

微波辅助响应曲面法优化提取苹果多酚工艺

李健*, 安廷, 刘宁, 刘雅南, 宋秀超

(哈尔滨商业大学食品工程学院, 黑龙江省高校食品科学与工程重点实验室, 哈尔滨 150076)

摘要: **目的** 探讨微波辅助法提取苹果果实中所含多酚的最佳提取条件。**方法** 采用微波辅助法对苹果中的多酚进行提取, 探讨在微波影响下, 其功率、提取时间、料液比以及乙醇浓度对多酚提取率的影响, 在单因素实验的基础上, 通过响应面分析确定最佳提取工艺。**结果** 各因素对苹果多酚得率的影响由大到小依次为: 微波功率>乙醇浓度>微波提取时间>料液比。由微波辅助法提取苹果多酚最佳工艺为: 乙醇浓度 50%、微波功率 640 W、提取时间 70 s、料液比 1:14(m:V)时, 多酚提取率最高为 9.92 mg/g。**结论** 由实验结果可知, 运用微波辅助法可以快速有效、安全便捷地提取苹果中的多酚类物质, 并且能够获得较好的提取率。

关键词: 苹果多酚; 微波辅助; 提取条件; 响应面分析法

Optimization of the extraction of apple polyphenols by response surface-microwave methodology

LI Jian*, AN Ting, LIU Ning, LIU Ya-Nan, SONG Xiu-Chao

(Key Laboratory for Food Science and Engineering of Heilongjiang Province, College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

ABSTRACT: Objective To obtain the optimum extraction condition of polyphenols contained in apple by microwave-assisted method. **Methods** Polyphenols in apple were extracted by microwave-assisted method. The effect of power, extraction time, solid-liquid ratio and ethanol concentration on the extraction rate of polyphenols was discussed under the influence of microwave. Based on single factor experiments, the optimum extraction was determined by response surface analysis. **Results** The yield of apple polyphenols was affected by various factors in a descending order as: microwave power, ethanol concentration, microwave extraction time and solid-liquid ratio. The optimum extraction condition was as follow: ethanol concentration 50%, microwave power 640 W, extraction time of 70 s, solid-liquid ratio 1:14 (m:V), and the extraction rate of polyphenols was up to 9.92 mg/g. **Conclusion** From the experimental results, microwave-assisted method is fast and effective, safe and convenient to extract polyphenols contained in apple and can obtain extraction rate better.

KEY WORDS: apple polyphenols; microwave assisted; extraction condition; response surface analysis

基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12521z009)、黑龙江省教育厅面上项目(12541199)

Fund: Supported by the Technology Research Project of Heilongjiang Province Education Department (12521z009) and the Project of Heilongjiang Provincial Education Department (12541199)

*通讯作者: 李健, 本科, 教授, 主要研究方向为天然产物。E-mail: lijian4852147@163.com

*Corresponding author: LI Jian, Professor, College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, No.138 Tongda Street, Daoli District, Harbin 150076, China. E-mail: lijian4852147@163.com

1 引言

苹果多酚(apple polyphenols, AP)作为一种天然抗氧化剂,属于植物多酚的一种。苹果的各个部位都含有多酚类物质,主要区别就是含量不同,AP不是单一物质,是苹果内所含有的所有酚类物质的总称^[1,2]。AP提取物具有较强的抗氧化活性,有数据统计多种常见物质清除自由基的能力是AP提取物>茶多酚>维生素E、维生素C,与年龄有关的人类疾病如心脏病、癌症、炎症、关节炎、免疫系统低下、功能紊乱以及白内障等都是由自由基破坏细胞所导致,而苹果多酚对上述疾病都可以起到很好的预防作用^[3-5]。

针对苹果多酚的研究主要有测定、提取、纯化等。苹果多酚的测定方法有多种,例如王皎等^[6]用Folin-Ciocalteu比色法测定不同品种苹果果皮和果肉中总多酚的含量;杨建荣^[7]利用高效液相色谱检测方法测定苹果多酚;苹果多酚报道过的提取方法有:超声波法、溶剂法、研磨珠萃取法、微波辅助法等^[8,9]。但大多方法繁杂,耗时长,同时还会消耗大量有机溶剂,造成原材料浪费的同时,也会造成环境污染,不利于环保。同时这些方法研究的对象主要集中在苹果果皮或苹果渣而不是针对于整颗苹果果实。如王英等^[10]利用超声波辅助法对苹果果皮中类黄酮进行提取。郭娟^[11]对苹果渣中的苹果多酚进行了提取、纯化。李珍^[12]利用有机溶剂协同超声波对苹果皮中多酚类物质进行提取;金莹等^[13]利用超声波法对苹果多酚的抗氧化性进行了研究。周丽萍等^[14]利用研磨珠辅助超声波萃取了苹果多酚。目前,利用微波法提取苹果果实中的多酚文献较少^[15-18],且提取率并不高。本文采用微波辅助的目的在于为苹果果实中的多酚类物质找到一种简捷、快速并且安全有效的提取方法。

2 材料与方法

2.1 实验材料

红富士苹果(市售)。

2.2 试剂与仪器

没食子酸(纯度≥99%,天津一方科技有限公司);无水碳酸钠(分析纯,天津市双船化学试剂厂);无水乙醇(分析纯,天津市天力化学);福林-酚试剂(分析纯,天津市光复精细化工研究所);蒸馏水。

微电脑电磁炉(CH2183V,中山市格兰仕生活电器制造有限公司);电子天平(BP221S,北京赛多利斯仪器系统有限公司);飞利浦搅拌机(HR2004,香港制造);格兰仕微波炉(G80F23DCN3L-F7,广东格兰仕微波炉电器制造有限公司);紫外可见分光光度计(5100B,上海元析仪器有限公司);循环水式多用真空泵(SHB--III,郑州长城科工贸有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 苹果多酚提取的工艺流程

苹果→切1 cm³小块→沸水中漂烫5~8 s(目的:灭酶)→迅速破碎→保鲜膜封好样品→加入适量提取剂→调整微波功率→样液浸提→抽滤→收取滤液→即得苹果多酚提取物。

2.3.2 苹果多酚定量的测定——福林酚法^[19]

首先以没食子酸(C₇H₆O₅)标准品为对照品,称取10 mg C₇H₆O₅用蒸馏水定容至10 mL容量瓶;其次分别吸取0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mL C₇H₆O₅溶液定容到10 mL容量瓶,所得溶液的质量浓度分别为10、20、30、40、50、60 mg/L;然后取37.5 g无水Na₂CO₃用250 mL温蒸馏水溶解于500 mL烧杯中,用玻璃棒不停搅拌,冷却后定容至500 mL容量瓶;

标准曲线方程:再次分别吸取1 mL不同质量浓度的C₇H₆O₅溶液至10 mL容量瓶内,依次加入5 mL蒸馏水、1 mL福林-酚试剂、4 min后加入3 mL 150 g/L的Na₂CO₃溶液,显色2 h,并用紫外分光光度计测定A_{765 nm}的值。最后进行3组平行试验。以没食子酸含量为横坐标,吸光度为纵坐标,得回归方程为Y=0.0126X-0.0236, r²=0.9952,由此可知横纵坐标在一定范围内线性相关且相关性显著。苹果多酚得率如公式(1)所示^[20]。

$$\text{苹果多酚得率 } T(\text{mg/g}) = \frac{C \times V \times N}{M \times 1000} \quad (1)$$

式中: C—没食子酸含量, μg/mL;

V—原料液体积, mL;

M—取样量, g;

N—稀释倍数,是稀释前溶液浓度,除以稀释后的溶液浓度所得的商;

1000—将 μg 转化成 mg。

2.3.3 单因素试验

(1)乙醇浓度对苹果多酚含量的影响

按1:20(m:V)的料液比分别向5 g苹果匀浆中加入浓度为10、20、30、40、50、60、70、80、90、

100%的乙醇,微波功率 800 W,加热 60 s,后抽滤,收集滤液最后用 2.3.2 的方法测 AP 含量。

(2)微波功率对苹果多酚含量的影响

按 1:20(*m*:*V*)的料液比向 5 g 苹果匀浆中加入浓度为 50%的乙醇,微波总功率为 800 W,分别按微波功率的 20%、40%、60%、80%、100%的条件,加热 60 s,后抽滤,收集滤液最后用 2.3.2 的方法测 AP 含量。

(3)微波提取时间对苹果多酚含量的影响

按 1:20 (*m*:*V*)的料液比向 5 g 苹果匀浆中加入浓度为 50%的乙醇,在微波功率为总功率 80%的条件下,分别提取 10、20、30、40、50、60、70、80、90、100 s 后抽滤,收集滤液最后用 2.3.2 的方法测 AP 含量。

(4)料液比对苹果多酚提取率的影响

取 5 g 苹果匀浆,按料液比为 1:10、1:11、1:12、1:13、1:14、1:15 (*m*:*V*)加入浓度为 50%的乙醇,在微波功率为总功率 80%条件下,加热 70 s 后,抽滤,收集滤液最后用 2.3.2 的方法测 AP 含量。

2.3.4 微波辅助法提取苹果多酚的工艺优化试验

单因素试验可知,对苹果多酚提取效果影响最小的因素是料液比,在进行响应面优化试验时,选取乙醇浓度(因素 A)、微波功率(因素 B)、微波提取时间(因素 C)3 个为对多酚提取率影响较大的因素。采用 Design Expert 8.0.6 软件进行行 3 因素 3 水平的设计。

表 1 微波辅助提取苹果多酚因素水平
Table 1 Microwave assisted extraction of apple polyphenols reference factors and levels

	因素水平		
	-1	0	+1
A 乙醇浓度 /%	40	50	60
B 微波功率 /W	480	640	800
C 微波提取 时间/s	60	70	80

3 结果与讨论

3.1 单因素试验

3.1.1 乙醇浓度对苹果多酚含量的影响

苹果多酚常温下在水中的溶解度较少,100%的苹果多酚在水中可溶解 30%,但在有机溶剂中的溶解度较高,考虑苹果制品主要用于食品及医药,因此

选用安全无毒的乙醇作为有机溶剂来提取苹果多酚。乙醇浓度对苹果多酚含量的影响如图 1 所示。

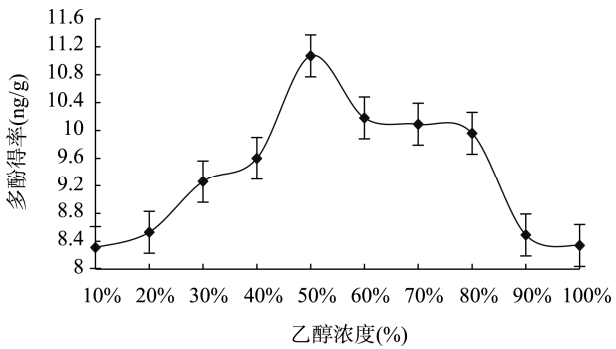


图 1 乙醇浓度对苹果多酚含量的影响

Fig. 1 Effect of ethanol concentration on apple polyphenol content

如图 1 所示,苹果多酚(AP)的含量在一定范围内,与乙醇浓度呈正比,当乙醇浓度达到 50%时,AP 的提取效果最佳,随后 AP 的提取率开始降低,这是因为乙醇浓度逐渐增加会导致脂溶性物质大量析出,从而影响到细胞内 AP 的溶出,进而影响 AP 含量。可见,选择 50%的乙醇浓度为最佳值。

3.1.2 微波功率对苹果多酚含量的影响

固定乙醇浓度为 50%,料液比为 1:20 (*m*:*V*),提取时间 60 s,改变微波功率。微波功率对苹果多酚含量的影响如图 2 所示。

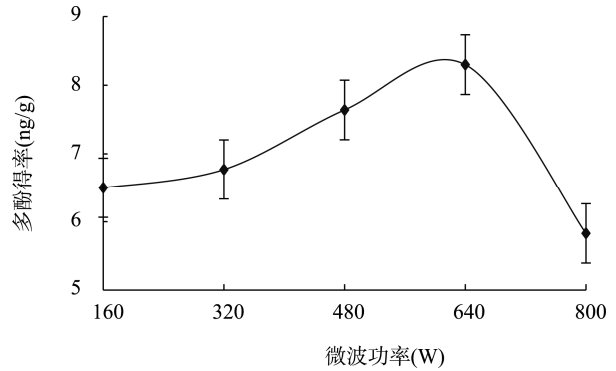


图 2 微波功率对苹果多酚含量的影响

Fig. 2 Effect of microwave power on the apple polyphenols content

由图 2 可知,AP 在不同微波功率下的提取率不同。微波功率可以提高反应温度,同时在微波的作用下,微波电磁场利于多酚物质更好地溶解在溶剂乙

醇中。但是当微波功率过高,会导致反应温度过高,多酚类物质被氧化,从而减少,因此在过高的功率下,反而提取不到更多的 AP。当微波功率在 640 W 时,AP 提取效果最佳。

3.1.3 微波提取时间对苹果多酚含量的影响

固定乙醇浓度 50%、微波功率 640 w、料液比为 1:20 (m:V), 改变提取时间。微波提取时间对苹果多酚的影响如图 3 所示。

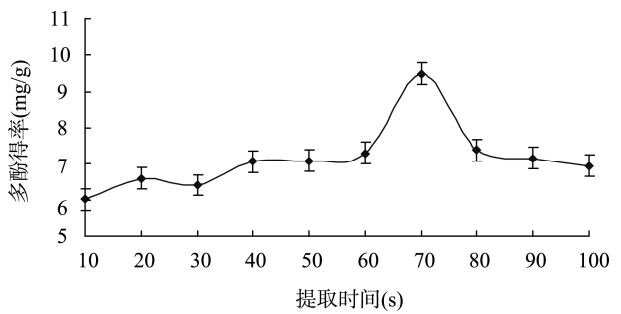


图 3 提取时间对苹果多酚含量的影响

Fig. 3 Effect of time on Extraction of apple polyphenol content

图 3 所示,随着提取时间的延长,多酚物质含量呈现峰值。一定范围内,加热时间越长得率越高,苹果多酚物质含量越高;但时间过长,使细胞内其他物质如糖类、脂类等物质溶解在溶剂中,影响 AP 的含量,提取时间 70 s 后随着时间延长,多酚物质含量减少后趋于稳定。因此,选择的最佳微波提取时间为 70 s。

3.1.4 料液比对苹果多酚提取得率的影响

固定乙醇浓度 50%、微波功率 640 W、提取时间 70 s, 改变料液比。料液比对苹果多酚的影响如图 4 所示。

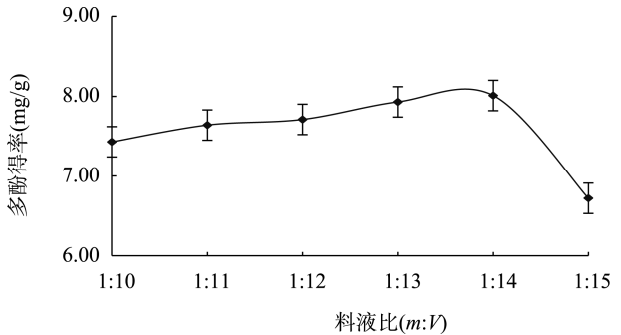


图 4 料液比对苹果多酚提取得率的影响

Fig. 4 Effect of the ratio of material to liquid on extraction rate of apple polyphenols

料液比对多酚得率的影响如图 4,一定范围内,料液比与多酚得率呈正比,多酚得率增加较少,且当料液比超过 1:14(m:V)时,继续提高乙醇含量,多酚得率开始下降。为减少生产成本,从环保角度考虑,选择料液比为 1:14(m:V)比较合适。

3.2 响应曲面优化试验

3.2.1 回归模型的建立及统计检验

回归模型的建立及统计检验见表 2,采用 Design-Expert 8.0.6(简称 DE 8.0.6)对所得数据进行分析,结果见表 3。

表 2 微波辅助提取苹果多酚响应面分析试验结果
Table 2 Microwave assisted extraction of apple polyphenols reference response and the analysis of experimental results

编号	A 乙醇浓度/%	B 微波功率/W	C 提取时间/s	多酚提取率 mg/g
1	0	-1	-1	6.38
2	-1	1	0	6.22
3	-1	-1	0	6.12
4	1	0	1	7.31
5	0	1	-1	6.41
6	-1	0	1	6.92
7	1	1	0	6.42
8	0	1	1	6.23
9	0	-1	1	6.21
10	-1	0	-1	6.93
11	0	0	0	9.96
12	0	0	0	9.92
13	0	0	0	9.9
14	1	-1	0	6.56
15	0	0	0	9.88
16	1	0	-1	7.32
17	0	0	0	9.92

3.2.2 微波辅助法提取苹果多酚各因素间的交互作用

固定微波功率 640 W, 乙醇浓度与微波加热时间对 AP 提取率的影响如图 5 所示。随着乙醇浓度升高以及加热时间增长,多酚含量呈现峰值,乙醇浓度对多酚提取率的影响稍大于微波提取时间。

固定微波萃取时间 70 s, 乙醇浓度与微波功率对苹果多酚提取率的交互作用如图 6 所示,提取率在

表 3 回归方程系数显著性检验表
Table 3 regression equation coefficient significant test table

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	0.41	9	0.046	1553.59	< 0.0001
A(%)	0.0025210	1	0.0025210	85.67	< 0.0001
B(W)	0.0000001250	1	0.0000001250	0.004249	0.9499
C(s)	0.0001711	1	0.0001711	5.82	0.0467
AB	0.0001440	1	0.0001440	4.89	0.0626
AC	0.000	1	0.000	0.000	1.0000
BC	0.0000002500	1	0.0000002500	0.008497	0.9291
A ²	0.081	1	0.081	2752.13	< 0.0001
B ²	0.020	1	0.020	6921.84	< 0.0001
C ²	0.084	1	0.084	2842.16	< 0.0001
残差	0.0002059	9	0.00002942	-	-
失拟值	0.0001707	5	0.00005692	6.47	0.0515
纯误差	0.00003520	4	0.000008800	-	-
总和	0.41	16	-	-	-

$r^2=0.9995$, $Adj_r^2=0.9989$, $Pre_r^2=0.9932$, Adeq Precision=91.938

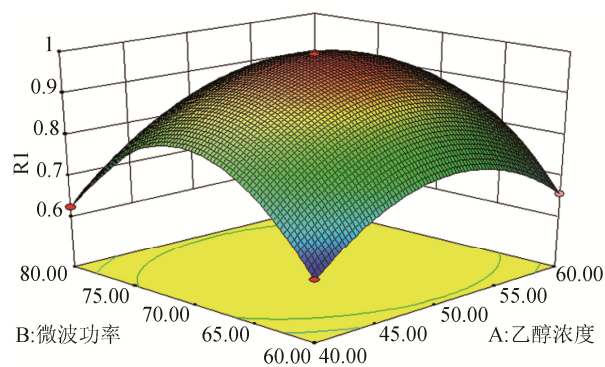


图 5 乙醇浓度与微波处理的时间对多酚提取率的交互影响
Fig. 5 Interactive effects of ethanol concentration and rate of microwave treatment time on the extraction of polyphenols

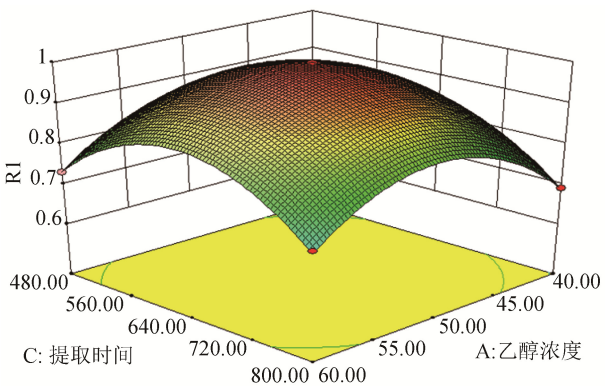


图 6 乙醇浓度与微波功率对多酚提取率的交互影响
Fig. 6 Interactive effects of ethanol concentration ratio and microwave power on the extraction of polyphenols

一定范围内与提取温度的上升和乙醇浓度的提高呈正比, 温度过高、乙醇浓度过大后, 多酚的含量减少。乙醇浓度对多酚提取率的影响小于微波功率。

固定乙醇浓度为 50%, 提取时间与功率对苹果多酚提取率的交互作用如图 7 所示, 微波功率升高、时间延长, 多酚提取率逐渐增加后减少。微波功率对多酚提取率的影响大于微波时间。

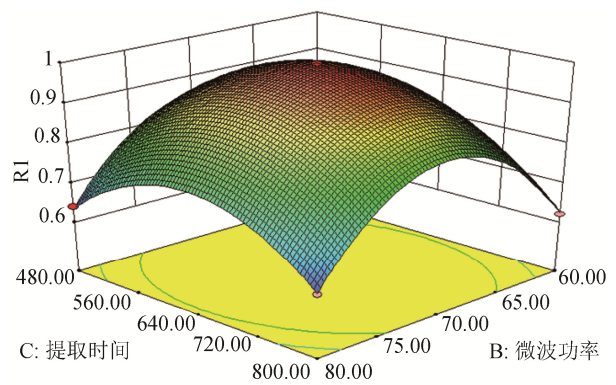


图 7 微波时间与微波功率对多酚提取率的交互影响
Fig. 7 The interaction effect of the rate of microwave time and microwave power on the extraction of apple polyphenols

利用 D-E8.0.6, 通过响应面法优化微波辅助提取苹果中多酚的工艺, 由表 3 可知, P 值小于万分之一, 表明该二次多项回归模型高度显著, 依照列出的表 3 建立苹果多酚得率的二次多项数学模型: 多

酚提取率(mg/g)= $0.41+0.0025210A+0.0000001250B+0.0001711C+0.0001440AB+0.0000002500BC-0.081A^2-0.2B^2-0.084C^2$, 相关系数 $r^2=0.9995$, 该模型极显著, 拟合情况良好。响应面软件分析得到的最佳工艺: 微波功率 637.37 W, 提取时间 69.99 s, 乙醇体积分数 50.64%, 料液比 1:14 (m:V), 苹果多酚得率为 9.92 mg/g。由于微波仪器限制, 与功率 637.37 W 的功率值最近为 640 W。

4 结 论

由微波辅助法提取苹果多酚及利用 D-E8.0.6 软件分析数据结果可知: 因为试验器材的局限性, 试验条件无法精确达到响应面优化所给出的最佳工艺条件, 同时根据微波辅助法所得到的苹果多酚提取率与响应面分析软件给出的最佳提取率数值相比较来看, 数值相差范围在 0~0.02 mg 可忽略不计。有报道的微波法提取苹果多酚的得率在 2~6 mg/g 之间, 与其相比本实验提高了苹果多酚的提取率, 同时微波辅助方法提取苹果多酚, 操作步骤简单, 省时省力, 所用的实验材料常见易得、安全无毒。因此, 可证该方法方便快捷、安全可行。微波辅助响应曲面法优化提取苹果多酚工艺的最佳条件为: 微波功率 640 W, 提取时间 70 s, 乙醇体积分数 50%, 料液比 1:14 (m:V), 此时, 苹果多酚得率可达 9.92 mg/g 苹果。

参考文献

- [1] 陈曾三. 国际粮油食品近讯: 第7营养素—植物多酚功能性及其开发利用[J]. 粮食与油脂, 2000, 13(3): 40-42.
Chen CS. Global information on cereals oils and foods: Seventh nutrient - Plant polyphenol function and its exploitation and Utilization [J]. Cereals Oils, 2000, 13(3): 40-42.
- [2] Brave L. Polyphenols: Chemistry dietary source, metabolism, and nutritional significance [J]. Nut Rev, 1998, 56(11): 317-333.
- [3] 田兰兰, 刘婧琳, 郑战伟, 等. 苹果多酚组分及其生理功能研究进展[J]. 食品工业科技, 2011, 32(12): 552-557.
Tian LL, Liu JL, Zheng ZW, et al. Research progress of compounds and physiological functions of apple polyphenol [J]. Sci Technol Food Ind, 2011, 32(12): 552-557.
- [4] Borneman Z, Gokmen V, Nijhuis H. Selective removal of polyphenols and brown colour in apple juices using PES/PVP membranes in a single ultrafiltration process[J]. Separ Purif Technol, 2001, 03(22): 53-61.
- [5] 寿柏泉. 多吃苹果好处多多[J]. 健康博览, 2002, 9(10): 31.
- Shou BQ. Eat more apples a lot of benefits [J]. Health Expo, 2002, 9(10): 31.
- [6] 王皎, 高颖, 赵艳敏, 等. 测定不同品种苹果果皮和果肉中总多酚的含量[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(20): 87-89.
Wang J, Gao Y, Zhao YM, et al. Determination of polyphenols in apple pericarp and apple grunt [J]. Food Res Devel, 2013, 34(20): 87-89.
- [7] 杨建荣. 苹果多酚的高效液相色谱检测方法的建立[D]. 济南: 山东大学, 2006.
Yang JR. Establishment of HPLC detection method for apple polyphenols [D]. Jinan: Shandong University, 2006
- [8] 栾晏, 籍保平, 姜慧, 等. 苹果多酚浸提方法的研究[J]. 食品科学, 2005, 21(09): 193-197.
Luan Y, Ji BP, Jiang H, et al. Factors influenced the extraction of apple polyenols by organic regents [J]. Food Sci, 2005, 21(09): 193-197.
- [9] 徐竟一, 王勇. 苹果多酚的提取工艺探讨[J]. 价值工程, 2010, 16(10): 132-134.
Xu JY, Wang Y. Discussion on extraction of apple polyphenols [J]. Value Eng, 2010, 16(10): 132-134.
- [10] 王英, 张玉刚, 戴洪义. 苹果果皮中类黄酮的超声波辅助提取及稳定性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(16): 178-181.
Wang Y, Zhang YG, Dai HY. Ultrasonic-assisted extraction and stability of flavonoids from apple peel [J]. Food Sci, 2011, 32(16): 178-181.
- [11] 郭娟. 苹果渣中苹果多酚的提取、纯化及功效研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2006.
Guo J. Study on the extraction, purification and efficacy of apple polyphenols from apple residues [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2006.
- [12] 李珍. 苹果皮渣多酚提取、纯化及抗氧化活性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
Li Z. Study on extraction, purification and antioxidant activity of polyphenols from apple peel [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science, 2014
- [13] 金莹, 孙爱东, 胡晓丹, 等. 苹果多酚的超声波提取及抗氧化作用研究[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(05): 137-141.
Jin Y, Sun AD, Hu XD, et al. Ultrasonic extraction and antioxidant activities of apple polyphenols [J]. J Beijing Forestry Univ, 2007, 29(05): 137-141.
- [14] 周丽萍, 杨瑞华, 张悦. 响应面法优化研磨珠辅助超声波萃取苹果多酚的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(21): 277-281.
Zhou LP, Yang RH, Zhang Y. Optimization of apple polyphenols

- extraction with grind balls by response surface methodology [J]. Food Ind Technol, 2012, 33(21): 277–281.
- [15] 魏颖, 籍保平, 周峰, 等. 苹果渣多酚提取工艺的优化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(25): 345–350.
- Wei Y, Ji BP, Zhou F, *et al.* Technology optimization of polyphenols extraction from apple pomace [J]. Transact Chin Soc Agric Eng, 2012, 28(25): 345–350.
- [16] 陈宝宏. 微波法提取苹果渣中多酚优化工艺研究[J]. 农产品加工(学刊), 2014, (5): 19–21.
- Chen BH. Optimized technology of extracting polyphenol from apple pomace with microwave [J]. Acad Period Farm Prod Proc, 2014, (5): 19–21.
- [17] 艾志录, 郭娟, 王育红, 等. 微波辅助提取苹果渣中苹果多酚的工艺研究[J]. 农业工程学报, 2006, 7(06): 188–191.
- Ai ZL, Guo J, Wang YH, *et al.* Microwave-assisted extraction technique of apple polyphenols in apple pomace [J]. Transact CSAE, 2006, 7(06): 188–191.
- [18] 李强. 微波辅助提取分离苹果渣中多酚物质及其抗氧化性研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2007.
- Li Q. Study on microwave assisted extraction of polyphenols and its antioxidant in apple residue [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2007.
- [19] 李静, 聂继云, 李海飞, 等. Folin-酚法测定水果及其制品中总多酚含量的条件[J]. 果树学报, 2008, 25 (1): 126–131.
- Li J, Nie JY, Li HF, *et al.* Determination conditions for total polyphenols in fruits and its deriv products by Folin-phenol methods [J]. J Fruit Sci, 2008, 25 (1): 126–131.
- [20] 曹增梅. 番石榴多酚的提取分离及保鲜应用研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2013.
- Cao ZM. Study on the extraction and separation of polyphenols from the myrtle and its fresh keeping [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2013.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



李 健, 本科, 教授, 主要研究方向为食品化学。
E-mail: lijian4852147@163.com