

响应面法优化黄粉虫饼干加工工艺

田晶

(吕梁学院 生命科学系, 山西 吕梁 033000)

摘要:利用响应面法对黄粉虫饼干的加工工艺进行优化。以感官评分为考察指标,在单因素试验的基础上,选取糖粉、黄粉虫蛋白乳添加量、烘焙时间作为因素进行 Box-Behnken 试验设计。结果表明,黄粉虫饼干的最佳工艺配方为:糖粉 22 g、黄粉虫蛋白乳 16.4 g、烘焙时间 18 min。在此条件下制作出的黄粉虫饼干营养丰富,风味独特,口感细腻,适合各种人群食用。

关键词:黄粉虫;响应面法;饼干;工艺优化;感官评分

Optimization of Response Surface Methodology for *Tenebrio molitor* Biscuits

TIAN Jing

(Department of Life Science, Lvliang University, Lvliang 033000, Shanxi, China)

Abstract: Response surface method was used to optimize the processing technology of *Tenebrio molitor* (*T. molitor*) biscuits in this study. With sensory score as the evaluation index, on the basis of single factor experiments, sugar powder addition, *T. molitor* protein milk addition and baking time were selected for Box-Behnken experimental design. The results showed that the optimize formula of *T. molitor* biscuits was as follows: 22 g of sugar powder, 16.4 g of protein milk of *T. molitor*, and baking time of 18 min. The *T. molitor* biscuits produced under the optimum conditions were rich in nutrients, unique in flavor and delicate in taste, suitable for all kinds of people.

Key words: *Tenebrio molitor*; response surface method; biscuits; process optimization; sensory score

引文格式:

田晶. 响应面法优化黄粉虫饼干加工工艺[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(24): 119-123

TIAN Jing. Optimization of Response Surface Methodology for *Tenebrio molitor* Biscuits [J]. Food Research and Development, 2020, 41(24): 119-123

黄粉虫又被称作面包虫,含有多营养物质,如蛋白质、维生素、脂肪等,其中蛋白质的含量极为丰富,是一种优良的动物蛋白资源,黄粉虫含有人体所必需的8种氨基酸,此外还含有儿童所需的组氨酸和精氨酸等^[1-5]。黄粉虫已被广泛用于食品加工中,是一种理想的蛋白质资源^[6-8]。

饼干是日常生活中常见的一种食品,食用方便又便于携带,具有广阔的开发与利用前景^[9-10]。但由于其蛋白质含量低,脂肪含量高,不适合过多食用。本文将黄

粉虫与饼干结合起来开发出一种新的饼干,即黄粉虫饼干,它改变了饼干营养价值的局限性,实现了动、植物营养互补的目的,同时在风味上也更加具有独特性。

此前有对黄粉虫蛋白营养饼干采用正交试验设计获得最佳工艺的研究^[11],但是通过正交试验未能得到黄粉虫蛋白乳的最适添加量,只是给出了10%~12%的大概范围,因此黄粉虫蛋白营养饼干的最佳工艺有待进一步优化。本文采用响应面法优化黄粉虫饼干的加工工艺,通过对多元二次回归方程的分析来寻找最优工艺参数^[12-13]。通过对黄粉虫饼干的研究,也可以进一步探索对黄粉虫的深加工,寻求黄粉虫的综合开发利用新途径,实现更高附加值的生产。

基金项目:吕梁市科技计划项目(2018PTJS-58-3)

作者简介:田晶(1987—),女(汉),副教授,博士,研究方向:昆虫资源综合利用。

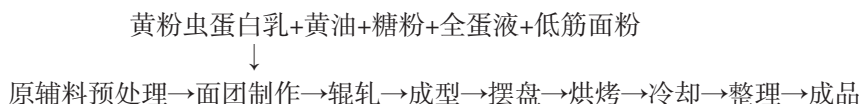
1 材料与方法

1.1 试验材料

黄油、糖粉、低筋面粉、鸡蛋:市售;鲜黄粉虫:山东省泰安市韩旭养殖场。

1.2 仪器与设备

JA2003 电子天平:上海雷韵试验仪器制造有限公司;VJ-8B 烤炉:广州市泓亿机电设备制造有限公司;JYL-C93T 多功能搅拌机:九阳股份有限公司。



1.3.3 操作要点

1)原辅材料的预处理:面粉、糖粉分别过 100 目筛,将鸡蛋去壳搅拌后备用,黄油放置软化后备用。

2)面团制作:先将黄粉虫蛋白乳、黄油、糖粉、低筋面粉等原料混合均匀后,再分次加入蛋液调制成面团。

3)辊轧、成型:将面团擀压成 2 mm~3 mm 厚,印模成型。

4)摆盘:烤盘铺上油纸,将饼干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造成粘连。

5)烘烤:将烤盘送入 160 ℃烤炉中,烤至微黄色后关火继续用余温加热,出炉后冷却至 38 ℃,立即包装,防止饼干受潮。

1.4 黄粉虫饼干的单因素试验

经预试验确定添加低筋面粉 100 g, 黄油 28 g, 鸡蛋液 16 g。以饼干感官评分为指标,分别考察黄粉虫蛋白乳添加量、糖粉添加量、烘焙时间对黄粉虫饼干品质的影响^[15-17]。

选择黄粉虫蛋白乳添加量(5、10、15、20、25 g),糖粉添加量 20 g,烘焙时间 15 min,考察黄粉虫蛋白乳添加量对饼干感官品质的影响。

选择黄粉虫蛋白乳添加量 15 g,糖粉添加量(10、15、20、25、30 g),烘焙时间 15 min,考察糖粉添加量对饼干感官品质的影响。

选择黄粉虫蛋白乳添加量 15 g,糖粉添加量 20 g,烘焙时间(5、10、15、20、25 min),考察烘焙时间对饼干感官品质的影响。

1.5 黄粉虫饼干的响应面优化试验

依据单因素试验的结果,设计响应面试验,具体各因素和水平见表 1。

1.6 感官评定

以黄粉虫饼干的内部组织结构、形态、色泽、口感

1.3 方法

1.3.1 黄粉虫蛋白乳的制备

将鲜黄粉虫幼虫清理去杂,除去不符合条件的幼虫,再用水洗净,放入热水中烫 3 min~5 min 杀死幼虫,用冷水冷却。按虫:水=1:1.5 的体积比用多功能搅拌机磨浆。使用 100 目的筛网过滤,目的是除去黄粉虫的虫皮与内脏,最终得到浅灰色蛋白乳^[14]。

1.3.2 工艺流程

表 1 响应面试验因素水平表

Table 1 Factors and levels used in response surface experiments

水平	因素		
	A 黄粉虫蛋白乳添加量/g	B 糖粉添加量/g	C 烘焙时间/min
-1	10	15	10
0	15	20	15
1	20	25	20

及气味 5 项质量指标^[18-20]作为感官评定项目。评定小组成员由 5 名男性和 5 名女性组成,满分 100 分。评定标准见表 2。

表 2 感官评定评分标准

Table 2 The standard of sensory evaluation

评分指标	分值	评价标准	评分
形态	20	外形完整,厚薄均匀,不发白,表面平整	15~20
		外形较完整,略有发白或焦黄	9~14
		外形不完整,裂痕明显,表面不平整	0~8
色泽	20	饼干的表面为金黄色,颜色均匀,无烤焦现象	15~20
		饼干表面为淡黄色,略有发白现象	9~14
		表面烤焦或发白	0~8
气味	20	具有该品种应有的香味	15~20
		香味较淡	9~14
		无香味或有异味	0~8
口感	20	酥脆爽口,甜味适中,无未融化的糖颗粒	15~20
		甜味适中,无颗粒感,有轻微异味	9~14
		口感粗糙,有颗粒感,过甜或不甜	0~8
组织	20	切面结构呈多孔状,细密,有咀嚼性	15~20
		切面结构呈多孔状,不细密,纹理较乱	9~14
		有明显的孔洞,局部过硬,饼干易断裂	0~8

2 结果与分析

2.1 黄粉虫饼干单因素试验的结果

2.1.1 黄粉虫蛋白乳添加量的单因素试验

黄粉虫蛋白乳添加量对饼干感官评价的影响见

图 1。

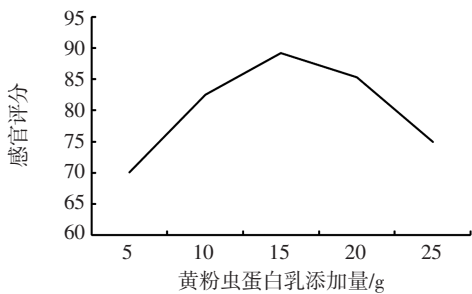


图 1 黄粉虫蛋白乳添加量对饼干感官评价的影响

Fig.1 Effect of *Tenebrio molitor* protein milk amount on sensory scores

从图 1 中可以看出,随着黄粉虫蛋白乳添加量的增加,饼干感官评分逐渐增大,当黄粉虫蛋白乳添加量为 15 g 时感官评分最高,之后,随着添加量的不断增加,感官评分开始下降。当添加量过大时,黄粉虫特有的味道越大,遮盖了饼干原有的香味,气味不适,当添加量小于 5 g 时,饼干中添加的粗蛋白较少,起不到补充营养的作用。因此,黄粉虫蛋白乳添加量在 10 g~20 g 时,饼干的气味较好,营养价值较高。

2.1.2 糖粉添加量的单因素试验

糖粉添加量对饼干感官评价的影响见图 2。

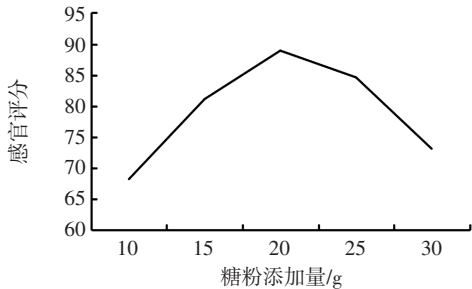


图 2 糖粉添加量对饼干感官评价的影响

Fig.2 Effect of sugar powder addition on sensory scores

糖粉在饼干的生产中起着关键的作用,糖粉的添加量直接影响饼干的口味和色泽。随着糖粉的添加量不断增加,饼干的感官评分逐渐升高。当添加量为 20 g 时,得分最高,然后随着糖粉添加量逐渐增加,黄粉虫饼干的感官评分逐渐降低。当糖粉添加量继续增加时,饼干的甜度过高,影响其口感,过多食用也会影响健康。当糖粉添加量小于 10 g 时,饼干甜度较差,经过烘焙后的饼干色泽也较差。因此,当糖粉添加量在 15 g~25 g 时,黄粉虫饼干从色泽、口感、组织等方面的评分都较好。

2.1.3 烘焙时间的单因素试验

烘焙时间对饼干感官评价的影响见图 3。

烘焙时间对饼干的制作影响较大,烘焙温度一

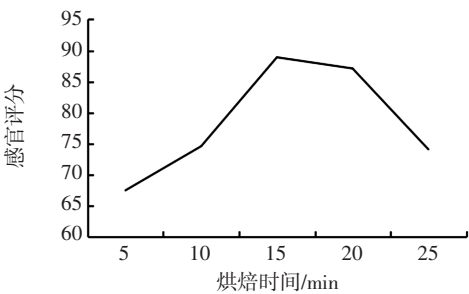


图 3 烘焙时间对饼干感官评价的影响

Fig.3 Effect of baking time on sensory scores

定,烘焙时间不足,饼干未能烤熟、口感差,若烘焙时间过长,饼干易烤糊,从而降低饼干的食用价值,造成浪费。随着烘焙时间增加,感官评分不断增加。当烘焙时间为 15 min 时,得分最高。然后,随着烘焙时间的增加,感官评分开始下降。当烘焙时间继续增加时,饼干渐渐发黑,失去食用价值与营养价值。当烘焙时间小于 10 min 时,饼干口感差,未能烤熟。因此当烘焙温度一定,烘焙时间处于 10 min~20 min 时,饼干口感较好,色泽均匀一致。

2.2 黄粉虫饼干响应面优化试验的结果

2.2.1 响应面试验结果与方差分析

利用 Design-Expert 8.0 中的 Box-Behnken 进行试验设计。取感官评分为响应值,选取 A(黄粉虫蛋白添加量)、B(糖粉添加量)、C(烘焙时间)3 个因素进行响应面优化试验,试验方案及结果见表 3。

使用 Design-Expert 8.0 中的 Analysis 分析表 3,得

表 3 响应面分析试验方案及结果

Table 3 Experimental design and results for response surface analysis of seasoning powder

试验号	A 黄粉虫蛋白乳添加量/g	B 糖粉添加量/g	C 烘焙时间/min	Y 感官评分
1	10	15	15	70.02
2	20	15	15	75.47
3	10	25	15	78.98
4	20	25	15	80.03
5	10	20	10	66.55
6	20	20	10	67.25
7	10	20	20	78.65
8	20	20	20	81.47
9	15	15	10	65.00
10	15	25	10	68.25
11	15	15	20	75.98
12	15	25	20	79.15
13	15	20	15	89.23
14	15	20	15	90.47
15	15	20	15	87.00
16	10	20	15	86.48
17	15	20	10	83.27

出各因素和感官评分之间的回归方程为:感官评分 $Y = 87.00 + 1.38A + 2.50B + 5.88C - 0.75AB + 0.50AC + 0.25BC - 5.00A^2 - 6.25B^2 - 9.00C^2$ 。

运用响应面分析法对黄粉虫饼干拟合的回归方程进行方差和显著性分析,结果见表4。

表4 回归方程的方差分析

Table 4 Analysis of variance for the regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	1 021.49	9	113.50	20.50	0.000 3	**
A	15.13	1	15.13	2.73	0.142 3	
B	50.00	1	50.00	9.03	0.019 8	*
C	276.13	1	276.13	49.88	0.000 2	**
AB	2.25	1	2.25	0.41	0.544 1	
AC	1.00	1	1.00	0.18	0.683 6	
BC	0.25	1	0.25	0.045	0.837 8	
A ²	105.26	1	105.26	19.02	0.003 3	**
B ²	164.47	1	164.47	29.71	0.001 0	**
C ²	341.05	1	341.05	61.61	0.000 1	**
残差项	38.75	7	5.54			
失拟项	8.75	3	2.92	0.39	0.768 1	
纯误差项	30.00	4	7.50			
总误差项	1 060.24	16				

注:**表示 $P < 0.01$, 差异极显著; *表示 $P < 0.05$, 差异显著。

由表4可以看出,模型具有极显著性($P < 0.01$),且失拟项不显著($P = 0.768 1 > 0.05$),这说明预测值与试验值相关,拟合度较好,误差小,即用上述回归方程预测试验中3个因素和感官评分的关系是可行的;模型的相关系数 $R^2 = 0.963 5$,校正决定系数 $R_{adj}^2 = 0.916 5$,通过试验建立的模型可以表示91.65%的响应值变化;根据显著性分析的结果可知,一次项A对感官评分的影响不显著($P > 0.05$),一次项B对感官评分有显著的影响($P < 0.05$),一次项C、二次项A²、B²、C²对感官评分有极显著的影响($P < 0.01$),交互项AB、AC、BC对感官评分值的影响都不显著($P > 0.05$);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,则该因素对试验结果的影响越大,即 $C > B > A$ (烘焙时间>糖粉添加量>黄粉虫蛋白乳添加量)。

2.2.2 响应面分析

各因素交互作用对饼干感官评分的影响的曲面图见图4。

图4体现了黄粉虫蛋白乳添加量、糖粉添加量和烘焙时间任意一个变量不变时,剩余两个变量交互作用对感官评分的影响。感官评分与3个因素之间均呈开口向下的抛物线关系,说明在试验选用的取值范围

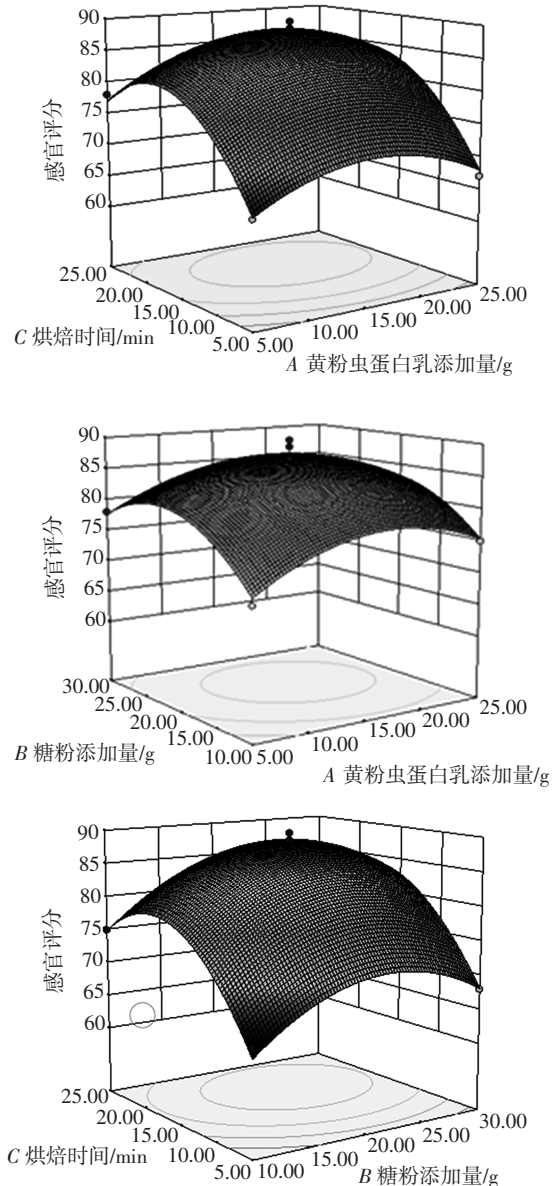


图4 各因素交互作用对饼干感官评分影响的曲面图

Table 4 Response surface plots showing the effects of pairwise interactions of the factors on the sensory evaluation

内,存在最佳点可使感官评分达到最大值。当糖粉添加量不变时,在黄粉虫蛋白乳添加量小于15 g,烘焙时间小于15 min时,随着烘焙时间和黄粉虫蛋白乳添加量不断增加,感官评分逐渐增加,但当达到最大值后,开始逐渐减小。由此可见添加适当的黄粉虫蛋白乳和增加烘焙时间有助于改善黄粉虫饼干的感官品质。从响应面曲面图的坡度来看,AC两因素对感官评分的影响大于BC两因素,AB两因素对感官评分的影响大于AC两因素,C对黄粉虫饼干品质的影响比A、B更大。

2.3 最佳试验配方的确定及验证性试验

利用 Design-Expert 响应面分析中 optimization 功

能下的 numerical 选项卡, 由响应面分析法(response surface methodology, RSM)预测最大值, 预测出黄粉虫饼干的最佳工艺为: 黄粉虫蛋白乳添加量 16.39 g, 糖粉添加量 21.98 g, 烘焙时间为 18.33 min, 此时黄粉虫饼干的感官评分为 91.82。考虑到试验条件和实际操作的可能性, 将黄粉虫饼干最佳工艺条件调整为黄粉虫蛋白乳添加量为 16.4 g, 糖粉添加量为 22 g, 烘焙时间为 18 min, 进行 3 次验证试验, 得出黄粉虫饼干的感官平均得分为 90.96。该值与预测值较接近, 说明该模型拟合程度高, 具有实用价值。

3 结论

本文以感官评分为评价指标, 在单因素试验的基础上, 通过采用响应面 Box-Behnken 设计试验方法, 优化黄粉虫饼干的工艺, 得出黄粉虫饼干制作的最佳工艺为: 黄粉虫蛋白乳添加量为 16.4 g, 糖粉添加量为 22 g, 烘焙时间为 18 min。根据此工艺参数制作的黄粉虫饼干形态完整、色泽均匀、口感细腻、味道良好。

参考文献:

- [1] 朱峰, 李玲. 黄粉虫开发与利用现状[J]. 中国林副特产, 2009(3): 95-97
- [2] 李渐鹏, 徐同成, 巩东营, 等. 黄粉虫蛋白资源的利用研究概况[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(7): 36-38
- [3] 姬玉娇. 三种昆虫的营养价值评价[D]. 南昌: 南昌大学, 2013
- [4] 张号杰, 郭爱红, 秦江帆, 等. 昆虫蛋白的营养价值及其在动物生产中的应用[J]. 中国饲料, 2015(3): 28-30, 34
- [5] Yi L, Van Boekel M, Boeren S, et al. Protein identification and *in vitro* digestion of fractions from *Tenebrio molitor* [J]. European Food Research and Technology, 2016, 242(8): 1285-1297
- [6] 彭燕. 黄粉虫在食品加工中的应用研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013
- [7] Azagoh C, Ducept F, Garcia R, et al. Extraction and physicochemical characterization of *Tenebrio molitor* proteins[J]. Food Research International, 2016, 88(Pt A): 24-31
- [8] 郝宇. 食用昆虫的开发与利用[J]. 科技情报开发与经济, 2011, 21(33): 163-165, 176
- [9] 赖锦晖, 叶健恒, 赵世民, 等. 小米饼干的制作及影响因素的研究[J]. 食品科技, 2017, 42(4): 143-151
- [10] 冯彩丽, 郭婷, 段振华, 等. 艾叶饼干加工工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(17): 110-115
- [11] 宋立, 马勇, 赵大军, 等. 黄粉虫蛋白营养饼干的工艺研究[J]. 粮油加工与食品机械, 2005(5): 75-76
- [12] 钱红玫. 响应面法在食品中的应用[C]. 北京: 中国食品科学技术学会第十三届年会论文摘要集, 2016: 2
- [13] 李真, 安阳, 艾志录, 等. 基于响应面法优化工艺参数改善速冻汤圆品质[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(8): 163-168
- [14] 李雨露, 刘丽萍, 杨华松. 添加黄粉虫蛋白浆对面包品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(7): 81-83
- [15] 唐长波, 戴茂华. 响应曲面法优化槐花饼干加工工艺的研究[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(21): 110-114
- [16] 赵敏, 于辉, 岳凤丽, 等. 响应面法优化芹菜菜酥性饼干的加工工艺[J]. 现代食品, 2018, 39(20): 158-162
- [17] 罗蕾蕾, 吴学风, 吴俊, 等. 响应面法优化压缩饼干基础配方的研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(3): 110-115
- [18] 彭燕, 林华峰, 岳霄霄, 等. 黄粉虫蛹蛋白面包的工艺配方研究[J]. 安徽农业大学学报, 2013, 40(5): 790-794
- [19] 马俊. 魔芋饼干加工工艺[J]. 食品安全导刊, 2018(18): 116
- [20] 赵娜娜. 鱼肉饼干加工技术与贮藏稳定性研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2015

收稿日期: 2020-01-10