

虎杖中白藜芦醇提取工艺研究进展

张颖, 刘义梅*

(湖北中医药大学药学院, 武汉 430065)

摘要: 白藜芦醇是一种生物性很强的天然多酚类物质, 又称为芪三酚, 是动脉粥样硬化、心脑血管疾病、肿瘤的化学预防剂, 主要来源于花生、葡萄(红葡萄酒)、虎杖、桑椹等植物。本文综述了近十几年来虎杖白藜芦醇提取工艺, 并分析比较各种方法的优缺点和发展趋势, 以期虎杖白藜芦醇提取工艺的深入研究提供参考。

关键词: 虎杖; 白藜芦醇; 提取

Research progress on the extraction process of resveratrol from *Polygonum cuspidatum*

ZHANG Ying, LIU Yi-Mei*

(College of Pharmacy, Hubei University of Traditional Chinese Medicine, Wuhan 430065, China)

ABSTRACT: Resveratrol is a natural polyphenol with strong biological properties, also known as astragalus triphenol. It is a chemical prophylactic agent for atherosclerosis, cardiovascular and cerebrovascular diseases, and tumors. It is mainly derived from peanuts, grapes (red wine), polysaccharides, mulberry and other plants. This paper reviewed the extraction process of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* in recent ten years and analyzed and compared the advantages, disadvantages and development trends of various methods, so as to provide references for the further research on the extraction process of *Polygonum cuspidatum*.

KEY WORDS: *Polygonum cuspidatum*; resveratrol; extraction

1 引言

白藜芦醇是一种生物性很强的天然多酚类物质, 广泛存在于葡萄、虎杖、决明子和花生等天然植物或果实当中, 到目前为止至少已在 21 科、31 属的 72 种植物中被发现^[1], 虎杖(*Polygonum cuspidatum*)是目前提取白藜芦醇的首选天然植物。现代研究证明^[2-5], 白藜芦醇具有抗氧化、抗菌、抗癌、抗动脉粥样硬化和冠心病、高血脂的防治等作用, 特别是它的很强的抗肿瘤活性, 使其被誉为新的绿色抗癌药物, 在医药、保健品、食品、化妆品等领域应用广泛。因此如何将白藜芦醇从虎杖中高效、快速提取出来,

具有很高的经济价值。

目前虎杖中白藜芦醇的提取方法主要有溶剂提取、超声提取、酶解法、微波提取、超临界 CO₂ 萃取等其他方法, 本文综述了近十几年来虎杖白藜芦醇提取工艺, 并分析比较各种方法的优缺点和发展趋势, 以期虎杖白藜芦醇提取工艺的深入研究提供参考。

2 溶剂提取法

溶剂提取法是国内应用最广泛的一种传统提取方法, 是根据中药有效成分溶解度的性质, 选取适当的提取剂, 将所需的活性成分从药材组织内溶解出来。白藜芦醇易溶

基金项目: 2017 年国家重点研发计划(2017YFC1701003)

Fund: Supported by National Key Research and Development Program in 2017(2017YFC1701000)

*通讯作者: 刘义梅, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为中药资源极其品质研究。E-mail: liuyimei1971@126.com

*Corresponding author: LIU Yi-Mei, Professor, College of Pharmacy, Hubei University of traditional Chinese Medicine, Wuhan 430065, China. E-mail: liuyimei1971@126.com

于乙醇、甲醇、丙酮、乙酸乙酯等有机溶剂,微溶于热水,难溶于冷水。故水提效果比有机溶剂提取效果差。另外,张贵娟等^[6]研究表明即使在最佳水提条件下,白藜芦醇提取率也只达到0.1713%,因此现在基本不采用水提法提取虎杖白藜芦醇。此外白藜芦醇在常见几种有机溶剂的溶解度大致顺序为:丙酮>乙醇>甲醇>乙酸乙酯>乙醚>氯仿^[7],且刘炜等^[8]研究证实从提取率、安全性、回收的难易程度以及价格考虑,60%~80%乙醇为适宜溶剂。王慧竹等^[9]在单因素基础上,用正交实验优化虎杖茎中白藜芦醇提取工艺,结果,各因素对提取率的影响顺序为:料液比>乙醇浓度>提取温度>提取时间,并得到最佳提取条件,即60%的乙醇在80℃下,按料液比1:15 g/mL,提取2 h。该方法不仅溶剂用量大,耗时长,而且提取率不高,杂质多。在一定条件下,白藜芦醇可与某些无机碱、碱性盐结合形成酚盐,增加其在体系中的溶解度,通过调节pH可使其重新沉淀出来。故可以通过碱提酸沉法富集白藜芦醇,从而提高提取率^[10]。尚天翠^[11]从pH值、温度、提取方式等方面优化碱提酸沉工艺。确定了最佳提取工艺条件,即以pH=10的氢氧化钠60℃恒温磁力搅拌1 h,滤液用1 mol/L盐酸调pH值为3时,沉淀白藜芦醇,离心分离。此方法相对有机溶剂提取不仅溶剂用量少,耗时短,而且提取率高。

3 超声提取法

超声提取即利用超声波的空化作用、机械效应和热效应等加速胞内有效物质的释放、扩散和溶解的提取方法。据文献报告^[12-17],各因素对超声提取的影响为:乙醇浓度>料液比>超声温度>超声功率>超声时间。赵鸿宾等^[12]发现酸性条件下,有利于白藜芦醇苷水解转换成白藜芦醇,提高白藜芦醇的提取率。常永芳等^[15]选用80%乙醇和80%丙酮的混合液为提取剂,得到白藜芦醇的最佳提取条件为80%乙醇:80%丙酮1:3(V:V)为提取液、料液比1:6(m:V)、在70℃下超声5 min,此时白藜芦醇的提取率为2.612%。据文献报告^[16,17],加入适量一定浓度的表面活性剂(β -环糊精),利用表面活性剂的增溶作用,能提高白藜芦醇提取率,白藜芦醇的得率可达4.65%。

超声提取多选用乙醇作为提取剂,并且不同有机溶剂的混合和添加活性剂可大大提高提取率,此后的研究除了从影响因素着手外,还可从不同有机溶剂的组合、活性剂的种类及影响活性剂活性的因素着手。对比传统溶剂提取法,超声提取所用溶剂的量减少、提取时间明显缩短、提取率提高。

4 酶解法

白藜芦醇在植物内以自由态和糖苷2种形式存在,白藜芦醇苷在一定条件下酶解脱去葡萄糖苷,可转换成白藜

芦醇^[18]。酶解法一方面通过分解破坏虎杖药材细胞壁的有效成分,使白藜芦醇溶出率增加;另一方面将白藜芦醇苷转化为白藜芦醇,从而提高白藜芦醇提取率。目前,用于提取白藜芦醇的酶主要有纤维素酶、 β -葡萄糖苷酶及多种复合酶。一般复合酶的效果较好,并且与复合酶的种类有很大关系^[19-23],此外酶解法要远优于不加酶法。

酶解法提取工艺中,纤维素酶酶解法应用相对广泛。酶解温度、pH值和酶解时间对纤维素酶提取白藜芦醇影响显著^[23-25]。刘树兴等^[24]采用响应曲面法对工艺进一步优化,得最佳工艺为:纤维素酶与虎杖粗粉按配比为1:500(V:V),在52.5℃、pH为4.5条件下,酶解时间110 min,该条件下白藜芦醇的浓度达到了1.489 mg/mL。陶明宝等^[25]运用正交试验,以白藜芦醇的含量和浸膏得率为评价指标,对白藜芦醇的酶法提取工艺进行优化。结果得最佳条件为:纤维素酶用量0.6%,pH=5.0,50℃,酶解36 h,酶解后的样品加入8倍量80%乙醇,85℃(药液微沸)提取3次,每次2 h。原药材中白藜芦醇的含量为0.459%,经酶解后白藜芦醇含量上升至1.773%。因为纤维素酶是由多种水解酶组成的一个复杂酶系,来源较多,故选用的纤维素酶的质量好坏对实验影响较大,不同的纤维素酶的最佳条件也有所差异。

β -葡萄糖苷酶作为一种常用的工业用酶,常用于白藜芦醇等易糖苷化活性成分的去糖苷转化^[26]。陈蓉蓉等^[22]从影响酶解的各因素优化 β -葡萄糖苷酶提取白藜芦醇工艺,得出较佳的 β -葡萄糖苷酶酶解工艺条件:酶用量3%,在40℃、pH为5条件下酶解10 h。然而 β -葡萄糖苷酶制剂价格较高,杨伟彬等^[27]从619株里氏木霉的基因重组菌中定向筛选出3株高产 β -葡萄糖苷酶的菌株,以三者的发酵粗酶液直接处理虎杖粗提物,提高了对苷元型白藜芦醇的提取效率。此方法为酶的获取提供了新思路,通过对菌株的筛选,从根本上提高酶的质量,保证高效的白藜芦醇提取率。

采用2种或2种以上酶的组合,进行虎杖白藜芦醇的提取可大大提高提取速率和提取率。虎杖白藜芦醇提取的复合酶通常是纤维素酶和一种或多种酶的组合,复合酶种类不同,提取率也不同^[28-32](见表1)。

5 微波提取法

微波提取全称为微波辅助提取技术,是将微波与传统溶剂提取相结合的一种提取方法。在微波场中,组织细胞吸收微波能,温度迅速升高,利于细胞破裂,有助于白藜芦醇的溶出。目前国内有关虎杖中白藜芦醇的微波提取研究较少,乙醇是微波提取虎杖中白藜芦醇的常用溶剂。在影响微波提取的各因素中,液料比、微波温度和微波时间为主要影响因素^[33-36]。王辉等^[35]通过正交实验,从微波功率、乙醇浓度、料液比、提取时间4个因素优化提取工

表 1 不同复合酶提取工艺
Table 1 Different complex enzyme extraction processes

复合酶种类	提取工艺	提取率/%
β -葡萄糖苷酶+纤维素酶 ^[28]	温度 43 °C、pH5.0、463 μ L 酶、酶解 153 min,	1.646
β -葡聚糖酶+漆酶+纤维素酶+木聚糖酶 ^[29]	pH 4.4、料水比 1:15(V:V)、 β -葡聚糖酶含量 0.20%、漆酶含量 0.30%、纤维素酶含量 0.50%、木聚糖酶含量 0.40%	0.592
纤维素酶+阿魏酸酯酶 ^[30,31]	温度 50 °C、pH 5.0、固液比 1:20(g:mL)、1.5 mg/g 纤维素酶+1.5 mg/g 阿魏酸酯酶、酶解 3.0 h	1.523±0.07
植物精提复合酶 ^[32]	温度 45 °C、pH 6.5、固液比 1:22 (g:mL)、酶用量 0.50%、提取 2 次、每次 5.0 h。	75.66

艺, 得到最佳提取工艺条件为:料液比 1:20(*m*:*V*), 乙醇浓度 70%, 微波时间 20 min, 微波功率 700 W, 虎杖白藜芦醇提取率可达 2.40%。微波提取具有工艺简单、无污染、提取时间短、提取率高等优点, 但是微波提取的设备较昂贵, 所需溶剂必须为有机溶剂, 目前主要用于实验室。

6 超临界 CO₂ 萃取

超临界流体萃取(supercritical fluid extraction, SFE)是以超临界状态下的 CO₂ 流体为溶剂, 集萃取和分离于一体, 来提取分离混合物的过程绿色提取方法。具有萃取能力强、提取率高、提取时间短以及生成周期短等优点, 此外它是在接近室温及 CO₂ 气体笼罩下进行提取, 可有效防止热敏性物质氧化和逸散。目前, 利用近几年关于超临界流体技术萃取虎杖中白藜芦醇的报道却尚不多见。可能是因为它对原料粒度要求高、设备昂贵一次投入大、维护费高等特点。方耀平等^[37]研究采用均匀设计方法, 对超临界 CO₂ 流体萃取虎杖中白藜芦醇的工艺条件进行优化, 所得超临界萃取白藜芦醇的最佳工艺条件为萃取压力 30 MPa, 萃取温度 60 °C, 夹带剂用量 100%, 萃取时间 120 min。

7 联合提取方法

除上述常用单一提取方法外, 近年来几种方法联合的提取方法在虎杖白藜芦醇提取中研究较多。

半仿生法是一种能促进中药有效成分的溶出, 提高提取率, 缩短生产周期, 降低成本的提取方法, 但传统半仿生法不适用热不稳定物质的提取。酶法与半仿生法联合使用, 则弥补了此缺点, 并且大大提高了提取效率、缩短了提取时间。陈帅等^[38]将纤维素酶酶解法和半仿生法相结合, 利用响应面法优选提取工艺。结果表明, 加酶量 1.7 mg/g, 在 55 °C 下酶解 107 min 为最佳工艺。此时白藜芦醇提取率达到了 5.91%, 相比单纯的纤维素酶酶解法, 提取率显著提高。

超声波在液体中的高频振动能对流体产生强大剪切力, 从而增大固体表面的比表面积, 而增加底物与酶的接

触面可加快酶解反应。故理论上超声波辅助酶法相对超声提取、酶解法, 提取率应该有所提高。但据文献报告并非如此^[39,40], 糖苷酶(pectinex)辅助超声提取最佳提取条件下, 即底物浓度为 5%, 声功率为 150 W, pH 为 5.4, 温度为 55 °C, 酶与底物的比率为 3950 多聚半乳糖醛酸酶单位(PGNU)/g, 反应 5 h, 白藜芦醇产量可达 11.88 mg/g。对比超声提取和酶解法比并无太大优势, 可能是因为杂质含量增多的原因。但对比传统乙醇提取虎杖中的白藜芦醇的工艺, 缩短提取时间, 又可降低生产成本。

兰天路等^[41]研究对比微波辅助醇提法、酶辅助醇提法、酶微波结合提取与传统醇提法, 发现 3 种联合提取法均比传统醇提要好, 其中酶微波结合提取的效果最佳。

离子液体与传统有机溶剂相比, 具有较高的热稳定性和化学稳定性、不挥发、可循环使用, 溶剂和催化剂的双重功能。冯吉等^[42]以离子液体代替传统有机溶剂为萃取剂, 将超声辅助萃取与离子液体双水相萃取相结合建立一种简便、高效、绿色的超声辅助离子液体/阴离子表面活性剂双水相萃取法, 发现此法具有样品用量少、操作简单、绿色环保、提取时间短等优点, 在中药中多酚类化合物的提取中有广阔前景。

8 其他方法

除以上提取方法外, 还有一些不常用或研究较少的提取方法, 这些方法分为 3 类。

(1)从白藜芦醇热不稳定性考虑, 有固定床连续、超高压提取、微射流技术。固定床连续提取比回流、超声提取的提取率高^[43]。廖国平等^[44]采用均匀设计试验对超高压提取虎杖白藜芦醇工艺参数进行优选, 并与回流提取、超声提取和微波提取进行比较。结果表明超高压提取分别高出回流提取 67.5%, 超声提取 29.7%和微波提取 24.6%, 并得到超高压提取白藜芦醇的最佳工艺条件, 即在压力 170 MPa, 液固比为 30 mL/g 条件下, 以 55%乙醇提取时间 120 min, 此提取条件下白藜芦醇的提取率为 2.53 mg/g。微射流技术中的微射流发生器可对物料进行低温物理破壁提

取,并且由于细胞壁是在极短时间内(0.1 s)物理破碎以及在室温及以下条件进行,所以热敏感成分不易产生物理化学变化,最大限度地保持了成分的稳定^[45]。吴少莉等^[46]的实验亦证明微射流技术可用于虎杖白藜芦醇的提取。

(2)从酶制剂价格成本考虑,利用发酵产生的酶来提取虎杖中白藜芦醇,降低成本。彭源德等^[47]研究证明酵母固态厌氧发酵能有效地提高虎杖白藜芦醇的提取率。Jin等^[48]用黑曲霉和酵母将白藜芦醇苷转化为白藜芦醇,并对转化条件进行了优化。在30℃、pH6.5、2 d、液固比为12:1(mL:g)的条件下,白藜芦醇的产率达到33.45 mg/g,比未处理的白藜芦醇提高11倍。但因为黑曲霉菌等菌对人体有害,故并不常用。

(3)从节能、降低成本考虑,最近兴起的方法有罐组式动态逆流提取、匀浆提取。匀浆提取具有绿色高效、速度快、能耗低等优点;但目前多用于动物。周军等^[49]利用响应面法优化匀浆提取白藜芦醇的工艺,得最佳条件为提取溶剂64%乙醇溶液,匀浆时间5 min,液料比14:1(mL:g),在此条件下虎杖苷和白藜芦醇的一次提取总得率为1.830%。与浸提法相比,提取率显著提高,在虎杖等中药活性成分的大规模提取方面具有应用前景。罐组式动态逆流提取是根据固液(药材与溶剂)中有效成分的浓度差,逐级将有效成分转移到有机溶剂中^[50]。熊清平等^[51]研究证实罐组式动态逆流应用于虎杖白藜芦醇的提取是可行的,并且缩短了提取时间,降低了成本。

9 讨论与展望

目前虎杖中白藜芦醇的提取方法中,有机溶剂提取法效果最差,酶解法的研究最多,复合酶的提取效果最好,对环境污染较小,但酶对温度和pH值要求十分严格,对设备要求也较高。超声提取效果次之,但所用仪器简单,自动化程度极高,便于大规模生产使用,而且提取时间短、成本低。超临界CO₂萃取和微波提取因设备的限制,相对其他提取方法研究的少。

近年来几种方法联合的提取方法研究较多,并且实验证实联合提取优于单个提取方法,且此方面的研究还具有很广阔的研究空间。对于固定床连续提取、超高压提取、酵母发酵、罐组式动态逆流提取、微射流技术、匀浆提取,虽有研究证实具有一定优势,但是还很不充分、系统,需要进行进一步、系统的研究,以推广应用。此外还应学习、借鉴一些现代的天然产物活性成分提取技术,如负压沸腾提取法、超微粉碎法等,创新虎杖白藜芦醇提取工艺技术,有效提高其白藜芦醇提取效率。

参考文献

- [1] 李先宽,李赫宇,李帅,等.白藜芦醇研究进展[J].中草药,2016,47(14):2568-2578.
- [2] Li XK, Li HY, Li S, et al. Advances in resveratrol [J]. Chin Tradit Herbal Drug, 2016, 47(14): 2568-2578.
- [3] Rabassa M, Zamora-Ros R, Urpi-Sarda M, et al. Resveratrol metabolite profiling in clinical nutrition research-from diet to uncovering disease risk biomarkers: epidemiological evidence [J]. Annals New York Acad Sci, 2015, 1348(1): 107-115.
- [4] Park EJ, Pezzuto JM. The pharmacology of resveratrol in animals and humans [J]. Biochim Et Biophys Acta, 2015, 1852(6): 1071-1113.
- [5] Bhullar KS, Hubbard BP. Lifespan and healthspan extension by resveratrol [J]. Biochimica Et Biophys Acta, 2015, 1852(6): 1209-1218.
- [6] 孙治刚,李志娜,李敏.白藜芦醇的药理作用研究进展[J].淮海工学院学报(自然科学版),2017,26(2):40-43.
- [7] Sun ZG, Li ZN, Li M. Progress in pharmacological action of resveratrol [J]. J Huaihai Inst Technol (Nat Sci Ed), 2017, 26(2): 40-43.
- [8] 张贵娟,杨涛,罗非君,等.白藜芦醇的提取与检测方法研究进展[J].食品与机械,2013,29(2):234-237.
- [9] Zhang GJ, Yang T, Luo FJ, et al. Advances in extraction and detection of resveratrol [J]. Food Mach, 2013, 29(2): 234-237.
- [10] 蔡杨柳.白藜芦醇的提取纯化及性能研究[D].北京:北京化工大学,2010.
- [11] Cai YL. Extraction, purification and characterization of resveratrol [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2010.
- [12] 刘炜,丁小霞,雷绍荣,等.白藜芦醇的提取及检测方法研究进展[J].山西农业科学,2017,45(8):1384-1388.
- [13] Liu W, Ding XX, Lei SR, et al. Advances in extraction and detection of resveratrol [J]. J Shanxi Agric Sci, 2017, 45(8): 1384-1388.
- [14] 王慧竹,于江涛,张闯.正交实验法优选虎杖茎中白藜芦醇的提取工艺[J].吉林化工学院学报,2013,3(3):25-28.
- [15] Wang HZ, Yu JT, Zhang C. Extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* stems by orthogonal experiment [J]. J Jilin Inst Chem Technol, 2013, 30(3): 25-28.
- [16] 周慧恒,杨胜放,杨秀勋,等.白藜芦醇提取工艺及检测方法研究进展[J].饮料工业,2014,17(9):57-59.
- [17] Zhou HH, Yang SA, Yang XX, et al. Progress in extraction and detection of resveratrol [J]. Bever Ind, 2014, 17(9): 57-59.
- [18] 尚天翠.碱提酸沉法提取虎杖中白藜芦醇的研究[J].安徽农学通报,2015,21(1):25,28.
- [19] Shang TC. Study on the extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by alkali extraction and acid precipitation [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2015, 21(1): 25, 28.
- [20] 赵鸿宾,陈华国,周欣,等.虎杖中白藜芦醇的提取工艺[J].华西药学杂志,2010,25(1):85-86.
- [21] Zhao HB, Chen HG, Zhou X, et al. Extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. West China J Pharm Sci, 2010, 25(1): 85-86.
- [22] 刘小丽,张伟,符毅文.虎杖中白藜芦醇的超声提取及其抗氧化性研究[J].中成药,2011,33(1):150-153.
- [23] Liu XL, Zhang W, Fu YW. Ultrasonic extraction and antioxidation of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. Chin Tradit Pat Med, 2011, 33(1): 150-153.
- [24] 张景亚,李朋伟,全艳,等.超声波辅助提取虎杖中的白藜芦醇的工艺研究[J].安徽农业科学,2011,39(22):13383-13384.
- [25] Zhang JY, Li PW, Tong Y, et al. Ultrasonic assisted extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(22): 13383-13384.
- [26] 常永芳,刘志强,冯俊霞,等.虎杖中白藜芦醇的超声提取条件优化

- [J]. 江苏农业科学, 2012, 40(3): 241–242.
- Chang YF, Liu ZQ, Feng JX, *et al.* Optimization of ultrasonic extraction conditions of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2012, 40(3): 241–242.
- [16] Mantegna S, Binello A, Boffa L, *et al.* A one-pot ultrasound-assisted water extraction/cyclodextrin encapsulation of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. *Food Chem*, 2012, 130(3): 746–750.
- [17] 曹艳蓉, 赵俊平, 毛彩云, 等. 响应曲面法优化超声辅助提取虎杖中白藜芦醇的工艺研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(9): 3341–3346.
- Cao YR, Zhao JP, Mao CY, *et al.* Optimization of ultrasonic assisted extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by response surface method [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(9): 3341–3346.
- [18] 韩伟, 马婉婉, 骆开荣. 酶法提取技术及其应用进展[J]. 机电信息, 2010, (17): 15–18.
- Han W, Ma WanW, Luo KR. Progress in Enzymatic extraction and its application [J]. *Mech Electr Inf*, 2010, (17): 15–18.
- [19] 黄志芳, 易进海, 刘倩伶, 等. 酶解法提取纯化虎杖提取物中白藜芦醇的工艺研究[J]. 天然产物研究与开发, 2009, 21(6): 1061–1064.
- Huang ZF, Yi JH, Liu QL, *et al.* Extraction and purification of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* extract by enzymatic hydrolysis [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2009, 21(6): 1061–1064.
- [20] Wang DG, Liu WY, Chen GT. A simple method for the isolation and purification of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. *J Pharm Anal*, 2013, 3(4): 241–247.
- [21] 邓梦茹, 刘韶, 朱周颀. 酶法提取虎杖中的白藜芦醇[J]. 中南药学, 2011, 9(9): 669–672.
- Deng MR, Liu S, Zhu ZJ. Enzymatic extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. *Central South Pharm*, 2011, 9(9): 669–672.
- [22] 陈蓉蓉, 姜华, 蒲含林. 酶解法制备白藜芦醇的工艺优化[J]. 农业机械, 2011, (32): 152–155.
- Chen RR, Jiang H, Pu HL. Optimization of preparation of resveratrol by enzymatic hydrolysis [J]. *Agric Mach*, 2011, (32): 152–155.
- [23] 叶秋雄, 黄苇. 虎杖中白藜芦醇提取工艺研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(6): 1324–1327, 1301.
- Ye QX, Huang W. Study on extraction process of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2013, 29(6): 1324–1327, 1301.
- [24] 刘树兴, 王铁钦. 响应面法优化虎杖中白藜芦醇提取工艺的研究[J]. 陕西科技大学学报, 2010, 28(1): 70–74.
- Liu SX, Wang YQ. Study on the extraction process of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by response surface method [J]. *J Shaanxi Univ Sci Technol*, 2010, 28(1): 70–74.
- [25] 陶明宝, 鄢玉芬, 张乐, 等. 虎杖中白藜芦醇的酶法提取工艺研究[J]. 中药与临床, 2017, 8(6): 34–38.
- Tao MB, Yan YF, Zhang L, *et al.* Enzymatic extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. *Pharm Clin Chin Mater Med*, 2017, 8(6): 34–38.
- [26] Chen M, Li D, Gao ZQ, *et al.* Enzymatic transformation of polydatin to resveratrol by piceid-beta-D-glucosidase from *Aspergillus oryzae* [J]. *Bioproc Biosyst Eng*, 2014, 37(7): 1411–1416.
- [27] 杨伟彬, 龚泽华, 裘海平, 等. 重组里氏木霉粗酶液提取虎杖中白藜芦醇的研究[J]. 高校化学工程学报, 2017, 31(5): 1156–1161.
- Yang ZB, Gong ZH, Qiu HP, *et al.* Studies on the extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by recombinant *Trichoderma leuci* crude enzyme solution [J]. *J Chem Eng Chin Univ*, 2017, 31(5): 1156–1161.
- [28] 王珊珊, 胡萍, 余少文. 响应面法优化虎杖苷转化为白藜芦醇的工艺条件[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(4): 6–10.
- Wang SS, Hu P, Yu SW. The reaction surface method was used to optimize the process conditions for the conversion of polydatin to resveratrol [J]. *Chin J Exp Tradit Med Form*, 2016, 22(4): 6–10.
- [29] 王林, 何宗琴, 郑在, 等. 酶法提取虎杖中白藜芦醇的工艺优化[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(8): 3339–3340, 3381.
- Wang L, He ZQ, Zheng Z, *et al.* Optimization of enzymatic extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2013, 41(8): 3339–3340, 3381.
- [30] 孙勇民, 岳鹏, 王芃. 复合酶法提取虎杖中白藜芦醇的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(17): 34–37.
- Sun YM, Yue L, Wang P. Study on the extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by complex enzyme method [J]. *Food Res Dev*, 2013, 34(17): 34–37.
- [31] 邓建功, 邓建英. 虎杖中复合酶解法制备白藜芦醇的工艺优化[J]. 疾病监测与控制, 2016, 10(10): 836–838.
- Deng JG, Deng JY. Preparation of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by complex enzymatic hydrolysis [J]. *J Dis Monit Control*, 2016, 10(10): 836–838.
- [32] 贾伟伟, 赵映瑜, 陈振斌. 酶解辅助法提取虎杖中白藜芦醇的研究[J]. 应用化工, 2018, 47(6): 1132–1136.
- Jia WW, Zhao YY, Chen ZB. Study on extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by enzymolysis assisted method [J]. *Appl Chem Ind*, 2018, 47(6): 1132–1136.
- [33] 赵婷婷. 微波辅助萃取虎杖中白藜芦醇及其对人 HEPG-2 细胞凋亡作用的研究[D]. 桂林: 桂林医学院, 2013.
- Zhao TT. Microwave assisted extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* and its effect on apoptosis of human HEPG-2 cells [D]. Guilin: Guilin Medical College, 2013.
- [34] 李燕, 刘军海, 刘洋. 微波辅助提取虎杖中白藜芦醇的工艺研究[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2012, 25(3): 54–56, 102.
- Li Y, Liu JH, Liu Y. Microwave assisted extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. *J Liaocheng Univ (Nat Sci Ed)*, 2012, 25(3): 54–56, 102.
- [35] 王辉, 杜惠蓉. 微波法从虎杖中提取白藜芦醇工艺[J]. 绿色科技, 2014, (11): 245–246.
- Wang H, Du HR. Extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by microwave [J]. *Green Sci Technol*, 2014, (11): 245–246.
- [36] Shengjiu GU, Meibo LI, Zhao T, *et al.* Microwave-assisted extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. *Med Plant*, 2014, (1): 284.
- [37] 方耀平, 秦郁文, 唐富丽, 等. 均匀设计法优化白藜芦醇超临界 CO₂ 流体萃取工艺[J]. 中国药业, 2014, 23(10): 47–49.
- Fang YP, Qin YW, Tang FL, *et al.* Optimization of supercritical CO₂ fluid extraction by uniform design method [J]. *Chin Pharm*, 2014, 23(10): 47–49.
- [38] 陈帅, 王慧竹, 王万超, 等. 酶联半仿生法提取虎杖中白藜芦醇工艺研究[J]. 吉林化工学院学报, 2015, 32(11): 20–24, 41.
- Chen S, Wang HZ, Wang WC, *et al.* Extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by enzyme-linked semi-bionic method [J]. *J Jilin Inst Chem Technol*, 2015, 32(11): 20–24, 41.

- [39] 刘超, 杨青青. 超声波-酶法提取虎杖中白藜芦醇的工艺研究[J]. 北方园艺, 2014, (7): 127-130.
Liu C, Yang QQ. Study on the extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by ultrasonic and enzymatic method [J]. Northern Horticult, 2014, (7): 127-130.
- [40] Lin JA, Kuo CH, Chen BY, et al. A novel enzyme-assisted ultrasonic approach for highly efficient extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. Ultrason Sonochem, 2016, 32: 258-264.
- [41] 兰天路, 朱宏吉, 李少白. 纤维素酶-微波提取虎杖中白藜芦醇的工艺[J]. 化学工业与工程, 2008, (5): 394-398.
Lan TL, Zhu HG, Li SB. Cellulase-microwave extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. Chem Ind Eng, 2008, (5): 394-398.
- [42] 冯吉, 李吉龙, 马睿, 等. 超声辅助离子液体/阴离子表面活性剂双水相萃取虎杖中的虎杖苷和白藜芦醇[J]. 现代食品科技, 2018, 34(6): 162-167.
Feng J, Li JL, Ma R, et al. Ultrasonic assisted ionic liquid/anionic surfactant aqueous two-phase extraction of polydatin and resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. Mod Food Technol, 2018, 34(6): 162-167.
- [43] 陈易彬, 陈奎. 白藜芦醇提取工艺的研究[J]. 食品科学, 2007, (12): 197-199.
Chen YB, Chen K. Study on extraction process of resveratrol [J]. Food Sci, 2007, (12): 197-199.
- [44] 廖国平, 贺帅, 张忠义. 均匀设计法优化超高压提取虎杖中虎杖苷和白藜芦醇[J]. 中国中药杂志, 2010, 35(24): 3282-3286.
Liao GP, He S, Zhang ZY. The extraction of polydatin and resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by UHP was optimized by uniform design method [J]. Chin J Chin Mater Med, 2010, 35(24): 3282-3286.
- [45] 黄裕, 周锦珂. 微射流提取技术在天然植物抗过敏活性成分中的应用研究[J]. 中国药物经济学, 2016, 11(12): 25-27.
Huang Y, Zhou JK. Application of micro-jet extraction technique in anti-allergic active components of natural plants [J]. Chin J Pharm Econ, 2016, 11(12): 25-27.
- [46] 吴少莉, 黄裕, 彭颖华, 等. 微射流技术提取虎杖中有效成分的研究[J]. 现代中医药, 2018, 38(6): 123-126.
Wu SL, Huang Y, Peng YH, et al. Study on extraction of active components from *Polygonum cuspidatum* by microjet technique [J]. Mod Chin Med, 2018, 38(6): 123-126.
- [47] 彭源德, 朱作华, 刘正初, 等. 酵母发酵虎杖提取白藜芦醇技术初步研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(23): 4929-4931.
Peng YD, Zhu ZH, Liu ZC, et al. A preliminary study on the extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by yeast fermentation [J]. Hubei Agric Sci, 2011, 50(23): 4929-4931.
- [48] Jin S, Luo M, Wang W, et al. Biotransformation of polydatin to resveratrol in *Polygonum cuspidatum* roots by highly immobilized edible *Aspergillus niger* and yeast [J]. Biores Technol, 2013, (13): 766-770.
- [49] 周军, 徐雷涛, 熊曼, 等. 响应面法优化虎杖中虎杖苷和白藜芦醇的匀浆提取[J]. 林业工程学报, 2017, 2(3): 58-63.
Zhou J, Xu LT, Xiong M, et al. Optimization of homogenate extraction of polydatin and resveratrol from *Polygonum cuspidatum* by response surface method [J]. J Fores Eng, 2017, 2(3): 58-63.
- [50] 季艳艳, 常新全, 赵润怀, 等. 罐组式动态逆流提取技术及其在中药提取中的应用[J]. 中国现代中药, 2006, (12): 27-30.
Ji YY, Chang XQ, Zhao RH, et al. Technology of dynamic countercurrent extraction and its application in traditional Chinese medicine extraction [J]. Mod Chin Med, 2006, (12): 27-30.
- [51] 熊清平, 张强华, 石莹莹. 虎杖中白藜芦醇罐组式动态逆流提取工艺研究[J]. 中国现代应用药学, 2010, 27(10): 901-905.
Xiong QP, Zhang QH, Shi YY. Study on dynamic countercurrent extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* [J]. Chin J Mod Appl Pharm, 2010, 27(10): 901-905.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

张颖, 硕士研究生, 主要研究方向为中药资源极其品质研究。
E-mail: 1410434430@qq.com

刘义梅, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为中药资源极其品质研究。
E-mail: liuyimei1971@126.com