

岭南特色水果副产物中活性成分的提取技术及综合利用研究进展

温文俊¹, 梁贵强¹, 邓力川¹, 黄文焯¹, 肖更生^{1,2}, 彭进明^{1,2,3*}, 王琴^{1,2,3*}

(1. 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, 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东广州 510225) (2. 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东广州 510225) (3. 仲恺广梅研究院, 广东梅州 514000)

摘要: 岭南特色水果副产物富含膳食纤维、果胶、多酚、功能性油脂、色素和精油等活性物质, 对这些活性成分进行提取和利用, 可变废为宝, 提高原料的利用率和附加值。该研究综述了岭南特色水果副产物中活性成分的提取技术包括微波提取、超声波提取、酶法提取、脉冲电场提取、高压静电场提取、射频提取、超临界萃取和多技术协同提取; 另外讨论了将这些活性成分作为功能性配料综合利用用于健康食品、抗菌保鲜、生物材料、化妆品领域, 以期为水果副产物中功效成分的挖掘和利用提供参考。

关键词: 岭南; 水果副产物; 活性物质; 提取技术; 综合利用

文章编号: 1673-9078(2022)12-402-409

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.12.0140

Research Progress on Extraction Technologies and Comprehensive Utilization of Active Components from by-Products of Lingnan Characteristic Fruits

WEN Wenjun¹, LIANG Guiqiang¹, DENG Lichuan¹, HUANG Wenyue¹, XIAO Gengsheng^{1,2}, PENG Jinming^{1,2,3*}, WANG Qin^{1,2,3*}

(1. Key Laboratory of Green Processing and Intelligent Manufacturing of Lingnan Specialty Food, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; College of Light Industry and Food Science, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China) (2. Guangdong Key Laboratory of Science and Technology of Lingnan Specialty Food, College of Food Science and technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China) (3. Zhongkai University & Guangzhou (Meizhou) Industrial Zone Research Institute, Meizhou 514000, China)

Abstract: The by-products of Lingnan characteristic fruits are rich in active substances such as dietary fibers, pectins, polyphenols, functional oils, pigments and essential oils. Extraction and utilization of these active ingredients can turn waste into treasure, and increase the utilization rate and added value of raw materials. This paper reviewed the extraction technologies for the active components in the by-products of Lingnan characteristic fruits, including microwave extraction, ultrasonic extraction, enzymatic extraction, pulsed electric field extraction, high-voltage electrostatic field extraction, radio frequency extraction, supercritical extraction and multi-technology synergistic extraction. Moreover, this paper also discussed the applications of these active ingredients as functional ingredients in the fields of healthcare food,

引文格式:

温文俊,梁贵强,邓力川,等. 岭南特色水果副产物中活性成分的提取技术及综合利用研究进展[J].现代食品科技,2022,38(12):402-409

WEN Wenjun, LIANG Guiqiang, DENG Lichuan, et al. Research progress on extraction technologies and comprehensive utilization of active components from by-products of Lingnan characteristic fruits [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(12): 402-409

收稿日期: 2022-02-13

基金项目: 广东省区域联合基金青年基金项目 (2021A1515110660); 广东省驻镇帮镇扶村科技特派员项目 (KTP20210380)

作者简介: 温文俊 (1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬加工与功能食品, E-mail: wj92003722@163.com

通讯作者: 彭进明 (1992-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 果蔬加工与功能食品, E-mail: pengjimy@163.com; 共同通讯作者: 王琴 (1973-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬加工与功能食品, E-mail: qwang1230@126.com

antimicrobial preservation, biological materials and cosmetics, in order to provide reference for the discovery and utilization of functional components in fruit by-products.

Key words: Lingnan; fruit by-products; active substances; extraction techniques; comprehensive utilization

我国岭南地区拥有 500 多种水果^[1], 其中以荔枝、香蕉、木瓜、菠萝分布最广、产量最多, 被誉为岭南四大名果。此外, 还有芒果、杨桃、石榴、龙眼、白榄、乌榄、黄皮、杨梅、菠萝蜜、三华李、西瓜等。岭南特色水果风味独特、营养丰富, 一直广受消费者青睐^[2]。岭南特色水果在采摘、贮运、加工以及食用过程中会产生大量的副产物, 包括次果、落果、种子、果皮、核、壳、渣等, 其中富含膳食纤维、果胶、多酚、功能性油脂、色素、精油等活性成分, 具有较高的附加值^[3]。

水果副产物中活性物质提取常采用浸渍提取法、索氏提取法、蒸馏提取法等传统方法, 这些方法存在提取温度高、时间长, 活性物质易损失等缺点, 严重制约了水果副产物的高值化利用。区别于传统提取方法, 新型提取技术如超临界流体提取、超声波提取、微波提取、脉冲电场提取及射频提取等, 它们具有提取率高、提取速度快、环保节能等诸多优点, 有利于活性物质的高效制备, 在天然产物开发领域的应用前景十分广阔^[4]。长期以来, 岭南特色水果副产物大多被用于生产堆肥、饲料和沼气, 或当作垃圾处理, 这极大程度造成了资源浪费和环境污染。近年来, 岭南特色水果副产物综合利用水平不断提高, 副产物中活性成分已广泛应用于开发健康食品、生物材料、药剂、化妆品等。

本文就岭南特色水果副产物中活性物质的提取技术及综合利用进行综述, 以期对水果副产物中功效成分的挖掘和利用提供理论参考。

1 岭南特色水果副产物中活性物质

1.1 膳食纤维

膳食纤维是植物的可食部分, 在小肠中难以消化吸收, 在大肠中发酵分解。岭南特色水果副产物中含有丰富的膳食纤维, 如木瓜果渣中可溶性膳食纤维含量达 369.90 mg/g^[5], 香蕉皮中膳食纤维含量达 50%^[6], 火龙果皮中可溶性膳食纤维含量达 375 mg/g^[7], 柚子皮中膳食纤维含量达 489.30 mg/g^[8], 橙皮中不可溶性膳食纤维含量达 300~500 mg/g^[9]。膳食纤维被称为人类的第七大营养素, 对预防龋齿、促进肠道消化吸收、防止便秘、改善糖脂代谢异常等都有一定的作用^[10]。研究发现, 柚皮膳食纤维可抑制 α -淀粉酶活性, 减缓胆固

醇形成; 在小鼠糖尿病模型中, 柚皮膳食纤维有效改善小鼠葡萄糖耐量, 维持血糖处于正常水平, 降低血清胰岛素含量^[6]。桔子皮膳食纤维摄入可调节肠道菌群结构, 有助于预防、减轻肝纤维化, 降低血清促炎因子水平^[9]。

1.2 果胶

岭南特色水果副产物中存在大量果胶, 主要分布在果皮、果渣中。菠萝皮中果胶含量达 16.24%^[12]; 菠萝蜜果皮中果胶含量达 21.50%^[13]; 桔子皮、果渣中总果胶含量达 39%~47%^[14]。柑橘果皮果胶可促进特定益生菌选择性生长^[15]; 芒果皮果胶具有强抗氧化活性, 并能有效抑制炭疽菌、菌核菌和毛霉生长^[16]; 石榴果皮果胶具有促免疫细胞活性, 能抵抗炎症因子 NO、TNF- α 、L-1 β 、TNF- α 、IL-6、IL-10 分泌^[17]。

1.3 多酚

多酚类化合物广泛存在于岭南特色水果加工副产物, 如荔枝果皮中多酚含量为 7.40 mg/g, 果核中多酚含量为 58 mg/g^[18,19]。鲜枇杷果核中总酚含量约 2.37 mg/g, 并以咖啡酸、绿原酸为主^[20]。干制火棘果渣中总酚含量可达 102.34 mg/g, 干制百香果皮中总酚含量为 17.02 mg/g, 其中含多种花青素、黄酮^[21]。多酚作为植物次生代谢产物, 其结构多样, 具有诸多生物活性。芒果皮多酚具有较强的抗氧化、抑菌能力, 可防止脂质链式反应, 抑制毛霉的径向生长^[16]。橘、柑、柠檬、甜橙、柚子果皮中黄酮可改善肠道屏障, 有助于人体调控肠道屏障通透性, 保护黏液层, 强化肠道免疫系统^[22]。杨梅果渣多酚具有良好的降血糖作用, 其肠道代谢产物可间接促进肝脏消耗葡萄糖、合成糖原, 并显著改善葡萄糖氧化所致的氧化应激^[23]。红毛丹果皮提取物中富含多酚, 以鞣花酸、芦丁、槲皮素为主, 对大肠杆菌、铜绿假单胞菌、单增李斯特菌等具有广谱抑制效果, 鱼类在冷藏 10 d 内添加该提取物可使副溶血弧菌数量显著减少^[24]。

1.4 功能性脂肪酸

岭南特色水果的果核、果籽是制取植物多不饱和脂肪酸的优质基料。采用溶剂萃取番石榴籽, 出油率达 111.20~139.30 mg/g, 其中含有 75.25%油酸^[25]。葡萄柚籽冷榨出油率可达 457.20 mg/g, 其中含 36.42%~

39.35%亚油酸, 21.27%~22.58%油酸, 28.23%~32.37%棕榈酸^[26]。超临界萃取法提取芒果核仁油, 出油率可达 83 mg/g, 油脂中含 3.70%亚油酸、0.40% α -亚麻酸、15.50%油酸^[27]。猕猴桃籽油富含亚油酸、 α -亚麻酸、维生素 E、微量元素硒等天然成分, 具有抗蓝光、祛斑、保湿、护肤等作用^[28]。柚子籽油具有较强的抗氧化作用, 当其质量浓度大于 120 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 时, 对羟自由基、超氧阴离子清除能力高于同等质量浓度的维生素 C 和白藜芦醇^[29]。

1.5 色素

岭南特色水果副产物中天然色素含量丰富、形式多样。蓝莓果渣干制品中花青素含量可达 1.76 mg/g^[30]。火龙果皮中色素可达 10.70 mg/g, 主要成分为甜菜苷类色素^[31]。红毛丹果皮中色素主要以原花青素的形式存在, 原花青素含量为 74.60 mg/g^[32]。鲜芒果皮中富含类胡萝卜素 (51 mg/g), 主要成分为含氧类胡萝卜素如紫黄质、新黄质、黄体黄质、玉米黄素、叶黄素等^[33]。桑葚果渣中花青素具有抗氧化、保护肝脏、抑制脂肪生成的作用^[34]。蓝莓果渣提取物可显著抑制鼠伤寒沙门氏菌的黏附和聚集, 并可有效控制细菌感染^[35]。

1.6 精油

精油主要来源于果皮和果核。沙田柚皮中精油含量约 (15.60 \pm 1.10) mg/g^[36]、柠檬皮中精油达 20.30~21 mg/g^[37]。龙眼果核中精油含量可达 26.80 mg/g, 其中含 45%醇类物质、25%烯炔类物质^[38]。柑橘精油中含多种活性物质, 如柠檬烯、芳樟醇、柠檬醛和 α/β -蒎烯, 它们具有广谱抗菌作用^[39]。柑橘精油可预防高脂膳食诱导的胆固醇血症和脂肪肝, 研究显示膳食添加 0.50%~0.75%的柑橘精油可显著降低血清总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、肝脏总胆固醇水平以及肝脂积累^[40]。龙眼核精油对采后草莓有显著保鲜作用, 可有效降低草莓腐烂指数, 减缓营养物质损失, 维持果实抗氧化活性^[41]。

2 岭南特色水果副产物中活性物质的提取技术

岭南特色水果副产物含有丰富的活性成分, 选择合适的提取方法是制备目标组分的关键。传统提取技术如浸渍提取、索氏提取、蒸馏提取等简单易行, 但它们均存在诸多缺陷。近年来, 在天然产物提取方面出现了许多新型技术, 它们具备针对性强、提取效率高、成分损失少、周期短等优点, 极大程度弥补了传统技术的不足, 这对于水果副产物活性成分的开发利用意义重大。

2.1 微波提取技术

微波辅助提取的设备尺寸小、温度易控制、加热时间短、提取率高、提取物品好。微波辅助提取石榴皮的多酚, 60 min 提取得率可达 195.40 mg/g; 而采用乙醇溶剂萃取石榴皮多酚的提取率为 162.80 mg/g, 提取时间需 90 min 以上^[42]。微波辅助提取柑桔皮精油, 经 30 min 提取得率达 16 mg/g, 而传统蒸馏法得到相同的柑桔皮精油得率需要 3 h 以上; 且前者所得精油的抗氧化活性比后者更佳^[41]。微波提取猕猴桃籽油, 用时 35 min 提取得率达 232.50 mg/g; 而索氏提取、有机溶剂热回流猕猴桃籽油达到相同得率分别需耗时 8 h、6 h^[44-45]。

2.2 超声波提取技术

超声波提取具有提取效率高、时间短、温度低、适应范围广、提取液杂质少、运行成本低、操作简便等特点。超声提取猕猴桃果皮中黄酮, 产量可达 15.14 mg/g, 而用 $\phi=60\%$ 乙醇溶液浸提的产量为 13.04 mg/g^[46,47]。以食品级正己烷为溶剂, 80 W 超声辅助提取柑橘皮中 D-柠檬烯, 其提取量可达 32.90 mg/g, 提取时间为 40 min; 传统正己烷萃取法制备相同含量的 D-柠檬烯需要 185 min^[48]。采用超声辅助提取的桑葚果渣多酚产量可达 69.91 mg/g, 而 65%乙醇浸提 2 h 的多酚产量仅为 16.71 mg/g^[49,50]。

2.3 酶法提取技术

酶辅助提取法常运用在天然产物提取的预处理环节, 用纤维素酶、果胶酶等破解植物细胞壁, 促使胞内化合物释放。纤维素酶辅助提取石榴皮酚类物质, 总酚得率达 206 mg/g, 与静高压辅助提取效果相当^[51]。纤维素酶辅助提取橙皮渣果胶, 其得率为 77.70 mg/g^[52], 该法提取效率比碱提、螯合剂提取法高 88%、3.17%^[53]。覆盆子果渣含有丰富的酚类物质, 水酶法提取覆盆子果渣总酚得率达 37 mg/g、总鞣花酸得率达 14.60 mg/g, 明显高于丙酮-甲醇溶液萃取法 (25 mg/g、10.60 mg/g), 且水酶法所得覆盆子果渣多酚清除 DPPH 的 IC_{50} 比后者低 20%^[54]。

2.4 脉冲电场提取技术

脉冲电场辅助提取是一种可以连续化操作且处理时间短的非热提取技术, 利用细胞膜电穿孔原理可瞬间使细胞破壁, 使细胞组分流, 从而提高活性物质的得率^[55]。比较不同方法提取干石榴皮多酚, 结果显示 7 min 脉冲电场提取, 总酚得率达 39 mg/g, 其产量高

于相同时间的超声波提取 14.50 mg/g、红外加热提取 8.00 mg/g、水浸提 5.00 mg/g^[56]。脉冲电场辅助提取柚皮、柠檬皮和柑桔皮中的多酚,比水-酶提取法的多酚产量分别增加了 39%、66%和 135%^[57]。采用不同方法提取沙田柚的果皮精油,脉冲电场提取得率可达 13.70 mg/g,水蒸馏提取得率 6.30 mg/g,冷榨得率 1.30 mg/g;经 GC-MS 分析,脉冲电场所得柚皮精油中芳香物质更加丰富,其中柚子特征香气物质-诺卡酮占比 2.46%,其含量高于蒸馏法(1.05%)、冷榨法(0.36%)^[58]。

2.5 高压静电场提取技术

高压静电场是一种人工综合效应的稳态电场,对水果副产物进行预处理,能改变细胞膜通透性、酶活、带电粒子的分布及结合状态,能加速胞内活性物质析出^[59]。高压静电场提取石榴皮干制品总酚产量达 46.00 mg/g,比水浸提、超声波提取分别高 8.10 倍、2.10 倍^[54]。高压静电场辅助提取木瓜渣多酚,得率最高可达 49.60~55.20 mg/g,明显高于相同条件下传统浸提法(11.30 mg/g)和脉冲电场辅助法(23.10 mg/g)^[60]。

2.6 射频提取技术

射频提取属于介电加热提取,它能穿透到物料内部,引起物料内部带电离子的振荡迁移,将电能转化为热能^[61]。与微波提取、热水提取、溶剂提取、超声波提取相比,射频技术提取法更加高效、省时,具有更高的细胞壁穿透效果。例如,采用射频提取菠萝蜜果皮果胶,其最佳射频时间为 61.50 min,液固比为 20.63:1, pH 值为 2.61;在此条件下,果胶得率可达 29.40%,酯化度为 65.07%,该法所得菠萝蜜果胶属于高甲氧基果胶类,而传统酸法提取果胶得率仅 12.37%^[62]。

2.7 超临界萃取技术

超临界流体萃取具有选择性分离的特性,使用超临界流体能够从多种液态或固态混合物中萃取特定化合物,萃取过程在低温环境下进行,适合萃取高挥发度、热敏、易氧化的物质。超临界 CO₂ 萃取番石榴籽中油脂,其出油率可达 86 mg/g,其中含 78.50%亚油酸和 13.80%油酸,该提取番石榴籽油脂的货架期比传统蒸馏法更长^[63]。超临界萃取法有助于提高萃取物的抗氧化活性,例如,超临界 CO₂ 萃取佛手柑籽,所得油脂的 POV 值为 20.81 g/kg,高于索氏提取法的 POV 值 12.83 g/kg^[64]。超临界 CO₂ 萃取干石榴籽中脂肪酸,其产量可达 125.50 mg/g,高于传统正己烷浸提(2.50 mg/g);同样的,超临界 CO₂ 萃取蓝莓果渣干中脂肪酸,其产

量达 234.70 mg/g,是正己烷浸提的 38 倍^[65]。

2.8 多技术协同提取

在实际提取过程中,为获得最佳的提取效果,通常会采用多技术联用。在柚皮果胶提取工艺中,单一脉冲电场提取法的得率为 47.70 mg/g,单一纤维素酶辅助法的得率为 105.10 mg/g,而脉冲电场-纤维素酶协同联用提取果胶的得率可达 120.80 mg/g,明显高于单一提取方法。此外,通过比较 DPPH、OH 和 ABTS 自由基清除活性以及总还原力,结果表明多技术协同提取的柚皮果胶抗氧化活性最高^[66]。采用超声-微波协同提取百香果干果皮的果胶,得率可达 121.40 mg/g,与单独水提、超声、微波法的相比,得率分别提高了 47.33%、34.74%、23.50%;扫描电镜观察不同方法提取后的百香果果皮,结果显示百香果干果皮细胞壁在超声-微波协同作用下破碎更为彻底,利于果胶溶出^[67]。

3 岭南特色水果副产物中活性物质的综合利用

岭南特色水果副产物中的活性成分作为功能性配料可提高产品某一方面的特性或功能,现已被广泛应用于健康食品、抗菌保鲜、生物材料、化妆品领域。

3.1 健康食品

岭南特色水果副产物中活性物质可制作成营养强化食品或风味代替物。花青素具有良好的保健功能,将蓝莓果渣花青素、葡萄籽原花青素、银杏叶提取物配以炼蜜、纯化水制成蓝莓花青素营养液,每 100 mL 中含花青素大于 300 mg,该产品具有生物效价高、食用方便的特点^[68]。柚皮水浸煮液中含有丰富的黄酮类物质,可复合绿茶配制新型休闲保健饮品,具有怡人的柚子风味,符合现阶段大众口味与健康饮食追求^[69]。芒果皮果胶可制作成肉类脂肪替代品,添加 2%芒果皮果胶制作鸡肉饼,可代替 50%脂肪用量,同时保持了肉制品的嫩滑质地和香气香味^[70]。

3.2 抗菌保鲜

岭南特色水果副产物中活性物质广泛应用于食品保鲜方面,可制作成抑菌剂、抑菌喷雾、抗菌纳米乳液、食品抗氧化添加剂、保鲜薄膜等。柑橘精油可制作成天然防腐剂、抑菌剂喷雾,用于日常食品冷冻保藏、生活设施清洁等方面^[39]。柑橘精油成分易被氧化分解而影响其功效,通过制作成食用抗菌包装薄膜、柑橘精油微胶囊、柑橘精油纳米乳剂等,从而提高其抑菌效果^[71]。山竹果壳黄酮可作为抗菌剂喷雾喷涂在 HPMC 薄膜上,对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌有显著

抑制作用^[72]。猕猴桃幼果多酚提取物可制作成肉类天然保鲜剂,添加到鲜牛肉中,经七天冻藏,牛肉的脂肪氧化减少、肉色无明显褐变^[73]。猕猴桃果皮提取物可作为新鲜材料应用在包装薄膜制作,可有效延缓鸡腿等食品脂质氧化^[74]。

3.3 生物材料

除在食品领域的应用外,水果皮渣中的纤维素被用于制备薄膜材料,可应用于水处理、气体分离等领域。利用纤维素制备气凝胶是另外一种常见的应用形式,可被用于处理污水中的重金属离子,吸附染料、油类污染物等,目前已成为继硅基气凝胶、高分子基气凝胶后的新一代气凝胶材料^[75]。菠萝蜜果皮中提取的天然果胶聚合物可用于制备 HA 生物复合材料药剂,具有良好的细胞相容性和粘附性,可作为医学骨移植的材料。

3.4 化妆品

岭南特色水果副产物中一些活性成分具有隔离紫外线、保湿美白的作用,现已广泛用于化妆品、护肤品开发。猕猴桃籽油富含亚油酸、 α -亚麻酸、维生素 E、微量元素硒等天然营养护肤成分,具有抗蓝光、祛斑、保湿、抗老化、遮盖防护等作用,可开发祛斑油、嫩肤霜、面膜、沐浴露、洁面乳、抗蓝光精华液等护肤品^[28]。木瓜籽油含有丰富的不饱和脂肪酸和维生素,有良好的保湿滋润、亲和皮肤的效果,且无毒安全可食用,用木瓜籽油辅以凡士林、蜂蜡等,可制成木瓜籽润唇膏、润肤乳等,符合当下天然、安全的化妆品风尚^[76]。草莓果渣富含原花青素和黄酮类物质,用草莓果渣多酚制成美白乳霜,经人体试用 8 周,美白乳霜具有减少黑色素沉积、提亮肤色的效果,且安全性良好^[77]。

4 总结

综上所述,岭南特色水果副产物中含有大量的活性成分,极具开发潜力和应用前景。然而,目前提取技术与应用力度均不足,提取装备需提升,深加工产品少,缺乏区域特色。基于此现状,未来可以从以下四个方面开展深入研究:(1)采用新型技术对水果副产物进行梯次化提取,挖掘更多的活性物质;(2)对比不同地区水果副产物,拓展岭南特色水果副产物活性物质的突出功效;(3)针对岭南特色水果副产物的优势有效成分,探讨其在食品加工和储藏中的变化、生物体摄入后的变化及作用机理、生物材料研制;(4)根据岭南特色水果副产物活性物质的优良功能,开发

出具有区域特色的天然绿色产品。

参考文献

- [1] 彭宾,黄家怿,孟祥宝,等.岭南特色水果冷链物流智能调度与监控管理信息系统[J].现代农业装备,2014,3:61-66
- [2] 徐玉娟,程丽娜,卜智斌,等.岭南特色水果保鲜与加工研究进展[J].广东农业科学,2020,47(12):144-157
- [3] Sagar Narashans Alok, Pareek Sunil, Sharma Sunil, et al. Fruit and vegetable waste: bioactive compounds, their extraction, and possible utilization [J]. Compr Rev Food Sci Food Saf, 2018, 17(3): 512-531
- [4] Kowalska Hanna, Czajkowska Kinga, Cichowska Joanna, et al. What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 67: 150-159
- [5] 曾广琳.番木瓜皮抗氧化可溶性膳食纤维的制备、结构与性质研究[D].海口:海南大学,2018
- [6] Lee Eun Hye, Yeom Hye-Jung, Ha Mi-Sun, et al. Development of banana peel jelly and its antioxidant and textural properties [J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19(2): 449-455
- [7] 牛春艳,郑思蒙,吴琼.火龙果果皮中水溶性膳食纤维的制备[J].现代食品,2020,1:186-188
- [8] LIU Huifan, ZENG Xinyue, HUANG Jiayong, et al. Dietary fiber extracted from pomelo fruitlets promotes intestinal functions, both *in vitro* and *in vivo* [J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 252: 117186
- [9] Marín Francisco R, Soler-Rivas Cristina, Benavente-García Obdulio, et al. By-products from different citrus processes as a source of customized functional fibres [J]. Food Chemistry, 2007, 100(2): 736-741
- [10] HE Yang, WANG Bixiang, WEN Liankui, et al. Effects of dietary fiber on human health [J]. Food Science and Human Wellness, 2022, 11(1): 1-10
- [11] LI Mingmei, ZHOU Yan, ZUO Luo, et al. Dietary fiber regulates intestinal flora and suppresses liver and systemic inflammation to alleviate liver fibrosis in mice [J]. Nutrition, 2021, 81: 110959
- [12] Shivamathi Chellam Somasundarar, Gunaseelan Sathaiah, Soosai Michael Rahul, et al. Process optimization and characterization of pectin derived from underexploited pineapple peel biowaste as a value-added product [J]. Food Hydrocolloids, 2022, 123: 107141
- [13] XU Shuying, LIU Junpeng, HUANG Xuesong, et al. Ultrasonic-microwave assisted extraction, characterization and

- biological activity of pectin from jackfruit peel [J]. LWT - Food Science & Technology, 2018, 90: 577-582
- [14] Umaña Mónica M, Dalmau María E, Eim Valeria S, et al. Effects of acoustic power and pH on pectin-enriched extracts obtained from citrus by-products. Modelling of the extraction process [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(15): 6893-6902
- [15] ZHANG Shanshan, HU Haijuan, WANG Lufeng, et al. Preparation and prebiotic potential of pectin oligosaccharides obtained from citrus peel pectin [J]. Food Chemistry, 2018, 244: 232-237
- [16] Rojas Romeo, Alvarez-Pérez Olga B, Contreras-Esquivel Juan C, et al. Valorisation of mango peels: extraction of pectin and antioxidant and antifungal polyphenols [J]. Waste and Biomass Valorization, 2020, 11(1): 89-98
- [17] Ahmadi Gavlighi Hassan, Tabarsa Mehdi, YOU Sangguan, et al. Extraction, characterization and immunomodulatory property of pectic polysaccharide from pomegranate peels: Enzymatic vs conventional approach [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 116: 698-706
- [18] 周秋艳,唐方华,刘展梅,等.荔枝核多酚纯化工艺优化研究[J].安徽农业科学,2019,47(23):196-198
- [19] 周秋艳,唐方华,蒋旭红,等.荔枝皮多酚纯化工艺的优化研究[J].安徽农业科学,2019,47(22):187-189
- [20] 胡漫妮.枇杷果核中三萜类物质与多酚的分析研究[D].广州:华南理工大学,2014
- [21] 黎宇田.火棘果渣及百香果皮中可萃取和未萃取多酚的组成与活性研究[D].武汉:华中科技大学,2019
- [22] WANG Meiyang, ZHAO Hui, WEN Xiang, et al. Citrus flavonoids and the intestinal barrier: Interactions and effects [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021, 20(1): 225-251
- [23] Gowd Vemana, XIE Lianghua, SUN Chongde, et al. Phenolic profile of bayberry followed by simulated gastrointestinal digestion and gut microbiota fermentation and its antioxidant potential in HepG2 cells [J]. Journal of Functional Foods, 2020, 70: 103987
- [24] Phuong Nguyen Nhat Minh, Le Thien Trung, Van Camp John, et al. Evaluation of antimicrobial activity of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) peel extracts [J]. International Journal of Food Microbiology, 2020, 321: 108539
- [25] Kapoor Swati, Gandhi Neeraj, Tyagi Sanjeev Kumar, et al. Extraction and characterization of guava seed oil: A novel industrial byproduct [J]. LWT - Food Science & Technology, 2020,132:109882
- [26] Yilmaz Emin, Aydeniz Guner Buket, Ok Selçuk. Valorization of grapefruit seeds: cold press oil production [J]. Waste and Biomass Valorization, 2019, 10(9): 2713-2724
- [27] Cerón-Martínez Leidy J, Hurtado-Benavides Andrés M, Ayala-Aponte Alfredo, et al. A pilot-scale supercritical carbon dioxide extraction to valorize Colombian mango seed kernel [J]. Molecules, 2021, 26(8): 2279
- [28] 李伟,严友兵,张永康,等.猕猴桃籽油护肤品的开发利用[J].中国油脂,2020,45(4):119-122
- [29] 叶茂,邓毛程,严立逊,等.超声波辅助水酶法提取柚子籽油及其抗氧化性研究[J].中国油脂,2019,44(4):10-12
- [30] Lončarić Ante, Celeiro Maria, Jozinović Antun, et al. Green extraction methods for extraction of polyphenolic compounds from blueberry pomace [J]. Foods, 2020, 9(11): 1521
- [31] 胡元庆,王建蓉,李凤霞.微波辅助法提取火龙果果皮色素及其功能活性研究[J].食品工业科技,2020,41(23):182-188
- [32] 张瑜,张换换,李志洲.红毛丹果皮中原花青素提取及其抗氧化性[J].食品研究与开发,2011,32(1):188-192
- [33] 姚壮和.微波辅助提取芒果皮黄色素的研究[J].现代食品科技,2013,29(8):1973-1977
- [34] 栾琳琳.桑葚果渣花青素的提取及稳定性研究[D].贵阳:贵州大学,2020
- [35] Salaheen Serajus, Jaiswal Ekta, Joo Jungsoo, et al. Bioactive extracts from berry byproducts on the pathogenicity of *Salmonella typhimurium* [J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 237: 128-135
- [36] 张方艳,葛国香,刘美伶,等.4种柚子皮精油成分及其抑菌活性的研究[J].农产品加工,2021,17:1-4
- [37] Martínez-Abad Antonio, Ramos Marina, Hamzaoui Mahmoud, et al. Optimisation of sequential microwave-assisted extraction of essential oil and pigment from lemon peels waste [J]. Foods, 2020, 9(10): 1493
- [38] 尹爱国,刘兴龙,周天,等.荔枝果核精油超临界 CO₂ 萃取工艺及其成分研究[J].江苏农业科学,2019,47(23):212-216
- [39] LIN Xiaocai, CAO Shan, SUN Jingyu, et al. The chemical compositions, and antibacterial and antioxidant activities of four types of citrus essential oils [J]. Molecules, 2021, 26(11): 3412
- [40] FENG Konglong, ZHU Xiaoi, LIU Guo, et al. Dietary citrus peel essential oil ameliorates hypercholesterolemia and hepatic steatosis by modulating lipid and cholesterol homeostasis [J]. Food Funct, 2020, 11(8): 7217-7230
- [41] 韩林,汪开拓,郭冬琴,等.龙眼核精油对采后草莓的保鲜效果[J].食品工业科技,2015,36(11):309-313
- [42] Skenderidis Prodromos, Leontopoulos Stefanos, Petrotos

- Konstantinos, et al. Optimization of vacuum microwave-assisted extraction of pomegranate fruits peels by the evaluation of extracts' phenolic content and antioxidant activity [J]. *Foods*, 2020, 9(11): 1655
- [43] Aboudaou Malek, Ferhat Mohamed Amine, Hazzit Mohamed, et al. Solvent free-microwave green extraction of essential oil from orange peel (*Citrus sinensis* L.): effects on shelf life of flavored liquid whole eggs during storage under commercial retail conditions [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2019, 13(4): 3162-3172
- [44] 杜超,张雄,成刚.微波辅助提取猕猴桃籽油的工艺[J].*食品工业*,2020,41(6):152-155
- [45] 张郁松,赵雁武.四种不同提取方法对猕猴桃籽油得率的比较研究[J].*中国粮油学报*,2007,1:76-78
- [46] Giordano Miguel, Pinela José, Dias Maria Inês, et al. Ultrasound-assisted extraction of flavonoids from kiwi peel: process optimization and bioactivity assessment [J]. *Applied Sciences*, 2021, 11(14): 6416
- [47] 刘晓燕,张喜龙,马立志.贵长猕猴桃果皮中多酚的提取工艺及抗氧化研究[J].*食品科技*,2018,43(9):261-266
- [48] Khandare Ramrao, Tomke Prerana D, Rathod Virendra K. Kinetic modeling and process intensification of ultrasound-assisted extraction of d-limonene using citrus industry waste [J]. *Chemical Engineering and Processing*, 2021, 159: 108181
- [49] 李巨秀,张朝红,房红娟,等.桑椹总多酚的提取工艺研究[J].*食品研究与开发*,2011,32(9):75-79
- [50] ZHANG Xin, ZHAO Ya, WU Xiaotian, et al. Ultrasonic-assisted extraction, calcium alginate encapsulation and storage stability of mulberry pomace phenolics [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, 15(5): 4517-4529
- [51] Alexandre Elisabete M C, Silva Sara, Santos Sônia A O, et al. Antimicrobial activity of pomegranate peel extracts performed by high pressure and enzymatic assisted extraction [J]. *Food Res Int*, 2019, 115: 167-176
- [52] 丁倩,殷钟意,郑旭煦.响应面法优化纤维素酶辅助提取柑橘皮渣果胶工艺及产品质量研究[J].*安徽农业科学*,2020,48(14):162-165
- [53] LI Mengyuan, LIU Yong, ZHANG Qiang, et al. Effects of extraction methods on physicochemical properties and viscosity of polysaccharides from orange peel [J]. *Current Topics in Nutraceutical Research*, 2018, 1(17): 33-41
- [54] Saad N, Louvet F, Tarrade S, et al. Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from raspberry (*Rubus idaeus* L.) pomace [J]. *Journal of Food Science*, 2019, 84(6): 1371-1381
- [55] 刘航,冯立强,刘兴江.高压脉冲电场和传统热水法提取海带多糖的比较研究[J].*现代化工*,2016,36(7):75-78
- [56] Rajha Hiba N, Abi-Khattar Anna-Maria, El Kantar Sally, et al. Comparison of aqueous extraction efficiency and biological activities of polyphenols from pomegranate peels assisted by infrared, ultrasound, pulsed electric fields and high-voltage electrical discharges [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2019, 58: 102212
- [57] El Kantar Sally, Boussetta Nadia, Lebovka Nikolai, et al. Pulsed electric field treatment of citrus fruits: Improvement of juice and polyphenols extraction [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 46: 153-161
- [58] 魏静妮.脉冲电场辅助提取柚皮精油及其抑菌性研究[D].广州:华南理工大学,2018
- [59] LI Zongming, FAN Yang, XI Jun . Recent advances in high voltage electric discharge extraction of bioactive ingredients from plant materials [J]. *Food Chemistry*, 2019, 277: 246-260
- [60] Parniakov Oleksii, Barba Francisco J, Grimi Nabil, et al. Impact of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges on extraction of high-added value compounds from papaya peels [J]. *Food Research International*, 2014, 65: 337-343
- [61] 陈星辰.射频-超声波耦合真空回流提取茶多酚技术方法[D].咸阳:西北农林科技大学,2017
- [62] Naik Mohan, Rawson Ashish, Rangarajan Jagan Mohan. Radio frequency-assisted extraction of pectin from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) peel and its characterization [J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2020, 43(6): e13389
- [63] Narváez-Cuenca Carlos-Eduardo, Inampues-Charfuelan Mary-Lucía, Hurtado-Benavides Andrés-Mauricio, et al. The phenolic compounds, tocopherols, and phytosterols in the edible oil of guava (*Psidium guava*) seeds obtained by supercritical CO₂ extraction [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2020, 89: 103467
- [64] Sicari Vincenzo, Poiana Marco. Recovery of bergamot seed oil by supercritical carbon dioxide extraction and comparison with traditional solvent extraction [J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2017, 40(1): 1-9
- [65] Campalani Carlotta, Amadio Emanuele, Zanini Simone, et al. Supercritical CO₂ as a green solvent for the circular economy: Extraction of fatty acids from fruit pomace [J]. *Journal of CO₂ Utilization*, 2020, 41: 101259
- [66] 张佩琳.脉冲电场协同纤维素酶提取柚皮果胶的研究[D].广州:华南理工大学,2020

- [67] 黎英,刘夏蕾,林娅新,等.超声-微波协同提取百香果皮果胶的工艺研究[J].热带作物学报,2020,41(2):386-393
- [68] 王薇薇.基于专利分析花青素在食品中的应用进展[J].食品安全导刊,2020,33:165-167
- [69] 迟恩忠,李润仪,赵雅婷,等.柚子皮绿茶复合饮料的研制[J].农产品加工,2020,13:1-4
- [70] Chappalwar Anita M, Pathak Vikas, Goswami Meena, et al. Development of functional chicken patties with incorporation of mango peel powder as fat replacer [J]. Nutrition & Food Science, 2020, 50(6): 1063-1073
- [71] 田梦瑶,张映瞳,胡花丽.柑橘精油的提取及在食品保鲜中的应用[J].中国果菜,2020,40(1):21-25
- [72] Chaiwarit Tanpong, Kantrong Nutthapong, Sommano Sarana Rose, et al. Extraction of tropical fruit peels and development of HPMC film containing the extracts as an active antibacterial packaging material [J]. Molecules, 2021, 26(8): 2265
- [73] JIAO Yang, QUEK Siew-Young, GU Minghui, et al. Polyphenols from thinned young kiwifruit as natural antioxidant: Protective effects on beef oxidation, physicochemical and sensory properties during storage [J]. Food Control, 2020, 108: 106870
- [74] HAN Hee-Seon, SONG Kyung-Bin. Antioxidant properties of watermelon (*Citrullus lanatus*) rind pectin films containing kiwifruit (*Actinidia chinensis*) peel extract and their application as chicken thigh packaging [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2021, 28: 100636
- [75] 赵少杰.柑橘皮渣中多糖基资源的高值化利用[D].北京:中国农业科学院,2020
- [76] 吴金春,何洪波,鲍晨曦,等.野木瓜籽油润唇膏的研制[J].农产品加工,2021,6:20-22
- [77] 王娟.草莓多酚的提取及其在美白化妆品中的应用研究[D].广州:暨南大学,2017