

宰前二氧化碳麻醉对罗非鱼肉品质影响的研究

陈名帅, 范兴, 陆玉芹, 颜明月, 陈德慰

(广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530004)

摘要: 研究了宰前二氧化碳麻醉对罗非鱼肉品质的影响。本研究以敲头作为对照组, 比较二氧化碳麻醉放血宰后于 1 ± 1 °C 下贮藏, 测定 7 d 各组僵直度、pH 值、质量损耗率、挥发盐基氮、感官评价、质构硬度和剪切力等指标。结果表明: 宰前二氧化碳麻醉能延迟进入僵直期的时间, 且有较高的初始 pH 和较低的最终 pH。随贮藏时间的延长, 两组的质量损耗率呈显著上升趋势, 在宰后 3 d 内两组间无显著性差异, 却在宰后 4 到 7 d 内, 二氧化碳麻醉组要明显低于对照组。除宰后 0 d 和 4 到 5 d 外, 二氧化碳麻醉组的 TVB-N 均明显低于敲头对照组。另外, 两组间的质构恶化和感官评价在宰后无显著差异, 但两组的剪切力和硬度以及感官评价在宰后第 7 d 要明显劣于 0 d。结合各项指标, 宰前二氧化碳麻醉比敲头致晕更适合于罗非鱼鱼片的生产加工。

关键词: 二氧化碳; 麻醉; 罗非鱼; 肉品质

文章篇号: 1673-9078(2014)4-226-232

Effect of Pre-slaughter Carbon Dioxide Anesthesia on Flesh Quality of Tilapia

CHEN Ming-shuai, FAN Xing, LU Yu-qin, YAN Ming-yue, CHEN De-wei

(Department of Food Science, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: The aim of this study was to evaluate the effects of pre-slaughter carbon dioxide (CO₂) anesthesia (directly percussive blow to the head as control group) on the flesh quality of Tilapia. Then the processed Tilapia were vacuum-packed in low-density polyethylene (LDPE) bags and stored at 1 ± 1 °C. Rigor mortis, muscle pH, weight loss, total volatile base nitrogen (TVB-N), sensory evaluation, texture hardness and shear force were measured over a 7 d time span. Results showed that carbon dioxide narcosis prolonged the pre-rigor period of the fillet; pH of muscle was higher initially while decreased in the end. Weight loss of both methods had no significant difference after 3 d post-mortem. But from 4th day to 7th day, weight loss of CO₂ anesthesia group was significantly lower than the control group. Except for post-mortem of the 0 d, 4th day and 5th day, TVB-N value of CO₂ anesthesia group was obviously lower than the control group. No evident difference in the texture deterioration and sensory qualities were found between the two group, but hardness, shear force and sensory quality of the sample at 7th day were dramatically lower than that at 0 day. The pre-slaughter method of CO₂ anesthesia, combined with all quality indicators, was more suitable to process tilapia flesh than percussive stunning.

Key words: carbon dioxide; anesthesia; tilapia; flesh quality

罗非鱼属鲈形目 (*Percliformes*)、鲈形亚目 (*Percoidei*)、鲷鱼科 (*Cichlidae*)、罗非鱼属 (*Tilapia*), 是联合国粮农组织在世界推广养殖的一种淡水和半咸水鱼类。罗非鱼具有生长繁殖快, 食物杂, 适应性性强, 耐低氧, 肉质鲜美细腻, 易养殖, 产量高等特点。近十年来我国的罗非鱼产量以平均每年 9% 左右的速度递增^[1], 居世界第一, 是我国优势出口水产品之一。

收稿日期: 2013-10-19

基金项目: 广西高等学校科研项目 (2013ZL005); 广西科技攻关项目 (桂科攻 1222015-4, 11107011-11); 国家星火计划项目 (2012GA790003)

作者简介: 陈名帅 (1988-), 男, 研究生, 研究方向: 水产品加工

通讯作者: 陈德慰 (1975-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 水产品加工与保鲜

广西作为全国罗非鱼养殖的大省, 2011 年年加工出口罗非鱼片及条冻鱼 6.2 万 t, 占全国出口总量的 18.4%; 出口额 2.16 亿美元, 占广西水产品出口总额的 70.8%, 占全国出口总额的 20%^[2]。

众所周知, 在对鱼进行宰杀时, 不进行任何处理, 鱼会出现强烈地挣脱, 难以控制, 这对于操作者和鱼本身都是不利的。如果鱼在处理过程处在安定状态, 则可以让鱼和处理者两者的风险将至最低。大量研究表明, 不同的宰前致晕处理对于动物肉品质有着至关重要的影响。国外对鱼的宰杀方式有较深入的研究, 其宰杀方法有: 电击、麻醉剂、冰悬液快速降温、敲头以及二氧化碳麻醉。

冻罗非鱼鱼片加工技术的标准^[3]中罗非鱼的宰杀

方式为直接放血宰杀, 广西的罗非鱼加工企业目前也主要采用直接放血宰杀, 部分产品是应客户的要求, 对罗非鱼采用一氧化碳活体发色后再宰杀, 以及少量产品是采用电击致昏后再宰杀。电击致晕也已应用在许多鱼类宰杀, 例如, 大西洋鲑鱼^[4]、大西洋鳕鱼^[5]和尼罗罗非鱼^[6]。但电击容易导致鱼的血管爆裂, 进而使鱼肉片产生血斑, 以及骨髓的严重损坏等不良现象, 对电击时的电流强度和持续时间需要严格控制^[7]。国外已采用高浓度的二氧化碳使宰前的鱼类镇定^[8-10]。二氧化碳最大的优点为便宜且易于操作使用, 无毒, 且宰后鱼肉可直接销售, 没有药物残留的风险。但是在挪威^[10], 有研究认为二氧化碳麻醉是一种潜在低福利的因素, 建议采用电击、敲击等致晕方法所取代。机械敲头已应用于鱼类的宰杀^[7], 被视为一个较人道的宰杀方法, 但其工业化大生产时操作复杂繁琐且效率低, 敲头时需要瞄准且需用力敲击, 容易损坏到鱼其他部位以及难以确保鱼瞬间完全失去知觉。国内对于宰杀方式对动物肉品质的影响主要集中在畜禽类动物的研究, 鱼类宰杀方式的研究相对较少。仅牛宝卫^[11], 王彦波^[12]等人有相关研究。目前对于耐低氧罗非鱼的宰杀方式研究更是鲜有报道, 仅是本课题组前期的初步研究中发现将罗非鱼暴露于二氧化碳饱和溶液中麻醉后放血宰杀得到了较好品质的罗非鱼片^[13]。目前国内罗非鱼的宰杀方式主要是对活鱼进行直接放血宰杀, 未经麻醉处理, 因而对宰杀加工者存在一定的伤害风险, 以及对罗非鱼的动物福利和鱼片的品质也有一定的不良影响。

本文研究宰前二氧化碳麻醉对罗非鱼片品质的影响, 以直接敲头作为对照实验组, 从生理生化指标和感官指标的角度来评价宰前二氧化碳麻醉对于宰后罗非鱼鱼肉品质的影响, 探寻一种能大规模应用于罗非鱼产业的的宰杀方法。

1 材料与方法

1.1 试验罗非鱼的选择和处理

试验的活力罗非鱼均采自南宁市五里亭菜市场, 每尾罗非鱼的重量范围为 450~550 g, 实验室暂养 1 d。试验分 2 组, 每组罗非鱼 31 尾, 试验分组采用随机概率分配, 均转移至鱼水比为 1:5 的水溶液中。一组以 0.5 L/min 持续通入二氧化碳至饱和二氧化碳水溶液^[13], 对照组则不通二氧化碳, 观察各组中的罗非鱼的表现行为, 其行为表现^[14]如表 1 所示, 直到实验组中的罗非鱼达到第三麻醉阶段, 停止通气。同时将另一组直接敲击头部至罗非鱼无强烈挣脱现象, 两组鱼均

剪鳃室温放血 20 min 后宰杀。去皮, 取鱼肉, 试验过程的鱼肉用聚乙烯袋密封放在冰上, 然后放置于 1±1 °C 冰箱中保存。测定罗非鱼僵直度试验的鱼则是去鳞和去内脏, 在泡沫箱中将罗非鱼的两边用冰袋夹紧竖直固定在托盘内, 箱底放置有冰水, 然后将泡沫箱放置于 1±1 °C 冰箱中贮藏。实验时在罗非鱼的周围用冰袋提供低温环境, 每次取出快速测试, 将环境温度对罗非鱼的影响降至最低。

表 1 鱼行为表现

Table 1 Behavioral response in different stages

阶段	描述	行为表现
0	正常	游动状态活跃; 视觉和触觉反应正常; 平衡正常; 鳃盖张合正常
1	轻微镇定	游动活力降低; 轻微降低对视觉和触觉的感应平衡有困难; 鳃盖张合正常
2	轻度麻醉	游动无力; 对视觉无感应; 对触觉有弱感应; 缓慢与长的张合比率; 失去恢复平衡的挣扎
3	重度麻醉	无游动; 对视觉无感应; 仅对强度触觉有感应; 鳃盖张合困难; 完全失去平衡

1.2 仪器与设备

医用离心机, 长沙平凡仪器仪表有限公司; PHSJ-3F pH 计, 上海仪电科学仪器股份有限公司; 电子天平, 诸暨市超泽衡管设备有限公司; 容声冰箱, 广东容声冰箱有限公司; 质构仪 (TA-XT plus), 英国。

1.3 方法

1.3.1 僵直指标

参考 Martine Morzel^[15]等的僵直度测定方法: 将贮藏的鱼取出, 室温下平放在水平台面上, 鱼尾所占鱼身的一半部分放在水平台面的边缘, 测量鱼尾下垂的距离。测定时间为 0、2、4、6、8、10、12、24、48、72、96 h。其计算公式为 $I_r = [(L_0 - L_t) / L_0] \times 100\%$, L 为其下垂的距离, L_0 为开始实验时下垂距离, L_t 为整个实验所测的下垂距离。每组试验重复 3 次。

1.3.2 鱼肉 pH 值

参考并修改 Rodrigo Scherer^[16]等人的方法, 取 5 g 鱼片样品加入 50 mL 蒸馏水, 搅拌 2 min 后, 室温 4000 r/min 离心 5 min。用 pH 计室温下测定离心管中的上清液, 记录读数。测定时间为 0、2、4、6、8、10、12、24、48、72、96、120、144 和 168 h。每组试验重复 3 次。

1.3.3 质量损耗率

参考 Grigory V Merkin^[17]等人的检测方法, 运用公式 $WL/\% = [(W_0 - W_t) / W_0] \times 100\%$, W_0 为鱼片样品起

始质量, Wt 为鱼片结束储藏时的质量。测定时间为 0、1、2、3、4、5、6 和 7 d。每组试验重复 3 次。

1.3.4 挥发性盐基氮 (TVB-N)

参考 SC/T 3023-2007^[18]水产品挥发性盐基氮的测定方法, 进行 0、1、2、3、4、5、6 和 7 d 的检测。每组试验重复 3 次。

1.3.5 质构

由于鱼的质构受个体差异(生长情况、鱼自身的大小等)和鱼片的厚度影响较大, 所以本实验用到的鱼的大小无显著差异, 选择相同部位鱼肉, 切成大小为 20 mm×20 mm、厚度为 10 mm 的尺寸进行测定。硬度和剪切力每组均进行 3 次平行试验。

硬度的测定^[8]: 选用质构仪的平底柱型探头 p/0.5 (直径 12.5 mm) 垂直以恒定速度 2 mm/s 压缩鱼肉样品(在背鳍下部位选取 3 处白肉)厚度形变 60%, 触发力为 0.2 N, 记录最大压缩力。测定时间为 0、1、2、3、4、5、6 和 7 d。

剪切力的测定^[8]: 选用型号 HDP-BSW 刀片, 垂直以恒定速度 2 mm/s, 触发力为 0.2 N, 切过面积为 20 mm×20 mm×10 mm 的鱼肉样品(在鱼片中心线以上部位选取 3 处白肉), 记录最大剪切力。测定时间为 0、1、2、3、4、5、6 和 7 d。

1.3.6 感官评价

感官评价鱼的新鲜度属性(表皮, 气味, 眼睛, 鳃, 气味和鱼肉)由 3 名受过训练的评价员参考并修改 A Huidobro 等人^[19]的研究方法, 评分表见表 2。由于各参数指标的辨别度和重要性不一样, 所以对应的计分分值范围也不同。

1.3.7 数据分析

二氧化碳麻醉和敲头宰杀罗非鱼的统计分析有效性全部采用 SPSS 软件 (Version 19.0) 单因素方差分析 (ANOVA), 并用显著性水平 0.05 作为各项结果的差异显著性判断标准。实验所有的数据记录为平均值±标准误差。

2 结果与分析

2.1 罗非鱼麻醉阶段行为表现

二氧化碳麻醉组的鱼在 5 min 麻醉的行为表现如表 3 所示。对照表 1 我们可以确定, 通入二氧化碳 5 min 后, 鱼已进入麻醉第三阶段, 方便鱼的宰杀。而本实验所宰杀的实验组鱼都达到麻醉第三阶段, 才捕捞放血。

2.2 僵直度

由图 1a 可看出, 两种方法宰杀的罗非鱼在死后 8 h 内无显著性差异, 但是在 8 h 时, 敲头对照组的罗非鱼达到最大僵直度 80.68%±0.61%, 二氧化碳麻醉组则在 12 h 时达到最大僵直度 71.55%±1.68%。由此看出, 宰前二氧化碳麻醉罗非鱼僵直期有明显的延迟。

表 2 感官评价计分表

Table 2 Sensory attributes for Tilapia fillets evaluated by the

trained sensory panel		
参数指标	描述	计分
表皮	十分明亮	0
	明亮	1
	灰暗	2
	浑浊不清	3
黏液	澄清透明	0
	轻微浑浊	1
气味	浑浊	2
	新鲜	0
	中立	1
眼睛	腥臭味	2
	澄清半透明	0
	稍微的浑浊	1
形状	浑浊/血色的	2
	凸状	0
颜色	平状	1
	凹状	2
	亮红/暗红	0
鳃	红褐色	1
	褪色	2
	新鲜的/海藻味	0
气味	中立	1
	鱼腥味	2
	腥臭味	3
僵直	僵直前期/僵直期	0
	僵直后期	1
鱼肉	有弹性	0
	压有轻微的印迹	1
	压有明显的印迹	2

表 3 麻醉过程中的行为表现

Table 3 Behavioral signs of the CO₂-treated tilapia

in the narcotizing tank		
时间 /min	行为表现	麻醉阶段
0~1	挣扎强烈	0
1~2	镇定下来	1
2~2.5	出现身体的不平衡, 挣脱开始减小	1
2.5~4	鱼嘴升出水面, 有扑水现象, 挣脱较弱	2
4~5	鱼身翻白, 没有挣脱	3

鱼类死后出现僵直这一现象主要是因为宰后的肌肉组织内环境平衡被破坏, Ca²⁺从肌浆网中漏出, 促进肌球蛋白与肌动蛋白牢固结合, 形成肌动球蛋白

[12]。同样,王稳航^[20]等人在关于畜禽宰后细胞死亡学说中提出,畜禽在宰前受到外界刺激的影响,肌肉强烈收缩,肌肉细胞 ATP 迅速耗竭, Ca²⁺在肌浆中大量积累,导致肌肉收缩加剧、线粒体代谢增强、蛋白酶活性提高等一系列生化变化。早前研究^[11]认为僵直开始时是由于 ATP 的较早缺乏,这为最好的宏观应激性强度指标之一。宰前应激性(鱼死前的物理活力)能导致糖原 ATP 的损失。两组宰杀方式的罗非鱼开始进入僵直期较为相似,但完全进入僵直阶段,敲头对照组(8 h)要明显早于二氧化碳麻醉组(12 h)。这与牛宝卫^[11]、Martine Morzel^[21]、Robb^[22]等人的研究结果相反,出现这种结果的原因可能是在敲击罗非鱼头部时,为避免罗非鱼直接死亡,在放血阶段的放血不完全可能导致的鱼片淤血现象,本研究只是将罗非鱼敲至昏迷状态。因此,在剪鳃放血阶段,刺激罗非鱼产生进行大量的肌肉活动,进而肌肉组织进行大量的厌氧糖酵解以及 ATP 的迅速降解。

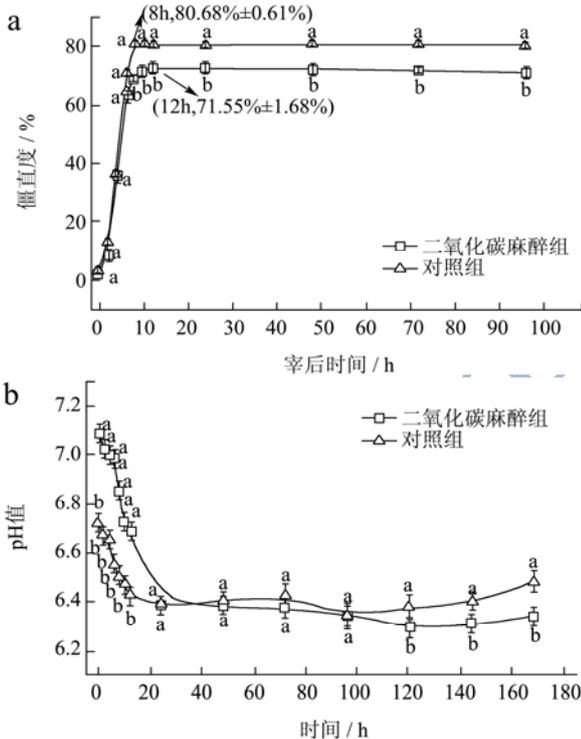


图1 宰前二氧化碳麻醉对罗非鱼宰后僵直度(a)和pH(b)的影响

Fig.1 Effects of pre-slaughter method of the CO₂ anesthesia in the Tilapia in the dynamics of rigor mortis (a) and pH (b)

注:图中同一时间不同字母a, b代表 P<0.05, 差异显著。

延迟僵直时间在水产加工产业里十分有意义,一方面能延长鱼片切片和加工的时间,另一方面僵直期僵硬的鱼片机械处理更容易断裂。因此,相较于敲头致晕,宰前二氧化碳麻醉罗非鱼能有效提升鱼片生产效率。

2.3 pH 值

在宰后 24 h 内,两组都呈下降趋势,而宰后 24 h 后,两组的 pH 值的变化趋势相对平滑(图 1b)。此外,二氧化碳麻醉组在宰后 0 h 有较高显著的起始 pH 值,但是宰后 24 h 到试验结束,二氧化碳麻醉组的 pH 始终低于敲头对照组。两组最低 pH 值分别为二氧化碳麻醉组的 6.29±0.03 和敲头对照组的 6.34±0.05,但两者之间没有显著性差异。

鱼在宰后,身体供氧中断,组织呼吸转变为无氧的酵解途径,导致乳酸在鱼肌肉中积累, pH 值下降,糖的酵解活动逐渐减弱,直到最后停止。鱼体内糖原代谢产生乳酸,是使 pH 发生明显变化的主要原因。pH 值最后的上升则可能是微生物分解鱼肉生成如三甲胺、氨等物质。这与顾海宁^[23]等人对冷冻猪肉在 0、5 °C 贮藏下 pH 变化的研究结果相一致。通常,鱼宰前受到的应激性越大,鱼肉 pH 的初始值较低,且宰后肌肉 pH 快速降低,是因为糖原酵解和乳酸的生成。二氧化碳麻醉宰杀的罗非鱼初始 pH 值显著高于敲头对照组(图 1b),这间接反映的敲头宰杀罗非鱼在宰前应激性较强,与敲头宰杀的僵直度指标结论相一致。对此, Cosmas Nathanailides^[24]等人报道称捕获鱼的操作刺激特征表现为鱼游动活力增强,这能诱发厌氧新陈代谢同时能量贮藏的损耗以及鱼肉 pH 的降低,从而导致鱼肉自溶反应的加速。这可解释本实验的结果为:除了僵直度中描述的敲头问题外,在捕获罗非鱼时,敲头对照组没有二氧化碳麻醉组易于操作,罗非鱼在敲头阶段会有强烈地想挣脱控制的挣扎,产生大量的肌肉活动,产生大量的乳酸。而将鱼暴露于二氧化碳饱和和水溶液,氧的供给受限,厌氧糖酵解成为主导,同时高浓度的二氧化碳能抑制鱼中枢神经系统,导致呼吸性酸中毒,使得罗非鱼处于安定状态,在取鱼片过程降低了鱼强烈挣扎产生的乳酸量。因此,二氧化碳麻醉能降低罗非鱼的宰前应激性,能有效提高鱼福利。

2.4 质量耗损率

依据 ANOVA 分析不同宰杀方式对罗非鱼贮藏期间质量耗损率的影响得出(表 4):在宰后 3 d 内两组间没有显著性差异,但是宰后 4 d 到试验结束,二氧化碳麻醉组的质量耗损率要明显低于敲头对照组。另外,随着贮藏时间的延长,两组的质量耗损率均呈显著上升趋势。

贮藏期间,鱼肉的质量耗损,主要宏观表现为其保水性的降低。随着肌肉 pH 的降低导致肌肉蛋白更

接近等电点, 改变蛋白质结构, 使肌原纤维蛋白失去活性, 从而使肌肉的保水力大幅降低, 进一步影响贮藏期鱼肉质量的变化。Mantilla^[25]等人报道称鱼肉的保水性与鱼宰前的应激性有很大联系, 宰前应激性越强, 其保水力越差。结合上述结论, 我们可以认为二氧化碳麻醉组的质量耗损率要低于敲头对照组的原因, 是因为二氧化碳麻醉能降低罗非鱼的宰前应激性。因此, 二氧化碳麻醉宰杀罗非鱼相对于直接敲头宰杀能稍微提高宰后鱼片的保水力。

表4 宰前二氧化碳麻醉对罗非鱼贮藏期质量耗损率以及 TVB-N 的影响

Table 4 Weight losses and TVB-N values of the fillets obtained from the control and CO₂-treated tilapia stored at 1±1 °C during 7 days.

贮藏时间 /d	质量耗损率/%		TVB-N/(10 ⁻² mg/g)	
	二氧化碳麻醉组	对照组	二氧化碳麻醉组	对照组
0	0.00±0.00 ^{ex}	0.00±0.00 ^{ex}	14.37±0.89 ^{fx}	15.91±0.89 ^{ex}
1	1.45±0.33 ^{fx}	1.66±0.76 ^{dx}	15.40±0.00 ^{efx}	18.48±0.00 ^{ey}
2	2.34±0.44 ^{dx}	2.93±0.40 ^{cx}	16.43±0.88 ^{ex}	19.77±1.00 ^{efy}
3	3.30±0.57 ^{ex}	3.71±0.40 ^{cx}	17.97±0.87 ^{dx}	21.05±0.88 ^{dxy}
4	4.62±0.20 ^{cx}	5.38±0.29 ^{by}	18.55±0.86 ^{cx}	22.09±0.89 ^{dx}
5	5.05±0.14 ^{cx}	6.14±0.56 ^{by}	20.12±0.89 ^{bx}	23.63±0.89 ^{cx}
6	5.72±0.18 ^{bx}	6.98±0.60 ^{aby}	22.07±0.88 ^{abx}	25.64±0.88 ^{by}
7	6.31±0.14 ^{ax}	7.77±0.87 ^{ay}	23.59±0.87 ^{ax}	28.20±0.89 ^{ay}

注: 同一列中不同字母 a、b、c、d、e、f、g 代表 P<0.05, 差异显著。含有相同字母的则表示没有显著差异。同一排中 x、y 代表 P<0.05, 差异显著。

2.5 挥发性盐基氮 (TVB-N)

宰前二氧化碳麻醉和敲头宰杀罗非鱼, 贮藏期间 TVB-N 值的变化见表 4。无论哪组随着贮藏时间的延长, TVB-N 值均呈显著性增加趋势。ANOVA 分析不同宰杀方式随贮藏时间 TVB-N 值的变化, 得到除宰后 0 d 和 4 到 5 d 外, 二氧化碳麻醉组的 TVB-N 均显著地低于敲头对照组。此外, 在 7 d 的贮藏期内, 二氧化碳麻醉组和敲头对照组的最大值分别为 (23.59±0.87)×10⁻²mg/g、(28.20±0.89)×10⁻²mg/g, 均未超过限量值 0.30 mg/g。

TVB-N 值主要用于评价肉的败坏程度, 其主要是由于微生物分解肉而产生。虽然两组之间没有显著性差异, 但是二氧化碳麻醉组要略低于敲头对照组。有研究^[26]称, 二氧化碳麻醉使鱼片产生的微酸性环境能稍微限制微生物的繁殖。该结果的可能解释为: 二氧化碳以呼吸作用进入血液, 进而扩散到鱼身体各处,

以及麻醉阶段产生的乳酸, 使得鱼肉的酸度低于敲头对照组。因此, 二氧化碳麻醉宰杀有利于鱼片的储存。

2.6 质构

表5 宰前二氧化碳麻醉对罗非鱼贮藏期质构的影响

Table 5 Muscle shear force and hardness (Kg) in the pre-slaughter method of the CO₂ narcosis change during 7d storage

贮藏时间 /d	剪切力/kg		硬度/kg	
	二氧化碳麻醉组	对照组	二氧化碳麻醉组	对照组
0	3.06±0.50 ^a	2.30±0.53 ^a	2.87±0.52 ^a	2.84±0.29 ^a
1	2.08±0.12 ^b	1.88±0.14 ^{ab}	2.80±0.22 ^{ab}	2.34±0.41 ^b
2	2.04±0.29 ^b	1.85±0.17 ^{ab}	2.43±0.27 ^b	2.28±0.07 ^b
3	1.94±0.48 ^{bc}	1.85±0.53 ^{ab}	2.36±0.16 ^b	2.24±0.22 ^b
4	1.70±0.74 ^{bc}	1.66±0.15 ^b	2.19±0.15 ^{bc}	2.17±0.06 ^b
5	1.65±0.11 ^{bc}	1.57±0.06 ^b	2.12±0.24 ^{bc}	2.13±0.03 ^{bd}
6	1.33±0.24 ^c	1.52±0.60 ^b	2.04±0.09 ^{bc}	1.76±0.12 ^c
7	1.32±0.24 ^c	1.47±0.26 ^b	1.80±0.14 ^c	1.69±0.24 ^{cd}

注: 同一列中不同字母 a、b、c、d 代表 P<0.05, 差异显著。含有相同字母的则表示没有显著差异。

二氧化碳麻醉和敲头宰杀罗非鱼, 就剪切力和硬度指标而言, 两者没有显著性差异(表 5)。两组罗非鱼的剪切力和硬度与 TVB-N 指标变化趋势相反, 都随时间的延长而降低。而当罗非鱼贮藏 7 d 时, 无论哪组罗非鱼鱼肉的剪切力和硬度都显著低于其贮藏前期(0 d), 但二氧化碳麻醉组的剪切力和硬度要略高于敲头对照组。

关于宰前应激性对鱼质构的影响, 先前的研究中 Morzel^[27]等认为在宰前的应激反应能导致虹鳟鱼片有较软的质构现象, 而 Roth^[28]等却称厌氧条件下的糖降解不能导致鱼片质构的变软。结合之前的分析, 本结果与 Morzel^[27]的研究结论相一致。其可能是因为直接敲头宰杀, 其死亡过程相对二氧化碳麻醉组要缓慢, 肌肉组织 ATP 逐渐耗尽, 加重了肌动球蛋白变形, 所以导致鱼片较软的质构, 这与感官评价表 6 内的鱼肉结果相一致。因此, 我们可以认为宰前二氧化碳麻醉对于宰后罗非鱼鱼肉的质构变化影响要优于直接敲头。

2.7 感官评价

3 名受训感官评价员对两种宰杀方式宰杀的罗非鱼从宰后 0 到 168 h 进行感官评定得到表 6 的结果。两组在贮藏 168 h 期间, 罗非鱼的感官新鲜度属性(表皮、鱼肉、眼睛、鳃和气味)呈直线下降趋势, 但两

组间没有显著性差异。两组的罗非鱼在宰后 96 到 120 h 间出现显著的感官劣化（相较于宰后 0 h）-鱼肉表皮颜色灰暗不清，表皮粘稠且浑浊，鱼肉变软，按压有印迹而无法复原，眼睛浑浊呈凹状，鳃的颜色变为暗褐色且有明显腥臭味，鱼身略带腥臭味。

通常，消费者在购买宰后的鱼时是以自身的感官评价为基础的，因为鱼宰后的感官属性能较为粗略的直观反映出鱼败坏的程度。L.Acerete^[9]、Hans Marx^[29]以及 H Van De Vis^[30]等的研究均表明不同的宰

杀方式就感官评价而言，无论原味还是煮熟均无显著性差异，其与本试验的结果相一致。这可能是由于受评价人员自身的主观因素影响，感官评价只可作为一个辅助的判断鱼肉品质的方法。但就本试验的数据而言，二氧化碳麻醉组的感官评价分值要略优于敲头对照组，但两组的罗非鱼在宰后 96 到 120 h 间出现刺鼻的腥臭气味。因此，尽管 T-VBN 等理化指标在 7 d 内结果仍正常，但感官评价结果认为其货架期为 96 到 120 h。

表 6 宰前二氧化碳麻醉对罗非鱼感官评价的影响

Table 6 Dynamics of sensorial analysis in Tilapia treated with the pre-slaughter method of the CO₂ narcosis

时间 /h	表皮		鱼肉		眼睛	
	二氧化碳麻醉组	对照组	二氧化碳麻醉组	对照组	二氧化碳麻醉组	对照组
0	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^e
2	0.00±0.00 ^e	0.00±0.00 ^e	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^e
4	0.00±0.00 ^e	0.00±0.00 ^e	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^e
6	0.33±0.58 ^{de}	0.67±0.58 ^{de}	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d	0.33±0.58 ^{de}	0.67±0.58 ^d
8	0.67±0.58 ^{de}	0.67±0.58 ^{de}	0.00±0.00 ^d	0.33±0.58 ^d	0.67±0.58 ^{de}	1.00±0.00 ^{cd}
10	0.67±0.58 ^{de}	1.00±0.00 ^{de}	0.33±0.58 ^d	1.00±0.00 ^c	0.67±0.58 ^{de}	1.33±0.58 ^{cd}
12	1.00±0.00 ^d	1.00±0.00 ^d	1.00±0.00 ^c	1.00±0.00 ^c	1.00±0.00 ^d	1.67±0.58 ^c
24	2.33±0.58 ^c	2.67±0.58 ^c	1.67±0.58 ^b	2.00±0.00 ^b	2.00±0.00 ^c	2.67±0.58 ^b
48	3.33±0.58 ^b	3.67±0.58 ^b	2.00±0.00 ^b	2.33±0.58 ^b	2.67±0.58 ^{bc}	3.00±0.00 ^b
72	3.67±0.58 ^b	4.33±0.58 ^{ab}	2.33±0.58 ^b	2.67±0.58 ^{ab}	3.00±0.00 ^b	3.33±0.58 ^{ab}
96	4.33±0.58 ^{ab}	4.67±0.58 ^b	2.33±0.58 ^b	3.00±0.00 ^a	3.33±0.58 ^{ab}	3.67±0.58 ^{ab}
120	4.67±0.58 ^a	5.00±0.58 ^a	2.67±0.58 ^{ab}	3.00±0.00 ^a	3.67±0.58 ^a	4.00±0.00 ^a
144	5.00±0.58 ^a	5.00±0.58 ^a	3.00±0.00 ^a	3.00±0.00 ^a	4.00±0.00 ^a	4.00±0.00 ^a
168	5.00±0.58 ^a	5.00±0.58 ^a	3.00±0.00 ^a	3.00±0.00 ^a	4.00±0.00 ^a	4.00±0.00 ^a

时间 /h	气味		鳃	
	二氧化碳麻醉组	对照组	二氧化碳麻醉组	对照组
0	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^f
2	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^f
4	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^d	0.33±0.58 ^{ef}
6	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^d	0.33±0.58 ^{ef}
8	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^d	0.33±0.58 ^{ef}
10	0.33±0.58 ^{bc}	0.33±0.58 ^{bc}	0.33±0.58 ^d	0.67±0.58 ^{ef}
12	0.33±0.58 ^{bc}	0.33±0.58 ^{bc}	0.33±0.58 ^d	1.00±0.00 ^e
24	0.67±0.58 ^{bc}	1.00±0.00 ^b	1.67±0.58 ^c	2.00±0.00 ^d
48	1.00±0.00 ^b	1.33±0.58 ^{ab}	2.00±0.00 ^c	2.67±0.58 ^{cd}
72	1.33±0.58 ^{ab}	1.67±0.58 ^{ab}	2.33±0.58 ^c	3.00±0.00 ^c
96	1.33±0.58 ^{ab}	1.67±0.58 ^{ab}	3.33±0.58 ^b	4.00±0.00 ^b
120	1.67±0.58 ^{ab}	2.00±0.00 ^a	4.33±0.58 ^a	4.67±0.58 ^{ab}
144	2.00±0.00 ^a	2.00±0.00 ^a	5.00±0.58 ^a	5.00±0.58 ^a
168	2.00±0.00 ^a	2.00±0.00 ^a	5.00±0.58 ^a	5.00±0.58 ^a

注：同一列中不同字母 a-f 代表 P<0.05，差异显著。含有相同字母的则表示没有显著差异。

3 结论

相较于敲头放血宰杀罗非鱼, 宰前二氧化碳麻醉罗非鱼能有较好的鱼福利。在贮藏 7 d 内, 除宰后 4 到 7 d 内的质量耗损率以及宰后 0 d 和 4 到 5 d 的 TVB-N 外, 两组间的鱼肉品质变化无显著性差异。结合各项指标, 宰前二氧化碳麻醉比敲头致晕更适合于罗非鱼鱼片的加工。

参考文献

- [1] 王玮,丁建乐,房金岑.罗非鱼产业标准化现状及分析[J].上海大学学报,2012,21(6):978-981
Wang Wei, Ding Jian-le, Fang Jin-cen. The current situation and analysis of the standardization of tilapia industry [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(6): 978-981
- [2] 李秋洪.罗非鱼产业初具规模[Z].广西年鉴.2012
- [3] GB/T 27636-2011,冻罗非鱼片加工技术规范[S]
- [4] Roth B, Nortvedt R, Slinde E, et al. Electrical stimulation of Atlantic salmon muscle and the effect on flesh quality [J]. Aquaculture, 2010, 301(1-4): 85-90
- [5] Digre H, Erikson U, Misimi E, et al. Electrical stunning of farmed Atlantic cod *Gadus morhua* L: a comparison of an industrial and experimental method [J]. Aquaculture Research, 2009, 41: 1190-1202
- [6] Lambooij E, Gerritzen M A, Reimert H, et al. A humane protocol for electro-stunning and killing of Nile tilapia in fresh water [J]. Aquaculture, 2008, 275(1-4): 88-95
- [7] Bjorn Roth, Albert Imsland, Snorri Gunnarsson, et al. Slaughter quality and rigor contraction in farmed turbot (*Scophthalmus maximus*); a comparison between different stunning methods [J]. Aquaculture, 2007, 272: 754-761
- [8] Anders Kiessling, Marit Espe, Kari Ruohonen, et al. Texture, gaping and colour of fresh and frozen Atlantic salmon flesh as affected by pre-slaughter iso-eugenol or CO₂ anaesthesia [J]. Aquaculture, 2004, 236: 645-657
- [9] L Acerete, L Reig, D Alvarez, et al. Comparison of two stunning/slaughtering methods on stress response and quality indicators of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 2009, 287: 139-144
- [10] Erikson U. Assessment of different stunning methods and recovery of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*): isoeugenol, nitrogen and three levels of carbon dioxide [J]. Animal Welfare, 2011, 20: 365-375
- [11] 牛宝卫,任艳,栾东磊,等.不同宰杀方式对大菱鲆保鲜的影响[J].渔业现代化,2008,35:38-41
Niu Bao-we, Ren Yan, Luan Dong-le, et al. Effects of killing methods on fresh quality of turbot [J]. Fish Modernization, 2008, 35: 38-41
- [12] 王彦波,沈晓,李学鹏,等.不同宰杀方式对鲫鱼肌肉质构和蛋白质组的影响[J].中国食品学报,2010,10:145-148
Wang Yan-bo, Shen Xiao-qin, Li Xue-peng, et al. Muscle Texture and Proteome of Allotriploid Crucian Carp Slaughtered by Different Methods [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2010, 10: 145-148
- [13] 陈德慰,孙亚楠,苏键.一种可提高罗非鱼鱼片食用品质的宰杀加工方法[P].中国专利 CN102125074A,2011-07-20
- [14] Roth, Imsland, Moeller, Slinde, et al. Effect of Electric Field Strength and Current Duration on Stunning and Injuries in Market-Sized Atlantic Salmon Held in Seawater [J]. North American Journal of Aquaculture, 2003, 65: 8-13
- [15] Morzel M, Vis H v D. Effect of the slaughter method on the quality of raw and smoked eels (*Anguilla anguilla* L) [J]. Aquaculture Research, 2003, 34: 1-11
- [16] Scherer R, P R Augusti, et al. Chemical and microbiological quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) slaughtered by different methods [J]. Food Chemistry, 2006, 99(1): 136-142
- [17] Grigory V, Merkin, Bjorn Roth, et al. Effect of pre-slaughter procedures on stress responses and some quality parameters in sea-farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 2010, 309: 231-235
- [18] SC/T 3023-2007,水产品挥发性盐基氮的测定[S]
- [19] A Huidobro, A Pastor, M Tejada, et al. Quality index method developed for raw gilthead seabream (*Sparus aurata*) [J]. Food Science, 2000, 65(7): 1202-1205
- [20] 王稳航,彤祺,李得旺,等.畜禽屠宰后肌肉细胞死亡机制研究进展[J].现代食品科技,2013,29(2):429-433
WANG Wen-hang, RONG Qi, LI De-wang, et al. Death Mechanism of Muscle Cell after Animal Slaughtering [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(2): 429-433
- [21] Martine Morzel, Delphine Sohier, Hans Van de Vis. Evaluation of slaughtering methods for turbot with respect to animal welfare and flesh quality [J]. The Science of Food and Agriculture, 2002, 82: 19-28
- [22] Robb D H F, Wotton S B, McKinsty J L, et al. Commercial slaughter methods used on Atlantic salmon: determination of the onset of brain failure by electroencephalography [J]. Veterinary Record, 2000, 147: 298-303
- [23] 顾海宁,李强,李文钊,等.冷却猪肉贮存中的品质变化及货架期预测[J].现代食品科技,2013,29(11):2621-2626

- GU Hai-ning, LI Qiang, LI Wen-zhao, et al. Quality Change and Shelf-Life Prediction of Chilled Pork during Storage [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(11): 2621-2626
- [24] Cosmas Nathanailides, Socrates Panopoulos, Fotini Kakali, et al. Antemortem and postmortem biochemistry, drip loss and lipid oxidation of European sea bass muscle tissue [J]. *Procedia Food Science*, 2011, 1: 1099-1104
- [25] Mantilla D, Kristinsson H G, Balaban, et al. Carbon Monoxide Treatments to Impart and Retain Muscle Color in Tilapia Fillets [J]. *Food Chemistry*, 2008, 73: 390-399
- [26] Sebastio P, Ambroggi F, Baldrati G. Influenza del sistema di sacrificio su trote iridee di allevamento. I Considerazioni biochimiche [J]. *Industria Conserve*, 1996, 71: 37-49
- [27] Martine Morzel, Delphine Sohier, Hans Van de Vis. Evaluation of slaughtering methods for turbot with respect to animal welfare and flesh quality [J]. *The Science of Food and Agriculture*, 2003, 83(1): 19-28
- [28] Roth B, Moeller D, Veland J O, et al. The effect of stunning methods on rigor mortis and texture properties of Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Food Science*, 2002, 67: 1462-1466
- [29] Marx H, Brunner, Endreas Stolle. Methods of stunning fresh water fish: impact on meat quality and aspects of animal welfare [J]. *Z Lebensm Unters Forsch A*, 1997, 204: 282-286
- [30] H Van De Vis, S Kestin, D Robb, et al. Is humane slaughter of fish possible for industry? [J]. *Aquaculture Research*, 2003, 34: 211-220