

香菇脆片真空油炸—真空微波联合干燥工艺优化

Process optimization of vacuum-frying combined with vacuum-microwave drying in producing shiitake mushroom chips

任爱清^{1,2,3}邓珊^{1,2,3}唐小闲^{1,2,3}段振华^{1,2,3}REN Ai-qing^{1,2,3}DENG Shan^{1,2,3}TANG Xiao-xian^{1,2,3}DUAN Zheng-hua^{1,2,3}

(1. 贺州学院食品与生物工程学院, 广西 贺州 542899; 2. 贺州学院广西果蔬保鲜和深加工研究人才小高地, 广西 贺州 542899; 3. 贺州学院食品科学与工程技术研究院, 广西 贺州 542899)

(1. College of Food and Biological Engineer, Hezhou University, Hezhou, Guangxi 542899, China;

2. Guangxi Talent Highland of Preservation and Deep Processing Research in Fruit and Vegetables,

Hezhou University, Hezhou, Guangxi 542899, China; 3. Institute of Food Science and Engineering

Technology, Hezhou University, Hezhou, Guangxi 542899, China)

摘要:采用真空油炸—真空微波联合干燥技术对香菇脆片进行了干燥,并对其工艺条件进行了优化。结果表明,香菇脆片真空油炸—真空微波联合干燥最佳工艺条件为油炸温度 80 ℃、真空度 0.095 MPa、油炸时间 18.6 min;微波真空度 0.095 MPa、微波功率密度 2.0 W/g,脱水至含水率 5%。此条件下香菇脆片的含油率为 15.18%,破碎力为 710.35 g,与预测值(15.09%和 704.91 g)较接近。与真空油炸香菇脆片相比,联合干燥产品破碎力提高了 5.93%,但含油率降低了 29.79%,感官评分增加了 11.38%。

关键词:香菇;脆片;真空油炸;响应面分析法

Abstract: Vacuum-frying combined with vacuum-microwave drying was used to dry shiitake mushroom chips, and the process parameters were optimized. The results showed that the critical factors selected for the investigation were fried at 80 ℃ for 18.6 min, with vacuum pressure 0.095 MPa, and then dried with microwave vacuum degree 0.095 MPa, microwave power density 2.0 W/g, and dehydration to moisture content of 5%. It was verified that the experimental oil content and breaking force of products under this condition were 15.18% and 710.35 g, which were

close to the predicted values (15.09% and 704.91 g). Compared with vacuum-frying, the breaking force of shiitake mushroom chips of our combined drying increased 5.93%, and oil content decreased 29.79%, with the sensory score increasing 11.38%.

Keywords: shiitake mushroom; chips; vacuum frying; response surface methodology

真空低温油炸技术是利用水分沸点随压力的减小而降低的原理,实现食品在较低的温度环境下短时间内迅速脱水^[1]。与常压油炸技术相比,真空油炸具有低氧、低温的特点,可减少营养物质和油脂的氧化^[2],保存产品的自然色泽和风味^[3],减少丙烯酰胺生成^[4]和减少营养物质损失^[5],降低产品含油率^[6]。

香菇是世界消费量第二大的食用菌,营养丰富且具有多种保健功能,可采用真空油炸技术生产即食香菇脆片^[6-7]。而降低真空油炸果蔬脆片含油率是该领域研究的重要内容,其主要措施为:油炸前预处理^[8-12](漂烫、浸渍、涂膜、预干燥)、油炸过程中参数优化^[13-16]、油炸后处理(真空离心脱油、真空油炸后与其他干燥联合脱水)^[17-18]。油炸食品含油率随油炸时间的延长而升高^[19],采用联合干燥技术可以缩短油炸时间,降低真空油炸食品含油率。Zhu 等^[13]研究证明热风、真空微波预干燥可以降低真空油炸豌豆的含油率;Su 等^[14]在微波辅助真空油炸前采用真空红外预干燥使土豆片的含油率从 22.38%下降至 13.49%(干基),适当的预干燥提高了产品的感官品质。不同原料的真空油炸加工参数存在差异^[12-15],前期预试验证明香菇脆片真空油炸前预干燥处理会造成表面硬化,影响后期脱水。真空微波作为一种

基金项目:广西自然科学基金面上基金项目(编号:2020GXNSFAA259093);食品学科与工程广西一流学科培育项目(编号:GXYLXKP1903);广西果蔬保鲜与深加工研究人才小高地项目(编号:GXGSXGD201906);贺州学院博士科研启动基金项目(编号:HZUBS202009)

作者简介:任爱清,男,贺州学院助理研究员,博士。

通信作者:唐小闲(1984—),女,贺州学院助理研究员,硕士。

E-mail:449206278@qq.com

收稿日期:2020-05-06

高效的果蔬脆片干燥方式^[20-24],可较好地应用于真空油炸后香菇脆片的脱水。

目前,有关真空油炸—真空微波联合干燥香菇脆片的研究尚未见报道。试验拟以新鲜香菇为原料,选取油炸时间、真空度和微波功率 3 个因素,以脂肪含量和破碎力为指标,对真空油炸—真空微波联合干燥香菇脆片工艺进行优化,为生产低脂肪、高品质的香菇脆片提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜香菇:市售;

海皇牌棕榈油:凝固温度 24 ℃,益海嘉里(武汉)粮油工业有限公司。

1.2 仪器与设备

电子天平:BL310 型,德国 SARTORIUS 公司;

水浴锅:DKS-16 型,中新医疗仪器有限公司;

真空油炸机:VFII 型,烟台海瑞食品设备有限公司;

真空微波干燥箱:定制,贵阳新奇微波工业有限公司;

物性测定仪:TA.XT plus 型,英国 stable microsystems 公司;

色差计:CIA-10 型,日本柯尼卡美能达控股株式会社;

干燥箱:DHG-9240A 型,上海圣科仪器设备有限公司;

脂肪测定仪:SZC-B 型,上海纤检仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 操作流程

新鲜香菇→去柄、切片、清洗→漂烫→真空油炸→真空离心脱油→真空微波→检测

操作要点:

(1) 去柄、切片、清洗:挑选菇盖较厚的新鲜香菇,去柄切成厚度为 6 mm 的香菇片,清洗后立即漂烫^[7]。

(2) 漂烫:90 ℃漂烫 3 min。

(3) 真空油炸:真空油炸设备中加入 50 L 棕榈油,开启蒸汽加热阀门,加热至油温 80 ℃,打开油炸锅的密封门,将处理好的 500 g 香菇片放入油炸篮中,关闭密封门和真空阀门,开启真空泵,当抽真空至真空度为 0.095 MPa 时,放下油炸篮,然后开始真空油炸,设定油炸时间。

(4) 真空离心脱油:油炸结束后,电机自动将油炸篮提升至脱离油面,脱油转速 300 r/min,脱油时间 3 min。脱油结束后,打开真空阀门和密封门,将产品取出后进行联合干燥试验。

(5) 真空微波:将真空离心脱油后的样品放入真空微波干燥腔内,设定不同的真空度和功率密度,脱水至产品含水率为 5% 以下。

1.3.2 单因素试验

(1) 油炸时间:固定微波真空度为 0.085 MPa,微波功率密度为 1.5 W/g,考察油炸时间(10, 15, 20, 25, 30 min)对香菇脆片破碎力的影响。

(2) 微波真空度:固定油炸时间为 20 min,微波功率密度为 1.5 W/g,考察微波真空度(0.065, 0.075, 0.085, 0.095 MPa)对香菇脆片破碎力的影响。

(3) 微波功率密度:固定油炸时间为 20 min,微波真空度为 0.085 MPa,考察微波功率密度(1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 W/g)对香菇脆片破碎力的影响。

1.3.3 响应面优化 根据单因素试验结果,以油炸时间、微波真空度和微波功率密度为自变量,根据 Box-Behnken 模型中心组合试验设计原理,以脂肪含量和破碎力为试验指标,设计三因素三水平响应面试验优化香菇脆片真空油炸—真空微波联合干燥工艺条件。

1.3.4 不同加工方法对比 比较两种香菇脆片产品的含油率、破碎力、感官评分指标。

(1) 真空油炸:油炸温度 80 ℃、真空度 0.095 MPa,脱水至含水率 5%。

(2) 真空油炸—真空微波:油炸温度 80 ℃、真空度 0.095 MPa、油炸时间 18.6 min;然后微波真空度 0.095 MPa、微波功率密度 2.0 W/g,脱水至含水率 5%。

1.4 指标测定

1.4.1 含水率 按 GB 5009.3—2016 执行。

1.4.2 含油率 按 GB 5009.6—2016 执行。

1.4.3 质构 采用物性测定仪测定香菇脆片的破碎力。将样品置于测定台上,不锈钢探头以恒定速率 10 mm/s 与样品接触,脆度以出现在下压探头第一次冲向样品过程中坐标图上的第一个明显压力峰值表示,峰值越小表明脆性越好,品质越佳,重复 3 次取平均值。

1.4.4 色差 利用 CIA-10 色差计进行测定。以仪器白板为标准,测量香菇脆片的色泽, L 代表黑白度从 0(黑色)到 100(白色), a 代表红绿色,正值为红色,负值为绿色, b 代表黄蓝色,正值为黄色,负值为蓝色。重复 3 次取平均值。

1.4.5 感官评定 感官评定小组以 10 名专业的经过训练的人员组成,采用 100 分制,对香菇脆片的色泽、松脆性、风味、外观和油腻感进行感官评定。评分越高,产品品质越好。真空油炸香菇脆片的感官评定标准见表 1。

1.4.6 数据处理 采用 OriginPro 8.5 软件进行绘图,采用 Design Expert 8.0.6 分析软件进行响应面优化数据分析处理。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 油炸时间对香菇脆片破碎力的影响 由图 1 可知,香菇脆片破碎力随油炸时间的延长逐渐减小,当油炸时间 ≥ 20 min 时,其减小趋势变得非常缓慢,与 Torres 等^[25]的研究结果一致,故选择油炸时间 20 min 作为零水平。真空油炸初期,由于细胞完整性被破坏,细胞自由扩散,细胞粘附减少,导致组织变软;随着真空油炸过程的进行,外部细胞的脱水和外壳的形成,使产品变脆。

2.1.2 微波真空度对香菇脆片破碎力的影响 由图 2 可知,

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation

项目	评定标准	得分
色泽	色泽鲜亮,白色或微黄,脆片色泽均匀一致	15~20
	黄白色,边缘略有褐色	10~15
	色泽暗黄	0~10
松脆性	酥脆可口,口感舒适,不粘牙	30~40
	酥脆略硬或略软,口感略粗糙,略有粘牙	20~30
	香菇过硬或过软,无油炸食品应有的酥脆,粘牙	0~20
风味	油炸食品的特殊香味和香菇特有的香气明显	7~10
	略带香菇香味	4~7
	无香菇香味,有异味	0~4
外观	香菇切面光滑饱满,膨化好无变形,几乎无破碎	7~10
	香菇略不光滑饱满,膨化略差稍有变形,略有破碎	4~7
	香菇表面粗糙,膨化度差变形严重,破碎严重	0~4
油腻感	无油腻感	15~20
	略有油腻感	10~15
	明显油腻感	0~10

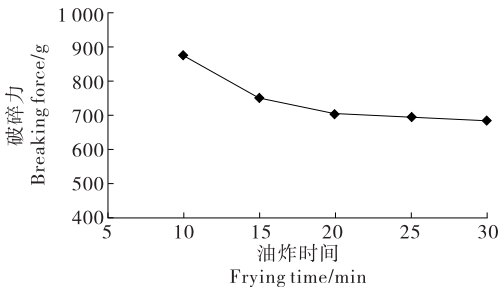


图 1 油炸时间对香菇脆片破碎力的影响

Figure 1 Effect of vacuum frying time on the breaking force of shiitake mushroom chips

破碎力随真空度的提高逐渐降低,当真空度 >0.085 MPa 时,破碎力下降趋势变慢,因此选择油炸真空度 0.085 MPa 为零水平。

2.1.3 微波功率密度对香菇脆片破碎力的影响 由图 3 可知,当功率密度为 1.5 W/g 和 2.0 W/g 时,香菇脆片的破碎力差别不大,但 1.5 W/g 条件下香菇脆片感官评分高于 2.0 W/g,故选择微波功率密度 1.5 W/g 为零水平。

2.2 响应面优化试验

2.2.1 试验设计及结果分析 在单因素试验的基础上,选取油炸时间、微波真空度和微波功率密度 3 个影响因素,以含油率和破碎力为优化指标,根据 Box-Behnken 模型中心组合试验设计原理,进行三因素三水平响应面优化试验设计,试验因素及水平见表 2,试验设计与结果见表 3。

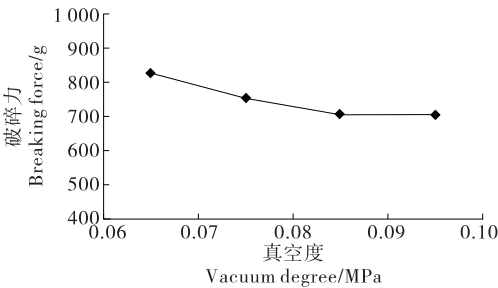


图 2 真空度对香菇脆片破碎力的影响

Figure 2 Effect of vacuum degree on the breaking force of shiitake mushroom chips

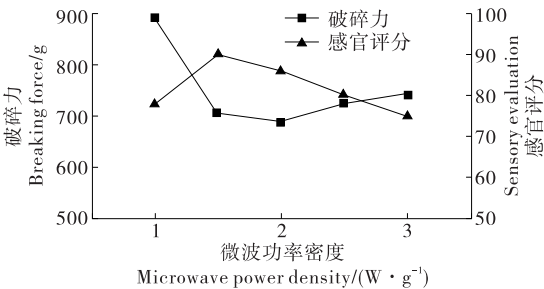


图 3 微波功率密度对香菇脆片破碎力和感官评分的影响

Figure 3 Effect of microwave power density on the breaking force and sensory evaluation of shiitake mushroom chips

表 2 响应面因素及水平

Table 2 The factors and levels for RSM of shiitake mushroom chips

水平	X ₁ 油炸时间/ min	X ₂ 微波真空度/ MPa	X ₃ 微波功率密度/ (W · g ⁻¹)
-1	15	0.095	1.0
0	20	0.085	1.5
1	25	0.075	2.0

表 3 响应面试验设计与结果

Table 3 The results of response surface analysis of vacuum fried-vacuum microwave shiitake mushroom chips

试验号	X ₁	X ₂	X ₃	含油率/%	破碎力/g
1	-1	0	-1	13.58	875.22
2	1	1	0	18.25	681.25
3	0	0	0	16.35	705.34
4	0	0	0	16.28	708.05
5	0	1	-1	17.05	750.18
6	-1	0	1	13.06	820.26
7	0	0	0	16.25	715.25
8	0	0	0	16.34	710.16
9	0	1	1	15.45	712.47
10	1	-1	0	19.86	728.86
11	1	0	-1	19.65	740.48
12	1	0	1	17.56	682.39
13	0	-1	1	16.52	754.25
14	0	0	0	16.35	717.24
15	-1	-1	0	14.24	858.65
16	0	-1	-1	17.35	765.72
17	-1	1	0	13.86	783.85

2.2.2 模型的建立及方差分析 软件分析得到各因素对含油率(Y₁)、破碎力(Y₂)的二次多项式回归方程分别为：

$$Y_1 = 16.314 - 2.5725X_1 - 0.42X_2 - 0.63X_3 - 0.3075X_1X_2 - 0.3925X_1X_3 - 0.1925X_2X_3 - 0.19575X_1^2 + 0.43425X_2^2 - 0.15575X_3^2, \quad (1)$$

$$Y_2 = 711.208 - 63.125X_1 - 22.46625X_2 - 20.27875X_3 + 6.7975X_1X_2 - 0.7825X_1X_3 - 6.56X_2X_3 + 42.9385X_1^2 + 9.006X_2^2 + 25.441X_3^2. \quad (2)$$

对该模型进行方差分析,结果见表 4、5。由表 4 可知,回归模型的 P<0.000 1,表明含油率与自变量之间的关系高度显著,失拟误差项 P>0.05,不显著,说明该模型误差相对较小,拟合度好。X₁、X₂、X₃、X₁X₂、X₁X₃和 X₂²对含油率影响极显著(P<0.01);X₂X₃、X₁²和 X₃²对含油率影响显著(P<0.05);模型相关系数 R²=0.998 3,表明该回归方程与试验结果具有较好的拟合度,可以用该方程表达含油率与油炸时间、微波真空度和微波功率密度之间的关系。

由表 5 可知,回归模型的 P<0.000 1,表明破碎力与自变量之间的关系高度显著,失拟误差项 P>0.05,不显著,说明该模型误差相对较小;X₁、X₂、X₃、X₁²和 X₃²对破碎力影响极显著(P<0.01),其他项均不显著;模型相关系数 R²=0.974 5,表明回归方程与试验结果具有较好的拟合度,可以用该方程表达破碎力与油炸时间、微波真空度和微波功率密度之间的关系。

表 4 香菇脆片含油率方差分析[†]

Table 4 AVOVA of fat content of shiitake mushroom chips

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	59.68	9	6.63	464.99	<0.000 1
X ₁	52.94	1	52.94	3 712.63	<0.000 1
X ₂	1.41	1	1.41	98.96	<0.000 1
X ₃	3.18	1	3.18	222.66	<0.000 1
X ₁ X ₂	0.38	1	0.38	26.52	0.001 3
X ₁ X ₃	0.62	1	0.62	43.21	0.000 3
X ₂ X ₃	0.15	1	0.15	10.39	0.014 6
X ₁ ²	0.16	1	0.16	11.31	0.012 0
X ₂ ²	0.79	1	0.79	55.68	0.000 1
X ₃ ²	0.10	1	0.10	7.16	0.031 7
失拟项	0.09	3	0.03	14.29	0.133 0
残差	0.10	7	0.01		
净误差	8.52E-003	4	2.13E-003		
总离差	59.78	16			

[†] R²=0.998 3。

表 5 香菇脆片破碎力方差分析[†]

Table 5 AVOVA of breaking force of shiitake mushroom chips

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	51 262.55	9	5 695.84	29.76	<0.000 1
X ₁	31 878.13	1	31 878.13	166.53	<0.000 1
X ₂	4 037.86	1	4 037.86	21.09	0.002 5
X ₃	3 289.82	1	3 289.82	17.19	0.004 3
X ₁ X ₂	184.82	1	184.82	0.97	0.358 5
X ₁ X ₃	2.45	1	2.45	0.01	0.913 1
X ₂ X ₃	172.13	1	172.13	0.90	0.374 6
X ₁ ²	7 763.01	1	7 763.01	40.55	0.000 4
X ₂ ²	341.51	1	341.51	1.78	0.223 4
X ₃ ²	2 725.24	1	2 725.24	14.24	0.007 0
失拟项	1 241.72	3	413.91	16.85	0.098 0
残差	1 339.94	7	191.42		
净误差	98.23	4	24.56		
总离差	52 602.49	16			

[†] R²=0.974 5。

2.2.3 响应面分析 由图 4 可知,在试验取值范围内,各曲面只有最小值,没有趋势拐点。微波真空度与微波功率密度的响应曲面较为平缓,等高线也显示区域颜色相同,含油率变化跨度很小,说明在油炸时间不变情况下,微波真空度和微波功率密度对产品含油率影响较小;油炸时间与微波真空度、油炸时间与微波功率密度的响应曲面较为陡峭,含油率随油炸时间的延长而升高,在试验

范围内可以获得含油率为最小值的点。

由图 5 可知,各因素的交互作用很明显。微波真空度与微波功率密度的响应曲面较为平缓,等高线也显示破碎力变化跨度很小,说明微波真空度和微波功率密度对产品破碎力影响小于油炸时间,在试验范围内可以获得破碎力为最小值的点。

2.2.4 验证实验 软件分析得到含油率最低的油炸参数为真空油炸时间 10 min、微波真空度 0.088 5 MPa、微波功率密度 2.0 W/g,此条件下香菇脆片的含油率为 13.10%,破碎力为 811.76 g;破碎力最小的油炸参数为真空油炸时间 26.6 min、微波真空度 0.095 MPa、微波功率密度 1.77 W/g,此条件下香菇脆片的含油率为 17.11%,破碎力为 671.92 g。为获得含油率较低和破碎力较小的香菇脆片,利用 Design Expert 8.0.6 分析软件进行数据分析,得到最佳条件为真空油炸时间 18.6 min、微波真空度 0.095 MPa、微波功率密度 2.0 W/g,此时模型预测的香菇脆片含油率为 15.09%,破碎力为 704.91 g。对最佳工艺条件进行验证实验($n=3$),测得此条件下香菇脆片的含油率为 15.18%,破碎力为 710.35 g,与预测值比较接近,

说明该模型预测香菇脆片真空油炸—真空微波联合干燥工艺是准确可行的。

2.3 不同加工方法的香菇脆片品质比较

由表 6 可知,与真空油炸相比,真空油炸—真空微波联合干燥香菇脆片的破碎力提高了(即脆度降低)5.93%,但含油率降低了 29.79%,联合干燥提高了香菇脆片的 L 值,感官评分增加了 11.38%。实际上,破碎力降低对脆度感官评价没有明显影响,联合干燥由于减少了油炸时间,从而提高了产品的色泽,降低了含油率,减少了油腻感,所以真空油炸—真空微波联合干燥香菇脆片品质明显优于真空油炸。

3 结论

对真空油炸—真空微波联合干燥香菇脆片工艺进行了响应面优化,获得的最佳联合干燥工艺为油炸温度 80 ℃、真空度 0.095 MPa、油炸时间 18.6 min;微波真空度 0.095 MPa、微波功率密度 2.0 W/g,脱水至含水率 5%。此条件下香菇脆片的含油率为 15.18%,破碎力为 710.35 g,与预测值(15.09%和 704.91 g)比较接近。与真

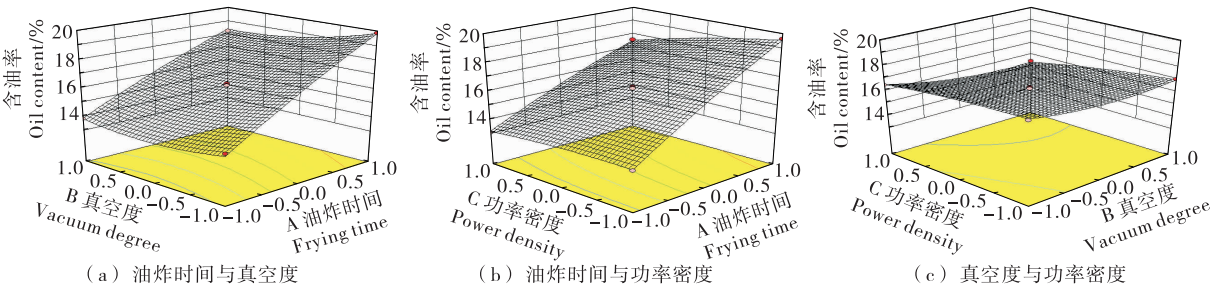


Figure 4 The surface of oil contents of shiitake mushroom chips

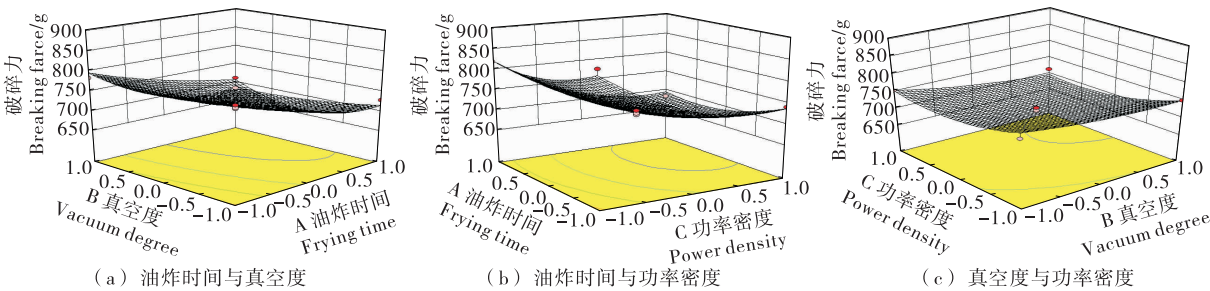


Figure 5 The surface of breaking forces of shiitake mushroom chips

表 6 香菇脆片品质比较[†]

Table 6 Quality of shiitake mushroom chips by different processing methods

处理方法	含油率/%	破碎力/g	感官评分	L	a	b
真空油炸	21.62±0.13 ^a	670.59±8.35 ^b	83.25±2.82 ^b	42.52±0.35 ^b	5.35±0.28 ^a	10.17±0.52 ^a
真空油炸—真空微波	15.18±0.08 ^b	710.35±9.27 ^a	92.72±2.75 ^a	47.31±0.51 ^a	5.18±0.15 ^a	9.98±0.29 ^a

[†] 字母不同表示有显著性差异($P<0.05$)。

空油炸香菇脆片相比,联合干燥产品破碎力提高了 5.93%,但含油率降低了 29.79%,感官评分增加了 11.38%。试验从工艺优化角度进行了真空油炸—真空微波联合干燥香菇脆片研究,未能深入揭示联合干燥香菇脆片品质形成机理,后续研究将探讨果蔬真空油炸—真空微波联合干燥传热传质规律与香菇脆片品质形成的关系。

参考文献

- [1] 韩宏伟, 谢博文, 许旦, 等. 漂烫对真空油炸银杏果品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 179-182.
- [2] AYUSTANINGWARNO F, DEKKER M, FOGLIANO V, et al. Effect of vacuum frying on quality attributes of fruits[J]. Food Engineering Reviews, 2018, 10: 1-11.
- [3] AFJEH F A, BASSIRI A, NAFCHI A M. Optimization of vacuum frying parameters in combination with osmotic dehydration of kiwi slices to produce healthy product[J]. Journal of Chemical Health Risks, 2014, 4(1): 207-216.
- [4] GRANDA C, MOREIRA R G, TICHY S E. Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying[J]. Journal of Food Science, 2010, 69(8): E405-E411.
- [5] BASUNY A M M, ARAFAT S M, AHMED A A A. Vacuum frying: An alternative to obtain high quality potato chips and fried oil[J]. Banats Journal of Biotechnology, 2012(1): 19-26.
- [6] DENG Kai-bo, CHEN Ji-yuan, TIAN Yu-ting, et al. Optimization of process variables on physical and sensory attributes of shiitake (*Lentinula edodes*) slices during vacuum frying[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 54: 162-171.
- [7] REN Ai-qing, PAN Si-yi, LI Wei-rong, et al. Effect of various pretreatments on quality attributes of vacuum-fried shiitake mushroom chips[J]. Journal of Food Quality, 2018, 2018: 1-7.
- [8] KUREK M, SCETAR M, GALIC K. Edible coatings minimize fat uptake in deep fat fried products: A review[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 71: 225-235.
- [9] MAITY T, BAWA A S, RAJU P S. Use of hydrocolloids to improve the quality of vacuum fried jackfruit chips[J]. International Food Research Journal, 2015, 22(4): 1 571-1 577.
- [10] SOTHORNVIT R. Edible coating and post-frying centrifuge step effect on quality of vacuum-fried banana chips[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 107: 319-325.
- [11] ZHU Yin-yin, ZHANG Min, WANG Ying-qiang. Vacuum frying of peas: Effect of coating and pre-drying[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(5): 3 105-3 110.
- [12] SU Ya, ZHANG Min, ZHANG Wei-ming, et al. Low oil content potato chips produced by infrared vacuum pre-drying and microwave-assisted vacuum frying[J]. Drying Technology, 2018, 36(3): 294-306.
- [13] ESAN T A, SOBUKOLA O P, SANNI L O, et al. Process optimization by response surface methodology and quality attributes of vacuum fried yellow fleshed sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) chips [J]. Food & Bioproducts Processing, 2015, 95: 27-37.
- [14] DIAMANTE L M, SAVAGE G P, VANHANEN L. Response surface methodology optimization of vacuum-fried gold kiwifruit slices based on its moisture, oil and ascorbic acid contents[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2013, 37(5): 432-440.
- [15] MAADYRAD A, TARZI G G, BASSIRI A, et al. Process optimization in vacuum frying of kiwi slices using response surface methodology[J]. International Journal of Research & Method in Education, 2011, 35(2): 219-220.
- [16] AKINPELU O R, IDOWU M A, SOBUKOLA O P, et al. Optimization of processing conditions for vacuum frying of high quality fried plantain chips using response surface methodology (rsm)[J]. Food Science and Biotechnology, 2014, 23(4): 1 121-1 128.
- [17] MOREIRA R G, SILVA P F D, GOMES C. The effect of a de-oiling mechanism on the production of high quality vacuum fried potato chips[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 92(3): 297-304.
- [18] 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): 1 143-1 149.
- [19] ZHANG Yang, ZHANG Ting-ting, FAN Da-ming, et al. The description of oil absorption behavior of potato chips during the frying[J]. LWT-Food Science & Technology, 2018, 26: 119-126.
- [20] ORIKASA T, KOIDE S, SUGAWARA H, et al. Applicability of vacuum-microwave drying for tomato fruit based on evaluations of energy cost, color, functional components, and sensory qualities[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(6): e13625.
- [21] 夏磊, 黄昭, 欧阳华峰, 等. 淮山微波真空干燥工艺优化及功能活性评价[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 188-194.
- [22] 杨晓童, 段续, 任广跃. 新型微波真空干燥机设计[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 93-96, 206.
- [23] 安可婧, 徐玉娟, 魏来, 等. 龙眼间歇真空微波干燥动力学研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(9): 30-36.
- [24] 吴涛, 宋春芳, 孟丽媛, 等. 黑莓微波真空干燥传热特性[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 54-60.
- [25] TORRES J, ALVIS A, ACEVEDO C D, et al. Optimization of vacuum frying conditions of eggplant (*Solanum melongena* L.) slices by response surface methodology[J]. Interciencia, 2017, 42(10): 683-691.