

池塘养殖与野生三疣梭子蟹 滋味的比较研究

侯文杰¹, 吴旭干², 施文正^{3,*}

(1.上海市水产研究所,上海市水产技术推广站,上海 200433;

2.上海海洋大学,水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室,上海 201306;

3.上海海洋大学食品学院,上海 201306)

摘要:池塘养殖和野生捕捞是食用三疣梭子蟹的两种主要来源,本研究首先比较了池塘养殖与野生三疣梭子蟹可食部位(卵巢、肝胰腺、肌肉)的呈味核苷酸、游离氨基酸、滋味活度值和味精当量,然后采用电子舌对可食部位的整体滋味进行评价。结果表明,池塘养殖梭子蟹卵巢中核苷酸的滋味活度值显著高于($p < 0.05$)野生梭子蟹,池塘养殖梭子蟹卵巢中的IMP(肌苷5'-单磷酸)、GMP(一磷酸鸟苷)、AMP(一磷酸腺苷)显著高于野生梭子蟹($p < 0.05$),肝胰腺中的GMP和AMP、肌肉中的IMP均低于野生梭子蟹;池塘养殖三疣梭子蟹雌体肝胰腺、肌肉中的大部分游离氨基酸含量低于野生,卵巢中则相反,卵巢中的呈味氨基酸和必需氨基酸占总游离氨基酸百分比均高于野生三疣梭子蟹,其中,野生梭子蟹中的苦味氨基酸对整体滋味贡献度较大,池塘养殖梭子蟹中的苦/甜味氨基酸对整体滋味贡献较大。池塘养殖三疣梭子蟹卵巢中的味精当量(EUC值=53.94 g MSG/100 g)显著高于($p < 0.05$)野生梭子蟹卵巢(EUC值=15.81 g MSG/100 g),野生梭子蟹肝胰腺和肌肉中的EUC均高于池塘养殖个体;就不同组织而言,卵巢中的鲜味优于肝胰腺和肌肉。电子舌主成分分析表明池塘养殖与野生梭子蟹的肝胰腺滋味轮廓没有明显区别,但是卵巢与肌肉的整体滋味轮廓能够明显区分,且主要差异体现在第一主成分轴上。研究结果表明池塘养殖三疣梭子蟹卵巢整体滋味优于野生梭子蟹,野生雌体肌肉和肝胰腺的滋味优于池塘养殖个体,这些结果可为池塘养殖三疣梭子蟹的品质调控提供一定的理论指导。

关键词:三疣梭子蟹,滋味,呈味核苷酸,游离氨基酸,电子舌

Comparison of the taste in *Portunus Trituberculatus* between cultured in pond and wild-caught

HOU Wen-jie¹, WU Xu-gan², SHI Wen-zheng^{3,*}

(1. Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai Fisheries Technical Extension Station, Shanghai 204333, China;

2. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources certificated
by Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Pond cultured and wild fishing are two major sources of consumption of *Portunus trituberculatus*. In this study, the taste nucleotide, free amino acid, taste activity and monosodium glutamate equivalence of edible parts (ovary, hepatopancreas, muscle) of pond culture and wild *Portunus trituberculatus* were compared, and the overall taste of the edible part were evaluated by electronic tongue. The results showed that the taste activity of the nucleotide in the ovary of pond culture was significantly higher ($p < 0.05$) than that of the wild crab. The IMP (Inosine Monophosphate), GMP (Guanosine Monophosphate) and AMP (Adenosine Monophosphate) in the ovary of the pond culture were significantly higher ($p < 0.05$) than those in the wild crab, the GMP and AMP in the hepatopancreas and the IMP in the muscle of the pond was lower than the wild crabs. The content of most free amino acids in the hepatopancreas, ovaries and muscles of the pond culture was lower than that of the wild. And the percentage of the total amino acids and the essential amino acids in the gonads was higher than that of the wild trituberculatus. Among them, bitter amino acids in wild crabs had a greater contribution to the overall taste, and the bitter/sweet amino acids in the pond culture had a greater contribution to the overall taste. The monosodium glutamate equivalence of the ovary (EUC =

收稿日期:2017-09-14

作者简介:侯文杰(1985-),男,硕士,工程师,研究方向:海水养殖和设施渔业,E-mail:wjhou01@163.com。

*通讯作者:施文正(1975-),男,博士,教授,研究方向:水产品加工与风味,E-mail:wzshi@shou.edu.cn。

基金项目:上海市科技兴农重点推广项目(农科攻字(2016)第1-1-8号);上海高校水产学高峰学科建设项目(2015-62-0908);上海市市级农口系统青年人才成长计划(沪农青字(2017)第3-3号)。

53.94 g MSG/100 g) was significantly higher than that of wild crab gonads (EUC = 15.81 g MSG/100 g), and the EUC of hepatopancreas and muscle pond culture individual. While the ovarian flavor of different organ-izations was significantly better than the liver and pancreas and muscle. The taste of MSG in the ovary of *Portunus trituberculatus* (EUC = 53.94 gMSG/100 g) was significantly higher than that of wild crab gonads (EUC = 15.81 gMSG/100 g). EUC of the hepatopancreas and muscle in wild were higher than those in pond culture. In different tissues, the freshness of ovary was significantly better than that of hepatopancreas and muscle. The analysis of the main components of the electronic tongue showed that there was no significant difference in the contours of the hepatopancreas between the pond culture and the wild crabs, but the overall taste profile of the ovary and muscles could be clearly distinguished, and the main differences were on the first principal component axis. The results showed that the taste of the ovary of *Portunus trituberculatus* was better than that of wild crab, and the taste of wild female muscle and liver and pancreas was better than that of pond culture. The results could provide some theoretical guidance for the quality control of *Portunus trituberculatus*.

Key words: *Portunus trituberculatus*; taste; taste nucleotide; free amino acid; electronic tongue

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)08-0006-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.08.002

引文格式: 侯文杰, 吴旭干, 施文正. 池塘养殖与野生三疣梭子蟹滋味的比较研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(8): 6-12.

三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*), 别称梭子蟹、海蟹、海螃蟹、枪蟹, 属于甲壳纲 (Crustacea)、十足目 (Decapoda)、梭子蟹科 (Portunidae)、梭子蟹属 (*Portunus*)^[1], 是一种常见的暖温性大型海蟹, 分布于中国、日本和朝鲜等海域^[2]。三疣梭子蟹肉肥细嫩、洁白, 膏红肥满, 更为上品, 味道鲜美, 营养丰富, 不仅含有丰富的蛋白质、维生素 A、B₁、B₂ 和尼克酸, 还含有钙、磷、铁等矿物质^[3], 不论口感还是营养, 均优于一般水产动物, 因此为人们所喜食; 此外三疣梭子蟹出口国外, 也深受国外消费者喜爱, 因此市场价格高^[4]。

三疣梭子蟹是我国重要的海产经济蟹类, 主要来自于池塘养殖和野生捕捞, 2016 年池塘养殖和捕捞产量分别为 12.53 万 t 和 54.21 万 t^[5]。随着人民生活水平的提高, 对优质三疣梭子蟹的市场需求量越来越大, 但是由于野生渔业资源下降和禁捕期延长等原因, 三疣梭子蟹捕捞产量不可能大幅度上市, 池塘养殖是今后主要的发展方向^[6]。已有研究表明, 池塘养殖三疣梭子蟹通常存在卵巢发育不良和生殖性能较差等弊端^[7], 但池塘养殖和野生捕捞三疣梭子蟹雌体在常规营养成分、脂肪酸和氨基酸组成上并无显著差异^[8]。通常认为, 野生水产品的滋味和口感优于养殖水产品, 故野生水产品的价格通常高于养殖水产品。水产品的滋味物质主要包括游离氨基酸、核苷酸、游离糖、有机酸和无机离子^[9]。这些滋味物质的组成和含量直接影响其滋味和品质, 其中核苷酸和游离氨基酸对其滋味贡献相对较大^[10], 迄今为止, 尚未见池塘养殖和野生捕捞三疣梭子蟹滋味品质的比较研究。肌肉、卵巢和肝胰腺是三疣梭子蟹雌体最主要的食用部位, 其营养品质决定着三疣梭子蟹的营养品质^[6]。

鉴于此, 本文首先测定和比较了池塘养殖与野生三疣梭子蟹雌体肌肉、卵巢和肝胰腺中的游离氨基酸和游离核苷酸组成、滋味活度值和味精当量, 进一步采用电子舌比较两者的滋味轮廓, 以期为三疣梭子蟹的风味评价和养殖梭子蟹的品质调控提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

实验用池塘养殖三疣梭子蟹雌体 于 2016 年 12 月底取于上海市水产研究所启东科研基地的养殖池塘, 两个室外池塘的规格为 82.5 m × 45 m × 1.5 m, 养殖期间主要饲喂糠虾、小鱼和小麦粉等, 养殖时间为 6~12 月; 野生三疣梭子蟹雌体 捕捞于浙江省舟山海域 (30°65' N, 122°75' E), 活体运输 (采用塑料水族箱, 配上小型增氧机, 汽车运输) 到上海海洋大学营养繁殖实验室用于后续实验; 色谱级九种核苷酸标品、色谱级 17 种氨基酸混标 购于美国 Sigma Aldrich 公司; 5%、10% 高氯酸、5% 三氯乙酸; 磷酸二氢钾、磷酸氢二钾 均购于上海安谱科学仪器公司, 分析纯。

ASTREE 电子舌 法国 Alpha M.O.S 公司; LC-2010CHT 型高效液相色谱仪 日本岛津公司; L-8800 型氨基酸自动分析仪 日本 Hitachi 公司; Inertsil ODS-3 液相柱 (4.6 mm × 250 mm, 5 μm) GL Sciences 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备 从池塘养殖和野生的三疣梭子蟹雌体中分别挑选规格接近、卵巢发育较好、肢体完整的雌体各 10 只用于实验, 野生和养殖雌体的体重分别为 (184 ± 33) g 和 (199 ± 24) g; 在室温 20 °C 下活体打开梭子蟹甲壳, 分离出卵巢、肝胰腺, 剪开头胸甲底部的内骨骼和各附肢, 刮出肌肉, 放入真空袋中于 -20 °C 冰柜中保存备用。

1.2.2 呈味核苷酸的测定 参考 CHEN Dewei^[11] 等的方法稍有修改, 准确称取 (1 ± 0.001) g 卵巢和肝胰腺和 (2.5 ± 0.001) g 肌肉样品, 加入 2 mL 10% 高氯酸 (PCA), 高速匀浆 30 s 后超声处理 5 min, 10000 r/min, 4 °C 离心 15 min, 取上清液, 沉淀用 1 mL 5% 的高氯酸漂洗, 再次离心, 重复操作两次, 合并上清液。用 6 mol/L 的 KOH 溶液调节 pH 至 5.75, 静置 30 min, 取上清液定容至 10 mL, 摇匀, 取适量溶液过 0.22 μm 的滤膜后待测, 整个过程均在 0~4 °C 下操作完成。

高效液相色谱条件: Inertsil ODS-3 液相柱(4.6 mm × 250 mm, 5 μm), 柱温 30 °C, 流动相流速: 1 mL/min, 进样量 10 μL; 紫外检测器检测波长为 245 nm。流动相 A 为甲醇, B 为磷酸缓冲液(1.7011 g 磷酸二氢钾与 2.1733 g 磷酸氢二钾定容至 1 L, 用 5% 高氯酸调节磷酸盐缓冲液的 pH 至 5.75), 并抽滤和超声 25 kHz, 5 min。流动相的配比为 100% 的 B 保持 8 min, 2 min 线性变化至 A 为 3%, 5 min 线性变化至 A 为 6%, 8 min 线性变化至 A 为 30% 并保持 3 min, 100% 的 B 保持 4 min。

1.2.3 游离氨基酸的测定 将冷冻样品于 4 °C 下解冻, 准确称取蟹肉 0.5 g, 卵巢肝胰腺 1 g 左右, 精确到 0.0001 g, 加入 5% 三氯乙酸 TCA 溶液 15 mL, 高速均质 30 s, 28 kHz 超声处理 15 min 后于 4 °C 冰箱静置 2 h, 冷冻离心(10000 r/min, 4 °C, 10 min), 取 5 mL 上层清液, 将 pH 调至 2.0 后定容至 10 mL 容量瓶中, 取适量溶液过 0.22 μm 的滤膜后待测^[12-13]。

1.2.4 滋味活度值 滋味活度值(taste active value, TAV)为样品中呈味物质浓度的测定值与呈味物质的味道阈值的比值, TAV ≥ 1 时, 该呈味物质对于样品的整体滋味有显著影响, 数值越大贡献越大; TAV < 1 时, 该呈味物质对整体滋味贡献不明显^[14]。

1.2.5 味精当量 味精当量(Equivalent Umami Concentration, EUC)表达式中呈味核苷酸包括 5'-IMP, 5'-GMP, 5'-AMP, 鲜味氨基酸除了谷氨酸外还包括天冬氨酸。用方程式表示为:

$$EUC = \sum a_i b_i + 1218(\sum a_i b_i) / (\sum a_i b_i)$$

其中: EUC 为味精当量(g MSG/100 g); a_i 是鲜味氨基酸(Glu 或 Asp)的浓度(g/100 g); b_i 是鲜味氨基酸相对于 MSG 的鲜度系数(Glu: 1, Asp: 0.077); a_j 是呈味核苷酸(5'-IMP, 5'-GMP, 5'-AMP)的浓度(g/100 g); b_j 是呈味核苷酸相对于 IMP 的鲜度系数(5'-IMP: 1; 5'-GMP: 2.3; 5'-AMP: 0.18)^[15]。

1.2.6 电子舌检测 参考王慧^[16]的方法, 在参数上做微调。准确称取待测蟹样(肌肉、卵巢、肝胰腺) 2 g 于 50 mL 离心管中, 误差不超过 0.01 g, 加入 25 mL 娃哈哈纯净水, 均质机均质 30 s 后超声(28 kHz;

5 min), 静置 30 min, 在 4 °C 下以 10000 r/min 离心 15 min; 过滤, 取下层沉淀, 再加入 25 mL 娃哈哈纯净水, 静置 10 min, 在 4 °C、10000 r/min 的条件下离心 15 min, 合并两次滤液并定容到 100 mL。

在电子舌专用的进样杯中加入 5 mL 滤液, 加入去离子水到 80 mL 刻度, 保证室内物理条件不发生变化的情况下室温完成测定。将每个样品的数据采集时间设置为 120 s, 以 1 s 为周期完成数据采集, 选取第 120 s 出现的响应值作为电子舌原始数据信号, 以 10 s 为周期完成清洗。每个样品做 7 次平行以增加结果的可靠性, 取每组样品后 3 次的原始数据做主成分分析(principal component analysis, PCA)。

1.3 数据处理

数据结果以平均值 ± 标准偏差(mean ± SD, n = 3)表示, 采用 SPSS 20.0 对数据进行方差分析和多重比较; 电子舌主成分分析由工作电脑自带的 Alpha Soft 14.0 进行分析。

2 结果与分析

2.1 呈味核苷酸分析

ATP 及其降解产物是水产品中核苷酸及其关联化合物的重要组成部分, 是水产品鲜味产生的重要因素之一, 其含量的变化是一个相对复杂的动态过程, 一般认为, 鱼类死后 ATP 在其体内的降解途径为: ATP → ADP → AMP → IMP → HxR → Hx, 降解过程中分别受到 ATP 酶、ADP 酶、AMP 脱氢酶、磷酸脂酶和核苷酶等多种酶的影响和控制^[17-18]。其中对水产品风味有主要贡献的是 IMP 和 AMP, IMP 降解生成 HxR 的速度较慢, 因此 IMP 通常会在新鲜的水产品中得到积累, 是其的一种主要呈味核苷酸类物质, 是鲜味极强的风味增强剂, 与谷氨酸共存时有着显著的风味协同作用^[19-20]; AMP 有抑制苦味的特性, 能使食品产生理想的咸味与甜味, 而且和 IMP 结合能提高鲜味强度^[17]。

表 1 和表 2 分别为池塘养殖和野生养殖三疣梭子蟹肝胰腺、卵巢、肌肉三个可食部位的呈味核苷酸 GMP、IMP、AMP 含量及滋味活度值。由表 1 可看出, 在三疣梭子蟹三个可食部分中, 池塘养殖和野生养

表 1 池塘养殖与野生捕捞梭子蟹呈味核苷酸的含量

Table 1 The content of taste nucleotides in *Portunus trituberculatus* cultured in pond and wild-caught

呈味核苷酸	含量(mg/100 g)					
	池塘肝胰腺	野生肝胰腺	池塘卵巢	野生卵巢	池塘肌肉	野生肌肉
GMP	7.84 ± 0.31 ^c	10.64 ± 0.01 ^c	168.52 ± 10.22 ^a	101.02 ± 12.56 ^b	6.36 ± 0.13 ^c	5.42 ± 0.42 ^c
IMP	10.23 ± 0.46 ^{bc}	4.91 ± 0.007 ^c	303.46 ± 26.40 ^a	45.09 ± 2.77 ^{bc}	26.57 ± 5.33 ^{bc}	49.95 ± 16.12 ^b
AMP	14.79 ± 0.60985 ^d	19.96 ± 0.03 ^d	313.41 ± 22.11 ^a	221.35 ± 23.43 ^b	97.60 ± 8.84 ^c	91.58 ± 6.85 ^c

注: 同一行不同字母上标表示差异显著($p < 0.05$), 表 3 同。

表 2 池塘养殖与野生梭子蟹可食部位呈味核苷酸滋味活度(TAV)值

Table 2 TAVs of taste nucleotides in *Portunus trituberculatus* cultured in pond and wild-caught

呈味核苷酸	阈值	TAV 值					
		池塘肝胰腺	野生肝胰腺	池塘卵巢	野生卵巢	池塘肌肉	野生肌肉
GMP	12.5	0.59	0.80	12.54	8.85	3.90	3.66
IMP	25	0.41	0.20	12.14	1.80	1.06	2.00
AMP	50	0.63	0.85	13.48	8.08	0.51	0.43

殖三疣梭子蟹的肝胰腺和肌肉中的 GMP、IMP 和 AMP 的含量无显著性差异 ($p > 0.05$), 卵巢中的 GMP、IMP、AMP 的含量差异显著 ($p < 0.05$)。就不同部位而言, 肌肉中 AMP 的含量显著 ($p < 0.05$) 高于肝胰腺中的含量, 分别为 97.60、91.58 mg/100 g 和 14.79、19.96 mg/100 g。从滋味活度值方面, 肝胰腺中的 GMP、IMP、AMP 和肌肉中的 AMP 的滋味活度值 (TAV) 均小于 1, 说明它们对肝胰腺和肌肉的整体滋味没有显著影响, 而池塘养殖与野生三疣梭子蟹肌肉中的 GMP 的滋味强度值分别为 3.90 和 3.66, 这表明 GMP 对三疣梭子蟹的肌肉整体滋味具有贡献。其次, 池塘养殖与野生梭子蟹肝胰腺和肌肉中的 IMP 具有一定的差异, 但是差异不显著 ($p > 0.05$), 其中肝胰腺中 IMP 滋味活度值小于 0.5, 肌肉中 IMP 滋味活度值大于 1。由此表明呈味核苷酸在不同部位中的含量和滋味贡献度不同, 且相比于肝胰腺部分, 三疣梭子蟹的肌肉更为鲜美, 对于三疣梭子蟹不同部位进行分类加工研究具有一定指导作用。

池塘与野生组卵巢的三种核苷酸含量均差异显著 ($p < 0.05$), 其中 IMP 含量差异最大, 池塘养殖为 303.46 mg/100 g, 是野生养殖的 6.7 倍, 其对应的滋味活度值分别为 12.14 和 1.80, 均大于 1, 说明 IMP 对卵巢的滋味贡献值高, 且对池塘养殖组的滋味贡献度远大于野生组。AMP 含量最高, 池塘和野生组分别为 313.41 和 221.35 mg/100 g, 分别占其呈味核苷酸总量的 40.00% 和 60.23%; 滋味活度值高达 13.48 和 8.08, GMP 含量则为 168.52 和 101.02 mg/100 g, 池塘养殖组含量显著高于野生组 ($p < 0.05$)。结合图 1 可直观看出三疣梭子蟹三个可食部分中卵巢所含呈味核苷酸总量最多, 其次是肌肉和肝胰腺, 与王慧^[14]

的不同温度养殖三疣梭子蟹的风味研究结论相同。此外, 池塘养殖三疣梭子蟹卵巢呈味核苷酸总量明显高于野生三疣梭子蟹, 分别为 785.38、367.46 mg/100 g, 池塘、野生组的肌肉与肝胰腺则分别是 32.86、35.51 mg/100 g 和 130.53、146.95 mg/100 g, 含量相当, 说明池塘养殖三疣梭子蟹整体滋味鲜于野生三疣梭子蟹。另一方面, 卵巢品质是三疣梭子蟹育肥的重要标准之一^[6], 池塘养殖可以大幅度提供卵巢品质, 从而提高三疣梭子蟹的经济价值。

研究选取的样本多为卵巢发育较为成熟的个体, 除卵巢外, 含量最高的核苷酸均为 AMP, 由于 AMP 的甜味滋味轮廓表现出来是独立的, 使蟹肉变得香甜可口。蟹肉的呈味过程存在协同效应且受多种因素影响, 凭游离核苷酸含量和其对应的滋味活度值尚不能对比池塘养殖和野生捕捞三疣梭子蟹的滋味, 需结合游离氨基酸、味精当量、电子舌主成分分析等对两种不同来源的螃蟹进行综合比较。

2.2 游离氨基酸分析

三疣梭子蟹富含丰富的蛋白质和游离氨基酸, 大部分蛋白质本身是无味的, 经过水解得到肽和氨基酸, 游离氨基酸 (free amino acid, FAA) 又称为非蛋白氨基酸, 是一种重要的风味物质, 呈酸、甜、苦、鲜等滋味, 其滋味由分子结构中的亲水基和疏水基决定, 大部分亲水基有宜人的滋味, 而疏水基常有不宜人的滋味^[21]。游离氨基酸对滋味的影响是一个复杂的过程, 与其种类、含量以及自身阈值都有关联, 不同种类的氨基酸、氨基酸与肌苷酸之间还存在相互协同作用共同影响食物滋味。三疣梭子蟹肉的鲜美程度除受核苷酸影响外, 还取决于肌肉中呈味氨基酸的阈值和含量, 表 3 为池塘养殖与野生三疣梭子

表 3 池塘养殖与野生捕捞梭子蟹可食部位游离氨基酸含量

Table 3 The content of free amino acid in *Portunus trituberculatus* cultured in pond and wild-caught

氨基酸	阈值 (mg/100 mL)	滋味特征	含量 (mg/100 g)					
			池塘卵巢	野生卵巢	池塘肝胰腺	野生肝胰腺	池塘肌肉	野生肌肉
Asp * 天冬氨酸	100	鲜/酸 (+)	9.07 ± 0.28 ^b	8.19 ± 1.26 ^b	59.13 ± 1.95 ^a	60.86 ± 1.49 ^a	5.49 ± 0.46 ^c	2.46 ± 0.20 ^c
Thr# 苏氨酸	260	甜 (+)	85.40 ± 6.39 ^c	99.50 ± 6.30 ^c	224.17 ± 16.92 ^b	227.25 ± 4.10 ^b	438.87 ± 14.08 ^a	481.37 ± 29.15 ^a
Ser * 丝氨酸	150	甜 (+)	32.06 ± 2.45 ^b	22.78 ± 0.92 ^b	116.49 ± 4.88 ^a	118.71 ± 3.52 ^a	ND	ND
Glu * 谷氨酸	30	鲜/酸 (+)	58.48 ± 3.15 ^{cd}	40.16 ± 1.711 ^d	165.32 ± 6.301 ^b	200.37 ± 10.12 ^a	46.93 ± 7.15 ^d	66.41 ± 1.51 ^c
Gly * 甘氨酸	130	甜 (+)	110.15 ± 6.51 ^c	84.08 ± 9.97 ^c	160.12 ± 5.55 ^c	180.32 ± 9.89 ^c	783.97 ± 51.92 ^b	978.99 ± 101.96 ^a
Ala * 丙氨酸	60	甜 (+)	77.98 ± 6.60 ^d	67.86 ± 8.37 ^d	223.82 ± 11.18 ^c	251.78 ± 10.57 ^c	321.33 ± 18.97 ^b	477.77 ± 18.20 ^a
Cys 半胱氨酸	-	苦/甜/硫 (-)	12.69 ± 0.45 ^c	7.82 ± 0.63 ^c	86.70 ± 3.66 ^b	100.30 ± 2.74 ^a	ND	ND
Val# 缬氨酸	40	甜/苦 (-)	35.32 ± 2.69 ^c	25.33 ± 0.99 ^c	188.28 ± 9.57 ^a	204.63 ± 9.05 ^a	72.42 ± 9.72 ^b	87.83 ± 3.38 ^b
Met# 蛋氨酸	30	苦/甜/硫 (-)	29.24 ± 2.65 ^c	29.35 ± 2.99 ^c	131.79 ± 5.56 ^a	140.41 ± 3.17 ^a	71.11 ± 4.51 ^b	78.38 ± 7.03 ^b
Ile# 异亮氨酸	90	苦 (-)	26.49 ± 1.46 ^{cd}	17.10 ± 1.051 ^d	141.41 ± 7.13 ^b	164.21 ± 7.96 ^a	36.96 ± 3.41 ^c	38.37 ± 3.25 ^c
Leu# 亮氨酸	190	苦 (-)	38.25 ± 3.45 ^d	24.79 ± 2.71 ^d	303.12 ± 14.49 ^b	328.00 ± 8.18 ^a	81.64 ± 7.79 ^c	83.63 ± 6.46 ^c
Tyr# 酪氨酸	-	苦 (-)	44.35 ± 3.83 ^b	30.89 ± 1.98 ^b	183.80 ± 9.49 ^a	192.11 ± 6.37 ^a	45.80 ± 3.10 ^b	33.44 ± 1.92 ^b
Phe# 苯丙氨酸	90	苦 (-)	43.44 ± 4.42 ^c	28.07 ± 1.89 ^{cd}	245.60 ± 11.81 ^b	281.65 ± 7.59 ^a	18.73 ± 2.68 ^d	19.60 ± 6.59 ^d
Lys# 赖氨酸	50	甜/苦 (-)	170.03 ± 5.20 ^c	195.31 ± 8.47 ^c	257.09 ± 18.24 ^b	307.30 ± 16.25 ^a	69.56 ± 8.18 ^d	87.83 ± 4.38 ^d
His 组氨酸	20	苦 (-)	39.64 ± 2.31 ^b	36.37 ± 3.02 ^{bc}	82.89 ± 3.48 ^a	82.44 ± 1.24 ^a	30.78 ± 2.45 ^c	20.12 ± 1.11 ^d
Arg 精氨酸	50	甜/苦 (+)	645.18 ± 28.89 ^c	703.79 ± 39.05 ^c	439.26 ± 24.62 ^d	521.15 ± 9.80 ^d	1244.78 ± 49.52 ^a	1064.32 ± 37.00 ^b
Pro * 脯氨酸	300	甜/苦 (+)	210.73 ± 23.11 ^d	459.88 ± 73.42 ^c	127.52 ± 10.94 ^d	203.22 ± 9.44 ^d	921.56 ± 54.47 ^b	1534.31 ± 82.20 ^a
总计			1668.46 ± 103.84 ^c	1881.26 ± 164.74 ^c	2487.07 ± 165.76 ^d	3564.71 ± 121.47 ^c	4189.93 ± 238.40 ^b	5054.83 ± 304.36 ^a
呈味氨基酸百分比 (%)			29.86	36.30	34.83	28.48	60.10	60.54
必需氨基酸百分比 (%)			28.32	23.93	53.30	51.77	9.46	18.01

注: * 表示呈味氨基酸; # 表示必需氨基酸; 同行中不同字母上标表示差异显著 ($p < 0.05$); N.D. 表示阈值未查到。

表4 池塘养殖与野生捕捞梭子蟹可食部位氨基酸滋味活度值

Table 4 TAVs of amino acid taste nucleotides in *Portunus trituberculatus* cultured in pond and wild-caught

氨基酸	TAV 值					
	池塘卵巢	野生卵巢	池塘肝胰腺	野生肝胰腺	池塘肌肉	野生肌肉
Asp	0.09	0.08	0.59	0.61	0.05	0.02
Thr	0.33	0.38	0.86	0.87	1.69	1.85
Ser	0.21	0.15	0.78	0.79	0.00	0.00
Glu	1.95	1.34	5.51	6.68	1.56	2.21
Gly	0.85	0.65	1.23	1.39	6.03	7.53
Ala	1.30	1.13	3.73	4.20	5.36	7.96
Val	0.88	0.63	4.71	5.12	1.81	2.20
Met	0.97	0.98	4.39	4.68	2.37	2.61
Ile	0.29	0.19	1.57	1.82	0.41	0.43
Leu	0.20	0.13	1.60	1.73	0.43	0.44
Phe	0.48	0.31	1.57	3.13	0.21	0.22
Lys	3.40	3.91	2.83	6.15	1.39	1.76
His	1.98	1.82	7.07	4.12	1.54	1.01
Arg	12.90	14.08	2.83	10.42	24.90	21.29
Pro	0.70	1.53	0.47	0.68	3.07	5.11

蟹可食部位检测到的 17 种氨基酸阈值、滋味特征^[14,20]和含量。

由表 3 可知,池塘养殖组卵巢中呈味氨基酸和必需氨基酸占总游离氨基酸的百分比为 29.86% 和 28.32%,野生组分别为 36.30% 和 23.93%。在池塘和野生三疣梭子蟹卵巢中含量最高的三种氨基酸均为精氨酸(Arg)、脯氨酸(Pro)和赖氨酸(Lys),三者之和分别占到了其组中总游离氨基酸总量的 61.49% 和 72.24% 其中赖氨酸是必需氨基酸,脯氨酸属于呈味氨基酸。除此之外,含量较高的氨基酸还有甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)和苏氨酸(Thr),其中苏氨酸属于必需氨基酸,甘氨酸和丙氨酸为呈味氨基酸。甘氨酸和丙氨酸为三疣梭子蟹卵巢提供了甜味,其中甘氨酸还有去咸和去苦的作用,丙氨酸甜中略带苦味。含量稍低的谷氨酸(Glu)的化合物谷氨酸钠是鲜味的重要呈味物质,在一定条件下与 IMP 的协同作用增强三疣梭子蟹的鲜味。精氨酸(His)呈苦味,在某些水产品中表现出“肉香”的味觉特征^[21]。由表 4 可知,池塘和野生三疣梭子蟹卵巢中 TAV ≥ 1 的氨基酸为谷氨酸、丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸其中野生组精氨酸的 TAV 最高,为 14.08。综上所述,三疣梭子蟹的卵巢主要表现出的滋味有鲜、甜、苦。

池塘养殖三疣梭子蟹与野生三疣梭子蟹肝胰腺氨基酸含量差别较明显,其中谷氨酸、半胱氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸六种游离氨基酸含量差异显著($p < 0.05$),且均为野生三疣梭子蟹含量高于池塘养殖;野生三疣梭子蟹呈味氨基酸和必需氨基酸所占百分比为 51.77%、28.48%,均低于池塘养殖三疣梭子蟹相应百分含量 53.30% 和 34.83%;野生三疣梭子蟹肝胰腺中组氨酸、精氨酸的 TAV 值分别达到 4.12、10.42,远远大于 1,表明它们对野生三疣梭子蟹滋味贡献较大,其主要呈现滋味为苦味,一定程度上说明野生三疣梭子蟹略苦于池塘养殖三疣梭子蟹。其次,肝胰腺的滋味活度值除酪氨酸(Tyr)

和半胱氨酸(Cys)由于其阈值未找到没有计算出以外其余氨基酸中有多种的 TAV 均达到 1 以上,对样品滋味贡献明显。甲硫氨酸(Met)的 TAV 值在池塘养殖组和野生组中分别达到了 4.39 和 4.68,除甜味和苦味之外还有硫味。与池塘养殖三疣梭子蟹相比,野生三疣梭子蟹的肝胰腺富含更多的氨基酸,但差异不明显。由于肝胰腺是人们常说的“蟹黄”的组成之一,因此对它的呈味物质研究也颇有意义,而氨基酸又是重要的营养物质,先前有关三疣梭子蟹营养研究主要侧重于肌肉和卵巢部分,有关肝胰腺部分的研究较少,这也是本次研究的意义之一。

在池塘养殖和野生捕捞的三疣梭子蟹肌肉,半胱氨酸和丝氨酸都未检测出,其中呈味氨基酸分别占总氨基酸的 60.10% 和 60.54%,远高于必需氨基酸比例。含量较高的几种氨基酸分别是甘氨酸、脯氨酸和精氨酸,含量加和分别占总含量百分比的 70.41% 和 70.78%,这个比例差异在池塘养殖组和野生组中并不明显。在呈味氨基酸中,野生组的甘氨酸含量达到了 978.99 mg/100 g,与池塘养殖组的 783.97 mg/100 g 相比有明显增加,其 TAV 值也达到了 7.53,高于池塘养殖组的 6.03,此差异在丙氨酸中表现更为明显,野生组丙氨酸更是达到 7.96。与池塘养殖组相比,野生三疣梭子蟹除天冬氨酸、酪氨酸、组氨酸和精氨酸外其余检测到的氨基酸含量均高于池塘养殖组,此差异也表现于滋味活度值上。两个组别中除各自未检测出和未找到阈值的氨基酸外,其余氨基酸的滋味活度值也大多数在 1 以上。除精氨酸 TAV 远大于其余氨基酸外,滋味活度值较大的氨基酸还有甘氨酸和丙氨酸,它们主要为三疣梭子蟹肌肉的甜味作出贡献;主要呈鲜味的谷氨酸含量和滋味活度值相对较低。

2.3 呈味核苷酸与氨基酸的协同效应

鲜味作用可在鲜味氨基酸和呈味 5'-核苷酸的

相互作用下得到显著增强^[23],这种相互作用称之为氨基酸与核苷酸协同效应,并用 EUC (Equivalent Umami Concentration) 味精当量来表示鲜味的强烈程度。

图 1 是池塘养殖和野生三疣梭子蟹 EUC 味精当量及 TAV 值,由图 1 可看出,三疣梭子蟹卵巢的 EUC 值远大于肝胰腺和肌肉的 EUC 值,其中池塘养殖卵巢 EUC 值为 53.94 g MSG/100 g,野生三疣梭子蟹卵巢 EUC 值是 15.81 g MSG/100 g,味精当量 TAV 值分别是 1797.95 和 526.84,说明鲜味强烈,且池塘养殖三疣梭子蟹卵巢的鲜味明显优于野生三疣梭子蟹。而肝胰腺中池塘养殖组和野生组三疣梭子蟹的 EUC 值分别是 6.57、8.447 g MSG/100 g,不足池塘养殖卵巢中的五分之一,肌肉中的含量则更少,说明三疣梭子蟹的卵巢鲜味显著优于肝胰腺和肌肉部分。石婧^[26]的研究中指出,在中华绒螯蟹中,雌体卵巢的 EUC 含量远大于肌肉中的含量,王慧在研究水温对三疣梭子蟹风味的影响中也指出卵巢的 EUC 值远高于肌肉^[14]。

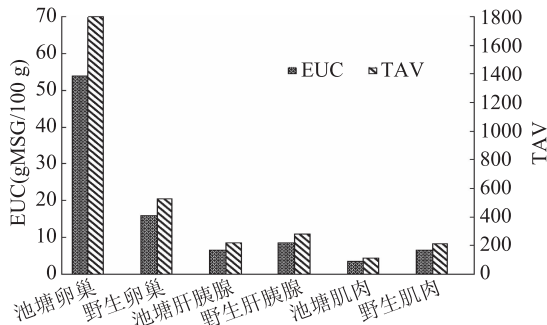


图 1 池塘养殖和野生三疣梭子蟹味精当量及 TAV 值

Fig.1 Comparison of EUC and TAV in *Portunus trituberculatus* cultured in pond and wild-caught

2.4 电子舌分析

在生物味觉体系中,舌头味蕾细胞的生物膜非特异性的结合食物中的味觉物质,产生的生物信号转化为电信号并通过神经传输至大脑,经分析后获得味觉信息^[24]。主成分分析(PCA)是对传感器响应的特征向量矩阵进行数据转换和降维,并做线性分类,损失很少信息的前提下将多个指标转变为少数重要综合指标,最后结果以二维散点图形式显示^[25]。图 2 为池塘养殖和野生三疣梭子蟹可食部分(卵巢、肝胰腺、肌肉)电子舌 PCA 分析图,可以得知第一主成分和第二主成分的贡献率分别 80.138% 和 9.992%,两者之和达到 90% 以上,涵盖了原始数据 90% 以上的信息,其结果具有较好的代表性。从图 2 可以看出,三疣梭子蟹的不同可食部位之间大部分可以区分,说明两种养殖模式下三疣梭子蟹的不同可食部位之间的水溶性成分含量有明显差异。两种模式的卵巢和肌肉组相距较远,轮廓可有效区分,说明池塘养殖组和养殖组三疣梭子蟹的卵巢、肌肉中水溶性成分差异显著,电子舌可以明显区分;肝胰腺组轮廓重叠,说明电子舌不能有效区分两种模式间的肝胰腺。因此可以认为两种模式对三疣梭子蟹卵巢和肌肉的滋味影响较大,电子舌可以明显区分;对

肝胰腺滋味影响较小,电子舌不能有效区分。

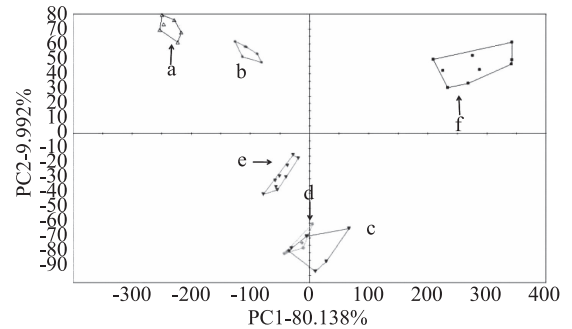


图 2 池塘养殖和野生三疣梭子蟹卵巢、肝胰腺、肌肉电子舌 PCA

Fig.2 PCA analysis of ovary, hepatopancreas and muscle in *Portunus trituberculatus* cultured in pond and wild-caught
注:a.野生组卵巢;b.池塘养殖组卵巢;c.野生组肝胰腺;d.池塘养殖组肝胰腺;e.野生组肌肉;f.池塘养殖组肌肉。

3 结论

池塘养殖和野生三疣梭子蟹肝胰腺和肌肉中三种呈味核苷酸含量没有显著差异,而卵巢中三种核苷酸含量差异显著($p < 0.05$),主要表现在池塘养殖三疣梭子蟹的含量显著高于野生养殖,IMP、GMP、AMP 分别是野生三疣梭子蟹的 6.7、1.7、1.4 倍。池塘养殖和野生三疣梭子蟹肝胰腺中游离氨基酸含量差异较卵巢、肌肉更大,池塘养殖三疣梭子蟹肝胰腺中的呈味氨基酸与必需氨基酸占比均高于野生三疣梭子蟹,野生三疣梭子蟹中的苦味氨基酸对整体滋味贡献度较大,池塘养殖三疣梭子蟹中的苦/甜味氨基酸对整体滋味贡献度较大。池塘养殖卵巢 EUC 值为 53.94 g MSG/100 g,野生三疣梭子蟹卵巢 EUC 值是 15.81 g MSG/100 g,池塘养殖三疣梭子蟹卵巢明显鲜于野生三疣梭子蟹,三疣梭子蟹的卵巢鲜味显著优于肝胰腺和肌肉部分。电子舌主成分分析显示池塘养殖与野生三疣梭子蟹的肝胰腺滋味轮廓没有明显区别,但是卵巢与肌肉的整体滋味轮廓无重叠部分,且主要差异都体现在第一主成分轴上,说明两种模式对三疣梭子蟹的卵巢和肌肉滋味有影响。研究结果表明池塘养殖的三疣梭子蟹卵巢整体滋味优于野生三疣梭子蟹,肌肉和肝胰腺的差异不明显,说明池塘养殖可以提升三疣梭子蟹的滋味并能实现一定程度的育肥。

参考文献

- [1]戴爱云,杨思琼,宋玉枝,等.中国海洋蟹类[M].北京:海洋出版社,1986:213-214.
- [2]孙颖民,闫愚,孙进杰.三疣梭子蟹幼体发育[J].水产学报,1984,8(3):219-226.
- [3]上海绿洲经济动物科技公司.河蟹·青蟹·梭子蟹[M].上海:上海科学技术文献出版社,1997:86.
- [4]沈烈峰,洪挺,顾建明,等.三疣梭子蟹单体筐立体养殖技术研究[J].现代农业科技,2013(6):264+267.
- [5]农业部渔业渔政管理局编.2017年中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2017.

- [6] 吴旭干, 汪倩, 楼宝, 等. 育肥时间对三疣梭子蟹卵巢发育和营养品质的影响[J]. 水产学报, 2014(2): 170-182.
- [7] Wu Xugan, Cheng Yongxu, Zeng Chaoshu, et al. Reproductive performance and offspring quality of the first and the second brood of female swimming crab (*Portunus trituberculatus*) broodstock[J]. *Aquaculture*, 2010b, 303(1-4): 94-100.
- [8] 徐善良, 张薇, 严小军, 等. 野生与养殖三疣梭子蟹营养品质分析及比较[J]. 动物营养学报, 2009, 21(5): 695-702.
- [9] Amerine M A, Pangborn R M, Roessler E B. Principles of sensory evaluation of food[M]. New York: Elsevier, 2013.
- [10] 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.
- [11] Chen D W, Zhang M, Sundar S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(4): 1343-1349.
- [12] 付娜, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 蒸制和煮制中华绒螯蟹4个部位中游离氨基酸含量差异性分析[J]. 食品科学, 2013, 34(24): 178-181.
- [13] 赵樑, 吴娜, 王锡昌, 等. 不同生长阶段下中华绒螯蟹滋味成分差异研究[J]. 现代食品科技, 2016(7): 261-269.
- [14] 马海建, 施文正, 宋洁, 等. 超高压处理对草鱼鱼肉品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015(12): 283-290.
- [15] Yamaguchi S, Yoshikawa T, Ikeda S, et al. Measurement of the relative taste intensity of some L- α -amino acids and 5'-nucleotides[J]. *Journal of Food Science*, 1971, 36(6): 846-849.
- [16] 王慧, 施文正, 吴旭干, 等. 不同温度养殖的雌体三疣梭子蟹卵巢和蟹肉风味品质比较[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 84-90.
- [17] 姚志勇, 王金庆, 庞文燕, 等. 真空冷诱导对冰温贮藏罗非鱼片鲜度和滋味的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 198-203.
- [18] 汤辰婧, 王锡昌, 刘源, 等. 水产品滋味成分研究及开发利用进展[J]. 水产科技情报, 2013, 40(3): 164-168.
- [19] 王雪峰, 李春萍, 吴佳佳, 等. 臭鳊鱼发酵中滋味成分的鉴定与分析[J]. 中国食品学报, 2015, 15(1): 222-229.
- [20] 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.
- [21] 杨荣华. 食品的滋味研究(上)[J]. 中国调味品, 2003(6): 39-41, 48.
- [22] Rivas-Cañedo A, Fernández-García E, Nuñez M. Volatile compounds in fresh meats subjected to high pressure processing: effect of the packaging material[J]. *Meat Science*, 2009, 81(2): 321-328.
- [23] Konosu S, Watanabe K, Shimizu T. Distribution of nitrogenous constituents in the muscle extracts of eight species of fish[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1974, 40: 909-914.
- [24] 邓少平, 田师. 电子舌技术背景与研究进展食品[J]. 生物技术学报, 2007, 26(4): 110-116.
- [25] Kiyoshi Toko. Electronic tongue [J]. *Bionelectronics*, 1998(12): 710-709.
- [26] 石婧, 王帅, 龚骏, 等. 不同育肥方式对中华绒螯蟹雄蟹肌肉呈味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(15): 347-351.
- (上接第5页)
- 1365-1370.
- [11] Peressini D, Sensidoni A. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs[J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 49: 190-201.
- [12] 豆康宁, 张臻, 李素萍. 小麦膳食纤维对面粉流变学特性的影响. 粮食加工, 2014, 39(5): 16-17.
- [13] 陈建省, 崔金龙, 邓志英, 等. 麦麸添加量和粒度对面团揉混特性的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(14): 2990-2998.
- [14] Bonnard-Ducasse M, Della Valle G, Lefebvre J, et al. Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties [J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 52: 200-206.
- [15] Yadav D N, Rajan A, Sharma G K, et al. Effect of fiber incorporation on rheological and chapatti making quality of wheat flour[J]. *Journal of Food Science and Technology-mysore*, 2010, 47(2): 166-173.
- [16] Garófalo L, Vazquez D, Ferreira F, et al. Wheat flour non-starch polysaccharides and their effect on dough rheological properties [J]. *Industrial Crops and Products*, 2011, 34: 1327-1331.
- [17] 罗舜菁, 李燕, 杨榕, 等. 氨基酸对大米淀粉糊化和流变性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(6): 178-182.
- [18] 姜小苓, 李小军, 李淦, 等. 响应面法优化麦麸膳食纤维提取条件[J]. 食品工业科技, 2017, 38(6): 158-162.
- [19] 刘国琴, 柳小军, 李琳, 等. 冻藏时间对小麦湿面筋蛋白结构和热性能的影响[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2011, 32(5): 1-5.
- [20] 姜小苓, 李小军, 冯素伟, 等. 蛋白质和淀粉对面团流变学特性和淀粉糊化特性的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 44-49.
- [21] 陈建省, 邓志英, 吴澎, 等. 添加面筋蛋白对小麦淀粉糊化特性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2): 388-395.
- [22] 刘佳, 陈玲, 李琳, 等. 小麦A、B淀粉凝胶质构特性与分子结构的关系[J]. 高校化学工程学报, 2011, 25(6): 1033-1038.
- [23] 梁灵, 魏益民, 张国权, 等. 小麦淀粉凝胶质构特性研究[J]. 中国食品学报, 2004, 4(3): 33-38.
- [24] 付蕾, 田纪春. 抗性淀粉对小麦粉凝胶质构特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(9): 40-48.
- [25] 张华, 张艳艳, 李银丽, 等. 竹笋膳食纤维对冷冻面团流变学特性、水分分布和微观结构的影响[J]. 食品科学, 2016: 12-20.