· 中药研究 ·

层次分析法 – 熵权法结合正交试验优化龙葵素膏成型工艺

褚平铵[1],郝江峰[1],彭腾腾[1],石晓峰[2],谢兴文[3],李宁[1,3*],宋鹏[3]
(1. 甘肃中医药大学,甘肃 兰州 730000;2. 甘肃省医学科学研究院,甘肃 兰州 730050;
3. 甘肃中医药大学附属医院,甘肃 兰州 730000)

摘要 目的:优化龙葵素膏成型工艺。方法:采用乙醇 – 乙酸双溶剂法从马铃薯皮中提取龙葵素中主要成分 α – 茄碱后,使用高效液相色谱法对其进行含量测定;以黏度值和主观评价为指标综合评分,采用层次分析法 – 熵权法确定各评价指标的权重系数,通过单因素试验和正交试验分别考察凡士林、羊毛脂、蜂蜡的用量对龙葵素软膏品质的影响,优选最佳成型工艺参数。结果:高效液相色谱法测得马铃薯皮中 α – 茄碱的含量为 14.81 mg·g^{-1};优选得到龙葵素膏油性基质的最佳配比为凡士林用量 10 g,羊毛脂用量 0.75 g,蜂蜡用量 0.55 g。结论:龙葵素膏成型工艺合理可行,制得的成品均匀细腻,延展性、耐热耐寒性、稳定性均较好,可为龙葵素的开发及应用提供理论依据。

关键词 马铃薯;龙葵素;龙葵素膏;层次分析法 – 熵权法;成型工艺
中图分类号:R285 **文献标识码**:A **文章编号**:1002 – 2392(2025)07 – 0025 – 06
DOI:10.19664/j.cnki.1002 – 2392.250136

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是茄科(Solanaceae)茄属(*Solanum*)的一年生草本植物,在我国广泛栽培和食用,马铃薯的皮、芽条及果实中富含龙葵素,可作为提取龙葵素的原料[1]。龙葵素(Solanine)是马铃薯发芽、变绿、溃烂时,植物自我保护产生的一种消灭病虫害的有毒物质,人食入超过 200 mg·kg^{-1}龙葵素可引起中毒,加热能解除毒性[2]。龙葵素在马铃薯皮和芽中的含量最高,是包含多种成分的混合物,其主要成分为 α – 茄碱(α – solanine)和 α – 卡茄碱(α – chaconine),约占龙葵素含量的 95%,其中含量最高的为 α – 茄碱[3]。

研究表明,龙葵素可通过抑制细胞增殖、促进细胞凋亡、减少血管生成因子表达等多种机制治疗癌症;可通过抑制 NF – κB、AKT、ERK1/2 及 STAT1 等信号通路抑制炎症因子的释放治疗炎症,其在消肿、抗肺动脉高压、治疗糖尿病等多个领域取得进展,治疗前景广阔[4]。课题组前期研究发现,龙葵素膏外敷可有效缓解膝关节滑膜炎相关症状,降低血清中炎症因子的水平[5-6],但存在黏附性和稳定性差、不易保存等缺憾,使得临床使用受到限制,故有必要对其进行剂型改造。软膏剂是常用的外用剂型之一,具有黏附性好、附着力强等优点,外敷可有效避免细菌感染及首过效应,药效发挥缓和持久[7]。由于龙葵素自身具有毒性,为了避免药物释放过快,增加皮肤刺激性、过敏性,出于用药安全的考虑,本实验选择药物释放速率较缓慢的油性基质制作软膏。本实验旨在从马铃薯皮中提取龙葵素,在原药物有效成分(龙葵素、松香、樟脑、蜂蜜)配比不变的情况下,运用层次分析法 – 熵权法(Analytic hierarchy process – entropy weight method, AHP – EWM)结合正交试验对龙葵素膏的成型工艺进行优化,并对最终成品的透皮效率进行考察,以期为龙葵素的临床使用和马铃薯资源的开发利用提供参考依据。

1 材料

1.1 试剂与药材

马铃薯(产于甘肃省定西市);α 茄碱(Merck 公司,批号 C15469823);松香(河北仁心药业有限公司,批号 86423001);樟脑(江苏嘉福制药有限公司,批号 C01 – 2023 – 0210);凡士林(德州领鑫医疗科技有限

收稿日期:2024 – 08 – 21 **修回日期**:2025 – 04 – 02
基金项目:国家自然科学基金地区科学基金项目(82060873);兰州市人才创新创业项目(2021 – RC – 88);甘肃省中医药管理局项目(GZK – 2019 – 25)
作者简介:褚平铵(1999 –),男,硕士研究生,研究方向:中医药防治骨关节疾病。
*通信作者:李宁(1974 –),女,博士,主任医师,博士生导师,研究方向:中医药防治骨关节疾病。

公司,批号 230803;蜂蜜(延边宝利祥蜂业股份有限公司,批号 2206101);羊毛脂(天津市致远化学试剂有限公司,批号 20230201802);蜂蜡(河北仁心药业有限公司,批号 79523002);磷酸二氢钾(北京红星化工厂,批号 850309 - 1);色谱甲醇(德国默克公司,I1231649512);色谱乙腈(德国默克公司,SHBK1025);无水乙醇(天津市百世化工有限公司,20231015,分析纯);冰乙酸(天津市泰兴试剂厂,20030419)等。

1.2　主要仪器

Agilent 1220 型高效液相色谱仪(Agilent 公司);DVNextCP 锥板黏度计流变仪[Brookfield 博勒飞(美国)];HH. S21 - 6 型电热恒温水浴锅(上海博迅实业有限公司医疗设备厂);AE - 260 型万分之一分析天平(瑞士 Mettle Toledo 公司);CXP - 100 型高速多功能粉碎机(上海晟喜制药机械有限公司产品)。

2　方法与结果

2.1　龙葵素浸膏的制备

将新鲜马铃薯皮(片厚 2 ~ 3 mm,含水率 84.86%)置于烘箱中,60 ℃烘干,粉碎,得马铃薯皮粉末。取适量马铃薯皮粉末置于大小适宜的圆底烧瓶中,按料液比 2∶13(W/V),加入一定量的乙醇 - 乙酸混合液(V/V = 10∶3),70 ℃水浴回流 16 h,滤过,收集滤液,55 ℃回收溶剂,即得龙葵素浸膏(浸膏得率为 6.36%),备用[8-9]。

2.2　色谱条件

色谱柱:Eclipse plus C18(4.6 mm × 250 mm,5 μm);流动相 CH_3CN∶KH_2PO_4(0.02 mol · L^{-1}) = 22∶78(V/V);流速 0.6 mL · min^{-1};检测波长 208 nm;柱温 25 ℃;进样量 20 μL[10-11]。

2.3　溶液制备

2.3.1　对照品溶液

精密称取 α - 茄碱标准品 5.07 mg,置于 5 mL 容量瓶中,加甲醇将其定容至刻度,摇匀,经 0.45 μm 滤膜滤过,取续滤液,即得对照品溶液。

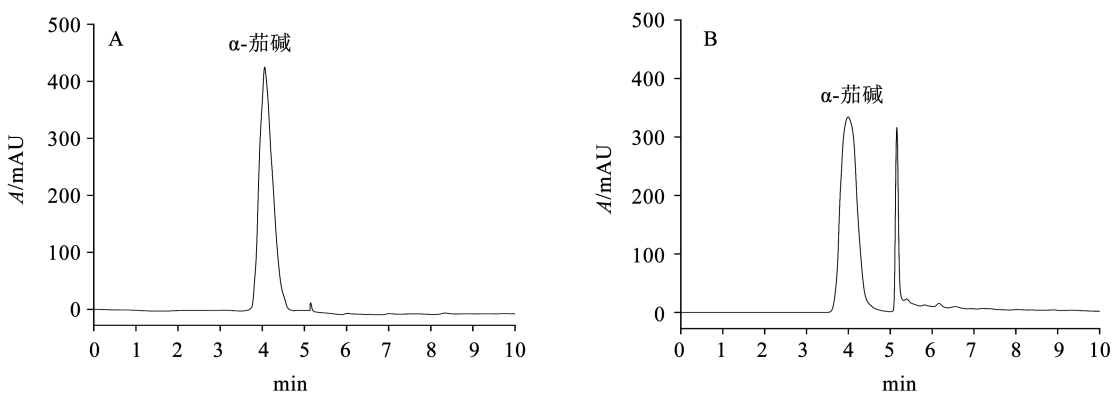
2.3.2　供试品溶液

精密称定马铃薯皮粉末 2.0 g,置于 20 mL 圆底烧瓶中,加入乙醇 - 乙酸溶液(10∶3,V/V)13 mL,称重,70 ℃水浴回流 16 h,冷却后补足失重,经 0.45 μm 滤膜滤过,得续滤液,精密移取续滤液 10 mL 提取液于蒸发皿中,70 ℃水浴蒸干,用甲醇复溶后,转移至 10 mL 容量瓶中,加甲醇定容至刻度,摇匀,经 0.45 μm 滤膜滤过,取续滤液,即得供试品溶液。

2.4　方法学考察

2.4.1　系统适用性试验

精密吸取对照品溶液和供试品溶液各 20 μL,依照“2.2”项色谱条件进样检测,记录色谱图。结果表明,龙葵素的色谱峰与其相邻色谱峰的分离度均 > 1.5,保留时间为 4.18 min。理论塔板数以 α - 茄碱计 > 3 500,色谱图见图 1。



注:A. 对照品;B. 供试品。

图 1　对照品和供试品的高效液相色谱图

2.4.2　精密度试验

精密吸取对照品溶液(含 α - 茄碱 1.014 mg·mL^{-1})20 μL,依照“2.2”项色谱条件进样测定 6 次,测得 α - 茄碱含量的 *RSD* 为 3.67%,表明仪器精密度良好。

2.4.3　线性关系考察

分别精密移取对照品溶液 0.02、0.04、0.1、0.2、0.4、1.0、2.0 mL 置于 2 mL 容量瓶中,加甲醇定容到刻度,摇匀,制得系列浓度 α - 茄碱标准品溶液。依照“2.2”项色谱条件下,测定不同浓度下 α - 茄碱的峰面积,以 α - 茄碱标准品溶液的浓度为横坐标(X,mg·L^{-1}),峰面积为纵坐标(Y),得标准曲线方程为 $Y = 105\,488X + 8 \times 10^7$,$R^2 = 0.997\,0$。

2.4.4　重复性试验

精密称定马铃薯皮粉末 2.0 g,平行 6 份,按“2.3.2”项下方法制备供试液,依照“2.2”项色谱条件,测定 α - 茄碱峰含量的 *RSD* 为 2.92%,说明该方法重复性良好。

2.4.5 稳定性试验

精密称定马铃薯皮粉末 2.0 g，按“2.3.2”项下方法制备供试液，分别放置 0、2、4、6、8、12、24 h 后，依照“2.2”项色谱条件，进样测定 α－茄碱的峰面积，计算 *RSD* 值。结果显示，α－茄碱含量 *RSD* 为 1.25%，说明该溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.4.6 加样回收试验

精密称取已测知含量的马铃薯皮粉末 1.0 g，平行 6 份，分别置于 50 mL 圆底烧瓶中，按 α－茄碱含量的 100%，精密加入对照品溶液适量，按“2.3.2”项下方法制备供试品溶液，依照“2.2”项色谱条件进样测定，计算回收率。结果显示，α－茄碱平均加样回收率为 96.33%，*RSD* 为 3.97%。

2.5 含量测定

精密称定马铃薯皮粉末 2.0 g，平行 3 份，按“2.3.2”项下方法制备供试液，依照“2.2”项下方法进样测定，用回归方程计算 α－茄碱的含量。结果显示见表 1，3 批马铃薯皮粉末中 α－茄碱的含量分别为 14.80 mg·g^{-1}、14.85 mg·g^{-1}、14.79 mg·g^{-1}，平均含量为 14.81 mg·g^{-1}。

表 1 马铃薯皮粉末中 α－茄碱含量(mg·g^{-1})

批次	α－茄碱含量
20230918－1	14.80
20230918－2	14.85
20230918－3	14.79

2.6 龙葵素膏制备与质量评价

2.6.1 龙葵素膏的制备

(1)各药物和辅料熔化温度测定：将制备软膏各成分放于烧杯中，从 20 ℃开始加热，每次增加 5 ℃，记录各药物和辅料的熔化温度。

(2)龙葵素膏制备流程：根据表 2 中的熔化温度，将药物进行分组，A 组：松香、樟脑；B 组：蜂蜜、凡士林、羊毛脂、蜂蜡；C 组：龙葵素浸膏。龙葵素膏制备流程为将 A 组药物制成粗粉后，置于烧杯中混匀，加热至 170 ℃熔化，随即加入 B 组药物，调节温度至 80 ℃，匀速搅拌，至完全熔化后停止加热，再加入 C 组药物，搅拌冷却至室温，即得龙葵素膏。

表 2 龙葵素膏成分熔化温度(℃)

药物和辅料	熔化温度
松香	165
樟脑	－
松香＋樟脑	170
凡士林	75
羊毛脂	55
蜂蜡	80
蜂蜜	45

2.6.2 龙葵素膏质量评价指标

本试验在 2020 版《中国药典》软膏剂质量评价标准和相关文献[12－14]的基础上，建立了龙葵素膏的质量评价标准，见表 3。

(1)外观性状：肉眼观察龙葵素膏是否混合均匀、有无分层。

(2)涂展试验：取 1.5 g 龙葵素膏涂布于载玻片上，观察其是否易涂布，颜色是否均匀。

(3)离心试验：取 1.5 g 龙葵素膏置于 5 mL 离心管中，2 500 r/min 离心 30 min 后，取出观察是否分层。

(4)耐热试验：取 1.5 g 龙葵素膏置于软膏盒中，于 55 ℃烘箱中放置 6 h 后，取出观察成型情况及质地。

(5)耐寒试验：取 1.5 g 龙葵素膏置于软膏盒中，于－20 ℃冰箱中放置 24 h 后，取出观察成型情况及质地。

(6)黏度试验：用 DVNextCP 锥板黏度计流变仪进行测定，上样量 0.3 g；温度 32 ℃；转速 1 r/min；时间 3 min。在 1～2 min 黏度值稳定时，每隔 5 s 读取一次，并计算平均黏度值。

表 3 龙葵素膏评分表(分)

评价指标	好(8～10)	较好(6～7)	较差(4～5)	差(1～3)
外观性状	颜色均匀，软膏成型好	颜色较均匀，软膏基本成型	颜色较不均匀，软膏出现分层	颜色不均匀，软膏完全分层
涂展试验	容易涂布，涂开颜色均匀	较易涂布，涂开颜色较均匀	用力才能涂布，涂开颜色不均	难以涂布
离心试验	软膏均匀，不分层	软膏较均匀，分层不明显	软膏出现分层，呈黄黑两色	软膏明显分层，呈白黄黑三色
耐热试验	软膏成型好，细腻，易涂开	软膏成型较好，较细腻，易涂开	软膏基本成型，变粗不明显	软膏不成型，变硬，难涂开
耐寒试验	软膏成型好，细腻，易涂开	软膏成型较好，较细腻，易涂开	软膏基本成型，变粗不明显	软膏不成型，变硬，难涂开
黏度试验	黏度试验分值＝10－(黏度值 η－5 000)/5 000，结果保留两位小数			

2.6.3 AHP－EWM 法确定各评价指标的权重

(1)AHP 法：AHP 法[15]是根据各指标的重要程度主观地赋予数值，通过逐层比较进行分析的方法。指标两两比较判断矩阵的建立及结果见表 4。通过 DPS15.10 高级版数据处理系统进行计算，先将判断矩阵每一列归一化(q_{ij})，随后按行相加(r_i)，再将得到的结果归一化可得所求的权重向量(r)。通过计算判断矩阵的最大特征根(λ_{max})求得一致性比值(Consistency Ratio，CR)。CR 值用于评估矩阵的合理性，CR 值＜0.1 表示矩阵数值设置及权重系数可靠，计算结果见表 5。

(2)EWM 法：熵权法[16]是对多个指标进行客观赋权的方法，指标信息量越大，熵值就越低，此时赋予该指标高权重系数表示其重要性。将预实验各项评分按

下列公式进行计算，指标数据经标准化、归一化（P_{ij}^{*}）、信息熵（Q_j）计算，最终计算得到指标权重（w_j），计算结果见表 5。

表 4　指标判断矩阵与权重计算结果

指标	外观	涂展试验	离心试验	耐热试验	耐寒试验	黏度试验	权重（r）	λ_{max}	CR
外观	1	1/5	1/5	1/3	1	1/3	0.052 4	6.0	0.012
涂展试验	5	1	1	3	5	3	0.318 5		
离心试验	5	1	1	3	5	3	0.318 5		
耐热试验	3	1/3	1/3	1	3	1	0.129 1		
耐寒试验	1	1/5	1/5	1/3	1	1/3	0.052 4		
黏度试验	3	1/3	1/3	1	3	1	0.129 1		

表 5　三种权重计算结果

	外观性状	涂展试验	离心试验	耐热试验	耐寒试验	黏度试验
AHP	0.052 4	0.318 5	0.318 5	0.129 1	0.052 4	0.129 1
EWM	0.114 9	0.031 4	0.362 8	0.418 2	0.051 5	0.021 1
APH－EWM	0.031 5	0.052 4	0.605 0	0.282 6	0.014 1	0.014 3

由 EWM－AHP 法确定的各指标的复合权重可知，综合评分 = 外观性状 ×0.031 5 + 涂展试验 ×0.052 4 + 离心试验 ×0.605 0 + 耐热试验 ×0.282 6 + 耐寒试验 ×0.014 1 + 黏度试验 ×0.014 3。

2.6.4　单因素试验

在预实验和课题组前期药效研究[5-6]的基础上，在软膏药物总用量（0.125 g 龙葵素，按比例转换成龙葵素浸膏，松香 6.25 g，樟脑 3.75 g，蜂蜜 0.625 g）为固定的基础上，依照“2.6.1”项下方法制备龙葵素膏，以辅料凡士林，羊毛脂、蜂蜡的用量为考察因素，以主观评价指标和黏度值为指标，利用 AHP－EWM 法计算综合评分，优选 3 种辅料的最佳用量范围，结果见图 2～4。结果表明，3 种辅料的最佳用量范围分别为凡士林 7.5～12.5 g，羊毛脂 0.25～1.25 g，蜂蜡 0.4～0.7 g。

2.6.5　正交试验

根据单因素试验结果，采用 $L_9(3^4)$ 正交设计，对影响龙葵素膏质量的凡士林用量（A），羊毛脂用量（B）、蜂蜡用量（C）进行正交试验，因素与水平表见表 6，正交试验结果及分析见表 7～8。

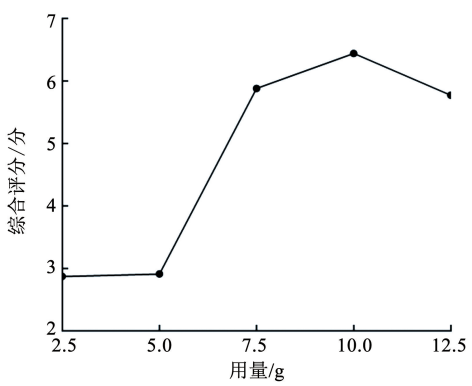


图 2　凡士林用量对龙葵素膏综合评分的影响

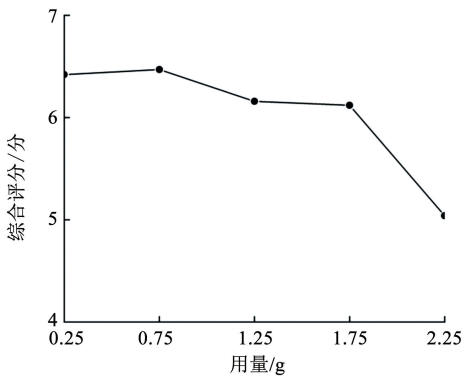


图 3　羊毛脂用量对龙葵素膏综合评分的影响

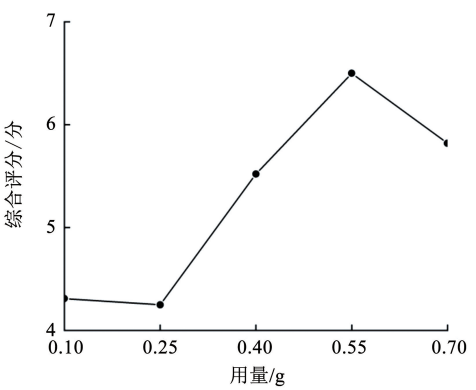


图 4　蜂蜡用量对龙葵素膏综合评分的影响

表 6　正交试验因素水平表（g）

水平	因素		
	A（凡士林）	B（羊毛脂）	C（蜂蜡）
1	7.5	0.25	0.4
2	10	0.75	0.55
3	12.5	1.25	0.7

方差分析结果显示，凡士林和蜂蜡的用量对综合评分的影响存在显著性差异（$P<0.05$），羊毛脂的用量对综合评分的影响没有显著性差异。由直观分析 R 值可知 A > C > B，即各因素对综合评分的影响为凡士林 > 蜂蜡 > 羊毛脂，由 k 值可知，最优组合为 $A_2B_2C_2$，即龙葵素膏基质最佳工艺为凡士林 10 g；羊毛脂 0.75 g；蜂蜡 0.55 g。

表 7 正交试验

试验序号	A	B	C	空列	评分/分						综合评分/分
					外观性状	涂展试验	离心试验	耐热试验	耐寒试验	黏度试验	
1	1	1	1	1	6	6	5	5	8	7.95	5.17
2	1	2	2	2	7	7	6	5	8	7.75	5.85
3	1	3	3	3	7	6	5	6	6	7.71	5.45
4	2	1	2	3	7	7	7	9	8	6.13	7.57
5	2	2	3	1	8	9	7	8	6	6.04	7.39
6	2	3	1	2	8	7	7	5	8	7.19	6.48
7	3	1	3	2	9	9	7	7	6	5.31	7.13
8	3	2	1	3	8	9	6	8	7	6.66	6.81
9	3	3	2	1	8	9	6	9	8	6.09	7.10
k_1	5.490	6.623	6.153	6.553							
k_2	7.147	6.683	6.840	6.487							
k_3	7.013	6.343	6.657	6.610							
R	1.657	0.340	0.687	0.123							

表 8 正交试验方差分析

方差来源	离差平方和	自由度	F 值	F 临界值	P 显著性
A	5.083	2	221.000	19.000	*
B	0.198	2	8.609	19.000	
C	0.758	2	32.957	19.000	*
D	0.023	2			

注：* $P<0.05$。

2.6.6 验证试验

采用优选出的最佳处方配比，按“2.6.1”项下方法分别制备 3 批龙葵素膏，按“2.6.2”项下的方法进行评分，结果见表 9，3 批龙葵素膏的综合评分均高于正交试验各试验值，表明优选结果可靠。此外参照文献[18]方法对最终龙葵素膏成品进行体外透皮试验验证，接受室体积为 15 mL，有效扩散面积为 2.27 cm^2，接受液（含 30% 的生理盐水）中龙葵素含量在 6 h 时达到峰值0.003 4 mg/mL。

表 9 试验验证评分（分）

组别	外观性状	涂展试验	离心试验	耐热试验	耐寒试验	黏度试验	综合评分
1	8	9	7	9	8	7.02	7.72
2	8	8	8	8	8	6.89	7.98
3	8	9	8	9	7	7.64	8.32

3 讨论

马铃薯中龙葵素的提取方法多样，其中回流提取法的提取效率较高，提取溶剂多采用弱酸和有机溶剂，其中用乙醇 - 乙酸双溶剂的提取效率较高且提取的龙葵素安全无毒，故本研究采用乙醇 - 乙酸双溶剂回流法提取龙葵素[3]。龙葵素在马铃薯的皮和芽等非食用部位中的含量较高，但马铃薯皮较芽的原料易获取，故本研究选用马铃薯皮提取龙葵素。本研究测得马铃薯皮的含水率为 84.86%，为减少水分对料液比的影响，使用马铃薯皮烘干粉进行提取，最后测得马铃薯皮烘干粉的浸膏得率为 6.36%，HPLC 测得马铃薯皮烘干粉中 α 茄碱的含量为 14.81 $mg \cdot g^{-1}$。

本研究选用油性基质（凡士林、羊毛脂、蜂蜡）制备龙葵素软膏，该基质加热至一定温度均可熔解。由于药物（松香、樟脑）研磨后难过筛，故本研究选择加热方法，熔融各药物。实验发现，樟脑单独加热时难熔且挥发程度较高，但与松香均匀混合后共同加热，能较好地熔解。本研究建立了龙葵素膏的主观评价标准，并引入客观指标黏度值，通过层次分析法结合熵权法确定各评价指标权重系数后，综合评价龙葵素膏的品质[19]。最后筛选出龙葵素膏油性基质的最佳配比为凡士林 10 g，羊毛脂 0.75g，蜂蜡 0.55 g。本研究测定了各药物和辅料在实验室条件下的熔化温度，并依照各药物和辅料熔化温度的顺序，得出了龙葵素膏的制备方法为将松香、樟脑在 170 ℃熔化后，随即加入蜂蜜、凡士林、羊毛脂、蜂蜡，调节温度至 80 ℃，匀速搅拌，至完全熔化后停止加热，再加入龙葵素浸膏，搅拌冷却至室温，即得龙葵素膏。在该成型工艺下制得的龙葵素膏外观较好、色泽均匀，黏度适宜，易涂布，质量稳定，易存放和使用，且在 6 h 释放达到峰值 0.003 4 mg/mL，安全性较好。

相较于原来龙葵素膏制作过程中将各种成分简单

混合后进行使用,优化后的龙葵素膏使用更加方便,不需要现配现用,保存时间长,患者依从性强,可自行离院后涂抹软膏。而相较于贴剂,水包油型和油包水型乳剂等剂型,油性基质软膏的药物释放更加缓慢,避免了过量具有毒性的 α 茄碱对皮肤的刺激性,同时保证了软膏长时间发挥药效。此前马铃薯外用治疗炎症常用的方法是捣泥外敷,而在本试验中将其有效成分进行提取并制作成软膏,并通过对其有效成分 α 茄碱进行含量测定,保证了用药的质量控制,更加科学合理。本研究通过从马铃薯皮中提取龙葵素,并制备出龙葵素软膏,为开发利用马铃薯皮资源和提高其药用价值提供了理论依据。

参考文献:

[1] 田甲佳,刘贺,杨季婷,等. 云南三个地区马铃薯内生真菌多样性研究[J]. 广西植物,2023,43(7):1201 - 1212.

[2] 刘洋,任丹丹,史晓梅,等. 马铃薯中龙葵碱的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报,2022,13(17):5604 - 5610.

[3] 余永霞,蒋雅楠,刘清亮,等. 龙葵素检测技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报,2020,11(12):3930 - 3936.

[4] 韩宪富,黄委委,刘俊鹏,等. 马铃薯代谢物龙葵素药用价值的研究现状[J]. 中国药理学通报,2022,38(10):1462 - 1465.

[5] 李宁,李鼎鹏,丁聚贤,等. 龙葵素膏外敷对膝关节滑膜炎模型兔血清 SOD、MDA 及滑膜形态的影响[J]. 甘肃中医药大学学报,2021,38(1):16 - 20.

[6] 李宁. 龙葵素膏外敷对兔膝关节滑膜炎关节液中 IL - 1β、TGF - β 表达水平的影响[C]//甘肃省中医药学会. 甘肃省中医药学会 2020 年学术年会论文集. 兰州:2020:215 - 222.

[7] 杨小瑜,姜一平,冯浩维,等. 紫草外用传统制剂与新型纳米制剂的研究进展[J]. 中国药房,2023,34(15):1909 - 1914.

[8] 吴耘红,江成英,王拓一. 储藏条件对马铃薯渣中龙葵素含量影响的研究[J]. 农产品加工(学刊),2008(7):144 - 146.

[9] 钟源,肖文军,马蕊,等. 正交试验优化马铃薯龙葵素提取技术[J]. 食品科学,2013,34(10):6 - 10.

[10] 邵慧凯,丘汾,何佳平,等. 异丁醇萃取 - 高效液相色谱法测定马铃薯中 α - 茄碱[J]. 中国食品卫生杂志,2015,27(5):517 - 520.

[11] 张舵. 反相高效液相色谱法检测马铃薯中龙葵素含量[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2013,29(5):24 - 25.

[12] 国家药典委员会.《中国药典》2020 年版四部通则(草案)[M]. 北京:中国医药科技出版社,2019:11.

[13] 陈卓瀚. 多枝雾水葛软膏的研制与开发[D]. 广州:广东药科大学,2016.

[14] 李幸. 猪肤汤软膏制备及其在老年性皮肤瘙痒症患者中的应用研究[D]. 成都:成都中医药大学,2019.

[15] 王唱唱,左蓓磊,彭新,等. 基于熵权法结合层次分析法和反向传播神经网络优选大皂角油制工艺[J]. 中草药,2022,53(15):4687 - 4697.

[16] 石畅,高畅,郭晓瑞,等. 层次分析 - 熵权法结合响应面法优化五味子藤茎木脂素超声提取工艺[J]. 食品安全质量检测学报,2023,14(12):293 - 302.

[17] 祝子喻,谢雨欣,俞月婷,等. 基于熵权 - 层次分析法及反向传播神经网络多指标优化地黄水提物提取工艺[J]. 食品工业科技,2022,43(19):264 - 272.

[18] 黄洋扬,郑昊圳,王圣鑫,等. 复方活血凝胶贴膏剂基质处方及制备工艺的研究[J]. 中药新药与临床药理,2020,31(2):241 - 245.

[19] 夏提古丽·塔西买买提,赵媛,刘艺,等. 熵权法 - 层次分析法结合 Box - Behnken 响应面法优化雪莲益肾方的提取工艺[J]. 中国药房,2023,34(15):1858 - 1862.

Optimization of Solanine Ointment Formulation Process Using Analytic Hierarchy Process - Entropy Weight Method Combined with Orthogonal Test

CHU Ping'an[1], HAO Jiangfeng[1], Peng Tengteng[1], SHI Xiaofeng[2], XIE Xingwen[3], LI Ning[1,3], SONG Peng[3]

(1. *Gansu University of Chinese Medicine*, *Lanzhou* 730000, *China*;
2. *Gansu Academy of Medical Sciences*, *Lanzhou* 730050, *China*;
3. *Affiliated Hospital of Gansu University of Chinese Medicine*, *Lanzhou* 730000, *China*)

Abstract Objective: To optimize the formulation process of solanine ointment. Methods: The main component α - solanine was extracted from potato peel using ethanol - acetic acid dual - solvent method, and its content was determined by high - performance liquid chromatography (HPLC). Taking viscosity value and subjective evaluation as indicators, a comprehensive score was calculated, and the weight coefficients of each evaluation index were determined using the analytic hierarchy process (AHP) - entropy weight method. Single - factor tests and orthogonal tests were conducted to investigate the effects of the amounts of vaseline, lanolin, and beeswax on the quality of solanine ointment, aiming to determine the optimal formulation parameters. Results: The HPLC results showed that the content of α - solanine in potato peel was 14.81 $mg \cdot g^{-1}$. The optimal ratio of the oleaginous matrix for solanine ointment was determined as follows: vaseline 10 g, lanolin 0.75 g, and beeswax 0.55 g. Conclusion: The formulation process of solanine ointment is reasonable and feasible, producing a uniform and fine product with good spreadability, thermal/cold resistance, and stability, which provides a theoretical basis for the development and application of solanine.

Key words Potato; Solanine; Solanine ointment; Analytic hierarchy process - entropy weight method; Formulation process