

食品包装

鱼鳞胶原蛋白复合抗菌膜对罗非鱼肉的保鲜效果

邵东旭, 王卉, 裴志胜, 薛长风
(海南热带海洋学院, 三亚 572022)

摘要: **目的** 制备具有抗菌性能的鱼鳞胶原蛋白复合膜, 并研究其对鱼肉的保鲜效果。 **方法** 利用鱼鳞提取胶原蛋白, 与马铃薯淀粉混合制备可食性复合膜, 在膜中加入高良姜精油天然抗菌剂, 考察精油对膜的成膜特性。 **结果** 精油降低了膜的抗张强度和透明度, 增加了膜的断裂伸长率和水溶性, 并且抗菌膜对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和黑霉菌都有较好的抑菌作用。采用含高良姜精油质量分数为 1% 的抗菌复合膜对罗非鱼肉进行冷藏保鲜, 抗菌膜包覆的鱼肉在第 8 天的 TVB-N 值为 146.7 mg/kg, 为二级鲜度可食用, 而包覆的对照组在第 6 天时 TVB-N 值为 267.8 mg/kg, 已不可食用。相比对照组, 抗菌膜包覆的鱼肉 TBA、菌落总数、pH 值均处于较低的水平。 **结论** 抗菌复合膜能抑制鱼肉脂肪氧化腐败和微生物生长, 延长鱼肉冷藏的货架期。

关键词: 鱼鳞; 胶原蛋白; 马铃薯淀粉; 高良姜精油; 鱼肉保鲜

中图分类号: TS254.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)23-0073-05

Tilapia Preservation by Composite Antibacterial Film with Fish-scale Collagen

SHAO Dong-xu, WANG Hui, PEI Zhi-sheng, XUE Chang-feng
(Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572022, China)

ABSTRACT: The work aims to prepare fish-scale collagen composite film with antibacterial property and study its preservation effect on fish. Collagen was extracted from scale and edible composite film was prepared by mixing collagen and potato starch, in which galangal oil was added as natural antibacterial agent. The effect of essential oil on the film-forming properties was examined. Essential oil reduced tensile strength and transparency of the film, but increased elongation at break and water-solubility. The composite film had good antibacterial effect on staphylococcus aureus, escherichia coli and black mold. Antibacterial composite film with 1.0% (mass fraction) galangal oil was used to preserve tilapia meat in cold storage. TVB-N value of the fish packed by antibacterial film was 14.67 mg/100 g on the eighth day. The fish was edible and marked as second grade freshness. However, TVB-N value of the control sample packed by plastic film was 26.78 mg/100 g on the sixth day and was inedible. Compared to the control sample, TBA, total bacterial count and pH values of the fish packed by antibacterial film were at a lower level. Antibacterial composite film can prevent lipid oxidation and microbial growth, and extend shelf life of fish during cold storage.

KEY WORDS: fish-scale; collagen; potato starch; galangal oil; fish preservation

鱼类的加工过程会产生大量下脚料(包括鱼皮、鱼骨、鱼头、鱼鳍、鱼尾及其内脏等)。这些下脚料目前主要被低价卖给饲料厂用于生产鱼粉, 其附加值较低, 其中一些鱼鳞甚至被作为废弃物丢弃,

收稿日期: 2016-06-15

基金项目: 国家自然科学基金(51363018); 2015 年度海南热带海洋学院校级青年科学基金 (QYQN201517)

作者简介: 邵东旭 (1972—), 男, 吉林长春人, 硕士, 海南热带海洋学院副教授, 主要研究方向为大分子及天然产物研究。

既浪费资源,又给环境造成污染。鱼鳞中蛋白质质量分数占鱼鳞总质量的50%~70%,是非常好的胶原蛋白生产原料^[1]。由于鱼鳞中没有血液循环,不易受到环境污染,且水生动物胶原安全性高于陆地动物,因而鱼鳞胶原蛋白被认为是最安全的胶原蛋白,利用鱼鳞制备明胶蛋白可以取代以猪、牛等动物的皮骨为主要原料生产的明胶^[2-3]。胶原蛋白具有良好的成膜性,胶原蛋白可食性膜的力学性能、氧气阻隔性和阻油性较高,适于食品包装,能保证食品的品质和卫生安全,还可以加强食品的营养。胶原蛋白膜存在质脆、易溶于水等缺点^[4-5],限制了其广泛的使用。淀粉膜具有较好的拉伸强度、耐折性、透明度、低透气率和水不溶性等特点,淀粉与蛋白质混合使不同分子之间相互作用,可以达到单组分膜所不具备的优异性能^[6-7]。植物精油可作为天然抗菌剂应用于可食性抗菌膜中,已成为食品保鲜领域新的研究方向^[8-9]。高良姜又名红豆蔻,在我国南部地区和东南亚主要应用于食品的调味。高良姜精油有特殊香味,含有许多活性成分,具有抗氧化、抗菌、抗炎、镇痛、活血等功效^[10]。

研究利用罗非鱼鱼鳞制备胶原蛋白,与淀粉混合,并添加高良姜精油制备抗菌鱼鳞胶淀粉复合膜,探讨精油对抗菌膜成膜特性的影响及抗菌性能,研究抗菌复合膜用于罗非鱼肉的保鲜,为鱼鳞的综合利用和新型可食性包装膜提供理论参考。

1 实验

1.1 材料与仪器

材料:新鲜的罗非鱼,购自海南三亚市场;高良姜精油,江西吉水县俊达天然香料油厂;玉米淀粉,徐州人和居食品厂;试剂均为分析纯。仪器:UV2550紫外可见分光光度计(日本岛津公司),RGD-1型电子拉力试验机(深圳市瑞格尔仪器有限公司),DHG-9245A电热恒温鼓风干燥箱(上海齐欣科学仪器),PH070型培养箱(上海一恒有限公司),SW-CJ-2D型双人净化工作台(苏州净化公司),SHA-B水浴振荡器(江苏金坛亿通电子有限公司),N596外径千分尺(上海量具刃具),PHS-2C酸度计(金坛市盛蓝仪器制造有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 鱼鳞胶原蛋白的提取

鱼鳞预处理:鱼鳞取自新鲜罗非鱼,将鱼鳞浸于HCl(0.5 mol/L)溶液中,搅拌脱钙1 h,用清水漂洗后,再加入Na₂CO₃(0.5 mol/L)溶液,于室温下搅拌浸渍10 h,然后将处理后的鱼鳞用水反复清洗至中性,沥干,35℃烘干,粉碎后得鱼鳞粉,备用。

鱼鳞胶的提取:将150 mL去离子水加入6 g鱼鳞粉中,在80℃下提取2 h,冷至室温,离心后获得胶原蛋白溶液。胶原蛋白的含量根据国标凯氏定氮法^[11]进行测定,并将提取液中的鱼鳞胶原蛋白调配成质量分数为2%。

1.2.2 精油抗菌鱼鳞/淀粉复合膜的制备

取4 g玉米淀粉在200 mL去离子水中溶解,80℃糊化20 min,将鱼鳞胶和玉米淀粉按质量比为5:2的比例进行充分混合,加入一定质量的高良姜精油(精油质量分数分别为成膜基质的0.5%,1%,1.5%和2%),甘油(质量分数为成膜基质的10%),搅拌20 min,在塑料培养皿中流延成膜,于35℃干燥24 h,冷却揭膜。

1.2.3 抗菌复合膜性能测定

1)膜的力学性能测定。将抗菌复合膜剪成矩形20 mm×100 mm的样品,用电子拉力机测定拉伸强度和断裂伸长率。测试的夹具间距为50 mm,拉伸速率为10 mm/min,每个样品重复测定5次,计算平均值。

2)膜的水溶性测定。将膜剪成5 cm×5 cm大小,置于烧杯中,一起干燥至质量不变,称量膜质量 m_0 以及膜和烧杯的总质量 m_1 。在烧杯中加100 mL水,室温下浸泡24 h,去掉水后将膜和烧杯干燥至质量不变为 m_2 ,根据公式计算水溶性: $S=(m_1-m_2)/m_0 \times 100\%$ 。

3)膜的透光性测定。将膜剪成35 mm×20 mm的样品,放在分光光度计的试样槽中,于600 nm下测定膜吸光度,并计算膜的不透明度。膜不透光度的计算公式为 $S=A_{600}/d$,式中 A_{600} 为膜在600 nm处的吸光度, d 为膜厚度(mm)。

4)膜的厚度测定。用千分尺测量膜上5点的厚度,计算平均值。

5)膜的抗菌性能试验。试菌种为大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、黑曲霉菌,细菌用牛肉膏蛋白胨

培养,黑霉菌用查氏培养基培养。将 15 mL 熔化的培养基倒入培养皿中,吸取 0.2 mL 的菌悬液(10^6 cfu/mL)涂布于培养基上。用打孔器将复合膜打成直径为 10 mm 的圆片,将膜片紧贴于平板表面中心。每个膜片平行做 3 个培养皿。大肠杆菌和金黄色葡萄球菌于 37 ℃ 培养箱中培养 24 h,黑霉菌在 30 ℃ 培养 48 h。抑菌圈的直径(包括膜片)用游标卡尺测量。

1.2.4 抗菌膜鱼肉保鲜试验

新鲜罗非鱼放血后去头和内脏,冷水清洗干净后取鱼片(每片约为 90 g),随机分为 2 组。一组用抗菌膜包覆,另一组用不添加高良姜精油的复合膜包覆作为对照组,放入保鲜盒内,置于 4 ℃ 冰箱中 12 d。

1) 菌落总数测定。菌落总数采用 GB 4789.2—2010《食品卫生微生物学检验:菌落总数测定》的方法进行测定。

2) 挥发性盐基氮测定。按半微量蒸馏法测定^[12]。将背脊部鱼肉绞碎,取 10.00 g 放入烧杯中,加去离子水至 100 mL,搅拌均匀,静置过滤,取 5 mL 氧化镁混悬液(10 g/L)和 5 mL 滤液混合,将混合液进行蒸馏,馏出液用标准盐酸溶液(0.01 mol/L)滴定,由所用盐酸量计算 TVB-N 的含量。

3) 硫代巴比妥酸值(TBA)的测定。采用 Gomes 等^[13]建立的方法并做部分修改。将 4.00 g 鱼肉溶于 20 mL 硫代巴比妥酸溶液(其中硫代巴比妥酸的质量分数为 0.0375%,三氯乙酸为 1.5% 和盐酸浓度为 0.25 mol/L)中,在研钵中研碎,将混合物在沸水浴加热 10 min,再流水冷却 5 min,高速离心 20 min。取上清液,在 532 nm 测定吸光光度值。用 1,1,3,3-四乙基丙烷做标准曲线,TBA 值用每千克鱼肉中含丙二醛的微克数表示。

4) pH 值测定。样品切碎,精密称取 10.00 g,加入蒸馏水至 100 mL,搅拌 1 min,用 pH 计测定样品水溶液的 pH 值。

1.2.5 数据处理方法

应用 Excel 2003 和 SPSS 软件进行数据处理。

2 结果与讨论

2.1 高良姜精油添加量对复合膜性能的影响

高良姜精油添加量对复合膜成膜特性的影响见

表 1,高良姜精油的添加使膜的抗拉强度降低,随着高良姜精油量的逐渐增加,膜的抗拉强度明显下降。当精油添加质量分数为 2.0% 时,膜抗拉强度为 14.09 MPa,而未添加精油的对照膜抗拉强度最高,达 22.02 MPa。已有研究显示,复合膜的网络结构会由于精油的添加遭到破坏,产生不连续的膜结构,因此膜的抗拉强度降低^[14]。断裂伸长率最低的是对照膜,为 15.51%。膜的断裂伸长率随着精油添加量的增加而明显提高。当精油添加质量分数为 2.0% 时,膜断裂伸长率达 18.28%。添加的高良姜精油具有增塑剂的作用,增加了膜的柔韧性。与对照膜相比,高良姜精油提高了复合膜的溶解性,由于精油削弱了复合膜分子链之间的相互作用,使膜的水溶性增大。但在精油添加质量分数小于 1.0% 时,膜的水溶性有所降低。添加高良姜精油的膜具有更高的不透明度值,这是由于精油含有一定的颜色,并且精油破坏了复合膜的网络结构,导致了膜的透明度下降。

表 1 高良姜精油添加量对复合膜性能的影响
Tab.1 Effect of galangal oil content on film-forming properties of the composite films

精油质量 分数/%	抗张强度 /MPa	断裂伸长率 /%	水溶性 /%	透光率 /%
0	22.02±1.01	15.51±0.91	33.03±0.03	78.04
0.5	20.54±1.46	15.90±0.67	31.19±0.05	75.75
1	18.52±1.01	16.62±0.91	35.93±0.07	71.04
1.5	15.83±0.93	17.04±0.66	37.85±0.09	65.36
2.0	14.09±0.86	18.28±0.74	43.61±0.05	57.77

2.2 高良姜精油添加量对膜抑菌活性的影响

高良姜精油添加量对不同菌种抑菌圈直径大小的影响见表 2。大肠杆菌是典型的革兰氏阴性菌,金黄色葡萄球菌是典型的革兰氏阳性菌,黑曲霉代表霉菌,这 3 种菌是食品中常见菌,具有代表性。如表 2 所示,未添加精油的对照膜对 3 种菌基本没有抑制效果。当高良姜精油添加质量分数达 1.0% 时,复合膜对 3 种菌均有一定抑制作用。随着精油质量分数的增加,复合膜对 3 种菌的抑菌圈直径均明显增加。表明了高良姜精油具有较强的抗菌作用。添加高良姜精油的复合膜对金黄色葡萄球菌的抑制效果好于大肠杆菌和黑曲霉。高良姜精油添加量越大,复合膜抑菌效果越好,但添加质量分数超过 1.0% 时,膜的抗张强度和透光率下降较快,且水溶性增大。综合考虑复合膜成膜特性,选取高良姜精油质量分数为 1% 的复合膜用于鱼肉的保鲜包覆。

表2 高良姜精油添加量对不同菌种抑菌圈直径的影响
Tab.2 Effect of galangal oil content on the inhibition zone diameters of different bacterial strains

mm			
精油质量分数/%	大肠杆菌	金黄色葡萄球菌	黑曲霉
0	10.00±0.00	10±0.00	10±0.00
0.5	12.2±0.07	15.3±0.07	13.2±0.09
1	13.4±0.06	18.5±0.09	14.8±0.06
1.5	15.6±0.11	20.3±0.12	16.5±0.08
2	16.4±0.18	23.4±0.21	17.9±0.26

2.3 罗非鱼保鲜效果研究

罗非鱼在冷藏过程中的菌落总数变化见图1。由图1可以看出,菌落总数在贮藏过程中均呈上升趋势,与对照组相比,高良姜精油复合膜包覆的样品菌落总数增长速度较慢,这是由于高良姜精油有较强的抑菌作用。对照组在贮藏第6天的菌落总数为7.26 lgcfu/g,高良姜精油复合膜包覆的样品在第12天的菌落总数为6.56 lgcfu/g。结果表明,由高良姜精油复合膜包覆的罗非鱼在冷藏过程能够有效抑制微生物的繁殖。

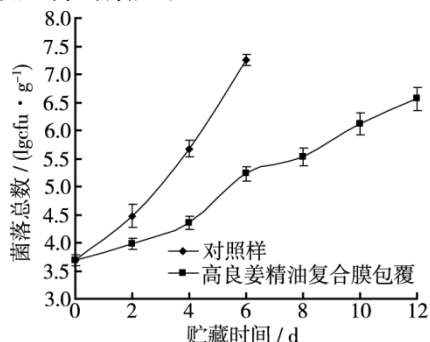


图1 罗非鱼在冷藏过程中菌落总数的变化

Fig.1 Changes of total viable bacterial counts in tilapia during cold storage

水产品在贮藏过程中,由于体内细菌和内源性酶的相互作用,分解蛋白质会产生挥发性氨和低级胺类物质,水产品腐败变质程度可以通过检测挥发性总氮量(TVB-N)来判断。TVB-N值标示鱼体新鲜度指标为^[15]:≤120 mg/kg为新鲜鱼,一级鲜度;120~200 mg/kg为略有降解,可食用,二级鲜度;200~250 mg/kg为临界值; >250 mg/kg为不可食用。

罗非鱼在冷藏过程中 TVB-N 值的变化见图2。高良姜精油复合膜包覆的罗非鱼的 TVB-N 值上升速度要低于对照组,其中对照组贮藏至第6天时 TVB-N 值为267.8 mg/kg,已不可食用。高良姜精油复合膜包覆后,罗非鱼贮藏至第8天的 TVB-N 值为146.7 mg/kg,属二级鲜度可食用,第12天的

TVB-N 值为240.1 mg/kg,才达临界值。结果表明,经高良姜精油复合膜包覆的罗非鱼在冷藏过程中能有效控制鱼的腐败变质。

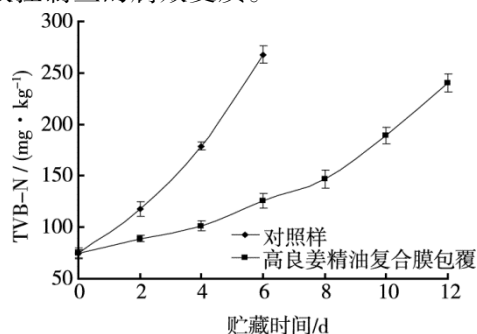


图2 罗非鱼在冷藏过程中 TVB-N 值的变化

Fig.2 Changes of TVB-N values in tilapia during cold storage

罗非鱼的不饱和脂肪酸含量多,且含有一定量的 EPA 和 DHA,这些不饱和脂肪酸很容易被氧化。TBA 值是测定肉类及水产品脂肪氧化酸败程度的指标,特别是肉类和水产品脂肪的氧化酸败程度。当 TBA 值达到 2.00 mg/kg 时,鱼肉就会产生令人厌恶的味道^[16]。罗非鱼在冷藏过程中 TBA 值的变化见图3。TBA 在贮藏过程中均呈上升趋势,但高良姜精油复合膜包覆的罗非鱼和对照组的 TBA 值变化趋势相差很大。对照组的 TBA 值在第2天后快速上升,在贮藏的第6天时 TBA 值为1.23 mg/kg,高良姜精油复合膜包覆的 TBA 值上升幅度较小,贮藏的第12天 TBA 值才升到0.62 mg/kg。结果表明,高良姜精油复合膜包覆有非常明显抑制罗非鱼脂肪氧化酸败的作用。其原因是高良姜精油具有抗氧化的作用,减缓了鱼中脂肪的氧化。

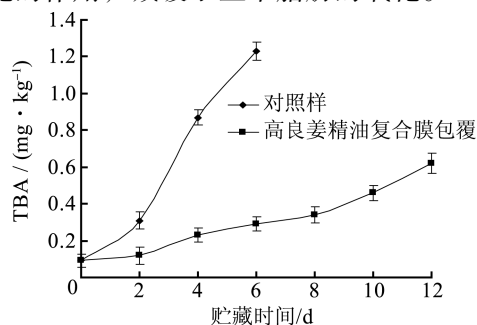


图3 罗非鱼在冷藏过程中 TBA 值的变化

Fig.3 Changes of TAB values in tilapia during cold storage

pH 值也是判定鱼肉品质的一个关键指标。鱼死后,体内先后经历僵硬、自溶以及腐败3个阶段。由于鱼肉蛋白在自身蛋白酶和细菌相互作用下渐渐分解,导致氨基酸及其他碱性物质的产生,如氨和胺类等,会使 pH 值升高。在僵硬阶段,鱼肉的 pH 值会逐渐降低,进入到自溶和腐败阶段,鱼肉的 pH

值会持续上升^[17]。在冷藏过程中罗非鱼肉 pH 值的变化见图 4。鱼肉的 pH 值在贮藏过程中先下降后上升, 抗菌膜包覆的鱼肉 pH 值均比对照组低。对照组在贮藏的前 2 天内鱼肉 pH 值保持在 6.7 左右, 然后开始迅速上升, 到第 6 天已达 7.1, 包覆样品的 pH 值在第 4 天后开始缓慢上升, 在第 10 天时仍在 7.0 以下, 表明抗菌复合膜包覆能够有效阻止冷藏过程中鱼肉的自溶腐败, 起到明显的保鲜作用。

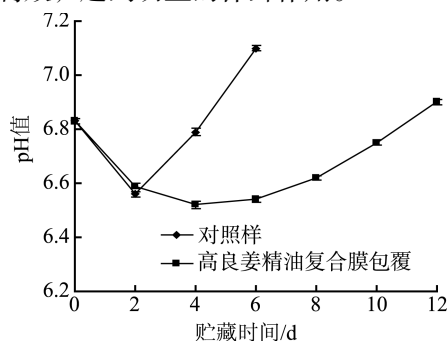


图4 罗非鱼在冷藏过程中 pH 值的变化

Fig.4 Changes of pH in tilapia during cold storage

3 结语

在鱼鳞胶-淀粉的复合膜中添加高良姜精油抗菌剂能降低膜的抗张强度和透明度、增加延展性和水溶性。抗菌膜对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和黑曲霉菌均有较好的抑菌效果。抗菌复合膜对包覆的罗非鱼在冷藏过程中能很好地延缓其脂肪的氧化, 抑制鱼中微生物的繁殖, 减缓腐败变质, 延长鱼肉的保质期。该试验为鱼肉的保鲜提供了一种有用方式。

参考文献:

- [1] 樊世芳, 王利强, 游柳青, 等. 鱼鳞胶原蛋白的研究进展[J]. 包装工程, 2014, 35(23): 6—11.
FAN Shi-fang, WANG Li-qiang, YOU Liu-qing, et al. Research Progress in Fish Scale Collagen[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(23): 6—11.
- [2] 吴菲菲, 翁武银, 苏文金, 等. 罗非鱼鱼鳞明胶蛋白膜的制备及特性[J]. 食品工业科技, 2013, 34(11): 277—282.
WU Fei-fei, WENG Wu-yin, SU Wen-jin, et al. Preparation and Characterization of Edible Gelatin Films from Tilapia (Tilapia Zillii) Scales[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(11): 277—282.
- [3] 卢黄华, 李雨哲, 刘友明, 等. 草鱼鱼鳞胶原蛋白膜的制备工艺[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(2): 243—248.
LU Huang-hua, LI Yu-zhe, LIU You-ming, et al. Preparation Technology of Collagen Films from Fish Scales of Grass Carp Cetrphayrngodon Idellus[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2011, 30(2): 243—248.
- [4] 刘小杰, 齐鲁, 白立峰. 改性明胶膜的制备及其力学性能探讨[J]. 天津工业大学学报, 2006, 25(2): 19—21.
LIU Xiao-jie, QI Lu, BAI Li-feng. Preparation and Me-

- chanical Properties of Modified Gelatin Membrane[J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2006, 25(2): 19—21.
- [5] SAOWAPA R, SOOTTAWAT B, THUMMANOON P. Properties of Fish Skin Gelatin Film Incorporated with Seaweed Extract[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 95(1): 151—157.
- [6] AL-HASSAN A A, NORZIAH M H. Starch-gelatin Edible Films: Water Vapor Permeability and Mechanical Properties as Affected by Plasticizers[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(1): 108—117.
- [7] 郭菊花, 何玉凤, 王小洁, 等. 鸡毛角蛋白/淀粉复合膜的制备及性能[J]. 材料导报, 2014, 28(22): 40—43.
GUO Ju-hua, HE Yu-feng, WANG Xiao-jie, et al. Preparation of Chicken Feather Keratin/Starch Composite Film and Its Properties[J]. Materials Review, 2014, 28(22): 40—43.
- [8] 程欣, 余平, 王淑娟, 等. 丁香精油食品抗菌包装材料的制备及性能研究[J]. 包装工程, 2015, 36(7): 11—15.
CHENG Xin, YU Ping, WANG Shu-juan, et al. Preparation and Performance Studies of Clove Essential Oil Antimicrobial Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(7): 11—15.
- [9] 陈默, 胡长鹰, 王志伟, 等. 香兰素对大豆分离蛋白膜抗菌作用的影响[J]. 包装工程, 2008, 29(10): 83—85.
CHEN Mo, HU Chang-yong, WANG Zhi-wei, et al. Effects of Vanillin on Antimicrobial Activity of Soy Protein Isolated Film[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(10): 83—85.
- [10] 张倩芝, 蔡明招, 卢志毅. 高良姜与大高良姜精油中活性物质的比较[J]. 中草药, 2006, 37(8): 1151—1152.
ZHANG Qian-zhi, CAI Ming-zhao, LU Zhi-yi. Comparison of Compounds Content of Alpinia Officinarum and Alpinia Galanga Swartz[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2006, 37(8): 1151—1152.
- [11] GB 5009.5—2010, 食品中蛋白质的测定[S].
GB 5009.5—2010, Determination of Protein in Foods[S].
- [12] 宁正祥. 食品成分分析手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
NING Zheng-xiang. Food Composition Analysis Manual[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1998.
- [13] GOMES H A, SILVA E N, NASCIMENTO M R L, et al. Evaluation of the 2-thiobarbituric Acid Method for the Measurement of Lipid Oxidation in Mechanically Deboned Gamma Irradiated Chicken Meat[J]. Food Chemistry, 2003, 80(3): 433—437.
- [14] HOSSEINI M H, RAZAVI S H, MOUSAVI M A. Antimicrobial, Physical and Mechanical Properties of Chitosan-based Films Incorporated with Thyme, Clove and Cinnamon Essential Oils[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2009, 33(6): 727—743.
- [15] 夏松养. 水产食品加工学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
XIA Song-yang. Technology of Aquatic Food[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [16] CONNELL J. Methods of Assessing and Selecting for Quality[M]. In Control of Fish Quality(3rd ed.), Oxford: Fishing News Books, 1990.
- [17] 励建荣, 李婷婷, 李学鹏, 等. 水产品鲜度品质评价方法研究进展[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2010, 29(2): 1—8.
LI Jian-rong, LI Ting-ting, LI Xue-peng, et al. Advances in Methods for Evaluating Freshness of Aquatic Products[J]. Journal of Beijing Technology and Business University(Natural Science Edition), 2010, 29(2): 1—8.