

冻结和冻藏对中华绒螯蟹蟹肉品质的影响

陈舜胜*, 陈媛媛, 邱伟强, 李文玲, 张瑞蓉

(上海海洋大学食品学院,上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心,上海 201306)

摘要: 为了研究冻结和冻藏对中华绒螯蟹蟹肉品质的影响,本研究对冻结和冻藏中华绒螯蟹的蛋白质特性、游离氨基酸、核苷酸关联成分、 Ca^{2+} -ATPase 活性以及解冻汁液流失率进行了全面的评价。中华绒螯蟹较耐冻结但不耐冻藏,冻藏 2 周后蟹肉弹性程度开始下降。中华绒螯蟹在冻藏过程中,蟹肉中游离氨基酸、呈味核苷酸、 Ca^{2+} -ATPase 活性以及解冻汁液流失率都发生明显变化。冻藏 12 周后相对于新鲜蟹,游离氨基酸、呈味核苷酸、 Ca^{2+} -ATPase 活性以及解冻汁液流失率分别下降了 25.3%、100%、41.6% 和增加了 9.2%。普通冻藏(-20℃)条件下,中华绒螯蟹蟹肉发生快速蛋白质分解和 ATP 降解,表现为游离氨基酸成分与 ATP 关联物成分都发生很大变化,蛋白质变性显著、汁液流失现象严重等。推测中华绒螯蟹蟹肉不耐冻藏可能与其自身的自溶酶和 ATP 酶类有关。

关键词: 中华绒螯蟹;冻结;冻藏;品质;游离氨基酸;呈味核苷酸

中图分类号: S 984.2⁺1

文献标志码: A

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)因其肉质鲜嫩,营养丰富,香气浓郁等特点,不仅受到国内消费者的欢迎,而且近几年来大量出口到国外^[1]。中华绒螯蟹之所以味道鲜美,取决于它的水溶性抽提成分,其中最重要滋味成分是游离氨基酸^[2]和呈味核苷酸^[3]。随着中华绒螯蟹养殖规模、养殖产量的不断扩大,以及对其产品质量和上市规格要求的提高,鲜活销售已经满足不了目前的市场需求。解决中华绒螯蟹市场价格受季节影响而大起大落的问题,既能保证市场的稳定和消费者的需求,又能实现生产加工工业生产原料的稳定提供^[4]是,目前研究的重点。利用冰藏或冻藏进行养殖水产类的保藏,意义重大^[1]。目前市场上冷冻海水鱼、冷冻梭子蟹已经较常见,而冷冻中华绒螯蟹通常认为不可行,但相关的理论研究目前却较少。秦辉^[5]研究了不同贮藏温度对中华绒螯蟹品质的影响,结果表明中华绒螯蟹的品质出现不同程度下降,但为何下降并未进行探究。本研究主

要通过感官评定和理化检测,区分冻结和冻藏过程对中华绒螯蟹感官品质和蛋白质理化性质变化的影响,并比较不同包装方式下冻藏中华绒螯蟹品质变化的异同,旨在探究中华绒螯蟹冻藏下的品质变化机理,为中华绒螯蟹的流通、保藏提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 实验仪器和材料

Waters 2695 高效液相色谱系统(美国 Waters 公司),配套 Waters 2998 紫外检测器及 Empower 色谱管理软件;美国 Thermo ODS-2 HYPERSIL (4.6 mm × 250 mm, 5 μm) 色谱柱;DS-3510 DTH 超声仪(上海生析超声仪器有限公司);日立 CT 14 RD 高速冷冻离心机(上海天美科学仪器有限公司);AL 204 电子天平(梅特勒·托利多仪器上海有限公司);日立 L 8800 氨基酸全自动分析仪;MILLI-Q 去离子水纯化系统(美国 Millipore 公司);日本 YAMATO 匀浆机;瑞士 METTLER

收稿日期:2014-03-12 修回日期:2014-07-01

资助项目:上海市科委工程中心建设:上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心(11DZ2280300)

通信作者:陈舜胜,E-mail:sschen@shou.edu.cn

TOLEDO 酸度计(pH计)。

鲜活中华绒螯蟹购于上海南汇芦潮港农贸市场,冷藏运输至实验室。无水乙醇、高氯酸、磷酸盐等均为优级纯,水为超纯水。

1.2 前处理方法

将清洗并擦干外部水分后的活蟹装入包装袋中,一半常压下直接封口,另一半抽真空后封口^[6],于-30℃条件下快速冻结并在-20℃下冻藏,取出冻结蟹进行取样,其余的按照实验设定的冻藏时间分别在1、2、4、8和12周时取样测定。取样时,将蟹置于室温中自然解冻1h,取蟹可食部肌肉,混匀后,进行各项指标的测定。

1.3 感官评定实验

将解冻后中华绒螯蟹与感官实验当日购买的新鲜蟹于沸水上蒸15min,之后将蟹去壳后切分并进行编号。采用排序实验法,邀请实验室8名经培训的食品感官评定员,以新鲜蟹为对照,比较常压包装及真空包装后冻结和冻藏蟹在香气、鲜美度、弹性3方面的差异并排序^[7]。感官实验进行时间为冻藏0、1、2、4、8、10周。

1.4 呈味成分的分析测定

蟹肉中游离氨基酸含量的分析测定 参考Dang等^[8]的方法,并参考罗彩林等^[9]的方法进行改动。准确称取蟹肉1.0000g,加入无水乙醇溶液10mL,均质1min后超声10min,于50mL容量瓶中定容后,立即在-20℃下冷冻20min,之后于4℃,10000r/min离心30min。取上清液1mL稀释至4mL,过0.22μm滤膜后,上日立L8800氨基酸全自动分析仪测定。样品重复测定3次,取平均值。

蟹肉中呈味核苷酸含量的分析测定 参考邱伟强等^[10]的方法进行。

1.5 蛋白质变性的测定

肌原纤维Ca²⁺-ATPase活性的测定 方法见文献^[11-12]。

解冻汁液流失率 样品解冻前称重(W_1),取样时,将包装袋中解冻流失的汁液倒掉,去蟹壳后用吸水纸吸去蟹体中渗出的水分,再次称重(W_2),解冻汁液流失率按照下式计算:

$$TL = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$$

TL:解冻汁液流失率(%); W_1 :解冻前样品质量(g); W_2 :解冻后样品质量(g)。

1.6 味道强度值(TAV)

味道强度值(taste activity value, TAV)是呈味物质的含量与其对应的呈味阈值之比。TAV大于1时,说明该物质对呈味有贡献^[13]。TAV值作为评价呈味作用的一项指标,反映该呈味活性物质作为独立的影响因子存在于食物当中时对食物的呈味起到的作用。

1.7 统计分析

数据以平均值±标准差表示。图中数据用SPSS 19.0软件进行单因素方差分析,常压包装和真空包装数据用t检验进行比较分析, $P < 0.05$ 作为差异显著的标志。

2 结果与讨论

2.1 冻结和冻藏后蟹肉风味的感官变化

新鲜的中华绒螯蟹具有味道鲜美,肉质鲜嫩,香气浓郁的基本感官特性^[14]。感官评定的结果表明,冻结操作对中华绒螯蟹的风味和质构没有明显影响。冻藏1周后,常压包装蟹的香气、鲜美度和弹性程度均无明显变化;然而冻藏2周后,蟹肉的弹性出现明显变化(松软),并且解冻时开始出现汁液流失现象,肉质口感上表现为无湿润感(表1),表明蟹的质构已较明显下降,但气味与滋味(鲜美度)几乎没有变化,从卫生学的角度看蟹仍然是新鲜的。冻结蟹采样时间为10月份(河蟹最鲜美的季节),冻藏至8、10周后进行感官评定实验时与此时购买的新鲜河蟹相比,冻结蟹肉香气似乎更好,可能是由于季节原因(冻结蟹样取自味美期)所致。冻藏12周后蟹肉发生严重的汁液流失,肉色由新鲜时的透亮、光泽,逐渐发白、发灰、干涩,尽管没有腐败变质,但出现明显的视觉与质构上的质变,可以简单判断已经失去商品价值,故12周后无需进行正式的感官实验。梭子蟹一般可以冻藏半年以上、带鱼良好条件下可以冻结保藏1年,冻藏中华绒螯蟹的食用价值下降速度与常见冷冻海水鱼、虾、蟹(例如带鱼^[15]、梭子蟹等)相比非常迅速。真空包装蟹与常压包装蟹相比,在冻藏中的优势主要表现在从第8周开始,真空包装中华绒螯蟹蟹肉香气和弹性程度大于常压包装蟹。但是真空包装处理后的中华绒螯蟹在冻藏12周后同样出现肉色发灰以及严重的汁液流失现象,失去食用价值。为了探究蟹肉品质在

冻结和冻藏条件下的变化机制,通过理化分析,对此过程中呈味成分的变化作进一步观察。

2.2 冻结和冻藏后蟹肉风味成分的变化

游离氨基酸含量的变化 中华绒螯蟹蟹肉抽提液中游离氨基酸主要有 17 种(表 2),游离氨基酸总含量 19.88 mg/g,谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸这 6 种氨基酸在蟹肉抽提液中的含量均超过 0.1 mg/g。其中甘氨酸、丙氨酸、精氨酸、脯氨酸的 TAV 值均大于 1,且 4 种氨基酸总量占游离氨基酸总量的 94%,因此认为它们是蟹肉的主要呈味氨基酸。其他游离氨基酸的含量远远低于其对应的阈值,TAV 值也远小于 1,因此可以认为这些氨基酸对蟹肉味道没有直接的影响^[16]。

表 1 中华绒螯蟹冻结和冻藏后蟹肉感官排序
Tab.1 Ranking test results of meat from *E. sinensis* by sensory evaluation after freeze and frozen storage

时间/周 time	香气 fragrance	弹性 tenderness	鲜美度 taste
0	H = B = A	H = B = A	H = B = A
1	B > H = A	H = B = A	H = A = B
2	H = B = A	H > B = A	H = A = B
4	H = B = A	H > B = A	H = A = B
8	B > A > H	H > B > A	H = A = B
10	B > A > H	H > B > A	H = A = B

注:冻藏条件为 -20 ℃,冻藏时间为“0”代表冻结蟹,“A”为常压包装蟹,“B”为真空包装蟹,“H”代表感官实验当日购买新鲜蟹
Notes:*E. sinensis* were stored at -20 ℃,“time = 0” means the crabs were freezing,“A” represents crabs in atmosphere package,“B” represents crabs in vacuum package,“H” represents crabs were fresh

表 2 中华绒螯蟹蟹肉抽提液中游离氨基酸含量
Tab.2 Free amino acids in extracts of meat from *E. sinensis*

氨基酸 amino acids	呈味特征 taste attribute	含量/(mg/g) content	呈味阈值 taste threshold	味道强度值 TAV
天冬氨酸(Asp)	鲜/酸(+)	nd	1	0
苏氨酸(Thr)	甜(+)	nd	2.6	0
丝氨酸(Ser)	甜(+)	0.09 ± 0.01	1.5	0.1
谷氨酸(Glu)	鲜/酸(+)	0.35 ± 0.02	0.3	1.2
甘氨酸(Gly)	甜(+)	4.82 ± 0.32	1.3	3.7
丙氨酸(Ala)	甜(+)	6.56 ± 0.16	0.6	10.9
半胱氨酸(Cys)	苦/甜/硫(-)	0.06 ± 0.01		
缬氨酸(Val)	甜/苦(-)	0.08 ± 0.01	0.4	0.2
甲硫氨酸(Met)	苦/甜/硫(-)	0.08 ± 0.01	0.3	0.3
异亮氨酸(Ile)	苦(-)	0.04 ± 0.01	0.9	0
亮氨酸(Leu)	苦(-)	0.08 ± 0.01	1.9	0
酪氨酸(Tyr)	苦(-)	0.06 ± 0.01		
苯丙氨酸(Phe)	苦(-)	0.06 ± 0.00	0.9	0.1
赖氨酸(Lys)	甜/苦(-)	0.09 ± 0.01	0.5	0.2
组氨酸(His)	苦(-)	0.16 ± 0.01	0.2	0.8
精氨酸(Arg)	苦/甜(+)	1.65 ± 0.07	0.5	3.3
脯氨酸(Pro)	甜/苦(+)	5.69 ± 0.44	3	1.9
氨基酸总量 total amino acids		19.88		

注:“nd”代表未检测,“TAV”代表味道强度值,是指各个呈味物质在样品中的含量与它对应的呈味阈值的比值,“+”表示味道愉悦的,“-”表示味道不佳的,蟹为当日购买的新鲜中华绒螯蟹

Notes:“nd” represents not detected, TAV was calculated as the ratio between its concentration determined in the oyster juice and its threshold value generally measured in water or in a simple matrix,“+” represents pleasant,“-” represents unpleasant, the crabs were fresh

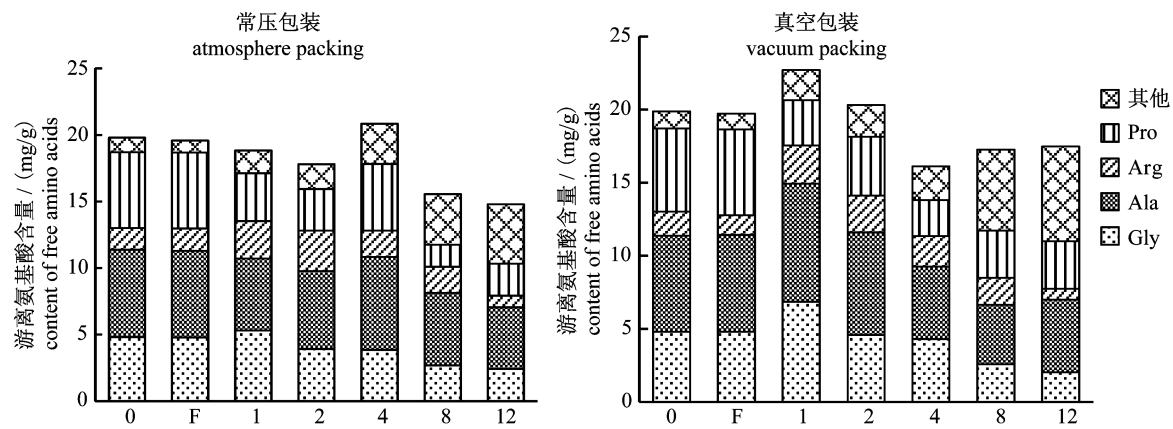


图1 冻结和冻藏后中华绒螯蟹蟹肉抽提液中游离氨基酸含量的变化

冻藏条件为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 冻藏时间为“0”代表新鲜蟹, “F”代表冻结蟹, 下同

Fig.1 Changes of free amino acids in extracts of meat from *E. sinensis* after freeze and frozen storage

E. sinensis were stored at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, “time = 0” means the crabs were fresh; “time = F” means the crabs were freezing, the same as below

ATP 关联化合物含量的变化 刚冻结的中华绒螯蟹 6 种 ATP 关联物含量无变化, 但冻藏 2 周后由 $499\text{ mg}/100\text{ g}$ 下降到 $325\text{ mg}/100\text{ g}$ (常压包装), 12 周后下降到 $279\text{ mg}/100\text{ g}$ (表 3)。蟹死后肉中的三磷酸腺苷 (ATP) 依次降解为二磷酸腺苷 (ADP)、磷酸腺苷 (AMP)、肌苷酸 (IMP) 或腺苷 (Adr)、次黄嘌呤核苷 (HxR) 和次黄嘌呤 (Hx), 其中 HxR 与 Hx 含量之和对 ATP 关联物总量的比值为 K 值^[17], K 值的大小能反映鱼体在僵硬至自溶阶段的鲜度, 即可反映出水产原料的新鲜度。蟹肉中 ATP 在冻藏过程中亦发生降解。虽然蟹肉中 ATP 降解同时存在 ADR 途径^[18], 但 HxR 和 Hx 含量增加明显, 说明中华绒螯蟹鲜度下降, 与感官评

定的结果一致。蟹肉具有强烈的甜味和鲜味, AMP 和 IMP 是主要的呈味核苷酸^[3], 呈味核苷酸与谷氨酸单钠、天冬氨酸单钠同时存在时, 可以产生协同效应, 产生更强烈的鲜味^[19]。中华绒螯蟹新鲜蟹肉抽提液中 AMP 和 IMP 含量为 $300\text{ mg}/100\text{ g}$ (图 2), 2 周后下降到 $60\text{ mg}/100\text{ g}$ 左右, 且在冻藏的过程中继续下降, 直至第 12 周时其含量未检测出。 t 检验表明, 真空包装蟹蟹肉中 ATP 关联化合物含量变化与常压包装的无显著性差异 ($P > 0.05$)。ATP 的快速降解与高活性的 ATP 酶有关。Benjakul 等^[20]认为, 低温度下肌浆网状结构的钙吸收能力下降, 肌原纤维内钙浓度增加, 钙离子便激活肌原纤维 Mg^{2+} -ATP 酶, 加速 ATP 的降解。

表 3 冻结和冻藏后中华绒螯蟹蟹肉抽提液中 ATP 关联化合物含量

Tab.3 Contents of nucleotides in extracts of meat from *E. sinensis*

核苷酸 nucleotide	after freeze and frozen storage												
	时间/周 time												
	0	F		1		2		4		8		12	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
ATP	43	40	44	52	44	39	47	62	62	36	41	39	44
ADP	13	12	13	9	8	6	8	21	21	10	19	9	18
AMP	52	50	57	48	60	57	46	17	17	5	6	nd	nd
IMP	247	240	238	6	6	6	5	7	7	8	9	nd	nd
HxR	109	111	105	50	49	59	61	47	47	45	34	58	38
Hx	33	36	28	164	135	156	169	169	169	95	115	172	168
总量 total	499	489	485	332	306	325	339	326	326	202	226	279	270

注: “A”为常压包装蟹, “B”为真空包装蟹, 相对标准偏差在 6% 以内

Notes: “A” means crabs in atmosphere package, “B” means crabs in vacuum package, the relative standard deviation is within 6%

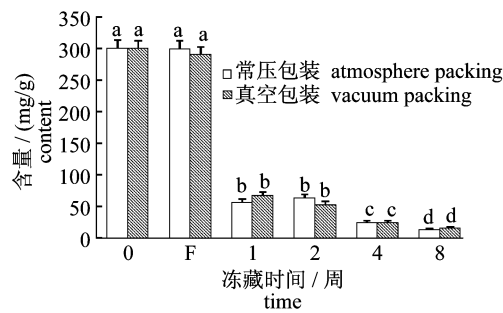


图2 中华绒螯蟹冻结和冻藏后蟹肉抽提液中呈味核苷酸含量变化

呈味核苷酸为 AMP, IMP, 不同字母表示差异显著性 ($P < 0.05$), 下同

Fig. 2 Changes of flavor nucleotides in extracts of meat from *E. sinensis* after freeze and frozen storage

Flavor nucleotides are AMP, IMP; different letters were significantly different ($P < 0.05$), the same as the following

2.3 冻藏后蟹肉蛋白质理化性质的变化

Ca²⁺-ATPase 活性的变化 肌球蛋白的球状头部(S₁)具有 ATP 酶活性, Ca²⁺可以激活其活性。Ca²⁺-ATPase 活性是反映肌球蛋白完整性的一个重要指标^[21], 因此测定肌球蛋白的 Ca²⁺-ATPase 活性对研究蛋白质性状、判断蛋白质变性程度及鉴定肌肉蛋白质的纯度都具有重要意义。在冻藏过程中冰晶的形成及由此所带来的体系离子强度的增加都会导致肌球蛋白头部结构发生改变, 从而使其 Ca²⁺-ATPase 活性下降^[21]。冻结前后中华绒螯蟹蟹肉 Ca²⁺-ATPase 活性几乎无影响; 但随着冻藏时间的延长, Ca²⁺-ATPase 活性具有先上升后下降的二相性(图 3), 这一点与 Benjakul 等^[21]、林洪等^[22]报道的鲜活淡水鱼的结果一致。与新鲜蟹对比, 常压包装蟹肉 Ca²⁺-ATPase 活性在冻藏后由 0.18 μmol pi/(min·mg) 蛋白质先增加到 1 周时的 0.32 μmol pi/(min·mg) 蛋白质, 后持续下降, 到 2 周时下降到 0.263 μmol pi/(min·mg) 蛋白质, 12 周后相比新鲜蟹下降了 41.6%。真空包装蟹肉 Ca²⁺-ATPase 活性在冻藏后先增加到 0.4 μmol pi/(min·mg) 蛋白质, 2 周后下降到 0.317 μmol pi/(min·mg) 蛋白质, 12 周后下降了 33.1%。以 Ca²⁺-ATPase 活性作为冷冻变性指标表明, 冻结操作对中华绒螯蟹蟹肉蛋白质变性无影响, 但冻藏过程对蟹肉蛋白质变性还是非常显著。t 检验结果表明真空包装中华绒螯蟹 Ca²⁺-ATPase 活性与常压

包装的无明显差异 ($P > 0.05$), 说明不同的包装方式对冻藏蟹肉 Ca²⁺-ATPase 活性无明显影响。

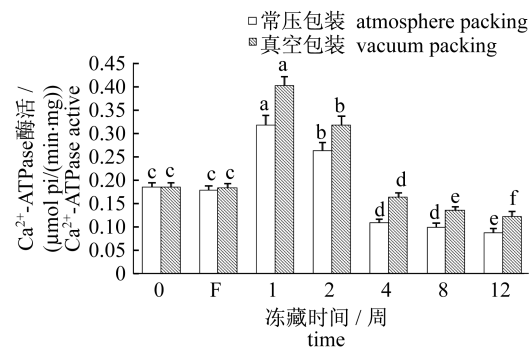


图3 冻结和冻藏后中华绒螯蟹肉 Ca²⁺-ATPase 活性的变化

Fig. 3 Changes of Ca²⁺-ATPase activity of meat from *E. sinensis* after freeze and frozen storage

解冻汁液流失率 蛋白质的冷冻变性是由于结冰导致蛋白质的主体结构发生变化, 同时水结冰后, 细胞内的盐分被浓缩, 离子强度增加, 导致蛋白质的结构产生大的变化^[23]。所以解冻时的汁液流失率也反映了冻藏后中华绒螯蟹肌肉蛋白质变性的情况。刚冻结后蟹肉的失水率变化并不大(图 4), 而冻藏后随着时间的延长, 汁液流失率呈增大趋势, 2 周后增大到 3.9%, 12 周后汁液流失率达到了 10% 左右, 与正常冷冻猪肉 2% 左右的解冻汁液流失率^[22]相比仍然非常高。t 检验表明, 真空包装中华绒螯蟹解冻汁液流失率与常压包装的相比有显著性差异 ($P < 0.05$), 12 周后为 9.6%。表明冻藏过程中中华绒螯蟹的肌肉蛋白质变性非常严重, 在感官上表现为蟹肉弹性下降以及肉质无湿润感, 真空包装对冻藏蟹肉汁液流失现象有所改善。解冻汁液流失率和 Ca²⁺-ATPase 活性变化趋势并不完全吻合, 说明蟹肉水

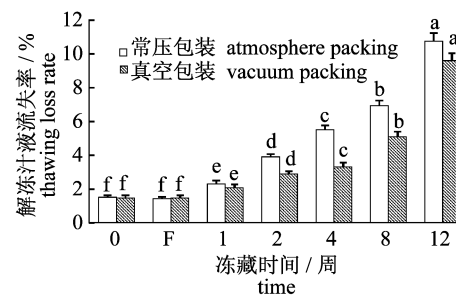


图4 冻结和冻藏后中华绒螯蟹汁液流失率的变化
Fig. 4 Changes of thawing loss rate of meat from *E. sinensis* after freeze and frozen storage

分流失除了由蛋白质变性带来之外,体内还存在其他失水途径,这可能与中华绒螯蟹自溶作用较强有关。

3 结论

冻结开始对中华绒螯蟹蟹肉品质没有明显影响,但冻藏(-20℃)对其却有较明显影响,因此中华绒螯蟹不适于在此条件下冻藏流通。冻藏蟹肉品质下降主要表现在蟹肉蛋白质变性,汁液流失严重;游离氨基酸和呈味核苷酸含量在冻藏过程中均明显下降;感官评定结果表现为肉质松软、弹性下降、无湿润感。中华绒螯蟹自溶酶和ATP关联物分解酶的活性很强,普通冻藏(-20℃)条件下2周可促使蛋白质与ATP关联物的明显分解,游离氨基酸成分与ATP关联物成分都发生很大变化。另一方面中华绒螯蟹蟹肉蛋白质也极易变性,普通冻藏(-20℃)条件下2周即出现显著蛋白变性,汁液流失现象亦较严重。推测中华绒螯蟹不耐冻藏可能与其自身的自溶酶类、ATP酶类有关,因其活性较高,导致蟹肉蛋白质快速水解及质构破坏。因此未来的研究可在更低的冻结温度下考察其自溶与变性状况,并从蟹肉中提取自溶酶和ATP酶类检测其活性入手,进一步探究蟹肉在冻藏过程中的变化机理。

参考文献:

- [1] Yang W L, Zhang G H. Production present situation and the thinking of sustainable development of river crab[J]. Journal of Fresh Water Fishery, 2005, 35(2):62-64. [杨维龙,张关海. 河蟹生产现状与可持续发展的思考. 淡水渔业, 2005, 35(2):62-64.]
- [2] Yang L Z, Chen S S, Qu Y H, et al. Studies on taste components in *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2007, 16(1):92-96. [杨玲芝,陈舜胜,曲映红,等. 中华绒螯蟹主要呈味成分研究. 上海水产大学学报, 2007, 16(1):92-96.]
- [3] Chen D W, Zhang M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Journal of Food Chemistry, 2007, 104(3):1200-1205.
- [4] Xie J. Recent situation and development of cold chain in China[J]. Refrigeration Technology, 2010, (3):5-10. [谢晶. 我国水产品冷藏链的现状和发展趋势. 制冷技术, 2010, (3):5-10.]
- [5] Qin H. Study on quality changes of *Eriocheir sinensis* during frozen storage [D]. Wuxi: Food college of Jiangnan University, 2008. [秦辉. 中华绒螯蟹冻藏品质的研究. 无锡: 江南大学食品学院, 2008.]
- [6] WU S L, Kang H B, Li Y, et al. Storage characteristics of roast chicken in different packaging and storage conditions[J]. Journal of Food Science, 2009(18):367-370. [吴锁连,康怀彬,李英,等. 不同包装方式和贮藏条件下的烧鸡贮藏特性研究. 食品科学, 2009(18):367-370.]
- [7] Wang H M. Food inspection technique[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2008:51-53. [汪浩明. 食品检验技术(感官评价部分). 北京:中国轻工业出版社, 2008:51-53.]
- [8] Dang Y L, Wang Z, Xu S Y. Methods for extracting the taste compounds from water soluble extract of Jinhua ham [J]. European Food Research and Technology, 2008, 228(1):93-102.
- [9] Luo C L, Wen Y M, Zheng C N. Extract bioactivity substances from *Coelomaetra antiquata* by ultrasonic treatment. and comparison of lysozyme [J]. Journal of Mathematical Medicine, 2011, 24(4):469-472. [罗彩林,温扬敏,郑晨娜. 超声波法提取西施舌活性物质及溶菌酶(LSZ)活性的比较. 数理医药学杂志, 2011, 24(4):469-472.]
- [10] Qiu W Q, Chen G, Chen S S, et al. Simultaneous determination of six ATP-related compounds in aquatic product using IP-RPLC [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(11):1745-1752. [邱伟强,陈刚,陈舜胜,等. 离子对反相高效液相色谱法同时检测水产品中6种ATP关联化合物. 水产学报, 2011, 35(11):1745-1752.]
- [11] Wan J R, Hong Y J, Xi Y C, et al. Chemical analysis manual of aquatic products[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1993. 139-163. [万建荣,洪玉箐,奚印慈,等. 水产食品化学分析手册. 上海:上海科学技术出版社, 1993. 139-163.]
- [12] Benjakul S, Sutthippan N. Muscle changes in hard and soft shell crabs during frozen storage [J]. Food Science and Technology, 2009, 42(3):723-729.
- [13] Warmke, R H D Belitz, W Grosch. Evaluation of taste compounds of Swiss cheese (Emmentaler) [J]. Zeitschrift Für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung, 1996, 203:230-235.
- [14] Jiang G D. Studies on volatile flavor and relevant taste components in Chinese mitten-handed crab and mangrove crab [D]. Shanghai: Shanghai Ocean

- University,2008. [蒋根栋. 中华绒螯蟹与锯缘青蟹挥发性风味物质及相关滋味成分的研究. 上海:上海海洋大学,2008.]
- [15] Mao Y Y, Bao J Q, Feng Z Z. Effects of frozen storage temperature on quality of hairtail [J]. Beverage & Fast Frozen Food Industry, 1996, 2(4): 11-13. [毛玉英,包建强,冯志哲. 冻藏温度对带鱼品质的影响. 冷饮与速冻食品工业, 1996, 2(4): 11-13.]
- [16] Shan H M. Effects of different temperature on the quality of swimming crabs [J]. Beverage & Fast Frozen Food Industry, 2002, 8(1): 10-12, 14. [单衡明. 不同冻藏温度对梭子蟹品质的影响. 冷饮与速冻食品工业, 2002, 8(1): 10-12, 14.]
- [17] Guan Z M. K value - a new index of evaluation of fish freshness [J]. Fisheries Science, 1995, 14(1): 33-35. [关志苗. K值—判定鱼品鲜度的新指标. 水产科学 1995, 14(1): 33-35.]
- [18] 巢章鸿二, 山三千三顺子. Aquatic Food Science [M]. Tokyo: 恒星社厚生改造というわけだ, 1989. [巢章鸿二, 山三千三. 水产食品学. 东京: 恒星社厚生阁, 1989.]
- [19] Lioe H N, Apriyantono A, Takara K, et al. Umami Taste enhancement of MSG/NaCl mixtures by subthreshold L- α -aromatic amino acids [J]. Food Science, 2005, 70(7): 401-405.
- [20] Benjakul S, Visessanguan W, Thongkaew C, et al. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage [J]. Food Research International, 2003, 36(8): 787-795.
- [21] Benjakul S, Seymour T A, Morrissey M T, et al. Physicochemical changes in pacific whiting muscle proteins during iced storage [J]. Food Science, 1997, 62(4): 729-733.
- [22] Lin H, Wang C F, Li Z J, et al. the Changes of the ATPase Activity of Prawn (*Penaeus chinensis*) due to freeze and thermal denaturation [J]. Journal of Qingdao Ocean University: Natural Sciences, 1996, 26(4): 475-480. [林洪, 王长峰, 李兆杰, 等. 中国对虾肌动球蛋白变性后 ATPase 活性的研究. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 1996, 26(4): 475-480.]
- [23] Yu X L, Li X B, Yan L P, et al. Effects of different freezing and thawing rate on water-holding capacity and ultrastructure of pork [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(8): 261-265. [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. 农业工程学报, 2007, 23(8): 261-265.]

Effects of freeze and frozen storage on changes of quality of *Eriocheir sinensis*

CHEN Shunsheng*, CHEN Yuanyuan, QIU Weiqiang, LI Wenling, ZHANG Ruirong
(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The effect of freeze and frozen storage on *Eriocheir sinensis* was studied by evaluation of the characteristics of protein, the contents of free amino acids and flavor nucleotides, the activity of Ca^{2+} -ATPase and the thawing loss rate. The results showed that *E. sinensis* had freeze resistance but no frozen storage resistance and the elasticity decreased after 2 weeks' frozen storage. The contents of free amino acids and flavor nucleotides, the activity of Ca^{2+} -ATPase and the thawing loss rate changed significantly during frozen storage. After frozen storage of 12 weeks, the contents of free amino acids and flavor nucleotides, the activity of Ca^{2+} -ATPase decreased by 25.3%, 100%, and 41.6% respectively, compared with those of fresh crabs. While the thawing loss rate increased by 9.2%. The high activities of autolytic enzyme and ATP correlative catabolic enzyme accelerated the decomposition of protein and ATP correlatives at common freezing ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). The protein of *E. sinensis* was easy to be denatured, which resulted in serious protein denaturation and thaw loss of crab meat. The reason that *E. sinensis* had no frozen storage resistance might have connection with its autolytic enzyme and ATP correlative catabolic enzyme.

Key words: *Eriocheir sinensis*; freeze; frozen storage; quality; free amino acids; flavor nucleotides

Corresponding author: CHEN Shunsheng. E-mail: sschen@shou.edu.cn