

牛永鑫,熊青,杨琴,等.放血处理对生鲜鲢鱼片品质的影响[J].华中农业大学学报,2025,44(5):218-228.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.05.022

放血处理对生鲜鲢鱼片品质的影响

牛永鑫,熊青,杨琴,安玥琦,胡杨,刘茹,熊善柏

华中农业大学食品科学技术学院/国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉),武汉 430070

摘要 为开发高品质预制调理鱼制品,以鲜活鲢为研究对象,测定不同放血方式(颈动脉、尾动脉)、不同放血水温(4、10℃)和不同放血时间(0、0.5、1.0、1.5 h)条件下宰杀制备生鲜鲢鱼片的基本化学成分、质构特性、色泽、僵直特性及感官评分,以研究放血处理对生鲜鲢鱼片品质的影响。结果显示,放血处理显著降低了生鲜鲢鱼片的脂肪含量、过氧化值及脂肪氧合酶活性($P<0.05$),并显著提高了鱼片的W值($P<0.05$)。尾动脉放血宰杀组与颈动脉放血宰杀组生鲜鲢鱼片的酸价和脂肪酶活性无显著差异,但尾动脉放血宰杀组样品中过氧化值和脂肪氧合酶活性低于颈动脉放血宰杀组样品。与击昏即杀(CK)相比,放血宰杀增强了生鲜鲢鱼片的硬度、弹性、咀嚼性,且尾动脉放血宰杀组生鲜鲢鱼片的硬度、弹性、咀嚼性高于颈动脉放血宰杀组。与10℃放血水温相比,4℃水温尾动脉放血宰杀生鲜鲢鱼片的弹性、咀嚼性、肌肉持水性、总游离氨基酸含量较高,而过氧化值较低。随着放血时间延长,生鲜鲢鱼片的感官品质呈现先上升后下降趋势,在放血时间1 h时生鲜鲢鱼片的感官综合评分最高。以上结果表明,放血方式、放血水温及放血时间对生鲜鲢鱼片的鱼肉品质均有显著影响,于4℃水温下尾动脉放血1 h,然后宰杀可显著提高生鲜鲢鱼片的食用品质。

关键词 鲢;放血处理;生鲜鱼片;质构;风味;品质

中图分类号 TS254.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)05-0218-11

生鲜鱼制品的食用品质常常受到多种因素的影响,其中宰杀方式是影响生鲜鱼制品品质的关键因素之一,选择合适的宰杀方式对取得较好的鱼肉品质具有重要意义。已有研究证明,宰杀方式对大黄鱼^[1]、石斑鱼^[2]、黄鳝^[3]等肌肉食用品质 and 安全性会产生显著影响,击昏和宰杀产生的应激反应会使鱼体较早进入僵直期并导致肌肉组织软化^[4],低温预处理可降低鱼体温度并抑制生物胺产生^[3]。鱼类血液中含有血浆蛋白、无机盐、非蛋白氮、血糖、脂肪、维生素等多种成分,鱼体中血液残留对鱼肉色泽和风味品质有重要影响^[5]。施文正等^[6]研究了抽血和急杀对草鱼肉挥发性成分的影响,发现抽血致死可降低草鱼腹肉和背肉的挥发性成分含量,从而减弱草鱼肉的腥臭味。但有关宰杀前的放血处理对生鲜鱼片品质影响及放血方式和放血条件对生鲜鱼片品质影响的研究尚无文献报道。为此,本研究以鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)为对象,探讨放血方式、放血水温及放血时间对生鲜鲢鱼片的品质的影响,以

期确定适宜的放血方式和处理条件,为高品质预制调理鱼肉制品开发奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜活鲢,2.00~2.50 kg/尾,购于洪湖市新堤养殖场(洪湖市螺山镇新村),充氧保活运回实验室。试验中所用试剂,均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司生产。

1.2 主要仪器设备

FJ-200均质机,上海标本模型厂;AVANTI J-26型离心机,美国贝克曼公司;CR-400型色差仪,日本KonicaMinolta公司;TA-XTPlus型质构分析仪,英国Stable Micro Systems公司;UV-2600紫外-可见分光光度计,尤尼柯仪器有限公司。

1.3 试验方法

1)鲜活鲢的放血与生鲜鱼片的制备。鲢捕捞后采用充氧保活运输车运输至实验室,然后在鲜活的

收稿日期:2024-04-26

基金项目:国家“十四五”重点研发计划项目(2022YFD2100904);国家现代农业产业技术体系项目(CARS-45-28)

牛永鑫,E-mail: niuyongxin@webmail.hzau.edu.cn

通信作者:熊善柏,E-mail: xionsgb@mail.hzau.edu.cn

状态下切断尾部或者颈部动脉并置于4℃或10℃冰水中进行放血处理(0、0.5、1.0和1.5 h)。然后去鳞、去头、剖杀、清洗,沿着背脊取鱼体两侧鱼片,采用液氮冻结鱼片后,于-18℃条件下贮藏待测。以未放血、击昏宰杀(击昏即杀)的样品为对照。

2)化学成分的测定。参照武燕霓等^[7],水分含量采用GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中直接干燥法测定;粗灰分含量采用GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中马弗炉高温灼烧法测定。粗蛋白含量采用GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法测定;粗脂肪含量采用GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中索氏抽提法测定。肌浆蛋白、肌原纤维蛋白、基质蛋白的提取,参考Chaves-López等^[8]的方法,并采用福林酚比色法测定蛋白质含量。血红蛋白含量参考Chaijan等^[9]所述方法测定。

3)物理特性的测定。质构特性参考李想^[10]所述方法,使用TA.XT物性测试仪测定;色度按照李温蓉等^[11]所述方法,采用CR-400色差仪测定,分别记录其亮度值(L^*)、红绿值(a^*)和黄蓝值(b^*)并计算白度(W)值;持水性采用离心法^[12]测定。

4)僵直特性指标的测定。总游离氨基酸含量参考Semedo等^[13]的方法。取0.1 g样品以1:3(m/V)的比例加到去离子水中并混合,然后离心(8 200 r/min, 15 min, 4℃)。取0.1 mL上清液,加入1.5 mL邻苯二甲醛溶液混合均匀,避光反应2 min,于340 nm处测定吸光值。另外取亮氨酸配成0.02~0.1 mg/mL标准溶液,用于绘制标准曲线定量分析。

TCA-可溶性肽含量参照田丽等^[14]方法测定。称取1 g绞碎的肉于离心管中,加入9 mL 50 g/L的三氯乙酸溶液,均质1 min,碎冰中放置30 min,离心(10 400 r/min, 5 min, 4℃),取上清液待测;TCA-可溶性肽采用Lowry蛋白法进行测定,以每克鱼肉中所含酪氨酸物质的量当量表示,μmol/g。

僵直指数按照董铁群等^[15]所述方法测定。把鲢的前1/2放置于水平板上,后1/2处于水平板外自然下垂,比较最初下垂距离(L)和4℃条件下冷藏不同时间后(0、2、4、6、8、10、12、24 h)的下垂距离(L'),计算僵直指数(R),按下式计算:

$$R = \frac{L - L'}{L} \times 100\%$$

5)过氧化值的测定。参考Grunwald等^[16]的方

法,取0.50 g鱼糜,加入10 mL甲醇-氯仿混合液(1:1, V/V),均质15 s,加入3 mL 0.5% NaCl溶液,振荡15 s,离心(5 000 r/min, 5 min, 4℃)后取下层氯仿2.5 mL于10 mL的比色管,加甲醇-氯仿混合液至5 mL;加25 μL 3.94 mol/L硫氰酸铵溶液和25 μL 20 mmol/L FeCl₂溶液(含3.5% HCl),振荡10 s后静置20 min,于500 nm处测定吸光值。标准曲线用Fe³⁺标准液确定(0~10 mg/L),过氧化值单位为μmol/g。

6)酸价的测定。参考赵东豪等^[17]方法,称取5.00 g绞碎的肉样品于50 mL离心管中,加入15 mL无水乙醚-无水乙醇混合溶液(2:1, V/V),3 000 r/min均质1~2 min,振荡30 s,离心(4 000 r/min, 3 min, 4℃)后收集上清液;取10 mL上清液于锥形瓶中,加入2~3滴1%酚酞指示剂,用0.1 mol/L KOH溶液滴定至粉红色,10 s内不褪色即为终点,记录所使用KOH溶液的体积,计算出酸价,以相同体积无水乙醚-无水乙醇混合溶液为空白。

7)鱼片中关键酶活性的测定。Ca²⁺-ATP酶活性,采用Ca²⁺-ATP酶活性检测试剂盒测定^[18];钙激蛋白酶和组织蛋白酶L活性,参照杨方^[19]的方法测定;脂肪酶,参考Smichi等^[20]的方法提取脂肪酶粗酶液,然后以4-硝基苯丁酸酯(4-nitrophenyl butyrate, 4-NPB)为底物,参考Kuepethkaew等^[21]的方法测定脂肪酶活性,以1 min内产生1 μmol对硝基苯酚所需要的酶量为1个酶活单位(U);脂肪氧合酶的酶活力,参考Li等^[22]方法测定,以1 min内234 nm吸光值增加0.001为1个酶活力单位(U)。

8)感官评价。取生鲜鱼片装入白陶瓷盘中,于蒸锅中蒸制15 min后进行评定。由10位受过专业训练的品评员(5男, 5女)对熟制鱼片进行感官评价。感官评价标准参考高琴等^[23]方法并作修改(见表1)。

1.4 数据处理

试验重复3次。每组试验样品的质构特性和色度平行测定6次,其他指标平行测定3次,以“平均值±标准偏差”表示。采用SPSS 26软件进行三因素方差分析,采用Tukey HSD检验进行各试验组间的多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同放血处理下生鲜鲢鱼片的鱼肉组分

放血处理可排出鱼体中的部分血液,从而影响

表 1 感官评分标准
Table 1 Sensory evaluation criteria

感官指标 Sensory index	评价标准和评分 Evaluation criteria and ratings				
	10~9 分 10-9 scores	8~7 分 8-7 scores	6~5 分 6-5 scores	4~3 分 4-3 scores	2~0 分 2-0 scores
气味 Odor	鱼肉香气浓郁	鱼肉香气淡,无鱼腥味	鱼肉香气淡,鱼腥味淡	鱼肉香气消失,鱼腥味浓	土腥味难以接受
滋味 Taste	鱼鲜味浓,回味甘甜	鱼鲜味较浓,有回味	鱼鲜味淡,无明显回味	无鱼鲜味,无回味,有异味	无鱼鲜味,无回味,异味难接受
色泽 Color	鱼片色泽白或透明,断面光泽自然	鱼肉色泽白,断面光泽淡	鱼肉色泽暗淡,断面无光泽	鱼肉呈灰色、淡黄色或淡红色	鱼肉呈暗灰色、黄色或红色
质地 Texture	鱼肉嫩滑,纤维紧致,口感细腻有弹性	鱼肉纤维较紧致,有弹性	鱼肉纤维粗糙或松散,弹性弱	鱼肉较硬或软烂,无弹性	鱼肉过硬或呈渣状

鱼肉的化学组分。表 2 和表 3 分别显示了不同放血方式、放血水温 and 放血时间生鲜鲢鱼片的水分、灰分、粗脂肪、粗蛋白含量及肌浆蛋白、肌原纤维蛋白和基质蛋白的含量。

表 2 不同放血处理的生鲜鲢鱼片基本成分
Table 2 The basic components of fresh silver carp fillets after different bleeding treatments

放血方式 Bleeding treatment	放血水温/℃ Bleeding water temperature	放血时间/h Bleeding time	水分/% Moisture content	灰分含量/% Crude ash	粗脂肪/% Crude fat	粗蛋白/% Crude protein
尾动脉放血 Tail artery bleeding	—	CK	80.71±0.09C	1.10±0.10AB	1.76±0.22A	18.77±0.05A
		0.0	80.61±0.33CDa	1.02±0.11ABa	1.87±0.24Aa	16.77±0.10Aa
		0.5	80.67±0.08CDa	1.15±0.03ABa	1.87±0.10Aa	16.67±0.17Aa
		1.0	80.68±0.36CDa	0.95±0.27Ba	1.68±0.10ABa	16.66±0.09Aa
		1.5	80.76±0.49Ca	1.12±0.36ABa	1.55±0.04ABa	16.67±0.65Aa
	4	0.0	80.45±0.49CDa	1.14±0.07ABab	1.52±0.13ABa	16.94±0.16Aa
		0.5	80.94±0.41BCa	1.35±0.14Aa	1.37±0.15ABa	16.67±0.69Aa
		1.0	80.64±0.09CDa	1.10±0.06ABb	1.37±0.37ABa	16.62±0.50Aa
		1.5	80.65±0.45CDa	1.26±0.16ABab	1.32±0.59ABa	16.59±1.51Aa
		0.0	81.41±0.01Aa	1.04±0.06ABab	1.38±0.05ABa	17.12±0.06Aa
颈动脉放血 Neck artery bleeding	4	0.5	81.57±0.19Aa	0.96±0.15Bb	1.35±0.26ABa	16.71±0.76Aa
		1.0	81.00±0.03ABb	1.16±0.08ABab	1.09±0.06Bab	16.52±0.08Aa
		1.5	81.06±0.28ABa	1.21±0.02ABa	1.03±0.10Bb	16.49±0.20Aa
	10	0.0	80.09±0.04Db	1.35±0.16Aa	1.41±0.17ABa	17.89±0.80Aa
		0.5	80.67±0.10CDa	1.12±0.03ABb	1.60±0.16ABa	17.78±0.24Aa
		1.0	81.09±0.39ABa	1.22±0.11ABab	1.28±0.60ABa	17.71±1.56Aa
		1.5	80.99±0.43BCa	1.11±0.03ABb	1.30±0.06ABa	17.63±0.85Aa

注:每列不同大写字母表示同一列有显著差异,不同小写字母表示同一放血方式、同一放血水温不同放血时间有显著性差异($P<0.05$)。下同。Note;Distinct uppcase letters in each column indicate significant differences in the same column. Distinct lowercase letters in each column indicate that there are significant distinctions in the same bloodletting method and the same bloodletting water temperature and different bloodletting time($P<0.05$). The same as below.

由表 2 可知,放血方式对生鲜鲢鱼片的水分、粗脂肪含量有显著影响($P<0.05$),但对其灰分和粗蛋白含量无显著影响($P>0.05$);而放血水温对生鲜鲢鱼片的水分、灰分含量有显著影响($P<0.05$),但对粗脂肪和粗蛋白含量无显著影响($P>0.05$);放血时间对生鲜鲢鱼片基本成分无显著影响($P>0.05$)。

与对照组相比,放血处理组样品的粗蛋白含量差异不明显,但粗脂肪含量显著降低。在相同放血水温下,颈动脉放血样品的粗蛋白含量高于尾动脉放血样品,而粗脂肪含量低于尾动脉放血样品。在同一放血方式下,放血水温 10℃组灰分含量显著高于 4℃放血水温组($P<0.05$)。

表 3 不同放血处理的生鲜鲢鱼片蛋白质组成

Table 3 The protein composition of fresh silver carp fillets after different bleeding treatments

放血方式 Bleeding treatment	放血水温/℃ Bleeding water temperature	放血时间/h Bleeding time	肌浆蛋白/% Sarcoplasmic protein	肌原纤维蛋白/% Myofibrillar protein	基质蛋白/% Matrix protein
未放血 No bleeding	—	—	4.39±0.70A	8.24±0.22B	3.39±0.02Aa
		0	4.99±0.16Aa	8.98±0.02ABa	2.92±0.20Aa
		0.5	4.71±1.10Aa	9.06±0.87ABa	2.95±0.24Aa
		1.0	5.69±0.05Aa	10.15±0.00Aa	3.09±0.04Aa
		1.5	4.98±0.19Aa	9.05±0.68ABa	3.28±0.10Aa
尾动脉放血 Tail artery bleeding	4	0	4.76±0.07Aa	8.25±0.06Ba	2.46±0.31Aa
		0.5	5.00±0.70Aa	8.54±0.87ABa	2.47±0.97Aa
		1.0	5.00±0.25Aa	9.94±0.53Aa	2.17±0.62Aa
		1.5	5.08±1.05Aa	9.30±0.18ABa	2.48±0.12Aa
		0	5.00±0.23Ab	9.80±0.19ABa	2.38±0.14Aa
颈动脉放血 Neck artery bleeding	4	0.5	5.03±0.24Ab	9.91±0.12Aa	2.39±0.19Aa
		1.0	4.97±0.05Aa	10.12±0.08Aa	2.11±0.56Aa
		1.5	4.93±0.10Ab	9.93±0.17Aa	2.40±0.23Aa
		0	5.12±0.19Aa	9.40±0.24ABa	3.16±0.29Aa
		0.5	4.53±0.09Ab	9.79±0.08ABa	3.38±0.08Aa
	10	1.0	4.46±0.03Ab	9.91±0.40Aa	3.20±0.42Aa
		1.5	4.68±0.47Aab	10.10±0.27Aa	3.25±0.20Aa

由表3可知,放血方式及放血时间对生鲜鲢鱼片肌原纤维蛋白含量有显著影响($P<0.05$),但对生鲜鲢鱼片肌浆蛋白、基质蛋白含量无显著影响($P>0.05$)。与对照组样品相比,放血处理样品的肌原纤维蛋白含量明显增高,且随着放血时间的延长,鱼片中肌浆蛋白含量逐渐降低,而肌原纤维蛋白的含量逐渐升高。

2.2 不同放血处理下生鲜鲢鱼片的质构特性

质构特性是评价鱼肉品质的重要指标之一。宰前刺激及宰杀方式会影响鲫鱼肌肉中蛋白质的含量及代谢,进而影响鱼肉的质构特性。为明确放血处理对生鲜鲢鱼片质构参数的影响,本研究测定了不同放血处理的鲢鱼片的硬度、弹性、咀嚼性、回复性及黏附性等物性指标,结果如表4所示。

由表4可知,放血方式、放血水温及放血时间对生鲜鲢鱼片硬度和咀嚼性有显著影响($P<0.05$),放血时间及放血水温对生鲜鲢鱼片回复性有显著影响($P<0.05$),放血时间对生鲜鲢鱼片弹性有显著影响($P<0.05$),且鲢鱼片的硬度、弹性、咀嚼性随放血时间的延长而呈显著下降的趋势($P<0.05$)。在同一放血方式下,放血水温4℃组鱼片的硬度显著高于放血水温10℃组($P<0.05$),且尾动脉放血组鱼片的硬度显著高于颈动脉放血组样品($P<0.05$)。尾动脉

放血组鱼片的弹性、咀嚼性显著高于对照组样品,而颈动脉放血组样品的弹性和咀嚼性与对照组样品无差异。尾动脉放血组鱼片样品的回复性高于对照组样品,而颈动脉放血组样品的回复性低于对照组样品。与对照组样品相比,放血处理样品的黏附性明显降低,且放血时间越长鱼片的黏附性越小。总体来看,采用4℃水温下的尾动脉放血有利于改善生鲜鲢鱼片的质构特性。

2.3 不同放血处理下生鲜鲢鱼片的色泽、血红蛋白含量和持水性

色泽和持水性是评价生鲜鱼片质量的重要指标。表5中列出了不同放血方式、放血水温及放血时间的生鲜鲢鱼片的 L^* 、 a^* 、 b^* 、 W 、血红蛋白含量和持水性。由表5可知,放血水温对鲢鱼片 L^* 、 a^* 、 W 、血红蛋白含量有显著影响($P<0.05$),而对 b^* 无影响($P>0.05$);放血时间对生鲜鲢鱼片的 L^* 、 a^* 、 b^* 、 W 、血红蛋白含量均有显著影响($P<0.05$),且放血时间对生鲜鲢鱼片血红蛋白含量的影响最大,其次是 a^* 值和 L^* 值。与对照组样品相比,放血处理会降低鲢鱼片的 a^* 值和 b^* 值,增加其亮度和白度,且10℃水温尾动脉放血组样品的白度最高,其次是4℃和10℃水温颈动脉放血组样品,4℃水温尾动脉放血组样品的白度最低。放血处理可显著减少鲢鱼片中的血红蛋

表 4 不同放血处理的生鲜鲢鱼片的质构特性

Table 4 The hardness, springiness, chewiness, resilience, and adhesiveness of fresh silver carp fillets after different bleeding treatments

放血方式 Bleeding treatment	放血水温/℃ Bleeding water temperature	放血时间/h Bleeding time	硬度/g Hardness	弹性 Springiness	咀嚼性/g Chewiness	回复性 Resilience	黏附性/(g•s) Adhesiveness
未放血 No bleeding	—	—	2 629.60±182.22DE	0.572±0.05B	433.25±51.52E	0.223±0.02F	—65.18±13.77B
		0	3 501.793±197.96Aa	0.849±0.08Aa	1 286.124±147.44Aa	0.389±0.04Aa	—70.22±6.98Bc
尾部动脉 放血 Tail artery bleeding	4	0.5	3 258.650±135.43ABCab	0.830±0.02Aa	1 376.795±14.94Aa	0.380±0.02ABa	—33.65±11.57Ab
		1.0	3 066.131±225.93ABCab	0.806±0.09Aab	1 266.944±31.64Aa	0.366±0.02ABa	—30.18±8.77Aab
		1.5	2 937.390±146.79ABCb	0.760±0.05Ab	982.174±64.88CDb	0.343±0.02BCa	—18.42±5.11Aa
		0	3 632.287±100.81Aa	0.831±0.05Aa	1 336.216±111.54Aa	0.303±0.00DEa	—74.10±3.17Bb
	10	0.5	3 480.762±152.30ABab	0.804±0.05Aa	1 299.526±154.15Aa	0.274±0.01EFa	—23.82±9.83Aa
		1.0	3 245.427±20.34ABCb	0.787±0.03Aa	899.860±44.72Db	0.266±0.00Fa	—23.73±4.53Aa
		1.5	2 692.975±193.55DEc	0.753±0.03Aa	851.841±96.03Db	0.264±0.02Fa	—21.22±7.43Aa
		0	3 558.461±118.82ABa	0.835±0.02Aa	1 339.512±40.58Aa	0.363±0.01ABa	—73.94±2.37Bb
颈部动脉 放血 Neck artery bleeding	4	0.5	3 382.427±186.52ABCa	0.800±0.02Aa	1 214.459±27.31ABa	0.297±0.01DEc	—33.69±8.86Aa
		1.0	3 293.041±108.99ABCa	0.781±0.00Aa	963.663±103.61CDb	0.333±0.01BCb	—25.48±9.74Aa
		1.5	2 861.024±39.58CDEb	0.782±0.01Aa	899.504±63.77Db	0.322±0.01CDb	—23.35±5.25Aa
		0	3 559.776±91.84ABa	0.850±0.02Aa	1 301.335±149.94Aa	0.363±0.01ABa	—73.17±4.52Bc
	10	0.5	3 499.415±69.67ABb	0.839±0.00Aab	1 162.097±128.31ABab	0.333±0.01BCb	—35.97±0.68Ab
		1.0	3 020.75±94.52BCDa	0.793±0.00Aab	895.544±57.31Db	0.328±0.01BCbc	—22.55±3.65Aa
		1.5	2 336.33±112.29Eb	0.774±0.01Ab	852.399±27.84Db	0.306±0.01DEc	—22.54±1.35Aa

白含量,且放血时间越长鲢鱼片中的血红蛋白含量越低,其变化趋势正好与鱼片白度变化相反,说明放血时间越长,鱼片中血液排出得越彻底,其色泽越白^[24]。

持水性是指肌肉在外力作用下保持原有水分的能力。由表 5 可知,放血水温及放血时间对生鲜鲢鱼片的持水性均有显著影响($P<0.05$),且放血时间的影响最大。与对照组样品相比,短时间的放血处理可提高鲢鱼片的持水性,但放血时间过长则会导致鲢鱼片持水性下降,于 4℃水温放血组样品持水性下降速率慢于 10℃水温放血组样品。持水性的下降是蛋白质变性导致水分从肌肉中流失所致^[25]。

2.4 不同放血处理方式下生鲜鲢鱼片的僵直特性

活鱼宰杀后,鱼肉中糖原、ATP 等能量物质开始降解,生成乳酸和磷酸,导致鱼肉 pH 值下降,随后进入僵直期。同时,ATP 含量的降低导致肌质网保留 Ca^{2+} 的能力下降,释放出 Ca^{2+} 而激活钙激蛋白酶,鱼肉蛋白质在钙激蛋白酶和组织蛋白酶作用下产生小分子肽和游离氨基酸,鱼肉质逐渐变软(解僵)直至自溶,因此,可用 TCA 可溶性肽和总游离氨基酸

含量来表征蛋白水解及鱼肉解僵的程度^[26-27]。表 6 显示了放血处理对生鲜鲢鱼片僵直指数、最大僵直时间、 Ca^{2+} -ATP 酶活性、钙激蛋白酶活性、组织蛋白酶 L 活性、TCA 可溶性肽含量和总游离氨基酸含量的影响。从表 6 可知,击昏即杀(未放血)组生鲜鲢鱼片于鲢死后 10 h 达到最大僵直指数,而放血处理组样品达到最大僵直指数的时间处于 6~8 h。放血处理组样品僵直指数均显著高于击昏即杀(未放血)组样品,且随着放血时间延长,鲢鱼体僵直指数越高。

表 6 中数据分析结果显示,放血时间对 Ca^{2+} -ATP 酶活性、钙激蛋白酶活性、组织蛋白酶 L 活性、总游离氨基酸含量有显著影响,放血方式对鲢鱼片中 Ca^{2+} -ATP 酶活性有显著影响,放血水温对鲢鱼片中总游离氨基酸含量有显著影响($P<0.05$),而放血方式对钙激蛋白酶和组织蛋白酶 L 活性以及放血水温对 Ca^{2+} -ATP 酶活性、钙激蛋白酶活性、组织蛋白酶 L 活性均无影响($P>0.05$)。与击昏即杀(未放血)组样品相比,放血处理组样品的 Ca^{2+} -ATP 酶、钙激蛋白酶及组织蛋白酶 L 活性显著增加,且鱼肉中

表 5 不同放血处理的生鲜鱼片的色泽、血红蛋白含量和持水性

Table 5 The color and water holding capacity of fresh silver carp fillets after different bleeding treatments

放血方式 Bleeding treatment	放血水温/℃ Bleeding water temperature	放血时间/h Bleeding time	L^*	a^*	b^*	W	血红蛋白含量/ ($\mu\text{mol/g}$) Hemoglobin content	持水性/% Water holding capacity
未放血 No bleeding	—	—	44.94±0.19D	0.78±0.09A	−1.27±0.35D	44.91±0.18D	0.085±0.06A	82.34±1.08BC
		0	48.34±0.59ABa	−0.11±0.04Ba	−1.52±0.06ABa	48.34±0.59ABa	0.078±0.01Aa	82.82±1.00ABa
尾动脉放血 Tail artery bleeding	4	0.5	48.27±0.36ABa	−0.08±0.14Ba	−1.58±0.13ABbc	48.06±0.70ABa	0.022±0.00CDb	82.60±0.01BCa
		1.0	47.64±0.66BCb	−0.08±0.01Ba	−1.79±0.21ABb	47.63±0.66BCa	0.021±0.00Db	82.25±0.98BCa
		1.5	47.00±0.52BCb	−0.16±0.07BCa	−1.84±0.15BCc	46.96±0.51BCa	0.018±0.00Db	81.78±0.31BCa
		0	48.86±0.29Aa	−0.16±0.15BCa	−1.43±0.10Aa	48.82±0.29Aa	0.084±0.00Aa	82.94±0.04Aa
	10	0.5	48.40±0.23ABb	−0.17±0.11BCa	−1.82±0.18BCb	48.35±0.20ABa	0.058±0.00Bb	82.08±0.17BCa
		1.0	47.68±0.16BCb	−1.66±0.20Fb	−1.70±0.12ABab	47.65±0.15BCb	0.025±0.00CDc	80.58±0.86BCb
		1.5	47.48±0.37BCb	−1.67±0.10Fb	−1.89±0.17BCb	47.47±0.36BCb	0.015±0.00Dc	80.34±0.21Db
		0	48.13±0.29ABa	−0.11±0.10Ba	−1.56±0.05ABb	47.95±0.20BCa	0.073±0.00Aa	82.38±0.18BCa
颈动脉放血 Neck artery bleeding	4	0.5	48.18±0.86ABa	−0.18±0.03BCa	−1.66±0.09ABa	48.13±0.86ABa	0.035±0.01Cb	82.03±0.11BCa
		1.0	47.44±0.47BCab	−0.49±0.13CDb	−1.82±0.11BCb	47.17±0.32BCa	0.014±0.00Dc	81.51±0.01BCb
		1.5	46.57±0.63Cb	−0.51±0.12CDb	−1.85±0.04BCb	46.48±0.66Ca	0.013±0.00Dc	80.55±0.18BCc
		0	48.44±0.28ABa	−0.33±0.13BCa	−1.55±0.20ABa	48.34±0.23ABa	0.073±0.00Aa	82.67±1.03ABa
	10	0.5	48.02±0.83BCb	−0.40±0.06CDa	−1.62±0.13ABa	47.99±0.82BCa	0.036±0.01Cb	82.57±0.01BCab
		1.0	47.90±0.35BCb	−0.62±0.12DEab	−1.86±0.15BCa	47.81±0.29BCa	0.025±0.01CDb	80.86±0.62BCbc
		1.5	47.27±0.14BCb	−0.73±0.23Eb	−1.92±0.08Ca	47.49±1.08BCa	0.014±0.00Db	80.40±0.51CDc
		0						

表 6 不同放血处理的生鲜鲢鱼片的僵直特性

Table 6 The rigidity characteristic of fresh silver carp fillets after different bleeding treatments

放血方式 Bleeding treatment	放血水温/℃ Bleeding water temperature	放血时间/h Bleeding time	最大僵直时 间/h Maximum rigidity time	最大僵直指 数/% Maximum rigidity index	Ca ²⁺ -ATP 酶活性/(U/g) Ca ²⁺ -atpase activity	钙激蛋白酶活 性/(U/g) Calpain activity	组织蛋白酶L活 性/(U/g) Cathepsin L activity	TCA 可溶性肽 含量/($\mu\text{mol/g}$) TCA soluble peptides content	总游离氨基酸 含量/(mg/g) Total free amino acids content
未放血 No bleeding	—	—	10	10.68±0.92B	0.03±0.01F	0.58±0.14B	0.15±0.01B	0.46±0.05A	5.22±0.14A
		0	10	11.33±0.46A	0.05±0.00Fc	1.05±0.07Ab	0.17±0.00Bb	0.17±0.00Fc	3.80±0.03DEd
尾部动脉放血 Tail artery bleeding	4	0.5	8	11.77±0.37A	0.08±0.01DEb	1.12±0.03Aab	0.28±0.05ABab	0.21±0.00Eb	4.17±0.06CDc
		1.0	8	12.42±0.12A	0.08±0.00DEb	1.15±0.04Aab	0.25±0.07ABab	0.22±0.01CDa	4.50±0.19BCb
		1.5	8	12.97±0.91A	0.13±0.01Aa	1.20±0.04Aa	0.36±0.04Aa	0.23±0.01BCa	4.82±0.09Aa
		0	8	11.29±1.47A	0.05±0.00Fc	1.02±0.02Ac	0.18±0.05Bb	0.18±0.00Fc	3.41±0.37Fb
	10	0.5	8	11.24±0.47A	0.08±0.00DEb	1.07±0.00Abc	0.24±0.03ABab	0.21±0.00DEb	3.71±0.03EFb
		1.0	8	11.29±0.40A	0.09±0.01CDb	1.10±0.03Aab	0.29±0.03ABa	0.21±0.00Eb	4.03±0.01CDab
		1.5	8	11.61±0.11A	0.11±0.01Ba	1.15±0.01Aa	0.29±0.03ABa	0.24±0.00BCa	4.54±0.02ABa
		0	6	11.66±0.28A	0.05±0.00Fc	1.03±0.03Aa	0.20±0.05ABa	0.17±0.01Fc	3.89±0.01DEc
颈部动脉放血 Neck artery bleeding	4	0.5	6	11.75±0.11A	0.07±0.01Eb	1.09±0.22Aa	0.23±0.13ABa	0.22±0.01CDb	3.93±0.05DEc
		1.0	6	11.94±0.42A	0.07±0.01DEb	1.12±0.07Aa	0.26±0.05ABa	0.23±0.00CDab	4.18±0.04CDb
		1.5	6	12.03±1.51A	0.10±0.00BCa	1.17±0.01Aa	0.26±0.07ABa	0.25±0.01Ba	4.91±0.03Aa
		0	8	11.47±0.34A	0.04±0.00Fd	1.02±0.04Ab	0.19±0.03Bb	0.18±0.01Fc	3.43±0.02Fd
	10	0.5	8	11.74±0.43A	0.07±0.00Ec	1.02±0.02Ab	0.25±0.04ABab	0.20±0.00Eb	4.08±0.03CDc
		1.0	8	12.36±0.33A	0.09±0.00CDb	1.14±0.04Aa	0.27±0.01ABa	0.22±0.00Deb	4.25±0.08CDb
		1.5	8	12.68±0.86A	0.10±0.00BCa	1.19±0.01Aa	0.27±0.04ABa	0.24±0.00BCa	4.45±0.01BCa
		0							

Ca²⁺-ATP酶和组织蛋白酶L活性随放血时间延长而显著增大,而在放血处理组间鱼肉中钙激蛋白酶活性差异不明显。放血方式、放血水温和放血时间对生鲜鲢鱼片中TCA可溶性肽和总游离氨基酸含量均有显著影响,放血处理可显著降低鱼肉中TCA可溶性肽和总游离氨基酸含量($P<0.05$),但随放血时间延长鱼肉中TCA可溶性肽和总游离氨基酸含量明显增加($P<0.05$)。鲜活鲢在放血处理中鱼体处于高度紧张状态,肌肉糖原降解速度加快,pH值急速降低形成酸性环境,从而加速溶酶体膜的破裂和组织蛋白酶L的活化^[28]。pH值的快速下降,导致钙激蛋白酶的加速活化^[29],从而导致僵直期缩短、解僵进程加快。

2.5 不同放血处理下生鲜鲢鱼片的氧化特性

过氧化值(peroxide value, POV)反映了脂质氧

化的初级产物——氢过氧化物的含量,可作为衡量脂肪酸的初级氧化程度的指标^[30],而酸价可表征游离脂肪酸含量,与甘油三酸酯的酶水解有关。表7显示了不同放血处理组样品的过氧化值、酸价、脂肪酶和脂肪氧合酶活性。从表7可知,放血方式对样品过氧化值、酸价、脂肪酶和脂肪氧合酶活性无显著影响($P>0.05$),放血水温对样品过氧化值有显著影响($P<0.05$),但对酸价、脂肪酶和脂肪氧合酶活性均无显著影响,而放血时间对样品的过氧化值、脂肪氧合酶活性有显著影响,而对酸价和脂肪酶活性无影响。未放血的生鲜鲢鱼片由于含有较多的脂肪及血红蛋白,在血红素的催化条件下会促进脂肪氧化^[31]。与对照组样品相比,放血处理后的生鲜鲢鱼片的过氧化值显著降低,且随放血时间延长而明显下降($P<0.05$),这说明血红素会促进脂质氧化。

表 7 不同放血处理的生鲜鲢鱼片的氧化特性

Table 7 The oxidation characteristics of fresh silver carp fillets after different bleeding treatments

放血方式 Bleeding treatment	放血 水温/℃ Bleeding water temperature	放血时间/h Bleeding time	过氧化值/ (μmol/g) Peroxide value	酸价/(mg/g) Acid value	脂肪酶活性/ (U/g) Lipase activity	脂肪氧合酶活性/(U/g) Lipoxygenase activity
未放血 No bleeding	—	—	0.18±0.02A	1.10±0.17A	7.68±1.04A	44.04±1.99A
		0	0.04±0.00CDa	0.99±0.19Aa	7.38±0.50Aa	41.04±1.38Aa
		0.5	0.03±0.02CDa	0.90±0.16Aa	7.37±1.24Aa	37.45±1.95ABbc
		1.0	0.03±0.01CDa	0.90±0.14Aa	6.82±0.40Aa	36.95±1.31ABbc
		1.5	0.01±0.01Da	0.90±0.02Aa	6.83±0.39Aa	31.98±2.91Bc
尾动脉放血 Tail artery bleeding	10	0	0.07±0.02Ba	0.91±0.25Aa	7.47±0.85Aa	42.70±1.17Aa
		0.5	0.07±0.01Ba	0.85±0.09Aa	6.94±0.89Aa	42.04±1.99Aa
		1.0	0.02±0.00CDb	0.85±0.03Aa	6.83±0.75Aa	35.93±2.00ABb
		1.5	0.02±0.00CDb	0.81±0.20Aa	6.81±0.33Aa	31.97±1.97Bc
		0	0.04±0.00BCa	1.04±0.03Aa	7.40±0.62Aa	42.94±3.49Aa
颈动脉放血 Neck artery bleeding	4	0.5	0.04±0.00CDa	0.96±0.04Aa	7.25±1.17Aa	37.31±4.14ABab
		1.0	0.03±0.02CDa	0.94±0.02Aa	6.80±0.78Aa	33.04±1.43Bb
		1.5	0.02±0.01CDa	0.85±0.02Aa	6.68±0.17Aa	31.02±1.47Bb
		0	0.05±0.00BCa	1.07±0.05Aa	7.40±0.51Aa	42.46±1.89Aa
		0.5	0.05±0.00BCa	0.90±0.10Aa	7.19±0.36Aa	37.99±1.68ABab
	10	1.0	0.04±0.00CDb	0.86±0.04Aa	7.19±0.81Aa	36.68±2.30ABb
		1.5	0.03±0.00CDb	0.85±0.01Aa	7.04±1.30Aa	33.35±3.06Bb

2.6 不同放血处理下生鲜鲢鱼片的感官品质

表8显示了不同放血处理组生鲜鲢鱼片的感官评分。从表8可知,放血方式对生鲜鲢鱼片质地有明显影响,但对气味、滋味、色泽和综合评分的影响不大;放血水温对生鲜鲢鱼片的滋味和质地有显著影响,但对气味、色泽和综合评分无影响,而放血时间

对生鲜鲢鱼片的气味、滋味、色泽、质地及综合评分均具有显著影响($P<0.05$),放血时间对生鲜鲢鱼片感官品质的影响大于放血水温和放血方式。从表8可知,放血处理组样品的气味、滋味、色泽、质地和综合评分明显高于未放血对照组样品,且随着放血时间延长生鲜连鱼片的感官评分增加,放血处理1 h样

表 8 不同放血处理后生鲜鱼片的感官评分

Table 8 The sensory score of fresh silver carp fillets after different bleeding treatments

放血方式 Bleeding treatment	放血水温/℃ Bleeding water temperature	放血时间/h Bleeding time	气味 Odor	滋味 Taste	色泽 Color	质地 Texture	综合评分 Total score
未放血 No bleeding	—	—	3.25±0.96D	5.00±0.82D	4.00±1.15F	5.33±0.58D	4.25±0.71C
		0.0	7.00±0.63ABa	6.75±0.96BCb	6.17±0.75DEc	7.25±0.88BCa	6.90±0.65ABa
		0.5	7.00±0.71ABa	7.00±0.41BCb	8.20±0.45ABab	7.50±0.84BCa	7.17±0.74ABa
		1.0	7.25±0.96ABa	8.40±0.55ABa	8.80±0.45Aa	7.20±0.45BCa	7.47±0.75Aa
		1.5	7.50±0.58Aa	7.20±0.27BCb	7.50±0.71BCb	6.75±0.96BCa	6.88±0.79ABa
		0.0	4.00±0.71CDc	6.20±0.84Cc	5.60±0.55Eb	6.00±0.71Cb	5.67±0.85Bb
		0.5	6.00±0.89ABb	6.71±0.76BCbc	7.50±0.58BCa	8.00±0.63ABa	7.35±0.73ABab
		1.0	6.88±0.85ABb	8.17±0.76ABa	7.33±0.58BCa	7.40±0.82BCa	7.18±0.83ABab
		1.5	7.75±0.96Aa	7.50±0.50ABab	8.00±0.71ABa	7.30±0.84BCa	7.50±0.66Aa
		0.0	5.33±0.58BCc	6.25±0.50Ca	6.25±0.50DEa	6.50±0.71BCb	6.10±0.90ABa
		0.5	6.25±0.50ABbc	6.50±0.96Ca	7.75±0.50ABa	6.50±0.71BCab	6.44±0.52ABa
		1.0	7.50±0.71Aab	7.33±0.58BCa	7.00±0.00BCa	8.00±0.00ABa	6.82±0.58ABa
尾动脉 放血 Tail artery bleeding	4	1.5	7.33±0.58Aa	7.00±1.00BCa	8.00±0.82ABa	4.00±0.00Dc	6.89±1.12ABa
		0.0	6.75±0.96ABa	7.43±0.44ABa	7.60±0.55ABb	7.67±0.82BCab	6.91±0.59ABa
		0.5	7.00±0.89ABa	7.67±1.00ABa	7.60±0.55ABb	6.17±0.75BCb	6.96±0.63ABa
		1.0	7.28±0.95ABa	7.29±0.95BCa	8.86±0.82Aa	7.50±0.77BCab	7.64±0.70Aa
		1.5	7.00±0.90ABa	8.75±0.96Aa	6.57±0.79CDb	8.25±0.50Aa	7.20±0.81ABa
		0.0	6.75±0.96ABa	7.43±0.44ABa	7.60±0.55ABb	7.67±0.82BCab	6.91±0.59ABa
颈动脉 放血 Neck artery bleeding	10	0.5	7.00±0.89ABa	7.67±1.00ABa	7.60±0.55ABb	6.17±0.75BCb	6.96±0.63ABa
		1.0	7.28±0.95ABa	7.29±0.95BCa	8.86±0.82Aa	7.50±0.77BCab	7.64±0.70Aa
		1.5	7.00±0.90ABa	8.75±0.96Aa	6.57±0.79CDb	8.25±0.50Aa	7.20±0.81ABa
		0.0	6.75±0.96ABa	7.43±0.44ABa	7.60±0.55ABb	7.67±0.82BCab	6.91±0.59ABa
		0.5	7.00±0.89ABa	7.67±1.00ABa	7.60±0.55ABb	6.17±0.75BCb	6.96±0.63ABa
		1.0	7.28±0.95ABa	7.29±0.95BCa	8.86±0.82Aa	7.50±0.77BCab	7.64±0.70Aa

品的感官评分最高,继续延长放血时间则其感官评分下降。

3 讨 论

质地、色泽和风味是生鲜鲢鱼片的重要品质,其品质特性与生鲜鲢鱼片鱼肉组分及内源酶活性密切相关,尤其是血红蛋白含量、脂肪氧合酶活性、钙激蛋白酶活性等^[32-33]。在宰杀时,放血方式、放血水温和放血时间的差异会导致鱼体中血液排除程度不同,进而引起鱼肉中血红蛋白和非蛋白含氮化合物含量、脂肪氧合酶和钙激蛋白酶活性出现差异,进而影响生鲜鱼制品的色泽、滋味、气味、质构等品质指标。脂肪氧合酶(lipoxygenase, LOX)是一类含非血红素铁的蛋白质,本研究发现,放血时间对生鲜鲢鱼片 LOX 活性有显著影响($P<0.05$)。与对照组相比,放血处理组生鲜鲢鱼片 LOX 活性呈显著下降趋势,且随放血时间的延长其活性下降越显著,这与刁玉段等^[34]研究不同致死方式对草鱼中 LOX 活性影响的结果一致。处理组 LOX 活性较低的原因可能是放血过程中鱼体应激反应较大,且放血时间较长,导致肌肉中肌糖原含量减少,乳酸积累较多,pH 值减小,进而导致 LOX 活性降低。

本研究结果中,放血处理可改善生鲜鲢鱼片色泽,显著降低生鲜鲢鱼片中血红蛋白含量、过氧化值和脂肪氧合酶活性,这与陈益弘等^[35]研究结果一致。且随放血时间的延长,鲢鱼片中脂肪和血红蛋白含量、过氧化值和脂肪氧合酶活性越低,与未放血对照组样品相比,放血处理组样品的色泽、滋味、气味的感官评分显著增加。放血处理有利于减弱脂质氧化、改善生鲜鲢鱼片的色泽和风味品质。

鱼类血液中含有血浆蛋白、无机盐、非蛋白氮、血糖、脂肪、维生素等成分以及多种酶类,鱼体中血液残留对鱼肉色泽和风味品质有重要影响。鱼片中组织蛋白酶 L、钙激蛋白酶活性会对生鲜鲢鱼片的质地、感官品质产生不利影响^[36]。经放血处理后的生鲜鲢鱼片 Ca^{2+} -ATP 酶、钙激蛋白酶、组织蛋白酶 L 活性均发生显著变化,且随放血时间的延长,酶活性显著增加。说明放血处理使鱼体剧烈挣扎,干扰了细胞内 Ca^{2+} 的稳态,导致了细胞内 Ca^{2+} 浓度增加,进而导致酶活性显著增加。因此,生鲜鲢鱼片的硬度、弹性、咀嚼性显著下降。吴燕燕等^[2]用不同宰杀方式处理石斑鱼时发现,宰前应激反应显著影响石斑鱼肉的硬度和咀嚼性,减少应激反应则有利于鱼肉品质的保持。本研究也发现,于 4℃ 水温下尾部动脉放

血组的生鲜鲢鱼片具有较低的氧化特性,其中放血1 h的生鲜鲢鱼片综合感官评分较高。

参考文献 References

- [1] DONG Y X, ZHANG H Z, GUO M J, et al. Effect of different slaughter/stunning methods on stress response, quality indicators and susceptibility to oxidation of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. Veterinary research communications, 2023, 47(4): 1879-1891.
- [2] 吴燕燕, 王悦齐, 张涛, 等. 不同致死条件对冷鲜石斑鱼肉品质的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2023, 32(2): 377-386. WU Y Y, WANG Y Q, ZHANG T, et al. Effects of different lethal conditions on meat quality of chilled grouper [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2023, 32(2): 377-386 (in Chinese with English abstract).
- [3] 周娇娇, 郭丹婧, 尤娟, 等. 不同致死方式对鳙鱼肌肉鲜度及生物胺含量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2016, 35(6): 129-135. ZHOU J J, GUO D J, YOU J, et al. Effects of different slaughter methods on freshness and biogenic amines of *Monopterus albus* muscle [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2016, 35(6): 129-135 (in Chinese with English abstract).
- [4] 方静, 黄卉, 李来好, 等. 不同致死方式对罗非鱼鱼片品质的影响[J]. 南方水产科学, 2013, 9(5): 13-18. FANG J, HUANG H, LI L H, et al. Effects of different slaughter methods on quality of *Oreochromis* sp. fillets [J]. South China fisheries science, 2013, 9(5): 13-18 (in Chinese with English abstract).
- [5] 熊善柏. 水产品保鲜储运与检验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007. XIONG S B. Technology of preservation, transportation and inspection for aquatic products [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007 (in Chinese).
- [6] 施文正, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 致死方式对养殖草鱼肉挥发性成分的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(3): 456-465. SHI W Z, WANG X C, TAO N P, et al. Effects of different slaughter measures on the volatile compounds of grass carp meat [J]. Journal of fisheries of China, 2011, 35(3): 456-465 (in Chinese with English abstract).
- [7] 武燕霓, 张哈玮, 党美琪, 等. 油炸预处理对鱼头煲品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2025, 44(1): 255-264. WU Y N, ZHANG H W, DANG M Q, et al. Effect of frying pretreatment on quality of fish head pot [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2025, 44(1): 255-264 (in Chinese with English abstract).
- [8] CHAVES-LÓPEZ C, PAPARELLA A, TOFALO R, et al. Proteolytic activity of *Saccharomyces cerevisiae* strains associated with Italian dry-fermented sausages in a model system [J]. International journal of food microbiology, 2011, 150(1): 50-58.
- [9] CHAIJAN M, UNDELAND I. Development of a new method for determination of total haem protein in fish muscle [J]. Food chemistry, 2015, 173: 1133-1141.
- [10] 李想. 调理鱼“蒜瓣肉”结构形成与工艺优化[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022. LI X. Structure formation and process optimization of “garlic cloves” of conditioned fish [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022 (in Chinese with English abstract).
- [11] 李温蓉, 安玥琦, 陶玲, 等. 传统养殖与组合湿地-池塘循环水养殖黄颡鱼的品质比较[J]. 现代食品科技, 2023, 39(5): 14-24. LI W R, AN Y Q, TAO L, et al. Comparison of the quality of *Pelteobagrus fulvidraco* cultured conventionally and by the Wetland-recirculating water pond combination [J]. Modern food science and technology, 2023, 39(5): 14-24 (in Chinese with English abstract).
- [12] 步营, 何圣琪, 王飞, 等. 珍珠龙胆石斑鱼无水保活过程中肌肉品质变化及近红外光谱模型的构建[J]. 中国食品学报, 2023, 23(7): 392-402. BU Y, HE S Q, WANG F, et al. Quality changes and near-infrared model construction of pearl gentian grouper during waterless preservation [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(7): 392-402 (in Chinese with English abstract).
- [13] SEMEDO TAVARES W P, DONG S Y, YANG Y H, et al. Influence of cooking methods on protein modification and *in vitro* digestibility of hairtail (*Thichiurus lepturus*) fillets [J]. LWT, 2018, 96: 476-481.
- [14] 田丽, 庄帅, 罗涛, 等. 干制对生鲜调理草鱼肉贮藏品质和菌群结构的影响[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(2): 164-172. TIAN L, ZHUANG S, LUO T, et al. Effects of drying on the storage quality and microbial composition of fresh prepared grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets [J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(2): 164-172 (in Chinese with English abstract).
- [15] 董秋群, 牛素敏, 罗鑫, 等. 武昌鱼宰后4℃冷藏条件下品质变化规律[J]. 肉类研究, 2022, 36(3): 32-37. DONG Y Q, NIU S M, LUO X, et al. Quality changes of *Megalobrama amblycephala* during postmortem storage at 4℃ [J]. Meat research, 2022, 36(3): 32-37 (in Chinese with English abstract).
- [16] GRUNWALD E W, RICHARDS M P. Mechanisms of heme protein-mediated lipid oxidation using hemoglobin and myoglobin variants in raw and heated washed muscle [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2006, 54(21): 8271-8280.
- [17] 赵东豪, 黎智广, 杨金兰, 等. 水产品中酸价测定方法的研究[J]. 南方水产, 2009, 5(5): 72-74. ZHAO D H, LI Z G, YANG J L, et al. A method for determination of acid value in aquatic products [J]. South China fisheries science, 2009, 5(5): 72-74 (in Chinese with English abstract).
- [18] 徐杰, 徐雯晴, 孙钦秀, 等. 低温等离子体对金鲳鱼肌原纤维

- 蛋白结构特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(4): 126-132. XU J, XU W Q, SUN Q X, et al. Effect of cold plasma on structural properties of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) myofibrillar proteins[J]. Food and fermentation industries, 2024, 50(4): 126-132 (in Chinese with English abstract).
- [19] 杨方. 鱼肉内源酶对发酵鱼糜凝胶和抗氧化特性影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016. YANG F. Effects of endogenous enzymes in fish on gel and antioxidant properties of fermented surimi[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [20] SMICHI N, GARGOURI Y, MILED N, et al. A grey mullet enzyme displaying both lipase and phospholipase activities: purification and characterization[J]. International journal of biological macromolecules, 2013, 58: 87-94.
- [21] KUEPETHKAEW S, SANGKHARAK K, BENJAKUL S, et al. Use of TPP and ATPS for partitioning and recovery of lipase from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) hepatopancreas[J]. Journal of food science and technology, 2017, 54(12): 3880-3891.
- [22] LI W R, WEN L, XIONG S B, et al. Investigation of the effect of chemical composition of surimi and gelling temperature on the odor characteristics of surimi products based on gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry [J/OL]. Food chemistry, 2023, 420: 135977 [2024-04-26]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135977>.
- [23] 高琴, 安玥琦, 陈周, 等. 短时微流水处理对池塘养殖鳊鱼肌肉滋味品质的影响[J]. 水生生物学报, 2021, 45(5): 1057-1066. GAO Q, AN Y Q, CHEN Z, et al. The effect of short-term micro-flow water treatment on the muscle taste quality of bighead carp cultured in ponds[J]. Acta hydrobiological sinica, 2021, 45(5): 1057-1066 (in Chinese with English abstract).
- [24] BU Y, HAN M L, TAN G Z, et al. Changes in quality characteristics of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) during refrigerated storage and their correlation with color stability[J/OL]. LWT, 2022, 154: 112715 [2024-04-26]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112715>.
- [25] 陈韬. 宰后肌肉蛋白质和组织结构变化与冷却猪肉持水性的关系研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2005. CHEN T. Studing on relationship between muscle protein and structural changes postmortem and water-holding capacity of chilled pork [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2005 (in Chinese with English abstract).
- [26] SHORI A B, YONG Y S, BABA A S. Effects of medicinal plants extract enriched cheese with fish collagen on proteolysis and *in vitro* angiotensin- I converting enzyme inhibitory activity [J/OL]. LWT, 2022, 159: 113218 [2024-04-26]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113218>.
- [27] 冯媛. 蒸制和炸制对海鲈鱼肌肉品质及体外消化特性的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2020. FENG Y. Effects of steaming and frying on muscle quality and *in vitro* digestion characteristics of sea bass [D]. Jinzhou: Bohai University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [28] REPNIK U, STOKA V, TURK V, et al. Lysosomes and lysosomal cathepsins in cell death[J]. Biochimica et biophysica acta (BBA) - proteins and proteomics, 2012, 1824(1): 22-33.
- [29] DASKALOVA A. Farmed fish welfare: stress, post-mortem muscle metabolism, and stress-related meat quality changes [J]. International aquatic research, 2019, 11(2): 113-124.
- [30] 谷贵章, 王新财, 胡奇杰, 等. 竹叶黄酮和苜蓿多酚对冻融过程中熟制鲢鱼肉品质的保护作用[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(10): 169-177. GU G Z, WANG X C, HU Q J, et al. Protective effects of bamboo leaf flavonoids and *Enteromorpha prolifera* polyphenols on quality of cooked bonito meat during freeze-thaw cycles [J]. China food additives, 2023, 34(10): 169-177 (in Chinese with English abstract).
- [31] 黄升, 孙申宇, 魏涯, 等. 红色肉贮藏期间肌红蛋白与肉色变化研究进展[J]. 南方水产科学, 2020, 16(3): 119-124. HUANG H, SUN S Y, WEI Y, et al. Research progress on color transformation of red meat during storage [J]. South China fisheries science, 2020, 16(3): 119-124 (in Chinese with English abstract).
- [32] 米红波, 郭鑫, 李学鹏, 等. 鱼类血红蛋白诱导脂质氧化及其控制的研究进展[J]. 现代食品科技, 2016, 32(4): 297-304. MI H B, GUO X, LI X P, et al. Advance in fish hemoglobin-induced lipid oxidation and the corresponding control approach [J]. Modern food science and technology, 2016, 32(4): 297-304 (in Chinese with English abstract).
- [33] 吴燕燕, 曹松敏, 魏涯, 等. 腌制鱼类中内源性酶类对制品品质影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(8): 358-363. WU Y Y, CAO S M, WEI Y, et al. Research progress on the effect of endogenous enzymes on the quality of salted fish [J]. Science and technology of food industry, 2016, 37(8): 358-363 (in Chinese with English abstract).
- [34] 刁玉段, 张晶晶, 史珊珊, 等. 致死方式对草鱼肉挥发性成分和脂肪氧合酶活性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 64-70. DIAO Y D, ZHANG J J, SHI S S, et al. Effect of different slaughter methods on volatile compounds and lipoxygenase activity of grass carp meat [J]. Food science, 2016, 37(18): 64-70 (in Chinese with English abstract).
- [35] 陈鑫弘, 许艳顺, 姜启兴, 等. 宰杀方式对冷冻斑点叉尾鲷品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 218-222. CHEN A H, XU Y S, JIANG Q X, et al. Effect of slaughter methods on quality of frozen channel catfish fillets [J]. Modern food science and technology, 2015, 31(9): 218-222 (in Chinese with English abstract).

- [36] 王慧平,张欢,陈倩,等.鱼肉内源性蛋白酶对其贮藏期品质影响的研究进展[J].食品工业科技,2021,42(19):429-435.
WANG H P,ZHANG H,CHEN Q,et al.Research progress

on effects of endogenous protease on quality of fish during storage[J].Science and technology of food industry,2021,42(19):429-435 (in Chinese with English abstract).

Effects of bleeding treatment on quality of fresh silver carp fillets

NIU Yongxin, XIONG Qing, YANG Qin, AN Yueqi, HU Yang, LIU Ru, XIONG Shanbai

*College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University; National R&D Branch
Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan), Wuhan 430070, China*

Abstract To develop high-quality prefabricated conditioned fish products, silver carp was selected as the research subject. The basic chemical composition, texture features, color, rigor properties, and sensory scores of silver carp fillets were measured under different bleeding methods (neck artery, tail artery), bleeding water temperatures (4, 10 °C), and bleeding durations (0, 0.5, 1.0, 1.5 h), so as to investigate the influence of different bleeding treatments on the quality of fresh carp fillets. The bleeding treatment significantly reduced the fat content, peroxide value, and lipoxxygenase activity of the fillets ($P<0.05$), while significantly increased the whiteness ($P<0.05$). There was no significant difference in acid value and lipase activity between the artery bleeding group and the neck artery group; however, the peroxide value and lipoxxygenase activity in the tail artery bleeding group were lower than those in the neck artery bleeding group. Compared with the hit slaughter group, bleeding slaughter significantly increased the hardness, elasticity, and chewiness of fresh silver carp fillets. The tail artery bleeding slaughter group exhibited higher levels of hardness, elasticity, and chewiness than those in the neck artery bleeding slaughter group. In comparison to bleeding water at a temperature of 10 °C, bleeding water temperature at 4 °C from the tail artery resulted in increased elasticity, chewiness, muscle water-holding capacity, and total free amino acid content in fresh silver carp fillets, as well as a lower peroxide value. Additionally, as the duration of bleeding increased, there was an initial improvement in the sensory quality of fresh silver carp fillets, followed by a decline. The sensory comprehensive score of the fillets peaked at a bleeding time of 1 hour. The above results indicated that the bleeding methods, water temperatures during bleeding, and bleeding durations significantly affected the quality of fresh silver carp fillets. Tail artery bleeding at a water temperature of 4 °C for 1 hour significantly improved the edible quality of fresh carp.

Keywords carp; bleeding treatment; fresh fish fillet; texture; flavor; quality

(责任编辑:边书京)