不同生长阶段下中华绒螯蟹滋味成分差异研究

赵樑[1]，吴娜[1]，王锡昌[1]，吴旭干[2]，王亚会[1]
（1.上海海洋大学食品学院，上海 201306）
（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）

摘要：本文比较了8月份到12月份下中华绒螯蟹雄蟹滋味物质间的差异。通过用电子舌区分不同月份下中华绒螯蟹三个可食部位（体肉、性腺、肝胰腺）的滋味轮廓，并测定其游离氨基酸和呈味核苷酸含量，计算TAV值、EUC值，结果表明电子舌能较好区分不同月份下各可食部位滋味轮廓间的差异，11月份、12月份的滋味轮廓与8月份、9月份相比差异较大；三个可食部位中呈甜味氨基酸含量与性腺中呈鲜味氨基酸含量均在11月份达到最高；蟹肉中呈味核苷酸总量最高，且波动较大，11月份以后呈鲜味核苷酸和呈甜味核苷酸含量显著增高，而性腺和肝胰腺中呈味核苷酸含量波动较小；不同阶段下中华绒螯蟹各可食部位的Glu、Ala、Arg和Lys的TAV值均大于1，对蟹的整体滋味贡献较大；性腺中的EUC值显著高于其他部位，并且在9月份、12月份达到最高。综上，雄蟹在11月份滋味最佳。

关键词：中华绒螯蟹；游离氨基酸；呈味核苷酸；电子舌
文章篇号：1673-9078(2016)07-261-269 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.7.040

Comparison of the Flavor Components of Chinese Mitten Crab at Different Growth Stages

ZHAO Liang[1], WU Na[1], WANG Xi-chang[1], WU Xu-gan[2], WANG Ya-hui[1]
(1.Shanghai Ocean University, ShangHai 201306, China) (2.Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education,Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The differences in the flavor components of Chinese mitten crab between August and December were studied. The taste profiles of three edible parts (meats, gonads, and hepatopancreas) of Chinese mitten crab, in different months, were distinguished by an electronic tongue. The contents of free amino acids and flavor nucleotides were measured, and the taste activity value (TAV) and equivalent umami concentration (EUC) were calculated. The results showed that differences in the taste profile of each edible part in different months could be effectively distinguished. The taste profiles in November and December were significantly different from those in August and September. The content of sweet tasting amino acids in the three edible parts and the content of umami amino acids in hepatopancreas reached their peak values in November. The total content of flavor nucleotides in meat was the highest and showed a large fluctuation. After November, the contents of sweet tasting nucleotides and umami nucleotides in meat were increased significantly, but the change in the flavor content nucleotides in gonads and hepatopancreas was less significant. The TAV values of glutamate (Glu), alanine (Ala), arginine (Arg), and lysine (Lys) in all edible parts of Chinese mitten crab at different growth stages were higher than 1, and these amino acids contributed the most to the overall taste of the crab. In gonads, the EUC value was significantly higher than that in other parts and reached the peak value in September and December. Therefore, it was confirmed that the male crab has best taste in November.

Key words: Chinese mitten crab; free amino acids; flavor nucleotides; electronic tongue

收稿日期：2015-09-19
基金项目：国家自然科学基金(31471608)；上海市中华绒螯蟹产业技术体系建设项目（D-8003-10-0208）；上海市科委项目（13320502100）；科技部港澳台科技合作专项项目(2015DFT30270)；崇明县科技攻关项目(CKZ2015-02)
作者简介：赵樑(1992-)，女，硕士，研究方向为:食品营养与风味
通讯作者：王锡昌(1964-)，男，教授，研究方向为:食品营养与安全
吴旭干（1978-），男，副教授，研究方向为：甲壳动物营养饲料与繁殖生理学

中华绒螯蟹俗称大闸蟹，简称河蟹，在2013年我国蟹的总产量为78万t，产值近400亿。在我国，中华绒螯蟹主要分布在江苏、上海、安徽、福建、辽宁、山东等地，它凭鲜美细嫩的肉质及鲜甜的口感深受消费者的喜爱[1]。在我国民间，有“九雌十雄”、“九月团脐，十月尖”、“秋风起，蟹脚痒；菊花开，闻蟹来”等说法，都是在说吃蟹的时间。目前国内外对甲壳类动物在生长过程中脂肪酸的变化研究较多

[2-3]，而对滋味的研究相对较少。本次试验根据中华绒螯蟹的几个发育阶段，阳历 9 月份中华绒螯蟹各个部位快速发育开始，11 月份快速发育基本结束，因此选取阳历 8 月份到 12 月份的中华绒螯蟹来比较不同阶段下中华绒螯蟹滋味之间的差异，以期为人们在不同时期下品尝中华绒螯蟹提供参考。

中华绒螯蟹之所以味道鲜美，这取决于它的水溶性抽提成分。水溶性抽提成分包括含氮化合物和非含氮化合物，其中最重要的含氮化合物是氨基酸和核苷酸[4]，各种滋味物质相辅相成，在不同阶段都会呈现出各自的特征滋味。电子舌作为一种仿生物味觉模式建立起来的新型检测系统，具有重复性、高灵敏性、可靠性等优势。近年来电子舌越来越受到研究者的重视，本次研究首先通过电子舌对不同阶段中华绒螯蟹雄蟹整体滋味轮廓间的差异性进行分析，并测定不同阶段下中华绒螯蟹三可食部位（体肉、性腺、肝胰腺）中的游离氨基酸和呈味核苷酸的含量，对其组成和含量进行分析，来考察不同阶段各个部位的游离氨基酸和呈味核苷酸之间的差异，之后计算其味道强度值（Taste Activity Value，TAV）和味精当量（Equivalent Umami Concentration，EUC）值，以此找出受月份影响变化较大的以及对滋味贡献大的滋味性物质。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

上海崇明中华绒螯蟹雄蟹，在养殖期间，定期检测水体的 pH、溶氧、氨氮和亚硝酸盐含量，根据池塘水质情况不定期换水，每次换水 10.0%~40.0%，维持良好水质，从而有利于中华绒螯蟹成蟹的正常生长和发育。实验期间水质标准为 pH 为 7.0~9.0，氨氮<0.4 mg/L，亚硝酸盐<0.1 mg/L，这些水质指标均在河蟹养殖的适宜范围内。本次试验的样品均来源于上海海洋大学崇明河蟹科研基地，在 8 月份至 12 月份期间于每月中旬分别采样 20 只。活蟹捞出水后立即用麻绳扎紧（防止其剧烈挣扎而造成体内指标的变化），放置铺冰的泡沫箱底部迅速带回实验室，每 6 只为一组，分为三组，用于之后的平行实验，活体速杀后分别取出体肉、性腺、肝胰腺，用搅拌机二次混匀并以组分装，冻藏于-80 ℃冰箱。

三氯乙酸；氢氧化钠；高氯酸；氢氧化钾（均为分析纯）；娃哈哈纯净水；国药集团化学试剂有限公司；17 种氨基酸混标、9 中核苷酸混标；试验用水均为超纯水；上海安谱科学仪器公司：0.22 μm 水相滤膜、0.22 μm 有机相滤膜。

1.2 仪器与设备

L-8800 型氨基酸自动分析仪（日本 HITACHI，L8800）；LC-15C 型高效液相（IntersilODS-3（205 mm×4.6 mm）岛津）；电子舌（法国 Alpha M.O.S，FOX 4000）；台式真空冷冻离心机（J-26XP）；pH 计（ZD-2）；高速分散器（德国 IKA，T10）。

1.3 试验方法

1.3.1 电子舌测定

将冷冻样品于 4 ℃条件下解冻，准确称取 5.00 g 待测样品，加入 50 mL 超纯水，匀浆均质 2 min，超声 5 min 后室温下静置 30 min。取均质液 12000 r/min 下 4 ℃离心 15 min，吸取上层清液，沉淀再次用 30 mL 超纯水溶解，重复上述操作，合并上清液，定容至 100 ml 待测。

该 Astree 电子舌系统配置了 UMS、GPS、SWS、SRS、STS、SPS 和 BRS 共 7 根传感器，其中 UMS、SRS 和 STS 为 3 根传感器分别对鲜味、酸味、咸味具有专一响应，并采用 Ag/AgCl 作为参比电极。测定时每个样品的数据采集时间为 120 s，记录第 120 s 时传感器的响应值用于后续分析。

1.3.2 游离氨基酸的测定

将冷冻样品于 4 ℃条件下解冻，准确称取 0.50 g 待测样品，加入 5%的三氯乙酸（TCA）15 mL，匀浆 1 min，超声 5 min 后静止 1 h，取上清液 10 mL 于 4 ℃、15000 r/min 下冷冻离心 10 min。再次取上清液 5 mL，并用 NaOH 将其 pH 值调整到 2.0 左右，最后定容于 10 mL 容量瓶中，取适量溶液过 0.22 μm 的滤膜后待测[5]。

1.3.3 呈味核苷酸的测定

将冷冻样品于 4 ℃条件下解冻，准确称取 5.00 g 待测样品，加入 30 mL 预冷的 5%的高氯酸（PCA），匀浆 2 min 并超声 5 min，4 ℃下冷冻离心 10 min（10000 r/min）后转移上清液。下层沉淀重复上述操作，合并上清液。用 KOH 调 pH 至 5.75，再用 pH 为 5.75 的 1% PCA 定容至 50 mL，过滤除去沉淀，取适量溶液过 0.22 μm 的滤膜后待测。上述步骤中匀浆、超声、pH 调节均在冰水浴中中进行，本试验采用冰块对其降温[6]。

液相色谱条件如下：色谱柱，岛津 IntersilODS-3（205 mm×4.6 mm）；色谱温度，30 ℃；流动相，甲醇（A）和 KH_2PO_4/K_2HPO_4(2:1, B)；流动相流速，1mL/min；梯度洗脱程序，0~8 min 为 100%B，8.01-10 min 为 97%B，10.01~15 min 为 94%B，23.01~26 min

为 70%B，之后为 100%B；进样体积，10 μl；呈味核苷酸提取液在 476 nm 波长处具有最大吸收，高效液相色谱选此波长进行定量分析。

1.3.4 味道强度值计算

滋味物质的 TAV 值计算公式如下：TAV=C/T。式中，C 代表滋味物质的绝对浓度值，T 代表该滋味物质的阈值，两者在同一单位下进行计算。当化合物的 TAV 值≥1 时，表示其具有滋味活性，可能对中华绒螯蟹整体滋味轮廓具有显著性贡献，值越高，其贡献度越大，这类化合物被称为滋味活性物质(Taste-active Compounds，TCs)。

1.3.5 味精当量值的计算

EUC 的计算方法引用 Yamaguchi[7]的方法，计算公式如下：

$$EUC = \sum a_i b_i + 12.18(\sum a_i b_i)(\sum a_j b_j)$$

其中 EUC 为味精当量（mg MSG/g），a_i 和 a_j 分别代表鲜味氨基酸和鲜味核苷酸的浓度（均为 mg/g），b_i 和 b_j 分别代表鲜味氨基酸和鲜味核苷酸的相对呈鲜系数（Glu，1；Asp，0.077；IMP，1；GMP，2.3；AMP，0.18）。

1.3.6 数据统计分析

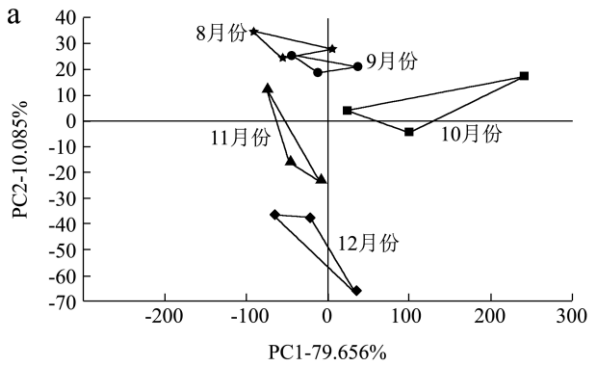
电子舌的主成分分析和相关性分析使用机器工作站自带的 Alpha soft 14.0 进行分析。

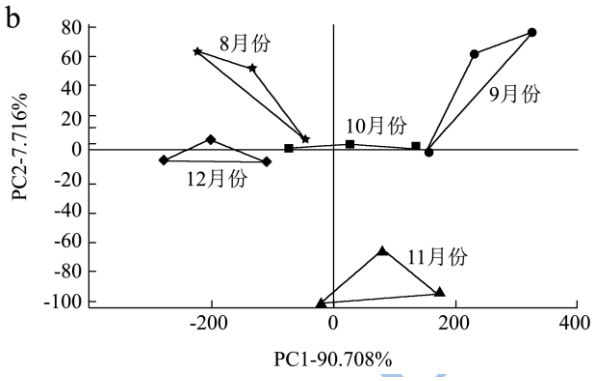
其余结果均采用平均值±标准偏差（mean±SD，n=3）表示。采用 SPSS 22.0 对所得数据进行统计分析，ANOVA 进行方差分析，Ducan 法进行多重比较，所有显著性差异分析均在 p=0.05 的水平下检验。

2 结果与分析

2.1 电子舌评价不同阶段下中华绒螯蟹的滋味

图 1 中各 PC1+PC2 的贡献率均能达到 90%，表明不同月份中华绒螯蟹雄蟹滋味轮廓差异信息可在此主成分平面上充分展示。





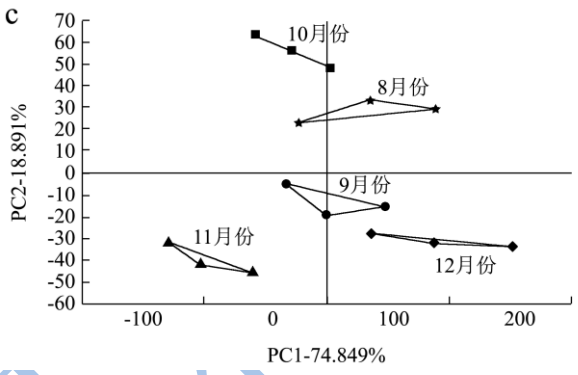


图 1 不同阶段下中华绒螯蟹滋味轮廓的主成份分析（PCA）图

Fig.1 PCA plot for the taste profile of Chinese mitten crabs at different stages

注：a.体肉，b.性腺，c.肝胰腺。

中华绒螯蟹所有的可食部位在不同月份下均有很好的区分。在体肉中，沿第二主成分轴（PC2 方向）从上至下，依次为 8 月份、9 月份、11 月份、12 月份，在第一主成分轴方向（PC1 方向），右端为 10 月份，除 8 月份和 9 月份，其余每个月份下蟹肉的滋味轮廓有明显的区分，12 月份与其他月份滋味差异较大，这也能从下文中得到验证，8 月份与 9 月份其游离氨基酸和呈味核苷酸的含量均无显著差异，12 月份游离氨基酸总量最低，而呈味核苷酸总量最高。12 月份与 8 月份、9 月份滋味轮廓差异也较大，9 月份下呈苦味氨基酸所占比例最大，而 12 月份下其 AMP 含量要远远高于 8 月份和 9 月份。在性腺中，沿第一主成分轴方向依次为 12 月份、8 月份、10 月份、9 月份，而沿第二主成分轴方向，下端为 11 月份，11 月份与 8 月、9 月、12 月份的滋味差异较大，这也能在其游离氨基酸含量中有所体现。在肝胰腺中，每个月份中华绒螯蟹滋味之间的差异均很明显（无任何重叠），10 月份和 11 月份相距最远，其滋味差异性显著，这在下文中可以得到验证，11 月份游离氨基酸含量显著高于 10 月份，由图 2 可知，这主要体现在呈甜味氨基酸上。11 月份、12 月份的滋味轮廓差异也较大，11 月份的游离氨基酸和呈味核苷酸含量都要高于 12 月份，尤其是呈甜味氨基酸与 AMP 的含量。综合来说，在蟹肉中，

12 月份与其他月份相比滋味差异性显著，而在性腺和肝胰腺中，11 月份与其他月份相比滋味差异性最显著。这可能是因为中华绒螯蟹在生长中身体各个部位慢慢发育完全的缘故，比较下文也能得出的相似结论。

2.2 不同阶段下中华绒螯蟹游离氨基酸之间的差异

不同阶段下中华绒螯蟹雄蟹三个可食部位中游离氨基酸含量如表 1 所示：

2.2.1 不同阶段下中华绒螯蟹肉中游离氨基酸含量之间的差异

体肉是中华绒螯蟹最大的蛋白质储存库，其蛋白质含量高达 20%，这可能是其游离氨基酸（Free Amino acids，FAA）总量为三个可食部位中最高的原因，且较高的 FFA 含量集中在 Pro、Arg、Gly、和 Ala 四种游离氨基酸上，他们约占总氨基酸含量的 80%，这与 Shao[8]等研究的结果一致。 试验结果表明，从 8 月份到 12 月份，中华绒螯蟹体肉中的 FAA 总量并没有显著性差异，但 12 月份的氨基酸总量要略低于前几个月。呈鲜味氨基酸（Umami Free Amino acids，UFA）、呈甜味氨基酸（Sweet Free Amino acids，SFA）和呈苦味氨基酸（Bitter Free Amino acid，BFA）在不同月份中均有先增加后减少的趋势，并且在 12 月份含量最低。UFA 在 10 月份达到最高，并且显著高于其他月份，SFA 在 10 月、11 月份含量较高，BFA 在 9 月、10 月、11 月份含量较高，但并无显著差别。蟹肉中含量最高的三种氨基酸分别是 Gly、Ala 和 Arg，占 FFA 总量的 70%，而 SFA 占 FFA 总量的 50%，蟹肉中 UFA 含量很少，。肌肉味道的甜鲜程度与肌肉中呈味氨基酸(Glu、Gly、Ala、Asp、Ser、Pro)组成和含量有关，在不同月份下，中华绒螯蟹体肉中的 Glu、Ala、Pro 有很明显的差异性，且在 10 月份、11 月份含量均很高。

2.2.2 不同阶段下中华绒螯蟹性腺中游离氨基酸含量之间的差异

雄蟹性腺中游离氨基酸含量在不同生长阶段下差异较大，有下降的趋势。SFA 和 BFA 含量随着月份的增加都有显著减少的趋势，后三个月变化无显著差异，这可能是因为在 10 月份之后性腺逐渐发育成熟的缘故，中华绒螯蟹在未完全发育之前尝起来偏苦。雄蟹性腺中含量最高的 FAA 依次是 Ala、Glu、Arg、Pro、Lys、Asp，这六种氨基酸占总氨基酸的 60%以上，这与 Shao[8]等的研究一致，其中 SFA 和 BFA 的变化趋势与 FAA 保持基本一致，SFA 和 BFA 含量在 10 月份以后无显著差异。而 UFA 的变化趋势与 FAA 保持完全一致，这也说明了性腺中呈鲜味氨基酸受月份影响最大，且 Asp、Glu 这两种呈鲜味氨基酸变化趋势与 BFA 一致，其含量均在 12 月份达到最高。

2.2.3 不同阶段下中华绒螯蟹肝胰腺中游离氨基酸含量之间的差异

雄蟹肝胰腺中 FFA 总量有先减少后增加的趋势，9 月份、10 月份 FFA 总量要显著低于其他月份，其他月份之间并无显著差异。9 月份，肝胰腺处于快速发育阶段，肝胰腺指数会显著下降，致使肝胰腺中呈味氨基酸含量有显著降低的趋势。到 11 月份、12 月份，肝胰腺快速发育基本结束，所以 FFA 总量又有显著上升，但在 12 月份，环境温度较低，蟹代谢降低，食物缺乏，蟹可能主要靠消耗肝胰腺的储存脂类作为代谢的能源。另外由于成熟以后，蟹体停止了蜕皮和生长，体内无机离子和胶质物质浓度增高，对水的渗透性增加，水分含量可能也因此增加[9]，这些又导致了中华绒螯蟹体内肝胰腺中呈味氨基酸的减少。肝胰腺中 Thr、Glu、Ala、Leu、Phe、Lys、Arg 的含量较高，占总氨基酸含量的 60%，其中 BFA 含量占总氨基酸含量的 40%，其他氨基酸的分布计较均衡，这可能是由于肝胰腺的生理功能所致，作为蟹的能源中心和生化反应基地，必须保证充足的原材料，如 Cuzon[10]确认血淋巴中最为重要的血蓝蛋白的合成就是在肝胰腺中完成。除此之外，呈甜味氨基酸含量在 11 月份显著高于其它月份，呈苦味氨基酸含量在 10 月份之后无显著变化，而肝胰中基本所有氨基酸含量的变化趋势与总游离氨基酸相似。

表 1 不同阶段下中华绒螯蟹游离氨基酸的组成(mg/g)

Table 1 Free amino acid composition of Chinese mitten crabs at different stages (mg/g)

氨基酸	体肉					性腺				
	8 月份	9 月份	10 月份	11 月份	12 月份	8 月份	9 月份	10 月份	11 月份	12 月份
Asp(鲜)	0.03 ± 0.01^{bc}	0.01 ± 0.00^{a}	0.02 ± 0.00^{ab}	0.07 ± 0.01^{d}	0.04 ± 0.01^{c}	0.61 ± 0.47^{a}	1.86 ± 0.99^{bc}	0.69 ± 0.19^{a}	1.29 ± 0.08^{ab}	2.57 ± 0.10^{c}
Thr(甜)	0.75 ± 0.05	0.95 ± 0.12	0.50 ± 0.15	0.88 ± 0.58	0.63 ± 0.20	0.43 ± 0.11^{b}	0.35 ± 0.09^{b}	0.14 ± 0.01^{a}	0.07 ± 0.04^{a}	0.15 ± 0.07^{a}
Ser(甜)	0.30 ± 0.04^{a}	0.19 ± 0.02^{a}	0.66 ± 0.20^{b}	0.13 ± 0.01^{a}	0.15 ± 0.04^{a}	0.30 ± 0.07^{b}	0.31 ± 0.07^{b}	0.14 ± 0.01^{a}	0.07 ± 0.00^{a}	0.15 ± 0.02^{a}
Glu(鲜)	0.71 ± 0.04^{bc}	0.57 ± 0.09^{ab}	0.89 ± 0.25^{c}	0.44 ± 0.21^{ab}	0.28 ± 0.08^{a}	1.18 ± 0.40^{a}	1.88 ± 0.61^{b}	0.68 ± 0.17^{a}	1.02 ± 0.08^{a}	2.03 ± 0.12^{b}

转下页

接上页

Gly(甜)	4.89±0.68	3.71±0.46	3.96±1.29	4.07±0.25	4.00±1.28	0.83±0.09^{c}	0.50±0.06^{b}	0.30±0.03^{a}	0.32±0.01^{a}	0.31±0.01^{a}
Ala(甜)	2.82±0.37^{ab}	2.14±0.29^{a}	3.76±0.93^{bc}	4.55±0.66^{c}	2.53±0.87^{ab}	1.88±0.36^{b}	2.19±0.48^{b}	1.20±0.27^{a}	1.60±0.14^{ab}	1.93±0.17^{b}
Cys(无)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.05±0.08	0.12±0.11	0.18±0.17	0.08±0.07	0.14±0.12	N.D.
Val(苦)	0.24±0.03^{ab}	0.29±0.02^{b}	0.41±0.09^{c}	0.39±0.02^{c}	0.18±0.04^{a}	0.48±0.11^{b}	0.42±0.13^{b}	0.20±0.02^{a}	0.13±0.02^{a}	0.13±0.01^{a}
Met(苦)	0.34±0.05^{a}	0.45±0.03^{b}	0.35±0.07^{a}	0.31±0.03^{a}	0.27±0.04^{a}	0.26±0.05^{c}	0.21±0.05^{bc}	0.17±0.02^{ab}	0.13±0.04^{a}	0.11±0.01^{a}
Ile(苦)	0.10±0.02^{a}	0.16±0.02^{b}	0.19±0.01^{c}	0.22±0.01^{d}	0.13±0.01^{a}	0.23±0.07	0.31±0.09	0.31±0.04	0.26±0.07	0.22±0.01
Leu(苦)	0.24±0.04^{a}	0.25±0.01^{a}	0.43±0.07^{b}	0.42±0.02^{b}	0.22±0.03^{a}	0.42±0.10^{b}	0.47±0.15^{b}	0.26±0.02^{a}	0.16±0.02^{a}	0.24±0.02^{a}
Tyr(无)	0.15±0.02^{a}	0.44±0.24^{b}	0.26±0.05^{ab}	0.24±0.07^{ab}	0.12±0.04^{a}	0.31±0.10^{b}	0.21±0.09^{ab}	0.15±0.04^{a}	0.07±0.04^{a}	0.09±0.09^{a}
Phe(苦)	0.17±0.02^{a}	0.19±0.01^{a}	0.34±0.05^{b}	0.32±0.01^{b}	0.20±0.03^{a}	0.35±0.04^{b}	0.35±0.08^{b}	0.18±0.03^{a}	0.12±0.02^{a}	0.17±0.02^{a}
Lys(苦)	0.55±0.07^{b}	0.59±0.08^{b}	0.47±0.11^{b}	0.49±0.02^{b}	0.24±0.06^{a}	0.62±0.13^{b}	0.60±0.25^{b}	0.20±0.02^{a}	0.16±0.00^{a}	0.30±0.03^{a}
His(苦)	0.15±0.02^{a}	0.14±0.02^{a}	0.27±0.07^{b}	0.25±0.03^{b}	0.24±0.02^{b}	0.16±0.03^{b}	0.16±0.04^{b}	0.14±0.04^{ab}	0.10±0.02^{a}	0.15±0.02^{ab}
Arg(苦)	3.55±0.43^{ab}	5.43±0.97^{b}	4.75±1.69^{ab}	4.74±0.37^{ab}	3.28±1.06^{a}	1.03±0.04	1.02±0.25^{b}	0.45±0.14^{b}	0.33±0.03^{a}	0.31±0.01^{a}
Pro(甜)	0.77±0.11^{a}	3.10±0.46^{b}	2.65±0.66^{b}	2.84±0.43^{b}	1.49±0.51^{a}	1.02±0.20^{c}	0.61±0.16^{b}	0.46±0.04^{ab}	0.31±0.01^{a}	0.25±0.01^{a}
∑FFA	15.77±1.91	18.61±2.75	19.91±5.03	20.34±0.97	14.04±4.17	10.21±2.09^{b}	11.63±3.59^{b}	5.74±0.84^{a}	6.28±0.04^{a}	9.11±0.28^{ab}
UFA(鲜)	0.75±0.04^{bc}	0.58±0.09^{ab}	0.91±0.25^{c}	0.51±0.22^{ab}	0.31±0.09^{a}	1.79±0.85^{ab}	3.74±1.597^{c}	1.37±0.35^{ab}	2.31±0.15^{bc}	4.60±0.17^{ab}
SFA(甜)	9.53±1.19^{b}	10.10±1.35^{b}	11.53±2.60^{b}	12.46±0.71^{a}	8.81±2.86^{a}	4.45±0.71^{b}	3.96±0.80^{b}	2.23±0.29^{a}	2.37±0.16^{a}	2.80±0.21^{a}
BFA(苦)	5.35±0.67^{ab}	7.48±1.11^{b}	7.21±2.14^{ab}	7.14±0.34^{ab}	4.76±1.29^{a}	3.55±0.53^{b}	3.54±1.02^{b}	1.90±0.23^{a}	1.39±0.19^{a}	1.62±0.11^{a}

氨基酸	肝胰腺				
	8 月份	9 月份	10 月份	11 月份	12 月份
Asp(鲜)	0.48±0.11^{c}	0.22±0.10^{ab}	0.15±0.02^{a}	0.13±0.05^{a}	0.33±0.02^{b}
Thr(甜)	1.09±0.27^{c}	0.73±0.10^{ab}	0.49±0.02^{a}	0.97±0.10^{bc}	0.91±0.04b^{c}
Ser(甜)	0.57±0.15^{b}	0.45±0.05^{ab}	0.41±0.02^{a}	0.55±0.05^{b}	0.56±0.02^{b}
Glu(鲜)	1.07±0.30	0.86±0.26	0.10±0.06	0.72±0.10	1.02±0.06
Gly(甜)	0.48±0.12^{a}	0.44±0.05^{a}	0.44±0.02^{a}	1.03±0.02^{b}	0.50±0.02^{a}
Ala(甜)	1.18±0.12^{a}	1.29±0.37^{a}	1.32±0.06^{a}	2.38±0.13^{b}	1.34±0.05^{a}
Cys(无)	0.42±0.15^{b}	0.11±0.09^{a}	0.20±0.02^{ab}	0.20±0.17^{ab}	0.14±0.02^{a}
Val(苦)	0.94±0.24^{a}	0.64±0.09^{a}	0.61±0.03^{a}	0.89±0.10^{b}	0.79±0.03^{ab}
Met(苦)	0.10±0.04^{a}	0.08±0.04^{a}	0.06±0.00^{a}	0.19±0.07^{b}	0.27±0.06^{c}
Ile(苦)	0.66±0.18^{b}	0.43±0.07^{a}	0.39±0.02^{a}	0.54±0.06^{ab}	0.62±0.02^{b}
Leu(苦)	1.52±0.44^{b}	0.88±0.12^{a}	0.86±0.04^{a}	1.09±0.14^{a}	1.23±0.03^{ab}
Tyr(无)	1.20±0.41^{b}	0.54±0.05^{a}	0.57±0.03^{a}	0.62±0.09^{a}	0.86±0.03^{ab}
Phe(苦)	1.33±0.47^{b}	0.79±0.09^{a}	0.80±0.04^{a}	0.84±0.11^{a}	0.94±0.00^{ab}
Lys(苦)	1.38±0.36^{b}	0.86±0.06^{a}	0.85±0.05^{a}	1.05±0.09^{ab}	1.01±0.42^{ab}
His(苦)	0.31±0.09^{b}	0.24±0.04^{ab}	0.21±0.01^{a}	0.29±0.03^{ab}	0.29±0.01^{ab}
Arg(苦)	2.14±0.47^{c}	1.01±0.08^{a}	1.52±0.08^{b}	2.41±0.10^{c}	1.47±0.02^{b}
Pro(甜)	0.77±0.05^{b}	0.55±0.06^{a}	0.90±0.05^{c}	1.82±0.06^{e}	1.04±0.02^{d}
∑FFA	15.64±3.87^{b}	10.09±1.32^{a}	10.76±0.55^{a}	15.71±1.30^{b}	13.33±0.93^{ab}
UFA(鲜)	1.55±0.41^{b}	1.07±0.36^{ab}	1.15±0.07^{ab}	0.85±0.14^{a}	1.35±0.08^{b}
SFA(甜)	4.10±0.64^{ab}	3.46±0.63^{a}	3.55±0.18^{ab}	6.74±0.33^{c}	4.35±0.07^{b}
BFA(苦)	8.38±2.27^{c}	4.91±0.38^{a}	5.29±0.27^{ab}	7.30±0.71^{bc}	6.62±0.55^{abc}

注：同行不同可食部位的不同字母表示差异性显著；N.D.表示未检出

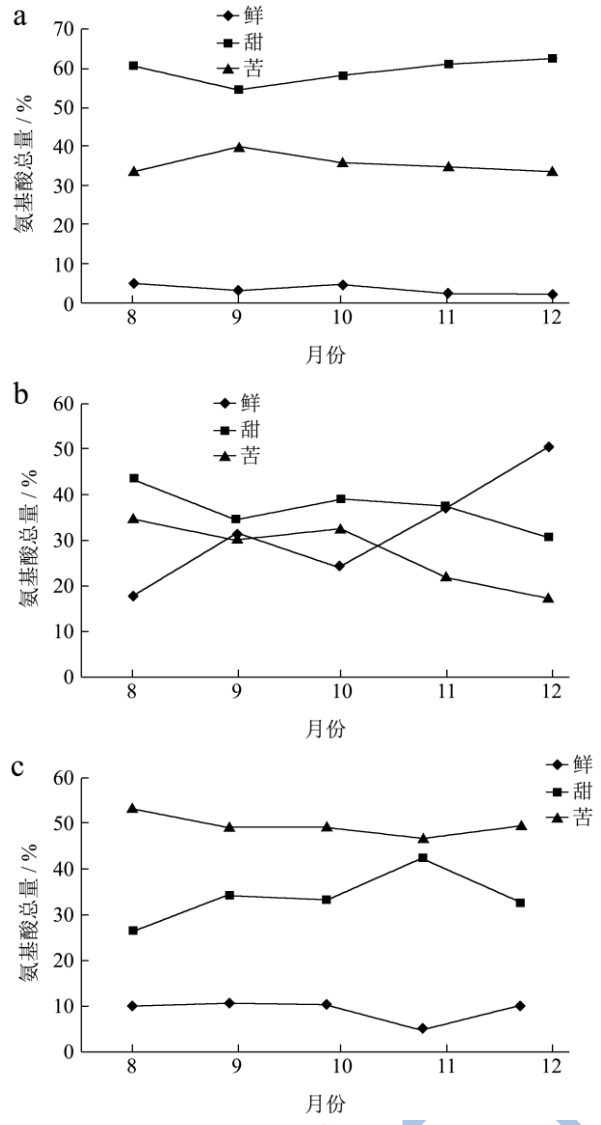


图 2 不同阶段下中华绒螯蟹呈味氨基酸的变化趋势（%）

Fig.2 Flavor amino acid concentration trend in Chinese mitten crabs at different stages (%)

注：a.体肉，b.性腺，c.肝胰腺。

图 2 显示的是呈味氨基酸占总游离氨基酸的百分比在不同生长期的变化趋势，进一步对三种呈味氨基酸的百分比组成分析可知（图 2），体肉和肝胰腺中以 SFA 和 BFA 为主，且体肉中 SFA 所占比例最大，肝胰腺中 BFA 所占比例最大，这也是体肉味道甜美，肝胰腺味道偏苦的原因之一；性腺中 SFA、BFA、UFA 分布较均匀，并且随着月份的增加 BFA 所占比例逐渐减少，UFA 所占比例逐渐增加，而 SFA 也有所减少，但相对恒定。性腺中 UFA 所占比例最高，其次为肝胰腺，体肉中最低；体肉中各呈味氨基酸所占比例在不同月份下波动较小，在性腺中波动最大，说明性腺对不同月份的响应更为敏感，这也与性腺的发育有关，十月份以后性腺逐渐发育成熟，BFA 含量逐渐减小，UFA 含量逐渐增加，所以此时中华绒螯蟹的性腺更甜更鲜，口感也更好。中华绒螯蟹不同组织中受月份影响变化大的主要游离氨基酸并不相同，这也说明了三个机体组织间在营养积累和代谢等方面具有明显的差异[11]，多数重要的呈味氨基酸均为非必需氨基酸[12]，其在呈味中的贡献还有待研究。在 11 月份，体肉中呈甜味氨基酸所占比例较大，呈苦味氨基酸所占比例较小，呈鲜味氨基酸无显著变化；性腺中呈甜味氨基酸所占比例较大，呈苦味氨基酸所占比例较小，呈鲜味氨基酸比例也呈上升趋势；肝胰腺中呈苦味氨基酸比例最低，呈甜味氨基酸比例达到最高。所以，就呈味氨基酸的变化而言，在 11 月份中华绒螯蟹的总体滋味达到最佳。

2.3 不同阶段下中华绒螯蟹呈味核苷酸含量之间的差异

本次试验研究三种呈味核苷酸 GMP、IMP、AMP，三种核苷酸的生物合成途径在活体和死后有明显的不同当生物体存活时，核苷酸在其体内的合成途径主要以从头合成为主，需要磷酸核糖作为原料，辅以谷氨酰胺、甘氨酸和多种生物合成酶，消耗 5 个 ATP 来合成 IMP，并利用其他酶的催化消耗 1 个 ATP，分别可以转换为 GMP 和 AMP。当生物体死亡后其参与的是 ATP 降解链条，即 ATP 降解为 ADP，再降解为 AMP，接下来降解为 IMP 及其他核苷酸，但并不涉及到 GMP[13]。由于试验采样过程中河蟹生剥后即在-80℃下冷冻，故其体内呈味核苷酸的差异部分来源于或体内的积累，部分源于死后的降解。

呈味核苷酸对中华绒螯蟹的滋味有一定的贡献，其在不同月份中华绒螯蟹中的含量如表 2 所示。AMP 是河蟹所有可食部位中含量最高的呈味核苷酸，在性腺中 GMP 含量大于 IMP，肝胰腺中 IMP 含量大于 GMP，体肉中无显著差异，但这与 Chen[14]等略有差别，这可能是由于样品与样品之间的差异和前处理及测定方法不同。GMP 与 IMP 是典型的呈鲜味，其鲜味强度远远大于 MSG。AMP 所表现的滋味轮廓是独立的，是呈甜味，但 AMP 与 IMP 的协同相互作用对鲜味是有贡献的。蟹肉中呈味核苷酸总量在 11 月份、12 月份无显著差异，但显著高于其它月份，且 AMP 含量占总呈味核苷酸的 60%以上。在性腺中，GMP 含量随月份的改变无显著性差异，IMP、AMP 含量均在 8 月份最高。在肝胰腺中，GMP、IMP 含量在 11 月份达到最高，而 AMP 在 8 月份最高。

由∑H 也可以看出，三种呈味核苷酸受月份影响波动较大。体肉中呈味核苷酸总量最高，且随月份变

化波动最大，其 AMP 含量很高，这也是蟹肉口味香甜的原因之一。性腺中核苷酸总量为最低，且波动较小，说明月份对性腺中呈味核苷酸影响较小，在性腺中，呈鲜味核苷酸占总核苷酸的比例最大，并且随着月份的增加都有先减小后增大的趋势。在肝胰腺中，呈鲜味核苷酸含量随月份的增加也在逐渐增加，而呈甜味核苷酸 AMP 在 8 月份含量最高，在 12 月份含量最低。综上所述，在蟹肉中，月份对呈甜味核苷酸影响较大，且 11 月份、12 月份的口感要好于其它月份。在性腺中，呈味核苷酸总量在其不同生长阶段下无显著差异。在肝胰腺中，呈鲜味核苷酸含量随月份的增加也有逐渐上升的趋势。

表 2 不同阶段下中华绒螯蟹呈味核苷酸含量(mg/100 g)

Table 2 Content of flavor nucleotides in Chinese mitten crabs at different stages (mg/100 g)

部位	核苷酸	8 月份	9 月份	10 月份	11 月份	12 月份
体肉	GMP	14.14±1.32^{b}	14.18±1.01^{b}	13.93±0.20^{a}	27.63±2.84^{d}	23.87±1.45^{c}
	IMP	14.61±0.29^{a}	14.21±2.28^{a}	16.80±2.01^{a}	23.99±2.78^{b}	22.09±0.79^{b}
	AMP	62.14±10.34^{a}	43.18±10.12^{a}	70.22±30.50^{a}	80.70±9.08^{b}	92.77±2.29^{a}
	$\sum H_1$	90.89±11.95^{a}	71.57±13.41^{a}	100.95±32.70^{ab}	132.32±15.70^{bc}	138.73±4.52^{c}
性腺	GMP	9.70±1.46	12.33±2.02	9.50±1.21	14.31±2.13	12.33±2.52
	IMP	7.66±0.13^{c}	4.15±0.23^{ab}	3.59±0.39^{ab}	2.90±1.12^{a}	4.53±1.51^{b}
	AMP	16.74±1.12^{c}	13.74±2.71^{b}	13.68±0.28^{ab}	13.17±0.82^{a}	13.36±0.61^{ab}
	$\sum H_2$	34.1±2.70	30.21±4.96	26.77±1.88	30.39±4.07	30.22±4.63
肝胰腺	GMP	3.38±0.07^{a}	3.15±0.11^{a}	3.11±0.10^{a}	3.23±0.51^{a}	3.99±0.08^{b}
	IMP	2.87±0.22^{a}	3.63±0.56^{a}	6.66±0.28^{b}	8.72±0.13^{c}	12.24±2.16^{d}
	AMP	50.72±1.70^{c}	37.55±4.78^{b}	38.17±1.27^{b}	38.26±1.70^{b}	28.74±2.83^{a}
	$\sum H_3$	56.97±1.99^{b}	44.34±5.45^{a}	47.94±1.65^{a}	50.21±2.34^{a}	44.96±5.07^{a}

注：同行的不同字母表示有显著性差异；∑H1、∑H2、∑H3 分别表不同月份下体肉、性腺、肝胰腺中核苷酸总量

2.4 不同阶段下中华绒螯蟹的滋味强度

2.4.1 不同阶段下中华绒螯蟹的 TAV 值

表 3 不同阶段下中华绒螯蟹蟹肉滋味活性物质及其 TAV 值

Table 3 Taste-active compounds and their TAV values in meat of Chinese mitten crabs at different stages

呈味物质	阈值[16~17] /(mg/mL)	体肉				
		8 月份	9 月份	10 月份	11 月份	12 月份
Glu(鲜)	0.3	2.37	1.90	2.97	1.46	0.92
Gly(甜)	1.3	3.76	2.85	3.04	3.13	3.08
Ala(甜)	0.6	4.70	3.57	6.27	7.58	4.22
Val(苦)	0.4	0.60	0.71	1.03	0.98	0.46
Met(苦)	0.3	1.14	1.49	1.15	1.02	0.89
Lys(苦)	0.5	1.11	1.18	0.94	0.98	0.49
His(苦)	0.2	0.75	0.69	1.36	1.25	1.19
Arg(苦)	0.5	7.09	10.85	9.50	9.47	6.56
Pro(甜)	3	0.26	1.03	0.88	0.95	0.50
AMP(甜)	0.5	1.24	0.86	1.40	1.61	1.86
GMP(鲜)	0.1	1.41	1.42	1.39	2.76	2.39

在对食品进行滋味强度的判定及探寻某个单一组分对其整体风味的贡献时，TAV 是最为经典和客观的方法，其在食品风味的评价中被广泛应用[15]。本研究对不同月份下各可食部位中的 TAV 进行了评价，具体数值如表 3、表 4、表 5 所示。

对不同月份下的中华绒螯蟹蟹肉进行 TAV 评价，其滋味活性物质共有 11 种，其对整体滋味贡献强弱的排序依次为 Arg、Ala、Gly、Glu、GMP、Met、Lys、His、Val、AMP、Pro。其中，除 His 之外，苦味氨基酸 Met、Lys、Arg 的 TAV 值随着月份的增加均有下降的趋势，而甜味氨基酸 Gly、Ala 的 TAV 值随月份的增加有上升的趋势，在 11 月份 TAV 值达到最高。在所有滋味活性物质中，呈苦味氨基酸 Arg 的 TAV 值最高，大量研究证实其在水产品整体滋味中的贡献巨大，而且表现为积极的正相关[18]。总的来说，在 11 月份中华绒螯蟹蟹肉的滋味最宜人，这也能从上文中游离氨基酸和呈味核苷酸的数据中得到验证。在性腺中，滋味活性物质有 7 种，其对滋味贡献的排序依次为 Glu、Ala、Asp、GMP、Arg、Lys、Val。其中，呈甜味和呈鲜味氨基酸的 TAV 值较高，而呈苦味氨基酸在 10 月份之后 TAV 值均低于 1，说明性腺中呈苦味物质对月份较为敏感，并且在 10 月份之后中华绒螯蟹的滋味较好。在肝胰腺中，滋味活性物质有 8 种，对滋味贡献的排序依次为 Arg、Glu、Ala、Lys、Val、His、Phe、AMP，其中有五种是呈苦味氨基酸，除 Phe 外，其余在任何月份下都大于 1，说明其在肝胰腺中对苦味贡献很大，尤其是 Arg。随着月份的增加，肝胰腺

中呈甜味氨基酸的 TAV 值有所增加，并在 11 月份达到最高。

表 4 不同阶段下中华绒螯蟹性腺滋味活性物质及其 TAV 值

Table 4 Taste-active compounds and their TAV values in gonads of Chinese mitten crabs at different stages

呈味物质	阈值/(mg/mL)	性腺				
		8 月份	9 月份	10 月份	11 月份	12 月份
Asp(鲜)	1	0.61	1.86	0.69	1.29	2.57
Glu(鲜)	0.3	3.92	6.26	2.28	3.41	6.76
Ala(甜)	0.6	3.13	3.66	2.00	2.67	3.21
Val(苦)	0.4	1.19	1.05	0.50	0.33	0.32
Lys(苦)	0.5	1.24	1.19	0.39	0.31	0.59
Arg(苦)	0.5	2.05	2.05	0.90	0.66	0.62
GMP(鲜)	0.1	0.97	1.23	0.95	1.43	1.23

表 5 不同阶段下中华绒螯蟹肝胰腺滋味活性物质及其 TAV 值

Table5 Taste-active compounds and their TAV values in hepatopancreas of Chinese mitten crabs at different stages

呈味物质	阈值/(mg/mL)	肝胰腺				
		8 月份	9 月份	10 月份	11 月份	12 月份
Glu(鲜)	0.3	3.57	2.85	3.33	2.38	3.41
Ala(甜)	0.6	1.97	2.14	2.20	3.97	2.23
Val(苦)	0.4	2.35	1.59	1.52	2.23	1.97
Phe(苦)	0.9	1.48	0.87	0.89	0.93	1.05
Lys(苦)	0.5	2.76	1.72	1.69	2.09	2.01
His(苦)	0.2	1.57	1.20	1.05	1.47	1.46
Arg(苦)	0.5	4.27	2.01	3.03	4.82	2.94
AMP(甜)	0.5	1.01	0.75	0.76	0.77	0.57

2.4.2 不同阶段下中华绒螯蟹的 EUC 值

不同滋味物质间的交互作用也是呈味的关键因素之一，在对交互作用进行评价时，一般是采用人工感官评定与智能感官评定相结合，由于交互作用的复杂性，目前只有 Yamaguchi[7]对呈味核苷酸及游离氨基酸之间的相互作用进行了大量的感官实验，提出了味精当量这以评价模型，并且得到了充分的认可。由图 3 可知，性腺中 EUC 值最高，并且随月份的变化波动最大，而蟹肉和肝胰腺中 EUC 含量普遍低于 10 mg MSG/g。在 9 月份和 12 月份下，性腺的 EUC 值显著高于其他月份，呈味核苷酸和 Glu、Asp 有强烈的交互作用，性腺中呈鲜味核苷酸所占比例最大，并且性腺中 Glu 含量比其他部位高，使得性腺有更强的鲜味，而在肝胰腺中，鲜味强度值最低。在体肉中，10 月份和 11 月份的鲜味强度较高，而在肝胰腺中，12 月份的鲜味强度显著高于其他月份。性腺中 EUC 值的变化趋势较大，尤其在 9 月份和 12 月份。目前相关内容研究还较少，其具体变化和原因还有待深究。

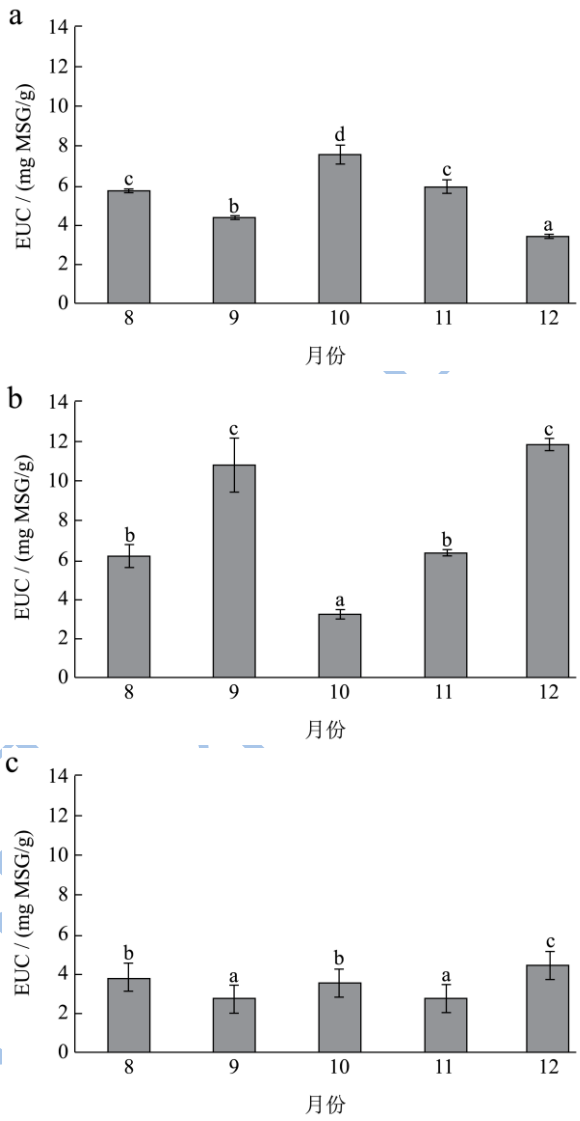


图 3 不同阶段下中华绒螯蟹的味精当量（EUC）值

Fig.3 Equivalent umami concentration (EUC) in Chinese mitten crabs at different stages

注：a.体肉，b.性腺，c.肝胰腺。

3 结论

3.1 综上，中华绒螯蟹雄蟹从开始发育到发育成熟（8 月份到 12 月份），电子舌测定结果显示，11 月份、12 月份各可食部位的滋味轮廓与 8 月份、9 月份相比差异较大；通过测定可食部位的氨基酸含量和核苷酸含量可知，10 月份之后中华绒螯蟹体肉中呈甜味物质含量有显著提高，性腺中的呈鲜味物质含量有显著提高，而性腺和肝胰腺中呈苦味物质含量有所减小。

3.2 在 11 月份和 12 月份，体肉中游离氨基酸和呈味核苷酸的含量并无显著差异，并且其滋味相对于其他月份要较好，性腺中呈鲜味物质的 TAV 值要远高于其他月份。在 11 月份，性腺中呈味核苷酸含量与其他月份相比无显著差异，而三种呈味氨基酸分布比较均匀，

并且甜味物质含量相对较高，苦味物质含量相对较少；肝胰腺中呈甜味氨基酸所占比例达到最高，呈苦味氨基酸所占比例达到最低。总的来说，11 月份的中华绒螯蟹雄蟹滋味最佳。

参考文献

[1] CHEN De-wei, ZHANG Min, Shrestha S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (Eriocheir sinensis) [J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1343-1349

[2] 李树国,成永旭,周波,等.蓝蟹抱卵期间卵巢第二次发育过程中主要脂肪酸和脂类的变化[J].中国水产科学,2011,03:674-681
LI Shu-guo, CHENG Yong-xu, ZHOU Bo, et, al. The change of main fatty acids and lipids of ovarian in blue crabs during the second development of spawning process. China Fisheries Science, 2011, 3: 674-681

[3] Chhorn L, Harry A, Christopher L, et al. Growth response and fatty acid composition of juvenile penaeus vannamei fed different sources of dietary lipid [J]. Aquaculture, 1997, 151: 143-153

[4] 杨玲芝,陈舜胜,曲映红,等.中华绒螯蟹主要呈味成分研究[J].上海水产大学学报,2007,16(1):92-96
YANG Ling-zhi, CHEN Shun-sheng, QU Ying-hong, et al. The main flavor components research of Chinese mitten crabs[J]. Journal of Shanghai fisheries university, 2007, 16(1): 92-96

[5] Tasi S, Wu T, Huang S, et al. Nonvolatile taste components of agaricus bisporus harvested at different stages of maturity [J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1457-1464

[6] Kong L, Cai C, Ye Y, et, al. Comparison of non-volatile compounds and sensory characteristics of Chinese mitten crabs reared in lakes and ponds: potential environmental factors [J]. Aquaculture, 2012, 364-365: 96-102

[7] Yamaguchi S, Yoshikawa T, Ikeda S, et al. Measurement of relative taste intensity of some l-α-amino acids and 5'-nucleotides [J]. Journal of Food Science, 1971, 36(6): 846-849

[8] Shao L, Wang C, He J, et al. Meat quality of Chinese mitten crabs fattened with natural and formulated diet [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2014, 23(1): 59-72

[9] 成永旭,堵南山,赖伟.不同阶段中华绒螯蟹肝胰腺的脂类及脂肪酸组成[J].动物学报,1998,4:45-54
CHEN Yong-xu, CHU Nan-shan, LAI Wei. The composition of lipid and fatty acid of hepatopancreas in Chinese mitten crabs under different stages [J]. Journal of Animal Science, 1998, 4: 45-54

[10] Cuzon G, Lawrence A, Gaxiola G, et al. Nutrition of Litopenaeus vannamei reared in tanks or in ponds [J]. Aquaculture, 2004, 235(1-4): 513-551

[11] Ying X, Yang W, Zhang Y. Comparative studies on fatty acid comparison of the ovaries and hepatopancreas at different physiological stages of Chinese mitten crab [J]. Aquaculture, 2001, 256(1-4): 617-623

[12] 张娜,袁信华,过世东.中华绒螯蟹不同部位游离氨基酸的测定与分析[J].天然产物研究与开发,2009,4:634-637
ZHANG Na, YUAN Xin-rong, GUO Shi-dong. The determination and analysis of free amino acid on different parts of Chinese mitten crabs [J]. Research and Development of Natural Products, 2009, 4: 634-637

[13] 宁正祥,赵谋明.食品生物化学[M].华南理工大学出版社,1995
NING Zheng-xiang, ZHAO Mou-ming. Food biochemistry [M]. South China University of Technology Press, 1995

[14] Chen D, Zhang M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (Eriocheir Sinensis) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1205

[15] 龚骏,陶宁萍,顾赛麒.食品中鲜味物质及其检测研究方法概述[J].中国调味品,2014(1):129-135
GONG Jun, TAO Ning-pin, GU Sai-qi. Summary of umami substances in food and the detection methods [J]. Chinese condiment, 2014(1): 129-135

[16] Shallenberger R S. Taste of amino acids. In "taste chemistry" [M]. London: Blackie Academic and Professional, 1993: 226-233

[17] Kato H，Rhue M R，Nishimura T. Flavor chemistry [M]. Washington: American Chemical Society, 1989: 158-174

[18] Dermiki M, Phanphensophon N, Mottram D S, et al. Contributions of non-volatile and volatile compounds to the umami taste and overall flavour of shiitake mushroom extracts and their application as flavour enhancers in cooked minced meat [J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 77-83