真空冷诱导对冰温贮藏罗非鱼片鲜度和滋味的影响

姚志勇，万金庆，庞文燕，历建国，王国强
（上海海洋大学食品学院，上海 201306）

摘要：以罗非鱼片为实验原料，研究了3种真空冷诱导前处理对罗非鱼片冰温贮藏过程中鲜度和滋味的影响。真空冷诱导初始温度均为12 ℃，设置了3种不同的真空冷诱导速度：1 ℃/h（方式Ⅰ）、2 ℃/h冷诱导（方式Ⅱ）和快速冷诱导（方式Ⅲ）。当鱼片温度降低到冰温带时，真空冷诱导结束，取出鱼片装密封袋冰温贮藏。对比了不同的真空冷诱导方式对罗非鱼片鲜度指标K值、肌苷酸（IMP）和主要滋味游离氨基酸的影响。冷诱导速度越慢，冷诱导时间越长，冷诱导结束时去除的水分越多，12 h时K值略高，但在冰温贮藏过程中K值增长越缓慢，36 h后K值反而最低，鲜度最好。在呈味游离氨基酸总量和游离氨基酸总量（TFAA）方面，真空冷诱导方式Ⅱ优于方式Ⅰ和方式Ⅲ，方式Ⅰ和方式Ⅲ区别不明显。

关键词：罗非鱼；真空冷诱导；K值；冰温贮藏；IMP；游离氨基酸
文章篇号：1673-9078(2014)2-198-203

Effect of Vacuum Cold-induction on Freshness and Taste of Tilapia Fillets Stored at Ice Temperature

YAO Zhi-yong, WAN Jin-qing, PANG Wen-yan, LI Jian-guo, WANG Guo-qiang
(College of Food Science and Technology, shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Tilapia fillet was pretreated by three vacuum cold-induction methods including cooling at 1 ℃/h (mode Ⅰ), cooling at 2 ℃/h (mode Ⅱ) and rapid cooling (mode Ⅲ) with all initial temperatures of 12 ℃. When Tilapia fillets were cooled down to ice temperature, the tilapia fillets were taken out and packed into bags and stored at the temperature. The effect of different vacuum cold-induction methods on freshness index K value, inosine monophosphate (IMP) and the main flavor free amino acid were investigated and compared. The results showed that the vacuum cold-induction consumed longer time with the lower cooling-rate, and more moisture was removed, K value was increased slightly after 12 h, but reached the lowest after 36 h and the tilapia fillets kept the best freshness. In terms of flavor free amino acid and total free amino acids (TFAA), vacuum cold-induction mode Ⅱ was better than mode Ⅰ and mode Ⅲ, and there was no significant difference between mode Ⅰ and mode Ⅲ.

Key words: tilapia; vacuum cold-induction; K value; ice-temperature storage; inosine monophosphate; free amino acid

罗非鱼（Tilapias）原产于非洲，俗称非洲鲫鱼，属鲈形目（Perciformes）丽鲷科（Cichlidae）罗非鱼属（Tilapia），因其适应性强、繁殖率高、生长速度快、抗病能力强、易于加工等优点，已成为中国养殖水产品中最突出的贸易产品[1]。为了保持食品的新鲜度以及延长保质期，通常采用冷藏或冻藏的方法，但都不可避免会使食品品质降低。随着人们生活水平的提高，消费者都希望吃到新鲜可口的、具有天然风味的食品。近些年来，很多研究表明冰温贮藏不但能保持鱼、肉类食品原有风味，而且可以提高其口感与新鲜度。日本学者认为低温会诱导生物体防御反应，随着温度缓慢下降到冻结点，生物细胞为避免被冻结，部分蛋白质会分解成氨基酸，同时细胞还会分泌出无机盐、葡萄糖、可溶性蛋白质等物质以保持组织细胞的生存状态，细胞质浓度会逐渐增加，冻结点逐渐降低，同时食品也会变得更加美味可口[2]。然而，生物体防御反应是一个缓慢的过程，需要有适合于该食品材料的冷诱导来触发、维持和促进这一进程，使转化的氨基酸等营养物质最大化[3]。本实验就3种不同真空冷诱导方式对冰温贮藏罗非鱼品质的影响进行了对比研究，对罗非鱼片的鲜度和滋味游离氨基酸进行了检测分析，得出了一种较好的真空冷诱导方式，可以为罗非鱼真空冷诱导提供理论依据。

收稿日期：2013-09-26
基金项目：国家自然科学基金资助项目（31171764）；上海海洋大学研究生科研基金资助
作者简介：姚志勇（1987-），男，在读硕士生，研究方向：水产品保鲜
通讯作者：万金庆（1964-），男，博士，教授，研究方向：食品保鲜

1 材料和方法

1.1 实验材料

罗非鱼，购于上海市临港新城古棕路菜市场，体重500~600 g/尾。将活鱼置于保活箱中蓄养1~2 h，避免其挣扎，然后将活鱼敲击致死后，片成鱼片，厚度5 mm左右；三磷酸腺苷（ATP）、二磷酸腺苷（ADP）、肌苷酸（IMP）、次黄嘌呤（Hx）Sigma公司；一磷酸腺苷（AMP），日本TCI公司；肌苷（HxR）德国Dr.Ehrenstorfer公司；磷酸氢二钾、磷酸二氢钾，上海安谱科学仪器公司，色谱纯；超纯水、高氯酸（PCA）、氢氧化钾、氢氧化钠、磷酸、三氯乙酸，国药集团化学试剂有限公司，分析纯；甲醇 国药集团化学试剂有限公司，色谱纯。

1.2 实验设备

LC-2010CHT，高效液相色谱仪、AUW320，电子天平，日本岛津公司；L-8800氨基酸全自动分析仪 HITACHI 公司；Agilent-34972A温度采集仪，安捷伦公司；BPS-250CB（-20~100 ℃）恒温恒湿箱，上海一恒科学仪器有限公司；FA25 均质机Fluko公司；PHS-3C 型pH计，上海精密科学仪器有限公司；H2050R，冷冻离心机，长沙湘仪有限公司。

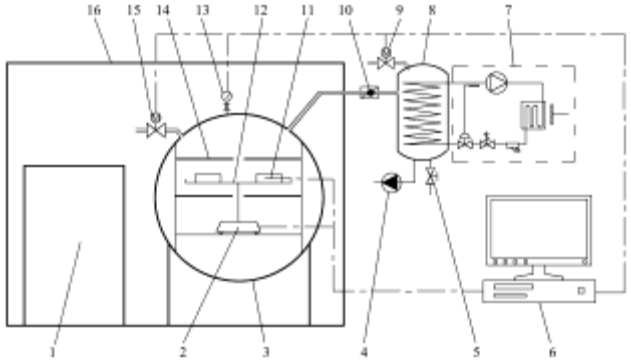


图 1 真空冷诱导装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of vacuum cold-induced devices

注：1.冷库门，2.电子天平，3.真空箱，4.真空泵，5.排水阀，6.计算机采集及控制系统，7.制冷系统，8.冷阱，9.渗气阀Ⅰ，10.蝶阀，11.温度传感器，12.钢丝网物料托盘，13.压力传感器，14.电加热板，15.渗气阀Ⅱ，16.冷库。

自行研制的真空冷诱导装置如图1所示。主要由真空系统、制冷系统、真空箱、加热系统、冷阱、电子天平和计算机采集及控制系统组成，其中真空箱放置在冷库内，其他布置在冷库外。真空系统主要由真空泵、压力传感器以及管道组成，能使真空箱维持在所需的真空度下。加热系统通过电加热板向物料提供热量。制冷系统为冷阱提供冷量，使冷阱维持在-15 ℃以下。计算机采集及控制系统主要用于采集和控制被干物料的温度。实验主要通过控制渗气方式（通过渗气阀Ⅰ或渗气阀Ⅱ渗气）、电加热板温度和冷库温度来控制罗非鱼片温度。

1.3 实验方法

1.3.1 冰点的测定

沿脊椎把鱼剖为两片，将热电偶插入鱼体表下约0.5 cm处并固定，放入-20 ℃的冻藏室，实验结束后绘制冻结曲线并得出罗非鱼冰点。

1.3.2 不同真空冷诱导方法

设置了3种不同的真空冷诱导方式。冷诱导方式Ⅰ和方式Ⅱ先将罗非鱼片温度通过抽真空的方式快速降到 12 ℃，再通过调节渗气方式，电加热板和冷库的温度让鱼片分别以 1 ℃/h 和 2 ℃/h 的速度降温，真空冷诱导时间分别为 12 h 和 6 h；方式Ⅲ是通过抽真空直接将罗非鱼片温度从室温降到冰温带，整个过程始终从渗气阀Ⅱ渗气，电加热板不加热，真空冷诱导时间约为 18 min。当鱼片温度降低到冰温带时，真空冷诱导结束，取出鱼片装密封袋放恒温恒湿箱冰温贮藏，定时取样检测。

1.3.3 ATP 关联物的检测

参考张丹丹[3]和Yokoyama[4]的方法。ATP关联物的提取：样品切碎后取1 g放入离心管，加入10%的高氯酸（PCA）10 mL，均浆后10000 r/min冷冻离心15 min，取上清液。沉淀用5% PCA洗涤，10000 r/min冷冻离心15 min离心后取上清液。合并两次上清液，加入15 mL超纯水，用KOH溶液调节上清液pH至6.5，用超纯水定容至50mL，摇匀，用0.22 μm的滤膜过滤后待测。

ATP关联物的高效液相色谱（HPLC）检测：色谱柱Inertsil ODS-SP C18（4.6 mm×250 mm，5 μm）；保护柱柱芯Inertsil ODS-SP(4 mm×10 mm，5 μm)；流动相A为pH 6.5的0.05 mol/L磷酸二氢钾和磷酸氢二钾（1:1）溶液；流动相B为甲醇溶液；等度洗脱；流速1mL/min；柱温28 ℃；进样量10 μL；检验波长254 nm。

鲜度指标K值的计算公式如下：

$$K(\%)=\frac{HxR+Hx}{ATP+ADP+AMP+IMP+HxR+Hx}\times 100\%$$

1.3.4 游离氨基酸的检测

参考邓捷春[5]和张丹丹[3]的游离氨基酸测定方法，略有改动。游离氨基酸的提取：取鱼肉2 g，加入 15%的三氯乙酸 15 mL，打浆 2 min，静置 2 h 用转速为10000 r/min 的冷冻离心机离心 15 min，取 5 mL 上清液，用一定量 NaOH 溶液调节 pH 至 2.0 左右，定容至 50 mL，用 0.45 μm 微孔过滤后装至样品瓶中待上机检测。分析条件：L-8800 型氨基酸自动分析仪，样

品分析周期 53 min。色谱柱（4.6 mm×150 mm，7 μm）；柱温：50 ℃；通道 1 流速：0.4 mL/min，通道 2 流速：0.35 mL/min。流动相：柠檬酸和柠檬酸钠和茚三酮缓冲液。

1.4 实验数据处理

ATP 关联物和游离氨基酸的实验数据以 3 次平行实验的平均值±标准偏差（$\bar{x} \pm s$）表示。

2 结果与讨论

2.1 冰点的测定

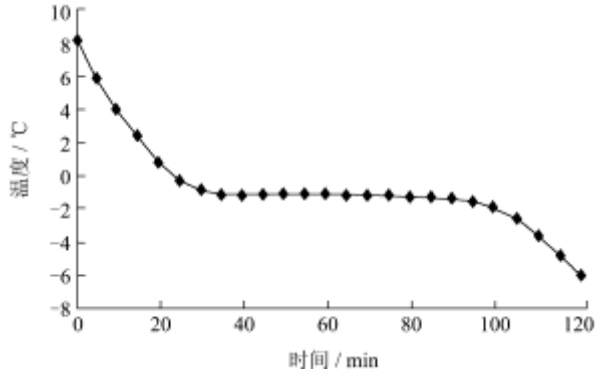


图2 罗非鱼冻结曲线

Fig.2 Freezing curve of tilapia

罗非鱼的冻结曲线如图2所示。罗非鱼的冻结点在-1.1 ℃左右，因此罗非鱼片的冰温带为-1.1 ℃~0 ℃。根据测得的罗非鱼片的冰点，本文实验是将罗非鱼片降至冰温带后，取出鱼片装密封袋放恒温恒湿箱冰温贮藏，恒温恒湿箱设定的温度为-0.6 ℃，温度波动不超过冰温带。

2.2 真空冷诱导过程中鱼片温度的变化

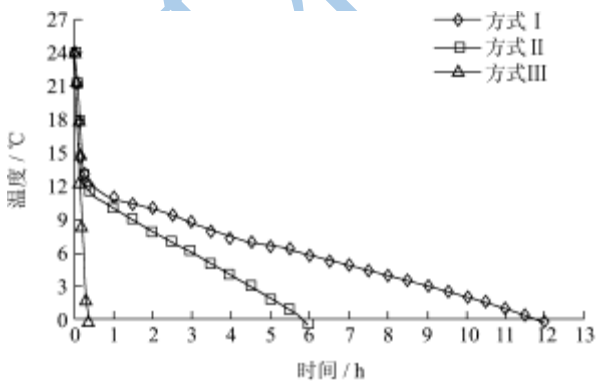


图3 罗非鱼片降温曲线

Fig.3 Cooling curve of tilapia fillets

真空冷诱导过程中鱼片温度的变化如图3所示。真空冷诱导前罗非鱼片含水率78.14%，3种真空冷诱导结束后罗非鱼片含水率分别为59.54%、69.10%和76.41%。

2.3 鲜度指标 K 值的变化

ATP 关联物与水产原料的风味和新鲜度紧密相关。在风味方面，AMP 有着压抑苦味的特性，是水产食品中良好的风味增强剂，而 Hx 会产生苦味[6]。IMP 是主要的呈味核苷酸，作为新型的食品添加剂，已逐渐广泛应用于食品调味中[7]。在鲜度方面，K 值是反映水产品初期鲜度变化以及风味有关的生化指标。Saito[8]等人提出用 ATP 及其相关化合物作为评定鱼类鲜度指标以来，许多学者研究了沙丁鱼[9]、海鳗[10]、竹荚鱼[11]大黄鱼[12]等水产品 K 值与鲜度之间的关系，K 值已是一种公认的评价鱼早期鲜度的指标。K 值越小表示鲜度越好，K 值越大则鲜度越差。一般即杀鱼的 K 值一般在 10%以下，鱼片 K 值小于 20%为一级鲜度，20~40%为二级鲜度，60~80%为初级腐败[12]。

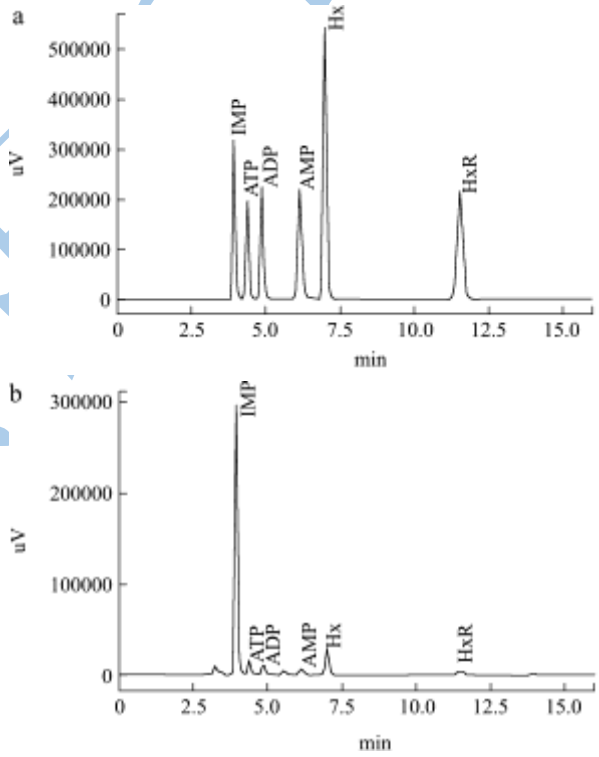


图 4 ATP 关联物的 HPLC 图谱

Fig.4 HPLC chromatogram of ATP-related compounds

注：a.标准品，b.样品。

图 4 是 ATP 关联物的高效液相色谱图，ATP 及其降解产物在本色谱条件下 16 min 内就能得到有效的分离，且重现性好。三种真空冷诱导罗非鱼片 K 值变化如图 5 所示。不难看出冷诱导速度越慢，冷诱导时间越长，12 h时 K值越高，在冰温贮藏过程中 K值增长越缓慢，36 h 后 K 值反而是最低，鲜度最好。0 h 为新鲜罗非鱼片的 K 值为 1.71%，12 h 时三种冷诱导罗非鱼片的 K 值均比较接近，方式Ⅰ略高，方式Ⅱ次之，方式Ⅲ最低。这主要是因为方式Ⅰ的真空冷诱导时间长，降

温速度最慢，罗非鱼片处于高温的时间最长。在冰藏过程中，由方式III冷诱导的罗非鱼片的含水率最高，K值增长速度最快，但在132 h时依然小于20%，还在一级鲜度范围内；由方式Ⅰ冷诱导的罗非鱼片含水率最低，故K值增长越缓慢，132 h时K值小于10%，说明罗非鱼片去除部分水分后的K值增长速度要缓慢的多，有利于食品的贮藏。

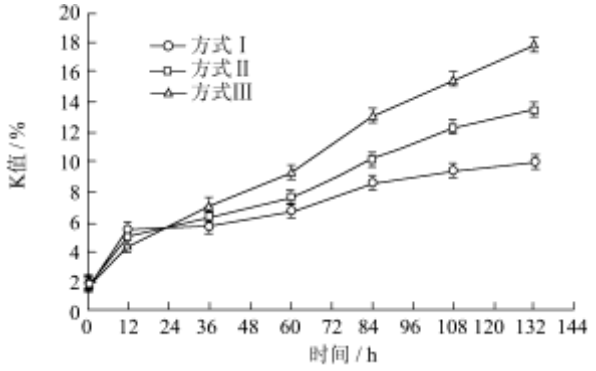


图5 不同真空冷诱导罗非鱼片K值变化

Fig.5 K value of tilapia fillets with different vacuum cold-induction modes

2.4 核苷酸IMP及ATP分析

肌苷酸（IMP）是三磷酸腺苷（ATP）降解产物之一，是核苷酸类的主要呈味物质，广泛应用于食品调味品中。IMP是一种鲜味极强的风味增强剂，其增添食品鲜味的能力是谷氨酸纳的40倍，且与之有协同作用，含2~8% IMP的味精通常称为强力味精。一般来说IMP在鱼死后1~2 d之内达到最高浓度，并保持一段时间，这与实验结果相一致。如图6所示，在48 h之内，IMP均出现峰值，随后虽有缓慢下降，但依然维持在较高的水平，由此可见IMP对鱼肉鲜美味道的重要性。戚晓玉等[13]在研究日本沼虾时发现，日本沼虾在冰藏期间AMP和IMP有相同的累积趋势，即其含量先快速升高，再随时间缓慢下降，ADP含量随着贮藏时间的延长逐渐下降；而杨文鸽等[11]在研究大黄鱼时发现只有IMP有累积趋势，AMP和ADP基本呈下降趋势，实验结果与后者相吻合。此外，真空冷诱导时间越长，去除的水分越多，IMP含量越高，这可能和真空冷诱导的平均温度和时长有关。3种真空冷诱导处理的罗非鱼片中ATP降解的速度均很快，这和高活性的ATP酶有关[14]，12 h后ATP基本降到0.1 mg/g以下。

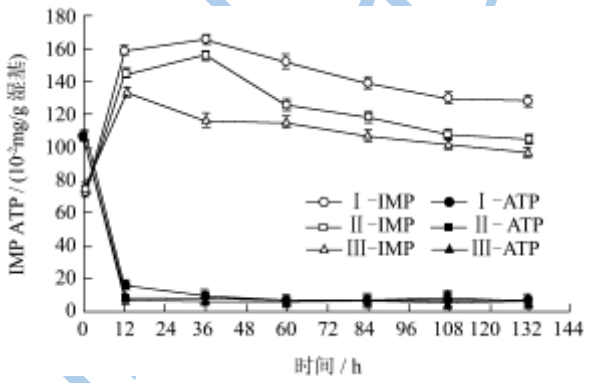


图6 不同真空冷诱导条件下罗非鱼IMP和ATP的变化

Fig.6 IMP and ATP of tilapia fillets with different vacuum cold-induction modes

2.5 游离氨基酸分析

表1 真空冷诱导对罗非鱼片中游离氨基酸含量的影响

Table1 Effects of vacuum cold-induction on free amino acid of tilapia fillets

氨基酸	冷诱导方式	含量(10^{-2}mg/g，湿基) 0 h	12 h	36 h	60 h	84 h	108 h	132 h	呈味及阈值(10^{-2}mg/g)
丙氨酸	方式Ⅰ	14.53±2.24	17.52±5.89	18.79±5.40	19.37±4.21	21.56±5.78	20.71±3.44	20.07±2.24	甜味 60
	方式Ⅱ		33.21±4.38	33.94±5.75	33.51±4.72	32.53±2.63	33.46±4.93	33.85±3.41	
	方式III		31.51±2.94	31.85±2.07	31.02±3.64	30.62±3.81	31.38±3.31	32.62±3.83	
谷氨酸	方式Ⅰ	3.29±0.23	5.32±0.47	4.17±0.42	3.43±0.23	4.05±0.12	4.15±0.15	4.26±0.17	鲜甜味 5
	方式Ⅱ		4.42±0.19	4.04±0.27	4.96±0.38	4.67±0.07	5.32±0.26	5.05±0.21	
	方式III		3.05±0.45	4.18±0.29	3.78±0.47	3.45±0.35	3.64±0.35	3.44±0.19	
甘氨酸	方式Ⅰ	95.18±6.17	106.23±10.17	111.57±10.96	119.52±9.91	122.87±9.65	126.70±10.92	130.63±10.42	鲜甜味 130
	方式Ⅱ		109.25±9.28	118.16±8.82	121.43±8.29	128.27±8.67	131.78±10.21	139.39±11.29	
	方式III		101.79±10.01	107.58±10.37	114.36±10.53	120.61±8.38	122.98±9.67	129.88±11.07	
亮氨酸	方式Ⅰ	4.88±0.28	3.84±0.16	2.96±0.28	2.53±0.56	3.63±0.08	4.17±0.19	4.28±0.37	苦味 190
	方式Ⅱ		5.51±0.29	4.30±0.23	4.59±0.13	4.41±0.32	4.12±0.13	3.76±0.11	
	方式III		4.67±0.33	5.24±0.54	4.39±0.19	4.06±0.52	3.61±0.06	4.01±0.28	

转下页

接上页

异亮氨酸	方式Ⅰ	6.48±0.08	5.86±0.74	4.78±0.48	3.21±0.65	3.63±0.35	4.02±0.87	3.48±0.57	苦味
	方式Ⅱ		8.52±0.23	6.88±0.81	7.21±0.17	8.93±0.19	7.46±0.18	7.70±0.32	90
	方式Ⅲ		6.45±0.63	8.52±0.74	7.09±0.07	5.97±0.21	6.57±0.79	7.39±0.15	
组氨酸	方式Ⅰ	11.81±2.81	16.87±3.04	15.77±2.61	14.79±4.96	14.02±3.78	12.48±3.52	13.81±2.86	苦味
	方式Ⅱ		16.55±4.48	15.79±4.19	14.49±2.87	14.12±4.19	12.49±4.94	14.03±2.84	20
	方式Ⅲ		16.04±3.69	15.83±4.67	15.23±3.69	14.42±2.61	13.33±3.25	13.45±3.23	
6种呈味游离氨基酸总量	方式Ⅰ	136.17±10.23	155.64±11.78	158.04±8.68	162.85±12.39	169.76±7.41	172.23±9.37	176.53±9.53	
	方式Ⅱ		177.46±12.21	183.11±10.88	186.19±11.16	192.93±12.54	194.63±8.64	203.78±9.84	
	方式Ⅲ		163.51±7.84	173.2±11.52	175.87±8.22	179.13±8.26	181.51±12.49	190.79±11.47	
游离氨基酸总量	方式Ⅰ	201.15±12.39	208.92±11.78	212.46±13.96	210.84±12.74	215.89±11.91	219.08±12.25	222.51±10.92	
	方式Ⅱ		227.38±9.70	232.01±10.53	230.82±14.68	235.16±14.97	238.88±12.71	237.16±14.19	
	方式Ⅲ		204.25±10.64	207.37±11.41	206.35±9.05	212.08±13.45	211.95±14.09	212.93±13.08	

注：游离氨基酸总量（TFAA）共包括17种氨基酸：天门冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸；本文主要列出了6种呈味游离氨基酸及这6种呈味游离氨基酸总量和游离氨基酸总量的变化情况。

表1列出了罗非鱼片6种主要的呈味游离氨基酸及游离氨基酸总量的变化情况，其中呈鲜甜味的丙氨酸（Ala）、谷氨酸（Glu）和甘氨酸（Gly）均有所增加，丙氨酸（Ala）和甘氨酸（Gly）增加比较明显，在3种真空冷诱导方式中，方式Ⅱ优于其他两种冷诱导方式。在主要呈味游离氨基酸中甘氨酸和丙氨酸的含量相对较高，甘氨酸是海鲜产品的主要呈味成分，跟其他的鲜味物质谷氨酸和肌苷酸等有协同作用[15]。呈苦味的亮氨酸（Ile）和异亮氨酸（Leu）含量均较低，远低于其阈值。组氨酸可以增强风味效果，形成某些海产品“肉香”的特质[5]，实验发现3种真空冷诱导处理的罗非鱼片中组氨酸含量接近，且均低于其阈值。从6种主要呈味游离氨基酸总量和游离氨基酸总量（TFAA）来看，真空冷诱导方式Ⅱ优于方式Ⅰ和方式Ⅲ，方式Ⅰ和方式Ⅲ区别不明显，这可能与真空冷诱导方式及冰温贮藏过程中罗非鱼片含水率不同有关。与罗非鱼即杀后0 h比较，在12 h时，呈味氨基酸总量分别增加了14.30%、30.32%和20.08%；游离氨基酸总量分别增加为6.35%、13.04%和4.03%。在132 h时与0 h时相比，呈味氨基酸总量分别增加了29.64%、49.65%和40.11%，游离氨基酸总量分别增加了10.62%、17.90%和8.34%。在0 h时呈味游离氨基酸占氨基酸总量的65.43%，在12 h时呈味游离氨基酸所占的比例分别为74.50%、78.05%和80.05%，到132 h时所占比例为79.34%、85.93%和89.60%，这些呈味游离氨基酸决定了鱼肉的鲜美味道。

3 结论

真空冷诱导方式Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ对罗非鱼片的鲜度和风味的影响是不同的，真空冷诱导时间越长，鱼片处于高温的时间就越长，冷诱导结束后K值越高，但由于去除的水分也越多，故在冰温贮藏过程中K值的增长反而越慢，鲜度最好。方式Ⅰ处理过的罗非鱼片IMP含量最高，方式Ⅱ次之，方式Ⅲ最低，三种方式均在36 h内出现峰值，峰值过后IMP含量缓慢降低。ATP降解的速度很快，在12 h前就已经降解到较低的水平，并在冰温贮藏过程中保持在较低的水平。从呈味游离氨基酸总量和游离氨基酸总量（TFAA）来看，真空冷诱导方式Ⅱ优于方式Ⅰ和方式Ⅲ，方式Ⅰ和方式Ⅲ区别不明显。

参考文献

[1] 陈晓眠,吴晓萍,邓楚津,等.壳聚糖和茶多酚对罗非鱼冷藏保鲜效果比较[J].现代食品科技,2011,27(3):279-282
CHEN Xiao-mian, WU Xiao-ping, DENG Chu-jin, et al. Comparison of Preservative Effects of Chitosan and Tea Polyphenols on Cold Storage of Tilapia [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(3): 279-282

[2] 服部國彦.提高食品新鮮度及口味的冰温技术[C].第3届中国食品冷藏链新设备新技术论坛论文集.天津:中国制冷空调工业协会,2007,10:66-71

[3] 张丹丹,万金庆,姚志勇,等.不同冷诱导初始温度对罗非鱼片鲜度和滋味的影响[J].食品工业科技,2013,34(9): 319-323
ZHANG Dan-dan, WAN Jin-qing, YAO Zhi-yong, et al. Effect of different initial cold-induced temperature on freshness and flavor of Tilapia fillets [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(9): 319-323

[4] Yokoyama Y, Sakaguchi M, et al. Change in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(11): 2125-2136

[5] 邓捷春,王锡昌,刘源.暗纹东方鲀与红鳍东方鲀滋味成分差异研究[J].食品工业科技,2010,31(3):106-108
DENG Jie-chun, WANG Xi-chang, LIU Yuan. Study on difference of taste compounds between Fugu obscurus and Fugu rub ripes [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(3): 106-108

[6] BREMNER H A, OLLEY J, STATHAM J A, et al. Nucleotide catabolism:influence on the storage life of tropical species of fish from the North West Shelf of Australia [J]. Journal of Food Science, 1988, 53(1): 6-11

[7] 崔桂友.呈味核苷酸及其在食品调味中的应用[J].中国烹饪研究,1999,16(2):1-6
Cui Guiyou. Flavor nucleotides and their usage in food [J]. Chinese cuisine research, 1999, 16(2): 1-6

[8] Saito T, Arar K, Matuyoshi M. A new method for estimating the freshness of fish [J]. Bull. Jap. Sci. Soc. Fish, 1959, 24(9): 749-750

[9] F A Va´zquez-Ortiz, R Pacheco-Aguilar, M E Lugo- Sanchez, et al. Application of the Freshness Quality Index (K Value) for Fresh Fish to Canned Sardines from Northwestern Mexico [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 1997, 10: 158-165

[10] Yesim Özogul, Fatih Özogul, Cengiz Gökbulut. Quality assessment of wild European eel stored in ice [J]. Food Chemistry, 2006, 95(3): 458- 465

[11] Vanesal, Canmen P, Jorge B V, et al. Inhibition of chemical changes related to freshness loss during storage of horse mackerel in slurry ice [J]. Food chemistry, 2005, 93: 629-625

[12] 杨文鸽,薛长湖,徐大伦.等.大黄鱼冰藏期间 ATP 关联物含量变化及其鲜度评价[J].农业工程学报,2007,23(6): 217-222
Yang Wen ge, Xue Changhu, Xu Dalun, et al. Changes of ATP2related compounds contents and freshness evaluat ion of Pseudosciaena crocea meat during iced storage [J]. Transact ions of the CSAE, 2007, 23 (6): 217-222.

[13] 戚晓玉,李燕,周培根.日本沼虾冰藏期间 ATP 降解产物变化及鲜度评价[J].水产学报,2001,25(5):482-484
Qi Xiaoyu, Li Yan, Zhou Peigen. Changes in content of ATP related compounds in the muscle of Macrobrachium nipponense during ice storage and evaluation of the freshness [J]. Journal of Fisheries of China, 2001, 25(5): 482-484

[14] Watabe S, Ushio H, Iwamoto M, et al. Temperature-dependency of rigor-mort is of fish muscle: myofibrillar Mg2+-ATPase activity and Ca^{2+} uptake by sarcoplasmic reticulum [J]. J Food Sci, 1989, 54: 1107- 1115

[15] 翁世兵,孙恢礼.海产鲜味物质及海产品特征滋味的研究进展[J].中国调味品,2007,11:21-27
WENG Shi-bing, SUN Hui-li. Marine umami substances and characteristic tastes of seafood [J]. China Condiment, 2007, 11: 21-27