

复合保鲜剂对美国红鱼调理鱼片贮藏品质的影响

郑玉秀^{1,2}, 周斌³, 王明^{1,2}, 魏旭青^{1,2}, 韩英^{1,2}, 孙彤^{1,2}, 谢晶⁴, 励建荣^{1,2}

(1. 渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁锦州 121013)

(2. 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)

(3. 浙江新银象生物工程有限公司, 浙江台州 318000) (4. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 为提高美国红鱼调理鱼片的贮藏品质, 本研究采用乳酸链球菌素(Nisin)、ε-聚赖氨酸盐酸盐及其复合保鲜剂处理鱼片, 评价了保鲜剂对鱼片鲜度指标的影响。研究表明, 调理液浸渍处理可显著延缓调理鱼片的菌落总数、TVB-N值、TBA值、pH等鲜度指标的变化, 但会造成调理鱼片的汁液流失率增加。施加乳酸链球菌素(Nisin)、ε-聚赖氨酸盐酸盐均能抑制调理鱼片内微生物的生长, 显著延缓调理鱼片TVB-N值、TBA值的变化。经复合保鲜剂处理后, 调理鱼片各项鲜度指标均有改善, 在贮藏过程中, 施加复合保鲜剂的调理鱼片的菌落总数低于同期单独施加一种保鲜剂的样品0.03~0.34 log CFU/g, 且可有效延缓鱼体内蛋白质分解和脂肪氧化, 减少调理鱼片的汁液流失, 表明复合保鲜剂的保鲜性能更优, 可有效延长调理鱼片的货架期。

关键词: 复合保鲜剂; 美国红鱼; 鱼片; Nisin; ε-聚赖氨酸盐酸盐

文章篇号: 1673-9078(2019)06-191-199

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.6.025

Effect of Composite Preservatives on the Storage Quality of *Sciaenops ocellatus* Conditioned Fillets

ZHENG Yu-xiu^{1,2}, ZHOU Bin³, WANG Ming^{1,2}, WEI Xu-qing^{1,2}, HAN Ying^{1,2}, SUN Tong^{1,2}, XIE Jing⁴,
LI Jian-rong^{1,2}

(1.College of Food Science and Engineering, Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Jinzhou

121013, China)(2.National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control

Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China)

(3.Zhejiang Silver-Elephant Bioengineering Co. Ltd., Taizhou 318000, China)

(4.College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: To improve the storage quality of conditioned *Sciaenops ocellatus* fillets, Nisin, ε-polylysine hydrochloride and their composite preservatives were used to treat fish fillets in this study. The influence of the preservatives on the freshness indices for fish fillets was evaluated. The results showed that the immersion of fish fillet in a solution for conditioning delayed significantly the changes of the total number of colonies, TVB-N value, TBA value and pH of the conditioned fish fillets, but increased the juice loss rate of the conditioned fish fillets. The application of Nisin or ε-polylysine hydrochloride could inhibit the microbial growth in the fish fillets and delay significantly the changes in TVB-N and TBA values of the conditioned fish fillets. Upon the treatment with the composite preservative, all the freshness indices were improved. During storage, the treatment with the composite preservative led to a decrease of 0.03~0.34 log CFU/g in the total number of colonies of the conditioned fish fillets (as compared with the treatment with either preservative alone), as well as a significant delay in protein decomposition and fat oxidation, and decrease in juice loss of the conditioned fillets. These results indicate that the performance of the composite preservative was better (prolonging more effectively the shelf life of conditioned fish fillets).

Key words: composite preservatives; *Sciaenops ocellatus*; fish fillets; Nisin; ε-polylysine hydrochloride

收稿日期: 2018-12-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0400805); 国家自然科学基金资助项目(31371858)

作者简介: 郑玉秀(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品贮藏加工及质量安全控制

通讯作者: 孙彤(1966-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 水产品贮藏加工及质量安全控制; 共同通讯作者: 励建荣(1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 水产品贮藏加工及质量安全控制

美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*), 又称眼斑拟石首鱼、拟石首鱼, 属鲈形目, 石首鱼科, 拟石首鱼属, 其抗病力强、生长快速、存活率高, 是一种常见的食用海鱼, 自 1991 年起在我国广泛养殖^[1,2]。Cai 等^[3]测定了美国红鱼肌肉中蛋白质、脂类、灰分等成分的含量, 发现美国红鱼肌肉中脂类含量低, 属高蛋白少脂肪、低比能值的鱼类。美国红鱼在捕捞、贮藏、加工等过程中极易受到微生物的侵袭而腐败变质, 导致其货架期短, 商品价值低^[4]。目前市场上的美国红鱼主要以冻品或生鱼片方式进行销售^[5]。随着美国红鱼养殖业的不断发展, 其保鲜加工技术引起研究者普遍关注^[6]。

目前常用的水产品保鲜方法主要包括物理、化学或生物法, 但化学保鲜方法存在一定的安全风险, 生物保鲜剂因其来源广、成本低, 无毒性等优点, 近年来备受推崇。生物保鲜剂是指从植物、动物或微生物的代谢产物中提取的具有保鲜性能的物质^[7]。乳酸链球菌素(Nisin), 又称乳链菌肽、乳球菌肽, 是利用生物技术从乳酸链球菌的发酵产物中提取的一种天然、安全、高效的抗菌肽。Nisin 具有抑菌效果好、对人体无毒无害等特点^[8], 能有效地抑制引起食品腐败的革兰氏阳性菌, 如乳酸杆菌、肉毒杆菌、葡萄球菌和李斯特菌等。特别是对产生孢子的细菌, 如枯草芽孢杆菌等有很强的抑制作用^[9], 目前已应用于皇冠梨^[10]、虹鳟鱼^[11]、带鱼^[12]等食品的保鲜。但 Nisin 一般对革兰氏阴性菌、霉菌、酵母菌是无效的。 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐是从链酶菌属的代谢产物分离提纯而来的^[13], 具有广谱抑菌性, 对霉菌酵母等真菌、革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌及部分病毒都有很好的抑菌效果, 水溶性高, 且化学性质稳定^[14], 进入人体消化道后会被分解为赖氨酸, 被人体消化吸收, 因此 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐是一种营养型生物保鲜剂, 两者已广泛应用于奶制品、肉制品、果蔬和火腿等食品中, 具有良好的保鲜性能, 有望在调理水产品保鲜中得到应用。

有研究表明, 不同的生物保鲜剂复配使用可发挥其协同效应, 不仅可以扩增保鲜剂的抗菌谱, 实现更好的抑菌保鲜性能, 还能减少单一生物保鲜剂的用量, 降低成本, 提升食品品质^[15]。如 Ju 等^[16]发现, 茶多酚和 Nisin 复配使用可有效改善鲈鱼鱼片的理化性能和感官特征, 保持鱼片品质。王庆丽等^[17]发现, 壳聚糖和植酸复合生物保鲜剂可有效抑制细菌的繁殖, 改善鱼丸的口感, 延长货架期。

本文通过复配生物保鲜剂 Nisin 和 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐, 以美国红鱼调理鱼片的菌落总数、挥发性盐基氮(Total volatile base nitrogen, TVB-N)值、硫代巴

比妥酸值(Thiobarbituric acid, TBA 值)、pH、汁液流失率、持水力(Water-holding capacity, WHC)和质构等作为评价指标, 研究其保鲜性能, 为拓展 Nisin 和 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐在调理水产品保鲜中的应用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

美国红鱼, 活体, 购于辽宁省锦州市水产批发市场; Nisin、 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐, 浙江新银象生物工程有限公司生产。调味料市购, 其他试剂均为分析纯, 去离子水自制。

1.2 仪器与设备

SF-400 塑料薄膜封口机, 温州市兴业机械设备有限公司; MLS-3030CH 立式高压灭菌锅, 三洋电机(广州)有限公司; SW-CJ-2FD 超净工作台, 苏景集团苏州安泰技术有限公司; LRH-150 生化培养箱, 上海一恒科技有限公司; X1R 高速冷冻离心机, 赛默飞世尔科技(中国)有限公司; FE20 型 pH 计, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; Kjeltac 8400 全自动凯氏定氮仪, 丹麦 FOSS 公司; MS105DU 分析天平, 瑞士梅特勒-托利多有限公司; TH2-D 台式恒温振荡器, 太仓市试验设备厂; DK-8D 水浴锅, 上海一恒科学仪器有限公司; UV-2250 紫外-可见光光度计, 尤尼柯仪器有限公司; TA-XT-PLUS 质构仪, Stable Micro Systems 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 鱼片及调理鱼片的处理

鲜活美国红鱼用碎冰猝死, 去鳞、去内脏、去头, 用去离子水洗净内脏及鱼体表面黏液, 横断切成宽为 2 cm 的鱼片沥干备用。去离子水中加入质量体积比为 0.5%八角、0.2%桂皮、0.1%香叶、2.0%精盐、1.0%枸杞、1.5%桂圆、0.5%花椒、0.5%鲜姜, 大火煮沸后, 微火熬制 60 min。而后加入 0.2%(V/V)酱油、4.0%(V/V)料酒、1.0%(M/V)白糖、1.0%(M/V)味精, 停止加热, 制得调味液, 冷却备用。

沥干的新鲜鱼片测定各项指标, 贮藏时间记为 0 d。将沥干的鱼片样品分成五组, A、B 组不添加保鲜剂, C 组鱼片中添加 0.5 g/kg 的 Nisin(根据 GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准 Nisin 在肉制品中最大使用量添加), D 组鱼片中添加 0.3 g/kg 的 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐(根据 GB 2760-2014 食品

安全国家标准 食品添加剂使用标准 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐在肉制品中最大使用量添加), E 组鱼片中添加 0.25 g/kg 的 Nisin 和 0.15 g/kg 的 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐。B-E 组样品按照鱼片与调味液的质量体积比为 2:1 浸渍于调味液中, 4 °C 下密封浸渍 20 min 后取出沥干, 此时贮藏时间记为 0 d。4 °C 下密封浸渍 24 h 得调理鱼片, 在无菌条件下, 将上述样品取出沥干, 放入蒸煮袋内, 于 4 °C 冷藏, A 组样品同时冷藏保存, 此时的鱼片贮藏时间记为 1 d, 贮藏一定时间后取样测定各项指标。

1.3.2 调理鱼片鲜度及质构指标的测定

参照 GB 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》中的稀释平板计数法, 测定样品的菌落总数。参考王当丰等^[18]的方法, 称取 10.00 g 绞碎的样品于蒸馏管中, 依次加入 50.0 mL 去离子水和 1.00 g 氧化镁粉末, 再用凯氏定氮仪测定样品的 TVB-N 值。参照 GB 5009.181-2016《食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定》中的分光光度法, 测定样品的 TBA 值。参考 Arashisar 等^[19]的方法稍加修改, 取 5.00 g 绞碎鱼肉于烧杯中, 加入 45.0 mL 中性去离子水, 均质, 静置 30 min 后测定其 pH。参照杨宏旭等^[20]的方法测定调理鱼片的汁液流失率。参照 Sánchez-González 等^[21]的方法测定调理鱼片的持水力。将美国红鱼片切成 1.5×1.5×1.5 cm³ 的立方体, 采用质构分析仪进行质构特性分析。测定条件为: 每个样品进行两次轴向压缩, 压缩百分比为 50%, 测试探头类型: P/50R, 测前速率: 1 mm/s, 测试速率: 1 mm/s, 测后速率: 1 mm/s, 探头 2 次测定间隔时间: 5 s, 测定模式和选项: T.P.A。

每个实验数据均做 3 次平行实验, 结果以“平均值±标准差”表示。利用 SPSS 19.0 软件进行方差分析, 差异显著性水平设置为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 贮藏过程中美国红鱼片菌落总数 (TVC) 的变化

鱼体内微生物的繁殖和代谢是贮藏过程中鱼肉腐败的主要因素之一^[22], 菌落总数 (TVC) 是一种传统的鱼类鲜度的评价方法。由表 1 可见, 随着贮藏时间的延长, 菌落总数逐渐增加, 贮藏终点时, 五组鱼片样品均大于 6.00 log CFU/g, 超过国际微生物规格委员会 (ICMSF) 规定的鱼菌落总数可接受水平的限量值 5×10^5 CFU/g^[23], 且调理鱼片的菌落总数始终低于同期未调理鱼片组 0.03~0.15 log CFU/g, 说明调味液中的盐类及调味料可以抑制鱼片内微生物的生长繁殖。此外, 施加保鲜剂后调理鱼片的菌落总数低于同期样品, 说明保鲜剂可以抑制鱼片内微生物的生长繁殖, 使细菌繁殖速度减缓。而施加“Nisin+ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐”复合保鲜剂的鱼片中菌落总数始终低于单独施加一种保鲜剂的同期样品 0.03~0.34 log CFU/g, 说明两种保鲜剂复合对于抑制微生物生长具有协同增效作用。Nisin 对革兰氏阳性菌有抑制作用^[8], ϵ -聚赖氨酸盐酸盐对革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌均有抑制作用^[14], 二者协同作用下, 拓展了单一保鲜剂的抑菌谱, 从而有效抑制了腐败微生物的生长繁殖。

表 1 贮藏过程中美国红鱼片菌落总数的变化

Table 1 The TVC of *Sciennops ocellatus* fillets during storage (log CFU/g)

贮藏时间/d	未调理鱼片	调理鱼片	加 Nisin 的调理鱼片	加 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片	加 Nisin+ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片
0	3.33±0.02 ^{aD}	3.30±0.01 ^{bD}	3.24±0.01 ^{cD}	3.20±0.01 ^{dD}	3.17±0.03 ^{dD}
1	4.11±0.02 ^{aC}	4.06±0.02 ^{bC}	4.01±0.01 ^{cC}	3.98±0.01 ^{cC}	3.67±0.01 ^{dC}
4	4.33±0.01 ^{aB}	4.18±0.06 ^{bB}	4.08±0.03 ^{cB}	4.05±0.03 ^{cB}	3.74±0.02 ^{dB}
7	6.44±0.03 ^{aA}	6.32±0.01 ^{bA}	6.29±0.03 ^{bcA}	6.26±0.03 ^{cA}	6.14±0.05 ^{dA}

注: 同一行不同小写字母表示组间显著差异($p < 0.05$); 同一列不同大写字母表示组内显著差异($p < 0.05$)。下表同。

表 2 贮藏过程中美国红鱼片 TVB-N 值的变化

Table 2 The TVB-N values of *Sciennops ocellatus* fillets during storage (mgN/100g)

贮藏时间/d	未调理鱼片	调理鱼片	加 Nisin 的调理鱼片	加 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片	加 Nisin+ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片
0	7.91±0.78 ^{aC}	7.81±0.14 ^{aD}	7.54±0.38 ^{aD}	7.23±0.04 ^{aC}	7.06±0.11 ^{aD}
1	9.73±0.47 ^{aB}	9.37±0.36 ^{abC}	8.96±0.40 ^{bC}	8.77±0.24 ^{bB}	7.63±0.17 ^{cC}
4	10.53±0.16 ^{aB}	10.01±0.31 ^{abB}	9.70±0.40 ^{bB}	9.45±0.50 ^{bB}	8.22±0.28 ^{cB}
7	13.45±1.26 ^{aA}	12.22±0.28 ^{baA}	11.72±0.30 ^{baA}	11.14±0.51 ^{bcA}	10.31±0.30 ^{cA}

2.2 贮藏过程中美国红鱼片 TVB-N 值的变化

鱼死后其体内的蛋白质在微生物和内源酶的作用下,分解、降解成小分子的氨、胺类等碱性含氮物质,这些物质统称为挥发性盐基氮(TVB-N),常用作水产品的鲜度指标^[24-26],其含量越高,表明鱼肉中蛋氨酸和酪氨酸破坏越多,鱼肉营养价值损失越大。由表2可见,随着贮藏时间的延长,鱼片 TVB-N 值显著增加,这与 Sun 等^[27]关于美国红鱼的研究结果相似。调理鱼片的 TVB-N 值低于同期未调理鱼片,这主要是由于调理液中的调味料及盐类具有杀菌作用,减少了微生物对蛋白质的分解作用。在贮藏过程中,施加单一保鲜剂调理鱼片的 TVB-N 值低于同期未施加保鲜剂的调理鱼片,说明 Nisin 和 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐可以有效抑制鱼体内微生物生长,进而减缓蛋白质分解。而施加“Nisin+ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐”复合保鲜剂的鱼片 TVB-N 值低于同期单独施加一种保鲜剂的鱼片,这是由于复合保鲜剂抑制微生物生长繁殖的性能更优,使其对蛋白质的分解作用减弱。

2.3 贮藏过程中美国红鱼片 TBA 值的变化

TBA 值可反映脂质降解产生的次级脂质氧化物丙二醛(MDA)的含量,可以用来判断鱼片脂肪氧化酸败的程度。TBA 值越高,表示鱼肉酸败程度越严重^[28,29]。其次,脂肪氧化酸败产生的部分产物会与美国红鱼体内存在的游离氨基酸、蛋白质和肽反应形成席夫碱^[30]。由表3可见,随着贮藏时间的延长,鱼片 TBA 值逐渐增大,表明鱼片脂肪氧化酸败的程度增强,但其数值偏低,因此 TBA 值不能作为冷藏调理海鲈鱼片新鲜度的可靠指标,这与李学鹏等^[31]的研究结果相似。调理鱼片的 TBA 值显著低于同期未调理鱼片,说明调理液中的调味料对鱼体脂肪氧化有抑制作用。施加保鲜剂后调理鱼片的 TBA 值显著低于同期样品,说明保鲜剂可以减缓脂肪氧化的速度。而施加“Nisin+ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐”复合保鲜剂鱼片的 TBA 值在贮藏初期(1 d, 4 d)高于单独施加一种保鲜剂的样品,说明复合保鲜剂在抑制脂肪氧化方面具有拮抗作用。而在第7 d时,施加“Nisin+ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐”复合保鲜剂的鱼片 TBA 值略低于单独施加一种保鲜剂的样品,说明复合保鲜剂通过对微生物的优良抑制性能,减缓了其脂肪氧化的促进作用,进而抑制美国红鱼脂肪的氧化,减缓鱼肉酸败的速度。

表3 贮藏过程中美国红鱼片 TBA 值的变化

Table 3 The TBA values of *Sciaenops ocellatus* fillets during storage (mg MDA/kg)

贮藏时间/d	未调理鱼片	调理鱼片	加 Nisin 的调理鱼片	加 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片	加 Nisin+ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片
0	0.06±0.01 ^{aD}	0.06±0.01 ^{aC}	0.05±0.01 ^{bB}	0.04±0.01 ^{bC}	0.04±0.01 ^{bD}
1	0.20±0.01 ^{aC}	0.12±0.01 ^{bC}	0.05±0.01 ^{dB}	0.06±0.01 ^{dC}	0.09±0.01 ^{cC}
4	0.74±0.02 ^{aB}	0.32±0.03 ^{bB}	0.11±0.01 ^{dB}	0.16±0.02 ^B	0.13±0.02 ^{cdB}
7	0.90±0.01 ^{aA}	0.73±0.07 ^{bA}	0.40±0.07 ^{cA}	0.28±0.02 ^{dA}	0.20±0.02 ^{dA}

表4 贮藏过程中美国红鱼片 pH 的变化

Table 4 The pH values of *Sciaenops ocellatus* fillets during storage

贮藏时间/d	未调理鱼片	调理鱼片	加 Nisin 的调理鱼片	加 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片	加 Nisin+ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片
0	6.81±0.03 ^{aD}	6.82±0.02 ^{aD}	6.73±0.03 ^{abD}	6.76±0.01 ^{bC}	6.71±0.01 ^{bC}
1	7.09±0.02 ^{aC}	6.97±0.00 ^{cC}	7.02±0.01 ^{bC}	6.78±0.01 ^{dC}	7.01±0.01 ^{bB}
4	7.28±0.01 ^{aA}	7.07±0.01 ^{dB}	7.08±0.01 ^{dB}	7.10±0.01 ^{cA}	7.12±0.01 ^{bA}
7	7.15±0.01 ^{aB}	6.88±0.03 ^{cA}	7.16±0.04 ^{aA}	7.07±0.02 ^{bB}	7.13±0.02 ^{aA}

2.4 贮藏过程中美国红鱼片 pH 的变化

鱼死后其肌肉的 pH 会因糖酵解反应生成乳酸等有机酸而下降,而其下降程度与其肌肉中糖原含量有关,在贮藏后期,由于微生物的生长繁殖及鱼体内酶的作用,使蛋白质降解为氨和三甲胺等碱性物质,使其 pH 上升^[32]。但由于鱼体 pH 受鱼的种类、生长环境、包装方式等因素的影响,并不能准确的反映其鲜

度变化程度,只能作为辅助性指标反映鱼肉的品质^[33]。由表4可见,调理液浸渍后,鱼片的 pH 未变化,说明调理液的酸碱性 with 鱼肉的初始 pH 相近。而继续施加保鲜剂后,施加 Nisin 的调理鱼片、加 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片、加 Nisin+ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片样品分别由调理鱼片的 pH 6.82 下降到 6.73、6.76、6.71,说明溶解后的 Nisin 和 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐略呈酸性。随着贮藏时间的延长,鱼片样品的 pH 分

别有不同程度的升高,这是由于贮藏过程中微生物繁殖对蛋白质的降解作用引起的。经调理液浸渍处理后,调理鱼片 pH 低于同期未调理鱼片,这主要是由于调理液中的盐类以及调味料具有抑制微生物生长繁殖的作用,使其对蛋白质的降解作用减弱。而施加保鲜剂对鱼片的 pH 增长无显著的抑制作用,可能是由于保鲜剂虽然可抑制鱼体内微生物的生长,但不能抑制鱼体内酶对蛋白的分解。

2.5 贮藏过程中美国红鱼片汁液流失率的变化

汁液流失率是衡量鱼肉蛋白持水性的主要指标之一。鱼死后,微生物的生长繁殖会使鱼肉组织分解,

细胞破碎,导致其汁液流失率增加^[34]。由表 5 可见,随着贮藏时间的延长,经调理液浸渍处理的鱼片汁液流失率显著增加,而未调理鱼片汁液流失率增加不显著,说明调理液中的盐类及调味料改变了鱼体细胞的渗透压平衡状态,破坏了鱼体细胞的完整性,使鱼肉蛋白的持水性降低。施加保鲜剂的调理鱼片汁液流失率略低于同期调理鱼片,一方面可能由于保鲜剂的加入阻止了盐类和调味料对鱼体细胞完整性的破坏,另一方面可能是由于保鲜剂抑制了微生物的生长繁殖,使鱼片的汁液流失率增长速度降低。而施加“Nisin+ε-聚赖氨酸盐酸盐”复合保鲜剂的鱼片的汁液流失率略低于同期其他样品,这是由于两种保鲜剂的协同增效抑菌作用有效地抑制了微生物的生长,进而减缓了鱼片蛋白持水性的降低速度。

表 5 贮藏过程中美国红鱼片汁液流失率的变化

Table 5 The juice leakage rate of *Sciaenops ocellatus* fillets during storage (%)

贮藏时间/d	未调理鱼片	调理鱼片	加 Nisin 的调理鱼片	加 ε-聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片	加 Nisin+ε-聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片
0	2.97±0.59 ^{abA}	3.58±0.26 ^{aD}	2.48±0.48 ^{bC}	2.39±0.22 ^{bC}	2.51±0.53 ^{bC}
1	3.46±0.27 ^{aA}	4.62±0.25 ^{aC}	4.51±0.82 ^{aB}	4.11±0.42 ^{aB}	4.33±0.58 ^{aB}
4	3.66±0.08 ^{ba}	5.12±0.27 ^{aB}	4.97±0.44 ^{aAB}	4.75±0.88 ^{aAB}	4.45±0.04 ^{abB}
7	3.90±0.26 ^{ba}	5.82±0.20 ^{aA}	5.65±0.24 ^{aA}	5.60±0.36 ^{aA}	5.45±0.31 ^{aA}

表 6 贮藏过程中美国红鱼片持水力的变化

Table 6 The WHC of *Sciaenops ocellatus* fillets during storage (%)

贮藏时间/d	未调理鱼片	调理鱼片	加 Nisin 的调理鱼片	加 ε-聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片	加 Nisin+ε-聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片
0	89.00±1.83 ^{aA}	87.67±1.10 ^{abA}	85.47±1.80 ^{ba}	87.73±0.83 ^{abA}	89.67±1.50 ^{aA}
1	84.93±1.10 ^{bcB}	86.27±1.40 ^{ba}	82.60±2.00 ^{cA}	84.27±1.10 ^{bcA}	89.27±1.33 ^{aA}
4	83.47±1.33 ^{bb}	84.27±2.31 ^{ba}	86.00±0.53 ^{abA}	86.00±1.78 ^{abA}	88.33±1.60 ^{aA}
7	82.33±2.77 ^{ab}	83.73±1.70 ^{aA}	84.93±3.30 ^{aA}	84.80±0.72 ^{aA}	85.40±1.51 ^{ab}

2.6 贮藏过程中美国红鱼片持水力的变化

持水力是评价鱼片品质的常用方法之一,表示在一定外力作用下,鱼片束缚自身或外加水分的能力^[35,36]。在鱼贮藏过程中,由于鱼肉中酶及微生物的作用,肌肉组织发生分解,导致鱼肉蛋白质分解及变性,蛋白质分解程度越大,持水力越小^[37,38]。由表 6 可见,贮藏 1 d 后,未调理鱼片的持水力显著下降,而后随着贮藏时间的延长,未调理鱼片的持水力无显著变化,这可能是由于在贮藏前期鱼肉中蛋白质逐渐分解,导致其持水力下降,而在贮藏后期,蛋白质的分解和变性使鱼肉中的极性亲水基团暴露,从而减缓了持水力下降的速度^[39]。而调理鱼片和施加保鲜剂调理鱼片的持水力在贮藏过程中变化不显著,这可能是由于调理液和保鲜剂抑制了鱼体内微生物生长,使其对蛋白质

的分解作用减弱。此外,贮藏 1 d 后,施加单一保鲜剂的调理鱼片持水力低于同期调理鱼片,可能是由于 Nisin 和 ε-聚赖氨酸盐酸盐略呈酸性,两者处理鱼片后对鱼片的肌肉蛋白有一定的影响,导致其净电荷降低,使其对水的静电吸引力下降^[40]。贮藏后期,施加单一保鲜剂的调理鱼片持水力略高于同期调理鱼片,而施加“Nisin+ε-聚赖氨酸盐酸盐”复合保鲜剂的鱼片的持水力略高于同期其他样品,这可能是由于复合保鲜剂有效地抑制了微生物的生长繁殖,从而减弱其对肌肉的分解作用,使持水力下降速度减缓。

2.7 贮藏过程中美国红鱼片质构特性的变化

鱼片贮藏过程中质构参数的变化如表 7 所示,包括硬度、胶着度、咀嚼度、弹性、黏聚性和回复性等指标。硬度反映食品保持原有形状的内结合力,在鱼

贮藏过程中, 由于鱼体内微生物的大量繁殖, 蛋白质空间结构遭到破坏, 造成鱼片硬度下降^[41,42], 由表 7 可见, 随着贮藏时间的延长, 鱼片的硬度逐渐下降, 说明鱼肉蛋白发生分解, 组织结构疏松。贮藏 1 d 后, 调理鱼片的硬度略低于未调理鱼片, 这可能是由于调

理液中的盐类及调味料破坏了鱼体细胞的完整性, 进而对蛋白质空间结构有一定的破坏作用。而贮藏后期, 施加了保鲜剂的调理鱼片硬度与未调理鱼片相当, 这可能是由于保鲜剂对微生物生长繁殖的抑制作用较强, 鱼肉组织被破坏程度减少。

表 7 贮藏过程中美国红鱼片质构特性的变化

Table 7 The texture attributes of *Sciaenops ocellatus* fillets during storage

指标	贮藏时间/d	未调理鱼片	调理鱼片	加 Nisin 的调理鱼片	加 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片	加 Nisin+ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的调理鱼片
硬度/g	0	3335.26±320.95 ^{aA}	3062.55±461.95 ^{aA}	3222.89±375.17 ^{aA}	3258.36±331.56 ^{aA}	3185.96±134.25 ^{aA}
	1	2663.66±110.83 ^{abAB}	2391.88±277.00 ^{bB}	2577.13±284.75 ^{abB}	2363.53±155.80 ^{bB}	2881.19±14.65 ^{aA}
	4	2139.33±398.99 ^{aB}	2082.63±124.45 ^{aB}	2244.28±111.03 ^{aB}	1982.23±76.40 ^{aB}	2257.01±173.69 ^{aB}
	7	2176.92±582.86 ^{aB}	2003.13±96.09 ^{aB}	2258.89±168.33 ^{aB}	2129.52±341.86 ^{aB}	2344.35±298.67 ^{aB}
胶着度/g	0	1015.32±258.70 ^{bA}	1408.22±240.56 ^{aA}	1228.11±97.36 ^{bA}	1442.29±110.83 ^{aA}	1384.76±87.62 ^{aA}
	1	789.94±193.61 ^{aA}	720.14±246.10 ^{aB}	646.48±200.22 ^{aB}	751.79±157.01 ^{aB}	956.18±82.21 ^{aB}
	4	619.56±240.20 ^{aA}	741.05±134.90 ^{aB}	763.93±218.34 ^{aB}	599.40±202.13 ^{aB}	627.18±35.29 ^{aC}
	7	805.54±206.08 ^{aA}	689.39±133.54 ^a	749.19±45.03 ^{aB}	692.79±64.64 ^{aB}	908.44±180.78 ^{aB}
咀嚼度/(g/mm)	0	577.93±161.34 ^{bA}	899.02±119.16 ^{aA}	784.925±160.09 ^{abA}	1016.97±40.63 ^{aA}	970.40±218.01 ^{aA}
	1	333.12±87.87 ^{aAB}	355.10±142.39 ^{aB}	335.21±165.47 ^{aB}	426.04±159.24 ^{aB}	470.69±68.82 ^{aB}
	4	242.92±86.00 ^{aB}	356.87±104.14 ^{aB}	389.96±183.61 ^{aB}	241.41±98.56 ^{aB}	297.93±19.45 ^{aB}
	7	403.14±106.61 ^{aAB}	312.12±72.67 ^{aB}	346.44±51.22 ^{aB}	296.26±22.48 ^{aB}	451.99±98.27 ^{aB}
弹性/mm	0	0.60±0.09 ^{aA}	0.64±0.03 ^{aA}	0.64±0.11 ^{aA}	0.69±0.04 ^{aA}	0.65±0.07 ^{aA}
	1	0.42±0.01 ^{aB}	0.48±0.05 ^{aB}	0.50±0.10 ^{aA}	0.55±0.12 ^{aB}	0.49±0.04 ^{aB}
	4	0.40±0.03 ^{aB}	0.48±0.06 ^{aB}	0.49±0.11 ^{aA}	0.39±0.06 ^{aC}	0.48±0.04 ^{aB}
	7	0.46±0.04 ^{aB}	0.45±0.02 ^{aB}	0.46±0.05 ^{aA}	0.43±0.01 ^{aBC}	0.50±0.03 ^{aB}
粘聚性/g	0	0.46±0.06 ^{aA}	0.46±0.02 ^{aA}	0.46±0.05 ^{aA}	0.47±0.03 ^{aA}	0.47±0.07 ^{aA}
	1	0.29±0.06 ^{aB}	0.29±0.07 ^{aB}	0.25±0.05 ^{aB}	0.32±0.08 ^{aB}	0.33±0.03 ^{aBC}
	4	0.28±0.06 ^{aB}	0.36±0.05 ^{aB}	0.34±0.09 ^{aB}	0.30±0.09 ^{aB}	0.28±0.02 ^{aC}
	7	0.37±0.04 ^{aB}	0.34±0.05 ^{aB}	0.33±0.02 ^{aB}	0.33±0.04 ^{aB}	0.39±0.03 ^{aB}
回复性/mm	0	0.22±0.02 ^{aA}	0.26±0.02 ^{aA}	0.22±0.02 ^{aA}	0.25±0.01 ^{aA}	0.26±0.02 ^{aA}
	1	0.15±0.04 ^{aB}	0.15±0.04 ^{aB}	0.12±0.03 ^{aB}	0.16±0.04 ^{aA}	0.17±0.02 ^{aC}
	4	0.14±0.03 ^{aB}	0.20±0.03 ^{aAB}	0.18±0.05 ^{aAB}	0.16±0.06 ^{aA}	0.15±0.01 ^{aC}
	7	0.19±0.01 ^{aAB}	0.17±0.03 ^{aB}	0.18±0.01 ^{aAB}	0.16±0.02 ^{aA}	0.21±0.02 ^{aB}

经调理液浸渍 20 min 后, 调理鱼片的胶着度、咀嚼度均显著高于未调理鱼片, 说明调理液中的盐类和调味料可增强鱼片的胶着度、咀嚼度。而鱼片样品的弹性、粘聚性和回复性无显著性变化, 说明调理液中的调味料和盐类对鱼体的这些质构指标无影响。随着贮藏时间延长, 鱼片样品各项质构指标均呈现下降趋势, 说明鱼肉新鲜度在下降, 品质逐渐变差。而同期样品各项质构指标无显著差异, 可能是由于盐类和调味料破坏鱼体细胞的完整性的同时, 也抑制了鱼体内微生物的生长, 减少了微生物对鱼体质构指标的影响。

3 结论

与未调理鱼片相比, 调理液浸渍处理可显著延缓调理鱼片的菌落总数、TVB-N 值、TBA 值、pH 等鲜度指标的变化, 但会造成鱼片汁液流失率增大, 硬度较低, 说明调理液浸渍可以通过抑制鱼体内微生物生长延缓蛋白质分解和脂肪氧化, 延长货架期。与调理鱼片相比, 施加 Nisin、 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐, 尤其是“Nisin+ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐”复合保鲜剂, 可以显著延缓鱼片各项鲜度指标的变化, 但对鱼片汁液流失率无显著影响。添加“Nisin+ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐”复合保鲜剂的鱼片硬度略高于同期样品, 说明施加保鲜剂, 尤其是复合保鲜剂, 可以有效延缓蛋白质分解和脂肪氧化, 提高美国红鱼调理鱼片品质。

参考文献

- [1] 晁帅.美国红鱼运动生理学初步研究[D].舟山:浙江海洋大学,2016
CHAO Shuai. A preliminary research of swimming physiology of *Sciaenops ocellatus* [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2016
- [2] HU Y H, ZHENG W J, SUN L. Identification and molecular analysis of a ferritin subunit from red drum (*Sciaenops ocellatus*) [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2004, 25(19): 4591-4599
- [3] CAI L Y, CAO A L, LI Y C, et al. The effects of essential oil treatment on the biogenic amines inhibition and quality preservation of red drum (*Sciaenops ocellatus*) fillets [J]. Food Control, 2015, 56(8): 1-8
- [4] 黄文博,谢晶.美国红鱼保鲜技术的研究进展[J].食品工业科技,2016,37(5):371-373
HUANG Wen-bo, XIE Jing. Research progress in the preservation technologies of Red Drum (*Sciaenops ocellatus*) [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 73(5): 371-373
- [5] 李婷婷,励建荣,赵巍.壳聚糖涂膜对冷藏美国红鱼品质的影响[J].食品科学,2013,34(10):299-303
LI Ting-ting, LI Jian-rong, ZHAO Wei. Effect of chitosan coating on quality of refrigerated Red Drum Fillets [J]. Food Science, 2013, 34(10): 299-303
- [6] HONG H, LUO Y K, ZHU S C, et al. Establishment of quality predictive models for bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets during storage at different temperatures [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2012, 47(3): 488-494
- [7] 赵海鹏.生物保鲜剂在南美白对虾保鲜中的应用及菌相研究[D].上海:上海海洋大学,2010
ZHAO Hai-peng. Study on natural preservative in keeping fresh and microorganism composition of *Penaeus vannamei* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2010
- [8] 叶萍萍.微冻鳙鱼保鲜技术研究[D].扬州:扬州大学,2011
YE Ping-ping. Research progress in the preservation technologies of *Aistichthys nobilis* [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2011
- [9] Shirazinejad A R, Noryati I, Rosma A, et al. Inhibitory effect of lactic acid and Nisin on bacterial spoilage of chilled shrimp [J]. World Academy of Science Engineering & Technology, 2010, 65: 163
- [10] 杨小又,王大平.天然生物保鲜剂乳酸链球菌素对鲜切皇冠梨的保鲜效果[J].贵州农业科学,2017,45(7):74-77
YANG Xiao-you, WANG Da-ping. Fresh-keeping effects of natural biological preservative Nisin on fresh-cut huangguan pear [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2017, 45(7): 74-77
- [11] Behnam S, Anvari M, Rezaei M, et al. Effect of nisin as a biopreservative agent on quality and shelf life of vacuum packaged rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored at 4 °C [J]. Journal of Food Science & Technology, 2015, 52(4): 2184-2192
- [12] 蓝蔚青,谢晶,杨胜平,等.Nisin 生物保鲜剂对冷藏带鱼的保鲜效果研究[J].天然产物研究与开发,2010,22(4):683-686
LAN Wei-qing, XIE Jing, YANG Sheng-ping, et al. Research on the fresh-keeping effects of Nisin on *Trichiurus haumela* under the cold storage [J]. Natural Product Research and Development, 2010, 22(4): 683-686
- [13] 吕卫金.溶菌酶结合 Nisin 处理对冷藏大黄鱼保鲜效果的研究[D].杭州:浙江工商大学,2013
LYU Wei-jin. Combined effect of Lysozyme and Nisin on quality of cultured large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) during refrigerated storage [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2013
- [14] 许笑瑜,徐艺青,朱莉华,等.低温非巴氏杀菌蛋液保鲜及性能研究[J].中国农学通报,2016,32(2):40-44
XU Xiao-yu, XU Yi-qing, ZHU Li-hua, et al. Preservation and performance of non-pasteurized liquid egg under low temperature [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(2): 40-44
- [15] 张璟晶,唐劲松,王海波,等.溶菌酶、Nisin、壳聚糖复合保鲜剂对冰鲜银鲳保鲜效果的研究[J].食品工业科技,2014, 35(4):323-326
ZHANG Jing-jing, TANG Jing-song, WANG Hai-bo, et al. The combined use of Lysozyme, Nisin and chitosan for the preservation of iced pomfret [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(4): 323-326
- [16] JU JIAN, WABNG CHAO, QIAO YU, et al. Effects of tea polyphenol combined with nisin on the quality of weever (*Lateolabrax japonicus*) in the initial stage of fresh-frozen or chilled storage state [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2017, 26(5): 543-552
- [17] 王庆丽,励建荣,朱军莉,等.壳聚糖和植酸复合生物保鲜剂对冷藏鱼丸品质的影响[J].食品与生物技术学报,2012, 31(12):1239-1244
WANG Qing-li, LI Jian-rong, ZHU Jun-li, et al. Influence on quality of fish meatballs by the chitosan and phytic acid [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2012, 31(12):

- 1239-1244
- [18] 王当丰,李婷婷,国竞文,等.茶多酚-溶菌酶复合保鲜剂对白鲢鱼丸保鲜效果[J].食品科学,2017,38(7):232-237
WANG Dang-feng, LI Ting-ting, GUO Jing-wen, et al. Effect of composite preservatives consisting of tea polyphenols and Lysozyme on the quality of silver carp meatballs during storage [J]. Food Science, 2017, 38(7): 232-237
- [19] Arashisar S, Hisar O, Kaya M, et al. Effects of modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and chemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets [J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 97(2): 209-214
- [20] 杨宏旭,刘大松,李璐珂,等.低温贮藏条件下青鱼肉中蛋白质和组织结构的变化对鱼肉品质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(8):208-213
YANG Hong-xu, LIU Da-song, LI Jun-ke, et al. The effect of protein and tissue structure change on the quality of black carp fish meat at different temperature [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(8): 208-213
- [21] Sánchez-González I, Carmona P, Moreno P, et al. Protein and water structural changes in fish surimi during gelation as revealed by isotopic H/D exchange and Raman spectroscopy [J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 56-64
- [22] GHALY A E, DAVE D, BUDGE S, et al. Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: Review [J]. American Journal of Applied Sciences, 2010, 7(7): 859-877
- [23] 丁婷,李婷婷,励建荣. 0℃冷藏三文鱼片新鲜度综合评价[J].中国食品学报,2014,14(11):252-259
DING Ting, LI Ting-ting, LI Jian-rong. Comprehensive evaluation on freshness of Salmon slices at 0 °C storage [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(11): 252-259
- [24] LU S M. Effects of bactericides and modified atmosphere packaging on shelf-life of Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) [J]. LWT - Food Science and Technology, 2009, 42(1): 286-291
- [25] Olafsdottir G, Lauzon H L, Martinsdottir E, et al. Evaluation of shelf life of superchilled cod (*Gadus morhua*) fillets and the influence of temperature fluctuations during storage on microbial and chemical quality indicators [J]. Journal of Food Science, 2010, 71(2): 97-109
- [26] Ruizcapillas C, Moral A. Changes in free amino acids during chilled storage of hake (*Merluccius merluccius* L.) in controlled atmospheres and their use as a quality control index [J]. European Food Research & Technology, 2001, 212(3): 302-307
- [27] SUN T, HAO W T, LI J R, et al. Preservation properties of in situ modified CaCO₃-chitosan composite coatings [J]. Food Chemistry, 2015, 183: 217-226
- [28] LI T T, LI J R, HU W Z, et al. Quality enhancement in refrigerated red drum (*Sciaenops ocellatus*) fillets using chitosan coatings containing natural preservatives [J]. Food Chemistry, 2013, 138(2-3): 821-826
- [29] MI H B, Guo X, Li J R. Effect of 6-gingerol as natural antioxidant on the lipid oxidation in red drum fillets during refrigerated storage [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 74: 70-76
- [30] 荣建华,张亮子,谢淑丽,等.冷冻对脆肉鲩和草鱼肉微观结构和质构特性的影响[J].食品科学,2015,36(12):243-248
RONG Jian-hua, ZHANG Liang-zi, XIE Shu-li, et al. Effects of freeze on the microstructure and texture of crisp grass carp and grass carp muscle [J]. Food Science, 2015, 36(12): 243-248
- [31] 李学鹏,陈桂芳,王金厢,等.基于群体感应抑制的丹皮提取物与茶多酚对冷藏大菱鲆的协同保鲜作用[J].食品科学,2017,38(19):223-229
LI Xue-peng, CHEN Gui-fang, WANG Jin-xiang, et al. Synergistic effect of cortex mouton extract combined with tea polyphenols on quality of cold-stored turbot fillets based on the inhibition of quorum sensing [J]. Food Science, 2017, 38(19): 223-229
- [32] 林琳,高艳艳,吕顺,等.草鱼低温贮藏过程中的品质变化特征[J].食品科学,2009,30(24):433-435
LIN Lin, GAO Yan-yan, LYU Shun, et al. Quality change of grass carp during chilled storage [J]. Food Science, 2009, 30(24): 433-435
- [33] 陈建林.利用中国对虾加工副产物生产重组虾肉的研究[D].保定:河北农业大学,2014
CHEN Jian-lin. Study on the production of recombinant shrimp with the Chinese shrimp processing by-products [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2014
- [34] 户帅锋,于洁,赵碧洁,等.负载山梨酸的壳聚糖微囊-EVOH抗菌薄膜对黑鱼鱼肉保鲜的影响[J].食品科学,2017,38(15):237-243
HU Shuai-feng, YU Jie, ZHAO Bi-jie, et al. Effect of antimicrobial ethylene-vinyl alcohol (EVOH) copolymer film based on sorbic acid-loaded chitosan microcapsules on the preservation of Snakehead [J]. Food Science, 2017, 38(15): 237-243
- [35] 李学英,刘会省,杨宪时,等.冻藏温度对南极磷虾品质变化

- 的影响[J].现代食品科技,2014,30(6):191-195
- LI Xue-ying, LIU Hui-xing, YANG Xian-shi, et al. Effects of temperature on the quality of Antarctic Krill (*Euphausia superba*) during frozen storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(6): 191-195
- [36] Sanchez-Valencia J, Sanchez -Alonso I, Martinez I, et al. Estimation of frozen storage time or temperature by kinetic modeling of the Kramer shear resistance and water holding capacity (WHC) of hake (*Merluccius merluccius*, L.) muscle [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 120(362): 37-43
- [37] 许澄.草鱼冻藏品质变化及草鱼新鲜度快速检测方法探究[D].上海:上海海洋大学,2015
- XU Cheng. Quality changes of frozen grass carp & Fast detection method for grass carp based on machine vision [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015
- [38] 刘彩华,朱新荣,张建.羟自由基氧化对冷藏高白鲑品质及微观结构的影响[J].食品工业科技,2017,38(23):238-244
- LIU Cai-hua, ZHU Xin-rong, ZHANG Jian. Effects of protein oxidation on qualities and microstructure in refrigerated *Coregonus peled* muscle exposed to a hydroxyl radical-generating system [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(23): 238-244
- [39] Roco T, Torres M J, Briones-Labarca V, et al. Effect of high hydrostatic pressure treatment on physical parameters, ultrastructure and shelf life of pre- and post-rigor mortis palm ruff (*Seriola lalandi*) under chilled storage [J]. Food Research International, 2018, 108: 192-202.
- [40] 夏静华.天然保鲜剂对冷鲜羊肉保鲜效果及其内源蛋白酶和品质影响的研究[D].雅安:四川农业大学,2010
- XIA Jing-hua. Effect of three natural preservatives in chilled mutton preservation and their influence on the endogenous proteases and the quality of mutton during the shelf life [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2010
- [41] 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
- GUO Jing-wen, LI Ting-ting, WANG Dang-feng, et al. Preservation effect of rosemary and protamine for refrigerated silver carp fish balls [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(7): 275-280
- [42] Rahman M S, Alfarsi S A. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(4): 505-511

(上接第 118 页)

- [30] 张乃珣,尹红力,赵鑫,等.红松多酚与真菌多糖联合清除 ABTS 自由基活性比较[J].北京林业大学学报,2016,38(10): 104-111
- ZHANG Nai-xun, YIN Hong-li, ZHAO Xin, et al. Combined ABTS radical scavenging activity of *Pinus koraiensis* polyphenols with fungus polysaccharides [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2016, 38(10): 104-111
- [31] Tilaoui M, Jaafari A, Ait Mouse H, et al. Studies on the dual cytotoxicity and antioxidant properties of berberis vulgaris extracts and its main constituent berberine [J]. Advances in Pharmacological Sciences, 2018, 6: 1-11
- [32] 周昇昇,杨月欣.抗氧化能力体外评价方法的进展和比较[J].卫生研究,2010,39(2):164-167
- ZHOU Sheng-sheng, YANG Yue-xin. Progress and comparison of *in vitro* evaluation methods for antioxidant capacity [J]. Journal of Hygiene Research, 2010, 39(2): 164-167
- [33] 盖晓红,刘素香,任涛,等.黄连的化学成分及药理作用研究进展[J].中草药,2018,49(20):4919-4927
- GAI Xiao-hong, LIU Su-xiang, REN Tao, et al. Research progress on chemical constituents of *Coptidis rhizoma* and its pharmacological activities [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2018, 49(20): 4919-4927
- [34] 郭秀丽,高淑莲.人参化学成分和药理研究进展[J].中医临床研究,2012,4(14):26-27
- GUO Xiu-li, GAO Shu-lian. A review on the ginseng chemical constituents and pharmacological [J]. Clinical Journal of Chinese Medicine, 2012, 4(14): 26-27
- [35] Tappel A L. Will antioxidant nutrients slow aging processes? [J]. Geriatrics, 1968, 23(10): 97-105
- [36] Packer J E, Slater T F, Willson R L. Direct observation of a free radical interaction between vitamin E and vitamin C [J]. Nature, 1979, 278(5706): 737-738
- [37] Huang D, Ou B, Prior R L. The chemistry behind antioxidant capacity assays [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(6): 1841-1856