

1DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200803002

http://www.ykxjz.cn/

朱琳, 郑尧, 周纷, 张人月, 王锡昌. 上海市售扇贝冻品品质评价模型构建及关键影响因素分析. 渔业科学进展, 2021, 42(6): 165-175

ZHU L, ZHENG Y, ZHOU F, ZHANG R Y, WANG X C. Establishment of quality evaluation model and analysis of quality deteriorating factors of frozen scallop sold in Shanghai. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(6): 165-175

# 上海市售扇贝冻品品质评价模型构建及 关键影响因素分析\*

朱琳<sup>1,2,3</sup> 郑尧<sup>1,2,3</sup> 周纷<sup>1,2,3</sup> 张人月<sup>1</sup> 王锡昌<sup>1,2,3①</sup>

(1. 上海海洋大学食品学院 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心 上海 201306;  
3. 农业农村部水产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室 上海 201306)

**摘要** 为分析上海销售端扇贝冻品的品质状况及存在的问题,探究市售扇贝冻品的品质评价方法以及冻藏过程中导致其品质劣变的关键因素,本研究依据冰柜温度、冻藏时间、产品形式、包装方式和摆放位置共5种常见影响因素,对上海市售的11种扇贝冻品商品进行采样,测定白度、解冻损失、蒸煮损失、持水力、回复性、内聚性、弹性、咀嚼性、硬度和感官评分共10项品质指标,利用因子分析构建扇贝冻品品质评价模型,并结合多元线性回归分析确定影响扇贝冻品品质劣变的关键因素。结果显示,扇贝冻品10项品质指标之间存在一定相关性,通过因子分析提取了3个因子成分,累计方差贡献率为73.33%,可以代替原有指标来综合评价扇贝冻品的品质,建立了市售扇贝冻品的品质评价模型:  $f=0.467f_1+0.302f_2+0.231f_3$ , 其中,  $f_1$  公因子包括弹性、回复性、内聚性、蒸煮损失和持水力,  $f_2$  公因子包括硬度、白度和咀嚼度,  $f_3$  公因子包括解冻损失和感官评分;进一步由多元线性回归分析得出,冻藏时间、冰柜温度和产品形式是影响扇贝冻品品质的关键因素,其他2种因素无显著影响。研究表明,基于因子分析和多元线性回归的方法能够较好地进行扇贝冻品的品质评价并分析导致其品质劣变的影响因素。

**关键词** 扇贝冻品; 闭壳肌; 品质评价; 因子分析; 多元线性回归

**中图分类号** TS254.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2021)06-0165-11

扇贝是我国重要的海产经济贝类,2019年全国养殖贝类总产量为1457.94万t,其中,扇贝产量为182.81万t,占养殖贝类总产量的12.54%(农业农村部渔业渔政管理局等,2020)。扇贝是一种优质蛋白源,深受消费者的喜爱,其肉质鲜美、口感细腻、便于加工和烹调(Venugopal *et al.*, 2017)。养殖扇贝主要分为活品和部分以闭壳肌为主的加工制品,其中,冷

冻品在加工制品中占比最大(吴雪丽等,2014;周丽青等,2020)。

冷冻贮藏广泛应用于各类水产品的加工及贮运流通过程中,冻藏可以很大程度上延长水产品的货架期,从而扩大销售半径,并且保证季节性原料持续供应。从原料生产、捕后离水、加工保藏,直至销售终端,品质不可逆转且环环相扣。水产冷冻品在冻藏过

\* 国家重点研发计划资助(2018YFD0901006) [This work was supported by National Key R&D Program of China (2018YFD0901006)]. 朱琳, E-mail: 1150312211@qq.com

① 通讯作者: 王锡昌, 教授, E-mail: xcwang@shou.edu.cn

收稿日期: 2020-08-03, 收修改稿日期: 2020-09-01

程中不可避免地会发生品质劣化,包括汁液流失、肉质变色、口感改变等,造成这一现象的原因包括冻藏温度波动、冻藏时间不当、解冻方式不当等外因,以及冰晶生长、蛋白变性、脂肪氧化和嗜冷微生物生长等内因(景电涛等, 2019; 曹荣等, 2016)。目前,关于冷冻水产品的研究主要集中在冷冻前处理、新型冷冻方式、贮藏时的温度变化及后续解冻方式等(蔡路昀等, 2018)。因此,冷冻水产品面临的另一个突出问题是缺少相应品质评价体系。导致无法对不同品质的冻品进行分级评价,从而使高品质冻品无法实现相应的经济价值。同时,制约产业投入与产出的最关键环节是体现在销售端产品的品质状况,特别是具有购买力的超一线城市零售端的水产品品质状况。销售端的品质是最真实检验我国渔业产业链的实力水平,目前,

尚未有相关系统调查分析。

因此,本研究以上海市2家不同超市的冻扇贝闭壳肌(即贝柱)为研究对象,对上海销售端扇贝冻品的品质状况及存在问题进行探究,以期建立冻品销售端品质评价方法及找寻影响销售端冻品品质劣变的关键因素。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

样品于2019年8月购自上海市浦东新区2家不同超市(M超市和V超市),其中,M超市冰柜温度为 $(-24.4\pm 1.8)^{\circ}\text{C}$ ,V超市冰柜温度为 $(-19.5\pm 1.4)^{\circ}\text{C}$ 。将其放在含有冰袋的保温箱中2h内送达实验室并放入 $(-20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 冰箱冷冻保藏。采样信息见表1。

表1 市售冻扇贝闭壳肌采样信息

Tab.1 Sample information of frozen scallops purchased from local supermarkets

序号 Number	采购超市 Supermarket	单价 Unit price (Yuan/100 g)	品种 Varieties	冻藏时间 Frozen storage time/month	产品形式 Product form	包装方式 Packaging method	上层样品温度 Upper temperature/ $^{\circ}\text{C}$	下层样品温度 Lower temperature/ $^{\circ}\text{C}$
1	M	6.6	-	3	闭壳肌 Abductor muscle	非真空 Non-vacuum	-20.5	-21.3
2	M	10.3	-	3	闭壳肌 Abductor muscle	非真空 Non-vacuum	-23.1	-24.0
3	M	40.0	虾夷扇贝 <i>P. yessoensis</i>	4	闭壳肌 Abductor muscle	非真空 Non-vacuum	-22.5	-24.5
4	M	18.4	虾夷扇贝 <i>P. yessoensis</i>	8	闭壳肌 Abductor muscle	真空 Vacuum	-20.6	-21.7
5	M	11.6	虾夷扇贝 <i>P. yessoensis</i>	1	半壳 Half shell	非真空 Non-vacuum	-18.2	-20.0
6	M	10.4	虾夷扇贝 <i>P. yessoensis</i>	1	半壳 Half shell	非真空 Non-vacuum	-19.1	-20.6
7	M	10.8	虾夷扇贝 <i>P. yessoensis</i>	2	半壳 Half shell	真空 Vacuum	-18.7	-20.5
8	V	20.0	-	8	闭壳肌 Abductor muscle	真空 Vacuum	-16.3	-17.9
9	V	14.5	-	1	闭壳肌 Abductor muscle	真空 Vacuum	-12.8	-13.7
10	V	9.0	-	1	闭壳肌 Abductor muscle	真空 Vacuum	-16.6	-17.4
11	V	12.3	虾夷扇贝 <i>P. yessoensis</i>	5	半壳 Half shell	非真空 Non-vacuum	-13.6	-14.5

注:品种:依据商品包装袋配料表所示;-:商品未注明扇贝品种,配料表原料仅标明贝柱;冻藏时间:实际实验时间与生产日期的差值(时间在15~30d之间按1个月计算)

Note: Variety: Shown in the ingredient list of the product packaging bag; -: The product does not indicate the scallop variety, and the ingredients list only indicates the scallop; Frozen storage time: The difference between the actual experiment time and the production date (Time between 15 days and 30 days is calculated as 1 month)

仪器与设备:BCD-272WDG 立式冷冻冰箱,青岛海尔股份有限公司;YC-520L 立式冷藏柜,中科美菱低温科技股份有限公司;Mini-20 制冰机,上海利闻科学仪器有限公司;BT-224S 电子分析天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;OT-6289 手持红外测温仪,上海舒佳电气有限公司;H850 高速冷冻离心机,长沙湘仪有限公司;HWS-24 电热恒温水浴锅,上海百典有限公司;CR-400 色差仪,日本柯尼卡美能达公司;TA.XT Plus 型物性测试仪,英国 Stable Micro System 公司;C21-WT2112T 电磁炉,广东美的生活电器制造有限公司。

## 1.2 方法

**1.2.1 原料预处理** 本研究对象为扇贝可食部位的闭壳肌。根据产品形式将所购 11 种扇贝商品分为冻扇贝闭壳肌和冻半壳扇贝 2 种,对所购冻半壳扇贝进行去壳、性腺、外套膜等处理,只保留闭壳肌部位进行后续实验,且所有操作均在冰水浴条件下进行。冻扇贝闭壳肌直接解冻进行后续实验。

**1.2.2 汁液流失** 解冻损失:参考 Chanarat 等(2012)的方法,将扇贝闭壳肌放入自封袋,置于 4℃ 立式冷藏柜解冻,用手持红外测温仪测得闭壳肌中心温度达(0±1)℃,即为解冻完成,从袋中取出并拭干表面水分,按(1)式计算。

解冻损失 / % =

$$\frac{\text{解冻前闭壳肌质量} - \text{解冻后闭壳肌质量}}{\text{解冻前闭壳肌质量}} \times 100 \quad (1)$$

**蒸煮损失:**参考 Chanarat 等(2012)的方法,样品解冻后,用自封袋封口,置于烧杯中,于 100℃ 电热恒温水浴锅隔水蒸至 15 min,冷却至室温,从袋取出,拭干水分,按(2)式计算。

蒸煮损失 / % =

$$\frac{\text{蒸煮前闭壳肌质量} - \text{蒸煮后闭壳肌质量}}{\text{蒸煮前闭壳肌质量}} \times 100 \quad (2)$$

**持水力:**参考 Faridnia 等(2015)的方法,样品解冻后,用滤纸 2 层包裹,放入 50 mL 离心管,在 4℃ 高速冷冻离心机中于 5000 r/min 离心 3 min,离心结束后去掉滤纸,拭干表面水分,按(3)式计算。

$$\text{持水力} / \% = \frac{\text{离心后前闭壳肌质量}}{\text{离心前闭壳肌质量}} \times 100 \quad (3)$$

**1.2.3 色泽** 参考顾志峰等(2012)的方法测量扇贝闭壳肌的  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$ ,测量时周围环境(自然光、灯光等)一致,在 3 个不同位置记录 3 次。计算白度,公式如下:

$$\text{白度} = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

式(4)中, $L^*$ 为亮度, $a^*$ 为+红/-绿值, $b^*$ 为+黄/-蓝值。

**1.2.4 质构** 参考 Borilova 等(2016)的方法,样品进行 2 次轴向压缩测定,测试条件如下:采用二次压缩模式,P/50 探头,压缩比为 50%,测试前速率为 1.0 mm/s,测试中速率为 1.0 mm/s,测试后速率为 1.0 mm/s,间隔时间为 5 s,触发力为 5 g。

**1.2.5 感官评价** 扇贝闭壳肌 4℃ 解冻后,参考 GB/T 37062-2018《水产品感官指南》样品蒸煮方法并稍作修改,待蒸锅水沸腾,将样品用铝箔包裹,放在蒸锅笼屉上,蒸制 10 min,室温冷却 5 min。将样品放于 30 mL 感官杯中,覆盖保鲜膜,呈送评价员。感官评价小组建立依据 GB/T 16291.1-2012《感官分析》并稍作修改,由 20 名年龄为 20~30 岁之间受过感官检验训练的人员组成。根据杨婷婷等(2014)的研究结果,对熟制后的扇贝闭壳肌进行评定,评价顺序:先进行色泽外观评分,再进行气味评分,最后进行滋味和质地评分。感官评分标准如表 2 所示。

## 1.3 数据统计与分析

实验数据经 Excel 2016 进行整理统计,使用 SPSS 19.0 统计软件,结合  $t$  检验( $P < 0.05$ )进行显著性分析,利用 SigmaPlot 12.5 软件进行绘图,同时利用 SPSS 19.0 软件进行因子分析和多元线性回归分析。

**数据无量纲化处理:**由于 10 个指标的量纲不统一,在进行数据分析之前,进行了数据无量纲化处理(Kavdir *et al.*, 2008)。本研究采用如下所示方法进行数据转换处理:

$$m_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (5)$$

式(5)中, $m_j$ 为第  $j$  个指标的平均值, $x_{ij}$ 为第  $i$  个样本在第  $j$  个指标的原始值, $n$ 为样本数。

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - m_j)^2} \quad (6)$$

式(6)中, $s_j$ 为第  $j$  个指标的标准差, $x_{ij}$ 为第  $i$  个样本在第  $j$  个指标的原始值, $m_j$ 为第  $j$  个指标的平均值, $n$ 为样本数。

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - m_j}{s_j} \quad (7)$$

式(7)中, $y_{ij}$ 为第  $i$  个样本在第  $j$  个指标的变换后值, $x_{ij}$ 为第  $i$  个样本在第  $j$  个指标的原始值, $m_j$ 为第  $j$  个指标的平均值, $s_j$ 为第  $j$  个指标的标准差。

经过标准化处理后,得到由原始数据转换而来的没有量纲的指标测评值,因此,所有指标的值均处于同一数量级别上,即可用于进行数理统计分析。

表 2 熟制后市售扇贝闭壳肌的感官评分标准  
Tab.2 Criteria for sensory evaluation of cooked frozen adductor muscle

指标 Index	5 分 5 points	4 分 4 points	3 分 3 points	2 分 2 points	1 分 1 point
色泽 Color	表面有光泽, 呈奶白色	表面有光泽, 呈米白色	表面光泽不明显, 呈浅黄	表面暗淡, 呈黄色	表面暗淡, 呈黄褐色
组织结构 Structure	组织紧密	组织较紧密	组织不紧密	组织较松散	组织松散
气味 Flavor	扇贝固有的鲜香气味	扇贝固有气味	气味不明显, 但无异味	气味不明显, 有异味和腥味	腥味重、有异味
滋味 Taste	新鲜扇贝固有的鲜味, 有甜味	扇贝固有鲜味	淡淡的贝类鲜味, 无异味	淡淡贝类产品鲜味、有腥味	腥味重、有异味
质地 Texture	咀嚼性好, 嫩度好	咀嚼性好, 嫩度适中	咀嚼性适中, 嫩度适中	咀嚼性适中, 嫩度差	咀嚼性差, 嫩度差

## 2 结果与分析

### 2.1 市售冻扇贝闭壳肌品质分析

由表 3 可知, 同一因素下市售冻扇贝闭壳肌不同品质指标测定结果显示, 不同冻藏时间的冻扇贝闭壳肌品质指标之间存在显著差异( $P < 0.05$ ), 不同冰柜温度、产品形式和包装方式的冻扇贝闭壳肌品质指标之间存在一定差异, 而不同摆放位置冻扇贝闭壳肌品质指标之间基本无显著差异( $P > 0.05$ )。

不同因素下市售冻扇贝闭壳肌同一品质指标测定结果表明, 不同冰柜温度和冻藏时间的样品白度差异显著( $P < 0.05$ ), 其他 3 种因素下冻扇贝闭壳肌白度均无显著差异( $P > 0.05$ )。冰柜温度越低, 冻扇贝闭壳肌解冻损失、蒸煮损失越低且持水力越高; 冻藏时间越长, 冻扇贝闭壳肌解冻损失、蒸煮损失越高且持水力越低, 该结果与景电涛等(2019)对暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)冻藏过程中持水性能变化结果相一致。相比冻扇贝闭壳肌, 半壳冻扇贝闭壳肌解冻损失低且持水力高。非真空冻扇贝闭壳肌的解冻损失、蒸煮损失均比真空冻扇贝闭壳肌高, 该结果与张艳霞等(2019)关于不同包装方式对养殖大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)冻藏过程中持水性能变化结果相一致。M 超市冰柜的内聚性高于 V 超市冰柜( $P < 0.05$ ), 随着冻藏时间增加, 冻扇贝闭壳肌的回复性、内聚性和弹性均降低( $P < 0.05$ ), 该结果与张艳霞等(2019)对养殖大黄鱼冻藏过程中质构变化结果相一致。冻扇贝闭壳肌的回复性、弹性和咀嚼度均高于半壳冻扇贝闭壳肌( $P < 0.05$ )。真空冻扇贝闭壳肌的回复性和弹性均高于非真空冻扇贝闭壳肌( $P < 0.05$ ), 但咀嚼度和硬度均低于非真空冻扇贝闭壳肌( $P < 0.05$ )。上

层冻扇贝闭壳肌的内聚性比下层冻扇贝闭壳肌低, 其他无显著差异( $P > 0.05$ )。不同冰柜温度冻扇贝闭壳肌感官评分差异显著, M 超市冰柜的扇贝闭壳肌感官评分显著高于 V 超市冰柜的冻扇贝闭壳肌( $P < 0.05$ ), 其他 4 种因素下冻扇贝闭壳肌感官评分均无显著差异( $P > 0.05$ )。综上所述, 不同因素下冻扇贝闭壳肌的水分损失和质构特性具有显著差异。

### 2.2 建立市售冻扇贝闭壳肌品质评价模型

通过单因素分析, 初步揭示了各因素对冻扇贝闭壳肌品质存在一定影响, 为了进一步分析各因素间相互作用及其对品质的影响程度, 接下来通过因子分析和多元线性回归进行深入探究。

#### 2.2.1 市售冻扇贝闭壳肌品质评价指标总体状况

由表 4 可见, 11 种冻扇贝闭壳肌商品的 10 项品质指标均存在不同程度的变异现象。闭壳肌咀嚼度范围在 61.88~2617.29 mJ 之间, 变异系数为 1.03, 波动最大, 为尖峭正偏峰分布。硬度与咀嚼度分布情况基本相同, 范围在 506.60~5831.81 g 之间, 变异系数为 0.68, 波动大。白度、持水力和感官评分波动最小, 变异系数分别为 0.10、0.10 和 0.17, 但分布曲线各不相同, 白度为平阔正偏峰, 持水力为平阔负偏峰, 感官评分为尖峭负偏峰, 比较接近正态分布。回复性、内聚性和弹性变异系数接近, 分别为 0.25、0.24 和 0.24, 波动较小, 分布曲线分别为平阔正偏峰、平阔负偏峰和平阔正偏峰。解冻损失和蒸煮损失分布曲线相同, 为平阔正偏峰。描述性统计结果表明, 冻扇贝闭壳肌咀嚼度、硬度差异较大; 白度值、持水力、感官评分差异较小。

2.2.2 相关性分析 对冻扇贝闭壳肌 10 项品质评价指标进行相关分析, 结果见表 5。闭壳肌白度与弹

表 3 不同因素对市售冻扇贝闭壳肌品质指标的影响  
Tab.3 Effect of different factors on the quality indices of frozen adductor muscle sold in the market

影响因素 Influence factors	分类 Sort	白度 Whiteness	解冻损失 Thawing loss/%	蒸煮损失 Cooking loss/%	持水力 Water holding capacity/%	回复性 Resilience	内聚性 Cohesiveness	弹性 Springiness /mm	咀嚼度 Chewiness/mJ	硬度 Hardness/g	感官评分 Sensory score
冰柜温度	A <sub>1</sub>	64.51 ± 3.82 <sup>a</sup>	18.27 ± 7.89 <sup>a</sup>	24.16 ± 5.11 <sup>a</sup>	86.85 ± 4.18 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.65 ± 0.17 <sup>a</sup>	374.50 ± 129.32 <sup>a</sup>	1476.40 ± 181.04 <sup>a</sup>	18.85 ± 1.61 <sup>a</sup>
Freezer temperature	A <sub>2</sub>	58.69 ± 3.03 <sup>b</sup>	24.42 ± 6.17 <sup>b</sup>	37.05 ± 6.16 <sup>b</sup>	73.15 ± 7.94 <sup>b</sup>	0.24 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.69 ± 0.12 <sup>a</sup>	311.93 ± 49.98 <sup>a</sup>	1379.07 ± 351.01 <sup>a</sup>	14.66 ± 1.96 <sup>b</sup>
冻藏时间	B <sub>1</sub>	60.02 ± 1.07 <sup>a</sup>	24.24 ± 6.79 <sup>a</sup>	25.42 ± 3.45 <sup>a</sup>	79.39 ± 2.49 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.45 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.08 <sup>a</sup>	323.30 ± 45.51 <sup>a</sup>	1325.62 ± 107.05 <sup>a</sup>	18.38 ± 1.18 <sup>a</sup>
Frozen storage time	B <sub>2</sub>	58.13 ± 2.72 <sup>ab</sup>	29.96 ± 1.96 <sup>b</sup>	34.00 ± 2.66 <sup>b</sup>	78.97 ± 3.44 <sup>a</sup>	0.22 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.42 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.06 <sup>a</sup>	321.98 ± 62.11 <sup>a</sup>	1283.13 ± 127.46 <sup>a</sup>	18.33 ± 0.97 <sup>a</sup>
	B <sub>3</sub>	56.31 ± 2.95 <sup>b</sup>	30.07 ± 1.32 <sup>b</sup>	35.04 ± 3.81 <sup>b</sup>	76.07 ± 2.58 <sup>b</sup>	0.20 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.36 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.51 ± 0.06 <sup>b</sup>	305.66 ± 90.02 <sup>a</sup>	1269.58 ± 159.63 <sup>a</sup>	18.14 ± 0.90 <sup>a</sup>
产品形式	C <sub>1</sub>	55.24 ± 2.05 <sup>a</sup>	25.27 ± 7.01 <sup>a</sup>	35.12 ± 7.71 <sup>a</sup>	85.65 ± 4.64 <sup>a</sup>	0.20 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.02 <sup>a</sup>	349.04 ± 58.98 <sup>a</sup>	1420.38 ± 153.90 <sup>a</sup>	18.87 ± 2.00 <sup>a</sup>
Product form	C <sub>2</sub>	58.07 ± 4.26 <sup>a</sup>	33.95 ± 11.21 <sup>b</sup>	35.06 ± 9.74 <sup>a</sup>	80.17 ± 5.86 <sup>b</sup>	0.23 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.39 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.03 <sup>b</sup>	451.59 ± 79.45 <sup>b</sup>	1340.51 ± 199.54 <sup>a</sup>	18.13 ± 2.54 <sup>a</sup>
包装方式	D <sub>1</sub>	55.05 ± 1.88 <sup>a</sup>	28.67 ± 10.56 <sup>a</sup>	40.40 ± 8.78 <sup>a</sup>	84.25 ± 4.70 <sup>a</sup>	0.20 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.01 <sup>a</sup>	449.95 ± 85.75 <sup>a</sup>	1862.97 ± 356.54 <sup>a</sup>	18.39 ± 2.10 <sup>a</sup>
Packaging method	D <sub>2</sub>	56.70 ± 3.62 <sup>a</sup>	18.70 ± 8.18 <sup>b</sup>	25.19 ± 3.10 <sup>b</sup>	84.93 ± 6.23 <sup>a</sup>	0.23 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.43 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.69 ± 0.07 <sup>b</sup>	330.63 ± 68.89 <sup>b</sup>	1200.85 ± 50.90 <sup>b</sup>	18.44 ± 1.36 <sup>a</sup>
摆放位置	E <sub>1</sub>	55.24 ± 2.05 <sup>a</sup>	28.67 ± 10.56 <sup>a</sup>	40.40 ± 8.78 <sup>a</sup>	84.25 ± 4.70 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.67 ± 0.10 <sup>a</sup>	313.82 ± 82.48 <sup>a</sup>	1553.42 ± 328.85 <sup>a</sup>	17.68 ± 1.98 <sup>a</sup>
Placement position	E <sub>2</sub>	55.23 ± 3.44 <sup>a</sup>	27.96 ± 11.83 <sup>a</sup>	36.72 ± 4.62 <sup>a</sup>	85.04 ± 3.97 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.11 <sup>b</sup>	0.72 ± 0.09 <sup>a</sup>	332.13 ± 79.56 <sup>a</sup>	1420.74 ± 289.65 <sup>a</sup>	18.44 ± 1.36 <sup>a</sup>

注: 冰柜温度: A<sub>1</sub>: M 超市冰柜温度(-24.4±1.8)°C, A<sub>2</sub>: V 超市冰柜温度(-19.5±1.4)°C; 冻藏时间: B<sub>1</sub>: 冻藏 1 个月, B<sub>2</sub>: 冻藏 2~3 个月, B<sub>3</sub>: 冻藏 4~8 个月; 产品形式: C<sub>1</sub>: 半壳扇贝闭壳肌, C<sub>2</sub>: 扇贝闭壳肌; 包装方式: D<sub>1</sub>: 非真空包装, D<sub>2</sub>: 真空包装; 摆放位置: E<sub>1</sub>: 上层样品, E<sub>2</sub>: 下层样品。不同小写字母表示同一影响因素下的同一品质指标差异显著(P<0.05)

Note: Freezer temperature: A<sub>1</sub>: M supermarket freezer temperature (-24.4±1.8)°C, A<sub>2</sub>: V supermarket freezer temperature (-19.5±1.4)°C; Frozen storage time: B<sub>1</sub>: Frozen storage for 1 month, B<sub>2</sub>: Frozen storage for 2~3 months, B<sub>3</sub>: Frozen storage for 4~8 months; Product form: C<sub>1</sub>: Half shell scallop adductor muscle, C<sub>2</sub>: Scallop adductor muscle; Packaging method: D<sub>1</sub>: Non-vacuum packaging, D<sub>2</sub>: Vacuum packaging; Placement: E<sub>1</sub>: Upper sample, E<sub>2</sub>: Lower sample. Different lowercase letters indicate significant differences in the same quality index under the same influencing factor (P<0.05)

表 4 市售冻扇贝闭壳肌评价指标的统计描述性统计 (n=66)  
Tab.4 Statistics of evaluation index of commercial frozen scallop adductor muscle

分级指标 Grading index	白度 Whiteness	解冻损失 Thawing loss/%	蒸煮损失 Cooking loss/%	持水力 Water holding capacity/%	回复性 Resilience	内聚性 Cohesiveness	弹性 Springiness/mm	咀嚼度 Chewiness/mJ	硬度 Hardness/g	感官评分 Sensory score
极小值 Minimum	51.16	12.18	16.67	60.87	0.10	0.18	0.30	61.88	506.60	9.17
极大值 Maximum	70.87	51.31	52.08	92.83	0.35	0.59	0.90	2617.29	5831.81	24.50
均值 Mean value	59.10	28.78	31.13	78.42	0.22	0.42	0.59	458.94	1518.44	18.08
标准差 SD	5.84	10.26	8.87	8.14	0.05	0.10	0.14	470.87	1038.15	3.05
变异系数 CV	0.10	0.36	0.28	0.10	0.25	0.24	0.24	1.03	0.68	0.17
偏度 Skewness	0.65	0.27	0.20	-0.41	0.41	-0.38	0.51	2.50	2.33	-0.42
峰度 Kurtosis	-0.49	-0.54	-0.53	-0.43	-0.36	-0.26	-0.66	7.57	6.21	0.30

表 5 指标间的相关关系  
Tab.5 Correlation coefficient among grading indices

指标 Index	白度 Whiteness	解冻损失 Thawing loss	蒸煮损失 Cooking loss	持水力 Water holding capacity	回复性 Resilience	内聚性 Cohesiveness	弹性 Springiness	咀嚼度 Chewiness	硬度 Hardness	感官评分 Sensory score
白度 Whiteness	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
解冻损失 Thawing loss	0.004	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
蒸煮损失 Cooking loss	-0.243	0.225	1.000	-	-	-	-	-	-	-
持水力 Water holding capacity	-0.317*	0.091	0.556**	1.000	-	-	-	-	-	-
回复性 Resilience	0.158	0.138	-0.531**	-0.327**	1.000	-	-	-	-	-
内聚性 Cohesiveness	0.136	0.086	-0.436**	-0.071	0.727**	1.000	-	-	-	-
弹性 Springiness	0.330**	0.088	-0.604**	-0.393**	0.687**	0.723**	1.000	-	-	-
咀嚼度 Chewiness	-0.312*	0.353**	-0.044	-0.059	0.514**	0.445**	0.436**	1.000	-	-
硬度 Hardness	-0.417**	0.322*	0.007	-0.032	0.455**	0.272*	0.240	0.928**	1.000	-
感官评分 Sensory score	-0.301*	0.392**	0.129	0.253*	0.238	0.204	0.012	0.377**	0.410**	1.000

注: \*\*; 在 0.01 水平(双侧)上显著相关; \*; 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; -: 数据已有, 不再重复

Note: \*\*: Significantly correlated at the 0.01 level (two-sided); \*: Significantly correlated at the 0.05 level (two-sided); -: The data is available and will not be repeated

性、硬度之间呈极显著相关( $P<0.01$ ),与咀嚼度和感官评分之间呈显著相关( $P<0.05$ )。解冻损失与咀嚼度、感官评分呈极显著相关( $P<0.01$ ),与硬度呈显著相关( $P<0.05$ )。蒸煮损失与持水力呈极显著正相关( $P<0.01$ ),与回复性、内聚性、弹性之间呈极显著负相关( $P<0.01$ ),说明蒸煮损失越高,回复性、内聚性和弹性越低。持水力与回复性、弹性之间呈极显著负相关( $P<0.01$ ),与感官评分呈显著正相关( $P<0.05$ )。闭壳肌质构指标之间也存在不同程度正相关性,其中,咀嚼度和硬度间相关系数最大,达0.928;其次为回复性和内聚性、弹性和内聚性,它们之间的相关系数分别为0.727、0.723。感官评分与咀嚼度、硬度之间呈1%极显著正相关。相关分析结果表明,冻扇贝闭壳肌各个品质指标之间存在密切联系。

**2.2.3 因子分析** 进行KMO和Bartlett检验(杜强等,2009;Abdi *et al*,2010)。KMO的检验值为0.672,接近0.7,达到“适合”的标准。Bartlett的球形度检验值为406.570,在自由度为45时,已达显著水平,可以拒绝零假设,且 $P<0.05$ ,表示各变量间不独立,因此原数据适宜因子分析。

数据经标准化后进行因子分析,根据特征根 $>1$ 的原则,10项指标提取3个公因子,其方差贡献率、累计方差贡献率和经过最大方差法旋转获得的因子载荷矩阵如表6所示。特征根表示对应因子能够描述

表6 市售冻扇贝闭壳肌品质指标的公因子分析

Tab.6 Principal factor analysis of quality of frozen scallop adductor muscle

品质指标 Quality index	公因子 Common factor		
	$f_1$	$f_2$	$f_3$
白度 Whiteness	0.416	-0.786	0.064
解冻损失 Thawing loss	0.088	0.048	0.818
蒸煮损失 Cooking loss	-0.741	0.064	0.430
持水力 Water holding capacity	-0.546	0.085	0.460
回复性 Resilience	0.849	0.244	0.136
内聚性 Cohesiveness	0.778	0.130	0.226
弹性 Springiness	0.904	0.015	0.043
咀嚼度 Chewiness	0.418	0.778	0.304
硬度 Hardness	0.271	0.860	0.249
感官评分 Sensory score	0.033	0.397	0.633
特征根 Characteristic root	3.423	2.213	1.697
方差贡献率 Variance contribution rate/%	34.231	22.127	16.971
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%	34.231	56.358	73.330

注: $f_1\sim f_3$ 分别表示第1、2、3公因子

Note: $f_1\sim f_3$  represents the first, second, and third common factor

原有信息的多少(武松等,2014)。由表6可知,第1公因子的方差贡献率为34.23%,主要由弹性、回复性、内聚性、蒸煮损失和持水力5个因子决定,它们的因子载荷分别为0.904、0.849、0.778、-0.741和-0.546,其中,弹性、回复性和内聚性对第1公因子产生正向影响,蒸煮损失和持水力对第1公因子产生负向影响;第2公因子的方差贡献率为22.13%,由硬度、白度和咀嚼度3个因子决定,其因子载荷分别为0.860、-0.786和0.778,其中,硬度和咀嚼度对第2公因子产生正向影响,白度对第2公因子产生负向影响;第3因子的方差贡献率为16.97%,由解冻损失和感官评分2个因子决定,它们的因子载荷分别为0.818和0.633,二者均对第3公因子产生正向影响。累计方差贡献率为73.33%,说明这3个公因子反映了原始变量的大部分信息。因此,提取3个公因子代替原有10项指标评价市售冻扇贝闭壳肌的品质。

**2.2.4 因子得分及综合品质排名** 根据单项因子方差的贡献率在3个累计方差贡献率的比数为权重计算各系数,即综合品质指标评价模型(古丽尼沙·卡斯木等,2018;杨军林等,2018):

$$f=0.467f_1+0.302f_2+0.231f_3$$

根据冻扇贝闭壳肌品质评价的综合得分进行优良度排序,结果见表7。由综合得分 $f$ 可知,排在前3位的分别为商品3、5和6。其中,商品3价格最高,商品5和6售价中等。由第1公因子排名可知,商品5排名第一,即其主要优势体现在弹性、回复性和内聚性均较高,蒸煮损失低。由第2公因子排名可知,商品3排名第一,即其主要优势体现在硬度和咀嚼度高。由第3公因子排名可知,商品3排名第一,即其主要优势体现在感官评分高。

### 2.3 市售冻扇贝闭壳肌品质影响因素分析

以因子分析得出的综合品质指标 $f$ 为因变量,以超市冰柜温度( $-24.4\pm 1.8$ ) $^{\circ}\text{C}$ 和( $-19.5\pm 1.4$ ) $^{\circ}\text{C}$ 、冻藏时间(冻藏1个月、2~3个月、4~8个月)、产品形式(半壳扇贝闭壳肌和扇贝闭壳肌)、包装方式(真空包装和非真空包装)、摆放位置(冰柜上层和冰柜下层)5种影响因素为自变量,使用SPSS 19.0软件,采用进入法建立多元线性回归模型(郭耀东等,2019)。对模型进行拟合,结果如表8所示。本研究中,模型相关系数 $R$ 为0.521,调整 $R^2$ 为0.211,根据模型 $F$ 值统计量的观察值和概率 $P$ 值可以判断,在0.05水平下可认为综合品质指标 $f$ 和自变量之间有线性关系( $F=4.469$ ,对应概率值 $P=0.002<\alpha=0.05$ )。模型的回归平方为4.304,残差平方和为11.559,因此,线性回

归模型只解释部分总平方和,由于模型的显著性检验值小于 0.05,可判断综合品质指标  $f$  与 5 种影响因素之间存在线性关系,线性关系强弱需进一步进行分析。

利用多元线性回归分析,以综合品质指标  $f$  为因变量,冰柜温度、冻藏时间、产品形式、包装方式和摆放位置 5 种影响因素为自变量,建立多元线性回归模型,在一定程度上解释自变量反映因变量的变化。

通过建立数学模型,最终对 5 种影响因素影响下综合品质指标  $f$  的变化进行客观解释,得到多元线性回归系数列表(表 9)。回归方程得到最终模型预测方程为: $f=-1.613+0.310\times$ 冰柜温度 $+0.210\times$ 冻藏时间 $+0.285\times$ 产品形式 $+0.061\times$ 包装方式 $+0.096\times$ 摆放位置。由自变量系数及显著性可知,对综合品质指标  $f$  影响最大的因素为冻藏时间、冰柜温度和产品形式,而其他 2 种影响因素对综合品质无显著性影响(Sig.>0.05)。

表 7 11 个市售冻扇贝闭壳肌商品品质的各公因子得分、综合得分及排名  
Tab.7 Scores, ranking of common factors and overall scores of 11 kinds of frozen scallop

商品编号 Number	$f_1$	排名 Ranking	$f_2$	排名 Ranking	$f_3$	排名 Ranking	$f$	排名 Ranking
1	-1.244	11	-1.100	10	0.983	2	-0.687	11
2	-0.705	9	-0.214	8	-0.727	10	-0.562	10
3	1.085	3	1.784	1	1.372	1	1.362	1
4	-0.384	6	-0.090	6	0.391	4	-0.117	6
5	1.655	1	-0.160	7	-0.105	6	0.697	2
6	1.489	2	-1.596	11	0.582	3	0.348	3
7	0.952	4	0.301	4	-1.931	11	0.090	4
8	-0.014	5	-0.811	9	-0.564	9	-0.383	9
9	-0.667	8	0.253	5	0.270	5	-0.170	7
10	-0.590	7	0.324	3	-0.192	8	-0.223	8
11	-0.750	10	1.228	2	-0.131	7	-0.012	5

表 8 模型汇总与方差分析  
Tab.8 Model parameters and analysis of variance

模型 Model	$R$	$R^2$	调整 $R^2$ Adjust $R^2$	标准估计的误差 Error of standard estimation	Durbin- Watson	指标 Index	平方和 Sum of squares	自由度 DOF	均方 MS	$F$ 值 $F$ value	$P$ 值 $P$ value
1	0.521	0.271	0.211	0.439	0.527	回归 Regression coefficients	4.304	5	0.861	4.469	0.002
						残差 Residual	11.559	60	0.193		
						总计 Total	15.863	65			

表 9 多元线性回归系数  
Tab.9 Multiple linear regression coefficients

变量 Variable	非标准化系数 Unstandardized Coefficients		标准系数 Standard coefficient	$t$	Sig.	共线性统计量 Collinear statistics	
	B	标准误差 SE				容差 Tolerance	VIF
常量 Constant	-1.613	0.462		-3.492	0.001		
冰柜温度 Freezer temperature	0.310	0.126	0.304	2.463	0.017	0.796	1.257
冻藏时间 Frozen storage time	0.210	0.065	0.365	3.215	0.002	0.945	1.059
产品形式 Product form	0.285	0.122	0.279	2.340	0.023	0.852	1.173
包装方式 Packaging method	0.061	0.126	0.062	0.486	0.629	0.740	1.352
摆放位置 Placement position	0.096	0.108	0.098	0.887	0.379	0.996	1.004

### 3 讨论

我国《超市购物环境标准》中明确规定冷冻库(柜)温度需低于 $-18^{\circ}\text{C}$ 。调研的2家超市最大的差异是冰柜温度, M超市冰柜温度为 $(-24.4\pm 1.8)^{\circ}\text{C}$ , V超市冰柜温度为 $(-19.5\pm 1.4)^{\circ}\text{C}$ 。相比V超市, M超市较低的贮藏温度对水产冻品品质影响更小, 同时, 超市的冻藏环境、超市管理等因素也均优于V超市, 从而使得冻品品质有更好的保障。冻藏在一定程度上能保持水产品原有的色香味以及营养价值, 但随着冻藏时间延长, 水产品会发生肌肉冷冻变性, 导致细胞内产生大冰晶, 从而损伤细胞, 进而造成汁液流失、鲜度及感官品质变差等现象(蔡路昀等, 2018)。对比不同产品形式的冻扇贝闭壳肌, 半壳扇贝闭壳肌除了冰衣包裹的同时, 自身还有性腺、外套膜、外壳等组织依附, 而冻扇贝闭壳肌在处理过程中分割及再加工会对质地造成一定影响, 因而二者存在差异(Labarta *et al.*, 2018)。对比不同包装方式的冻扇贝闭壳肌, 相比非真空包装, 真空包装采用透气率小的包装材料, 通过隔绝空气, 阻断传播途径, 从而有效控制微生物的污染, 达到保鲜目的, 因而存在一定差异(Fernández *et al.*, 2010)。对于不同摆放位置的冻扇贝商品来说, 虽然测量温度不同, 但由于消费者在实际购物时随时翻动商品以及超市员工定期整理商品, 商品实际温度在不断波动, 因此, 不同摆放位置对扇贝品质变化无显著影响。

通过因子分析, 将具有复杂关系的多个变量缩减为少数几个综合因子, 提取出能代表大部分信息的公因子, 最终将市售冻扇贝闭壳肌的10项品质指标浓缩成3个关键因子, 相关性强的变量代表同一因子, 但由于浓缩后因子间的关系不能完全表达, 故需进一步借助其他数理统计方法进行分析。

利用多元线性回归分析, 得出冻藏时间、冰柜温度和产品形式对市售冻扇贝闭壳肌品质影响最大, 讨论其存在差异的主要原因有: 其一, 超市冻藏条件存在差异。主要表现为冰柜冻藏温度、冻藏时间、超市环境等。夏秀芳等(2019)研究了不同冻藏温度( $-5^{\circ}\text{C}$ 、 $-18^{\circ}\text{C}$ 、 $-26^{\circ}\text{C}$ 、 $-35^{\circ}\text{C}$ 和 $-70^{\circ}\text{C}$ )对猪肉肌原纤维蛋白溶解性、浊度和凝胶特性(白度、保水性、流变学特性和微观结构)的影响, 结果显示, 冻藏后肌原纤维特性发生明显变化, 且冻藏时间越长、冻藏温度越高, 各指标变化越显著。刘小莉等(2019)研究不同冻藏温度( $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $-30^{\circ}\text{C}$ 和 $-40^{\circ}\text{C}$ )对斑点叉尾鲷(*Lctalurus punetaus*)鱼片在贮藏期内蛋白质理化性质及感官品质的影响, 结果显示, 随着冻藏时间的延长, 冻藏温

度越低, 各指标的变化趋势越缓慢。其二, 商品本身特性, 包括扇贝品种、加工处理方式、包装方式等。贝类在加工和冻藏过程中, 由于处理方法不同, 肉质会发生许多变化, 进而影响其食用价值和营养价值(陈怡璇等, 2019; 向迎春等, 2018)。贝类在冷冻保鲜过程中, 肉中的水分结成冰晶, 冰晶的大小、数量和分布范围决定了贝类肌肉冻结损伤的程度。冻结的速度影响到肌肉组织的软硬, 冻结速度快, 生成的小冰晶对肌肉组织损伤小; 冻结速度慢, 生成的大冰晶会使肌肉组织膨胀, 解冻时贝肉中的汁液浸出物会随着水分一起流失, 从而引起贝肉起渣发糊, 口感变差(Leygonie *et al.*, 2012; Kaale *et al.*, 2014)。同时, 蛋白质变性引起肌原纤维蛋白结构特性及功能性质的降低、蛋白质降解引起的贝肉中含氮物质的变化、内源酶引起的品质变化、脂肪水解、贝肉色泽质地变化等都会影响产品的口感、风味、营养及商用价值(Kaale *et al.*, 2016)。其三, 超市管理。主要是冰柜除冰频率、员工货架整理频率、超市货物定期查验等。

本研究通过因子分析建立市售冻扇贝闭壳肌综合品质指标评价模型:  $f=0.467f_1+0.302f_2+0.231f_3$ , 并结合线性回归方程得到最终模型预测方程:  $f=-1.613+0.310\times\text{冰柜温度}+0.210\times\text{冻藏时间}+0.285\times\text{产品形式}+0.061\times\text{包装方式}+0.096\times\text{摆放位置}$ , 得出对上海销售端的冻扇贝闭壳肌综合品质指标影响最大的因素为冻藏时间、冰柜温度和产品形式。研究结果为销售端冷冻扇贝柱相应的品质评价标准及改善高品质冻品、实现相应经济价值提供一定理论和数据支持, 对当前冷冻扇贝柱的贮藏及冷链销售也有一定指导意义。下一步将从源头入手追溯冻品在流通过程中每一阶段的品质变化过程, 进一步分析并完善我国当前水产冻品整体供应链中品质变化规律及存在问题。

### 参 考 文 献

- ABDI H, WILLIAMS L J. Principal component analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews Computational Statistics, 2010, 2(4): 433-459
- BORILOVA G, HULANKOVA R, SVOBODOVA I, *et al.* The effect of storage conditions on the hygiene and sensory status of wild boar meat. Meat Science, 2016, 118(8): 71-77
- Bureau of Fishery and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Areas, National Aquatic Technology Promotion Station, China Fisheries Society. 2020 China fisheries statistics yearbook. Beijing: China Agriculture Press, 2020 [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2020年中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2020]

- CAI L Y, TAI R R, CAO A L, *et al.* Research progress on the influence of freezing factor on the quality of aquatic products and the research on freezing and preservation. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(20): 308–313, 319 [蔡路昀, 台瑞瑞, 曹爱玲, 等. 冷冻因素对水产品品质的影响及冷冻保鲜的研究进展. *食品工业科技*, 2018, 39(20): 308–313, 319]
- CAO R, WANG F Y, ZHAO L, *et al.* Qualitative changes of squid (*Loligo japonica*) under different frozen storage temperatures. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(4): 97–103 [曹荣, 王凤玉, 赵玲, 等. 日本枪乌贼(*Loligo japonica*)不同温度冻藏过程中的品质变化. *渔业科学进展*, 2016, 37(4): 97–103]
- CHANARAT S, BENJAKUL S, H-KITTIKUN A. Comparative study on protein cross-linking and gel enhancing effect of microbial transglutaminase on surimi from different fish. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012, 92(4): 844–852
- CHEN Y X, JIAO Y. Effects of frozen preservation and thawing on the quality changes of aquatic products. *Journal of Food Safety and Quality*, 2019, 10(2): 36–41 [陈怡璇, 焦阳. 冻藏及解冻过程对水产品品质的影响. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(2): 36–41]
- DU Q, JA L Y. SPSS statistical analysis from entry to master. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2009 [杜强, 贾丽艳. SPSS 统计分析从入门到精通. 北京: 人民邮电出版社, 2009]
- FARIDNIA F, MA QL, BREMERA P J, *et al.* Effect of freezing as pre-treatment prior to pulsed electric field processing on quality traits of beef muscles. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2015, 29: 31–40
- FERNÁNDEZ K, ASPÉ E, ROECKEL M. Scaling up parameters for shelf-life extension of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets using superchilling and modified atmosphere packaging. *Food Control*, 2010, 21(6): 857–862
- GU Z F, HUANG F S, WANG H, *et al.* Comparison of nacre color of *Pinctada martensii* cultured in different marine areas. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(4): 97–103 [顾志峰, 黄锋绍, 王海, 等. 不同海区养殖的马氏珠母贝珍珠质颜色比较. *渔业科学进展*, 2016, 37(4): 97–103]
- GULNISA K, MUHTAR Z, ZHANG D Y, *et al.* Factor analysis and comprehensive evaluation of fruit quality traits of introduced fig cultivars. *Food Science*, 2018, 39(1): 99–104 [古丽尼沙·卡斯木, 木合塔尔·扎热, 张东亚, 等. 基于因子分析的无花果引进品种果实品质性状综合评价. *食品科学*, 2018, 39(1): 99–104]
- GUO Y D, WANG F, DONG S J, *et al.* Principal component analysis and multiple linear regression analysis of CIELAB parameters and anthocyanins in red wine. *Food Science*, 2019(18): 210–215 [郭耀东, 王飞, 董少杰, 等. 红葡萄酒 CIELAB 参数与花色素的主成分多元线性回归分析. *食品科学*, 2019(18): 210–215]
- JING D T, YANG F, XU D W, *et al.* Reasons for quality deterioration of obscure pufferfish fillets during frozen storage. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(5): 166–174 [景电涛, 杨方, 余达威, 等. 暗纹东方鲀冻藏品质劣化的原因解析. *渔业科学进展*, 2019, 40(5): 166–174]
- KAALÉ L D, EIKEVIK T M. Changes of proteins during superchilled storage of Atlantic salmon muscle (*Salmo salar*). *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(1): 441–450
- KAALÉ L D, EIKEVIK T M. The development of ice crystals in food products during the superchilling process and following storage, a review. *Trends in Food Science and Technology*, 2014, 39(2): 91–103
- KAVDIR İ, GUYER D E. Evaluation of different pattern recognition techniques for apple sorting. *Biosystems Engineering*, 2008, 99(2): 211–219
- LABARTA U, JOSÉ FERNÁNDEZ-REIRIZ M. The Galician mussel industry: Innovation and changes in the last forty years. *Ocean and Coastal Management*, 2019, 167: 208–218
- LEYGONIE C, BRITZ T J, HOFFMAN L C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Science*, 2012, 91(2): 93–98
- LIU X L, PENG H H, LI Y, *et al.* Effect of storage temperature on protein characteristics and sensory quality of frozen catfish fillets. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(1): 147–153 [刘小莉, 彭欢欢, 李莹, 等. 冻藏温度对斑点叉尾鲴鱼片蛋白质特性和感官品质的影响. *中国食品学报*, 2019, 19(1): 147–153]
- VENUGOPAL V, GOPAKUMAR K. Shellfish: Nutritive value, health benefits, and consumer safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2017, 16(6): 1219–1242
- WU S, PAN F M. SPSS statistical analysis. Beijing: Tsinghua University Press, 2014 [武松, 潘发明. SPSS 统计分析大全. 北京: 清华大学出版社, 2014]
- WU X L, LIU H Y, HAN D J, *et al.* Establishment and evaluation of shelf-life prediction model for scallops. *Food Science*, 2014, 35(22): 315–319 [吴雪丽, 刘红英, 韩冬娇, 等. 扇贝贮藏货架期预测模型的建立与评价. *食品科学*, 2014, 35(22): 315–319]
- XIA X F, LI F F, TIAN J Y, *et al.* Effect of the low temperature freezing storage on gel property of myofibril protein. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(1): 163–170 [夏秀芳, 李芳菲, 田佳艺, 等. 低温冻藏对肌原纤维蛋白凝胶特性的影响. *中国食品学报*, 2019, 19(1): 163–170]
- XIANG Y C, WU D, HUANG J Q, *et al.* The current research progress of ice crystals acting on the quality of seafood during freezing storage. *Food Research and Development*, 2018(12): 187–193 [向迎春, 吴丹, 黄佳奇, 等. 冻藏过程中冰晶对水产品品质影响的研究现状. *食品研究与开发*, 2018(12): 187–193]
- YANG J L, REN Y M, ZHANG W G, *et al.* Quality evaluation of cooked potatoes based on principal component analysis. *Food Science*, 2018, 39(19): 77–84 [杨军林, 任亚梅, 张武岗, 等. 基于主成分分析法的熟化马铃薯品质评价. *食品*

- 科学, 2018, 39(19): 77–84]
- YANG T T, LIU J R, SHEN J, *et al.* Development of sensory descriptors for live bottom cultured scallop *Patinopecten yessoensis*. *Food Science*, 2014, 35(19): 16–22 [杨婷婷, 刘俊荣, 沈建, 等. 活品底播虾夷扇贝 (*Patinopecten yessoensis*) 感官评价描述词的建立. *食品科学*, 2014, 35(19): 16–22]
- ZHANG Y X, XIE C M, ZHOU F, *et al.* Effects of different packaging methods on the quality changes of frozen large yellow croaker (*pseudosciaena crocea*). *Food and Machinery*, 2019, 35(8): 121–126, 160 [张艳霞, 谢成民, 周纷, 等. 包装方式对养殖大黄鱼冻藏品质的影响. *食品与机械*, 2019, 35(8): 121–126, 160]
- ZHOU L Q, ZHAO D, WU Z, *et al.* Review: Molecular mechanism of sex differentiation in major economic bivalves. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(5): 194–202 [周丽青, 赵丹, 吴宙, 等. 主要经济双壳贝类性别分化的分子机制概述. *渔业科学进展*, 2020, 41(5): 194–202]

(编辑 马瑾艳)

## Establishment of Quality Evaluation Model and Analysis of Quality Deteriorating Factors of Frozen Scallop Sold in Shanghai

ZHU Lin<sup>1,2,3</sup>, ZHENG Yao<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Fen<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Renyue<sup>1</sup>, WANG Xichang<sup>1,2,3①</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic-Product Processing and Preservation, Shanghai 201306, China;

3. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Aquatic Products on Storage and Preservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

**Abstract** In order to analyze the quality status and existing problems (loss of juice, discoloration of meat, change in taste, *etc*) of frozen scallops sold in Shanghai, we explored the quality evaluation methods of frozen scallops in the market and the key factors that lead to their quality deterioration during frozen storage. In this study, 11 kinds of frozen scallop products sold in Shanghai supermarkets were sampled based on 5 common influencing factors such as freezer temperature, frozen storage time, product form, packaging method, and placement position. We measured 10 quality indicators such as whiteness, thawing loss, cooking loss, water holding capacity, resilience, cohesiveness, springiness, chewiness, hardness, and sensory score. Factor analysis was used to construct a quality evaluation model for frozen scallops and was combined with multiple linear regression analysis to determine the key factors affecting the quality of frozen scallops. Results show that there is a certain correlation between the 10 quality indicators of frozen scallop products. Three factor components were extracted through factor analysis, and the cumulative variance contribution rate was 73.33%. It can replace the original indicators to comprehensively evaluate the quality of frozen scallop products. Quality evaluation model of the frozen scallop was established by factor analysis:  $f=0.467f_1+0.302f_2+0.231f_3$ . The common factors of  $f_1$  were springiness, resilience, cohesiveness, cooking loss, and water holding capacity; common factors of  $f_2$  were hardness, whiteness, and chewiness; and common factors of  $f_3$  were thawing loss and sensory score. Furthermore, multiple linear regression analysis showed that frozen storage time, freezer temperature, and product form are the key factors that affect the quality of frozen scallop products; the other two factors have no significant influence. These results suggest that methods based on factor analysis and multiple linear regression analysis can be used to evaluate the quality of frozen scallops and analyze the factors influencing quality deterioration.

**Key words** Frozen scallop; Adductor muscle; Quality evaluation; Factor analysis; Multiple linear regression

① Corresponding author: WANG Xichang, E-mail: xcwang@shou.edu.cn