

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90006

复热方式对冻熟河蟹品质的影响

Effects of different reheating treatments on the quality of frozen cooked *Eriocheir sisensis*

孙颖瑛^{1,2} 高德梅^{1,2} 许艳顺^{1,2} 夏文水^{1,2}SUN Ying-ying^{1,2} GAO De-mei^{1,2} XU Yan-shun^{1,2} XIA Wen-shui^{1,2}

(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)

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

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

摘要:目的: 研究复热方式对冻熟河蟹品质的影响。方法: 以复热时间、质构、呈味核苷酸、游离氨基酸、挥发性风味物质等为主要指标, 研究未解冻直接蒸制和微波以及解冻后蒸制和微波 4 种方式复热对蟹肉品质的影响。结果: 河蟹复热至中心温度约为 75 °C, 未解冻直接蒸制、解冻后蒸制、未解冻直接微波、解冻后微波分别需要复热 720, 552, 173, 106 s; 相对于未解冻河蟹, 解冻后复热的蟹肉具有较低的复热损失以及硬度和咀嚼性; 与蒸制组相比, 微波处理后河蟹具有更高的硬度、咀嚼性及较高含量的核苷酸和游离氨基酸; 未解冻直接复热河蟹中挥发性风味物质高于解冻后复热组, 微波复热河蟹较蒸制复热组具有较多的挥发性风味物质; 解冻后复热可以较好地保留蟹肉中的滋味而未解冻复热可以形成更多的挥发性风味物质, 微波复热河蟹较蒸制复热组具有更多滋味和挥发性风味物质。结论: 复热方式对蟹肉质构影响不显著, 微波复热的河蟹具有较好的风味品质, 且解冻后微波复热的蟹肉品质更优。

关键词: 河蟹; 解冻; 复热; 风味; 质构

Abstract: Objective: The effects of reheating methods on the quality of frozen cooked river crab were studied to provide a basis for the selection of reheating methods for frozen cooked crab. Methods: The crabs reheated with microwave and steaming with-out and with thawing were studied using reheating time, texture, flavor nucleotide, free amino acids and volatile flavor compounds. Results: The times of crabs reheated with steaming without thawing, steaming after thawing, microwave without thawing, and microwave after thawing to the center temperature of 75 °C were

720, 552, 173, 106 s, respectively. Compared with unthawed crabs, the reheated crab meat had lower reheating loss, hardness and chewiness. Compared with steaming, the crabs reheated by microwave had higher hardness, chewiness and higher contents of nucleotides and free amino acids. Compared with the thawed crabs, the unthawed reheated crabs had more volatile flavor compounds. Compared with steaming, the crabs reheated by microwave had more volatile flavor compounds. Thawed crabs had more taste compounds while unthawing could formatted more flavor compounds. Microwave could maintain taste compounds and formatted more flavor compounds. Conclusion: Reheating methods had no significant influence on texture of crabs. The crabs reheated with microwave had better flavor quality. The quality of crabs reheated with microwave after thawing was better.

Keywords: *Eriocheir sisensis*; thawing; reheating; flavor; texture

河蟹, 学名为中华绒螯蟹(*Eriocheir sisensis*), 是中国重要的经济类淡水养殖产品之一。2019 年, 中国河蟹养殖产量将近 78 万 t, 较 2018 年增长了 2 万 t^[1]。河蟹生长受季节性影响较大, 上市时间高度集中, 且死后极易腐败。将河蟹进行冷冻加工是延长其产品货架期的有效途径之一^[2]。

目前, 河蟹冷冻加工的研究主要集中在冻结、冻藏及熟制方式对河蟹品质的影响方面。刘小莉等^[3]研究发现保水剂结合速冻处理有助于保持冻藏河蟹的肌肉和风味品质。葛孟甜等^[4]研究发现冰箱冷藏室解冻是最佳的解冻方式。熟制后冷冻是保持河蟹品质的一种有效方式, 但冻熟河蟹在食用前通常需要进行复热处理, 常见的冷冻食品的复热方式主要有蒸制、煮制和微波加热等。付娜等^[5]研究发现相对于煮制, 蒸制能保持蟹体中游离氨

基金项目: 江苏省重点研发计划(编号: BE2019336)

作者简介: 孙颖瑛, 女, 江南大学在读硕士研究生。

通信作者: 许艳顺(1981—), 男, 江南大学研究员, 博士。

E-mail: xuys@jiangnan.edu.cn

收稿日期: 2021-07-12

氨酸含量,是比较理想的中华绒螯蟹熟制方式。然而目前关于复热方式对冻熟河蟹品质的影响尚未明晰。

次黄嘌呤核苷酸(IMP)、鸟嘌呤核苷酸(GMP)和腺嘌呤核糖核苷酸(AMP)是河蟹重要的呈鲜物质,此外游离氨基酸种类和含量也对河蟹滋味具有重要贡献^[6]。文章拟以冻熟河蟹为研究对象,研究未解冻蒸制和微波以及冰箱冷藏室解冻后蒸制和微波4种不同复热方式对河蟹复热损失率、质构、呈味核苷酸、游离氨基酸和挥发性风味物质的影响,以期对冻熟河蟹复热方式的选择提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与试剂

鲜活河蟹:每只约100~140 g,市售;

三氯乙酸、高氯酸、氢氧化钠、盐酸等:分析纯,国药集团化学有限公司;

次黄嘌呤核苷酸(IMP)、鸟嘌呤核苷酸(GMP)和腺嘌呤核糖核苷酸(AMP)、2,4,6-三甲基吡啶等标品:德国Sigma公司。

1.2 仪器与设备

温度记录仪:Midi LOGER GL240型,日本图技株式会社;

冷冻离心机:3K-15型,德国Sigma公司;

高速分散机:IKA-T10型,德国IKA集团;

速冻柜:DS-35 FRINOX型,上海瀑城餐饮设备有限公司;

物性分析仪:TA.XT Plus型,英国Stable Micro Systems公司;

高效液相色谱仪:Waters 2695型,美国沃特世公司;

气质联用仪:SCIONSQ-456-GC型,美国布鲁克公司;

冰箱:BCD-452WDPF型,青岛海尔股份有限公司;

电磁炉:C21-WT2103A型,美的集团股份有限公司;

微波炉:EM7KCGW3-NR型,美的集团股份有限公司;

蒸锅:MP-ZG26Z02型,美的集团股份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 冻熟河蟹的制备 鲜活河蟹清洗、沥干,于煮沸的蒸锅中蒸制8 min,冰水中冷却至中心温度为15℃以下,沥干,整齐摆放于包装盒中,-30℃鼓风冻结5 h,密封包装,于-18℃冻藏。

1.3.2 冻熟河蟹的复热 将冻熟河蟹分成未解冻组(冻结状态直接复热)和解冻组(冷藏室解冻12 h后进行复热)两组,采用沸水蒸制和700 W微波加热两种复热方式分别将解冻和未解冻河蟹加热至中心温度为75℃,冷却至室温后进行理化、质构和风味分析。

1.4 指标测定

1.4.1 中心温度 河蟹钻孔,温度记录仪探头插入河蟹的中心位置,在复热过程中测定并记录河蟹中心温度。蒸制组每隔1 min记录一次;微波组每隔15 s记录一次。当河蟹中心温度达到75℃时停止记录,将所得数据绘制成中心温度曲线。

1.4.2 复热损失率 复热处理后打开蟹壳,用纸巾吸干蟹壳及蟹肉表面水分,称重,并按式(1)计算复热损失率。

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

X——复热损失率,%;

m_1 ——复热前河蟹质量,g;

m_2 ——复热后河蟹质量,g。

1.4.3 全质构分析 将蟹腿肉切成直径5~7 mm、长1 cm的圆柱体,测定蟹腿肉的硬度、弹性和咀嚼性。测试条件:圆柱形探头P/25;测前、中、后速度分别为5,1,5 mm/s;压缩形变50%;触发力5 g。每个样品至少重复6次。

1.4.4 味道强度值 味道强度值(TAV)是样品中呈味物质含量与其对应阈值的比值,当TAV>1时,该物质对样品的呈味具有贡献且值越大贡献越大^[7]。

1.4.5 呈味核苷酸 参照Yu等^[8]的方法并修改。称取2 g蟹肉,加入6%高氯酸溶液,均质,离心取上清液,沉淀部分重复提取1次,合并上清液,调节pH至6.5~6.8,用去离子水定容至25 mL,过0.22 μm滤膜后采用高效液相色谱仪测定。

1.4.6 游离氨基酸 参照邱伟强等^[9]的方法并修改。称取5 g样品,加入5%三氯乙酸,均质,定容至25 mL,超声提取20 min,静置2 h,双层滤纸过滤,离心,取上清液采用高效液相色谱仪测定,根据保留时间和峰面积对氨基酸进行定性和定量。

1.4.7 挥发性风味物质 参照Gao等^[10]的方法,并根据标准图库NIST 2005和Willey 7分析样品中的挥发性物质,根据标品的峰面积计算挥发性物质含量。

1.4.8 数据统计 采用SPSS 22.0和Excel 2019软件进行数据处理和分析,结果表示为均值±标准差。采用邓肯多重分析进行组间显著性分析,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 复热过程中河蟹中心温度变化

由图1可知,未解冻和解冻后直接蒸制以及未解冻和解冻后微波处理的河蟹中心温度达到75℃所用时间分别为720,552,173,106 s。从复热效率方面看,解冻后微波复热所用时间最短。

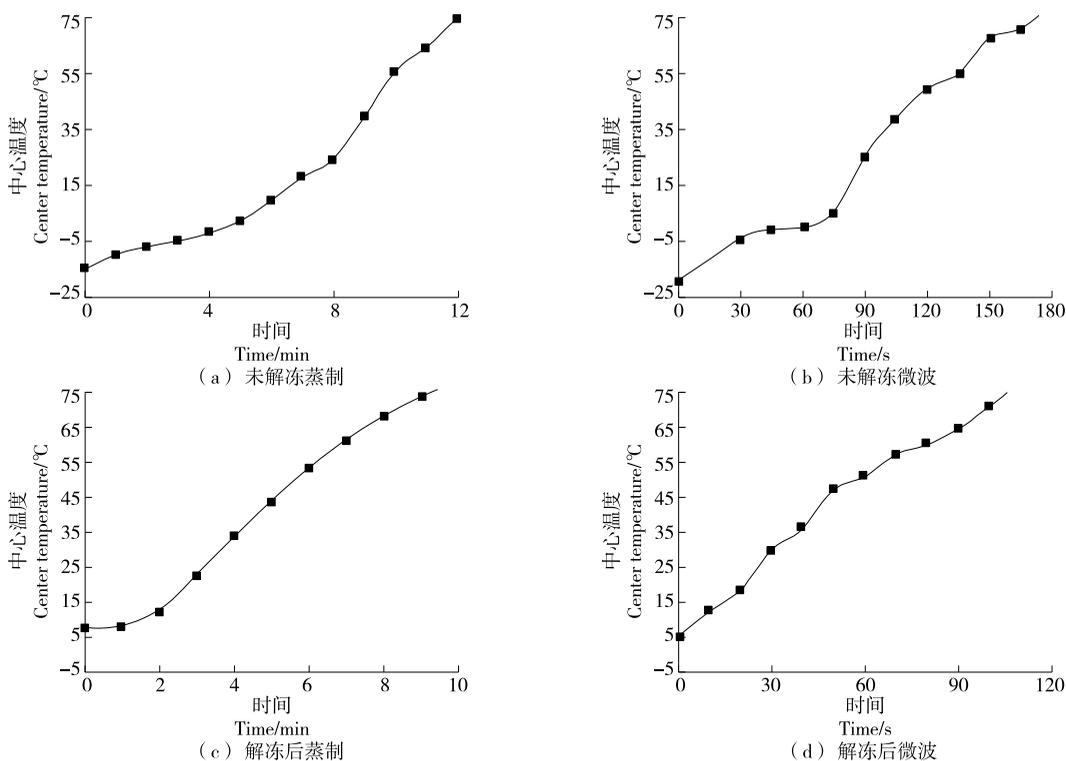


图 1 复热过程中河蟹中心温度变化

Figure 1 The center temperature changes of crabs with different reheating methods

2.2 复热方式对河蟹复热损失率的影响

由图 2 可知,未解冻微波和蒸制以及解冻后微波和蒸制的复热损失率分别为 24.05%, 23.91%, 19.83%, 15.78%。与解冻后复热组相比,未解冻直接复热的河蟹损失率较大。这可能是由于解冻后的河蟹已损失了一部分水分,从而导致复热过程中的损失率降低;另一方面可能是由于未解冻直接进行加热熟制,冰晶融化形成的水分来不及重新迁移到细胞内部,水分流失增加。与微波复热相比,蒸制具有相对较低的损失率,可能是由于微波加热的原理是电磁波在介质中转化为热量,河蟹内部的水

分子剧烈运动,产生大量热能使河蟹快速升温,微波升温是样品内外同时进行,表面水分汽化蒸发,样品内部水分向外迁移并蒸发,降低了水分含量,蒸制加热通过热蒸汽使河蟹升温,表面与水蒸气接触,从而水分损失较小^[11-12]。

2.3 复热方式对河蟹质构的影响

由表 1 可知,解冻后复热组的硬度和咀嚼性小于未解冻复热组,与复热损失率呈正相关,可能是由于解冻后复热河蟹水分损失较小,蟹肉水分含量较高,硬度和咀嚼性较低。微波复热蟹肉的硬度和咀嚼性略高于蒸制处理组,可能与微波的短时快速加热造成的汁液流失增加有关。但复热方式对蟹肉质构的影响不显著($P>0.05$)。

2.4 复热方式对河蟹呈味核苷酸的影响

由表 2 可知,复热后河蟹中 AMP 含量最多,GMP 含量次之,IMP 含量最少。根据各组样品的 TAV 可知,GMP 对河蟹呈味贡献最大,AMP 次之,IMP 最小。微波

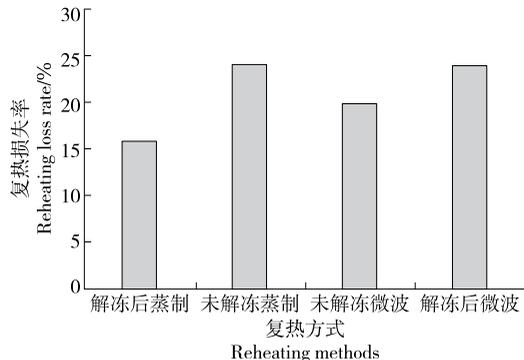


图 2 复热方式对河蟹复热损失率的影响

Figure 2 The effects of different reheating methods on loss rate of crabs

表 1 复热方式对河蟹质构的影响

Table 1 The effects of different reheating methods on texture of crabs

复热方式	硬度/N	弹性	咀嚼性/N
未解冻蒸制	1 653.91±140.97	0.67±0.10	587.49±85.50
解冻后蒸制	1 570.76±265.87	0.69±0.07	568.87±99.28
未解冻微波	1 758.86±290.98	0.71±0.11	667.71±185.78
解冻后微波	1 679.47±154.39	0.70±0.08	657.37±77.02

处理组的 AMP 含量显著高于蒸制处理组 ($P < 0.05$), 解冻处理对河蟹中 AMP 含量无显著影响。解冻后微波复热河蟹具有最高含量的 GMP 和 IMP, 未解冻微波和蒸制组次之, 解冻后蒸制组具有最低的 GMP 和 IMP 含量。TAV > 1 的核苷酸为 AMP 和 GMP, GMP 的 TAV 最大。说明解冻后采用微波复热的河蟹鲜味核苷酸含量最高, 对复热后河蟹呈味贡献作用最大的核苷酸是 GMP, 其次为 AMP。复热过程中河蟹呈味核苷酸变化可能与加热过程中核苷酸的降解及汁液流失有关。汪倩^[13]研究发现微波处理的肉丸呈味核苷酸含量最多, 滋味最好, 油炸、水煮、气蒸次之。

2.5 复热方式对河蟹中游离氨基酸的影响

由表 3 可知, 解冻后复热的河蟹中游离氨基酸总含

量显著高于未解冻复热组 ($P < 0.05$), 可能与其较低的复热损失有关。解冻后蒸制和微波处理的游离氨基酸总含量分别是未解冻蒸制和微波处理的 1.13, 1.26 倍。相对于蒸制复热, 微波复热的河蟹具有更高的游离氨基酸总含量。除丙氨酸外, 解冻后微波复热的河蟹中其他氨基酸含量均最高, 可能与微波处理导致蟹肉蛋白降解产生游离氨基酸有关^[12-14]。熟冻河蟹复热后的主要游离氨基酸是甘氨酸、精氨酸和丙氨酸, 三者总量约占游离氨基酸总量的 74.48%~82.78%。

游离氨基酸 TAV 与其含量的变化趋势一致, TAV > 1 的氨基酸有谷氨酸、组氨酸、甘氨酸、精氨酸和丙氨酸, TAV 最大的是精氨酸, 丙氨酸次之。谷氨酸是重要的鲜味氨基酸之一, 丙氨酸和甘氨酸滋味特征呈甜味; 精氨酸

表 2 复热方式对河蟹呈味核苷酸含量和味道强度值的影响[†]

Table 2 The effects of different reheating methods on flavor nucleotide contents and TAVs of crabs

核苷酸	阈值/ (10 ⁻² mg · g ⁻¹)	呈味核苷酸含量/(10 ⁻² mg · g ⁻¹)				TAV			
		未解冻蒸制	解冻后蒸制	未解冻微波	解冻后微波	未解冻蒸制	解冻后蒸制	未解冻微波	解冻后微波
AMP	50.0	62.98±1.70 ^b	65.52±0.99 ^b	89.59±5.36 ^a	84.98±4.01 ^a	1.26	1.31	1.79	1.70
GMP	12.5	30.83±0.62 ^{ab}	25.23±7.92 ^b	32.19±1.08 ^{ab}	34.33±3.18 ^a	2.47	2.02	2.58	2.75
IMP	25.0	7.32±0.12 ^b	5.71±1.13 ^c	6.70±0.30 ^{bc}	8.87±0.79 ^a	0.29	0.23	0.27	0.35

† 同行字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

表 3 复热方式对河蟹中游离氨基酸含量和味道强度值的影响[†]

Table 3 The effects of different reheating methods on free amino acids contents and TAVs of crabs

氨基酸 种类	阈值/ (10 ⁻² mg · g ⁻¹)	游离氨基酸含量/(10 ⁻² mg · g ⁻¹)				TAV			
		未解冻 蒸制	解冻后 蒸制	未解冻 微波	解冻后 微波	未解冻 蒸制	解冻后 蒸制	未解冻 微波	解冻后 微波
天冬氨酸	100	22.45±1.06 ^b	22.25±0.47 ^b	22.48±0.14 ^b	29.39±2.42 ^a	0.22	0.22	0.22	0.29
谷氨酸	30	28.36±0.89 ^d	41.40±1.08 ^c	46.13±0.62 ^b	56.85±2.22 ^a	0.95	1.38	1.54	1.89
丝氨酸	150	7.78±0.37 ^d	10.53±0.11 ^b	8.63±0.65 ^c	11.54±0.43 ^a	0.05	0.07	0.06	0.08
组氨酸	20	52.90±2.09 ^b	55.61±1.33 ^b	62.45±6.53 ^b	98.32±8.63 ^a	2.64	2.78	3.12	4.92
甘氨酸	130	459.14±23.14 ^{bc}	504.21±4.39 ^b	449.66±7.95 ^c	585.60±44.88 ^a	3.53	3.88	3.46	4.50
苏氨酸	260	14.66±0.48 ^d	20.56±1.01 ^b	16.24±0.13 ^c	25.55±1.23 ^a	0.06	0.08	0.06	0.10
精氨酸	50	433.42±14.76 ^c	424.90±6.19 ^c	470.01±10.40 ^b	525.78±29.36 ^a	8.67	8.50	9.40	10.52
丙氨酸	60	263.00±7.69 ^b	362.71±8.95 ^a	374.54±5.42 ^a	366.61±16.60 ^a	4.38	6.05	6.24	6.11
酪氨酸	—	7.71±0.65 ^b	8.61±0.21 ^b	7.49±0.25 ^b	13.64±0.97 ^a	—	—	—	—
半胱氨酸	—	0.64±0.05 ^c	0.81±0.06 ^{ab}	0.71±0.12 ^{bc}	0.92±0.05 ^a	—	—	—	—
缬氨酸	40	10.10±0.31 ^b	10.30±0.14 ^b	9.70±0.24 ^b	15.27±0.91 ^a	0.25	0.26	0.24	0.38
甲硫氨酸	30	8.08±0.26 ^b	6.14±0.13 ^c	6.48±0.13 ^c	12.68±0.78 ^a	0.27	0.20	0.22	0.42
苯丙氨酸	90	7.78±0.75 ^c	9.92±0.10 ^b	8.22±0.41 ^a	12.37±1.02 ^a	0.09	0.11	0.09	0.14
异亮氨酸	90	4.66±0.41 ^c	6.30±0.15 ^b	6.08±0.24 ^b	9.68±0.92 ^a	0.05	0.07	0.07	0.11
亮氨酸	190	8.31±0.67 ^d	13.10±0.28 ^b	10.99±0.34 ^c	19.07±1.43 ^a	0.04	0.07	0.06	0.10
赖氨酸	50	20.79±0.56 ^d	26.11±0.51 ^c	30.33±0.04 ^b	35.03±1.74 ^a	0.42	0.52	0.61	0.70
脯氨酸	300	46.12±2.38 ^b	47.27±4.43 ^b	42.96±5.48 ^b	166.23±8.30 ^a	0.15	0.16	0.14	0.55
总量	—	1 395.92±40.47 ^c	1 570.71±22.37 ^b	1 573.08±21.10 ^b	1 984.53±105.06 ^a	—	—	—	—

† 同行字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

是苦味氨基酸,但当精氨酸大量存在时并不呈苦味,并具有提升鲜味和口感的作用^[14]。

2.6 复热方式对河蟹挥发性风味物质的影响

由表 4 可知,4 组样品中共检测到 72 种挥发性化合物,其中包括 14 种醇类、4 种醛类、5 种酮类、14 种酯类、9 种烷烃类、12 种芳香族类、4 种酸类和 10 种其他类物

质。未解冻、解冻后蒸制的河蟹中分别检出 45,59 种挥发性化合物,未解冻、解冻后微波复热的河蟹中分别检出 42,44 种挥发性化合物。与未解冻组相比,解冻后复热的蟹肉中醇类、醛类和酮类物质总含量降低,而烷烃类、芳香族类和其他类物质总含量上升。与蒸制组相比,微波复热组的蟹肉中醇类、醛类和其他类物质总含量更高,

表 4 复热方式对河蟹中挥发性风味物质的影响

Table 4 The effects of different reheating methods on volatile flavor compounds of crabs $\mu\text{g}/\text{kg}$

种类	化合物	未解冻蒸制	解冻后蒸制	未解冻微波	解冻后微波	
醇类	1-甲氧基-2-丙醇	317.70	84.30	794.00	742.30	
	1-戊烯-3-醇	206.40	104.80	259.80	200.50	
	正戊醇	283.40	157.10	421.60	233.50	
	顺-2-戊烯-1-醇	62.70	—	94.90	75.10	
	正己醇	43.00	—	152.70	90.50	
	1-辛烯-3-醇	189.60	83.90	142.30	171.30	
	辛-1,5-二烯-3-醇	356.60	—	593.30	—	
	2-乙基己醇	370.90	462.00	661.80	1 012.20	
	正辛醇	319.40	74.10	288.80	—	
	二乙二醇丁醚	—	49.00	—	—	
	苯甲醇	24.60	28.10	31.00	13.10	
	苯乙醇	60.00	65.60	71.40	61.10	
	1-苯乙基醇	6.70	18.40	—	—	
	3,5-二甲氧基苯醇	—	2.90	—	—	
小计		2 241.10	1 130.20	3 511.70	2 599.60	
醛类	壬醛	496.00	295.00	2 531.00	485.40	
	苯甲醛	231.10	257.60	262.20	206.10	
	对苯二甲醛	—	12.20	23.00	15.00	
	4-己烯醛	11.10	13.00	9.40	8.00	
小计		738.30	577.80	2 825.60	714.50	
酮类	4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环庚基]-3-丁烯-2-酮	31.80	37.10	36.60	31.50	
	2-辛酮	200.90	—	179.70	—	
	6-己基-2,2-二甲基-1,3-二恶烷-5-酮	—	27.10	—	—	
	2-壬酮	—	53.90	115.70	—	
	1-氧基-2-甲基丁烯-3-酮	4.30	5.00	—	—	
	小计		236.90	123.10	332.00	31.50
	2-甲氧基-2-氧乙酸酯	—	6.20	—	12.60	
酯类	己酸乙酯	301.40	354.30	361.90	273.80	
	苯酸甲酯	—	20.70	—	11.60	
	苯甲酸乙酯	16.20	17.40	—	—	
	戊二酸二甲酯	13.40	17.40	14.50	6.10	
	丙位辛内酯	—	7.20	—	—	
	2-乙酰氨基戊基乙酸酯	—	6.80	10.30	—	
	乙酸苯乙酯	869.20	1 081.00	737.20	559.90	
	2,4,4-三甲基戊烷-1,3-二基双异丁酸酯	—	89.90	—	—	
	肉豆蔻酸异丙酯	31.10	51.80	29.50	—	

续表 4

种类	化合物	未解冻蒸制	解冻后蒸制	未解冻微波	解冻后微波	
酯类	4-甲氧基苯甲酸甲酯	—	90.60	—	84.20	
	棕榈酸甲酯	—	22.40	—	—	
	邻苯二甲酸二异丁酯	269.20	456.10	250.40	270.10	
	邻苯二甲酸二甲氧乙酯	142.10	235.00	—	147.40	
	小计	1 642.60	2 456.60	1 403.90	1 365.80	
烷烃类	1,1,2,2-四(二异丙基氨基硼基)乙烷	10.80	—	12.70	12.40	
	植烷	—	28.10	—	—	
	正十四烷	127.80	—	—	85.30	
	3,5-二甲基-2-辛烷	73.60	—	—	—	
	正十五烷	—	94.00	—	—	
	正十六烷	43.10	—	52.40	—	
	2,6,10,15-四甲基十七烷	—	38.70	—	—	
	1,3-二苯基丁烷	995.60	2 547.60	478.00	606.40	
	1,4-二苯基丁烷	1 647.50	3 513.60	832.40	983.20	
	小计	2 898.40	6 221.90	1 375.50	1 687.30	
	芳香族类	乙苯	1 109.90	2 359.50	574.40	627.30
		乙烯基苯/苯乙烯	432.70	—	—	334.80
		1,2,3-三甲苯	42.40	—	—	45.80
氰化苯		52.60	—	91.10	52.60	
1-甲氧基-4-(1-E-丙烯基)苯		—	7.20	—	—	
奥甘菊环(环戊环庚烯)		333.00	231.90	308.20	244.30	
1-甲基萘		127.50	224.60	179.10	135.30	
1,6-二甲基萘		—	43.00	—	15.70	
联苯		—	28.30	22.10	—	
苯酚		62.90	77.50	74.30	56.40	
5-苯基-4-氧杂-1-己炔		18.00	—	35.00	—	
2-烯丙基-5-叔丁基对苯二酚		—	8.60	10.30	—	
小计		2 178.80	2 980.50	1 294.40	1 512.10	
酸类	乙酸	1 114.90	1 226.90	976.60	730.20	
	正己酸	53.80	68.00	—	46.00	
	辛酸	—	31.80	—	—	
	正壬酸	—	55.00	32.60	22.70	
	小计	1 168.80	1 381.70	1 009.10	798.90	
其他	1-甲基吡咯	33.50	—	—	41.50	
	吡啶	65.30	57.40	97.70	69.10	
	2,5-二甲基吡嗪	—	73.40	63.20	89.60	
	2,3,5-三甲基吡嗪	46.80	18.10	17.40	19.50	
	3,5-二甲基吡啶	—	105.70	161.90	157.80	
	2-乙基-3,5-二甲基吡嗪	—	5.20	—	—	
	3-甲基苯并咪唑	—	8.10	—	10.10	
	顺/反-2-苄基-5-甲基四氢咪唑	—	5.40	—	—	
	2,3-二氢苯并咪唑	—	17.40	—	—	
	2,3-联吡啶	7.90	9.00	—	8.00	
	小计	153.50	299.70	340.20	395.60	

而酯类、烷烃类、烯烃类和酸类物质总含量更低。河蟹中主要的特征性风味物质为醇类和醛类等,如 1-辛烯-3-醇、壬醛、癸醛、辛醛和戊醛等^[15-16]。

醇类化合物通常是由脂肪氧化分解或还原羰基化合物产生。醇类物质的阈值相对较高,通常对风味贡献较小,但是如果醇类含量较高或者某些阈值较低的不饱和醇也会对风味有一定贡献^[16]。蟹肉中检测出最多的醇类物质为 1-甲氧基-2-丙醇和 2-乙基己醇,二者占醇类总含量的 30.73%~67.49%。相对于解冻后复热组,未解冻组具有更高的 1-甲氧基-2-丙醇含量和更低的 2-乙基己醇含量;相对于蒸制组,微波复热组具有更高的 1-甲氧基-2-丙醇和 2-乙基己醇含量。4 组样品中均检测出特征性风味物质 1-辛烯-3-醇,未解冻蒸制河蟹具有最多的 1-辛烯-3-醇含量,解冻后微波组次之,而解冻后蒸制组最少。

醛类的阈值一般比较低,所以对河蟹的风味有重要作用。河蟹中主要的醛类物质为壬醛,具有玫瑰、柑橘等香气。相对于解冻后复热组,未解冻组具有更高的壬醛含量;相对于蒸制复热组,微波复热组具有更高的壬醛含量。苯甲醛含量次之,4 组样品中苯甲醛含量无显著差异。Zhuang 等^[17]研究发现具有苦杏仁味的苯甲醛是河蟹的主要风味物质之一。

其他类化合物包括呋喃类、吡啶类、吡嗪类和吡咯类,呋喃类化合物的阈值一般较低,且具有肉香味,还能形成其他一些重要的化合物,如吡嗪和吡咯,吡嗪的阈值较低,呈一种坚果香味^[18]。相对于未解冻组,解冻后复热的河蟹具有更多的其他类物质;相对于蒸制组,微波复热的蟹肉具有更高的其他类物质含量。

综上,复热前是否解冻和复热方式对蟹肉的挥发性风味物质有较大影响,未解冻直接复热的河蟹具有较多的挥发性风味物质,可能与热处理时间有关,尽管达到相近的中心温度,但未解冻直接复热样品由于较长的热处理时间,河蟹表面受到的热处理程度较高,形成的风味物质更多;微波复热组具有较多的挥发性风味物质,有助于蟹肉风味的形成。

3 结论

结果表明,相对于未解冻河蟹,解冻后复热的蟹肉复热损失、硬度和咀嚼性较低,游离氨基酸较高含量;与蒸制组相比,微波处理后河蟹具有更高的硬度和咀嚼性以及呈味核苷酸和游离氨基酸含量。复热方式对冻熟河蟹风味有较大影响,解冻后复热可以较好地保留蟹肉中的滋味而未解冻复热可以形成更多的挥发性风味物质,而微波复热河蟹较蒸制组中具有更多滋味和挥发性风味物质,但不同复热方式对蟹肉肉质影响不显著。综上,微波复热不仅可以显著减少复热时间,且河蟹微波复热后具有较好的风味品质,解冻后微波复热品质更优。但是不

同复热方式对河蟹食用品质影响的机制及不同复热方式的组合应用仍有待进一步研究。

参考文献

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020: 24-25.
Fisheries Administration of the Ministry of Agriculture. China fisheries yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020: 24-25.
- [2] MAULVAULT A L, ANACLETO P, LOURENCO H M, et al. Nutritional quality and safety of cooked edible crab (*Cancer Pagurus*) [J]. Food Chemistry, 2012, 133(2): 277-283.
- [3] 刘小莉, 彭欢欢, 葛达娥, 等. 不同冻结储藏方式对河蟹感官品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(8): 1 938-1 943.
LIU Xiao-li, PENG Huan-huan, GE Da-e, et al. Effects of different freezing methods on the sensory quality of crab muscles[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(8): 1 938-1 943.
- [4] 葛孟甜, 李肖婵, 林琳, 等. 不同解冻方式对早熟蟹蟹肉理化性质及挥发性风味物质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(8): 2 181-2 189.
GE Meng-tian, LI Xiao-chan, LIN Lin, et al. Effects of different thawing methods on physico-chemical properties and volatile flavor compounds of precocious crab meat[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(8): 2 181-2 189.
- [5] 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.
FU Na, WANG Xi-chang, TAO Ning-ping, et al. Comparative analysis of free amino acids in four parts of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) processed by steaming and boiling[J]. Food Science, 2013, 34(24): 178-181.
- [6] CHEN De-wei, ZHANG Min. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1 200-1 205.
- [7] 梅卡琳, 宣仕芬, 谭贝贝, 等. 电子束辐照对细点圆趾蟹肉营养及滋味成分的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(8): 169-174.
MEI Ka-lin, XUAN Shi-fen, TAN Bei-bei, et al. Effects of electron beam irradiation on nutritional and taste components of *Ovalipes punctatus* meat[J]. Food Science, 2019, 40(8): 169-174.
- [8] YU Da-wei, XU Yan-shun, REGENSTEIN J M, et al. The effects of edible chitosan-based coatings on flavor quality of raw grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) filets during refrigerated storage[J]. Food Chemistry, 2018, 242: 412-420.
- [9] 邱伟强, 刘冰宣, 陈舜胜, 等. HPLC 法快速测定水产品中游离芳香族氨基酸含量的研究[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(4): 629-633.
QIU Wei-qiang, LIU Bing-xuan, CHEN Shun-sheng, et al. Rapid analysis of free aromatic amino acids in aquatic product by high performance liquid chromatography[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(4): 629-633.

(下转第 31 页)