

宰杀方式对鳝鱼肌肉品质的影响

The effect of slaughtering methods on the muscle quality of eels

杨丽凤^{1,2} 毛书灿^{1,2} 汪 兰² 李 平³

YANG Li-feng^{1,2} MAO Shu-can^{1,2} WANG Lan² LI Ping³

周 志¹ 熊光权² 石 柳²

ZHOU Zhi¹ XIONG Guang-quan² SHI Liu²

(1. 湖北民族大学生物科学与技术学院, 湖北 恩施 445000; 2. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术

研究所农业农村部农产品冷链物流技术重点实验室, 湖北 武汉 430064;

3. 荆州市集创机电科技股份有限公司, 湖北 荆州 434020)

(1. College of Biological Science and Technology, Hubei Minzu University, Enshi, Hubei 445000, 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, Hubei 430064, China; 3. Jingzhou Jichuang Electromechanical Technology

Co., Ltd., Jingzhou, Hubei 434020, China)

摘要:目的: 研究宰杀方式对鳝鱼肌肉品质的影响。方法: 采用两种方式(机械宰杀和人工宰杀)宰杀鳝鱼, 分析贮藏期间两种宰杀方式鳝鱼肉片的能量代谢和理化性质变化。结果: 4℃下, 48 h 贮藏期间机械宰杀处理的鳝鱼的糖原含量和乳酸含量整体低于人工宰杀的; 7 d 贮藏期间, 机械宰杀的鳝鱼肉样色泽和持水力优于人工宰杀的, 而且其挥发性盐基氮(TVB-N)含量和硫代巴比妥酸反应物质(TBARS)含量均低于人工宰杀的。结论: 相比于人工宰杀, 机械宰杀有利于保持鳝鱼的品质。

关键词: 机械宰杀; 人工宰杀; 鳝鱼肌肉; 能量代谢; 理化性质

Abstract: Objective: This study aimed to investigate the effect of slaughtering methods on the muscle quality of eels. **Methods:** Two slaughtering methods (including mechanical slaughter and manual slaughter) were used to analyze the energy metabolism and physicochemical properties of eel meat slices during storage.

Results: During storage at 4℃ for 48 h, the glycogen and lactic acid content of eelfillets subjected to mechanical slaughter were lower than those of manual slaughtered samples generally. During 7 d-storage, the sensory deterioration of eel meat samples was

retarded by mechanical slaughter, and the TVB-N and TBARS content were lower than those of manual slaughtered samples, while the water holding capacity was higher than that of manual slaughtered samples. **Conclusion:** Mechanical slaughter is beneficial to maintaining the muscle quality of eels compared to manual slaughter.

Keywords: mechanical slaughter; manual slaughter; eel muscle; energy metabolism; physicochemical properties

鳝鱼又名黄鳝(*Monopterus albus*), 为合鳃目合鳃科黄鳝属, 属亚热带淡水鱼类, 分布在除西北高原外各淡水水域^[1-2]。鳝鱼主要以新鲜加工鳝鱼和经过处理后真空包装的鱼片两种方式进行销售, 加工产品类型相对单一。目前鳝鱼宰杀多是手工宰杀, 劳动强度大, 安全性能差, 制约了其产业的发展。近年来, 已有少量鳝鱼自动宰杀机面市, 大大提高了鳝鱼的宰杀效率。

目前已有关于宰杀方式对水产品肌肉品质的影响研究。吴永俊等^[3]研究发现, 低温致死的虹鳟鱼应激反应最小, 鱼肉呈现较好的气味; 方林^[4]指出即杀方式更有利于草鱼中水分的保留, 自然死亡方式草鱼应激反应最强烈, 并产生大量乳酸; 王汉玲^[5]指出敲击致死方式能较好地抑制虹鳟鱼 pH 的升高, 冰水致死能在较长的贮藏期内抑制 TVB-N 含量的上升。但不同的宰杀方式对鳝鱼品质的影响还未见报道。研究拟以鳝鱼为试验对象, 对比机械宰杀和人工宰杀对鳝鱼肌肉能量代谢及理化性质的影响, 旨在为促进水产品加工机械化提供依据。

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助项目(编号: CARS-46)

作者简介: 杨丽凤, 女, 湖北民族大学在读硕士研究生。

通信作者: 石柳(1988—), 女, 湖北省农业科学院助理研究员, 博士。E-mail: shiliu@hbaas.com

收稿日期: 2022-04-19 **改回日期:** 2022-09-16

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验原料

鲜活的鲮鱼:(200±50) g/条,市售;

乳酸、糖原试剂盒、丙二醛(MDA)试剂盒:南京建成生物工程研究所。

1.1.2 主要仪器设备

黄鲮宰杀机(图 1^[6]):A01S02 型,荆州市集创机电科技股份有限公司;

便携式 pH 计:FG2-B 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

质构仪:Ta.XT 2i/50 型,英国 Stable Micro System 公司;

色彩色差仪:NCR-400/41 型,美能达(中国)投资有限公司;

核磁共振成像分析仪:MI20-025V-I 型,苏州纽曼分析仪器股份有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品处理 所有试验方案均经湖北省农业科学院伦理委员会批准,所有方法均按照《湖北省实验动物管理办法(2005)》的规定执行。

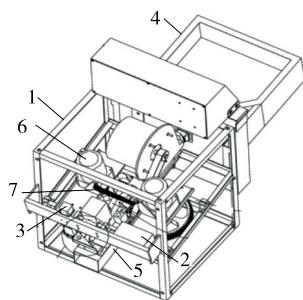
(1) 人工宰杀:室温下将鲮鱼敲击致晕,固定鲮鱼头部,去内脏、去骨、去头、去尾,流水清洗干净后选取粗细均匀的部位切段(4 cm×5 cm),于聚乙烯袋中真空包装备用。

(2) 机械宰杀:将鲮鱼放入进料槽中,开背后的鲮鱼从出料口送出,去头、去骨、去内脏、去尾,洗干净后选取粗细均匀的部位切段(4 cm×5 cm),于聚乙烯袋中真空包装备用。

1.2.2 乳酸、糖原含量测定 采用相应的试剂盒进行测定,用酶标仪测定吸光度。

1.2.3 pH 值测定 根据 GB/T 9695.5—2008。

1.2.4 菌落总数(TVC)测定 根据 GB 4789.2—2016。



1. 机架 2. 调节电机 3. 摄像电机 4. 进料盘 5. 刨切滑道
6. 输送电机 7. 收紧弹簧

图 1 鲮鱼自动宰杀机

Figure 1 Eel automatic slaughtering machine

1.2.5 色泽测定 参照郭丽等^[7-8]的方法,按式(1)计算色差值。

$$\Delta E = \sqrt{(L_n^* - L_0^*)^2 + (a_n^* - a_0^*)^2 + (b_n^* - b_0^*)^2}, \quad (1)$$

式中:

ΔE ——鱼肉色差值;

L_0^* ——鱼肉初始亮度值;

a_0^* ——鱼肉初始红绿值;

b_0^* ——鱼肉初始黄蓝值;

L_n^* ——鱼肉第 n 天亮度值;

a_n^* ——鱼肉第 n 天红绿值;

b_n^* ——鱼肉第 n 天黄蓝值。

1.2.6 质构特性测定 由于鲮鱼原料特性,腹部肉较薄(约 1 mm),背部肉较厚(约 3 mm),因此选取鲮鱼背部肉进行质构测定。参照叶安妮^[9]的方法略加修改,将鲮鱼背部肉置于质构仪 A/CKB 探头下进行韧性(剪切力)测定,力臂 25 kg、压缩形变 50%、测前、中、后速率分别为 5.0,1.0,5.0 mm/s,每组平行测定 6 次。

1.2.7 挥发性盐基氮(TVB-N)含量测定 根据 GB 5009.228—2016。

1.2.8 硫代巴比妥酸(TBARS)含量测定 参照试剂盒说明书。

1.2.9 持水率测定 根据郑红等^[10]的方法略加修改,分别取 4℃下贮藏 0,1,3,5,7 d 的鲮鱼肉约 2 g,用 4 层滤纸包裹,加上纱布,4℃下,4 000 r/min 离心 10 min,按式(2)计算持水率。

$$W_{HC} = \left(1 - \frac{W_2 - W_1}{m}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

W_{HC} ——持水力,%;

m ——鱼肉的质量,g;

W_1 ——离心管和鲮鱼肉的质量,g;

W_2 ——离心后离心管和鲮鱼肉的质量,g。

1.2.10 低场核磁共振测量水分分布 核磁共振分析参数:共振频率 21.3 MHz;磁体强度 0.55 T;线圈直径 60 mm;磁体温度 32℃。将样品切成 1 cm×1 cm×1 cm 的肉块放入核磁管内,待样品温度与环境温度达到平衡后,放入核磁共振分析仪中进行 T_2 (自旋—自旋弛豫时间)信号采集和 MRI 成像测定。使用 Q-FID 及标准品对机器进行校正,使用 CPMG 脉冲序列采集样品 T_2 信号。每组平行样品测定 3 次。 T_2 序列参数:采样频率(SW) 100 kHz;射频脉宽(P_1) 9.00 μ s;射频脉宽(P_2) 18.48 μ s;模拟增益(RG₁) 20.0 dp、90°;数字增益(DRG₁) 3;采样点个数(TD) 102 478;增益参数(PRG) 1;累加次数(NS) 4, 180°;重复采样间隔时间(TW) 1 000 ms;回波时间(TE) 50 ms;回波个数(NECH) 20。MRI 成像参数:Slice Width 为 3 mm;Slice Gap 为 0.5 mm;TE 为 20 ms;TR 为

1 000 ms; Average 为 4。

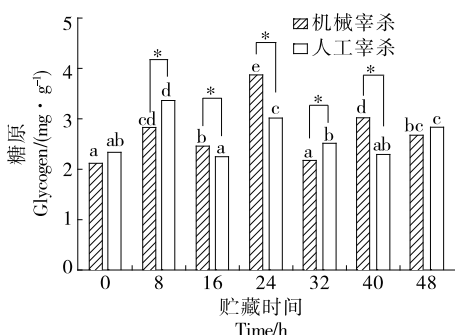
1.3 数据处理

采用 Excel 和 SPSS 软件进行数据处理, 差异显著性分析采用 Duncan's 法, 采用 GraphPad Prism 5.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 糖原含量

由图 2 可知, 在 48 h 贮藏过程中机械宰杀的鳝鱼糖原含量呈先增加后降低的趋势, 在贮藏 24 h 时达最大值 3.95 mg/g。除贮藏 16, 24, 40 h 外, 人工宰杀鳝鱼的糖原含量均高于机械宰杀的。除贮藏 0, 48 h 外, 人工宰杀和机械宰杀具有显著性差异 ($P < 0.05$)。贮藏期间, 糖原含量呈波动变化, 可能是因为鳝鱼个体差异, 在宰杀过程中挣扎程度不同, 导致糖原分解程度不同^[11]。贮藏初期, 人工宰杀的糖原含量高于机械宰杀的, 其原因尚不清楚。综上, 机械宰杀处理更有利于保持鳝鱼肉品质, 与姜丹莉^[12]的结果相似。



小写字母不同表示组内差异显著 ($P < 0.05$); * 表示组间差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 不同宰杀方式下鳝鱼肌肉在贮藏期间糖原含量的变化

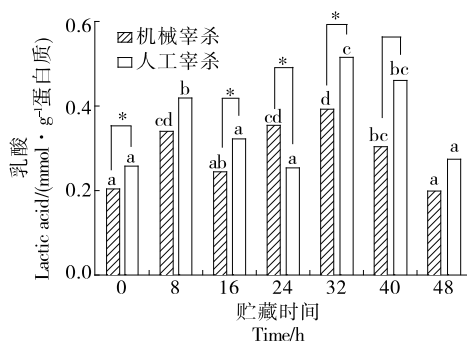
Figure 2 Changes in glycogen content of eel muscles obtained by different slaughtering methods during storage

2.2 乳酸含量

由图 3 可知, 不同宰杀方式处理的鳝鱼乳酸含量变化趋势相同, 均在贮藏 16 h 时降低, 32 h 时达最大值, 随后乳酸含量逐渐降低。人工宰杀的样品乳酸含量均高于机械宰杀的, 可能是由于人工宰杀时鳝鱼的应激反应强于机械宰杀的, 导致糖原分解产生大量乳酸, 使 pH 值降低, 鱼肉品质变差^[13]。糖原无氧呼吸导致乳酸含量上升, 之后乳酸被消耗而下降, 与王红丽^[14]、张涛^[15]的结论相同。

2.3 pH 值

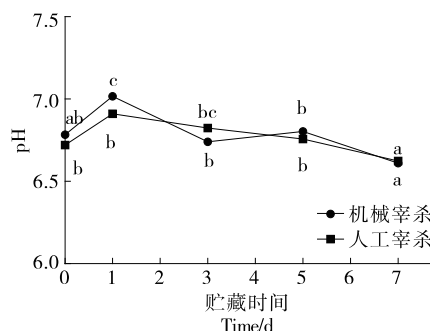
由图 4 可知, 机械宰杀和人工宰杀处理的鳝鱼肉在贮藏期间 pH 值均先增加后降低, 且在贮藏第 1 天达最大值 7.13 和 6.92。两种宰杀方式处理的鳝鱼肉 pH 值在贮



小写字母不同表示组内差异显著 ($P < 0.05$); * 表示组间差异显著 ($P < 0.05$)

图 3 不同宰杀方式下鳝鱼肌肉在贮藏期间乳酸含量的变化

Figure 3 Changes in lactic acid content of eel muscles obtained by different slaughtering methods during storage



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

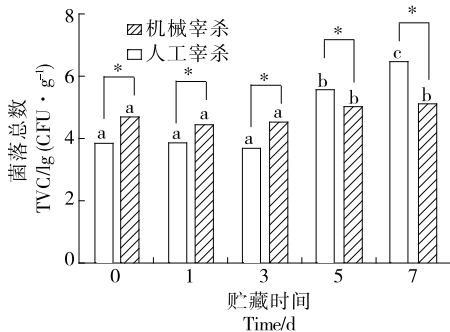
图 4 不同宰杀方式下鳝鱼肌肉在贮藏期间 pH 值的变化

Figure 4 Changes in pH values of eel muscles obtained by different slaughtering methods during storage

藏第 7 天最小, 分别为 6.53 和 6.84。鳝鱼经宰杀后, 体内的蛋白质、氨基酸以及一些含氮物质分解为氨及胺类物质, 使 pH 略有升高, 随着贮藏时间的延长, 糖原分解产生乳酸、磷酸等酸性物质, pH 下降, 从而影响鱼肉品质, 与王雅迪^[16]的研究结果一致。

2.4 菌落总数 (TVC)

由图 5 可知, 贮藏期间, 机械宰杀和人工宰杀的鳝鱼肉菌落总数 (TVC) 均有显著性差异 ($P < 0.05$)。人工宰杀和机械宰杀贮藏第 0 天的 TVC 分别为 3.85, 4.70 lg(CFU/g), 贮藏前期 (0~3 d) 人工宰杀和机械宰杀的 TVC 变化不显著, 贮藏第 5 天出现显著性变化。贮藏第 7 天, 人工宰杀和机械宰杀的 TVC 分别为 6.49, 5.12 lg(CFU/g), 人工宰杀处理的鳝鱼肌肉 TVC 超过了水产品中微生物可接受限量值。酸性条件不利于微生物的生长, 而机械宰杀处理鳝鱼 pH 值在贮藏前期略高于人工宰杀, 相比较易于微生物生长, 与 TVC 结果相一致。综上, 人工宰杀方式有利于鳝鱼的短期贮藏, 而机械宰杀方式可以延长鳝鱼的贮藏期。



小写字母不同表示组内差异显著 ($P < 0.05$); * 表示组间差异显著 ($P < 0.05$)

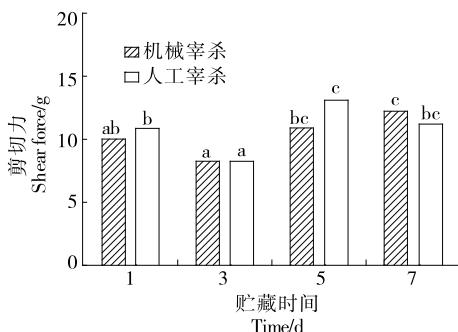
图5 不同宰杀方式下鲮鱼肌肉在贮藏期间 TVC 的变化
Figure 5 Changes in TVC of eel muscles obtained by different slaughtering methods during storage

2.5 剪切力

由图 6 可知,不同宰杀方式处理的鲮鱼剪切力在贮藏第 3 天下降,之后随着贮藏时间的延长,剪切力显著增加,可能是随着贮藏时间的延长,鱼肉受到内源酶和微生物的作用,导致肌纤维蛋白和肌浆蛋白降解,使鲮鱼肌肉的肌节长度减少,而肌节长度与肉嫩度呈正相关,进而导致剪切力下降,因此肉嫩度得到改善。而贮藏后期纤维蛋白和肌浆蛋白完全降解,肌节长度增加,剪切力增加^[17],与唐密^[18]的结论一致。

2.6 TVB-N 含量

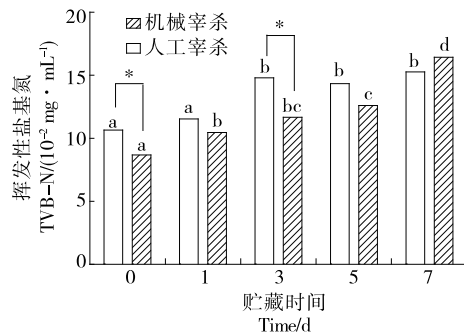
由图 7 可知,不同宰杀方式处理的鲮鱼 TVB-N 含量在贮藏 7 d 内呈上升趋势,且均 $< 20 \text{ mg}/100 \text{ g}$ 。除贮藏第 7 天外,人工宰杀鲮鱼的 TVB-N 含量均高于机械宰杀的。TVB-N 含量随贮藏时间的延长而增加,是由于在微生物和酶的作用下,蛋白质分解产生胺类及碱性含氮物,使得 TVB-N 含量增加^[19],与赵海洋等^[20]的结论一致。综上,随着贮藏时间的延长,鱼肉鲜度不同程度下降,机械宰杀更有利于在短期(5 d)贮藏保持鲮鱼鲜度。



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图6 不同宰杀方式下鲮鱼肌肉在贮藏期间剪切力的变化

Figure 6 Changes in shearing force of eel muscles obtained by different slaughtering methods during storage



小写字母不同表示组内差异显著 ($P < 0.05$); * 表示组间差异显著 ($P < 0.05$)

图7 不同宰杀方式下鲮鱼肌肉在贮藏期间 TVB-N 的变化

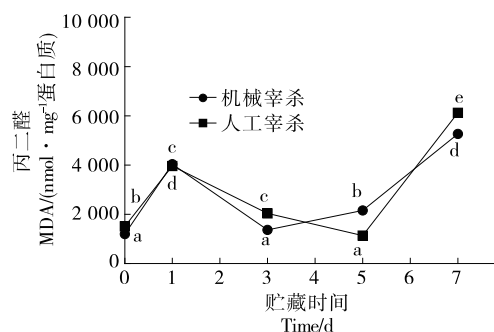
Figure 7 Changes in TVB-N values of eel muscles obtained by different slaughtering methods during storage

2.7 硫代巴比妥酸(TBARS)含量

TBARS 含量变化取决于丙二醛(MDA)含量^[21]。由图 8 可知,随着贮藏时间的延长,不同宰杀方式处理的鲮鱼 MDA 含量呈波动上升趋势。除贮藏第 5 天的样品外,机械宰杀的鲮鱼 MDA 含量均低于人工宰杀的,表明机械宰杀鲮鱼样品的脂肪氧化程度较低,更能保持肌肉品质。MDA 值先上升可能是宰杀后氧自由基作用于脂类,随后下降可能是肌肉中蛋白质分解,一部分醛类和蛋白质—SH 进一步反应,丙二醛含量下降。后续又上升可能是由于部分氧化酶对脂质氧化产生促进作用^[22],与陈晓楠等^[23]的结果一致。

2.8 色泽

由表 1 可知,机械宰杀和人工宰杀鲮鱼的 L^* 值和 a^* 值在 4°C 贮藏 0~5 d 时呈下降趋势,而在贮藏第 7 天呈上升趋势, b^* 值则呈波动上升趋势。 L^* 值下降说明随着贮藏时间的延长,鲮鱼肌肉的光泽度降低,颜色变暗。



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图8 不同宰杀方式下鲮鱼肌肉在贮藏期间 MDA 值的变化

Figure 8 Changes in MDA content of eel muscles obtained by different slaughtering methods during storage

表 1 不同宰杀方式下鳝鱼肌肉在贮藏期间的色度变化[†]

Table 1 Changes in chromaticity of eel muscles obtained by different slaughtering methods during storage

贮藏时 间/d	机械宰杀				人工宰杀			
	L^*	a^*	b^*	ΔE	L^*	a^*	b^*	ΔE
0	40.54±3.32 ^d	5.95±0.34 ^d	4.74±0.21 ^{a*}		41.11±2.29 ^b	6.09±0.49 ^c	3.76±0.10 ^{a*}	
1	39.69±2.39 ^c	5.14±0.41 ^{c*}	5.05±0.46 ^{b*}	1.64±0.46 ^a	39.65±3.07 ^b	6.99±0.31 ^{d*}	9.98±0.55 ^{c*}	6.32±0.82 ^a
3	38.39±1.19 ^{bc*}	4.05±0.38 ^{b*}	6.17±0.38 ^{c*}	3.30±0.46 ^b	36.37±1.25 ^{a*}	5.37±0.60 ^{b*}	8.29±0.61 ^{b*}	6.43±1.16 ^a
5	35.96±1.80 ^{a*}	4.30±0.82 ^{b*}	5.35±1.49 ^{b*}	5.26±0.36 ^c	36.47±2.07 ^{a*}	4.21±0.49 ^{a*}	10.67±1.87 ^{c*}	8.49±0.34 ^b
7	37.44±0.82 ^{b*}	2.81±0.07 ^{a*}	7.83±0.06 ^{d*}	5.38±0.25 ^c	40.08±0.38 ^{b*}	5.78±0.08 ^{bc*}	11.14±1.00 ^{d*}	7.81±0.44 ^{ab}

[†] 小写字母不同表示组内差异显著($P<0.05$); * 表示组间差异显著($P<0.05$)。

a^* 值下降可能是脂质氧化产生了大量羟自由基、 H_2O_2 及一些氧化产物(如丙二醛等),使肌红蛋白中的 Fe^{2+} 氧化,加快肉色的褐变。 b^* 值的变化与肌红蛋白含量有关,Dai 等^[24]认为肌红蛋白的氧化是导致鱼肉色泽劣变的直接原因。人工宰杀的鳝鱼 L^* 、 a^* 和 b^* 值整体高于机械宰杀的,表明机械宰杀有利于保持鳝鱼样品的色泽。

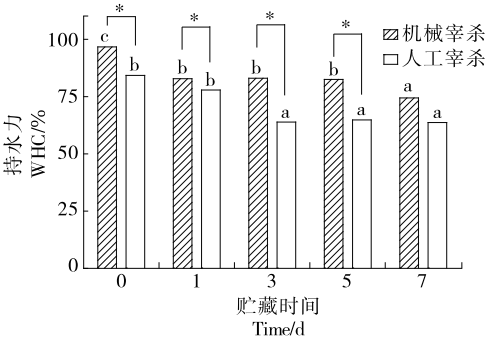
贮藏期间,人工宰杀方式处理的鳝鱼肌肉在贮藏 1 d 后色泽发生了极显著变化($P<0.01$),而机械宰杀的鳝鱼肌肉整体变化均小于人工宰杀的,说明机械宰杀方式更有利于保持鳝鱼样品的色泽。

2.9 持水力

由图 9 可知,随着贮藏时间的延长,不同宰杀方式处理的鳝鱼持水力均逐渐降低,机械宰杀处理的鳝鱼持水力在贮藏 0~7 d 时均高于人工宰杀处理的。鱼肉中的乳酸会使部分蛋白质变性,从而导致鱼肉蛋白的持水力下降。机械宰杀方式处理的鳝鱼乳酸含量较低,可能更有利于保持水分,与王智能等^[25]的结果相似。

2.10 水分分布

由图 10 可知,人工宰杀和机械宰杀处理的鳝鱼可观测到两种状态的水分,分别为不易流动水(T_{21})和自由水(T_{22})。随着贮藏时间的延长,两种宰杀方式处理的鳝鱼 T_{21} 弛豫时间均向右偏移,表明肌肉中的水分逐渐从肌纤维聚集体中渗出。鱼肉中不易流动水的分布状态变化最明显,其次是自由水。这与沈秋霞等^[26]的结论一致。由



小写字母不同表示组内差异显著($P<0.05$); * 表示组间差异显著($P<0.05$)

图 9 不同宰杀方式下鳝鱼肌肉在贮藏期间持水力的变化

Figure 9 Changes in WHC of eel muscles obtained by different slaughtering methods during storage

表 2 可知,机械宰杀鳝鱼的 P_{21} 较高,人工宰杀鳝鱼的 P_{22} 较高,表示人工宰杀处理的鳝鱼自由水含量更多,水分流失较大,与 Zhang 等^[27]的结论类似。

2.11 MRI 成像

由图 11 可知,新鲜鱼肉中的非结合水流动性不强,所以整体偏暗。贮藏前期(0~3 d),人工宰杀鳝鱼样品伪彩图的颜色较暗,后期机械宰杀处理的鳝鱼样品伪彩图像偏暗,表明人工宰杀样品的水分活跃程度高,更易使鳝鱼肌肉水分流失,机械宰杀处理的鳝鱼能较好地保持水

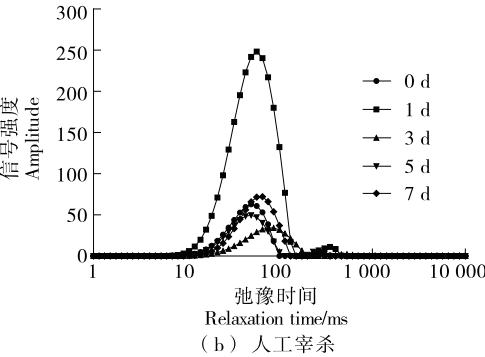
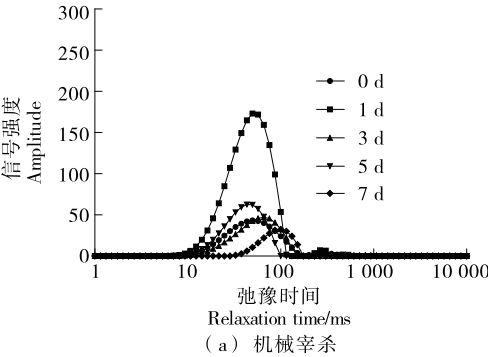


图 10 不同宰杀方式下鳝鱼肉中水的横向弛豫时间 T_2 图谱

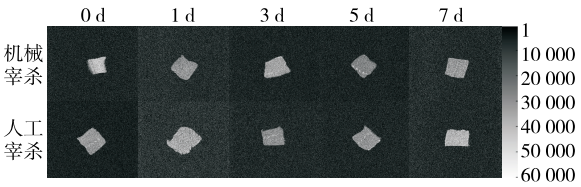
Figure 10 Transverse relaxation time T_2 spectrum of water in eel meat obtained from different slaughtering methods

表 2 不同宰杀方式下鳙鱼肌肉在贮藏期间的水分含量[†]

Table 2 Changes in c water content of eel muscles obtained by different slaughtering methods during storage

宰杀方式	贮藏时间/d	峰 1		峰 2	
		T_{21}/ms	$P_{21}/\%$	T_{22}/ms	$P_{22}/\%$
机械宰杀	0	47.609 ± 3.74^a	99.264 ± 0.87	$339.686 \pm 22.87^{b*}$	$0.853 \pm 0.89^{a*}$
	1	$49.770 \pm 0.00^{a*}$	$99.401 \pm 0.76^*$	613.591 ± 0.00^d	$0.337 \pm 0.01^{a*}$
	3	51.534 ± 4.75^a	99.638 ± 0.47	$231.013 \pm 0.00^{a*}$	1.868 ± 0.00^b
	5	$48.150 \pm 3.24^{a*}$	99.292 ± 1.64	335.875 ± 26.40^b	0.684 ± 0.29^a
	7	70.720 ± 5.40^b	99.528 ± 0.60	$498.915 \pm 40.13^{c*}$	0.551 ± 0.06^a
人工宰杀	0	51.900 ± 3.64^a	98.635 ± 0.16^a	$285.498 \pm 22.97^{b*}$	$3.053 \pm 0.21^{c*}$
	1	$61.032 \pm 4.52^{bc*}$	$98.847 \pm 0.40^{a*}$	$354.825 \pm 0.38^{c*}$	$0.993 \pm 0.07^{a*}$
	3	57.224 ± 0.00^{ab}	99.941 ± 0.19^c	$190.455 \pm 14.33^{a*}$	2.294 ± 0.30^b
	5	$61.509 \pm 6.06^{bc*}$	99.773 ± 0.60^{bc}	305.386 ± 0.00^{bc}	$2.761 \pm 0.18^{d*}$
	7	66.078 ± 6.52^c	99.222 ± 0.74^{ab}	$183.476 \pm 15.11^{a*}$	$1.356 \pm 0.22^{a*}$

[†] 小写字母不同表示组内差异显著($P<0.05$), * 表示组间差异显著($P<0.05$); T_{21} 为不易流动水弛豫时间, T_{22} 为自由水弛豫时间; P_{21} 为不易流动水峰比例, P_{22} 为自由水峰比例。



亮度的不同反映出了样品中自由水的含量的不同,自由水的含量越多越亮^[29]

图 11 不同宰杀方式下鳙鱼肌肉在贮藏期间的伪彩图
Figure 11 Pseudo-color images of eel muscles obtained by different slaughtering methods during storage

分,与 Zhao 等^[28]的结论一致。

3 结论

研究对比了机械宰杀和人工宰杀两种宰杀方式对鳙鱼品质的影响。结果表明,机械宰杀更有利于保持鳙鱼品质。4℃贮藏期间,机械宰杀有利于保持鳙鱼肉质色泽;贮藏 48 h 内,机械宰杀处理鳙鱼的糖原含量和乳酸含量整体低于人工宰杀的;机械宰杀处理鳙鱼的挥发性盐基氮含量和丙二醛含量均低于人工宰杀的,贮藏 7 d 内两种宰杀方式处理的鳙鱼挥发性盐基氮含量 $\leq 20 \text{ mg}/100 \text{ g}$;机械宰杀鳙鱼的持水力高于手工宰杀的,而贮藏前期(0~3 d)人工宰杀鳙鱼样品的水分活跃程度高于机械宰杀的。而机械化宰杀鳙鱼的更多优势有待进一步研究。

参考文献

[1] 杨代勤, 何力. 黄鳝质量安全风险分析[J]. 中国渔业质量与标准, 2021, 11(1): 1-10.
YANG D Q, HE L. Risk analysis on quality and safety of rice-field eel, *Monopterus albus* products [J]. China Fishery Quality and Standards, 2021, 11(1): 1-10.

[2] 吴秀林. 不同体色黄鳝生长性能、营养价值评价及遗传多样性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016: 1.
WU X L. Evaluate of growth performance and nutritive coposition and analysis of genetic diversity in different body color ricefield eel (*Monopterus albus*) [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016: 1.
[3] 吴永俊, 王莉, 康翠翠, 等. 不同致死方式对虹鳟鱼肉挥发性成分的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2019, 54(3): 152-162.
WU Y J, WANG L, KANG C C, et al. Effects of different slaughter methods on the volatile components of rainbow trout meat [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2019, 54(3): 152-162.
[4] 方林. 草鱼滋味物质及品质变化的影响因素研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018: 19-20.
FANG L. Study on taste components and quality variation of grass carp meat [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018: 19-20.
[5] 王汉玲. 不同处理方式对虹鳟在微冻条件下品质影响的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2018: 13-15.
WANG H L. Effect of partial freezing with different treatment conditions on quality of Rainbow Trout during storage [D]. Shihezi: Shihezi University, 2018: 13-15.
[6] 李平, 黄和祥, 张黎, 等. 一种新型泥鳅鳙鱼宰杀机的导向调节装置: CN202011457116.X[P]. 2022-03-01.
LI P, HUANG H X, ZHANG L, et al. Guiding adjustment device of a new loach eel slaughtering machine: CN202011457116.X[P]. 2022-03-01.
[7] 郭丽, 王鹏, 马丽媛, 等. 透明质酸涂膜对微冻贮藏鲫鱼肉质色泽和质构特性的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(4): 137-140.
GUO L, WANG P, MA L Y, et al. Effects of hyaluronic acid coating on color and texture characteristics of crucian carp (*Carassius auratus*) during superchilling storage [J]. Food Industry, 2018, 39(4): 137-140.
[8] 杨永安, 李静静, 刘建福, 等. 不同温度波动对冻藏三文鱼色差和质构的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 145-150.

- YANG Y A, LI J J, LIU J F, et al. The effect of temperature fluctuation on color difference and texture of frozen salmon[J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(10): 145-150.
- [9] 叶安妮. 超高压处理不同水产品的品质变化及其机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019: 37.
- YE A N. Study on high pressure process on quality changes of different aquatic products and its mechanism[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019: 37.
- [10] 郑红, 苏现波, 马良, 等. 货架期冷藏过程中鲮鱼肉理化指标及蛋白质变化规律[J]. 食品科学, 2018, 39(7): 215-220.
- ZHENG H, SU X B, MA L, et al. Changes in physicochemical properties and proteins during shelf life of cold stored swamp eel (*Monopterus albus*) [J]. Food Science, 2018, 39(7): 215-220.
- [11] MARIK P E, BELLOMO R. Stress hyperglycemia: An essential survival response[J]. Critical Care, 2013, 17(2): 305.
- [12] 姜丹莉. 四种不同食性的温水鱼类应激反应及其对糖代谢的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 8-10.
- JIANG D L. Stress responses in four warmwater fish species with different food habits and its effect on glycometabolism [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017: 8-10.
- [13] 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 lipoxigenase activity of grass carp meat[J]. Food Science, 2016, 37(18): 64-70.
- [14] 王红丽. 草鱼死后贮藏过程中品质变化研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019: 53.
- WANG H L. Study on changes in the quality of grass carp in the process postmortem [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019: 53.
- [15] 张涛. 石斑鱼液体速冻保鲜加工技术及对鱼肉品质的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019: 33-34.
- ZHANG T. Fresh-keeping processing technology of grouper by liquid quick-freezing and its effect on meat quality[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019: 33-34.
- [16] 王雅迪. 冷藏淡水鱼肉保鲜技术研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2020: 16-17.
- WANG Y D. The study of fresh-keeping technology of chilled fresh water fish [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2020: 16-17.
- [17] GE L, XU Y, XIA W. The function of endogenous cathepsin in quality deterioration of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets stored in chilling conditions[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2015, 50(3): 797-803.
- [18] 唐密. 冷藏调制鱼货架期内贮藏过程导致熟化后质构劣变的机理[D]. 重庆: 西南大学, 2020: 19-20.
- TANG M. The mechanism on deterioration of texture quality of cooked fish caused by stored time extension of refrigerated prepared fish[D]. Chongqing: Southwest University, 2020: 19-20.
- [19] BEKHIT A E D A, HOLMAN B W B, GITERU S G, et al. Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 109: 280-302.
- [20] 赵海洋, 高立琼, 崔文利, 等. 黄鳞片冷藏保鲜过程中的品质变化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 293-298.
- ZHAO H Y, GAO L Q, CUI W L, et al. Quality changes of *Monopterus albus* slices during refrigerated preservation [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(21): 293-298.
- [21] CAO S M, WU Y Y, LI L H, et al. Activities of Endogenous lipase and lipolysis oxidation of low-salt lactic acid-fermented fish (*Decapterus maruadsi*) [J]. Journal of Oleo Science, 2018, 67(4): 445-453.
- [22] BOONSUMREJ S, CHAIWANICH SIRI S, TANTRATIAN S, et al. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(1): 292-299.
- [23] 陈晓楠, 蒋慧丽, 吴琼静, 等. 稳定态二氧化氯结合真空包装对冻藏海鳗品质特性的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(7): 255-261.
- CHEN X N, JIANG H L, WU Q J, et al. Effect of stable chlorine dioxide combined with vacuum packaging on the quality of pike eel (*Muraenesox cinereus*) during frozen storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(7): 255-261.
- [24] DAI Y, LU Y, WU W, et al. Changes in oxidation, color and texture deteriorations during refrigerated storage of ohmically and water bath-cooked pork meat[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 26: 341-346.
- [25] 王智能, 高立琼, 崔文利, 等. 黄鳞片冷冻保藏的质构变化与控制[J]. 食品工业, 2019, 40(5): 214-219.
- WANG Z N, GAO L Q, CUI W L, et al. Quality change and control of *Monopterus albus* slices during frozen storage[J]. Food Industry, 2019, 40(5): 214-219.
- [26] 沈秋霞, 朱克永, 李明元, 等. 低场核磁结合电子鼻判定复合保鲜剂对冷藏虹鳟鱼片品质变化的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 130-136.
- SHEN Q X, ZHU K Y, LI M Y, et al. LF-NMR combined with electronic nose to analyze the quality changes of refrigerated rainbow trout treated with composite preservative[J]. Food & Machinery, 2019, 35(12): 130-136.
- [27] ZHANG L, LI Q, LYU J, et al. The impact of stunning methods on stress conditions and quality of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets stored at 4 °C during 72 h postmortem[J]. Food Chemistry, 2017, 216: 130-137.
- [28] ZHAO X, CHEN L, WONGMANEEPRATIP W, et al. Effect of vacuum impregnated fish gelatin and grape seed extract on moisture state, microbiota composition, and quality of chilled seabass fillets[J]. Food Chemistry, 2021, 354: 129581.
- [29] 吴亮亮, 罗瑞明, 孔丰, 等. 蒸煮时间对滩羊肉蒸煮损失、嫩度及水分分布的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 19-23.
- WU L L, LUO R M, KONG F, et al. Effect of cooking loss, tenderness and water distribution of Tan sheep at different cooking time treatment[J]. Food & Machinery, 2016, 32(4): 19-23.