中药检验前处理智能设备的工艺参数验证与应用

李亚娟，莫静燕，卢红委，余晓燕
（扬子江药业集团江苏龙凤堂中药有限公司，江苏泰州 225300）

摘要：中药检验前处理智能设备是智慧中药检验技术在中药行业内的首次应用，实现了中药检测前处理由人工向智能化的转型。该智能设备由入料存盖系统、综合预处理系统、振荡系统、出料 / 超声系统、冷凝回流系统五大模块组成。通过考察该设备定量加液的精确度、介质加热时间和温度的精确度，证明了该设备可达到使用要求。选取合欢花为代表性药材，考察使用该智能设备和人工方法处理所得样品的结果一致性，以及处理多批次样品的用时情况。结果表明，该智能设备可实现中药前处理的智能分选，实现冷凝管在线自动清洁，并且多批次药材的处理效率可提升至 94.40%。

关键词：合欢花；中药检验；前处理；应用；智能设备；智能分选；在线清洁
中图分类号：TQ460.6；R927　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1001-8255(2025)01-0101-08
引用：李亚娟 , 莫静燕 , 卢红委 , 等. 中药检验前处理智能设备的工艺参数验证与应用 [J]. 中国医药工业杂志 , 2025, 56(1): 101-108. DOI：10.16522/j.cnki.cjph.2025.01.012

Process Parameter Verification and Application of the Intelligent Equipment for Pretreatment of Traditional Chinese Medicines before Testing

LI Yajuan, MO Jingyan, LU Hongwei, YU Xiaoyan
(*Jiangsu Longfengtang Traditional Chinese Medicine Co., Ltd., Yangtze River Pharmaceutical Group, Taizhou 225300*)

ABSTRACT: The intelligent equipment for pretreatment of traditional Chinese medicines (TCM) before testing is the first application of the intelligent TCM testing technology in the TCM industry, which realizes the transformation of the pretreatment of TCM detection from manual to intelligent. The intelligent equipment is composed of five modules: feed storage system, comprehensive pretreatment system, oscillation system, discharge/ultrasonic system and condensation reflux system. By investigating the precisions of quantitative liquid filling, medium heating time and medium temperature, it was proved that the intelligent equipment could meet the using requirements. With *Albiziae Flos* as the representative medicines, the consistency of the results between the samples processed by this intelligent equipment and the manual processing was compared, and the time consumption of multiple batches of samples were tested. The results showed that the equipment could realize the intelligent sorting of TCM pretreatment, and the online automatic cleaning of the condensing tube. Moreover, the processing efficiency of multiple batches of TCM could be increased to 94.40%.

Key Words: *Albiziae Flos*; traditional Chinese medicine detection; pretreatment; application; intelligent equipment; intelligent sorting; online cleaning

近年来，得益于制药技术水平的发展和人们健康观念的增强，中医药行业正迎来前所未有的发展热潮。中医药行业已成为一个庞大的经济实体，产业链涵盖中药材种植、加工、生产、销售等多个环节。制药企业不断加快中药制剂自动化技术的研究和引进，以促进医药行业技术水平的提高与发展[1]。现代科技手段的应用使得中医药行业的生产效率和质量得到大幅提升，也为中医药行业带来了更多的发展机会[2—3]。中药制剂涉及的中药材种类繁多、

收稿日期：2024-07-05
作者简介：李亚娟（1991—），女，助理工程师，从事药品质量管理的工作。
E-mail：liyajuan@yangzijiang.com

来源广泛，大多数药材具有多种活性成分，这些活性成分的含量还会随提取条件（温度、时间、溶剂）的变化而变化，所以检测前需进行标准化前处理[4]，以提高检测的灵敏度和准确性。中药检验的前处理步骤一般为：称量—加液—多种前处理交错（水浴、振摇、静置、冷凝回流、萃取、过滤等）—定容—成像（含量测定），过程复杂、耗时长，简单品种的前处理耗时约 2 h，复杂品种更是达到 1 ～ 2 d。因此，建立一个集检测、控制、优化、调度、管理于一体的中药智能制造系统迫在眉睫。

中药检验前处理智能设备是智慧中药检验技术在中药行业内的首次应用，实现了中药检测前处理由人工向智能化的转型；通过将单个设备升级为自动化、一体化智能设备，实现了样品前处理的精准控制；同时，可避免操作人员与化学试剂的直接接触，有效隔离设备操作环境和外部环境，其冷凝管在线清洁功能还可有效降低共线污染和交叉污染的风险[5—6]，有利于提高试验结果的准确性。

本研究阐述了该中药检验前处理智能设备的调试、参数确认和使用情况，并选取合欢花[7—8]药材为代表性样品，对人工和中药检验前处理智能设备的前处理结果进行一致性比对，同时进行在线清洁效果测试，以期为制药企业进行中药检验前处理智能设备的验证以及推广和使用提供一些参考。

1　仪器与试药

DRT-Dsmart-QS 型中药检验前处理智能设备（深圳市得瑞特控制技术有限公司）；XPR205 型电子天平（瑞士梅特勒-托利多公司）；TLC Visualizer 型薄层色谱数码成像系统（瑞士 CAMAG 公司）。

槲皮苷对照品（含量 93.5%，批号 111538-202007）、合欢花对照药材（批号 121010-201705）（中国食品药品检定研究院）；合欢花（批号 304051-2206029，由扬子江药业集团江苏龙凤堂中药有限公司初级工程师范田田鉴定）；乙醇、甲醇、正丁醇、乙酸乙酯、甲酸、三氯化铝（国药集团化学试剂有限公司）；甲苯（南京化学试剂股份有限公司）。

2　方法与结果

2.1　中药检验前处理智能设备的构造及基本原理

该智能设备由 2 个部分组成，分别为智能工作站逻辑控制系统（软件）和处理操作执行装置（硬件）。整机通过可编程逻辑控制器（programmable logic controller，PLC）[9] 控制，如图 1 所示。

该智能设备整体硬件的结构平面图如图 2 所示，由入料存盖系统、综合预处理系统、振荡系统、出料 / 超声系统、冷凝回流系统五大模块组成。

中药检验前处理智能设备能够精准控制时间参数，包括超声时间、振摇时间、冷凝时间、静置时间。冷凝系统固定在侧面，内部设有温度探头，可实现对温度的实时监控。

每个系统的作用如下。

①入料存盖系统：自动化进样，自动化存取盖和样品转运。

②综合预处理系统：自动化扫码，智能配样，自动化开锁盖，自动化混匀和样品转运。

③振荡系统：样品静置，振荡处理和转运。

④出料 / 超声系统：样品静置，出料，错瓶收集，超声处理和转运。

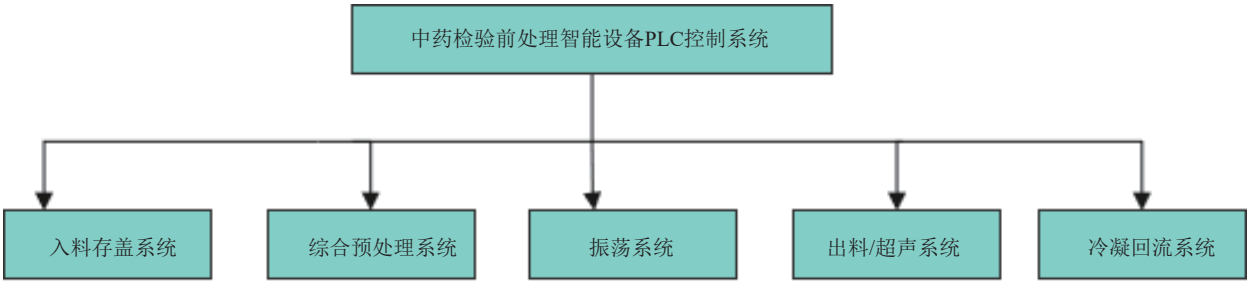


图 1　可编程逻辑控制器控制图

Fig.1　Control Chart of Programmable Logic Controller

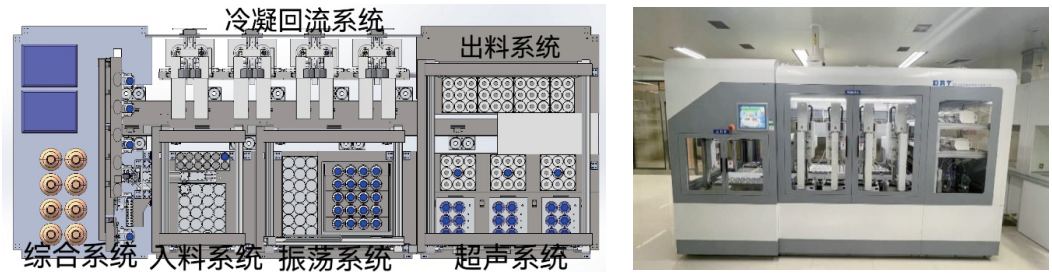


图 2 设备结构设计平面图（A）与实物图（B）

Fig.2 Equipment Structure Design Plan (A) and Appearance Image (B)

⑤冷凝回流系统：实现对样品的智能化冷凝处理，智能化冷凝管自动清洁，以及样品的转运等。

2.2 验证项目和合格标准

2.2.1 多种前处理方法串联运行情况的确认

设置振摇、超声、冷凝回流各模块功能，对上述模块的串联运行情况进行验证。机械抓手能够照二维码标签分配的方法，自动识别后将测试瓶送到相应的区域，未出现错误传输。上述现象说明扫码器对二维码的识别精准度能满足使用要求，机械抓手可实现在自动化轨道上的运行，各模块串联后可完成整个流程的运行。

2.2.2 定量加液精确度的确认

中药前处理使用的溶剂多是易挥发或有毒有害的溶剂[10]。为最大程度减少因溶剂挥发或泄露造成的人员伤害事件，中药检验前处理智能设备中设置了自动加液功能。为了验证该智能设备加液步骤的精度和效率，根据实验室的日常使用量设定所需溶剂体积（分别设置为 5、20 和 30 mL），独立进行体积变化测试（标准为：误差≤ 1%，重复性误差≤ 0.5%），每 5 min 测量 1 次，共测量 6 次。结果如表 1 所示。可见，加液量为 20 和 30 mL 时，误差和重复性误差远小于标准值，故日常可正常使用；但当加液量为 5 mL 时，误差结果远高于 1%，重复性误差达到 1.87%，也超出标准值。因此，日常加液量≤ 5 mL 时不建议使用该设备的自动加液功能；若选用，则需与人工结果进行比对，通过风险评估后再使用。

2.2.3 振摇、超声、回流模块定时精确度的确认

中药前处理步骤中的振摇、超声、回流时间对样品的提取效果和提取效率有直接影响。一般而言，提取效果与提取时间成正比。提取时间过短，达不到浸出目的；时间过长，挥发性成分损失过大，提取液中的杂质也会增多。对于成分复杂且不易提取的中药，可适当延长提取时间；而对于含有挥发性成分且有效成分易提取的中药，则可适当缩短提取时间[11]。根据实际操作经验，设置振摇时间分别为 20、

表 1 定量加液的精确度测试结果

Tab.1 Precision Test Results of Quantitative Liquid Addition

测试次数	5 mL 组		20 mL 组		30 mL 组	
	实测体积 /mL	误差[1)]/%	实测体积 /mL	误差[1)]/%	实测体积 /mL	误差[1)]/%
第 1 次	4.88	2.40	20.05	0.25	30.02	0.07
第 2 次	4.96	0.80	20.03	0.15	30.03	0.10
第 3 次	5.08	1.60	20.02	0.10	30.02	0.07
第 4 次	4.92	1.60	20.05	0.25	30.01	0.03
第 5 次	5.02	0.40	20.10	0.50	30.02	0.07
第 6 次	5.12	2.40	20.05	0.25	30.02	0.07
平均值 /mL	5.00	—	20.05	—	30.02	—
RSD[2)]/%	1.87	—	0.14	—	0.02	—

注：[1)] 误差 =|（测得值 － 设定值）|/ 测定值 ×100%；[2)]RSD =（标准偏差 / 平均值）×100%。

60、120 min，超声时间分别为 20、60、120 min，回流时间分别为 60、120、180 min，进行独立测试（定时控制精度：0.1 s，此为控制器内部定时精度，执行机构略有延迟），用秒表进行确认，测量 6 次以确认时间控制的精确度，结果如表 2 所示。可见，振摇、超声、回流时间的实测值与设定值之差低于 10 s，且重复性均小于 0.5%，提示振摇、超声、回流模块的定时控制精确度能满足使用要求。

2.2.4 介质温度控制精确度的确认

提取温度过高会使药物的某些有效成分受到破坏而失效，同时无效成分、辅助成分的浸出量也会增多；而提取温度过低，会导致分子运动变慢，不利于提取。因此，需控制供试品和溶剂受热均匀且保持在恒定的温度范围内，以提高提取效率和冷凝效果[12]。

根据日常经验，在中药检验前处理阶段通过控制介质温度调节提取温度，一般以水为介质；根据常用介质的沸点范围，设置介质温度分别为 45、90、100 ℃，考察随着提取时间的延长，介质温度的波动度能否满足要求。待中药检验前处理智能设备中的介质温度达到平衡后（温度波动度在 ±1 ℃内），用温度计测量水浴中间位置和 4 个角落的温度，将平均值作为实测值，每 10 min 测量 1 次，观察水浴 1 h 期间的温度变化，结果如表 3 所示。可见，介质温度为 45、90 ℃的试验组，温度波动度分别是 0.06、0.16 ℃，说明符合使用要求；而 100 ℃的试验组，温度波动度结果为 1.15 ℃，超过标准值，原因可能是水达到沸点发生汽化的这种不稳定状态会导致介

表 2 时间控制的精确度试验结果

Tab.2 Precision Test Results of Time Control

测试项目	设定时间 /min	指标名称及单位	测试次数							RSD/%
			1 次	2 次	3 次	4 次	5 次	6 次	平均值	
振摇时间	20	实测时间 /s	1 205	1 205	1 203	1 203	1 202	1 203	1 204	0.10
		实测值与设定值之差 /s	5	5	3	3	2	3	—	—
		RD/%	0.21	0.21	0.12	0.12	0.08	0.12	—	—
	60	实测时间 /s	3 607	3 605	3 604	3 606	3 605	3 604	3 605	0.03
		实测值与设定值之差 /s	7	5	4	6	5	4	—	—
		RD/%	0.10	0.07	0.06	0.08	0.07	0.06	—	—
	120	实测时间 /s	7 207	7 205	7 204	7 206	7 205	7 204	7 205	0.02
		实测值与设定值之差 /s	7	5	4	6	5	4	—	—
		RD/%	0.05	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	—	—
超声时间	20	实测时间 /s	1 206	1 205	1 202	1 203	1 202	1 204	1 204	0.14
		实测值与设定值之差 /s	6	5	2	3	2	4	—	—
		RD/%	0.25	0.21	0.08	0.12	0.08	0.17	—	—
	60	实测时间 /s	3 605	3 607	3 604	3 605	3 606	3 604	3 605	0.03
		实测值与设定值之差 /s	5	7	4	5	3	4	—	—
		RD/%	0.07	0.10	0.06	0.07	0.04	0.06	—	—
	120	实测时间 /s	7 206	7 203	7 204	7 206	7 202	7 204	7 204	0.02
		实测值与设定值之差 /s	6	3	4	6	2	4	—	—
		RD/%	0.04	0.02	0.03	0.04	0.01	0.03	—	—
回流时间	60	实测时间 /s	3 605	3 605	3 606	3 606	3 603	3 604	3 605	0.03
		实测值与设定值之差 /s	5	5	6	6	3	4	—	—
		RD/%	0.07	0.07	0.08	0.08	0.04	0.06	—	—
	120	实测时间 /s	7 208	7 206	7 204	7 206	7 205	7 207	7 206	0.02
		实测值与设定值之差 /s	8	6	4	6	5	7	—	—
		RD/%	0.06	0.04	0.03	0.04	0.03	0.05	—	—
	180	实测时间 /s	10 807	10 805	10 804	10 806	10 805	10 804	10 805	0.01
		实测值与设定值之差 /s	7	5	4	6	5	4	—	—
		RD/%	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	—	—

注：RD=（实测值与设定值之差）/（实测值与设定值之和）×100%。

表 3 介质温度控制的精确度测试结果

Tab.3 Precision Test Results of Medium Temperature Control

测试次数	实测温度 /℃		
	45 ℃组	90 ℃组	100 ℃组
第 1 次	45.22	90.48	98.50
第 2 次	45.10	90.28	97.52
第 3 次	45.14	90.16	96.82
第 4 次	45.10	90.30	98.72
第 5 次	45.16	90.28	97.36
第 6 次	45.14	90.36	96.42
温度波动 /℃	0.06	0.16	1.15
RSD/%	0.1	0.45	0.93

注：温度波动 =（实测值 $_{max}$ − 实测值 $_{min}$）/2

质温度波动增大。因此，不建议将介质的沸点温度设置为控温点。在选择其他溶剂作为加热介质时，同样应充分考虑溶剂沸点对温度波动度的影响。

2.2.5 冷凝回流管的对接、分离、清洁确认

中药检测前处理多会用到冷凝回流操作，主要作用是防止反应物或产物因为高温而挥发或氧化，通过冷凝回流功能保证反应连续进行，提高产物的收率和纯度[13]。其中，冷凝管的作用是通过热交换使气体冷却、凝结为液体。冷凝管直接接触样品，因此其清洁效果不仅直接影响试验结果，而且清洁不到位会导致内部结垢、降低热交换效率，还容易积聚细菌和其他微生物[14]。根据实验室日常使用经验，确认中药检验前处理智能设备中冷凝管的对接、分离、清洁功能：样品瓶通过机械手、传送带等多个单元的接力传递，能实现与冷凝回流管的对接；定时加热、冷凝回流处理完成后，样品瓶能通过机械手的作用从冷凝回流管上分离；样品处理结束后，冷凝回流管能自动接入高压水进行喷淋、冲洗。运行确认结果如表 4 所示，可见冷凝回流管的对接、分离、清洁功能均正常运行，能满足日常使用。

对于冷凝管清洁效果的确认，应结合样品属性。本试验中选择较难清洁的药材作为效果确认的代表。合欢花药材的性状特点为头状花序、皱缩成团、稀疏毛茸，易附着在器皿表面，不易清洁，月检测批次也较多；并且，其处理及回流时间均较长，故选用。本次验证试验通过检测清洁用冲洗水（纯化水）的性状、pH 值、电导率、总有机碳（total organic carbon，TOC）和目视可见异物，来判定清洁操作的有效性。其中，TOC 项目用于检测冷凝管清洁后的残留有机物，以确保清洁后的残留成分（包括活性成分、清洁剂、微生物等）不会直接影响产品的质量和安全性。

在合欢花药材前处理结束后，设置冷凝管清洁时间分别为 20、40、60、120、180 min，进行清洁效果验证，结果如表 5 所示。可见，冷凝回流管清洁时间为 20、40 min 时，清洁用水的性状、pH 值、电导率、TOC 项目指标均符合纯化水指标，但可见异物项目结果不符合要求；冷凝管清洁时间设定为 60、120、180 min 时，清洁用水的各项指标均符合使用要求，故建议日常冷凝管在线清洁的时间设置不低于 60 min。与传统手工清洁相比，中药检验前处理智能设备在线清洁的优势在于能够精准控制清洁参数，显著提升清洁结果的稳定性和一致性，同时冷凝管无需拆卸，减少了人工干预，在释放人工的同时减少了人员清洁效果不到位带来的风险，降低了清洁成本、提高了清洁效率。

2.3 中药检验前处理智能设备的应用实例

以合欢花药材为例，分别采用中药检验前处理智能设备和人工方法进行提取，并比较 2 种方法检测结果的一致性，从而判断使用中药检验前处理智能设备的可行性。该智能设备的处理流程如图 3 所示，只需编辑入料存盖系统、综合预处理系统、冷

表 4 冷凝回流管的对接、分离、清洁操作的运行测试结果

Tab.4 Running Test Results of Docking, Separation and Cleaning Operations of the Condensate Return Piping

测试项目	是否正常运行			结论
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	
冷凝管对接	☑ 正常 ☐异常	☑ 正常 ☐异常	☑ 正常 ☐异常	符合规定
冷凝管分离	☑ 正常 ☐异常	☑ 正常 ☐异常	☑ 正常 ☐异常	符合规定
冷凝管清洁	☑ 正常 ☐异常	☑ 正常 ☐异常	☑ 正常 ☐异常	符合规定

表 5　清洁用冲洗水的测试结果

Tab.5　Test Results of Cleaning and Flushing Water

试验组	试验次数	检测指标[1)]				结论
		pH 值	电导率 /(μS·cm^{-1})	TOC/×10^{-6}	可见异物	
清洁 20 min 组	1	8.09	10.05	390	有	不符合规定
	2	8.09	10.05	385	有	
	3	8.08	10.05	389	有	
	SD	**0.01**	**0**	**2.65**	有	
清洁 40 min 组	1	8	9.52	350	有	不符合规定
	2	8	9.55	357	有	
	3	8	9.5	343	有	
	SD	**0**	**0.03**	**7**	有	
清洁 60 min 组	1	7.93	8.76	330	无	符合规定
	2	7.94	8.95	320	无	
	3	7.94	8.74	334	无	
	SD	**0.01**	**0.12**	**7.21**	无	
清洁 120 min 组	1	7.83	8.65	199	无	符合规定
	2	7.83	8.43	205	无	
	3	7.83	8.66	202	无	
	SD	**0**	**0.13**	**3**	无	
清洁 180 min 组	1	7.6	8.55	200	无	符合规定
	2	7.6	8.53	203	无	
	3	7.6	8.56	202	无	
	SD	**0**	**0.02**	**1.53**	无	

注：[1)] 各组清洁用冲洗水均澄清、无色、无嗅。

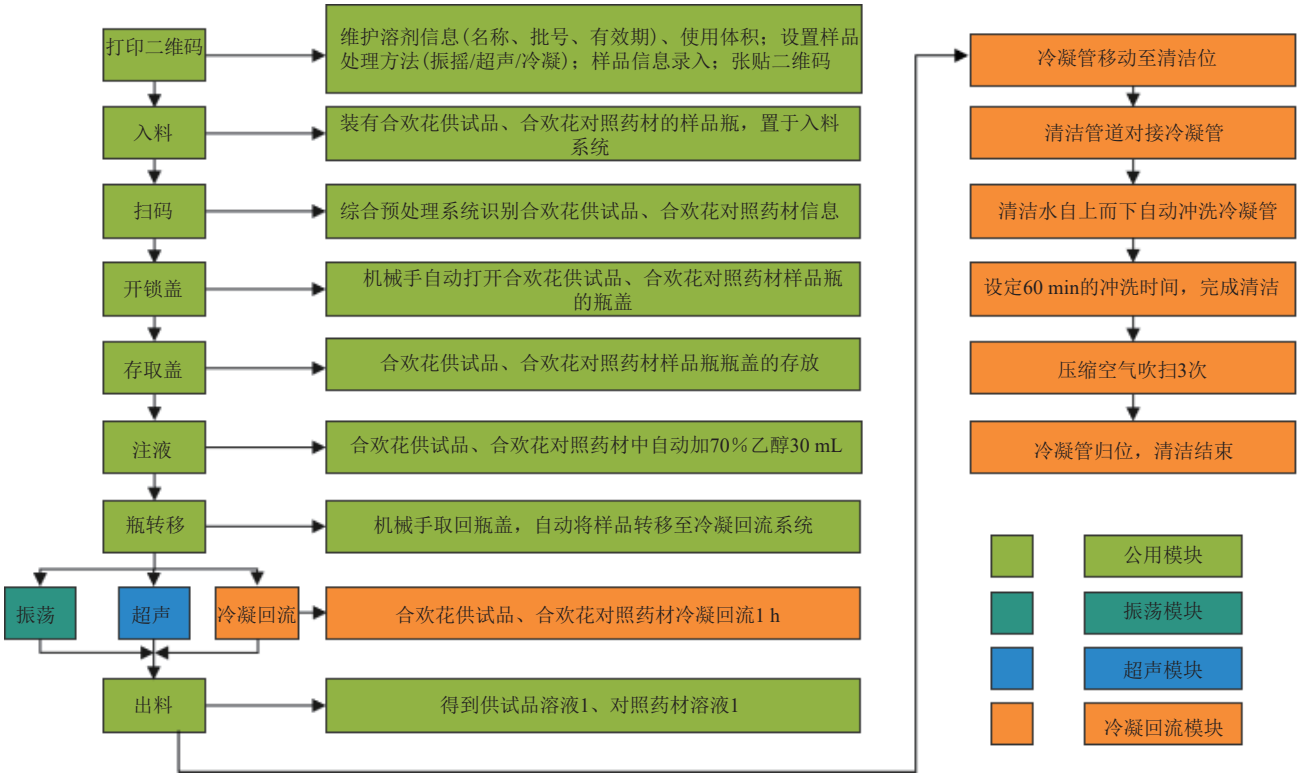


图 3　中药检验前处理智能设备应用的流程图

Fig.3　Flow Chart of Application of Intelligent Equipment for Pretreatment of Traditional Chinese Medicines before Testing

凝回流系统等涉及模块的参数，运行即可完成对合欢花药材的前处理。

2.3.1 人工与智能设备结果一致性的对比

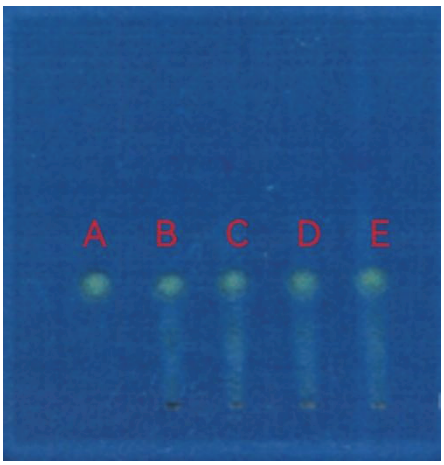
取合欢花粉末 0.6 g，加入 70%乙醇 30 mL，加热回流 1 h，过滤，滤液蒸干，残渣加水 25 mL 使溶解，加入用水饱和的正丁醇振摇提取 2 次，每次 30 mL；合并正丁醇液，蒸干，残渣加甲醇 10 mL 使溶解，作为供试品溶液。另取合欢花对照药材 0.6 g，同法制成对照药材溶液。另取槲皮苷对照品适量，加甲醇制成每 1 mL 含 0.5 mg 的溶液，作为对照品溶液。

根据 ChP 2020 年版一部中合欢花药材鉴别项的要求，照四部通则 0502 薄层色谱法试验。吸取上述溶液各 1 μL，分别点于同一聚酰胺薄膜上，以甲苯、乙酸乙酯、88%甲酸溶液和水（体积比 1 ∶ 8 ∶ 1 ∶ 1）的上层溶液为展开剂，展开，取出，晾干，喷三氯化铝试液（取三氯化铝 1 g，称量范围为 0.6 ～ 1.4 g，加乙醇使溶解成 100 mL，即得），热风吹约 1 min，置紫外光灯（365 nm）下检视。供试品溶液色谱中，在与对照药材溶液色谱和对照品溶液色谱相应的位置上，应显示相同颜色的荧光斑点。

所得合欢花样品的薄层色谱扫描结果如图 4 所示，人工处理与中药检验前处理智能设备处理的供试品溶液、对照药材溶液与对照品溶液的色谱中出现了位置一致且显相同颜色的荧光斑点。该结果表明，人工和中药检验前处理智能设备所得到的前处理检测结果一致，提示中药检验前处理智能设备可用于中药的定性鉴别试验。

2.3.2 人工与中药检验前处理智能设备处理的用时比对

本项下对比人工和中药检验前处理智能设备处理多批次合欢花药材的用时和效率的差异。结果如表 6 所示，人工进行移液和冷凝回流准备的操作用时远高于中药检验前处理智能设备的操作用时。处理 1 批样品，人工操作用时 738 s，而中药检验前处理智能设备操作用时仅 56 s，效率提升 92.41%；处理多批次样品时，12 批药材前处理效率高达 94.40%（设备同时运行最大批量）。数据比对结果表明，中药检验前处理智能设备能够有效、快速地处理多批次检品，实验室可通过合理安排检验任务，提高设备的使用率和运行效率，在保证数据准确性的同时降低人工检测成本，提升检测过程的数据管理水平。



A—槲皮苷对照品；B—合欢花对照药材（中药检验前处理智能设备处理）；C—合欢花样品（中药检验前处理智能设备处理）；D—合欢花对照药材（人工处理）；E—合欢花样品（人工处理）。

图 4 合欢花不同样品的薄层色谱图

Fig.4 TLC Spectra of Different Samples of *Albiziae Flos*

3 总结与讨论

前处理是药品检测的核心环节，前处理中的

表 6 智能设备与人工处理的用时对比结果

Tab. 6 Comparison Results of Time Consumption for Pretreatment Time between Intelligent Device and Manual Processing

批次	器具准备时间 /s	称量时间 /s	移液时间		冷凝回流准备时间		总工时 [1)]		提升效率 [2)]/%
			人工 /s	设备 /s	人工 /s	设备 /s	人工 /s	设备 /s	
1 批	300	169	181	22	557	34	738	56	92.41
3 批	450	457	287	30	860	50	1 147	72	93.03
6 批	680	723	441	2 238	1 330	63	1 771	85	94.29
12 批	950	1 368	721	3 850	2 171	112	2 892	150	94.40

注：[1)] 人工处理和中药检验前处理智能设备处理均需要人工准备器具和称量，故总工时仅统计移液和冷凝回流准备时间；[2)] 提升效率 =（人工总工时 − 设备总工时）/ 人工总工时 ×100%。

操作参数需要根据药品的关键质量属性进行优化和验证。中药所含的活性成分复杂、处理过程不稳定，均会对药品有效性和质量可控性带来影响。提取时间的长短、温度的高低也影响着有效成分的含量及活性，提取温度过高会破坏有效成分，使杂质含量增多，还可能因为容器内的液体沸腾、溢出和污染，导致爆炸等安全隐患，所以要根据药物属性、被提取成分的性质、提取方法等选用合理的提取条件[15]。

本研究选取合欢花为代表药材，以中药检验前处理智能设备与人工处理结果的一致性作为关键质量属性和重要指标，评价处理结果的均匀性和稳定性，选取定量加液精确度、介质温度控制精确度为过程验证指标。结果表明，当加液体积设定为 20 和 30 mL 时，误差和重复性误差远小于标准值。以水作为加热介质，在 45 ～ 90 ℃提取，温度波动范围较小。人工和智能设备处理的检测结果一致，而相较于人工处理，智能设备的处理效率有显著优势。

在中药检验前处理智能设备的基础功能上对合规性、安全性等方面进行升级，不仅能满足 GMP 要求，而且能降低人工处理的安全性风险。此外，通过中药检验前处理智能设备的计算机化系统和审计追踪技术的应用，可以追溯样品前处理全生命周期；对报警信息进行分类，可帮助检验人员更好地对报警信息进行处理和分析，例如除了文字提示外，语音播报功能更加便于操作人员对智能设备进行有效管理和监控；在智能设备中安装内置排风扇，通过挥发性有机化合物（volatile organic compounds，VOCs）仪实时监测设备内部的挥发性有机溶剂浓度并进行及时排放，能有效减少挥发性气体对人体健康和生态环境的危害[16]。

目前，本实验室已对中药检验前处理智能设备进行验证并投入使用，解决了人工前处理不稳定和耗时长的问题。后续还可进一步展开研究，通过升级系统或增加模块功能，增强设备的联动功能。例如：水浴锅增加定时自动排放功能，减少人员手动排放操作；增加萃取、离心、定容等功能，最大程度实现中药前处理过程的智能化、数字化[17]，提高检测质量和效率。随着人工智能、大数据等技术的应用，智能化分析系统能对检测数据进行深度挖掘和分析，未来前处理与检测设备的交互也值得关注和研究。

参考文献：

[1] 韩霄阳. 智能技术在自动化控制系统中的应用 [J]. 电子技术 , 2024, **53**(4): 180-181.

[2] ZHANG X Y, ZHANG X W, LI X, *et al*. Roadmap for modern development of Chinese medicine: traditional, evidence-based, and digital-intelligent paths [J]. *Sci tradit Chin Med*, 2024, **2**(1): 14-19.

[3] 徐柳风 , 王学成 , 易　兵 , 等. 中药材保质增效干燥预处理技术的研究现状、问题及对策 [J]. 中国医药工业杂志 , 2024, **55**(4): 463-474.

[4] 张艳艳 , 韩光明 , 孙　姹. 中药材农药多残留分析中前处理技术的研究 [J]. 现代中药研究与实践 , 2015, **29**(3): 81-84.

[5] 陈青青. 浅谈产品共线生产的风险控制和交叉污染防控 [J]. 机电信息 , 2018, (8): 47-49.

[6] 楼双凤 , 曹　辉 , 张　闯. 药品共线生产问题分析及建议 [J]. 中国医药工业杂志 , 2022, **53**(7): 1062-1065.

[7] 王晓宇 , 吴　萍 , 郭俊霞 , 等. 合欢花本草考证 [J]. 中成药 , 2022, **44**(8): 2613-2618.

[8] VIANA E O R, DA SILVA M J, DA SILVA B P, *et al*. Two new triterpenoid saponins from the flowers of *Albizia lebbeck* [J]. *Nat Prod Res*, 2023, **37**(13): 2151-2160.

[9] 李冬冬 , 石　科. 工业 4.0 视角下 PLC 系统的优化策略 [J]. 化工管理 , 2024, (12): 93-97.

[10] 吕明泉 , 焦书明. 实验室常见有毒有害废液的危害及无害化处理 [J]. 实验技术与管理 , 2006, **23**(4): 123-125.

[11] 苏焕鑫 , 黄凯霞 , 桑延霞. 超声辅助乙醇回流提取黄芩中总黄酮的工艺优化 [J]. 广东化工 , 2016, **43**(24): 19-20.

[12] 王　翼 , 包益桂. 合欢花中多酚提取工艺的研究 [J]. 黑龙江畜牧兽医 , 2015, (8): 214-216.

[13] 梁丹霞 , 顾霞敏 , 许海丹. 合欢花总黄酮不同提取工艺的比较 [J]. 食品与发酵科技 , 2015, **51**(5): 23-26.

[14] 蒋寻寒 , 许昊煜. 凝汽器清洗技术及发展探讨 [J]. 江苏科技新信息 , 2017, (14): 54-55.

[15] 张茂林. 浅谈中药材前处理方法 [J]. 中华临床医学研究杂志 , 2007, **13**(23): 3444-3445.

[16] HOLOPAINEN J K, GERSHENZON J. Multiple stress factors and the emission of plant VOCs [J]. *Trends Plant Sci*, 2010, **15**(3): 176-184.

[17] 朱国雪 , 吴纯伟 , 梁生旺 , 等. 中药质量控制的数字化研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志 , 2016, **22**(11): 225-229.