

响应面法优化油炸豌豆饼的加工工艺

张文莉^{1,2}, 陈瑞¹, 苗敬芝^{1,2*}

(1. 徐州工程学院 食品(生物)工程学院, 江苏 徐州 221018; 2. 徐州工程学院 江苏省
食品资源开发与质量安全重点建设实验室, 江苏 徐州 221018)

摘要:以豌豆、米粉为主要原料制作油炸豌豆饼, 探讨豌豆饼胚厚度、油炸温度和油炸时间3个单因素对其质构和感官评定的影响; 在此基础上, 以感官评分为指标, 采用Box-Benhnken响应面试验对工艺参数进行优化, 并测定最终产品的理化指标及微生物指标。研究表明: 豌豆饼胚厚度6 mm、油炸温度165 ℃、油炸时间3 min为最佳工艺参数。在此条件下油炸豌豆饼的感官评分为88.4分, 与理论预测值误差为0.23%, 表明建立的模型拟合度好, 工艺具有可行性。

关键词:豌豆饼; 油炸; 响应面; 工艺

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1000-9973.2021.01.022

文章编号: 1000-9973(2021)01-0107-05

Optimization of Processing Technology of Fried Pea Cake by Response Surface Method

ZHANG Wen-li^{1,2}, CHEN Rui¹, MIAO Jing-zhi^{1,2*}

(1. College of Food (Biological) Engineering, Xuzhou University of Technology, Xuzhou 221018, China; 2. Jiangsu Key Construction Laboratory of Food Resources Development and Quality Safe, Xuzhou University of Technology, Xuzhou 221018, China)

Abstract: Pea and rice flour are used as main raw materials to make fried pea cake. The effects of thickness, frying temperature and frying time on the texture and sensory evaluation of pea cake embryo are investigated. On this basis, with the sensory score as the index, the Box-Benhnken response surface test is used to optimize the process parameters. The physical indicators, chemical indicators and microbiological indicators of finished product are analyzed. The results show that the best processing parameters are the thickness of pea cake embryo of 6 mm, the frying temperature of 165 ℃, and the frying time of 3 min. Under these conditions, the sensory score of fried pea cake is 88.4, and the error is 0.23% with the theoretical value, which shows that the model fits well and the process is feasible.

Key words: pea cake; frying; response surface; process

豌豆(*Pisum sativum* L.), 又名青豆, 麦豌豆、荷兰豆等, 在豆科一年内攀援草本, 在我国的种植较为广泛, 尤以陕南山区盛产。豌豆中含有丰富的优质蛋白质以及人体所必需的氨基酸、矿物质和维生素等, 营养价值丰富^[1-3]。据中医学记载^[4]: “豌豆味甘, 性平, 无毒, 具有益气、通乳、利小便等功效”。

豌豆饼是一道传统名点, 色泽金黄, 酥脆可口,

味道清香, 深受各地区各类人群的欢迎, 特别适合老人、小孩及糖尿病患者食用。本研究以豌豆饼的质构、感官评价为指标^[5-10], 分别考察了豌豆饼胚厚度、油炸温度、油炸时间对油炸豌豆饼品质的影响, 再利用响应面分析法对其工艺进行优化^[11-13], 这将进一步促进传统油炸小食品的研究与开发以及工业化的进程。

收稿日期: 2020-06-28

* 通讯作者

基金项目: 徐州工程学院校级青年项目(XKY2018250); 江苏省科技项目(BE2017352)

作者简介: 张文莉(1990-), 女, 实验师, 硕士, 研究方向: 食品分析与检测;

苗敬芝(1964-), 女, 教授, 研究方向: 食品生物技术。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

豌豆、糯米、鸡蛋、菜籽油:均购于昆仑农贸市场;花椒粉、盐:均购于大润发超市。

石油醚、苯、2,4-二硝基苯肼、乙醇、氢氧化钾:均购于国药集团化学试剂有限公司;三氯乙酸、硫代硫酸钠等:均购于阿拉丁试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

FA2004 电子天平 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;丸美 MHGF-23F 油炸锅 广州市白云区财智厨房设备制造厂;TMS-PRO 质构仪 美国 FTC 公司。

1.3 方法

1.3.1 基本配方

豌豆 1200 g,糯米 350 g,盐 30 g,花椒粉 2 g,菜籽油 2300 g。

1.3.2 工艺流程

豌豆→清洗、浸泡→沥干

↓
糯米→浸泡→打浆→裹米浆→调味→制胚、油炸→冷却→待测。

1.3.3 操作要点

1.3.3.1 豌豆的预处理

精心挑选颗粒饱满、大小均匀、无虫粒、秕粒、霉粒的干豌豆粒,用清水洗去表面的灰尘和杂质,用凉水浸泡 24 h 至涨发,取出沥干表面水分。

1.3.3.2 米浆的制作

将糯米清洗干净,用温水浸泡 4 h,放入豆浆机中,按料水比 1:4 打成米浆,备用。

1.3.3.3 混料

将预处理好的豌豆粒加入到米浆,向其中加入称好的盐、花椒粉、馅料混合均匀。

1.3.3.4 制胚、油炸

向锅中加菜籽油,油面波动,气泡较多时,将调好的馅料添加到 12 cm 的平底铁勺内,然后用铲子压平到一定厚度,放入油中烫 5 s 后,成胚,然后将饼胚放入已设定温度的油锅中翻炸至熟。

1.3.3.5 冷却、检测

将豌豆饼捞出,沥油,冷却 5 min,测定各项指标。

1.3.4 单因素试验设计

1.3.4.1 豌豆饼胚厚度对成品品质的影响

试验过程中,分别制备厚度为 5,6,7,8,9 mm 的豌豆饼胚,在 165 °C 油温中翻炸,时间为 3 min,比较不同厚度产品对成品品质的影响。

1.3.4.2 油炸温度对成品品质的影响

试验过程中,制备 6 mm 的豌豆饼胚,分别在 155,160,165,170,175 °C 油温中翻炸,时间为 3 min,

比较不同温度对成品品质的影响。

1.3.4.3 油炸时间对成品品质的影响

试验过程中,制备 6 mm 的豌豆饼胚,在 165 °C 油温中翻炸,翻炸时间分别为 2,2.5,3,3.5,4 min,比较不同时间对成品品质的影响。

1.3.5 Box-Behnken 响应面试验设计

以豌豆饼胚厚度、油炸温度、油炸时间为自变量,以产品质构和感官评分为指标,设计响应面试验,因素与水平见表 1。

表 1 响应面试验因素水平表

Table 1 The factors and levels of response surface test

水平	因素		
	A 豌豆饼胚厚度(mm)	B 油炸温度(°C)	C 油炸时间(min)
-1	5	160	2.5
0	6	165	3
+1	7	170	3.5

1.3.6 豌豆饼指标的测定

1.3.6.1 感官评定

参照陈美花等^[14]的方法制定油炸豌豆饼的感官评定标准(见表 2)。由 10 位经过训练的食品专业学生组成感官评定小组,对产品的形态组织、颜色、滋味和口感进行综合评分,结果取平均值^[15]。产品的具体感官评分标准见表 2。

表 2 豌豆饼的评分标准

Table 2 The sensory evaluation standard of fried pea cake

项目	特征	得分
形态组织	完整圆形,造型均匀,无收缩,表面不起泡	21~30
	形状略不完整,薄厚基本均匀,泡点均匀	11~20
	形状不完整,薄厚不一,泡点不均匀	0~10
颜色	色泽金黄,均匀,亮度合适	21~30
	呈浅黄色或黄褐色,不太均匀,偏亮或偏暗	11~20
	呈淡淡的黄色或深褐色,不均匀,过亮或过暗	0~10
滋味和口感	鲜香酥脆,有筋道,风味佳	21~40
	油炸香味,较酥脆,风味一般	11~20
	油炸香味过淡或过重,不酥脆或太硬,风味不佳	0~10

1.3.6.2 油炸豌豆饼质构的测定

采用 TMS-PRO 物性分析仪测定油炸豌豆饼的硬度、脆性和咀嚼性,TPA 测试选取 P/0.5 为平底圆柱形探头,设置条件为:起始 0.3 N;测试速度 3 mm/s;形变量为 10%;探头回升到样品表面上的高度为 15 mm;力量感应元量程为 250 N。每组试验重复 3 次,取平均值。

1.3.6.3 油炸豌豆饼理化和微生物指标的检测

酸价:参照 GB 5009.229-2016 中的冷溶剂自动电位滴定法。过氧化值:参照 GB 5009.227-2016 中的滴定法。羰基值:参照 GB 5009.230-2016 中羰基价的测定方法。

1.3.7 数据处理

使用 Excel 2010 软件对数据进行统计分析并绘

制图表,用 Design-Expert 8.0.6 进行响应面分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 豌豆饼胚厚度对豌豆饼品质的影响

表 3 豌豆饼胚厚度对豌豆饼品质的影响

Table 3 The effect of the thickness of pea cake embryo on the quality of pea cake

豌豆饼胚厚度 (mm)	质构			感官评分(分)
	硬度(N)	脆性(N)	咀嚼性(mJ)	
5	23.35±0.83 ^a	11.16±0.31 ^a	0.81±0.02 ^{ab}	82.6±0.81 ^{bc}
6	16.90±0.90 ^b	8.55±0.21 ^b	1.23±0.03 ^a	85.5±1.32 ^a
7	16.07±0.11 ^b	7.39±0.24 ^c	0.70±0.02 ^b	83.8±1.00 ^{ab}
8	13.63±0.31 ^c	6.49±0.13 ^c	0.58±0.03 ^b	81.6±3.24 ^c
9	11.71±1.03 ^c	5.53±0.15 ^d	0.39±0.04 ^b	78.7±3.25 ^c

注:同列均值上不同字母表示差异显著(P<0.05),表 4 和表 5 同。

由表 3 可知,随着豌豆饼胚厚度的增加,豌豆饼的硬度和脆性呈现下降的趋势,咀嚼性呈现先增大后减小的趋势,这可能是由于在相同时间和温度下,饼胚太薄或太厚会导致糊化程度的过快或过慢,未达到理想的组织形态,吸油程度也会有所差异,当饼胚厚度为 6 mm 时,豌豆饼的感官评分最高,为 85.5 分。

2.1.2 油炸温度对豌豆饼品质的影响

表 4 油炸温度对豌豆饼品质的影响

Table 4 The effect of the frying temperature on the quality of pea cake

油炸温度 (°C)	质构			感官评分(分)
	硬度(N)	脆性(N)	咀嚼性(mJ)	
155	14.03±0.05 ^d	5.15±0.06 ^d	0.70±0.02 ^b	77.2±2.40 ^c
160	16.44±0.31 ^c	7.12±0.11 ^c	1.07±0.05 ^b	84.3±1.01 ^b
165	17.42±0.18 ^c	9.95±0.23 ^b	1.45±0.14 ^a	87.7±1.70 ^a
170	20.12±0.17 ^b	10.92±0.05 ^b	1.32±0.15 ^{ab}	82.6±1.83 ^b
175	24.37±0.21 ^a	13.98±0.12 ^a	1.27±0.11 ^b	79.3±1.44 ^b

由表 4 可知,随着油炸温度的增加,豌豆饼的硬度和脆性呈现逐渐增大的趋势,咀嚼性先上升后下降的趋势,这可能是由于油炸温度越高,油炸后的豌豆饼更容易焦枯^[16-17],没有良好的质地,品质较差,当油炸温度在 165 °C 时,感官评分最高,为 87.7 分。

2.1.3 油炸时间对豌豆饼品质的影响

表 5 油炸时间对豌豆饼品质的影响

Table 5 The effect of the frying temperature on the quality of pea cake

油炸时间 (min)	质构			感官评分(分)
	硬度(N)	脆性(N)	咀嚼性(mJ)	
2	12.86±0.35 ^d	7.26±0.12 ^d	0.63±0.06 ^b	79.5±0.82 ^c
2.5	14.13±0.21 ^c	9.13±0.16 ^c	0.82±0.08 ^b	83.4±1.69 ^b
3	16.75±0.33 ^b	10.98±0.12 ^b	1.18±0.05 ^b	86.6±2.89 ^a
3.5	17.75±0.20 ^b	12.43±0.19 ^b	1.31±0.08 ^b	81.1±1.36 ^{bc}
4	20.94±0.07 ^a	15.06±0.10 ^a	1.52±0.09 ^a	76.7±1.84 ^c

由表 5 可知,随着油炸时间的增加,豌豆饼的硬度

和脆性逐渐增大,咀嚼性呈现上升趋势,这可能是由于油炸时间过短或过长,豌豆饼未完全熟透或产品的吸油程度较大,导致其表层过软或过硬。当油炸时间为 3 min 时,豌豆饼的感官评分最高,为 86.6 分。

2.2 响应面试验结果分析

2.2.1 响应面试验结果

在单因素试验基础上,根据 Box-Behnken 中心组合设计了表 1 中 3 因素 3 水平的响应面试验,试验结果见表 6。

表 6 Box-Behnken 试验设计与结果

Table 6 Box-Behnken experimental design and results

试验号	编码水平			Y 感官评分(分)
	A	B	C	
1	0	-1	-1	82.7
2	-1	0	1	79.8
3	-1	-1	0	83.2
4	1	0	-1	83.4
5	0	1	-1	79.9
6	0	1	1	79.5
7	1	-1	0	80.7
8	0	0	0	87.9
9	1	1	0	81.2
10	-1	0	-1	83.7
11	0	0	0	89.5
12	0	0	0	88.3
13	0	-1	1	80.5
14	0	0	0	88.9
15	0	0	0	87.5
16	1	0	1	77.9
17	-1	1	0	82.1

使用 Design-Expert 8.0.6 软件对表 6 中试验数据进行多元回归拟合,各试验因子对感官评价可用如下函数表示。感官评分 $Y=88.42-0.70A-0.55B-1.50C+0.40AB-0.40AC+0.45BC-3.04A^2-3.59B^2-4.18C^2$ 。

表 7 回归模型方差分析

Table 7 Analysis of variance of regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	212.21	9	23.52	16.90	0.0006	**
A	3.92	1	3.92	2.81	0.1376	
B	2.42	1	2.42	1.73	0.2293	
C	18.00	1	18.00	12.90	0.0088	**
AB	0.64	1	0.64	0.46	0.5200	
AC	0.64	1	0.64	0.46	0.5200	
BC	0.81	1	0.81	0.58	0.4710	
A ²	38.78	1	38.78	27.79	0.0012	**
B ²	54.11	1	55.25	37.22	0.0005	**
C ²	72.43	1	54.11	38.78	0.0004	**
残差	9.77	7	1.40			
失拟项	7.24	3	2.41	3.82	0.1142	
纯误差	2.53	4	0.63			
总和	222.98	16				

注:“*”表示 P>0.05,影响不显著;“**”表示 P<0.01,影响极显著。

由表 7 可知, F 值为 16.90, 模型的 P 值小于 0.01, 表示该模型具有极显著性。失拟项 F 值为 3.82, 且 P 值为 0.1142 ($P > 0.05$), 即失拟项差异不显著。同时, 模型的相关系数 $R^2 = 0.9560$, 说明模型符合试验结果, 回归方程有效。此外, 由 F 值大小可知, 各因素对响应值的影响强弱顺序为: 油炸时间 > 饼胚厚度 > 油炸温度。C、 A^2 、 B^2 、 C^2 对响应值的影响极显著, 其余均不显著。

2.2.2 响应面交互作用分析

为了进一步考察影响豌豆饼感官评分的各因素之间的交互性, 采用 Design-Expert 8.0.6 软件对试验数据进行处理, 得到回归方程的响应面图, 见图 1。在控制其他因素不变的条件下, 分析其余两因素对感官评分的影响。

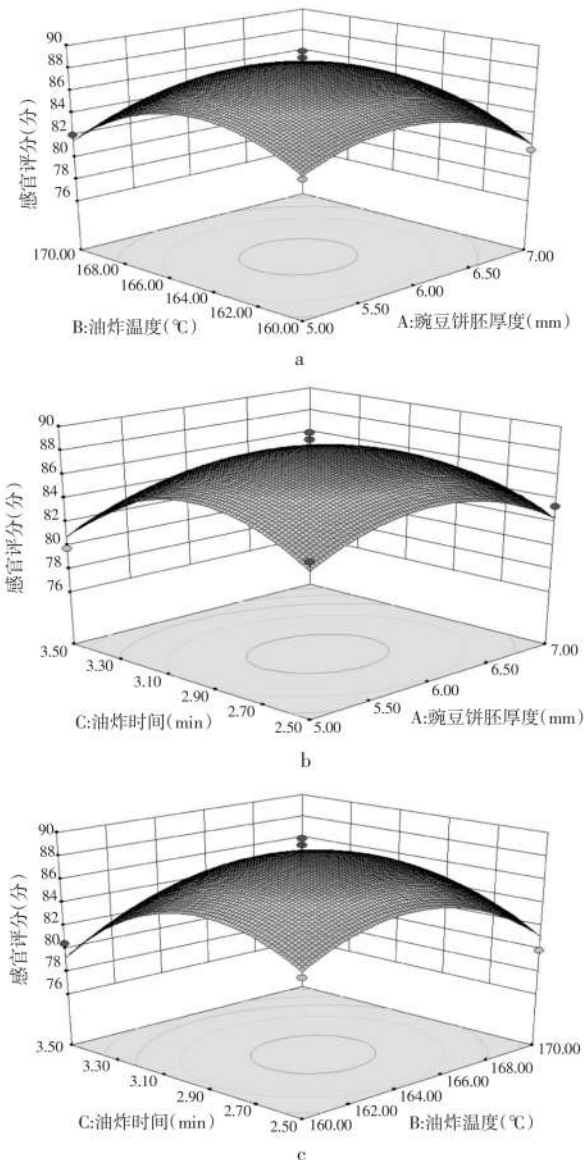


图 1 各因素交互作用的响应面图

Fig. 1 Response surface diagrams of the interaction of various factors

由图 1 可知, 所有响应面均呈凸起状, 各响应面的响应值随其对应的各因素值的增大而呈现先增加到极值而后减小或保持平衡; 该模型有稳定点, 即最大值^[1]。由图 1 可知, 各因素之间有一定的交互作用, 交互不显著。运用回归方程对油炸豌豆饼的工艺条件进行优化, 预测最佳工艺条件为: 豌豆饼胚厚度为 5.89 mm, 油炸温度为 164.53 °C, 油炸时间为 2.91 min。在此条件下, 油炸豌豆饼的感官评分的理论值为 88.6。根据实际制作的情况, 对最优工艺条件调整为豌豆饼胚厚度 6 mm, 油炸温度 165 °C, 油炸时间 3 min。

2.2.3 验证试验

为验证响应面的可行性, 采用上述调整后的工艺条件进行油炸豌豆饼的验证性试验, 并通过 3 组平行试验, 油炸豌豆饼的感官评分分别为 88.3、88.5、88.4 分, 平均感官评分为 88.4 分, 与理论计算值的误差为 0.23%, 表明该模型拟合度好, 有一定的参考价值。

2.3 豌豆饼的理化和微生物指标

根据 1.3 的方法, 测得豌豆饼的酸价、过氧化值和羰基值, 结果见表 8, 微生物指标见表 9。

表 8 豌豆饼理化指标

Table 8 The physical and chemical indexes of pea cake

项目	指标要求	测定结果
酸价(以脂肪计, KOH, mg/g)	≤3	2.15
过氧化值(以脂肪计, g/100 g)	≤0.25	0.18
羰基值(以脂肪计, meq/kg)	≤20	13

表 9 豌豆饼的微生物指标

Table 9 The microbial indexes of pea cake

项目	指标要求	测定结果
菌落总数(CFU/g)	≤1000	135
大肠杆菌(MPN/100 g)	≤30	未检出

由表 8 和表 9 可知, 该产品指标在国家标准 GB 16565—2003 油炸食品规定范围之内, 因此该产品为合格产品。

3 结论

本文通过单因素和响应面试验研究了豌豆饼胚厚度、油炸温度和油炸时间对油炸豌豆饼感官品质的影响, 得到的最佳工艺参数为: 豌豆饼胚厚度 6 mm, 油炸温度 165 °C, 油炸时间 3 min。在此条件下, 油炸豌豆饼的感官评分为 88.4 分, 且产品符合国家油炸小食品标准。

参考文献:

- [1] 张守文, 程宇. 豌豆的营养成分及在食品工业中的应用——有待进一步深入开发的食品配料[J]. 中国食品添加剂, 2014(4):154-158.

[2]王赛,李慧,孙婉婷,等.豌豆肽抗氧化性机制评析[J].食品科技,2019,44(10):306-310.
[3]裴亚琼,宋晓燕,杨念,等.豌豆淀粉的提取及其理化性质的研究[J].中国粮油学报,2014,29(9):24-28.
[4]俞小平.本草纲目精译[M].北京:科学技术文献出版社,1999.
[5]任凯,陶康,于政鲜,等.TPA 测试条件对豆腐质构测试结果的影响[J].中国调味品,2019,44(9):29-32,38.
[6]陈丽丽,张树峰,袁美兰,等.不同烹饪方式对脆肉鲩鱼肉营养成分的影响[J].中国调味品,2019,44(10):40-45.
[7]施帅,徐海洋,李志方,等.响应面法优化龙香芋谷物饼干配方[J].食品工业科技,2019,40(21):186-191.
[8]张文君,何慧,聂志奎,等.油炸藕片加工工艺和质构特性研究[J].食品科学,2012,33(10):141-145.
[9]滕瑜,王洪军,袁勇,等.大菱鲆鱼排加工工艺研究[J].中国调味品,2016,41(9):101-103,122.
[10]李娜,蔡鲁峰,秦丹.质构分析在葱油米饼品质评价中的应用研究[J].食品研究与开发,2017,38(22):35-37.

[11]程超,龙罗茜芝,陈业,等.响应面法优化荞麦酥性饼干配方[J].食品科技,2014,39(2):166-170.
[12]李伟荣,任爱清,陈国宝.响应面法优化真空油炸-热风联合干燥桃脆片工艺[J].食品科学,2011,32(4):117-120.
[13]赵钜阳,管舒,杜鑫,等.油煎工艺条件对香煎大麻哈鱼品质的影响[J].中国调味品,2020,45(2):54-57,63.
[14]陈美花,潘佳丽,翁文治.油炸温度和时间对外裹糊牡蛎品质的影响[J].食品与发酵工业,2017,43(12):124-129.
[15]乔学彬,王林.正交实验优化川式油炸兔肉工艺条件[J].中国调味品,2019,44(11):105-108.
[16]肖金玲,郭鑫,王月影,等.短时贮藏对油炸挂糊肉片品质特性的影响[J].中国调味品,2018,43(3):83-87.
[17]彭荣艳,程裕东,金银哲.油炸温度和时间对草鱼鱼片品质影响的研究[J].食品工业科技,2015,36(5):132-135,139.
[18]侯银臣,吕行,黄继红,等.脱脂麦胚发酵工艺条件优化[J].食品工业,2019,40(11):75-78.

(上接第 106 页)

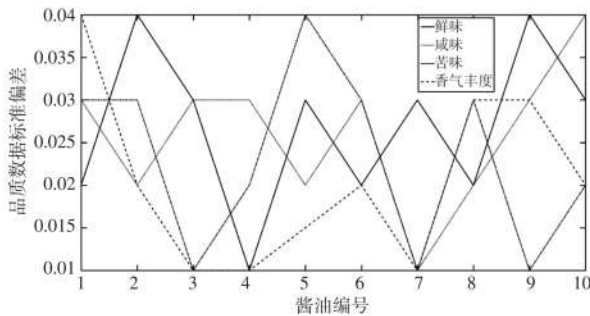


图 5 酱油不同味觉数据标准偏差

Fig. 5 Standard deviation of different taste data of soy sauce

在 4 种味觉数据中,至少有 3 组相对标准偏差小于 2% 时且标准偏差小于 1% 时,酱油品质定义为 A 级;有 $2\% < \text{相对标准偏差} < 3\%$ 时且标准偏差 $\leq 3\%$ 时,酱油品质定义为 B 级;其余参数定义为 C 级。

5 结论

本文以酱油品质鉴别过程为研究对象,采用味觉传感器系统进行酱油品质数据采集,利用卷积神经网络建立酱油品质数据识别模型。通过对 10 种品质不同的酱油进行鉴别验证,卷积神经网络可有效地在酱油品质鉴别过程中进行应用,同时利用该方式鉴别的酱油品质相对标准差及标准偏差,可用来确定酱油品质的不同等级。

参考文献:

[1]于江,刘永轩,于贞.有机酸对酱油品质的影响[J].中国调味品,2019,44(9):90-93.
[2]徐文龙.基于卷积神经网络的红枣外观品质分级方法研究[D].天津:天津工业大学,2019.

[3]郭建,伍学明,樊君,等.鲁氏酵母和球拟酵母不同接种方式对高盐稀态酿造酱油品质的影响[J].中国调味品,2019,44(2):100-104.
[4]王九清,邢素霞,王孝义,等.基于卷积神经网络与高光谱的鸡肉品质分类检测[J].肉类研究,2018,32(12):36-41.
[5]杨成聪,舒娜,张亦舒,等.基于电子鼻和 GC-MS 技术对市售酱油风味品质的评价[J].中国调味品,2018,43(10):151-155.
[6]魏永义,王萍,韩豪敏.酱油感官品质的排序检验研究[J].中国调味品,2017,42(7):137-138.
[7]丁城,刘璐,胡勇.基于神经网络模型预测辣椒提取液抗氧化性和亚硝酸盐清除率[J].中国调味品,2017,42(7):82-89.
[8]朱良宽,晏铭,黄建平.一种新型卷积神经网络植物叶片识别方法[J].东北林业大学学报,2020,48(4):50-53.
[9]徐力斌.基于遗传算法的神经网络对中国酱油分类建模研究[D].武汉:湖北工业大学,2015.
[10]牟灿灿,卢红梅,陈莉,等.发酵方式对薏仁碎米酱油品质的影响[J].中国调味品,2019,44(5):21-27.
[11]刘静怡.酱油酿造中铵盐的形成及对品质的影响[D].武汉:湖北工业大学,2019.
[12]袁江兰,陈晓敏,钟文秀,等.鲁氏酵母对米渣生酱油风味和抗氧化活性的增强效应[J].食品科学,2018,39(17):19-24.
[13]冷云伟,徐岩.采用 BP 神经网络优化酱油固态酿造条件[J].食品与生物技术学报,2016,35(5):471-476.
[14]堵锡华.人工神经网络法预测干黄挥发成分保留值[J].福州大学学报(自然科学版),2014,42(3):468-473.
[15]张如意,王学雷.基于 GRNN 和粒子群算法的酱油种曲培养条件优化[J].中国酿造,2012,31(7):110-113.
[16]杨兰.高盐稀态酱油发酵过程工艺优化及作用机理的研究[D].广州:华南理工大学,2010.