

金边龙舌兰总皂苷的提取工艺及体外抗氧化研究

袁晶晶, 宁雅琴, 叶彤, 臧德凤, 赵聪彪, 宋轶伟, 周海斌*

滁州学院材料与化学工程学院, 安徽 滁州

收稿日期: 2024年9月21日; 录用日期: 2024年10月18日; 发布日期: 2024年10月25日

摘要

目的: 探究金边龙舌兰总皂苷提取率的影响因素, 优选总皂苷的提取工艺条件, 研究总皂苷的体外抗氧化活性。方法: 通过改变乙醇浓度、料液比、超声时间、超声温度等参数, 结合正交试验, 来优化金边龙舌兰总皂苷的提取过程; 利用对DPPH自由基和羟基自由基的清除率进行金边龙舌兰总皂苷的体外抗氧化研究。结果: 提取工艺最佳条件为乙醇浓度60%, 料液比1:25, 超声时间60 min, 超声温度80°C, 提取率为10.213%。结论: 正交试验优选了金边龙舌兰中总皂苷的最优提取过程, 体外抗氧化研究验证了金边龙舌兰总皂苷具有一定的抗氧化性能。本研究为金边龙舌兰的进一步开发利用提供了依据。

关键词

金边龙舌兰, 总皂苷, 单因素考察, 正交设计, 体外抗氧化活性

Study on Extraction Technology and *in Vitro* Antioxidant of Total Saponins from *Agave americana* var. *Marginata*

Jingjing Yuan, Yaqin Ning, Tong Ye, Defeng Zang, Congbiao Zhao, Yiwei Song, Haipin Zhou*

School of Materials Science and Chemical Engineering, Chuzhou University, Chuzhou Anhui

Received: Sep. 21st, 2024; accepted: Oct. 18th, 2024; published: Oct. 25th, 2024

Abstract

Objective: To explore the factors affecting the extraction rate of total saponins from *Agave americana* var. *Marginata*, optimize the extraction conditions of total saponins from *Agave americana* var.

*通讯作者。

文章引用: 袁晶晶, 宁雅琴, 叶彤, 臧德凤, 赵聪彪, 宋轶伟, 周海斌. 金边龙舌兰总皂苷的提取工艺及体外抗氧化研究[J]. 农业科学, 2024, 14(10): 1159-1169. DOI: 10.12677/hjas.2024.1410147

Marginata, and study the antioxidant activity of total saponins from *Agave americana* var. Marginata *in vitro*. Methods: By changing parameters such as ethanol concentration, solid-liquid ratio, ultrasound time, ultrasound temperature, and combining orthogonal experiments, the extraction process of total saponins from *Agave americana* var. Marginata was optimized; *In vitro* antioxidant study of total saponins from *Agave americana* var. Marginata using their scavenging rates against DPPH and hydroxyl radicals. Results: The optimum extraction conditions were as follows: the concentration of ethanol was 60%, the ratio of solid to liquid was 1:25, the ultrasonic time was 60 min, and the ultrasonic temperature was 80°C. The extraction rate was 10.213%. Conclusion: The optimum extraction process of total saponins from *Agave americana* var. Marginata was optimized by orthogonal test, and the *in vitro* antioxidant study verified that the total saponins from *Agave americana* var. Marginata had good *in vitro* antioxidant activity. This study provides a basis for the further development and utilization of *Agave americana* var. Marginata.

Keywords

Agave americana var. Marginata, Total Saponins, Single Factor Investigation, Orthogonal Design, Antioxidant Activity *in Vitro*

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

金边龙舌兰, 具有润肺止咳、清热解毒的功能, 被广泛应用于食品、药品等行业, 具有较好的开发前景。金边龙舌兰中具有多种化学成分, 从该植物中已经分离得到黄酮类、甾体皂苷、多糖和生物碱等, 具有明显的抗炎[1]、抗菌[2]、止血[3]、抗衰老和降血糖的活性。随着对金边龙舌兰的药理作用的广泛研究, 发现金边龙舌兰总皂苷具有抑制病原菌生长繁殖、抑制肿瘤细胞增殖以及免疫调节等药理活性, 目前呼吸道疾病的治疗方法主要基于化学药物, 然而, 长期使用化学药物会导致诸多副作用, 例如身体免疫力下降等[4]。因此, 寻找新型、卓效、无毒的天然药物具有重要意义, 金边龙舌兰总皂苷具有良好的治疗呼吸道疾病的作用, 可为开发哮喘以及咳嗽等天然药物提供新的研究思路。

目前对皂苷研究较彻底的还是三七[5]、人参[6]、天冬[7]等皂苷, 对龙舌兰总皂苷的研究较少, 而对龙舌兰总皂苷的提取研究还未见报道[8]。本文对金边龙舌兰总皂苷的提取工艺进行优化, 以金边龙舌兰总皂苷的提取率作为参考标准, 分别考察提取试剂、料液比、超声时间、超声温度对金边龙舌兰总皂苷提取率的影响[9], 应用正交试验法优化其提取工艺, 给金边龙舌兰总皂苷提取的工业化生产及其资源开发提供参考。

2. 材料与方法

2.1. 材料

金边龙舌兰叶片, 薯蓣皂苷元标准品(HPLC \geq 95%, 20 mg, 品牌: Acmec), 2,2-联苯基-1-苦基胍基标准品(HPLC \geq 95%, 100 mg, 品牌: 罗恩)高氯酸, 无水乙醇, 甲醇, 水杨酸, 硫酸亚铁, L-抗坏血酸, 30%过氧化氢, 去离子水; 所用试剂均为分析纯。

2.2. 仪器

Cary 100Scan 紫外分光光度计, 电热恒温鼓风干燥箱, 旋转蒸发仪(型号: OSB-2200), SHZ-DIII予华

牌循环水真空泵，HZ602B 电子天平。

2.3. 方法

2.3.1. 对照品溶液的制备

选取并称量薯蓣皂苷元标准品 7 mg，将其放置于干燥的 50 mL 容量瓶中，量取 20 mL 甲醇溶液使其溶解[10]，再加入甲醇稀释至容量瓶刻度线处，将其混合均匀后得到 0.28 mg/mL 的对照品溶液。

2.3.2. 供试品的制备

将金边龙舌兰叶片切碎，并将其放置于在烘箱中烘干 2 h，取出后用粉碎机粉碎，最终通过 40 目筛进行细磨[11]，得金边龙舌兰粗粉，装入洁净干燥的密封袋中后备用。

2.3.3. 薯蓣皂苷元标准曲线的制备

用移液枪分别吸取薯蓣皂苷元标准溶液 0.08 mL，0.12 mL，0.16 mL，0.20 mL，0.24 mL，并将溶液均匀置于洁净试管中，于 80℃ 环境下烘干；烘干后取出，将试管室温放置 10 min，使其放冷。接着移取 5 mL 高氯酸于试管中，充分混匀后至于 70℃ 水浴 15 min 充分显色[12]。将试管室温放置 15 min，使其降温。使用紫外分光光度计(Cary 100Scan)于既定波长为 407 nm 处分别测定吸光度数值大小，记录所测得吸光度数值。通过将薯蓣皂苷元的质量浓度与其吸收率作比较，得到薯蓣皂苷元标准曲线方程为： $y = 12.6741x - 0.0228$ ($R^2 = 0.9972$)。

由表 1 和图 1 可知，薯蓣皂苷元浓度在 0.004~0.27 mg/mL 这一区间内与吸光度呈线性关系，因此可以应用此曲线方程完成对金边龙舌兰总皂苷提取工艺的研究[13]。

Table 1. Effect of diosgenin solution concentration on absorbance

表 1. 薯蓣皂苷元溶液浓度对吸光度的影响

	1	2	3	4	5
浓度(mg/mL)	0.00448	0.00672	0.00896	0.01120	0.01344
吸光度(A)	0.0353	0.0624	0.0868	0.1215	0.1477

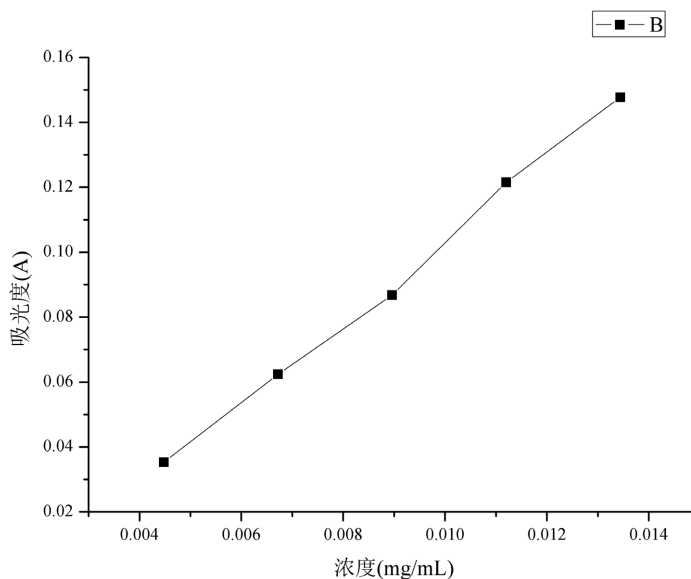


Figure 1. Relationship between concentration and absorbance of geniposide solution

图 1. 薯蓣皂苷元溶液浓度与吸光度的关系

2.3.4. 金边龙舌兰总皂苷含量的测定

经过单一因子实验, 获得金边龙舌兰总皂苷样本, 将其放置于干燥的 50 mL 容量瓶中, 量取一定量甲醇溶液使其溶解, 再加入甲醇稀释至容量瓶刻度线处[14], 移取 0.16 mL 置于试管中, 80℃烘箱中烘干; 取出冷却 10 min, 再加入 5 mL 的高氯酸, 在 70℃水浴下显色 15 min, 充分冷却后使用紫外-可见分光光度计在 407 nm 波长处测定吸光度值。提取率计算公式[15]:

$$\text{总皂苷提取率/\%} = (C \times V) / M \times 100$$

式中: C 表示总皂苷粗品的质量浓度, 单位为 mg/mL; V 表示总皂苷粗品的定容体积, 单位为 mL; M 表示称取的金边龙舌兰粉末质量, 单位为 mg。

2.3.5. 单因素对照实验

1) 提取试剂乙醇浓度

将金边龙舌兰粗粉分为五份, 每份 2 g, 分别放置于锥形瓶内, 并向其中加入 30 ml 乙醇溶液, 其比例分别是 50%、60%、70%、80%、90% 的乙醇, 在 60℃温度下超声 40 min, 取出冷却至室温, 抽滤得到滤液[16]。取 0.16 mL 样品液, 并采用 1.3.4 法进行吸光度检验, 最终得出总皂苷提取率, 详见表 2。(因由吸光度计算得到的提取率差距不明显, 所以其提取率值均保留到小数点后三位)。

Table 2. Effect of extraction reagent ethanol concentration on extraction rate

表 2. 提取试剂乙醇浓度对提取率的影响

	1	2	3	4	5
乙醇浓度(%)	50	60	70	80	90
吸光度(A)	2.2828	2.2963	3.1178	3.0712	2.2425
提取率(%)	7.106	7.148	9.680	9.535	6.981

2) 料液比

将金边龙舌兰粗粉分为五份, 每份 2 g, 分别放置于锥形瓶中, 向其中添加浓度为 70% 的乙醇溶液 40 mL, 按照 1:10、1:15、1:20、1:25、1:30 的料液比, 在 60℃温度下超声 40 min, 取出冷却至室温, 抽滤得到滤液。取 0.16 mL 样品液, 并采用 1.3.4 方法进行吸光度检验, 最终得出总皂苷提取率, 详见表 3。

Table 3. Effect of solid-liquid ratio on extraction rate

表 3. 料液比对提取率的影响

	1	2	3	4	5
料液比(g:mL)	1:10	1:15	1:20	1:25	1:30
吸光度(A)	2.1979	2.4160	2.5044	2.4620	2.4203
提取率(%)	6.844	7.517	7.789	7.658	7.530

Table 4. Effect of ultrasonic time on extraction rate

表 4. 超声时间对提取率的影响

	1	2	3	4	5
时间(min)	20	30	40	50	60
吸光度(A)	2.0365	2.0717	2.0955	2.5029	2.4679
提取率(%)	6.345	6.457	6.527	7.785	7.676

3) 超声时间

将金边龙舌兰粗粉分为五份, 每份 2 g, 分别放置于锥形瓶中, 向其中添加浓度为 70% 的乙醇溶液 40 mL, 调节温度为 60℃, 超声时间依次为 20 min、30 min、40 min、50 min、60 min, 在室温下抽滤得到滤液。取 0.16 mL 样品液, 并采用 1.3.4 方法进行吸光度检验, 最终得出总皂苷提取率, 详见表 4。

4) 超声温度

将金边龙舌兰粗粉分为五份, 每份 2 g, 分别放置于锥形瓶中, 向其中添加浓度为 70% 的乙醇溶液 40 mL, 将温度分别调节至 50℃、60℃、70℃、80℃、90℃, 进行 50 min 超声处理, 在室温下抽滤得到滤液。取 0.16 mL 样品液, 并采用 1.3.4 方法进行吸光度检验, 最终得出总皂苷提取率, 详见表 5。

Table 5. Effect of ultrasonic temperature on extraction rate

表 5. 超声温度对提取率的影响

	1	2	3	4	5
温度(℃)	50	60	70	80	90
吸光度(A)	2.2703	2.2876	2.3804	2.6018	2.4384
提取率(%)	7.068	7.121	7.407	8.089	7.586

3. 结果与分析

以金边龙舌兰总皂苷的提取率作为参考标准, 分别考察前述四个因素对金边龙舌兰总皂苷提取率的影响。

3.1. 提取试剂乙醇浓度对提取率的影响

根据图 2, 当乙醇浓度介于 50% 至 60% 时, 总皂苷提取率呈现出平缓上升状态, 当乙醇浓度在 60% 至 70% 时, 总皂苷提取率呈现明显上升趋势, 乙醇浓度在 70% 至 90% 时, 总皂苷提取率呈现下降趋势。可能是由于随着浓度的增加有利于总皂苷的提取, 但当浓度超过一定限度后, 造成杂质的溶出相应增多, 从而降低了总皂苷的相对含量[17]。因此, 在乙醇浓度为 70% 时, 总皂苷提取率最高, 为 9.680%。

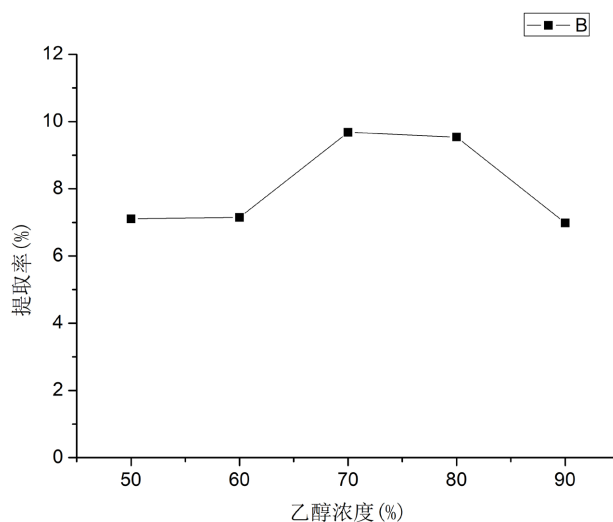


Figure 2. Relationship between extraction reagent ethanol concentration and extraction rate

图 2. 提取试剂乙醇浓度与提取率的关系

3.2. 料液比对提取率的影响

根据图 3，从图中可以看出，料液比在 1:10 与 1:20 之间时，总皂苷提取率处于上升状态，并且在料液比为 1:20 时，提取率达到最大值；当料液比大于 1:20 后，随着液体的增加，总皂苷的提取率呈下降趋势。在料液比为 1:20 时，总皂苷的提取率为 7.79%。

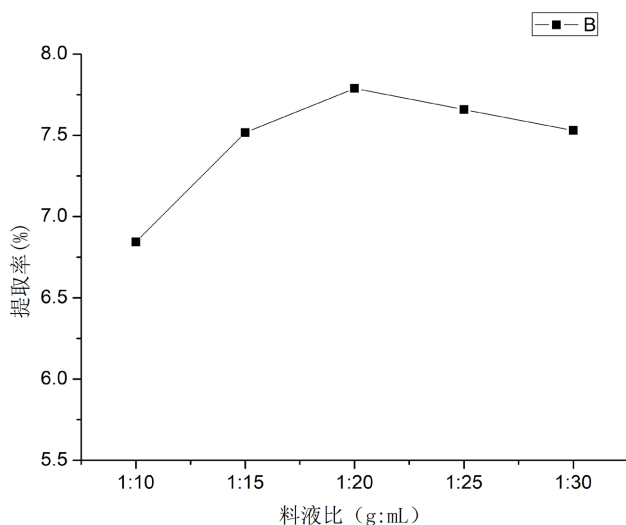


Figure 3. Relationship between solid-liquid ratio and extraction rate
图 3. 料液比与提取率的关系

3.3. 超声时间对提取率的影响

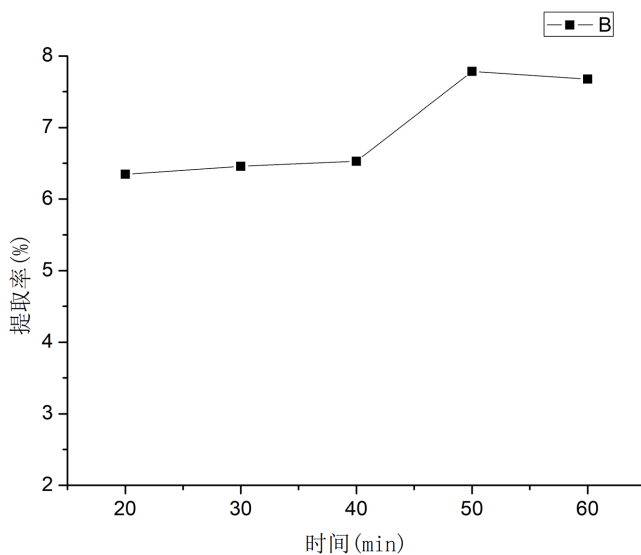


Figure 4. Relationship between ultrasonic time and extraction rate
图 4. 超声时间与提取率的关系

根据图 4，提取时间介于 20 min 至 40 min 之间时，总皂苷提取率呈现平缓上升状态，超声时间在 40 min 至 50 min 之间，总皂苷提取率呈现上升的趋势，提取时间在 50 min 至 60 min 之间，总皂苷提取率呈现下降状态。这可能是由于，随着提取时间的延长，溶液中的可溶性成分渐渐增多，总皂苷的提取率

升高；但提取时间过长，也可能会溶出其它物质，使得总皂苷的提取率降低[18]。所以在提取时间为 50 min 时，总皂苷提取率最高为 7.785%。

3.4. 超声温度对提取率的影响

根据图 5，超声温度在 50℃至 60℃之间时，总皂苷提取率处于平缓上升状态，超声温度在 60℃至 80℃之间时，总皂苷提取率处于上升状态，超声温度在 80℃至 90℃之间时，总皂苷提取率处于下降的状态。这可能是因为，温度过高破坏了总皂苷的结构，同时也使更多杂质溶出，降低了金边龙舌兰总皂苷的提取率。所以在超声温度为 80℃时，总皂苷提取率最高为 8.092%。

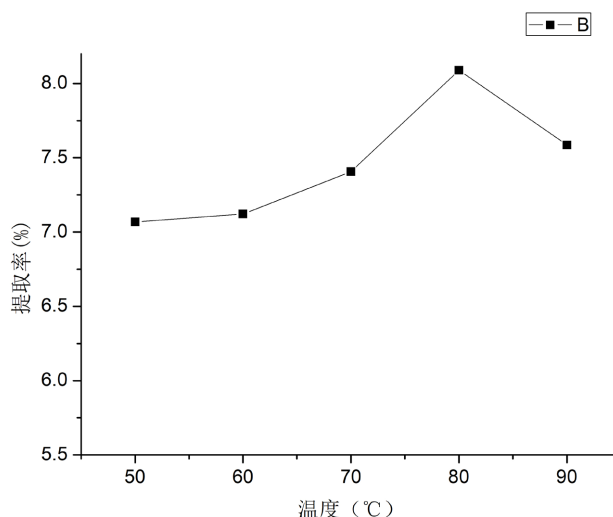


Figure 5. Relationship between ultrasonic temperature and extraction rate
图 5. 超声温度与提取率的关系

3.5. 正交实验

3.5.1. 正交实验对金边龙舌兰总皂苷提取条件的优化

利用超声辅助提取的方法，在每个影响因素中，根据单因素实验所得最优提取条件，分别选取三个水平作为自变量，总皂苷的提取率为因变量，设计四因素三水平的正交试验优化金边龙舌兰总皂苷的提取。实验因素和水平编码见表 6。

Table 6. Four factors and three levels

表 6. 四因素三水平表

水平	A 乙醇浓度/%	B 料液比/g:mL	C 超声时/min	D 超声温度/°C
1	60	1: 15	40	70
2	70	1: 20	50	80
3	80	1: 25	60	90

3.5.2. 正交试验结果分析

根据单因素试验结果，在选定了多个直接影响提取效果的重要实验因素(包括乙醇浓度、料液比、提取时间、提取温度)的基础上，每个因素选取 3 个水平，按 $L_9(3^4)$ 正交表对回流提取工艺进行试验研究[19]，以总皂苷的含量为指标，选取最佳工艺[17]。利用 SPSSAU 软件设计试验方案，结果如表 7 所示。

Table 7. Orthogonal experiment design table**表 7.** 正交试验设计表

水平	A 乙醇浓度/%	B 料液比/g:mL	C 超声时间/min	D 超声温度/°C
1	60	1:15	40	70
2	60	1:20	60	80
3	60	1:25	50	90
4	70	1:15	60	90
5	70	1:20	50	70
6	70	1:25	40	80
7	80	1:15	50	80
8	80	1:20	40	90
9	80	1:25	60	70

根据因素水平表进行正交试验，试验结果如表 8 所示。

Table 8. Orthogonal test results**表 8.** 正交试验结果

试验号	A	B	C	D	提取率/%
1	1	1	1	1	4.184
2	1	2	3	2	7.805
3	1	3	2	3	8.234
4	2	1	3	3	6.910
5	2	2	2	1	7.383
6	2	3	1	2	8.727
7	3	1	2	2	8.043
8	3	2	1	3	7.734
9	3	3	3	1	8.109
K1	20.223	19.137	20.645	19.676	
K2	23.020	22.922	23.660	24.575	
K3	23.886	25.070	22.824	22.878	
k1	6.741	6.379	6.882	6.559	
k2	7.673	7.641	7.887	8.192	
k3	7.962	8.357	7.608	7.626	
R	1.221	1.978	1.005	1.633	

提取试剂乙醇浓度、料液比、超声时间、超声温度均对金边龙舌兰总皂苷的含量提取有显著影响，程度依次为 B > D > A > C，即料液比 > 超声温度 > 提取试剂乙醇浓度 > 超声时间。通过极差分析得到的理论最优组合为 A3B3C2D2 [20]。

3.6. 最佳提取工艺的验证

通过实验验证，金边龙舌兰总皂苷的最佳提取工艺为：乙醇浓度 60%、料液比 1:25 (g:mL)、超声时

间 60 min、超声温度 80℃。以最佳提取条件进行 3 次平行试验,得到金边龙舌兰总皂苷提取率为 10.213%。说明该提取条件具有较好的合理性和可靠性,能够有效优化金边龙舌兰总皂苷的提取工艺。

3.7. 体外抗氧化活性研究的分析

3.7.1. DPPH 自由基的清除能力

根据图 6 所示,金边龙舌兰总皂苷对 DPPH 自由基有较强的清除效果。随着金边龙舌兰总皂苷浓度的增加,对 DPPH 自由基的清除率也相应的增加。在浓度为 0.011~0.056 mg/mL 范围内,金边龙舌兰总皂苷的抗氧化活性要明显高于与阳性对照组 L-抗坏血酸[21]。当浓度为 0.056 mg/mL 时,其 DPPH 清除率达到最高值 81.220%。

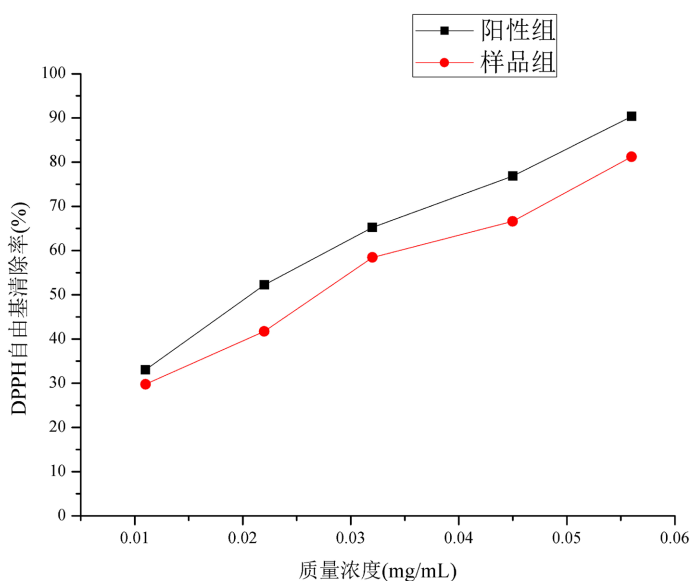


Figure 6. Scavenging effect of *Agave americana* var. *Marginata* total saponins on DPPH free radicals

图 6. 金边龙舌兰总皂苷对 DPPH 自由基的清除效果

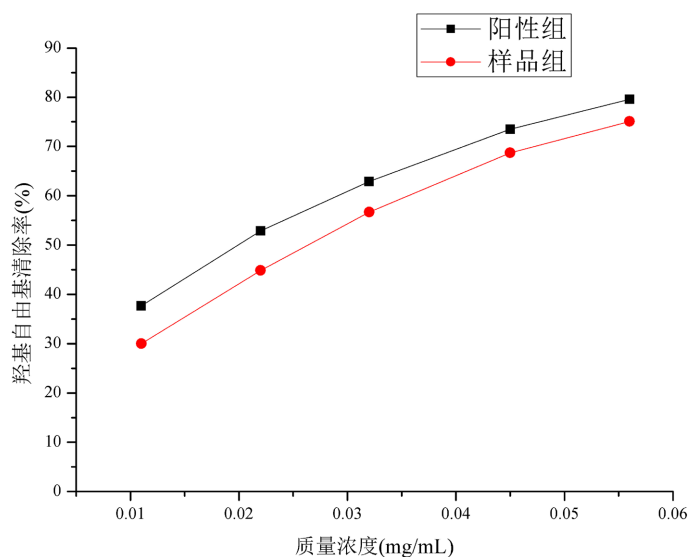


Figure 7. Scavenging effect of *Agave americana* var. *Marginata* total saponins on hydroxyl radicals

图 7. 金边龙舌兰总皂苷对羟基自由基的清除效果

3.7.2. 羟基自由基的清除能力

根据图 7 所示, 金边龙舌兰总皂苷对羟基自由基有一定的清除能力。当金边龙舌兰总皂苷含量升高时, 其清除羟基自由基的效果也会随之提升[22]。在金边龙舌兰总皂苷浓度为 0.011~0.056 mg/mL 范围内, 其具有较强的抗氧化作用, 且效果优于阳性对照组 L-抗坏血酸[23]。当浓度为 0.056 mg/mL 时, 其羟基清除率达到最高值 75.080%。

4. 结论

本研究通过正交试验对金边龙舌兰总皂苷的提取工艺进行优化, 在单因素实验基础上, 得到最佳提取工艺为: 提取试剂乙醇浓度为 60%、料液比为 1:25 (g:mL)、超声时间为 60 min、超声温度为 80℃, 金边龙舌兰总皂苷的提取率为 10.213%; 此外, 通过体外抗氧化研究, 对金边龙舌兰总皂苷的 DPPH 自由基清除率和羟基自由基清除率进行测定, 均有较好的清除率, 具有较好的抗氧化性能。本研究较为系统地优化金边龙舌兰中总皂苷的提取工艺, 为金边龙舌兰总皂苷的开发利用奠定基础。

基金项目

国家级大学生创新创业训练计划项目(202310377032), 安徽省大学生创新创业训练计划项目(202310377032)。

参考文献

- [1] 张存莉, 吴站库, 马惠玲. 甾体皂苷的生物活性研究进展[J]. 西北林学院学报, 2003, 12(2): 2-5.
- [2] 杨就锦, 陈冰, 李嘉亮, 等. 金边龙舌兰超氧化物歧化酶的提取与特性研究[J]. 化学研究与应用, 2014, 26(4): 497-500.
- [3] 金建明, 刘锡葵, 杨崇仁. 龙舌兰发酵叶汁中的一个新甾体皂苷[J]. 云南植物研究, 2002, 24(4): 539-542.
- [4] 翁榕安, 胡劲松, 翁诗玉. 水溶性黑柄炭角菌肽的体外抗氧化活性[J]. 湖南中医药大学学报, 2012, 32(3): 10-13.
- [5] 叶辉, 李华宇, 谷应丽, 等. 三七总皂苷的提取及含量测定[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2021, 54(3): 54-59.
- [6] 邢艺缤, 王馨悦, 王慕尧, 等. 人参不定根总皂苷的提取工艺优化及其抗氧化与抗疲劳作用[J]. 食品工业科技, 2024, 45(6): 193-201.
- [7] 刘楨, 胡慧玲, 唐学博, 等. 天冬总皂苷提取物的化学成分鉴定及指纹图谱分析[J]. 中药材, 2024(2): 403-408.
- [8] 魏霞, 辛悦芳, 王修德, 等. 龙舌兰口服液治疗慢性支气管炎临床研究[J]. 山东中医杂志, 2001, 20(8): 468-469.
- [9] 曾胜, 周莘. 土家药龙舌兰外用治疗急性痛风肿痛[J]. 中国民族医药杂志, 2008, 14(5): 19.
- [10] 黎海彬, 李琳. 药用植物有效成分提取技术[J]. 现代化工, 2002, 14(5): 27-30.
- [11] 张娟, 路金才. 皂苷的提取方法及含量测定研究进展[J]. 中国现代中药, 2006, 8(3): 25-28.
- [12] 陈冰, 李开成, 陈碧练, 等. 二十七种龙舌兰麻超氧化物歧化酶的分析[J]. 食品工业科技, 2011, 32(12): 123-125.
- [13] 陈冰. 剑麻超氧化物歧化酶的提取方法[P]. 中国专利, CNZL201010522632.6. 2013-01-09.
- [14] 王成聪, 陈恒彬, 陈榕生. 福建厦门地区龙舌兰科多肉植物资源及其园林应用[J]. 亚热带植物科学, 2014, 43(1): 69-72.
- [15] 高淑怡, 李卫民, 帅颖, 高英. 药用植物百合甾体皂苷研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(16): 337-343.
- [16] 蔡金文. 人参及其发酵工艺研究进展[J]. 食品安全导刊, 2022(3): 149-151.
- [17] 黄杰连. 瑶药材益母姜的质量评价与标准研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西中医药大学, 2019.
- [18] 王光忠, 刘伟伟, 葛如斌, 张明, 刘焱文. 分光光度法测定盾叶薯蓣总皂苷的含量[J]. 湖北中医学院学报, 2008, 10(2): 44-45.
- [19] 于耀泓, 谭锦豪, 林熙, 何茜. 响应面法优化一叶兰总皂苷超声提取工艺[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(11): 114-118.
- [20] 秦楠, 王小敏, 郭丽丽, 刘雅俐, 张朔生. 参灵口服液的研制及其提高免疫力作用的研究[J]. 山西中医学院学报, 2019, 20(5): 323-326.

- [21] 王川. 龙舌兰皂苷的提取工艺[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(11): 190-193.
- [22] 贾桂云, 顾长瑜, 李云, 刘红. 纤维素酶解法提取剑麻总皂苷工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(9): 12-14+21.
- [23] 刘洪均, 包誉, 胡江苗, 何桃斌, 杨青松. 正交试验优化齿瓣石斛多糖提取工艺[J]. 食品工业, 2023, 44(3): 38-42.