

莲蓬醇提物中槲皮素的鉴定及生物活性

Identification of quercetin in ethanol extract of
lotus seed pod and its biological activity

谢三都 林雅男 黄晓美

XIE San-du LIN Ya-nan HUANG Xiao-mei

(福建师范大学闽南科技学院, 福建 泉州 362332)

(Minnan Science and Technology Institute, Fujian Normal University, Quanzhou, Fujian 362332, China)

摘要:采用 UV、TLC、IR、HPLC 等方法鉴定莲蓬的 80% 乙醇提取物中的槲皮素,并研究其生物活性。结果表明:莲蓬醇提物中含有槲皮素成分;以 Vc 和茶多酚作阳性对照,当莲蓬醇提物中槲皮素浓度达到 8.658 3 mg/mL 时,对 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 、DPPH、ABTS⁺ 的清除率分别达到 92.02%, 98.54%, 93.12%, 91.32%;莲蓬醇提物对大肠杆菌、酵母菌和沙门氏菌的最低抑菌浓度均为 0.8 mg/mL (以槲皮素计),对金黄色葡萄球菌的最低抑菌浓度为 0.6 mg/mL (以槲皮素计),但对霉菌无明显抑制作用。莲蓬醇提物具有抗氧化性能和抑菌性能,且与槲皮素浓度呈正相关 ($R>0.980\ 0$, $P<0.05$)。

关键词:莲蓬;槲皮素;鉴定;抗氧化;抑菌

Abstract: The quercetin in the 80% ethanol extract of lotus seed pod was identified with UV, TLC, IR and HPLC, and its biology activity was also studied. Results: That the alcohol extract of lotus seed pod contained quercetin; Taking the Vc and tea polyphenol as positive control, the $\cdot\text{OH}$, $\text{O}_2^{\cdot-}$, DPPH and ABTS⁺ scavenging activity of 92.02%, 98.54%, 93.12% and 91.32%, respectively, when the concentration of quercetin in the 80% ethanol extract of lotus seed pod reached 8.6583 mg/mL; The MIC of the ethanol extract of lotus seed pod to escherichia coli, yeast and Salmonella was 0.8 mg/mL (quercetin concentration), to staphylococcus aureus was 0.6 mg/mL (quercetin concentration), but didn't show obvious inhibitory effect on mould. The alcohol extract of lotus seed pod has antioxidant properties and antibacterial properties, and has positive correlation to the concentration of quercetin ($R>0.980\ 0$, $P<0.05$).

Keyword: lotus seed pod; quercetin; identification; antioxidant; bac-

terioistasis

莲是睡莲科莲属 (*Nelumbo nucifera* Gaertn) 植物,是中国特有的药食两用的种质资源,主要分布在福建、江西、江苏、湖南、湖北等地^[1-3]。莲蓬 (lotus seed pod, LS) 又称莲房,为莲的花托^[4-5],含有槲皮素、槲皮素-3-二葡萄糖苷、金丝桃苷等黄酮类化合物^[6]和莲子碱^[4]、原花色素^[7]等生物活性物质。目前,对莲资源的研究多见于荷叶^[8]、莲子^[9]、荷花^[10]等药食兼用组织^[11],作为莲的重要组成部分——莲蓬,仅少数被民间用作食物香料使用,大部分被丢弃,造成资源浪费的同时污染了环境^[12]。

槲皮素 (quercetin) 是黄酮醇的一种代表性化合物,是黄酮类化合物中具有很高的药用价值的化合物之一^[13],以单体和苷的形式大量存在于天然产物中^[14],具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤、抗病毒、免疫调节等作用^[15]。研究表明槲皮素具有抗氧化性能和抑菌能力,宝贵荣等^[16]探讨蒙药中槲皮素含量与其抗氧化活性的相关性,试验结果显示蒙药具有的较强的抗氧化活性与其含有的槲皮素的量呈正相关;柯昌松等^[17]研究了番石榴叶提取物——槲皮素对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、志贺氏菌的抑制作用,结果表明番石榴叶提取物对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、志贺氏菌的抑制作用很明显。但尚未见有关莲蓬槲皮素抗氧化性能和抑菌性能的研究性报道。

本研究拟以建宁白莲的莲蓬为原料,用 80% 乙醇溶液萃取,提取液经分离纯化后采用 UV、TLC、IR、HPLC 等方法鉴定其是否存在槲皮素成分,在此基础上测定其生物活性——抗氧化性能和抑菌性能,旨在为莲子资源的综合利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与设备

建宁白莲莲蓬:2014 年 7 月采摘于福建省三明市建宁

基金项目:福建省“十二五”高等学校实验教学示范中心项目 (编号:SYSP12001);福建省级“本科教学工程”大学生校外实践教育基地项目 (编号:XWSJ12002);福建省本科高校“专业综合改革试点”项目 (编号:ZYZH12002);福建省大学生创新创业计划项目 (编号:201412992018)

作者简介:谢三都 (1984—),男,福建师范大学讲师,硕士。
E-mail: xsdfst@163.com

收稿日期:2015-12-25

县,选取成熟莲蓬为试验样品;

标准菌株:金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)、青霉(*Penicillium*)、黑曲霉(*Aspergillus niger*)、根霉(*Rhizopus*)、毛霉(*Mucor*)、酵母菌(*Saccharomycetes*),福建师范大学闽南科技学院微生物实验室提供;

沙门氏菌(*Salmonella*):福建农林大学食品科学学院微生物实验室提供;

槲皮素标准样:色谱纯,中国药品生物制品检定所;
普通硅胶板、荧光硅胶板:中国青岛海洋化工集团公司;
其余试剂均为分析纯;
20RBAX SB-C₁₈ 色谱柱(规格:4.6 mm×150 mm, 5 μm):美国 Agilent 公司;

紫外可见分光光度计:UV-2802SH 型,尤尼柯(上海)仪器有限公司;

双光束紫外—可见分光光度计:UV-2601 型,北京科瑞海科学仪器有限公司;

高效液相色谱仪:1260 型,美国 Agilent 公司;
傅立叶红外光谱仪:NICOLET IS10 型,赛默飞世尔科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 莲蓬粉末的制备 于 60 ℃鼓风干燥 12 h 后,粉碎,过 120 目标样筛,备用。

1.2.2 莲蓬醇提物的制备 采用 80%乙醇为萃取剂,在料液比 1:25(mg/mL)、温度 60 ℃、时间 30 min 条件下提取 3 次,合并提取液获得莲蓬醇提物,根据文献[18]的方法对莲蓬醇提物进行初步的分离纯化后,备用。

1.2.3 莲蓬醇提物中槲皮素的鉴定

(1) 简单鉴定:根据文献[18~20]的方法对莲蓬醇提物进行简单鉴定。

(2) 光谱鉴定:紫外光谱扫描:根据文献[21]的方法对莲蓬醇提物和槲皮素标准品进行紫外光谱扫描;高效液相色谱扫描:根据文献[22]的方法扫描莲蓬醇提物与槲皮素标准品的高效液相色谱图;红外光谱扫描:根据文献[23]的方法扫描莲蓬醇提物与槲皮素标准品的红外图谱。

1.2.4 莲蓬醇提物的抗氧化活性 根据文献[24~27]的方法测定莲蓬醇提物对·OH、·O₂⁻、DPPH·、ABTS 的清除率。

1.2.5 莲蓬醇提物的抑菌活性 根据文献[28~30]的方法测定莲蓬醇提物的抑菌性能。

2 结果与讨论

2.1 莲蓬醇提物中槲皮素的鉴定

2.1.1 简单鉴定 莲蓬的 80%乙醇提取物经初步纯化后,简单鉴定结果见表 1。由表 1 可知,莲蓬的 80%乙醇提取物经纯化后可能存在黄酮类化合物或相关官能团。

2.1.2 莲蓬醇提物中槲皮素的紫外扫描光谱 由图 1 可知,莲蓬醇提物的紫外扫描图谱与槲皮素标准品的紫外扫描图谱基本一致,可初步判定莲蓬醇提物中含有槲皮素。但在 350~500 nm,虽有呈现与槲皮素相似的吸收图谱,但图谱的

表 1 莲蓬醇提物的定性分析结果

Table 1 Qualitative analysis of lotus seedpod alcohol extraction

反应类型	现象
盐酸—锌粉试验	溶液加入盐酸后变无色,加热后变成浅红色并且静置后有沉淀产生
铅盐沉淀试验	溶液为黄色加入 1%乙酸铅后,溶液变成黄色沉淀
三氯化铝试验	加入 1%的三氯化铝后,滤纸变黄色,紫外灯下有荧光
TLC 鉴定	$V_{\text{正丁醇}}:V_{\text{醋酸}}:V_{\text{水}}=4:1:5$, R_f 值均为 0.95 左右
	$V_{\text{氯仿}}:V_{\text{甲醇}}=9:2$, R_f 值均为 0.75 左右

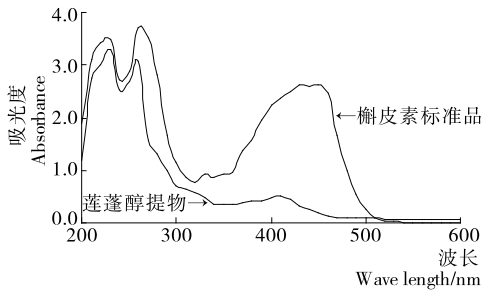


图 1 紫外扫描图谱

Figure 1 Scanning spectra of ultra-violet

重叠率明显较差,可能是槲皮素结构链中结合了某些基团或样品中存在杂质导致其吸光度减弱。

2.1.3 莲蓬醇提物中槲皮素的 HPLC 图谱 对比莲蓬醇提物与槲皮素标准品的高效液相色谱图(图 2)可知,莲蓬醇提物的 HPLC 图谱中有吸收峰的停留时间为 3.188min,与槲皮

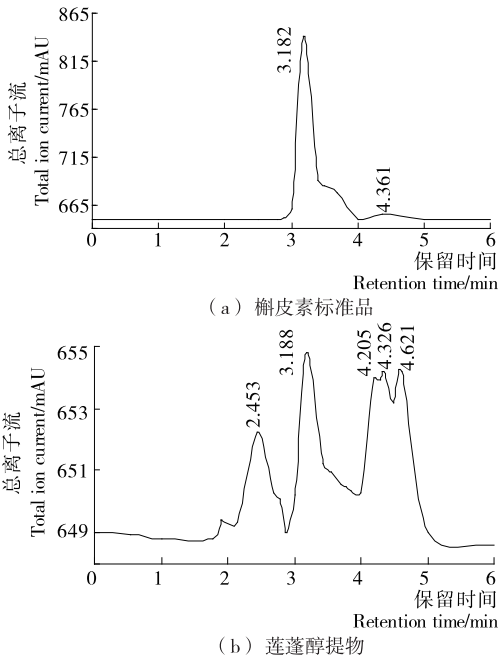


图 2 槲皮素标准品与莲蓬醇提物的 HPLC 图谱

Figure 2 HPLC spectra of quercetin and lotus seedpod extraction by alcohol

素标准品的特征吸收峰的停留时间 3.182 min 基本一致,判定莲蓬醇提物中有槲皮素。

2.1.4 莲蓬醇提物中槲皮素的 IR 图谱 如图 3 所示,槲皮素分子主要官能团红外吸收归属^[23,31]: γ -OH 3 346 cm^{-1} ; $\gamma\text{C}=\text{O}$ 1 670 cm^{-1} ; $\gamma\text{C}=\text{C}(-\text{Ar})$ 1 614, 1 511, 1 428 cm^{-1} ; $\delta-\text{CH}_3$ 1 363 cm^{-1} ; $\gamma=\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 1 311 cm^{-1} ; $\rho\text{C}=\text{O}$ 1 211 cm^{-1} 。莲蓬的 80%乙醇提取物在上述槲皮素红外光谱的特征峰附近均有出现吸收峰,说明莲蓬醇提物中均含有槲皮素分子的特征结构。但莲蓬醇提取物的红外吸收光谱在 2 926, 2 854 cm^{-1} 附近均出现了尖峰,该吸收峰一般为糖类物质中 $-\text{CH}_2$ 基团的 C-H 反对称伸缩振动引起的,说明莲蓬醇提物中可能存在糖类杂质或分子结构中结合有糖类基团。

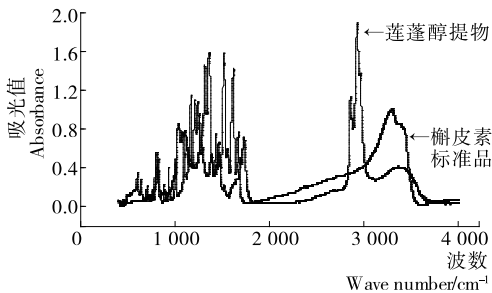


图 3 槲皮素标准品与莲蓬醇提物的红外吸收光谱图
Figure 3 The infrared absorption spectrogram of quercetin and lotus seedpod extraction by alcohol

2.2 莲蓬醇提物的抗氧化性能

2.2.1 莲蓬醇提物对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力 由图 4 可知,莲蓬 80%乙醇提取物对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力随着浓度(以醇提物中槲皮素浓度计)的增加而升高。与茶多酚和 V_C 对比发现,当莲蓬醇提物中槲皮素浓度达到 8.658 3 mg/mL 时,其对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率达到 92.02%,与茶多酚和 V_C 在浓度为 2.0 mg/mL 时对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率相当,说明莲蓬醇提物具有较强的清除 $\cdot\text{OH}$ 的能力。通过相关性分析发现,莲蓬醇提物对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率与其中槲皮素浓度明显相关,其相关性系数为 $R=0.997\ 6$, $P<0.05$ 。

2.2.2 莲蓬醇提物对 $\text{O}_2\cdot^-$ 的清除能力 由图 5 可知,随着莲蓬醇提物中槲皮素浓度的增加,其清除 $\text{O}_2\cdot^-$ 的清除率相应增加。与茶多酚和 V_C 对比发现,当莲蓬醇提物中槲皮素

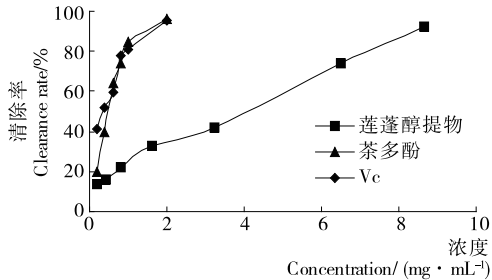


图 4 莲蓬醇提物、茶多酚与 V_C 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力
Figure 4 The $\cdot\text{OH}$ scavenging activity by lotus seedpod quercetin, tea-polyphenol and V_C

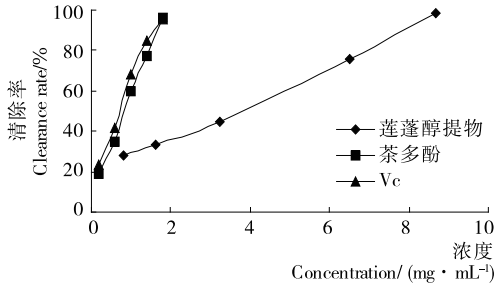


图 5 莲蓬槲皮素、茶多酚与 V_C 对 $\text{O}_2\cdot^-$ 的清除能力
Figure 5 The $\text{O}_2\cdot^-$ scavenging activity by the ethanol extract of lotus seed pod, tea-polyphenol and V_C

浓度达到 8.658 3 mg/mL 时,其对 $\text{O}_2\cdot^-$ 的清除率为 98.54%,与茶多酚和 V_C 在浓度为 1.8 mg/mL 时对 $\text{O}_2\cdot^-$ 的清除率相当,说明莲蓬醇提物具有较强清除 $\text{O}_2\cdot^-$ 的能力。通过相关性分析发现,莲蓬醇提物对 $\text{O}_2\cdot^-$ 的清除率与其中槲皮素浓度明显相关,其相关性系数为 $R=0.997\ 6$, $P<0.05$ 。

2.2.3 莲蓬醇提物对 $\text{DPPH}\cdot$ 的清除能力 由图 6 可知,随着莲蓬醇提物中槲皮素浓度的增加,其清除 $\text{DPPH}\cdot$ 的清除率相应增加。与茶多酚和 V_C 对比发现,当莲蓬醇提物中槲皮素浓度达到 8.658 3 mg/mL 时,其对 $\text{DPPH}\cdot$ 的清除率达到 93.12%,与茶多酚和 V_C 在浓度为 2.0 mg/mL 时对 $\text{DPPH}\cdot$ 的清除率相当,说明莲蓬醇提物具有较强清除 $\text{DPPH}\cdot$ 的能力。通过相关性分析发现,莲蓬醇提物对 $\text{DPPH}\cdot$ 的清除率与其中槲皮素浓度明显相关,其相关性系数为 $R=0.988\ 0$, $P<0.05$ 。

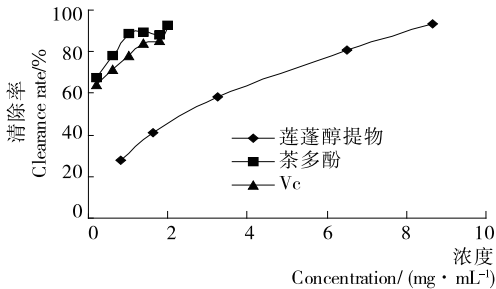


图 6 莲蓬醇提物、茶多酚与 V_C 对 $\text{DPPH}\cdot$ 的清除能力
Figure 6 The DPPH scavenging activity by the ethanol extract of lotus seed pod, tea-polyphenol and V_C

2.2.4 莲蓬醇提物对 ABTS 自由基的清除能力 由图 7 可知,随着莲蓬醇提物中槲皮素浓度的增加,其清除 ABTS 自由基的清除率相应增加。与茶多酚和 V_C 对比发现,当莲蓬醇提物中槲皮素浓度达到 8.658 3 mg/mL 时,其对 ABTS 自由基的清除率达到 91.32%,与茶多酚和 V_C 在浓度为 1.8 mg/mL 时对 ABTS 自由基的清除率相当,说明莲蓬醇提物具有较强清除 ABTS 自由基的能力。通过相关性分析发现,莲蓬醇提物对 ABTS 自由基的清除率与其中槲皮素浓度明显相关,其相关性系数为 $R=0.989\ 8$, $P<0.05$ 。

2.3 莲蓬醇提物的抑菌性能

2.3.1 莲蓬醇提物的抑菌活性 由表 2 可知,以灭菌的蒸馏

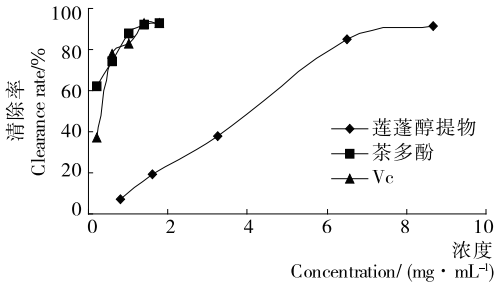


图7 莲蓬醇提取物、茶多酚与V_C对ABTS自由基的清除能力
Figure 7 The ABTS scavenging activity by the ethanol extract of lotus seed pod, tea-polyphenol and V_C

水和10%甲醇溶液作对比,莲蓬醇提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌和酵母菌均有一定的抑制效果,当莲蓬醇提取物中槲皮素浓度为1.00 mg/mL时,其抑菌圈直径分别为7.5、7.0、8.0、7.0 mm,而对青霉、黑霉、根霉、毛霉等霉菌无抑制能力。

2.3.2 莲蓬醇提取物最低抑菌浓度的测定 由表3可知,随着莲蓬醇提取物中槲皮素浓度的增大,抑菌作用逐渐增强。莲蓬

表2 莲蓬醇提取物的抑菌活性[†]
Table 2 Bacteriostasis property of the ethanol extract of lotus seed pod

菌株	抑菌圈直径/mm		
	蒸馏水	10%甲醇溶液	莲蓬醇提取物
大肠杆菌	—	—	7.5
金黄色葡萄球菌	—	—	7.0
沙门氏菌	—	—	8.0
酵母菌	—	—	7.0
青霉	—	—	—
黑霉	—	—	—
根霉	—	—	—
毛霉	—	—	—

† “—”表示未出现抑菌圈或抑菌圈不明显。

醇提取物中槲皮素对金黄色葡萄球菌的最低抑菌浓度为0.6 mg/mL,对酵母菌、大肠杆菌和沙门氏菌的最低抑菌浓度均为0.8 mg/mL。

表3 莲蓬醇提取物的最低抑菌浓度[†]
Table 3 MIC of the ethanol extract of lotus seed pod

菌种	莲蓬醇提取物中槲皮素浓度/(mg·mL ⁻¹)										
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
酵母菌	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—
大肠杆菌	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—
金黄色葡萄球菌	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
沙门氏菌	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—

† “+”表示菌落无抑制,“—”表示菌落有抑制。

2.3.3 莲蓬醇提取物抑菌率的测定 由图8可知,莲蓬醇提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌和酵母菌在发酵过程的抑菌率随莲蓬醇提取物中槲皮素浓度的增加而增强。当莲蓬醇提取物中槲皮素浓度增加至20 mg/mL时,对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌和酵母菌的抑菌率分别为99.27%、99.18%、99.08%、98.65%;继续增加莲蓬醇提取物中槲皮素浓度,各抑菌率略有上升,接近100%。当莲蓬醇提取物中槲皮素的浓度增加至40 mg/mL时,经显微镜观察发现,各菌种经发酵后在数量上未见增加。通过相关性分析发现,莲蓬醇提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌和酵母

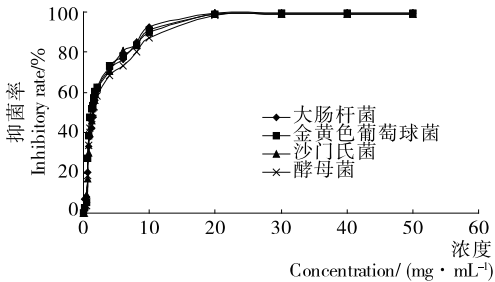


图8 莲蓬醇提取物的抑菌率

Figure 8 The inhibitory rate of the ethanol extract of lotus seed pod

菌的抑菌率与其中槲皮素浓度(0~10 mg/mL)明显相关,其相关性系数 $R>0.980$, $P<0.05$ 。

3 结论

莲蓬醇提取物中鉴定出含有槲皮素且具有较强的抗氧化能力和抑菌能力;通过相关性分析发现,莲蓬醇提取物的抗氧化能力和抑菌性能均与其含有的槲皮素含量有明显相关,相关性系数均大于0.990 0($P<0.05$)。但本试验所采取的纯化方法是沿用文献[18]中所描述的方法,在分析过程发现,莲蓬醇提取物的谱图中出现槲皮素标准品不具有的吸收峰,引起这种现象的原因有待进一步研究与分析。

参考文献

[1] 李向红,王建辉,靳娜,等.海藻酸钠复合膜对带壳鲜莲贮藏品质的影响[J].食品与机械,2015,31(5):169-173.
[2] 林鸾缘,曾绍校,郑宝东.不同介质条件对莲子淀粉糊黏度特性影响的研究[J].中国食品学报,2010,10(3):92-97.
[3] 曾绍校,卓晓红,郭泽滨,等.不同加工方法对莲子淀粉糊特性的影响[J].中国农学通报,2013,29(6):217-220.
[4] 江俊,周海,刘彬,等.大孔树脂纯化莲蓬壳色素工艺研究[J].广州化工,2011,39(7):78-79.
[5] 段玉清,张海晖,周密,等.大孔吸附树脂对莲房原花青素吸附

纯化性能的研究[J]. 离子交换与吸附, 2009, 25(2): 114-120.

[6] 国家中医药管理局. 中华本草: 第八卷[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 333, 405.

[7] 肖俊松, 谢笔钧, 曹雁平, 等. 莲房原花色素的纯化分级和结构鉴定[J]. 食品科学, 2012, 33(19): 172-177.

[8] 汤芬, 傅亚平, 邓放明. 超临界 CO₂ 流体萃取荷叶总黄酮的工艺优化[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 149-152.

[9] 刘星星, 杜雨芊, 方菲菲, 等. 莲子贮藏过程中可溶性糖的变化规律[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 154-157.

[10] 徐双双, 孙瑜, 井凤, 等. 硅胶柱色谱结合高速逆流色谱法分离纯化荷花中黄酮类化合物[J]. 色谱, 2011, 29(12): 1 244-1 248.

[11] 许牡丹, 陈合. 药食兼用食品加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 1-3.

[12] 陈红梅. 大孔吸附树脂对莲房黄酮的吸附分离特性研究[J]. 长春师范学院学报: 自然科学版, 2013, 32(2): 69-73.

[13] 骆阳葆. 从槐米中提取槲皮素的研究[J]. 医药论坛杂志, 2007, 28(2): 77-78.

[14] 雍国新. 荷叶中槲皮素提取工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(14): 5 705-5 706.

[15] 王莉娟, 龚涛, 王丽, 等. 槲皮素对香烟烟雾提取物诱导的人支气管上皮细胞死亡的抑制效应[J]. 中国药理学通报, 2009, 25(7): 960-963.

[16] 宝贵荣, 萨仁高娃, 孟和. 不同蒙药中槲皮素和总酚含量与抗氧化相关性研究[J]. 河南医学高等专科学校学报, 2015, 27(2): 119-121.

[17] 柯昌松, 王轰, 牟伟丽. 番石榴叶提取物一槲皮素的抑菌效果[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(2): 7-9.

[18] 王立, 姚惠源, 陶冠军, 等. 乌饭树树叶中槲皮素的提取分离与鉴定[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(4): 89-91.

[19] 林启涛. 中草药成分化学[M]. 北京: 科学出版社, 1977: 163-164.

[20] 肖崇厚. 中药化学[M]. 上海: 科学技术出版社, 1997: 112-113.

[21] 高锦明. 植物化学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 156-191.

[22] 贾洪锋, 唐宁, 孙俊秀, 等. 苦荞茶和荞麦面条中芦丁及槲皮素含量分析[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 57-60.

[23] 赵希, 张黎明, 高文远. 芦丁和槲皮素的几种快速鉴定方法[J]. 分析试验室, 2008, 27(增刊): 243-246.

[24] 任仙娥, 杨锋, 李雯, 等. 酪蛋白酶解产物·OH 清除和 ACE 抑制活性的稳定性[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 29-31.

[25] SIMON W A, STURM E, HARTMANN Ha J, et al. Hydroxyl radical scavenging reactivity of proton Pump inhibitors[J]. Biochemical Pharmacolgy, 2006 (71): 1 337-1 341.

[26] 彭彬. 西番莲果皮色素提取分离及其结构的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012: 58-61.

[27] 王进英, 钟海雁, 朱晓阳, 等. 多齿红茶籽多酚组分的抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 105-107.

[28] 周凯, 胡卓炎, 周沫霖, 等. 龙眼核提取物的体外抗氧化及抑菌活性研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 167-171.

[29] 姚晓敏, 孙向军, 黄时. 芦荟及其抑菌作用的研究[J]. 食品科技, 2001(4): 23-25.

[30] 黎友伦, 陈保文, 沈小兵, 等. 比较称重法和比浊法对分枝杆菌活菌计数和药敏的差异[J]. 重庆医科大学学报, 2006, 31(1): 88-90.

[31] 周群, 孙素琴, 杜德国. 芦丁热稳定性的红外光谱法实时原位跟踪[J]. 光谱学与光谱分析, 2000, 20(2): 195-198.

(上接第 24 页)

[14] 贾超, 王利强, 卢立新, 等. 阿魏酸对马铃薯淀粉基复合膜性能的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(7): 82-85.

[15] 高玉玲, 代养勇, 张慧, 等. 有机改性蒙脱土对改性淀粉复合膜性能的影响[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(6): 37-41.

[16] 王利强, 贾超, 卢立新, 等. 正交试验优化马铃薯淀粉基复合膜制备工艺及包装性能测定[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 80-85.

[17] LELOUP V M, COLONNA P, BULEON A. Influence of amylose-amylopectin ratio on gel properties [J]. Journal of Cereal Science, 1991, 13(1): 1-13.

[18] WESTLINGA R. Surface Composition and Morphology of Starch, Amylose, and Amylopectin Films [J]. Biomacromolecules, 2003, 4(1): 166-172.

[19] ALFONSO PG, LUIS A B, BLANCA GA, et al. Effect of structural characteristics of modified waxy corn starches on rheological properties, film-forming solutions, and on water vapor permeability, solubility, and opacity of films [J]. Starch, 2012, 64(1): 27-36.

[20] MARIAA G, MIRIAM N M, NOEMI E Z, et al. Microstructural Characterization of plasticized starch-based films [J]. Starch, 2000, 52(4): 118-124.

[21] RING S G, COLONNA P, IANSON K J, et al. The gelation and crystallisation of amylopectin [J]. Carbohydrate Research, 1987, 162(2): 277-293.

[22] 周中凯, 陈晓姗, 郑排云. 脱支处理蜡质玉米淀粉分子重排形成纳米结晶微球的研究[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(11): 12-15.

[23] DENISL G, PAUL C. Influence of amylose content on starch films and foams [J]. Carbohydrate Polymers, 1995, 27(4): 261-270.

[24] VANESSA D A, ADELAIDE B, MARIA V E G. Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(3): 941-946.

[25] JONHED A, ANDERAAON C, JARNSTROM L. Effects of film forming and hydrophobic properties of starches on surface sized packaging paper [J]. Packaging Technology and Science, 2008, 21(3): 123-135.

[26] RIKU A T, MARKO P, RITVA S, et al. Effect of amylose content on physical and mechanical properties of potato starch based edible films [J]. Biomacromolecules, 2008, 9(2): 658-663.

[27] 王静平. 添加海藻酸钠的可食性淀粉膜的研究[D]. 天津: 天津大学理学院, 2007: 31, 44.

[28] MALI S, GROSSMANN M V, GARICIA M A, et al. Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 75(4): 453-460.

[29] ZAMUDIO F P, BAUTISTA B S, SALGADO D R, et al. Effect of oxidation level on the dual modification of banana starch: The mechanical and barrier properties of its films [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 112(2): 822-829.