

# 石榴皮多酚提取方法研究进展\*

朱彩平,张艳霞,张晓,李云,邓红,翟希川,赵凤珠

(陕西师范大学 食品工程与营养科学学院,陕西 西安,710062)

**摘 要** 石榴皮多酚是石榴皮中的主要生物活性成分,研究发现它具有多种生理功能,因此其提取方法的研究备受关注。文中概述了国内外近年来石榴皮多酚的不同提取方法,分析了各种提取方法的优缺点,以建立高效低廉的石榴皮多酚提取工业化生产路线。

**关键词** 石榴皮;多酚;提取方法;进展

## 1 石榴研究及多酚提取概述

石榴(*Punica granatum* L.)为石榴科石榴属植物,在热带及亚热带国家均有广泛种植,不仅可食用,还被广泛用作民间药物<sup>[1-2]</sup>。石榴的果实主要由3部分组成:种子、果肉和果皮。石榴果汁由果肉榨得,因其被建议作为化学预防、化学治疗、抗动脉粥样硬化、消炎等制剂,目前在全球范围内其销售量呈急剧增加的态势<sup>[3-4]</sup>;石榴籽主要用于油的提取,石榴籽油具有抗氧化<sup>[5]</sup>、抗衰老<sup>[6]</sup>、增强免疫力<sup>[7]</sup>等功能,目前石榴籽油在市场上也开始销售;石榴皮是石榴果汁和石榴酒等加工业的副产品,约占整个石榴果实鲜重的40%<sup>[8]</sup>,在我国,新鲜的石榴皮大部分被废弃,仅有少量晒干作为药用<sup>[9]</sup>。石榴皮中含有大量的多酚类物质,是其发挥药理作用的主要活性成分,包括安石榴苷、没食子酸、原儿茶素、绿原酸、表儿茶素、咖啡酸、芦丁、槲皮素、山萘素等多种化合物<sup>[10]</sup>,约占石榴皮干重的10%~20%。近10余年来的研究表明,它具有抗氧化、抗动脉粥样硬化、抗衰老、抗菌、抗突变、降血脂、降血压和润肤美容等多种功效<sup>[11-16]</sup>,因此,石榴皮多酚在食品、医药及化工用品方面具有极大的应用价值。

多酚类物质的提取方法主要包括:溶剂提取、微波及超声波辅助提取,酶法提取,超临界流体萃取,超高压流体萃取等。石榴皮多酚属于不稳定性物质,易被氧化破坏,提取时间过长、温度过高都会增加石榴

皮多酚结构被破坏的概率,低的提取效率不仅增加生产成本,还会降低石榴皮多酚的生物活性,因此,对石榴皮多酚的提取方法进行深入细致的研究,建立高效、快捷、经济、实用的提取方法显得尤为迫切。本文对近年来石榴皮多酚的提取方法作一综述。

## 2 石榴皮多酚提取方法

### 2.1 溶剂提取法

溶剂提取是最为传统的多酚提取方法,根据植物中不同成分在不同溶剂中的溶解度不同而分离,所采用的溶剂主要是水或有机溶剂。

孙兰萍<sup>[17]</sup>等利用乙醇提取石榴皮多酚,确定最佳的提取条件为:提取温度70℃,液料比25:1(mL:g),提取时间1.5h,乙醇体积分数50%,石榴皮多酚得率为16.28%。

王晓瑜<sup>[18]</sup>等采用甲醇、乙醇、乙酸乙酯和水4种溶剂分别对新疆石榴皮总多酚进行提取,结果发现不同溶剂提取效果差别较大,总多酚得率:甲醇>乙醇>水>乙酸乙酯。

李国秀<sup>[19]</sup>等以石榴皮粉为原料,研究了提取溶剂浓度、浸提温度、浸提时间和料液比对多酚提取效果的影响,通过正交试验对以上4个因素影响下的提取工艺进行了优化,确定了石榴皮多酚乙醇提取的最佳工艺为:乙醇体积分数60%、浸提温度60℃、料液比1:20(g:mL)、浸提时间2h,提取2次,以此优化工艺进行实验,多酚得率为23.39%。

国外研究学者大多采用水作为提取溶剂,认为水与有机溶剂相比价格低廉,对环境污染小。Çam<sup>[20]</sup>等在用中心组合设计优化石榴皮多酚水法提取的研究中,从可能对得率有影响的五个因素中剔除对得率影响不大的3个因素,最后选取提取温度和提取时间两个影响较大的因素进行优化实验,得到最佳提取条

第一作者:博士。

\*国家自然科学基金项目(31301598);陕西省自然科学基金项目(2012JQ3014);中央高校基本科研业务费专项资金项目(GK201402042);国家留学基金项目(201406875010)

收稿日期:2015-06-05,改回日期:2015-06-14

件为:提取温度 100 ℃,提取时间 1 min,经 HPLC 定量测定石榴皮总酚含量为 192.0 mg/g 干基,与采用传统的甲醇溶剂提取没有显著性差异。

Amyrgialaki<sup>[21]</sup>采用响应面优化石榴皮多酚的提取工艺,试验依据 2<sup>3</sup> 全因子中心组合设计,以乙醇/水/柠檬酸为提取介质,影响因素包括提取溶剂的 pH,乙醇的浓度和提取时间。得到最佳提取条件为:乙醇体积分数 40%,pH 2,提取时间 1 h,石榴皮总酚含量为 324.9 mg/g 干基。

采用溶剂法进行石榴皮多酚的提取时,可选取的溶剂主要有甲醇、乙醇、丙酮、乙酸乙酯和水等溶剂,从节能环保及食用安全的角度来讲,大多数研究者一般会选用低毒且价格相对低廉的乙醇或水作为溶剂,该方法简单易行,但耗时较长,效率不高。

## 2.2 酶解提取法

酶解提取法是根据酶反应具有高度专一性的特点,选择相应的酶,水解或降解细胞壁组成成分,从而破坏细胞,使细胞内的有效成分更易于溶进溶剂中,达到对植物有效成分提取的目的。

王华斌<sup>[22]</sup>等人研究了酶法提取石榴皮中多酚的工艺,采用单因素试验考察不同浓度的纤维素酶、果胶酶、复合酶(不同质量比的纤维素酶和果胶酶)、酶解时间、酶解温度及酶解液 pH 值对石榴皮多酚得率的影响,并运用二次通用旋转回归组合设计优化酶法提取石榴皮多酚的最佳工艺参数。试验结果表明,对石榴皮多酚得率影响次序依次为酶解时间 > 酶浓度 > pH 值 > 酶解温度。当复合酶(纤维素酶和果胶酶质量比为 2:1)质量浓度为 0.25 mg/mL,酶解时间 150 min,酶解温度 50 ℃,初始酶解液 pH 6.0 时,多酚得率达 23.87%。

酶法提取,条件温和,产品得率较高,现在也越来越广泛地应用于食品、药品及动植物细胞有效成分的提取,但提取时间较长。

## 2.3 微波辅助提取法

微波辅助提取是高频电磁波到达物料内部,由于吸收微波能,物料内部迅速升温,细胞瞬时破碎,被提取物进入提取介质中,提高提取效率<sup>[23-24]</sup>。微波辅助提取法近年来广泛应用于天然活性成分的提取,可提高目标物从固相转移到液相的传质速率,从而提高提取产率。

宋薇薇<sup>[25]</sup>等人采用微波辅助法提取石榴皮多酚类化合物,确定了石榴多酚提取的最优工艺条件:40% (体积分数)乙醇作溶剂,料液比(g:mL) 1:35,

微波功率 242 W,提取时间 60 s,提取 3 次,以该优化条件提取时,多酚粗提物的得率 26.52%。

王玲<sup>[26]</sup>等人采用微波辅助水法提取石榴皮多酚,得出其粗提物的最佳提取工艺为:筛目数 60~80 目,提取功率 385 W,料液比 1:25 (g:mL),提取时间 120 s,提取次数 3 次。在此条件下,石榴皮多酚得率最高达 21.4%。

文春鹃<sup>[27]</sup>等人采用微波辅助乙醇提取石榴皮多酚的研究结果表明,乙醇体积分数、微波功率、提取时间及料液比均对石榴皮多酚提取率有显著影响。石榴皮多酚的最佳提取条件为:乙醇体积分数 50%,微波功率 300 W,提取时间 120 s,料液比 1:35 (g:mL),该条件下石榴皮多酚提取率可达 21.41%。

周安存<sup>[28]</sup>等人利用乙醇-硫酸铵双水相体系与微波集成法对石榴皮多酚进行提取分离,通过单因素实验与正交实验得出提取石榴皮多酚的最佳条件为, $m(\text{料}):V(\text{醇}):V(\text{水})=1:12:20$ , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  用量 0.325 g/mL,微波处理温度 55 ℃,微波处理时间为 60 s,粗多酚提取率为 18.33%,粗提物中多酚含量为 75.36%。

微波提取法是将微波与溶剂提取相结合,操作简单易行,大大缩短了提取时间,但需要使用专门的微波提取设备,否则提取温度无法控制。

## 2.4 超声波辅助提取法

超声波提取分离主要是依据物质中有效成分和有效成分群体的存在状态、极性、溶解性的不同来进行分离。超声波振动能使溶剂快速地进入固体物质中,将其物质所含的有机成分尽可能完全地溶于溶剂之中,得到多成分混合提取液。超声波还能在液体中高频振动并产生“空穴作用”,可以破坏细胞组织,有助于多酚类化合物的溶出和扩散,具有提取时间短、效率高的优点<sup>[29-30]</sup>。

Tabaraki<sup>[31]</sup>等人在超声波辅助乙醇提取石榴皮多酚的研究中,选取对得率影响较大的 3 个因素提取时间、乙醇浓度和提取温度为单因素,用响应面法进行提取条件优化,研究结果表明:当提取温度 60 ℃,乙醇体积分数 70%,提取时间 30 min 时,最高提取率为 45.38%,较超声辅助水法提取,其得率高 3 倍(Pan 和 Qu 等人采用超声辅助水法提取,其得率为 11%~14%<sup>[5,32]</sup>)。

房玉林<sup>[33]</sup>等人利用超声波辅助甲醇法提取石榴皮多酚类物质,结果表明:用 80% 酸化甲醇做溶剂、料液比 1:20 (g:mL)、30 ℃ 条件下超声波(固定功率

100 W)作用 20 min,提取 1 次,总多酚提取率最高,为 14.06 mg/g。

王华斌<sup>[34]</sup>等人以新疆石榴皮为原料,采用二次通用旋转回归组合设计对超声波辅助乙醇提取石榴皮多酚工艺进行研究,结果表明,其最佳提取工艺条件为:乙醇体积分数 50%,料液比 1:25 (g:mL),超声时间 30 min,超声功率 360 W。在此优化条件下,石榴皮多酚得率达到 $(21.2 \pm 0.06)\%$ 。

汝绍刚<sup>[35]</sup>等利用超声辅助乙醇法提取石榴皮多酚的研究中,通过正交试验优化石榴皮多酚的最佳提取条件为:乙醇体积分数 40%,石榴皮粒径 40 目,提取时间 50 min,提取温度 30 ℃,料液比为 1:15 (g:mL),该条件下石榴皮多酚平均提取率为 16.44%。

郭庆贺<sup>[36]</sup>等采用超声波-螯合剂辅助提取石榴皮多酚,通过响应面分析,确定超声波-螯合剂辅助提取石榴皮多酚的最佳工艺条件:乙醇体积分数 50%、提取温度 60 ℃、提取时间 50 min、料液比 1:30 (g:mL)、螯合剂添加量 0.08%,在此条件下多酚提取率可达 28.03%。超声波-螯合剂辅助提取法与普通热回流提取相比,具有杂质少、耗时短、效率高等优点,可作为石榴皮中多酚提取的新方法,具有广阔应用前景。

Pan<sup>[37]</sup>等人运用持续式超声辅助和脉冲式超声辅助 2 种方法分别提取石榴皮中的抗氧化物质(主要是多酚类物质),并将 2 种方法与传统方法进行对比,以提取率和抗氧化活性的大小为指标判断最佳的提取方法和工艺条件,研究结果表明,在持续式超声辅助提取 (continuous ultrasound-assisted extraction, CUAE) 中,得率与超声强度和提取时间的变化呈正相关,但是提取时间的延长会严重影响提取物的抗氧化活性,而对于脉冲式超声辅助提取 (pulsed ultrasound-assisted extraction, PUAE),超声强度、脉冲重复次数、脉冲持续时间和脉冲间隔时间都会影响产品得率,但不会影响提取物的抗氧化活性,在超声强度为  $59.2 \text{ W/cm}^2$ ,提取时间 60 min,温度 $(25 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ ,料液比 1:50 (g:mL),PUAE 的脉冲持续时间与间隔均为 5 s 的条件下,PUAE 和 CUAE 提取得率接近(分别为 14.5% 和 14.8%),与传统的提取方法相比,PUAE 和 CUAE 的提取得率分别增加了 22%、24%,提取时间分别缩短了 87%、90%。此外,PUAE 可比 CUAE 节约 50% 的电能,鉴于此,作者推荐 PUAE 为提取石榴皮中抗氧化物质的最佳方法。

以上不同学者虽然都是采用超声辅助提取石榴

皮多酚,但是所用溶剂、提取条件不尽相同,因此多酚得率也存在着较大差异。

超声波辅助提取法也是将超声波与溶剂提取相结合,可大大节省提取时间,提高提取效率。

## 2.5 超临界流体萃取法

超临界流体萃取是一种新型的现代分离技术,它是利用温度和压力略超过或接近临界的介于气体和液体之间的流体作为萃取剂,从固体或液体中萃取某种高沸点和热敏性成分,以达到分离和提纯的目的<sup>[38]</sup>。目前,超临界  $\text{CO}_2$  萃取技术用于石榴皮多酚提取的报道还很少。

冯务群<sup>[39]</sup>等用超临界  $\text{CO}_2$  萃取,超声提取,微波提取及甲醇浸提等不同方法提取石榴皮中没食子酸并用 HPLC 法测定其含量,结果发现,4 种方法提取所得没食子酸含量分别为 0.498%、0.311%、0.271% 和 0.396%,因此超临界  $\text{CO}_2$  萃取法提取石榴皮多酚中没食子酸是一种高效的方法。

超临界萃取是近年来研究较多的一种新的先进的提取方法,主要适合提取非极性和弱极性的低分子成分,对于极性成分的提取,可通过加极性夹带剂的方式改善和提高提取率。没食子酸(3,4,5-三羟基苯甲酸)含多个极性基团,是强极性化合物,适合使用极性溶剂作为夹带剂提取,甲醇是常用的极性溶剂,冯务群<sup>[39]</sup>等人采用甲醇作夹带剂,提取得到的没食子酸含量在 4 种提取方法中最高。

超临界流体萃取是一种高效而环保的提取方法,已被广泛运用于实验室研究,但是它在萃取过程中成本较为昂贵<sup>[40-42]</sup>。目前最新研究发现,亚临界水萃取可将其替代<sup>[43]</sup>。

## 2.6 亚临界水萃取

亚临界水又称超加热水、高压热水或热液态水,是指在一定的压力下,将水加热到 100 ℃ 以上,374 ℃ 以下的临界温度高温,水体仍然保持在液体状态。亚临界状态下流体微观结构的氢键、离子水合、离子缔合、簇状结构等发生了变化,因此亚临界水的物理、化学特性与常温常压下的水在性质上有较大差别。常温常压下水的极性较强,亚临界状态下,随着温度的升高,亚临界水的氢键被打开或减弱,从而使水由高到低萃取出来。这样就可以通过控制亚临界水的温度和压力,使水的极性在较大范围内变化,从而实现天然产物中有效成分从水溶性成分到脂溶性成分的连续提取,并可实现选择性提取。此外,由于亚临界水萃取是以价廉、无污染的水作为萃取剂,因此,亚

临界水萃取技术被视为绿色环保、前景广阔的一项变革性技术<sup>[43]</sup>。

He<sup>[44]</sup>等人在用亚临界水提取石榴渣多酚物质的研究中,以提取时间、料液比和温度作为单因素,研究结果表明最佳的提取条件为:提取时间 30 min,料液比 1:40 (g:mL),温度 220 ℃,温度对提取率的影响最大,在温度 100 ~ 220 ℃ 内,多酚含量在 651.7 ~ 4 854.7 (mg/100g 干基)内变化。

亚临界水提取一种先进的新型提取技术,较传统提取方法的优点有:提取时间短,工艺简单,成本低廉,提取率高,环保<sup>[43]</sup>。

## 2.7 超高压提取法

超高压提取也称超高压静压提取,是指在常温下用 100 ~ 1 000 MPa 的流体静压力作用于提取溶剂和中药的混合液上,并在预定压力下保持一段时间,使植物细胞内外压力达到平衡后迅速卸压。由于细胞内外渗透压力忽然增大,细胞膜的结构发生变化,使得细胞内的有效成分能够穿过细胞的各种膜而转移到细胞外的提取液中,达到提取有效成分的目的。最新研究表明在天然产物的提取中应用它可大大缩短提取时间,减少杂质溶出,提高有效成分的得率,避免因热效应引起的有效成分的变化,并且不会对环境造成污染<sup>[45]</sup>。

严陇兵<sup>[45]</sup>等人以提取石榴皮多酚为目的,以总酚得率为指标,在单因素试验的基础上,采用二次回归正交旋转组合试验设计优化超高压溶剂提取工艺参数,试验结果表明:影响超高压提取石榴皮多酚得率的因素主次顺序为:料液比 > 压力 > 乙醇浓度 > 保压时间。最佳提取工艺条件为提取压力 582.7 MPa,保压时间 2.3 min,料液比 1:41 (g:mL),乙醇体积分数 52.8%,在此条件下,多酚得率超过 26%。

除超高压外,也有采用一般高压溶剂提取的,Çam<sup>[8]</sup>等人在高压水提取石榴皮多酚的研究中,提取容器内压力保持在 102.1 个大气压(约 10 MPa),发现石榴皮原料粒径大小、高压处理温度和静电干扰时间是影响石榴皮多酚提取率的主要因素,研究结果表明,最佳的提取温度为 40 ℃,静电干扰时间为 5 min,粒径可尽量小但不宜小于 65 μm,其安石榴苷含量为 (116.6 ± 12.2) mg/g 干基。同时作者还将高压水提取与采用不同溶剂在常压下提取(甲醇、乙醇、乙酸乙酯、丙酮及水)进行比较,结果显示甲醇提取得到的总酚含量(252.4 mg/g 干基)显著高于其他溶剂提取(3.9 ~ 96.8 mg/g 干基),而高压水方法提取的

总酚含量与甲醇提取的总酚含量相当(258.2 mg/g 干基)。

在常压溶剂提取中,甲醇提取虽然总酚提取率高,但甲醇试剂具有一定毒性,用量大,成本高,且产品中残留的溶剂不易彻底去除,而常压水提取,虽无溶剂残留污染,但耗时长,且因水温偏高,多酚为热敏性成分,其结构易被破坏,而导致总酚提取率较低,若采用高压水提取,则能很好的弥补以上方法的不足,因此采用高压或超高压的方法提取石榴皮多酚具有较大的优势。

## 3 结语

石榴皮多酚因具有多种生物活性,其开发应用前景被看好。充分利用石榴资源,建立一种高效低廉的石榴皮多酚提取工业化生产工艺,既能为开发石榴皮多酚这一天然活性成分在食品、保健品和化工用品等领域的新用途提供物质基础,也能为石榴皮资源的再利用提供一条可行途径,提高石榴加工业的附加值,促进石榴种植和加工的协调发展。

传统的溶剂提取法及酶法提取研究较为成熟,但溶剂的耗用量较大,成本高,提取时间长,提取率低,已成为阻碍我国石榴皮多酚资源开发利用的瓶颈。近几年采用较多的是微波和超声波辅助溶剂浸提来提取石榴皮多酚,以此达到节省提取时间、提高提取率的目的。最新的方法如超临界流体萃取、超高压萃取、亚临界水提取等技术,比现有方法具有更大的优越性,为工业化提取石榴皮多酚开辟了新的途径。然而这些技术目前多限于实验室研究,还不适宜大规模工业化生产。因此,为了加快我国丰富的石榴资源的综合开发利用,寻求新的快速、高效、节能减排的提取方法,改进现有的能够适应大规模工业化生产的提取工艺显得极为重要。

## 参 考 文 献

- [1] Fazaeli M, Yousefi S, Emam-Djomeh Z. Investigation on the effects of microwave and conventional heating methods on the phytochemicals of pomegranate (*Punica granatum* L.) and black mulberry juices [J]. Food Research International, 2013, 50 (2): 568 - 573.
- [2] LI Y, GUO C, YANG J, et al. Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract [J]. Food Chemistry, 2006, 96 (2): 254 - 260.
- [3] Lansky E P, Newman R A. *Punica granatum* (pomegran-

- ate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2007, 109 (2): 177 - 206.
- [4] Çam M, Hışıl Y, Durmaz G. Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods [J]. Food Chemistry, 2009, 112 (3): 721 - 726.
  - [5] QU W, PAN Z, MA H. Extraction modeling and activities of antioxidants from pomegranate marc [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 99 (1): 16 - 23.
  - [6] Park H M, Moon E, Kim A, et al. Extract of *Punica granatum* inhibits skin photoaging induced by UVB irradiation [J]. International Journal of Dermatology, 2010, 49 (3): 276 - 282.
  - [7] Yamasaki M, Kitagawa T, Koyanagi N, et al. Dietary effect of pomegranate seed oil on immune function and lipid metabolism in mice [J]. Nutrition, 2006, 22 (1): 54 - 59.
  - [8] Çam M, Hışıl Y. Pressurised water extraction of polyphenols from pomegranate peels [J]. Food Chemistry, 2010, 123 (3): 878 - 885.
  - [9] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 87.
  - [10] 李建科, 李国秀, 赵艳红, 等. 石榴皮多酚组成分析及其抗氧化活性 [J]. 中国农业科学, 2009, 42 (11): 4 035 - 4 041.
  - [11] Negi P S, Jayapraksha G K, Jena B S. Antioxidant and anti-tumorigenic activities of pomegranate peel extracts [J]. Food Chemistry, 2003, 80 (3): 393 - 397.
  - [12] Malviya S, Jha A A, Hettiarachchy N. Antioxidant and antibacterial potential of pomegranate peel extracts [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51 (12): 4132 - 4137.
  - [13] 赵艳红, 李建科, 李国荣. 石榴皮多酚纯化及其抗氧化活性表征 [J]. 食品科学, 2010, 31 (11): 31 - 37.
  - [14] 梁俊, 李建科, 刘永峰, 等. 石榴皮多酚对脂变 L-02 肝细胞胆固醇合成的影响及机制探究 [J]. 食品与生物技术学报, 2013, 32 (4): 487 - 493.
  - [15] 李云峰. 石榴皮抗氧化物质提取及其抗氧化、抗动脉粥样硬化作用研究 [D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2004: 30 - 50.
  - [16] 梁俊, 李建科, 赵伟, 等. 石榴皮多酚体外抗脂质过氧化作用研究 [J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31 (2): 159 - 165.
  - [17] 孙兰萍, 张斌, 赵大庆, 等. 石榴皮中多酚的醇提工艺优化 [J]. 包装与食品机械, 2007, 25 (4): 20 - 23, 29.
  - [18] 王晓瑜, 高晓黎, 买尔旦·马合木提. 新疆石榴皮多酚类物质提取实验研究 [J]. 中国民族民间医药, 2008, (1): 8 - 10.
  - [19] 李国秀, 李建科. 石榴皮中多酚类物质的提取工艺研究 [J]. 陕西农业科学, 2010, (3): 20 - 24.
  - [20] Çam M, İçyer N C. Phenolics of pomegranate peels: extraction optimization by central composite design and alpha glucosidase inhibition potentials [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52 (3): 1 489 - 1 497.
  - [21] Amyrgialakia E, Makris D P, Mauromoustakos A, et al. Optimisation of the extraction of pomegranate (*Punica granatum*) husk phenolics using water/ethanol solvent systems and response surface methodology [J]. Industrial Crops and Products, 2014, 59: 216 - 222.
  - [22] 王华斌, 王珊, 傅力. 酶法提取石榴皮多酚工艺研究 [J]. 中国食品学报, 2012, 12 (6): 56 - 65.
  - [23] 高虹, 谷文英, 丁霄霖. 利用微波辅助提取测定姬松茸中麦角甾醇含量 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2007, 33 (1): 113 - 118.
  - [24] 周向辉, 潘治利, 陈松江, 等. 响应曲面法优化微波提取浆枣皮多酚工艺的研究 [J]. 食品科学, 2008, 29 (11): 265 - 268.
  - [25] 宋薇薇, 焦士蓉, 周佳, 等. 石榴皮多酚的微波辅助提取及提取抗氧化与抑菌作用研究 [J]. 现代食品科技, 2008, 24 (1): 23 - 27.
  - [26] 王玲, 焦士蓉, 雷梦林, 等. 石榴皮多酚的提取及抑菌作用 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38 (5): 8 895 - 8 897.
  - [27] 文春鹃, 陈祥贵, 饶凤, 等. 微波辅助提取石榴皮多酚工艺研究 [J]. 食品与机械, 2011, 27 (6): 103 - 106.
  - [28] 周安存, 喻祖文, 冯务群, 等. 乙醇-硫酸铵双水相体系与微波集成提取石榴皮多酚的实验研究 [J]. 光明中医, 2011, 26 (4): 689 - 692.
  - [29] 乔孟, 屈晓清, 丁之恩. 响应面法优化超声波辅助提取湖北海棠叶中总黄酮工艺 [J]. 食品科学, 2013, 34 (2): 143 - 147.
  - [30] WEI L, WANG J, ZHENG X, et al. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79 (3): 1 087 - 1 093.
  - [31] Tabaraki R, Heidari Z, Benvidi A. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel antioxidants by response surface methodology [J]. Separation and Purification Technology, 2012, 98 (19): 16 - 23.
  - [32] PAN Z, QU W, MA H, et al. Continuous and pulsed ultrasound-assisted extractions of antioxidants from pomegranate peel [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2011, 18 (5): 1249 - 1257.
  - [33] 房玉林, 齐迪, 郭志君, 等. 超声波辅助法提取石榴皮中

- 总多酚工艺 [J]. 食品科学, 2012, 33(6): 115 - 118.
- [34] 王华斌, 包晓玮, 韩海霞, 等. 新疆石榴皮多酚提取工艺研究 [J]. 食品与机械, 2010, 26(5): 137 - 140.
- [35] 汝绍刚, 赵文英, 崔波, 等. 超声法提取石榴皮多酚的研究 [J]. 化学与生物工程, 2011, 28(10): 43 - 46.
- [36] 郭庆贺, 何晨, 姚思敏, 等. 响应面优化超声波-螯合剂辅助提取石榴皮多酚的研究 [J]. 食品科技, 2014, 39(11): 198 - 202.
- [37] PAN Z, QU W, MA H, et al. Continuous and pulsed ultrasound-assisted extractions of antioxidants from pomegranate peel [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2012, 19(2): 365 - 372.
- [38] 蔡俊秀. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取技术在食品工业中的应用 [J]. 广东化工, 2006, 33(4): 69 - 72.
- [39] 冯务群, 李辉. 4 种方法提取石榴皮中没食子酸的比较 [J]. 中医药导报, 2008, 14(8): 16 - 17.
- [40] Ramos L, Kristenson E M, Brinkman U A T. Current use of pressurised liquid extraction and subcritical water extraction in environmental analysis [J]. Journal of Chromatography A, 2002, 975(1): 3 - 29.
- [41] Basile A, Jiménez-Carmona M M, Clifford A A. Extraction of rosemary by superheated water [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1998, 46(12): 5 205 - 5 209.
- [42] Kronholm J, Hartonen K, Riekkola M L. Analytical extractions with water at elevated temperatures and pressures [J]. Trends in Analytical Chemistry, 2007, 26(5): 396 - 412.
- [43] Herrero M, Cifuentes A, Ibañez E. Sub- and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: Plants, food-by-products, algae and microalgae: A review [J]. Food Chemistry, 2006, 98(1): 136 - 148.
- [44] HE L, ZHANG X, Xu H, et al. Subcritical water extraction of phenolic compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) seed residues and investigation into their antioxidant activities with HPLC-ABTS 荧光 assay [J]. Food and Bioproducts Processing, 2012, 90(2): 215 - 223.
- [45] 严陇兵, 刘邻渭, 刘晓丽, 等. 超高压提取石榴皮多酚的工艺研究 [J]. 中国食品学报, 2012, 12(9): 41 - 49.

## Review on the methods of extraction of pomegranate peel polyphenols

ZHU Cai-ping, ZHANG Yan-xia, ZHANG Xiao, LI Yun,  
DENG Hong, ZHAI Xi-chuan, ZHAO Feng-zhu

(College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

**ABSTRACT** Pomegranate peel polyphenols are the main bioactive ingredients of the pomegranate peel. Literatures have shown that they have many physiological functions, so the extraction methods have become a focused research. A review of the most significant achievements in the field of extraction of Pomegranate peel polyphenols in recent years at home and abroad was summarized, and the advantages and disadvantages were analyzed, which provide a radical theory for the establishment of a cheap and efficient industrial production process of pomegranate peel polyphenols extraction.

**Key words** pomegranate peel; polyphenols; extraction method; review