

# 基于酸性电解水处理的 金枪鱼杀菌技术研究

高 萌<sup>1</sup>,张 宾<sup>1,\*</sup>,励建荣<sup>2</sup>,柳佳娜<sup>1</sup>,苏意诚<sup>3</sup>

(1.浙江海洋学院,食品与医药学院,浙江舟山 316000;

2.渤海大学,化学化工与食品安全学院,辽宁锦州 121013;

3.俄勒冈州立大学,海洋食品研究与教育中心,美国俄勒冈州 97403)

**摘 要:**以金枪鱼(鲣鱼, Skipjack tuna)为研究对象,重点评价酸性电解水镀冰衣对于冷冻鱼肉的抑菌效果,以及不同杀菌剂对于金枪鱼生鱼片的杀菌效果。结果表明 a. -18℃冻藏条件下, pH4.5酸性电解水镀冰衣可显著降低金枪鱼肉中的细菌总数和大肠埃希氏菌数量; b. 杀菌剂食醋、芥末及酸性电解水对金枪鱼生鱼片的杀菌效果显著( $p < 0.05$ ), 煮沸后的酱油基本无杀菌效果; c. 金枪鱼生鱼片最佳杀菌剂配方: 食醋8.0mL、0.1g芥末(酱)、1.0mL酸性电解水及少量加饭酒。研究结果为冷冻金枪鱼新型镀冰衣技术的研发奠定理论基础,也为消费者安全食用生食金枪鱼生鱼片提供科学指导。

**关键词:**生鱼片, 电解水, 食醋, 芥末, 杀菌效果

## Study on the sterilization effect of acidic electrolyzed water on the tuna

GAO Meng<sup>1</sup>, ZHANG Bin<sup>1,\*</sup>, LI Jian-rong<sup>2</sup>, LIU Jia-na<sup>1</sup>, SU Yi-cheng<sup>3</sup>

(1. College of Food and Medicine Zhejiang Ocean University Zhoushan 316000, China;

2. College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University, Jinzhou 121013, China;

3. Sea Food Research and Education Center, Oregon State University, Oregon 97403, USA)

**Abstract:** The acidic electrolyzed water (AEW) coating-ice was investigated for its antibacterial application against bacteria and *Escherichia coli* in frozen tuna (Skipjack tuna). Further, the sterilization effect of AEW and some food condiments on tuna sashimi was also evaluated. These results indicated that: a. The AEW coating-ice (pH4.5) treatment significantly reduced the total numbers of bacteria and *Escherichia coli* in tuna sashimi stored in freezers (-18℃). b. The vinegar, mustard and AEW all showed significantly sterilization effect on tuna sashimi ( $p < 0.05$ ), while the boiled soy sauce without sterilization activity. c. The optimization composition of the condiments for the tuna sashimi was made up of 8.0mL of vinegar, 0.1g of mustard, 1.0mL of AEW and a small amount of rice-adding wine. This study could lay the theory foundation for a new ice coating technology suitable for the frozen tuna, and further provide a scientific guidance for the product of ready-to-eat tuna sashimi.

**Key words:** sashimi; electrolyzed water; vinegar; mustard; sterilization effect

中图分类号: TS254.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2014)06-0230-05

金枪鱼肉富含蛋白质、维生素A、D和微量元素, 尤其二十二碳六烯酸(DHA)和二十碳五烯酸(EPA)等n-3多不饱和脂肪酸、蛋氨酸和牛磺酸等含量丰富, 是国际营养学会重点推荐的健康食品<sup>[1]</sup>。对于金枪鱼加工利用, 一般将其冷冻后制成冻金枪鱼肉, 进而用来制成生鱼片、寿司、调味及罐装食品。金枪鱼生鱼片既保持了大部分营养物质又具有鲜美的滋

味, 因而备受广大消费者青睐。作为高品质生鱼片进行食用, 必须具备微生物含量低、肌肉色泽鲜艳及解冻血水汁液渗出少等条件<sup>[2]</sup>。新鲜金枪鱼肉带菌量少, 如在加工过程中采取无菌操作而制备出的生鱼片, 可满足人们生食的卫生要求。但实际在生鱼片贮运及加工过程中, 遭受二次污染的机会很多, 根本无法做到无菌操作, 因此生鱼片在未经进一步加工灭菌情况下被直接食用, 极有可能因鱼肉中的微生物超标而引发食物中毒等多种食源性疾

病<sup>[3]</sup>。消费者在食用生鱼片时, 通常以绿芥末和酱油作为杀菌佐料, 认为通过蘸食方式即可起到有效杀灭微生物效果。而随着因食用生鱼片而引发的食源性疾

收稿日期: 2013-07-15 \* 通讯联系人

作者简介: 高萌(1991-) 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工及贮藏。

基金项目: 十二五国家科技支撑计划(2012BAD29B06); 国际科技合作

项目(2010DFB34220); 国家自然科学基金项目(31201452);

浙江省公益性项目(2012C33081); 浙江省大学生新苗人才

创新性实验项目。

等<sup>[5]</sup>对草鱼鱼片的菌落总数和菌相进行了研究,并探讨了生姜、酱油、醋等对于生鱼片的杀菌效果,但其并未提出具体杀菌调味剂配方。郭姗姗等<sup>[6]</sup>采用臭氧水和二氧化氯处理脆肉鲩鱼片,取得了良好减菌化效果,但此种强氧化剂杀菌处理方式对于鱼片品质影响较大。龚婷等<sup>[7]</sup>研究发现,在鲜草鱼片加工过程中,切片及后续浸泡工序是减少其遭受二次污染的关键控制点。

酸性电解水作为一种新兴杀菌溶液,首先由日本研发成功,并被指定为一种安全的食品杀菌剂,用于杀灭金黄色葡萄球菌、大肠杆菌及沙门氏菌等,效果十分显著<sup>[8]</sup>。张向阳等<sup>[9]</sup>采用pH2.35酸性电解水清洗鲜切胡萝卜,在低耗水条件下即可对鲜切胡萝卜达到显著抑菌效果。蓝蔚青等<sup>[10]</sup>的研究发现pH2.62、ACC为41.5mg/L的酸性电解水能在短时间内抑制带鱼中微生物的生长繁殖,同时明显减缓TVBN含量的升高,可使带鱼冷藏货架期延长2~3d。目前,国内外关于电解水的杀菌应用研究,绝大多数均集中在酸性较低(pH<2.7)的电解水方面,而较低pH对于食品品质(尤其水产品)、包装运输材料腐蚀性大,且由于强酸性电解水制造成本高、受外界有机物影响较大、溶液中有效氯极不稳定等原因,极大地限制了其应用范围<sup>[11-12]</sup>。关于酸性电解水在冷冻金枪鱼及其生鱼片制品中保鲜、杀菌应用研究还未见报道。本文针对冷冻金枪鱼(鲣鱼, Skipjack tuna)鱼片在冻藏、加工及食用过程中微生物易污染问题,通过酸性电解水镀冰衣技术、不同杀菌剂的杀菌效果及配方优化研究,旨在探讨冷冻金枪鱼贮藏品质保证的新方法,以及确定一种对于生鱼片既能杀菌又符合口味要求的杀菌剂基础配方。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;仪器

金枪鱼(鲣鱼, Skipjack tuna) 浙江兴业集团有限公司;食醋(总酸4.50~4.99g/100mL)、加饭酒(酒精度15.0%, V/V)、芥末酱(主要成分为西洋山葵和鲜山葵) 均为市售;结晶紫中性红胆盐琼脂(VRBA)、结晶紫中性红胆盐琼脂(MUG)等 青岛拓普生物工程有限公司;大肠埃希氏菌(ATCC 25922 *Escherichia coli*) 广州市微生物研究所;实验所用试剂 均为国产分析纯。

FX-SASAL型电解水生成器 烟台方心水处理设备有限公司;HS-1300型洁净工作台 苏州安泰空气技术有限公司;HWS-270型智能恒温恒湿箱 常州越科有限公司;DF-U53V型超低温冰箱 日本SANYO公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 金枪鱼预处理 冷冻金枪鱼(鲣鱼)贮藏于-55℃超低温冰箱中,使用前采用温盐水法解冻。将鱼肉浸置于NaCl浓度3.0%、温度40℃的盐水中90s后取出,湿纱布包裹,放置于4℃冰箱中,静置解冻12h,使鱼肉内部与表面温度均一。解冻后鱼肉进行整理、切分,备用。

1.2.2 酸性电解水制备 浓度为0.15% NaCl溶液,

在电解水生成器中进行电解,电解条件为:电流0.2A、电压6.3V、时间5min,获得酸性电解水(Acidic Electrolyzed Water, AEW)。经测定该电解水pH为4.5、氧化还原电位为836.5mV、有效氯含量为31.7mg/L。实验所用酸性电解水,制备后立即使用。

1.2.3 AEW镀冰衣对于冷冻金枪鱼的抑菌效果 首先将解冻金枪鱼鱼肉块(10cm×5cm×5cm)置于含10<sup>3</sup>cfu/mL大肠埃希氏菌溶液中1~2s(染菌),取出沥干并于室温下放置3h(增菌),然后置于-55℃超低温冰箱中冷冻4h,取出立即浸没于pH为4.5 AEW中3~5s(4℃),镀冰衣后鱼块装入塑料封口袋中,贮藏于-18℃冰箱中。每隔10d,测定样品中细菌总数和大肠埃希氏菌数量。

实验分组:蒸馏水镀冰衣(空白组)和酸性电解水镀冰衣(AEW组)。

1.2.4 杀菌剂对于解冻金枪鱼的杀菌效果及配方优化 选用杀菌剂种类为食醋、芥末酱、加饭酒、AEW及(煮沸后)酱油。前期研究发现,所用食醋、芥末酱、加饭酒、AEW及(煮沸后)酱油样品自身中,菌落总数均低于8cfu/g,大肠埃希氏菌均未检出(注:未煮沸酱油本身细菌总数含量较高,因此采用煮沸杀菌处理)。实验发现,煮沸后的酱油无杀菌活性,因此以食醋、芥末、加饭酒及AEW为影响生鱼片杀菌效果的主要影响因素,进行如表1所示的4因素3水平正交实验。具体操作:在符合卫生要求的厨房中,将解冻后金枪鱼制备成生鱼片(6cm×5cm×0.5cm),然后将生鱼片浸没于10<sup>3</sup>cfu/g大肠埃希氏菌溶液中1~2s(染菌),取出沥干并置于空气中3h(增菌),再浸没于不同杀菌剂中8~10s,取出后立即测定生鱼片中菌落总数、大肠埃希氏菌的数量,优化获得生鱼片最佳杀菌剂组合。

表1 正交实验因素水平表

Table 1 Experimental factors and levels of orthogonal experiment

| 水平 | 因素           |             |                  |              |
|----|--------------|-------------|------------------|--------------|
|    | A 电解水体积 (mL) | B 食醋体积 (mL) | C 10%芥末溶液体积 (mL) | D 加饭酒体积 (mL) |
| 1  | 1            | 2           | 1                | 1            |
| 2  | 2            | 4           | 3                | 2            |
| 3  | 4            | 8           | 6                | 4            |

1.2.5 微生物测定方法 细菌总数测定参照GB 4789.2-2010进行,大肠埃希氏菌测定参照GB 4789.38-2012进行。

### 1.3 数据分析

对于金枪鱼镀冰衣处理,样品细菌总数及大肠埃希氏菌的测定,均至少完成3个平行,数据处理采用SPSS 13.0统计分析软件,结果为平均值±标准偏差。

## 2 结果与amp;讨论

### 2.1 AEW镀冰衣对于冷冻金枪鱼的抑菌效果

金枪鱼镀冰衣的后处理技术是为了防止鱼体低

温贮藏及运输过程中,肌肉表面出现干燥、油脂外溢等干耗甚至油烧现象。传统自来水冰衣虽可防止鱼体脂类和色素的氧化,但其附着力较弱、易脱落,因此无法有效防止鱼体遭受腐败及致病微生物的侵染与繁殖。蒸馏水、AEW冰衣对于冷冻金枪鱼在冻藏(-18℃)过程中抑菌效果,如表2所示。蒸馏水镀冰衣组 0~40d冻藏期内,鱼体中细菌总数、大肠埃希氏菌数量无显著性变化,可能是由于低温贮藏暂时钝化了微生物生长与繁殖,随着贮藏时间延长(80~320d),细菌总数、大肠埃希氏菌显著性增加( $p < 0.05$ ),其原因可能是部分耐低温菌适应了低温环境,且在解冻过程中恢复了一定繁殖能力,致使细菌总数、大肠埃希氏菌显著性增加<sup>[13]</sup>。AEW镀冰衣组 0~160d冻藏期内,鱼体中细菌总数、大肠埃希氏菌始终保持在较低范围内,且呈现出显著降低趋势( $p < 0.05$ );冻藏至320d时,鱼体中细菌总数、大肠埃希氏菌有所回升,但仍显著低于蒸馏水镀冰衣鱼肉。

表2 AEW镀冰衣对于冷冻金枪鱼的抑菌效果(-18℃)

Table 2 Antibacterial effect of AEW coating ice on the frozen tuna(-18℃)

| 测定指标              | 贮藏时间(d) | 蒸馏水组                | AEW组                |
|-------------------|---------|---------------------|---------------------|
| 细菌总数<br>(cfu/g)   | 0       | 412±32 <sup>a</sup> | 412±32 <sup>c</sup> |
|                   | 10      | 420±40 <sup>a</sup> | 175±20 <sup>b</sup> |
|                   | 20      | 429±28 <sup>a</sup> | 84±42 <sup>a</sup>  |
|                   | 40      | 441±38 <sup>a</sup> | 97±37 <sup>a</sup>  |
|                   | 80      | 497±45 <sup>b</sup> | 101±44 <sup>a</sup> |
|                   | 160     | 580±51 <sup>c</sup> | 120±31 <sup>a</sup> |
|                   | 320     | 758±66 <sup>d</sup> | 154±43 <sup>b</sup> |
| 大肠埃希氏菌<br>(cfu/g) | 0       | 184±16 <sup>a</sup> | 184±16 <sup>c</sup> |
|                   | 10      | 172±23 <sup>a</sup> | 96±20 <sup>b</sup>  |
|                   | 20      | 169±29 <sup>a</sup> | 44±9 <sup>a</sup>   |
|                   | 40      | 178±30 <sup>a</sup> | 31±7 <sup>a</sup>   |
|                   | 80      | 172±19 <sup>a</sup> | 39±8 <sup>a</sup>   |
|                   | 160     | 261±15 <sup>b</sup> | 46±9 <sup>a</sup>   |
|                   | 320     | 413±28 <sup>c</sup> | 76±10 <sup>ab</sup> |

注:细菌总数和大肠埃希氏菌两组数据中,同一列中不同的小写字母,表示显著性差异( $p < 0.05$ )。

由此可见,AEW镀冰衣对于冷冻金枪鱼在整个贮藏期内(0~320d)均具有显著的抑菌效果,尤其在(0~160d)内,可显著降低鱼肉中的微生物含量。研究发现,酸性电解水在溶液状态时,由于外界光照、氧气及加热等作用下,易出现分解进而转变成普通水,因此如果直接应用,其实际杀菌作用时间相对较短<sup>[14]</sup>。此外,AEW碎冰同样能表现出良好的抑菌活性,如对大肠杆菌、摩氏摩根菌等杀灭效果显著,同时还可有效防止红肉鱼中组胺的形成与蓄积<sup>[15]</sup>。本研究中将AEW制成冷冻金枪鱼的外包冰衣,在金枪鱼贮藏过程中通过AEW冰中缓慢释放的 $\text{ClO}^-$ 、 $\text{ClO}_2^-$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 及 $[\text{O}]$ 等活性物质,可有效抑制细菌的细胞质酶活性,并破坏细菌外层细胞膜进而导致细菌的死亡<sup>[16-17]</sup>,有效延长了酸性电解水有效抑菌作用时间,

因此对金枪鱼在较长冷冻贮藏期内均能表现出良好抑菌活性。

## 2.2 金枪鱼生鱼片杀菌剂的配方优化

2.2.1 不同杀菌剂的杀菌效果比较 食醋、芥末、加饭酒、(煮沸后)酱油及AEW对于金枪鱼生鱼片中细菌总数、大肠埃希氏菌杀菌效果,如表3所示。结果表明,相对于空白处理(蒸馏水),食醋、芥末及AEW均表现出显著的杀菌活性,而煮沸后的酱油基本无杀菌活性( $p > 0.05$ )。因此,选定食醋、芥末、加饭酒及AEW为基础杀菌剂,进行下一步的单因素及正交优化实验。

表3 不同菌剂对生鱼片的杀菌效果

Table 3 Antibacterial effect of different condiments on the tuna sashimi

| 杀菌剂 | 生鱼片浸泡杀菌前            |                     | 生鱼片浸泡杀菌后            |                     |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|     | 细菌总数<br>(cfu/g)     | 大肠埃希氏菌<br>(cfu/g)   | 细菌总数<br>(cfu/g)     | 大肠埃希氏菌<br>(cfu/g)   |
| 蒸馏水 | 432±20 <sup>A</sup> | 224±21 <sup>a</sup> | 410±16 <sup>A</sup> | 210±15 <sup>a</sup> |
| AEW | 486±25 <sup>A</sup> | 295±20 <sup>a</sup> | 110±19 <sup>B</sup> | 140±18 <sup>b</sup> |
| 食醋  | 453±12 <sup>A</sup> | 277±24 <sup>a</sup> | 50±10 <sup>B</sup>  | 60±11 <sup>b</sup>  |
| 芥末  | 460±19 <sup>A</sup> | 282±17 <sup>a</sup> | 100±12 <sup>B</sup> | 150±17 <sup>b</sup> |
| 加饭酒 | 422±24 <sup>A</sup> | 231±19 <sup>a</sup> | 150±11 <sup>B</sup> | 180±15 <sup>b</sup> |
| 酱油  | 463±18 <sup>A</sup> | 286±22 <sup>a</sup> | 455±16 <sup>A</sup> | 279±11 <sup>a</sup> |

注:a.芥末杀菌实验,采用质量浓度为10%芥末溶液进行;b.抑菌实验测定,均以鱼肉:杀菌剂为1:1(w:v)比例进行(可使鱼肉完全浸没于杀菌剂中),浸泡处理时间均为8~10s(下同);c.细菌总数和大肠埃希氏菌两组数据中,同行中不同的大写或小写字母,表示显著性差异( $p < 0.05$ )。

2.2.2 单因素实验结果 染菌后鱼肉于室温下放置3h后(增菌),浸没于不同杀菌剂中8~10s,取出后立即测定生鱼片中菌落总数,结果如图1所示。随着食醋添加体积不断增大,其对生鱼片的杀菌效果不断增强;当食醋体积增加至8mL及以上时,杀菌效果改善作用不显著( $p > 0.05$ )。对于芥末的杀菌效果,随着芥末添加量增加,其杀菌效果不断增强,但考虑到生鱼片在食用过程中,芥末会产生强烈刺激性感觉,因此在杀菌配方优化过程中以较低添加量(1~6mL)为主要研究范围。加饭酒的杀菌活性相对较弱,但其仍能显著降低生鱼片中细菌总数含量。对于AEW的杀菌效果,当生鱼片中添加量超多4mL后,其杀菌效果无显著性改变( $p > 0.05$ )。

2.2.3 正交实验结果 在综合考虑不同杀菌剂对于生鱼片感官品质影响的基础上,分别以对细菌总数、大肠埃希氏菌的杀灭效果为评价指标,获得了金枪鱼生鱼片最佳杀菌剂组合及因素主次顺序(表4)。对生鱼片中细菌总数杀灭效果:食醋>芥末>AEW>加饭酒,即当食醋8.0mL、芥末1.0mL、AEW 2.0mL、加饭酒1.0mL时,制备复合杀菌剂杀菌效果最佳(A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub>)。经验证实验(3个平行)发现,此组合处理生鱼片菌落总数为40cfu/g,杀菌效果较好。对生鱼片中大肠埃希氏菌杀灭效果:食醋杀菌效果最佳,而其他3种物质

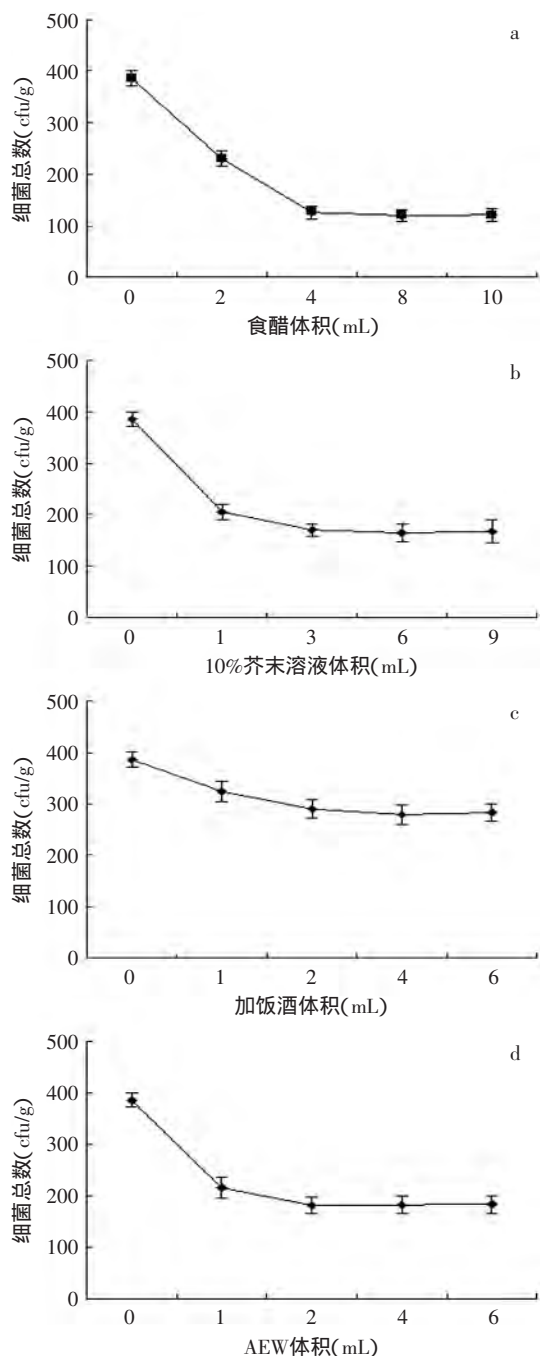


图1 不同杀菌剂对于金枪鱼生鱼片的杀菌效果

Fig.1 Antibacterial effect of different condiments on the tuna sashimi

的影响情况基本相同,因此选定最佳配方组合为A<sub>1</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub>,即当食醋8.0mL、芥末1.0mL、AEW 1.0mL、加饭酒1.0mL时,制备复合杀菌剂杀菌效果最佳。经验证实验(3个平行)发现,此组合处理生鱼片大肠埃希氏菌数为50cfu/g,杀菌效果较好。

由以上结果可知,对于金枪鱼生鱼片中微生物的安全控制,起到杀菌作用的最主要物质为食醋和芥末。在金枪鱼等各种生鱼片食用过程中,保持以8.0mL食醋加入约0.1g芥末(酱)的比例,保证生鱼片完全浸没于组合杀菌剂中8~10s,即可保证生鱼片食用安全。相对于食醋和芥末,加饭酒的杀菌效

果有限,但在生鱼片食用过程中,其可起到一定增效杀菌效果之外,更有益的是可改善生食水产品中的腥味问题,因此可依据个人需求适当(<1.0mL)加入。AEW作为一种安全的多功能水,在生食水产品中同样可起到一定辅助杀菌效果,但添加量过高(≥2.0mL)会轻微影响杀菌调味料的感官品质,因此综合各影响因素选定金枪鱼生鱼片最佳杀菌剂组合为:食醋8.0mL、0.1g芥末(酱)、1.0mL酸性电解水及少量加饭酒。AEW更为重要的应用价值在于其对于冷冻生鱼片在长期冻藏过程中的抑菌作用,以及对于解冻生鱼片的短期保鲜应用(结果将另文报道)等。

此外,针对正交实验获得的最佳杀菌剂组合,本研究进而采用了风味剖面分析法(GB12310-90),对其蘸食食用风味进行感官评价发现,金枪鱼生鱼片蘸食以上杀菌调味剂组合,无不良风味和强烈刺激性风味出现。经消费者嗜好感官检验(实验室内部人员组成)发现,金枪鱼生鱼片蘸食以上杀菌调味剂可被大多数消费者接受。

### 3 结论

冷冻金枪鱼从解冻、加工至最后进入消费者口中,要经历很多环节和较长的时间,根本无法保证整个过程的无菌操作,因此选用有效的微生物控制手段,对于保障消费者的食用安全至关重要。本文以冷冻金枪鱼(鲣鱼)为原料,鱼肉中细菌总数和大肠埃希氏菌为研究对象,通过酸性电解水镀冰衣技术、不同杀菌剂杀菌效果比较及组合优化研究,发现pH4.5酸性电解水镀冰衣在80d冻藏期内,可显著抑制鱼肉中的微生物繁殖与生长。同时,获得了金枪鱼生鱼片的最佳杀菌剂组合,即食醋8.0mL、0.1g芥末(酱)、1.0mL酸性电解水及少量加饭酒,其对生鱼片中的微生物杀灭效果显著,可有效的保证消费者的生食安全需求。

### 参考文献

- [1] 张青,王锡昌,刘源. 中国金枪鱼渔业现状及发展趋势[J]. 南方水产, 2005, 5(1): 68-74.
- [2] 张泓. 真空冷却红外线脱水保鲜技术在金枪鱼生鱼片加工中的应用[J]. 渔业现代化, 2004(3): 33-34.
- [3] 刘弘,罗宝章,秦璐昕,等. 生食三文鱼片副溶血性弧菌污染的定量风险评估研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2012, 24(1): 18-22.
- [4] 毛雪丹,胡俊峰,刘秀梅,等. 2003-2007年中国1060起细菌性食源性疾病流行病学特征分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2010, 22(3): 224-228.
- [5] 崔竹梅,汪梅,蒋云升. 生鱼片食源性安全性评价[J]. 食品科学, 2003, 24(12): 128-131.
- [6] 郭姗姗,荣建华,赵思明,等. 臭氧水处理对冰温保鲜脆肉鲩鱼片品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 469-473.
- [7] 龚婷,熊善柏,陈加平,等. 冰温气调保鲜草鱼片加工过程中的减菌化处理[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(1): 111-115.
- [8] Issa-Zacharia A, Kamitani Y, Tiisekwa A, et al. *In vitro*

表4 细菌总数和大肠埃希氏菌数正交实验结果

Table 4 Results of orthogonal experiment of total number of bacteria and Escherichia coli

| 实验号             | A      | B      | C      | D      | 测定指标        |               |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|-------------|---------------|
|                 |        |        |        |        | 细菌总数(cfu/g) | 大肠埃希氏菌(cfu/g) |
| 1               | 1      | 1      | 3      | 2      | 180         | 120           |
| 2               | 2      | 1      | 1      | 1      | 80          | 105           |
| 3               | 3      | 1      | 2      | 3      | 130         | 140           |
| 4               | 1      | 2      | 2      | 1      | 100         | 75            |
| 5               | 2      | 2      | 3      | 3      | 130         | 110           |
| 6               | 3      | 2      | 1      | 2      | 73          | 90            |
| 7               | 1      | 3      | 1      | 2      | 57          | 55            |
| 8               | 2      | 3      | 2      | 3      | 47          | 70            |
| 9               | 3      | 3      | 3      | 1      | 63          | 80            |
| k <sub>1</sub>  | 112.33 | 130.00 | 70.00  | 81.00  |             |               |
| k <sub>2</sub>  | 85.67  | 101.00 | 92.33  | 103.33 |             |               |
| k <sub>3</sub>  | 88.67  | 55.67  | 124.33 | 102.33 |             |               |
| R               | 26.66  | 74.33  | 54.33  | 22.33  |             |               |
| k' <sub>1</sub> | 83.33  | 121.67 | 83.33  | 86.67  |             |               |
| k' <sub>2</sub> | 95.00  | 91.67  | 95.00  | 88.33  |             |               |
| k' <sub>3</sub> | 103.33 | 68.33  | 103.33 | 106.67 |             |               |
| R'              | 20.00  | 53.34  | 20.00  | 20.00  |             |               |

inactivation of *Escherichia coli* *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* spp. using slightly acidic electrolyzed water [J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 2010, 110(3): 308-313.

[9] 张向阳, 王丹, 马越, 等. 应用酸性电解水清洗鲜切胡萝卜的节水效果[J]. *食品工业科技* 2013, 34(6): 130-133.

[10] 蓝蔚青, 谢晶. 酸性电解水与溶菌酶对冷藏带鱼品质变化的影响[J]. *福建农林大学学报* 2013, 42(1): 100-105.

[11] 谢军, 孙晓红, 潘迎捷, 等. 酸性电解水及其在食品工业中的应用[J]. *食品工业科技* 2010, 31(2): 366-373.

[12] 龚泰石. 酸性电解水的制备与消毒[J]. *中国公共卫生* 2001, 17(3): 283-284.

[13] 白凤翎, 马春颖, 孙建华. 冷冻食品解冻方式对细菌数量影响的研究[J]. *食品工业科技* 2004, 25(1): 53-54.

[14] 庄琳懿. 酸性氧化电位水的产生条件与作用的初步研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.

[15] Phuvasate S, Su YC. Effects of electrolyzed oxidizing water and ice treatments on reducing histamine-producing bacteria on fish skin and food contact surface[J]. *Food Control* 2010, 21: 286-291.

[16] Mahmoud BSM, Yamazaki K, Miyashita K *et al.* Preservative effect of combined treatment with electrolyzed NaCl solutions and essential oil compounds on carp fillets during convective air-drying[J]. *International Journal of Food Microbiology* 2006, 106(3): 331-337.

[17] Huang YR, Hung YC, Hsu SY, *et al.* Application of electrolyzed water in the food industry[J]. *Food Control* 2008, 19: 329-345.

(上接第229页)

[6] Cheng J Y, Kondo K, Suzuki *et al.* Inhibitory effects of total flavones of *Hippophae rhamnoides* L on thrombosis in mouse femoral artery and *in vitro* platelet aggregation[J]. *Life Science* 2007, 72: 2263-2271.

[7] 吴亚琼. 柑橘皮黄酮提取、纯化和抗氧化性研究[D]. 杨凌: 西北农业科技大学, 2008.

[8] Chen L, Jin H, Ding L, *et al.* Dynamic microwave assisted extraction of flavonoids from *Herba Epimedii*[J]. *Separation and Purification Technology* 2008, 59: 50-57.

[9] Khajeh M. Optimization of microwave-assisted extraction procedure for zinc and copper determination in food samples by Box-behnken design[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*,

2009, 22(4): 343-346.

[10] Benavides A, Bassarello C. Flavonoids and isoflavonoids from *Gynemium sagittatum*[J]. *Phytochemistry* 2007, 68(9): 1277-1284.

[11] 杨林, 邵文斌, 于爱红, 等. 响应面法优化蚬壳花椒果皮多糖提取工艺[J]. *中成药* 2012, 34(9): 1806-1810.

[12] 周国仪, 舒静, 黄泽元. 响应面法优化超声提取芝麻叶黄酮的研究[J]. *食品与机械* 2007, 23(3): 77-80.

[13] 易军鹏, 朱文学, 马海乐, 等. 响应面法优化微波提取牡丹籽油的工艺研究[J]. *食品科学* 2009, 30(14): 99-104.

[14] 张静, 余加进, 戴建辉, 等. 中药提取物中总黄酮的分析研究[J]. *云南民族大学学报: 自然科学版* 2010, 19(6): 414-416.