

# 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中氧化三甲胺降解及品质的影响

李颖畅<sup>1</sup>, 李双燕<sup>1</sup>, 杜凤霞<sup>1</sup>, 刘雪飞<sup>1</sup>, 魏 涯<sup>2</sup>, 杨贤庆<sup>2</sup>

(1.渤海大学食品科学与工程学院, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁 锦州 121013;

2.中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510220)

**摘要:** 为了降低贮藏鱿鱼制品中甲醛含量和提高鱿鱼制品的贮藏品质, 本研究以未加二氢杨梅素的鱿鱼制品为对照, 将用质量分数0.2%二氢杨梅素浸泡并烤制的鱿鱼制品在25℃条件下贮藏。以氧化三甲胺(trimethylamine oxide, TMAO)含量、甲醛含量、二甲胺含量、三甲胺含量、色差、硫代巴比妥酸值、质构特性、气味和水分变化情况作为评价指标, 探究二氢杨梅素对鱿鱼制品贮藏品质的影响。结果表明: 与对照组相比, 二氢杨梅素处理能增强鱿鱼片贮藏过程中的持水性, 同时有效延缓煎烤鱿鱼片褐变反应, 改善鱿鱼片的颜色变化, 降低脂肪氧化程度, 提高产品的硬度及弹性, 延缓产品在贮藏过程中不良挥发性气味的生成并且抑制TMAO降解, 减少甲醛的生成。因此二氢杨梅素能很好地保持煎烤鱿鱼片的贮藏品质。

**关键词:** 二氢杨梅素; 氧化三甲胺; 煎烤鱿鱼片; 品质

## Effect of Dihydromyricetin on Trimethylamine Oxide Degradation and Quality Attributes in Grilled Squid Fillets during Storage

LI Yingchang<sup>1</sup>, LI Shuangyan<sup>1</sup>, DU Fengxia<sup>1</sup>, LIU Xuefei<sup>1</sup>, WEI Ya<sup>2</sup>, YANG Xianqing<sup>2</sup>

(1. National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, College of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, China;

2. South China Sea Fisheries Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510220, China)

**Abstract:** In order to reduce the formaldehyde content in squid products and improve the storage quality of squid products, the effect of dihydromyricetin on trimethylamine oxide (TMAO) degradation and quality attributes in grilled squid fillets was studied. The experiment was divided into a control group and a dihydromyricetin group (0.2%). Squid products were stored at 25℃. Changes in the contents of TMAO, formaldehyde (FA), dimethylamine (DMA) and trimethylamine (TMA), color difference, thiobarbituric acid (TBA) value, texture, odor, and water mobility were explored during storage. The results showed that dihydromyricetin inhibited the loss of water during storage, and effectively delay the occurrence of browning reactions in grilled squid fillets, thereby inhibiting the color change. Dihydromyricetin decreased fat oxidation, increased the hardness and elasticity of the product, delayed the generation of unpleasant volatile odors, inhibited the degradation of TMAO and reduced the production of FA. Therefore, dihydromyricetin could maintain the storage quality of grilled squid fillets well and inhibit TMAO degradation.

**Keywords:** dihydromyricetin; trimethylamine oxide; grilled squid fillets; quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200315-234

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2021)07-0247-06

引文格式:

李颖畅, 李双燕, 杜凤霞, 等. 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中氧化三甲胺降解及品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(7): 247-252. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200315-234. <http://www.spkx.net.cn>

LI Yingchang, LI Shuangyan, DU Fengxia, et al. Effect of dihydromyricetin on trimethylamine oxide degradation and quality attributes in grilled squid fillets during storage[J]. Food Science, 2021, 42(7): 247-252. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200315-234. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2020-03-15

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2017YFC1600706)

第一作者简介: 李颖畅(1973—)(ORCID: 0000-0002-6560-1566), 女, 教授, 博士, 研究方向为水产品加工与贮藏及食品安全控制。E-mail: liyingchangsy@sina.com

鱿鱼因其高蛋白、低脂肪、营养价值高等优点越来越受到消费者的青睐<sup>[1]</sup>。目前鱿鱼加工产品主要有三大类：一是以大规模的鱿鱼制成，如冻鱿鱼胴片等，产品基本是半成品；二是干品，以小型阿根廷鱿鱼为原料，如鱿鱼卷等；三是熟食产品，主要产品为鱿鱼丝，另外还有烤鱿鱼片等<sup>[2]</sup>。目前市面上较常见的产品为鱿鱼丝，口味相对单一、水分含量低、口感差<sup>[3]</sup>。煎烤鱿鱼因口感好、风味佳的特点逐渐成为消费者的新宠。鱿鱼中氧化三甲胺(trimethylamine oxide, TMAO)是形成甲醛(formaldehyde, FA)的前体物质，是水产品鲜味的主要成分，在一定条件下就会分解成三甲胺(trimethylamine, TMA)、二甲胺(dimethylamine, DMA)和FA，影响鱿鱼产品的品质。鱿鱼制品在煎烤和贮藏过程中会形成大量的FA，因此如何降低鱿鱼加工与贮藏过程中的FA含量、保持其品质是一个值得研究的问题。

二氢杨梅素是一种具有特殊结构的黄酮类化合物，有很好的防腐和抗氧化性能。肖小年等<sup>[4]</sup>研究表明二氢杨梅素作为一种天然的植物提取物，安全无毒副作用，将其应用到糕点类食品、食用油及肉制品等加工过程中，能起到防腐、抗氧化的作用。药理实验表明二氢杨梅素对革兰氏阳性、阴性球菌或杆菌抑制作用明显<sup>[5]</sup>。二氢杨梅素可抑制油脂中丙二醛的生成，对油脂的抗氧化活性相当或超过天然抗氧化剂(如茶多酚、迷迭香等)<sup>[6]</sup>。作为天然抗氧化剂，二氢杨梅素对1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基的清除率高达91.5%，其作用效果等同或优于特丁基对二苯酚，且与特丁基对二苯酚、二丁基羟基甲苯、丁基羟基茴香醚相比，其绿色环保，无任何毒副作用<sup>[7]</sup>。

近年来，研究者们对二氢杨梅素的研究主要集中在抗氧化活性上，研究表明，二氢杨梅素具有增强抗氧化酶活性、抗脂质氧化和清除自由基等作用。二氢杨梅素由于其较强的抗氧化活性及安全、无残留的特点，常被作为添加剂用于食物中<sup>[8]</sup>。目前二氢杨梅素在肉品保鲜方面的应用有相关的报道，但是对水产品中TMAO降解的控制和贮藏品质的影响鲜见报道。因此本实验将二氢杨梅素应用到煎烤鱿鱼片中，探究二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片中TMAO降解及其相关品质的影响，为二氢杨梅素在水产品领域的应用提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

鱿鱼购于锦州市林西路水产市场。

甲醇(色谱纯) 北京DIKMA公司；无水硫酸钠、三羟甲基氨基甲烷 上海阿拉丁生化科技股份有限公司；对甲苯磺酰氯 天津致远化学试剂有限公司；甲苯 上海易恩化学技术有限公司；硫代巴比妥酸、三氯乙酸、氢氧化钾 上海国药集团化学试剂有限公司；二氢杨梅素 上海源叶生物科技有限公司；以上无特殊说明均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

UV-2550紫外-可见分光光度计 日本岛津仪器有限公司；冷冻高速离心机 美国Thermo公司；7890气相色谱仪、1260液相色谱仪 美国安捷伦科技公司；Milli-Q超纯水系统 美国Millipore公司；电子分析天平 瑞士Mettler Toledo公司；pHS-C型pH计 上海仪电科学仪器股份有限公司；CR-400色彩色差计 柯尼卡美能达(中国)投资有限公司；TMS-Pro型质构仪 美国FTC公司；NM120低场核磁共振仪 上海纽迈电子科技有限公司；PEN3型电子鼻 德国Airsense公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 鱿鱼前处理流程

秘鲁鱿鱼解冻→去皮→清洗→切片(5 cm×5 cm)→浸泡(料液比为1:4(m/V)，实验组用质量分数0.2%二氢杨梅素溶液、对照组用去离子水浸泡，置于4℃冰箱30 min)→沸水煮4 min→冷却→沥水→60℃热风干燥10 h→鱿鱼煎烤机烤制(95℃、4 min)→聚乙烯袋包装→常温贮藏

#### 1.3.2 TMAO、TMA、FA、DMA含量的测定

将经过鱿鱼片绞碎后称取5 g转移至50 mL离心管中，加入20 mL质量分数7.5%三氯乙酸溶液，冰浴超声30 min，静置10 min沉淀蛋白后，10 000 r/min高速离心10 min，取上清液定容至50 mL测定TMAO、TMA、FA、DMA含量。

TMA含量的测定参考朱军莉等<sup>[9]</sup>的方法。

TMAO含量测定：先将TMAO还原为TMA后进行测定，具体步骤：取2 mL的反应液加入质量分数1%的三氯化钛溶液0.25 mL，80℃水浴90 s，冷却后同TMA含量的测定方法操作。

DMA含量的测定参考贾佳<sup>[10]</sup>的方法。FA含量参考Li Jianrong等<sup>[11]</sup>建立的高效液相色谱法测定。

#### 1.3.3 质构特性的测定

将鱿鱼肉切成1.5 cm×1.5 cm×1.0 cm的小块，采用质构仪测定其质构特性，平行测定4次，选用P/50探头，测试前、测试中和测试后速率均设为1 mm/s，回复时间为2 s，触发力为5 g。结果取平均值。

#### 1.3.4 脂肪氧化程度的测定

硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)值的测定参考Erkan等<sup>[12]</sup>的方法。结果以每千克样品反应生成丙二醛的质量表示，单位为mg/kg。

#### 1.3.5 色差的测定

采用色差计读取样品的L\*值、a\*值和b\*值。

#### 1.3.6 水分分布的测定

参考董志俭等<sup>[13]</sup>的方法将鱿鱼切成1.0 cm×1.0 cm×3.0 cm的小块，放入低场核磁共振仪的核磁管中。参数如下：P90=14 μs、P180=28 μs、采样点数TD=360 136、重复采样时间TR=500 ms、重复采样数NS=4、重复采样等待时间T=150 μs；回波数Echo Cnt=12 000。

1.3.7 挥发性气味的测定

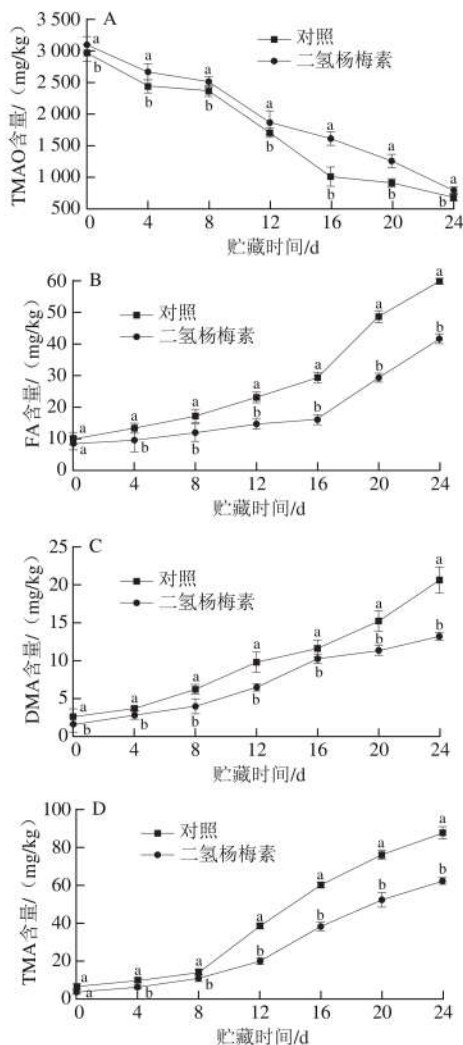
参考朱文慧等<sup>[14]</sup>的方法, 略加修改。称取5 g样品于50 mL烧杯中, 保鲜膜封口, 4 ℃条件下静置30 min, 运用电子鼻仪器上的电子传感器对样品进行分析。检测条件: 传感器归零时间5 s; 传感器清洗时间105 s; 分析采样时间120 s, 每组3个平行, 对结果进行主成分分析。

1.4 数据处理与分析

每个实验重复3~6次, 采用Origin 9.1软件作图, 利用SPSS 19.0软件对数据进行方差分析,  $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中TMAO降解的影响



相同时间不同组别小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。图2、4同。  
图1 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中TMAO (A)、FA (B)、DMA (C) 和TMA (D) 含量的影响  
Fig. 1 Effect of dihydromyricetin on the contents of TMAO (A), FA (B), DMA (C) and TMA (D) in grilled squid fillets during storage

高温蒸煮、焙烤和干燥等加工工艺可使鱿鱼中的TMAO分解为FA、DMA和TMA等产物<sup>[15]</sup>。如图1所示, 随着贮藏时间的延长, 对照组和处理组中TMAO表现出相似的变化趋势, 含量均降低, 逐渐分解为FA、DMA、TMA。相对于对照组而言, 二氢杨梅素处理组中TMAO降解量明显低于对照组。整个贮藏过程中, 二氢杨梅素处理组的FA、DMA、TMA含量均显著低于对照组。这说明二氢杨梅素能抑制TMAO的分解, 减少FA、DMA、TMA的生成。鱿鱼中TMAO在微生物和氧化三甲基脱甲基酶的作用下可被分解, 由于鱿鱼片在煎烤过程中酶已经被破坏, 因此贮藏过程中鱿鱼片主要在微生物的作用下使TMAO分解为TMA、FA、DMA<sup>[16]</sup>, 朱军莉等<sup>[17]</sup>研究表明茶多酚和柠檬酸能减少贮藏过程中鱿鱼丝FA的生成, 宋素珍等<sup>[18]</sup>研究表明壳聚糖因其抑菌作用可以抑制TMAO的分解, 减少鱿鱼在贮藏过程中FA的生成量。这与二氢杨梅素降低鱿鱼产品中FA含量的结果是一致的。二氢杨梅素处理组中FA含量比对照组低的原因可能有两方面: 一是二氢杨梅素在结构上含有多羟基, 属于多羟基物质, 能与甲醛发生酚醛缩合反应降低FA含量; 二是二氢杨梅素抑菌效果显著, 能抑制微生物对TMAO的分解, 萧力争等<sup>[19]</sup>研究发现二氢杨梅素的抑菌活性较茶叶提取物更强, 二氢杨梅素降低鱿鱼中FA的效果要好于茶多酚提取物。

2.2 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中TBA值的影响

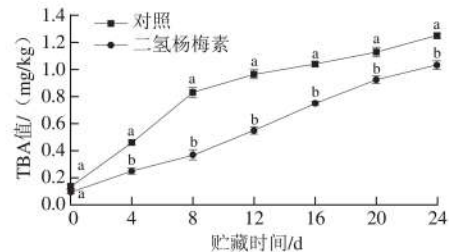


图2 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中TBA值的影响  
Fig. 2 Effect of dihydromyricetin on TBA value in grilled squid fillets during storage

鱿鱼的脂类氧化程度与鱿鱼的种类、贮藏温度和脂肪组成等有关, TBA值是评价脂类氧化程度的重要指示物<sup>[18]</sup>。TBA值越高, 则脂肪氧化程度越大, 水产品酸败程度越大<sup>[20]</sup>。如图2所示, 随着贮藏时间的延长, 对照组和二氢杨梅素处理组的TBA值总体呈现上升的趋势, 且相同贮藏时间二氢杨梅素处理组TBA值显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )。贮藏24 d后, 对照组TBA值从最初的0.12 mg/kg上升到1.25 mg/kg, 二氢杨梅素处理组从最初的0.09 mg/kg仅上升到1.13 mg/kg, 处理组的TBA值显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )。说明二氢杨梅素可以抑制煎烤鱿鱼片在贮藏过程中的脂肪氧化, 可能与二氢杨梅素具有抗氧化、防止脂肪氧化酸败等作用<sup>[21]</sup>有关。

## 2.3 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中色差的影响

表1 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中色差的影响

Table 1 Effect of dihydromyricetin on the color difference of grilled squid fillets during storage

组别	贮藏时间/d	$L^*$	$a^*$	$b^*$
对照组	0	76.14±0.98 <sup>a</sup>	-6.79±0.37 <sup>cd</sup>	19.28±1.21 <sup>b</sup>
	4	76.33±1.23 <sup>a</sup>	-7.48±0.18 <sup>d</sup>	19.83±1.39 <sup>b</sup>
	8	74.70±0.25 <sup>b</sup>	-7.01±0.66 <sup>cd</sup>	31.30±0.63 <sup>ab</sup>
	12	67.89±0.69 <sup>c</sup>	-5.93±0.83 <sup>e</sup>	28.37±1.33 <sup>b</sup>
	16	65.69±0.51 <sup>d</sup>	-4.22±1.11 <sup>b</sup>	31.71±2.11 <sup>ab</sup>
	20	63.67±0.70 <sup>c</sup>	-2.22±0.07 <sup>e</sup>	25.96±0.98 <sup>b</sup>
二氢杨梅素处理组	0	76.14±0.98 <sup>a</sup>	-6.79±0.37 <sup>b</sup>	20.72±1.21 <sup>c</sup>
	4	74.86±0.78 <sup>a</sup>	-7.67±1.01 <sup>c</sup>	21.74±0.99 <sup>c</sup>
	8	74.73±0.13 <sup>a</sup>	-5.84±0.78 <sup>b</sup>	25.34±1.41 <sup>c</sup>
	12	74.89±0.44 <sup>a</sup>	-5.78±0.45 <sup>b</sup>	27.12±1.38 <sup>bc</sup>
	16	71.77±1.90 <sup>b</sup>	-5.20±0.57 <sup>b</sup>	29.06±1.04 <sup>ab</sup>
	20	71.84±0.12 <sup>b</sup>	-4.92±0.02 <sup>ab</sup>	25.99±2.10 <sup>c</sup>
24	70.78±0.96 <sup>b</sup>	-3.74±0.31 <sup>b</sup>	30.32±2.58 <sup>a</sup>	

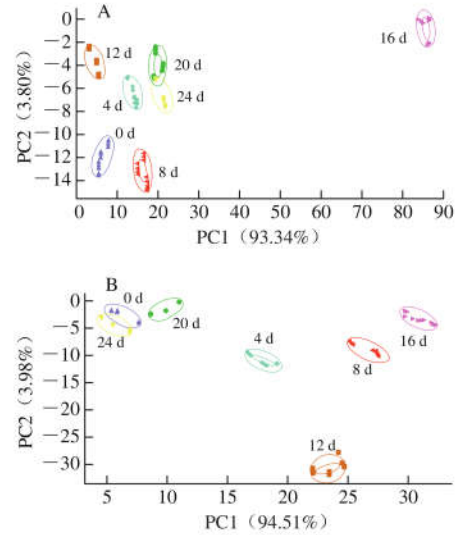
注：同一组别、同列肩标小写字母不同表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

褐变程度是评价鱿鱼制品的重要指标之一<sup>[22]</sup>。由表1可以看出,随着贮藏时间的延长,对照组和二氢杨梅素处理组中的 $L^*$ 值均呈下降的趋势,说明在贮藏的过程中煎烤鱿鱼片发生了美拉德反应<sup>[22]</sup>,在贮藏4 d后对照组的 $L^*$ 值显著降低 ( $P<0.05$ ),但是二氢杨梅素处理组中 $L^*$ 值下降缓慢。在整个贮藏期间对照组和二氢杨梅素组中的 $a^*$ 值和 $b^*$ 值总体增大, $a^*$ 值越高,说明样品的红度越高, $b^*$ 值越高则说明褐变反应过程中有较多的黄褐色物质产生<sup>[12]</sup>。二氢杨梅素处理组中 $a^*$ 值和 $b^*$ 值整体上小于对照组,且随着贮藏时间的延长, $a^*$ 值和 $b^*$ 值升高相对缓慢,可以看出二氢杨梅素可以抑制煎烤鱿鱼片在贮藏过程中发生的美拉德反应,保证煎烤鱿鱼片的感官色泽,延缓鱿鱼片在贮藏过程中的颜色变化。有研究表明,二氢杨梅素对食品有很强的抗氧化作用,特别是在护色方面有很强的优越性,作用效果优于人工合成的抗氧化剂<sup>[8]</sup>。

## 2.4 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片风味的影响

主成分分析是将获取的传感器信息进行数据转换及降维处理,并对降维后的特征向量进行线性分类,最后以二维散点图展现;主成分分析图中两轴上的比例越大,表明该主成分对模型的贡献越大<sup>[23]</sup>。如图3所示,对于二氢杨梅素处理组和对照组的样品,不同贮藏时间的椭圆间距较大,并没有出现重叠现象,表明两个组在贮藏期间挥发性成分会发生明显变化。二氢杨梅素处理组和对照组的第一主成分贡献率分别为94.51%和93.34%,第二主成分贡献率分别为3.98%和3.80%,总的贡献率分别为98.49%和97.14%,能较好地反映原始高维矩阵数据的信息<sup>[24]</sup>。对照组和二氢杨梅素处理组均在贮藏第16天的气味响应值与初期贮藏的最远,但二氢杨梅素处理组的

距离与对照组相比明显缩短,并且在贮藏末期(20、24 d)与0 d的响应距离很近,可能是因为二氢杨梅素对鱿鱼片具有一定的保鲜效果,可以延缓鱿鱼片贮藏过程中风味劣变的速度,从而更好地保持产品的风味。

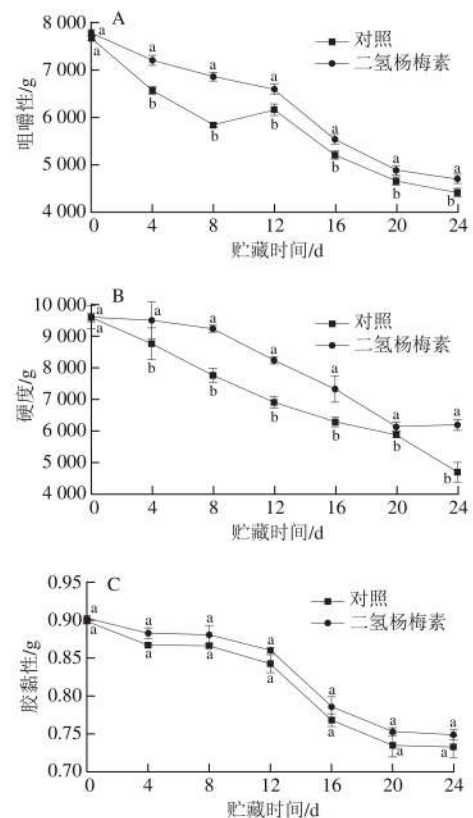


A.对照组; B.二氢杨梅素处理组。图5、6同。

图3 煎烤鱿鱼片贮藏过程中挥发性成分主成分分析结果

Fig. 3 Principal component analysis of volatile components in grilled squid fillets during storage

## 2.5 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中质构的影响

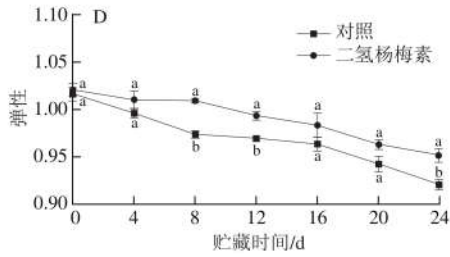


咀嚼性/g

硬度/g

胶黏性/g

贮藏时间/d



A.咀嚼性; B.硬度; C.胶黏度; D.弹性。

图4 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中质构特性的影响

Fig. 4 Effect of dihydromyricetin on texture properties of grilled squid fillets during storage

质构特性是食品重要的品质特征之一，质构参数的变化与动物性食品死后的僵直、软化现象相关联，在一定程度上也反映食品的新鲜度<sup>[25]</sup>。弹性是反映鱼肉撤掉外力后，鱼肉恢复形状的程度<sup>[26]</sup>。硬度、咀嚼性反映食品在人口腔中咀嚼的困难程度，这些指标越大，说明在食用过程中咀嚼越费力<sup>[27]</sup>。如图4所示，在整个贮藏期间对照组和处理组的硬度、咀嚼性、胶黏性、弹性均呈下降的趋势。可能是由于蛋白质在贮藏期间其空间结构遭到破坏<sup>[28]</sup>，使得鱿鱼片质地变软，具体表现为硬度下降、肌肉弹性下降、咀嚼性降低；且随着贮藏时间的延长，鱿鱼片逐渐发生脂肪氧化，蛋白质分解使得鱿鱼片组织变软，也能使产品的弹性下降<sup>[29]</sup>。李真<sup>[30]</sup>在研究熏马肉干时发现，含水率降低也会导致弹性和硬度的下降，其变化趋势与本研究结果一致。二氢杨梅素浸泡处理后的鱿鱼片贮藏过程中质构特性指标均显著优于对照组 ( $P < 0.05$ )。

2.6 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中水分分布的影响

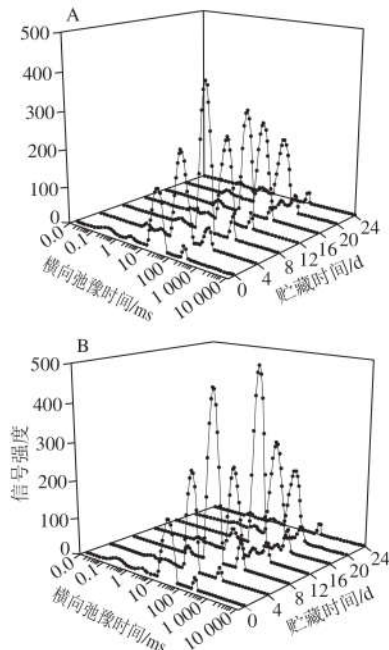
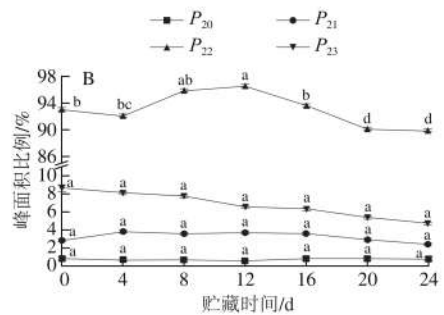
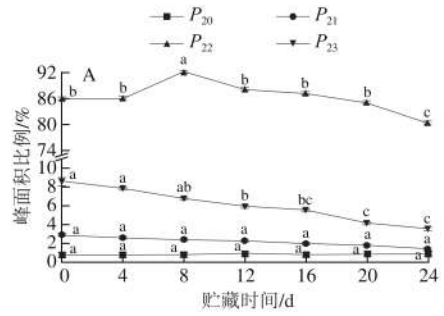


图5 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片贮藏过程中水分分布的影响

Fig. 5 Effect of dihydromyricetin on water distribution in grilled squid fillets during storage



同一指标不同贮藏时间小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图6 二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片弛豫组分峰面积比例的影响

Fig. 6 Effect of dihydromyricetin on the ratio of peak area of relaxation components in grilled squid fillets during storage

低场核磁共振可以用来有效测定食品水分迁移率和肌肉结构变化<sup>[31-32]</sup>，能区分不与固体颗粒或溶剂相互作用的自由水和结晶水，以及物理化学键合的结合水或不易流动水<sup>[33]</sup>。如图5所示，煎烤鱿鱼片在贮藏的过程中水分变化共产生了4个峰，其横向弛豫时间分别为 $T_{20}$  (0.1~1 ms)、 $T_{21}$  (1~10 ms)、 $T_{22}$  (10~100 ms)和 $T_{23}$  (100~1 000 ms)，分别代表结合水、中度结合水、不易流动水和自由水<sup>[34]</sup>，代表了水分流动性的强弱<sup>[35]</sup>，对应峰面积比例 ( $P_{20} \sim P_{21}$ ) 代表各组分的相对含量。图6为二氢杨梅素对煎烤鱿鱼片弛豫组分峰面积比例的影响结果。随着贮藏时间的延长，各组的横向弛豫时间峰有向右移动趋势；经二氢杨梅素处理过的煎烤鱿鱼片的 $P_{22}$ 明显大于对照组，是因为加入二氢杨梅素后煎烤鱿鱼片内部组织结构不宜破坏，不易流动水所受束缚力增强，使煎烤鱿鱼片中不易流动水相对含量增加，水的流动性减弱，持水性增强，加强了肌肉的保水性，提高了鱿鱼片的品质。对照组和二氢杨梅素处理组在贮藏前期 $P_{22}$ 呈上升趋势，可能是在贮藏初期部分自由水转化为不易流动水所引起的。随着贮藏时间的延长，自由水和不易流动水逐渐流失， $P_{22}$ 、 $P_{23}$ 逐渐减小。

3 结论

相对于对照组，二氢杨梅素处理能显著抑制鱿鱼制品TMAO降解生成FA、DMA、TMA，提高鱿鱼制品的

安全性,且能够改善鱿鱼制品的色泽和质构特性,减缓脂肪氧化,减少在贮藏过程当中因微生物作用产生的不良气味,保持鱿鱼的良好风味,减弱煎烤鱿鱼片中水的流动性,增强持水性,延长货架期。

#### 参考文献:

- [1] 陆海霞. 秘鲁鱿鱼肌原纤维蛋白质凝胶特性的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2009: 1-9.
- [2] 宋伟华, 马永钧, 姚平. 世界鱿鱼产品市场贸易简况[J]. 海洋渔业, 2003(3): 161-162.
- [3] 李天琪. 低温等离子体对即食鱿鱼丝品质的影响研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2017: 1-3.
- [4] 肖小年, 王江南, 谭潇喃, 等. 二氢杨梅素的抑菌活性及其影响因素[J]. 中国食品学报, 2016, 16(10): 124-129. DOI:10.16429/j.1009-7848.2016.10.017.
- [5] 董倩倩, 陈立峰. 二氢杨梅素药理研究进展[J]. 中南药学, 2005(5): 295-298. DOI:10.3969/j.issn.1672-2981.2005.05.018.
- [6] 张友胜, 宁正祥, 吴晖, 等. 天然植物抗氧化剂二氢杨梅素抗氧化活性影响因素研究[J]. 中国食品学报, 2004, 4(2): 55-58.
- [7] YAO M J, DENG Y J, CHEN S P. Study on the antioxidation of dihydromyricetin in the kiwi fruit seed oil[J]. Food and Fermentation Industries, 2007, 17(2): 36-39. DOI:10.1016/S1872-583X(07)60011-4.
- [8] 谢蓉蓉, 孙福强. 天然产物二氢杨梅素的研究进展[J]. 广东药科大学学报, 2019, 35(3): 470-474.
- [9] 朱军莉, 励建荣, 苗林林, 等. 基于高温非酶途径的秘鲁鱿鱼内源性甲醛的控制[J]. 水产学报, 2010, 34(3): 375-381. DOI:10.3724/SP.J.1231.2010.06699.
- [10] 贾佳. 秘鲁鱿鱼中氧化三甲胺热分解生成甲醛和二胺机理的初步研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2009: 6-61. DOI:10.7666/d.Y1524162.
- [11] LI Jianrong, ZHU Junli, YE Lifang. Determination of formaldehyde in squid products by high-performance liquid chromatography[J]. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 2007, 16(1): 127-130. DOI:10.6133/apjcn.2007.16.s1.24.
- [12] ERKAN N, ÜRETENER G, ALPAS H, et al. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) treatment on physicochemical properties of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) [J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 4(7): 1322-1329. DOI:10.1007/s11947-010-0415-4.
- [13] 董志俭, 李世伟, 莫尼莎, 等. 秘鲁鱿鱼烤制过程中的水分及质构变化[J]. 食品工业科技, 2014, 35(11): 61-63. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.11.004.
- [14] 朱文慧, 宦海珍, 步蓉, 等. 不同解冻方式对秘鲁鱿鱼肌肉品质和风味特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(18): 84-89. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2019.18.014.
- [15] 励建荣, 朱军莉. 秘鲁鱿鱼丝加工过程中甲醛产生控制的研究[J]. 中国食品学报, 2006, 6(1): 200-203.
- [16] KIMURA M, SEKI N, KIMURA I. Occurrence and some properties of trimethylamine-N-oxide demethylase in myofibrillar fraction from walleye pollack muscle[J]. Fisheries Science, 2000, 66(4): 725-729. DOI:10.1046/j.1444-2906.2000.00118.x.
- [17] 朱军莉, 孙丽霞, 董靓靓, 等. 茶多酚复合柠檬酸和氯化钙对秘鲁鱿鱼丝贮藏品质的影响[J]. 茶叶科学, 2013, 33(4): 377-385. DOI:10.3969/j.issn.1000-369X.2013.04.014.
- [18] 宋素珍, 李颖畅, 仪淑敏, 等. 白藜芦醇和壳聚糖复合生物保鲜剂对冷藏鱿鱼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(5): 291-295. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.05.054.
- [19] 萧力争, 郭维, 刘素纯, 等. 茶叶提取物与二氢杨梅素抑菌活性比较研究[J]. 安徽农业大学学报, 2008(2): 93-96.
- [20] 谢晶, 章缜, 黎柳, 等. 鲳鱼复合生物保鲜剂冰的配比优化及保鲜效果[J]. 制冷学报, 2017, 38(4): 102-109. DOI:10.3969/j.issn.0253-4339.2017.04.102.
- [21] 黄郁梅, 洪正善, 杨柯, 等. 二氢杨梅素稳定性影响因素及抑菌活性研究进展[J]. 药学研究, 2017, 36(9): 531-533; 537. DOI:10.13506/j.cnki.jpr.2017.09.010.
- [22] 吴帅帅, 朱军莉, 沈鹏, 等. 真空包装结合甲醛抑制剂对鱿鱼丝贮藏品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(5): 148-156.
- [23] LOZANO J, SANTOS J P, HERRILLO M C. Classification of white wine aromas with an electronic nose[J]. Talanta, 2005, 67(3): 610-616. DOI:10.1016/j.talanta.2005.03.015.
- [24] 崔方超, 李婷婷, 杨兵, 等. 电子鼻结合GC-MS分析草鱼脱腥前后风味变化[J]. 食品科学, 2014, 35(20): 126-130. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201420025.
- [25] 刘雪飞, 亢利鑫, 张德福, 等. 复合生物保鲜剂对冰温贮藏鱿鱼品质的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(6): 62-67.
- [26] 谭明堂, 谢晶, 王金锋. 解冻方式对鱿鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 94-101. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181022-246.
- [27] 林婉玲, 关熔, 曾庆孝, 等. 彩鲷和普通罗非鱼不同部位营养及质构特性的研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(1): 16-21.
- [28] 国竞文, 李婷婷, 王当丰, 等. 迷迭香-鱼精蛋白复合保鲜剂对冷藏白鲢鱼丸的保鲜效果研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(7): 275-280. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.07.045.
- [29] 仪淑敏, 张诗雯, 叶贝贝, 等. 复合生物保鲜剂对金线鱼肌肉的保鲜作用[J]. 食品工业科技, 2019, 40(4): 232-237. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.04.037.
- [30] 李真. 熏马肉干制备及工业化设计研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016: 29-37.
- [31] STRAADT I K, THYBO A K, BERTRAM H C. NaCl-induced changes in structure and water mobility in potato tissue as determined by CLSM and LF-NMR[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 41(8): 1493-1500. DOI:10.1016/j.lwt.2007.09.007.
- [32] GUDJÓNSDÓTTIR M, LAUZON H L, MANGNÚSSON H, et al. Low field nuclear magnetic resonance on the effect of salt and modified atmosphere packaging on cod (*Gadus morhua*) during superchilled storage[J]. Food Research International, 2011, 44(1): 241-249. DOI:10.1016/j.foodres.2010.10.029.
- [33] HINRICHS R, GÖTZ J, NOLL M, et al. Characterisation of the water-holding capacity of fresh cheese samples by means of low resolution nuclear magnetic resonance[J]. Food Research International, 2004, 37(7): 667-676. DOI:10.1016/j.foodres.2004.02.005.
- [34] BERTRAM H C, DØNSTRUP S, KARLSSON A H. Continuous distribution analysis of  $T_2$  relaxation in meat: an approach in the determination of water-holding capacity[J]. Meat Science, 2002, 60: 279-285. DOI:10.1016/S0309-1740(01)00134-6.
- [35] DUCÉL V, POULIQUEN D, RICHARD J, et al.  $^1\text{H-NMR}$  relaxation studies of protein-polysaccharide mixture[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2008, 43(4): 359-366. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2008.07.007.