

# 羊栖菜腥味物质分析及其脱除方法比较

匡婷<sup>1,2</sup>, 方宗穆<sup>2,3</sup>, 张名位<sup>2</sup>, 张瑞芬<sup>2</sup>, 池建伟<sup>2</sup>, 黄菲<sup>2</sup>, 贾栩超<sup>2</sup>, 董丽红<sup>2</sup>, 马勤<sup>2</sup>, 邓梅<sup>2</sup>, 马永轩<sup>2</sup>, 郝娟<sup>2</sup>, 赵东<sup>2\*</sup>

(1. 长江大学生命科学学院, 湖北荆州 434000) (2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510000)

(3. 福建农林大学食品科学学院, 福建福州 350000)

**摘要:** 为了分析和脱除羊栖菜的腥味, 本研究使用金银花、柠檬、抹茶和葡萄籽皮等天然植物作为脱腥剂, 采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用分析技术(Headspace Solid Phase Microextraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry, HS-SPME-GC-MS), 结合 NIST14 质谱数据库比对、保留指数分析、气相色谱嗅闻 (Gas Chromatography-Olfactometry, GC-O) 等方法对其风味物质进行鉴定、分析和综合比较, 确定最佳的脱腥剂和脱腥工艺。结果表明: 羊栖菜中共检测出 24 种挥发性风味物质, 其中醛酮醇类化合物是腥味的主要来源; 通过对比四种天然植物, 其中金银花除腥效果最佳, 共检测出 19 种挥发性风味成分, 且不仅显著降低了羊栖菜中醛、酮、醇类等主要腥味化合物, 还增加了花香味; 金银花除腥工艺的最佳条件: 4wt% 金银花粉、加热温度 55 °C, 加热时间 60 min。该研究为羊栖菜的开发和利用提供理论依据。

**关键词:** 羊栖菜; 天然植物; 脱腥工艺; HS-SPME-GC-MS

文章编号: 1673-9078(2022)11-285-297

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.11.0148

## Analysis and Comparison of Methods for Removal of Fishy Substances in *Sargassum fusiforme*

KUANG Ting<sup>1,2</sup>, FANG Zongmu<sup>2,3</sup>, ZHANG Mingwei<sup>2</sup>, ZHANG Ruifen<sup>2</sup>, CHI Jianwei<sup>2</sup>, HUANG Fei<sup>2</sup>, JIA Xuchao<sup>2</sup>, DONG Lihong<sup>2</sup>, MA Qin<sup>2</sup>, DENG Mei<sup>2</sup>, MA Yongxuan<sup>2</sup>, HAO Juan<sup>2</sup>, ZHAO Dong<sup>2\*</sup>

(1. College of Life Sciences, Yangtze University, Jingzhou 434000, China)

(2. Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory Processing, Guangzhou 510000, China)

(3. College of Food Science, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350000, China)

**Abstract:** To analyze and remove fishy substances in *Sargassum fusiforme*, this study used natural plants such as Japanese honeysuckle, lemon, matcha, and grape seed peel as deodorizers for headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) analysis. In addition, comparison of the NIST14 mass spectrometry database, retention index analysis, and gas chromatography-olfactometry (GC-O) were performed to determine the best deodorant and deodorization process. The results revealed 24 volatile flavor substances from *S. fusiforme*, of which aldehydes, ketones, and alcohols were the primary sources of fishy flavor. Among the four natural plant deodorizers, Japanese honeysuckle had the best deodorization effect, and 19 volatile flavor components were detected. Japanese honeysuckle significantly decreased the primary fishy substances such as aldehydes, ketones, and alcohols in *S. fusiforme* and also increased floral flavors. The best conditions for deodorization processing were addition of 4% Japanese honeysuckle and heating at 55 °C for 60 min.

引文格式:

匡婷,方宗穆,张名位,等.羊栖菜腥味物质分析及其脱除方法比较[J].现代食品科技,2022,38(11):285-297

KUANG Ting, FANG Zhongmu, ZHANG Mingwei, et al. Analysis and comparison of methods for removal of fishy substances in *Sargassum fusiforme* [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(11): 285-297

收稿日期: 2022-02-15

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2020B1111030004); 广州市科技计划项目 (201907010035)

作者简介: 匡婷 (1996-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 功能食品, E-mail: 277530461@qq.com

通讯作者: 赵东 (1983-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 功能食品, E-mail: dzhao@gdaas.cn

This study provides a theoretical basis for the development and utilization of *S. fusiforme*.

**Key words:** *Sargassum fusiforme*; natural plants; deodorization process; headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry

羊栖菜 (*Sargassum fusiforme*) 属褐藻门马尾藻科, 又名鹿角菜、海大麦, 分布于我国浙江、福建、广东等地, 是我国特有的经济海藻<sup>[1]</sup>。羊栖菜营养丰富不仅可以食用, 据《神农本草经》和《本草纲目》中记载, 还有治疗“本豚气”、“水气浮肿”、“宿食不化”等功效<sup>[2,3]</sup>。现代研究表明, 羊栖菜富含蛋白质、多糖和多酚类等, 具有良好的抗肿瘤<sup>[4]</sup>、抗病毒<sup>[5]</sup>、抗氧化<sup>[6]</sup>、调节血糖<sup>[7]</sup>、抗衰老<sup>[8]</sup>等生物活性, 在功能食品领域有着良好的应用前景。但由于羊栖菜腥味较重, 使其尚未被消费者广泛接受。因此, 如何脱除羊栖菜的腥味, 成为了制约其产业化发展的主要难题之一。现有的众多脱腥方法, 可分为物理的、化学的、微生物的、感官掩蔽及复合脱腥方法<sup>[9]</sup>, 例如利用高温使腥味化合物挥发, 从而达到脱腥效果<sup>[10]</sup>; 使用醋酸、柠檬酸、苹果酸等浸泡样品, 通过有机酸消除样品中的组胺、螯合金属离子等方式减少腥味物质的产生<sup>[11]</sup>; 通过发酵产生优势风味 FAAs 和特征风味物质显著增强; 通过添加紫苏、香菜、葡萄籽、迷迭香等植物对异味进行掩蔽, 且能有效抑制脂质氧化, 改善风味; 以及通过复配天然植物脱除鱼腥味<sup>[12]</sup>。对比众多的脱腥方法, 采用天然植物对物质进行脱腥处理, 不仅成本低廉、食用安全, 且降低腥味并赋予食物独特风味, 还具有抗菌、抗氧化, 延长产品贮藏时间, 易于工业生产等优点。

因此, 本研究尝试利用金银花、柠檬、抹茶和葡萄籽皮等天然植物对羊栖菜进行脱腥处理, 并通过 HS-SPME-GC-MS 和 GC-O 比较分析各组的腥味成分差异, 选择一种最佳的羊栖菜脱腥剂, 并优化其脱腥工艺, 为今后羊栖菜的产业化提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

羊栖菜来自浙江省洞头岛; 金银花购自福建省合盛康生物技术有限公司; 柠檬粉购自晋江市焕荣堂贸易有限公司; 抹茶粉购自浙江省桐乡市供销电子商务有限公司; 鲜葡萄为辽宁省营口市巨峰葡萄。

抗坏血酸购自天津市百世化工有限公司; C5-C25 正构烷烃混标, 上海安谱实验科技股份有限公司; 氯化钠 (AR), 天津市大茂化学试剂厂; 4-辛醇标准品 (纯度 >99.0%), 东京化成工业株式会社。

### 1.2 仪器与设备

固相微萃取手动进样手柄与 50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS 萃取头, 美国 Supelco 公司; 7890B/5977BMSD 气相色谱-质谱联用仪, 美国 Agilent 公司; 6890B/5977BMSD 气相色谱-质谱联用仪, 美国 Agilent 公司; 嗅闻仪 ODP3, 德国 Gerstel 公司; 20 mL 钳口的 20 mL 透明顶空样品瓶, 上海安谱科学仪器有限公司; DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器, 巩义市予华仪器有限责任公司; 振动式细胞级超微粉碎机 XDW-6B, 济南达微机械有限公司。

### 1.3 天然植物对羊栖菜除腥方法

#### 1.3.1 样品处理

##### 1.3.1.1 羊栖菜预处理

将新鲜羊栖菜清洗, 浸泡 12 h, 沥干后作为除腥研究的原料。沥干羊栖菜置于 50~60  $^{\circ}\text{C}$  热风干燥烘箱干燥 24 h, 并用振动式细胞级超微粉碎机粉碎。

##### 1.3.1.2 金银花预处理

将干制金银花置于 50 g 手提式高速粉碎机中粉碎, 过 60 目筛网, 备用。

##### 1.3.1.3 葡萄预处理

将葡萄皮和籽洗净, 沥干, 置于 55  $^{\circ}\text{C}$  电热恒温鼓风干燥箱中烘 24 h, 中间翻拌 2~3 次。干燥后的样品置于 50 g 手提式高速粉碎机中粉碎备用。

#### 1.3.2 天然植物对羊栖菜除腥的挥发性风味物质测定 (HS-SPME-GC-MS)

##### 1.3.2.1 不同植物对羊栖菜除腥挥发性风味物质顶空固相微萃取

往 500 mL 烧杯中加入 50 g 羊栖菜粉, 再分别加入 3wt% 抹茶粉、3wt% 葡萄籽皮粉、3wt% 柠檬粉和 3wt% 金银花粉, 以不加植物粉组为对照, 料液比 1:50, 85  $^{\circ}\text{C}$  水浴 2 h。将样品 4  $^{\circ}\text{C}$ , 4 000 r/min, 离心 5 min, 取上清, 抽滤后转移到 20 mL 顶空样品瓶, 放入磁力搅拌子后钳紧瓶盖。将顶空瓶立即置于 55  $^{\circ}\text{C}$  恒温磁力搅拌器中平衡 20 min, 插入已老化的 SPME 纤维头, 顶空萃取 45 min; 萃取结束后, 立即将 SPME 纤维头插入 GC-MS 进样。

##### 1.3.2.2 气相色谱质谱分析条件

GC 条件: HP-5MS 型 (30 m $\times$ 250  $\mu\text{m}$  $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ ) 毛细管柱; 载气为高纯氦气 (99.999%); 恒流恒压模

式, 流量为 1.66 mL/min, 压力为 91.70 kPa, 不分流模式; 进样口温度 250 °C; 柱温初始温度 40 °C, 以 4 °C/min 升至 240 °C, 保持 2 min, 总运行时间约为 52 min。MS 条件为电子轰击离子源 (EI), 电子能量 70 eV; 离子源温度 230 °C, 接口温度 280 °C, 四极杆温度 150 °C; 扫描质量范围 35~400  $m/z$ 。

### 1.3.2.3 挥发性物质定性分析

利用气相色谱质谱联用仪 (Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS) 工作站的自动解卷积系统 (Auto Mass Spectral Deconvolution & Identification System, AMDIS) 与 NIST14 质谱库结合化合物保留指数 (Retention Index, RI) 对挥发性风味物质进行鉴定。将 C5-C25 正构烷烃混标在与样品相同的色谱、质谱条件下进样, 记录保留时间, 根据程序升温保留指数公式 (1) 计算各挥发性风味物质的 RI<sup>[13]</sup>:

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

式中:

$T_m$ ——样品中某一挥发性风味物质的保留时间;

$T_{n+1}$ ——碳原子数为  $n+1$  的正构烷烃的保留时间;

$T_n$ ——碳原子数为  $n$  的正构烷烃的保留时间;

$n < m < n+1$ 。

### 1.3.2.4 挥发性物质定量分析

将样品中加入浓度为 1.37  $\mu\text{g/mL}$  的 4-辛醇标准品溶液 200  $\mu\text{L}$ , 样品中各个挥发性风味物质的含量, 按公式 (2) 计算:

$$B = \frac{S_1}{S_2} \times m_2 \times 1000 \quad (2)$$

式中:

$B$ ——挥发性风味物质的含量,  $\mu\text{g/kg}$ ;

$S_1$ ——待测挥发性风味物质的峰面积;

$S_2$ ——内标物的峰面积;

$m_1$ ——样品干基重,  $\text{g}$ ;

$m_2$ ——内标物的质量,  $\mu\text{g}$ 。

## 1.3.3 GC-O 分析

### 1.3.3.1 GC-O 分析条件

采用 7890 型 GC 仪配 ODP-3 嗅觉检测器进行嗅闻分析。提取的挥发性风味物质进 GC 后, 按 3:1 的比例分别进入嗅闻仪和质谱检测器, 色谱条件同 1.3.2.2, GC-O 嗅闻加热温度为 180 °C。

### 1.3.3.2 GC-O 气味强度分析

由 4 名年龄介于 20~26 岁有嗅闻经验的女性人员组成感官评定小组, 在试验过程中描述并记录挥发性风味物质的出峰时间、气味特征及气味强度 (Odor

Intensity Value, OIV)。参考文献方法<sup>[14]</sup>将气味强度分四个等级, “1”表示可以准确识别气味但持续时间短, “2”表示能快速识别气味且持续时间长, “3”表示能准确快速识别气味且持续时间较长, “4”表示能准确快速识别气味且持续时间更长<sup>[15]</sup>。感官评定小组的所有成员对每个样品进行嗅闻, 最终每个挥发性风味物质的香气强度值以总强度的平均值取整数后计。

## 1.4 金银花除腥法

### 1.4.1 单因素实验

分别以金银花粉添加量, 加热时间, 加热温度进行单因素试验。

(1) 金银花粉添加量对羊栖菜除腥效果的影响: 分别往 50 g 羊栖菜粉中加入 0wt%、2wt%、4wt% 的金银花粉, 料液比 1:40, 55 °C 水浴 120 min。

(2) 加热时间对羊栖菜除腥效果的影响: 分别往 50 g 羊栖菜粉中加入 2wt% 金银花粉, 料液比 1:40, 55 °C 水浴 60、120、180 min。

(3) 加热温度对羊栖菜除腥效果的影响: 分别往 50 g 羊栖菜粉中加入 2wt% 金银花粉, 料液比 1:40, 25 °C、55 °C、95 °C 水浴 120 min。

收集各组处理样品, 4 °C, 4 000 r/min 离心 5 min, 取上清。按照 1.3.2.1 和 1.3.2.2 进行 HS-SPME-GC-MS 定量分析。

### 1.4.2 ROAV 法对挥发性风味物质的分析

香气成分对食品香气体系的贡献不仅仅取决于其浓度, 更是与其自身阈值密切相关, 因此需要定量和分析食品中挥发性香气成分的贡献度, Acree 等<sup>[16]</sup>提出香气活力值 (Odor Activity Value, OAV) 的概念, 指香气成分在香气体系中的绝对或质量浓度 ( $C$ ) 与其香气或感觉阈值 ( $T$ ) 的比值, 即:

$$OAV = C / T \quad (3)$$

将样品总体风味贡献最大的组分即相对气味活度值 ( $OAV_0$ ) 定义为 100, 则其他成分 ( $A$ ) 可表示为:

$$ROAV_A = \frac{OAV_A}{OAV_0} \times 100 \quad (4)$$

所有组分  $ROAV \leq 100$ , 且  $ROAV$  值越大, 对样品总体风味贡献越大。

## 1.5 统计分析

所有样品均设置 3 个重复, 含量数据用均值 $\pm$ 标准差表示。采用 SPSS 26 对数据进行显著性分析, 不同英文字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 天然植物对羊栖菜除腥的挥发性风味物质的分析

采用 7890B/5977BMSD 气-质谱联用色谱仪测定不同植物对羊栖菜腥味物质的影响, 结果如图 1 所示不同植物处理后的成分含量和种类均有变化, 且各挥发性风味物质的种类及含量如图 2 所示。羊栖菜原样中检测出 24 种挥发性风味物质, 金银花除腥样中检测出 19 种, 抹茶除腥样检测出 22 种, 柠檬除腥样检测出 23 种, 葡萄籽皮除腥样检测出 22 种, 均为醛类、醇类、酮类、烃类和杂环类, 羊栖菜原样中各类挥发性物质的含量分别为 20.8%、20.8%、16.67%、33.30%和 8.30%, 可初步断定中醛类、酮类和醇类对羊栖菜腥味贡献最大, 因为烃类组分味道较轻或芳香阈值较高, 对风味的贡献不大<sup>[17,18]</sup>。

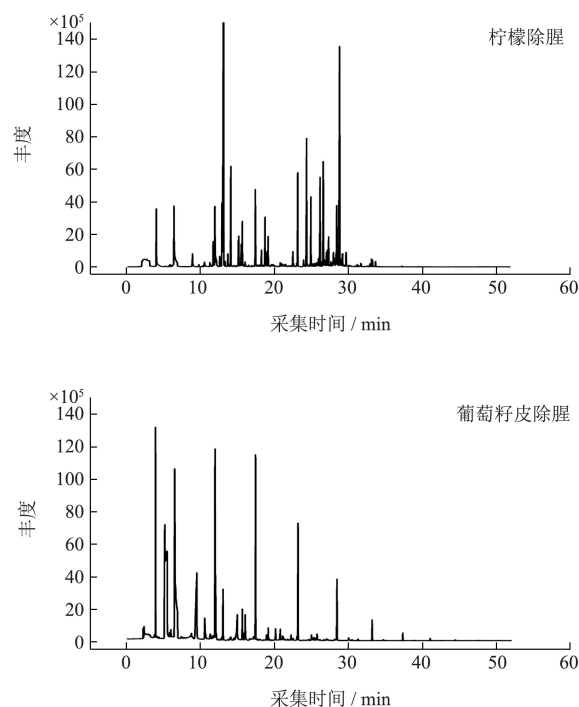
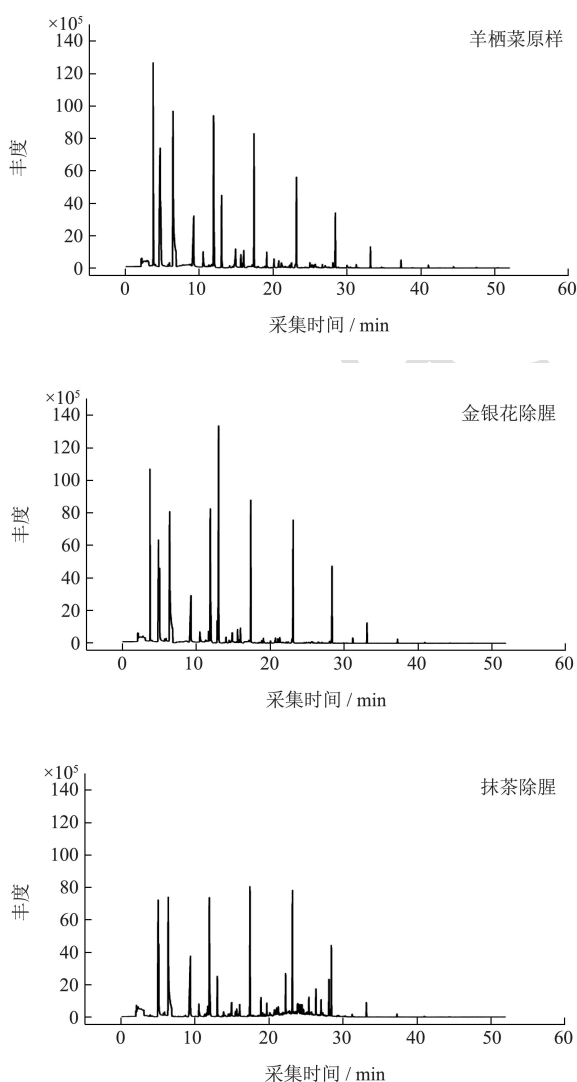


图 1 天然植物处理羊栖菜挥发性成分的总离子流图  
Fig.1 Total ion flow diagram of volatile components of *Sargassum*

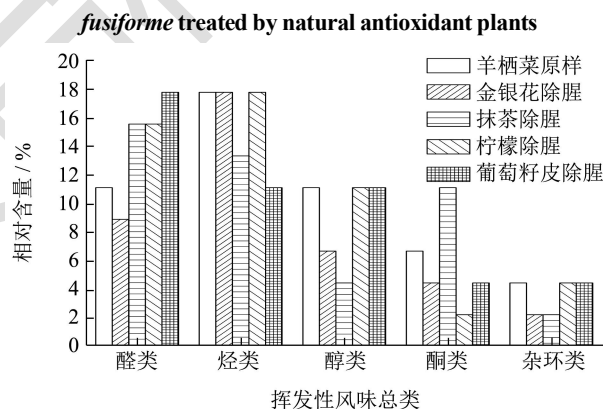


图 2 天然植物对羊栖菜除腥各风味物质相对含量的影响  
Fig.2 Effect of natural antioxidant plants on the relative content of various flavor substances in deodorization of *Sargassum fusiforme*

对比羊栖菜原样, 金银花除腥样中醛类、醇类、酮类、烃类和杂环类含量分别为 8.70%、6.52%、6.52%、17.39%、2.17%; 抹茶除腥样中分别为 15.22%、4.35%、13.04%、13.04%、2.17%; 柠檬除腥样中分别为 15.22%、10.87%、2.17%、17.39%和 4.35%; 葡萄籽皮除腥样中分别为 17.39%、10.87%、4.35%、10.87%和 4.35%, 四种植物均在不同程度上降低了羊栖菜原样中醛类、醇类、酮类、烃类和杂环类挥发性成分, 其中金银花降低羰基化合物及醇类物质效果较好。基于已报到的文献, 大部分海产品中多不饱和脂肪酸经代谢而衍生出的挥发性羰基和醇类化合物, 这些衍生物对其气味有很大

贡献<sup>[11,19]</sup>,所以金银花可能是较为理想的除腥剂。

## 2.2 天然植物对羊栖菜除腥的挥发性风味物质

### GC-O 分析

#### 2.2.1 天然植物对羊栖菜除腥的挥发性风味物质 GC-O 气味强度分析

羊栖菜组、金银花组、抹茶组、柠檬组和葡萄籽皮组中挥发性风味物质、气味描述及其强度分别见表1、表2、表3、表4和表5,共检测到46种气味活性化合物(OIV $\geq$ 1)。羊栖菜原样中24种挥发性物质,其中5种醛类、5种醇类、4种酮类、8种烃类和2种杂环类,OIV $\geq$ 3的强气味活性化合物有庚醛、壬醛、 $\beta$ -紫罗兰酮、(E)- $\beta$ -紫罗兰酮和1-辛醇。据文献报道,庚醛、壬醛和紫罗兰酮等挥发性物质通常呈现出一些令人不悦的腐臭味,是鱼肉腥味的来源<sup>[19-21]</sup>。所以我们推断上述5种物质所呈现的气味可能是羊栖菜中腥味

的主要来源。

金银花组中检测到的19种气味化合物,其中含有4种醛类、3种醇类、3种酮类、8种烃类和1种杂环类,OIV $\geq$ 3的强气味活性化合物有辛醛、 $\beta$ -紫罗兰酮和(E)- $\beta$ -紫罗兰酮。据文献报道,辛醛呈现出柑橘的清新芳香<sup>[22,23]</sup>,所以辛醛可能是金银花组中主要的香气贡献者,并且与紫罗兰酮共同呈现出强烈的紫罗兰花香,这可能归因于不同挥发性化合物的种类和浓度共同作用而表现出不同的气味。也有文献表明,相当多的化合物被总结为具有不同于或部分不同于参考描述的气味。因为气味描述也会受到基质效应,以及遗传和文化差异导致的人类评估者能力的差异的影响<sup>[24]</sup>。

抹茶除腥样中检测到的22种气味化合物,其中含有7种醛类、2种醇类、6种酮类、6种烃类和1种杂环类,并且OIV $\geq$ 3的强气味活性化合物只有(E)- $\beta$ -紫罗兰酮,微弱的呈现出海藻腥味。

表1 羊栖菜原样中挥发性风味物质气味描述及强度

Table 1 The odor description and intensity of volatile flavor compounds in *Sargassum fusiforme*

类别	编号	化合物	保留时间/min	气味强度值	气味
清香味	1	己醛	5.844	1	青草
	3	3-萜烯	12.343	1	松柏
	4	麝香草酚	22.45	2	木香
	5	1-辛烯-3-酮	11.267	2	蘑菇
	6	柏木醇	31.535	1	甜香
甜香	7	双戊烯	12.99	2	果香
	8	1-十二烯	18.629	1	果香
	9	2-正戊基呋喃	11.676	2	谷物
花香味	10	2,4-二叔丁基苯酚	31.535	1	花香
	11	橙化基丙酮	12.99	1	花香
	12	邻二甲苯	18.629	1	花香
海腥味	13	庚醛	8.683	3	酸败
	14	壬醛	15.632	3	鱼腥
	15	$\beta$ -紫罗兰酮	28.108	3	腥味
	16	(E)- $\beta$ -紫罗兰酮	28.112	4	腥味
哈喇味	17	辛醛	12.07	1	脂肪
	18	1-辛醇	14.475	3	脂肪
	19	1-壬醇	17.976	1	脂香
	20	癸醛	19.135	1	脂香
金属塑料味	21	间二甲苯	7.752	2	塑料
	22	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-甲醛	19.699	2	白术
	23	对二甲苯	7.74	1	塑料
	24	2-甲基-3-羟基-2,2,4-三甲基戊基丙酸酯	24.675	1	金属

表2 金银花除腥样中挥发性风味物质气味描述及强度

**Table 2 The odor description and intensity of volatile flavor compounds in *Honeysuckle* deodorization**

类别	编号	化合物	保留时间/min	气味强度值	气味
清香味	1	己醛	5.989	2	青草
	2	辛醛	12.119	3	柑橘
	3	$\beta$ -蒎烯	11.242	2	蘑菇
	4	双戊烯	13.078	1	清香
甜香味	5	$\beta$ -罗勒烯	13.706	1	巧克力
	6	1-十二烯	18.657	2	果香
	7	1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-甲基-苯	28.030	2	甜香
	8	2-正戊基呋喃	11.734	2	谷物
花香味	9	壬醛	15.668	2	花香
	10	芳樟醇	15.541	1	花香
	11	1-癸醇	21.394	2	花香
	12	橙化基丙酮	27.085	2	花香
	13	$\beta$ -紫罗兰酮	28.127	3	紫罗兰
	14	(E)- $\beta$ -紫罗兰酮	28.132	3	紫罗兰
哈喇味	15	1-辛醇	14.509	1	蜡脂
	16	$\gamma$ -松油烯	14.090	2	脂香
	17	癸醛	19.164	2	脂香
金属塑料味	18	间二甲苯	7.820	1	塑料
	19	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-甲醛	19.733	1	白木

表3 抹茶除腥样中挥发性风味物质气味描述及强度

**Table 3 The odor description and intensity of volatile flavor compounds in matcha tea deodorization**

类别	编号	化合物	保留时间/min	气味强度值	气味
清香味	1	己醛	5.955	1	青草
	2	(E)-2-己烯醛	7.308	1	绿色
	3	3,5-辛二烯-2-酮	14.5	2	蘑菇
	4	1-十二烯	18.633	2	蘑菇
甜香味	5	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	19.008	1	木质
	6	双戊烯	13.024	2	果香
	7	$\beta$ -罗勒烯	13.691	1	巧克力
	8	2-正戊基呋喃	11.719	2	谷物
花香味	9	芳樟醇	15.512	2	花香
	10	$\alpha$ -紫罗兰酮	26.364	2	花香
	11	橙化基丙酮	27.066	1	花香
	12	邻二甲苯	7.761	1	花香
海腥味	13	$\beta$ -紫罗兰酮	28.122	1	海藻
	14	(E)- $\beta$ -紫罗兰酮	28.127	3	海藻
哈喇味	15	庚醛	8.686	2	脂肪
	16	辛醛	12.114	2	脂肪
	17	(E)-2-辛烯醛	14.042	1	脂肪
	18	壬醛	15.648	2	脂肪
	19	癸醛	19.144	2	脂香
金属塑料味	20	1-壬醇	17.995	1	塑料
	21	2,5-辛二酮	11.461	2	铁锈
	22	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-甲醛	19.714	1	白木

表4 柠檬除腥样中挥发性风味物质气味描述及强度

**Table 4 The odor description and intensity of volatile flavor compounds in lemon deodorization**

类别	编号	化合物	保留时间/min	气味强度值	气味
清香味	1	己醛	5.867	1	青草
	2	(E)-2-壬烯醛	17.577	3	青瓜
	3	(E)-2-癸烯醛	21.029	2	清香
	4	橙花醇	24.378	1	柠檬
	5	甲苯	5.181	2	清香
	6	辛醛	12.090	2	肥皂
	7	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	19.008	1	木质
	8	芳樟醇	15.522	3	清香
	9	1-辛烯-3-酮	11.247	3	蘑菇
甜香味	10	庚醛	8.701	3	柑橘
	11	$\alpha$ -松油醇	18.736	2	梨
	12	茨烯	10.254	2	甜香
	13	双戊烯	13.098	2	果香
	14	$\beta$ -罗勒烯	13.312	1	巧克力
	15	壬酸甲酯	19.768	2	芝麻糖
	16	苯甲酸甲酯	15.391	1	梨
花香味	17	1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-甲基-苯	28.020	2	花香
哈喇味	18	壬醛	15.654	3	脂肪
	19	1-辛醇	14.485	2	脂香
	20	月桂烯	11.686	3	铁锈
	21	$\gamma$ -松油烯	14.081	3	松脂
	22	癸醛	19.154	2	脂香

表5 葡萄籽皮除腥样中挥发性风味物质气味描述及强度

**Table 5 The odor description and intensity of volatile flavor compounds in grape seed peel deodorization**

类别	编号	化合物	保留时间/min	气味强度值	气味
清香味	1	己醛	5.999	1	青草
	2	(E)-2-己烯醛	7.274	1	绿色
	3	(E)-2-壬烯醛	17.606	1	青瓜
	4	(E)-2-癸烯醛	21.048	2	清香
	5	(E)-2-辛烯-1-醇	14.397	1	清香
甜香味	6	麝香草酚	22.523	2	木香
	7	庚醛	8.691	1	柑橘
	8	双戊烯	13.054	1	果香
花香味	9	1-十二烯	18.657	1	果香
	10	2-正戊基呋喃	11.749	2	谷物
	11	苯乙醛	13.599	1	蜂蜜
	12	2,4-二叔丁基苯酚	28.872	1	花香
海腥味	13	橙化基丙酮	27.075	1	花香
	14	邻二甲苯	7.752	1	花香
哈喇味	15	$\beta$ -紫罗兰酮	28.127	1	腥味
	16	辛醛	12.138	1	脂肪
	17	壬醛	15.673	2	脂肪
	18	1-辛醇	14.485	1	脂香
	19	癸醛	14.081	1	甜香
	20	$\gamma$ -松油烯	19.164	3	松油
金属塑料味	21	1-壬醇	18.005	1	塑料
	22	间二甲苯	7.752	1	塑料



柠檬除腥样中检测到的 23 种气味化合物,其中含有 7 种醛类、5 种醇类、8 种酮类、1 种烃类和 2 种杂环类,  $OIV \geq 3$  的强气味活性化合物有(E)-2-壬烯醛、1-辛烯-3-酮、芳樟醇、壬醛、月桂烯和 $\gamma$ -松油烯。据研究报告,(E)-2-壬烯醛表现出黄瓜清香,1-辛烯-3-酮表现出蘑菇味<sup>[21]</sup>,芳樟醇则呈现出清香味<sup>[25,26]</sup>,所以柠檬脱腥样品主要呈现出清香、花香和哈喇味。

葡萄籽皮除腥样中检测到的 22 种气味化合物,其中含有 8 种醛类、5 种醇类、8 种酮类、8 种烃类和 2 种杂环类,  $OIV \geq 3$  的强气味活性化合物只有呈现出哈喇味的 $\gamma$ -松油烯<sup>[27]</sup>。

### 2.2.2 不同植物对羊栖菜除腥风味轮廓分析

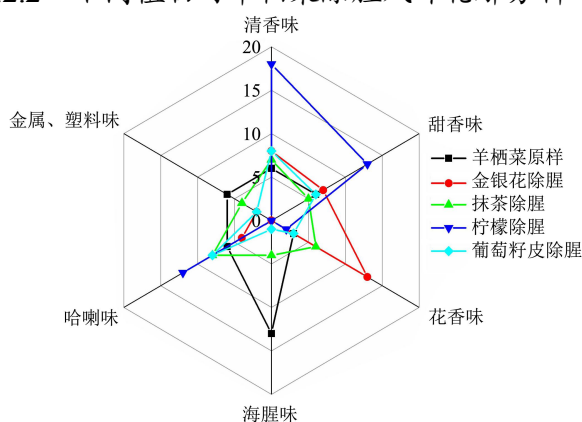


图3 不同植物对羊栖菜除腥各风味物质的风味轮廓图

Fig.3 The flavor profile of deodorization of *Sargassum fusiforme* by different antioxidant plants

不同植物对羊栖菜风味特征的改变,主要包括清香味、花香味、甜香味、海腥味、哈喇味和塑料味,所以本研究通过评价各类风味特征的挥发性风味物质的总气味强度,得到四种天然植物对羊栖菜的脱腥风味轮廓图。如图3所示,羊栖菜原样主要呈现出海腥味,分别加入金银花、抹茶、柠檬和葡萄籽皮后,在一定程度上降低了羊栖菜的腥味,也激发出其它风味:其中金银花除腥样,通过花香味掩盖了羊栖菜的海腥味;抹茶虽降低了羊栖菜的海腥味,但同时也降低了样品的清香、甜香、花香味;柠檬和葡萄籽皮在降低海腥味的同时,加重了哈喇味,这可能是由于羊栖菜中脂质氧化,产生了烃类、醛酮等物质<sup>[28]</sup>。最后,综合比较四种羊栖菜脱腥材料,金银花是较为适用于羊栖菜脱腥。

### 2.3 金银花添加量对羊栖菜除腥效果的影响

采用 6890B/5977BMSD 气-质联用色谱仪测定金银花添加量对羊栖菜除腥的挥发性风味物质,并通过结

合风味化合物含量、香味阈值及  $ROAV$ , 分析不同金银花添加量对羊栖菜除腥效果,进而探究金银花的脱腥工艺<sup>[29]</sup>。将样品整体风味贡献最大组分的  $ROAV$  定义为 100,用  $ROAV$  量化评价不同挥发性物质对总体风味的贡献程度,即  $ROAV \geq 1$  的组分为样品的关键风味化合物,  $0.1 \leq ROAV < 1$  的组分对样品总体风味化合物起重要修饰作用<sup>[30,31]</sup>。如表6所示,在羊栖菜原样中,醛类物质阈值较低且含量占比高,对风味贡献较大,其中(E)-2-癸烯醛、(E)-2-辛烯醛、壬醛、(E)-2,4-癸二烯醛、癸醛和(E)-2-壬醛,这些挥发性物质可能是羊栖菜腥味的主要来源<sup>[21,32-35]</sup>。结果表明,添加金银花能够显著降低羊栖菜原样的腥味成分,其中包括降低了(E)-2-辛烯醛、壬醛、(E)-2-癸烯醛、癸醛和(E)-2,4-癸二烯醛的  $ROAV$ ,且金银花添加量为4%的  $ROAV$  更低,所以金银花添加量是影响羊栖菜腥味的主要因素之一,且4%添加量更优。

### 2.4 加热温度对羊栖菜除腥效果的影响

采用 6890B/5977BMSD 气-质联用色谱仪测定加热温度对羊栖菜除腥的挥发性风味物质,并通过结合风味化合物含量、香味阈值及  $ROAV$ , 分析不同温度对羊栖菜除腥效果的影响,以确定适合的脱腥温度。研究结果表明加热可促使腥味物质的释放,如表7所示,羊栖菜原样中风味贡献最大的化合物(E)-2-癸烯醛、(E)-2-辛烯醛、壬醛、(E)-2-壬醛、(E)-2,4-癸二烯醛和癸醛。结果表明,不同温度(55℃和95℃)均在一定程度上降低羊栖菜腥味物质的  $ROAV$ ,减弱羊栖菜的腥味。其中55℃处理组降低了(E)-2-壬醛、(E)-2-癸烯醛、癸醛和(E)-2-辛烯醛的产生;而95℃水浴加热虽然降低了(E)-2-壬醛、(E)-2-癸烯醛和(E)-2-辛烯醛的产生,但大幅增加了壬醛和癸醛的产生,使羊栖菜带有脂味,呈现出明显的哈喇味<sup>[35-36]</sup>。因此,温度显著影响羊栖菜腥味物质的产生,且高温不适合羊栖菜脱腥,同样的结果也在谢林明等研究中<sup>[37]</sup>在60℃条件下加热30min,螺旋藻溶液的腥味已很淡。而在加热温度大于60℃时,叶绿素受热后变为脱镁叶绿素,发生变色,并出现螺旋藻蛋白沉淀,因此加热脱腥的温度最好不超过60℃。徐玉雪等<sup>[38]</sup>通过研究发现在30℃~90℃范围内,随着红毛藻处理温度升高,其腥味感官评分逐渐降低,且在90℃达到最低值。王琳等<sup>[39]</sup>研究发现加热温度对螺旋藻脱腥效果影响较大,随着温度的增加,螺旋藻的腥味越来越淡。故选择加热55℃作为羊栖菜除腥的加热温度。



表 6 不同金银花添加量对羊栖菜除腥中挥发性风味物质含量

Table 6 Effects of different amounts of honeysuckle on the content of volatile flavor substances in deodorization of *Sargassum fusiforme*

化合物	阈值 ( $\mu\text{g/L}$ )	保留时 间 (min)	羊栖菜原样			金银花 0%除腥			金银花 2%除腥			金银花 4%除腥			
			浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	OAV	ROAV	浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	OAV	ROAV	浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	OAV	ROAV	浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	OAV	ROAV	
醛类	(E)-2-辛烯醛	2.7	14.776	301.19 $\pm$ 131.95 <sub>b</sub>	111.5 5	11.86	688.55 $\pm$ 39.08 <sup>a</sup>	255.02	10.57	494.22 $\pm$ 23.48 <sub>b</sub>	183.04	7.09	363.77 $\pm$ 45.14 <sup>b</sup>	134.73	1.82
	壬醛	2.6	16.918	211.45 $\pm$ 58.91 <sup>b</sup>	81.33	8.65	741.83 $\pm$ 91.91 <sup>a</sup>	285.32	11.83	774.47 $\pm$ 1.00 <sup>a</sup>	297.87	11.54	797.58 $\pm$ 95.55 <sup>a</sup>	306.76	4.15
	(E)-2-壬醛	0.09	18.958	84.64 $\pm$ 45.34 <sup>b</sup>	940.4 3	100.0 0	-	-	-	-	-	-	324.54 $\pm$ 196.4 3 <sup>a</sup>	605.98	48.75
	癸醛	2.6	20.604	262.57 $\pm$ 79.18 <sup>b</sup>	100.9 9	10.74	874.94 $\pm$ 250.41 <sub>a</sub>	336.52	13.95	907.9 $\pm$ 265.39 <sub>a</sub>	349.19	13.53	485.16 $\pm$ 57.71 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	186.60	2.52
	(E)-2-癸烯醛	2.7	22.581	457.11 $\pm$ 12.22 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	169.3 0	18.00	1 282.9 $\pm$ 255.06 <sup>a</sup>	475.15	19.70	-	-	-	438.79 $\pm$ 61.45 <sup>b</sup>	162.51	2.20
	(E)-2,4-癸二烯醛	2.3	24.528	119.15 $\pm$ 34.78 <sup>c</sup>	51.80	5.51	535.93 $\pm$ 64.75 <sup>ab</sup>	233.01	9.66	584.57 $\pm$ 37.95 <sub>a</sub>	254.16	9.85	435.08 $\pm$ 45.71 <sup>b</sup>	189.17	2.56
	十二醛	33	27.459	146.46 $\pm$ 67.46 <sup>b</sup>	10.46	1.11	545.49 $\pm$ 17.45 <sup>a</sup>	38.96	1.62	-	-	-	-	-	-
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	15.4	12.941	-	-	-	-	-	-	819.35 $\pm$ 21.45 <sub>a</sub>	53.20	2.06	649.02 $\pm$ 46.69 <sup>a</sup>	42.14	0.57
醇类 酮类	柏木醇	0.5	33.711	-	-	-	55.76 $\pm$ 0.96 <sup>a</sup>	111.52	4.62	60.39 $\pm$ 6.8 <sup>a</sup>	120.78	4.68	-	-	-
	3,5-辛二烯-2-酮	0.15	15.638	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1109.52 $\pm$ 110.8 <sup>a</sup>	7396.80	100.0 0
烃类	对二甲苯	600	8.525	46.41 $\pm$ 23 <sup>b</sup>	77.35	8.23	142.13 $\pm$ 5.49 <sup>a</sup>	236.89	9.82	140.84 $\pm$ 4.73 <sup>a</sup>	234.74	9.09	129.09 $\pm$ 10.79 <sup>a</sup>	215.16	2.91
	萘	1600	20.015	-	-	-	325.3 $\pm$ 16.45 <sup>b</sup>	47.84	1.98	368.8 $\pm$ 10.85 <sup>a</sup>	0.00	0.00	278.79 $\pm$ 19.83 <sup>c</sup>	41.00	0.55
	1-甲基萘	0.02	24.407	-	-	-	48.23 $\pm$ 6.13 <sup>a</sup>	2411.7 4	100.0 0	51.63 $\pm$ 9.44 <sup>a</sup>	2581.6 0	100.0 0	-	-	-

注：同行右肩不同的小写字母表示具有显著差异 ( $p < 0.05$ )；-表示未检出；仅报道 ROAV 值大于 1 ( $ROAV \geq 1$ ) 的风味。下表同。

表7 加热温度对羊栖菜除腥中挥发性风味物质含量

Table 7 Effects of heating temperature on the content of volatile flavor substances in deodorization of *Sargassum fusiforme*

化合物	阈值 ( $\mu\text{g/L}$ )	保留时 间 /min	羊栖菜原样			25 °C 除腥			55 °C 除腥			95 °C 除腥			
			浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	OAV	ROAV	浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	OAV	ROAV	浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	OAV	ROAV	浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	OAV	ROAV	
(Z)-2-庚烯醛	56	11.470	192.32 $\pm$ 18.74 <sup>b</sup>	3.43	0.37	169.18 $\pm$ 12.61 <sup>b</sup>	3.02	0.20	326.78 $\pm$ 40.02 <sup>a</sup>	5.84	0.21	176.92 $\pm$ 17.44 <sub>b</sub>	3.16	1.58	
(E)-2-辛烯醛	2.7	14.776	301.19 $\pm$ 131.9 <sub>5<sup>a</sup></sub>	111.5 <sub>5</sub>	11.86	459.38 $\pm$ 111.3 <sub>6<sup>a</sup></sub>	170.14	11.20	519.03 $\pm$ 56.80 <sup>a</sup>	192.23	7.07	-	-	-	
壬醛	2.6	16.918	211.45 $\pm$ 58.91 <sup>c</sup>	81.33	8.65	483.7 $\pm$ 67.35 <sup>b</sup>	186.04	12.24	804.47 $\pm$ 124.8 <sub>5<sup>a</sup></sub>	309.41	11.38	367.83 $\pm$ 4.46 <sup>bc</sup>	141.4 <sub>7</sub>	70.79	
(E)-2-壬醛	0.09	18.958	84.64 $\pm$ 45.34 <sup>a</sup>	940.4 <sub>3</sub>	100.0 <sub>0</sub>	136.77 $\pm$ 43.73 <sup>a</sup>	1519.7 <sub>2</sub>	100.0 <sub>0</sub>	-	-	-	-	-	-	
癸醛	2.6	20.604	262.57 $\pm$ 79.18 <sup>b</sup>	100.9 <sub>9</sub>	10.74	441.79 $\pm$ 27.53 <sup>a</sup>	169.92	11.18	660.63 $\pm$ 184.9 <sub>7<sup>a</sup></sub>	254.09	9.35	456.65 $\pm$ 95.12 <sup>a</sup>	175.6 <sub>4</sub>	87.89	
(E)-2-癸烯醛	2.7	22.581	457.11 $\pm$ 12.22 <sup>a</sup>	169.3 <sub>0</sub>	18.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
十一醛	140	24.124	100.45 $\pm$ 0.46 <sup>c</sup>	2.51	0.27	-	-	-	215.86 $\pm$ 3.18 <sup>a</sup>	5.40	0.20	126.58 $\pm$ 9.34 <sup>b</sup>	3.16	1.58	
(E)-2,4-癸二烯醛	2.3	24.528	119.15 $\pm$ 34.78 <sup>c</sup>	51.80	5.51	283.45 $\pm$ 45.8 <sup>b</sup>	944.84	62.17	496.49 $\pm$ 19.87 <sup>a</sup>	215.87	7.94	-	-	-	
十二醛	33	27.459	146.46 $\pm$ 67.46 <sup>a</sup>	10.46	1.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(E,E)-2,4-庚二烯醛	15.4	12.951	-	-	-	267.27 $\pm$ 56.20 <sup>a</sup>	17.36	1.14	537.79 $\pm$ 16.74 <sup>b</sup>	34.92	1.28	-	-	-	
苯乙醛	0.06	14.791	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83.52 $\pm$ 2.17 <sup>a</sup>	20.88	10.45	
酮类	(E)-6,10-二甲基-5,9-十一碳烯-2-酮	0	24.528	-	-	281.63 $\pm$ 102.1 <sub>1<sup>a</sup></sub>	4.69	0.31	438.84 $\pm$ 19.8 <sup>a</sup>	7.31	0.27	264.21 $\pm$ 5.63 <sup>a</sup>	4.40	2.20	
烃类	对二甲苯	600	8.525	46.41 $\pm$ 2.30 <sup>c</sup>	77.35	8.23	179.78 $\pm$ 19.05 <sup>a</sup>	299.63	19.72	129.47 $\pm$ 4.53 <sup>b</sup>	215.78	7.94	119.91 $\pm$ 9.51 <sup>b</sup>	199.8 <sub>4</sub>	100.0 <sub>0</sub>
	柠檬烯	10	14.163	-	-	-	188.13 $\pm$ 5.74 <sup>a</sup>	18.81	1.24	167.51 $\pm$ 53.05 <sup>a</sup>	16.75	0.62	361.06 $\pm$ 186 <sup>a</sup>	36.11	18.07
	萜	1600	20.010	-	-	-	238.43 $\pm$ 41.90 <sup>b</sup>	35.06	2.31	319.91 $\pm$ 15.49 <sup>a</sup>	47.05	1.73	250.3 $\pm$ 7.93 <sup>b</sup>	36.81	18.42
	1-甲基萜	0.02	24.411	-	-	-	-	-	54.36 $\pm$ 9.42 <sup>a</sup>	2717.8 <sub>7</sub>	100.0 <sub>0</sub>	-	-	-	

表8 加热时间对羊栖菜除腥中挥发性风味物质含量

Table 8 Effects of heating time on the content of volatile flavor substances in deodorization of *Sargassum fusiforme*

化合物	阈值 ( $\mu\text{g/L}$ )	保留时 间 (min)	羊栖菜原样			60 min 除腥			120 min 除腥			180 min 除腥			
			浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	OAV	ROAV	浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	OAV	ROAV	浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	OAV	ROAV	浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	OAV	ROAV	
(Z)-2-庚烯醛	56	11.470	192.32 $\pm$ 18.74 <sup>a</sup>	3.43	0.37	355.17 $\pm$ 35.6 <sup>a</sup>	27.32	0.58	155.26 $\pm$ 5.44 <sup>a</sup>	2.77	1.36	178.84 $\pm$ 6.48 <sup>a</sup>	3.19	0.11	
(E)-2-辛烯醛	2.7	14.776	301.19 $\pm$ 131.9 <sup>5a</sup>	111.5 <sub>5</sub>	11.86	508.89 $\pm$ 24.73 <sub>a</sub>	188.48	4.00	-	-	-	380.05 $\pm$ 2.25 <sup>a</sup>	140.76	4.89	
壬醛	2.6	16.918	211.45 $\pm$ 58.91 <sup>c</sup>	81.33	8.65	816.37 $\pm$ 93.59 <sub>a</sub>	313.99	6.66	455.35 $\pm$ 76.63 <sub>b</sub>	175.1 <sub>3</sub>	86.05	526.24 $\pm$ 85.16 <sub>b</sub>	202.40	7.04	
(E)-2-壬醛	0.09	18.958	84.64 $\pm$ 45.34 <sup>a</sup>	940.4 <sub>3</sub>	100.0 <sub>0</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
癸醛	2.6	20.604	262.57 $\pm$ 79.18 <sup>b</sup>	100.9 <sub>9</sub>	10.74	560.6 $\pm$ 8.55 <sup>a</sup>	215.61	4.57	334.76 $\pm$ 72.73 <sub>b</sub>	128.7 <sub>5</sub>	63.26	347.8 $\pm$ 50.08 <sup>b</sup>	133.77	4.65	
(E)-2-癸烯醛	2.7	22.581	457.11 $\pm$ 12.22 <sup>a</sup>	169.3 <sub>0</sub>	18.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(E)-2,4-癸二烯醛	2.3	24.528	119.15 $\pm$ 34.78 <sup>a</sup>	51.80	5.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
十二醛	33	27.483	146.46 $\pm$ 67.46 <sup>a</sup>	10.46	1.11	227.42 $\pm$ 67.37 <sub>a</sub>	16.24	0.34	-	-	-	-	-	-	
(E,E)-2,4-庚二烯醛	15.4	12.960	-	-	-	-	-	-	333.49 $\pm$ 48.73 <sub>a</sub>	21.65	10.64	267.15 $\pm$ 12.86 <sub>a</sub>	17.35	0.60	
醇类	柏木醇	0.5	33.711	-	-	-	77.18 $\pm$ 2.55 <sup>a</sup>	154.37	3.27	-	-	-	-	-	
酮类	3,5-辛二烯-2-酮	0.15	15.628	-	-	-	707.3 $\pm$ 40.22 <sup>a</sup>	4715.3 <sub>4</sub>	100.0 <sub>0</sub>	-	-	-	-	-	
	对二甲苯	600	8.525	46.41 $\pm$ 23 <sup>b</sup>	77.35	8.23	147.68 $\pm$ 16.71 <sub>a</sub>	246.13	5.22	122.12 $\pm$ 8.68 <sup>a</sup>	203.5 <sub>3</sub>	100.0 <sub>0</sub>	134.16 $\pm$ 5.25 <sup>a</sup>	223.59	7.77
烃类	柠檬烯	10	14.153	-	-	-	345.61 $\pm$ 83.46 <sub>a</sub>	34.56	0.73	121.8 $\pm$ 8.02 <sup>b</sup>	12.18	5.98	175.59 $\pm$ 45.98 <sub>b</sub>	17.56	0.61
	萜	1600	20.010	-	-	-	281.01 $\pm$ 20.93 <sub>a</sub>	41.33	0.88	284.55 $\pm$ 37.49 <sub>a</sub>	41.84	20.56	254.64 $\pm$ 15.15 <sub>a</sub>	37.45	1.30
	1-甲基萜	0.02	24.402	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57.53 $\pm$ 12.54 <sup>a</sup>	2876.7 <sub>5</sub>	100.0 <sub>0</sub>

## 2.5 加热时间对羊栖菜除腥效果的影响

采用 6890B/5977BMSD 气-质联用色谱仪测定加热时间对羊栖菜除腥的挥发性风味物质, 通过结合风味化合物含量、香味阈值、及 *ROAV*, 分析不同加热时间对羊栖菜除腥效果的影响, 以确定最佳的加热除腥时间。如表 8 所示, 热处理时间显著羊栖菜风味物质壬醛和癸醛的浓度, 其中加热 60 min 和 180 min 均降低了这三种风味化合物的产生, 减弱了羊栖菜的腥味, 并且 60 min 效果更好, 但加热 120 min 增加了壬醛和癸醛的产生, 使得羊栖菜呈现出带有脂氧化的哈喇味<sup>[35,36]</sup>, 所以热处理时间是羊栖菜脱腥工艺的重要因素之一。与本研究不同是阳晖等<sup>[40]</sup>发现加热时间对螺旋藻的脱腥效果影响较小。这可能是由于两种材料的腥味组成和产生机制有所不同。基于本研究结果, 综合考虑脱腥效果与效率, 选择 60 min 作为羊栖菜除腥的加热时间。

## 3 结论

本实验通过采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术 (SPME-GC-MS) 和 GC-O 分析等方法分析了羊栖菜腥味来源, 并探究金银花、抹茶、柠檬和葡萄皮等天然植物在羊栖菜脱腥过程中挥发性物质的变化, 从而确定最适合羊栖菜腥味脱除的材料。实验结果表明, 羊栖菜含有 24 种挥发性风味物质, 包括 5 种醛类、5 种醇类、4 种酮类、8 种烃类和 2 种杂环类。其中庚醛、壬醛、 $\beta$ -紫罗兰酮、(E)- $\beta$ -紫罗兰酮和 1-辛醇是羊栖菜腥味的主要来源, 呈现出海腥味和哈喇味。另外, 添加不同植物对羊栖菜进行脱腥处理, 在一定程度上均降低或掩盖了羊栖菜中的腥味, 其中金银花粉除腥效果最好, 不仅降低了羊栖菜中腥味及哈喇味, 还增加了令人愉悦的花香。为了进一步优化金银花对羊栖菜的脱腥效果, 我们探究了金银花粉添加量、加热时间、加热温度对羊栖菜脱腥效果的影响。通过单因素实验设计, 结合 *ROAV* 法进行分析, 研究结果表明金银花的不同添加量、处理温度和时间均能降低羊栖菜风味贡献最大的挥发性物质的 *ROAV*, 其中包括四种腥味挥发性物质 ((E)-2-癸烯醛、(E)-2-辛烯醛、壬醛、(E)-2-壬醛), 以及两种芳香挥发性物质 ((E)-2,4-癸二烯醛和癸醛)。本研究确定了羊栖菜除腥的最佳工艺: 金银花添加量为 4%, 加热温度为 55 °C, 加热时间为 60 min。

## 参考文献

[1] 张晓梅, 郭芮, 苏红, 等. 羊栖菜营养成分分析与安全性评价[J].

食品工业科技, 2018, 39(4): 296-300

- [2] 李海洋, 郭盛, 严辉, 等. 中药海藻的本草考证[J]. 中药材, 2021, 7: 1767-1773
- [3] 张华芳. 羊栖菜研究进展概述[J]. 时珍国医国药, 2005, 6: 480-481
- [4] Kim E A, Lee J H, Heo S J, et al. Saringosterol acetate isolated from *Hizikia fusiforme*, an edible brown alga, suppressed hepatocellular carcinoma growth and metastasis in a zebrafish xenograft model [J]. *Chemico-Biological Interactions*, 2021, 335: 109362
- [5] Chaturanga K, Weerawardhana A, Dodantenna N, et al. Inhibitory effect of *Sargassum fusiforme* and its components on replication of respiratory syncytial virus *in vitro* and *in vivo* [J]. *Viruses*, 2021, 13(4): 548
- [6] 王胜男, 付晓婷, 许加超, 等. 羊栖菜褐藻糖胶对 AAPH 诱导的斑马鱼氧化应激模型的保护作用[J]. 食品工业科技, 2021, 42(18): 356-365
- [7] Cheng Y, Sibusiso L, Hou L, et al. *Sargassum fusiforme* fucoidan modifies the gut microbiota during alleviation of streptozotocin-induced hyperglycemia in mice [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 131: 1162-1170
- [8] 赵子慧, 徐曼, 刘阿梅, 等. 羊栖菜多糖通过激活 JNK/Nrf2/ARE 信号通路延缓小鼠衰老进程作用研究[J]. 中草药, 2018, 49(23): 5600-5609
- [9] 黄可欣. 牡蛎酶解液挥发性风味成分分析及脱腥工艺研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020
- [10] 许秀娟, 钟红茂, 蒋仙玮. 水产制品除腥技术研究进展[J]. 中国食物与营养, 2009, 2: 32-35
- [11] 卢祺, 刘津延, 刘方芳, 等. 鱼类腥味物质及脱腥技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 8: 285-291
- [12] Zhao Y, Wang Y, Li C, et al. Novel insight into physicochemical and flavor formation in naturally fermented tilapia sausage based on microbial metabolic network [J]. *Food Research International*, 2021, 141: 110122
- [13] H V, Pd K. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gasliquid partition chromatography [J]. *Journal of Chromatography*, 1963, 11: 463-471
- [14] Cheong M W, Liu S Q, Zhou W, et al. Chemical composition and sensory profile of pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) juice [J]. *Food Chemistry*, 2012, 135(4): 2505-2513
- [15] 李国琰, 张雁, 廖娜, 等. 甜玉米成熟过程中挥发性风味物质的变化规律[J/OL]. 食品科学: 1-20
- [16] E A T, J B, G C D. A procedure for the sensory analysis of gas

- chromatographic effluents [J]. Food Chemistry, 1984, 14(4): 273-286
- [17] 宋焕禄. 食品风味化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008
- [18] 孙建璋, 庄定根, 杨加波, 等. 南麂列岛铜藻增殖技术的初步研究[J]. 现代渔业信息, 2010, 25(1): 23-27
- [19] 王怡娟, 姜永江, 陈梨柯. 养殖美国红鱼鱼肉中挥发性成分的研究[J]. 水产科学, 2009, 28(6): 303-307
- [20] Selli S, Cayhan G G. Analysis of volatile compounds of wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by simultaneous distillation-extraction (SDE) and GC-MS [J]. Microchemical Journal, 2009, 93(2): 232-235
- [21] Guo Q, Yu J, Zhao Y, et al. Identification of fishy odor causing compounds produced by *Ochromonas* sp. and *Cryptomonas* ovate with gas chromatography-olfactometry and comprehensive two-dimensional gas chromatography [J]. Science of the Total Environment, 2019, 671: 149-156
- [22] 范刚, 乔宇, 姚晓琳, 等. 柑橘加工制品中香气物质的研究进展[J]. 中国农业科学, 2009, 42(12): 4324-4332
- [23] 曾鸣, 曾辉, 吴明辉, 等. 甜橙果肉粉对橙油风味物质的吸附性能研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 32-38
- [24] Vilar E G, O'sullivan M G, Kerry J P, et al. A chemometric approach to characterize the aroma of selected brown and red edible seaweeds/extracts [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(3): 1228-1238
- [25] 阳丽红, 赵华杰, 周子萱, 等. 白桃风味近水饮料贮存过程中的风味稳定性研究[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-9
- [26] 王梦琪. 基于 SBSE-GC-MS 的“清香”绿茶挥发性成分及其关键呈香成分研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020
- [27] 王燕. 水芹挥发性物质的初步研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2016
- [28] Ma T, Wang Q, Wei P, et al. EGCG-gelatin biofilm improved the protein degradation, flavor and micromolecule metabolites of tilapia fillets during chilled storage [J]. Food Chemistry, 2022, 375: 131662
- [29] Kosowska M, Majcher M A, Jelen H H, et al. Key aroma compounds in smoked cooked loin [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(14): 3683-3690
- [30] Wang S, Chen H, Sun B. Recent progress in food flavor analysis using gas chromatography ion mobility spectrometry (GC-IMS) [J]. Food Chemistry, 2020, 315: 126158
- [31] 梁建兰, 李晓颖, 赵玉华, 等. SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析糖炒燕山早丰板栗中的特征性香气[J]. 食品科技, 2019, 44(12): 300-305
- [32] 鲍佳丽, 方旭波, 陈小娥, 等. 巴沙鱼片脱腥工艺优化及腥味物质分析[J]. 食品工业科技, 2022, 6: 70-76
- [33] Liu T, Yu J, Su M, et al. Production and fate of fishy odorants produced by two freshwater chrysophyte species under different temperature and light conditions [J]. Water Research, 2019, 157: 529-534
- [34] Isleten Hosoglu M. Aroma characterization of five microalgae species using solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry [J]. Food Chemistry, 2018, 240: 1210-1218
- [35] 曾欢. 淡水鱼体内腥味物质的鉴定及生物脱腥方法研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021
- [36] 曾欢, 陶宁萍, 张晶晶, 等. 生物发酵对大口黑鲈的脱腥效果研究[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(6): 1142-1152
- [37] 谢林明, 励建荣. 螺旋藻的脱腥研究[J]. 食品与发酵工业, 2003, 11: 67-71
- [38] 徐玉雪, 陈艳红, 陈昭华, 等. 红毛藻复合脱腥工艺的优化及其挥发性成分 GC-MS 分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(16): 99-106
- [39] 王琳, 余绍蕾, 杜伟春, 等. 新鲜螺旋藻藻泥脱腥处理工艺研究[J]. 浙江农业科学, 2018, 10: 1895-1898
- [40] 阳晖, 方遂, 邹霞, 等. 螺旋藻脱腥工艺的筛选[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(7): 106-110