解无机盐、蛋白等,故其最终提取物含有较多的杂质,需要进一步的分离纯化。并且,大多数提取工艺中,存在

表5 余甘果单宁及酚酸类化合物提取技术

Table 5 Extraction technology of tannins and phenolic acids in *Phyllanthus emblica* L.

| 生物活性物质 | 提取方法    | 提取工艺参数                                      | 得率         | 优点                 | 缺点  | 参考文献 |
|--------|---------|---|------------|--------------------|---|------|
| 单宁及酚酸类 | 有机溶剂法   | 1:40、70%丙酮、提取温度40℃、提取时间30 min。              | 7.37%      | 反应条件较为温和,操作简便。     | 丙酮具有一定的毒性,不能直接用于动物、细胞实验等;同时操作过程中也有一定的危险性;溶剂使用量较大。 | [37] |
|        |         | 1:30、60%乙醇、提取温度85℃、提取时间1.5 h。               | 8.84%      | 操作简单,提取容器容易获得。     | 提取温度较高,多酚不稳定,容易导致物质的分解;提取时间较长。                    | [38] |
|        | 超声辅助提取法 | 1:69、提取温度62℃、提取时间32 min、超声功率180 W。          | 13.94%     | 提取率高。              | 料液比较小,所需要的溶剂量较大。                                  | [39] |
|        | 微波辅助提取法 | 1:20、提取温度50℃、提取时间6 min、微波功率640 W、微波时间3 min。 | 54.66 mg/g | 提取率较高、提取时间短、提取效率高。 | 无明显缺点。  | [40] |

着提取时间长的问题,极大地降低了余甘果黄酮及木脂素类物质的提取效率。

表6列举了余甘果黄酮及木脂素类化合物的提取方法及得率,提取原料为余甘果,方法具有可比性。超声、微波辅助提取能获得较高提取率,而且这些提取方法相较于单一溶剂提取或者酶提取,成本更低、时间更短,具有一定的经济效益。在余甘果黄酮的提取工艺中,生物酶法因成本高、提取率低,不推荐用该法提取余甘果黄酮;而浸渍法和水浴热回流法尽管提取率较高,但提取时间长、提取效率低。超声辅助有机溶剂法具有高效、绿色等特点,其最大提取率达到了25.881%,高于浸渍法和水浴热回流法,成为余甘果黄酮的主流提取方案。余甘果多酚的提取大多为有机溶剂法,在有机溶剂提取的基础上,加入了超声波、微波等物理场辅助手段,大大缩短提取时间、提高提取率,简化了提取工艺操作。而天然深共晶溶剂具有高

效、准确提取植物黄酮及木脂素类化合物的潜力,将这种工艺应用到余甘果中,开发出一种新型、高效的提取工艺,有助于推动余甘果黄酮及木脂素类物质的产业化发展,同时,能极大地解决提取效率低的问题。

### 3 余甘果生物活性成分的作用

#### 3.1 降血糖作用

余甘果多糖对控制糖尿病及并发症有积极作用,其作用机理包括降低胰岛素抵抗和激活胰岛素信号通路<sup>[47]</sup>,并且,余甘果多糖对 $\alpha$ -淀粉酶和 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制率呈剂量效应,比目前认为降糖效率最高的阿卡波糖作用更显著<sup>[32,48]</sup>。有研究表明,余甘果多糖能显著降低链脲佐菌素(STZ)诱导糖尿病SD大鼠模型中的血糖、葡萄糖、甘油三酯等水平,通过提高外周葡萄糖摄取、降低胰岛素抵抗作用等发挥降血糖的功效<sup>[45]</sup>。从余甘果中提取的黄酮类化合物对 $\alpha$ -淀粉酶和 $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有显著的抑制作用<sup>[46]</sup>,表

表6 余甘果黄酮及木脂素类化合物提取技术

Table 6 Extraction technology of flavonoids and lignans in *Phyllanthus emblica* L.

| 生物活性物质  | 提取方法      | 提取工艺参数  | 得率         | 优点                       | 缺点                                 | 参考文献 |
|---------|-----------|---|------------|--------------------------|------------------------------------|------|
| 黄酮及木脂素类 | 浸渍法       | 1:12、70%乙醇、提取时间24 h。                                      | 20.715%    | 冷水浸出,操作极简单。              | 提取时间很长;提取率相较于其他方法更低,提取效率低。         | [41] |
|         |           | 1:12、70%乙醇、提取温度80℃、提取时间60 min。                            | 21.825%    | 操作简单。                    | 提取时间长。                             | [41] |
|         | 水浴热回流法    | 1:25、70%乙醇、提取温度40℃、提取时间45 min。                            | 30.49 mg/g | 使用的溶剂较为安全、操作简单,提取容器易于获得。 | 提取时间较长。                            | [42] |
|         |           | 1:20、60%乙醇、提取温度60℃、提取时间60 min。                            | 29.72 mg/g | 使用的溶剂较为安全、操作简单,提取容器易于获得。 | 提取时间长。                             | [42] |
| 黄酮及木脂素类 | 复合酶法      | 1:80、pH为7、酶的种类为果胶酶:纤维素酶为1:1、酶用量8 mg/g、酶解时间70 min、酶解温度70℃。 | 1.997%     | 目标产物纯度较高。                | 提取时间长、提取成本较高。                      | [43] |
|         |           | 1:80、40%乙醇、提取温度70℃、提取时间50 min(超声20 min)、超声功率250 W。        | 4.27%      | 使用的溶剂较为安全、提取条件温和。        | 超声处理与加热提取分开操作,增加了提取工作量;提取时间长、提取率低。 | [44] |
|         | 超声辅助有机溶剂法 | 1:73、75%乙醇、提取温度60℃、提取时间30 min、超声功率240 W。                  | 10.55%     | 使用的溶剂较为安全、操作简单。          | 料液比过小,需耗费大量的提取溶剂。                  | [45] |
|         |           | 1:25、60%乙醇、提取温度60℃、提取时间20 min、超声功率70 W。                   | 14.57%     | 操作简单、使用的溶剂较为安全、提取时间较短。   | 无明显缺点。                             | [41] |
|         |           | 1:16、70%乙醇、提取温度60℃、提取时间60 min、超声功率350 W。                  | 25.881%    | 提取率高。                    | 提取时间长。                             | [46] |

明余甘果在糖尿病应用方面的潜力。余甘多酚中的槲皮素被证实能显著降低血糖、甘油三酯、低密度脂蛋白、总胆固醇和尿糖,同时,提高胰岛素、血红蛋白和高密度脂蛋白的水平<sup>[17]</sup>。左晓霜<sup>[43]</sup>通过动物实验证实,余甘多酚中的没食子酸类物质对链脲佐菌素诱导大鼠胰 INS-1 细胞凋亡和高浓度葡萄糖诱导 INS-1 细胞凋亡有一定缓解作用,同时又抑制炎症因子的表达,抑制胰岛  $\beta$  细胞凋亡,从而发挥降血糖的作用。Varnosfaderani 等<sup>[41]</sup>通过链脲佐菌素诱导的高血糖大鼠试验,证实余甘果中鞣花单宁具有抑制高血糖主动脉中 Akt 位点的磷酸化的作用,促进主动脉内皮非依赖性血管舒张。

综上试验表明,余甘果生物活性物质具有良好的降血糖作用,并且副作用小、原料价格低,具有治疗糖尿病及其并发症、高血糖的潜力,在糖尿病药物的开发和生产方面具有良好的应用前景和较高的应用价值。

### 3.2 抗氧化作用

Huang 等<sup>[19]</sup>研究得到余甘多糖对羟基自由基、DPPH 自由基和超氧阴离子自由基具有良好的清除作用。王锐<sup>[44]</sup>将余甘多糖与维生素 C 进行体外抗氧化活性的对比研究,无论是维生素 C 还是余甘多糖,体外抗氧化活性在一定的浓度范围内都呈现出剂量效应,并且在高浓度时,余甘多糖对 DPPH 自由基和超氧阴离子自由基清除作用与维生素 C 相当。Srinivasan 等<sup>[17]</sup>把余甘多糖分为酸性与中性,酸性余甘多糖由于含有较高的糖醛酸,其体外抗氧化活性比抗氧化剂 2,6-二叔丁基对甲酚(BHT)更高。余甘多酚可通过提供氢原子和打破自由基链来增强抗氧化活性<sup>[37]</sup>。从余甘果中分离出来的鞣花酸具有清除超氧阴离子自由基、DPPH 自由基和 ABTS<sup>+</sup>自由基的抗氧化活性,同时对 Fe(II)诱导的脂质过氧化具有抑制能力<sup>[40]</sup>。杨冰鑫等<sup>[39]</sup>的研究表明余甘多酚对自发性脂质氧化抑制率明显高于茶多酚。

随着提取技术的不断发展,余甘果生物活性物质的提取也会越来越高效,并且余甘果原料来源广、价格低、产量高,具有较大的开发潜力。综上,可知余甘果生物活性物质有较强的抗氧化功效,具有作为食品、药品等抗氧化剂的潜力。

### 3.3 抗癌作用

癌症是一个全球性的问题,是全球第二大常见死亡原因<sup>[48]</sup>。余甘多酚中槲皮素的抗癌作用包括其通过调节 PI3K/Akt/mTOR、Wnt/-catenin 和 MAPK/ERK1/2 通路促进细胞活力丧失、细胞凋亡和自噬的能力<sup>[49-50]</sup>。体外实验证明,余甘果水提物具有抑制癌细胞体外增殖、扩散和转移的能力,而对于正常细胞增殖没有显著影响<sup>[51-52]</sup>。该研究表明,余甘果水提取物的主要成分是没食子酸,其作用机理是能够增强丝裂霉素 C 和 cDDP 的抗癌能力,减弱它们诱发正常细胞恶性转变的潜力,有效减弱人正常结肠上皮细胞

基因的损伤并降低癌细胞的克隆形成能力和克隆异质性<sup>[51]</sup>。Guo 等<sup>[53]</sup>通过诱导细胞试验得出结论,余甘水提物增加丝裂霉素 C 和顺铂的抗癌细胞增殖作用,同时抑制这两种物质对正常细胞的不稳定基因的诱导,避免因基因组克隆扩增而引起的细胞毒性。

综上研究表明,余甘果生物活性物质可作为一种抗癌辅助药物,具有在癌症的治疗与预防中应用的潜力。但实际抗癌作用,还需要进一步进行临床研究。

### 3.4 抗炎作用

Wang 等<sup>[54]</sup>通过动物实验,证实余甘多酚可以显著减少肺表面淋巴结的数量,并降低肺组织中苯并芘诱导的促炎细胞因子巨噬细胞炎症蛋白、肿瘤坏死因子- $\alpha$  和白细胞介素-6 的水平。除了保护肺免受炎症损伤,Kunchana 等<sup>[55]</sup>分析出余甘多酚中的鞣花酸、没食子酸、绿原酸和槲皮素可以显著增加紫外线 B 暴露的 HaCaT 细胞的活力和减少细胞凋亡,并且,余甘多酚可通过抑制核因子  $\kappa$ B、AP-1 和中介因子 PGE2 来减弱紫外线 B 照射下的炎症反应。综上,余甘果生物活性物质具有开发成为食品添加剂、抗炎辅助药物和护肤品活性成分的潜力。

### 3.5 护肝作用

Huang 等<sup>[56]</sup>在体外实验中,证实了余甘多酚可提高脂肪细胞中脂联素和肝脏中过氧化物增值激活受体(PPAR- $\alpha$ )水平,降低肝脏中胆固醇结合元件调节蛋白-1c(SREBP-1c)水平。Tung 等<sup>[57]</sup>通过对余甘多酚治疗非酒精性脂肪性肝炎的疗效进行评价,表明余甘多酚能显著降低缺甲硫氨酸胆碱饲料小鼠肝脏脂质过氧化。综上,余甘多酚具有降低肝脏胆固醇和抑制肝脏脂质过氧化的作用,具有预防肝病发生和辅助治疗肝脏疾病的潜力,但具体功效的大小,还需进一步进行临床实验。

### 3.6 其他作用

曾绍校<sup>[58]</sup>通过动物实验,证实余甘多糖对小鼠肉瘤有抑制作用,还可抑制体外 S18 型腹水瘤,导致癌细胞破裂,细胞空泡,核固缩。目前,余甘多糖在调节肠道微生物菌群、抗炎作用等方面的研究欠缺,并且,对余甘多糖功效的研究大多集中在抗氧化和降血糖方面,对其他功效的挖掘明显不足。由于余甘果分布广、产量高,加上多糖提取方法日益成熟、高效,余甘多糖的获取更加简单,在此基础上,深入发掘余甘多糖的其他功效,有利于开发新型食源性天然多糖类物质。并且,多糖的分子治疗及化学结构的不同,其生物学活性也会有所不同,开发余甘多糖的其他功效将成为余甘多糖未来研究的方向。

此外,黄酮类化合物可被肠道菌群代谢为多种更低分子量的酚类<sup>[59]</sup>,调节肠道微生物的代谢反应<sup>[60]</sup>,这也部分解释了余甘果“健胃消食”的作用。Nair 等<sup>[61]</sup>通过细胞实验表明,余甘多酚在浓度超过 25 mg/mL 时,对伤寒链球菌和肠炎链球菌均有完全的杀菌作用,即使在低浓度下,提取物仍具有显著的抑菌效

果。综上,余甘果生物活性物质是潜在的抗菌药物,具有加工成为治疗和预防肠胃疾病的药品和保健品的潜力。

#### 4 结论与展望

随着余甘果生物活性成分的逐渐深入的研究,以及其功效不断被证明,余甘果被证实具有丰富的营养和食疗保健价值,但余甘果的功效与其活性成分的关联研究大多处于细胞、动物的水平,缺乏临床试验验证。开展余甘果生物活性物质的临床实验,有助于深化余甘果在医药、食品领域的应用,大大提高余甘果资源的利用价值,具有较高的经济效益和社会效益。

在现阶段食品工业中,余甘果主要被加工成凉果、余甘果干和余甘果汁进行销售,加工产品较为单一。目前,随着余甘果抗氧化、降血糖、抗癌、抗炎等生物活性逐渐被开发,在食品工业中可提取其生物活性成分开发成天然抗氧化剂、天然抗菌剂等;在医疗保健领域可将其加工成降血糖茶、降脂茶等;在医药领域则可以加工成抗癌辅助药物、抗炎辅助药物、肝病治疗辅助药物等;在化妆品领域可加工作为护肤品、洗面奶等美容化妆品的成分。

总之,余甘果具有多方面的开发和深加工利用价值,深化余甘果在食品、医疗保健及化妆品领域的应用,可大大提高余甘果的经济附加值和综合开发程度,具有重大而深远的意义。

#### 参考文献

- [1] 王恒苍. 席上珍馐余甘果 酸尽甘来保健康[J]. 养生月刊, 2017, 38(8): 744-747. [WANG H C. Precious and delicious *Phyllanthus emblica* on the table and sour and sweet to protect your health[J]. Health Preserving, 2017, 38(8): 744-747.]
- [2] MUTHUSAMY A, SANJAY E, NAGENDRA PRASAD H, et al. Quantitative analysis of *Phyllanthus* species for bioactive molecules using high-pressure liquid chromatography and liquid chromatography-mass spectrometry[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 2018, 88(3): 1043-1054.
- [3] ZHANG J, MIAO D, ZHU W F, et al. Biological activities of phenolics from the fruits of *Phyllanthus emblica* L. (Euphorbiaceae) [J]. *Chemistry & Biodiversity*, 2017, 14(12): e1700404.
- [4] 唐仕荣, 宋慧, 高兆建, 等. 不同产地余甘子多酚类成分 HPLC 指纹图谱分析研究[J]. *中国食品添加剂*, 2018(2): 182-187. [TANG S R, SONG H, GAO Z J, et al. Analysis of HPLC fingerprint of *Phyllanthus emblica* harvest from different places[J]. *China Food Additives*, 2018(2): 182-187.]
- [5] ZENG Z, LÜ W, JING Y, et al. Structural characterization and biological activities of a novel polysaccharide from *Phyllanthus emblica* [J]. *Drug Discoveries & Therapeutics*, 2017, 11(2): 54-63.
- [6] 许丽宾, 郝凌君, 卢旭, 等. 余甘多糖分离纯化及其分子结构的研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(12): 127-132. [XU L B, ZHENG L J, LU X, et al. Study on separation, purification and molecular structure of *Phyllanthus emblica* polysaccharide[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(12): 127-132.]
- [7] 孟祯, 孙梦珂, 许永得, 等. 余甘子多糖的结构表征及免疫增强作用[J]. *畜牧兽医学报*, 2021, 52(12): 3627-3640. [MENG Z, SUN M K, XU Y D, et al. Structural characterization and immune enhancing effect of *Phyllanthus emblica* polysaccharide[J]. *Acta Veterinaria Et Zootechnica Sinica*, 2021, 52(12): 3627-3640.]
- [8] LI Y, CHEN J, CAO L, et al. Characterization of a novel polysaccharide isolated from *Phyllanthus emblica* L. and analysis of its antioxidant activities[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(7): 2758-2764.
- [9] 梁惠芬, 曾鑫海, 冼宇婷, 等. 基于响应面的余甘果脱涩工艺优化[J]. *云南化工*, 2019, 46: 7-11. [LIANG H F, ZENG X H, XIAN Y T, et al. Optimization of destringency technology based on response surface[J]. *Yunnan Chemical Technology*, 2019, 46: 7-11.]
- [10] 李兵, 黄贵庆, 卢汝梅, 等. 余甘子化学成分研究[J]. *中药材*, 2015, 38(2): 290-293. [LI B, HUANG G Q, LU R M, et al. Study on the chemical composition of *Phyllanthus emblica* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2015, 38(2): 290-293.]
- [11] 王淑慧, 程锦堂, 郭丛, 等. 余甘子化学成分研究[J]. *中草药*, 2019, 50(20): 4873-4878. [WANG S H, CHENG J T, GUO C, et al. Chemical constituents of *Phyllanthus emblica* and its anti-inflammation activities[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2019, 50(20): 4873-4878.]
- [12] 王淑慧. 中药余甘子化学成分研究与 GbUGT717L 酶的催化能力研究[D]. 北京: 中国中医科学院, 2019. [WANG S H. Research on chemistry of *Phyllanthus emblica* L. and catalytic capability of GbUGT717L[D]. Beijing: China Academy of Chinese Medical Sciences, 2019.]
- [13] YANG F, YASEEN A, CHEN B, et al. Chemical constituents from the fruits of *Phyllanthus emblica* L. [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2020, 92: 104122.
- [14] 陈静梅, 郝二伟, 杜正彩, 等. 基于化学成分、药理作用和网络药理学的余甘子质量标志物(Q-Marker)预测分析[J]. *中草药*, 2022, 53(5): 1570-1586. [CHEN J M, HE E R W, DU Z C, et al. Predictive analysis on quality marker of *Phyllanthus emblica* base on chemical composition, pharmacological effects and network pharmacology[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2022, 53(5): 1570-1586.]
- [15] AHMED S, DING X, SHARMA A. Exploring scientific validation of Triphala Rasayana in ayurveda as a source of rejuvenation for contemporary healthcare: An update[J]. *J Ethnopharmacol*, 2021, 273: 113829.
- [16] FATIMA N, HAFIZUR R M, HAMEED A, et al. Ellagic acid in *Embllica officinalis* exerts anti-diabetic activity through the action on  $\beta$ -cells of pancreas[J]. *Eur J Nutr*, 2017, 56(2): 591-601.
- [17] SRINIVASAN P, VIJAYAKUMAR S, KOTHANDARAMAN S, et al. Anti-diabetic activity of quercetin extracted from *Phyllanthus emblica* L. fruit: *In silico* and *in vivo* approaches[J]. *J Pharm Anal*, 2018, 8(2): 109-118.
- [18] BALUSAMY S R, VEERAPPAN K, RANJAN A, et al. *Phyllanthus emblica* fruit extract attenuates lipid metabolism in 3T3-L1 adipocytes via activating apoptosis mediated cell death[J]. *Phytomedicine*, 2020, 66: 153129.
- [19] HUANG H Z, QIU M, LIN J Z, et al. Potential effect of tropical fruits *Phyllanthus emblica* L. for the prevention and management of type 2 diabetic complications: A systematic review of recent advances[J]. *Eur J Nutr*, 2021, 60(7): 3525-3542.
- [20] CHAHAL A K, CHANDAN G, KUMAR R, et al. Bioactive constituents of *Embllica officinalis* overcome oxidative stress in mammalian cells by inhibiting hyperoxidation of peroxiredoxins[J]. *J Food Biochem*, 2020, 44(2): e13115.
- [21] LEE D Y, KIM H W, YANG H, et al. Hydrolyzable tannins

from the fruits of *Terminalia chebula* Retz and their  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities[J]. *Phytochemistry*, 2017, 137: 109–116.

[22] OLENNIKOV D, KASHCHENKO N, SCHWABL H, et al. New mucic acid gallates from *Phyllanthus emblica*[J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2015, 51(4): 666–670.

[23] ZHANG Y J, ABE T, TANAKA T, et al. Phyllanemblinins A–F, new ellagitannins from *Phyllanthus emblica*[J]. *Journal of Natural Products*, 2001, 64(12): 1527–1532.

[24] 郭晓江. 两种药用植物的化学成分及生物活性研究[D]. 济南: 山东大学, 2013. [GUO X J. Chemical and bioactive studies on two species of traditional Chinese medicine[D]. Jinan: Shangdong University, 2013.]

[25] 朱逊贤. 余甘饮料发酵新工艺探讨[D]. 泉州: 华侨大学, 2017. [ZHU S X. Discussion on the new fermentation process of *Phyllanthus emblica* drinks[D]. Quanzhou: Huaqiao University, 2017.]

[26] BARTHAKUR N N, 莫治雄. 余甘子的化学成分及其作为食品资源的潜力[J]. 世界热带农业信息, 1992(6): 38–40. [BARTHAKUR N N, MO Z X. Chemical composition of *Phyllanthus emblica* L. and its potential as a food resource[J]. World Tropical Agriculture Information, 1992(6): 38–40.]

[27] 刘凤书, 侯开卫, 李绍家, 等. 余甘子的保健价值及开发利用前景[J]. 自然资源学报, 1993(4): 299–306. [LIU F S, HOU K W, LI S J, et al. The health-protecting value of *Phyllanthus emblica* L. and its prospects for exploitation and utilization[J]. *Journal of Natural Resources*, 1993(4): 299–306.]

[28] 王建超, 陈志峰, 郭林榕. 我国余甘子种质资源生态分布区域综述[J]. 东南园艺, 2020, 8(2): 57–60. [WANG J C, CHEN Z F, GUO L R. A review on the ecological distribution area of *Phyllanthus emblica* germplasm resources in my country[J]. *Southeast Horticulture*, 2020, 8(2): 57–60.]

[29] 赵琼玲, 金杰, 沙毓沧, 等. 不同来源地的余甘子果实氨基酸组成及含量分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(36): 78–84. [ZHAO Q L, JIN J, SHA Y C, et al. Analysis of amino acid composition and content of *Phyllanthus emblica* from different origins[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(36): 78–84.]

[30] 袁建民, 杨晓琼, 许智萍, 等. 云南干热河谷区余甘子果实氨基酸组成及营养价值评价[J]. 江西农业学报, 2021, 33(10): 29–37. [YUAN J M, YANG X Q, XU Z P, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of *Phyllanthus emblica* in Yunnan dry-hot valley[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2021, 33(10): 29–37.]

[31] 肖湘, 俞丽君, 邱玉莹, 等. 油柑多糖的提取与清除氧自由基作用研究[J]. 中国药理学杂志, 1998, 33(5): 279–281. [XIAO X, YU L J, QIU Y Y, et al. Study on extraction and scavenging of oxygen free radicals of *Phyllanthus emblica*[J]. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 1998, 33(5): 279–281.]

[32] 高路, 张公信, 高云涛. 余甘子多糖提取物抗氧化活性研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(20): 133–136. [GAO L, ZHANG G X, GAO Y T. Study on antioxidant activity of extraction of *Phyllanthus emblica* polysaccharide[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(20): 133–136.]

[33] SUO H, PENG Z, GUO Z, et al. Deep eutectic solvent-based ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from different potato genotypes: Comparison of free and bound phenolic profiles and antioxidant activity[J]. *Food Chem*, 2022, 388: 133058.

[34] ZHANG X H, ZHENG J J, QING X D, et al. Extraction and determination of phenolic compounds in Chinese teas using a novel compound salt aqueous two-phase system coupled with multivariate chemometric methods[J]. *LWT*, 2022, 162: 113477.

[35] BENER M, ŞEN F B, ÖNEM A N, et al. Microwave-assisted extraction of antioxidant compounds from by-products of Turkish hazelnut (*Corylus avellana* L.) using natural deep eutectic solvents: Modeling, optimization and phenolic characterization[J]. *Food Chem*, 2022, 385: 132633.

[36] TOLEDO HIJO A A C, ALVES C, FARIAS F O, et al. Ionic liquids and deep eutectic solvents as sustainable alternatives for efficient extraction of phenolic compounds from mate leaves[J]. *Food Res Int*, 2022, 157: 111194.

[37] LI W, ZHANG X, CHEN R, et al. HPLC fingerprint analysis of *Phyllanthus emblica* ethanol extract and their antioxidant and anti-inflammatory properties[J]. *J Ethnopharmacol*, 2020, 254: 112740.

[38] 苏宁, 王超, 王昌涛, 等. 余甘子中水解性单宁的提取及其功效研究[J]. 食品科技, 2012, 37(10): 191–195. [SU N, WANG C, WANG C T, et al. Extraction and efficacy of hydro-lysabetannin from *Emblca*[J]. *Food Science and Technology*, 2012, 37(10): 191–195.]

[39] 杨冰鑫, 刘晓丽. 余甘子总多酚的提取及其抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(16): 151–155, 162. [YANG B X, LIU X L. Extraction and antioxidant activity of polyphenols from *Phyllanthus emblica* L.[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(16): 151–155, 162.]

[40] LUO W, ZHAO M, YANG B, et al. Antioxidant and antiproliferative capacities of phenolics purified from *Phyllanthus emblica* L. fruit[J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(1): 277–282.

[41] VARNOSFADERANI S K, HASHEM-DABAGHIAN F, AMIN G, et al. Efficacy and safety of Amla (*Phyllanthus emblica* L.) in non-erosive reflux disease: A double-blind, randomized, placebo-controlled clinical trial[J]. *J Integr Med*, 2018, 16(2): 126–131.

[42] DHAMEJA M, GUPTA P. Synthetic heterocyclic candidates as promising  $\alpha$ -glucosidase inhibitors: An overview[J]. *Eur J Med Chem*, 2019, 176: 343–377.

[43] 左晓霜. 余甘子中没食子酸对高糖诱导胰岛 $\beta$ 细胞凋亡的机制研究[D]. 昆明: 云南中医学院, 2018. [ZUO X S. The mechanism of gallic acid of *Phyllanthus emblica* L. on apoptosis of pancreatic islet  $\beta$  cells induced by high glucose[D]. Kunming: Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, 2018.]

[44] 王锐. 余甘子多糖体外降血糖及抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(17): 189–192, 224. [WANG R. Study on hypoglycemic and antioxidant activity *in vitro* of *Phyllanthus emblica*[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(17): 189–192, 224.]

[45] PATEL S S, SHAH R S, GOYAL R K. Antihyperglycemic effects of formulation of spray dried fruit juice of *Emblca officinalis* in streptozotocin induced diabetic rats[J]. *Current Nutrition & Food Science*, 2017, 13(1): 57–62.

[46] ZHU J, CHEN C, ZHANG B, et al. The inhibitory effects of flavonoids on  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2020, 60(4): 695–708.

[47] 蔡敦保, 陈一农, 黄松春, 等. 余甘果治疗糖尿病高血糖临床观察[J]. 福建医药杂志, 1994(4): 42, 41. [CAI D B, CHEN Y N, HUANG S C, et al. Clinical observation on treatment of diabetic hyperlipidemia with *Phyllanthus emblica*[J]. *Fujian Medical Journal*, 1994(4): 42, 41.]

[48] 袁蕙芸, 蒋宇飞, 谭玉婷, 等. 全球癌症发病与死亡流行现状和变化趋势[J]. 肿瘤防治研究, 2021, 48(6): 642–646. [YUAN H Y, JIANG Y F, TAN Y T, et al. The current status and changing trend of global cancer incidence and mortality[J]. *Cancer Research on Prevention and Treatment*, 2021, 48(6): 642–646.]

- [ 49 ] TANG S M, DENG X T, ZHOU J, et al. Pharmacological basis and new insights of quercetin action in respect to its anti-cancer effects[J]. *Biomed Pharmacother*, 2020, 121: 109604.
- [ 50 ] REYES-FARIAS M, CARRASCO-POZO C. The anti-cancer effect of quercetin: Molecular implications in cancer metabolism[J]. *Int J Mol Sci*, 2019, 20(13): 3177.
- [ 51 ] GUO X, NI J, LIU X, et al. *Phyllanthus emblica* L. fruit extract induces chromosomal instability and suppresses necrosis in human colon cancer cells[J]. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 2013, 83(5): 271–280.
- [ 52 ] 郭锡汉. 余甘子 (*Phyllanthus emblica*) 水抽提物对人结肠腺癌细胞和正常结肠上皮细胞染色体不稳定性、细胞增殖、死亡的差异性影响[D]. 昆明: 云南师范大学, 2014. [ GUO X H. Differential effects of *Phyllanthus emblica* water extract on chromosomal instability, cell proliferation and death in human colorectal adenocarcinoma cells and normal colon epithelial cells[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2014. ]
- [ 53 ] GUO X H, NI J, XUE J L, et al. *Phyllanthus emblica* Linn. fruit extract potentiates the anticancer efficacy of mitomycin C and cisplatin and reduces their genotoxicity to normal cells *in vitro*[J]. *J Zhejiang Univ Sci B*, 2017, 18(12): 1031–1045.
- [ 54 ] WANG C C, YUAN J R, WANG C F, et al. Anti-inflammatory effects of *Phyllanthus emblica* L on benzopyrene-induced precancerous lung lesion by regulating the IL-1 $\beta$ /miR-101/Lin28B signaling pathway[J]. *Integrative Cancer Therapies*, 2017, 16(4): 505–515.
- [ 55 ] KUNCHANA K, JARISARAPURIN W, CHULAROJMONTRI L, et al. Potential use of amla (*Phyllanthus emblica* L.) fruit extract to protect skin keratinocytes from inflammation and apoptosis after UVB irradiation[J]. *Antioxidants*, 2021, 10(5): 703.
- [ 56 ] HUANG C Z, TUNG Y T, HSIA S M, et al. The hepatoprotective effect of *Phyllanthus emblica* L. fruit on high fat diet-induced non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) in SD rats[J]. *Food & function*, 2017, 8(2): 842–850.
- [ 57 ] TUNG Y T, HUANG C Z, LIN J H, et al. Effect of *Phyllanthus emblica* L. fruit on methionine and choline-deficiency diet-induced nonalcoholic steatohepatitis[J]. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2018, 26(4): 1245–1252.
- [ 58 ] 曾绍校. 余甘多糖提取工艺及其功能学的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2004. [ ZENG S X. Studies on extraction technology and functional effect of polysaccharide from *Phyllanthus emblica* L. [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2004. ]
- [ 59 ] FENG X, LI Y, BROBBEY OPPONG M, et al. Insights into the intestinal bacterial metabolism of flavonoids and the bioactivities of their microbe-derived ring cleavage metabolites[J]. *Drug Metab Rev*, 2018, 50(3): 343–356.
- [ 60 ] DI LORENZO C, COLOMBO F, BIELLA S, et al. Polyphenols and human health: The role of bioavailability[J]. *Nutrients*, 2021, 13(1): 273.
- [ 61 ] NAIR A, BALASARAVANAN T, JADHAV S, et al. Harnessing the antibacterial activity of *Quercus infectoria* and *Phyllanthus emblica* against antibiotic-resistant *Salmonella typhi* and *Salmonella enteritidis* of poultry origin[J]. *Veterinary World*, 2020, 13(7): 1388.