

响应面法优化糖渍山药姜片工艺及其质构特性

芦宇¹, 焦天慧¹, 李萌萌¹, 崔芷萌¹, 王维民², 宋丹¹, 孙彤¹, 吕长鑫^{1,*}, 励建荣^{1,*}

(1.渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁省食品安全重点实验室,
生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁锦州 121013;
2.大连中超食品有限公司, 辽宁大连 116400)

摘要:以生姜为原料,通过煮制、糖渍、干燥及包裹山药粉等工艺制得糖渍姜片。以感官评分为评价指标进行单因素实验,选取对糖渍姜片感官品质影响较大的煮制时间、糖渍时间及卡拉胶添加量3个因素进行Box-Behnken实验设计,采用响应面法优化糖渍姜片工艺并对其质构特性进行分析。结果表明:糖渍姜片最优条件为姜片厚度4 mm,煮制10 min,添加1.2 mg/mL的K-卡拉胶经糖渍11 min,60 ℃干燥4 h,感官评分为85.5分;此时物性指标为硬度22731.70 N,弹性0.46 mm,凝聚性0.45,胶着度10527.90 N,咀嚼性5176.96 N·mm。糖渍姜片软硬适中,具有生姜山药双重营养。

关键词:生姜,糖渍,质构,响应面,山药

Optimization of suger-infused ginger slices technology by response surface methodology and its texture properties

LU Yu¹, JIAO Tian-hui¹, LI Meng-meng¹, CUI Zhi-meng¹, WANG Wei-min²,
SONG Dan¹, SUN Tong¹, LV Chang-xin^{1,*}, LI Jian-rong^{1,*}

(1.Food Science and Engineering Institute of Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province,
National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control
Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China;
2.Dalian Zhongchao Food Co., Ltd., Dalian 116400, China)

Abstract: Ginger was taken as main material in this study. The processing of suger-infused ginger slices includes cooking, suger infusing, drying and wrapping yam powder. The factors cooking time, suger infusing time, and concentration of k-carrageenan were chosen to optimize processing of suger-infused ginger slices by response surface methodology. The results showed that: the sensory evaluation score was 85.5 while ginger thickness, cooking time, concentration of k-carrageenan, suger infusing time, drying temperature, drying time were 4 mm, 10 min, 1.2 mg/mL, 11 min, 60 ℃, 4 h. Using the physical device on texture profile analysis of the suger-infused ginger slices, the hardness was 22731.70 N, the flexibility was 0.46 mm, the cohesiveness was 0.45, the adhesive nature was 10527.90 N, chewiness was 5176.96 N·mm, and product sense perception was best.

Key words: ginger; suger infused; texture profile; response surface; yam

中图分类号: TS255.36 文献标识码: B 文章编号: 1002-0306(2017)18-0189-07

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.18.036

生姜(ginger)是姜科姜属多年生草本植物。生姜中富含钙、铁等微量元素和多种维生素,具有温中止呕,温肺止咳,促进血液循环,消炎抗菌等作用,是一种药食同源的保健佳品^[1]。以生姜为原料开发具有开胃健脾、驱寒解毒功效的健康食品符合当前人们对营养健康的需求。现有的生姜产品有姜茶、姜脯、姜汁饮料、姜汁软糖、姜奶茶、生姜精油、姜油树

脂、生姜蛋白酶和红糖姜片等^[2-3],生姜制品市场尚有广阔的发展空间;山药不仅营养丰富且具有健脾、补肺、固肾、益精等功效^[4-6]。本文以生姜为原料开发一种新型休闲食品——糖渍姜片,将山药粉和糖粉按比例混合,将其均匀覆盖于糖渍姜片上以赋予产品多重营养,不仅能够丰富生姜制品市场,而且满足消费者对新型产品的需求。

收稿日期:2017-02-27

作者简介:芦宇(1992-),女,在读硕士研究生,研究方向:农产品加工及贮藏研究,E-mail:luyu08088@163.com。

* 通讯作者:吕长鑫(1965-),男,硕士,教授,主要从事农产品贮藏加工与食品资源开发方面的研究,E-mail:lvchangxin6666@163.com。

励建荣(1964-),男,博士,教授,主要从事生鲜食品(水产品 and 果蔬)贮藏加工及质量安全方面的研究,E-mail:lijr6491@163.com。

基金项目:国家重点研发计划专项(2016YFD0400805)。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

生姜、山药 市售;麦芽糖浆 黄龙食品工业有限公司;K-卡拉胶 连云港友进食品添加剂技术开发有限公司;饮用水 凌海市凌河泉饮用水有限公司;白砂糖 沈阳含饴食品有限公司;以上材料 均为食品级。

UV2700 紫外分光光度计 日本岛津公司;TA-XT-PLUS 质构仪 英国 Stable Micro Systems 公司;GT100X 震动球磨仪 北京格瑞德曼仪器设备有限公司;HPP.L2-600/0.6 超高压 天津市华泰森森生物工程有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 糖渍山药姜片工艺流程

生姜→挑选→清洗→去皮→切片→煮制→预干燥→修整→
糖渍→干燥→裹粉→二次干燥→杀菌→成品。

↑ ↑
K-卡拉胶 混合粉

1.2.2 操作要点 挑选肉质肥厚、表面无缺陷的鲜嫩生姜,清洗后去皮,切片,经沸水煮制,在 60 ℃ 下预干燥 2 h 后取出修整,250 mL 麦芽糖浆与水 1:1 混匀后添加 K-卡拉胶,将姜片放入煮沸糖浆中,取出后一定温度下干燥 1 h,将混合粉均匀敷在姜片表面,继续干燥一段时间,取出装入蒸煮袋真空封口,经 500 MPa 杀菌 10 min。

挑选表皮无霉、无机械损伤的新鲜山药,洗净后去皮,切成 4 mm 薄片,采用热风干燥法在 60 ℃ 下干燥 6 h,取出研磨后过 100 目筛,制得山药粉备用^[7]。

将白砂糖经 1200 r/min 研磨 2 min 过 100 目筛,山药粉和糖粉按 2:1 的比例混合好备用。

1.2.3 单因素实验

1.2.3.1 切片厚度确定 取 5 份厚度分别为 3、4、5、6、7 mm 的姜片各 200 g,放入沸水中煮制 10 min,取出后在 60 ℃ 的条件下预干燥 2 h,取出进行修整,将麦芽糖浆与水 1:1 混匀后,添加 1.0 mg/mL K-卡拉胶,待糖浆沸腾后,将预干燥后的姜片放入其中熬煮 10 min,在 60 ℃ 下干燥 1 h,取出待冷却后裹粉,再继续干燥 4 h,装入蒸煮袋,真空封口机进行封口,经 500 MPa 杀菌 10 min。测定其水分含量和感官评分。

1.2.3.2 煮制时间确定 取 5 份厚度为 4 mm 的姜片各 200 g,分别放入沸水中煮制 5.0、7.5、10、12.5、15.0 min,取出后在 60 ℃ 的条件下预干燥 2 h,取出进行修整,将麦芽糖浆与水 1:1 混匀后,添加 1.0 mg/mL K-卡拉胶,待糖浆沸腾后,将预干燥后的姜片放入其中熬煮 10 min,在 60 ℃ 下干燥 1 h,其他操作同 1.2.3.1。测定其水分含量、姜辣素浓度及感官评分。

1.2.3.3 K-卡拉胶添加量确定 取 5 份厚度为 4 mm 的姜片各 200 g,放入沸水中煮制 10 min,取出后在 60 ℃ 的条件下预干燥 2 h,取出进行修整,将麦芽糖浆与水 1:1 混匀后,分别按 0、0.5、1.0、1.5、2.0 mg/mL 添加 K-卡拉胶,待糖浆沸腾后,将预干燥后的姜片放入其中熬煮 10 min,在 60 ℃ 下干燥 1 h,其他操作同 1.2.3.1。测定其水分含量、感官评分和质构。

1.2.3.4 熬煮时间确定 取 5 份厚度为 4 mm 的姜片

各 200 g,放入沸水中煮制 10 min,取出后在 60 ℃ 的条件下预干燥 2 h,取出进行修整,将麦芽糖浆与水 1:1 混匀后,添加 1.0 mg/mL K-卡拉胶,待糖浆沸腾后,将预干燥后的姜片放入其中分别熬煮 5、7.5、10、12.5、15 min 后,在 60 ℃ 下干燥 1 h,其他操作同 1.2.3.1。测定其水分含量和感官评分。

1.2.3.5 二次干燥温度确定 取 5 份厚度为 4 mm 的姜片各 200 g,放入沸水中煮制 10 min,取出后在 60 ℃ 的条件下预干燥 2 h,取出进行修整,将麦芽糖浆与水 1:1 混匀后,添加 1.0 mg/mL K-卡拉胶,待糖浆沸腾后,将预干燥后的姜片放入其中熬煮 10 min,分别在 50、55、60、65、70 ℃ 条件下干燥 1 h,其他操作同 1.2.3.1。测定其水分含量和感官评分。

1.2.3.6 二次干燥时间确定 取 5 份厚度为 4 mm 的姜片各 200 g,放入沸水中煮制 10 min,取出后在 60 ℃ 的条件下预干燥 2 h,取出进行修整,将麦芽糖浆与水 1:1 混匀后,添加 1.0 mg/mL K-卡拉胶,待糖浆沸腾后,将预干燥后的姜片放入其中熬煮 10 min,在 60 ℃ 条件下干燥 1 h,取出待冷却后裹粉,再分别干燥 2、3、4、5、6 h,其他操作同 1.2.3.1。测定其水分含量和感官评分。

1.2.4 响应面优化实验 在单因素实验基础上,选取对感官评分影响较大的 3 个因素(煮制时间、卡拉胶浓度、糖渍时间)为考察因素,以感官评分为响应值,采用响应面法优化糖渍姜片工艺,实验因素水平见表 1。

表 1 响应面实验因素水平表

Table 1 Factors and levels table of response surface methodology

水平	因素		
	A 煮制时间 (min)	B 卡拉胶浓度 (mg/mL)	C 糖渍时间 (min)
-1	7.5	0.5	7.5
0	10.0	1.0	10.0
1	12.5	1.5	12.5

1.2.5 测定方法

1.2.5.1 含水率测定 测定方法参照 GB 50093-2010《食品安全国家标准-食品中水分的测定》^[8]。

1.2.5.2 感官评分 Oey 等^[9]研究表明,产品的色泽、风味和组织状态对消费者感官和接受度有重要影响。根据产品的色泽、形态、口感和气味进行综合评分,优选 10 名评价员,按照感官评定标准对样品进行评分,感官评定标准见表 2。

1.2.5.3 质构测定 采用质地多面分析糖渍姜片的硬度、弹性、粘聚性和咀嚼度等物性指标。选取 P/50 直径为 50 mm 圆柱形探头,测试参数如下:预压速度 1 mm/s,下压速度 0.5 mm/s,返回速度 1 mm/s,糖渍姜片受压变形 60%,两次压缩停顿时间为 5 s,触发力为 5 g,每项指标测定 5 次^[10]。

1.2.5.4 姜辣素含量测定 姜辣素是生姜的主要呈味物质,其含量直接影响姜的品质^[11]。目前姜辣素尚无纯品,但因香草醛与姜辣素结构相似,且最大吸

表2 糖渍姜片感官评分标准
Table 2 The sensory scoring criteria of suger ginger

色泽(25 分)	形态(25 分)	口感(30 分)	气味(20 分)
姜片呈白色或淡黄色, 姜片表面糖粉色泽均匀 (21~25 分)	姜片表面相对平整, 有弹性(21~25 分)	保持姜固有姜辣味,有嚼劲且软硬适中, 清甜微辣,姜味浓郁,黏度适中 (26~30 分)	有山药气味, 无焦糊味和其它气味 (16~20 分)
姜片呈白色或淡黄色, 姜片表面糖粉色泽较均匀 (16~20 分)	姜片表面卷曲,无弹性 (16~20 分)	保持姜固有的姜辣味,稍有嚼劲 且软硬适中,辣味大于甜味,黏度较大 (21~25 分)	有山药气味, 有轻度焦味 (11~15 分)
姜片呈暗褐色,姜片表面糖粉 不均匀,发生褐变 (0 分~15 分)	姜片表面严重卷曲, 质地坚硬 (0~15 分)	没有嚼劲且口感较硬, 过甜,黏度大 (0~20 分)	有山药气味, 有重度焦味 (0~10 分)

收波长一致^[12],故实验中选用香草醛作为对照。参照陈莉华^[13]等人的测定方法得到香草醛回归方程 $y = 0.0627x - 0.01$, $R^2 = 0.9991$ 。吸取 1 mL 待测液至 10 mL 容量瓶中,用无水乙醇定容,以无水乙醇作空白,在 280 nm 下测定吸光度,根据下式计算姜辣素浓度:

姜辣素浓度(mg/mL) = $\frac{2.001 \times C \times V_0}{V_1 \times 10^3}$

式中:C-香草醛浓度,μg/mL;2.001-姜辣素的换算系数;V₀-测定样品液总体积,mL;V₁-吸取样品提取液的体积,mL。

1.2.6 数据处理 上述实验每组均重复3次,单因素取平均值作图,采用 Office 办公软件作图, IBM SPASS Statistics 22.0 软件进行方差分析;利用 Design -Expert 8.0.1 软件进行响应面数据分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 物料厚度对产品含水率及感官评价的影响 随着切片厚度的增加,糖渍姜片的含水率逐渐上升。由图 1 可知,切片厚度在 4~5 mm 时含水率上升缓慢。在厚度为 4 mm 的条件下感官评分最高 82.33 分,厚度超过 4 mm 时感官评分明显下降。切片厚度越大,糖渍姜片水分散失越慢,切片厚度对糖渍姜片的感官评分有较大影响。因此选择 4 mm 为最佳切片厚度。

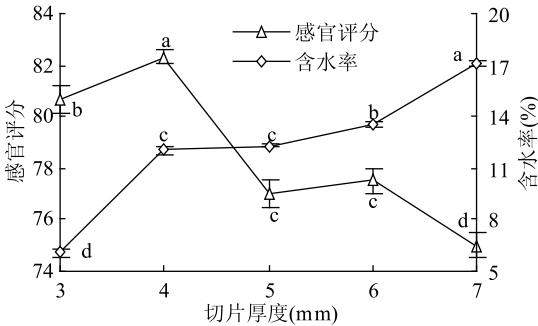


图1 切片厚度对感官评分、含水率的影响

Fig.1 The influence of slice thickness on sensory evaluation score and the moisture content

注:图中同组内不同字母表示存在显著性差异 (p < 0.05),图2~图10 同。

2.1.2 煮制时间对产品含水率、姜辣素浓度及感官评价的影响 煮制时间对生姜辛辣味影响较大,从而影响感官评分,且姜辣素是生姜的主要呈味物质,因此选择姜辣素作为指标考察煮制时间对产品影响。由图 2 和图 3 可知,随着煮制时间延长,含水率呈先上升后趋于平缓的趋势,姜中的姜辣素随之溶出,水中的姜辣素呈上升趋势。煮制时间过短,糖渍姜片口感辛辣,而煮制时间过长,失去生姜原有风味,糖渍姜片的感官评分呈先升高后下降趋势,煮制时间为 10 min 时,风味最佳,感官评价最好。因此,确定煮制时间为 10 min。

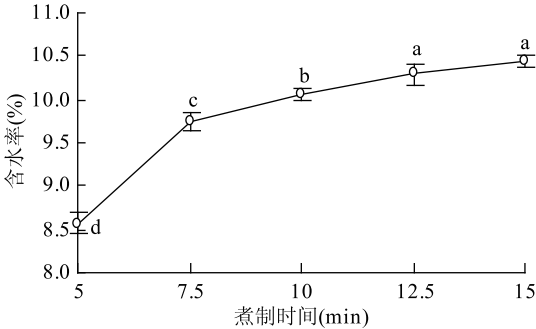


图2 煮制时间对含水率的影响

Fig.2 The influence of cooking time on moisture content

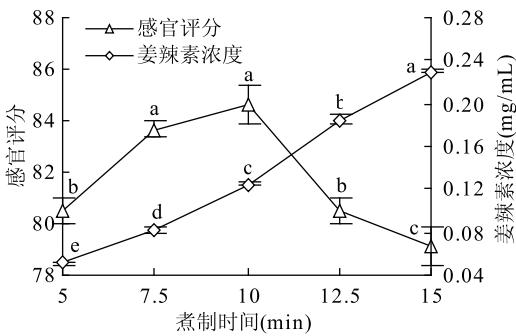


图3 煮制时间对感官评分、姜辣素浓度的影响

Fig.3 The influence of cooking time on sensory evaluation score and the concentration of gingerol

2.1.3 卡拉胶对产品含水率、感官评价及质构影响

2.1.3.1 卡拉胶对产品含水率及感官评价影响 由图 4 可知,随着卡拉胶浓度增加,糖渍姜片内部水分蒸发速率减慢,含水率逐渐升高。糖渍姜片的感官评

分整体呈先升后降趋势,卡拉胶浓度在 0~1 mg/mL 上升速度较快,卡拉胶浓度为 1 mg/mL 的条件下,糖渍姜片口感最佳。

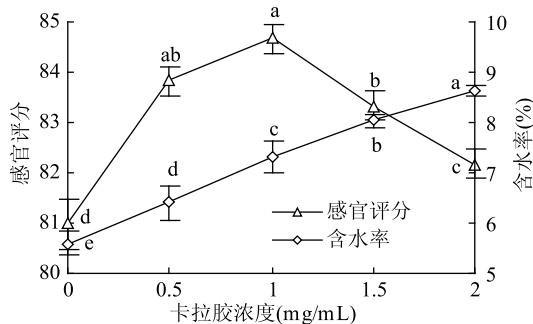


图4 卡拉胶浓度对感官评分、含水率的影响

Fig.4 The influence of carrageenan concentration on sensory evaluation score and the moisture content

2.1.3.2 卡拉胶对产品质构影响 在感官评价基础上对产品质构进行测定,TPA 可以通过模拟人口腔的咀嚼运动,对样品进行两次压缩后分析出样品的硬度、咀嚼性、凝聚性、弹性等与人口感相关的质构特性,以便客观反应产品质构特性。

硬度是指食品达到一定变形所需的力,是食品保持自身形状的一种内部结合力^[14]。由图 5 可知,随着卡拉胶浓度的不断升高,糖渍姜片的硬度呈下降趋势。卡拉胶浓度在 0~1 mg/mL 范围内变化明显,当卡拉胶浓度上升至 1 mg/mL 以后,硬度变化平缓。

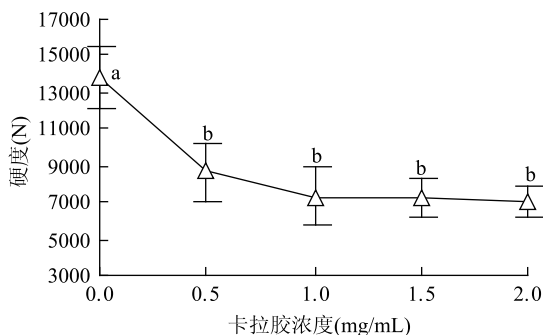


图5 卡拉胶浓度对糖渍姜片硬度的影响

Fig.5 The influence of carrageenan concentration on hardness of sugar ginger

弹性用来表示反映外力作用时变形及去力后的恢复程度^[15]。由图 6 可知,随着卡拉胶浓度增加,糖渍姜片的弹性呈先升后降趋势;凝聚性表示在咀嚼过程中产品抵抗破坏所表现出的内部结合力^[16]。在不同卡拉胶浓度条件下,糖渍姜片的凝聚性呈先升后降并平缓的趋势。

咀嚼度表示固体食品咀嚼到可吞咽的程度所做的功,而胶着度反映了咀嚼糖渍姜片时,糖渍姜片对牙齿、舌头等接触面粘着的性质^[16-17]。由图 7 可知,随着卡拉胶浓度的降低,咀嚼度和胶着度均呈下降趋势。

由感官评分和物性条件综合选择 K-卡拉胶添加量为 1 mg/mL,此时糖渍姜片口感最佳,物性条件最优。

2.1.4 糖渍时间对产品含水率及感官评价的影响

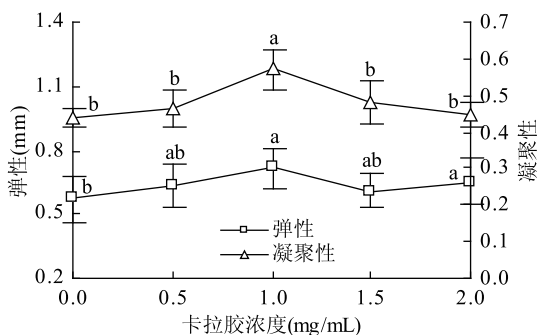


图6 卡拉胶浓度对弹性、凝聚性的影响

Fig.6 The influence of carrageenan concentration on springiness and cohesiveness

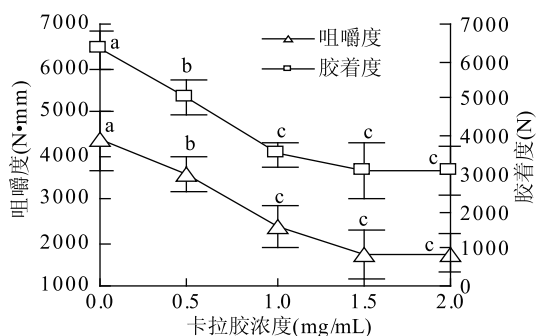


图7 卡拉胶浓度对咀嚼度、胶着度的影响

Fig.7 The influence of carrageenan concentration on chewiness and adhesiveness

响 糖渍时间对感官评分影响较大,随着糖渍时间增加,含水率逐渐上升。由图 8 可知,糖渍时间在 5~10 min 时,感官评分上升幅度较大,糖渍 10 min 其感官评分达到最高 83.5 分,超过 10 min 感官评分迅速下降,因此确定最佳糖渍时间为 10 min。

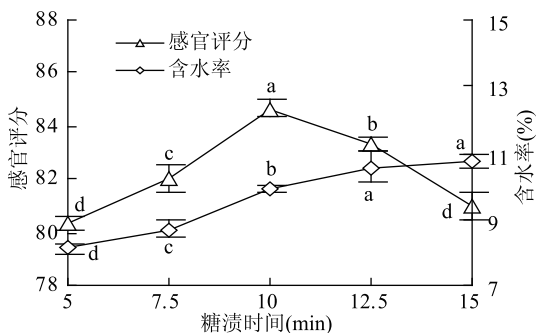


图8 糖渍时间对感官评分、含水率的影响

Fig.8 The influence of infusing time on sensory evaluation score and the moisture content

2.1.5 干燥温度对产品含水率及感官评价的影响 随着干燥温度升高,糖渍姜片中的水分蒸发加快,含水率逐渐降低。由图 9 可知,干燥温度在 50~60 ℃时,感官评分上升幅度较大,在 60 ℃时感官评分达到最大值 84.67 分;当干燥温度超过 60 ℃时,糖渍姜片中水分含量降低,姜片口感较硬,使得糖渍姜片感官评分呈下降趋势,因此确定 60 ℃为最佳干燥温度。

2.1.6 干燥时间对产品含水率及感官评价的影响 干燥时间越长,糖渍姜片中含水率越少。由图

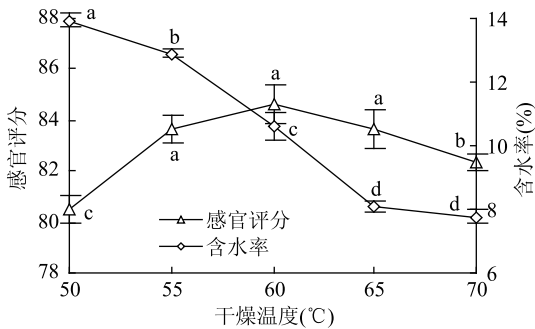


图9 干燥温度对感官评分、含水率的影响

Fig.9 The influence of drying temperature

on sensory evaluation score and the moisture content

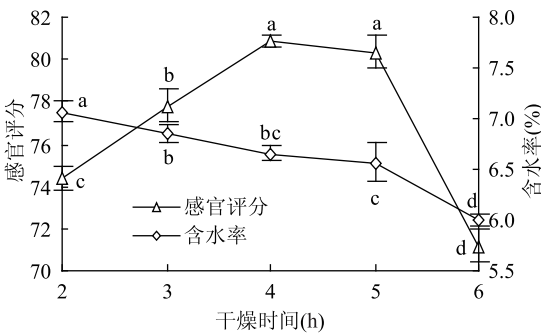


图10 干燥时间对感官评分、含水率的影响

Fig.10 The influence of drying time

on sensory evaluation score and the moisture content

10 可知,含水率整体呈下降趋势。国标限制糖霜类蜜饯水分含量应低于 20%^[18],干燥时间在 2~5 h 含水率蒸发速度较慢,当干燥时间大于 5 h 时,姜片水分蒸发较快,含水率迅速降低。干燥时间过长,糖渍姜片口感较硬,对感官评分影响较大;而干燥时间过短,糖渍姜片中水分含量较大而影响口感。因此,感官评分呈先上升后下降趋势,干燥时间在 4~5 h 其感官评分变化不大,考虑到提高效率且节约成本等因素,因此确定 4 h 为最佳干燥时间。

2.2 响应面法优化糖渍山药姜片制作工艺

2.2.1 模型建立及其显著性分析 响应面实验结果见表 3。

对表 3 中的实验数据进行分析,得到回归方程为: $Y = 85.32 + 0.66A + 0.71B + 0.67C - 0.71AB - 0.045AC + 0.18BC - 3.06A^2 - 1.07B^2 - 0.93C^2$ 。

由方差分析表 4 可知,模型 p 值极显著,而失拟性不显著,说明模型拟合度良好; $R^2 = 0.9718$, $R^2_{Adj} = 0.9356$,二者相近,说明预测值和真实值之间相关性较高^[19-20]。A、B、C、 A^2 、 B^2 、 C^2 极显著,交互项 AB 显著,交互项 AC、BC 不显著;由 F 值可知,3 个因素对感官评分影响依次为:卡拉胶浓度、糖渍时间、煮制时间。

表 3 响应面分析实验设计与结果

Table 3 Design and results of response surface methodology

实验号	A	B	C	Y 感官评分(分)
1	-1	1	0	82.30
2	0	-1	1	83.67
3	-1	0	1	81.25
4	-1	-1	0	78.67
5	0	0	0	85.25
6	0	1	-1	82.60
7	1	0	-1	81.50
8	1	1	0	82.30
9	0	0	0	85.67
10	0	0	0	85.33
11	0	1	1	84.67
12	0	0	0	85.50
13	0	-1	-1	82.33
14	1	-1	0	81.50
15	0	0	0	84.87
16	-1	0	-1	80.17
17	0	0	0	82.40

表 4 模型回归系数显著性检验

Table 4 Analysis of variance of established regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	64.93	9	7.21	26.84	0.0001	**
A	3.52	1	3.52	13.11	0.0085	**
B	4.06	1	4.06	15.11	0.0060	**
C	3.63	1	3.63	13.51	0.0079	**
AB	2.00	1	2.00	7.45	0.0294	*
AC	8.100E-003	1	8.100E-003	0.030	0.8671	
BC	0.13	1	0.13	0.50	0.5041	
A ²	39.41	1	39.41	146.64	<0.0001	**
B ²	4.84	1	4.84	18.00	0.0038	**
C ²	3.68	1	3.68	13.68	0.0077	**
残差	1.88	7	0.27			
失拟性	1.52	3	0.51	5.59	0.064	
纯误差	0.36	4	0.091			
总差	66.81	16				

注: ** 表示极显著($p < 0.01$); * 表示显著($p < 0.05$)。

2.2.2 响应面交互作用分析 响应面图可直观反应煮制时间和卡拉胶浓度对感官评分影响的整体趋势,等高线排列的密集程度表明二者变化对糖渍姜片感官评分的影响程度^[20]。各因素之间的相互作用对糖渍姜片感官评分影响如图 11 所示。图 11(b、c)中各因素交互作用不显著。由图 11(a)可知,在糖渍时间为 10 min 时,随着煮制时间和卡拉胶浓度不断增加,糖渍姜片的感官评分呈先增后减趋势且曲线较陡,且等高线呈椭圆形,排列较紧密,煮制时间和卡拉胶浓度的交互作用显著。

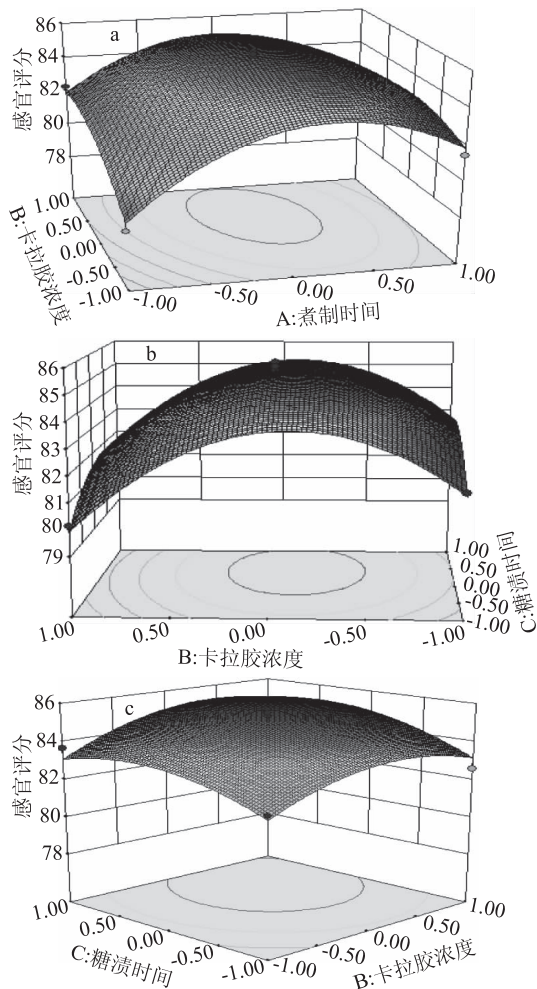


图 11 各因素间交互作用对感官评分的响应面和等高线图

Fig.11 Response surface and contour plots for the effect on sensory score

2.2.3 最佳工艺优化及验证实验 根据回归模型得出糖渍姜片最优工艺条件:煮制时间 10.16 min,糖渍时间 10.98 min,K-卡拉胶浓度 1.17 mg/mL。考虑到实际情况,将糖渍姜片的工艺条件修正为:煮制时间 10 min,糖渍时间 11 min,K-卡拉胶浓度 1.2 mg/mL,在此条件下进行 3 次验证实验,得到糖渍姜片的感官评价为 85.50 分,与预测值 85.60 分基本一致,相对误差为 0.12%,此时物性指标分别为硬度 22731.70 N,弹性 0.46 mm,凝聚性 0.45,胶着度 10527.90 N,咀嚼度 5176.96 N·mm。综上,说明该模型与实际情况拟合程度较好,能够反映煮制时间、卡拉胶浓度、糖渍时间和感官评分之间的关系,可采用该模型对糖渍姜

片的感官评分进行预测和分析^[21]。

3 结论

通过响应面分析法优化糖渍姜片最佳工艺条件为:切片厚度 4 mm,干燥温度 60 ℃,干燥时间 4 h,煮制时间 10 min,糖渍时间 11 min,卡拉胶浓度 1.2 mg/mL,感官评分高达 85.50 分;经质构仪验证,物性指标分别为硬度 22731.70 N,弹性 0.46 mm,凝聚性 0.45,胶着度 10527.90 N,咀嚼度 5176.96 N·mm,所制作出的糖渍姜片软硬适中,风味俱佳。

参考文献

- [1]李时珍.本草纲目[M].南京:江苏人民出版社,2011:384-385.
- [2]郭东菊.低盐姜片加工工艺研究[D].泰安:山东农业大学,2014.
- [3]张凤,庄桂东,仇宏伟,等.红糖姜片真空渗糖工艺参数的探讨[J].中国调味品,2009,34(9):1-63.
- [4]王震宙.山药多糖的提取、分离、功能性及其功能食品工艺研究[D].南昌:南昌大学,2005.
- [5]徐雅雯.山药多糖的分离及山药复合饮料的研制[D].天津:天津科技大学,2013.
- [6]何凤玲.山药中活性成分的提取及降糖活性研究[D].重庆:西南大学,2011.
- [7]李强,任雷厉,叶青,等.山药粉加工工艺的研究[J].农产品加工·学刊,2011(12):66-69.
- [8]GB 50093-2010,食品安全国家标准-食品中水分的测定[S].
- [9]Oey I, Lille M, Loey AV, et al. Effect of high pressure processing on color, texture and flavor of fruit and vegetable-based food products: a review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2008, 19(6):320-328.
- [10]孙海涛,邵信儒,姜瑞平,等.超声波对野生软枣猕猴桃果脯渗糖效果的影响及质构分析[J].食品科学,2015,36(20):49-55.
- [11]吴贾锋,张晓鸣.生姜风味物质研究进展[J].食品与发酵工业,2005,31(4):99-103.
- [12]朱恩俊.优化生姜粉加工工艺的实验研究[J].食品工业科技,2008,29(8):193-195.
- [13]陈莉华,左林艳,唐玉坚.微波辅助乙醇提取姜辣素及其对油脂的抗氧化性研究[J].食品科学,2011,32(4):69-73.
- [14]林婉玲,杨贤庆,李来好,等.脆肉鲩质构与感官评价的相关性研究[J].现代食品科技,2013,29(1):1-7.
- [15]张昆明,张平.葡萄贮藏期间果肉质地参数变化规律的TPA表征[J].食品与生物技术学报,2011,30(3):353-358.
- [16]李萌萌,吕长鑫,芦宇,等.红树莓蓝莓果粒乳饮料工艺优化及质构特性研究[J].中国食品学报,2015,15(7):117-124.
- [17]徐坤华,赵巧灵,廖明涛,等.金枪鱼质构特性与感官评价相关性研究[J].中国食品学报,2014,14(12):190-197.
- [18]GB 10782-2006,蜜饯通则[S].
- [19]林建原,季丽红.响应面优化银杏叶中黄酮的提取工艺[J].中国食品学报,2013,13(2):83-90.

(下转第 200 页)

此条件下进行三次验证实验,平均去皮率为 $5.46\% \pm 0.02\%$,清水冲泡后去皮容易,去皮效果最好,去皮核桃仁无碱味,质地酥脆,颜色乳白,各项感官指标的平均得分分别为:色泽9.3分,质地9.6分,碱味9.2分。实际去皮率与理论去皮率相近且感官评分高,由此表明该模型可靠。

3 结论

核桃仁超声波辅助碱液去皮的最优工艺为:NaOH溶液浓度0.8%,超声温度64℃,碱烫时间4.5 min,超声功率380 W,在此条件下所得到的核桃仁去皮率达到 $5.46\% \pm 0.02\%$,各项感官指标的平均得分分别为:色泽9.3分,质地9.6分,碱味9.2分,去皮容易,清水冲洗后核桃仁完全去皮,去皮效果最好,核桃仁无碱味,质地酥脆,颜色乳白。本实验将超声波技术应用于辅助核桃仁碱液去皮工艺,相比于传统的碱液去皮法降低了碱液的浓度,缩短了碱烫时间,有效地提高了去皮效果,对核桃仁去皮的产业化具有理论指导意义。

参考文献

- [1] 寇文国,高洪庆.核桃产品的开发利用[J].中国油脂,2005,25(6):112-113.
- [2] 潘学军,张文娥,李琴琴,等.核桃感官和营养品质的主成分及聚类分析[J].食品科学,2013,34(8):195-198.
- [3] Abbott J A, Lu R. Anisotropic mechanical properties of apples [J]. Trans of the ASAE, 1996, 4(39):1451-1459.
- [4] 魏静,郝利平.核桃仁种皮中多酚的提取工艺研究[J].山西农业大学学报,2010,30(2):150-153.
- [5] 王丰俊,王建中,周鸿升,等.核桃产品开发技术进展[J].河北林果研究,2009,24(3):301-304.
- [6] 陈勤,李磊珂,吴耀.核桃仁的成分与药理研究进展[J].安徽大学学报,2005,29(1):86-89.
- [7] 陈树俊,刘亚斌,张海英,等.核桃仁去皮方法的对比研究[J].食品工程,2009(4):30-33.
- [8] 何洪英,李华钧,杨坚.单宁的生理活性[J].广州食品工业科技,2001,17(2):26-29.
- [9] Szetao K W C, Schrimpf, Teuberss. Effect of processing and storage on walnut tannins [J]. J Sci Food Agric, 2001, 81(13):1215-1222.
- [10] 刘森,王俊.山核桃仁碱液浸泡法去皮工艺的研究[J].农业工程学报,2007,23(10):256-261.
- [11] 屈海盼,罗皓然,梁怡,等.超声波技术应用核桃仁去皮工艺研究[J].食品工业,2016,37(11):35-37.
- [12] 余少华,李亚平,程卫东.新疆薄皮核桃果仁去皮技术的研究[J].中国食品添加剂,2009(3):85-88.
- [13] 王喜萍,郑凤荣,张文英,等.山核桃乳饮料的研制[J].食品与机械,2004,20(1):38-39.
- [14] Gu X G, Cai J B, Zhu X L, et al. Dynamic ultrasound-assisted extraction of polyphenols in tobacco [J]. Journal of Separation Science, 2005, 28(18):2477-2481.
- [15] Oni Y, Kelvin G, Lara M M, et al. Effect of extraction techniques and conditions on the physicochemical properties of the water soluble polysaccharides from gold kiwifruit (*Actinidia chinensis*) [J]. Food Science and Technology, 2008, 43:2268-2277.
- [16] 马空军,金思,潘言亮.超声波技术在食品研究开发中的应用现状与展望[J].食品工业,2016,37(9):207-211.
- [17] 宋国胜,胡松青,李琳.超声波技术在食品科学中的应用与研究[J].现代食品科技,2008,24(6):609-612.
- [18] 荣瑞芬,吴雪疆,李鸿玉,等.核桃仁去皮工艺的研究[J].食品工业科技,2004,25(2):100-101.
- [19] 侯新民,吴旭,郑力,等.应用响应面法对核桃仁脱皮工艺的优化研究[J].粮油食品科技,2011,19(2):16-20.
- [20] 康玮丽,唐军虎,敬思群.核桃仁去皮方法优化[J].食品与发酵工业,2010,36(8):127-131.
- [21] Leea W C, Yusofa S, Hamidb NSA, et al. Optimizing conditions for hot water extraction of banana juice using response surface methodology (RSM) [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 75(4):473-479.
- [22] Xue - Lian Bai, Tian - Li Yue, Ya - Hong Yuan, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from apple pomace using response surface methodology and HPLC analysis [J]. WILEY - VCH Verlag Gmb H & Co KGa A, Weinheim Sep Sci, 2010, 33:3751-3758.
- [23] 李秀凤.核桃仁去皮方法的研究[J].食品研究与开发,2005,26(4):37-38.
- [24] 李慧丽,何欢,俞琴,等.不同加热方式对薄皮核桃仁品质的影响[J].食品科技,2016,41(4):91-96.
- [25] 杨光,吴嘉豪,郑炯.响应面优化复合酶法提取竹笋膳食纤维工艺[J].食品工业科技,2016,37(2):213-216.
- [20] 李尚谦,张斌,郭辉,等.响应面法优化杨梅叶中黄酮提取工艺的研究[J].食品工业,2015,36(2):108-111.
- [21] 姜建辉,赵俭波,兰亚刚.响应面法优化巴坦木多糖提取工艺研究[J].食品科技,2015,40(11):166-171.

(上接第194页)

权威·核心·领先·实用·全面