

微波复热对竹笋鸡汤品质的影响

赵培静¹, 冯浩森², 李湘璠^{2*}, 蓝碧峰³, 董浩², 白卫东^{2*}

- (1. 广东省华微检测股份有限公司, 广州 510663; 2. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 岭南特色食品绿色加工与智能制造重点实验室, 现代农业工程创新研究院, 广州 510225; 3. 广州辐锐高能技术有限公司, 广东省工业钴-60 伽玛射线应用工程技术研究中心, 广州 511458)

摘要: **目的** 探究微波复热对竹笋鸡汤品质的影响。**方法** 采用不同微波功率(300、500 和 700 W)对竹笋鸡汤进行复热处理, 通过分析竹笋鸡汤水溶性蛋白质、脂肪、游离氨基酸含量和挥发性风味物质, 探究微波复热后竹笋鸡汤品质差异。**结果** 随着微波功率增加, 700 W 处理下水溶性蛋白质含量和脂肪含量最高。300 W 组的总游离氨基酸含量和鲜味氨基酸显著高于 700 W 和 500 W 组, 并且其谷氨酸和丙氨酸味觉活性值(taste active value, TAV)最大。随着微波功率的增加, 竹笋鸡汤中挥发性风味物质总量和醛类总量呈现逐渐下降趋势; 醇类和酮类物质总量先增加后下降, 在 500 W 功率时达到最高值。**结论** 综合各项指标, 采用 300 W 微波复热后的竹笋鸡汤品质更佳。该研究为预制汤品的复热工艺提供了理论指导。

关键词: 竹笋鸡汤; 微波复热; 风味; 游离氨基酸

Effects of microwave reheating on the quality of chicken soup with bamboo shoots

ZHAO Pei-Jing¹, FENG Hao-Sen², LI Xiang-Luan^{2*}, LAN Bi-Feng³, DONG Hao², BAI Wei-Dong^{2*}

[1. Guangdong Huawei Testing Co., Ltd., Guangzhou 510663, China; 2. Academy of Contemporary Agricultural Engineering Innovations, Key Laboratory of Green Processing and Intelligent Manufacturing of Lingnan Specialty Food, Ministry of Agriculture, Guangdong Provincial Key Laboratory of Lingnan Specialty Food Science and Technology, College of Light Industry and Food Sciences, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 3. Guangzhou Furui Energy Technology Co., Ltd., Guangdong Industrial-(60)Co Gamma Ray Application Engineering Technology Research Center, Guangzhou 511458, China]

ABSTRACT: Objective To explore the effects of microwave reheating on the quality of chicken soup with bamboo shoots. **Methods** The chicken soup with bamboo shoots were reheated with different microwave powers (300, 500 and 700 W), and water-soluble protein, fat, free amino acid content and volatile flavor substances of chicken soup with bamboo shoots were analyzed to explore the quality difference between chicken soup with bamboo shoots after microwave reheating. **Results** With the increase of microwave power, the content of water-soluble protein and fat were the highest under 700 W treatment. The content of total free amino acids and umami amino acids in the 300 W group was significantly higher than those in the 700 W and 500 W group, and the taste active value

基金项目: 广东省驻镇帮镇扶村农村科技特派员项目(KTP20210383、KTP20210224)

Fund: Supported by the Guangdong Province Rural Science and Technology Commissioner Project (KTP20210383, KTP20210224)

***通信作者:** 李湘璠, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为食品加工和风味。E-mail: leexiangluan@163.com

白卫东, 博士, 教授, 主要研究方向为食品风味化学。E-mail: weidong_bai2010@163.com

***Corresponding author:** LI Xiang-Luan, Master, Assistant Professor, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, No.24, Dongsha Street, Haizhu District, Guangzhou 510225, China. E-mail: leexiangluan@163.com

BAI Wei-Dong, Ph.D, Professor, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, No.24, Dongsha Street, Haizhu District, Guangzhou 510225, China. E-mail: weidong_bai2010@163.com

(TAV) of glutamate and alanine was the highest. With the increase of microwave power, the total amount of volatile flavor substances and the total amount of aldehydes in chicken soup with bamboo shoot showed a decreasing trend. The total amount of alcohols and ketones increased first and then decreased, reaching the highest value at 500 W power. **Conclusion** Based on various indicators, the quality of chicken soup with bamboo shoots after 300 W microwave reheating is better. This study provides theoretical guidance for reheating process of prepared soup.

KEY WORDS: chicken soup with bamboo shoots; microwave reheating; flavor; free amino acid

0 引言

汤是中餐不可缺少的食品,而鸡汤因其风味独特,深受消费者喜爱。炖煮过程中,鸡肉中优质蛋白、功能肽、呈味肽、呈味核苷酸、游离氨基酸等营养成分和风味物质可充分溶解于汤中,使鸡汤美味可口,易于消化吸收^[1-2]。竹笋清甜鲜美、口感爽脆,富含蛋白质、氨基酸、纤维素和矿物质等营养物质^[3],其具有多种生理功能,如调节血糖、改善肠道功能和提高免疫力等^[4-5]。鸡汤中添加竹笋对其品质和风味物质形成具有较好促进作用。

随着懒人经济的发展,营养方便的预制汤品已经成为消费者的新选择。竹笋鸡汤在食用前,必须进行复热,同时起到二次杀菌的作用。微波、煮制、烤制是常用的加热方式,并且广泛应用于商业加工和食品服务业中加热肉类菜肴^[6],其中微波复热具有快速复热、绿色环保等优点,被广泛应用到预制菜中。复热过程中,食品中小分子吸收微波,分子间剧烈碰撞而产生热能,而不同微波功率会造成不同程度的分子碰撞,导致热能有所不同。因此,对竹笋鸡汤组分的变化存在差异,风味和质地方面也具有一定影响。陈臣^[7]研究不同微波功率对预制千层饼品质的影响,结果表明低、中低、中功率复热千层饼在温度均匀性、水分保持、硬度一致性、感官评价上都优于中高功率和高功率;徐文思等^[8]研究微波工艺对小龙虾营养和风味成分的影响,表明随着微波功率的提高,小龙虾的水分含量无明显变化,但氨基酸和风味含量降低;LI 等^[9]研究微波、蒸汽、明火和沸煮复热方式对马铃薯红烧牛肉品质的影响,发现明火和沸煮可较好保持牛肉、土豆和汤的原有气味,而微波复热使牛肉中的醇类、醛类和酯类减少且蒸汽复热使汤中的酯类减少;LUO 等^[10]研究不同再加热方式(微波、水煮、蒸煮、油炸)对鱼糜凝胶风味的影响,并且发现油炸表现出最独特的鱼糜香气特征,以及微波能更好地保持鱼糜凝胶原有的气味和口感特征。然而,现有文献仅针对不同复热工艺研究,而对不同微波功率复热间竹笋鸡汤的品质差异研究鲜有报道。

因此,本研究探究不同微波功率(300、500、700 W)对复热竹笋鸡汤的营养成分和风味的影响,分析各组间蛋白质含量、脂肪含量、游离氨基酸含量和挥发性风味物质含量间的差异,以期作为竹笋鸡汤的复热方式选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

竹笋、鸡肉、食用盐、香葱、黄姜、花椒粉和 400 mL 陶瓷炖盅购于广州美团自营型超市。

考马斯亮蓝 G-250(分析纯,合肥 Biosharp 公司);牛血清白蛋白(分析纯,上海源叶生物科技有限公司);磺基水杨酸(分析纯,福晨化学试剂有限公司);2-辛醇(分析纯,德国 Dr.Ehrenstorfer 公司);乙醇(分析纯,天津市永大化学试剂有限公司);乙醚、浓盐酸(分析纯,广州化学试剂厂);磷酸(分析纯,成都金山化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

PRACTUM224-1CN 电子天平[精度 0.0001 g,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司];HWS-12 电热恒温水浴锅、DNG-9023A 电热恒温鼓风干燥箱(海一恒科学仪器有限公司);LA8080 高速氨基酸分析仪[本科学仪器(北京)有限公司];890/5977B 型气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent 科技有限公司);DB-WAX 毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm,海元析仪器有限公司);AAB-57318 CAR/PDMS 萃取纤维、57330-USPME 手动进样手柄(美国 Supelco 公司);85-2 数显控温磁力搅拌器(常州市金坛大地自动化仪器厂);X3-233A 微波炉(美的集团股份有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

参考来静等^[11]制备方法并进行适当修改。取 100 g 竹笋切块,用冷水浸泡 15 min 后,置于 100℃温水中漂烫 20 s,备用。将 66 g 鸡肉、1 g 姜片、100 g 竹笋和 230 g 水放入 400 mL 陶瓷炖盅中,炖煮制 25 min,加入 0.8 g 盐和 0.25 g 花椒粉后煮制 5 min。然后将竹笋鸡汤进行罐装,90℃水浴排气 10 min 后封罐,121℃高温蒸汽杀菌 20 min,快速冷却至室温后放入冰箱 4℃冷藏 3 d。按相同的方法煮制 4 份(1 份无需复热作对照、其他 3 份用于微波复热功率分别为:300、500、700 W)。

分别取上述 3 份竹笋鸡汤置于 400 mL 陶瓷炖盅中,随后分别置于微波功率为 300、500、700 W 的微波炉中进行复热处理,直至汤汁中心温度为 80℃(温度计测定中心温度),取中间层无油、无杂汤液冷藏备用。1 份不进行复

热处理作为后续实验的对照组。

1.3.2 粗脂肪的测定

根据 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的酸水解法对竹笋鸡汤的脂肪含量进行检测。

1.3.3 水溶性蛋白质的测定

采用考马斯亮蓝法测定^[12]。将 100 mg 考马斯亮蓝 G-250 加入 50 mL 90%vol 乙醇中溶解, 加入 100 mL 85% 的磷酸, 再用蒸馏水稀释至 1000 mL。经过滤后, 将滤液装在棕色试剂瓶中避光保存。将每组竹笋鸡汤用纱布过滤, 取上层油脂, 以 5000 r/min 离心 10 min, 将 1 mL 上清液和 5 mL 考马斯亮蓝试剂均匀混合后, 静置 10 min。在波长 595 nm 处测定吸光度值, 同时以试剂空白为对照。以牛血清白蛋白标准溶液(0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 mg/mL)作为横坐标, 以吸光度值为纵坐标, 绘制标准曲线。

1.3.4 游离氨基酸含量的测定

取 2 mL 竹笋鸡汤, 加入 2 mL 浓度为 8% 磺基水杨酸, 超声 10 min, 在 4℃ 下, 以 10000 r/min 离心 10 min, 取上清液。再将上清液经过 0.45 μm 的水相滤膜, 取过膜后的样品 1 mL 置于进样瓶中, 通过自动氨基酸分析仪进行测定。

味觉活度值(taste active value, TAV)的计算如公式(1):

$$TAV = \frac{C_1}{C_2} \quad (1)$$

式中: C_1 为呈味化合物的含量, mg/100 g; C_2 为呈味化合物的滋味阈值, mg/100 g。

1.3.5 挥发性风味物质的测定

先将萃取头[75 μm 聚二甲基硅氧烷(CAR/PDMS)]在进样口于 250℃ 下老化 10 min 至无杂峰。分别取 8 mL 竹笋鸡汤样品置于 15 mL 顶空瓶中, 加入 2.5 g NaCl, 再加 10 μL 2-辛醇(质量浓度为 10 mg/L)密封, 50℃ 下平衡 20 min。将萃取头插入顶空瓶中, 吸附 40 min 后取回, 再将萃取头插入 GC-MS 进样口, 于 250℃ 解析 5 min。

GC 条件: DB-WAX 柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)。40℃ 保持 3 min, 然后以 5℃/min 上升至 90℃, 再以 10℃/min 上升至 230℃, 保持 7 min。以氦气为载气, 流速为 0.8 mL/min。

MS 条件: 接口温度为 250℃; 离子源温度 230℃, 电子轰击源(electron ionization, EI)离子源, 电子能量 70 eV, 扫描范围为 30~550 m/z。

定性分析: 挥发性风味物质经 NIST 2008 质谱库进行检索, 选取匹配度大于 80% 的风味物质。

定量分析: 采用内标法定量, 根据保留峰面积计算各个风味物质的相对含量。

1.3.6 统计分析

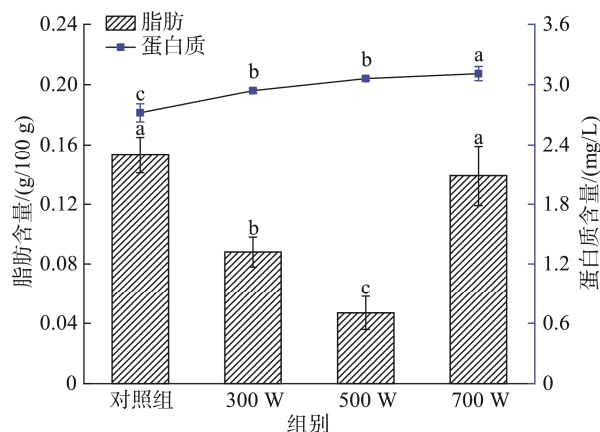
采用 SPSS 19 软件和 Microsoft Office Excel 2010 软件对实验数据进行处理, Origin 2018 进行绘图, 实验结果取 3 次实验的平均值。

2 结果与分析

2.1 微波复热对竹笋鸡汤中营养成分的影响

水溶性蛋白质的含量一定程度上会影响到营养物质的消化与吸收^[13], 是评价竹笋鸡汤营养价值的重要因素。如图 1 所示, 与对照组相比, 复热后各组竹笋鸡汤的水溶性蛋白质均显著增加($P < 0.05$), 表明微波复热可提高竹笋鸡汤的水溶性蛋白质。微波促使鸡肉组织中水溶性蛋白质扩散至汤液中, 从而使汤中水溶性蛋白质增加, 与 LI 等^[14]研究结果一致。同时随着微波功率的提高, 复热后竹笋鸡汤中水溶性蛋白质均有所提高, 其中含量最高为 700 W [(3.11±0.07) mg/L], 其次是 500 W [(3.06±0.027) mg/L] 和 300 W [(2.94±0.02) mg/L], 两者间并无显著差异。微波加热是通过离子的传导和偶极子的转动, 促使物料吸收微波并将其转化成热能, 这种方式传热效率高, 穿透性能强, 能促使大分子物质的降解^[15-16]。在实验过程中发现, 300 W 下复热时间平均需要 13 min, 500 W 条件下平均需要 8 min, 而 700 W 平均需要 5 min。因此, 采用 300 W 和 500 W 微波功率所需的加热时间长, 促使竹笋鸡汤中蛋白质降解成小分子肽, 导致其水溶性蛋白质含量低于 700 W。

脂肪是风味物质的前体物^[17], 是竹笋鸡汤风味的重要来源。300 W 和 500 W 下的脂肪含量显著降低, 由于脂肪在微波加热过程中易发生氧化降解, 从而使脂肪含量降低^[9]。由图 1 可以发现, 700 W 的脂肪含量[(0.139±0.02) g/100 g]显著高于 300 W [(0.088±0.01) g/100 g] 和 500 W [(0.047±0.011) g/100 g] ($P < 0.05$), 且与复热前竹笋鸡汤的脂肪含量无显著差异 ($P > 0.05$)。这可能是脂肪氧化与加热时长有关, 700 W 复热所需的时间较短, 可减少脂肪氧化程度, 与王梦如等^[18]的研究结果一致, 并且随着微波功率增加, 促进脂肪的氧化。综上所述, 采用 700 W 微波复热可以提高竹笋鸡汤中水溶性蛋白质含量, 减缓脂肪氧化。



注: 不同小写字母表示不同组别之间具有显著性差异($P < 0.05$)。

图 1 微波复热对竹笋鸡汤中蛋白质和脂肪含量的影响

Fig.1 Effects of microwave reheating on protein and fat content in chicken soup with bamboo shoots

2.2 微波复热对竹笋鸡汤中游离氨基酸含量的影响

竹笋鸡汤中游离氨基酸主要源于蛋白质分解和肌肉细胞^[19],其按呈味特性不同,分为鲜味、甜味、苦味和无味 4 类。从表 1 可以得出,总游离氨基酸含量大小依次为 300 W 组>对照组>700 W 组>500 W 组。天冬氨酸和谷氨酸是主要的鲜味氨基酸,300 W 组的鲜味氨基酸含量最高(173.48 mg/100 mL),700 W 组与对照组间无显著差异($P>0.05$)。这可能是因为采用低功率微波复热时,鸡肉细胞内部温度瞬间升高,从而促使蛋白质分解和细胞涨破。因此,低功率微波可促使游离氨基酸等小分子物质的快速溶出^[20]。而甜味氨基酸中,对照组的苏氨酸含量显著高于 300 W 组、500 W 组和 700 W 组($P<0.05$)。丙氨酸是竹笋鸡汤中主要甜味物质,对竹笋鸡汤的滋味有主要作用^[19-21],但复热前后,丙氨酸含量并无显著差异($P>0.05$)。因此,采用 300 W 微波复热竹笋鸡汤,可以显著提升总游离氨基酸含量,尤其是鲜味氨基酸。

TAV 是对滋味物质贡献度进行评估的主要指标。TAV>1 的滋味物质对该样品的滋味贡献高,而 TAV<1,则对样品的滋味贡献度小。如表 2 所示,300 W 的 TAV 总和

最大,其次是对照组和 700 W 组。竹笋鸡汤中 TAV>1 的游离氨基酸是谷氨酸和丙氨酸,说明谷氨酸和丙氨酸是竹笋鸡汤主要呈味物质,与秦琛强等^[22]研究北京油鸡煲汤的风味相似。300 W 组的谷氨酸和丙氨酸 TAV 最大,分别为 5.14±0.57 和 1.50±0.15,说明 300 W 微波复热后的竹笋鸡汤具有较强的鲜味和甜味,而采用 700 W 处理的竹笋鸡汤与复热前的总氨基酸含量无差异。

2.3 微波复热对竹笋鸡汤中挥发性风味物质的影响

脂肪的氧化过程是竹笋鸡汤风味物质形成的主要途径^[23]。从图 2 可得,各组竹笋鸡汤中共检测出 53 种挥发性风味物质,其中包括 17 种醇类、7 种醛类、7 种烯烃类、8 种酮类、2 种酯类、2 种酚类、2 种酸类以及 8 种其他类物质。不同微波功率复热的竹笋鸡汤所鉴定的挥发性风味物质种类差异较大,分别为 35 种(300 W)、30 种(500 W)和 33 种(700 W)。随着微波功率的增加,竹笋鸡汤中挥发性风味物质总量和醛类总量呈现逐渐下降趋势;醇类和酮类物质总量呈先增加后下降趋势,在 500 W 功率时达到最高值。结果表明微波功率过高可能促进了香味物质的挥发,导致竹笋鸡汤挥发性风味物质总量下降。

表 1 微波复热对竹笋鸡汤游离氨基酸含量的影响(mg/100 mL)
Table 1 Effects of microwave reheating on the content of free amino acids of chicken soup with bamboo shoots (mg/100 mL)

呈味特征	成分	对照组	300 W 组	500 W 组	700 W 组
鲜味	天冬氨酸	16.31±1.24 ^b	19.35±0.35 ^a	14.29±0.51 ^c	15.41±0.21 ^{bc}
	谷氨酸	130.50±4.50 ^{ab}	154.13±12.04 ^a	123.58±5.53 ^{ab}	129.68±8.39 ^b
	总量	146.81±4.21 ^b	173.48±14.32 ^a	137.87±5.48 ^b	145.09±8.48 ^b
	苏氨酸	130.20±2.02 ^a	91.16±5.63 ^b	77.75±1.45 ^c	94.05±4.31 ^b
甜味	丝氨酸	62.94±2.32 ^a	59.69±5.59 ^{ab}	51.88±1.94 ^b	55.62±3.60 ^{ab}
	甘氨酸	80.60±1.15 ^{ab}	81.02±6.41 ^{ab}	73.14±2.21 ^b	88.69±4.79 ^a
	丙氨酸	86.80±1.84 ^{ab}	89.89±7.88 ^a	76.22±2.58 ^b	85.96±4.41 ^{ab}
	脯氨酸	38.54±0.74 ^b	44.69±3.07 ^a	29.41±0.83 ^c	37.43±2.31 ^b
	总量	399.08±5.28 ^a	366.45±18.55 ^b	308.40±8.88 ^c	361.75±13.42 ^b
	缬氨酸	25.70±0.66 ^b	33.23±3.26 ^a	25.56±1.02 ^b	25.83±0.96 ^b
	异亮氨酸	13.82±0.63 ^b	19.90±1.96 ^a	14.69±0.81 ^b	15.24±0.63 ^b
	亮氨酸	25.67±0.84 ^b	36.14±3.55 ^a	26.37±1.30 ^b	27.54±1.25 ^b
苦味	酪氨酸	33.88±2.04 ^a	37.69±5.10 ^a	32.13±2.06 ^a	35.33±1.61 ^a
	苯丙氨酸	27.19±1.56 ^b	33.00±4.62 ^a	27.49±1.92 ^b	28.15±1.07 ^{ab}
	赖氨酸	4.70±0.69 ^a	5.62±0.96 ^a	5.20±0.71 ^a	5.62±0.11 ^a
	组氨酸	14.18±1.40 ^b	20.14±2.92 ^a	14.66±1.64 ^b	14.40±0.14 ^b
	精氨酸	46.95±2.84 ^a	49.54±6.09 ^a	42.24±3.01 ^a	47.51±2.25 ^a
	总量	192.09±10.45 ^b	235.26±24.46 ^a	188.34±12.40 ^b	199.62±7.83 ^{ab}
	甲硫氨酸	11.95±0.48 ^b	15.09±1.54 ^a	12.05±0.68 ^b	11.00±0.54 ^b
	半胱氨酸	6.61±0.36 ^b	8.06±0.79 ^{ab}	7.23±0.43 ^{ab}	7.44±0.52 ^{ab}
无味	总量	18.56±0.79 ^b	23.15±2.33 ^a	19.28±1.10 ^b	18.44±1.06 ^b
	总氨基酸	756.54±15.47 ^b	798.34±27.93 ^a	653.89±16.31 ^c	724.9±14.38 ^b

注:同行中不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),下同。

表 2 微波复热对竹笋鸡汤 TAV 的影响
Table 2 Effects of microwave reheating on TAV of chicken soup with bamboo shoots

呈味特征	成分	阈值/(mg/100 mL)	对照组	300 W 组	500 W 组	700 W 组
鲜味	天冬氨酸	100	0.16±0.01 ^b	0.19±0.00 ^a	0.14±0.01 ^c	0.15±0.00 ^{bc}
	谷氨酸	30	4.35±0.15 ^{ab}	5.14±0.57 ^a	4.12±0.18 ^{ab}	4.32±0.28 ^b
	苏氨酸	260	0.50±0.01 ^a	0.35±0.02 ^b	0.30±0.01 ^c	0.36±0.02 ^b
	丝氨酸	150	0.42±0.02 ^a	0.40±0.04 ^{ab}	0.35±0.01 ^b	0.37±0.02 ^{ab}
甜味	甘氨酸	130	0.62±0.01 ^{ab}	0.62±0.06 ^{ab}	0.56±0.02 ^b	0.68±0.04 ^a
	丙氨酸	60	1.45±0.03 ^{ab}	1.50±0.15 ^a	1.27±0.04 ^b	1.43±0.07 ^{ab}
	脯氨酸	300	0.13±0.00 ^b	0.15±0.01 ^a	0.10±0.00 ^c	0.12±0.01 ^b
	缬氨酸	40	0.64±0.02 ^b	0.83±0.08 ^a	0.64±0.03 ^b	0.65±0.02 ^b
	异亮氨酸	90	0.15±0.01 ^b	0.22±0.02 ^a	0.16±0.01 ^b	0.17±0.01 ^b
	亮氨酸	190	0.14±0.00 ^b	0.19±0.02 ^a	0.14±0.01 ^b	0.14±0.01 ^b
苦味	酪氨酸	-	-	-	-	-
	苯丙氨酸	90	0.30±0.02 ^b	0.37±0.05 ^a	0.31±0.02 ^b	0.31±0.01 ^{ab}
	赖氨酸	50	0.09±0.01 ^a	0.11±0.02 ^a	0.10±0.01 ^a	0.11±0.00 ^a
	组氨酸	20	0.71±0.07 ^b	1.01±0.15 ^a	0.73±0.08 ^b	0.72±0.01 ^b
	精氨酸	50	0.94±0.06 ^a	0.99±0.12 ^a	0.84±0.06 ^a	0.95±0.04 ^a
无味	甲硫氨酸	30	0.40±0.02 ^b	0.50±0.05 ^a	0.40±0.02 ^b	0.37±0.02 ^b
	半胱氨酸	-	-	-	-	-
总和			11.00±0.38 ^b	12.57±1.35 ^a	10.18±0.51 ^b	10.87±0.53 ^b

注: -为未查到阈值或未计算 TAV。

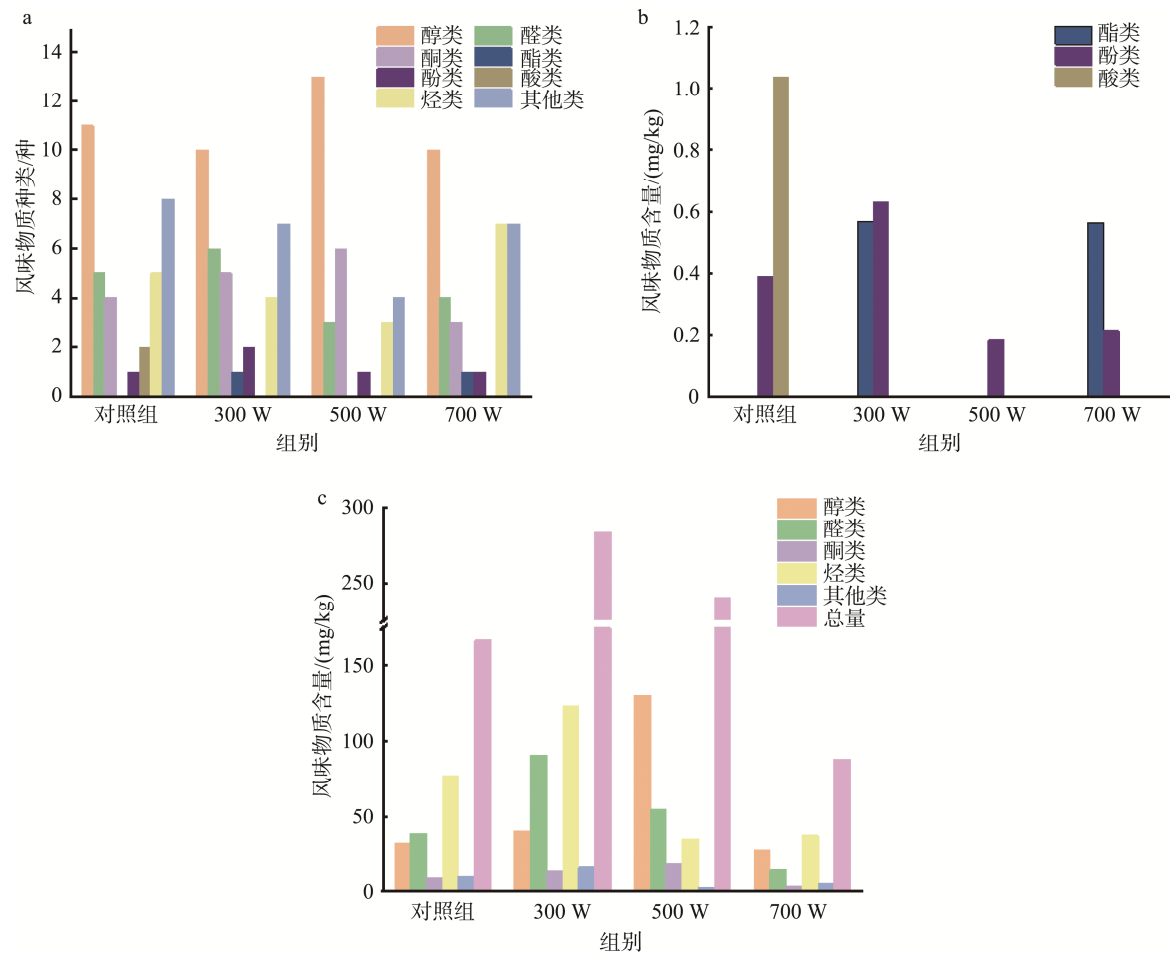


图 2 微波复热对竹笋鸡汤挥发性风味物质的影响
Fig.2 Effects of microwave reheating on volatile compounds of chicken soup with bamboo shoots

如表 3 所示, 醛类物质因其低味觉阈值且高含量, 具有脂肪香味, 对竹笋鸡汤的风味起着重要作用^[24]。己醛、壬醛和苯甲醛是竹笋鸡汤中的主要醛类物质, 其中己醛的含量最高。己醛和壬醛具有水果和青草香气^[25], 分别由亚油酸和油酸氧化而成^[26-27]。己醛含量随着微波功率的增加而有所减少, 并且 300 W 组中己醛含量[(79.68±37.42) mg/kg]显著高于 700 W 组[(10.35±6.33) mg/kg]。这可能是加热时间长可促进脂类物质氧化, 从而产生己醛物质。苯甲醛具有坚果和水果的香味, 对竹笋鸡汤的风味具有重要贡献, 是由苯丙氨酸的 Strecker 降解或亚麻酸氧化产生的^[28]。300 W 组的苯甲醛最高, 700 W 组最低。

醇类物质含量在竹笋鸡汤中占比较高, 且大部分为

饱和醇, 具有较高的气味阈值, 但它们可转化为醛类, 有助于竹笋鸡汤风味的形成。从图 2 可以发现, 随着微波功率的增加, 醇类物质的含量呈现先上升后下降趋势, 并且 500 W 的条件下达峰值。这可能由于微波功率低时, 加热时间长, 醇转化为醛和其他物质导致其含量下降^[29], 并且微波功率过高可能导致醇类挥发性风味物质的流失。1-戊醇对肉制品风味起修饰作用, 通过多不饱和脂肪酸氧化生成^[30]。700 W 组中 1-戊醇含量显著低于其他 3 组。1-辛烯-3-醇具有典型的蘑菇味^[31], 是由亚油酸在脂肪氧化酶的作用下催化而形成, 其可以增强鸡汤的脂肪香味^[32-33]。而 1-辛烯-3-醇仅在 500 W 和 700 W 条件处理下才检测出, 可能是加热条件对 1-辛烯-3-醇生成有影响。

表 3 微波复热对竹笋鸡汤风味物质的影响
Table 3 Effects of microwave reheating on flavor of chicken soup with bamboo shoots

类别	风味成分	物质含量/(mg/kg)			
		对照组	300 W 组	500 W 组	700 W 组
醇类	正丁醇	1.16±0.24	-	-	-
	1-戊醇	10.63±1.69 ^a	10.05±1.54 ^a	9.10±1.98 ^a	2.51±2.23 ^b
	2-庚醇	1.67±0.83 ^b	1.98±0.50 ^b	3.43±0.45 ^a	0.63±0.06 ^c
	庚醇	0.85±0.13 ^b	1.32±0.17 ^a	1.09±0.11 ^{ab}	-
	2-乙基己醇	0.69±0.64 ^b	1.92±0.36 ^a	1.03±0.30 ^{ab}	1.19±0.28 ^{ab}
	芳樟醇	3.32±0.92 ^a	1.70±0.25 ^b	2.69±0.11 ^a	0.92±0.17 ^b
	1-辛醇	0.70±0.16 ^a	-	0.47±0.40 ^a	0.33±0.07 ^a
	葑醇	0.48±0.13 ^b	8.54±1.45 ^a	10.56±1.78 ^b	-
	2-茨醇	8.34±5.35 ^a	8.34±5.35 ^a	-	4.71±1.02 ^a
	对异丙基苯甲醇	0.11±0.02	-	-	-
	4-萜品醇	3.84±3.60 ^a	2.81±0.80 ^a	3.09±0.21 ^a	1.13±1.00 ^a
	月桂醇	-	-	0.27±0.25	0.07±0.13
	1-辛烯-3-醇	-	-	2.09±1.82	1.46±0.40
	桉叶油醇	-	-	93.19±17.00	14.23±0.93
	2-壬醇	-	0.47±0.41	0.84±0.10	-
	α-松油醇	-	3.13±2.71	-	-
	正己醇	-	-	2.12±0.26	-
醛类	己醛	26.63±2.66 ^{ab}	79.68±37.42 ^a	48.78±9.33 ^{ab}	10.35±6.33 ^b
	壬醛	4.36±1.73 ^a	3.06±0.85 ^{ab}	2.39±0.04 ^b	2.05±0.54 ^b
	糠醛	3.15±0.75	-	-	-
	苯甲醛	4.02±0.79 ^a	4.88±1.14 ^a	3.54±0.44 ^a	0.89±0.77 ^b
	2,4-二甲基苯甲醛	0.44±0.39 ^a	0.76±0.66 ^a	-	0.67±0.68 ^a
	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	-	0.29±0.25	-	-
	2-庚醛	-	2.33±0.64	-	-
酮类	2-茨酮	2.29±2.06 ^a	0.79±0.11 ^b	0.99±0.20 ^a	0.27±0.24 ^b
	4-异丙基环己酮	0.11±0.02	-	0.58±0.11	-
	3 甲基-6-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-酮	3.98±1.23	-	1.11±0.96	-
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	2.13±2.01	-	-	-
	甲基庚烯酮	-	10.30±2.57 ^b	15.99±1.87 ^a	2.40±0.75 ^c
	异佛尔酮	-	1.14±0.25 ^a	0.98±0.10 ^a	0.87±0.22 ^a
	2-壬酮	-	0.60±0.19	-	-
	4-异丙基环己酮	-	0.31±0.30	0.11±0.01	-

表 3(续)

类别	风味成分	物质含量/(mg/kg)			
		对照组	300 W 组	500 W 组	700 W 组
酯类	正己酸乙酯	-	-	-	0.56±0.34
	甲酸辛酯	-	0.57±0.49	-	-
酚类	4-甲基苯酚	0.39±0.21 ^a	0.25±0.05 ^a	0.18±0.07 ^a	0.21±0.17 ^a
	香芹酚	-	0.38±0.09	-	-
酸类	辛酸	0.48±0.54	-	-	-
	壬酸	0.56±0.49	-	-	-
烃类	蒎烯	20.44±2.13 ^b	35.39±10.79 ^a	16.52±9.17 ^{bc}	4.00±5.23 ^c
	蒎烯	45.23±39.18	-	-	23.11±19.88
	右旋蒎二烯	2.23±2.85 ^b	85.50±39.87 ^a	17.63±8.63 ^b	6.20±8.76 ^b
	(<i>R</i>)- α , α -4-三甲基-3-环己烯-1-甲醇	5.16±3.11	-	-	2.32±2.02
	6,6-二甲基二环[3.1.1]庚-2-烯-2-甲醛	3.86±5.88 ^a	0.66±0.09 ^b	0.55±0.24 ^b	0.17±0.09 ^b
	苯乙烯	-	0.92±0.39	-	0.99±1.14
	1-石竹烯	-	-	-	0.27±0.24
其他物质	1,2,3,5-四甲基苯	0.23±0.25 ^a	0.38±0.33 ^a	0.28±0.24 ^a	0.18±0.16 ^a
	邻异丙基甲苯	2.79±4.51 ^b	9.47±8.20 ^a	-	1.81±1.59 ^b
	萘	4.19±1.14 ^a	3.34±0.61 ^{ab}	-	1.88±0.50 ^b
	1-甲基萘	0.19±0.08	-	-	-
	2-正戊基呋喃	0.55±0.21 ^a	0.61±0.30 ^a	-	0.34±0.30 ^a
	2-乙酰基噻唑	0.32±0.16 ^b	0.75±0.17 ^a	0.56±0.22 ^{ab}	0.39±0.13 ^b
	茴香脑	0.63±0.55 ^a	0.47±0.41 ^a	0.48±0.11 ^a	0.31±0.28 ^a
	苯乙腈	0.67±0.58 ^a	0.51±0.11 ^a	0.73±0.09 ^a	0.50±0.16 ^a

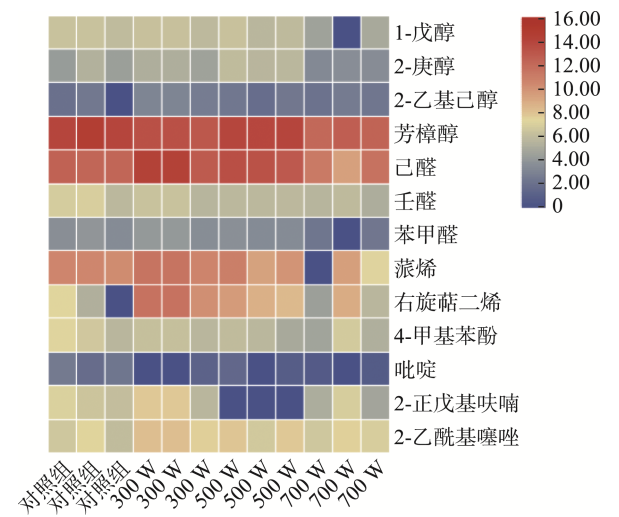
注: -为未检测出挥发性风味物质。

2-正戊基呋喃具有油脂香味, 由于它的低气味阈值, 对汤的味道有贡献。500 W 并未检测出 2-正戊基呋喃, 300 W 和 700 W 中 2-正戊基呋喃无显著差异。4-甲基苯酚是竹笋的特征风味物质^[1], 各组均检测出 4-甲基苯酚, 且其含量无明显差异。烃类物质的含量和种类较高, 饱和烷烃由脂肪酸脱羧和碳-碳键断裂产生, 而不饱和烃类和环状烃类物质可由类胡萝卜素和不饱和脂肪酸经过高温氧化反应后形成。然而, 由于其长链结构, 大多数烷基化合物对汤品风味影响有限, 但它们在调节口感方面发挥着重要作用^[34]。

2.4 微波复热对竹笋鸡汤中关键挥发性风味物质的影响

为筛选出竹笋鸡汤中关键风味物质, 通过香味活性值(odor activity value, OAV)分析来得出关键风味物质。OAV>1 的挥发性风味物质, 其对总体风味贡献度大, 而 OAV<1 则对风味无贡献或贡献度小。图 3 为 OVA>1 的挥发性风味物质。其中, 己醛、芳樟醇和蒎烯是 OVA 值最高的 3 种风味物质。已有研究表明己醛是鸡汤的关键风味物质, 导致了强烈的青草香气和油香味^[35-36], 而芳樟醇和蒎烯是花椒中主要的风味物质^[37]。值得注意的是, 随着微波功率增加, 关键挥发性风味物质呈先增加后减少的趋势, 如

2-庚醇、己醛、壬醛、苯甲醛和蒎烯等。这可能的原因是微波功率的增加导致其挥发性风味物质流失。因此, 300 W 条件处理下竹笋鸡汤更具有令人愉悦的脂肪和草香味香气, 能够更好地提升竹笋鸡汤的风味。



注: 颜色深浅表示样品中 OAV 高低。

图 3 微波复热对竹笋鸡汤 OAV 的影响

Fig.3 Effects of microwave reheating on OAV of chicken soup with bamboo shoots

3 结 论

本研究分析了不同微波功率复热对竹笋鸡汤营养成分、呈味物质和挥发性风味物质的影响。结果表明,不同微波条件处理下对竹笋鸡汤的氨基酸和挥发性风味物质存在明显差异。随着微波功率的提高,复热后竹笋鸡汤中水溶性蛋白质含量逐渐增加,其中 700 W 组的水溶性蛋白质含量最高 $[(3.11 \pm 0.07) \text{ mg/L}]$ 。而 700 W 组的脂肪含量显著高于 300 W 和 500 W 组 $(P < 0.05)$,且与复热前竹笋鸡汤的脂肪含量无显著差异 $(P > 0.05)$ 。300 W 组的总游离氨基酸含量和鲜味氨基酸含量最高,且谷氨酸和丙氨酸的 TAV 最大,说明 300 W 微波复热后的竹笋鸡汤具有较强的鲜味和甜味,而采用 700 W 处理的竹笋鸡汤与复热前的总氨基酸含量无差异。随着微波功率的增加,竹笋鸡汤中挥发性风味物质总量和醛类总量呈现逐渐下降趋势;醇类和酮类物质总量先增加后下降,在 500 W 功率时达到最高值。结果表明微波功率过高可能促进了香味物质的挥发,导致竹笋鸡汤挥发性风味物质总量下降。

参考文献

- [1] DUAN W, LIANG L, HUANG Y, *et al.* Effect of ginger on chemical composition, physical and sensory characteristics of chicken soup [J]. *Foods*, 2021, 10(7): 1456.
- [2] XIAO ZC, ZHANG WG, YANG HT, *et al.* ^1H NMR-based water-soluble lower molecule characterization and fatty acid composition of Chinese native chickens and commercial broiler [J]. *Food Res Int*, 2021, 140: 110008.
- [3] 李莹,董浩,白卫东,等.麻竹笋营养成分、风味物质和功能组分的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2023,14(13): 1-7.
LI Y, DONG H, BAI WD, *et al.* Progress in the study of the nutritional composition, flavouring substances and functional components of *Dendrocalamus latiflorus* Munro [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(13): 1-7.
- [4] PARK EJ, JHON DY. The antioxidant, angiotensin converting enzyme inhibition activity, and phenolic compounds of bamboo shoot extracts [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2010, 43(4): 655-659.
- [5] LUO K, HUANG WT, QIAO LS, *et al.* *Dendrocalamus latiflorus* and its component rutin exhibit glucose-lowering activities by inhibiting hepatic glucose production via AKT activation [J]. *Acta Pharm Sin B*, 2022, 12(5): 2239-2251.
- [6] CHOI YS, HWANG KE, JEONG TJ, *et al.* Comparative study on the effects of boiling, steaming, grilling, microwaving and superheated steaming on quality characteristics of marinated chicken steak [J]. *Korean J Food Sci Anim Resour*, 2016, 36(1): 1.
- [7] 陈臣. 预制千层饼鲜食/冷藏及复热品质改善研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
CHEN C. Study on edible quality improvement of fresh/cooling and reheating of pre-made pancake [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022.
- [8] 徐文思,杨祺福,赵子龙,等.微波熟制对小龙虾营养与风味的影响[J].食品与机械,2022,38(2): 216-221, 227.
XU WS, YANG QF, ZHAO ZL, *et al.* Study on microwave heating on nutrition and flavor composition of crayfish [J]. *Food Mach*, 2022, 38(2): 216-221, 227.
- [9] LI JY, HAN D, HUANG F, *et al.* Effect of reheating methods on eating quality, oxidation and flavor characteristics of braised beef with potatoes dish [J]. *Int J Gas Food Sci*, 2023, 31: 100659.
- [10] LUO X, XIAO S, RUAN Q, *et al.* Differences in flavor characteristics of frozen surimi products reheated by microwave, water boiling, steaming, and frying [J]. *Food Chem*, 2022, 372: 131260.
- [11] 来静,冯翠萍,王莹,等.食用菌添加对鸡汤品质和风味的影响[J].食品科学,2022,43(12): 274-282.
LAI J, FENG CP, WANG Y, *et al.* Effect of edible mushroom addition on quality and flavor of chicken soup [J]. *Food Sci*, 2022, 43(12): 274-282.
- [12] 柳茵,吴凤智,陈龙,等.考马斯亮蓝法测定核桃水溶性蛋白含量的研究[J].中国酿造,2013,32(12): 131-133.
LIU Y, WU FZ, CHEN L, *et al.* Determination of water-soluble protein in walnut by Bradford method [J]. *China Brew*, 2013, 32(12): 131-133.
- [13] 张梦梅,李小红,胡露,等.低温乳酸菌发酵泡菜有机酸和游离氨基酸含量分析[J].食品与发酵工业,2015,41(11): 137-142.
ZHANG MM, LI XY, HU L, *et al.* Analysis of organic acid and free amino acid in pickled Chinese cabbage fermented with low temperature tolerant lactic acid bacteria [J]. *Food Ferment Ind*, 2015, 41(11): 137-142.
- [14] LI Y, FAN D, ZHAO Y, *et al.* Effects of quercetin and cinnamaldehyde on the nutrient release from beef into soup during stewing process [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2020, 131: 109712.
- [15] 马懿,魏紫云,肖雄峻,等.3种热处理方法对梨酒抗氧化活性及挥发性成分的影响[J].食品研究与开发,2023,44(10): 17-25.
MA Y, WEI ZY, XIAO XJ, *et al.* Effect of 3 kinds of thermal treatment methods on antioxidant activity and volatile components of pear wine [J]. *Food Res Dev*, 2023, 44(10): 17-25.
- [16] 李里特.微波在食品加工中应用的原理和特点[J].食品工业科技,1991,(6): 3-7.
LI LT. The principle and characteristics of microwave applied in food processing [J]. *Sci Technol Food Ind*, 1991, (6): 3-7.
- [17] 李金林,万亮,陈春艳,等. ω -3 LCPUFAs 模拟热加工鱼肉脂肪氧化形成风味物质的研究[J].中国食品学报,2020,20(6): 95-105.
LIN JL, WAN L, CHEN CY, *et al.* Studies on formation of flavor compounds in fish meat during heat process based on oxidation models of ω -3 LCPUFAs [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2020, 20(6): 95-105.
- [18] 王梦如,李昌模.鸡脂肪热氧化与风味的关系[J].中国油脂,2006,(10): 64-66.
WANG MR, LI CM. Relationship of thermal oxidation and flavor of chicken fat [J]. *China Oils Fats*, 2006, (10): 64-66.
- [19] CHIANG PD, YEN CT, MAU JL. Non-volatile taste components of various broth cubes [J]. *Food Chem*, 2007, 101(3): 932-937.
- [20] 韩忠,蔡梦洁,成军虎,等.微波对天麻鱼头汤营养和安全性影响[J].现代食品科技,2018,34(2): 123-128, 279.
HAN Z, CAI MJ, CHENG JH, *et al.* Effect of microwave processing on the nutrition and safety of gastrodia and fish head soup [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2018, 34(2): 123-128, 279.

- [21] DOMINGUEZ R, BORRAJO P, LORENZO JM. The effect of cooking methods on nutritional value of foal meat [J]. *J Food Compos Anal*, 2015, 43: 61–67.
- [22] 秦琛强, 杨卫芳, 吕学泽, 等. 北京油鸡煲汤过程中鸡汤的风味变化[J]. *肉类研究*, 2021, 35(10): 25–32.
- QIN CQ, YANG WF, LV XZ, *et al*. Change in the flavor of Beijing-you chicken broth during cooking [J]. *Meat Res*, 2021, 35(10): 25–32.
- [23] 杨肖, 孔琰, 丁奇, 等. 加盐方式对鸡汤中呈味物质的影响分析[J]. *精细化工*, 2018, 35(7): 1196–1200, 1260.
- YANG X, KONG Y, DING Q, *et al*. Impact analysis of salt addition method on taste active compounds in chicken soup [J]. *Fine Chem*, 2018, 35(7): 1196–1200, 1260.
- [24] 戚军, 陈亚, 徐颖, 等. 超声辅助炖制对黄羽鸡汤香味的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(4): 153–158.
- QI J, CHEN Y, XU Y, *et al*. Effect of ultrasonic assisted with stewing on aroma of broth prepared with yellow-feathered chickens [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(4): 153–158.
- [25] 陈丽兰, 陈祖明, 袁灿. 基于万能蒸烤箱的鸡汤炖制工艺分析[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(1): 262–269.
- CHEN LL, CHEN ZM, YUAN C. Process analysis of the stewing method of chicken soup based on a combi-steamer [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2023, 39(1): 262–269.
- [26] JIANG S, XIA D, WANG X, *et al*. Analysis of aroma-active compounds in four Chinese dry-cured hams based on GC-O combined with AEDA and frequency detection methods [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2022, 153: 112497.
- [27] HU YY, ZHAO GH, YIN FW, *et al*. Effects of roasting temperature and time on aldehyde formation derived from lipid oxidation in scallop (*Patinopecten yessoensis*) and the deterrent effect by antioxidants of bamboo leaves [J]. *Food Chem*, 2022, 369(1): 130936.
- [28] TANIMOTO S, KITABAYASHI K, FUKUSIMA C, *et al*. Effect of storage period before reheating on the volatile compound composition and lipid oxidation of steamed meat of yellowtail *Seriola quinqueradiata* [J]. *Fish Sci*, 2015, 81(6): 1145–1155.
- [29] LAI J, WU R, WANG J, *et al*. Effect of cooking modes on quality and flavor characteristic in *Clitocybe squamulose* chicken soup [J]. *Front Nutr*, 2022, 9: 1048352.
- [30] 杜柳, 邱文兴, 刘栋银, 等. 不同热加工方式熟化对克氏原螯虾理化性质和风味的影响[J]. *肉类研究*, 2023, 37(5): 49–56.
- DU L, QIU WX, LIU DY, *et al*. Effects of different cooking methods on the physicochemical properties and flavor of crawfish [J]. *Meat Res*, 2023, 37(5): 49–56.
- [31] LORENZO JM, DOM NR. Cooking losses, lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat as affected by cooking procedure [J]. *Flavour Frag J*, 2014, 29(4): 240–248.
- [32] QI J, ZHANG W, XU Y, *et al*. Enhanced flavor strength of broth prepared from chicken following short-term frozen storage [J]. *Food Chem*, 2021, 356: 129678.
- [33] SELLI S, GUCLU G, SEVINDIK O, *et al*. Variations in the key aroma and phenolic compounds of champignon (*Agaricus bisporus*) and oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushrooms after two cooking treatments as elucidated by GC–MS–O and LC–DAD–ESI–MS/MS [J]. *Food Chem*, 2021, 354: 129576.
- [34] 郑炯, 宋家芯, 陈光静, 等. 顶空-固相微萃取-气质联用法分析腌制麻竹笋挥发性成分[J]. *食品科学*, 2013, 34(18): 193–196.
- ZHENG J, SONG JX, CHEN GJ, *et al*. Analysis of volatile compounds in pickled ma bamboo shoots using headspace solid phase microextraction coupled with GC–MS [J]. *Food Sci*, 2013, 34(18): 193–196.
- [35] GUAN H, YANG C, TIAN Y, *et al*. Changes in stability and volatile flavor compounds of self-emulsifying chicken soup formed during the stewing process [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2023, 175: 114520.
- [36] ZOU J, XU MJ, ZOU YF, *et al*. Chemical compositions and sensory characteristics of pork rib and Silkie chicken soups prepared by various cooking techniques [J]. *Food Chem*, 2021, 345: 128755.
- [37] 孙莉. 基于 HS-SPME-GC-MS/MS 对不同品种花椒挥发性物质分析研究[J]. *中国食品添加剂*, 2023, 34(6): 301–309.
- SUN L. Analysis of volatile components in different varieties of *Zanthoxylum bungeanum* based on HS-SPME-GC-MS/MS [J]. *China Food Addit*, 2023, 34(6): 301–309.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介

赵培静, 博士, 主要研究方向为微生物检测。

E-mail: 937734712@qq.com

李湘奎, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为食品加工和风味。

E-mail: leexiangluan@163.com

白卫东, 博士, 教授, 主要研究方向为食品风味化学。

E-mail: weidong_bai2010@163.com