

集成可视化咖啡因提取实验装置设计与研究

岳琳, 刘翔, 李桂伶, 张海超, 鲁茗莉, 彭兴武, 张月娟*

北京农业职业学院, 北京

收稿日期: 2025年4月7日; 录用日期: 2025年5月8日; 发布日期: 2025年5月16日

摘要

咖啡因提取实验过程中的操作步骤包括: 提取、浓缩以及干燥过程。由于提取、浓缩设备搭建过程复杂, 咖啡因提取时间比较耗时, 同时在干燥过程中由于咖啡因易于升华, 非常容易在干燥过程中造成产品的损失。通过设计一套集成可视化咖啡因提取装置, 简化该实验的操作流程, 缩短实验时间, 在干燥过程中通过可视化设备, 更加容易观察到咖啡因在干燥过程中的形貌变化, 防止在干燥过程中咖啡因成品的流失。该装置将提取、浓缩以及干燥等实验操作模块化, 降低了实验操作的难度要求, 既能够缩短提取实验的操作时间, 又能提高提取产物的产量。

关键词

集成化, 可视化, 咖啡因, 提取实验, 集成模块

Design and Research on an Integrated Visualization Coffee Extraction Experiment Device

Lin Yue, Xuan Liu, Guiling Li, Haichao Zhang, Mingli Lu, Xingwu Peng, Yuejuan Zhang*

Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing

Received: Apr. 7th, 2025; accepted: May 8th, 2025; published: May 16th, 2025

Abstract

The operational steps in the caffeine extraction experiment include extraction, concentration, and drying processes. Due to the complex construction process of extraction and concentration equipment, caffeine extraction time is relatively time-consuming. At the same time, during the drying

*通讯作者。

process, caffeine is prone to sublimation, which can easily cause product loss. By designing an integrated visual caffeine extraction device, the operation process of the experiment is simplified, the experimental time is shortened, and the morphological changes of caffeine during the drying process are more easily observed through visualization equipment, preventing the loss of caffeine products during the drying process. This device modularizes experimental operations such as extraction, concentration, and drying, reducing the difficulty requirements of experimental operations, shortening the operation time of extraction experiments, and increasing the yield of extracted products.

Keywords

Integration, Visualization, Caffeine Extraction Experiment, Integrated Module

Copyright © 2025 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. 引言

茶叶中咖啡因的提取实验原理是利用溶剂的回流及虹吸原理，使茶叶每次都被有机溶剂所萃取，将提取液进行蒸馏浓缩后再继续进行干燥升华从而得到固体咖啡因。该实验的主要操作步骤包括：提取 - 浓缩 - 干燥[1]-[5]。从茶叶中提取咖啡因先用适当的溶剂从茶叶中提取出粗品，在索氏提取器中进行数次“液 - 固”萃取，然后蒸发浓缩溶剂得到粗产品，最后升华提纯。通过该实验可以掌握基础的提取以及产物收集方法，是重要的有机物提纯的实验类型[6]-[9]。

该实验过程中涉及了萃取、旋转蒸发或者蒸馏提纯以及干燥方式的多种基础有机操作，在生物学以及食品安全等领域都是较为常见的实验过程。该实验过程存在仪器搭建难度大、不易操作等缺点，特别是升华提纯过程更是难以控制，无法观察升华过程，且实验所需时间较长，实验效果不理想[10]-[16]，因此一些并未开设专门实验课程的院校没有将其纳入有机化学实验课程中。

将加热控制、搅拌控制、升降台等多单元操作于一体的集成化实验装置，对传统升华装置进行了改进与优化，能让实验者直观地观察到咖啡因分子聚集与针状晶体长大过程，由此增加了实验趣味性，激发了操作者的创新意识，提升创新能力，培养学习有机化学的主观能动性。

设计一套集成可视化咖啡因提取装置，简化该实验的操作流程，缩短实验时间，更加容易观察到咖啡因在干燥过程中的形貌变化，将实验设计成集成化可视化的综合实验，也可以解决该实验普及率不高的问题。集成可视化咖啡因提取装置与传统装置对比如表 1 所示。

Table 1. Comparison between integrated visualization caffeine extraction device and traditional device

表 1. 集成可视化咖啡因提取装置与传统装置对比

实验内容	集成可视化实验装置需要时间
索氏提取装置搭建以及提取	40 分钟
提取液浓缩	20 分钟
干燥	20 分钟

装置设计搭建完成后，可实现咖啡因提取装置的集成化以及可视化，大大缩短该实验的操作时长，同时也能够提高该实验的可观察性。改进后的实验与经典的实验对比如表 1 所示。传统实验需要 3~4 课

时进行，通过装置的集成化，该实验可在 2 课时内完成，且在实验过程中能更方便地观察到升华现象，因此改进后的实验更有利于咖啡因提取实验在有机实验中的推广与普及。

2. 集成可视化咖啡因提取装置的设计

利用索氏提取器作为咖啡因提取的重要提取仪器，选择乙醇作为提取剂进行提取，固化茶叶提取咖啡因实验参数，优化后的实验参数如下表 2 所示。

Table 2. Experimental parameters for caffeine extraction from tea leaves
表 2. 茶叶提取咖啡因实验参数

序号	参数名称	规格/数量
1	圆底烧瓶	500 ml, 19#
2	索氏提取器	250 ml, 19#
3	球形冷凝管	19#
4	提取剂: 乙醇	AR, 350 ml
5	茶叶	30 g
6	生石灰	AR, 15 g
7	玻璃漏斗	10 cm
8	定性滤纸	11 cm
9	瓷坩埚	10 cm

借助加热平台接放大镜成像系统观察咖啡干燥过程中咖啡因的形态变化，从而获得咖啡因温度 - 形态特征图。将索氏提取器以及冷凝管等玻璃仪器、加热装置整体嵌套设计成固定模块并固定在平台支架上，整体玻璃仪器设计成一个整体框架，能够实现整套装置快速装拆过程，缩短实验的时间。



Figure 1. Integrated visualization caffeine extraction device diagram
图 1. 集成可视化咖啡因提取装置图

咖啡因提取的集成可视化装置如图 1 所示，装置包括加热模块、旋转蒸发仪与索氏提取器；设计有框架结构支撑模块、支撑模块左部放置旋转蒸发仪，右部设计可视化平台，可视化平台上放置有恒温加热器、电子显微镜，笔记本电脑与摄像头；支撑模块中部放置加热模块，同时在支撑模块中部还设计有调节支架，调节支架上具有横向与纵向位置可调节试管夹，试管夹夹持索氏提取器。

3. 集成可视化装置的实验参数优化

装置的使用步骤如下：将 500 ml 圆底烧瓶放入集成可视化提取装置的加热模块的水浴锅中，在烧瓶

中放入 300 ml 提取剂溶液，加入几粒沸石。将 30 g 茶叶用滤纸包裹后，放入索氏提取器中，放置位置尽量靠近索氏提取器下端，保证滤纸没有破损，形状完好。将装有茶叶包的索氏提取器放置在上述圆底烧瓶上方，并用试管夹固定，试管夹连接装置的连接模块。索氏提取器上方放置球形冷凝管，并接通进出水皮管。在水浴锅中放置去离子水，去离子水页面高度高于圆底烧瓶页面高度 5 cm，检查装置无松动无异常后，打开冷凝管进水开关，打开集成可视化提取装置的加热模块开关，温度设置为 80℃~100℃，开始加热。待提取液在索氏提取器提取 1~6 次后，关闭加热模块开关，停止加热。利用连接模块，将索氏提取器以及球形冷凝管升高 5 cm 后，再平行移动出加热模块。将圆底烧瓶与旋转蒸发器连接，固定好圆底烧瓶瓶口，开启选装蒸发模块的旋转按钮，调整转速为 25 转/分，保持水浴锅中温度为 85℃，开始进行浓缩操作。待圆底烧瓶中的溶液蒸发完全，只剩下附着在烧杯壁上的粘稠状液体时停止加热，用长柄钥匙将烧瓶壁上的固液混合物取出置于表面皿中。将上述表面皿放置在熔点仪加热成像模块的加热平台上，调整成像装置，使表面皿中的物质能够清晰呈现在画面中，开始加热，选择录像视频，并定时截屏，记录熔点仪温度以及物体状态图像。待固液混合物变成固体粉末状物质后，停止加热，关闭设备。

3.1. 提取剂的影响

茶叶提取咖啡因的提取剂常见的有甲醇、含量不同的乙醇、氯仿以及丙二醇等，选择根据溶剂获得难易程度、提取剂的沸点、提取剂价格以及提取效果多角度评价，得出最优选择为 90%乙醇。具体实验参数如下表 3 所示。

Table 3. Extraction efficiency of caffeine with different extractants
表 3. 不同提取剂咖啡因提取效果

试剂	购买难易程度	沸点	价格(元/500ml)	咖啡因收率
甲醇	危化品	64.7℃	46	1.5%
无水乙醇	危化品	78℃	42	1.7%
90%乙醇	非危化品	78℃~85℃	40	1.6%
75%乙醇	非危化品	78℃~95℃	35	1.3%
氯仿	管制类危化品	61.2℃	359	1.2% (文献数据)
丙二醇	危化品	184.8℃	99	0.9%

从上表看出，甲醇以及乙醇的提取效率较高，但是由于甲醇的沸点较低，在操作过程中容易造成大量的甲醇挥发，造成试剂的浪费，而且甲醇的购买比乙醇更为严格。因此选用乙醇作为提取剂的首选。在针对不同浓度含量的乙醇，由于纯乙醇在提取过程中存在提取过程中由于实际含量的减少造成圆底烧瓶溶剂量降低的风险，因此优先选取 90% 含量的乙醇，既能够保证较高的提取效率，也能够一定程度上降低实验的风险。

3.2. 提取温度的优化

取茶叶 10 g，采用有机溶剂萃取法，90%的乙醇 350 mL，在索氏提取器中的提取温度对咖啡因收率的影响，实验结果如表 4 所示。

从表 4 可以看出，当提取温度升高时，咖啡因收率逐渐升高，但是当温度超过 90℃时，由于溶剂中水分的部分蒸发影响咖啡因收率，因此最佳的提取温度选 90℃，既能够保证咖啡因最大程度的被萃取，也能够保缩短萃取的时间。

Table 4. Effects of different heating temperatures on caffeine yield
表 4. 不同加热温度对咖啡因收率影响

温度(℃)	咖啡因收率(%)
80	0.8
85	1.6
90	2.4
95	1.2
100	0.7

3.3. 回流次数的优化

取茶叶 10 g，采用有机溶剂萃取法，90%的乙醇 350 mL，在索氏提取器中的提取中回流次数对咖啡因收率的影响，实验结果如表 5 所示。

Table 5. The effect of reflux times on caffeine yield
表 5. 回流次数对咖啡因收率影响

回流次数	咖啡因收率(%)
1	0.6
2	1.3
3	1.7
4	1.8
5	1.6
6	1.7

随着回流次数的增加，咖啡因的质量和收率先上升后略有降低。随着提取时间的增加回流次数的增加，咖啡因的浸出量也会随之增加，由于原料中的咖啡因总含量是一定的，所以当提取时间达到一定值时，提取时间继续增加，会导致提取出来的咖啡因流失和变质，因此，选择回流次数为 3~4 次为最佳。

4. 集成可视化咖啡因提取装置的结构特点

咖啡因提取的集成可视化装置，通过集成模块化设计，将索氏提取器、旋转蒸发仪以及加热成像整合为同一实验平台，实现了集成以及可视化功能，主要包括支撑模块、加热模块、旋转蒸发仪、可视化模块与索氏提取器。

支撑模块 1 为具有底面 101 的立方体支撑框架，用于各部分之间的安装设置。该支撑框架 1 包括左中右三个部分，其中，右部分顶面具有可视化平台 102，可视化平台 102 上设置可视化模块 4；左部分内设置有电动旋转蒸发仪 3、中间部分设置加热模块 2。加热模块 2 背侧支撑框架上还设计有调节支架 103，该调节支架 103 用于连接索氏提取器 5，且可实现索氏提取器 5 纵向及横向位置调节。调节支架 103 包括两根纵向支撑杆 103a、一根横梁 103b，试管夹滑块 103c 与试管夹 103d，如图 2 所示。

两根纵向支撑杆 103a 低端与支撑模块中间部分背侧顶边相接。横梁 103b 截面为矩形，两端开孔分别套接于两根纵向支撑杆 103a 上，使横梁 103b 可纵向移动；同时，横梁 103b 两端侧壁上开有螺孔，螺孔内安装横梁顶紧螺栓 103b1，通过旋紧横梁顶紧螺栓 103b1 实现横梁 103b 纵向位置固定。上述横梁 103b 上套接有试管夹滑块 103c，可沿横梁 103b 滑动，但无法绕横梁 103b 旋转。试管夹滑块 103c 顶部设计有 U 型卡槽 103e，轴线水平且垂直于横梁 103b 轴线设置。U 型卡槽 103e 底部开有通孔，通孔具有

内螺纹, 用于连接试管夹 103d。所述试管夹 103d 采用现有试管夹结构, 其具有前部夹头 103d1 与后部连杆 103d2。其中, 在后部连杆上开设螺纹孔, 与前述 U 型卡槽 103e 底部内螺纹通孔配合, 通过滑块顶紧螺栓 103d3 螺纹连接, 实现试管夹 130d 与试管夹滑块 103c 间的固定, 进一步旋转滑块顶紧螺栓 103d3, 使滑块顶紧螺栓 103d3 与横梁 103b 配合顶紧固定试管夹滑块 103c, 从而实现横梁 103b、试管夹滑块 103c 及试管夹 103d 三者间的固定。通过上述调节支架 103 中的试管夹 103d 夹持索氏提取器, 进而可通过调节支架 103 对索氏提取器位置进行调节, 使索氏提取器中的提取瓶处于加热模块中, 由加热模块加热, 进行索氏提取实验, 由索氏提取器利用溶剂回流及虹吸原理, 对索氏提取器的提取器内放置的需萃取天然物质进行萃取, 在提取瓶(圆底烧瓶)内得到萃取液。在完成索氏提取实验后, 可通过调节支架 402 将索氏提取器的位置升高, 离开加热模块; 随后取下提取瓶, 将提取瓶安装于索氏提取器一侧的电动旋转蒸发仪上, 进行后续旋转蒸发实验, 实现快速切换实验装置的目的。

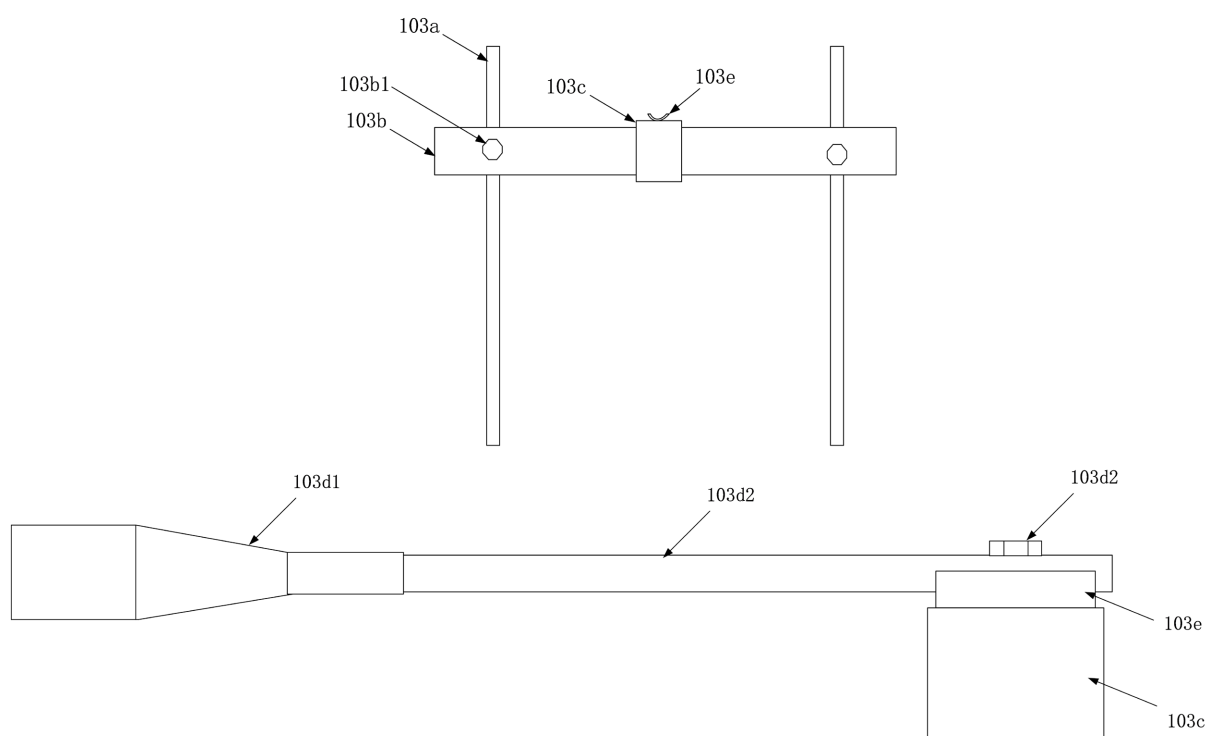


Figure 2. Schematic diagram of the integrated visualization caffeine extraction device support module

图 2. 集成可视化咖啡因提取装置支撑模块示意图

旋转蒸发仪为实验室常用设备, 主要用于常压条件下连续蒸馏易挥发性溶剂。将前述提取瓶取下后安装于旋转蒸发仪上, 通过旋转蒸发仪上控制提取瓶到达加热模块中进行加热, 加热过程中通过旋转蒸发仪控制提取瓶旋转, 使提取瓶内萃取溶剂通过加热蒸发以及冷凝后流入收集瓶中, 最终在提取瓶内得到提取物为浓缩后的萃取液(糊状物)。

加热模块主要实现前述索氏提取及旋转蒸发过程中对提取瓶的加热, 采用水浴锅, 内部用来放置加热载体(水或其它有机物溶剂); 其采用水浴加热方式对提取物进行恒温加热, 使提取物快速升温。可视化模块 4 包括器皿 401、恒温加热板 402、电子显微镜 403、摄像头 404 及笔记本电脑 405。其中, 器皿 401 用于盛放经旋转蒸发后提取瓶内的提取物。器皿在未使用时放置在可视化平台 102 内侧一角处开设的与器皿 401 底面尺寸匹配的凹槽 406 内, 实现径向定位, 可视化模块如下图 3 所示。

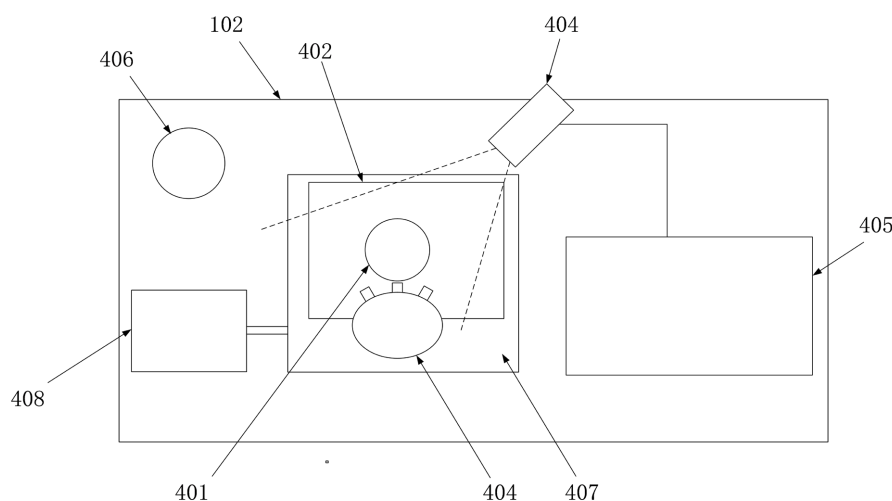


Figure 3. Schematic diagram of the visualization module of the integrated visualization caffeine extraction device

图 3. 集成可视化咖啡因提取装置可视化模块示意图

恒温加热板 402 用于器皿 401 内的提取物进行恒温加热；在应用时，放置于电子显微镜 403 的底部平台 407 上，电子显微镜 403 的镜头置于器皿 401 上方，对准器皿 401 内提取物，通过调节放大倍数，使之能够清晰拍摄器皿 401 内提取物干燥过程中的状态，并在电子显微镜的显示屏 408 中进行显示并存储。恒温加热板 402 在未使用时，可收纳于在可视化平台 102 底面中部安装的抽屉内。摄像头 404 安装于摄像头支架上，通过摄像头支架支撑与可视化平台 102 上，位于恒温加热板 402 一侧，通过调节摄像头 404 拍摄角度，对准器皿获取器皿内提取物干燥过程图像；摄像头通过数据线连接电脑，将获取到的图像传输至笔记本电脑 405 中进行显示并存储。摄像头 404 在未使用时，连通其支架收纳于可视化平台 102 底面中部安装的抽屉内。电子显微镜 403 在未使用时，可收纳于可视化平台 102 底面侧部安装的矩形框架结构收纳仓内。由此通过电子显微镜 403 及摄像头 404 可分别从微观及宏观方面实现物质干燥过程的可视化功能。

5. 结论

集成可视化咖啡因提取装置通过创新性地将索氏提取器、旋转蒸发仪以及加热成像系统整合为同一实验平台，实现了实验操作的集成化与可视化。本装置不仅能够满足提取、浓缩、干燥等单一功能需求，还能够实现多功能联合操作，显著提升了天然物质中咖啡因提取的实验效率与操作便捷性。

集成可视化装置通过模块化设计，将提取、浓缩以及干燥等实验操作整合到一个平台上，极大地简化了实验流程，降低了实验操作的难度要求。能够高效实现茶叶中咖啡因或其他多种物质(如油脂)的提取、浓缩以及干燥。通过将索氏提取、旋转蒸发和加热干燥成像三个实验操作平台集成，装置实现了各个实验过程的快速衔接操作。传统的提取实验需要在不同设备间转移样品，而本装置通过一体化设计，避免了样品转移过程中的损失和污染，显著缩短了实验操作时间，提高了实验效率。

装置在物质干燥过程中实现了可视化功能。通过集成加热成像系统，能够在干燥过程中实时提供图像数据，实验人员可以直观地观察物质的干燥状态，及时调整实验参数，减少干燥过程中的实验误差。这一功能不仅提高了实验的精确性，还为实验数据的记录和分析提供了可靠依据。

装置的模块化设计使其具有高度的灵活性和多功能性。装置不仅可以满足单独的提取、浓缩或干燥操作，还能够实现任意两组操作的组合操作。灵活的操作模式为提取实验提供了快速高效的操作平台，

满足了不同实验需求。此外,装置的模块化设计还便于后续的功能扩展和维护,具有较高的实用性和可推广性。

集成可视化装置通过创新性的设计和多功能集成,显著提升了天然物质中咖啡因提取的实验效率和操作便捷性。不仅降低了实验操作的难度,还为实验数据的精确控制和分析提供了有力支持。该装置在茶叶加工、食品科学和医药领域具有广泛的应用前景,具有较高的市场推广价值和社会经济效益。

基金项目

北京农业职业学院院级课题(XY-XK-23-08)。

参考文献

- [1] 林磊. 超高效液相色谱-串联质谱法测定茶叶中的咖啡因[J]. 福建分析测试, 2024, 33(5): 44-46.
- [2] 郭举, 王相勇, 李宏河, 等. 从茶叶中提取茶多酚和咖啡因实验优化研究[J]. 广东化工, 2024, 51(16): 52-54+78.
- [3] 代升飞, 汤茶琴, 王泓力, 等. 茶叶中咖啡因提取技术研究进展[J]. 生物化工, 2024, 10(4): 250-253.
- [4] 王爱玲, 崔颖娜. “从茶叶中提取咖啡因”有机化学实验的教学设计[J]. 大学化学, 2024, 39(12): 251-257.
- [5] 董天秋, 陈娴, 马文思. 超声提取法快速测定茶叶中咖啡因[J]. 现代食品, 2024, 30(5): 208-211.
- [6] 祝泽周, 胡云, 孙菲. 茶叶中咖啡因提取及检测设计性实验教学初探[J]. 化工设计通讯, 2024, 50(2): 15-17.
- [7] 李胜楠, 赵轩, 陈婷婷. HPLC 法测湖北产地多种茶叶的茶水中咖啡因的含量[J]. 广州化工, 2024, 52(3): 83-85.
- [8] 吴以龙, 王康, 武增才, 等. 高效液相色谱法测定与比较 5 种不同提取方法提取的茶叶咖啡因[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(3): 195-200.
- [9] 刘念, 李摇摇, 李霜. 茶叶脱咖啡因技术的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(24): 218-224.
- [10] 韩芸, 王希平, 张树梅. 茶叶挥发性成分提取及香气成分检测研究[J]. 食品安全导刊, 2025(10): 187-189.
- [11] 李龙平, 李嘉莉, 曲天歌, 等. “可视化”助力从茶叶中提取咖啡因实验的关键步——升华[J/OL]. 大学化学, 1-5. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1815.O6.20250313.1726.002.html>, 2025-05-15.
- [12] 张展鸣, 朱灿, 王娟, 等. 有机化学实验教学中的课程思政设计——以“茶叶中提取咖啡因”为例[J/OL]. 大学化学, 1-8. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1815.O6.20250107.1045.002.html>, 2025-05-15.
- [13] 翟玲玲. 响应面优化油茶叶总三萜提取工艺及抗氧化活性的研究[J]. 饲料工业, 2025, 46(6): 115-121.
- [14] 浦乾琨, 江海都, 杨一山, 等. 3 种金花茶叶总黄酮提取工艺及其体外抗氧化活性研究[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(11): 117-122+134.
- [15] 尹敏. 茶叶提取物的药用价值[J]. 福建茶叶, 2024, 46(6): 18-20.
- [16] 朱东建, 任爱山, 谢微, 等. 茶学专业有机化学实验教学中的课程思政探索[J]. 化工管理, 2023(29): 22-25.