



引用格式: 祁立波, 尚珊, 傅宝尚, 等. 鱿鱼松夹心酥的制作工艺及焙烤过程中的风味变化研究[J]. 轻工学报, 2020, 35(1): 1-12.

中图分类号: TS254.9 文献标识码: A

DOI: 10.12187/2020.01.001

文章编号: 2096-1553(2020)01-0001-12

# 鱿鱼松夹心酥的制作工艺及焙烤过程中的风味变化研究

## Study on the process of crispy cake with shredded squid stuffing and its flavor changes during baking

祁立波<sup>1</sup>, 尚珊<sup>1</sup>, 傅宝尚<sup>1</sup>, 敖晓林<sup>1</sup>, 粟薇<sup>1</sup>, 温成荣<sup>1</sup>, 张延杰<sup>2</sup>

QI Libo<sup>1</sup>, SHANG Shan<sup>1</sup>, FU Baoshang<sup>1</sup>, AO Xiaolin<sup>1</sup>, SU Wei<sup>1</sup>, WEN Chengrong<sup>1</sup>, ZHANG Yanjie<sup>2</sup>

1. 大连工业大学 国家海洋食品工程技术研究中心/食品工程技术转移中心有限公司, 辽宁 大连 116034;

2. 咀香园健康食品(中山)有限公司, 广东 中山 528436

1. National Engineering Research Center of Seafood/Food Engineering Technology Transfer Center Co., Ltd., Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China;

2. Juxiangyuan Healthy Food Co., Ltd., Zhongshan 528436, China

**摘要:**以鱿鱼丝为夹心原料,开发了一种新型鱿鱼松夹心酥烘焙产品。采用单因素试验和正交试验,结合色泽、硬度和感官评价,研究不同添加量的白砂糖、棕榈油和蛋液对鱿鱼松夹心酥酥皮品质的影响,并采用真空辅助风味蒸发-固相微萃取联用技术,结合电子鼻检测鱿鱼松夹心酥在焙烤过程中的风味物质变化。结果表明:以低筋面粉质量为100%计,鱿鱼松夹心酥酥皮的最佳配方为白砂糖添加量10%,棕榈油添加量35%,蛋液添加量25%,照此配方制作的鱿鱼松夹心酥具有良好的色泽和质构品质;鱿鱼松夹心酥的质量和硬度在焙烤过程中随着水分含量的减少呈下降趋势;共鉴定出65种易挥发的风味物质,其中醇类13种,醛类16种,酮类7种,杂环类6种,其余23种;醇类、醛类、酮类为鱿鱼松夹心酥焙烤过程中生成的主要的风味物质,随着焙烤时间的增加,醇类物质含量逐渐下降,醛类物质含量呈先上升后下降的趋势,酮类物质含量变化较小。

### 关键词:

鱿鱼松夹心酥;烘焙食品;色泽;硬度;风味物质

### Key words:

crispy cake with shredded squid stuffing; baked goods; color; hardness; flavor compound

收稿日期: 2019-08-26

作者简介: 祁立波(1974—),女,辽宁省大连市人,国家海洋食品工程技术研究中心高级工程师,主要研究方向为农(水)产品精深加工。

**Abstract:** A novel baking product called crispy cake with shredded squid stuffing was developed by using squid as stuffing material. Using single factor and orthogonal experiment, combining with color, hardness and sensory evaluation, the effect of different substitution of white granulated sugar, palm oil and egg liquid on crispy layer quality was studied and flavor component changes during baking process was studied by vacuum assisted flavor evaporation-solid phase micro extraction (VAFE-SPME) with electronic nose. The results showed that when low gluten flour content was counted as 100%, the crispy layer composed of 10% sugar, 35% palm oil and 25% egg liquid could contribute to the optimal recipe with fine texture and color. The quality and hardness declined along with the decrease of water content during baking. A total of 65 volatile flavor compounds were identified during the baking process including thirteen kinds of alcohols, sixteen kinds of aldehydes, seven kinds of ketones, six kinds of heterocyclic compounds and twenty-three kinds of others. Alcohols and aldehydes were the main flavor compounds during baking. With the increase of baking time, the total content of alcohols declined gradually, aldehydes increased first and then declined and the content of ketones changed slightly.

## 0 前言

高蛋白低脂肪的头足类动物鱿鱼是一种具有良好风味的水产品资源<sup>[1-2]</sup>。鱿鱼具有多种功效,食用鱿鱼可以降低血液中的胆固醇,并且能缓解疲劳、恢复视力、改善肝脏功能;鱿鱼中还富含牛磺酸和DHA, EPA等多不饱和脂肪酸,有预防和治疗动脉粥样硬化等作用<sup>[3]</sup>。因此,将鱿鱼应用于功能性食品的开发具有较好的发展前景<sup>[4]</sup>。

风味是烘焙食品品质的重要指标之一,因此需要对挥发性风味物质进行鉴定和定量分析。气相色谱质谱联用(GC-MS)是目前常用的分析手段,以此为基础用于提取分析挥发性成分的方法主要有:动态顶空技术与气质联用,同时蒸馏萃取技术SDE与气质联用,固相微萃取技术SPME与气质联用,溶剂辅助蒸发萃取SAFE与气质联用。其中,多种提取技术与气质联用的顶空固相微萃取(动态顶空技术)与气质联用(HS-SPME-GC-MS)被广泛应用于挥发性成分的萃取与分析<sup>[5]</sup>。但食品组分复杂,包括油脂、蛋白、碳水化合物等复杂基质,这些食品基质有可能干扰SPME方法对于挥发性风味物质的萃取,进而影响风味化合物GC-MS分析的灵敏度和重复性<sup>[6]</sup>。

鉴于此,本文拟制作鱿鱼松夹心酥,以酥皮的硬度、色泽为指标,通过研究不同添加量的棕榈油、白砂糖和蛋液对鱿鱼松夹心酥酥皮品质的影响,结合感官评价,开发出一种新型的质构和色泽均良好的鱿鱼松夹心酥;利用SAFE的真空液氮冷凝装置来萃取和浓缩鱿鱼松夹心酥的风味化合物,将复杂样品基质转化为以水为基质的风味萃取液,采用真空辅助风味蒸发-固相微萃取联用技术(VAFE-SPME)进行痕量风味物质的富集,结合GC-MS对香气成分进行分析,明确鱿鱼松夹心酥的特征性香气成分,期为鱿鱼焙烤食品的开发、标准化生产和相关产品的产业化形成提供参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

材料:鱿鱼丝,购于大连熟食市场;惠宜低筋小麦面粉、白砂糖、鸡蛋、食用盐、小苏打,购于沃尔玛超市;棕榈油,河北金海粮油工业有限公司产;单油酸甘油酯油,辽宁科海食品化学工程有限公司产。

试剂:2,4,6-三甲基吡啶(色谱级),北京宝希迪有限公司产;Fluka烷烃(C8—C20),昀冠(上海)生物科技有限公司产。

## 1.2 仪器与设备

SCC - WE101 型万能蒸烤箱,德国 Rational 公司产;TAXT Plus 物性测试仪,英国 SMS 公司产;UltraScan Pro 型测色仪,美国 Hunterlab 公司产;YP6001N 型电子天平,上海精密科学仪器有限公司产;AB204 - N 型电子分析天平,常熟市双杰测试仪器厂产;C100 型真空封口机,莫迪维克包装设备(上海)有限公司产;JYLC022 型料理机,九阳股份有限公司产。

## 1.3 样品制作方法

**馅料的制作:**将鲑鱼丝放置于托盘中,自然晾干后使用拍打器将其拍打松散,再用搅拌机搅拌,即得本实验所需的鲑鱼松馅料。

**酥皮的制作:**先用手持打蛋器将混合了单油酸甘油酯油的棕榈油与白砂糖打发 2 min,至白色发起状态;然后加入鸡蛋全液快速打发 5 min;加入一定量的食用盐、小苏打继续搅打 2 min,使其充分混匀;再加入低筋小麦面粉,手动搅拌使其充分混匀,形成酥皮面团;最后取一定质量的酥皮面团,用擀面杖擀制成 5 mm 厚的酥皮。

**鲑鱼松夹心酥的制作:**称取一定质量的馅料与饼皮,将馅料包入饼皮中,进行整型处理,将整型后的鲑鱼松夹心酥放入到烤箱中,于 180 ℃ 条件下焙烤 5 min,焙烤结束后取出烤盘,晾凉,进行包装。

## 1.4 单因素试验

在前期预实验的基础上,将焙烤条件固定为 180 ℃,5 min,单独制作酥皮部分。以酥皮的硬度和色泽为指标,以低筋面粉质量为 100% 计,其他原辅料按在低筋面粉中的占比进行添加,棕榈油添加量梯度为 20%,25%,30% 和 35%,白砂糖添加量梯度为 10%,20%,30% 和 40%,蛋液添加量梯度为 15%,20%,25% 和 30%,确定棕榈油、白砂糖和蛋液这 3 个因素的正交试验水平范围。

## 1.5 正交试验

在单因素试验的基础上,以酥皮的硬度和感官为评价指标,设计三因素三水平的  $L_9(3^3)$  正交试验,优化酥皮制作的工艺条件。正交试验的因素水平见表 1。

表 1 正交试验的因素水平表

Table 1 The orthogonal experimental factor level table

水平	因素		
	棕榈油添加量 (A)	蛋液添加量 (B)	白砂糖添加量 (C)
1	25	15	10
2	30	20	20
3	35	25	30

## 1.6 测定方法

**1.6.1 硬度测定** 选择物性测试仪的 HDP-BS 探头进行酥皮的硬度测定。设定硬度测定条件为:力量感元 30 kg,测前速度 1 mm/s,测中速度 1 mm/s,测后速度 10 mm/s,触发力 5 g,数据捕获频率 200.00 Hz。

**1.6.2 质量测定** 选用电子天平对不同焙烤时间的酥皮进行称量,同时记录其质量。

**1.6.3 色泽测定** 使用测色仪对酥皮正面和底面的颜色进行测定,测定模式为小孔反射。

**1.6.4 感官评定** 由 10 名经过培训的硕士研究生进行感官评定,最终评分结果取平均值。满分为 100 分,酥皮感官评分标准见表 2。

**1.6.5 风味成分测定** 1) 电子鼻测定方法。称取 2 g 粉碎后的鲑鱼松夹心酥原样,放入 40 mL 顶空瓶中,在样品表面铺上一层薄脱脂棉防止粉末进入电子鼻吸气口,加盖密封后,放入 60 ℃ 恒温箱中,预热 20 min,待检。将电子鼻吸气口插入预热后的样品顶空瓶中进行风味成分的测定,设置测定时间为 70 s,使用空气清洗探头时间为 40 s。

2) GC-MS 测定方法。采用 VAFE-SPME 对鲑鱼松夹心酥风味成分进行萃取。将鲑鱼松夹

表2 酥皮感官评分标准  
Table 2 The sensory evaluation  
standard of crispy layer

项目	特征	得分/分
形态	外型良好, 薄厚一致, 无收缩、变形、起泡	24 ~ 30
	表面起泡, 整体缺角、变形、收缩、粘边均不严重	18 ~ 24
	表面起泡, 破碎现象十分严重	< 18
色泽	整体呈均匀的浅黄色到金黄色, 无焦边, 有良好的油润感	8 ~ 10
	色泽较为均匀	6 ~ 8
	色泽较差, 有过焦、过白现象, 无光泽	< 6
口感	轻咬即破碎, 有颗粒感且破碎时声响较小	24 ~ 30
	较易破碎, 声响较大, 碎块较多	18 ~ 24
	酥松感较小或无酥性	< 18
组织	断面呈多孔状, 孔状细密, 无空洞, 层次良好	16 ~ 20
	断面略有孔, 层次较清晰, 组织微糙	12 ~ 16
	质地僵硬, 无层次感, 基本无大孔	< 12
滋味与 气味	香味浓, 无异味	8 ~ 10
	香味淡, 无异味	6 ~ 8
	有油脂酸败的哈喇味或其他异味	< 6

心酥原样研磨成粉末, 经称量后加入圆底烧瓶中, 固定 0 min 样品的称取质量为 50 g。根据焙烤过程中鱿鱼松夹心酥质量的变化趋势, 将每个焙烤阶段的鱿鱼松夹心酥研磨成粉末后, 各称取 50 g 样品加入圆底烧瓶中。在圆底烧瓶中加入 2 mL 去离子水, 加入 100  $\mu\text{L}$  质量浓度为 50 mg/L 的 2,4,6-三甲基吡啶作为内标, 设置样品水浴温度 60  $^{\circ}\text{C}$ , 循环水浴温度 40  $^{\circ}\text{C}$ , 真空萃取时间 20 min。抽真空结束后, 将 VAFE 萃取液用去离子水定容至 5 mL, 取 400  $\mu\text{L}$  定容后的萃取液, 加入 10 mL 棕色气质进样瓶中。

GC-MS 条件参数设定: 使用 Agilent 19091S-433HP-5MS 柱子(质量分数为 5% 的苯甲基氧化硅, 30 m  $\times$  250  $\mu\text{m}$   $\times$  0.25  $\mu\text{m}$ ) 对化合物进行分离; 载气为 He, 恒流模式(1.5 mL/min, 44.058 cm/s); 升温程序为初始温度 40  $^{\circ}\text{C}$  保持 2 min, 从 2  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升至 50  $^{\circ}\text{C}$ , 50  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升至 150  $^{\circ}\text{C}$ , 150  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升至 250  $^{\circ}\text{C}$ ; 进样口和检测

器温度设置为 250  $^{\circ}\text{C}$ ; 质谱扫描范围 15 ~ 300  $m/z$ ; 离子源和四极分析器分别设置为 230  $^{\circ}\text{C}$  和 150  $^{\circ}\text{C}$ , VAFE-SPME 选择不分流进样。

用 W10N14 谱库对风味化合物的保留指数(RI)进行定性。保留指数通过正构烷烃标品(C8—C20)在升温程序上的保留时间进行计算。

采用内标法进行定量, 以 2,4,6-三甲基吡啶作为内标物, 定量公式为

$$\text{组分含量} =$$

$$\frac{\text{单位峰面积}}{\text{内标峰面积}} \times \text{内标物含量}$$

## 1.7 数据处理与分析

实验数据均采用 Microsoft Excel 2010 软件进行统计处理, 采用 SPSS 16.0 软件进行分析处理, 采用 Origin 8.5 软件进行图片处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果

**2.1.1 棕榈油添加量对酥皮品质的影响** 棕榈油可以提高酥皮的酥松程度, 一般含油量较高的饼干大多酥松可口, 含油量低的饼干则显得干硬。棕榈油添加量对酥皮品质的影响情况如图 1 所示。由图 1a) 可知, 随着棕榈油添加量的增加, 酥皮的硬度逐渐减小, 酥脆感增强。这可能是因为油脂可以调节面筋的形成, 影响面筋的组织结构, 从而改善本文设计产品鱿鱼松夹心酥的口感和风味<sup>[7]</sup>。由图 1b) 可知, 当棕榈油的添加量为 30% 时, 酥皮的亮度值( $L^*$ )降低, 红值( $b^*$ )和黄值( $a^*$ )增高。因此, 选择棕榈油的添加量为 25% ~ 35% 作为正交试验水平范围。

**2.1.2 蛋液添加量对酥皮品质的影响** 蛋液在烘焙食品中具有影响其起泡性、凝固性、乳化性等作用, 蛋液的增加可使面皮硬度减小、面皮酥脆, 但在烘焙过程中, 过多的蛋液易产生难以接受的糊色<sup>[8-9]</sup>。蛋液添加量对酥皮品质的影

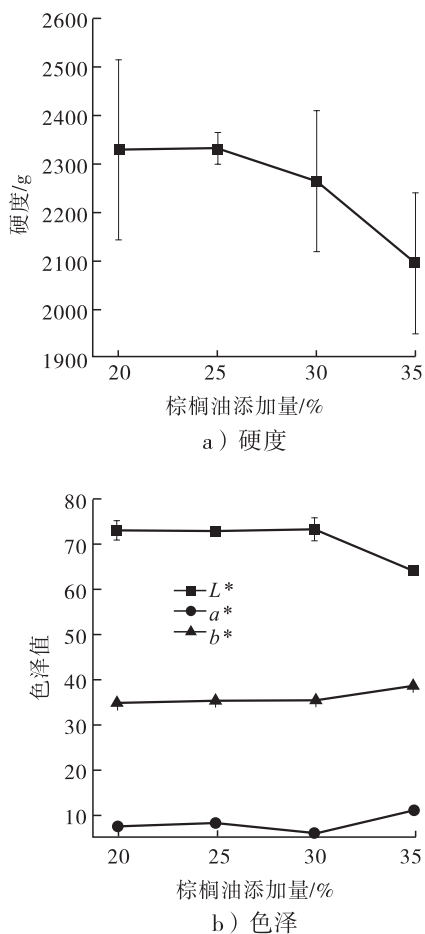


图1 棕榈油添加量对酥皮品质的影响

Fig. 1 Effect of palm oil additive amount on crispy layer

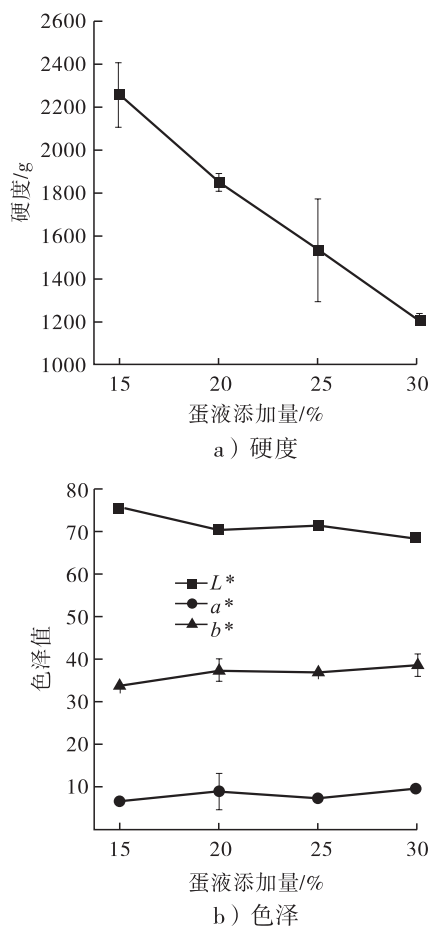


图2 蛋液添加量对酥皮品质的影响

Fig. 2 Effect of egg liquid additive amount on crispy layer

响情况如图2所示.由图2a)可知,随着蛋液添加量的增加,酥皮的硬度逐渐减小,酥脆感增强.由图2b)可知,随着蛋液添加量的增加,酥皮的亮度值( $L^*$ )持续降低,红值( $b^*$ )和黄值( $a^*$ )持续增高,酥皮的褐变程度加深.因此,选择蛋液的添加量为20%~30%作为正交试验水平范围.

**2.1.3 白砂糖添加量对酥皮品质的影响** 糖具有增加甜味、提高香味和色泽的作用,常被用于烘焙食品中.但随着白砂糖添加量的增加,面皮的褐变程度加重,产生不易被接受的焦糊色.白砂糖添加量对酥皮品质的影响情况如图3所示.由图3a)可知,当白砂糖添加量为10%时,面皮焙烤后易松散,难以保持完整,因此未测得

硬度值,但是此时具有酥松的口感.随着白砂糖添加量的增加,酥皮的硬度增大,酥脆感降低,口感变差.由图3b)可知,随着白砂糖添加量的增加,酥皮的亮度值( $L^*$ )和红值( $b^*$ )降低,黄值( $a^*$ )增大.因此,选择白砂糖的添加量为10%~30%作为正交试验水平范围.

## 2.2 正交试验结果

以酥皮感官评分和硬度为指标的正交试验结果分别见表3和表4.由表3可知,3个因素的最优组合为 $A_1B_2C_2$ ;由表4可知,3个因素的最优组合为 $A_3B_3C_1$ .以感官评分和硬度为指标的方差分析结果分别见表5和表6.由表5和表6可知,当以感官评分为指标时,未发现因素显著性;但以硬度为指标进行方差分析时,发现白

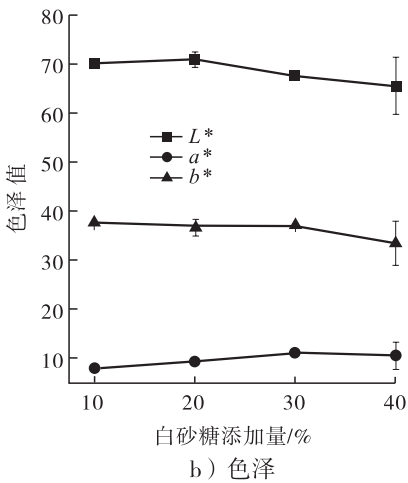
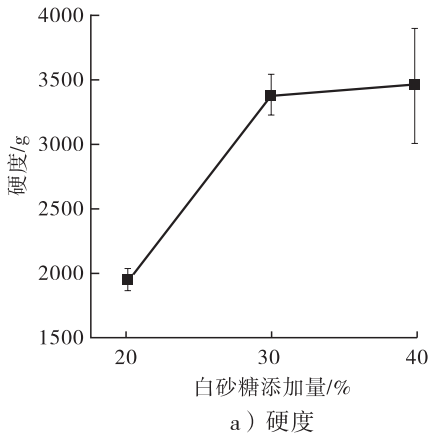


图3 白砂糖添加量对酥皮品质的影响

Fig. 3 Effect of white sugar additive amount on crispy layer

表3 以酥皮感官评分为指标的正交试验结果

Table 3 The orthogonal experimental results with sensory score of crispy layer as indicator

试验号	因素			感官评分/分
	A	B	C	
1	1	1	1	82.00
2	1	2	2	83.00
3	1	3	3	82.00
4	2	1	2	84.00
5	2	2	3	79.83
6	2	3	1	79.67
7	3	1	3	78.50
8	3	2	1	83.50
9	3	3	2	82.83
$k_1$	82.33	81.50	81.72	
$k_2$	81.17	82.11	83.28	
$k_3$	81.61	81.50	80.11	
极差 R	1.17	0.61	3.16	
最优组合	$A_1$	$B_2$	$C_2$	

表4 以酥皮硬度为指标的正交试验结果

Table 4 The orthogonal experimental results with hardness of crispy layer as indicator

试验号	因素			硬度/g
	A	B	C	
1	1	1	1	1 641.20
2	1	2	2	3 064.52
3	1	3	3	4 102.91
4	2	1	2	4 117.50
5	2	2	3	3 421.85
6	2	3	1	887.77
7	3	1	3	4 754.06
8	3	2	1	815.40
9	3	3	2	1 802.41
$k_1$	2 936.21	3 504.25	1 114.79	
$k_2$	2 809.04	2 433.92	2 994.81	
$k_3$	2 457.29	2 264.36	4 092.94	
极差 R	478.92	1 239.89	2 978.15	
最优组合	$A_3$	$B_3$	$C_1$	

表5 以感官评分为指标的方差分析结果

Table 5 Variance analysis results with sensory score as indicator

差异来源	偏差平方和	自由度	F 比	F 临界值	显著性
A	2.08	2	0.18	19.00	
B	0.74	2	0.06	19.00	
C	15.04	2	1.29	19.00	
空列	11.67	2	1.00	19.00	
误差	11.67	2			

表6 以硬度为指标的方差分析结果

Table 6 Variance analysis results with hardness as indicator

差异来源	偏差平方和	自由度	F 比	F 临界值	显著性
A	369 264.64	2	0.58	6.94	
B	2 711 684.14	2	4.23	6.94	
C	13 609 742.12	2	21.25	6.94	*
空列	911 982.11	2	1.43	6.94	
误差	1 281 246.75	4			

注: \* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

砂糖对酥皮硬度具有显著影响. 对酥皮的酥性和成型性进行综合考虑, 为使鱿鱼松夹心酥的口感达到良好的酥松效果, 以硬度作为主要的考虑指标, 选择  $C_1$  (白砂糖添加量为 10%) 为最佳水平; 虽然棕榈油添加量和蛋液添加量对酥

皮硬度影响不显著,但为了保证酥皮包馅过程中易于成型,选择 $A_3$ (棕榈油添加量为35%)和 $B_3$ (蛋液添加量为25%)为最佳水平.综上,经正交试验优化后的酥皮最佳配方为:白砂糖添加量10%,棕榈油添加量35%,蛋液添加量25%.

### 2.3 焙烤过程中鱿鱼松夹心酥的质量和硬度变化

焙烤过程中鱿鱼松夹心酥的质量和硬度变化情况如图4所示.由图4a)可知,在焙烤前5 min,由于此阶段鱿鱼松夹心酥的整体温度相对较低,水分含量减少相对缓慢,从而使得鱿鱼松夹心酥的质量变化相对较小.5 min之后,鱿鱼松夹心酥的整体温度与焙烤温度保持平衡,使得水分含量能够保持相对平稳的下降趋势,因而质量变化也呈下降的趋势.这与D. Fahloul等<sup>[10]</sup>的研究结果一致.由图4b)可知,随着焙烤的进行,鱿鱼松夹心酥整体的硬度也呈现出

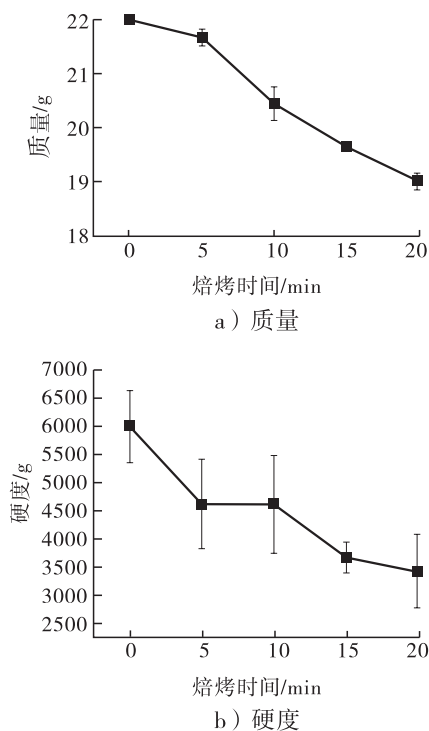


图4 焙烤过程中鱿鱼松夹心酥的质量和硬度变化  
Fig.4 Weight and hardness changes during baking of crispy cake with shredded squid stuffing

逐渐减小的趋势.在5~10 min时,鱿鱼松夹心酥的硬度保持不变,而15 min后,鱿鱼松夹心酥的硬度下降趋势趋于平缓.这可能是因为焙烤过程中,随着鱿鱼松夹心酥受热,水分迅速蒸发,鱿鱼松夹心酥的体积逐渐增大,其内部变得蓬松,酥脆性逐渐形成.同时,酥皮中添加的蛋液具有起泡性和乳化性,在焙烤过程中也影响了鱿鱼松夹心酥的酥松程度<sup>[11]</sup>.

### 2.4 焙烤过程中鱿鱼松夹心酥的风味物质测定结果

**2.4.1 电子鼻测定结果** 电子鼻的每一个气敏传感器对某种特定类别的气味或气体具有高度响应性并可给出响应值,可用来表示某种气味或气体的强度<sup>[12-14]</sup>.1#—10#气敏传感器对应10项不同的气味或气体,分别是芳香成分、氮氧化物、芳香气味、氢气、芳香成分与烷烃类、甲烷、硫化物、乙醇、芳香成分与有机硫化物、烷烃类.

根据传感器的响应程度绘制出鱿鱼松夹心酥焙烤过程中电子鼻测定结果的雷达图如图5所示.由图5可知,在焙烤过程中,每个时间段风味物质都具有一定变化.在焙烤0 min时,8#气敏传感器响应值最大,表明此时醇类物质较多,且其对焙烤0 min的鱿鱼松夹心酥的整体风味贡献较大;焙烤5 min后,8#气敏传感器响应值在整体轮廓中变小,10#气敏传感器响应值较为突出,表明鱿鱼松夹心酥经过焙烤加热后,烷烃类物质开始生成,而醇类物质逐渐减少;焙烤10 min后,3#,5#,7#气敏传感器响应值增大,表明此时可能生成了芳香物质、硫化物,改变了鱿鱼松夹心酥的整体风味轮廓;焙烤15 min后,9#气敏传感器响应值增大,表明此时可能生成了芳香物质和有机硫化物;焙烤20 min后,1#和9#气敏传感器响应值变小,表明此时可能是芳香气味在焙烤中挥发所导致.

**2.4.2 GC-MS 测定结果** 焙烤过程中挥发性风味物质的变化趋势如图6所示. 由图6可知, 鱿鱼松夹心酥焙烤过程中的风味物质主要以醇类、醛类为主. 随着焙烤时间的增加, 醇类物质含量逐渐降低, 醛类物质含量呈先上升后下降的趋势, 酮类物质含量变化较小; 在 0 min 时未检测到杂环类物质, 随着焙烤时间的增加, 杂环类物质含量上升; 其他类物质的含量随着焙烤

时间的增加呈波动上升的趋势.

焙烤过程中挥发性风味物质经 VAFE-SPME 萃取和 GC-MS 测定, 定性、定量分析的结果见表7. 由表7可知, 焙烤过程中, 在鱿鱼松夹心酥中共检测到65种易挥发的风味物质, 其中, 醇类物质13种, 醛类物质16种, 酮类物质7种, 杂环类物质6种. 从鱿鱼松夹心酥焙烤第15 min 开始, 逐渐产生了吡嗪类物质, 包括6-

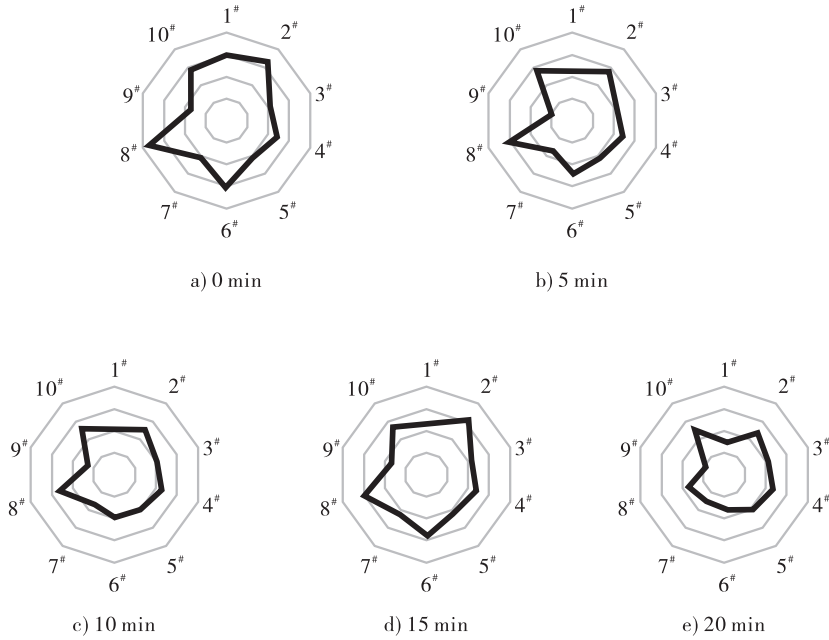


图5 焙烤过程中电子鼻测定结果的雷达图

Fig.5 Radar chart of electronic nose measurement results during baking

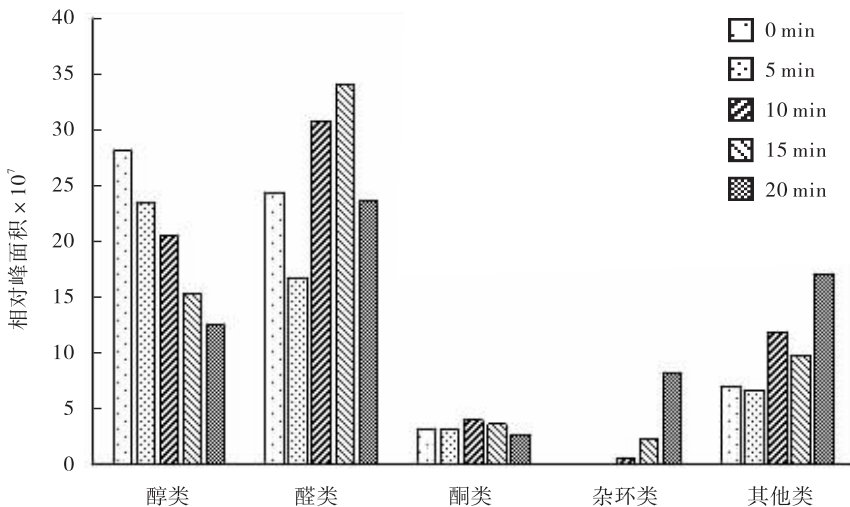


图6 焙烤过程中挥发性风味物质的变化趋势

Fig.6 The volatile flavor compounds change trend during baking



二甲基-吡嗪,三甲基吡嗪,3-乙基-2,5-二甲基吡嗪等。吡嗪由于拥有较低的阈值,通常被认为是食品中重要的风味物质<sup>[16]</sup>,被描述为“坚果、烤香味、烤土豆味”,产生于焙烤过程中,也被称之为“美拉德香气化合物”。吡嗪的形成主要通过 Strecker 降解反应和羰氨反

应<sup>[17]</sup>。鲑鱼松夹心酥的面皮中加入了鸡蛋,鸡蛋含有大量氨基酸<sup>[18]</sup>,焙烤第 20 min 时,检测出鲑鱼松夹心酥中含有糠醛。糠醛能在高含糖量食物的焙烤过程中形成,使其产生烤香、焦香类焙烤风味<sup>[15]</sup>。A. A. Lami 等<sup>[19]</sup>在饼干焙烤过程中发现,E,E-2,4-癸二烯醛和壬醛是主要

表7 焙烤过程中挥发性风味物质含量表

Table 7 Volatile flavor compound content table during baking

μg/g

类别	化合物名称	时间/min				
		0	5	10	15	20
醇类	正己醇	4.32 ± 0.94	3.61 ± 0.75	1.03 ± 0.16	0.28 ± 0.02	0.14 ± 0.06
	1-庚醇	0.77 ± 0.31	0.76 ± 0.18	0.57 ± 0.11	0.37 ± 0.01	0.43 ± 0.12
	1-辛烯-3-醇	1.32 ± 0.50	1.88 ± 0.39	1.77 ± 0.23	1.24 ± 0.02	1.27 ± 0.26
	2-乙基-1-己醇	0.55 ± 0.22	0.26 ± 0.16	0.30 ± 0.05	0.18 ± 0.02	0.27 ± 0.10
	2,4-二甲基环己醇	0.18 ± 0.06	0.31 ± 0.18	0.28 ± 0.04	0.23 ± 0.01	0.28 ± 0.07
	3,5-辛二烯-2-醇	0.24 ± 0.10	0.26 ± 0.07	0.32 ± 0.07	0.23 ± 0.02	0.20 ± 0.06
	(E)2-辛烯-1-醇	0.38 ± 0.16	0.30 ± 0.17	0.53 ± 0.12	0.42 ± 0.01	0.47 ± 0.13
	1-辛醇	1.21 ± 0.52	0.88 ± 0.54	1.38 ± 0.21	0.88 ± 0.32	1.15 ± 0.30
	芳樟醇	2.95 ± 1.18	1.53 ± 1.25	2.03 ± 0.33	1.17 ± 0.05	1.08 ± 0.36
	1-壬醇	0.77 ± 0.33	0.48 ± 0.39	0.85 ± 0.24	0.46 ± 0.05	0.42 ± 0.24
	1-薄荷醇	0.09 ± 0.05	0.35 ± 0.50	0.08 ± 0.02	0.06 ± 0.01	ND
	萜烯-4-醇	0.35 ± 0.16	0.22 ± 0.13	0.32 ± 0.03	0.23 ± 0.01	0.27 ± 0.07
	对-薄荷茶-1(7), 8(10)-二烯-9-醇	0.17 ± 0.11	0.15 ± 0.02	0.22 ± 0.05	0.18 ± 0.00	0.30 ± 0.13
	醛类	己醛	4.76 ± 1.71	2.62 ± 0.56	1.69 ± 0.35	0.62 ± 0.07
庚醛		0.43 ± 0.15	0.32 ± 0.05	0.46 ± 0.17	0.27 ± 0.02	0.25 ± 0.07
(E)-庚烯醛		0.35 ± 0.22	0.12 ± 0.06	0.40 ± 0.18	0.28 ± 0.02	0.37 ± 0.08
苯甲醛		0.55 ± 0.32	0.40 ± 0.46	1.15 ± 0.30	1.06 ± 0.09	1.12 ± 0.58
辛醛		1.19 ± 0.80	0.47 ± 0.14	1.56 ± 0.93	1.41 ± 0.17	ND
(E,E)-2,4-庚二烯醛		0.15 ± 0.08	0.18 ± 0.13	0.16 ± 0.05	0.10 ± 0.02	0.18 ± 0.06
苯乙醛		ND	ND	ND	0.34 ± 0.03	0.40 ± 0.12
(E)-2-辛烯醛		0.59 ± 0.37	0.12 ± 0.05	0.63 ± 0.54	0.55 ± 0.35	ND
壬醛		1.69 ± 0.88	0.48 ± 0.08	1.63 ± 1.16	0.8 ± 0.33	0.39 ± 0.27
龙脑烯醛		0.07 ± 0.04	0.04 ± 0.02	0.07 ± 0.02	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.01
(E,E)-2,6-壬二醛		0.06 ± 0.04	0.26 ± 0.06	0.11 ± 0.11	0.02 ± 0.00	0.04 ± 0.00
癸醛		0.26 ± 0.19	0.31 ± 0.48	0.31 ± 0.31	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.04
苯甲醛		0.53 ± 0.25	0.35 ± 0.08	0.42 ± 0.13	0.32 ± 0.02	0.24 ± 0.27
4-(1-甲基乙基)- (E)-2-癸醛		0.09 ± 0.06	0.06 ± 0.02	0.27 ± 0.15	0.34 ± 0.08	0.50 ± 0.20
(E,E)-2,4-癸二烯醛	0.62 ± 0.52	2.17 ± 0.51	7.39 ± 2.16	6.64 ± 0.51	7.39 ± 2.94	
2-十一烯醛	0.08 ± 0.07	0.03 ± 0.03	0.14 ± 0.05	0.12 ± 0.02	0.18 ± 0.10	
酮类	2-庚酮	0.09 ± 0.02	0.18 ± 0.03	0.26 ± 0.06	0.21 ± 0.01	0.26 ± 0.03
	2,3-辛二酮	0.15 ± 0.06	0.26 ± 0.07	0.34 ± 0.10	0.25 ± 0.01	0.25 ± 0.07
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.77 ± 0.27	0.62 ± 0.13	0.51 ± 0.14	0.29 ± 0.01	0.18 ± 0.05
	3,5-辛二烯-2-酮	0.33 ± 0.12	0.29 ± 0.22	0.55 ± 0.34	0.50 ± 0.05	0.49 ± 0.18

续表7

类别	化合物名称	时间/min				
		0	5	10	15	20
	香芹酮	0.05 ± 0.03	0.02 ± 0.01	ND	ND	ND
	6,10-二甲基-5,9-双十一烯-2-酮	0.06 ± 0.03	0.05 ± 0.03	0.11 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.05 ± 0.04
	2,6-双(1,1-二甲基乙基)-2,5-环己二烯-1,4-二酮	0.05 ± 0.03	0.06 ± 0.04	0.09 ± 0.02	0.06 ± 0.01	0.09 ± 0.03
杂环类	糠醛	ND	ND	ND	ND	0.05 ± 0.04
	2,6-二甲基-吡嗪	ND	ND	ND	0.74 ± 0.25	1.65 ± 0.50
	三甲基-吡嗪	ND	ND	ND	ND	1.72 ± 0.61
	2-乙烯基-6-甲基-吡嗪	ND	ND	ND	ND	0.38 ± 0.13
	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	ND	ND	0.29 ± 0.06	0.18 ± 0.01	0.25 ± 0.08
	2-乙基3,5-二甲基吡嗪	ND	ND	ND	0.15 ± 0.01	0.16 ± 0.08
	1,2-苯二甲酸双(1-异丁基)酯	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.03 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.01
邻苯二甲酸二丁酯	ND	ND	0.01 ± 0.01	ND	ND	
1-甲基-3-(1-甲基乙基)-苯	0.04 ± 0.02	ND	ND	ND	ND	
萘	0.11 ± 0.06	ND	ND	ND	ND	
N,N-二丁基-甲酰胺	0.11 ± 0.10	0.09 ± 0.03	0.11 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.04	
未知	0.48 ± 0.18	0.53 ± 0.12	0.41 ± 0.05	0.30 ± 0.01	0.27 ± 0.06	
	2,2,8-三甲基癸烷	ND	0.11 ± 0.06	0.10 ± 0.04	0.07 ± 0.03	0.12 ± 0.11
	3-乙基-2-甲基1,3-己二烯	0.21 ± 0.08	0.20 ± 0.06	0.40 ± 0.11	0.31 ± 0.01	0.36 ± 0.10
	未知	0.26 ± 0.11	0.29 ± 0.03	0.46 ± 0.09	ND	ND
	2-甲基苯乙烯	0.05 ± 0.02	0.14 ± 0.18	0.06 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.61 ± 0.82
其他类	十一烷	ND	ND	ND	ND	0.04 ± 0.00
	4-乙酰基-1-甲基环己烯	0.06 ± 0.03	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.01	0.02 ± 0.00	0.03 ± 0.00
	(Z)-3-十二烯	ND	0.18 ± 0.18	0.17 ± 0.08	0.10 ± 0.01	0.10 ± 0.05
	十二烷	0.52 ± 0.58	0.46 ± 0.43	1.22 ± 0.63	0.84 ± 0.20	0.97 ± 0.43
	2,6,11-三甲基-十二烷	ND	0.02 ± 0.00	0.04 ± 0.02	0.05 ± 0.02	0.08 ± 0.03
	茴香脑	0.71 ± 0.40	0.42 ± 0.11	0.75 ± 0.39	0.50 ± 0.11	0.36 ± 0.23
	1-十三炔	0.22 ± 0.14	0.20 ± 0.17	1.09 ± 0.32	0.95 ± 0.11	1.05 ± 0.45
	十三烷	0.10 ± 0.03	0.13 ± 0.01	0.20 ± 0.07	0.15 ± 0.02	0.12 ± 0.07
	2,3,5,8-四甲基-癸烷	0.05 ± 0.04	0.02 ± 0.01	0.05 ± 0.04	0.02 ± 0.00	ND
	2,6,10-三甲基-十二烷	0.08 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.14 ± 0.05	0.10 ± 0.02	0.12 ± 0.06
	(E)-3-十四烯	ND	0.03 ± 0.01	0.08 ± 0.03	0.04 ± 0.01	0.06 ± 0.00
	十四烷	0.16 ± 0.10	0.03 ± 0.01	0.17 ± 0.03	0.14 ± 0.01	0.12 ± 0.06
	十六烷	0.02 ± 0.01	0.06 ± 0.07	0.02 ± 0.00	0.01 ± 0.00	ND

注:ND表示未检出

的醛类.在鱿鱼松夹心酥焙烤过程中,E,E-2,4-癸二烯醛随着脂质降解而增加,对鱿鱼松夹心酥提供了重要的油脂风味;壬醛在焙烤过程中先下降后上升又下降,而壬醛存在于鱿鱼中<sup>[20]</sup>,在焙烤初始阶段,其可能因为挥发而导致含量减少,继而又通过脂质氧化作用而回升,最后由于在焙烤过程中与面团蛋白质进一步发

生反应而使得其含量下降<sup>[21-26]</sup>.

### 3 结论

本文所研制的鱿鱼松夹心酥将海鲜与面点相结合,获得一种营养丰富、口感纯正的酥饼;同时,对制作工艺的优化和焙烤过程中的风味变化进行了研究.结果表明:以低筋面粉质量为

100%计,鱿鱼松夹心酥酥皮的最佳配方为白砂糖添加量10%,棕榈油添加量35%,蛋液添加量25%,在此配方下制作出的鱿鱼松夹心酥具有良好的色泽和质构品质;鱿鱼松夹心酥在焙烤过程中,质量和硬度随着水分含量的减少呈下降的趋势;从鱿鱼松夹心酥中共鉴定出65种易挥发的风味物质,其中醇类13种,醛类16种,酮类7种,杂环类6种,其余23种;醇类、醛类、酮类为鱿鱼松夹心酥焙烤过程中主要的风味物质,随着焙烤时间的增加,醇类物质总量逐渐下降,醛类物质含量呈现先上升后下降的趋势,酮类物质含量变化较小。本研究为基于海洋资源的烘焙食品的开发与加工提供了创新之路,也为业内掌握酥饼焙烤过程中风味物质的变化规律提供了参考。

#### 参考文献:

- [1] MARKAIDA U, GILLY W F. Cephalopods of Pacific Latin America [J]. Fisheries Research, 2016, 173(2): 113.
- [2] 陈意. 鱿鱼的营养及食用价值[J]. 食品与药品, 2006, 8(6): 75.
- [3] 王玉明, 任兵兴, 马琴, 等. 摄食鱿鱼对小鼠脂质代谢的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(3): 409.
- [4] 王玉明, 杜磊, 任兵兴, 等. 摄食鱿鱼对人体血脂的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(7): 286.
- [5] 王术娥. 罗非鱼营养、挥发性成分及质构特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [6] 曾祯, 陈琳. 顶空固相微萃取气质联用分析伊犁翠雀花中挥发性成分[J]. 广州化学, 2017, 42(6): 37.
- [7] 王海蓝. 鸡味手指饼干的研制[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(6): 245.
- [8] 乔立文, 杨新宇, 杨严俊. 热处理对于鸡蛋全蛋液功能性质的影响[J]. 食品工业科技, 2011(11): 134.
- [9] 高雪丽. 甘草曲奇饼干加工技术研究[J]. 许昌学院学报, 2016, 35(5): 97.
- [10] FAHLOUL D, TRYSTRAM G, DUQUENOY A, et al. Modelling heat and mass transfer in band oven biscuit baking [J]. LWT-Food Science and Technology, 1994, 27(2): 124.
- [11] 徐珍珍, 苏字杰, 乔立文, 等. 蛋清蛋黄混合蛋液的功能性质及其在烘焙制品中的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(17): 130.
- [12] GHASEMI-VARNAMKHAHI M, LOZANO J. Electronic nose as an innovative measurement system for the quality assurance and control of bakery products: A review [J]. Engineering in Agriculture Environment & Food, 2016, 9(4): 365.
- [13] 纪飞, 李静, 李臻峰, 等. 电子鼻在食品领域的应用[J]. 安徽农业科学, 2014(25): 8747.
- [14] 贾洪锋, 王鑫, 邓红, 等. 电子鼻在食品气味分析中的应用[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(1): 38.
- [15] ZHANG Y Y. Effects of sugars in batter formula and baking conditions on 5-hydroxymethylfurfural and furfural formation in sponge cake models [J]. Food Research International, 2012, 49(1): 439.
- [16] SHU C K. Pyrazine formation from serine and threonine [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(10): 4332.
- [17] MAEDA T, KIKUMA S, ARAKI T, et al. The effects of mixing stage and fermentation time on the quantity of flavor compounds and sensory intensity of flavor in white bread [J]. Food Science & Technology Research, 2009, 15(2): 117.
- [18] POZO-BAYÓN M A, RUÍZ-RODRÍGUEZ A, PERNIN K, et al. Influence of eggs on the aroma composition of a sponge cake and on the aroma release in model studies on flavored

- sponge cakes [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(4): 1418.
- [19] LAMIA A A, BARBARA R, PIERRE G, et al. The fate of furfurals and other volatile markers during the baking process of a model cookie [J]. *Food Chemistry*, 2008, 111(3): 758.
- [20] JIN Y F, DENG Y, YUE J, et al. Significant improvements in the characterization of volatile compound profiles in squid using simultaneous distillation-extraction and GC × GC-TOFMS [J]. *CyTA-Journal of Food*, 2015, 13(3): 434.
- [21] HANSEN A, SCHIEBERLE P. Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: Applied and fundamental aspects [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2005, 16(1/3): 85.
- [22] RAO M R R, CHANDRASEKHARA N, RANGANATH K A. Trends in food science and technology: An official journal of the european federation of food science and technology (EFFoST) and the international union of food science and technology (IUFoST) [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 1989, 16(1/3): 479.
- [23] KERMASHA S, GOETGHEBEUR M, DUMONT J, et al. Analyses of phenolic and furfural compounds in concentrated and non-concentrated apple juices [J]. *Food Research International*, 1995, 28(3): 245.
- [24] WHITFIELD F B. Effect of phospholipid on the formation of volatile heterocyclic compounds in heated aqueous solutions of amino acids and ribose [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 1988, 42(3): 261.
- [25] BEAL A D, MOTTRAM D S. Compounds contributing to the characteristic aroma of malted barley [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1994, 42(12): 2880.
- [26] FALLICO B, ARENA E, ZAPPALÀ M. Role of oil in colour development and hydroxymethylfurfural formation [J]. *Food Chemistry*, 2003, 81(4): 569.