DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2019.07.030

胶原/壳聚糖抗菌海绵衬垫对三文鱼品质变化的影响

Effect of collagen/chitosan antibacterial sponge pad on salmon quality

王珠珠[1] 王利强[1,2] 方丹丹[1] 李保强[1]

WANG Zhu-zhu[1] *WANG Li-qiang*[1,2] *FANG Dan-dan*[1] *LI Bao-qiang*[1]

(1. 江南大学机械工程学院,江苏 无锡 214122;
2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室,江苏 无锡 214122)

(1. *Department of Packaging Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu* 214122, *China*;
2. *Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu* 214122, *China*)

摘要:将生鲜三文鱼肉进行抗菌海绵衬垫覆 PE 膜包装、PP 衬垫覆 PE 膜包装以及空白组覆 PE 膜包装,在 4 ℃条件下贮藏,以感官评定、失重率、pH 值、色差值、质构值、挥发性盐基氮(TVB-N)以及菌落总数为评价指标,研究抗菌海绵衬垫对冷藏三文鱼的保鲜效果。结果显示:在贮藏期间,各组三文鱼肉的感官评分值呈下降趋势;失重率、色差值、挥发性盐基氮及菌落总数呈上升趋势;pH 值呈先降低后上升的趋势。除失重率外抗菌海绵衬垫组包装的三文鱼片各项评价指标均优于 PP 衬垫组与空白组,抗菌海绵衬垫可延长三文鱼肉的冷藏货架期 2~4 d。

关键词:三文鱼;胶原;壳聚糖;丁香油;浅盘包装;衬垫;品质

Abstract: To study the effect of collagen/chitosan antibacterial sponge pad with clove oil on the quality change of tray-packed salmon meat during storage, fresh salmon meat was packaged in antibacterial sponge pad covered PE film, PP pad covered PE film and only covered with PE film. After stored at 4 ℃, with sensory evaluation, weight loss rate, pH value, color difference value, texture value, volatile base nitrogen (TVB-N), the total number of colonies as evaluation indicators, the preservation effect of antibacterial sponge pad on fresh salmon was investigated. The results showed that, during the cold storage period, the sensory scores of salmon meat in each group showed a downward trend. Moreover, the weight loss rate, color difference, TVB-N and the total number of colonies showed an upward trend; the pH value first decreased and then increased. Except for the weight loss rate, the indexes of the antibacterial sponge pad group were superior to those of the PP pad group and the blank group. The antibacterial sponge pad could extend the shelf life of fresh salmon meat for 2 to 4 days.

Keywords: salmon; collagen; chitosan; clove oil; tray packaging; pad; quality

三文鱼属于冷水域洄游鱼类,主要分布在太平洋及大西洋北部,肉色橙红,含有丰富的氨基酸与不饱和脂肪酸等,享有"冰海之皇"美誉[1]。由于三文鱼肉中水分、可溶性蛋白质含量高,不饱和脂肪酸易氧化,很容易发生腐败,限制其货架寿命[2]。目前国内外用在生鲜鱼肉销售包装上的多是有较好陈列效果的浅盘裹包,为避免血水堆积滋生细菌加速腐败,采用的浅盘吸水衬垫多是聚丙烯(PP)无纺布等材料,同时肉品未经过任何的保鲜处理,因此保鲜期往往仅有 2~4 d[3]。目前国内外多研究贮藏温度对三文鱼保鲜的影响[4-6],鲜有关于保鲜剂对生鲜三文鱼品质影响的研究,尤其缺乏冷藏条件下,浅盘销售包装形式三文鱼肉质变化的相关报道。

鱼鳞胶原蛋白来源于鱼加工下脚料,能够增加鱼加工的经济附加价值,具有强吸水力和持水力,可防止汁液流失,抑制微生物生长[7-8]。壳聚糖可生物降解,易在细菌表面堆积从而抑制病原菌的生长,达到抗菌的目的,在食品保鲜方面应用较为广泛[9],丁香油主要成分丁香酚,具有较强的抑制细菌和真菌作用[10],常用于食品的防腐保鲜。为解决生鲜鱼肉托盘包装中血水堆积加速腐败的

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(编号:JUSRP21115);江苏省食品先进制造装备技术重点实验室自主资助基金资助项目(编号:FMZ201902)

作者简介:王珠珠,女,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:王利强(1977—),男,江南大学教授,博士。
E-mail:wlq@163.com

收稿日期:2019-02-25

问题，本研究拟采用鱼鳞胶原蛋白、壳聚糖和丁香油为原料制备高吸湿性的海绵衬垫，研究在 4 ℃冷藏条件下，比较含抗菌衬垫覆 PE 膜包装、PP 衬垫覆 PE 膜包装以及无衬垫覆 PE 膜包装对三文鱼品质变化的影响，以货架期间鱼肉的感官品质、失重率、pH 值、色差值、质构值、挥发性盐基氮以及菌落总数指标等来进行生鲜三文鱼品质评价，为三文鱼等鱼类浅盘保鲜包装保鲜技术的改进提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

1.1.1　材料与试剂

生鲜三文鱼：智利深海三文鱼；

PP 无纺布：上海市希丝无纺布制品有限公司；

淀粉基塑料浅盘：常州龙骏天纯环保科技有限公司；

罗非鱼鳞：雷州市乌石镇龙之润水产品加工厂；

胃蛋白酶：生物试剂，酶活力≥1 200.0 U/g，国药集团化学试剂有限公司；

壳聚糖生物试剂：国药集团化学试剂有限公司；

丁香油、吐温 80：化学纯，上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.1.2　主要仪器设备

数字显示转速电动搅拌机：JB200-S 型，上海标本模型厂；

真空冷冻干燥机：Scientz-20F 型，宁波新芝生物科技股份有限公司；

质构仪：TMS-Pro 型，美国 FTC 公司。

1.2　方法

1.2.1　抗菌衬垫制备　取 20 g 罗非鱼鱼鳞碎片置于烧杯中，加入 300 mL 去离子水、0.6 mol/L 的乙酸和 300 U/g 的胃蛋白酶，室温提取 24 h，再将提取得到的胶原蛋白纯化，在培养皿浇注 5 mm，放入真空冷冻干燥机中进行冷冻干燥，即得纯胶原蛋白海绵，－20 ℃下保存备用。

将壳聚糖加入 0.5 mol/L 的乙酸溶液中，配制成质量浓度 2%的壳聚糖溶液。将冻干胶原蛋白加入 0.5 mol/L 的乙酸溶液中溶胀 24 h，配制成质量浓度 2%胶原蛋白溶液。将丁香油与乳化剂吐温 80 以 2∶1 体积比混合并搅拌均匀得丁香油乳液。将壳聚糖溶液与胶原蛋白溶液以 6∶4 体积比混合并加入体积分数 1%的丁香油乳液和质量分数 10%的甘油，配制成复合海绵溶液。在培养皿浇注 5 mm，放于真空冷冻干燥机中进行冷冻干燥，得到抗菌海绵衬垫，－20 ℃下保存备用。

1.2.2　样品处理　将新鲜的三文鱼切成 8.0 cm×5.0 cm×0.5 cm 的鱼片，随机进行抗菌海绵衬垫覆 PE 膜包装、PP 衬垫覆 PE 膜包装以及空白组覆 PE 膜包装，分成 3 组，置于 4 ℃恒温冰箱中贮藏 14 d。

1.2.3　新鲜度指标测定　本试验分别采用感官评定、化学指标（pH 值、TVB-N 值）、物理指标（失重率、色差值、质构值）和微生物指标（菌落总数）等来检测三文鱼肉的品质。

（1）感官评定：参照 GB/T 18108—2008 建立感官评定标准。

（2）失重率：用分析天平称量三文鱼块重量，每次做 3 个平行试验，按式（1）计算失重率。

$$M=\frac{m_0-m_n}{m_0}\times 100\%, \tag{1}$$

式中：

M——失重率，%；

m_0——初始质量，g；

m_n——第 n 天质量，g。

（3）色差值：用色差计每隔 48 h 测量三文鱼肉色差值（L、a^*、b^*）。每次做 3 个平行试验，按式（2）计算色差[11]。

$$\Delta E=\sqrt{(\Delta L)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2}, \tag{2}$$

式中：

ΔE——色差；

ΔL——所测亮度值与初始亮度值之差；

Δa^*——所测红度值和初始红度值之差；

Δb^*——所测黄度值与初始黄度值之差。

（4）质构值：使用球形探头，对样品进行两次压缩质构仪质地多面剖析（TPA）测试，每次做 3 个平行试验。其中质构特性指标包括硬度、黏附性、弹性、咀嚼性，各参数设计：测试速度 1 mm/s，变形程度 50%，最小压力 0.1 N，两次压缩时间间隔 5 s[12]。

（5）pH 值：参考文献[13]的方法，取 5.0 g 三文鱼肉搅碎并置于锥形瓶中，加入去离子 50 mL 震荡 30 min，静置并过滤，测量滤液 pH 值，每次做 3 个平行试验。

（6）挥发性盐基氮值（TVB-N）：按 GB 5009.228—2016 的微量扩散法执行。

（7）菌落总数：按 GB 4789.2—2010 执行。

2　结果与分析

2.1　感官评定

如图 1 所示，空白组、PP 衬垫组和抗菌海绵衬垫组三文鱼的感官评分均随着时间的延长而降低。贮藏前期（0～2 d）抗菌海绵衬垫组和 PP 衬垫组的感官评分略高于空白组，是由于衬垫对鱼肉流失汁液的吸收提升了本组的感官品质。从第 4 天开始抗菌衬垫组评分开始超过其他两组，说明抗菌海绵衬垫在贮藏过程中起到了抑菌效果，减缓了三文鱼肉腐败变质的速度。第 8 天空白组和 PP 衬垫组三文鱼肉感官评分已达 5 分以下，产生有刺激性的腐臭味。这与张新林等[5]研究 4 ℃下三文鱼品质变化的结果是一致的。从感官评价看，抗菌海绵衬垫有

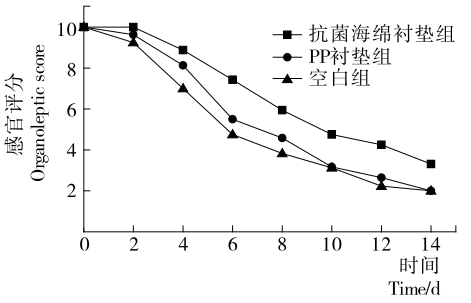

图 1　三文鱼肉感官评定变化

Figure 1　Trends of organoleptic evaluation of salmon

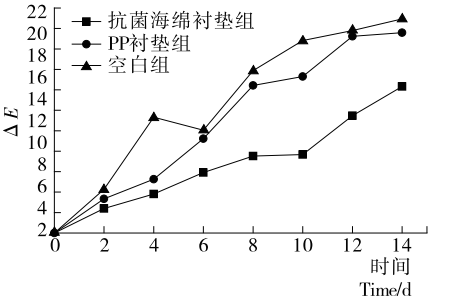

图 3　三文鱼肉色泽变化

Figure 3　Trends of color difference of salmon

效地延长了三文鱼肉的货架期。

2.2　失重率

重量的损失会影响鱼肉的构型外观,影响其营养及口感[14],生鲜三文鱼肉在贮藏过程中失重率的变化情况如图 2 所示,可以看出 3 组三文鱼肉的失重率均随贮藏时间的推移不断增大。其中抗菌海绵衬垫组吸水保水性能好,失重率增大速度最快,4 ℃下冷藏 2 d 失重率 8.55%,约为 PP 衬垫组的 2.9 倍,空白组的 11.25 倍。14 d 失重率达 16.69%,PP 衬垫组次之,空白组失重率增大速度最小,14 d 失重率仅为 5.93%。2～8 d 3 组水分流失速度均趋缓,是由于生鲜三文鱼肉自由水含量较高,随着时间的延长,自由水含量变小,衬垫吸收水分的速度也随之减缓。随着贮藏时间继续增加,三文鱼肉的组织结构逐渐松散,PP 衬垫组和空白组的汁液流失速度8 d 后又有增大趋势。

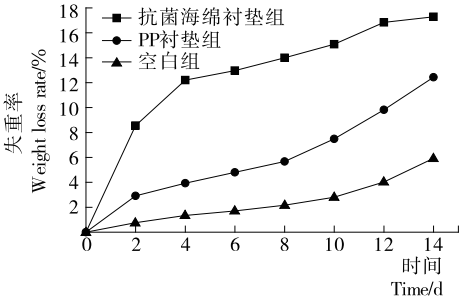

图 2　三文鱼肉失重率变化

Figure 2　Trends of weight loss rate of salmon

2.3　色差值

色泽是鉴别三文鱼肉新鲜度的重要指标之一。色差值 $\Delta E<12.0$ 表示颜色变化不明显,$\Delta E>12.0$ 表示颜色变化明显[15]。图 3 表明,随着贮藏时间的延长,各组三文鱼肉的色差值 ΔE 均不断增大,8 d 时 PP 衬垫组与空白组的色差值 ΔE 分别为 14.4,15.9,均已超过 12.0,此时抗菌海绵衬垫组的色差值 ΔE 仅为 7.5。14 d 抗菌海绵衬垫组、PP 衬垫组和空白组的色差值 ΔE 分别为 14.3,19.6,20.9。在贮藏末期三文鱼橙红肉色转变为暗色,可能是橙色的显色物质虾青素等类胡萝卜素物质因氧化而被破坏[16]。抗菌衬垫组的色差变化速度明显小于其他两组,PP 衬垫组的色差变化速度略小于空白组,说明抗菌海绵衬垫对三文鱼的颜色有良好的保护作用。

2.4　质构值

三文鱼死后肉质会出现僵直、软化等变化,在冷藏期间肉质的变化可以通过质构参数反映出来。由表 1～3 可知,3 组三文鱼肉的硬度与弹性在贮藏初期逐渐增加而后逐渐降低,在贮藏初期,肌肉组织呼吸停止,在 ATP 降解、内糖原分解作用下产生酸性物质,使肌肉组织僵直收缩[17]。随着贮藏时间的延长,结缔组织的力学强度下降,

表 1　空白组三文鱼肉的质构变化

Table 1　Changes in texture of blank control group of salmon

时间/d	硬度/N	黏附性/mJ	弹性/mm	咀嚼性/mJ
0	10.42±0.87	0.47±0.04	2.00±0.05	7.17±0.39
2	12.64±0.43	0.51±0.19	2.48±0.24	6.56±0.64
4	15.55±0.62	0.74±0.15	1.83±0.23	6.64±0.37
6	12.27±0.07	1.16±0.12	2.17±0.16	5.92±0.10
8	12.69±0.25	1.30±0.17	1.98±0.20	5.33±0.37
10	10.81±0.27	1.45±0.05	1.67±0.11	4.75±0.05
12	8.74±0.32	1.56±0.27	1.49±0.02	3.69±0.34
14	7.58±0.91	1.59±0.06	1.32±0.06	2.98±0.21

表 2　PP 衬垫组三文鱼肉的质构变化

Table 2　Changes in texture of PP pad group of salmon

时间/d	硬度/N	黏附性/mJ	弹性/mm	咀嚼性/mJ
0	10.42±0.18	0.47±0.11	2.00±0.33	7.17±0.38
2	12.09±0.85	0.42±0.08	2.01±0.05	7.77±0.55
4	14.70±0.29	0.66±0.19	2.25±0.14	6.58±0.25
6	13.33±0.43	1.13±0.01	1.98±0.09	5.73±0.07
8	12.67±0.17	1.29±0.12	2.05±0.08	5.42±0.13
10	10.79±0.31	1.38±0.06	1.85±0.23	4.59±0.26
12	9.33±0.62	1.41±0.03	1.47±0.17	4.33±0.20
14	8.48±0.04	1.45±0.24	1.24±0.33	3.61±0.18

表 3　抗菌海绵衬垫组三文鱼肉的质构变化

Table 3　Changes in texture of antibacterial sponge pad group of salmon

时间/d	硬度/N	黏附性/mJ	弹性/mm	咀嚼性/mJ
0	10.42±0.08	0.47±0.02	2.00±0.14	7.17±0.31
2	14.91±0.45	0.67±0.13	2.10±0.07	6.67±0.25
4	16.20±0.37	0.67±0.17	1.84±0.11	6.27±0.13
6	17.12±0.62	0.94±0.04	1.92±0.16	6.01±0.35
8	16.73±0.18	1.15±0.10	1.85±0.08	5.56±0.67
10	17.64±0.04	1.23±0.25	1.72±0.18	5.37±0.46
12	14.31±1.03	1.30±0.06	1.76±0.22	5.09±0.23
14	11.73±0.08	1.27±0.12	1.51±0.04	4.88±0.13

三文鱼肉逐渐松散，其硬度值与弹性值又降低。咀嚼性则是三文鱼肌肉硬度降低、弹性减小的综合体现。随着贮藏时间的延长，鱼体不饱和脂肪酸氧化和微生物的生长繁殖，使三文鱼加速变质，从而导致鱼体肌肉组织趋软，咀嚼性下降[18]。黏附性的逐渐增加与三文鱼肉富含的不饱和脂肪酸氧化有关，脂肪氧化以及微生物分解的作用导致肉质发黏。

2.5　pH 值

pH 值可以作为判断产品新鲜度的重要指标。3 组三文鱼肉在冷藏过程中 pH 值的变化情况如图 4 所示。贮藏初期由于鱼体内糖原在糖原酶作用下产生乳酸，同时 ATP 与磷酸肌酸等物质分解产生磷酸等酸性物质导致酸积累[19]，3 组三文鱼肉 pH 值均有小幅降低，抗菌海绵衬垫组在第 6 天达到最低，PP 衬垫组和空白组均在第 4 天达到最低。随贮藏时间不断增加，3 组三文鱼肉的 pH 值有不同程度地增大。这是由于鱼体内的蛋白质在微生物及自溶酶的作用下不断分解，积累氨、二甲胺等胺类以及其他含氮化合物等碱性物质[20]。第 14 天，抗菌衬垫组、PP 衬垫组和空白组的 pH 值分别为 6.92，7.11，7.16。抗菌衬垫组的 pH 值的增加速度低于其他两组，表明抗菌海绵衬垫在三文鱼储藏后期起到了很好地抑制微生物的作用。

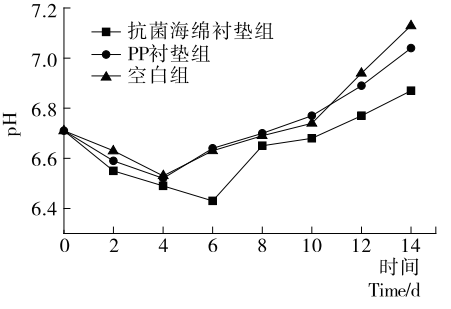

图 4　三文鱼肉 pH 值变化

Figure 4　Trends of pH value of salmon

2.6　挥发性盐基氮值

挥发性盐基氮(TVB-N)是判断鱼类品质的一项重要指标，在贮藏过程中，鱼类蛋白质和非蛋白质在内源酶和微生物的作用下分解，产生胺类及其他含氮化合物等碱性挥发物质[21]，TVB-N 含量越高，生鲜鱼肉品质越差。图 5 显示，在 0～2 d 两组衬垫处理组与空白组无显著差异，而在 4～14 d 时 3 组 TVB-N 值呈现显著差异，储藏前期，由于微生物增殖速率与蛋白质分解速率较低，三文鱼新鲜度良好，TVB-N 值增加缓慢，4 d 之后，三文鱼 TVB-N 值增加速度开始增大。根据 GB 2733—2015，当 TVB-N 值≤10 mg/100 g 时，三文鱼肉新鲜度最好，属于一级鲜度；当 TVB-N 值≤20 mg/100 g 时新鲜度较差，仍可食用；三文鱼的 TVB-N 值≤30 mg/100 g 才符合食用标准。由图 5 可知，抗菌海绵衬垫组的 TVB-N 值在 14 d 超过食用标准，PP 衬垫组和空白组则分别在 12，10 d 超过食用标准。表明抗菌海绵衬垫可有效延缓三文鱼肉在贮藏过程中微生物及内源酶对蛋白质的分解，在浅盘保鲜包装中起到一定的保鲜效果。

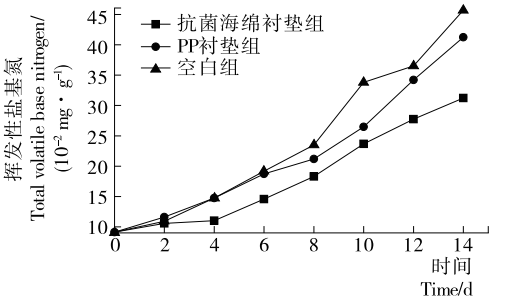

图 5　三文鱼肉 TVB-N 含量的变化

Figure 5　Trends of TVB-N value of salmon

2.7　菌落总数

菌落总数是评价水产品污染程度的常用指标，生鲜三文鱼的水分含量高，且含有大量的蛋白质、不饱和脂肪酸等，微生物不断分解鱼肉中丰富的营养物质，并利用这些分解产物作为其繁殖的营养来源，不断增殖，引起鱼体的腐败变质。这与图 6 显示冷藏三文鱼菌落总数值总体随着储藏时间的延长呈现增加的趋势一致，10 d 后曲线增长趋势放缓，可能是微生物数量在储藏中期增速较快，后期相互竞争鱼体营养物质。在 1～2 d 空白组与衬垫组的菌落总数无显著差异，而在 4 d 后抗菌海绵衬垫组与其他两组的差异显著，说明抗菌海绵衬垫在三文鱼肉的浅盘包装中起到了抑菌作用。根据国际食品微生物委员会(ICMSF)相关标准[22]，生鲜鱼类的菌落总数不得超过 10^6 CFU/g。图 6 表明，空白组三文鱼肉在第 6 天已超过 10^6 CFU/g，抗菌衬垫组在第 10 天超过 10^6 CFU/g。由此可知，抗菌海绵衬垫在三文鱼肉冷藏过程中具有良好的保鲜效果，可将其货架期延长约 4 d。

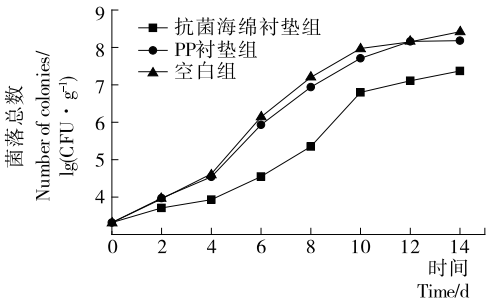

图 6　三文鱼肉菌落总数的变化

Figure 6　Trends of total number of colonies of salmon

3　结论

本研究以鱼鳞胶原蛋白和壳聚糖为基材,将添加丁香油为抗菌剂制备的抗菌海绵衬垫应用于三文鱼肉的保鲜,结果表明抗菌海绵衬垫有效延缓了三文鱼肉的腐败速率,抑制细菌的生长,并改善了其感官品质,4 ℃条件下保存的生鲜三文鱼肉货架期延长 2～4 d,且该抗菌海绵衬垫绿色可降解,在生鲜鱼肉的浅盘包装领域具有良好的应用前景。

本研究选用的抗菌剂属于挥发油,后期研究可以将抗菌剂包裹在微胶囊中,使抗菌剂有效缓释,达到更好的抑菌效果。

参考文献

[1] 江建军, 邓林, 李华. 人工养殖三文鱼营养成分的分析[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 40-42.

[2] WANG Zhe, HU Shuai-fei, GAO Yu-peng, et al. Effect of collagen-lysozyme coating on fresh-salmon fillets preservation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 75: 59-64.

[3] SONE I, OLSEN R L, SIVERTSEN A H, et al. Classification of fresh Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets stored under different atmospheres by hyperspectral imaging[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(3): 482-489.

[4] WANG Chong, YI Shao-ling. Effects of storage temperature and time on tryptamine and histamine content in salmon[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2012: 519-523.

[5] 张新林, 谢晶, 郝楷, 等. 不同低温条件下三文鱼的品质变化[J]. 食品工业科技, 2016, 37(17): 316-321.

[6] SHUMILINA E, DYKYY A, DIKIY A. Development of a statistical model to detect quality and storage conditions of Atlantic salmon(Article)[J]. Food Chemistry, 2018, 258: 381-386.

[7] PAL P, SRIVAS P K, DADHICH P, et al. Accelerating full thickness wound healing using collagen sponge of mrigal fish (Cirrhinus cirrhosus) scale origin[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 93(Pt B): 1 507-1 518.

[8] MUTHUKUMAR T, PRABU P, GHOSH K, et al. Fish scale collagen sponge incorporated with Macrotyloma uniflorum plant extract as a possible wound/burn dressing material[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2014, 113: 207-212.

[9] RABEA E I, BADAWY E T, STEVENS C V, et al. Chitosan as antimicrobial agent: Applications and mode of action[J]. Biomacromolecules, 2003, 4(6): 1 457-1 465.

[10] 吕世明, 陈杖榴, 陈建新, 等. 丁香酚体外抑菌作用研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 122-124.

[11] ZHU Song-ming, RAMASWAMY H S, SIMPSON B K. Effect of high-pressure versus conventional thawing on color, drip loss and texture of Atlantic salmon frozen by different methods[J]. LWT-Food Science and Technology, 2004, 37(3): 291-299.

[12] 李伟丽, 伍小宇, 王庆慧, 等. 不同包装处理对三文鱼冷藏货架寿命的影响[J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2018, 37(2): 40-45.

[13] ARASHISAR S, HISAR O, KAYA M, et al. Effects of modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and chemical properties of rainbow trout (Oncorynchus mykiss) fillets[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 97(2): 209-214.

[14] 刘丽, 余红心, 肖维, 等. 鱼肉品质的研究进展[J]. 当代水产, 2008, 33(8): 9-12.

[15] 高海, 蔡欢欢, 朱志伟. 光照和温度对草鱼和三文鱼鱼肉贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2017(15): 256-261.

[16] ERIKSON U, MISIMI E, GALLART-JORNET L. Superchilling of rested Atlantic salmon: Different chilling strategies and effects on fish and fillet quality[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1 427-1 437.

[17] 颜明月. 臭氧水处理对罗非鱼片蛋白质和脂质氧化及品质的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2015: 39-40.

[18] ANDERSON A K. Biogenic and volatile amine-related qualities of three popular fish species sold at Kuwait fish markets[J]. Food Chemistry, 2008, 107(2): 761-767.

[19] LI Ting-ting, LI Jian-rong, HU Wen-zhong, et al. Shelf-life extension of crucian carp (Carassius auratus) using natural preservatives during chilled storage[J]. Food Chemistry, 2012, 135(1): 140-145.

[20] 王一帆, 宋晓燕, 刘宝林. 冷藏期间温度波动对三文鱼片品质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(1): 24-27.

[21] 于林, 陈舜胜, 王娟娟, 等. 茶多酚改性胶原蛋白—壳聚糖复合膜对冷藏斜带石斑鱼的保鲜效果[J]. 食品科学, 2017(3): 238-244.

[22] INGRAM M. Microorganisms in foods 2 Sampling for microbiological analysis: Principles and specific applications[M]. Toronto: University of Toronto Press, 1974: 92-95.