

不同解冻方式对鲈鱼鲜度及品质的影响

刘欢¹, 陈雪¹, 宋立玲¹, 蔡林林¹, 熊宇飞¹, 袁高峰^{1,2}, 方旭波^{1,2}, 陈小娥^{1,*}

(1. 浙江海洋学院食品与医药学院, 浙江 舟山 316022;

2. 浙江省水产品加工技术研究联合重点实验室, 浙江 舟山 316022)

摘要: 采用4种解冻方式(空气解冻、静水解冻、微波解冻、鼓气流水解冻)对-18℃贮藏的船冻鲈鱼进行解冻, 分析其持水力、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)值、组胺含量、盐溶性蛋白含量、质构值的变化, 并进行电子鼻分析和微观结构的观察。结果表明: 解冻时间、TVB-N值和组胺之间、持水力与解冻损失率和盐溶性蛋白含量之间分别有极显著的相关性($P<0.01$)。电子鼻的Fisher判别分析能明显区分各种解冻方式, 其检测结果与TVB-N值和组胺含量的测定结果一致。4种解冻方式中, 鼓气流水解冻后鲈鱼的持水力、盐溶性蛋白含量最高, 质构特性最好, 肌束排列紧密, 肌内膜较完整, 鲜度比微波解冻稍差, 与静水和空气解冻相比缩短了解冻时间, 与微波解冻相比大大节约了成本。因此, 鼓气流水解冻是一种理想的鲈鱼解冻方式。

关键词: 船冻鲈鱼; 解冻方式; 鲜度; 品质

Effect of Different Thawing Methods on Freshness and Quality of *Scomber japonicus*

LIU Huan¹, CHEN Xue¹, SONG Liling¹, CAI Linlin¹, XIONG Yufei¹, YUAN Gaofeng^{1,2}, FANG Xubo^{1,2}, CHEN Xiao'e^{1,*}

(1. School of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. Joint Key Laboratory of Aquatic Products Processing Technology Research of Zhejiang Province, Zhoushan 316022, China)

Abstract: Four thawing methods including natural air thawing, thawing in still water, microwave thawing and air-blast flowing water thawing were individually used to thaw on-board-frozen *Scomber japonicus* stored at -18℃, and the changes in water-holding capacity, salt-soluble protein, total volatile basic nitrogen (TVB-N), histamine content and texture properties were analyzed. Meanwhile, electronic nose analysis and microstructure observation were conducted. The results indicated that highly significant correlations existed between thawing time and either TVB-N or histamine content, and between water holding capacity and either thawing loss percentage or salt soluble protein content. Fisher discriminant analysis (FDA) of the electric nose data could clearly distinguish among the various thawing methods, and the obtained results were consistent with those of TVB-N and histamine measurement. Among these thawing methods, air-blast flowing water thawing was the best, because it greatly maintained the water-holding capacity, salt-soluble protein, texture, and microstructure. It was also advantageous in saving the thawing time and costs compared with other thawing methods. Overall, air-blast flowing water thawing is an ideal thawing method for frozen *Scomber japonicus*.

Key words: on-board-frozen *Scomber japonicus*; thawing methods; freshness; quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610044

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)10-0259-07

引文格式:

刘欢, 陈雪, 宋立玲, 等. 不同解冻方式对鲈鱼鲜度及品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 259-265. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610044. <http://www.spkx.net.cn>

LIU Huan, CHEN Xue, SONG Liling, et al. Effect of different thawing methods on freshness and quality of *Scomber japonicus*[J]. Food Science, 2016, 37(10): 259-265. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610044. <http://www.spkx.net.cn>

鲈鱼(*Scomber japonicus*), 又名青占鱼, 为中上层经济鱼类, 在我国各海域均有生产, 东海和黄海海域产

量最多, 其营养价值很高, 且组织松软, 易被人体消化吸收, 价廉物美而深受大众喜爱。鲈鱼死后极易腐败,

收稿日期: 2015-09-01

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201410340005); 浙江科技厅重点农业项目(2013C02016)

作者简介: 刘欢(1994—), 女, 本科生, 研究方向为水产品加工。E-mail: 1453665953@qq.com

*通信作者: 陈小娥(1968—), 女, 教授, 博士, 研究方向为水产品加工与贮藏。E-mail: xiaoechen@163.com

组胺形成较快,使得近年来食用鲈鱼导致组胺中毒的事件时有发生,因此鲈鱼的保鲜至关重要^[1]。

目前我国鲈鱼多沿用海上捕捞、冷海水(或冰藏)保鲜运输、陆上冷冻加工的传统岸冻加工方式,海上贮存时间一般为2 d左右,存在渔获破损率20%~30%、质量得不到保障、销售价格低等问题。船冻加工是近几年发展起来的,当鲈鱼捕获上船后,在加工母船上直接进行低温(-30℃)速冻处理18~22 min,大大缩短了从捕捞到加工的时间。与岸冻鲈鱼相比,船冻鲈鱼的鲜度更好,质量更稳定,受到市场广泛的欢迎^[2]。船冻鲈鱼在加工或消费前必须经过解冻处理,由于在解冻过程中容易产生汁液流失、微生物滋长、蛋白质变性、色泽变化等问题,最终影响产品的鲜度品质,解冻成为决定鲈鱼原料最终品质好坏的关键因素之一。

当前,国内外学术界关于鲈鱼及其副产品加工的研究报道较多,但对鲈鱼解冻的研究基本处于空白。而产业界应用最广泛的方法还是传统的空气解冻和水解冻,在解冻过程中,为了使鱼体上下表面温度一致,常需要人工将鱼体翻身,这样传统的解冻方式虽可节约部分成本,但耗时耗力、严重影响了鲈鱼的品质。近年来,国内外对各种解冻技术的研究越来越多,产生了一些新型的解冻方式,如:超高压解冻、微波解冻、超声波解冻等^[3-4]。本实验室针对企业现有解冻方式的不足,设计了一种鼓气流水解冻装置(含解冻槽),解冻槽上方设溢水管,加压的空气不断从槽底部的管道喷嘴中喷出,促进解冻槽底部水与槽上方表面水的热交换,使槽内温度基本一致,保证鱼体表面温度均匀;另外,解冻槽的接口采用方便连接的卡扣形式,当解冻完成后,可由叉车快速铲运到运输带加工,省时省力。丁伟璐等^[5]以速冻圆鲢为原料进行解冻实验,结果表明鼓气流水解冻作为一种新型解冻方式不仅能缩短解冻时间,还能较好地保持鲢鱼的鲜度品质。本实验选择自然空气解冻、静水解冻、微波解冻、鼓气流水解冻4种解冻方式,以-18℃保藏的船冻鲈鱼为对象,对比研究解冻后鲈鱼鲜度指标(组胺、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)值)及质构、持水力、盐溶性蛋白含量的变化,并对解冻后鲈鱼进行电子鼻分析和微观结构观察,分析得到最适合鲈鱼的解冻方式,同时探索各指标之间的关联性,为水产加工企业获得高品质的鲈鱼原料提供理论依据和实践经验。

1 材料与方法

1.1 材料

船冻鲈鱼:体长(28±4)cm、尾质量(240±10)g,由舟山中茂水产有限公司提供。

1.2 仪器与设备

AR124CN电子分析天平 美国Ohaus公司;
MM720KG1-PW微波炉 广东美的厨房电器制造有限公司;
JK-8多路温度巡检仪 常州市金艾联电子科技有限公司;
A1301019高速低温离心机 上海艾测电子科技有限公司;
KDN-103F型自动定氮仪 上海纤维仪器公司;
LC-10AD高效液相色谱仪 日本Shinwa公司;
UV-2102PC型紫外-可见分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司;
质构仪 美国FTC公司;
PEN3电子鼻 德国Airense公司;
YD-202型轮转式切片机 金华市益迪医疗设备有限公司;
Nikon E100显微镜 上海绘统光学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 原料的预处理

原料处理:将船冻鲈鱼装于密实袋中,贮藏在-18℃条件下每次测定时从袋中随机取3条/组,分别按表1的4种方法解冻,采用JK-8多路温度巡检仪测量鱼体中心温度,使鲈鱼中心温度达0℃(从-18℃升高至0℃所需要的时间,即为解冻时间)后,测定各项指标。

解冻前样品的处理:从袋中随机取3条鲈鱼,马上用手术刀切取鲈鱼背部肌肉,立即绞碎后取样测定。

表1 鲈鱼的4种解冻方式
Table 1 Four thawing methods

解冻方式	操作方法
自然空气解冻	将船冻鲈鱼置于周围无热源的洁净托盘上,以(15±2)℃空气为介质进行解冻 ^[6] ,待鱼体中心温度达到0℃为解冻终点
静水解冻	将船冻鲈鱼置于普通的解冻桶中,鱼水质量比约为1:2,静水温度为(15±2)℃,待鱼体中心温度达到0℃为解冻终点
微波解冻	将船冻鲈鱼置于干净的托盘上,放进微波炉中,按下按质量解冻键,首先解冻3 min,之后每隔30 s迅速取出测其中心温度,待鱼体中心温度达到0℃即为解冻终点
鼓气流水解冻	将船冻鲈鱼放入鼓气流水解冻装置的解冻槽中(图1),鱼水质量比约为1:2,水温为(15±2)℃,待鱼体中心温度达到0℃为解冻终点

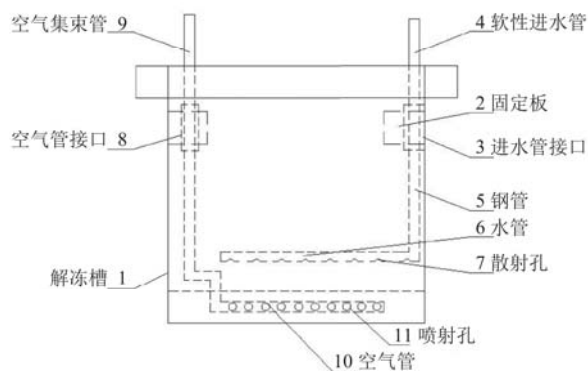


图1 鼓气流水解冻装置图

Fig.1 Schematic of the thawing device with air-blast flowing water

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 解冻损失率测定

冻结的鲈鱼称质量(m_1)后,放入保鲜袋中,解

冻完成时将袋中的汁液倒掉,用吸水纸吸干鱼体表面水分,再次称质量(m_2),解冻损失率按式(1)计算:

$$\text{解冻损失率}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

1.3.2.2 持水力测定

参考林雪等^[7]的测定方法。称取10 g左右碎鱼肉,用脱脂棉包好放入50 mL离心管中(底部塞有脱脂棉),4℃、9 000×g条件下离心10 min,取出样品,剥去脱脂棉,称量离心后的肉质量,重复3次,取平均值。

$$\text{持水力}/\% = (1 - \frac{S}{V}) \times 100 \quad (2)$$

式中: S 为离心后的肉质量/g; V 为离心前肉质量/g。

1.3.2.3 盐溶性蛋白含量测定

参考吕卫金等^[8]的方法提取盐溶性蛋白,采用双缩脲法进行蛋白质测定。

1.3.2.4 TVB-N值测定

参考SC/T 3032—2007《水产品中挥发性盐基氮的测定》方法^[9],根据半微量凯氏定氮原理利用全自动凯氏定氮仪进行测定。

1.3.2.5 组胺含量测定

按GB/T 20768—2006《鱼和虾中有毒生物胺的测定:液相色谱-紫外检测法》方法^[10]测定。

1.3.3 全质构分析

取鲈鱼背部肌肉,切成长宽高约3 cm³的立方体鱼片,每个样品至少做3个平行,采用TMS-Pro质构分析仪,测试探头为P/20,参数设置为:测试前速率1 mm/s,测试速率1 mm/s,测试后速率1 mm/s,压缩比60%,触发类型自动1 N。往复运动2次,回复时间2 s,测试鱼肉的硬度、弹性、咀嚼性和内聚性,结果以“ $\bar{x} \pm s$ ”形式表示。

1.3.4 电子鼻分析

取鲈鱼背部肌肉,绞碎,称取(5±0.5) g装入PEN3便携式电子鼻系统配套的集样瓶中,每组采集3个样品,水浴25℃加热30 min,然后一次测量。每次电子鼻开机需预热30 min,测量时间为60 s,清洗时间为60 s,每1 s取样一次。

表2 电子鼻传感器性能描述

序号	传感器名称	性能描述	流量/(mL/min)
1	W1C	芳香成分	10 (甲苯)
2	W5S	灵敏度大,对氮氧化物很灵敏	1 (NO ₂)
3	W3C	氨水,对芳香成分很灵敏	10 (苯)
4	W6S	主要对氢气有选择性	100 (H ₂)
5	W5C	烷烃芳香成分	1 (丙烷)
6	W1S	对甲烷灵敏	100 (CH ₄)
7	W1W	对硫化物灵敏	1 (H ₂ S)
8	W2S	对乙醇灵敏	100 (CO)
9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏	1 (H ₂ S)
10	W3S	对烷烃灵敏	10 (CH ₄)

PEN3型便捷式电子鼻包含10个金属氧化物传感器阵列,各个传感器的名称及性能描述见表2。

1.3.5 微观结构观察

参照Pan等^[11]的方法,取解冻后的鲈鱼背部肌肉,作垂直于肌原纤维伸展方向的横切,在10%甲醛溶液中浸泡24 h,制作石蜡组织切片,最后于光学显微镜下观察肌肉组织微观结构,观察倍数为100倍。

1.4 数据统计

电子鼻数据利用相关软件处理,选取第59秒时的采样数据进行主成分分析(principal component analysis, PCA)和线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA),实验重复3次,其余所得数据均采用Origin pro 8.5软件作图,通过SPSS 22.0软件进行结果统计分析,结果采用Tukey法检验显著差异性,差异显著水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

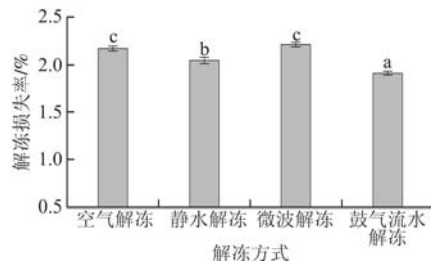
2.1 不同解冻方式对鲈鱼解冻时间和解冻损失率的影响

表3 不同解冻方式对鲈鱼解冻时间的影响
Table 3 Influence of different thawing methods on thawing time of frozen *Scomber japonicus*

指标	空气解冻	静水解冻	微波解冻	鼓气流水解冻
解冻时间/min	114±6 ^a	61±4 ^b	6±1 ^d	32±3 ^c

注:不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。下同。

采用4种不同的解冻方法对船冻鲈鱼进行解冻,测量鱼体中心温度从-18℃上升至0℃所需要的时间,结果见表3。从表3可以看出,不同的解冻方式其解冻机制不同,解冻所需要的时间差异较大。自然空气解冻法所需时间最长,其次为静水解冻、鼓气流水解冻、微波解冻。微波解冻虽然解冻时间短,但由于水等有极性的分子分布不均,鱼体各部位吸收热量不同引起个别部分过热(特别是尾部),极大影响鱼肉品质和加工价值;由于空气传热性能较差,使得空气解冻时间最长;与静水解冻相比,鼓气流水解冻能缩短近一半解冻时间,这是由于“鼓气”可促进物料和水之间的热交换,带走解冻桶中的冷量,促进冷冻鲈鱼的解冻,提高了解冻效率。



不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。下同。

图2 不同解冻方式对解冻损失率的影响

Fig. 2 Influence of different thawing methods on thawing loss percentage of *Scomber japonicus*

由图2可知, 4种解冻方式中鼓气流水解冻的鲈鱼损失率最低(1.91%), 微波和空气解冻的损失率最高(2.21%和2.17%), 说明解冻的速率与解冻损失率不成比例。常海军等^[12]的研究也表明: 微波解冻后的汁液损失率较多, 低温解冻的损失率最多; 余小领等^[13]在研究解冻速率对猪肉品质的影响时证实, 解冻速率对解冻损失率的影响成非线性关系, 在一定的范围内存在最佳解冻速率, 使解冻损失率最低。

2.2 不同解冻方式对鲈鱼持水力的影响

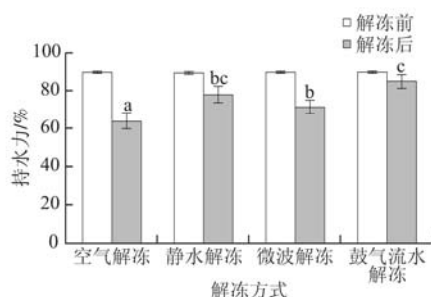


图3 不同解冻方式对鲈鱼持水力的影响

Fig. 3 Influence of different thawing methods on water-holding capacity of *Scomber japonicus*

从图3可以看出, 解冻后各组鲈鱼的持水力均有下降。其中空气解冻下, 持水力下降最为明显, 这可能是由于空气解冻时间长使鱼体缓慢回温, 微生物滋生, 蛋白质被分解而不能很好地与回渗的水分进行水合作用, 故持水力下降。虽然微波解冻时间短, 但持水力下降也较多, 为13.97%, 可能是由于微波产生热量高, 蛋白质网状结构被破坏, 持水力下降。鼓气流水解冻的持水力下降最少, 为10.82%, 由于鼓气流水解冻装置能产生回转对流的效果, 相对静水解冻而言, 可在短时间内完成鲈鱼解冻作业, 较快通过-5~0℃这一最大冰晶融解带, 极大缩短了微生物繁殖和生化反应的时间, 使得鱼肉蛋白质降解少, 肌原纤维破坏小, 能较好地维持鱼肉持水力^[14]。

2.3 不同解冻方式对鲈鱼TVB-N值和组胺含量的影响

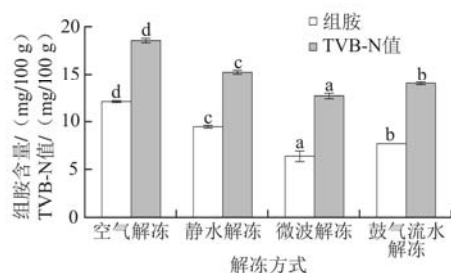


图4 不同解冻方式对鲈鱼TVB-N值与组胺含量的影响

Fig. 4 Influences of different thawing methods on TVB-N and histamine content of *Scomber japonicus*

由图4可知, 解冻前鲈鱼TVB-N值为10.13 mg/100 g, 解冻后各组的TVB-N值均有一定增长, 其中, 空气解冻和静水解冻后鲈鱼TVB-N值超过15 mg/100 g, 属于二级品; 鼓气流水解冻和微波解冻的解冻时间较短, TVB-N值也相对较低, 分别为13.90 mg/100 g和12.40 mg/100 g, 均属一级品^[13]。可能是较短的解冻时间下, 蛋白质分解少, 氨及胺类物质生成少, TVB-N值小, 这与余力等^[16]的研究结果一致。

组胺是组氨酸在组胺脱羧酶的作用下脱去羧基形成的产物, 组胺脱羧酶的活性与鱼体组胺形成息息相关。影响组胺脱羧酶活性的环境因素主要为温度、pH值和氧气浓度。温度升高, 因冷冻而可逆性失活的组胺脱羧酶活性会逐渐恢复, 催化分解鱼体内游离的组氨酸, 使得鱼肉中组胺的含量增加^[17]。根据GB/T 2733—2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》规定, 鲈鱼中组胺应不大于100 mg/100 g, 美国食品药品监督管理局最大限值5 mg/100 g, 欧盟最大限值10 mg/100 g^[18]。鱼体解冻前的组胺含量为5.04 mg/100 g, 由图4可知, 空气解冻后组胺含量为12.00 mg/100 g, 增长最为明显; 微波和鼓气流水解冻后组胺含量分别为6.98 mg/100 g和7.58 mg/100 g; 静水解冻后组胺含量为9.40 mg/100 g; 静水、微波、鼓气流水解冻后鲈鱼的组胺含量均在欧盟标准范围内。

本实验发现, 在解冻期间内鲈鱼组胺含量均低于TVB-N值。可能由于解冻所需的时间较短, 鱼体中心温度不高(0℃), 与组胺相关的嗜温菌生长缓慢, 组胺脱羧酶的活性未完全恢复, 组胺产生受到抑制。而在低温条件下, 嗜冷菌还能正常繁殖, 使得TVB-N值增长比组胺迅速^[19]。

2.4 不同解冻方式对鲈鱼盐溶性蛋白含量的影响

鱼肉中蛋白质的生化及功能特性是影响鱼食用质量和保鲜加工结果极为重要的因素, 其中盐溶性蛋白占总蛋白含量的60%~75%, 对鱼肉的品质影响很大, 盐溶性蛋白含量的变化一定程度上反映了肌原纤维蛋白的变性程度^[20-21]。

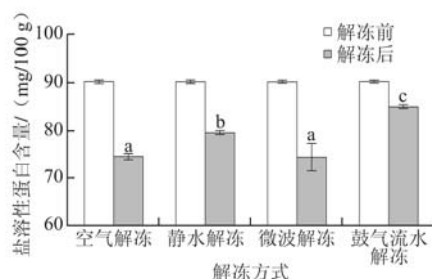


图5 不同解冻方式对鲈鱼盐溶性蛋白含量的影响

Fig. 5 Influence of different thawing methods on salt-soluble protein content of *Scomber japonicus*

如图5所示, 不同的解冻方式对鲈鱼盐溶性蛋白含量均有一定的影响。微波解冻对盐溶性蛋白含量的影响最

大,下降了17.60%。可能是由于解冻时间过短,冰晶溶解的水分还未回归,蛋白质变性程度高。空气解冻与微波解冻对盐溶性蛋白含量的差异不显著($P>0.05$),空气解冻后盐溶性蛋白的含量下降了17.30%,可能是由于解冻时间较长,特别是不饱和脂肪酸氧化生成的自由基与蛋白质结合,促进蛋白质的聚合交联,引起盐溶性的降低^[22-23]。静水解冻后盐溶性蛋白含量下降了11.80%。相比之下,鼓气流水解冻效果最好,仅下降了5.90%。结果表明,鼓气流水解冻能较好地保持鱼肉蛋白质结构和性质。

2.5 不同解冻方式对鲈鱼鱼肉质构的影响

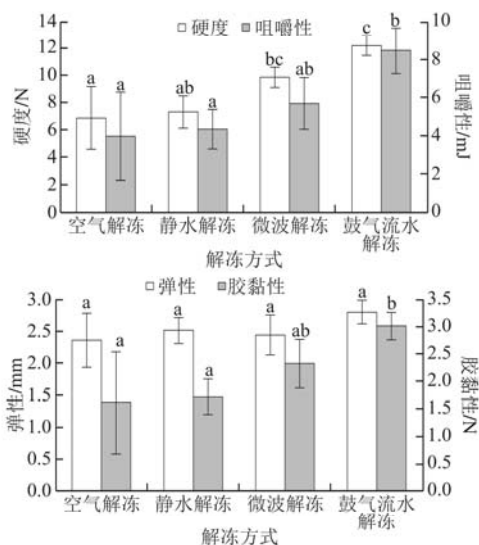


图6 不同解冻方式对鱼肉硬度、咀嚼性、弹性、胶黏性的影响
Fig. 6 Influences of different thawing methods on hardness, chewiness, elasticity and adhesiveness of *Scomber japonicus*

如图6所示,解冻后鱼肉的弹性之间无显著变化($P>0.5$),与常海军等^[12]的研究结果一致。鼓气流水作用均匀,解冻时间较短,鱼肉组织受损小,汁液流失比微波少,硬度最大;蛋白质变性增加鱼肉的韧性,使微波解冻后鱼肉的硬度比空气解冻后的大^[24]。胶黏性是模拟将鱼肉在啮齿间压迫,是鱼体肌肉抵抗外界因素的损伤并紧密连接,进而使其保持完整的性质,反映细胞间结合力的大小。鼓气流水解冻下胶黏性最好,可能是由于该解冻条件较温和,解冻时间适宜,对组织破坏小,细胞结合力下降程度较小。

2.6 不同解冻方式下鲈鱼电子鼻测定分析

2.6.1 电子鼻对鲈鱼挥发性气味的响应

图7为4组样品在59 s时的雷达图,以观察和分析电子鼻的10个传感器对不同解冻方式处理的鲈鱼样品的响应情况。总体上看,经不同解冻方式得到的鲈鱼样品雷达图外形相似,不同样品间存在的差异较小;无论采用哪种解冻方式,传感器2、6、7、9较其他传感器都有更

高的相对电阻率值,且2号传感器都最为敏感,而2号传感器对氮氧化物类物质最为灵敏,表明电子鼻PEN3系统分析鲈鱼鲜度是可行的。

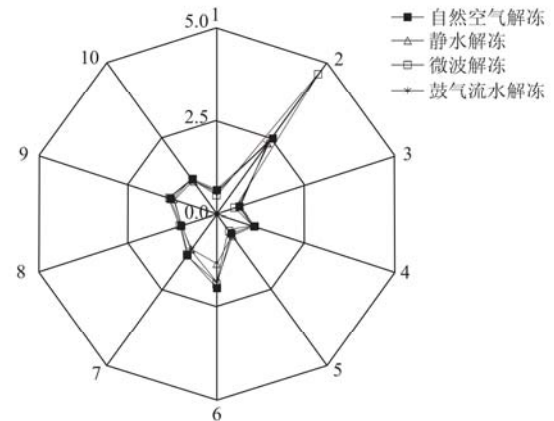


图7 4组鲈鱼样品的指纹图谱
Fig. 7 Fingerprints of four groups of thawed samples

2.6.2 PCA

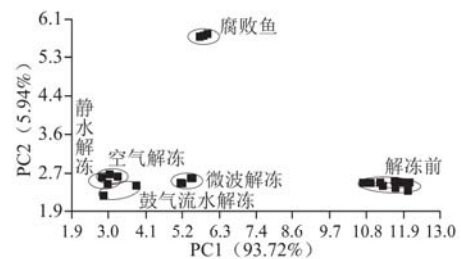


图8 不同解冻方式下鲈鱼肉电子鼻PCA图
Fig. 8 PCA results for *Scomber japonicus* under different thawing methods

由图8可知,PC1为93.72%,PC2为5.94%,总贡献率达到99.66%,可以表明2个主成分能够比较全面地代表样品信息^[25]。

为了能从图中直观地看出样品的鲜度,实验还设置了对照样品:解冻前和腐败鱼样品。如图8所示,3类样品彼此之间的分布距离较大,经空气、静水和鼓气流水解冻后的样品分布于图的左下方,且有重合现象,微波解冻后的样品与其余3种解冻后的样品相比,与解冻前样品分布较近,鼓气流水次之。

2.6.3 LDA

LDA的基本思想是将高维的模式样本投影到最佳鉴别矢量空间,投影后保证模式样本在新的子空间有最大的类间距离和最小的类内距离,具有分类效果好、易实现等优点^[26]。如图9所示,LD1为94.39%,LD2为4.90%,总贡献率为99.29%,说明判别分析结果能比较全面地代表样品信息。

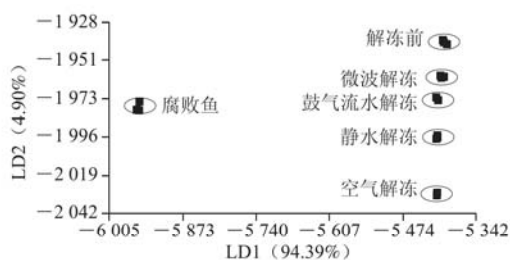
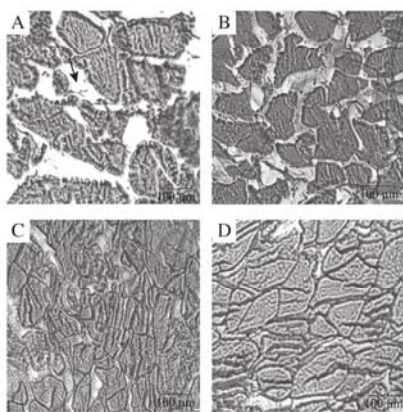


图9 不同解冻方式下鲈鱼肉电子鼻LDA图

Fig. 9 LDA results for *Scomber japonicus* under different thawing methods

因横轴上贡献率较大,故将所有鲈鱼样品在横轴上做投影,投影后发现解冻前、微波解冻、空气解冻、鼓气流水解冻、静水解冻样品之间聚合度高,腐败鱼样品远离其他样品分布在图的最左侧,说明腐败鱼样品与其他样品在气味上区分较大。将所有鲈鱼样品在纵轴上做投影发现,用不同解冻方法处理的样品可以完全区分开,且微波解冻样品与解冻前样品距离最近,其次为鼓气流水、静水、空气,这与TVB-N值和组胺含量的测定结果一致;图8和图9相比, LDA的分类效果优于PCA。电子鼻作为一种新兴、快速简便的检测方法,已经在越来越多的领域得到广泛应用,本实验结果可为水产品鲜度检测提供参考。

2.7 不同解冻方式下鲈鱼组织微观结构分析



A.微波解冻; B.自然空气解冻; C.静水解冻; D.鼓气流水解冻。

图10 不同解冻方式对鲈鱼微观结构的影响

Fig. 10 Influence of different thawing methods on microstructure of *Scomber japonicus*

对解冻后鲈鱼肌肉纤维横切面进行显微镜观察^[27-28],由图10可看出,不同的解冻方式其肌肉组织结构存在显著的差异,其中微波解冻(图10A)温度最高(微波炉内终温度 $(58.7 \pm 0.6)^\circ\text{C}$),肌束间空隙最大,肌内膜(结缔组织)破裂最严重。空气解冻(图10B)的肌束间空隙较大,肌内膜有部分破裂,肌浆有一定损失。静水解冻(图10C)后部分肌束间的空隙较大,肌内膜破

损少,部分肌细胞边界模糊。可能是由于鱼体较长时间暴露在空气或静水中,容易滋生微生物,蛋白质不断被微生物分解,肌肉结构完整性丧失,致密结构破坏。郭恒等^[29]在研究中也发现 16°C 静止空气解冻和 20°C 的水浴解冻后,鲈鱼肌肉组织结构破坏较严重。鼓气流水解冻(图10D)的肌束排列紧密,肌内膜完整,肌浆充盈,肌肉组织结构最完整。综上所述,解冻方式对鱼肉组织微观结构影响较大,鼓气流水解冻可较好地保持组织结构状态。

2.8 不同指标间相关性分析

表4 解冻后鲈鱼各品质指标之间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of various quality parameters for thawed

<i>Scomber japonicus</i>										
指标	解冻时间	TVB-N值	组胺含量	盐溶性蛋白含量	硬度	咀嚼性	弹性	胶黏性	持水力	解冻损失率
解冻时间	1	0.993**	0.991**	-0.226	-0.623*	-0.481	-0.231	-0.519	-0.530	0.150
TVB-N值		1	0.978**	-0.275	-0.617*	-0.472	-0.227	-0.514	-0.568	0.180
组胺含量			1	-0.216	-0.679*	-0.551	-0.295	-0.584*	-0.504	0.165
盐溶性蛋白含量				1	0.514	0.535	0.505	0.435	0.841**	-0.918**
硬度					1	0.959**	0.567	0.973**	0.643*	-0.453
咀嚼性						1	0.724**	0.967**	0.639*	-0.528
弹性							1	0.555	0.453	-0.515
胶黏性								1	0.588*	-0.411
持水力									1	-0.757**
解冻损失率										1

注: **相关性极显著 ($P < 0.01$); *相关性显著 ($0.01 < P < 0.05$)。

从表4可以看出,解冻时间对鲜度指标(TVB-N值和组胺含量)有极显著的影响($P < 0.01$)。解冻期间,组胺与TVB-N值有极显著的相关性($P < 0.01$)。持水力与解冻损失率和盐溶性蛋白含量有极显著的相关性($P < 0.01$)。硬度与咀嚼性和胶黏性呈极显著正相关($P < 0.01$)。在鲈鱼解冻过程中,鱼体逐渐回温,酶和微生物活性恢复,加快了分解蛋白质和脂肪的速度,生成多种化合物,胺类是主要的分解产物,导致TVB-N值和组胺含量上升。伴随着解冻过程中汁液流失,肌肉蛋白质的变性、氧化、交联与降解,盐溶性蛋白含量减少,使得硬度下降,胶黏性、咀嚼性下降。

3 结论

本研究发现,不同解冻方法会对鲈鱼的解冻损失率、组胺含量、TVB-N值、盐溶性蛋白含量、硬度、咀嚼性、弹性、胶黏性、持水力产生不同程度的影响。电子鼻的Fisher判别分析能明显区分各种解冻方式,其结果与TVB-N值和组胺含量的测定结果一致。4种解冻方式中,空气和静水解冻后,鲈鱼品质较差;微波和鼓气流水解冻所需时间较短,解冻后鱼肉的TVB-N值和组胺

含量较低,能较好地保持鲈鱼的鲜度,但微波解冻成本高,易产生局部过热现象,解冻损失率大,持水力小、盐溶性蛋白含量损失多,且微波解冻的肌内膜破裂最严重,影响鲈鱼的品质和加工价值;鼓气流水作为一种新型的解冻方法,解冻后鲈鱼的质构特性较好,肌束间排列较紧密,肌内膜完整,与静水和空气解冻相比缩短了解冻时间,与微波解冻相比大大节约了成本,可满足工厂产业化需求。综上所述,选用适当的解冻方式对鱼体品质的控制有着极为重要的作用,鼓气流水是一种较为理想的鲈鱼解冻方式。

参考文献:

- [1] 鲍建民. 鲈鱼营养价值及组胺中毒预防[J]. 中国食物与营养, 2006(3): 55-55. DOI:10.3969/j.issn.1006-9577.2006.03.019.
- [2] 吴奇子, 陈雪, 刘欢, 等. 船冻和岸冻对鲈鱼贮藏鲜度的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(2): 169-180. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2015.02.035.
- [3] LIN B, SUN D W. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods: a review[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 54(3): 175-182. DOI:10.1016/S0260-8774(01)00209-6.
- [4] 胡晓亮, 王易芬, 郑晓伟, 等. 水产品解冻技术研究进展[J]. 中国农通学报, 2015, 31(29): 39-46.
- [5] 丁伟璐, 赵小慧, 方旭波, 等. 不同解冻方法对速冻圆鲢鲜度品质的影响[J]. 科学养鱼, 2014(7): 75-77.
- [6] ERSOY B, AKSAN E, OZEREN A. The effect of thawing methods on the quality of eels (*Anguilla anguilla*)[J]. Food Chemistry, 2008, 111(2): 377-380. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.03.081.
- [7] 林雪, 王盼盼, 胡正超, 等. 流化冰在鲈鱼保鲜中的应用研究[J]. 食品工业, 2014, 35(5): 20-23.
- [8] 吕卫金, 赵进, 汪金林, 等. 茶多酚延缓冷藏大黄鱼肌原纤维蛋白变性降解机理研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(1): 60-67.
- [9] 中国水产科学研究院南海水产研究所. SC/T 3032—2007 水产品中挥发性盐基氮的测定[S]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [10] 秦皇岛出入境检验检疫局, 上海出入境检验检疫局. GB/T 20768—2006 鱼和虾中有毒生物胺的测定: 液相色谱-紫外检测法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [11] PAN B S, YEH W T. Biochemical and morphological changes in grass shrimp (*Penaeus monodon*) muscle following freezing by blast and liquid nitrogen methods[J]. Journal of Food Biochemistry, 1993, 17(3): 147-160. DOI:10.1111/j.1745-4514.1993.tb00464.x.
- [12] 常海军, 唐翠, 唐春红. 不同解冻方式对猪肉品质特性的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(10): 1-5. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201410001.
- [13] 余小颖, 李学斌, 闫利萍, 等. 不同冻结和解冻速率对猪肉保水性和超微结构的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 261-265. DOI:10.3321/j.issn:1002-6819.2007.08.049.
- [14] 夏松养. 水产食品加工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [15] 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 中国水产科学研究院. GB 18108—2008 鲜海水鱼[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [16] 余力, 贺稚非, ENKHMAA B, 等. 不同解冻方式对伊拉兔肉品质特性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 258-264. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201514049.
- [17] 尚艳丽, 杨金生, 霍健聪, 等. 不同解冻方式对金枪鱼新鲜度的影响研究[J]. 浙江海洋学院学报, 2011, 30(5): 405-409. DOI:10.3969/j.issn.1008-830X.2011.05.007.
- [18] 郑海松, 杨小娇. 进出口食品中组胺的ELISA快速测定[J]. 食品工业, 2011, 32(10): 110-112.
- [19] 蒋倩倩. 不同贮藏温度下鲈鱼组胺及产组胺菌研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2012.
- [20] 章银良. 冷冻保藏对海鳗肌球蛋白的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(2): 250-253. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2009.02.057.
- [21] SRIKET P, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Comparative studies on the effect of the freeze-thawing process on the physicochemical properties and microstructure of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) muscle[J]. Journal of Food Chemistry, 2007, 104(1): 113-121. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.11.004.
- [22] LEYGONIE C, BRITZ T J, HOFFMAN L C. Meat quality comparison between fresh and frozen/thawed ostrich miliofibularis[J]. Meat Science, 2012, 91(3): 364-368. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.02.020.
- [23] ESTÉVEZ M. Protein carbonyls in meat systems: a review[J]. Meat Science, 2011, 89: 259-279. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.04.025.
- [24] 张婷, 吴燕燕, 李来好, 等. 咸鱼品质的质构与感官相关性分析[J]. 水产学报, 2013, 37(2): 303-310. DOI:10.3724/SP.J.1231.2013.38218.
- [25] SUNG J, KIM B K, KIM B S, et al. Mass spectrometry-based electric nose system for assessing rice quality during storage at different temperatures[J]. Journal of Stored Products Research, 2014, 59: 204-208. DOI:10.1016/j.jspr.2014.02.009.
- [26] 徐亚丹, 王俊, 赵国军, 等. 基于电子鼻的对掺假的“伊利”牛奶的检测[J]. 中国食品学报, 2006, 6(5): 111-118. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2006.05.023.
- [27] BOONSUMREJ S, CHAIWANICHIRI S, TANTRATIAN S, et al. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(1): 292-299. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2006.04.059.
- [28] 夏秀芳, 孔保华, 郭园园, 等. 反复冷冻-解冻对猪肉品质特性和微观结构的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(3): 982-988. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2009.03.029.
- [29] 郭恒, 钱怡, 李颖杰, 等. 解冻温度对冷冻鲈鱼品质、质构及超微结构的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 49-56.