

# 猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干的制备及品质分析

袁华标<sup>1,2</sup>, 黎铸毅<sup>1</sup>, 刘美娇<sup>1</sup>, 马小雅<sup>1</sup>, 洪鹏志<sup>1,2</sup>, 钟赛意<sup>1</sup>, 刘寿春<sup>1,2\*</sup>

(1. 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, 广东省海洋食品工程技术研究中心, 广东省水产预制食品加工与品质控制工程技术研究中心, 广东省现代农业科技创新中心, 广东 湛江 524088; 2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江), 广东 湛江 524004)

**摘要:** 以石斑鱼骨和猕猴桃为原料, 制备猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干。以感官评分为指标, 在单因素试验的基础上, 通过正交试验优化猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干制备工艺。结果表明, 猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干的最佳配方参数为以面粉质量为基准, 添加 0.75% 小苏打、75% 黄油、50% 白砂糖、40% 猕猴桃石斑鱼骨泥(猕猴桃泥和鱼骨粉质量比为 3:1)。在此参数下烘焙出的饼干形状完整, 口感酥脆, 硬度适宜, 咀嚼性良好, 无鱼腥味, 三甲胺含量低至 0.19 mg/100 g, 可溶性钙含量高至 487.33 mg/100 g; 其理化指标和微生物指标均符合相应的国家标准。

**关键词:** 猕猴桃风味; 石斑鱼骨; 高钙饼干; 工艺优化; 感官评分

## Preparation and Quality Analysis of Kiwi-Flavor Grouper Bone High-Calcium Biscuits

YUAN Huabiao<sup>1,2</sup>, LI Zhuyi<sup>1</sup>, LIU Meijiao<sup>1</sup>, MA Xiaoya<sup>1</sup>, HONG Pengzhi<sup>1,2</sup>,  
ZHONG Saiyi<sup>1</sup>, LIU Shouchun<sup>1,2\*</sup>

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Seafood, Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Aquatic Prepared Food Processing and Quality Control, Guangdong Modern Agricultural Science and Technology Innovation Center, College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong, China; 2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhanjiang), Zhanjiang 524004, Guangdong, China)

**Abstract:** Kiwi-flavor grouper bone high-calcium biscuits were prepared with grouper bone and kiwifruit. On the basis of single factor tests, the formula of kiwi-flavor grouper bone high-calcium biscuits was optimized by an orthogonal test. The optimal formula was composed of flour, 0.75% baking soda, 75% butter, 50% white granulated sugar, and 40% kiwi-grouper bone puree (with a mass ratio of 3:1). The biscuits baked with this formula had a complete shape, a crisp taste, suitable hardness, good chewiness, free of fishy smell, the trimethylamine content as low as 0.19 mg/100 g, and the soluble calcium content as high as 487.33 mg/100 g. Moreover, the physicochemical and microbial indicators of the biscuits met the corresponding national standards.

**Key words:** kiwi-flavor; grouper bone; high-calcium biscuit; formula optimization; sensory score

引文格式:

袁华标, 黎铸毅, 刘美娇, 等. 猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干的制备及品质分析[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(3): 152-159.

YUAN Huabiao, LI Zhuyi, LIU Meijiao, et al. Preparation and Quality Analysis of Kiwi-Flavor Grouper Bone High-Calcium Biscuits[J]. Food Research and Development, 2025, 46(3): 152-159.

基金项目: 广东海洋大学科研启动费资助项目(060302042311); 广东省普通高校科技创新团队项目(2021KCXTD021); 湛江市“现代化海洋牧场产业人才振兴计划”项目(CYRC002)

作者简介: 袁华标(1997—), 男(汉), 硕士研究生, 研究方向: 海洋生物高值化绿色利用。

\*通信作者: 刘寿春, 副研究员, 研究方向: 水产品加工与综合利用。

在鱼类的加工过程中,会产生大量鱼头、鱼骨、鱼皮、内脏等副产物,高达鱼质量的50%<sup>[1]</sup>,其中鱼骨约占体质量的10%~15%<sup>[2]</sup>,造成巨大的资源浪费。鱼骨中富含钙、磷等微量元素,其钙含量高达20%~30%,是一种天然的优质钙来源<sup>[3]</sup>,而且钙磷比例合理,有利于人体的吸收<sup>[4]</sup>。钙在细胞代谢、肌肉收缩和骨骼生长等生理过程中起着关键作用,摄取不足会导致骨质疏松症或者佝偻病<sup>[5]</sup>。目前在石斑鱼鱼骨开发领域的相关研究较少。对石斑鱼骨进行开发,不仅可以补充人体的钙元素,还可以提高石斑鱼下脚料的附加值。

猕猴桃味道甜美,富含多种营养元素,包括高水平的膳食纤维、糖、维生素C、有机酸和矿物质等<sup>[6]</sup>。猕猴桃中富含钙(52 mg/100 g左右)<sup>[7]</sup>,其干基中的钙含量更高。此外,猕猴桃具有丰富的有机酸,将有机酸用于鱼骨加工,还具有去腥<sup>[8]</sup>、提高钙离子溶出率<sup>[9]</sup>、形成易于人体吸收的有机酸钙<sup>[10]</sup>等综合效果,从而提升鱼骨粉的品质和钙的利用率。目前有学者研究了猕猴桃相关产品,例如猕猴桃果汁<sup>[11]</sup>、猕猴桃咀嚼片<sup>[12]</sup>、猕猴桃饼干<sup>[13]</sup>等,但鲜有将猕猴桃与鱼骨混合制作产品的研究。

本研究通过酶解法,将鱼骨中的钙水解成可溶性的钙离子,制备成人体易于吸收的石斑鱼骨粉,再将石斑鱼骨粉、猕猴桃与面粉经合理调配生产猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干,并对其品质进行分析,以期加工下脚料石斑鱼骨的综合利用和高质高值化开发提供技术参考,为鱼类加工副产物拓展产品形式。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

鲜活石斑鱼、黄油、鸡蛋、白砂糖、小苏打、猕猴桃:市售;低筋面粉、酵母菌:安琪酵母股份有限公司;中性蛋白酶(酶活14 000 U/g):上海源叶生物科技有限公司;红茶(正山小种):厦门醉茶香茶业有限公司。

### 1.2 仪器与设备

电热恒温水浴锅(HWS26):上海一恒科学仪器有限公司;粉碎机(ZT-1000A):永康市展帆工贸有限公司;质构仪(TA.XT plusG):上海华美实验仪器厂;微波消解仪(TANK PLUS)、赶酸器(TK20):上海新仪微波化学科技有限公司;脂肪测定仪(JOYN-SXT-06B):上海乔跃电子科技有限公司;层风烤炉(SM503):广州市深华生物技术有限公司;火焰原子吸收分光光度计(TAS-990):北京普析通用仪器有限公司;蛋白质消化炉(TT):美国GERHARDT公司;鼓风干燥箱(101-3):上海跃进医疗器械有限公司;电烤箱(SM503):广州市深华生物技术有限公司;离心机(TDZ5-WS/TD24):湖南赫西仪器装备有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干工艺流程

猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干工艺流程为石斑鱼

骨粉制备→猕猴桃泥制备→混合打发→面团调制→压模成型→烘焙→冷却成品。

#### 1.3.1.1 石斑鱼骨粉制备

1)原料处理:鲜活石斑鱼冰温至死后,剔除鱼肉,取鱼头、鱼尾、鱼骨架等部位的鱼骨;清洗鱼骨表面杂质,高温蒸煮30 min,室温冷却,得到洁净鱼骨。

2)脱腥:将鱼骨置于含3%红茶、5%酵母菌的混合液中,于35℃浸泡1 h脱腥,取出洗净。

3)粉碎:将脱腥后的鱼骨于100℃干燥箱中烘干,粉碎。

4)酶解:将鱼骨按料液比1:11(g/mL)进行酶解,酶解条件为中性蛋白酶(酶添加量2 300 U/g)、pH7.2、酶解温度47℃、酶解时间7 h。

5)烘干粉碎:将酶解液及鱼骨粉于100℃鼓风干燥箱中烘干,粉碎,过120目筛,得到含有可溶性钙的鱼骨粉末。

#### 1.3.1.2 猕猴桃泥制备

挑选新鲜猕猴桃,清洗、去皮、榨汁、搅拌,得到猕猴桃泥。

#### 1.3.1.3 混合打发

在22~28℃下将鸡蛋与白砂糖加入软化好的黄油中混合打发。

#### 1.3.1.4 面团调制

将低筋面粉、小苏打、鱼骨粉、猕猴桃泥加入打发后的黄油,搅拌均匀,和成颜色均匀、表面光滑细腻的面团,用保鲜膜将面团包裹后静置醒发。

#### 1.3.1.5 压模成型

使用模具将发好的面团成型,放入烤盘中。饼胚厚度为3~5 mm。

#### 1.3.1.6 烘焙

将电烤箱的上部温度设定为160℃,下部温度设定为150℃,烤15 min。在烹饪过程中通过窗口观察饼干表面颜色的变化,确定饼干的烘焙程度,防止饼干烤焦。

#### 1.3.1.7 冷却成品

新鲜烘焙的饼干的表面温度与中心部分的温度有很大差异。为防止饼干破碎或收缩,烘焙好的饼干需要放入通风口处,室温冷却后进行包装,即得猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干。

### 1.3.2 饼干加工工艺优化

#### 1.3.2.1 单因素试验

猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干基本配方为低筋面粉、黄油、白砂糖、小苏打、猕猴桃鱼骨泥(猕猴桃泥与鱼骨粉质量比为3:1)、鸡蛋10%。以低筋面粉为基准,分别以黄油添加量(40%、50%、60%、70%、80%)、白砂糖添加量(30%、40%、45%、50%、55%)、小苏打添加量(0.50%、0.75%、1.00%、1.25%、1.50%)、猕猴桃鱼

骨泥添加量(35%、40%、45%、50%、55%)为单因素,考察各因素对猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干感官品质的影响。

### 1.3.2.2 正交试验

在单因素试验的基础上,选择小苏打、黄油、白砂糖、猕猴桃鱼骨泥的添加量作为正交试验的4个主要影响因素,参考感官评定标准,设计 $L_9(3^4)$ 正交试验对猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干的配方进行优化。正交试验因素与水平见表1。

表1 正交试验因素与水平  
Table 1 Factors and levels of the orthogonal test

水平	试验因素			
	A 小苏打添加量/%	B 黄油添加量/%	C 白砂糖添加量/%	D 猕猴桃鱼骨泥添加量/%
1	0.75	65	40	40
2	1.00	70	45	45
3	1.25	75	50	50

### 1.3.3 感官评价

参考杨从发等<sup>[14]</sup>的方法并修改,采用综合评分法对猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干的形态、色泽、口感、腥味、组织结构5个方面进行感官评分。评分小组由10位受过食品感官培训的感官分析人员组成,评分标准如表2所示。

表2 猕猴桃混合鱼骨高钙饼干感官评分标准  
Table 2 Sensory scoring criteria of kiwi-flavor grouper bone high-calcium biscuits

项目	感官评分标准	评分
形态(25)	外形不太完整,出现龟裂	0~<10
	外形完整	10~25
色泽(25)	色泽不太均匀,有过焦现象	0~<10
	色泽均匀,无过焦现象	10~25
口感(30)	有较重的糊味,或有异味	0~<5
	口感太硬,过于无味或油腻	5~<10
	口感不酥,太甜或太淡	10~<15
	略甜而不腻,无异味	15~<25
腥味(10)	口感酥脆、爽口、不粘牙	25~30
	鱼腥味较重	0~<5
组织结构(10)	无鱼腥味	5~10
	断面结构无层次感,孔状疏松、不均匀	0~<5
	断面结构有层次感,孔状细密均匀	5~10

### 1.3.4 理化指标分析

#### 1.3.4.1 总钙与可溶性钙含量的测定

总钙含量的测定参考 GB 5009.92—2016《食品安全国家标准 食品中钙的测定》中第一法火焰原子吸收光谱法;可溶性钙含量的测定参考杨淑晓等<sup>[15]</sup>的方法

略作修改,将样品溶解,并用3层纱布过滤,10 000 r/min 离心 10 min,定量滤纸过滤,将滤液稀释后,采用总钙含量测定的方法测定可溶性钙的总量(mg/g)。

#### 1.3.4.2 三甲胺含量的测定

参考 GB 5009.179—2016《食品安全国家标准 食品中三甲胺的测定》中的第二法顶空气相色谱法,测定饼干的三甲胺含量。

#### 1.3.4.3 脂肪氧化测定

采用酸价和过氧化值评价饼干的脂肪氧化程度。酸价的测定参考 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》中的第二法冷溶剂自动电位滴定法。过氧化值的测定参考 GB 5009.227—2023《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》中的第一法指示剂滴定法。

#### 1.3.4.4 营养成分测定

饼干的蛋白质含量测定参考 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》的第一法凯氏定氮法;脂肪的测定参考 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》的第一法索氏抽提法;水分含量的测定参考 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》的第一法直接干燥法。

#### 1.3.4.5 质构分析

将整块饼干置于质构仪上,采用 HDP/3PB 探头,测前速率 2.5 mm/s,测试速率 1.0 mm/s,测后速率与测试速率一致,压缩程度设为 30%,停留间隔 5 s,触发值 5 g,测定饼干的硬度、脆度以及剪切力,重复 5 次。

#### 1.3.5 微生物检验

饼干中的菌落总数参考 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》;大肠菌群计数检测参考 GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》的最可能数(most probable number, MPN)法。

### 1.4 数据统计分析

每组试验平行测定 3 次,测定结果以平均值±标准差表示,单因素和正交试验采用 IBM SPSS statistics 22 软件进行统计分析,采用单因素方差分析(analysis of variance, ANOVA)的 Duncan 函数和 Dunnett 函数中的双侧检验进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验

#### 2.1.1 黄油添加量对饼干感官品质的影响

黄油添加量对猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干品质的影响如图 1 所示。

由图 1 可知,随着黄油添加量的增加,饼干的感官评分呈现先上升后下降的趋势。黄油添加过少时,面团易黏连,不光滑,口感偏硬不酥松;当黄油添加过多

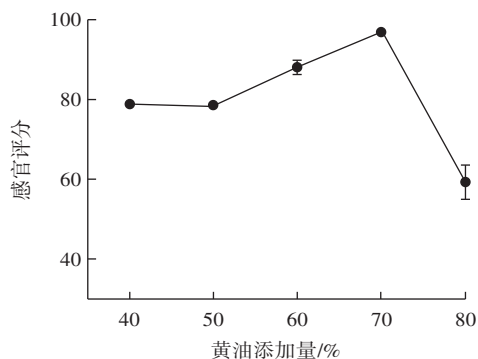


图1 黄油添加量对猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干品质的影响

Fig.1 Effect of butter addition amount on the quality of kiwi-flavor grouper bone high-calcium biscuits

时,面团松散不易成型,饼干口感油腻<sup>[16]</sup>。当黄油添加量在70%时,饼干口感酥脆,组织紧密,色泽均匀,具有黄油本身的奶香味,感官评分最高,为 $96.98 \pm 0.87$ 。因此,选择黄油添加量为65%、70%、75%进行后续正交试验。

#### 2.1.2 白砂糖添加量对饼干感官品质的影响

白砂糖添加量对饼干品质的影响如图2所示。

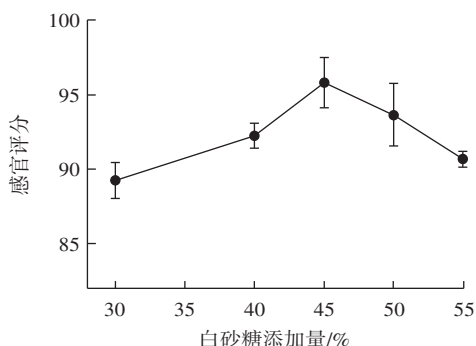


图2 白砂糖添加量对猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干品质的影响

Fig.2 Effect of white granulated sugar addition amount on the quality of kiwi-flavor grouper bone high-calcium biscuits

由图2可知,饼干的感官评分随白砂糖添加量的增加呈现先上升后下降的趋势。糖的添加不仅仅为饼干赋予甜味,还能发生美拉德反应,从而增加颜色。此外,糖还具有反水化作用,可降低面筋的形成,提高面团的弹性,并对硬度和酥脆度产生影响<sup>[17]</sup>。当白砂糖添加量过高时,饼干容易出现焦糊现象,同时会变得甜腻。随着白砂糖添加量的增加,感官评分会逐渐增高,当白砂糖添加量为45%时,感官评分达到最大值,为 $95.80 \pm 1.68$ ,此时饼干具有香甜酥脆的口感,其美拉德反应使得饼干具有金黄色的色泽。因此,选择白砂糖添加量为40%、45%、50%进行后续正交试验。

#### 2.1.3 小苏打添加量对饼干感官品质的影响

小苏打添加量对饼干品质的影响如图3所示。

由图3可知,饼干的感官评分随小苏打添加量的

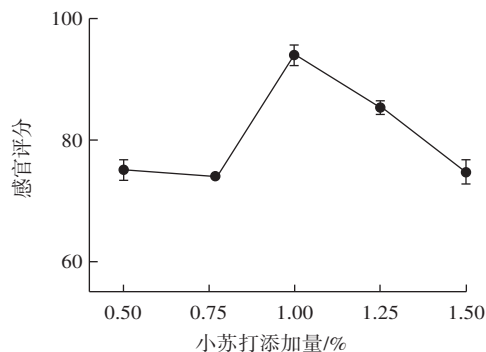


图3 小苏打添加量对猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干品质的影响

Fig.3 Effect of baking soda addition amount on the quality of kiwi-flavor grouper bone high-calcium biscuits

增加呈现先下降后上升再下降的趋势。小苏打的添加可以使饼干变得蓬松,添加量低时,饼干蓬松效果偏弱,口感偏硬,添加量高时,烘烤过程中饼干会产生大气泡,饼干质构过于疏松<sup>[18]</sup>。当小苏打添加量为1.00%时,感官评分最高,为 $94.00 \pm 1.47$ ,组织状态及口感最佳。因此,选择小苏打添加量在0.75%、1.00%、1.25%进行后续正交试验。

#### 2.1.4 猕猴桃鱼骨泥添加量对饼干感官品质的影响

猕猴桃鱼骨泥添加量对饼干品质的影响如图4所示。

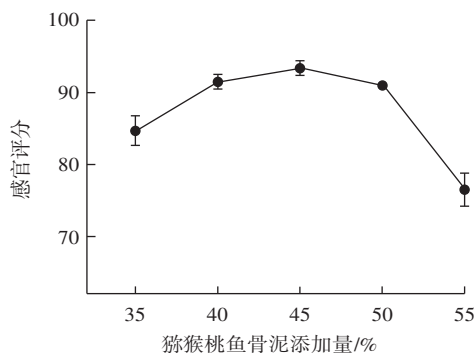


图4 猕猴桃鱼骨泥添加量对猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干品质的影响

Fig.4 Effect of kiwi-grouper bone puree addition amount on the quality of kiwi-flavor grouper bone high-calcium biscuits

由图4可知,饼干的感官评分随猕猴桃鱼骨泥添加量的增加呈现先上升后下降的趋势。猕猴桃鱼骨泥添加量过少时,会导致风味不足。当猕猴桃鱼骨泥添加过多时,腥味较重,过多的膳食纤维还会破坏面团面筋结构,面团黏性增加致成型困难,口感不酥脆<sup>[19]</sup>。当猕猴桃鱼骨泥添加量为35%时,饼干色泽不均匀,无鱼腥味;当添加量为55%时,口感过于软糯,硬度不够,略带鱼腥味;当添加量为45%时,饼干色泽相对均匀,口感适中,较酥脆,无鱼腥味,感官评分最高,为 $93.40 \pm 0.94$ 。因此,选择猕猴桃鱼骨泥添加量为40%、

45%、50% 进行后续正交试验。

## 2.2 正交试验优化结果

在单因素的基础上,选择小苏打添加量、黄油添加量、白砂糖添加量、猕猴桃鱼骨泥添加量进行正交试验,对配方进行优化。正交试验结果如表3所示。

表3 正交试验结果  
Table 3 Orthogonal test results

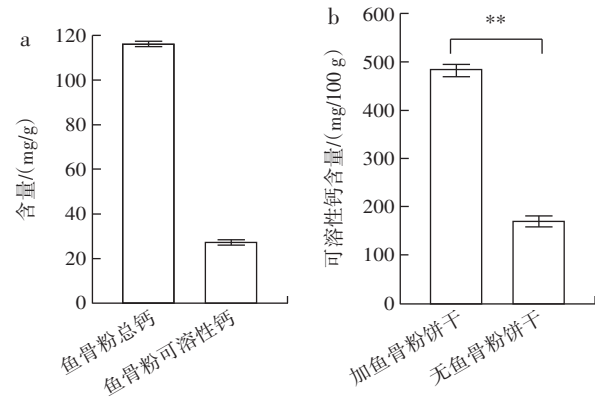
试验号	因素				综合评分
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	79.84
2	1	2	2	2	73.78
3	1	3	3	3	67.45
4	2	1	2	3	60.26
5	2	2	3	1	80.76
6	2	3	1	2	76.48
7	3	1	3	2	74.84
8	3	2	1	3	58.82
9	3	3	2	1	77.88
K <sub>1</sub>	221.07	214.94	215.14	238.48	
K <sub>2</sub>	217.50	213.36	211.92	225.10	
K <sub>3</sub>	211.54	221.81	223.05	186.53	
k <sub>1</sub>	73.68	71.64	71.71	79.47	
k <sub>2</sub>	72.47	71.09	70.61	75.01	
k <sub>3</sub>	70.50	73.92	74.32	62.16	
R	3.18	2.83	3.71	17.31	
主次顺序	D>C>A>B				
最佳组合	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub> D <sub>1</sub>				

由表3可知,根据R值的大小可得出对饼干品质影响的因素主次顺序为D(猕猴桃鱼骨泥添加量)>C(白砂糖添加量)>A(小苏打添加量)>B(黄油添加量),因此,猕猴桃鱼骨泥添加量对饼干的感官品质影响最为显著,白砂糖添加量次之,小苏打添加量及黄油添加量的影响较小。根据k值可知正交试验最佳因素水平组合为A<sub>1</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>,即猕猴桃混合鱼骨高钙饼干的最佳工艺为以面粉质量为基准,小苏打添加量0.75%、黄油添加量75%、白砂糖添加量50%、猕猴桃鱼骨泥添加量40%。按照最佳工艺制得的猕猴桃风味鱼骨高钙饼干色泽均匀,无过焦现象,片状整齐,组织细腻,口感酥脆爽口,甜而不腻,带有油润感,无鱼腥味,感官评分为93.8,高于最高评分试验组5的80.76,说明该工艺条件可行。

## 2.3 总钙与可溶性钙含量的测定

鱼骨含有丰富的钙质,然而其主要以羟磷灰石结晶形式存在,溶解度较低,将鱼骨钙转化成可溶性、离子型的钙则有利于人体的吸收<sup>[20]</sup>。本试验对酶解制备后鱼骨粉的总钙含量以及鱼骨粉、添加鱼骨粉饼干、无

鱼骨粉饼干的可溶性钙含量进行测定,结果如图5所示。



a. 酶解后石斑鱼骨粉总钙和可溶性钙含量;b. 添加鱼骨粉饼干和无鱼骨粉饼干可溶性钙含量。\*\*表示差异极显著( $P<0.01$ )。

图5 酶解后石斑鱼骨粉总钙和可溶性钙含量及加鱼骨粉和不加鱼骨粉饼干可溶性钙含量

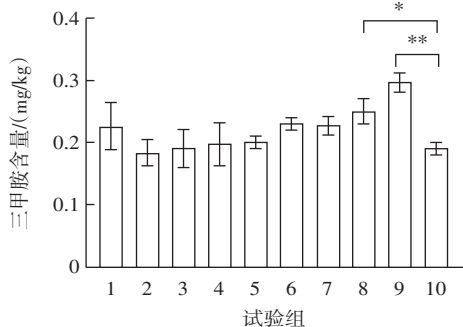
Fig.5 Total and soluble calcium content in the grouper bone meal after enzymatic digestion and soluble calcium content in the biscuits with and without addition of the bone meal

由图5a可知,石斑鱼骨粉中的总钙含量为 $(116.80\pm 0.31)$  mg/g,可溶性钙含量为 $(27.80\pm 0.19)$  mg/g,可溶性钙的溶出率为23.80%。其中鱼骨粉的添加量为面粉的11.25%,即饼干总量的4.16%,钙的添加量计算为4 853.18 mg/kg,符合GB 14880—2012《食品安全国家标准 食品营养强化剂》中饼干钙营养强化剂(2 670~5 330 mg/kg)的添加标准。由图5b可知,使用最佳配方加工的鱼骨饼干的可溶性钙含量为 $(487.33\pm 12.42)$  mg/100 g,是无鱼骨粉的饼干 $[(174.33\pm 7.09)$  mg/100 g]的2.79倍,具有极显著性差异( $P<0.01$ ),因此添加鱼骨粉能显著提高饼干中的可溶性钙含量。

根据中国居民膳食指南(2022),成年人推荐的每天钙摄入量为800~1 000 mg,而城市成年人平均每天的钙摄入量仅为460 mg左右,钙摄入量不足发生率较高<sup>[21]</sup>。提高食品饼干中的可溶性钙含量有利于人体钙的补充。根据GB 28050—2011《食品安全国家标准 预包装食品营养标签》,大于240 mg/100 g钙含量的食品可称为高钙产品。与同类型的高钙饼干进行比较,猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干所含的可溶性钙含量为 $(487.33\pm 12.42)$  mg/100 g,高于鸡骨高钙饼干总钙含量 $(453)$  mg/100 g<sup>[22]</sup>、市售的青食钙奶饼干总钙的含量 $(300)$  mg/100 g以及市售精制钙奶饼干总钙含量 $(341)$  mg/100 g。在无鱼骨粉饼干中也含有较高含量的可溶性钙 $[(174.33\pm 7.09)$  mg/100 g],是因为其添加了40%的猕猴桃泥,猕猴桃中富含钙<sup>[7]</sup>,其干基中的钙含量更高。因此,猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干,含有较高含量的可溶性钙。

## 2.4 三甲胺含量与感官腥味

三甲胺气体无色,有毒,有刺鼻的鱼腥味,三甲胺含量的高低与鱼的腥味和新鲜度有关<sup>[23]</sup>。5 mg/100 g 被认为是新鲜鱼虾品质可被消费者接受的三甲胺含量上限<sup>[24]</sup>。不同试验组三甲胺含量如图 6 所示。



1~9 为正交试验分组;10 为最佳配方组合 A<sub>1</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>。\*表示组间差异显著( $P<0.05$ );\*\*表示组间差异极显著( $P<0.01$ )。

图 6 三甲胺含量

Fig.6 Trimethylamine content

由图 6 可知,正交试验配方 1~7 组加工的饼干中,三甲胺含量均较低,与最佳配方组 10 的三甲胺含量 [(0.19±0.01)mg/100 g]无显著性差异( $P>0.05$ ),感官评价中第 1、2、3、5、10 组未闻到鱼腥味,第 4、6、7 组略微闻到鱼腥味。试验组 8 和组 9 的三甲胺含量分别为 (0.25±0.02) mg/100 g 和 (0.30±0.02) mg/100 g,均高于最佳配方组( $P<0.05$ , $P<0.01$ ),且感官评价中也出现了明显或较重的鱼腥味。因此,正交试验所得出的最佳配方组 10(A<sub>1</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>)加工的饼干,其三甲胺含量较低,同时感官评价中未闻到鱼腥味。

## 2.5 质构特性分析

以饼干的硬度、脆度、剪切力为指标,考察正交试

验组和最佳配方组饼干的质构特性,结果如表 4 所示。

表 4 石斑鱼骨饼干的质构特性

Table 4 Textural characteristics of kiwi-flavor grouper bone high-calcium biscuits

序号	硬度/g	脆度/g	剪切力/g
1	2 159.01±121.01 <sup>a</sup>	2 219.56±4.72 <sup>a</sup>	1 686.33±13.65 <sup>c</sup>
2	887.98±104.25 <sup>d</sup>	790.74±7.03 <sup>e</sup>	2 589.33±7.77 <sup>d</sup>
3	1 740.1±116.76 <sup>b</sup>	1 670.73±21.52 <sup>d</sup>	3 921.67±57.46 <sup>a</sup>
4	1 486.32±95.49 <sup>c</sup>	1 391.1±15.38 <sup>e</sup>	3 850.33±144.72 <sup>a</sup>
5	1 673.25±22.98 <sup>b</sup>	1 670.45±12.89 <sup>d</sup>	1 713.33±44.75 <sup>e</sup>
6	1 356.8±105.02 <sup>c</sup>	1 389.24±10.42 <sup>e</sup>	2 561.67±16.92 <sup>d</sup>
7	567.26±52.67 <sup>e</sup>	550.09±32.17 <sup>b</sup>	2 820.33±48.64 <sup>c</sup>
8	2 126.66±53.31 <sup>a</sup>	2 061.2±26.93 <sup>b</sup>	3 720.00±58.21 <sup>b</sup>
9	1 374.26±138.99 <sup>c</sup>	1 264.73±5.62 <sup>f</sup>	1 672.33±93.09 <sup>e</sup>
10	1 671.12±28.07 <sup>b</sup>	1 888.82±11.92 <sup>c</sup>	1 696.67±48.01 <sup>c</sup>

注:1~9 为正交试验分组,10 为最佳配方组合 A<sub>1</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>。同列不同小写字母表示均值之间存在显著性差异( $P<0.05$ )。

由表 4 可知,饼干的硬度越大,越硬,越难被嚼碎,无绵软、爽口的品质;脆性则反映饼干质地疏松程度,数值越大,质地越紧密<sup>[25]</sup>。在硬度和脆度方面,第 1 组和第 8 组的数值较大,饼干较硬,不够酥松;第 7 组的数值最小,饼干硬度较小,较为酥软,但脆度小,质地不够紧密。在剪切力方面,第 3、4、8 组的饼干剪切力较大,其所含的猕猴桃添加量较大,导致面团调制越来越黏,比较难成型,在相同时间内没有烘焙完全,剪切力变大。最佳配方组(10 组)饼干的硬度适中,酥松,有一定脆度,剪切力较小,口感适宜。

## 2.6 猕猴桃风味鱼骨饼干的理化指标及微生物安全性

采用最佳配方加工猕猴桃风味鱼骨饼干,并对其理化指标和微生物数量进行检测,结果如表 5、表 6 所示。

表 5 饼干中的营养成分及脂肪氧化程度

Table 5 Nutrient content and fat oxidation degree of kiwi-flavor grouper bone high-calcium biscuits

检验项目	水分含量/%	脂肪含量/(g/100 g)	蛋白质含量/(g/100 g)	酸价(以脂肪计)(KOH)/(mg/g)	过氧化值(以脂肪计)/(g/100 g)
参考标准	无	无	无	GB 7100—2015	GB 7100—2015
指标要求	无	无	无	≤5	≤0.25
检验结果	1.87±0.38	26.31±1.72	6.13±0.25	2.57±0.32	0.16±0.01

表 6 饼干中微生物的含量

Table 6 Microbial counts in kiwi-flavor grouper bone high-calcium biscuits

检测项目	菌落总数/(CFU/g)	大肠菌群/(CFU/g)
参考标准	GB 7100—2015	GB 7100—2015
指标要求	<10 <sup>5</sup>	<10 <sup>2</sup>
检测结果	68	<10
判定结果	合格	合格

由表 5 可知,饼干中水分含量为(1.87±0.38)%,脂肪含量为(26.31±1.72) g/100 g,蛋白质含量为(6.13±0.25) g/100 g。

酸价和过氧化值是油脂和脂肪酸氧化酸败的重要指标<sup>[26]</sup>,可用于评价食品加工贮运过程中外部因素对食品脂质氧化的影响。鱼骨中的油脂和添加的黄油等脂类物质,经过高温烘焙会发生脂肪氧化反应,导致饼干产生过度氧化和哈喇味等。猕猴桃风味鱼骨饼干中

的酸价含量为(2.57±0.32) mg/g(符合 GB 7100—2015《食品安全国家标准 饼干》要求的≤5 mg/g),过氧化值为(0.16±0.01) g/100 g(符合 GB 7100—2015《食品安全国家标准 饼干》要求的≤0.25 g/100 g),表明饼干的烘焙工艺可以保障终产品的质量要求。

由表 6 可知,饼干中微生物数量较低,菌落总数为 68 CFU/g,大肠菌群数为<10 CFU/g,符合 GB 7100—2015《食品安全国家标准 饼干》中的指标要求。

### 3 结论

本研究以石斑鱼骨粉为研究对象,通过单因素和正交试验,优化得出猕猴桃风味石斑鱼骨高钙饼干的最佳配方参数为以面粉质量为基准,添加 0.75% 小苏打、75% 黄油、50% 白砂糖、40% 猕猴桃石斑鱼骨泥(猕猴桃泥和鱼骨粉质量比为 3:1)。此参数下烘焙出的饼干形状完整,口感酥脆,硬度适宜,咀嚼性良好,无鱼腥味,三甲胺含量低至 0.19 mg/100 g,可溶性钙含量高至 487.33 mg/100 g,是不添加鱼骨粉饼干可溶性钙含量的 2.79 倍;其理化指标和微生物指标符合相应的国家标准。本试验结果为石斑鱼加工副产物的高值化加工与综合利用提供了一定的参考依据。

### 参考文献:

- [1] ADRAH K, TAHERGORABI R. Ready-to-eat products elaborated with mechanically separated fish meat from waste processing[M]// Sustainable Fish Production and Processing. Amsterdam: Elsevier, 2022: 227-257.
- [2] TOPPE J, ALBREKTSEN S, HOPE B, et al. Chemical composition, mineral content and amino acid and lipid profiles in bones from various fish species[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2007, 146(3): 395-401.
- [3] 阳丽红, 王宏海, 周小敏, 等. 微波辅助制备金枪鱼骨钙粉及其生物活性[J]. 食品科学, 2020, 41(4): 235-242.  
YANG Lihong, WANG Honghai, ZHOU Xiaomin, et al. Microwave-assisted preparation and calcium bioavailability evaluation of fish-bone flour of tuna (*Thunnus albacares*)[J]. Food Science, 2020, 41(4): 235-242.
- [4] KIM S K, JUNG W K. Beneficial effect of teleost fish bone peptide as calcium supplements for bone mineralization[J]. Advances in Food and Nutrition Research, 2012, 65: 287-295.
- [5] LUO J Q, YAO X T, SOLADOYE O P, et al. Phosphorylation modification of collagen peptides from fish bone enhances their calcium-chelating and antioxidant activity[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 155: 112978.
- [6] PADMANABHAN P, PALIYATH G. Kiwifruit[M]//Encyclopedia of Food and Health. Amsterdam: Elsevier, 2016: 490-494.
- [7] 李轶, 鲁兵, 杨静玥, 等. 湘西产猕猴桃重金属含量分析及矿物质营养价值评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(4): 1380-1385.  
LI Yi, LU Bing, YANG Jingyue, et al. Analysis of heavy metals and nutritive assessment of minerals in kiwifruits produced in western Hunan Province[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(4): 1380-1385.
- [8] 王桓. 鲑鱼排加工关键技术研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.  
WANG Huan. Study on key technology of cod steak processing[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2013.
- [9] 赵靖, 胡铁军. 酸解法提取鹿茸渣中可溶性钙的研究[J]. 食品安全导刊, 2017(30): 136.  
ZHAO Jing, HU Tiejun. Study on extraction of soluble calcium from pilose antler residue by acid hydrolysis[J]. China Food Safety Magazine, 2017(30): 136.
- [10] 王希搏. 鱼鳞有机酸钙、胶原蛋白及胶原多肽联产工艺与工厂设计[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.  
WANG Xibo. Co-production process and factory design of organic acid calcium, collagen and collagen polypeptide from fish scales[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- [11] WANG Y, LI H C, REN Y C, et al. Preparation, model construction and efficacy lipid-lowering evaluation of kiwifruit juice fermented by probiotics[J]. Food Bioscience, 2022, 47: 101710.
- [12] 王璇, 吴凡. 黄瓜猕猴桃超微粉咀嚼片的研制[J]. 食品工业, 2022, 43(12): 55-59.  
WANG Xuan, WU Fan. Preparation of cucumber kiwifruit ultrafine powder chewable tablet[J]. The Food Industry, 2022, 43(12): 55-59.
- [13] 张永清. 紫薯猕猴桃双色饼干的研制[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(8): 23-26.  
ZHANG Yongqing. Preparation of double color cookies with purple sweet potato and kiwi[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(8): 23-26.
- [14] 杨从发, 邓翔, 李祥, 等. 低温烘焙桑葛无糖饼干的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(13): 84-88.  
YANG Congfa, DENG Xiang, LI Xiang, et al. Baking technology of mulberry leaf and kudzu vine root sugar-free biscuits at low temperature[J]. Food Research and Development, 2022, 43(13): 84-88.
- [15] 杨淑晓, 李萌, 马永生, 等. 响应面法优化虹鳟鱼骨中可溶性钙提取工艺[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 150-154, 160.  
YANG Shuxiao, LI Meng, MA Yongsheng, et al. Optimization of soluble calcium extraction process from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) bone by response surface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(16): 150-154, 160.
- [16] 袁贵英, 王彦平, 姬长新, 等. 紫淮山与燕麦粉对酥性饼干品质及营养特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(17): 100-106.  
YUAN Guiying, WANG Yanping, JI Changxin, et al. Effects of purple yam and oat flour on the quality and nutritional characteristics of crisp biscuits[J]. Food Research and Development, 2022, 43(17): 100-106.
- [17] 谭韩英, 杨滨榕, 高丹, 等. 响应面法优化马蹄皮粉酥性饼干配方[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(7): 161-166.  
TAN Hanying, YANG Binrong, GAO Dan, et al. Optimization of formula of water chestnut peel powder crisp biscuit by response surface methodology[J]. Food Research and Development, 2022, 43(7): 161-166.
- [18] 吴紫娟, 马意龙, 柴雨佳, 等. 正交试验优化淡竹叶饼干配方研究[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(3): 129-132.  
WU Zijuan, MA Yilong, CHAI Yujia, et al. Study on optimization of the formula of *Lophatherum gracile* Brongn. biscuit by orthogonal test[J]. Cereals & Oils, 2023, 36(3): 129-132.
- [19] 李慧, 林勇, 高田毅, 等. 马铃薯小麦混合粉饼干的工艺优化[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(12): 112-116.  
LI Hui, LIN Yong, GAO Tianyi, et al. Process optimization of potato and wheat mixed flour biscuits[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(12): 112-116.
- [20] 朱迎春, 黄素珍, 白建, 等. 从废弃骨渣中提取可溶性钙的研究报告[J]. 当代畜牧, 2005(3): 30-32.  
ZHU Yingchun, HUANG Suzhen, BAI Jian, et al. Research report

- on extracting soluble calcium from waste bone slag[J]. Contemporary Animal Husbandry, 2005(3): 30-32.
- [21] 王美辰, 赵艾, 司徒文佑, 等. 中国八城市成人钙摄入状况研究[J]. 营养学报, 2017, 39(4): 332-336.
- WANG Meichen, ZHAO Ai, SITU Wenyong, et al. Calcium intake among Chinese adults in eight cities[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2017, 39(4): 332-336.
- [22] 赵希艳, 常学东, 许瑞, 等. 鸡骨高钙饼干的研制[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(7): 96-99.
- ZHAO Xiyan, CHANG Xuedong, XU Rui, et al. High calcium cookie adding chick bone powder[J]. Food Research and Development, 2012, 33(7): 96-99.
- [23] HEISING J K, VAN BOEKEL M A J S, DEKKER M. Mathematical models for the trimethylamine (TMA) formation on packed cod fish fillets at different temperatures[J]. Food Research International, 2014, 56: 272-278.
- [24] 王亚会, 王锡昌, 王帅, 等. 水产品新鲜及腐败程度的评价指标[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(10): 240-246.
- WANG Yahui, WANG Xichang, WANG Shuai, et al. Advances in freshness and corruption of aquatic product[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(10): 240-246.
- [25] 王杰, 张莹, 杨娟, 等. 超微茶粉对曲奇饼干品质特性的影响[J]. 南方农业, 2022, 16(17): 77-80.
- WANG Jie, ZHANG Ying, YANG Juan, et al. Effect of superfine tea powder on quality characteristics of cookies[J]. South China Agriculture, 2022, 16(17): 77-80.
- [26] 李家家, 张辰辰, 孟静, 等. 食品中酸价和过氧化值测定方法的改进分析[J]. 中国食品, 2023(14): 69-71.
- LI Jiajia, ZHANG Chenchen, MENG Jing, et al. Improvement and analysis of determination method of acid value and peroxide value in food[J]. China Food, 2023(14): 69-71.

加工编辑: 张岩蔚  
收稿日期: 2023-11-30