

唐 森, 李军生, 胡金鑫, 等. 应用三甲胺+二甲胺与氧化三甲胺摩尔比值评价冷冻鱼产品的新鲜程度[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(1): 222-228.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.01.035

## 应用三甲胺+二甲胺与氧化三甲胺摩尔比值评价冷冻鱼产品的新鲜程度

唐 森<sup>1</sup>, 李军生<sup>1</sup>, 胡金鑫<sup>1,2</sup>, 阎柳娟<sup>1</sup>, 黄国霞<sup>1</sup>

(1. 广西科技大学生物与化学工程学院/广西糖资源绿色加工重点实验室/广西高校糖资源加工重点实验室, 广西 柳州 545006; 2. 国家轻工业食品质量监督检测天津站, 天津 300451)

**摘要:** 为了探讨三甲胺+二甲胺与氧化三甲胺摩尔比值[(TMA+DMA)/TMAO]指标评价鱼产品在-18℃条件下腐败进程的可能性, 应用比色法测定冷冻4种鱼类(鲈鱼、草鱼、大菱鲆、罗非鱼)贮藏过程中的(TMA+DMA)/TMAO摩尔比值变化, 用以判断鱼片的腐败进程。结果显示: TMA含量、DMA含量、甲醛(FA)含量、TMAO含量和菌落总数(TVC)不能对这4种鱼做出准确的新鲜度评价; 在-18℃条件下, (TMA+DMA)/TMAO摩尔比值呈稳定的上升趋势, 并且同一贮藏温度下的(TMA+DMA)/TMAO摩尔比值与挥发性盐基氮(TVB-N)含量存在极显著相关性。表明(TMA+DMA)/TMAO摩尔比值可以作为判定冷冻条件下鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼新鲜度的指标。

**关键词:** 新鲜度; 三甲胺+二甲胺与氧化三甲胺摩尔比值; 冷冻贮藏; 鱼产品

**中图分类号:** S984.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)01-0222-07

## Applications of ( trimethylamine + dimethylamine ) / trimethylamine oxide molar ratio for frozen fish freshness evaluation

TANG Sen<sup>1</sup>, LI Jun-sheng<sup>1</sup>, HU Jin-xin<sup>1,2</sup>, YAN Liu-juan<sup>1</sup>, HUANG Guo-xia<sup>1</sup>

(1. College of Biological and Chemical Engineering, Guangxi University of Science and Technology/Guangxi Key Laboratory of Green Processing of Sugar Resources/Key Laboratory for Processing of Sugar Resources of Guangxi Higher Education Institutes, Liuzhou 545006, China; 2. Tianjin Unit of China Light Industrial Food Quality Supervision and Inspection, Tianjin 300451, China)

**Abstract:** The possibility of evaluating the spoilage progress of fish at -18℃ using N-oxide molar ratio of trimethylamine+dimethylamine and trimethylamine-oxide [(TMA+DMA)/TMAO] was studied by employing calorimetric method to detect (TMA +DMA)/TMAO molar ratios of four kinds of fish during frozen storage. The contents of TMA, DMA, formaldehyde (FA), TMAO and total bacterial count (TVC) of the four fish were not able to make an accurate evaluation of the freshness. At -18℃, (TMA+DMA)/TMAO molar ratios showed a steady increasing trend over time and was significantly correlated with TVB-N content. The results indicated that the molar ratio of (TMA+DMA) /TMAO was applicable for detection of the freshness of frozen perch, turbot, grass carp and tilapia.

**Key words:** freshness; molar ratio of trimethylamine + dimethylamine and trimethylamine-oxide [(TMA+DMA)/TMAO]; frozen storage; fish

收稿日期: 2015-05-21

作者简介: 唐 森 (1990-), 男, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 研究方向为食品生物化学。(Tel) 18178268969; (E-mail) ts540998577@163.com

通讯作者: 李军生, (E-mail) junshenglee63@aliyun.com

冷冻是水产品的常用贮藏手段, 冷冻可以大大地延长水产品的货架期, 但是随着贮藏时间的延长, 水产品的品质也逐渐下降。大量研究结果表明, 冷冻条

件下,由于腐败微生物的活性受到抑制,氧化三甲胺(TMAO)会被氧化三甲胺脱甲基酶(TMA-Oase)分解为等量的二甲胺(DMA)和甲醛(FA)<sup>[1-2]</sup>,醛化引起蛋白质分子的交联作用也可引起蛋白质的变形,所以这就造成了冷冻条件下鱼类不同的腐败机制,并且长时间的冷冻,多种原因会造成鱼肉蛋白质的结构和化学性质的变化,这就使鱼肉的肉质品质成为了冷冻条件下鱼肉新鲜程度评价的关键。

传统评价冷冻水产品质量和新鲜程度基本上沿用感官目测、化学检测、物理测定、微生物检测等方法<sup>[3]</sup>,以及应用可见/近红外光谱技术<sup>[4]</sup>、可见/近红外高光谱成像<sup>[5]</sup>等技术。上述的方法有的需要昂贵的仪器设备,有些则耗费时间、人力,还有一些评价手段不能有效地表征水产品的质量和新鲜程度的变化。因此,绝大多数普通百姓是无法确切了解冷冻水产品的质量和新鲜程度,只能以鲜活水产品作为确保产品质量和安全的唯一选项。因此研究一种快速、准确的鱼类新鲜度检测方法,对于整个产业的发展具有重要的现实意义。

本试验在胡金鑫等<sup>[6-7]</sup>和唐森等<sup>[8]</sup>研究基础上,以鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼为研究对象,在-18℃的贮藏条件下测定鱼肉中的(TMA(三甲胺)+DMA)/TMAO摩尔比值的变化规律;另一方面,结合TMA、DMA、FA、TMAO、感官评定、挥发性盐基氮(TVB-N)和菌落总数(TVC)对鱼肉鲜度同时进行测定。最后,经过分析(TMA+DMA)/TMAO摩尔比值与TVB-N、TVC的线性相关性,来验证(TMA+DMA)/TMAO摩尔比值作为评定冷冻鱼产品鲜度指标的可行性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

鲜活鲈鱼购于柳州市水产品农贸市场,鲜活草鱼、大菱鲆、罗非鱼购于柳州市潭中菜市场。草鱼每尾质量为1 000 g,其他为500 g。

### 1.2 贮藏试验

将样品放入加水的充氧袋中,快速运往实验室。运到实验室用冰水使鱼体休克,击头致死,放入-18℃的冰箱冷冻室内中保存6个月,分别定时检测各项指标。

### 1.3 样品处理

采用GB/T 18108—2008的取样方法,根据冷冻

过程中鱼体新鲜度的变化定点取样,取背部和腹部的肌肉,去除鱼皮,用组织捣碎机打碎,用于TMA、TMAO、TVB-N、TVC与FA的测定。并留出整鱼进行感官评定。

### 1.4 试验仪器与设备

DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器,购自巩义市予华仪器公司;LD4-2型低速离心机,购自北京医用离心机厂;PHS-25CW微机型pH/mV、UV-2012PC型紫外可见分光光度计,均购自尤尼柯(上海)仪器有限公司;SPX-250B-Z型生化培养箱,购自上海博迅实业有限公司医疗设备厂;LRH-250A生化培养箱,购自广东省医疗器械厂;ZFD-A5040A型全自动新型鼓风干燥箱,购自上海智城分析仪器制造有限公司;JJ200型电子天平,购自常熟市双杰测试仪器厂。

### 1.5 测定方法

1.5.1 感官评价 样品从-18℃冷冻环境内取出,立即放入-4℃的冷藏环境内自然过夜解冻后,进行感官评定。由6位感官评定人组成感官评定小组对样品感官质量进行评分。通过对体表、气味、眼睛、鱼鳃、组织弹性进行评分,根据评分小组对各项目的敏感程度,确定每项的权重分别为0.3、0.3、0.2、0.1、0.1,计算加权平均分<sup>[9]</sup>。最后根据评分小组人员的加权平均分数来确定鱼肉感官评定结果。其中8~10为一级新鲜,5~7分为二级新鲜,3~4分为一般品质,3分以下为感官拒绝(表1)。

1.5.2 指标测定 (TMA+DMA)/TMAO比值:应用比色法测定样品中的TMA和DMA。TMAO的测定方法参照李丰的方法<sup>[10]</sup>并稍作修改。

提出的(TMA+DMA)/TMAO摩尔比值表达式如下:

$$(TMA+DMA)/TMAO \text{ 摩尔比值} = [n(TMA) + n(DMA)] / [n(TMAO)]$$

$n(TMA)$ :1 g样品中所含三甲胺物质的量,单位为mol;

$n(DMA)$ :1 g样品中所含二甲胺物质的量,单位为mol;

$n(TMAO)$ :1 g样品中所含氧化三甲胺物质的量,单位为mol。

参照水产行业标准ST/T3025—2006测定甲醛含量;参照GB 4789.2—2010测定菌落总数;参照水产行业标准ST/T3032—2007测定挥发性盐基氮值。

表 1 冷冻鱼类感官评定打分表

Table 1 The sensory score of frozen fish

| 指标 | 一级新鲜                                    | 二级新鲜                     | 一般品质                       | 感官拒绝                                |
|----|---|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 体表 | 具有鲜鱼固有的鲜明本色与光泽,黏液透明,鳞片完整、不易脱落,腹部正常,肛孔凹陷 | 黏液透明,体色轻微变暗,鳞片完整、不易脱落    | 体表黏液增加,不透明,鳞光泽稍差并易脱落,肛孔稍突出 | 鱼鳞暗淡无光且易与外皮脱离,表面附有污秽黏液,肛孔鼓出,腹部膨胀或下陷 |
| 肌肉 | 肌肉坚实有弹性,以手指压后凹陷立即消失,肌肉的横断面有光泽           | 坚硬,有弹性,压痕完全迅速消失,蒸后肉质弹性稍差 | 弹性显著减弱,有机械印痕,肉有糜感,肉色较暗     | 肌肉松软无力,手指压后凹陷不消失,肌肉易与骨刺分离           |
| 眼睛 | 眼球饱满凸出,角膜透明,洁净无污物                       | 鱼眼球稍显干瘪,角膜出现污浊感          | 眼角膜起皱并稍变混浊,有时由于内溢血而发红      | 眼球平坦或稍陷,角膜混浊发白                      |
| 鳃  | 鱼鳃部横条清晰可辨,呈褐色或暗红色                       | 鳃盖不紧,容易打开,鳃片淡红、紫色或暗红     | 鳃盖较松,呈暗红或灰红色               | 鱼鳃部横条模糊,呈黑色                         |
| 气味 | 较强的海腥味,蒸后有明显清香味                         | 较弱的海腥味,蒸后有轻微清香味          | 很弱的海腥味,蒸后有轻微异味             | 轻微的腐败味,蒸后有明显的异味                     |

## 1.6 数据处理

采用 Origin (8.0) 软件对 (TMA+DMA)/TMAO 比值及各鲜度指标随贮藏时间的变化分析作图。利用 SPSS (20.0) 软件分析 TMA/TMAO 比值与 TVB-N 值、TVC 的相关性,根据最小二乘法得到相关系数。

## 2 结果与分析

### 2.1 贮藏过程中 4 种鱼感官变化

鲜活状态的鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼的鱼肉柔韧有弹性,随着冷冻时间的增长,鱼肉品质逐渐下降,鱼肉弹性下降,肉质出现糜感,鱼肉出现脱水状况。这是由于多方面原因引起的。首先,冷冻状况下鱼肉中的水分形成冰晶,以此造成鱼肉肌肉品质的下降;其次,冰晶的形成破坏了结合水和蛋白质分子的结合态,因此蛋白质分子内的化学键的断裂与重组导致其变形<sup>[11]</sup>;最后,鱼类体内所存在的氧化三甲胺还原酶(TMAOase)还原 TMAO 为二甲胺与甲醛,醛化反应引起的蛋白质分子的交联作用也可引起蛋白质的变形<sup>[12]</sup>。这就造成了冷冻条件下保存的样品的感官拒绝状态与冷藏条件下有很大的不同,冷冻条件下不会出现难闻的酸腐味道,4 种鱼在感官拒绝状态下都出现了煮后肉质老硬,并出现不愉快的异味,鲈鱼、草鱼感官拒绝出现在第 195 d,大菱鲆、罗非鱼感官拒绝出现在第 165 d(图 1)。

### 2.2 不同贮藏时间下 4 种鱼中三甲胺(TMA)含量的变化

冷冻条件下样品中 TMA 含量变化范围小,且贮藏后期 4 种鱼样品 TMA 含量相对于贮藏前期呈显著增长的趋势(图 2),这是因为低温条件下会造成

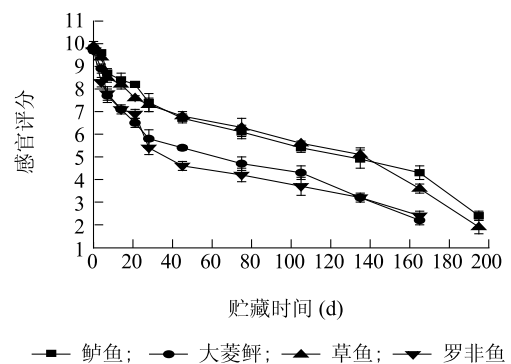


图 1 冷冻条件下鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼的感官评分

Fig.1 The sensory scores of frozen perch, turbot, grass carp and tilapia

大量微生物的冷休克,造成大量死亡,低温冷冻条件较冷藏和常温状态下的腐败微生物大量减少,但还存在少量的嗜冷菌可以继续对 TMAO 发生还原反应,从而冷冻条件下还会有 TMA 的产生。说明了贮藏后期由于腐败微生物的减少,TMA 的产生趋于缓慢增加的状态<sup>[13]</sup>。鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼在感官拒绝时,TMA 含量分别增长到 0.037 mg/g、0.041 mg/g、0.037 mg/g 和 0.051 mg/g。冷冻条件下由于肉质品质等其他因素主导着鱼类等水产品的品质,说明 TMA 的变化不能准确指示冷冻条件下这 4 种鱼的新鲜程度。

### 2.3 不同贮藏时间下 4 种鱼中氧化三甲胺(TMAO)、二甲胺(DMA)和甲醛(FA)含量的变化

4 种样品在冷冻过程中,其体内的氧化三甲胺由于嗜冷微生物的还原作用和氧化三甲胺脱甲基酶的作用下整体上持续减少(图 3),由于其所需的活化能

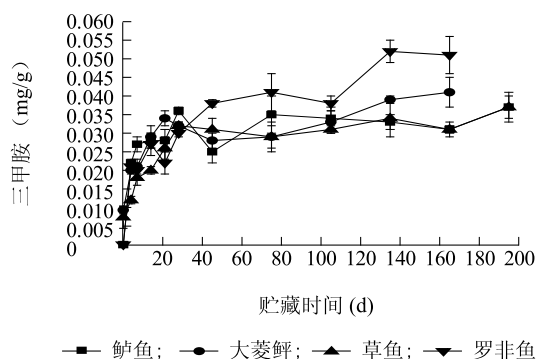


图2 冷冻条件下鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼三甲胺含量变化  
Fig.2 TMA contents of frozen bass, turbot, grass carp and tilapia

较低,所以在冷冻条件下仍然存在较强的活性,并且多数腐败菌在低温条件下遭到抑制,因此冷冻条件下氧化三甲胺脱甲基酶对 TMAO 的降解作用占主要地位,其降解主要产物为 DMA 和 FA<sup>[1]</sup>。冷冻条件下 TMAO 在下降的过程中出现了回升的过程,这可能是鱼类的体内同样存在着一条 TMAO 合成路径,这一变化结果与 Kittima 等<sup>[14]</sup>对狗母鱼在冷冻条件下 TMAO 的变化结果相一致。由此可以看出,TMAO 在贮藏过程中所出现的不规律的下降过程,不能为评价这 4 种鱼的新鲜程度提供准确依据。

4 种鱼肉中 FA 含量在冷冻条件下的变化状况如图 4 所示,随着贮藏时间的延长,FA 大体上呈上升趋势。DMA 的含量随贮藏时间的增加而增加(图 5)。Careche 等<sup>[15]</sup>发现在-20℃条件下鳕鱼鱼肉中的 FA 和 DMA 随贮藏时间延长而增加;Simeonidou 等<sup>[16]</sup>发现地中海鳕鱼和马鲛鱼的整鱼和鱼肉在-12℃贮藏条件下,FA 和 DMA 含量同样呈增加的趋势,氧化三甲胺脱甲基酶存在于鱼类体内的各种器官组织中,并且氧化三甲胺脱甲基酶催化 TMAO 的降解速度受到很多因素(如贮藏温度、物种、肌肉的完整性及贮藏环境的稳定性等)的制约<sup>[17]</sup>,由此可以看出 FA 和 DMA 的持续积累量不稳定的变化会对这 4 种鱼类新鲜度的评价造成偏差<sup>[18]</sup>。

大量研究结果表明,TMAO 降解产生的 FA 和 DMA 是等摩尔量的,然而检测出的 DMA 含量要高于 FA 含量,这是由于一部分 FA 与鱼肉蛋白质发生反应,FA 与不同的蛋白质侧链功能基团发生反应,从而形成分子间或分子内的亚甲基桥<sup>[19]</sup>,当 FA 与蛋白质分子相连接时,会造成蛋白质分子的聚集作用的发生,而后由于蛋白质聚集量的逐渐增大,从而

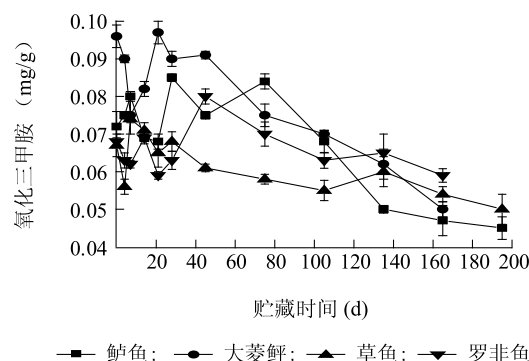


图3 冷冻条件下鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼的氧化三甲胺含量变化  
Fig.3 TMAO contents of frozen bass, turbot, grass carp and tilapia

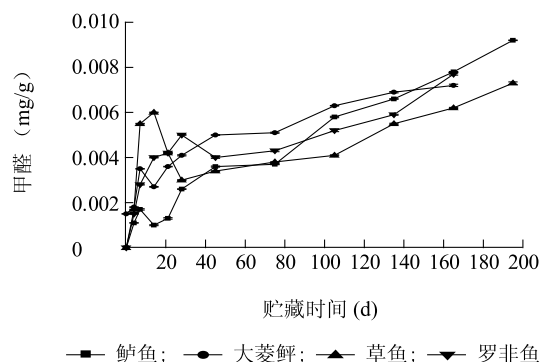


图4 冷冻条件下鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼的甲醛含量变化  
Fig.4 FA contents of frozen bass, turbot, grass carp and tilapia

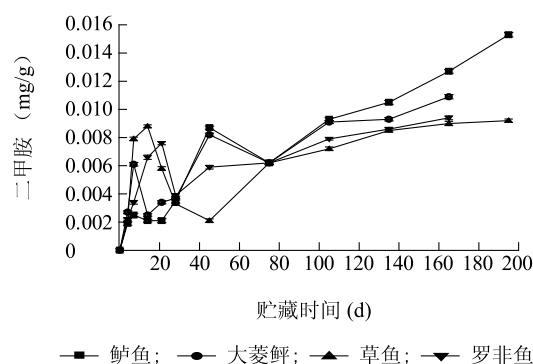


图5 冷冻条件下鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼二甲胺含量变化  
Fig.5 DMA contents of frozen bass, turbot, grass carp and tilapia

造成蛋白质的溶解性下降。

## 2.4 不同贮藏时间下三甲胺+二甲胺与氧化三甲胺摩尔比值[(TMA+DMA)/TMAO]的变化

(TMA+DMA)/TMAO 摩尔比值在前 20 d 内增



长较为快速(图6),这4种样品在前20 d内全部由一级新鲜转为二级新鲜,鱼肉的肉质品质变化为冷冻条件下鱼肉变质的主要原因,二级新鲜状态下的鱼肉弹性变差,并且鱼眼睛由一级新鲜时的晶莹透亮变为污浊。鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼分别在第14 d、7 d、21 d和14 d到达二级新鲜水平,到达二级新鲜水平时 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值分别为0.56、0.49、0.65和0.65。当鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼分别在第165 d、105 d、135 d和135 d时,鱼体解冻后,鱼肉肉质变得更加干燥,鱼肉煮后鲜味不见并且出现了少许酸臭,此时这4种鱼到达中等新鲜水平, $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值分别为1.28、0.81、0.96和1.24。鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼分别在第195 d、165 d、195 d和165 d时,由感官评定为感官拒绝,此时 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值分别为1.60、1.40、1.25和1.36。

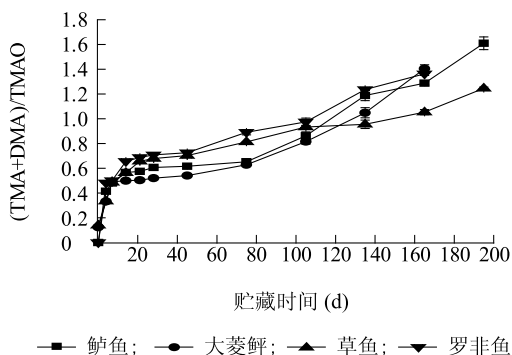


图6 冷冻条件下鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼的三甲胺+二甲胺与氧化三甲胺摩尔比值变化

Fig.6  $(TMA+DMA)/TMAO$  molar ratios of frozen bass, turbot, grass carp and tilapia

## 2.5 挥发性盐基氮(TVB-N)测定值的分析

由于冷冻条件下,大量的腐败微生物的抑制作用,蛋白质经腐败菌作用而产生的TVB-N的量相对于常温和冷藏条件下要少。鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼中的TVB-N含量随冷冻贮藏时间延长逐渐增加,且40 d后TVB-N含量变化趋于平稳(图7)。相对于较高温度条件下,贮藏样品产生恶臭而达到感官拒绝不同,冷冻条件下的感官拒绝时并不是以出现恶臭为主要标志的,鱼肉肉质的变化最为明显。所以,本试验在感官拒绝时所测得的鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼中的TVB-N含量分别为0.216 3 mg/g、0.211 4 mg/g、0.197 7 mg/g和0.187 0 mg/g,

所测结果并未超过鲜、冻动物性水产品卫生标准,由此可知,对于冷冻鱼类的新鲜程度的检测只凭TVB-N含量的测定是不能完全反映冷冻鱼类的新鲜程度的。

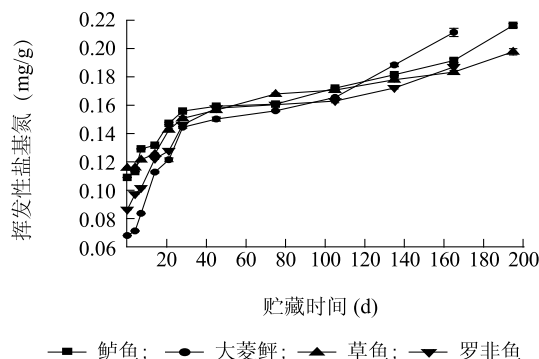


图7 冷冻条件下鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼的挥发性盐基氮含量变化

Fig.7 TVB-N contents of frozen bass, turbot, grass carp and tilapia

## 2.6 菌落总数(TVC)测定值的分析

冷冻条件下,大量微生物的活性受到抑制,甚至超过最低生长温度而死亡,所以冷冻条件下对这4种鱼测得的TVC值在一定时间内呈下降的趋势(图8),而贮藏前期4种样品TVC测定值有升高的趋势(图8)。Arannilewa等<sup>[20]</sup>在冷冻条件下对罗非鱼的TVC在一定时间内进行检测,发现贮藏前期TVC值会出现上升的现象,可能是由于贮存温度的不稳定导致微生物物理化学性质发生变化所造成的。由图8还可以看出,长时间的冷冻环境不能使样品达到完全灭菌的效果,只是抑制了微生物的生理机能,并且冷冻之前新鲜状态的样品的TVC比贮藏之后的要高,由此可以看出经过长时间冷冻样品的TVC值不能指示鱼产品的真实鲜度。

## 2.7 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值与TVB-N含量、TVC含量的相关性分析

根据 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值和TVB-N含量、TVC含量的测定结果,用最小二乘法对 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值与TVB-N值、TVC的相关性进行分析。在-18℃冷冻条件下, $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值与TVB-N含量均随贮藏时间的增加而增加,相关系数为0.899~0.950。TVC含量均随贮藏时间整体呈下降趋势,并且变化趋势

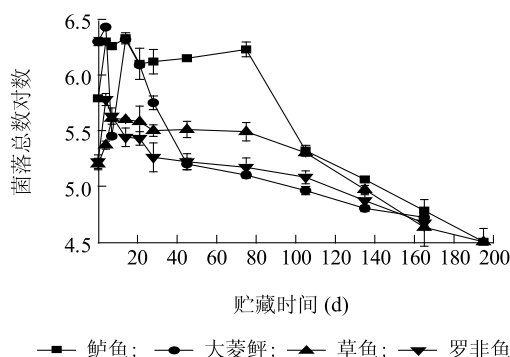


图8 冷冻条件下鲈鱼、大菱鲆、草鱼和罗非鱼的菌落总数变化

Fig.8 Total bacterial count of frozen bass, turbot, grass carp and tilapia

不稳定,并且 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值与 TVC 含量的相关系数  $-0.633 \sim -0.835$ ,所以冷冻条件下 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值与 TVC 含量的相关性低于 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值与 TVB-N 含量的相关性(表 2 和表 3)。

表 2 草鱼、罗非鱼、鲈鱼和大菱鲆 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值与 TVB-N 含量的相关性Table 2 Correlation between  $(TMA + DMA) / TMAO$  molar ratios of grass carp, tilapia, bass and turbot and TVB-N values

| 鱼品种 | 回归方程                  | 相关系数     |
|-----|-----------------------|----------|
| 鲈鱼  | $Y = 8.697x + 9.015$  | 0.914 ** |
| 大菱鲆 | $Y = 11.033x + 5.118$ | 0.899 ** |
| 草鱼  | $Y = 6.975x + 10.414$ | 0.950 ** |
| 罗非鱼 | $Y = 4.067x + 14.262$ | 0.914 ** |

$x$  表示鲈鱼、大菱鲆、草鱼、罗非鱼的 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值;  
 $Y$  表示草鱼、罗非鱼、鲈鱼、大菱鲆的 TVB-N 含量。\* 表示相关性达 0.01 极显著水平。

表 3 草鱼、罗非鱼、鲈鱼、大菱鲆 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值与 TVC 含量的相关性Table 3 Correlation between  $(TMA + DMA) / TMAO$  molar ratios of grass carp, tilapia, sea bass and turbot with total bacterial count

| 鱼品种 | 回归方程                  | 相关系数     |
|-----|-----------------------|----------|
| 鲈鱼  | $Y = -0.773x + 5.823$ | -0.633 * |
| 大菱鲆 | $Y = -0.597x + 5.699$ | -0.701 * |
| 草鱼  | $Y = -1.253x + 6.670$ | -0.835 * |
| 罗非鱼 | $Y = -1.510x + 6.505$ | -0.817 * |

$x$  表示鲈鱼、大菱鲆、草鱼、罗非鱼的 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值;  
 $Y$  表示鲈鱼、大菱鲆、草鱼、罗非鱼的 TVC 含量。\* 表示相关性达 0.05 显著水平。

### 3 讨论

由试验结果可知 TMA、DMA、FA、TMAO 和 TVC 含量变化趋势不稳定,很难对这 4 种鱼做出准确的鲜度评价。冷冻条件下, $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值呈稳定的上升趋势,并且同一贮藏温度下的 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值与 TVB-N 含量存在极显著相关性,相关系数均大于 0.899。说明 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值可以作为判定草鱼、罗非鱼、鲈鱼和大菱鲆新鲜度的指标。本研究只选取了部分鱼产品作为研究对象进行 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值的评价,要使 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值能够作为检测更多种冷冻鱼产品的新鲜度指标,还需要大批量的、多种温度条件下的试验才能使 $(TMA+DMA)/TMAO$ 摩尔比值成为冷冻鱼产品新鲜度规范化的指标,以此为鱼产品的加工、保藏、运输等环节提供参考依据。

### 参考文献:

- [1] BABBITT J K, CRAWFORD D L, LAW D K. Decomposition of trimethylamineoxide and changes in protein extract ability during frozen storage of minced and intact hake muscle [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1972, 20(5):1052-1054.
- [2] REPPOND KD, COLLINS J, MARKEY D. Walleye pollock (*Theragra chalcogramma*): changes in quality when held in ice, slush-ice, refrigerated seawater, and  $CO_2$ -modified refrigerated seawater then stored as blocks of fillets at  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  [J]. J Food Sci, 1985 (50):985-996.
- [3] 胡金鑫,李军生,徐 静,等.水产品鲜度表征与评价方法的研究进展[J].食品工业,2014,35(3):225-228.
- [4] BECHMANN I E, JORGENSEN B M. Rapid assessment of quality parameters for frozen cod using near infrared spectroscopy[J]. Food Science and Technology-Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie, 1998, 31: 648-652.
- [5] 朱逢乐. 基于光谱和高光谱成像技术的海水鱼品质快速无损检测[D].浙江:浙江大学,2014.
- [6] 胡金鑫,李军生,阎柳娟,等.应用三甲胺/氧化三甲胺摩尔比值评价鲈鱼的新鲜程度[J].食品科技,2013,38(10):152-157.
- [7] 胡金鑫,李军生,阎柳娟,等.通过三甲胺/氧化三甲胺摩尔比值评价南美白对虾的新鲜程度[J].现代食品科技,2013,29(10):2492-2497.
- [8] 唐 森,李军生,胡金鑫,等.应用挥发胺/氧化三甲胺摩尔比值评价罗非鱼新鲜程度的可行性分析[J].广东农业科学,2015,42(4):99-105.
- [9] 崔正琴,许 钟,杨宪时,等.大菱鲆冷藏过程中的鲜度变化与货架期[J].食品科学,2011,32(2):285-289.

- [10] 李 丰. 水产品中氧化三甲胺、三甲胺、二甲胺检测方法及其鱼丝中甲醛控制研究[D]. 河北:河北农业大学, 2010.
- [11] OHTA F, TANAKA K. Some properties of the liquid portion in the frozen fish muscle fluid[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1978, 44(1): 59-62.
- [12] 贾 佳. 秘鲁鲉鱼中氧化三甲胺热分解生成甲醛和二甲胺机理的初步研究[D]. 浙江:浙江工商大学, 2011.
- [13] GRAM L, HUSS H H. Fresh and processed fish and shellfish[J]. The Microbiological Safety and Quality of Food, 2000, 1: 472-506.
- [14] KITTIMA L, SOOTTAWAT B, WONNOP V, et al. Physicochemical and biochemical changes during frozen storage of minced flesh of lizardfish (*Saurida micropectoralis*) [J]. Food Chemistry, 2005 (90): 141-150.
- [15] CARECHE M, DEL M, PURIFICACIÓN T, et al. Importance of frozen storage temperature in the type of aggregation of myofibrillar proteins in cod (*Gadus morhua*) fillets[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998(46): 1539-1546.
- [16] SIMEONIDOU S, GOVARIS A. Effect of frozen storage on the quality of whole fish and fillets of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) and Mediterranean hake (*Merluccius mediterraneus*) [J]. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung, 1997 (204): 405-410.
- [17] PARKIN L, HULTIN O. Some facts influencing the production of dimethylamine and formaldehyde in minced and intact red hake muscle[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1982 (6): 73-97.
- [18] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, TANAKA M. Induced formation of dimethylamine and formaldehyde by lizardfish (*Saurida micropectoralis*) kidney trimethylamine-N-oxide demethylase [J]. Food Chem, 2004, 84: 297-305.
- [19] SOTELO C, PINEIRO C. Denaturation of fish proteins during frozen storage: Role of formaldehyde [J]. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung, 1995(200): 14-23.
- [20] ARANNILEWA S T, SALAWU S O, SORUNGBE A A. Effect of frozen period on the chemical, microbiological and sensory quality of frozen tilapia fish [J]. African Journal of Biotechnology, 2005, 4 (8): 852-855.

(责任编辑:袁 伟)