

宋悦,范刚,任婧楠,等.基于单形重心设计优化柑橘皮渣馅料配方[J].华中农业大学学报,2022,41(4):132-141.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.04.017

基于单形重心设计优化柑橘皮渣馅料配方

宋悦¹,范刚¹,任婧楠¹,潘思轶¹,李正伦²,何祥²,胡兆兴²

1. 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/
果蔬加工与品质调控湖北省重点实验室,武汉 430070; 2. 秭归县屈姑食品有限公司,秭归 443600

摘要 为开发利用柑橘皮渣,提高柑橘整果资源的利用,以柑橘皮渣为主要原料,利用麦芽糖醇、椰子蜜、罗汉果甜苷作为蔗糖替代品,以中链甘油三酯、聚葡萄糖为脂肪替代品制作柑橘皮渣馅料,以质构参数及感官评价为综合指标,通过单因素试验对蔗糖及油脂替代物进行筛选,并在此基础上利用单形重心设计试验进行配方优化,最终获得柑橘皮渣馅料的最优配方为:以馅料总质量为100%计,柑橘皮浆79.20%、麦芽糖醇7.50%、椰子蜜8.70%、罗汉果甜苷0.10%、花生油0.13%、中链甘油三酯2.26%、聚葡萄糖0.81%、玉米淀粉1.30%。在此条件下,制得的柑橘皮渣馅料色泽澄黄,细腻软糯,清新爽甜,总糖含量降低了57.63%、油脂含量降低了52.54%,总膳食纤维含量增加了20.79%,属于减糖、低脂、高膳食纤维的新型健康馅料。

关键词 柑橘皮渣; 馅料; 减糖; 低脂; 单形重心设计; 配方优化; 柑橘资源利用

中图分类号 TS255.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)04-0132-10

柑橘是全球生产加工消费最多的水果之一。柑橘皮渣作为柑橘加工残留的主要副产品(果皮、种子及果渣),约占鲜果质量的55%~60%,富含酚类、膳食纤维、类胡萝卜素、果胶以及精油等生物活性成分^[1],被广泛用于生产果酱、烘焙食品、饮料以及调味品等多种产品,并在开发创新功能性食品方面显示出巨大潜力^[2]。

目前,市售烘烤食品馅料普遍重糖重油,膳食纤维含量低,热量高,过量摄入易诱发龋齿、肥胖症、心血管疾病和糖尿病等多种疾病^[3-4]。柑橘皮渣热量低且富含膳食纤维,适宜用作健康型馅料原料;此外,通过对馅料配方进行优化,改变糖和脂肪的种类,可进一步降低食品热量。糖和脂肪除提供食品基本味感和风味外,还与食品中其他成分相互作用赋予食品独特的质地,部分或全部替代易导致食品质构和感官特性变化^[5-6]。烘烤食品馅料中蔗糖替代品主要包括糖醇和低聚糖两大类,但鉴于这些替代品的理化特性与蔗糖存在显著差异,通常需要复配使用以达到协同增效作用^[7]。目前商品化的油脂替代品多为固体粉末,缺乏传统油脂固有的润滑口感和流动性,产品易产生变硬、干裂、口感变差等品质问题^[8]。

因此,本研究将质构特性和感官评价作为馅料配方优化评估的2个关键指标,旨在研制出一款低热量食品烘烤馅料,同时为柑橘深加工产品开发提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

脐橙购于湖北省秭归县;白砂糖、食用玉米淀粉、花生油,购于武汉市中百超市;红豆沙、紫薯馅、白莲蓉、凤梨馅,购于广州酒家股份有限公司;海藻糖、赤藓糖醇、麦芽糖醇、罗汉果甜苷、变性木薯淀粉、菊粉、羟丙基甲基纤维素、聚葡萄糖,购于河南万邦化工科技有限公司;椰子蜜购于香港楼上有限公司;中链甘油三酯购于VIVA Naturals; β -环糊精购于国药集团化学试剂有限公司。所用试剂均为分析纯。

TA.XT Plus物性测试仪,英国Stable Micro System有限公司。

1.2 柑橘皮渣馅料制作工艺

参考范茜等^[9]的方法并加以修改,通过预实验初步确定各混料组分的添加量范围,通过D-optimal混料设计试验,最终确定馅料的基础配方为:以馅料总

收稿日期:2021-12-16

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(2662020SPPY002);湖北省重点研发计划项目(2020BBA049)

宋悦,E-mail:1716899184@qq.com

通信作者:范刚,E-mail:fangang@mail.hzau.edu.cn

质量为100%计,柑橘皮浆79.20%、白砂糖16.30%、花生油3.20%、玉米淀粉1.30%。

柑橘皮渣馅料的生产工艺流程:脐橙→清洗→剥皮→切块→微波软化→脱苦→磨浆→均质→浓缩→炒制→冷却→包装→成品。关键操作点包括:①软化。将橙皮置于微波器皿内800 W微波80 s;②脱苦。添加0.70 g/L β -环糊精于25 °C浸泡10 min,流动自来水下冲洗20~30 min;③磨浆。将柑橘皮渣倒入打浆机中按质量比2:3加水打浆;④均质。将柑橘皮浆过孔径0.42 mm筛,细化均质;⑤浓缩。将柑橘皮浆置于不锈钢锅中于85~95 °C下加热浓缩约8 min,并不断搅拌;⑥炒制。倒入白砂糖加热混合约8~10 min并持续搅拌,随后分3次加入乳化均匀的花生油与淀粉混合物,继续翻炒直至馅料成型,约

3~5 min。

1.3 品质评价指标

1)质构特性。参照文献[10-11]的方法,将市售的红豆沙、白莲蓉、紫薯、凤梨4种馅料整形切分为大小规格一致,2 cm×2 cm×2 cm的立方块,对其硬度、弹性、黏聚性、咀嚼性和回复性等质构指标进行测定。TPA测定的参数设置如下:测前速度1.00 mm/s,测试速度5.00 mm/s,测后速度5.00 mm/s;目标模式:压缩率50%,停留时间5 s,触发力5.0 g,探头类型P/36R。

2)感官评价。参照GB/T 21270—2007《食品馅料》并做相应修改,邀请10名具有食品感官评鉴经验的同学从色泽、滋味、质地、香气和外形5个层面对馅料进行感官评价(表1)。

表1 柑橘皮渣馅料的感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard of citrus peel filling

指标 Index	评价标准 Evaluation criteria	分值 Score
色泽 Color	澄黄色,色泽均匀,油润有光泽 Clear yellow, uniform color, glossy oil	11~15
	暗黄色,颜色不均,光泽略暗 Dark yellow, uneven color, slightly dark luster	6~10
	明显褐色,有杂色 Obvious brown, variegated	0~5
滋味 Taste	香甜合适,无苦味及其他异味 Sweet and appropriate, no bitterness and other odors	14~20
	甜度略淡或重,稍有苦味 Light or heavy sweet, slightly bitterness	7~13
	苦味重或有其他异味 Heavy bitterness or no other off-flavors	0~6
质地 Texture	细腻紧致,软硬适中,不粘牙 Fine and tight, moderate hardness, non-stick teeth	21~30
	略有粗糙,感觉稍软或硬,略粘牙 Slightly rough, slightly soft or hard, slightly sticky to the teeth	11~20
	粗糙难咽,坚硬或软塌,粘牙 Rough, hard or soft, sticky teeth	0~10
香气 Odor	香气纯正浓郁,不油腻 Pure fragrance, not greasy	14~20
	香气稍淡,略有油味 Light aroma, slightly oily	7~13
	明显糊味,油腻感强 Obvious burnt taste, strong greasy	0~6
外形 Appearance	外形完整无裂痕,无可见外来杂质 Complete appearance without cracks, no visible foreign impurities	11~15
	外形完整有细微裂痕,些许可见细小杂质 Complete appearance with fine cracks, slight impurities visible	6~10
	变形且裂纹明显,有明显的可见杂质 Deformation and obvious cracks with visible impurities	0~5

3)营养成分。水分的测定参照GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》,蛋白质的测定参照GB/T 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》,脂肪的测定参照GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》,总糖的测定参照GB/T 21270—2007《食品馅料》,膳食纤维的测定参照GB 5009.88—2014《食品中膳食纤维的测定》,碳水化合物的换算方法参照GB/Z 21922—2008《食品营养成分基本术语》。

1.4 单因素试验设计

1)单个蔗糖替代品的筛选。分别选用海藻糖、麦芽糖醇、赤藓糖醇、椰子蜜以及罗汉果甜苷作为柑橘皮渣馅料配方中的蔗糖替代品,并选取0%、20%、40%、60%、80%和100% 6个水平的蔗糖替代量,

每个替代量水平做3个平行,最后进行TPA参数测定。

2)单个油脂替代品的筛选。分别选用变性木薯淀粉、聚葡萄糖、中链甘油三酯、菊粉以及羟丙基甲基纤维素作为柑橘皮渣馅料配方中的油脂替代品,并选取0%、25%、50%、75%及100% 5个水平的油脂替代量,每个替代量水平做3个平行,最后进行TPA参数测定。

1.5 单形重心设计

在单因素试验的基础上,将无显著差异或低于对照组水平视为蔗糖替代品或者油脂替代品的最佳替代量,利用Design Expert 11.0中的单形重心设计

将蔗糖替代品或油脂替代品进行复配,选取合适的质构参数为响应值,建立最佳回归模型,并辅以感官评价最终确定蔗糖替代品或油脂替代品之间的最佳复配比。

1.6 数据处理及分析

每组试验均重复3次,结果表示为“平均值±标准差”的形式。采用Design Expert 11.0和SPSS 22.0软件进行数据的统计与分析,用GraphPad Prism 8.0进行绘图。

表2 馅料质构特性与感官评定结果

Table 2 Results of instrumental analysis and sensory evaluation of fillings

馅料 Filling	硬度/g Hardness	弹性 Springiness	黏聚性 Cohesiveness	咀嚼性/g Chewiness	回复性 Resilience	感官评分 Sensory score
红豆沙 Red bean paste	822.112±55.396a	0.297±0.019c	0.251±0.048b	64.601±5.517b	0.053±0.004a	74.50±3.16ab
紫薯馅 Purple sweet potato filling	555.858±28.032c	0.425±0.045b	0.333±0.054b	55.581±0.406c	0.043±0.004b	78.83±3.06a
凤梨馅 Pineapple filling	510.918±65.082bc	0.682±0.002a	0.568±0.033a	137.897±3.784a	0.044±0.003b	76.17±4.13ab
白莲蓉 White lotus paste	602.740±55.111b	0.277±0.016c	0.266±0.012b	43.215±4.387d	0.053±0.004a	73.25±4.27b

注:同一列中不同字母表示数据间具有显著差异($P<0.05$)。Note: Data marked with different letters in the same column are significantly different from each other ($P<0.05$).

2.2 单因素试验结果

由图1A可知,随着海藻糖替代量的不断增加,对馅料的质构参数影响较大,海藻糖具有低吸湿性,替代量超过20%后,馅料弹性变差,黏聚性和回复性均呈极显著增长($P<0.01$),硬度总体呈增长趋势,并在100%达到最大值。综合考虑,海藻糖不适宜做柑橘皮渣馅料中的蔗糖替代品。由图1B可见,麦芽糖醇替代量为20%~60%时,馅料的硬度呈极显著性降低($P<0.01$),黏聚性与麦芽糖醇替代量呈同步增长趋势,回复性除20%替代量时呈极显著性降低($P<0.01$),其余替代量较对照组水平无显著性差异($P>0.05$)。综合考虑,麦芽糖醇的最佳替代量为20%。由图1C可见,随着赤藓糖醇替代量的增加,馅料硬度呈先增加后降低趋势,但与对照组相比,其硬度值均极显著高于对照组($P<0.01$),这是由于赤藓糖醇具有结晶倾向,馅料的黏聚性呈极显著性增长($P<0.01$),表皮颜色变浅,赤藓糖醇替代量超过20%后,馅料回复性也极显著增加($P<0.01$)。综合考虑,赤藓糖醇不适宜做柑橘皮渣馅料中的蔗糖替代品。由图1D可见,液态的椰子蜜黏性较强,随着替代量的增加,馅料可塑性增强,硬度与回复性均呈极显著性降低($P<0.01$),替代量为80%~100%时,馅料的黏聚性无显著性变化($P>0.05$)。综合考虑,椰子蜜的最佳替代量为80%~100%。由图1E可

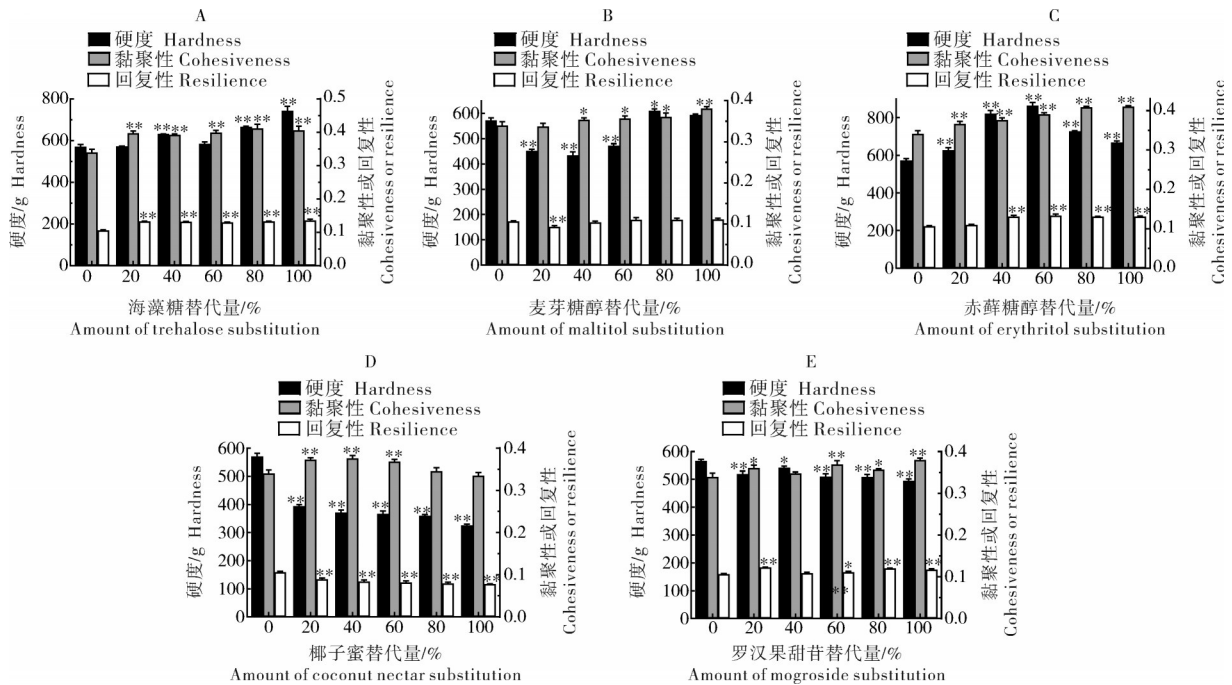
2 结果与分析

2.1 馅料品质评价指标的确定

通过分析市面上同类馅料的感官评分与质构仪测定结果之间的相关性,表1结果显示感官评分与硬度呈极显著负相关($r=-0.855, P<0.01$),与黏聚性呈显著负相关($r=-0.756, P<0.05$),与回复性呈极显著负相关($r=-0.830, P<0.01$)。说明馅料的硬度、黏聚性、回复性越小,其感官品质越好。因此,可借助这3个TPA参数客观评价柑橘皮渣馅料品质。

见,罗汉果甜苷水溶性良好,随着替代量的增加,馅料的硬度呈下降趋势,并在100%时达到最低值($P<0.01$),罗汉果甜苷溶液黏度较蔗糖低,当替代量超过40%时,馅料结构松散,回复性呈极显著性增加($P<0.01$)。综合考虑,罗汉果甜苷的最佳替代量为40%。

由图2A可知,变性木薯淀粉支链淀粉含量高,黏性大,添加量不宜过高。随着变性木薯淀粉替代量的不断增加,其吸水性降低,保留了面筋网络中的淀粉颗粒结构,硬度、黏聚性及回复性均呈极显著性增加($P<0.01$)。综合考虑,变性木薯淀粉不适宜做柑橘皮渣馅料中的油脂替代品。由图2B可知,随着聚葡萄糖替代量的增加,馅料硬度先降低后增加,并在100%时达到最高值($P<0.01$),馅料的黏聚性呈快速增长趋势,馅料的回复性呈降低趋势。综合考虑,聚葡萄糖的最佳替代量为25%。由图2C可知,中链甘油三酯具有轻微的亲水特性,随着替代量的不断增加,馅料硬度呈现先增加后降低趋势,并在100%替代时,馅料的硬度和黏聚性与对照组无显著性差异($P>0.05$),中链甘油三酯相较于传统油脂,其流动性更佳、黏度更低。因此,馅料的回复性总体呈下降趋势,并在80%~100%替代量时极显著性降低($P<0.01$)。综合考虑,中链甘油三酯的最佳替代量为100%。由图2D可知,随着菊粉替代量的增加,



*差异显著($P < 0.05$); **差异极显著($P < 0.01$),下同。 * Significant difference ($P < 0.05$); ** Extremely significant difference ($P < 0.01$), the same as below.

图1 蔗糖替代品海藻糖(A)、麦芽糖醇(B)、赤藓糖醇(C)、椰子蜜(D)和罗汉果甜苷(E)对柑橘皮渣馅料质构特性的影响

Fig.1 Effect of sucrose substitutes trehalose (A), maltitol (B), erythritol (C), coconut nectar (D) and mogroside (E) on texture of citrus peel filling

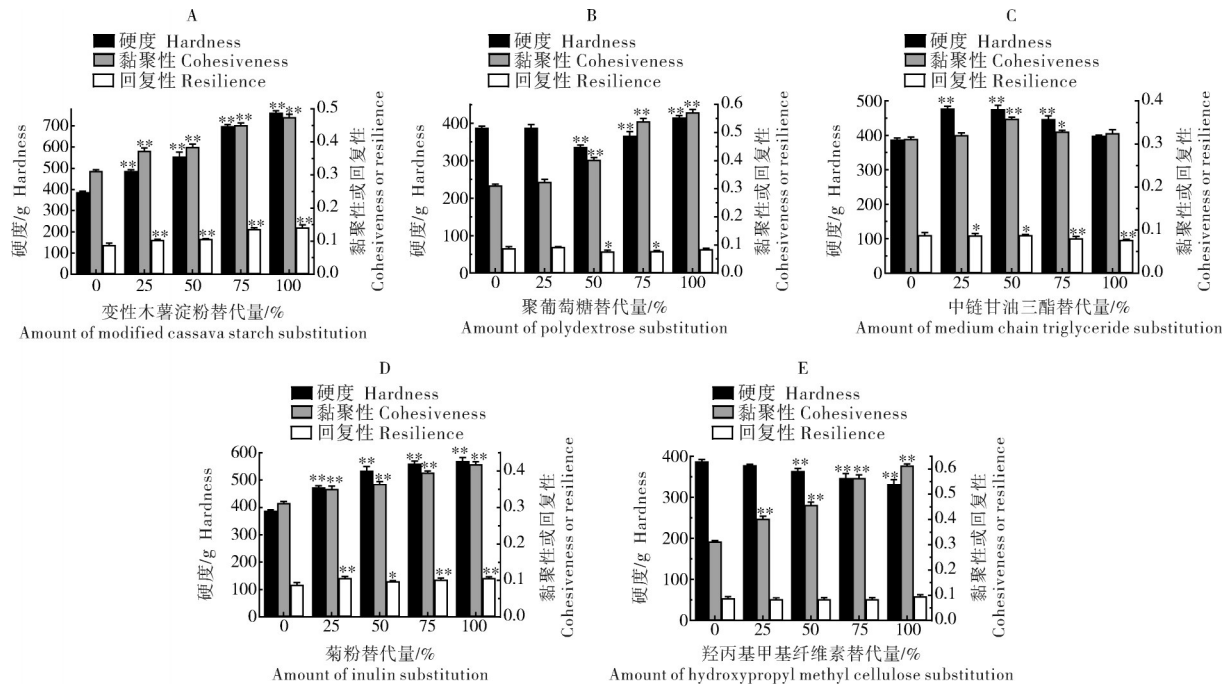


图2 油脂替代品变性木薯淀粉(A)、聚葡萄糖(B)、中链甘油三酯(C)、菊粉(D)和羟丙基甲基纤维素(E)对柑橘皮渣馅料质构特性的影响

Fig.2 Effect of fat substitutes modified cassava starch (A), polydextrose (B), medium chain triglyceride (C), inulin (D) and hydroxypropyl methyl cellulose (E) on texture of citrus peel filling

馅料硬度发生极显著性增长,菊粉可与食品体系中的水分子紧密结合,菊粉凝胶的黏性增加,馅料的黏聚性和回复性整体呈极显著性增长趋势($P<0.01$),并在100%时达到最大值。综合考虑,菊粉不适宜做柑橘皮渣馅料中的油脂替代品。由图2E可知,随羟丙基甲基纤维素替代量的增加,馅料的硬度总体呈下降趋势,回复性未发生显著性变化($P>0.05$),而黏聚性呈极剧增长趋势($P<0.01$),添加量过多时馅料过于粘牙。综合考虑,羟丙基甲基纤维素不适宜

作柑橘皮渣馅料中油脂的替代品。

2.3 蔗糖替代品{4,3}单形重心设计试验结果

在单因素试验的基础上,选取3种效果显著的蔗糖替代品麦芽糖醇(B)、椰子蜜(C)、罗汉果甜苷(D)和白砂糖(A)进行复配, $A+B+C+D=1$,1表示每100g馅料中蔗糖替代量为16.30g。以硬度、黏聚性和回复性为响应值,通过{4,3}单形重心设计试验进行配方优化分析,确定各成分最优配比。试验设计方案及结果见表3。

表3 {4,3}单形重心设计试验结果

Table 3 Results of {4,3} simplex centroid design experiment

序号 Number	A	B	C	D	硬度/g Hardness	黏聚性 Cohesiveness	回复性 Resilience
1	1	0	0	0	675.883 ± 11.212	0.382 ± 0.006	0.126 ± 0.003
2	1/2	1/2	0	0	574.166 ± 19.223	0.391 ± 0.013	0.129 ± 0.002
3	1/2	0	1/2	0	375.919 ± 29.687	0.340 ± 0.009	0.074 ± 0.002
4	0	1/3	1/3	1/3	384.420 ± 18.558	0.352 ± 0.013	0.088 ± 0.004
5	0	0	1	0	311.741 ± 12.299	0.376 ± 0.012	0.078 ± 0.002
6	1/3	0	1/3	1/3	459.380 ± 39.005	0.352 ± 0.010	0.098 ± 0.003
7	0	0	1	0	284.854 ± 18.941	0.375 ± 0.005	0.083 ± 0.003
8	0	0	1/2	1/2	341.377 ± 11.468	0.333 ± 0.009	0.089 ± 0.005
9	1	0	0	0	618.140 ± 18.804	0.381 ± 0.006	0.124 ± 0.003
10	1/3	1/3	1/3	0	412.652 ± 23.480	0.317 ± 0.010	0.080 ± 0.003
11	0	1	0	0	599.406 ± 15.265	0.378 ± 0.010	0.114 ± 0.002
12	1/2	0	0	1/2	575.054 ± 12.146	0.376 ± 0.012	0.119 ± 0.006
13	0	1/2	0	1/2	560.820 ± 10.040	0.376 ± 0.009	0.128 ± 0.004
14	0	1/2	1/2	0	278.615 ± 17.618	0.364 ± 0.016	0.078 ± 0.004
15	0	0	0	1	583.335 ± 29.267	0.380 ± 0.005	0.116 ± 0.004
16	0	1	0	0	587.012 ± 16.413	0.375 ± 0.019	0.107 ± 0.004
17	1/3	1/3	0	1/3	591.499 ± 25.847	0.398 ± 0.004	0.135 ± 0.002
18	0	0	0	1	598.276 ± 13.256	0.379 ± 0.012	0.113 ± 0.005
19	1/4	1/4	1/4	1/4	438.846 ± 22.854	0.343 ± 0.016	0.097 ± 0.006

利用Design Expert 10.0软件对表3数据进行回归拟合,方差分析结果见表4。分别以硬度、黏聚性及回复性为响应值建立回归模型, $P<0.0001$,均为极显著,且失拟项 P 值 >0.05 ,均为不显著,说明试验所选用的模型拟合度较好,试验误差小,表明该回归模型可用于对复配蔗糖替代品的质构特性进行分析预测。

由图3A可知,固定白砂糖含量,响应面弯曲程度大,坡度大,即椰子蜜添加量对馅料硬度影响显著,麦芽糖醇添加量和罗汉果甜苷添加量对硬度的影响较小。由图3B可知,固定白砂糖含量,响应面呈拱形,麦芽糖醇、椰子蜜和罗汉果甜苷存在一定的交互作用,添加适宜比例时,馅料的黏聚性存在极低值。由图3C可知,固定白砂糖含量,响应面曲面陡

峭,即椰子蜜添加量对馅料回复性影响显著,麦芽糖醇和罗汉果甜苷添加量对回复性影响较小。

2.4 油脂替代品{3,2}单形重心设计试验结果

在单因素试验的基础上,选取2种效果显著的油脂替代品中链甘油三酯(B)、聚葡萄糖(C)和花生油(A)进行复配, $A+B+C=1$,1表示1表示每100g馅料中油脂替代量为3.20g。以硬度、黏聚性和回复性为响应值,通过{3,2}单形重心设计试验进行配方优化分析,确定各成分最优配比。试验设计方案及结果见表5。

利用Design Expert 10.0软件对表5数据进行回归拟合,方差分析结果见表6。分别以硬度、黏聚性及回复性为响应值建立回归模型,可见 $P<0.0001$,均为极显著,且失拟项 P 值 >0.05 ,均为不显著,说明试验

表4 回归模型的方差分析
Table 4 Variance analysis of regression model

指标 Index	方差来源 Source of variance	F值 F value	P值 P value	显著性 Significance
硬度 Hardness	模型 Model	56.14	< 0.000 1	**
	AB	1.51	0.250 6	
	AC	9.61	0.012 7	*
	AD	0.768 8	0.403 4	
	BC	43.07	0.000 1	**
	BD	0.619 4	0.451 5	
	CD	12.72	0.006 1	**
黏聚性 Cohesiveness	模型 Model	188.34	< 0.000 1	**
	AB	31.96	0.002 4	**
	AC	260.80	< 0.000 1	**
	AD	4.34	0.091 7	
	BC	96.42	0.000 2	**
	BD	31.36	0.002 5	**
	CD	414.90	< 0.000 1	**
	ABC	324.72	< 0.000 1	**
	ABD	0.064 2	0.810 1	
	ACD	0.011 5	0.918 8	
回复性 Resilience	模型 Model	69.47	< 0.000 1	**
	AB	13.41	0.014 6	*
	AC	54.41	0.000 7	**
	AD	0.031 6	0.866 0	
	BC	22.44	0.005 2	**
	BD	25.22	0.004 0	**
	CD	14.27	0.012 9	*
	ABC	10.58	0.022 6	*
	ABD	3.13	0.137 1	
	ACD	4.14	0.097 5	
BCD	7.67	0.039 4	*	

所选用的模型拟合度较好, 试验误差小, 据此可用该回归模型对复配油脂替代品的质构特性进行分析预测。

由图4A可知, 花生油、中链甘油三酯及聚葡萄糖三者间存在一定的交互作用, 且聚葡萄糖对馅料硬度的影响较为显著, 随着聚葡萄糖添加量的不断增加, 馅料硬度呈同步增长趋势, 表明花生油与中链甘油三酯交互项对馅料影响较小。由图4B可知, 响应面曲面陡峭, 坡度大, 中链甘油三酯及聚葡萄糖对馅料黏聚性影响较显著, 且聚葡萄糖添加量超过50%时, 随着添加量的增加, 馅料的黏聚性显著增加。由图4C可知, 响应面曲面弯曲程度大, 坡度大, 即花生油、中链甘油三酯及聚葡萄糖三者交互作用显著, 中链甘油三酯的添加可使产品口感更加顺滑,

质地紧密, 从而显著降低馅料的回复性, 馅料回复性随聚葡萄糖替代量的增加呈现先降低后增加的趋势。

2.5 配方优化结果

在最大限度保持感官品质的前提下, 将馅料的预期硬度、黏聚性以及回复性设置为最低水平, 运行 Design Expert 软件进行优化, 得到健康型柑橘皮渣馅料的最优配方: 以馅料总质量为100%计, 柑橘皮浆79.20%、麦芽糖醇7.50%、椰子蜜8.70%、罗汉果甜苷0.10%、花生油0.13%、中链甘油三酯2.26%、聚葡萄糖0.81%、玉米淀粉1.30%, 样品的感官评分为74.25。按此配方进行3次验证试验, 结果表明真实值和预测值无显著差异($P > 0.05$), 证实该模型适用于健康型柑橘皮渣馅料配方的优化。

2.6 柑橘皮渣馅料的营养成分

根据GB/T 21270—2007《食品馅料》, 焙烤食品馅料的干燥失重率要求 $\leq 40\%$, 总糖含量要求 $\leq 60\%$, 脂肪含量要求 $\leq 33\%$, 结果表明两款柑橘皮渣馅料均符合标准要求(表7)。

3 讨论

蔗糖与油脂是馅料制作过程中必不可少的两大原料。本研究通过单因素试验与单形重心设计试验成功筛选出麦芽糖醇、椰子蜜以及罗汉果甜苷为柑橘皮渣馅中的蔗糖替代品, 并实现了蔗糖全替代, 中链甘油三酯、聚葡萄糖与花生油进行复配, 充当柑橘皮渣馅料中的油脂替代品, 结果表明制得的馅料清润细腻, 较好地维持了馅料原有质地的稳定性。其中, 麦芽糖醇与蔗糖的性质最为相似, 可与水分子结合形成大量的氢键, 具有良好的吸湿性和稳定性, 增加溶液的黏度, 并可降低淀粉颗粒的水合作用和膨胀度, 抑制淀粉糊化及面筋网络的发育^[12], 从而增加了馅料的黏性, 赋予馅料奶油般的细腻质地^[13], 椰子蜜则是由椰子花自身分泌物浓缩制成的一种天然甜味剂^[14], 黏性较强, 促使馅料可塑性增强。唐晓凤^[15]筛取麦芽糖醇作为低热量柿子全果月饼馅料的蔗糖全替代品, 李雪莲等^[16]以蜂蜜、麦芽糖醇为主要原料制成的低糖蔬果月饼馅料, 清甜适宜, 不油腻, 研究表明蔗糖除提供甜味以外, 还与水、淀粉、蛋白质以及脂肪等成分相互作用^[7], 在不影响食品的品质与稳定性的情况下消除或替代糖具有一定难度。

此外, 脂肪还可决定馅料最终产品的质地及风味, 单一去除脂肪易导致产品质量下降, 当脂肪减少

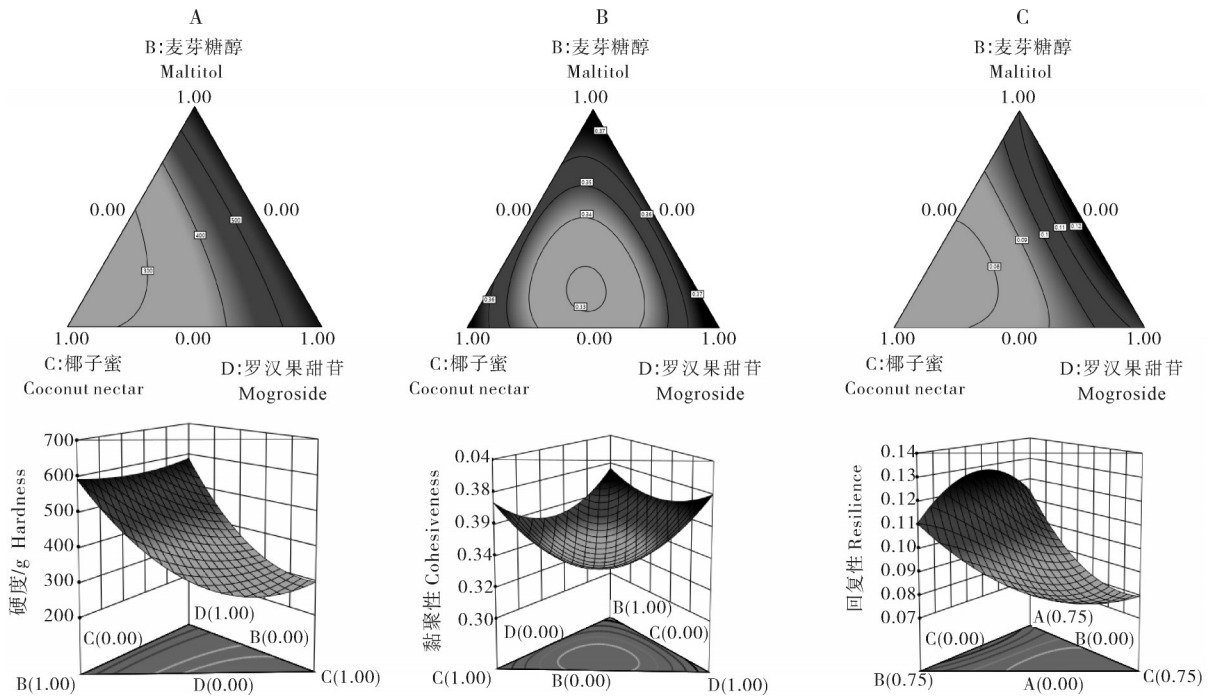


图3 复合蔗糖替代品对馅料硬度(A)、黏聚性(B)、回复性(C)的三维等高线图和响应面图

Fig.3 3D contour map and response surface diagram of compound sucrose substitute on hardness(A), cohesiveness(B) and resilience(C) of filling

表5 {3,2}单形重心设计试验结果

Table 5 Results of {3,2} simplex centroid design experiment

序号 Number	A	B	C	硬度/g Hardness	黏聚性 Cohesiveness	回复性 Resilience
1	1/6	2/3	1/6	351.460 ± 13.144	0.322 ± 0.005	0.080 ± 0.002
2	1/3	1/3	1/3	343.794 ± 22.021	0.375 ± 0.010	0.081 ± 0.006
3	1/6	1/6	2/3	382.898 ± 10.875	0.414 ± 0.022	0.083 ± 0.004
4	2/3	1/6	1/6	346.419 ± 17.646	0.358 ± 0.013	0.081 ± 0.003
5	1/2	1/2	0	336.661 ± 16.906	0.336 ± 0.010	0.093 ± 0.004
6	0	1	0	394.353 ± 14.783	0.335 ± 0.006	0.080 ± 0.003
7	1	0	0	374.123 ± 12.941	0.358 ± 0.015	0.078 ± 0.007
8	1	0	0	378.945 ± 18.373	0.356 ± 0.012	0.076 ± 0.002
9	1/2	0	1/2	392.797 ± 18.353	0.395 ± 0.017	0.088 ± 0.003
10	0	0	1	430.444 ± 15.371	0.408 ± 0.010	0.091 ± 0.003
11	0	0	1	425.519 ± 12.554	0.405 ± 0.023	0.087 ± 0.004
12	0	1/2	1/2	378.565 ± 19.146	0.330 ± 0.010	0.078 ± 0.002
13	0	1	0	397.243 ± 13.674	0.332 ± 0.016	0.078 ± 0.004

超过30%~40%时,产品易发生变硬、干裂、口感差等品质问题^[17],目前在食品中广泛使用脂肪替代品来弥补这一缺陷,陈弦^[10]采用菊粉、Simplex100以及麦芽糊精分别对广式冬瓜蓉馅料中的油脂进行了替代,结果表明三者均对馅料的硬度、黏聚性和回复性产生极显著影响,馅料的质地变差,均不适宜做馅料的油脂替代品,而本研究发现液体脂肪的存在可确保馅料保持适当的润滑性,油脂的减少会降低油

脂与淀粉的乳化作用,使馅料的硬度和黏性增加,从而影响产品的最终质地^[18],而中链甘油三酯作为一种膳食甘油三酯,具有传统油脂般的流动性与润滑口感,且黏度较花生油低。因此,本研究利用中链甘油三酯提高了馅料的延展性,口感更加细腻,这可能是因为当淀粉颗粒被脂肪覆盖时,水分扩散以及蛋白质的水合作用受到抑制^[19],从而使得馅料质地紧密,最终产品更加柔软,黏聚性大幅降低。Koh等^[20]

表6 回归模型的方差分析

Table 6 Variance analysis of regression model

指标 Index	方差来源 Source of variance	F值 F value	P值 P value	显著性 Significance
硬度 Hardness	模型 Model	249.53	< 0.000 1	**
	AB	301.09	< 0.000 1	**
	AC	11.45	0.014 8	*
	BC	130.41	< 0.000 1	**
	ABC	27.28	0.002 0	**
黏聚性 Cohesiveness	模型 Model	588.47	< 0.000 1	**
	AB	104.90	0.000 5	**
	AC	48.77	0.002 2	**
	BC	451.12	< 0.000 1	**
	A ² BC	4.10	0.113 0	
	AB ² C	37.77	0.003 6	**
	ABC ²	491.91	< 0.000 1	**
回复性 Resilience	模型 Model	94.56	< 0.000 1	**
	AB	284.06	< 0.000 1	**
	AC	24.19	0.002 7	**
	BC	65.30	0.000 2	**
	ABC	58.97	0.000 3	**

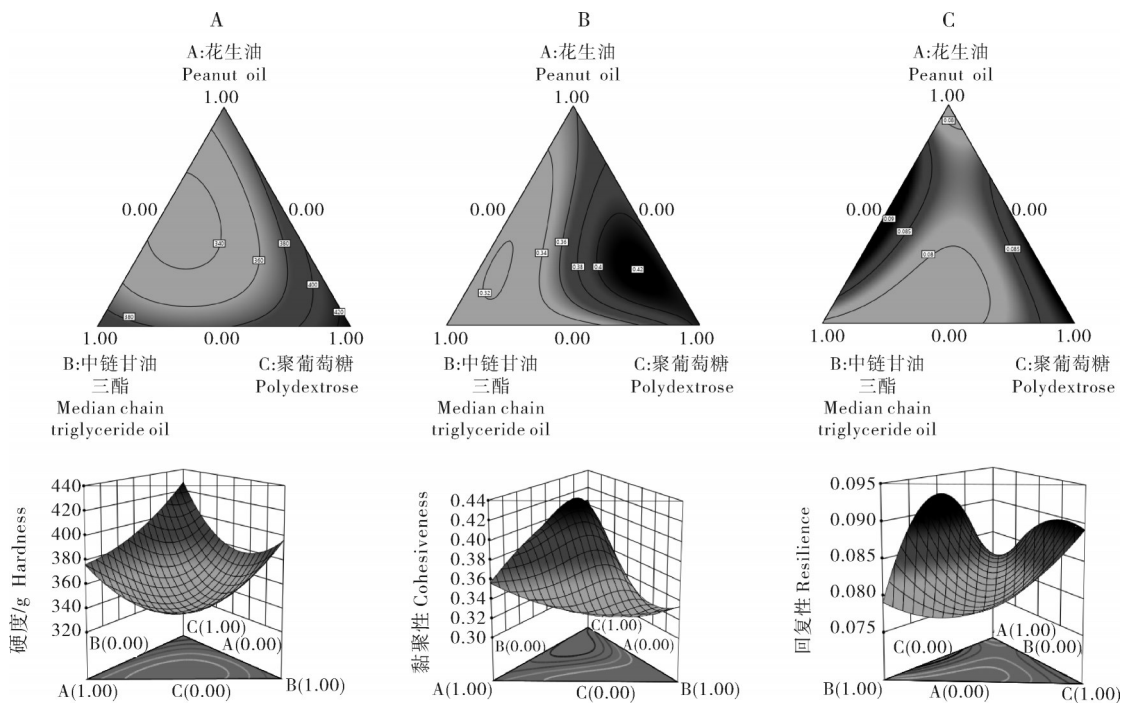


图4 复合油脂替代品对馅料硬度(A)、黏聚性(B)、回复性(C)的三维等高线图和响应面图

Fig. 4 3D contour map and response surface diagram of composite grease substitute filling on hardness (A), cohesiveness (B), and resilience (C)

使用中链甘油三酯替代食品调味品中的大豆油,并对油基沙拉酱的产品外观和感官接受度无显著影响。此外,聚葡萄糖吸湿性较强,可借助水分形成一种高度黏稠的凝胶状基质,从而模拟类似脂肪般的

塑化效果,呈现高黏度的凝胶状,也可显著增强食品的黏弹性,Aggarwal等^[17]也发现聚葡萄糖在饼干中的最佳替代量为30%,并对食品的感官特性无显著影响,与本研究结果相似。

表7 柑橘皮渣馅料的营养成分测定结果

Table 7 Nutrient content of citrus peel residue fillings

种类 Species	水分 Moisture	蛋白质 Protein	脂肪 Fat	总糖 Total sugar	总膳食纤维 Total dietary fiber	碳水化合物 Carbohydrate	%
普通 Regular	29.30±0.25	0.71±0.01	5.90±0.06	24.78±0.08	5.82±0.07	57.29	
减糖低脂 Less sugar & low-fat	29.10±0.18	0.81±0.02	2.80±0.14	10.50±0.06	7.03±0.06	59.04	

综上所述,本研究采用单形重心设计,通过质构分析和感官评价,获得了柑橘皮渣馅料的质构特性(硬度、黏聚性和回复性)与蔗糖、油脂复配比例的预测模型,结果合理可行,通过对糖及脂肪替代品的有效调控,满足了消费者对馅料的营养健康需求。

参考文献 References

- [1] PANWAR D, SAINI A, PANESAR P S, et al. Unraveling the scientific perspectives of citrus by-products utilization: progress towards circular economy[J]. Trends in food science & technology, 2021, 111: 549-562.
- [2] LIU N, LI X, ZHAO P, et al. A review of chemical constituents and health-promoting effects of citrus peels[J/OL]. Food chemistry, 2021, 365: 130585[2021-12-16]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130585>.
- [3] 卜坚珍, 于立梅, 曾晓房, 等. 健康型烘焙制品的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(26): 93-95. BU J Z, YU L M, ZENG X F, et al. Research progress of health type baking products[J]. Journal of Anhui agricultural sciences, 2017, 45(26): 93-95 (in Chinese with English abstract).
- [4] PERIS M, RUBIO-ARRAEZ S, CASTELLÓ M L, et al. From the laboratory to the kitchen: new alternatives to healthier bakery products[J/OL]. Foods, 2019, 8(12): 660[2021-12-16]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6963723/>. DOI: 10.3390/foods8120660.
- [5] LUO X, ARCOT J, GILL T, et al. A review of food reformulation of baked products to reduce added sugar intake[J]. Trends in food science & technology, 2019, 86: 412-425.
- [6] 艾思洁, 韦嘉璐, 张火清, 等. 甜点生产中糖替代品和脂肪替代品的研究进展[J]. 轻工科技, 2021, 37(4): 8-12. AI S J, WEI J L, ZHANG H Q, et al. Research progress of sugar and fat substitutes in sweet pastry production[J]. Light industry science and technology, 2021, 37(4): 8-12 (in Chinese).
- [7] SAHIN AW, ZANNINI E, COFFEY A, et al. Sugar reduction in bakery products: current strategies and sourdough technology as a potential novel approach[J/OL]. Food research international, 2019, 126: 108583[2021-12-16]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108583>.
- [8] COLLA K, COSTANZO A, GAMLATH S. Fat replacers in baked food products[J/OL]. Foods, 2018, 7(12): 192[2021-12-16]. <https://www.mdpi.com/2304-8158/7/12/192>. DOI: 10.3390/foods7120192.
- [9] 范茜, 范刚, 任婧楠, 等. 脐橙皮渣的快速脱苦及其馅料制备[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(2): 213-221. FAN X, FAN G, REN J N, et al. Rapid debittering of navel orange peel residue and its filling preparation[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40(2): 213-221 (in Chinese with English abstract).
- [10] 陈弦. 基于TPA参数的低热量广式月饼冬瓜蓉配方优化及其品质评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013. CHEN X. Formula optimization of low-calorie white gourd stuffing in Cantonese-style moon cake based on TPA parameters and evaluation on its quality[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [11] 郝海, 关尚玮, 尼米策仁·娜琴, 等. 枣泥馅料质构参数与感官品质的相关性[J]. 现代食品科技, 2021, 37(6): 244-250, 275. HAO H, GUAN S W, NIMICEREN N Q, et al. Correlation between texture parameters of jujube paste and sensory quality[J]. Modern food science and technology, 2021, 37(6): 244-250, 275 (in Chinese with English abstract).
- [12] VAN DER SMAN R G M, RENZETTI S. Understanding functionality of sucrose in biscuits for reformulation purposes[J]. Critical reviews in food science and nutrition, 2019, 59(14): 2225-2239.
- [13] KEARSLEY M, DEIS R C. Maltitol powder [M] // KEARSLEY M W. Sweeteners and sugar alternatives in food technology. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012: 295-308.
- [14] MURIEL J O D, JEAN-LOUIS K K, REBECCAR A, et al. Development of a method to produce granulated sugar from the inflorescences sap of coconut (*Cocos nucifera* L.) in Ivory Coast: case of hybrid PB113+ [J]. Journal of experimental agriculture international, 2019, 39(2): 1-9.
- [15] 唐晓凤. 柿子全果月饼馅料的研制及贮藏特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016. TANG X F. The development of the whole persimmon moon cake's fillings and the study on their storage properties [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [16] 李雪莲, 黄立新. 低糖蔬果月饼馅料的制作[J]. 食品科技, 2007, 32(4): 106-107. LI X L, HUANG L X. Manufacture of vegetable and fruit moon cake stuffing with low sugar[J]. Food science and technology, 2007, 32(4): 106-107 (in Chinese with English abstract).
- [17] AGGARWAL D, SABIKHI L, KUMAR M H S, et al. Investi-

- gating the effect of resistant starch, polydextrose and biscuit improver on the textural and sensory characteristics of dairy-multi-grain composite biscuits using response surface methodology[J]. *Journal of food measurement and characterization*, 2018, 12(2): 1167-1176.
- [18] ROHM H, SCHÄPER C, ZAHN S. Interesterified fats in chocolate and bakery products: a concise review [J]. *LWT*, 2018, 87: 379-384.
- [19] LIM J, INGLETT G E, LEE S Y. Response to consumer demand for reduced-fat foods; multi-functional fat replacers [J]. *Japan journal of food engineering*, 2010, 11(4): 147-152.
- [20] KOH S P, ARIFIN N, TAN C P, et al. Rheological properties, oxidative stability and sensory evaluation of enzymatically synthesized medium- and long-chain triacylglycerol-based salad dressings [J]. *European journal of lipid science and technology*, 2008, 110(12): 1116-1126.

Optimizing the filling formula of citrus peel residue based on simplex centroid design

SONG Yue¹, FAN Gang¹, REN Jingnan¹, PAN Siyi¹, LI Zhenglun², HE Xiang², HU Zhaoxing²

*1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/
Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education/
Hubei Province Key Laboratory of Fruit & Vegetable Processing & Quality Control,
Wuhan 430070, China;*

2. Qugu Food Co., Ltd. in Zigui County, Zigui 443600, China

Abstract The scientific development and utilization of citrus peel residue can not only efficiently utilize citrus fruit resources, but also greatly promote the development of citrus deep processing industry and realize the sustainable utilization of citrus resources. The filling of citrus peel residue was made by using citrus peel residue as the main raw material, maltitol, coconut nectar and mogroside as sucrose substitutes, and medium-chain triglyceride and polydextrose as fat substitutes. Taking texture parameters and sensory evaluation as comprehensive indexes, the sucrose and fat substitutes were screened with single-factor test. On this basis, the simplex centroid design was used to optimize the filling formula. Finally, the optimized filling formula of citrus peel residue based on 100% filling was obtained as follows: citrus peel pulp 79.20%, maltitol 7.50%, coconut nectar 8.70%, mogroside 0.10%, peanut oil 0.13%, medium-chain triglyceride 2.26%, polydextrose 0.81%, and corn starch 1.30%. Under this condition, the filling of citrus peel residue was bright yellow in color, delicate, soft and glutinous, fresh and sweet. The content of total sugar and oil decreased by 57.63% and 52.5%, and the content of total dietary fiber increased by 20.79%. It was a new healthy filling with reduced sugar, low fat and high dietary fiber.

Keywords citrus peel residue; fillings; reduced sugar; low fat; simplex centroid design; formula optimization; utilization of citrus resources

(责任编辑:赵琳琳)