

酸性低共熔溶剂水解麦冬提取物制备鲁斯可皂苷元研究

姚靖雯^{1,2}, 戴阳光², 刘 尚², 邵佳丽², 张威峰², 孟玲芝², 夏国华^{2*}, 杨 欢^{2*}
(1. 江苏大学附属医院药剂科, 江苏 镇江 212001; 2. 江苏大学药学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: **目的** 通过酸性低共熔溶剂 (ADES) 水解麦冬提取物以制备鲁斯可皂苷元。**方法** 将氯化胆碱分别与草酸、乳酸、顺丁烯二酸、柠檬酸以不同比例混合, 筛选最优 ADES 种类。在单因素试验基础上, 以料液比、水解温度、水解时间为影响因素, 鲁斯可皂苷元得率为评价指标, Box-Behnken 响应面法优化水解工艺。考察 ADES 可重复利用性,¹H-NMR、¹³C-NMR 确认产物结构。**结果** 最佳 ADES 种类为氯化胆碱-顺丁烯二酸 (1 : 1), 最佳条件为含水量 40%, 料液比 1 : 34, 水解温度 91 ℃, 水解时间 4.2 h, 鲁斯可皂苷元得率为 1.91%。上述体系连续使用 4 次后, 产物得率仍可达到 1.26%。**结论** ADES 水解麦冬提取物时可清洁、方便地获取鲁斯可皂苷元, 并且该体系展现出良好的循环使用性能, 有助于提升经济性。

关键词: 麦冬提取物; 鲁斯可皂苷元; 酸性低共熔溶剂 (ADES); 水解工艺; Box-Behnken 响应面法

中图分类号: R284.3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1528(2025)12-4136-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2025.12.039

鲁斯可皂苷元为螺甾烷醇型甾体皂苷元, 主要来源于百合科植物麦冬 *Ophiopogon japonicus* (L. f.) Ker-Gawl. 的干燥块根和天门冬科植物假叶树 *Ruscus aculeatus* L.^[1], 具有显著的抗肿瘤、抗炎、抗氧化等活性^[2], 近年来还发现它对神经损伤和脑缺血再灌注具有潜在保护作用^[3]。目前, 含鲁斯可皂苷元的药物和保健品被用于治疗静脉功能不全、痔疮及血液循环障碍^[4-5], 并且自从 2010 年版《中国药典》至今, 麦冬药材、饮片及其制剂中总皂苷含量均以该活性成分计^[6]。

鲁斯可皂苷元作为评价麦冬及相关成方制剂质量的指标性成分^[7-9], 市场需求量大, 价格昂贵, 目前通过化学合成法制备该活性成分较困难, 故大多采用无机酸水解麦冬总皂苷后再分离纯化获得^[10]。然而, 大量使用高浓度强酸不仅导致废液排放量大, 还易于产生脱水副产物, 导致鲁斯可皂苷元得率较低, 而且目标产物的分离纯化操作繁琐。

酸性低共熔溶剂 (ADES) 作为新一代绿色溶剂体系, 采用天然有机酸或酸性盐作为酸性组分以提供质子参与催化过程, 具有低挥发性、高稳定性、可生物降解等特性, 在制备中药活性成分方面展现出了广阔的发展潜力^[11-14]。因此, 本实验通过 ADES 水解麦冬提取物获取鲁斯可皂苷元, 并采用响应面法对该工艺进行优化, 以期为大量获取该活性成分奠定了基础。

1 材料

HP1100 型高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司); KQ-

收稿日期: 2025-09-07

基金项目: 国家自然科学基金 (81873196)

作者简介: 姚靖雯 (1995—), 女, 主管药师, 研究方向为药学。Tel: (0511) 85026079, E-mail: 493786667@qq.com

* 通信作者: 夏国华 (1977—), 男, 硕士, 高级实验师, 研究方向为天然药物化学。Tel: (025) 85637809, E-mail: xgh-78131@yeah.net

杨 欢 (1980—), 男, 博士, 教授, 研究方向为中药学。Tel: (025) 85637809, E-mail: yanghuan1980@ujs.edu.cn

600DE 型超声波清洗器 (昆山市超声仪器有限公司); RE-52A 型旋转蒸发仪 (上海亚荣生化仪器厂); AL-104 型电子分析天平 (瑞士 Mettler-Toledo 公司); DF-101S 型恒温加热磁力搅拌器 (巩义予华仪器有限责任公司); Advance II 型 NMR (400 MHz, 德国 Bruker 公司)。鲁斯可皂苷元对照品 (纯度 98.0%, 批号 111909-201906, 中国食品药品检定研究院); 麦冬提取物 (总皂苷含量 4.76%, 成都普非德生物技术有限公司提供)。乙腈为色谱纯 (美国 OmniGene LLC 公司); 氯化胆碱、草酸、顺丁烯二酸、乳酸、柠檬酸均为分析纯 (上海麦克林生化科技有限公司、国药集团上海化学试剂有限公司)。

2 方法

2.1 色谱条件 参照文献 [15] 报道, Waters XBridge Shield RP C₁₈ 色谱柱 (150 mm×4.6 mm, 3.5 μm); 流动相 乙腈-水 (65 : 35), 等度洗脱 15 min; 体积流量 0.8 mL/min; 柱温 30 ℃; 检测波长 205 nm; 进样量 10 μL。

2.2 线性关系考察 称取鲁斯可皂苷元对照品 4.80 mg, 甲醇溶解并定容至 10.0 mL, 制成质量浓度为 0.480 mg/mL 的贮备液, 二倍稀释法依次稀释至 0.240、0.120、0.060、0.030、0.015、0.007 5、0.003 75 mg/mL, 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 取续滤液, 在“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。

2.3 水解工艺 将氯化胆碱与有机酸 (草酸、乳酸、顺丁

烯二酸、柠檬酸) 按一定比例混合, 在 80 ℃ 下搅拌 1 h, 形成均一透明液体, 加入适量水制成 ADES 溶液。精密称取麦冬提取物 0.100 g, 置于离心管中, 加入一定体积 ADES 溶液, 涡旋振荡混匀, 在一定温度下恒温水浴或油浴水解一段时间, 冰浴终止反应。

2.4 单因素试验 以鲁斯可皂苷元得率 [公式为 $Y=(C_j\times V_j\times D_j)/m\times 100\%$, 其中 Y 为得率, C_j 为鲁斯可皂苷元质量浓度, V_j 为供试品溶液体积, D_j 为稀释倍数, m 为麦冬提取物质量] 为指标, 分别考察不同 ADES 体系 [氯化胆碱-柠檬酸 (1:1)、氯化胆碱-乳酸 (1:1)、氯化胆碱-乳酸 (1:2)、氯化胆碱-草酸 (1:1)、氯化胆碱-草酸 (1:2)、氯化胆碱-顺丁烯二酸 (1:1)]、ADES 含水量 (10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%)、料液比 (1:10、1:25、1:50、1:75)、水解温度 (70、80、90、100、110 ℃)、水解时间 (1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 h) 对水解效果的影响。

2.5 Box-Behnken 响应面法 在单因素试验基础上, 选择水解时间 (A)、水解温度 (B)、料液比 (C) 作为影响因素, 鲁斯可皂苷元得率 (Y) 为评价指标, 采用 Design-Expert v13.0 软件进行设计, 包括三水平三中心点, 共 17 组试验, 因素水平见表 1。

表 1 Box-Behnken 响应面法因素水平

因素	水平		
	-1	0	1
A 料液比	1:10	1:25	1:40
B 水解时间/h	3	4	5
C 水解温度/℃	80	90	100

2.6 可重复利用性考察 水解工艺完成后加入一定量水, 使鲁斯可皂苷元从 ADES 中析出, 过滤反应液, 用水洗涤滤渣, 合并滤液, 减压旋蒸除去水分, 再水解提取物。

2.7 水解产物结构鉴定 取“2.6”项下滤渣, 加入少量二氯甲烷溶解, 载入硅胶柱进行层析, 以石油醚-二氯甲烷-甲醇 (10:10:1) 洗脱, 并以其为展开剂进行 TLC 定性鉴别, 10% 硫酸乙醇显色并收集目标流分, 减压回收洗脱剂, 乙醇重结晶, 采用 HPLC-UV 法检测纯度。再将产物溶于 DMSO- d_6 中, 以三甲基硅烷 (TMS) 为内标, 通过 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz)、 $^{13}\text{C-NMR}$ (101 MHz) 对其结构进行鉴定。

2.8 统计学分析 所有实验均重复 3 次, 数据以 ($\bar{x}\pm s$) 表示, 通过 SPSS 27.0 软件进行单因素方差分析 (ANOVA), $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。若存在显著性差异, 则通过 Duncan 多重范围检验进行多重比较。

3 结果

3.1 线性关系考察 方程为 $Y=8.885\ 4X+49.831$ ($R^2=0.999\ 5$), 在 $3.75\times 10^{-3}\sim 0.480\ \text{mg/mL}$ 范围内线性关系良好。如图 1 所示, 提取物水解后转化为目标成分鲁斯可皂苷元, 与其他成分分离度良好 (>1.5)。

3.2 单因素试验

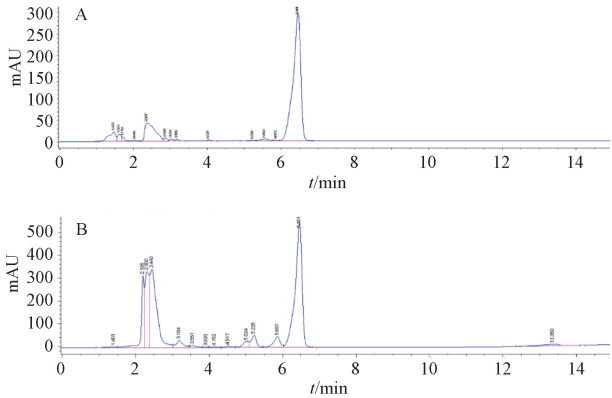


图 1 鲁斯可皂苷元 (A)、麦冬提取物水解产物 (B) HPLC 色谱图

3.2.1 ADES 体系 如图 2 所示, 各体系均可水解提取物并生成鲁斯可皂苷元, 其中氯化胆碱-顺丁烯二酸 (1:1) 得率最高。研究表明, 影响 ADES 水解效果的因素主要为氢键供体 (HBD) 酸性强弱及其与麦冬皂苷相互作用方式^[16], 本实验所用有机酸的酸性依次为草酸>顺丁烯二酸>柠檬酸>乳酸, 而 1:1 比例下以不同 HBD 制成的 ADES 水解得率依次为顺丁烯二酸>草酸>柠檬酸>乳酸。另外, 虽然 HBD 酸性更强、 H^+ 浓度更高时可更快断裂麦冬皂苷的糖苷键, 但过度酸化可能导致所产生的鲁斯可皂苷元脱水而形成副产物, 故最终确定为氯化胆碱-顺丁烯二酸 (1:1)。

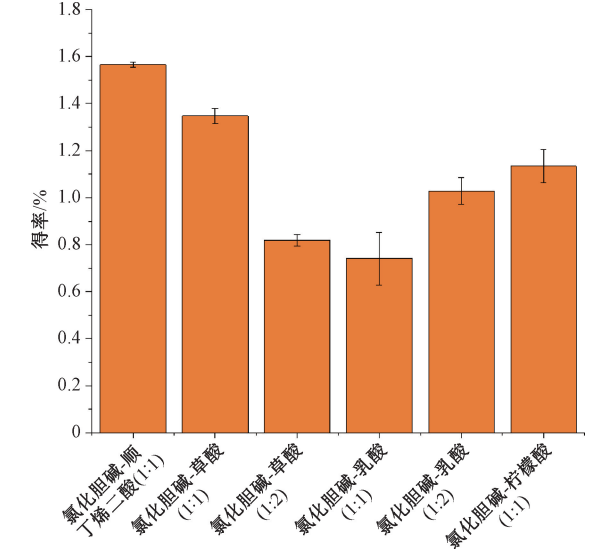


图 2 ADES 体系对鲁斯可皂苷元得率的影响

3.2.2 ADES 含水量 如图 3A 所示, 随着 ADES 含水量增加鲁斯可皂苷元得率先升高, 为 40% 时达到最大值, 可能与水对溶剂结构、极性和反应介质的影响有关, 适量水分子可破坏 ADES 中过强的氢键, 降低体系黏度, 改善溶剂流动性和渗透性, 使麦冬皂苷与酸性位点充分接触, 水解效率提高; 但前者进一步增加时后者反而逐步降低, 这可能是因为一方面过量水可能完全破坏 ADES 固有氢键结构, 使其退化为常规水溶液, 而另一方面顺丁烯二酸的酸性被

稀释，导致麦冬皂苷糖苷键断裂不充分^[17]，故最终确定为 40%。

3.2.3 料液比 如图 3B 所示，随着料液比增加，鲁斯可皂苷元得率先升高后稳定，这可能是因为大量溶剂稀释反应体系，降低麦冬皂苷分子之间的空间位阻，促进其与 ADES 接触，加速糖苷键断裂；另一方面，料液比较低时，鲁斯可皂苷元可能因浓度过高而发生聚集，阻碍反应发生，而增加溶剂体积可降低局部产物浓度，推动反应正向进行^[17]，考虑到反应经济性，最终确定为 1：25。

3.2.4 水解温度 如图 3C 所示，随着水解温度增加，鲁斯可皂苷元得率先升高，为 90 ℃时达到最大值，但前者进一步增加时后者反而逐步降低，这可能是因为鲁斯可皂苷元结构在高温下不稳定而发生热降解^[18]；另一方面 ADES 体系中顺丁烯二酸在高温下也可能发生分解，导致催化效率降低，故最终确定为 90 ℃。

3.2.5 水解时间 如图 3D 所示，随着水解时间延长，鲁斯可皂苷元得率先升高，为 4.0 h 时达到最大值，但前者进一步增加时后者反而逐步降低，这可能是因为在水解反应后期随着目标产物积累，副反应速率逐渐加快，而主反应速率随着底物麦冬皂苷消耗逐渐降低，综合考虑得率和操作时间，最终确定为 4.0 h。

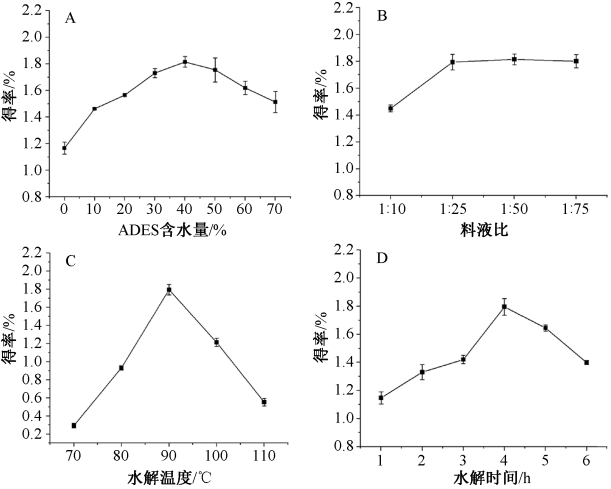


图 3 各因素对鲁斯可皂苷元得率的影响

3.3 Box-Behnken 响应面法 结果见表 2。

对表 2 数据进行拟合，得方程为 $Y = 1.85 + 0.248\ 3A + 0.122\ 8B + 0.111\ 3C + 0.018\ 3AB + 0.002\ 9AC - 0.068\ 8BC - 0.200\ 6A^2 - 0.704\ 2B^2 - 0.277\ 4C^2$ ，方差分析见表 3。由此可知，模型 $P < 0.01$ ，具有高度显著性；失拟项 $P > 0.05$ ，表明模型拟合良好； R^2 和调整 R^2 分别为 0.997 6、0.994 5，表明实测值与预测值具有高度一致性。

响应面分析见图 4，可知响应曲面在水解温度与水解时间两侧较陡峭，表明它们均对鲁斯可皂苷元得率具有较大影响，而且其等高线图呈椭圆形，即交互作用显著；响应曲面在水解温度与料液比、水解时间与料液比两侧也较陡峭，表明它们对鲁斯可皂苷元得率也具有较大影响，但其交互项的等高线图均呈近圆形，即交互作用不显著。最

表 2 Box-Behnken 响应面法设计与结果

试验号	A 料液比	B 水解温度/℃	C 水解时间/h	Y 鲁斯可皂苷元得率/%
1	1：25	80	3	0.566
2	1：40	80	4	1.06
3	1：25	90	4	1.85
4	1：25	90	4	1.85
5	1：25	90	4	1.87
6	1：40	90	5	1.70
7	1：10	100	4	0.785
8	1：40	100	4	1.37
9	1：25	100	5	1.02
10	1：25	90	4	1.85
11	1：10	90	5	1.24
12	1：10	90	3	1.04
13	1：25	80	5	0.939
14	1：10	80	4	0.552
15	1：25	100	3	0.926
16	1：40	90	3	1.48
17	1：25	90	4	1.80

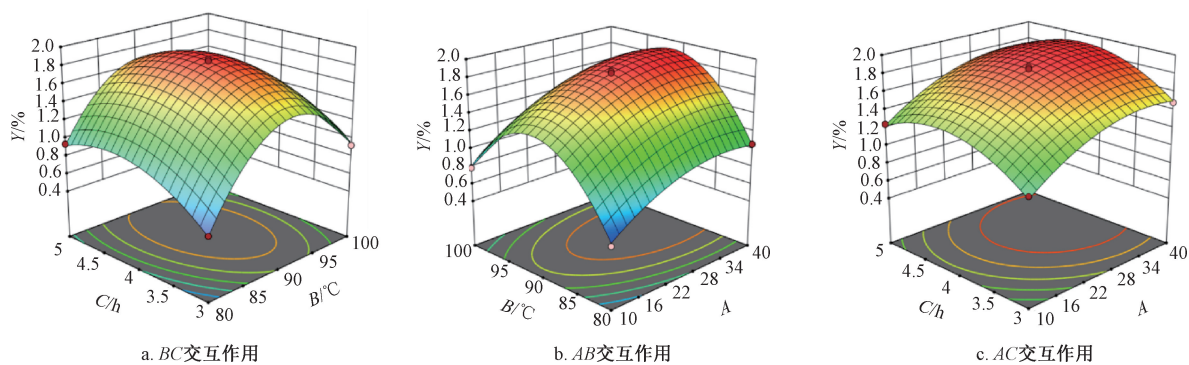
表 3 方差分析结果

来源	离均差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	3.51	9	0.390 5	323.37	<0.000 1
A	0.493 2	1	0.493 2	408.44	<0.000 1
B	0.120 6	1	0.120 6	99.86	<0.000 1
C	0.099 1	1	0.099 1	82.05	<0.000 1
AB	0.001 3	1	0.001 3	1.11	0.326 7
AC	0	1	0	0.028 6	0.870 4
BC	0.019	1	0.019	15.7	0.005 4
A ²	0.169 4	1	0.169 4	140.25	<0.000 1
B ²	2.09	1	2.09	1 729.13	<0.000 1
C ²	0.324 1	1	0.324 1	268.36	<0.000 1
残差	0.008 5	7	0.001 2	—	—
失拟项	0.005 8	3	0.001 9	2.97	0.160 1
纯误差	0.002 6	4	0.000 7	—	—
总和	3.52	16	—	—	—

终确定，最优工艺为料液比 1：34.37，水解时间 4.19 h，水解温度 90.86 ℃，鲁斯可皂苷元得率为 1.87%，根据实际可操作性，将其修正为料液比 1：34，水解时间 4.2 h，水解温度 91 ℃。

3.4 验证试验 按上述优化工艺进行 3 批验证试验，测得鲁斯可皂苷元平均得率为 $(1.91 \pm 0.03)\%$ ，与预测值 1.87% 接近，表明该工艺稳定可行。

3.5 可重复利用性 如图 5 所示，随着 ADES 重复使用次数增加，鲁斯可皂苷元得率逐渐降低，但 4 次时仍为 1.26%，达到第 1 次的 65.8%，表明氯化胆碱-顺丁烯二酸在较高温度下（91 ℃）具有较好的重复利用性，是一种性能良好的绿色催化剂。在 ADES 反复利用过程中，鲁斯可皂苷元得率降低的原因可能包括（1）反应副产物（如糖类、脱水苷元）在体系中逐渐积累，通过物理吸附或化学键合作用来占据催化活性位点，导致后续反应中催化效率



注：A、B、C、Y 分别为料液比、水解温度、水解时间、鲁斯可皂苷元得率。

图 4 各因素响应面图

明显降低；(2) 酸性组分在催化过程中发生不可逆化学转化，原有氢键供体与受体之间的配位环境遭到破坏，这种结构变化往往表现为溶剂氢键网络的重排和部分解离，进而影响溶剂体系的稳定性和催化活性；(3) 催化过程中质子被持续消耗，导致酸性氢键供体的解离平衡发生偏移，不仅降低体系酸性强度，还可能改变溶剂对特定底物的选择性。

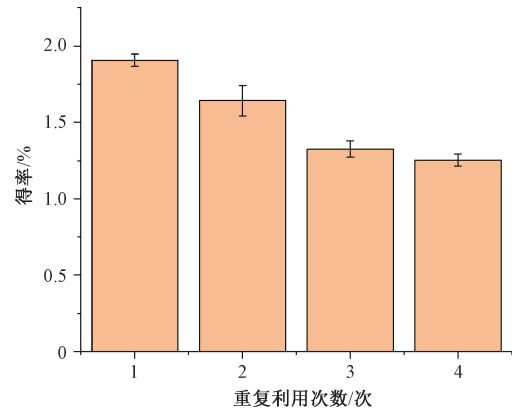


图 5 氯化胆碱-顺丁烯二酸重复利用次数对鲁斯可皂苷元得率的影响

3.6 水解产物结构鉴定 将 ADES 水解提取物所得产物经硅胶柱层析分离纯化，并经重结晶，得到白色针状结晶，HPLC-UV 检测其纯度 $\geq 95\%$ 。

$^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, $\text{DMSO-}d_6$) δ : 0.74 (3H, s, H-18), 0.94 (3H, d, $J = 6.5$ Hz, H-27), 1.01 (3H, d, H-19), 3.19~3.10 (1H, m, H-21), 3.79 (1H, dd, $J = 2.7$ Hz、8.5 Hz, H-3), 5.42 (1H, d, $J = 5.4$ Hz, H-6); $^{13}\text{C-NMR}$ (101 MHz, $\text{DMSO-}d_6$) δ : 77.1 (C-1), 43.0 (C-2), 67.1 (C-3), 42.8 (C-4), 140.1 (C-5), 123.8 (C-6), 32.1 (C-7), 31.9 (C-8), 50.7 (C-9), 42.5 (C-10), 17.5 (C-11), 39.9 (C-12), 32.6 (C-13), 56.4 (C-14), 26.9 (C-15), 80.7 (C-16), 62.4 (C-17), 16.4 (C-18), 13.6 (C-19), 42.1 (C-20), 15.0 (C-21), 109.3 (C-22), 26.1 (C-23), 23.6 (C-24), 25.9 (C-25), 64.7 (C-26), 16.6 (C-27), 以上数据与文献 [19-20] 报道基本一致，故鉴定为鲁斯可皂苷元。

4 讨论与结论

与化学合成法及传统酸水解相比，ADES 污染低，操作简便，具有绿色环保、经济性好等诸多优点。另外，本实验连续使用 ADES 体系 4 次后，鲁斯可皂苷元得率仍可达 1.26% (第 1 次水解时为 1.91%)，表现出良好的可重复利用性。

中药所含的苷元类活性成分较多，包括薯蓣皂苷元、淫羊藿素、黄芩素等，近年来备受关注，其绿色制备技术是当下研究热点之一。本实验通过 ADES 水解麦冬提取物以获取鲁斯可皂苷元，并采用响应面法优化该工艺， $^1\text{H-NMR}$ 、 $^{13}\text{C-NMR}$ 确定产物结构，取得了理想的效果，表明该技术从中药提取物中获取该类成分具有良好的发展潜力。

参考文献：

[1] 严倩茹，郭伟魁，宋 伟. 中药单体鲁斯可皂苷元的研究进展[J/OL]. 云南民族大学学报（自然科学版），2024, 1-13 [2024-11-25] (2024-11-25). <https://link.cnki.net/urlid/53.1192.N.20241125.1646.007>.

[2] 王怀涛，高 峰，谭晓冬. 鲁斯可皂苷元通过诱导铁死亡对胰腺癌细胞的抑制作用研究[J]. 中国临床药理学杂志，2022, 38(15): 1787-1791.

[3] 张三利，盛明月，吴 琪，等. 鲁斯可皂苷元对脑缺血再灌注损伤小鼠时钟基因的调控作用[J]. 中国药理学与毒理学杂志，2021, 35(7): 502-506.

[4] 刘 怡. 含植物提取物防治皮肤炎症的血小板凝集抑制剂[J]. 国外医药（植物药分册），2008, 23(3): 151.

[5] 解庆东. 假叶树提取物制剂对慢性静脉机能不全患者的疗效和安全性[J]. 国外医药（植物药分册），2003, 18(2): 80.

[6] 国家药典委员会，中华人民共和国药典：2020 年版一部[S]. 北京：人民卫生出版社，2025.

[7] 张欣雅，吴灵雁，唐嘉浩，等. 9 个产地麦冬中鲁斯可皂苷元、多糖与 3 种黄酮类成分的含量测定与相关性分析[J]. 中成药，2024, 46(5): 1730-1733.

[8] 郭华荣，顾崇梅. HPLC-DAD 法同时测定滋阴清热降糖丸中 9 种成分[J]. 中成药，2021, 43(12): 3293-3297.

[9] 梁 琨，孙 辉，安 骞，等. LC-MS/MS 法同时测定护心口服液 11 种成分[J]. 中成药，2018, 40(1): 105-109.

[10]曹青云,李琦,王敏,等.鲁斯可皂苷元制备方法研究[J].中国药业,2017,26(4):6-8.

[11]Rashid S N, Hizaddin H F, Hayyan A, *et al.* A kinetic study of *ex-situ* soil remediation by nickel extraction using natural deep eutectic solvent[J]. *Environ Technol*, 2024, 45 (23): 4820-4833.

[12]贺欣宇,赵晋彤,吕思琪.积雪草多酚的提取工艺优化及抗氧化活性评价[J].化学工程师,2025,39(3):87-91.

[13]任静,刘旭泽,詹云妮,等.醇辅助酸性低共熔溶剂预处理促进纤维素酶水解[J].林业工程学报,2024,9(6):86-92.

[14]肖竹钱,孙宇昊,李佳杰,等.酸性低共熔溶剂分离制备粗纤维素及理化性质分析[J].林产工业,2023,60(2):9-15.

[15]张春霞.鲁斯可皂苷元的制备工艺[D].成都:成都理工大学,2016.

[16]程婉婷,陈世钰,贤凤,等.酸性低共熔溶剂的理化特性及其与虾青素溶解度的相关性研究[J].化学试剂,2023,45(2):106-113.

[17]朱琳.酸性低共熔溶剂特性及其水解芦丁制备槲皮素的应用[D].杭州:浙江工商大学,2022.

[18]Ruan Q, Wang C J, Zhang Y F, *et al.* Ruscogenin attenuates cartilage destruction in osteoarthritis through suppressing chondrocyte ferroptosis *via* Nrf2/SLC7A11/GPX4 signaling pathway[J]. *Chem Biol Interact*, 2024, 388: 110835.

[19]马海波.麦冬化学成分的研究[D].北京:北京中医药大学,2013.

[20]Watanabe Y, Sanada S, Ida Y, *et al.* Comparative studies on the constituents of ophiopogonis tuber and its congeners. I. Studies of the constituents of the subterranean part of *Liriope platyphylla* Wang et Tang. [J]. *Chem Pharm Bull*, 1983, 31(6):1980-1990.

僵蚕醇溶蛋白质制备血管紧张素转换酶抑制肽工艺优化

喻勇飞¹, 王巧宇¹, 张云骁¹, 冯硕¹, 夏振欣宇¹, 闻崇炜^{1*}, 汤建^{2*}
(1. 江苏大学药学院, 江苏 镇江 212013; 2. 亳州学院中药学院, 安徽 亳州 236800)

摘要: **目的** 优化僵蚕醇溶蛋白质制备血管紧张素转换酶 (ACE) 抑制肽工艺。**方法** 以菠萝蛋白酶为工具酶, 在单因素试验基础上, 以酶解时间、酶解 pH、酶解温度、酶底比为影响因素, 酶解产物 ACE 抑制率为评价指标, Box-Behnken 响应面法优化制备工艺, 并对酶解产物进行 SDS-PAGE 分析、分子量分布检测及 IC₅₀ 测定。**结果** 最优条件为酶底比 6.1%, 酶解温度 50.0 ℃, 酶解时间 72.0 min, 酶解 pH 6.34, 酶解产物 ACE 抑制率为 80.43%, IC₅₀ 为 0.3 mg/mL。在酶解产物中, 76.45% 肽段的分子量低于 500 Da。**结论** 该方法稳定可靠, 可用于制备高活性 ACE 抑制肽, 为僵蚕治疗高血压、高血脂的药效物质基础研究提供依据, 也为其他动物类药材蛋白质的开发应用提供思路。

关键词: 僵蚕; 醇溶蛋白质; 血管紧张素转换酶 (ACE) 抑制肽; 制备工艺; Box-Behnken 响应面法

中图分类号: R284.3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1528(2025)12-4140-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2025.12.040

僵蚕具有息风止痉、祛风止痛、化痰散结等功效, 临床常用于治疗肝风夹痰、惊痫抽搐、小儿急惊等症状^[1]。周仲瑛、朱良春等名老中医的临床实践表明, 僵蚕可治疗高血压高血脂或其所致头胀痛剧烈、视物模糊、目赤抽搐、呕吐烦躁、神志不清^[2-3], 但由于其现有化学成分研究存在局限性, 治疗高血压的有效物质尚未被揭示^[4-5]。

血管紧张素转化酶 (ACE) 可促血管紧张素 II 生成, 并使缓激肽失活, 导致血压升高, 故抑制其活性可有效防

治高血压及相关疾病^[6-7]。研究表明, 酸性蛋白酶、风味蛋白酶、碱性蛋白酶等可水解中华鳖、仿刺参、玉米胚芽、南极磷虾、核桃粕、桑叶、牡丹籽、酸枣仁等来源蛋白质, 释放 ACE 抑制肽, 为开发安全有效、低副作用的相关抑制剂提供了重要思路^[8-16]。由于僵蚕可溶性蛋白质是否含有 ACE 抑制肽尚无研究, 本实验探讨以菠萝蛋白酶水解僵蚕醇溶蛋白质制备 ACE 抑制肽的可行性, 并优化其制备工艺, 以期为其其他动物类药材蛋白质的开发应用提供思路。

收稿日期: 2025-06-04

基金项目: 江苏省镇江市重点研发计划 (社会发展) 项目 (SH2024096, SH2021010); 安徽省高等学校自然科学研究项目 (2022AH052416); 江苏大学第二十二批大学生科研项目 (Y22A732, Y22A425)

作者简介: 喻勇飞 (1998—), 男, 硕士研究生, 从事分子生药学研究。E-mail: 18012170207@163.com

* 通信作者: 闻崇炜 (1971—), 男, 博士, 副教授, 从事分子生药学研究。E-mail: wenchw@uj.s.edu.cn

汤建 (1977—), 男, 博士, 教授, 从事中药鉴定及中药化学成分活性筛选研究。E-mail: 763051336@qq.com