

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2019.01.005

响应面法优化戊聚糖曲奇饼干 工艺配方研究

张强^{1,2}, 赵卉珉¹, 梁进^{1,2}

(1. 安徽农业大学 茶与食品科技学院, 安徽 合肥 230036;

2. 安徽省农产品加工工程实验室, 安徽 合肥 230036)

摘要: 旨在改良传统曲奇饼干的制作工艺, 研究了添加戊聚糖制备曲奇饼干的最佳工艺配方。在单因素实验明确戊聚糖粉、绵白糖以及烘焙时间对曲奇饼干感官品质影响的基础上, 利用 Box-Behnken 设计实验, 对产品进行品质分析。结果表明, 采用戊聚糖粉添加量 10.85%, 绵白糖添加量 27.58%, 烘焙时间 18.93 min 的条件, 制作戊聚糖曲奇饼干, 具有传统曲奇饼干酥松香甜的口感和滋味, 还起到为人体补充戊聚糖膳食纤维的作用。

关键词: 戊聚糖; 曲奇饼干; 响应面法; 优化

中图分类号: TS213.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2019)01-0024-06

Study on optimization of the technological formulation of pentosan cookie by response surface method

ZHANG Qiang^{1,2}, ZHAO Hui-min¹, LIANG Jin^{1,2}

(1. College of Tea & Food Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei Anhui 230036;

2. Anhui Engineering Laboratory of Agricultural products processing, Hefei Anhui 230036)

Abstract: In order to improve the production process of traditional cookies, the optimal process formula of cookie with pentosan was explored. The effect of pentosan powder and soft sugar and baking time on the quality of cookies were determined by single factor test. The quality of the products were analyzed by the experiment designed by Box-Behnken. The result showed that the optimal formula of the cookies was: the percentage of pentose 10.85%, soft sugar 27.58% and baking time 18.93min. The pentosan cookie not only has the crisp and sweet taste of traditional cookies, but has the effect of dietary fiber of pentosan, which was complement for human body.

Key words: pentosan; cookies; response surface; optimization

戊聚糖 (Pentosan) 又称阿拉伯木聚糖, 是谷物膳食纤维的主要组成成分^[1], 具有加强机体免疫力, 减少患癌症的几率。戊聚糖作为一种细胞壁多糖, 其结构和组成复杂, 主要由阿拉伯糖 (Arabino) 和木糖 (Xylose) 组成^[2-3]。戊聚糖具

有许多作用: (1) 摄入戊聚糖可以增加人们的饱腹感, 减少进食, 对由于营养过剩造成的肥胖有非常重要的作用; (2) 可以降低胆固醇, 减少心血管疾病的患病率; (3) 戊聚糖具有较强持水, 持油能力, 能够螯合肠道内重金属和胆固醇等有害物质, 增加肠道蠕动的频率, 润肠通便; (4) 由于戊聚糖具有吸油和阻碍淀粉分子重结晶的特性, 可以阻止曲奇饼干老化, 延长货架期^[4-5]。

随着近年来人们生活水平的不断提高, 人们的餐桌逐渐被各类精加工的米面制品和高蛋白食

收稿日期: 2018-08-29

基金项目: 安徽省重点研究与开发计划项目 (1704a07020073) 和安徽特色产业项目 (安徽省农业委员会 [2016-188])

作者简介: 张强, 1975 年出生, 男, 讲师。

通讯作者: 梁进, 1975 年出生, 男, 副教授。

品所占据,进而忽视了对粗粮的摄入^[6]。依照国际相关组织推荐的膳食纤维摄入量,成人每人每日约 25~40 g。但在我国,人均摄入量远不能达到 25 g。这与不断增加的“富贵病”患病率以及患病人群趋于年轻化有非常大的关系。粗粮虽然口感和风味较差,但是相比精加工米面制品,其中包含更多的戊聚糖,有利于降低患病风险^[7]。为了改善人民的身体素质,一些发达国家已经把膳食纤维作为预防这类疾病的重要物质,开发出了许多富含膳食纤维的产品,包括饮料、蛋糕、饼干等。但是我国在这方面起步较晚,所以具有广泛的市场潜力。

曲奇饼干作为一种高油高糖的零食,广受人们欢迎,但经常食用会加重人体负担^[8]。本实验在传统曲奇饼干的基础上,加入戊聚糖粉,调整含糖量,在提高饼干营养价值的同时,改善曲奇内部组织结构,延长货架期。通过对曲奇饼干组织、外形、色泽、口感与滋味等特性进行考察,通过建立响应面实验,考察各因素对饼干的影响,最终确定最佳方案。

1 材料与方 法

1.1 原料与仪器设备

糕点用低筋小麦粉(金龙鱼牌)、黄油、海水自然晶盐、绵白糖、鸡蛋:市购;戊聚糖粉:安徽瑞康食品有限公司。

FKB-2 型分层烘炉:广州鑫南方电热设备有限公司;FKM-180 型压面机:永康市康美佳食品机械有限公司;FA1004 型电子天平:上海精科天平仪器厂;TA.XT-plus 食品物性测试仪:英国 Stable Micro System 公司。

1.2 工艺流程

1.2.1 工艺流程

黄油+绵白糖+食盐+戊聚糖粉+蛋黄+面粉

↓

原辅料预处理→面团调制→辊压→塑形→摆盘→烘焙→冷却→整理→包装→成品。

1.2.2 操作要点

原料预处理:低筋面粉过筛,黄油隔水软化之后,用打蛋器打发至乳白色。过程中要注意黄油的软化程度,以可以轻松按出凹陷为最佳。黄

油如过硬,则难以搅拌,损伤打蛋器;黄油若融化为液体,则难以打发。

面团调制:实验基本配方:低筋面粉 100 g (辅料以面粉质量为基准,用量分别为食盐 0.5%,黄油 40%),蛋黄 20 g,其余成分依照实验具体要求。

辊压:将压面机两辊之间距离调成 0.4 cm,把调制好的面团用压面机反复碾轧 10 次左右,得到平整光滑的面饼。

成型:用 3 cm×3 cm 的方形模具刻出饼干胚。

摆盘:烤盘铺上油纸,将饼干胚保持一定间距摆放在油纸上,防止烘焙过程中饼干体积膨胀,粘连。

烘焙:烤箱上火 160 ,下火 140 ,提前预热 10 min,放入饼干胚后,调制上火 160 ,下火温度不变。

冷却:刚出炉的曲奇整体柔软易碎。为保证饼体完整,酥松,需冷却至室温,方可移动。

1.3 实验方法

1.3.1 单因素实验

经预实验确定焙烤面火温度 160 、底火温度 140 ,添加蛋黄 20%,食盐 0.5%,黄油 40%。以饼干感官评分为指标,分别考察戊聚糖粉添加量(5%、10%、15%、20%、25%)、绵白糖添加量(26%、28%、30%、32%、34%)、烘焙时间(10、15、20、25、30 min)对曲奇饼干品质的影响。

1.3.2 响应面优化实验

依据单因素实验的结果,设计响应面实验,具体各因素和水平见表 1。

表 1 实验变量的因素和水平

水平	因素		
	戊聚糖添加量/%	绵白糖用量/%	烘焙时间/min
	X_1	X_2	X_3
-1	5	26	15
0	10	28	20
1	15	30	25

1.3.3 戊聚糖曲奇评价方法

1.3.3.1 感官评价 参考曲奇饼干行业标准并略作调整,由 10 人采用盲标法分别对饼干的形态、色泽、组织、口感与滋味这 4 个指标进行评价,

得分总和和取均值即为最终结果，满分为 100 分，具体评价标准见表 2^[9]。

表 2 感官评价标准

项目	评分标准	得分/分
形态	外形完整，饱满，厚薄均一，底部平整，正方形，大小均匀，无粘连，边缘平滑。	15~20
	外形较完整，较饱满，厚薄较均一，底部平整，(20) 正方形，大小均匀，无粘连，边缘较平滑。	10~15
	外形不完整，有碎裂或豁口，厚薄不一，正方形，大小不均，有粘连。	<10
色泽	表面呈金黄色，有光泽，无色泽不均，无白粉。	15~20
	表面呈浅棕黄色，有光泽，色泽基本均匀，饼体的边缘以及底部允许出现浅棕色，但不可出现焦黑或过白。	10~15
	颜色过焦呈深褐色，光泽不足，色泽不均。	<10
组织	断面有层次感，无杂质，无较大孔洞，外表细腻，无明显的戊聚糖颗粒。	35~40
	断面有层次感，无杂质，无较大孔洞，外表较细腻，略有膳食纤维颗粒。	30~35
	(40) 断面较有层次感，无杂质，有孔洞，外表较细腻，有膳食纤维颗粒。	25~30
	断面缺乏层次感，有杂质，有孔洞，外表粗糙，无膳食纤维颗粒。	<25
滋味	口味香甜适中，不过分甜腻，也不寡淡。既有鸡蛋香味，又有饼干特有的滋味，无异味，口感酥松，细腻，不黏牙。	15~20
	(20) 口味偏甜或偏淡，鸡蛋味偏重，无异味，口感较酥松，略黏牙。	10~15
	饼干过甜或淡无味，有蛋腥味，有异味，口感不酥松，黏牙。	<10

1.3.3.2 质构分析 使用质构仪进行测定，采用探头 P/36R。测定条件为：测定前速度：4 mm/s；测定速度：1.5 mm/s；测定后速度：4 mm/s；2 次压缩之间停留时间为 5 s；压缩百分比 60%，测定样品的硬度(N)、黏着性(N·S)及咀嚼型(N)。每个样品测定 3 次，取平均值。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 戊聚糖粉添加量对曲奇感官品质的影响

由图 1 可以看出，戊聚糖粉添加量在 10% 时，感官评价得分最高。当添加量低于 10% 时，戊聚糖粉添加量过少，对曲奇饼干的组织、口感或风味没有明显改变，与传统曲奇差别不大，无法起到增加日常戊聚糖摄入量的作用。当添加量大于 10% 时，感官评分开始下降，由于戊聚糖粉吸水性强，曲奇饼干开始出现黏牙的问题。当含量大

于 20% 后，由于戊聚糖具有高粘性的特点，曲奇饼干中容易出现结块的戊聚糖粉，严重影响了饼干的感官品质。

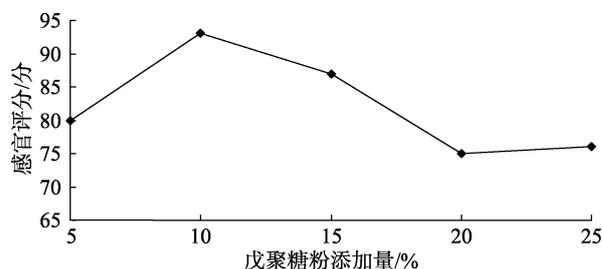


图 1 戊聚糖粉添加量对曲奇的影响

2.1.2 绵白糖添加量对曲奇感官品质的影响

由图 2 可知，当绵白糖添加量为 28% 时，饼干的感官评分最高。当添加量低于 28% 时，随着绵白糖的添加，饼干中蛋腥味被逐渐掩盖，口味更加丰富。当添加量超过 28% 后，感官评分逐渐降低。此时绵白糖比例过高，导致产品过于甜腻，且表面粗糙，饼干成品易碎。

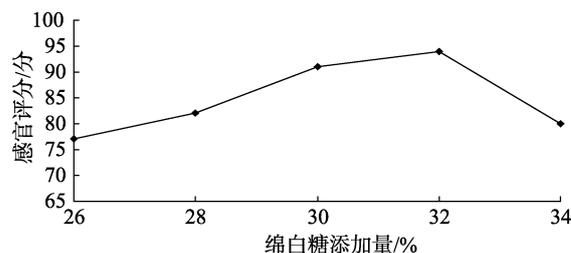


图 2 绵白糖添加量对曲奇的影响

2.1.3 烘焙时间对曲奇感官品质的影响

从图 3 中可知，当感官评分随着烘焙时间的增加而增加，当到达 20 min 时，感官评分达到最大值，继续延长烘焙时间，感官评分开始下降。

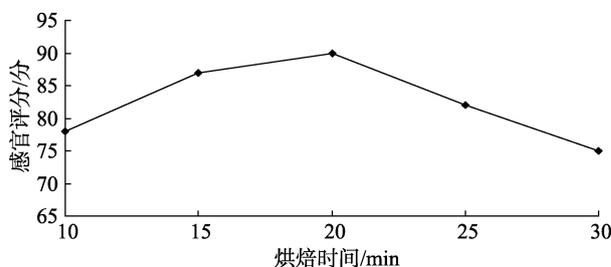


图 3 烘焙时间对曲奇饼干的影响

2.2 响应面分析与配方优化

2.2.1 回归模型的建立和显著性分析

利用 Design-expert 8.0 中的 Box-Behnken 建

立实验设计。取感官评分 (Y) 为响应值, 选取 X_1 (戊聚糖粉添加量) X_2 (绵白糖添加量) X_3 (烘焙时间) 三个因素进行响应面优化实验。基于实验中的 3 个因素和 3 个水平, 共有 17 个实验点, 实验结果见表 3。

表 3 响应面分析实验方案及结果

实验号	X_1	X_2	X_3	总得分 Y /分
1	0	0	0	92.0
2	0	0	0	93.1
3	-1	0	1	83.2
4	-1	1	0	81.0
5	0	-1	-1	89.1
6	0	0	0	93.7
7	1	0	1	87.5
8	-1	-1	0	86.5
9	1	0	-1	89.0
10	0	-1	1	88.3
11	1	-1	0	88.0
12	0	0	0	92.5
13	0	1	-1	87.4
14	1	1	0	85.9
15	0	0	0	92.8
16	0	1	1	83.3
17	-1	0	-1	86.6

运用 Design-Expert 8.0.6 Trial 对表 3 进行拟合分析, 得到曲奇配方与感官评分之间的二次多项式模型, 基于编码水平的回归方程为:

$$Y = +92.82 + 1.64X_1 - 1.79X_2 - 1.23X_3 + 0.85X_1X_2 + 0.48X_1X_3 - 0.80X_2X_3 - 3.97X_1^2 - 3.50X_2^2 - 2.29X_3^2$$

式中: Y 为感官评分的预测值, X_1 、 X_2 、 X_3 分别为戊聚糖添加量、绵白糖添加量和烘焙时间。

运用 Box-Behnken Design 响应面分析法对戊聚糖曲奇饼干的感官评分拟合的模型进行方差和显著性分析。由表 4 可以看出, Y 的回归方程具有高度的显著性 ($P < 0.0001$), 且失拟项不具有显著性 ($P = 0.9682 > 0.05$), 说明预测值和实验值具有相关性, 拟合度好, 误差小, 即用上述方程拟合实验中三个因素和感官评分的关系时是可行的; 模型的相关系数 $R^2 = 0.9925$, 校正决定系数 $R_{adj}^2 = 0.9828$, 则实验建立的模型可以表示 98.28% 的响应值变化, 以满足对戊聚糖曲奇饼干的感官评分的预测; 由显著性分析结果可知, 一次项 X_1 、

表 4 回归方程的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
Model	221.13	9	24.57	102.72	< 0.0001	**
X_1	21.39	1	21.39	89.41	< 0.0001	**
X_2	25.78	1	25.78	107.76	< 0.0001	**
X_3	12.15	1	12.15	50.81	0.0002	**
X_1X_2	2.92	1	2.92	12.23	0.0100	*
X_1X_3	0.94	1	0.94	3.93	0.0877	NS
X_2X_3	2.59	1	2.59	10.84	0.0133	*
X_1^2	66.40	1	66.40	277.58	< 0.0001	**
X_2^2	51.46	1	51.46	215.15	< 0.0001	**
X_3^2	22.10	1	22.10	92.39	< 0.0001	**
残差项	1.67	7	0.24			
失拟项	0.093	3	0.031	0.079	0.9682	NS
纯误差项	1.58	4	0.40			
总误差项	222.81	16				
R^2	0.9925					
R_{adj}^2	0.9828					

注: $P < 0.0001$, 差异极显著, 用**表示; $P < 0.05$, 差异显著, 用*表示; $P > 0.05$, 差异不显著, 用 NS 表示。

X_2 、 X_3 , 以及二次项 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 对 Y 值有极显著的影响 ($P < 0.0001$), 交互项 X_1X_2 、 X_2X_3 对 Y 值影响显著 ($P < 0.05$), 而 X_1X_3 影响不显著 ($P > 0.05$); 另外, 通过比较该模型各因素的 F 值的大小, 判定各因素的主次关系, F 值越大, 则该因素越重要, 即为 $X_2 > X_1 > X_3$ (绵白糖添加量 > 戊聚糖添加量 > 烘焙时间)。

2.2.2 响应面分析

响应面分析结果见图 4~图 6。各图是由响应值与任意两个实验因素构成的等高线和响应面曲面图, 体现了戊聚糖粉添加量、绵白糖添加量和烘焙时间任意一个变量取零点水平时, 剩余两个变量对感官评分值的影响。

在图 4~图 6 中, 感官评分与三个因素之间均呈开口向下的抛物线关系, 说明在实验采用的取值范围内, 存在最佳作用点使感官评分达到极大值。从图 4 的等高线图和响应面曲线图中可知, 当烘焙时间不变时, 在到达戊聚糖添加量为 9%, 绵白糖添加量为 20% 之前, 随着绵白糖添加量和戊聚糖粉添加量的增加, 感官评分逐渐增加, 但是到达最大值后, 开始逐渐减小。由此可见适当的添加戊聚糖粉和绵白糖有助于改善戊聚糖曲奇的感官品质。并且从曲面坡度方面看, X_1X_2 两因素对感官评分影响大于 X_2X_3 两因素。等高线分布

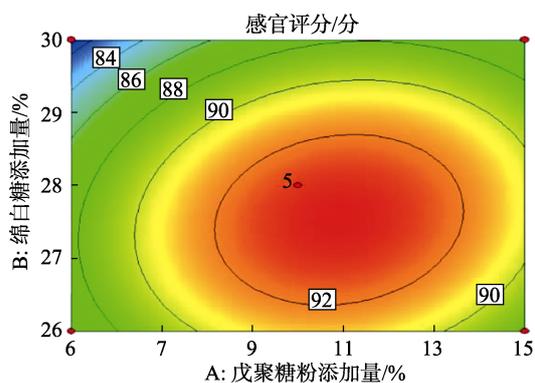


图 4 戊聚糖粉添加量 (X_1) 和绵白糖添加量 (X_2) 的交互作用对曲奇感官评分的影响

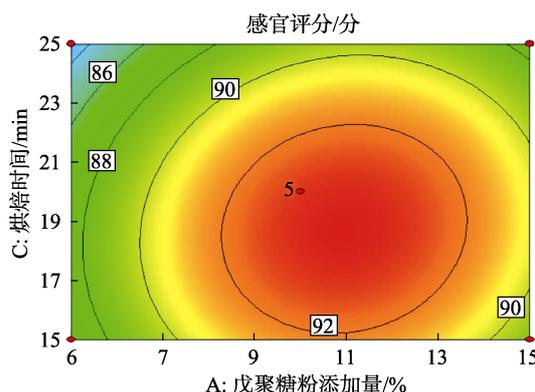
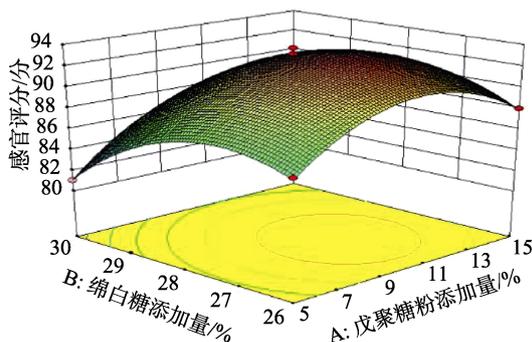


图 5 戊聚糖粉添加量 (X_1) 和烘焙时间 (X_3) 的交互作用对曲奇感官评分的影响

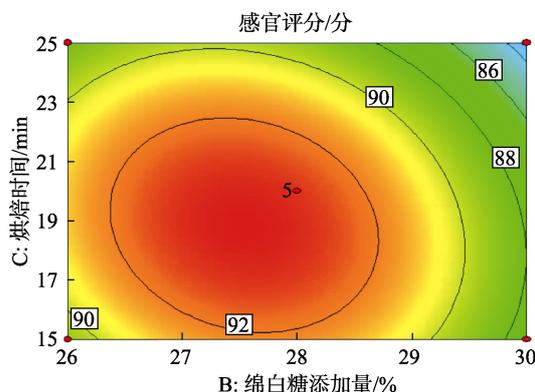
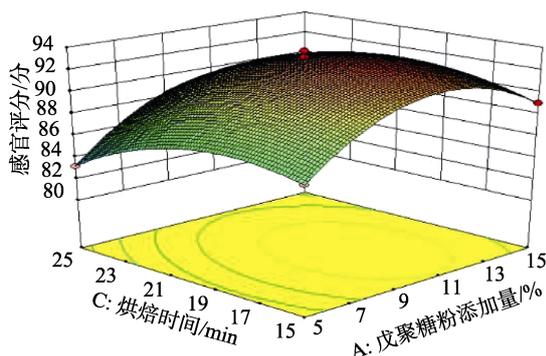
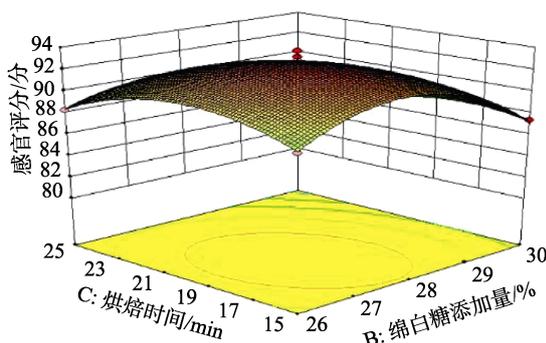


图 6 绵白糖添加量 (X_2) 和烘焙时间 (X_3) 的交互作用对曲奇感官评分的影响



紧凑，则改变因素对感官评分影响大，反之，影响小。 X_2 对曲奇饼干品质的影响比 X_1 、 X_3 更大（如图 4、6 所示）；此外， X_1 对品质的影响比 X_3 大（如图 5 所示）。通过等高线的形状可以判断交互项对曲奇饼干品质影响的显著性，当等高线呈椭圆形，则两因素交互作用显著，呈圆形，则交互作用不显著。通过比较 3 幅图片，图 4 的等高线最趋向椭圆形，故 X_1X_2 两因素的交互作用最显著，而图 5 中等高线的形状更趋于圆形，故 X_1X_3 两因素之间的交互作用不显著。

2.2.3 最佳配方的确定及验证性实验

运用 design-expert 响应面分析中的 optimization

功能，使用最大值优化，预测出戊聚糖粉曲奇饼干最佳工艺为：戊聚糖粉添加量 10.85%，绵白糖添加量 27.58%，烘焙时间 18.93 min，此时曲奇饼干的感官评价得分为 93.28 分。经过 3 次验证性实验，测得戊聚糖曲奇饼干的平均得分为 94.45 分。该值与理论预测值较接近，误差值为 1.24%，说明模型具有良好的拟合程度，具有实用价值。

2.2.4 戊聚糖对曲奇饼干质构的影响

由表 5 可见，戊聚糖对曲奇饼干硬度有显著影响。饼干的硬度对成型性及咀嚼时的口感有极大提升。硬度是第一次压缩时的最大峰值，即食物达到变形时的力，是评价曲奇饼干口感的一个

重要指标。加入戊聚糖后,曲奇饼干内部变得疏松,与对照组相比硬度下降较明显。黏着性是探头用于测试样品黏着作用所用的功,与对照组相比,戊聚糖曲奇饼干的黏着性绝对值明显降低。咀嚼性是食物从固体状态到可吞咽过程中人咀嚼所用的功,咀嚼性能反映出曲奇饼干对人咀嚼的抵抗性。与对照组相比,戊聚糖曲奇饼干质地变得疏松,这和硬度变化趋势相一致。

表5 添加戊聚糖对曲奇饼干质构的影响

组别	硬度/N	黏着性/N·S	咀嚼性/N
产品	16.3	-0.12	1.8
对照组	25.5	-0.16	2.4

3 结论

在单因素实验的基础上,通过采用响应面 Box-Behnken 设计方法,得到戊聚糖曲奇饼干的感官评分与戊聚糖粉添加量,绵白糖添加量以及烘焙时间的模型。通过二次多元回归方程 $Y=+92.82+1.64X_1-1.79X_2-1.23X_3+0.85X_1X_2+0.48X_1X_3-0.80X_2X_3-3.97X_1^2-3.50X_2^2-2.29X_3^2$,能够较好的预测实验结果。得到最佳配方为:戊聚糖粉添加量 10.85%,绵白糖添加量 27.58%,烘焙时间 18.93 min。各因素对感官评分的影响按重要性排序为:绵白糖添加量>戊聚糖粉添加量>烘焙时间。

与传统饼干相比,在曲奇饼干中添加戊聚糖,

对面团的粉质特性有所改善,使成品体积更大,口感更加酥松。在曲奇饼干中添加适量的戊聚糖粉,有利于增加消费者每日膳食纤维摄入量,可以减少食用高油高糖的零食带来的危害,并且利用戊聚糖自身性质对曲奇起到一定的保鲜作用,延长货架期。选择适当的绵白糖添加量和烘焙时间,有助于获得色泽良好,口感清爽不黏牙的曲奇饼干。

参考文献:

- [1] 孙元琳, 陕方, 赵立平. 谷物膳食纤维-戊聚糖与肠道菌群调节研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 326-330.
- [2] GANG YANG. Application of dietary fiber in clinical enteral nutrition: A meta-analysis of randomized controlled trials[J]. World J. Gastroenterol, 2005, 11(25): 3935-3938.
- [3] 沈丽娟, 王倩, 胡源. 小麦戊聚糖对 2 型糖尿病小鼠肠道菌群和血糖的影响[J]. 中国生化药物杂志, 2015, 35(2): 28-30+34.
- [4] 姚金保, 杨丹, 马鸿翔, 等. 小麦戊聚糖研究进展[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 461-467.
- [5] 张园园, 王岸娜, 吴立根, 等. 响应面法优化麦麸戊聚糖提取工艺的研究[J]. 食品科技, 2012, 37(12): 161-165.
- [6] 张艳荣, 张雅媛, 王大为. 玉米膳食纤维在饼干中应用的研究[J]. 食品科学, 2005(8): 138-142.
- [7] 陈凤莲, 贾冰心. 小麦麸皮膳食纤维饼干的多因素研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2012, 28(2): 147-149.
- [8] 蒋立勤, 张晓玲, 胡均力, 等. 玉米芯粉制作曲奇饼干的工艺研究[J]. 现代食品科技, 2008(2): 150-152.
- [9] 饼干: GB/T 20980—2007[S].