文章编号：1000-5773(2013)05-0785-08

超高压提取富含诺卡酮柚皮精油工艺的研究*

武艳梅[1]，陈芹芹[1]，甘芝霖[1]，王继恩[2]，倪元颖[1]

（1.中国农业大学食品科学与营养工程学院，国家果蔬加工工程技术研究中心，北京　100083；
2.山东省济宁市喻屯镇第二中学，山东济宁　272100）

摘要：以胡柚皮作为实验材料，探索超高压技术提取富含诺卡酮的柚皮精油的工艺。通过单因素实验，研究了提取压力（200～600 MPa）、保压时间（5～25 min）、液料比（10～30 mL/g）以及粉碎程度（20～60 目）4 个因素对精油中诺卡酮含量的影响，并在此基础上采用响应面法对提取压力、液料比和粉碎程度进行了工艺优化。结果表明，在提取压力为 300 MPa、液料比为 20 mL/g、粉碎程度为 30 目的条件下，提取得到的精油中诺卡酮含量最高，为 20.50 mg/g。说明超高压提取技术能有效提取和保留柚皮精油中的诺卡酮，是一种高效节能的新型柚皮精油提取方法。

关键词：超高压；柚皮精油；诺卡酮；响应面法

中图分类号：O521.9；TS209　　**文献标识码**：A

1　引　言

胡柚为芸香科植物柚（*Citrus grandis*（L.）Osbeck）与甜橙（*Citrus sinensis*（L.）Osbeck）的杂交品种，已有近百年的栽培历史。胡柚皮约占整个果重的 30％，90％以上柚皮以废弃物的形式被抛弃，既污染了环境，又不利于柚皮的有效利用。因此，进行柚皮深加工，生产高附加值的产品如精油、黄酮类化合物、果胶和色素等，不但充分利用了柚皮资源，还可获得良好的经济效益[1-5]。

精油作为胡柚皮中主要的挥发性成分，具有祛痰、止咳、平喘、促进胃肠蠕动、促进消化液分泌、镇痛、溶解胆结石及抗菌消炎和去除自由基等作用[6]，具有重要的生理和药理价值。诺卡酮，又名圆柚酮，属于雅槛蓝烷（Eremophilane）系的双环倍半萜酮，为白色结晶体，不溶于水，易溶于乙醇，是柚皮的最主要特征香气物质，而且被认为是唯一将柚子区别于其它柑橘属植物的挥发油成分。目前诺卡酮主要作为添加剂用于食品和烟草等领域[7]，价格非常昂贵，根据 Redoukian Research News 的 2002 年资料显示，国际市场上含量 98％的诺卡酮售价 3 500 美元/千克，含量 50％的诺卡酮售价 2 000 美元/千克[8]。目前，柚皮精油的提取方法主要有传统水蒸馏法[9]、微波辅助法[10]、蒸馏萃取法[11]等。研究表明，传统蒸馏法提取得到的柚皮精油不但杂质含量较高，而且会降低精油中活性成分的含量和功效，因此，柚皮精油及其主要活性成分提取技术的研究受到广泛关注。

超高压提取技术是基于超高压技术发展起来的一种新型提取技术，通过在常温或较低温度的条件下，对原料迅速施加 100～1 000 MPa 的流体静压力，保压一定时间，从而达到快速、高效提取的目的。与传统提取方法相比，该技术设备安全性高、操作简单、能耗低、绿色环保，最大限度地保留了活性成分的生理活性，是一种广泛适用的理想提取技术[12-14]，如从绿茶中提取多酚[15]和咖啡因[16]、从葡萄皮中提取花青素[17]、从番茄渣中提取番茄红素[18]、从金银花中提取总黄酮[19]等都得取得了良好的效果。

* **收稿日期**：2011-12-24；**修回日期**：2012-03-01

作者简介：武艳梅（1987—），女，硕士研究生，主要从事天然产物提取及功能性质研究. E-mail：yanmeiwu2009@163.com

通讯作者：倪元颖（1960—），女，教授，主要从事天然产物提取及功能食品开发研究. E-mail：niyuanying@163.com

本研究采用超高压技术提取胡柚皮中的精油成分，结合响应面分析方法对影响柚皮精油提取率和精油活性成分的主要因素进行优化；采用气相色谱-质谱联用仪（以下简称GC-MS）对所获得的精油进行成分分析，并采用气相色谱（以下简称GC）技术对精油中的主要特征成分诺卡酮进行定量分析，从而确定提取柚皮精油的优化工艺，为实现柚皮的综合利用及天然提取诺卡酮提供理论依据和技术支持。

2 材料与方法

2.1 实验材料

新鲜胡柚（购买于北京美廉美超市），将胡柚皮剥下用清水洗净，室温晾干后切成小块，冷冻干燥20 h后（冻干后柚皮含水量约为0.3%）用粉碎机粉碎，备用；无水乙醇（分析纯）；诺卡酮标准品（纯度≥98%），购买于英国Alfa Aesar公司。

2.2 实验仪器

中国农业大学HHP-700-6型超高压设备，内蒙古包头科发高压科技有限责任公司生产；LGJ-25C冷冻干燥机，四环科学仪器厂；GC-14C气相色谱仪，日本岛津公司；Agilent 7890A/5975c型GC-MS，美国安捷仑公司；LXJ-ⅡB低速大容量多管离心机，上海安亭科学仪器厂；BP221S精密电子天平，德国Satorious公司；RE-52A旋转蒸发器、SHZ-Ⅲ循环水真空泵，上海亚荣生化仪器厂；高速万能粉碎机，天津泰斯特仪器有限公司。

2.3 实验方法

2.3.1 超高压提取柚皮精油

将备好的柚皮粉装入超高压专用的聚乙烯塑料袋中，加入一定体积的无水乙醇，用封口机进行热封；每袋样品10.0 g，在一定压力下进行保压提取（由于水作为传压介质时，压致升温值基本不随压力的增加而发生变化[20]，故认为提取过程中温度近似常温）；卸压后离心（3 900 r/min，30 min）得到上清液，用旋转蒸发仪真空浓缩，再对浓缩液进行氮吹，直至无溶剂味，得到淡黄色精油，称量。将提取得到的柚皮精油用无水乙醇溶解，并定容到25 mL容量瓶中，置于4 ℃的冰箱内冷藏，备用。

2.3.2 柚皮精油的GC-MS定性分析

（1）色谱条件　色谱柱：安捷伦DB-5毛细管柱（30 m×0.25 mm×0.25 μm）。升温程序：初温100 ℃，保持2 min；以10 ℃/min的速率升至165 ℃，继而以1.5 ℃/min升至170 ℃，保持2 min；再以1.5 ℃/min升至183 ℃，最后以30 ℃/min升至260 ℃，保持2 min。进样口温度250 ℃；载气为高纯氦气，流速1.5 mL/min；进样量1 μL，不分流。

（2）质谱条件　电子轰击（EI）离子源，电子能量70 eV；质谱接口温度250 ℃，传输线温度250 ℃，离子源温度230 ℃；质量扫描范围（m/z）30～500。

2.3.3 柚皮精油主要特征组分的定量分析

采用气相色谱仪对超高压提取得到的柚皮精油中主要特征组分进行定量分析，所选色谱柱及分析条件如2.3.2节所述，采用外标标准曲线法测定。

标准曲线的建立：精确称取诺卡酮标准品100 mg置于25 mL容量瓶中，用无水乙醇定容，配制成浓度为4.000 0 g/L的标准溶液；分别精密吸取诺卡酮标准溶液3.0、3.5、4.0、4.5、5.0 mL，置于25 mL容量瓶中，加无水乙醇定容；进样1 μL，测定峰面积；以标准品含量为横坐标x，峰面积为纵坐标y绘制标准曲线，得到回归方程（R为相关系数）：

$$y = 442\,336x - 140\,497 (R^2 = 0.999\,3) \tag{1}$$

柚皮精油中诺卡酮含量的测定：精密吸取2.3.1节中得到的精油1 mL，用0.45 μm微孔有机滤膜过滤，得到样品溶液；进样1 μL，测定峰面积，计算精油中诺卡酮的含量（以干基含量计算，下同）：

$$\text{诺卡酮含量(mg/g)} = \text{诺卡酮质量}/\text{精油质量} \tag{2}$$

2.3.4 单因素实验

各称取柚皮粉10.0 g，在提取压力（200、300、400、500、600 MPa）、保压时间（5、10、15、20、25 min）、

液料比(10、15、20、25、30 mL/g)、粉碎程度(20、30、40、50、60 目)4 个因素各 5 个水平下进行单因素实验。提取精油后离心、真空浓缩,然后采用 GC-MS 分析精油中诺卡酮的含量。各因素、各水平见表 1。

表 1 单因素实验因素水平表

Table 1 Factors and levels in single-factor design

Levels	Factors			
	Pressure/(MPa)	Holding pressure time/(min)	Liquid-solid ratio/(mL/g)	Grinding degree/(mesh)
1	200	5	10	20
2	300	10	15	30
3	400	15	20	40
4	500	20	25	50
5	600	25	30	60

2.3.5 响应面优化实验

采用 Design Expert 软件,根据 Box-Behnken Design(BBD)原理建立数学模型,以提取压力 x_1、液料比 x_2、粉碎度 x_3 作为自变量,按方程 $X_i=(x_i-x_0)/\Delta x$ 对自变量进行编码。式中:X_i 为自变量的编码值,x_i 为自变量的真实值,x_0 为实验中心点处自变量的真实值,Δx 为自变量的变化步长。以诺卡酮含量为响应值,建立回归方程模型进行响应面分析,实现柚皮精油的提取工艺优化。显著性水平取 0.05,即 $P<0.05$ 时,差异显著。响应面优化实验设计见表 2。

表 2 响应面优化因素水平表

Table 2 Factors and levels in response surface analysis

Levels	Factors		
	Pressure/(MPa)	Liquid-solid ratio/(mL/g)	Grinding degree/(mesh)
−1	200	15	20
0	300	20	30
1	400	25	40

2.3.6 索氏提取柚皮精油

根据 GB/T 14772−2008 方法,采用无水乙醇作为提取溶剂,提取温度为 85 ℃,提取时间为 8 h,得到提取液后进行真空浓缩,然后利用 GC-MS 分析精油中诺卡酮的含量。

3 结果与分析

3.1 单因素实验

3.1.1 提取压力对精油中诺卡酮含量的影响

由图 1 可以看出,提取压力在 200～300 MPa 范围时,精油中诺卡酮的含量随着提取压力的增大而不断提高;当提取压力大于 300 MPa 后,诺卡酮含量逐渐趋于稳定。这是因为超高压提取有效成分的原理是通过在细胞内外形成巨大压力差,破坏细胞结构,提高溶剂扩散动力和有效成分的渗透速率[15],从而达到提取的效果;提取压力大于 300 MPa 时,细胞壁和细胞膜已被破坏,继续增加提取压力不仅对提取效果没有促进作用,反而促使细胞内大分子物质溶出,阻塞传质通道,使诺卡酮含量的增幅减少;提取压力大于 500 MPa 后诺卡酮的含量已呈现下降趋势。综合考虑,提取压力选择 300 MPa。

3.1.2 保压时间对精油中诺卡酮含量的影响

由图 2 可知,保压时间对精油中诺卡酮含量的影响不大。在较高压力下,溶剂的渗透速率和溶质的传质速率很大,细胞内、外有效成分达到平衡所需的时间极短,延长保压时间并不能显著提高诺卡酮的含量;并且保压时间 15 min 与保压时间 5、10 min 差异显著($P<0.05$),而与 20、25 min 没有显著性差异($P>0.05$)。因此,在优化实验中选择保压时间 15 min。

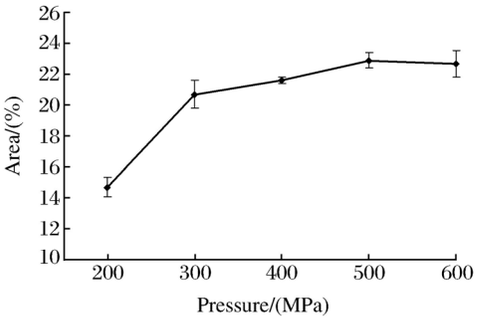


图 1 提取压力对诺卡酮含量的影响

Fig. 1 Effect of pressure on the nootkatone content

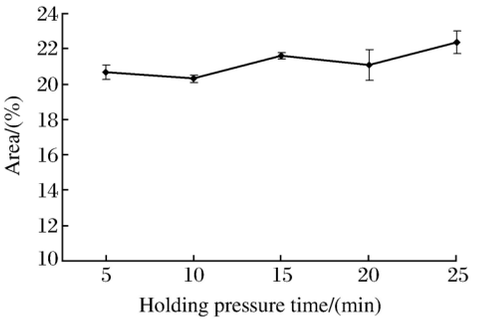


图 2 保压时间对诺卡酮含量的影响

Fig. 2 Effect of holding time on the nootkatone content

3.1.3 液料比对精油中诺卡酮含量的影响

由图 3 可以看出，液料比在 10～20 mL/g 之间时，随着液料比的增大诺卡酮含量不断增加；但液料比大于 20 mL/g 后，诺卡酮含量的增加幅度逐渐减小。在提取过程中，浓度差是一个非常重要的传质速率促进因素，它能够提高传质推动力，加速诺卡酮从固相表面扩散到液相主体中，从而提高诺卡酮含量；但当液料比增大到一定程度后，传质推动力不再提高。因此，诺卡酮含量不是随液料比的增大而不断提高，而是趋于稳定[12]。综合考虑经济效益和后期工作量，选择液料比 20 mL/g 为宜。

3.1.4 粉碎程度对精油中诺卡酮含量的影响

从图 4 可以看出，随着柚皮粉粒径的不断减小，诺卡酮含量呈现先增加后降低最后趋于平稳的趋势，在 30 目时达到最大值。随着原料粒径的减小，比表面积增大，使得诺卡酮的扩散速度加快，含量提高；若粒径过小，浸提效果提高的同时，吸附作用也在加强，反而影响了诺卡酮的扩散；加之柚皮粉过细会导致细胞破碎，使大量不溶物混入[19]，增大了系统粘度和传质阻力，使诺卡酮含量下降。综合考虑，在优化实验中粉碎度选择 30 目。

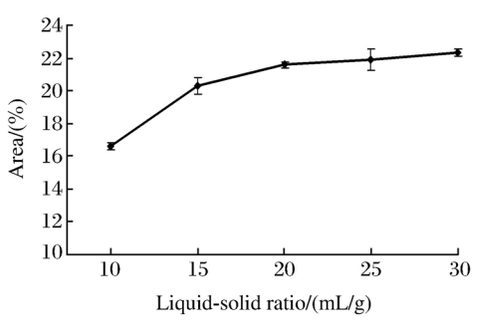


图 3 液料比对诺卡酮含量的影响

Fig. 3 Effect of liquid-solid ratio on the nootkatone content

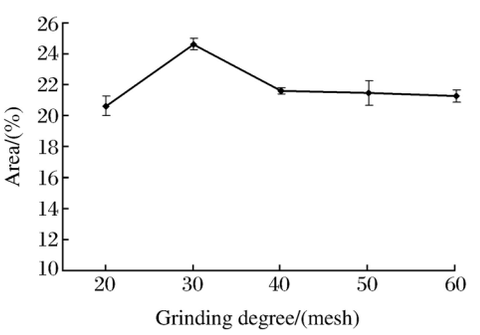


图 4 粉碎程度对诺卡酮含量的影响

Fig. 4 Effect of grinding degree on the nootkatone content

3.2 提取工艺条件的优化

采用 Design Expert 软件，选择 BBD 模型，对表 3 给出的诺卡酮提取工艺的结果进行回归分析，得到回归方程为

$$Y = -124.267 + 0.179X_1 + 7.357X_2 + 3.373X_3 + 0.00236X_1X_2 + 0.0022X_1X_3 - 0.0325X_2X_3 - 0.0038X_1^2 - 0.178X_2^2 - 0.0472X_3^2 \quad (3)$$

式中：Y 为诺卡酮含量；X_1、X_2、X_3 分别为提取压力、液料比、粉碎程度 3 个自变量的编码值。

表 3　响应面优化实验设计及结果

Table 3　Experiment design and results of response surface analysis

Run	Pressure /(MPa)	Liquid-solid ratio /(mL/g)	Griding degree /(mesh)	Area /(%)	Run	Pressure /(MPa)	Liquid-solid ratio /(mL/g)	Griding degree /(mesh)	Area /(%)
1	1	1	0	18.42	10	0	−1	1	16.36
2	−1	1	0	14.39	11	1	0	1	18.79
3	0	−1	−1	15.44	12	0	0	0	26.55
4	0	1	1	16.07	13	0	0	0	26.63
5	−1	0	1	17.92	14	0	0	0	26.52
6	1	0	−1	17.71	15	0	0	0	26.49
7	0	1	−1	21.65	16	0	0	0	26.60
8	1	−1	0	19.86	17	−1	0	−1	17.73
9	−1	−1	0	20.54					

回归模型的方差分析和系数显著性检验分别见表 4(表中 DOF 表示自由度)和表 5。模型的 F 值为 7.95($P<0.01$),说明所建模型在分析各自标量与响应值的关系时极为显著;回归方程的系数检验中,95% 的置信区间说明系数平均值的可靠程度高;方差膨胀系数远远小于 10,说明回归系数之间共线性很小。因此该实验方法可以用于超高压提取富含诺卡酮的柚皮精油的工艺优化和预测。

表 4　表 4 响应面回归模型方差分析

Table 4　ANOVA for response surface quadratic model

Source	Sum of squares	DOF	Mean square	F-value	P-value
Model	286.26	9	31.81	7.95	0.006 1
X_1	2.21	1	2.21	0.55	0.482 0
X_2	0.35	1	0.35	0.087	0.776 4
X_3	1.44	1	1.44	0.36	0.567 9
X_1X_2	5.55	1	5.55	1.39	0.277 5
X_1X_3	0.20	1	0.20	0.049	0.830 3
X_2X_3	10.56	1	10.56	2.64	0.148 2
X_1^2	60.77	1	60.77	15.19	0.005 9
X_2^2	83.62	1	83.62	20.90	0.002 6
X_3^2	93.86	1	93.86	23.46	0.001 9

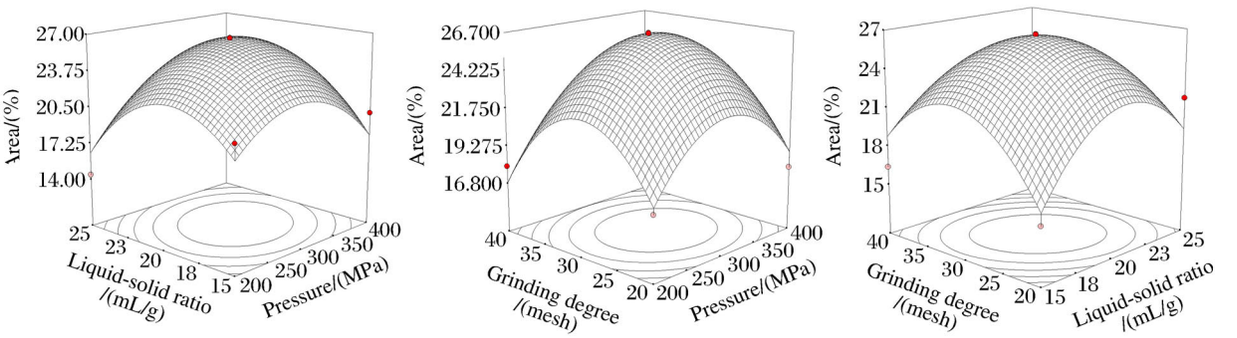
表 5　回归方程系数的显著性检验

Table 5　Test of significance regression coefficient

Model term	Coefficient estimate	95% confidence interval		Variance inflation factors
		Lower	Upper	
Intercept	26.56	24.44	28.76	1.00
X_1	0.53	−1.15	2.20	1.00
X_2	−0.21	−1.88	1.46	1.00
X_3	−0.42	−2.10	1.25	1.00
X_1X_2	1.18	−1.19	3.54	1.00
X_1X_3	0.22	−2.14	2.59	1.00
X_2X_3	−1.62	−3.99	0.74	1.00
X_1^2	−3.80	−6.10	−1.49	1.01
X_2^2	−4.46	−6.76	−2.15	1.01
X_3^2	−4.72	−7.03	−2.42	1.01

根据 BBD 模型建立回归模型进行响应面分析，研究各因素间交互作用对响应值的影响，结果见图 5。从图 5 可以看出，提取压力、液料比、粉碎程度这 3 个因素中任意 2 个因素的交互作用都会对精油中诺卡酮的含量产生显著影响。当固定其中 1 个因素为最佳值时，随着另外 2 个因素的增大，精油中诺卡酮的含量均呈先升高后降低的趋势，存在一个最佳值。

应用 Design Expert 软件优化，采用响应曲面法(RSM)分析，并结合实际情况，得到的优化工艺为：压力 300 MPa，液料比 20 mL/g，粉碎程度 30 目，此时精油中诺卡酮平均含量为 26.56%，接近 Design Expert 软件的预测值 26.58%。因此，实验模型选择合理，实验结果理想。



(a) Pressure and liquid-solid ratio (Grinding degree is set as 30 mesh)

(b) Pressure and grinding degree (Liquid -solid ratio is set as 20 mL/g)

(c) Liquid-solid ratio and grinding degree (Pressure is set as 300 MPa)

图 5 各因素交互作用响应面图

Fig. 5 Response surface plots showing the interactions of different factors

最后，通过测量峰面积，得到该优化工艺下超高压提取得到的精油中诺卡酮含量为 20.50 mg/g。

3.3 超高压提取法与索氏提取法比较

采用超高压提取得到的精油中诺卡酮含量为 26.56%，而索氏提取法得到的精油中诺卡酮含量仅为 11.07%，可见，超高压提取法可以较好地保留柚皮精油中的诺卡酮。这是因为诺卡酮是一种小分子物质，作为柚皮精油中最主要的特征香气组分，对温度非常敏感，长时间高温处理会在一定程度上破坏它的结构；同时大分子物质对压力敏感，在高压下会发生一系列化学变化，减小了传质阻力，这也为诺卡酮的扩散提供了有利条件。

4 结 论

通过单因素实验，得出提取压力、液料比和粉碎程度对提取精油中诺卡酮含量的影响显著，而保压时间对其影响很小的结论。因此，采用响应面法优化提取压力、液料比、粉碎程度 3 个因素，得到超高压提取富含诺卡酮的柚皮精油的优化工艺为提取压力 300 MPa，液料比 20 mL/g，粉碎程度 30 目，在此条件下得到的柚皮精油中诺卡酮含量为 20.50 mg/g。

利用超高压提取法与索氏提取法得到的精油中诺卡酮含量分别为 26.56%和 11.07%，说明超高压提取技术可以用来提取富含诺卡酮的柚皮精油，且效果极佳。这是因为超高压提取技术是在常温下进行的，提取时间短，有效解决了诺卡酮在高温条件下被破坏的难题。因此，超高压技术为柚皮精油的提取提供了一条新的途径，该技术与传统方法相比，具有得率高、时间短、能耗低等优点。超高压提取柚皮精油的工艺研究为柚皮的高效和综合利用提供了一定的理论基础。

References:

[1] Fu F H, Li Z H, Shan Y, et al. Research progress in comprehensive utilization of Citrus peel and residue [J]. Food

and Machinery,2008,25(2):177-180. (in Chinese)
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,2008,25(2):177-180.

[2] Yang S J,Lin D W,Wen H H,et al. GC-MS study on the essential oil of Citrus peel [J]. Journal of Instrumental Analysis,1994,13(6):56-59. (in Chinese)
杨舜娟,林电伟,温汉辉,等. GC-MS 法分析柑桔属果皮精油 [J]. 分析测试学报,1994,13(6):56-59.

[3] Li Y,Hou B B,Jing B Y. The analysis of grapefruit essential oil by gas chromatography/mass spectrometry [J]. Food Research and Development,2009,30(12):128-131. (in Chinese)
李　悦,侯滨滨,静宝元. 葡萄柚精油的气相色谱-质谱分析 [J]. 食品研究与开发,2009,30(12):128-131.

[4] Chen W D,Zhang Y S,Xiao G S,et al. The volatile components in outer and inner peel of Citrus Grandis by GC-MS [J]. Food Science,2005,26(10):169-172. (in Chinese)
陈卫东,张友胜,肖更生,等. GC-MS 联用分析金柚外黄皮和内白皮中挥发性化学成分 [J]. 食品科学,2005,26(10):169-172.

[5] Jia D C,Xu H Q,Wang R C,et al. Component analysis on the essential oil from ponkan peel by GC-MS [J]. Hunan Agriculture Science,2009(2):105-107. (in Chinese)
贾德翠,涂洪强,王仁才,等. 椪柑果皮精油成分的 GC-MS 分析 [J]. 湖南农业科学,2009,(2):105-107.

[6] Xiao C H. TCM Chemistry [M]. Shanghai:Science and Technology Press,1997:265-495. (in Chinese)
肖崇厚. 中药化学 [M]. 上海:科学技术出版社,1997:265-495.

[7] Chen Y K,Xie B,Liu X Y,et al. Crystal structure of nootkatone and its application as tobacco flavorant [J]. Fine Chemicals,2006,23(10):980-982. (in Chinese)
陈永宽,谢　冰,刘欣宇,等. 圆柚酮的晶体结构及在烟用香精香料中的应用 [J]. 精细化工,2006,23(10):980-982.

[8] Wang S B. Study on seperation of nootkatone Flavor from Alpinia Oxyphylla Miquel [D]. Beijing: Beijing Technology and Business University,2009:8-10. (in Chinese)
王帅斌. 高速逆流色谱分离益智中诺卡酮香味物质的研究 [D]. 北京:北京工商大学,2009:8-10.

[9] Zhang L,Yu W,Zhou X Q,et al. Study on the extraction technics of kumquat essential oil by steam distillation [J]. Jiangxi Food Industry,2010,3:16-19. (in Chinese)
张　蕾,余　雯,周晓晴,等. 水蒸馏法提取金桔精油的工艺研究 [J]. 江西食品工业,2010,3:16-19.

[10] Ferhat M A,Meklati B Y,Chemat F. Comparison of different isolation methods of essential oil from Citrus fruits:cold pressing,hydro-distillation and microwave 'dry' distillation [J]. Flav Frag J,2007,22(6):494-504.

[11] Fan M,Xie J C,Sun B G. Study on the preparation of Pomelo peel oil rich in nootkatone bysimultaneous distillation and solvent extraction [J]. Food Science,2006,27(12):490-492. (in Chinese)
樊　猛,谢建春,孙宝国. 同时蒸馏萃取制备富含圆柚酮的柚皮油研究 [J]. 食品科学,2006,27(12):490-492.

[12] Prasad K N,Yang E,Chun Y,et al. Effects of high pressure extraction on the extraction yield,total phenolic content and antioxidant activity of longan fruit pericarp [J]. Innovat Food Sci Emerg Tech,2009,10(2):155-159.

[13] Zhang S Q,Zhu J J,Wang C Z. Novel high pressure extraction technology [J]. Int J Pharm,2004,278(2):471-474.

[14] Prasad K. Nagendra,Yang B,Zhao M M,et al. High pressure extraction of corilagin from longan(Dimocarpus longan Lour.)fruit pericarp [J]. Sep Purif Technol,2009,70(1):41-45.

[15] Xi J,Shen D J,Zhao S,et al. Characterization of polyphenols from green tea leaves using a high hydrostatic pressure extraction [J]. Int J Pharm,2009,382(1):139-143.

[16] Xi J. Caffeine extraction from green tea leaves assisted by high pressure processing [J]. J Food Eng,2009,94(1):105-109.

[17] Corrales M,Avelina Fernández Garcí,Peter Butz a,et al. Extraction of anthocyanins from grape skins assisted by high hydrostatic pressure [J]. J Food Eng,2009,90(4):415-421.

[18] JIN X Y,LI X,QIN X,et al. Orthogonal-array-design optimization of ultra high pressure extraction of lycopene from tomato skin [J]. Food Science,2010,31(2):25-27. (in Chinese)
靳学远,李　晓,秦　霞,等. 超高压提取番茄渣中番茄红素的工艺优化 [J]. 食品科学,2010,31(2):25-27.

[19] Zong W,Li X. Study of extract flavonoids from Lonicera Japonica Thunb by ultra high pressure method [J]. Food Research and Development,2009,30(2):65-68. (in Chinese)
纵　伟,李　晓. 超高压法提取金银花中总黄酮的研究 [J]. 食品研究与开发,2009,30(2):65-68.

[20] Wang B S, Li B S, Huang J, et al. Compression heating characteristics of pressure-transmitting fluids in high hydrostatic pressure processing [J]. Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition), 2007, 35(12): 132-136. (in Chinese)
王标诗, 李汴生, 黄 娟, 等. 超高静压下传压介质压致升温的规律 [J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2007, 35(12): 132-136.

Study on the Extraction of Essential Oil Rich in Nootkatone from Pomelo Peel by High Pressure Processing

WU Yan-Mei, CHEN Qin-Qin, GAN Zhi-Lin, WANG Ji-En, NI Yuan-Ying

(1. *College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agriculture University, National Engineering Research Center for Fruits and Vegetables processing, Beijing* 100083, *China*;
2. *The Second High School of Yutun Town, Jining City of Shandong Province, Jining* 272100, *China*)

Abstract: In order to explore the effects of high pressure processing on the extraction of essential oil rich in nootkatone, the citrus Changshan-huyou peels are used as the experiment material. Based on the single factor experiments, 4 main parameters, such as pressure(200～600 MPa), holding pressure time (5～25 min), liquid-solid ratio(10～30 mL/g) and grinding degree(20～60 mesh) are studied. Then 3 out of the 4 parameters are optimized by response surface methodology. The results can be demonstrated as follows: when the pressure, liquid-solid ratio, grinding degree are 300 MPa, 20 mL/g and 30 mesh respectively, the nootkatone content in the essential oil reaches the peak of 20.50 mg/g. The results indicate that high pressure processing can extract the noootkatone from essential oil of pomelo peel effectively. In conclusion, it is a time and energy-efficient method to extract essential oil from pomelo peel.

Key words: high pressure processing; essential oil of pomelo peel; nootkatone; response surface methodology