

梁桉婕, 缪小兰, 段杉. 冰温及4℃贮藏罗非鱼的腐败特征差异[J]. 广东海洋大学学报, 2021, 41(3): 99-104.

冰温及4℃贮藏罗非鱼的腐败特征差异

梁桉婕, 缪小兰, 段杉

(华南农业大学食品学院 // 广东省功能食品活性物重点实验室 // 广东省天然活性物工程技术研究中心 // 岭南现代农业科学与技术广东省实验室, 广东 广州, 510642)

摘要:【目的】比较冰温贮藏及4℃贮藏罗非鱼(*Oreochromis*)的腐败特征差异, 查找适于评价冰温贮藏罗非鱼鲜度的潜在腐败标志物。【方法】研究4℃(普通贮藏)和-1.5℃(冰温及微冻贮藏)条件下罗非鱼贮藏期间的TVB-N值、菌落总数及感官鲜度的变化, 并采用电子鼻追踪挥发性成分的变化, 分析测定指标间的相关性。【结果与结论】在4℃贮藏时罗非鱼的TVB-N值在0~6d变化较小, 之后迅速升高, 而在-1.5℃下贮藏的罗非鱼TVB-N值在0~21d变化较小, 24d后迅速升高; 菌落总数一直呈现上升趋势, 4℃贮藏的罗非鱼至5d时已达到 10^9 cfu/g, 而-1.5℃贮藏至15d才达到 10^9 cfu/g。感官评价结果表明, 4℃贮藏的罗非鱼至6d时已发生明显腐败, 而-1.5℃贮藏的罗非鱼至21d时发生明显腐败。4℃贮藏的罗非鱼的感官评价结果与TVB-N值呈显著相关($P < 0.05$), -1.5℃贮藏时两者相关性不显著($P > 0.05$), 说明TVB-N值并不适合作为冰温及微冻贮藏罗非鱼的鲜度指标。贮藏于4℃和-1.5℃的罗非鱼的挥发性成分(氮氧化物、甲基类、无机硫化物、有机硫化物、醇类、醛酮类等)相差很大, 其中-1.5℃罗非鱼的氮氧化物含量远高于贮藏于4℃的罗非鱼, -1.5℃的罗非鱼的腐败感官评分与氮氧化物、无机硫化物、有机硫化物的相关性良好($r > 0.78$), 与甲基类成分呈显著相关($P < 0.05$), 表明甲基类成分具有作为冰温或微冻贮藏罗非鱼腐败标志物的潜力。

关键词: 罗非鱼; 冰温贮藏; 4℃贮藏; 腐败特征; 电子鼻

中图分类号: TS254.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-9159(2021)03-0099-06

doi: 10.3969/j.issn.1673-9159.2021.03.013

Difference Between Corruption Characteristics of Tilapia under Controlled Freezing-Point Storage and 4℃ Cold Storage

LIANG An-jie, MIAO Xiao-lan, DUAN Shan

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Nutraceuticals and Functional Foods // College of Food Science, South China Agricultural University // Guangdong Engineering Research Center of Native Bioactive Substances // Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Guangzhou City, China, 510642)

Abstract: 【Objectives】 To compare the difference in spoilage characteristics between tilapia (*Oreochromis*) under controlled freezing-point storage and 4℃ storage, and screen the potential spoilage markers suitable for evaluating the freshness of tilapia under controlled freezing-point storage from various volatile products. 【Methods】 The changes of TVB-N value, bacterial count and sensory

收稿日期: 2021-02-05

基金项目: 广东省自然科学基金(2021A1515010590)

第一作者: 梁桉婕(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学。E-mail: 1241911716@qq.com

通信作者: 段杉(1966-), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食品生物技术。E-mail: duanshan@scau.edu.cn

freshness of tilapia respectively stored at 4 °C (ordinary cold storage) and -1.5 °C (Controlled freezing-point storage/partial freezing storage) were investigated, and the volatile components were tracked using an electronic nose. 【Results and conclusion】 The TVB-N value of tilapia stored at 4 °C slightly changed from 0-6 days and rapidly increased after 7 days. Similarly, the TVB-N value of tilapia stored at -1.5 °C also slightly changed from 0-21 days and rapidly increased after 24 days. The bacterial counts of tilapia stored at both temperatures kept increasing during the whole storage period, and reached 10⁹ cfu/g on the 5th day for the tilapia stored at 4 °C, and on the 15th day for the tilapia stored at -1.5 °C. The sensory evaluation showed that the tilapia spoiled obviously after 6 days storage at 4 °C, and after 21 days of storage at -1.5 °C. The sensory evaluation results of tilapia stored at 4 °C was significantly correlated with TVB-N ($P < 0.05$), and the correlation between them was not significant at -1.5 °C ($P > 0.05$). This indicated that TVB-N value was not suitable for evaluating the freshness of tilapia under the controlled freezing-point storage/partial freezing storage. The volatile components, including nitrogen oxides, methyl compounds, inorganic sulfide, organic sulfide, alcohols, aldehydes and ketones for tilapia stored at 4 °C and -1.5 °C also differed greatly. Among these volatile components, the nitrogen oxide content of tilapia stored at -1.5 °C was much higher than that of tilapia stored at 4 °C. The correlation coefficient between the sensory evaluation result of tilapia stored at -1.5 °C and the contents of nitrogen oxides, methyl compounds, Inorganic sulfide and organic sulfide were high (R-value > 0.78), especially for the methyl compound ($P < 0.05$). This suggested that the methyl compound could be used as the spoilage marker for tilapia under controlled freezing-point storage/superchilled storage.

Key words: Tilapia; controlled freezing-point storage; cold storage at 4 °C; corruption characteristics; electronic nose

由于消费习惯差异,我国消费者对鲜罗非鱼 (*Oreochromis*) 制品的接受度比冻结晶更高,近年来一大批生鲜连锁店迅速成长,生鲜罗非鱼产品的开发符合当前形势要求。但普通贮藏温度(4 °C)下罗非鱼保质期短,不适合生鲜销售;而冰温贮藏(Controlled Freezing-Point Storage, 温度介于 0 °C 和产品冰点之间)和微冻(Superchilled Storage, 温度略低于产品冰点)可大大延长保质期^[1],适应生鲜销售要求。

冰温和微冻贮藏的温度已接近或超过多数细菌细胞的冰点,寒冷胁迫将导致细菌群落组成以及代谢活动发生显著变化。较普通贮藏条件下,能适应这种低温的细菌种类更少,本课题组^[2]前期研究发现在 0 和 -3 °C 贮藏条件下的罗非鱼片与 4 °C 的样品相比,细菌种类显著变少,腐败速度显著降低。

目前国家标准《鲜、冻动物性水产品标准(GB2733-2015)》中除了感官评价外,仅以 TVB-N 值作为评价淡水鱼鲜度的客观指标,但有研究认为 TVB-N 值不适于衡量冰温和微冻贮藏条件下罗非鱼鲜度^[3-7],而目前国内外对于冰温和微冻贮藏条件

下罗非鱼及其他水产品的腐败标志物的研究报道极少。因此,本研究通过测定 4 °C (普通贮藏)和 -1.5 °C (冰温及微冻贮藏)条件下罗非鱼的 TVB-N 值、菌落总数以及感官鲜度的变化,并采用电子鼻追踪挥发性成分的变化,探究罗非鱼的感官腐败程度与 TVB-N 值和其他挥发性成分之间的相关性进行比较研究,分析两种贮藏温度下的腐败产物差异,查找罗非鱼在冰温和微冻贮藏条件下潜在的腐败标志物,以期为客观衡量相关罗非鱼制品的鲜度提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与仪器

罗非鱼(600 ~ 800 g)购于广州市长湴农贸市场。长虹美菱 BCD-255WP3CX 冰箱;德国 Airsense 公司 PEN3 电子鼻。

1.2 方法

1.2.1 罗非鱼前处理 6 尾罗非鱼均购自同一市场。将新鲜罗非鱼宰杀、去头、去皮、去内脏,用自来水清洗干净,取肉切成小块,采用无菌保鲜盒

包装。取 3 尾置于 (4 ± 0.6) °C 冰箱贮藏, 0、1、2、3、4、5、6、7 d 分别采样检测; 另外 3 尾置于 (-1.5 ± 0.8) °C 冰箱冰温贮藏, 0、6、12、18、21、24 d 采样检测。

1.2.2 感官评价 感官评价小组由固定经过培训的 5 人组成, 采用打分和描述相结合的方法, 分别针对罗非鱼的气味、色泽、质地打分, 很新鲜 0 分, 新鲜 1 分, 一般 2 分, 略有腐败 3 分, 明显腐败 4 分, 完全不可接受 5 分; 并对腐败特征进行描述, 气味特征描述包括正常香味、鲜香、硫化氢味道、氨味、酸味以及腥臭味, 色泽外观描述包括发暗、发红、光泽以及有无黏液, 质地描述包括软烂程度、弹性、组织紧密程度以及纹理清晰程度。最后计算平均分。

1.2.3 挥发性盐基氮 (TVB-N) 的测定 按照 GB/T 5009.44—2003^[8]微量扩散法, 以每 100 g 样品中所含氮的质量 (mg) 表示, 每次测定 3 个平行样品。

1.2.4 可培养细菌数量的测定 按照 GB/T 4789.2—2016^[9]平板计数法操作: 无菌条件下剪取 10 g 鱼肉加入 90 mL 灭菌生理盐水, 摇床 120 r/min 振摇 30 min。取 1 mL 菌悬液梯度稀释后采用计数培养基置于 30 °C 培养 48 h, 计算菌落数, 结果取对数值。实验进行 3 次重复。

1.2.5 挥发性成分的测定 采用电子鼻测定, 称取

搅碎的罗非鱼肉 3.5 g, 置于 20 mL 进样瓶中, 顶空平衡温度 60 °C, 平衡时间 15 min。电子鼻测定条件: 注射针温度 50 °C, 清洗时间 100 s, 进气量 150 mL/min, 测定时间 120 s, 特征值提取时间点设定为 19~21 s, 对特征时间段内的信息进行分析, 每个样品均制备 2 个平行样, 结果去掉异常值, 以确保实验数据准确性。

1.3 数据处理

实验数据采用 SPSS 26.0 进行处理, 以平均值 \pm 标准差表示, 并作单因素方差分析, 显著性水平 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 不同贮藏温度下罗非鱼腐败的感官评价

由表 1 可知, 贮藏于 4 °C 的罗非鱼至 6 d 时腐败特征已很明显, 7 d 时基本不可接受; 贮藏于 -1.5 °C 的罗非鱼至 18 d 时腐败特征已很明显, 21 d 时基本不可接受, Cyprian 等^[1]报道罗非鱼于 -1 °C 贮藏 20 d 后发生感官腐败, Laly 等^[4]报道去内脏的罗非鱼在冰藏 21 d 后发生感官腐败, 本研究结果与上述结果很接近。

表 1 贮藏于 4 °C 和 -1.5 °C 的罗非鱼感官评价分值
Table 1 Sensory scores of tilapia respectively stored at 4 °C and -1.5 °C

评价因素	4 °C 贮藏							
	0 d	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d
气味	0.4 ± 0.6 ^h	0.8 ± 0.5 ^g	1.4 ± 0.7 ^f	1.7 ± 0.8 ^e	2.3 ± 0.5 ^d	2.8 ± 0.8 ^c	3.5 ± 0.7 ^b	4.3 ± 0.7 ^a
色泽	0.6 ± 0.6 ^g	1.0 ± 0.7 ^f	1.6 ± 0.7 ^e	2.1 ± 0.6 ^d	2.6 ± 1.3 ^c	2.7 ± 0.8 ^c	3.4 ± 0.7 ^b	3.9 ± 0.6 ^a
质地	0.4 ± 0.6 ^h	1.0 ± 0.7 ^g	1.4 ± 0.9 ^f	2.1 ± 0.6 ^e	2.8 ± 1.2 ^d	3.3 ± 0.7 ^c	3.5 ± 0.6 ^b	4.1 ± 0.3 ^a
腐败特征总分	1.4 ± 1.8 ^h	2.8 ± 1.9 ^g	4.4 ± 2.3 ^f	5.9 ± 2.0 ^e	7.7 ± 2.7 ^d	8.8 ± 2.3 ^c	10.4 ± 2.0 ^b	12.3 ± 1.6 ^a
评价因素	-1.5 °C 贮藏							
	0 d	6 d	12 d	18 d	21 d	24 d		
气味	0.2 ± 0.5 ^e	0.6 ± 0.2 ^d	0.9 ± 0.4 ^c	3.8 ± 0.5 ^b	4.4 ± 0.9 ^a	4.4 ± 0.9 ^a		
色泽	0.4 ± 0.6 ^f	1.2 ± 0.3 ^e	1.6 ± 0.4 ^d	3.7 ± 0.5 ^c	4.3 ± 0.5 ^b	4.5 ± 0.5 ^a		
质地	0.2 ± 0.5 ^e	1.3 ± 0.5 ^d	1.3 ± 0.5 ^d	3.7 ± 0.5 ^c	4.2 ± 0.5 ^b	4.6 ± 0.4 ^a		
腐败特征总分	0.8 ± 1.6 ^f	3.1 ± 1.0 ^e	3.8 ± 1.3 ^d	11.2 ± 1.5 ^c	12.9 ± 1.9 ^b	13.5 ± 1.8 ^a		

注: 同行数据凡含一个字母相同则差异不显著 ($P > 0.05$)

Note: The data with a same letter within the same row means no significant difference between them

2.2 不同贮藏温度下罗非鱼的 TVB-N 值和细菌总数的变化

从图 1 可以看出, 4 °C 贮藏的罗非鱼的 TVB-N 值在 0~6 d 变化较小, 贮藏 7 d 后迅速升高; 而 -1.5 °C 贮藏的罗非鱼的 TVB-N 值在 0~21 d 变化

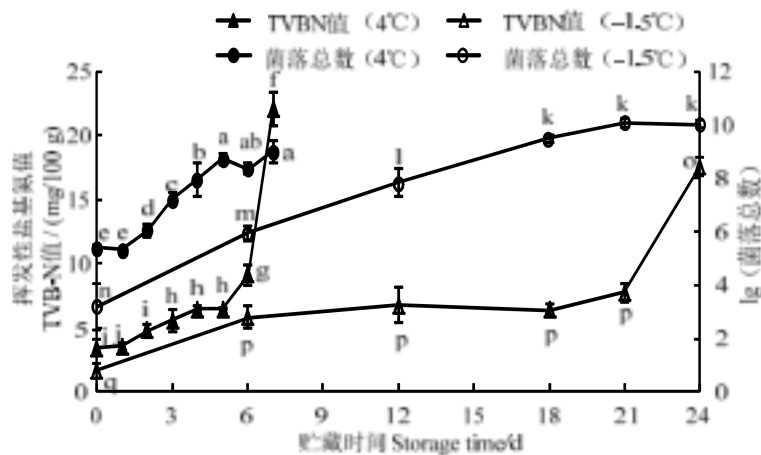
较小, 贮藏 24 d 后迅速升高。但无论是 4 °C 还是 -1.5 °C 贮藏的罗非鱼, 至感官评价发生腐败时 (分别为 6 d 和 21 d) 其 TVB-N 值仍未超过国家标准的限量规定 (20 mg/100 g), 此结果与 Parlapani 等^[3]、Laly 等^[4]和 Sørensen 等^[7]的研究结果一致。菌落总

数一直呈现上升趋势, 4 °C 贮藏罗非鱼的可培养细菌数量增长较快, 贮藏 3 d 后已超过 10^7 cfu/g, 5 d 已达到 10^9 cfu/g; 而 -1.5 °C 贮藏罗非鱼菌落总数在贮藏 6 d 后仍低于 10^6 cfu/g, 15 d 才达到 10^9 cfu/g。上述结果与本课题组前期研究^[2]以及 Cyprian 等^[1]、Laly 等^[4]的报道相近。

-1.5 °C 贮藏下 TVB-N 值及菌落总数的增长速度约为 4 °C 下的 3 倍, 这与冰点温度附近对细菌的寒冷胁迫作用显著增强有很大关系。在细胞冰点温度附近, 细菌会遭受诸如活性氧自由基浓度升高、膜流动性和酶活性下降、胞内水分结冰、蛋白质低

温变性等伤害^[10], 其对细菌生命活动的抑制作用是多方面的, 与常温或普通贮藏温度下温度降低导致代谢速度下降的效应不能等同, 因此 -1.5 °C 与 4 °C 相比, 细菌的生长和腐败特征差异巨大。

此外, 从图 1 还可以发现 TVB-N 值与菌落总数的增长并不同步, 无论 4 °C 还是在 -1.5 °C, 均直至菌落总数达到 10^9 cfu/g 左右时 TVB-N 才快速增长, 这与细菌的群体感应有关, 即菌落总数比较少的时候, 细菌的腐败分解作用很弱, 当数量增长到一定程度后细胞之间通过群体感应作用才表现出强烈的腐败作用^[11]。



同一指标凡含一个相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)

The data with a same letter in a same indicator means no significant difference between them ($P > 0.05$)

图 1 贮藏于 4 °C 和 -1.5 °C 的罗非鱼的 TVB-N 值和菌落总数变化

Fig. 1 TVB-N value and bacterial count of tilapia respectively stored at 4 °C and -1.5 °C

2.3 不同贮藏温度下罗非鱼挥发性成分的变化

由图 2 可见, 贮藏于 4 °C 和 -1.5 °C 的罗非鱼的挥发性成分差异很大, 其中差异最明显的是氮氧化物, 贮藏于 -1.5 °C 的罗非鱼的氮氧化物含量呈现持续上升趋势, 至腐败时含量远高于贮藏于 4 °C 的罗非鱼; 贮藏于 -1.5 °C 的罗非鱼的甲基类化合物、无机硫化物、有机硫化物也随时间逐渐上升, 且无论是含量还是变化趋势均与贮藏于 4 °C 的罗非鱼有一定差异; 贮藏于 -1.5 °C 的罗非鱼的醇类和醛酮类化合物的变化则规律性较差。这是因为 4 °C 贮藏罗非鱼细菌群落与冰温贮藏罗非鱼细菌群落的组成有明显差异^[2], 此外, 寒冷胁迫也导致细菌代谢活动发生显著变化, 故 4 °C 贮藏和冰温贮藏罗非鱼的挥发性成分也有所不同。以上各类挥发性化合物在贮藏初期均出现下降, 然后稳步上升, 推测这一现象的原因如下: 0 d 为实验起点, 此前罗非鱼一直处于室温, 温度远高于 4 °C 和 -1.5 °C, 细

菌代谢活动远比实验温度下强, 产生的挥发性产物更多; 实验开始后, 罗非鱼肉中心温度大大降低, 细菌代谢活动迅速降低, 腐败产物的生成速度大幅下降; 而且实验开始前细菌产生的挥发性成分大量挥发, 新生成的挥发性成分暂时无法弥补挥发的损失, 导致贮藏初期挥发性成分含量下降, 随着贮藏时间延长, 细菌大量增殖, 产生的挥发性成分也稳步上升。

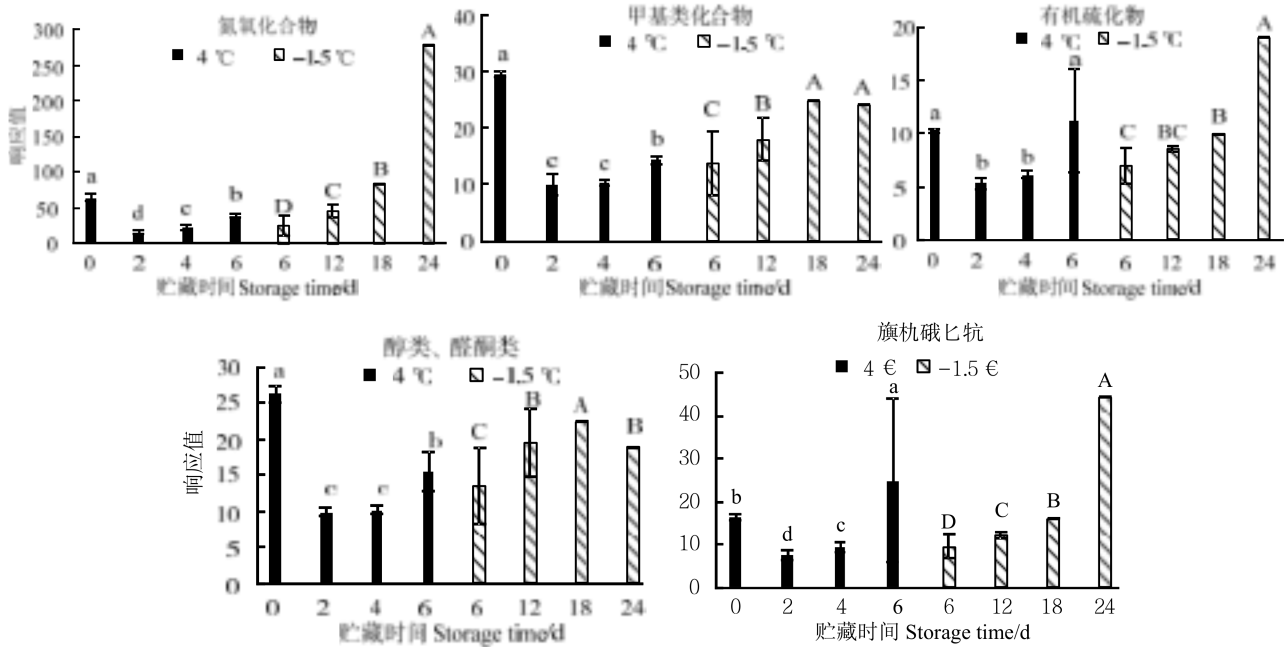
2.4 不同贮藏温度下罗非鱼的 TVB-N 值、菌落总数、挥发性成分及感官评价间的相关性分析

对 TVB-N 值、菌落总数、挥发性成分以及感官评价的结果进行相关性分析, 结果见表 2。从表 2 可发现, TVB-N 值与 4 °C 贮藏罗非鱼的感官腐败评分显著相关 ($P < 0.05$), 但与 -1.5 °C 贮藏罗非鱼的感官腐败评分相关不显著 ($P > 0.05$), 说明 TVB-N 值并不能准确反映冰温和微冻贮藏罗非鱼的限度变化, 这一结果与其他研究^[3-7]的结果一致;

此外, TVB-N 值与细菌数量之间的相关性也较低。

Parlapani 等^[3]认为 TVB-N 值仅适合于评价贮藏于较高温度的鱼类鲜度, 这可能因为与普通贮藏相比, -1.5 °C 贮藏鱼类的细菌群落及其代谢特征已发生明显变化, 导致腐败产物不同; 此外, 贮藏

或冻藏的鱼类的内源酶活动仍可导致 TVB-N 值增加^[12], -1.5 °C 的低温对于细菌活动有显著抑制作用, 但对生化反应速度的影响相对较小, 因此, -1.5 °C 时鱼体内源酶活动产生的 TVB-N 值占比大幅提高, 与细菌性腐败的相关性下降。



凡含一个相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$); 小写字母代表 4 °C 下不同时间点间的比较, 大写字母代表 -1.5 °C 不同时间点间的比较
The data with a same letter means no significant difference between them ($P > 0.05$); lowercase letters denote the comparison between time points at 4 °C, and capital letters between time points at -1.5 °C

图 2 不同贮藏温度下罗非鱼挥发性成分变化

Fig. 2 Volatile organic compounds of tilapia respectively stored at 4 °C and -1.5 °C

表 2 TVB-N 值、菌落总数、挥发性成分与感官评价结果间的相关性分析

Table 2 Correlation coefficients between TVB-N, bacterial counts, volatile organic compounds and sensory evaluation results

温度/ °C	指标	感官评价				挥发性成分				菌落总数
		气味	色泽	质地	感官总分	氮氧化合物	甲基类化合物	无机硫化物	有机硫化物	
4	TVB-N 值	0.84**	0.79*	0.70	0.80*	-0.28	-0.52	0.58	0.31	0.69
-1.5	TVB-N 值	0.68	0.74	0.75	0.72	0.98*	0.54	0.99**	0.98*	0.70
4	菌落总数	0.93**	0.95**	0.98**	0.96**	-0.39	-0.61	0.33	0.08	
-1.5	菌落总数	0.90*	0.94**	0.93**	0.92**	0.76	0.98*	0.74	0.78	
4	氮氧化合物	-0.38	-0.45	-0.43	-0.42					
-1.5	氮氧化合物	0.81	0.85	0.86	0.84					
4	甲基类化合物	-0.61	-0.67	-0.65	-0.65					
-1.5	甲基类化合物	0.95*	0.95*	0.91	0.94					
4	无机硫化物	0.50	0.40	0.40	0.43					
-1.5	无机硫化物	0.78	0.83	0.83	0.81					
4	有机硫化物	0.21	0.11	0.12	0.14					
-1.5	有机硫化物	0.80	0.85	0.85	0.83					

注: **表示极显著相关 significant correlation at 0.01 level ($P < 0.01$), *表示显著相关 significant correlation at 0.05 level ($P < 0.05$)

4 °C 贮藏条件下, 菌落总数与感官评价分数呈极显著相关 ($P < 0.01$), 但与各挥发性成分间的相

关性较低。 $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰温条件下,细菌总数与感官评价分数、甲基类化合物均呈显著相关($P < 0.05$),甲基类化合物与气味、色泽评分呈显著相关($P < 0.05$)。这一结果显示菌落总数仍可表征 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下贮藏罗非鱼的鲜度,甲基类成分具有作为冰温或微冻贮藏罗非鱼腐败标志物的潜力,但本研究所用样本量有限,是对冰温或微冻贮藏罗非鱼腐败标志物的初步筛选,后续需要通过增加样本量以及改变实验条件以进一步研究确认。

3 结论

$4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,TVB-N值与感官评价结果的相关性较高,适合作为罗非鱼的鲜度评价指标;但在 $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,TVBN值与感官评价结果的相关性不高,说明在该温度附近TVB-N值不适于作为罗非鱼的鲜度指标。贮藏于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的罗非鱼的挥发性成分也相差很大, $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的罗非鱼的氮氧化物含量呈现持续上升趋势,至腐败时含量远高于贮藏于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的罗非鱼,其他挥发性成分也有显著差异。贮藏于 $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的罗非鱼腐败气味感官评分与氮氧化物、无机硫化物、有机硫化物含量的相关性良好,而与甲基类成分呈显著相关。显示甲基类成分具有作为冰温贮藏罗非鱼腐败标志物的潜力。

参考文献

- [1] CYPRIAN O, LAUZON H L, JÓHANNSSON R, et al. Shelf life of air and modified atmosphere-packaged fresh tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets stored under chilled and superchilled conditions[J]. Food Science & Nutrition, 2013, 1(2): 130-140.
- [2] DUAN S, ZHOU X Z, XIAO H, et al. Characterization of bacterial microbiotas in tilapia fillets under different storage temperatures[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(6): 1487-1493.
- [3] PARLAPANI F F, MALLOUCHOS A, HAROUTOUNIAN S A, et al. Microbiological spoilage and investigation of volatile profile during storage of sea bream fillets under various conditions[J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 189: 153-163.
- [4] LALY S J, ASHOK KUMAR K N, SANKAR T V, et al. Quality of monosex tilapia under ice storage: Gutting effects on the formation of biogenic amines, biochemical, and microbiological characteristics[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(6): 1368-1377.
- [5] DUN S, XAVIER K A M, DEVI S T, et al. Identification of potential spoilage bacteria in farmed shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Application of Relative Rate of Spoilage models in shelf life-prediction[J]. LWT - Food Science and Technology, 2018, 97: 295-301.
- [6] TATIANA P R, ELIANE T M, ROBSON M F, et al. Quality index method (QIM) and quantitative descriptive analysis (QDA) of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) quality indices[J]. African Journal of Agricultural Research, 2016, 11(3): 209-216.
- [7] SØRENSEN J S, BØKNÆS N, MEJLHOLM O, et al. Superchilling in combination with modified atmosphere packaging resulted in long shelf-life and limited microbial growth in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) from capture-based-aquaculture in Greenland[J]. Food Microbiology, 2020, 88: 103405.
- [8] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 肉与肉制品卫生标准的分析方法: GB/T 5009.44—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [9] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [10] NOOR RASHED, TABASSUM TASMIN, TABASSUM TAHSIN, et al. Growth and survival of Pseudomonas species under cold shock[J]. Acta Scientific Microbiology, 2019, Special Issue 1: 10-13.
- [11] MACHADO I, SILVA L R, GIAOURIS E D, et al. Quorum sensing in food spoilage and natural-based strategies for its inhibition[J]. Food Research International, 2020, 127: 108754.
- [12] 郭学骞. 冻罗非鱼片生产关键技术优化及品质评价研究[D]. 海口: 海南大学, 2018.

(责任编辑: 刘肱)