

中药饮片残渣处理装置设计研究

宋文奇, 刘江楠*

辽宁科技大学机械工程与自动化学院, 辽宁 鞍山

收稿日期: 2026年6月30日; 录用日期: 2026年7月23日; 发布日期: 2026年7月29日

摘要

针对中药饮片生产过程中产生的湿渣含水率高、易腐败发臭、后续处置成本高及环境污染风险大的行业痛点, 本文设计了一种基于双轴螺旋挤压、剪切原理的中药饮片残渣处理结构及其智能控制系统。该结构主体采用304不锈钢材质, 通过中间双轴的对向旋转剪切与渐进式压缩, 实现对药渣中残留药液的强制分离; 配置筛分网和集液盒, 确保固液分流与回收。硬件设计的结构优化, 以适应中药饮片残渣的根茎、叶草等不同形态药材的脱水和碎化需求。软件系统基于PLC架构, 集成了端盖安全性、变频调速及过载保护功能, 并引入配方管理模式以实现不同中药饮片残渣的最佳脱水参数存储与调用。设备一机两级处理, 省去二道工序, 良好的经济效益与环境效益, 为中药行业固废的减量化、资源化提供了一种切实可行的技术装备方案。

关键词

中药饮片残渣, 处理装置, 硬件设计, 软件设计

Design Research on Residue Treatment Equipment for Traditional Chinese Medicine Decoction Pieces

Wenqi Song, Jiangnan Liu*

School of Mechanical Engineering & Automation, University of Science and Technology Liaoning, Anshan Liaoning

Received: June 30, 2026; accepted: July 23, 2026; published: July 29, 2026

Abstract

To address the industry pain points of high moisture content in wet residues from traditional

*通讯作者。

Chinese medicine (TCM) decoction pieces production, susceptibility to spoilage and odor, high disposal costs, and significant environmental pollution risks, this paper designs a TCM decoction residue treatment structure and its intelligent control system based on the principles of dual-shaft screw extrusion and shearing. The main body of the structure is made of 304 stainless steel, achieving forced separation of residual medicinal liquid from the residue through opposing rotation and progressive compression of the intermediate dual shafts. Equipped with a screening mesh and liquid collection box, it ensures solid-liquid separation and recycling. The hardware design is optimized to meet the dehydration and fragmentation requirements of different morphologies of TCM residues, such as roots, stems, leaves, and grasses. The software system, based on a PLC architecture, integrates end cover safety, variable frequency speed regulation, and overload protection functions, while introducing a formula management mode to store and retrieve optimal dehydration parameters for various TCM residues. With a two-stage processing design in a single machine, the equipment eliminates a secondary process, delivering favorable economic and environmental benefits. It provides a practical technical solution for the reduction and resource utilization of solid waste in the TCM industry.

Keywords

Residue of Chinese Herbal Decoction Pieces, Treatment Device, Hardware Design, Software Design

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

我国是中药材产地大国, 目前我国中药渣的年排放量多达 6000~7000 万吨。企业通常采取堆放、填埋、焚烧等方式处理中药渣, 这样会污染环境和浪费资源[1]。产业规模大、药渣产量高。仅中药饮片加工和成分提取环节产生的中药饮片药渣就达数千万吨级, 原料平均利用率不到 30%。这些中药残渣垃圾容易招引苍蝇和蚊子等害虫, 并且为病菌提供温床, 产生臭味, 严重地影响居民的身体健康和城市市容市貌[2]。中药材有药理成分, 传统填埋、简易焚烧易造成水体、土壤污染, 如渗滤液和二噁英等, 国家有关环保的《固废法》和“无废城市”建设要求将药渣作为一般工业固废规范处置, 严防回流药品市场。中药废弃物资源丰富, 再利用价值是极具前途的, 不仅能减少环境污染, 同时也能为企业带来良好的经济效益, 是符合绿色环保、可持续发展、国家废弃物资源化的方针政策[3]。中药饮片残渣富含有机物质、纤维成分, 具有很高的利用价值和潜力, 如可以进一步生产成为有机肥、饲料、生物质燃料、活性炭、热能等。

1.1. 中药饮片残渣处理常用技术方案

- (1) 脱水减量化处理: 利用螺旋压榨机、防缠绕的卧螺离心机、液压压滤装置等, 将含水率从 75%~92% 降至 $78\% \pm 3\%$ 左右, 便于后续利用。
- (2) 分类与破碎: 按中药饮片的叶、花、根、茎不同部位和重量进行分离和破碎。
- (3) 干燥与热处理: 常利用工厂余热和滚筒烘干、微波热解碳化、生物质气化等手段, 实现彻底脱水、灭菌及能源转化。

1.2. 技术应用及痛点

- (1) 中药饮片的特殊性。如甘草和黄芪等高纤维成分, 非常容易缠绕和堵塞滤布或筛网; 山药和茯苓

等高胶质药材的成分, 形成粘性胶体, 很难脱水, 形成沉淀和絮凝; 烘干过程中, 轻质的中药饮片残渣与重质中药饮片残渣混杂导致干燥不均匀。

(2) 设备可靠性不足。一些中药饮片残渣处理设备需要定期频繁人工清理, 如滤布 30~40 分钟会堵塞需要 30~40 分钟更换或清理; 中药饮片的成分比较复杂, pH 值一般在 4~10 之间, 磨蚀性强, 固定行程挤压装置随工作时间的延长易腐蚀磨损。

(3) 经济性瓶颈。中药材土生土长的比较多, 成本低廉, 而残渣处理的脱水药剂耗量大、烘干能耗高, 资源化处理的产品如有机肥或燃料附加值比较低, 投资回收期长, 小规模企业难以承受压力。另外, 管理的缺失也是造成难以处理瓶颈的原因, 中药饮片残渣缺乏分类收集与产品标准, 监管中药饮片残渣流向追溯不规范, 系统设计缺少依据。

中药饮片残渣容易腐烂, 根据易腐性有机垃圾产生源特点, 应该采取不同的处理方案[4]。鉴于以上原因, 设计本产品, 机械预处理作为预处理方法中的一种, 利用特殊的刀头[5]或结构创新设计, 实现预期目的。中药饮片残渣处理装置具有双层结构和再处理环节, 具有经济性好、实用性强的特点。

2. 研究基础和设计原则

2.1. 研究基础

随着中医药产业的现代化发展, 中药饮片煎煮后的残渣处理已成为制约行业绿色、可持续发展的关键瓶颈。中药残渣排放对环境的压力日益增大。传统的焚烧、掩埋等处理方式不仅不能从根本上解决其造成的环境污染问题, 还导致资源浪费[6]。因此, 开发高效、环保的中药饮片残渣处理结构, 具有重要的现实意义和研究价值。当前研究的基础主要集中在物理挤压、破碎与生物发酵两个维度。在物理层面, 研究重点在于如何通过机械结构优化实现残渣的高效脱水与碎化。传统压榨设备存在中药残渣再利用率低的问题, 现代研究趋向于采用多辊轴挤压或螺旋推进技术, 通过调节压力与间隙, 最大化提取残渣中的残余药液, 同时破坏其致密结构, 为后续处理提供便利。在生物层面, 研究者致力于筛选高效降解木质纤维素的复合菌群, 通过酶解作用将残渣转化为有机肥或生物质能源。然而, 传统的发酵池结构往往存在传质不均、效率低下等缺陷, 亟需结构设计上的创新。中药饮片残渣处理设备的研究, 是基于上述研究痛点基础上提出的解决方案。设计的装置采用双轴挤压、剪切设计, 旨在通过精密的机械挤压和剪切, 其内部的辊轴结构不仅能提供持续稳定的挤压力, 还能有效破碎残渣中的粗纤维团块, 实现对饮片残渣的梯度脱液与碎化。结构的研究, 整合机械工程与生物技术的交叉优势, 不仅是对现有物理压榨技术的优化升级, 也为后续的资源化利用提供了高质量的原料预处理保障, 是推动中药产业向绿色、低碳方向转型的重要技术支撑。为废弃中药残渣再次利用提供有效的处理途径, 实现“以废治污”的社会效益[7]。

2.2. 设备设计原则

中药残渣是中药材加工过程中产生的废弃物, 具有药物与营养的双重价值[8]。中医残渣含水率高、体积大、处理难, 实际生产中, 设备遵循以下核心原则进行设计。

(1) 高效机械脱水的原则: 通过两根平行轴组件的递进式挤压或剪切挤压, 对松散的中药残渣施加持续且逐渐增大的机械挤压力和剪切力, 相比于传统的单轴压榨, 双轴结构能提供更好的自清洁效果和更高的压缩比, 从而最大限度地挤出残渣中残留的药液, 降低含水率, 并将中药饮片残渣中的粗纤维和长纤维进行细化和碎化处理。

(2) 固液分离与独立收集原则: 挤压腔体下方设置分级筛分结构, 滤液单独收集回用, 固相残渣定向排出, 实现药业、干渣完全分流。

(3) 模块化与易维护原则: 中药残渣成分复杂, 容易缠绕在轴上或堵塞网孔。因此, 设备侧面采用可拆卸或可开启的端盖设计, 是为了方便操作人员在设备堵塞或工作结束后进行清理、疏通和更换滤网。这大大延长了设备的使用寿命并降低了人工清理的难度。

(4) 设备整体采用封闭的壳体设计: 可以防止残渣粉尘飞扬, 也能阻止异味扩散, 符合 GMP 药品生产质量管理规范对环保和卫生的基本要求。整体结构如图 1 所示。

3. 中药饮片残渣设备设计

3.1. 结构设计

如图 1 为中药饮片残渣处理装置仿真模型, 中药饮片残渣处理设备的主要结构包括: 设备壳体、进料挡板、进料导流口、上层剪力破碎轴组件、动力及轴承密封座一、下层细化剪切轴组件、抽拉滤液集盒、抽拉格栅筛网分流板和动力及轴承密封座二。核心结构为双层双排挤压剪力旋转刀轴, 上层粗破碎、下层超细剪切两级联动, 实现中药饮片残渣的细微化处理。整体设计符合 GMP 及机械安全标准(GB/T 15706)。设备总体尺寸参考如下:

外形尺寸(长 × 宽 × 高): 约 800~1200 × 400~600 × 600~900 mm;

挤压腔有效长度: 与双轴长度匹配, 通常 600~900 mm;

设备总质量: 约 150~300 kg。

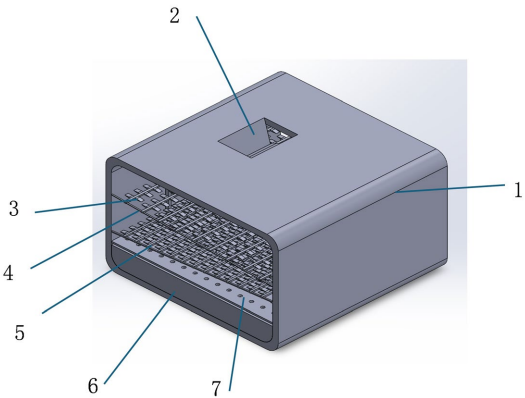


Figure 1. Simulation model of traditional Chinese medicine residue treatment device
图 1. 中药饮片残渣处理装置仿真模型

图中, 1 设备壳体、2 进料挡板、3 进料导流口、4 上层剪力破碎轴组件、5 动力及轴承密封座一、6 下层细化剪切轴组件、7 抽拉滤液集盒。

3.2. 硬件设计

硬件分为五大核心模块:

(1) 主体挤压剪切机构

双主轴为实心阶梯 SUS304 不锈钢轴, 轴径 $\Phi 100$ mm, 两轴中心距 110 mm, 轴间隙 10 mm 可调; 轴表面一体化成型变距螺旋叶片 + 交错三角形剪切刀片, 刀片厚度 8 mm、刀尖倾角 35° , 相邻轴刀片错位啮合, 无刚性碰撞。

力学防缠绕机理:

1) 固体剪切力学: 双轴相向同步旋转, 交错刀片形成横向剪切力, 纤维受到径向挤压 + 周向剪

切复合应力, 当剪切应力大于纤维抗拉强度(0.8~1.2 MPa)时, 长纤维直接切断, 避免连续纤维缠绕轴体;

2) 流体渗流机理: 沿物料前进方向螺旋导程由 80 mm 递减至 35 mm, 挤压腔容积持续缩小, 孔隙水压力逐步升高, 滤液穿过筛网快速析出; 胶质团聚体在剪切力作用下破碎, 束缚水释放, 解决高胶质药材脱水难问题;

3) 自清洁作用: 双轴反向转动, 粘附在单轴表面的纤维、胶质会被对侧螺旋刀片刮除, 大幅降低堵塞频率。

轴表面抛光 + 食品级特氟龙喷涂, 耐酸碱腐蚀; 两端配带防尘调心轴承, 抵御径向挤压载荷。

挤压关键参数: 入口挤压间隙 25 mm, 出口间隙 5 mm; 变频转速区间 10~15 r/min。

(2) 驱动与传动系统

减速电机, 选用变频调速电机, 适应不同药材残渣的挤压速度的需求, 如根茎类或叶草类。同步齿轮传动设计, 保证两根轴相向、同步旋转, 避免卡死或偏载。同时有扭矩过载保护装置, 防止硬物或过量投料造成轴弯曲或电机烧毁。驱动系统参数如下:

电机功率: 2.2 kW;

减速机: 硬齿面蜗轮或行星齿轮减速机, 速比约 1:40~1:60;

传动方式: 同步齿轮传动, 保证双轴相向同步旋转。

(3) 机体结构与密封组件

封闭式的挤压剪切腔体, 外壳整体为不锈钢焊接箱体, 内壁光滑圆弧角处理, 便于清洗, 不易有残留物。两侧端盖法兰连接, 内置 O 型橡胶密封圈, 方便拆装清理缠绕纤维。顶部进料口、底部排渣和滤液抽拉结构: 进料口设喇叭形导料斗, 排渣滤网和滤液抽拉结构设计, 可以随时进行取出和更换。

(4) 固液分离与收集系统

位于设备下部的过滤格栅筛板, 位于双轴组件的下方, 冲孔不锈钢板材, 楔形丝筛, 孔径根据残渣粒径选定, 通常 0.5~2 mm, 用于存留残渣和滤液透过。

(5) 辅助与控制硬件

减震脚垫, 采用碳钢喷塑机架, 配减震垫降低运行振动。控制元件包含启停按钮、急停、变频器面板、运行/故障指示灯, 加装电流监测反馈堵塞情况, 液位开关预警集滤液盒满液的情况报警。

3.3. 软件设计

整机采用 PLC + HMI 人机交互架构, 软件三层架构: 设备底层 PLC 逻辑层、HMI 交互层、上位机数据存储层。工作流程图参看图 2。

第一个判断, 检查端盖是否关闭:

是或正常: 表示端盖已经关好, 满足启动条件。程序会顺序继续往下走, 进入“等待启动”或“运行”状态。

否或异常: 表示端盖没关, 或者安全开关没触发。程序顺着这条线走向“报警并禁止启动”, 直到隐患排除。

第二个判断, 运行中是否超扭矩或堵塞:

是或异常: 表示机器运转时卡住了, 比如药渣太硬缠轴。程序会触发保护机制, 让轴反转或暂停, 防止电机烧坏。

否或正常: 表示运转顺畅, 一切正常。程序继续循环监测, 保持正转挤压。

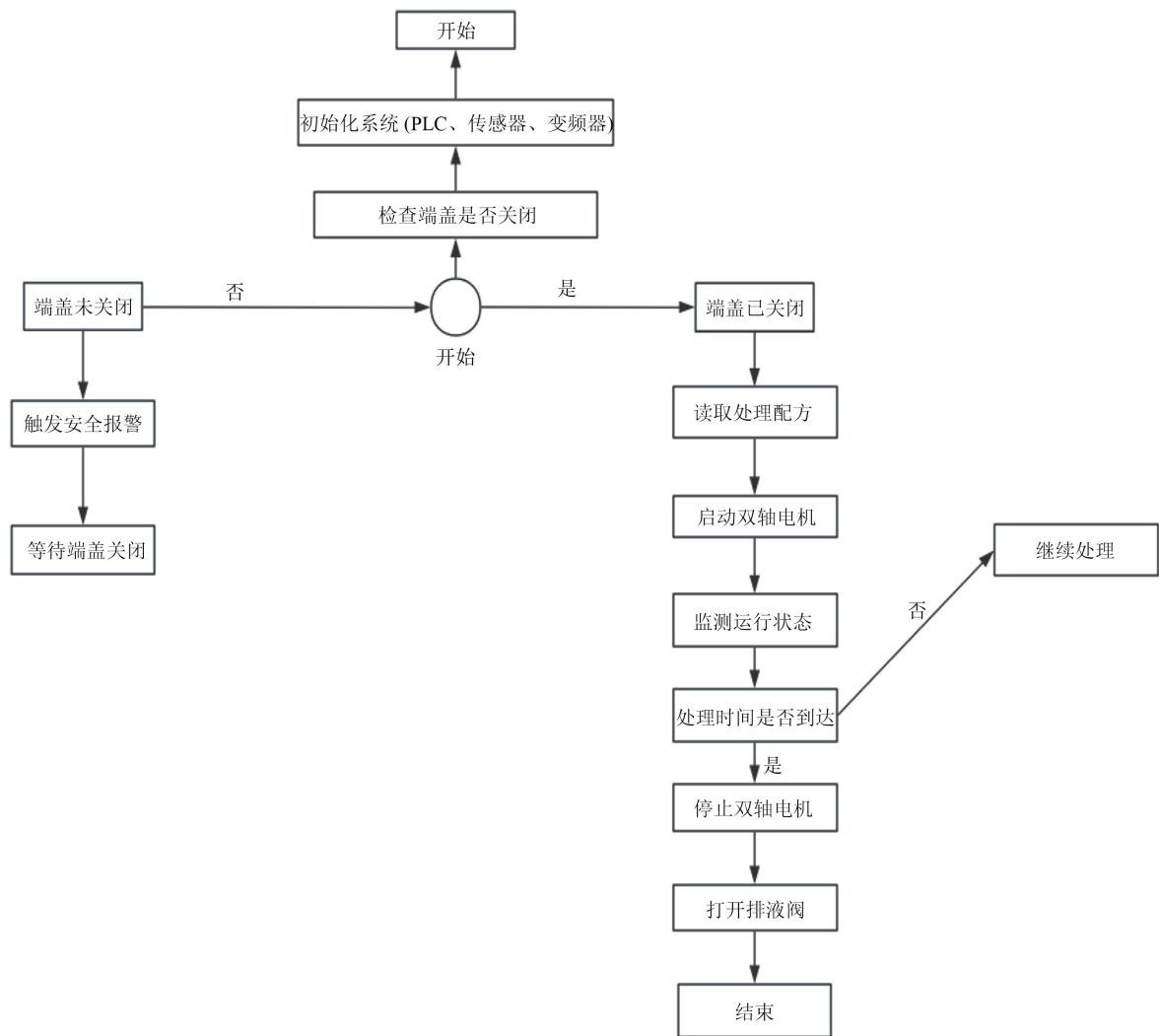


Figure 2. Software workflow diagram
图 2. 软件工作流程图

3.3.1. 软件分层架构

- (1) 设备层(PLC 逻辑): 负责核心算法、I/O 信号处理、电机控制和保护逻辑。
- (2) 交互层(HMI 界面): 负责参数显示、配方管理、报警提示, 供操作员使用。
- (3) 数据层(上位机/存储): 负责生产数据的追溯、导出以及与工厂 MES (制造执行系统)的对接。

3.3.2. 核心控制模块设计

(1) 双轴协同挤压和剪切控制

变频调速: 软件需支持对两台电机的独立或同步变频控制。针对不同特性的药渣(如坚硬的根茎类 vs 柔软的叶草类), 软件需能调节双轴的转速差, 产生“剪切力”防止纤维缠绕。

扭矩监测: 实时读取电机电流(换算为扭矩)。当检测到电流异常升高(意味着药渣堵塞或过硬), 软件自动触发“反转或退料”逻辑, 防止闷车烧坏电机。

(2) 智能集液与排渣联动

液位联动: 软件监测集液盒内的液位传感器。当液位达到高位时, 自动打开排液阀; 当液位降低

位, 关闭阀门, 实现自动排液, 防止溢出。

间歇运行模式: 支持设定“挤压 X 分钟 - 暂停 Y 分钟 - 再挤压”的模式, 特别适合高纤维药材的深度脱水。

(3) 端盖安全互锁

门禁保护: 软件逻辑强制规定: 只要端盖(检修门)未关闭到位(通过限位开关检测), 主电机绝不允许启动。这是 GMP 安全设计的红线。

3.3.3.人机交互(HMI)界面设计

主监控画面: 动态显示双轴旋转动画、液位高度、当前运行状态(运行/停止/故障)。

配方管理(Recipe): 这是中药饮片残渣处理设备的特色部分, 软件应能存储多种“药材配方”, 如: 黄芪 - 转速 10 rpm - 时间 5 min; 金银花 - 转速 15 rpm - 时间 3 min, 一键调用, 保证批次间处理效果一致。

报警记录: 记录堵料、过载、门未关等故障信息, 附带时间戳, 用于追溯。

通信接口设计, 标准协议, 预留 Modbus RTU/TCP 或 OPC UA 接口。

4. 中药饮片残渣处理设备的优点

中药饮片残渣双剪力轴破碎细化设备优势参看表 1。

Table 1. Advantages of TCM decoction dregs processing equipment
表 1. 中药饮片残渣处理设备优势

项目	设备优势	备注
设备结构	核心结构为双层双排挤压剪力旋转刀轴	
破碎效果	破碎效果更好, 残渣粒径均匀。	
损耗方面	低损耗、刀具耐用、不易缠绕纤维	
安全性	密封性好, 无粉尘、无药液渗漏	
处理技术	一机两级处理, 省去二道工序	传统设备需要二道工序
生成成品率	减少药材有效成分流失, 益于再利用	

经过对比, 得出结论, 剪切破碎、挤压工艺具有运行稳定, 投资较小, 资源化利用率高等优势具有较好的市场前景[9]。

5. 结论

针对中药饮片残渣高含水率、成分复杂且易腐败的特性, 本研究设计的双轴挤压脱水处理结构及其配套软件控制系统, 成功构建了一套集“机械减量化”与“智能管控”于一体的解决方案。

首先, 在硬件设计上, 通过中间双轴(蓝色)的对向挤压与剪切作用, 有效解决了传统单轴设备易缠绕、脱水不彻底的痛点。下方的蓝色集液盒与侧端盖的可拆卸设计, 兼顾了药液的回收利用与设备的易维护性, 符合 GMP 对洁净生产与防污染的核心要求。其次, 在软件逻辑上, 构建了以“安全互锁 - 配方管理 - 过载保护”为核心的控制闭环。软件不仅实现了对不同药材(根茎/叶草)的差异化参数适配, 更通过扭矩实时监测与端盖安全门禁, 将设备故障风险降至最低, 确保了连续作业的可靠性。

综上所述, 通过软硬件的深度协同设计, 显著降低了中药残渣的运输成本与后续焚烧和发酵的处理难度, 提升了资源回收率。双层剪力轴设备尤其适合大中型中药生产企业, 每日产生数吨饮片残渣, 需

要连续、低成本、自动化资源化处理。这一结构的研究与应用, 不仅解决了中药企业固废处理的现实难题, 也为中药生产装备向自动化、绿色化转型提供了有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 吴洁, 郝恬, 崔奥华, 周华从. 中药残渣基活性炭制备与应用研究进展[J]. 广州化工, 2023, 51(13): 13-17, 52.
- [2] 王凯. 食物垃圾处理系统的改良设计[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2014.
- [3] 胡露, 柯军. 中药废弃物综合利用研究进展[J]. 甘肃科技, 2020, 36(24): 39-40, 125.
- [4] 吕凡, 何品晶, 邵立明, 李国建, 陈世和. 易腐性有机垃圾的产生与处理技术途径比较[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003(8): 46-50.
- [5] 马骏, 李林哲, 李武, 刘杨, 费林海, 吴元. 厨余垃圾机械预处理技术应用工程实例[J]. 安徽化工, 2025, 51(6): 136-139.
- [6] 张娜, 王中杰, 李飞, 张慧, 徐欣欣, 王增国. 中药残渣资源化利用途径及发展探究[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(10): 107-109, 117.
- [7] 高雅. 白芍、通草、夏枯草中药煎煮残渣对水中亚甲基蓝与孔雀石绿吸附性能及机理的研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都医学院, 2024.
- [8] 张媛媛. 五种中药残渣对土壤及小麦生长的影响[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京化工大学, 2024.
- [9] 张力, 杭建强, 颜剑敏, 杨丽萍. 厨余垃圾破碎挤压工艺试验研究[J]. 四川环境. 2024, 43(1): 160-164.