

阮秋凤, 蒋文馨, 熊善柏, 等. 臭氧漂洗工艺对鲢鱼糜品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(6): 67-73.

DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.06.010

臭氧漂洗工艺对鲢鱼糜品质的影响

阮秋凤, 蒋文馨, 熊善柏, 尹涛, 胡杨, 刘茹, 刘友明, 尤娟

华中农业大学食品科学技术学院/长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心/

国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 武汉 430070

摘要 为解决鱼糜漂洗工艺中用水量过大的问题, 以及研究臭氧漂洗工艺对鱼糜品质的影响, 以鲢鱼肉为原料, 采用传统漂洗、一次臭氧漂洗、自来水-臭氧水混合漂洗制备鱼糜, 研究臭氧漂洗方式对鲢鱼糜凝胶强度、色度及不良气味的影响。结果显示, 羰基含量随臭氧浓度的增加而增加, 一次臭氧漂洗的鱼糜中的羰基含量高于传统漂洗和混合漂洗的鱼糜, 表明一次臭氧漂洗的鱼糜蛋白的氧化程度较高, 鱼糜蛋白形成较多的聚集, 鱼糜凝胶性能较差; 混合漂洗可以减少脂肪氧化、降低臭氧对鱼糜蛋白的氧化程度、提高鱼糜白度以及凝胶强度、且臭氧质量浓度为 8 mg/L 的混合漂洗能有效改善鱼糜品质。同时, 用水量减少了 1/3, 达到了节水漂洗的目的。

关键词 鲢; 鱼糜品质; 臭氧漂洗; 凝胶; 鱼糜蛋白; 凝胶特性; 脂肪氧化; 蛋白氧化

中图分类号 TS 254.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2020)06-0067-07

鱼糜是我国传统水产制品, 具有低脂肪、高蛋白、营养结构合理、安全健康等优点。鱼糜生产过程中的漂洗工艺, 可以除去鱼肉中水溶性蛋白质、色素、脂肪和异味, 提高鱼肉的弹性和白度, 从而提高鱼糜制品的质量和保藏性能。传统鱼糜漂洗时, 大量的水漂洗可以降低鱼糜中肌红蛋白及水溶性蛋白含量, 同时增加鱼糜中肌原纤维蛋白的相对含量^[1]。然而, 传统鱼糜漂洗工艺耗水大, 生产 1 t 鱼糜耗水 25~40 t^[2], 而且大量的水漂洗后, 在除去水溶性蛋白、脂肪等物质的同时也减少了肌原纤维蛋白的绝对含量, 降低了鱼糜得率。因此, 减少漂洗用水量对降低生产成本、保护环境有重要意义。

臭氧具有强氧化性, 可以有效脱除鱼糜的腥味成分、改善鱼糜的色泽^[3], 在获得相应鱼糜品质的同时可以减少漂洗次数和用水量, 然而, 臭氧在氧化蛋白质的同时也会氧化脂肪, 使鱼糜具有哈喇味, 导致鱼糜的食用品质劣化。

本研究选用自来水与臭氧水漂洗相结合的混合漂洗工艺, 并通过分析传统漂洗、一次臭氧漂洗、自来水-臭氧水混合漂洗工艺 3 种漂洗方式对鲢鱼糜

的蛋白特性(蛋白质含量、羰基含量)、凝胶特性(凝胶强度、压缩失水率、凝胶微观结构)、色度、不良气味, 研究 3 种漂洗工艺对鲢鱼糜品质的影响, 以期提供优质水产品加工提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜鲢(2.0~3.0 kg/条), 购于华中农业大学农贸市场。

Tris, 美国 Sigma-Aldrich; 氯化钠、钼酸铵、三氯乙酸、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、碳酸钠、氢氧化钠、硫酸铜、酒石酸钾钠、钼酸钠、硫酸锂、乙二醇四乙酸(EDTA)、二硫二硝基苯甲酸(DTNB), 国药集团化学试剂有限公司; 盐酸、硫酸, 信阳市化学试剂厂。试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

GCQJ-1-3 电解式高浓度臭氧气机, 武汉威蒙环保科技有限公司; 722N 型分光光度计, 上海舜宇恒平精密科学仪器有限公司; TA-XTPlus 质构仪, Stable Micro Surrey, 英国; FOX-4000 型电子鼻,

收稿日期: 2020-09-04

基金项目: 华中农业大学自主科技创新基金(2662020SCP006); 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-45-28)

阮秋凤, 硕士研究生. 研究方向: 水产品加工与贮藏. E-mail: 2416050982@qq.com

通信作者: 尤娟, 博士, 副教授. 研究方向: 水产品加工及贮藏. E-mail: juanyou@mail.hzau.edu.cn

美国 Alpha M.O.S 公司;CR-400 色差仪,日本柯尼卡-美能达公司;QUANTA250 扫描电子显微镜,美国 FEI 公司;K850 临界点干燥仪,美国 EMITECH 公司。

1.3 试验方法

1)鱼糜漂洗。参考 Ding 等^[4]的方法漂洗鱼糜并略作修改。传统自来水漂洗:用自来水漂洗鱼糜 3 次;一次臭氧水漂洗:分别制备质量浓度为 8、12、16 mg/L 的臭氧水对鱼糜进行一次漂洗;混合漂洗:首先用自来水对鱼糜进行一次漂洗,再用相同体积但不同质量浓度(8、12、16 mg/L)的臭氧水进行二次漂洗。

2)羰基含量测定。参考 Mesquita 等^[5]的方法进行前处理,以 $22\ 308\ \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$ 消光系数计算蛋白质的羰基衍生物含量,单位为 nmol/mg。

3)水溶性以及盐溶性蛋白的含量。参考 Xiong 等^[6]的方法,分别用低盐和高盐缓冲液将鱼糜中的水溶性和盐溶性蛋白提取出来,并采用福林酚法测定其含量。

4)鱼糜凝胶制备。参照 Ding 等^[4]的方法,调节鱼糜的含水量至 80%,添加质量分数 2.5% NaCl 溶液,采用两段式加热法制备鱼糜凝胶。

5)凝胶压缩失水率测定。参照 Ding 等^[4]的方法,用滤纸将 3 mm 厚的鱼糜凝胶薄片包裹,并对滤纸包施加 3 kg 的力并保持 1 min,计算鱼糜凝胶的压缩失水率。

6)凝胶强度测定。参照贾丹^[7]的方法,用 TA-XTPlus 质构分析仪的穿刺模式测定凝胶强度。

7)鱼糜凝胶微观结构。将鱼糜凝胶切成 $3\ \text{mm} \times 3\ \text{mm} \times 1\ \text{mm}$ 的立方体,参照 Yin 等^[8]的方法进行前处理,用临界点干燥仪干燥。干燥的样品喷金,然后用扫描电镜在加速电压为 10 kV 条件下观测。

8)鱼糜色度测定。参照 Debusca 等^[9]的方法,将鱼糜样品置于 1 个透明的玻璃皿中,用色度计分别记录鱼糜的亮度值(L^*)值、红度值(a^*)和黄度值(b^*)。

9)鱼糜腥味评价。参照付湘晋等^[10]的方法,采用电子鼻进行检测分析。

1.4 数据统计与分析

试验重复 3 次,每次做 3 个平行。应用 Origin 9.0 软件和 Excel 作图。对采集的试验数据采用 SAS 8.0 统计分析软件进行相关性分析和方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同臭氧漂洗方式下鱼糜蛋白羰基含量、水溶性及盐溶性蛋白含量的变化

臭氧漂洗方式对鱼糜蛋白羰基含量的影响如表 1 所示。经过一次臭氧漂洗、混合漂洗的鱼糜均呈现羰基含量增加的趋势,羰基含量显著高于传统漂洗鱼糜($P < 0.05$)。在相同的臭氧浓度下,一次臭氧漂洗的羰基含量显著高于混合漂洗,直至臭氧质量达到 16 mg/L 时,二者差别不明显。而混合漂洗可以减少脂肪与金属离子的含量,显著降低蛋白质的氧化程度。在一次臭氧漂洗中,羰基含量随着臭氧浓度增加而增加,至臭氧质量浓度达到 12 mg/L 时趋于稳定;而在混合漂洗中,羰基含量随着臭氧浓度增加而持续增加。

对比不同漂洗方式的水溶性蛋白含量(表 1),在 0 mg/L 漂洗时,随着漂洗次数的增加,水溶性蛋白含量显著下降($P < 0.05$);一次臭氧漂洗中,随着臭氧浓度的增加,水溶性蛋白含量逐渐升高;混合漂洗中,随着臭氧浓度的增加,水溶性蛋白含量无显著变化。

对比不同漂洗方式的盐溶性蛋白含量,在 0 mg/L 漂洗时,随着漂洗次数的增加,盐溶性蛋白含量逐渐增加;一次臭氧漂洗中,随着臭氧浓度的增加,盐溶性蛋白含量没有显著变化;混合漂洗中,随着臭氧浓度的增加,盐溶性蛋白含量显著升高,但是当臭氧质量浓度升高到 16 mg/L,盐溶性蛋白含量开始降低。

根据表 1,对比自来水一次漂洗,在一次臭氧漂洗中,水溶性蛋白含量显著增大,说明臭氧漂洗会残留更多的水溶性蛋白;而在混合漂洗中,增加臭氧浓度,水溶性蛋白残留量无明显变化。这可能是因为混合漂洗中,大部分的水溶性蛋白在第一次自来水漂洗中洗脱,再经过臭氧漂洗则对水溶性蛋白影响不大。对比 0 mg/L 一次漂洗,在一次臭氧漂洗中,盐溶性蛋白含量轻微增加但不显著($P > 0.05$);而在混合漂洗中,增加臭氧浓度后,盐溶性蛋白含量显著升高($P < 0.05$),甚至高于传统三次漂洗。结果表明漂洗过程中臭氧可以促进盐溶性蛋白溶出。

2.2 不同臭氧漂洗方式下鱼糜凝胶强度及压缩失水率的变化

根据表 2,从凹陷深度上看,不同漂洗方式之间无显著变化($P > 0.05$)。从破断力以及凝胶强度上看,在 0 mg/L 漂洗时,增加漂洗次数可以显著提高

破断力及凝胶强度;在一次臭氧水漂洗中,增加臭氧浓度,破断力与凝胶强度持续增强;在混合漂洗中,增加臭氧浓度,破断力与凝胶强度先增强后减弱,在 8 mg/L 处具有最大值。并且在较低的臭氧浓度时,混合漂洗的凝胶强度要高于一次臭氧漂洗,继续升高臭氧浓度,2 种漂洗方式之间无显著差异 ($P>0.05$)。

由表 2 可见,在 0 mg/L 漂洗时,增加漂洗次数

可以显著降低凝胶的压缩失水率($P<0.05$)。而在一次臭氧漂洗及混合漂洗中,随着臭氧浓度的升高,压缩失水率逐渐降低。此外,在相同臭氧浓度下,混合漂洗的压缩失水率要低于一次臭氧漂洗,这种差异在臭氧浓度升高到 12 mg/L 和 16 mg/L 时消失。压缩失水率可以反映凝胶持水性。结果表明提高臭氧浓度或增加漂洗次数都可以提高鱼糜凝胶的持水性,且臭氧漂洗的持水性高于传统三次漂洗。

表 1 臭氧漂洗方式对鱼糜蛋白羰基、水溶性及盐溶性蛋白含量的影响

Table 1 Effect of ozone washing mode on carbonyl, water- and salt-soluble protein content of surimi

漂洗方式 Rinsing processes	臭氧质量浓度/(mg/L) Ozone concentration	羰基含量/(nmol/L) Carbonyl content	水溶性蛋白/(mg/g) Water-soluble protein	盐溶性蛋白/(mg/g) Salt-soluble protein
传统漂洗 Traditional rinsing	0	1.59±0.33e	8.05±0.26e	61.25±3.54c
	0	2.14±0.10d	10.45±0.81c	51.61±3.87d
一次臭氧漂洗 Once-ozone rinsing	8	3.03±0.12b	15.49±0.33a	61.43±2.01c
	12	3.44±0.09a	13.08±0.47b	58.04±4.55cd
	16	3.56±0.07a	13.42±0.41b	57.98±2.73cd
	0	1.44±0.19e	9.25±0.09d	53.93±3.41d
混合漂洗 Mixed rinsing	8	2.65±0.12c	10.40±0.33c	68.81±4.25b
	12	2.69±0.17c	9.80±0.28cd	75.77±3.18a
	16	3.53±0.07a	10.06±0.58cd	52.99±4.79d

注:每列中不同字母说明具有显著差异, $P<0.05$ 。下同。Note: Different letters in the same column represented significant difference, $P<0.05$. The same as below.

表 2 臭氧漂洗方式对鱼糜破断力、凹陷深度、凝胶强度及压缩失水率的影响

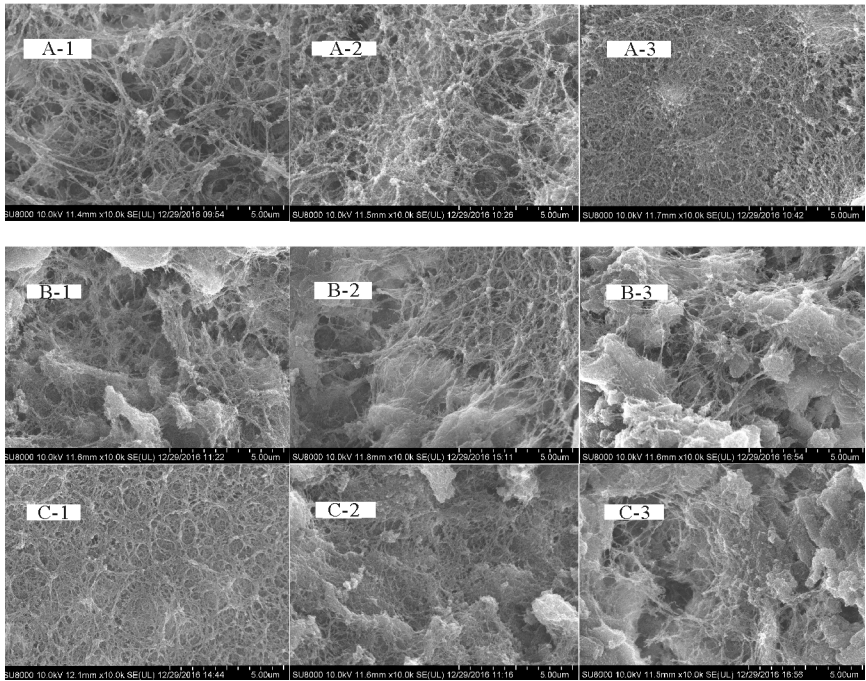
Table 2 Effect of ozone washing mode on breaking force, deformation, gel strength and compression loss rate of surimi

漂洗方式 Rinsing processes	臭氧质量浓度/(mg/L) Ozone concentration	破断力/g Breaking force	凹陷深度/cm Deformation	凝胶强度/(g·cm) Gel strength	压缩失水率/% Compression loss rate
传统漂洗 Traditional rinsing	0	356.93±29.12a	0.57±0.03b	204.53±10.75ab	4.69±0.52cde
	0	292.82±24.78e	0.59±0.03ab	173.38±13.91d	5.43±0.45ab
一次臭氧漂洗 Once-ozone rinsing	8	318.66±9.35cd	0.58±0.02ab	183.96±9.69cd	4.88±0.29bcd
	12	328.33±19.13cd	0.63±0.06ab	206.43±30.87bc	4.30±0.14def
	16	361.23±16.52a	0.57±0.03b	206.18±16.93ab	3.77±0.27f
	0	309.39±26.31bc	0.61±0.03ab	188.57±12.15bc	5.22±0.66abc
混合漂洗 Mixed rinsing	8	347.58±15.62a	0.59±0.03ab	204.35±17.61a	4.20±0.12ef
	12	347.84±13.86b	0.58±0.01ab	201.36±10.39bc	4.40±0.04def
	16	304.4±1.87de	0.62±0.02a	187.80±6.78bcd	3.75±0.15f

2.3 不同臭氧漂洗方式下鱼糜凝胶微观结构的变化

不同漂洗方式的鱼糜凝胶微观结构如图 1 所示。在 0 mg/L 漂洗时,可以观察到凝胶的网络结构随着漂洗次数的增加而更加致密,对比二次漂洗与一次漂洗的效果尤其明显。增加漂洗次数可以提高肌原纤维蛋白的相对含量,加热过程中更多的交联形成更为致密的网络结构。在一次臭氧漂洗中,可以看到在凝胶网络中夹杂着块状结构,而且这种块状结构随着臭氧浓度的升高而增多。推测这种块状结构为蛋白质氧化聚集,氧化可以改变蛋白质结

构,增强蛋白质的疏水相互作用。在混合漂洗中,经过 8 mg/L 臭氧的漂洗后,获得的凝胶微观结构较好,随着臭氧浓度升高,凝胶网络结构中也出现了块状聚集。在相同的臭氧浓度下,混合漂洗中的块状聚集少于一次臭氧漂洗,具有更致密的网络结构,这说明混合漂洗可以降低蛋白质的氧化程度。在臭氧质量浓度为 8 mg/L 时获得的凝胶微观结构接近于传统三次自来水漂洗,这说明臭氧质量浓度为 8 mg/L 的混合漂洗可以达到传统三次漂洗的效果,同时可以减少 1/3 的漂洗用水量。



A-1、A-2、A-3 分别为漂洗 1、2、3 次的鱼糜凝胶；B-1、B-2、B-3 分别为 8、12、16 mg/L 臭氧水漂洗一次的鱼糜凝胶；C-1、C-2、C-3 分别为 8、12、16 mg/L 臭氧水混合漂洗的鱼糜凝胶。A-1、A-2、A-3 were surimi gel rinsed 1,2,and 3 times respectively; B-1、B-2、B-3 were surimi gels rinsed with ozone water concentrations of 8,12,16 mg/L, respectively; C-1、C-2、C-3 were surimi gels by mixed rinsing with ozone concentrations of 8,12,16 mg/L, respectively.

图 1 臭氧漂洗方式对鱼糜凝胶微观结构的影响

Fig.1 Effect of ozone washing mode on gel microstructure of surimi

2.4 不同臭氧漂洗方式下鱼糜色度的变化

不同漂洗方式下鱼糜的亮度(L^*)、红度值(a^*)、黄度值(b^*)及白度如表 3 所示。 a^* 为正值代表偏红, a^* 为负值代表偏绿; b^* 为正值代表偏黄, b^* 为负值代表偏蓝。在 0 mg/L 漂洗时,增加漂洗次数可以改善鱼糜的色泽,漂洗次数从 1 次提高至 3 次使得鱼糜的白度从 64.07 ± 1.39 升高到 $68.27 \pm$

1.03。而在一次臭氧漂洗和混合漂洗中,增加臭氧浓度,鱼糜的亮度与白度无显著变化($P>0.05$),但红度显著降低($P<0.05$)。此外,混合漂洗的亮度与白度显著高于一次臭氧漂洗($P<0.05$)。肌红蛋白含量严重影响着鱼糜的品质,尤其是鱼糜的色泽。增加漂洗次数和采用臭氧漂洗,导致肌红蛋白被清除或肌红蛋白结构被破坏,从而改善鱼糜色泽。

表 3 臭氧漂洗方式对鱼糜色度的影响

Table 3 Effect of ozone washing mode on color of surimi

漂洗方式 Rinsing processes	臭氧质量浓度/(mg/L) Ozone concentration	L^*	a^*	b^*	白度 Whiteness
传统漂洗 Traditional rinsing	0	$68.44 \pm 1.02a$	$-1.13 \pm 0.11d$	$3.04 \pm 0.35c$	$68.27 \pm 1.03a$
	0	$68.45 \pm 0.70a$	$-0.81 \pm 0.08c$	$4.19 \pm 0.70a$	$68.16 \pm 0.69a$
一次臭氧漂洗 Once-ozone rinsing	8	$63.84 \pm 0.86b$	$-0.33 \pm 0.10a$	$3.10 \pm 0.58c$	$63.70 \pm 0.87b$
	12	$64.13 \pm 0.67b$	$-0.84 \pm 0.12c$	$3.52 \pm 0.15bc$	$63.95 \pm 0.66b$
	16	$63.89 \pm 0.88b$	$-0.58 \pm 0.04b$	$3.17 \pm 0.45c$	$63.74 \pm 0.87b$
混合漂洗 Mixed rinsing	0	$64.21 \pm 1.39b$	$-0.59 \pm 0.08b$	$3.09 \pm 0.21c$	$64.07 \pm 1.39b$
	8	$68.26 \pm 1.32a$	$-1.07 \pm 0.08d$	$4.06 \pm 0.55ab$	$67.97 \pm 1.25a$
	12	$67.75 \pm 0.69a$	$-1.14 \pm 0.15d$	$3.22 \pm 0.34c$	$67.57 \pm 0.69a$
	16	$67.72 \pm 1.26a$	$-1.29 \pm 0.09e$	$3.32 \pm 0.95c$	$67.51 \pm 1.15a$

2.5 不同臭氧漂洗方式下鱼糜腥味的变化

不同漂洗方式下鱼糜土腥味的探头信号如表 4

所示。传统漂洗中,增加漂洗次数对土腥味无显著影响($P>0.05$);在一次臭氧漂洗及混合漂洗中,提

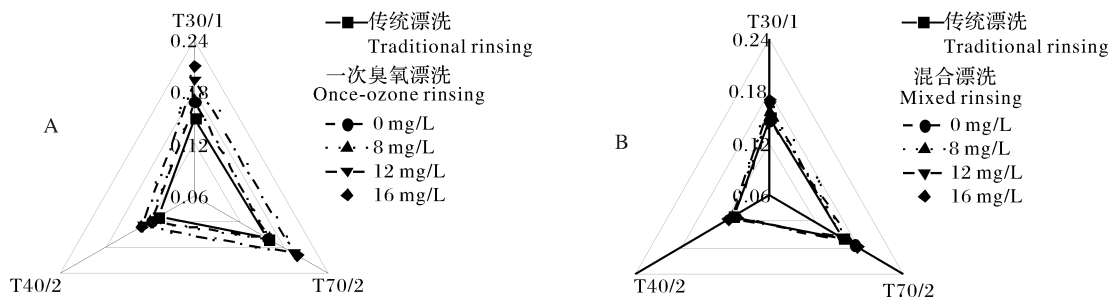
高臭氧浓度可以降低土腥味,但是当臭氧质量浓度升高到 16 mg/L 时,土腥味减弱不明显。

不同漂洗方式鱼糜哈喇味探头信号如图 2 所示。在与哈喇味有关的探头中,T30/1、T70/2 和 T40/2 信号值与哈喇味呈正相关性。与传统漂洗相比,一次臭氧漂洗及混合漂洗的鱼糜哈喇味显著升高($P<0.05$)。当提高臭氧浓度时,一次臭氧漂洗在 12 mg/L 及 16 mg/L 时哈喇味显著升高($P<0.05$),而在混合漂洗中,直到 16 mg/L 时才出现显著变化。值得注意的是,在相同的臭氧浓度下,混合漂洗鱼糜的哈喇味低于一次臭氧漂洗的鱼糜。

表 4 臭氧漂洗方式对鲢鱼糜土腥味的影

Table 4 Effect of ozone washing mode on earthy-muddy odor of surimi

漂洗方式 Rinsing processes	臭氧质量浓度/(mg/L) Ozone concentration	土腥味 Earthy-muddy odor
传统漂洗 Traditional rinsing	0	0.36±0.01ab
一次臭氧漂洗 Once-ozone rinsing	0	0.39±0.02a
	8	0.35±0.03abc
	12	0.33±0.03bc
	16	0.39±0.01a
混合漂洗 Mixed rinsing	0	0.38±0.03a
	8	0.31±0.00a
	12	0.32±0.02bc
	16	0.36±0.05ab



A: 一次臭氧漂洗 Once-ozone rinsing; B: 混合漂洗 Mixed rinsing.

图 2 臭氧漂洗方式对鱼糜哈喇味的影响

Fig.2 Effect of ozone washing mode on rancid odor of surimi

以上试验结果表明,仅仅增加漂洗次数对脱除鱼糜的土腥味无明显作用,而臭氧漂洗可以有效降低土腥味。结果可见,哈喇味的信号值与臭氧浓度及蛋白质羰基含量呈正相关。混合漂洗的哈喇味信号低于一次臭氧漂洗,说明在臭氧水漂洗之前进行一次自来水漂洗可以有效消除脂肪氧化对鱼糜风味的影响。

3 讨论

蛋白质氧化产生的羰基衍生物具有稳定、易于检测等特点,食品的蛋白质羰基含量被广泛认为可反映食品氧化程度^[11]。在 0 mg/L 臭氧漂洗中,羰基含量随着漂洗次数的增加而显著降低($P<0.05$),变化趋势与 Sylvie 等^[12]研究结果一致。Sylvie 等^[12]的研究表明增加漂洗次数会对蛋白质有氧化作用,鱼肉中含有脂肪、金属离子及肌红蛋白,金属离子易促进臭氧降解、脂肪氧化,使得鱼肉蛋白质更容易被氧化,但是增加漂洗次数同时会将蛋白质氧化产物洗脱,这可能是多次自来水漂洗后

蛋白羰基含量下降的原因。在用臭氧水漂洗时,臭氧浓度与蛋白质羰基含量呈正相关,表明臭氧能够显著氧化肌原纤维蛋白。

漂洗工艺对鱼糜的蛋白质组成有很大影响,很多研究表明一定范围内增加漂洗次数可以洗去水溶性蛋白,提高盐溶性蛋白含量。在一定范围内增加漂洗次数可以提高肌原纤维蛋白的浓度,在加热过程中发生相互交联的概率更大,凝胶强度更大^[13]。在一次臭氧漂洗中,逐渐增加的氧化程度促进蛋白质展开、通过二硫键以及疏水相互作用形成的蛋白质聚集都可以增强鱼糜凝胶强度^[14-15]。混合漂洗的凝胶强度在较低的臭氧浓度下高于一次臭氧漂洗,这可能是由于自来水漂洗与臭氧漂洗结合,既提高了肌原纤维蛋白的浓度,又形成了更多的蛋白质聚集。水溶性蛋白质中含有组织蛋白酶 B 和组织蛋白酶 L,这些蛋白酶在加热过程中促进凝胶劣化,但这些酶对氧化十分敏感,一次臭氧漂洗破坏了这些酶的结构,消除了酶的活性。这些没有活性的水溶性蛋白残留在鱼糜中从而增加了鱼糜的蛋白质含

量。此外, Jafarpour 等^[15]报道, 将漂洗液中回收的肌浆蛋白回添至鱼糜中可以增加鱼糜的凝胶强度。因此, 采用一定浓度的臭氧漂洗可以减少漂洗次数, 减少蛋白质损失, 提高鱼糜凝胶强度。

有研究报道水产品中的胺类、土腥素、2-甲基异茨醇(腥味)及美拉德反应产物中的吡嗪类等物质能被臭氧氧化分解, 生成无异味的产物, 并保护水产品自身的鲜味^[16]。王国超^[17]报道, 在 0℃时, 3 mg/L 的臭氧水处理罗非鱼 20 min 后, 土腥素和 2-甲基异茨醇含量分别降低了 39.1% 和 30.4%。薛勇^[18]使用 3.0~7.5 mg/L 的臭氧水漂洗鲮鱼肉和臭氧气体漂浮处理鱼肉, 鱼肉中土腥素分别脱除 42.1%~54.5% 和 42.8%~77.0%。杜国伟^[19]采用臭氧气体漂浮法处理鱼糜, 对其制品中的挥发性成分进行检测, 发现经臭氧处理后鱼糜制品中的各种鱼腥味物质含量明显减少, 且无其他挥发性成分产生。研究结果均显示臭氧水脱除鱼腥味物质是一种可行有效的方法。

综上所述, 传统漂洗、一次臭氧漂洗及混合漂洗的漂洗效果都与漂洗次数呈正相关。相对于混合漂洗, 一次臭氧漂洗鱼糜蛋白的羰基含量较高, 产生较重的哈喇味, 白度较低。试验结果显示采用臭氧质量浓度为 8 mg/L 的混合漂洗鲮鱼糜, 鱼糜品质较好, 同时漂洗用水量减少 1/3, 应用于鱼糜漂洗可以达到节水效果。本研究表明, 适当浓度的臭氧水混合漂洗可以降低脂肪、蛋白质氧化程度, 能有效改善鲮鱼糜品质。但其作用机制、风味物质的变化以及风味物质形成机制还有待进一步研究。

参考文献 References

- [1] 严菁. 转谷氨酰胺酶对淡水鱼糜凝胶特性的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2003. YAN J. Effect of transglutaminase on gel properties of freshwater surimi[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2003(in Chinese with English abstract).
- [2] PARK J W. Surimi and surimi seafood[M]. 3rd ed.[S.l.]: CRC Press, 2013: 100-102.
- [3] ZHANG T, XUE Y, LI Z, et al. Effects of ozone on the removal of geosmin and the physicochemical properties of fish meat from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*)[J]. Innovative food science & emerging technologies, 2016, 34: 16-23.
- [4] DING Y, LIU Y, HONG Y, et al. Effects of CaCl₂ on chemical interactions and gel properties of surimi gels from two species of carps[J]. European food research and technology, 2011, 233(4): 569-576.

- [5] MESQUITA C S, OLIVERIRA R, BENTO F, et al. Simplified 2,4-dinitrophenylhydrazine spectrophotometric assay for quantification of carbonyls in oxidized proteins[J]. Analytical biochemistry, 2014, 458(5): 69-71.
- [6] XIONG G, GAO X, WANG P, et al. Comparative study of extraction efficiency and composition of protein recovered from chicken liver by acid-alkaline treatment[J]. Process biochemistry, 2016, 51(10): 1629-1635.
- [7] 贾丹. 青鱼肌肉蛋白质及其凝胶特性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015. JIA D. Study on protein and gelation properties of surimi from black carp[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015(in Chinese with English abstract).
- [8] YIN T, PARK J W. Effects of nano-scaled fish bone on the gelation properties of Alaska pollock surimi[J]. Food chemistry, 2014, 150(2): 463-468.
- [9] DEBUSCA A, TAHERGORABI R, BEAMER S K, et al. Physicochemical properties of surimi gels fortified with dietary fiber[J]. Food chemistry, 2014, 148(1): 70-76.
- [10] 付湘晋, 许时婴, 王璋, 等. 电子鼻检测白鲢鱼腥味[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2010, 36(3): 316-321. FU X J, XU S Y, WANG Z, et al. Determination of off-flavors in silver carp mince using electronic nose[J]. Journal of Zhejiang University (Agric. & life Sci.), 2010, 36(3): 316-321(in Chinese with English abstract).
- [11] VOSSEN E, DE SMET S. Protein oxidation and protein nitration influenced by sodium nitrite in two different meat model systems[J]. Journal of agricultural & food chemistry, 2015, 63(9): 2550-2556.
- [12] SYLVIE E, CAROLINE P B, CHARLOTTE J. Oxidation of lipid and protein in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) mince and washed minces during processing and storage[J]. Food chemistry, 2009, 114(1): 57-65.
- [13] 尤娟, 郑文栋, 王敏君, 等. 臭氧氧化对鲢肌球蛋白热聚集的影响[J]. 华中农业大学学报, 2019, 38(6): 1-8. YOU J, ZHENG W D, WANG M J, et al. Effect of ozone oxidation on the thermal aggregation of myosin from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*)[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2019, 38(6): 1-8(in Chinese with English abstract).
- [14] YIN T, REED Z H, PARK J W. Gelling properties of surimi as affected by the particle size of fish bone[J]. LWT - food science and technology, 2014, 58(2): 412-416.
- [15] JAFARPOUR A, GORCZYCA E M. Characteristics of sarco-plasmic proteins and their interaction with surimi and kamaboko gel[J]. Journal of food science, 2009, 74(1): 16-22.
- [16] 赵永强. 罗非鱼片臭氧减菌化处理中自由基的产生及其对产品品质与安全性的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006. ZHAO Y Q. Free radical producing in ozone sterilization pretreatment of Nile tilapia fillets and its effects on product quality and safety [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006 (in Chinese with English abstract).
- [17] 王国超. 罗非鱼腥味物质成分检测及脱除方法的研究[D]. 青

- 岛:中国海洋大学,2012.WANG G C. Study on detection and removal of the odor of tilapia[D]. Qingdao: Ocean University of China,2012 (in Chinese with English abstract).
- [18] 薛勇. 鲢鱼鱼糜抗冻变性剂及土腥味脱除方法的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2006.XUE Y. Research on the antifreeze denaturant of bighead carp surimi and the method of removing soil fishy smell[D]. Qingdao: Ocean University of China,2006 (in Chinese with English abstract).
- [19] 杜国伟. 鲢鱼糜的脱腥技术研究[D]. 无锡:江南大学,2006.DU G W. Study on the deodorization technology of silver carp surimi[D]. Wuxi: Jiangnan University,2006 (in Chinese with English abstract).

Effect of ozone rinsing process on quality of silver carps surimi

RUAN Qiufeng, JIANG Wenxin, XIONG Shanbai, YIN Tao,
HU Yang, LIU Ru, LIU Youming, YOU Juan

*College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/
China Engineering Research Center of Green Development for Conventional
Aquatic Biological Industry in the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education/
National R&D Branch Center for Conventional Fresh Water Fish Processing (Wuhan),
Wuhan 430070, China*

Abstract In order to solve the problem of excessive water consumption in the surimi rinsing process, and to study the effect of ozone rinsing on the quality of surimi, silver carp surimi was prepared by traditional rinsing, one ozone rinsing, and mixed rinsing with tap water and ozone water. The effects of three modes of ozone water rinsing on the strength, color and bad smell of surimi gel were compared. The results showed that the carbonyl content increased with increasing ozone concentration, and carbonyl content in surimi rinsed with one ozone water was higher than surimi with the other rinsing modes. For the samples with one ozone rinsing, the proteins were oxidated to a higher extent, and formed more aggregates, resulting in a poor gel performance. Mixed rinsing could reduce fat oxidation, reduce the oxidation degree of surimi protein by ozone, and improve the whiteness and gel strength of surimi gel. In addition, mixed rinsing with an ozone concentration of 8 mg/L could effectively improve the quality of surimi. At the same time, the water consumption was reduced by 1/3, achieving the purpose of water-saving rinsing.

Keywords silver carp; surimi quality; ozone rinsing; gel; surimi protein; gel properties; fat oxidation; protein oxidation

(责任编辑:赵琳琳)