

## 壳聚糖-咖啡酸衍生物涂膜对鲈鱼的保鲜效果研究

唐森<sup>1,2</sup>, 韦浪生<sup>1</sup>, 覃逸明<sup>3</sup>, 张鹏<sup>1,2</sup>, 吴国勇<sup>1,2\*</sup>

(1. 广西科技师范学院食品与生化工程学院, 广西来宾 546199; 2. 广西科技师范学院, 功能性食品配料工程技术研究中心, 广西来宾 546199; 3. 广西科技师范学院科研管理处, 广西来宾 546199)

**摘要** 以鲈鱼为试材, 用 0.20% 咖啡酸、2% 壳聚糖、0.20% 咖啡酸+1.8% 壳聚糖、2% 壳聚糖-咖啡酸衍生物、无菌水 5 个不同溶液浸泡处理, 通过测定 4℃ 冷藏 4 d 内挥发性盐基氮、菌落总数、pH、持水力以及感官评价等指标的变化, 探讨壳聚糖-咖啡酸衍生物复合涂膜对鲈鱼的保鲜效果。结果表明, 4℃ 下贮藏 4 d 后, 相较于以无菌水处理的样品, 4 种不同处理均能够在一定程度上延缓鲈鱼的挥发性盐基氮含量、菌落总数、pH 的升高, 降低样品持水力的下降。在 5 种处理中, 2% 壳聚糖-咖啡酸衍生物涂膜对鲈鱼的保鲜效果最好。

**关键词** 贮藏; 鲈鱼; 壳聚糖; 咖啡酸; 保鲜

**中图分类号** S984 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2019)23-0207-03

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.23.060

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Preservation Effects of Coating Film with Chitosan-caffeic Acid Derivative on Sea Perch during Storage

TANG Sen<sup>1,2</sup>, WEI Lang-sheng<sup>1</sup>, QIN Yi-ming<sup>3</sup> et al (1. School of Food and Biochemical Engineering, Guangxi Science & Technology Normal University, Laibin, Guangxi 546199; 2. Functional Food Ingredients Engineering Research Center, Guangxi Science & Technology Normal University, Laibin, Guangxi 546199; 3. Department of Scientific Research Management, Guangxi Science & Technology Normal University, Laibin, Guangxi 546199)

**Abstract** Sea perch was taken as test materials and soaked with 5 different solutions (0.20% caffeic acid, 2% chitosan, 0.20% caffeic acid and 1.8% chitosan, 2% chitosan-caffeic acid derivatives and sterile water). By determining the changes of total volatile basic nitrogen(TVB-N), total bacterial colonies, pH, water holding capacity and sensory evaluation during 4 days of cold storage at 4℃, the preservation effect of coating with composite film of chitosan and caffeic acid derivatives on sea perch was discussed. The results showed that compared with the samples treated with sterile water, four other treatments could delay the increase of total volatile basic nitrogen content, total bacterial colonies and pH, and reduce the decrease of water holding capacity. Among five treatments, coating with 2% chitosan-caffeic acid derivative had the best preservation effect on sea perch.

**Key words** Storage; Sea perch; Chitosan; Caffeic acid; Preservation

壳聚糖是近些年来兴起的可再生绿色高分子材料, 具有许多独特的生物学特性, 比如良好的生物相容性、抑菌性、可降解性及成膜性等, 此外它获取来源丰富且成本低廉<sup>[1-4]</sup>。根据壳聚糖的这些生物特点, 再结合水产品的腐败特性, 可以利用 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/V<sub>C</sub> 氧化还原绿色体系接枝改性, 引发自由基接枝生成壳聚糖-咖啡酸衍生物, 达到改善壳聚糖功能性质的效果, 再进行涂膜的操作, 目前已有不少研究将这类以生物大分子为基质的涂膜材料应用于海产品的保鲜与贮存<sup>[5-7]</sup>。笔者通过接枝反应在壳聚糖中引入咖啡酸, 形成具有杀菌抑菌活性的壳聚糖-咖啡酸衍生物, 并研究衍生物对鲈鱼冷藏保鲜期间(4℃)挥发性盐基氮含量、菌落总数、pH、持水力以及感官评价的变化, 探索其延长鱼肉货架期的保鲜机理, 以期在未来能延长海产品货架期, 推广大分子复合材料的应用, 提高海洋产品的经济竞争力提供一定的数据基础和理论支持。

## 1 材料与与方法

**1.1 材料与试剂** 鲜活鲈鱼, 购于来宾市兴宾区大洋百货商场, 约 500 g/尾; 壳聚糖, 购自山东西亚化学股份有限公

司; 咖啡酸, 购自武汉长成化成科技发展有限公司; 平板计数琼脂, 为上海博微生物科技有限公司产品; 抗坏血酸、30% 过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、冰乙酸、氯化钠、氧化镁、硼酸、95% 乙醇、甲基红、溴甲酚绿、N<sub>2</sub>、甲基橙、去离子水等。

**1.2 仪器与设备** TYAIB 024/10 立式压力灭菌锅, 为宁波久兴医疗器械有限公司产品; SW-CJ-1F 超净工作台, 为上海博迅实业有限公司产品; SPX-250B-Z 型生化培养箱, 为广州深华生物技术有限公司产品; PHS-3E 数字式 pH 计, 为上海仪电科学仪器股份有限公司产品; ZNBC-CL 电热套, 为巩义市科瑞仪器有限公司产品; FA2004B 电子天平, 为上海精科仪器有限公司产品; DF-101S 集热式磁力搅拌加热器, 为金坛市医疗仪器厂产品; DW-HL218 型超低温冷冻储存箱, 为中科美菱低温科技股份有限公司产品; FD5-3 冷冻干燥干燥机, 广西东盟国际集团有限公司产品; 半自动凯氏定氮仪等。

## 1.3 试验方法

**1.3.1 壳聚糖-咖啡酸衍生物的制备<sup>[8]</sup>**。基于过氧化氢/抗坏血酸(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/V<sub>C</sub>)是水溶性体系, 可通过配制 1:100(g/mL)的比例将精确称量的 10.0 g 壳聚糖溶于离子水(含 1% 的醋酸)中, 经长时间(约 8 h)不停搅拌, 待壳聚糖溶液完全溶解定容后置于 4℃ 冰箱中储存备用。取体积为 100 mL 的壳聚糖溶液置于 250 mL 三颈烧瓶中, 加入足够量的过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)和抗坏血酸(V<sub>C</sub>), 经过搅拌 30 min 后再加入适量咖啡酸, 整个氧化还原反应的过程需要 N<sub>2</sub> 来保护完成。待反应结束后再透析反应液, 以此除去那些未反应的咖啡酸、抗

**基金项目** 广西科技师范学院科研基金项目(GXKS2018YB010); 广西糖资源工程技术研究中心培育建设项目(桂科 AD16450040); 广西高校制糖工程综合技术重点实验室培育建设项目(桂教科研[2016]6号)。

**作者简介** 唐森(1990—), 男, 安徽阜阳人, 助理研究员, 硕士, 从事食品生物化学研究。\*通信作者, 高级工程师, 从事食品配料研究。

**收稿日期** 2019-06-01; **修回日期** 2019-07-20

坏血酸等小分子化合物,经过透析 72 h(每 12 h 对透析水进行更换)后冷冻干燥,即得到壳聚糖-咖啡酸衍生物。

**1.3.2 涂膜溶液的配制。**①空白组:用去离子水清洗鲈鱼后,不做其他处理。②咖啡酸组:用去离子水配制 0.20% 的咖啡酸溶液(含 1% 的冰醋酸)。③壳聚糖组:用去离子水配制成 2% 的壳聚糖溶液(用 1% 的冰醋酸)。④壳聚糖咖啡酸混合物组:用去离子水配制含 0.20% 的咖啡酸以及 1.8% 的壳聚糖水溶液,制成混合涂膜液。⑤壳聚糖咖啡酸接枝物组:用去离子水配制 2% 壳聚糖-咖啡酸衍生物的生物涂膜液。

**1.3.3 涂膜保鲜设计。**参照 SC/T 3016—2004 方法取样,除去鱼鳞、鱼皮等部分,取其腹部及背部肌肉,再将其肌肉搅碎,称取适量的样品置于烧杯中,并分别加入 5 种涂膜处理

溶液,浸泡 0.5 h,沥干水分,晾干后用杀菌后的自封袋分装,分别贴好标签,全部置于冰箱中冷藏(4 ℃)保鲜。此后,每 24 h 取处理后的 5 组样品,测定其挥发性盐基氮(TVB-N)含量、菌落总数、pH、持水力等理化指标,并进行感官评价。

#### 1.4 理化指标的测定

**1.4.1 感官评价。**参考雷志方<sup>[9]</sup>的方法并稍做修改,将鲈鱼样品的感官表现转化成感官评价分值,进行全面的感官评分判定。挑选 7 名经过专业培训的食品相关专业本科生(3 男 4 女,来自全国不同地区),按照设定标准(表 1)对在贮藏期间不同鲈鱼样品的外观、气味、品质进行全面感官评分,各项目最高分为 10 分,总计最高分 30 分,每天测评 1 次,结果取总分值的平均值,最后对总评分结果进行综合分析。

表 1 全面感官评价标准

Table 1 Comprehensive sensory evaluation criteria

项目 Items	各分值标准 Standards of each score				
	10 分	8 分	6 分	4 分	2 分
外观 Appearance	外表滑润,颜色新鲜	颜色微变泛黄	脂肪黄出现,颜色开始变暗	脂肪黄明显	脂肪黄严重,颜色变暗
气味 Odor	新鲜的鱼腥味	开始出现臭味	臭味明显	臭味浓重	强烈恶臭味
质地 Texture	肉组织结实,具有弹性	略有弹性	弹性较差,肉质软化	无弹性,肉质开始松弛	肉组织松软,糜烂

**1.4.2 TVB-N 含量的测定。**按 GB 5009.228—2016《食品中挥发性盐基氮的测定》半微量定氮法测定保鲜期间鲈鱼的挥发性碱基氮(TVB-N)含量。

**1.4.3 菌落总数的测定。**按照 GB 4789.2—2016《食品微生物学检验 菌落总数测定》要求操作测定鲈鱼冷藏保鲜期间的菌落总数。

**1.4.4 pH 的测定。**参考谢晶等<sup>[10]</sup>对带鱼 pH 的测定方法,并稍做修改。将 10 g 待测样品放入带有瓶塞的锥形瓶中,并加入 100.0 mL 去离子水,不停摇晃,使样品在试液分布均匀,浸泡 0.5 h 后,用校正后的 pH 计测定其 pH,重复 3 次,取其平均值。

**1.4.5 持水力的测定。**取待测的样品,置于双层滤纸之间,向其施加 5 kg 重的砝码,并保持 2 min,测定其持水力。持水力按照以下公式计算:

$$\text{持水力}(\%) = 100\% - (w_1 - w_2) / (w_1 \times w) \times 100\%$$

式中, $W_1$  为鱼肉质量; $W_2$  为除水后的质量; $w$  为样品水分含量,需要测定。每组参数重复测量 3 次,按公式计算后取平均值。

## 2 结果与分析

**2.1 鲈鱼保鲜期间感官鉴定评分** 从图 1 可以看出,在整个试验过程中各试验组的感官评分均呈下降趋势,下降最快的是未做涂膜处理的空白对照组,而下降最慢的是壳聚糖咖啡酸衍生物组,咖啡酸组、壳聚糖组、壳聚糖+咖啡酸混合组的评分差距较小。第 2 天对照组综合评分为 26.02,壳聚糖咖啡酸衍生物组综合评分为 28.12;第 4 天对照组的综合评分下降到 16.23,而壳聚糖咖啡酸衍生物组综合评分为 25.31,衍生物组的鱼肉从外观、气味、质地还能保持很好的状态。由此可见,壳聚糖咖啡酸衍生物可以更好地抑制微生物

繁殖,使鱼肉腐败减慢,使鱼的品质得到更好地保留,延长其货架期。

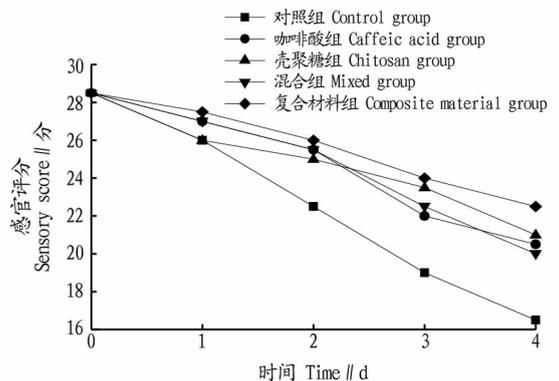


图 1 鲈鱼冷藏保鲜期间感官评分的变化

Fig. 1 Changes of sensory score in sea perch during cold storage

**2.2 鲈鱼保鲜期间 TVB-N 含量** 鱼肉中挥发性盐基氮含量是判断鱼肉腐败程度的重要技术指标之一。Duan 等<sup>[11]</sup>研究表明鱼肉因为腐败分解的作用生成  $\text{NH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、吲哚和三甲氨等挥发性碱性物质,它们随着时间的推移堆积在鱼肉中,鱼肉内的含氮量因此增高。由图 2 可知,鲈鱼样品挥发性盐基氮含量随时间的延长而增加。从第 2 天起各处理组的鲈鱼样品中挥发性物质含量的变化都很明显,此前对照组和咖啡酸组、壳聚糖组、混合组的差异不大,复合材料组挥发性盐基氮的含量(12.6 mg/kg)则远低于其他组。第 3~4 天,处理组的曲线上升趋势除了复合材料组最缓慢外,其他组均大幅度上升。随着试验时间的增长,复合材料组中挥发性含基氮的含量一直偏低,在曲线上升趋势最缓慢,表明复合材料组的挥发性碱性物质生成较少,堆积量最小,具有抑制鲈鱼体内挥发性盐基氮生成的能力,保鲜效果在所有

处理组中最佳。

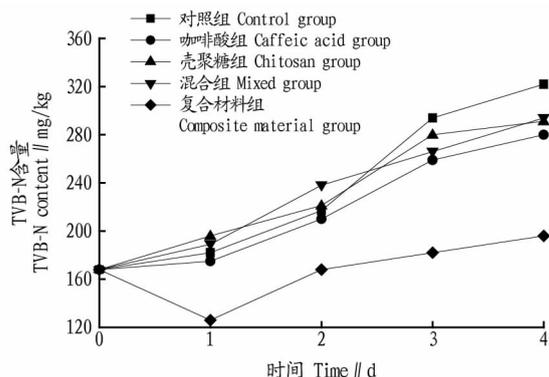


图2 鲈鱼冷藏保鲜期间挥发性盐基氮含量的变化

Fig. 2 Changes of TVB-N content in sea perch during cold storage

**2.3 鲈鱼保鲜期间菌落总数的变化** 菌落总数的计数来源于样品中微生物的繁殖数量,最能直接反映鱼肉因微生物的作用而发生的腐败程度,从其变化速度中可以预测出鱼肉的货架期<sup>[12]</sup>。从图3可以看出,菌落总数随着时间的延长而逐渐增多,第2天各处理组菌落总数差距不大,都在4.0 log(CFU/mL)左右。第3天,复合材料组的菌落总数低于其他处理组。第4天,复合材料组菌落总数远远低于其他处理组,对照组最高,达7.1 log(CFU/mL)。在整个试验时间,复合材料组菌落总数的增长速度最缓慢,其他组增长较快,尤其是对照组其菌落总数在第4天达到最高。由此可见,壳聚糖咖啡酸接枝物对鱼肉中微生物的繁殖具有抑制效果,能够有效阻止微生物细菌的生长。

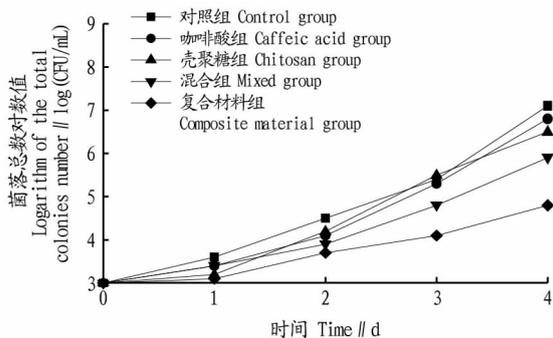


图3 鲈鱼冷藏保鲜期间菌落总数的变化

Fig. 3 Changes of total bacterial colonies in sea perch during cold storage

**2.4 鲈鱼保鲜期间 pH 的变化** 从图4可以看出,鲈鱼样品经过不同处理液的涂膜过程,第1天鲈鱼样品已获得处理液的完全浸泡,鲈鱼样品的 pH 明显接近处理液;第2天鲈鱼样品 pH 呈下降趋势,主要是因为鲈鱼在死后微生物分解了鱼肉内的蛋白质物质,生成了小分子氨基酸,从而导致 pH 下降;第3天,随着鱼肉中挥发性盐基氮等碱性物质的生成,pH 显著增加,随着这类物质的堆积过多,在未来时间内 pH 呈上升趋势。这说明鲈鱼样品的 pH 在短暂下降后会随着新鲜度的降低而升高。pH 上升趋势最明显的是对照组,其次是咖啡酸组,而壳聚糖组和混合组上升较为缓慢,复合材料组上升趋势最为缓慢,在整个过程中 pH 的变化也趋于稳定,明显

达到了保鲜效果。

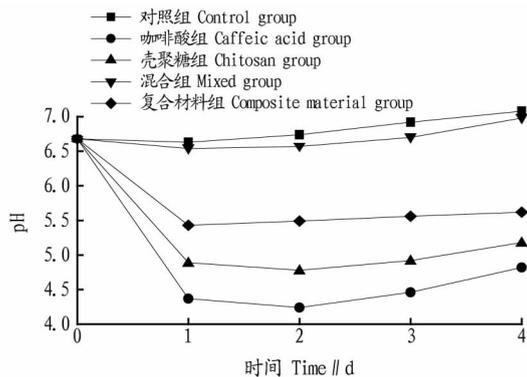


图4 鲈鱼冷藏保鲜期间 pH 的变化

Fig. 4 Changes of pH in sea perch during cold storage

**2.5 鲈鱼保鲜期持水力的变化** 持水力是从侧面反映鲈鱼样品中氨基酸分解能力的一个重要指标,也是直接反映出鲈鱼样品腐败程度的重要指标。因为氨基酸是蛋白质中的主要物质,其氨基属于亲水基团,同时鲈鱼样品中的自身水分和外加水分的保持比率直接影响样品的腐败速度,持水力越强,鲈鱼样品的质量就越好<sup>[13]</sup>。因为经过涂膜处理后鲈鱼样品会水分流失,持水力会随着时间的延长而降低,鱼肉的新鲜度也随之降低。从图5可以看出,第1天各处理组鲈鱼样品的持水力都呈下降的趋势;第3天,各处理组鲈鱼样品的持水力大小分布明显,复合材料组的持水力仍然最高,其他处理组的持水力都远低于复合材料组;第4天,复合材料组持水力还保持最高,而对照组最低(80.2%)。在整个储藏过程中,复合材料组的变化趋势最为缓慢。由此可见,经处理的鲈鱼样品质量以复合材料组最好,在试验期间相较其他处理组持水力下降的趋势十分缓慢,表明复合材料组的鲈鱼样品保持着新鲜度,证实复合材料组起到了保鲜效果。

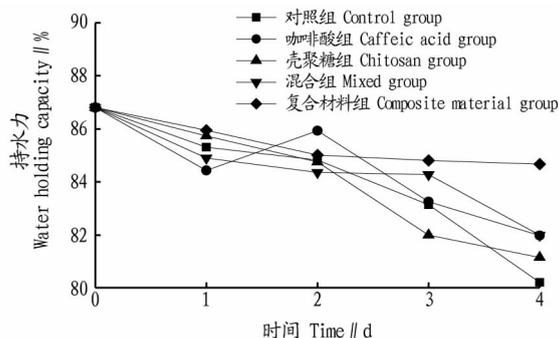


图5 鲈鱼冷藏保鲜期间持水力的变化

Fig. 5 Changes of water holding capacity in sea perch during cold storage

### 3 结论

以壳聚糖为主体,利用壳聚糖上氨基和羟基作为接枝点,通过接聚共聚反应引入咖啡酸,形成新的壳聚糖咖啡酸衍生物。以挥发性盐基氮、菌落总数、pH、持水力以及感官评价作为评价指标,分析了0.20%咖啡酸、2%壳聚糖、0.20%咖啡酸+1.8%壳聚糖、2%壳聚糖-咖啡酸衍生物对鲈鱼的保鲜

(下转第224页)

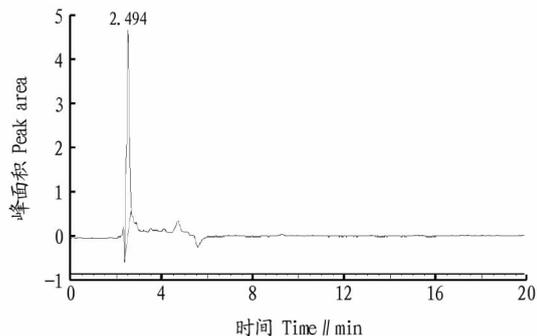


图2 空白样品色谱图

Fig.2 Blank sample chromatograms

胺苯甲酯的效率进行比较,发现采用甲醇溶液超声波提取方法回收率最高,饲料成分复杂,提取液杂质较多,目标物不易分离。有文献报道<sup>[6,9]</sup>,采用固相萃取柱对试液进行净化,考虑到乙氧酰胺苯甲酯在饲料添加量在8 mg/kg左右,用固相萃取柱净化回收率变化不大,因此采用甲醇超声波提取离心后直接上机检测,方法能够减少杂质干扰,降低成本,回收率稳定。

**3.2 荧光检测条件的确定** 目前,国内外文献报道液相色谱法测定乙氧酰胺苯甲酯的方法中<sup>[10]</sup>,采用270 nm紫外波长测定,因鸡配合饲料中乙氧酰胺苯甲酯含量较低,试验中发现检测灵敏度低,杂质干扰比较严重,不能满足检测。该方法用荧光检测器进行检测,将仪器激发波长设定为200 nm,发射波长扫描范围设定在210~800 nm,发现发射波长在350 nm处有最大吸收,将350 nm波长作为发射波长固定下来;再做激发波长扫描,发现激发波长在306 nm处有最大吸收。因此确定荧光检测条件为激发波长306 nm、发射波长350 nm,相对于紫外检测波长提高了灵敏度2~3个数量

(上接第209页)

效果。结果表明,在试验0~4 d,对照组鲈鱼样品的pH上升快、挥发性盐基氮含量高(最高达332 mg/kg)、菌落总数对数值最高达7.1 log(CFU/mL)、持水力下降快(降到最低80.2%)、感官评价最低。其他处理组只有壳聚糖复合材料处理组达到预期效果:pH上升速度最慢,挥发性盐基氮含量的升高速度最慢(含量低至126 mg/kg,直到试验结束时为196 mg/kg)、菌落总数增长最低[试验结束只增长至4.8 log(CFU/mL)]、持水力一直保持最强、感官评分一直稳定在各组的最高分值。壳聚糖复合材料对4℃冷藏的鲈鱼样品具有保鲜效果。壳聚糖复合材料抑制了腐败微生物的繁殖,减缓了鲈鱼样品新鲜度的下降速度,可以延长鲈鱼样品的货架期。

#### 参考文献

- [1] 曹丽娟,张晓杰,周文博,等.壳聚糖复合抑菌保鲜膜的研制及其性能研究[J].中国酿造,2019,38(1):145-148.
- [2] 封晴霞,赵雄伟,陈志周,等.壳聚糖及其应用研究进展[J].食品工业科技,2018,39(21):333-336,341.
- [3] XU D, QIN H R, REN D. Prolonged preservation of tangerine fruits using chitosan/montmorillonite composite coating [J]. Postharvest biology and

technology, 2018, 143:50-57.

级,提高特异性,同时减少了杂质干扰。

**3.3 配伍药物干扰因素** 盐酸氨丙啉、磺胺喹噁啉和尼卡巴嗪是与乙氧酰胺苯甲酯配伍使用的3种抗球虫药物<sup>[11]</sup>,分别取上述标准品约10 mg,用乙腈溶解后,上机检测,结果显示在该色谱条件下均未检测出色谱峰,对乙氧酰胺苯甲酯检测没有干扰,表明该方法具有很强的专属性。

#### 4 结论

该研究建立了高效液相色谱-荧光检测法测定饲料中乙氧酰胺苯甲酯含量的方法,通过试验,方法灵敏度高、专属性强、重复性好、操作简便,适用于检测饲料中乙氧酰胺苯甲酯的含量。

#### 参考文献

- [1] 丁佳雯,翁亚彪,朱建荣.乙氧酰胺苯甲酯等药物防治鸡盲肠球虫病的疗效试验[J].养禽与禽病防治,2004(10):2-3.
- [2] 邵德佳,刘佩玉.紫外分光光度法测定盐酸氨丙啉、乙氧酰胺苯甲酯预混剂中各组分的含量[J].中国兽药杂志,2000,34(2):29-31.
- [3] 万仁玲,丁荣华.用TLC法分析乙氧酰胺苯甲酯对照品的纯度[J].中国兽药杂志,1997,31(2):27-28.
- [4] 刘国艳,柴春彦,申兆菊.电化学传感器法检测动物性产品中残留乙氧酰胺苯甲酯[C]//中国畜牧兽医学会.中国畜牧兽医学会2006学术年会论文集(上册).北京:中国农业出版社,2006:4.
- [5] 岳振峰,康海宁,陈小霞,等.液相色谱串联质谱法测定鸡肉中20种抗球虫药物多残留[J].分析化学,2012,40(8):1262-1266.
- [6] 杨林,薄永恒,高迎春,等.高效液相色谱法检测鸭、鹅可食组织中乙氧酰胺苯甲酯残留量[J].江苏农业科学,2015,43(3):265-267.
- [7] 中国兽药典委员会.中华人民共和国兽药典:一部[S].北京:中国农业出版社,2015.
- [8] 动物源食品中乙氧酰胺苯甲酯残留检测方法——高效液相色谱法[J].中国兽药杂志,2002,36(10):7-8.
- [9] 吴昊,刘成全,宋亚伟,等.HPLC-DAD同时检测饲用植物提取物中非法添加唑乙醇和乙酰甲唑的含量[J].安徽农业科学,2018,46(24):152-154,194.
- [10] 徐士新,仲锋,郭文林.乙氧酰胺苯甲酯在鸡组织中残留的检测及消除规律的研究[J].中国兽药杂志,1999,33(3):6-11.
- [11] 王淑芬,葛明伟,李三鸣.饲料中尼卡巴嗪、乙氧酰胺苯甲酯共存时含量测定方法的研究[J].辽宁畜牧兽医,1997(1):23-26.

- [4] TAPILATU Y, NUGRAHANI P S, GINZEL T, et al. Nano-chitosan utilization for fresh yellowfin tuna preservation [J]. Aquatic procedia, 2016, 7: 285-295.
- [5] 宗传晖,徐国园,孙煜昂,等.壳聚糖接枝共聚改性最新研究进展[J].高分子通报,2017,12(5):19-28.
- [6] ARVANITTOYANNIS I S, NAKAYAMA A, AIBA S. Chitosan and gelatin based edible films: State diagrams, mechanical and permeation properties [J]. Carbohydrate polymers, 1998, 37:371-382.
- [7] VÁSCONEZ M B, FLORES S K, CAMPOS C A, et al. Antimicrobial activity and physical properties of chitosan-tapioca starch based edible films and coatings [J]. Food research international, 2009, 42(7):762-769.
- [8] 吴春华.壳聚糖衍生物分子修饰机理及其在银鲑鱼保鲜中的应用研究[D].杭州:浙江大学,2017:16-20.
- [9] 雷志方,谢晶,李彦妮,等.不同包装方式对金枪鱼保鲜效果的分析比较[J].现代食品科技,2016,32(8):233-239.
- [10] 谢晶,杨胜平.生物保鲜剂结合气调包装对带鱼冷藏货架期的影响[J].农业工程学报,2011,27(1):376-382.
- [11] DUAN J Y, JIANG Y, CHERIAN G, et al. Effect of combined chitosan-krill oil coating and modified atmosphere packaging on the storability of cold-stored lingcod (*Ophiodon elongates*) fillets [J]. Food chemistry, 2010, 122(4):1035-1042.
- [12] 张成云,王璇,关文强,等.冰温冷藏鲜肉的菌落总数动态变化预测模型拟合验证[J].肉类研究,2019,33(1):31-36.
- [13] 周强,刘蒙佳,蔡倩敏,等.壳聚糖复合膜在草鱼保鲜中的应用[J].江苏农业科学,2017,45(3):159-162.