

插层水滑石/果胶纳米复合保鲜膜对鲤鱼的保鲜效果

马骁^a, 马占玲^{a,b}, 陈思佳^a, 师嘉澳^a, 励建荣^{a,b}

(渤海大学 a.化学化工学院 b.辽宁省食品安全重点实验室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)

摘要: **目的** 制备一种新型可降解复合保鲜膜, 并探究其对鲤鱼的保鲜效果。**方法** 采用离子交换法合成一种新型插层水滑石-脱氢乙酸插层水滑石 (MgAl-DHA-LDHs)。以果胶为主要成膜材料, 甘油为增塑剂, 脱氢乙酸根插层水滑石纳米材料为填充物, 合成 MgAl-DHA-LDH/果胶复合保鲜膜。分别用 X 射线衍射 (X-ray diffraction, XRD)、红外光谱 (Fourier transform infrared spectrometer, FI-IR) 分别对插层水滑石和复合保鲜膜进行表征, 并研究脱氢乙酸根插层水滑石复合物的添加量对鲤鱼保鲜效果的影响。**结果** 实验结果表明, 脱氢乙酸根成功插入水滑石中, 当 MgAl-DHA-LDHs 质量分数为 0.2% 时鲤鱼的保鲜效果最佳, 其菌落总数、硫代巴比妥酸值 (TBARs)、挥发性盐基氮 (TVB-N)、pH 值均低于空白对照组。**结论** 此种复合保鲜膜对鲤鱼具有较好的保鲜效果, 可延长货架期 5~6 d。

关键词: 脱氢乙酸根插层水滑石; 果胶; 鲤鱼; 保鲜

中图分类号: S983 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)17-0025-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.17.004

Preservation Effect of Intercalated-LDHs/Pectin Composite Preservative Film on Carp

MA Xiao^a, MA Zhan-ling^{a,b}, CHEN Si-jia^a, SHI Jia-ao^a, LI Jian-rong^{a,b}

(a.College of Chemistry and Chemical Engineering b.National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

ABSTRACT: The work aims to prepare a new type of degradable composite preservative film and study its preservation effect on carp. A new type of intercalated layered double hydroxide--dehydroacetic acid intercalated layered double hydroxide (MgAl-DHA-LDHs) was synthesized by ion exchange method. MgAl-DHA-LDHs/pectin composite film was prepared with pectin as the matrix, glycerin as the plasticizer and MgAl-DHA-LDHs as filler. The MgAl-DHA-LDHs and the composite preservative film were characterized respectively by X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared spectrometer (FI-IR). The effects of the addition of the MgAl-DHA-LDHs on the preservation effect of carp were studied. The results showed that, the dehydroacetate was successfully intercalated into LDHs. The carp was best preserved when the mass fraction of MgAl-DHA-LDHs was 0.2%. The total viable count, thiobarbituric acid value (TBARs), total volatile basic nitrogen value (TVB-N) and pH of the blank group were higher than those of each treatment group. The proposed composite preservative film has good preservation effect on carp, and it can extend the shelf life by about 5-6 d.

KEY WORDS: MgAl-DHA-LDHs; pectin; carp; preservation

收稿日期: 2019-12-05

基金项目: 国家重点研发计划重点项目 (2017YFD0400106)

作者简介: 马骁 (1995—), 女, 渤海大学硕士生, 主攻分析化学、食品分析。

通信作者: 马占玲 (1969—), 女, 硕士, 渤海大学教授, 主要研究方向为食品质量安全控制与检验。

水滑石是一类由带正电荷的主体层板和层间可交换阴离子所构成的层状双金属氢氧化物(LDHs)。LDHs在结构上具有纳米尺寸的层间空隙,层间阴离子具有可交换性^[1-2],并且对插层在其中的离子具有缓释功能。LDHs作为药物载体已受到较广泛的关注,将药物插入LDHs中,能够提高药物的热稳定性、控制药物的释放速率、减少药物不良反应等,目前在此方面研究较多^[3-7],对其在防腐保鲜方面的研究和应用较少。

随着人们的环保意识和食品安全意识的提高,对食品保鲜膜的要求越来越高,所以研制保鲜效果好、无毒、可降解复合保鲜膜已成为学者们的研究热点。由于普通保鲜膜的防腐功能较差,所以常在其中加入一些具有防腐作用的纳米功能材料。脱氢乙酸(DHA)根插层水滑石(MgAl-DHA-LDHs)就是一种很好的防腐功能材料。脱氢乙酸(DHA)及其钠盐是一种由FAO/WHO批准使用的广谱食品防腐剂,可以抑制霉菌、酵母和细菌,欧美等国家经常使用,我国在近几年才将其应用在食品工业中^[8]。由于大量脱氢乙酸及其钠盐超标产品被人体组织吸收后会抑制体内多种氧化酶,长期食用可能对人体健康产生一定影响^[9-10],所以将少量脱氢乙酸根插层进水滑石中,制备出脱氢乙酸(DHA)根插层水滑石(MgAl-DHA-LDHs)纳米材料,具有防腐功能的脱氢乙酸从水滑石夹层中缓慢释放出来,既能延长保质期,又能降低其副作用。由此,文中采用离子交换法将脱氢乙酸根插在水滑石中,合成脱氢乙酸插层水滑石纳米复合材料(MgAl-DHA-LDHs),将该材料与果胶、甘油、蜂蜡等物质混合,制成MgAl-DHA-LDHs/果胶复合保鲜膜,以探究该膜对鲤鱼的保鲜效果。

1 实验

1.1 材料与试剂

主要试剂:硝酸镁、硝酸铝、氢氧化钠、无水碳酸钠、乙二醇、稀硝酸、脱氢乙酸钠、果胶、无水氯化钙、span40、Tween80、蜂蜡、丙三醇,以上试剂均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

实验材料为鲤鱼,购于锦州市科技路水产批发市场。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备: Rigaku Ultima IV型X射线粉末衍射仪,日本理学公司; Scimitar 2000 傅里叶变换红外光谱仪,美国安捷伦公司; GI54DS 高压灭菌锅,至微仪器有限公司; SPX-250 生化培养箱,宁波海曙赛福实验仪器厂; K9840 自动凯氏定氮仪,山东海能科学仪器有限公司; S-4800 扫描电子显微镜,日本日立公司。

1.3 方法

1.3.1 脱氢乙酸根插层水滑石复合物的制备

1) MgAl-LDHs 的制备。称取摩尔比为 2:1 的 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 混合,加 100 mL 去离子水配成盐溶液 a; 称取 9.6 g NaOH 和 10.6 g 无水 Na_2CO_3 , 加入 100 mL 水配成溶液 b。将 a, b 等 2 种溶液快速混合,并倒入三口烧瓶中,将其剧烈搅拌 5 min 后在 100 °C 下回流 6 h,抽滤、水洗至 pH 值小于 8,然后将滤饼在 85 °C 下烘干,经研磨、过筛后得到镁铝水滑石粉末(MgAl-LDHs)。

2) MgAl-DHA-LDHs 的制备。称取 10.0 g 水滑石溶于乙二醇中,另称取 4.0 g 脱氢乙酸钠溶于水中。将二者混合搅拌,用稀 HNO_3 调节溶液 pH 值至 4.5,在 150 °C 下回流搅拌 3 h 后过滤、水洗后,再在 85 °C 下干燥 12 h,经研磨、过筛后得到脱氢乙酸插层水滑石(MgAl-DHA-LDHs)粉末样品。

1.3.2 保鲜膜的制备

称取 1.5 g 果胶溶于 50 mL 蒸馏水中,与质量分数为 0.05% 的插层水滑石复合物和体积分数为 10% 的丙三醇混合后加入一定量的无水氯化钙溶液、蜂蜡、Span-40、Tween-80,直至完全溶解,经超声脱气后制成涂膜液,用沿流法将涂膜液均匀铺于有机玻璃板上,在室温下成膜,揭下后干燥备用。

1.3.3 插层复合物及保鲜膜的表征方法

1) 采用日本理学 Rigaku 公司生产的 X 射线粉末衍射仪测试插层水滑石复合物及复合膜晶体结构,条件: Co 靶, $\text{K}\alpha$ 射线,扫描速度为 $3(^{\circ})/\text{min}$,角度范围为 $5^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。

2) 采用 Scimitar 2000 傅里叶变换红外光谱仪对插层水滑石复合物及复合膜进行 FT-IR 光谱分析。条件: 分辨率为 4 cm^{-1} ,扫描次数为 32,样品与 KBr 的质量比为 1:100,波数范围为 $4000 \sim 300\text{ cm}^{-1}$ 。

1.3.4 MgAl-DHA-LDHs / 果胶复合保鲜膜对鲤鱼保鲜效果实验

将鲜活的鲤鱼去除内脏,用蒸馏水洗净,切成 10 g 左右的鱼肉块,并用复合保鲜膜包裹,然后置于 4 °C 冰箱中冷藏备用。按照国标法检验鱼肉的挥发性盐基氮、菌落总数、硫代巴比妥酸值和 pH 值,并用未包裹的鱼块做空白对照。

1.3.5 保鲜效果测定

1) 挥发性盐基氮。参考 GB 509.288—2016《食品挥发性盐基氮的测定方法》^[11]测定挥发性盐基氮的含量。

2) 菌落总数。根据 GB 4789.2—2016《食品微生物学检验——菌落总数测定》^[12]测定菌落总数。

3) 硫代巴比妥酸值(TBARs)。硫代巴比妥酸值

的测定参考 Mahmoud 等^[13]的方法, TBARs 值用丙二醛的含量表示, 单位为 mg/kg。

4) pH 值。称取搅碎鱼肉 5.0 g, 加入新鲜煮沸后冷却的去离子水, 并定容至 50 mL, 均质, 静置 30 min 后过滤, 取 30 mL 滤液于烧杯中, 用 pH 值计测定其 pH 值, 平行测定 3 组。

2 结果与讨论

2.1 MgAl-DHA-LDHs 和果胶复合保鲜膜的表征

2.1.1 XRD 分析

由图 1 可知, MgAl-LDHs 的 XRD 谱图中出现了反映 LDHs 层状结构的(003), (006), (009), (015), (018)和 (110)晶面的特征衍射峰, 且基线平稳, 峰形尖锐, 表明合成的 LDHs 层状晶体结构完整, 且结晶度良好^[14]。MgAl-DHA-LDHs 的 XRD 图中, (003), (006)和(009)衍射峰均向小角度发生偏移, 分别移动至 9.94° , 18.8° 和 32.6° , 晶面间距 $d(003)$ 由 0.756 nm 扩大至 0.889 nm, 表明有脱氢乙酸根插入层板间取代碳酸根, 形成插层 Mg-Al 水滑石。另外, 在 $2\theta=60.86^\circ$ 左右(110)处的衍射峰位置基本没有变化, 表明插层后能较好地保持层状结构, 使晶型完整。未添加插层复合物的果胶膜和果胶/MgAl-DHA-LDHs 复合保鲜膜的 XRD 图表明, 二者均在 $2\theta=21^\circ$ 处有一较宽的衍射峰, 这是典型的甘油增塑的果胶峰。除此之外, 再无其它峰, 原因可能是膜中水滑石含量过低所致^[9]。

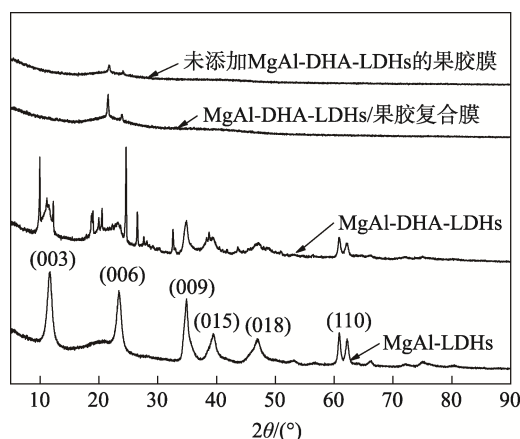


图 1 MgAl-LDHs、MgAl-DHA-LDHs、MgAl-DHA-LDHs/果胶复合膜、未添加 MgAl-DHA-LDHs 果胶膜的 X 射线衍射图

Fig.1 XRD patterns of MgAl-LDHs, MgAl-DHA-LDHs, MgAl-DHA-LDHs/pectin composite films, pectin composite films without MgAl-DHA-LDHs

2.1.2 红外光谱分析

由图 2 可知, 在 MgAl-LDHs 谱线中, 3471 cm^{-1} 附近出现 -OH 的伸缩振动峰是水滑石双层板羟基和

水分子羟基的伸缩振动峰。 1379 cm^{-1} 附近出现的峰为 CO_3^{2-} 的伸缩振动峰。MgAl-DHA-LDHs 谱在 3527 cm^{-1} 处为 -OH 的伸缩振动峰, 层板骨架的吸收峰依然存在于 400 cm^{-1} 和 1000 cm^{-1} 处。在 1695 cm^{-1} 和 1253 cm^{-1} 处出现了脱氢乙酸根中羧基的 C=O 伸缩振动和 C—O 伸缩振动峰, 在 1379 cm^{-1} 处 CO_3^{2-} 特征峰消失。表明, 脱氢乙酸根离子几乎完全插入层板间^[15]。在 MgAl-DHA-LDHs/果胶复合膜谱线中, 由于果胶、脱氢乙酸和甘油的作用, 存在羧基和羟基, 在 1635 cm^{-1} 处的峰值属于羧基的不对称伸缩振动。在 1734 cm^{-1} 处的峰值是羟基的伸缩振动峰, 这表明有机改性剂能够分散到果胶连续相中。

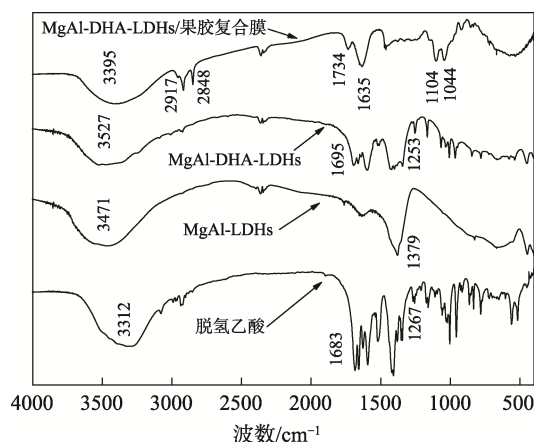


图 2 DHA、MgAl-LDHs、MgAl-DHA-LDHs、MgAl-DHA-LDHs/果胶复合膜的 FI-IR 谱图

Fig.2 FI-IR spectra of DHA, MgAl-LDHs, MgAl-DHA-LDHs, MgAl-DHA-LDHs/pectin composite films

2.2 MgAl-DHA-LDHs 的添加量对保鲜效果影响

2.2.1 对挥发性盐基氮的影响

挥发性盐基氮 (TVB-N) 是检验水产品是否腐败的一项重要指标, 由于酶和细菌的影响, 水产品中的蛋白质被分解, 从而产生氨和胺类含氮物质, 其含量越高, 氨基酸被破坏得越厉害, 营养价值也就越低。由图 3 可知, 未包装对照组的 TVB-N 含量始终最高, 在第 9 天时达到 200 mg/kg , 达到了可食用限量标准, 在第 16 天时甚至达到 448.91 mg/kg ; 未添加 MgAl-DHA-LDHs 的包装膜在第 10 天左右时达到 200 mg/kg , 而 MgAl-DHA-LDHs 质量分数为 0.2% 的复合膜在第 16 天时 TVB-N 含量为 195.95 mg/kg , 并未达到国家标准 200 mg/kg 。其他组均在第 16 天时略超过 200 mg/kg 。由此可见, 在贮藏期间, 添加 MgAl-DHA-LDHs 果胶复合保鲜膜保鲜效果均好于未添加 MgAl-DHA-LDHs 果胶膜对照组, 而添加 MgAl-DHA-LDHs 含量不同, 保鲜效果也不一样, 其中 MgAl-DHA-LDHs 质量分数为 0.2% 的保鲜膜保鲜效

果最好。由此可见, MgAl-DHA-LDHs 果胶复合膜能有效抑制鱼肉中微生物的生长和繁殖, 减缓含氮化合物的分解。这是因为果胶分子是一种多糖链, 它是由半乳糖醛酸以 α -1,4 糖苷键连接而成, 它的侧链一般由半乳糖、木糖、鼠李糖、阿拉伯糖等组成^[16]。果胶膜本身就具有一定的抗菌防腐作用, 同时插层水滑石后的脱氢乙酸缓慢地从水滑石中释放出来, 从而有效地延长了鲤鱼的保质期。

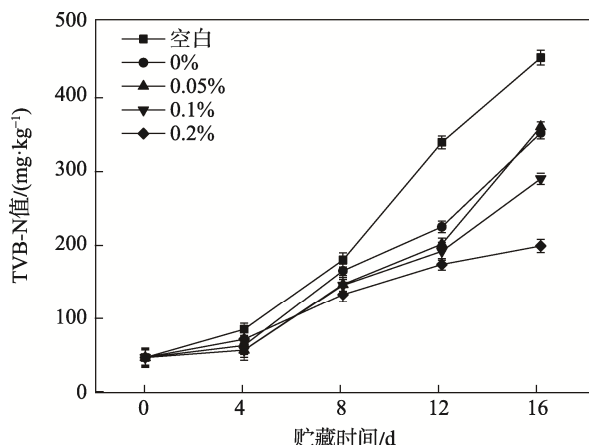


图3 MgAl-DHA-LDHs 含量对挥发性盐基氮值的影响
Fig.3 Effect of MgAl-DHA-LDHs concentration on TVB-N

2.2.2 菌落总数

将含有不同量 MgAl-DHA-LDHs 的果胶复合保鲜膜用于鱼肉的保鲜, 在贮藏 0~16 d 时测定其菌落总数, 实验结果见图 4。由图 4 可见, 在保存期内, 鱼肉中的菌落总数均呈上升趋势, 未处理对照组的菌落总数在样品中始终最多, 在 4 °C 下保存 8 d 时, 已经达到 6.22 lg CFU/g, 略超过国家标准。采用 MgAl-DHA-LDHs 质量分数为 0.2% 和 0.05% 的果胶复合膜包裹的鱼肉在第 12 天时, 菌落总数分别为 5.44 lg CFU/g 和 5.92 lg CFU/g; 直到第 15 天时, 采用 MgAl-DHA-LDHs 质量分数为 0.2% 的复合膜保鲜的

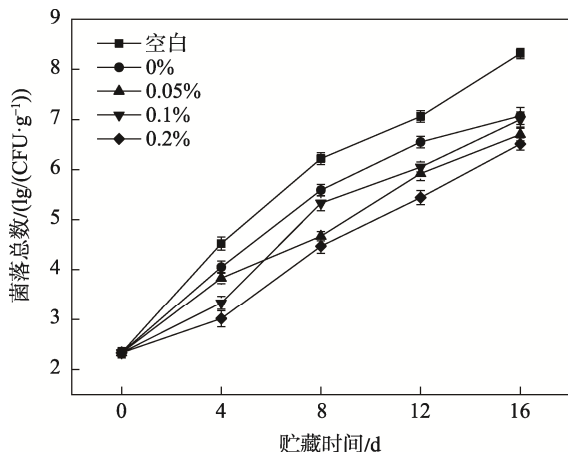


图4 MgAl-DHA-LDHs 含量对鲤鱼菌落总数的影响
Fig.4 Effect of MgAl-DHA-LDHs concentration on total bacterial counts of the carp

鱼肉中的菌落总数才达到 6 lg CFU/g, 而其他各组均已超过国家标准。由此可见, MgAl-DHA-LDHs 复合保鲜膜能有效地抑制鱼肉中菌落总数的增长, 对鱼肉有较好的保鲜效果。

2.2.3 硫代巴比妥酸值的变化

硫代巴比妥酸值 (TBARs) 是评价脂肪氧化酸败程度的重要指标。TBARs 值越大, 脂肪的氧化腐败程度越高, 鱼肉也就越不新鲜^[17]。由图 5 可看出, 鱼肉的 TBARs 值在贮藏 0~4 d 时上升最快, 在 4~16 d 时, 呈缓慢上升趋势。在保存期内, 未经处理的对照组和具有不同含量 MgAl-DHA-LDHs 保鲜膜处理组具有显著性差异。在贮藏第 16 天时, 未处理对照组的 TBARs 值为 0.6272 mg/kg, 不含有 MgAl-DHA-LDHs 果胶复合膜为 0.4812 mg/kg; 在质量分数为 0.2% 的膜中 TBARs 值最低, 为 0.2751 mg/kg。在贮藏 0~16 d 时, 所有实验组的 TBARs 值均低于空白对照组, 且含有纳米材料的膜处理组的 TBARs 值均低于未加入纳米材料保鲜膜的处理组。实验结果表明, 含有 MgAl-DHA-LDHs 的复合保鲜膜能有效抑制脂肪的氧化, 延缓鱼肉变质, 而且 MgAl-DHA-LDHs 的含量越高, 其效果越好。

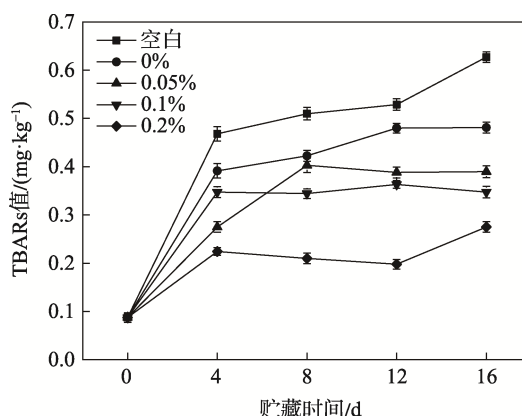


图5 MgAl-DHA-LDHs 浓度对硫代巴比妥酸值的影响
Fig.5 Effect of MgAl-DHA-LDHs concentration on TBARs

2.2.4 pH 值

pH 值是评价鱼肉新鲜变化的重要指标。由图 6 可知, 5 组样品的 pH 值变化均呈现“V”型趋势, 与水产品的 pH 值变化规律一致^[18]。新鲜鱼肉在贮藏时 pH 下降是由于糖分解后产生丙酮酸, 其在无氧条件下由烟酰胺腺嘌呤二核苷酸还原为乳酸所致, 而后来上升是由于随后细菌的繁殖以及鱼肉中蛋白质的分解产生了胺类等碱性物质。鲤鱼肉的 pH 值最初为 6.64, 在第 16 天时, 没包膜的对照组 pH 值为 7.3, 显示已经变质, 零添加的复合膜为 6.3, 而包有 MgAl-DHA-LDHs 质量分数为 0.2% 膜的鱼肉 pH 值为 6.07, 显示并未变质, 且明显低于对照组, 与其它指标的变化趋势一致。

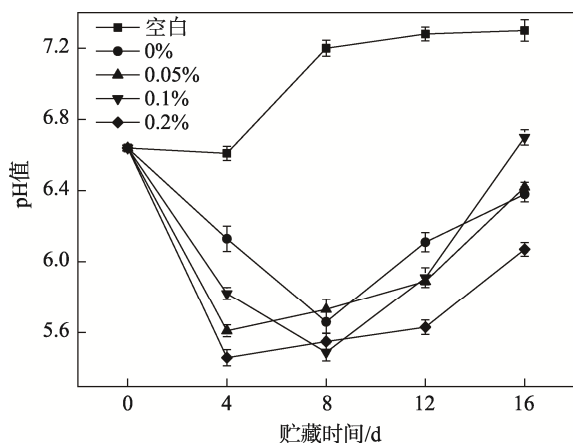


图 6 MgAl-DHA-LDHs 浓度对 pH 值的影响
Fig.6 Effect of MgAl-DHA-LDHs concentration on pH

3 结语

脱氢乙酸根插层水滑石复合保鲜膜实验组与纯果胶膜实验组和对照组相比, 具有较好的保鲜效果, 其中 MgAl-DHA-LDHs 的质量分数为 0.2% 的复合保鲜膜保鲜效果最好, 在贮藏第 15 天时其菌落总数为 $6.0 \lg \text{CFU/g}$, 挥发性盐基氮值为 195.948 mg/kg , 硫代巴比妥酸值为 0.2751 mg/kg , pH 值为 6.07, 均接近国家标准。

由实验结果可知, 包覆果胶膜鲤鱼的保质期均比未包装的对照组长, 添加了 MgAl-DHA-LDHs 的果胶复合膜, 其保鲜效果好于零添加的果胶膜, 且 MgAl-DHA-LDHs 的添加量越多, 其保鲜效果越好。MgAl-DHA-LDHs 的质量分数为 0.2% 的复合保鲜膜与空白组相比, 可延长货架期 5~6 d。由此可见, MgAl-DHA-LDHs 果胶复合保鲜膜是一种新型、保鲜效果较好的复合保鲜膜, 具有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] YANG C X, LIAO L B, LV G C, et al. Synthesis and Characterization of Mn Intercalated Mg-Al Hydrotalcite[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2016, 479: 115—120.
- [2] DAS J, DAS D, PARIDA K M. Preparation and Characterization of Mg-Al Hydrotalcite-like Compounds Containing Cerium[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2006, 301: 596—574.
- [3] LUNG Y F, SUN Y, LIN C K, et al. Synthesis of Mg-Fe-Cl Hydrotalcite-like Nanoplatelets as an Oral Phosphate Binder: Evaluations of Phosphorus Intercalation Activity and Cellular Cytotoxicity[J]. Science Report, 2016, 6: 32458.
- [4] DJEBBI M A, BOUAZIZ Z, ELABED A, et al. Preparation and Optimization of a Drug Delivery System

Based on Berberine Chloride-immobilized MgAl Hydrotalcite[J]. Int J Pharm, 2016, 506(1/2): 438—448.

- [5] AMBROGY V, FARDELLA G, GRANDOLINI G, et al. Intercalation Compounds of Hydrotalcite-like Anionic Clays with Antiinflammatory Agents--I Intercalation and in Vitro Release of Ibuprofen[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2001, 220: 23—32.
- [6] GORRASI G, BUGATTI V. Edible Bio-nano-hybrid Coatings for Food Protection Based on Pectins and LDH-salicylate: Preparation and Analysis of Physical Properties[J]. LWT-food Science and Technology, 2016, 69: 139—145.
- [7] KHAN S B, ALAMRY K A, ALYHYAWI N A, et al. Controlled Release of Organic-inorganic Nanohybrid: Cefadroxil Intercalated Zn-Al-layered Double Hydroxide[J]. International Journal of Nanomedicine, 2018, 13: 3203—3222.
- [8] 应苗苗, 应铁进, 罗自生, 等. 脱氢醋酸钠在李子蜜饯糖渍过程中的防腐效果[J]. 食品与发酵工业, 2005(12): 61—63.
YING Miao-miao, YING Tie-jin, LUO Zi-sheng, et al. Study on the Inhibitory Effect of Disodium Dehydroacetate on Plum Preserved[J]. Food and Fermentation Industry, 2005(12): 61—63.
- [9] 孙得发, 杨志斌, 屈长波, 等. 食品防腐剂脱氢醋酸钠的肉鸡耐受性研究[J]. 食品科学, 2015, 36(7): 189—193.
SUN De-fa, YANG Zhi-bin, QU Chang-bo, et al. Tolerance of Broilers to Dietary Sodium Dehydroacetate as an Antimildew Agent[J]. Food Science, 2015, 36(7): 189—193.
- [10] ZHANG Y M, YING D L, LIU H, et al. Serum Pharmacokinetics and Coagulation Aberration Induced by Sodium Dehydroacetate in Male and Female Wistar Rats[J]. Science Report, 2017, 7: 46210.
- [11] GB 5009.228—2016, 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定[S].
GB 5009.228—2016, National Food Safety Standard--Determination of Volatile Basic Nitrogen in Food[S].
- [12] GB 4789.2—2016, 食品微生物学检验-菌落总数测定[S].
GB 4789.2—2016, Microbiological Examination of Food-Determination of Colony Count[S].
- [13] MAHMOUD B S M, YAMAZAKI K, MIYAAHITA K, et al. A New Technology for Fish Preservation by Combined Treatment with Electrolyzed NaCl Solutions and Essential Oil Compounds[J]. Food Chemistry, 2006, 99(4): 656—662.
- [14] GOH K H, LIM T T, DONG Z. Application of Layered Double Hydroxides for Removal of Oxyanions: a Re-

- view[J]. Water Research, 2007, 42(6): 1343—1368.
- [15] 贲楚璇, 马占玲, 万峻菲, 等. 苯甲酸根插层水滑石/果胶复合保鲜膜对草鱼保鲜效果研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(8): 1887—1892.
- BEN Chu-xuan, MA Zhan-ling, WAN Jun-fei, et al. Bio-nano-hybrid Coatings for Grass Carp Preservation Based on Pectin and MgAl-benzoic acid-LDHs[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2018, 9(8): 1887—1892.
- [16] 王巍, 牟德华, 李丹丹. 山楂果胶寡糖的抑菌性能及机理[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 110—116.
- WANG Wei, MOU De-hua, LI Dan-dan. Antibacterial Activity and Mechanism of Hawthorn Pectin Oligo-saccharides[J]. Food Science, 2018, 39(3): 110—116.
- [17] JOUKI M, YAZDI F T, MORTAZAVI S A, et al. Quince Seed Mucilage Films Incorporated with Oregano Essential Oil: Physical, Thermal, Barrier, Antioxidant and Antibacterial Properties[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 36(2): 9—19.
- [18] 王者, 关荣发, 刘振峰, 等. 溶菌酶脂质体对冷藏金鲷鱼保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 227—232.
- WANG Zhe, GUAN Rong-fa, LIU Zhen-feng, et al. Effect of Lysozyme Liposomes on Trachinotus Ovatus Preservation[J]. Food Science, 2018, 39(11): 227—232.