

热浸法提取辣椒碱的工艺研究

Study on extraction of capsaicin by hot dipping

张晓旭^{1,2,3}刘红芹^{1,2,3}周锡钦^{1,2,3}严江⁴徐宝财^{1,2,3}ZHANG Xiao-xu^{1,2,3} LIU Hong-qin^{1,2,3} ZHOU Xi-qin^{1,2,3} YAN Jiang⁴ XU Bao-cai^{1,2,3}

(1. 北京工商大学食品学院, 北京 100048; 2. 北京市食品风味化学重点实验室〔北京工商大学〕,

北京 100048; 3. 食品添加剂与配料北京工程研究中心〔北京工商大学〕, 北京 100048;

4. 北京味食源食品科技有限责任公司, 北京 101200)

(1. School of Food and Chemical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 2. Beijing Key Laboratory of Flavor Chemistry [Beijing Technology and Business University], Beijing 100048, China; 3. Beijing Higher Institution, Engineering Research Center of Food Additives and Ingredients [Beijing Technology and Business University], Beijing 100048, China; 4. Beijing Taste Food Source Technology Co., Ltd., Beijing 101200, China)

摘要:采用热浸法从朝天椒中提取辣椒碱,采用高效液相色谱法测定其含量,并优化优化辣椒碱的热浸提工艺条件。研究表明,最佳提取工艺条件为漂烫温度60℃,浸提温度40℃,浸提时间3h,切碎程度0.5cm(边长),该条件下辣椒碱的提取率可达0.27%。与传统的乙醇回流法、超声辅助有机溶剂法、碱性乙醇法及减压内部沸腾法相比,朝天椒中辣椒碱的提取率都有明显提高。

关键词:朝天椒;辣椒碱;热浸法

Abstract: Capsaicin with high purity has anti-inflammatory, bacteriostatic, analgesic and insecticidal effects, and is widely used in the pharmaceutical industry. Capsaicin was extracted from capsicum by hot dipping method, and the content of which was determined by high performance liquid chromatography. The extraction process was optimized by single factor test and orthogonal experiment. The results showed that the optimum extraction conditions were blanching temperature 60℃, extraction temperature 40℃, extraction time 3 h and chopping degree 0.5 cm (edge length). Under the condition the extraction rate of capsaicin could reach to 0.27%. Compared with the traditional ethanol reflux method, ultrasound-assisted organic solvent method and other methods of capsaicin extraction, such as decompression internal boiling method, the extraction rate of capsaicin had been significantly improved.

Keywords: capsicum; capsaicin; hot dip method

基金项目:北京市科技计划课题(编号:Z171100001317015)

作者简介:张晓旭,女,北京工商大学在读硕士研究生。

通信作者:刘红芹(1980—),女,北京工商大学副教授,博士。

E-mail: liuhq122636@163.com

收稿日期:2018-11-19

辣椒(*Capsicum frutescence* L.)又称番椒、秦椒,属茄科辣椒属植物^[1]。辣椒含有多种有效成分,其中辣味成分主要为辣椒碱。它是一种含有酚羟基的生物碱,室温条件下为白色晶体,可溶于乙醇、丙酮等有机溶剂中^[2]。高纯度的辣椒碱具有消炎^[3]、抑菌^[4]、镇痛^[5]、杀虫^[6]等功效,被广泛应用于医药行业。目前,辣椒碱的提取方法主要有:水浴浸提法、微波辅助提取法、超声辅助提取法以及超临界CO₂提取法^[7-9]。但目前有关辣椒碱的微波、超声辅助提取法还不能将其规模化并应用到实际工业生产中。超临界CO₂萃取工艺也存在技术条件设计困难、前期投资成本和运营成本高不足之处^[10]。浸出法是目前应用广泛且比较成熟的技术,也是目前国际上公认的最先进的生产工艺^[11-12]。其优点是劳动强度低、质量较好,可以大规模生产。其中热浸提法是最常用的方法之一,目前已有学者利用热浸法提取多种活性物质,如多酚^[13]、多糖^[14]、叶绿素^[15]、黄酮^[16]等。但迄今为止,关于热浸法提取辣椒中辣椒碱的研究还未见报道。

本研究拟采用热浸法从朝天椒中提取辣椒碱类物质,利用高效液相色谱法(HPLC)分析其含量,并通过单因素和正交试验对热浸法提取辣椒碱的工艺参数进行优化和分析,旨在为今后辣椒碱的生产工艺提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

朝天椒、线椒、尖椒、杭椒、大豆油、压榨花生油、葵花籽油:市售;

乙醇、甲醇:分析纯,北京化工厂。

1.2 仪器与设备

恒温水浴锅: B-220 型, 上海亚荣生化仪器厂;

高效液相色谱仪: Agilent 1200 型, 美国安捷伦科技公司;

电热鼓风干燥机: GZX-9140MBE 型, 上海博讯实业有限公司医疗设备厂;

离心机: GZX-9140MBE 型, 中镜科仪技术有限公司;

循环水式多用真空泵: SHB-III 型, 郑州长城科工贸

1.3 试验方法

1.3.1 热浸法提取辣椒碱 称取切碎的辣椒(边长 0.5 cm)10 g, 60 ℃ 的葵花籽油漂烫, 用适量 70% 乙醇溶液室温润湿 10 min, 再立即加入 40 ℃ 的 70% 乙醇溶液 30 mL, 在此温度下提取 3 h, 过滤, 滤液以 2 000 r/min 离心 5 min, 吸取上清液, 测定辣椒碱的含量。

1.3.2 辣椒碱含量的测定 采用 HPLC 法。检测条件: 色谱柱为反相 C_{18} 柱(250 mm×4.6 mm, 5 μ m)。检测器为紫外检测器, 检测波长为 280 nm, 甲醇—水(80:20, 体积比)溶液等度洗脱, 流速为 1 mL/min, 柱温为 35 ℃, 进样量为 10 μ L。外标法测定胡椒碱的含量, 胡椒碱的提取率按式(1)计算:

$$Y = \frac{C_1}{C_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

Y ——辣椒碱提取率, %;

C_1 ——提取液中的辣椒碱含量, mg;

C_2 ——辣椒的质量, mg。

1.3.3 精密度试验 取同一样品提取液连续进样 6 次, 对提取液中的辣椒碱进行分析, 记录峰面积。

1.3.4 重复性试验 取同一供试样品溶液, 平行测定 6 次, 考察 HPLC 测定的重复性^[17]。

1.3.5 稳定性试验 取某一样品溶液 1.0 mL, 按上述方法操作, 分别于第 10, 30, 50, 70, 90, 130 min 测定 1 次峰面积。

1.3.6 加标回收率 精确称量 10.0 mg 辣椒碱标品, 置于干燥器中干燥过夜, 然后置于 10 mL 容量瓶, 加适量甲醇, 超声溶解, 再加甲醇定容, 配制对照品溶液。采用加样回收法, 取切碎辣椒样品, 设计 6 组平行试验, 每组 3 份分别添加 0.20, 0.30, 0.40 mL 对照品溶液, 按 1.3.1 项所述进行样品处理后, 进行 HPLC 测定, 计算回收率。

1.4 提取工艺条件的优化

1.4.1 单因素试验设计

(1) 辣椒品种: 以葵花籽油为漂烫油, 在辣椒边长 0.5 cm, 漂烫温度 60 ℃, 浸提温度 40 ℃, 浸提时间 3 h 条件下, 考察不同辣椒种类(尖椒、杭椒、线椒、朝天椒)对辣

椒碱提取率的影响。

(2) 漂烫温度: 以朝天椒为原料, 葵花籽油为漂烫油, 在辣椒边长 0.5 cm, 浸提温度 40 ℃, 浸提时间 3 h 条件下, 考察漂烫温度(20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 ℃)对辣椒碱提取率的影响。

(3) 漂烫油: 以朝天椒为原料, 在辣椒边长 0.5 cm, 漂烫温度 60 ℃, 浸提温度 40 ℃, 浸提时间 3 h 条件下, 考察不同油脂(大豆油、葵花籽油、压榨花生油)漂烫对辣椒碱提取率的影响。

(4) 切碎程度: 以朝天椒为原料, 葵花籽油为漂烫油, 在漂烫温度 60 ℃, 浸提温度 40 ℃, 浸提时间 3 h 条件下, 考察切碎程度(块状辣椒的边长分别为 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00 cm)对辣椒碱提取率的影响。

(5) 浸提温度: 以朝天椒为原料, 葵花籽油为漂烫油, 在辣椒边长 0.5 cm, 漂烫温度 60 ℃, 浸提时间 3 h 条件下, 考察浸提温度(20, 30, 40, 50, 60 ℃)对辣椒碱提取率的影响。

(6) 浸提时间: 以朝天椒为原料, 葵花籽油为漂烫油, 在辣椒边长 0.5 cm, 漂烫温度 60 ℃, 浸提温度 40 ℃条件下, 考察浸提时间(1, 2, 3, 4, 5 h)对辣椒碱提取率的影响。

1.4.2 正交试验设计 在单因素试验的基础上, 以辣椒碱提取率为评价指标, 选择对辣椒碱提取率效果影响较大的因素设计正交试验, 优化热浸法提取辣椒碱的最佳工艺参数。

1.5 数据处理

所有试验重复 3 次, 结果以平均值表示, 采用 Spass 统计软件进行数据分析, Origin 8.5 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 标准曲线的绘制

利用 HPLC 法绘制的辣椒碱的标准曲线如图 1 所示, 线性方程为 $y = 4\,270.6x - 10\,564$ ($r^2 = 0.999\,9$), 线性范围为 0.01~0.50 mg/mL。

2.2 单因素试验

2.2.1 辣椒品种的影响 由图 2 可知, 朝天椒样品提取

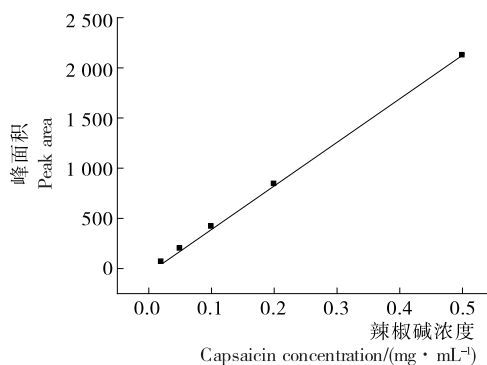


图 1 辣椒碱标准曲线

Figure 1 Capsaicin standard curve

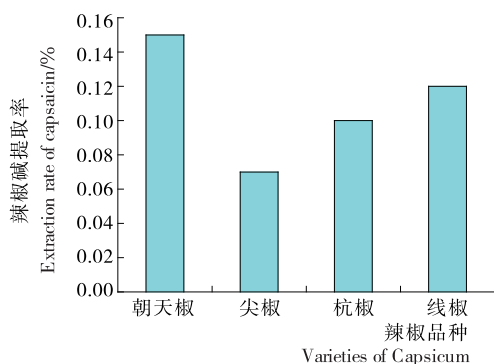


图2 不同品种辣椒中辣椒碱提取率的比较

Figure 2 Comparison of capsaicin extraction rate in different varieties of capsicum

液得到的辣椒碱的提取率最大。因此,选定朝天椒作为本试验的试验材料。

2.2.2 漂烫的影响 由图3可知,漂烫之后辣椒碱的提取率有明显的提高,可能是漂烫有利于杀灭辣椒的酶系,从而促进辣椒碱的释放。同时,辣椒碱提取率随漂烫温度的升高先增加后降低(图4),漂烫温度为60℃时,提取率最高,可能是当温度较高时容易破坏辣椒的细胞结构,

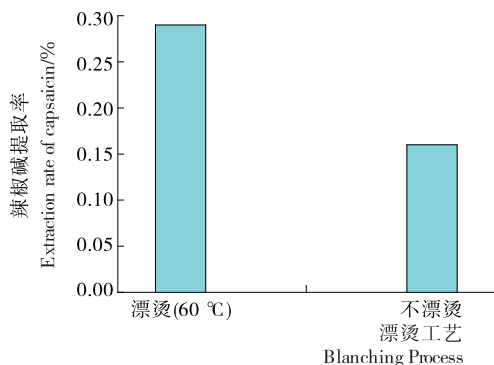


图3 漂烫工艺对朝天椒中辣椒碱提取率的影响

Figure 3 Effect of blanching process on capsaicin extraction rate

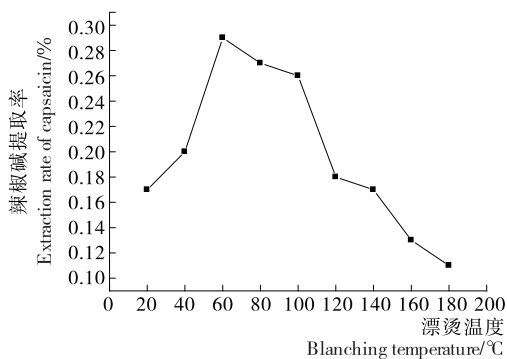


图4 漂烫温度对朝天椒中辣椒碱提取率的影响

Figure 4 Effect of different temperatures on capsaicin extraction rate

从而使辣椒碱更容易溶出,但当温度过高时,辣椒碱可能会发生部分分解从而导致辣椒碱的提取率降低^[18]。

2.2.3 漂烫油脂的影响 图5显示,使用葵花籽油进行漂烫,辣椒碱的提取效果最好。因此,选取葵花籽油作为辣椒前处理的漂烫油脂。

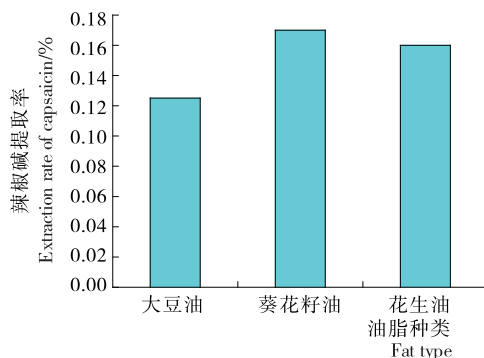


图5 漂烫油脂对朝天椒中辣椒碱提取率的影响

Figure 5 Effect of different oils on capsaicin extraction rate

2.2.4 朝天椒切碎程度的影响 由图6可知,在一定的破碎程度范围内,随着辣椒块的减小,辣椒碱的提取率先增加后降低,当辣椒块边长为0.5 cm时,提取率最高。可能是辣椒块的尺寸越小,物料与有机溶剂的接触面积就越大,辣椒碱的渗透作用就较为明显,有利于辣椒碱的溶出^[19],但过小的辣椒尺寸可能导致提取液中杂质的溶出较多,导致分离纯化困难^[20]。

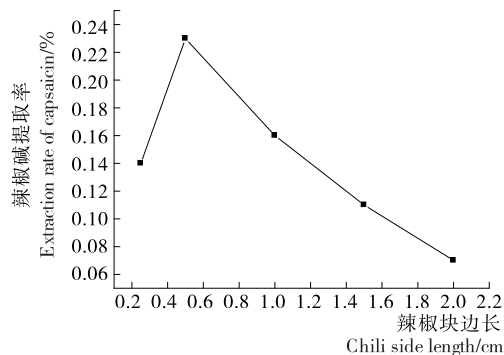


图6 切碎程度对朝天椒中辣椒碱提取率的影响

Figure 6 Effect of chopping degree on capsaicin extraction rate

2.2.5 浸提温度的影响 如图7所示。随浸提温度的升高,辣椒碱的提取率先增加后降低,当浸提温度为40℃时,提取率最高。这是由于温度升高可加剧分子间的热运动^[21],增加辣椒中辣椒碱物质的溶出率,而温度升高,会加速乙醇挥发而影响提取效果,同时过高的温度可能会破坏辣椒碱的结构,而使得辣椒碱的提取率下降^[22]。

2.2.6 浸提时间的影响 浸提时间对朝天椒中辣椒碱提取率的影响如图8所示。浸提时间与浸提温度对辣椒碱

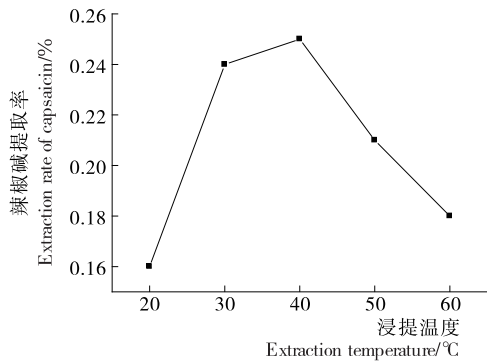


图 7 浸提温度对朝天椒中辣椒碱提取率的影响
Figure 7 Effect of extraction temperatures on capsaicin extraction rate

提取率的影响是一致的,且是联动的,随着浸提时间的延长,辣椒碱的提取率同样是先增加后降低,且提取率在 2~3 h 时增加的较多,当提取时间为 3 h 时,提取率达到最高。这可能是提取时间的延长使提取溶剂有足够的时间与辣椒作用,从而有利于辣椒碱的溶出^[23],且在初始的时间里,辣椒碱类物质已基本被完全溶出,同时过长的提取时间还可能增加杂质的溶出量^[9,24]。

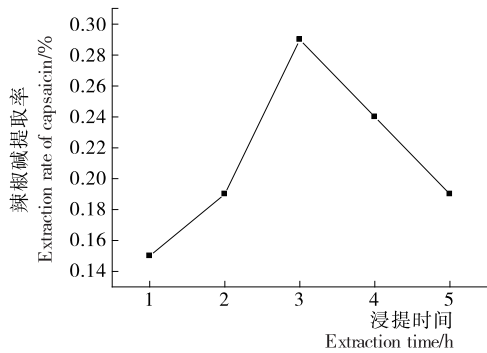


图 8 浸提时间对朝天椒中辣椒碱提取率的影响
Figure 8 Effect of extraction time on capsaicin extraction rate

2.3 正交试验

正交试验的因素与水平见表 1。

2.3.1 正交试验结果 选定葵花籽油作为辣椒前处理的漂烫油脂,在单因素试验的基础上,对辣椒碱提取率影响效果较大的 4 个因素——漂烫温度、浸提温度、浸提时间以及切碎程度进行正交优化试验,试验结果见表 2。

表 1 正交试验的因素与水平
Table 1 Factors and level of orthogonal experiment

水平	A 漂烫温度/℃	B 浸提温度/℃	C 浸提时间/h	D 切碎程度/cm
1	40	30	2	0.25
2	60	40	3	0.50
3	80	50	4	1.00

表 2 正交试验结果
Table 2 Results of orthogonal experiments

试验号	A	B	C	D	辣椒碱提取率/%
1	1	1	1	1	0.07
2	1	2	2	2	0.18
3	1	3	3	3	0.11
4	2	1	2	3	0.21
5	2	2	3	1	0.23
6	2	3	1	2	0.21
7	3	1	3	2	0.18
8	3	2	1	3	0.16
9	3	3	2	1	0.13
$\bar{x}_1$	0.12	0.15	0.16	0.14	
$\bar{x}_2$	0.22	0.19	0.17	0.19	
$\bar{x}_3$	0.16	0.15	0.17	0.16	
R	0.10	0.04	0.01	0.05	

由表 2 可见,最优的水平组合为 $A_2B_2C_3D_1$,即漂烫温度 60℃,浸提温度 40℃,浸提时间 4 h,辣椒块边长 0.25 cm,此时朝天椒中辣椒碱的提取率为 0.23%,且各因素对辣椒碱的提取率影响的主次顺序为:漂烫温度>切碎程度>浸提温度>浸提时间。另外,由正交试验预测的最优方案为 $A_2B_2C_2D_2$ 和 $A_2B_2C_3D_2$,这 2 种方案并未出现在已有的试验方案中,因此对这 2 种方案进行验证实验,试验结果如表 3 所示。由表 3 可见,当试验方案为 $A_2B_2C_2D_2$ 时,即漂烫温度 60℃,浸提温度 40℃,浸提时间 3 h,辣椒块边长 0.5 cm,辣椒碱的提取率最大,可达 0.27%。对优化后的热浸法和有关朝天椒中辣椒碱粗提取的传统提取方法如乙醇回流法、超声辅助有机溶剂法、碱性乙醇法及其他提取方法如减压内部沸腾法^[25-27]进行比较,辣椒碱提取率对比见表 4。由表 4 可知,采用热浸法从朝天椒中提取辣椒碱的提取率有明显提高。

2.3.2 精密度及重复性 精密度及重复性试验表明,辣椒碱提取液的 HPLC 分析结果相对标准偏差 RSD 分别为 0.54% 和 0.76%,表明仪器精密度良好,符合试验要求。

表 3 验证实验结果
Table 3 Results of verification experimentals ($n=3$)

工艺组合	平均提取率	RSD
$A_2B_2C_2D_2$	0.27	0.11
$A_2B_2C_3D_2$	0.24	0.17

表 4 采用不同工艺从朝天椒中提取辣椒碱的提取率

Table 4 Extraction rate of capsaicin from capsicum by different technologies

提取工艺	辣椒碱提取率/%
热浸法	0.27
减压内部沸腾 ^[25]	0.21
乙醇回流法 ^[25]	0.20
碱性乙醇法 ^[26]	0.10
超声提取法 ^[27]	0.07

2.3.3 稳定性及加标回收率稳定性试验 结果显示, RSD 为 1.02%, 供试样品在 130 min 内稳定性良好。在空白的朝天椒样品进行加标回收试验, 回收率为 98.56%~99.71%, 相对标准偏差 RSD 为 0.69%~0.94% (表 5), 表明该方法可以满足对辣椒碱样品的分析测试要求。

表 5 添加回收率结果

Table 5 Results of recovery

加入量/mg	平均回收率/%	RSD/%
0.20	98.74	0.94
0.30	99.71	0.72
0.40	98.56	0.69

3 结论

本试验利用热浸法提取朝天椒中的辣椒碱, 从传质角度看, 辣椒中辣椒碱浸提过程是辣椒碱从辣椒(固相)向溶液(液相)进行扩散的两相间传质过程, 即溶剂渗透进入辣椒细胞内部, 内部辣椒碱被溶剂溶解后向辣椒细胞表面扩散, 以及辣椒碱由辣椒细胞表面向溶液主体扩散 3 个过程同时发生。对于辣椒碱的提取, 辣椒细胞内辣椒碱的溶解可在瞬间完成, 而辣椒碱在辣椒细胞颗粒内外的扩散过程相对于渗透和辣椒碱溶解是一个较慢的过程, 其在热浸提中起主要作用。通过对辣椒进行一系列前处理, 促进辣椒碱的溶出, 以期增大后期有机溶剂的辣椒碱的溶解率, 同时对后续的试验条件进行优化, 最大化地促进辣椒碱在辣椒细胞颗粒内外的扩散过程, 从而提高辣椒碱的提取率。通过试验优化出的热浸法提取朝天椒中辣椒碱的最佳工艺条件为: 漂烫温度 60℃, 浸提温度 40℃, 浸提时间 3 h, 辣椒块边长 0.5 cm, 此时辣椒碱的提取率可达 0.27%。与传统的乙醇回流法、超声辅助有机溶剂法、碱性乙醇法及其他朝天椒中辣椒碱的提取方法如减压内部沸腾法相比, 辣椒碱的提取率都有明显提高。

有关辣椒碱的提取方法有很多, 本试验提供了一种新型的辣椒碱的提取方法, 但该方法也存在一些问题, 如

提取时间较长、有机溶剂的残留等, 后期可通过微波、超声辅助等方法提高提取效率, 并减少有机溶剂的使用量, 以切实为辣椒碱的工业化生产和应用提供指导。

参考文献

[1] GUILLEN N G, TITO R, MENDOZA N G. Capsaicinoids and pungency in *Capsicum chinense* and *Capsicum baccatum* fruits I Capsaicinoides e pungência em frutos de *Capsicum chinense* e *Capsicum baccatum* [J]. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 2018, 48(3): 237-244.

[2] 崔桂娟, 谢秋涛, 张群, 等. 辣椒中辣椒素提取方法与应用[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(13): 306-310.

[3] HAZEKAWA M, HIDESHIMA Y, ONO K, et al. Anti-inflammatory effects of water extract from bell pepper (*Capsicum annuum* L. var. *grossum*) leaves in vitro[J]. *Experimental & Therapeutic Medicine*, 2017, 14(5): 4 349.

[4] BUITIMEA C, GENESIS V, VELEZ H, et al. GC-EIMS analysis, antifungal and anti-aflatoxigenic activity of *Capsicum chinense* and *Piper nigrum* fruits and their bioactive compounds capsaicin and piperine upon *Aspergillus parasiticus* [J]. *Natural Product Research*, 2018, DOI: 10. 1080/14786419. 2018.1514395.

[5] 巩倩, 陈夫山. 含辣椒碱的抗菌高吸水树脂的合成[J]. *精细石油化工进展*, 2006, 7(12): 35-38.

[6] MEGHVANSI M K, SIDDIQUI S, KHAN M H, et al. Naga chilli: a potential source of capsaicinoids with broad-spectrum ethnopharmacological applications [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2010, 132(1): 1-14.

[7] YANIK D K. Alternative to traditional olive pomace oil extraction systems: Microwave-assisted solvent extraction of oil from wet olive pomace [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 77: 45-51.

[8] CHANIOTI S, TZIA C. Optimization of ultrasound-assisted extraction of oil from olive pomace using response surface technology: Oil recovery, unsaponifiable matter, total phenol content and antioxidant activity [J]. *Food Science and Technology*, 2017, 79: 178-189.

[9] 庞敏, 王远辉, 刘茜. 超声—微波协同辅助提取辣椒总碱的工艺优化 [J]. *食品与机械*, 2016, 32(12): 175-178.

[10] DUTTA S, BHATTACHARJEE P. Nanoliposomal encapsulates of piperine-rich black pepper extract obtained by enzyme-assisted supercritical carbon dioxide extraction [J]. *Food Engineering*, 2017, 201: 49-56.

[11] 乌日古玛拉. 蒙古扁桃种仁油脂提取工艺研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2017: 6-7.

[12] 李劲, 张国权, 欧阳韶晖, 等. 核桃油提取工艺研究进展 [J]. *粮油加工*, 2007(8): 75-77.

(下转第 236 页)

- [43] 于林, 陈舜胜, 王娟娟, 等. 茶多酚改性胶原蛋白-壳聚糖复合膜对冷藏斜带石斑鱼的保鲜效果[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 220-226.
- [44] 户帅锋, 于洁, 赵碧洁, 等. 负载山梨酸的壳聚糖微囊-EVOH 抗菌薄膜对黑鱼鱼肉保鲜的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 237-243.
- [45] 凡玉杰, 杨文鸽, 楼乔明, 等. 复配型壳聚糖涂膜对冷藏银鲳的保鲜效果[J]. 核农学报, 2016, 30(4): 734-740.
- [46] FENG Xiao, BANSAL Nidhi, YANG Hong-shun. Fish gelatin combined with chitosan coating inhibits myofibril degradation of golden pomfret (*Trachinotus blochii*) fillet during cold storage [J]. Food Chemistry, 2016, 200: 283-292.
- [47] EHSAN Mohebi, YASSER Shahbazi. Application of chitosan and gelatin based active packaging films for peeled shrimp preservation: A novel functional wrapping design[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 76: 108-116.
- [48] NA Soyoung, KIM Jin-hee, JANG Hye-jin, et al. Shelf life extension of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using chitosan and sapolylysine during cold storage[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 115: 1 103-1 108.
- [49] 朱严华, 黄菊, 陈玉龄, 等. 壳聚糖对煎烤鱿鱼品质及甲醛生成的影响[J]. 水产学报, 2018, 42(4): 605-613.
- [50] 吴春华. 壳聚糖衍生物分子修饰机理及其在银鲳鱼保鲜中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 54.
- [51] 关志强, 马超锋, 李敏, 等. 基于低场核磁共振优化的罗非鱼片无磷保水剂及其配方研究[J]. 渔业现代化, 2018, 45(2): 64-72.
- [52] WU Tian-tian, WU Chun-hua, FANG Zhong-xiang, et al. Effect of chitosan microcapsules loaded with Nisin on the preservation of small yellow croaker [J]. Food Control, 2017, 79: 317-324.
- [53] HUI Guo-hua, LIU Wei, FENG Hai-lin, et al. Effects of chitosan combined with Nisin treatment on storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Food Chemistry, 2016, 203: 276-282.
- [54] FATHIMA P E, PANDA S K, MUHAMED A P, et al. Polylactic acid/chitosan films for packaging of Indian white prawn (*Fenneropenaeus indicus*) [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 117: 1 002-1 010.
- [55] ZAFER Ceylan, GULGUN F Unal Sengor, MUSTAFA Tahsin Yilmaz. Nanoencapsulation of liquid smoke/thymol combination in chitosan nanofibers to delay microbiological spoilage of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 229: 43-49.
- [56] FRANKLIN Bonilla, ALEXANDER Chouljenko, VONDEL Reyes, et al. Impact of chitosan application technique on refrigerated catfish fillet quality[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 90: 277-282.
- [57] ZAHRA Ramezani, MEHDI Zarei, NEDA Raminnejad. Comparing the effectiveness of chitosan and nanochitosan coatings on the quality of refrigerated silver carp fillets[J]. Food Control, 2015, 51: 43-48.

(上接第 213 页)

- [13] 王静, 杨旭亮, 王亚东, 等. 热浸法提取花生壳中多酚类物质的工艺研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2008(4): 70-73.
- [14] 刘荣利, 刘维娜, 张晨晨, 等. 热浸法提取仙人掌多糖工艺研究[J]. 现代食品, 2016, 3(5): 103-105.
- [15] 白宝璋. 向日葵叶片叶绿素含量的快速测定[J]. 中国油料, 1987(4): 71-73.
- [16] 乐薇, 吴士筠. 热浸法提取箬竹叶总黄酮的动力学试验[J]. 林业科技开发, 2015, 29(4): 106-109.
- [17] 刘录, 陈海云, 刘菲菲, 等. HPLC 法测定云南省不同辣椒品种中辣椒碱及二氢辣椒碱的含量[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 299-303.
- [18] 胡震, 张利, 于海莲. 辣椒碱的提取工艺[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(6): 87-90.
- [19] 贾恬, 罗仓学, 叶飞. 响应面法优化超声波辅助提取黄秋葵籽油工艺研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(11): 20-23.
- [20] 邵佩兰, 徐明. 正交试验优化红枣色素提取工艺[J]. 食品科技, 2014, 39(3): 232-235.
- [21] 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.
- [22] 杨雅婷, 陈秋萍, 李天俊. 微波预处理提取辣椒碱工艺及抑菌效果的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(35): 20 476-20 478.
- [23] 张郁松. 碱性乙醇法提取辣椒碱的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(1): 70-73.
- [24] 尚宪超, 谭家能, 杜咏梅, 等. 超声波辅助深共熔溶剂提取山楂绿原酸的工艺优化[J]. 食品科技, 2018, 43(9): 285-289.
- [25] 柳昌武, 陈晓光, 韦藤幼, 等. 响应面优化减压内部沸腾法提取辣椒碱工艺[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 72-76.
- [26] 黄肖苗, 唐华丹, 郑雁萍, 等. 不同品种辣椒乙醇提取物抑菌活性的研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(32): 15 597-15 599.
- [27] 孙雁霞, 邬晓勇, 王跃华, 等. 超声法提取朝天椒辣椒素工艺条件研究[J]. 成都大学学报: 自然科学版, 2009, 28(3): 187-190.