低温真空油炸莲子的工艺优化

王海蓝，唐劲松，姚芳，祁兴普，施帅

（江苏农牧科技职业学院食品科技学院，江苏泰州 225300）

摘要：本文采用响应面试验设计方法研究低温真空油炸莲子的最佳工艺。对莲子进行低温真空油炸实验，测量油炸后莲子的硬度、含油量，研究了单因素对油炸莲子硬度和含油量的影响，采用 Box-Behnken Design 建立回归模型，分析真空度（0.085~0.095 MPa）、油炸温度（80~90 ℃）、油炸时间（15~25 min）对莲子休闲食品品质的影响，优选出最佳的加工工艺条件。结果显示，采用 Box-Behnken Design 建立的 2 个回归模型的 R^2 分别为 0.9987，0.9930，均接近 1，回归模型拟合度良好；优选得到低温真空油炸的最佳工艺参数为：油炸温度 80 ℃、油炸时间 25 min、油炸真空度 0.095 MPa、水分 55%、厚度 1/2；低温真空油炸的莲子，其感官特征都明显优于常压油炸莲子。因此，采用响应面试验设计方法对莲子低温真空油炸工艺进行优选是可行的，且优选工艺下的油炸莲子感官特征较常压油炸要好。

关键词：莲子；低温；真空油炸；响应面

文章篇号：1673-9078(2021)02-231-237 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.2.1033

Optimization of Low Temperature Vacuum Frying Lotus Seed

WANG Hai-lan, TANG Jin-song, YAO Fang, QI Xing-pu, SHI Shuai

(Food College of Jiangsu Agri-animal Husbandry Vocational College, Taizhou 225300, China)

Abstract: In this work, the optimum technology of low temperature vacuum-frying lotus seeds was investigated by response surface methodology. The effects of single factor on the hardness and oil content of vacuum-frying lotus seeds were evaluated. The regression models were established by box Behnken design and used to analyze the effects of vacuum degree (0.085~0.095 MPa), frying temperature (80~90 ℃) and frying time (15~25 min) on the quality of lotus seed snack food, and the optimum technology parameters were selected. The results showed that, R^2 of the two regression models were 0.9987 and 0.9930, respectively, which both were close to 1. The fitting degree of the regression models was good. The optimal technological parameters of low-temperature vacuum-frying method were obtained as follows: frying temperature of 80 ℃, frying time of 25 min, frying vacuum degree of 0.095 MPa, lotus seed moisture of 55%, thickness of 1/2. The sensory characteristics of low-temperature vacuum-frying lotus seeds were significantly better than those of normal pressure frying lotus seeds. Therefore, it could be feasible to optimize the low-temperature vacuum-frying process of lotus seeds by response surface methodology, and the sensory characteristics of lotus seeds fried under the optimized process were better than that of normal pressure frying method.

Key words: lotus seed; low temperature; vacuum frying; response surface

引文格式：

王海蓝,唐劲松,姚芳,等.低温真空油炸莲子的工艺优化[J].现代食品科技,2020,37(2):231-237

WANG Hai-lan, TANG Jin-song, YAO Fang, et al. Optimization of low temperature vacuum frying lotus seed [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 37(2): 231-237

莲子，作为药食同源的食品，含有丰富的营养物质，具有良好的保健作用和药用价值[1]。我国莲子资源丰富，但是因其生产具有季节性、莲蓬容易褐变老化，货架期短等原因，莲子的资源利用率极低。莲子营养丰富，但只限于鲜食或家庭烹饪，在市面上的以莲子为原料的休闲食品少之又少，限制了莲子产业的发展。莲子含碳水化合物较多，主要成分是直链淀粉[1]，容易发生老化，其口感容易生硬。而油炸可以有效抑制淀粉的老化，使食品具有良好的口感。但是油炸过程中的高温会使食品产生对人体健康有害的物质，不利于人体健康[2,3]。

低温真空油炸是利用真空环境改变物质原有的沸点，使油炸可以在较低温度下进行，可以很好的保留果蔬原有的风味和减少营养成分的损失[4,5]，是一种新兴的绿色加工技术[3,6]，广泛应用于各种食品的加工，比如马铃薯、南瓜、香蕉、毛豆等[7-10]。低温真空油炸在莲子上应用较少，于胜爽[11]采用正交试验法对真

收稿日期：2020-11-10

基金项目：江苏省大学生创新创业训练计划项目（201912806035Y）

作者简介：王海蓝（1984-），女，讲师，研究方向：农产品加工及保鲜

空油炸莲子进行了研究，但是油炸参数的交互作用对油炸莲子的影响并不是简单的线性关系，而且正交试验方法只能对孤立的实验点进行分析，并不能获得连续的预测模型。响应面试验设计，是一种试验条件寻优的方法，适用于解决非线性数据处理的相关问题，可以获得连续的预测模型，可实验范围内各水平进行分析[12,13]。王为为等人应用中心组合实验设计研究了真空油炸技术在莲子上的应用，文献结果表明真空油炸可以用于莲子的加工，但是其只研究了油炸温度、时间和真空度对油炸莲子的影响，并未考虑油炸前莲子水分含量、厚度对工艺的影响[14]。

本文首先研究单因素对莲子硬度和含油量的影响，采用响应面的试验优化设计方法，采用 Box-Behnken Design 对莲子的低温真空油炸工艺进行研究，研究油炸温度、时间和真空度对油炸莲子品质的影响，优化工艺参数，得到一种莲子加工新方法，希望能有助于扩大莲子产业的发展。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

干莲子、棕榈油，购买于超市。真空油炸锅，无锡南丰轻工业设备有限公司；ZKJ-1 型真空泵，上海机械科技有限公司；TA-XT2i 型质构仪，英国 Stable Micro Systems Limited 公司；电子天平 FA1004，上海舜宇恒平科学仪器有限公司；电热恒温鼓风干燥箱 DHG-9070 型，上海三发科学仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

原料筛选→浸泡→清洗→切片→热烫→浸渍→冷冻→真空油炸/常压油炸→脱油。

筛选颗粒大小一致、完整的莲子，放入水中进行浸泡，使莲子的含水量在 35%、40%、45%、50%、55%，清洗干净，切成 1、1/2、1/4 片，然后 90~100 ℃进行 15 min 的热烫，用含 6%麦芽糊精和 3%盐溶液浸渍 60 min，沥干后进行冷冻 6 h，然后在不同的油温、真空度和时间进行油炸（温度：80、85、90、95、100 ℃；真空度：0.080、0.085、0.090、0.095、0.100 MPa；时间：10、15、20、25、30 min），最后脱油 5 min。

常压油炸：当油温到达 180 ℃时，加入莲子，油炸 20 min，最后脱油 5 min。

1.2.2 油炸莲子的感官评价

感官评价由食品专业人员按照表 1 进行评价。

表 1 油炸莲子的感官评价表[11]

Table 1 Sensory evaluation of fried lotus seeds

评分/分	评定标准
3~4	色泽偏白或者发黑，味道不好、有明显的渣子感、脆度不好、很硬
5~6	色泽不黄或者发黑的迹象，味道一般、有比较明显的渣子感、脆度一般、有点硬
6~7	色泽不够黄或者有发黑的迹象，味道一般、有极轻的渣子感、比较脆
7~8	色泽较好，味道较好、有极其轻微的油腻感、脆性较大
9	色泽诱人，味道极好、无油腻感、松脆可口、硬度适中

1.2.3 油炸莲子硬度测定

采用物性仪[TA-XT2i (Stable Micro Systems Limited Co., England)]进行检测，选取 2 N 探头，测试模式选择压力，测前速度为 2 mm/s，测试速度 0.5 mm/s，测后速度 5 mm/s，测试通过距离 5 mm。测量 10 颗莲子，取其平均值。

1.2.4 油炸莲子含油量测定

参照 GB/T 14488.1 进行含油量的测定。

1.3 统计分析

采用 Excel 和 Design Expert 12 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 单因素对油炸莲子品质的影响

2.1.1 油炸温度对油炸莲子硬度和含油量的影响

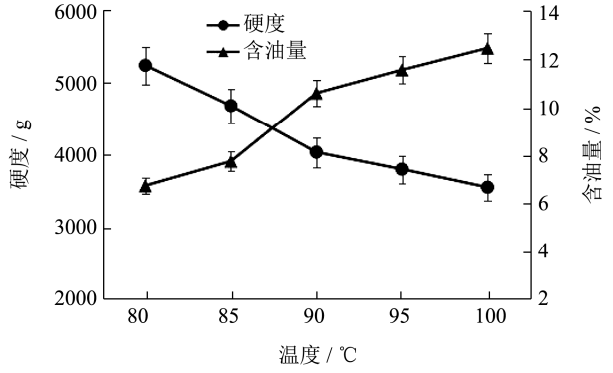


图 1 油炸温度对油炸莲子硬度和含油量的影响

Fig.1 Effect of frying temperature on hardness and oil content of fried lotus seeds

莲子水分 50%条件下，清洗干净，切成 1/2 片，

然后 90~100 ℃进行 15 min 的热烫，用含 6%麦芽糊精和 3%盐溶液浸渍 60 min，沥干后进行冷冻 6 h，设定真空度 0.090 MPa，油炸时间 20 min，分别在油温 80、85、90、95、100 ℃，对莲子进行油炸，真空脱油 5 min。

油炸温度对油炸后莲子的硬度和含油量的影响结果如图 1，从图 1 可以看出，在莲子初始水分、真空度、油炸时间、厚度一定时，在试验条件范围内，随着油炸温度的升高，莲子的硬度不断减小，呈线性关系；莲子的含油量随着温度的升高而增加，且在 85~90 ℃增加较大。莲子淀粉在一定温度下产生预糊化，在莲子表面包裹了一层糊状，影响油脂进入莲子内部，随着油温的不断升高，莲子内部水分丢失加快，迅速形成松脆的孔状结构，同时也给油脂提供了更多空间。

2.1.2 油炸时间对油炸莲子硬度和含油量的影响

莲子水分 50%条件下，清洗干净，切成 1/2 片，然后 90~100 ℃进行 15 min 的热烫，用含 6%麦芽糊精和 3%盐溶液浸渍 60 min，沥干后进行冷冻 6 h，设定油炸温度 90 ℃，真空度 0.090 MPa，分别在油炸 10、15、20、25、30 min，真空脱油 5 min。

油炸时间对油炸后莲子的硬度和含油量的影响结果如图 2，从图 2 可以看出，在莲子初始水分、真空度、油炸温度、厚度一定时，在试验条件范围内，随着油炸时间的增加，莲子的硬度不断减小；莲子的含油量随着时间的加长而增加。莲子随着油炸时间的增加，莲子内部的淀粉不断减少，脆性增加，硬度减小[11]；淀粉随着油炸时间的加长，莲子内部的淀粉不断分解产生直链淀粉，直链淀粉的疏水性螺旋空腔结构能够吸附更多的油脂，与油脂形成复合物[15]。

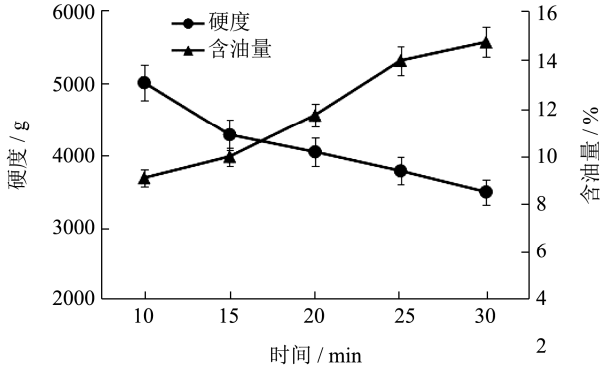


图 2 油炸时间对油炸莲子硬度和含油量的影响

Fig.2 Effect of frying time on hardness and oil content of fried lotus seeds

2.1.3 油炸真空度对油炸莲子硬度和含油量的影响

莲子水分 50%条件下，清洗干净，切成 1/2 片，然后 90~100 ℃进行 15 min 的热烫，用含 6%麦芽糊精和 3%盐溶液浸渍 60 min，沥干后进行冷冻 6 h，设定油炸温度 90 ℃，油炸时间 20 min，分别在真空度 0.080、0.085、0.090、0.095、0.100 MPa，对莲子进行油炸，真空脱油 5 min。

真空度对油炸后莲子的硬度和含油量的影响结果如图 3，从图 3 可以看出，在莲子初始水分、油炸温度、油炸温度、厚度一定时，在试验条件范围内，随着真空度的增加硬度不断变小，含油量先减小再增加。真空度越大，水分的沸点越低，更容易蒸发，莲子内部形成孔状，因此，因而硬度变小。

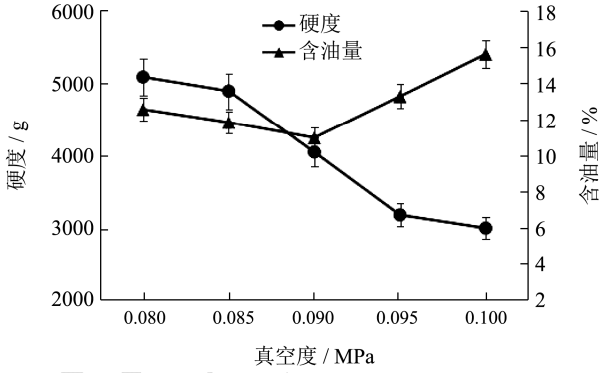


图 3 真空度对油炸莲子硬度和含油量的影响

Fig.3 Effect of vacuum degree on hardness and oil content of fried lotus seeds

2.1.4 莲子初始水分对油炸莲子硬度和含油量的影响

用水浸泡，使莲子水分分别为 35%、40%、45%、50%、55%，清洗干净，切成 1/2 片，然后 90~100 ℃进行 15 min 的热烫，用含 6%麦芽糊精和 3%盐溶液浸渍 60 min，沥干后进行冷冻 6 h，设定油炸温度 90 ℃，油炸时间 20 min，真空度 0.090 MPa，对莲子进行油炸，真空脱油 5 min。

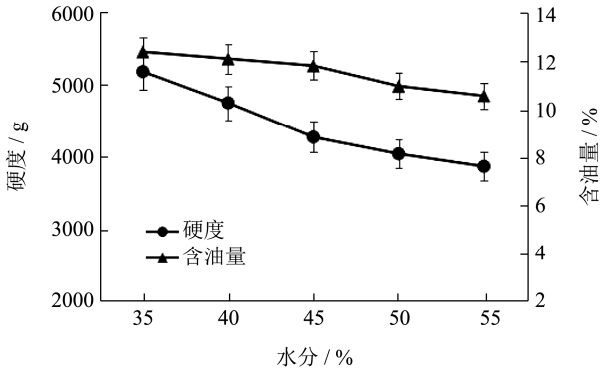


图 4 水分对油炸莲子硬度和含油量的影响

Fig.4 Effect of moisture on hardness and oil content of fried lotus seeds

莲子初始水分对油炸后莲子的硬度和含油量的影响结果如图 4，从图 4 可以看出，在油炸温度、油炸温度、真空度、厚度一定时，在试验条件范围内，油

炸莲子的硬度和含油量都随着初始水分的增加而减小。因此，在35%~55%水分范围内，选取高水分含量的莲子进行油炸能够获得脆且不油腻的油炸莲子。在油炸过程中，莲子内部水分不断流出，而油脂正好与此相反，油脂不断从外部进入莲子内部，水分具有疏水性，在蒸发过程中对油脂的进入产生一定的阻力，从而影响油炸莲子的含油量[16]。

2.1.5 莲子厚度对油炸莲子硬度和含油量的影响

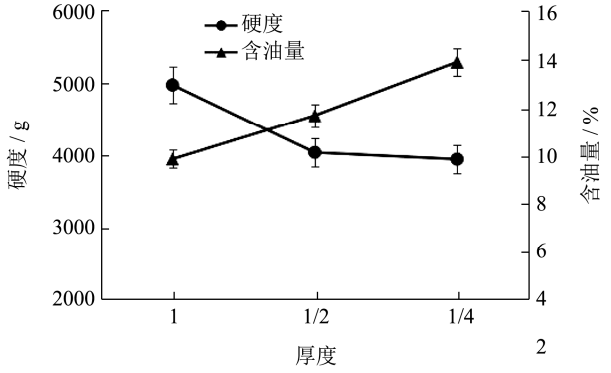


图 5 厚度对油炸莲子硬度和含油量的影响

Fig.5 Effect of moisture on hardness and oil content of fried lotus seeds

莲子水分在50%条件下，清洗干净，把莲子分别切成1、1/2、1/4，然后90~100 ℃进行15 min的热烫，用含6%麦芽糊精和3%盐溶液浸渍60 min，沥干后进行冷冻6 h，设定油炸温度90 ℃，油炸时间20 min，真空度0.090 MPa，对莲子进行油炸，真空脱油5 min。

莲子厚度对油炸莲子硬度和含油量的影响结果如图5，从图5可以看出，在油炸温度、油炸温度、真空度、水分一定时，在试验条件范围内，油炸莲子的硬度随着厚度的减小而减小，且从厚度1到1/2大幅度下降，厚度1/2与厚度1/4的硬度相差不大；含油量随着厚度的减小而增大，且厚度1/2到1/4的增加较大。因此，莲子的厚度为1/2时是最佳的。

2.2 不同工艺条件交互作用对油炸莲子品质的影响

2.2.1 工艺模型的建立

表 2 响应面试验设计与结果

Table 2 Design and results of response surface test

序号	A: 温度/℃	B: 真空度/MPa	C: 时间/ min	硬度/g	含油量/%
1	85	0.095	15	4352.49	10.84
2	85	0.090	20	4218.58	9.48
3	90	0.095	20	3489.44	12
4	85	0.090	20	4248.35	9.66
5	80	0.085	20	4896.38	6.74
6	80	0.095	20	3902.41	9.46
7	85	0.085	15	4561.66	9.21
8	85	0.090	20	4236.67	9.43
9	85	0.095	25	3204.13	12.13
10	90	0.090	15	4238.46	9.33
11	85	0.090	20	4273.59	9.72
12	80	0.090	25	4342.51	7.32
13	90	0.085	20	4038.47	10.86
14	85	0.085	25	4549.34	11.11
15	80	0.090	15	4795.36	6.57
16	90	0.090	25	3663.64	11.83
17	85	0.090	20	4256.47	9.76

表 3 回归模型的方差分析

Table 3 Variance analysis of regression models

项目	来源	平方和	自由度	均方	*F* 值	*P* 值
硬度	模型	3.044×10^6	9	3.382×10^5	578.21	<0.0001
	残差	4094.31	7	584.90		
	失拟差	2381.73	3	793.91	1.85	0.2779
	纯误差	1712.58	4	428.14		
	总差	3.048×10^6	16			
含油量	模型	44.82	9	4.98	110.17	<0.0001
	残差	0.3164	7	0.0452		
	失拟差	0.2300	3	0.0767	3.55	0.1264
	纯误差	0.0864	4	0.0216		
	总差	45.13	16			

根据单因素结果，选取莲子水分55%和莲子厚度1/2，对油炸的温度（80~90 ℃）、时间（15~25 min）、真空度（0.085~0.095 MPa）进行优化试验。莲子低温真空油炸的响应面试验设计及结果见表2。试验分别以硬度和含油量作为响应值，利用统计软件 Design Expert 12对实验结果进行多元回归拟合，得到油炸温

度、时间、真空度对莲子硬度和含油量的回归模型，其方程如下：

R_1=4246.73-313.33A-387.17B-273.54C+111.23AB-30.49AC-284.01BC-35.98A²-129.07B²+49.25C²

R_2=9.61+1.74A+0.8138B+0.8050C-0.3950AB+0.4375AC-0.1525BC -0.9525A²+1.11B²+0.1050C²

根据方差分析表 3 的结果显示，莲子的硬度和含油量模型 p 值 $p<0.01$，具有显著性；各模型的失拟差 p 值均大于 0.05，不具显著性。硬度、膨化度、含水量和含油量 4 个回归模型的 R^2 均接近 1，分别为：0.9987，0.9930。*Predicted* R^2与 *Adjusted* R^2基本一致，表明试验数据与回归模型的拟合度良好，可以用上述模型对各指标实际值进行预测。

2.2.2 响应面分析图结果

从回归方程可以看出，油炸的温度、时间、真空度交互作用对莲子的硬度和含油量有影响，下面做出不同油炸温度下的响应面分析图，并对其结果进行分析。

2.2.2.1 不同条件对油炸莲子硬度的影响

从图 6a 可以看出，油炸时间、真空度不变的条件下，随着油炸温度的升高，莲子的硬度降低，可能的原因是高温使莲子内的淀粉物质不断熟化从而使硬度降低[11]。从图 6b 可以看出，当油炸温度和真空度一定时，在试验条件范围内，油炸时间越短，莲子硬度最大，而随着油炸时间的加长，硬度得到改善。随着油炸的进行，莲子不断脱水变脆，因此其硬度下降。从图 6c 可以看出，当温度一定时，真空度越低油炸时间越短，硬度越大，真空度越高油炸时间越长，硬度越小。当真空度大时，水分的沸点低，莲子的水分迅速蒸干，莲子内部容易形成孔网结构，脆性增大。当油炸温度和时间一定时，随着真空度的增大硬度再降低，真空度在 0.090~0.095 MPa 之间，硬度较佳。

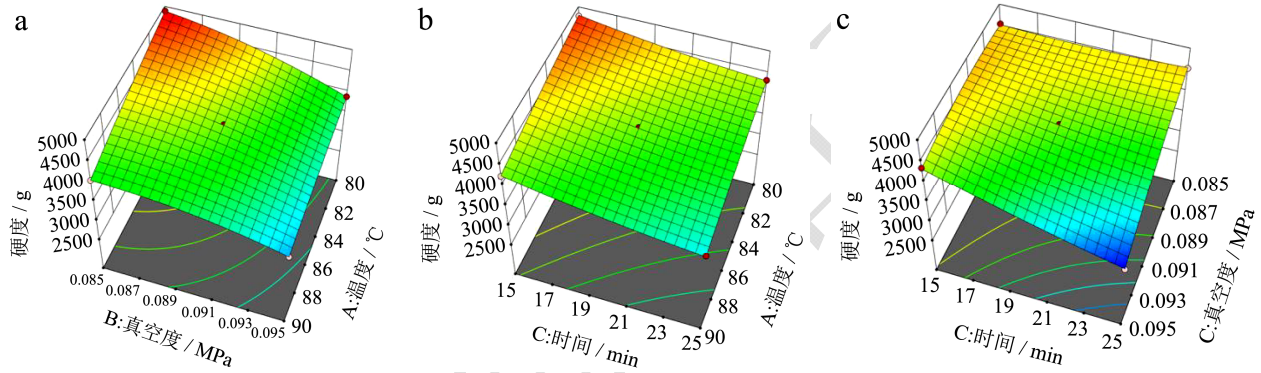


图 6 不同条件对油炸莲子硬度的影响

Fig.6 Effect of different conditions on hardness of fried lotus seeds

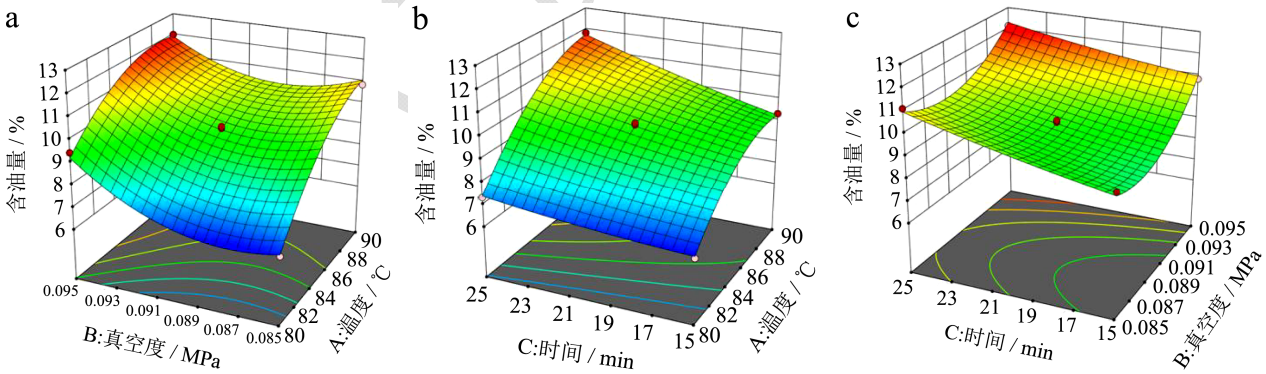


图 7 不同条件对油炸莲子含油量的影响

Fig.7 Effect of different conditions on oil content of fried lotus seed

2.2.2.2 不同条件对油炸莲子含油量的影响

从图 7a 可以看出，当真空度和时间一定时，油炸莲子的含油量随着油炸温度的升高而增大，油炸温度升高，莲子内部水分减少，留下很多内部空隙，油吸附到莲子内部空隙，从而含油量增大。从图 7b 可以看出，当油炸温度和真空度一定时，油炸时间加长，含油量增大；随着油炸时间的增加，吸附到莲子内部的油越来越多，含油量越来越大。从图 7c 可以看出，当油炸温度一定时，真空度最大和油炸时间最长，油炸莲子的含油量最大；当油炸温度和时间一定时，随着真空度的增大，含油量先减少再增大。在一定的真空度下，莲子表面的淀粉迅速凝胶化，将表明包裹阻止了油吸附莲子，随着真空度的增大莲子形成多孔结构，给油留下了更大的吸附空间，从而含油量增大[17,18]。

2.3 低温真空油炸工艺参数优化结果

选取低硬度和低含油量作为模型优化的条件，根据模型优化结果，当油温 80 ℃、时间 25 min、真空度 0.094 MPa 时，莲子的品质最佳，硬度 3682 g、含油量 8.77%。

根据实际参数对优化参数进行调整，最终确定的最优工艺参数为：油温 80 ℃、时间 25 min、真空度 0.095 MPa、水分 55%、厚度 1/2。

2.4 比较低温真空油炸和常压油炸莲子的感官特征

采用优选得到的工艺参数进行油炸处理，得到的莲子进行感官评价。

表 4 油炸莲子的感官评价结果

Table 4 Sensory evaluation results of fried lotus seeds

工艺	色泽	味道	油腻感	脆性	总分
低温真空油炸	9	9	8	9	35
常压油炸	8	3	3	4	18

采用低温真空油炸工艺的莲子感官评价结果优于常压油炸工艺的莲子。常压油炸的莲子色泽偏黑、口感较生硬，油腻感较重。

真空油炸处在负压条件下，食品内部的水分沸点低，会迅速蒸发喷出，从而使组织内部形成疏松多孔的结构，赋予食品松脆的口感。根据文献报道，真空油炸可以保持食物细胞的完整性，阻止油脂进入细胞内而只存在于细胞间隙，从而吸油较少，使油腻感减轻[19,20]；而常压油炸，因其工艺温度过高，油炸过程中破坏细胞壁[21]，油不仅能够进入细胞间隙，还渗入细胞内，含油量大大增高，使得油腻感重。

3 结论

采用响应面的试验优化方法对工艺参数进行研究，优选得到最佳工艺参数为：油炸温度 80 ℃、油炸时间 25 min、油炸真空度 0.095 MPa、水分 55%、厚度 1/2；且其感官评价得分比常压油炸莲子要高。因此，将响应面试验设计方法用于优选莲子低温真空油炸工艺参数是可行的，且优选工艺下的低温真空油炸莲子感官特征较常压油炸要好。

参考文献

[1] Luo H L, Liu X X, Huang X Y, et al. Chemical deterioration of lotus seeds during storage [J]. Journal of Food Quality, 2016, 39(5): 496-503

[2] 王爱红.在油炸淀粉类食品中新发现的致癌物质-丙烯酰胺[J].环境与职业医学,2002,6:347
WANG Ai-hong. New carcinogens found in fried starch foods-acrylamide [J]. Environmental and occupational medicine, 2002, 6: 347

[3] 钮福祥,王红杰,徐飞,等.果蔬真空油炸脱水技术研究及果蔬脆片产业发展概况[J].中国食物与营养,2012,2:24-29
NIU Fu-xiang, WANG Hong-jie, XU Fei, et al. Research on vacuum frying dehydration technology of fruits and vegetables and development of fruit and vegetable chips industry [J]. Chinese Food and Nutrition, 2012, 2: 24-29

[4] Da Silva P, Moreira R, Rosana G, et al. Vacuum frying of high -quality fruit and vegetable - based snacks [J]. LWT - Food Science and Technology, 2008, 41(10): 1758-1767

[5] Shyu S, Hwang L. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips [J]. Food Research International, 2001, 34(1): 133-142

[6] Dueik V, Bouchon P. Vacuum frying as a route to produce novel snacks with desired quality attributes according to new health trends [J]. Journal of Food Science, 2015, 76(2): E188-E195

[7] Belkova B, Hradecky J, Hurkova K, et al. Impact of vacuum frying on quality of potato crisps and frying oil [J]. Food Chemistry, 2018, 241(feb.15): 51

[8] Piyalungka P, Sadiq M B, Assavarachan R, et al. Effects of osmotic pretreatment and frying conditions on quality and storage stability of vacuum-fried pumpkin chips [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(10): 2963-2972

[9] Patchimaporn Udomkun, Bhundit Innawong. Effect of pre-treatment processes on physicochemical aspects of vacuum-fried banana chips [J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2018,42(8): e13687

[10] 范柳萍,张慜,韩娟,等.不同处理工艺对真空油炸毛豆品质的影响[J].食品与生物技术学报,2005,24(2):30-33,37
FAN Liu-ping, ZHANG Min, HAN Juan, et al. Effects of different processing techniques on the quality of vacuum fried soybean [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2005, 24(2): 30-33, 37

[11] 于胜爽.莲蓬保鲜与莲子真空油炸工艺的研究[D].浙江工商大学,2013
YU Sheng-shuang. Study on preservation of lotus and vacuum frying technique of lotus seeds [D]. Zhejiang Gongshang University, 2013

[12] 杨文雄,高彦祥.响应面法及其在食品工业中的应用[J].中

国食品添加剂,2005,2:68-71
YANG Wen-xiong, GAO Yan-xiang. Response surface methodology and its application in food industry [J]. China Food Additives, 2005, 2: 68-71

[13] 李莉,张赛,何强,等.响应面法在试验设计与优化中的应用[J].实验室研究与探索,2015,34(8):41-45
LI Li, ZHANG Sai, HE Qiang, et al. Application of response surface methodology in experimental design and optimization [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2015, 34(8): 41-45

[14] 王为为,赵莹婷,庄玮婧,等.响应面法优化莲子真空油炸工艺参数[J].食品工业科技,2016,37(12):261-266
WANG Wei-wei, ZHAO Ying-ting, ZHUANG Wei-jing, et al. Optimization of vacuum frying parameters of lotus seeds by response surface methodology [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(12): 261-266

[15] 陈龙.油炸过程中淀粉结构变化与吸油特性研究[D].无锡:江南大学,2019
CHEN Long. Investigation on the structural changes and oil absorption of starch during frying [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019

[16] O'Connor C J, Fisk K J, Smith B G, et al. Fat uptake in French fries as affected by different potato varieties and processing [J]. Journal of Food Science, 2010, 66(6): 903-908

[17] Sobukola O P, Dueik V, Munoz L, et al. Comparison of vacuum and atmospheric deep-fat frying of wheat starch and gluten based snacks [J]. Food Science & Biotechnology, 2013, 22: 177-182

[18] Troncoso E, Pedreschi F, R N Zuniga. Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(1): 187-195

[19] 朱瑶迪,邹小波,赵杰文,等.油炸方式对油炸藕片吸油率与微观结构的影响[J].农业机械学报,2015,46(6):207-211
ZHU Yao-di, ZOU Xiao-bo, ZHAO Jie-wen, et al. Effect of frying methods on oil absorption rate and microstructure of fried lotus root slices [J]. T Chin Soc Agric Mach, 2015, 46 (6): 207-211

[20] Dueik V, Robert P, Bouchon P. Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps [J]. Food Chemistry, 2010, 119(3): 1143-1149

[21] Crosa M J, Skerl V, Cadenazzi M, et al. Changes produced in oils during vacuum and traditional frying of potato chips [J]. Food Chemistry, 2014, 146(mar.1): 603-607

（上接第 282 页）

[40] 曹胜雄,杨秀娟,陈琛,等.两种云南地方鸡肌肉氨基酸和脂肪酸含量比较研究[J].中国畜牧兽医,2017,44(10):2908-2915
CAO Sheng-xiong, YANG Xiu-juan, CHEN Chen, et al. Comparative analysis of amino acid and fattyacid content among two kinds of Yunnan local chickens [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2017, 44(10): 2908-2915

[41] 施力光,胡海超,彭维祺,等.儋州鸡和文昌鸡肌肉氨基酸和脂肪酸含量比较研究[J].中国家禽,2018,40(9):11-15
SHI Li-guang, HU Hai-chao, PENG Wei-qi, et al. Comparison of amino acid and fatty acid composition in muscle between Danzhou chicken and Wenchang chicken [J]. China Poultry, 2018, 40(9): 11-15

[42] 王旭平,杨胜林,陆曼,等.斑嘴野鸭蛋品质及蛋营养成分分析[J].基因组学与应用生物学,2017,36(3):882-888
WANG Xu-ping, YANG Sheng-lin, LU Man, et al. Analysis of the egg quality and egg nutrient composition of *Anas poecilorhyncha* [J]. Genomics and Applied Biology, 2017, 36(3): 882-888

[43] 刘跟生,徐贵发.单不饱和脂肪酸对心血管的保护作用[J].卫生研究,2006,3:104-106
LIU Gen-sheng, XU Gui-fa. Protective effect of dietary monounsaturated fatty acid on cardiovascular system [J]. Journal of Hygiene Research, 2006, 3: 104-106

[44] 王雪青,苗惠,胡萍.膳食中多不饱和脂肪酸营养与生理功能的研究进展[J].食品科学,2004,25(11):337-339
WANG Xue-qing, MIAO Hui, HU Ping. Research progress of nutrition and biological functions of polyunsaturated fatty acid [J]. Food Science, 2004, 25(11): 337-339

[45] 王海燕,李睿.功能性不饱和脂肪酸研究进展[J].肉类研究,2010,12:14-17
WANG Hai-yan, LI Rui. The research advance in polyunsaturated fatty acid [J]. Meat Research, 2010, 12: 14-17

[46] Iibeas C, Cejas J, Gomez T, et al. Influence of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids levels on juvenilesgilthead seabream (*Sparus aurata*) growth and tissue fatty acid composition [J]. Aquaculture, 1996, 142(3): 221-225