

微波熟制对小龙虾营养与风味的影响

Study on microwave heating on nutrition and flavor composition of crayfish

徐文思^{1,2,3,4,5} 杨祺福^{1,2,3,4,5} 赵子龙^{1,2,3,4,5} 闫明珠^{1,2,3,4,5}

XU Wen-si^{1,2,3,4,5} YANG Qi-fu^{1,2,3,4,5} ZHAO Zi-long^{1,2,3,4,5} YAN Ming-zhu^{1,2,3,4,5}

吴双庆¹ 王 燕^{1,2,3,4,5} 杨品红^{1,2,3,4,5}

WU Shuang-qing¹ WANG Yan^{1,2,3,4,5} YANG Pin-hong^{1,2,3,4,5}

(1. 湖南文理学院生命与环境科学学院, 湖南 常德 415000; 2. 水产高效健康生产湖南省协同创新中心, 湖南 常德 415000; 3. 环洞庭湖水产健康养殖及加工湖南省重点实验室, 湖南 常德 415000; 4. 水生动物重要疫病分子免疫技术湖南省重点实验室, 湖南 常德 415000; 5. 常德市农业生物大分子研究中心, 湖南 常德 415000)

(1. College of Life and Environmental Sciences, Hunan University of Arts and Science, Changde, Hunan 415000, China; 2. Hunan Provincial Collaborative Innovation Center for Efficient and Health Production of Fisheries, Changde, Hunan 415000, China; 3. Hunan Provincial Key Laboratory for Health Aquaculture and Product Processing in Dongting Lake Area, Changde, Hunan 415000, China; 4. Hunan Provincial Key Laboratory for Molecular Immunity Technology of Aquatic Animal Diseases, Changde, Hunan 415000, China; 5. Changde Research Center for Agricultural Biomacromolecule, Changde, Hunan 415000, China)

摘要:目的:探究微波熟制工艺对小龙虾营养成分与风味成分的影响。方法:以鲜活小龙虾为试验对象,分析未经微波加热及 210,350 W 微波加热 5 min 后的熟制小龙虾肌肉部分的营养成分与风味成分变化。结果:低功率微波加热并未对小龙虾水分含量造成显著影响,而 350 W 微波条件下水分损失显著。干基样品中,不同功率微波处理后灰分无显著变化;总糖和粗脂肪含量呈降低趋势;而随着微波功率的提高,粗蛋白含量呈上升趋势。微波熟制对小龙虾不饱和脂肪酸含量有显著影响;总氨基酸及必需氨基酸含量显著下降,但仍保持较高的营养价值。随着微波功率的提高,小龙虾中的风味成分含量显著降低,如呈鲜、甜味的游离氨基酸与呈味核苷酸,其味道强度值及味精当量值均有明显损失。结论:微波加热熟制工艺在一定程度上会使小龙虾肉质营养有所损失,但可

以接受;而对于小龙虾的鲜香风味与滋味有明显降低趋势,且微波功率越大,风味损失越多。

关键词:小龙虾;微波;脂肪酸;氨基酸;核苷酸;味道强度值

Abstract: **Objective:** The effect of microwave heating on nutrition and flavor composition of crayfish was investigated. **Methods:** After pre-treatment, the nutrition and flavor changes of crayfish without microwave treatment, 210 W microwave and 350 W microwave treatment for 5 min were analyzed respectively. **Results:** The results showed that low power microwave treatment did not significant affect the crayfish water content, which was obvious loss under the condition of 350 W microwave. In dry samples, the microwave power had no significant effect in crude ash, while the total sugar and crude fat was affected with a decrease tendency. However, the microwave power significantly increased the crude protein content. Microwave heating had a significant effect on the unsaturated fatty acids in crayfish, and the contents of total amino acids and essential amino acids decreased with the microwave power increase, with a high nutritional value maintained. With the increase of microwave power, the contents of flavor components in crayfish decreases, such as umami amino acids, sweet amino acids and flavored nucleotides. Both the taste activity value and the equivalent umami concentration were lost obviously. **Conclusion:** Microwave heating treatment can cause

基金项目:湖南省水产产业技术体系建设项目(编号:湘农发[2019]26号);湖南文理学院大学生创新创业训练计划项目(编号:XDC2021031);湖南省教育厅科学研究项目(编号:19C1280,20C1265);湖南文理学院大学生创新性试验计划项目(编号:ZC2001);湖南文理学院博士启动基金(编号:19BSQD05,19BSQD06)

作者简介:徐文思,女,湖南文理学院讲师,博士。

通信作者:杨品红(1964—),男,湖南文理学院教授,博士。

E-mail: yph588@163.com

收稿日期:2021-08-02

the nutrient loss of crayfish, in an acceptable range. However, microwave power can significantly decrease the fresh flavor and taste of crayfish, showing a linear trend.

Keywords: crayfish; microwave; fatty acids; amino acids; nucleotides; taste activity value

小龙虾,学名克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*),是中国水产产业经济的重要组成。近年来,因其肉质鲜美,营养丰富,且口味多样而备受人们喜爱^[1]。小龙虾是高蛋白、低脂肪的优质水产品,不饱和脂肪酸含量丰富,富含多种必需氨基酸^[2]。目前关于小龙虾的熟制加工工艺多集中于蒸煮、烤制、油炸和微波4种处理方式,与其他加热方式相比,微波加热具有加热快、效率高、方便快捷、绿色环保等优点而被广泛应用于小龙虾的热加工^[3]。由于传热介质的不同,不同热加工方式下,虾肉中的大分子物质会发生不同程度变化,从而使其营养与风味不同^[4]。

微波熟制后小龙虾中的水分和质量损失高于水煮熟制工艺的,且加热时间越长损失越多;随着微波加热时间及功率的增加,小龙虾的质量损失和水分流失随之增加,进而影响虾肉的质构、剪切性、挤压损失和口感^[5]。但是对于南美白对虾和南极磷虾而言,微波相对于煮制可以得到更高含量的游离氨基酸、必需氨基酸和鲜甜味氨基酸等滋味^[6]。微波中火加热,干燥速率快,但严重影响了小龙虾的外观和肉的质地,采用中低火,干燥速率相对较慢,但肉的质构得到了很大改善;随着微波时间的增加,小龙虾肉的硬度增大;弹性先显著增大后减小,微波中低火5 min,产品肉质紧密,口感良好^[7]。然而微波处理后的小龙虾,有关其营养与风味的变化研究尚未见报道。研究拟分析微波加热处理后的小龙虾与未经微波处理的小龙虾的营养成分和风味成分,旨在为小龙虾加工方式对其营养品质的变化规律研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

鲜活小龙虾:市售;

盐酸、氢氧化钠、浓硫酸、甲醇、氯化钙、石油醚、苯酚、无水硫酸钠、丙酮等:分析纯,湖南汇虹试剂有限公司;

正己烷、乙腈、二氯甲烷等:色谱纯,上海麦克林生化科技有限公司;

胞苷酸(CMP)、腺苷酸(AMP)、鸟苷酸(GMP)、肌苷酸(IMP)标准品:上海源叶生物科技有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

微波炉:EM7KCGW3-NR型,广东美的厨房电器制造有限公司;

粗脂肪测定仪:SZF-06A型,上海昕瑞仪器仪表有限

公司;

自动凯氏定氮仪:KT8400型,福斯分析仪器有限公司;

气相色谱—质谱仪:7820A GC-5977E MSD型,美国安捷伦科技公司;

超高效液相色谱仪:AcQuity H class型,美国Waters公司。

1.2 方法

1.2.1 原料预处理 小龙虾清洗后,加入适量白醋,浸泡1 h吐沙,洗净后取10只左右的小龙虾,将头部稍微捏碎防止微波处理时虾体胀破,放入大小合适的容器中,分别于微波功率210,350 W下(工作频率2 450 MHz)处理5 min^[7]。冷却后剥壳,可食用部分冻干备用。

1.2.2 基本营养成分分析

(1) 水分:根据GB 5009.3—2016直接干燥法。

(2) 灰分:根据GB 5009.4—2016干法灰化法。

(3) 脂肪:根据GB 5009.6—2016索氏提取法。

(4) 粗蛋白:根据GB 5009.5—2016凯氏定氮法。

(5) 总糖:根据GB/T 9695.31—2008苯酚—硫酸法。

1.2.3 总氨基酸含量测定 根据文献[1]。

1.2.4 脂肪酸含量测定 根据文献[8]。

1.2.5 游离氨基酸含量测定 根据文献[1]。

1.2.6 呈味核苷酸含量测定 根据GB 5413.40—2016。

1.2.7 味精当量(EUC)测定 根据文献[9]。

1.2.8 数据处理 使用SPSS 25.0软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),字母不同表示差异显著($P < 0.05$),所有试验平行3次。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分

由表1可知,未经处理的小龙虾水分含量与210 W微波处理的无明显区别,但350 W微波处理的小龙虾水分含量与前两者均存在显著差异,说明低功率微波处理对小龙虾水分含量并无明显影响。灰分含量无明显变化,说明微波高温加热未对小龙虾肉中的矿物质等成分造成损失;随着微波功率的增大,粗脂肪和总糖含量显著减少,而粗蛋白含量增加。粗蛋白一般是指一些含氮化合物,微波功率增大后,可能使一些非蛋白含氮化合物有所增加;也可能由于电磁波高频作用导致蛋白质结构变化、变性及聚集行为发生改变^[10],微波加热对蛋白质结构的破坏较为严重^[11],微波功率大会导致水溶性蛋白溶出而易被检出。

2.2 总氨基酸组成分析

由表2可知,小龙虾中共检出18种氨基酸。未处理与210,350 W微波处理后小龙虾肌肉中氨基酸含量分别为(1 665.84 ± 42.45), (1 528.85 ± 21.71), (1 474.54 ±

3.40) mg/g。其中必需氨基酸分别占氨基酸总量的 69.73%,70.16%,64.84%。无论是氨基酸总量还是必需氨基酸含量,350 W 微波处理的均有损失的趋势。研究^[1]表明,优质蛋白质其 EAA/TAA 值为 40%左右,EAA/NEAA 值为 60%左右。小龙虾经微波熟制后,其 EAA/TAA 值和 EAA/NEAA 值分别为 65%,185%。综上,小龙虾本身肉质氨基酸种类齐全,微波熟制后的虾肉仍可保留丰富的营养成分,微波加热处理并未对氨基酸造成严重影响。

由表 3 可知,不同微波功率下熟制后的小龙虾中必需氨基酸评分均高于 FAO/WHO 建议的氨基酸参考值,

其中评分最高的是赖氨酸。必需氨基酸的 AAS>1,说明必需氨基酸均衡性佳,是一种优质全面的蛋白质^[1]。随着微波功率的增大,必需氨基酸含量有显著损失,所以 350 W 微波熟制后小龙虾的氨基酸评分显著降低,但仍高于氨基酸参考值,因此该熟制工艺导致的必需氨基酸的损失是可以接受的。

2.3 脂肪酸组成分析

由表 4 可知,小龙虾中共检出 22 种脂肪酸,其中 14 种脂肪酸在所有样品中均有检出。不同微波功率下,同种脂肪酸含量的变化规律也不尽相同(C_{18:1n7}、C_{22:1n11} 损失;C_{18:1n9}、C_{20:2n6}、C_{22:4n6} 生成;C_{19:1n9}、C_{19:0}、C_{22:5n3} 低微波

表 1 微波熟制小龙虾基本营养成分

Table 1 Basic nutrient components of crayfish treated by microwave %

组别	灰分	粗蛋白	粗脂肪	总糖
未微波	10.05±2.48	85.60±2.48 ^a	18.73±0.64 ^c	3.95±0.23 ^b
210 W 微波	10.81±0.08	91.29±2.30 ^b	15.09±0.29 ^b	1.31±0.15 ^a
350 W 微波	10.86±1.83	93.82±0.71 ^b	10.30±0.29 ^a	1.20±0.05 ^a

表 2 微波熟制小龙虾总氨基酸组成分析[†]

Table 2 Analysis of total amino acids composition of crayfish treated by microwave mg/g

氨基酸	未微波	210 W 微波	350 W 微波
天冬氨酸(Asp)	85.04±1.90 ^b	79.41±1.69 ^a	76.89±0.56 ^a
谷氨酸(Glu)	135.10±4.04 ^c	123.33±1.93 ^b	116.41±0.24 ^a
丝氨酸(Ser)	37.40±1.11 ^b	34.07±0.51 ^a	32.61±0.35 ^a
精氨酸(Arg)	101.04±2.68 ^b	88.44±2.00 ^a	84.69±0.65 ^a
甘氨酸(Gly)	37.98±0.81 ^c	33.08±0.61 ^a	35.01±0.46 ^b
苏氨酸(Thr)	32.93±0.74 ^b	31.13±0.24 ^a	30.40±0.38 ^a
脯氨酸(Pro)	25.07±0.30 ^c	23.92±0.42 ^b	23.05±0.16 ^a
丙氨酸(Ala)	45.85±1.61 ^b	41.12±0.42 ^a	41.95±0.46 ^a
缬氨酸(Val)	37.80±1.03 ^b	35.79±0.69 ^a	35.23±0.54 ^a
甲硫氨酸(Met)	12.32±0.79 ^c	8.65±0.10 ^b	6.55±0.88 ^a
半胱氨酸(Cys)	2.40±0.34 ^a	2.52±0.06 ^a	2.33±0.04 ^a
异亮氨酸(Ile)	39.47±0.83 ^b	36.82±0.40 ^a	35.87±0.04 ^a
亮氨酸(Leu)	61.58±1.56 ^c	57.27±0.54 ^b	55.07±0.75 ^a
色氨酸(Trp)	6.56±0.29 ^b	3.54±0.13 ^a	7.03±0.18 ^c
苯丙氨酸(Phe)	111.75±2.62 ^c	102.78±1.37 ^b	30.14±0.74 ^a
组氨酸(His)	1.38±0.09 ^a	1.37±0.04 ^a	77.55±1.07 ^b
赖氨酸(Lys)	860.16±21.54 ^c	796.72±10.71 ^b	756.13±7.99 ^a
酪氨酸(Tyr)	32.02±1.18 ^b	28.90±0.42 ^a	27.63±0.07 ^a
必需氨基酸(EAA)	1 162.57±28.86 ^c	1 072.69±13.74 ^b	956.42±5.96 ^a
非必需氨基酸(NEAA)	503.27±13.70 ^b	456.16±8.13 ^a	518.12±2.57 ^b
氨基酸总量(TAA)	1 665.84±42.45 ^c	1 528.85±21.71 ^b	1 474.54±3.40 ^a
EAA/TAA	69.79±0.10 ^b	70.16±0.13 ^c	64.86±0.25 ^a
EAA/NEAA	231.01±1.09 ^b	235.18±1.47 ^c	184.60±2.06 ^a

[†] 必需氨基酸为 Thr、Val、Met、Ile、Leu、Trp、Phe、Lys 总和。

功率消失,高微波功率生成),而影响脂肪酸含量的因素较多,高频或高温加热可能影响直链脂肪酸结构的变化,同时其他脂肪酸前体物质也会转变成新的脂肪酸结构。微波熟制对小龙虾中饱和脂肪酸(SFA)含量无显著影响;210 W 微波下的单不饱和脂肪酸(MUPA)和多不

饱和脂肪酸(PUFA)均无显著变化,而 350 W 熟制后 MUPA 降低,PUFA 升高。微波处理可能会引起脂肪酸发生不同程度的化学反应,含有碳碳双键的 MUFA 和 PUFA 稳定性不及 SFA,但 SFA : MUFA : PUFA 仍基本保持在 1 : 1 : 1。PUFA 是人体所需的必需脂肪酸,其在降血脂、改善血液循环、抑制血小板凝集、阻抑动脉粥样硬化斑块和血栓形成,心脑血管病等方面有着很好的作用^[13]。PUFA 中,均检测到了 ω -6 系列的亚油酸(LA)、花生四烯酸(ARA)和 DHA($C_{22,6n6}$), ω -3 系列的 EPA($C_{20,5n3}$),除了亚油酸受微波功率影响显著降低外,花生四烯酸、DHA 和 EPA 含量在 350 W 下升高。虽然高功率微波对脂肪酸有一定影响,但整体脂肪酸组成变化却在可接受程度内。

2.4 游离氨基酸分析

由表 5 可知,小龙虾中共检出 18 种游离氨基酸,随着微波功率的增大,小龙虾中游离氨基酸总含量显著降低;呈鲜、甜味氨基酸含量也明显下降。鲜甜味氨基酸会使小龙虾呈现独特的味道,说明微波处理会明显影响小龙虾的口味。味道强度值(TAV)代表呈味物质在食品中的含量与其味道阈值的比值,呈味物质的 TAV>1,说明该呈味物质对食品的滋味有显著贡献,值越高,贡献越大,<1 时贡献较小^[14-15]。Asp、Glu、Arg、Gly、Thr、Ala 等呈鲜、甜味游离氨基酸的 TAV 值均随微波功率的增大而降低,说明滋味也明显减弱。同理,克氏原螯虾经蒸制 10 min 后,虾尾肌肉中的 Gly、Thr 含量下降,总体甜味变淡^[16]。

2.5 呈味核苷酸分析

由表 6 可知,随着微波功率的增大,CMP、GMP、IMP 和 AMP 4 种游离核苷酸及其总量均显著下降。微波加热功率越大,对小龙虾中的 IMP、GMP 和 AMP 含量影响越大。GMP 的 TAV 值也由未微波的 1.61 逐渐降低至 0.47,AMP 的 TAV 值虽然>1,但 350 W 微波加热后也明显减小,说明微波加热处理对小龙虾呈味核苷酸的影响较大。呈味核苷酸与其他鲜味剂混合后,鲜味可提高数 10 倍,具有一定的协同增效作用,可降低鲜味阈值^[9]。GMP、IMP 的鲜味阈值分别为 12.5,25.0,等量混合后,鲜味阈值降为 6.3。而谷氨酸钠分别与 IMP、GMP 按 1 : 1 混合使用时鲜味强度分别增大了 8,30 倍^[19]。此外,呈味核苷酸对甜味、肉味、醇厚感有增效作用,对酸味、苦味、腥味、焦味等不良风味有掩盖或抑制作用^[20]。

2.6 鲜味强度分析

由表 7 可知,未微波及 210,350 W 微波熟制后小龙虾肌肉的鲜味强度分别为 1.47,0.23,0.16 g MSG/100 g,微波加热后小龙虾肌肉中的 EUC 当量值显著降低,说明微波加热处理对小龙虾的鲜味滋味影响较大,与 TAV 的结果一致。

表 3 微波熟制的小龙虾必需氨基酸评分

Table 3 Amino acid scores of crayfish treated by microwave mg/g Pro

氨基酸	未微波	210 W 微波	350 W 微波	参考值 ^[12]
Thr	104 ^b	101 ^b	95 ^a	34
Val	116 ^b	113 ^b	107 ^a	35
Met+Cys	63 ^c	49 ^b	38 ^a	25
Ile	151 ^c	145 ^b	137 ^a	28
Leu	100 ^c	96 ^b	89 ^a	66
Phe+Tyr	245 ^c	231 ^b	98 ^a	63
Lys	1 591 ^c	1 519 ^b	1 390 ^a	58

表 4 微波熟制小龙虾脂肪酸组成分析[†]

Table 4 Analysis of fatty acids of crayfish treated by microwave %

脂肪酸	未微波	210 W 微波	350 W 微波
C _{14:0}	0.49±0.01 ^a	0.53±0.08 ^a	0.45±0.03 ^a
C _{15:0}	1.47±0.05 ^a	1.08±0.24 ^a	1.15±0.14 ^a
C _{16:1n7}	6.63±0.69 ^b	4.22±0.54 ^a	3.91±0.29 ^a
C _{16:1n5}	0.71±0.05 ^a	0.63±0.01 ^a	0.65±0.03 ^a
C _{16:0}	13.72±0.38 ^a	13.49±0.95 ^a	12.20±0.95 ^a
C _{17:1n7}	0.77±0.04 ^b	0.57±0.04 ^a	0.71±0.11 ^b
C _{17:0}	1.63±0.18 ^a	2.05±0.21 ^b	2.46±0.23 ^b
C _{18:2n6} (LA)	15.28±0.57 ^b	11.97±0.00 ^a	11.57±0.23 ^a
C _{18:1n5}	27.25±0.48 ^a	27.71±1.22 ^a	25.38±2.28 ^a
C _{18:1n7}	3.23±0.22	0.51±0.01	—
C _{18:1n9}	—	4.48±0.05	3.85±0.10
C _{18:0}	7.80±0.97 ^a	8.87±0.66 ^a	9.14±0.76 ^a
C _{19:1n9}	0.45±0.05	—	0.38±0.01
C _{19:0}	0.49±0.10	—	0.47±0.07
C _{20:4n6} (ARA)	8.19±0.36 ^a	13.67±1.54 ^b	14.21±1.81 ^b
C _{20:5n3} (EPA)	7.31±0.12 ^a	10.27±2.12 ^{ab}	11.90±1.86 ^b
C _{20:2n6}	—	1.48±0.09	1.52±0.32
C _{22:5n6}	0.76±0.08 ^a	1.04±0.01 ^b	0.95±0.12 ^b
C _{22:6n6} (DHA)	2.77±0.07 ^a	2.95±0.25 ^a	3.99±0.46 ^b
C _{22:4n6}	—	0.45±0.00	0.40±0.05
C _{22:5n3}	0.38±0.15	—	0.54±0.08
C _{22:1n11}	0.64±0.19	—	—
ΣSFA	25.61±1.13 ^a	26.03±0.40 ^a	25.87±1.67 ^a
ΣMUFA	39.70±0.95 ^b	38.13±1.77 ^b	33.60±0.82 ^a
ΣPUFA	34.69±0.37 ^a	35.84±2.17 ^a	40.53±2.46 ^b

[†] “—”表示未检测到。

3 结论

试验表明,营养成分方面,水分在 210 W 微波 5 min 后无显著变化,在 350 W 时显著降低;高频率微波会使水分含量降低,一定程度上延长食品的货架期,但同时也会

影响食物的口感;灰分在微波处理后未发生显著变化;粗脂肪和总糖含量在微波处理后显著下降;粗蛋白含量却升高,脂肪和蛋白质是动物源食品中重要的风味前体物质。饱和脂肪酸在微波加热后有明显变化;必需氨基酸

表 5 微波熟制小龙虾游离氨基酸分析[†]
Table 5 Analysis of free amino acids of crayfish treated by microwave

氨基酸	游离氨基酸/(mg·g ⁻¹)			味道阈值/ (mg·g ⁻¹) ^[17-18]	TAV		
	未微波	210 W 微波	350 W 微波		未微波	210 W 微波	350 W 微波
天冬氨酸(Asp)	0.036±0.000 ^c	0.008±0.000 ^b	0.001±0.000 ^a	1.0	0.04	0.01	0.00
谷氨酸(Glu)	0.155±0.001 ^c	0.044±0.000 ^a	0.046±0.000 ^b	0.3	0.52	0.15	0.15
丝氨酸(Ser)	0.777±0.002 ^c	0.288±0.002 ^b	0.111±0.000 ^a	1.5	0.52	0.19	0.07
精氨酸(Arg)	0.474±0.001 ^b	0.702±0.002 ^c	0.192±0.002 ^a	0.5	0.95	1.40	0.38
甘氨酸(Gly)	0.476±0.002 ^c	0.024±0.000 ^b	0.019±0.000 ^a	1.3	0.37	0.02	0.01
苏氨酸(Thr)	0.079±0.000 ^c	0.019±0.000 ^a	0.058±0.000 ^b	2.6	0.03	0.01	0.02
脯氨酸(Pro)	0.169±0.001 ^c	0.095±0.000 ^b	0.076±0.001 ^a	3.0	0.06	0.03	0.03
丙氨酸(Ala)	0.410±0.002 ^c	0.217±0.000 ^b	0.111±0.001 ^a	0.6	0.68	0.36	0.18
缬氨酸(Val)	0.134±0.003 ^c	0.011±0.000 ^b	0.004±0.000 ^a	0.4	0.34	0.03	0.01
甲硫氨酸(Met)	0.005±0.000 ^a	0.096±0.000 ^c	0.067±0.003 ^b	0.3	0.02	0.32	0.22
半胱氨酸(Cys)	0.064±0.000 ^c	0.019±0.000 ^a	0.028±0.000 ^b	/	/	/	/
异亮氨酸(Ile)	0.078±0.000 ^c	0.032±0.000 ^a	0.033±0.000 ^b	0.9	0.09	0.04	0.04
亮氨酸(Leu)	0.123±0.000 ^c	0.044±0.000 ^a	0.047±0.001 ^b	1.9	0.06	0.02	0.02
色氨酸(Trp)	0.067±0.000 ^c	0.038±0.000 ^a	0.042±0.000 ^b	0.9	0.07	0.04	0.05
苯丙氨酸(Phe)	0.208±0.001 ^c	0.076±0.000 ^b	0.035±0.001 ^a	0.9	0.23	0.08	0.04
组氨酸(His)	0.160±0.006 ^c	0.106±0.000 ^b	0.051±0.002 ^a	0.2	0.80	0.53	0.25
赖氨酸(Lys)	0.896±0.040 ^b	0.813±0.012 ^a	1.408±0.015 ^c	0.5	1.79	1.63	2.82
酪氨酸(Tyr)	0.106±0.008 ^a	0.064±0.013 ^a	0.085±0.015 ^a	2.6	0.04	0.02	0.03
总游离氨基酸(FAA)	4.416±0.069 ^c	2.695±0.001 ^b	2.414±0.042 ^a	/	/	/	/
甜味氨基酸(SAA)	1.910±0.007 ^c	0.644±0.002 ^b	0.375±0.003 ^a	/	/	/	/
鲜味氨基酸(UAA)	0.192±0.001 ^c	0.051±0.000 ^b	0.047±0.000 ^a	/	/	/	/

[†] 鲜味氨基酸为 Asp 和 Glu;甜味氨基酸为 Ser、Gly、Thr、Ala。

表 6 微波熟制小龙虾呈味核苷酸分析
Table 6 Analysis of nucleotides of crayfish treated by microwave

游离核苷酸	核苷酸/(10 ⁻² mg·g ⁻¹)			味道阈值/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹) ^[17-18]	TAV		
	未微波	210 W 微波	350 W 微波		未微波	210 W 微波	350 W 微波
CMP	6.29±0.00 ^b	2.82±0.48 ^a	3.84±0.83 ^a	/	/	/	/
GMP	20.13±1.98 ^c	8.69±0.97 ^b	5.83±1.14 ^a	12.5	1.61	0.70	0.47
IMP	7.96±0.49 ^b	1.67±0.83 ^a	1.27±0.11 ^a	25.0	0.32	0.07	0.05
AMP	117.87±5.83 ^b	115.06±4.17 ^b	70.46±8.68 ^a	50.0	2.36	2.30	1.41
总量	152.26±4.98 ^c	128.23±3.94 ^b	81.40±9.29 ^a	/	/	/	/

表 7 微波熟制小龙虾鲜味强度分析
Table 7 Analysis of umami intensity of crayfish treated by microwave

组别	Asp/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	Glu/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	GMP/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	IMP/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	AMP/ (10 ⁻² g·g ⁻¹)	EUC/ (10 ⁻² g MSG·g ⁻¹)
未微波	0.003 6	0.015 5	0.020 1	0.008 0	0.117 9	1.47 ^c
210 W 微波	0.000 8	0.004 4	0.008 7	0.001 7	0.115 1	0.23 ^b
350 W 微波	0.000 1	0.004 6	0.005 8	0.001 3	0.070 5	0.16 ^a

含量在微波处理后显著降低,但必需氨基酸评分仍在氨基酸参考值以上,仍保留较高的营养价值。风味成分方面,微波加热处理使小龙虾肉中令人愉悦的鲜、甜味氨基酸含量和呈味核苷酸含量显著降低,其味道强度值和味精当量也随微波功率的增大而减小。所以微波加热处理一定程度上会显著影响小龙虾的风味及口感,但营养成分并无显著损失,在可接受范围内。微波加热技术在小龙虾加工过程的应用具有一定的潜力,除了营养与风味外,微波小龙虾的品质指标如色泽、质构、口感等方面要优于其他加工方式,后续将进一步对其品质变化规律进行探究。

参考文献

- [1] 徐文思, 胡诗雨, 邓娟丽, 等. 小龙虾加工水煮液营养成分与风味物质分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(14): 279-286.
XU Wen-si, HU Shi-yu, DENG Juan-li, et al. Analysis of nutrient composition and flavor compounds in boiled crayfish liquid[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(14): 279-286.
- [2] 吴晨燕, 王晓艳, 王洋, 等. 熟制麻辣小龙虾冷藏和冻藏条件下的品质变化[J]. 肉类研究, 2018, 32(5): 52-56.
WU Chen-yan, WANG Xiao-yan, WANG Yang, et al. Quality change of cooked spicy crayfish during refrigerated and frozen storage[J]. Meat Research, 2018, 32(5): 52-56.
- [3] 王冰冰. 虾肉糜的微波加热特性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016: 1-60.
WANG Bing-bing. Microwave heating characteristics of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) surimi[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016: 1-60.
- [4] 于小番, 袁亚明, 叶宇, 等. 不同热处理方式下虾肉品质和蛋白质结构变化的差异[J]. 现代食品科技, 2021, 37(5): 160-168.
YU Xiao-fan, YUAN Ya-ming, YE Yu, et al. Effect of cooking shrimp at different temperatures using different methods on meat quality and protein structure[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(5): 160-168.
- [5] 范海龙, 朱华平, 范大明, 等. 微波加热对小龙虾品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 8-16.
FANG Hai-long, ZHU Hua-ping, FAN Da-ming, et al. Effects of microwave heating on the quality of crayfish[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(18): 8-16.
- [6] 姜慧娟, 张瑞娟, 焦阳, 等. 加热方式对南美白对虾和南极磷虾虾肉糜中的游离氨基酸含量的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 241-248.
JIANG Hui-xian, ZHANG Rui-juan, JIAO Yang, et al. Effects of different heating methods on the contents of free amino acids in minced shrimp of *Penaeus vannamei* and *Euphausia superba*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 241-248.
- [7] 郭力, 过世东, 刘海英. 盐煮和微波加热对即食龙虾质构的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2011, 30(3): 376-380.
GUO Li, GUO Shi-dong, LIU Hai-ying. Effect of microwave heating and salt cooking on texture of ready-to-eat product of crayfish[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2011, 30(3): 376-380.
- [8] MA Rui, LIU Xiao-hong, TIAN Hai-ning, et al. Odor-active volatile compounds profile of triploid rainbow trout with different marketable sizes[J]. Aquaculture Reports, 2020(17): 1-7.
- [9] 刘胜男, 刘云锋, 曹荣, 等. 加工方式对玉筋鱼干风味的影响[J/OL]. 食品科学. (2021-02-05) [2021-08-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210205.1637.059.html>.
LIU Sheng-nan, LIU Yun-feng, CAO Rong, et al. The effect of processing methods on the flavor of dried *Ammodytes personatus*[J]. Food Science. (2021-02-05) [2021-08-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210205.1637.059.html>.
- [10] 汪媛, 张立彦, 吴利芬, 等. 微波加热对肌球蛋白理化特性的影响[J]. 食品工业, 2019, 40(3): 191-196.
WANG Yuan, ZHANG Li-yan, WU Li-fen, et al. Effect of microwave heating on physico-chemical characteristics of myosin[J]. The Food Industry, 2019, 40(3): 191-196.
- [11] 刘书成, 张良, 吉宏武, 等. 高密度 CO₂ 与热处理对凡纳滨对虾肉品质的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(10): 1 542-1 550.
LIU Shu-cheng, ZHANG Liang, JI Hong-wu, et al. Effects of dense phase carbon dioxide and heat treatment on shrimp (*Litopenaeus vannamei*) meat qualities[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(10): 1 542-1 550.
- [12] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013: 129-258.
Chinese Nutrition Society. Chinese dietary reference intakes, DRIs[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2013: 129-258.
- [13] 王广军, 孙悦, 郁二蒙, 等. 澳洲淡水龙虾与克氏原螯虾肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 动物营养学报, 2019, 31(9): 4 339-4 348.
WANG Guang-jun, SUN Yue, YU Er-meng, et al. Analysis and quality evaluation of nutrient components in muscle of *Cherax quadricarinatus* and *Procambarus clarkia*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(9): 4 339-4 348.
- [14] 卜俊芝, 戴志远, 李燕, 等. 细点圆趾蟹加工水煮液的营养成分及风味物质分析[J]. 中国食品学报, 2013, 13(9): 207-216.
BU Jun-zhi, DAI Zhi-yuan, LI Yan, et al. Analysis of nutritional and flavor compounds in crab boiled liquid[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(9): 207-216.
- [15] 赵樑, 吴娜, 王锡昌, 等. 不同生长阶段中华绒螯蟹滋味成分差异研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(7): 261-269.
ZHAO Liang, WU Na, WANG Xi-chang, et al. Comparison of the flavor components of Chinese mitten crab at different growth stages[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(7): 261-269.

(下转第 227 页)