

以氯化钠为助剂的微切变—助剂互作技术辅助 提取柑橘皮香精油的研究

吴菲菲^{1,2,3,4}, 赵良忠^{1,2}, 徐永平^{3,4}, 李淑英⁴, 李化强^{1,2,3,4*}

(1. 邵阳学院生物与化学工程系, 邵阳 422000; 2. 湖南省果蔬清洁加工工程技术研究中心, 邵阳 422000; 3. 大连理工大学生命科学与生物技术学院, 大连 116024; 4. 大连赛姆生物工程技术有限公司博士后科研工作站, 大连 116620)

摘要: **目的** 优化以氯化钠为助剂的微切变—助剂互作技术辅助提取柑橘皮中香精油的工艺条件。**方法** 以柑橘皮为主要原料, 氯化钠为助剂, 石油醚为提取溶剂, 以柑橘皮中香精油提取率为考察指标, 采用单因素和正交实验对助剂添加量、研磨时间、研磨珠粒数和料液比等 4 个因素进行研究, 优化微切变—助剂互作技术辅助提取柑橘皮香精油的最佳工艺条件。**结果** 在氯化钠添加量为 4%(W:W), 研磨时间为 35 min, 球磨研磨珠粒数为 10 粒, 料液比为 1:40(m:V)的工艺条件下, 香精油提取率最高为 1.87%, 比传统的热回流法提高了 36.50%, 且大大缩短提取周期, 便于大规模生产。**结论** 微切变—助剂互作技术为柑橘皮香精油的提取提供了新的思路。

关键词: 柑橘皮; 微切变—助剂互作技术; 香精油; 氯化钠; 热回流法

Optimization on extraction of essential oil from citrus peel by press-shear assisted interaction technology with sodium chloride

WU Fei-Fei^{1,2,3,4}, ZHAO Liang-Zhong^{1,2}, XU Yong-Ping^{3,4}, LI Shu-Ying⁴, LI Hua-Qiang^{1,2,3,4*}

(1. Department of Biology and Chemistry Engineering, Shaoyang University, Shaoyang 422000, China; 2. Hunan Provincial Engineering and Technology Research Center for Fruit and Vegetable Clean Processing, Shaoyang 422000, China; 3. School of Life Science and Biotechnology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 4. Postdoctoral Research Stations of Dalian SEM Bio-Engineering Technology Co., Ltd., Dalian 116620, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the extraction conditions of essential oil from citrus peel using press-shear assisted interaction technology with sodium chloride as additive. **Methods** Using citrus peel as main raw materials, sodium chloride as additive, petroleum ether as the organic solvent, the citrus peel essential oil extraction yield as investigation targets, the optimum extraction parameters of essential oil from citrus peel by press-shear assisted interaction technology were investigated, according to one-factor experiment and orthogonal design by analyzing the factors including dosage of sodium chloride, grinding time, milling ball number and the ratio of material to solvent. **Results** The highest extraction efficiency of essential oil was up to 1.87% when the dosage of sodium chloride was 4% (W:W), grinding time was 35 min, milling ball number was 10 and the ratio of material to solvent was 1:40 (m:V).

基金项目: 国家科技部 863 计划项目(2013AA102805-03)、湖南省科技厅重点项目(2015CK3031)、湖南省果蔬清洁加工工程技术研究中心项目(2015TP2022)

Fund: Supported by the “863” Program of China (2013AA102805-03), the Key Program of Science and Technology Department of Hunan Province (2015CK3031), and the Program of Hunan Provincial Engineering and Technology Research Center for Fruit and Vegetable Clean Processing(2015TP2022)

*通讯作者: 李化强, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为食品生物技术与安全。E-mail: biohqff@163.com

*Corresponding author: LI Hua-Qiang, Ph.D, Master Supervisor, Department of Biology and Chemistry Engineering, Shaoyang University, Shaoyang 422000, China. E-mail: biohqff@163.com

Under the optimum conditions, the extraction yield of essential oil was higher than traditional heat reflux extraction method of 36.50%, and the extraction duration was shortened, which indicated that the press-shear assisted interaction technology was benefit for mass production of essential oil. **Conclusion** The proposed method can provide a new idea and solution for the extraction of essential oil from citrus peel.

KEY WORDS: citrus peel; press-shear assisted interaction technology; essential oil; sodium chloride; heat reflux method

1 引言

中国柑橘生产以榨汁为主, 每年产生的柑橘皮渣可达 1000 多万吨^[1]。国内外针对柑橘皮渣综合利用问题进行了大量的探索, 结果表明提取香油是合理利用皮渣的重要途径之一^[2,3]。柑橘香油是一种无色透明的天然香料精油, 以柠檬烯为主要成分, 由萜烯类、醇类、酯类和醛类组成, 主要有香叶烯、松油醇、柠檬醛、石竹烯等^[3-5]。目前, 全世界 60~70% 左右的柑橘香油被应用于食品产业, 如作为香精用于蛋糕、饮料、冰激凌, 还可作为化妆品香精和香水的配料使用^[3]。香油具有广谱抑菌、抗氧化等活性, 可作为天然保鲜剂、防腐剂^[5,6], 也可用于衣蛾等的驱虫剂, 且价格适宜、对环境无污染, 有很好的开发前景^[7]。目前我国的柑橘皮香油主要靠进口, 提取柑橘皮香油的常用方法有压榨法、脂吸法、微波辐射法、水蒸气蒸馏法、溶剂浸提法和超临界 CO₂ 萃取法等, 但具有一定的弊端, 如设备费用昂贵、提取周期长、提取成本高、溶剂用量大以及有机溶剂残留等^[8,9]。

微切变—助剂互作技术属于机械化学领域, 它是将固体原料与化学助剂共同研磨, 利用高能机械力研磨产生的机械化学效应, 选用水或少量有机溶剂提取其中活性成分的一项新应用^[10]。国内外研究表明, 高强度的研磨不仅可以破碎原料细胞使其活性成分暴露出来, 而且还能促进活性成分与助剂接触、反应, 从而改变活性成分的溶解性。例如 Korolev 等^[11]将西伯利亚冷杉松针与助剂碳酸钠混匀, 然后在高能行星磨中共同研磨, 以水为溶剂提取活性成分三萜酸, 结果发现其提取率比常规方法提高了 35.9%; Lomovsky 等^[12]将伪泥胡菜与助剂蔗糖混匀后共同研磨, 用水提取活性成分植物蜕皮类固醇, 发现其提取率比常规方法提高了 103.7%。

近年来, 本研究团队运用微切变—助剂互作技术辅助提取穿心莲中的穿心莲内酯^[13]、刺五加中的异秦吡啶、刺五加苷 B 和总黄酮^[14-16]、辣椒中的辣椒红色素和辣椒碱^[17,18]等活性成分, 比常规方法显著地提高了目标活性成分的产量和溶解性。本研究拟采用以氯化钠为助剂的微切变—助剂互作技术辅助提取柑橘皮中香油, 并优化其提取工艺条件, 旨在为柑橘皮香油的提取工艺提供新的思路, 为柑橘资源的综合利用提供理论参考。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

柑橘皮: 雪峰蜜橘, 湖南邵阳本地市售的柑橘, 选择新鲜无霉变的柑橘皮, 用流动水漂洗干净, 捞起沥干, 摊放在阴凉、通风的干燥处晒干备用。

氯化钠、石油醚、异丙醇、盐酸(分析纯, 湖南汇虹试剂有限公司); 溴化钾、溴酸钾(优级纯, 天津市凯信化学工业有限公司); 甲基橙(分析纯, 上海纪宁生物科技有限公司)。

2.2 主要仪器设备

202-1A 型电热恒温鼓风干燥箱(常州迈科诺仪器有限公司); FW177 型中药粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司); XQM-0.4L 型行星式球磨机(长沙米琪仪器设备有限公司); YDB5002 型电子天平(日本岛津公司)。

标准分样筛: 60 目, 河南新乡康达新机械有限公司。

2.3 实验方法

2.3.1 制备柑橘皮粉末

选取一定量的柑橘皮, 在恒温鼓风干燥箱内 60 °C 下干燥 2~3 h, 然后将干燥的橘皮在中药粉碎机中研磨粉碎 2 min 至 60 目, 制备成柑橘皮粗粉, 备用。称取 200 g 粗粉与一定量助剂氯化钠混合, 混匀后于行星式球磨机中共同研磨制备柑橘皮微切助粉, 备用。

2.3.2 热回流提取

称量 5.0 g 柑橘皮粗粉, 装入 150 mL 圆底烧瓶中, 加入 80 mL 水, 连接好蒸馏装置, 加热蒸馏 2 h, 以使香油被充分蒸馏出来, 期间需往圆底烧瓶中添加适量水, 以防止蒸干。由于香油不能溶于水中, 因此蒸馏出来的香油与水分层, 从而利用分液漏斗将其分离, 测定香油的含量^[19]。

2.3.3 微切变—助剂互作技术辅助提取

称取 5.0 g 柑橘皮微切助粉, 加入一定量石油醚, 在室温(20±3) °C 下搅拌提取, 然后在密封容器内浸渍 3~12 h, 放出浸提液, 同时轻轻压出原料中的浸液, 用这些浸液再浸渍新的原料。如此反复进行 3 次, 最后得到较浓的带有原料香油的石油醚浸提液。因石油醚的沸点比较低((40~80) °C), 而香油沸点高(200 °C 左右), 故在 90 °C 条

件下蒸馏回收石油醚, 浓缩得到香精油^[19]。

2.3.4 单因素试验设计

分别考察助剂氯化钠添加量、研磨时间、研磨珠粒数和料液比对微切变—助剂互作技术辅助提取柑橘皮香精油提取率的影响。试验条件如下:

(1) 氯化钠添加量对柑橘皮香精油提取率的影响

设定料液比 1: 30($m:V$)、研磨时间 20 min、球磨研磨珠 3 粒的条件下, 分别控制氯化钠添加量(占总物料干重, $W:W$)为 1%、2%、3%、4% 和 5% 提取香精油, 考察助剂氯化钠添加量对柑橘皮香精油提取率的影响。

(2) 研磨时间对柑橘皮香精油提取率的影响

设定料液比 1: 30($m:V$), 助剂添加量 4%($W:W$), 球磨研磨珠 3 粒的条件下, 分别控制研磨时间为 10、20、30、40 和 50 min 提取香精油, 考察研磨时间对柑橘皮香精油提取率的影响。

(3) 研磨珠粒数对柑橘皮香精油提取率的影响

设定料液比 1: 30($m:V$), 助剂添加量 4%($W:W$), 研磨时间 40 min 的条件下, 分别控制研磨珠为 3、5、7、9 和 11 粒提取香精油, 考察研磨珠粒数对柑橘皮香精油提取率的影响。

(4) 料液比对柑橘皮香精油提取率的影响

设定助剂添加量 4%($W:W$), 研磨时间 40 min, 球磨研磨珠 9 粒的条件下, 分别控制料液比为 1: 10、1:20、1:30、1:40 和 1:50($m:V$)提取香精油, 考察料液比对柑橘皮香精油提取率的影响。

2.3.5 正交试验设计

基于单因素试验结果, 确定正交试验需考察 4 个因素的 3 个水平, 并按照正交试验表 $L_9(3^4)$ 进行试验设计, 每个因素水平组合进行 3 次平行试验, 优化出提取香精油的最佳工艺条件。并在该最佳工艺条件下, 对以氯化钠为助剂的微切变—助剂互作技术辅助提取柑橘皮香精油进行 3 次平行验证实验。

2.3.6 香精油含量的测定

采用蒸馏滴定法^[20], 样品中香精油的含量按式(1)计算:

$$W = \frac{(V_1 - V_0) \times c \times 0.0032 \times 1000}{0.099 \times m} \quad (1)$$

式中:

W ——待测样品香精油的含量, g/kg;

V_1 ——溴化钾—溴酸钾标准溶液滴定所消耗的体积, mL;

V_0 ——空白试验滴定所消耗溴化钾—溴酸钾标准溶液的体积, mL;

c ——用于滴定的溴化钾—溴酸钾标准溶液浓度, 该试验中为 0.0248 mol/L;

m ——被滴定样品的总质量, g。

其中每滴定消耗掉 1 mL 溴化钾—溴酸钾标准溶液(0.099 mol/L)相当于 0.0032 g 香精油。

2.3.7 香精油提取率的计算

香精油提取率按式(2)计算:

$$R = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

R ——香精油提取率, %;

m_1 ——香精油质量, g;

m_2 ——柑橘皮粉质量, g。

2.3.8 数据分析

所有试验数据平行测定 3 次, 结果用平均值±标准偏差($\bar{X} \pm SE$)来表示, 利用 Origin7.5 软件对数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 单因素试验结果与分析

3.1.1 助剂氯化钠添加量对香精油提取率的影响

由图 1 结果可知, 香精油提取率随助剂氯化钠添加量的增加而呈现增加的趋势。氯化钠是中性盐, 不影响香精油的结构, 研磨时添加助剂可使研磨更彻底, 内外渗透压差使香精油更容易渗出。但当氯化钠添加量太高时, 可能对细胞有损害作用而导致细胞结构的改变, 使细胞“抱团”, 反而使香精油的提取率降低。试验结果发现当, 助剂氯化钠添加量为 4%($W:W$)时, 香精油提取率最高可达 1.81%, 故选择助剂氯化钠添加量为 4%($W:W$)进行后续试验。

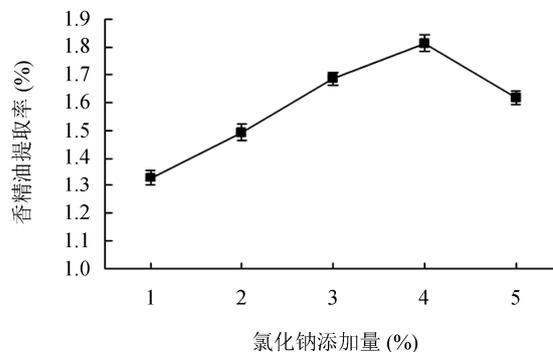
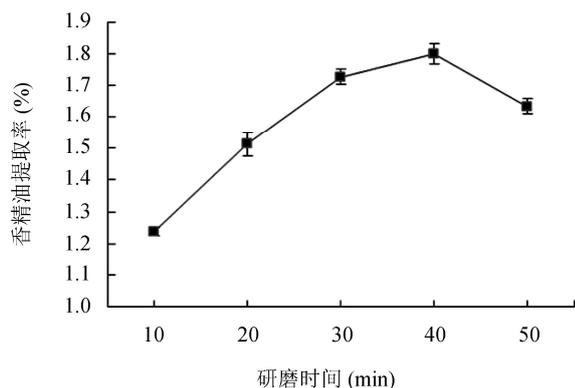


图 1 氯化钠添加量对香精油提取率的影响($n=3$)

Fig. 1 Effect of NaCl content on the extraction yield of essential oil ($n=3$)

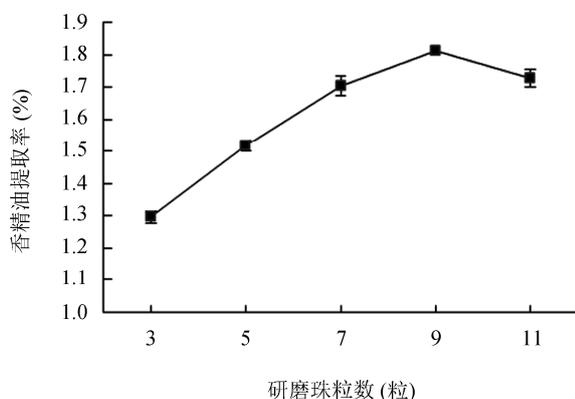
3.1.2 研磨时间对香精油提取率的影响

由图 2 可知, 在 10~50 min 内, 香精油提取率随着研磨时间的延长而呈现增加的趋势。研磨时间直接影响了柑橘皮的粉碎程度, 粉碎程度跟香精油提取率直接相关。研磨时间越长, 柑橘皮粉末颗粒粒径越小, 总表面积越大, 与溶剂接触的面积就越大, 故香精油越容易被提取出来。当研磨时间为 40 min 时, 香精油提取率最高, 故选择 40 min 研磨时间进行后续试验。

图 2 研磨时间对精油提取率的影响($n=3$)Fig. 2 Effect of grinding time on the extraction yield of essential oil ($n=3$)

3.1.3 球磨研磨珠粒数对精油提取率的影响

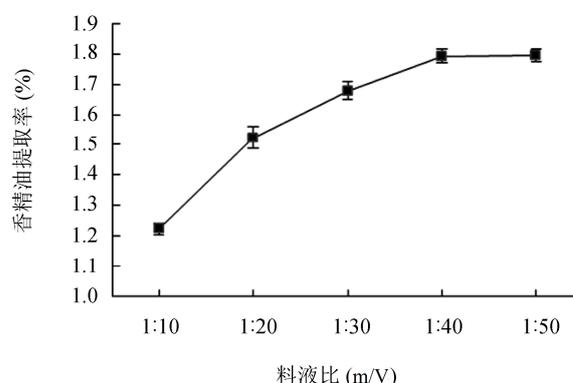
由图 3 结果可知, 精油提取率随研磨珠粒数的增加而呈现增加的趋势。研磨珠和柑橘皮粉之间通过碰撞、挤压、冲击、剪切等作用方式对柑橘皮粉施加机械力, 从而使柑橘皮粉颗粒粒径越小, 精油越容易被提取出来, 因此研磨珠粒数直接影响了柑橘皮的粉碎程度。但是当研磨珠粒数增加到 9 粒以上时, 精油提取率呈略微下降的趋势, 可能是因为行星式球磨机内研磨罐的空间一定, 过多的研磨珠与柑橘皮粉末间的机械力作用不充分, 因此降低了精油的提取率。当研磨珠粒数为 9 粒时, 精油提取率最高, 故选择 9 粒研磨珠进行后续试验。

图 3 球磨研磨珠粒数对精油提取率的影响($n=3$)Fig. 3 Effect of milling ball number on the extraction yield of essential oil ($n=3$)

3.1.4 料液比对精油提取率的影响

溶剂量太少不利于精油的析出, 加大溶剂用量可以使精油溶解比较充分, 提取率提高, 这是由于精油从柑橘皮中溶解出来是一个内外平衡的传质过程。由图 4 结果可知, 随着溶剂用量增加, 精油提取率增加, 但是当料液比大于 1:40($m:V$)后, 精油提取率增加幅度不明显,

考虑后续试验处理和节约提取成本, 故选择料液比为 1:40($m:V$)进行后续试验。

图 4 料液比对精油提取率的影响($n=3$)Fig. 4 Effect of the ratio of material to solvent on the extraction yield of essential oil ($n=3$)

3.2 正交试验结果与分析

在单因素试验结果的基础上, 运用正交表 $L_9(3^4)$ 对影响柑橘皮精油提取率的助剂添加量、研磨时间、研磨珠粒数、料液比 4 个因素进行条件优化试验。正交试验因素与水平设计情况见表 1, 正交试验结果见表 2。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal test

水平	A 助剂添加量 (%)	B 研磨时间 (min)	C 研磨珠粒数 (粒)	D 料液比 ($m:V$)
1	3	35	8	1:30
2	4	40	9	1:40
3	5	45	10	1:50

由表 2 可知, 影响柑橘皮精油提取率的因素主次顺序为: 料液比>助剂氯化钠添加量>研磨珠粒数>研磨时间。因为因素 B 研磨时间的极差最小(见表 2), 所以将因素 B 作为正交试验方差分析中的误差项(见表 3)。将显著水平 α 值定在 0.05, 正交试验方差分析结果见表 3, 各因素对试验结果的影响不显著。以氯化钠为助剂的微切变—助剂互作技术辅助提取柑橘皮精油的最佳工艺条件为: $A_2B_1C_3D_2$, 即氯化钠添加量为 4% ($W:W$), 研磨时间为 35 min, 球磨研磨珠粒数为 10 粒, 料液比为 1:40($m:V$)。

3.3 验证实验

3.3.1 正交试验结果的验证

基于正交试验结果, 采用最佳工艺条件, 即助剂添加

量为4%(*W:W*), 研磨时间为35 min, 球磨研磨珠粒数为10粒, 料液比为1:40(*m:V*)时, 对以氯化钠为助剂的微切变—助剂互作技术辅助提取柑橘皮精油进行3次平行验证实验, 得率分别为1.86%、1.89%和1.87%, 所得精油平均提取率为1.87%, 大于正交试验, 表中所有因素水平组合的试验结果表明本试验优化的提取参数较为可靠, 重现性好, 达到了优化工艺的目的。

3.3.2 不同提取方法提取柑橘皮精油的效果比较

按照正交试验确定的最佳工艺条件提取柑橘皮精油, 与热回流最佳提取条件进行比较, 结果见表4。由表4可知, 微切变—助剂互作技术辅助提取精油的得率比热回流法提高了36.50%, 室温下操作, 提取周期由122 min缩短到57 min, 且生产工艺简单, 便于大规模生产, 具有很好的应用前景。

表2 正交试验结果($n=3$)
Table 2 Results of orthogonal test ($n=3$)

序号	A 助剂添加量(%)	B 研磨时间(min)	C 研磨珠粒数(粒)	D 料液比(<i>m:V</i>)	精油提取率(%)
1	1(3)	1(35)	1(8)	1(1:30)	1.64
2	1	2(40)	2(9)	2(1:40)	1.72
3	1	3(45)	3(10)	3(1:50)	1.70
4	2(4)	1	2	3	1.76
5	2	2	3	1	1.74
6	2	3	1	2	1.81
7	3(5)	1	3	2	1.84
8	3	2	1	3	1.75
9	3	3	2	1	1.69
K_1	5.06	5.24	5.20	5.07	T=15.65
K_2	5.31	5.21	5.17	5.37	
K_3	5.28	5.20	5.28	5.21	
k_1	1.69	1.75	1.73	1.69	
k_2	1.77	1.74	1.72	1.79	
k_3	1.76	1.73	1.76	1.74	
K_1^2	25.60	27.46	27.04	25.70	
K_2^2	28.20	27.14	26.73	28.84	
K_3^2	27.88	27.04	27.88	27.14	
极差 R	0.08	0.02	0.04	0.10	
因素主次顺序		D > A > C > B			
优水平	A ₂	B ₁	C ₃	D ₂	
优组合		A ₂ B ₁ C ₃ D ₂			

表3 正交试验方差分析
Table 3 Variance analysis of orthogonal test

方差来源	偏差平方和	自由度	方差	F 值	F 临界值	显著性
A	0.017	2	0.0085	5.67	$F_{0.05}=19.00$	—
C	0.007	2	0.0035	2.33		—
D	0.017	2	0.0085	5.67		—
误差	0.003	2	0.0015			

表 4 不同提取方法提取柑橘皮香精油的效果比较($n=3$)
Table 4 Comparison of extraction effect of essential oil from citrus peel by different extraction methods ($n=3$)

提取方法	粉碎时间(min)	提取时间(min)	提取周期(min)	香精油提取率(%)
热回流提取	2	120	122	1.37±0.02
微切变—助剂互作技术辅助提取	2+35	20	57	1.87±0.05

4 结 论

本研究以氯化钠为助剂通过微切变—助剂互作技术辅助提取柑橘皮中香精油, 考察了助剂添加量、研磨时间、球磨研磨珠粒数和料液比 4 个因素对香精油提取率的影响, 正交优化试验结果表明, 柑橘皮香精油最佳提取工艺条件为氯化钠添加量为 4%($W:W$), 研磨时间为 35 min, 球磨研磨珠粒数为 10 粒, 料液比为 1:40($m:V$)。该工艺条件下香精油提取率为 1.87%, 比传统的热回流法提高了 36.50%, 且大大缩短提取周期, 生产工艺简单, 便于大规模生产, 表明微切变—助剂互作技术是提取柑橘皮香精油的一种高效、低成本方法, 可为其在柑橘副产物柑橘皮活性成分提取中的应用提供理论依据。

参考文献

- [1] 单杨. 中国柑橘工业的现状、发展趋势与对策[J]. 中国食品学报, 2008, 8(1): 1–8.
Shan Y. Present situation, development trend and countermeasures of citrus industry in China [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2008, 8(1): 1–8.
- [2] 付复华, 李忠海, 单杨, 等. 柑橘皮渣综合利用技术研究进展[J]. 食品与机械, 2009, 25(5): 178–184.
Fu FH, Li ZH, Shan Y, et al. Research progress in comprehensive utilization of citrus peel and residue [J]. Food Mach, 2009, 25(5): 178–184.
- [3] 付复华, 李忠海, 单杨, 等. GC-MS 法分析三种柑橘皮精油成分[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 30–34.
Fu FH, Li ZH, Shan Y, et al. Component analysis on essential oils from three citrus species peels by GC-MS [J]. Food Mach, 2010, 26(3): 30–34.
- [4] 郭润霞, 谭兴和, 蔡文, 等. 柑橘皮精油成分分析[J]. 粮油食品科技, 2011, 19(6): 25–30.
Guo RX, Tan XH, Cai W, et al. Analysis of component in essential oil from orange peel [J]. Sci Technol Cereals Oils Foods, 2011, 19(6): 25–30.
- [5] 陈林林, 米强, 辛嘉英. 柑橘皮精油成分分析及抑菌活性研究[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 25–28.
Chen LL, Mi Q, Xin JY. Composition analysis and antibacterial activity of the essential oil from citrus peel [J]. Food Sci, 2010, 31(17): 25–28.
- [6] 方德秋, 肖顺元. 柠檬醛及香精油的抗菌性研究概述[J]. 天然产物研究与开发, 1994, 6(2): 75–78.
Fang DQ, Xiao SY. Antimicrobiological activity of citral and related essential oils [J]. Nat Prod Res Dev, 1994, 6(2): 75–78.
- [7] 苏力坦·阿巴拜克力, 古丽加汗·沙吾提, 热孜万·米吉提, 等. 柑皮挥发油对衣蛾驱虫作用的初步研究[J]. 新疆大学学报: 理工版, 2001, 18(1): 105–107.
Sultan ABABAKERY, Guljahan SAWUT, Rezwan MIJIT, et al. Preliminary studies on vermifugal activities of citrus skin volatile oil for casemaking clothes moth [J]. J Xingjiang Univ (Nat Sci Ed), 2001, 18(1): 105–107.
- [8] 张薇, 李霞, 邓子牛. 柑橘香精油的提取和浓缩方法综述[J]. 作物研究, 2005, (5): 432–435.
Zhang W, Li X, Deng ZN. Review on extraction and concentration of the essential oil from citrus peel [J]. Crop Res, 2005, (5): 432–435.
- [9] 淡小艳. 柑橘皮综合开发关键技术研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2013.
Dan XY. Research on the comprehensive utilization of citrus peel [D]. Jinhua: Zhejiang Normal University, 2013.
- [10] Boldyrev VV, Tkáčová K. Mechanochemistry of solids: past, present and prospects [J]. J Mater Synth Process, 2000, 8(3/4): 121–132.
- [11] Korolev KG, Lomovskii OI, Rozhanskaya OA, et al. Mechanochemical preparation of water-soluble forms of triterpene acids [J]. Chem Nat Comp, 2003, 39(4): 366–372.
- [12] Lomovsky O, Korolyov K, Kwon YS. Mechanochemical solubilization and mechanochemically assisted extraction of plant bioactive substances [J]. Sci Technol, 2003, 1(1): 7–20.
- [13] 宋春娜, 王洋, 金礼吉, 等. 微切助互作技术辅助提取穿心莲内酯的工艺研究[J]. 时珍国医国药, 2008, 19(11): 2638–2641.
Song CN, Wang Y, Jin LJ, et al. Optimization of the mechanochemical assisted extraction of andrographolide from *Andrographis paniculata* [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2008, 19(11): 2638–2641.
- [14] Liu Y, Jin LJ, Li XY, et al. Application of mechanochemical pretreatment (MCPT) to aqueous extraction of isofraxidin from *Eleutherococcus senticosus* [J]. Ind Eng Chem Res, 2007, 46(20): 6584–6589.
- [15] Jin LJ, Li HQ, Wu FF, et al. Application of mechanochemical pretreatment prior to aqueous extraction of eleutheroside B from *Eleutherococcus senticosus* [J]. Ind Eng Chem Res, 2012, 51(32): 10695–10701.
- [16] 刘莹, 金礼吉, 徐永平, 等. 机械化学法辅助提取刺五加总黄酮的工艺研究[J]. 时珍国医国药, 2007, 18(12): 2889–2891.
Liu Y, Jin LJ, Xu YP, et al. Optimization of the mechanochemical assisted extraction of total flavonoids from *Eleutherococcus senticosus* [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2007, 18(12): 2889–2891.
- [17] 李化强. 微切助技术提取辣椒活性成分及其对蛋鸡影响[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
Li HQ. Effects of red pepper (*Capsicum frutescens*) active components extracted by PAI on the performance of laying hens [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2013.
- [18] Li HQ, Jin LJ, Wu FF, et al. Effect of red pepper (*Capsicum frutescens*) powder or red pepper pigment on the performance and egg yolk color of laying hens [J]. Asian-Austr J Anim Sci, 2012, 25(11): 1605–1610.
- [19] 吴菲菲, 赵良忠, 李化强, 等. 微切变—助剂互作技术辅助提取柑橘皮

香精油的工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 167-171.

Wu FF, Zhao LZ, Li HQ, *et al.* Optimization on extraction of essential oil from citrus peel by press-shear assisted interaction technology [J]. Food Mach, 2016, 32(4): 167-171.

[20] 赵其阳, 焦必宁, 付陈梅, 等. 柑桔皮及其果汁中香精油含量的蒸馏滴定方法研究[J]. 中国南方果树, 2006, 35(5): 9-11.

Zhao QY, Jiao BN, Fu CM, *et al.* Study on distillation titration method of essential oil content in citrus peel and juice [J]. South China Fruits, 2006, 35(5): 9-11.

(责任编辑: 姚菲)

作者简介



吴菲菲, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为食品生物技术与安全。
E-mail: wufeifei0414@163.com



李化强, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为食品生物技术与安全。
E-mail: biohqff@163.com

“功能性食品研究”专题征稿函

功能性食品是指具有功能性成分、可调节人体生理活动功能的食品。目前已研发的功能性食品主要包括: 增强人体体质(增强免疫能力, 激活淋巴系统等)的食品; 防止疾病(高血压、糖尿病、冠心病、便秘和肿瘤等)的食品; 恢复健康(控制胆固醇、防止血小板凝集、调节造血功能等)的食品; 调节身体节律(神经中枢、神经末梢、摄取与吸收功能等)的食品和延缓衰老的食品等。由于其特殊的营养和保健功能, 越来越得到人们的关注。

鉴于此, 本刊特别策划了“功能性食品研究”专题, 由南昌大学食品科学与技术国家重点实验室副主任**邓泽元教授**担任专题主编, 围绕功能性食品的营养研究、开发应用、安全质量控制等问题展开讨论, 计划在2016年10月出版。

鉴于您在该领域的成就, 本刊编辑部及邓教授特邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请在**2016年9月30日**前通过网站或Email投稿。我们将快速处理并优先发表。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoodsqa@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部