

不同加热方式结合迷迭香对大口黑鲈脂质氧化及其风味的影响

邱文兴^{1,2}, 杜柳^{1,2}, 易弛¹, 刘栋银^{2,3}, 丁玲⁴,
熊光权², 乔宇^{2*}, 汪兰^{2*}, 汪超¹

(1. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 武汉 430068; 2. 农业农村部冷链物流技术重点实验室湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 武汉 430064; 3. 海南大学食品科学与工程学院, 海南省食品营养与功能食品重点实验室, 海口 570228; 4. 襄阳职业技术学院农学院, 襄阳 441021)

摘要: **目的** 研究腌制及热处理对鲈鱼脂质氧化的影响。**方法** 以去内脏的新鲜鲈鱼为原料, 用0.3%迷迭香提取物、4%盐分别腌制鲈鱼, 再分别经水煮、真空低温慢煮(sous vide, SV)、空气炸3种加热方式后制成样品, 研究其过氧化值、茴香胺值、硫代巴比妥酸反应产物值(thiobarbituric acid reaction product value, TBARS)、色度、感官评价、电子鼻等指标的变化情况, 并利用气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、电子鼻等技术, 对其风味进行了分析。**结果** 0.3%迷迭香提取物湿腌对于鲈鱼有明显的抗氧化效果。迷迭香提取物湿腌SV处理后鲈鱼过氧化值、TBARS、茴香胺值分别为0.21 mmol/kg、2.24 μ g/g、0.24, 其值都低于水煮和空气炸。GC-MS和电子鼻技术检测得出3种加热方式对鲈鱼气味和挥发性风味物质的影响存在差异。空气炸制的鲈鱼挥发性风味物质含量较高, 包含3-甲基丁醛、庚醛和己醛等脂肪氧化产物; 经过迷迭香酸湿腌加SV处理过的鱼肉挥发性成分中醛类、醇类含量较低。**结论** 整体而言, 迷迭香提取物有利于控制鲈鱼烹调过程中脂肪的氧化。

关键词: 鲈鱼; 迷迭香提取物; 气相色谱-质谱法

Effects of different heating methods combined with *Rosmarinus* on lipid oxidation and its flavour in *Micropterus salmoides*

QIU Wen-Xing^{1,2}, DU Liu^{1,2}, YI Chi¹, LIU Dong-Yin^{2,3}, DING Ling⁴,
XIONG Guang-Quan², QIAO Yu^{2*}, WANG Lan^{2*}, WANG Chao¹

(1. School of Bioengineering and Food, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Products Cold Chain Logistics, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Agro-products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 3. School of Food Science and Engineering, Hainan University, Hainan Province, Key Laboratory of Food Nutrition and Functional Foods, Haikou 570228, China; 4. School of Agricultural, Xiangyang Vocational and Technical Collage, Xiangyang 441021, China)

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2100904)、湖北省重点研发计划项目(KJXCQS2022000503)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2022YFD2100904), and the Key Research and Development Program of Hubei Province (KJXCQS2022000503)

*通信作者: 乔宇, 研究员, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: qiaoyu412@sina.com

汪兰, 研究员, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: lilywang_2016@163.com

*Corresponding author: QIAO Yu, Professor, Key Laboratory of Agricultural Products Cold Chain Logistics Technology, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Institute of Agro-product Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China. E-mail: qiaoyu412@sina.com

WANG Lan, Professor, Key Laboratory of Agricultural Products Cold Chain Logistics Technology, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Institute of Agro-product Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China. E-mail: lilywang_2016@163.com

ABSTRACT: Objective To investigate the effect of curing and heat treatment on lipid oxidation in *Micropterus salmoides*. **Methods** In this experiment, the freshly gutted *Micropterus salmoides* were used as raw material, and cured with 0.3% *Rosmarinus* extract and 4% salt respectively. Then the samples were cooked by boiling, vacuum low temperature sous vide (SV) and air frying, respectively, to study the changes of peroxide value, anisidine value, thiobarbituric acid reaction product value (TBARS), color, sensory evaluation. The flavor was also analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and electronic nose. **Results** The results showed that 0.3% *Rosmarinus* extract wet curing had significant antioxidant effect on *Micropterus salmoides*. The values of peroxide value, TBARS and anisidine value of *Micropterus salmoides* curing with *Rosmarinus* extract treated SV were 0.21 mmol/kg, 2.24 $\mu\text{g/g}$ and 0.24, respectively, which were lower than those of boiling and air frying methods. The detection by GC-MS and electronic nose techniques yielded there were differences in the odor and volatile flavor substances of *Micropterus salmoides* by 3 kinds of heating methods. The air-fried *Micropterus salmoides* had a higher content of volatile flavor substances containing fatty oxidation products such as 3-methylbutyraldehyde, heptanal and hexanal, and *Micropterus salmoides* treated with *Rosmarinus* extract wet cure plus SV had the lower content of aldehydes and alcohols in volatile components. **Conclusions** Overall, *Rosmarinus* extract is beneficial in controlling fat oxidation during the cooking of *Micropterus salmoides*.

KEY WORDS: *Micropterus salmoides*; *Rosmarinus* extract; gas chromatography-mass spectrometry

0 引言

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)是一种原产于北美的淡水鱼,隶属鲈形目(*Perciformes*)太阳鱼科(*Centrarchidae*)^[1-2]。近年来,我国的鲈鱼产量逐渐上升,但由于鲈鱼肉中的脂肪含量丰富,不适当的烹调方式容易发生脂肪氧化等现象,严重影响其品质^[3]。

传统水产品的热加工方式主要有蒸煮、油炸等,水煮能促进营养物质的释放,使肉质易于消化,降低烹饪处理的不利影响^[4]。真空低温慢煮(sous vide, SV)可避免加热过程中水分和挥发性成分的损失,并能降低加热过程的脂肪氧化程度^[5],但是在风味和口感的接受度上比较低。空气炸是以高温热气流作为热交换介质,炸制过程中使食材释放出风味物质,然而高温炸制的过程中会产生脂质氧化产物,对人们身体健康造成一定的危害。据报道,脂质氧化产物与动脉粥样硬化、阿尔茨海默病、炎症或衰老过程有关^[6]。因此,用合适的鲈鱼烹饪方法结合抗氧化剂对鲈鱼烹饪过程中氧化产物的研究是必要的。

许多抗氧化剂在自然环境中缺乏丰富性,因此不可能大规模生产。在这些天然来源的抗氧化剂中,迷迭香提取物被发现具有成本效益优势,成为市场上最具商业价值的天然抗氧化剂之一^[7-8]。迷迭香提取物主要成分是鼠尾草酸、迷迭香酚和鼠尾草酚等,具有安全、高效、广谱及耐热的抗氧化性能,已成为近几年来食品加工中的重要抗氧化剂^[9-10]。国内外对迷迭香在食品抗氧化以及稳定肉制品风味等方面做了非常深入的研究,如 LEUNG 等^[11]研究表明相较于黑胡椒、百里香等,迷迭香酸亲脂性的抗氧化能力最强。GUO 等^[12]研究表明迷迭香提取物对棕榈油煎炸

过程中的脂质过氧化有较强的保护作用。目前大口黑鲈脂质氧化的研究主要集中在不同抗氧化剂之间抗氧化效果的比较和抗氧化剂对单一烹调方式抗氧化效果的探究,但是有关于迷迭香对不同加热方式鲈鱼抗氧化的研究报道较少。因此,适宜的加工方式和迷迭香结合研究对大口黑鲈脂质氧化的探究有一定的意义。

本研究探究不同的加热方式结合迷迭香对大口黑鲈的硫代巴比妥酸反应产物值(thiobarbituric acid reaction product value, TBARS)^[13]、过氧化值^[14]、茴香胺值^[15]、色度、感官评价特性指标的变化,并通过气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)^[16-17]、电子鼻分析其风味差异,从而选择合适的加热方式和有效的抗氧化剂降低鲈鱼的脂质氧化,对鲈鱼水产品的开发应用具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

实验用新鲜鲈鱼购于湖北省武汉市洪山区武商量贩生活超市,且规格基本一致,其质量为 800 g \pm 50 g。

三氯乙酸(trichloroacetic acid, TCA)、三氯甲烷、硫代硫酸钠(thiobarbituric acid, TBA)、2-硫代巴比妥酸、可溶性淀粉、乙酸、甲醇、冰乙酸、氯化钠、碘化钾、石油醚、茴香胺、丙二醛(malondialdehyde, MDA)(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);异辛烷(分析纯,上海麦克林生化科技有限公司);迷迭香提取物(迷迭香酸 \geq 10%,海南舒普生物技术有限公司);食盐(湖北盐业集团有限公司)。

1.2 仪器与设备

PEN₃ 电子鼻(德国 AIRSENSE 公司); HSC-24A 氮吹仪(上海翱艺仪器有限公司); S-2021TS 空气炸锅(山本电器制造有限公司); LGJ-25C 冷冻干燥机(北京四环科学仪器厂有限公司); CR-400 色差计(日本柯尼达公司); 7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪器、DB-WAX 弹性毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国安捷伦科技公司); EMS30 恒温水浴锅(上海谦科仪器设备有限公司); DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器(武汉亨泰达仪器设备有限公司); A360 紫外分光光度计(天津市横奥科技发展有限公司); FA1004 万分之一天平(上海力衡仪器仪表有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

将鲈鱼去头、去内脏, 并清洗干净放入冷库中湿腌 5 h, 取出后清水洗净, 再去皮、去骨并取鱼背肉切成同等大小, 冷藏待用。

预处理分为 3 组: 第一组是纯净水浸泡处理为空白对照(CK); 第二组是 4%盐浸泡处理为食盐组(S); 第三组是 4%盐+0.3%迷迭香为迷迭香组(R)。

预处理后结合加热处理分为 4 组: 第 1 组是空白对照(生); 第 2 组是湿腌后鱼肉沸水下锅煮 10 min 捞出为水煮组分别是 CK 煮组、S 煮组、R 煮组; 第 3 组是将湿腌后的鱼肉置于密封蒸煮袋中 80℃水浴 2 h 为 SV 组分别是 CKSV 组、SSV 组、RSV 组; 第 4 组是湿腌后鱼肉放入空气炸锅 170℃炸 20 min, 10 min 翻一次面为空气炸组分别是 CK 炸组、S 炸组、R 炸组。

1.3.2 色度测定

参考 GANASEN 等^[18]方法并稍微修改。将经过处理的鲈鱼肉切块, 使用色差仪测定样品剖面的 L^* 、 a^* 、 b^* 。 L^* 表示亮度, a^* 、 b^* 表示色度。 a^* 表示红(+)/绿(-); b^* 表示黄(+)/蓝(-)。先对仪器进行校准, 在对其所需部位进行测量, 每组样品测 5 次, 取平均值进行计算。

1.3.3 挥发性风味物质的测定

样品前处理: 取 2 g 样品放入顶空瓶中在 50℃下恒温 15 min, 顶空萃取 30 min。

GC 条件: DB-WAX 弹性毛细管柱(30 m×0.25 mm,

0.25 μm), 不分流模式进样, 升温程序: 柱初温 40℃, 保持 2 min, 以 4℃/min 升温到 160℃, 而后以 10℃/min 升到 250℃并保持 5 min, 载气为氦气, 流量为 1.0 mL/min。MS 条件: 离子源温度 280℃, 电子能量 70 eV, 质量扫描范围 m/z 35~350。

定性分析: 经 GC 分离后, 不同的组分会形成不同的峰, 用 GC-MS 仪进行分析鉴定。分析结果用谱库(NIST08)进行检索。

1.3.4 电子鼻测定大口黑鲈气味

参考周明珠等^[19]方法并稍作修改。取鲈鱼样品, 剁碎, 称取 2 g 装入 PEN₃ 便携式电子鼻系统配套的集样瓶中, 同时加入 2%的盐水和转子, 每组采集 3 个样品, 水浴 40℃加热 30 min, 仪器预热 30 min, 测量参数为测量时间 120 s, 清洗时间 100 s, 每 1 s 取样一次, 最后选用 116~120 s 的值进行主成分分析(principal component analysis, PCA)。

1.3.5 TBARS 值的测定

参照夏雨婷等^[20]方法稍作修改, 称取处理好的样品 5 g 于 50 mL 离心管中, 加入 20 mL 10% TCA 和 20 mL 蒸馏水, 静置 1 h, 然后在 8000 r/min、4℃条件下离心 10 min, 取上清液 5 mL 于比色管, 加 5 mL 0.02 mol/L TBA 在沸水浴中反应 20 min, 取出用流动水冷却 5 min, 于 532 nm 波长处测定吸光度。空白样: 取 5 mL 水加 5 mL TBA。TBARS 值的测定以 MDA 为标准品, 结果以每千克样品中 MDA 的毫克数来表示, 记为 mg MDA/kg。

1.3.6 过氧化值的测定

参照 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》, 采用第一法进行测定。

1.3.7 茴香胺值的测定

参照 GB/T 24304—2009《动植物油脂 茴香胺值的测定》。

1.3.8 感官评定的测定

由 6 名专业相关实验人员组成感官评价小组对样品进行感官评分, 如表 1 所示, 以鲈鱼的气味、色泽、嫩度、质地 4 个感官指标进行评价, 9 分为最好~1 分为最差。感官评价总分通过加权统计计算, 色泽、气味、嫩度、质地指标分别设置权重为 0.3、0.3、0.2、0.2, 所得评分结果取平均值。

1.4 数据处理

实验最少重复 3 次测定, 数据采用 Excel 2016 进行统计, 采用 Origin 2019 作图, 并用 DPS 7.5 进行相关性分析。

表 1 感官评价表
Table 1 Sensory evaluation table

指标分数	1~3 分	4~6 分	7~9 分
气味	鱼腥味重	略有鱼腥味	有鱼肉蛋白香味
色泽	黄褐色或生白色, 无光泽	浅黄色或白色, 颜色偏黄或青灰, 略有光泽	金黄或亮白色, 有光泽
嫩度	不易咀嚼, 渣感明显	易咀嚼, 有渣感	易咀嚼, 口感滑嫩
质地	肉质不成型	肉质松散, 不紧密	肉质细腻, 紧密完整

2 结果与分析

2.1 不同预处理及加热方式对鲈鱼色度的影响

鱼的市场价值主要取决于其颜色的视觉吸引力。在不接触的情况下,颜色是消费者评判质量的唯一标准^[21]。由表 2 可知,在生组和 SV 组中,R 组的 L^* 显著高于其他两组 ($P<0.05$)。 L^* 的变化可能与迷迭香的颜色有关。经 R 煮、RSV、R 炸的鱼肉 a^* 大部分为负值,主要是因为迷迭香能抑制肌红蛋白氧化,使之产生肉色稳定,因此起到了护色作用^[22],这与 JIA 等^[23]的研究结果一致。不同热处理方式中,空气炸后鱼肉的 b^* 显著高于 ($P<0.05$) 其他热处理组,亮度偏低,这可能是由于热风循环促进脂质氧化和美拉德反应^[24]。

2.2 不同预处理及加热方式对鲈鱼挥发性风味物质的影响

由表 3 可知,经过湿腌及 3 种加热方式处理过的鲈鱼样品一共检测到 34 种挥发性化合物。醛类物质含量较多,其中主要的醛类物质有己醛、戊醛、庚醛,其来源可能是热处理后多种不饱和脂肪酸的氧化裂解。R 组醛类物质减少,尤其是 SV 组只含有己醛,说明迷迭香提取物抑制了不饱和脂肪酸的氧化^[25]。己醛在适宜的浓度下,主要的味道是青草味,浓度过高时可能会产生酸败味和辛辣味^[26-27]。酮类物质主要原因是由脂肪酸的氧化降解以及醇类物质的氧化生成,气味主要表现为花香、果香、清香^[28]。醇类物质大多由脂质氧化分解而来,对风味的贡献可根据其饱和程度来

判断,其香味特征主要表现为植物香,泥土香,对水产品风味有一定的贡献^[29]。1-辛烯-3-醇是亚油酸氢过氧化物的降解产物,具有土腥味^[30],RSV 组未检出 1-辛烯-3-醇,这可能是迷迭香抑制了氢过氧化物的生成。空气炸制的鲈鱼挥发性风味物质含量较高,包含 3-甲基丁醛、庚醛和己醛等脂肪氧化产物。RSV 组中鱼肉含有的醛、醇酮类物质较低,说明 RSV 组鲈鱼对脂肪氧化有明显抑制效果。

表 2 不同预处理及加热方式对鲈鱼色度的影响

Table 2 Effects of different pretreatment and heating methods on the colouration of *Micropterus salmoides*

处理方式		L^*	a^*	b^*
生	CK	51.79±0.28 ^{Db}	0.03±0.03 ^{Ab}	-2.60±0.05 ^{Dc}
	S	53.30±0.13 ^{Cb}	1.04±0.02 ^{Aa}	1.92±0.06 ^{Cb}
	R	58.96±1.39 ^{Ca}	-2.45±0.09 ^{Ac}	4.03±0.11 ^{Da}
煮	CK	81.88±0.07 ^{Aa}	-1.78±0.01 ^{Ba}	10.01±0.03 ^{Ca}
	S	75.94±0.35 ^{Ac}	-3.12±0.10 ^{Bc}	9.91±0.06 ^{Bb}
	R	79.50±0.40 ^{Ab}	-2.50±0.10 ^{Ab}	8.89±0.05 ^{Cc}
SV	CK	73.76±0.13 ^{Bc}	0.03±0.02 ^{Aa}	12.99±0.09 ^{Bb}
	S	75.77±0.97 ^{Ab}	1.59±1.69 ^{Bc}	14.8±1.89 ^{Aa}
	R	78.62±0.21 ^{Aa}	-1.98±0.03 ^{Ab}	9.84±0.13 ^{Bc}
炸	CK	69.81±1.63 ^{Ca}	-1.99±0.16 ^{Ca}	14.73±0.78 ^{Aa}
	S	70.06±0.31 ^{Ba}	-3.19±0.02 ^{Bb}	9.75±0.07 ^{Bb}
	R	68.07±0.48 ^{Ba}	-4.67±0.01 ^{Bc}	13.81±0.15 ^{Aa}

注:不同小写字母表示同一烹调方式不同预处理之间存在显著差异 ($P<0.05$),不同大写字母表示同一种预处理方式不同烹调方式之间存在显著差异 ($P<0.05$),下同。

表 3 不同加热方式对迷迭香腌制鲈鱼挥发性风味物质的影响

Table 3 Effects of different heating methods on volatile flavor compounds of *Micropterus salmoides* marinated with rosemary

挥发性物质	保留时间 /min	峰面积($\times 10^6$)												
		CK				R				S				
		生	SV	炸	煮	生	SV	炸	煮	生	SV	炸	煮	
丙醛	10.25	-	103.51	197.75	159.78	-	-	36.51	9.81	-	171.52	174.69	191.93	
3-甲基丁醛	2.32	-	8.17	21.24	-	2.82	-	10.34	12.59	-	177.47	424.03	-	
戊醛	2.94	-	316.59	387.22	442.68	-	-	51.73	-	-	124.87	33.04	546.06	
己醛	5.74	-	2044.35	3.40	27.77	-	19.99	451.44	283.36	-	1640.17	1719.36	26.52	
庚醛	8.67	-	62.32	57.44	52.36	-	-	14.62	-	-	52.05	44.81	76.97	
醛类	正辛醛	11.98	-	13.33	20.28	16.65	-	-	4.23	-	-	12.89	8.87	20.25
	壬醛	15.14	-	8.36	10.22	8.54	-	-	-	-	-	9.52	9.96	9.68
	苯甲醛	10.25	-	3.74	7.51	5.66	-	-	4.53	-	-	6.92	6.63	7.55
	丁醛	3.15	-	-	26.57	44.47	-	-	-	-	-	42.81	32.91	72.34
	2-甲基戊醛	2.94	-	-	-	15.49	-	-	-	-	-	-	-	27.06
小计		-	2560.37	731.63	757.91	2.82	19.99	573.4	305.76	-	2238.22	2454.3	951.3	
1-丁醇	2.836	-	11.14	-	5.36	-	9.12	-	-	-	-	4.50	16.48	
1-戊烯-3-醇	5.49	-	181.30	210.28	248.91	-	-	51.83	35.27	9.41	260.37	245.96	252.58	
1-辛烯-3-醇	19.87	-	36.48	46.38	53.72	-	-	8.58	7.87	-	44.86	40.28	34.49	
醇类	2-乙基己醇	13.073	58.91	13.13	11.70	9.68	12.45	8.19	13.51	12.08	21.94	5.86	11.59	10.10
	庚醇	21.001	-	-	12.41	12.80	-	-	-	4.32	-	17.27	-	-
	正辛醇	21.077	-	-	3.22	2.81	-	-	-	-	-	4.71	-	3.33
	小计		58.19	242.05	283.09	333.28	12.45	17.31	73.92	59.54	31.35	333.07	302.33	316.98

表 3(续)

挥发性物质	保留时间/min	峰面积($\times 10^6$)											
		CK				R				S			
		生	SV	炸	煮	生	SV	炸	煮	生	SV	炸	煮
丙酮	9.726	-	19.63	-	-	-	19.45	-	-	-	-	-	-
3-己酮	7.133	-	34.34	-	33.46	-	-	14.73	-	-	27.40	57.80	70.02
酮类	3-羟基-2-丁酮	5.279	5.26	6.93	12.74	-	30.30	8.10	14.06	-	-	-	6.81
	2,3-辛二酮	29.556	-	17.53	-	21.21	-	-	6.04	5.86	-	14.50	17.75
	小计		5.26	78.43	12.74	54.67	30.30	27.55	34.83	5.86	-	41.90	94.58
	甲烷	13.895	17.38	4.46	-	10.05	29.40	7.33	15.42	21.09	26.12	13.59	-
	异辛烷	1.988	801.64	-	-	464.92	-	-	-	-	766.56	-	-
烃类	2,2-二甲基己烷	3.99	-	-	-	-	532.46	-	562.43	608.15	-	-	-
	1-石竹烯	33.48	6.48	5.00	-	8.72	-	5.40	6.39	11.17	2.80	3.85	4.13
	右旋萘二烯	14.45	37.90	-	-	-	-	-	14.38	8.40	-	3.27	-
	小计		863.4	9.46	-	483.69	561.86	12.73	598.62	648.81	795.48	20.71	11.19
	乙酸甲酯	3.039	40.71	51.71	32.22	36.24	29.69	60.81	42.36	65.94	27.57	45.44	30.57
	甲酸庚酯	5.258	-	17.28	-	-	-	-	-	-	-	-	9.25
酯类	甲酸异戊酯	7.186	-	-	-	-	-	6.92	-	-	-	-	-
	邻苯二甲酸二异丁酯	10.044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.67
	小计		40.71	68.99	32.22	36.24	29.69	67.73	42.36	65.94	27.57	45.44	39.82
	2,6-二叔丁基对甲酚	26.052	25.06	21.67	11.31	25.11	18.53	25.26	22.82	27.82	16.51	16.04	11.69
酚类	苯酚	21.155	5.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	小计		30.59	21.67	11.31	25.11	18.53	25.26	22.82	27.82	16.51	16.04	11.69
	萘	19.1	-	-	-	-	-	-	6.01	-	5.94	-	0.70
	2-乙基呋喃	20.491	-	5.22	2.26	7.21	-	-	-	-	-	12.68	-
其他	2-正戊基呋喃	13.3	-	-	-	17.92	-	-	-	-	-	17.26	-
	小计		-	5.22	2.26	25.13	-	-	6.01	-	5.94	29.94	0.70

注: -表示未检测出。

2.3 不同预处理及加热方式对鲈鱼气味的影响

电子鼻包括 10 个传感器, 每个传感器对不同样品的气味有不同的响应值, 从而得到样品的气味特征或气味轮廓^[31]。图 1 为电子鼻主成分分析结果图。第一主成分的贡献率为(95.67%), 第二主成分的贡献率为(3.63%), 总贡献率为(99.30%), 电子鼻对不同处理组的样品的挥发性气体的信息提取较为充分。空气炸处理组之间有重叠, 3 种预处理后空气炸的鲈鱼肉风味相似, CK 炸、S 炸、CK 炸处理组之间有重叠, CK 煮组的鲈鱼和 S 煮组的鲈鱼风味相近且与 R 煮组的鲈鱼存在差异, R 煮组的鲈鱼与 RSV 组处理的鲈鱼风味相似。

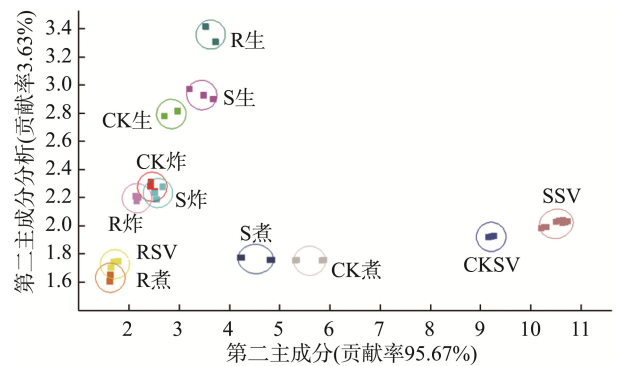
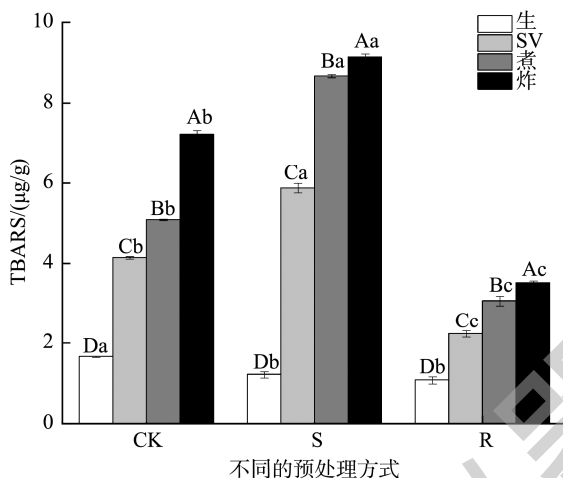


图 1 不同预处理及加热方式对鲈鱼气味的影响
Fig.1 Effects of different pretreatment and heating methods on the odor of *Micropterus salmoides*

2.4 不同预处理及加热方式对鲈鱼 TBARS 的影响

TBARS 被广泛用于评价鱼肉类制品脂肪氧化酸败程度,是判断水产品脂肪氧化程度的重要指标^[32-33]。鲈鱼肌肉的初级脂肪氧化产物可能降解生成次级产物,如脂肪醛、醇、酮、烃等。由图 2 可知,3 种预处理方式的鲈鱼经热处理后 TBARS 均显著提高($P<0.05$),可能是由于热处理的高温条件使鱼肉加速氧化。R 组的 TBARS 低于同种热处理后其他的预处理组,RSV 组的鲈鱼 TBARS 为 $2.24 \mu\text{g/g}$,其值低于水煮和空气炸,且与空气炸组存在显著性差异($P<0.05$)。可见 RSV 热处理组相比其他预处理及热处理的组合更有利于减少烹调过程中鱼肉脂肪的氧化,这与 ZHOU 等^[34]结果一致。



注:不同小写字母表示同一烹调方式不同预处理之间存在显著差异($P<0.05$),不同大写字母表示同一种预处理方式不同烹调方式之间存在显著差异($P<0.05$),下同。

图 2 不同预处理及加热方式对鲈鱼 TBARS 的影响

Fig.2 Effects of different pretreatment and heating methods on TBARS of *Micropterus salmoides*

2.5 不同预处理及加热方式对鲈鱼过氧化值的影响

过氧化值是表示脂肪初级氧化的一个指标^[35]。经 R 组处理的鲈鱼过氧化值总体低于空白和盐水湿腌的鲈鱼。由图 3 可知,R 处理组中,SV 处理的鲈鱼过氧化值为 0.21 mmol/kg ,而水煮和空气炸处理的过氧化值分别为 0.35 、 0.58 mmol/kg ,SV 处理的鲈鱼过氧化值显著低于($P<0.05$)水煮及空气炸,可能是由于空气炸鲈鱼加热温度为 170°C ,高温加速了脂肪氧化,导致其过氧化值升高,这与 DOMINGUEZ 等^[36]研究结论一致;SV 隔绝了氧气,鲈鱼氧化速度变慢,其过氧化值相对较低。由此可见,RSV 热处理有利于控制鲈鱼烹调过程中脂肪的氧化。

2.6 不同预处理及加热方式对鲈鱼茴香胺值的影响

茴香胺值反映油脂次级氧化产物醛类含量的指标^[37-38]。

由图 4 可知,R 组鲈鱼的茴香胺值低于其他预处理组。R 组鲈鱼经不同加热处理后,SV 处理组的茴香胺值为 0.24 ,其值显著低于水煮和空气炸处理组,且与未经热处理的生肉无显著性差异($P>0.05$)。吴晓红等^[38]研究表明迷迭香提取物降低了茴香胺值和脂质氧化的速率。结果表明,RSV 热处理对于延缓脂质氧化有较好的效果。

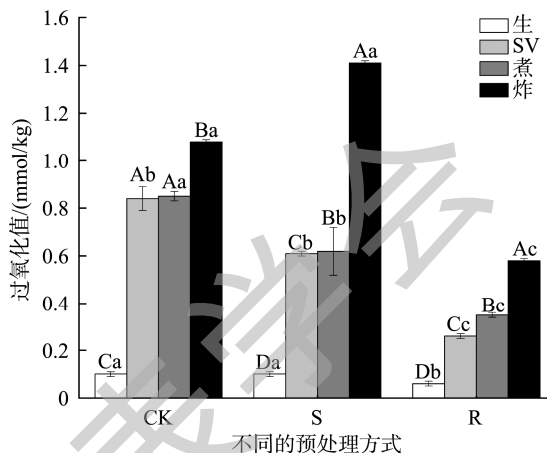


图 3 不同预处理及加热方式对鲈鱼过氧化值(g/100 g)的影响
Fig.3 Effects of different pretreatment and heating methods on peroxide value (g/100 g) of *Micropterus salmoides*

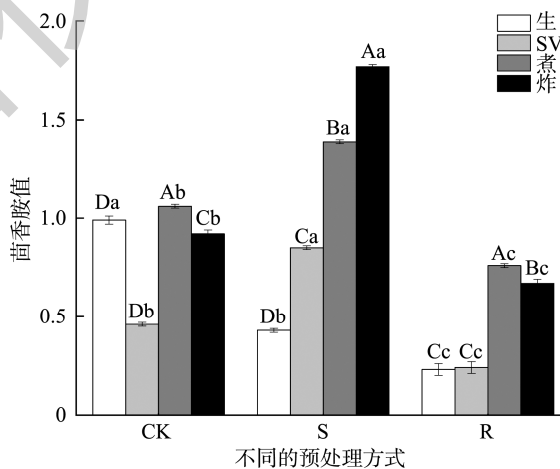


图 4 不同预处理及加热方式对鲈鱼茴香胺值的影响

Fig.4 Effects of different pretreatment and heating methods on the anisidine value of *Micropterus salmoides*

2.7 不同预处理及加热方式对鲈鱼感官评定的影响

感官评定是描述和判断食品最直观的的指标,综合反映食品的气味、色泽、嫩度、质地^[39]。由表 4 可知,空气炸组感官评价的总分高于水煮和 SV,其原因可能是空气炸锅温度较高,更容易使鱼肉发生美拉德反应,鱼肉呈金黄色并产生香味,SV 处理后的鱼密封在蒸煮袋中导致鱼腥味会比水煮的更明显;水煮条件最剧烈,所以鱼肉质比其他两组更松散。综上所述空气炸鲈鱼感官评定最高,

表 4 不同预处理及加热方式对鲈鱼感官评定的影响
Table 4 Effects of different pretreatment and heating methods on sensory evaluation of *Micropterus salmoides*

处理方式	气味	色泽	嫩度	质地	总分	
煮	CK	7.66±0.01 ^{Bb}	7.17±0.12 ^{Ba}	6.66±0.01 ^{Ca}	8.14±0.10 ^{Ca}	7.41±0.01 ^{Bb}
	S	7.33±0.02 ^{Cc}	7.37±0.26 ^{Bab}	7.32±0.01 ^{Ba}	8.21±0.15 ^{Ba}	7.53±0.02 ^{Ba}
	R	8.62±0.06 ^{Aa}	5.33±0.29 ^{Bb}	7.43±0.54 ^{Aa}	7.63±0.05 ^{Cb}	7.10±0.08 ^{Cc}
SV	CK	5.63±0.06 ^{Cb}	7.30±0.22 ^{Bb}	8.14±0.13 ^{Aa}	8.64±0.02 ^{Ba}	7.22±0.02 ^{Cc}
	S	5.73±0.02 ^{Ca}	7.13±0.12 ^{Bb}	8.30±0.22 ^{Aa}	8.65±0.02 ^{Aa}	7.24±0.01 ^{Cb}
	R	5.66±0.02 ^{Cab}	8.23±0.17 ^{Aa}	8.10±0.08 ^{Aa}	8.59±0.02 ^{Ba}	7.51±0.02 ^{Ba}
炸	CK	8.33±0.09 ^{Ab}	8.1±0.08 ^{Ab}	7.12±0.02 ^{Bc}	9.03±0.05 ^{Aa}	8.15±0.04 ^{Ac}
	S	9.13±0.12 ^{Aa}	8.34±0.04 ^{Aa}	7.22±0.02 ^{Bb}	8.74±0.10 ^{Ab}	8.41±0.01 ^{Aa}
	R	8.39±0.04 ^{Bb}	8.00±0.08 ^{Ab}	7.31±0.02 ^{Aa}	9.10±0.08 ^{Aa}	8.22±0.01 ^{Ab}

根据加权统计计算出来的总分平均分来看, 四项总分最高的为 S 炸 8.41 分, 其次为 R 组鲈鱼, 分数为 8.22 分。

3 结 论

本研究分析了迷迭香以及 3 种加热方式对鲈鱼脂质氧化的影响。相比其他预处理方式, 迷迭香湿腌能减少鲈鱼的脂肪氧化。3 种加热方式对鲈鱼的影响也较大, 其中空气炸的鲈鱼肉脂肪氧化最显著, SV 氧化速度最慢。RSV 热处理的鱼肉茴香胺、过氧化值、TBARS 低, 其挥发性成分中脂肪氧化产物醛类、醇类含量较低。可见, RSV 热处理组有助于减少鲈鱼烹调过程中的脂肪氧化。由于时间和实验条件的限制, 本研究也有一定的局限性, 脂肪酸等指标并未进一步测定分析, 为后续抗氧化剂的研究和最佳加热方式提供基础。

参考文献

- [1] 李秀明, 侯起森, 张耀光. 短期饥饿对大口黑鲈幼鱼自发运动和力竭运动后代谢的影响[J/OL]. 重庆师范大学学报(自然科学版): 1-6. [2022-05-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20220516.1812.020>
LI XM, HOU QM, ZHANG YG. Effects of short-term starvation on the metabolism of juvenile largemouth bass (*Lepomis macrochirus*) after spontaneous and forceful exercise [J/OL]. J Chongqing Normal Univ (Nat Sci Ed): 1-6. [2022-05-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20220516.1812.020>
- [2] 但言, 余凤琴, 李双, 等. 大口黑鲈不同生长阶段肝脏脂肪沉积及脂肪代谢酶活性研究[J/OL]. 重庆师范大学学报(自然科学版): 1-8. [2022-05-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20220516.1541.006>
DAN Y, YU FQ, LI S, et al. Study on liver fat deposition and lipid metabolizing enzyme activity in different growth stages of largemouth bass (*Lepomis macrocephalus*) [J/OL]. J Chongqing Normal Univ (Nat Sci Ed): 1-8. [2022-05-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20220516.1541.006>
- [3] 张皖君, 蓝蔚青, 胡旭敏, 等. 竹叶提取物流化冰与迷迭香提取物流化

冰处理对鲈鱼贮藏期间抗氧化活性及微生物作用影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(7): 151-159.

ZHANG WJ, LAN WQ, HU XM, et al. Effects of fluidized ice treatment with bamboo leaf extract and rosemary extract on antioxidant activity and microbial effects of sea bass during storage [J]. J Chin Inst Food Sci Technol. 2020, 20(7): 151-159.

- [4] 步营, 李月, 朱文慧, 等. 不同烹饪方式对海鲈鱼品质和风味的影响[J]. 中国调味品, 2020, 45(1): 26-30.
BU Y, LI Y, ZHU WH, et al. Effects of different cooking methods on the quality and flavor of sea bass [J]. China Cond, 2020, 45(1): 26-30.
- [5] 李双琦, 崔震昆. 热处理方式对鲈鱼游离氨基酸及品质影响[J]. 中国调味品, 2022, 47(1): 32-35, 45.
LI SQ, CUI ZK. Effect of heat treatment on free amino acids and quality of sea bass [J]. China Cond, 2022, 47(1): 32-35, 45.
- [6] SOUSA BC, PITT AR, SPICKETT CM. Chemistry and analysis of HNE and other prominent carbonyl-containing lipid oxidation compounds [J]. Free Rad Biol Med, 2017, 111: 294-308.
- [7] XIE J, VANALSTYNE P, UHILR A, et al. A review on rosemary as a natural antioxidation solution [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2017, 119(6): 1600439.
- [8] MOCZKOWSKA M, KARP S, HORBANCZUK OK, et al. Effect of rosemary extract addition on oxidative stability and quality of hemp seed oil [J]. Food Bioprod Process, 2020, 124: 33-47.
- [9] 李婷婷, 励建荣, 胡文忠, 等. 迷迭香对冷藏鲑鱼蔬菜鱼丸的保鲜效果[J]. 中国食品学报, 2012, 12(11): 90-96.
LI TT, LI JR, HU WZ, et al. Preservation effect of rosemary on frozen mackerel and vegetable fish balls [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2012, 12(11): 90-96.
- [10] RATHOD NB, RANVEER RC, BENJAKUL S, et al. Recent developments of natural antimicrobials and antioxidants on fish and fishery food products [J]. Comprehens Rev Food Sci Food Saf, 2021, 20(4): 4182-4210.
- [11] LEUNG KS, LEUNG HH, WU CY, et al. Limited antioxidant effect of

- rosemary in lipid oxidation of pan-fried salmon [J]. *Biomolecules*, 2019, 9(8): 313.
- [12] GUO Q, GAO S, SUN Y, *et al.* Antioxidant efficacy of rosemary ethanol extract in palm oil during frying and accelerated storage [J]. *Ind Crop Prod*, 2016, 94: 82–88.
- [13] KE P J, CERVANTES E, ROBLES-MARTINEZ C. Determination of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) in fish tissue by an improved distillation–spectrophotometric method [J]. *J Sci Food Agric*, 1984, 35(11): 1248–1254.
- [14] OJAGH SM, REZAEI M, RAZAVI SH, *et al.* Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout [J]. *Food chem*, 2010, 120(1): 193–198.
- [15] HSIEH YTL, REGENSTEIN JM. Storage stability of fish oil, soy oil, and corn oil mayonnaises as measured by various chemical indices [J]. *J Aquat Food Prod T*, 1992, 1(1): 97–106.
- [16] LIANG X, FENG TT, WU JH, *et al.* Vortex-assisted liquid-liquid micro-extraction followed by head space solid phase micro-extraction for the determination of eugenol in fish using GC-MS [J]. *Food Method*, 2018, 11: 790–796.
- [17] DUFLOS G, LEDUC F, N'GUESSAN A, *et al.* Freshness characterisation of whiting (*Merlangius merlangus*) using SPME/GC/MS method and statistical multivariate approach [J]. *J Sci Food Agric*, 2010, 90(15): 2568–2575.
- [18] GANASEN P, BENJAKUL S. Physical properties and microstructure of pidan yolk as affected by different divalent and monovalent cations [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2010, 43(1): 77–85.
- [19] 周明珠, 熊光权, 乔宇, 等. 鲷鱼冷藏过程中气味和新鲜度的变化及相关性[J]. *肉类研究*, 2020, 34(3): 68–74.
- ZHOU MZ, XIONG GQ, QIAO Y, *et al.* Changes in odor and freshness of catfish during refrigeration and correlation [J]. *Meat Res*, 2020, 34(3): 68–74.
- [20] 夏雨婷, 吴玮伦, 章蔚, 等. 真空辅助加压腌制对草鱼块品质的影响[J/OL]. *食品科学*: 1-20. [2022-06-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220414.1434.118.html>
- XIA YT, WU WL, ZHANG W, *et al.* Effect of vacuum-assisted pressurized marination on the quality of grass carp pieces [J/OL]. *Food Sci*: 1-20. [2022-06-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220414.1434.118.html>
- [21] LIANG R, LIN S, CHEN D, *et al.* Differentiation of *Penaeus vannamei* from different thermal processing methods in physico-chemical, flavor and sensory characteristics [J]. *Food Chem*, 2022, 378: 132092.
- [22] PARKS ARH, BRASHEARS MM, MARTIN JN, *et al.* Shelf life and stability traits of traditionally and modified atmosphere packaged ground beef patties treated with lactic acid bacteria, rosemary oleoresin, or both prior to retail display [J]. *Meat Sci*, 2012, 90(1): 20–27.
- [23] JIA N, KONG B, LIU Q, *et al.* Antioxidant activity of black currant (*Ribes nigrum* L.) extract and its inhibitory effect on lipid and protein oxidation of pork patties during chilled storage [J]. *Meat Sci*, 2012, 91(4): 533–539.
- [24] THIANSILAKUL Y, BENJAKUL S, RICHARDS MP. Isolation, characterisation and stability of myoglobin from Eastern little tuna (*Euthynnus affinis*) dark muscle [J]. *Food Chem*, 2011, 124(1): 254–261.
- [25] 吴靖娜, 路海霞, 刘智禹, 等. 用电子鼻和 SPME-GC-MS 分析鲈鱼熟制前后挥发性风味物质的变化[J]. *大连海洋大学学报*, 2016, 31(4): 431–437.
- WU JN, LU HX, LIU ZY, *et al.* Analysis of changes in volatile flavor substances of abalone before and after maturation by electronic nose and SPME-GC-MS [J]. *J Dalian Ocean Univ*, 2016, 31(4): 431–437.
- [26] 吴容, 陶宁萍, 刘源, 等. 同时蒸馏萃取-气质联用分析养殖暗纹东方鲀肉中的挥发性成分[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(9): 132–140.
- WU R, TAO NP, LIU Y, *et al.* Simultaneous distillation extraction-gas chromatography analysis of volatile components in the flesh of cultured dark red oriental triggerfish [J]. *Food Ferment Ind*, 2012, 38(9): 132–140.
- [27] 姚晓波, 熊光权, 乔宇, 等. 酵母提取物和迷迭香提取物对鲈鱼风味的影响[J]. *食品科技*, 2020, 45(2): 144–150.
- YAO XB, XIONG GG, QIAO Y, *et al.* Effect of yeast extract and rosemary extract on the flavor of sea bass [J]. *Food Sci Technol*, 2020, 45(2): 144–150.
- [28] 胡科娜, 谷贵章, 高兴杰, 等. 果糖和葡萄糖对真空油炸鹰爪虾风味的影响[J]. *中国食品学报*, 2023, 23(1): 216–227.
- HU KN, GU GZ, GAO XJ, *et al.* Effects of fructose and glucose on the flavor of vacuum fried Chickpaw shrimp [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2023, 23(1): 216–227.
- [29] 周明珠, 熊光权, 乔宇, 等. 复热处理的鲈鱼挥发性成分分析[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(4): 277–283.
- ZHOU MZ, XIONG GQ, QIAO Y, *et al.* Analysis of volatile components of sea bass with compound heat treatment [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2020, 36(4): 277–283.
- [30] 卢新. 开盖食用期酱类食品腐败控制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- LU X. Study on spoilage control of sauce food during open-cap consumption period [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022.
- [31] SUN F, WU Z, CHEN Y, *et al.* Analysis of odors from thermally modified bamboo assessed by an electronic nose [J]. *Build Environ*, 2018, 144: 386–391.
- [32] 康壮丽, 姚鹏磊, 高在上, 等. 碳酸氢钠对水煮牛肉片加工和冷藏性能的影响[J]. *肉类研究*, 2023, 37(1): 21–25.
- KANG ZL, YAO PL, GAO ZS, *et al.* Effect of sodium bicarbonate on the processing and chilling performance of boiled beef slices [J]. *Meat Res*, 2023, 37(1): 21–25.
- [33] 谷贵章, 徐大伦, 曾坤, 等. 苜蓿多酚在鲑鱼肉冻融过程中的抗脂质氧化活性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(2): 208–216.
- GU GZ, XU DL, ZENG K, *et al.* Enteromorpha polyphenols in bonito fish freezing-thawing resisting lipid oxidation in the process of active study [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(2): 208–216.

- [34] ZHOU Y, LI Z, CHEN Y, *et al.* Effects of rosemary and ginger on the storage quality of western-style smoked sausage [J]. *J Food Process Pres*, 2021, 45(7): e15634.
- [35] 卢亭, 周俊, 黄琳. 3 种保鲜技术对大陈黄鱼冰藏期品质的影响[J]. *现代食品*, 2022, 28(22): 75-80.
- LU T, ZHOU J, HUANG L. Effects of three preservation techniques on the quality of Dachen yellow croaker during ice storage [J]. *Mod Food*, 2022, 28(22): 75-80.
- [36] DOMINGUEZ R, PATEIRO M, PURRINOS L, *et al.* Necessary considerations for sensory evaluation of meat products: Quality indicators of meat products [Z].
- [37] 陈方雪, 邱文兴, 湛玲薇, 等. 传统日晒与阴干干腌武昌鱼挥发性风味物质的形成及脂肪氧化的变化[J/OL]. *食品工业科技*: 1-15. [2023-03-10]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022070072>.
- CHEN FX, QIU WX, CHEN LW, *et al.* Formation of volatile flavor substances and changes in fat oxidation in traditional sun-dried and shade-dried cured Wuchang fish [J/OL]. *Food Ind Sci Technol*: 1-15. [2023-03-10]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022070072>.
- [38] 吴晓红, 高生平, 陈宝宏, 等. 复合天然抗氧化剂对紫苏籽油氧化稳定性的研究[J]. *中国调味品*, 2022, 47(12): 73-76, 89.
- WU XH, GAO SP, CHEN BH, *et al.* Study on the oxidative stability of compound natural antioxidants on perilla seed oil [J]. *China Cond*, 2022, 47(12): 73-76, 89.
- [39] 孙丽娜, 祁岩龙, 刘峰娟, 等. 不同解冻方式对速冻洋芋鱼鱼质构特性

的影响[J]. *农产品加工*, 2022, (14): 10-13.

SUN LN, QI YL, LIU FJ, *et al.* Influence of different thawing methods on the textural characteristics of frozen taro fish [J]. *Farm Prod Process*, 2022, (14): 10-13.

(责任编辑: 韩晓红 张晓寒)

作者简介



邱文兴, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。
E-mail: 908192481@qq.com



乔宇, 研究员, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。
E-mail: qiaoyu412@sina.com



汪兰, 研究员, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。
E-mail: lilywang_2016@163.com