

响应面法优化低糖核桃营养派制作工艺研究

柳青,陈晓琪,马长路,黄广学,王丽琼,田文静

(北京农业职业学院食品与生物工程系,北京 102442)

摘要:以核桃仁为原料,木糖醇为甜味剂,辅以燕麦片、麦芽糖、重瓣干玫瑰花瓣以及黑芝麻制作低糖核桃营养派。以核桃仁去皮浸泡时间、核桃仁烘烤时间、燕麦片添加量和木糖醇添加量为影响因素,利用感官评价和质构分析研究对成品品质的影响。在单因素试验的基础上,根据 Box-Behnken 响应面试验设计方法对低糖核桃营养派进行配方和工艺优化,结果表明:低糖核桃营养派的最佳工艺参数为:核桃仁添加量 100 g,核桃仁去皮浸泡时间 23 min,核桃仁烘烤温度 160 ℃,核桃仁烘烤时间 18 min,麦芽糖添加量 10 g,燕麦片添加量 20 g,木糖醇添加量 13 g。在此条件下制得的低糖核桃营养派感官评分为 95 分,经过优化后的配方和工艺加工而成的低糖核桃营养派具有营养全面,搭配合理,风味独特的优点。

关键词:低糖;核桃营养派;响应面法;制作工艺

Optimization of Processing Technology of Low-Sugar Nutritious Walnut Pie by Response Surface Methodology

LIU Qing, CHEN Xiao-qi, MA Chang-lu, HUANG Guang-xue, WANG Li-qiong, TIAN Wen-jing
(Department of Food and Bioengineering, Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102442, China)

Abstract: With walnut kernel as raw material, xylitol as sweetener, auxiliary by oatmeal, maltose, double petal dry rose petal and black sesame to prepare low-sugar nutritious walnut pie. The effects of peeling and soaking time of walnut kernel, baking time of walnut kernel, adding amount of oatmeal and xylitol on the quality of finished products were studied by sensory evaluation and texture analysis. Box-Behnken response surface methodology was applied to optimize the formula and technology of nutritious walnut pie on the basis of single factor experiments. The results showed that the best technological parameters of low-sugar nutritious walnut pie were as follows: walnut kernel 100 g, peeling and soaking time of walnut kernel 23 min, baking temperature 160 ℃, baking time 18 min, maltose 10 g, oatmeal 20 g and xylitol 13 g. The sensory score of the prepared low-sugar nutritious walnut pie was 95. The walnut pie had the advantages of comprehensive nutrition, reasonable collocation and special flavor.

Key words: low-sugar; nutritious walnut pie; response surface methodology; processing technology

中图分类号:TS255.6

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2021.05.013

基金项目:北京市农委“菜篮子”新型经营主体科技能力提升项目(20170203-12);北京农业职业学院学生双创项目(XY-XK-20-06);
“特色高水平院校建设项目-打造技术创新平台-食品营养与安全应用技术协同创新中心”(PXM2021-157102-000005)

作者简介:柳青(1982—),女,汉族,博士,副教授,研究方向:食品营养与品质评价。All rights reserved. <http://www.cnki.net>

核桃(*Juglans regia* L.)又名姜桃、胡桃,是胡桃科核桃属,具有较高营养价值^[1],核桃仁中含有大量脂肪^[2],其含量高达64%,其中亚油酸和亚麻酸比重较高^[3],约占脂肪酸的72%,而胆固醇的含量为0。核桃对脑神经有良好的保健功能,具有降血脂、护肝、防癌、预防Ⅱ型糖尿病和心脑血管疾病等功效^[4-7],还对神经衰弱、记忆减退^[8]等症状有缓解。我国核桃栽培历史悠久,种植面积及总产量已远超美国。2018年我国核桃产量已达100万t^[9],位居世界第一。燕麦膳食纤维含量丰富,具有促进膳食平衡,有益健康的效果^[10]。木糖醇由于产热低,甜度与蔗糖相当^[11],而且具有保健功能等优点,使其成为低糖食品中最常使用的甜味剂之一。我国现阶段核桃加工率较低,主要为原果核桃^[12],并且以核桃为原料的休闲食品品类较为单一,因此核桃休闲食品的市场存在着广阔的开发空间。常见的核桃休闲食品是经油炸后加糖调味,能量较高,在储藏条件不当时可能发生油脂酸败变质,使其失去营养价值,甚至产生有害物质。杜琨等^[13]利用油炸、甩糖等工艺制作琥珀核桃仁,得出加工工艺为预煮时间10 min,油炸时间2.2 min,油炸温度150℃,白砂糖15%,食盐3%。屈慧鸽等^[14]探讨了甜香型核桃仁及芝麻糖衣型核桃仁的加工工艺,烘烤采用180℃,35 min,油炸采用150℃,6 min,研究表明烘烤核桃仁比油炸口感好,油炸处理后的核桃仁口感油腻,容易出现油脂变质,产生难闻的哈喇味,使产品失去营养价值和感官品质。崔宽波等^[12]研究调味核桃仁,选择糖和核桃仁的比例为60:1,最佳烘烤温度为160℃,烘烤时间25 min,然而上糖液后添加了奶茶粉、辣椒面、五香粉等调味料,糖含量和添加剂较多,不能满足消费者对于营养健康的需求。本研究以核桃仁为原料,木糖醇为甜味剂,辅以燕麦片、麦芽糖、重瓣干玫瑰花瓣以及黑芝麻,采用单因素试验和响应面法得出低糖营养核桃派的最佳加工工艺,开发新型低糖、减少能量的核桃休闲食品,符合消费者健康、绿色的生活理念,具有风味独特、营养健康等优点,为核桃产品深加工技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料

核桃:产地为北京市房山区佛子庄乡石板房村;麦芽糖:广西梧州乐哈哈食品工业有限公司;木糖醇:南京甘汁园糖业有限公司;即食燕麦片:桂林西麦食品股份有限公司;重瓣玫瑰干花瓣:济南万丰玫瑰制

品有限公司;黑芝麻:沈阳信昌粮食贸易有限公司。

1.1.2 仪器与设备

ATO-M09C型烤箱,北美电器(珠海)有限公司;TMS-PRO型食品物性分析仪,美国FTC公司;YQ09868型电子天平,永康市永州衡器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程

原料选择→核桃去壳→碱液去皮→熟化→调制→烘烤→定型→切块与包装→成品

1.2.2 操作要点

1.2.2.1 原料选择

选择外壳薄而洁净,果肉丰满,肉质洁白的核桃。

1.2.2.2 核桃去壳

采用核桃夹人工去壳,要求得到尽量完整的整仁或半仁,并挑选出颜色均匀一致的核桃仁,去除瘪仁、黑仁、碎仁和核桃壳等杂质,保证核桃仁原料的品质。

1.2.2.3 碱液去皮

在室温中将干净的核桃仁浸泡于一定浓度的NaOH溶液中,浸泡后取出,大量流动清水冲洗核桃仁,手工揉搓去除其种皮。将去皮后干净的核桃仁挑出,并在室温中晾干水分。

1.2.2.4 熟化

将100 g去皮晾干后的核桃仁平铺在烤盘上,160℃下烘烤18 min左右,注意核桃仁表面颜色的变化,烤至金黄色,产生核桃仁的香味。

1.2.2.5 调制

将熟化后的核桃仁、麦芽糖、木糖醇、燕麦片、熟黑芝麻和重瓣玫瑰花瓣在铺好锡纸的烤盘上按比例混合调制。

1.2.2.6 烘烤与定型

将调制后的核桃仁在烤箱中170℃烘烤3 min左右,在糖完全融化时即可取出。烘烤时应密切注意糖的融化状态,将融化均匀的混合物倒入不锈钢规则模具中,按压紧实,使形状规整,整型呈长方体状,冷却至室温。

1.2.2.7 切块与包装

将大块的核桃营养派按要求切分成尺寸相同的长方体,规格(长×宽×高)为30 mm×15 mm×10 mm,每一小块成品单独密封包装即成成品。

1.2.3 低糖核桃营养派试验设计

1.2.3.1 核桃仁最佳去皮方法确定

固定核桃仁添加量为100 g,采用碱液去皮,研究不同浸泡时间(0、10、20、30、40 min)及NaOH溶液浓度(0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%)对核桃仁品

质的影响。

核桃仁去皮效果评价标准:从核桃仁去皮效果、去皮后核桃仁的颜色以及去皮后核桃仁的质地3方面进行评价^[15],核桃仁去皮效果具体评价标准见表1。

表1 核桃仁去皮效果评价标准

Table 1 Evaluation standard for peeling effect of walnut kernel

去皮效果	去皮后核桃仁的颜色	去皮后核桃仁的质地
很容易完全去皮	表面无颜色变化	脆
能完全去皮	表面微黄色	较脆
基本能去皮	表面黄色	发绵
去皮后残留较多	表面黄褐色	
不能去皮	表面黑褐色	

1.2.3.2 麦芽糖添加量确定试验

固定核桃仁添加量为100 g,核桃仁去皮浸泡时间为20 min,核桃仁烘烤温度为160 ℃,核桃仁烘烤时间为18 min,木糖醇添加量为20 g,燕麦片添加量为20 g,重瓣玫瑰花瓣固定添加量为3 g,在以上条件下,研究不同麦芽糖添加量(6、8、10、12、14 g)对成品品质的影响,确定最佳成品成型时麦芽糖的添加量。

1.2.3.3 单因素试验设计

研究核桃仁去皮浸泡时间、核桃仁烘烤时间、燕麦片添加量和木糖醇添加量4个因素对低糖核桃营养派品质的影响,以低糖核桃营养派的感官评分以及食品物性分析仪分析出的最大剪切力为指标进行评价。在核桃仁添加量100 g,核桃仁烘烤温度160 ℃,麦芽糖添加量10 g,重瓣玫瑰花瓣添加量3 g,考察不同核桃仁去皮浸泡时间(0、10、20、30、40 min)、核桃仁烘烤时间(14、16、18、20、22 min)、木糖醇添加量(12、14、16、18、20 g)、燕麦片添加量(11、14、17、20、23 g)对成品品质的影响,各因素做3次平行试验。

1.2.3.4 响应面分析法优化试验

根据Box-Behnken的中心组合试验设计原理^[16],以核桃仁去皮时间(A)、核桃烘烤时间(B)、燕麦片添加量(C)和木糖醇添加量(D)4个因素为自变量,以感官评分(Y)为响应值,考察各水平对成品品质的影响,确定最佳工艺参数。响应面试验因素及水平见表2。

1.2.4 低糖核桃营养派的感官评价

将样品分别放入相同的白盘子中,进行3位数随机编号,品尝完一种样品后需清水漱口,在感官评价室中按照顺序对样品进行品鉴,满分为100分,感官评定标准见表3。通过严格筛选,选拔出10位经过专

表2 响应面试验因素水平表

Table 2 Factors and levels of response surface test

水平	因素			
	A 核桃仁去皮浸泡时间/min	B 核桃仁烘烤时间/min	C 燕麦片添加量/g	D 木糖醇添加量/g
-1	10	16	17	12
0	20	18	20	14
1	30	20	23	16

业培训的感官评价员组成感官评价小组,从色泽、香气、滋味、酥脆感和组织形态5个方面对低糖核桃营养派进行感官评定。在评价前20 min感官评价员不得吃刺激性食物,并且在品尝每一种样品前需使用清水漱口,以去除杂味,使感官评价结果更客观。

表3 低糖核桃营养派的感官评分标准

Table 3 Sensory evaluation criteria of low-sugar nutritious walnut pie

项目	评分标准	分数/分
色泽 (20分)	均匀,出现诱人色泽,没有明显焦色和杂色	14~20
	稍有不均匀或稍有焦色和杂色	7~13
	不均匀,有明显焦色和杂色	<7
香气 (20分)	核桃油脂的香味纯正,无杂味或异味	14~20
	核桃油脂的香味稍油腻或稍淡,无杂味或异味	7~13
	核桃油脂的香味特别不纯正或特别油腻,有异味或哈喇味	<7
滋味 (30分)	核桃滋味纯正,甜度适宜,没有苦味,有淡淡玫瑰味道	21~30
	核桃滋味稍淡,并稍油腻,稍有苦味,可以接受,甜度稍淡或稍浓	11~20
	无核桃香味、滋味特别不纯正,过于甜腻,有苦味,异味较重或油腻	<11
酥脆感 (15分)	咀嚼性适中,酥脆适宜,不粘牙,具有松软口感	11~15
	咀嚼性较低或较高,较为酥或脆	6~10
	咀嚼性低或高,过于酥或脆	<6
组织形态 (15分)	产品表面及剖面整齐,无明显切割变形,无杂质,软硬适中	11~15
	产品表面及剖面稍不整齐,稍有切割变形,少杂质,稍软或稍硬	6~10
	产品表面及剖面极不整齐,切割变形严重,有杂质,过软或过硬	<6

1.2.5 低糖核桃营养派质构分析

采用食品物性分析仪测定低糖核桃营养派的最大剪切力,以剪切模式和单刀探头进行测定。测试条件为:测试速度30 mm/s,起始力0.15 N,回程距离35 mm,回程速度60 mm/s^[17],每组样品平行重复测定3次。

1.2.6 数据处理

所有试验均平行重复3次,所得的试验数据采用Excel 2003进行整理,其图表均由Origin 9.0软件绘制,利用Design-Expert 10设计响应面试验。

2 结果与分析

2.1 核桃仁最佳去皮方法的确定

表4为碱液去皮法对低糖核桃营养派品质的影

响,由表4可知,浸泡时间越久,NaOH溶液浓度越高,核桃仁去皮后颜色变黄越严重,其质地也会变绵,失去咀嚼性。3% NaOH溶液浸泡20 min时,能完全去皮、质地脆,虽然表面颜色变黄,在进行烘烤熟制工序时,美拉德反应也会造成核桃仁表面颜色变黄,考虑最终时间成本和去皮效果等因素,本试验选取的核桃仁去皮方法为3% NaOH溶液浸泡20 min后取出,大量清水冲洗揉搓去皮。

表4 碱液去皮法对低糖核桃营养派品质的影响
Table 4 Effect of peeling by alkali solution on quality of low-sugar nutritious walnut pie

NaOH 浓度/%	浸泡时间/min											
	10			20			30			40		
	效果	颜色	质地	效果	颜色	质地	效果	颜色	质地	效果	颜色	质地
0.5	不能去皮	表面无颜色变化	脆	去皮后残留较多	表面无颜色变化	脆	去皮后残留较少	表面无颜色变化	脆	去皮后残留较多	表面无颜色变化	较脆
1.0	不能去皮	表面无颜色变化	脆	去皮后残留较多	表面无颜色变化	脆	去皮后残留较多	表面无颜色变化	脆	去皮后残留较多	表面微黄色	较脆
1.5	去皮后残留较多	表面微黄色	脆	基本能去皮	表面微黄色	脆	去皮后残留较多	表面黄色	较脆	能完全去皮	表面黄色	较脆
2.0	去皮后残留较多	表面黄色	脆	基本能去皮	表面黄色	脆	去皮后残留较多	表面黄色	较脆	能完全去皮	表面黄褐色	发绵
2.5	去皮后残留较多	表面黄色	脆	基本能去皮	表面黄色	脆	能完全去皮	表面黄色	发绵	很容易完全去皮	表面黄褐色	发绵
3.0	基本能去皮	表面黄色	脆	能完全去皮	表面黄色	脆	很容易完全去皮	表面黄褐色	发绵	能完全去皮	表面黑褐色	发绵

2.2 麦芽糖添加量对低糖核桃营养派品质的影响

图1是不同麦芽糖添加量对低糖核桃营养派品质的影响,由图1可知,在核桃仁添加量固定为100g的条件下,麦芽糖添加量为10g时,成品可成型,也可切成完整统一的形状,并且感官评分为90.2分,再继续添加麦芽糖,导致成品过于甜腻,感官评分降低,而且增加精制糖的含量也会增加成本,故确定麦芽糖添加量为每100g核桃仁中添加麦芽糖10g。

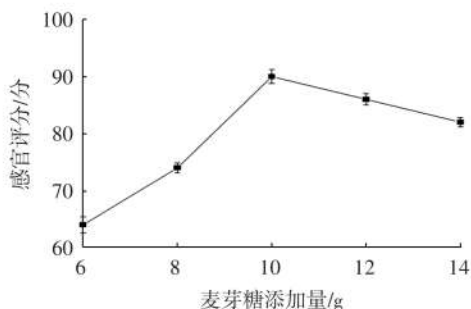


图1 麦芽糖添加量对低糖核桃营养派感官品质的影响

Fig.1 Effect of maltose addition on the sensory quality of

low-sugar nutritious walnut pie (C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.3 单因素试验结果

2.3.1 核桃仁去皮浸泡时间对低糖核桃营养派品质的影响

核桃仁去皮浸泡时间直接影响成品的滋味及色泽。浸泡时间短,核桃仁种皮去除不完全,残留大量酚类物质^[18],如单宁。水溶性的单宁可以使蛋白质和生物碱变性,这对风味有不利影响,它可与唾液蛋白结合,引起舌头上部组织细胞收缩,产生令人不喜的收敛感和干燥感,导致苦涩味道,影响其口感。浸泡时间过长,核桃仁发绵,质地变差,失去咀嚼感。不同核桃仁去皮浸泡时间对低糖核桃营养派品质的影响见图2。由图2得知,随着核桃仁去皮浸泡时间的增加,感官评分呈先升高后降低趋势,20 min时取得最大值。当核桃仁去皮浸泡时间在20 min之内时,最大剪切力表现较为平稳,去皮浸泡时间超过20 min后,最大剪切力急剧下降。因此确定核桃仁去皮浸泡时间为20 min。

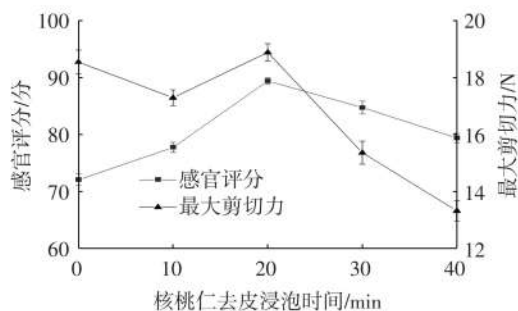


图2 核桃仁去皮浸泡时间对低糖核桃营养派品质的影响
Fig.2 Effect of peeling and soaking time of walnut kernel on the quality of low-sugar nutritious walnut pie

2.3.2 核桃仁烘烤时间对低糖核桃营养派品质的影响

核桃仁烘烤时间对成品的酥脆感、滋味和色泽都有较大影响。烘烤核桃仁中的主要香味成分是美拉德反应产生的含氮杂环化合物^[9],核桃仁烘烤时间不足,不会产生浓郁的核桃烘烤香气,而烘烤时间的增加,会引起焦糖化反应的加剧,产生令人不愉快的焦糊味。核桃仁不同的烘烤时间对低糖核桃营养派品质的影响见图3。由图3得知,随着烘烤时间增加,感官评分趋势为先升高后降低,18 min时达到最大值。核桃仁烘烤16 min后最大剪切力无显著波动变化,但烘烤时间过短,核桃仁酥脆度不够,影响口感。因此确定核桃仁烘烤时间为18 min。

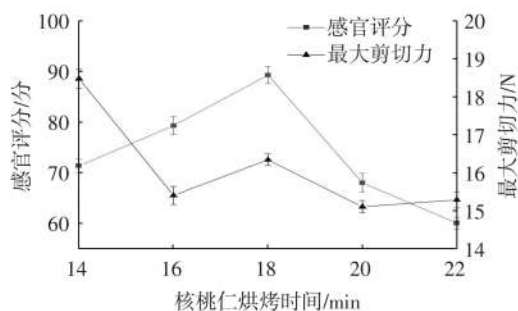


图3 核桃仁烘烤时间对低糖核桃营养派品质的影响
Fig.3 Effect of baking time of walnut kernel on the quality of low-sugar nutritious walnut pie

2.3.3 燕麦片添加量对低糖核桃营养派品质的影响

燕麦片添加量对低糖核桃营养派的酥脆感、组织形态有较大影响。适量的燕麦片增加成品咀嚼性,改善口感,还可以使产品表面及剖面更加整齐,改善组织形态。但燕麦片添加过多会削弱核桃仁的香气。燕麦片添加量对低糖核桃营养派品质的影响见图4。由图4可以看出,在燕麦片添加量为11~20 g时,感官评分表现为上升趋势,并且斜率较大,增长速度较快。20 g时感官评分达到最高值,但超过20 g后感

官评分随着添加量的增加逐渐下降。同样,随着燕麦片添加量的增加,最大剪切力的总体趋势为先升高后降低,20 g时咀嚼度最佳,因此确定燕麦片添加量为20 g。

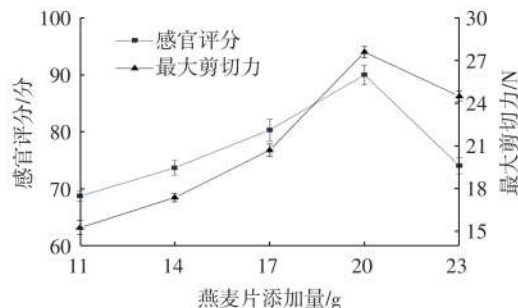


图4 燕麦片添加量对低糖核桃营养派品质的影响
Fig.4 The effect of oatmeal addition on the quality of low-sugar nutritious walnut pie

2.3.4 木糖醇添加量对低糖核桃营养派品质的影响

木糖醇添加量对低糖核桃营养派的滋味以及组织状态有一定影响。木糖醇作为甜味剂,代替蔗糖提供甜味^[1],并且作为填充型甜味剂可赋予食品结构和体积^[20]。适量的木糖醇提供适宜的甜味,而添加量过多时,甜味过浓,不酥脆,会有粘牙的现象产生。木糖醇添加量对低糖核桃营养派品质的影响见图5。由图5可知,木糖醇添加量为14 g时感官评分达到最大值,最大剪切力同样随着木糖醇添加量的增加,呈现先上升后下降的趋势。木糖醇添加量为18 g时,最大剪切力达到最大值,其咀嚼度最高。14 g时,最大剪切力为18.51 N,咀嚼度适宜并且感官评分为最大值。丁捷等^[21]研究了木糖醇玫瑰花生糖的制作工艺以及配方,结果表明产品的木糖醇含量较高时,口感较硬,酥脆度较差;而添加较少时,成品粘牙,失去松脆感。其结果与本试验研究结果一致,说明木糖醇添加过高或过低咀嚼度都较差,太硬或粘牙,因此综合确定木糖醇添加量为14 g最佳。

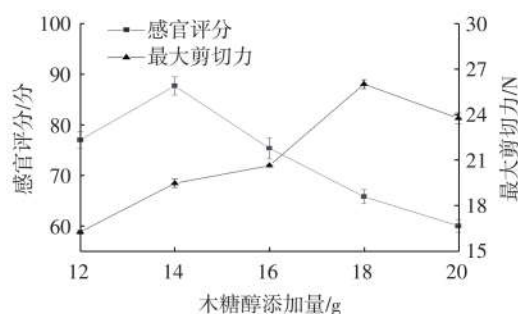


图5 木糖醇添加量对低糖核桃营养派品质的影响
Fig.5 Effect of xylitol addition on the quality of low-sugar nutritious walnut pie

2.4 响应面优化结果及分析

2.4.1 响应面设计及其结果

利用 Design Expert 8.0 软件采用 Box-Behnken 中心组合原理建立数学模型^[6],以低糖核桃营养派的感官评分为响应值(Y)进行响应面优化。低糖核桃营养派制作工艺响应面设计及其结果见表 5。

表 5 响应面设计与结果

Table 5 Design and results of response surface experiments

编号	因素				Y 感官评分/分
	A	B	C	D	
1	0	-1	-1	0	75
2	0	-1	1	0	72
3	0	0	1	-1	80
4	-1	0	1	0	75
5	1	0	0	1	77
6	0	0	0	0	92
7	0	0	0	0	90
8	0	-1	0	-1	83
9	-1	1	0	0	75
10	-1	-1	0	0	70
11	1	-1	0	0	76
12	0	1	0	1	78
13	1	1	0	0	80
14	0	0	0	0	94
15	-1	0	0	-1	71
16	0	1	-1	0	79
17	1	0	0	-1	86
18	0	1	1	0	80
19	0	1	0	-1	85
20	0	0	-1	-1	85
21	0	0	0	0	89
22	1	0	-1	0	85
23	0	0	0	0	95
24	0	-1	0	1	74
25	-1	0	-1	0	60
26	0	0	1	1	81
27	-1	0	0	1	65
28	1	0	1	0	76
29	0	0	-1	1	78

2.4.2 响应面回归模型的建立与分析

用软件对表 5 中数据进行二次多元回归拟合分析,得到感官评分对响应面因素的回归方程为: $Y=92.00+5.33A+2.25B+0.17C-3.08D-0.25AB-6.00AC-0.75AD+1.00BC+0.50BD+2.00CD-10.92A^2-7.04B^2-7.17C^2-5.04D^2$

低糖核桃营养派的响应面回归模型方差分析^[2]见表 6。从表 6 可以看出,模型 $P<0.0001$,该指标极其显著;校正决定系数 $R^2=0.9357$,说明回归模型拟合度为 93.57%,并且模型建立有意义;失拟项 $P=0.3786$ (>0.05),信噪比=13.95,远大于 4,说明模型与数据拟合度很高^[23]。综上所述,该试验误差小,能够准确分析、预测和优化低糖核桃营养派制作工艺,试验结果具有较高的可信性,在实际生产中有指导价值。

由回归系数显著性表明,在所取因素水平内,各因素对成品品质影响大小依次是:核桃仁去皮浸泡时间>木糖醇添加量>核桃仁烘烤时间>燕麦片添加量。由表 6 中可以看出,一次项中 B 为显著($P<0.05$), A 和 D 极显著($P<0.01$),二次项中 AC 、 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 均为极显著($P<0.01$),由此可以得知各个因素间存在交互作用,并且各因素对低糖核桃营养派的感官品质的影响并不是单纯的线性关系。

表 6 低糖核桃营养派的响应面回归模型方差分析表

Table 6 Analysis of variance of response surface regression model for low-sugar nutritious walnut pie

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1 769.66	14	126.40	14.56	<0.000 1	**
A	341.33	1	341.33	39.30	<0.000 1	**
B	60.75	1	60.75	7.00	0.019 2	*
C	0.33	1	0.33	0.038	0.847 5	
D	114.08	1	114.08	13.14	0.002 8	**
AB	0.25	1	0.25	0.029	0.867 7	
AC	144.00	1	144.00	16.58	0.001 1	**
AD	2.25	1	2.25	0.26	0.618 7	
BC	4.00	1	4.00	0.46	0.508 4	
BD	1.00	1	1.00	0.12	0.739 4	
CD	16.00	1	16.00	1.84	0.196 2	
A ²	773.02	1	773.02	89.01	<0.000 1	**
B ²	321.63	1	321.63	37.04	<0.000 1	**
C ²	333.15	1	333.15	38.36	<0.000 1	**
D ²	164.88	1	164.88	18.99	0.000 7	**
残差	121.58	14	8.68			
失拟项	95.58	10	9.56	1.47	0.378 6	不显著
净误差	26.00	4	6.50			
总离差	1 891.24	28				

注:**表示影响极显著($P<0.01$),*表示影响显著($P<0.05$)。

2.4.3 响应面分析与优化

根据回归方程利用 Box-Behnken 响应面法^[15],可以作出各因素之间两两交互的响应曲面及等高线图。

响应面图的坡度陡峭角度可以直接反映出低糖核桃营养派感官评分受到各因素以及两因素之间交互作用的强弱影响情况^[24]。曲面图中曲线越弯说明研究因素对低糖核桃营养派品质影响越大,等高线呈椭圆形说明研究因素之间的交互作用显著^[24]。分析当核桃仁去皮浸泡时间、核桃仁烘烤时间、燕麦片添加量以及木糖醇添加量4个因素中有2个因素固定时,另外2个因素及其交互作用对低糖核桃营养派感官评分的影响。响应面曲面及其等高线图见图6~11。

由图7可知,响应面图的两边坡度都比较陡峭,并且等高线图为椭圆形,说明核桃仁去皮浸泡时间(A)与燕麦片添加量(C)对低糖核桃营养派感官评分的影响都较大,且2个因素间的交互作用显著,这与表6中的显著性分析结果一致。由图7可见,当固定核桃仁去皮浸泡时间不变时,随着燕麦片添加量的变化方向,其等高线密度增大。因此可以得知,核桃仁去皮浸泡时间对低糖核桃营养派感官评分的影响较大,并且核桃仁去皮浸泡时间延长或缩短,会影响燕麦片

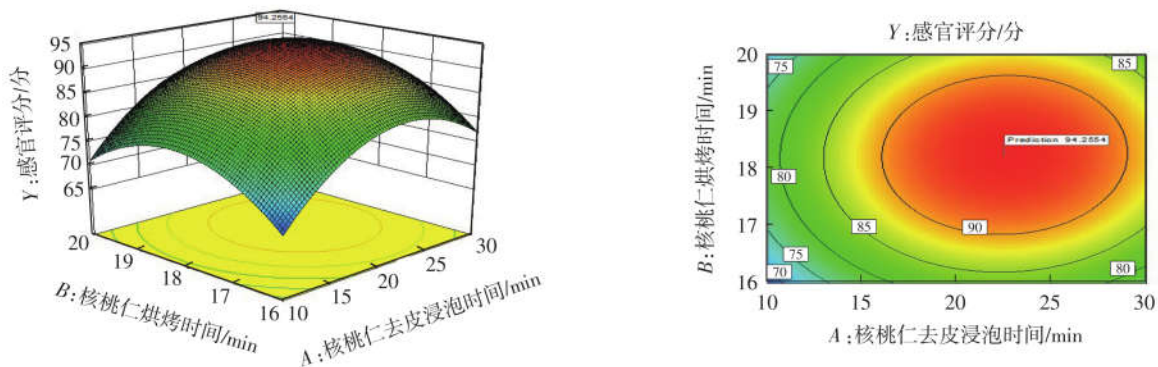


图6 核桃仁去皮浸泡时间与烘烤时间的交互作用对低糖核桃营养派感官评分影响的响应面图和等高线图

Fig.6 Contour and response surface maps of interaction between peeling and soaking time and baking time of walnut kernel on sensory scores of low-sugar nutritious walnut pie

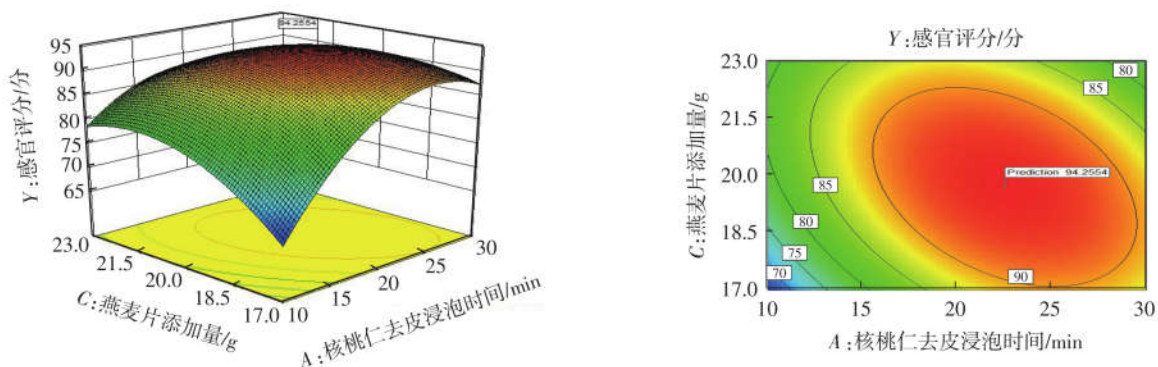


图7 核桃仁去皮浸泡时间与燕麦片添加量的交互作用对低糖核桃营养派感官评分影响的响应面图和等高线图

Fig.7 Contour and response surface maps of interaction between peeling and soaking time of walnut kernel and oatmeal addition on sensory scores of low-sugar nutritious walnut pie

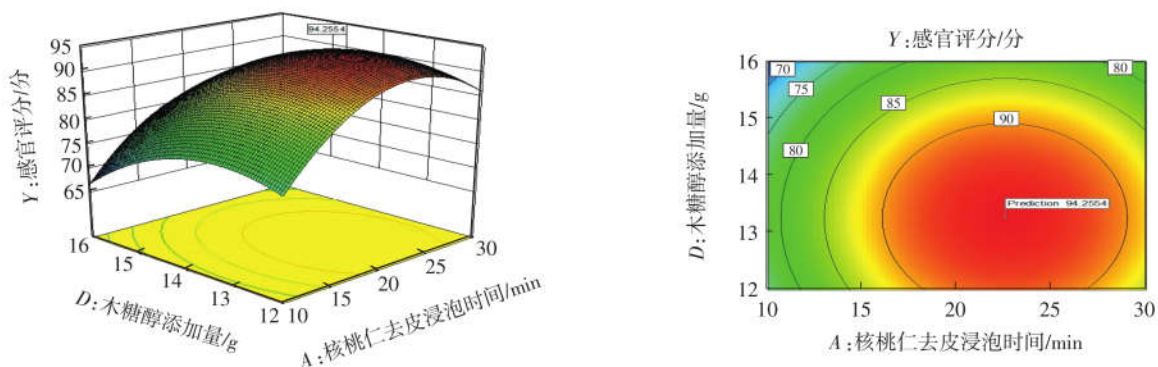


图8 核桃仁去皮浸泡时间与木糖醇添加量的交互作用对低糖核桃营养派感官评分影响的响应面图和等高线图

Fig.8 Contour and response surface maps of interaction between peeling and soaking time of walnut kernel and xylitol addition on sensory scores of low-sugar nutritious walnut pie

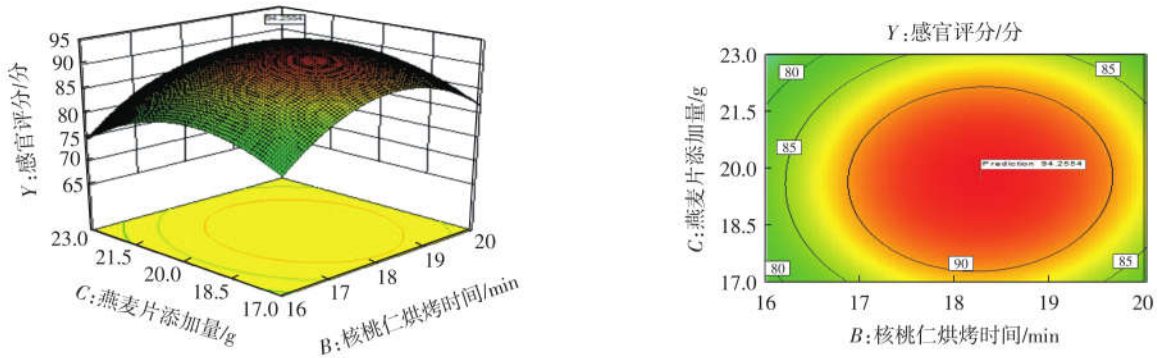


图 9 核桃仁烘烤时间与燕麦片添加量的交互作用对低糖核桃营养派感官评分影响的响应面图和等高线图
Fig.9 Contour and response surface maps of interaction between baking time of walnut kernel and oatmeal addition on sensory scores of low-sugar nutritious walnut pie

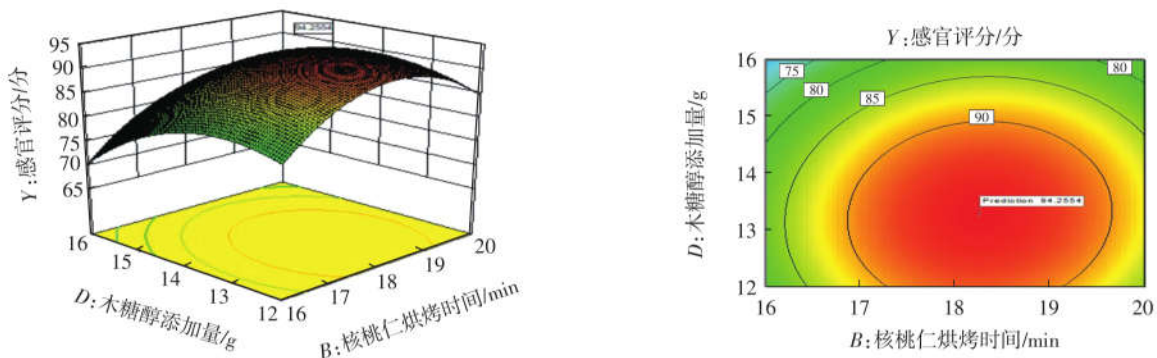


图 10 核桃仁烘烤时间与木糖醇添加量的交互作用对低糖核桃营养派感官评分影响的响应面图和等高线图
Fig.10 Contour and response surface maps of interaction between baking time of walnut kernel and xylitol addition on sensory scores of low-sugar nutritious walnut pie

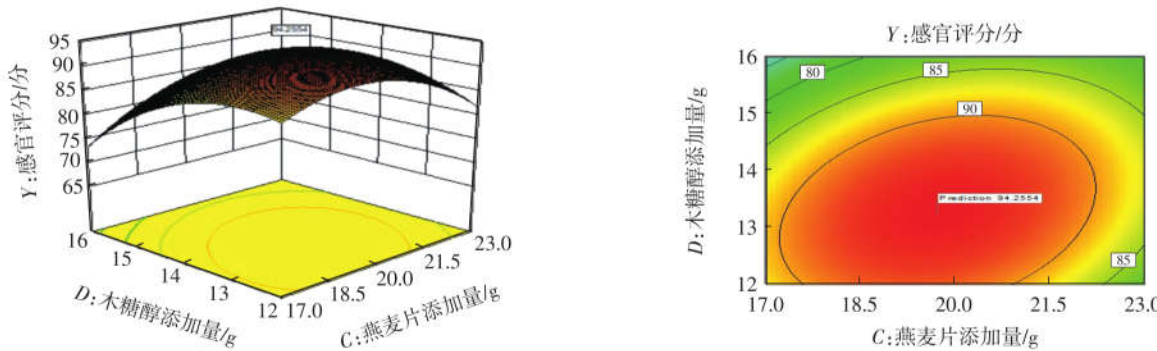


图 11 燕麦片添加量与木糖醇添加量的交互作用对低糖核桃营养派感官评分影响的响应面图和等高线图
Fig.11 Contour and response surface maps of interaction between oatmeal and xylitol additions on sensory scores of low-sugar nutritious walnut pie

添加量对产品感官品质变化的显著性。

2.4.4 最佳条件的确定和回归模型的验证

回归模型通过响应面法得到最优低糖核桃营养派的最佳工艺配方参数为:核桃仁添加量 100 g,核桃仁去皮浸泡时间 22.54 min,核桃仁烘烤时间 18.25 min,核桃仁烘烤温度 160 ℃,麦芽糖添加量 10 g,燕麦片添加量 19.71 g,木糖醇添加量 13.26 g,此时,低糖核

桃营养派的感官评分预测值为 94.26 分。为方便操作,将此配方调整为核桃仁添加量 100 g,核桃仁去皮浸泡时间 23 min,核桃仁烘烤温度 160 ℃,核桃仁烘烤时间 18 min,麦芽糖添加量 10 g,燕麦片添加量 20 g,木糖醇添加量 13 g,制作低糖核桃营养派,平行 3 次进行验证试验,得到低糖核桃营养派的感官评分为 95 分,此时成品口感良好,色泽诱人,甜度适中,不粘

牙。与模型得出的预测值比较可知,平均值和预测值两者的相对偏差小于1%,说明该响应面方程有较好的准确性。

为进一步验证响应面法优化低糖核桃营养派制作工艺条件的可靠性,验证试验要对表5中的0水平的条件同时进行验证。由响应面试验得知,在核桃仁添加量为100 g,核桃仁去皮浸泡时间为20 min,核桃仁烘烤时间为18 min,核桃仁烘烤温度为160 ℃,麦芽糖添加量为10 g,燕麦片添加量为20 g,木糖醇添加量为14 g条件下时,按照以上条件进行3次验证试验,得到低糖核桃营养派的感官评分平均值为93.8分,与模型配方制作的产品感官评分95.0分较为接近,且相对偏差也小于1%,但按照模型配方制作的产品口感以及外观更佳,由此表明模型优化后的参数为最优工艺条件,这说明通过响应面法优化后的低糖核桃营养派制作工艺配方科学可信,具有指导实际生产的应用价值^[25]。

3 结论

本文对低糖核桃营养派制作工艺及配方进行研究,利用单因素试验和响应面试验分析,确定低糖核桃营养派的最佳工艺配方参数为:核桃仁添加量100 g,核桃仁去皮浸泡时间23 min,核桃仁烘烤温度160 ℃,核桃仁烘烤时间18 min,麦芽糖添加量10 g,燕麦片添加量20 g,木糖醇添加量13 g。以此配方制作的低糖核桃营养派感官评分预测值为94.26分,实测值为95分,产品色泽诱人,甜度适中,香气自然浓郁,核桃风味良好。目前对于核桃仁休闲食品的研究主要集中于调味核桃仁方面^[26],但经油炸、套糖工序生产的核桃仁产品口感甜腻,添加剂较多,而且易出现油脂酸败,不适合糖尿病、肥胖症等特殊人群食用。本产品采用以木糖醇为甜味剂,辅以燕麦片增加产品膳食纤维含量,在制作工艺方面,利用烘烤代替油炸,减少油脂和能量的摄入,是一种符合低糖、减少能量和增加膳食纤维的新型核桃休闲食品。

参考文献:

- [1] 王帅,戴涟漪,库雪晶,等. 核桃营养组成与保健功能研究进展[J]. 中国酿造,2016,35(6):30-34.DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2016.06.007.
- [2] CREWS C, HOUGH P, GODWARD J, et al. Study of the main constituents of some authentic walnut oils[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(12): 4853-4860.DOI: 10.1021/jf047836w.

the content of fatty acid compositions in different walnut (*Juglans regia* L.) varieties[J]. European Food Research and Technology, 2017, 243(12): 2235-2242. DOI:10.1007/s00217-017-2925-z.

- [4] BATI B, CELIK I, DOGAN A. Determination of hepatoprotective and antioxidant role of walnuts against ethanol-induced oxidative stress in rats[J]. Cell Biochemistry Biophysics, 2015, 71(2): 1191-1198.DOI:10.1007/s12013-014-0328-3.
- [5] KIM H, YOKOYAMA W, DAVIS P A. TRAMP prostate tumor growth is slowed by walnut diets through altered IGF-1 levels, energy pathways, and cholesterol metabolism[J]. Journal of Medicinal Food, 2014, 17(12): 1281-1286. DOI: 10.1089/jmf.2014.0061.
- [6] PAN A, SUN Q, MANSON J E, et al. Walnut consumption is associated with lower risk of type 2 diabetes in women[J]. The Journal of Nutrition, 2013, 143(4): 512-518.DOI:10.3945/jn.112.172171.
- [7] WANG C, SONG W, JIANG L Z, et al. Purification and identification of an ACE-inhibitory peptide from walnut protein hydrolysate[J]. European Food Research and Technology, 2014, 239(2): 333-338. DOI:10.1007/s00217-014-2227-7.
- [8] TRANDAFIR I, COSMULESCU S, BOTU M, et al. Antioxidant activity, and phenolic and mineral contents of the walnut kernel (*Juglans regia* L.) as a function of the pellicle color[J]. Fruits, 2016, 71(3): 177-184. DOI:10.1051/fruits/2016006.
- [9] 郭蔓莉,吴澎,赵路苹,等. 核桃加工副产物的综合利用及精深加工[J]. 粮油食品科技,2018,26(2):25-29.DOI:10.3969/j.issn.1007-7561.2018.02.006.
- [10] 刘翠,巩阿娜,刘丽,等. 燕麦营养成分与加工制品现状研究进展[J]. 农产品加工(下半月),2015(4):67-70. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2015.04.052.
- [11] 宫春波,于翠芳,张永翠,等. 功能性甜味剂-木糖醇的性质及其应用研究[J]. 中国食品添加剂,2003(5):83-86.DOI:10.3969/j.issn.1006-2513.2003.05.022.
- [12] 崔宽波,李忠新,杨莉玲,等. 非油炸调味核桃仁产品加工工艺的研究[J]. 新疆农业科学,2015,52(1):162-166.DOI:10.6048/j.issn.1001-4330.2015.01.026.
- [13] 杜琨,何健鹏. 琥珀核桃仁加工工艺研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(27): 8672.DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2007.27.124.
- [14] 屈慧鸽,程显好,冯志彬,等. 核桃仁休闲食品工艺研究[J]. 食品工业科技,2009(3):251-253.
- [15] 余少华. 新疆薄皮核桃风味产品的研制及其货架期的研究[D]. 石河子:石河子大学,2009.DOI:10.7666/d.y1544991.
- [16] 黄健,王琪,刘琨毅,等. 响应面法优化薏仁米酒生料酿造工艺[J]. 食品研究与开发,2018,39(16): 104-109.DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2018.16.019.
- [17] 符秀敏. 明胶软糖的质构仪分析与感官评定研究[J]. 中国

《保鲜与加工》征稿要求

1、来稿务必论点正确,数据可靠,文字精练。论文(含图表)一般不少于5000字,采用Word文本文件形式编排,并注明作者联系电话及E-mail地址。

2、文中应包括中英文文章题名,中英文作者工作单位,中英文摘要(主要包括研究的目的、方法、过程、结果、结论、创新点),中英文关键词(3~6组),中英文图表题目,注明第一作者和通讯作者简介(出生年、性别、民族、职称、学历及主要从事的工作领域或研究方向)。

3、所投稿件应当为原创作品,全部数据真实可靠,主要数据、图表未曾正式发表。文中不涉及保密及其他与知识产权相关的侵权问题,一切文责自负。来稿请勿一稿多投。文章格式的具体要求详见本刊官网(www.bxyjg.com)“作者园地”栏目。

符合下列情况之一者,本刊将优先刊发:

1、出自国家级、省部级研究项目或基金资助项目的科技论文。

2、获省部级以上奖励项目资助的科技论文。

3、自主创新、研究成果居国内领先水平以上的论文。

唯一投稿网站:www.bxyjg.com,注册后在线投稿,可随时登录网站查看稿件处理状态;咨询电话:022-27948711。

本刊已被中国学术期刊(光盘版)电子杂志、维普网、万方数据网、超星数据库等网站收录,作者如不同意,请在投稿时向本刊说明。文章发表后,著作权归作者所有,版权和网络信息传播权归本刊所有,作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

食物与营养,2019,25(5):33-36.DOI:10.3969/j.issn.1006-9577.2019.05.007.

[18] 刘亚娜,耿阳阳,张彦雄,等.核桃仁去皮技术研究进展[J].贵州林业科技,2018,46(4):58-62.DOI:10.16709/j.cnki.gzlykj.2018.04.012.

[19] 刘晓毅,薛文通.烘烤对核桃仁风味及其油脂氧化的影响[J].中国油脂,2004,29(4):50-52.DOI:10.3321/j.issn:1003-7969.2004.04.016.

[20] 王蕊.功能性甜味剂木糖醇及在食品加工中的应用[J].江苏食品与发酵,2008(2):18-20.

[21] 丁捷,陈韬,刘胥螺,等.木糖醇玫瑰花生糖生产工艺的研制[J].食品与发酵科技,2013(4):93-94,97.DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2013.04-025.

[22] 段丽丽,徐向波,汤思忆,等.响应面法优化黑芝麻威风蛋糕

的制作工艺[J].粮食与油脂,2020,33(4):49-53.DOI:1008-9578(2020)04-0049-05.

[23] 周艳,赵存朝,史崇颖,等.核桃软糖的研制[J].食品与发酵科技,2019,55(5):60-67.

[24] 魏晓峰,刘敏,王愈.红枣核桃软糖的配方研究与工艺优化[J].食品研究与开发,2016,37(18):79-85.DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2016.18.019.

[25] 母丹丹,陈华国,周欣,等.响应面法优化核桃牛轧糖制作工艺[J].粮食与油脂,2018,31(6):84-88.DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2018.06.022.

[26] 徐效圣,申玉飞,张新明,等.调味核桃仁加工工艺及其配方研究[J].农产品加工,2013(3):44-46.DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2013.03.037.

收稿日期:2020-09-02