

# 冷藏真空包装金鲷鱼片复合生物保鲜剂 配方优化

于淑池<sup>1</sup>,林美君<sup>1</sup>,王睿迪<sup>2</sup>,裴志胜<sup>1</sup>,杨波<sup>1</sup>

(1.海南热带海洋学院 海南省海洋食品工程技术研究中心,海南 三亚 572022;2.中国海洋大学 食品科学与工程学院,山东 青岛 266003)

**摘要:**为明确保鲜剂复配对冷藏水产品的保鲜效果,通过 $L_9(3^3)$ 正交试验研究茶多酚、壳聚糖、 $\epsilon$ -聚赖氨酸盐酸盐复配对真空包装4℃冷藏金鲷鱼片的感官品质、菌落总数、挥发性盐基氮等指标的影响,确定3种保鲜剂复配的最优配方,并将最优配方与空白对照组进行验证比较,以感官评价、菌落总数、挥发性盐基氮、pH值、质构分析及低磁场核磁共振特性为评价指标,进行14d的应用试验。结果表明:最佳复合保鲜剂配方为茶多酚用量0.25 g/kg,壳聚糖用量4 g/kg, $\epsilon$ -聚赖氨酸盐酸盐用量0.25 g/kg复配,经最佳复合保鲜剂处理后,能有效地延缓金鲷鱼片的感官劣变,抑制微生物的生长,延缓挥发性盐基氮值(total volatile basic nitrogen, TVB-N)和pH值的生长;TVB-N指标显示复合保鲜剂组将一级鲜度和货架期均延长4d左右;硬度、弹性、咀嚼力明显优于对照组;低磁场核磁共振显示复合保鲜剂组 $T_2$ 弛豫时间所表现出的保水性能显著优于对照组。

**关键词:**真空包装;金鲷鱼片;冷藏;复合保鲜剂;低磁场核磁共振

## Optimization of Compound Biological Preservative Formulations for Vacuum Packing Golden Pompano Fillets

YU Shu-chi<sup>1</sup>, LIN Mei-jun<sup>1</sup>, WANG Rui-di<sup>2</sup>, PEI Zhi-sheng<sup>1</sup>, YANG Bo<sup>1</sup>

(1.Hainan Seafood Engineering Technology Research Center, Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572022, Hainan, China; 2.Department of Food Science & Technology, Ocean University of China, Qingdao 266003, Shandong, China)

**Abstract:**In order to make clear the fresh-keeping effect of compound fresh-keeping agents on aquatic product, an  $L_9(3^3)$  orthogonal test was conducted in this experiment to study the effect of the compound fresh-keeping effects of the formula mixed with tea polyphenol, chitosan and  $\epsilon$ -polylysine hydrochloride on the index of sensory qualities, aerobic bacterial count, volatile basic nitrogen, pH value, texture analysis and low field nuclear magnetic resonance of vacuum packed golden pompano cold-stored in 4℃, and thus determined 3 optimum formulas, with which comparison tests were made with the placebo-treated group. With the sensory qualities, aerobic bacterial count, total volatile basic nitrogen(TVB-N), pH value, texture analysis and low field nuclear magnetic resonance as index, a 14 d applied experiment was conducted. The results showed that the best formula was 0.25 g/kg teapolyphenol, 4 g/kg chitosan and 0.25 g/kg  $\epsilon$ -polylysine hydrochloride. After the optimization treatment with compound fresh-keeping agents, it could effectively slow the sensory changes, inhibit microbial growth, slow the growth of TVB-N and pH value. TVB-N index indicated that in the compound fresh-keeping group the first-level freshness and the shelf life of the golden pompano were extended 4 d, and the hardness, elasticity, masticatory force were obviously better than the other group. From the index of low field nuclear magnetic resonance showed that relaxation time of this group was also better than the other group.

**Key words:** vacuum packing; golden pompano fillets; cold storage; compound fresh-keeping agent; low field nuclear magnetic resonance(LF-NMR)

引文格式:

于淑池,林美君,王睿迪,等.冷藏真空包装金鲳鱼片复合生物保鲜剂配方优化[J].食品研究与开发,2020,41(18):98-104

YU Shuchi, LIN Meijun, WANG Ruidi, et al. Optimization of Compound Biological Preservative Formulations for Vacuum Packing Golden Pompano Fillets [J]. Food Research and Development, 2020, 41(18): 98-104

金鲳鱼(golden pompano)学名卵形鲳鲹,地方名称黄腊鲳,金鲳,属硬骨鱼纲、鲈形目、鲳鲹属<sup>[1]</sup>,其鱼肉细嫩,味道鲜美,营养丰富<sup>[2]</sup>,是我国海南、广东沿海重要的海产经济鱼类之一<sup>[3]</sup>。目前金鲳鱼保鲜多采用冻藏<sup>[4]</sup>,随着消费观念的转变,人们越来越关注水产品的鲜度<sup>[5]</sup>,通过低温(0℃~4℃)贮藏的鱼肉与新鲜鱼肉的鲜度更为接近,更受到消费者的青睐<sup>[6]</sup>。而低温冷藏下卵形鲳鲹的货架期太短<sup>[7]</sup>,极大地限制了卵形鲳鲹的流通和加工,而现有的冷藏保鲜方法如物理法因成本较高不能被广泛应用;化学保鲜法则会引起微生物的耐药性及化学物质残留等副作用;生物保鲜技术因其具有天然、安全、方便等优点,已成为水产品贮藏保鲜的研究热点<sup>[8]</sup>。生物保鲜剂可以分为动物源、植物源和微生物源保鲜剂<sup>[9]</sup>。壳聚糖(chitosan)作为动物源保鲜剂目前应用比较广泛,是甲壳素脱N-乙酰基的产物,具有很强的抑菌效果<sup>[10-11]</sup>;茶多酚(tea polyphenols)是茶叶中多酚类物质的总称,也称抗氧化,安全无毒,且具有明显的抗菌、抗氧化作用,也可以抑制微生物的生长繁殖<sup>[12-14]</sup>,是一种具有推广价值的天然保鲜剂<sup>[15]</sup>;ε-聚赖氨酸(ε-L-polylysine, ε-PL)是微生物分泌的天然广谱性抑菌物质,具有抑菌、安全、无毒、稳定性强诸多优点,已被广泛用作食品防腐剂<sup>[16]</sup>,ε-聚赖氨酸盐酸盐是一种营养型生物保鲜剂,具有良好的保鲜性能。

复合生物保鲜剂是将具有不同功能或来源的保鲜剂协同使用,形成一种高效的复合保鲜剂,可以大大提高水产品的保鲜效果<sup>[17-19]</sup>。

目前金鲳鱼的生物保鲜研究报道较少,仅有杨坤等<sup>[20]</sup>研究了表没食子儿茶素没食子酸酯对冷藏金鲳鱼鱼片保鲜品质的影响;林晓霞等<sup>[21]</sup>研究了番石榴多酚可以显著延长金鲳鱼糜的货架期,具有良好的保鲜效果;张涵等<sup>[22]</sup>研究了聚赖氨酸(ε-PL)与海藻酸钠复合成膜,协同气调包装对金鲳鱼冷藏保鲜作用;将不同生物来源的保鲜剂进行复配,探究复合生物保鲜剂对真空包装冷藏金鲳鱼片的保鲜效果的研究尚未见报道。

本研究以冷藏金鲳鱼片为研究材料,以感官评价,菌落总数,挥发性盐基氮为指标,优化茶多酚、壳聚糖、

ε-聚赖氨酸盐酸盐对冷藏金鲳鱼片保鲜的最佳配方并进行应用验证。旨在为金鲳鱼的加工保鲜提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、试剂与仪器

金鲳鱼:(600±15)g,海南三亚市胜利路旺豪超市。

ε-聚赖氨酸盐酸盐(食品级):浙江新银象生物工程有限公司;茶多酚(食品级):河南千志商贸有限公司;壳聚糖(食品级):河南通宇食品化工有限公司;硼酸、氯化钠、盐酸、95%乙醇、营养琼脂:均为分析纯,西陇科学股份有限公司;氧化镁(分析纯):上海强顺化学试剂有限公司;甲基红、次甲基兰:均为分析纯,天津市天新精细化工开发中心。

N5000型质谱仪:上海佑科仪器仪表有限公司;MesoMR23-060H-1型核磁共振成像分析仪:苏州纽迈分析仪器股份有限公司;ME204E/O2型电子天平、SG8型精密pH计:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;DZ-500/1s型真空包装机:浙江温州市达丰机械有限公司;DS-150型恒温恒湿试验箱:苏州市易维试验仪器有限公司;J-2型菌落计数器:江苏天翎仪器有限公司;FOSS Kjeltac8400型全自动凯氏定氮仪:丹麦FOSS中国上海有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 金鲳鱼保鲜处理的工艺流程

鲜活金鲳鱼→敲头致死→清洗表面黏液→预处理(去头、去内脏)→剖半片鱼[(60±0.1)g]→保鲜剂冰浴浸泡1h[鱼片与处理液料液比为1:2(g/mL)]→取出沥干→真空包装→4℃冰箱冷藏→检测相关指标

#### 1.2.2 正交试验

根据GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》<sup>[23]</sup>,水产品中允许添加的茶多酚、壳聚糖和ε-聚赖氨酸盐酸盐的最高用量分别为0.3、6.0、0.3 g/kg,由预试验可知,单一生物保鲜剂对金鲳鱼片的保鲜效果显示:茶多酚用量为0.2 g/kg,壳聚糖用量为4.0 g/kg,ε-聚赖氨酸盐酸盐用量为0.25 g/kg保鲜效果最好,对每个因素选取3个水平,选用L<sub>9</sub>(3<sup>3</sup>)正交试验,以感官评分、菌落总数、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)值作为评价指标,真空包装4℃

冰箱冷藏 10 d,最终分析确定最佳复合保鲜剂配方。正交试验因素水平表见表 1。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Orthogonal experiment factor level

水平	因素		
	A 茶多酚用量/ (g/kg)	B 壳聚糖用量/ (g/kg)	C $\epsilon$ -聚赖氨酸盐酸 盐用量/(g/kg)
1	0.15	3	0.2
2	0.2	4	0.25
3	0.25	5	0.3

### 1.2.3 应用试验

对最优复合保鲜剂进行应用验证,以菌落总数、感官评分、TVB-N 值作为主要指标,pH 值、质构分析、低磁场核磁分析技术为辅助指标,以空白组(未经保鲜剂处理)为对照,测定真空包装 4℃冷藏 14 d 各指标的变化情况,探究最优复合保鲜剂对金鲳鱼片的保鲜效果。

### 1.2.4 各指标测定方法

#### 1.2.4.1 感官评定

感官评定采用 GB/T 18108-2008《鲜海水鱼》的方法<sup>[24]</sup>,评定人员由固定 10 人组成,以色泽、气味、组织形态、组织弹性为评定项目,每个评定项目满分分别为 25 分,总分 100 分,80 分~100 分品质最好,40 分作为可接受界限,40 分以下则不能食用,20 分以下品质最差。

#### 1.2.4.2 菌落总数测定

菌落总数测定参照 GB/T 4789.2-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》的方法<sup>[25]</sup>。

#### 1.2.4.3 挥发性盐基氮(TVB-N)测定

参照 GB/T 5009.228-2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中半微量扩散法<sup>[26]</sup>。

#### 1.2.4.4 pH 值的测定

按照 GB/T 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品中 pH 值的测定》方法<sup>[27]</sup>。

#### 1.2.4.5 质构分析

测量参数包括硬度、咀嚼力和弹性。取金鲳鱼片背部靠近脊骨处的鱼肉,采用质构剖面分析(texture profile analysis, TPA)测量模式,预测速度 3 mm/s,测试速度 1 mm/s,返回速度 5 mm/s,触发点负载 5 g,目标 2.0 mm,力量感应元大小为 1 000 N,探头升高距样品表面 20 mm,形变量 50%,起始力 0.9 N<sup>[28]</sup>。

#### 1.2.4.6 低磁场核磁分析

应用纽迈台式脉冲核磁共振分析仪(nuclear magnetic resonance, NMR)进行 NMR 自旋,并测量自旋弛

豫时间( $T_2$ )。取质量约 10 g 的金鲳鱼肉放入直径 60 mm 的核磁管中。测试参数:分析磁体线圈 60 mm,测量温度 32℃,起始脉冲宽度 1.0  $\mu$ s,结束脉冲宽度 36.0  $\mu$ s,累加步长 1.0  $\mu$ s,射频信号频率主值 22 MHz,射频信号频率偏移量 840 152.79 Hz,重复采样间隔时间 2 500 ms,90°脉宽 13  $\mu$ s,80°脉宽 26  $\mu$ s,采样点数 1 024,采样频率 200 kHz,回波时间 300  $\mu$ s,回波个数 5 000,重复采样 4 次,采样起始点控制参数 80  $\mu$ s,迭代次数 100 000。

### 1.3 数据处理

Excel 作图,Origin 2017(Origin Lab Corp.LTD)绘制弛豫信号曲线图,显著性差异采用 Duncan 多重比较检验分析( $P<0.05$ ),试验结果以平均值 $\pm$ 标准偏差来表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 正交试验的结果

按照表 1 的因素水平设置进行正交试验,结果见表 2。

表 2 正交试验结果分析

Table 2 Analysis table of orthogonal experiment results

试验号	A 茶多酚用量	B 壳聚糖用量	C $\epsilon$ -聚赖氨酸盐酸盐用量	感官评分	菌落总数/ (cfu/g)	TVB-N/ (mg/100 g)
1	1	1	1	56	5.54	20.91
2	1	2	2	59	5.41	20.24
3	1	3	3	56	5.48	20.59
4	2	1	2	62	5.24	20.48
5	2	2	3	54	5.73	21.96
6	2	3	1	56	5.57	20.93
7	3	1	3	63	5.38	19.89
8	3	2	1	75	5.16	19.02
9	3	3	2	66	5.21	19.56
感官评分	K <sub>1</sub>	57	60.33	62.33		
	K <sub>2</sub>	57.33	62.66	62.33		
	K <sub>3</sub>	68	59.33	57.67		
	R	11	3.33	4.66		
菌落总数	K <sub>1</sub>	5.47	5.38	5.42		
	K <sub>2</sub>	5.51	5.43	5.28		
	K <sub>3</sub>	5.25	5.42	5.53		
	R	0.26	0.05	0.25		
挥发性盐基氮	K <sub>1</sub>	20.58	20.42	20.28		
	K <sub>2</sub>	21.12	20.40	20.09		
	K <sub>3</sub>	19.49	20.36	20.81		
	R	1.63	0.06	0.72		

由表 2 可知,从感官评分、菌落总数、挥发性盐基氮 3 个指标的极差分析结果来看,3 种保鲜剂的影响

顺序均为 A (茶多酚用量) > C ( $\epsilon$ -聚赖氨酸盐酸盐用量) > B (壳聚糖用量); 从感官评分指标分析, 因素的最优水平组合为  $A_3B_2C_1$  或  $A_3B_2C_2$ , 保鲜效果等同最佳; 菌落总数指标最优水平组合为  $A_2B_2C_3$ ; 挥发性盐基氮值的最优水平组合为  $A_2B_1C_3$ ; 而感官评分的最优组合  $A_3B_2C_1$  是正交试验的第 8 组 (实际最优组), 因此将其他 3 个最优水平组合进行为期 10 d 的验证试验, 每组试验重复 3 次, 取平均值, 结果见表 3。

表 3 正交试验最优水平组合验证试验结果

Table 3 Verification test results of optimal horizontal combination of orthogonal experiments

组合来源	组合	感官评分	菌落总数/lg (cfu/g)	TVB-N/(mg/100 g)
感官评分	$A_3B_2C_2$	75	5.49	18.79
菌落总数	$A_2B_2C_3$	54	5.73	21.96
挥发性盐基氮	$A_2B_1C_3$	56	5.74	20.88

从表 3 可以看出, 菌落总数、挥发性盐基氮的最优水平组合与感官评分组合相比, 验证测得的 3 个指标值感官评分总体偏低; 菌落总数和挥发性盐基氮值较高, 揭示这两个组合的保鲜效果一般; 感官评分组合  $A_3B_2C_2$  验证试验结果显示, 感官评分与表 2 的第 8 组  $A_3B_2C_1$  一致, 菌落总数略有升高, 而挥发性盐基氮指标较低, 显示  $A_3B_2C_2$  组合保鲜效果优于正交试验第 8 组  $A_3B_2C_1$ , 因此确定  $A_3B_2C_2$  (即茶多酚用量 0.25 g/kg、壳聚糖用量 4 g/kg、 $\epsilon$ -聚赖氨酸盐酸盐用量 0.25 g/kg 复配) 为最优组合配方。

## 2.2 复合保鲜剂最优配方的应用试验结果

### 2.2.1 复合保鲜剂处理对真空包装冷藏金鲷鱼片感官品质的影响

复合保鲜剂处理后, 冷藏期间金鲷鱼片感官品质的变化结果见图 1。

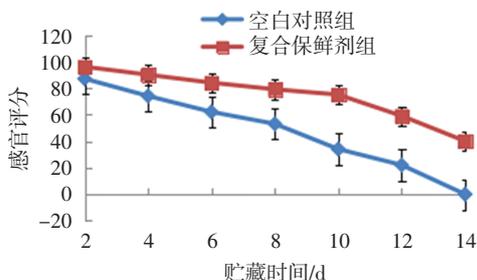


图 1 真空包装金鲷鱼片冷藏期间感官品质的变化

Fig.1 Changes in sensory quality of vacuum packed golden pompano fillets during cold storage

从图 1 中可以看出, 两个处理组随着时间的推移, 感官评分逐渐下降, 空白对照组在第 10 天完全劣变, 感官已无法接受 (感官评分 34 分 < 40 分临界点), 有刺

激性氨味产生, 体表无光泽, 有油脂渗出, 鱼脂大块脱落, 组织纤维松散症状; 复合保鲜剂组仍有较清淡的鱼腥味, 鱼脂紧贴体表, 组织纤维致密, 第 14 天时感官评分为 40 分, 达到可接受界限。

### 2.2.2 复合保鲜剂处理对真空包装冷藏金鲷鱼片菌落总数的影响

冷藏期间金鲷鱼片菌落总数的变化结果见图 2。

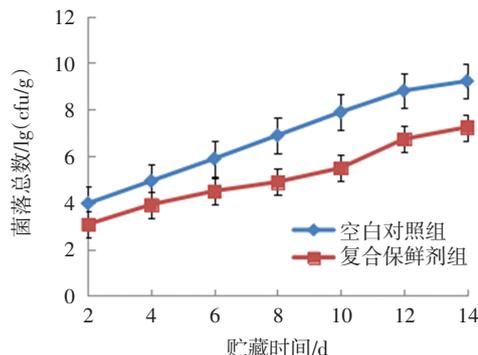


图 2 真空包装金鲷鱼片冷藏期间菌落总数的变化

Fig.2 Changes in aerobic plate count of vacuum packed golden pompano fillets during iced storage

水产品贮藏过程中容易受到微生物污染而引起品质下降, 菌落总数是很多国家检测水产品品质的一个常规指标<sup>[29]</sup>。从图 2 中可以看出, 两个处理组随着时间的推移, 菌落总数逐渐上升, 复合保鲜剂组总体低于空白组, 显示具有较强的杀菌和抑菌作用。GB 18406.4-2001 《农产品安全质量无公害水产品安全要求》规定细菌总数应不大于 6 lg(cfu/g), 以此判断水产品货架期终点, 空白对照组在第 8 天时 [6.89 lg(cfu/g)] 已经超出货架期, 而复合保鲜剂组在第 12 天时 [6.73 lg(cfu/g)] 才超出货架期。

### 2.2.3 复合保鲜剂处理对真空包装冷藏金鲷鱼片挥发性盐基氮指标的影响

冷藏期间金鲷鱼片挥发性盐基氮指标的变化结果见图 3。

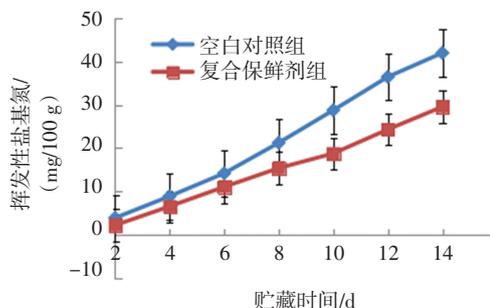


图 3 真空包装金鲷鱼片冷藏期间挥发性盐基氮的变化

Fig.3 Changes in TVB-N of vacuum packed golden pompano fillets during iced storage

按 GB 2733-2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》<sup>[30]</sup>规定,挥发性盐基氮值(TVB-N)应该不超过 30 mg/100 g,海水鱼一般 TVB-N $\leq$ 15 mg/100 g 为一级鲜度,TVB-N $\leq$ 30 mg/100 g 为二级品。从图 3 中可以看出,两个处理组随着时间的推移,TVB-N 逐渐上升,复合保鲜剂组总体低于空白对照组,与菌落总数和感官品质的变化规律基本相符,空白对照组在第 10 天时 TVB-N 在 28.76 mg/100 g,接近二级品,随后逐渐腐败;复合保鲜剂组 14 d 时的 TVB-N 值为 29.56 mg/100 g,接近二级鲜度终点,远低于空白对照组。空白对照组在 5 d~6 d 时超出一级鲜度(>15 mg/100 g),复合保鲜剂组则在 9 d~10 d 时超出一级鲜度;空白对照组货架期(超过 30 mg/100 g)约为 10 d~11 d,复合保鲜剂组货架期则为 14 d~15 d,一级鲜度和货架期均比空白对照组延长 4 d 左右。

#### 2.2.4 复合保鲜剂处理对真空包装冷藏金鲳鱼片 pH 值的影响

冷藏期间金鲳鱼片 pH 值的变化结果见图 4。

鱼体死后,pH 值变化是先下降后升高,下降是因为体内糖原降解,乳酸积聚,升高是因为体内蛋白质及其他含氮有机物分解产生氮和氨等碱性物质。从图 4 可以看出,复合保鲜剂能有效抑制糖原的分解和乳

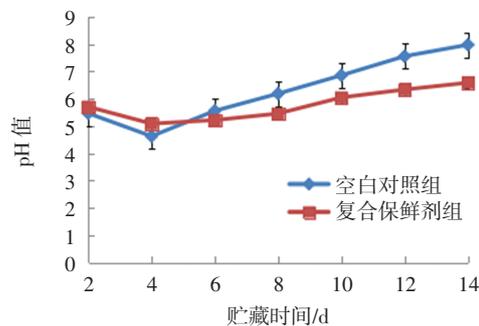


图 4 真空包装金鲳鱼片冷藏期间 pH 值的变化

Fig.4 Changes in pH value of vacuum packed golden pompano fillets during cold storage

酸的积聚,因此在第 2 天和第 4 天时 pH 值高于对照组,随着贮藏时间的增加,蛋白质等物质开始分解,复合保鲜剂在一定程度上抑制了蛋白质等物质的分解,且随着时间的增加抑制效果越明显。因此在第 6 天以后,pH 值低于对照组;且随着贮藏时间的增加,两者差距逐渐增大。

#### 2.2.5 复合保鲜剂处理对真空包装冷藏金鲳鱼片质构指标的影响

复合保鲜剂处理对真空包装冷藏金鲳鱼片质构指标的影响情况见表 4。

表 4 真空包装金鲳鱼片冷藏期间质构指标的变化

Table 4 Changes in texture index of vacuum packed golden pompano fillets during cold storage

时间/d	硬度/N		咀嚼力/mJ		弹力/mm	
	空白对照	复合保鲜剂	空白对照	复合保鲜剂	空白对照	复合保鲜剂
2	2.90±0.08 <sup>ba</sup>	3.00±0.08 <sup>ba</sup>	0.34±0.08 <sup>ab</sup>	0.64±0.02 <sup>ca</sup>	0.32±0.01 <sup>cb</sup>	0.61±0.02 <sup>ca</sup>
4	4.20±0.07 <sup>aa</sup>	4.00±0.13 <sup>aa</sup>	0.29±0.01 <sup>cb</sup>	0.63±0.55 <sup>ca</sup>	3.50±0.19 <sup>aa</sup>	2.90±0.19 <sup>ab</sup>
6	3.00±0.07 <sup>ba</sup>	4.00±0.51 <sup>aa</sup>	0.56±0.08 <sup>ab</sup>	1.41±0.04 <sup>aa</sup>	0.52±0.06 <sup>bb</sup>	1.11±0.18 <sup>ba</sup>
8	2.60±0.14 <sup>bb</sup>	3.50±0.19 <sup>aa</sup>	0.54±0.14 <sup>ab</sup>	1.05±0.13 <sup>ba</sup>	0.65±0.05 <sup>bb</sup>	0.80±0.09 <sup>ba</sup>
10	1.70±0.36 <sup>cb</sup>	2.90±0.19 <sup>aa</sup>	0.43±0.02 <sup>bb</sup>	0.87±0.03 <sup>ba</sup>	0.45±0.01 <sup>bb</sup>	0.76±0.11 <sup>ca</sup>
12	1.40±0.16 <sup>cb</sup>	2.60±0.44 <sup>ba</sup>	0.34±0.43 <sup>cb</sup>	0.75±0.11 <sup>ca</sup>	0.36±0.13 <sup>cb</sup>	0.68±0.09 <sup>ca</sup>
14	1.20±0.24 <sup>cb</sup>	2.40±0.64 <sup>ba</sup>	0.24±0.21 <sup>cb</sup>	0.61±0.15 <sup>ca</sup>	0.10±0.14 <sup>cb</sup>	0.54±0.04 <sup>ca</sup>

注:不同小写字母表示同一样品不同贮藏期间内差异显著( $P<0.05$ );不同大写字母表示同一贮藏期间不同样品间差异显著( $P<0.05$ )。

质构测定指标包括硬度、弹性及咀嚼力,一般数值越大说明鱼肉质越好<sup>[17]</sup>。鱼体死后,随着糖原的分解和乳酸的积聚,腺苷三磷酸(adenosine triphosphate, ATP)的活跃,硬度会逐渐上升,即僵硬期;由于鱼体内微生物的大量繁殖,引起腐败变质从而导致蛋白质空间结构遭到破坏<sup>[31]</sup>,随着含氮物质的分解,硬度会下降,出现软化等。弹性和咀嚼力是评价肉口感的两个指标,由表 4 可以看出,复合保鲜剂组的硬度、弹性和咀嚼力都高于空白组( $P<0.05$ ),说明复合生物保鲜剂

处理,能够抑制金鲳鱼片质构特性的改变,有着优于对照组的质地和口感。

#### 2.2.6 低磁场核磁共振(low-field nuclear magnetic resonance, LF-NMR)测定金鲳鱼片水分变化结果

利用低磁场核磁分析不同贮藏时间下金鲳鱼肌肉组织内不同水分分布,来推测复合保鲜剂的保水效果,并与不做处理的空白对照组相比较,不同贮藏时间低磁场核磁共振(LF-NMR)横向弛豫时间  $T_2$  的反演情况见图 5。

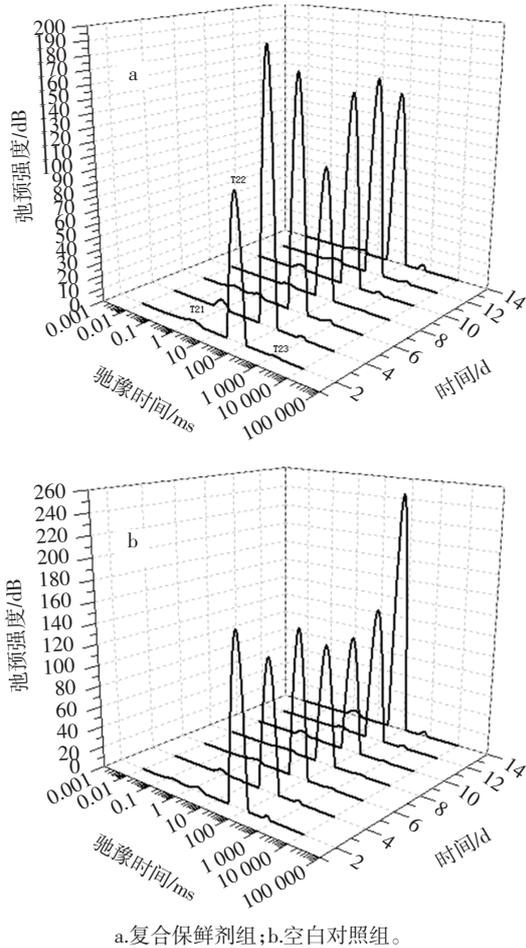


图5 真空包装金鲳鱼片冷藏期间横向弛豫时间的变化  
Fig.5 Changes in transverse relaxation time of vacuum packed golden pompano fillets during cold storage

LF-NMR 反演后的弛豫图有 3 个峰, 区间分别处于  $T_{21}$  (1 ms~10 ms)、 $T_{22}$  (10 ms~100 ms) 和  $T_{23}$  (100 ms~1 000 ms), 反映出鱼肉中水分存在的 3 种状态,  $T_{21}$  为蛋白质分子表面的极性基团与水分子紧密结合的结合水;  $T_{22}$  代表肌肉中存在于肌纤维、肌原纤维及细胞膜之间的不易流动水;  $T_{23}$  表示存在于细胞外间隙中可自由流动的水。其中  $T_{22}$  代表鱼肉网状结构中水分的滞留能力, 含量一般在 90% 左右, 占肌肉中水分的绝大部分, 为水分的主要存在形式。图 5 显示, 复合保鲜剂组和空白对照组  $T_{22}$  总体变化趋势是贮藏初期峰较高, 6 d~8 d 有所下降, 10 d 后有所上升, 后期基本趋于平稳(对照组的第 14 天时  $T_{22}$  峰较高, 可能因为对照组在 10 d 时已经腐败变质, 导致 14 d 测量结果可能有些偏差), 比较而言, 复合保鲜剂组的  $T_{22}$  峰值普遍高于空白对照组, 显示出较好的保水效果。 $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 、 $T_{23}$  各峰与横坐标面积的百分比可以代表水分含量(以  $A_{21}$ 、 $A_{22}$ 、 $A_{23}$  来表示), 峰面积的差异代表不同状态水的

比例<sup>[32]</sup>, 其中不易流动水  $A_{22}$  所占比例越大则样品的保水性越好。金鲳鱼片冷藏期间水分含量的变化结果见表 5。

表 5 真空包装金鲳鱼片冷藏期间水分含量的变化  
Table 5 Changes in moisture content of vacuum packed golden pompano fillets during cold storage

组别	时间/d	$A_{21}/\%$	$A_{22}/\%$	$A_{23}/\%$
空白对照组	2	4.18±0.26 <sup>b</sup>	94.32±0.57 <sup>b</sup>	1.50±0.17 <sup>b</sup>
	4	2.99±0.15 <sup>c</sup>	95.17±0.35 <sup>a</sup>	1.89±0.21 <sup>a</sup>
	6	4.09±0.14 <sup>c</sup>	94.22±0.20 <sup>b</sup>	1.68±0.19 <sup>a</sup>
	8	5.91±0.18 <sup>a</sup>	92.76±0.46 <sup>c</sup>	1.24±0.45 <sup>c</sup>
	10	4.88±0.32 <sup>a</sup>	94.08±0.26 <sup>b</sup>	1.04±0.38 <sup>c</sup>
	12	3.09±0.18 <sup>c</sup>	95.36±0.78 <sup>a</sup>	1.55±0.47 <sup>b</sup>
复合保鲜剂组	2	2.19±0.14 <sup>c</sup>	96.90±0.21 <sup>a</sup>	0.91±0.42 <sup>a</sup>
	4	1.69±0.21 <sup>c</sup>	97.94±0.31 <sup>a</sup>	0.37±0.31 <sup>c</sup>
	6	2.59±0.24 <sup>b</sup>	96.60±0.16 <sup>a</sup>	0.81±0.30 <sup>a</sup>
	8	3.71±0.21 <sup>a</sup>	95.75±0.20 <sup>b</sup>	0.54±0.24 <sup>b</sup>
	10	2.57±0.26 <sup>b</sup>	96.66±0.35 <sup>a</sup>	0.77±0.41 <sup>a</sup>
	12	2.51±0.24 <sup>b</sup>	96.86±0.25 <sup>a</sup>	0.63±0.36 <sup>b</sup>
	14	3.06±0.31 <sup>b</sup>	96.39±0.25 <sup>a</sup>	0.54±0.24 <sup>b</sup>

注: 不同小写字母表示同一样品不同贮藏期间内差异显著 ( $P < 0.05$ );  $A_{21}$ 、 $A_{22}$ 、 $A_{23}$  是  $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 、 $T_{23}$  各峰与横坐标面积的百分比, 用来代表水分的含量。

从表 5 中可以看出, 复合保鲜剂组和空白对照组  $A_{22}$  总体变化趋势是第 4 天稍有升高, 8 d 左右下降, 后期有所上升, 但基本趋于平稳, 而且复合保鲜剂组的  $A_{22}$  水分含量总体高于空白对照组, 自由水  $A_{23}$  含量低于对照组, 说明复合保鲜剂具有较好的保水能力。袁乙平等<sup>[33]</sup>采用低磁场核磁共振技术研究牦牛肉经真空包装后于 4℃ 贮藏过程中水分的变化时发现,  $T_{22}$ 、 $T_{23}$  峰面积不断减少, 说明不易流动水和自由水随着贮藏时间的延长不断减少, 与本研究结论相似, 只是本研究复合保鲜剂组 10 d 后水分含量  $A_{22}$  总体变化趋于平稳, 下降趋势不明显,  $A_{23}$  总体低于对照组, 说明复合保鲜剂组具有较好的保水性能, 减少了不易流动水向自由水的流失。

### 3 结论

通过正交试验, 确定了复合保鲜剂的最优配方为茶多酚用量 0.25 g/kg、壳聚糖用量 4 g/kg、ε-聚赖氨酸盐酸盐用量 0.25 g/kg 复配。最优复合保鲜剂处理后可以延缓金鲳鱼的腐败变质, 能将 4℃ 真空包装金鲳鱼片的一级鲜度和货架期均延长 4 d 左右; 硬度、弹性、咀嚼力明显升高; 低磁场核磁显示, 复合保鲜剂的保

水性能显著优于对照组。因此,本研究所得复合保鲜剂最优配方可以应用于金鲳鱼及其它水产品的贮藏保鲜。

### 参考文献:

- [1] 肖鑫鑫. 金鲳鱼内脏酸性蛋白酶的分离及部分酶学性质和应用研究[D].海口:海南大学,2016:129-131
- [2] 戴梓茹,钟秋平,林美芳,等.金鲳鱼营养成分分析与评价[J].食品工业科技,2013,34(1):347-350
- [3] 戴梓茹.金鲳鱼体内重金属测定及其分布状况研究[J].食品科技,2012,37(12):298-300
- [4] 段振华,王素华.金枪鱼的加工利用技术研究进展[J].肉类研究,2013,27(8):35-38
- [5] Ishimura G, Bailey M. The market value of freshness: observations from the swordfish and blue shark longline fishery[J]. Fisheries Science, 2013, 79(3):547-553
- [6] 贺艳辉,张红燕,龚骞,等.我国罗非鱼出口面临的机遇与挑战[J].中国渔业经济,2009(3):85-89
- [7] 郭森,惠国华.金鲳鱼货架期品质快速检测方法研究[J].中国食品学报,2015,15(12):195-202
- [8] 官爱艳,谭贝贝,卢佳芳,等.生物保鲜剂对海鲈鱼冰藏保鲜效果的影响[J].核农学报,2017,31(8):1528-1536
- [9] KANEKO T, BABA N, NATSWO M. Protection of cumarins against lipoic acid hydroperoxide induced cytotoxicity[J]. Chem Bio Interact, 2003, 142(3):239-254
- [10] MOHAN C O, RAVISHANKAR C N, LALITHA K V, et al. Effect of Chitosan Edible Coating on the Quality of Double Filleted Indian Oil Sardine (*Sardinella Longiceps*) During Frozen Storage[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(1):167-174
- [11] 张秀凤,党美珠,郝修振,等.天然保鲜剂在冷鲜肉保鲜中的研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2017(4):88-90
- [12] DONG Liangliang, ZHU Junli, LI Xuepeng, et al. Effect of Tea Polyphenols on the Physical and Chemical Characteristics of Dried Seasoned Squid (*Dosidicus Gigas*) During Storage[J]. Food Control, 2013, 31(2):586-592
- [13] 彭乃才.茶多酚对肉品保鲜的机理及其应用研究[J].肉类工业,2015(5):47-50
- [14] 孔令明,侯伟伟,焦彦桃.茶多酚等生物保鲜剂结合气调包装对冷却羊肉保鲜效果的研究[J].农产品加工,2009(9):71-73
- [15] DOU Q P. Molecular mechanisms of green tea polyphenols[J]. Nutrition and Cancer, 2009, 61(6):827-835
- [16] WANG Y, LIU F, LIANG C, et al. Effect of Maillard reaction products on the physical and antimicrobial properties of edible films based on  $\epsilon$ -polylysine and chitosan[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2014, 94(14):2986-2991
- [17] 徐楚,王锡昌,马壮,等.茶多酚、壳聚糖、溶菌酶复合保鲜剂对高白鲑鱼片保鲜效果的影响[J].食品工业科技,2018,39(8):261-266
- [18] 聂小宝,杜明溪,陈东杰,等.复合保鲜剂结合冰温对大菱鲆鱼片品质的影响[J].食品研究与开发,2018,39(21):203-210
- [19] 刘雪飞,亢利鑫,张德福,等.复合生物保鲜剂对冰温贮藏鲑鱼品质的影响[J].食品工业,2018,39(6):62-67
- [20] 杨坤,魏佩宇,王祺,等. EGCG 对冷藏金鲳鱼鱼片新鲜度品质的影响[J].食品工业科技,2017,38(17):255-259
- [21] 林晓霞,黄和,曹湛慧,等.番石榴多酚对金鲳鱼鱼糜的保鲜效果研究[J].食品工业,2017,38(2):88-91
- [22] 张涵,徐高原,冯爱国,等.聚赖氨酸复合涂膜协同气调包装对金鲳鱼保鲜作用研究[J].食品科技,2018,43(11):166-171
- [23] 国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品添加剂使用标准:GB 2760-2014[S].北京:中国标准出版社,2014
- [24] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.鲜海水鱼:GB/T 18108-2008[S].北京:中国标准出版社,2008
- [25] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定:GB/T 4789.2-2016[S].北京:中国标准出版社,2016
- [26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定:GB/T 5009.228-2016[S].北京:中国标准出版社,2016
- [27] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中 pH 的测定:GB/T 5009.237-2016[S].北京:中国标准出版社,2016
- [28] 戴志远,崔雁娜,王宏海.不同冻藏条件下养殖大黄鱼肌肉质构变化的研究[J].食品与发酵工业,2008,34(8):188-190
- [29] Erkan N. Changes in quality characteristics during cold storage of shucked mussels (*Mytilus galloprovincialis*) and selected chemical decomposition indications[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85:2625-2630
- [30] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.鲜冻动物性水产品卫生标准:GB 2733-2005[S].北京:中国标准出版社,2005
- [31] 郑玉秀,周斌,王明,等.复合保鲜剂对美国红鱼调理鱼片贮藏品质的影响[J].现代食品科技,2019,35(6):1-9
- [32] Bertram H C, Andersen H J, Karlsson A H. Comparative study of low-field NMR relaxation measurements and two traditional methods in the determination of water holding capacity of pork[J]. Meat Science, 2001, 57(2):125-132
- [33] 袁乙平,李靖,马娜,等.低场核磁结合理化指标分析低温贮藏真空包装牦牛肉的品质[J].食品工业科技,2019,40(6):31-36

收稿日期:2019-10-21