

真空油炸苹果脆片预处理工艺优化

王辉¹, 刘敏², 董楠¹, 陈朝军¹, 李俊¹, 刘嘉^{1,*}

(1. 贵州省生物技术研究所以, 贵州贵阳 550025;

2. 华中农业大学食品科学技术学院, 环境食品学教育部重点实验室, 湖北武汉 430070)

摘要: 为优化苹果脆片预处理工艺, 在单因素试验的基础上, 采用均匀设计法, 以破碎力、含油量、 L^* 值、感官评分、综合评分和电子鼻检测挥发性成分为指标, 对数据进行多元回归分析。结果表明: 破碎力经二次逐步回归分析, 达到极显著 ($P < 0.01$), 相关系数到达 0.960, 模型拟合度好; 经一次逐步回归分析, 感官评分、 L^* 值和综合评分达到显著水平 ($P < 0.05$), 含油量达到极显著水平 ($P < 0.01$); 浸渍液配比和漂烫温度影响产品感官评分和 L^* 值; 浸渍液配比、漂烫温度、漂烫时间和冷冻时间 4 个因素影响产品含油量和综合评分; 经偏最小二乘法回归分析, 得到模型预测最佳工艺为: 麦芽糖添加量 14%、蔗糖添加量 5%、麦芽糊精添加量 15.7%、漂烫温度 98 °C、漂烫时间 2 min、冷冻时间 3 h。在此工艺条件下, 样品的破碎力为 53.1 N、感官评分为 83.0、含油量为 17.2%、 L^* 为 89.9、综合评分为 89.6, 且样品风味品质最佳。

关键词: 苹果脆片, 真空油炸, 预处理, 回归分析

Optimization of Pretreatment Technique for the Vacuum Fried Apple Chips

WANG Hui¹, LIU Min², DONG Nan¹, CHEN Chao-jun¹, LI Jun¹, LIU Jia^{1,*}

(1. Biological Technology Institute of Guizhou Province, Guiyang 550025, China;

2. Key Laboratory of the Ministry of Education of Food Science and Environment, College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to optimize pretreatment technology of the vacuum fried apple chips. The single factor test and uniform design method were used, and crushing force, oil content, L^* value, sensory score, comprehensive score and electronic nose detection of volatile components as indicators were analyzed by multiple regression analysis. The results showed that after the secondary stepwise regression analysis, the crushing force reached extremely significant ($P < 0.01$), the correlation coefficient reached 0.960 and the model fit was good. Sensory score, L^* value and comprehensive score reached a significant level ($P < 0.05$) and the oil content reached an extremely significant level ($P < 0.01$) in a stepwise regression analysis. The impregnation concentration and blanching temperature influenced sensory score and L^* value of the product. The impregnation concentration, blanching temperature and time and freezing time affected the oil content and comprehensive score of the product. Partial least squares regression analysis predicted that the best process parameters were as follows: maltose 14%, sucrose 5%, maltodextrin 15.7%, blanching temperature 98 °C, blanching time 2 min, freezing time 3 h. Under the conditions of process, the crushing force was 53.1 N, the sensory score was 83.0, the oil content was 17.2%, L^* was 89.9, the comprehensive score was 89.6, and the flavor quality was best.

Key words: apple chips; vacuum frying; pretreatment; regression analysis

中图分类号: TS255.42

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2019)17-0184-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.17.030

引文格式: 王辉, 刘敏, 董楠, 等. 真空油炸苹果脆片预处理工艺优化[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 184-190.

苹果是蔷薇科植物苹果的果实, 与香蕉、柑橘和葡萄同称为世界四大水果, 在我国苹果的种植和产量均居世界首位, 截止 2016 年, 我国苹果的产量约为 4388 万吨^[1-3]。苹果的销售方式多样, 鲜销是全球苹果的主要消费方式, 占总量的 60% 以上, 剩余均以

苹果汁、苹果酒、苹果醋、苹果酱、果脯和苹果脆片等方式进行销售。苹果脆片是近几年兴起的一种新型苹果加工方式, 它是将苹果切片之后进行油炸、风干或真空脱水等干制方法, 得到含水率较低, 可长期贮藏的苹果加工制品, 是一种符合现今苹果加工产业

收稿日期: 2018-09-18

作者简介: 王辉(1989-) 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工、果蔬加工, E-mail: wanghui880101@163.com。

* 通讯作者: 刘嘉(1985-) 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工, E-mail: mcgrady456@163.com。

基金项目: 贵州特色果蔬脆片加工关键技术研究与应用示范项目([2018]2309); 薯蓣脆片太阳能热泵干燥技术研究与创新示范项目([2017]07)。

发展和市场需求,并能满足现代人饮食消费需要的休闲零食。

目前苹果脆片的加工方式主要包括非油炸苹果脆片(变温压差膨化、真空冷冻干燥、真空微波干燥)和油炸苹果脆片(常压高温油炸、真空低温油炸)两种类型。其中,油炸苹果脆片以其独特的口感和风味品质,成为了主要的加工方式,并深受大众喜爱^[4]。油炸苹果脆片可根据油炸方式分为常温油炸和低温真空油炸。经常压高温油炸的产品含油量高、产品原有的风味和营养物质被破坏,同时油的反复利用,使油中的成分发生聚合反应从而产生有毒物质,影响人们的身体健康^[5]。真空油炸的温度低于传统油炸,所用时间较短,能较好保存苹果脆片的风味和营养成分,降低产品的含油量,产品膨化度高,口感酥脆,同时,有效地降低油脂的劣化速度,提高油的利用率^[6]。油炸苹果脆片的品质不仅仅与油炸方式相关,更与原料的预处理方法、真空度、油炸温度和时间、脱油处理等方面有关,其中预处理工艺为产品的品质提高提供重要保障和奠定基础,主要包括漂烫、护色、浸渍和冷冻等工艺^[7]。通过预处理工艺,可以抑制酶促褐变的发生,增加风味物质和固形物含量、除去一部分水分,保持产品性状,降低产品的含油量^[8]。因此,真空油炸前对苹果原料进行预处理是必不可少的环节,也是必须研究的重要内容。

本文以苹果为原料,采用单因素实验与均匀设计试验相结合的方法^[9-10],对苹果脆片低温真空油炸预处理工艺进行探讨,以含油量、破碎力、 L^* 值、感官评价、综合评价和挥发性成分为指标,采用多元回归分析等统计方法对实验数据进行处理,优化苹果脆片低温真空油炸预处理工艺,以期对苹果深加工及研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

苹果 品种为红富士,购于甘肃静宁德美地缘林果专业合作社;棕榈油 益海嘉里粮油工业有限公司;蔗糖 贵阳市花溪区合力超市;麦芽糊精、麦芽糖 贵州赛兰博科技有限公司。

TMS-Pro 质构仪 北京盈盛恒泰科技有限公司;Nh310 色差仪 上海卡罗卡超仪器有限公司;电子鼻 北京盈盛恒泰科技有限公司;SOX500 脂肪测定仪 北京晨曦勇创科技有限公司;VF-80C 型真空油炸机 中山市维嘉真空机械厂;S-3400N 扫描电子显微镜 苏州佐藤精密仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 苹果脆片低温真空油炸工艺 原料→筛选→清洗→切片→漂烫→浸渍→沥水→预冻→真空油炸→脱油→样品。

1.2.2 预处理工艺单因素实验 以色差值、破碎力、感官评价、综合评价和挥发性成分为指标,考察切片厚度、漂烫温度、漂烫时间、浸渍液和冷冻时间对产品品质的影响。

固定漂烫温度为 80℃、漂烫时间 3 min、浸渍液(蔗糖 5% + 麦芽糖 15% + 麦芽糊精 12%)、浸渍时

间 40 min 和冷冻时间 3 h(-18℃),考察切片厚度为 3、5、7、9 mm 对产品品质的影响;固定切片厚度为 5 mm、漂烫时间 3 min、浸渍液(蔗糖 5% + 麦芽糖 15% + 麦芽糊精 12%)、浸渍时间 40 min 和冷冻时间 3 h(-18℃),考察漂烫温度为 70、80、90、100℃对产品品质的影响;固定切片厚度为 5 mm、漂烫时间 3 min、浸渍时间 40 min 和冷冻时间 3 h(-18℃),考察添加空白、蔗糖 5%、麦芽糖 15% + 麦芽糊精 12% 以及麦芽糖 15% + 麦芽糊精 12% + 蔗糖 5% 4 种不同浸渍液对产品品质的影响;固定漂烫温度为 80℃、漂烫时间 3 min、浸渍液(蔗糖 5% + 麦芽糖 15% + 麦芽糊精 12%) 和浸渍时间 40 min,冷冻时间为 1、2、3、4 h 对产品品质的影响。

经样品预处理后进行同等条件的真空油炸和脱油,二者参数为:真空度 0.098 MPa、油炸温度(88 ± 2)℃、时间 32 min、离心脱油转速 400 r/min、时间 6 min。

1.2.3 苹果脆片预处理工艺优化研究 在单因素实验基础上,选择浸渍液、漂烫温度、漂烫时间和冷冻时间 4 个预处理工艺进行 $U_{10}(10^2 \times 5 \times 2)$ 混合水平均匀设计的方案,见表 1。其中,浸渍液为 10 个组,1~5 组为麦芽糖和蔗糖分别为 14% 和 5%,麦芽糊精添加量为 8%、10%、12%、14% 和 16%;6~10 组为麦芽糊精和蔗糖分别为 14% 和 5%,麦芽糖添加量为 8%、10%、12%、14% 和 16%;漂烫时间分别为 2、3、4、5 和 6 min;漂烫温度分别为 80、82、84、86、88、90、92、94、96、98℃;冷冻时间为 2 和 3 h。以色差值、破碎力、感官评价、综合评价和挥发性成分为指标,对所得试验数据进行多元回归分析。

表 1 均匀设计试验因素水平 $U_{10}(10^2 \times 5 \times 2)$

Table 1 Factors and levels used in uniform design $U_{10}(10^2 \times 5 \times 2)$

试验号	X_1 浸渍液 配比 (%)	X_2 漂烫 温度 (℃)	X_3 漂烫 时间 (min)	X_4 冷冻 时间 (min)
1	1	2	3	4
2	2	4	6	8
3	3	6	9	1
4	4	8	1	5
5	5	10	4	9
6	6	1	7	2
7	7	3	10	6
8	8	5	2	10
9	9	7	5	3
10	10	9	8	7

1.2.4 含油量测定 参照 GB/T 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》中索氏抽提法,由 SOX500 脂肪测定仪测定。

1.2.5 破碎力的测定 采用 TPA 法测定破碎力,使用 P/36R 圆柱形探头,65% 的压缩比例,触发力 0.15 N,30 mm/min 测试速率下降距离 20 mm。每个样品平行测定 6 次取平均值^[11]。

表2 苹果脆片官评定标准

Table 2 Criteria for sensory evaluation of apple chips

项目	具体描述	分值
形态(30分)	片形完整,无碎片。	24~30
	片形较完整,有少量大碎片。	17~23
	片形不完整,有少量碎片。	9~16
	片形不完整,有大量碎片。	0~8
色泽(20分)	淡黄色,色泽均匀,无油炸过焦色泽。	16~20
	淡黄色,色泽较均匀,无油炸过焦色泽。	11~15
	黄色,色泽一般,有轻微的油炸过焦色泽。	6~10
	黄色,色泽不均匀,较重的油炸过焦色泽。	0~5
香气(20分)	具有苹果加工后的特有香气,香气浓郁,无异味。	16~20
	具有苹果加工后的香气,香气较浓郁,无异味。	11~15
	有苹果加工后的香气,香气一般,无明显异味。	6~10
	无苹果加工后的香气,异味明显。	0~5
口感(30分)	酥脆性好,无油腻感,无焦苦味和哈刺味。	24~30
	酥脆性较好,无油腻感,无焦苦味和哈刺味。	17~23
	酥脆性一般,有油腻感,有焦苦味或哈刺味。	9~16
	酥脆性差,油腻感重,有焦苦味和哈刺味。	0~8

1.2.6 色差的测定 对不同实验组样品的亮度 L^* 、红绿值 a^* 和黄绿值 b^* 进行测定,每个样品平行测定6次取平均值^[12]。

1.2.7 电子鼻风味的测定 分别取3g苹果脆片样品放入电子鼻专用顶空瓶内,采用手动顶空进样法对苹果脆片挥发性物质进行测定^[13]。以干燥空气为载气,流速为300 mL/min,样品采样时间60s,清洗时间60s,采样间隔时间5s,自动调零时间10s。

1.2.8 苹果脆片感官评价 选定12名左右感官评价人员进行一定培训后,以表2为标准对真空低温油炸脆片进行100分感官评价试验^[14]。

1.2.9 综合加权评分 将感官品质最好的定为100分,将其权重系数设为30;破碎力越小越好,最低破碎力定为100分,设其权重系数设为20;含油量越小越好,含油量定为100分,设其权重系数设为30,亮度值 L^* 越大越好,定为100分,设其权重系数设为20。依据试验,以感官评分的最大值计为30分,其相应计分为(N_1 /感官评分 max) \times 30;以破碎力的最低值计为20分,其相应计分为(破碎力 min/ N_2) \times 20;以含油量的最低值计为30分,其相应计分为(含油量 min/ N_3) \times 30;以亮度值的最大值计为20分,其相应计分为(N_4 /亮度值 max) \times 20。max: 最大值;min: 最小值。

综合评分 = (N_1 /感官评分 max) \times 30 + (破碎力 min/ N_2) \times 20 + (含油量 min/ N_3) \times 30 + (N_4 / L^* max) \times 20

式中: N_1 为感官评分值; N_2 为破碎力; N_3 为含油量; N_4 为 L^* 值。

1.2.10 电镜分析 将干燥后的苹果脆片切成3mm \times 3mm \times 1mm的薄片,贴在扫描电镜的样品台上,喷金后观察^[15]。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel2016 软件对实验数据进行

分析及制图,并采用 SPSS 20、DPS 7.5 等软件,对数据进行逐步回归等多元统计分析。显著水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 预处理工艺对苹果脆片品质影响的研究

2.1.1 预处理对苹果脆皮品质的影响 表3为预处理工艺的单因素实验,分析各预处理条件对产品破碎力、感官评价、含油率、 L^* 和综合评分的影响。破碎力受切片厚度的影响较大,当切片厚度大于7mm时,破碎力为零,产品呈现海绵似软片,主要由于产品内部的水分不能快速蒸发,内部纤维结构受破坏程度小,导致产品发软^[16-17]。各预处理条件对感官评价存在显著影响($P < 0.05$)。含油量除漂烫时间和浸渍液配比呈显著影响($P < 0.05$)外,其他处理条件无显著影响($P > 0.05$)。苹果脆片含油量随着漂烫时间的延长呈现先降低后增加的趋势,这主要是热烫时间过久破坏原料组织成分,在后续的油炸过程中,油脂易进入组织内部^[18]。浸渍液配比试验中,含麦芽糊精组含油率相对较低,主要是由于麦芽糊精分子可凝聚在苹果脆片的表面,阻碍油脂的进一步渗透,降低含油量^[19-21]。 L^* 值除切片厚度无显著影响外,其余处理条件对 L^* 均有显著影响($P < 0.05$)。漂烫使苹果中引起褐变的多酚氧化酶和过氧化物酶失活。Krokida等^[22]研究表明:漂烫使样品中可溶性糖溶出,减少样品油炸时发生美拉德反应。 L^* 值在烫漂温度100℃时达到最大值,可能此时温度大于淀粉糊化温度,减少美拉德反应中还原性糖,同时,引起褐变的各种酶类失活,提高了产品的亮度^[23-24]。综合评分除冷冻时间无显著影响外,其余呈显著性影响($P < 0.05$)。综合评分为破碎力、感官评价、含油率和 L^* 值的加权平均值,以综合评分最高值为最终指标进行因素筛选。

2.1.2 预处理对苹果脆片挥发性成分的影响 图1

表3 预处理对苹果脆片品质的影响
Table 3 Effect of retreatment on the quality of apple

预处理方式	水平	破碎力(N)	感官评价	含油量(%)	L^*	综合评分
切片厚度 (mm)	3	69.5 ± 3.2 ^a	73.4 ± 3.7 ^b	28.27 ± 3.3 ^a	74.9 ± 4.1 ^a	71.4 ± 0.6 ^c
	5	18.2 ± 1.2 ^b	82.2 ± 4.6 ^a	27.64 ± 1.9 ^a	74.8 ± 8.9 ^a	75.2 ± 1.1 ^a
	7	0 ^c	79.0 ± 3.9 ^{ab}	27.23 ± 4.2 ^a	68.8 ± 4.2 ^a	72.9 ± 0.3 ^b
	9	0 ^c	58.5 ± 2.9 ^c	23.26 ± 1.4 ^a	70.5 ± 1.2 ^a	70.0 ± 1.4 ^{bc}
烫漂温度 (℃)	70	60.4 ± 6.1 ^c	61.5 ± 0.5 ^c	29.43 ± 1.7 ^a	63.4 ± 0.5 ^b	84.5 ± 0.9 ^c
	80	70.2 ± 4.8 ^b	76.3 ± 1.3 ^b	28.31 ± 2.0 ^a	68.8 ± 3.6 ^{ab}	89.8 ± 1.2 ^b
	90	90.6 ± 5.2 ^a	82.0 ± 2.1 ^a	26.64 ± 1.4 ^a	69.4 ± 1.4 ^{ab}	90.3 ± 0.4 ^b
	100	56.3 ± 1.4 ^c	84.8 ± 3.4 ^a	27.52 ± 0.5 ^a	74.8 ± 4.8 ^a	99.0 ± 0.7 ^a
烫漂时间 (min)	1	102 ± 5.1 ^a	69.3 ± 1.1 ^b	32.5 ± 1.0 ^{ab}	65.8 ± 3.3 ^c	81.3 ± 1.1 ^c
	3	66.3 ± 1.4 ^c	78.7 ± 2.2 ^a	29.6 ± 2.1 ^b	79.8 ± 2.9 ^a	96.7 ± 2.3 ^a
	5	55.5 ± 1.2 ^d	64.5 ± 1.3 ^c	34.6 ± 1.9 ^a	72.4 ± 2.6 ^b	88.5 ± 2.5 ^b
	7	79.3 ± 2.5 ^b	72.2 ± 1.5 ^b	30.4 ± 1.4 ^b	72.1 ± 2.6 ^b	89.0 ± 1.2 ^b
浸渍液配比	空白	54.5 ± 1.5 ^c	69.2 ± 1.2 ^c	31.4 ± 2.5 ^a	74.7 ± 1.9 ^a	82.3 ± 1.1 ^c
	S	85.6 ± 3.2 ^a	76.6 ± 2.3 ^b	32.6 ± 2.0 ^a	69.0 ± 2.2 ^b	76.5 ± 1.6 ^d
	M + MD	44.1 ± 3.0 ^d	74.7 ± 3.7 ^b	30.4 ± 1.8 ^a	71.0 ± 1.0 ^b	87.5 ± 2.1 ^b
	S + M + MD	71.4 ± 2.8 ^b	85.9 ± 2.4 ^a	22.6 ± 1.4 ^b	70.3 ± 1.3 ^b	91.1 ± 1.3 ^a
浸渍时间 (min)	10	54.2 ± 4.3 ^d	72.3 ± 2.2 ^b	26.0 ± 3.7 ^a	76.2 ± 1.2 ^{ab}	92.1 ± 1.2 ^a
	20	102.4 ± 1.9 ^a	82.1 ± 1.4 ^a	25.2 ± 2.0 ^a	72.9 ± 4.1 ^{bc}	86.5 ± 2.7 ^b
	30	95.3 ± 4.4 ^b	71.4 ± 2.0 ^b	24.9 ± 3.3 ^a	68.1 ± 3.7 ^c	82.3 ± 1.5 ^b
	40	80.6 ± 2.5 ^c	83.7 ± 1.8 ^a	23.6 ± 2.1 ^a	80.7 ± 2.9 ^a	93.5 ± 3.1 ^a
冷冻时间 (h)	1	107.0 ± 2.3 ^b	71.3 ± 1.6 ^c	29.76 ± 3.2 ^a	76.2 ± 2.1 ^b	92.9 ± 2.6 ^a
	2	97.4 ± 1.6 ^q	76.5 ± 2.1 ^b	28.95 ± 2.8 ^a	72.9 ± 1.8 ^b	96.6 ± 2.1 ^a
	3	101.1 ± 1.2 ^e	80.0 ± 1.8 ^a	29.28 ± 2.4 ^a	68.1 ± 2.7 ^c	95.8 ± 2.0 ^a
	4	113.7 ± 3.1 ^a	77.2 ± 2.5 ^{ab}	30.64 ± 3.5 ^a	80.7 ± 1.6 ^a	94.4 ± 2.6 ^a

注: S 代表蔗糖; M 代表麦芽糖; MD 代表麦芽糊精; 该表是同种因素不同水平间的方差分析, 其中相同字母表示差异不显著, 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$); 表 4 同。

为不同预处理工艺对苹果脆片风味物质的影响, 对不同预处理工艺对苹果脆片风味物质进行主成分分析 (principal component analysis PCA)。在 PCA 法分析中, 总贡献率越大, 越能较全面地反映试样整体信息^[25]。根据样品在横纵坐标轴上的距离判断样品风味物质之间的差异性, 距离越远, 差异越大。横坐标表示第一主成分贡献率的大小, 且贡献率 (或权重) 较大, 因此, 如果不同样品之间在横坐标上的距离差距较大, 说明它们之间的差异较明显; 而样品在纵坐标上的距离即使很大, 由于第二主成分的贡献率 (或权重) 很小, 不同样品之间的实际差异较小^[26]。由图 1 可知, 切片厚度、漂烫温度、漂烫时间、浸渍时间、浸渍物配比和冷冻时间的总贡献率分别为 97.48%、99.67%、99.08%、99.16%、97.56% 和 98.15%, 均大于 80%, 能反样品整体信息。根据图 1 中样品在横坐标上距离的差异, 选择距离相对较远同时结合综合评分可知, 选择切片厚度 5 mm、漂烫温度为 100 ℃、漂烫时间为 3 min、浸渍时间为 40 min、浸渍物配比为蔗糖 5% + 麦芽糊精 12% + 麦芽糖 15% 和冷冻时间为 2 h 进行后续均匀试验。

2.2 均匀设计结果分析

2.2.1 直观分析 采用混合水平均匀设计方案进行 $U_{10}(10^2 \times 5 \times 2)$ 进行试验, 研究各因素与破碎力、感

官评分、含油量和 L^* 值的关系, 如表 4 所示。破碎力以 8 号最低, 脆度最好, 其次为 10、9 和 4 号; 感官评分以 10 号最高, 其次为 4 和 5 号; 含油量以 9 号最低, 其次以 10 和 4 号; L^* 值以 3 号最高, 其次为 10 号。综合评分为 4 个指标的加权平均值, 以综合评分进行总体分析可知: 10 号综合评分最高, 其次分别为 4 和 9 号, 因此就直观分析可知: 10 号实验组为最佳预处理工艺, 即浸渍物添加量为麦芽糖 14% + 蔗糖 5% + 麦芽糊精 16%、漂烫温度为 96 ℃、漂烫时间为 4 min、冷冻时间为 2 h。

2.2.2 逐步回归分析 对实验指标进行逐步回归分析, 建立指标模型结果见表 5。破碎力 Y_1 在一次回归方程时未达到显著水平 ($P > 0.05$), 因此进行二次回归分析, 达到极显著 ($P < 0.01$), 相关系数 $r = 0.960$, 方程模型拟合度好。未达到显著水平可能是由于其他因素的交互作用^[27], 如: 漂烫时间和漂烫时间等。感官评分 Y_2 、 L^* 值和综合评分在一次逐步回归分析时达到显著水平 ($P < 0.05$), 影响感官评分的主要因素为浸渍物浓度、漂烫温度和冷冻时间; 影响 L^* 值的主要因素浸渍物浓度、漂烫温度和漂烫时间; 影响综合评分的主要因素浸渍物浓度、漂烫温度、漂烫时间和冷冻时间 4 个因素; 含油量 Y_3 在一次逐步回归分析时达到极显著水平 ($P < 0.01$), 相关系数 $r = 0.952$, 模型拟合度好, 浸渍物浓度、漂烫温度、漂烫时间和

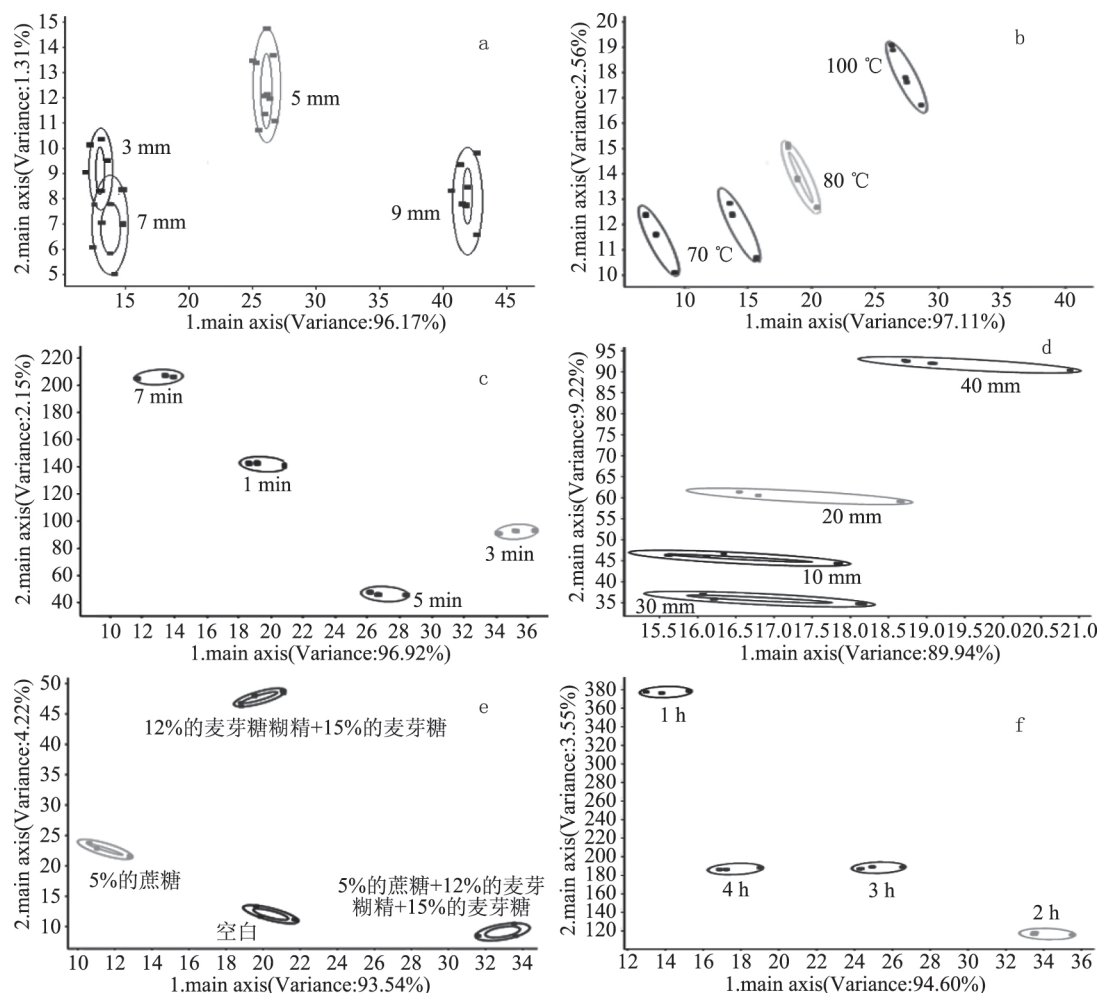


图1 不同预处理工艺对产品风味的影响

Fig.1 Effects of different pretreatment processes on flavor of products

注: a: 切片厚度; b: 漂烫温度; c: 漂烫时间; d: 浸渍时间; e: 浸渍物配比; f: 冷冻时间。

表4 均匀设计实验结果

Table 4 Uniform design with experimental results

实验号	因素				结果				
	X_1	X_2	X_3	X_4	破碎力(N) Y_1	感官评分 Y_2	含油量(%) Y_3	L^* Y_4	综合评分 Y_5
1	M 14% + S 5% + MD 8%	82	4	3	98.8 ± 3.3 ^b	30.5 ± 2.4 ^g	34.1 ± 0.3 ^a	64.4 ± 4.2 ^d	57.5 ± 0.4 ^g
2	M 14% + S 5% + MD 10%	86	2	3	88.8 ± 4.1 ^c	50.5 ± 1.9 ^f	28.5 ± 0.6 ^b	71.2 ± 3.7 ^e	71.3 ± 1.2 ^e
3	M 14% + S 5% + MD 12%	90	5	2	80.7 ± 2.7 ^d	74.4 ± 1.4 ^b	25.7 ± 1.1 ^{bc}	80.6 ± 2.9 ^a	85.8 ± 0.9 ^c
4	M 14% + S 5% + MD 14%	94	2	2	73.4 ± 3.8 ^e	83.6 ± 0.8 ^a	22.4 ± 0.4 ^{cd}	73.1 ± 2.4 ^{bc}	92.2 ± 1.1 ^b
5	M 14% + S 5% + MD 16%	98	5	2	108.9 ± 2.5 ^a	76.5 ± 1.1 ^b	24.2 ± 0.6 ^{cd}	76.9 ± 0.1 ^{abc}	83.4 ± 1.4 ^d
6	MD 14% + S 5% + M 8%	80	3	3	103.3 ± 1.8 ^b	29.7 ± 3.5 ^g	33.7 ± 0.7 ^a	59.4 ± 3.3 ^d	55.4 ± 0.7 ^h
7	MD 14% + S 5% + M 10%	84	6	3	104.1 ± 2.1 ^{ab}	61.4 ± 2.9 ^d	35.2 ± 0.2 ^a	71.6 ± 1.7 ^{bc}	69.0 ± 0.8 ^f
8	MD 14% + S 5% + M 12%	88	3	3	60.4 ± 2.5 ^g	66.5 ± 2.3 ^c	28.2 ± 0.1 ^b	72.8 ± 0.5 ^{bc}	84.1 ± 1.1 ^{cd}
9	MD 14% + S 5% + M 14%	92	6	2	68.2 ± 1.9 ^{ef}	67.1 ± 1.8 ^c	20.9 ± 0.4 ^d	76.6 ± 1.6 ^{abc}	90.7 ± 0.4 ^b
10	MD 14% + S 5% + M 16%	96	4	2	66.45 ± 4.7 ^f	84.5 ± 1.2 ^a	21.2 ± 0.1 ^d	77.2 ± 5.4 ^{ab}	96.9 ± 1.5 ^a

冷冻时间4个因素对样品含油量均有影响。

以综合评分 Y_5 是破碎力、感官评价、含油量和 L^* 值的综合加权值,因此以综合评分 Y_5 参数进行偏最小二乘法回归分析,得到模型预测最佳工艺为麦芽糖添加14%、蔗糖添加量5%、麦芽糊精添加量15.7%、漂烫温度97.99℃、漂烫时间2 min、冷冻时间3 h。偏最小二乘法回归分析与直观分析的最佳工艺在漂烫时间和冷冻时间有一定的差异,为筛选最佳

工艺,将二者进行对比分析。

2.2.3 直观分析与偏最小二乘法回归分析组预处理工艺验证实验 在两种预处理工艺条件下,苹果脆皮样品的破碎力、感官评价、含油量、 L^* 值和综合得分见表6,回归分析组除感官评分低于直观分析组外,其余指标均优于直观分析。

2.2.4 对比直观分析与偏最小二乘法回归分析的显微镜观察 结果见图3。

表5 指标模型

Table 5 Model parameters

指标	模型	相关系数 r	P 值
Y_1	$336.084 - 76.115X_2 - 4.184X_1X_1 + 2.714X_1X_2 + 2.281X_3X_4$	0.960	0.006**
Y_2	$-124.433 + 4.833X_1 + 0.463X_2 - 1.667X_4$	0.903	0.012*
Y_3	$14.812 - 1.981X_1 + 0.607X_2 + 0.989X_3 + 6.412X_4$	0.952	0.008**
Y_4	$-18.468 - 1.211X_1 + 1.384X_2 + 1.309X_3$	0.854	0.039*
Y_5	$55.756 + 1.342X_1 + 0.142X_2 - 1.459X_3 - 8.285X_4$	0.925	0.024*

表6 最佳工艺对比及验证

Table 6 Comparison and verification of the optimized process conditions

组别	破裂力(N)	感官评价	含油量(%)	L^*	综合评分
直观分析组	66.6	84	22.7	78.3	86.1
回归分析组	53.1	83	17.2	89.9	89.6

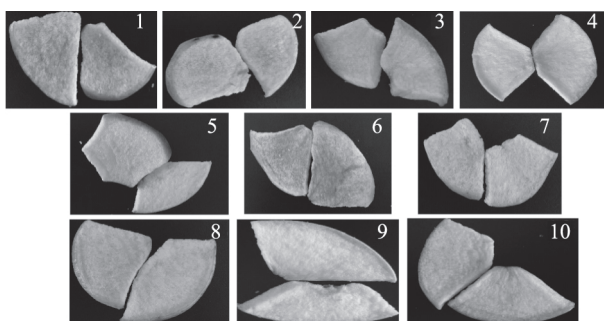


图2 均匀设计实验结果

Fig.2 Uniform design with experimental results

对比两种分析得到最佳预处理工艺的样品微观结构,由图3可知,由偏最小二乘法回归分析得到的最佳预处理样品较直观分析预处理样品组织结构更为疏松,样品孔径较大且均匀,利于产品形成大疏松、变形小或无变形及脆片表面无起泡现象等,口感酥脆,产品品质较好^[28-29]。两种预处理工艺的差异在于漂烫温度、漂烫时间和冷冻时间,从而引起微观结构的不同。回归分析组漂烫温度相对较高,时间较短(98℃ 2 min 3 h),漂烫时对产品组织损伤较小,经冷冻处理后形成均匀的冰晶,油炸时与水分急剧从内部喷发而出快速脱水,从而在苹果内部形成疏松多孔的结构。直观分析组漂烫温度相对较低,漂烫时间较长(96℃ 4 min 2 h),造成样品组织结构被破坏,经冷冻处理后形成在组织内部形成大小不一的冰晶,油炸时,水分从被迫坏部位喷发出,从而形成不均匀的多孔的结构,由最佳预处理工艺的验证和微观结构分析可知,回归分析优于直观分析,因此苹果脆片最佳预处理工艺为:麦芽糖添加14%、蔗糖添加量5%、麦芽糊精添加量15.7%,漂烫温度98℃,漂烫时间2 min,冷冻时间3 h。

3 结论

采用单因素实验和均匀实验设计对苹果脆片预处理工艺进行优化,单因素结果表明:切片厚度影响产品破碎力,即脆度,厚度越大,产品脆度越低,最后呈现海绵状产品;漂烫工艺阻断酶促褐变的发生,提高产品色差值,同时,引起苹果的风味物质发生分解与合成,影响产品风味;浸渍工艺中糖液填充了苹果

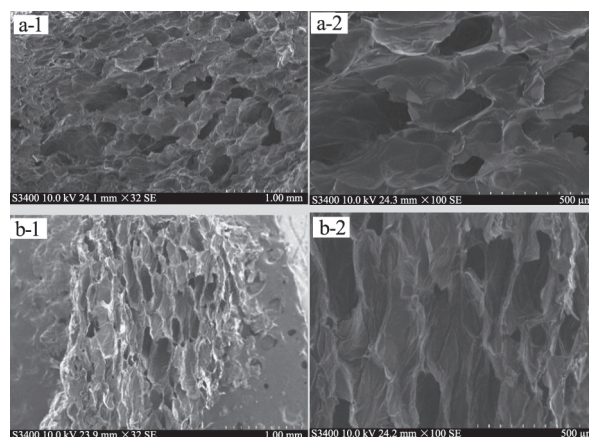


图3 直观分析与偏最小二乘回归组的微观结构观察

Fig.3 Microscopic structure observation of visual analysis and partial least squares regression analysis

注:a-1与a-2代表偏最小二乘回归分析组的预处理工艺;

b-1与b-2代表直观分析组的预处理工艺;

1表示放大32倍 2表示放大100倍

脆片的内部空隙,提高了产品固形物含量、色差值和脆度,冷冻工艺提高了产品脆度。均匀实验得到了直观分析与回归分析两种不同预处理工艺,通过验证试验和电镜分析表明:偏最小二乘法回归分析优于直观分析,模型预测最佳工艺为:麦芽糖添加14%、蔗糖添加量5%、麦芽糊精添加量15.7%,漂烫温度98℃,漂烫时间2 min,冷冻时间3 h。在此条件下样品的破碎力为53.1 N、感官评分为83.0、含油量为17.2%、 L^* 为89.9、综合评分89.6,且样品组织结构疏松,孔径较大且均匀,表面无起泡现象、变形小或无变形,口感酥脆,风味品质最佳。

参考文献

- [1] Shi Y, Li J, Li Z, et al. Dynamic changes in proteins during apple (Malus x domestica) fruit ripening and storage [J]. Horticulture Research 2014, 1: 6.
- [2] 吴忠. 苹果片气体射流冲击干燥技术研究[D]. 西安: 陕西师范大学 2017.
- [3] 中华人民共和国国家统计局. 中国年鉴[G]. 北京: 中国统计出版社 2017.

- [3]屠鹏,边红霞.基于电特性的苹果干燥品质检测[J].食品科学 2018,39(9):13-18.
- [4]Su Y,Zhang M,Bhandari B,et al.Enhancement of water removing and the quality of fried purple-fleshed sweet potato in the vacuum frying by combined power ultrasound and microwave technology[J].Ultrasonics Sonochemistry 2018,44:368-379.
- [5]李志雅,李清明,苏小军,等.果蔬脆片真空加工技术研究进展[J].食品工业科技 2015,36(17):384-387.
- [6]Mariscal M,Bouchon P.Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices[J].Food Chemistry 2007,107(4):1561-1569.
- [7]王钰.真空低温脱水蒜片工艺的研究[D].南京:南京农业大学 2012.
- [8]张树禄.低温真空油炸生产马铃薯脆片的过程研究及其品质控制[D].淄博:山东轻工业学院 2009.
- [9]方开泰,王元.均匀设计与均匀设计表[M].北京:中国科学出版社,1994.
- [10]Jie W U,Fei Z,Jing X U.Optimization on the extraction of polysaccharides from fructus corni using uniform design[J].Procedia Engineering 2011,24(1):484-489.
- [11]肖敏,易建勇,毕金峰,等.不同聚合度糖渗透对苹果片干燥特性及品质的影响[J].食品科学 2017,38(9):53-58.
- [12]巨浩羽,肖红伟,白峻文,等.苹果片的中短波红外干燥特性和色泽变化研究[J].农业机械学报,2013,44(s2):186-191.
- [13]Qiu S,Wang J,Gao L.Qualification and quantisation of processed strawberry juice based on electronic nose and tongue[J].LWT-Food Science and Technology 2015,60(1):115-123.
- [14]候春辉,易建勇,毕金峰,等.添加辅料对压差闪蒸联合干燥马铃薯复合脆片品质的影响[J].中国粮油学报 2018,33(2):74-81,88.
- [15]谢静,赵阿丹,熊善柏,等.干燥方式对酥脆香菇品质的影响[J].食品科学 2012,33(13):87-91.
- [16]康巧娟.紫甘薯真空油炸工艺研究[D].杭州:浙江工商大学 2012.
- [17]Su Y,Zhang M,Zhang W,et al.Ultrasonic microwave -

- assisted vacuum frying technique as a novel frying method for potato chips at low frying temperature[J].Food & Bioproducts Processing 2018(108):95-104.
- [18]殷玲,常诗洁,赵立艳,等.低温油炸与冷冻干燥生产草菇脆片的特性[J].食品科学 2017,38(22):192-199.
- [19]马征祥.杏鲍菇脆片工艺优化及产品开发研究[D].泰安:山东农业大学 2016.
- [20]王敏.杏鲍菇真空低温脱水工艺研究及产品开发[D].南京:南京农业大学 2012.
- [21]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 & Biotechnology 2014,23(4):1121-1128.
- [22]Krokida,M K,Oreopoulou V,Maroulis Z B,et al.Colour changes during deep fat frying[J].Journal of Food Engineering,2001(48):219-225.
- [23]P García-Segovia,A M Urbano-Ramos,S Fiszman,et al.Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried cassavachips(*Manihot esculenta* Crantz)[J].Food Science and Technology 2016(69):515-521.
- [24]陈集元.真空油炸香菇脆片加工工艺的研究[D].福州:福建农林大学 2016.
- [25]曾辉,刘璇,吴昕烨,等.基于电子鼻技术的不同苹果品种香气的表征与识别[J].食品与发酵工业,2016,42(4):197-203.
- [26]Sehwag S,Upadhyay R,Mishra H N.Assessment of thermo-oxidative rancidity in sunflower oil and fried potato chips stabilised with oleoresin sage(*Salvia officinalis* L.) and ascorbyl palmitate by altered triglycerides and electronic nose[J].International Journal of Food Science & Technology 2017.
- [27]李玉龙,杨烨,陆国权.基于均匀设计和主成分分析的甘薯薯片油炸工艺优化[J].食品科学 2017,38(4):223-230.
- [28]徐飞,钮福祥,张爱君,等.真空油炸果蔬脆片常见质量缺陷分析[J].安徽农业科学 2006,34(10):2249-2251.
- [29]刘静,杜广全,管晓.基于近红外光谱的果蔬脆片品质评价方法研究[J].分析科学学报 2017,33(1):71-75.

(接第 195 页)

- immunochromatographic strip[J].Analytical Chemistry 2008,80(18):7029-7035.
- [25]李鑫.基于免疫分析的农产品真菌毒素混合污染同步检测技术研究[D].北京:中国农业科学院 2014.
- [26]李阳,王云龙.免疫层析技术的研究进展[J].中国卫生检验杂志 2015,25(22):3978-3980.
- [27]Bailey R E,Smith A M,Nie S M.Quantum dots in biology and medicine[J].Physica E-Low-dimensional Systems and Nanostructures 2004,25(1):1-12.
- [28]周耀锋,熊斯诚,江湖,等.量子点荧光微球免疫层析试纸条定量检测玉米中赭曲霉毒素 A[J].分析化学 2015,43(12):1837-1843.
- [29]韩四海,张卫卫,李璇,等.基于量子点的食源性致病菌快速检测方法研究进展[J].食品安全质量检测学报 2015,6(12):4767-4774.
- [30]Bruchez M,Moronne M,Gin P,et al.Semiconductor

- nanocrystals as fluorescent biological labels[J].Science,1998,281(5385):2013-2016.
- [31]Chan W,Nie S.Quantum dot bioconjugates for ultrasensitive nonisotopic detection[J].Science,1998,281(5385):2016-2018.
- [32]Niemeyer C M.Nanoparticles,proteins,and nucleic acids: Biotechnology meets materials science[J].Angewandte Chemie International Edition 2001,40(22):4128-4158.
- [33]Alivisatos P.The use of nanocrystals in biological detection[J].Nature Biotechnology 2004,22(1):47-52.
- [34]黄萍,颜仰东,李东辉.量子点荧光探针在生物医学研究中的应用进展[J].世界华人消化杂志,2007,15(20):2175-2180.
- [35]蒋飞荣,贾文婷,张兴荣,等.荧光量子点探针及其标记技术[J].生命科学 2010,22(4):391-395.
- [36]孙亚宁,胡晓飞,邓瑞广,等.赭曲霉毒素 A 人工抗原的合成与鉴定[J].食品工业科技 2011,32(5):172-175.