

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.04.006

PVAL/ β -CD-CIN薄膜的制备及性能

吕维思, 郭柯赞, 黄飞鸿, 李凤红, 李鹏珍

(沈阳工业大学石油化工学院, 辽宁辽阳 111003)

摘要: 以 β -环糊精(β -CD)为壁材, 肉桂醛(CIN)为芯材, 采用饱和水溶液法制备 β -环糊精-肉桂醛(β -CD-CIN)包合物。然后采用流延法, 以聚乙烯醇(PVAL)为成膜基材, 加入 β -CD-CIN包合物, 制备PVAL/ β -CD-CIN薄膜, 通过改变 β -CD-CIN包合物的添加量来研究包合物对PVAL薄膜的热性能、力学性能、阻隔性能等的影响。傅里叶变换红外光谱分析证明CIN被成功地包埋于 β -CD空腔, 相比于未添加包合物的PVAL薄膜, PVAL/ β -CD-CIN薄膜的熔融温度降低了26.90 °C, 结晶度降低了6.15%。当包合物质量分数为15%时, PVAL/ β -CD-CIN薄膜的拉伸强度和断裂伸长率达到最大值, 分别为22.79 MPa和430.60%, 此时力学性能最佳。当包合物添加质量分数为30%时, PVAL/ β -CD-CIN薄膜的水蒸气透过系数达到最小值为0.41 (g·mm)/(kPa·m²·h), 吸水率达到最低为11.97%。加入 β -CD-CIN包合物, 可以有效提升薄膜的力学性能、水蒸气透过率、耐水性等, 为薄膜在食品包装领域的应用奠定基础。

关键词: 聚乙烯醇; 环糊精; 肉桂醛; 膜材料; 包合物

中图分类号: TQ325.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)04-0035-06

Preparation and properties of PVAL/ β -CD-CIN films

LYU Weisi, GUO Keyun, HUANG Feihong, LI Fenghong, LI Pengzhen

(School of Petrochemical Engineering, Shenyang University of Technology, Liaoyang 111003, China)

Abstract : The β -cyclodextrin (β -CD) was used as the wall material and cinnamaldehyde (CIN) as the core material, and the β -cyclodextrin-cinnamaldehyde (β -CD-CIN) inclusion complex was prepared by saturated aqueous solution method. PVAL/ β -CD-CIN films were prepared by the casting method with polyvinyl alcohol (PVAL) containing β -CD-CIN inclusion complex, and the effects of inclusion on the thermal properties, mechanical properties and barrier properties of PVAL films were studied by changing the addition amount of β -CD-CIN inclusion complex. The results show that: Fourier transform infrared spectroscopy analysis show that the CIN is successfully embedded in the β -CD cavity, and the melting temperature of the PVAL/ β -CD-CIN film is reduced by 26.90 °C and the crystallinity is reduced by 6.15% compared with the PVAL film without clathrate. When the inclusion content is 15%, the tensile strength and elongation at break of PVAL/ β -CD-CIN film reach the maximum values of 22.79 MPa and 430.60%, respectively, and the mechanical properties are the best. When the inclusion content is 30%, the water vapor permeability coefficient of PVAL/ β -CD-CIN film reach a minimum value of 0.41 (g·mm)/(kPa·m²·h), and the water absorption reach a minimum of 11.97%. The addition of β -CD-CIN inclusion can effectively improve the mechanical properties, water vapor transmission rate and water resistance of the film, laying the foundation for the application of the film in the field of food packaging.

Keywords : polyvinyl alcohol ; cyclodextrin ; cinnamaldehyde ; membrane material ; inclusion

聚乙烯醇(PVAL)是一种多羟基聚合物,其分子链中含有大量的侧羟基,具有无毒无味、无腐蚀、可生物降解、成膜性好、价格低廉等优点,是食品包装、医疗、水处理等众多领域广泛研究的合成聚合

物之一。肉桂醛(CIN)是一种高挥发性精油,其来源丰富,成分天然,安全无毒,可以防止食源性病原体腐败和微生物的生长,对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌及枯草芽孢杆菌等均具有良好的抑菌作用,在室

基金项目: 辽宁省高等学校基本科研重点项目(LZGD2017040)

通信作者: 李凤红, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为生物基功能高分子材料的制备及应用

收稿日期: 2024-02-25

引用格式: 吕维思, 郭柯赞, 黄飞鸿, 等. PVAL/ β -CD-CIN薄膜的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(4): 35-40.

LYU Weisi, GUO Keyun, HUANG Feihong, et al. Preparation and properties of PVAL/ β -CD-CIN films[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(4): 35-40.

温环境下容易分解或蒸发,水溶性和稳定性差,杀菌作用持久力较差,且因其特有的强烈气味会改变食物原有的感官,使用不便,限制了其在食品包装领域的应用^[1-4]。

包封处理使CIN精油更实用和更稳定, β -环糊精(β -CD)含有疏水空腔和亲水性外表面,分子中的疏水空腔可与非极性分子通过非键合作用进行包封,形成包合物,使难溶于水的客体分子实现稳定、缓释和增容效果^[5],是常用的壁材之一,具有核心材料的控制释放芯材能力。将CIN与 β -CD络合实现包封化, β -CD主体包含CIN客体可增强CIN的热稳定性和缓慢释放,改善其水溶性,减少挥发性,掩盖了其不良风味并提高了物理稳定性,将精油制成固体粉末,使用和储藏更方便,进而在食品包装保鲜领域延长保质期^[6]。有相关研究表明, β -CD包埋CIN后,在室温下放置90 d,CIN的保留率仍高达93%。此外, β -CD还可以实现CIN的长效抑菌^[7]。

基于以上分析,笔者采用PVAL为成膜基材,加入新型增塑剂改性PVAL后,加入不同含量的 β -CD-CIN包合物制备薄膜,探究在不同含量的 β -CD-CIN下,PVAL/ β -CD-CIN薄膜的热性能、力学性能、吸水性能的等的变化,为以后应用于食品包装提供理论依据。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PVAL:型号1799,天津市大茂化学试剂厂;

CIN:分析纯,湖北省康纯香料有限公司;

山梨酸钾(KS):分析纯,南通奥凯生物技术开发有限公司;

β -CD:食品级,孟州市华兴生物化工有限责任公司;

聚己内酯(GCL)基增塑剂:实验室自制。

1.2 主要仪器及设备

傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪:TENSOR II,德国布鲁克公司;

差示扫描量热分析(DSC)仪:DSC822e,瑞士METTLER TOLEDO公司;

微机控制电子万能试验机:CMT-6104,深圳市新三思材料检验有限公司;

紫外-可见分光光度计:Lambda 25,美国PE公司。

1.3 试样制备

1.3.1 β -CD-CIN包合物的制备

称取一定质量的 β -CD,将其置于装有蒸馏水的三口烧瓶中,放置于60℃恒温油浴锅中搅拌,待 β -CD完全溶解后得到 β -CD饱和溶液;称取一定质量CIN,将其溶解于一定比例的无水乙醇中,二者质量比为1:2,得到CIN-乙醇混合溶液;将CIN-乙醇混合溶液缓慢逐滴加入到上述 β -CD溶液中,CIN和 β -CD二者质量比为1:6,继续恒温恒速搅拌一段时间后取出,将得到 β -CD-CIN包合物溶液冷却至室温,将冷却后的溶液放置在4℃的冰箱中静置24 h,取出抽滤,用无水乙醇和蒸馏水分别洗涤滤渣3至5次,最后置于50℃干燥箱中干燥12 h,恒重,得到 β -CD-CIN包合物^[8]。

1.3.2 PVAL/ β -CD-CIN薄膜的制备

取一定量的PVAL溶于蒸馏水中,置于90℃的恒温油浴锅中恒速搅拌2 h,待完全溶解后得到质量分数为5%的PVAL水溶液。向其中加入占PVAL质量分数50%的增塑剂GCL,继续恒温搅拌使其充分混合均匀,得到改性PVAL水溶液。然后再将不同质量的 β -CD-CIN包合物(PVAL质量分数的5%,10%,15%,20%,25%,30%)匀速滴加到改性好的PVAL水溶液中,然后继续搅拌,2 h后得到混合均匀的PVAL/ β -CD-CIN成膜液,将得到的成膜液置于室温环境静置一段时间,将成膜液倒入尺寸为20 cm的圆形玻璃皿中,然后放置真空干燥箱中进行干燥,12 h后取出揭膜,得到不同比例的PVAL/ β -CD-CIN薄膜。PVAL/ β -CD-CIN薄膜配方见表1。

表1 PVAL/ β -CD-CIN薄膜配方

Tab. 1 PVAL/ β -CD-CIN film formula

Film samples	PVAL/GCL	β -CD-CIN/%
PVAL/ β -CD-CIN _{0%}	2/1	0
PVAL/ β -CD-CIN _{5%}	2/1	5
PVAL/ β -CD-CIN _{10%}	2/1	10
PVAL/ β -CD-CIN _{15%}	2/1	15
PVAL/ β -CD-CIN _{20%}	2/1	20
PVAL/ β -CD-CIN _{25%}	2/1	25
PVAL/ β -CD-CIN _{30%}	2/1	30

1.4 测试与表征

采用FTIR仪对薄膜进行扫描,扫描范围4 000~400 cm⁻¹,扫描次数16次。

热稳定性用DSC仪进行测定,全程N₂保护,升温速率为10℃/min,温度范围-50~250℃,并在250℃下恒温3 min后降至-50℃。

使用微机控制力学电子万能试验机进行拉伸测试,试样尺寸150 mm×20 mm,在拉伸速率100 mm/min下测定样品的拉伸强度和断裂伸长率,每组样品测3次后取其平均值。

采用紫外-可见分光光度计测定薄膜的吸光度(A),样品尺寸10 mm×40 mm,置于比色皿中,在扫描范围200~800 nm、扫描速度200 nm/min下测量薄膜在600 nm处的吸光度,计算薄膜的不透明度^[9]。

根据参考资料^[10-12],自制杯式称重法测定复合膜水蒸气透过系数(WVP):每组薄膜测量三次,取其平均值^[13-15]。

薄膜吸水性测试,将80 mm×30 mm的薄膜样条置于50 °C的干燥箱中干燥24 h^[16],取出后称取质量记为 m_1 ,将样条平铺于表面皿上,置于装有水温为25 °C蒸馏水的干燥器中,密封24 h,取出称重记为 m_2 ;计算薄膜吸水率(W)通过式(1)计算。

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

2 结果与讨论

2.1 FTIR 分析

2.1.1 β -CD-CIN 包合物的 FTIR 光谱分析

CIN, β -CD, β -CD-CIN 包合物的 FTIR 图见图1。由图1可见,纯CIN的FTIR中,2 814.19 cm^{-1} 和2 741.62 cm^{-1} 处为CIN醛基的C—H伸缩振动峰^[17];1 674.30 cm^{-1} 为醛基中C=O伸缩振动峰;1 625.45 cm^{-1} 是不饱和苯环中C—C的骨架伸缩振动峰,1 500~1 000 cm^{-1} 和970~687 cm^{-1} 峰主要为CIN芳环中C—H的振动吸收峰。纯 β -CD的FTIR图中,在3 282.34 cm^{-1} 处有一个圆滑宽钝的O—H强伸缩特征吸收峰^[18],在2 917.53 cm^{-1} 处为C—H特征伸缩振动吸收峰,1 643.01 cm^{-1} 处为H—O—H伸缩振动吸收峰,1 152.42 cm^{-1} 为C—O—C伸缩振动吸收峰^[19-20],1 022.63 cm^{-1} 为糖苷键的C—O非对称伸缩振动吸收峰^[21]。而且,在945.52, 852.53 cm^{-1} 及754.48 cm^{-1} 处观测到葡萄糖环上C=C一系列的特征吸收峰。在 β -CD-CIN的FTIR图中,包合物的FTIR图与 β -CD的谱图相似,没有新的化学键形成,也没有发生客体分子吸收峰外移的现象,主要是CIN的芳香部分和醛基包含在 β -CD空腔中。 β -CD的O—H峰由3 282.34 cm^{-1} 移至3 254.01 cm^{-1} 处,CIN的在3 068.04 cm^{-1} 处的特征吸收峰消失,在1 450.46 cm^{-1} 的特征峰明显减弱,这可说明 β -CD包埋CIN后,CIN的特征吸收峰受到一定的掩蔽影响,

且CIN与 β -CD之间也发生相互作用,进而证明形成 β -CD-CIN包合物。CIN在2 814.19, 2 741.62 cm^{-1} 和1 495.39 cm^{-1} 处的吸收完全消失,1 625.45 cm^{-1} 和1 449.81 cm^{-1} 峰位置不变,峰形明显减弱,这是由于 β -CD遇水后可形成疏水性空腔,将CIN的疏水性基团苯基和醛基进入到 β -CD内部空腔中,掩盖了苯环和醛基的特征吸收振动峰。说明 β -CD与CIN之间发生相互作用形成包合物。此外,包合物的峰值强度和CIN与 β -CD的峰值无明显差异,也说明CIN被 β -CD成功包合。

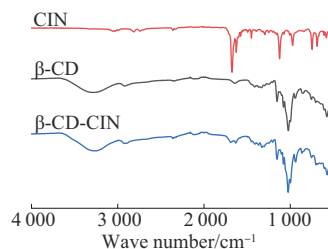


图1 CIN, β -CD, β -CD-CIN包合物的FTIR图

Fig. 1 FTIR of CIN, β -CD, β -CD-CIN inclusion complexes

2.1.2 PVAL/ β -CD-CIN薄膜的FTIR光谱分析

PVAL/ β -CD-CIN薄膜的FTIR光谱如图2所示,由图2可见,相比于未加包合物的PVAL薄膜,加入 β -CD-CIN包合物后,薄膜的FTIR光谱有所改变。随着包合物添加量的增加,在3 200~3 300 cm^{-1} 处PVAL的O—H吸收峰峰形变宽,峰面积增大,峰强度增强。在1 029 cm^{-1} 左右的C—O—C伸缩振动吸收峰峰值持续增加,峰形越来越尖锐。分散在薄膜中 β -CD阻碍了PVAL的聚集,促进了PVAL与膜基质中其他组分间的相互作用。但其特征官能团并无明显的偏移或改变,因此该PVAL/ β -CD-CIN薄膜中 β -CD-CIN包合物与PVAL之间属于物理混合。

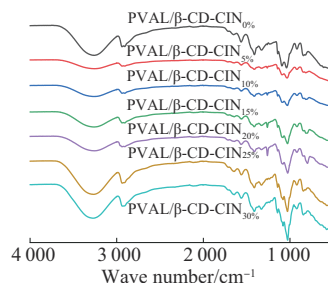


图2 PVAL/ β -CD-CIN薄膜的FTIR图

Fig. 2 FTIR of PVAL/ β -CD-CIN films

2.2 力学性能分析

图3为不同含量PVAL/ β -CD-CIN薄膜的力学性能曲线。由图3可知,添加不同含量的 β -CD-CIN

包合物后,薄膜的力学性能有显著的变化,复合薄膜的拉伸强度和断裂伸长率均呈现升高趋势。随着 β -CD-CIN包合物添加质量分数增加(由5%增加到15%),PVAL/ β -CD-CIN薄膜的拉伸强度和断裂伸长率均显著提高,其中PVAL/ β -CD-CIN薄膜在包合物质量分数为15%时,拉伸强度达到最大值,拉伸强度由未添加包合物时的13.76 MPa提高到22.79 MPa,断裂伸长率由为268.09%上升到430.60%。在 β -CD-CIN包合物质量分数为20%时,薄膜的断裂伸长率达到最大值441.71%,拉伸强度下降。然而,继续添加 β -CD-CIN包合物,薄膜的拉伸强度和断裂伸长率逐渐降低,当包合物质量分数为30%时,薄膜的拉伸强度和断裂伸长率均达到最小值。这可能是添加适量的包合物时,其在PVAL纤维中分散较为均匀,而且 β -CD-CIN包合物具有较大的表面积,在PVAL分子链排列规整,具有良好的相容性,因此,可以通过添加适当的包合物来改善薄膜的力学性能。当添加剂量超过适当范围时, β -CD-CIN包合物和PVAL相容性变差,因此力学性能开始有所降低。因此,当包合物质量分数为15%时,PVAL/ β -CD-CIN薄膜的综合力学性能最好。

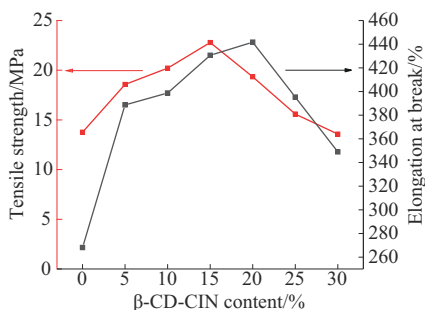


图3 不同含量PVAL/ β -CD-CIN薄膜的拉伸强度和断裂伸长率

Fig. 3 Tensile strength and elongation at break of PVAL/ β -CD-CIN films with different content

2.3 DSC分析

图4和图5分别为PVAL/ β -CD-CIN薄膜的DSC熔融段曲线图和结晶段曲线图,对断裂伸长率最大(β -CD-CIN包合物质量分数为20%)时PVAL/ β -CD-CIN复合薄膜的DSC进行分析。由两图可知,PVAL薄膜的熔融温度(T_m)为220.75 $^{\circ}$ C,结晶温度(T_c)为162.87 $^{\circ}$ C,结晶度为21.63%。对于PVAL/ β -CD-CIN薄膜,加入 β -CD-CIN包合物后,薄膜的 T_m 和 T_c 降低,分别为193.86 $^{\circ}$ C和152.68 $^{\circ}$ C。结晶度降低了6.15%。这是因为在薄膜制备过程中包合物的添加,扰乱了PVAL分子链原有的规整性排列,使得

PVAL分子间作用力减弱,改变了其结晶度,这也与力学性能测试中 β -CD-CIN包合物质量分数20%时薄膜断裂伸长率达到最大值相对应,分子间的作用力影响结晶度的变化,从而影响了PVAL/ β -CD-CIN薄膜的熔融温度^[22]。

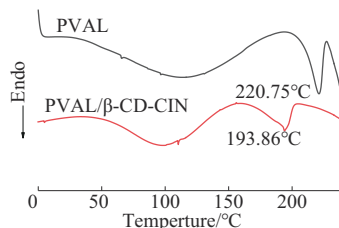


图4 PVAL/ β -CD-CIN_{20%}薄膜的DSC熔融段曲线图

Fig. 4 DSC curves of melting section of PVAL/ β -CD-CIN_{20%} films

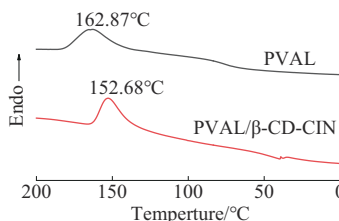


图5 PVAL/ β -CD-CIN_{20%}薄膜的DSC结晶段曲线图

Fig. 5 DSC curves of crystallization section of PVAL/ β -CD-CIN_{20%} films

2.4 透明度分析

图6为 β -CD-CIN包合物含量对薄膜透明度影响的曲线图。由图6可看出,加入 β -CD-CIN包合物后,薄膜的透明度有所降低。随着 β -CD-CIN包合物含量的升高,薄膜的不透明度值呈上升趋势,这是因为 β -CD本身为白色粉末,CIN为淡黄色溶液,从而 β -CD-CIN包合物为淡黄色的粉末,因此,制备的薄膜表面发黄,呈现半透明状态。从图6还可以看出,PVAL/ β -CD-CIN薄膜的不透明值上升趋势较平缓,随着 β -CD-CIN包合物含量的升高,薄膜仍具有较好的透明度,不透明度值由0.24 A/mm上升至0.43 A/mm,这是因为 β -CD-CIN具有良好的水溶

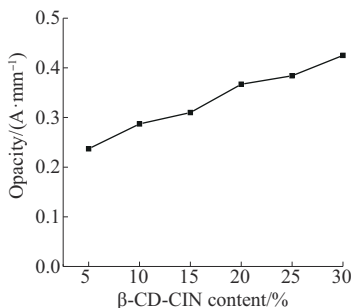


图6 β -CD-CIN包合物含量对薄膜透明度的影响

Fig. 6 Effect of β -CD-CIN inclusion complexes content on the transparency of films

性,与PVAL相容性良好。

2.5 WVP 分析

图7为PVAL/ β -CD-CIN薄膜的WVP图。由图7可看出,随着 β -CD-CIN包合物含量的提高,PVAL/ β -CD-CIN薄膜的WVP整体呈现显著下降趋势,这是因为 β -CD与PVAL分子间的氢键发生相互作用,使PVAL分子中可与水分子形成亲水键的—OH基团减少,导致薄膜的亲水性降低,因此,WVP下降。随着 β -CD-CIN包合物含量的持续增加, β -CD-CIN包合物质量分数超过15%后,WVP仍下降,但下降趋势较为缓慢。这是添加过量的包合物,黏度变高,使包合物与PVAL相容性变差,发生了团聚现象,致使WVP下降趋势变得缓慢,但整体仍呈现下降趋势,WVP由 $1.28\text{ (g}\cdot\text{mm)}/(\text{kPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h})$ 降低至 $0.41\text{ (g}\cdot\text{mm)}/(\text{kPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h})$,气体阻隔性优于文献报道^[8]。

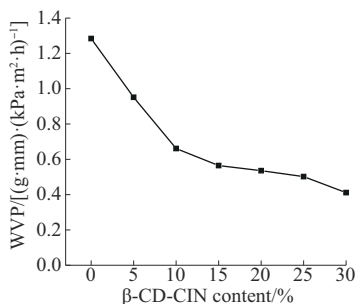


图7 β -CD-CIN包合物含量对薄膜WVP的影响
Fig. 7 Effect of β -CD-CIN inclusion complex content on WVP of films

2.6 吸水性分析

图8为 β -CD-CIN包合物含量对薄膜吸水性的影响。从图8可看出,当未添加 β -CD-CIN包合物时,PVAL薄膜具有较高的吸水性能,为32.28%。这是因为PVAL为多羟基聚合物,分子链上有大量的羟基,易于水分子键合形成氢键,因此吸水性较高。对于PVAL/ β -CD-CIN薄膜,添加 β -CD-CIN包合物后,复合薄膜吸水性有所下降,吸水率由32.28%下降至11.97%。 β -CD-CIN添加量超过15%后,吸水性变化不明显。这是因为 β -CD-CIN包合物添加量在一定范围内,包合物能够分散均匀,与PVAL具有良好的相容性,一定程度上阻碍了水分子的透过,具有一定的疏水性,因此吸水性能降低。但当包合物含量超过适量范围内后,包合物可能发生团聚,在薄膜中分散性变差,与PVAL不能够良好地相容,因此PVAL/ β -CD-CIN薄膜的吸水性能下降较为平

缓。

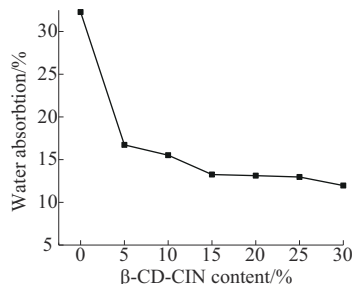


图8 β -CD-CIN包合物含量对薄膜吸水性的影响
Fig. 8 Effect of β -CD-CIN inclusion complex content on water absorption of films

3 结论

考察了不同 β -CD-CIN包合物含量下PVAL/ β -CD-CIN薄膜的性能变化。通过DSC分析证明,相比于PVAL薄膜,加入 β -CD-CIN包合物后,薄膜的 T_m 由 $220.75\text{ }^\circ\text{C}$ 降到 $193.86\text{ }^\circ\text{C}$, T_c 由 $162.87\text{ }^\circ\text{C}$ 降低至 $152.68\text{ }^\circ\text{C}$ 。当 β -CD-CIN包合物质量分数为15%时,PVAL/ β -CD-CIN薄膜的拉伸强度达到最大值,为 22.79 MPa ,断裂伸长率达到 430.60% ,此时薄膜的综合力学性能最好。随着薄膜中 β -CD-CIN包合物添加量的增加,薄膜的不透明度值呈上升趋势,当包合物添加质量分数为15%时,不透明度值为 0.31 A/mm ,薄膜呈现较好的透明度。PVAL/ β -CD-CIN薄膜的WVP呈现下降的趋势,当包合物添加量为15%时,WVP为 $0.56\text{ (g}\cdot\text{mm)}/(\text{kPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h})$,接近最小值 $0.41\text{ (g}\cdot\text{mm)}/(\text{kPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。薄膜吸水性逐渐下降,当 β -CD-CIN包合物质量分数为15%,PVAL/ β -CD-CIN薄膜的吸水率为 13.25% ,相比于未添加包合物的薄膜降低了 58.95% 。综上所述,在 β -CD-CIN包合物含量为15%时,PVAL/ β -CD-CIN薄膜的综合性能最佳。

参考文献

- [1] 许超群,戴凡伟,陈于晓,等.肉桂醛在水果保鲜中的应用及其包埋技术研究进展[J].现代食品科技,2023,39(12):1-9.
XU Chaoqun, DAI Fanwei, CHEN Yulong, et al. A review of cinnamaldehyde as preservative for fruit and its encapsulation technology [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(12):1-9.
- [2] MISHRA P, GUPTA P, Pruthi V. Cinnamaldehyde incorporated gellan/PVAL electrospun nanofibers for eradicating Candida biofilm[J]. Materials Science and Engineering:C, 2021, 119. DOI: 10.1016/j.msec.2020.11145.0.
- [3] ZHANG J, GUO Z, CHEN S, et al. High-barrier, strong, and anti-bacterial paper fabricated by coating acetylated cellulose and cinnamaldehyde for food packaging[J]. Cellulose, 2021, 28(7): 4 371 - 4 384.

- [4] 余春平,许春芳.肉桂醛微胶囊的制备及应用进展[J].农产品加工,2023(6):95-97.
YU Chunping, XU Chunfang. Progress in preparation and application of cinnamaldehyde microcapsules[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2023(6):95-97.
- [5] 陈广鑫,何蒙,范旭华,等.环糊精包合物对食品包装材料性能影响的研究进展[J].现代化工,2023,43(S1):59-62.
CHEN Guangxin, HE Meng, FAN Xuhua, et al. Research progress on effect of cyclodextrin inclusion compound on properties of food packaging materials[J]. Modern Chemical Industry, 2023, 43(S1): 59-62.
- [6] 陈红斌,洪伦波,汪娟,等.响应面优化高速剪切法制备薄荷挥发油包合物工艺[J].食品工业科技,2023,44(22):210-218.
CHEN Hongbin, HONG Lunbo, WANG Juan, et al. Preparation of peppermint Oil/ β -CD inclusion by high-speed shearing with process optimization using responsesurface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(22):210-218.
- [7] 邹艺源.基于肉桂醛/环糊精包合物的淀粉基膜的制备及表征[D].济南:齐鲁工业大学,2021.
ZOU Yiyuan. Preparation and characterization of starch based film containing cinnamaldehyde/cyclodextrin complex[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2021.
- [8] 孙森.基于丁香精油/ β -环糊精包合物的聚乙烯醇抗菌膜的制备及性能研究[D].株洲:湖南工业大学,2012.
SUN Miao. The preparation and properties research on the antimicrobial films of polyvinyl alcohol based on clove oil β -cyclodextrin inclusion[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2012.
- [9] MOHSIN M, HOSSIN A, HAIK Y. Thermal and mechanical properties of poly (vinyl alcohol) plasticized with glycerol[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 122(5):3 102-3 109.
- [10] 王帅阳.添加剂对聚乙烯醇/木聚糖复合膜性能的影响[D].广州:华南理工大学,2014.
WANG Shuaiyang. Influence of inorganic additives on properties of poly vinyl alcohol/xylan composite films[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [11] FASIHNIASH, PEIGHAMBARDOST SH, PEIGHAMBARDOUST S J, et al. Development of novel active polypropylene based packaging films containing different concentrations of sorbic acid[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2018, 18:87-94.
- [12] ARDEKANI-ZADEH A H, HOSSEINI S F. Electrospun essential oil-doped chitosan/poly (ϵ -caprolactone) hybrid nanofibrous mats for antimicrobial food biopackaging exploits[J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 223. DOI:10.1016/j.carbpol.2019.115108.
- [13] 田华峰,王格涵,姚媛媛,等.尿素/甲酰胺复配增塑聚乙烯醇薄膜的制备及性能研究[J].中国塑料,2018,32(9):113-117.
TIAN Huafeng, WANG Gehan, YAO Yuanyuan, et al. Preparation and properties of poly (vinyl alcohol) films with urea/formamide complex plasticizers[J]. China Plastics, 2018, 32(9):113-117.
- [14] DAI H, WANG J, LIU N. Preparation and properties of poly (vinyl alcohol) films using carbohydrates as plasticizers[J]. Journal of Vinyl and Additive Technology, 2019, 25(S1): E181-E187.
- [15] ZUBER S A, RUSLI A, ISMAIL H. Effectiveness of triacetin and triethyl citrate as plasticizer in polyvinyl alcohol[J]. Materials Today:Proceedings, 2019, 17:560-567.
- [16] 汤洪梅.聚乙烯醇热塑加工研究进展[J].化工设计通讯,2020,46(9):85-86.
TANG Hongmei. Research progress of polyvinyl alcohol thermoplastic processing[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2020, 46(9):85-86.
- [17] 高红芳.基于肉桂醛/聚乙烯醇抗菌包装膜体系构建及缓释调控研究[D].西安:陕西科技大学,2018.
GAO Hongfang. Preparation and study on controlled release property of antibacterial packaging film based on the system of cinnamaldehyde/poly (vinyl alcohol)[D]. Xi'an: Shaanxi University Of Science & Technology, 2018.
- [18] 赵厚菲,呼芷晴,徐永霞,等.肉桂醛-羟丙基- β -环糊精包合物的喷雾干燥法制备及表征[J].包装与食品机械,2020,38(1):25-29.
ZHAO Houfei, HU Zhiqing, XU Yongxia, et al. Preparation of cinnamaldehyde-hydroxypropyl- β -cyclodextrin inclusion complex by spray[J]. Packaging and Food Machinery, 2020, 38(1): 25-29.
- [19] OKUR N, SARICAM C, GOCEK I, et al. Functionalized polyvinyl alcohol nanofiber webs containing β -cyclodextrin/Vitamin C inclusion complex[J]. Journal of Industrial Textiles, 2021, 50(10): 1 559-1 571.
- [20] LAKKAKULA J R, MATSHAYA T, KRAUSE R W M. Cationic cyclodextrin/alginate chitosan nanoflowers as 5-fluorouracil drug delivery system[J]. Materials Science and Engineering: C, 2017, 70:169-177.
- [21] LIN L, DAI Y, CUI H. Antibacterial poly (ethylene oxide) electrospun nanofibers containing cinnamon essential oil/beta-cyclodextrin proteoliposomes[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 178:131-140.
- [22] 刘俊渤,李林建,唐珊珊,等.静电纺丝制备肉桂醛/聚乳酸复合纳米纤维膜及其性能[J].高分子材料科学与工程,2015,31(3): 173-178.
LIU Junbo, LI Linjian, TANG Shanshan, et al. Properties of electrospun composite nanofibers of cinnamic aldehyde/polylactic acid [J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2015, 31(3): 173-178.