

## 甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜制品品质的影响

卢彦轩, 王玉栋, 庄洋, 严浩, 钟武, 杨宏\*

(华中农业大学食品科学技术学院 武汉 430070)

**摘要** 为研究甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜制品品质的影响,分别以 0,0.2,0.4,0.6 mL/100 g 的甜橙油(按鱼糜质量计算)与马铃薯淀粉复配加入鱼糜中制成凝胶,对其凝胶强度、质构特性、持水性、色度、化学作用力进行分析,并用电子鼻、电子舌和感官评分进行感官品质研究。结果显示,0.4 mL/100 g 的甜橙油与马铃薯淀粉复配制得的鱼糜凝胶具有最佳的凝胶强度与持水性,同时具有最高的白度值;甜橙油添加量为 0.6 mL/100 g 时凝胶性能次之。甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜制品的气味与滋味产生明显影响( $P < 0.05$ ),并可降低酸味与增加甜味。综合分析表明 0.4 mL/100 g 的甜橙油与马铃薯淀粉复配可提高鱼糜凝胶整体品质,感官评分总分最高具有较好的可接受性。

**关键词** 甜橙油; 马铃薯淀粉; 凝胶特性; 电子鼻; 电子舌

**文章编号** 1009-7848(2023)05-0241-10 **DOI**: 10.16429/j.1009-7848.2023.05.024

白鲢鱼是我国现今养殖与生产总量最大的一类淡水鱼<sup>[1]</sup>,具有蛋白质含量丰富,易于消化等优点,将其作为鱼糜加工原料具有巨大的市场潜力。然而,鲢鱼鱼糜的凝胶形成能力较弱并且容易因凝胶劣化而破坏产品的口感质地。在鱼糜产品加工过程中淀粉是常用的外源添加物,其可改善凝胶性能并降低成本<sup>[2]</sup>。马铃薯淀粉(Potato starch, PS)具有独特的黏度特性,胶凝剂性能好,将其充分地填充到蛋白网络中形成牢固的凝胶<sup>[3]</sup>。Liu 等<sup>[4]</sup>曾报道天然马铃薯淀粉对鲢鱼鱼糜的质构、凝胶特性及微观结构均有改善作用。鲢鱼食藻类,以其制成的鱼糜往往带有腥味和土霉味等。此外,鲢鱼鱼糜在加工和贮藏过程中易因脂肪酸败和蛋白变质而对其气味、颜色和质地产生不良影响<sup>[5]</sup>。为了减轻这些有害影响,合成抗氧化剂常被应用于水产品中,如今,由于消费者对天然和安全的需求,以天然添加物替代人工合成添加剂在食品中的应用成为热点<sup>[6]</sup>。天然植物精油因绿色健康、对环境污染小并具有较强的抗氧化和抑菌性能而受到越来越多的关注<sup>[7]</sup>。孔洪云<sup>[8]</sup>的研究表明紫苏精油影响油炸鱼糜制品的气味,改善色泽并延长货架期。

甜橙是柑橘的一种,为芸香科柑橘亚科柑橘

属。我国是柑橘生产大国,甜橙在柑橘总产量的占比高达 60%<sup>[9]</sup>。甜橙油(Sweet orange oil, SO)是橙皮回收加工后的重要产物,是重要的天然香料精油,含有丰富的萜烯类物质和部分如醇类、酮类以及酚类等的含氧衍生物<sup>[10]</sup>,具有清新的甜橙香味和抑菌、抗氧化及舒缓神经等功能特性<sup>[11]</sup>,常作为赋香剂、矫味剂和天然香辛料使用,多应用于饮料、糕点中<sup>[12]</sup>,而在水产品加工中的研究鲜有报道。

在改善凝胶性能的同时,如何提高鱼糜凝胶感官品质是不容忽视的问题。添加马铃薯淀粉可提高鱼糜凝胶性能,然而,其对风味的改变较小。Mi 等<sup>[13]</sup>研究发现添加淀粉和亲水胶体对鲢鱼鱼糜凝胶的气味及滋味无影响。甜橙油具有清新的气味及特殊功效<sup>[14]</sup>。通过淀粉与甜橙油复配以期开拓甜橙油在水产品中的应用,并充分利用两者特有优势。本研究以冷冻白鲢鱼鱼糜为原料,主要分析天然马铃薯淀粉与甜橙油复配对鱼糜制品的凝胶特性(如硬度、凝胶强度、持水性等)以及感官特性(如气味、滋味、感官评分等)的影响,旨在研发兼具良好凝胶特性与诱人感官风味的高品质鱼糜制品,以及为甜橙油在食品行业中的应用提供参考。

收稿日期: 2022-05-26

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项  
(2018YFD0901003)

第一作者: 卢彦轩,女,硕士

通信作者: 杨宏 E-mail: yangh@mail.hzau.edu.cn

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

冷冻白鲢鱼鱼糜(AA 级),洪湖市新宏业食品

有限公司;巴西甜橙油(食品级),江苏泮泽土畜产品有限公司;天然马铃薯淀粉,宁夏自治区雪冠淀粉公司;食盐,市售; $\beta$ -巯基乙醇、乙二胺四乙酸(EDTA)、十二烷基磺酸钠(SDS)均为分析纯级,上海国药集团化学试剂有限公司。

## 1.2 仪器与设备

Avanti J-E 高速离心机,美国 Beckman Colter 公司;CR-400 色差仪,日本柯尼卡-美能达公司;TA-XT Plus 物性测试仪,美国 Stable Micro System 公司;FOX 4000 电子鼻,法国 AlphaM.O.S 公司;TS-5000Z 电子舌,日本 Insent 公司。

## 1.3 试验方法

1.3.1 鱼糜凝胶样品的制备 将冷冻鱼糜在 4℃放置 12 h,称取 200 g 大小均匀的小块状鱼糜,放入料理机中先进行 1 min 空斩,再加入 2.5%食盐(按鱼糜质量计算)进行 2 min 斩拌。分别将 0, 0.2, 0.4 mL/100 g 和 0.6 mL/100 g SO(按鱼糜质量计算)与 8% PS(按鱼糜质量计算)置于 50 mL 蒸馏水中,使用电动搅拌器(800 r/min)室温搅拌 15 min,使两者混合均匀后,迅速将其混入鱼糜糊中,在料理机中继续斩拌 3 min,总水分含量控制为 80%。经过灌肠、排气泡与两端封口等操作后进行 2 段式水浴加热(先 40℃加热 60 min,后 90℃加热 30 min),样品分别命名为对照、0.2 mL/100 g SO+PS、0.4 mL/100 g SO+PS、0.6 mL/100 g SO+PS。

1.3.2 凝胶强度与 TPA 的测定 参考刘钰琪等<sup>[15]</sup>的方法并稍作修改,在室温条件下将鱼糜制品静置 30 min,并切成表面平整且高度一致的圆柱状样品待测,选用 TA-XT Plus 物性测试仪进行测定,凝胶强度测定参数:选取匹配的 P/0.25s 探头,以 15 mm 的穿刺距离和 5.0 g 的触发力进行穿刺测试,测前以 5 mm/s 的速度进行,测试中与测试后的速度均设置为 1 mm/s;TPA 参数设置:用 P/36R 探头,选择 TPA 模式分析鱼糜制品的质构特性如硬度、弹性、咀嚼度等指标,以 5.0 g 的触发力,40%的压缩比进行测试,速度参数设置与穿刺测试的一致。

1.3.3 鱼糜制品持水性的测定 参考 Sun 等<sup>[16]</sup>的方法并作修改,将鱼糜制品切为大小均匀的圆片状,精确称其质量  $W_1$ (g),用两片滤纸将样品完

全包裹并迅速放置于离心管底部,离心(3 000×g, 4℃, 15 min),准确记录离心后样品的质量  $W_2$ (g),鱼糜制品持水性的计算公式为(1):

$$\text{持水性}(\%) = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

1.3.4 鱼糜凝胶化学作用力的测定 参考陈媚依<sup>[17]</sup>的方法并稍作修改,准确称取 2.0 g 鱼糜样品,分别加入 10 mL 的 SA (0.05 mol/L NaCl), SB (0.6 mol/L NaCl), SC (将 0.6 mol/L NaCl 与 1.5 mol/L 尿素混合), SD (将 0.6 mol/L NaCl 与 8.0 mol/L 尿素混合),均质并于 4℃条件下放置 1 h 后,进行离心(8 000×g, 4℃, 15 min),用不同溶液之间可溶性蛋白的浓度差值表示氢键、离子键及疏水相互作用含量。计算公式见(2)~(4):

$$\text{离子键含量}(\text{mg/mL}) = \text{SB} - \text{SA} \quad (2)$$

$$\text{氢键含量}(\text{mg/mL}) = \text{SC} - \text{SB} \quad (3)$$

$$\text{疏水相互作用含量}(\text{mg/mL}) = \text{SD} - \text{SC} \quad (4)$$

总巯基、游离巯基的测定<sup>[17]</sup>,准确称取 2.0 g 鱼糜凝胶,溶于 20 mL 缓冲液 1 中,均质,离心后测定上清液的蛋白浓度;游离巯基(SHF)的测定:取 4 mL 上清液,加入 200  $\mu$ L Ellman 试剂后置于室温条件下反应 1 h,立即测定波长 412 nm 处的吸光度;总巯基(SHT)的测定:将 8 mL 缓冲液 2 加入至 2 mL 蛋白上清液中,经 1 h 水浴后,加入 10 mL 12%三氯乙酸溶液后继续于 4℃静置 1 h,舍去上清液并加入 12%三氯乙酸溶液对沉淀进行漂洗,将此操作重复 3 次,最后加入 20 mL 缓冲液 1 使收集的沉淀溶解完全,经过均质与离心后按游离巯基的测定方法测定上清液在波长 412 nm 处的吸光度。计算公式见(5)~(6):

$$\text{SH}(\mu\text{mol/g 蛋白}) = 10^6 \times A_{412\text{nm}} \times n / (13600 \times C) \quad (5)$$

$$\text{S-S}(\mu\text{mol/g 蛋白}) = (\text{SH}_T - \text{SH}_F) / 2 \quad (6)$$

式中,  $C$ ——蛋白质量浓度, mg/mL;  $A_{412\text{nm}}$ ——波长 412 nm 处的吸光值;  $n$ ——稀释倍数; 13 600——摩尔消光系数, L/(mol·cm)。

1.3.5 鱼糜制品白度的测定 先将鱼糜样品置于室温条件下平衡 1 h,然后剥去鱼糜制品的肠衣切成厚度为 10 mm 的均匀薄片,用色差仪测定样品的  $L^*$ (亮度)、 $a^*$ (红绿)、 $b^*$ (黄蓝)值。白度值  $W$  (Whiteness)的计算按公式见(7):

$$W = \sqrt{100 - (100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (7)$$

1.3.6 电子鼻检测 参考杨娇等<sup>[5]</sup>方法并略作修改,称量大小均匀的小块状鱼糜样品 2.0 g,立即放入顶空瓶底部。顶空产生温度与时间分别设置为 50 ℃、120 s,以 500 r/min 的速度进行搅动,顶空注射体积设为 1.5 mL 以 1.5 mL/s 速率的进行注射,并将进样针温度设为 60 ℃,载气流速 150 mL/min,获取时间与获取延滞时间分别为 120,300 s。

1.3.7 电子舌检测 将 15.0 g 鱼糜制品与 100 mL 去离子水加入 250 mL 烧杯中,通过均质制得鱼糜水匀浆,并将其在室温下放置 30 min,然后将

上清液进行过滤,将所收集滤液用于电子舌检测。电子舌的数据采集间隔为和采集时间分别设置为 1,120 s,采用信号稳定(在第 120 秒)时的传感器响应值进行分析。

1.3.8 感官评分 将样品切成 5 mm 厚的薄片进行编号,由具有食品专业背景且熟悉鱼糜产品的 10 名感官评价人员(年龄在 20 至 32 岁之间)对鱼糜凝胶的色泽、气味、滋味、质地进行评分。表 1 为感官评分标准,总分由色泽评分(20%)、气味评分(25%)、滋味评分(25%)与质地评分(30%)加权计算得出。

表 1 鱼糜凝胶感官评分表

Table 1 Criteria for sensory evaluation of surimi gel

评价指标	权重	评价标准	分值
色泽	0.2	色泽均匀且白	9~10
		色泽均匀,较白或淡黄色	6~8
		色泽均匀,偏黄	3~5
		色泽不均匀,暗淡有杂色	0~2
气味	0.25	无鱼腥味,甜橙油香味与鱼肉融合自然,气味怡人	9~10
		有少许或几乎无鱼腥味,甜橙油香味适宜,无异味	6~8
		鱼腥味或甜橙油气味较明显,有轻微异味	3~5
		鱼腥味或甜橙油气味很重,有明显异味	0~2
滋味	0.25	鱼滋味鲜美,咸淡适宜,回味甘甜,余味浓郁	9~10
		具有鱼肉鲜味,咸淡适宜,回味甘甜适中	6~8
		鱼肉味较重或较淡,具有轻微苦味和酸味	3~5
		鱼肉味过重或几乎无鱼肉鲜味,苦味和酸味较重	0~2
质地	0.30	组织紧密,硬度适中;弹性好,中指力压不破裂放手后恢复原样	9~10
		组织紧密,硬度适中;弹性较好,中指力压不破裂放手后复原 2/3	6~8

#### 1.4 数据统计与分析

数据以平均值±标准差表示,采用 Microsoft Excel 2019 及 SPSS Statistics 20 软件进行数据统计、ANOVA 单因素方差分析与 Duncan 显著性检验, $P < 0.05$  表示差异显著,通过 Past 326b 软件对数据进行主成分分析,绘图软件为 Origin 9.0。

## 2 结果与分析

### 2.1 甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜制品凝胶强度的影响

凝胶强度是评价鱼糜凝胶品质优劣的关键指标<sup>[18]</sup>。从表 2 可知,甜橙油与马铃薯淀粉复配后鱼

糜凝胶凹陷深度的变化不大。随甜橙油添加量的增加,破断强度与凝胶强度也随之上升,两者均在 0.4 mL/100 g SO+PS 处达到最大值分别为 579.127 g、5673.195 g·mm,比对照组分别增加了 9.94%、13.64%。然而,甜橙油含量进一步增加至 0.6 mL/100 g 时,破断强度与凝胶强度则有所下降。甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜凝胶强度有一定的改善效果,两者可能存在一定的协同增效作用,这可能与甜橙油中萜烯双键等抗氧化活性物质对淀粉聚集行为及蛋白网络结构的影响有关。Wang 等<sup>[19]</sup>报道具有抗氧化活性的小分子物质芦丁可以通过氢键或疏水相互作用与溶胀淀粉颗

粒释放的直链淀粉作用,从而增强淀粉糊的聚集,提高凝胶形成能力;Chen等<sup>[20]</sup>发现丁香提取物中的自由基清除剂可减少肌原纤维蛋白的氧化损

伤,有利于蛋白交联形成高弹性凝胶,从而提高蛋白凝胶强度。

表2 甜橙油和马铃薯淀粉复配对鱼糜凝胶强度的影响

Table 2 Effect of sweet orange oil and potato starch on gel strength of surimi gel

组别	破断强度/g	凹陷深度/mm	凝胶强度/g·mm
对照	526.777 ± 8.183 <sup>c</sup>	9.477 ± 0.170 <sup>b</sup>	4 992.187 ± 123.956 <sup>d</sup>
0.2 mL/100 g SO+PS	537.193 ± 7.053 <sup>c</sup>	9.583 ± 0.035 <sup>ab</sup>	5 147.945 ± 49.936 <sup>c</sup>
0.4 mL/100 g SO+PS	579.127 ± 4.959 <sup>a</sup>	9.797 ± 0.116 <sup>a</sup>	5 673.195 ± 38.631 <sup>a</sup>
0.6 mL/100 g SO+PS	554.327 ± 5.114 <sup>b</sup>	9.613 ± 0.122 <sup>ab</sup>	5 328.852 ± 76.154 <sup>b</sup>

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.2 甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜凝胶质构特性的影响

TPA测试可以更好地模拟舌头和牙齿对凝胶的作用<sup>[21]</sup>。从表3可知,所有样品均有约0.9的高弹性值,内聚性均在0.7附近且变化幅度较少,这表明甜橙油与马铃薯淀粉复配后鱼糜凝胶仍能较大程度恢复至原始高度,同时,鱼糜蛋白仍保持较高的结合程度及较好的网络结构。

硬度表示压缩样品至给定形变所需的力,咀嚼度是硬度值的补充参数<sup>[22]</sup>,由表3可见,添加马铃薯淀粉与甜橙油淀粉复合物后鱼糜凝胶的硬度和咀嚼度均显著增加( $P < 0.05$ )。0.4 mL/100 g

SO+PS处理组具有最高的硬度与咀嚼度。甜橙油含有的萜烯类抗氧化活性成分,可能诱导蛋白溶解变性并暴露活性基团,加固空间网络结构。Buamard等<sup>[23]</sup>研究发现在鱼糜中加入具有抗氧化活性的椰壳提取物可促进鱼糜蛋白氢键打开暴露更多的疏水基团,形成结构更加紧密的凝胶使鱼糜凝胶的硬度增加。0.6 mL SO+PS的硬度和咀嚼度下降,甜橙油较多时可能阻碍了淀粉与水的有效接触,对淀粉基质的黏度产生影响。Kong等<sup>[24]</sup>研究发现添加低温低黏度和高温高黏度的交联羟丙基木薯淀粉能提高凝胶强度和硬度,含淀粉的鱼糜凝胶特性与淀粉黏度有关。

表3 甜橙油和马铃薯淀粉复配对鱼糜凝胶质构特性的影响

Table 3 Effect of sweet orange oil and potato starch on textural profile analysis of surimi gel

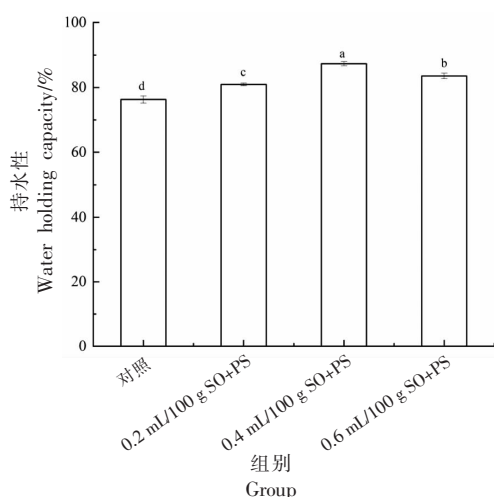
组别	硬度/g	弹性	内聚性	咀嚼度/g
对照	3 291.099 ± 73.768 <sup>c</sup>	0.927 ± 0.0111 <sup>a</sup>	0.722 ± 0.008 <sup>b</sup>	1 409.864 ± 13.334 <sup>c</sup>
0.2 mL/100 g SO+PS	3 384.819 ± 20.381 <sup>c</sup>	0.932 ± 0.011 <sup>a</sup>	0.720 ± 0.009 <sup>b</sup>	1 464.316 ± 25.229 <sup>b</sup>
0.4 mL/100 g SO+PS	3 853.090 ± 145.69 <sup>a</sup>	0.936 ± 0.011 <sup>a</sup>	0.746 ± 0.003 <sup>a</sup>	1 713.670 ± 23.568 <sup>a</sup>
0.6 mL/100 g SO+PS	3 564.077 ± 68.97 <sup>b</sup>	0.925 ± 0.010 <sup>a</sup>	0.738 ± 0.005 <sup>a</sup>	1 517.003 ± 43.195 <sup>b</sup>

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.3 甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜制品持水性的影响

鱼糜制品的持水性越强,其对水分子的束缚能力越强,内部结构更稳定<sup>[13]</sup>。图1显示了各样品中鱼糜凝胶持水性的变化。持水性随着甜橙油含量的增大而先逐渐上升后下降,0.4 mL/100 g SO+PS组的持水性最高,从76.301%提高到87.328%,一定量的甜橙油与淀粉复配可能形成更紧密的网络结构使凝胶基质中截留更多的水,从而增强鱼

糜凝胶的持水性。而0.6 mL/100 g SO+PS的持水性降低至83.564%( $P < 0.05$ ),甜橙油过多时,甜橙油中的萜烯类化合物及部分高级醇、醛、酮类物质可能干扰溶胀浸出的淀粉直链分子与水分的结合,降低淀粉吸水溶胀能力使得基质内的水不能被牢固包裹在凝胶网络结构中。直链淀粉分子被证明其螺旋空腔可通过氢键、疏水、偶极和电荷相互作用等与薄荷酮、癸醛、香叶醇等风味分子缠结<sup>[25]</sup>。Liu等<sup>[26]</sup>发现马铃薯淀粉浸出的直链淀粉通



注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

图 1 甜橙油和马铃薯淀粉复配对鱼糜制品持水性的影响

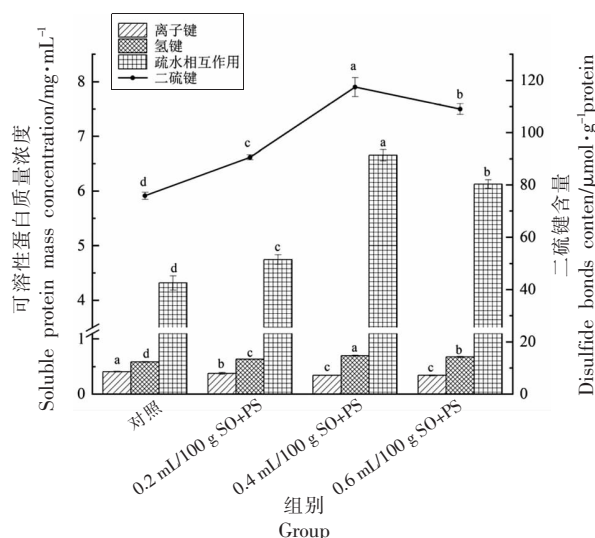
Fig.1 Effect of sweet orange oil and potato starch on water holding capacity of surimi gel

过氢键或链缠结与无花果多糖结合,抑制了淀粉的吸水溶胀能力。

#### 2.4 甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜凝胶化学作用力的影响

鱼糜凝胶体系中的网络结构主要通过蛋白质分子内部和分子间的相互作用来维持,如离子键、氢键、疏水相互作用和共价键等<sup>[27]</sup>。由图 2 可知,经甜橙油与淀粉复配后离子键含量降低,氢键含量增加。Zhou 等<sup>[28]</sup>的报告显示油的存在会改变鱼糜蛋白的微环境和分子结构,影响氢键、离子键等化学作用力进而影响鱼糜凝胶的理化性质。

从图 2 可以看出疏水相互作用的含量远高于离子键、氢键的含量,疏水相互作用对鱼糜蛋白凝胶结构的形成发挥着关键性作用<sup>[29]</sup>,而二硫键则是鱼糜蛋白质形成凝胶过程中重要的共价键<sup>[27]</sup>。由图 2 可知,疏水相互作用与二硫键均先增加后减少,甜橙油与马铃薯淀粉复配能更有效的促进疏水相互作用与二硫键形成,且在 0.4 mL/100 g SO+PS 中含量最高,两者含量分别为 6.655 mg/mL、117.493  $\mu\text{mol/g}$  蛋白。甜橙油与淀粉可能存在一定的协同促进作用,可能是甜橙油中萜烯类化合物的双键活性基团、或因醛酮类物质加热产生的醌类物质与淀粉进一步诱导蛋白溶解变性,改变蛋白质周围的水状态,使鱼糜蛋白结构更加伸



注:不同小写字母表示不同处理组间差异显著( $P < 0.05$ )。

图 2 甜橙油和马铃薯淀粉复配对鱼糜制品离子键、氢键和疏水相互作用及二硫键含量的影响

Fig.2 Effect of sweet orange oil and potato starch on ionic bonds, hydrogen bonds, hydrophobic interactions and disulfide bonds of surimi gel

展并导致疏水性基团、活性巯基等进一步暴露,有助于升温过程中氧化形成更多的二硫键。Vate 等<sup>[30]</sup>研究发现酶与单宁酸作用形成的醌类物质可导致沙丁鱼蛋白质构象的变化并能直接与巯基作用促进二硫键的形成,加强蛋白交联作用。

#### 2.5 甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜制品白度的影响

白度与鱼糜凝胶内部结构及表面的光学特性紧密相关,是影响消费者喜好程度的重要指标<sup>[31]</sup>。有研究发现添加马铃薯淀粉后会使鱼糜凝胶色泽变差,这是因为淀粉颗粒吸水膨胀后透明度增大,使通过的光线发生折射,导致鱼糜凝胶白度降低<sup>[22]</sup>。由表 4 可知,与单一添加马铃薯淀粉相比,添加甜橙油后提高了鱼糜制品的色泽,0.4 mL/100 g SO+PS 白度值最大为 75.362,这可能是由于一定量的甜橙油产生更多的表面光散射效应。宋春勇等<sup>[32]</sup>研究发现大豆油悬于鱼糜凝胶表面,产生的光散射可使白度增加。甜橙油呈黄色透明状,当添加量大于 0.4 mL/100 g 时, $L^*$ 、 $W$  逐渐下降, $a^*$  值下降, $b^*$  值上升,表明鱼糜凝胶的色泽随甜橙油添加量增加而逐渐偏向黄绿色,白度降低。

表4 添加甜橙油和马铃薯淀粉复配对鱼糜制品白度的影响

Table 4 Effect of sweet orange oil and potato starch on whiteness of surimi gel

组别	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$W$
对照	$72.817 \pm 0.586^c$	$-0.750 \pm 0.030^a$	$3.347 \pm 0.081^d$	$72.601 \pm 0.590^c$
0.2 mL/100g SO+PS	$74.060 \pm 0.861^b$	$-1.213 \pm 0.090^b$	$4.490 \pm 0.177^c$	$73.646 \pm 0.877^b$
0.4 mL/100g SO+PS	$75.880 \pm 0.122^a$	$-1.447 \pm 0.042^c$	$4.807 \pm 0.248^b$	$75.362 \pm 0.137^a$
0.6 mL/100g SO+PS	$71.933 \pm 0.060^d$	$-1.867 \pm 0.085^d$	$5.310 \pm 0.092^a$	$71.374 \pm 0.052^d$

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.6 电子鼻分析甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜制品气味特性的影响

鱼糜制品的气味特征是消费者选购产品的重要评判因素之一<sup>[33]</sup>。对电子鼻结果进行PCA分析,结果如图3所示。由图3可知,PC1和PC2的总贡献率大于95%,因此PC1与PC2能很好地反映原始数据<sup>[5]</sup>。对照组与含甜橙油处理组的空间距离较远,0.2 mL/100 g SO+PS、0.4 mL/100 g SO+PS间气味特性更接近而与0.6 mL/100 g SO+PS差距较大,不同添加量甜橙油与马铃薯淀粉复配制得的鱼糜凝胶样品可以通过PCA分析较好地分开。

图4为电子鼻传感器对不同样品响应值变化

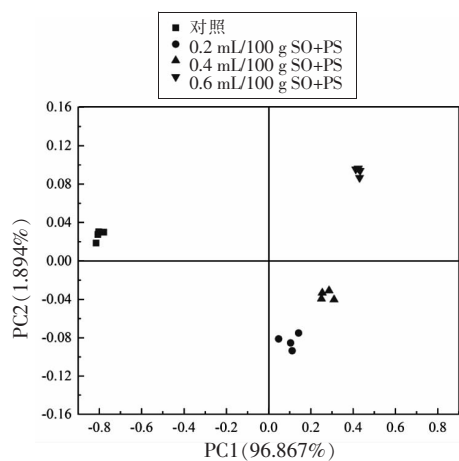


图3 甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜制品的电子鼻响应信号PCA分析

Fig.3 PCA analysis of electronic nose responses to surimi gel with sweet orange oil and potato starch

## 2.7 电子舌分析甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜凝胶滋味特性的影响

电子舌通过模拟生物活体的味觉感受机理,实现对5种基本味(酸、甜、苦、咸、鲜)的评价<sup>[34]</sup>。鱼糜凝胶滋味响应值的PCA分析如图5所示,第

1和第2主成分方差贡献率之和为96.354%。由图5可知,添加了甜橙油的处理组均与对照组距离较远,说明在鱼糜凝胶制备过程中甜橙油与马铃薯淀粉复配,使滋味特征发生改变。0.2 mL/100 g SO+PS、0.4 mL/100 g SO+PS两组之间分布相对集的雷达图。见图4,LY型传感器虽对鱼糜制品的响应值较低,但能有效地将对照组和添加了甜橙油的处理组区分开( $P < 0.05$ ),而经甜橙油与马铃薯淀粉复配的鱼糜制品在P、T型两种传感器的响应值均随甜橙油添加量增加而增大,响应值最大的5个传感器由大到小依次为P30/1(氨基、醇类)、T30/1(极性有机化合物)、T70/2(芳香苯环类)、PA/2(酮类、醇类)、TA/2(醇类),添加甜橙油后鱼糜制品的气味特征轮廓发生了改变,Li等<sup>[7]</sup>曾报道马鞭草精油可抑制假单胞菌等微生物的生长并减少了大黄鱼中己醛、辛醛等腥味物质的产生并因自身独特的气味而改变鱼肉气味。

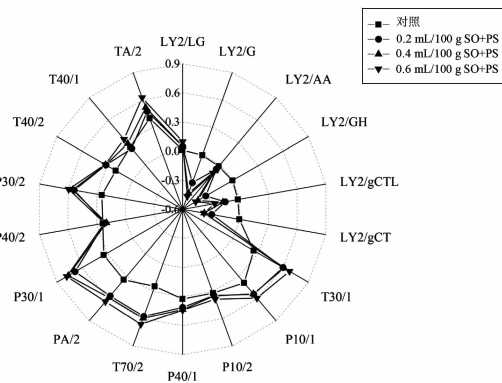


图4 甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜制品的电子鼻响应信号雷达图

Fig.4 Radar diagram of electronic nose responses to surimi gel with sweet orange oil and potato starch

1和第2主成分方差贡献率之和为96.354%。由图5可知,添加了甜橙油的处理组均与对照组距离较远,说明在鱼糜凝胶制备过程中甜橙油与马铃薯淀粉复配,使滋味特征发生改变。0.2 mL/100 g SO+PS、0.4 mL/100 g SO+PS两组之间分布相对集

中,而与 0.6 mL/100 g SO+PS 距离较远,甜橙油添加量越大差异越明显。

电子舌滋味响应值雷达图见图 6,不同添加量甜橙油与马铃薯淀粉复配的鱼糜凝胶滋味轮廓虽相似,但其响应值存在显著差异( $P < 0.05$ ),表明添加甜橙油后鱼糜凝胶主体滋味特征并未丢失,样品间滋味特性存在差异。由图 6 可知,0.2

mL/100 g SO+PS、0.4 mL/100 g SO+PS 及 0.6 mL/100 g SO+PS 的变化趋势一致,且随着甜橙油浓度增加变化程度增大,而 0.6 mL/100 g SO+PS 的苦味值略有增加。因此,甜橙油在一定范围内可增加复配凝胶样品的甜、咸味,有助于降低酸味且不破坏鲜味,然而甜橙油添加量过大可能带来一定的苦味。

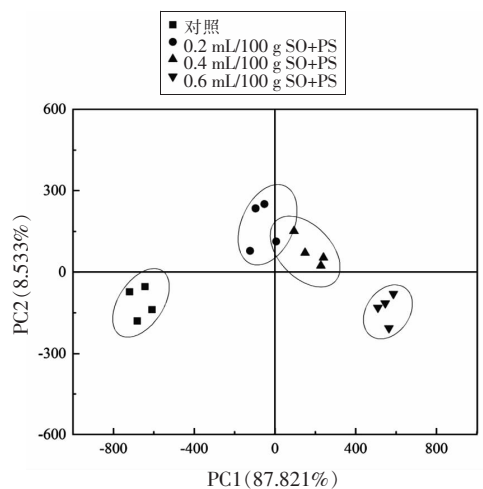


图 5 甜橙油与马铃薯淀粉复配鱼糜制品的电子舌响应信号 PCA 分析

Fig.5 PCA analysis of electronic tongue responses to surimi gel with sweet orange oil and potato starch

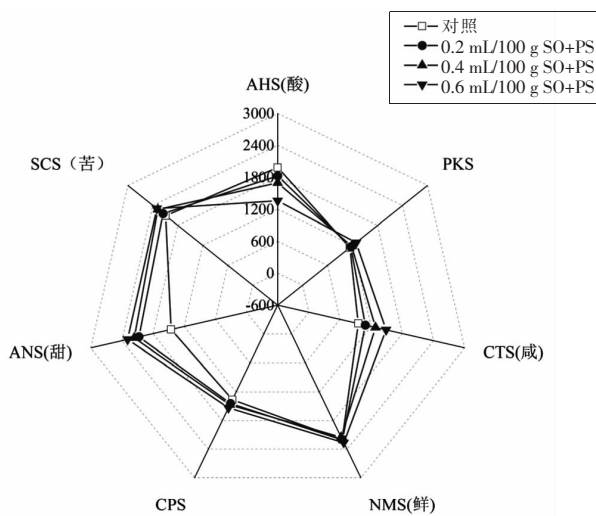


图 6 甜橙油与马铃薯淀粉复配鱼糜制品的电子舌响应信号雷达图

Fig.6 Radar diagram of electronic tongue responses to surimi gel with sweet orange oil and potato starch

### 2.8 甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜凝胶感官评分的影响

感官评价是以人的感知来评定食品,是评判鱼糜制品品质可接受性最直观的方法<sup>[35]</sup>。由表 5 可知,添加甜橙油使鱼糜制品的色泽评分有明显的提高 ( $P < 0.05$ ),0.4 mL/100 g SO+PS 色泽评分最高,而 0.6 mL/100 g SO+PS 的色泽评分则比对照组降低了 0.7。含甜橙油的样品中气味、滋味及质地评分均显著提高( $P < 0.05$ )。其中,0.4 mL/100

g SO+PS 的质地评分最高为 8.500,同时气味、滋味评分也较高。甜橙油对鱼糜凝胶气味、滋味有一定的改善作用,喜好度提高,这可能是因为甜橙油中丰富的烯烴类、醇类、酮类等气味物质对鱼糜异味的掩藏或新化合物的引入使鱼糜产生了新的风味,具体的原因仍需要不断深入研究。甜橙油添加量为 0.4 mL/100 g 时总分最高,可提高整体可接受度且鱼糜凝胶综合品质最好。

表 5 甜橙油和马铃薯淀粉复配对鱼糜制品感官评价结果的影响

Table 5 Effect of sweet orange oil and potato starch on sensory evaluation results of surimi gel

组别	色泽	气味	滋味	质地	总分
对照	7.200 ± 0.789 <sup>c</sup>	5.100 ± 0.568 <sup>c</sup>	6.100 ± 0.738 <sup>c</sup>	5.800 ± 0.632 <sup>c</sup>	5.980 ± 0.350 <sup>d</sup>
0.2 mL/100 g SO+PS	7.900 ± 0.738 <sup>b</sup>	7.100 ± 0.876 <sup>b</sup>	7.100 ± 0.730 <sup>b</sup>	6.000 ± 0.667 <sup>c</sup>	6.930 ± 0.259 <sup>b</sup>
0.4 mL/100 g SO+PS	9.050 ± 0.685 <sup>a</sup>	8.700 ± 0.949 <sup>a</sup>	8.000 ± 1.247 <sup>a</sup>	8.500 ± 0.527 <sup>a</sup>	8.535 ± 0.388 <sup>a</sup>
0.6 mL/100 g SO+PS	6.500 ± 0.527 <sup>d</sup>	8.200 ± 0.789 <sup>a</sup>	7.300 ± 0.483 <sup>ab</sup>	7.450 ± 0.497 <sup>b</sup>	7.410 ± 0.423 <sup>b</sup>

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

### 3 结论

甜橙油促进了马铃薯淀粉在鱼糜凝胶中的填充剂性能,两者复配可增加疏水相互作用与二硫键含量,增强鱼糜制品的凝胶强度、硬度、内聚性及咀嚼度,并提升持水性,从而改善鱼糜制品的凝胶特性,其中0.4 mL/100 g SO+PS组具有最优的凝胶性能与白度。在感官特性方面,通过电子鼻、电子舌技术分析表明甜橙油与马铃薯淀粉复配对鱼糜凝胶的气味、滋味特性有显著影响。当甜橙油添加量为0.4 mL/100 g时可有效降低酸味,增加甜味、咸味且不破坏鲜味。感官评价中0.4 mL/100 g SO+PS组的气味、滋味评分最高,整体可接受性好。综上,0.4 mL/100 g的甜橙油与马铃薯淀粉复配可提高鱼糜制品综合品质。

### 参 考 文 献

- [1] 马海建, 施文正, 付强, 等. 漂洗过程中白鲢鱼糜风味物质变化的分析[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 354-360.  
MA H J, SHI W Z, FU Q, et al. Changes in flavor compounds of silver carp surimi during rinsing [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(7): 354-360.
- [2] CAMPO L, TOVAR C. Influence of the starch content in the viscoelastic properties of surimi gels[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84(1): 140-147.
- [3] NODA T, TAKIGAWA S, MATSUURA-ENDO C, et al. Physicochemical properties and amylopectin structures of large, small, and extremely small potato starch granules [J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 60(2): 245-251.
- [4] LIU H M, NIE Y N, CHEN H X. Effect of different starches on colors and textural properties of surimi-starch gels[J]. International Journal of Food Properties, 2014, 17(7): 1439-1448.
- [5] 杨姣, 安玥琦, 陈雨欣, 等. 鱼糜制品加热过程中过熟味的特征风味成分解析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(8): 265-280.  
YANG J, AN Y Q, CHEN Y X, et al. Characterization of odorant components in surimi products with warmed-over flavor during the heating process [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(8): 265-280.
- [6] POURMOLLAEI F, NOURI S S, JAFARPOUR A, et al. The preservative effects of marjoram (*Origanum majorana* L.) and zataria (*Zataria multiflora*) essential oils on common carp (*Cyprinus carpio*) surimi quality during frozen storage [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2021, 30(6): 763-773.
- [7] LI B, WANG X S, GAO X, et al. Shelf-life extension of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) using active coatings containing lemon verbena (*Lippa citriodora* kunth.) essential oil [J]. Frontiers in Nutrition, 2021, 8: 678643.
- [8] 孔洪云. 紫苏叶及其提取物对油炸鱼糜制品在加工和贮藏过程中品质的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.  
KONG H Y. Effect of *Perilla frutescens* leaf and its extract on quality changes of fried surimi-based food during processing and cold storage [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [9] 周先艳, 沈正松, 龚琪, 等. 甜橙加工综合利用研究进展[J]. 中国酿造, 2015, 34(2): 13-17.  
ZHOU X Y, SHEN Z S, GONG Q, et al. Research progress on processing and comprehensive utilization of sweet orange [J]. China Brewing, 2015, 34(2): 13-17.
- [10] 陈红丽. 柑橘精油的提取与杀菌、杀虫活性研究[D]. 赣州: 赣南师范大学, 2017.  
CHEN H L. Extraction, antimicrobial and insecticidal activities of citrus essential oil [D]. Gannan: Gannan Normal University, 2017.
- [11] 任文博. 柑橘内源活性成分(果胶、精油、黄酮)组装体系的构建与性能研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.  
REN W B. Construction and properties of assembly system based on citrus endogenous active components (pectin, citrus oil, flavonoid) [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural, 2020.
- [12] GONZÁLEZ-MAS M C, RAMBLA J L, LÓPEZ-GRESA M P, et al. Volatile compounds in citrus essential oils: A comprehensive review [J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 12.
- [13] MI H B, LI Y, WANG C, et al. The interaction of starch-gums and their effect on gel properties and protein conformation of silver carp surimi [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 112(8): 106290.



- [14] 郝婧玮, 索莲宦, 杨斯棋, 等. 橘皮与橙皮精油抑菌、抗氧化、抗肿瘤活性研究[J]. 中医学报, 2019, 47(4): 37-41.  
HAO J W, SUO L H, YANG S Q, et al. Effects of mandarin orange peel oil and orange peel oil on bacteriostasis, antioxidant activity and antitumor activity[J]. Acta Chinese Medicine and Pharmacology, 2019, 47(4): 37-41.
- [15] 刘钰琪, 陈澄, 陈周, 等. 酵母提取物对鱼糜凝胶品质的影响[J]. 肉类研究, 2019, 33(5): 1-6.  
LIU Y Q, CHEN C, CHEN Z, et al. Effect of yeast extract on properties of surimi gel[J]. Meat Research, 2019, 33(5): 1-6.
- [16] SUN F Y, HUANG Q L, HU T, et al. Effects and mechanism of modified starches on the gel properties of myofibrillar protein from grass carp[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 64: 17-24.
- [17] 陈媚依. 鹧鸪茶提取物对鱼糜制品凝胶特性及保藏品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.  
CHEN M Y. Effects of the mallotus obongifolius extract on gelation properties and preservation quality of surimi-based products[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020.
- [18] 王聪. 淀粉和亲水胶体对白鲢鱼鱼糜凝胶特性的增效作用研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2019.  
WANG C. Synergistic effect of starch and hydrocolloid on gel properties of silver carp surimi [D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.
- [19] WANG L B, WANG L J, LI Z G, et al. Diverse effects of rutin and quercetin on the pasting, rheological and structural properties of Tartary buckwheat starch[J]. Food Chemistry, 2021, 335: 127556.
- [20] CHEN H S, DIAO J J, LI Y Y, et al. The effectiveness of clove extracts in the inhibition of hydroxyl radical oxidation-induced structural and rheological changes in porcine myofibrillar protein[J]. Meat Science, 2016, 111 (2016): 60-66.
- [21] HUANG T, TU Z C, WANG H, et al. Pectin and enzyme complex modified fish scales gelatin: Rheological behavior, gel properties and nanostructure[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 156: 294-302.
- [22] LUO H B, GUO C X, LIN L, et al. Combined use of rheology,  $^1\text{F-NMR}$  and MRI for characterizing the gel properties of hairtail surimi with potato starch[J]. Food and Bioprocess Technology, 2020, 13: 637-647.
- [23] BUAMARD N, BENJAKUI S. Improvement of gel properties of sardine (*Sardinella albelli*) surimi using coconut husk extracts [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 51: 146-155.
- [24] KONG W J, ZHANG T, FENG D D, et al. Effects of modified starches on the gel properties of Alaska Pollock surimi subjected to different temperature treatments[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 56: 20-28.
- [25] 冯涛, 胡中山, 游雪燕, 等. 直链淀粉分子螺旋对风味化合物包埋的研究进展[J]. 食品科技, 2020, 45(2): 278-284.  
FENG T, HU Z S, YOU X Y, et al. Research progress on entrapment of flavor compounds by amylose molecular spira[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(2): 278-284.
- [26] LIU C M, ZHANG H B, CHEN R Y, et al. Effects of creeping fig seed polysaccharide on pasting, rheological, textural properties and *in vitro* digestibility of potato starch [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 118: 106810.
- [27] LI T F, ZHAO J X, HUANG J, et al. Improvement of the quality of surimi products with overdrying potato starches [J]. Journal of Food Quality, 2017, 2017: 1417856.
- [28] ZHOU X X, JIANG S, ZHAO D D, et al. Changes in physicochemical properties and protein structure of surimi enhanced with camellia tea oil[J]. LWT, 2017, 84: 562-571.
- [29] 米红波, 王聪, 苏情, 等. 变性淀粉对白鲢鱼鱼糜凝胶特性和蛋白构象的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(1): 72-80.  
MI H B, WANG C, SU Q, et al. Effect of modified starch on gel properties and protein conformation of surimi from silver carp[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21 (1): 72-80.
- [30] VATE N K, BENJAKUL S. Combined effect of squid ink tyrosinase and tannic acid on heat induced aggregation of natural actomyosin from sardine [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 56: 62-70.
- [31] ALIPOUR H J, REZAEI M, SHABANPOUR B, et al. Effects of sulfated polysaccharides from green alga *Ulva intestinalis* on physicochemical properties and microstructure of silver carp surimi[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 74: 87-96.

- [32] 宋春勇, 洪鹏志, 周春霞, 等. 大豆油和预乳化大豆油对金线鱼鱼糜凝胶品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(8): 90-97.  
SONG C Y, HONG P Z, ZHOU C X, et al. Effect of soybean oil and pre-emulsified soybean oil on the quality of nemipterus virgatus surimi gel [J]. Food Science, 2021, 42(8): 90-97.
- [33] 仪淑敏, 倪雪, 李强, 等. 洋葱、生姜和大蒜对鲢鱼鱼丸挥发性风味成分的影响[J]. 渤海大学学报(自然科学版), 2020, 41(3): 193-201.  
YI S M, NI X, LI Q, et al. Effect of onion, ginger and garlic on volatile flavor components of silver carp fish-ball[J]. Journal of Bohai University (Natural Science Edition), 2020, 41(3): 193-201.
- [34] 陈桂平. 草鱼低温贮藏期间质构及风味物质变化研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.  
CHEN G P. Study on changes of texture and flavor compounds in grass carp during low temperature storage[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.
- [35] 尚坤, 陈金玉, 张坤生, 等. 鸡胸肉冻藏温度下的理化和感官特性变化研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(1): 1-6.  
SHANG K, CHEN J Y, ZHANG K S, et al. Study on the changes of physicochemical and sensory properties of chicken breast at frozen storage temperatures [J]. Food Research and Development, 2019, 40(1): 1-6.

### The Effect of Orange Oil and Potato Starch on the Quality of Surimi Gel Product

Lu Yanxuan, Wang Yudong, Zhuang Yang, Yan Hao, Zhong Wu, Yang Hong\*  
(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

**Abstract** In order to study the effect of sweet orange oil and potato starch on the quality of surimi gel. 0, 0.2, 0.4, 0.6 mL/100 g sweet orange oil (calculated by increasing the quality of surimi) and potato starch were added to the surimi to make surimi gel. The gel strength, texture properties, water holding capacity, chromaticity, and chemical force were analyzed, and the sensory quality was studied by electronic nose, electronic tongue and sensory evaluation. The results showed that 0.4 mL/100 g orange oil and potato starch were added to surimi, surimi gel had the best gel strength, water holding capacity and the highest whiteness value. The gel characteristics were second, when the amount of sweet orange oil was 0.6 mL/100 g. Potato starch mixed with sweet orange oil making a significant effect on the odor and taste of surimi gel ( $P < 0.05$ ), also it can reduce sourness and increase sweetness. In summary, the combination of 0.4 mL/100 g sweet orange oil with potato starch can improve the quality of surimi gel comprehensively and acquire the good acceptability.

**Keywords** sweet orange oil; potato starch; gel properties; electronic nose; electronic tongue