

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2014.02.013

· 研究简报 ·

## 冰点调节剂对军曹鱼冰点的控制研究

孙继英<sup>1,2</sup>, 吴燕燕<sup>1</sup>, 杨贤庆<sup>1</sup>, 马海霞<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部水产品加工重点实验室, 广东 广州 510300; 2. 大连海洋大学, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 研究几种冰点调节剂对于军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 冰点的影响。选取氯化钙 (CaCl<sub>2</sub>)、氯化钠 (NaCl) 和维生素 C (V<sub>C</sub>) 3 种冰点调节剂, 利用单因素比较法得出使用 4% CaCl<sub>2</sub> 浸泡处理 60 min 可使军曹鱼冰点降至 -1.21 °C; 用 2% NaCl 浸泡处理军曹鱼 90 min 可使军曹鱼冰点由 -1.01 °C 降至 -1.36 °C; 使用 0.5% V<sub>C</sub> 溶液浸泡处理 30 min 可使其冰点降至 -1.30 °C。因此选取 NaCl 和 V<sub>C</sub> 2 种较好的冰点调节剂进行复配, 再通过正交试验确定两者结合使用的最佳配比。结果显示, 使用 3% NaCl 和 0.3% V<sub>C</sub> 共同处理军曹鱼 60 min 为最佳, 可使其冰点降至 -1.62 °C, 下降了 60.4%。

**关键词:** 军曹鱼; 冰点; 冰点调节剂

中图分类号: TS 254.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2014)02-0086-06

## Controlling freezing point of cobia by using freezing point regulators

SUN Jiying<sup>1,2</sup>, WU Yanyan<sup>1</sup>, YANG Xianqing<sup>1</sup>, MA Haixia<sup>1</sup>

(1. Key Lab. of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;  
2. Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** We investigated the effect of three kinds of freezing point regulators including CaCl<sub>2</sub>, NaCl and V<sub>C</sub> on cobia (*Rachycentron canadum*) by single factor comparison experiment. 4% CaCl<sub>2</sub> treatment for 60 min decreased freezing point to -1.21 °C; 2% NaCl treatment for 90 min decreased freezing point from -1.01 °C to -1.36 °C; 0.5% V<sub>C</sub> treatment for 30 min decreased freezing point to -1.30 °C. Orthogonal experiment was conducted to determine the best proportion between NaCl and V<sub>C</sub>. The results show that treatment with 3% NaCl and 0.3% V<sub>C</sub> for 60 min decreased freezing point by 60.4%, from -1.01 °C to -1.62 °C.

**Key words:** cobia; freezing point; freezing point regulator

军曹鱼 (*Rachycentron canadum*), 属鲈形目, 军曹鱼科, 又称海鲷、海龙鱼等, 是一种分布在世界上除东太平洋以外的几乎整个热带、亚热带以及温带水域<sup>[1-2]</sup>的暖水性鱼类。军曹鱼含肉率高, 味道鲜美、肉质细嫩, 是制作生鱼片的上好材料, 深受广大消费者喜爱<sup>[3]</sup>, 目前, 在中国广东、福建、海南沿海已经成为重要的海水养殖对

象<sup>[4]</sup>。随着中国军曹鱼消费市场的扩大, 对军曹鱼的加工利用研究需要不断深入, 尤其是人们对天然风味食品的追求, 更是推动了研究保鲜技术的热潮, 促使了冰温技术的诞生, 在食品保鲜研究历史上有着重要的意义。

冰温技术始于 20 世纪 70 年代初, 由日本的山根昭美氏最先发现<sup>[5]</sup>, 由此展开了冰温保鲜的研究时代。冰温是

收稿日期: 2013-09-22; 修回日期: 2013-11-14

资助项目: 广东省海洋渔业科技推广专项 (A201101F02); 广东省教育部产学研结合项目 (2011B090300002); 国家自然科学基金项目 (31371800)

作者简介: 孙继英 (1988 -), 女, 硕士研究生, 从事水产品加工及贮藏工程研究。E-mail: sjy0507@126.com

通信作者: 吴燕燕 (1969 -), 女, 研究员, 从事水产品加工与质量安全研究。E-mail: wuyygd@163.com

指在零度以下冻结点以上的未冻结温度带, 又称“冰温带”, 在此冰温带范围内储藏食品时, 组织会自发地分泌大量葡萄糖、游离氨基酸等不冻液来阻止冰晶的生成<sup>[6]</sup>, 从而可以维持食品细胞的原有形态, 保持食品的特有品质<sup>[7]</sup>。近年来冰温技术在水产食品上的应用越来越热门, 而冰温技术在中国水产品中的应用主要体现在冰温贮藏和冰温流通方面<sup>[8]</sup>, 并且水产品的冰温带范围一般都非常狭小, 在  $0 \sim -2.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  之间<sup>[17]</sup>, 如大黄鱼冰点为  $-1.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[18]</sup>, 罗非鱼(*Oreochromis sp.*)片冰点为  $-0.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[19]</sup>, 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)冰点为  $-2.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[20]</sup>, 青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)片冰点为  $-1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[21]</sup>等, 不利于冰温技术的实施, 所以人们研究了通过使用冰点调节剂来降低食品的冻结点, 得到了降低冰点、拓宽冰温带范围的效果, 更有利于食品的保鲜以及冰温技术在水产品贮藏上的应用。研究表明, 添加 1.74% 山梨醇、5.15% 氯化钙( $\text{CaCl}_2$ )和 2.13% 氯化钠( $\text{NaCl}$ )可使鲫(*Carassius auratus*)的冰点降至  $-1.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  左右<sup>[9]</sup>; 使用冰点调节剂可使鲤(*Cyprinus carpio*)的冰点温度由  $-1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  降至  $-3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 并对保持肉质品质特性、延长保质期有良好效果<sup>[10]</sup>; 添加 3% 食盐和 0.6% 蔗糖可将草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)片冰点由  $-0.66 \text{ }^{\circ}\text{C}$  降至  $-3.52 \text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[11]</sup>; 使用 Box-Behnken 设计分析得到使用配方 5.16%  $\text{NaCl}$ 、2.96% 蔗糖、7.15% 山梨醇对大黄鱼(*Larimichthys crocea*)的冰点进行调节, 可将冰点从  $-1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  降至  $-4.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 并对鱼肉质构特性影响不大<sup>[12]</sup>。常用的冰点调节剂主要有  $\text{NaCl}$ 、 $\text{CaCl}_2$  等无机盐, 以及蔗糖、葡萄糖、山梨醇、尿素、维生素 C( $\text{V}_c$ )、多聚磷酸盐等<sup>[13]</sup>。军曹鱼是一种名贵的海水鱼类, 在考虑不影响其咸鲜味的基础上, 未使用蔗糖、葡萄糖等甜类物质调节其冰点, 笔者使用  $\text{NaCl}$ 、 $\text{CaCl}_2$  和  $\text{V}_c$  3 种冰点调节剂来调节军曹鱼的生态冰点, 并通过单因素分析和正交试验确定冰点调节剂的最佳处理条件, 为军曹鱼冰温保鲜技术的进一步实施提供资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

军曹鱼购于广东省茂名市军曹鱼养殖场, 鲜活。试剂有  $\text{NaCl}$ 、 $\text{CaCl}_2$  和  $\text{V}_c$  (广州化学试剂厂出品), 均为分析纯。仪器有 MDF-U333 冷冻柜(日本 Sanyo 公司出品); 735-2 温度测量仪(德国德图仪器公司出品)。

### 1.2 试验方法

1.2.1 冰点的测定<sup>[14-15]</sup> 采用传统冻结法测定军曹鱼的冰点, 将鱼肉切成  $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$  左右大小的鱼块, 将温度计的探头端插入鱼块体积中心处, 固定好后放置于  $-35 \text{ }^{\circ}\text{C}$  恒温冰箱内, 记录下肉中心温度的变化值, 每隔 1 min 读取数据一次, 做肉中心温度随时间变化的冻结曲线<sup>[16]</sup>, 根据冻结曲线得出军曹鱼的冰点。

1.2.2 冰点调节剂对军曹鱼冰点的影响 配制一系列质量分数的  $\text{NaCl}$ 、 $\text{CaCl}_2$  和  $\text{V}_c$  溶液各 1 L, 将准备好的军曹鱼块分别浸泡入各个冰点调节剂溶液内一定时间, 浸泡结束后取出沥干, 然后参照方法 1.2.1 测定浸泡处理后的军曹鱼冰点。通过单因素试验得到冰点调节剂  $\text{NaCl}$ 、 $\text{CaCl}_2$  和  $\text{V}_c$  的最佳处理条件, 并挑取 2 种效果较好的冰点调节剂, 以各自浓度和浸泡时间为研究对象做 3 因素 3 水平的正交试验, 得到最佳冰点调节方案。

1.2.3 试验数据分析 试验数据使用 Excel 2007 进行处理, 并用 SPSS 17.0 软件进行方差分析和多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 冰点的测定

参照方法 1.2.1 将温度计的探头端插入军曹鱼鱼块体积中心处, 固定好后放置于  $-35 \text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱内, 每隔 1 min 记录一次肉中心温度变化值, 未经冰点调节剂处理过的军曹鱼冻结曲线见图 1。鱼块中心温度随着时间的延长不断下降, 降温初期主要放出的热量是显热, 故鱼块中心温度初始下降速度较快, 当降至  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  左右的某一点时, 温度会在一段时间内下降缓慢(基本稳定不变), 之后温度又再次较快下降, 求取这段平缓曲线上的温度平均值视为军曹鱼的近似冰点。从降温曲线上可以得到军曹鱼的冰点在  $-1.01 \text{ }^{\circ}\text{C}$  左右。

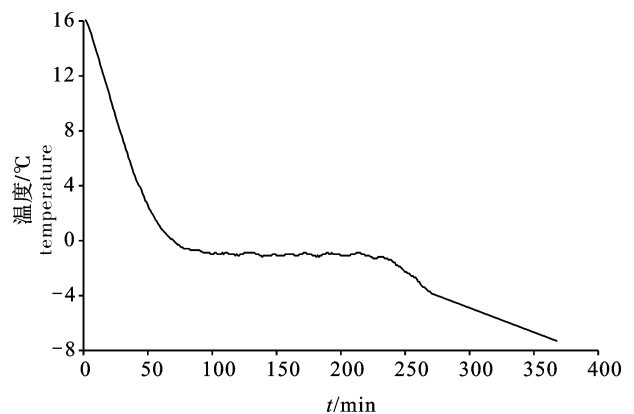


图1 未经冰点调节剂处理的军曹鱼冻结曲线

Fig. 1 Freezing curve of cobia without freezing point regulators

### 2.2 冰点调节剂处理对冰点的影响

2.2.1  $\text{CaCl}_2$  对军曹鱼冰点的影响 首先以质量分数为 2%、4% 和 6%  $\text{CaCl}_2$  溶液浸泡处理(30 min)军曹鱼, 得到对冰点的影响结果见图 2。几种质量分数处理军曹鱼后其冰点变化显著( $P < 0.05$ ), 除使用 2% 的  $\text{CaCl}_2$  溶液浸泡后军曹鱼的冰点有所上升, 其他质量分数浸泡时冰点有所下降, 其中 4% 的  $\text{CaCl}_2$  溶液对军曹鱼的冰点下降影响最大, 可将军曹鱼的冰点由  $-1.01 \text{ }^{\circ}\text{C}$  降至  $-1.08 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (图 2-a)。随后

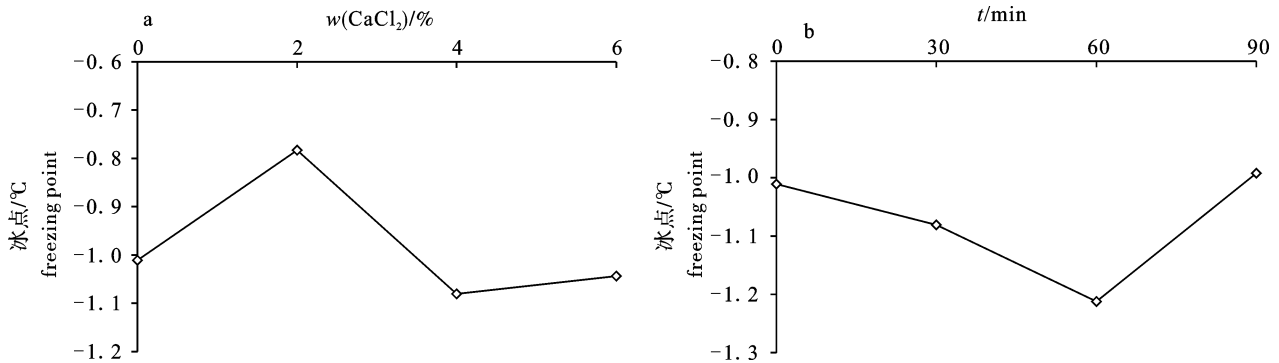


图2 氯化钙处理军曹鱼后对其冰点的影响

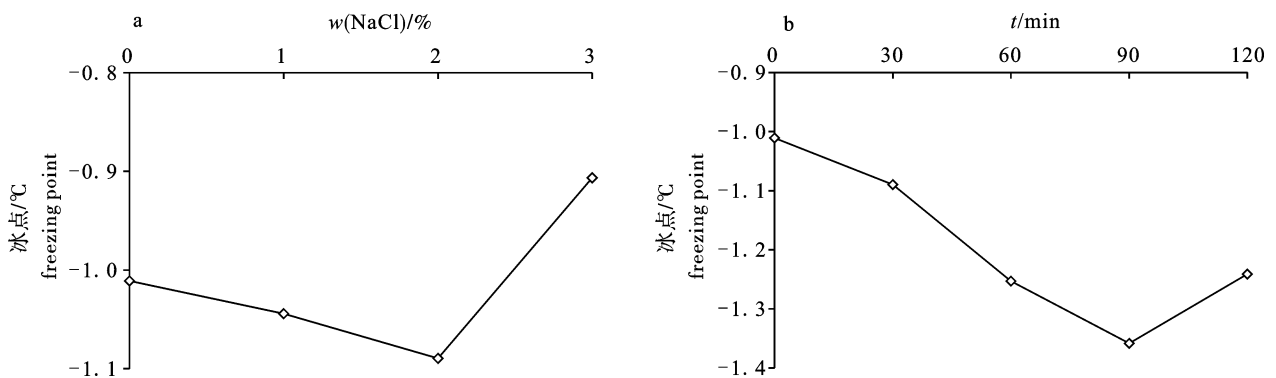
Fig. 2 Effect of CaCl<sub>2</sub> on freezing point of cobia

图3 氯化钠处理军曹鱼后对其冰点的影响

Fig. 3 Effect of NaCl on freezing point of cobia

以4%的CaCl<sub>2</sub>溶液做军曹鱼冰点随浸泡时间的变化规律的试验,时间设定为30 min、60 min和90 min,随着浸泡时间的延长,军曹鱼的冰点呈现先显著下降( $P < 0.05$ )随后上升的趋势,浸泡时间为60 min时下降幅度最大,可降至 $-1.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图2-b)。CaCl<sub>2</sub>属于小分子物质,较易进入到鱼肉组织内部。从图2可以看出其对军曹鱼冰点的影响与溶液质量分数和浸泡时间有关,通过不同质量分数和不同时间浸泡处理后对冰点影响效果的比较分析得出,使用CaCl<sub>2</sub>单因素处理军曹鱼的最佳方案是质量分数4%处理60 min,冰点由 $-1.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $-1.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.2.2 NaCl对军曹鱼冰点的影响 首先以质量分数为1%、2%和3%的NaCl溶液对军曹鱼进行浸泡处理,时间设定为30 min,得到的军曹鱼冰点受NaCl溶液的影响结果见图3。随着NaCl溶液质量分数的加大,NaCl分子会越来越地进入到军曹鱼组织内部,使军曹鱼的冰点有所下降,当NaCl质量分数增加至3%,溶液过高的渗透压会造成鱼肉组织大量脱水,同时携带鱼肌肉内小分子物质渗出,故军曹鱼的冰点又会有所上升。几种质量分数的NaCl溶液浸泡军曹鱼30 min后军曹鱼冰点和未浸泡相比变化显著( $P < 0.05$ ),其中2%的NaCl溶液浸泡效果最好,军曹鱼冰点由 $-1.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $-1.09\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图3-a)。随后以质量分数为2%

的NaCl溶液处理军曹鱼,时间设定为30 min、60 min、90 min和120 min,军曹鱼的冰点随着浸泡时间的延长呈现先下降后上升的趋势,和浸泡时间为0 min时相比,几种处理条件下军曹鱼冰点变化显著( $P < 0.05$ ),浸泡时间为90 min时军曹鱼冰点下降幅度最大,可降至 $-1.36\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,而随后处理时间的再延长并没有使军曹鱼的冰点继续下降,反而比浸泡90 min时有所上升(图3-b)。通过不同质量分数和不同时间浸泡处理后对冰点影响效果的比较分析得出,使用NaCl单因素处理军曹鱼的最佳方案是质量分数2%处理90 min,军曹鱼冰点可由 $-1.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $-1.36\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.2.3 V<sub>c</sub>对军曹鱼冰点的影响 V<sub>c</sub>极易溶于水,使用其溶液浸泡处理军曹鱼时V<sub>c</sub>分子可以在较短时间内进入到鱼肉组织内部,以达到对军曹鱼冰点的调节。以一系列质量分数(0.3%、0.5%和0.7%)的V<sub>c</sub>溶液对军曹鱼进行浸泡处理30 min,对军曹鱼冰点的影响结果见图4。随着V<sub>c</sub>溶液质量分数的不断加大,V<sub>c</sub>分子较多地渗入到鱼肉组织内造成不可冻结物质含量增多,军曹鱼冰点下降,而0.7%的V<sub>c</sub>溶液则由于渗透压高的问题,使V<sub>c</sub>分子不再渗入到鱼肉组织内部,所以军曹鱼的冰点呈现先下降后上升的趋势,并且几种质量分数的V<sub>c</sub>溶液处理军曹鱼后冰点变化显著( $P < 0.05$ ),其中0.5%的V<sub>c</sub>溶液处理后冰点下降幅度

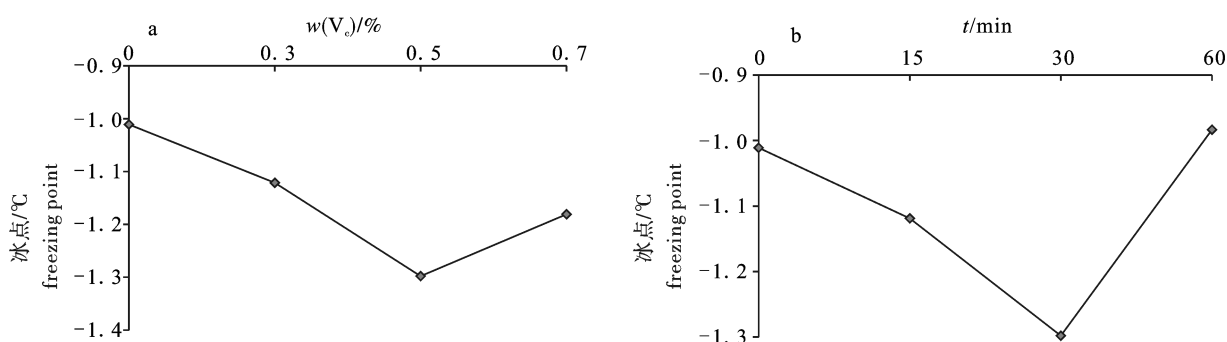


图4 维生素C处理军曹鱼后对其冰点的影响

Fig. 4 Effect of V<sub>c</sub> on freezing point of cobia

最大(图4-a)。随后以质量分数为0.5%的V<sub>c</sub>溶液做军曹鱼冰点随浸泡时间延长而变化的试验,时间设定为15 min、30 min和60 min, V<sub>c</sub>分子量为176,相比较NaCl等小分子量物质而言,处理鱼肉一段时间后V<sub>c</sub>分子会较难再进入到鱼肉组织内部,所以随着处理时间的延长,军曹鱼冰点呈现显著下降( $P < 0.05$ )的趋势,随后并未再持续下降,反而由于鱼肉和溶液之间的传质过程使鱼肉内小分子物质析出而造成冰点有所升高,其中浸泡30 min军曹鱼冰点下降幅度最大,由-1.01 °C降至-1.30 °C(图4-b)。再通过不同质量分数和不同时间浸泡处理后对冰点影响效果的比较分析得出,使用V<sub>c</sub>单因素处理军曹鱼的最佳方案是质量分数0.5%处理30 min,冰点由-1.01 °C降至-1.30 °C。

**2.2.4 正交试验** 以上的单因素试验说明几种冰点调节剂对军曹鱼冰点的调节都有一定的影响,但影响程度各不相同。通过几种单因素试验的比较可以看出,几种单因素中对军曹鱼冰点效果较好的为NaCl浸泡处理和V<sub>c</sub>浸泡处理。因此,在单因素试验的基础上,选取NaCl和V<sub>c</sub>2种冰点调节剂作为考察对象,以降低冰点调节剂加入量和缩短浸泡时间为目的设计正交试验,以对军曹鱼冰点影响较大的因素:1)NaCl溶液的质量分数(A);2)V<sub>c</sub>溶液的质量分数(B);3)浸泡时间(C)为考察对象,做3因素3水平的正交试验,采用L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验<sup>[22]</sup>(表1)。以军曹鱼冰点为考察指标,确定最佳冰点调节剂的质量分数配比和浸泡时

间。

正交试验结果见表2。几种因素影响军曹鱼冰点的主次顺序为A > C > B,即选取的几种影响因素中对军曹鱼冰点影响较大的因素是A(NaCl溶液质量分数),其次是C(浸泡时间)和B(V<sub>c</sub>溶液质量分数)。方差分析结果见表3,在0.05的显著水平下,因素A(NaCl溶液质量分数)对军曹鱼冰点影响显著,因素B(V<sub>c</sub>溶液质量分数)和C(浸泡时间)对军曹鱼的冰点有一定的影响,但是影响不显著。由此得出最佳处理条件组合为A<sub>3</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>,此组合在表2中已得到体现,即使用3% NaCl溶液和0.3% V<sub>c</sub>溶液浸泡处理军曹鱼60 min,可使其冰点降低至-1.62 °C。与单因素使用2% NaCl溶液浸泡90 min相比缩短了处理时间,与0.5% V<sub>c</sub>溶液浸泡30 min相比减少了V<sub>c</sub>的加入量且冰点下降幅度有所加大。

### 3 结论

通过单因素试验发现军曹鱼的冰点可调节,并根据使用NaCl、CaCl<sub>2</sub>和V<sub>c</sub>单因素处理军曹鱼后对其冰点的影响得出较好处理条件为使用2%的NaCl溶液浸泡处理军曹鱼90 min,可将其冰点由-1.01 °C降至-1.36 °C;使用4%的CaCl<sub>2</sub>溶液浸泡处理军曹鱼60 min,可将冰点降至-1.21 °C;使用0.5% V<sub>c</sub>溶液浸泡处理军曹鱼30 min,可将冰点降至-1.30 °C。

表1 冰点调节剂L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验因素水平表Tab. 1 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) orthogonal design for freezing point regulators

水平 level	因素 factor		
	NaCl 溶液质量分数/% concentration of sodium chloride solution (A)	V <sub>c</sub> 溶液质量分数/% concentration of V <sub>c</sub> solution (B)	浸泡时间/min soaking time (C)
1	1	0.3	30
2	2	0.5	60
3	3	0.7	90

表2 正交试验结果及分析

Tab. 2 Results and analysis of orthogonal test

编号 No.	因素 factor			冰点/℃ freezing point
	NaCl 溶液质量分数/% concentration of sodium chloride solution	V <sub>c</sub> 溶液质量分数/% concentration of V <sub>c</sub> solution	浸泡时间/min soaking time	
	(A)	(B)	(C)	
1	1	1	1	-1.38
2	1	2	2	-1.34
3	1	3	3	-1.08
4	2	1	3	-1.59
5	2	2	1	-1.52
6	2	3	2	-1.71
7	3	1	2	-1.62
8	3	2	3	-1.61
9	3	3	1	-1.60
K <sub>1</sub>	-3.80	-4.59	-4.50	
K <sub>2</sub>	-4.82	-4.47	-4.67	
K <sub>3</sub>	-4.83	-4.39	-4.28	
R	1.03	0.20	0.39	

表3 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交表方差分析Tab. 3 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) analysis of orthogonal test

因素 factor	偏差平方和(S) sum of square of deviations	自由度(f) degree of freedom	F F value	F 临界值 critical value of F	显著性 significance
A	0.233	2	9.765	5.14	*
B	0.007	2			
C	0.025	2			
误差 error	0.039	2			
误差 <sup>△</sup> error <sup>△</sup>	0.072	6			

注: \*. 水平显著( $P < 0.05$ ); 误差<sup>△</sup>. 因素 B 和因素 C 的  $S/f$  小于误差的  $S/f$ , 将其并入误差

Note: \*. significant difference ( $P < 0.05$ ); error<sup>△</sup>. the value of  $S/f$  of factor B and C is smaller than that of the error, so it is considered as error.

军曹鱼是深受消费者喜爱的海水鱼类, 其以肉质细嫩、口感鲜美而著名, 目前中国在其保鲜方面的研究还有所欠缺。在单因素试验的基础上使用正交试验优化了 NaCl 和 V<sub>c</sub> 2 种冰点调节剂处理军曹鱼的条件, 得到了最佳的处理组合条件为 3% NaCl 和 0.3% V<sub>c</sub> 溶液浸泡军曹鱼 60 min, 可将其冰点降至 -1.62 °C, 比原有冰点下降了 60.4%, 有利于进一步对其冰温保鲜技术的研究。

#### 参考文献:

[1] 孟庆闻. 鱼类学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 261-263.

[2] VAN DER VELDE T D, GREFFITHS S P, FRY G C. Reproductive biology of the commercially and recreationally important cobia *Rachycentron canadum* in northeastern Australia [J]. Fish Sci, 2010, 76(1): 33-43.

[3] 周书耘, 刘永坚, 梁海鸥, 等. 饲料中添加胆汁酸对军曹鱼生长及体组成的影响[J]. 南方水产, 2010, 6(4): 20-25.

[4] 勾效伟, 区又君, 廖锐. 我国军曹鱼研究现状[J]. 海洋渔业, 2007, 29(11): 84-89.

[5] 石文星, 彦启森, 等. 冰温技术及其在食品工业中的应用[J]. 天津商学院学报, 1999(3): 39-44.

[6] HENSEN E, JUNCKER D, HENCHEL P, et al. Oxidative stability of chilled pork chops following long term freeze storage [J]. Meat

- Sci, 2004, 68(3): 479-484.
- [7] 尹淑涛, 薛文通, 张惠. 冰温技术及其在食品保鲜中的应用[J]. 农产品加工, 2008, 7(7): 138-140.
- [8] 王洋, 杨光, 黄圣伟, 等. 冰温技术在我国水产业中的研究和应用[J]. 中国水产, 2013(1): 55-57.
- [9] 韩利英, 张懋. 鲫鱼块冰点调节剂的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 11(28): 759-763.
- [10] 何雪莹, 孔保华, 刘骞, 等. 冰温结合冰点调节剂保鲜对鲤鱼肉糜贮存期间品质特性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 309-312.
- [11] 龚婷. 生鲜草鱼片冰温气调保鲜的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [12] 胡焯, 何建东, 王朋, 等. 养殖大黄鱼冰点调节剂研制[J]. 中国食品学报, 2013, 13(1): 51-60.
- [13] 刘学浩, 孙天臻, 宋东倩. 食品冰温概念和食品冰点降低剂[J]. 冷藏技术, 2005, 3(1): 35-38.
- [14] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, PHONGKANPAI V, et al. Antioxidative activity of caramelisation products and their preventive effect on lipid oxidation in fish mince[J]. Food Chem, 2005, 90(1/2): 231-239.
- [15] 刁石强, 李来好, 岑剑伟, 等. 冰温臭氧水对鲢保鲜效果的研究[J]. 南方水产科学, 2011, 7(3): 8-13.
- [16] HOO A F, MCLELLAN M R. The contributing effect of apple pectin the freezing point depression of apple juice concentrates[J]. Food Sci, 1987, 52(2): 372-374.
- [17] SIVERTSVIK M, ROSNES J T, KLEIBERG G H. Effect of modified atmosphere packaging and super chilled storage on the microbial and sensory quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets[J]. J Food Sci, 2003, 68(4): 1467-1472.
- [18] 王真真, 董士远, 刘尊英, 等. 冰温下包装方式对大黄鱼的保鲜效果研究[J]. 水产科学, 2009, 28(8): 431-434.
- [19] 李来好, 彭城宇, 岑建伟, 等. 冰温气调贮藏对罗非鱼片品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 439-443.
- [20] 周娟娟, 马海霞, 李来好. 南美白对虾冰温气调保鲜效果评价[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 332-336.
- [21] 梁琼, 万金庆, 王国强. 青鱼片冰温贮藏研究[J]. 食品科学, 2010, 31(6): 270-273.
- [22] 中国科学院数学研究所统计组. 常用数理统计方法[M]. 北京: 科学出版社, 1973: 40-47.