

# 蓝蛤蒸煮液与酶解液的风味改善作用研究

步莹<sup>1</sup>, 祝伦伟<sup>1</sup>, 何玮<sup>1</sup>, 朱文慧<sup>1</sup>, 李学鹏<sup>1</sup>, 励建荣<sup>1</sup>, 刘贺<sup>1</sup>, 于志国<sup>2</sup>

(1. 渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁省高校重大科技平台“食品贮藏加工及质量安全控制工程技术研究中心”, 辽宁锦州 121013) (2. 丹东泰丰食品有限公司, 辽宁丹东 118300)

**摘要:** 本文以蓝蛤蒸煮液和酶解液为研究对象, 对两种调味基料的游离氨基酸进行了呈味特性分析, 并评价了其对于花蛤酱的风味改善效果。结果表明: 蓝蛤酶解液中的总游离氨基酸 (11685 mg/100 mL) 明显高于蓝蛤蒸煮液 (2498 mg/100 mL), 且蓝蛤酶解液和蓝蛤蒸煮液中呈鲜味特性的氨基酸含量分别为 1650 mg/100 mL 和 697 mg/100 mL, 由此可知酶解液中呈味氨基酸的滋味贡献度要大于蒸煮液。电子鼻传感器对各组样品的响应值存在差异, 其中传感器 W5S (对氮氧化合物灵敏) 的响应值最大, 利用线性判别法可完全将各组样品区分开。气相色谱-质谱结果表明 3 组花蛤酱样品中共鉴定出挥发性风味物质 47 种, 其中主要的风味物质是醛类和醇类物质, 添加蒸煮液组 (CG)、添加酶解液组 (HG) 和空白组 (BG) 的醛类化合物相对含量分别为 31.73%、32.39% 和 18.48%, 而醇类化合物的相对含量分别为 12.90%、15.43% 和 11.16%。综上分析可知, 蓝蛤酶解液中呈味氨基酸含量丰富, 并可丰富和提升食品的风味品质, 具有作为新型天然调味料的开发潜力。

**关键词:** 蓝蛤; 酶解液; 蒸煮液; 呈味特性; 风味改善

文章编号: 1673-9078(2020)01-253-261

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.1.035

## Study on the Flavor Improvement of Cooking Liquid and Enzymatic Hydrolysate of *Aloididae aloid*

BU Ying<sup>1</sup>, ZHU Lun-wei<sup>1</sup>, HE Wei<sup>1</sup>, ZHU Wen-hui<sup>1</sup>, LI Xue-peng<sup>1</sup>, LI Jian-rong<sup>1</sup>, LIU He<sup>1</sup>, YU Zhi-guo<sup>2</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Bohai University, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, The Fresh Food Storage and Processing Technology Research Institute of Liaoning Provincial Universities, Jinzhou 121013, China) (2. Dandong Taifeng Foodstuff Co. Ltd., Dandong 118300, China)

**Abstract:** In this work, the flavor characteristics of free amino acids in the cooking liquid and enzymatic hydrolysate of *Aloididae aloid* were studied, and the improvement effect of clam sauce on their flavor was evaluated. The results showed that the total free amino acid in enzymatic hydrolysate of *Aloididae aloid* was significantly higher than that of cooking liquid (11685 mg/100 mL vs 2498 mg/100 mL). Moreover, the umami amino acid in enzymatic hydrolysate of *Aloididae aloid* and the cooking liquid was 1650 mg/100 mL and 696 mg/100 mL, respectively. Thus, the flavor contribution of delicious amino acids in enzymatic hydrolysate was greater than that of cooking liquid. The electronic nose sensor had the difference response to each sample, among them, the sensor W5S (sensitive to nitrogen and oxygen compounds) had the largest response value, and the linear discriminant analysis could be used to distinguish each sample completely. The results of gas chromatography-mass spectrometry showed that 47 kinds (mainly aldehydes and alcohols) of volatile flavor substances were identified in 3 clam sauce groups. The relative contents of aldehyde compounds in the cooking liquid group (CG), enzymatic hydrolysate group (HG) and blank group (BG) were 31.73%, 32.39% and 18.48%, respectively. The relative contents of alcohols were 12.90%, 15.43% and 11.16%, respectively. In conclusion, the enzymatic hydrolysate of *Aloididae aloid* can effectively enrich and promote the flavor of food, and have the potential to be a new type of natural seasoning.

**Key words:** *Aloididae aloid*; enzymatic hydrolysate; cooking liquid; flavor characteristics; flavor improvement

收稿日期: 2019-08-16

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0400603); 辽宁省教育厅自然科学基金项目 (LF2017008); 辽宁食品产业校企联盟校企合作科研项目 (2018LNSPLM0103)

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

通讯作者: 朱文慧 (1982-), 博士, 讲师, 研究方向: 水产品加工及贮藏

我国贝类资源丰富, 2018 年贝类养殖总产量达 1463.5 万 t 风味; 甘氨酸则是贝类中共有的甜味贡献者, 可掩盖贝类的苦味等不良风味<sup>[2]</sup>。贝类蒸煮液和酶解液是食品工业中常用的两种调味基料, 两者均含有丰富的滋、气味物质, 可赋予食品浓郁的鲜味和醇厚味<sup>[3-6]</sup>。贝类蒸煮液是贝类加工成冷冻产品或干制品

过程中产生的副产物,富含可溶性蛋白质、糖类等营养物质。我国贝类产品加工方式主要采取传统的蒸煮方法,因此导致大量贝类蒸煮液流失,造成了极大浪费,且给企业污水处理增加了成本。因此,如何有效利用贝类蒸煮液,减少资源浪费是贝类加工企业亟待解决的问题。

贝类加水煮制可促使蛋白质降解生成短肽和氨基酸,从而赋予蒸煮液独特的滋味与风味;酶解则是通过添加特定的酶使蛋白质充分降解,更最大限度地释放活性肽和游离氨基酸风味前体物质<sup>[7]</sup>,增强贝类酶解液的风味。两种制备方式均可产生风味物质,然而这两种液体的风味特性及对食品风味的改善作用尚未见报道。蓝蛤(*Aloididae aloid*)是盛产于我国沿海的一种体型极小的低值海洋贝类,常作为虾类养殖饵料。蓝蛤中蛋白质含量高并且富含鲜味肽,蓝蛤蛋白中Glu、Asp、Ala、Gly等呈鲜甜味的氨基酸比例较高,约占总氨基酸含量的50%,其中以Glu最高,占总氨基酸含量的16.89%,是制备海鲜调味基料的优质原料<sup>[8]</sup>。

鉴于此,本试验以蓝蛤为原料进行蒸煮液和酶解液的制备,通过测定氨基酸组成,分析其中呈味氨基酸的含量,并探究两者对花蛤酱风味改善效果,以期为更好地利用蓝蛤制备海鲜调味基料提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

蓝蛤,锦州林西路水产市场; Flavourzyme<sup>®</sup>500MG (500 LAPU/g)、Novozym<sup>®</sup>11039 (1.2 AU-A/g), 诺维信生物加工有限公司; 甲醛(分析纯), 北京索莱宝科技有限公司; 正构烷烃混标 C<sub>8</sub>~C<sub>20</sub> 标准品, 美国Fluka公司。

### 1.2 主要仪器

DL-1型万用电炉, 北京中兴伟业仪器有限公司; 高精度电子天平, 深圳安普特电子科技有限公司; 电磁炉, 美的集团; JHG-Q60-P100 均质机, 上海融合机械设备有限公司; HH-4型数显恒温水浴锅, 常州国华电器有限公司; Orion Star系列手持式便携pH计, 美国Orion公司; Thermo Sorvall LYNX 4000高速落地离心机, 美国Thermo Fisher公司; RE-52AA真空旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂; Thermo公司全自动氨基酸分析仪, 日本日立公司; PEN3电子鼻, 德国AIRSENSE公司; DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器, 郑州长城科工贸有限公司; SPME装置、50/30

μm 二乙基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(DVB/CAR/PDS)萃取头、7890N/5975GC-MS, 美国Agilent公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 蓝蛤蒸煮液及酶解液的制备

蓝蛤蒸煮液的制备: 蓝蛤肉与水(1:2, W/V)煮制2 h, 滤液在4℃条件下以8000 r/min离心15 min后得上清液, 采用真空旋转浓缩器对其浓缩至15 Brix备用。

蓝蛤酶解液的制备: 取蓝蛤肉糜于去离子水(1:1, W/V)中均质, 分别添加Flavourzyme<sup>®</sup>500 MG (0.2% W/V, 500 LAPU/g)和Novozym<sup>®</sup>11039 (0.2% W/V, 1.2 AU-A/g), 调pH为7.0后置于50℃水浴锅中酶解4 h, 酶解完成后100℃下灭酶10 min。在4℃条件下以8000 r/min离心15 min后得上清液, 采用真空旋转浓缩器对其浓缩至15 Brix备用。

在花蛤酱中分别添加蓝蛤酶解液和蒸煮液进行混合杀菌, 添加5%蓝蛤酶解液, 记为添加酶解液组(HG); 添加5%蓝蛤蒸煮液, 记为添加蒸煮液组(CG); 空白组记为BG。

#### 1.3.2 游离氨基酸测定

参照GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》, 采用氨基酸自动分析仪进行测定。分别统计总游离氨基酸(total free amino acids, TFAA)、必需氨基酸(essential amino acids, EAA)、非必需氨基酸(nonessential amino acids, NEAA)的含量和呈味氨基酸(delicious amino acids, DAA)的含量。DAA及TAV分析: 滋味有酸、甜、苦、咸和鲜5种基本味觉, DAA含量对呈味起着至关重要的作用。TAV表示各个呈味物质的含量与其阈值的比, 当TAV大于1时, 认为该物质对呈味有贡献, 而TAV小于1时认为该物质对呈味没有贡献<sup>[9]</sup>, 由此可以确定主要呈味的氨基酸。

#### 1.3.3 电子鼻分析

PEN3型电子鼻传感器由10种金属氧化物半导体型(metal oxide semiconductor, MOS)化学传感元件构成, 不同传感器性能描述如表1所示。

称取5 g待测样品于50 mL烧杯中, 保鲜膜封口, 室温下平衡30 min, 插入电子鼻探头吸取顶端空气, 测定挥发性物质。电子鼻参数设置: 以洁净干燥空气为载气, 测定时间150 s, 气体流量300 mL/min, 采样后清洗时间300 s。测定时传感器响应值逐渐增大, 第90 s后趋于平缓, 取92 s处信号作为传感器信号分析的时间点。每组样品重复3次。

表 1 PEN3 型电子鼻标准传感器阵列性能

Table 1 Properties of standard sensors on PEN3 electronic nose

传感器	传感器名称	性能描述	敏感气体	阈值/(mL/m <sup>3</sup> )
R(1)	W 1C	对芳香族化合物灵敏	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	10
R(2)	W 5S	对氮氧化物很灵敏	NO <sub>2</sub>	1
R(3)	W 3C	对氨类和芳香族类灵敏	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	10
R(4)	W 6S	对氢类灵敏	H <sub>2</sub>	100
R(5)	W 5C	对烷烃和芳香族类灵敏	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1
R(6)	W 1S	对甲基类灵敏	CH <sub>4</sub>	100
R(7)	W 1W	对硫化物灵敏	H <sub>2</sub> S	1
R(8)	W 2S	对乙醇灵敏	CO	100
R(9)	W 2W	对有机硫化物和芳香族类灵敏	H <sub>2</sub> S	1
R(10)	W 3S	对烷烃灵敏	CH <sub>4</sub>	100

### 1.3.4 SPME-GC-MS 分析

#### 1.3.4.1 SPME 条件

取破碎后的样品 5 g 加入 20 mL 样品瓶中, 放入微型磁力搅拌子并密封后将 SPME 针插入样品瓶中, 在 60 °C 恒温磁力搅拌器中平衡 15 min, 使用 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头 (280 °C 活化 30 min), 顶空吸附 20 min, 插入 GC 进样口, 解吸 5 min, 分析 20 min。

#### 1.3.4.2 GC 条件

按照李学鹏<sup>[10]</sup>等方法稍作修改。色谱柱: HP-5MS 毛细管柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm); 进样口温度 250 °C; 载气 (He) 流速 1.5 mL/min; 升温程序: 柱初温 40 °C, 保持 2 min, 以 4 °C/min 升至 160 °C, 保持 1 min, 以 10 °C/min 升至 250 °C, 保持 5 min。不分流模式进样, 无溶剂延时。

#### 1.3.4.3 MS 条件

接口温度 280 °C; 离子源温度 230 °C; 传输线温度 250 °C, 四极杆温度 150 °C; 电子能量 70 eV; 质量扫描范围  $m/z$  30~550。全扫描方式, 扫描速度 1.9/s。

#### 1.3.4.4 挥发性物质的定性定量分析

所得 GC-MS 检测结果通过计算机 NIST11 谱库和人工检索处理, 并利用 C<sub>8</sub>~C<sub>20</sub> 正构烷烃混标的保留时间计算各个色谱峰的保留指数, 参考相关文献定性鉴定检出成分, 确定挥发性物质的化学组成, 统计匹配度大于 50 (最大值 100) 的挥发性成分, 按峰面积归一法计算各化学成分的相对含量。

## 1.4 数据处理

采用 origin 9.0 软件对数据进行作图, 电子鼻所测数据用其自带的 Winmuster 软件进行线性判别分析 (linear discriminant analysis, LDA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 蓝蛤酶解液和蒸煮液游离氨基酸含量

氨基酸可直接通过增强食品的滋味特性来刺激消费者的味觉, 也可以间接的参与风味的发展<sup>[13-15]</sup>。其中, 游离氨基酸 (free amino acid, FAA) 是一类重要的滋味成分, 由表 2 可知, 蓝蛤蒸煮液和蓝蛤酶解液中均含有 17 种游离氨基酸, 蓝蛤蒸煮液中 TFAA 含量为 2498 mg/100 mL, 而蓝蛤酶解液中 TFAA 含量为 11685 mg/100 mL, 为蒸煮液的 4.68 倍。蓝蛤蒸煮液中 EAA 占 TFAA 含量的 22.50%, 而酶解液中 EAA 占 TFAA 含量的 41.21%。

蓝蛤蒸煮液中 DAA 占 TFAA 含量的 97.35%, 而酶解液中 DAA 占 TFAA 含量的 97.86%, 可见蓝蛤酶解液与蓝蛤蒸煮液中 DAA 含量非常丰富。其中蓝蛤蒸煮液中谷氨酸含量最高 (占 TFAA 含量的 16.77%), 其次为甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸。蓝蛤酶解液中以丙氨酸含量最高 (占到 TFAA 含量的 15.70%), 其次为谷氨酸、苏氨酸、亮氨酸。DAA 的 TAV 值越大, 呈味作用越显著, 对滋味的贡献越大<sup>[16]</sup>。蓝蛤蒸煮液中, 除丝氨酸、苏氨酸、脯氨酸、异亮氨酸、亮氨酸外每种 DAA 的 TAV 均大于 1, 而蓝蛤酶解液中 DAA 的 TAV 均大于 1, 这表明酶解液中 DAA 的滋味贡献度要大于蓝蛤蒸煮液的。谷氨酸鲜味最强, 是重要的鲜味剂, 其在蓝蛤蒸煮液和蓝蛤酶解液中 TAV 最大, 分别为 13.97 和 37.67, 对滋味的贡献度最大。甜味氨基酸和鲜味氨基酸作为良好呈味基料的基础, 可以呈现良好的滋味<sup>[17,18]</sup>。蓝蛤蒸煮液中鲜味氨基酸和甜味氨基酸占 TFAA 的比例为 67.12%, 蓝蛤酶解液中鲜味氨基酸和甜味氨基酸占 TFAA 的比例为 52.42%。综上所述, 蓝蛤蒸煮液和酶解液的呈味氨基酸含量均较丰富, 由于酶解液中的呈良好味道的氨基酸含量明显大于蒸煮液中的, 因此认为蓝蛤酶解液的滋味更优。

表2 蓝蛤酶解液和蒸煮液中游离氨基酸组成、呈味特性及 TAV 值

Table 2 The free amino acid composition, flavor characteristics and TAV of cooking liquid and enzymatic hydrolysate of *Aloididae aloid*

名称	呈味特性 <sup>[11,12]</sup>	呈味阈值 (mg/100 mL)	蓝蛤酶解液			蓝蛤蒸煮液		
			含量 (mg/100 mL)	TAV	占 TFAA 比例/%	含量 (mg/100 mL)	TAV	占 TFAA 比例/%
谷氨酸 Glu	鲜味 (+)	30	1130	37.67	9.67	419	13.97	16.77
天冬氨酸 Asp	鲜味 (+)	100	520	5.2	4.45	278	2.78	11.13
甘氨酸 Gly	甜味 (+)	130	480	3.69	4.11	377	2.9	15.09
丙氨酸 Ala	甜味 (+)	60	1835	30.58	15.70	321	5.35	12.85
丝氨酸 Ser	甜味 (+)	150	590	3.93	5.05	68	0.45	2.72
苏氨酸 Thr*	甜味 (+)	260	1020	3.92	8.73	88	0.34	3.52
脯氨酸 Pro	甜味 (+)	300	550	1.83	4.71	126	0.42	5.04
胱氨酸 Cys	ND	ND	250	ND	2.14	66	ND	2.64
赖氨酸 Lys*	苦味/甜味 (-)	50	865	17.3	7.40	102	2.04	4.08
蛋氨酸 Met*	苦味/甜味/硫味 (-)	30	355	11.83	3.04	47	1.57	1.88
缬氨酸 Val*	苦味/甜味 (-)	40	620	15.5	5.31	102	2.55	4.08
精氨酸 Arg	苦味/甜味 (+)	50	850	17	7.27	120	2.4	4.80
异亮氨酸 Ile*	苦味 (-)	90	550	6.11	4.71	46	0.51	1.84
亮氨酸 Leu*	苦味 (-)	190	905	4.76	7.74	76	0.4	3.04
酪氨酸 Try	苦味 (-)	ND	350	ND	3.00	88	ND	3.52
组氨酸 His	苦味 (-)	20	315	15.75	2.70	71	3.55	2.84
苯丙氨酸 Phe*	苦味 (-)	90	500	5.56	4.28	103	1.14	4.12
必需氨基酸 EAA			4815			562		
呈味氨基酸 DAA			11435			2432		
总游离氨基酸 TFAA			11685			2498		
鲜味氨基酸			1650			697		
甜味氨基酸			4475			980		
苦味氨基酸			5310			755		
EAA/TFAA			41.21%			22.50%		
DAA/TFAA			97.86%			97.35%		

注: ND: 未检出或低于检测限; \*: 必需氨基酸; 呈味特性: (+) pleasant (令人愉悦的味觉), (-) unpleasant (令人不适的味觉)。

## 2.2 蓝蛤蒸煮液及酶解液对花蛤酱影响的电子鼻结果分析

将空白组 (BG)、添加蒸煮液组 (CG) 和添加酶解液组 (HG) 的电子鼻数据作柱形图, 对比结果如图 1a 所示。除 W1W 传感器外, 电子鼻其他的传感器对 3 组样品均有明显的响应, 且响应值存在差异, 传感器 W5S (对氮氧化合物灵敏)、W1S (对甲基类灵敏)、W2S (对乙醇灵敏) 的响应值显著高于其它传感器的, 在这 3 个传感器中不同样品的响应值强度为 HG>CG>BG。其他传感器中的响应强度差别不明显。由上述分

析可知, 三种花蛤酱的香气特性有较大差异, 添加蓝蛤蒸煮液和蓝蛤酶解液均能增强其风味, 添加酶解液的效果最佳。

为了进一步分析 BG、CG、HG 三者的区别, 利用 Winmuster 软件对电子鼻响应值的数据集进行线性判别分析 (LDA), 其结果如图 1b 所示。由图可知, 判别式 LD1 贡献率为 81.88%, 判别式 LD2 贡献率为 11.63%, 总贡献率为 93.51%, 大于 85%, 说明可代表样品挥发性风味的主要特征。每组样品测定数据均能成团并且互不重叠, 说明该方法可有效地区分不同组别样品的挥发性气味。

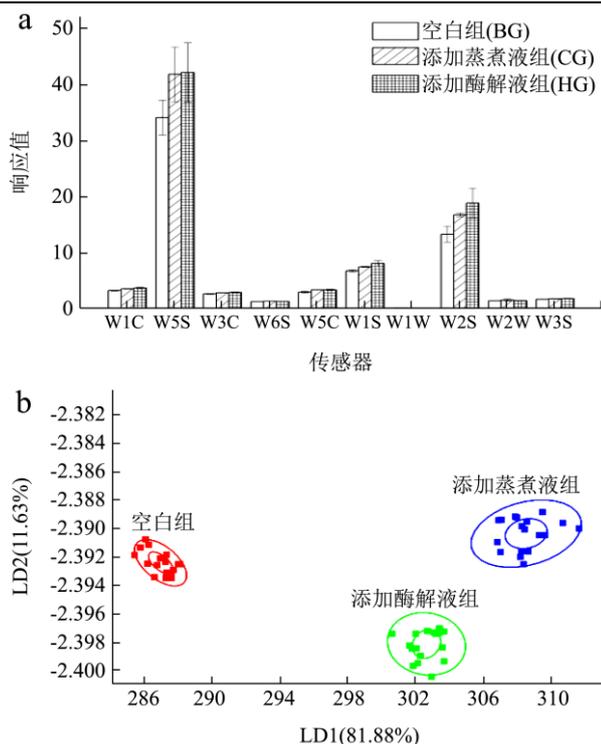


图1 蓝蛤蒸煮液和酶解液对花蛤酱电子鼻响应值 (a) 和 LDA (b) 图的影响

Fig.1 Effects of cooking liquid and enzymatic hydrolysate of *Aloididae aloidii* on electronic nose response values (a) and LDA (b) of clam sauce

### 2.3 蓝蛤蒸煮液及酶解液对花蛤酱挥发性风味物质的影响

本试验样品经感官和电子鼻分析后, 虽能够得知样品之间风味存在差别, 但无法得知 3 组样品中挥发性风味物质的种类及含量等情况, 因此, 采用 HS-SPME-GC-MS 技术比较空白组 (BG)、添加蒸煮液组 (CG) 和添加酶解液组 (HG) 的酸辣花蛤酱挥发性物质差异, 分析结果见表 3。

由表 3 可知, 不同样品中各类挥发性风味物质存在差异, 其中挥发性风味物质种类数差别很小, 较空白组 (BG)、添加蒸煮液组 (CG) 和添加酶解液组 (HG) 的酸辣花蛤酱分别鉴定出 33、34 和 35 种物质, 但所对应的相对总含量变化较大, 分别为 45.76%、58.92% 和 60.90%, 也就是说添加蒸煮液组 (CG) 和添加酶解液组 (HG) 的酸辣花蛤酱相对总含量比空白组 (BG) 分别增加了 28.73% 和 33.08%。表明添加蓝蛤蒸煮液和酶解液均主要是增加挥发性风味物质的含量, 风味

物质种类数变化较小。3 组样品中均检测和鉴定出醇类、醛类、烃类、芳香类、酮类和其他风味物质 6 类物质, 其中醇类、醛类和烃类种类和相对含量最多。在 BG 中, 醇类、醛类和烃类分别为 5 种 (相对含量 11.16%)、11 种 (18.48%) 和 8 种 (11.36%); 在 CG 中, 醇类、醛类和烃类分别为 5 种 (12.90%)、14 种 (31.73%) 和 6 种 (8.39%); 在 HG 中, 醇类、醛类和烃类分别为 5 种 (15.43%)、14 种 (32.39%) 和 6 种 (8.15%)。3 组样品中, CG 和 HG 的风味物质含量接近并且均远高于 BG, 此结果与电子鼻分析结果一致。

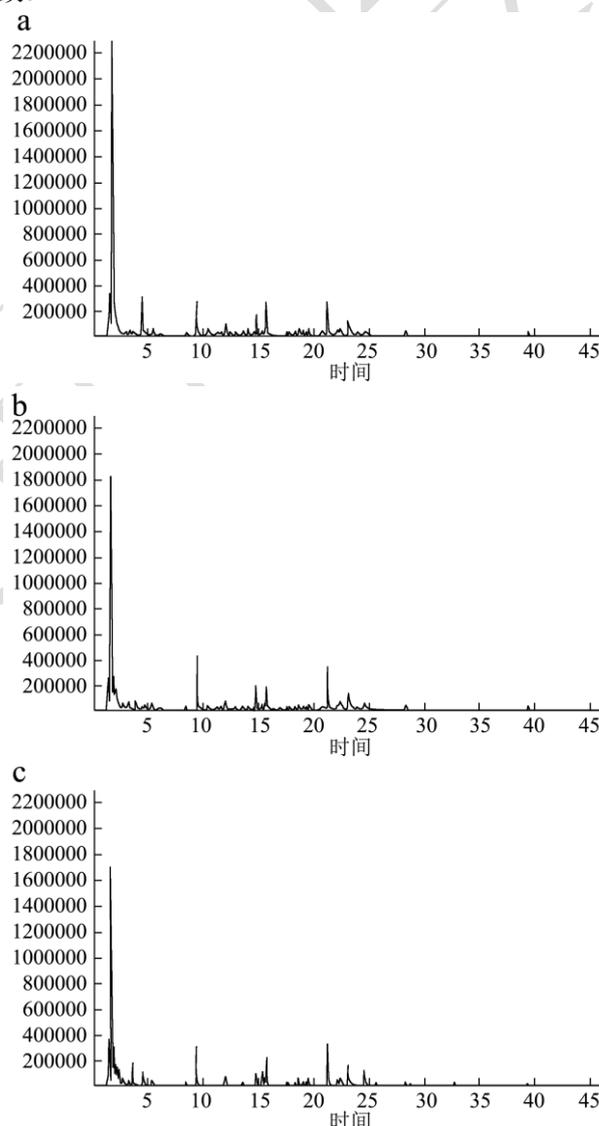


图2 SPME-GC-MS 的总离子流图

Fig.2 Chromatogram of SPME-GC-MS of BG、CG and HG

注: a: BG 的挥发性组份的总离子流图; b: CG 的挥发性组份的总离子流图; c: HG 的挥发性组份的总离子流图。

表3 蓝蛤蒸煮液与酶解液对花蛤酱挥发性风味物质种类及相对含量

Table 3 The kinds and relative contents of volatile flavor substances in clam sauce of the cooking liquid and enzymatic hydrolysate of

类别	<i>Aloididae aloidii</i>					
	空白组 (BG)		添加蒸煮液组 (CG)		添加酶解液组 (HG)	
	种类数	相对百分含量/%	种类数	相对百分含量/%	种类数	相对百分含量/%
醇类	5	11.16	5	12.90	5	15.43
醛类	11	18.48	14	31.73	14	32.39
烃类	8	11.36	6	8.39	6	8.15
芳香类	2	1.70	3	0.59	1	0.14
酮类	2	0.57	1	0.41	3	0.67
其他	5	2.49	5	4.89	6	4.12
合计	33	45.76	34	58.92	35	60.90

## 2.4 蓝蛤蒸煮液及酶解液对花蛤酱影响的挥发性风味物质分析

### 2.4.1 醇类化合物

醇类物质主要产生于脂肪氧化、酯类化合物分解和醛类化合物还原, 酸辣花蛤酱中油脂含量较高, 因此推断醇类物质的生成主要是由于油脂受热氧化。醇类的风味阈值比醛酮类物质高出许多, 通常具有芳香、植物香<sup>[19]</sup>。如表4所示, 3组样品中共检测出6种醇类化合物, 1-辛烯-3-醇又称为蘑菇醇, 是贝类的特征风味醇类<sup>[20,21]</sup>, 仅存在于CG和HG中。其中共有的4种醇类分别为乙醇、正辛醇、芳樟醇、4-萜烯醇, 其中乙醇具有酒香和刺激辛辣味, 正辛醇带有柑橘和玫瑰样的气息, 芳樟醇有着类似柠檬的香味, 4-萜烯醇具有较淡的泥土气息。它们在空白组中的相对含量分别为9.42%、0.30%、0.91%和0.25%; 在添加蒸煮液组中的相对含量分别为10.99%、0.37%、1.10%和0.44%; 在添加酶解液组中的相对含量分别为13.15%、0.56%、1.35%和0.37%。由此可知, 添加蒸煮液和酶解液均能对酸辣花蛤酱贡献出蘑菇味、生水果、柑橘味、花香和酒香等香气特征, 其中添加酶解液的效果优于蒸煮液。

### 2.4.2 醛类化合物

醛类化合物是由多不饱和脂肪酸氧化产生, 感觉阈值普遍偏低<sup>[22]</sup>。在本试验中, 醛类化合物是酸辣花蛤酱中最为重要的一类风味物质, 这与刘琳琳等的结果相似<sup>[23]</sup>。根据碳链长度差异性, C<sub>3</sub>~C<sub>9</sub>醛具有青草、蜡香和脂肪香, C<sub>10</sub>~C<sub>12</sub>醛具有花香和柑橘香。在3组样品中共检测出16种醛类化合物, 其中共同含有异戊醛、戊醛、正己醛、庚醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、苯乙醛、壬醛和反式-2-癸烯醛8种醛类化合物, 上述醛类物质在高浓度时呈酸败味、鱼腥味或脂肪味, 而在较

低浓度时往往呈青草、水果和花香气味<sup>[24]</sup>。CG和HG中戊醛、正己醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、壬醛的相对含量均高于BG, 作为低阈值醛类, 可能对酸辣花蛤酱的风味有重要影响。除此之外, 仅存在于CG和HG的醛类有包括苯甲醛、正辛醛、癸醛、(E,E)-2,4-十二碳二烯醛、反-2-十二烯醛在内的5种醛类化合物, 这些低阈值醛类有很强的与其他风味物质重叠的风味效应。其中苯甲醛具有令人愉快的杏仁和坚果香, 正辛醛则有着果香及茉莉花香味。总而言之, CG和HG中的醛类物质明显高于BG, 这些醛类化合物可能是区别三者中特征风味的极为重要的因素之一。

### 2.4.3 烃类化合物

烷烃广泛分布于贝类产品中, 主要来源于脂肪酸烷氧自由基断裂, 由于其芳香阈值较高, 大多香气较弱或者无味。有研究表明烷烃类化合物是杂环化合物的重要中间体, 或许对酸辣花蛤酱的整体风味品质有提升作用<sup>[25]</sup>。但是在本试验中检测到的烷烃类仅有十一烷、十二烷、十四烷和3,5-二甲基辛烷, 并且含量很少, 因此烷烃类化合物对酸辣花蛤酱整体风味的贡献率较小; 烯烃类化合物具有较低的阈值, 并且大多带有果香味, 因此能赋予酸辣花蛤酱清新和香甜味。在样品中共检测出6种烯烃, 分别为环辛四烯、苯乙烯、双戊烯、茴香烯、1-十二烯和1-十四烯, 其中双戊烯和茴香烯在3组样品中均存在, 双戊烯具有好闻的柠檬香味, 而茴香烯则能赋予酸辣花蛤酱茴香似的香味。

### 2.4.4 酮类化合物

酮类物质很可能是脂肪受热氧化降解和氨基酸降解的产物, 其性质稳定, 香气持久, 往往具有甜的花香和果香。酮类化合物在3组酸辣花蛤酱中检测到的数量及相对含量均较少, 共有1-辛烯-3-酮、甲基庚烯酮、2-壬酮、香叶基丙酮在内的4种酮类化合物, 其中1-辛烯-3-酮和甲基庚烯酮只存在于添加酶解液组

中,而2-壬酮在3组样品中均存在,并且相对含量变化不大。

#### 2.4.5 芳香类及其他化合物

本文检出的芳香族类化合物共有甲苯、对二甲苯、间二甲苯、4-异丙基甲苯和1,2,4,5-四甲苯,有研究表明这些物质可能是因环境被污染而在贝肉中富集导致,会使贝肉呈不愉快的风味,其中CG中的种类和相对含量最多,BG和HG中各含1种。其他类风味

物质主要有吡嗪类化合物、醚类化合物、呋喃类化合物、酸等共计6种。其中对样品风味影响较大的是吡嗪类和呋喃类化合物,吡嗪类化合物广泛存在于油炸、烘烤类食品中,主要由 $\alpha$ -氨基酮经美拉德反应生成吡嗪化合物,通常赋予样品坚果的香味<sup>[26]</sup>。呋喃主要由焦糖化和碳水化合物降解产生,能赋予烧烤味。在3组样品中,均检测到2,6-二甲基吡嗪和2-正戊基呋喃,两者可赋予酸辣花蛤酱美妙的坚果香味和烧烤味。

表4 蓝蛤蒸煮液与酶解液对花蛤酱挥发性风味物质的影响

Table 4 Effects of cooking liquid and enzymatic hydrolysate of of *Aloididae aloid* on volatile flavor substances in clam sauce

类别	保留时间/min	RI	名称	相对百分含量%		
				空白组 (BG)	添加蒸煮液组 (CG)	添加酶解液组 (HG)
醇类	1.74	<800	乙醇	9.42	10.99	13.15
	11.34	963	1-辛烯-3-醇	ND	0.30	0.28
	14.62	1062	正辛醇	0.30	0.37	0.56
	15.62	1090	芳樟醇	0.91	1.10	1.35
	18.34	1147	4-萜烯醇	0.25	0.44	0.37
	19.32	1167	2-癸烯-1-醇	0.28	ND	ND
醛类	2.86	<800	异戊醛	0.65	0.62	0.63
	3.29	<800	戊醛	0.70	0.72	0.93
	5.38	<800	正己醛	0.72	0.98	0.99
	8.46	875	庚醛	0.48	0.39	0.38
	10.66	942	苯甲醛	ND	0.36	0.76
	12.04	984	正辛醛	ND	1.18	1.10
	12.45	997	(E,E)-2,4-庚二烯醛	0.22	0.72	0.38
	13.60	1030	苯乙醛	0.67	0.68	0.72
	14.08	1045	反-2-辛烯醛	0.47	0.86	ND
	15.73	1093	壬醛	2.70	3.41	3.15
	19.36	1168	癸醛	ND	0.386	0.376
	21.24	1206	反式-2-癸烯醛	4.83	5.17	6.11
	22.43	1235	(E,E)-2,4-十二碳二烯醛	ND	1.13	1.42
	23.11	1252	反式-2,4-癸二烯醛	4.24	ND	ND
24.59	1288	2-十一烯醛	2.80	ND	ND	
24.61	1288	反-2-十二烯醛	ND	1.13	1.44	
烃类	8.10	863	环辛四烯	ND	0.074	ND
	8.12	864	苯乙烯	0.18	ND	ND
	12.90	1010	双戊烯	0.22	0.24	0.19
	16.69	1114	十一烷	0.35	0.37	0.31
	22.12	1227	茴香烯	1.14	1.13	1.00
	24.16	1277	1-十二烯	0.47	ND	ND
	24.54	1283	3,5-二甲基辛烷	ND	ND	0.14
	24.90	1295	1-十四烯	0.14	ND	ND
	25.65	1317	十四烷	0.42	0.25	0.15
	26.97	1358	十二烷	0.43	0.33	0.36

转下页

接上页						
	4.58	<800	甲苯	1.61	0.38	ND
	7.36	840	间二甲苯	ND	0.05	ND
芳香类	7.37	840	对二甲苯	0.08	ND	ND
	12.78	1006	4-异丙基甲苯	ND	0.16	ND
	12.84	1006	1,2,4,5-四甲苯	ND	ND	0.14
	11.24	960	1-辛烯-3-酮	ND	ND	0.12
酮类	11.55	1008	甲基庚烯酮	ND	ND	0.17
	16.48	1110	2-壬酮	0.30	0.41	0.37
	27.37	1370	香叶基丙酮	0.28	ND	ND
	3.69	<800	乙酸	1.82	1.43	1.08
	8.97	891	2,6-二甲基吡嗪	0.04	0.04	0.03
其他	11.67	973	2-正戊基呋喃	0.36	0.42	0.32
	14.83	1067	二烯丙基二硫	ND	2.62	2.08
	19.14	1163	4-烯丙基苯甲醚	0.26	0.38	0.46
	31.29	2000	2,3,5,6-四氟茴香醚	0.02	ND	0.15

注: ND: 未检出。

### 3 结论

氨基酸不仅能增强食品的滋味特征,也可以间接的参与风味的形成与发展。氨基酸分析结果表明,蓝蛤蒸煮液和酶解液中游离氨基酸总量(TFAA)的含量均较丰富,其中蓝蛤酶解液(11685 mg/100 mL)的明显大于蒸煮液(2498 mg/100 mL)。蒸煮液中DAA占TFAA含量的97.35%,而酶解液中DAA占TFAA含量的97.86%,并且蓝蛤酶解液和蓝蛤蒸煮液中呈鲜味特性的氨基酸含量分别为1650 mg/100 mL和697 mg/100 mL,综合考虑蓝蛤酶解液滋味更佳。电子鼻传感器对各组样品均有响应并且存在差异,利用LDA法可完全将BG、CG和HG的花蛤酱区分开;GC-MS共鉴定出挥发性风味物质47种,共6类,醇类6种、醛类16种、烃类10种、芳香族类5种、酮类4种、其他化合物6种,其中主要的风味物质是1-辛烯-3-醇、正辛醇、芳樟醇、戊醛、庚醛、壬醛、苯甲醛、苯乙醛为代表的醛类和醇类物质,而2,6-二甲基吡嗪和2-正戊基呋喃等杂环类物质也会提供肉香味。CG、HG和BG中的挥发性风味物质种类数量差别很小(分别为34、35、33种),但含量存在明显区别,其中醛类化合物相对含量分别为31.73%、32.39%和18.48%,而醇类化合物的相对含量分别为12.90%、15.43%和11.16%。CG和HG的主要风味物质含量均明显高于BG,并且添加酶解液的效果好于添加蒸煮液。综上所述,蓝蛤酶解液具有丰富的鲜味和甜味氨基酸,并且能够改善花蛤酱的风味品质,具备开发为增鲜和改善风味的复合型调味品的潜力。

### 参考文献

- [1] 农业部渔业渔政管理局.中国渔业年鉴[M].北京:中国农业出版社,2019:17  
Ministry of Agriculture Fisheries and Fisheries Administration. China Fisheries Yearbook [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2019:17
- [2] 翁世兵,孙恢礼.海产鲜味物质及海产品特征滋味的研究进展[J].中国调味品,2007,11:21-27  
WENG Shi-bing, SUN Hui-li. Marine umami substances and characteristic tastes of seafood [J]. China Condiment, 2007, 11: 21-27
- [3] Cho W I, Kim S M. Taste compounds and biofunctional activities of the sandy beach clam hydrolysate for the shellfish flavoring condiment [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2016, 25(1): 24-34
- [4] 郑惠娜,章超桦,秦小明,等.马氏珠母贝肉蒸煮液主要呈味成分分析[J].食品科技,2012,37(2):151-155  
ZHENG Hui-na, ZHANG Chao-hua, QIN Xiao-ming, et al. Analysis of taste-active components of the cooking liquor of *Pinctada martensii* meat [J]. Food Science and Technology, 2012, 37(2): 151-155
- [5] 罗伟.贻贝煮汁的酶解及其调味基料的制备技术研究[D].海口:海南大学,2015  
LUO Wei. Study on hydrolysates derived from mussel juice and preparation of flavors [D]. Haikou: Hainan Univeristy, 2015
- [6] 肖如武.蓝蛤蛋白源鲜味肽的制备及分离研究[D].广州:华

- 南理工大学,2010
- XIAO Ru-wu. Study on the preparation and purification of umami peptides from *Aloididae aloidii* protein [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010
- [7] 杨波,刘小玲,赵谋明.酶解脱脂蚕蛹蛋白过程中鲜味规律研究[J].食品科学,2017,38(18):119-125
- YANG Bo, LIU Xiao-ling, ZHAO Mou-ming. Variations in umami amino acids of defatted silkworm pupa protein during enzymatic hydrolysis [J]. Food Science, 2017, 38(18): 119-125
- [8] 杨秀敏,王颀,孙剑锋.不同方法制备的扇贝水解液风味物质及氨基酸含量的比较研究[J].中国食品学报,2012, 12(3): 201-209
- YANG Xiu-min, WANG Jie, SUN Jian-feng. Comparative studies on flavor compounds and amino acid contents of scallop hydrolysate from different method [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2012, 12(3): 201-209
- [9] Rotzoll N, Dunkel A, Hofmann T. Quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments on the key taste compounds in morel mushrooms (*Morchella deliciosa* Fr.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(7): 2705-2711
- [10] 李学鹏,刘晏玮,高郡焕,等.美拉德反应改良四角蛤蜊酶解液的风味[J].食品科学,2018,39(16):82-89
- LI Xue-peng, LIU Yan-wei, GAO Jun-huan, et al. Flavor improvement of enzymatic hydrolysate of *Macrta veneriformis* by Maillard reaction [J]. Food Science, 2018, 39(16): 82-89
- [11] Chen D W, Zhang M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1205
- [12] 廖兰,赵谋明,崔春.肽与氨基酸对食品滋味贡献的研究进展[J].食品与发酵工业,2009,12:107-113
- LIAO Lan, ZHAO Mou-ming, CUI Chun. Review on the taste of peptides and amino acids to foodstuffs [J]. Food and Fermentation Industries, 2009, 12: 107-113
- [13] Kong Y, Zhang L L, Sun Y, et al. Determination of the free amino acid, organic acid, and nucleotide in commercial vinegars [J]. Journal of Food Science, 2017, 82(5): 1116-1123
- [14] Jiang W D, Wu P, Tang R J, et al. Nutritive values, flavor amino acids, healthcare fatty acids and flesh quality improved by manganese referring to up-regulating the antioxidant capacity and signaling molecules TOR and Nrf2 in the muscle of fish [J]. Food Research International, 2016, 89: 670-678
- [15] Bermúdez R, Franco D, Carballo J, et al. Influence of muscle type on the evolution of free amino acids and sarcoplasmic and myofibrillar proteins through the manufacturing process of Celta dry-cured ham [J]. Food Research International, 2014, 56: 226-235
- [16] 陈德慰,苏键,刘小玲,等.广西北部湾 3 种贝类中主要呈味物质的测定及呈味作用评价[J].食品科学,2012,33(10): 165-168
- CHEN De-wei, SU Jian, LIU Xiao-ling, et al. Taste evaluation of non-volatile taste compounds in bivalve mollusks from beibu gluf, Guangxi [J]. Food Science, 2012, 33(10): 165-168
- [17] 刘源,王文利,张丹妮.食品鲜味研究进展[J].中国食品学报,2017,17(9):1-10
- LIU Yuan, WANG Wen-li, ZHANG Dan-ni. Research progress of umami in food [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(9): 1-10
- [18] Rhyu M R, Kim E Y. Umami taste characteristics of water extract of Doenjang, a Korean soybean paste: Low-molecular acidic peptides may be a possible clue to the taste [J]. Food Chemistry, 2011, 127(3): 1210-1215
- [19] 刘建,娄永江,刘婷,等.崂泗枸杞岛周边海域紫贻贝特征风味成分分析[J].食品与生物技术学报,2018,37(10):1107-1113
- LIU Jian, LOU Yong-jiang, LIU Ting, et al. Analysis of volatile components of the *Mytilus edulis* in the ocean region around Shengsi Gouqi island [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2018, 37(10): 1107-1113
- [20] 徐丹萍,过雯婷,郑振霄,等.干贝的营养评价与关键风味成分分析[J].中国食品学报,2016,16(12):218-226
- XU Dan-ping, GUO Wen-ting, ZHENG Zhen-xiao, et al. Nutritional evaluation and analysis of the volatile flavor component of dried scallop [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(12): 218-226
- [21] 祝亚辉,曹文红,刘忠嘉,等.热加工处理对华贵栉孔扇贝柱特征风味形成的影响[J].食品科学,2017,38(20):131-138
- ZHU Ya-hui, CAO Wen-hong, LIU Zhong-jia, et al. Effect of heat processing treatments on the formation of characteristic flavor components of *Chlamys nobilis* adductor muscle [J]. Food Science, 2017, 38(20): 131-138

(下转第 234 页)