

酸浆宿萼中酸浆苦素的提取工艺及降糖活性

李成华¹, 付艳艳^{2*}, 薛长松^{1*}, 陈建宇¹, 朱芳娆¹

(1. 通化师范学院 长白山优势生药资源开发与利用实验室, 吉林 通化 134001; 2. 长春中医药大学附属医院 肾病科, 吉林 长春 130021)

摘要: 该试验采用低共熔溶剂-超声波辅助提取法对酸浆宿萼中的酸浆苦素进行提取并进行降糖活性研究。该试验合成5种不同的低共熔溶剂, 在单因素试验的基础上, 采用四因素三水平的响应面法优化酸浆宿萼中的酸浆苦素的提取工艺条件, 通过对 α -葡萄糖苷酶、 α -淀粉酶抑制能力测定评价酸浆苦素体外降糖活性。结果表明: 氯化胆碱: 葡萄糖=2:1(摩尔比)合成的低共熔溶剂酸浆苦素提取量最高, 且明显高于75%乙醇组; 最佳提取工艺为料液比1:10(g/mL)、超声功率320 W、超声时间30 min、含水量15%, 在该条件下, 酸浆苦素提取量为 (8.96 ± 0.15) mg/g, 酸浆苦素有降糖活性。

关键词: 酸浆宿萼; 酸浆苦素; 超声波; 低共熔溶剂; 提取; 降糖活性

Optimization of Extraction and *in vitro* Sugar-lowering Activity of Physalin from the Calyx of *Physalis alkekengi* L.

LI Cheng-hua¹, FU Yan-yan^{2*}, XUE Chang-song^{1*}, CHEN Jian-yu¹, ZHU Fang-rao¹

(1. Laboratory for the Development and Utilization of Superior Crude Drug Resources in Changbai Mountain, Tonghua Normal University, Tonghua 134001, Jilin, China; 2. Department of Nephrology, Affiliated Hospital of Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130021, Jilin, China)

Abstract: Deep eutectic solvents (DESs) coupled with ultrasound-assisted extraction (UAE) was employed to extract physalin from the calyx of *Physalis alkekengi* L. and the sugar-lowering activity of the extracted physalin was analyzed. Five different DESs were used for extraction and their performance was evaluated. On the basis of single factor tests, the response surface methodology was employed to optimize the extraction conditions of physalin from the calyx of *P. alkekengi*. The sugar-lowering activity of the extracted physalin was analyzed based on the inhibitory effects on α -glucosidase and α -amylase. The results showed that DESs (choline chloride : glucose = 2 : 1) exhibited the highest extraction yield, which was significantly higher than that with 75% ethanol as the solvent. The conditions for physalin extraction were optimized as follows: solid-to-liquid ratio of 1 : 10 (g/mL), ultrasonic power of 320 W, ultrasonic time of 30 min, and water content of 15%. Under these conditions, the yield of physalin extracted from the calyx of *P. alkekengi* was (8.96 ± 0.15) mg/g. The physalin extracted from *P. alkekengi* had sugar-lowering activity.

Key words: the calyx of *Physalis alkekengi* L.; physalin; ultrasound; deep eutectic solvents; extraction; sugar-lowering activity

引文格式:

李成华, 付艳艳, 薛长松, 等. 酸浆宿萼中酸浆苦素的提取工艺及降糖活性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(5): 127-134.

LI Chenghua, FU Yanyan, XUE Changsong, et al. Optimization of Extraction and *in vitro* Sugar-lowering Activity of Physalin from the Calyx of *Physalis alkekengi* L.[J]. Food Research and Development, 2023, 44(5): 127-134.

基金项目: 吉林省教育厅科学技术研究规划项目(JJKH20210532KJ); 吉林省科技发展计划项目(20200404031YY); 吉林省教育科学“十三五”规划项目(GH20298)

作者简介: 李成华(1978—), 女(汉), 副教授, 硕士, 研究方向: 长白山优势生药资源开发与利用。

* 通信作者: 付艳艳(1979—), 女(汉), 硕士, 研究方向: 中医药治疗肾病临床药理研究; 薛长松(1971—), 男(汉), 博士, 研究方向: 长白山优势生药资源开发与利用。

酸浆[*Physalis alkekengi* L. var. *franchetii* (Mast.) Makino]别名红姑娘、灯笼草、菇蔕儿、姑娘儿、挂金灯,原产于我国,主要分布在吉林、辽宁、黑龙江、内蒙古、四川、西藏等地^[1],是药食两用植物^[2]。酸浆宿萼(果萼)性味甘、酸、性寒,有清凉、消肿、利尿等功效,糖尿病患者常用其代茶饮,能对血糖调节起到较好效果^[3]。酸浆苦素是酸浆中一类重要的生物活性物质。酸浆苦素A通过遏制信号转导和抑制转录激活因子相关通路起到抗肺部肿瘤作用^[4]。酸浆苦素A可以激活 Nrf2 以及靶基因来诱导醌还原酶的表达,而具有预防肝病以及癌症的潜能^[5]。酸浆苦素B能明显抑制人乳腺癌细胞增殖、改变线粒体的膜电位和细胞活性氧水平、促进细胞凋亡^[6]。酸浆苦素B、D、J和P能抑制和杀灭枯草芽孢杆菌等,具有较好的抗菌作用^[7]。酸浆提取物能够抑制高血糖标准的人脐静脉内皮细胞的炎症反应和凋亡,而具有明显的抗糖尿病活性^[8]。

低共熔溶剂^[9](deep eutectic solvents, DESs)作为新型共熔混合溶剂,具有制备方法简单、毒性低或无毒、生物相容性、生物可降解、可回收等多种优点,逐渐成为一种新型的离子液体取代剂。DESs 的相关研究还是新兴领域,正处在初步发展的阶段。DESs 通过与溶剂形成氢键可以表现出极其强大的溶解性。DESs 的特殊溶解性为提取活性物质提供了新鲜的有效途径。DESs 提取的银杏萜烯内酯^[10]、核桃青皮多酚^[11]、黄芩苷^[12]均证明了该提取条件的切实可行性。超声辅助提取(ultrasonic-assisted extraction, UAE)是一种高效的萃取技术,能够减少溶剂及能量损耗,缩减提取时间^[13]。超声波辅助提取菊芋花青素^[14]、七叶莲多酚^[15]均取得了较好的提取效果。因此,DESs-UAE 提取植物中功能性成分成为新颖的高效提取手段。

甲醇提取是酸浆苦素的传统提取方法^[16-17],甲醇有毒性,而 DESs 是一种新类型绿色溶剂。DESs-UAE 提取酸浆宿萼中酸浆苦素提取工艺参数匮乏且有关酸浆苦素降糖活性研究甚少。本研究以酸浆宿萼为原料,采用 DESs-UAE 将酸浆苦素从原料组织中释放出来,利用响应面法优化提取工艺,通过对 α -葡萄糖苷酶、 α -淀粉酶的抑制能力评价酸浆苦素体外降糖活性,为进一步开发酸浆活性成分提供有益参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

酸浆宿萼:采自通化市,30℃低温烘干,粉碎过60目筛,备用。

β -谷甾醇对照品:中国食品药品检定研究院; α -淀粉酶 $\geq 10\ 000$ U/g、 α -葡萄糖苷酶、磷酸盐缓冲溶液(phosphate buffered saline, PBS) ≥ 50 U/mg;上海伊卡

生物技术有限公司;尿素、葡萄糖、甲醇(均为分析纯):天津市百世化工有限公司。

1.2 仪器与设备

UV1900 紫外可见分光光度计:上海菁华科技仪器有限公司;JA5003N 型电子天平:上海菁海仪器有限公司;RE-52AA 旋转蒸发器:上海亚荣生化仪器厂;Thermo Forma 酶标仪:美国 Bio-Rad 公司。

1.3 方法

1.3.1 酸浆苦素的提取

标准曲线的绘制:甲醇超声溶解 β -谷甾醇对照品 1.0 mg 并定容于 5 mL 容量瓶中,得 0.2 mg/mL β -谷甾醇对照品贮备液,于波长 200 nm~1 000 nm 扫描,优选 386 nm 为测定波长^[18]。用甲醇定容,配制 0、0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL 系列浓度对照品溶液于容量瓶中,于优选的波长处测量吸光度,甲醇作参比,以吸光度 A 对浓度 C 做回归方程得 $A=0.791\ 7C-0.051\ 2$, $R^2=0.999\ 3$ 。结果显示, β -谷甾醇对照品溶液在 0.1 mg/mL~1.0 mg/mL 具备良好线性关系。

低共熔溶剂的制备及其低共熔溶剂体系的选择:氯化胆碱参考司悦悦^[19]的方法测定,分别与乳酸、尿素、1,4-丁二醇、柠檬酸、葡萄糖按一定摩尔比混合,置于 85℃水浴中长时间搅拌至混合物清澈透明。具体低共熔溶剂的分类及摩尔比例见表 1。

表 1 低共熔溶剂的种类及比例

Table 1 Types and ratios of deep eutectic solvents

序号	种类	摩尔比
DESs-1	氯化胆碱:乳酸	1:2
DESs-2	氯化胆碱:尿素	1:2
DESs-3	氯化胆碱:1,4-丁二醇	1:4
DESs-4	氯化胆碱:柠檬酸	1:1
DESs-5	氯化胆碱:葡萄糖	2:1

样品中酸浆苦素的含量测定:取酸浆宿萼粉末 1.0 g 于烧瓶中,料液比按照 1:20 (g/mL)加入含水率 20% 的低共熔溶剂(低共熔溶剂 16 mL+蒸馏水 4 mL),80℃下超声 30 min,萃取液用微孔膜过滤,即得酸浆苦素提取液。准确吸取酸浆苦素样品溶液 2 mL 于离心管中,加入石油醚 2 mL,涡旋 10 min,去石油醚层,加入乙酸乙酯 2 mL,涡旋 10 min,取乙酸乙酯层吹干,加入甲醇完成纯化于 5 mL 容量瓶中定容,在波长 386 nm 处测吸光度^[20],求出浓度,计算出酸浆苦素提取量(mg/g)。

1.3.2 单因素试验

在超声功率 200 W、含水量 30%、超声时间 40 min 的条件下,考察料液比[1:5、1:10、1:15、1:20、1:25 (g/mL)]对酸浆苦素提取量的影响;在料液比 1:10 (g/mL)、含水量 30%、超声时间 40 min 的条件下,考察超声功率(150、200、250、300、350 W)对酸浆苦素提取量的影响;在料液比 1:10 (g/mL)、超声功率

300 W、超声时间 40 min 的条件下,考察含水量(10%、20%、30%、40%、50%)对酸浆苦素提取量的影响;在料液比 1:10 (g/mL)、超声功率 300 W、含水量 20% 的条件下,考察超声时间(10、20、30、40、50 min)对酸浆苦素提取量的影响。每组均进行 3 次平行试验。

1.3.3 优化超声辅助低共熔溶剂提取条件

依据单因素试验结果,选择料液比(A)、超声功率(B)、超声时间(C)、含水量(D)4 个因素,利用响应面法优化超声辅助低共熔溶剂提取酸浆苦素工艺条件。以样品酸浆苦素提取量为响应值(Y)进行试验设计,因素水平见表 2。

表 2 因素水平设计
Table 2 Factors and levels of test design

水平	A 料液比/(g/mL)	B 超声功率/W	C 超声时间/min	D 含水量/%
-1	1:5	250	25	15
0	1:10	300	30	20
1	1:15	350	35	25

1.3.4 降糖活性测定

制备 0.062 5、0.125、0.25、0.5、1 mg/mL 的酸浆苦素样品溶液,0.031 25、0.062 5、0.125、0.25、0.5 mg/mL 的阿卡波糖阳性对照溶液,进行酸浆苦素体外降糖活性研究。

1.3.4.1 对 α-葡萄糖苷酶的抑制能力测定

抑制 α-葡萄糖苷酶试验设计见表 3。

表 3 抑制 α-葡萄糖苷酶试验设计
Table 3 Experimental design for α-glucosidase inhibition

组别	磷酸盐缓冲溶液	α-葡萄糖苷酶	样品	对硝基苯基-β-D 吡喃葡萄糖苷	碳酸钠
样品组	112	20	50	20	80
对照组	112	20	等体积磷酸盐缓冲溶液	20	80
空白组	112	等体积磷酸盐缓冲溶液	50	20	80

参照表 3 完成相关试验,其中加入样品和对硝基苯基-β-D 吡喃葡萄糖苷后分别在 37 ℃反应 15 min,加入碳酸钠终止反应后,于 540 nm 处检测吸光度,计算 IC₅₀ 值。

α-葡萄糖苷酶的抑制率/%=[A_{对照}-(A_{样品}-A_{空白})]/A_{对照}×100

式中:A_{对照}为对照组吸光度;A_{样品}为样品组吸光度;A_{空白}为空白组吸光度。

1.3.4.2 对 α-淀粉酶的抑制能力测定

抑制 α-淀粉酶试验设计见表 4。

参照沈鹏等^[21]的方法制备 3,5-二硝基水杨酸(3,5-dinitrosalicylic acid,DNS)溶液。参照表 4 进行相关试

表 4 抑制 α-淀粉酶试验设计

Table 4 Experimental design for α-amylase inhibition

组别	样品体积	α-淀粉酶	淀粉溶液	3,5-二硝基水杨酸
样品组	50	50	50	50
样品对照组	50	等体积 PBS	50	50
对照组	等体积 PBS	50	50	50
空白对照组	等体积 PBS	等体积 PBS	50	50

验,其中加入 α-淀粉酶后在 37 ℃反应 10 min,加入 DNS 后,于 540 nm 处检测吸光度,计算 IC₅₀ 值。α-淀粉酶的抑制率计算公式如下。

$$\alpha\text{-淀粉酶的抑制率}/\%=[(A_{\text{对照}}-A_{\text{空白对照}})-(A_{\text{样品}}-A_{\text{样品对照}})]/(A_{\text{对照}}-A_{\text{空白对照}})\times 100$$

式中:A_{对照}为对照组吸光度;A_{样品}为样品组吸光度;A_{空白对照}为空白对照组吸光度;A_{样品对照}为样品对照组吸光度。

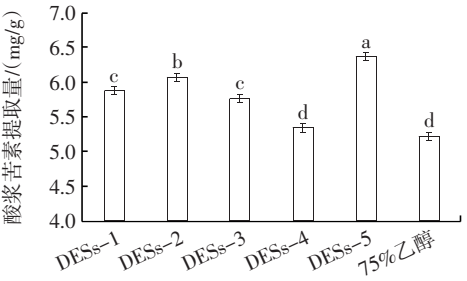
1.4 数据处理

采用 Design-Expert 8.0.6、Excel、SPSS13.0 软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 最优低共熔溶剂的筛选

氯化胆碱和有机酸、胺、糖和多元醇按相应的摩尔比配制 5 种类型的 DESs。常温下,DESs 均呈清澈透明状,考虑 DESs 黏度对提取物的作用效果,酸浆苦素提取所选取的 DESs 含水量为 20%。以 75%乙醇做参比^[22],不同 DESs 对酸浆苦素提取量的影响如图 1 所示。



不同字母表示酸浆苦素提取量差异显著(P<0.05)。

图 1 不同溶剂对酸浆苦素提取量的影响
Fig.1 Effect of different solvents on physalin yield

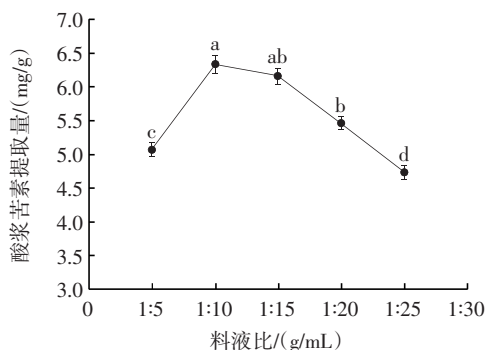
由图 1 可知,在 5 种 DESs 中,氯化胆碱:葡萄糖=2:1(摩尔比)合成的 DESs-5 提取效果最好,酸浆苦素提取量为(6.37±0.19) mg/g。这可能是由于氯化胆碱、葡萄糖合成的 DESs-5 与酸浆苦素的极性更接近。DESs 组酸浆苦素提取量高于 75%乙醇组可能由于 DESs 能与酸浆苦素之间形成更强烈的氢键作用^[23]。优选氯化胆碱:葡萄糖=2:1(摩尔比)制备的 DESs-5 用于后续

的提取工艺优化。

2.2 单因素试验结果

2.2.1 料液比对酸浆苦素提取量的影响

料液比对酸浆苦素提取量的影响见图2。



不同字母表示酸浆苦素提取量差异显著($P<0.05$)。

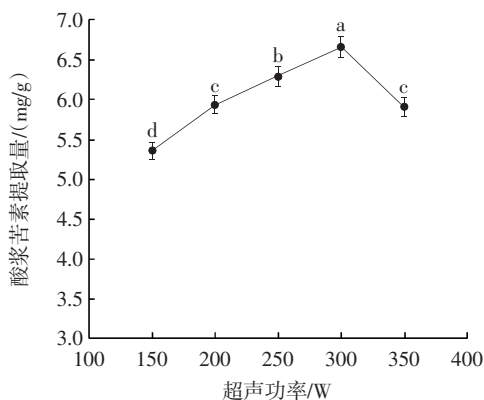
图2 料液比对酸浆苦素提取量的影响

Fig.2 Effect of solid-to-liquid ratio on physalin yield

由图2可知,一定范围内酸浆苦素提取量随着DESs体积的增加而增加,提取溶剂量的增加,能够增加酸浆宿萼和溶剂之间酸浆苦素的浓度差,从而提升传质推动力,有益于酸浆苦素的溶出^[24]。DESs体积过大导致酸浆苦素提取量下降,可能是随着提取溶剂的增加,酸浆苦素被充分浸提,当料液比达到1:10(g/mL)而继续增加溶剂体积时,超声波能量作用在物料上相对减少,在溶剂上相对增加,从而导致酸浆苦素提取量下降^[25]。因此,选择料液比1:5、1:10、1:15(g/mL)进行后续试验。

2.2.2 超声功率对酸浆苦素提取量的影响

超声功率对酸浆苦素提取量的影响见图3。



不同字母表示酸浆苦素提取量差异显著($P<0.05$)。

图3 超声功率对酸浆苦素提取量的影响

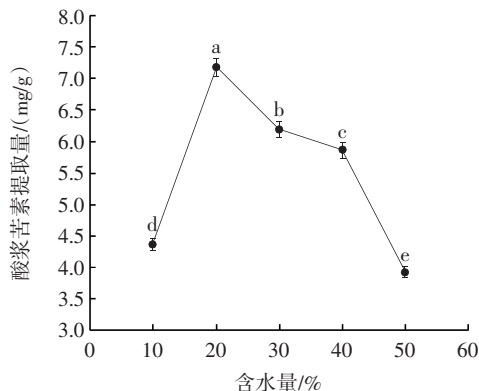
Fig.3 Effect of ultrasonic power on physalin yield

由图3可知,酸浆苦素提取量随着超声功率的增加呈先上升后下降的趋势。超声功率为300 W时,酸浆苦素提取量达到最高,随后开始下降。这可能与超声振动产生空化和剪切效应有利于内容物释放有关,

但超声功率过大,反而破坏内容物结构^[26]。因此,选择超声功率为250、300、350 W进行后续试验。

2.2.3 低共熔溶剂含水量对酸浆苦素提取量的影响

低共熔溶剂含水量对酸浆苦素提取量的影响见图4。



不同字母表示酸浆苦素提取量差异显著($P<0.05$)。

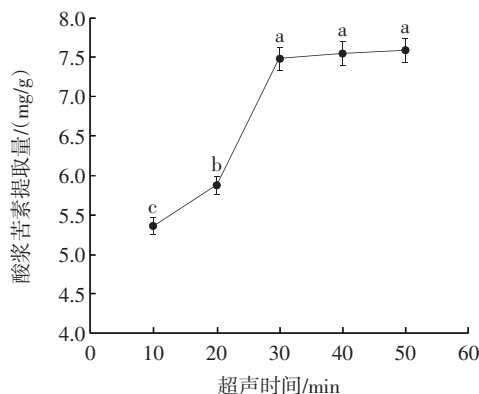
图4 含水量对酸浆苦素提取量的影响

Fig.4 Effect of water content on physalin yield

由图4可知,含水量为20%时,酸浆苦素提取量达到最高。DESs含水量的多少与DESs的黏度和极性有关,进而影响DESs的提取性能^[27]。分析原因可能是水的加入降低了DESs的黏度。适当降低黏度能够有效提升传质速率,增进内容物的溶出。当含水量大于20%时,酸浆苦素提取量走势下降。DESs含水量过大会削弱甚至损害氢键供体和氢键受体之间的氢键作用,进而破坏DESs的超分子结构,使有效溶剂DESs的含量减低,从而导致酸浆苦素得率降低^[25]。因此,选择含水量15%、20%、25%进行后续试验。

2.2.4 超声时间对酸浆苦素提取量的影响

超声辅助提取工艺耗时短、效率高,适用于DESs等溶剂提取中药成分^[28]。超声时间也是影响酸浆苦素提取量的重要因素。超声时间对酸浆苦素提取量的影响见图5。



不同字母表示酸浆苦素提取量差异显著($P<0.05$)。

图5 超声时间对酸浆苦素提取量的影响

Fig.5 Effect of ultrasound time on physalin yield

由图 5 可知,超声时间为 10 min~30 min 时,酸浆苦素提取量呈上升趋势,继续延长超声时间,提取量趋于平缓。30 min 的提取时间能够将大部分的酸浆苦素从酸浆宿萼中提取出来,考虑到节能问题,选择超声时间为 25、30、35 min 进行后续试验。

2.3 响应面法优化酸浆苦素提取工艺试验结果

试验设计方案与结果见表 5。

表 5 拟合设计试验方案及结果

Table 5 Results of fitting test

试验号	A 料液比	B 超声功率	C 超声时间	D 含水量	酸浆苦素提取量/(mg/g)
1	-1	0	0	1	7.37
2	0	1	0	1	7.96
3	0	0	0	-1	7.27
4	0	-1	0	1	8.16
5	-1	0	0	0	9.15
6	0	0	1	0	7.92
7	0	1	0	-1	7.27
8	0	0	0	-1	8.83
9	-1	-1	0	0	8.81
10	0	0	1	0	8.73
11	1	1	0	0	7.26
12	1	-1	1	0	8.86
13	0	-1	-1	0	8.89
14	0	0	0	0	7.76
15	-1	0	0	0	8.55
16	0	0	0	1	7.32
17	0	0	1	0	8.57
18	-1	-1	0	1	8.79
19	0	0	-1	-1	7.37
20	1	0	-1	0	8.98
21	-1	0	0	0	7.16
22	-1	-1	0	0	8.76
23	0	1	0	0	7.89
24	1	0	1	-1	7.94
25	0	0	0	0	8.77
26	0	-1	0	-1	7.47
27	0	0	-1	0	7.34
28	1	1	0	0	7.82
29	0	0	1	1	8.78

采用响应面分析法分析试验结果,以酸浆苦素提

取量为响应值,对试验数据进行二次多项式回归拟合,得回归方程:酸浆苦素提取量=8.77-0.23A+0.093B+0.057C-0.12D-0.35AB+0.11AC-0.18AD+0.64BC+0.048BD+0.25CD-0.87A²-0.37B²-0.11C²-0.020D²,R²=0.991 5。响应面法对酸浆苦素提取量的方差分析见表 6。

表 6 响应面法对酸浆苦素提取量的方差分析

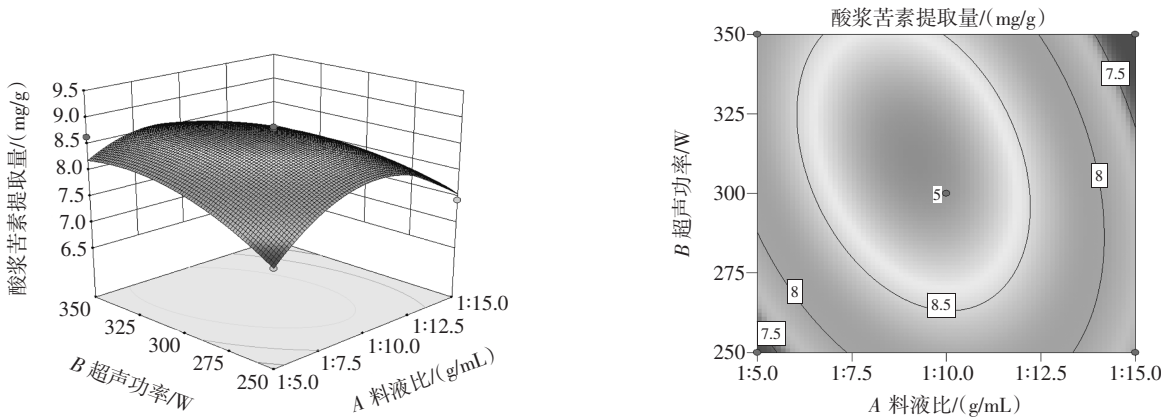
Table 6 Analysis of variance of orthogonal test

项目	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	8.67	14	0.62	6.47	0.000 6
A	0.63	1	0.63	6.54	0.022 8
B	0.10	1	0.10	1.07	0.317 7
C	0.039	1	0.039	0.40	0.535 8
D	0.017	1	0.017	1.78	0.203 2
AB	0.50	1	0.50	5.20	0.038 8
AC	0.95	1	0.95	9.86	0.007 2
AD	0.42	1	0.42	4.98	0.042 4
BC	0.33	1	0.33	5.50	0.034 3
BD	0.011	1	0.011	0.19	0.671 8
CD	2.500×10 ³	1	2.500×10 ³	0.042	0.841 4
A ²	4.89	1	4.89	51.14	<0.001 0
B ²	0.90	1	0.90	9.39	0.008 4
C ²	0.083	1	0.083	0.87	0.366 4
D ²	2.488×10 ³	1	2.488×10 ³	0.026	0.874 2
残差	1.34	14	0.096		
失拟差	1.32	10	0.13	34.83	0.0019
误差	0.015	4	3.800×10 ³		
总差	10.01	28			

注:P<0.05 表示差异显著。

由表 6 可知,回归方程显著性检测 P=0.000 6,表明该二次方程模型显著(P<0.05),回归方程模型与实际拟合性较好,试验误差小,证明可用该模型对酸浆苦素的提取量进行分析与预测。各因素对酸浆苦素提取量的影响能力大小依次为 A(料液比)>D(含水量)>B(超声功率)>C(超声时间)。

将表 6 中的数据进行响应曲面分析,考察 2 个工艺参数对酸浆苦素提取量的交互作用。依照回归方程,考察响应曲面和相应的等高线的形状,分析 4 个因素对酸浆苦素提取量的影响,结果见图 6。



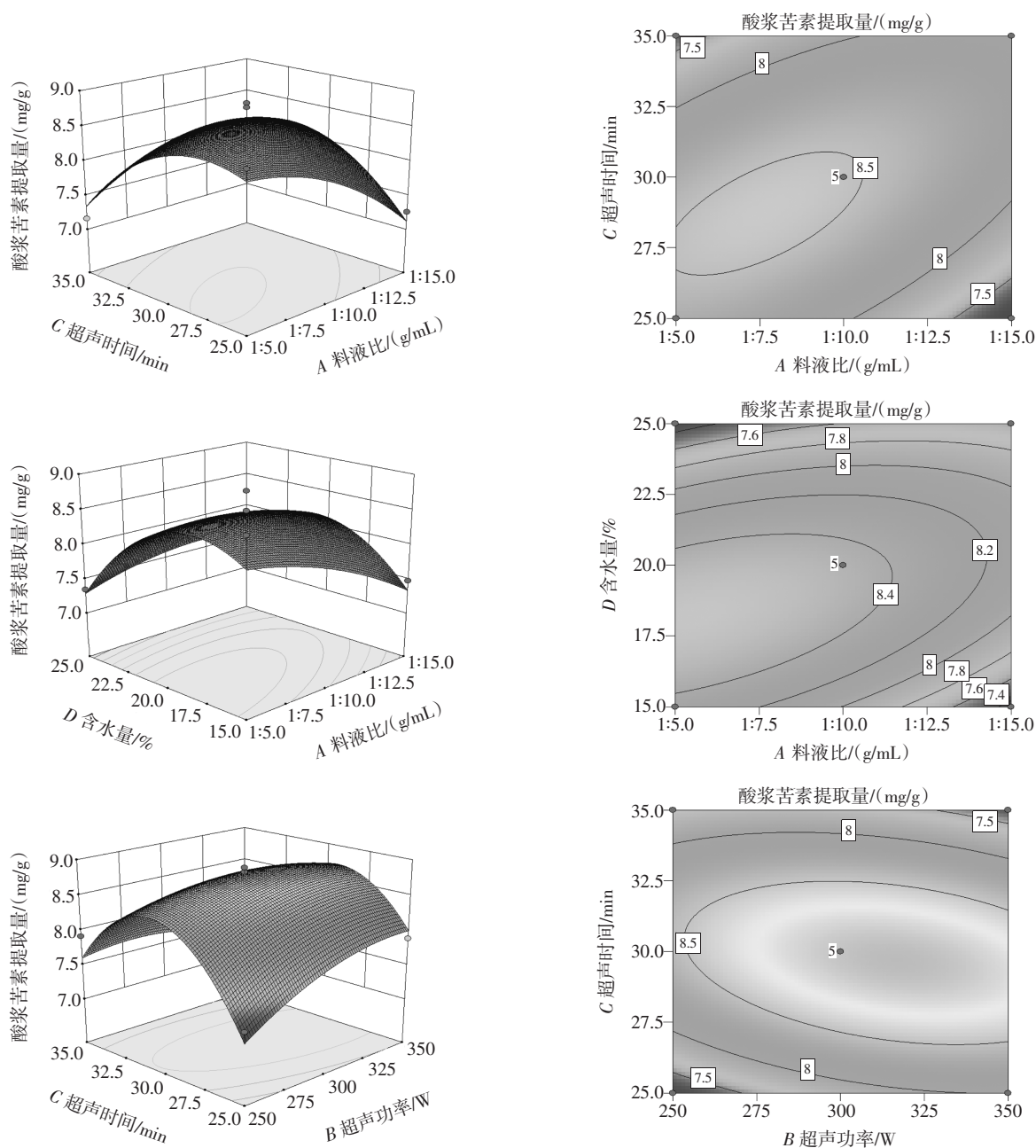


图6 酸浆各因素交互作用对多糖提取影响的响应面

Fig.6 Response contour plots and surface plots showing the effect of factor interaction on physalin yield

3D 响应曲面图和热图可以直观反映各因素交互作用对酸浆苦素提取量影响的显著程度。在 3D 图中, 曲面的坡度越大, 曲面顶端颜色越深, 交互作用越显著。在等高线图中, 等高线形状越接近椭圆则两个工艺参数之间的交互作用越显著。由图 6 可知, 与其它考察因素比较, A 料液比和 B 超声功率、A 料液比和 C 超声时间、A 料液比和 D 含水量、B 超声功率和 C 超声时间分别与酸浆苦素提取量所形成的三维曲面图形较陡, 响应值波动较明显, 且等高线图为椭圆形, 交互作用对酸浆苦素提取量影响相对大^[29], 与表 6 方差分析结果相符合。

2.4 验证试验结果

由 Design-Expert 8.0.6 软件分析, 得出酸浆苦素提取的最佳条件。结果显示, 酸浆苦素提取的最佳条件为料液比 1 : 10 (g/mL)、超声功率 322 W、超声时间 30.45 min、含水量 15.35%, 此时得到的酸浆苦素提取量为 9.070 77 mg/g。结合试验操作性, 试验条件优化为料液比 1 : 10 (g/mL)、超声功率 320 W、超声时间 30 min、含水量 15%。在此优化工艺条件下, 进行 3 次验证, 酸浆苦素提取量平均值为 (8.96 ± 0.15) mg/g, 与模型预期值的误差为 1.22%, 说明该方程与酸浆苦素提取试验情况拟合较好。

2.5 酸浆苦素降糖活性结果

酸浆苦素降糖活性结果见表 7。

表 7 酸浆苦素降糖活性结果
Table 7 Sugar-lowering activity of physalin

组别	α -葡萄糖苷酶 IC ₅₀ 值/ (mg/mL)	α -淀粉酶 IC ₅₀ 值/ (mg/mL)
酸浆苦素	0.086 2±0.012 4	0.775 9±0.109 8
阿卡波糖	0.046 5±0.021 3	0.092 6±0.029 8

由表 7 可知,酸浆苦素与阿卡波糖对照品均有降糖活性,两者对 α -葡萄糖苷酶、 α -淀粉酶的抑制结果进行两样本 T 检验,两者对 α -葡萄糖苷酶的抑制能力差异不显著($t=3.599$ 、 $P=0.069$),对 α -淀粉酶的抑制能力差异显著($t=8.477$ 、 $P=0.014$)。

3 结论

DESs-UAE 提取酸浆宿萼中的酸浆苦素,以氯化胆碱:葡萄糖=2:1(摩尔比)合成的 DESs-5 为最佳提取溶剂。响应面分析法使得试验优选工艺参数明确,通过回归方程拟合几种试验考察因素间的函数关系寻得各交互考察因素的最确切组合以及响应值的最佳值。本文运用 DESs 提取酸浆宿萼中的酸浆苦素,结合响应面分析法优化了 DESs-UAE 提取酸浆苦素的工艺。相比传统甲醇提取酸浆苦素,DESs-UAE 提取酸浆苦素绿色环保、酸浆苦素提取量高,高于 75%乙醇组。 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶抑制剂,能降低 2 型糖尿病患者升糖指数和餐后高血糖。医治 2 型糖尿病的常规药物阿卡波糖等容易引起如胃肠胀气、腹泻等不良副作用,将常规药物与具备生物效用的天然活性产物联合使用是减少药物副作用的可行途径。酸浆苦素有很好的降糖活性,可以与医治 2 型糖尿病的常规药物联合使用。本试验为酸浆苦素的进一步分离纯化、调节血糖、创造经济价值等深化研究奠定了基础。

参考文献:

[1] 李成华,薛长松,李丽. 酸浆宿萼总黄酮提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 北方园艺, 2018,23: 124-131.
LI Chenghua, XUE Changsong, LI Li. Optimized extraction and antioxidant activity of flavonoid from *Physalis alkekengi* L.[J]. Northern Horticulture, 2018,23: 124-131.

[2] 李欣,白露露,易珂,等. 酸浆的化学成分及药理作用研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2022, 34(2): 324-343.
LI Xin, BAI Lulu, YI Ke, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Physalis alkekengi* L. var. *franchetii* (Mast.) Makino[J]. Natural Product Research and Development, 2022, 34(2): 324-343.

[3] 汪紫薇,张振学. 酸浆属多糖的研究进展[J]. 宁夏农林科技, 2018, 59(3): 51-53.
WANG Ziwei, ZHANG Zhenxue. Research progress of *Physalis poly-*

saccharide[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2018, 59(3): 51-53.

[4] ZHU F F, DAI C Y, FU Y F, et al. Physalin A exerts anti-tumor activity in non-small cell lung cancer cell lines by suppressing JAK/STAT3 signaling[J]. Oncotarget, 2016, 7(8): 9462-9476.

[5] SHIN J M, LEE K M, LEE H J, et al. Physalin A regulates the Nrf2 pathway through ERK and p38 for induction of detoxifying enzymes[J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2019, 19(1): 101.

[6] WANG A Q, WANG S P, ZHOU F Y, et al. Physalin B induces cell cycle arrest and triggers apoptosis in breast cancer cells through modulating p53-dependent apoptotic pathway[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2018, 101: 334-341.

[7] YANG Y K, XIE S D, XU W X, et al. Six new physalins from *Physalis alkekengi* var. *franchetii* and their cytotoxicity and antibacterial activity[J]. Fitoterapia, 2016, 112: 144-152.

[8] VICAS L G, JURCA T, BALDEA I, et al. *Physalis alkekengi* L. extract reduces the oxidative stress, inflammation and apoptosis in endothelial vascular cells exposed to hyperglycemia[J]. Molecules, 2020, 25(16): 3747.

[9] AZEVEDO A M O, VILARANDA A G, NEVES A F D C, et al. Development of an automated yeast-based spectrophotometric method for toxicity screening: Application to ionic liquids, GUMBOS, and deep eutectic solvents[J]. Chemosphere, 2021, 277: 130227.

[10] SU E Z, YANG M, CAO J, et al. Deep eutectic solvents as green media for efficient extraction of terpene trilactones from *Ginkgo biloba* leaves[J]. Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies, 2017, 40(8): 385-391.

[11] WEI Z F, WANG X Q, PENG X, et al. Fast and green extraction and separation of main bioactive flavonoids from *Radix Scutellariae* [J]. Industrial Crops and Products, 2015, 63: 175-181.

[12] 魏夏夏,张晓虎,郑妍. 低共熔溶剂提取黄芩苷及其复合保鲜液在鲜肉中的应用[J]. 中国农学通报, 2021, 37(13): 127-134.
WEI Xiaxia, ZHANG Xiaohu, ZHENG Yan. Application of eutectic solvent extraction of baicalin and its compound preservation solution in fresh meat[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(13): 127-134.

[13] YOO D E, JEONG K M, HAN S Y, et al. Deep eutectic solvent-based valorization of spent coffee grounds[J]. Food Chemistry, 2018, 255: 357-364.

[14] 李娟,彭健玮,孙雪梅. 响应面试验优化超声法提取菊芋花青素工艺[J]. 中国调味品, 2022, 47(10): 173-178.
LI Juan, PENG Jianwei, SUN Xuemei. Optimization of ultrasonic extraction of anthocyanins from *Helianthus tuberosus* L. by response surface methodology[J]. China Condiment, 2022, 47(10): 173-178.

[15] 杨申明,宁娜,杨潇,等. 响应面法优化七叶莲多酚提取工艺及抗氧化性研究[J]. 北方园艺, 2022(18): 90-98.
YANG Shenming, NING Na, YANG Xiao, et al. Optimization of polyphenols extraction from *Schefflera arboricola* Hayata by response surface methodology and its antioxidant activity[J]. Northern Horticulture, 2022(18): 90-98.

[16] 邹兵,袁野,周翎,等. HPLC 法测定锦灯笼中酸浆苦素类成分的含量[J]. 中国药房, 2011, 22(15): 1393-1395.
ZOU Bing, YUAN Ye, ZHOU Ling, et al. Content determination of physalins in *Physalis alkekengi* by HPLC[J]. China Pharmacy, 2011, 22(15): 1393-1395.

[17] 夏天乙,钟仁兴,丁子禾,等. 锦灯笼中酸浆苦素类成分的分离与鉴定[J]. 广东药科大学学报, 2020, 36(6): 761-764.
XIA Tianyi, ZHONG Renxing, DING Zih, et al. Study on the isola-

- tion and identification of the chemical constituents of physalins in *Physalis alkekengi* L. var. *franchetii* (Mast.) Makino[J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2020, 36(6): 761–764.
- [18] 廖梅. 锦灯笼中总酸浆苦素的含量测定及其质量评价[J]. 山东化工, 2020, 49(16): 88–91.
- LIAO Mei. Determination of the total physalins and quality evaluation of *Physalis alkekengi*[J]. Shandong Chemical Industry, 2020, 49(16): 88–91.
- [19] 司悦悦. 基于低共熔溶剂提取天然生物碱的研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2019.
- SI Yueyue. Exploration of natural deep eutectic solvents for the extraction of natural alkaloids[D]. Qingdao: Qingdao University, 2019.
- [20] 王英臣. 酸浆宿萼中酸浆苦素抑菌稳定性的研究[J]. 食品科学, 2014, 35(7): 68–71.
- WANG Yingchen. Antimicrobial activity and stability of physalins from *Calyx seu fructus Physalis*[J]. Food Science, 2014, 35(7): 68–71.
- [21] 沈鹏, 张露云, 徐倩, 等. 酪醇衍生物的合成、抑菌及降血糖活性评价[J]. 沈阳药科大学学报, 2019, 36(1): 18–23.
- SHEN Peng, ZHANG Luyun, XU Qian, et al. Synthesis, antibacterial and hypoglycemic activities evaluation of tyrosol derivatives[J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University, 2019, 36(1): 18–23.
- [22] 袁野. 酸浆化学成分及质量控制研究[D]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2010.
- YUAN Ye. Study on chemical composition and quality control of acid pulp[D]. Shenyang: Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2010.
- [23] WANG X H, WANG J P. Effective extraction with deep eutectic solvents and enrichment by macroporous adsorption resin of flavonoids from *Carthamus tinctorius* L[J]. Journal of Pharmaceutical and Bio-medical Analysis, 2019, 176: 112804.
- [24] WU L F, LI L, CHEN S J, et al. Deep eutectic solvent-based ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from *Moringa oleifera* L. leaves: Optimization, comparison and antioxidant activity[J]. Separation and Purification Technology, 2020, 247: 117014.
- [25] YIN X S, ZHONG Z F, BIAN G L, et al. Ultra-rapid, enhanced and eco-friendly extraction of four main flavonoids from the seeds of *Oroxylum indicum* by deep eutectic solvents combined with tissue-smashing extraction[J]. Food Chemistry, 2020, 319: 126555.
- [26] SUN H Y, LI C Y, NI Y J, et al. Ultrasonic/microwave-assisted extraction of polysaccharides from *Camptotheca acuminata* fruits and its antitumor activity[J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 206: 557–564.
- [27] VILKOVÁ M, PŁOTKA-WASYŁKA J, ANDRUCH V. The role of water in deep eutectic solvent-base extraction[J]. Journal of Molecular Liquids, 2020, 304: 112747.
- [28] 赵晋彤, 阚晶晶, 季宇彬. 低共熔溶剂提取绵马贯众中总间苯三酚类成分的工艺研究[J]. 应用化工, 2022, 51(5): 1373–1376.
- ZHAO Jintong, KAN Jingjing, JI Yubin. Extraction of phloroglucinol derivatives from *Dryopteridis Crassirhizomatis* Rhizoma by deep eutectic solvent[J]. Applied Chemical Industry, 2022, 51(5): 1373–1376.
- [29] GOLBARGI F, GHARIBZAHEDI S M T, ZOGHI A, et al. Microwave-assisted extraction of Arabinan-rich pectic polysaccharides from melon peels: Optimization, purification, bioactivity, and techno-functionality[J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 256: 117522.

加工编辑: 刘艳美
收稿日期: 2022–10–28