

## 逐级正交优化复合海参调味料配方 及加热对其风味的影响

步营<sup>1</sup>, 栾宏伟<sup>1</sup>, 吕月月<sup>1</sup>, 朱文慧<sup>1\*</sup>, 李学鹏<sup>1\*</sup>, 王玉亭<sup>2</sup>, 毕蕾<sup>3</sup>

(1. 渤海大学 食品科学与工程学院, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁 锦州 121013; 2. 荣成协汇食品股份有限公司, 山东 荣成 246309; 3. 抚顺独凤轩骨神生物技术股份有限公司, 辽宁 抚顺 113122)

**摘要:**以海参蒸煮液为原料, 采用逐级正交试验的方法对复合海参调味料的配方进行优化, 并测定了不同加热反应时间对调味料风味的影响。结果表明: 最佳配方为海参蒸煮液添加量 50%, 浓缩蛤蜊汁添加量 6%, 海带汁添加量 2%, 食用盐添加量 14%, 白砂糖添加量 6%, 谷氨酸钠添加量 1.5%, 酵母抽提物添加量 0.4%, 变性淀粉添加量 3.8%, 小麦面粉添加量 0.5%, 黄原胶添加量 0.04%。电子鼻结果显示: 不同加热时间对海参汁复合调味品的芳香成分、氮氧化合物、氨类芳香成分、甲烷、硫化物、乙醇、有机硫化物有着较大的影响, 对氢气、烷烃芳香成分与烷烃的影响微弱。电子舌结果显示: 海参汁复合调味品的滋味主要由鲜味和咸味组成, 加热 70 min 样品的鲜味值最高, 品质最好, 为海参蒸煮液的综合加工与利用提供了一定的参考。

**关键词:**复合调味料; 海参蒸煮液; 配方优化; 电子舌; 电子鼻

中图分类号: TS264.9

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1000-9973.2020.11.003

文章编号: 1000-9973(2020)11-0010-06

### Orthogonal Optimization of Formula of Compound Sea Cucumber Seasoning and the Effect of Heating on Flavor

BU Ying<sup>1</sup>, LUAN Hong-wei<sup>1</sup>, LV Yue-yue<sup>1</sup>, ZHU Wen-hui<sup>1\*</sup>,  
LI Xue-peng<sup>1\*</sup>, WANG Yu-ting<sup>2</sup>, BI Lei<sup>3</sup>

(1. National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology of Fresh Agricultural Products, College of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, China; 2. Rongcheng Xiehui Foods Co., Ltd., Rongcheng 246309 China; 3. Dufengxuan Gushen Biological Technology Co., Ltd., Fushun 113122, China)

**Abstract:** The formula of compound sea cucumber seasoning is optimized by using the orthogonal test method with the sea cucumber cooking liquid as the raw material, and the effect of different heating reaction time on the flavor of seasoning is determined. The results show that the best formula is 50% sea cucumber cooking liquid, 6% concentrated clam juice, 2% kelp juice, 14% salt, 6% sugar, 1.5% sodium glutamate, 0.4% yeast extract, 3.8% modified starch, 0.5% wheat flour and 0.04% xanthan gum. The results of electronic nose show that different heating time has a great influence on the aromatic components, nitrogen oxides, ammonia aromatic components, methane, sulfide, ethanol and organic sulfide of compound sea cucumber juice seasoning, and the influence on hydrogen, alkane aromatic components and alkane is weak. The results of electronic tongue show that the taste of compound sea cucumber juice seasoning is mainly consisted of umami and saltiness. After heating for

收稿日期: 2020-05-11

\* 通讯作者

基金项目: “十三五”重点研发计划项目(2016YFD0400705); 辽宁食品产业校企联盟校企合作科研项目(第二批); 辽宁省海洋与渔业科研计划项目(201813); 辽宁省兴辽英才计划项目(XLYC1807133)

作者简介: 步营(1981-), 男, 工程师, 硕士, 研究方向: 水产品加工及贮藏;

朱文慧(1982-), 女, 博士, 研究方向: 水产品贮藏与加工;

李学鹏(1982-), 男, 教授, 博士, 研究方向: 水产品贮藏与加工。

70 min, the sample has the strongest umami value and the best quality, which has provided a certain reference for the comprehensive processing and utilization of sea cucumber cooking liquid.

**Key words:** compound seasoning; sea cucumber cooking liquid; formula optimization; electronic tongue; electronic nose

海参是棘皮动物门海参纲生物的统称,其体质柔软,部分海参体周围长有疣足<sup>[1]</sup>。全球有记载的海参约有 1100 种,分布于全球各大洋,大多数海参进行底栖生活<sup>[2]</sup>。辽宁地区的海参养殖业发展比较早,属于传统的海参养殖基地。研究发现<sup>[3,4]</sup>,海参中不仅富含蛋白质、人体必需的氨基酸以及各种微量元素、维生素等,而且含有许多生物活性物质,如:海参多糖、胶原蛋白、海参皂苷、海参肽以及脑苷酯等,这些活性物质在抗肿瘤、抗真菌、抗凝血、降血压、降血脂和增强机体免疫功能等方面都有着良好的功效<sup>[5,6]</sup>。海参加工过程中大部分的蒸煮液依旧被作为废液排放,也有学者对蒸煮液进行了综合加工,如曹荣等<sup>[7]</sup>制作了海参蒸煮液风味调味料;孙荣雪等<sup>[8]</sup>制成营养型饮料。将海参蒸煮液全面进行利用,制作成复合调味品,不仅极大地提高了海参的附加价值,而且降低了废弃液的排放量,减小了环境污染,具有一定的环保意义。

随着当下我国生活节奏的加快与外卖等行业的崛起,调理食品得以迅速发展,复合调味料发展极具市场潜力,越来越多的消费者在口感上有了更大的追求<sup>[9]</sup>,本文将海参蒸煮液、浓缩蛤蜊汁、浓缩海带汁等海洋提取液作为主要原料加工成复合调味料,并研究了加热条件对复合调味料品质的影响。为海参蒸煮液的综合利用提供了切实可行的方案(健康型调味料),对海参加工产业的发展具有一定的意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与设备

海参蒸煮液:大连深蓝肽科技研发有限公司提供;浓缩蛤蜊汁、浓缩海带汁:荣成协汇食品股份有限公司提供;食用盐、酵母抽提物、味精、白砂糖、小麦面粉、黄原胶、变性淀粉:市售。

Pb-10 pH 计 德国赛多利斯公司;PEN3 电子鼻 德国 Air Sense 公司;Taste Sensing SA402B 电子舌 日本 Insent 公司;JA4103 电子天平 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;DK-8D 恒温水浴槽 上海一恒科技有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 海参蒸煮液复合调味品工艺流程

原料预处理→调配→混合搅拌→加热反应→包装→封口→杀菌→冷却→成品。

根据前期预试验,取 Brix4 的海参蒸煮液,离心处理掉蒸煮液内在加工时残留的海参体壁等固形物,发醇脱腥后备用。

#### 1.2.2 海参汁复合调味品配方的逐级正交优化试验方法

#### 1.2.2.1 海参汁复合调味品主原料配方正交试验设计

在前期预试验基础上,对影响海参汁复合调味品的主要因素,即海参蒸煮液的添加量(%)、浓缩蛤蜊汁的添加量(%)、海带汁的添加量(%),采用三因素三水平正交试验设计,试验因素水平设计见表 1。以感官评价结果作为依据,优化海参汁复合调味品主原料配方。

表 1 主原料配方  $L_9(3^4)$  试验因素水平表

Table 1 The factors and levels of  $L_9(3^4)$  orthogonal test for formula of main raw materials

水平	因素		
	A 海参蒸煮液	B 浓缩蛤蜊汁	C 海带汁
1	30	4	2
2	40	6	4
3	50	8	6

#### 1.2.2.2 海参汁复合调味品的调味配方正交试验设计

在前期预试验的基础上,选择食用盐添加量、白砂糖添加量、谷氨酸钠添加量和酵母抽提物添加量进行  $L_9(3^4)$  正交试验,试验因素水平设计见表 2。以感官评价结果作为依据,优化海参汁复合调味品的调味配方。

表 2 调味配方  $L_9(3^4)$  试验因素水平表

Table 2 The factors and levels of  $L_9(3^4)$  orthogonal test for flavoring formula

水平	因素			
	A 食用盐	B 白砂糖	C 谷氨酸钠	D 酵母抽提物
1	13	4	0.5	0.3
2	14	6	1	0.4
3	15	8	1.5	0.5

#### 1.2.2.3 稳定性配方正交试验设计

在前期预试验的基础上,选择变性淀粉添加量、小麦面粉添加量和黄原胶添加量进行  $L_9(3^4)$  正交试验,试验因素水平设计见表 3。以感官评价结果作为依据,优化海参汁复合调味品稳定性配方。

表 3 稳定性配方  $L_9(3^4)$  试验因素水平表

Table 3 The factors and levels of  $L_9(3^4)$  orthogonal test for stability formula

水平	因素		
	A 小麦面粉	B 变性淀粉	C 黄原胶
1	0.25	3.8	0.02
2	0.5	4.0	0.04
3	0.75	4.2	0.06

#### 1.2.3 不同加热时间对海参汁复合调味品风味物质的影响

按照正交试验得到的最优配方调配海参汁复合调味品,在(97.5±2.5)℃下分别加热反应 10,20,30,40,50,60,70,80 min,使用电子鼻和电子舌进行分析,探究不同加热时间对其风味变化的影响。

### 1.2.3.1 电子鼻分析

样品测定:取 5 g 左右的待测样品装入 50 mL 烧杯中,用保鲜膜封口,平衡 10 min。在 25℃环境中运用电子鼻传感器对样品进行检测。检测时间 120 s,进样流量和内部流量均为 300 mL/min,数据采集时间为 90~95 s。每个样品做 3 组平行试验。根据样品顶空挥发物通过传感器的电阻值 G 与基准气体通过传感器的电阻值 G<sub>0</sub> 的比值进行数据处理和模式识别<sup>[10-12]</sup>。传感器由 10 种金属氧化物半导体型(metal oxide semiconductor,MOS)化学传感元件组成,每型传感元件对应的主要敏感物质见表 4。

表 4 化学传感器及其对应的敏感物质类型

Table 4 The chemical sensors and their corresponding sensitive substances' types

阵列序号	金属氧化物传感器名称	性能描述	气体
MOS 1	W1C	芳香成分	甲苯,10 mL/m <sup>3</sup>
MOS 2	W5S	灵敏度大,对氮氧化物很灵敏	NO <sub>2</sub> ,1 mL/m <sup>3</sup>
MOS 3	W3C	氨水,对芳香成分灵敏	苯,10 mL/m <sup>3</sup>
MOS 4	W6S	主要对氢气有选择性	H <sub>2</sub> ,100 mL/m <sup>3</sup>
MOS 5	W5S	烷烃芳香成分	丙烷,1 mL/m <sup>3</sup>
MOS 6	W1S	对甲烷灵敏	CH <sub>4</sub> ,100 mL/m <sup>3</sup>
MOS 7	W1W	对硫化物灵敏	H <sub>2</sub> S,1 mL/m <sup>3</sup>
MOS 8	W2S	对乙醇灵敏	CO,100 mL/m <sup>3</sup>
MOS 9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏	H <sub>2</sub> S,1 mL/m <sup>3</sup>
MOS 10	W3S	对烷烃灵敏	CH <sub>4</sub> ,10 mL/m <sup>3</sup>

### 1.2.3.2 电子舌分析

样品处理:将冷藏备用的样品取 5.0 mL 溶于 100 mL 蒸馏水中均质,10000 r/min 离心 10 min,取上清液备用。

将电子舌的传感器和参比电极内部充满内部液(3.3 mmol/L KCl+饱和氯化银),并分别将传感器置于基准溶液(30 mmol/L KCl+0.3 mmol/L 酒石酸)、参比电极置于 3.3 mmol/L KCl 溶液中活化 24 h。自检后,在室温下通过电子舌对每种样品的苦味、苦味余味、涩味、涩味余味、咸味、鲜味和丰富度进行分析<sup>[13]</sup>。每个样品重复 4 次,保留 3 组稳定的数据,取平均值。

### 1.2.4 感官评定

感官检验是采用人自身器官的功能:例如味觉、嗅觉、视觉、触觉等自身神经反馈来检验食品的颜色、口味、气味、组织状态等。检验方式简便,但具有一定的人为主观性<sup>[14]</sup>,本试验感官评定小组由食品科学与工程专业学生组成(4 男 6 女),年龄段在 20~25 岁,评定员评定每项样品前后以纯净水漱口脱味,保证结果的准确性。海参汁复合调味品感官评分表见表 5。

表 5 海参汁复合调味品感官评分表

Table 5 The sensory evaluation score of compound sea cucumber juice seasoning

项目	评分标准	评分
色泽 (满分 20 分)	颜色鲜艳有光亮,色泽诱人,悦目适宜	16~20 分
	颜色略有显暗,但色泽纯正	11~15 分
	颜色明显发乌,色泽不正常	6~10 分
香气 (满分 30 分)	颜色不纯正,有肉眼可见浑浊物	5 分以下
	海参特有风味明显,整体气味优秀	26~30 分
	略有海参香气,整体气味鲜香	16~25 分
	整体气味不协调,略有腥臭味	6~15 分
滋味 (满分 30 分)	腥臭味明显,有焦糊味、异味	5 分以下
	口感醇厚细腻,有海参香味,咸淡适宜	26~30 分
	海参香气不明显,整体滋味适宜	16~25 分
	整体滋味不协调,偏咸、淡,有淀粉感	6~15 分
组织状态 (满分 20 分)	口感差,有腥味,过咸,有浓重淀粉感、苦味	5 分以下
	整体细腻,流动性良好,无分层与颗粒感	16~20 分
	整体较为细腻,流动性一般,无分层与颗粒感	11~15 分
	流动性一般,有肉眼可见颗粒,无分层	6~10 分
	分层,过于粘稠或水分过多,有明显大颗粒	5 分以下

## 2 结果分析

### 2.1 逐级正交试验海参汁复合调味品配方的优化

表 6 海参汁复合调味品主原料配方正交试验结果

Table 6 The orthogonal experiment results of main raw materials' formula of compound sea cucumber juice seasoning

序号	因素			感官评分
	A 海参蒸液 (%)	B 浓缩蛤蜊汁 (%)	C 海带汁 (%)	
1	1	1	1	86.4
2	1	2	2	81.6
3	1	3	3	83.2
4	2	1	2	73.6
5	2	2	3	81.6
6	2	3	1	80.0
7	3	1	3	77.8
8	3	2	1	90.2
9	3	3	2	88.0
K <sub>1</sub>	83.73	79.27	85.53	
K <sub>2</sub>	78.40	84.47	81.07	
K <sub>3</sub>	85.33	83.73	80.87	
R	6.93	5.20	4.67	

综合感官评分是对海参汁复合调味品的整体评价,客观反映了产品的可接受度。由表 6 可知,影响海参汁复合调味品品质的主配方中的因素主次为 A>B>C,即海参蒸液含量的高低对海参调味料的品质影响最大,其次是浓缩蛤蜊汁含量,最后为海带汁含量,最优组合为 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>。因此由正交设计试验得出最优主原料配方为海参蒸液 50%,浓缩蛤蜊汁 6%,海带汁 2%。

选择食用盐添加量、白砂糖添加量、谷氨酸钠添加

量和酵母抽提物添加量进行  $L_9(3^4)$  正交试验, 正交试验结果分析见表 7。

表 7 调味配方正交试验结果

Table 7 The orthogonal experiment results of flavoring formula

序号	因素				感官评分
	A 食用盐 (%)	B 白砂糖 (%)	C 谷氨酸钠 (%)	D 酵母抽提物 (%)	
1	1	1	1	1	86.3
2	1	2	2	2	88.0
3	1	3	3	3	86.7
4	2	1	2	3	88.0
5	2	2	3	1	88.6
6	2	3	1	2	88.8
7	3	1	3	2	87.4
8	3	2	1	3	86.1
9	3	3	2	1	86.3
$K_1$	87.00	87.23	87.07	87.07	
$K_2$	88.47	87.57	87.43	88.07	
$K_3$	86.6	87.27	87.57	86.93	
R	1.87	0.33	0.50	1.13	

由表 7 可知, 影响海参调味料品质的调味配方中的因素主次为  $A > D > C > B$ , 即食用盐含量对海参汁复合调味品的品质影响最大, 其次是酵母抽提物与谷氨酸钠的含量, 最后为白砂糖的含量, 最优组合为  $A_2B_2C_3D_2$ 。因此由正交设计试验得出最优配方为食用盐 14%, 白砂糖 6%, 谷氨酸钠 1.5%, 酵母抽提物 0.4%。

在前期单因素试验的基础上, 选择变性淀粉添加量、小麦面粉添加量和黄原胶添加量进行  $L_9(3^3)$  正交试验, 正交试验结果分析见表 8。

表 8 稳定性配方正交试验结果

Table 8 The orthogonal experiment results of stability formula

序号	因素			感官评分
	A 小麦面粉 (%)	B 变性淀粉 (%)	C 黄原胶 (%)	
1	1	1	1	87.5
2	1	2	2	88.2
3	1	3	3	90.0
4	2	1	2	90.9
5	2	2	3	88.4
6	2	3	1	88.4
7	3	1	3	89.1
8	3	2	1	86.9
9	3	3	2	89.5
$K_1$	88.57	89.17	87.60	
$K_2$	89.23	87.83	89.53	
$K_3$	88.50	89.30	89.17	
R	0.73	1.47	1.93	

由表 8 可知, 影响海参汁复合调味品稳定性的因素主次为  $C > B > A$ , 即黄原胶含量对海参汁复合调味品的品质影响最大, 其次是变性淀粉的含量, 最后为小

麦面粉的含量, 最优组合为  $A_2B_1C_2$ 。因此由正交设计试验得出最优配方为小麦面粉 0.5%, 变性淀粉 3.8%, 黄原胶 0.04%。

2.2 不同加热时间对海参汁复合调味品气味的影响  
复合调味料不同反应时间的电子鼻分析雷达图见图 1。

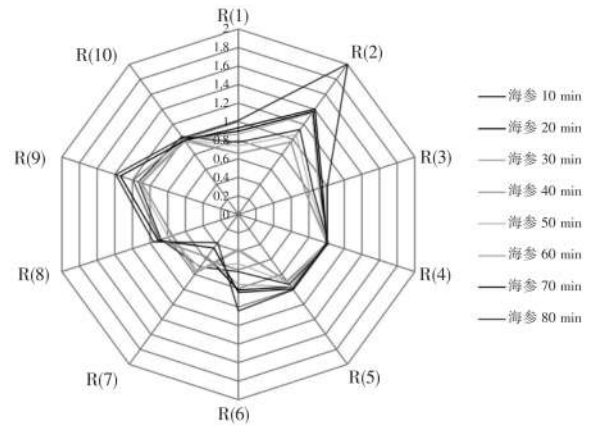


图 1 海参汁复合调味品电子鼻雷达图

Fig. 1 E-nose radar chart of compound sea cucumber juice seasoning

由图 1 可知, 对不同加热时间的海参汁复合调味品做出比较, 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9 号传感器的响应值变化较大, 4, 5, 10 号传感器的响应值变化小, 相对不明显, 根据电子鼻检测分析, 不同加热时间对海参汁复合调味品的芳香成分、氮氧化合物、氨基芳香成分、甲烷、硫化物、乙醇、有机硫化物有着较大的影响, 对氢气、烷烃芳香成分与烷烃的影响微弱。

不同加热时间下海参汁复合调味品的气味主成分分析见图 2。

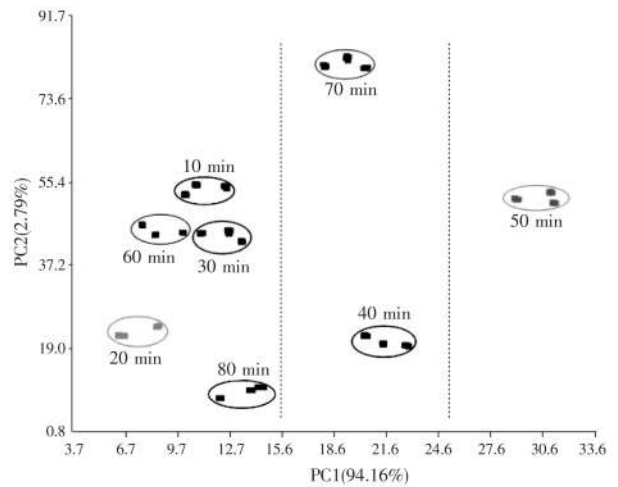


图 2 不同加热时间对海参汁复合调味品电子鼻 PCA 分析

Fig. 2 PCA analysis of compound sea cucumber juice seasoning at different heating time

PCA 分析是将多变量线性转换选出较少重要变量的一种多元统计分析方法,可进行数据转换和降维,在 PCA 图上显示主要的两维图,贡献率越大,越能更好地反映样品信息<sup>[15-17]</sup>。

图 2 中每个椭圆形气味区域表示在不同加热时间下海参汁复合调味品的数据采集点,每个样品的 3 次不重复检测形成一个独立的族群,说明分析的重复性良好。经分析得知,不同加热时间的海参汁复合调味品风味特征存在差异,主成分 1(PC1)与主成分 2(PC2)的贡献率分别为 94.16%与 2.79%,总贡献率达到 96.95%,超过 85%,说明所受干扰较小,代表了样品的主要信息特征。一般认为,距离原点越远的数据点,其贡献率越大<sup>[18-20]</sup>。根据 PC2 可以看出有着较好的单向趋势,且各加热时间的海参汁复合调味品 PC2 载荷因子差异性较大,各组数据在区域上无重叠,不同加热时间的海参汁复合调味品之间风味是互相独立的,说明不同加热时间的海参汁复合调味品可以在电子鼻的检测分析下得到有效的区分。在 PC1 上可将样品分为 3 个不同区域,其各区域间载荷距离都相对较远,说明在不同加热时间下,海参汁复合调味品的风味特征有着较大的区别。

### 2.3 不同加热时间对海参汁复合调味品滋味的影响

不同加热时间下的海参汁复合调味品的电子舌分析雷达图见图 3。

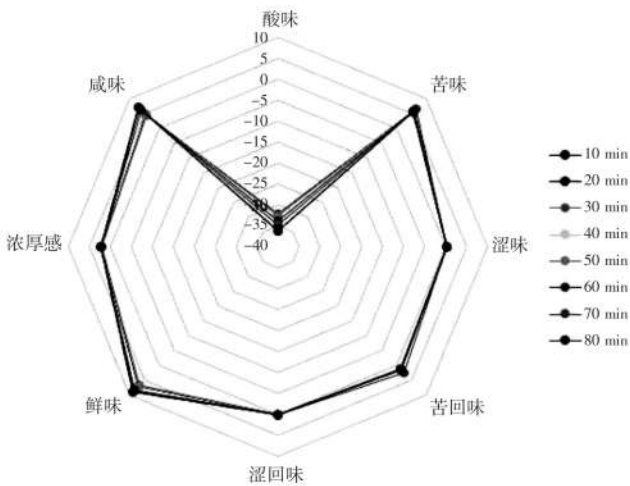


图 3 不同加热时间对海参汁复合调味品电子舌味觉雷达图

Fig. 3 Electronic tongue taste radar of compound sea cucumber juice seasoning at different heating time

由图 3 可知,海参汁复合调味品的咸味、鲜味、苦回味的响应值存在着差异,其咸味和鲜味的响应值差异最大,其他味觉响应值的检测结果差异相对较小。

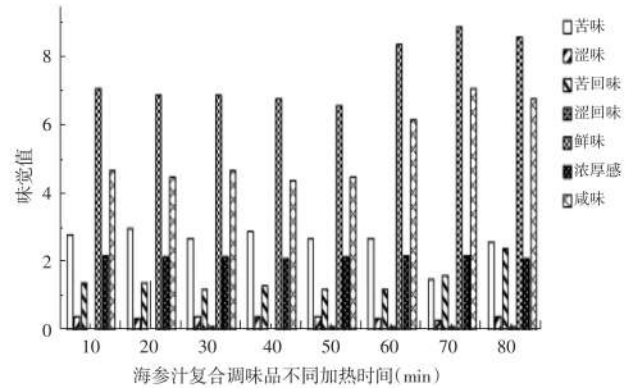


图 4 不同加热时间下海参汁复合调味品电子舌味觉值

Fig. 4 Electronic tongue taste value of compound sea cucumber juice seasoning at different heating time

在不同加热时间的海参汁复合调味品中,酸味的响应值都非常低,不能被人体感受到<sup>[21]</sup>,故而样品中的酸味可以忽略不计。由图 4 可知,鲜味和咸味是海参汁复合调味品最为重要的味觉指标。产品中检测到的鲜味响应值较强,且浓厚感也响应明显,有良好的滋味,这可能是因为样品是以海参汁为主要原料,辅以蛤蜊汁、海带汁等制成,说明该调味品可呈现很好的增鲜效果。所有样品检测到的涩味和涩味的回味的响应值较低,不易被人体感知。不同加热时间海参汁复合调味品样品对应的鲜味强度有较为明显的差别。浓厚感(鲜味回味:代表了样品滋味的持久性和丰富程度)与鲜味的变化规律相同。鲜味回味与鲜味物质的绝对含量、种类以及无机离子含量相关<sup>[22-24]</sup>。产品中所检测到的咸味响应值均较高,咸味主要由  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  等无机阳离子产生,它们的存在可以在一定程度上对纤维强度起到增强作用。在不同加热时间下,70 min 得到的样品的鲜味和浓厚感的响应值最高,且其苦味、涩味以及二者回味的响应值最低,说明加热 70 min 的样品的口感最协调,可起到更好的增鲜效果。

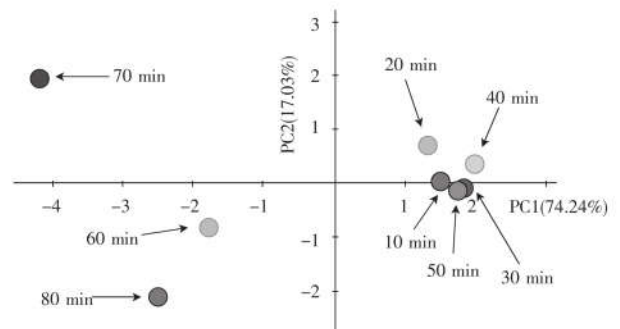


图 5 不同加热时间海参汁复合调味品电子舌 PCA 分析结果

Fig. 5 Electronic tongue PCA analysis results of compound sea cucumber juice seasoning at different heating time

由图5可知,主成分1(PC1)与主成分2(PC2)的贡献度分别为74.24%与17.03%,总贡献率为91.27% $>$ 85%,说明两个主成分内涵盖了样品的大部分信息,随着加热时间的增长,数据点距离原点越来越远,但加热10,30,50 min的样品数据点重叠,说明其滋味相近<sup>[25]</sup>,区分度不好,而其他数据点区分明显,说明加热时间对海参汁复合调味品的滋味影响有相对区别。

### 3 结论

经过逐级正交试验得出海参汁复合调味品的最佳工艺配方为海参蒸煮液50%、蛤蜊汁浓缩液6%、海带汁2%、食用盐14%、酵母抽提物0.4%、谷氨酸钠1.5%、白砂糖6%、小麦面粉0.5%、变性淀粉3.8%、黄原胶0.04%,以最佳工艺配方制作出的海参汁复合调味品颜色红褐色,光亮,口感细腻,粘稠度良好,有海参的特殊香气,口感醇厚,味道鲜美。还探究了不同加热时间对最佳工艺配方制作出的海参汁复合调味品风味的影响。根据电子鼻检测分析,不同加热时间对海参汁复合调味品的芳香成分、氮氧化合物、氨基芳香成分、甲烷、硫化物、乙醇、有机硫化物有着较大的影响,对氢气、烷烃芳香成分与烷烃的影响微弱;且电子鼻PCA可以有效地区分在不同加热时间下海参汁复合调味品的品质变化。电子舌结果显示:海参汁复合调味品的滋味主要由鲜味和咸味组成,在不同加热时间下,加热70 min时的产品口感优良,鲜味突出,明显优于加热其他时间的产品。综合研究发现,加热70 min可得到品质良好的产品,为海参蒸煮液的综合加工与利用提供了一定的参考。

#### 参考文献:

[1]中国科学院中国动物志委员会. 中国动物志:棘皮动物门(海参纲)[M]. 北京:科学出版社,2016.  
[2]尹利昂. 不同海参多糖的分离纯化及生化性质分析[D]. 青岛:中国海洋大学,2009.  
[3]常亚青,丁君,宋坚,等. 海参、海胆生物学研究与养殖[M]. 北京:海洋出版社,2004.  
[4]Shi Shujuan, Feng Wenjing, Hu Song, et al. Bioactive compounds of sea cucumbers and their therapeutic effects[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2016, 34(3): 549-558.  
[5]申彩红. 海参肽的酶法制备及其抗氧化、抗疲劳活性研究[D]. 泉州:华侨大学,2015.  
[6]殷廷,王洪旭,黄璐,等. 海参水煮液多糖和脂肪酸组成的分析[J]. 食品工业, 2015, 36(12): 278-281.  
[7]曹荣,刘淇,赵玲,等. 一种利用海参蒸煮液制备风味调料的方法:中国,201710760892.9[P]. 2017-08-30.  
[8]孙荣雪,朱俊向,汪东风,等. 海参蒸煮液营养饮料的研制及其风味分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(17): 200-205, 210.

[9]王福玲. 浅析复合调味料的研发问题、建议及未来发展趋势[J]. 食品安全导刊, 2016(21): 97.  
[10]Melucci D, Bendini A, Tesini F, et al. Rapid direct analysis to discriminate geographic origin of extra virgin olive oils by flash gas chromatography electronic nose and chemometrics[J]. Food Chemistry, 2016, 204: 263-273.  
[11]吴靖娜,靳艳芬,陈晓婷,等. 鲍鱼蒸煮液美拉德反应制备海鲜调味基料工艺优化[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 69-76.  
[12]杨成聪,舒娜,张亦舒,等. 基于电子鼻和GC-MS技术对市售酱油风味品质的评价[J]. 中国调味品, 2018, 43(10): 151-155.  
[13]徐宝才,李聪,马倩,等. 基于电子鼻和电子舌分析盐水鸭风味的差异性[J]. 中国食品学报, 2017, 17(12): 279-286.  
[14]李晓华. 食品应用化学[M]. 北京:高等教育出版社,2002.  
[15]孙莹,彭子宁. 电子鼻在调味料工业的应用研究进展[J]. 中国调味品, 2018, 43(7): 170-172, 177.  
[16]Lozano J, Santos J P, Horrillo M C. Classification of white wine aromas with an electronic nose[J]. Talanta, 2005, 67(3): 610-616.  
[17]韩姣姣,裘迪红,宋绍华. 电子鼻检测植物乳杆菌发酵草鱼中的风味物质[J]. 食品科学, 2012, 33(10): 208-211.  
[18]Huang Lingxia, Meng Liuwei, Zhu Nan, et al. A primary study on forecasting the days before decay of peach fruit using near-infrared spectroscopy and electronic nose techniques[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 133: 104-112.  
[19]Siqueira A F, Melo M P, Giordani D S, et al. Stochastic modeling of the transient regime of an electronic nose for waste cooking oil classification[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 221: 114-123.  
[20]胡金祥,孙溪,彭毅秦,等. 模糊数学结合智能感官在改良椒麻鸡汁配方中的应用[J]. 中国调味品, 2019, 44(2): 83-87, 104.  
[21]丁安子,王婧,王小红,等. 鲫鱼酶解物复合调味品的造粒工艺研究及电子舌分析[J]. 中国调味品, 2018, 43(3): 57-62.  
[22]Phat C, Moon B K, Chan L. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system[J]. Food Chemistry, 2016, 192(1): 1068-1077.  
[23]Luis G, Jose M B, Diana B, et al. Monitoring of physical-chemical and microbiological changes in fresh pork meat under cold storage by means of a potentiometric electronic tongue[J]. Food Chemistry, 2011, 126(3): 126-1268.  
[24]Phat C, Moon B, Lee C. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system[J]. Food Chemistry, 2016, 192: 1068-1077.  
[25]杨天意,蒋云升,吴鹏,等. 电子舌对果酱的区识别研究[J]. 中国调味品, 2018, 43(8): 114-117.