

响应面-频数法优化芦荟大黄素提取工艺

李宝玉^{1*}, 黄静², 赵炫¹, 许艺苹¹, 陈静慧³

(1. 广东农工商职业技术学院热带农林学院, 广州 510507; 2. 广州商学院信息技术与工程学院, 广州 511363;
3. 广州合诚实业有限公司, 潮州 515600)

摘要: **目的** 采用响应面-频数法优化芦荟大黄素的提取工艺。**方法** 在单因素的基础上, 选取盐酸浓度、三氯化铁用量、反应时间 3 个因素, 以芦荟粉为原材料, 通过溶剂法提取分离芦荟苷, 再通过三氯化铁氧化法, 制备芦荟大黄素。采用二次通用旋转组合设计, 以芦荟大黄素含量为评价指标, 建立三因素与指标的回归模型, 最后运用频数法得出最优工艺参数组合。**结果** 芦荟大黄素的提取的最优工艺参数为: 盐酸浓度 3.842 ~ 5.052 mol/L、氧化剂加入量 21.245 ~ 30.695 g、保温时间 7.736 ~ 8.954 h, 在此工艺条件下提取芦荟大黄素含量大于 9.89 mg/L, 产品质量优良达到满意的效果。**结论** 响应面-频数法可以优化芦荟大黄素的提取工艺。盐酸浓度、氧化剂用量和保温时间对提取芦荟粉中芦荟大黄素的影响顺序为: 氧化剂用量 > 盐酸浓度 > 保温时间。

关键词: 芦荟大黄素; 三氯化铁氧化法; 响应面-频数法; 紫外可见分光光度法

Optimization of extraction process of aloe emodin by response surface frequency methodology

LI Bao-Yu^{1*}, HUANG Jing², ZHAO Xuan¹, XU Yi-Ping¹, CHEN Jing-Hui³

(1. College of Tropical Agriculture and Forestry, Guangdong AIB Polytechnic, Guangzhou 510507, China;
2. School of Information Technology and Engineering, Guangzhou College of Commerce, Guangzhou 511363, China;
3. Guangdong Suntree Foods Co., Ltd., Chaozhou 515600, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the extraction process of aloe emodin by response surface frequency methodology. **Methods** On the basis of single factor, three factors including hydrochloric acid concentration, ferric chloride dosage and reaction time were selected. *Aloe vera* powder was used as raw material to extract aloin by solvent method, and aloe rhubarb was prepared by ferric chloride oxidation method. A quadratic general rotation combination design was adopted, and the aloe-emodin content was used as the evaluation index to establish a regression model of 3 factors and indicators. Finally, the frequency combination method was used to obtain the optimal combination of process parameters. **Results** The optimal process parameters for the extraction of aloe-emodin were: hydrochloric acid concentration 3.842~5.052 mol/L, oxidant addition amount 21.245~30.695 g, and holding time 7.736~8.954 h, under which condition, the content of aloe-emodin was more than 9.89 mg/L, and the product quality was satisfactory. **Conclusion** Response surface frequency methodology can optimize the extraction process of aloe emodin. The order of the influence of hydrochloric acid concentration, oxidant dosage and

基金项目: 广东省科技厅农业科技特派员项目

Fund: Supported by Agricultural Science and Technology Commissioner Project of Guangdong Provincial Science and Technology Department

*通讯作者: 李宝玉, 高级工程师, 主要研究方向为食品加工与食品安全。E-mail: lbysdyx@126.com

*Corresponding author: LI Bao-Yu, Senior Engineer, College of Tropical Agriculture and Forestry, Guangdong AIB Polytechnic, Guangzhou 510507, China. E-mail: lbysdyx@126.com

holding time on the extraction of aloe emodin from aloe powder was as follows: oxidant dosage > hydrochloric acid concentration > holding time.

KEY WORDS: aloe emodin; ferric chloride oxidation; response surface frequency methodology; ultraviolet and visible spectrophotometry

1 引言

芦荟是我国传统的天然药用植物,具有几千年的种植历史。最近几十年来,尤其是在少数发达国家,对芦荟的研究和开发利用速度大大加快^[1]。我国对芦荟的研究和开发起步较晚,始于 20 世纪 80 年代^[2],直到 90 年代以来,芦荟的研究和应用才逐渐受到国内学者们的关注。芦荟作为一种药用价值很高的植物,在我国南方普遍种植^[3]。近年来,中药的生物活性成分越来越受到重视。芦荟大黄素作为中药中的一种重要活性成分被国内外学者广泛关注,同时也是芦荟的主要功能成分之一^[4]。芦荟大黄素是一种含有多个酚羟基蒽醌类化合物,对 $O_2\cdot$ 和 $\cdot OH$ 均具有很强的清除能力,且效果优于维生素 C,是天然高效的自由基清除剂。随着对其药理作用的深入研究,学者们发现芦荟大黄素具有心血管保护作用^[5-7],抗肿瘤作用^[8-10],保肝作用^[11],皮肤调理作用^[12],机体免疫功能调节作用^[13]以及抗病原微生物与抗炎等作用^[14-19]。因此,芦荟大黄素广泛地应用于医药、保健、化妆品等领域^[20]。

目前我国芦荟产业面临着科研实力薄弱、基础研究不够广泛、加工技术相对弱后、产业化程度不高等问题,因此优化提取芦荟大黄素的工艺对我国芦荟产业的发展具有十分重要的意义。目前提取芦荟大黄素的方法主要包括溶剂提取法、超声波提取法、微波提取法、超临界 CO_2 萃取法、大孔树脂吸附法、凝胶色谱分离法等。如秦加敏等^[21]等人利用盐酸从芦荟中提取得到芦荟苷,再结合三氯化铁氧化法得到芦荟大黄素;马稳等^[22]利用微波辅助正交实验法研究了从芦荟中提取芦荟大黄素的最佳工艺;唐维建等^[23]利用超声波多次提取法提取得到芦荟大黄素纯品;朱俊玲等^[24]利用超临界 CO_2 萃取法从芦荟中萃取得到芦荟大黄素;张旭东等^[25]利用大孔树脂吸附和 Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶分离联合的技术从芦荟中提取得到芦荟大黄素。不同的方法有着各自的优缺点,由于溶剂提取法具有成本低、得率高、可以实现大规模生产等优点,因此本研究采用溶剂提取法从芦荟中提取芦荟大黄素。

本研究以芦荟粉为原材料,以盐酸为溶剂提取出芦荟苷,再通过三氯化铁氧化法,制备得到芦荟大黄素。通过正交实验,研究了盐酸浓度、氧化剂用量、保温时间等因素对芦荟大黄素含量的影响,并通过响应面-频数法优化得到了提取芦荟大黄素的最佳工艺,为工业化提取芦荟大黄素提供了借鉴,为芦荟保健产品开发提供了科学依据和技术支持。

2 实验材料与方法

2.1 实验材料与仪器

2.1.1 实验材料

芦荟粉(市售干燥芦荟粉末);芦荟大黄素标准品(纯度>98%,金穗生物公司)。

2.1.2 实验设备和仪器

EL104 电子天平(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司); ML-1.8-4 Mb 型电热板(巩义市子华仪器有限公司); SHZ-D (III)真空泵(巩义市子华仪器有限公司); UV752 紫外可见分光光度计(上海奥谱勒仪器有限公司)以及玻璃器皿等。

2.1.3 实验试剂

浓盐酸(分析纯,广州化学试剂厂);三氯化铁(分析纯,上海谱振生物科技有限公司);蒸馏水(分析纯,广东农工商职业技术学院);甲醇(色谱纯,北京迈瑞达科技有限公司);三乙醇胺(分析纯,广州和为化工有限公司); K_2HPO_4 、 KH_2PO_4 (分析纯,连云港沙英喜化工产品销售有限公司);Tween-80(分析纯,上海源叶生物科技有限公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 实验设计

1)因素水平表

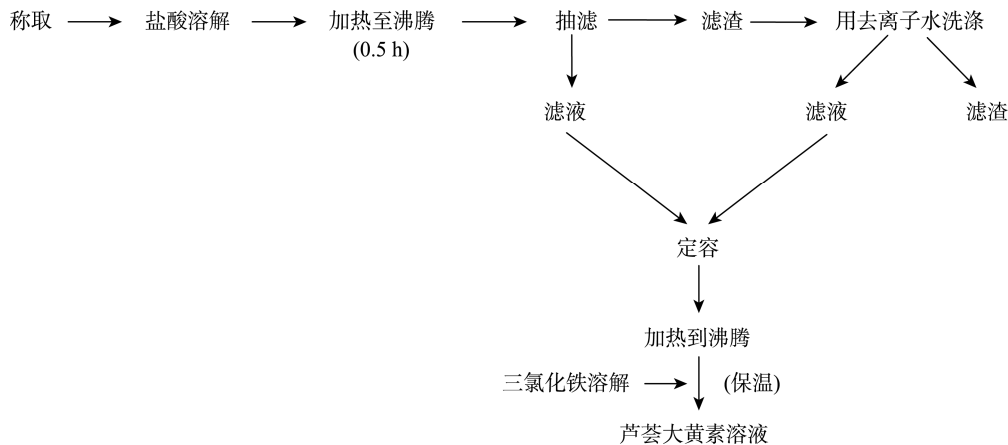
在单因素实验的基础上,挑选出盐酸浓度(X_1)、氧化剂用量(X_2)、保温时间(X_3)3 个主因素作为输入变量,并以芦荟大黄素含量(Y)作为输出指标,进行三因子二次通用旋转组合设计。将这 3 个因素在单因素实验中选出的最佳水平定为二次通用旋转组合设计时的零水平。实验因素水平编码见表 1。

表 1 因素水平编码表
Table 1 Factor level code table

编码值	X_1 :盐酸浓度 /(mol/L)	X_2 :氧化剂用量 /g	X_3 :保温时间 /min
-1.68	0.64	16.6	278
-1	2.00	20.0	360
0	4.00	25.0	480
1	6.00	30.0	600
1.68	7.36	33.4	682

2)芦荟大黄素制备工艺流程

本研究以芦荟粉为原材料,以盐酸为溶剂提取出芦荟苷,再通过三氯化铁氧化法,制备得到芦荟大黄素。具体实验流程如下:



3) 操作要点

a 称取 称取 2.280 g 芦荟粉于 250 mL 平底烧瓶中。

b 溶解 用 100 mL 量筒量取 50 mL 不同浓度的盐酸溶液于平底烧瓶中溶解芦荟粉。

c 加热至沸腾 芦荟粉完全溶解后, 组装回流装置, 加热至沸腾, 回流保温 0.5 h。

d 抽滤、定容 冷却至室温, 抽滤, 滤渣用去离子水洗涤, 合并滤液, 定容至 100 mL。

e 三氯化铁溶解 称取不同定量的三氯化铁于小烧杯中, 加入 15 mL 去离子水溶解后, 缓慢滴加进入沸腾的芦荟苷盐酸溶液中, 保温, 得到芦荟大黄素溶液。

2.2.2 指标分析测定方法

(1) 芦荟大黄素标准曲线绘制

a 标准溶液配制

精密称取芦荟大黄素标品 27.0 mg, 加少量甲醇溶液溶解, 用甲醇溶液定容至 100 mL 容量瓶中, 混匀, 得到浓度为 270 mg/L 的储备液。精确移取 10.00 mL 储备液于 100 mL 容量瓶中, 用甲醇溶液定容, 得浓度为 27 mg/L 的芦荟大黄素标准液。

b 标准曲线的制作

在 50 mL 比色管中依次加入 0.05 mol/L 三乙醇胺 0.13 mL, 0.1 mol/L K_2HPO_4 - KH_2PO_4 缓冲液 2.50 mL, 1% Tween-80 溶液 1.25 mL, 以及定量的芦荟大黄素标准溶液 (0.00、3.00、6.00、9.00、12.00、15.00 和 18.00 mL), 静置至无絮状物, 再加蒸馏水稀释至 25 mL, 摇匀, 静置 5 min。

用 1 cm 石英比色皿于 431 nm 波长处, 以空白试剂为参比测定吸光度值(A)。以吸光度值(A)为纵坐标, 以芦荟大黄素浓度(mg/L)为横坐标, 绘制标准曲线。

(2) 芦荟大黄素的含量测定

在 50 mL 比色管中依次加入 0.05 mol/L 三乙醇胺 0.13 mL, 0.1 mol/L K_2HPO_4 - KH_2PO_4 缓冲液 2.50 mL, 1% Tween-80 溶液 1.25 mL, 芦荟大黄素提取液 1.00 mL, 静置至无絮状物, 再以水稀释至 25 mL, 摇匀, 静置数分钟。用 1 cm 石英比色皿于 431 nm 波长处, 以空白试剂为参比测定芦荟大黄素提取液的吸光度值(A), 再根据线性回归方程计算提取液中芦荟大黄素的含量。

2.2.3 统计分析

采用 DPSV 7.55 软件对实验数据进行处理分析, 采用 Design Expert 8.06 软件进行响应面分析。

3 结果与分析

3.1 绘制标准曲线

按 2.2.2 中(1)的操作方法进行测定, 分光光度实验数据见表 2。

以芦荟大黄素含量(mg/L)为横轴, 以吸光度值(A)为纵轴, 绘制标准曲线, 得线性回归方程。线性回归方程为 $Y=0.038X+0.0450127$, 相关系数为 0.98129989, 方法线性关系良好。

表 2 绘制标准曲线实验数据
Table 2 Draw standard curve experimental data

样液/mL	0.00(空白)	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00
含量/(mg/L)	0.00	3.24	6.48	9.72	12.96	16.20	19.44
测得吸光值	0.000	0.139	0.266	0.390	0.504	0.633	0.739
-0.00 吸光值	0.000	0.139	0.266	0.390	0.504	0.633	0.739

3.2 实验结果

以 2.2.2 中的(2)所述方法进行实验, 结果见表 3。由表 3 可得, 当盐酸浓度、氧化剂用量及保温时间三者水平编码均为-1 时, 芦荟大黄素的含量最低, 为 6.71 mg/L, 这可能由于当这三者处于低值时, 芦荟苷转化率较低, 故芦荟大黄素的含量较低; 当盐酸浓度、氧化剂用量及保温时间三者水平编码均为 1 时, 芦荟大黄素的含量最高, 可能由于此因素组合与芦荟苷转化率呈正相关, 故芦荟大黄素含量较高。该结果与晏正^[26]的研究结果相似, 其研究发现随着盐酸浓度的增加、预处理温度的提高、氧化剂用量的增加、反应时间的延长, 芦荟苷转化率先不断增加, 随后保持稳定或稍微下降。芦荟苷是一种不稳定的物质, 容易受到各种因素的影响而发生转变, 从而产生芦荟大黄素。曹元元^[27]研究发现高温、碱性条件、氯化钙、羧甲基纤维、金属离子等可加速芦荟苷的转化, 转化生成异芦荟苷、芦荟大黄素、10-羟基芦荟大黄素苷 B 和 10-羟基芦荟大黄素苷 A 等不同物质。因此在不同的条件下, 芦荟苷转化生成芦荟大黄素的含量存在差异。

表 3 二次通用旋转组合实验设计及结果
Table 3 Design and results of quadratic universal rotational combination experiment

序号	X_1 /(mol/L)	X_2 /g	X_3 /min	Y /(mg/L)
1	1	1	1	17.15
2	-1	1	1	12.08
3	1	1	-1	11.28
4	-1	1	-1	9.97
5	1	-1	1	10.27
6	-1	-1	1	7.63
7	1	-1	-1	8.34
8	-1	-1	-1	6.71

表 4 实验结果方差分析表

Table 4 Test results variance analysis table

变异来源	平方和	自由度	均方	比值 F	P 值	显著性
X_1	27.4428	1	27.4428	19.2717	0.0014	**
X_2	117.9081	1	117.9081	82.801	0.0001	**
X_3	22.4073	1	22.4073	15.7356	0.0027	**
X_1^2	5.3669	1	5.3669	3.7689	0.0809	-
X_2^2	3.6685	1	3.6685	2.5762	0.1396	-
X_3^2	8.9132	1	8.9132	6.2593	0.0314	*
X_1X_2	1.314	1	1.314	0.9228	0.3594	-
X_1X_3	6.7153	1	6.7153	4.7158	0.055	-
X_2X_3	7.7672	1	7.7672	5.4545	0.0417	*

注: **表示极显著水平 $P < 0.01$, *表示显著水平 $P < 0.05$, -表示无显著性差异。

续表 3

序号	X_1 /(mol/L)	X_2 /g	X_3 /min	Y /(mg/L)
9	0	-1.68	0	7.24
10	0	1.68	0	12.35
11	0	0	-1.68	10.15
12	0	0	1.68	10.48
13	-1.68	0	0	9.41
14	1.68	0	0	10.57
15	0	0	0	10.12
16	0	0	0	8.16
17	0	0	0	8.31
18	0	0	0	9.68
19	0	0	0	9.23
20	0	0	0	8.73

注: X_1 —盐酸浓度; X_2 —氧化剂用量; X_3 —保温时间; Y —芦荟大黄素含量。

3.3 回归方程及其参数分析

对表 3 中的实验数据进行回归系数及变量分析, 见表 4, 得到各个因素与芦荟大黄素提取量的多元二次回归方程式如下:

$$Y = 9.04812 + 0.92253X_1 + 1.91221X_2 + 0.83360X_3 + 0.39714X_1^2 + 0.32835X_2^2 + 0.51180X_3^2 + 0.26375X_1X_2 + 0.59625X_1X_3 + 0.64125X_2X_3$$

由方差分析可知, 3 个因素 X_1 、 X_2 、 X_3 对响应值影响极显著; 二次项 X_3^2 对响应值曲线效应影响显著; 交互项 X_2X_3 对响应值影响显著, 其他二次项和交互项对响应值均无显著性影响。3 个因素对提取得到芦荟大黄素含量的影响顺序为: $X_2 > X_1 > X_3$, 即氧化剂用量 > 盐酸浓度 > 保温时间。

3.4 响应面分析

响应面和等值线可以直观的看到各因素间的交互作用情况,其中等值线的形状可以反映因素间交互效应的强弱。圆形表示 2 因素间交互作用不明显,椭圆形则表示较明显,响应面图坡度大表明因素对响应值影响较大,反之则影响较小。

由图 1 可知,响应曲面坡度沿盐酸浓度方向比氧化剂用量方向的坡度更大,等高线更加密集,这表明盐酸浓度对提取芦荟粉中芦荟大黄素的贡献更大;等高线趋向椭圆,这表明盐酸浓度与氧化剂用量交互作用明显。同理,由图 2 可知,相比于保温时间,盐酸浓度对提取芦荟粉中芦荟大黄素的贡献更大;等高线趋向圆形,这表明氧化剂用量和保温时间交互作用不明显。由图 3 可知,相比于盐酸浓度,氧化剂用量对提取芦荟粉中芦荟大黄素的贡献更大;等高线形状趋向圆形,这表明盐酸浓度和氧化剂用量交互作用不明显。结果整体上与 3.3 的结果相似,即 3 个因素对芦荟大黄素含量的影响顺序为:氧化剂用量 > 盐酸浓度 > 保温时间。

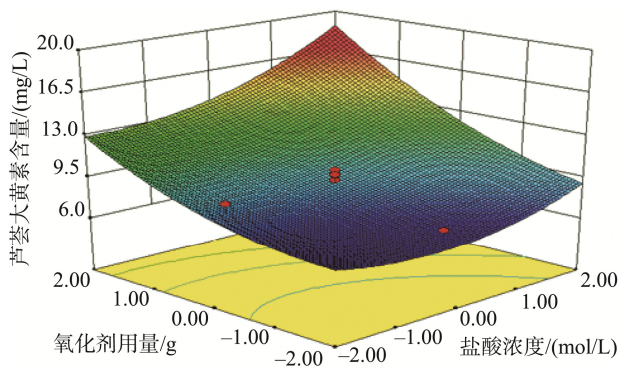


图 1 氧化剂用量、保温时间对芦荟大黄素含量的影响
Fig.1 Effect of oxidant dosage and holding time on the content of alo-emodin

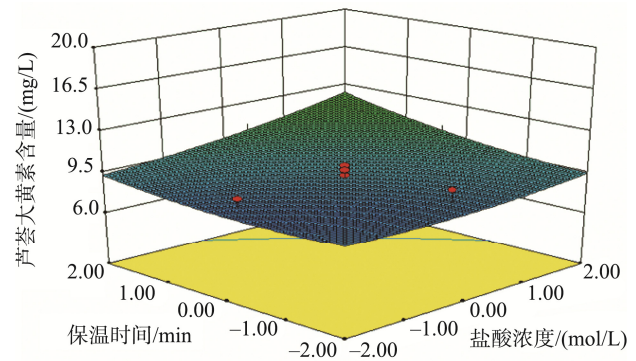


图 2 盐酸浓度、保温时间对芦荟大黄素含量的影响
Fig.2 Effect of hydrochloric acid concentration and holding time on the content of alo-emodin

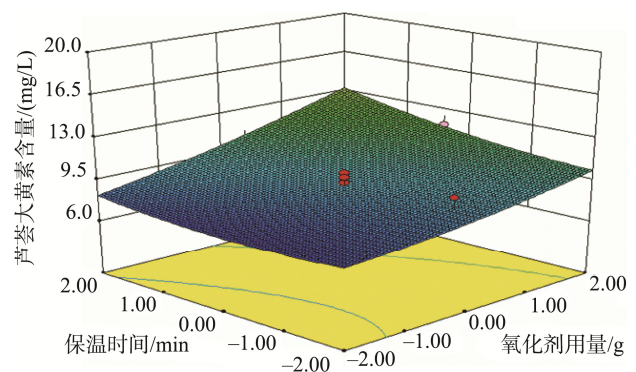


图 3 盐酸浓度、氧化剂用量对芦荟大黄素含量的影响
Fig.3 Effect of hydrochloric acid concentration and oxidant dosage on the content of alo-emodin

3.5 工艺参数优化

当芦荟大黄素的提取量大于 9.89 mg/L 时,根据上述回归方程,应用频数分析法,进行计算机模拟,寻找操作参数的最优组合方案。结果表明(表 5),共有 66 个方案满足要求,当盐酸浓度 3.842 ~ 5.052 mol/L、氧化剂加入量 21.245 ~ 30.695 g、保温时间 7.736 ~ 8.954 h,芦荟大黄素的含量有 95%的可能性高于 9.89 mg/L。

表 5 应用频数分析法对工艺参数的优化结果

Table 5 Optimization results of process parameters using frequency analysis

因素	盐酸浓度/(mol/L)		氧化剂用量/g		保温时间/h		
	X_1	频数	X_2	频数	X_3	频数	
水平	-1.6818	11	0.1667	1	0.0152	12	0.1818
	-1	11	0.1667	3	0.0455	11	0.1667
	0	12	0.1818	12	0.1818	12	0.1818
	1	14	0.2121	25	0.3788	14	0.2121
	1.6818	18	0.2727	25	0.3788	17	0.2576
加权平均数	0.2240		0.9450		0.1730		
标准误差	0.1540		0.0990		0.1550		
95%置信区间	-0.079~0.526		-0.751~1.139		-0.132~0.477		
操作参数的范围	3.842~5.052		21.245~30.695		7.736~8.954		

3.6 验证实验

经实验验证, 在此工艺条件下提取芦荟大黄素含量大于 9.89 mg/L, 产品质量优良达到满意的效果, 通过响应面-频数法, 达到了优化的目的。

4 结 论

本研究采用响应面-频数法对芦荟大黄素的提取工艺进行了优化。得出芦荟大黄素的提取的最优工艺参数为: 盐酸浓度 3.842 ~ 5.052 mol/L、氧化剂加入量 21.245 ~ 30.695 g、保温时间 7.736 ~ 8.954 h, 此条件下提取率最高, 芦荟大黄素的含量高于 9.89 mg/L。此外, 盐酸浓度、氧化剂用量和保温时间对提取芦荟粉中芦荟大黄素的影响顺序为: 氧化剂用量 > 盐酸浓度 > 保温时间。本研究优化的提取工艺可以为未来医药领域、保健食品领域等提供一定的理论基础。

参考文献

- [1] 杨继远, 袁仲. 芦荟化学成分的保健功效与产品开发[J]. 中国乳业, 2001, (4): 6-8.
Yang JY, Yuan Z. Health function and product development of aloe chemical components [J]. China Dairy, 2001, (4): 6-8.
- [2] 李锦馨, 冯梅. 芦荟的药用功效及其开发利用[J]. 农业科学研究, 1999, (4): 75-79.
Li JX, Feng M. Medicinal effect of aloe and its development and utilization [J]. J Agric Sci, 1999, (4): 75-79.
- [3] 曾德贵, 杨春燕, 吴夏茹. 芦荟大黄素的提取分离与含量测定[J]. 现代医药卫生, 2011, 27(12): 1768-1770.
Zeng DG, Yang CY, Wu XR. Extraction, separation and content determination of aloe emodin [J]. Mod Med Health, 2011, 27(12): 1768-1770.
- [4] 王美林, 田兵, 方宏筠, 等. 芦荟抗氧化物质活性及对红细胞的保护作用[J]. 营养学报, 2004, 24(4): 380-384.
Wang GL, Tian B, Fang HJ, et al. Antioxidant activity of aloe and its protective effect on red blood cells [J]. Acta Nutr Sin, 2004, 24(4): 380-384.
- [5] Saleem R, Faizi S, Siddiqui BS, et al. Hypotensive effect of chemical constituents from *Aloe barbadensis* [J]. Planta Med, 2001, (67): 757-760.
- [6] 邢妍, 岳朋, 李惠, 等. 大明胶囊对高脂血症大鼠心肌 M 受体各亚型 mRNA 表达的影响[J]. 中草药, 2006, (37): 1362-1366.
Xing Y, Yue P, Li H, et al. Effect of damping capsule on mRNA expression of M receptor's different isoforms on cardiac muscle of hyperlipidemic rats [J]. Chin Tradit Herb Drug, 2006, (37): 1362-1366.
- [7] Subash-Babu P, Alshatwi AA. Aloe-emodin inhibits adipocyte differentiation and maturation during *in vitro* human mesenchymal stem cell adipogenesis [J]. J Biochem Mol Toxicol, 2012, (26): 291-300.
- [8] Ismal S, Haris K, Abdul Ghani AR, et al. Enhanced induction of cell cycle arrest and apoptosis via the mitochondrial membrane potential disruption in human U87 malignant glioma cells by aloe emodin [J]. J Asian Nat Prod Res, 2013, (15): 1003-1012.
- [9] Lin ML, Lu YC, Su HL, et al. Destabilization of CARP mRNAs by aloe-emodin contribute to caspase-8-mediated p53-independent apoptosis of human carcinoma cells [J]. J Cell Biochem, 2011, (112): 1176-1191.
- [10] Wojciech T, Teodora K, Ewa T, et al. Induction of mitotic catastrophe in human cervical cancer cells after administration of aloe-emodin [J]. Anticancer Res, 2018, 38(4): 2037-2044.
- [11] Arosio B, Gagliano N, Fusaro LM, et al. Aloe-emodin quinone pretreatment reduces acute liver injury induced by carbon tetrachloride [J]. Pharmacol Toxicol, 2000, (87): 229-233.
- [12] 李新, 温寅飞, 满媛, 等. 芦荟大黄素对白细胞介素-2引起大鼠 T 细胞增殖和细胞内 Ca²⁺浓度变化的影响[J]. 中草药, 2010, 42: 2027-2030.
Li X, Wen YF, Man Y, et al. Effects of aloe emodin on interleukin-2-induced T cell proliferation and intracellular Ca²⁺ concentration in rats [J]. Chin Tradit Herb Drug, 2010, 42: 2027-2030.
- [13] Zang LX, Zhao HM, Ji XY, et al. Photophysical properties, singlet oxygen generation efficiency and cytotoxic effects of aloe emodin as a blue light photosensitizer for photodynamic therapy in dermatological treatment [J]. Photochem Photobiol Sci, 2017, (16): 1088-1094.
- [14] Agarwal SK, Singh SS, Verma S, et al. Antifungal activity of anthraquinone derivatives from rheum emodin [J]. J Ethnopharmacol, 2000, (72): 43-46.
- [15] Smolarz HD, Swatko-Ossor M, Ginalska G, et al. Antimycobacterial effect of extract and its components from *Rheum rhaponticum* [J]. J AOAC Int, 2013, (96): 155-160.
- [16] Wang J, Zhao H, Kong W, et al. Microcalorimetric assay on the antimicrobial property of five hydroxyanthraquinone derivatives in rhubarb (*Rheum palmatum* L.) to bifidobacterium adolescentis [J]. Phytomedicine, 2010, (17): 684-689.
- [17] Li SW, Yang TC, Lai CC, et al. Antiviral activity of aloe-emodin against influenza A virus via galectin-3 up-regulation [J]. Eur J Pharmacol, 2014, (738): 125-132.
- [18] 李晓红, 齐云, 蔡润兰, 等. 芦荟大黄素对 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞 NO 生成及 iNOS 表达的影响[J]. 中国药理学通报, 2010, (26): 488-492.
Li XH, Qi Y, Cai RL, et al. Effects of aloe emodin on LPS induced NO production and iNOS expression in RAW264.7 cells [J]. Chin Pharmacol Bull, 2010, (26): 488-492.
- [19] Hu BY, Zhang H, Meng XL, et al. Aloe-emodin from rhubarb (*Rheum rhabarbarum*) inhibits lipopolysaccharide-induced inflammatory responses in RAW264.7 macrophages [J]. J Ethnopharmacol, 2014, (153): 846-853.
- [20] 邹平, 邹超君. 芦荟的保健功效及产业开发前景[J]. 湖南农业科学, 2009, (1): 98-100.
Zou P, Zou CJ. Health care effect and industrial development prospect of aloe [J]. Hunan Agric Sci, 2009, (1): 98-100.
- [21] 秦加敏, 徐子婷, 吴渊, 等. 芦荟干粉和大黄干粉中芦荟大黄素的提取优化[J]. 轻工科技, 2019, 36(9): 36-37.
Qin JM, Xu ZT, Wu Y, et al. Optimization of extraction of aloe emodin from aloe powder and *Rheum* powder [J]. Guangxi J Light Ind, 2019, 36(9): 36-37.
- [22] 马稳, 李鸿雁. 微波辅助提取芦荟中芦荟大黄素工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(7): 254-256.
Ma W, Li HY. Research on the extraction of aloe emodin from aloe by microwave-assisted [J]. Sci Technol Food Ind, 2009, 30(7): 254-256.
- [23] 唐维建, 陈国和, 刘玉鑫, 等. 库拉索芦荟大黄素提取分离的研究[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2005, 31(1): 44-47.

- Tang WJ, Chen GH, Liu YX, *et al.* Study on extraction and isolation of aloe-emodin [J]. *J Southwest Univ (Nat Sci Ed)*, 2005, 31(1): 44–47.
- [24] 朱俊玲, 卢智. 超临界 CO₂ 萃取芦荟多糖工艺的优化[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(10): 5794–5795.
- Zhu JL, Lu Z. Optimization of supercritical CO₂ fluid extraction process for aloe polysaccharide [J]. *Anhui Agric Sci*, 2011, 39(10): 5794–5795.
- [25] 张旭东, 杨嘉宏, 曹洁怡, 等. 大孔树脂联合 Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶分离纯化芦荟大黄素[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(23): 7915–7920.
- Zhang XD, Yang JH, Cao JY, *et al.* Separation and purification of aloe emodin by macroporous resin and Sephadex LH-20 dextran gel [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(23): 7915–7920.
- [26] 晏正. 芦荟粉提取制备芦荟苷和芦荟大黄素[D]. 开封: 河南大学, 2010.
- Yan Z. Preparation of aloin and aloe emodin from aloe powder [D]. Kaifeng: Henan University, 2010.
- [27] 曹元元. 芦荟加工过程中芦荟苷的转化与控制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- Cao YY. Study on the transformation and control of aloin during aloe processing [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.

(责任编辑: 李磅礴)

作者简介



李宝玉, 高级工程师, 主要研究方向为食品加工与食品安全。

E-mail: lbysdyx@126.com