

玫瑰红景天醇提物不同溶剂萃取物的生物活性

Bioactivities of different solvents extracts from the ethanol extract of *Rhodiola rosea*

刘存芳¹ 魏玲玲¹ 王乙颖¹ 吴睿¹ 田光辉²

LIU Cun-fang¹ WEI Ling-ling¹ WANG Yi-ying¹ WU Rui¹ TIAN Guang-hui²

(1. 陕西理工大学化学与环境科学学院, 陕西 汉中 723000;

2. 陕西省催化基础与应用重点实验室, 陕西 汉中 723000)

(1. School of Chemistry and Environmental Sciences, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723000, China; 2. Shaanxi Key Laboratory for Catalysis, Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

摘要:以无水乙醇为溶剂,用索氏提取器对玫瑰红景天粉末进行回流提取,回收乙醇后将乙醇提取物分散和溶解在水相中,依次用环己烷、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇分别萃取,得到不同溶剂萃取物。用比色法测定不同溶剂萃取物和水相物中总酚和总黄酮含量,DPPH·法、Fenton法、普鲁士蓝法评价其抗氧化活性以及测试最小抑菌浓度(MIC)和最小杀菌浓度(MBC)。结果表明,乙酸乙酯萃取物中总酚和总黄酮含量最高,分别为(469.32±1.15),(338.57±0.92) mg/g 萃取物;不同萃取物和水相物对 DPPH·、·OH 有不同程度的清除作用且有还原能力,其中乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物有相对较好的抗氧化活性;总酚和总黄酮含量与抗氧化活性呈显著相关性($P<0.05$);对选用的 9 种菌株均有抑制和灭活作用,MBC 值在 0.28~16.94 mg/mL,对金黄色葡萄球菌灭活作用更为显著,其中氯仿萃取物和乙酸乙酯萃取物的抗菌效果相对较好。玫瑰红景天乙醇提取物的不同溶剂萃取物及水相物均有抗氧化活性和抗菌活性,有潜在的应用价值。

关键词:玫瑰红景天;乙醇提取物;溶剂;萃取物;抗氧化活性;抗菌活性

Abstract: The ethanol extract was obtained from the powder of *Rhodiola rosea* with ethanol recycling in Soxhlet extractor, and was dissolved in water to disperse system after recovering the ethanol, then respectively extracted with cyclohexane, chloroform, ethyl acetate and butanol to get different solvent extracts. These different solvent extracts were determined total phenols

and flavonoids content by a spectrophotometer, in the same time, their anti-oxidation activities were tested by DPPH· method, Fenton reaction method and prussian blue method with using Vc as a reference substance, and their antibacterial activities were evaluated by using minimum inhibitory concentration and minimum bactericidal concentration. The results showed that the highest content of total phenols and flavonoids were in ethyl acetate extract, its content was (469.32±1.15), (338.57±0.92) mg/g extract, these different solvent extracts and the aqueous extract had obvious action to scavenge effect for DPPH· and ·OH, showed a strong total reduction capacity, its ethyl acetate extract and butanol extract exhibited relatively good anti-oxidation activities, the content of total phenols and flavonoids related to the antioxidant activity ($P<0.05$), the MBC values of these extracts between 0.28~16.94 mg/mL showed inhibitory activities against the nine bacteria strains, inhibited the growth of testing bacteria and sterilized them especially against *Staphylococcus aureus*, its chloroform extract and ethyl acetate extract were very obvious to antibacterial effect. These different solvent extracts and the aqueous extract of the ethanol extracts from *Rhodiola rosea* showed certain antioxidant activities and antibacterial activities, they had potential applications.

Keywords: *Rhodiola rosea* L.; ethanol extract; solvent; extracts; antioxidant activity; antibacterial activity

玫瑰红景天又名蔷薇红景天(*Rhodiola rosea* L.)^[1],是一种野生的红景天属草本植物,分布于中国西藏、甘肃以及芬兰、保加利亚等地^[2],全草可食用或药用^[3],是常用的珍稀中药材。研究表明,玫瑰红景天有抗辐射、抗自由基损伤、抗疲劳、调节免疫力等功效^[4],可用于治疗冠心病、中风偏瘫、胸痹心痛等病症,还能益气通脉、活血平喘^[5]。玫瑰红景天中活性物质有红景天甙^[6]、红景天素、

基金项目:陕西省科技厅社发攻关项目(编号:2018SF-307);陕西省教育厅科研项目(编号:20JS016,19JK0187)

作者简介:刘存芳(1971—),女,陕西理工大学教授,硕士生导师,硕士。E-mail:liuef@snut.edu.cn

收稿日期:2020-11-15

络塞维等^[7-8],其深加工研究主要侧重于活性物质的分离鉴定^[9-11]、测试醇提取物和挥发性物质的活性^[12-14],以及提取物的毒性和安全性^[15],并开发出了红景天酸奶、固体饮料等功能产品^[16-17]。梁淑珍等^[18]曾于 80℃下用 70%乙醇回流提取蔷薇红景天醇提物,并研究其乙酸乙酯相、正丁醇相和水相 3 种极性部位的抗氧化活性。通常情况下用乙醇水溶液提取出来的多是黄酮、多酚以及水溶性大分子蛋白质、多糖等化合物,还会有少量小分子极性物质,而无水乙醇提取物中蛋白质、多糖相对较少,其活性物质及提取物的生物活性可能存在差异。研究拟对玫瑰红景天无水乙醇提取物的环己烷、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇萃取物及水相物的活性成分含量及生物活性进行测试分析,以期为玫瑰红景天醇提取物的综合利用提供參考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

玫瑰红景天(*Rhodiola rosea* L.):收集于西藏林芝地区,经陕西理工大学赵桦教授识别和确认,将其根茎低温干燥至恒重,粉碎过 50 目筛后密封保存;

金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus* ATCC25925)、肠炎沙门氏菌(*Salmonella enteritidis* 50040)、大肠杆菌(*Escherichia coli* ATCC25922)、肺炎链球菌(*Streptococcus pneumoniae* ATCC49619)、肺炎克雷伯氏菌株(*Klebsiella pneumoniae* ATCC 10031)、伤寒沙门氏菌(*Salmonella typhi* CMCC50071)、鼠伤寒沙门菌(*Salmonella typhimurium* 50013)、短小芽孢杆菌(*Bacillus pumilus* ATCC7061)、白色念珠菌(*Candida albicans* ATCC10231);中国食品药品检定研究院;

红景天甙、芦丁:纯度 $\geq 98.8\%$,中国食品药品检定研究院;

水解酪蛋白胨肉汤(MHB)、肉汤培养基(CM)、普通琼脂平板培养基;北京索莱宝科技有限公司;

无水乙醇、环己烷、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇、磷酸氢钠、磷酸、邻二氮菲、硫酸亚铁、双氧水溶液、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼、维生素 C、三氯乙酸、氯化铁等:分析纯,西安化学试剂厂;

试验用水为二次蒸馏水。

1.1.2 仪器

紫外可见光光度计:UV-6100 型,上海精密仪器仪表有限公司;

生化培养箱:SPX-150B 型,常州市伟嘉仪器制造有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-0 型,北京中兴伟业仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:HH-2 型,北京科伟永兴仪器有限

公司;

电子天平:AL-204-IC 型,北京瑞泽康科技有限公司;

旋转蒸发仪:EYELA 型,上海巴玖实业有限公司;

微型植物粉碎机:FZ102 型,北京格拉威尔科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 玫瑰红景天醇提物的制备 称量玫瑰红景天粉末 60.0 g 用滤纸筒包好,装进抽提筒,加无水乙醇至虹吸管口浸泡,圆底烧瓶中加入总体积 1/2 的乙醇,80℃水浴下循环提取至抽提筒中乙醇呈无色(约回流 24 h),回收乙醇,得深褐色的玫瑰红景天乙醇提取物。重复提取 10 次,合并提取物,冷冻干燥至恒重。

1.2.2 不同溶剂萃取物和水相物的制备 将玫瑰红景天乙醇提取物按 $m_{\text{乙醇提取物}}:V_{\text{水}}=1:100$ (g/mL)分散于水中,摇匀,形成悬浊液,按 $V_{\text{水溶液}}:V_{\text{环己烷}}=9:1$ 先用环己烷萃取 3 次,合并萃取液后蒸馏回收环己烷,得到环己烷萃取物。同理,按 $V_{\text{水溶液}}:V_{\text{有机溶剂}}=9:1$ 依次用氯仿、乙酸乙酯、正丁醇萃取,得到氯仿萃取物、乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物。水相用旋转蒸发仪蒸干得到水相物。冷冻干燥后称重。

重复操作 3 次,合并各相应的萃取物和水相物,密封备用。

1.2.3 总酚和总黄酮含量的测定

(1) 总酚含量:参照文献^[19],以红景天甙为对照品,乙醇为溶剂。分别称取萃取物和水相物各 200.00 mg 用乙醇溶解,定容于 5 个 100 mL 容量瓶中配成 2.0 mg/mL 溶液。

(2) 总黄酮含量:参照文献^[1],以芦丁为对照品,乙醇为溶剂。

1.2.4 体外抗氧化活性试验 现配现用溶液,1.5 mmol/L 邻二氮菲乙醇溶液、1.5 mmol/L 硫酸亚铁水溶液、0.1 mmol/mL 的 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼乙醇溶液即 DPPH 溶液及质量分数 0.02% 过氧化氢溶液。pH 7.4 摩尔浓度 150 mmol/L PBS 缓冲溶液:称取 3.121 g 磷酸二氢钠用水溶解定容于 100 mL 容量瓶中,14.328 g 磷酸氢钠定容于 200 mL 容量瓶中,分别吸量 38.0 mL 磷酸二氢钠溶液和 162.0 mL 磷酸氢钠溶液于 300 mL 容量瓶中定容。

(1) 清除 DPPH·能力:根据文献^[20],修改如下:调配 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0,1.2 mg/mL 系列质量浓度的萃取物、水相物、维生素 C 无水乙醇溶液,作为测试液。取 36 支 10 mL 比色管,取 1 mL 不同质量浓度的测试液,每管加入 2 mL DPPH 溶液,无水乙醇定容混匀,避光室温放置 30 min;以无水乙醇为空白,以无水乙醇代替 DPPH 溶液为对照,在 517 nm 下测定吸光度 A。重复测量 3 次。按式(1)计算 DPPH·清除率。

$$D = \frac{1 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

D ——DPPH·清除率, %;

A_0 ——空白试验吸光度;

A_1 ——测试液吸光度;

A_2 ——对照试验吸光度。

(2) 清除·OH能力:根据文献[13],修改如下:取 8 支 10 mL 比色管,均加入 3.0 mL PBS 溶液及 1.0 mL 邻二氮菲溶液摇匀,再加入 2.0 mL 硫酸亚铁溶液摇匀,分别吸取 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 mL 的 2.0 mg/mL 环己烷萃取物无水乙醇溶液加入编号为 1~6 号管中,作为测试液;另 2 支管标为损伤管和未损伤管,不加环己烷萃取物溶液,其中 1~6 号管和损伤管中再滴加 1 mL 过氧化氢溶液,未损伤管不加过氧化氢溶液。8 支管中补水至刻度摇匀,置于生化培养箱内 37 °C 下反应 50 min 后取出冷至室温,在 510 nm 下测定吸光度 A 。重复测量 3 次。同样,分别用氯仿萃取物、乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物、水相物和维生素 C 溶液代替环己烷萃取物溶液。按式(2)计算·OH清除率。

$$H = \frac{A_2 - A_1}{A_0 - A_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

H ——·OH清除率, %;

A_0 ——未损伤管吸光度;

A_1 ——损伤管吸光度;

A_2 ——加测试液吸光度。

(3) 还原能力:根据文献[18],修改如下:配置环己烷萃取物 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 mg/mL 不同浓度的测试液。在 6 支 10 mL 离心管中加入 3.0 mL PBS 溶液、1.5 mL 0.01 g/mL 铁氰化钾溶液摇匀后,依次加 2 mL 不同浓度的测试液,摇匀,50 °C 水浴下反应 20 min,冷却至室温,再分别加入 1 mL 水和 2.5 mL 体积分数 10% 三氯乙酸溶液,摇匀后离心。在 6 支比色管中加入 3 mL 离心液、2 mL 0.1 g/mL 氯化铁溶液以及 1 mL 水,摇匀静置 10 min,在 700 nm 下测定吸光度,重复测量 3 次。同样,分别用氯仿萃取物、乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物、水相物和维生素 C 替代环己烷萃取物。

1.2.5 萃取物和水相物的抗菌试验 依据文献[20—21],将萃取物和水相物分别溶于含质量分数 5% Tween-80 的肉汤中配成 20.00 mg/mL 的 6 种测试溶液,微量二倍稀释法测试最小抑菌浓度(MIC),平面转种法测试最小杀菌浓度(MBC)。

1.3 数据处理

试验均重复 3 次,结果以平均值±标准误差表示,相关性分析用 SPSS 软件,绘图用 OriginLab Origin V8.0 软件。

2 结果与讨论

2.1 不同溶剂萃取物的提取率

如表 1 所示,不同溶剂萃取物间有显著性差异($P < 0.05$),其中乙酸乙酯萃取物是氯仿萃取物的 2 倍,环己烷萃取物和水相物的提取率相当。玫瑰红景天乙醇提取物中乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物和氯仿萃取物占总提取物重量的 87.34%。

2.2 萃取物和水相物中总酚和总黄酮含量

由表 2 可知,不同溶剂萃取物和水相物中均含总酚和总黄酮,且二者在各萃取物中的含量存在显著性差异($P < 0.05$),其中乙酸乙酯萃取物中总酚和总黄酮含量最高,分别为 (469.32 ± 1.15) , (338.57 ± 0.92) mg/g 萃取物。

2.3 萃取物和水相物的抗氧化活性

2.3.1 清除 DPPH·的能力 由图 1 可知,不同溶剂萃取物和维生素 C 对 DPPH·的清除作用均存在量效关系,当质量浓度为 0.02~0.12 mg/mL 时,随着萃取物质量浓度的增加,清除率也相应地增加,而维生素 C 清除 DPPH·的能力相对最强。不同溶剂萃取物对 DPPH·有明显的清除作用,与文献[22]报道的红景天提取物有较好的体外抗氧化作用有相似性。相同浓度下不同溶剂萃取物和水相物对 DPPH·清除能力大小为:乙酸乙酯萃取物>正丁醇萃取物>氯仿萃取物>环己烷萃取物>水相物。

表 1 玫瑰红景天乙醇提取物和不同溶剂萃取物的提取率[†]

Table 1 Extraction rates of the ethanol extract from *Rhodiola rosea* and its different solvent extracts g/100 g

提取物	提取率	提取物	提取率
乙醇提取物	8.90 ± 0.13^a	乙酸乙酯萃取物	3.43 ± 0.09^a
环己烷萃取物	0.54 ± 0.08^c	正丁醇萃取物	2.60 ± 0.16^b
氯仿萃取物	1.74 ± 0.11^b	水相物	0.58 ± 0.15^c

[†] 字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

表 2 不同溶剂萃取物和水相物中总酚及总黄酮含量[†]

Table 2 The total phenols and flavonoids content of different solvent extracts and the aqueous extract mg/g

提取物	总酚	总黄酮
环己烷萃取物	23.56 ± 1.13^a	11.08 ± 0.56^a
氯仿萃取物	138.22 ± 0.89^c	56.94 ± 0.77^a
乙酸乙酯萃取物	469.32 ± 1.15^b	338.57 ± 0.92^b
正丁醇萃取物	378.46 ± 1.06^b	268.71 ± 0.85^b
水相物	237.39 ± 0.97^b	135.67 ± 1.04^c

[†] 字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

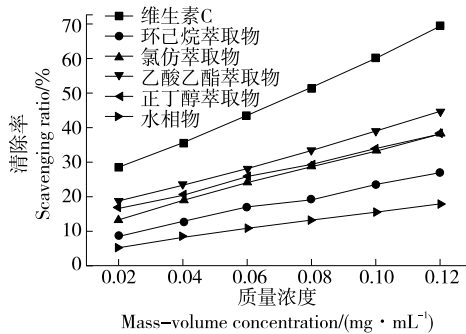


图1 不同溶剂萃取物和水相物清除 DPPH· 的效果

Figure 1 DPPH· scavenging activities of different solvent extracts and the aqueous extract

2.3.2 清除·OH 的能力 由图2可知,不同溶剂萃取物和水相物对 H_2O_2/Fe^{2+} 体系经 Fenton 反应产生的·OH 有清除作用。不同溶剂萃取物、水相物和维生素 C 对·OH 均表现出明显的清除效果,在 0.02 ~ 0.12 mg/mL 的质量浓度范围内,清除能力呈量效关系,维生素 C 清除·OH 的能力最强。不同溶剂萃取物和水相物清除·OH 的能力存在差异,相同质量浓度下对·OH 清除能力大小为正丁醇萃取物>乙酸乙酯萃取物>氯仿萃取物和水相物>环己烷萃取物,与文献[18]报道的相同浓度下正丁醇相清除·OH 的能力强于乙酸乙酯相的结果一致。

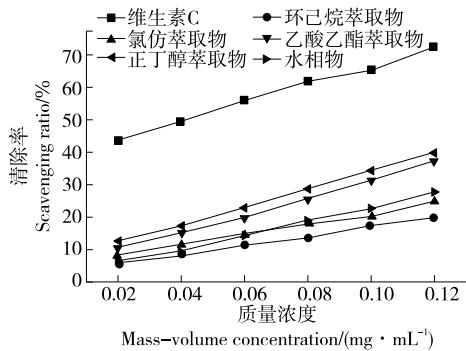


图2 不同溶剂萃取物和水相物清除·OH 的效果

Figure 2 Effect of scavenging hydroxyl radical of different solvent extracts and the aqueous extract

2.3.3 还原能力 由图3可知,不同溶剂萃取物、水相物和维生素 C 均有不同程度的还原能力,在试验质量浓度范围内,其抗氧化活性随质量浓度的增加而增大,呈较好的量效关系。维生素 C 还原能力最强,乙酸乙酯萃取物的还原能力明显高于其他萃取物,与文献[22—23]报道的红景天乙醇提取物有抗氧化作用的结果一致。

2.3.4 活性成分含量与氧化活性的相关性 通过 Spearman 分析不同溶剂萃取物和水相物的抗氧化活性(清除 DPPH·、清除·OH、还原能力)与其活性成分(总酚和总黄酮)含量之间的相关性[24],结果如表3所示。由表3可知,抗氧化活性与活性成分含量之间均存在显著的相关性($P < 0.05$),此外,抗氧化活性之间表现出强相关性,说明抗氧化活性测定是可靠的;总酚和总黄酮含量之间也表现出相关性。

2.4 萃取物和水相物的抗菌效果

由表4可知,不同溶剂萃取物及水相物对试验菌株均有抑制和灭活作用。从 MIC 值来看,对9种细菌抑制作用强弱为氯仿萃取物>乙酸乙酯萃取物>正丁醇萃取物>环己烷萃取物>水相物,在9种细菌中对金黄色葡萄球菌和肠炎沙门氏菌均有较强的抑制作用,氯仿萃取物和乙酸乙酯萃取物的抑菌杀菌活性与文献[19]的结果一致。从 MBC 值来看,不同溶剂萃取物和水相物对试验菌株有不同程度的灭活作用,对金黄色葡萄球菌 AT-TCC25925 株灭活作用更明显。

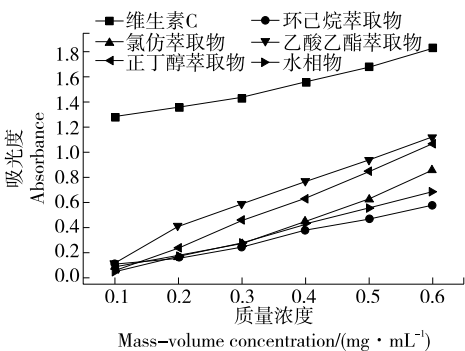


图3 不同溶剂萃取物和水相物的还原能力

Figure 3 The total reducibility values of different solvent extracts and the aqueous extract

表3 活性成分含量与氧化活性的 Spearman 相关系数[†]

Table 3 The Spearman correlation coefficient of active components content and antioxidant activity

指标	总酚含量	总黄酮含量	清除 DPPH·	清除·OH	还原能力
总酚含量	1.000	0.923 *	0.965 **	0.973 **	0.951 **
总黄酮含量		1.000	0.958 **	0.986 **	0.982 **
清除 DPPH·			1.000	0.914 *	0.939 **
清除·OH				1.000	0.966 **
还原能力					1.000

[†] * 表示相关性显著($P < 0.05$), ** 表示相关性极显著($P < 0.01$)。

表 4 不同溶剂萃取物和水相对试验菌株的 MIC 值和 MBC 值
Table 4 MIC and MBC of different solvent extracts and the aqueous extract

试验菌株	环己烷萃取物		氯仿萃取物		乙酸乙酯萃取物		正丁醇萃取物		水相物	
	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC
金黄色葡萄球菌 ATCC25925	2.38	3.76	0.14	0.28	0.26	0.48	0.30	0.52	5.10	6.34
肠炎沙门氏菌 50040	4.16	6.18	0.22	0.50	0.96	1.72	1.14	2.16	6.22	7.60
大肠杆菌 ATCC25922	4.98	6.66	1.14	2.06	1.88	3.34	2.02	3.90	6.46	8.12
肺炎链球菌 ATCC 49619	5.32	7.78	2.22	4.30	5.32	7.70	5.64	8.22	7.20	9.84
肺炎克雷伯氏菌 ATCC 10031	6.70	9.14	3.78	6.16	5.16	8.08	6.30	9.14	7.84	11.08
伤寒沙门氏菌 CMCC 50071	7.38	10.06	4.10	7.08	4.48	7.56	6.38	9.98	9.28	12.10
鼠伤寒沙门菌 50013	8.42	11.88	6.16	8.74	6.52	8.98	7.40	9.76	10.50	13.14
短小芽孢杆菌 ATCC 7061	9.96	12.36	7.72	9.38	7.90	10.12	8.94	10.60	11.32	14.02
白色念珠菌 ATCC10231	11.24	14.90	8.96	11.54	9.20	12.06	10.12	13.78	14.68	16.94

3 结论

以无水乙醇为溶剂对玫瑰红景天进行回流提取,将醇提物溶于水并分别用环己烷、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇进行萃取。经测定,乙酸乙酯萃取物中总酚和总黄酮含量最高;乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物的抗氧化活性更为明显;不同溶剂萃取物和水相物的抗氧化活性与其活性成分含量呈显著相关性($P<0.05$);不同溶剂萃取物和水相对 9 种试验菌株均有抑制作用和灭活作用,对金黄色葡萄球菌和肠炎沙门氏菌的作用效果更好,氯仿萃取物和乙酸乙酯萃取物的抗菌活性较为显著。试验仅对玫瑰红景天醇提取物的不同溶剂萃取物和水相物的抗氧化和抗菌活性进行了初步测试,其萃取物和水相物中所含活性物质的种类和结构等还需要进一步研究。

参考文献

[1] 帕提曼·肖开提, 穆巴热科·吾普尔, 刘阳, 等. Box-Behnken 设计优化蔷薇红景天总黄酮提取纯化工艺[J]. 中国药业, 2020, 28(11): 8-13.

[2] MARCHEV A S, ANEVA I Y, KOYCHEVA I K, et al. Phytochemical variations of *Rhodiola rosea* L. wild-grown in Bulgaria[J]. Phytochemistry Letters, 2017, 20: 386-390.

[3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[M]. 2015 版. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 154-155.

[4] MARCHEV A S, DIMITROVA P, KOYCHEVA I K, et al. Altered expression of TRAIL on mouse T cells via ERK phosphorylation by *Rhodiola rosea* L. and its marker compounds[J]. Food and Chemical Toxicology, 2017, 108: 419-428.

[5] AMSTERDAM J D, PANOSSIAN A G. *Rhodiola rosea* L. as a putative botanical antidepressant[J]. Phytomedicine,

2016, 23(7): 770-783.

[6] 黄成安, 黎小兰, 吴斯燕, 等. 高效液相色谱法测定红景天提取物中红景天苷的不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(23): 8 653-8 657.

[7] QI Shan-shan, SHAO Meng-li, ZE Sun, et al. Salidroside from *Rhodiola rosea* L. attenuates diabetic nephropathy in STZ induced diabetic rats via anti-oxidative stress, anti-inflammation, and inhibiting TGF- β 1/Smad pathway [J]. Journal of Functional Foods, 2021, 77: 104 329-104 340.

[8] 刘丹妮, 张珂, 陈晓祥, 等. UPLC 法同时测定蔷薇红景天中络塞维、络塞琳和络塞定的含量[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2020, 38(5): 615-619.

[9] 马朝阳, 姜在祥, 吕文平, 等. 玫瑰红景天化学成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(11): 1 549-1 553.

[10] 王晓梅, 热娜·卡斯木, 何承辉, 等. 蔷薇红景天乙酸乙酯部位化学成分的研究[J]. 华西药学杂志, 2011, 26(4): 308-309.

[11] 冯媛媛, 陈存. 红景天黄酮类化合物及药理活性研究进展[J]. 中药材, 2014, 37(4): 700-705.

[12] 张燕丽, 张雪伟, 岳秋娟, 等. 红景天乙醇提取物调节 Lewis 肺癌荷瘤小鼠肿瘤浸润 T 细胞数量并增强抗肿瘤免疫效应[J]. 细胞与分子免疫学杂志, 2019, 35(2): 103-108.

[13] 刘存芳, 史娟, 刘军海, 等. 玫瑰红景天挥发性成分分析及其抗氧化和抗菌活性[J]. 食品工业科技, 2020, 41(1): 32-37.

[14] CHOI S. Anti-fatigue effects of *Rhodiola rosea* extract[J]. Planta Medica, 2016, 82(S1): S1-S381.

[15] 傅剑云, 夏勇, 徐彩菊, 等. 蔷薇红景天提取液的毒性研究及安全性评价[J]. 浙江预防医学, 1997(增刊 1): 56-58.

[16] 王允华, 崔笑遥, 张玲. 红景天酸奶制作工艺研究[J]. 现代农业科技, 2019, 40(1): 216-218.

(下转第 225 页)

- fluorescence nanoparticles as labels [J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 237: 172-179.
- [74] LU Chun-xia, GAO Xiao-xu, CHEN Ya, et al. Aptamer-based lateral flow test strip for the simultaneous detection of *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli* O157: H7 and *Staphylococcus aureus* [J]. Anal Lett, 2020, 53(4): 646-659.
- [75] HUANG Yu-kun, ZHANG Hui, CHEN Xiu-juan, et al. A multicolor time-resolved fluorescence aptasensor for the simultaneous detection of multiplex *Staphylococcus aureus* enterotoxins in the milk [J]. Biosensors & Bioelectronics, 2015, 74: 170-176.
- [76] 王成全. 基于磁控适配体传感体系的农产品中典型霉菌毒素检测研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2016: 85-86.
- [77] QIAN Jing, REN Chan-chan, WANG Cheng-quan, et al. Magnetically controlled fluorescence aptasensor for simultaneous determination of ochratoxin A and aflatoxin B₁ [J]. Analytica Chimica Acta, 2018, 1019: 119-127.
- [78] WANG Qi, YANG Qing-li, WU Wei. Graphene-based steganographic aptasensor for information computing and monitoring toxins of biofilm in food [J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 10: 3139.
- [79] 周佳伟. 量子点-适配体荧光传感器快速检测卡那霉素和妥布酶残留[D]. 镇江: 江苏大学, 2018: 37.
- [80] 王叶. 基于核酸适配体探针结合荧光和微流控方法检测食品中抗生素残留研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2017: 48.
- [81] ZHANG Cun-zheng, WANG Li, TU Zhui, et al. Organophosphorus pesticides detection using broad-specific single-stranded DNA based fluorescence polarization aptamer assay [J]. Biosensors and Bioelectronics, 2014, 55: 216-219.
- [82] 赵旭, 吴世嘉, 乐琳, 等. 基于核酸适配体的镉离子可视化检测方法 [J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 35-38.
- [83] WU Shi-jia, DUAN Nuo, SHI Zhao, et al. Dual fluorescence resonance energy transfer assay between tunable upconversion nanoparticles and controlled gold nanoparticles for the simultaneous detection of Pb²⁺ and Hg²⁺ [J]. Talanta, 2014, 128: 327-336.
- [84] YAN Xi-luan, JIANG Meng-meng, JIAN Yu-ting, et al. Simultaneous aptasensor assay of ochratoxin A and adenosine triphosphate in beer based on Fe₃O₄ and SiO₂ nanoparticle as carriers [J]. Analytical Methods, 2020, 12(17): 2253-2259.
- [85] JIN Bi-rui, YANG Ye-xin, HE Rong-yan, et al. Lateral flow aptamer assay integrated smartphone-based portable device for simultaneous detection of multiple targets using upconversion nanoparticles [J]. Sensor Actuat B-Chem, 2018, 276: 48-56.
- [86] HE Li-yong, SHEN Zhi-peng, WANG Jia-qi, et al. Simultaneously responsive microfluidic chip aptasensor for determination of kanamycin, aflatoxin M₁, and 17 β -estradiol based on magnetic tripartite DNA assembly nanostructure probes [J]. Microchimica Acta, 2020, 187(3): 1-11.
-
- (上接第 164 页)
- [17] 王中风, 吴永娟, 曾凡坤, 等. 红景天固体饮料配方研究 [J]. 食品与机械, 1997, 13(2): 12-13.
- [18] 梁淑珍, 孟玉彩, 安锡忠, 等. 蔷薇红景天提取物不同极性部位体外抗氧化活性研究 [J]. 安徽农业科学, 2010(20): 10682-10683.
- [19] 吴锦健, 邓昌国, 孙殿甲, 等. 比色法测定不同红景天药材中酚性成分的含量 [J]. 中成药, 1996, 18(9): 47-48.
- [20] 田光辉, 庞海霞, 刘存芳, 等. 玫瑰红景天粗脂肪的成分及其性质分析 [J]. 江苏农业科学, 2020, 48(18): 205-210.
- [21] OLGA Kosakowska, KATARZYNA Baczek, JAROSŁAW Przybył, et al. Antioxidant and antibacterial activity of Roseroot (*Rhodiola rosea* L.) dry extracts [J]. Molecules, 2018, 23(7): 1767-1781.
- [22] 范桂强, 齐善厚, 庞红霞, 等. 红景天提取物与红景天苷体外抗氧化作用研究 [J]. 中国药房, 2016(13): 1797-1800.
- [23] 赵岩, 赵天琦, 蔡恩博, 等. 狭叶红景天乙醇提取物的降血脂和抗氧化活性研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2015(12): 5046-5052.
- [24] 陆俊, 罗丹, 张佳琦, 等. 三叶木通不同部位多酚、黄酮含量及抗氧化活性比较 [J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 132-135, 223.
-
- (上接第 188 页)
- [17] 陈曦, 李国林, 陈梦玉, 等. 响应面法优化发酵蓝莓果醋发酵工艺条件 [J]. 中国酿造, 2018, 37(9): 73-77.
- [18] 廖良坤, 黄晖, 袁源, 等. 菠萝皮渣果醋发酵特性及抗氧化性 [J]. 食品科技, 2018, 43(4): 87-91.
- [19] 丁一东, 卜春旭, 刘子菱, 等. 蜂蜜醋的品质及其抗氧化性的研究 [J]. 延边大学学报(自然科学版), 2018, 44(3): 256-259.
- [20] MERVE Özen, NILGÜN Özdemir, BILGE Ertekin Filiz, et al. Sour cherry (*Prunus cerasus* L.) vinegars produced from fresh fruit or juice concentrate: Bioactive compounds, volatile aroma compounds and antioxidant capacities [J]. Food Chemistry, 2020, 309: 125664.
- [21] 陈怡, 范茹茹, 吴凯, 等. 不同酿造醋的抗氧化性能的对比研究 [J]. 激光生物学报, 2020, 29(3): 281-289.
- [22] 孙璐宏, 鲁周民, 包蓉, 等. 柿果醋酿造过程中抗氧化性能的变化 [J]. 食品科学, 2011, 32(19): 37-41.
- [23] 丁城, 高冰, 刘璐, 胡勇. 紫外诱变选育醋酸菌及其发酵梨醋风味研究 [J]. 中国酿造, 2016, 35(10): 51-55.
- [24] 贾娟, 王婷婷, 杨雯雯, 等. 香梨发酵酒发酵工艺的优化及其香气成分研究 [J]. 中国酿造, 2019, 38(5): 101-107.