

• 专 论 •

新世纪 20 年：守正创新背景下创新炮制技术探索与实践

杨 冰, 祝丹丹, 于欣茗, 齐天昊, 宋金菁, 封 亮*, 贾晓斌*

中国药科大学中药学院, 江苏 南京 211198

摘要: 中药炮制技术的发展与创新是中药炮制研究的重要任务, 也是中药饮片迈向现代化的重要前提。新世纪 20 年, 传统炮制技术得到了快速发展, 并逐渐形成了诸多创新炮制技术。与煮、蒸、炒、飞、煨等传统炮制技术相比, 烘箱加热、微波炮制、高压蒸制、膨化炮制、双向固体发酵、超高压水射流、远红外、微生物浸矿、制霜炮制替代、真空冷冻干燥等创新炮制技术逐渐体现出操作简单、省时省力、节能高效、安全可控等优势。大量研究表明, 创新炮制技术可基本替代传统炮制技术, 具有较好的应用前景, 其创新发展对提升和稳定饮片品质, 促进中药产业发展具有重要意义。

关键词: 中药炮制; 炮制技术; 中药饮片; 烘箱加热技术; 微波炮制技术; 高压蒸制技术; 膨化炮制技术; 双向固体发酵技术; 超高压水射流技术; 远红外技术; 微生物浸矿技术; 制霜炮制替代技术; 真空冷冻干燥技术

中图分类号: R283 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2024)02-0357-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.02.001

Twenty years of new century: Exploration and practice of innovative processing technology under background of uphold fundamental principles and break new ground

YANG Bing, ZHU Dandan, YU Xinming, QI Tianhao, SONG Jinjing, FENG Liang, JIA Xiaobin

School of Traditional Chinese Pharmacy, China Pharmaceutical University, Nanjing 211198, China

Abstract: The development and innovation of traditional Chinese medicine processing technology are one of the important tasks of traditional Chinese medicine processing research, which are also an important prerequisite for the modernization of traditional Chinese medicine herbal pieces. In the 20 years of the new century, traditional processing technology had undergone rapid development and gradually formed various innovative processing technologies. Compared with traditional processing technologies such as boiling, steaming, frying, flying, and calcining, innovative processing technologies such as oven heating, microwave processing, high-pressure steaming, puffing processing, two-way solid fermentation, ultra-high pressure water jet, far-infrared technology, microbial leaching technology, frosting processing alternative technology and vacuum freeze-drying technology gradually demonstrate advantages such as simplicity, time and labor savings, energy efficiency, and safety and controllability. A large number of studies suggest that innovative processing technology can essentially replace traditional processing technology and has promising application prospects. The innovative development of processing technology is of significance to improve and stabilize the quality of traditional Chinese medicine herbal pieces, as well as promote the development of the traditional Chinese medicine industry.

Key words: traditional Chinese medicine processing; processing technology; traditional Chinese medicine herbal pieces; oven heating technology; microwave processing technology; high-pressure steaming technology; puffing processing technology; two-way solid fermentation technology; ultra-high pressure water jet technology; far-infrared technology; microbial leaching technology; frosting processing alternative technology; vacuum freeze-drying technology

收稿日期: 2023-10-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(82204626); 2022年度江苏省“卓博计划”(2022ZB317)

作者简介: 杨 冰, 女, 助理研究员, 从事中药炮制与特色制药技术的传承与创新研究。E-mail: 15751151582@163.com

*通信作者: 封 亮, 博士, 博士生导师, 教授, 从事中药炮制与特色制药技术的传承与创新研究。E-mail: wenmoxiushi@163.com

贾晓斌, 博士, 博士生导师, 教授, 从事中药炮制与特色制药技术的传承与创新研究。E-mail: jiaxiaobin2015@163.com

中药炮制技术是我国一项独有的、最具自主知识产权的传统技术，也是中医临床用药最显著的特色之一^[1-2]。在数千年的临床实践中逐渐形成了煮、蒸、炒、水飞、煨等传统炮制技术体系，且于2006年被列入首批国家级非物质文化遗产名录^[3]。在国家宏观政策和中医药产业发展需求的推动下，我国开展了大量的中医药工程研究，其中中药炮制技术属于研究的重点内容之一。坚持中药炮制技术的发展与创新已成为加快中药工业转型发展潮流中的重要环节。本文聚焦中药炮制技术的发展与创新，重点围绕传统炮制技术升级及创新炮制技术进行综述，旨在探寻可替代传统炮制技术的现代化新技术，为中药炮制技术的进一步发展提供参考。

1 中药炮制技术的发展——炮制装备的升级

在几千年的生产实践中，我国人民积累了丰富的炮制经验，形成了独特的炮制技术及理论知识。但“师徒相承”“口传心授”及“流派传承”等中药炮制技术传承模式极大地限制了传统炮制技术的传承与发展，使中药炮制技术面临衰退及濒临失传的局面。为有效规避传统炮制技术传承与发展局限，摆脱手工操作、设备简陋、经验判断等问题^[4]，将传统炮制技术与现代制药装备结合，开创一条以中药

炮制装备为载体，以装备升级为前提的传统炮制技术发展之路尤为重要。炮制装备的升级不仅可摆脱饮片生产中“加工作坊”的老印象，还可将主观化的炮制经验转化为客观化的工艺参数，规避传承人缺乏、技术失传等问题，可有效地保障传统炮制技术的传承。目前，在煮、蒸、炒、水飞、煨等传统炮制技术的基础上，已经形成了包含洗药机、筛药机、切药机、蒸药机、煮药机、炒药机、研磨机、煨药炉等在内的净制、切制及炮炙装备体系^[5]，初步实现了传统炮制技术升级。

2 中药炮制技术的创新——创新炮制技术

创新炮制技术是对中药炮制原理、工艺、饮片特性等研究和归纳的基础上，将现代科技与传统炮制融合迭代创新后形成的炮制新技术。该技术可解决传统炮制过程中火候/火力难控制、炮制时间长、有效成分损失严重等问题，逐渐体现出操作简单、节能高效、质量均一稳定等优势，在中药炮制过程中表现出强大的生命力^[6]。大量研究提示，烘箱加热、微波炮制、高压蒸制、膨化炮制、双向固体发酵、超高压水射流、远红外技术、微生物浸矿技术、制霜炮制替代技术及真空冷冻干燥技术等创新炮制技术可基本替代煮、蒸、炒、水飞、煨、制霜等传统炮制技术（图1），具有较好的应用前景。

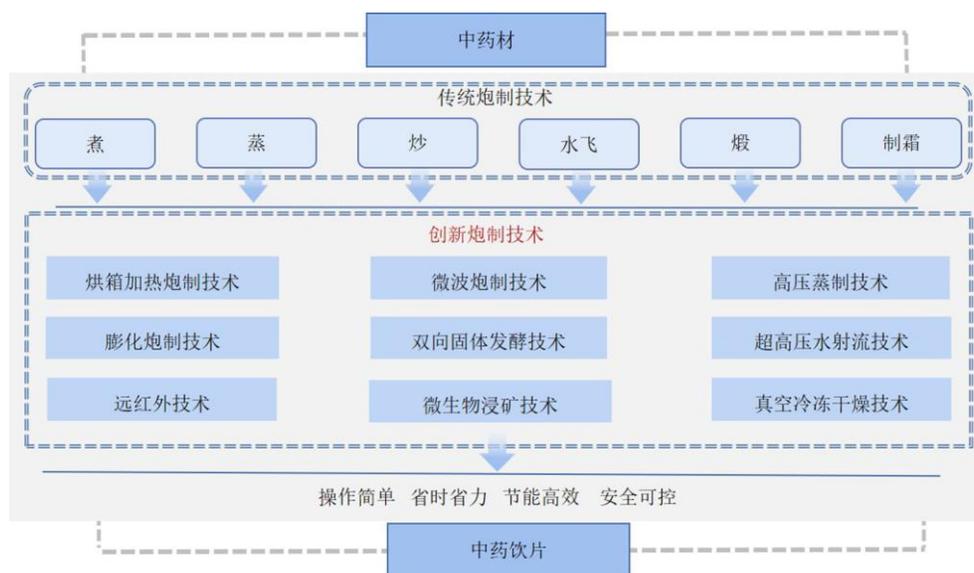


图1 中药炮制技术的传承与创新

Fig. 1 Cultural inheritance and innovation of traditional Chinese medicine processing technology

2.1 烘箱加热炮制技术

烘箱加热炮制技术是将药材置于密闭的容器中，利用热对流、热传导或热辐射等传热方式，使

药材经受高温而达到改变性味归经、功能主治的炮制目的。相较于传统火制法，烘箱加热炮制技术不仅具有操作方便、参数可控、安全高效等优点，而

且更适用于工业化大规模生产^[7]。另外,大量研究发现,与传统火制法相比,采用烘箱加热炮制技术生产的中药饮片具有相当或更强的药效^[8-9],提示烘箱加热炮制技术替代传统火制法具有较强的合理性及可行性。

2.2 微波炮制技术

微波炮制技术是微波技术在中药炮制领域的创新应用,该技术从食品加工中衍化而来,不仅具有独特的热力学形态与能量传递转化规律,且具有干净、易控、快捷等优点^[10-11]。炮制过程中,微波可透射进入药材组织内部,一方面可破坏分子化学键,使化学成分发生转化,另一方面可摩擦生热,使水分迅速气化而产生高蒸汽压,促进药材组织产生微小孔洞及裂缝,有利于有效成分溶出(图2)。新世纪,微波炮制技术用于中药炮制领域的可行性及其应用前景得到了广泛研究。大量的研究提示,作为一种新型的炮制技术,微波炮制技术可基本替代炒、蒸、煮、炙、煨等传统炮制技术,具有炮制效率高、操

作简单、工艺参数易于控制、产品性状好、质量均一等优势^[12-15],见表1。但目前微波炮制技术在业界仍争议颇多,且其工程学原理、微波源位置、饮片传质传热规律、工艺放大规律等仍需进一步探索。

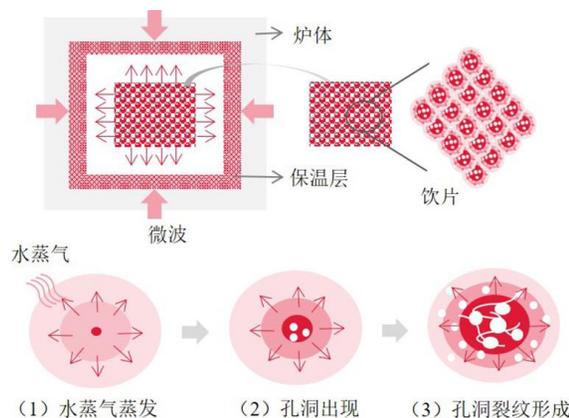


图2 中药饮片微波炮制原理

Fig. 2 Principle of microwave processing of traditional Chinese medicine pieces

表1 基于微波炮制技术的中药炮制案例

Table 1 Some cases of traditional Chinese medicine processing based on microwave processing technology

| 中药 | 传统炮制 | 技术优势 | 文献 |
|-----|-------------|---|-------|
| 当归 | 酒蒸、炒黄、炒焦 | 有效成分溶出度增加,提取率较高;温度、时间可控,操作简单,易于控制,耗时短 | 16-17 |
| 川乌 | 蒸制、煮制、黑豆甘草煮 | 降低双酯型生物碱的含量,最大限度的保存总生物碱的含量 | 18 |
| 狗脊 | 砂烫、蒸制、清炒、盐炙 | 与传统砂烫炮制一致,炮制品为棕褐色、表面微鼓起、有刺激性气味;高效、清洁、操作简单、劳动强度小 | 19 |
| 栀子 | 炒黄、炒焦、炒炭 | 炮制工艺节能高效、可操作性强,与传统栀子炭药效相当 | 20 |
| 川芎 | 酒蒸、酒煮、炒黄、麸炒 | 藁本内酯的含量较高;操作方便简单,易于控制 | 21 |
| 硼砂 | 煨制 | 炮制品质量较好,能避免产生硼珠反应;操作简单 | 22 |
| 白矾 | 煨制 | 速度快,操作简便、安全 | 23 |
| 附子 | 甘草制、姜制、黑豆制 | 双酯型乌头碱含量低,总生物碱含量高;干燥速率快 | 24 |
| 骨碎补 | 砂炒 | 有利于成分的溶出;便于去毛,外观性状好;温度和时间可控 | 25 |
| 青翘 | 水蒸、水煮 | 杀死连翘酯苷A水解酶达95%以上,工艺高效 | 26 |
| 延胡索 | 醋炙、酒炙 | 外观性状优于传统炮制;节能高效,参数可控 | 27-28 |
| 牛膝 | 酒炙、盐炙 | 总皂苷、齐墩果酸和β-脱皮甾酮等成分的含量均较高 | 29 |
| 款冬花 | 蜜炙、甘草汁炙 | 款冬花的质量总评归一值高于传统工艺 | 30 |
| 黄芩 | 酒炙、炒黄 | 重复性和稳定性良好 | 31 |

2.3 高压蒸制技术

高压蒸制是一种基于常压蒸制的改进技术,该技术主要借助高压和高温优势,提升蒸制过程中的热穿透能力,进而达到缩短蒸制时间、提高蒸制效率的目的^[32]。如表2所示,相较于传统炮制技术,高压蒸制技术不仅可缩短蒸制时间,避免药材长时

间蒸制导致的有效成分流失,而且其操作相对简单,生产效率较高,便于规模化生产,可作为蒸、煮等耗时长传统炮制技术的替代技术。

2.4 膨化炮制技术

膨化技术是一种新型的食品加工技术,具有工艺简单、成本低、生产能力高等特点^[39]。膨化是

破坏中药内聚力的一种方法，此方法可使饮片内部蓬松，提高煎出效率，达到炮制增效的目的。目前，应用于中药炮制的膨化技术主要是挤压膨化技术，且该技术多用于根及根茎等致密部位的中药炮制^[40-41]。膨化炮制是一种高温、高压的短时炮制过程^[42]，中药在膨化机内受到挤压和摩擦后温度及压力迅速升高，而当其被挤出出料口时高温高压

得到速释，导致药材内的水分瞬间气化，将致密中药膨化为疏松的结构。如表3所示，膨化炮制技术已经在人参、白芍、马钱子、骨碎补、附子及何首乌等中药中进行了探索性研究，研究结果提示该技术较适宜膨化质地坚硬、致密的根及根茎类中药。对于脂肪含量较高的中药，由于其容易在机器内打滑，故不适宜采用该技术。

表2 基于高压蒸制技术的中药炮制案例

Table 2 Some cases of traditional Chinese medicine processing based on high-pressure steaming technology

| 中药 | 传统炮制 | 技术优势 | 文献 |
|-----|-------------------|-------------------------|----|
| 肉苁蓉 | 酒炖、酒蒸、酒蒸焙、酒浸等 | 缩短蒸制时长，避免有效成分流失 | 33 |
| 黄精 | 酒蒸、清蒸、黑豆制等 | 保留甚至提高了总皂苷和多糖的含量 | 34 |
| 草乌 | 煮制、蒸制、黑豆制等 | 加速毒性双酯型生物碱转化为毒性低的单酯型生物碱 | 35 |
| 半夏 | 白矾制、生姜与白矾制、甘草与石灰制 | 改变草酸钙针晶的形态结构，实现减毒 | 36 |
| 五味子 | 醋蒸法、酒蒸法、蜜炙法 | 炮制品含水量较少，后处理干燥时间短 | 37 |
| 地黄 | 九蒸九晒 | 减少蒸制时间及蒸制次数 | 38 |

表3 基于膨化炮制技术的中药炮制案例

Table 3 Some cases of traditional Chinese medicine processing based on puffing processing technology

| 中药 | 传统炮制 | 技术优势 | 文献 |
|-----|------------|--|----|
| 人参 | 蒸制 | 提取率和皂苷含量高；次级人参皂苷 F ₂ 、Rg ₃ 、Rk ₁ 和 Rg ₅ 新产生或显著增加 | 43 |
| 白芍 | 炒制、酒炙、醋炙 | 保肝作用较煎煮白芍强，且能显著缩短提取时间 | 44 |
| 马钱子 | 砂烫、油炸 | 仅需掌握压力和时间即可很好控制炮制产品质量 | 45 |
| 骨碎补 | 砂炒、炒法 | 骨碎补经膨化后有利于去毛，检测出的水浸出物及柚皮苷含量最高 | 46 |
| 附子 | 甘草制、姜制、黑豆制 | 炮制工序简短，总生物碱较传统炮制后含量高；细胞壁破裂，有效成分易提取 | 47 |
| 何首乌 | 黑豆汁制 | 淀粉粒因高温与高压糊化，药材结构疏松多孔，药材有效成分提取效率高 | 48 |

2.5 双向固体发酵技术

双向固体发酵技术是在传统发酵炮制技术基础上，结合现代微生物工程技术而形成的一种创新炮制技术，近年来已经成为中药炮制新技术开发的热点^[49]。双向固体发酵技术以中药材为基质与发酵菌种构成发酵组合，作为基质的中药材不仅可以为发酵菌种提供营养，而且还会受到发酵菌种的影响改变自身组织、成分。在生物转化过程中形成中药材与发酵菌种（药性菌质）动态配伍趋势，充分体现中药材与发酵菌种的有机结合。产生的药性菌质除含有发酵后的炮制品外，还包含发酵过程中产生的真菌体。发酵过程中菌群代谢产生的酶不仅可以使药材纤维及木质部降解、利于有效成分溶出，而且还可以使药性菌质相关成分转化，获得化学合成难以得到的新成分^[50]。大量的研究提示双向固体发酵技术可有效减少有效成分的流失，增强药理活性，达到增效、减毒、扩大药用范围等炮制目的，可替

代传统的炮制发酵工艺且绿色仿生态^[51-53]。此外，为进一步提高双向固体发酵效率，也已经成功研制双向固体发酵装置^[54]，见表4。

2.6 超高压水射流技术

超高压水射流技术是以纯水为载体，通过超高压发生器将纯水加压并加速至超高音速状态喷出水柱，水柱携带巨大能量从而将中药材切割破碎的一种创新技术。该技术可应用于珍珠^[60]、龙骨、龙齿、雄黄^[61]、朱砂^[62]、自然铜、滑石^[63]等质地坚硬的动物药、矿物药的超微粉碎。该技术制备获得的超微粉粉体学性质良好、药物利用充分^[64]，不改变药物化学性质且不会产生粉尘，不仅利于保存有效成分、提高药物疗效，而且解决了传统粉碎低效问题。

2.7 远红外炮制技术

远红外炮制技术是一种以远红外辐射源为热源的新型炮制技术。远红外线是一种特定区段的电磁波，其光束具有很强的穿透力，发射时能使热量高

表 4 基于双向固体发酵技术的中药炮制案例

Table 4 Some cases of traditional Chinese medicine processing based on two-way solid fermentation technology

| 中药 | 菌种 | 技术优势 | 文献 |
|-----|------|--|-------|
| 人参 | 红曲霉菌 | 可将人参皂苷转化为稀有人参皂苷 Rg ₃ , 提高药用价值 | 55 |
| 附子 | 灵芝 | 毒性明显下降, 适用于附片的解毒增效的炮制开发 | 56 |
| 雷公藤 | 药用真菌 | 总二萜类成分含量降低, 降低雷公藤毒性 | 57 |
| 板蓝根 | 槐耳 | 抗菌和抗氧化能力明显增强; 可强烈抑制乳腺癌细胞增殖 | 58-59 |

度集中并从内部向外释放(图3),产生比炒、炙等传统炮制技术更强或相当的炮制效果。采用远红外炮制技术对王不留行、芥子、丹参、天麻、甘草等中药进行炮制,发现无论外观形状还是内在有效成分含量均明显优于传统炮制品^[65-67],且质量稳定性较好。远红外炮制技术较传统的蒸气、热风 and 电阻等加热具有加热速度快、效率高等优点,可替代炒、炙等传统炮制技术应于中药炮制及饮片生产,具有广泛应用前景。

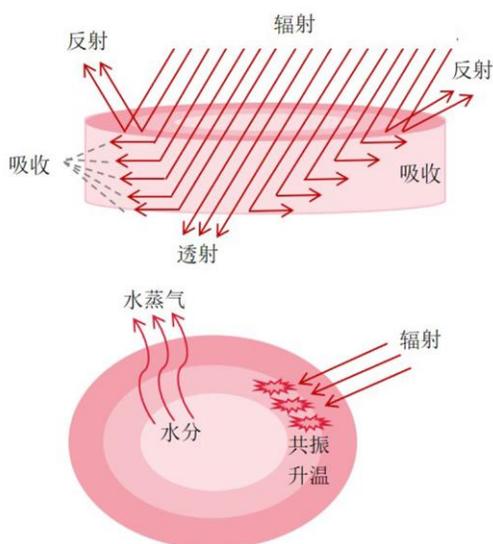


图 3 中药饮片远红外炮制原理

Fig. 3 Principle of far infrared processing of traditional Chinese medicine pieces

2.8 微生物浸矿技术

微生物浸矿技术是借助某些微生物的催化作用,使矿石中的金属溶解的湿法冶金技术。目前,该技术在中药矿物药炮制应用中不仅可达到增效减毒的目的,还有助于探明矿物药的有效成分^[68]。氧化亚铁硫杆菌是微生物浸矿技术最常用的细菌,在该菌作用下采用微生物浸矿技术对雄黄进行处理,不但解决了雄黄传统机械粉碎毒性大问题,而且解决了雄黄难溶等问题^[69-71]。利用传统煅淬技术及氧

化亚铁硫杆菌浸矿技术处理自然铜,结果发现浸出相同铁量时,采用微生物浸矿技术所使用的生自然铜量仅为传统淬煅技术的1.4%,且其浸出液更利于骨痂形成、钙磷积累及骨折愈合^[72]。采用微生物浸矿技术处理朱砂,结果发现朱砂浸出液在很小的含量下就发挥了与传统朱砂相当的功效,且小鼠生长状况良好,各器官并未检测出汞残留^[73]。上述研究结果提示微生物浸矿技术可替代煅、煅淬、水飞、提净等传统炮制技术,并可降低有害元素、促进有效成分溶出,实现有毒矿物中药炮制减毒的作用。

2.9 制霜替代技术

传统炮制中制霜过程为:将药材碾碎如泥,经微热、压榨去除大部分油脂,反复数次至药物松散成粉。该制霜炮制技术不仅操作繁琐,而且存在含油量不易控制、有效成分损失较大等问题。改进的制霜炮制替代技术主要有烘制技术、发酵技术、机械压榨技术和淀粉稀释-超微粉碎技术等,且大量研究提示上述技术不仅可有效控制油量及有效成分含量,而且操作性强^[74-77],具有替代传统的制霜炮制技术,成为毒性中药减毒新途径的潜力,见表5。然而,对于制霜替代技术使用需予以重视,虽有大量药材采用制霜替代技术开展研究,但多数为小试实验,仅按照小试实验的研究结果指导实际生产,可能达不到预期结果,故炮制技术替代使用时应结合实际生产。另外,由于不同毒性药材的制霜存在工艺技术上的差别,加之制霜过程中缺乏统一的监测指标和评价标准,故规范制霜工艺和统一考察指标对于提高药霜的质量至关重要^[78]。

2.10 真空冷冻干燥技术

真空冷冻干燥,也称冷冻升华干燥或冷冻干燥,是一种在低温下通过真空和升华方式去除物料中水分的干燥方法^[79]。由于冷冻干燥是在低温真空条件下进行的,可有效避免物料所含热敏性成分的破坏。如图4所示,真空冷冻干燥主要包括预冻、升华干燥及解析干燥3个阶段。其工作原理是将待干燥的

表 5 毒性中药制霜炮制替代技术

Table 5 Frosting processing alternative technology of toxic traditional Chinese medicine

| 中药 | 制霜炮制替代技术 | 技术优势 | 文献 |
|-----|-------------|-----------------------------|----|
| 巴豆 | 烘制技术 | 有效成分巴豆苷的含量较高，毒性成分巴豆毒蛋白的含量较低 | 74 |
| 肉豆蔻 | 机械压榨技术 | 毒性脂肪油和挥发油含量下降，可替代传统压榨制霜 | 75 |
| 柏子仁 | 机械压榨技术 | 制霜效率高，成品质量均一，酸败度变化较小 | 76 |
| 千金子 | 淀粉稀释-超微粉碎技术 | 有效成分秦皮乙素含量较高 | 77 |

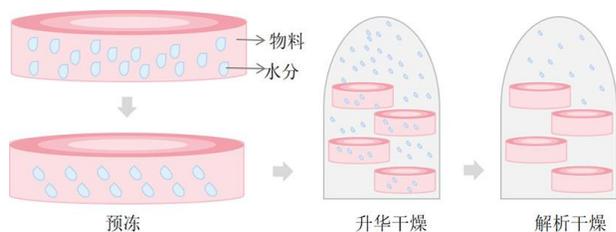


图 4 真空冷冻干燥技术原理

Fig. 4 Principle of vacuum freeze-drying technology

物料进行预处理后，在低温下快速冻结，使其降至共晶点以下，然后在真空条件下加热，使冻结的水分子升华而逸出物料^[80]。由于真空冷冻干燥技术可使物料中的水分直接从固态升华为气态，故能够最大限度地保持物料原有的活性成分，并且保持物料原有的外观性状。

随着真空冷冻干燥技术的快速发展，越来越

多的研究者将其应用于中药领域。中药材从采收到变成中药饮片投入市场使用，需经过炮制，而干燥是其中的重要环节。传统的干燥方式（晒干、烘干等）易导致药物表面硬化，内部组织塌陷，从而使药物变形。而经冷冻干燥后的药物不仅可保持物料原有的形态结构，还会使药物内部呈现多孔状^[81]。另外，由于中药种类繁多，所含成分十分复杂，有些成分（如挥发油）对温度非常敏感，干燥不当会导致此类成分损失，故对于含热敏性或极易氧化成分的中药，真空冷冻干燥技术具有不可替代的优势。大量研究表明，真空冷冻干燥不仅可保留中药的有效成分，而且还可确保其外观和色泽（表 6），为中药的干燥提供新的途径。然而，目前真空冷冻干燥技术的产业化应用受到干燥成本的影响，因此，为进一步推进其产业化应用，需推进真空冷冻干燥向低成本、低耗能及规模化的方向发展。

表 6 真空冷冻干燥技术在中药（炮制）领域的应用

Table 6 Application of vacuum freeze-drying technology in traditional Chinese medicine (processing)

| 中药 | 技术优势 | 文献 |
|------|--------------------------------|-------|
| 冬虫夏草 | 核苷类成分的含量高于晒干法，外观形态和色泽较好 | 82-83 |
| 人参 | 形、色、气、味佳，形状及组织内部中的内含物保持完整，外观优美 | 84-85 |
| 三七 | 皂苷成分和三七素含量最高，感官品质佳 | 86 |
| 西洋参 | 显著减少人参皂苷、多糖、蛋白类成分损失 | 87 |
| 石斛 | 对石斛的外观及多糖和甘露糖含量影响较小，能保证石斛质量 | 88 |
| 天麻 | 品质外形较好，组织原有结构不发生改变，天麻素及多糖含量高 | 89-90 |
| 地黄 | 抑制有效成分环烯醚萜苷类成分的水解，保持颜色鲜明，质地疏松 | 91 |
| 白芍 | 芍药苷、单萜苷类成分含量最高 | 92 |
| 地龙 | 氨基酸类成分的损失率低 | 93 |
| 杜仲叶 | 桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸、京尼平苷等含量较高 | 94 |

3 创新炮制技术面临的机遇与挑战

中药炮制技术是一项传统制药技术，发展历史悠久，但在中医药现代化快速发展阶段，中药炮制技术传统的操作方式及保守的传承模式，逐渐成为制约中药炮制发展的重要因素。炮制技术的迭代创新始终是中药炮制创新发展的动力，也是中药饮片

工业迈向制造现代化、自动化、智能化的重要前提。创新炮制技术具有改变传统炮制方式、提高中药饮片生产效率的作用，其系统研究能为中药炮制饮片产业在新时代高质量、高水平发展提供新的研究思路与技术支撑。因此，在我国新时代中医药发展的根本遵循——传承精华、守正创新的指导下，创新炮

制技术发展正迎来很好的发展机遇。

中药炮制技术的创新有机遇也有挑战,创新炮制技术的现代化应用可能面临技术成本高、技术普及慢、市场监管难、文化传承弱等挑战。(1) 技术成本高:引入创新炮制技术可能需要大量的资金投入,尤其对于小型饮片生产企业,创新炮制技术的高技术成本问题可能是阻碍创新炮制技术应用的重要因素。(2) 技术普及慢:创新炮制技术的引入可能会经过接受、学习、应用等不同环节,尤其是对传统中药饮片生产企业,培训一线工作人员,可能需要较长的时间周期,因此创新炮制技术的普及速度可能是其面临的重要挑战。(3) 市场监管难:创新炮制技术的引入势必会对市场监管机构提出更高的监管要求,监管机构不仅需要时刻跟进创新炮制技术的发展,而且还要密切关注饮片的质量。(4) 文化传承弱:在创新炮制技术应用时,可能会忽视传统炮制文化和历史价值,导致传统的中药炮制知识和技艺逐渐丧失,对中药文化和炮制文化传承构成威胁。

总之,创新炮制技术面临的机遇和挑战,应该在保持传统中药炮制特色的基础上,不断推进创新炮制技术的现代化、科学化、规范化应用,只有这样才能真正地实现中药炮制技术的发展与创新。

4 结语与展望

炮制技术是我国中医药领域中的一项独有技术,而在专业人才缺乏、传承模式单一及中药产业急需工业转型的大背景下,如何实现中药炮制技术的发展与创新是中药炮制发展中面临的关键问题。大量研究提示,创新炮制技术不仅可替代传统炮制技术,还可大幅度地提升饮片生产效率,改善中药饮片质量。虽然上述创新炮制技术多建立在实验室小试的研究水平上,并未真正地应用于中药饮片大生产,但其在实验室小试水平上的研究结果已经提示其在中药饮片生产中的独特优势及潜力。新世纪20年,中药炮制技术的创新发展可能对提升和稳定饮片品质,促进中药产业发展具有重要意义。

炮制技术与炮制机制的一体化研究,对于推动整个中医药现代化发展具有重要作用。炮制技术与炮制机制相辅相成,炮制机制的阐明助推炮制技术创新,而创新炮制技术的发展与创新对于阐明炮制机制又反向提出更加迫切的需求。炮制技术、辅料与中药自身特性间的关系,以及炮制过程中各成分间的转化规律需要进一步厘清。在炮制机制挖掘及

创新炮制技术发展的基础上,根据中药炮制目的及自身特性优选炮制技术,如对于炮制机制为受热引起化学成分转化而实现减毒增效的,可根据中药自身受热特性选择烘箱加热炮制、高压蒸制、远红外加热等炮制技术;对于炮制本质是改变药材内部结构、促进成分溶出的,可根据中药质地及其成分分布采用微波炮制、膨化炮制等。相信随着创新炮制技术在中试及大生产中的不断尝试及应用,将会对中药炮制技术发展,乃至整个中医药现代化发展发挥重要作用。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 张雨恬,王学成,黄艺,等. 中药炮制设备的研究现状及技术升级途径策略 [J]. 中草药, 2022, 53(5): 1540-1547.
- [2] 马传江,王信,辛义周,等. 中药传统炮制理论的现代研究概述 [J]. 中草药, 2018, 49(3): 512-520.
- [3] 卢山,曹国胜. 基于中药炮制技术传承发展探索中医药人才培养模式 [J]. 中国中医药现代远程教育, 2023, 21(20): 178-180.
- [4] 刘爱朋,郑玉光,温子帅,等. 基于层次分析法及多指标综合评价微波炮制对酸枣仁品质的影响 [J]. 中药材, 2018, 41(1): 84-88.
- [5] 杨冰,杨陆,杨菊,等. 新世纪20年: 中药炮制装备的时空演变 [J]. 中国中药杂志, 2022, 47(5): 1177-1183.
- [6] 陈露梦,贺亚男,王芳,等. 中药微波炮制技术的研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(9): 2073-2081.
- [7] 屈艳格,陈军,蔡宝昌. 烘法与砂烫法炮制马钱子的比较研究 [J]. 中成药, 2012, 34(9): 1759-1763.
- [8] 黄孟秋. 巴豆烘制工艺研究 [D]. 广州: 广州中医药大学, 2012.
- [9] 张向阳,贾丽霞,李海涛,等. 地榆烘法制炭前后止血作用比较 [J]. 药物评价研究, 2017, 40(6): 788-791.
- [10] 黄宝泰,刘梦遥,刘星彤,等. 基于“表里关联”和化学计量学的西洋参微波炮制过程中皂苷含量与色度变化的分析 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2023, 25(1): 184-195.
- [11] Li S, Li M Y, Cao H W, *et al.* The intervening effect of l-lysine on the gel properties of wheat gluten under microwave irradiation [J]. *Food Chem X*, 2022, 14: 100299.
- [12] 贺亚男,杨欣,吴京,等. 微波炮附子“液封减毒-干燥膨化”两阶段炮制工艺设计及药效评价 [J]. 药学学报, 2023, 58(5): 1328-1337.
- [13] 侯敏娜,侯少平,梁润丰,等. 基于响应面法结合总评归一法多指标优选蜜黄芩微波炮制工艺 [J]. 天然产物研究与开发, 2023, 35(3): 467-476.
- [14] 张定堃,杨明,贺亚男,等. 一种微波炮附子的制备方法: 中国, CN 114903936 A [P]. 2022-08-16.

- [15] Zhang J Y, Xie X H, Zhang L, *et al.* Optimization of microwave pre-cooked conditions for gelatinization of adzuki bean [J]. *Foods*, 2022, 11(2): 171.
- [16] 肖焕, 冯倩茹, 区炳雄. 当归不同炮制工艺的比较 [J]. *中药材*, 2012, 35(8): 1227-1229.
- [17] 魏文龙, 付娟, 李文涛, 等. 基于 UPLC 方法的酒当归微波炮制工艺研究 [J]. *药物评价研究*, 2014, 37(2): 150-154.
- [18] 区炳雄, 龚又明, 林华, 等. 川乌微波炮制工艺优选 [J]. *中国实验方剂学杂志*, 2012, 18(1): 39-42.
- [19] 梁志毅, 黄贵发, 崔婷, 等. 狗脊微波炮制过程中指标成分与粉末颜色关联性分析 [J]. *中成药*, 2020, 42(6): 1548-1552.
- [20] 黄潇, 刘婧, 付小梅, 等. 基于 CRITIC 法计算权重系数的 Box-Behnken 响应面法优化栀子炭微波炮制工艺研究 [J]. *中草药*, 2017, 48(6): 1133-1138.
- [21] 李滨萍, 何国林, 龚又明. 几种川芎炮制工艺的比较 [J]. *中药材*, 2012, 35(10): 1580-1582.
- [22] 邹节明, 王力生, 王睿陟, 等. 微波法炮制硼砂的研究 [J]. *中成药*, 2006, 28(1): 48-51.
- [23] 邹节明, 王力生, 王睿陟, 等. 白矾的微波法煅制研究 [J]. *中成药*, 2004, 26(7): 38-41.
- [24] 贺亚男, 陈露梦, 黄伟, 等. 微波炮制附子炮制工艺影响因素研究 [J]. *中草药*, 2020, 51(12): 3157-3164.
- [25] 杨梓懿, 于定荣, 赵宏冰, 等. 微波炮制对骨碎补中总黄酮及浸出物含量的影响 [J]. *中成药*, 2005, 27(4): 59-61.
- [26] 张小天, 丁越, 张昕宇, 等. 微波炮制工艺代替青翘产地加工的可行性研究 [J]. *中药材*, 2018, 41(8): 1857-1863.
- [27] 王斌, 梁伟龙, 林钦贤, 等. 酒制延胡索微波炮制工艺的优化研究 [J]. *中国药房*, 2020, 31(20): 2503-2507.
- [28] 宋艺君, 郭涛, 孙志强, 等. 响应面法优化醋延胡索微波炮制工艺研究 [J]. *中草药*, 2017, 48(20): 4261-4267.
- [29] 罗懿妮, 林华, 林丽薇. 正交试验优选酒牛膝微波炮制工艺 [J]. *中药材*, 2014, 37(8): 1353-1356.
- [30] 宋艺君, 郭涛, 吕慧锋, 等. 响应面法优化甘草制款冬花微波炮制工艺 [J]. *中国药理学杂志*, 2020, 55(22): 1853-1860.
- [31] 李利华, 王巍, 张一美, 等. 多指标综合评价结合层次分析法优化黄芩的微波酒蜜炮制工艺 [J]. *现代药物与临床*, 2023, 38(9): 2195-2201.
- [32] 杨舒婷, 孙冰华, 李峥, 等. 高压蒸制-焙烤处理对甜荞粉风味物质的影响 [J/OL]. *食品与发酵工业*, (2023-03-13) [2023-10-20]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034436>.
- [33] 刘博男, 史辑, 贾天柱, 等. 肉苁蓉高压蒸制工艺的优化 [J]. *中成药*, 2019, 41(11): 2576-2580.
- [34] 宋艺君, 郭涛, 马存德, 等. 响应面法优化制黄精高压蒸制工艺研究 [J]. *世界科学技术—中医药现代化*, 2018, 20(7): 1261-1267.
- [35] 林华, 邓广海, 龚又明. 草乌现代炮制工艺研究 [J]. *中药材*, 2014, 37(7): 1163-1166.
- [36] 莫雪林. 半夏蒸制新工艺的研究 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2018.
- [37] 李莉, 陆兔林, 黄玮, 等. 高压醋蒸五味子炮制工艺研究 [J]. *南京中医药大学学报*, 2009, 25(2): 110-113.
- [38] 钱艳艳. 地黄不同炮制品糖类成分理化特性及高压蒸制条件优化研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2022.
- [39] 王婷, 王琰鑫, 王晓涵, 等. 挤压膨化技术在食品工业的研究进展 [J]. *食品工程*, 2022(4): 16-20.
- [40] 程芬. 膨化炮制技术对毒性中药附子/半夏影响的研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- [41] 孙贞丽. 挤压膨化与微波萃取技术加工水飞蓟的试验研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- [42] 郭海霞. 何首乌的膨化炮制与质量研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [43] Shin J H, Park Y J, Kim W, *et al.* Change of ginsenoside profiles in processed ginseng by drying, steaming, and puffing [J]. *J Microbiol Biotechnol*, 2019, 29(2): 222-229.
- [44] 王盛民, 张英, 孟建国, 等. 膨化对白芍保肝作用的影响 [J]. *时珍国医国药*, 2006, 17(5): 704-705.
- [45] 朱舟, 伍朝君, 陈玲. 马钱子膨化炮制工艺优选 [J]. *中国药业*, 2019, 28(10): 6-8.
- [46] 袁叶飞, 甄汉深, 欧贤红. 骨碎补膨化炮制实验研究 [J]. *时珍国医国药*, 2006, 17(7): 1230-1231.
- [47] 程芬, 杨长花, 宋艳丽. 膨化技术对附子总生物碱含量的影响研究 [J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(S1): 424-426.
- [48] 郭海霞, 蔡正洪, 范亚飞, 等. 挤压膨化炮制对何首乌中蒽醌含量的影响 [J]. *中药材*, 2008, 31(11): 1633-1634.
- [49] 庄毅, 潘扬, 谢小梅, 等. 药用真菌“双向发酵”的起源、发展及其优势与潜力 [J]. *中国食用菌*, 2007, 26(2): 3-6.
- [50] 黄美霞, 叶璐, 洪怀山, 等. 超高效液相色谱质谱法同时测定不同发酵天数钩吻中 7 种化学成分的含量 [J]. *中国临床药理学杂志*, 2019, 35(19): 2403-2406.
- [51] 谭文中. 微生物发酵中草药及其活性物质的研究进展 [J]. *现代盐化工*, 2021, 48(2): 12-13.
- [52] 谢小梅, 梁永红, 李东文, 等. 一种桦褐孔菌的中药材或中药渣的双向固体发酵方法: 中国, CN 105176844 B [P]. 2019-01-01.
- [53] 黄金昶, 史新元, 连增林, 杨芳. 一种壁虎-蝉拟青霉双向固体发酵物及其制备方法与应用: 中国, CN 109966322 A [P]. 2021-09-10.
- [54] 林海涛, 吴春涛, 仲崇岳. 一种双向固体发酵装置: 中国, CN 210528920 U [P]. 2020-05-15.
- [55] 匡守权, 刘刚, 李妍, 等. 红曲霉-人参双向固体发酵产物成分变化的初步分析 [J]. *中成药*, 2015, 37(3): 599-603.
- [56] 江南, 魏巍, 许晓燕, 等. 双向固体发酵技术对附片解毒增效的初步研究 [J]. *时珍国医国药*, 2015, 26(11): 2677-2679.
- [57] 谢小梅, 苏明声, 罗闯丹, 等. 雷公藤解毒持效双向固

- 体发酵工艺的建立 [A] // 中国菌物学会第四届会员代表大会暨全国第七届菌物学学术讨论会论文集 [C]. 武汉: 中国菌物学会, 2008: 5.
- [58] 张婧. 槐耳板蓝根双向发酵工艺及物质基础变化的研究 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2014.
- [59] Liu Z Y, Tang Y, Zhou R R, et al. Bi-directional solid fermentation products of *Trametes robiniophila* Murr with *Radix Isatidis* inhibit proliferation and metastasis of breast cancer cells [J]. *J Chin Med Assoc*, 2018, 81(6): 520-530.
- [60] 申圣丹, 王盛民, 詹源文, 等. 珍珠超高压撞击流超微粉碎的研究 [J]. 现代食品科技, 2010, 26(11): 1220-1222.
- [61] 黄义娜, 王盛民, 詹源文, 等. 雄黄超高压射流粉表征及抑菌效果 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(20): 21-23.
- [62] 吴贞贞, 王盛民, 陈波, 等. 超高压水射流超微粉碎朱砂的实验研究 [J]. 时珍国医国药, 2009, 20(9): 2261-2262.
- [63] 程芬, 王盛民, 詹源文, 等. 矿物药超高压射流粉碎可行性研究 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51(4): 804-806.
- [64] 杨艳君, 邹俊波, 张小飞, 等. 超微粉碎技术在中药领域的研究进展 [J]. 中草药, 2019, 50(23): 5887-5891.
- [65] 张洁. 中药炮制新工艺: 远红外技术 [J]. 求医问药: 下半月, 2012, 10(6): 88.
- [66] 闫梦真, 王瑞生, 王金淼, 等. 星点设计-响应面法优选菊苣干干燥方法和炮制工艺 [J]. 中草药, 2021, 52(7): 1957-1964.
- [67] 吴世强, 石勇强, 刘莉, 等. 远红外技术用于中药炮制的优势分析 [J]. 中国药房, 2012, 23(43): 4127-4128.
- [68] 李伟东, 高倩倩, 赵根华, 等. 矿物药炮制研究方法述评 [J]. 南京中医药大学学报, 2014, 30(6): 596-600.
- [69] 陈朋, 李红玉, 晏磊, 等. 生物浸出系统中 *Acidithiobacillus ferrooxidans* 对雄黄表面改性研究 [J]. 微生物学通报, 2014, 41(8): 1699-1709.
- [70] 谢亲建, 张旭, 王欣, 等. 雄黄微生物浸出液对S180腹水瘤的生长抑制效应及其毒性研究 [J]. 中药材, 2009, 32(6): 933-936.
- [71] 谢亲建. 雄黄的微生物浸出液抗肿瘤作用 [D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [72] 庞仁俊. 自然铜浸取及其浸出液的药效研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- [73] 苏丽春. 朱砂的微生物浸出及其朱砂药效、毒性的重新评价 [D]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- [74] 曾宝, 黄孟秋, 唐君苹, 等. 巴豆炮制新工艺及其生品与炮制品的对比研究 [J]. 中药材, 2012, 35(3): 371-375.
- [75] 胡娜, 刘欢, 袁子民, 等. 肉豆蔻制霜新工艺优选及质量评价 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(21): 10-12.
- [76] 张怀, 单国顺, 于晓黎, 等. 柏子仁制霜工艺比较研究 [J]. 时珍国医国药, 2010, 21(8): 1987-1989.
- [77] 曹艳花. 千金子饮片炮制规范化实验研究 [D]. 济南: 山东中医药大学, 2003.
- [78] 朱颖, 宋佩林, 周海伦, 等. 从1.0到4.0的中药炮制技术发展现状评析及展望 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2024, 30(1): 276-285.
- [79] 刘苗苗, 叶利春, 陈立军, 等. 真空冷冻干燥技术在中药研究中的应用 [J]. 中药材, 2014, 37(5): 909-911.
- [80] 刘松雨, 黄勤挽, 吴纯洁, 等. 冷冻干燥技术在中药领域的研究进展 [J]. 中草药, 2022, 53(3): 930-936.
- [81] Khraisheh M A M, McMinn W A M, Magee T R A. Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying [J]. *Food Res Int*, 2004, 37(5): 497-503.
- [82] 咎珂, 赵磊, 过立农, 等. 基于多指标成分含量的冬虫夏草冻干和晒干法比较 [J]. 中国中药杂志, 2019, 44(10): 1974-1977.
- [83] 李光荣, 郭燕飞, 余江锋, 等. 不同干燥工艺对冬虫草品质的影响 [J]. 菌物研究, 2020, 18(2): 132-138.
- [84] 赵润怀, 段金彪, 高振江, 等. 中药材产地加工过程传统与现代干燥技术方法的分析评价 [J]. 中国现代中药, 2013, 15(12): 1026-1035.
- [85] 孟灵旭, 张静, 张洪涛, 等. 基于信息熵理论和反向传播神经网络优选人参真空冷冻干燥工艺 [J]. 时珍国医国药, 2023, 34(1): 91-95.
- [86] 刘勇, 徐娜, 陈骏飞, 等. 不同干燥方法对三七药材外观性状与内在结构及其品质的影响 [J]. 中草药, 2019, 50(23): 5714-5723.
- [87] 刘野婷. 西洋参冻干片工艺及质量标准研究 [D]. 长春: 长春中医药大学, 2022.
- [88] 赵美芳, 陈永, 陈灿灵, 等. 正交实验优化铁皮石斛冷冻干燥工艺研究 [J]. 中国新药杂志, 2022, 31(9): 901-908.
- [89] 陈衍男, 卢恒, 郑秀花, 等. 不同干燥方式对天麻多指标成分含量的影响 [J]. 山东科学, 2019, 32(1): 14-20.
- [90] 徐磊, 熊吟, 崔秀明, 等. 真空冷冻干燥工艺中天麻干燥特性和活性成分的变化规律研究及其质量评价 [J]. 中药材, 2018, 41(7): 1678-1683.
- [91] 谭丽媛, 陈瑾, 王旭文, 等. 冻干地黄、生地黄HPLC指纹图谱 [J]. 中成药, 2020, 42(9): 2520-2523.
- [92] 吴忠旺, 吴一超, 王丽, 等. 不同干燥方法对白芍中6种化学成分的影响与评价 [J]. 天然产物研究与开发, 2016, 28(11): 1764-1770.
- [93] 石召华, 黄文芳, 陈立军, 等. 不同干燥方式对地龙提取物中17种氨基酸的影响 [J]. 中成药, 2015, 37(5): 1135-1138.
- [94] 郑艳萍, 潘艳琼, 秦昆明, 等. 不同干燥方式对杜仲叶4种活性成分含量的影响 [J]. 中国药房, 2017, 28(28): 3973-3976.

[责任编辑 赵慧亮]