

二冬汤浸膏粉干燥工艺筛选

袁袁^{1,2}, 帅丽霞^{1,2}, 阮佳², 詹雁², 徐超群^{2*}

(1. 成都中医药大学药学院, 四川 成都 611100; 2. 四川省中医药科学院, 四川 成都 610041)

摘要: 目的 筛选二冬汤浸膏粉干燥方式。方法 分别采用真空干燥、冷冻干燥、喷雾干燥处理浸膏粉, 以松密度、振实密度、相对均齐指数、豪斯纳比率、卡尔指数、颗粒孔隙度、休止角、水分、吸湿性为评价指标, 建立物理指纹图谱。采用 HPLC 法测定芒果苷、金丝桃苷、黄芩苷、汉黄芩苷、甘草酸铵的含量, 单因素试验优化干燥参数。结果 真空干燥、冷冻干燥、喷雾干燥后, 浸膏粉物理指纹图谱相似度分别为 84.26%、94.02%、97.05%, 各成分含量无显著差异。最佳参数为进风温度 120 ℃, 相对药液密度 1.10, 进样体积流量 288 mL/h。结论 喷雾干燥压缩成型性较好, 可用于干燥二冬汤浸膏粉。

关键词: 二冬汤浸膏粉; 干燥工艺; 物理指纹图谱; 含量测定; HPLC; 单因素试验

中图分类号: R943

文献标志码: B

文章编号: 1001-1528(2024)06-2006-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2024.06.039

二冬汤中出自清代程国彭所著《医学心悟》卷三, 收录于《古代经典名方目录(第一批)》第八十首, 方由天冬(去心)二钱, 麦冬(去心)三钱, 花粉一钱, 黄芩一钱, 知母一钱, 甘草五分, 人参五分, 荷叶一钱组成^[1-2]; 具有养阴清热、生津止渴之功效, 主治上消、渴而多饮、肺热咳嗽、痰少等症, 临床上常用于治疗糖尿病、甲状腺功能亢进等^[3]。

中药浸膏粉是中药研究中的重要中间体, 其干燥工艺的不同将直接导致干燥产物理化性质的差异, 进而影响干燥产物最终的品质^[4]。传统干燥方式耗时长、温度高、易破坏热敏性成分, 现代常用的干燥方法有真空干燥、喷雾干燥、冷冻干燥、微波干燥等。干燥方式不同, 中药浸膏粉的物理化学性质往往会存在差异, 采用物理指纹图谱, 以粉体的堆积性、均一性、流动性等指标对粉体质量进行评价^[5]。本实验对二冬汤的不同干燥方式所得浸膏粉性质进行考察, 确定二冬汤的最佳干燥工艺, 为后期二冬汤制剂成型工艺提供参考。

1 材料

1.1 仪器 Agilent 1260 高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司); Xinyi-18 冷冻干燥机(宁波新艺超声设备有限公司); XMTD-8222 真空干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); R-100 旋转蒸发器、B-290 喷雾干燥机(瑞士 Buchi 公司); SB-XS205 电子分析天平(瑞士梅特勒-托利多公司); DZKW-4 水浴锅(北京中兴伟业世纪仪器有限公司)。

1.2 试剂与药物 天冬(产地云南永胜, 批号 120201015)、麦冬(产地四川三台, 批号 220210512)、天花粉(产地江苏泗阳, 批号 320201115)、黄芩(产地河北

围场, 批号 420201113)、知母(产地安徽亳州, 批号 520201122)、甘草(产地甘肃酒泉, 批号 820201112)、人参(产地吉林抚松, 批号 720201014)、荷叶(产地江西石城, 批号 620210811)经四川省中医药科学院舒光明研究员鉴定为正品, 质量均符合 2020 年版《中国药典》要求。芒果苷(批号 110607-201704)、汉黄芩苷(批号 112002-2-1702)、甘草酸铵(批号 110731-201910)对照品纯度均大于 98%, 黄芩苷(批号 110715-202223)、金丝桃苷(批号 111521-201809)对照品纯度均大于 94%, 均购自中国食品药品检定研究院。

2 方法与结果

2.1 浸膏粉制备 称取 1.5 倍处方量药材, 依次加 12、10、10 倍自来水武火煮沸后转文火煎煮, 每次 30 min, 合并 3 次滤液, 在 75 ℃ 下旋转蒸发浓缩至稠膏, 平均分为 3 组, 第 1 组置于真空干燥箱中, 在 60 ℃、-0.08 MPa 条件下真空干燥; 第 2 组在 -38 ℃ 下预冻后置于真空冷冻干燥机中, 在 -90 ℃、真空度 1.8 Pa 条件下冷冻干燥; 第 3 组在进风口温度 120 ℃、进样体积流量 216 mL/h、撞针次数 3 s/次条件下喷雾干燥, 均用破壁机粉碎, 即得。

2.2 指标成分含量测定 采用 HPLC 法。

2.2.1 色谱条件 MS Technologies Target SB-C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相水(含 0.1% 磷酸, A)-乙腈(B), 梯度洗脱(0~5 min, 92~88% A; 5~10 min, 88~85% A; 10~25 min, 85~83% A; 25~28 min, 83~77% A; 28~35 min, 77~75% A; 35~44 min, 75~67% A; 44~46 min, 67~60% A; 46~56 min, 60~58% A; 56~58 min, 58~10% A; 58~63 min, 10% A); 体积流量 1.0

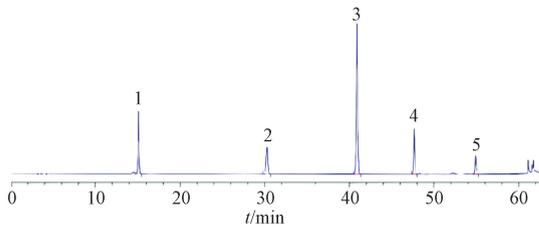
收稿日期: 2023-05-06

作者简介: 袁袁(1999—), 女, 硕士生, 从事中药新制剂、新剂型研究。Tel: 17755220165, E-mail: 2516733679@qq.com

* 通信作者: 徐超群(1964—), 女, 博士, 研究员, 从事中药新药与新型给药系统研究。Tel: (028) 85213973, E-mail: chaoqun_xu@sina.com

mL/min; 柱温 30 ℃; 检测波长 254 nm; 进样量 10 μL。

2.2.2 对照品溶液制备 精密称取芒果苷、金丝桃苷、黄芩苷、汉黄芩苷、甘草酸铵适量，加甲醇溶解，制成质量浓度分别为 23.20、22.44、184.0、37.76、41.14 μg/mL 的溶液，即得。色谱图见图 1。



1. 芒果苷 2. 金丝桃苷 3. 黄芩苷 4. 汉黄芩苷
5. 甘草酸铵

图 1 各成分 HPLC 色谱图 (I)

2.2.3 供试品溶液制备 取浸膏粉约 0.5 g，精密称定，加入 25 mL 甲醇，称定质量，超声处理 30 min，冷却，甲醇补足减失的质量，过 0.45 μm 微孔滤膜，即得。

2.2.4 阴性样品溶液制备 取 1.5 倍处方量药材，按前期考察的最优工艺制备缺知母、缺黄芩、缺甘草、缺荷叶的阴性样品，按“2.2.3”项下方法制备，即得。

2.2.5 方法学考察

2.2.5.1 线性关系考察 精密量取“2.2.2”项下对照品溶液 0.5、1、2、2.5、5 mL，置于 5 mL 量瓶中，甲醇稀释并定容至刻度，得到系列质量浓度，在“2.2.1”项色谱条件下进样测定。以对照品质量浓度为横坐标 (X)，峰面积为纵坐标 (Y) 进行回归^[6]，结果见表 1，可知各成分在各自范围内线性关系良好。

2.2.5.2 精密度试验 取“2.2.2”项下对照品溶液适量，在“2.2.1”项色谱条件下进样测定 6 次，测得芒果苷、金

表 1 各成分线性关系

成分	回归方程	R ²	线性范围/(mg·mL ⁻¹)
芒果苷	$Y=34\ 022X-24\ 034\ 0$	0.999 3	0.002 32~0.023 2
金丝桃苷	$Y=27\ 102X-4\ 009\ 8$	0.999 9	0.002 24~0.022 4
黄芩苷	$Y=13\ 283X+8\ 361\ 8$	0.999 2	0.018 49~0.184 9
汉黄芩苷	$Y=17\ 385X-0\ 620\ 3$	0.999 8	0.003 78~0.037 8
甘草酸铵	$Y=7\ 337.7X-5\ 584\ 6$	0.999 9	0.004 11~0.041 1

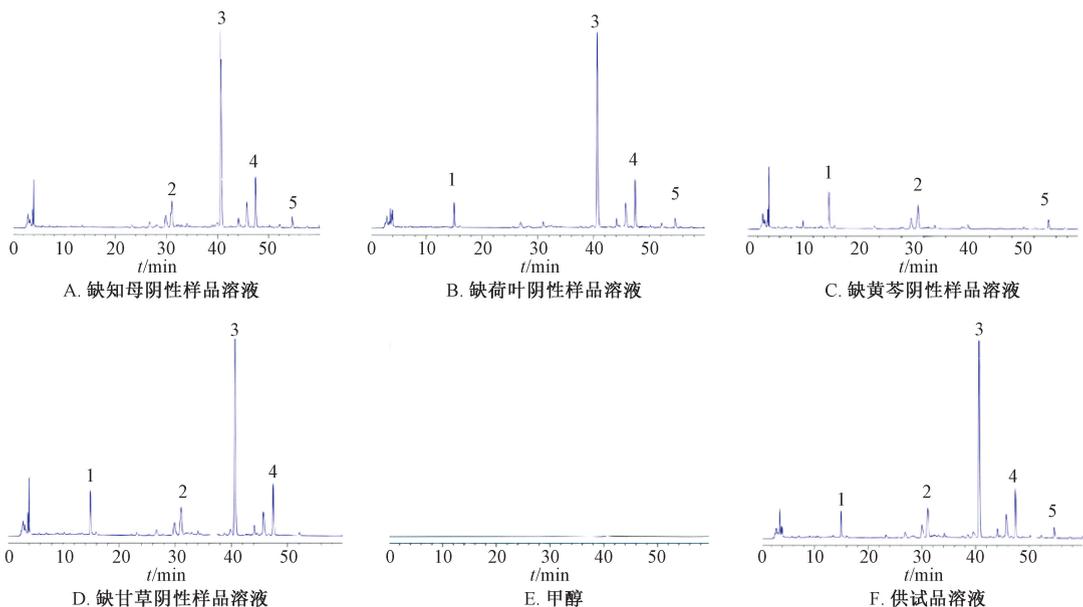
丝桃苷、黄芩苷、汉黄芩苷、甘草酸铵峰面积 RSD 分别为 0.76%、0.64%、1.29%、1.02%、0.44%，表明仪器精密度良好。

2.2.5.3 稳定性试验 取“2.2.3”项下供试品溶液适量，室温下于 0、2、4、8、12、24 h 在“2.2.1”项色谱条件下进样测定，测得芒果苷、金丝桃苷、黄芩苷、汉黄芩苷、甘草酸铵峰面积 RSD 分别为 1.74%、2.65%、0.96%、1.20%、1.48%，表明溶液 24 h 内稳定性良好。

2.2.5.4 重复性试验 取同一份本品适量，按“2.2.3”项下方法平行制备 6 份供试品溶液，在“2.2.1”项色谱条件下进样测定，测得芒果苷、金丝桃苷、黄芩苷、汉黄芩苷、甘草酸铵峰面积 RSD 分别为 1.33%、2.95%、0.26%、0.74%、1.73%，表明该方法重复性良好。

2.2.5.5 加样回收率试验 取各成分含量已知的供试品溶液 6 份，每份 1 mL，精密加入适量对照品溶液，在“2.2.1”项色谱条件下进样测定，计算回收率。结果，芒果苷、金丝桃苷、黄芩苷、汉黄芩苷、甘草酸铵平均加样回收率分别为 99.62%、102.30%、103.24%、102.86%、102.48%，RSD 分别为 0.83%、0.47%、0.08%、0.02%、0.03%。

2.2.5.6 专属性试验 取甲醇、供试品溶液、阴性样品溶液适量，在“2.2.1”项色谱条件下进样测定，结果见图 2。由此可知，阴性无明显干扰，表明该方法专属性良好。



1. 芒果苷 2. 金丝桃苷 3. 黄芩苷 4. 汉黄芩苷 5. 甘草酸铵

图 2 各成分 HPLC 色谱图 (II)

2.2.6 样品含量测定 取3种干燥方法所得浸膏粉适量,按“2.2.3”项下方法制备供试品溶液,在“2.2.1”项色谱条件下进样测定,计算含量,结果见表2。由此可知,不同干燥方法下各成分含量无显著差异。

表2 各成分含量测定结果 (mg/g)

干燥方法	芒果苷	金丝桃苷	黄芩苷	汉黄芩苷	甘草酸铵
减压干燥	1.14	1.17	17.60	3.48	1.18
冷冻干燥	1.13	1.18	16.61	3.51	1.05
喷雾干燥	1.15	1.20	18.09	3.64	1.19

2.3 物理指纹图谱建立 以堆积性、流动性、可压性、稳定性、均一性为一级评价指标,松密度(Da)、振实密度(Dc)、干燥失重(MC)、吸湿率(H)、豪斯纳比(IH)、休止角(α)、颗粒间孔隙率(Ie)、卡尔指数(IC)、相对均齐指数(I0)为二级指标,其数值范围及转化方法见表3。

表3 物理指标数值范围及转换方法

一级指标	二级指标	单位	数值范围	转换公式
堆积性	Da	$g \cdot mL^{-1}$	0~1	$10x$
	Dc	$g \cdot mL^{-1}$	0~1	$10x$
流动性	IH	—	3~1	$(30-10x)/2$
	α	$^{\circ}$	50~0	$10-(x/5)$
可压性	Ie	—	0~1.2	$10x/1.2$
	IC	—	0~50	$x/5$
稳定性	HR	%	10~0	$10-x$
	H	%	20~0	$10-(x/2)$
均一性	I0	—	0~0.02	$1\ 000x$

注: x 为二级指标实测值。

表4 物理指标标准化转换结果 ($n=3$)

干燥方法	堆积性		流动性		可压性		稳定性		均一性
	Da/ $(g \cdot mL^{-1})$	Dc/ $(g \cdot mL^{-1})$	IH	$\alpha/(^{\circ})$	Ie	IC/%	MC/%	H/%	I0
真空干燥	6.68	7.88	9.11	4.69	1.92	3.04	3.11	4.77	3.24
冷冻干燥	5.15	6.77	8.40	4.70	3.86	4.80	2.85	5.23	5.37
喷雾干燥	3.66	5.21	7.65	3.17	7.53	6.40	3.42	3.64	8.27

2.3.2 粉体学性质研究 表4显示,喷雾干燥后Da、Dc明显小于真空干燥、冷冻干燥,其流动性、堆积性也更差;喷雾干燥后Ie、IC最大,其原因是它通过喷嘴将液体分散成为小液滴,再经高温空气等干燥介质与小液滴进行热交换,使得溶剂迅速蒸发而得到干燥粉末,故其颗粒较细,孔隙率较大,收到压力后变形能力较强。另外,3种干燥方

2.3.1 物理指标测定

2.3.1.1 Da、Dc 取任一体积量筒,称定其质量 W_1 ,缓慢地加入浸膏粉并平整其表面,称定量筒和粉末的总质量 W_2 ,读取量筒体积 V ,计算Da,公式为 $Da=(W_2-W_1)/V$ 。将装有浸膏粉的量筒以2 s/次频率上下振动200次,读取体积,除以浸膏粉质量,即为 $Dc^{[7-8]}$ 。

2.3.1.2 IH 公式为 $IH=Dc/Da$ 。

2.3.1.3 IC 公式为 $IC=(Dc-Da)/Dc_0$ 。

2.3.1.4 Ie 公式为 $Ie=(Dc-Da)/(Dc \times Da)$ 。

2.3.1.5 α 采用固定漏斗法测定,公式为 $\alpha=\arctan(H/R)$,其中 H 为高度, R 为半径。

2.3.1.6 MC 采用2020年版《中国药典》中的“烘干法”测定。

2.3.1.7 I0 将1~9号药典筛按孔径从小到大叠好,称定浸膏粉质量后缓慢倒入药典筛中,振荡5 min,记录截留粉末质量,计算I0,公式为 $I0=F_m/[100+(d_m-d_{m-1})F_{m-1}+(d_{m+1}-d_m)F_{m+1}+\dots+(d_{m+n}-d_m)F_{m+n}]$,其中 F_m 是粉末粒径在多数范围的质量百分比, d_m 是指多数粒径范围内的粉末平均粒径^[9]。

2.3.1.8 H 将氯化钠过饱和溶液置于25℃恒温箱中平衡48 h,使其容器内部相对湿度达75%。精密称取浸膏粉适量,放入干燥器中24 h后称定质量,使其在恒定温度和相对湿度下吸收水分,以达到恒定的质量,再计算H。

2.3.1.9 结果 对上述9个二级指标的实验值进行标准化处理后求得平均值,结果见表4。

法稳定性均较差。

2.3.3 图谱生成 对物理指标标准化后,采用雷达图展示不同干燥方法下物理指纹图谱,见图3,但由于其形状各异,难以直观区分,故采用夹角余弦法计算其相似度^[10]。结果,喷雾干燥、真空干燥、冷冻干燥相似度分别为84.26%、94.02%、97.05%,即其物理指纹图谱存在差异。

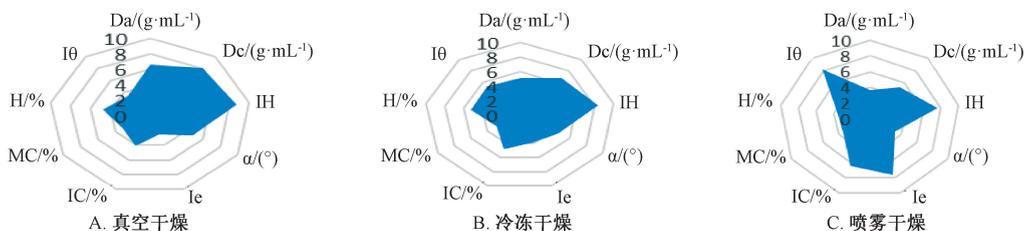


图3 二冬汤浸膏粉物理指纹谱

2.4 压缩成型性研究 可压性评价指数用于评价药物本身压缩成型的可能性,包括参数指数(IP)、参数轮廓指数

(IPP)、良好可压性指数(IGC)^[11],其中IP是半径 ≥ 5 的物理参数数量占总量的百分比,IPP是所有参数的半径的

平均值, IGC 计算公式为 $IGC = IPP \times f$ [f 为正多边形面积除以圆的面积 (半径为 10)], 由于本实验采用 9 个物理参数, 故设定 f 值为 0.921。5 个一级指标计算结果见表 5, 可知真空干燥、冷冻干燥均具有良好的堆积性和流动性, 而喷雾干燥具有良好的可压性和均一性。另外, 当 $IP > 0.5$ 、

IPP 和 $IGC \geq 5$ 时, 粉体具有较好的压缩成型性; $IP < 0.5$, IPP 和 IGC 在 3~5 时, 粉体压缩成型性较差^[12-13], 而本实验中喷雾干燥压缩成型性较好, 故选择其作为二冬汤浸膏粉干燥方法, 有利于直接压片。

表 5 压缩成型性考察结果 (n=3)

干燥方法	堆积性	流动性	可压性	稳定性	均一性	IPP	IP	IGC
真空干燥	7.28	6.90	2.48	3.94	3.24	4.94	0.33	4.55
冷冻干燥	5.96	6.55	4.33	4.04	5.37	5.24	0.55	4.83
喷雾干燥	4.44	5.41	6.97	3.53	8.27	5.44	0.55	5.02

2.5 干燥参数筛选

2.5.1 评价指标测定 得粉率计算公式为得粉率 = (干燥粉末质量 × 100 / 药材总量 × 出膏率) × 100。

2.5.2 相对密度测定 将煎液减压浓缩至不同的密度, 在进风口温度 120 °C、进样体积流量 216 mL/h、撞针次数

3 s/次条件下进行喷雾干燥^[14], 按“2.2.3”项下方法制备供试品溶液, 在“2.2.1”项色谱条件下进样测定, 计算含量、水分、得粉率, 结果见表 6。综合各成分含量与得粉率, 选择 1.10 作为相对密度。

表 6 相对密度对各成分含量的影响

相对密度	芒果苷/mg	金丝桃苷/mg	黄芩苷/mg	汉黄芩苷/mg	甘草酸铵/mg	得粉率/%	水分/%
1.05	7.60	10.00	159.33	32.27	11.53	67.93	5.14
1.10	8.97	11.24	179.31	36.26	13.32	73.93	4.82
1.15	5.82	7.67	123.99	24.96	9.44	51.66	5.11
1.20	4.11	5.58	88.61	18.11	6.62	37.52	5.54

2.5.3 进风温度考察 将煎液减压浓缩至相对密度 1.05, 在不同进风口温度、进样体积流量 216 mL/h、撞针次数 3 s/次条件下进行喷雾干燥, 按“2.2.3”项下方法制备供试

品溶液, 按“2.2.1”项下色谱条件进样, 计算含量、水分、得粉率, 结果见表 7。综合各成分含量与得粉率, 选择 120 °C 作为进风温度。

表 7 进风温度对各成分含量的影响

进风温度/°C	芒果苷/mg	金丝桃苷/mg	黄芩苷/mg	汉黄芩苷/mg	甘草酸铵/mg	得粉率/%	水分/%
110	11.44	11.46	168.49	34.69	11.09	80.44	6.85
120	12.13	12.23	182.75	37.13	12.22	84.83	6.36
130	10.45	11.11	166.59	34.26	10.98	79.11	4.52
140	11.46	10.42	186.20	37.04	13.62	80.57	4.61
150	11.57	11.08	183.90	36.41	13.74	78.52	4.81
160	9.71	9.97	171.23	33.43	13.83	74.73	4.76

2.5.4 进样体积流量考察 将煎液减压浓缩至 1.05, 在进风口温度 120 °C、撞针次数 3 s/次以下不同体积流量进行喷雾干燥, 按“2.2.3”项下方法制备供试品溶液, 在

“2.2.1”项色谱条件下进样测定, 计算含量、水分、得粉率, 结果见表 8。综合各成分含量及得粉率, 选择 288 mL/h 作为进样体积流量。

表 8 进样体积流量对各成分含量的影响

进样体积流量/(mL·h ⁻¹)	芒果苷/mg	金丝桃苷/mg	黄芩苷/mg	汉黄芩苷/mg	甘草酸铵/mg	得粉率/%	水分/%
216	11.90	14.66	209.23	43.42	14.24	61.28	6.83
252	11.98	15.18	227.16	47.00	15.73	67.88	4.82
288	12.81	15.66	233.62	48.39	16.03	68.13	5.71
324	8.83	10.45	158.40	32.64	11.16	45.56	6.18

3 讨论

中药制剂须通过提取、浓缩和干燥方可制备成型, 而在整个中药制剂生产过程中, 中药中间体的质量控制往往被忽视, 不同制备工艺会对其性质产生不同的影响, 从而对后续制剂的成型性、稳定性与安全性产生影响。本实验采用 HPLC 指纹图谱和物理指纹图谱评价 3 种干燥方式下二冬汤物理化学性质的变化, 采用质量源于设计的思想对中药整体进行把控, 从物理化学方面充分考察了不同干燥

方式对二冬汤性质的影响, 最终确定喷雾干燥为二冬汤的干燥方式, 物理指纹图谱采用 9 个二级指标对粉体性质进行考察, 其中 Da、Dc 表征粉末的堆积性, IH、α 表征流动性, Ie、IC 表征可压性, MC、H 表征稳定性, I0 表征粉末稳定性。本实验结果表明, 喷雾干燥粉末粒径小, 比表面积大^[15], 制得的粉末可压性与均一性均较好, 可直接进行压片。在后续制剂成型工艺中, 可采用干法制粒, 减少辅料的用量, 缩短工艺流程, 且喷雾干燥质量可控性好、干

燥时间短,适用于工业生产及热敏性物质的干燥^[16-17]。

由8种药材组成的二冬汤,具有滋阴降火、解渴止烦的功效,因此在临床应用中,常被用于治疗糖尿病。现代研究表明,知母中的芒果苷可以通过影响胰岛素水平和敏感性,改善胰岛素抵抗等方式,起到改善糖代谢、辅助降血糖作用^[18-19]。黄芩中的黄芩苷和汉黄芩苷能够提高人体内谷胱甘肽过氧化物酶(GPx)的活性,同时还能降低三酰甘油和总胆固醇的含量,从而达到改善血糖的目的^[20]。甘草中的甘草酸铵可降低胰岛素抵抗,增强肝脏糖代谢,具有较好的抗糖尿病、抗炎和抗动脉粥样化作用^[21-22]。本试验以上述成分含量、得粉率、水分为指标,采用单因素法对喷雾干燥的药液相对密度、进风温度、进样体积流量进行考察,确定喷雾干燥条件范围,为后续喷雾干燥辅料的选择、条件的优化以及构建实际生产设计空间提供参考。

参考文献:

[1] 国家中医药管理局. 古代经典名方目录(第一批)[EB/OL]. [2022-02-02]. <http://kjs.satcm.gov.cn/zhengcewenjian/2018-04-16/7107.html>.

[2] 程国彭. 医学心悟[M]. 北京: 人名卫生出版社, 1971: 105-107.

[3] 徐雯珺, 华文进, 陈慧, 等. 滋水清肝饮加减联合二冬汤加减对糖尿病合并甲状腺功能亢进症患者内分泌代谢的影响[J]. 陕西中医, 2022, 43(6): 736-739.

[4] 王玉, 李希, 冯建安, 等. 多指标测定和物理指纹图谱评价冰硼痔疮栓浸膏粉干燥工艺[J]. 中成药, 2022, 44(11): 3632-3635.

[5] 张毅, 徐冰, 孙飞, 等. 中药提取物粉末物理指纹谱研究及应用[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(12): 2221-2227.

[6] 欧则民, 王锦玉, 张冰冰, 等. 基于AHP-CRITIC优选茯苓舒痉颗粒的提取工艺[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(13): 3481-3487.

[7] 陈江平, 徐东婷, 李玲, 等. 干燥方式对桃核承气汤浸膏粉物理指纹图谱及指标成分的影响[J]. 药品评价, 2022, 19(13): 779-784.

[8] 余欣彤, 黎桃敏, 施文婷, 等. 干燥方式对板蓝根浸膏粉HPLC及物理指纹图谱的影响[J]. 现代中药研究与实践,

2022, 36(1): 66-71.

[9] 王瑜婷, 徐东婷, 邓桂海, 等. 干燥方式对黄连浸膏粉物理指纹图谱和有效成分的影响[J]. 广东药科大学学报, 2022, 38(1): 63-69; 74.

[10] 孙兴, 刘建, 阮佳, 等. 干燥工艺对黄芪桂枝五物汤粉体的物理指纹图谱和有效成分影响研究[J]. 中国医院药学杂志, 2020, 40(3): 296-300.

[11] 杨祺, 汪月晗, 孙萍. 两种中药提取物粉体学性质与粉末直压成形性研究[J]. 中国处方药, 2023, 21(2): 31-34.

[12] 周蔚昕, 刘涛, 刘钱, 等. 川芎饮片标准汤剂的HPLC及物理指纹图谱研究[J]. 中草药, 2018, 49(21): 5107-5115.

[13] 刘涛, 付春梅, 唐玉, 等. 不同干燥方式对桑枝提取物物理指纹图谱及其总黄酮含量的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(3): 34-38.

[14] 厉娜, 尚金燕, 李桂荣. 加味天麻胶囊干燥工艺研究[J]. 人参研究, 2018, 30(3): 33-34.

[15] 戴胜云, 杨茂蕊, 李文静, 等. 喷雾干燥在中药粉体研究中的应用进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(14): 200-208.

[16] 王单单, 林帅军, 白淑贤, 等. 基于多指标综合评价法优选连葛消渴提取液喷雾干燥工艺[J]. 中国现代应用药学, 2022, 39(15): 1962-1966.

[17] 谢谭芳, 何结思, 程哲, 等. 滇桂艾纳香配方颗粒喷雾干燥工艺的优化[J]. 中成药, 2022, 44(5): 1575-1579.

[18] 陈煜, 张雪映, 王烁今, 等. 芒果苷的药理作用研究进展[J]. 海峡药学, 2019, 31(6): 31-33.

[19] 常鑫鑫, 陈香茗, 李倩, 等. 基于指纹图谱结合网络药理学的知母质量标志物预测分析[J]. 中国现代应用药学, 2023, 40(5): 603-612.

[20] 龚发萍, 郑鸣. 黄芩的化学成分及药理作用[J]. 临床合理用药杂志, 2021, 14(34): 176-178.

[21] 李娜, 张晨, 钟赣生, 等. 不同品种甘草化学成分、药理作用的研究进展及质量标志物(Q-Marker)预测分析[J]. 中草药, 2021, 52(24): 7680-7692.

[22] 肖先, 李春燕, 刘晓龙, 等. 甘草的主要化学成分及药理作用研究进展[J]. 新乡医学院学报, 2023, 40(3): 280-285.