

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20210108004

http://www.yykxjz.cn/

郭宏慧, 杨方, 高沛, 余达威, 许艳顺, 姜启兴, 夏文水. 不同养殖水域中华绒螯蟹滋味差异分析. 渔业科学进展, 2022, 43(2): 215-227

GUO H H, YANG F, GAO P, YU D W, XU Y S, JIANG Q X, XIA W S. Analysis of flavor compounds of Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) from different regions. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(2): 215-227

不同养殖水域中华绒螯蟹滋味差异分析*

郭宏慧^{1,2} 杨方^{1,2①} 高沛^{1,2} 余达威^{1,2}
许艳顺^{1,2} 姜启兴^{1,2} 夏文水^{1,2①}

(1. 江南大学食品学院 江苏 无锡 214122; 2. 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心 江苏 无锡 214122)

摘要 本研究分析不同水域中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)可食率和滋味差异,以期挖掘消费者不同偏好性的内在原因提供参考。选取阳澄湖、固城湖、太湖和兴化大闸蟹为研究对象,测定可食率、整体滋味轮廓、滋味相关指标。结果显示,太湖蟹可食率最高,雄蟹为(33.08±0.31)%,雌蟹为(37.65±1.09)%;在整体滋味轮廓方面,阳澄湖、固城湖蟹相似,甜味强度较高,而太湖、兴化蟹相似,鲜味强度更高,但苦涩味强度也较高;在游离氨基酸组成和含量方面,阳澄湖蟹可食部位、雄蟹蟹肉、雌蟹蟹肉、蟹黄中的甜味氨基酸含量最高,分别为(676.65±1.30)、(899.00±2.88)、(950.34±4.78)和(309.86±0.73) mg/100 g,太湖蟹可食部位、雄蟹蟹肉的鲜味氨基酸含量最高,分别为(98.06±4.07)和(123.76±6.72) mg/100 g,且太湖蟹可食部位、雄蟹蟹肉味精当量值(EUC)也最高,分别为(11.62±0.66)和(15.29±2.58) g MSG/100 g;总游离脂肪酸中,湖泊养殖阳澄湖蟹、固城湖蟹、太湖蟹要高于池塘养殖兴化蟹。研究表明,不同养殖水域的大闸蟹可食率和滋味存在一定差异,太湖蟹可食率最高;阳澄湖蟹整体甜味属性最强,而太湖蟹整体更加鲜美却伴有一定的苦涩味;鲜味特征在阳澄湖和固城湖雌蟹的蟹肉和蟹黄、太湖蟹和兴化蟹雄蟹的蟹肉和蟹膏中强度也较大。

关键词 中华绒螯蟹; 不同养殖水域; 可食率; 整体滋味轮廓; 游离氨基酸; 呈味核苷酸; 游离脂肪酸

中图分类号 TS254.1 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2022)02-0215-13

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*),又名大闸蟹、河蟹、淡水蟹,因其营养丰富、风味独特,深受消费者的喜爱。据《中国渔业统计年鉴 2020》统计,蟹类(专指河蟹)产量逐年增长,从 2009 年的 57.42 万 t 增加到 2019 年的 77.87 万 t,而仅江苏省河蟹产量就达到了 36.48 万 t,位居全国第一,超出排名第二的省份(湖北省产量 15.87 万 t)一倍有余,具有较高的经济价值(农业农村部渔业渔政管理局, 2020)。目前,市场

上涌现了很多区域化中华绒螯蟹品牌,但品牌特点没有区分依据,消费者对不同品牌蟹的产品特性及区域特色的关注度越来越高,选择优质中华绒螯蟹已逐渐成为大众消费观念和消费文化。通过市场、网络搜索调查发现,江苏省中华绒螯蟹产区主要集中在阳澄湖、固城湖、太湖和兴化,且这些均是全国知名品牌地理标志中华绒螯蟹(陈加, 2009)。

中华绒螯蟹之所以鲜美,是因为它的含氮化合物

* 江苏省三新工程项目(Y2018-25)资助 [This work was supported by Jiangsu Fisheries Administrator (Y2018-25)].
郭宏慧, E-mail: ghh0426@126.com

① 通讯作者: 杨方, 副研究员, E-mail: yangfang_8_9@126.com; 夏文水, 教授, E-mail: xiaws@jiangnan.edu.cn
收稿日期: 2021-01-08, 收修改稿日期: 2021-02-07

(游离氨基酸、核苷酸、有机碱等)和非含氮化合物(无机物、有机酸、糖类等),其中,对其滋味最重要的是游离氨基酸(FAA)和核苷酸(张家奇等,2017);蟹膏、蟹黄含有丰富的脂肪(吴娜,2017),且游离脂肪酸(FFA)是重要的风味前体物质和滋味物质,因而也是滋味评价中的一个重要指标(邓文辉等,2012)。近年来,对中华绒螯蟹的滋味研究主要集中在不同规格、可食部位、加工方式等,而对不同养殖水域、品牌蟹的研究却很少,上海海洋大学和江南大学对中华绒螯蟹研究较多,主要集中在阳澄湖蟹和崇明蟹(顾吉萍,2009;郑海波,2008;张娜,2008;李楠,2017)。

本研究首先测定阳澄湖、固城湖、太湖和兴化蟹的可食部位得率;之后,利用电子舌测定不同养殖水域蟹的可食部位滋味轮廓,并根据可食率比值作为权重,进而获取不同水域蟹的整蟹可食部位滋味差异;再具体分析滋味物质 FAA、呈味核苷酸、FFA,计算味道活度值(TAV)和味精当量(EUC),对重要滋味贡献物质评价,为中华绒螯蟹食用及品质评价和消费者喜好性原因提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 主要原料

中华绒螯蟹(阳澄湖、固城湖、太湖、兴化),由江苏无锡大湖水产业研发中心提供,雌蟹(150.0±7.5)g和雄蟹(200.0±8.2)g于2019年10月至11月捕捞。沸水蒸15 min熟制,剥离雄/雌蟹肉(体肉、爪肉、螯肉)、蟹膏(雄蟹肝胰腺和性腺)、蟹黄(雌蟹肝胰腺和性腺)。分别混匀装袋,冻藏于-60℃冰箱中,待测。

1.2 主要试剂和设备

核苷酸(AMP、GMP、IMP、Hx、HxR)、十三烷酸甲酯标准品购于Sigma公司,美国;三氯乙酸、高氯酸、磷酸、磷酸二氢钾、十二水磷酸氢二钾、氢氧化钠(均为分析纯)等均购于上海国药集团化学试剂有限公司;氨基小柱,上海安普试剂公司。

主要设备包括:MDF-U53V型超低温冰箱(SANYO,日本);DELTA-320型pH计(梅特勒-托利多仪器上海有限公司);4K-15型高速冷冻离心机(Sigma,德国);Agilent 1100氨基酸分析仪(Agilent,美国);Waters e2695高效液相色谱仪(Waters,美国);SA402B电子舌(INSENT,日本);GC-2010气相色谱仪(岛津,日本);T10均质机(IKA,德国)。

1.3 实验方法

1.3.1 可食率测定和整体滋味差异分析权重确定

$$\text{蟹肉指数}(\%) = \text{蟹肉重}(\text{g}) / \text{体重}(\text{g}) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{蟹膏指数}(\%) = \text{蟹膏重}(\text{g}) / \text{体重}(\text{g}) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{蟹黄指数}(\%) = \text{蟹黄重}(\text{g}) / \text{体重}(\text{g}) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{雄蟹可食率}(\%) = \text{蟹肉指数}(\%) + \text{蟹膏指数}(\%) \quad (4)$$

$$\text{雌蟹可食率}(\%) = \text{蟹肉指数}(\%) + \text{蟹黄指数}(\%) \quad (5)$$

$$M = f_1(f_3x_1 + f_4x_2) + f_2(f_5x_3 + f_6x_4) \quad (6)$$

式中, M 为整蟹可食部位滋味属性强度; x_1 、 x_2 、 x_3 和 x_4 分别为雄蟹蟹肉、蟹膏、雌蟹蟹肉、蟹黄的滋味属性强度; f_1 =雄蟹可食率/雄蟹和雌蟹总可食率; f_2 =雌蟹可食率/雄蟹和雌蟹总可食率; f_3 =雄蟹蟹肉指数/雄蟹可食率; f_4 =蟹膏指数/雄蟹可食率; f_5 =雌蟹蟹肉指数/雌蟹可食率; f_6 =蟹黄指数/雌蟹可食率。

1.3.2 电子舌测定 样品预处理参照邵洋等(2021)的方法,将蟹肉/蟹膏/蟹黄切碎后,精确称取10 g样品于100 mL离心杯中,加入20 mL去离子水均质2 min,离心(4℃,10 000 g,10 min)取上清液。上述步骤重复操作一次,合并上清液,并用去离子水定容至100 mL,待测;检测方法参照刘洪波等(2020)。Insent SA402B电子舌:选用5个测试传感器,C00、CT0、AAE、AE1和GL1,分别响应苦、咸、鲜、涩和甜味强度值,根据传感器测得溶液电势和参比溶液电势差值,表示滋味的属性强度。

1.3.3 游离氨基酸和呈味核苷酸测定 游离氨基酸测定参照Hua等(2020)的方法并略作修改。称取样品1 g,加入5%三氯乙酸(w/v)溶液并均质2 min,定容至25 mL,混匀,常温超声20 min,静置2 h。随后,滤纸过滤所得滤液在15 000 r/min条件下离心30 min。取上清液,用0.22 μm水膜过滤后上机。

呈味核苷酸测定参照Yu等(2018)的方法并略作修改。称取3 g样品于50 mL离心管中,加入7.5 mL,0.6 mol/L高氯酸溶液,均质2 min,4℃,10 000 g离心10 min,取上清液。上述步骤重复一次,合并上清液,并将溶液pH调至6.5~6.8,取上清液,用去离子水定容至25 mL,用0.22 μm水膜过滤后上机。高效液相色谱法(HPLC)条件:采用SVEA C18色谱柱(5 μm,4.6 mm id×250.0 mm)和Waters 2489紫外可见检测器;检测波长为254 nm;柱温为30℃;进样量为10 μL,流动相为98%磷酸钾缓冲液(0.05 mol/L,pH 6.8)和2%的甲醇。

1.3.4 味道强度值(TAV)及味精当量(EUC) 滋味物质的味道强度值(TAV)计算公式如下:

$$TAV = \frac{C}{T} \quad (7)$$

式中, C 为滋味物质的浓度; T 为该滋味物质的阈值。

味精当量(EUC)的计算公式如下:

$$EUC(\text{g MSG}/100 \text{ g}) = \sum a_i b_i + 1218 \left(\sum a_i b_i \right) (a_j b_j) \quad (8)$$

式中, a_i 和 a_j 分别为鲜味 FAA (Asp、Glu) 和鲜味核苷酸 (GMP、IMP、AMP) 的浓度; b_i 和 b_j 分别为鲜味 FAA 和鲜味核苷酸的相对呈鲜系数 (Glu 为 1; Asp 为 0.077; IMP 为 1; GMP 为 2.3; AMP 为 0.18); 1218 为协同作用系数。

1.3.5 游离脂肪酸的测定 参照 Xu 等(2018)的方法并略作修改。称取冷冻干燥后的样品 5 g, 加入 100 μL , 1 mg/mL 内标十三烷酸甲酯, 再加入 50 mL 2:1 (v/v) 的氯仿/甲醇溶液, 60 $^{\circ}\text{C}$ 条件下回流萃取 2 h, 并于 45 $^{\circ}\text{C}$ 下旋转蒸发, 加入 30 mL 石油醚静置, 氮吹至溶剂完全挥发, 即得总脂, 溶解于 1 mL 氯仿后, 注入氨基小柱, 利用 7 mL 25% (w/w) 的乙酸/乙醚溶液分离游离脂肪酸。甲酯化: 取 50 mg 游离脂肪酸, 加入 2 mL 25% 的三氟化硼-甲醇溶液, 在 60 $^{\circ}\text{C}$ 下静置 20 min, 冷却, 加入 1 mL 正己烷, 混合 2 min, 加入 1 mL 饱和氯化钠

溶液, 室温静置分层, 收集 1 μL 上层有机相上机。

1.3.6 数据统计分析 利用 SPSS 19.0 软件对所得数据进行统计分析, ANOVA 进行方差分析, Duncan 法进行多重比较, 所有显著性差异分析均在 $P=0.05$ 的水平下检验; 电子舌的主成分分析图(PCA)由 SIMCA 14.1 分析作图; 电子舌滋味雷达图用 Origin 8.6 作图; 其他实验结果均采用平均值 \pm 标准差(Mean \pm SD, $n=3$)表示。

2 结果与分析

2.1 不同养殖水域中华绒螯蟹可食率比较和整体滋味分析权重确定

不同养殖水域中华绒螯蟹的各可食部位指数和总可食率见表 1。太湖蟹可食率最高, 雄蟹为(33.08 \pm 0.31)%, 雌蟹为(37.65 \pm 1.09)%。雄蟹和雌蟹的总可食率约为 1:1; 雄蟹总可食率: 雄蟹蟹肉指数: 蟹膏指数约为 3:2:1; 雌蟹总可食率: 雌蟹蟹肉指数: 蟹黄指数约为 2:1:1, 即整体滋味分析时属性强度可表述为[1/2(2/3 雄蟹蟹肉滋味属性强度+1/3 蟹膏滋味属性强度)+1/2(1/2 雌蟹蟹肉滋味属性强度+1/2 蟹黄滋味属性强度)]。

表 1 不同养殖水域中华绒螯蟹各可食部位指数和总可食率
Tab.1 Edible part index and total edible rate of *E. sinensis* in different regions

项目 Item	雄蟹 Male crab				雌蟹 Female crab			
	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua
蟹肉指数 Crab meat Index/%	21.00 \pm 0.50 ^a	23.10 \pm 0.29 ^b	23.34 \pm 0.83 ^b	20.41 \pm 0.42 ^a	17.93 \pm 0.51 ^a	18.05 \pm 0.79 ^a	19.08 \pm 0.27 ^a	19.37 \pm 0.70 ^a
蟹膏指数 Crab paste index/%	8.30 \pm 0.34 ^a	8.74 \pm 0.99 ^a	9.74 \pm 0.53 ^a	10.43 \pm 0.68 ^a	—	—	—	—
蟹黄指数 Crab yolk index/%	—	—	—	—	17.85 \pm 1.25 ^b	14.74 \pm 0.73 ^a	18.28 \pm 0.82 ^b	18.32 \pm 0.26 ^b
总可食率 Total edible rate/%	29.30 \pm 0.46 ^a	31.84 \pm 0.73 ^{bc}	33.08 \pm 0.31 ^c	30.83 \pm 0.25 ^{ab}	34.11 \pm 0.84 ^a	32.79 \pm 0.59 ^a	37.65 \pm 1.09 ^b	37.40 \pm 0.46 ^b

注: —: 该性别的蟹没有此可食部位指数; 同行不同性别蟹的不同字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: —: Crabs of this gender do not have this edible part index; in the same row, the different superscript letters indicate significant differences in different gender of *E. sinensis* ($P<0.05$)

2.2 不同养殖水域中华绒螯蟹电子舌的比较分析

电子舌通过 5 个传感器的检测(刘洪波等, 2020), 获得了不同水域中华绒螯蟹不同可食部位和整蟹可食部位的滋味信号响应值, 并绘制雷达图(图 1)。阳

澄湖、固城湖蟹的可食部位甜味响应值明显高于其他 2 个水域, 而太湖、兴化蟹的可食部位鲜味响应值在整蟹可食部位、蟹肉、蟹膏中较高, 但同时这 2 种蟹的苦味也较重。Wang 等(2016)比较野外放养蟹、阳澄湖蟹和崇明蟹发现, 阳澄湖蟹的甜味 FAA 显著高于

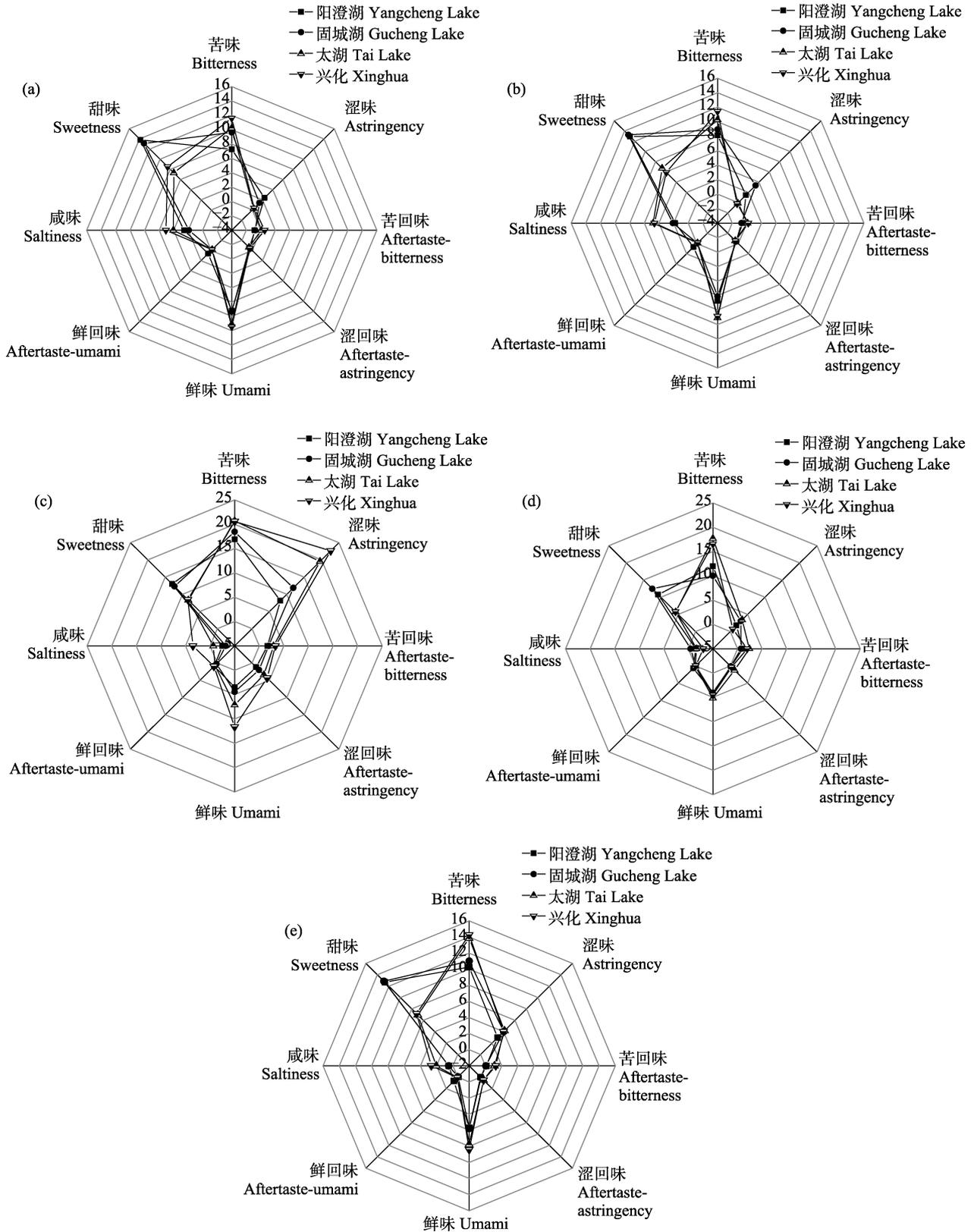


图1 不同养殖水域中华绒螯蟹可食部位电子舌雷达图

Fig.1 Rader chart analysis by electronic tongue for edible parts of *E. sinensis* in different regions

a: 雄蟹蟹肉; b: 雌蟹蟹肉; c: 蟹膏; d: 蟹黄; e: 整蟹可食部位
 a: Male crab meat; b: Female crab meat; c: Crab paste; d: Crab yolk; e: Whole edible parts

野外放养和崇明蟹,与电子舌阳澄湖蟹甜味强度结果一致。

由图 2 可知, PC1 和 PC2 的累计方差贡献率大于 85%, 能较完整反映样品的整体信息(Wang *et al.*, 2018)。阳澄湖蟹和固城湖蟹、太湖蟹和兴化蟹滋味轮廓相近, 阳澄湖蟹、固城湖蟹和甜味相关性最高, 兴化蟹、太湖蟹和鲜味、苦味相关性高, 这也说明不

同水域蟹滋味有差异, 甜味、鲜味、苦味可作为区别不同产地的潜在指标。

2.3 不同养殖水域中华绒螯蟹游离氨基酸和呈味核苷酸比较分析

由表 2 和表 3 可知, 4 种不同蟹的 FAA 组成相似, Ala、Gly、Arg 和 Pro 含量较高, 但不同水域蟹的呈

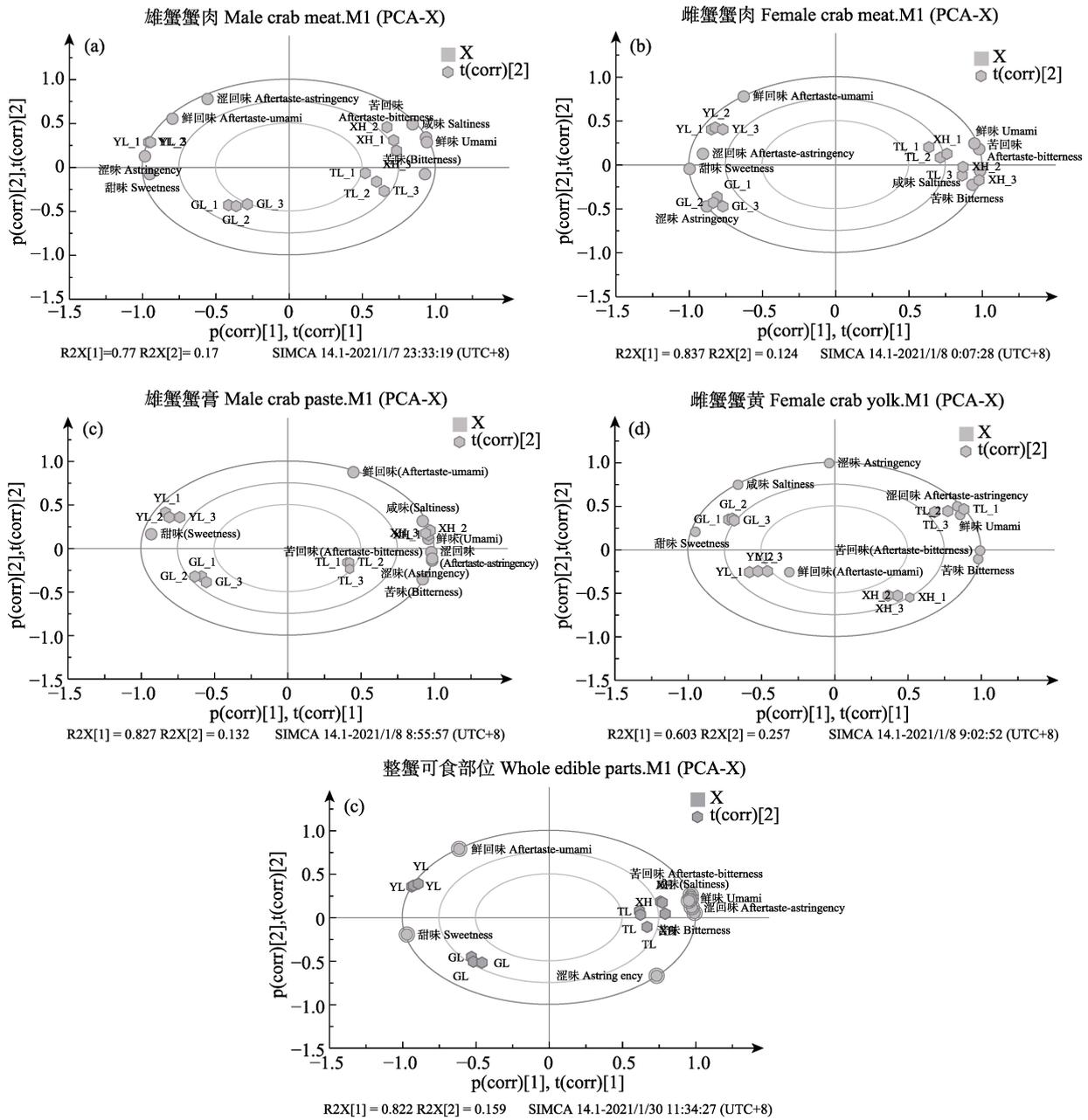


图 2 不同养殖水域中华绒螯蟹可食部位电子舌 PCA 图

Fig.2 Principal component analysis (PCA) plot by electronic tongue for edible parts of *E. sinensis* in different regions

a: 雄蟹蟹肉; b: 雌蟹蟹肉; c: 蟹膏; d: 蟹黄; e: 整蟹可食部位

YL: 阳澄湖; GL: 固城湖; TL: 太湖; XH: 兴化

a: Male crab meat; b: Female crab meat; c: Crab paste; d: Crab yolk; e: Whole edible parts

YL: Yangcheng Lake; GL: Gucheng Lake; TL: Tai Lake; XH: Xinghua

表2 不同养殖水域中华绒螯蟹肌肉游离氨基酸的组成及含量
 Tab.2 Composition and content of free amino acids in crab meat of *E. sinensis* in different regions/(mg/100 g)

氨基酸 Amino acid	特征滋味 Taste attribute	雌蟹蟹肉 Female crab meat					雄蟹蟹肉 Male crab meat				
		阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	兴化 Xinghua	太湖 Tai Lake	太湖 Tai Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua
天冬氨酸 Asp	鲜酸 Umami/sourness (+)	33.28±3.09 ^c	17.27±0.32 ^b	35.47±0.53 ^c	11.07±0.01 ^a	31.05±1.02 ^a	39.65±1.61 ^b	39.64±2.26 ^b	31.57±0.69 ^a		
谷氨酸 Glu	鲜酸 Umami/sourness (+)	49.85±2.33 ^a	48.01±2.6 ^a	88.29±7.25 ^c	70.54±3.35 ^b	66.58±0.68 ^{bc}	72.53±2.43 ^c	61.92±0.20 ^b	39.64±2.95 ^a		
丝氨酸 Ser	甜 Sweet (+)	7.71±0.15 ^c	6.97±1.02 ^b	4.86±0.42 ^{ab}	2.65±0.30 ^a	4.09±0.09 ^a	6.65±0.18 ^c	3.90±0.17 ^a	5.61±0.06 ^b		
丙氨酸 Ala	甜 Sweet (+)	262.15±0.84 ^{ab}	330.12±6.22 ^b	242.42±27.24 ^a	252.03±22.82 ^a	314.56±3.59 ^a	405.64±5.16 ^c	315.59±1.34 ^a	350.34±4.07 ^b		
甘氨酸 Gly	甜 Sweet (+)	467.95±6.22 ^b	381.51±6.90 ^a	475.29±2.38 ^b	464.60±9.58 ^b	422.78±2.10 ^c	319.56±1.01 ^a	444.19±6.80 ^d	388.97±1.34 ^b		
苏氨酸 Thr	甜 Sweet (+)	25.50±2.68 ^{ab}	19.78±2.96 ^a	29.90±2.70 ^b	22.31±0.37 ^{ab}	24.52±1.15 ^a	31.62±0.48 ^b	24.00±0.29 ^a	26.84±1.16 ^a		
苯丙氨酸 Phe	苦 Bitter (-)	4.65±0.76 ^a	7.25±1.18 ^a	7.10±1.4 ^a	11.45±0.16 ^b	7.34±0.12 ^a	12.10±0.87 ^c	8.25±0.56 ^{ab}	9.90 ± 0.72 ^b		
异亮氨酸 Ile	苦 Bitter (-)	4.41±0.84 ^a	5.79±1.06 ^a	6.37±1.42 ^a	6.88±0.19 ^a	9.16±0.21 ^b	15.78±0.72 ^c	7.58±0.12 ^{ab}	7.25±0.57 ^a		
亮氨酸 Leu	苦 Bitter (-)	7.51±1.38 ^a	14.00±2.67 ^a	10.86±1.59 ^a	11.84±0.64 ^a	13.49±0.43 ^a	22.14±0.65 ^b	12.98±0.02 ^a	12.70±0.68 ^a		
组氨酸 His	苦 Bitter (-)	14.09±2.51 ^a	20.76±4.46 ^{ab}	18.96±2.21 ^{ab}	27.20±1.79 ^b	17.32±0.56 ^a	27.54±1.02 ^c	22.00±0.84 ^b	24.87±0.62 ^{bc}		
酪氨酸 Tyr	苦 Bitter (-)	8.16±1.51 ^a	10.77±2.25 ^{ab}	18.98±4.43 ^b	19.82±0.54 ^b	17.17±0.02 ^a	28.13±1.31 ^b	16.58±0.36 ^a	14.50±0.24 ^a		
精氨酸 Arg	苦/甜 Bitter/sweet (+)	449.74±1.81 ^a	543.37±8.01 ^b	543.74±16.62 ^b	624.30±20.97 ^c	513.94±29.93 ^{ab}	440.07±14.53 ^a	537.79±9.15 ^b	560.79±22.81 ^b		
缬氨酸 Val	甜/苦 Sweet/bitter (+)	10.13±1.80 ^a	14.32±3.05 ^a	17.14±3.00 ^a	18.73±0.62 ^a	18.30±0.49 ^a	26.52±0.91 ^b	16.79±0.41 ^a	17.37±0.67 ^a		
半胱氨酸 Cys	苦/甜/硫 Bitter/sweet/sulfurous (-)	30.18±0.00 ^a	34.04±2.00 ^a	56.67±0.36 ^b	52.72±2.86 ^b	30.31±0.05 ^a	39.01±0.84 ^b	52.54±1.27 ^d	46.84±0.64 ^c		
甲硫氨酸 Met	甜/苦/硫 Sweet/sulfurous (-)	10.37±2.02 ^a	8.68±1.80 ^a	19.51±3.14 ^a	54.30±4.09 ^b	24.14±0.74 ^b	14.73±0.48 ^a	28.30±0.58 ^c	32.73±1.53 ^d		
赖氨酸 Lys	甜/苦 Sweet/bitter (-)	23.31±4.06 ^{ab}	18.33±3.97 ^a	35.85±4.17 ^b	15.16±0.29 ^a	35.81±1.10 ^c	59.92±1.39 ^d	30.73±0.35 ^b	21.55±1.37 ^a		
脯氨酸 Pro	甜/苦 Sweet/bitter (+)	135.68±0.01 ^b	90.91±2.20 ^a	137.39±0.72 ^b	152.29±1.87 ^c	184.40±2.14 ^a	135.31±0.87 ^a	140.49±9.97 ^a	157.50±27.67 ^a		
甜味氨基酸 Sweet FAA		899.00±2.88 ^a	829.28±6.87 ^a	889.86±32.02 ^a	893.88±29.85 ^a	950.34±4.78 ^a	898.78±7.35 ^a	928.16±4.63 ^a	929.26±34.18 ^a		
鲜味氨基酸 Umami FAA		83.13±5.42 ^a	65.28±2.33 ^a	123.76±6.72 ^b	81.62±3.36 ^a	97.62±1.70 ^b	112.19±4.04 ^c	101.55±2.01 ^{bc}	71.21±3.65 ^a		
苦味氨基酸 Bitter FAA		34.16±6.24 ^a	51.31±10.43 ^{ab}	55.17±9.65 ^{ab}	65.75±0.42 ^b	57.14±1.22 ^a	93.59±3.69 ^b	59.14±1.05 ^a	59.32±1.63 ^a		
总计 Total		1544.68±19.23 ^a	1571.88±39.64 ^a	1748.8±76.36 ^{ab}	1817.91±53.03 ^b	1734.94±40.03 ^a	1696.91±34.10 ^a	1763.25±8.93 ^a	1748.99±65.91 ^a		

注: +; 对滋味有好的贡献; -; 对滋味有不好的贡献; 同行不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同

Note: +; Had a good contribution to taste; -; Had a bad contribution to taste; The different letter superscripts indicate significant differences in different edible parts of *E. sinensis* ($P < 0.05$). The same as below

味 FAA 含量存在一定的差异。呈甜味 FAA 有 5 种 (Ser、Ala、Gly、Thr、Pro), 在阳澄湖蟹蟹肉、蟹黄和固城湖蟹蟹膏中含量最高; 呈鲜味 FAA 有 2 种 (Asp、Glu), 在太湖蟹雄蟹蟹肉中为 (123.76 ± 6.72) mg/100 g, 显著高于其他 3 个水域蟹含量 ($P < 0.05$), 兴化、太湖蟹蟹膏中含量也较高。以可食率比值为权重分析整蟹可食部位, 其中阳澄湖蟹甜味 FAA 含量最高, 为 (676.65 ± 1.30) mg/100 g, 而太湖蟹中鲜味 FAA 含量最高, 为 (98.06 ± 4.07) mg/100 g。

由表 4 和表 5 可知, AMP、GMP 和 IMP 为主要的 3 种呈味核苷酸, 对甜味和鲜味具有贡献作用, 除自身具有鲜味外, 还可与其他物质 [如谷氨酸钠 (MSG)、FAA 等] 共同作用, 增强蟹的风味 (刘天天等, 2018)。其中, AMP 含量最高, 且其浓度会影响呈味特点, AMP 含量小于 100 mg/100 g 时, 水产品呈甜味, AMP 含量大于 100 mg/100 g 时, 水产品的鲜味增强而甜味被削弱 (陈小雷等, 2020), 蟹肉中 AMP 的浓度除了固城湖蟹雄蟹蟹肉均大于 100 mg/100 g, 说明蟹肉以鲜味为主, 太湖蟹雄蟹蟹肉和阳澄湖蟹雌蟹蟹肉含量最高; 而蟹膏中 AMP 均小于 100 mg/100 g, 主要表现甜味, 并且 IMP 和 GMP 含量都比蟹黄低, 说明蟹膏较蟹黄甜, 鲜味不突出, 3 种核苷酸含量之和在固城湖蟹蟹膏和太湖蟹蟹黄最高, 以可食率比值为权重分析 4 个水域整蟹可食部位, 3 种核苷酸含量在太湖蟹中最高为 (353.44 ± 7.83) mg/100 g。IMP 降解产生的 HxR 和 Hx 是蟹中的异味物质, 呈苦味 (Hong *et al.*, 2017), 在蟹黄中除了鲜味贡献核苷酸外, Hx 含量也较高, 这可能是蟹黄略显苦味的原因, 滋味也更加丰富。

2.4 不同养殖水域中华绒螯蟹 TAV 值及 EUC 值差异分析

TAV 值通常用于判定食品中单一组分的滋味强度对其整体风味贡献, 即呈味物质的含量与其阈值共同决定了人类对于味道的感知, 当 $TAV > 1$, 代表该物质对样品有重要影响 (曹荣等, 2019)。由表 6 可知, 不同水域蟹滋味活性物质个数间差异很小, 主要有 8 种, 其中, 6 种氨基酸 (Glu、His、Gly、Arg、Ala、Lys)、2 种核苷酸 (AMP、GMP), Ala 和 Arg 的 TAV 值是其他滋味活性物质的数倍, 对滋味贡献很大, 虽然 His、Lys 呈苦味, 但马海建等 (2016) 研究发现, His 可增强水产品的风味, 使某些水产品具有“肉香”的特征, 甜味 FAA 中 Gly 也可抑制苦味, 所以在消费时中华绒螯蟹的苦味特征不明显。

EUC 值用来反映鲜味 FAA 与呈味核苷酸的协同增

鲜效果作用, 目前被广泛用来评价食品的鲜味强度。由表 6 和表 7 可知, EUC 值在不同可食部位含量存在差异, 太湖蟹雄蟹蟹肉的 EUC 值 $[(15.29 \pm 2.58)$ g MSG/100 g] 显著高于其他水域蟹 ($P < 0.05$), 阳澄湖蟹雌蟹蟹肉、固城湖蟹蟹膏、蟹黄的 EUC 值较高。蟹黄的 EUC 值比蟹膏大, 是因为含有较高含量的 AMP、GMP, 造成了蟹黄、蟹膏滋味的不同。以可食率比值为权重分析不同水域的整蟹可食部位, 太湖蟹的 EUC 值显著高于其他水域 $[(11.62 \pm 0.66)$ g MSG/100 g] ($P < 0.05$)。

2.5 不同养殖水域中华绒螯蟹游离脂肪酸的比较分析

不同养殖水域中华绒螯蟹的 FFA 含量见表 8, 其主要的 FFA 是饱和脂肪酸 (SFA) 中的棕榈酸 (C16:0) 和硬脂酸 (C18:0), 单不饱和脂肪酸 (MUFA) 中的油酸 (C18:1), 多不饱和脂肪酸 (PUFA) 中的亚油酸 (C18:2)、二十碳五烯酸 EPA (C20:5) 和二十二碳六烯酸 DHA (C22:6), 与倪逸群等 (2016) 研究结果一致。不同水域蟹的 FFA 含量具有一定的差异, 在阳澄湖蟹蟹膏和太湖蟹蟹黄含量最高, 而在兴化蟹蟹膏、蟹黄的含量最低。

其中, 尤其是高含量的高不饱和脂肪酸能显著地增加风味 (邓文辉等, 2012), 不饱和脂肪酸含量, 以阳澄湖蟹蟹膏 (1 265.8 mg/100 g) 和太湖蟹蟹黄 (1 861.69 mg/100 g) 含量最高, 且雌蟹的含量大于雄蟹, 这可能导致蟹黄中风味更加丰富。

王潇等 (2019) 研究发现, 棕榈油酸 (C16:1) 含量和风味之间存在着较高的正相关关系, 蟹膏可食部位, 阳澄湖蟹含量最高, 其次为固城湖蟹、太湖蟹、兴化蟹; 蟹黄中固城湖蟹 > 太湖蟹 > 阳澄湖蟹 > 兴化蟹, 且不同养殖水域间含量差异显著 ($P < 0.05$), 各养殖水域中, 阳澄湖、固城湖、太湖的 C16:1 含量较高, 由此仅从 FFA 角度评价得出湖泊养殖蟹 (阳澄湖、固城湖、太湖) 风味最为丰富, 与张彤晴等 (2007) 比较太湖网围、金坛池塘、固城湖放流、长江野生蟹的 FAA 含量, 得出湖泊放流的中华绒螯蟹最为味美一致。

3 结论

综上, 太湖蟹可食率最高; 阳澄湖蟹和固城湖蟹滋味轮廓相近, 太湖蟹和兴化蟹滋味轮廓相近。甜味特征属阳澄湖蟹最为突出, 其电子舌 PCA 分析与甜味属性相关性高, 且在蟹肉、蟹黄和整蟹可食部分中甜味 FAA 含量均最高; 而鲜味特征排名根据不同可食部位而异, 太湖蟹整体可食部位的鲜味 FAA、呈味核苷酸 (AMP、IMP、GMP)、EUC 值均最高; 在总游离脂肪酸方面, 湖泊养殖的阳澄湖蟹、固城湖蟹、太

表3 不同养殖水域中华绒螯蟹蟹膏和蟹黄游离氨基酸的组成及含量

氨基酸 Amino acid	特征滋味 Taste attribute	蟹膏 Crab paste					蟹黄 Crab yolk						
		阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua
天冬氨酸 Asp	鲜/酸 Umami/sourness (+)	29.79±3.56 ^a	26.08±0.10 ^a	17.51±3.15 ^a	18.50±7.11 ^a	14.28±0.07 ^c	1.93±0.08 ^a	5.85±3.30 ^{ab}	11.88±0.94 ^{bc}				
谷氨酸 Glu	Umami/sourness (+)	59.83±0.79 ^a	71.37±0.59 ^{ab}	94.24±16.55 ^{bc}	115.94±3.76 ^c	52.42±2.13 ^b	59.66±0.27 ^c	45.24±0.43 ^a	47.57±0.99 ^a				
丝氨酸 Ser	甜 Sweet (+)	8.50±0.02 ^b	7.03±1.29 ^b	2.92±0.34 ^a	3.92±0.77 ^a	3.23±0.25 ^a	4.46±0.35 ^b	3.60±0.26 ^{ab}	3.52±0.09 ^{ab}				
丙氨酸 Ala	甜 Sweet (+)	123.84±2.97 ^b	187.90±2.82 ^c	76.41±12.43 ^a	137.32±5.82 ^b	137.25±0.11 ^b	138.38±3.10 ^b	95.56±3.63 ^a	102.89±1.60 ^a				
甘氨酸 Gly	甜 Sweet (+)	123.18±0.85 ^a	105.08±7.07 ^a	86.34±19.32 ^a	110.32±1.75 ^a	79.64±0.28 ^c	65.37±5.02 ^b	43.16±3.79 ^a	73.71±3.19 ^{bc}				
苏氨酸 Thr	甜 Sweet (+)	28.50±0.04 ^a	26.44±3.78 ^a	16.50±5.15 ^a	21.22±2.52 ^a	32.33±1.06 ^{ab}	26.38±0.07 ^a	38.32±4.06 ^b	36.25±2.92 ^{ab}				
苯丙氨酸 Phe	苦 Bitter (-)	34.31±0.39 ^b	25.93±5.03 ^{ab}	16.66±4.30 ^a	25.26±3.78 ^{ab}	11.11±0.20 ^a	13.27±0.29 ^{ab}	16.02±0.16 ^b	21.50±1.46 ^c				
异亮氨酸 Ile	苦 Bitter (-)	21.32±0.43 ^a	17.79±3.53 ^a	11.06±2.87 ^a	16.03±2.45 ^a	8.07±0.05 ^a	9.74±0.01 ^a	8.59±0.00 ^a	12.35±1.30 ^b				
亮氨酸 Leu	苦 Bitter (-)	54.07±0.58 ^b	43.04±9.04 ^{ab}	22.30±7.91 ^a	34.84±6.88 ^{ab}	14.53±0.19 ^a	19.81±0.15 ^{ab}	14.78±0.13 ^a	23.51±3.12 ^b				
组氨酸 His	苦 Bitter (-)	18.14±0.49 ^b	19.86±0.79 ^b	9.57±2.34 ^a	13.03±2.99 ^{ab}	11.62±0.10 ^a	15.30±0.40 ^b	16.92±0.35 ^b	25.34±0.64 ^c				
酪氨酸 Tyr	苦 Bitter (-)	41.04±0.91 ^a	32.22±4.19 ^a	22.58±7.63 ^a	36.39±4.40 ^a	19.71±0.78 ^a	17.61±0.40 ^a	19.69±1.11 ^a	26.70±1.28 ^b				
精氨酸 Arg	苦/甜 Bitter/sweet (+)	191.14±6.32 ^a	178.00±5.10 ^a	169.14±41.51 ^a	175.47±25.89 ^a	191.89±4.47 ^c	169.87±1.21 ^b	148.22±1.06 ^a	211.89±7.77 ^d				
缬氨酸 Val	甜/苦 Sweet/bitter (+)	30.70±0.30 ^a	26.64±3.94 ^a	16.75±5.11 ^a	22.41±3.18 ^a	13.51±0.02 ^a	15.72±0.92 ^a	12.98±0.60 ^a	22.37±2.08 ^b				
半胱氨酸 Cys	苦/甜/硫 Bitter/sweet/sulfur (-)	10.16±0.03 ^a	13.74±0.46 ^a	12.17±2.59 ^a	15.16±1.72 ^a	10.82±0.04 ^b	9.05±0.61 ^b	6.24±0.55 ^a	10.29±0.47 ^b				
甲硫氨酸 Met	甜/苦 Sweet/sulfurous (-)	17.16±0.29 ^a	14.27±1.52 ^a	10.58±3.15 ^a	14.68±1.67 ^a	9.93±0.08 ^b	6.93±0.17 ^a	9.73±0.58 ^b	19.92±0.93 ^c				
赖氨酸 Lys	甜/苦 Sweet/bitter (-)	71.20±0.94 ^b	60.11±7.24 ^{ab}	36.28±12.9 ^a	52.83±7.87 ^{ab}	37.50±0.45 ^b	49.75±0.66 ^c	31.85±0.15 ^a	45.00±2.49 ^c				
脯氨酸 Pro	甜/苦 Sweet/bitter (-)	82.21±2.50 ^{ab}	54.17±2.82 ^a	64.90±12.88 ^{ab}	98.16±11.15 ^b	57.43±1.93 ^b	51.32±0.64 ^a	68.86±1.44 ^c	79.43±0.09 ^d				
甜味氨基酸 Sweet FAA	Sweet/bitter (+)	366.23±6.34 ^b	380.62±3.63 ^b	247.06±50.11 ^a	370.94±0.29 ^b	309.86±0.73 ^c	285.92±7.20 ^b	249.51±4.53 ^a	295.80±4.5 ^{bc}				
鲜味氨基酸 Umami FAA	Sweet/bitter (+)	89.63±4.35 ^a	97.45±0.69 ^{ab}	111.75±19.70 ^{ab}	134.43±3.35 ^b	66.70±2.06 ^b	61.59±0.35 ^b	51.09±3.73 ^a	59.44±1.93 ^{ab}				
苦味氨基酸 Bitter FAA	Sweet/bitter (+)	134.57±2.40 ^b	112.91±17.56 ^{ab}	65.51±20.75 ^a	100.28±16.71 ^{ab}	53.93±0.63 ^a	62.46±0.13 ^a	59.98±0.89 ^a	87.90±5.07 ^b				
总计 Total		945.09±21.38 ^a	909.66±44.25 ^a	685.90±160.12 ^a	911.46±57.19 ^a	705.25±6.67 ^b	674.56±7.11 ^b	585.61±2.35 ^a	774.12±26.71 ^c				

表 4 不同养殖水域中华绒螯蟹蟹肉呈味核苷酸的含量
Tab.4 Content of flavor nucleotide in crab meat of *E. sinensis* in different regions/(mg/100 g)

核苷酸 Nucleotide	雄蟹蟹肉 Male crab meat					雌蟹蟹肉 Female crab meat						
	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua
AMP	108.50±7.51 ^a	91.76±6.46 ^a	159.25±1.19 ^b	107.1±6.61 ^a	141.19±4.62 ^b	117.67±9.69 ^a	110.57±0.00 ^a	104.10±3.73 ^a	141.19±4.62 ^b	117.67±9.69 ^a	110.57±0.00 ^a	104.10±3.73 ^a
IMP	5.75±0.26 ^{ab}	3.66±0.17 ^a	7.12±1.15 ^b	8.33±0.94 ^b	10.39±3.02 ^b	2.62±0.55 ^a	3.15±0.41 ^a	6.29±0.96 ^{ab}	10.39±3.02 ^b	2.62±0.55 ^a	3.15±0.41 ^a	6.29±0.96 ^{ab}
GMP	26.27±2.39 ^a	28.28±0.32 ^a	45.25±5.70 ^b	27.83±1.24 ^a	26.39±1.17 ^a	28.09±0.81 ^a	30.14±6.04 ^a	26.32±0.68 ^a	26.39±1.17 ^a	28.09±0.81 ^a	30.14±6.04 ^a	26.32±0.68 ^a
Hx	0.72±0.02 ^a	0.79±0.08 ^a	0.89±0.08 ^a	0.66±0.07 ^a	0.76±0.05 ^a	0.68±0.01 ^a	0.63±0.33 ^a	0.53±0.34 ^a	0.76±0.05 ^a	0.68±0.01 ^a	0.63±0.33 ^a	0.53±0.34 ^a
HxR	4.84±0.16 ^a	9.09±1.02 ^b	9.23±0.80 ^b	9.29±1.06 ^b	7.08±1.68 ^a	10.21±2.03 ^a	6.58±1.44 ^a	5.77±1.96 ^a	7.08±1.68 ^a	10.21±2.03 ^a	6.58±1.44 ^a	5.77±1.96 ^a

表 5 不同养殖水域中华绒螯蟹蟹膏和蟹黄呈味核苷酸的含量
Tab.5 Content of flavor nucleotide in crab paste and yolk of *E. sinensis* in different regions/(mg/100 g)

核苷酸 Nucleotide	蟹膏 Crab paste					蟹黄 Crab yolk						
	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua
AMP	25.89±1.67 ^a	25.00±0.50 ^a	29.35±3.65 ^a	27.34±2.17 ^a	543.71±29.05 ^a	752.40±23.05 ^b	880.98±41.43 ^c	859.86±16.54 ^{bc}	543.71±29.05 ^a	752.40±23.05 ^b	880.98±41.43 ^c	859.86±16.54 ^{bc}
IMP	1.46±0.07 ^b	1.18±0.02 ^{ab}	0.75±0.20 ^a	0.90±0.26 ^{ab}	14.17±2.03 ^a	15.47±1.68 ^a	14.67±1.75 ^a	11.62±0.56 ^a	14.17±2.03 ^a	15.47±1.68 ^a	14.67±1.75 ^a	11.62±0.56 ^a
GMP	11.53±0.83 ^b	15.55±1.18 ^c	6.22±0.67 ^a	7.56±0.09 ^a	50.94±5.32 ^a	65.84±0.73 ^{ab}	66.74±5.27 ^b	59.31±0.01 ^{ab}	50.94±5.32 ^a	65.84±0.73 ^{ab}	66.74±5.27 ^b	59.31±0.01 ^{ab}
Hx	0.77±0.19 ^a	0.70±0.04 ^a	0.75±0.13 ^a	0.72±0.12 ^a	39.45±0.63 ^a	42.60±1.66 ^{ab}	43.06±3.03 ^{ab}	47.71±1.02 ^b	39.45±0.63 ^a	42.60±1.66 ^{ab}	43.06±3.03 ^{ab}	47.71±1.02 ^b
HxR	4.03±0.79 ^a	6.83±0.21 ^b	5.07±0.49 ^{ab}	5.05±0.29 ^{ab}	5.33±1.17 ^a	5.51±0.39 ^a	4.73±0.58 ^a	4.43±0.35 ^a	5.33±1.17 ^a	5.51±0.39 ^a	4.73±0.58 ^a	4.43±0.35 ^a

表 6 不同养殖水域中华绒螯蟹肉滋味活性物质及其 TAV 值与 EUC 含量

Tab.6 TAV value and content of EUC based on taste active compounds in crab meat of *E.sinensis* in different regions

呈味物质 Taste substance	雄蟹蟹肉 Male crab meat						雌蟹蟹肉 Female crab meat						
	味道阈值 Taste threshold (mg/100 g)	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua
谷氨酸 Glu	30	1.66±0.08 ^a	1.60±0.09 ^a	2.94±0.24 ^c	2.35±0.11 ^b	2.22±0.02 ^{bc}	2.42±0.08 ^c	2.07±0.01 ^b	1.32±0.10 ^a				
组氨酸 His	20	0.71±0.13 ^a	1.04±0.23 ^{ab}	0.95±0.11 ^{ab}	1.36±0.09 ^b	0.87±0.03 ^a	1.38±0.05 ^c	1.10±0.04 ^b	1.24±0.03 ^{bc}				
甘氨酸 Gly	130	3.60±0.05 ^b	2.94±0.06 ^a	3.66±0.02 ^b	3.57±0.08 ^b	3.26±0.02 ^c	2.46±0.01 ^a	3.42±0.06 ^d	2.99±0.01 ^b				
精氨酸 Arg	50	9.00±0.04 ^a	10.87±0.16 ^b	10.88±0.34 ^b	12.49±0.42 ^c	10.28±0.6 ^{ab}	8.80±0.29 ^a	10.76±0.19 ^b	11.22±0.46 ^c				
丙氨酸 Ala	60	4.37±0.01 ^{ab}	5.51±0.11 ^b	4.04±0.45 ^a	4.20±0.38 ^a	5.24±0.06 ^a	6.76±0.09 ^c	5.26±0.02 ^a	5.84±0.07 ^b				
赖氨酸 Lys	50	0.47±0.09 ^{ab}	0.37±0.08 ^a	0.72±0.09 ^b	0.30±0.01 ^a	0.72±0.03 ^c	1.20±0.03 ^d	0.62±0.01 ^b	0.43±0.03 ^a				
AMP	50	2.17±0.15 ^a	1.84±0.13 ^a	3.19±0.03 ^b	2.14±0.13 ^a	2.83±0.10 ^b	2.36±0.20 ^a	2.21±0.00 ^a	2.09±0.08 ^a				
GMP	12.5	2.10±0.19 ^a	2.27±0.03 ^a	3.62±0.46 ^b	2.23±0.10 ^a	2.11±0.09 ^a	2.25±0.07 ^a	2.41±0.48 ^a	2.11±0.06 ^a				
EUC/(g MSG/100 g)		5.29±0.49 ^a	5.31±0.08 ^a	15.29±2.58 ^b	8.00±0.83 ^a	8.13±0.64 ^b	7.57±0.34 ^b	7.05±1.10 ^b	4.21±0.34 ^a				

表 7 不同养殖水域中华绒螯蟹蟹膏和蟹黄滋味活性物质及其 TAV 值与 EUC 含量

Tab.7 TAV value and content of EUC based on taste active compounds in crab paste and yolk of *E.sinensis* in different regions

呈味物质 Taste substance	蟹膏 Crab paste						蟹黄 Crab yolk						
	味道阈值 Taste threshold (mg/100 g)	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua
谷氨酸 Glu	30	2.00±0.03 ^a	2.38±0.02 ^{ab}	3.14±0.55 ^{bc}	3.86±0.13 ^c	1.75±0.07 ^b	1.99±0.01 ^c	1.51±0.02 ^a	1.59±0.04 ^a				
组氨酸 His	20	0.91±0.03 ^b	0.99±0.04 ^b	0.48±0.12 ^a	0.65±0.15 ^{ab}	0.59±0.01 ^a	0.77±0.03 ^b	0.85±0.02 ^b	1.27±0.03 ^c				
甘氨酸 Gly	130	0.95±0.01 ^a	0.81±0.06 ^a	0.67±0.15 ^a	0.85±0.01 ^a	0.61±0.00 ^b	0.50±0.04 ^b	0.33±0.03 ^a	0.57±0.03 ^b				
精氨酸 Arg	50	3.83±0.13 ^a	3.56±0.10 ^a	3.38±0.83 ^a	3.51±0.52 ^a	3.84±0.09 ^c	3.40±0.03 ^b	2.97±0.03 ^a	4.24±0.16 ^d				
丙氨酸 Ala	60	2.06±0.05 ^b	3.13±0.05 ^c	1.28±0.21 ^a	2.29±0.10 ^b	2.29±0.00 ^b	2.31±0.06 ^b	1.59±0.06 ^a	1.72±0.03 ^a				
赖氨酸 Lys	50	1.43±0.02 ^b	1.21±0.15 ^{ab}	0.73±0.26 ^a	1.06±0.16 ^{ab}	0.75±0.01 ^b	1.00±0.02 ^c	0.64±0.01 ^a	0.90±0.05 ^c				
AMP	50	0.52±0.04 ^a	0.50±0.01 ^a	0.59±0.08 ^a	0.55±0.05 ^a	10.88±0.59 ^a	15.05±0.46 ^b	17.62±0.83 ^c	17.20±0.33 ^{bc}				
GMP	12.5	0.93±0.07 ^b	1.25±0.10 ^c	0.50±0.06 ^a	0.61±0.01 ^a	4.08±0.43 ^a	5.27±0.06 ^{ab}	5.34±0.42 ^b	4.74±0.00 ^{ab}				
EUC/(g MSG/100 g)		2.44±0.00 ^a	3.68±0.28 ^a	2.60±0.31 ^a	3.37±0.26 ^a	14.03±1.13 ^a	22.02±0.40 ^b	17.20±2.34 ^{ab}	17.74±0.52 ^{ab}				

表 8 不同养殖水域中华绒螯蟹游离脂肪酸含量
Tab.8 Content of free fatty acid in edible parts of *E. sinensis* in different regions(mg/100 g)

游离脂肪酸 Free fatty acid	蟹膏 Crab paste					蟹黄 Crab yolk						
	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua	阳澄湖 Yangcheng Lake	固城湖 Gucheng Lake	太湖 Tai Lake	兴化 Xinghua
月桂酸 C12:0	6.72±0.05 ^b	4.36±0.03 ^a	6.88±0.13 ^b	6.77±0.01 ^b	5.72±0.30 ^a	10.36±0.50 ^b	6.71±0.07 ^a	6.64±0.03 ^a	5.72±0.30 ^a	10.36±0.50 ^b	6.71±0.07 ^a	6.64±0.03 ^a
肉豆蔻酸 C14:0	36.66±0.50 ^c	26.07±0.12 ^b	20.51±0.09 ^a	25.00±0.51 ^b	35.89±0.28 ^b	87.06±1.85 ^d	49.27±0.66 ^c	31.14±0.07 ^a	35.89±0.28 ^b	87.06±1.85 ^d	49.27±0.66 ^c	31.14±0.07 ^a
肉豆蔻烯酸 C14:1	7.08±0.03 ^c	3.02±0.05 ^a	7.84±0.05 ^d	4.23±0.02 ^b	7.18±0.03 ^d	4.90±0.01 ^c	3.94±0.05 ^b	2.93±0.04 ^a	7.18±0.03 ^d	4.90±0.01 ^c	3.94±0.05 ^b	2.93±0.04 ^a
十五烷酸 C15:0	9.83±0.05 ^d	6.41±0.01 ^a	6.96±0.07 ^c	6.67±0.02 ^b	8.32±0.02 ^b	15.51±0.06 ^d	9.35±0.01 ^c	5.89±0.03 ^a	8.32±0.02 ^b	15.51±0.06 ^d	9.35±0.01 ^c	5.89±0.03 ^a
棕榈酸 C16:0	343.38±1.19 ^d	182.01±1.10 ^a	271.99±0.90 ^b	307.17±1.68 ^c	367.47±1.98 ^b	451.39±1.10 ^c	513.04±2.88 ^d	267.20±2.10 ^a	367.47±1.98 ^b	451.39±1.10 ^c	513.04±2.88 ^d	267.20±2.10 ^a
棕榈油酸 C16:1	141.16±0.60 ^c	137.30±1.14 ^c	121.68±1.59 ^b	106.29±1.10 ^a	200.77±0.63 ^b	257.56±1.40 ^d	248.00±2.81 ^c	126.09±0.80 ^a	200.77±0.63 ^b	257.56±1.40 ^d	248.00±2.81 ^c	126.09±0.80 ^a
十七烷酸 C17:0	7.77±0.02 ^d	2.58±0.02 ^a	4.61±0.01 ^b	5.59±0.04 ^c	8.75±0.06 ^c	8.17±0.05 ^b	9.32±0.05 ^d	3.60±0.04 ^a	8.75±0.06 ^c	8.17±0.05 ^b	9.32±0.05 ^d	3.60±0.04 ^a
十七碳烯酸 C17:1	15.92±0.07 ^d	7.54±0.05 ^a	9.27±0.06 ^b	12.24±0.03 ^c	21.73±0.60 ^b	21.71±0.61 ^b	22.25±0.06 ^b	8.86±0.11 ^a	21.73±0.60 ^b	21.71±0.61 ^b	22.25±0.06 ^b	8.86±0.11 ^a
硬脂酸 C18:0	83.31±0.10 ^d	50.56±0.41 ^a	68.58±0.49 ^b	75.84±0.68 ^c	111.24±0.68 ^c	87.01±0.07 ^b	174.70±0.51 ^d	53.81±0.00 ^a	111.24±0.68 ^c	87.01±0.07 ^b	174.70±0.51 ^d	53.81±0.00 ^a
油酸 C18:1	389.66±0.60 ^c	221.58±0.49 ^a	366.89±1.70 ^b	429.98±0.89 ^d	627.03±1.14 ^c	528.05±1.86 ^b	667.64±2.48 ^d	389.66±0.50 ^a	627.03±1.14 ^c	528.05±1.86 ^b	667.64±2.48 ^d	389.66±0.50 ^a
亚油酸 C18:2	233.23±1.04 ^c	188.28±1.98 ^b	334.76±0.55 ^d	113.59±1.50 ^a	130.72±0.52 ^b	102.96±2.53 ^a	236.76±1.60 ^d	151.43±1.14 ^c	130.72±0.52 ^b	102.96±2.53 ^a	236.76±1.60 ^d	151.43±1.14 ^c
α-亚麻酸 C18:3	32.00±0.41 ^d	20.79±0.20 ^c	19.74±0.01 ^b	10.87±0.02 ^a	37.77±0.98 ^d	25.39±1.10 ^b	30.02±0.93 ^c	15.04±0.45 ^a	37.77±0.98 ^d	25.39±1.10 ^b	30.02±0.93 ^c	15.04±0.45 ^a
花生酸 C20:0	2.64±0.01 ^c	1.22±0.01 ^a	1.84±0.05 ^b	1.79±0.02 ^b	2.57±0.01 ^c	1.99±0.01 ^b	6.49±0.03 ^d	1.33±0.02 ^a	2.57±0.01 ^c	1.99±0.01 ^b	6.49±0.03 ^d	1.33±0.02 ^a
二十碳烯酸 C20:1	39.06±0.90 ^c	38.08±0.03 ^c	12.53±0.12 ^a	22.91±0.32 ^b	48.91±0.10 ^c	36.00±0.10 ^b	64.38±0.49 ^d	28.92±0.50 ^a	48.91±0.10 ^c	36.00±0.10 ^b	64.38±0.49 ^d	28.92±0.50 ^a
二十碳二烯酸 C20:2	9.06±0.17 ^c	7.28±0.07 ^a	8.60±0.01 ^b	11.99±0.08 ^d	14.80±0.02 ^c	9.10±0.07 ^a	15.90±0.01 ^d	11.72±0.13 ^b	14.80±0.02 ^c	9.10±0.07 ^a	15.90±0.01 ^d	11.72±0.13 ^b
花生三烯酸 C20:3	1.06±0.01 ^b	0.96±0.05 ^{ab}	0.84±0.00 ^a	0.95±0.04 ^{ab}	1.72±0.01 ^b	1.92±0.03 ^c	0.90±0.01 ^a	0.97±0.02 ^a	1.72±0.01 ^b	1.92±0.03 ^c	0.90±0.01 ^a	0.97±0.02 ^a
花生四烯酸 C20:4	51.20±0.14 ^c	21.39±0.05 ^b	12.63±0.05 ^a	60.63±0.05 ^d	45.12±0.02 ^d	43.01±0.10 ^c	40.13±0.34 ^b	18.02±0.11 ^a	45.12±0.02 ^d	43.01±0.10 ^c	40.13±0.34 ^b	18.02±0.11 ^a
二十碳五烯酸 EPA C20:5	143.56±0.55 ^c	389.88±0.76 ^d	117.46±1.37 ^b	111.46±1.27 ^a	130.15±0.56 ^c	116.93±0.47 ^b	196.03±1.02 ^d	54.94±0.75 ^a	130.15±0.56 ^c	116.93±0.47 ^b	196.03±1.02 ^d	54.94±0.75 ^a
山萘酸 C22:0	2.07±0.01 ^b	2.04±0.00 ^b	1.06±0.05 ^a	2.21±0.00 ^c	1.11±0.01 ^a	1.70±0.01 ^b	2.06±0.00 ^c	1.09±0.00 ^a	1.11±0.01 ^a	1.70±0.01 ^b	2.06±0.00 ^c	1.09±0.00 ^a
二十二碳烯酸 C22:1	15.32±0.01 ^c	40.99±0.80 ^d	2.14±0.02 ^a	5.94±0.05 ^b	19.56±0.05 ^c	9.57±0.01 ^a	29.34±0.16 ^d	10.36±0.01 ^b	19.56±0.05 ^c	9.57±0.01 ^a	29.34±0.16 ^d	10.36±0.01 ^b
二十二碳三烯酸 C22:3	1.95±0.00 ^b	6.28±0.07 ^c	1.61±0.01 ^a	6.71±0.02 ^d	5.58±0.07 ^c	5.86±0.02 ^d	4.16±0.01 ^b	2.68±0.03 ^a	5.58±0.07 ^c	5.86±0.02 ^d	4.16±0.01 ^b	2.68±0.03 ^a
二十二碳四烯酸 C22:4	2.73±0.02 ^b	2.61±0.04 ^b	1.02±0.08 ^a	3.80±0.04 ^c	3.40±0.01 ^b	6.27±0.06 ^d	5.05±0.05 ^c	2.25±0.00 ^a	3.40±0.01 ^b	6.27±0.06 ^d	5.05±0.05 ^c	2.25±0.00 ^a
二十二碳五烯酸 C22:5	6.66±0.15 ^c	5.04±0.05 ^b	2.01±0.01 ^a	9.94±0.01 ^d	13.77±0.18 ^b	15.91±0.01 ^c	16.47±0.02 ^d	5.20±0.01 ^a	13.77±0.18 ^b	15.91±0.01 ^c	16.47±0.02 ^d	5.20±0.01 ^a
二十二碳六烯酸 DHAC22:6	176.16±0.50 ^c	116.13±0.47 ^a	116.21±0.30 ^a	139.62±0.52 ^b	211.94±0.85 ^c	143.38±1.09 ^b	280.71±0.56 ^d	103.25±0.74 ^a	211.94±0.85 ^c	143.38±1.09 ^b	280.71±0.56 ^d	103.25±0.74 ^a
饱和脂肪酸 Saturated fatty acid	492.38±1.91 ^d	275.26±1.41 ^a	382.43±1.59 ^b	431.05±2.93 ^c	541.07±2.74 ^b	663.19±3.65 ^c	770.94±4.21 ^d	370.70±2.15 ^a	541.07±2.74 ^b	663.19±3.65 ^c	770.94±4.21 ^d	370.70±2.15 ^a
单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acid	608.19±2.14 ^d	448.51±2.50 ^a	520.36±3.55 ^b	581.6±2.42 ^c	925.19±2.30 ^c	857.79±3.99 ^b	1035.56±5.74 ^d	566.82±0.96 ^a	925.19±2.30 ^c	857.79±3.99 ^b	1035.56±5.74 ^d	566.82±0.96 ^a
多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acid	657.61±2.99 ^c	758.63±0.32 ^d	614.88±2.21 ^b	469.55±0.52 ^a	594.98±3.23 ^c	470.73±1.78 ^b	826.13±4.51 ^d	365.50±3.38 ^a	594.98±3.23 ^c	470.73±1.78 ^b	826.13±4.51 ^d	365.50±3.38 ^a
总计 Total	1 758.18±7.04 ^c	1 482.40±3.60 ^a	1 517.67±7.35 ^b	1 482.19±5.86 ^a	2 061.24±8.27 ^c	1 991.72±5.87 ^b	2 632.63±14.46 ^d	1 303.03±6.50 ^a	2 061.24±8.27 ^c	1 991.72±5.87 ^b	2 632.63±14.46 ^d	1 303.03±6.50 ^a

湖蟹总游离脂肪酸含量要大于池塘养殖的兴化蟹。本研究结果可为分析中华绒螯蟹养殖水域的来源和消费者的喜好原因提供一定的参考,也对生产优质中华绒螯蟹和进一步促进中华绒螯蟹产业的发展具有较大的现实意义。

参 考 文 献

- Bureau of Fishery and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Areas, National Aquatic Technology Promotion Station, China Fisheries Society. 2020 China fisheries statistics yearbook. Beijing: China Agriculture Press, 2020 [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. 2020 年中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2020]
- CAO R, ZHAO L, WANG L Z, *et al.* Taste characteristic analysis of *Porphyra yezoensis* during different harvest periods: A study based on electronic tongue technology. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(1): 147–154 [曹荣, 赵玲, 王联珠, 等. 基于电子舌技术分析不同采收期紫菜的滋味特征. *渔业科学进展*, 2019, 40(1): 147–154]
- CHEN J. An empirical analysis on competitiveness and development of Jiangsu hairy crab industry. Master's Thesis of Nanjing Agricultural University, 2009, 1–65 [陈加. 江苏省河蟹产业竞争力与产业发展研究. 南京农业大学硕士研究生学位论文, 2009, 1–65]
- CHEN X L, HU W, MA C B, *et al.* Effects of clove oil on storage quality of crab cream and shrimp sauce. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(6): 181–191 [陈小雷, 胡王, 马朝彬, 等. 丁香油对蟹黄鲜虾酱贮藏品质的影响. *渔业科学进展*, 2020, 41(6): 181–191]
- DENG W H, ZHAO Y, LI J K, *et al.* The role of free fatty acid in the flavor of several common foods. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(11), 422–425 [邓文辉, 赵燕, 李建科, 等. 游离脂肪酸在几种常见食品风味形成中的作用. *食品工业科技*, 2012, 33(11): 422–425]
- GU J P. Effect of free amino acids on the formation of aroma compounds derived from Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) meat. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2019, 1–45 [顾吉萍. 游离氨基酸对中华绒螯蟹肌肉香气形成的影响. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2019, 1–45]
- HONG H, REGENSTEIN JM, LUO Y K. The importance of ATP- related compounds for the freshness and flavor of post-mortem fish and shellfish muscle: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 57(9): 1787–1798
- HUA Q, GAO P, XU Y S, *et al.* Effect of commercial starter cultures on the quality characteristics of fermented fish-chili paste. *LWT—Food Science and Technology*, 2020, 122: 1–10
- LI N. Effect of water-soluble precursors on the formation of aroma compounds in steamed Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) abdominal meat. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2017, 1–67 [李楠. 水溶性风味前体物质对蒸制中华绒螯蟹体肉香气的作用. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2017, 1–67]
- LIU H B, JIANG T, LUO R J, *et al.* Evaluation of the taste-active values of Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) from different geographic origins using a taste sensing system. *Food Science*, 2020, 41(16): 132–137 [刘洪波, 姜涛, 骆仁军, 等. 味觉分析系统对不同产地中华绒螯蟹滋味强度值的区分. *食品科学*, 2020, 41(16): 132–137]
- LIU T T, LIANG Z Y, FAN S Q, *et al.* Analysis of characteristic taste components of soldier crab (*Mictyris brevidactylus*). *Food Science*, 2018, 39(14): 236–241 [刘天天, 梁中永, 范思华, 等. 北海沙蟹特征滋味成分的分析. *食品科学*, 2018, 39(14): 236–241]
- MA H J, SHI W Z, SONG J, *et al.* Effects of ultra-high pressure treatment on flavor substances in grass carp. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(8): 204–212 [马海建, 施文正, 宋洁, 等. 超高压处理对草鱼鱼肉风味物质的影响. *现代食品科技*, 2016, 32(8): 204–212]
- NI Y Q, WU N, WANG X C. Changes of fatty acids composition in gonad of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) during heating process. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(19): 96–100 [倪逸群, 吴娜, 王锡昌. 加热过程中中华绒螯蟹性腺内脂肪酸的变化. *食品工业科技*, 2016, 37(19): 96–100]
- SHAO Y, YU D W, YANG F, *et al.* Comparison of the taste compounds in different grades of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(4): 192–198 [邵洋, 余达威, 杨方, 等. 不同等级中华绒螯蟹滋味物质的比较分析. *渔业科学进展*, 2021, 42(4): 192–198]
- WANG J B, WEN L, LI Z P, *et al.* Analysis and evaluation of the characteristic taste components in *Portobello mushroom*. *Journal of Food Science*, 2018, 83(6): 1542–1551
- WANG S, HE Y, WANG Y Y, *et al.* Comparison of flavour qualities of three sourced *Eriocheir sinensis*. *Food Chemistry*, 2016, 200: 24–31
- WANG X, HAN G, ZHANG X J, *et al.* Nutritional composition and flavor components of male Chinese mitten handed crab *Eriocheir sinensis* from different waters. *Journal of Dalian Ocean University*, 2019, 34(5): 688–696 [王潇, 韩刚, 张小军, 等. 不同水域中华绒螯蟹雄体营养成分及风味成分差异性研究. *大连海洋大学学报*, 2019, 34(5): 688–696]
- WU N. Formation mechanism of key odorants derived from lipid oxidation and degradation in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). Doctoral Dissertation of Shanghai Ocean University, 2017, 1–103 [吴娜. 基于脂质热氧化降解解析中华绒螯蟹关键香气物质的形成机制. 上海海洋大学博士研究生学位论文, 2017, 1–103]
- XU Y S, LI L, REGENSTEIN J M, *et al.* The contribution of autochthonous microflora on free fatty acids release and flavor development in low-salt fermented fish. *Food Chemistry*, 2018, 256: 259–267
- YU D W, XU Y S, REGENSTEIN J M, *et al.* The effects of edible chitosan-based coatings on flavor quality of raw grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 2018, 242: 412–420
- ZHANG J Q, ZHANG L, WANG X C. Effects of rice culture and pond culture on the quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir*

- sinensis*). Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(13): 229–236 [张家奇, 张龙, 王锡昌. 稻田养殖和池塘养殖对中华绒螯蟹滋味品质的影响. 食品工业科技, 2017, 38(13): 229–236]
- ZHANG N. Study on flavor compounds of Chinese mitten crab. Master's Thesis of Jiangnan University, 2008, 1–46 [张娜. 中华绒螯蟹风味物质的研究. 江南大学硕士研究生学位论文, 2008, 1–46]
- ZHANG T Q, ZHOU G, ZHOU Q S, *et al.* Comparison and analysis of fatty acid composition of *Eriocheir sinensis* in different proliferation and culturing mode. Freshwater Fisheries, 2007, 37(1): 53–57 [张彤晴, 周刚, 朱清顺, 等. 不同增殖模式中华绒螯蟹脂肪酸比较分析. 淡水渔业, 2007, 37(1): 53–57]
- ZHENG H B. Analysis and comparison of the Chinese mitten crab. Master's Thesis of Jiangnan University, 2008, 1–59 [郑海波. 中华绒螯蟹的品质分析与比较. 江南大学硕士研究生学位论文, 2008, 1–59]

(编辑 陈 辉)

Analysis of Flavor Compounds of Chinese Mitten Crabs (*Eriocheir sinensis*) from Different Regions

GUO Honghui^{1,2}, YANG Fang^{1,2}Ⓐ, GAO Pei^{1,2}, YU Dawei^{1,2},
XU Yanshun^{1,2}, JIANG Qixing^{1,2}, XIA Wenshui^{1,2}Ⓐ

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract This study aimed to compare the edible yield and flavor characteristics of Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) from four regions in Jiangsu Province, China, to provide a theoretical basis and guidance for understanding consumer preference. For this, representative authentic Chinese mitten crabs from Yangcheng Lake, Gucheng Lake, Tai Lake, and Xinghua were used. The edible yield, flavor profiles, free amino acids, flavor nucleotides, and free fatty acids were measured, and the degree of flavor was evaluated using the taste activity value and equivalent umami concentration (EUC). The results showed that Tai Lake crabs had the highest edible yield [(33.08±0.31)% in male crabs, (37.65±1.09)% in females]. Yangcheng Lake and Gucheng Lake crabs had similar flavor profiles, as did Tai Lake and Xinghua crabs; however, Yangcheng Lake and Gucheng Lake crabs were sweeter, whereas Tai Lake and Xinghua crabs had a better umami flavor, although their bitterness and astringency were also high. Yangcheng Lake crabs had the highest sweet amino acid content in whole edible parts, male crab meat, female crab meat, and crab yolk: (676.65±1.30) mg/100 g, (899.00±2.88) mg/100 g, (950.34±4.78) mg/100 g, and (309.86±0.73) mg/100 g, respectively. Whole edible parts and male crab meat from Tai Lake crabs had the highest umami amino acid content [(98.06±4.07) mg/100 g and (123.76±6.72) mg/100 g, respectively] and the highest EUC values [(11.62±0.66) g MSG/100 g and (15.29±2.58) g MSG/100 g, respectively]. Finally, total free fatty acids in Yangcheng Lake, Gucheng Lake, and Tai Lake crabs were higher than those in Xinghua crabs. In conclusion, the results indicate differences in the edible yield and flavor of Chinese mitten crabs from different locations. Overall, Yangcheng Lake crabs had the most prominent sweet flavor. Tai Lake crabs had the highest edible yield and their flavor profiles included a marked degree of umami; however, they also had a bitter flavor. Umami flavor was present in female crab meat and crab yolk from Yangcheng Lake and Gucheng Lake, in addition to male crab meat and crab paste of Tai Lake and Xinghua.

Key words Chinese mitten crab; Different regions; Edible yield; Taste profile; Free amino acids; Flavor nucleotides; Free fatty acids

Ⓐ Corresponding author: YANG Fang, E-mail: yangfang_8_9@126.com; XIA Wenshui, E-mail: xiaws@jiangnan.edu.cn