

EVOH-植酸复合活性包装膜对鲈鱼肉的保鲜效果

黄佳珺^{1,2}, 李美锦^{1,2}, 陈亚楠^{1,2}, 蔡俊^{1*}, 钜晓艳², 李海蓝^{2*}

(1. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 湖北武汉 430068)

(2. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

摘要: 选用基膜材料乙烯-乙醇共聚物 (EVOH), 分别掺入 0.05%、0.1%、0.2% (质量分数) 的植酸, 采用双螺杆挤出吹塑法制备得到安全保鲜薄膜, 测定其透光率、水蒸气透过系数、雾度及抗拉强度来考察膜的基本性能。在冷藏 (4±1) °C 条件下使用聚乙烯 (Polyethylene, PE)、EVOH 及复合膜对鲈鱼肉进行保鲜, 并以菌落总数 (Total Viable Counts, TVC)、pH 值、汁液流失率、挥发性盐基氮 (Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸 (Thiobarbituric Acid, TBA) 以及感官评分作为鲜度指标评价其保鲜效果。与 PE 膜相比, 添加 0.2% 植酸的复合膜雾度涨幅达到 85.43%, 透光率及抗拉强度显著下降 ($P<0.05$)。贮藏期间, 不同包装膜内样品的 TVC、汁液流失率、TVB-N、TBA 值均有不同程度的增加, 其中 PE 膜与 EVOH 膜内样品的 TVC 值分别于第 6、8 d 达到不可接受的水平, 而植酸的加入能有效的抑制各鲜度指标的增幅; 与复合膜组相比, PE 膜的鱼肉样品感官劣变更为显著 ($P<0.05$)。综上所述, EVOH 复合 0.2% 植酸制成的活性薄膜对鲈鱼肉具有最佳的保鲜效果, 可使鲈鱼肉保鲜期在 (4±1) °C 条件下延长至 8 d。

关键词: 保鲜; 鲈鱼; 植酸; 复合膜; 乙烯-乙醇共聚物 (EVOH)

文章编号: 1673-9078(2023)04-146-153

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.4.0557

Fresh-keeping Effect of EVOH-phytic Acid Composite Active Packaging Films on Bass (*Lateolabrax japonicus*) Meat

HUANG Jiajun^{1,2}, LI Meijin^{1,2}, CHEN Yanan^{1,2}, CAI Jun^{1*}, ZU Xiaoyan², LI Hailan^{2*}

(1.College of Bioengineering and Food, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

(2.Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

Abstract: Ethylene-vinyl alcohol copolymer (EVOH) was used as the base film material, 0.05%, 0.1% and 0.2% phytic acid was added respectively to the base film material to prepare safe fresh-keeping film by the twin-screw extrusion blow molding method. The light transmittance, water vapor transmission coefficient, haze and tensile strength were used to investigate the basic properties of the film. Bass meat was preserved by polyethylene (PE), EVOH and composite film under refrigerated (4±1) °C conditions, and the total viable counts (TVC), pH value, juice loss rate, total volatile basic nitrogen (TVB-N), thiobarbituric acid (TBA) and sensory score were used as freshness index to evaluate the freshness. Compared with the PE film, the haze of the composite film with 0.2% phytic acid increased to 85.43%, and the light transmittance and tensile strength decreased significantly ($P<0.05$). During storage, the TVC, juice loss rate, TVB-N and TBA values of the samples in different packaging films increased in varying degrees, with the TVC values of the samples in the PE film and EVOH film reached unacceptable levels on the 6th and 8th day, respectively, whilst the addition of phytic acid could effectively inhibit the increase of each freshness index. Compared with the composite film, the sensory deterioration of the fish samples wrapped with PE film became significant ($P<0.05$). To sum up,

引文格式:

黄佳珺, 李美锦, 陈亚楠, 等. EVOH-植酸复合活性包装膜对鲈鱼肉的保鲜效果[J]. 现代食品科技, 2023, 39(4): 146-153.

HUANG Jiajun, LI Meijin, CHEN Yanan, et al. Fresh-keeping effect of EVOH-phytic acid composite active packaging films on bass (*Lateolabrax japonicus*) meat [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(4): 146-153.

收稿日期: 2022-05-04

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金资助 (CARS-46); 湖北省农业科学院青年基金项目 (2016NKYJJ26)

作者简介: 黄佳珺 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: hjj455qq@126.com

通讯作者: 蔡俊 (1968-), 男, 博士, 教授, 研究方向为生物工程, E-mail: hgdcailun@hbut.edu.cn; 共同通讯作者: 李海蓝 (1985-), 男, 博士, 助理研究员,

研究方向: 水产品保鲜研究, E-mail: hl.li@hbaas.com

the active film made of EVOH combined together with 0.2% phytic acid has the greatest fresh-keeping effect on the meat of bass, and can prolong the shelf life to 8 days at (4±1) °C.

Key words: preservation; bass; phytic acid; composite film; ethylene-vinyl alcohol copolymer (EVOH)

鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*), 俗称大口黑鲈, 又名加州鲈鱼, 属于真鲈科。2020 年我国淡水鲈鱼养殖量达 61.96 万 t, 与 2019 年相比养殖量增加 29.66%^[1]。鲈鱼肉质细美、富有极佳的营养价值, 具有高蛋白低脂肪的特点, 是附带药用价值的经济鱼类之一^[2]。淡水鲈鱼含水量较海鲈鱼更高, 常温下体内酶活性最强, 导致鱼体自溶速率加快, 极易腐败变质, 造成大量鲈鱼资源的浪费^[3]。为了缓解这种浪费现象, 提高鲈鱼的市场经济, 可通过制备具有抑菌活性的包装薄膜来延长产品的货架期。

植酸 (Phytic Acid, PA, 分子式为 $C_6H_{18}O_{24}P_6$), 是一种提取自植物种子、根干与茎中的有机磷酸类化合物, 又称肌醇六磷酸^[4]。植酸在食品加工工业、日用化学、化工中的应用广泛, 是天然无污染的添加剂、抗氧化剂^[5,6]、稳定剂^[7,8]。Kim 等^[9]研究显示, 在相同的浓度下, PA 对耐酸大肠杆菌 O157:H7 的杀菌效果明显强于其他有机酸, 有效的破坏了病原菌的外膜完整性, 可作为一种良好的防腐剂。

在过去的十年里, 具有抗菌活性的材料引起了人们的兴趣, 这种材料在对抗细菌和真菌污染方面具有巨大的潜力。EVOH 由于其优异的高阻氧性常应用于食品包装, EVOH 由一条带有羟基取代基的亲水链段和来自乙烯的烯烃和疏水链段组成, 具有亲水性^[10], 由于 EVOH 的极性性质, 这反过来又阻碍了它对气体的阻隔性能^[11]。EVOH 材料已被用作开发活性包装系统的基膜, 在活性包装系统中, 聚合物在储存过程中保护活性物质, 并在吸湿时触发活性^[12], 可有效提高膜包装材料的保鲜效果。Luzi 等^[13]以咖啡酸为活性成分, 通过溶剂浇铸的方法成功地实现了 EVOH 薄膜的高抗氧化性能, Ju 等^[14]利用芳香精油 (EOS) 的挥发性与 EVOH 复合制备成包装膜, 进一步扩大其在抗菌包装系统中的应用。目前国内尚未有植酸与 EVOH 复合制备抗菌包装膜的相关报道, 且消费者更倾向于使用天然制剂而不是合成制剂, 因此研究具有抗菌活性的天然化合成成分应用到食品包装是必要的。

本实验以 EVOH 与植酸为原料, 将植酸以 0.05%、0.1%、0.2% 的比例 (*m/m*) 添加到 EVOH 树脂颗粒中制备出不同比例的 EVOH-植酸活性共混膜。将鲈鱼肉切块装袋置于 4 °C 环境下冷藏保鲜, 通过检测其各个鲜度指标, 来评价抗菌薄膜的保鲜性能。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 实验材料

新鲜大口黑鲈, 购自武汉市洪山区南湖大道南湖悦活里生活广场; 乙烯-乙烯醇共聚物 (EVOH), 日本可乐丽公司; 植酸 (50%), 宜昌市瑞丰生物工程有限公司; 聚乙烯 (PE), 国家农产品保鲜工程中心。

1.1.2 实验试剂

硫代巴比妥酸、乙二胺四乙酸二钠、三氯乙酸、氧化镁、硼酸、溴甲酚绿指示剂、盐酸、甲基红指示剂、无水乙醇, 均为分析纯, 上海麦克林生化科技有限公司; 平板计数琼脂, 青岛高科技工业园海博生物技术有限公司。

1.2 实验仪器与设备

SHJ-65 双螺杆挤出机, 南京杰恩特; 双螺杆单机造粒机, 单螺杆挤出机, 四川环宝机械制造有限公司; K1160 全自动型凯氏定氮仪, 济南海能仪器股份有限公司; WGW 光电雾度仪, 上海精科; TA-XTPlus 质构仪, 英国 Stable Micro System 公司; DZ-500/2SA 双室真空包装机, 温州桌腾包装机械有限公司; 恒温培养摇床、LRH-250 生化培养箱、电热鼓风干燥箱, 海一恒科学仪器有限公司; BSA224S 电子天平, 北京赛多利斯科学仪器有限公司; PHB-5 型 pH 计, 杭州奥立龙仪器有限公司; Q5200DE 型数控超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 复合包装膜的制备方法

表 1 复合膜

Table 1 Composite films

组别	配比
E-PA-0.05%	EVOH+0.05% PA
E-PA-0.1%	EVOH+0.1% PA
E-PA-0.2%	EVOH+0.2% PA

参照 Barilook 等^[15]的方法略做修改, 具体薄膜制备过程如下: 将 EVOH 原料树脂与指定百分比的 PA (见表 1) 称重混合, 利用同向旋转双螺杆挤出机进行复合材料的熔融混合, 调整螺杆转速为 500 r/min, 温度设

为(200±10)℃。用造粒机将复合材料切割成颗粒,再进入单螺杆挤出机成膜,待冷却后得到复合薄膜。

1.3.2 鲈鱼的处理

新鲜鲈鱼经去皮、骨及内脏处理后,经去离子水冲洗,选取鲈鱼两侧鱼肉切成约5 cm×5 cm×2 cm块状大小,用滤纸擦拭掉鱼肉表面的水,分别用PE、EVOH、E-PA-0.05%、E-PA-0.1%、E-PA-0.2%薄膜包裹,抽真空密封并置于(4±1)℃环境中储藏。第0、2、4、6、8、10天时各个包装膜中取5个样品作为平行组,进行鲜度指标测定。

1.3.3 鲈鱼指标测试

1.3.3.1 复合包装膜的性能测定

称取平整均匀无划痕的不同包装膜各2.00 g,按照GB/T 1037-1988《塑料薄膜和片材透水蒸气性试验方法》中的杯式法测定不同膜组的水蒸气透过系数,每组膜进行3次平行测试。

将复合薄膜及EVOH膜分别裁剪成50 mm×50 mm大小,参照GB/T 2410-2008《透明塑料透光率和雾度的测定》,用光电雾度仪测试不同薄膜试样的雾度和透光率。参照GB/T 1040.3-2006《塑料:拉伸性能的测定》第三部分,于质构仪上评估其抗拉强度。每组至少三次重复试验,计算公式如下:

$$\sigma = \frac{F}{X \times W} \quad (1)$$

式中:

- σ ——抗拉强度,MPa;
- F ——最大拉伸强度,N;
- W ——膜宽度,mm;
- X ——膜厚度,mm。

1.3.3.2 菌落总数测定

采用GB 4789.2-2010《食品微生物学检验:菌落总数的测定》,对不同膜包裹贮藏的鱼肉样品进行菌落总数测定。

1.3.3.3 TVB-N(总挥发性盐基氮)含量的测定

根据GB 5009.228-2016《食品安全国家标准:食

品中挥发性盐基氮的测定》中的半微量定氮法执行,测定鱼肉样品的TVB-N含量。

1.3.3.4 TBA(总胆汁酸)值的测定

分别称取5.00 g鱼肉样品,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,进行检测,按照公式(2)进行计算。

$$TBA = \frac{cV \times 1000}{m \times 1000} \quad (2)$$

式中:

c ——从标准系列曲线中得到的试样溶液中丙二醛的浓度, $\mu\text{g/mL}$;

V ——试样溶液定容体积,mL;

m ——最终试样溶液所代表的试样质量,g。

1.3.3.5 汁液流失率的测定

参考雷志方等^[16]的方法,测定鲈鱼样品的汁液流失率。贮藏期内,称取大小与重量尽可能一致的鲈鱼肉样品,记为 M_1 ,置于不同保鲜膜内真空封存。在进行指标检测之前将保鲜膜打开,用滤纸吸净鱼肉样品表面及膜内侧的汁液,并对鱼肉样品进行称重,记为 M_2 ,按照公式(3)进行计算。

$$L = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

L ——汁液流失率,%;

M_1 ——贮藏前鲈鱼肉样品质量,g;

M_2 ——不同保鲜膜封存贮藏后的鲈鱼肉样品质量,g。

1.3.3.6 pH值的测定

称取10.00 g切碎的鱼肉样品于烧杯中,加入90 mL去离子水同时玻璃棒快速搅拌,于4℃下静置30 min后过滤,取过滤后的上清液用PHB-5型pH计测定。

1.3.3.7 感官评价

以鲈鱼样品的气味、色泽、外形和质感作为指标进行感官评定,随机挑选6名人员组成,每2 d进行一次评价^[17]。鱼肉样品随机抽取,评定人员按照表2评分标准进行打分。

表2 鲈鱼感官评分标准

Table 2 The sensory scoring criteria of bass

指标	好(5分)	较好(4分)	一般(3分)	较差(2分)	差(1分)
气味	新鲜鱼味	无异味	略有鱼腥味	有腥臭味	腥臭味浓烈
色泽	颜色正常,切面富有光泽	颜色正常,切面稍有光泽	颜色稍暗淡,切面稍有光泽	颜色较暗淡,切面无光泽	颜色暗沉,切面无光泽
外形	无汁液渗出,表面紧致光滑	少量透明汁液渗出,表面紧致光滑	少量淡黄色汁液渗出,表面粗糙,	黄色汁液流失较多,表面松软	汁液流失多且颜色浓稠,表面有明显塌陷
质感	富有弹性,肉质坚实致密	富有弹性,肉质较致密	弹性适中,肉质较紧密,局部变软	稍有弹性,肉质不紧密,局部松散	肉质整体松散,无弹性

1.4 数据分析

每组实验数据至少进行三次重复,数据采用 Microsoft Office Excel 2010 进行收集与处理,结果用平均值±标准偏差进行表示。图表采用 Origin 2019、Adobe illustrator CS6 绘制,SPSS 26.0 软件对数据进行显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 活性包装膜的基本性能

表 3 列出了薄膜的透光率、雾度、抗拉强度以及水蒸气透过系数。抗拉强度反映薄膜的力学性能,透光率与雾度反映薄膜的光学性能。由表 3 数据可知,与 EVOH 组相比,E-PA-0.05% 组的透光率、抗拉强度、雾度差异皆不显著 ($P>0.05$),随着 PA 质量浓度的增加,E-PA-0.1%、E-PA-0.2% 两组的透光率、抗拉强

度及雾度与其他组相比皆呈现显著差异 ($P<0.05$),但两组间差异不显著 ($P>0.05$),其中透光率、抗拉强度显著下降 ($P<0.05$),雾度显著增加 ($P<0.05$)。薄膜抗拉强度的下降可能是因为植酸的加入削弱了分子间的氢键效果,降低了分子链的灵活性,从而使复合膜的力学性能下降^[18];添加 PA 后薄膜的透光率有所下降,添加量为 0.2% 时达到 85.43,仍保留了较好的光学性能;添加 0.05%、0.1%、0.2% PA 时雾度的上升幅度分别达到 15.02%、58.74%、85.43%,表明 PA 的添加使薄膜的阻隔性能得到了改善。水蒸气透过系数考察复合膜的阻湿性能,PA 的添加对其影响不显著 ($P>0.05$),梁晓红等^[19]的试验得出结果,EVOH 具有高阻氧性,与 PA 复合后可能改善其极性,阻碍非极性氧分子的透过,而对极性水分子来说,EVOH 的极性增加对其阻隔性并未有明显改善,这也与本实验结果相符。

表 3 薄膜性能
Table 3 Film properties

组别	透光率/0.1%	雾度/0.01%	抗拉强度/MPa	水蒸气透过系数/ $10^{-15}(\text{g m}/[\text{m}^2 \text{ s Pa}])$
EVOH	91.83±1.53 ^a	4.46±0.89 ^b	27.54±1.98 ^a	4.78±0.3384 ^a
E-PA-0.05%	90.70±1.29 ^a	5.14±0.65 ^b	26.36±2.37 ^a	4.63±0.43 ^a
E-PA-0.1%	87.50±1.48 ^b	7.08±0.92 ^a	21.28±1.51 ^b	4.54±0.84 ^a
E-PA-0.2%	85.43±1.35 ^b	8.27±0.59 ^a	18.82±1.66 ^b	4.49±0.48 ^a

注:同一列中不同字母的数值差异显著 ($P<0.05$),数值为三次重复±标准差 (S.D.) 的平均值。

2.2 菌落总数的变化

细菌滋生致使鱼肉发生腐败,因此菌落总数是评价膜材料对鲈鱼保鲜效果的重要指标。如图 1 所示,不同包装膜内样品菌落总数随贮藏时间的延长而显著上升 ($P<0.05$)。鱼肉样品的菌落总数初始值为 2.81 lg CFU/g,经 PE 处理样品的菌落总数在贮藏期一直高于其他处理组。根据 GB 10136-2015《食品安全国家标准动物性水产制品》要求,即食生制动物性水产品可接受的微生物限量为 5×10^4 CFU/g。PE 组和 EVOH 组中鱼肉菌落总数分别于第 6、8 天超出最大可接受值,分别达到了 5.31 lg CFU/g 和 5.19 lg CFU/g, E-PA-0.05%、E-PA-0.1%、E-PA-0.2% 三组样品贮藏至第 10 天时,菌落总数值皆超过最大可接受范围,且各组之间差异不显著 ($P>0.05$),分别为 5.30、5.21、5.13 lg CFU/g。与 PE 和 EVOH 膜处理组相比,添加了 PA 的膜处理组具有较强的抑菌效果 ($P<0.05$),可有效延长样品的贮存时间。高飞雄等^[20]试验证明植酸可通过破坏菌体细胞膜的完整性来抑制有害菌,抑制效果随 PA 浓度增高而显著,这与本试验的结果一

致。PA 潜在的抗菌活性^[2],缓解了 EVOH 因吸湿被塑化后导致的阻隔性能下降,从而延长包装膜保鲜时间,起到延缓鱼肉变质腐败的效果。

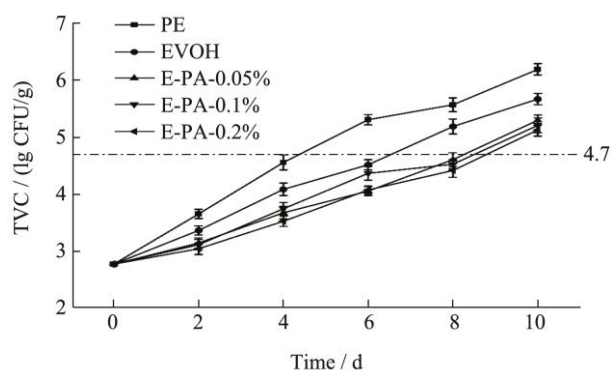


图 1 鲈鱼的菌落总数

Fig.1 The total viable counts of bass

2.3 TVB-N 含量的变化

TVB-N 是指动物性食品在腐败过程中产生的含氮物质,通常用来衡量其变质程度^[21],GB 2733-2015《鲜、冻动物性水产品卫生标准》要求淡水鱼虾的 TVB-N 值 $\leq 20 \text{ mg}/100 \text{ g}$ 为合格品。5 种膜处理中鲈鱼

样品的 TVB-N 含量的变化如图 2 所示, 初始 TVB-N 含量为 8.91 mg/100 g, 不同膜处理组样品的 TVB-N 含量随着贮藏时间有显著提升 ($P < 0.05$)。EVOH、E-PA-0.05%、E-PA-0.1% 和 E-PA-0.2% 组中的样品 TVB-N 含量增涨趋势较 PE 组更平稳, 但 PE 组和 EVOH 组样品的 TVB-N 含量在第 8 天分别达到了 22.61、20.09 mg/100 g, 具有显著差异 ($P < 0.05$), 超过卫生限值发生了腐败, 而 PA 添加量为 0.05%、0.1%、0.2% 组样品的 TVB-N 值在第 10 d 分别达到 23.74、22.67、21.99 mg/100 g, 其中 E-PA-0.05% 与 E-PA-0.2% 组间差异显著 ($P < 0.05$), 即不同膜的保鲜程度为: PA 复合膜 > EVOH 膜 > PE 膜, 加入 PA 后的 EVOH 包装膜保鲜效果最佳^[22]。结合图 1、2 分析, TVB-N 在贮藏过程中的增加与微生物及内源酶的活性有关^[23,24], TVB-N 含量随微生物的生长而积累^[25], PA 的加入能有效的抑制微生物滋生, 降低贮藏期间挥发性含氮物的产生速度, 使 TVB-N 的增长趋势减缓。

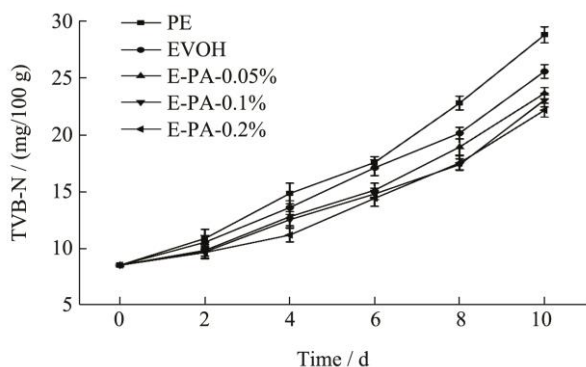


图 2 鲈鱼的 TVB-N 含量

Fig.2 The TVB-N content of bass

2.4 TBA 值的变化

TBA 值用来反映鲈鱼鱼肉脂肪的最终氧化程度, TBA 值越高, 脂肪的氧化程度越高, 鱼肉的变质效果越明显。如图 3 所示, 贮藏期间, 鲈鱼样品的初始 TBA 值为 0.26 mg MDA/kg, 不同膜处理下鲈鱼样品的 TBA 值显著增加 ($P < 0.05$), EVOH、PA 复合膜中鲈鱼样品的 TBA 值均显著低于 PE 处理膜 ($P < 0.05$)。第 4 天时 PE 和 EVOH 袋中的 TBA 值分别达到 0.49 mg MDA/kg 和 0.43 mg MDA/kg, 而 E-PA-0.05%、E-PA-0.1% 和 E-PA-0.2% 三组的 TBA 值分别达到 0.36、0.34、0.33 mg MDA/kg。0~6 d 时三种不同浓度 PA 的复合膜样品 TBA 值差异不显著 ($P > 0.05$), 第 8 天时 E-PA-0.2% 组较其他两种复合膜的 TBA 值更低, 具有显著差异 ($P < 0.05$), EVOH、E-PA-0.05% 及 E-PA-0.1% 三组的 TBA 值差异不显著 ($P > 0.05$)。由于 EVOH 具有气体阻隔性, 贮藏初期, 外界氧气极少能进入

EVOH 包装膜中, 脂肪氧化发生在包装膜内, 由包装时残存的氧气引起^[26]。贮藏中后期, 鱼肉产生的水分增多, 水分子的塑化作用导致 EVOH 包装膜的隔氧性降低^[27], 脂肪氧化程度加剧的同时 TBA 值增长加速, 而添加 PA 的复合包装膜可以降低对氧气阻隔性的影响, 从而减缓脂肪的氧化^[19]。

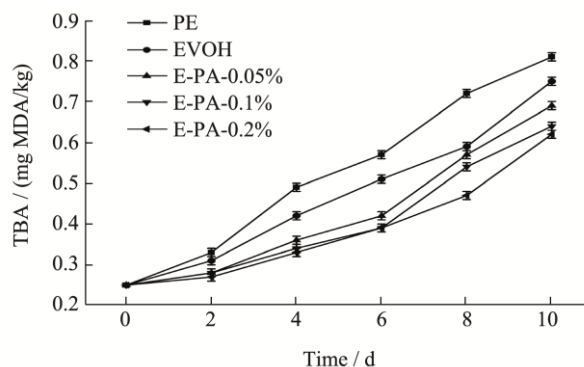


图 3 鲈鱼的 TBA 含量

Fig.3 The TBA content of bass

2.5 汁液流失率的变化

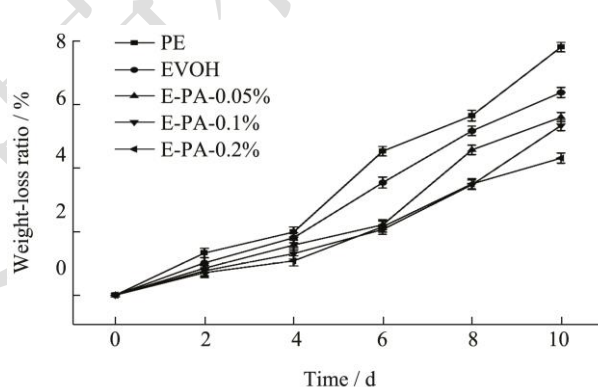


图 4 鲈鱼的汁液流失率变化

Fig.4 Changes in water holding capacity of bass

如图 4, 各包装膜内样品的汁液流失率在整个贮藏过程中呈前期缓慢、后期迅速的增长趋势, 整体呈上升趋势。贮藏过程中, PE 组样品的汁液流失率增长趋势较其他组差异显著 ($P < 0.05$), 第 10 天时 PE 组的汁液流失率达到 7.82%, 与 EVOH 组相差 1.4%, 与其他三组依然相差 2.2% 以上, 其中 E-PA-0.2% 组的增长趋势最为缓慢 ($P < 0.05$)。添加 PA 的复合膜组之间差异并不显著, 但与其余组相较汁液流失率变化显著 ($P < 0.05$)。E-PA-0.2% 组在第 10 天的汁液流失率较 E-PA-0.1% 组显著下降 ($P < 0.05$)。汁液的流失是由于贮藏期内微生物大量繁殖, 导致鱼肉组织被降解, 营养物质被分解、氧化等^[23], 最终引起产品质量的下降。结合图 1、4 观察, 抑菌效果越佳的包装膜其汁液流失率就越低, 由此可见样品的汁液流失率与薄膜的抑菌性能有关。而 PA 的螯合特性能起到抑制细菌分

裂和破坏细胞壁完整性的能力^[28], 从而使得鱼肉样品的汁液流失减缓, 这与王庆丽等^[29]的实验数据一致。

2.6 pH 值的变化

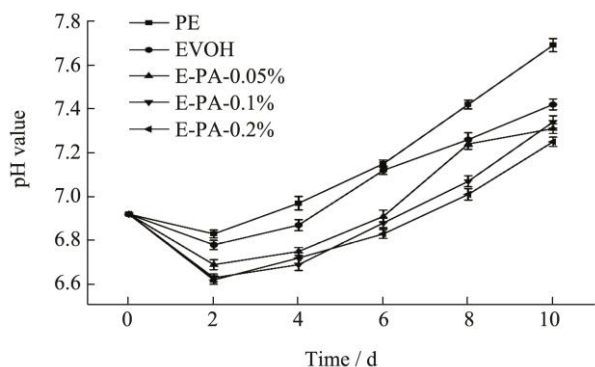


图5 鲈鱼的 pH 值变化

Fig.5 Changes in pH value of bass

pH 值可用于判断动物糖原转化为乳酸以及肌肉蛋白质和核酸的降解情况。如图 5 所示, 鲈鱼样品的 pH 值在贮藏期内呈现先降后升的趋势。鲈鱼贮藏前期鱼肉中 pH 值因糖原的酵解反应产生乳酸等造成 pH 值

的下降^[30]。贮藏中 pH 值的升高主要来自微生物代谢作用, 微生物滋生使得肌肉蛋白质和非蛋白质含氮化合物释放碱性化合物的速度加快, 碱性化合物不断累积^[31]。鲈鱼样品的初始 pH 值为 6.95, 第 2 天, PE 和 EVOH 组的 pH 值小幅下降到 6.83 和 6.79, 而添加植酸 0.05%、0.1%、0.2% 的处理组则分别下降到 6.69、6.63、6.62。直到第 4 天, 不同包装膜样品的 pH 值都开始上升, 且 PE 组样品 pH 的增长速度显著高于其他各组 ($P < 0.05$)。第 8 天时, E-PA-0.1% 与 E-PA-0.2% 两组与其他组差异显著 ($P < 0.05$)。结合图 1、5 可知, 鱼肉样品 pH 值变化的总体趋势与其腐败变质的速度存在一定的相关性: 0~4 d 时, 鲈鱼样品的整体菌落总数偏低, 鲈鱼样品的 pH 值增长较迟缓; 4~10 d 微生物开始大量繁殖, 碱性化合物逐渐积累使 pH 值增长趋势显著 ($P < 0.05$), 而 PA 复合膜可抑制贮藏期间鱼肉样品微生物的滋生, 导致蛋白质分解产生挥发性含氮物的速度减缓, 延缓其 pH 值的变化。

2.7 感官评价

表 4 鲈鱼感官评价

Table 4 The sensory evaluation of bass

指标	组别	贮藏时间/d					
		0	2	4	6	8	10
气味	PE	5.00±0.00 ^A	4.36±0.12 ^{Bc}	3.75±0.15 ^{Cb}	2.79±0.11 ^{Dc}	2.22±0.17 ^{Ec}	1.37±0.14 ^{Fd}
	EVOH	5.00±0.00 ^A	4.51±0.09 ^{Bbc}	3.97±0.09 ^{Cab}	3.28±0.14 ^{Db}	2.47±0.12 ^{Eb}	1.59±0.13 ^{Fcd}
	E-PA-0.05%	5.00±0.00 ^A	4.64±0.11 ^{Bab}	4.13±0.16 ^{Ca}	3.43±0.15 ^{Dab}	2.81±0.14 ^{Ea}	1.75±0.11 ^{Fbc}
	E-PA-0.1%	5.00±0.00 ^A	4.63±0.13 ^{Bab}	4.09±0.15 ^{Ca}	3.47±0.09 ^{Dab}	2.76±0.15 ^{Ea}	1.90±0.09 ^{Fb}
	E-PA-0.2%	5.00±0.00 ^A	4.77±0.08 ^{Ba}	4.19±0.13 ^{Ca}	3.61±0.12 ^{Da}	2.98±0.11 ^{Ea}	2.14±0.14 ^{Fa}
质感	PE	5.00±0.00 ^A	4.47±0.09 ^{Bb}	3.85±0.13 ^{Cc}	3.11±0.14 ^{Dc}	2.41±0.11 ^{Eb}	1.44±0.15 ^{Fd}
	EVOH	5.00±0.00 ^A	4.54±0.11 ^{Bab}	3.94±0.13 ^{Cbc}	3.21±0.09 ^{Dbc}	2.70±0.13 ^{Ea}	1.57±0.13 ^{Fcd}
	E-PA-0.05%	5.00±0.00 ^A	4.61±0.10 ^{Bab}	4.04±0.11 ^{Cabc}	3.35±0.14 ^{Dab}	2.74±0.11 ^{Ea}	1.72±0.14 ^{Fbc}
	E-PA-0.1%	5.00±0.00 ^A	4.67±0.08 ^{Bb}	4.13±0.10 ^{Cab}	3.39±0.11 ^{Dab}	2.87±0.14 ^{Ea}	1.98±0.15 ^{Fab}
	E-PA-0.2%	5.00±0.00 ^A	4.69±0.13 ^{Ba}	4.20±0.15 ^{Ca}	3.51±0.13 ^{Da}	2.91±0.13 ^{Ea}	2.17±0.17 ^{Fa}
色泽	PE	5.00±0.00 ^A	4.42±0.07 ^{Bb}	3.91±0.12 ^{Ca}	2.84±0.14 ^{Dc}	2.57±0.14 ^{Eb}	1.66±0.15 ^{Fb}
	EVOH	5.00±0.00 ^A	4.56±0.09 ^{Bab}	3.95±0.13 ^{Ca}	3.31±0.11 ^{Db}	2.66±0.11 ^{Eb}	1.74±0.13 ^{Fab}
	E-PA-0.05%	5.00±0.00 ^A	4.58±0.12 ^{Bab}	4.04±0.12 ^{Ca}	3.39±0.13 ^{Db}	2.79±0.15 ^{Eb}	1.87±0.16 ^{Fab}
	E-PA-0.1%	5.00±0.00 ^A	4.64±0.08 ^{Ba}	4.15±0.14 ^{Ca}	3.55±0.13 ^{Dab}	2.80±0.14 ^{Eb}	1.92±0.17 ^{Fab}
	E-PA-0.2%	5.00±0.00 ^A	4.69±0.08 ^{Ba}	4.11±0.11 ^{Ca}	3.78±0.12 ^{Da}	3.17±0.16 ^{Ea}	2.01±0.15 ^{Fa}
整体接受度	PE	5.00±0.00 ^A	4.49±0.08 ^{Bb}	3.88±0.11 ^{Cc}	3.01±0.14 ^{Dc}	2.48±0.13 ^{Ec}	1.52±0.11 ^{Fc}
	EVOH	5.00±0.00 ^A	4.53±0.07 ^{Bab}	3.97±0.09 ^{Cbc}	3.33±0.12 ^{Db}	2.61±0.11 ^{Ebc}	1.78±0.16 ^{Fbc}
	E-PA-0.05%	5.00±0.00 ^A	4.61±0.08 ^{Bab}	4.11±0.13 ^{Cb}	3.34±0.13 ^{Db}	2.74±0.14 ^{Eb}	1.91±0.17 ^{Fb}
	E-PA-0.1%	5.00±0.00 ^A	4.66±0.09 ^{Ba}	4.13±0.12 ^{Cb}	3.47±0.15 ^{Db}	2.75±0.13 ^{Eb}	2.01±0.15 ^{Fb}
	E-PA-0.2%	5.00±0.00 ^A	4.65±0.08 ^{Ba}	4.35±0.11 ^{Ca}	3.81±0.14 ^{Da}	3.03±0.15 ^{Ea}	2.59±0.16 ^{Fa}

注: 同一列中不同小写字母表示组别之间差异显著 ($P < 0.05$); 同一行中不同大写字母, 表示贮藏时间组间差异显著 ($P < 0.05$), 数值为三次重复±标准差 (S.D.) 的平均值。

本实验从气味、质感、色泽、整体可接受度四个方面对鲈鱼肉进行评价,并分别进行了显著性分析。根据表4分析,随着贮藏时间的延长,各包装膜内鱼肉样品的感官评分有显著降低趋势($P<0.05$),PE包裹的鱼肉样品评分下降趋势最为明显,复合膜下降趋势较缓。PE包装膜内鱼肉样品在第6天时颜色开始变暗,开始发生腐败并产生黏液;在第8天时,各包装内样品肉质呈现不同程度的柔软粘稠,其中E-PA-0.2%组的鱼肉样品色泽评分达3.17,与其他组差异显著($P<0.05$),贮藏至第10天,E-PA-0.2%组内样品表面渗出汁液并伴有少许鱼腥味,鱼肉颜色为暗黄色,而其他包装膜内样品均带有酸臭味并渗出大量黄色汁液,鱼肉颜色呈黄青色。贮藏过程中微生物繁殖导致鱼肉的组织结构被破坏,鱼肉的硬度、弹性和粘聚性等感官品质均发生改变,伴随着鱼肉内脂肪氧化产生的色素分解,致使鲈鱼样品颜色发生变化。复合PA的膜处理组中良好的抑菌效果以及其基膜材料EVOH对氧气的高阻隔性,使得复合膜组内鲈鱼样品颜色直到第10天才出现明显变化。在整个贮藏过程中,植酸处理延缓了感官评分的下降,这与Sun的研究结果相符^[22]。贮藏过程中E-PA-0.2%复合膜的整体接受度评分显著高于其他组($P<0.05$),表明注入0.2%PA的复合包装膜具有最佳的保鲜性能,能有效的延长鲈鱼鱼肉的货架期。

3 结论

对不同添加量PA的复合包装膜与EVOH膜的基本性能进行检测,发现添加质量分数为0.2%植酸时能显著改变其力学性能,雾度指标涨幅可达到85.43%,复合膜仍保持较好的光学透明度。通过对不同包装膜贮藏后的鲈鱼肉进行各项鲜度指标的检测,TVC、TVB-N、TBA、和汁液流失率均随着贮藏时间增大,而PA的加入能有效抑制样品的腐败,结合感官评价来看,掺入0.2%PA时的保鲜效果最佳,这归因于PA的抗菌、抗氧化功能,及EVOH的阻隔特性。研究表明,EVOH-植酸复合包装膜可以有效地延长鱼肉的货架期至8d,植酸并入聚合物中而不失去其自身的抗菌效果,可作为各种受细菌影响的食品的保鲜包装,可为后续新型食品复合包装膜的研发提供参考和数据支撑。

参考文献

- [1] 农业部渔业局.2021中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2021.
- [2] Liu F, Huang H, Lin W, et al. Effects of temperature on the

denaturation and aggregation of (*Lateolabrax japonicus*) myosin from sea bass surimi [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(5): 15417.

- [3] Cai L, Wu X, Li X, et al. Effects of different freezing treatments on physicochemical responses and microbial characteristics of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicas*) fillets during refrigerated storage [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 59(1): 122-129.
- [4] Dost K, Tokul O. Determination of phytic acid in wheat and wheat products by reverse phase high performance liquid chromatography [J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 558(1): 22-27.
- [5] Mahunu G K, Zhang H, Yang Q, et al. Improving the biocontrol efficacy of *Pichia caribbica* with phytic acid against postharvest blue mold and natural decay in apples [J]. Biological Control, 2016, 92: 172-180.
- [6] Brankovic G, Dragicevic V, Dodig D, et al. Phytic acid, inorganic phosphorus, antioxidants in bread and durum wheat and their associations with agronomic traits [J]. Agricultural and Food Science, 2015, 24(3): 183-194.
- [7] 沙如意,崔艳丽,王少林,等.植酸/植酸钠在食品工业上的应用研究进展[J].现代食品科技,2018,34(6):293-309.
- [8] Li F, Tang Y. Inhibition mechanism: Phytic acid, NADH as a peroxidase inhibitor [J]. Spectrochim Acta a Mol Biomol Spectrosc, 2021, 244: 118856.
- [9] Kim N H, Rhee M S. Phytic acid and sodium chloride show marked synergistic bactericidal effects against nonadapted and acid-adapted *Escherichia coli* O157:H7 strains [J]. Appl Environ Microbiol, 2016, 82(4): 1040-1049.
- [10] Mateo E M, Gómez J V, Domínguez I, et al. Impact of bioactive packaging systems based on EVOH films and essential oils in the control of aflatoxigenic fungi and aflatoxin production in maize [J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 254: 36-46.
- [11] Gavara R, Catalá R, López Carballo G, et al. Use of EVOH for Food Packaging Applications [M]. Elsevier: Reference Module in Food Science, 2016.
- [12] Muriel-Galet V, López-Carballo G, Gavara R, et al. Antimicrobial food packaging film based on the release of LAE from EVOH [J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 157(2): 239-244.
- [13] Luzi F, Torre L, Puglia D. Antioxidant packaging films based on ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH) and caffeic acid [J]. Molecules, 2020, 25(17): 1-14.
- [14] Ju J, Chen X, Xie Y, et al. Application of essential oil as a

- sustained release preparation in food packaging [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 92: 22-32.
- [15] Barikloo H, Ahmadi E, Ahmadi S. Evaluation of PE/POE/PA6 blends containing silica and clay toward nano composite packaging film [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021, 15(3): 2297-2308.
- [16] 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.
- [17] 张群利,崔琳琳,李春伟,等.壳聚糖复合生物保鲜剂对池沼公鱼保鲜品质的影响[J].中国水产,2012,10:68-69.
- [18] 白旭,王愈,王宝刚,等.响应面法优化制备壳聚糖明胶活性膜[J].包装工程,2018,39(9):24-30.
- [19] 梁晓红,呼和,王羽,等.乙烯-乙烯醇共聚物复合膜的力学、热学及阻隔性能研究[J].塑料科技,2015,43(6):21-24.
- [20] 高飞雄,梁引库,李云祥.蒲公英植酸对沙门氏菌抑制作用及其抑菌机理研究[J].天然产物研究与开发,2019,31(6): 975-980,985.
- [21] Bouzarjomehri F, Dad V, Hajimohammadi B, et al. The effect of electron-beam irradiation on microbiological properties and sensory characteristics of sausages [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2020, 168: 1-9.
- [22] Sun X, Hong H, Jia S, et al. Effects of phytic acid and lysozyme on microbial composition and quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets stored at 4 degrees C [J]. Food Microbiol, 2020, 86: 103313.
- [23] Annamalai J, Lakshmi N M, Sivam V, et al. A comparative study on the quality changes of croaker (*Johnius dussumieri*) fish stored in slurry ice and flake ice [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2018, 27(4): 508-517.
- [24] Kuswandi B, Jayus, Larasati T S, et al. Real-time monitoring of shrimp spoilage using on-package sticker sensor based on natural dye of curcumin [J]. Food Analytical Methods, 2011, 5(4): 881-889.
- [25] Moradi M, Tajik H, Almasi H, et al. A novel pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 222: 1-39.
- [26] 魏超昆,刘关瑞,刘雨杨,等.重组复合肉干贮藏过程中脂肪氧化控制研究[J].中国调味品,2016,41(12):11-15.
- [27] Maes C, Luyten W, Herremans G, et al. Recent updates on the barrier properties of ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH): a review [J]. Polymer Reviews, 2018, 58(2): 209-246.
- [28] Liu Y, Wu J, Zhang H, et al. Covalent immobilization of the phytic acid-magnesium layer on titanium improves the osteogenic and antibacterial properties [J]. Colloids Surf B Biointerfaces, 2021, 203: 111768.
- [29] 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.
- [30] 陈依萍,崔文萱,高瑞昌,等.冷藏与微冻贮藏过程中鲟鱼肉品质变化[J].渔业科学进展,2020,41(1):178-186.
- [31] Zhang Y, Zhou L, Zhang C, et al. Preparation and characterization of curdlan/polyvinyl alcohol/ thyme essential oil blending film and its application to chilled meat preservation [J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 247: 116670.