

紫外减菌联合低温对草鱼肉品质及挥发性风味的影响

Effect of UV sterilization on the quality of grass carp meat during the chilling storage

袁丽萍^{1,2} 彭斌^{1,2} 钟比真^{1,2} 胡明明^{1,2} 李金林^{1,2}

YUAN Liping^{1,2} PENG Bin^{1,2} ZHONG Bizhen^{1,2} HU Mingming^{1,2} LI Jinlin^{1,2}

(1. 江西师范大学国家淡水鱼加工技术研发专业中心, 江西 南昌 330022;

2. 江西师范大学生命科学学院, 江西 南昌 330022)

(1. National Research and Development Center for Freshwater Fish Processing, College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang, Jiangxi 330022, China; 2. State Key Laboratory of Food Science and Resources, Nanchang University, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330022, China)

摘要:目的:研究紫外减菌前处理联合低温冷藏对草鱼肉质构品质及挥发性风味物质的影响,并确定最佳的紫外照射时间。方法:以草鱼为试验对象,采用30 W紫外灯照射不同时间(0,30,60,90,150 min)预处理,测定鱼肉冷藏期间(0,3,6,9 d)各品质参数(鱼肉表面细菌总数、汁液流失率、质构参数、色泽、气味感官)及挥发性成分变化。结果:当紫外照射时间为0~150 min时,照射时间越长,草鱼鱼肉表面减菌效果越好,汁液流失率越低,出现腐败气味越晚,但对鱼肉的质构、色泽及冷藏后期(6~9 d)细菌总数影响较小。冷藏期间共检测到90种挥发性风味物质,主要为醛类、酮类、醇类、酯类和酸类,其中辛醛、壬醛、己醛、2,5-辛二酮、1-己醇、1-辛烯-3-醇为紫外处理草鱼肉的主要挥发性成分,且冷藏后期酯类和酸类物质含量逐渐增多。对比控制组,紫外处理可有效延缓冷藏草鱼肉腥味的产生和香味的下降。当紫外照射时间为90 min时,冷藏鱼肉表现出最佳的综合效果,随着照射时间的延长,鱼肉综合得分有所下降。结论:紫外减菌联合低温处理有利于延缓贮藏前期草鱼鱼肉质构品质劣化及风味下降,但对贮藏后期草鱼鱼肉品质影响较小。

关键词:紫外照射;草鱼;表面杀菌;保鲜;低温处理

Abstract: Objective: The effect of UV sterilization on the texture quality and flavor substances of the frozen grass carp meat was studied, and the best UV irradiation time was determined. **Methods:** The grass carp meat was pretreated with different UV irradiation times (0, 30, 60, 90, 150 min) at 30 W of UV radiation, then the quality parameters (apparent morphology, total number of bacteria on the surface of fish, juice loss rate, texture parameters, color, odor and sensory) and volatile components of the fish meat during chilling storage (0, 3, 6, 9 d) were measured. **Results:** It showed that the longer the UV irradiation time (0~150 min), the better the bacteria reduction effect on the surface of fish, the lower the juice loss rate, and the later the putrefaction smell appeared. However, it had little effect on the texture, color of the fish, and the total bacteria during the latter of chilling storage (6~9 d). In the detection of flavor substances, 90 volatile components were detected, mainly aldehydes, ketones, alcohols, esters, and acids. Octanal, nonanal, hexanal, 2, 5-octadione, 1-hexanol, and 1-octen-3-alcohol were the main volatile components after UV treatment. In the later stage of cold storage, esters and acids were increased gradually, which might be related to the formation of the characteristic aroma of fish meat. Compared with the control group, UV irradiation time of 90 min showed the best comprehensive effect, and the quality was decreased with the extension of irradiation time. **Conclusion:** UV sterilization pretreatment can delay the deterioration of quality and the decline of flavor of refrigerated grass carp meat in the early stage of chilling storage but has little effect on the quality of grass carp meat in the later stage of chilling storage.

基金项目:江西省重点研发计划项目(编号:20203BBFL63062); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(编号:CARS-45); 国家自然科学基金项目(编号:32060557,32260604)

作者简介:袁丽萍,女,江西师范大学在读硕士研究生。

通信作者:李金林(1983—),男,江西师范大学教授,博士。

E-mail:lijinlin405@126.com

收稿日期:2023-07-25 **改回日期:**2023-11-22

Keywords: UV irradiation; grass carp; surface esterilization; preservation; low temperature treatment

目前市场上的草鱼^[1]多以鲜活形式进行销售。随着生活节奏的加快以及快餐文化的发展,淡水鱼经切割加工后以新鲜、小包装的形式销售具有巨大的市场潜力^[2]。但切割损伤易导致鱼肉遭受微生物侵害,使得鱼肉仅能保鲜 1~2 d;且随着冷藏时间的延长,鱼肉的感官品质也会不断下降,仅保鲜 5~6 d。而消费者通常要求鱼肉要粉嫩有光泽、肉质细腻有弹性等^[3]。

为保证草鱼在运输和售卖过程中具有良好的品质,通常会采取冷藏保鲜方法^[4]。紫外线灭菌属于纯物理灭菌方法,成本低、无二次污染,主要通过破坏微生物的脱氧核糖核酸结构达到灭菌效果^[5]。因此,在草鱼肉冷藏保鲜工艺顺序中将紫外灭菌处理设为第一道处理工序,不仅具有样品表面杀菌功能,可有效减少切割鱼肉微生物的侵害及质构品质恶化,也利于创造一个无菌的操作环境,便于后期的防腐剂等处理。周强等^[6]研究表明,紫外处理草鱼具有一定灭菌效果;杨新磊^[7]研究发现,紫外照射处理能杀死冷却猪肉表面部分微生物,具有一定保鲜效果;Shen 等^[8]报道了紫外线照射能有效缓解食品中黄曲霉毒素而不破坏其感官品质。而关于紫外对冷藏预制调理草鱼肉制品的前灭菌处理效果的研究尚未见报道。研究拟以草鱼鱼肉为对象,采用紫外照射进行鱼肉表面灭菌预处理,探讨 30 W 紫外灯照射时间对鱼肉冷藏期间质构品质及挥发性风味的影响规律,并根据结果确定最佳紫外照射时间,为冷藏预制草鱼肉制品加工前处理提供切实可行的灭菌方法。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

鲜活草鱼:1.0~1.5 kg,江西南昌市鄱阳湖农牧渔产业发展股份有限公司;

紫外杀菌灯:90 cm,30 W,上海照明电器公司;

双人单面净化工作台:BSC-1300 型,苏州安洋科技发展有限公司;

质构仪:TA.XT Plus 型,美国伯腾仪器有限公司;

测色色差仪:CM-26DG 型,柯盛行(杭州)仪器有限公司;

冰箱:SC-316NE 型,澳柯玛股份有限公司;

气相质谱分析仪:7890A/5975 型,上海安普科学仪器有限公司。

1.2 方 法

1.2.1 样品处理 于温度<10℃冷库条件下进行鱼体宰杀、取肉,试验处理前,将鲜活草鱼敲击头部,放血致死 后去鳞、解剖去头、去尾、去内脏,用水清洗干净,用刀剔

除鱼主骨,鱼脊背肉切成鱼块(3.0 cm×3.0 cm×1.0 cm)并分装。分别装入灭菌的培养皿中,密封条封口(鱼块并排放置不堆压),于(4±1)℃冰箱贮藏,分别于贮藏第 0, 3,6,9 天取样。紫外照射垂直距离设为 30 cm,将事先用培养皿分装好的试验用鱼块分别于紫外线环境下杀菌 0, 30,60,90,120,150 min。

1.2.2 指标测定

(1) 气味感官:参考李金林等^[9]的方法。

(2) 菌落总数:用浸有无菌生理盐水的灭菌棉签在鱼肉表面 3 处进行涂抹,横竖往返各 8 次^[10],采样后,用已灭菌的剪刀将棉签采样端剪入装有 5 mL 无菌生理盐水的试管中,手工震荡约 100 次,涡旋 1 min,充当样液,并根据 GB 4789.2—2016 进行测定。

(3) 汁液流失率:记录每组的初始质量,冷藏 0,3,6, 9 d 后取出,擦干表面汁液及水分并称量,按式(1)计算水分流失率。

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

式中:

X——水分流失率,%;

m_1 ——鱼肉未处理前的质量,g;

m_2 ——冷藏后擦干水分的质量,g。

(4) 质构:根据高琪^[11]的方法并修改,测试前、中、后速度均为 1 mm/s,形变量为 40%,触发力为 0.049 N,循环 2 次,间隔时间为 5 s。

(5) 色度:根据魏心如等^[12]的方法。

(6) 挥发性风味物质:根据李婷婷等^[13]的方法并修改,取粉碎后鱼肉样品 3~5 g,加入到 15 mL 样品瓶中,30℃水浴 30 min,将 SPME 装置置于样品瓶上方,30℃恒温萃取 30 min,GC-MS 分析。色谱条件:色谱柱为 Agilent DB-wax 毛细管柱(30 m×250 μm×0.25 μm);进样口温度 250℃,载气 He,流速 1.0 mL/min,不分流模式;升温程序:起始 45℃,保持 5 min,5℃/min 升至 240℃,保持 10 min,运行时间 54 min。质谱条件:EI 电离源,电离电压 70 eV,离子源温度 230℃,四极杆温度 150℃,全扫描模式,质量扫描范围 35~400 amu。

1.2.3 数据分析 每组试验设 3 个平行,结果用平均值±标准偏差表示,采用 SPSS 软件进行显著性分析,其中 $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 冷藏草鱼肉气味感官的变化

由图 1 可知,冷藏 0~3 d 时,空白组和处理组鱼肉的气味感官总评分均下降,且主要是青草、甜香、鱼腥味、金属味评分下降,其他 3 个风味较为稳定;随着冷藏时间的延长,空白组和 30,60 min 处理组感官总评分下降迅速,

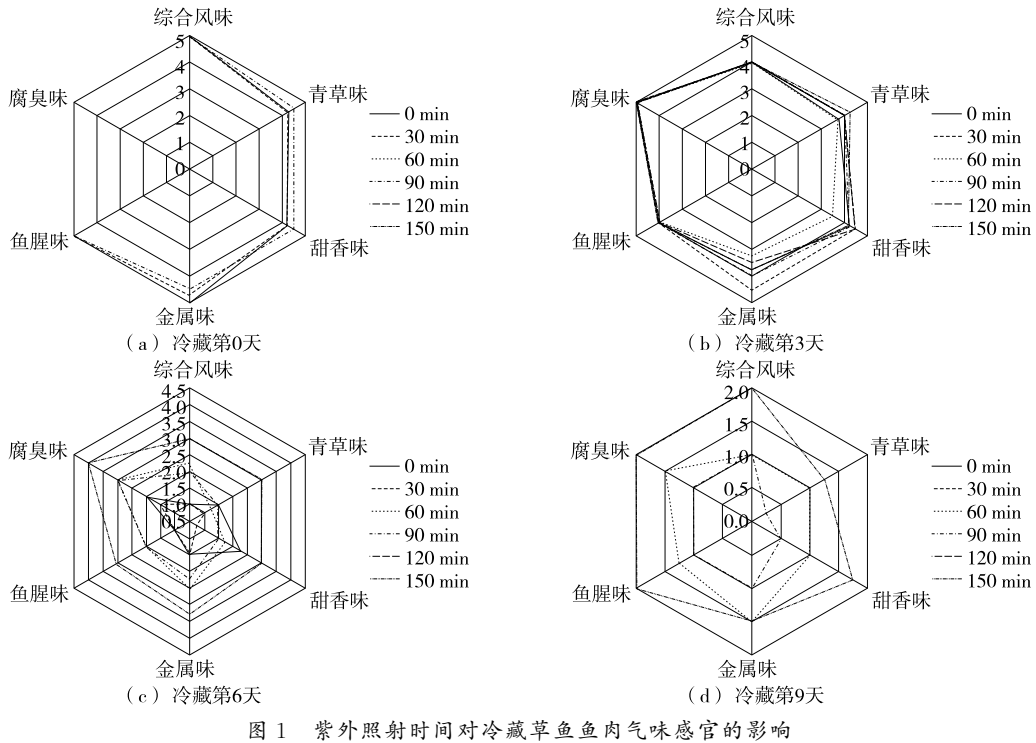


Figure 1 Effects of different UV irradiation time on smell sensory of refrigerated grass carp meat

挥发刺鼻的腐臭味和土腥味;而 90,120,150 min 处理组的感官评分下降相对缓慢,可能是因为长时间的紫外照射有效减少了冷藏前期鱼肉表面的微生物,从而降低鱼肉腐败速度,与杨明扬等^[14]的结果相似。综上,紫外照射时间为 90 min 时,鱼肉的气味感官效果最佳。

2.2 冷藏草鱼肉表面微生物总数的变化

由表 1 可知,随着紫外照射时间的延长,鱼肉表面微生物总数逐渐降低且均低于空白组,可能是照射时间与紫外辐照剂量成正比,杀菌时间越长,辐照剂量越大,则杀菌率越高。冷藏第 3 天,各组鱼肉表面微生物总数均已达到可接受限值 6 lg(CFU/g),说明单一紫外减菌处理的产品货架期较短。冷藏期间,90 min 处理组的细菌增殖较其他处理组的较缓。单一的紫外照射预处理只能对冷藏前期减菌(0~6 d),表现出统计学差异($P < 0.05$);冷藏后期(6~9 d)反而利于鱼肉表面细菌的增长,但无统计学差异。这可能与冷藏后期冷藏环境中的微生物更易侵入紫外杀菌的草鱼块中有关,如嗜冷微生物作用^[15-16]。

2.3 冷藏草鱼肉汁液流失率的变化

由图 2 可知,冷藏第 0 天,紫外处理组的鱼肉质量减小,可能是因为紫外辐射产生的热量导致鱼肉表面水分蒸发,从而造成鱼肉汁液流失。随着冷藏时间的延长,各组鱼肉汁液流失率逐渐增大,空白组的汁液流失率曲线快速增长,而紫外减菌化处理组的呈缓缓上升趋势,说明紫外减菌化处理有一定的保鲜锁水功效,有助于减缓汁

表 1 紫外照射时间对冷藏草鱼鱼肉表面微生物总数的影响[†]

Table 1 Effects of different UV irradiation time on the total number of microorganisms on the surface of chilled grass carp meat

紫外照射 时间/min	细菌总数/lg(CFU · g ⁻¹)			
	第 0 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天
0	4.75 ± 0.04 ^a	7.84 ± 0.06 ^a	9.74 ± 0.07	9.93 ± 0.06
30	4.66 ± 0.02 ^b	6.95 ± 0.04 ^b	9.80 ± 0.08	9.82 ± 0.08
60	4.58 ± 0.05 ^{bc}	6.84 ± 0.05 ^{bc}	10.04 ± 0.10	9.94 ± 0.09
90	4.53 ± 0.06 ^c	6.38 ± 0.03 ^c	9.94 ± 0.11	10.04 ± 0.10
120	4.44 ± 0.01 ^d	6.46 ± 0.06 ^c	9.90 ± 0.07	9.90 ± 0.09
150	4.43 ± 0.03 ^d	7.04 ± 0.04 ^b	9.69 ± 0.09	9.96 ± 0.11

[†] 小写字母不同表示同列数据之间存在显著差异($P < 0.05$)。

液流失,可能与蛋白结构发生变化有关,这与何余堂^[17]的研究结果一致。60,90 min 处理组的汁液流失率相对较低,3 个冷藏时间段(0~3,3~6,6~9 d)内,60 min 处理组的增长加快,90 min 处理组的呈平稳、加快又平稳的趋势。但在鱼肉表面菌落总数未达到限值的前 3 d 内,90 min 处理组的鱼肉汁液流失率比 60 min 处理组的低 0.4%,说明紫外杀菌 90 min 为适宜处理组。综上,紫外照射处理对鱼肉汁液流失影响显著($P < 0.05$),且对冷藏前期(0~6 d)的影响较为严重。

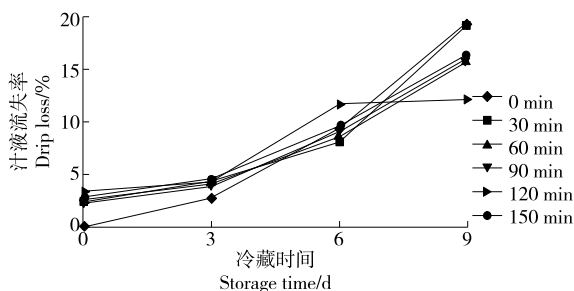


图 2 紫外照射时间对冷藏草鱼鱼肉汁液流失率的影响
Figure 2 Effects of different UV irradiation time on the loss rate of chilled grass carp meat juice

2.4 冷藏鱼肉质构特性的变化

质构特性是衡量鱼肉品质的重要参数之一,主要包括硬度、弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性及回复性。胡芬^[18]研究表明,硬度和弹性是影响鱼肉质构的主要因素。由表 2 可知,随着冷藏时间的延长,鱼肉硬度、胶黏性和回复性等均下降,但各处理组间无显著差异($P>0.05$)。紫外处理对鱼肉质构影响不大,且各组鱼肉所含鱼骨的差异也影响质构分析,可能是紫外线穿透力弱,无法深入鱼肉内部组织,较好地保持了其质构品质^[19]。

2.5 冷藏草鱼肉质差的变化

由表 3 可知,空白组和紫外处理组的初始 L^* 、 a^* 、

表 2 紫外照射时间对冷藏草鱼鱼肉质构的影响[†]

Table 2 Effects of different UV irradiation time on meat texture of refrigerated grass carp meat

紫外照射 时间/min	第 0 天				
	硬度/N	弹性/mm	内聚性/mJ	胶黏性/N	回复性
0	5 458.91±603.18	0.52±0.10	0.52±0.10	3 191.11±173.17	0.34±0.14
30	4 684.59±586.34	0.53±0.09	0.45±0.08	2 296.71±676.42	0.28±0.12
60	4 041.69±625.18	0.53±0.07	0.49±0.07	2 135.79±126.52	0.29±0.11
90	3 975.70±252.87	0.48±0.13	0.49±0.06	1 983.27±329.36	0.32±0.07
120	6 803.94±224.61	0.51±0.08	0.50±0.04	3 539.76±344.95	0.34±0.05
150	7 146.09±197.55	0.47±0.16	0.51±0.12	3 992.67±177.23	0.35±0.15
紫外照射 时间/min	第 3 天				
	硬度/N	弹性/mm	内聚性/mJ	胶黏性/N	回复性
0	6 093.08±138.37	0.62±0.15	0.49±0.07	3 098.39±271.71	0.27±0.06
30	4 402.21±227.08	0.62±0.17	0.58±0.03	2 681.47±198.48	0.33±0.06
60	6 149.23±471.29	0.63±0.14	0.53±0.03	3 349.16±439.25	0.33±0.06
90	6 149.17±594.28	0.62±0.14	0.59±0.04	3 924.91±410.94	0.38±0.17
120	4 065.47±306.37	0.63±0.11	0.51±0.10	2 106.29±219.89	0.28±0.11
150	2 857.55±411.83	0.63±0.14	0.53±0.05	1 555.84±51.21	0.26±0.07
紫外照射 时间/min	第 6 天				
	硬度/N	弹性/mm	内聚性/mJ	胶黏性/N	回复性
0	1 847.47±20.26	0.35±0.01	0.48±0.07	918.85±137.99	0.28±0.11
30	4 371.86±641.45	0.37±0.02	0.51±0.05	2 300.53±272.76	0.32±0.07
60	1 535.08±38.23	0.30±0.03	0.50±0.05	764.85±133.40	0.26±0.02
90	3 141.53±29.83	0.34±0.05	0.51±0.02	1 607.59±335.41	0.30±0.02
120	576.63±13.88	0.32±0.05	0.48±0.06	280.64±65.12	0.19±0.05
150	3 740.58±204.09	0.39±0.05	0.50±0.03	1 838.07±164.15	0.29±0.03
紫外照射 时间/min	第 9 天				
	硬度/N	弹性/mm	内聚性/mJ	胶黏性/N	回复性
0	1 334.02±987.91	0.67±0.01	0.57±0.08	752.93±152.26	0.25±0.15
30	563.99±175.93	0.67±0.01	0.57±0.02	325.54±87.97	0.18±0.03
60	1 670.92±947.49	0.70±0.03	0.59±0.04	1 050.14±153.10	0.25±0.16
90	3 170.37±328.49	0.68±0.01	0.57±0.04	1 904.71±188.07	0.33±0.16
120	2 380.11±917.45	0.69±0.06	0.57±0.04	1 411.63±142.26	0.30±0.08
150	1 917.42±548.42	0.68±0.01	0.58±0.01	1 151.57±107.86	0.26±0.18

表3 紫外照射时间对冷藏草鱼鱼肉色差的影响[†]

Table 3 Effects of different UV irradiation time on color difference of chilled grass carp meat

紫外照射 时间/min	L^*				a^*			
	第0天	第3天	第6天	第9天	第0天	第3天	第6天	第9天
0	29.58±2.64	29.80±1.76 ^{ab}	30.52±2.71 ^a	23.87±2.67	0.33±0.04	0.95±0.17 ^c	0.06±0.33 ^b	2.75±0.72
30	28.07±2.35	33.95±2.81 ^a	30.07±2.21 ^a	21.88±3.11	0.27±0.10	2.62±0.29 ^b	1.52±0.14 ^b	2.06±0.77
60	30.35±5.65	33.95±6.81 ^a	27.74±2.08 ^{ab}	25.37±2.73	0.16±0.10	2.32±0.51 ^b	1.23±0.59 ^b	1.93±0.62
90	27.63±1.71	32.62±3.86 ^a	25.38±1.59 ^b	23.55±2.89	0.24±0.08	2.64±0.45 ^a	1.93±0.45 ^a	2.69±1.01

紫外照射 时间/min	b^*			
	第0天	第3天	第6天	第9天
0	1.90±0.20 ^a	2.73±0.95 ^a	1.63±0.59 ^b	1.29±0.41 ^b
30	0.98±0.19 ^{ab}	2.05±0.94 ^{ab}	1.00±0.19 ^b	4.93±0.45 ^a
60	2.03±0.75 ^a	0.19±0.10 ^b	0.50±0.09 ^b	4.09±1.19 ^a
90	0.18±0.09 ^{ab}	2.13±0.94 ^{ab}	3.55±1.44 ^a	4.88±0.88 ^a

† 小写字母不同表示同列数据之间存在显著差异($P<0.05$)。

b^* 值无明显差异($P>0.05$),但随着冷藏时间的延长,各组的 L^* 值均下降,颜色由白色向黑色转变;冷藏第9天,除空白组 b^* 值降低外,紫外处理组的均升高。冷藏第3天,各组 a^* 值均升高,但紫外处理组的增幅比空白组的高;冷藏第6天,各组 a^* 值均下降,但下降幅度与照射剂量之间无明显关系。紫外处理在鱼肉冷藏过程中具有一定的稳定鱼肉色泽作用,但不同紫外照射时间并未对色泽造成显著性影响,可能是紫外照射时间较短。赵莉君等^[20]发现,48 h的长时间紫外照射会导致肉颜色过深。

2.6 冷藏草鱼肉挥发性风味物质的变化

鱼肉中的挥发性物质主要包括醇类、醛类、酮类、酸类、酯类、烃类及一些含氮含硫化合物等,而不同冷藏时期草鱼肉的挥发性风味物质不同^[21]。由表4可知,冷藏草鱼肉中共检出90种挥发性成分,主要为醛类、酮类、醇类、酯类及酸类。

醛类物质是鱼肉不饱和脂肪氧化和蛋白质降解的主要产物,其阈值较低,对水产品风味贡献较大。醛类共检出14种,其中,辛醛具有水果香和青草香;壬醛具有哈喇味、鱼腥味,是油酸的氧化产物;己醛具有油腻味、哈喇味、腐臭味等不良气味^[22]。紫外处理组的壬醛含量在冷藏期均呈下降趋势,而空白组的则先增长后下降,且在冷藏第3天达到各组最高值5.38%;冷藏期间,空白组的己醛含量逐渐上升,高于紫外处理组,但在冷藏第9天下降,腐臭味逐渐加重,鱼肉品质逐渐恶化。

酮类化合物是脂肪氧化的终产物,主要由脂肪分解和氧化生成^[23],对鱼肉风味的贡献低于醛类和醇类。酮类物质的阈值较高,对鱼肉整体风味贡献不大^[24]。酮类物质含量相对较少,共检出12种,且2,5-辛二酮含量最多。2,5-辛二酮呈现出令人不愉悦的鱼腥味,冷藏期间,空白组2,5-辛二酮的相对百分比含量均高于紫外处理组,可能是紫

外杀菌一定程度上抑制了微生物对脂肪的分解。

醇类由脂质分解产生,一般产生植物香、芳香等比较柔和的气味,且饱和醇的阈值远低于饱和醇,所以其对肉品风味贡献较大^[25]。醇类物质含量占有挥发性物质的60%以上,共检出16种。冷藏期间,醇类物质的含量及种类均降低,冷藏第9天,空白组和90 min处理组的醇类物质含量分别降低了60.95%,76.90%。其中,1-己醇和1-辛烯-3-醇的含量最多,且降幅最大,但1-己醇为饱和醇,阈值较大,对鱼肉风味贡献较小;1-辛烯-3-醇具有蘑菇香气和草香味^[26]。冷藏第9天,空白组、90 min处理组的1-辛烯-3-醇含量比冷藏第0天分别下降了9.64%,14.46%,90 min处理组下降得更多,可能是紫外照射时间过长,挥发性物质散发,但整体上紫外处理组的下降趋势更缓慢。

烃类物质检出的种类较少,共7种,主要为十五烷、十六烷和十七烷。90 min处理组冷藏第9天,3种烷烃的相对百分比含量增加,可能是冷藏后期,草鱼肉中的脂肪酸氧化裂解速率加快所致。芳香化合物和吡喃的相对百分比含量较少,但能与其他物质相互作用,对鱼肉风味产生一定影响。

酯类化合物一般由酸和醇缩合而成,是肉品特征香味的重要来源。酯类共检出21种,且随着冷藏时间的延长,酯类物质的种类和含量也逐渐增多,冷藏第9天,空白组、90 min处理组的酯类化合物含量分别增加了51.50%,66.07%,说明紫外处理一定程度上可以加速鱼肉特征香味的产生。

酸是醛氧化后的产物,酸类物质阈值高,含量过低对于鱼肉风味贡献较小。酸类共检出12种,主要为正癸酸、十二酸、十四酸和正十六酸。随着冷藏时间的延长,酸类挥发性物质含量逐渐增加,可能与后期形成的酸类物质有关。

表 4 冷藏期草鱼鱼肉风味物质的变化[†]

Table 4 Effects of UV irradiation time on flavor compounds of chilled grass carp meat

%

种类	化合物	空白组				90 min 处理组			
		第 0 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 0 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天
醛类	3-甲基丁醛	nd	0.59±0.12	nd	nd	nd	0.31±0.02	nd	nd
	己醛	0.94±1.04	9.56±2.66	10.05±1.29	0.35±0.34	0.78±0.17	3.81±0.71	4.66±1.70	nd
	庚醛	nd	0.62±0.26	1.01±0.37	nd	nd	0.63±0.11	nd	nd
	辛醛	0.50±0.32	1.68±0.78	0.89±0.36	nd	0.29±0.25	0.87±0.07	0.80±0.43	nd
	(Z)-2-庚醛	nd	0.71±0.09	0.37±0.13	nd	nd	0.96±0.01	0.62±0.40	nd
	壬醛	4.35±3.53	5.38±1.70	3.29±0.49	0.18±0.10	4.69±0.71	3.41±1.03	1.77±0.81	nd
	5-乙基环戊-1-烯醛	nd	0.46±0.05	0.75±0.21	nd	0.74±0.02	0.60±0.04	0.65±0.26	nd
	(E)-2-辛烯醛	nd	nd	1.07±0.22	nd	0.89±0.38	nd	0.71±0.25	nd
	癸醛	nd	0.17±0.16	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	(E)-2-壬烯醛	0.47±0.14	0.35±0.08	nd	nd	nd	0.38±0.07	nd	nd
	(E)-2-癸烯醛	0.16±0.12	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	(E, E)-2, 4-癸二烯醛	0.17±0.02	0.19±0.01	nd	nd	0.27±0.06	0.23±0.03	0.13±0.09	nd
	十五醛	nd	nd	nd	nd	0.20±0.09	nd	nd	nd
	十六醛	0.09±0.07	0.29±0.04	nd	nd	nd	0.50±0.20	nd	nd
	小计	6.68±5.22	20.00±5.95	17.43±3.07	0.53±0.44	7.86±1.68	11.70±2.11	9.34±3.94	0.00±0.00
酮类	丙酮	nd	nd	nd	0.16±0.00	nd	nd	nd	nd
	2,3-戊二酮	nd	0.09±0.01	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	2-庚酮	nd	nd	1.07±0.23	1.00±0.01	nd	1.11±0.36	nd	0.76±0.21
	3-辛酮	0.29±0.16	0.95±0.17	4.10±0.39	2.21±0.01	nd	0.78±0.13	nd	nd
	2,5-辛二酮	5.86±3.23	3.92±0.28	3.85±4.70	nd	5.16±0.89	3.50±0.11	nd	nd
	2-壬酮	nd	nd	0.14±0.05	0.42±0.00	nd	0.60±0.05	nd	nd
	(E, E)-3,5-辛二烯-2-酮	nd	nd	nd	nd	nd	0.32±0.09	nd	nd
	二氢-5-戊基-2(3H)-呋喃酮	0.09±0.02	nd	nd	nd	0.12±0.01	nd	nd	nd
	2-十一烷酮	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.38±0.16
	小计	6.24±3.41	4.96±0.46	9.16±5.37	3.79±0.02	5.28±0.90	6.31±0.74	0.52±0.08	2.51±0.85
醇类	乙醇	nd	nd	nd	nd	0.72±0.78	1.38±0.28	1.01±0.72	nd
	1-丁醇	nd	nd	nd	nd	nd	0.10±0.09	nd	nd
	3-甲基-1-丁醇	nd	nd	nd	1.17±0.52	nd	nd	nd	0.52±0.10
	1-戊烯-3-醇	nd	nd	nd	nd	nd	0.41±0.04	nd	nd
	1-戊醇	2.87±1.08	1.45±0.01	10.84±1.35	10.24±1.95	2.62±0.13	1.74±0.45	1.30±0.02	nd
	1-己醇	nd	38.28±7.11	14.79±2.68	1.26±0.12	42.42±2.26	21.99±2.49	10.84±0.65	0.44±0.12
	1-辛烯-3-醇	27.88±0.21	33.68±0.52	nd	18.24±0.58	20.49±0.04	30.78±0.29	24.56±0.42	6.03±8.38
	1-庚醇	nd	nd	nd	nd	nd	3.61±0.06	nd	nd
	1-辛醇	5.07±0.03	2.98±0.22	1.06±0.21	0.17±0.02	7.35±0.21	4.52±0.18	1.27±0.39	nd
	(E)-2-辛烯-1-醇	0.61±0.05	0.24±0.27	6.23±0.81	1.36±0.34	1.20±0.12	0.74±0.17	1.06±0.11	0.38±0.01
	2,7-辛二烯-1-醇	nd	nd	0.38±0.14	nd	nd	nd	nd	nd
	1-壬醇	7.75±0.55	2.92±0.78	0.27±0.11	0.13±0.06	9.53±0.03	4.88±0.23	0.68±0.21	nd
	(Z)-3-壬烯-1-醇	1.31±0.27	0.49±0.03	nd	nd	nd	0.84±0.04	nd	nd

续表 4

种类	化合物	空白组				90 min 处理组				
		第 0 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 0 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天	
醇类	桉树醇	nd	0.36±0.17	nd	0.11±0.03	nd	0.27±0.08	nd	0.06±0.07	
	芳樟醇	nd	0.10±0.01	nd	nd	nd	0.11±0.00	nd	nd	
	反式异丁烯醇	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.07±0.16	nd	
	小计	83.77±9.30	42.22±2.01	33.19±15.76	22.82±1.81	84.33±3.57	71.36±4.40	42.15±2.74	7.43±8.68	
烃类	七烷	1.27±0.09	nd	nd	nd	0.91±0.24	nd	nd	nd	
	十五烷	0.22±0.00	0.11±0.03	0.24±0.02		0.21±0.12	nd	0.18±0.01	0.16±0.03	
	十六烷	0.22±0.02	0.10±0.01	0.11±0.02	0.06±0.02	0.14±0.03	0.06±0.00	0.09±0.03	0.19±0.01	
	十七烷	nd	0.92±0.08	1.63±0.15	0.86±0.07	nd	0.76±0.04	1.14±0.09	1.38±0.51	
	1-十一烯	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.62±0.27	nd	
	D-柠檬烯	nd	nd	nd	1.69±0.55	nd	0.38±0.11	nd	nd	
	3,5,5-三甲基-2-己烯	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.86±0.02	
	小计	1.71±0.11	1.13±0.12	1.98±0.19	2.61±0.64	1.26±0.39	1.20±0.15	2.03±0.40	2.59±0.57	
芳香化 合物	乙苯	nd	nd	nd	0.43±0.30	nd	nd	nd	0.14±0.02	
	1,3-二甲基-苯	nd	nd	nd	0.94±0.60	nd	nd	nd	nd	
	苯乙烯	nd	nd	1.78±0.46	nd	nd	nd	2.07±0.60	nd	
	苯甲醛	nd	0.35±0.07	nd	nd	nd	0.17±0.06	0.28±0.10	nd	
	4-乙基苯甲醛	nd	0.65±0.15	nd	nd	0.73±0.08	0.73±0.14	0.19±0.10	nd	
	4-戊基苯甲醛	nd	nd	nd	nd	0.10±0.01	0.17±0.04	nd	nd	
	苯甲醇	nd	nd	nd	nd	0.06±0.02	nd	0.02±0.00	nd	
	苯乙醇	nd	nd	nd	0.19±0.05	nd	nd	0.13±0.02	0.19±0.02	
	丁香酚	nd	22.39±3.39	nd	14.73±1.02	nd	nd	nd	12.54±2.12	
	吡啶	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.13±0.02	
	小计	0.00±0.00	23.39±3.61	1.78±0.46	16.29±1.97	0.89±0.11	1.07±0.24	2.69±0.82	13.00±2.18	
	呋喃	2-戊基呋喃	0.24±0.27	0.29±0.10	nd	nd	nd	0.29±0.12	nd	nd
	酯类	乙酸甲酯	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.16±0.03
羟基乙酸乙酯		nd	nd	nd	nd	0.25±0.16	nd	nd	nd	
乙酸乙酯		nd	0.19±0.13	nd	nd	nd	1.36±0.17	15.61±3.36	12.40±8.17	
丙酸乙酯		nd	nd	1.32±0.39	3.68±1.51	nd	nd	0.88±0.18	nd	
丁酸乙酯		nd	nd	2.28±0.38	0.72±0.04	nd	nd	nd	1.29±0.17	
丁酸丙酯		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.09±0.06	
3-羟基丁酸乙酯		nd	nd	nd	0.34±0.01	nd	nd	nd	0.16±0.02	
2-甲基丁酸乙酯		nd	nd	2.01±0.47	4.88±0.30	nd	nd	nd	4.15±0.29	
3-甲基丁酸乙酯		nd	nd	5.59±1.46	13.17±0.40	nd	nd	3.31±0.96	13.44±1.09	
2-甲基丁酸丙酯		nd	nd	nd	0.54±0.09	nd	nd	nd	0.22±0.06	
3-甲基丁酸丙酯		nd	nd	0.22±0.15	1.19±0.04	nd	nd	nd	0.54±0.10	
(E)-2-己烯酸丁酯		nd	nd	nd	0.25±0.06	nd	nd	nd	0.18±0.06	
(Z)-2-丁烯酸乙酯		nd	nd	5.33±0.70	13.69±1.10	nd	nd	3.20±0.74	6.43±0.68	
2-己烯酸乙酯		nd	nd	3.79±0.58	7.88±0.84	nd	nd	nd	8.66±2.20	
己酸乙酯		nd	0.45±0.24	7.43±1.10	4.43±1.31	nd	1.20±0.35	11.55±1.20	16.38±4.93	
己酸丙酯		nd	nd	nd	0.18±0.08	nd	nd	nd	nd	
正己酸乙酯	nd	nd	nd	0.18±0.10	nd	0.23±0.03	nd	nd		
庚酸乙酯	nd	nd	nd	0.03±0.02	nd	nd	0.36±0.03	0.66±0.32		
辛酸乙酯	nd	0.03±0.01	0.63±0.07	0.34±0.03	nd	0.11±0.02	2.15±0.12	2.46±1.23		

续表 4

种类	化合物	空白组				90 min 处理组			
		第 0 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 0 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天
酯类	癸酸乙酯	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.20±0.13
	十二酸乙酯	nd	nd	nd	nd	0.12±0.02	nd	nd	nd
	小计	0.00±0.00	0.67±0.38	28.60±5.30	51.50±5.93	0.37±0.18	2.90±0.57	37.06±6.59	67.42±12.93
酸类	己酸	0.13±0.06	0.08±0.05	0.31±0.07	nd	nd	nd	0.19±0.05	nd
	辛酸	nd	nd	0.20±0.04	nd	nd	nd	0.10±0.02	0.03±0.01
	壬酸	0.08±0.02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	正癸酸	0.02±0.00	0.10±0.01	0.41±0.09	0.12±0.06	nd	0.06±0.02	0.24±0.06	0.06±0.03
	十二酸	nd	1.42±0.03	4.20±0.80	1.87±0.99	nd	1.04±0.27	3.70±0.31	2.50±0.55
	十四酸	0.08±0.03	0.73±0.10	0.85±0.04	0.43±0.17	0.03±0.02	0.61±0.14	0.61±0.37	0.49±0.05
	十六酸	1.04±0.40	3.29±0.83	1.82±0.47	nd	nd	2.70±0.92	1.13±0.11	0.87±0.00
	十八酸	nd	0.32±0.02	nd	nd	nd	0.15±0.14	nd	nd
	9-十八烯酸	nd	nd	0.07±0.01	0.03±0.01	nd	nd	nd	nd
	顺-13-十八烯酸	nd	1.17±0.72	nd	nd	nd	0.61±0.11	nd	nd
	亚麻酸	nd	0.04±0.01	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	棕榈烯酸	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.20±0.01	0.14±0.03
	小计	1.35±0.51	7.15±1.77	7.86±1.52	2.45±1.23	0.03±0.02	5.17±1.60	6.17±0.93	4.09±0.67

† 采用质谱库 NIST17 匹配和线性保留指数比对鉴定;“nd”表示未检出。

3 结论

以草鱼鱼肉表面微生物菌落总数、质构和挥发性风味成分为考核指标,确定了紫外减菌强度 30 W 和距离 30 cm 条件下的最佳照射时间为 90 min。该减菌工艺对短期冷藏草鱼鱼肉有较好的减菌效果,并能保持冷藏鱼肉原本的质构品质。冷藏草鱼鱼肉中共检出 90 种挥发性风味物质,其中辛醛、壬醛、己醛、2,5-辛二酮、1-己醇、1-辛烯-3-醇含量较高。紫外照射处理的冷藏草鱼鱼肉中形成腥味和腐臭物质的壬醛、己醛、2,5-辛二酮等含量增加较慢,同时形成草鱼香味物质的辛醛、1-己醇、1-辛烯-3-醇等醇类物质含量下降较慢;且冷藏后期(6~9 d),酯类和酸类物质含量逐渐增多。总体来看,草鱼冷藏前期(0~6 d),紫外减菌处理均对样品有一定程度的影响,具有延缓冷藏草鱼鱼肉腥味产生和香味下降的作用,但对冷藏后期草鱼品质影响较小。单一的紫外照射处理对于延长草鱼冷藏保鲜的货架期效果不是很强,有待联合其他保鲜工艺获得更佳的冷藏草鱼保鲜技术。

参考文献

[1] WANG Y D, TIAN Y X, SUN J W, et al. Physicochemical properties of grass carp surimi as affected by pH and NaCl concentration during washing [J]. International Journal of Food Properties, 2023, 26(1): 952-962.

[2] 李竣, 杨旭, 陈洁. 中国淡水鱼加工业的现状, 主要问题及发展思路: 基于全国 58 家淡水鱼加工企业的调查[J]. 保鲜与加工,

2020, 20(5): 212-217.

LI J, YANG X, CHEN J. Status, problems and countermeasures of freshwater fish processing industry in China: Based on the investigation of 58 freshwater fish processing enterprises in China [J]. Storage and Process, 2020, 20(5): 212-217.

[3] 刘慧. 微酸性电解水对草鱼冷藏期间保鲜效果影响的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021: 3.

LIU H. Effect of the slightly acidic electrolyzed water on preservation of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) during the chilling storage[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2021: 3.

[4] 张亚瑾, 焦阳. 冷冻和解冻技术在水产品中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2021, 37(1): 215-221, 236.

ZHANG Y J, JIAO Y. Research status and prospect of freezing and thawing technologies of aquatic products[J]. Food & Machinery, 2021, 37(1): 215-221, 236.

[5] YU N, ZHANG M, ISLAM M N, et al. Combined sterilizing effects of nano-ZnO and ultraviolet on convenient vegetable dishes [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 61(2): 638-643.

[6] 周强, 谢诚山, 刘蒙佳, 等. 减菌化处理在草鱼冷藏保鲜中的应用研究[J]. 食品工业, 2017, 38(11): 103-108.

ZHOU Q, XIE C S, LIU M J, et al. Application of bacteria number reducing treatment in grass carp quality control during cold storage [J]. Food Industry, 2017, 38(11): 103-108.

[7] 杨新磊. 紫外处理与两种天然保鲜剂对冷却猪肉品质的影响研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2013: 55.

YANG X L. Study on the quality of frozen pork by UV-C treatment and two natural preservatives [D]. Xianyang: Northwest A & F

- University, 2013: 55.
- [8] SHEN M H, SINGH R K. Detoxification of aflatoxins in foods by ultraviolet irradiation, hydrogen peroxide, and their combination: A review[J]. LWT, 2021, 142: 110986.
- [9] 李金林, 王维亚, 李鑫, 等. 基于雷达图与紫外-可见分光光度法建立鱼汤挥发性风味评价方法及其应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(8): 2 103-2 110.
- LIN J L, WANG W Y, LI X, et al. Establishment and application of sensory evaluation method for volatile flavor of fish soup based on radar map and ultraviolet-visible spectrophotometry[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(8): 2 103-2 110.
- [10] 韩杰, 金虹, 任哲, 等. 两种采样方法对环境中微生物采样效果的比较研究[J]. 中国消毒学杂志, 2020, 37(1): 10-12.
- HAN J, JIN H, REN Z, et al. Comparative study on the effect of two sampling methods on microbial sampling in environment[J]. Chinese Journal of Disinfection, 2020, 37(1): 10-12.
- [11] 高琪. 鲮鱼头冷冻加工与品质改良技术的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 10-12.
- GAO Q. Study on freezing processing and quality improvement technology of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) heads[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015: 10-12.
- [12] 魏心如, 李伟明, 闫海鹏, 等. 冷却鸡肉肉色色差计评定方法标准化[J]. 食品科学, 2014, 35(24): 189-193.
- WEI X R, LI W M, YAN H P, et al. Standardization of color measurement of chilled chicken using colorimeter [J]. Food Science, 2014, 35(24): 189-193.
- [13] 李婷婷, 任丽琨, 刘楠, 等. GC-MS 结合电子鼻分析不同生物保鲜剂对黑鱼片挥发性气味的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(10): 286-299.
- LI T T, REN L K, LIU N, et al. Effects of different biological antistaling agents on volatile compounds of snakehead fish during refrigerated storage by GC-MS technology combined with electronic nose[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(10): 286-299.
- [14] 杨明扬, 王飞, 孟庆阳. 紫外线降低片猪肉表面微生物研究[J]. 肉类工业, 2018(4): 27-29.
- YANG M Y, WANG F, MENG Q Y. Study on the decrease of surface microorganism of demi carcass pork by ultraviolet[J]. Meat Industry, 2018(4): 27-29.
- [15] 刘玉花. 家用冰箱中嗜冷微生物的筛选及多样性分析[C]//2018年中国家用电器技术大会论文集. 北京: 中国轻工业出版社, 2018: 64-69.
- LIU Y H. Diversity of psychrotrophs from household refrigerator[C]//Proceedings of the 2018 China Household Appliance Technology Conference. Beijing: China Light Industry Press, 2018: 64-69.
- [16] 钱晓庆, 朱萌, 石钢鹏, 等. 冻融循环过程中鲮鱼片 K 值的近红外预测模型研究[J]. 食品与机械, 2021, 37(1): 137-142, 203.
- QIAN X Q, ZHU M, SHI G P, et al. The near infrared prediction model of K-value of Channel catfish fillets during freeze-thaw cycles[J]. Food & Machinery, 2021, 37(1): 137-142, 203.
- [17] 何余堂, 宋珊珊, 解玉梅, 等. 脉冲强光与紫外辐照对鲜食玉米贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 324-327, 353.
- HE Y T, SONG S S, XIE Y M, et al. Effects of pulsed light and UV irradiation on fresh corn quality during storage period[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(2): 324-327, 353.
- [18] 胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 69-73.
- HU F, LI X D, XIONG S B, et al. Texture properties of freshwater fish and their correlation with nutritional components[J]. Food Science, 2011, 32(11): 69-73.
- [19] 王峰, 张雯雯, 吴晓霞. 不同时间紫外处理对冷鲜猪肉品质变化的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(6): 207-214.
- WANG F, ZHANG W W, WU X X. Effect of ultraviolet treatment at different time on quality changes of chilled pork[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(6): 207-214.
- [20] 赵莉君, 骆震, 崔文明, 等. 紫外照射和温度波动对冷鲜肉肉色稳定性的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(2): 133-137.
- ZHAO L J, LUO Z, CUI W M, et al. Influence of ultraviolet irradiation and temperature fluctuation on the color stability of chilled meat [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(2): 133-137.
- [21] LI J L, HU X F, YU C W, et al. Rapid screening of oxidized metabolites of unsaturated fatty acids in edible oil by Nano ESI-MS/MS[J]. LWT, 2023, 175: 114468.
- [22] 马菲, 郇延军, 刁欣悦. 酱制时间对传统酱卤猪肉制品风味及质构变化规律的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(9): 55-63.
- MA F, HUAN Y J, DIAO X Y. Effect of sauce time on the flavor and texture change of traditional sauce and braised pork products [J]. Food & Machinery, 2019, 35(9): 55-63.
- [23] 封池, 张森, 胡俊生, 等. 4种品牌银鲑鱼品质分析与比较[J]. 食品与机械, 2023, 39(5): 150-158.
- FENG C, ZHANG M, HU J S, et al. Quality analysis and comparison of four brands of silver cod[J]. Food & Machinery, 2019, 35(9): 55-63.
- [24] 吴丽香, 张雯, 童秋霞, 等. 即食秋刀鱼加工过程中挥发性成分变化规律[J]. 食品与机械, 2021, 37(9): 29-36.
- WU L X, ZHANG W, TONG Q X, et al. Study on the variation of volatile components of ready-to-eat Pacific saury (*Cololabis saira*) during processing [J]. Food & Machinery, 2021, 37(9): 29-36.
- [25] 李明月, 韩冰, 王军茹, 等. 气味指纹图谱技术在肉类产品中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2022, 38(5): 210-215, 225.
- LI Y M, HAN B, WANG J R, et al. Advances in the application of odour fingerprinting techniques in meat products [J]. Food & Machinery, 2022, 38(5): 210-215, 225.
- [26] SOHAIL A, AL-DALALI S, WANG J N, et al. Aroma compounds identified in cooked meat: A review [J]. Food Research International, 2022, 157: 111385.