

不同蒸煮方式青蟹肌肉感官品质分析和比较研究

王福田, 杨冰, 鲁玉凤, 聂勇涛, 姜绍通, 林琳, 陆剑锋*
(合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽省农产品精深加工重点实验室,
农产品生物化工教育部工程研究中心, 安徽 合肥 230009)

摘要: 为研究热水上锅蒸(热蒸)、热水下锅煮(热煮)、冷水上锅蒸(冷蒸)和冷水下锅煮(冷煮)青蟹肌肉感官品质差异, 对4种烹制方式下青蟹肌肉感官品质进行分析与比较。结果表明: 冷蒸雄蟹和热蒸雌蟹肌肉的感官评价较好; 利用游离氨基酸的味觉活度值进行滋味分析, 发现肌肉整体滋味偏甜, 甜味的主要来源为甘氨酸、丙氨酸和精氨酸, 且冷蒸雄蟹肌肉和热蒸雌蟹肌肉整体滋味相对较好; 通过主成分分析发现, 雄蟹和雌蟹肌肉第1主成分和第2主成分的贡献率之和均在95%以上; 对挥发性风味物质的含量进行比较发现, 冷蒸雄蟹肌肉和热蒸雌蟹肌肉的风味略好。综合分析可以认为, 冷蒸雄蟹肌肉和热蒸雌蟹肌肉的感官品质相对较好。

关键词: 青蟹; 肌肉; 蒸煮; 游离氨基酸; 挥发性物质; 感官品质

Analysis and Comparative Study of Sensory Qualities of Muscle from the Mud Crab *Scylla paramamosain* Cooked by Different Methods

WANG Futian, YANG Bing, LU Yufeng, NIE Yongtao, JIANG Shaotong, LIN Lin, LU Jianfeng*
(Engineering Research Center of Bio-Process, Ministry of Education, Key Laboratory for Agricultural Products Processing of Anhui Province, School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: This study investigated differences in the sensory quality of mud crab muscle cooked by steaming with hot water (SH), boiling with hot water (BH), steaming with cold water (SC) and boiling with cold water (BC). The results showed that the sensory quality of crab muscle cooked by SC was overall better than that of crab muscle cooked by the other methods for male crabs, while SH was the best cooking method for female crabs. Cooked crab muscle had a sweet taste overall according to the taste activity values of free amino acids (FAAs), and Gly, Ala and Arg were identified as sweet amino acids in it. Principal component analysis (PCA) showed that the first and second principal components cumulatively explained over 95% of the total variance. The volatile composition analysis showed that the flavor of crab muscle cooked by SC and SH for male and female crabs, respectively was somewhat better than that of crab muscle cooked by the other methods. To sum up, the sensory qualities of male crab cooked by SC and female crab cooked by SH were overall better than those of the other samples.

Keywords: mud crab; muscle; steaming and boiling; free amino acids; volatile compounds; sensory quality

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210408-098

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123(2021)06-0028-09

引文格式:

王福田, 杨冰, 鲁玉凤, 等. 不同蒸煮方式青蟹肌肉感官品质分析和比较研究[J]. 肉类研究, 2021, 35(6): 28-36.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210408-098. <http://www.rlyj.net.cn>

WANG Futian, YANG Bing, LU Yufeng, et al. Analysis and comparative study of sensory qualities of muscle from the mud crab *Scylla paramamosain* cooked by different methods[J]. Meat Research, 2021, 35(6): 28-36. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210408-098. <http://www.rlyj.net.cn>

青蟹, 学名拟穴青蟹 (*Scylla paramamosain*), 俗称膏蟹, 属甲壳纲、梭子蟹科^[1], 与河蟹和梭子蟹并称我国

三大经济蟹类。青蟹体型相对河蟹较大, 且生长速度较快, 一年便可达到成熟食用标准, 加之青蟹肉质鲜美,

收稿日期: 2021-04-08

基金项目: 国家现代农业(虾蟹)产业技术体系建设专项(CARS-48); 安徽省水产产业技术体系(AHCYJSTX-08)

第一作者简介: 王福田(1995—)(ORCID: 0000-0003-3959-5849), 男, 硕士研究生, 研究方向为青蟹营养品质及风味。

E-mail: 1912509780@qq.com

*通信作者简介: 陆剑锋(1976—)(ORCID: 0000-0002-5887-9455), 男, 教授, 博士, 研究方向为水产品加工及综合利用。

E-mail: lujf@sibs.ac.cn

营养丰富,具有良好的滋补作用,被视为珍贵的海洋产品,素有“海上人参”的美称^[2]。青蟹广泛分布于西太平洋热带地区,在我国主要分布在东南沿海区域^[3]。2019年青蟹养殖总量为160 616 t,捕捞量为79 153 t^[4]。

气味和滋味是感官品质的两个重要方面^[5]。气味主要是由食物的挥发性物质构成,由醛类、酯类、醇类等挥发性有机物构成,可以给食物带来诸如腥味、甜味、果香味等各种气味感受^[6-7]。滋味主要是由食物中的非挥发性或水溶性物质构成,如游离氨基酸、可溶性糖、有机酸、核苷酸、钠钾盐等,会带来酸、甜、苦、辣、咸、涩等口感^[8-10]。食物复杂多层次的味道就是由这些呈味的非挥发性水溶性物质联合作用形成的。

有关蟹类等水产品的烹制加工方式对其品质的影响,已有学者做了相关研究。何捷等^[11]探究中华绒螯蟹的常见烹制加工方式对其感官和风味品质的影响;付娜等^[12]对河蟹4个主要食用部位在蒸制和煮制条件下的游离氨基酸含量进行比较分析;朱堃等^[13]研究明火蒸锅和电蒸箱2种加热工具烹制太湖蟹的感官品质差异;Shi Shanshan等^[14]研究蒸煮方式对梭子蟹的感官和味觉品质的影响。但以上研究主要集中在中华绒螯蟹(或河蟹)和梭子蟹,对于另一种重要经济蟹类青蟹的烹制方式研究相对较少。

与河蟹和梭子蟹相比,青蟹体型或个体相对较大,可食率也较高,蒸煮通常是食用青蟹的最传统和最常见方式,但是不同蒸煮条件下,青蟹的各种感官品质是否存在一定差异还有待研究。鉴于此,本研究采用4种方式(冷水下锅煮、热水下锅煮、冷水上锅蒸、热水上锅蒸)对青蟹进行熟制加工,并对这4种熟制加工方式下青蟹肌肉的感官评分、电子鼻、味觉活度值(taste activity value, TAV)和挥发性风味物质进行综合分析,旨在对比或筛选出相对较好的青蟹烹制方式,为今后进一步综合加工利用青蟹提供数据参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

青蟹购自浙江省三门市,雌雄各20只,雄蟹体质量为(279.46±16.51)g,雌蟹体质量为(245.03±9.79)g。

磺基水杨酸、氯化钠、无水硫酸钠(均为分析纯)、正己烷(色谱纯) 安徽国药集团有限公司。

1.2 仪器与设备

CT5RT台式高速冷冻离心机 上海天美生化仪器设备有限公司;L-8900氨基酸全自动分析仪 日本Hitachi公司;CAR/PDMS固相微萃取萃取头(成分为聚二甲基硅氧烷,纤维长1cm) 德国Sigma公司;

5975C-7890A气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)仪、DB-5MS色谱柱(60 m×0.32 mm, 1 μm) 美国Agilent公司;PEN3电子鼻 德国Air Sense公司,HH-2数显水浴锅 江苏省金坛市环宇科学仪器厂;KQ-00VDE三频数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司;20 mL无色顶空萃取瓶 上海安谱科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

将鲜活青蟹用毛刷洗净后随机分组,每组5只,放入干净的蒸锅中分别进行冷水下锅煮、热水下锅煮、冷水上锅蒸和热水上锅蒸(即冷煮、热煮、冷蒸和热蒸)30 min,均为从开火放入开始计时。蒸煮完毕后,取出青蟹冷却至室温,剥离出蟹肉并充分混合,精确称量(2.00±0.01)g样品于电子鼻进样瓶中,(5.00±0.01)g于顶空萃取瓶中备用,并将部分样品冷冻干燥后用于后续的游离氨基酸分析。

1.3.2 滋味感官评价

本研究的感官评价为单一感官评价,只对某单一指标进行评分,不对综合感官品质进行评价。参考Li Kong^[15]、Bell^[16]、Kraujalyte^[17]等的感官评价方法并进行改进,只对滋味的强弱进行分级评价,对气味、色泽等其他因素不作评价。选取15名具有一定感官评价知识和经验的口腔健康的研究生(23~28岁),对新鲜青蟹肌肉的鲜味、甜味、苦味及其他(酸、腥、臭等)不良滋味进行评价,每品尝样品(0.5g左右)一次后用清水漱口,记录、打分。为避免主观因素的干扰,只允许分级打分,分值为1~5分。滋味感官评价分级如表1所示。

表1 滋味感官评分标准
Table 1 Criteria for sensory evaluation of taste of crab muscle

感官指标	感官评分				
	弱	较弱	一般	较强	强
鲜味	1	2	3	4	5
甜味	1	2	3	4	5
苦味	1	2	3	4	5
其他	1	2	3	4	5

1.3.3 游离氨基酸测定

研磨1.00g冷冻干燥样品,加入10 mL 4 g/100 mL磺基水杨酸,将混合物进行超声溶解萃取(60 kHz、1 h),以使游离氨基酸被充分萃取;使用高速冷冻离心机离心(-4℃、12 000 r/min、30 min),将1 mL上清液通过0.22 μm水相滤膜过滤,氨基酸自动分析仪测定滤液中游离氨基酸含量^[18]。

TAV被广泛应用于评价食物中呈味物质对食物味道影响的强弱,在呈味物质味觉阈值一定的情况下,呈味物质含量越高,对食物味感影响越强烈;含量一定的情况

况下, 味觉阈值越低, 其越容易被感知到。TAV按下式计算。

$$TAV = \frac{\text{游离氨基酸含量} / (\text{mg/g})}{\text{游离氨基酸味觉阈值} / (\text{mg/g})}$$

1.3.4 电子鼻测定

各组进样瓶在60 °C条件下平衡10 min, 利用电子鼻检测, 载体为洁净干燥空气, 流量0.4 L/min, 采样时间1 s, 清洗时间150 s, 归零时间5 s, 预进样时间150 s, 测定时间100 s^[19]。

1.3.5 挥发性风味物质测定

采用顶空固相微萃取分离挥发性物质。准确称取(5.00±0.01) g样品于20 mL顶空瓶中, 将老化的萃取头通过隔膜插入, 并暴露于顶空瓶的顶部空间, 经60 °C水浴加热提取40 min预处理, 将吸附完成的萃取针由GC-MS注射口250 °C解析5 min后进样, 启动仪器收集数据^[20]。

GC条件: 以流速1.3 mL/min的He为载体, 不分流进样, 色谱柱为DB-5MS柱(60 m×0.32 mm, 1 μm); 进样口温度250 °C; 升温程序: 初始温度40 °C, 无保留, 以5 °C/min的升温速率升至100 °C, 无保留, 以5 °C/min升温至180 °C, 无保留, 再以5 °C/min升温至240 °C, 保持5 min, 汽化室温度240 °C^[20]。

MS条件: 电子轰击离子源; 电子能量70 eV, 离子源温度230 °C, 接口温度250 °C; 电子倍增器电压1 576 V; 质量扫描范围40~450 u。

1.4 数据处理

除挥发性风味物质测定结果外, 其余数据均表示为平均值±标准差, 通过SPSS 20.0软件进行显著性检验; 电子鼻相关结果由Simca 16.0分析软件进行主成分分析和主成分分析图绘制。

2 结果与分析

2.1 不同蒸煮方式对青蟹肌肉滋味感官评价的影响

表2 不同蒸煮方式对青蟹肌肉滋味感官评分的影响

Table 2 Effect of different cooking methods on sensory scores for taste of crab muscle

滋味	雄性				雌性			
	热蒸	热煮	冷蒸	冷煮	热蒸	热煮	冷蒸	冷煮
鲜味	2.53±0.07 ^a	2.27±0.13 ^c	3.00±0.13 ^b	3.00±0.13 ^b	2.87±0.13 ^b	3.07±0.13 ^b	2.80±0.13 ^b	3.20±0.20 ^a
甜味	3.53±0.13 ^b	3.27±0.20 ^c	3.87±0.07 ^a	4.00±0.13 ^a	4.07±0.07 ^a	3.33±0.13 ^c	3.47±0.20 ^c	3.67±0.13 ^b
苦味	2.33±0.07 ^a	2.20±0.13 ^b	2.27±0.07 ^{ab}	2.47±0.13 ^b	2.33±0.20 ^b	2.33±0.20 ^b	2.53±0.13 ^b	2.40±0.13 ^{ab}
其他	1.57±0.13 ^b	1.93±0.07 ^a	1.53±0.13 ^b	1.90±0.07 ^a	1.43±0.20 ^b	1.77±0.13 ^c	1.47±0.20 ^b	1.73±0.20 ^b

注: 同行小写字母不同, 表示同性别、不同蒸煮方式差异显著(P<0.05)。表3同。

通过对食物的单一滋味, 尤其是主要滋味进行感官评价是评估食物滋味相对较为合理的方法, 是衡量食物

在某些滋味方面的突出表现的较好途径^[15-16]。由表2可知, 冷蒸和冷煮的雄蟹肌肉鲜味与甜味评分较高, 但冷煮雄蟹肌肉的苦味评分及其他不良滋味的评分也较高, 综合表明, 冷蒸雄蟹肌肉的感官评价较好。热煮和冷煮雌蟹肌肉的鲜味评分较高, 热蒸雌蟹肌肉次之, 但热蒸雌蟹肌肉的甜味评分远高于其他烹制方式, 苦味和不良滋味的评分也较低, 综合分析, 认为热蒸雌蟹肌肉的感官评价最好。虽然感官评价表明蒸制的雄雌青蟹肌肉综合感官评价相对较好, 但是雄蟹肌肉和雌蟹肌肉仍存在一定的差异, 除性别因素导致的差异外, 可能与青蟹的内部结构也存在一定关系。雄性青蟹和雌性青蟹组织差异较大, 尤其是性腺组织差异巨大, 雄性青蟹的性腺组织远小于雌性青蟹性腺组织(雄蟹性腺为灰白色, 雌蟹为橘红色, 雄蟹性腺仅为雌蟹的1/10左右), 此外, 雄性青蟹的肌肉组织大于雌性青蟹(这是雄蟹被称为肉蟹, 而雌蟹被称为膏蟹的主要原因)。在整只青蟹烹制的过程中, 呈味物质在热传导因素的影响下, 各个组织相互影响, 可能发生物质交换等引起差异, 导致雄性和雌性青蟹的感官评价出现差异。

2.2 不同蒸煮方式对青蟹肌肉游离氨基酸含量的影响

游离氨基酸对食物滋味的形成有重要贡献^[21], 不同的氨基酸有不同的味觉属性, 根据这些氨基酸的味觉属性和人体味觉感受器官对这些氨基酸味觉属性的感受强弱, 在摄入食物后会感受到不同的滋味^[22]。不同的游离氨基酸可以呈现出一定的滋味, 其滋味总体分为鲜味、甜味和苦味, 其中Asp和Glu被定义为呈鲜味; 包括Thr、Ser、Ala、Arg、Gly和Pro在内的6种游离氨基酸被证明具有甜味; 苦味源自Val、Ile、Leu、His、Phe和Met^[23-24]。由于这些氨基酸的味觉阈值和含量有所差异, 因此导致食物呈现出不同的复杂滋味, 常用TAV对这些氨基酸的味觉强度进行比较评估^[25]。

由表3可知, 不同蒸煮方式的雄性青蟹肌肉干样游离氨基酸中, 含量最高的为Arg(23.31~29.61 mg/g)、Gly(21.84~32.39 mg/g)和Pro(12.26~14.95 mg/g)。鲜味氨基酸中, Asp含量较低, 其TAV基本均小于1, 对鲜味的贡献较小, 而Glu含量较高, TAV均大于1, 对鲜味影响较大, 表明肌肉游离氨基酸的鲜味来源主要是Glu。甜味氨基酸中Gly、Ala和Arg含量较高, 且TAV远高于其他甜味氨基酸, 表明这3种氨基酸是游离氨基酸中甜味的主要来源。而苦味氨基酸的含量虽然均较低, 但Val、Met、Lys、His等氨基酸的TAV较高, 也会对整体滋味产生一定影响。对不同呈味氨基酸的TAV进行加和, 得到热蒸、热煮、冷蒸和冷煮雄蟹肌肉的鲜味氨基酸TAV分别为9.69、7.71、12.55和12.17, 甜味氨基酸的TAV分别为96.48、83.54、107.92和111.08, 总体表明雄蟹肌肉滋味偏甜。苦味氨基酸的TAV分别为22.59、13.60、

表3 不同蒸煮方式青蟹肌肉游离氨基酸含量及TAV (干基)
Table 3 Free amino acid contents and TAVs of crab muscle cooked by different methods (on a dry basis)

氨基酸种类	含量/(mg/g)								味觉属性	阈值 ^[2]	TAV							
	雄性				雌性						雄性				雌性			
	热蒸	热煮	冷蒸	冷煮	热蒸	热煮	冷蒸	冷煮			热蒸	热煮	冷蒸	冷煮	热蒸	热煮	冷蒸	冷煮
天冬氨酸 (Asp)	0.82±0.01 ^c	0.69±0.02 ^d	1.24±0.04 ^a	0.92±0.01 ^b	0.80±0.00 ^b	0.69±0.01 ^c	0.86±0.02 ^a	0.77±0.00 ^b	鲜 (+)	1.00	0.82	0.69	1.24	0.92	0.80	0.69	0.86	0.77
苏氨酸 (Thr)	5.56±0.09 ^b	4.34±0.09 ^b	4.16±0.04 ^b	5.79±0.07 ^a	4.69±0.06 ^b	4.06±0.05 ^c	5.39±0.21 ^a	3.73±0.06 ^d	甜 (+)	2.60	2.14	1.67	1.60	2.23	1.80	1.56	2.07	1.43
丝氨酸 (Ser)	0.42±0.01 ^b	0.33±0.00 ^c	0.35±0.00 ^c	0.78±0.03 ^a	0.33±0.00 ^c	0.43±0.00 ^b	0.40±0.02 ^b	0.63±0.00 ^c	甜 (+)	1.50	0.28	0.22	0.23	0.52	0.22	0.28	0.26	0.42
谷氨酸 (Glu)	2.66±0.01 ^b	2.11±0.01 ^c	3.39±0.19 ^a	3.37±0.04 ^a	2.88±0.03 ^c	3.00±0.04 ^b	2.70±0.05 ^c	3.42±0.03 ^a	鲜 (+)	0.30	8.87	7.02	11.31	11.25	9.59	9.99	9.00	11.39
甘氨酸 (Gly)	24.22±1.27 ^b	21.84±1.59 ^c	31.40±1.23 ^a	32.39±0.60 ^a	23.38±1.02 ^c	21.89±0.45 ^b	21.95±0.70 ^b	17.94±0.08 ^c	甜 (+)	1.30	18.63	16.8	24.16	24.91	17.99	16.84	16.88	13.8
丙氨酸 (Ala)	9.78±0.04 ^c	8.48±0.14 ^d	12.25±0.47 ^a	11.66±0.06 ^b	9.31±0.11 ^c	8.08±0.17 ^d	7.79±0.15 ^c	8.38±0.05 ^b	甜 (+)	0.60	16.30	14.14	20.42	19.44	15.52	13.47	12.99	13.97
半胱氨酸 (Cys)	0.66±0.01 ^b	0.44±0.03 ^c	0.63±0.02 ^b	0.80±0.04 ^a	0.54±0.03 ^c	0.50±0.01 ^c	0.82±0.07 ^a	0.67±0.04 ^b	苦/甜/酸 (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
缬氨酸 (Val)	1.70±0.02 ^c	0.95±0.00 ^d	1.24±0.04 ^b	1.68±0.05 ^a	0.92±0.02 ^c	0.76±0.00 ^c	1.63±0.04 ^a	0.96±0.01 ^b	甜/苦 (-)	0.40	4.26	2.37	3.11	4.20	2.29	1.90	4.07	2.40
蛋氨酸 (Met)	1.58±0.02 ^c	0.88±0.02 ^d	1.13±0.07 ^c	1.44±0.05 ^b	1.06±0.03 ^b	0.85±0.00 ^d	1.41±0.05 ^a	0.91±0.02 ^c	苦/甜/酸 (-)	0.30	5.28	2.92	3.76	4.79	3.52	2.84	4.70	3.02
异亮氨酸 (Ile)	1.02±0.02 ^c	0.57±0.02 ^d	0.62±0.03 ^b	0.98±0.03 ^a	0.51±0.01 ^c	0.53±0.00 ^c	1.01±0.00 ^b	0.65±0.01 ^b	苦 (-)	0.90	1.13	0.63	0.69	1.08	0.56	0.59	1.12	0.72
亮氨酸 (Leu)	1.75±0.05 ^b	0.83±0.02 ^d	1.02±0.02 ^c	1.40±0.02 ^b	0.75±0.01 ^c	0.79±0.01 ^c	1.33±0.02 ^a	0.96±0.05 ^b	苦 (-)	1.90	0.92	0.43	0.54	0.74	0.39	0.41	0.70	0.50
酪氨酸 (Tyr)	2.69±0.01 ^b	1.77±0.04 ^c	1.29±0.11 ^d	2.44±0.11 ^a	1.66±0.05 ^d	1.71±0.03 ^c	2.45±0.04 ^a	1.95±0.06 ^b	苦 (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
苯丙氨酸 (Phe)	1.60±0.02 ^c	0.87±0.05 ^d	0.93±0.09 ^b	1.53±0.05 ^a	0.96±0.04 ^d	1.16±0.05 ^c	1.60±0.04 ^a	1.42±0.01 ^b	苦 (-)	0.90	1.78	0.97	1.04	1.7	1.07	1.29	1.78	1.58
赖氨酸 (Lys)	2.13±0.02 ^b	1.57±0.03 ^c	1.72±0.05 ^b	2.11±0.07 ^a	2.10±0.05 ^d	2.85±0.14 ^b	4.40±0.07 ^a	2.57±0.00 ^c	甜/苦 (-)	0.50	4.27	3.14	3.45	4.21	4.19	5.70	8.81	5.13
组氨酸 (His)	0.99±0.01 ^c	0.63±0.02 ^d	1.11±0.03 ^b	1.36±0.24 ^a	0.67±0.01 ^c	0.63±0.00 ^c	1.01±0.06 ^b	0.70±0.01 ^b	苦 (-)	0.20	4.95	3.14	5.55	6.81	3.33	3.17	5.07	3.50
精氨酸 (Arg)	27.33±0.43 ^b	23.31±0.09 ^b	28.26±0.56 ^a	29.61±0.52 ^a	28.54±0.32 ^c	20.04±0.44 ^d	23.82±0.57 ^b	23.20±0.15 ^b	甜/甜 (+)	0.50	54.66	46.62	56.53	59.22	57.07	40.08	47.63	46.40
脯氨酸 (Pro)	13.40±0.33 ^b	12.26±0.27 ^c	14.95±0.49 ^a	14.27±0.38 ^a	22.51±0.20 ^b	14.76±0.43 ^c	21.94±0.88 ^a	18.48±0.22 ^b	甜/苦 (+)	3.00	4.47	4.09	4.98	4.76	7.50	4.92	7.31	6.16
总游离氨基酸	98.31±0.27 ^c	81.86±1.17 ^d	105.71±0.10 ^a	112.54±2.40 ^a	101.58±1.97 ^b	82.73±1.39 ^c	100.51±2.94 ^a	87.32±0.39 ^b										

注: (+). 正面作用, (-). 负面作用; -. 阈值过高, 难以产生味觉反应。

18.14和23.53, 热蒸和冷煮雄蟹肌肉的苦味氨基酸TAV较高。综合分析可以认为, 冷蒸雄蟹肌肉的滋味较好, 这与感官评价虽然有所差异 (TAV分析结果表明, 肌肉中苦味大于鲜味), 但二者分析得到的最终结果整体上相符。

不同蒸煮方式的雌蟹肌肉干样游离氨基酸含量中, 结果分析总体表明, 鲜味氨基酸中Glu的TAV最高, 表明Glu在鲜味中起到重要作用, Gly、Ala和Arg 3种甜味氨基酸由于较高的TAV成为雌蟹肌肉甜味的主要来源。苦味氨基酸中仅有Val、Met和Lys的TAV较高。此外, 热蒸、热煮、冷蒸和冷煮雌蟹肌肉的鲜味氨基酸TAV之和分别为10.39、10.68、9.86和12.16, 甜味氨基酸TAV之和分别为100.10、77.15、87.14和82.18, 苦味氨基酸TAV之和分别为15.35、15.90、26.25和16.85。通过分析可以认为, 雌蟹肌肉的整体滋味偏甜, 且苦味和鲜味较弱, 口感良好。综合分析各烹制方式的呈味氨基酸TAV, 可以认为热蒸雌蟹肌肉滋味较好, 冷蒸雌蟹肌肉次之, 这虽然也与感官评价略有出入, 但整体上二者的最终结果也相符。

通过将感官评价中各滋味指标与各呈味氨基酸的TAV相关联后发现, 甜味得分基本与TAV分析结果相符合, 但鲜味和苦味分析结果存在一些差异。将TAV分析结果与感官评分进行比较, 发现感官评价中甜味表现出较高的分值, 而在TAV分析中发现甜味表现也较为强烈, 这与感官评价结果相一致 (食物中甜味的来源主要是甜味氨基酸和可溶性糖, 在肉类中主要是甜味氨基酸, 可溶性糖也起到一定作用, 植物及其果实等甜味主

要来源为可溶性糖^[8-9])。感官评价和游离氨基酸分析整体表明, 甜味氨基酸是主要的甜味来源, 且肌肉的甜味表现较为强烈。此外, 感官评价中鲜味评分高于苦味评分, 而TAV分析中却为苦味氨基酸的TAV高于鲜味氨基酸, 这主要是由于鲜味的主要来源不仅仅是鲜味氨基酸, 核苷酸盐也在其中起到一定的作用, 而苦味主要来源于苦味氨基酸, 虽然生物碱和部分无机盐也呈现苦涩味, 但这些物质在肉类中含量较低, 起到的作用较小^[9], 因此鲜味的评分高于苦味。此外, 通过进一步比较不同蒸煮方式下雄蟹和雌蟹肌肉的游离氨基酸, 发现它们之间虽然性别和加工方式不同, 但仍具有一定的相似之处, 如它们之间Arg、Gly和Pro的含量有所差异, 但含量最高的游离氨基酸均为Arg、Gly和Pro, 并且均以甜味为主, 甜味的主要来源均为Gly、Ala和Arg, 且蒸制青蟹肌肉滋味略优于煮制青蟹。

2.3 不同烹制方式青蟹肌肉的主成分分析

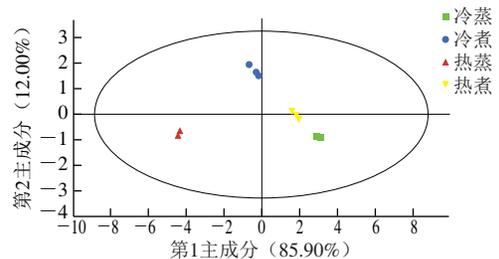


图1 不同蒸煮方式雄性青蟹肌肉主成分分析

Fig. 1 PCA plot for male crab muscle cooked by different methods

由图1可知, 4种加工方式雄性青蟹的整体气味得到较好区分, 第1主成分的贡献率为85.90%, 第2主成分的贡献率为12.00%, 第1和第2主成分贡献率之和为97.90%, 可以较好地表现出整体气味的差异。热蒸雄蟹肌肉主要位于第3象限, 热煮雄蟹肌肉主要位于1、4象限交界处, 冷蒸雄蟹肌肉主要位于第4象限, 冷煮雄蟹肌肉主要位于第2象限, 各烹制方式样品之间的距离较远, 表明不同烹制方式下雄蟹肌肉的整体气味之间存在一定的差异, 根据图可以判断虽然第2主成分上存在一定差异, 但差异主要集中在第1主成分上。

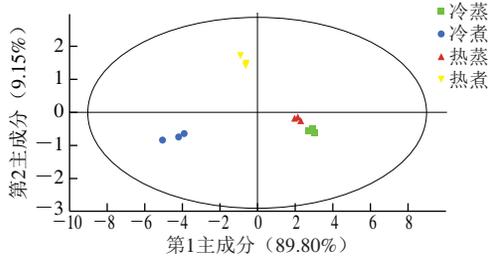


图2 不同蒸煮方式雌性青蟹肌肉主成分分析

Fig. 2 PCA plot for female crab muscle cooked by different methods

由图2可知, 热蒸和冷蒸雌蟹肌肉主要位于第4象限, 冷煮雌蟹肌肉主要位于第3象限, 热煮雌蟹肌肉主要位于第2象限, 第1主成分贡献率为89.80%, 第2主成分贡献率为9.15%。冷蒸和热蒸雌蟹肌肉之间相距较近, 表明二者之间的整体气味可能存在一定的相似性, 冷煮和热煮雌蟹肌肉之间距离较远, 表明二者整体气味存在较大差异。

2.4 不同烹制方式青蟹肌肉挥发性风味物质相对含量

表4 不同蒸煮方式雄性青蟹肌肉挥发性风味物质相对含量

Table 4 Volatile compound contents of male crab muscle cooked by different methods

种类	名称	保留时间/min	相对含量/%			
			热蒸	热煮	冷蒸	冷煮
烃类	1-环丁基环丁烯	2.640	1.38			
	1,5-己二炔	2.649	0.37			
	二环亚丁基	2.673	1.37			
	1,3,5,7-环辛四烯	5.339	0.39			
	(E)-2-壬烯	5.462	2.91 0.75			
	4-癸烯	7.868	0.99	1.35		
	顺-3-癸烯	7.875	2.70	1.33	3.25	
	癸烷	7.959	2.38			
	(Z)-2-癸烯	8.098	1.48			
	1,3-辛二烯	8.652	3.55			
	5-十一碳炔	8.663	1.80			
	7-十六碳炔	8.681	2.39			
	D-苧烯	8.755	4.32	3.59	1.78	
	十一烷	10.859	1.40			
	(Z)-4-十三碳烯-6-炔	11.224	0.77			
二螺[2.0.2.5]8-亚甲基-十一烷	11.232	0.63				
(E)-3-十二碳烯	12.550	0.55				

续表4

种类	名称	保留时间/min	相对含量/%				
			热蒸	热煮	冷蒸	冷煮	
醛类	环庚烷	12.936	0.58				
	1-癸烯	12.959	0.52				
	十二烷	13.896	2.76				
	环癸烯	14.714	0.68				
	环庚烯	14.729	0.41				
	1-壬烯-3-炔	18.469	0.31				
	9-甲基-十九烷	19.919	0.18				
	1,2-壬二烯	14.698	0.35				
	1,3-环辛二烯	20.129	1.11				
	十四烷	21.068	0.35	0.56	0.49		
	2,6,10,15-四甲基-十七烷	23.304	0.61				
	4,6-二甲基-十一烷	23.324	0.77				
	2,6,10-三甲基-十二烷	23.355	0.84				
	二十四烷	24.832	1.06				
	2,3-二甲基-十一烷	24.852	0.90				
	十五烷	24.877	1.21				
	2,6,10,14-四甲基-十五烷	32.498	2.99	5.08			
	小计		17.42	16.40	12.02	17.35	
	酮类	3-甲基-丁醛	2.172	1.35			
		戊醛	2.206	1.75	1.15		
苯(甲)醛		6.861	9.29	2.53	4.74	2.72	
辛醛		8.033	1.52	0.78 1.43			
苯乙醛		8.674	2.28		6.59	0.26	
壬醛		10.971	5.58	9.56	6.33	11.08	
十二烷醛		12.889	0.89				
癸醛		12.918	3.83	9.24	1.94	4.50	
4-甲氧基-苯(甲)醛		15.580	0.94				
13-十四碳烯醛		15.879	0.54				
十五烷醛		29.054	0.89	5.10			
十六烷醛		32.788	0.52	0.43	4.12		
十四烷醛		36.384	1.97	9.26	1.08	8.22	
小计			27.64	34.45	25.58	34.74	
醇类		二环[3.3.1]壬烷-2-酮	3.775	0.18			
	1-(6-甲基-2-吡嗪基)-1-乙醇	10.177	3.48				
	1-(5-甲基-2-吡嗪基)-1-乙醇	10.203	1.19				
	2-壬烷酮	10.553	1.94	2.25	6.02	0.65	
	3-癸酮	13.424	2.35	1.29	1.22	0.97	
	5-癸酮	13.569	1.27				
	2-十一烷酮	17.003	1.29				
	3-十二烷酮	21.116	1.01	0.02			
	二苯甲酮	29.254	0.57	0.44	3.86	2.22	
	1-(2-羟基-4,6-二甲氧苯基)-乙醇	30.683	0.76	0.48			
	小计		6.63	8.39	11.12	7.32	
	酯类	2,6-壬二烯-1-醇	9.687	0.76			
		1-辛醇	9.984	5.58	3.56	13.20	3.70
		1-(1-环己烯基)-乙醇	11.009	2.66			
		[1R-(1 α ,2 β ,5 α)]-5-甲基-2-(1-甲基乙基)-环己醇	13.124	0.43			
1-壬烯-3-醇		13.272	1.80				
3-癸醇		13.820	6.79	5.60	8.25	5.46	
2-[(2-乙基己基)氧代]-乙醇		14.948	0.47				
3-十一烷醇		17.213	1.03				
1-苯基-1,3-环己二烯-5-醇		19.971	0.39				
(Z,Z)-2,5-十五碳二烯-1-醇		20.011	0.76				
3-十二烷醇	20.987	2.00	1.44	2.47			

续表4

种类	名称	保留时间/min	相对含量/%			
			热蒸	热煮	冷蒸	冷煮
	6-甲基-3-庚醇	21.001	0.85			
	1-辛烯-3-醇	21.077		1.09		
	2-十二碳烯-1-醇	21.295				0.74
	小计		15.49	12.62	27.40	14.11
	[(甲氧基甲氧基)甲基]-苯	2.905		5.95		
	苯酚	7.396	0.66			0.96
	苯乙炔	5.145	8.10	6.23	7.77	8.51
芳香族	1,2,4,5-四甲基-苯	11.350	0.61			
	萘	13.250			1.36	1.46
	2,4-二(1,1-二甲基乙基)-苯酚	24.985	1.29	0.60	1.14	0.94
	4,4'-(1-甲基亚乙基)二苯酚	45.760		0.85		0.37
	小计		10.66	13.63	10.27	12.24
	乙酸己基酯	8.284		0.48		
	2-甲基-丁酸己基酯	15.034		0.45		
	2-甲基-壬烷酸甲基酯	16.819		1.31		
	5-甲基-壬烷酸乙基酯	20.565			1.59	
	环丁羧酸环己基酯	21.346	1.93			
酯类	琥珀酸环庚基己基酯	24.250			2.45	
	7-羟基-3,7-二甲基-辛酸甲基酯	24.277	0.56			
	琥珀酸环庚基己基酯	25.204		0.76		
	琥珀酸1-环戊基乙基戊基酯	25.218	1.16			
	十六烷酸乙基酯	41.948	0.84			
	1,2-苯二羧酸单(2-乙基己基)酯	52.525	0.44			
	小计		4.93	3.00	4.04	
	吡啶	2.660	2.25		0.04	
	2,6-二甲基-吡嗪	5.611	1.89	0.11	2.36	1.15
	N-丁基-1-丁胺	6.931				0.29
	三甲基-吡嗪	7.920		0.82		
含氮类	2-乙酰基-3-甲基吡嗪	10.195		1.89		
	喹啉	16.834	5.45			2.44
	N,N-二丁基-甲酰胺	17.175		3.02		1.61
	4-甲基-戊酰胺	34.206			0.68	
	N,N-二甲基-1-十六烷胺	39.414	0.76			
	小计		10.35	3.13	5.11	6.17
	2-乙酰基噻唑	8.374		0.99	1.24	1.62
含硫类	3-甲基-2-噻吩甲醛	10.271	1.72			
	DL-青霉胺	16.253		1.71	5.52	
	小计		1.72	0.99	2.95	7.14
	2,2,4,4-四甲基-3-甲氧基-戊烷	16.733	3.25	2.65		
	2,6,10,14-四甲基-十五烷	32.481		1.54		
其他	癸基-噁丙环	32.764		0.93		
	十四烷基-噁丙环	39.740			0.90	
	十六烷基-噁丙环	42.619	0.91			
	小计		4.16	4.19	0.93	0.90

由表4可知, 雄蟹肌肉中共检出挥发性风味物质106种, 包括烃类物质34种、醛类13种、酮类10种、醇类14种、芳香族7种、酯类11种、含氮类9种、含硫类3种和其他5种。醛类物质由于阈值较低, 对食物风味贡献较大^[26], 在热蒸、热煮、冷蒸和冷煮雄蟹肌肉中醛类物质总相对含量分别为27.64%、34.45%、25.58%和34.74%。戊醛和壬醛主要呈现鱼腥味等不良风味^[27]。

4组肌肉中腥味物质的主要来源为戊醛和壬醛, 壬醛相对含量分别为5.58%、9.56%、6.33%和11.08%, 热煮和冷煮雄蟹肌肉的壬醛含量高于热蒸和冷蒸雄蟹, 热蒸和热煮雄蟹肌肉中戊醛相对含量分别为1.75%和1.15%, 总体表明冷蒸雄蟹肌肉的腥味可能较轻, 且蒸制的雄蟹肌肉腥味可能较轻。苯甲醛、辛醛、苯乙醛和癸醛等具有令人愉悦的气味^[28], 这些物质在雄蟹肌肉中均有较高的含量, 尤其是冷蒸雄蟹肌肉的苯乙醛相对含量较高(6.59%), 苯乙醛阈值较低, 较高含量的苯乙醛会使气味更加清香^[26], 因此冷蒸雄蟹肌肉气味更为清香。酮类物质大多具有独特的果香或清香^[29], 其阈值相较于醛类物质较高, 但在含量较高的情况下仍会对食物的风味有一定贡献。热蒸、热煮、冷蒸和冷煮雄蟹肌肉中酮类物质总相对含量分别为6.63%、8.39%、11.12%和7.32%, 较高的酮类物质含量可能赋予冷蒸雄蟹肌肉更多的令人愉悦的风味。此外, 部分含氮类杂环化合物可能对风味也有一定的贡献, 含氮杂环化合物阈值通常较低, 如吡嗪具有烤肉香和焦香等风味^[30], 而部分胺类物质具有较强的腥味^[29], 在冷蒸雄蟹肌肉中检出5.11%的含氮类物质, 这赋予冷蒸雄蟹肌肉更多的烤肉香气。综合分析可以认为冷蒸雄蟹肌肉的风味更为独特。

表5 不同蒸煮方式雌性青蟹肌肉挥发性风味物质相对含量
Table 5 Volatile compound contents of female crab muscle cooked by different methods

种类	名称	保留时间/min	相对含量/%			
			热蒸	热煮	冷蒸	冷煮
	顺-3-癸烯	7.852			0.36	
	(Z)-2-己烯	8.021		0.96	0.46	
	1,3-辛二烯	8.658			1.81	
	苧烯(柠檬烯)	8.753	5.19	3.25	2.00	1.70
	1,7,7-三甲基-二环[2.2.1]庚-2-烯	10.369		1.81		
	(Z)-2-十二碳烯	12.929				0.82
	(Z)-3-十四碳烯	12.938			0.39	
	1,4-己二烯	13.039		1.24		
	2,3-二甲基-1,3-丁二烯	13.046	1.17			
	萘	13.248		1.51		
	十二烷	13.876			0.54	0.63
	6-十二碳炔	15.948				0.40
	8-十六碳炔	15.971		0.54		
	(Z,Z)-5,7-十二碳二烯	16.082			0.71	
	二环[5.1.0]辛烷	16.192		1.08		
	二环[4.4.1]十一碳-1,3,5,7,9-五烯	16.932				1.13
	十三烷	17.319			2.53	
	10-甲基-二十烷	17.326		0.71		
	(Z,Z)-1,3-环辛二烯	17.556		2.11	0.74	
烃类	顺-二环[3.3.0]辛-2-烯	19.795			1.69	
	(Z)-5-十五碳烯-7-炔	19.797		2.19		
	反-二环[5.4.0]十一烷	20.014			0.27	
	6-乙基-2-甲基-癸烷	21.015			1.17	
	十四烷	21.032			1.56	
	2,3,8-三甲基-癸烷	21.037		0.78		
	2,6,10,15-四甲基-十七烷	24.831			0.56	

续表5

种类	名称	保留 时间/min	相对含量/%			
			热蒸	热煮	冷蒸	冷煮
	8-甲基-十七烷	24.851			0.44	
	十九烷	24.872	0.65		0.46	
	2,6,10,14-四甲基-十五烷	32.476		3.06	3.07	4.92
	2,6,11,15-四甲基-十六烷	32.487	1.81			
	小计		8.82	19.24	16.76	11.60
	戊醛	2.151			7.46	
	苯(甲)醛	7.025	16.48	6.18	17.53	2.25
	辛醛	8.011			1.26	
	苯乙醛	8.621	4.23	5.00	1.14	8.50
醛类	壬醛	10.967	2.93	7.12	4.69	11.16
	4-甲氧基-苯(甲)醛	15.562		0.49		
	2-羟基-3-甲基苯(甲)醛	15.585		0.26		
	癸醛	16.976	1.87	5.70	1.48	2.99
	十六烷醛	29.018			0.37	
	十三烷醛	32.776	1.85			
	十五烷醛	36.364		2.09		3.66
	十四烷醛	36.373	1.62		0.41	0.88
	小计		28.98	26.84	34.34	29.44
	2,3-辛二酮	7.514			1.76	
	苯乙酮	9.727				0.70
	1-癸烯-3-酮	13.170	0.54			
	3-癸酮	13.419	6.21	5.59	3.68	4.82
	2-壬烷酮	16.985	1.01	1.17	0.77	0.66
	2-十一烷酮	16.999			0.69	
酮类	4-(2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-基)-2-丁酮	22.065			0.90	
	(Z)-6,10-二甲基-5,9-十一碳二烯-2-酮	22.698				0.44
	5-己基-2-(3H)-呋喃酮	23.276		4.00		
	2H-茚并[1,2-b]呋喃-2-酮,3,3a,4,5,6,7,8,8b-八氢-8,8-二甲基	24.996	0.67			
	2-甲基-反-十氢奎并唑-4-酮	25.228	0.93			
	二苯甲酮	29.202				1.52
	小计		9.36	10.76	7.80	8.14
	1-辛烯-3-醇	7.377			0.64	
	1-壬烯-3-醇	7.393	2.04			
	(Z)-5-辛烯-1-醇	9.966		6.30		
	1-辛醇	9.982	3.85		4.03	5.53
	3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇	10.816			0.20	0.69
	苯基乙醇	11.107			0.44	
醇类	3,7-二甲基-1-辛醇	12.959	1.11			
	(Z)-4-己烯-1-醇	13.018				0.73
	3-癸醇	13.810	5.37	2.02	5.00	1.48
	4-癸醇	13.867		0.56		
	1,2-十二烷二醇	14.057	2.29			
	2-苯氧基-乙醇	14.321			1.00	
	2,4-二甲基-4-辛醇	21.317			0.59	
	3,3,6-三甲基-1,5-庚二烯-4-醇	23.293	0.19			
	小计		14.85	8.88	11.90	8.43
	苯乙烯	5.138	6.65	6.72	7.38	6.01
	1-甲基-2-(1-甲基乙基)-苯	8.613		2.27		
	萘	9.121		1.06		1.21
芳香族	1-甲基-4-(1-甲基乙基)-苯	10.509		2.85		
	1-甲氧基-4-(1-丙基)-苯	16.724	4.86	2.64		3.74
	丁基苯基甲苯	24.757				1.43
	(1-丁基庚基)-苯	29.619			0.35	
	4,4'-(1-甲基亚乙基)二苯酚	45.760	2.42	0.37		0.87
	小计		13.93	15.91	7.73	13.26

续表5

种类	名称	保留 时间/min	相对含量/%			
			热蒸	热煮	冷蒸	冷煮
	乙基-3,3-二甲基丁酸酯	14.421				0.57
	己酸戊基酯	15.482				0.28
酯类	(E,E)-9,12-十八碳二烯酸甲酯	16.073		0.86		
	5-甲基-壬烷酸乙基酯	16.804				3.47
	11,14,17-二十碳三烯酸甲酯	19.803	1.63			
	小计		1.63	0.86		4.32
	吡啶	2.674				1.60
	甲基吡啶酰胺	2.694	1.72			
	甲基-吡嗪	3.847				0.45
	1-苯甲基咪唑	4.450				2.52
	2,6-二甲基-吡嗪	5.579				2.05
	4,6-二甲基-嘧啶	5.590				1.48
	2,5-二甲基-吡嗪	5.613	2.23			
	2,3-二甲基-吡嗪	5.729	1.61			
	N-丁基-1-丁胺	6.848				3.13
	三甲基-吡嗪	7.926	0.99	1.22		1.68
	2-环丙基-5-(1-哌啶基)-戊-3-炔-2-醇	7.996				2.26
含氮类	(1-甲基乙基)-吡嗪	8.346				3.34
	乙酰基吡嗪	8.485	3.36			0.99
	3-乙基-2,5-二甲基-吡嗪	10.075	2.03			
	2-乙酰基-3-甲基吡嗪	10.196				0.30
	1-(6-甲基-2-吡嗪基)-1-乙酮	10.208	1.74			
	N-甲代烯丙基胺	10.857		0.32		
	1,3-二甲基-3,4,5,6-四氢-2(1H)-嘧啶	13.263	1.10			
	咪唑	16.841	3.00	4.46		4.25
	N,N-二丁基-甲酰胺	17.158				1.52
	3-乙基-2,2-二甲基-噁唑烷	17.158		0.51		
	N,N-二丁基-甲酰胺	17.180	1.73			0.54
	N-烯丙基-顺丁烯二酰亚胺	17.711				0.42
	1-乙氧基-4-硝基-苯	23.276				6.61
	小计		19.51	6.51	8.45	24.69
	二甲基三硫	7.033				0.10
	2-乙酰基噻唑	8.379		2.26		0.35
含硫类	3-甲基-2-噻吩甲醛	10.255		5.05	1.43	2.04
	5-甲基-异噻唑	15.104				0.37
	1-癸硫代	16.279	2.27	3.69		1.87
	1-甲基-3-[(2-甲基丙基)硫代]-苯	25.205				0.93
	小计		2.27	11.00	3.18	3.91
	2,5-二氢-2,5-二甲氧基-呋喃	15.728				0.52
	2,2,4,4-四甲基-3-甲氧基-戊烷	16.703				4.64
	(7-辛烯基)-噁丙环	19.648				0.35
其他	十六烷基-噁丙环	21.297				0.55
	癸基-噁丙环	21.345	0.65			
	小计		0.65		5.51	0.55

由表5可知, 雌蟹肌肉中共检出挥发性风味物质115种, 其中烃类30种、醛类12种、酮类12种、醇类14种、芳香族8种、酯类5种、含氮类23种、含硫类6种、其他类5种。虽然检出烃类物质较多, 但由于其阈值较高, 对食物风味贡献较小^[31]。醛类物质中, 热蒸、热煮、冷蒸和冷煮雌蟹肌肉中醛类物质的总相对含量分别为28.98%、26.84%、34.34%和29.44%, 戊醛和壬醛是腥味的来源, 冷蒸雌蟹肌肉中检出戊醛相对含量7.46%, 其余三



者未检出；4组雌蟹肌肉壬醛相对含量分别为2.93%、7.12%、4.69%和11.16%，热蒸雌蟹肌肉远低于其余3组，总体表明热蒸雌蟹肌肉的腥味可能较小，且蒸制雌蟹肌肉的腥味小于煮制雌蟹。气味比较令人愉悦的醛类物质，如苯甲醛、苯乙醛、癸醛、十三醛、十四醛等物质，在热蒸雌蟹肌肉中均含量较高。此外，仅在热蒸雌蟹中检测出一定量的不饱和醇1-壬烯-3-醇，可能赋予热蒸雌蟹肌肉浓郁的水产品风味^[32]。在含氮杂环化合物中，热蒸雌蟹肌肉中检出较多种类的吡嗪等物质。综合分析可以认为，热蒸雌蟹肌肉的风味略好。此外，与雄蟹肌肉相比，雌蟹肌肉的风味可能更为复杂，蒸煮熟制肌肉的风味不仅来源于肌肉本身，也可能会受到机体其他组织的影响，尤其是性腺和肝胰腺的影响会使肌肉的风味出现一定的变化，由于雌性青蟹的性腺组织相对较大，而雄蟹性腺组织相对较小，在熟制过程中风味相互交叉，可能会使雌蟹肌肉的风味更加复杂。

3 结论

对4种烹制方式下的青蟹肌肉感官品质进行比较分析。结果表明：冷蒸雄蟹和热蒸雌蟹肌肉的感官评价相对较好；利用游离氨基酸的TAV进行滋味分析，发现肌肉整体滋味偏甜，游离氨基酸中甜味主要来源为Gly、Ala和Arg，冷蒸雄蟹肌肉和热蒸雌蟹肌肉整体滋味相对较好，并且蒸制比煮制的滋味相对较好；通过主成分分析发现，雄蟹肌肉第1主成分的贡献率为85.90%，第2主成分的贡献率为12.00%；雌蟹肌肉第1主成分贡献率为89.80%，第2主成分贡献率为9.15%；对挥发性风味物质的含量进行比较发现，不仅醛类物质是肌肉的主要风味来源，部分含氮类物质可能对风味也有一定贡献，且冷蒸雄蟹肌肉和热蒸雌蟹肌肉的风味略好。因此，综合分析可以认为，冷蒸雄蟹肌肉和热蒸雌蟹肌肉的感官品质相对较好。

参考文献：

[1] 林琪. 中国青蟹属种类组成和拟穴青蟹群体遗传多样性的研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2008: 3-6.

[2] 刘亚云, 孙红斌, 陈桂珠. 红树林滩涂海水种植-养殖湿地锯缘青蟹重金属含量及评价[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(3): 206-208. DOI:10.3969/j.issn.1007-6336.2008.03.002.

[3] 林琪, 李少菁, 黎中宝, 等. 中国东南沿海青蟹属(*Scylla*)的种类组成[J]. 水产学报, 2007, 31(2): 211-219. DOI:10.3724/SP.J.1231.

[4] 农业部渔业局. 2019中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.

[5] KONG Yan, YANG Xiao, DING Qi, et al. Comparison of non-volatile umami components in chicken soup and chicken enzymatic hydrolysate[J]. Food Research International, 2017, 102: 559-566. DOI:10.1016/j.foodres.2017.09.038.

[6] SUN Hongmei, WANG Jinzhi, ZHANG Chunhui, et al. Changes of flavor compounds of hydrolyzed chicken bone extracts during Maillard reaction[J]. Journal of Food Science, 2015, 79(12): 2415-2426. DOI:10.1111/1750-3841.12689.

[7] WU Na, WANG Xichang. Comparison of gender differences in nutritional value and key odor profile of hepatopancreas of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(2): 536-544. DOI:10.1111/1750-3841.13596.

[8] PHAT C, MOON B, LEE C. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system[J]. Food Chemistry, 2016, 192: 1068-1077. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.07.113.

[9] TSAI S, TSAI H, MAU J. Non-volatile taste components of *Agaricus blazei*, *Agrocybe cylindracea* and *Boletus edulis*[J]. Food Chemistry, 2008, 107(3): 977-983. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.07.080.

[10] GUO Yanru, GU Saiqi, WANG Xichang, et al. Nutrients and non-volatile taste compounds in Chinese mitten crab by-products[J]. Fisheries Science, 2015, 81: 193-203. DOI:10.1007/s12562-014-0816-9.

[11] 何捷, 蔡春芳, 王永玲, 等. 4种烹饪方式对中华绒螯蟹感官及风味品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 53-59. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2017.06.011.

[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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201324037.

[13] 朱埭, 郑忻, 刘梦茵, 等. 不同蒸制方式下太湖蟹感官评定及营养价值比较[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 32-38; 80. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2017.01.007.

[14] SHI Shanshan, WANG Xichang, WU Xugan, et al. Effects of four cooking methods on sensory and taste quality of *Portunus trituberculatus*[J]. Food Science and Nutrition, 2020, 8: 1115-1124. DOI:10.1002/fsn3.1398.

[15] LI Kong, CAI Chunfang, YE Yuantu, et al. Comparison of non-volatile compounds and sensory characteristics of Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) reared in lakes and ponds: potential environmental factor[J]. Aquaculture, 2012, 364/365: 96-102. DOI:10.1016/j.aquaculture.2012.08.008.

[16] BELL L, METHVEN L, SIGNORE A, et al. Analysis of seven salad rocket (*Eruca sativa*) accessions: the relationships between sensory attributes and volatile and non-volatile compounds[J]. Food Chemistry, 2016, 218: 181-191. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.09.076.

[17] KRAUJALYTE V, PELVAN E, ALASALVAR C. Volatile compounds and sensory characteristics of various instant teas produced from black tea[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 864-872. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.09.076.

[18] 王福田, 张艳凌, 朱亚军, 等. 不同生长形态雌性青蟹的性腺营养品质评价与比较[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(21): 228-236. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.024365.

[19] 葛孟甜. 不同生境模式的中华绒螯蟹品质评价及即食蟹产品的加工工艺优化[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019: 25-26.

[20] 葛孟甜, 李肖婵, 林琳, 等. 我国四个地区河蟹蟹肉挥发性物质的比较[J]. 中国调味品, 2019, 44(4): 16-22. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2019.04.004.

- [21] LIU Huan, MA Jiangrong, PAN Teng, et al. Effects of roasting by charcoal, electric, microwave and superheated steam methods on (non) volatile compounds in oyster cuts of roasted lamb[J]. *Meat Science*, 2021, 172(2): 108324. DOI:10.1016/j.meatsci.2020.108324.
- [22] CHEN Dewei, ZHANG Min. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(3): 1200-1205. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.01.042.
- [23] ZHUANG Kejin, WU Na, WANG Xichang, et al. Effects of 3 feeding modes on the volatile and nonvolatile compounds in the edible tissues of female Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Journal of Food Science*, 2016, 81(4): 968-981. DOI:10.1111/1750-3841.13229.
- [24] SABIKUN N, BAKHSH A, RAHMAN M S, et al. Volatile and nonvolatile taste compounds and their correlation with umami and flavor characteristics of chicken nuggets added with milkfat and potato mash[J]. *Food Chemistry*, 2020, 343: 128499. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.128499.
- [25] ISMAIL I, HWANG Y H, JOO S T. Low-temperature and long-time heating regimes on non-volatile compound and taste traits of beef assessed by the electronic tongue system[J]. *Food Chemistry*, 2020, 320: 126656. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.126656.
- [26] 陈舜胜, 蒋根栋. 中华绒螯蟹蟹肉挥发性风味成分分析[J]. *食品科学*, 2009, 30(20): 290-293.
- [27] 于慧子, 陈舜胜. 中华绒螯蟹蟹肉和蟹黄中挥发性风味物质组成[J]. *食品科学*, 2011, 32(8): 267-271.
- [28] TURCHINI G, MORETTI V, MENTASTI T, et al. Effects of dietary lipid source on fillet chemical composition, flavour volatile compounds and sensory characteristics in the freshwater fish tench (*Tinca tinca* L.)[J]. *Food Chemistry*, 2007, 102(4): 1144-1155. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.07.003.
- [29] HIERRO E, HOZ L, ORDONEZ J. Headspace volatile compounds from salted and occasionally smoked dried meats (*cecinas*) as affected by animal species[J]. *Food Chemistry*, 2004, 85(4): 649-657. DOI:10.1016/j.foodchem.2003.07.001.
- [30] 程华峰, 林琳, 葛孟甜, 等. 3种生态环境中华绒螯蟹肉挥发性风味特征的比较[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(23): 247-256. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021502.
- [31] 吴浩然, 林琳, 葛孟甜, 等. 四种不同生境模式养殖的雄性中华绒螯蟹性腺挥发性风味成分比较[J]. *现代食品科技*, 2019, 35(6): 92-101; 47. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.6.013.
- [32] POINOT P, ARVISENET G, GRUA-PRIOL J, et al. Influence of inulin on bread: kinetics and physico-chemical indicators of the formation of volatile compounds during baking[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(4): 1474-1484. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.09.029.