

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2013.06.011

臭氧水对军曹鱼片的减菌效果和品质的影响

孙继英^{1,2}, 吴燕燕², 杨贤庆², 马海霞², 邓建朝², 胡晓², 周婉君²

(1. 大连海洋大学, 辽宁 大连 116023; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部水产品加工重点实验室, 国家水产品加工技术研发中心, 广东 广州 510300)

摘要: 文章研究比较了不同质量浓度的臭氧水处理军曹鱼(*Rachycentron canadum*)鱼片对其减菌效果和品质的影响。在15℃条件下分别以质量浓度为4 mg·L⁻¹、5 mg·L⁻¹、6 mg·L⁻¹和7 mg·L⁻¹的流动臭氧水处理军曹鱼片,以减菌率、感官和色泽为评价指标。结果表明,质量浓度为7 mg·L⁻¹的流动臭氧水处理军曹鱼片10 min可以达到一个较好的减菌效果,减菌率达到81.12%,且该臭氧水质量浓度对军曹鱼的品质影响较小。

关键词: 臭氧水; 军曹鱼片; 减菌效果; 感官; 色泽

中图分类号: TS 254.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2013)06-0066-05

Sterilization and quality effects of ozone water on cobia fillets

SUN Jiyi^{1,2}, WU Yanyan², YANG Xianqing², MA Haixia²,
DENG Jianchao², HU Xiao², ZHOU Wanjun²

(1. Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 2. Key Lab of Aquatic Product Processing of Ministry of Agriculture; National R&D Center for Aquatic Product Processing; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: In order to study the sterilization and quality effects of ozone water on cobia fillets, flowing ozone water at various concentrations of 4 mg·L⁻¹, 5 mg·L⁻¹, 6 mg·L⁻¹ and 7 mg·L⁻¹ was experimented to screen the optimal condition at 15℃. Comparing the effects of sterilization ratio, sensory evaluation and color difference in different groups, we find that the treatment with 7 mg·L⁻¹ flowing ozone water for 10 min on cobia fillets gets a better sterilization ratio of 81.12% without reducing the quality.

Key words: ozone water; cobia fillets; sterilization effect; sensory evaluation; color

军曹鱼(*Rachycentron canadum*)又称海鲷、海龙鱼等,属鲈形目,是一种肉食性暖水鱼类。军曹鱼广泛分布于世界上除东太平洋以外的几乎整个热带、亚热带海域以及温带水域^[1],具有生长快、含肉率高、营养价值高等特性。近年来,中国的军曹鱼网箱养殖产业逐渐规模化,在目前海水网箱养殖体系中具有极高的养殖前景^[2-3]。军曹鱼是制作生鱼片的上佳材料,但是其自身所携

带的微生物以及捕捞、宰杀、加工过程中造成的污染会使其口感下降,甚至可能出现安全问题,随着人们对食品品质要求的提高,适宜的加工前处理显得非常重要。

臭氧(O₃)俗称三原子氧,具有极强的氧化性,1840年被德国科学家 SCHONBEIN 发现并命名^[4],随后很快应用在食品、化工及养殖、储藏等领域^[5],其广谱杀菌性能主要体现在对病毒、

收稿日期: 2013-04-03; 修回日期: 2013-05-17

资助项目: 广东省海洋渔业科技推广专项(A201101F02); 广东省教育部产学研结合项目(2011B090300002); 国家自然科学基金项目(31271957)

作者简介: 孙继英(1988-),女,硕士研究生,从事水产品加工及贮藏工程研究。E-mail: sjy0507@126.com

通信作者: 吴燕燕(1969-),女,研究员,从事水产品加工与质量安全控制研究。E-mail: wuyy1028@yahoo.com.cn

真菌以及原虫、细菌繁殖体、芽孢等的高效灭活方面^[6]。自臭氧被发现以来,研究者一直在不断进行臭氧灭菌方面的研究。1936年 SALMON 和 LE^[7]使用臭氧水对鱼和贝类进行杀菌,开创了人们对臭氧水在水产品保鲜上应用研究的先河; DONDO 等^[8]发现臭氧处理鱼体表面可大大减少其微生物携带量,并有改善其感官品质的效果; 顾卫瑞^[9]使用适当的臭氧条件($0.85 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、10 min、10)处理草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)片可达到 98.33% 的微生物致死率,并保持草鱼片较好的品质; 郭姗姗等^[10]使用 $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的臭氧水淋洗脆肉鲩鱼片可延长其货架期; 李杉等^[11]使用 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的臭氧水处理罗非鱼(*Oreochromis*)片 10 min, 减菌率达 90% 以上,并对其感官品质影响较小。文章使用 4 种不同质量浓度的臭氧水处理军曹鱼片,找出较为适合军曹鱼的臭氧水减菌条件,以更好地贮藏军曹鱼,提高其品质和市场价值,为寻找合适的保鲜方法提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

军曹鱼购于广东茂名军曹鱼养殖场,鲜活。试剂有碘化钾(KI)、硫酸(H_2SO_4)、硫代硫酸钠($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)和氯化钠(NaCl)(广州化学试剂厂出品);可溶性淀粉(天津市福晨化学试剂厂出品);无水乙醇(天津市富宇精细化工有限公司出品);TTC 营养琼脂(广东环凯微生物科技有限公司出品)。试剂均为分析纯。仪器有 CFS-500 臭氧水一体机(北京山美水美环保高科技有限公司出品);SQ510C 灭菌锅(重庆雅马拓科技有限公司出品);SC-80C 全自动色差计(北京康光光学仪器有限公司出品);SPX 型智能生化培养箱(宁波江南仪器厂出品)。

1.2 试验方法

1.2.1 原材料预处理 将军曹鱼洗净,去头、去尾、去内脏,取鱼肉备用。

1.2.2 臭氧水的制备及质量浓度的测定 臭氧分解速度快,所以臭氧水需要现用现配,试验中由 CFS-500 臭氧发生器产生的臭氧与水进入高效涡旋泵气混合装置,可混合制成臭氧水,通过调节水流量可制备得到不同质量浓度的臭氧水。臭氧水质量浓度的测定参照文献[12]的方法并略作修改,取

20 mL 20% KI 溶液加入至新制备好的臭氧水 20 mL 中混合均匀,立即加入 20% 的 H_2SO_4 溶液 5 mL,之后摇匀暗反应 5 min,用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准液($0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)标定,计算得出臭氧水的质量浓度。

1.2.3 减菌处理 将军曹鱼肉分割为 10~15 g 的鱼片,试验组使用质量浓度为 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的流动臭氧水浸泡军曹鱼片,时间设定为 4 min、6 min、8 min、10 min 和 12 min,空白组以流动蒸馏水代替臭氧水做同样处理,处理完毕后迅速将鱼片沥干转移到无菌封口袋内,每种处理条件均随机取 3 片军曹鱼为 3 个平行,结果求取平均值。分析各个质量浓度及时间对样品的减菌效果,得出臭氧水的最佳质量浓度和处理时间。试验操作温度为 15 。

1.2.4 菌落总数的测定 无菌条件下每个样品取 5 g 鱼肉,剪碎于无菌锥形瓶中,加入 45 mL 无菌生理盐水,震荡均匀,然后用无菌吸管梯度稀释制备成 10 倍系列梯度的菌悬液。整个过程参照 GB 4789.2-2010《食品微生物学检验 菌落总数测定》^[13]。

1.2.5 减菌率的计算 减菌率定义为使用减菌剂处理样品后所能杀死的细菌量占减菌剂处理前细菌总数的比例。计算公式为:

减菌率(%) = (处理前细菌总数 - 处理后细菌总数) / 处理前细菌总数 $\times 100$

1.2.6 感官评价 感官评价主要通过评判小组人员对臭氧水处理后的军曹鱼片的气味、色泽、肌肉纹理和弹性 4 个指标进行评分,评分标准参照刁石强等^[14]的方法略作修改,以表 1 为参照标准进行评分,评判小组由 5 人组成,结果求取平均值,每个指标满分 10 分。空白组为军曹鱼片使用蒸馏水浸泡处理,对照组为 10 分。

1.2.7 色差的测定 使用全自动测色色差计测定臭氧水处理后军曹鱼片的 L^* (亮度)、 a^* (红绿色值) 和 b^* (黄蓝色值)。并由此计算出色度 H (hue angle) 和饱和度 C (chroma),色度由 b^*/a^* 表示,饱和度由 $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ 表示,颜色的稳定性由 L^* 、 H 和 C 的变化来表达^[15-16]。

1.2.8 试验数据分析 试验数据使用 Excel 2010 进行处理和 SPSS 17.0 软件进行方差分析。

表 1 军曹鱼片感官评分标准表

Tab. 1 Sensory evaluation standards on cobia fillets

品质描述 quality description	最好 9 ~10 分 best	较好 6 ~8 分 better	一般 3 ~5 分 general	最差 0 ~2 分 worst
气味 odor	鱼肉固有腥味	腥味稍淡	腥味较淡	腥臭味重
色泽 color	鱼片色泽正常, 有光泽	鱼片色泽稍暗淡	鱼片色泽暗淡	鱼片色泽变黄, 变褐
肌肉纹理 muscle texture	切面纹理清晰, 肌肉结构致密	切面纹理较清晰, 肌肉结构较致密	切面纹理不清晰, 肌肉结构较松散	切面纹理难辨, 肌肉结构松散
弹性 flexibility	肉质坚实有弹性, 指压立即平复	肉质弹性好, 指压回复较快	肉质稍变软, 指压回复速度一般	肉质弹性差, 肉质软烂

2 结果与分析

2.1 臭氧水处理军曹鱼片的减菌效果

试验中各批原料初始携菌量在同一个数量级, 质量浓度为 4 mg·L⁻¹、5 mg·L⁻¹、6 mg·L⁻¹ 和 7 mg·L⁻¹ 的臭氧水处理军曹鱼片的空白含菌量分别为 4.97 log cfu·g⁻¹、4.39 log cfu·g⁻¹、4.85 log cfu·g⁻¹ 和 4.40 log cfu·g⁻¹, 方差分析无显著差异 ($P>0.05$)。依据减菌处理方法使用几种质量浓度的流动臭氧水浸泡军曹鱼片, 得到减菌效果见图 1。几种质量浓度的臭氧水对军曹鱼片均有较明显的减菌效果, 处理 4 min 减菌率可分别达到 51.83%、64.19%、66.39% 和 56.63%。4 ~12 min 内 4 mg·L⁻¹ 和 7 mg·L⁻¹ 的臭氧水处理军曹鱼片随着时间的延长减菌效果有显著的增加 ($P<0.05$), 5 mg·L⁻¹ 和 6 mg·L⁻¹ 的臭氧水处理军曹鱼片随着时间的延长减菌效果有一定程度的增加, 但是不显著 ($P>0.05$); 另外, 减菌效果随着臭氧水质量浓度的增加也有一定的递增, 处理时间同为 10 min, 减菌效果分别为 69.14%、70.49%、75.77% 和 81.12%, 有显著性差异 ($P<0.05$), 其余的处理时间下减菌率的变化随质量浓度的变化差异不显著 ($P>0.05$)。质量浓度为 7 mg·L⁻¹ 的臭氧水处理 10 min 后可以得到最高的减菌率(81.12%); 另一较为明显的结果是在 6 ~8 min 内 4 种质量浓度的臭氧水处理军曹鱼片的减菌率有较明显的突增, 主要原因可能是在处理前数分钟臭氧水主要杀灭了鱼片表面的大量微生物, 随着臭氧水浸入到鱼片组织内部, 减菌效果会在一段时间内有所突增, 随后趋于平缓, 而王萍等^[17]所做的臭氧水处理军曹鱼片的研究中并未发现这一点, 同样的在大多以臭氧水作为减菌剂的减菌化预处理研究中, 处理时间都控制为

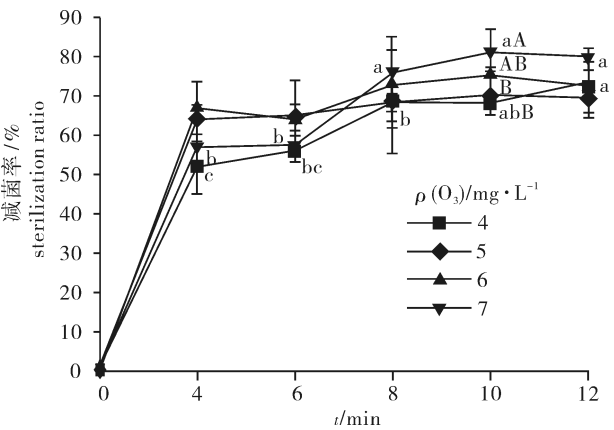


图 1 不同质量浓度臭氧水对军曹鱼片的减菌效果($\bar{X} \pm \text{SD}$, $n=3$)

同一浓度标注相同小写字母或无上标表示差异不显著 ($P>0.05$), 标注不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$); 同一时间标注相同大写字母或无上标表示差异不显著 ($P>0.05$), 标注不同大写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 图 2 同此

Fig 1 Sterilization effect on cobia fillets with various concentrations of ozone water

Values with the same lowercase letters at the same concentration have no significant difference ($P>0.05$), and those with different lowercase letters are significantly different from one another ($P>0.05$); Values with the same uppercase letters within the same time have no significant difference ($P>0.05$), and those with different uppercase letters are significantly different from one another ($P>0.05$). The same case in Fig 2.

5 min、10 min 和 15 min, 也没有发现 6 ~8 min 这一突增点。

2.2 臭氧水处理对军曹鱼片感官品质的影响

使用臭氧水处理军曹鱼片后得到的感官品质结果见图 2。感官品质同时受到臭氧水质量浓度和处理时间的影响, 臭氧水质量浓度相同时, 感官评分随着处理时间的延长而显著下降 ($P<0.05$); 除了

处理时间为 8 min 的感官评分随着臭氧水质量浓度的加大有显著的下降 ($P < 0.05$)，其余处理时间相同时各浓度的臭氧水处理对军曹鱼片的感官品质影响不显著 ($P > 0.05$)。处理前 10 min 感官评分随着浓度的增加下降幅度较低，而时间延长到 12 min 后感官评分由 $4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时的 8.57 降为 $7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时的 7.44。处理时间同为 10 min，质量浓度为 $6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时得到的感官评分分别为 8.20 和 8.14，相差微小；而质量浓度为 $7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的臭氧水的减菌效果最好，处理时间为 10 min、12 min 时减菌效果分别为 81.1%、79.60%，相差微小，但是感官评分却由 8.14 降至 7.44。因此，综合来看，臭氧水的最佳处理条件为质量浓度 $7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，处理时间 10 min。这与王萍等^[19]用臭氧水处理军曹鱼片后得出的最佳处理条件(质量浓度 $6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，处理时间 10 min)有些差异，可能是由于外在条件所造成的，如水质、温度、pH^[18]等会影响臭氧水的稳定性，从而会影响其减菌效果。

2.3 臭氧水处理对军曹鱼片色泽的影响

不同质量浓度的臭氧水处理军曹鱼片对其 L^* 、H 和 C 的影响见表 2，其中空白组为清水处理 8 min。经过不同质量浓度的流动臭氧水处理后军曹鱼片的 L^* 、H 和 C 均有不同程度的变化，军曹鱼片的 L^* 在不同浓度的臭氧水处理时间段为 8 ~ 12 min 内随着处理时间的延长变化不显著 ($P > 0.05$)，并且此时间段内处理的军曹鱼片 L^* 均有不同程度的升高 ($4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 臭氧水处理时除外)，这可能与

臭氧的强氧化性有关；H 在处理时间段为 4 ~ 8 min 时变化不显著，并且此时间段内除 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的臭氧水外其他质量浓度臭氧水处理军曹鱼片后的 H 与空白均没有显著差异 ($P > 0.05$)，这说明短时间内处理军曹鱼片对其色度的影响不大；而 C 在不同的处理条件下也有不同程度的变化。臭氧在常温下易分解放出氧气，高铁肌红蛋白的生成会导致肌肉褪色^[19]，氧气的生成会造成鱼片表面的氧分压有所升高，进而促进肌红蛋白与氧气的结合，阻止高铁肌红蛋白的生成^[20]，可以有效地保持肌肉的新鲜颜色，军曹鱼片在臭氧水短时间处理时的色度变化不大可能与此反应有关。根据减菌率和感官评分的结果所得到的最佳条件 ($7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，流动处理 10 min) 处理军曹鱼片后的 H 和 C 均与空白对照无显著性差异 ($P > 0.05$)。考虑到臭氧易分解为氧气、半衰期短、持续作用时间短，对色泽的影响有限，在研究臭氧水减菌化预处理对鱼片品质的影响时，可以考虑把减菌率和对感官品质的影响作为主要参考因素。

3 结论

臭氧水具有较高的杀菌性能，但是臭氧稳定性差、易分解为氧气，所以使用臭氧水杀菌时应尽量使用流动臭氧水，能解决臭氧半衰期短、易挥发的问题，从而得以提高臭氧利用率。臭氧稳定性差的特性又使其在有效杀菌的同时，不会因产生残留而对样品造成后续污染，是一种高效安全的杀菌剂。

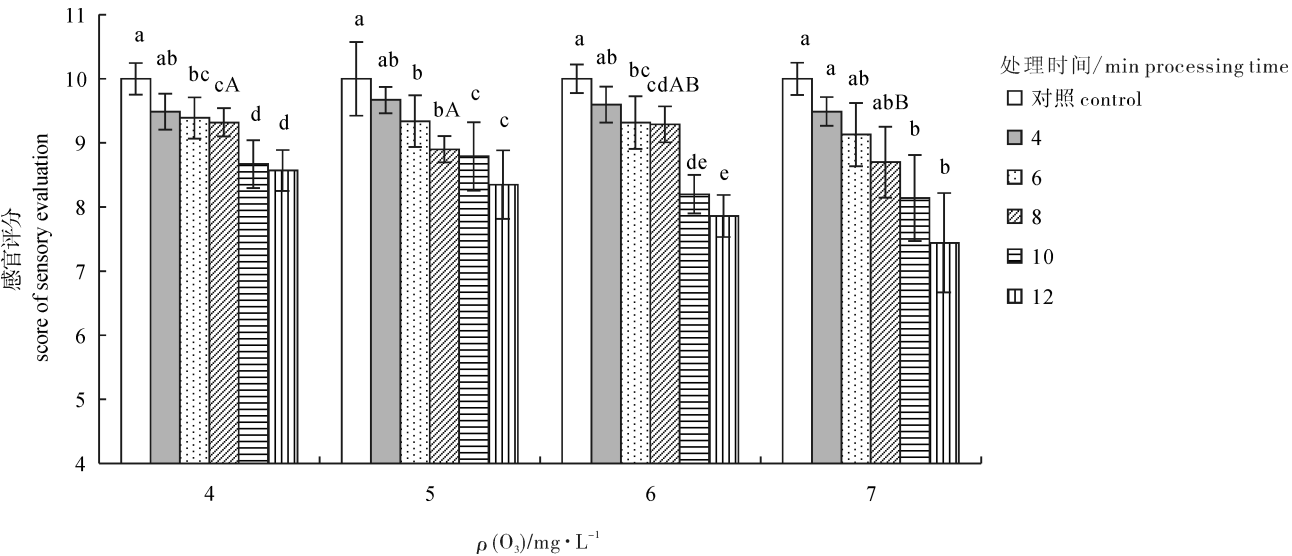


图 2 不同质量浓度臭氧水处理军曹鱼片的感官品质 ($\bar{X} \pm \text{SD}$, $n=3$)

Fig 2 Sensory quality of cobia fillets with various concentrations of ozone water

表 2 不同质量浓度的臭氧水对军曹鱼片亮度、色度、饱和度的影响($\bar{X} \pm SD, n=3$)

Tab. 2 Effect of different concentrations of ozone water on lightness (L [*]), hue (H), chroma (C) of cobia fillet					
项目 item	处理时间/min processing time	(O ₃) /mg·L ⁻¹			
		4	5	6	7
亮度 L [*]	空白	69. 41 ±1. 15 ^{aA}	66. 95 ±0. 72 ^{bcBC}	65. 26 ±1. 03 ^{bc}	67. 36 ±0. 76 ^{bb}
	4	66. 20 ±0. 31 ^{bb}	65. 32 ±1. 09 ^{cdB}	67. 21 ±2. 36 ^{abAB}	69. 84 ±1. 83 ^{aA}
	6	68. 45 ±2. 02 ^{aA}	64. 29 ±2. 42 ^{dB}	69. 01 ±2. 34 ^{aA}	69. 80 ±0. 74 ^{aA}
	8	68. 89 ±1. 73 ^{aAB}	68. 39 ±0. 45 ^{abcAB}	66. 41 ±0. 72 ^{abB}	69. 04 ±1. 84 ^{abA}
	10	69. 98 ±0. 37 ^{aA}	70. 00 ±1. 22 ^{aA}	66. 76 ±0. 75 ^{abB}	70. 42 ±0. 48 ^{aA}
	12	68. 21 ±0. 68 ^{ab}	68. 78 ±0. 89 ^{ab}	67. 34 ±0. 32 ^{ab}	69. 57 ±1. 11 ^a
色度 H	空白	1. 45 ±0. 12 ^{aA}	- 1. 49 ±0. 06 ^{bb}	1. 30 ±0. 07 ^A	1. 29 ±0. 11 ^A
	4	0. 55 ±1. 67 ^a	1. 43 ±0. 04 ^a	1. 36 ±0. 03	0. 37 ±1. 65
	6	1. 31 ±0. 10 ^a	1. 39 ±0. 04 ^a	0. 41 ±1. 71	0. 44 ±1. 71
	8	1. 40 ±0. 08 ^a	1. 48 ±0. 76 ^a	0. 46 ±1. 75	1. 36 ±0. 15
	10	- 1. 25 ±0. 06 ^b	- 1. 26 ±0. 11 ^b	0. 49 ±1. 75	0. 36 ±1. 67
	12	- 1. 19 ±0. 14 ^{bb}	0. 52 ±1. 67 ^{aA}	0. 48 ±1. 77 ^A	1. 53 ±0. 01 ^A
饱和度 C	空白	7. 58 ±0. 84 ^{ab}	7. 70 ±0. 65 ^{bc}	8. 74 ±0. 74 ^a	8. 75 ±0. 19 ^{ab}
	4	6. 37 ±0. 36 ^{bc}	8. 71 ±0. 32 ^{ab}	8. 66 ±0. 2 ^{AB}	9. 61 ±0. 47 ^{aA}
	6	7. 91 ±0. 67 ^{aAB}	9. 12 ±0. 85 ^{aA}	6. 51 ±0. 83 ^{bb}	7. 00 ±2. 20 ^{baB}
	8	7. 54 ±0. 70 ^{abB}	8. 58 ±0. 10 ^{abAB}	6. 01 ±0. 57 ^{bcC}	9. 09 ±1. 13 ^{abA}
	10	4. 74 ±0. 19 ^{cC}	7. 38 ±0. 34 ^{cB}	5. 34 ±0. 32 ^{bcC}	8. 85 ±0. 69 ^{abA}
	12	4. 84 ±0. 58 ^{cC}	6. 99 ±0. 38 ^{cB}	5. 14 ±0. 18 ^{cC}	8. 83 ±1. 27 ^{abA}

注：表中同一指标同列上标相同小写字母或无上标表示差异不显著($P>0.05$)，同列上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)；同行上标相同大写字母或无上标表示差异不显著($P>0.05$)，同行上标不同大写字母表示差异显著($P<0.05$)
Note: or the same indicator, values with the same lowercase letters or without superscript within the same column have no significant difference ($P>0.05$), while those with different lowercase letters are significantly different from one other($P>0.05$); values with the same uppercase letters or without superscript within the same row have no significant difference ($P>0.05$), while those with different uppercase letters are significantly different from one other ($P>0.05$).

通过分析比较在试验温度 15℃ 条件下 4 种不同质量浓度的流动臭氧水处理军曹鱼片后的减菌效果、感官评分以及对其色泽的影响，得出使用质量浓度为 7 mg·L⁻¹ 的流动臭氧水处理军曹鱼片 10 min 可以达到较好的减菌效果，同时对军曹鱼的品质影响较小。

参考文献:

[1] 孟庆闻. 鱼类学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 261 - 263.
[2] 艾春香. 军曹鱼的养殖生物学特性及营养需求[J]. 饲料研究, 2004(2): 41 - 44.
[3] 陈毕生, 柯浩, 冯娟, 等. 军曹鱼的生物学特征及网箱养殖技术[J]. 现代渔业信息, 1999, 14(19): 16 - 19.
[4] 秦彦珩, 饶健, 叶宝英, 等. 臭氧水消毒器对微生物杀灭效果的试验观察[J]. 现代预防医学, 2006, 33(9): 1615 - 1616.

[5] 高南飞. 臭氧技术在处理生活污水方面的应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2004.
[6] 王芳. 臭氧消毒研究进展[J]. 中国消毒学杂志, 1998, 15(2): 95 - 101.
[7] SALMON J, LE GALL J. Application of ozone for the maintenance of freshness and for the prolongation of conservation time of fish[J]. Ann Hyg Publ Ind Sociable, 1936: 84 - 93.
[8] DONDO A, NACHTMAN C, DOGLIONE L, et al. Foods: their preservation by combined use of refrigeration and ozone[J]. Ingegneria Alimentare le Conserve Animali, 1992(3): 16 - 25.
[9] 顾卫瑞. 草鱼片的臭氧处理及贮藏特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
[10] 郭姗姗, 荣建华, 赵思明, 等. 臭氧水处理对冰温保鲜脆肉鲩鱼片品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 469 - 473.
[11] 李杉, 马海霞, 李来好, 等. 减菌化预处理对鲜罗非鱼片质量的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(18): 379 - 384.

[12] 吴亚西, 陆美自. 臭氧分析方法的研究[J]. 中国自然医学杂志, 2002, 4(4): 227 - 229.

[13] 中华人民共和国卫生部. GB 4789. 1-2010 食品微生物学检验总则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

[14] 刁石强, 陈培基, 李来好, 等. 臭氧冰对凡纳滨对虾保鲜效果的研究[J]. 南方水产, 2008, 2(4): 53 - 57.

[15] 吴桂苹. 肉的颜色变化机理肌肉色稳定性因素研究进展[J]. 肉类工业, 2006(6): 32 - 34.

[16] BEKHIT A E D, GEESINK G H, MORTON J D, et al. Metmyoglobin reducing activity and colour stability of ovine longissimus muscle[J]. Meat Sci, 2001, 57: 427 - 435.

[17] 王萍, 吴燕燕, 李来好, 等. 四种减菌剂对军曹鱼片的减菌效果[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 283 - 288.

[18] 方敏, 沈月新, 方竞, 等. 臭氧水稳定性的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(9): 39 - 43.

[19] LIVINGSTON D J, BROWN W D. The chemistry of myoglobin and its reactions[J]. Food Technol, 1982, 35 (5): 244 - 252.

[20] 王永辉, 马俪珍. 肌肉颜色变化的机理及其控制方法初探[J]. 肉类工业, 2006, 300(4): 18 - 21.