

响应面试验优化胡椒鲜果油炸工艺

杨继敏^{1,2}, 周雪敏^{1,3}, 朱科学^{1,4}, 谷凤林^{1,4,*}, 房一明^{1,4}, 吴桂苹^{1,4}

(1.中国热带农业科学院香料饮料研究所, 海南 万宁 571533; 2.黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319; 3.华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070; 4.国家重要热带作物工程技术研究中心, 海南 万宁 571533)

摘 要: 为优化胡椒鲜果油炸的工艺, 选取油炸温度、油炸时间、料油比为影响因素, 以油炸胡椒鲜果中胡椒碱和胡椒精油含量为指标进行研究。在单因素试验的基础上, 采用Box-Behnken试验设计构建多项式回归方程的模型, 通过响应面分析得到胡椒鲜果最优油炸工艺为: 油炸温度92 ℃、油炸时间3 min、料油比1:1。此条件下胡椒鲜果油炸品质最优, 胡椒碱含量预测值为4.28 g/100 g, 胡椒精油含量预测值为1.73 mL/100 g, 而胡椒碱含量真实值为4.23 g/100 g, 胡椒精油含量真实值为1.71 mL/100 g, 与预测结果相对偏差仅为1.27%和1.24%。

关键词: 响应面; 胡椒鲜果; 胡椒碱; 胡椒精油

Optimization of Frying Process of Fresh Peppers by Using Response Surface Methodology

YANG Jimin^{1,2}, ZHOU Xuemin^{1,3}, ZHU Kexue^{1,4}, GU Fenglin^{1,4,*}, FANG Yiming^{1,4}, WU Guiping^{1,4}

(1. Spice and Beverage Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Wanning 571533, China; 2. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 3. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 4. National Center of Important Tropical Crops Engineering and Technology Research, Wanning 571533, China)

Abstract: This study investigated the optimization of the frying process of fresh peppers using combination of one-factor-at-a-time method (OFAT) and response surface methodology (RSM). The independent variables were frying temperature, frying time and the ratio of material to oil. The responses were the contents of piperine and pepper essential oil. A polynomial regression model equation was constructed using a Box-Behnken design. The response surface analysis showed that the optimal frying conditions that provided the best quality of fried peppers were obtained as follows: temperature, 92 ℃; time, 3 min and the ratio of material to oil, 1:1. Under these conditions, the predicted contents of piperine and pepper essential oil were 4.28 g/100 g and 1.73 mL/100 g, respectively, and the corresponding experimental values were 4.23 g/100 g and 1.71 mL/100 g, respectively.

Key words: response surface methodology; fresh pepper; piperine; pepper essential oil

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20161209

中图分类号: TS255.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 12-0052-07

引文格式:

杨继敏, 周雪敏, 朱科学, 等. 响应面试验优化胡椒鲜果油炸工艺[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 52-58. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201612009. <http://www.spkx.net.cn>

YANG Jimin, ZHOU Xuemin, ZHU Kexue, et al. Optimization of frying process of fresh peppers by using response surface methodology[J]. Food Science, 2016, 37(12): 52-58. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201612009. <http://www.spkx.net.cn>

胡椒 (*Piper nigrum* L.) 又名古月、黑川、白川、浮椒及王椒, 是胡椒科胡椒属多年生常绿藤本植物, 且是世界上重要的热带香辛料作物。胡椒果实主要化学成分包括: 生物碱 (主要是吡咯烷类酰胺生物碱)、挥发

油、有机酸、木脂素、酚类化合物、脂肪、蛋白质、淀粉和微量元素等^[1]。胡椒碱是生物碱中含量最大且活性最高的物质, 也是胡椒中最有价值的一种化学成分, 具有镇静安神、温中散寒、开胃下气、消痰、调五脏、壮

收稿日期: 2015-10-08

基金项目: 海南省工程技术研究中心建设项目 (gczx2014003); 海南省应用技术研发与示范推广专项 (ZDXM2014054)

作者简介: 杨继敏 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品工程。E-mail: yangjimin201314@163.com

*通信作者: 谷凤林 (1976—), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为食品化学。E-mail: xiaogu4117@163.com

肾气以及减肥、美容、解毒等独特功效；胡椒精油香气浓郁，包含胡椒特有的香味和辛辣味，可作为饮（食）品的香料添加剂、保鲜和防腐剂，有抑菌、改善食物香味、促进胃肠蠕动、加速血液循环的作用^[2]。此外，胡椒有镇痛、镇静、抗炎、抗惊厥、杀虫与抗癌等多方面的功效，是深受人们喜爱的调味品，在医学工业和食品工业都有广泛用途。

目前，油炸食品因其具有良好的风味特征而被消费者所喜爱。油炸食品的风味是原料在油脂中发生复杂理化反应的结果，油脂的热降解反应为油炸食品香气提供了物质基础；蛋白质和糖类发生的美拉德反应形成了油炸食品主要的香气和色泽^[3]。此外，研究^[4]还发现深度油炸中形成的多种挥发性物质，包括很多酸、醇、醛、烃、酮、酯、内酯、芳香化合物及其杂环化合物（例如戊基呋喃和1,4-二氧杂环乙烷等）。

近年来国内外已研发出胡椒系列深加工产品，如胡椒碱、胡椒油、胡椒油脂和胡椒精油等，主要用于医药及食品工业^[5]。然而在胡椒产品加工中极少进行油炸处理，胡椒在油炸过程中可以增加香味，使加工的胡椒产品中伴随着油脂的香气，减少胡椒鲜果本身的青杂气和辛辣味，进而增加胡椒食用过程中人们的嗅觉感官。因此，本研究根据影响胡椒油炸的主要因素油炸温度、油炸时间及料油比进行实验，在单因素试验的基础上，以胡椒中胡椒碱、胡椒精油含量为响应值进行响应面试验，得到胡椒鲜果油炸最优工艺，以期对胡椒深加工提供理论参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

胡椒鲜果由中国热带农业科学院香料饮料研究所提供；95%乙醇溶液（分析纯）西陇化工股份有限公司；胡椒碱标准品北京世纪奥科生物技术有限公司；金龙鱼食用调和油广州市源广贸易有限公司。

1.2 仪器与设备

AL104电子天平上海梅特勒-托利多仪器有限公司；QE-300g高速万能粉碎机浙江屹立工贸有限公司；FD-2真空冷冻干燥机北京博医康实验仪器有限公司；TC-15型套式恒温器海宁市新华医疗器械厂；DLSB-低温冷却循环泵巩义市予华仪器有限责任公司；HHS-8S电子恒温不锈钢水浴锅上海宜昌仪器纱筛厂；红外测温仪深圳市聚茂源科技有限公司；1260高效液相色谱仪美国安捷伦科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 单因素试验

将采摘的八成成熟青胡椒挑选、清洗后，选取胡椒鲜果油炸温度、油炸时间和料油比因素，依据表1中的因素

水平和试验条件油炸鲜胡椒，胡椒鲜果油炸后用卷纸吸除表面油脂，然后按照青胡椒真空冷冻干燥工艺^[6]进行干燥，粉碎后过20目筛，然后检测其胡椒碱和胡椒精油含量。考察以上因素对油炸鲜胡椒中胡椒碱和胡椒精油含量的影响。每个试验处理重复3次，取平均值。

表1 单因素试验条件

Table 1 Factors and levels used in OFAT experiments

因素	水平	固定条件
油炸温度/℃	90、100、110、120、130	料油比1:2、油炸时间1 min
油炸时间/min	1、2、3、4、5	油炸温度100℃、料油比1:2
料油比(g/mL)	1:1、1:1.5、1:2、1:2.5、1:3	油炸温度100℃、油炸时间1 min

1.3.2 响应面法对胡椒鲜果油炸工艺的优化

在单因素试验的基础上，根据Box-Behnken试验设计原理^[7]，以胡椒鲜果油炸后胡椒碱和胡椒精油含量为响应值，设计三因素三水平响应面分析试验，其因素与水平见表2。

表2 响应面试验因素与水平

Table 2 Factors and levels used in response surface analysis

因素	水平		
	-1	0	1
A油炸温度/℃	90	100	110
B油炸时间/min	1	2	3
C料油比(g/mL)	1:1	1:2	1:3

1.3.3 胡椒碱含量测定

根据GB/T 17528—2009《胡椒碱含量的测定：高效液相色谱法》规定的方法测定。即准确称取0.2 g胡椒粉，精确至0.000 1 g，用95%乙醇溶液回流提取3 h，提取液经过滤并定容至100 mL棕色容量瓶中，取1 mL滤液稀释至25 mL容量瓶中并用95%乙醇溶液定容，所有过程均避光处理。稀释液过0.45 μm膜后用高效液相色谱测定，外标法定量。平行3次，取平均值。

色谱条件：ZORBAX SB-C₁₈色谱柱（250 mm×4.6 mm，5 μm）；流动相：体积分数77%甲醇溶液；流速：1.0 mL/min；色谱柱温度：30℃；检测波长：343 nm；进样量：10 μL。

1.3.4 胡椒精油的制备及含量测定

参考GB/T 17527—2009《胡椒精油含量的测定》提取胡椒精油。称取约40 g粉末加入1 000 mL圆底烧瓶中，加入防爆沸玻璃珠，加入400 mL蒸馏水，冷凝泵回流，保持5滴/min的蒸馏速率，4 h后，待冷却到室温，读取精油体积，收集精油。平行3次，取平均值。

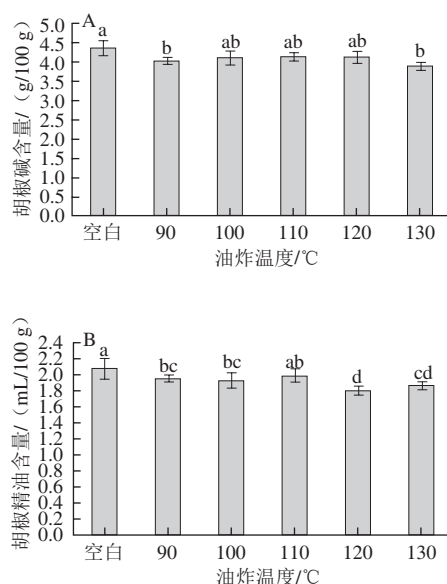
1.4 数据分析

实验数据用Design-Expert 8.0.5b、Origin、SAS软件及仪器自带软件处理，差异显著性水平 $P<0.05$ ，平均数之间的比较采用极差检验。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 油炸温度对油炸胡椒鲜果中胡椒碱及胡椒精油含量的影响



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)，空白表示未经油炸胡椒鲜果。下同。

图1 油炸温度对胡椒碱(A)和胡椒精油(B)含量的影响

Fig. 1 Effects of different frying temperatures on the contents of piperine and pepper essential oil

胡椒碱具有一定的抗氧化活性，在酸性介质中稳定存在，但是见光容易分解^[8]。胡椒精油成分主要是一些不同结构的单萜类化合物、单萜类氧化物和倍半萜类化合物，含量较多的是萜烯、柠檬烯、可巴烯和石竹烯等^[9]。油炸温度太低胡椒原料青杂气和生辣味严重，油炸温度太高对油炸胡椒鲜果中胡椒碱和胡椒精油含量影响较大，且油炸温度越高胡椒碱、胡椒精油含量的损失越大，可能是由于高温使胡椒碱受热分解，胡椒精油中低沸点香气物质挥发损失。如图1A所示，在油炸温度为100、110、120 °C时，胡椒碱含量较高，且与未经油炸的胡椒鲜果中胡椒碱含量差异不显著；油炸温度为90、130 °C时，胡椒碱含量较低，且与胡椒鲜果中胡椒碱含量的差异显著 ($P < 0.05$)。如图1B所示，油炸温度为110 °C时，胡椒精油含量最高，与胡椒鲜果中胡椒精油含量不存在显著差异；油炸温度为120、130 °C时，胡椒精油含量最低，且与其他处理胡椒精油含量的差异显著 ($P < 0.05$)。综合考虑油炸温度对胡椒碱和胡椒精油含量的影响，油炸温度为90、100、110 °C时，胡椒碱和胡椒精油的含量损失相对较少。选定油炸温度90、100、110 °C进行响应面优化试验。

2.1.2 油炸时间对油炸胡椒鲜果中胡椒碱及胡椒精油含量的影响

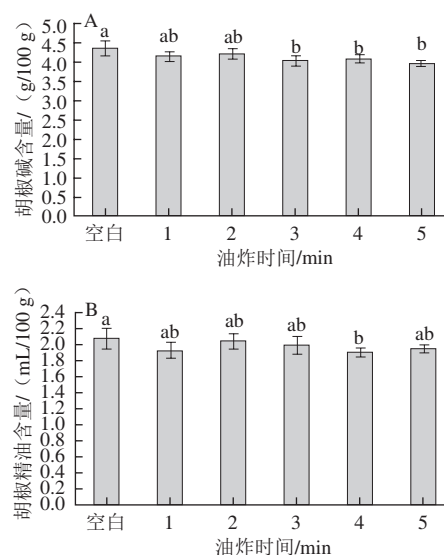


图2 油炸时间对胡椒碱(A)和胡椒精油(B)含量的影响

Fig. 2 Effects of different frying times on the contents of piperine and pepper essential oil

如图2A所示，油炸时间为1 min和2 min时，胡椒碱含量较高，且与胡椒鲜果中胡椒碱含量差异不显著；油炸时间3、4 min和5 min时，胡椒碱含量较低，且与胡椒鲜果中胡椒碱含量差异显著 ($P < 0.05$)，但各油炸处理时间胡椒碱含量不存在显著性差异。不同油炸时间胡椒精油含量没有显著性差异 (图2B)，但以油炸时间4 min时，胡椒精油含量最低，与胡椒鲜果中胡椒精油含量差异显著 ($P < 0.05$)。然而，不同的油炸时间对食用油的酸值和过氧化值影响较大，而油炸时间为2 min时，胡椒碱和胡椒精油损失最少。综合不同油炸时间对胡椒碱和胡椒精油含量的影响，选定油炸时间1、2、3 min进行响应面优化试验。

2.1.3 料油比对油炸胡椒鲜果中胡椒碱及胡椒精油含量的影响

油添加量过多不仅会对油炸胡椒鲜果中胡椒碱和胡椒精油的含量产生影响，还会造成食用油的浪费。此外，不同的料油比还会造成初始原料加入时的温度发生变化。由图3A可知，料油比为1:1时，胡椒碱含量损失最少，与胡椒鲜果中胡椒碱含量差异不显著，其他料油比处理与胡椒鲜果中胡椒碱含量差异显著 ($P < 0.05$)。由图3B可知，当料油比为1:2.5时，胡椒精油含量最高，与胡椒鲜果中精油含量差异不显著，而其他处理料油比与胡椒鲜果中胡椒精油含量差异显著 ($P < 0.05$)。各料油比对胡椒碱和胡椒精油含量的影响差异较明显，综合考虑油炸后胡椒碱和胡椒精油的含量，选定料油比1:1、1:2、1:3进行响应面优化试验。

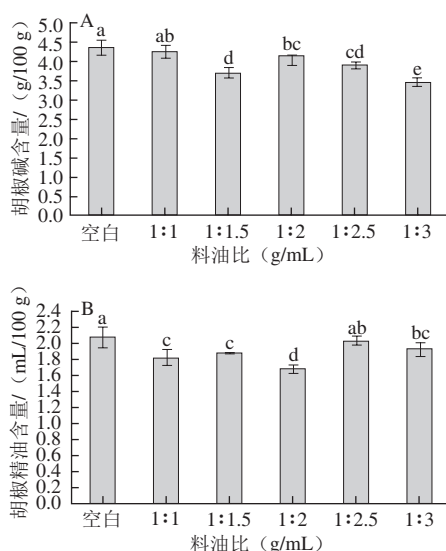


图3 料油比对胡椒碱(A)和胡椒精油(B)含量的影响

Fig. 3 Effects of different material-to-oil ratios on the contents of piperine and pepper essential oil

2.2 响应面试验结果

2.2.1 响应面试验方案及结果

在单因素试验的基础上,选取油炸温度、油炸时间、料油比三因素为自变量,以胡椒碱、胡椒精油含量为响应值,采用Box-Behnken设计进行响应面试验,均取单因素试验中胡椒碱、胡椒精油含量较高点作为因素水平,试验结果见表3。

表3 响应面分析试验设计方案及结果

Table 3 Experimental design and corresponding results for response surface analysis

试验号	A油炸温度	B油炸时间	C料油比	Y_1 胡椒碱含量/(g/100 g)	Y_2 胡椒精油含量/(mL/100 g)
1	0	0	0	4.08	1.79
2	-1	-1	0	4.01	1.70
3	1	0	1	4.18	1.48
4	0	0	0	4.15	1.78
5	0	0	0	4.11	1.73
6	0	-1	-1	4.10	1.57
7	0	0	0	4.11	1.72
8	0	0	0	4.13	1.73
9	0	1	-1	4.18	1.80
10	-1	1	0	4.15	1.68
11	1	-1	0	4.06	1.68
12	0	1	1	4.05	1.54
13	1	1	0	4.00	1.74
14	-1	0	-1	4.27	1.64
15	-1	0	1	4.13	1.51
16	1	0	1	4.10	1.67
17	0	-1	1	4.10	1.57

2.2.2 回归方程的建立与分析

利用Design-Expert 8.0.5b统计软件对表3试验数据进行回归拟合,得到胡椒碱含量与三因素之间的多项回

归模型: $Y_1 = 4.12 - 0.028A + 0.014B - 0.024C - 0.050AB + 0.055AC - 0.032BC + 7.500 \times 10^{-4}A^2 - 0.062B^2 + 0.053C^2$, 对模型进行方差分析,结果见表4。

表4 回归方程模型方差分析及其系数的显著性检验(胡椒碱含量)

Table 4 Analysis of variance for the fitted quadratic model of piperine content and significance test of its regression coefficients

来源	平方和	自由度	均方和	F值	P值	显著性
模型	0.065	9	7.223×10^{-3}	13.68	0.001 2	**
A油炸温度	6.050×10^{-3}	1	6.050×10^{-3}	11.46	0.011 7	*
B油炸时间	1.512×10^{-3}	1	1.512×10^{-3}	2.87	0.134 3	
C料油比	4.512×10^{-3}	1	4.512×10^{-3}	8.55	0.022 2	*
AB	1.000×10^{-2}	1	1.000×10^{-2}	18.94	0.003 3	**
AC	0.012	1	0.012	22.92	0.002 0	**
BC	4.225×10^{-3}	1	4.225×10^{-3}	8.00	0.025 4	*
A^2	2.368×10^{-6}	1	2.368×10^{-6}	4.487×10^{-3}	0.948 5	
B^2	0.016	1	0.016	30.42	0.000 9	**
C^2	0.012	1	0.012	22.62	0.002 1	**
残差	3.695×10^{-3}	7	5.279×10^{-4}			
失拟项	9.750×10^{-4}	3	3.250×10^{-4}	0.48	0.714 8	
纯误差	2.720×10^{-3}	4	6.800×10^{-4}			
总和	0.069	16		复相关系数	0.946 2	
标准差	0.023			校正相关系数	0.877 1	
平均值	4.11			预测相关系数	0.711 1	
变异系数	0.56%			信噪比	16.174	

注: *差异显著, $P < 0.05$; **差异极显著, $P < 0.01$ 。下同。

由表4可知,一次项A和C对油炸胡椒鲜果中胡椒碱含量的影响显著;一次项B对油炸胡椒鲜果中胡椒碱含量没有显著影响。试验中三因素对油炸胡椒鲜果中胡椒碱含量的影响次序为: A(油炸温度) > C(料油比) > B(油炸时间)。交互项AB、AC对胡椒碱含量影响极显著;交互项BC对胡椒碱含量影响显著。二次项中 B^2 和 C^2 对油炸胡椒鲜果中胡椒碱含量的影响极显著;二次项 A^2 对油炸胡椒鲜果中胡椒碱含量没有显著影响。

利用Design-Expert 8.0.5b统计软件对表3试验数据进行回归拟合,得到胡椒精油含量与三因素之间的二次多项回归模型: $Y_2 = 1.75 + 5.000 \times 10^{-3}A + 0.031B - 0.074C + 0.020AB - 0.015AC - 0.067BC - 0.049A^2 - 1.250 \times 10^{-3}B^2 - 0.13C^2$, 对模型进行方差分析,结果见表5。

由表5可知,一次项C对油炸胡椒鲜果中胡椒精油含量影响极显著;一次项B对油炸胡椒鲜果中胡椒精油含量影响显著;一次项A对油炸胡椒鲜果中胡椒精油含量没有显著影响。试验中三因素对油炸胡椒鲜果中胡椒精油含量的影响顺序为: C(料油比) > B(油炸时间) > A(油炸温度)。交互项BC对胡椒精油含量影响极显著;交互项AB、AC对胡椒精油含量没有显著影响。二次项 C^2 对油炸胡椒鲜果中胡椒精油含量的影响极显著;二次项 A^2 对油炸胡椒鲜果中胡椒精油含量影响显著;二次项 B^2 对油炸胡椒鲜果中胡椒精油含量没有显著影响。

表 5 回归方程模型方差分析及其系数的显著性检验 (胡椒精油含量)

Table 5 Analysis of variance for the fitted quadratic model of pepper essential oil content and significance test of its regression coefficients						
来源	平方和	自由度	均方和	F值	P值	显著性
模型	0.15	9	0.017	14.28	0.001 0	**
A油炸温度	2.000×10^{-4}	1	2.000×10^{-4}	0.17	0.694 0	
B油炸时间	7.813×10^{-3}	1	7.813×10^{-3}	6.57	0.037 4	*
C料油比	0.044	1	0.044	36.59	0.000 5	**
AB	1.600×10^{-3}	1	1.600×10^{-3}	1.35	0.284 1	
AC	9.000×10^{-4}	1	9.000×10^{-4}	0.76	0.413 2	
BC	0.018	1	0.018	15.32	0.005 8	**
A ²	0.010	1	0.010	8.41	0.023 0	*
B ²	6.579×10^{-6}	1	6.579×10^{-6}	5.532×10^{-3}	0.942 8	
C ²	0.067	1	0.067	56.43	0.000 1	**
残差	8.325×10^{-3}	7	1.189×10^{-3}			
失拟项	4.125×10^{-3}	3	1.375×10^{-3}	1.31	0.387 3	
纯误差	4.200×10^{-3}	4	1.050×10^{-3}			
总和	0.16	16			0.948 3	
标准差	0.034				0.881 9	
平均值	1.67				0.549 7	
变异系数	2.07%				11.484	

模型失拟项表示模型预测值与实际值不拟合的概率^[10], 本实验中胡椒碱含量模型失拟项的P值为0.714 8, 胡椒精油含量模型失拟项的P值为0.387 3, 模型失拟项都不显著, 进而说明这两个模型的拟合度良好。变异系数反映模型的置信度, 值越低模型的置信度越高^[11], 本实验中变异系数分别为0.56%和2.07%, 说明模型方程能够较好地反映真实值。综合分析胡椒碱和胡椒精油含量模型可知, 两个模型的拟合程度良好, 因此可用该模型来分析和预测胡椒鲜果最佳油炸工艺。

2.2.3 响应面分析

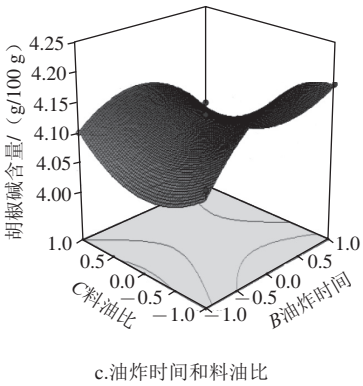
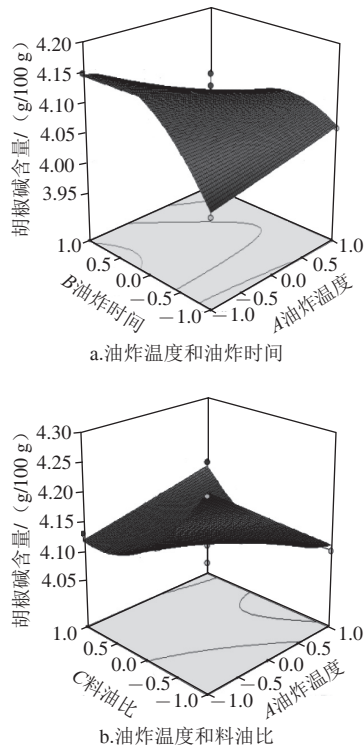


图 4 各因素交互作用对胡椒碱含量影响的响应面
Fig. 4 Response surface plots for pepperine contents as a function of three processing parameters

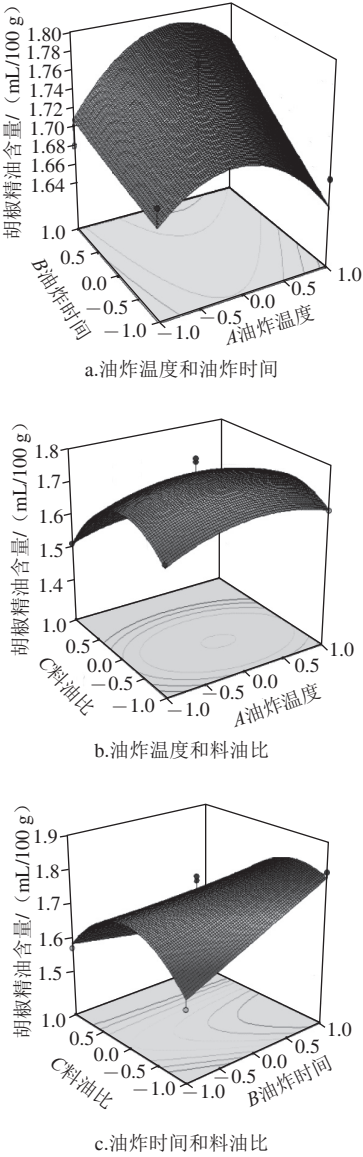


图 5 各因素交互作用对胡椒精油含量影响的响应面
Fig. 5 Response surface plots for pepper essential oil content as a function of three processing parameters

利用Design-Expert 8.0.5b绘制响应面图,考察所拟合的响应面形状,分析油炸温度、油炸时间、料油比对油炸胡椒鲜果中胡椒碱、胡椒精油含量的具体影响方式,其响应面见图4和图5。

通过软件Design-Expert对响应面试验优化分析,得到在油炸温度92℃、油炸时间3 min、料油比1:1(g/mL)时,油炸胡椒鲜果的胡椒碱和胡椒精油含量同时可达到最大值。

2.2.4 验证实验结果

在最优条件下胡椒碱含量预测值为4.28 g/100 g,胡椒精油含量预测值为1.73 mL/100 g,为验证响应面法优化结果的可靠性,在响应面优化试验所得最佳条件下重新油炸胡椒鲜果,经过3组平行实验,检测出油炸胡椒鲜果中胡椒碱含量真实值为4.23 g/100 g,胡椒精油含量真实值为1.71 mL/100 g,预测值与实际测量值吻合度分别为98.73%和98.76%,与预测结果相对偏差仅为1.27%和1.24%,说明响应值的实验值与回归方程预测值吻合良好。

3 讨论与结论

油炸作为古老的食品加工方法,随着人们对油炸食品的喜爱,油炸食品逐渐深入到人们的生活中,而对于油炸食品的研究也逐渐深入。目前,Pedreschi等^[12]研究了在85℃水中热烫3.5 min和未处理的土豆片,在120、150、180℃的油温条件下油炸过程中的油脂摄入和质构变化情况,发现油炸温度和预处理方法能够显著影响油炸土豆片最终的脂肪含量,而温度越高油脂含量越低,但油炸温度以及预处理方法对油炸土豆片最终质构没有显著影响。刘婷婷等^[13]通过 $L_{16}(4^3)$ 正交试验得到常压油炸马铃薯原薯片低丙烯酰胺含量的最佳工艺组合:柠檬酸溶液质量分数0.20%、预干燥时间30 min、油炸温度180℃。Jeleń等^[14]利用黄豆发酵5 d所制成的豆豉进行油炸,然后检测其风味物质,发现主要有2-乙酰基-1-吡咯啉、2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、二甲基三硫醚、甲硫、2-甲基丙醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛等,从而表明油炸过程产生了增加豆豉风味的活性物质。李俊等^[15]用感官评定方法优化了青色美人椒油炸条件,通过正交试验得到青色美人椒最佳油炸条件为油炸时间20 s、油炸温度200℃,此时为大多数人所喜爱。Kita等^[16]研究油的种类对油炸薯片质构的影响,在170℃的油温条件下,发现不同油脂对油炸薯片脆度的影响由大到小为:菜籽油>花生油>棕榈油>橄榄油>葵花籽油>大豆油。

油炸鲜胡椒的品质严格受到各种油炸参数的影响,即与油炸时间、油炸温度、油炸料油比等密切相关。王修俊等^[17]研究发现,随着加热温度的上升,油脂的过氧化值与酸值亦随之上升,且温度愈高(控制在150℃以

下),过氧化值与酸值的数值愈大,这是因为高温既可促进游离基的产生,又能促进氢过氧化物的分解与聚合,使得油脂氧化反应速率加快。然而,本研究在单因素试验设计的基础上,综合考虑油炸胡椒鲜果中胡椒碱、胡椒精油含量,对胡椒鲜果油炸工艺进行了三因素三水平的Box-Behnken响应面试验设计,建立了响应值和各个因素之间的数学模型,依据此数学模型确定的最佳胡椒鲜果油炸工艺为:油炸温度92℃、油炸时间3 min、料油比1:1。

目前,国内外对于胡椒叶、胡椒果、黑胡椒、白胡椒等香气物质成分或胡椒精油的化学成分分析较多^[18-22],近来对于胡椒产品加工的研究也逐渐增加^[23-25],如谭乐和等^[26]对不同加工处理胡椒精油化学成分进行了分析。油炸处理会使胡椒中主要有效成分胡椒碱、胡椒精油的含量有所减少,但是仅有一小部分会溶于食用油中,基本上大多还存在于胡椒鲜果中。油炸工艺不但有利于去除胡椒鲜果中的青杂气,降低胡椒中的生辣味感,而且有利于萜烯氧化物、酯类化合物等生成,对胡椒的整体香气品质有利。因此,可在本研究的基础上进一步对油炸处理后胡椒精油的香气物质成分进行分析,并对油炸处理后胡椒加工产品进行开发研究。

参考文献:

- [1] 郭华松,杨建峰,林丽云.中国胡椒研究综述[J].中国农业科学,2009,42(7):2469-2480. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2009.07.027.
- [2] 丁成翠,章程辉,牛雷,等.胡椒深加工研究现状[J].广东农业科学,2011(8):78-79. DOI:10.3969/j.issn.1004-874X.2011.08.032.
- [3] 张聪,陈德慰.油炸食品风味的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2014,5(10):3085-3091.
- [4] 张晓鸣,夏书芹,贾承胜,等.食品风味化学[M].北京:中国轻工业出版社,2009.
- [5] 杨建峰,郭华松,孙燕,等.我国胡椒产业现状及发展对策[J].热带农业科学,2010,30(3):52-55. DOI:10.3969/j.issn.1009-2196.2010.03.014.
- [6] 朱红英,初众,吴桂苹,等.青胡椒真空冷冻干燥工艺研究[J].食品与机械,2012,28(4):213-216. DOI:10.3969/j.issn.1003-5788.2012.04.058.
- [7] 徐向宏,何明珠.试验设计与Design-Expert、SPSS应用[M].北京:科学出版社,2010:146-157.
- [8] 莫峥嵘,张岐.胡椒碱的抗氧化活性及稳定性研究[J].海南师范学院学报,2006,19(1):52-54. DOI:10.3969/j.issn.1674-4942.2006.01.016.
- [9] 龙宇宙.热带特色香辛饮料作物农产品加工与利用[M].海口:海南出版社,2007:63-113.
- [10] 卢可,娄永江,周湘池.响应面优化杨梅果醋发酵工艺参数研究[J].中国调味品,2011,36(2):57-60. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2011.02.016.
- [11] 陈书勤,黄健全,黄康宁,等.响应面法在优化果糖和葡萄糖色谱分离中的应用[J].广西轻工业,2011(10):20-21.
- [12] PEDRESCHI F, MOYANO P. Oil uptake and texture development in fried potato slices[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 70: 557-563. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2004.10.010.

- [13] 刘婷婷, 谭兴和, 邓洁红, 等. 马铃薯片常压油炸工艺优化研究[J]. 食品科技, 2012, 37(3): 117-121.
- [14] JELEŇ H, MAJCHER M, GINJA A, et al. Determination of compounds responsible for tempeh aroma[J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 459-465. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.03.047.
- [15] 李俊, 王辉, 田宝明, 等. 青辣椒油炸及贮藏过程中护色技术的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(20): 275-279.
- [16] KITA A, LISINSKA G, GOLUBOWSKA G. The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps[J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 1-5. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.08.038.
- [17] 王修俊, 刘颖. 油炸辣椒品质影响因素的研究[J]. 粮油食品科技, 2007, 15(2): 31-33. DOI:10.3969/j.issn.1007-7561.2007.02.014.
- [18] 张水平, 谷凤林, 吴桂苹, 等. 胡椒果与胡椒叶精油化学成分分析[J]. 热带作物学报, 2014, 35(2): 387-395. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2014.02.030.
- [19] 柳中, 阚建全, 李银聪, 等. 不同方法提取的海南黑、白胡椒香气物质GC-MS比较分析[J]. 食品工业科技, 2012, 33(2): 175-179.
- [20] 郭墨亭, 黄雪松. 胡椒幼果与黑、白胡椒香气成分的比较研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(15): 93-95.
- [21] KAPOOR I P S, SINGH B, SINGH G, et al. Chemistry and *in vitro* antioxidant activity of volatile oil and oleoresins of black pepper (*Piper nigrum*)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(12): 5358-5364. DOI:10.1021/jf900642x.
- [22] SINGH G, MARIMUTHU P, CATALAN C, et al. Chemical, antioxidant and antifungal activities of volatile oil of black pepper and its acetone extract[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84: 1878-1884. DOI:10.1002/jsfa.1863.
- [23] 陈文学, 仇厚援, 杨劲松, 等. 胡椒风味调味酱的研制[J]. 中国调味品, 2006(4): 19-21. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2006.04.004.
- [24] 周书来, 刘学文, 吴丽. 山胡椒调味油加工工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2011, 47(1): 98-101. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2011.01-026.
- [25] 刘红, 宗迎, 谭乐和, 等. 胡椒调味油加工工艺条件的研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(3): 560-564. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2013.03.031.
- [26] 谭乐和, 赵建平, 刘红, 等. 不同加工方法对胡椒精油化学成分的影响[J]. 热带作物学报, 2009, 30(3): 382-385. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2009.03.026.