

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.04.015

何静盈, 李海玲, 皮彩玉, 等. 海水稻米糠饼干生产工艺优化及其品质特性分析[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(4): 111-119.

HE J Y, LI H L, PI C Y, et al. Optimize the production process and quality characteristics of sea rice bran biscuit[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(4): 111-119.

海水稻米糠饼干生产工艺优化 及其品质特性分析

何静盈, 李海玲, 皮彩玉, 唐振冬, 徐 杰, 苏伟明✉, 钟赛意

(广东海洋大学 食品科技学院, 广东省水产品加工与安全重点实验室,
广东省海洋生物制品工程实验室, 广东省海洋食品工程技术研究中心,
广东省亚热带果蔬加工科技创新中心, 广东 湛江 524088)

摘 要: 米糠是海水稻海红米的主要副产物, 含有许多营养素及生理活性物质, 对其进行利用开发新产品有利于资源的有效利用。以海水稻米糠为原料, 通过单因素实验和响应面实验优化米糠饼干的生产工艺, 结合质构、电子鼻测定分析与感官模糊评定方法, 分析米糠粉、黄油、白砂糖添加量对米糠饼干的色泽、风味等的影响。结果表明, 海水稻米糠饼干最佳配方为: 以总面粉质量为基准(100%), 低筋面粉 63.5%、粟粉 23.68%、澄面 13.16%、鸡蛋 26.32%、黄油 59.38%、细砂糖 31.12%、米糠粉 10.53%, 此时米糠饼干的感官评分最高。质构分析发现, 随着米糠添加量的增加, 饼干的硬度、韧性和脆性及感官评分先升高后下降, 饼干色泽不断加深。电子鼻结果表明, 不同配方的饼干产品的风味特征之间存在差异, 各配方的饼干产品均对氮氧化合物以及硫化物较为敏感, 通过主成分分析, 可以简单区分不同饼干产品。以期开发海水稻副产品的精加工产品, 促进谷物副产物综合深加工利用提供参考。

关键词: 海红米; 米糠; 饼干; 配方; 响应面; 品质分析

中图分类号: TS209 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)04-0111-09

Optimize the Production Process and Quality Characteristics of Sea Rice Bran Biscuit

HE Jing-ying, LI Hai-ling, PI Cai-yu, TANG Zhen-dong, XU Jie, SU Wei-ming✉, ZHONG Sai-yi

(College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Guangdong
Provincial Key Laboratory of Aquatic Products Processing and Safety, Guangdong Province
Engineering Laboratory for Marine Biological Products, Guangdong Provincial Engineering
Technology Research Center of Seafood, Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic
Product of Guangdong Higher Education Institution, Zhanjiang, Guangdong 524088, China)

Abstract: Rice bran is the main by-product of sea rice and sea red rice. It contains many nutrients and physiologically active substances. The use of it and the development of new products are conducive to the

收稿日期: 2022-03-09

基金项目: 广东省科技专项资金农业技术攻关专题(2021A05198); 广东省高等学校科技创新团队项目(2021KCXTD021)

Supported by: Guangdong Province Science and Technology Special Fund Agricultural Technology Research Project (No. 2021A05198);
Guangdong Province Higher Education Science and Technology Innovation Team Project (No. 2021KCXTD021)

作者简介: 何静盈, 女, 2000年出生, 在读本科生, 研究方向为食品科学与工程。E-mail: 574389596@qq.com.

通讯作者: 苏伟明, 男, 1969年出生, 本科, 高级实验师, 研究方向为食品加工与贮藏。E-mail: hdsuwm@163.com.

effective use of resources. Using sea rice bran as raw material, the production process of rice bran biscuit is optimized through single factor test and response surface test. Combined with texture, electronic nose measurement analysis and sensory fuzzy evaluation method, the influence of the addition of rice bran powder, butter, and white sugar on the color and flavor of the rice bran biscuits is analyzed. The results show that the best formula for sea rice bran biscuit is: low-gluten flour of 63.5%, corn flour of 23.68%, clear noodles of 13.16%, eggs of 26.32%, butter of 59.38%, granulated sugar of 31.12%, rice bran powder of 10.53% (Based on total flour quality (100%)). Rice bran biscuits of such formula scored highest on sensory ratings. The texture analysis found that with the addition of rice bran increasing, the hardness, toughness and brittleness of the optimized biscuits rose first and then fell, and the color continually deepened. The results of the electronic nose showed that there were differences in the flavor characteristics of biscuit products with different formulations. The biscuit products of each formulation were sensitive to nitrogen oxides and sulfides. Through principal component analysis, different biscuit products can be easily distinguished. This research aims to develop refined processed products of sea rice by-products and to provide references for the comprehensive deep processing and utilization of grain by-products.

Key words: seawater red rice; rice bran; biscuit; formula; response surface; quality analysis

水稻是世界上最重要的粮食作物之一^[1]。随着全球人口增长, 粮食需求刺激水稻新品种的开发, 近年来研究发现海水稻能在海岸滩涂地生长, 介于野生稻和栽培稻之间, 米粒为红色, 植株高大松散^[2]。海水稻可以种植于盐碱性地区, 是一种盐碱耐性强的水稻品种^[3-4]。海水稻富含独特的活性有机化合物六磷酸肌醇酯 (IP6), IP6 具有抑制致癌物质、清除自由基、免疫调节等功效^[5]。水稻加工副产物是世界范围内重要的生物质资源, 海水稻副产物比普通大米副产物含有更多的钠、镁和钙等元素, 海水稻壳中钠的含量约为普通稻壳的 30 倍, 且其钾的含量也较低, 从而增加热稳定性^[6]。

米糠是谷物精制过程中产生的主要副产物, 主要由糊粉层、种皮和胚芽组成, 含有稻米中 64% 的营养成分^[7]。刘雪澜等研究发现挤压稳定化米糠添加量对饼干色泽、口感影响较大, 对形态、气味影响较小^[8]。李佳梅等研究发现发酵脱脂米糠添加量为 10%、淀粉添加量为 5%、烘焙温度 240 °C 时感官品质最佳^[9]。近年来, 国际上开发了许多以水稻米糠为原料的高附加值保健食品与化妆品。我国水稻米糠年产量超过 1 000 万 t^[10], 但大部分却仅用于做动物饲料, 造成了极大的资源浪费。迄今为止, 研究人员对于米糠的研究也仅限于用水稻米糠制备植酸钙、肌醇等^[11-12], 对于

海红米米糠的深加工利用较少, 因此本实验旨在研究开发海水稻副产物的精加工产品, 探讨其最佳生产工艺, 提高海红米米糠的深加工利用价值。饼干是以小麦粉为主要原料, 加入糖、油脂等原料烘烤而成的休闲食品^[13], 本研究将海水稻副产物米糠添加至饼干配方, 在传统饼干工艺配方的前提下, 将米糠加入到饼干之中, 在增添特殊口感风味的同时提高饼干的营养价值^[14]。米糠富含膳食纤维, 鉴于其治疗潜力, 其添加有助于开发目前需求量很大的功能性食品。本研究以期开发一种新型品种饼干, 提高海水稻的综合利用, 同时为海水稻副产物米糠的开发利用做参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

米糠为广东省湛江市遂溪产耐盐碱海水稻的加工副产物, 2020 年收获后常温真空贮藏, 采用新鲜无变质米糠制作饼干。新良澄面小麦淀粉、甘汁园绵白糖、吉得利玉米淀粉、新良魔堡低筋蛋糕粉和黄油粉 (均为食品级); 广东省湛江市昌大昌购物广场。

1.2 仪器与设备

质构仪 (TA.XT plusC): 英国 TA 公司; 电子鼻 (PEN3): 德国 AIRSENS 公司; 电热恒温鼓风干燥箱: 上海博讯公司; 超微粉碎 (ZKY-303CS):

北京中科浩宇公司；电烤炉（SM-503）：广州市深华生物技术有限公司；

1.3 实验方法

1.3.1 饼干制备的工艺流程

原料预处理→称量→调粉→搅拌塑性→成型→烘烤（上下火 170 °C，16 min）→冷却→待测成品

1.3.2 操作要点

1) 米糠粉的制备：将原料米糠去除杂物后，放于鼓风干燥箱中 80 °C 干燥 6 h，烘干后的米糠用超微粉碎机磨成粉体，过 80 目筛。2) 黄油的处理。称取一定量的黄油，于室温软化至可用勺子轻轻按动变形；用打蛋器将黄油打发至泛白的羽毛状，加入糖粉和鸡蛋继续搅打至糖完全溶解，成为一混合均匀体系。3) 调制油面浆。将面粉过筛以一定的比例混合均匀，加入打发好的黄油、鸡蛋中，顺时针小心搅拌均匀。4) 成型。把调制好的油面浆装入挤压枪中（不要超过 2/3），挤压到烤盘里，注意挤出的饼胚大小要差不多，行间距适当。5) 焙烤。提前将烤箱预热，将曲奇放入烤箱，上下火 170 °C 左右，焙烤时间 16 min，熟透后出炉，自然冷却。

1.3.3 单因素实验设计

参考孙哲^[15]等的配方，以面粉的全部重量为基准 100%（60 g 低筋面粉+22.5 g 粟粉+12.5 g 澄面），以 63.15% 低筋面粉、23.68% 粟粉、13.16% 澄面、5.26% 米糠、63.15% 黄油、26.32% 鸡蛋、31.58% 白砂糖为基础配方，确定焙烤温度为 170 °C 和焙烤时间为 16 min。在基础配方上进行优化，通过改变米糠粉、黄油和细砂糖添加量，以感官评分来确定海水稻米糠饼干的最佳工艺参数。研究米糠添加量（0%、5.26%、10.53%、15.79%、21.05%）、黄油添加量（42.11%、52.63%、63.16%、73.68%、84.21%）、细砂糖添加量（10.53%、21.05%、31.58%、42.11%、52.63%）对米糠饼干感官评分的影响。每组单因素进行平行实验 3 次。

1.3.4 响应面设计实验

在单因素实验的基础上，根据 Box-Behnken 组合实验设计原理^[16]，选取米糠添加量（A）、黄油添加量（B）、细砂糖添加量（C）3 个因素为自变量进行 3 因素 3 水平的响应面设计实验，以感官评分（Y）为响应值，使用 Design Expert 10.0.7

软件进行模型拟合，采用最佳工艺条件制作感官评分较高的米糠饼干。响应面实验因素水平表如表 1 所示，以 -1，0，+1 进行编码。

表 1 实验因素与水平表
Table 1 Test factors and levels

水平	A-米糠添加量/%	B-黄油添加量/%	C-细砂糖添加量/%
-1	5.26	52.63	10.53
0	10.53	63.16	21.05
1	15.79	73.68	31.58

1.3.5 感官评价

根据 GB/T 20980—2007《饼干》中酥性饼干的感官指标^[17]，对海水稻饼干形态、色泽、香味、口感和组织进行测评，12 名食品专业同学对米糠饼干进行感官评定，评分标准为 12 人的平均值，饼干的感官评价标准如表 2 所示^[18]。

表 2 饼干感官评分标准与细则表
Table 2 Biscuits sensory scoring standards and rules

项目	评价标准	分值/分
形态 (20 分)	外形完整，花纹清晰，薄厚基本均匀，不收缩，不变形，不起泡无裂痕，无较大或较多的凹底	16~20
	外形完整，花纹不清晰或稍微收缩变形，有气泡裂痕	11~15
	外形不完整，大小不均匀，收缩变形	1~10
色泽 (20 分)	呈红色，色泽基本均匀，表面略带光泽，无白粉，无过焦、过白的现象	16~20
	色泽略有不均匀，有异色	11~15
	色泽很不均匀，有深棕色、焦糊现象，异色明显	1~10
香味 (20 分)	具有芋香味，无异味，有甜味但不腻	16~20
	香味不太浓，误以为，略甜	11~15
	几乎没有该品种应有的香味，有异味，过于甜	1~10
口感 (20 分)	口感酥松，口感细腻不粘牙	16~20
	酥脆度一般，略粘牙	11~15
	偏硬，口感粗糙粘牙	1~10
组织 (20 分)	断面结构呈多孔状，细密，无大孔洞	16~20
	结构略有孔，组织较粗糙	11~15
	组织粗糙，有杂质	1~10

1.3.6 质构分析

采用三点弯曲检测装置探头 HDP/3PB 进行饼干的弯曲实验^[19]，将饼干放在探头正下方，饼干与探头保存 20 mm 距离，每组进行 15 次平行实验，取平均值^[20]，测试饼干的硬度及脆性。质

构仪测定参数为：测前速度为 2.5 mm/s，测时速度为 2.0 mm/s，测后速度为 10.0 mm/s，目标模式为 15 mm，触发力为 20 g，数据采集速率为 500 pps。

1.3.7 电子鼻系统分析

电子鼻是由传感器模拟人的感官嗅觉对样品挥发物进行感知、分析和判断，并最终由模式识别子系统对信号处理的结果做出判断^[21]。使用 PEN3 电子鼻检测不同米糠添加量的样品，米糠添加量（0%、5.26%、10.53%、15.79%、21.05%）、黄油添加量 63.16%、细砂糖添加量 21.05%，5 组样品组样品分别称量 20 g 于洗净烘干的顶空瓶中，常温下密封静置 30 min 后气体饱和稳定进行电子鼻数据检测。每组每次检测之前都对传感器进行标准化处理，处理时间为 60 s，检测时间 60 s，每组数据均取 55 s 的信号作为分析点，每个样品平行测定 3 次。每隔 1 天对样品检测 1 次，平行检测 5 天。

表 3 传感器性能描述

Table 3 Sensor performance description

阵列序号	传感器名称	性能描述
S1	W1C	方向成分，苯类
S2	W5S	灵敏度大，对氮氧化物很敏感
S3	W3C	芳香成分灵敏，氨类
S4	W6S	主要对氢化合物有选择性
S5	W5C	短链烷烃芳香成分
S6	W1S	对甲基类灵敏
S7	W1W	对硫化物灵敏
S8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
S9	W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏
S10	W3S	对长链烷烃类灵敏

1.4 数据分析

数据均测定三次，取平均值。使用 Design Expert 10.0.7 软件进行响应面优化设计，origin 2021 作图。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果分析

米糠添加量对感官评价的影响如图 1-a 所示，米糠的添加量小于 10.52%，对饼干感官评分无显著影响，随着米糠添加量大于 10.53% 时，饼干的感官评价降低且有显著性差异 ($P < 0.05$)。米糠粉的添加量为 10.53% 时，海红米糠饼干的感官品质最佳，感官评分为 86 分。研究表明，海水稻中 2-乙酰基-1-吡咯琳含量高达 228 mg/kg，赋予海水稻一种特殊的芋香味^[22-23]。当米糠占比过多时，因为米糠具有特殊的香芋气味，饼干香味十分浓郁；但由于米糠是稻谷的种皮，粗纤维很多，导致饼干口感十分粗糙且质地过硬，颜色加深。当降低米糠比重、增多低筋面粉时，饼干的独特香芋风味降低、饼干口感厚重、酥脆不足。

黄油添加量对感官评价的影响如图 1-b 所示，当黄油的添加量逐渐增大时，饼干的感官品质先升高后降低。黄油添加量为 63.16% 时，饼干的感官评分最高且有显著性差异，为 83 分。当黄油含量过少时，饼干色泽呈深褐色，光泽较淡且无海红米特殊香气；当黄油含量过多时，饼干色泽呈金黄色，但奶香味过浓、掩盖住了海红米糠的特殊风味。

细砂糖添加量对感官评价的影响如图 1-c 所

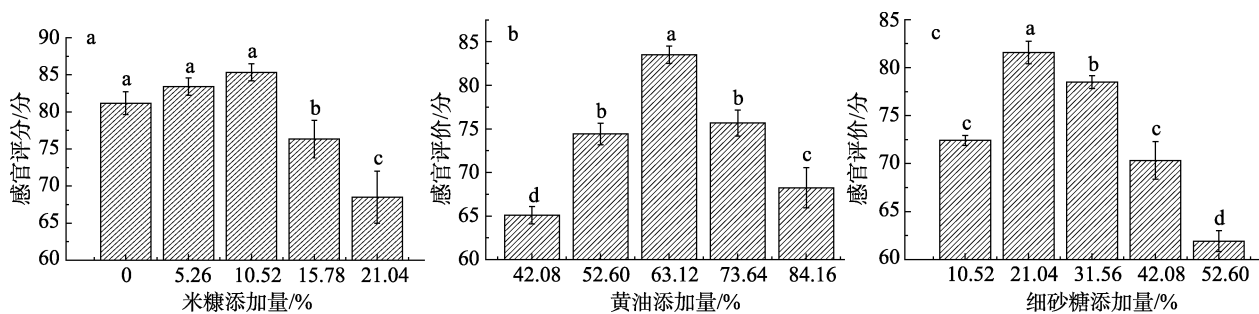


图 1 米糠、黄油、细砂糖添加量对饼干风味品质的影响

Fig.1 Effect of seawater rice husk bran, butter and sugar addition on biscuit quality

注：a、b、c 分别表示不同米糠、黄油和细砂糖添加量对饼干的感官影响。图中不同小写字母表示显著性差异， $P < 0.05$ ，下同。

Note: a, b and c respectively indicate the sensory effects of different amounts of rice bran, butter and fine granulated sugar on biscuits. Different lowercase letters in the figure indicate significant differences, $P < 0.05$, same as below.

示, 当细砂糖的添加量不断增大时, 饼干的感官品质先升高后降低。细砂糖添加量为 21.05% 时, 饼干的感官评分最高, 为 81 分。当细砂糖的添加量过高时, 由于烘烤过程中的焦糖化作用和美拉德反应, 饼干会因此变成棕褐色导致视觉效果极低; 当细砂糖添加量 < 21.05% 时, 饼干口感偏淡且不松脆。

2.2 响应面实验设计及结果

2.2.1 配模型建立与回归分析结果

根据单因素实验结果, 利用 Design-expert 软件对其响应面实验结果进行分析, 结果见表 4, 共 17 组实验方案, 其中 12 组析因实验组及 5 组中心实验组。考察海水稻米糠 (A)、黄油 (B)、细砂糖 (C) 等 3 因素的添加量对饼干的感官评价影响, 利用软件对数据进行分析及回归拟合后, 其回归方程为:

$$Y = 87.93 + 0.46A + 0.84B + 2.46C - 2.48AB - 0.052AC - 1.73BC - 16.68A^2 - 6.68B^2 + 1.64C^2$$

表 4 响应面设计与结果

Table 4 Response surface design and results

实验号	A	B	C	Y-感官得分/分
1	0	0	0	87.51
2	0	0	0	88.35
3	1	0	1	76.24
4	-1	-1	0	61.39
5	1	1	0	62.81
6	-1	0	1	74.58
7	0	0	0	87.22
8	0	0	0	88.67
9	1	0	-1	71.30
10	0	-1	-1	77.75
11	1	-1	0	66.43
12	0	0	0	87.90
13	-1	0	-1	69.43
14	0	1	-1	83.23
15	0	-1	1	86.01
16	0	1	1	84.57
17	-1	1	0	67.68

2.2.2 响应面实验方差分析

海水稻米糠饼干响应面法优化回归方差分析结果见表 5, 该模型 $P < 0.0001$, 表明实验模型极显著, 具有统计学意义。同时, 失拟项 $P = 0.3245 > 0.05$, 结果不显著, 说明该模型与实际拟合程度较高, 采用该响应面优化来预测海水稻米糠饼干

表 5 回归方程方差分析

Table 5 Regression equation analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	$P > F$	显著性
模型	1 504.78	9	167.2	379.84	< 0.0001	**
A	1.71	1	1.71	3.89	0.0893	
B	5.63	1	5.63	12.79	0.0090	**
C	48.46	1	48.46	110.1	< 0.0001	**
AB	24.55	1	24.55	55.78	0.0001	**
AC	0.011	1	0.011	0.025	0.8787	
BC	11.97	1	11.97	27.2	0.0012	**
A^2	1 171.11	1	1 171.11	2 660.56	< 0.0001	**
B^2	187.6	1	187.6	426.2	< 0.0001	**
C^2	11.26	1	11.26	25.57	0.0015	**
残差	3.08	7	0.4402			
失拟项	1.68	3	0.5586	1.59	0.3245	
纯误差	1.41	4	0.3513			
总差	1 507.86	16				

注: **, $P < 0.01$, 为极显著; *, $P < 0.05$, 为显著。

** , $P < 0.01$, extremely significant; * , $P < 0.05$, significant.

的最佳工艺参数是可行的; 且矫正决定系数 $R_{Adj}^2 = 0.9953$, 变异系数 $CV = 0.85\%$, 进一步说明模型可靠性^[24]。根据各影响因素的均方值, 可知各因素对感官评分的影响大小为: 细砂糖添加量 > 黄油添加量 > 米糠添加量, 且细砂糖添加量的均方值远大于其他两因素, 所以细砂糖添加量可以较大影响米糠饼干的感官评分。黄油添加量一次项 (B) 及二次项 (B^2)、细砂糖添加量一次项 (C) 及二次项 (C^2)、米糠添加量和黄油添加量交互项 (AB)、黄油添加量和细砂糖添加量交互项 (BC)、米糠添加量二次项 (A^2) 对米糠饼干的感官评分均有极显著影响 ($P < 0.01$)。

2.2.3 感官评分响应面分析

根据 Design Expert 软件对回归方程的分析, 可得到两因素间相互作用的模型响应面 3D 曲面图, 如图 2 所示, 根据曲面图及其映射的等高线图可以直观的分析出各因素交互作用对米糠饼干感官评分影响^[25]。由图 2 (a) 可看出, 米糠添加量 (A) 和黄油添加量 (B) 的相互作用对米糠饼干的感官评分影响显著 ($P < 0.05$), 当固定其中一个因素时, 另一个因素对感官评分的影响均为先增加后下降的趋势, 感官评分可达到最大值, 其投影点位于等高线图的中心, 且映射等高线图呈现椭圆形, 也说明米糠添加量 (A) 和黄油添加量 (B) 的交互作用明显。由图 2 (b、c) 曲面图及等

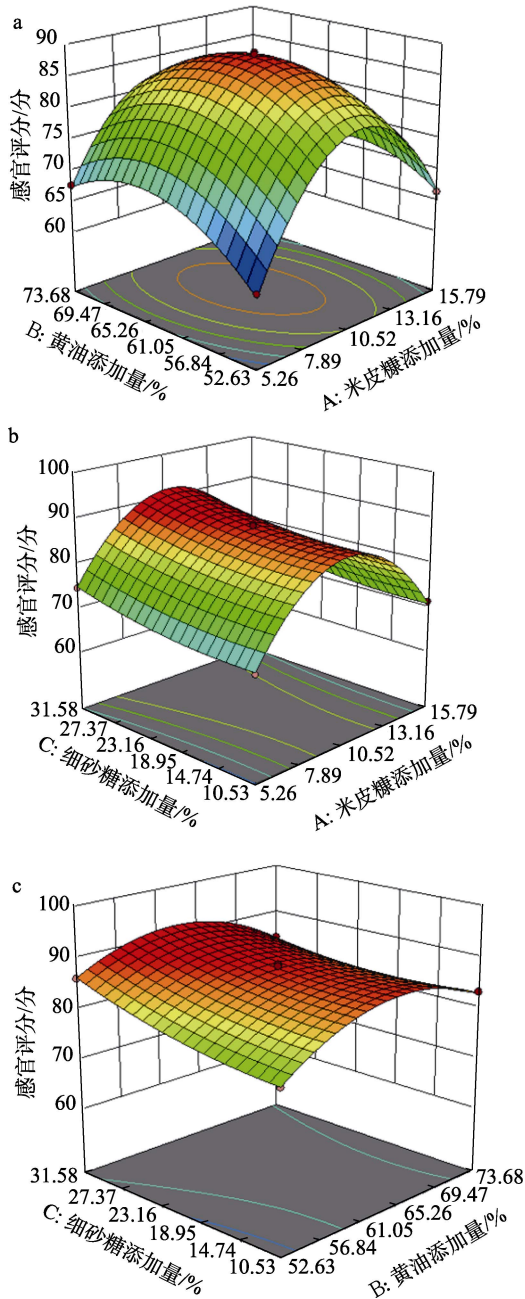


图 2 两因素的交互作用的响应面
Fig.2 Response surface plots of variable parameters

高线图可知，米糠添加量和细砂糖添加量、黄油添加量和细砂糖添加量均显示不明显的交互作用。

2.2.4 配方优化响应面结果

根据响应面模型预测得到的米糠饼干制备的最佳工艺条件为：米糠添加量 10.53%、黄油添加量 59.38%、细砂糖添加量 31.12%，在此条件下得到的感官评分预测值为 91.14 分。在此预测条件下进行实验，测定三次平行，所得的感官评分为 (89.45±2.74) 分，与预测值相差在±2%以内，表明响应面模型预测得到的最佳工艺条件准确可靠。

2.3 质构分析

通过质构对比米糠添加量，得出图 3。当米糠的添加量增大时，米糠饼干的脆性、韧性和硬度呈现先增加后减少的趋势。米糠添加量为 10.53% 和 15.79% 的饼干硬度高于其他三组 ($P<0.05$)，10.53% 米糠饼干脆度最高，米糠添加对饼干韧性无显著影响 ($P>0.05$)。当米糠添加量为 10.53% 时，硬度和脆性最适。增大米糠的添加量，饼干的结构变得粗糙，从而增大了硬度；当米糠添加量增大到一定限度时，米糠良好的吸水性与持水性会导致饼干水分增加，内部结构变得柔软，从而降低了饼干硬度^[26]。

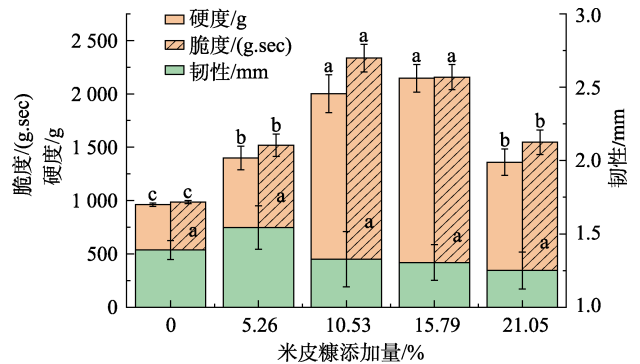


图 3 米糠添加量对质构的影响
Fig.3 Effect of seawater rice husk bran on biscuit texture

2.4 电子鼻分析

2.4.1 电子鼻传感器响应分析

雷达图被广泛应用于电子鼻分析研究中，能够揭示传感器阵列对不同样本信号响应强度的总体和个体差异。每组样品选取稳定后的第 55 s 处的电子鼻响应值进行雷达图分析^[27]。图 4 是电子鼻的 10 个传感器对不同米糠添加量的响应值，响应值越大说明传感器对应成分含量越多。

图 4a 雷达图可以直观比较电子鼻对不同饼干样品的差异，传感器 W5S、W6S 和 W1W 对不同样品饼干的响应值较大，说明米糠饼干的风味物质含有氮氧化物、氢化合物和有机硫化物。5 个样品在 W5S、W6S、W1S 和 W1W 传感器的信号响应值有差异，说明这 4 个传感器检出的挥发性成分组成相差较大，而 5 个样品在其余 6 个传感器的信号响应值几乎重叠，说明这 6 个传感器检出的挥发性成分组成基本相似。米糠添加量 0% 的饼干的雷达响应图与其他样品具有差异，对比

发现米糠添加量越高, W1W 响应信号强度较高, 说明添加米糠对饼干挥发性风味有影响, 其中米糠添加量为 10.53% 和 15.79% 的响应值相似^[28]。

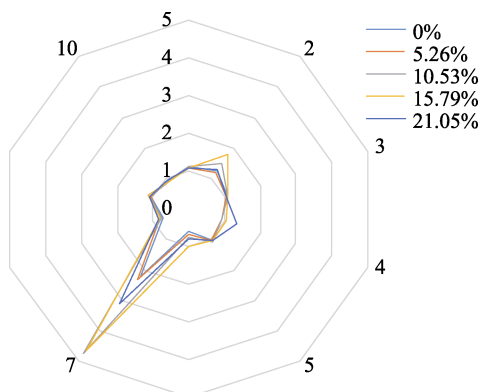


图 4 5 种饼干的雷达指纹图

Fig.4 Odor radar fingerprints of 5 species of biscuits

2.4.2 主成分分析 (PCA)

图 5 为 5 组样品的 PCA 二维图, 第一主成分区分贡献率为 82.69%, 第二主成分区分贡献率为 11.67%, 总贡献率达到 94.36%, 可以充分揭示样品信息。不同米糠添加量饼干之间不发生重叠, 区分度明显, 这表明不同饼干产品的风味特征之间存在差异, 可以通过电子鼻较好的区分开^[29-30]。主成分分析中第一主轴贡献率最高为米糠添加量 10.53%, 与其他种类距离较远, 说明和其他种类相差很大, 与电子鼻雷达指纹图表达的信息一致^[31]。随着米糠添加量增大, 各样品在第二主成分上呈现增大的趋势, 添加量 21.05% 时在第二主成分上差异最大。表 6 为样品间的区分度, 数值越接近 1 说明区分度越大, 区别越明显, 从图中可以看出样品间的区分度数值都接近于 1, 表明电子鼻可准确区分不同米糠饼干样品。

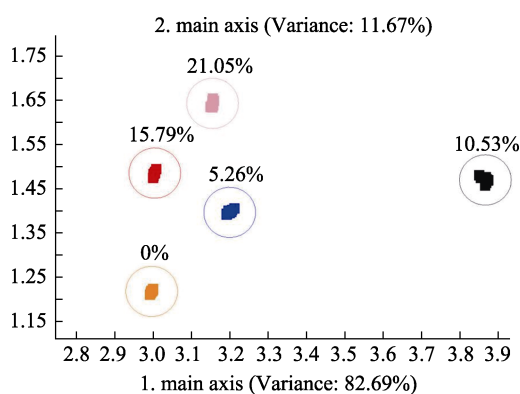


图 5 5 种饼干样品的电子鼻 PCA 二维图

Fig.5 Two-dimensional map of E-nose PCA of 5 species of biscuits

表 6 不同饼干香气成分数据矩阵表

样品	0%	5.26%	10.53%	15.79%	21.05%
0%		1.000	0.998	0.998	0.999
5.26%	1.000		1.000	0.999	1.000
10.53%	0.998	1.000		0.999	0.998
15.79%	0.998	0.999	0.999		
21.05%	0.999	1.000	1.000	0.998	1.000

3 结论

通过单因素实验和响应面实验优化米糠饼干的生产工艺, 分别研究黄油添加量、细砂糖添加量、米糠添加量对米糠饼干的感官评分影响, 得出各项因素对米糠饼干的影响大小: 细砂糖添加量>黄油添加量>米糠添加量。通过电子鼻测定的雷达指纹图和 PCA 分析, 不同米糠添加量的可以挥发性气味进行区分, 且在米糠添加量为 10.53% 时能明显与其他样品明显区分。通过质构分析, 米糠添加量为 10.53% 时, 饼干的硬度和脆度呈最适。确定饼干最佳工艺条件为低筋面粉 63.5%、粟粉 23.68%、澄面 13.16%、鸡蛋 26.32%、黄油 59.38%、细砂糖 31.12%、米糠粉 10.53%, 焙烤温度 170 °C, 焙烤时间 16 min。此条件下制出的米糠曲奇饼干口感酥脆、色泽均匀呈浅褐色, 海红米香芋味浓郁、营养丰富、增加膳食纤维, 为探讨不同人群适宜的休闲健康食品作进一步研究。随着人们对营养健康需求的增加, 加强海水稻米糠的资源化利用, 进一步探讨米糠中的营养物质在食品、医药等领域的应用, 以实现米糠的高价值利用。

参考文献:

- [1] HU Y, CHENG H, TAO S. The challenges and solutions for cadmium-contaminated rice in China: a critical review[J]. Environment international, 2016, 92: 515-532.
- [2] 李婷, 朱长波, 李俊伟, 等. 海水胁迫对海稻 86 种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 南方农业学报, 2018, 49(7): 1297-1303.
LI T, ZHU C B, LI J W, et al. Effects of seawater stress on seed germination and seedling growth of Sea rice 86[J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(7): 1297-1303.
- [3] CHEN R, CHENG Y, HAN S, et al. Whole genome sequencing and comparative transcriptome analysis of a novel seawater adapted, salt-resistant rice cultivar-sea rice 86[J]. BMC genomics, 2017, 18(1): 1-11.
- [4] 赵记伍, 成云峰, 刘永权, 等. 盐胁迫对海稻 86 生长及矿质

- 元素吸收、运输和分配的影响[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(4):7-14.
- ZHAO J W, CHEN Y F, LIU Y Q, et al. Effects of salt stress on growth of Oceanrice 86 and absorption, transportation and distribution of mineral elements[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(4):7-14.
- [5] 陈启彪, 梁慧琳, 陈俏媛, 等. 新型海水稻的介绍[J]. 农技服务, 2016, 33(6): 17+41.
- CHEN Q B, LIANG H L, CHEN Q Y, et al. Introduction of new sea rice[J]. Agricultural Technology Service, 2016, 33(6): 17+41.
- [6] LI X, GONG X, ZHANG C, et al. Occurrence characteristics of ash-forming elements in sea rice waste and their effects on particulate matter emission during combustion[J]. Fuel, 2020, 273: 117769.
- [7] GUL K, YOUSUF B, SINGH A K, et al. Rice bran: Nutritional values and its emerging potential for development of functional food—A review[J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2015, 6(1): 24-30.
- [8] 刘雪澜, 李凡妹, 曹慧英, 等. 挤压稳定化米糠在酥性饼干中的应用研究[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(4): 72-75.
- LIU X L, LI F S, CAO H Y, et al. Application of extrusion stabilized rice bran in crisp biscuits[J]. Grains and fats, 2017, 30(4): 72-75.
- [9] 李佳梅, 于森. 米糠营养饼干的初步研究[J]. 现代化农业, 2016(11): 28-30.
- LI J M, YU M. Preliminary study on rice bran nutrition biscuit[J]. Modern Agriculture, 2016(11): 28-30.
- [10] 余有贵, 曾传广, 张炼, 等. 米皮糠发酵生产凝乳的工艺研究[J]. 食品科学, 2006(10): 376-379.
- YU Y G, ZENG C G, ZHANG L, et al. Study on curd production by rice bran fermentation[J]. Food Science, 2006(10): 376-379.
- [11] 白美清. 在大米深加工及综合利用研讨会上的讲话[J]. 粮食与饲料工业, 2002, (2): 1-2.
- BAI M Q. Speech on seminar of rice deep processing and comprehensive utilization[J]. Food and Feed Industry, 2002, (2): 1-2.
- [12] 郭松平, 回淑梅, 白洪涛. 乳酸菌及乳酸菌发酵食品[J]. 粮食与食品加工, 2005, (1): 39-40+45.
- GUO S P, HUI S M, BAI H T. Lactic acid bacteria and fermented food by lactic acid bacteria[J]. Food and Food Processing, 2005, (1): 39-40+45.
- [13] 马宝歧. 农副产品加工指南[M]. 北京: 中国商业出版社, 1993, 43-68.
- MA B Q. Agricultural and sideline products processing guide [M]. Beijing: China Commercial Publishing House, 1993, 43-68.
- [14] YOUNAS A, BHATTI M S, AHMED A, et al. Effect of rice bran supplementation on cookie baking quality[J]. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 2011, 48(2): 129-134.
- [15] 孙哲, 刘玉洁, 石丽丽, 等. 黑枸杞曲奇饼干制作工艺的研究[J]. 轻工科技, 2019, 35(12): 11-12+19.
- SUN Z, LIU Y J, SHI L L, et al. Study on the making technology of black lycium barbarum quqi bake[J]. Light industry science and technology, 2019, 35(12): 11-12+19.
- [16] 范秀萍, 徐杰, 林泽安, 等. 石斑鱼头酶解产物的制备及其功能性质[J]. 广东海洋大学学报, 2020, 40(4): 90-99.
- FAN X P, XU J, LIN Z A, et al. Preparation and functional properties of enzymatic hydrolysis products of grouper head[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2020, 40(4): 90-99.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准-饼干: GB/T20980—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of The People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. National standard of the People's Republic of China-Biscuits: GB/T20980—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [18] 刘紫韞, 李喜宏, 朱刚, 等. 灵武长枣曲奇饼干配方优化及质构特性分析[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(10): 71-74.
- LIU Z Y, LI X H, ZHU G, et al. Formula optimization and texture characteristics analysis of Lingwu long jujube cookies[J]. Cereals and Oils, 2020, 33(10): 71-74.
- [19] 王颖周, 仰振中, 潘阳, 等. 玉米曲奇饼干配方优化及其质构研究[J]. 包装与食品机械, 2013, (31): 22-24+6.
- WANG Y Z, YANG Z Z, PAN Y, et al. Study on the formula and texture characteristics of corn cookies[J]. Packaging and Food Machinery, 2013(31): 22-24+6.
- [20] 周晓洁, 王秋善, 赵良忠, 等. 响应面法在豆纤维橙味曲奇饼干研制中的应用[J]. 食品工业科技, 2019, 40(16): 163-168+180.
- ZHOU X J, WANG Q P, ZHAO L Z, et al. Application of response surface methodology in the development of soybean fiber orange cookies[J]. Science and technology of food industry, 2019, 40 (16): 163-168+180.
- [21] 杨雪梅, 赵建锐, 王智慧, 等. 电子鼻技术及其在茶叶香气检测中的应用及展望[J]. 中国茶叶, 2020, 42(6): 5-9.
- YANG X M, ZHAO J R, WANG Z H, et al. Development of electronic nose technology and its application in identification of aroma components in tea[J]. China Tea, 2020, 42(6): 5-9.
- [22] 王旭明, 赵夏夏, 陈景阳, 等. 湛江盐碱地精准开发与海水稻抗盐碱高效栽培展望[J]. 热带农业科学, 2018, 38(12): 25-29.
- WANG X M, ZHAO X X, CHEN J Y, et al. Accurate development of saline-alkali land in Zhanjiang and prospect of high-efficiency saline-alkali resistance cultivation of Marine rice[J]. Science of tropical agriculture, 2018, 38(12): 25-29.
- [23] 魏晓东, 张亚东, 赵凌, 等. 稻米香味物质2-乙酰-1-吡咯啉的形成及其影响因素[J]. 中国水稻科学, 2022, 36(2): 131-138. DOI:10.16819/j.1001-7216.2022.201214.
- WEI X D, ZHANG Y D, ZHAO L, et al. Formation and influencing factors of rice aroma substance 2-acetyl-1-pyrroline[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2022, 36(2): 131-138. DOI:10.16819/J.1001-7216.2022.201214.
- [24] 潘焯灿, 王昕璐, 张琳, 等. 数学分析法评估大蒜素对Hela细胞氧化还原水平的影响[J/OL]. 食品科学: 1-12 [2021-06-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210618.1753.064.html>.

- PAN Y C, WANG X L, ZHANG L, et al. The effect of allicin on the redox level of HeLa cells by various mathematical analysis methods [J/OL]. *Food Science*: 1-12 [2021-06-22].
- [25] 徐杰, 林泽安, 李子青, 等. 响应面法优化珍珠龙胆石斑鱼肉肽的酶法制备工艺及酶解产物的抗氧化活性[J]. *食品工业科技*, 2020, 41 (19): 205-211+239.
- XU J, LIN Z A, LI Z Q, et al. Optimization of enzymatic preparation process of peptides from pearl gentian grouper by response surface methodology and the antioxidant activity of the enzymatic hydrolysis products[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41 (19): 205-211+239.
- [26] 王旭. 米糠膳食纤维的改性制备及其特性研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- WANG X. Study on modified preparation of rice bran dietary fiber and its properties[D]. Beijing: China Agricultural University, 2018.
- [27] 王舒婷, 曲凤凤, 张新富, 等. 基于电子鼻技术的白茶毫香研究[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2020, 37(4): 258-263.
- WANG S T, QU F F, ZHANG X F, et al. Research on white tea based on electronic nose technology[J]. *Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science)*, 2020, 37(4): 258-263.
- [28] 闫鉴, 兰天, 王家琪, 等. 基于电子鼻和气质联用技术分析不同市售牡丹籽油产品的香气差异性[J/OL]. *食品与发酵工业*: 1-13[2021-07-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1802.TS.20210629.1136.004.html>.
- YAN J, LAN T, WANG J Q, et al. Analysis of the aroma of different commercially available peony seed oil products by electronic nose and GC-MS[J/OL]. *Food and Fermentation Industries*: 1-13[2021-07-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1802.TS.20210629.1136.004.html>.
- [29] GU S, CHEN W, WANG Z, et al. Rapid detection of *Aspergillus* spp. infection levels on milled rice by headspace-gas chromatography ion-mobility spectrometry (HS-GC-IMS) and E-nose[J]. *LWT*, 2020, 132: 109758.
- [30] 王贺, 赵玉红, 杨凯. HS-SPME-GC-MS结合电子鼻对10个品系红松籽油挥发性物质分析比较[J/OL]. *食品科学*: 1-12 [2021-04-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210316.1927.019.html>.
- WANG H, ZHAO Y H, YANG K. Comparative analysis of volatile profile in kernel oils of ten Korean pine (*Pinus koraiensis*) varieties by HS-SPME-GC-MS and electronic nose [J/OL]. *Food Science*: 1-12[2021-04-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210316.1927.019.html>.
- [31] 赵宁, 魏新元, 樊明涛, 等. SPME-GC-MS结合电子鼻技术分析不同品种猕猴桃酒香气物质[J]. *食品科学*, 2019, 40(22): 249-255.
- ZHAO N, WEI X Y, FAN M T, et al. Analysis of volatile components of kiwifruit wines made from different cultivars using solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry combined with electronic nose[J]. *Food Science*, 2019, 40(22): 249-255. 完
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。