

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200721001

http://www.yykxjz.cn/

王玥科, 郑尧, 王红丽, 周纷, 唐史杰, 李钧浩, 王锡昌. 基于因子分析及多元线性回归的市售冻凡纳滨对虾品质评价. 渔业科学进展, 2021, 42(5): 176–187

WANG Y K, ZHENG Y, WANG H L, ZHOU F, TANG S J, LI J H, WANG X C. Quality evaluation of commercial frozen shrimps (*Litopenaeus vannamei*) based on factor and regression analysis. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(5): 176–187

基于因子分析及多元线性回归的 市售冻凡纳滨对虾品质评价*

王玥科^{1,2,3} 郑尧^{1,2,3} 王红丽^{1,2,3} 周纷^{1,2,3}
唐史杰^{1,2,3} 李钧浩¹ 王锡昌^{1,2,3①}

(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) 上海 201306)

摘要 为探究市售冻凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)品质评价方法及造成品质劣化的关键因素,以上海市超市在售 11 种不同商品类型的冻凡纳滨对虾为研究对象,分析超市等级、冻藏时间、产品形式和摆放位置对其水分损失、质构以及色泽的影响。采用电子舌技术区分其滋味轮廓,并结合相关性分析、因子分析和多元线性回归分析,建立其品质评价模型,并确定关键影响因素。结果显示,在水分损失、质构及色泽方面,不同商品类型的冻凡纳滨对虾具有一定的差异性。相关性分析表明,解冻损失、离心损失和蒸煮损失与黏附性呈极显著正相关,离心损失和蒸煮损失均与 a^* 和 b^* 呈极显著正相关,且离心损失与 L^* 呈极显著负相关, b^* 与黏附性呈极显著正相关。经因子分析并基于特征值大于 1,提取了 3 个主因子,累计方差贡献率为 84.05%。同时,对样品主成分综合得分排序,排序结果与样品采集信息基本一致。通过因子分析建立的综合评价模型为 $F=0.577F_1+0.293F_2+0.131F_3$,其中, F_1 、 F_2 和 F_3 为 3 个主因子得分, F 越高,说明品质水平越高。进一步通过回归分析,确定影响冻凡纳滨对虾品质的主要因素为超市等级和冻藏时间,次要因素为产品形式和样品摆放位置。综上所述,超市等级和冻藏时间是影响市售冻凡纳滨对虾品质的关键因素,应加以重点关注。

关键词 冻凡纳滨对虾; 品质评价; 因子分析; 回归分析

中图分类号 TS254.1 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2021)05-0176-12

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)又称南美白对虾,2019 年凡纳滨对虾养殖产量达到 181.56 万 t (农业农村部渔业渔政管理局,2020)。因其肉质鲜美、营养丰富、风味独特,凡纳滨对虾产品已成为我国出口的主要养殖水产品(张高静等,2013)。然而,由于

其自溶酶活性较强,非蛋白氮含量较高,在捕后贮运流通过程中极易发生腐败变质。目前,主要通过冻结及冻藏的方式来降低品质损失,延长其货架期,(Zhang *et al*, 2018)。

尽管冻藏可以有效抑制微生物的生长及酶促反

* 国家重点研发计划(2018YFD0901006)资助 [This work was supported by the National Key Research and Development Program of China (2018YFD0901006)]. 王玥科, E-mail: 1813517060@qq.com

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

收稿日期: 2020-07-21, 收修改稿日期: 2020-08-05

应的发生,但在长期冻藏过程中,仍不可避免地会发生品质劣化,严重降低消费者对冷冻产品的接受度(Shi *et al.*, 2017)。近年来,众多学者在水产品品质评价方面开展了研究。Yamagata等(1995)比较了美光虾(*Penaeus merguensis*)在贮藏期间肌肉中的甲醛含量,认为甲醛可以作为其品质评价的指标。Tsiront等(2009)研究了不同冻藏条件对冻虾品质特性的影响,并在时间-温度波动条件下验证了模型在冷链的适用性。Wang等(2016)研究了冷藏、冰藏及冻藏期间凡纳滨对虾的品质变化,构建了凡纳滨对虾低温贮藏过程中品质综合评价模型。虽然品质评价方法不再是以往单一的理化检测评价,但目前关于市售冻品品质综合评价的研究鲜有报道。同时,Williams等(1981)研究发现,较长的除霜时间和较高的除霜温度使零售冷库中面包虾(breaded shrimp)的水分迁移率高于贮藏在仓库冷冻机的面包虾。Gonçalves等(2009)和Zhang等(2018)均认为,防止冻虾在运输和贮藏过程中的温度波动,对保持冻虾的质地至关重要。李学鹏(2012)研究发现,冻虾的亮度、明度和纯度随冻藏时间的延长均有所改变,但在实际贮运流通过程中,造成冻凡纳滨对虾品质劣化的关键因素尚不明确。因此,需对市售冻凡纳滨对虾品质变化进行综合评价。

本研究基于超市销售的现实状况,比较了超市等级、产品形式、冻藏时间和摆放位置 4 个方面对市售冻凡纳滨对虾品质的影响,同时,结合水分损失、质构、色泽和电子舌滋味轮廓分析对其品质进行综合评价,并借助因子分析(姜雪等, 2017; 潘好斌等, 2019)和回归分析(王胜鹏等, 2019; Wang *et al.*, 2000)探究影响凡纳滨对虾冻品品质的关键因素,以期建立凡纳滨对虾冻品品质的综合评价有效方法,为冷冻水产品的市场销售及消费者选购提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 凡纳滨对虾冻品的采样

样品于 2019 年 5 月 20 日和 6 月 8 日分别购于产品规格和超市等级不同的 M 超市和 D 超市,并用含有冰袋的保温箱运至实验室-20℃冰箱中贮存,其中, M 超市运送时间为 2 h, D 超市运送时间为 24 min,且样品出厂日期一致,并均在标识的保质期之内。采用 Testo 830-T4-红外测温仪测得卧式冰柜中摆放同一样品的上层和下层位置的实际温度,样品的基本信息见表 1。

本研究对影响样品品质的主要考虑因素包括超市等级、产品形式、冻藏时间和摆放位置。其中,超

表 1 冻凡纳滨对虾样品信息
Tab.1 Information of frozen *L. vannamei* products

代码 Code	产品形式 Product form	冻藏时间 Frozen time /month	贮藏温度(上/下) Storage temperature (upper/lower) /℃
M1	整虾 Whole shrimp	2	-15/-21
M2	虾仁 Peeled shrimp	2	-15/-21
M3	整虾 Whole shrimp	3	-15/-21
M4	虾仁 Peeled shrimp	6	-15/-21
D1	虾仁 Peeled shrimp	2	-11/-18
D2	虾仁 Peeled shrimp	2	-11/-18
D3	虾仁 Peeled shrimp	2	-8/-10
D4	整虾 Whole shrimp	3	-12/-16
D5	虾仁 Peeled shrimp	5	-11/-18
D6	虾仁 Peeled shrimp	5	-8/-10
D7	虾仁 Peeled shrimp	9	-8/-10

注:代码以 M 和 D 开头分别源于 M 和 D 超市。贮藏温度指卧式冰柜中摆放同一样品的上层和下层位置的实际温度

Note: The code starts with M and D from the M supermarket and D supermarket respectively. Storage temperature refers to the actual temperature of the upper and lower positions of the same sample placed in the horizontal freezer

市等级:依据超市的规格、售价及市场管理将 M 与 D 超市定义为高端超市和普通超市;产品形式:将样品划分为整虾和虾仁;冻藏时间:指采购日期与生产日期之间的时间差,将其划分为 0~4 个月和 4~10 个月;摆放位置:指卧式冰柜中摆放同一样品的上层和下层位置(上下层以距离地面的高度为依据,其中,上层距离地面 70~80 cm,下层距离地面 30~40 cm)。

1.2 仪器与设备

DW-40L508型超低温冰箱、4℃冰箱(上海艾本德国际贸易有限公司); H2050R 型高速冷冻离心机(湖南长沙湘仪有限公司); TA-XT Plus 型质构仪(Stable Micro System 公司,英国); CR-400型色差计(Knoica Minolta Sensing 公司,日本); FA 型电子天平(上海安普仪器有限公司); HWS-24型电热恒温水浴锅(上海一恒科学仪器有限公司); Testo 830-T4-红外测温仪(德图科创贸易有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品解冻 从每组样品随机选取同一样品的上层和下层各 9 只大小一致的虾仁,置于聚乙烯塑料袋(10 cm×15 cm),并将其密封于白色搪瓷盘,放入 4℃冰箱解冻,待样品中心温度达到 4℃时,视为解冻完成。

1.3.2 水分损失的测定 解冻损失参考 Li 等(2018)的方法并略有改动。精确称取去除虾壳和冰衣后虾仁的重量,初始体重为 M_1 , 4℃解冻后,体重为 M_2 。按式(1)计算解冻损失率。

$$\text{解冻损失率}(\%)=(M_1-M_2)/M_1 \times 100 \quad (1)$$

式中, M_1 为解冻前样品体重(g); M_2 为解冻后样品体重(g)。

离心损失参考 Li 等(2018)的方法并略有改动。取解冻后的对虾,用手术刀片切取虾仁腹部第 2 节,称取 3 g (精确到 0.000 1 g)样品,用滤纸包裹好,置于离心管中,于冷冻离心机内以 5000 r/min 的速度离心 10 min,取出后称量离心后样品质量。按式(2)计算离心损失。

$$\text{离心损失}(\%)=(M_3-M_4)/M_3 \times 100 \quad (2)$$

式中, M_3 为离心前样品质量(g); M_4 为离心后样品质量(g)。

蒸煮损失参考 Li 等(2018)的方法并略有改动。取解冻后的对虾,用手术刀片切取虾仁腹部第 2 节,切下样品立方体(1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm),然后放入聚乙烯塑料袋,浸入 95℃水浴中保持 5 min。之后,从袋中取出样品并在室温下冷却 5 min,用滤纸吸干表面水分,重新称量样品重量。按式(3)计算蒸煮损失。

$$\text{蒸煮损失}(\%)=(M_5-M_6)/M_5 \times 100 \quad (3)$$

式中, M_5 为蒸煮前样品体重(g); M_6 为蒸煮后样品体重(g)。

1.3.3 质构特性 参考李学鹏(2012)的方法并略有改动。取解冻后的对虾,选取虾仁腹部第 2 节,采用质构仪进行质地剖面分析。测试条件:探头型号 P/5,测试前速率为 2.00 mm/s,测试速率为 2.00 mm/s,测试后速率为 1.00 mm/s,探头接触到样品后对样品下压 3 mm,探头 2 次测定间隔时间为 5.00 s。触发形式为自动,触发力为 10.00 N。

1.3.4 色差 参考李学鹏(2012)的方法并略有改动。测试前将色差仪用标准板校正,然后取解冻后的对虾,将色差仪垂直置于虾仁腹部第 2 节,迅速测定其 L^* (亮度)、 a^* (+红/-绿)和 b^* (+黄/-蓝)值。

1.3.5 电子舌评价 参考周纷等(2019)的方法进行电子舌感官测定。分别称取每组上层和下层的样品 2.0 g (精确到 0.000 1 g),加入 25 mL 纯净水,匀浆并超声 5 min 后,于 4℃条件下 10,000 r/min 离心 15 min,去除上层油脂层后过滤至 100 mL 容量瓶中,沉淀重复以上步骤,合并 2 次滤液后定容至 100 mL,取 5 mL 至电子舌专用进样杯中,并用纯净水定容至 80 mL,在室温条件下进行测定。每个样品数据采集时间为 120 s, 1 s 采集 1 个数据,每根传感器在第 120 秒时

已趋于稳定并作为电子舌的原始数据。为保证结果的可靠性,每组样品分别制备 7 个平行样。

1.4 数据分析

每次测定至少设置 6 个平行,本实验数据采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析,采用 Duncan 法进行多重比较,作图采用 Origin 8.5 软件。采用相关性分析上述 11 个不同商品类型冻凡纳滨对虾的 13 个理化指标间的相关性。通过因子分析提取影响品质的主要因子并构建综合得分模型,计算综合得分并排序。结合回归分析探究影响冻凡纳滨对虾品质的关键因子并建立回归模型。

2 结果与分析

2.1 市售冻凡纳滨对虾品质分析

本研究首先采用电子舌对市售冻凡纳滨对虾的滋味轮廓分析,并对其水分损失、质构特性及色泽进行检测分析,结果见图 1、图 2 及表 2。

传统的人工感官评价方法因评价者对评价标准理解的差别,造成评价结果存在人为误差(Wang *et al.*, 2016)。因此,本研究采用主成分分析(PCA)分析不同影响因素对凡纳滨对虾滋味轮廓的影响。结果显示,第 1 和第 2 主成分方差贡献率之和均大于 90%,且判别指数 DI 均大于 80%,表明样本整体差异性遗失较少;DFA 是在 PCA 的基础上进一步优化滋味响应信号,将滋味数据的差异性尽可能扩大。结果显示,第 1 和第 2 判别因子的方差贡献率之和均大于 95%。因此,该结果较全面地代表了原始样品的基本信息(张晶晶等, 2015; 周纷等, 2019),说明不同超市等级、产品形式、冻藏时间与摆放位置的冻凡纳滨对虾存在差异。

水分损失是衡量冻品贮藏加工后品质变化的重要指标(Li *et al.*, 2018)。结果显示, M 超市、整虾、冻藏时间 0~4 个月与下层样品水分损失显著较少($P < 0.05$)。质构特性直接关系着肉的嫩度、口感、可食性和加工出品率(Akhtar *et al.*, 2013)。结果显示, M 超市、整虾与冻藏时间 0~4 个月样品质地显著较好($P < 0.05$)。尽管色泽在正常范围内的变化不影响冻品的营养价值,但色泽对冻品的外观和可接受度以及消费者味觉感知有重要影响(Ines *et al.*, 2014)。M 超市、整虾与冻藏时间 0~4 个月样品色泽显著较好($P < 0.05$)。综上所述,不同超市等级、冻藏时间、产品形式和摆放位置均对冻凡纳滨对虾品质产生一定的影响,但它们对品质劣化的影响程度及其相互作用尚不明确,因此,采用多元统计分析开展此研究。

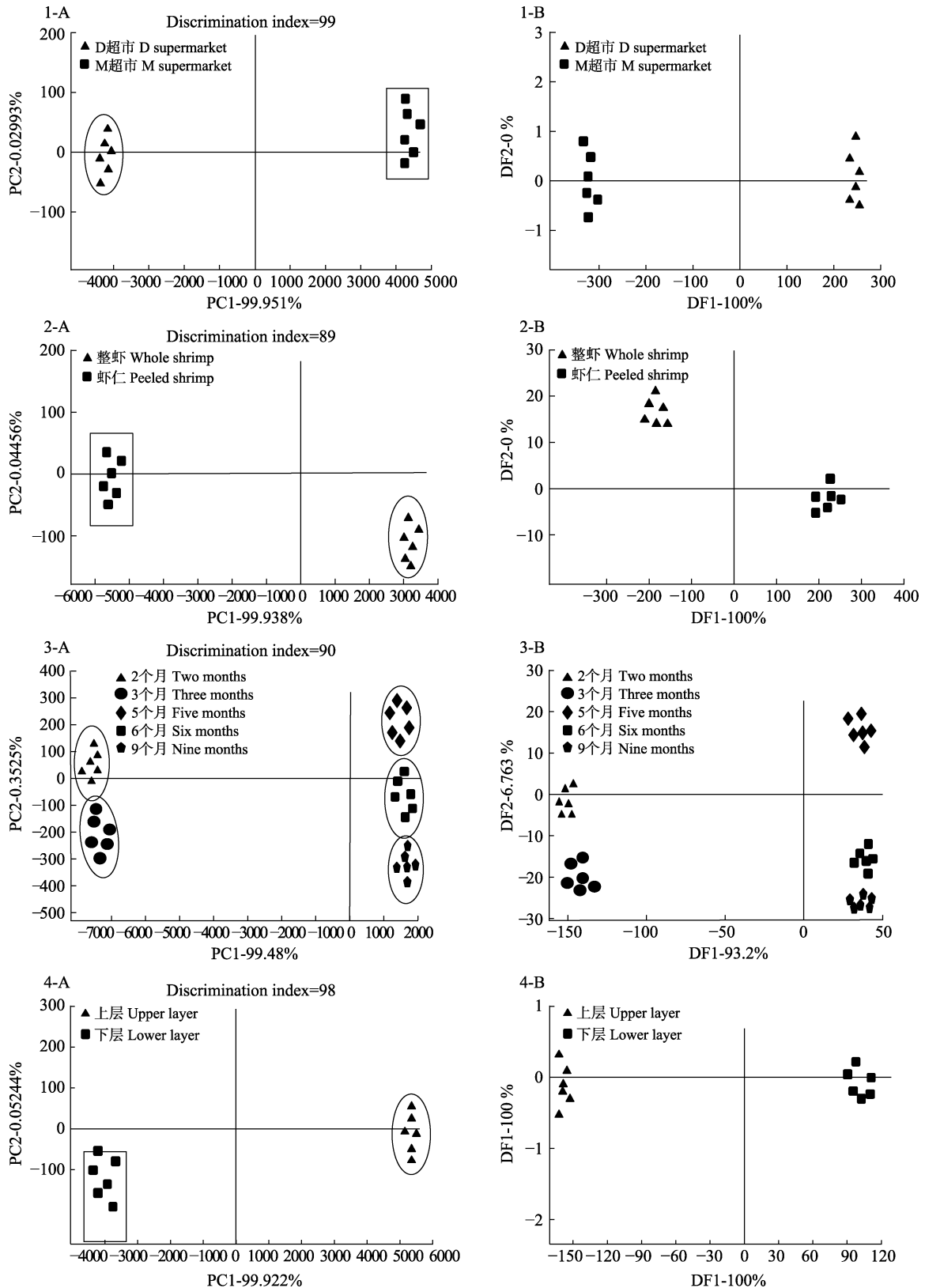


图 1 主成分分析(A)和判别因子分析(B)相关因子对冻凡纳滨对虾滋味轮廓的影响

Fig.1 Effects of some factors on taste profile of *L. vannamei* by principal component analysis (A) and discriminant factor analysis (B)

因子: 超市等级(1)、产品形式(2)、冻藏时间(3)和摆放位置(4)。下同

Factors: supermarket grade (1), product form (2), frozen storage time (3), and retail location (4). The same as below

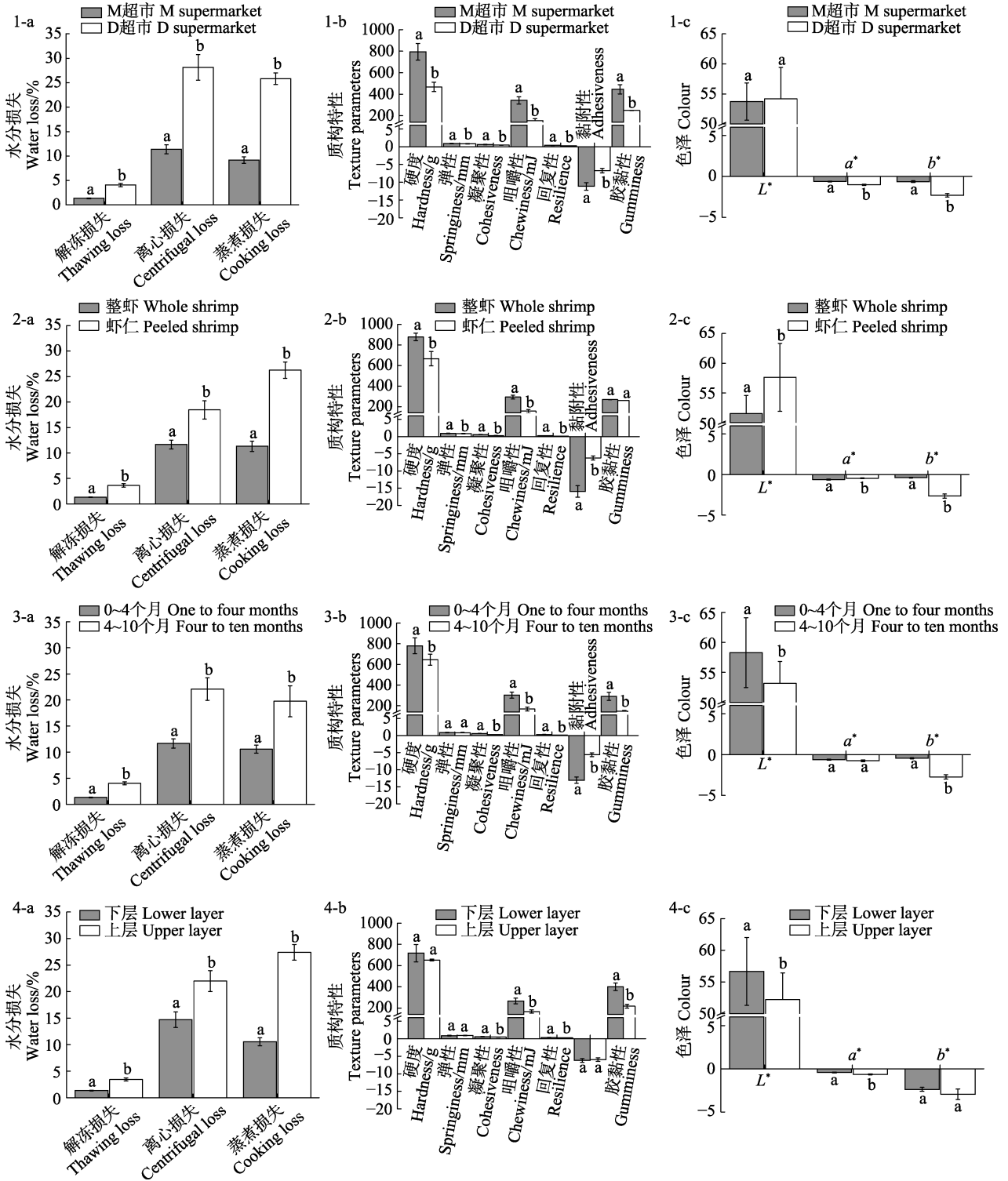


图2 相关因子对冻凡纳滨对虾水分损失(a)、质构特性(b)和色泽(c)的影响

Fig.2 Effects of some factors on water loss (a), texture (b), and colour (c) of frozen *L. vannamei*

数据以平均值±标准差表示, 不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

The data are expressed as Mean±SD, and different letters indicate significant differences ($P < 0.05$)

由表2 变异系数可知, 解冻损失、离心损失及蒸煮损失变异系数均大于 30%, 其中, 蒸煮损失的变异系数最大(57%); 硬度性、凝聚性、咀嚼性、回复性、

黏附性和胶黏性变异系数>30%, 弹性的变异系数最小(5%); L^* 、 a^* 和 b^* 变异系数均大于 10%。由此得出, 不同商品类型冻凡纳滨对虾的同一指标存在显著

性差异($P<0.05$),将进一步探究选取的 13 个理化指标之间的相关性。

2.2 市售冻凡纳滨对虾品质评价模型建立

2.2.1 相关性分析 11 个不同商品类型冻凡纳滨对虾 13 项理化指标间的相关性分析结果见表 3。由表 3 可知,样品的水分损失、质构与色泽三者具有不同程度的相关性。王伟等(2015)和 Wang 等(2016)也研究了质构与色泽之间的相关性,与这些研究不同的是,本研究进一步探讨了水分损失、质构与色泽 3 个指标之间的相关性。解冻损失、离心损失和蒸煮损失与黏附性呈极显著正相关($P<0.01$);离心损失和蒸煮损失均与 a^* 和 b^* 呈极显著正相关($P<0.01$),且离心损失与 L^* 呈极显著负相关($P<0.01$); b^* 与黏附性呈极显著正相关($P<0.01$)。由此可知,离心损失与蒸煮损失和 b^* 既有相似性,也有差异性,硬度、弹性、凝聚性、咀嚼性、回复性和胶黏性与任何指标间相关性不

显著。由此可见,相关性分析结果不能全面完整表达出指标之间的关联性,且不具有解释性。因此,对 13 个理化指标进行标准化并采用因子分析。

2.2.2 因子分析 因子分析结果见表 4 和表 5。由表 4 可知,第 1 主因子特征值为 5.121,方差贡献率为 48.48%,为最重要的主成分;第 2 主因子特征值为 2.599,方差贡献率为 24.60%;第 3 主因子特征值为 1.158,方差贡献率为 10.97%。前 3 个主因子累积方差贡献率为 84.05%,基于累积方差贡献率大于 80%的原则(Patras *et al.*, 2011),提取前 3 个主因子,表明前 3 个主成分可以解释品质指标的 80%以上的信息。

由表 5 可知,采用 SPSS 19.0 软件进行因子分析,得到 3 个主因子载荷矩阵,其绝对值越大,对该主因子影响越重要。因此,第 1 主因子 F_1 以离心损失的影响为主, b^* 、硬度和咀嚼性的影响为辅;第 2 主因子 F_2 以 a^* 的影响为主, L^* 的影响为辅;第 3 主因子 F_3 以黏附性的影响为主,咀嚼性的影响为辅。

表 2 冻凡纳滨对虾理化品质描述性统计
Tab.2 Descriptive statistics of physicochemical qualities of frozen *L. vannamei* products

项目 Items	M1	M2	M3	M4	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	变异系数 CV/%
解冻损失 Thawing loss/%	0.88 ^g	3.49 ^d	1.07 ^g	2.52 ^e	3.01 ^{de}	3.01 ^{de}	5.56 ^a	1.61 ^f	3.15 ^d	4.21 ^c	4.70 ^b	46.00
离心损失 Centrifugal loss/%	10.81 ^g	17.08 ^c	11.59 ^g	14.39 ^e	30.36 ^a	30.36 ^a	22.65 ^b	12.59 ^f	22.78 ^b	17.08 ^c	15.70 ^d	36.00
蒸煮损失 Cooking loss/%	6.91 ^b	10.47 ^b	7.53 ^b	4.63 ^b	26.74 ^a	26.74 ^a	27.43 ^a	8.53 ^b	21.16 ^a	7.40 ^b	21.02 ^a	57.00
硬度 Hardness/g	878.92 ^b	839.96 ^b	1729.58 ^a	678.23 ^c	227.90 ^f	678.23 ^c	492.50 ^d	410.69 ^e	693.61 ^c	626.34 ^c	187.87 ^f	59.00
弹性 Springiness/mm	0.87 ^{ab}	0.88 ^{ab}	0.95 ^a	0.89 ^{ab}	0.82 ^{bc}	0.89 ^{ab}	0.88 ^{ab}	0.86 ^{ab}	0.88 ^{ab}	0.81 ^{bc}	0.76 ^c	5.00
凝聚性 Cohesiveness	0.55 ^b	0.65 ^a	0.66 ^a	0.28 ^d	0.55 ^b	0.28 ^d	0.48 ^c	0.57 ^b	0.46 ^c	0.46 ^c	0.20 ^e	31.00
咀嚼性 Chewiness/mJ	267.49 ^{cd}	353.24 ^b	727.52 ^a	235.56 ^{de}	141.91 ^f	156.72 ^f	205.60 ^e	151.14 ^f	290.12 ^c	156.72 ^f	151.14 ^f	63.00
回复性 Resilience	0.39 ^{ab}	0.42 ^a	0.28 ^{de}	0.26 ^{de}	0.35 ^{bc}	0.10 ^f	0.31 ^{cd}	0.26 ^e	0.26 ^e	0.10 ^f	0.09 ^f	43.00
黏附性 Adhesiveness	-27.64 ^e	-7.68 ^{bc}	-12.86 ^d	-8.82 ^c	-6.99 ^{bc}	-5.36 ^{ab}	-6.42 ^{bc}	-14.12 ^d	-5.19 ^{ab}	-5.61 ^{ab}	-2.91 ^a	70.00
胶黏性 Gumminess	322.64 ^c	953.59 ^a	466.77 ^b	147.82 ^{fg}	263.87 ^{cd}	327.48 ^c	227.79 ^{de}	229.92 ^{de}	93.04 ^g	171.92 ^{ef}	77.05 ^g	78.00
L^*	51.48 ^{fg}	57.11 ^c	50.48 ^{gh}	55.92 ^{cd}	64.79 ^a	64.79 ^a	61.60 ^b	52.65 ^{efg}	54.67 ^{cde}	53.95 ^{def}	48.18 ^h	10.00
a^*	-0.65 ^{cd}	-0.44 ^{bc}	-0.65 ^{cd}	-0.75 ^{cd}	7.03 ^a	7.03 ^a	-0.85 ^d	-0.65 ^{cd}	-0.79 ^{cd}	-0.11 ^b	-0.21 ^b	36.10
b^*	-0.11 ^b	-4.83 ^f	-0.11 ^b	-1.70 ^{cd}	12.49 ^a	12.49 ^a	-1.44 ^c	-0.11 ^b	-2.12 ^{cd}	-3.72 ^{ef}	-2.90 ^{de}	79.30

注: 变异系数%=标准差/平均值×100; 同行小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Note: CV/%=standard deviation/mean×100; different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$)

表3 不同商品类型冻凡纳滨对虾水分损失、质构和色泽指标的相关性分析
Tab.3 Descriptive statistics of physicochemical qualities of frozen *L. vannamei* products

项目 Items	解冻损失 Thawing loss	离心损失 Centrifugal loss	蒸煮损失 Cooking loss	硬度 Hardness	弹性 Springiness	凝聚性 Cohesiveness	咀嚼性 Chewiness
解冻损失 Thawing loss	1.000						
离心损失 Centrifugal loss	0.437	1.000					
蒸煮损失 Cooking loss	0.509**	0.683**	1.000				
硬度 Hardness	0.416	0.295	0.228	1.000			
弹性 Springiness	0.181	0.041	-0.049	0.487*	1.000		
凝聚性 Cohesiveness	0.324	0.178	0.280	0.480*	0.259	1.000	
咀嚼性 Chewiness	0.316	0.269	0.197	0.924**	-0.440	0.532**	1.000
回复性 Resilience	0.259	0.095	0.224	0.271	0.223	0.720**	0.366
黏附性 Adhesiveness	0.695**	0.546**	0.484**	0.052	-0.034	0.227	-0.078
胶黏性 Gumminess	0.084	-0.005	0.057	0.499**	0.222	0.585**	0.522**
<i>L</i> *	-0.261	-0.819**	-0.434	-0.156	-0.038	0.002	-0.194
<i>a</i> *	0.045	0.831**	0.502**	0.119	-0.036	0.085	0.137
<i>b</i> *	0.235	0.835**	0.481**	0.184	0.071	0.096	0.186

项目 Items	回复性 Resilience	黏附性 Adhesiveness	胶黏性 Gumminess	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
回复性 Resilience	1.000					
黏附性 Adhesiveness	0.256	1.000				
胶黏性 Gumminess	0.551**	-0.098	1.000			
<i>L</i> *	0.154	-0.335	0.199	1.000		
<i>a</i> *	0.023	0.323	-0.092	-0.757**	1.000	
<i>b</i> *	0.068	0.455**	-0.205	-0.715**	0.928**	1.000

注: **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关, 下同

Note: ** indicates significant correlation at the 0.01 level (bilateral); * indicates significant correlation at the 0.05 level (bilateral), the same as below

表4 品质指标的特征值与贡献率
Tab.4 Factor eigenvalues and contribution rate of quality indexes

成分 Factors	初始特征值 Initial eigenvalue		
	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累积贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	5.121	48.48	48.48
2	2.599	24.60	73.08
3	1.158	10.97	84.05

2.2.3 不同商品类型冻凡纳滨对虾品质的综合评价

通过表5的主因子载荷矩阵, 将13个指标归纳为3个更具代表性的主因子, 如下:

$$F_1 = 0.610X_1 + 0.852X_2 + 0.675X_3 + 0.727X_4 + 0.307X_5 + 0.549X_6 + 0.727X_7 + 0.445X_8 + 0.634X_9 + 0.347X_{10} - 0.630X_{11} + 0.673X_{12} + 0.739X_{13}$$

表5 品质指标的主因子载荷矩阵
Tab.5 Principal factor load matrix of quality indexes

变量 Variable	指标 Indexes	<i>F</i> ₁	<i>F</i> ₂	<i>F</i> ₃
<i>X</i> ₁	解冻损失 Thawing loss	0.610	0.323	0.255
<i>X</i> ₂	离心损失 Centrifugal loss	0.852	-0.436	0.107
<i>X</i> ₃	蒸煮损失 Cooking loss	0.675	-0.081	0.208
<i>X</i> ₄	硬度 Hardness	0.727	0.364	-0.475
<i>X</i> ₅	弹性 Springiness	0.307	0.288	-0.322
<i>X</i> ₆	凝聚性 Cohesiveness	0.549	0.513	0.121
<i>X</i> ₇	咀嚼性 Chewiness	0.727	0.344	-0.514
<i>X</i> ₈	回复性 Resilience	0.445	0.536	0.360
<i>X</i> ₉	黏附性 Adhesiveness	0.634	0.161	0.534
<i>X</i> ₁₀	胶黏性 Gumminess	0.347	0.586	-0.044
<i>X</i> ₁₁	<i>L</i> *	-0.630	0.595	0.091
<i>X</i> ₁₂	<i>a</i> *	0.673	-0.622	-0.071
<i>X</i> ₁₃	<i>b</i> *	0.739	-0.551	-0.020

注: 加粗的数据为贡献较大的品质指标

Note: Bold data contribute more to the quality index

$$F_2=0.323X_1-0.436X_2-0.081X_3+0.364X_4+0.288X_5+0.513X_6+0.344X_7+0.536X_8+0.161X_9+0.586X_{10}+0.595X_{11}-0.622X_{12}-0.551X_{13}$$

$$F_3=0.255X_1+0.107X_2+0.208X_3-0.475X_4-0.322X_5+0.121X_6-0.514X_7+0.360X_8+0.534X_9-0.044X_{10}+0.091X_{11}+0.071X_{12}-0.020X_{13}$$

水分损失越高, 冻凡纳滨对虾品质越差(Wachirasiri *et al.*, 2019)。a*与 b*越低, 虾青素损失越少, 脂肪氧化速度越慢, 感官接受度越好(石径, 2018)。同时, 数据通过正向化处理均已与品质呈正相关(如水分损失均取原始数据的负数, 色泽指标 a*与 b*取原始数据的绝对值的负数)。所以, 将 F₁、F₂ 和 F₃ 均赋

予正值, 根据主因子权重=方差贡献率/累积方差贡献率, 建立品质综合指标 F 如下:

$$F=0.577F_1+0.293F_2+0.131F_3$$

其中, F₁、F₂ 和 F₃ 为 3 个主因子得分, 综合得分越高, 说明品质越高。计算综合得分见表 6。

由表 6 可知, M3、M1 与 M2 主成分综合得分均 >1, 其中 M3 最高达到了 1.80 分; 其次是 D4、M4、D5 和 D6, 分别为 0.84、0.53、0.21 和 0.10; D3、D7、D1 和 D2 品质水平较差, 分别为-0.04、-0.49、-0.50 和-0.83。该结果与样品采样信息基本一致, 说明这 13 个指标能够实现冻凡纳滨对虾品质的准确分类。

表 6 11 个冻凡纳滨对虾产品的各主成分、综合得分及排序
Tab.6 Principal component scores and ranking of eleven frozen *L. vannamei* products

排名 Rank	F ₁	代码 Code	F ₂	代码 Code	F ₃	代码 Code	F	代码 Code
1	1.88	M3	3.98	D1	0.18	M1	1.80	M3
2	1.40	M1	3.60	D2	-0.03	D4	1.55	M1
3	0.43	D2	3.31	M2	-0.17	D1	1.07	M2
4	0.28	M2	2.88	M3	-0.32	M4	0.84	D4
5	-0.01	M4	2.53	M1	-0.39	M2	0.53	M4
6	-0.66	D5	2.27	D5	-0.51	D6	0.21	D5
7	-0.68	D6	2.26	D3	-0.55	D3	0.10	D6
8	-1.09	D3	2.07	D4	-0.59	D5	-0.04	D3
9	-1.43	D7	2.00	M4	-0.60	D7	-0.49	D7
10	-2.86	D1	1.90	D6	-0.62	D2	-0.50	D1
11	-3.14	D2	1.38	D7	-0.79	M3	-0.83	D2

2.3 市售冻凡纳滨对虾品质影响因素分析

以品质水平 F' 为被解释变量, 以超市等级(SG)、产品形式(FP)、冻藏时间(PF)与摆放位置(RL)为解释变量进行多元线性回归分析, 结果见表 7。由表 7 可知, 建立的 4 个回归模型如下:

模型一: $F' = X + X_1 \times SG - X_2 \times FP$

模型二: $F' = X + X_1 * SG - X_2 * FP + X_3 * PF$

模型三: $F' = X + X_1 * SG - X_2 * FP + X_4 * RL$

模型四: $F' = X + X_1 * SG - X_2 * FP + X_3 * PF + X_4 * RL$

本研究表明, 选取的水分损失、质构与色泽可以充分地描述和分析不同商品类型冻凡纳滨对虾品质的差异。超市等级、冻藏时间、产品形式和摆放位置均会对其品质产生影响。其中, 超市等级和冻藏时间对其品质影响显著, 且超市等级越高, 越有利于保持冻虾品质; 冻藏时间越长, 越不利于保持冻虾品质。产品形式和摆放位置对其品质影响不显著。

表 7 冻凡纳滨对虾品质水平回归分析
Tab.7 Quality level regression analysis of frozen *L. vannamei*

项目 Items	模型一 Model I	模型二 Model II	模型三 Model III	模型四 Model IV
SG	0.123**	0.093**	0.123**	0.926**
FP	-0.088*	-0.046**	-0.880*	0.046**
PF	/	0.095	/	0.095
RL	/	/	0.007	0.007
X	-0.074**	0.042*	0.071**	0.039*

研究表明, 高端超市的冻品品质明显优于普通超市。首先, 高端超市其冷柜温度明显低于普通超市(约 5℃~10℃, 见 1.1)。众多研究表明, 冻藏温度越低, 品质劣变越慢。Yu等(2014)研究表明, 南极磷虾(*Euphausia superba*)的感官品质、持水率、总蛋白含量随着冻藏温度的延长而下降, 并且冻藏温度越高, 下降越迅速。Yuan等(2016)研究表明, 在冻藏期间, 随着蛋白二级

结构的展开,蛋白的表面疏水性增加,与结合水的相互作用减弱,并且贮藏温度越高,相互作用越减弱,蛋白质结构越不稳定,水分流失越容易发生。因此,在长期冻藏期间,普通超市较高的贮藏温度使得冰晶尺寸增长,导致更多的组织和细胞破裂,造成更多的水和蛋白质的损失(Williams *et al*, 1981; Lu *et al*, 2017; 景电涛等, 2019),发生更多的蛋白质变性和脂质氧化,造成的品质劣化程度明显高于高端超市。其次,高端超市可能拥有更优秀的管理能力、除霜能力(Williams *et al*, 1981)以及物流能力,从而降低了温度波动的可能性。Zhang等(2018)研究表明,冷冻储存和运输过程中的温度波动往往是不可预测和不可避免的,它们会导致冰重结晶和细胞损伤,影响冷冻虾的质量。当冻品长期遭受冷冻储存和温度波动时,冰晶的平均尺寸增加,形状变得不规则,较大的晶体使肌肉蛋白质更容易变性和碎裂,从而导致肌肉组织的持水能力丧失。Dang等(2018)发现,工业冷库的温度波动以及温度高于 -18°C 会破坏冻品的组织结构,脂肪氧化严重,汁液流失率增大。因此,在冷冻贮藏过程中,通常情况下小冰晶的尺寸会变大,从而产生更稳定的晶体,贮藏温度的波动会导致肌肉组织中冰晶的生长和再结晶,这是导致肌肉品质劣化的主要原因(曹荣等, 2016; Zhang *et al*, 2018)。然而,高端超市更好的制冷装备相较于普通超市能够减小冰的再结晶和细胞损伤的可能性,保证了产品品质。凡纳滨对虾中最丰富的肌原纤维成分是肌球蛋白,其不仅受温度、贮藏时间的影响,还受到所用添加剂类型等影响,且在运输和储存过程中容易变性,可能会导致品质劣化并影响肌肉品质(Zhang *et al*, 2020)。因此,可能由于高端超市采购的水产品冻前原料状态更佳、冻结方式更优等因素,水产品在进入超市冻藏之前有较好的品质特性。

本研究以采购日期与生产日期之间的时间差,将冻品划分为0~4个月和4~10个月的样品。研究结果表明,冻藏时间越长,越不利于保持冻虾品质。Li等(2018)研究表明, -20°C 、 -30°C 和 -40°C 鲤鱼(*Cyprinus carpio*)鱼片的解冻损失和蒸煮损失在前4个月显示出明显的上升趋势。Yang等(2019)研究表明,河豚(*Takifugu*)鱼片在 -18°C 冻藏0~5个月后冰晶横截面积增大96%,当量直径增大37.6%,形成的大冰晶引起细胞外和细胞内电解质浓度增加,细胞膜的渗透导致细胞收缩,从而造成较大的结构损伤,且在0~4个月期间胞外冰晶的突增,4~5个月冰晶增长较缓慢。因此,较长的冻藏时间改变了冻品虾中水的存在状态,且冰晶尺寸的增长随贮藏温度和贮藏时间的

增加而增加,导致冻虾肌肉的汁液流失增加,造成了蛋白质变性和组织结构破坏,使其品质下降。

产品的形式可能对其品质也有影响。柳佳彤等(2018)研究表明,在冻藏期间,冻整只罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)较冻去头罗氏沼虾品质劣化较为严重,该结果与本研究结果不一致,可能原因是质构测定方法不同导致所得结果有差异。本研究中,较低的冻藏温度抑制了虾头中内源酶活性。另外,可能由于整虾的虾壳对虾肉组织结构和蛋白质性质有一定的保护作用,从而最大化地维持了原有的硬度、持水性等性质。

Dang等(2018)研究表明,较长时间贮藏于较高温度会使冰晶分布向更大的方向扩展,进而影响冻品品质。本研究中,虽然上层温度远高于 -18°C 且与下层温度存在差异,但摆放位置对品质影响不显著,可能是零售商定期除霜时翻动样品(Williams *et al*, 1981; Dang *et al*, 2018)、市场人员定期归整样品以及消费者经常翻动样品的原因。

3 结论

尽管不同市售冻凡纳滨对虾其产地、生产厂家及加工工艺各不相同,但本研究仍发现一些规律性。选取的水分损失、质构和色泽可以充分地描述和分析不同商品类型冻凡纳滨对虾品质的差异。采用因子分析建立的综合评价模型为 $F=0.577F_1+0.293F_2+0.131F_3$,其中, F_1 、 F_2 和 F_3 为3个主因子得分, F 越高,说明品质水平越高。回归分析得到影响冻凡纳滨对虾品质的主要因素为超市等级与冻藏时间,次要因素为产品形式和摆放位置,且超市等级越高,越有利于保持冻虾品质。冻藏时间越长,越不利于保持冻虾品质。为此,针对不同等级的超市,需要关注相关影响因素,切实做好冻品的品质管理。

参 考 文 献

- AKHTAR S, KHAN MI, FAIZ F. Effect of thawing on frozen meat quality: A comprehensive review. *Journal of Food Sciences*, 2013, 23(4): 198–211
- Bureau of Fishery and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, 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]
- 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]
- DANG H T T, GUDJÓNSDÓTTIR M, TÓMASSON T, *et al.* Influence of processing additives, packaging and storage conditions on the physicochemical stability of frozen Tra catfish (*Pangasius hypophthalmus*) fillets. *Journal of Food Engineering*, 2018, 238: 148–155
- GONÇALVES A A, JUNIOR C S G G. The effect of glaze uptake on storage quality of frozen shrimp. *Journal of Food Engineering*, 2009, 90(2): 285–290
- INES M B N Q, JOAO A, ANA S, *et al.* Sensory quality of frozen shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Semina: Ciências Agrárias*, 2014, 35(4): 1801–1812
- JIANG X, LIU N, LIU Y, *et al.* Application of statistical analysis methods in food quality evaluation. *Journal of Food Safety and Quality*, 2017, 8(1): 13–19 [姜雪, 刘楠, 孙永, 等. 统计分析方法在食品品质评价中的应用. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(1): 13–19]
- JING D T, YANG F, YU 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]
- LI D P, QIN N, ZHANG L T, *et al.* Degradation of adenosine triphosphate, water loss and textural changes in frozen common carp (*Cyprinus carpio*) fillets during storage at different temperatures. *International Journal of Refrigeration*, 2019, 98: 294–301
- LI W, QI L, YAN Z, *et al.* Relationship between protein oxidation and water holding capacity of yak meat under freeze-thaw cycles. *Food Science*, 2018, 39(2): 14–19
- LI X P. Studies on quality assessment and protein indicators of freshness in Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) during refrigerated storage. Doctoral Dissertation of Zhejiang Gongshang University, 2012 [李学鹏. 中国对虾冷藏过程中品质评价及新鲜度指示蛋白研究. 浙江工商大学博士研究生学位论文, 2012]
- LIU J T, JIANG Q X, YANG F, *et al.* The changes intexture and physicochemical properties of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) during frozen storage. *Food and Machinery*, 2018, 34(12): 95–100 [柳佳彤, 姜启兴, 杨方, 等. 罗氏沼虾冻藏过程中质构与理化特性研究. *食品与机械*, 2018, 34(12): 95–100]
- LU H, ZHANG L T, LI Q Z, *et al.* Comparison of gel properties and biochemical characteristics of myofibrillar protein from bighead carp (*Aristichthys nobilis*) affected by frozen storage and a hydroxyl radical-generation oxidizing system. *Food Chemistry*, 2017, 223: 96–103
- PAN H B, LIU D, SHAO Q X, *et al.* Analysis and comprehensive evaluation on textural quality of ripe fruits from different varieties of oriental melon (*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino). *Journal of Food Science*, 2019, 40(21): 35–42 [潘好斌, 刘东, 邵青旭, 等. 不同品种薄皮甜瓜成熟期果实质地品质分析及综合评价. *食品科学*, 2019, 40(21): 35–42]
- PATRAS A, BUNTON N P, DOWNEY G, *et al.* Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify fruits and vegetables commonly consumed in Ireland based on in vitro antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2011, 24(2): 250–256
- SHI J, ZHANG L T, LU H, *et al.* Protein and lipid changes of mud shrimp (*Solenocera melanthero*) during frozen storage: Chemical properties and their prediction. *International Journal of Food Properties*, 2017, 20(s2): 1–14
- SHI J. Studies on quality changes and mechanism of mud shrimp (*Solenocera melanthero*) during frozen storage. Doctoral Dissertation of China Agricultural University, 2018 [石径. 中华管鞭虾冻藏过程中品质变化规律及机理研究. 中国农业大学博士研究生学位论文, 2018]
- TSIRONT T, DERMESONLOUOGLOU E, GIANNAKOUROU M, *et al.* Shelf life modelling of frozen shrimp at variable temperature conditions. *LWT Food Science and Technology*, 2009, 42(2): 664–671
- WACHIRASIRI K, WANIAPA S, UTTAPAP D, *et al.* Effects of multiple freeze-thaw cycles on biochemical and physical quality changes of whiteshrimp (*Penaeus vannamei*) treated with lysine and sodium bicarbonate. *Journal of Food Science*, 2019, 84(7): 1784–1790
- WANG F S, LI L L, WANG S Y. Comprehensive evaluation system established for the quality of *Penaeus vannamei* during low-temperature storage. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(13): 328–331, 339
- WANG H F, TSAUR R C. Insight of a fuzzy regression model. *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, 112(3): 355–369
- WANG Q S, GONG Z M, ZHENG P C, *et al.* Qingzhuan brick tea infusion: Analysis of taste components and establishment of quality evaluation model. *Journal of Food Science*, 2019, 40(10): 214–219 [王胜鹏, 龚自明, 郑鹏程, 等. 青砖茶茶汤滋味成分分析及品质评价模型建立. *食品科学*, 2019, 40(10): 214–219]
- WANG W, CHAI C X, LU X X, *et al.* Evaluation on freshness of *Penaeus vannamei* by color and texture. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2015, 27(2): 271–277 [王伟, 柴春祥, 鲁晓翔, 等. 色差和质构评定南美白对虾的新鲜度. *浙江农业学报*, 2015, 27(2): 271–277]
- WILLIAMS S K, MARTIN R, BROWN W L, *et al.* Moisture migration in frozen, raw breaded shrimp during nine months storage. *Journal of Food Science*, 1981, 46(5): 1577–1581
- YAMAGATA M, LOW L K. Banana shrimp, *Penaeus merguensis*, quality changes during iced and frozen storage. *Journal of Food Science*, 1995, 60(4): 721–726

- YANG F, JING D T, YU D W, *et al.* Differential roles of ice crystal, endogenous proteolytic activities and oxidation in softening of obscure pufferfish (*Takifugu obscurus*) fillets during frozen storage. *Food Chemistry*, 2019, 278: 452–459
- YU S Y, BAO J Q, LI Y H, *et al.* Quality changes of antarctic krill (*Euphausia superba*) stored at different frozen temperatures. *Food and Fermentation Industries*, 2014, 40(1): 232–237
- YUAN L, JI X, SHI T, *et al.* Protein and water structural changes in whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during frozen storage as revealed by Raman spectroscopy. *Food Science*, 2016, 37(18): 202–207
- ZHANG B, FANG C D, HAO G J, *et al.* Effect of kappa-carrageenan oligosaccharides on myofibrillar protein oxidation in peeled shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during long-term frozen storage. *Food Chemistry*, 2018, 245: 254–261
- ZHANG B, QI X E, MAO J L, *et al.* Trehalose and alginate oligosaccharides affect the stability of myosin in whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*): The water-replacement mechanism confirmed by molecular dynamic simulation. *LWT*, 2020, 127: 109393
- ZHANG B, ZHAO J L, CHEN S J, *et al.* Influence of trehalose and alginate oligosaccharides on ice crystal growth and recrystallization in whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during frozen storage with temperature fluctuations. *Journal of Refrigeration*, 2019, 99: 176–185
- ZHANG G J, HAN L P, SUN J F, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition in *Penaeus vannamei*. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2013, 13(8): 254–260 [张高静, 韩丽萍, 孙剑锋, 等. 南美白对虾营养成分分析与评价. *中国食品学报*, 2013, 13(8): 254–260]
- ZHANG J J, GU S Q, DING Y T, *et al.* Habitat identification and grade evaluation of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) using electronic tongue. *Journal of Food Science*, 2015, 36(4): 141–146 [张晶晶, 顾赛麒, 丁玉庭, 等. 电子舌在中华绒螯蟹产地鉴别及等级评定的应用. *食品科学*, 2015, 36(4): 141–146]
- ZHOU F, ZHANG Y X, ZHANG L, *et al.* Differences in taste components in by-products of chilled large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*). *Journal of Food Science*, 2019, 40(16): 193–199 [周纷, 张艳霞, 张龙, 等. 冰鲜大黄鱼不同副产物中滋味成分差异分析. *食品科学*, 2019, 40(16): 193–199]

(编辑 陈 辉)

Quality Evaluation of Commercial Frozen Shrimps (*Litopenaeus vannamei*) Based on Factor and Regression Analysis

WANG Yueke^{1,2,3}, ZHENG Yao^{1,2,3}, WANG Hongli^{1,2,3}, ZHOU Fen^{1,2,3},
TANG Shijie^{1,2,3}, LI Junhao¹, WANG Xichang^{1,2,3}^①

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

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

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

Abstract This study aimed to investigate the quality evaluation method and the key factors leading to the quality deterioration of commercial frozen shrimps. Eleven different frozen shrimp (*Litopenaeus vannamei*) samples were purchased from two supermarkets in Shanghai, and their quality traits were studied. Sampling was conducted to analyze the effects of supermarket level, product formation, frozen-storage period, and retail location on quality characteristics such as water loss, texture, and color. Electronic tongue technology was used to distinguish its flavor profile. Correlation analysis, factor analysis, and multiple linear regression analysis were combined to establish the quality evaluation model and explore the key influencing factors. The results indicated that with respect to water loss, texture and color, there were certain differences in the frozen shrimps of different commodity types. The correlation analysis showed that thawing loss, centrifugal loss, and cooking loss were significantly and positively correlated with adhesiveness. The centrifugal and cooking losses were significant and positively correlated with a^* and b^* . The centrifugal loss exhibited a negative correlation with L^* . The b^* was found to be significant and positively correlated with adhesiveness. Three principal factors were extracted by factor analysis based on eigenvalues greater than one; the cumulative variance contribution rate being 84.05%. The ranking orders of comprehensive scores of the principal components and the sample collection information were consistent. The comprehensive evaluation model established by the factor analysis was $F=0.577F_1+0.293F_2+0.131F_3$, where F_1 , F_2 , and F_3 were three main score factors, such that the higher the F , the higher the quality level. Further regression analysis was conducted. The results indicate that the main factors affecting the quality of the frozen shrimps were supermarket level and frozen-storage period, while the secondary factors were product formation and retail location. With respect to the quality parameters of water loss, texture, color, etc., supermarket level and frozen-storage period emerged as the key factors affecting the quality deterioration of frozen shrimps, warranting more focused attention in future studies.

Key words Frozen shrimp (*Litopenaeus vannamei*); Quality evaluation; Factor analysis; Regression analysis

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