

超声提取法用于中药有效成分前处理检验研究

张璇

山西省检验检测中心

DOI:10.32629/fcmr.v8i3.21808

[摘要] 中药有效成分前处理检验是中药质量检测、活性物质分离纯化的关键前置环节,直接影响成分提取率与检测结果准确性。传统浸渍法、回流提取法存在耗时久、溶剂消耗量大、高温易造成热敏性活性成分降解等短板。超声提取法依托空化效应、机械效应实现快速破壁,具备条件温和、提取高效、绿色节能等优势,现已广泛应用于中药多糖、黄酮、生物碱、挥发油等有效成分前处理检验。本文阐述超声提取技术作用原理,对比传统前处理检验方式优劣,分析超声功率、料液比、提取时间等关键参数影响,总结该技术实际应用局限,并提出工艺优化、协同联用、工业化转化路径。旨在为超声提取法在中药样品前处理检验领域标准化推广提供理论参考。

[关键词] 超声提取法; 中药; 样品前处理检验; 有效成分

中图分类号: R28 **文献标识码:** A

Study on Ultrasonic Extraction Method for Pretreatment and Testing of Active Ingredients in Traditional Chinese Medicine

Xuan Zhang

Shanxi Inspection and Testing Center

[Abstract] Pretreatment of active ingredients in traditional Chinese medicine serves as a critical pre-procedure for quality testing as well as separation and purification of bioactive substances, which directly affects component extraction rate and the accuracy of test results. Conventional methods including maceration and reflux extraction have obvious drawbacks such as time-consuming operation, high solvent consumption, and degradation of heat-sensitive active components under high-temperature conditions. Relying on cavitation effect and mechanical effect, the ultrasonic extraction method can achieve rapid cell wall disruption. Featuring mild conditions, high extraction efficiency and environmental-friendly energy conservation, it has been widely adopted for the pretreatment of active ingredients such as polysaccharides, flavonoids, alkaloids and volatile oils in traditional Chinese medicine. This paper illustrates the functional mechanism of ultrasonic extraction technology, compares its advantages and disadvantages with conventional pretreatment approaches, analyzes the influences of key parameters including ultrasonic power, solid-to-liquid ratio and extraction time, summarizes practical application limitations of this technology, and puts forward paths for process optimization, synergistic combined application and industrial transformation. It intends to provide theoretical references for the standardized promotion of ultrasonic extraction method in the field of sample pretreatment for traditional Chinese medicine.

[Key words] Ultrasonic extraction method; Traditional Chinese medicine; Sample pretreatment and testing; Active ingredients

中药材中有效成分结构复杂、含量差异较大,稳定可靠的前处理检验手段是开展中药药效物质研究与质量控制的基础。近年来,超声提取不断与低共熔溶剂、酶解等技术联用,但工艺参数缺乏统一标准,规模化应用仍存在障碍,且其与检验方法衔接的规范性不足。基于此,系统梳理超声提取在中药前处理检验中

的应用现状、问题与优化策略,对推动中药前处理检验技术革新具有现实意义。

1 中药有效成分前处理检验技术概况与超声提取基本原理

1.1 常用中药前处理检验方法特点及存在缺陷

中药有效成分前处理检验是将目标活性物质从植物组织内转移至提取溶剂的关键步骤,直接决定后续定性定量检验的准确性。现阶段实验室主流技术包含浸渍法、回流提取法、索氏提取法、水蒸气蒸馏法等。浸渍法操作简单、设备门槛低,但提取周期长达数小时至数天,溶剂用量大,提取不完全,仅适合稳定性高的成分初步提取,检验重复性较差。回流提取依靠有机溶剂循环加热提升溶出效率,但全程持续高温,多糖、黄酮、挥发油等热敏成分易发生氧化、降解,干扰活性评价及检验结果。索氏提取法提取率相对更高,但提取耗时长、设备密闭性要求高,批量样品检测效率低下,难以满足检验时效要求。水蒸气蒸馏仅局限于挥发性成分,适用范围狭窄,检验对象受限。

1. 2超声提取法作用机制与物理效应

超声提取法核心驱动力来源于超声波在液体介质中产生的空化效应,并协同机械振动效应与热效应共同促进中药有效成分溶出,为后续检验提供均质、稳定的提取液。空化效应指溶剂内微小气泡在超声波交变压力作用下形成、生长、瞬间溃灭,气泡破裂瞬间产生局部高压、微射流与冲击波,持续冲击中药材固体颗粒,撕裂、破碎植物细胞壁与细胞膜,打通溶剂渗透通道。机械效应表现为超声波引发溶剂与药材颗粒高频震荡,强化固液两相传质过程,缩短成分扩散平衡时间。超声过程产生的瞬时微热集中在微小区域,整体体系温度可控,区别于回流法整体持续加热,有利于保持提取物化学组成稳定,减少检验干扰。三大效应协同作用,使胞内有效成分快速释放并溶解于提取溶剂,为前处理检验奠定良好基础。

1. 3超声提取用于中药前处理检验的技术优势

相较于传统前处理手段,超声提取法在中药有效成分前处理检验过程中具备多重突出优势。第一,提取速度快,传统回流提取通常需要1~3h,超声提取一般控制在20~60min即可达到提取平衡,大幅缩短样品前处理检验时长,适合大批量样品同步处理,显著提升检验通量。第二,提取条件温和,体系可维持常温或低温环境,显著降低生物碱、多酚、多糖等热敏成分受热分解风险,更好保留天然成分原有生物活性,确保检验结果反映真实含量。第三,溶剂消耗量更低,空化破壁提升传质效率,可减少有机溶剂使用量,降低实验成本,减少前处理检验环节的溶剂干扰,契合绿色分析化学发展理念。第四,设备通用性强,超声清洗设备普及度高,操作流程简单,无需复杂密闭装置,实验操作门槛较低,便于与常用检验仪器(如HPLC、GC)联用。

2 影响超声提取前处理检验效果的关键工艺参数

2. 1超声功率与超声频率的调控作用

超声功率与超声频率是决定空化强度的核心参数,直接影响中药细胞壁破碎程度与有效成分溶出率,进而影响后续检验的精密性与准确度。在合理区间内,随着超声功率提升,空化气泡溃灭能量增强,对药材组织破碎效果提升,目标成分提取率持续上升。但若功率过高,剧烈空化引发局部瞬时温度急剧升高,容易造成活性成分氧化破坏,同时加剧溶剂挥发,还会产生大量细微杂质,增加后续检验净化难度,干扰色谱峰识别。低频超声

波空化效应更强,更适质地坚硬的根茎类中药材;高频超声振动均匀,适用于花叶类质地疏松药材,需根据检验对象选择适宜频率。

2. 2料液比、溶剂种类对提取效率的影响

料液比与提取溶剂的选择是超声前处理检验工艺优化的重点内容。料液比代表药材粉末与提取溶剂质量体积比例,溶剂用量过低时,体系传质驱动力不足,有效成分难以充分溶出,导致检验结果偏低;持续增大溶剂用量虽可小幅提升提取率,但会造成溶剂浪费,提取液目标物浓度过低,浓缩工作量加大,增加实验周期,同时可能稀释待测物,降低检验灵敏度。因此每种中药材均存在最优料液比平衡点。提取溶剂的极性需要与目标有效成分匹配,水、甲醇、不同浓度乙醇溶液是中药前处理最常用溶剂,水溶性多糖选择水体系,黄酮、脂溶性生物碱适宜甲醇或乙醇水溶液,需与后续检验方法(如UV、MS)的溶剂兼容。

2. 3提取时间、温度与药材粉碎粒度的协同影响

超声提取时间、体系温度、药材粉碎粒度三者相互协同,共同影响中药样品前处理检验最终效果。提取初期,有效成分快速溶出,提取率随时间延长明显上升;达到溶解平衡后,继续延长超声时间,提取率不再显著增长,长时间超声甚至引发活性成分降解,影响检验结果的稳定性。提取温度升高能够提升有效成分溶解度、降低溶剂黏度,促进扩散,但温度过高会削弱空化效应,同时破坏热敏性物质,造成检验值偏差。药材粉碎粒度决定固液接触面积,粒度越小接触面积越大,利于溶剂渗透;但粉末过细易形成团聚,过滤分离难度上升,大量细微杂质溶出干扰后续检测,增加前处理检验的净化步骤。

3 超声提取法在不同类别中药有效成分前处理检验中的实践应用

3. 1黄酮、多酚类成分的超声前处理检验应用

黄酮与多酚类化合物广泛存在于花类、叶类中药材中,具备抗氧化、抗炎等药理活性,同时多数属于热敏、易氧化成分,对前处理条件要求较高,且其检验结果极易受前处理方式影响。传统回流加热提取极易造成多酚氧化降解,导致检测含量偏低。超声提取依靠低温快速破壁,有效缩短受热时长,广泛应用于金银花、银杏叶、葛根、桑叶等药材总黄酮、总多酚的前处理检验。大量研究证实,采用乙醇-水体系超声提取,所得黄酮提取率显著高于常规回流法,提取物抗氧化活性更高,且检验精密度和加标回收率均优于传统方法。

3. 2多糖、皂苷类大分子成分的超声前处理检验应用

中药多糖、三萜皂苷属于大分子极性活性物质,多存在于黄芪、黄精、人参、三七等补益类中药材,植物细胞壁致密,依靠传统浸提法溶出速度缓慢,前处理检验效率低。超声空化效应破碎纤维细胞壁,打通大分子多糖向外扩散通道,显著提升多糖提取效率,确保检验用样品具有代表性。多糖对持续高温较为敏感,长时间煎煮易发生糖苷键断裂,造成多糖相对分子质量降低、生物活性下降,常温超声体系能够有效规避该缺陷,从而保证检验所得活性数据真实可靠。皂苷类成分存在表面活性,长时间剧烈

超声环境下部分皂苷可能发生乳化现象,给后续离心、过滤分离带来困难,因此需要合理控制超声时长与功率,以免影响前处理检验的澄清晰度。

3.3生物碱、挥发油类成分的超声前处理检验应用

生物碱是许多中药材的核心药效物质,黄连小檗碱、延胡索乙素、苦参碱均属于代表性生物碱;挥发油为薄荷、肉桂、苍术等芳香药材特征成分,挥发性强,极易受热散失,这对前处理检验的回收率提出更高要求。传统提取方式高温长时间操作,易造成挥发油损失、生物碱结构变化,导致检验值严重偏低。超声提取条件温和,密闭超声容器可减少挥发油逃逸,适用于芳香类药材前处理检验。针对生物碱,通过调控提取溶剂pH,结合超声作用促进生物碱盐溶出,提取效率优于常温浸渍,且检验重复性良好。

4 超声提取前处理检验现存局限与优化发展路径

4.1超声提取法应用过程中的主要短板

首先,设备差异带来重现性难题,不同型号超声仪器功率分布、声场分布不一致,相同工艺参数在不同设备上获得的提取结果存在偏差,难以形成统一标准操作规程,导致检验数据跨实验室可比性差。其次,工艺参数普适性较差,不同来源、不同产地中药材成分组成、质地差异较大,一种优化工艺无法直接通用,需要重复开展条件筛选,增加实验工作量,延缓检验方法建立周期。第三,超声提取选择性不足,空化破壁后胞内各类杂质同步溶出,色素、蛋白、树脂等共存杂质较多,提取液往往需要额外净化,延长前处理流程,增加检验误差来源。

4.2超声提取与其他前处理技术协同联用策略

单一超声提取存在选择性不足、杂质共提等问题,将超声技术与其他前处理手段有机结合,是完善中药样品前处理检验体系的重要方向。超声-酶解联用技术最为成熟,先依靠超声破碎细胞壁,再利用纤维素酶、果胶酶降解纤维骨架,二者协同降低传质阻力,特别适合多糖、皂苷等大分子成分提取,所得提取液更洁净,有利于检验分离。超声联合低共熔溶剂、离子液体等新型绿色溶剂,借助溶剂特异性溶解能力,提升目标成分选择性,减少杂质溶出,改善检验图谱峰形。

4.3标准化构建与工业化转化发展方向

推动超声提取法广泛应用于中药有效成分前处理检验,需要重点推进方法标准化与设备工业化转化。在实验室层面,逐步建立标准化操作规范,明确药材粉碎粒度、溶剂体系、超声功率、温度、时间等通用参数范围,同时规范平行试验控制要求,减少仪器差异带来的数据波动,推动超声提取方法纳入中药质量分析检验标准。设备研发方面,开发声场分布均匀的恒温超声装置,研制连续流动式超声提取设备,突破目前批次式小型装置局限,实现从小型样品前处理向中试提取平稳放大,并配套在线检测接口,适应实时检验需求。

5 结语

超声提取法依靠空化、机械多重物理效应,具备快速、低温、低溶剂消耗等特点,非常适配中药有效成分样品前处理检验需求,在黄酮、多糖、生物碱、挥发油各类活性物质提取中展现良好应用潜力。相较于传统浸渍、回流提取,该技术能够更好地保护热敏活性成分,显著缩短前处理周期,同时提高检验数据的准确性和精密度。但目前超声提取存在设备重现性不足、提取选择性有限、工艺缺乏统一标准等问题。通过发展超声与酶解、新型溶剂联用技术,完善操作标准、优化专用设备,能够持续弥补现有技术短板。

【参考文献】

- [1]张艳,刘雪松,郝敬友,等.现代中药提取技术研究进展[J].现代畜牧科技,2022,(3):4-7.
- [2]张宏梅,崔佰吉.超声提取在中药化学成分提取中的应用[J].临床医药文献电子杂志,2017,4(71):14055.
- [3]黄建琼.中药有效成分湿法粉碎提取法及效果观察[J].临床合理用药杂志,2015,8(7):3-4.
- [4]陈良华.中药有效成分提取技术现状[J].中国民族民间医药,2014,23(22):14-16.
- [5]薛峰,李春娜,李朋收,等.超声提取在中药化学成分提取中的应用[J].中国实验方剂学杂志,2014,20(18):231-234.

作者简介:

张璇(1992—),女,汉族,山西省太原市人,硕士研究生,单位:山西省检验检测中心,职称:助理工程师,研究方向:中药检验。