

超声波辅助法提取假苹婆树叶总黄酮 及其清除羟自由基能力

许建本^{1,2}, 苏秀芳^{1,2,*}, 莫耀芳¹

(1. 广西民族师范学院化学化工学院, 广西崇左 532200;

2. 广西高校桂西南特色植物资源化学重点实验室培育基地, 广西崇左 532200)

摘要: 利用超声波辅助提取技术研究假苹婆树叶总黄酮的提取工艺及其抗氧化活性。以总黄酮得率为研究对象, 考察了料液比、乙醇体积分数、提取功率、提取时间及提取温度对提取效果的影响, 通过正交试验对提取工艺进行了优化。结果表明, 最佳提取工艺条件为: 乙醇体积分数为 60%, 提取功率为 60 W, 料液比为 1:25 (g/mL), 70 °C 提取 65 min, 该条件下总黄酮得率为 2.36% ± 0.0002%。抗氧化试验表明, 假苹婆提取液对羟自由基的清除能力随着提取液中总黄酮浓度的增大而增强, 当假苹婆树叶总黄酮的质量浓度为 4.92 mg/mL 时, 清除率达到 73.58%。

关键词: 假苹婆, 总黄酮, 提取, 抗氧化

Ultrasonic-assisted Extraction of Total Flavonoids from *Sterculia lanceolata* and Scavenging Capacity on Hydroxyl Free Radical

XU Jian-ben^{1,2}, SU Xiu-fang^{1,2,*}, MO Yao-fang¹

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi Normal University for Nationalities, Chongzuo 532200, China;

2. Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory Breeding Base of Chemistry of Guangxi Southwest Plant Resources, Chongzuo 532200, China)

Abstract: The ultrasonic-assisted extraction of total flavonoids from *Sterculia lanceolata* and antioxidant activity were studied. The influences of the ratio of *Sterculia lanceolata* to solvent, ethanol concentration, extraction power, extraction time and extraction temperature were investigated by single factor experiment, and the extraction process were optimized by orthogonal test with total flavonoids yield as index. The results showed that the optimal of extraction were as follows: the ratio of *sterculia lanceolata* to solvent was 1:25 (g/mL), ethanol concentration was 60%, extraction power was 60 W, the extraction was taken place at 70 °C for 65 min. Under these conditions, the yield of total flavonoids was 2.36% ± 0.0002%. Antioxidant test showed that the hydroxyl radical scavenging activity increased with the increasing concentration of total flavonoids from the leaves of *sterculia lanceolata*. At the concentration of 4.92 mg/mL, the total flavonoids exhibited a maximum hydroxyl radical scavenging rate of 73.58%.

Key words: *Sterculia lanceolata*; total flavonoids; extraction; antioxidation

中图分类号: TS201.3

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2018)23-0199-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.23.035

引文格式: 许建本, 苏秀芳, 莫耀芳, 等. 超声波辅助法提取假苹婆树叶总黄酮及其清除羟自由基能力[J]. 食品工业科技, 2018, 39(23): 199-202, 209.

假苹婆(*Sterculia lanceolata* Cav.) 为梧桐科植物, 又称为赛苹婆、鸡冠木, 在我国的广西、广东和云南等地均有种植, 是西南地区的特色树种之一。假苹婆的适应性强, 可作为城市郊区生态风景林的混交树种, 也可作为风景树和绿荫树^[1], 其根和叶可舒筋活络, 祛风活血, 种子可以食用和榨油, 全株具有清热解毒, 消肿止痛的功效。主治瘀血疼痛、青紫、肿

胀、跌打损伤等症^[2]。黄酮类化合物不但具有抗氧化性, 还具有抗肿瘤、抗菌和抗病毒活性^[3-5]。提取黄酮类化合物的方法有超声波辅助提取法、溶剂浸提法、微波辅助提取法、加压流体提取法、超临界 CO₂ 流体提取法等^[6-8]。超声波辅助提取法具有操作简单, 提取时间短, 成本低等优点, 已经应用于天然产物的提取研究^[9-10]。

收稿日期: 2017-12-04

作者简介: 许建本(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 天然产物化学, E-mail: xujianben2014@163.com。

* 通讯作者: 苏秀芳(1971-), 女, 硕士, 教授, 研究方向: 天然产物活性成分的提取、分离、分析及药理活性研究, E-mail: suxiufang88@sina.com。

基金项目: 桂教人[2011]40 号 2011 年度“广西高校优秀人才资助计划”。

目前,有研究者对藜麦种子^[11]、费菜^[12]和香椿叶^[13]等植物中的黄酮类化合物进行了提取和分离,而由于假苹婆种植区域局限,对其树叶中黄酮类化合物提取工艺及抗氧化活性的研究鲜有报道。本文以假苹婆树叶为原料,通过超声波辅助提取假苹婆树叶中的黄酮类化合物,并对其抗氧化活性进行了研究,以期为更全面地开发利用假苹婆提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

假苹婆树叶(树龄:约20年) 2015年8月采摘于广西民族师范学院;芦丁标准品(生化试剂) 上海晶纯试剂有限公司;氢氧化钠(分析纯) 广东光华科技股份有限公司;95%乙醇、30%过氧化氢、抗坏血酸、亚硝酸钠、硝酸铝、水杨酸、七水合硫酸亚铁等 均为分析纯。

7200型可见分光光度计 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;JA1003N电子天平 上海精密科学仪器有限公司;SG2200HPT型超声波清洗机 上海冠特超声仪器有限公司;SHZ-D(Ⅲ)型循环水式多用真空泵 巩义市予华仪器有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 总黄酮提取工艺 将采摘后的假苹婆树叶洗净,55℃下干燥24h,利用中药粉碎机粉碎,过60目筛,用石油醚以1:25(w/v)的比例浸泡,连续强力搅拌去除叶绿素,再在50℃下干燥8h后得到假苹婆树叶粉末,常温下避光保存备用。取1.0000g假苹婆树叶粉末,按照一定的料液比加入一定体积分数的乙醇溶液,在一定的提取温度下,按照一定的提取功率提取一定的时间。反应结束后,过滤,将滤液定容至100mL,摇匀备用。

1.2.2 单因素实验

1.2.2.1 乙醇体积分数对总黄酮得率的影响 固定料液比1:25(g/mL)、提取温度50℃、提取时间35min、提取功率60W,采用1.2.1方法提取假苹婆树叶粉末总黄酮并考察不同乙醇体积分数30%、40%、50%、60%、70%对总黄酮得率的影响。

1.2.2.2 提取功率对总黄酮得率的影响 固定乙醇体积分数50%、料液比1:25(g/mL)、提取温度50℃、提取时间35min,采用1.2.1方法提取假苹婆树叶粉末总黄酮并考察不同提取功率50、60、70、80、90W对总黄酮得率的影响。

1.2.2.3 提取时间对总黄酮得率的影响 固定乙醇体积分数50%、提取功率60W、料液比1:25(g/mL)、提取温度50℃,采用1.2.1方法提取假苹婆树叶粉末总黄酮并考察不同提取时间25、35、45、55、65min对总黄酮得率的影响。

1.2.2.4 提取温度对总黄酮得率的影响 固定乙醇体积分数50%、提取功率60W、提取时间55min、料液比1:25(g/mL),采用1.2.1方法提取假苹婆树叶粉末总黄酮并考察不同提取温度40、50、60、70、80℃对总黄酮得率的影响。

1.2.2.5 料液比对总黄酮得率的影响 固定乙醇体积分数50%、提取功率60W、提取时间55min、提取

温度70℃,采用1.2.1方法提取假苹婆树叶粉末总黄酮并考察不同料液比1:15、1:20、1:25、1:30、1:35(g/mL)对总黄酮得率的影响。

1.2.3 正交试验设计 在单因素实验基础上,选取乙醇体积分数、提取功率、提取时间、料液比四个因素,设计四因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交试验,以确定较优假苹婆总黄酮提取工艺,因素水平见表1。

表1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal test

水平	因素			
	A 乙醇体积分数 (%)	B 提取功率 (W)	C 提取时间 (min)	D 料液比 (g/mL)
1	40	50	45	1:25
2	50	60	55	1:30
3	60	70	65	1:35

1.2.4 总黄酮得率的测定 参考文献[14]的方法,用60%(体积分数,下同)的乙醇溶液配制50mL 0.3mg/mL的芦丁标准溶液,准确吸取0.0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5mL芦丁标准溶液分别加入到10mL比色管中,对应加入0.4mL 5%的 NaNO_2 溶液,摇匀后放置6min,再加0.4mL 10%的 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液,摇匀后放置6min,加入4.0mL 4%的NaOH溶液,然后用60%的乙醇溶液定容,摇匀,静置15min。于510nm处测定各溶液吸光度,以芦丁质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线,得曲线方程为: $y = 44.638x + 0.0028$, $R^2 = 0.9994$ 。按照芦丁标准曲线的测定方法测定样品液的吸光度,再由式(1)计算总黄酮得率。

$$\text{总黄酮得率}(\%) = \frac{C \cdot V \cdot N}{M} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

式中,C为根据芦丁标准曲线计算出来的提取液质量浓度(mg/mL);V为样品定容体积(mL);N为稀释倍数;M为假苹婆树叶干粉质量(mg)。

1.2.5 假苹婆总黄酮清除羟自由基的活性测定 在比色管中加入0.5mL 9.0mmol/L水杨酸-乙醇溶液,再加入不同体积总黄酮提取液0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、0.5mL 9.0mmol/L Fe^{2+} 溶液,3.5mL蒸馏水,再加入5.0mL 88mmol/L的 H_2O_2 溶液,摇匀后放置15min,在510nm处测定吸光度,记为 A_1 ;用0.5mL蒸馏水代替 Fe^{2+} 溶液,测得的吸光度记为 A_2 ;取0.5mL蒸馏水代替总黄酮提取液测得的吸光度记为 A_3 。各吸光度均平行测定三次,按式(2)计算羟自由基清除率P,最后取平均值。同时均以抗坏血酸作阳性对照。

$$P(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_3}\right) \times 100 \quad \text{式(2)}$$

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel(Office 2010)、Origin8.5软件进行数据处理及分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 乙醇体积分数对假苹婆树叶总黄酮得率的影响 从图1可以看出,当乙醇体积分数低于40%时,

总黄酮得率较低,这是由于乙醇体积分数较小,水含量相对多,有较多水溶性成分溶出,使得总黄酮得率较低。当乙醇体积分数为 50% 时,总黄酮得率达到最大,说明假苹婆树叶中中等极性的黄酮类化合物含量较高。继续增大乙醇体积分数,总黄酮得率减小,说明乙醇体积分数较大时,溶剂的极性降低,大量的脂溶性和醇溶性成分溶出,使黄酮类化合物溶解度降低,从而导致总黄酮得率减小^[15]。因此,提取假苹婆树叶总黄酮的乙醇体积分数以 50% 为宜。

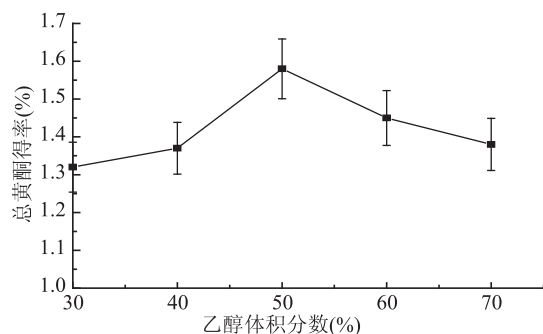


图1 乙醇体积分数对假苹婆总黄酮得率的影响

Fig.1 Effect of ethanol concentration on yield of the total flavonoids from the *Sterculia lanceolata*

2.1.2 提取功率对假苹婆树叶总黄酮得率的影响 由图 2 所知,当超声波功率为 50 W 时,总黄酮得率较低,这是由于功率较低,不足以使物料充分受到超声波的作用。功率为 60 W 时,总黄酮得率最大,继续增大提取功率,总黄酮得率降低,这是因为超声波功率较大时,对黄酮类化合物具有破坏作用,故选取 60 W 为较佳提取功率。

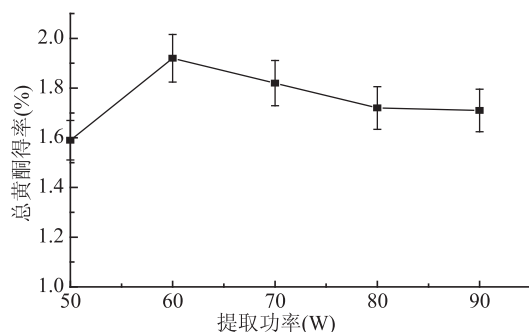


图2 提取功率对假苹婆总黄酮得率的影响

Fig.2 Effect of power on yield of the total flavonoids from the *Sterculia lanceolata*

2.1.3 提取时间对假苹婆树叶总黄酮得率的影响 由图 3 可知,提取时间为 25~55 min 时,总黄酮得率随着时间的延长逐渐增大,其中,提取 55 min 总黄酮得率最大,继续延长提取时间,总黄酮得率急剧减小。这是因为:一方面,提取时间较短时,假苹婆中的黄酮类化合物没有完全溶出,使得总黄酮得率低,55 min 时,黄酮类化合物已基本溶出,再延长时间,提取出来的黄酮类化合物结构受到破坏,导致最后的提取率减小;另一方面,由 Fick 定律可知,提取率和时间具有正相关关系,但提取时间过长,扩散系数降低,影响总黄酮得率,且杂质的溶出量也会随着提取时间的延长而增加,不利于后续分离纯化^[16-17]。

综合考虑得率和能耗,选取 55 min 为较佳提取时间。

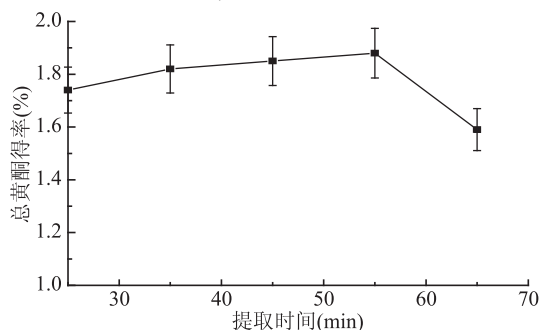


图3 提取时间对假苹婆总黄酮得率的影响

Fig.3 Effect of time on yield of the total flavonoids from the *Sterculia lanceolata*

2.1.4 提取温度对假苹婆树叶总黄酮得率的影响 由图 4 可知,当提取温度低于 60 ℃ 时,总黄酮得率较低,温度高于 60 ℃ 时,总黄酮得率快速增大,70 ℃ 时达到最大。这是因为温度升高之后,黄酮类化合物的渗透、扩散和溶解速度也进一步加快,有利于其溶出^[18]。再升高温度,得率有减小趋势,这是因为在高温下,热稳定性差的黄酮成分会发生降解,造成总黄酮得率减小,故选取 70 ℃ 为适宜提取温度。

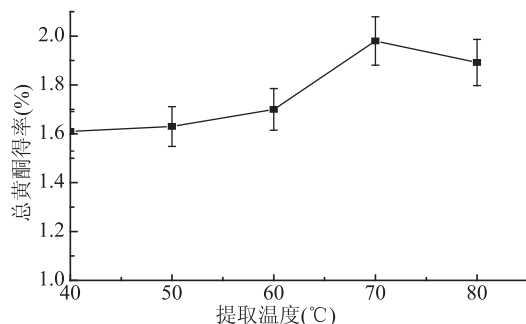


图4 提取温度对假苹婆总黄酮得率的影响

Fig.4 Effect of temperature on yield of the total flavonoids from the *Sterculia lanceolata*

2.1.5 料液比对假苹婆树叶总黄酮得率的影响 由图 5 可知,料液比在 1:15~1:25 (g/mL) 之间时,假苹婆总黄酮得率随料液比的增大而缓慢增大,但整体得率相对较小,这是因为溶剂量过少,体系中溶出的黄酮类化合物与未溶出的黄酮类化合物浓度很快接近平衡,使总黄酮不能完全溶出。当料液比从 1:25 (g/mL) 增

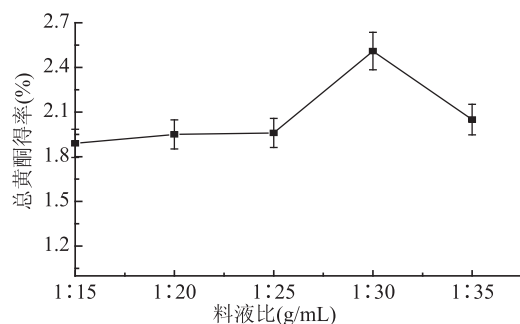


图5 料液比对假苹婆总黄酮得率的影响

Fig.5 Effect of ratio of raw material and liquid on yield of the total flavonoids from the *Sterculia lanceolata*

加到 1:30 (g/mL) 时,总黄酮得率明显增大,继续增加溶剂用量,总黄酮得率减小,考虑到溶剂量过多会增加下一步的浓缩时间,而且造成原料浪费,故选取 1:30 (g/mL) 为适宜料液比。

2.2 正交试验

根据单因素实验结果,选择乙醇体积分数、提取功率、提取时间、料液比 4 个因素按照表 1 设计 $L_9(3^4)$ 正交试验,得到假苹婆树叶总黄酮得率,见表 2。以下各个实验均在最佳温度 70 ℃ 下进行。

表 2 正交试验结果

Table 2 Results of the orthogonal test

试验号	A	B	C	D	总黄酮得率 (%)
1	1	1	1	1	2.08
2	1	2	2	2	1.98
3	1	3	3	3	2.17
4	2	1	2	3	1.78
5	2	2	3	1	2.21
6	2	3	1	2	1.97
7	3	1	3	2	2.28
8	3	2	1	3	2.26
9	3	3	2	1	2.30
k_1	2.08	2.05	2.10	2.20	
k_2	1.99	2.15	2.02	2.08	
k_3	2.28	2.15	2.22	2.07	
R	0.29	0.10	0.20	0.13	

由表 2、表 3 可知,各因素对总黄酮得率的影响大小顺序为:乙醇体积分数 > 提取时间 > 料液比 > 提取功率,乙醇体积分数对假苹婆总黄酮的提取影响极显著,提取时间有显著影响。假苹婆总黄酮的最佳提取条件为 $A_3B_2C_3D_1$,即乙醇体积分数为 60%,提取功率为 60 W,提取时间为 65 min,料液比为 1:25 (g/mL)。

表 3 正交试验结果方差分析

Table 3 Variance analysis of orthogonal test

差异来源	离差平方和	自由度	均方	F	显著性
乙醇体积分数	0.133	2	0.067	13.400	**
提取功率	0.019	2	0.010	2.000	
提取时间	0.058	2	0.029	5.800	*
料液比	0.028	2	0.014	2.800	
误差	0.009	2	0.005		
总和	0.247	8			

注: $F_{0.05}(2,6) = 5.14$, $F_{0.01}(2,6) = 10.92$, $F_{0.1}(2,6) = 3.46$;
“*”表示因素影响显著,“**”表示因素影响极显著。

为了进一步验证最优条件的可靠性,取上述最优条件进行三次平行试验,总黄酮得率为 $2.36\% \pm 0.0002\%$,提取率高于正交试验中的任意结果,符合最优条件。

2.3 回收率的测定

取 1.0 mL 最佳提取条件下得到的假苹婆提取液 6 份,分别加入到 10 mL 比色管中,在各比色管中再

分别加入 1.0 mg 芦丁标准品,摇匀,静置 15 min 后测定吸光度,得到平均回收率为 99.49%, $RSD = 2\%$,表明该方法准确可靠。

2.4 假苹婆树叶总黄酮清除羟自由基的能力

羟自由基是最活泼的自由基,同时也是毒性最大的自由基,研究黄酮类化合物对羟自由基的清除具有一定意义^[19]。由图 6 可知,随着假苹婆树叶总黄酮提取液和抗坏血酸质量浓度的增大,清除羟自由基的能力增强。和抗坏血酸相比,假苹婆树叶总黄酮提取液对羟自由基的清除能力相对较弱。但当假苹婆树叶总黄酮的质量浓度为 4.92 mg/mL 时,清除率达到 73.58%。

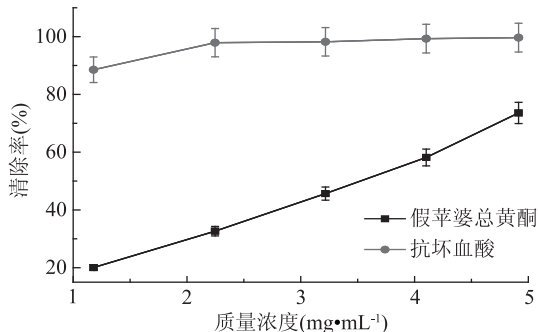


图 6 假苹婆树叶总黄酮和抗坏血酸对羟自由基的清除作用

Fig.6 Scavenging effect of ascorbic acid total

and flavonoids from *Sterculia lanceolata*

at various concentrations on hydroxyl free radicals

3 结论

以假苹婆树叶为原料,采用超声波辅助提取假苹婆树叶中的黄酮类化合物,通过单因素和正交试验,得到较优的提取工艺条件为:乙醇体积分数为 60%,提取功率为 60 W,料液比为 1:25 (g/mL),70 ℃ 下提取 65 min,该条件下总黄酮得率为 $2.36\% \pm 0.0002\%$ 。总黄酮提取液对羟自由基的清除率随着其浓度的增大而增大,当假苹婆树叶总黄酮的质量浓度为 4.92 mg/mL 时,清除率达到 73.58%,表明假苹婆总黄酮对羟自由基具有较好的清除效果。回收率实验表明该方法准确可靠。

参考文献

- [1] 黄丽君,徐健,杨志强,等.假苹婆砧木嫁接苹婆试验初报[J].中国南方果树,2017,46(2):124-126.
- [2] 国家中医药管理局《中华本草》编委会.中华本草[M].上海:上海科学技术出版社,1999:390.
- [3] 蔡为荣,顾小红,汤坚.仙人掌皮黄酮提取工艺优化[J].农业工程学报,2008,24(6):299-303.
- [4] Kook S H, Son Y O, Jang Y S, et al. Inhibition of c-Jun N-terminal kinase sensitizes tumor cells to flavonoid-induced apoptosis through down-regulation of JunD [J]. Toxicology & Applied Pharmacology, 2008, 227(3):468-476.
- [5] Wang L J, Yang X S, Qin P Y, et al. Flavonoid composition, antibacterial and antioxidant properties of tartary buckwheat bran

(下转第 209 页)

表4 挤压膨化物料与蒸煮物料制曲后的成曲多肽分子量分布表
Table 4 Peptide molecular weight distribution of koji in extrusion process and in cooking process

保留时间	Mp	
	挤压物料	蒸煮物料
10.952	9995	14412
13.010	4998	4998
13.694	3077	3170
14.017	2003	2976
16.030	1024	1056
17.164	566	589
19.492	233	178
19.774	153	154

为 120 r/min,面粉添加比例为 17%,机筒末端温度为 130℃,物料水分含量为 45%,在此条件下,成曲中性蛋白酶活力为(1331.91±8.22) U/g。在最优制曲条件下得到的蚕豆酱氨基酸态氮含量为 0.720 g/100 g,水分 50.75%,酱香较浓,稀稠适度。该结论可为传统蚕豆酱工艺的升级提供有效的技术参数。

参考文献

[1] 葛向阳,田煥章,梁运祥.酿造学[M].北京:高等教育出版社,2005.
[2] Rani P, Kumar A, Purohit SR, et al. Impact of fermentation and extrusion processing on physicochemical, sensory and bioactive properties of rice-black gram mixed flour[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 89: 155-163.
[3] 武世敏.低温挤压豆粕面粉混合物酿造酱油的研究[D].淄博:山东理工大学,2015.
[4] 张东亮,何媛媛,李宏军.挤压膨化豆粕酿造酱油中挤压参数对氮溶解指数的影响[J].湖北农业科学,2015, 54(16): 4012-4016.
[5] 黄婵媛,崔春,赵谋明.米曲霉全小麦制曲条件的优化[J].食品与发酵工业,2010, 36(4): 88-91.

(上接第 202 页)

extract[J]. Industrial Crops & Products, 2013, 49(8): 312-317.
[6] 贾韶千,吴彩娥,李艳霞.枸杞中黄酮类化合物的超声波强化提取[J].农业机械学报,2009, 40(5): 130-133.
[7] Xiao W H, Han L J, Shi B. Microwave-assisted extraction of flavonoids from *Radix Astragali* [J]. Separation and Purification Technology, 2008, 62(3): 614-618.
[8] Søltøft M, Christensen J H, Nielsen J, et al. Pressurised liquid extraction of flavonoids in onions [J]. Method Development and Validation Talanta, 2009, 80(1): 269-278.
[9] 张剑,曾虹燕,黄炎.超声波协同提取鱼腥草黄酮及其抗氧化性[J].广西植物,2010, 30(1): 141-144.
[10] 李强强,王凯,梁馨文,等.蜂产品中黄酮类化合物的提取工艺及功能活性的研究进展[J].食品工业科技,2017, 38(13): 339-351.
[11] 孙雪婷,蒋玉蓉,袁俊杰,等.响应面法优化提取藜麦种子黄酮及抗氧化活性[J].中国食品学报,2017, 17(3): 127-135.
[12] 王鸿飞,刘飞,徐超,等.费菜总黄酮碱法提取工艺及抗

[6] Ling MY, Chou CC. Biochemical changes during the preparation of soy sauce koji with extruded and traditional raw materials [J]. International Journal of Food Science and Technology, 1996, 31: 511-517.
[7] 杨铭铎.谷物膨化机理的研究[J].食品与发酵工业, 1988, 4(2): 7-16.
[8] 王宁,卢承前.大米粉在挤压蒸煮过程中酶法糊化度数学模型[J].食品科学,1995, 16(9): 20-24.
[9] 周景祥,王桂芹,余涛.蛋白酶和淀粉酶活性检测方法探讨[J].中国饲料,2001(11): 23-25.
[10] 赵海峰,柴华,赵谋明,等.挤压预处理后小麦面筋蛋白酶解特性的变化[J].食品工业科技,2010, 31(2): 93-96.
[11] GB 5009.235-2016,食品中氨基酸态氮的测定[S].
[12] GB 5009.3-2016,食品中水分的测定[S].
[13] 程泽峰,过世东.膨化参数对饲料淀粉糊化度和蛋白质体外消化率的影响[J].渔业现代化,2009, 36(6): 54-59.
[14] Kowalski R J, Hause J P, Melito H J, et al. Waxy flour degradation-Impact of screw geometry and specific mechanical energy in a co-rotating twin screw extruder[J]. Food Chemistry, 2017, 239: 688-696.
[15] 胡雅雯.鲜香糯豆酱加工工艺的研究及优化[D].沈阳:沈阳农业大学,2016.
[16] 冷云伟.酱油曲中米曲霉及制曲工艺的研究[D].无锡:江南大学,2004.
[17] 侯学敏,李林霞,张直峰,等.响应面法优化薄荷叶总黄酮提取工艺及抗氧化活性[J].食品科学,2013, 34(6): 124-128.
[18] 陈红梅,谢翎.响应面法优化半枝莲黄酮提取工艺及体外抗氧化性分析[J].食品科学,2016, 37(2): 45-50.
[19] 孙言,焦爱权,李燕,等.挤压膨化对白汤酱油成曲糖化酶活力的影响[J].食品与发酵工业,2017, 43(12): 93-98.
[20] 樊燕鸽,张娟梅,黄做华.响应面法优化怀菊水溶性总多酚的超声提取工艺[J].食品工业科技,2016, 37(5): 268-272.
[21] Li H, Wei B, Wu C, et al. Modelling and optimization of enzymatic extrusion pretreatment of broken rice for rice wine manufacture[J]. Food Chemistry, 2014, 150(2): 94-98.

氧化活性[J].农业工程学报,2012, 28(S1): 317-321.
[13] 李秀信,王建华,刘莉丽,等.微波辅助提取香椿叶黄酮工艺的研究[J].中国食品学报,2012, 12(1): 46-51.
[14] 苏秀芳,甘海妹,黄智想.微波辅助法提取细叶黄皮果仁总黄酮及其清除羟自由基活性的测定[J].精细化工,2010, 27(12): 1184-1186.
[15] 张黎明,李瑞超,郝利民,等.响应面优化玛咖叶总黄酮提取工艺及其抗氧化活性研究[J].现代食品科技,2014, 30(4): 233-239.
[16] 高蓉,陈练洪,李稳宏,等.超声法提取化香树果序中黄酮类化合物工艺[J].化学工程,2007, 35(8): 65-67.
[17] 黄国文,管天球,赵雨云,等.接骨草总黄酮提取工艺及其抑菌作用的研究[J].食品工业科技,2017, 38(13): 36-41.
[18] 陈虎,蒲俊松,向仲怀,等.药桑葚总黄酮的提取工艺及其抗氧化活性分析[J].食品科学,2014, 35(12): 7-12.
[19] 孙雪婷,蒋玉蓉,袁俊杰,等.响应面法优化提取藜麦种子黄酮及抗氧化活性[J].中国食品学报,2017, 17(3): 127-135.