

# 马齿苋黄豆粗粮饼干的研制

张新海, 郝慧敏, 张守花

(鹤壁职业技术学院, 河南 鹤壁 458030)

**摘要:**以低筋面粉、马齿苋粉、黄豆粉、木糖醇为主要原料制作粗粮饼干,通过单因素试验分析马齿苋粉、黄豆粉和木糖醇添加量对饼干品质的影响。在此基础上,以饼干感官评分为指标,采用 Box-Behnken 响应面试验对饼干配方进行优化。结果表明:各因素的影响强弱顺序为:黄豆粉添加量>木糖醇添加量>马齿苋粉添加量,最优配方为马齿苋添加量 1.8 g,黄豆粉添加量 36.1 g,木糖醇添加量 17.7 g。对最优配方进行验证试验,测得饼干感官评分为 85.62,与预测值相符。

**关键词:**马齿苋;黄豆;木糖醇;粗粮饼干;Box-Behnken响应面试验

## Development of *Portulaca oleracea* L. and Soy Coarse Grain Biscuits

ZHANG Xin-hai, HAO Hui-min, ZHANG Shou-hua

(Hebi Polytechnic, Hebi 458030, Henan, China)

**Abstract:** Low-gluten flour, *Portulaca oleracea* L. powder, soybean powder, and xylitol were used as the main raw materials to make coarse grain biscuits. The effect of the added amount of *P. oleracea* L. powder, soybean powder, and xylitol on the quality of the biscuits was analyzed by a single factor test. Using the cookie sensory score as indicator, the Box-Behnken response surface test was used to optimize the biscuit recipe. The order of influence of each factor was found to be soybean powder addition>xylitol addition>*P. oleracea* L. powder addition; with the optimal formula containing 1.8, 36.1 g and 17.7 g of *P. oleracea* L. powder, soybean powder, and xylitol, respectively. The optimal formula was tested, the sensory score of biscuit was 85.62, which was consistent with the predicted value.

**Key words:** *Portulaca oleracea* L.; soy; xylitol; coarse grain biscuits; Box-Behnken response surface test

引文格式:

张新海,郝慧敏,张守花.马齿苋黄豆粗粮饼干的研制[J].食品研究与开发,2021,42(15):97-102.

ZHANG Xinhai, HAO Huimin, ZHANG Shouhua. Development of *Portulaca oleracea* L. and Soy Coarse Grain Biscuits[J]. Food Research and Development, 2021, 42(15):97-102.

马齿苋,又名五行草、长寿菜,是国家卫健委、国家市场监督管理总局认定的药食同源野生植物之一<sup>[1-3]</sup>。马齿苋中含有丰富的  $\Omega$ -3 脂肪酸,对降低血液中的胆固醇、甘油三酯水平有非常好的作用,还能够预防心脑血管疾病<sup>[4-5]</sup>。同时马齿苋还含有较高浓度的去甲肾上腺素,能够促进胰岛素的分泌,调节人体内血糖平衡<sup>[6]</sup>。黄豆中氨基酸组成和动物蛋白质近似,容易被消化吸收,还可以阻止胆固醇的吸收<sup>[7-8]</sup>。木糖醇

是人体糖类代谢的中间体,在体内缺少胰岛素情况下,木糖醇也能透过细胞膜,被组织吸收利用,促进肝糖原合成,为细胞提供营养和能量,且不会引起血糖值升高,是最适合糖尿病患者食用的营养性食糖替代品<sup>[9-12]</sup>。

食品工业的迅猛发展,给人们的健康带来了许多新的挑战,诸如糖尿病、肥胖症等“富贵病”正威胁着人们的身心健康。无糖、低糖、营养且易吸收食品的研究和开发已受到高度重视。本文以低筋面粉、马齿苋粉、黄豆粉、木糖醇为主要原料,通过单因素试验和响应面法优化了马齿苋黄豆粗粮饼干的配方,开发研究一种低糖功能性粗粮饼干。

基金项目:河南省高等学校重点科研项目计划(19B550004);鹤壁职业技术学院科技类重点课题(2018-KJZD-003)

作者简介:张新海(1977—),男(汉),副教授,本科,研究方向:化学工程技术和分析检测。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

低筋面粉:江苏南顺食品有限公司;木糖醇:郑州裕和食品添加剂有限公司;泡打粉:郑州海韦力食品工业有限公司;黄豆、植物调和油:市售;马齿苋:河南省鹤壁市淇滨区采摘。

### 1.2 仪器与设备

TL-603S 电气层炉:无锡腾力机械有限公司;SZM-B5 型搅拌机:广州旭众食品机械有限公司;FW-100 高速万能粉碎机:北京中兴伟业仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 饼干制作工艺流程

面糊调制→装模→烘烤→冷却→成品

#### 1.3.2 基础配方

通过预试验设定基础配方:以 100 g 面粉为基础,马齿苋粉 1.5 g,黄豆粉 25 g,木糖醇 15 g,植物油 20 g,泡打粉 1 g,水 30 g。

#### 1.3.3 操作要点

马齿苋粉制作:新鲜马齿苋清洗干净,沥干水分后去根,放入 60 ℃的电气层炉内烘干,用高速粉碎机粉碎,备用<sup>[13]</sup>。

黄豆粉制作:黄豆清洗干净,沥干水分,放入 150 ℃电气层炉内烤制至颜色焦黄,放凉后,用高速粉碎机粉碎,备用。

面团调制:1)将植物调和油和木糖醇混合;2)将低筋面粉和黄豆粉混合均匀,再加入泡打粉尽量使其均匀,加入水、植物调和油和木糖醇的混合液,将所有添加的原料充分混合;3)和面至面团表面光滑,在制备面团的过程中,应该减少面团的揉捏时间。和好面后 25 ℃下静置一段时间。

压模成型:将调制好的面团,用擀面杖擀成均匀的薄片,用印模压成形状大小一致的面胚。

烘烤:电气层炉提前预热,上火 210 ℃,下火 175 ℃,烘烤 10 min。

冷却、包装:彻底晾凉后,放入包装袋内封口。

#### 1.3.4 饼干制作单因素试验

在固定基础配方的条件下,对马齿苋粉、黄豆粉和木糖醇的添加量分别设计 5 个不同水平的试验,具体见表 1,探讨其对马齿苋黄豆粗粮饼干感官品质的影响。

#### 1.3.5 饼干制作响应面试验

在单因素试验的基础上,以马齿苋粉、黄豆粉、木糖醇添加量为自变量,以感官评分为评定指标,使用 Design Expert 软件的 Box-Behnken 进行响应面优化试

表 1 单因素试验设计方案  
Table 1 Single factor experiment design scheme

因素	因素变量值/%				
马齿苋粉添加量	1	1.5	2	2.5	3
黄豆粉添加量	10	20	30	40	50
木糖醇添加量	10	15	20	25	30

验,因素与水平见表 2。

表 2 响应面试验因素与水平  
Table 2 Response surface test factors and levels

水平	因素		
	A 马齿苋粉添加量/g	B 黄豆粉添加量/g	C 木糖醇添加量/g
-1	1	20	10
0	1.5	30	15
1	2	40	20

#### 1.3.6 感官评价指标

以饼干的色泽、风味、口感、外形以及组织结构为评定指标,由 10 位经过一定感官分析训练的人士进行评分<sup>[14]</sup>,具体评定指标见表 3。

表 3 感官评分标准  
Table 3 Sensory scoring standards

评定指标	评分要点及分值
色泽	表面呈金黄色或淡棕色,有明显光泽,均匀一致,无焦黑色及其它异常色泽:20 分~25 分;表面颜色轻微变化,无明显光泽,呈暗棕色或略微焦黑色,不太均匀:10 分~19 分;表面颜色变化严重,无光泽,呈焦黑色,不均匀,异常色泽明显:5 分~9 分
风味、 口感	具有马齿苋和黄豆的风味,口感酥脆:20 分~25 分;有涩味,口感稍差:10 分~19 分;涩味明显,口感较差:5 分~9 分
外形	外形完整,厚薄基本均匀,不收缩,不变形,不起泡,表面无裂纹及粗糙感:20 分~25 分;外形略不完整,厚薄出现不一,出现收缩及变形,表面略微粗糙及有少量裂纹:10 分~19 分;外形出现缺陷,厚薄不一,严重变形收缩,表面粗糙,裂纹较多:5 分~9 分
组织结构	组织均匀、无硬块:20 分~25 分;组织不均匀、有硬块:10 分~19 分;组织不均匀、硬块较多:5 分~9 分

#### 1.3.7 数据处理

采用 Excel 处理数据,取 3 次平行试验结果的均值;采用 Origin 进行作图;采用 Design-Expert 的 Box-Behnken 进行试验数据分析<sup>[15-16]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果与分析

单因素试验结果见图 1~图 3。

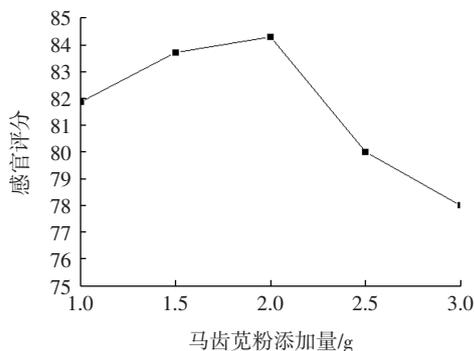


图1 马齿苋粉添加量对饼干品质的影响  
Fig.1 The effect of purslane powder addition on the quality of biscuits

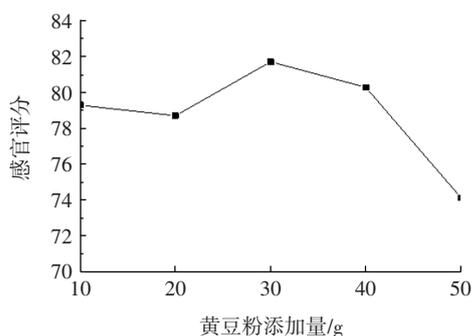


图2 黄豆粉添加量对饼干品质的影响  
Fig.2 The effect of soybean powder addition on the quality of biscuits

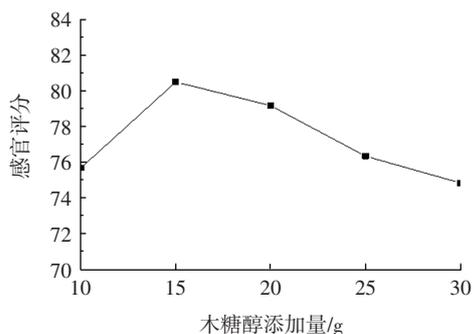


图3 木糖醇添加量对饼干品质的影响  
Fig.3 The effect of the added amount of xylitol on the quality of biscuits

由图1可知,马齿苋粉添加量为2.0 g时饼干感官评分最高。马齿苋粉添加量超过2 g后,风味浓重,失去清香味,口感变差。由图2可知,当黄豆粉添加量达到30 g时,饼干的感官评分达到最高,此时制得的饼干颜色均匀,香味纯正。随着黄豆粉添加量的继续增加,饼干组织不再均匀,饼干口感也开始变差。由图3可知,当木糖醇添加量为15 g时,饼干感官评分最高,饼干甜度适中。当木糖醇添加量小于15 g时,甜度不足;当木糖醇用量大于15 g时,有甜腻感,并且饼干的口感变差。

## 2.2 Box-Behnken 试验结果与分析

### 2.2.1 模型的建立及方差分析

根据单因素试验结果,以饼干的感官评分为响应值,以马齿苋粉、黄豆粉和木糖醇添加量3个因素为考察因素,进行 Box-Behnken 试验,其设计及结果见表4,试验方差分析见表5。

表4 响应面试验设计及结果  
Table 4 Response surface test design and results

序号	A 马齿苋粉添加量/g	B 黄豆粉添加量/g	C 木糖醇添加量/g	Y 感官评分
1	1.00	30.00	20.00	80.07
2	1.50	30.00	15.00	90.50
3	1.50	30.00	15.00	91.24
4	1.50	30.00	15.00	89.64
5	2.00	20.00	15.00	76.40
6	2.00	30.00	10.00	82.58
7	2.00	40.00	15.00	81.10
8	2.00	30.00	20.00	79.04
9	1.50	30.00	15.00	91.27
10	1.50	40.00	10.00	81.38
11	1.00	20.00	15.00	77.41
12	1.50	40.00	20.00	79.90
13	1.50	20.00	20.00	79.51
14	1.50	20.00	10.00	80.58
15	1.00	40.00	15.00	81.20
16	1.50	30.00	15.00	90.57
17	1.00	30.00	10.00	80.20

表5 响应面试验方差分析  
Table 5 Response surface test variance analysis

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	428.64	9	47.63	35.63	<0.000 1	极显著
A	$7.2 \times 10^{-3}$	1	$7.2 \times 10^{-3}$	$5.4 \times 10^{-3}$	0.943 5	
B	11.71	1	11.71	8.76	0.021 1	显著
C	4.84	1	4.84	3.62	0.098 9	
AB	0.21	1	0.21	0.15	0.705 6	
AC	2.91	1	2.91	2.18	0.183 8	
BC	0.042	1	0.042	0.031	0.864 3	
A <sup>2</sup>	138.88	1	138.88	103.91	<0.000 1	极显著
B <sup>2</sup>	145.24	1	145.24	108.67	<0.000 1	极显著
C <sup>2</sup>	82.57	1	82.57	61.78	<0.000 1	极显著
残差	9.36	7	1.34			
失拟项	7.57	3	2.52	5.67	0.063 5	不显著
误差项	1.78	4	0.45			
总和	438.00	16				

注:  $P < 0.01$  为差异极显著;  $P < 0.05$  为差异显著;  $P > 0.05$  为差异不显著。

利用 Design Expert 软件对表4数据进行多元回归拟合,得到响应值(Y)对A、B、C的响应值回归方程:  $Y = 90.64 + 0.03A + 1.21B - 0.78C + 0.23AB - 0.85AC - 0.10BC - 5.74A^2 - 5.87B^2 - 4.43C^2$ 。

由表5可知,多元回归所建立模型的 $P < 0.0001$ ,表明建立的回归方程极显著,失拟项 $P > 0.05$ ,失拟项不显著,表明模型具有较高的可靠性,回归方程的拟合度较高<sup>[17-20]</sup>;模型的相关性系数为0.9786,说明预测值与试验值有较高的相关性,调整决定系数为0.9512,说明95%以上的响应值能用所建模型解释,能够较好地描述试验结果;信噪比 $14.688 > 4$ ,表明信号充足,也说明所建模型比较可靠<sup>[21-23]</sup>;模型的二次项 $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$ 的 $P < 0.0001$ ,达到极显著水平,说明试验考察的3个因素对响应值不是简单的线性关系<sup>[24-26]</sup>,它们的改变对饼干品质的变化率影响较大。通过方差分析结果可知,3个因素对饼干品质的影响主次顺序为 $B > C > A$ ,即黄豆粉添加量 $>$ 木糖醇添加量 $>$ 马齿苋粉添加量。

### 2.2.2 响应面分析

各交互作用对饼干感官品质影响的响应面三维图像和等高线见图4~图6。

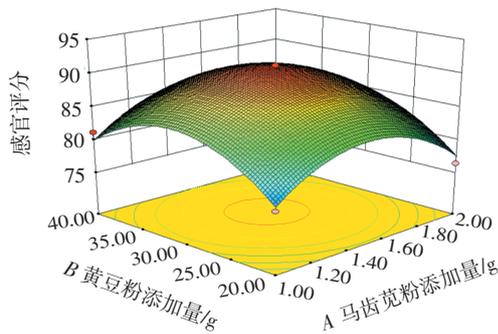


图4 马齿苋粉添加量与黄豆粉添加量对饼干品质的影响  
Fig.4 The effect of the added amount of purslane powder and soybean powder on the quality of biscuits

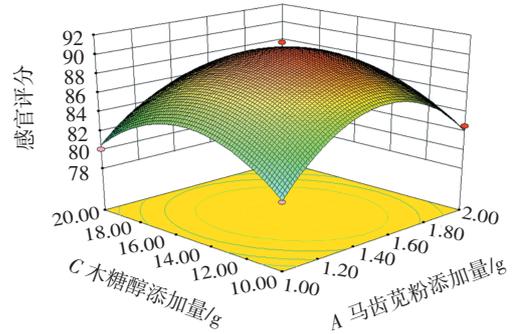


图5 马齿苋粉添加量与木糖醇添加量对饼干品质的影响  
Fig.5 The effect of the added amount of purslane powder and xylitol on the quality of biscuits

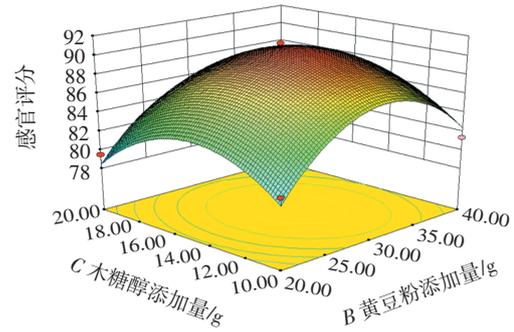


图6 黄豆粉添加量与木糖醇添加量对饼干品质的影响  
Fig.6 The effect of added amount of soybean powder and xylitol on the quality of biscuits

响应面试验所建模型的数据诊断见图7~图8。

由图4~图6可知,固定马齿苋粉添加量、黄豆粉添加量和木糖醇添加量中的2个因素,改变另一个因素变量,饼干品质均先升高后降低。由图7和图8可知,试验的残差分布符合正态规律,试验预测值与实

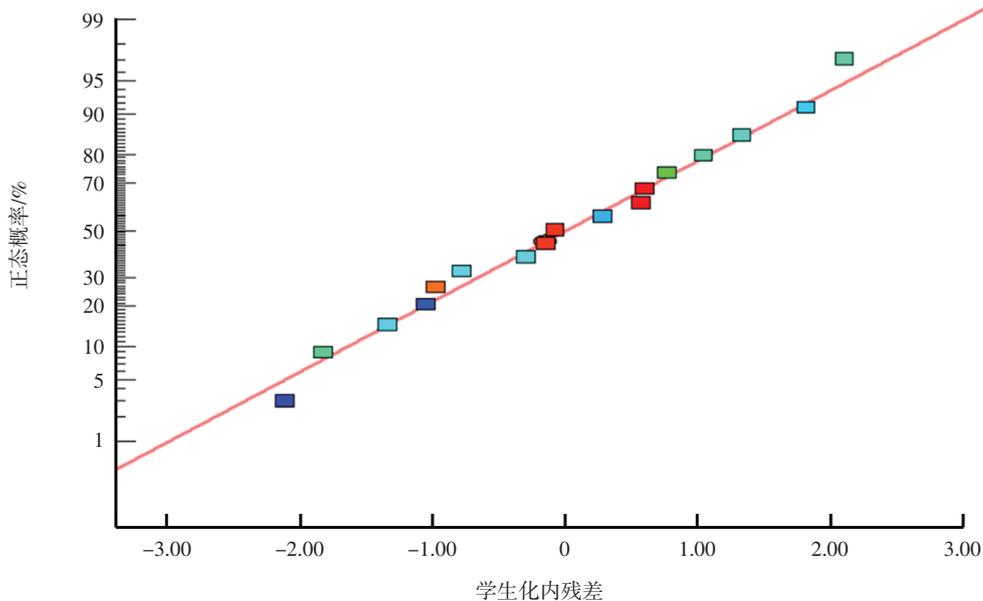


图7 残差的正态概率分布  
Fig.7 Normal probability distribution of residuals

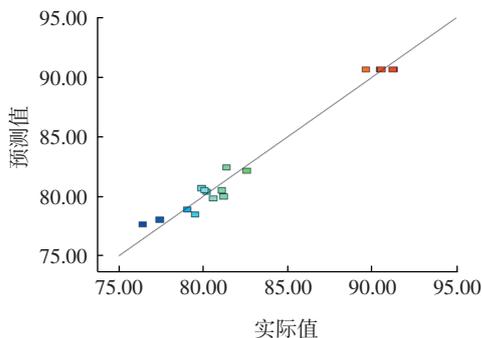


图8 预测值与试验实际值的对应关系图

Fig.8 Corresponding relationship between predicted value and actual test value

际值对应关系较好,所有数值基本接近一条直线,说明预测值和实际值比较接近,预测误差较小,同样表明了试验模型方程的可靠性较高,方程的拟合度较好,可以用试验拟合方程对试验进行分析和预测。

### 2.2.3 响应面优化结果验证

利用 Box-Behnken 设计对响应面试验结果进行优化,试验预测的最佳配方为马齿苋粉添加量 1.76 g,黄豆粉添加量 36.05 g,木糖醇添加量 17.72 g,此时饼干感官评分为 85.792 4。为便于开展试验研究,将配方调整为马齿苋粉添加量 1.8 g,黄豆粉添加量 36.1 g,木糖醇添加量 17.7 g,进行 3 次重复性验证试验,测得的饼干感官评分平均为 85.62,基本接近预测值,表明响应面法优化配方的可靠性较高。

## 3 结论

在单因素试验的基础上,通过响应面法优化马齿苋黄豆粗粮饼干配方,得到影响饼干品质的因素主次关系为黄豆粉添加量>木糖醇添加量>马齿苋粉添加量。对利用 Box-Behnken 设计优化的最佳配方进行验证试验,测得粗粮饼干感官评分平均值与预测值基本吻合,表明本试验利用响应面优化的最佳配方具有实际参考意义。马齿苋黄豆粗粮饼干的研制与开发不仅可以拓展市场上饼干的种类,也可为糖尿病等特定人群提供营养丰富的休闲食品。

### 参考文献:

- [1] 郝天民,侯倩,陈小文,等.西汉至南北朝时期的中国蔬菜[J].甘肃农业,2018(22):26-29.  
HAO Tianmin, HOU Qian, CHEN Xiaowen, et al. Chinese vegetables from the Western Han Dynasty to the Northern and Southern Dynasties[J]. Gansu Agriculture, 2018(22): 26-29.
- [2] 林宝妹,洪佳敏,张帅,等.马齿苋加工研究进展[J].保鲜与加工,2020,20(6):205-211.

- LIN Baomei, HONG Jiamin, ZHANG Shuai, et al. Research advance in the processing of *Portulaca oleracea* L.[J]. Storage and Process, 2020, 20(6): 205-211.
- [3] 陈珏,倪江,周德尧,等.药食同源植物——马齿苋的研究进展[J].上海蔬菜,2020(3):86-87,96.  
CHEN Jue, NI Jiang, ZHOU Deyao, et al. A plant with the same medicine and food——Research progress on *Portulaca oleracea* L. [J]. Shanghai Vegetables, 2020(3): 86-87, 96.
- [4] 徐仕明.药食两用马齿苋[J].养生月刊,2010,31(7):656-657.  
XU Shiming. *Portulaca oleracea* L. for medicine and food [J]. Health Preserving, 2010, 31(7): 656-657.
- [5] 杨春燕,祝晓丽,吴小渊,等.马齿苋提取物的制备及质量研究[J].山东化工,2019,48(12):29-30.  
YANG Chunyan, ZHU Xiaoli, WU Xiaoyuan, et al. Study on preparation and quality of *Portulaca oleracea* extract[J]. Shandong Chemical Industry, 2019, 48(12): 29-30.
- [6] 谢静华.马齿苋的开发利用价值[J].资源开发与市场,2004(6):453-454.  
XIE Jinghua. Exploitation and utilization value of *Portulaca oleracea* L.[J]. Resource Development & Market, 2004(6): 453-454.
- [7] 郝涤非,孙婷婷.枸杞黄豆牛肉酱的加工[J].中国调味品,2019,44(6):140-143.  
HAO Difei, SUN Tingting. Processing of beef paste with Chinese wolfberry and soybean[J]. China Condiment, 2019, 44(6):140-143.
- [8] 于庆丰,李子勇,王学军.大豆蛋白在食品中的应用[J].粮油加工(电子版),2015(10):36-40,44.  
YU Qingfeng, LI Ziyong, WANG Xuejun. Application of soybean protein in foodstuff[J]. Cereals and Oils Processing (Electronic Version), 2015(10): 36-40, 44.
- [9] 杜冰冰,徐振辉.低糖低脂蛋糕生产中甜味剂和油脂的筛选[J].天津农业科学,2018,24(9):40-42.  
DU Bingbing, XU Zhenhui. Screening of sweeteners and lipids in low-sugar and low-fat cake production[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2018, 24(9): 40-42.
- [10] 孙雨.低糖面包生产工艺研究[J].粮食科技与经济,2019,44(4):88-90.  
SUN Yu. Study on production technology of low-sugar bread[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2019,44(4): 88-90.
- [11] 葛小琴.低脂低糖曲奇饼干工艺研究及感官评价[J].现代食品,2017(20):121-122.  
GE Xiaoqin. Study on the technology and sensory evaluation of low fat and low sugar cookies[J]. Modern Food, 2017(20): 121-122.
- [12] 王超,李玉鑫,刘蒙蒙,等.木糖醇绿茶饼干的研制[J].食品研究与开发,2019,40(14):131-135.  
WANG Chao, LI Yuxin, LIU Mengmeng, et al. Development of xyli-tol green tea biscuit[J]. Food Research and Development, 2019, 40(14): 131-135.
- [13] 张百胜,王艳萍,曹发昊.马齿苋饼干的制作及营养成分测定[J].食品研究与开发,2014,35(13):62-65.  
ZHANG Baisheng, WANG Yanping, CAO Fahao. Research and nu-

- tritional analysis on the biscuit of purslane[J]. Food Research and Development, 2014, 35(13): 62-65.
- [14] 胡克坚, 段丽萍, 肖新生, 等. 响应面法优化高纤维杂粮饼干的配方研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(16): 99-104.
- HU Kejian, DUAN Liping, XIAO Xinsheng, et al. Study on formulation of high-fiber grains biscuit by response surface method[J]. Food Research and Development, 2016, 37(16): 99-104.
- [15] GUPTA T, GHOSH T, AKDOGAN G, et al. Maximizing REE enrichment by froth flotation of Alaskan coal using box-behnken design[J]. Mining, Metallurgy & Exploration, 2019, 36(3): 571-578.
- [16] HASNAIN M S, JAVED M N, ALAM M S, et al. Purple heart plant leaves extract-mediated silver nanoparticle synthesis: Optimization by Box-Behnken design[J]. Materials Science and Engineering: C, 2019, 99: 1105-1114.
- [17] 吴兴雨, 马佳, 姚玥, 等. 响应面法优化酶法提取亚麻蛋白工艺[J]. 食品工业科技, 2020, 41(14): 166-171.
- WU Xingyu, MA Jia, YAO Yue, et al. Technology optimization for enzymatic hydrolysis of protein from flax cake by response surface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(14): 166-171.
- [18] DAMYAR N, KHAVANIN A, JONIDI FAFARI A, et al. Application of dielectric barrier discharge (DBD) plasma packed with glass and ceramic pellets for SO<sub>2</sub> removal at ambient temperature: Optimization and modeling using response surface methodology[J]. Plasma Science and Technology, 2020, 22(10): 105501.
- [19] 张守花. 响应面法优化微波辅助酶解制备抗性淀粉工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(17): 122-127.
- ZHANG Shouhua. Optimization of microwave-assisted enzymatic hydrolysis for the preparation of resistant starch by response surface methodology[J]. Food Research and Development, 2020, 41(17): 122-127.
- [20] 韩冰, 朱宗涛, 孟祥晨, 等. 响应面法优化酸面团馒头的加工工艺[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(17): 109-114.
- HAN Bing, ZHU Zongtao, MENG Xiangchen, et al. Optimization of sourdough steamed bread processing with response surface methodology[J]. Food Research and Development, 2017, 38(17): 109-114.
- [21] 杨敏, 史崇颖, 王燕华, 等. 响应面法优化荷叶含片的制备工艺[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(16): 144-149, 183.
- YANG Min, SHI Chongying, WANG Yanhua, et al. Optimization of nelumbinis folium lozenges by design-response surface methodology[J]. Food Research and Development, 2020, 41(16): 144-149, 183.
- [22] LIN L N, YANG J, ZHANG G C, et al. Extraction optimization of insecticidal compounds from *Lysurus mokusin* by response surface methodology[J]. Journal of Forestry Research, 2020, 31(5): 1985-1993.
- [23] 雷文平, 吴诗敏, 李彩虹, 等. 响应面法优化凝固型发酵椰奶工艺[J]. 中国酿造, 2019, 38(2): 212-216.
- LEI Wenping, WU Shimin, LI Caihong, et al. Process optimization of set-style fermented coconut milk by response surface methodology[J]. China Brewing, 2019, 38(2): 212-216.
- [24] 孙祥祥, 刘长虹, 张萌, 等. 响应面法优化酵母生产工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 112-117.
- SUN Xiangxiang, LIU Changhong, ZHANG Meng, et al. Response surface method to optimize the production process of Jiaozi[J]. Food Research and Development, 2018, 39(22): 112-117.
- [25] 肖猛, 丁捷, 赵雪梅, 等. 基于响应面法和主成分分析的速冻微波青稞鱼面品质改良[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(6): 1370-1377.
- XIAO Meng, DING Jie, ZHAO Xuemei, et al. Quality improvement of quick-frozen microwave highland barley fish noodle based on response surface methodology and principal component analysis[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2018, 34(6): 1370-1377.
- [26] 姚庆鑫, 王蓓, 阳后桂, 等. 响应面法优化木质素基选择性吸附树脂的皂化条件[J]. 功能材料, 2016, 47(11): 11215-11219, 11225.
- YAO Qingxin, WANG Bei, YANG Hougui, et al. Optimization for saponification of lignin-based selective adsorbent by response surface methodology[J]. Journal of Functional Materials, 2016, 47(11): 11215-11219, 11225.

加工编辑:王艳

收稿日期:2021-03-19