

曹文秀,白家瑞,李光英,等.青稞饼干工艺优化及其品质特性分析[J].湖北农业科学,2024,63(9):173-179,184.

青稞饼干工艺优化及其品质特性分析

曹文秀,白家瑞,李光英,张艳珍
(青海省轻工业研究所有限责任公司,西宁 810699)

摘要:以青稞粉为原料,通过单因素试验和响应面优化青稞饼干的工艺配方,结合感官评价方法,考察其青稞粉和全麦粉质量比、白砂糖、橄榄油、全脂奶粉添加量对青稞饼干品质的影响,并测定其微生物、理化指标、营养指标。结果表明,当青稞粉和全麦粉质量比为 3:1、橄榄油添加量为 20%、白砂糖添加量为 5%、奶粉添加量为 10% 时,青稞饼干感官评分达 95.8 分,电子舌味觉特征表现为甜味、酸味突出,且各项检测指标均符合饼干相应的国家标准。在此工艺条件下所制成的青稞饼干表面呈金黄色、色泽均匀、口感酥脆,具有浓郁的青稞香气。

关键词:青稞;饼干;响应面;感官评价;品质特性

中图分类号:TS213.22

文献标识码:A

文章编号:0439-8114(2024)09-0173-07

DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2024.09.029

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Process optimization and quality characteristics analysis of highland barley biscuits

CAO Wen-xiu, BAI Jia-rui, LI Guang-ying, ZHANG Yan-zhen

(Qinghai Light Industry Institute Co., Ltd., Xining 810699, China)

Abstract: Using highland barley flour as raw material, the process formula of highland barley biscuits was optimized by single factor experiment and response surface. Combined with sensory evaluation methods, the effects of the quality ratio of highland barley flour and whole wheat flour, white sugar, olive oil and whole milk powder on the quality of highland barley biscuits were investigated, and the microbial, physicochemical and nutritional indexes were determined. The results showed that when the quality ratio of highland barley flour and whole wheat flour was 3:1, the amount of olive oil was 20%, the amount of white sugar was 5%, and the amount of milk powder was 10%, the sensory score of highland barley biscuits reached 95.8 points. The taste characteristics of electronic tongue showed that sweet and sour taste were prominent, and all the detection indexes were in line with the corresponding national standards for biscuits. In this process, the surface of the highland barley biscuits was golden yellow, the color was uniform, and the taste was crisp, with a strong aroma of the highland barley.

Key words: highland barley; biscuits; response surface; sensory evaluation; quality characteristics

青稞属禾本科大麦属,又称为裸大麦,在青海、甘肃、西藏、四川等地区分布较广^[1]。相比其他谷物,青稞富含蛋白质、膳食纤维、不饱和脂肪酸,同时,青稞中还含有 β -葡聚糖、多酚等抗氧化活性成分。作为粮食作物,青稞的食用和营养价值都较高,其营养符合“三高两低(高维生素、高纤维、高蛋白和低糖、低脂肪)”的饮食结构,是谷类作物中的良品^[2-4]。

饼干是市场上常见的休闲食品,具有营养丰富、携带方便等优点,适合各种人群食用,倍受消费者喜爱,但目前市场上的饼干主原料以小麦粉居多,近年来,随着人们对健康食品意识的增强,消费需求也从原来的口感好提升到好吃又健康的消费理念^[5,6]。用青稞粉替代常用的小麦粉作为主料,富含单不饱和脂肪酸的橄榄油替代传统高热量的黄油,再添加奶粉和白砂糖丰富饼干口感,优化后的饼干通过各

收稿日期:2023-05-16

基金项目:青海省科技成果转化专项项目(2022-SF-148)

作者简介:曹文秀(1992-),女,青海西宁人,助理工程师,主要从事食品开发与质量控制研究,(电话)18194559202(电子信箱)2411345625@qq.com;通信作者:张艳珍(1992-),女,青海西宁人,助理研究员,主要从事食品研发与检测工作,(电话)15509716282(电子信箱)799308062@qq.com。

项食品安全指标检测保证品质,并通过专业感官评价小组对改良后的成品进行感官评价,在多组单因素试验的基础上运用响应面进一步优化配方,辅以质构仪、电子舌等相关仪器对其理化性质、口感质地进行量化数据分析,全面综合评估青稞饼干在口感、风味及营养方面的效果^[7-11]。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

青稞粉,青海新绿康食品有限责任公司;全麦粉,新疆天山面粉(集团)有限责任公司;全脂奶粉,光明乳业股份有限公司;特级初榨橄榄油、白砂糖、鸡蛋、小苏打,青海省西宁市大百超市采购。

石油醚、氢氧化钠、硫酸,四川西陇科学有限公司;硼酸,天津市光复精细化工研究所;硫酸铜、硫酸钾、氯化钾,天津市百世化工有限公司;乙酸镁,天津市大茂化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

JMC-40D1 烤箱、DX-55 五谷杂粮磨粉机,广州市中麦机械设备有限公司;BT125D 分析天平,赛多利斯科学仪器有限公司;LDZF-50L-II 高压立式灭菌锅,兰州新创基因分析仪器有限公司;TMS-Pro 物性分析仪,美国 FTC 公司;SA402B 电子舌味觉分析系统,日本 INSENT 公司;SZC-D 脂肪测定仪,上海纤维仪器有限公司;RY-TQ-5L 多功能索式提取罐,上海锐元机械设备有限公司;SKD-800 自动定氮仪,上海沛欧分析仪器有限公司;DGG-9123A 电热恒温鼓风干燥箱,上海森信实验仪器厂;LRH-250 生化培养箱,上海一恒科技有限公司;SW-CJ-2D 双人净化工作台,上海苏净实业有限公司;WP-UPT-20 标准型超纯水机,四川沃特尔水处理设备有限公司。

1.3 青稞饼干制作工艺

1.3.1 工艺流程 准确称取各种原辅料→充分混合均匀→加入一定比例的水和油→混合均匀和成面团→放置 15 min 醒面→置于压面机辊压成型→放入烤盘烘烤 30 min→放置冷却,包装定型。

1.3.2 基本配方 以总质量为 100% 计,其配方为:青稞粉 35%、全麦粉 12%、橄榄油 15%、水 20%、白砂糖 6%、奶粉 6%、鸡蛋液 5%、小苏打 1%。

1.3.3 操作要点

1) 混料调粉。将称好的青稞粉、全麦粉、白砂糖、全脂奶粉、鸡蛋液、小苏打混合均匀,倒入橄榄油、水,和成表面均匀光滑的面团,在室温下密闭放置 15 min。

2) 辊压成型。将混料置于压面机中,经辊压成型,制得厚度为 6 mm 的饼干,用饼干模具 30 mm×

50 mm 压印成型。

3) 烘烤、冷却。在烤盘上放入烤纸,将厚度、大小一致的饼干整齐摆放在烤盘上,放入烤箱进行烘烤,温度控制在上火 130 ℃,下火 130 ℃,时间为 30 min^[12],取出冷却至室温,此步骤可以挥发掉多余的水分。

1.4 试验设计

1.4.1 单因素试验 根据预试验结果,保持青稞饼干原基础配方不变,分别研究青稞粉和全麦粉添加质量比、橄榄油添加量、奶粉添加量、白砂糖添加量对青稞饼干感官品质的影响。以总质量为 100% 计,设置混合面粉(青稞粉与全麦粉)添加量为 47%,混合面粉中青稞粉与全麦粉添加质量比 1:1、2:1、3:1、4:1、5:1 五个水平,研究青稞粉和全麦粉添加质量比对青稞饼干品质的影响;设置橄榄油添加量 10%、15%、20%、25%、30% 五个水平,研究橄榄油添加量对青稞饼干品质的影响;设置白砂糖添加量 1%、3%、5%、7%、9% 五个水平,研究白砂糖添加量对青稞饼干品质的影响;设置奶粉添加量 6%、8%、10%、12%、14% 五个水平,研究奶粉添加量对青稞饼干品质的影响。

1.4.2 响应面优化试验 在单因素试验结果的基础上,选择青稞粉和全麦粉添加质量比、橄榄油添加量、白砂糖添加量、奶粉添加量为研究对象,以感官评价得分为响应值,利用 Box-Behnkon 试验设计,优化最佳条件,响应面试验因素及水平如表 1 所示。

表 1 响应面试验因素与水平

水平	因素			
	青稞粉与全麦粉质量比(A)	橄榄油添加量(B)/%	白砂糖添加量(C)/%	奶粉添加量(D)/%
-1	2:1	15	3	8
0	3:1	20	5	10
1	4:1	25	7	12

1.5 评价方法

1.5.1 青稞饼干的感官评价 随机抽取 10 名经过专业感官培训的人员,成立感官评价小组,对青稞饼干色泽、香气、组织状态、滋味 4 个方面进行感官评分并统计,感官评分标准如表 2 所示。

1.5.2 青稞饼干理化指标和微生物测定 参考国家食品安全标准,对所制成的青稞饼干进行过氧化值、酸价以及菌落总数等指标检测^[11]。另外,对优化配方后的青稞饼干和市售饼干的营养成分(粗纤维、脂肪、蛋白质、淀粉)进行测定,比较两者间的营养成分差异。

1.5.3 青稞饼干电子舌味觉特征分析 试验采用

表 2 青稞饼干感官评分标准

项目	评分标准	评分//分
色泽 (满分 20 分)	淡金黄色,有光泽,无白粉	15~20
	金黄色或淡黄色,有光泽或略有白粉	10~15
	颜色过焦呈黑褐色,略有光泽,有白粉	<10
香气 (满分 20 分)	兼有青稞味、橄榄油味及谷物小麦等特有香气	15~20
	某一种香气略重	10~15
	某一种香气或几种香气过重,将其他香气全部掩盖	<10
组织状态 (满分 30 分)	外形完整、厚薄均一,不变形,断面结构有层次,无大裂缝等	20~30
	外形较完整、厚薄较均一,断面结构较有层次,略有裂缝	10~20
	外形不完整,易碎易断,厚薄不一,易变形	<10
滋味 (满分 30 分)	口味适中,既具有青稞香味,又具有谷物和饼干特有的滋味,口感酥脆、细腻	20~30
	具有青稞香味,略油腻、口感较酥脆、细腻	10~20
	青稞香味、油味过重、口感较渣、不酥脆、不细腻、口感过硬	<10

SA-402B 味觉分析系统,配备 CAO、GL1、COO、CTO、AAE、AE1 传感器,通过模拟人类及其他生物活体的味觉感受机制^[12],检测青稞饼干酸、甜、苦、咸、鲜、涩等味道。

1.6 数据处理

所有检测组都进行 3 次平行检测,结果以平均值±标准差表示,采用 Excel 2021、Design Expert 8 和 Origin Pro 2021 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果与分析

2.1.1 青稞粉和全麦粉质量比对青稞饼干品质的影响 由图 1 可知,随着青稞粉占比的增加,青稞饼干感官评分先增加后下降,剪切力先降低后增加,青稞粉和全麦粉比例在 3:1 时,青稞饼干的感官评分最高,剪切力最低,此时的面团成型均匀光滑,饼干气味具有协调的青稞谷物香气,口感较好。青稞粉和全麦粉比例低于 3:1 时,随着青稞粉的减少,面团成型较好,但青稞谷物香气不协调、青稞谷物滋味不明显。青稞粉和全麦粉比例高于 3:1 时,随着青稞粉添加量的增加,面团更不容易成型,且饼干口感细腻度降低,粗糙感(渣感)越明显,因此,在不影响突出饼干口感细腻及青稞谷物香气协调的产品特性条件下,选择青稞粉和全麦粉最佳添加比例为 3:1。

2.1.2 橄榄油添加量对青稞饼干品质的影响 由图 2 可知,随着橄榄油量的增加,青稞饼干感官评分先增加后下降,剪切力呈平稳下降趋势,橄榄油添加量在 20% 时,青稞饼干的感官评分最高,剪切力在低值,因为油的乳化和起酥作用,使得面粉和油脂得到充分搓擦,油脂的表面积扩大了,使面粉粒外面均匀地包裹着油脂,面粉因为油脂的表面张力粘连成团,

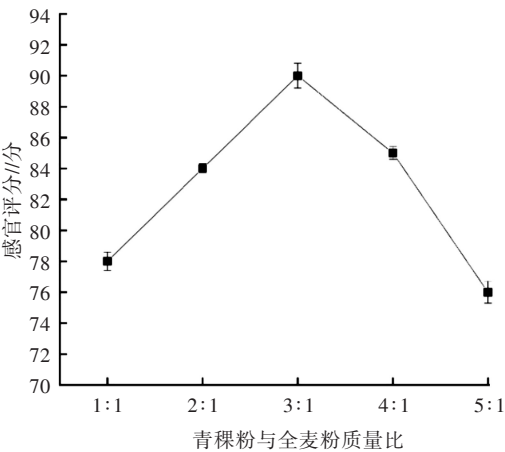


图 1 青稞粉与全麦粉质量比对青稞饼干品质的影响

制成的面团比较松散,饼干口感酥脆。橄榄油的添加量小于 20% 时,随着添加量的减少面团疏松度降低,伴随烘烤时水分的蒸发,饼干酥脆度明显下降,硬度增加。橄榄油添加量大于 20% 时,随着橄榄油添加量的增加面团的疏松度逐渐增加,但饼干口感油腻程度也逐渐增强,感官评分较低,因此,选择最佳橄榄油添加量为 20%。

2.1.3 白砂糖添加量对青稞饼干品质的影响 由图 3 可知,随着白砂糖量的增加,青稞饼干感官评分先增加后下降,剪切力先降低后增加,白砂糖添加量在 5% 时,饼干甜度适中,甜而不腻,青稞饼干的感官评分最高,剪切力最低。当白砂糖添加量低于 5% 时,饼干甜味寡淡,口感欠佳。当白砂糖添加量高于 5% 时,饼干面团发硬,不易成型,且烘烤后的饼干表面容易出现裂痕^[13],剪切力增加,饼干甜度高,口感甜腻不佳,因此选择最佳白砂糖添加量为 5%。

2.1.4 奶粉添加量对青稞饼干品质的影响 由图 4 可知,随着奶粉量的增加,青稞饼干感官评分先增加

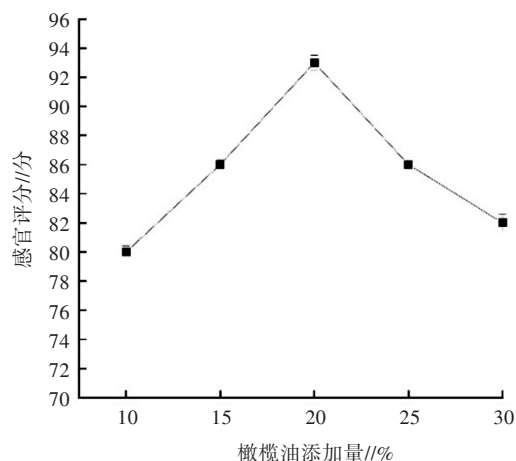


图2 橄榄油添加量对青稞饼干品质的影响

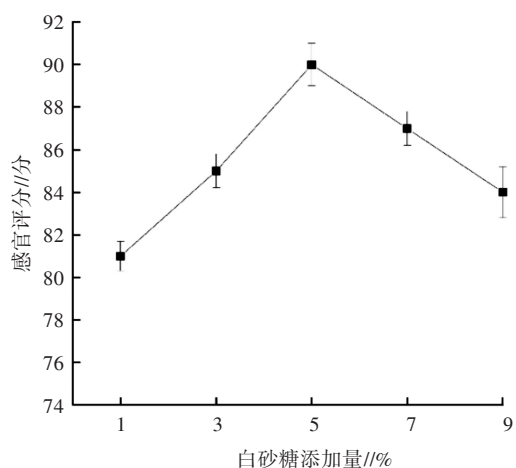


图3 白砂糖添加量对青稞饼干品质的影响

后下降,剪切力先降低后增加。奶粉添加量在10%时,青稞饼干感官评分最高,剪切力最低,此时饼干口感酥脆,香而不腻。当奶粉添加量低于10%时,饼干香气寡淡,口感酥脆度下降。当奶粉添加量高于10%后,面团不易成型,逐渐发软,烘烤后的饼干表面干裂且口感发硬,因此,选择最佳奶粉添加量为10%。

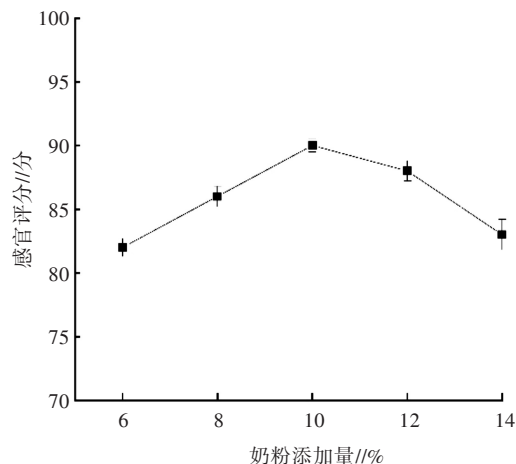


图4 奶粉添加量对青稞饼干品质的影响

2.2 响应面试验结果与分析

2.2.1 响应面优化试验结果 运用 Design-Expert 8 软件对青稞饼干感官评分试验结果进行方差分析,如表3所示,得到二次多项式回归方程: $Y=96.92-1.76A-2.32B+1.56C+0.25D-2.53AB-0.45AC-1.30AD-0.25BC+0.32BD-0.18CD-3.00A^2-7.09B^2-6.13C^2-2.36D^2$ 。

表3 响应面试验设计结果

编号	A	B/%	C/%	D/%	感官评分/分
1	2:1	15	5	10	87.9
2	4:1	15	5	10	87.7
3	2:1	25	5	10	85.9
4	4:1	25	5	10	89.2
5	3:1	20	3	8	85.6
6	3:1	20	7	8	77.5
7	3:1	20	3	12	83.4
8	3:1	20	7	12	88.6
9	2:1	20	5	8	88.0
10	4:1	20	5	8	88.5
11	2:1	20	5	12	88.0
12	4:1	20	5	12	89.6
13	3:1	15	3	10	84.4
14	3:1	25	3	10	98.7
15	3:1	15	7	10	91.2
16	3:1	25	7	10	97.8
17	2:1	20	3	10	89.8
18	4:1	20	3	10	89.4
19	2:1	20	7	10	86.2
20	4:1	20	7	10	90.8
21	3:1	15	5	8	97.9
22	3:1	25	5	8	87.7
23	3:1	15	5	12	92.5
24	3:1	25	5	12	94.5
25	3:1	20	5	10	92.6
26	3:1	20	5	10	80.8
27	3:1	20	5	10	93.7
28	3:1	20	5	10	84.1
29	3:1	20	5	10	95.7

2.2.2 显著性检验及方差分析 由表4回归模型方差分析可以看出,模型的 $P<0.0001$,表明模型极其显著。失拟项不显著($P=0.5628>0.05$),表明方程拟合程度好。决定系数 $R^2=0.9395$,则说明实际值和预测值相关性较高。一次项 A 、 B 、 C 以及所有二次项表现为极显著($P<0.01$),交互项 AB 表现为差异显著($P<0.05$),其余均不显著($P>0.05$)^[14,15]。由 F 值可知,4个因素对青稞饼干感官评分的影响顺序为 $B>A>C>D$,即橄榄油添加量>青稞粉与全麦粉质量比>白砂糖添加量>奶粉添加量。

表 4 回归模型方差分析及显著性检测结果

来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i>	<i>P</i>	显著性
模型	651.02	14	46.50	15.53	<0.000 1	
<i>A</i>	37.10	1	37.10	12.39	0.000 4	**
<i>B</i>	64.40	1	64.40	21.51	0.000 1	**
<i>C</i>	29.14	1	29.14	9.73	0.007 5	**
<i>D</i>	0.75	1	0.75	0.25	0.624 5	
<i>AB</i>	25.50	1	25.50	8.52	0.011 2	*
<i>AC</i>	0.81	1	0.81	0.27	0.611 1	
<i>AD</i>	6.76	1	6.76	2.26	0.155 2	
<i>BC</i>	0.25	1	0.25	0.08	0.776 9	
<i>BD</i>	0.42	1	0.42	0.14	0.712 8	
<i>CD</i>	0.12	1	0.12	0.04	0.842 6	
<i>A</i> ²	58.44	1	58.44	19.52	0.000 6	**
<i>B</i> ²	325.99	1	325.99	108.87	<0.000 1	**
<i>C</i> ²	243.48	1	243.48	81.32	<0.000 1	**
<i>D</i> ²	36.25	1	36.25	12.11	0.003 7	**
残差	41.92	14	2.99			
失拟项	29.67	10	2.97	0.97	0.562 8	
纯误差	12.25	4	3.06			
总离差	692.94	28				
<i>R</i> ²	0.939 5					
Adj <i>R</i> ²	0.879 0					

注：“*”表示差异显著($P<0.05$)，“**”表示差异极显著($P<0.01$)

2.2.3 交互作用和等高线分析 以感官评分(Y)为指标,对青稞粉与全麦粉质量比(A)、橄榄油添加量(B)、白砂糖添加量(C)、奶粉添加量(D)4个因素进行交互作用和等高线分析,结果如图 5 至图 10 所示。其中图 7 和图 9 表明奶粉添加量对青稞饼干感官评分的影响无明显变化。

2.2.4 响应面优化结果 通过 Design-Expert 8 软件对试验数据进行优化预测^[16],得到青稞饼干的最佳工艺配方为青稞粉与全麦粉质量比 2.72:1、橄榄油添加量 19.44%、白砂糖添加量 5.28%、奶粉添加量 10.23%。该工艺条件下青稞饼干的感官评分预测值为 97.42 分。结合实际,选取青稞粉与全麦粉质量比 3:1、橄榄油添加量 20%、白砂糖添加量 5%、奶粉添加量 10%,测得饼干感官评分为 95.8 分,与模型预测值较为接近,说明该模型可用于青稞饼干工艺优化。

2.3 青稞饼干电子舌滋味特征分析

采用 SA-402B 味觉分析系统对青稞饼干和市售饼干进行电子舌味觉特征分析^[17,18],其电子舌味觉值指标如表 5 所示。本试验参比溶液是 KCl 和酒石酸,酸味无味点为-13,咸味无味点为-6。由表 5 可知,青稞饼干和市售饼干酸味和咸味均在无味点

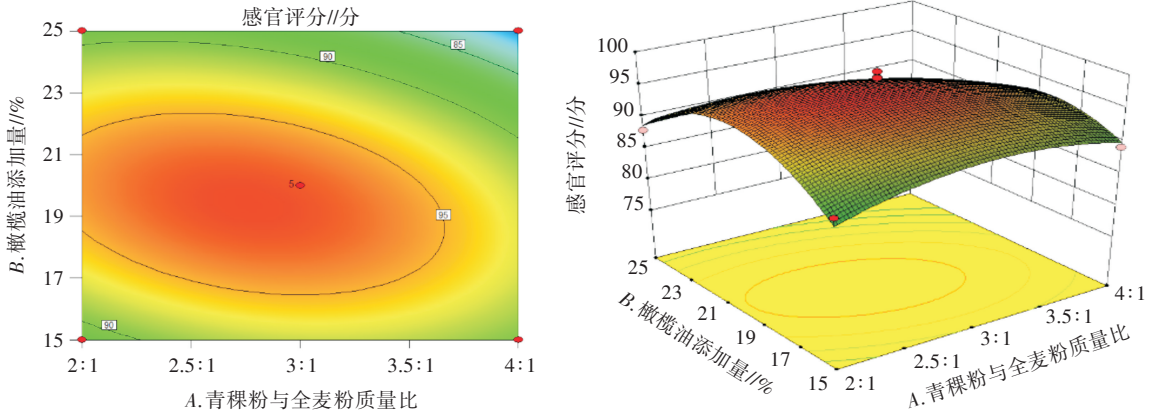


图 5 青稞粉与全麦粉质量比和橄榄油添加量对感官评分的交互影响的等高线及 3D 图

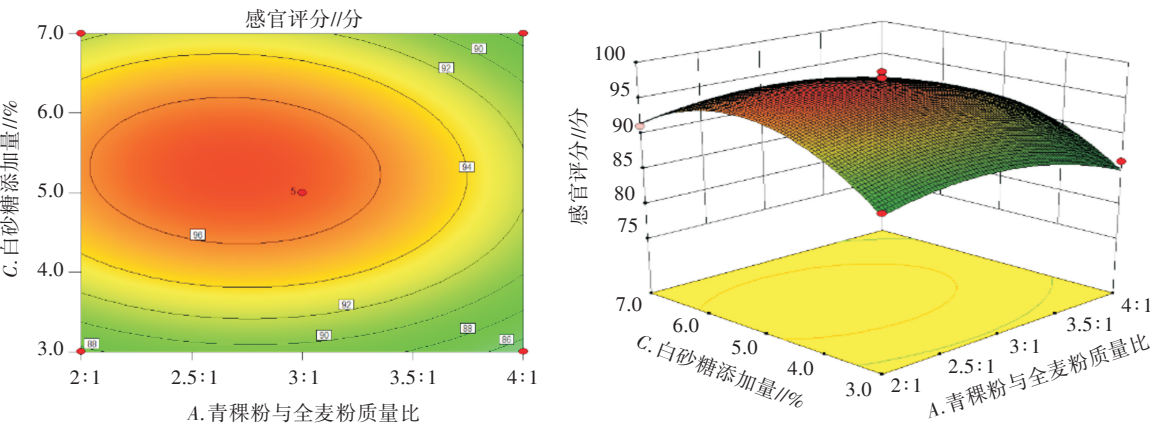


图 6 青稞粉与全麦粉质量比和白砂糖添加量对感官评分的交互影响的等高线及 3D 图

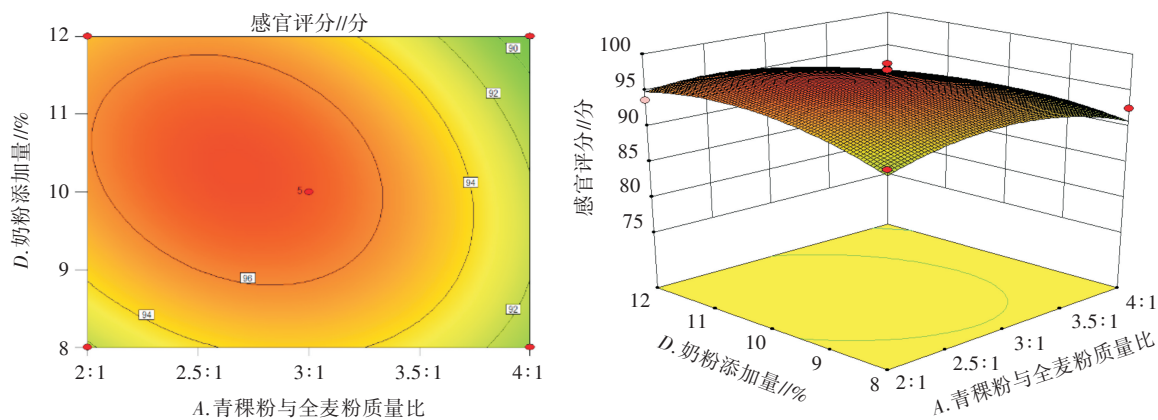


图7 青稞粉与全麦粉质量比和奶粉添加量对感官评分的交互影响的等高线及3D图

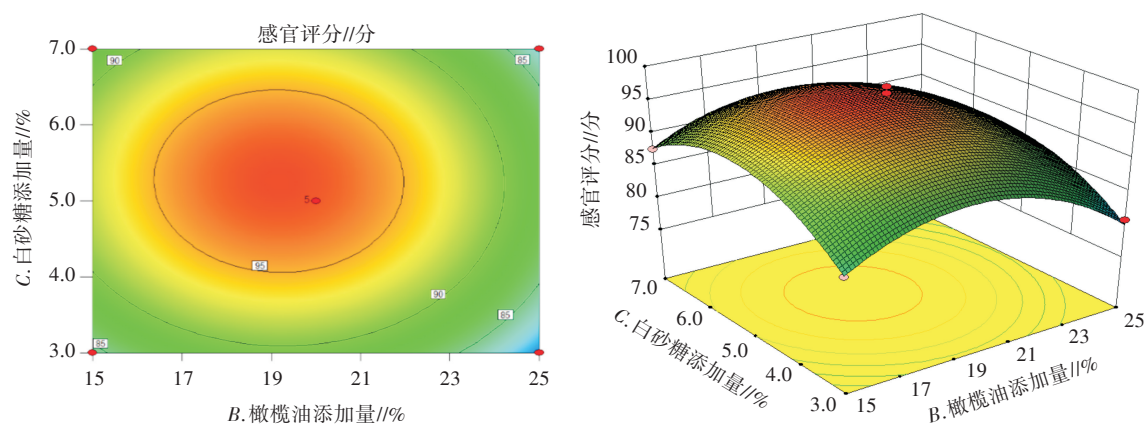


图8 橄榄油添加量和白砂糖添加量对感官评分的交互影响的等高线及3D图

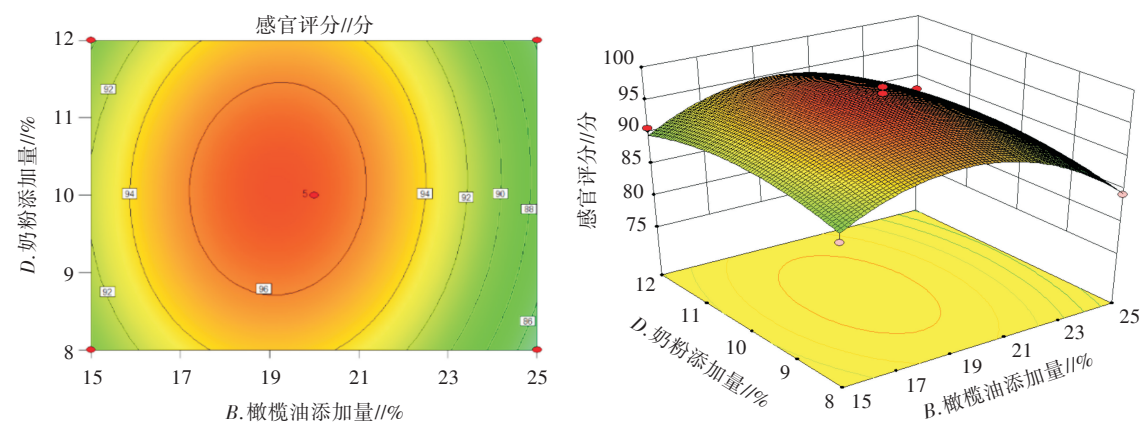


图9 橄榄油添加量和奶粉添加量对感官评分的交互影响的等高线及3D图

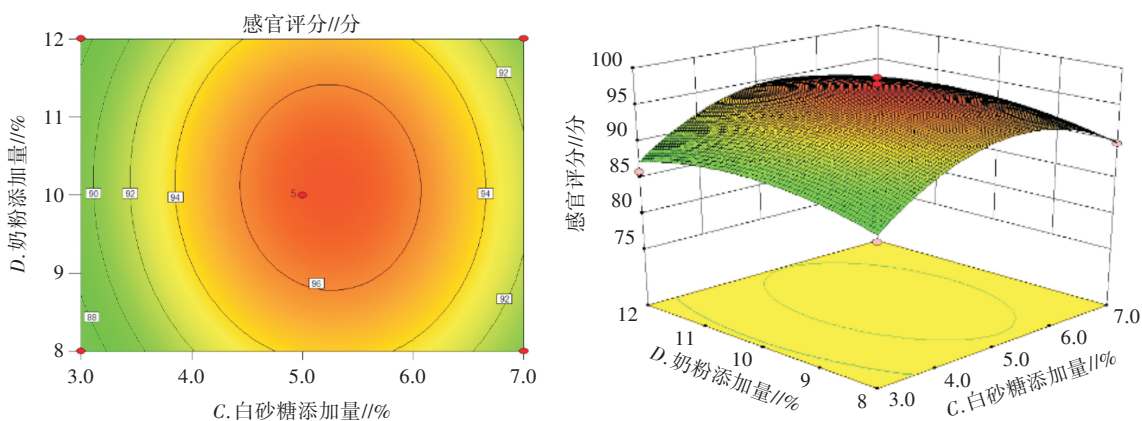


图10 白砂糖添加量和奶粉添加量对感官评分的交互影响的等高线及3D图

表 5 青稞饼干电子舌味觉值指标比较

饼干类型	酸味	苦味	涩味	苦味后味	涩味后味	鲜味	丰富度	甜味	咸味
市售饼干	-40.10±0.25	19.14±1.55	1.44±1.14	0.45±0.04	-0.12±0.35	11.74±0.38	0.29±0.64	8.16±0.86	-12.10±0.59
青稞饼干	-17.90±0.15	13.03±0.94	1.61±1.67	-0.47±0.52	-0.47±1.04	15.64±0.22	-0.05±0.43	16.31±0.61	-14.30±0.72

以下,因此两款饼干都无酸味和咸味的味觉特征。

图 11 中坐标轴代表味道强度值,该值是电子舌基于韦伯-费希纳定律将呈味物质 20% 的强度变化定义为一个味道单位^[19,20]。由图 11 可知,青稞饼干中的甜味值和鲜味值略大于市售饼干,而苦味则小于市售饼干,原因推测甜味大是因为青稞饼干中添加的白砂糖和奶粉对甜味贡献比较大,并且青稞饼干中的甜味掩盖了相应的苦味,导致市售饼干苦味略高。

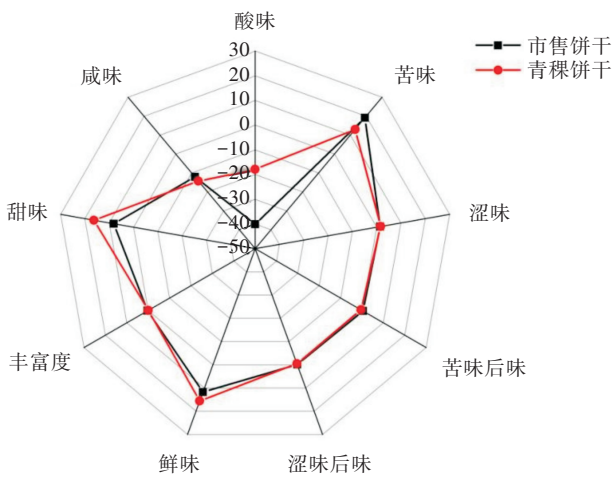


图 11 青稞饼干味觉雷达图

2.4 青稞饼干成品的检测结果与分析

青稞饼干的微生物和理化检测结果见表 6,通过最优工艺配方制作的青稞饼干微生物和理化各项指标结果均符合国家食品安全标准。

表 6 青稞饼干微生物和理化检测结果

指标	检测项目	单位	限量标准	检测结果
微生物指标	菌落总数	CFU/g	≤10 ⁵	89.00±2.69
	大肠杆菌	CFU/g	≤10 ²	0
	霉菌	CFU/g	≤50	14.00±0.48
理化指标	酸价(以脂肪计)	mg/g	≤5	1.52±0.08
	过氧化值(以脂肪计)	g/100g	≤0.25	0.062 4±0.001 5

2.5 青稞饼干的营养特性分析

对制成的青稞饼干进行营养指标检测,结果如表 7 所示。青稞饼干较市售饼干淀粉含量和脂肪含量有明显降低,且蛋白质和粗纤维含量有明显提高,因此青稞饼干更能满足追求低糖低脂健康零食的消

费者需求。

表 7 青稞饼干营养成分检测结果 (单位:g/100 g)

检测指标	淀粉	蛋白质	脂肪	粗纤维
市售饼干	49.25±2.04	5.69±0.36	36.49±1.15	1.15±0.69
青稞饼干	40.63±1.95	13.24±0.51	32.56±1.63	5.94±0.54

3 小结

通过单因素和响应面优化试验,最终得出以青稞粉为主要原料,添加 20% 橄榄油、5% 白砂糖、10% 奶粉为青稞饼干最佳比例配方,该配方制作的饼干具有高蛋白、低脂肪、富含膳食纤维、营养丰富的优点。饼干中青稞谷物香气浓郁、口感酥脆,且微生物指标以及各项理化指标均符合国家标准,电子舌味觉特征中甜味突出,适合当下低脂健康营养的饼干消费需求。

参考文献:

[1] 陆培,安明哲,李茂,等.青稞营养成分研究进展及其应用现状[J].酿酒科技,2022(7):110-116.

[2] XIE X Q, ZHENG M, BAI Y N, et al. Effect of *Lactiplantibacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* fermentation on the multi-scale structure and physicochemical properties of highland barley starch[J]. Food bioscience, 2023, 52: 102419.

[3] 普布多吉,孟胜亚,于翠翠,等.青稞蜂蜜饼干工艺优化[J].现代食品,2020(23):103-106,114.

[4] 刘慧琳,王玉珍,于新雨,等.青稞全谷及麸皮对饼干品质的影响[J].食品工业科技,2019,40(9):62-67.

[5] 刘静宜,雷在更,韩玲.青稞饼干配方加工工艺对其感官品质影响因素分析[J].食品安全导刊,2020(36):151-152.

[6] WANG C, TIAN X Y, ZHANG X Y, et al. Physicochemical characterizations, digestibility, and lipolysis inhibitory effects of highland barley resistant starches prepared by physical and enzymatic methods[J]. Molecules, 2023, 28(3):1065.

[7] 王箴,李梦琴,林顺顺,等.鹰嘴豆全麦粉酥性饼干研制及品质分析表征[J].食品安全质量检测学报,2022,13(10):3352-3358.

[8] 秦小转,陈欣.正交优化藜麦饼干的工艺配方研究[J].中州大学学报,2022,39(2):125-128.

[9] 王彦平,申飞,李俊华,等.参薯藜麦酥性饼干工艺优化及体外消化特性研究[J].食品工业科技,2022,43(10):174-179.

[10] QIN X, WANG Z Y, GUO C R, et al. Fulvic acid degradation in Fenton-like system with bimetallic magnetic carbon aerogel Cu-Fe@CS as catalyst: Response surface optimization, kinetic and mechanism[J]. Journal of environmental management, 2022, 306: 114500.

[11] 刘紫韞,李喜宏,李文瀚,等.灵武长枣果粒对饼干烘焙品质及

(下转第 184 页)

0.29~4.76 $\mu\text{g/L}$,方法的灵敏度满足痕量分析的要求;样品的加标回收率为85.9%~118.0%, RSD 为1.4%~8.8%,表明该方法准确可靠。

2.4.2 样品的测定 对市售的20份啤酒样品进行检测,被测样品中有1份零售扎啤检出了甲萘威农药残留,其浓度为7.2 $\mu\text{g/L}$ 。同时采用固相萃取检测方法^[8,9]进行复检,结果显示二者检测结果一致,统计学分析显示无显著差异($P>0.05$)。

3 小结

本研究采用QuEChERS-高效液相色谱-串联质谱法分析方法同时测定啤酒中涕灭威、涕灭威砒、涕灭威亚砒、灭多威、克百威、3-羟基克百威、异丙威、速灭威、甲萘威、仲丁威10种氨基甲酸酯类农药残留,该方法的检出限和定量限均满足痕量残留分析的要求,具有定量准确、操作简单、分析快速的优点,适用于啤酒中多种氨基甲酸酯类农药残留的快速筛查与定量分析,为啤酒中农药残留类有害物质的监测和评估提供有效的技术手段。

参考文献:

- [1] 刘毅锋,张娟,李华.氨基甲酸酯类化合物的应用[J].化学通报,2002,65(3):167-173.
- [2] 刘彬,郭丽,李桦欣.固相萃取-超高效液相色谱-三重四级杆质谱法测定农田水中15种氨基甲酸酯类农药[J].中国卫生检验杂志,2021,31(21):2571-2574,2580.
- [3] 王莹.中药中GC-MS农药多残留法检测平台的建立[D].北京:中国药品生物制品检定所,2011.
- [4] 张晶,韩见龙,郑熠斌,等.气相色谱-串联质谱法检测蔬菜中8种氨基甲酸酯类农药残留[J].食品安全质量检测学报,2020,11(15):5045-5051.
- [5] GB 2763—2021,食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量[S].
- [6] 谷方红,江伟,胡京奕,等.加工过程啤酒大麦农药残留的变化[J].食品与发酵工业,2010,36(5):90-94.
- [7] 柴宗龙,钱滢文,袁彩霞,等.气相色谱检测啤酒中十六种有机磷农药残留方法的建立[J].食品工业科技,2020,41(14):204-209.
- [8] 林茂发.啤酒中有机氯及拟除虫菊酯残留检测方法研究[J].广州化工,2011,39(10):125-129.
- [9] 杨菊芬,庄秀云.QuEChERS技术在食用农产品农药残留检测中的应用与研究[J].食品界,2022(4):107-109.
- [10] 王高红,薛智凤,杨中瑞,等.植物源性食品中氨基甲酸酯类农药残留检测方法研究进展[J].现代食品,2020(17):197-200.
- [11] 陈俊秀,马晓年,李文廷,等.超高效液相色谱-串联质谱法测定蔬菜中4种氨基甲酸酯类农药残留量[J].食品安全质量检测学报,2021,12(5):1789-1797.
- [12] 王敏,李广益,高慧,等.UPLC-MS/MS法和HPLC法测定苹果中氨基甲酸酯类农药的对比[J].理化检验-化学分册,2020,45(4):308-312.
- [13] 王柄钧,史晓梅,张巍巍,等.QuEChERS-超高效液相色谱-三重四级杆质谱法快速检测主要原粮与油料中101种农药残留[J].食品安全质量检测学报,2021,12(18):7272-7280.
- [14] 高翠玲,韩智峰,侯广月,等.超高效液相色谱-串联质谱法测定水中11种氨基甲酸酯类农药[J].分析试验室,2021,40(11):1269-1274.
- [15] 张仙,胡西洲,张隽嫻.QuEChERS-气相色谱/质谱法测定牛奶中氟虫腈及其代谢物的残留量[J].分析科学学报,2022,38(4):508-512.
- [16] 谢瑞龙,梁建英.气相色谱-串联质谱法测定豆乳中12种有机磷及氨基甲酸酯类农药残留[J].乳业科学与技术,2021,44(5):27-31.
- [17] 谭建林,彭珍华,赵秀琳,等.QuEChERS-UPLC-MS/MS法测定鸡蛋中19种氨基甲酸酯类农药及其代谢物残留量[J].食品工业科技,2022,43(1):320-325.
- [18] 张振山,乐渊,黎舒怀,等.QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法检测中药砂仁中10种氨基甲酸酯类农药残留[J].安徽农业科学,2021,49(1):199-202.
- [19] 薛荣旋,黄诚,温伊蕾,等.QuEChERS-高效液相色谱-串联质谱法测定牛奶中氨基甲酸酯类农药残留量[J].食品安全质量检测学报,2021,12(1):187-191.
- [20] WILSON P, MASSE C. Detection of synthetic drugs as adulterants in natural and herbal slimming products by LC-ESI-MS/MS with polarity switching[J]. Journal of aoac international, 2016, 4(99):929-940.

(上接第179页)

- 质构特性的影响[J].粮油食品科技,2018,26(6):14-18.
- [12] FLISZÁR-NYÚL E, ZAUKU J L Z, SZENTE L, et al. Impacts of β -cyclodextrin bead polymer (BBP) treatment on the quality of red and white wines: Color, polyphenol content, and electronic tongue analysis[J]. LWT—Food science and technology, 2023, 176:114567.
 - [13] 徐婧婷,臧思宁,张苑坤,等.以青稞糰粑为原料的华夫饼干加工关键工艺研究[J].农产品加工,2020(19):38-43.
 - [14] GARCIA-CASTELLO E M, MAYOR L, CALVO-RAMIREZ A, et al. Response surface optimization of inulin and polyphenol extraction from artichoke (*Cynara scolymus* (L.)) solid wastes[J]. Applied sciences, 2022, 12(16):7957.
 - [15] 杜若君,石召华,詹志来,等.响应面法优化金莲花总酚酸的提取工艺及其美白活性研究[J].天然产物研究与开发,2023,35(6):915-924.
 - [16] NANVAKENARI S, MOVAGHARNEJAD K, LATIFI A, et al. Multi-objective optimization of hybrid microwave-fluidized bed drying conditions of rice using response surface methodology[J]. Journal of stored products research, 2022, 97:101956.
 - [17] 袁红飞,钟小清,唐胜春,等.基于电子舌和气相色谱-离子迁移谱分析不同等级佛跳墙的风味特征[J].食品与生物技术学报, 2021, 40(9):73-84.
 - [18] ZHENG W B, SHI Y, YING Y X, et al. Olfactory-taste synesthesia model: An integrated method for flavor responses of electronic nose and electronic tongue[J]. Sensors and actuators: A. Physical, 2023, 350:114134.
 - [19] 邓亚军,刘登勇,郭晨,等.红烧肉咀嚼过程中咸味和鲜味的释放规律[J].食品科学,2017,38(18):80-86.
 - [20] 苏智敏,黄小平,刘飞,等.电子舌技术在食用盐模糊感官评价中的应用[J].食品与机械,2020,36(8):53-56.