



## 微波辅助干制对双孢菇提取物腌制鲍肌肉品质的影响

廖玉琴<sup>1</sup>, 石林凡<sup>1</sup>, 任中阳<sup>1</sup>, 翁武银<sup>1\*</sup>, 黄文美<sup>2</sup>

(1. 集美大学海洋食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021;

2. 厦门市岛之原生物科技有限公司, 福建 厦门 361024)

**摘要:** 为探究微波辅助干制对鲍肌肉品质的影响, 本实验考察了干制过程中微波处理对经 30% NaCl 和 5% 双孢菇提取物腌制的鲍肌肉褐变强度、荧光强度、还原糖、氨基酸组成、糖蛋白等理化性质和挥发性风味的影响。结果显示, 未微波 (WMT) 组和微波 (MT) 组鲍肌肉的荧光强度值和褐变强度值在干制过程中均逐渐增加, 在 105 d 时达到最大值后开始下降。经 120 d 干制的 WMT 组鲍肌肉还原糖含量由 7.24 下降至 5.58 mg/g, 而 MT 组鲍肌肉还原糖含量由 7.24 增加至 14.05 mg/g。WMT 和 MT 组鲍肌肉总氨基酸含量由 39.69 g/100 g 分别增加至 44.06 和 41.54 g/100 g。在干制 30 d 后, 电泳图谱中出现明显高分子化合物和糖蛋白聚集物。相比 WMT 组, MT 组鲍肌肉傅里叶变换红外光谱中不仅酰胺 A 带的波数下降更加显著, 而且酰胺 I 带和酰胺 II 带吸收峰强度更强。不管是否微波处理, 干制 90 d 的鲍肌肉的电子鼻中 W2W (芳香成分、有机硫化物) 和 W2S (醛醇酮类化合物) 传感器响应值明显大于未干制的样品。气相色谱-质谱联用仪测定的壬醛和 1-辛烯-3-醇含量在干制 90 d 时明显下降, 而芳樟醇含量明显增加。在相同干制时间内, MT 组鲍肌肉中芳樟醇含量高于 WMT 组样品。研究表明, 在干制过程中微波处理可以促进鲍肌肉美拉德反应程度, 进而生成良好的挥发性气味。本研究结果将为利用微波辅助改良干鲍的制备工艺提供理论参考。

**关键词:** 鲍; 双孢菇提取物; 微波处理; 干制时间; 肌肉; 挥发性风味

中图分类号: S 986.1; TS 254.4

文献标志码: A

福建省是鲍的主要养殖产区, 2021 年产量高达 17.2 万 t, 约占全国的 80%<sup>[1]</sup>。然而, 鲍的增产并没有给养殖户带来更多的效益。因此, 有必要研发高质化鲍加工制品, 为鲍产业可持续发展提供支撑。干鲍是最名贵的鲍加工制品, 它的风味和营养价值主要在干制和贮藏过程中形成<sup>[2]</sup>。前期研究发现, 鲍肌肉含有蘑菇气味, 经饱和盐水腌制的鲍肌肉在干制过程中会发生美拉德反应, 伴随干制时间的延长, 挥发性风味中花香味和油脂味逐渐增强, 但仍然存在一定的土腥味<sup>[2]</sup>。有

研究报道, 双孢菇 (*Agaricus bisporus*) 提取物具有强烈的蘑菇风味和水果香味<sup>[3]</sup>。添加双孢菇干粉可以促进腌制熟牛肉在干制过程中的美拉德反应<sup>[4]</sup>。因此, 采用双孢菇提取物腌制有可能加快干制过程的美拉德反应, 增强干鲍肌肉的特征风味。然而, 有关添加双孢菇提取物对鲍肌肉的挥发性风味和美拉德反应的影响却未见报道。

微波处理能够促进食品内部发生美拉德反应, 从而影响其风味的变化。Cao 等<sup>[5]</sup> 研究微波干燥尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 鱼片时, 结果

收稿日期: 2023-01-05 修回日期: 2023-03-25

资助项目: 国家自然科学基金 (31571835, 32272266); 福建省科技重大专项 (2020NZ012015); 厦门市科技计划项目 (2022CXY0312, 3502Z20226018)

第一作者: 廖玉琴 (照片), 从事水产品加工与贮藏研究, E-mail: liaoyq135@163.com

通信作者: 翁武银, 从事水产品加工与综合利用研究, E-mail: wuy@mail@jmu.edu.cn



发现微波处理能够促使更多氨基酸参与美拉德反应。有研究报道, 微波处理有助于传统湘西腊肉发生美拉德反应, 酚类和醇类挥发性风味化合物含量增加<sup>[6]</sup>。鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 鱼片中的鱼腥味和泥土霉味可以通过微波干燥得到有效去除, 并且使其增加烤肉风味<sup>[7]</sup>。然而, 有关微波处理对双孢菇提取物溶液浸渍的鲍肌肉挥发性风味的影响还尚未见报道。

本研究采用含有 30% NaCl 和 5% 双孢菇提取物的复合腌制液对皱纹盘鲍 (*Haliotis discus han-nai*) 的肌肉进行浸渍, 探究干制过程中微波处理对腌制鲍肌肉理化性质和挥发性风味的变化影响, 结果将为研发高品质的干鲍提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

新鲜皱纹盘鲍 (约 80 g/头) 购自厦门市岛之原生物科技有限公司。

NaCl (食品级), 福建省泉州晶海轻化有限公司; 双孢菇提取物 (食品级, 含有 48.35% 总糖和 9.54% 蛋白质), 斯诺特生物科技有限公司; 3,5-二硝基水杨酸 (DNS) 试剂盒, 上海优选生物科技有限公司; 过碘酸雪夫氏 (PAS) 染色试剂盒, 北京普朗赛生物科技有限公司。

### 1.2 实验设备

P70D20TL-D4 型微波炉, 广东格兰仕微波生活电器制造有限公司。Agilent 1200 型高效液相色谱仪, 美国 Agilent 公司。QP-2010-Plus 气相-质谱联用仪, 日本岛津公司。PEN3.5 型电子鼻分析仪, 德国 AIRSENSE 公司。LI-500 型电热恒温培养箱, 上海龙跃仪器设备有限公司。

### 1.3 实验方法

**鲍原料处理** 参考廖玉琴等<sup>[2]</sup>报道的方法, 稍加修改。将去除壳和内脏的鲍肌肉置于含有 0.5% 木瓜蛋白酶的 30% NaCl 复合溶液中, 在 50 °C 下保温 1 h 脱除肌肉表面黑膜, 再放在含有 5% 双孢菇提取物的 30% NaCl 复合溶液中腌制 96 h, 获得的鲍肌肉放在 85 °C 下保温 30 min 使木瓜蛋白酶失活, 再用冰水冷却后, 沥干表面水分, 置于底部装有饱和 KI 溶液 (相对湿度 65%) 的玻璃干燥器并放在 50 °C 恒温干燥箱干制 120 d, 期间每 5 天利用微波输出功率为 700 W 进行间歇微波处

理 3 次, 每次 45 s, 间隔 60 s。分别在干制 0、30、60、90 和 120 d 取样, 获得的样品利用液氮研磨成粉末, -30 °C 保存备用。

**褐变强度和荧光强度测定** 将 2 g 鲍肌肉粉末样品与 40 mL 蒸馏水混合, 经 12 000 r/min 均质 1 min 后, 按照 1 : 1 (质量体积比) 加入 200 g/L 三氯乙酸, 振荡、充分混合, 25 °C 静置 30 min 后, 经 10 000 ×g 离心 10 min 获得上清液。测定上清液在 294 和 420 nm 处的褐变强度<sup>[8]</sup>, 以及在激发波长 370 nm, 发射波长 440 nm 下的荧光强度<sup>[9]</sup>。

**还原糖测定** 将 2 g 鲍肌肉粉末与 40 mL 80% 乙醇混合, 在 8 000 r/min 转速下均质 1 min, 置于 80 °C 水浴 40 min 后冷却, 经 8 000 ×g 离心 10 min 获得上清液。根据试剂盒说明书操作, 将 DNS 试剂与上清液充分混合, 100 °C 下加热 5 min 后迅速冷却, 测定 540 nm 处吸光值。根据 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL 葡萄糖浓度绘制标准曲线, 计算出还原糖含量。

**氨基酸组成测定** 称取适量的鲍粉末溶解在 1 mL 6 mol/L HCl 溶液中, 将其转移至消化管内, 使用氮气对消化管进行密封后, 置于 110 °C 中消化 22 h。待消化结束后冷却至室温, 采用真空旋转加热方式去除 HCl, 再用 0.02 mol/L HCl 溶解, 使用 0.22 μm 水系膜过滤, 利用高效液相色谱仪测定氨基酸组成。其中, 氨基酸组成 (干基) 按照冷冻干燥的鲍粉末纯干物料为基础计算。

**SDS-PAGE 凝胶电泳** 参考 Weng 等<sup>[10]</sup>的方法稍加修改。将鲍肌肉粉末溶解在 2% SDS、8 mol/L 尿素、20 μL β-巯基乙醇、20 mmol/L Tris-HCl (pH 8.8) 的蛋白变性剂中。溶解的样品在 12 mA 电流下进行 SDS-PAGE 分析。电泳结束后, 使用考马斯亮蓝 (R-250) 和 PAS 试剂盒对鲍肌肉蛋白和糖蛋白进行染色。

**傅里叶变换红外光谱 (FT-IR)** 参考廖玉琴等<sup>[2]</sup>的方法进行测定。将鲍肌肉粉末与 KBr 按照 1 : 100 (质量比) 充分混合, 研磨后压制成薄片。将样品薄片置于仪器样品架上, 在波长 4 000~500 cm<sup>-1</sup> 范围进行光谱扫描, 分辨率为 2 cm<sup>-1</sup>。

**电子鼻测定** 称取 1 g 鲍肌肉粉末, 放在顶空瓶中, 加入 5 mL 蒸馏水, 混合均匀后置于 100 °C 水浴加热 3 h, 采用电子鼻分析仪对样品液中的挥发性物质进行测定。测定条件: 测定时间为 200 s, 清洗时间为 200 s, 进样流速为 400 mL/min。

**顶空固相萃取方法** 参考 Gao 等<sup>[11]</sup>报道

测定方法, 稍加修改。准确称取 1 g 鲍肌肉粉末于顶空瓶中, 按照 1 : 5 (质量体积比) 的比例加入蒸馏水, 充分混合, 将样品溶液置于 100 °C 水浴中加热 3 h 后, 再在 100 °C 下萃取吸附 30 min, 最后利用气相色谱 (GC) 进行解吸; 解吸时间为 3 min, 解吸温度为 250 °C。

**气相色谱-质谱 (GC-MS) 条件** 参考廖玉琴等<sup>[2]</sup>报道的方法, 色谱条件: 鲍肌肉中挥发性物质采用不分流进样的模式, 通过 Rtx-5MS 色谱柱 (60 m×0.32 mm, 0.25 μm) 分离, 以流速为 3 mL/min 氦气为载体。升温程序按照初始温度 36 °C 保持 5 min, 以 6 °C/min 升至 120 °C 后, 再以 10 °C/min 升至 210 °C 后, 最终以 2 °C/min 升至 230 °C, 保持 2 min; 质谱条件: 电子能量 70 eV, 离子源温度为 200 °C, 质谱接口温度为 250 °C; 质谱扫描范围为 35~500 m/z。

**挥发性物质的定性和定量** 定性: 鲍肌肉中挥发性物质通过对比 NIST11、NIST11s、FFNSC1.3 数据库, 筛选出相似度大于 80% 的化合物, 再与保留指数 (RI) 相结合进行化合物的确定<sup>[12]</sup>。RI 按照公式 (1) 计算:

$$RI = 100 \times n + 100 \times \frac{T_x - T_n}{T_{n+1} - T_n} \quad (1)$$

式中,  $T_x$  表示待测化合物的保留时间 (min);  $T_n$  和  $T_{n+1}$  分别表示碳原子数为  $n$  和  $n+1$  的正构烷烃 ( $T_n < T_{n+1}$ ) 保留时间 (min)。

**定量:** 每组样品中挥发性物质的相对含量通过采用峰面积归一化法计算。

**关键挥发性风味评定** 参考刘登勇等<sup>[13]</sup>的方法, 通过相对气味活度值 (ROAV) 评价各种化合物对样品整体风味的贡献程度。将贡献最大的成分定义为 100 (即  $ROAV_{\max} = 100$ ), 其他挥发性物质按照公式 (2) 计算:

$$ROAV_i = 100 \times \frac{C_i}{T_i} \times \frac{T_{\max}}{C_{\max}} \quad (2)$$

式中,  $C_i$  和  $T_i$  分别表示待测化合物相对含量 (%) 和感觉阈值 (μg/kg);  $C_{\max}$  和  $T_{\max}$  分别表示对于整体风味贡献最大的化合物相对含量 (%) 和感觉阈值 (μg/kg)。

## 1.4 数据分析

使用 Excel 2022 软件进行数据统计, 采用 SPSS 17.0 软件和 Duncan 氏检验对数据进行显著性分析 ( $P < 0.05$ ), 采用 Origin 2022 软件进行绘图。

## 2 结果

### 2.1 褐变强度和荧光强度

有报道, 294 和 420 nm 处的吸光度值可以表明美拉德反应中间产物和褐色物质的变化<sup>[14]</sup>, 具有荧光特性的化合物含量能够表明美拉德反应早期阶段的程度<sup>[15]</sup>。因此, 测定了干制时间和微波处理对鲍肌肉褐变强度和荧光强度的影响 (图 1)。伴随干制时间的延长, 未经微波处理 (without microwave treatment, WMT) 组样品的 294 nm 吸光度值逐渐增大。然而, 微波处理 (microwave treatment, MT) 组样品的 294 nm 吸光度值在 105 d 达到最大值, 进一步干燥却呈现下降的趋势 (图 1-a)。类似的变化趋势也出现在 420 nm 吸光度值 (图 1-b), 表明延长干制时间也会影响鲍肌肉美拉德反应末期产物的生成<sup>[16]</sup>。在相同干制时间下 (0~105 d), MT 组样品的紫外吸光度值 (294 和 420 nm) 和荧光强度值均略高于 WMT 组样品的吸光度值 (图 1-c)。

### 2.2 还原糖含量

表 1 显示了微波处理和干制时间对鲍肌肉还原糖含量的影响。经过 30 d 的干制, WMT 组的鲍肌肉还原糖含量从 7.24 mg/g 下降至 5.75 mg/g ( $P < 0.05$ ), 但进一步延长干制时间还原糖含量却没有发生显著变化。另一方面, MT 组还原糖含量却随着干制时间的延长出现逐渐增加的趋势。

### 2.3 氨基酸组成

在干制 0 d 时, WMT 组鲍肌肉中谷氨酸含量最高, 这与廖玉琴等<sup>[2]</sup>报道的盐渍鲍肌肉氨基酸测定结果一致 (表 2)。但是相比盐渍鲍肌肉 (47.78 g/100 g), WMT 组鲍肌肉的总氨基酸含量 (39.69 g/100 g) 较低。可能因为 WMT 组鲍肌肉在含有 30% NaCl 和 5% 双孢菇提取物的复合溶液中腌制时, 糖的渗入导致鲍肌肉的总氨基酸比例相对下降。

在干制 30 d 时, WMT 组鲍肌肉中氨基酸有明显增加, 其中主要包括天冬氨酸、谷氨酸、赖氨酸、精氨酸和丝氨酸等。随着干制时间的延长, 赖氨酸和精氨酸含量却在干制 60 d 时开始下降。另一方面, 在干制过程中 MT 组鲍肌肉中氨基酸也出现类似 WMT 组先上升后下降的变化趋势。在相同干制时间内, MT 组鲍肌肉中总氨基酸含量均低于 WMT 组。经 60~120 d 干制, MT 组鲍肌肉中赖氨酸和精氨酸含量分别下降了约 26% 和



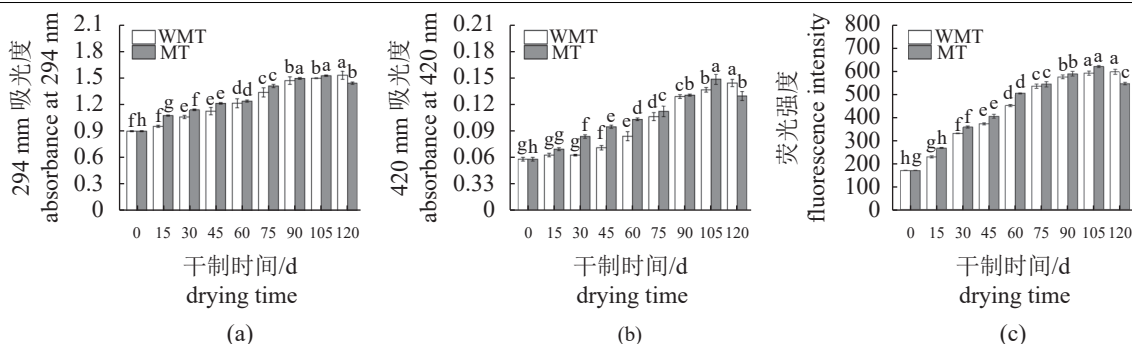


图 1 干制时间和微波处理对鲍肌肉 294 nm (a)、420 nm 处吸光度值 (b) 和荧光强度值 (c) 的影响

WMT: 未经微波处理组, MT: 微波处理组; 不同字母表示组间差异显著,  $P < 0.05$ , 下同。

Fig. 1 Effect of drying time and microwave treatment on absorbance values at 294 nm (a) and 420 nm (b), and fluorescence intensity values (c) in abalone muscle

WMT: without microwave treatment, MT: microwave treatment; different letters indicate significant differences,  $P < 0.05$ , the same below.

表 1 干制时间和微波处理对鲍肌肉还原糖含量 (干基) 的影响

Tab. 1 Effect of drying time and microwave treatment on the sugar content reduction (dry weight) of abalone muscle mg/g

干制时间/d drying time	还原糖含量 sugar content reduction	
	WMT	MT
0	7.24±0.51 <sup>a</sup>	7.24±0.51 <sup>c</sup>
30	5.75±0.48 <sup>b</sup>	7.87±0.62 <sup>c</sup>
60	5.72±0.83 <sup>b</sup>	8.35±1.02 <sup>c</sup>
90	5.27±0.84 <sup>b</sup>	10.12±0.24 <sup>b</sup>
120	5.58±0.31 <sup>b</sup>	14.05±0.85 <sup>a</sup>

注: 同列中不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ).  
Notes: different letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

16%, 而 WMT 组鲍肌肉分别下降了 14% 和 12%。

## 2.4 SDS-PAGE

利用 SDS-PAGE 对干制过程中的鲍肌肉蛋白组分变化进行分析 (图 2)。鲍肌肉在 100、42、38 和 30 ku 处附近观察到副肌球蛋白 (PM)、肌动蛋白 (actin)、原肌球蛋白 (TM) 和肌球蛋白轻链 (MLC) 等蛋白条带 (图 2-a)。鲍肌肉在 50 °C 和相对湿度 65% 下经过 30 d 干制后, PM、actin、TM 和 MLC 蛋白条带浓度减弱, 且浓缩胶和分离胶顶部出现高分子质量蛋白条带。结果表明, 不管是否采用微波处理, 鲍肌肉蛋白质在干制过程中均会形成高分子聚合物。然而, 浓缩胶和分离胶顶部的高分子质量蛋白条带在干制 90 d 后出现减弱, 可能因为随着高分子聚集物的积累引起溶解度降低, 从而导致浓缩胶和分离胶顶部条带减弱。

通过分析糖蛋白聚合物也可以了解美拉德糖基化反应程度<sup>[17]</sup>, 因此利用 PAS 染色考察鲍肌肉在干制过程中糖蛋白的形成 (图 2-b)。糖蛋白条带在干制 0 d 时仅在浓缩胶顶部出现, 但伴随干制时间的延长逐渐加深。另一方面, 在干制 30 d 时 MT 组鲍肌肉糖蛋白条带明显比 WMT 组深。然而, 随着干制时间的继续延长, MT 组样品中糖蛋白条带却没有发生明显变化 (图 2-b)。

## 2.5 FT-IR

鲍肌肉主要特征吸收峰为酰胺 A (3 430~3 365  $\text{cm}^{-1}$ )、酰胺 B (2 926  $\text{cm}^{-1}$ ) 及酰胺 I (1 653  $\text{cm}^{-1}$ )、酰胺 II (1 550  $\text{cm}^{-1}$ ) 和酰胺 III (1 236  $\text{cm}^{-1}$ ) (图 3)。在干制 0 d 时, WMT 组鲍肌肉的酰胺 A 带波数为 3 430  $\text{cm}^{-1}$ , 高于盐渍鲍肌肉的酰胺 A 带波数<sup>[2]</sup>。随着干制时间的延长, WMT 组鲍肌肉中酰胺 A 带波数逐渐下降, 而酰胺 B 带吸收峰强度逐渐增大 (图 3-a)。随着干制时间的延长, 不仅鲍肌肉的酰胺 I、酰胺 II 带吸收峰强度, 而且在 1 407 与 1 046  $\text{cm}^{-1}$  附近代表糖蛋白的吸收峰<sup>[18]</sup> 强度均出现增强的趋势 (图 3-a)。MT 组鲍肌肉在干制过程中出现类似 WMT 组的变化趋势 (图 3-b)。在相同干制时间内, 不仅 MT 组样品中酰胺 A 带波数比 WMT 组样品少, 而且酰胺 I 带和酰胺 II 带吸收峰强度比 WMT 组样品强。

## 2.6 电子鼻

雷达图显示了鲍肌肉挥发性物质的 10 个传感器响应值 (图 4)。腌制后的鲍肌肉有 5 种高响应值的挥发性物质, 依次为 WIW (硫化物)、W2W (芳香成分、有机硫化物)、W5S (氮氧化合物)、W2S

表 2 干制时间和微波处理对鲍肌肉氨基酸组成的影响 (干基)

Tab. 2 Effect of drying time and microwave treatment on the amino acid composition of abalone muscle (dry weight) g/100 g

氨基酸 amino acids	WMT					MT			
	0 d	30 d	60 d	90 d	120 d	30 d	60 d	90 d	120 d
亲水氨基酸 hydrophilic									
赖氨酸 Lys	1.53±0.38 <sup>c</sup>	2.27±0.01 <sup>a</sup>	2.18±0.04 <sup>ab</sup>	2.08±0.05 <sup>b</sup>	1.95±0.14 <sup>b</sup>	2.24±0.17 <sup>a</sup>	1.99±0.15 <sup>ab</sup>	1.72±0.16 <sup>b</sup>	1.66±0.01 <sup>b</sup>
精氨酸 Arg	5.08±0.44 <sup>d</sup>	6.15±0.03 <sup>a</sup>	6.00±0.21 <sup>ab</sup>	5.70±0.15 <sup>b</sup>	5.44±0.02 <sup>c</sup>	5.97±0.17 <sup>a</sup>	5.63±0.07 <sup>b</sup>	5.32±0.06 <sup>c</sup>	5.02±0.06 <sup>d</sup>
组氨酸 His	1.41±0.02 <sup>c</sup>	1.52±0.11 <sup>b</sup>	1.69±0.04 <sup>a</sup>	1.67±0.02 <sup>a</sup>	1.54±0.01 <sup>b</sup>	1.57±0.04 <sup>a</sup>	1.66±0.00 <sup>a</sup>	1.54±0.10 <sup>a</sup>	1.37±0.03 <sup>b</sup>
天冬氨酸 Asp	2.70±0.15 <sup>d</sup>	3.39±0.03 <sup>a</sup>	3.47±0.23 <sup>a</sup>	3.19±0.06 <sup>b</sup>	2.99±0.05 <sup>c</sup>	3.19±0.02 <sup>b</sup>	3.45±0.18 <sup>a</sup>	3.06±0.15 <sup>c</sup>	2.87±0.07 <sup>d</sup>
谷氨酸 Glu	8.01±0.24 <sup>c</sup>	10.60±0.85 <sup>ab</sup>	11.04±0.40 <sup>a</sup>	10.13±0.69 <sup>b</sup>	9.33±0.29 <sup>c</sup>	10.84±0.43 <sup>a</sup>	9.95±0.38 <sup>b</sup>	9.69±0.16 <sup>bc</sup>	9.59±0.17 <sup>c</sup>
苏氨酸 Thr	1.37±0.00 <sup>b</sup>	1.69±0.10 <sup>a</sup>	1.79±0.03 <sup>a</sup>	1.69±0.07 <sup>a</sup>	1.62±0.08 <sup>a</sup>	1.69±0.04 <sup>a</sup>	1.65±0.01 <sup>a</sup>	1.56±0.03 <sup>b</sup>	1.37±0.06 <sup>c</sup>
丝氨酸 Ser	2.88±0.22 <sup>d</sup>	3.41±0.02 <sup>b</sup>	3.62±0.03 <sup>a</sup>	3.42±0.08 <sup>b</sup>	3.22±0.15 <sup>c</sup>	3.45±0.20 <sup>a</sup>	3.46±0.06 <sup>a</sup>	3.27±0.10 <sup>b</sup>	3.11±0.15 <sup>c</sup>
胱氨酸 Cys	0.89±0.04 <sup>a</sup>	0.80±0.02 <sup>ab</sup>	0.77±0.03 <sup>b</sup>	0.75±0.03 <sup>b</sup>	0.71±0.10 <sup>b</sup>	0.81±0.24 <sup>a</sup>	0.77±0.01 <sup>a</sup>	0.72±0.13 <sup>a</sup>	0.66±0.08 <sup>b</sup>
酪氨酸 Tyr	1.22±0.01 <sup>d</sup>	1.39±0.06 <sup>c</sup>	1.43±0.09 <sup>c</sup>	1.57±0.05 <sup>b</sup>	1.76±0.13 <sup>a</sup>	1.50±0.08 <sup>a</sup>	1.39±0.14 <sup>ab</sup>	1.26±0.08 <sup>b</sup>	1.04±0.02 <sup>c</sup>
羟脯氨酸 Hyp	1.68±0.22 <sup>a</sup>	1.47±0.01 <sup>b</sup>	1.42±0.04 <sup>bc</sup>	1.40±0.03 <sup>bc</sup>	1.37±0.13 <sup>c</sup>	1.48±0.14 <sup>a</sup>	1.48±0.16 <sup>a</sup>	1.46±0.30 <sup>a</sup>	1.30±0.13 <sup>b</sup>
疏水氨基酸 hydrophobic									
甘氨酸 Gly	2.61±0.20 <sup>c</sup>	2.95±0.03 <sup>a</sup>	3.09±0.03 <sup>a</sup>	2.96±0.03 <sup>a</sup>	2.88±0.09 <sup>ab</sup>	2.85±0.00 <sup>a</sup>	2.68±0.01 <sup>b</sup>	2.62±0.14 <sup>b</sup>	2.58±0.09 <sup>b</sup>
丙氨酸 Ala	3.22±0.02 <sup>c</sup>	4.02±0.04 <sup>a</sup>	4.06±0.10 <sup>a</sup>	3.66±0.00 <sup>b</sup>	3.39±0.07 <sup>bc</sup>	3.84±0.02 <sup>a</sup>	3.75±0.12 <sup>ab</sup>	3.61±0.02 <sup>b</sup>	3.40±0.08 <sup>c</sup>
缬氨酸 Val	0.74±0.07 <sup>a</sup>	0.77±0.08 <sup>a</sup>	0.81±0.08 <sup>a</sup>	0.79±0.05 <sup>a</sup>	0.74±0.02 <sup>a</sup>	0.97±0.02 <sup>a</sup>	0.88±0.10 <sup>ab</sup>	0.77±0.04 <sup>b</sup>	0.71±0.04 <sup>b</sup>
亮氨酸 Leu	2.58±0.11 <sup>c</sup>	3.28±0.01 <sup>a</sup>	3.36±0.05 <sup>a</sup>	3.01±0.14 <sup>b</sup>	2.92±0.01 <sup>b</sup>	3.60±0.16 <sup>a</sup>	3.24±0.10 <sup>b</sup>	3.10±0.05 <sup>c</sup>	2.87±0.01 <sup>d</sup>
异亮氨酸 Ile	0.87±0.05 <sup>b</sup>	1.03±0.08 <sup>a</sup>	1.10±0.05 <sup>a</sup>	0.90±0.11 <sup>ab</sup>	0.95±0.11 <sup>ab</sup>	1.55±0.70 <sup>a</sup>	1.06±0.03 <sup>b</sup>	0.91±0.06 <sup>bc</sup>	0.84±0.06 <sup>c</sup>
苯丙氨酸 Phe	1.46±0.23 <sup>b</sup>	1.79±0.27 <sup>a</sup>	1.86±0.30 <sup>a</sup>	1.82±0.07 <sup>a</sup>	1.79±0.25 <sup>a</sup>	1.15±1.24 <sup>c</sup>	1.91±0.18 <sup>a</sup>	1.57±0.13 <sup>b</sup>	1.53±0.28 <sup>b</sup>
蛋氨酸 Met	0.47±0.02 <sup>b</sup>	0.72±0.02 <sup>a</sup>	0.70±0.08 <sup>a</sup>	0.61±0.10 <sup>a</sup>	0.63±0.05 <sup>a</sup>	0.50±0.05 <sup>b</sup>	0.68±0.05 <sup>a</sup>	0.61±0.03 <sup>a</sup>	0.69±0.08 <sup>a</sup>
脯氨酸 Pro	0.98±0.01 <sup>ab</sup>	1.12±0.10 <sup>a</sup>	1.19±0.12 <sup>a</sup>	0.90±0.14 <sup>b</sup>	0.82±0.08 <sup>b</sup>	0.93±0.11 <sup>a</sup>	1.02±0.17 <sup>a</sup>	0.98±0.23 <sup>a</sup>	0.90±0.01 <sup>a</sup>
总氨基酸 TAA	39.69±0.16	48.35±0.17	49.58±0.22	46.25±0.25	44.06±0.11	48.13±0.24	46.66±0.18	43.76±0.23	41.54±0.18

注: 同行中不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。  
Notes: different letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

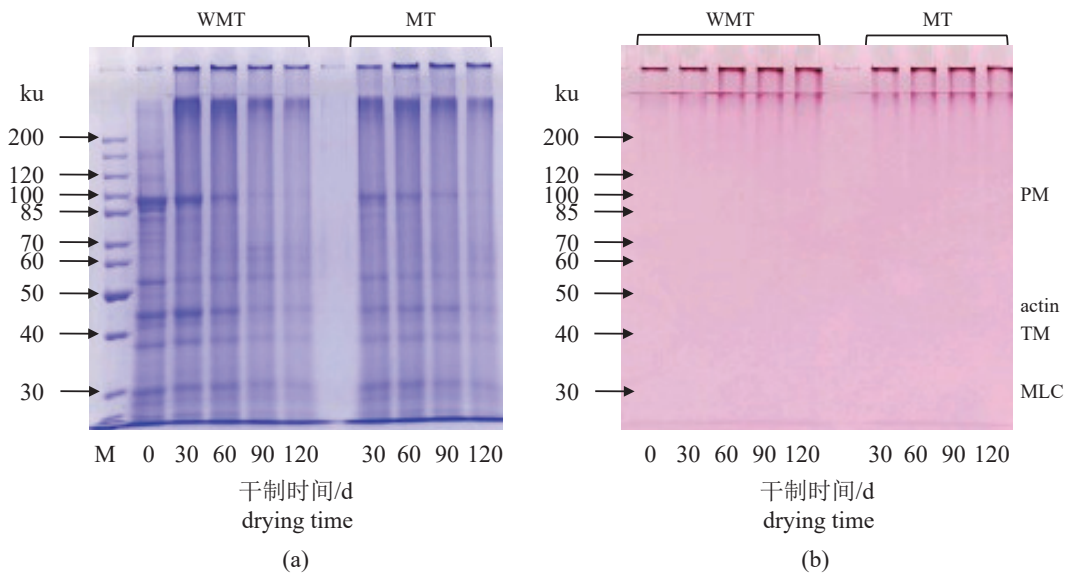


图 2 鲍肌肉 SDS-PAGE 图谱

(a) 考马斯亮蓝染色, (b) PAS 染色; M. 标准蛋白; PM. 副肌球蛋白; TM. 原肌球蛋白; MLC. 肌球蛋白轻链。

Fig. 2 SDS-PAGE of abalone muscle

(a) stained with Coomassie Brilliant Blue, (b) stained with PAS; M. standard protein; PM. paramyosin; TM. tropomyosin; MLC. myosin light chain.

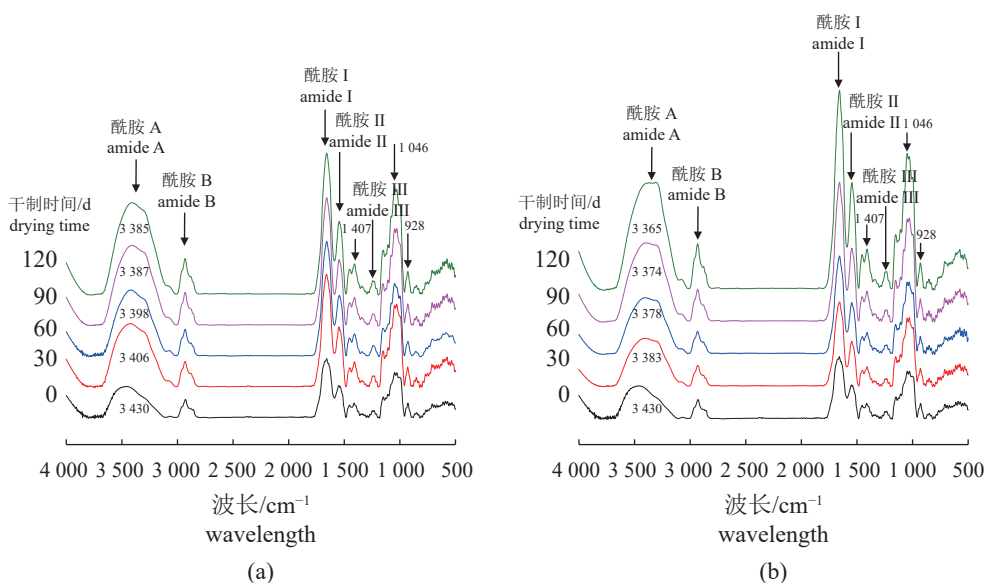


图3 干制时间和微波处理对鲍肌肉 FT-IR 图谱的影响

Fig. 3 Effect of drying time and microwave treatment on FT-IR spectra of dried abalone muscles

(a) WMT, (b) MT.

(醇、醛酮类化合物)和W1S(甲基类化合物)。不论是否微波处理,鲍肌肉中W1W和W1S传感器响应值均随着干制时间的延长而逐渐减小,W2W和W2S响应值明显增大(图4-a, b)。然而,干制时间对鲍肌肉中氮化合物没有显著影响。在相同干制时间下,WMT组鲍肌肉中传感器响应值与MT组接近,表明微波处理对双孢菇提取物腌制处理得到的鲍肌肉中电子鼻挥发性物质的影响较小(图4-b)。由图4-c可知,WMT组鲍肌肉主成分分析中PC1和PC2的总贡献为86.5%。WMT组鲍肌肉PC1值按照0、30、60、120和90d的顺序逐渐增加。0与30d样品有部分重叠,且与60~120d样品间有显著差异。其中0和90d样品间距离最远,表明在50℃和相对湿度65%条件下干制90d得到的鲍肌肉气味成分变化最大。相比WMT组,MT组鲍肌肉在干制过程中0~60和120d样品间存在部分重叠,差异较小且无法区分。然而,MT鲍肌肉在干制90d时位于PC1轴最小值,与其他样品间有显著差异(图4-d)。

## 2.7 挥发性风味物质 ROAV 分析

通过GC-MS分析鲍肌肉挥发性物质,共鉴定出84种化合物。根据ROAV的结果,发现鲍肌肉中含有14种ROAV大于1的风味物质(表3),包括(E,E)-2,4-癸二烯醛、(E)-2-壬烯醛、芳樟醇、壬醛和1-辛烯-3-醇等化合物,赋予鲍肌肉油脂味、

黄瓜味、花香味和土腥味<sup>[1]</sup>。不论是否采用微波处理,鲍肌肉中的(E,E)-2,4-癸二烯醛ROAV最高,其次为(E)-2-壬烯醛、壬醛、癸醛(表3)。这4种化合物随着干制时间延长至90d时ROAV逐渐降低,但继续延长干制时间反而出现增加的趋势。WMT组鲍肌肉中(E,E)-2,4-癸二烯醛ROAV在干制120d时达到100。这些结果表明经过90d干制可以使鲍肌肉油脂味和腥味物质减弱。在相同干制时间下,MT组鲍肌肉中的醛类化合物ROAV低于WMT组,说明MT组鲍肌肉中的油脂味和土腥味显著低于WMT组。在90d干制中,不论是否采用微波处理,鲍肌肉的芳樟醇和1-辛烯-3-醇ROAV分别呈现增大和减小的趋势(表3),然而在相同干制时间下,WMT组鲍肌肉中的芳樟醇ROAV低于MT组,1-辛烯-3-醇高于MT组,说明经微波处理后鲍肌肉在干制过程中有利于芳香成分的形成,并抑制腥味物质的产生。

## 3 讨论

### 3.1 微波辅助干制对双孢菇提取物腌制鲍肌肉理化性质的影响

美拉德反应是食品中蛋白质类的氨基与还原糖类的羰基发生的一系列反应,能改善食品的风味和色泽<sup>[19]</sup>。在本研究中,根据紫外吸光度值(294和420nm)和荧光强度的变化结果(图1),发

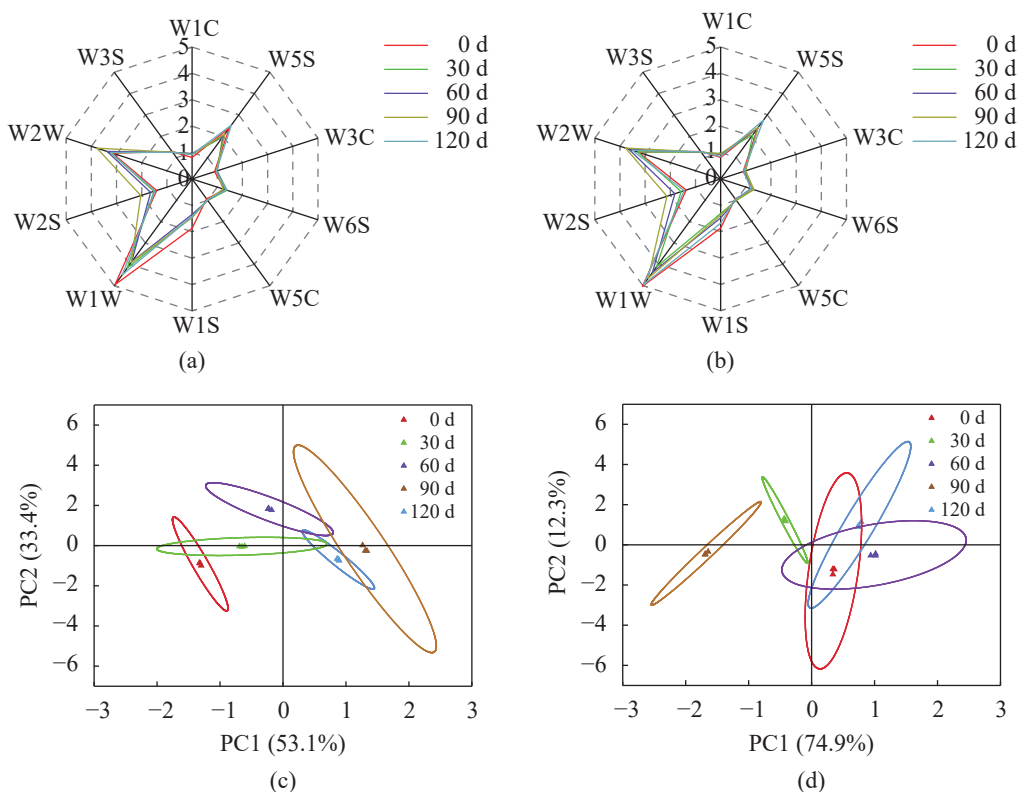


图 4 鲍肌肉的电子鼻雷达图 (a 和 b) 和 PCA 图 (c 和 d)

(a) (c) WMT, (b) (d) MT; W1C.芳香成分, 苯类; W5S.对氮氧化物灵敏; W3C.芳香成分灵敏, 氨类; W6S.主要对氢化物有选择性; W5C.短链烷烃芳香成分; W1S.对甲基类灵敏; W1W.对硫化物灵敏; W2S.对醇类、醛酮类灵敏; W2W.芳香成分, 对有机硫化物灵敏; W3S.对长链烷烃灵敏。

Fig. 4 Electronic nose radar graphs (a and b) and PCA graphs (c and d) of abalone muscle

(a) (c) WMT, (b) (d) MT; W1C. aromatic, benzene compounds; W5S. broadrange; W3C. aromatic, ammoniac compounds; W6S. hydrogen; W5C. arom-aliph; W1S. broad-methane; W1W. sulphur-organic; W2S. broad-alcohol; W2W. sulph-chlor; W3S. methane-aliph.

现双孢菇提取物腌制的鲍肌肉美拉德反应程度伴随干制时间延长逐渐增大。微波加热能促进卵清蛋白美拉德反应的进行<sup>[20]</sup>。大豆分离蛋白和麦芽糊精在 60 °C 下干热发生美拉德反应时, 由于高分子质量类黑色素的形成会导致紫外吸光度值先升后降<sup>[21]</sup>。因此, 图 1 的结果表明微波处理有助于促进鲍肌肉在干制过程发生美拉德反应。

研究表明, 干制可以促进蛋白质降解产生的游离氨基酸与还原糖之间发生美拉德反应, 从而影响干鲍的理化性质<sup>[2]</sup>。微波处理有利于氨基酸与还原糖之间发生相互作用, 导致美拉德反应加快<sup>[22]</sup>。微波处理还会引起多糖的降解, 产生更多小分子糖<sup>[23]</sup>。在本研究的干制过程中, WMT 组还原糖作为底物参与美拉德反应容易被消耗, 而 MT 组渗入鲍肌肉中的双孢菇提取物可能发生降解导致还原糖含量出现增加的趋势 (表 1)。干制 30 d 后, WMT 组和 MT 组的鲍肌肉中氨基酸含量均有明显增加 (表 2), 这可能是因为渗入的双孢菇

提取物中的蛋白质受热后降解为寡肽或氨基酸, 而还原糖参与美拉德反应。有研究表明, 太平洋褶柔鱼 (*Todarodes pacificus*) 在干燥过程中发生美拉德反应后会导致精氨酸含量下降<sup>[24]</sup>。而带有  $\epsilon$ -氨基的赖氨酸更易于发生美拉德反应<sup>[25]</sup>。本研究的结果也表明 (表 2), 鲍肌肉的赖氨酸和精氨酸在干制中作为反应底物参与美拉德反应而被消耗, 而且微波辅助处理可以促进反应进程。

在干制过程中, 鲍肌肉蛋白与多糖通过美拉德反应会形成糖蛋白高聚物 (图 2)。这与 Xu 等<sup>[26]</sup>研究蚕豆蛋白与葡聚糖的美拉德反应时发现的现象类似, 糖蛋白高聚物条带仅在浓缩胶顶部出现。然而, 在干制 30~120 d 期间, WMT 组与 MT 组样品中的糖蛋白聚合物条带浓度没有显著差异, 这可能是由于微波处理有助于促进糖蛋白聚合物的生成, 但也会增加糖蛋白复合物的溶解<sup>[27]</sup>。有研究报道, 大豆分离蛋白和大豆低聚糖发生美拉德反应时会引起 C-H 伸缩振动, 导致酰胺 B 带吸



表 3 干制时间和微波处理对鲍肌肉挥发性化合物 ROAV 的影响

**Tab. 3 Effect of drying time and microwave treatment on ROAV of volatile compounds in abalone muscle**

化合物 compound	阈值/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) threshold value	WMT					MT				
		0 d	30 d	60 d	90 d	120 d	30 d	60 d	90 d	120 d	
己醛 hexanal	4.5	3.60	2.35	2.18	1.68	2.47	2.34	1.82	1.67	2.90	
庚醛 heptanal	3	3.42	2.98	2.70	1.57	3.55	2.40	2.14	1.84	3.55	
苯甲醛 benzaldehyde	350	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	
苯乙醛 benzeneacetaldehyde	4	0.96	2.78	3.29	3.35	3.03	2.29	2.19	2.34	2.76	
(E)-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	3	1.79	1.45	1.95	1.64	2.46	1.40	1.17	1.21	1.92	
壬醛 nonanal	1	29.64	21.76	20.86	20.123	33.92	24.90	23.15	21.77	32.27	
(E)-2-壬烯醛 (E)-2-nonenal	0.08	68.92	56.30	59.72	38.38	79.32	48.90	34.44	35.03	56.70	
癸醛 decanal	2	5.67	6.20	7.06	7.19	8.04	5.88	5.49	6.59	8.60	
十一醛 undecanal	5	4.26	3.60	3.75	3.65	4.02	3.09	3.21	3.34	3.98	
(E,E)-2,4-癸二烯醛 (E,E)-2,4-decadienal	0.07	95.34	89.99	81.27	60.87	100.00	70.53	62.08	64.01	68.62	
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	1	10.82	9.76	8.80	7.53	14.44	9.49	8.11	7.48	12.31	
2-乙基己醇 1-hexanol, 2-ethyl-	270 000	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	
苯甲醇 benzyl alcohol	620	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	
(Z)-2-辛烯-1-醇 (E)-2-octen-1-ol	40	0.13	0.20	0.24	0.22	0.28	0.19	0.16	0.21	0.29	
芳樟醇 3,7-dimethyl-1,6-octadien-3-ol	6	29.87	50.00	57.19	64.74	34.46	56.36	63.33	71.54	36.52	
香叶醇 geraniol	35 000	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	
柠檬烯 limonene	10	4.52	3.72	3.45	2.58	4.53	3.87	3.70	3.56	4.32	
十二烷 dodecane	2 040	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	
萘 naphthalene	60	<0.10	0.12	0.12	0.11	0.24	0.11	0.11	0.10	0.22	
十六烷 hexadecane	10 000	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	
2-乙基呋喃 2-ethyl-furan	2.3	2.61	—	—	—	—	—	—	—	—	
2-正戊基呋喃 2-pentyl-furan	6	15.52	8.44	8.85	8.72	9.83	8.15	8.61	8.72	10.17	
2-庚酮 2-heptanone	140	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	
3,5-辛二烯-2-酮 3,5-octadien-2-one	150	—	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	
乙酸 acetic acid	22 000	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	
十四酸 tetradecanoic acid	10 000	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	
二甲基三硫 dimethyl trisulfide	7.3	0.91	1.14	1.68	1.82	2.23	1.31	1.25	1.55	2.56	

注：“—”表示挥发性化合物未检出。  
Notes: “—” indicates that the volatile compounds are not detected.

收峰强度增大<sup>[28]</sup>。Li 等<sup>[29]</sup> 研究发现大豆蛋白肽和碳水化合物发生美拉德反应时, 与 C=O、C-N 和 N-H 基团有关的酰胺 I 和酰胺 II 带吸收峰增强。在本研究中, 随着干制时间的延长, 不仅鲍肌肉的酰胺 I、酰胺 II 带吸收峰强度, 而且在 1 407 与 1 046  $\text{cm}^{-1}$  附近代表糖蛋白的吸收峰<sup>[17]</sup> 强度均出现增强的趋势。根据本研究的 FT-IR 结果 (图 3), 发现在干制过程中鲍肌肉中可能会产生席夫碱、Strecker 中间体和糖蛋白聚集物等美拉德反应产物。图 3 的结果还表明, 微波处理可以增强鲍肌肉各

组分间的氢键作用, 促进美拉德反应产物的生成。

### 3.2 微波辅助干制对双孢菇提取物腌制鲍肌肉挥发性物质的影响

在鲍的干制过程中, 鲍肌肉中的蛋白和多糖会发生美拉德反应, 从而影响其挥发性风味。本研究电子鼻分析结果表明, 鲍肌肉中硫化物和甲基类化合物在干制过程中逐渐挥发, 芳香成分和醇、醛、酮类化合物含量增加。然而, 干制时间对鲍肌肉中氮氧化合物没有显著影响。在相同干



制时间下, WMT 组鲍肌肉中传感器响应值与 MT 组接近, 表明微波处理对添加双孢菇提取物腌制处理得到的鲍肌肉中电子鼻挥发性物质的影响较小。不论是否采用微波处理, 干制 90 d 导致鲍肌肉挥发性物质变化最明显, 这可能是干制过程中鲍肌肉发生美拉德反应, 导致花香味的挥发性风味贡献增强。而且经微波处理后的鲍肌肉在干制过程中有利于增加芳香成分的形成, 并抑制腥味物质的产生。杂环化合物中 2-戊基呋喃和 2-乙基呋喃是肉类食品中常见的化合物<sup>[30]</sup>, 在干制 0 d 时均对 WMT 和 MT 组鲍肌肉中熟肉香味有显著贡献, 随着干制时间的延长而逐渐减弱。图 4 结果表明, 微波处理有利于鲍肌肉挥发性风味中芳香成分的形成, 对于腥味物质的产生具有抑制作用。

本研究揭示了 30% NaCl 和 5% 双孢菇提取物复合溶液腌制的鲍肌肉在干制过程中理化性质和挥发性风味变化的规律。随着干制时间的延长, 鲍肌肉蛋白与多糖发生美拉德反应, 主要通过氢键形成糖蛋白聚集体。不论是否微波处理, 经过 90 d 干制后鲍肌肉中壬醛和 1-辛烯-3-醇的 ROAV 明显下降, 而芳香成分中芳樟醇明显增加, 表明干制可以促进鲍肌肉形成良好的挥发性风味。然而, 在相同干制时间内, MT 组鲍肌肉挥发性风味中芳香成分和腥味物质的贡献分别高于和低于 WMT 组, 表明微波处理有助于干鲍肌肉形成良好的挥发性风味。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

#### 参考文献 (References):

[1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴-2022[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022: 26-27.  
Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Areas, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022: 26-27 (in Chinese).

[2] 廖玉琴, 任中阳, 石林凡, 等. 干制过程中鲍鱼肌肉理化性质和挥发性风味的变化 [J]. 食品科学, 2023, 44(12): 252-261.  
Liao Y Q, Ren Z Y, Shi L F, et al. Study on the changes of physicochemical properties and volatile flavors of abalone muscle during drying process[J]. Food Science,

2023, 44(12): 252-261 (in Chinese).

[3] Nagar S. Comparative study of nutritional, antimicrobial and antioxidant properties of *Pleurotus ostreatus* and *Agaricus bisporus*[J]. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 2017, 6(S6): 760-763.

[4] Alnoumani H, Ataman Z A, Were L. Lipid and protein antioxidant capacity of dried *Agaricus bisporus* in salted cooked ground beef[J]. Meat Science, 2017, 129: 9-19.

[5] Cao J, Feng A G, He Y F, et al. The effect and mechanism of four drying methods on the quality of tilapia fillet products[J]. Food Frontiers, 2022, 3(2): 316-327.

[6] 黄群, 傅凌韵, 郑宝东, 等. 不同烹饪方式对传统湘西腊肉挥发性成分的影响 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2017, 46(4): 474-480.  
Huang Q, Fu L Y, Zheng B D, et al. Effect of different cooking methods on volatile components of traditional Xiangxi bacon[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2017, 46(4): 474-480 (in Chinese).

[7] Fu X J, Lin Q L, Xu S Y, et al. Effect of drying methods and antioxidants on the flavor and lipid oxidation of silver carp slices[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 61(1): 251-257.

[8] Hong X, Meng J, Lu R R. Improvement of ACE inhibitory activity of casein hydrolysate by Maillard reaction with xylose[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(1): 66-71.

[9] Matiacevich S B, Buera M P. A critical evaluation of fluorescence as a potential marker for the Maillard reaction[J]. Food Chemistry, 2006, 95(3): 423-430.

[10] Weng W Y, Zheng H B, Su W J. Characterization of edible films based on tilapia (*Tilapia zillii*) scale gelatin with different extraction pH[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 41: 19-26.

[11] Gao P, Jiang Q X, Xu Y S, et al. Aroma profiles of commercial Chinese traditional fermented fish (Suan yu) in Western Hunan: GC-MS, odor activity value and sensory evaluation by partial least squares regression[J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 213-226.

[12] Deng W Y, Tian G F, Wang Z X, et al. Analysis of volatile components changes of *Ruditapes philippinarum* during boiling by HS-GC-IMS coupled with multivariate analyses[J]. Aquaculture Reports, 2022, 25: 101193.

[13] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法 [J]. 食品科学, 2008, 29(7): 370-374.

- Liu D Y, Zhou G H, Xu X L. ROAV method: a new method for determining key odor compounds of Rugao ham[J]. *Food Science*, 2008, 29(7): 370-374 (in Chinese).
- [14] 崔小凡, 杜椅楠, 孙世广, 等. 虾夷扇贝裙边酶解物美拉德反应产物的自由基清除活性 [J]. *中国食品学报*, 2022, 22(8): 276-284.
- Cui X F, Du Y N, Sun S G, *et al.* Free radical scavenging activities of Maillard reaction products from scallop (*Patinopecten yessoensi*) mantle hydrolysates[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(8): 276-284 (in Chinese).
- [15] Yu B B, Wu W, Wang B, *et al.* Maillard-reacted peptides from glucosamine-induced glycation exhibit a pronounced salt taste-enhancing effect[J]. *Food Chemistry*, 2022, 374: 131776.
- [16] Chen K N, Yang Q F, Hong H, *et al.* Physicochemical and functional properties of Maillard reaction products derived from cod (*Gadus morhua* L.) skin collagen peptides and xylose[J]. *Food Chemistry*, 2020, 333: 127489.
- [17] Cheng Y H, Mu D C, Jiao Y, *et al.* Microwave-assisted Maillard reaction between rice protein and dextran induces structural changes and functional improvements[J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 97: 103134.
- [18] Karbasi M, Askari G, Madadlou A. Surface decoration of whey protein microgels through the Maillard conjugation with maltodextrin[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 91: 190-197.
- [19] 张满, 周亚军, 温丑玉, 等. 不同因素对牡蛎酶解液美拉德反应产物的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(22): 190-195.
- Zhang M, Zhou Y J, Wen C Y, *et al.* Effects of different factors on the oyster Maillard reaction product[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(22): 190-195 (in Chinese).
- [20] 段邓乐, 涂宗财, 王辉, 等. 微波固相合成糖基化卵清蛋白及其理化功能特性研究 [J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(11): 48-52.
- Duan D L, Tu Z C, Wang H, *et al.* Physicochemical and functional properties of glycosylated ovalbumin in solid-state by microwave[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2016, 42(11): 48-52 (in Chinese).
- [21] Boonlao N, Ruktanonchai U R, Anal A K. Glycation of soy protein isolate with maltodextrin through Maillard reaction via dry and wet treatments and compare their techno-functional properties[J/OL]. *Polymer Bulletin*, 2023, 80(8): 8603-8626. <https://doi.org/10.1007/s00289-022-04473-y>.
- [22] Qu F F, Zhu X J, Ai Z Y, *et al.* Effect of different drying methods on the sensory quality and chemical components of black tea[J]. *LWT*, 2019, 99: 112-118.
- [23] Hu Q, He Y N, Wang F, *et al.* Microwave technology: a novel approach to the transformation of natural metabolites[J]. *Chinese Medicine*, 2021, 16(1): 87.
- [24] Geng J T, Takahashi K, Kaido T, *et al.* Relationship among pH, generation of free amino acids, and Maillard browning of dried Japanese common squid *Todarodes pacificus* meat[J]. *Food Chemistry*, 2019, 283: 324-330.
- [25] Leiva G E, Naranjo G B, Malec L S. A study of different indicators of Maillard reaction with whey proteins and different carbohydrates under adverse storage conditions[J]. *Food Chemistry*, 2017, 215: 410-416.
- [26] Xu Y, Pitkänen L, Maina N H, *et al.* Interactions between fava bean protein and dextrans produced by *Leuconostoc pseudomesenteroides* DSM 20193 and *Weissella cibaria* Sj 1b[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 190: 315-323.
- [27] Nasrollahzadeh F, Varidi M, Koocheki A, *et al.* Effect of microwave and conventional heating on structural, functional and antioxidant properties of bovine serum albumin-maltodextrin conjugates through Maillard reaction[J]. *Food Research International*, 2017, 100: 289-297.
- [28] 周洋莹, 郑红莉, 杨文钰, 等. 大豆分离蛋白-大豆低聚糖糖基化产物溶解性和乳化性分析 [J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(1): 118-124.
- Zhou Y Y, Zheng H L, Yang W Y, *et al.* Modification of solubility and emulsifying properties of soybean protein isolate by glycosylating with soybean oligosaccharide[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(1): 118-124 (in Chinese).
- [29] Li W W, Zhao H B, He Z Y, *et al.* Modification of soy protein hydrolysates by Maillard reaction: effects of carbohydrate chain length on structural and interfacial properties[J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2016, 138: 70-77.
- [30] 冯媛, 赵洪雷, 曲诗瑶, 等. 海鲢鱼汤烹制过程中风味特性的变化 [J]. *食品科学*, 2020, 41(8): 202-207.
- Feng Y, Zhao H L, Qu S Y, *et al.* Changes in flavor characteristics of sea catfish broth during cooking process[J]. *Food Science*, 2020, 41(8): 202-207 (in Chinese).

## Effect of microwave-assisted drying on the quality of abalone muscle cured with *Agaricus bisporus* extract

LIAO Yuqin<sup>1</sup>, SHI Linfan<sup>1</sup>, REN Zhongyang<sup>1</sup>, WENG Wuyin<sup>1\*</sup>, HUANG Wenmei<sup>2</sup>

(1. College of Ocean Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Xiamen Daozhiyuan Biological Technology Co., Ltd., Xiamen 361024, China)

**Abstract:** In order to explore the effect of microwave-assisted drying on the quality of abalone muscle, the effect of microwave treatment on the physicochemical properties and volatile flavor of abalone muscle marinated by 30% NaCl and 5% *Agaricus bisporus* extract solution during the drying process were studied. The physicochemical properties including browning intensity, fluorescence intensity, sugar reduction, amino acid composition, and glycoproteins were determined. The result shows that the fluorescence and browning intensity values of abalone muscle gradually increased with increasing drying time irrespective of undergoing microwave treatment (MT) and without it (WMT), and reached the maximum at 105 dafter being dried. The sugar content reduction in the WMT abalone muscle decreased from 7.24 mg/g to 5.58 mg/g after drying for 120 d, while that in the MT sample increased from 7.24 to 14.05 mg/g. The total amino acid content in the WMT and MT abalone muscle increased from 39.69 g/100 g to 44.06 and 41.54 g/100 g, respectively. The formed macromolecular compounds and glycoproteins were observed in the electrophoretic profile of abalone muscle after drying for 30 d. Compared to the WMT abalone muscle, not only did the wave number of amide A band in the FT-IR spectra of MT abalone muscle decrease more significantly, but also the absorption peak intensities of amide I and II bands were stronger. Irrespective of MT or WMT, the sensor response values of W2W (aromatic components, organic sulphides) and W2S (aldehydes, alcohols and ketones) in the electronic noses of abalone muscles dried for 90 d were higher than those of the untreated samples. Based on the results determined by gas chromatography mass spectrometry, it was found that the content of nonanal and 1-octen-3-ol in abalone muscle decreased significantly after being dried for 90 d, while the content of linalool increased significantly. At the same drying time, the linalool content in the MT abalone muscle was higher than that of WMT abalone muscle. The results of this study suggested that microwave treatment can promote the Maillard reaction of abalone muscle during the drying process, thereby generating a good volatile odor. This result can provide a theoretical reference for improving the preparation process of dried abalone using microwave assistance.

**Key words:** abalone; *Agaricus bisporus* extract; microwave treatment; drying time; muscle; volatile flavor

**Corresponding author:** WENG Wuyin. E-mail: [wwymail@jmu.edu.cn](mailto:wwymail@jmu.edu.cn)

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (31571835, 32272266); Major Science and Technology Special Project of Fujian Province (2020NZ012015); Xiamen Science and Technology Project (2022CXY0312, 3502Z20226018)