

# 三七活性成分提取、分离纯化及其 抗氧化活性研究进展

牛世蓉<sup>1,2</sup>, 王凤忠<sup>1</sup>, 崔伟业<sup>1</sup>, 么越<sup>1</sup>, 孔志强<sup>3</sup>, 范蓓<sup>1\*</sup>, 李敏敏<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193; 2. 天津科技大学食品科学与工程学院, 天津 300457; 3. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

**摘要:** 三七作为我国著名的中草药之一, 拥有广泛的使用历史, 是典型的药食两用品种。多项研究证实, 三七活性成分具有降血脂、降血压、抗炎及增强免疫力等作用, 主要以皂苷类、多糖类、黄酮类、三七素、氨基酸及挥发油等有效成分为代表, 在生物医药、食品及保健品等领域具有良好的发展潜力和应用前景。随着提取、分离纯化技术的飞快发展, 三七的研究得到国内外学者的广泛关注, 不同的提取方法对三七中活性成分的结构有一定的影响, 而结构与其功能特性密不可分。另有研究表明, 三七具有较强的抗氧化活性, 但其内在活性机制还有待进一步深入挖掘。因此, 本文对三七中主要活性成分的提取、分离纯化方法及抗氧化活性进行综述, 以明确三七活性成分提取、分离纯化工艺之间的异同对其活性的影响, 从而为三七的进一步开发利用提供重要的理论参考。

**关键词:** 三七; 活性成分; 提取; 分离纯化; 抗氧化活性

## Research progress on extraction, separation and purification, antioxidant activity of active components from *Panax notoginseng*

NIU Shi-Rong<sup>1,2</sup>, WANG Feng-Zhong<sup>1</sup>, CUI Wei-Ye<sup>1</sup>, YAO Yue<sup>1</sup>,  
KONG Zhi-Qiang<sup>3</sup>, FAN Bei<sup>1\*</sup>, LI Min-Min<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Food Science and Technology Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China;  
2. College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;  
3. The Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

**ABSTRACT:** As one of the most well known Chinese herbal medicines in China, *Panax notoginseng* has a wide history of use, and is a typical variety for both medicinal and culinary purposes. There are numerous active constituents in *Panax notoginseng*, including saponins, polysaccharides, and flavonoids. Multiple studies have demonstrated that the active ingredient could alter blood lipids, lower blood pressure, promote anti-inflammatory

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2021YFD1000205)、国家自然科学基金项目(32272443)

**Fund:** Supported by the National Key Research and Development Program of China (2021YFD1000205), and the National Natural Science Foundation of China (32272443)

\*通信作者: 范蓓, 博士, 研究员, 主要研究方向为功能因子挖掘与利用。E-mail: fanbei517@163.com

李敏敏, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量与安全。E-mail: liminmin@caas.cn

\*Corresponding author: FAN Bei, Ph.D, Professor, Institute of Agricultural Product Processing, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China. E-mail: fanbei517@163.com

LI Min-Min, Ph.D, Associate Professor, Institute of Agricultural Product Processing, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China. E-mail: liminmin@caas.cn

activity, and boost immunity. Therefore, it can be a valuable factor with further application and development potential. As a result of the rapid development of extraction, isolation and purification technology, the study of *Panax notoginseng* has attracted a great deal of attention from academicians both domestically and internationally. Different extraction methods have a certain effect on the structure of the active ingredients in *Panax notoginseng*, which is inseparable from its functional properties. In addition, several studies have demonstrated that *Panax notoginseng* has a potent antioxidative effect, however, its intrinsic activity mechanism needs to be further explored in depth. Therefore, this paper reviewed the extraction and separation methods and antioxidant activities of the main active components in *Panax notoginseng*. Moreover, it discussed the antioxidative effect of active ingredients, in order to clarify the influence of the differences and similarities between the extraction, separation and purification processes of *Panax notoginseng* on its activities, so as to provide important theoretical references for the further development and utilization of *Panax notoginseng*.

**KEY WORDS:** *Panax notoginseng*; active ingredient; extraction; separation and purification; antioxidant activity

## 0 引言

三七 [*Panax notoginseng* (Burkill) F. H. Chen] 又名田七、血参、滇三七、参三七及早三七等, 是五加科、人参属多年生直立草本植物, 主要生长在云南省和广西省的一些阴凉处地区, 其人工栽培的历史已长达 400 多年<sup>[1]</sup>。作为一种传统的中药和食用植物, 三七一般需要 4~6 年才能产生成熟的根茎, 其富含皂苷、多糖及黄酮等活性物质, 具有抗炎<sup>[2]</sup>、降血糖<sup>[3]</sup>、抗菌<sup>[4]</sup>、保肝护肝<sup>[5]</sup>和抗氧化<sup>[6]</sup>等作用, 因此三七具有很大的研究价值和应用前景。三七有效成分的提取、分离纯化与活性评价是三七药用开发的重点, 尤其是三七提取物抗氧化功效逐渐成为学者们研究的热点, 但目前三七抗氧化成分存在提取率低、纯化过程复杂耗时、结构与活性之间的关系尚不明确等问题。本文通过查阅、分析和总结近几年国内外有关三七中皂苷、多糖、黄酮及其他主要抗氧化成分的提取、分离纯化方法, 对比不同方法之间的优缺点, 提出了目前常用且效率较高的方法, 同时对未来的研究方向进行了展望, 为后续深入研究三七提供一定的参考。

## 1 三七皂苷

三七总皂苷是 20 多种达玛烷型总皂苷的混合物, 可分为 20(S)-原人参二醇(protopanaxadiol, PPD)和 20(S)-原人参三醇(protopanatriol, PPT), 其中 PPD 型皂苷为主要类型(图 1B)<sup>[7]</sup>。目前, 已分离出 80 多种皂苷成分, 分布于根、茎、叶、花和果实等三七不同部位, 主要以三七皂苷 R1、参皂苷 Rg1、人参皂苷 Re、人参皂苷 Rb1 和人参皂苷 Rd 为主<sup>[8]</sup>, 在物理加工炮制过程中可转化为更好药理活性的次生人参皂苷 Rh1、Rk3、Rg3、Rh4、Rk1 和 Rg5<sup>[9]</sup>。

### 1.1 三七皂苷提取方法

常见的三七皂苷提取方法包括酶解法、超声波提取法、

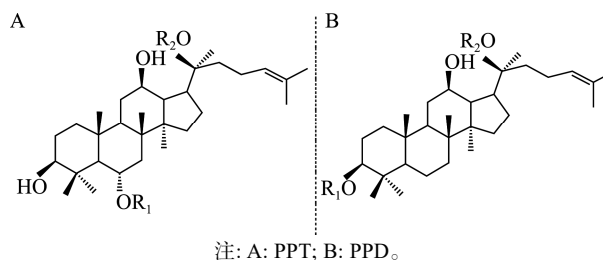


图 1 三七皂苷 PPT 型和 PPD 型分子结构图

Fig.1 Molecular structure of *Panax notoginseng* saponin PPT type and PPD type

乙醇提取法、超高压提取法等。如表 1 所示, 与传统的回流加热提取(heat reflux extraction, HRE)、超声波辅助提取法(ultrasound-assisted extraction, UAE)相比, 表面活性剂协同超声波酶法(enzymolysis-ultrasound-assisted surfactant extraction, EUASE)提取三七总皂苷的提取率最高为(16.38±0.02)%, 比 HRE 高约 2.91%, 较 UAE 提高了 0.75%, 原因是处于临界浓度的表面活性剂较传统有机溶剂更容易进入细胞, 使提取物与表面活性剂充分融合, 从而更好地溶解提取物, 最终达到高效的目的; 且 EUASE 法提取的三七总皂苷较 HRE、UAE 提取的总皂苷对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-trinitrophenylhydrazine, DPPH)自由基清除效果和总抗氧化能力(ferric reducing ability of plasma, FRAP)是最强的<sup>[10]</sup>。利用乙醇加热回流提取人参皂苷 Rb3, 结果显示提取物中的人参皂苷 Rb3 占三七茎叶中人参皂苷 Rb3 的 90.60%, 且研究表明该方法获得皂苷的抗氧化活性也明显高于其他方法(60%乙醇回流>80%甲醇微波>75%乙醇超声), 但该方法存在不适用于受热不稳定的成分的缺点<sup>[12]</sup>。综上, 目前三七皂苷提取常用乙醇作为提取溶剂, 利用加热或超声波的方式进行提取, 提取率均可达到 10%以上, 其中表明表面活性剂与超声波法结合具有相对较高提取率, 在今后的研究中, 有望发现更多种类的表面活性剂并结合不同提取方式联合萃取, 以达到更高的三七皂苷提取率。

表 1 三七皂苷提取方法  
Table 1 Extraction methods of *Panax notoginseng* saponins

提取方法	提取成分	提取条件	提取率/%	参考文献
表面活性剂协同超声波酶法	总皂苷	提取溶剂为 Triton X-100 表面活性剂、0.2% 复合酶、料液比 1:30 (g:mL)、超声时间 40 min、pH 为 5、酶解温度 60°C、超声功率 465 W	16.38	[10]
超声波辅助提取法	总皂苷	乙醇浓度为 70%、料液比 1:30 (g:mL)、提取时间 40 min、超声温度 60°C、超声功率 465 W	15.63	[10]
乙醇加热回流提取法	总皂苷	乙醇浓度为 70%、料液比 1:30 (g:mL)、提取时间 1.5 h、提取温度 70°C	13.47	[10]
超高压提取法	总皂苷	乙醇浓度为 71%、料液比 1:71 (g:mL)、提取时间 5 min、提取压力 403 MPa、	11.82	[11]
乙醇加热回流提取法	人参皂苷 Rb3	乙醇浓度为 50%、料液比 1:10 (g:mL)、提取时间 1 h、提取温度 60°C	90.60	[12]

## 1.2 三七皂苷分离纯化方法

三七皂苷的粗提取液中含有多种有机化合物,除亲水性强的三七皂苷外,还有较多的其他杂质,使皂苷难以分离,且皂苷本身含量低、不稳定、分离纯化难度较大,需要高效的分离纯化方法,以获得纯净的三七皂苷。目前,三七皂苷分离纯化方法主要是采用色谱分离法、吸附树脂法和其他吸附技术联用的方法。SUN 等<sup>[13]</sup>使用逆流色谱(counter-current chromatography, CCC)和液相色谱法(liquid chromatography, LC)分离到了纯度分别为 95.2%、87.3%和 97.6%的三七皂苷 Fe、人参皂苷 Rd2 和人参皂苷 Fd,且在分离过程中发现 CCC 和 LC 具有良好的正交性。用传统方法分离粗提物中单个成分通常烦琐且耗时,因此 LELU 等<sup>[14]</sup>通过二维高通量分离制备色谱在短时间内获得了 11 种高纯度皂苷,提供了一个快速且具有可重现性的新分离方法。另有其他研究表明<sup>[15-17]</sup>,大孔吸附树脂与结晶法、氯化铝以及聚合硅胶联合使用,均可得到 80% 以上的皂苷纯度。而林伟鑫等<sup>[18]</sup>仅使用一种 HPD-100 型大孔树脂分离纯化三七皂苷 R1、人参皂苷 Rg1 和人参皂苷 Rb1,3 种皂苷的总含量仅大于 65%,分离效果不及两种分离方法联用所得含量高。综上,多种分离方法联用对于获得高纯度皂苷是目前研究的趋势。

## 1.3 三七皂苷抗氧化活性研究

三七皂苷具有显著的抗氧化活性,主要可以通过对总抗氧化能力以及相关抗氧化酶的作用强弱来体现。陈红惠等<sup>[10]</sup>通过对比 HRE、UAE 和 EUASE 3 种提取方法得到的三七花总皂苷 FRAP 值,结果发现 3 种方法提取的三七总皂苷样品总抗氧化能力均随浓度增加而呈上升趋势。除不同的提取方法会对三七皂苷抗氧化活性有影响外,不同的炮制条件也会造成不同的抗氧化能力,MA 等<sup>[19]</sup>研究了蒸煮时间和温度对三七皂苷抗氧化活性的影响,结果发现未蒸制三七拥有较低的抗氧化能力,蒸制三七样品在 105°C 蒸制 10 h,氧化自由基吸收能力(oxygen radical absorbance capacity, ORAC)没有显著影响,在 110°C 时,ORAC 值随着蒸制时间增加而增加,而在 120°C 时,ORAC

值在前 8 h 内急剧增加,在 10 h 后降低,说明在相同的蒸煮时间内,ORAC 值与温度有关,温度是影响抗氧化活性变化的更重要因素,温度越高则抗氧化能力越强。MI 等<sup>[20]</sup>使用低、中、高剂量的三七皂苷干预糖尿病肾病小鼠,与模型组相比,中、高剂量组可使谷胱甘肽(glutathione, GSH)和超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)升高,丙二醛(malondialdehyde, MDA)降低,同时三七皂苷剂量依赖性增加了核因子 E2 相关因子 2 (nuclear factor erythroid-2-related factor 2, Nrf2)水平,表明三七皂苷可以减轻糖尿病引起的肾脏抗氧化应激损伤,提高机体的抗氧化能力。综上所述,目前有关三七皂苷抗氧化活性的研究大多都只是浅显的体外抗氧化测定,关于其内在活性机制尚不清楚,有待进一步深入研究。

## 2 三七多糖

多糖成分广泛存在于三七的根、茎、叶和花中,但从根部提取的多糖含量相对较少。三七多糖是一种聚合碳水化合物,由十多个重复的单糖单元组成,并通过糖苷键链接(图 2)。多糖因其单糖组成和单糖序列、糖苷键构型和位置、聚合度,以及附加的非碳水化合物基团的性质、数量和位置各有不同,因此具有复杂多样的结构<sup>[21]</sup>。SHEN 等<sup>[22]</sup>通过扫描电子显微镜图像发现三七多糖呈多孔而粗糙的结构,后又通过傅里叶变换红外光谱和紫外可见光谱发现三七多糖的结构由葡萄糖、半乳糖醛酸、阿拉伯糖、葡萄糖醛酸、鼠李糖、甘露糖和核糖组成。另有研究表明<sup>[23]</sup>炮制可能影

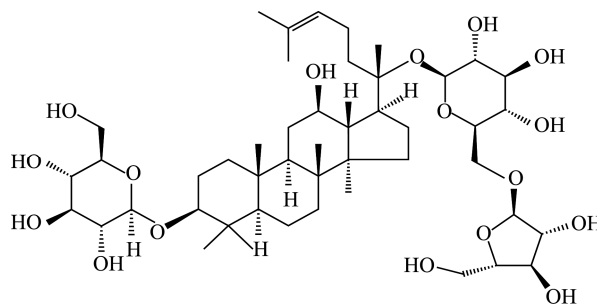


图 2 三七多糖分子结构图

Fig.2 Molecular structure of *Panax notoginseng* polysaccharide

响三七多糖含量的变化,经蒸制处理后的三七中多糖含量明显高于生三七,且含量随着蒸制时间增长而逐渐升高,在 2 h 时多糖含量达到最高,说明炮制可以增加三七中有效成分的含量,但时间过长可能会使其含量下降,具体应根据实际操作情况,来确定最佳蒸制时间。

### 2.1 三七多糖提取方法

多糖是极性大分子化合物,可溶于水,但不溶于乙醇等有机溶剂,目前研究通常采用超声波提取法、微波提取法、水提醇沉法、微生物发酵提取法及内部沸腾法等。如表 2 所示,利用水提醇沉法提取三七多糖时,醇沉浓度是影响提取率的主要因素,浓度越高则提取率越高,最终在醇沉浓度为 80%时,三七多糖提取率达到最高(15.96%)<sup>[24]</sup>。微生物发酵提取是一种生物转化的方法,利用代谢途径中分泌的各种生物酶分解植物细胞壁纤维素和果胶等成分,最终使植物的有效成分得以顺利提取<sup>[25]</sup>,该法得到三七多糖含量分别是超声辅助提取法和水提醇沉法的约 2.5 倍和 3 倍。内部沸腾法提取三七多糖具有最高的提取率,为 84.86%,是其他几种提取方法的 2~7 倍,该方法存在高效、可同时分离多种成分的优点,但由于温度过高,存在会破坏热敏成分的可能<sup>[26]</sup>。综上,不同的提取方法得到的三七多糖含量有所差异,且同种提取方法,工艺条件不同其含量也有所不同,因此,进一步优化已知得率较高的提取方法对三七多糖的研究尤为重要。

表 2 三七多糖提取方法  
Table 2 Extraction methods of *Panax notoginseng* polysaccharides

提取方法	提取条件	提取率/%	参考文献
超声波/微波辅助提取法	超声功率 50 W, 超声时间为 10 min, 微波功率 540 W, 微波时间 4 min	11.03	[22]
水提醇沉法	料水比 1:20 (g:mL), 提取温度 90°C, 提取时间 3 h, 浸提 3 次, 醇沉浓度 80%	15.96	[24]
微生物发酵提取法	三七粉:三七黄酒酵母发酵液的比例为 1:50 (g:mL), 提取温度 32°C, 接菌量为 5%, pH 为中性 7	50.10	[25]
内部沸腾法	料水比 1:19 (g:mL), 提取温度 89°C, 提取时间 5 min	84.86	[26]

### 2.2 三七多糖分离纯化方法

三七多糖作为大分子物质,经过前期的提取后仅仅只是得到了其粗提物,而粗提物中还含有蛋白质、色素等<sup>[27]</sup>。分离纯化多糖首先采用 Sevag 法、三氯乙酸法以及酶解法脱蛋白,利用活性炭吸附法、树脂吸附法除去色素<sup>[28]</sup>。经过脱蛋白,除色素初步纯化后,获得的多糖仍为混合物,

而往往具有生物活性的为单一组分的多糖,因此,有必要进行进一步的分离。

三七多糖分离纯化常采用阴离子交换和凝胶柱层析相结合的方法,纤维素离子交换树脂通过改变洗脱剂的离子强度达到分离中性多糖和酸性多糖的目的。凝胶柱层析包括 DEAE-葡萄糖凝胶(sephadex)、DEAE-琼脂糖凝胶(sepharose),两者都是利用不同分子量多糖在层析柱中洗脱先后顺序不同而进行分级分离,分离效果主要受内径、粒径、柱高、洗脱溶剂等因素的影响<sup>[29]</sup>。CHAN 等<sup>[30]</sup>采用阴离子交换和体积排阻色谱分离相结合的方法,从水溶性三七多糖中分离到了一种酸性多糖(PNPN)和 6 种酸性多糖(PNPA-1A、PNPA-1B、PNPA-2A、PNPA-2B、PNPA-3A、PNPA-3B),产率分别为 62.5%和 20.7%。LIU 等<sup>[31]</sup>利用 DEAE-52 纤维素柱结合 Sephadex G-50 凝胶渗透色谱柱梯度洗脱从三七残渣中分离到一种新型多糖(PNPS-0.3),后续进一步研究发现该多糖还具有一定的免疫佐剂潜力。YANG 等<sup>[32]</sup>利用 AB-8 树脂和 Sevag 法去除蛋白质和色素后,通过 DEAE-52 纤维素柱得到 Pnp 多糖,并测得 Pnp 中多糖、蛋白质和硫酸盐的含量分别为 91.39%、1.14%和 5.38%,先前有文献表明<sup>[33]</sup>多糖中的硫酸盐与抗氧化活性密切相关,因此推测 Pnp 可能具有良好的抗氧化活性。综上,三七多糖分离纯化过程复杂且耗时,且分离和纯化过程中无可避免会造成有效成分的损耗,从而影响三七多糖的活性,基于此,在今后的研究中,有望发现一种对多糖活性影响较小且简易的高效纯化方法。

### 2.3 三七多糖抗氧化活性研究

三七多糖也具有较好的抗氧化活性,三七粗多糖经过初步提取及分级纯化后得到的不同组分抗氧化活性不同,程敏等<sup>[34]</sup>分别对比了 50%和 80%体积分数的乙醇分级纯化三七多糖,两种分级组分的 DPPH 自由基清除活性和总还原能力均随浓度增加而增加,同时 80%分级组分抗氧化较强。与上述一致的是,三七多糖中多酚含量的多少也会导致其抗氧化活性不同,XU 等<sup>[35]</sup>通过比较三七粗多糖(*Panax notoginseng* polysaccharide, PP),以及 PP 在不同的芬顿反应体系中水解生成的 PP3、PP5 和 PP7 4 种多糖的 DPPH 自由基清除能力,发现 PP 的自由基清除能力强于其他 3 种,分析原因可能是由于 PP 的多酚含量较高。同时有研究表明,改性后的三七多糖其抗氧化活性有所提高,如 HUO 等<sup>[6]</sup>通过研究发现经磷酸化的三七多糖 DPPH、2,2'-联氮-二(3-(2-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS]阳离子自由基和·OH 清除能力都显著高于非磷酸化多糖,说明三七多糖经磷酸化可能具有更优越的抗氧化活性。另有学者<sup>[36]</sup>从三七药渣多糖中分离纯化得到 3 个单一组分多糖(PNPS-0、PNPS-0.2、PNPS-0.3),其中 PNPS-0 几乎不含有糖醛酸,而 PNPS-0.3 糖醛酸含量比 PNPS-0.2 高

27.58%, 结果表明 PNPS-0.3 抗氧化能力最好, 对 RAW 264.7 细胞氧化损伤保护作用最好, 分析原因可能是与截留相对分子量(molecular weight cut-off,  $M_w$ )和糖醛酸含量有关, 糖醛酸含量越高则抗氧化活性越好。综上, 三七多糖经硫化、硒化、羧甲基化、磷酸化等化学修饰可能具有更好的生物活性, 基于此, 在今后的研究中可将重点聚焦于多糖的衍生化, 以进一步探索和增强多糖的生物活性; 另一方面, 抗氧化活性的强弱与多糖结构密切相关, 而目前研究对于三七单一多糖结构及类型的进一步分析研究甚少且不系统, 建议在今后的研究中可对三七多糖组分的结构特征深入研究, 以促进三七多糖的进一步应用。

### 3 三七黄酮

类黄酮是以 C6-C3-C6 为基本碳骨架的一系列化合物(图 3), 根据其结构, 可分为多个亚组, 如黄酮、黄酮醇、黄烷、异黄酮、黄烷酮和花青素等<sup>[37]</sup>。已从三七中分离鉴定出 13 种黄酮类化合物, 其中多数以黄酮醇和黄酮苷的形式存在, 它们分别是甘草素、甘草苷、槲皮素、槲皮素-3-O-槐糖苷、槲皮素-3-O- $\beta$ -D-半乳糖(2 $\rightarrow$ 1)葡萄糖苷、槲皮素 3-O- $\beta$ -D-吡喃吡喃糖基- $\beta$ -D-吡喃半乳糖苷、山奈酚、山奈酚-7-O- $\alpha$ -L-鼠李糖苷、山奈酚-3-O- $\beta$ -D-半乳糖苷、山奈酚-3-O- $\alpha$ -L-鼠李糖苷、山奈酚-3-O- $\beta$ -D-半乳糖(2 $\rightarrow$ 1)葡萄糖苷、槲皮素-3-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖基(1 $\rightarrow$ 2)- $\beta$ -D-吡喃半乳糖苷、山奈酚-3-O-(2',3')-二反式对羟基桂皮酰基)- $\alpha$ -L-鼠李糖苷<sup>[38]</sup>。

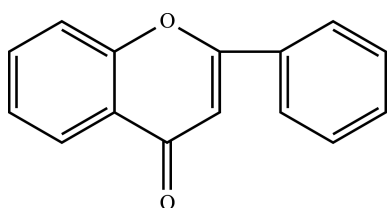


图 3 三七黄酮类分子结构

Fig.3 Molecular structure of *Panax notoginseng* flavonoids

#### 3.1 三七黄酮提取方法

如表 3 所见, 提取三七类黄酮常用的有机试剂为乙醇,

因其提取效率较高, 提取物更易浓缩和干燥, 因此被广泛使用。其中机械化学辅助法提取黄酮提取率最高, 达到了 22.16%, 约是其他提取方法的 3~11 倍, 该方法是在机械力的作用下, 物料颗粒之间发生碰撞和摩擦, 有效地提高了反应活性, 与传统方法相比, 利用机械能进行热化学反应无需高温、高压等特殊条件且避免了有机溶剂的使用, 操作更加简单方便同时降低了对环境的污染风险<sup>[39]</sup>。超声波提取法对于三七黄酮的提取率仅次于机械化学辅助提取法, 是除机械化学辅助法外其他方法的 2~9 倍, 这种方法可使提取物持续振动, 有利于溶质的扩散, 大大缩短提取时间, 提高了总黄酮的提取率和原料使用量<sup>[40]</sup>。微波辅助提取法可以通过瞬时穿透加热, 使植物细胞快速破碎, 用该方法提取三七总黄酮的得率较乙醇提取三七总黄酮得率略高出 3.61%<sup>[41-42]</sup>。而动态超高压微射流同样作为一种新兴的超微细化技术, 目前常被用于灭菌作用、蛋白质改性等, 目前运用该方法来提取黄酮的研究相对较少<sup>[43]</sup>。另有学者<sup>[44]</sup>利用微波辅助低共熔溶剂提取紫苏叶中总黄酮, 得率达到 72.54 mg/g, 天然低共熔溶剂作为一种新兴的绿色环保萃取剂, 具有良好的水溶性、降解性、可循环性且简便高效等优点, 目前对于三七中黄酮类化合物的提取仍以传统的超声或微波辅助有机溶剂为主, 尚未有学者利用低共熔溶剂提取三七黄酮, 因此后续可对天然低共熔溶剂提取三七总黄酮进行深入研究, 以期建立一种高效环保的三七黄酮提取方法。

#### 3.2 三七黄酮分离纯化方法

三七黄酮分离方法主要有大孔吸附树脂、凝胶柱层析、硅胶柱层析以及薄层色谱法等。大孔树脂吸附分离通常分为两个步骤, 首先树脂直接从粗提取物中吸附目标化合物, 具有浓度和选择性作用, 然后通过使用有机溶剂将目标化合物从树脂中洗脱下来<sup>[45]</sup>。马娇等<sup>[46]</sup>通过 DA-201 型大孔吸附树脂纯化三七总黄酮, 纯度由 19.38% 提高到 43.78%, 且纯化后的黄酮抗氧化能力明显提升。杨艳俊等<sup>[47]</sup>通过 DM-301 型大孔树脂纯化景天三七总黄酮, 最终干浸膏中总黄酮由原来的 8.99% 提高到 25.60%, 树脂富集倍数约为 3 倍。综上, 三七黄酮分离纯化主要以大孔吸附树脂为主, 大孔树脂的吸附能力与其极性、比表面积、孔径以及能否与被吸附目标化合物形成氢键有关, 黄酮由于其

表 3 三七黄酮提取方法

Table 3 Extraction methods of *Panax notoginseng* flavonoids

提取方法	提取条件	总黄酮提取率/%	参考文献
机械化学辅助提取法	球磨助剂 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 球磨时间 30 min, 球磨转速 300 r/min, 球磨罐填充率 26.2%	22.16	[39]
超声波辅助提取法	乙醇浓度 80%, 料液比 1:40 (g:mL), 提取温度 40°C, 超声时间 60 min	18.51	[40]
微波提取法	乙醇浓度 70%, 料液比 1:80 (g:mL), 微波功率 320 W, 微波时间 70 s	7.42	[41]
乙醇提取法	乙醇浓度 80%, 料液比 1:25 (g:mL), 提取温度 65°C, 提取时间 12 min	3.81	[42]
动态超高压微射流辅助提取	乙醇浓度 80%, 料液比 1:15 (g:mL), 提取温度 65°C, 提取时间 2 h, 微射流均质压力 80 MPa, 微射流均质次数 2 次, 提取次数 2 次	2.08	[43]

极性和非极性基团,可以通过范德华力或氢键吸附在树脂上,而大孔树脂的孔径和极性是影响黄酮类化合物吸附的主要因素<sup>[48]</sup>。大孔吸附树脂的型号多种多样,因此使用前应根据目标化合物自身性质选择合适的树脂型号,以达到最佳纯化效果。

### 3.3 三七黄酮抗氧化活性研究

三七中的黄酮较皂苷及多糖含量较低,但也具有一定的抗氧化能力。DAI等<sup>[49]</sup>研究发现三七黄酮提取物的多种自由基(DPPH·、ABTS·<sup>+</sup>、·O<sup>2-</sup>、·OH)清除能力随着提取物浓度增加而增强,还原能力也随着浓度的增加而呈上升趋势,与浓度呈显著正相关。另有学者<sup>[42]</sup>对三七黄酮和维生素C以及2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol, BHT)的还原能力进行了比较,结果表明黄酮类化合物还原力在质量浓度为0.02~0.08 mg/mL时与维生素C非常接近,而远高于BHT。以上研究结果都表明三七黄酮具有良好的抗氧化活性,但目前有关三七黄酮活性研究远不如皂苷、多糖等成分成熟,还有进一步深入挖掘。

## 4 三七其他成分

三七素、氨基酸、挥发油、甾醇、无机物、油脂等成分也是三七中的有效成分。三七素也被称为田七氨酸,是三七中的一种非蛋白游离氨基酸,分子式为C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,其结构为β-N-草酰基-L-α,β-二氨基丙酸<sup>[50]</sup>。三七中含有多种氨基酸成分,已从三七中分离出19种以上的氨基酸,有7种是人体必需氨基酸<sup>[51]</sup>。目前已从三七挥发油中分离鉴定出30多种化合物,包括倍半萜、脂肪酸酯类、苯取代物、烷烃、酮等<sup>[52]</sup>。

### 4.1 三七其他成分提取方法

赵薇等<sup>[51]</sup>以精氨酸、丙氨酸、脯氨酸3种氨基酸的总含量为指标,通过比较超声和回流,发现超声提取效率是回流提取的1.6倍。超声波辅助提取法与冷凝回流提取三七素比较,前者比后者得到的三七素多1.48%,且超声波辅助提取法时间短、提取次数少,相比冷凝回流提取法节省时间的同时也获得了更多的三七素<sup>[53-54]</sup>。在三七挥发油方面,与同时蒸馏萃取法相比,水蒸气蒸馏法所用时间相对较短,避免了有机溶剂的使用,提取率较后者高了1.27%<sup>[55-56]</sup>。而有关三七中甾醇提取的相关文献较少,杨艳俊等<sup>[57]</sup>利用超声波辅助提取法提取三七甾醇,提取率仅为0.15%,且发现影响甾醇含量最大的因素是料液比,其次是乙醇浓度、提取时间,最后为提取温度。

### 4.2 三七其他成分分离纯化方法

三七挥发油通常采用气相色谱-质谱法分析鉴定。吕晴等<sup>[56]</sup>通过(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)在

三七花挥发油中鉴定出53个成分,主要为萜烯类及其含氧衍生物(71.15%)。梁利香等<sup>[58]</sup>在三七茎叶挥发油中鉴定了16个组分,占挥发油总量的93.78%。张玉萍等<sup>[59]</sup>利用葡萄糖凝胶柱和离子交换树脂从三七素粗提取物中分离得到纯度较高的三七素单体,经高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)测定后含量为92.41%,表明运用多种柱层析相结合的方法能够分离到较高纯度的三七素单体。张冰等<sup>[60]</sup>利用D101大孔吸附树脂柱、硅胶柱、Sephadex LH-20柱色谱等方法,成功分离到β-谷甾醇以及胡萝卜苷两种甾醇类化合物。目前为止,有关三七中挥发油、三七素、甾醇分离纯化方法的研究较少。

## 5 总结与展望

本文综述了三七皂苷、多糖、黄酮等提取、分离纯化方法,其中三七皂苷的提取方法主要以乙醇回流提取为主,该方法较其他方法可获得相对较高含量的皂苷成分,但不适用于受热不稳定的成分。三七多糖提取方法多样,但考虑到提取效果和不破坏多糖结构,目前主要以超声波、微波辅助法为主。与三七中的其他活性成分相比,有关三七黄酮的研究甚少,原因可能在于三七中黄酮含量本身较少加之在提取、分离及药理活性方面的研究远不如其他中药中的黄酮透彻,目前三七黄酮提取主要以超声辅助提取为主。综上,更高提取率且活性不被破坏的三七活性成分提取方法仍需不断探索与优化。对于分离纯化,不同技术均有其针对性和适用范围,在实际运用中应综合考虑,选择多种方法联用,以达到最佳效果。

三七的不同部位不同成分均具有抗氧化活性的挖掘前景,但对于三七抗氧化方面研究较少,且大多仅进行了简单的体外抗氧化活性测定,其内在活性机制尚不清楚。综上,为实现三七的经济利用价值,后续可将三七活性成分运用到细胞、动物实验中,通过体外与体内结合的方法评价目标样品的抗氧化活性,进一步挖掘与深入研究三七抗氧化活性成分及分子机制。

三七经过炮制后总皂苷、部分单体皂苷、氨基酸和总黄酮含量降低,总多糖含量增加,同时可转化为新的皂苷,这可能与炮制过程中因为受热或其他因素有关,从而导致其化学成分发生转化生成新的成分。目前,有关于熟三七的研究甚少,尚未系统阐述三七炮制前后活性成分变化与功效之间的关系,后续应深入研究其炮制机制,以明确炮制后的物质变化规律。

## 参考文献

- [1] ZENG GH, LI J, MA YX, et al. Analysis of saponins detoxification genes in *Ilyonectria mors-panacis* G3B inducing root rot of *Panax notoginseng* by RNA-Seq [J]. Arch Microbiol, 2021, 203(8): 5205-5213.
- [2] LIU JC, WU YH, MA WR, et al. Anti-inflammatory activity of *Panax*

- notoginseng* flower saponins quantified using LC/MS/MS [J]. *Molecules*, 2023, 28(5): 2416.
- [3] LI X, LIU H, YANG HR, *et al.* Hypoglycemic effects of novel *Panax notoginseng* polysaccharide in mice with diet-induced obesity [J]. *Foods*, 2022, 11(19): 3101.
- [4] WAJIMA T, KINUGAWA R, YAMADA T, *et al.* *Panax notoginseng* extract possesses significant antibacterial activity against pathogenic streptococci [J]. *Pharmacology*, 2019, 103(5–6): 221–227.
- [5] XU Y, WANG N, TAN HY, *et al.* Gut-liver axis modulation of *Panax notoginseng* saponins in nonalcoholic fatty liver disease [J]. *Hepatol Int*, 2021, 15(2): 350–365.
- [6] HUO NL, AMEER K, WU ZG, *et al.* Preparation, characterization, structural analysis and antioxidant activities of phosphorylated polysaccharide from Sanchi (*Panax notoginseng*) flower [J]. *J Food Sci Technol*, 2022, 59(12): 4603–4614.
- [7] ZHANG SQ, CHEN C, LU WX, *et al.* Phytochemistry, pharmacology, and clinical use of *Panax notoginseng* flowers buds [J]. *Phytother Res*, 2018, 32(11): 2155–2163.
- [8] XIE WB, LI H, ZENG L, *et al.* Separation of *Panax notoginseng* saponins on modified rosin ester-bonded silica stationary phase and its mechanism [J]. *Anal Chim Acta*, 2023, 1239: 340661.
- [9] HE Y, HU ZY, LI A, *et al.* Recent advances in biotransformation of saponins [J]. *Molecules*, 2019, 24(13): 2365.
- [10] 陈红惠, TARUN Belwal, 李刚凤, 等. 表面活性剂协同超声波酶法提取三七总皂苷工艺优化及抗氧化活性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(20): 178–186.
- CEHN HH, TARUN B, LI GF, *et al.* Enzymolysis-ultrasound-assisted surfactant extraction and antioxidant activity of saponins from *Panax notoginseng* flowers [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(20): 178–186.
- [11] 韩建军, 宁娜, 郁建生. 响应面法对三七总皂苷超高压提取工艺的优化[J]. *湖北农业科学*, 2015, 54(10): 2455–2458, 2551.
- HAN JJ, NING N, YU JS. Optimization of ultrahigh pressure extraction technology of total saponins from *Panax notoginseng* by response surface method [J]. *Hubei Agric Sci*, 2015, 54(10): 2455–2458, 2551.
- [12] 刘秀徽, 李宏, 牛之瑞, 等. 三七茎叶总皂苷提取工艺及抗氧化活性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(15): 6003–6008.
- LIU XW, LI H, NIU ZR, *et al.* Study on the extraction technology and antioxidant activity of total saponins from stem-leaf of *Panax notoginseng* [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(15): 6003–6008.
- [13] SUN HM, MA LJ, WAN JB, *et al.* Preparative separation of gypenoside XVII, ginsenoside Rd2, and notoginsenosides Fe and Fd from *Panax notoginseng* leaves by countercurrent chromatography and orthogonality evaluation for their separation [J]. *J Sep Sci*, 2021, 44(15): 2996–3003.
- [14] LELU JK, LIU Q, ALOLGA RN, *et al.* A new two-dimensional chromatographic method for separation of saponins from steamed *Panax notoginseng* [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2016, 125: 355–359.
- [15] 王玥, 丁燕, 朱靖博. 三七中皂苷类标准物质的规模化制备分离[J]. *大连工业大学学报*, 2021, 40(5): 325–328.
- WANG Y, DING Y, ZHU JB. Large scale preparation and separation of saponins from *Panax notoginseng* [J]. *J Dalian Polytech Univ*, 2021, 40(5): 325–328.
- [16] 赵凤平, 张琳, 蒋瑶, 等. 大孔树脂与氧化铝联用分离纯化三七总皂苷的工艺研究[J]. *应用化工*, 2017, 46(4): 706–710, 714.
- ZHAO FP, ZHANG L, JIANG Y, *et al.* Optimization of purification technology of total saponins from *Panax notoginseng* with macroporous resin and aluminum oxide column [J]. *Appl Chem Ind*, 2017, 46(4): 706–710, 714.
- [17] 兰星, 李钊文. 聚合硅胶分离三七药材中人参皂苷 Rg1、Re 与 Rb1 组合物方法研究[J]. *大众科技*, 2020, 22(7): 36–38.
- LAN X, LI ZW. Study of composition of ginsenoside Rg1, Re and Rb1 from *Panax notoginseng* by separation of polymerized silica gel [J]. *Pop Sci Technol*, 2020, 22(7): 36–38.
- [18] 林伟鑫, 姚曦, 李勇, 等. 三七总皂苷提取、大孔树脂纯化工艺研究[J]. *食品与药品*, 2015, 17(3): 156–161.
- LIN WX, YAO X, LI Y, *et al.* Study on extraction and purification technology of total saponins in *Notoginseng radix et rhizoma* with macroporous resin [J]. *Food Drug*, 2015, 17(3): 156–161.
- [19] MA DD, WANG J, YIN G, *et al.* The study of steaming durations and temperatures on the chemical characterization, neuroprotective, and antioxidant activities of *Panax notoginseng* [J]. *Evid-Based Compl Alt*, 2022, 2022: 3698518.
- [20] MI W, YU M, YIN SY, *et al.* Analysis of the renal protection and antioxidative stress effects of *Panax notoginseng* saponins in diabetic nephropathy mice [J]. *J Immunol Res*, 2022, 2022: 3610935.
- [21] FENG SL, CHENG HR, XU Z, *et al.* Antioxidant and anti-aging activities and structural elucidation of polysaccharides from *Panax notoginseng* root [J]. *Process Biochem*, 2019, 78: 189–199.
- [22] SHEN SW, ZHOU C, ZENG YB, *et al.* Structures, physicochemical and bioactive properties of polysaccharides extracted from *Panax notoginseng* using ultrasonic/microwave-assisted extraction [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2022, 154: 112446.
- [23] 马敏敏, 朱婉萍, 万晓青. 不同蒸制时间对三七总黄酮和多糖含量的影响[J]. *浙江中医杂志*, 2022, 57(6): 463–464.
- MA MM, ZHU WP, WANG XQ. Effect of different steaming time on the contents of total flavonoids and polysaccharides of *Panax notoginseng* [J]. *Zhejiang J Tradit Chin Med*, 2022, 57(6): 463–464.
- [24] 魏晓梅, 杨文敏, 聂贤锋, 等. 药用植物三七和金银花多糖提取工艺优化与比较[J]. *中国野生植物资源*, 2020, 39(4): 19–22.
- WEI XM, YANG WM, NIE XF, *et al.* Optimization and comparative analysis of the extraction technic for polysaccharide from *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. chen ex C. H. and *Lonicera japonica* Thunb [J]. *Chin Wild Plant Res*, 2020, 39(4): 19–22.
- [25] 刘平平, 虞旦, 王昌涛, 等. 三七多糖的微生物发酵提取工艺优化及其抗炎功效评价[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(18): 71–78, 83.
- LIU PP, YU D, WANG CT, *et al.* Optimization of microbial fermentation extraction process of *Panax notoginseng* and evaluation of its anti-inflammatory effect [J]. *Food Res Dev*, 2019, 40(18): 71–78, 83.
- [26] 温拥军, 蒋琼凤, 郭浪. 响应面法优化内部沸腾法提取三七多糖[J].

- 食品工业科技, 2013, 34(23): 260–263.
- WEN YJ, JIANG QF, GUO L. Conditions optimization of inner ebullition of polysaccharides from *Radix notoginseng* by response surface methodology [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(23): 260–263.
- [27] LUO L, XUE J, SHAO Z, *et al.* Recent developments in *Salvia miltiorrhiza* polysaccharides: Isolation, purification, structural characteristics and biological activities [J]. *Front Pharmacol*, 2023, 14: 1139201.
- [28] HE Y, LI L, CHANG H, *et al.* Research progress on extraction, purification, structure and biological activity of *Dendrobium officinale* polysaccharides [J]. *Front Nutr*, 2022, 9: 965073.
- [29] CHEN GJ, YUAN QX, SAEEDUDDIN M, *et al.* Recent advances in tea polysaccharides: Extraction, purification, physicochemical characterization and bioactivities [J]. *Carbohydr Polym*, 2016, 153: 663–678.
- [30] CHAN MK, YU Y, WULAMU S, *et al.* Structural analysis of water-soluble polysaccharides isolated from *Panax notoginseng* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 155: 376–385.
- [31] LIU SN, YANG Y, QU Y, *et al.* Structural characterization of a novel polysaccharide from *Panax notoginseng* residue and its immunomodulatory activity on bone marrow dendritic cells [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 161: 797–809.
- [32] YANG HR, LI X, LIU H, *et al.* Novel polysaccharide from *Panax Notoginseng* with immunoregulation and prebiotic effects [J]. *Food Biosci*, 2023, 51: 102310.
- [33] WANG J, ZHANG QB, ZHANG ZS, *et al.* Antioxidant activity of sulfated polysaccharide fractions extracted from *Laminaria japonica* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2008, 42(2): 127–132.
- [34] 程敏, 吴春合, 刘文驹, 等. 菊三七多糖的提取工艺优选及体外抗氧化活性考察[J]. *中国药师*, 2020, 23(10): 1915–1919.
- CHENG M, WU CH, LIU WJ, *et al.* Extraction optimization and *in vitro* antioxidant activity of polysaccharides from *Gynura japonica* [J]. *Chin Pharm*, 2020, 23(10): 1915–1919.
- [35] XU XY, DENG GF, LI X, *et al.* Extraction, structural, and antioxidant properties of oligosaccharides hydrolyzed from *Panax notoginseng* by ultrasonic-assisted fenton degradation [J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(5): 4506.
- [36] 曹玉标, 孙亮亮, 杨野, 等. 三七药渣中主要多糖成分的分离纯化及其抗氧化活性研究[J]. *中草药*, 2023, 54(1): 100–111.
- CAO YB, SUN LL, YANG Y, *et al.* Separation and purification of polysaccharides from *Panax notoginseng* residues and its antioxidant activities [J]. *Chin Trad Herbal Drugs*, 2023, 54(1): 100–111.
- [37] CAO Y, XIE L, LIU K, *et al.* The antihypertensive potential of flavonoids from Chinese herbal medicine: A review [J]. *Pharmacol Res*, 2021, 174: 105919.
- [38] WANG T, GUO RX, ZHOU GH, *et al.* Traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology of *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen: A review [J]. *J Ethnopharmacol*, 2016, 188: 234–258.
- [39] 温沐榕. 白背三七黄酮的机械化学提取及山奈酚体内溶增研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2018.
- WEN MR. Studies on mechanochemistry extraction of flavone from *Gynura divaricata* and *in vivo* solubilization of kaempferol [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2018.
- [40] 杨申明, 王振吉, 戴玥. 藤三七总黄酮的超声波辅助提取及其抗氧化性研究[J]. *保鲜与加工*, 2018, 18(5): 65–71.
- YANG SM, WANG ZJ, DAI Y. Ultrasonic-assisted extraction of total flavonoids from *Boussingaultia gracilis* and its antioxidant activity [J]. *Storage Process*, 2018, 18(5): 65–71.
- [41] 孟祥凤, 张红, 赵艺飞, 等. 藤三七总黄酮微波提取工艺优化[J]. *保鲜与加工*, 2021, 21(1): 113–116.
- MENG XF, ZHANG H, ZHAO YF, *et al.* Optimization of microwave extraction technique of total flavonoids from *Anredera cordifolia* stem [J]. *Storage Process*, 2021, 21(1): 113–116.
- [42] 张焕新, 郑义, 殷玲, 等. 白背三七黄酮类化合物的提取及抗氧化性评价[J]. *江苏农业学报*, 2019, 35(4): 933–939.
- ZHANG HX, ZHANG Y, YIN L, *et al.* Extraction and antioxidant evaluation of flavonoids from *Gynura divaricata* (L.) DC. leaves [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2019, 35(4): 933–939.
- [43] 涂招秀, 谢欣, 胡居吾, 等. 动态超高压微射流技术对蔓三七叶中黄酮的提取研究[J]. *生物化工*, 2018, 4(4): 6–9.
- TU ZX, XIE X, HU JW, *et al.* Application of the dynamic high-pressure microfluidization technology in *Gynura procumbens* leaves flavonoids extraction [J]. *Biochem Ind*, 2018, 4(4): 6–9.
- [44] SHANG XC, ZHANG MM, HU J, *et al.* Chemical compositions, extraction optimizations, and *in vitro* bioactivities of flavonoids from perilla leaves (*Perillae folium*) by microwave-assisted natural deep eutectic solvents [J]. *Antioxidants (Basel)*, 2022, 12(1): 104.
- [45] CHANG XL, WANG D, CHEN BY, *et al.* Adsorption and desorption properties of macroporous resins for anthocyanins from the calyx extract of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(9): 2368–2376.
- [46] 马娇, 高蕾, 施月, 等. 景天三七总黄酮的纯化、自由基清除活性及初步鉴定[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(4): 207–213, 219.
- MA J, GAO L, SHI Y, *et al.* Purification, free radical scavenging activity and preliminary identification of total flavonoids from *Sedum aizoon* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(4): 207–213, 219.
- [47] 杨艳俊, 王亚红, 王君龙. 景天三七总黄酮大孔吸附树脂纯化工艺研究[J]. *北方园艺*, 2014, 310(7): 144–147.
- YANG YJ, WANG YH, WANG JL. Study on the purification process of total flavonoids of *Sedum aizoon* L. by macroporous adsorption resin [J]. *Northern Hortic*, 2014, 310(7): 144–147.
- [48] LIU JF, MENG J, DU JH, *et al.* Preparative separation of flavonoids from goji berries by mixed-mode macroporous adsorption resins and effect on  $A\beta$ -expressing and anti-aging genes [J]. *Molecules*, 2020, 25(15): 3511.
- [49] DAI CY, LIU PF, LIAO PR, *et al.* Optimization of flavonoids extraction process in *Panax notoginseng* stem leaf and a study of antioxidant activity and its effects on mouse melanoma B16 cells [J]. *Molecules*, 2018, 23(9): 2219.
- [50] GHOSH B, MITRA J, CHAKRABORTY S, *et al.* Simple detection methods for antinutritive factor  $\beta$ -ODAP present in *Lathyrus sativus* L. by



- high pressure liquid chromatography and thin layer chromatography [J]. PLoS One, 2015, 10(11): 0140649.
- [51] 赵薇, 徐香琴, 黄松, 等. 三七与三七药渣中游离氨基酸的含量比较及氨基酸提取工艺的研究[J]. 北方药学, 2016, 13(8): 97-99.
- ZHAO W, XU XQ, HUANG S, *et al.* Research on *Panax* dregs of free amino acids and amino acid content is relatively extraction [J]. J North Pharm, 2016, 13(8): 97-99.
- [52] 鲁歧, 李向高. 三七挥发油成分的研究[J]. 中国药学杂志, 1987, (9): 528-530.
- LU Q, LI XG. Study on components of volatile oil of *Panax notoginseng* [J]. Chin Pharm J, 1987, (9): 528-530.
- [53] 段绍凤, 陈庚, 闫静, 等. 三七素提取工艺及检测方法的优化[J]. 热带作物学报, 2019, 40(11): 2255-2260.
- DUAN SF, CHEN G, YAN J, *et al.* Optimization of extraction process and detection method of dencichine [J]. J Trop Crops, 2019, 40(11): 2255-2260.
- [54] 李琳. 三七茎叶中三七素提取分离研究及经皮渗透性能评价[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.
- LI L. Study of extraction process and transderma delivery characteristics in dencichine [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2015.
- [55] 向梅先, 苏汉文. 血三七叶中挥发油提取及包合工艺优选[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2013, 47(4): 505-508.
- XIANG MX, SU HW. Preferred process of volatile oil extracting and including from the leaf of *Polygonum amplexicaule* D. Don var [J]. J Cent China Norm Univ (Nat Sci Ed), 2013, 47(4): 505-508.
- [56] 吕晴, 秦军, 章平, 等. 同时蒸馏萃取三七花挥发油成分的气相色谱-质谱分析[J]. 药物分析杂志, 2005, 25(3): 284-287.
- LV Q, QIN J, ZHANG P, *et al.* Simultaneous distillation and solvent extraction and GC/MS analysis of volatile oil from flowers of *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen [J]. Chin J Pharm Anal, 2005, 25(3): 284-287.
- [57] 杨艳俊, 王亚红, 吉惠杰, 等. 响应面法提取景天三七 $\beta$ -谷甾醇的工艺研究[J]. 吉林化工学院学报, 2015, 32(8): 67-71.
- YANG YJ, WANG YH, JI HJ, *et al.* Optimization of extraction of  $\beta$ -sitosterol from *Sedum aizoon* L. by response surface methodology [J]. J Jilin Inst Chem Technol, 2015, 32(8): 67-71.
- [58] 梁利香, 陈月华, 陈利军. 菊三七茎叶挥发油的 GC-MS 分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015, 472(4): 109-110.
- LIANG LX, CHEN YH, CHEN LJ. Analysis of volatile oil in stem and leaf of *Chrysanthemum notoginseng* by GC-MS [J]. Heilongjiang Anim Husb Vet Med, 2015, 472(4): 109-110.
- [59] 张玉萍, 余琼. 三七中三七素的提取分离及含量测定[J]. 山西中医, 2009, 25(10): 55-56.
- ZHANG YP, YU Q. Extraction, abstraction and assaying of dencichine in *Radix notoginseng* [J]. Shanxi J Tradit Chin Med, 2009, 25(10): 55-56.
- [60] 张冰, 陈晓辉, 毕开顺. 三七花蕾化学成分的分离与鉴定[J]. 沈阳药科大学学报, 2009, 26(10): 775-777.
- ZHANG B, CHEN XH, BI KS. Isolation and identification of chemical constituents from flower buds of *Panax notoginseng* [J]. J Shenyang Pharm Univ, 2009, 26(10): 775-777.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

## 作者简介



牛世蓉, 硕士研究生, 主要研究方向为食品加工与安全。

E-mail: Nsrong0402@163.com



范 蓓, 博士, 研究员, 主要研究方向为功能因子挖掘与利用。

E-mail: fanbei517@163.com



李敏敏, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量与安全。

E-mail: liminmin@caas.cn