

超声—微波协同辅助提取辣椒总碱的工艺优化

Optimization on extraction of capsaicinoids assisted by ultrasonic-microwave synergistic extracting

庞 敏¹ 王远辉² 刘 茜¹

PANG Min¹ WANG Yuan-hui² LIU Qian¹

(1. 上海杉达学院, 上海 200120; 2. 河南工业大学, 河南 郑州 450000)

(1. Sanda University, Shanghai 200120, China; 2. Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450000, China)

摘要:以红辣椒粉为原料, 体积分数 90% 乙醇为提取溶剂, 采用超声—微波协同辅助提取辣椒总碱。在单因素试验的基础上, 通过正交优化试验确定较佳处理条件为: 超声功率 50 W、微波功率 240 W、料液比 1:20 (g/mL)、处理时间 480 s、辣椒粉目数 80 目, 提取次数 2 次。通过上述工艺处理, 辣椒总碱的提取率为 84.52%, 与传统水浴浸提法相比, 超声—微波协同辅助提取可破坏细胞结构, 使有效成分进入溶剂相, 具有提取时间短, 提取效率高的优点。

关键词:辣椒总碱; 超声波; 微波; 协同提取

Abstract: Paprikas were soaked in 90% (V/V) ethanol to extract capsaicinoids by using ultrasonic and microwave assisted extraction (UMAE). Based on the results of single factor experiments, the optimized extraction condition were gotten with orthogonal tests: the ultrasonic power of 50 W, the microwave power of 240 W, the solid-solvent ratio of 1:20 (g/mL), the microwave time of 480 s, the paprikas particle size of 80 mesh, and the extracting time twice. The present study obtained an extraction rate of 84.52%. Compared with the conventional water bath extraction method, UMAE has the advantages of shorter extraction time and higher efficiency, which may be related to the effect of UMAE on destroying cellular structure of paprika and thus making capsaicinoids into the extractant.

Keywords: capsaicinoids; ultrasonic; microwave; synergistic extraction

辣椒总碱主要由 14 种以上的辣椒碱同系物组成, 其中辣椒碱和二氢辣椒碱的含量总和约占 90%, 是辣椒类制品辣感的主要来源^[1]。高纯度的辣椒碱具有消炎^[2-3]、镇痛^[4-5]、减肥^[6-7]、抑菌^[8-9]等功效, 被广泛应用于医药行业。辣椒碱类物质在通常条件下为白色晶体, 可溶于乙醇、丙酮等有机溶剂中, 不溶于水, 在碱性溶液中酰胺键会少量水

解^[10]。对辣椒碱的提取, 国内外采用的提取方法主要有: 水浸提法^[11]、超声辅助提取法^[12-13]、微波辅助提取法^[14-15]以及超临界 CO₂ 提取法^[16-17]。其中水浴浸提法使用最多, 此方法浸提能力大, 溶剂可回收利用, 易大量生产, 但是耗时久, 生产周期太长。随着新科技的发展, 通过超声波和微波辅助提取来改善提取过程已经引起了辣椒生产商的青睐, 但目前的研究^[18-19]主要集中在单一利用超声或微波来辅助提取辣椒碱类物质, 未见超声—微波协同辅助提取辣椒总碱的相关报道。本试验拟尝试将超声波和微波有机地结合起来, 充分利用超声波振动空化作用以及微波的高能作用, 探讨超声—微波协同辅助提取辣椒总碱的最佳工艺条件, 以实现对固体样品快速、高效的处理, 为天然植物功能活性物质的提取及食品、药品检测领域的样品前处理提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

红辣椒: 上海家乐福超市;

无水甲醇、无水乙醇、乙酸乙酯: 分析级, 国药集团化学试剂有限公司;

食品级乙醇: 纯度 95%, 上海聪翔实业有限公司。

1.1.2 仪器设备

分析天平: AB204-E 型, 梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

旋转蒸发仪: ZX98-1 型, 上海 LOOYE 有限公司;

高速万能粉碎机: FW-80 型, 天津泰斯特仪器有限公司;

超声—微波协同萃取仪: CW-2000 型, 上海新拓微波溶样测试技术有限公司;

紫外可见分光光度计: UV2000 型, 上海尤尼柯有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 超声—微波协同辅助萃取辣椒总碱的工艺流程

红辣椒 → 烘干 → 粉碎 → 过筛 → 超声—微波协同萃取 →

作者简介: 庞敏(1988—), 女, 上海杉达学院助教, 硕士。

E-mail: pangmin2007@126.com

收稿日期: 2016—09—12

过滤→旋转蒸发→测定辣椒总碱含量→计算辣椒总碱提取率

1.2.2 材料预处理 将红辣椒置于 60 ℃鼓风干燥箱中烘 4 h,冷却后粉碎过筛。

1.2.3 分析计算方法

(1) 辣椒总碱的测定:采用分光光度法^[18]。

(2) 辣椒总碱提取率:按式(1)计算:

$$w = \frac{w_1}{w_2} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:

w ——辣椒总碱提取率, %

w_1 ——提取物中辣椒总碱的质量, g;

w_2 ——原料中辣椒总碱的质量, g。

1.2.4 单因素试验 以辣椒总碱提取率为评价指标,考察各单因素对辣椒总碱提取效果的影响。

(1) 提取溶剂:固定反应条件为超声波功率 50 W,辣椒粉目数 60 目,料液比 1:20(g/mL),微波功率 200 W,处理时间 420 s,处理次数 2 次,考察不同提取溶剂(90%乙醇、无水乙醇、乙酸乙酯、无水甲醇)对辣椒总碱提取率的影响。

(2) 辣椒粉目数:固定反应条件为超声波功率 50 W,料液比 1:20(g/mL),提取溶剂为 90%乙醇,微波功率 200 W,处理时间 420 s,处理次数 2 次,考察辣椒粉目数(20,40,60,80,100 目)对辣椒总碱提取率的影响。

(3) 微波功率:固定反应条件超声波功率 50 W,料液比 1:20(g/mL),辣椒粉目数 60 目,提取溶剂 90%乙醇,处理时间 420 s,处理 2 次,考察微波功率(80,120,160,200,240 W)对辣椒总碱提取率的影响。

(4) 处理时间:固定反应条件为超声波功率 50 W,料液比 1:20(g/mL),提取溶剂 90%乙醇,微波功率 200 W,处理 2 次,考察处理时间(300,390,480,570,660 s)对辣椒总碱提取率的影响。

(5) 料液比:固定反应条件为超声波功率 50 W,辣椒粉目数 60 目,提取溶剂 90%乙醇,微波功率 200 W,处理时间 420 s,处理次数 2 次,考察料液比[1:10,1:15,1:20,1:25,1:30(g/mL)]对辣椒总碱提取率的影响。

(6) 处理次数:固定反应条件为超声波功率 50 W,料液比 1:20(g/mL),提取溶剂 90%乙醇,辣椒粉目数 60 目,微波功率 200 W,处理时间 420 s,考察处理次数(1,2,3,4 次)对辣椒总碱提取率的影响。

1.2.5 正交试验设计 在单因素试验基础上,选择料液比、微波功率、处理时间和辣椒粉目数 4 个因素,每个因素选取 3 个水平,建立四因素三水平的 $L_9(3^4)$ 正交试验,以辣椒总碱提取率为评价指标,确定影响因素的主次顺序以及选定最佳的提取工艺条件。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 萃取溶剂对辣椒总碱提取率的影响 微波辅助提取基于溶剂提取技术,选择合适的提取溶剂有利于提高目标组分的提取率。提取溶剂的介电常数和极性会影响到溶剂对

微波的吸收及溶剂对目标组分的溶解度。由图 1 可知,提取溶剂为 90%乙醇和甲醇时,辣椒总碱提取率较高,其次为无水乙醇,乙酸乙酯最低。这是因为微波加热具有选择性,一般来讲,提取溶剂的介电常数越大,其吸收微波能转化为热能而产生的热效应就越大,其浸出提取率也会越大,反之越小^[19]。4 种提取溶剂中,乙酸乙酯介电常数最小,对微波能的吸收与转化率偏低,同时由于其极性小,对辣椒总碱的溶解度也偏低,故提取溶剂为乙酸乙酯时,辣椒总碱的提取率偏低。甲醇和 90%乙醇介电常数大,极性大,对微波的吸收与转化率高,对辣椒总碱的溶解度大,故辣椒总碱在甲醇中和 90%乙醇中的提取率较高。由于甲醇对人体的神经系统毒性较大^[20],所以选择 90%乙醇为提取溶剂。

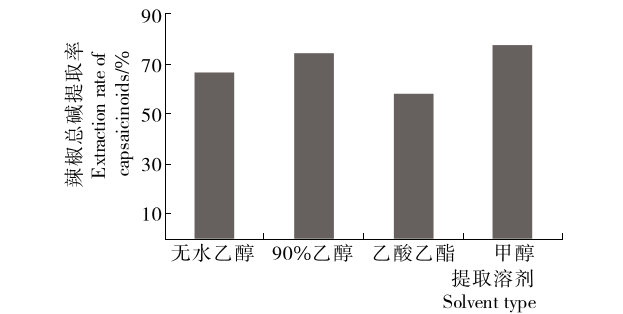


图 1 提取溶剂对辣椒总碱提取率的影响
Figure 1 Effect of solvent type on extraction rate of capsaicinoids

2.1.2 辣椒粉目数对辣椒总碱提取率的影响 辣椒粉颗粒的大小与结构是影响提取过程的重要因素,均匀的粒度会提高辣椒粉的比表面积,增大辣椒总碱的释放速度,增加溶出量。由图 2 可知,辣椒粉目数为 20~60 目时,辣椒总碱提取率逐渐升高,辣椒粉目数为 60,80 目时,相差不大,100 目时提取率又降低。这是因为辣椒粉目数大,粒度小,与溶剂接触的表面积就越大,辣椒总碱溶出速率增大,但是辣椒粉粒径过小,会使浸出杂质增加,黏度增大^[21]造成堵塞,影响溶剂渗透性,从而影响目标物质的溶出,同时也会增加过滤难度,故选择辣椒粉目数为 60 目。

2.1.3 微波功率对辣椒总碱提取率的影响 微波功率会影响提取温度,从而影响目标组分的溶解与扩散。由图 3 可知,随着微波功率增大,辣椒总碱提取率先升高后降低,微波

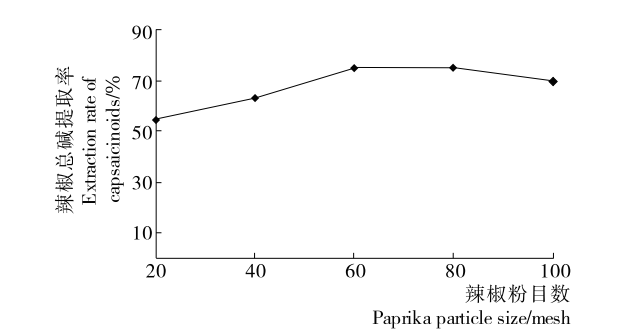


图 2 辣椒粉目数对辣椒总碱提取率的影响
Figure 2 Effect of paprika particle size on extraction rate of capsaicinoids

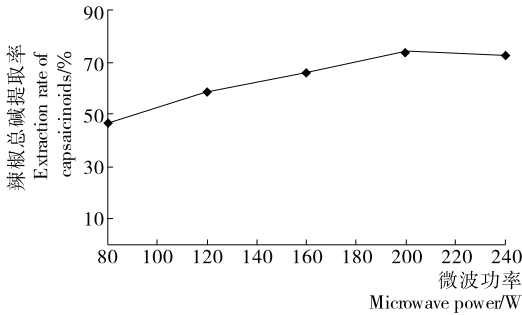


图 3 微波功率对辣椒总碱提取率的影响
Figure 3 Effect of microwave power on extraction rate of capsaicinoids

功率为 200 W 时辣椒总碱提取率最高。这是因为在相同的时间内,微波功率越大,提取体系吸收的微波能越多,体系温度升高越快,辣椒总碱向溶剂中扩散的速度变快,所以辣椒总碱提取率会逐渐升高。但是功率太大,会使萃取体系的温度过高,可能造成辣椒总碱的破坏与分解;另一方面,功率过大会增加设备运转负荷,温度过高也会增加提取溶剂的挥发,故选择微波功率为 200 W。

2.1.4 处理时间对辣椒总碱提取率的影响 对提取过程所得到的产物量是提取速率与提取时间共同作用的结果。由图 4 可知,随着提取时间增加,辣椒总碱提取率升高后略有降低。这是因为在相同的微波和超声功率时,随着处理时间的增加,提取体系吸收的微波和超声波能量增加,体系的温度会不断升高,辣椒总碱的扩散速度加快,辣椒总碱提取率逐渐增大,但当扩散达到平衡时,提取时间增加,辣椒总碱的溶出量不再增加。而提取时间过长,会增加杂质的溶出量,同时提取体系温度过高,可能会造成辣椒总碱的破坏与分解,故选择处理时间为 570 s。

2.1.5 料液比对辣椒总碱提取率的影响 从辣椒粉中提取辣椒总碱的过程是一个固—液之间进行物质传递的过程,浓度差是该过程的推动力^[22],而溶剂用量影响溶质浓度的重要因素。由图 5 可知,随着料液比的增加,辣椒总碱提取率先升高后逐渐平稳,这是由于料液比较小时,溶出的辣椒总碱在溶剂中有一定的浓度,与细胞内的浓度相差不大,故细胞内的目标物质就难以溶出,料液比增加时,浓度差增大,有利于辣椒总碱溶出,所以辣椒总碱的提取率会逐渐增加,料液比达到 1:20(g/mL)以后,考虑到溶剂使用量越大,后期

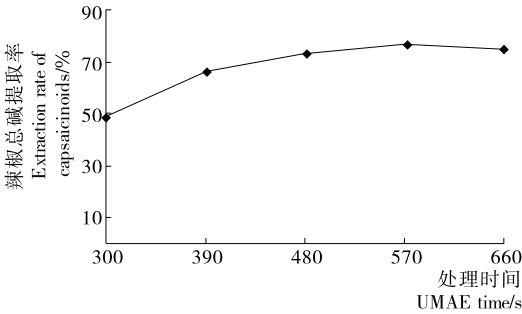


图 4 处理时间对辣椒总碱提取率的影响
Figure 4 Effect of UMAE time on extraction rate of capsaicinoids

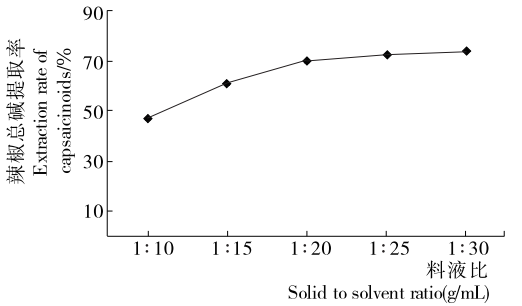


图 5 料液比对辣椒总碱提取率的影响
Figure 5 Effect of solid to solvent ratio on extraction rate of capsaicinoids

的浓缩回收消耗大,工艺成本高,所以选择料液比为 1:20(g/mL)。

2.1.6 处理次数对辣椒总碱提取率的影响 在定量溶剂的条件下,多次提取可提高目标物质的提取率。由图 6 可知,辣椒总碱提取率先增加后逐渐平稳,这是因为随着处理次数增加,辣椒总碱逐渐被提取完全,提取率没有明显升高,所以选择提取 2 次比较经济。

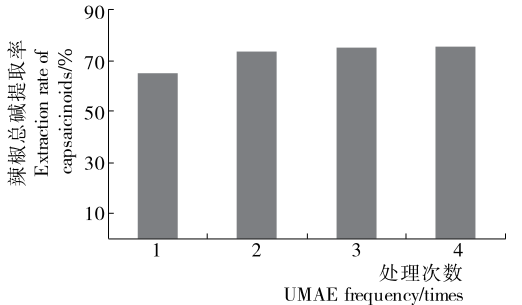


图 6 处理次数对辣椒总碱提取率的影响
Figure 6 Effect of UMAE frequency on extraction rate of capsaicinoids

2.2 正交试验结果及数据分析

根据单因素试验结果,建立四因素三水平的 $L_9(3^4)$ 正交试验优化提取工艺,正交试验的因素水平安排见表 1,正交试验的结果及分析见表 2。

由表 2 可知,各因素对辣椒总碱提取率的影响的主次顺序为 $B>A>C>D$,即微波功率>料液比>处理时间>辣椒粉目数。固定超声功率 50 W,综合各因素作用,得到超声—微波协同辅助提取辣椒总碱的最佳条件为 $A_2B_3C_1D_3$,即微波功率 240 W、料液比 1:20(g/mL)、处理时间 480 s、辣椒粉目数 80 目,提取 2 次。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal test				
水平	A 料液比 (g/mL)	B 微波功 率/W	C 处理时 间/s	D 辣椒粉 目数/目
1	1:15	160	480	40
2	1:20	200	570	60
3	1:25	240	660	80

表 2 超声—微波协同辅助处理正交试验结果

Table 2 Orthogonal test and experimental results of ultra-sonic-microwave synergistic extraction

试验号	A	B	C	D	辣椒总碱提取率/%
1	1	1	1	1	61.22
2	1	2	2	2	67.13
3	1	3	3	3	76.87
4	2	1	2	3	64.00
5	2	2	3	1	71.65
6	2	3	1	2	80.52
7	3	1	3	2	64.52
8	3	2	1	3	73.56
9	3	3	2	1	75.48
k_1	68.407	63.247	71.767	69.450	
k_2	72.057	70.780	68.870	70.723	
k_3	71.187	77.623	71.013	71.477	
R	3.650	14.376	2.897	2.027	

表 3 不同提取方法的比较[†]

Table 3 Comparison of different extraction methods ($n=3$)

提取方法	超声功率/	微波功率/	提取温度/	料液比	处理时间/	辣椒粉	处理	辣椒碱
	W	W	℃	(g/mL)	min	目数	次数	提取率/%
传统水浴浸提	—	—	75	1：20	120	80	3	79.36
超声—微波协同辅助提取	50	240	—	1：20	8	80	2	84.52

[†] 传统水浴浸提法的最佳提取条件通过单因素试验及正交试验获得。

声—微波协同辅助提取辣椒总碱的最佳工艺条件:提取溶剂为体积分数 90%乙醇、超声功率 50 W、微波功率 240 W、料液比 1：20(g/mL)、处理时间 480 s、辣椒粉目数 80 目,提取次数 2 次,通过上述工艺处理,辣椒总碱的提取率为 84.52%。

与传统浸提方法相比,超声—微波协同辅助辣椒总碱提取率提高,提取时间明显缩短,可避免长时间高温高压条件下萃取导致活性物质的分解,在天然植物功能活性物质的提取中有很大的应用潜力,同时也可为植物中辣椒碱类化合物的分析与鉴定提供一种新的样品制备技术。

超声—微波协同辅助萃取法具有高效省时的优点,但由于设备超声功率不可调,限制了提取率的进一步提高,同时由于设备的限制也给工业化生产带来一定困难,若能将设备完善,超声—微波协同辅助萃取法的应用前景会更为广阔。

参考文献

[1] 何帅, 谢定源. 浙江菜品中辣椒素类物质检测及辣味特征分析[J]. 食品工业科技, 2016(4): 80-86.

[2] CHOIA S E, KIMC T H, YI S A. Capsaicin attenuates palmitate-induced expression of macrophage inflammatory protein 1 and interleukin 8 by increasing palmitate oxidation and reducing c-Jun activation in THP-1 (human acute monocytic leukemia cell) cells [J]. Nutrition Research, 2011, 31(6): 468-478.

根据最佳提取条件 A₂B₃C₁D₃进行了 3 次平行实验,辣椒总碱的平均提取率为 84.52%,均高于单因素组和正交试验组的辣椒总碱提取率,表明此工艺条件合理,故可确定 A₂B₃C₁D₃为最佳提取工艺条件。

2.3 不同提取方法的比较

比较超声—微波协同辅助提取与传统水浴浸提法对辣椒总碱提取率的影响,选择这两种方法的最佳处理条件分别进行 3 次平行试验,取平均值,对比结果见表 3。

由表 3 可知,超声—微波协同辅助提取辣椒总碱的提取率为 84.52%,高于传统浸提法的 79.36%,同时提取时间也有明显缩短。这是因为此方法充分利用了超声波的机械振动和空化效应,能更好地破坏植物细胞壁,有利于辣椒总碱的溶出,同时微波技术可使样品中的目标物分子在微波电磁场的作用下定向排列,并随着微波电磁场的交替变化发生高频振荡,从而加速目标物从固相进入溶剂相,从而提高辣椒总碱的提取率,缩短处理时间。

3 结论

以红辣椒为原料,通过单因素试验和正交试验确定超

[3] PARK J S, CHOI M A, KIM B S, et al. Capsaicin protects against ethanol-induced oxidative injury in the gastric mucosa of rats [J]. Life Sciences, 2000, 67(25): 3 087-3 093.

[4] GREENER M. Topical capsaicin for the treatment of neuropathic pain [J]. Nurse Prescribing, 2012, 4(10): 168-171.

[5] FUSCO B M, ALESSANDRI M A. Effect of Capsaicin in Idiopathic Trigeminal Neuralgia [J]. Anesthesia & Analgesia, 1992, 74(3): 375- 377.

[6] KANG J H, KIM C S, HAN I S, et al. Capsaicin a spicy component of hot peppers, modulates adipokine gene expression and protein release from obese-mouse adipose tissues and isolated adipocytes, and suppresses the inflammatory responses of adipose tissue macrophages [J]. FEBS Lett, 2007, 581(23): 4 389-4 396.

[7] KANG J H, GOTO T, HAN I S, et al. Dietary capsaicin reduces obesity-induced insulin resistance and hepatic steatosis in obese mice fed a high-fat diet [J]. Obesity, 2010, 18(4): 780-787.

[8] 曹珍珍, 周林燕, 李淑荣, 等. 辣椒碱类化合物的萃取,生物活性及其在食品保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(12): 152-156.

[9] 郑立稳, 孔学, 陈贯虹, 等. 辣椒碱酰胺类类似物的合成及抑菌活性研究[J]. 湖北农业科学, 2016(3): 631-633.

(下转第 188 页)

参考文献

- [1] THORP R W. The collection of pollen by bees[J]. Plant Systematics and Evolution, 2000, 222: 211-223.
- [2] ALMEIDA-MURADIAN L B, PAMPLONA L C, COIMBRA S, et al. Chemical composition and botanical evaluation of dried bee pollen pellets[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2005, 18: 105-111.
- [3] YANG Kai, WU Dan, YE Xing-qian, et al. Characterization of chemical composition of bee pollen in China[J]. J. Agric. Food Chem., 2013, 61: 708-718.
- [4] 杨晓萍, 吴谋成. 油菜蜂花粉多糖抗肿瘤作用的研究[J]. 营养学报, 2006, 28(2): 160-162, 166.
- [5] 彭定利, 孙丽萍, 庞杰, 等. 油菜蜂花粉保肝活性组分的分离及细胞学筛选[J]. 中国食品学报, 2014, 14(3): 100-105.
- [6] 刘建涛, 赵利, 苏伟, 等. 蜂花粉生物活性物质的研究进展[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 909-912.
- [7] 胡元强. 2015 年蜂产品市场回顾与 2016 年蜂产品市场预测[J]. 蜜蜂杂志, 2016(5): 40-43.
- [8] 王凯, 任向楠, 董捷, 等. 多指标评价果胶酶对油菜蜂花粉的破壁作用[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 164-168.
- [9] XU Xiang, SUN Li-ping, DONG Jie, et al. Breaking the cells of rape bee pollen and consecutive extraction of functional oil with supercritical carbon dioxide[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009(10): 42-46.
- [10] GAMPOS M G, WEBBY R F, MARKHAM K R, et al. Age-induced diminution of free radical scavenging capacity in bee pollens and the contribution of constituent flavonoids[J]. J. Agric. Food Chem., 2003, 51: 742-745.
- [11] 陈莲君, 徐德平. 油菜蜂花粉中黄酮的分离纯化及结构鉴定[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 119-121.
- [12] HANNAN J M A, ROKEYA B, FARUQUE O, et al. Mainous III: Effect of soluble dietary fibre fraction of Trigonella foenum graecum on glycemc, insulinemic, lipidemic and platelet aggregation status of Type 2 diabetic model rats[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2003, 88: 73-77.
- [13] GUO Wei-wei, BETA Trust. Phenolic acid composition and antioxidant potential of insoluble and soluble dietary fibre extracts derived from select whole-grain cereals[J]. Food Research International, 2013, 51: 518-525.
- [14] 任志远, 李鹏飞. 麦麸可溶性膳食纤维提取及在乳品中的应用[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2010, 30(4): 305-308.
- [15] ZHANG Juan, WANG Zheng-wu. Soluble dietary fiber from Canna edulis Ker by-product and its physicochemical properties[J]. Carbohydrate Polymers, 2013(92): 289-296.
- [16] 郑慧, 陈希平, 常新利, 等. 响应面优化蜂花粉可溶性膳食纤维提取工艺[J]. 湖南中医药大学学报, 2015, 35(2): 20-24.
- [17] 郑慧, 陈希平, 胡熙, 等. 蜂花粉可溶性膳食纤维碱提工艺[J]. 食品科技, 2015(9): 222-226.
- [18] 贾冬英, 朗黄英, 姚开, 等. 柚中果皮水不溶性膳食纤维对胆固醇的吸附研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2008, 40(3): 86-90.
- [19] 王庆玲, 董娟, 汪继亮. 豆渣中可溶性膳食纤维提取工艺的研究[J]. 中国酿造, 2011(3): 135-138.
- [20] 伍善广, 冯学珍, 陈颖, 等. 高效液相色谱法测定金钱菇多糖的单糖组成[J]. 广西植物, 2014, 34(2): 179-182.
- [21] 陈小举, 吴学风, 姜绍通, 等. 响应面法优化半纤维素酶提取梨渣中可溶性膳食纤维工艺[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 18-23.
- [22] 王亚敏, 汪洪捷, 张卓勇. 松花粉的红外光谱、扫描电镜和 X 射线能谱仪分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2005, 25(11): 1 797-1 800.
- [23] 王多加, 周向阳, 金同铭, 等. 近红外光谱检测技术在农业和食品分析上的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(4): 447-450.
- (上接第 178 页)
- [10] 程健, 申文忠, 刘以红. 天然产物超临界 CO₂ 萃取[M]. 北京: 中国石化出版社, 2009: 136-137.
- [11] SANTAMARI' A R I, REYES-DUARTE M D, BA' RZANA E, et al. Selective enzyme-mediated extraction of capsaicinoids and carotenoids from chili guajillo puya (*Capsicum annuum* L.) using ethanol as solvent [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2000, 48(7): 3 063-3 067.
- [12] CHUICHULCHERM S, PROMMAKORT S, SRINOPHA-KUN P, et al. Optimization of capsaicin purification from Capsicum frutescens Linn. with column chromatography using Taguchi design [J]. Industrial Crops and Products, 2013, 44: 473-479.
- [13] 俞灵芳, 沈勇根, 上官新晨, 等. 超声波辅助提取辣椒碱的工艺优化[J]. 中国食品学报, 2015, 15(1): 157-163.
- [14] 范兆军. 微波提取辣椒素工艺条件的研究[J]. 中国调味品, 2015(4): 55-58.
- [15] 周书栋, 杨博智, 马艳青, 等. 干椒中辣椒素快速提取工艺研究[J]. 中国调味品, 2015(5): 52-56.
- [16] BARBERO G F, PALMA M, BARROSO C G. Determination of capsaicinoids in peppers by microwave-assisted extraction-high-performance liquid chromatography with fluorescence detection [J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 578(2): 227-233.
- [17] FERNÁNDEZ-RONCO M P, ORTEGA-NOBLEJAS C, GRACIA I, et al. Supercritical fluid fractionation of liquid oleoresin capsicum: Statistical analysis and solubility parameters [J]. Journal of Supercritical Fluids, 2010, 54(1): 22-29.
- [18] 国家卫生和计划生育委员会. GB 1886.34—2015 食品安全国家标准食品添加剂辣椒红[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [19] 刘自琴, 黄惠华. 茶叶浸提液微波辅助萃取过程中溶剂选择的差异[J]. 食品工业科技, 2011(3): 100-102.
- [20] 丁云龙, 雷永良, 金丽萍. 职业性急性甲醇中毒合并中毒性脑病 1 例报告[J]. 浙江预防医学, 2015(3): 306-307.
- [21] 李淑芬, 姜忠义. 高等制药分离工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 14-15.
- [22] 王绍霞. 辣椒红色素与辣椒碱的分离及工艺过程开发的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2008: 29-30.