

不同冻结储藏方式对河蟹感官品质的影响

刘小莉¹, 彭欢欢^{1,2}, 葛达娥^{1,2}, 张军淼³, 周剑忠^{1*}

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 南京 210014; 2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306;
3. 河南大学药学院, 开封 475001)

摘要: **目的** 研究不同冻结速率和保水剂处理对冻藏河蟹感官品质的影响, 为河蟹加工产业的原料保存提供技术参考。**方法** 采用冰柜慢冻(慢冻组)、风冷速冻(速冻组)、食盐水保水剂浸渍及风冷速冻(保水剂+速冻组)分别对河蟹进行冻结处理, 以傅里叶变换红外光谱分析3组处理河蟹样品和新鲜河蟹肌肉蛋白质中的二级结构含量, 通过质构仪测定河蟹不同部位肌肉组织的弹性、硬度和咀嚼性, 扫描电镜观察肌肉组织微观结构, 电子鼻技术分析风味, 以及感官评定综合评价不同处理河蟹的感官品质。**结果** 保水剂+速冻可以显著延缓冻藏河蟹品质的不良变化, 蛋白质中 α -螺旋结构含量相对慢冻或直接速冻处理较高, 质构、肌肉纤维微结构、风味和口感都更接近新鲜河蟹。**结论** 食盐作为安全的保水剂, 结合速冻方式, 有助于保持冻藏河蟹的肌肉品质, 且风味无不良影响。

关键词: 河蟹; 冻结储藏; 保水剂; 蛋白质变性; 感官品质

Effects of different freezing methods on the sensory quality of crab muscles

LIU Xiao-Li¹, PENG Huan-Huan^{1,2}, GE Da-E^{1,2}, ZHANG Jun-Miao³, ZHOU Jian-Zhong^{1*}

(1. Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
3. Pharmaceutical college of Henan University, Kaifeng 475001, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of different freezing rates and water-holding agents on the sensory quality of frozen crabs, and provide technical references for the material storage in crab processing industry. **Methods** Slow freezers frozen (slow freezing group), air-cooled quick-freezing (rapid freezing group), salt water protection agent impregnating and air-cooled quick-freezing (water-holding agent+rapid freezing group) were used to freeze crabs. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was used to analyze the secondary structure in the muscle protein of crab samples and fresh crabs. The elasticity, hardness and mastication of muscle tissue in different parts of the crab were determined by means of plasticity apparatus. The microstructure of muscle tissue was observed by scanning electron microscope (SEM). The flavor was analyzed by electronic nose. And the sensory quality of the crab was comprehensively evaluated by sensory evaluation. **Results** The water-holding agent+rapid freezing group could significantly delay the bad quality of the frozen river crab, and the content of α -helical structure in protein was higher than that of slow freezing or direct freezing. Texture, muscle fiber microstructure, flavor and taste of

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(15)1011)

Fund: Supported by the Jiangsu Agricultural Technological Innovation Foundation (CX(15)1011)

*通讯作者: 周剑忠, 研究员, 主要研究方向为水产加工。E-mail: zjzluck@126.com

*Corresponding author: ZHOU Jian-Zhong, Professor, Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014, China. E-mail: zjzluck@126.com

water-holding agent+rapid freezing group were all closer to fresh crabs. **Conclusion** Salt as a safe water-holding agent, combined with rapid freezing, can help to maintain the muscle quality of the frozen river crab, and the flavor has no adverse effects.

KEY WORDS: crab; frozen storage; water-holding agent; protein denaturation; sensory quality

1 引言

河蟹是我国特种水产品养殖中最具代表性和最有影响的主导产业,也是淡水渔业生产中发展最为迅速、最具特色、最具潜力的支柱产业。但是河蟹是一种季节性水产品,在集中上市的季节很容易出现供大于求的局面,造成产品积压或贬值,另外受传统饮食文化的影响,小规格蟹和断足残次蟹的价格也很低^[1]。目前河蟹产业主要集中在苗种繁育和养殖生产环节,加工是河蟹产业链中的薄弱环节,反季储藏和加工技术缺乏创新和突破^[2]。

对于加工业而言,原料是企业生产的重要资源,也是影响所生产的产品品质的制约因素。冻藏作为主要的保藏方法,广泛应用于水产类的贮藏、运输、销售和加工中。低温冻藏条件下,产品储藏期较长,能有效抑制微生物和内源酶的作用,以供后续加工使用^[3]。但越来越多的研究证明,即使在低温下水产类脂质中含有的大量高度不饱和脂肪酸以及蛋白质也会氧化或分解变质,改变肌肉的组织、颜色、水合能力和风味等一系列特性,对其品质产生不良影响^[4]。

本文以鲜活河蟹为研究对象,在前期研究基础上,采用不同冻结方式和食品级保水剂对河蟹进行浸渍处理,研究不同处理对河蟹储藏后肌肉蛋白质的二级结构影响,评价不同处理的保水效果以及对品质特性的影响,进一步提高河蟹的冻藏品质,以期为水产品的加工提供更好的技术指导。

2 材料与方法

2.1 原料

鲜活母河蟹由常熟市金唐市水产有限公司提供,体重(150±15) g,江苏省淡水水产研究所鉴定为中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*, H. Milne-Edwards)。

2.2 仪器与试剂

TVT-300 XP 质构仪(美国 FTC 公司); ZX-27 傅里叶变换红外光谱仪(德国布鲁克公司); EVO-LS 10 扫描电子显微镜(德国卡尔蔡司公司); Fox 3000 电子鼻(法国 Alpha MOS 公司)。

磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、无水乙醇、戊二醛、十二烷基磺酸钠(SDS)(分析纯,西陇化工股份有限公司); BCA 试剂盒(南京建成生物工程研究所);普通食用盐,购于

超市。

2.3 实验方法

2.3.1 原料冻结方法

鲜活河蟹自来水冲洗干净后沥水,分组,分别进行如下冻结处理:

(1)慢冻:将河蟹直接置于-20℃冰箱冷冻层中缓慢冻结;

(2)速冻:设置低温实验箱温度为-40℃,待腔体温度稳定至设置值后,将温度探头插入河蟹腹部中心进行冻结至中心温度达-40℃^[5];

(3)保水剂+速冻:配制2.5%食盐水,于冰水中降温至0℃,按料液比1:2(m:v)将河蟹浸渍于食盐水中45 min,浸泡的过程保持0℃低温。河蟹捞出沥干水分后于低温实验箱速冻,速冻条件同处理(2)。

将上述冻结好的河蟹装入保鲜自封袋(厚度0.2 mm),封口,-40℃低温保存箱中储藏18周,同时以新鲜河蟹为对照,测定各项指标。

2.3.2 总蛋白的提取和傅立叶变换红外光谱

冻结河蟹置于4℃解冻,取各部位样品3 g,加30 mL 10 g/100 mL SDS溶液,室温匀浆,85℃、1 h,提取总蛋白,离心,收集上清,采用BCA试剂盒测蛋白浓度。

取总蛋白样品约3 mg,采用压片法,与200 mg溴化钾混合,烘干,研磨均匀压片。傅立叶变换红外光谱测定条件为扫描次数32次,分辨率4 cm⁻¹。采用Peakfit 4.1.2软件对所得的图谱进行去卷积和曲线拟合分析。

2.3.3 质构的测定

参照Tolasa等^[6]的方法进行硬度、弹性和咀嚼性的测定。采用质构仪进行测定。样品处理:挑选离螯足最近的蟹腿肉,蒸熟后将样品在室温(25℃)下放置0.5 h,消除高温影响,用锋利小刀切成20 mm的大小。使用平底柱形探头p/30(30 mm直径),测试前速率3 mm/s,测试速率1 mm/s,测试后速率1 mm/s,压缩程度50%,负重探头类型Auto-5 g。

2.3.4 扫描电镜观察

样品切成1 mm³左右大小,置于2.5%戊二醛溶液中固定2 h以上,用0.1 mol/L磷酸盐缓冲液(phosphate buffer saline, PBS)漂洗15 min,上述固定程序重复3次。以30%、50%、70%、80%、90%的乙醇溶液依次脱水15 min,然后用无水乙醇漂洗2次,每次10 min。将脱水后的样品放入叔丁醇中浸泡2 h以上后放置到冷冻干燥仪中进行干燥,

脱去材料中剩余的水分。最后将样品喷金,通过扫描电镜进行观察。

2.3.5 电子鼻分析

将不同处理的河蟹放入蒸锅内蒸制 30 min,取出样品,冷却至室温,打开甲壳,取出 4 个部位的肉:体肉、钳肉、足肉和性腺,每个部位充分绞碎至均匀,分别称取每份质量为(2.00±0.01) g 肉样,置于 20 mL 电子鼻进样瓶待测^[7]。

电子鼻参数为:以洁净干燥空气为载体,顶空平衡温度 50 ℃,平衡时间 10 min,流速 150 mL/min,进样体积 2500 μL,1 s 进样完成,注射针温度 60 ℃,数据采集时间为 120 s,延滞时间为 10 min。

2.3.6 感官评定

将不同处理冻藏 18 周后、以及新鲜河蟹蒸制后,对色泽、组织状态、气味等进行感官评定,评价表指标见表 1。

表 1 河蟹感官评定表
Table 1 Standards of sensory evaluation for crab

项目	鉴定内容	评分标准(分)	权重(%)
色泽	正常白色	10~7	20
	稍带黄色	7~4	
	明显变黄色或稍带褐色	4~1	
气味	正常香气、无腥味	10~7	25
	稍有腥味	7~4	
	腥味重并有刺激气味	4~1	
组织结构	组织结构非常紧密	10~7	20
	组织结构紧密	7~4	
	组织结构松散	4~1	
口感	鲜美	10~7	25
	无异味	7~4	
	带有哈味和涩味	4~1	
汤汁	蟹肉汤汁清澈	10~7	10
	基本不混浊、稍带淡黄色	7~4	
	混浊、黄色	4~1	

2.3.7 数据处理

文中数据为 3 次重复的平均值。采用 SPSS 13.0 软件进行数据统计。

3 结果与分析

3.1 红外光谱分析

红外光谱在蛋白质的二级结构中应用比较广泛,其吸收最强的区域为酰胺 I 带(波数范围 1600~1700 cm⁻¹),这个区域的变化由蛋白质分子的多肽骨架 C=O 键的伸缩振

动引起的^[8]。 α -螺旋结构是蛋白质二级结构中的有序结构,它具有高度的结构稳定性; β -转角和无规卷曲是蛋白质分子的无序结构,因此 α -螺旋结构的含量可以作为蛋白质结构稳定性的评判标准^[9]。由表 2 可以看出,不同处理的样品贮藏结束后, α -螺旋含量减少,蟹肉的整个分子构象从有序向无序转化,蛋白质分子结构由螺旋向折叠转化,同时伴随着 β -转角结构的增加,出现了蛋白质的聚合沉淀^[10]。

新鲜河蟹腹部、螯足、步足肌肉蛋白中 α -螺旋含量分别为 23.74%、31.41%、23.69%,与新鲜河蟹相比,慢冻、速冻、保水剂 3 种处理的河蟹冻藏后腹部肌肉中 α -螺旋含量分别下降了 32.12%、26.87%、20.72%,螯足肉分别下降了 54.61%、48.21%、44.89%,步足肉分别下降了 30.23%、29.28%、28.10%。不同部位的肌肉相比,螯足肉 α -螺旋结构下降比较迅速,其次是步足肉和腹部肉。保水剂处理组 α -螺旋含量相对其他处理较高,冻藏品质较好;速冻处理组的样品 α -螺旋含量比慢冻组高。

3.2 冻藏结束后质构的变化

由于河蟹体型复杂,剥壳取样相对于鱼虾等水产品困难,难以得到大块的样品,同时由于质构仪探头大小的限制,本研究仅取河蟹螯足肉和步足肉进行质构测定。由表 3 所示,不同处理的河蟹螯足肉和步足肉的硬度、弹性和咀嚼性与新鲜河蟹对比,呈下降趋势。贮藏过程中弹性、硬度、咀嚼性的变化可能是由蛋白质的变化引起的^[11]。由于冻藏过程中随着冰晶的产生,细胞环境中离子浓度升高,诱导肌浆球蛋白的变性、以及肌动蛋白-肌浆球蛋白复合体的瓦解^[12],从而导致其组织质地发生改变,引起保水性降低,而蟹肉的解冻过程中,汁液发生流失引起口感下降^[13]。保水剂+速冻处理的河蟹冻藏后硬度、弹性、咀嚼性相对慢冻和速冻处理变化比较小,保持较好的质构特性,说明加保水剂能提高蟹肉的质构特性。与新鲜样品相比,慢冻组冻藏后肌肉质构品质最差,说明快速冻结能有效提高蟹肉的品质。

3.3 扫描电镜分析

不同处理的河蟹腹部、螯足、步足肌肉的微观扫描电镜如图 1 所示。与新鲜样品相比,保水剂处理的样品各部位肌肉的组织微结构变化较小,慢冻组体肉结构发生皱缩最严重,肌肉纤维变小,发生变形,肌原纤维的皱缩和歪曲可能是其发生失水和蛋白酶降解作用引起的^[14]。

3.4 冻藏结束后风味的变化

图 2 为不同处理的河蟹样品风味电子鼻数据主成分分析图(principal component analysis, PCA),可以看出第 1 主成分与第 2 主成分贡献度之和均在 95%以上,说明不同处理的河蟹相同部位气味成分差异明显。根据不同处理的河蟹样品与新鲜河蟹样品之间的距离分析,图 2A 所示为

河蟹腹部肌肉风味, 保水剂+速冻组和慢冻组样品, 与新鲜河蟹距离较大, 速冻组最近, 说明保水剂处理容易对腹部肌肉的气味产生影响。图 2B 显示慢冻组河蟹的螯足肉与新鲜组距离最大, 其他 3 组处理距离较近。图 2C 显示直接冻藏的样品步足肉与新鲜样距离较近, 其他 2 组处理都相对较远。图 2D 显示保水剂+速冻组的样品性腺风味与新鲜样品距离最大。由此可见, 保水剂+速冻处理对河蟹腹部肌肉和性腺风味的影响较大, 而慢冻处理则对螯足、步足肉风味影响显著, 可能是由于活蟹呼吸作用, 在保水剂浸渍过程中保水剂组分容易渗透到腹部肌肉和性腺, 造成风味上的变化, 而螯足和步足由于蟹壳的保护不易渗透, 因

而影响较小。而慢冻组则由于缓慢降温造成蛋白质变性和冰晶破坏细胞作用, 对足肉部位的影响较大。

3.5 感官评定分析

由图 3 可以看出, 保水剂+速冻处理能有效提高冻藏河蟹的食用价值, 色泽、气味、组织状态、口感和汤汁感官评分均高于其他 2 组, 与新鲜组相近, 但添加的食盐作为保水剂并未对口感造成影响, 无异味。慢冻处理组蟹肉明显变黄、略有腥味, 口感比较差, 蟹肉组织松散, 且汤汁混浊, 表明慢冻组河蟹在解冻后汁液流失显著, Crane 等^[15]在对鱼的冷冻研究中也发现了类似的现象。

表 2 贮藏结束后不同处理的蟹肉蛋白的二级结构含量(%*, n=3*)
Table 2 Changes of secondary structure of crab protein with different treatments after storage (%*, n=3*)

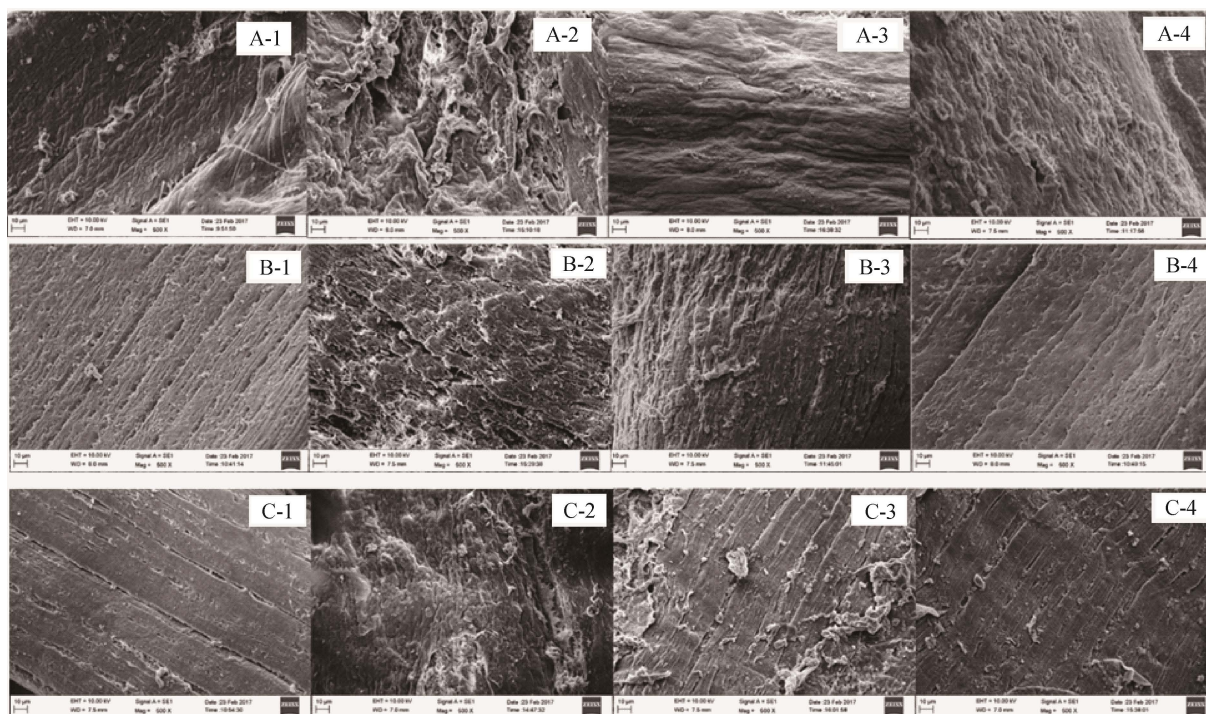
取样部位	样品	β -折叠	无序结构	α -螺旋	β -转角
腹部	新鲜	25.03±0.04 ^b	14.30±0.28 ^c	23.74±0.28 ^a	36.93±0.28 ^c
	慢冻	24.52±0.14 ^c	14.05±0.28 ^c	16.11±0.14 ^d	45.32±0.14 ^a
	速冻	26.25±0.28 ^a	15.60±0.14 ^b	17.36±0.28 ^c	40.79±0.14 ^b
	保水剂+速冻	26.54±0.07 ^a	17.57±0.21 ^a	18.82±0.28 ^b	37.07±0.28 ^c
螯足	新鲜	24.41±0.23 ^b	18.12±0.16 ^b	31.41±0.14 ^a	26.07±0.42 ^d
	慢冻	25.26±0.28 ^b	19.43±0.28 ^a	14.25±0.28 ^d	41.05±0.28 ^b
	速冻	24.59±0.28 ^b	14.91±0.14 ^d	16.27±0.14 ^c	44.23±0.14 ^a
	保水剂+速冻	31.21±0.14 ^a	17.12±0.28 ^c	17.31±0.23 ^b	34.35±0.14 ^c
步足	新鲜	26.81±0.14 ^a	13.56±0.28 ^c	23.69±0.14 ^a	35.94±0.14 ^c
	慢冻	25.94±0.28 ^b	14.77±0.14 ^b	16.53±0.11 ^b	42.75±0.14 ^a
	速冻	24.18±0.14 ^c	16.31±0.14 ^a	16.75±0.14 ^b	42.76±0.14 ^a
	保水剂+速冻	25.46±0.14 ^b	16.44±0.14 ^a	17.03±0.14 ^b	41.07±0.14 ^b

注: 不同小写字母表示同一二级结构同一取样部位的不同样品之间有显著性差异(*P*<0.05)。

表 3 冻藏结束后不同处理的蟹肉质构的变化(*n=3*)
Table 3 Changes of texture indexes of crab with different treatments after storage (*n=3*)

取样部位	样品	硬度/g	弹性	咀嚼性
螯足	新鲜	2121±23 ^a	0.49±0.03 ^a	550.79±1.38 ^a
	慢冻	1720±11 ^c	0.33±0.01 ^c	190.11±0.87 ^d
	速冻	1728±12 ^c	0.36±0.03 ^{bc}	254.53±1.36 ^c
	保水剂+速冻	1788±17 ^b	0.37±0.02 ^{bc}	261.57±0.98 ^c
步足	新鲜	1964±18 ^a	1.00±0.07 ^a	1193.56±2.33 ^a
	慢冻	1691±8 ^d	0.60±0.02 ^c	673.09±1.44 ^d
	速冻	1719±6 ^c	0.65±0.03 ^c	1013.61±1.56 ^c
	保水剂+速冻	1880±11 ^b	0.82±0.01 ^b	1098.38±0.93 ^b

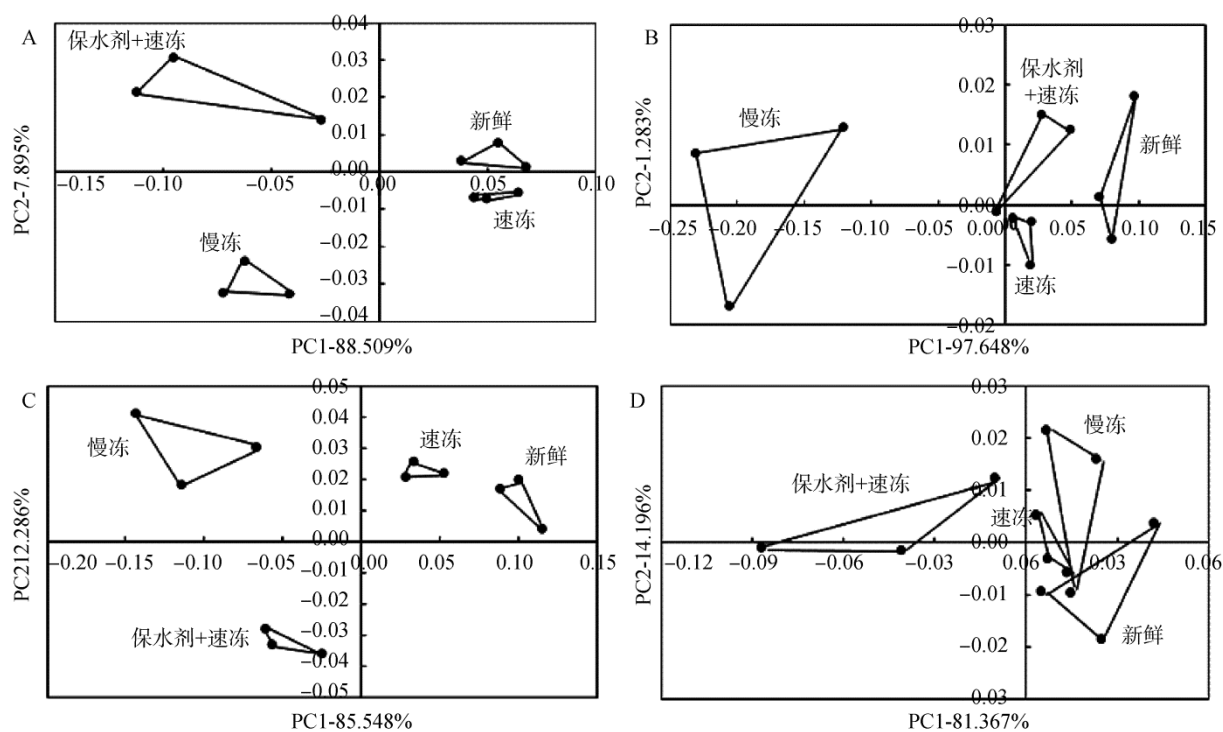
注: 不同小写字母表示同一质构同一取样部位的不同样品之间有显著性差异(*P*<0.05)。



注：图中编号 A、B、C 分别代表腹部、螯足、步足肉，1~4 分别代表新鲜、慢冻组、速冻组、保水剂+速冻组样品。

图 1 不同处理对河蟹肌肉的扫描电镜分析

Fig. 1 SEM micrographs of crab muscles with different treatments



注：图 A、B、C、D 分别代表腹部肌肉、螯足肉、步足肉和性腺。

图 2 不同处理河蟹的电子鼻数据 PCA 分析图

Fig. 2 Principal component analysis charts for E-Nose data of crabs with different treatments

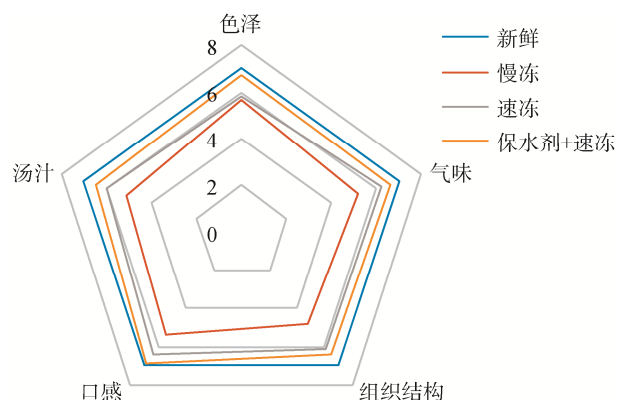


图 3 不同处理河蟹的感官评分

Fig. 3 Sensory evaluations of crabs with different treatments

4 结 论

本实验研究鲜活河蟹慢冻、速冻、加食盐保水剂速冻 3 种处理下冻藏 18 周后质构特性、蛋白质二级结构、电镜图以及风味与鲜活河蟹比较发生的变化, 傅里叶红外光谱数据显示保水剂+速冻组河蟹蛋白质中稳定的 α -螺旋结构含量相对慢冻或直接速冻处理较高, 可能使得河蟹品质保持较好, 质构、扫描电镜的结果进一步验证了红外光谱所反映的二级结构变化的结果。保水剂+速冻处理对河蟹腹部肌肉和性腺风味的影响较大, 而慢冻组则对足肉部位的影响较大, 但感官评定结果显示保水剂+速冻组感官评分与新鲜组相近, 说明食盐作为安全的保水剂, 结合速冻, 有助于保持冻藏河蟹的肌肉品质, 且风味无不良影响。

参考文献

- [1] 刘爱军, 杜林华, 金黎明. 江苏河蟹消费特征研究 [J]. 中国渔业经济, 2014, 32(6): 104–108.
Liu AJ, Du LH, Jin LM. Study on consumer behavior towards river crab in Jiangsu province [J]. Chin Fish Econ, 2014, 32(6): 104–108.
- [2] 车斌, 王倩倩. 江苏省河蟹养殖产业 SWOT 分析及对策[J]. 山西农业科学, 2011, 39(7): 736–739.
Che B, Wang QQ. SWOT analysis and measures for crab aquaculture industry in Jiangsu province [J]. J Shanxi Agric Sci, 2011, 39(7): 736–739.
- [3] 屠冰心, 姜永江, 刘永固. 低温速冻处理对养殖大黄鱼冻藏品质的影响 [J]. 渔业科学进展, 2014, 35(1): 55–59.
Tu BX, Lou YJ, Liu YG. Sharp freezing effects on the quality of frozen stored *Larimichthys crocea* [J]. Prog Fish Sci, 2014, 35(1): 55–59.
- [4] Indergard E, Tolstorebrov I, Larsen H, et al. The influence of long-term storage, temperature and type of packaging materials on the quality characteristics of frozen farmed Atlantic Salmon (*Salmo Salar*) [J]. Int J Refrig, 2014, 41(3): 27–36.
- [5] 彭欢欢, 刘小莉, 黄鸿兵, 等. 冻结速率对河蟹肌肉生化特性的影响 [J]. 食品科学, 2017, 38(13): 113–117.
Peng HH, Liu XL, Huang HB, et al. Effect of freezing rate on biochemical characteristics of freshwater crab muscle [J]. Food Sci, 2017, 38(13): 113–117.

113–117.

- [6] Tolasa S, Cakli S, Cadun A, et al. Effect of soy protein isolate and wheat fiber on the texture and freeze-thaw stability of lean fish mince [J]. J Anim Vete Adv, 2012, 10(23): 3179–3187.
- [7] 顾赛麒, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 顶空固相微萃取-气质联用及电子鼻技术检测中华绒螯蟹不同可食部位中的香气成分[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 239–244.
Gu SQ, Wang XC, Tao NP, et al. Analysis of aroma compounds from different edible parts of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) by HS-SPME-GC-MS and E-Nose [J]. Food Sci, 2013, 34(18): 239–244.
- [8] 钟朝辉, 李春美, 顾海峰, 等. 温度对鱼鳞胶原蛋白二级结构的影响 [J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(10): 1970–1976.
Zhong CH, Li CM, Gu HF, et al. Effect of temperature on the secondary structure of fish scale collagen [J]. Spectrosc Spectr Anal, 2007, 27(10): 1970–1976.
- [9] 蔡联辉, 曾虹燕, 蔡西玲, 等. 莲子蛋白组分二级结构的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(9): 2394–2398.
Cai LH, Zeng HY, Cai XL, et al. Second structure of the protein fractions from lotus seeds [J]. Spectrosc Spectr Anal, 2011, 31(9): 2394–2398.
- [10] Xiong G, Wei C, Ye L, et al. Effects of konjac glucomannan on physicochemical properties of myofibrillar protein and surimi gels from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. Food Chem, 2009, 116(2): 413–418.
- [11] García-Sánchez G, Sotelo-Romero CR, Pacheco-Aguilar R, et al. Effect of freezing on protein denaturation and gelling capacity of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantle muscle [J]. LWT-Food Sci Technol, 2015, 60(2): 737–742.
- [12] Tolstorebrov I, Eikevik TM, Bantle M. Effect of low and ultra-low temperature applications during freezing and frozen storage on quality parameters for fish [J]. Int J Refrig, 2016, (63): 37–47.
- [13] Benjakul S, Sutthiphan N. Muscle changes in hard and soft shell crabs during frozen storage [J]. LWT-Food Sci Technol, 2009, 42(3): 723–729.
- [14] 黄明, 赵莲, 徐幸莲, 等. 鸡肉在成熟过程中肌纤维蛋白的降解机制研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 42–46.
Huang M, Zhao L, Xu XL, et al. Mechanism of myofibrillar proteins degradation during chicken postmortem aging [J]. Trans Chin Soc Agr Eng, 2007, 23(11): 42–46.
- [15] Crane DP, Killourh, CC, Clapsadl MD. Effects of three frozen storage methods on wet weight of fish [J]. Fish Res, 2016, (175): 142–147.

(责任编辑: 武英华)

作者简介

刘小莉, 博士, 研究员, 主要研究方向水产品加工。

E-mail: liuxljas@hotmail.com

周剑忠, 博士, 研究员, 主要研究方向水产品加工。

E-mail: zjzluck@126.com