

# EGCG 掺入聚乙烯醇 / 壳聚糖复合薄膜的制备与表征

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2022.03.002

谢 斌<sup>1</sup> 毛 龙<sup>2</sup>  
刘跃军<sup>1</sup>

1. 湖南工业大学  
先进包装材料与技术  
湖南省重点实验室  
湖南 株洲 412007
2. 厦门理工学院  
福建省功能材料及应用  
重点实验室  
福建 厦门 361024

**摘 要:** 为了研制一种综合性能更好的环境友好型活性包装材料, 以聚乙烯醇和壳聚糖为基材, 以表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG) 为改性剂, 制备了含不同质量分数 EGCG 的 PVA/CS/EGCG 复合薄膜。利用紫外-可见分光光度计对复合薄膜紫外光屏蔽性进行表征分析; 并对复合薄膜的厚度、色差、光透性、力学性能、抗氧化特性和抗菌活性进行测定。实验结果表明: EGCG 的掺入降低了复合薄膜的亮度, 使薄膜具有出色的紫外线阻隔性能; 提高了复合薄膜的拉伸强度且保持了较高的断裂伸长率; DPPH 自由基清除活性随着 EGCG 添加量的增加而明显提升, 说明复合薄膜的抗氧化性显著增强; 复合薄膜的抗菌性能得到显著提升, EGCG 质量分数为 5% 的复合薄膜的抑菌率达到 92.58%。

**关键词:** EGCG; 聚乙烯醇; 壳聚糖; 活性包装材料

**中图分类号:** TB332

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2022)03-0007-07

**引文格式:** 谢 斌, 毛 龙, 刘跃军. EGCG 掺入聚乙烯醇 / 壳聚糖复合薄膜的制备与表征 [J]. 包装学报, 2022, 14(3): 7-13.

## 0 引言

塑料包装是目前使用最广泛的包装材料之一, 但是这些不可降解的塑料会对环境造成污染, 甚至危害人体的健康<sup>[1]</sup>。添加蛋白质、多糖或脂质的生态友好型生物基高分子材料<sup>[2]</sup>, 以及含天然抗氧化剂的生物基活性包装材料在全球范围内受到越来越多的关注。

壳聚糖 (chitosan, CS) 是几丁质的天然衍生物, 是仅次于纤维素的第二大多糖。CS 因具有高分子量、线性结构、抗菌活性、生物相容性、生物降解性以及安全无毒的特性<sup>[3-4]</sup>, 而备受研究者的青睐, 已成为全球最广泛使用的天然高分子材料之一<sup>[5]</sup>。

聚乙烯醇 (polyvinyl alcohol, PVA) 是一种可生

物降解的水溶性结晶聚合物, 由于其良好的生物降解性、水溶性、成膜性、阻气性以及生物相容性, 能与不同的合成或天然聚合物共混, 被广泛应用于工业、医疗和食品接触包装领域<sup>[6-7]</sup>。PVA 也被美国农业部批准用于肉类和家禽产品包装<sup>[8]</sup>。

儿茶素是绿茶提取物中的主要茶多酚, 主要由表儿茶素、表没食子儿茶素、表儿茶素没食子酸酯、表没食子儿茶素没食子酸酯 (epigallocatechin gallate, EGCG) 组成<sup>[9-10]</sup>。EGCG 是绿茶提取物中活性最高的多酚类化合物, 儿茶素含量最高 (7~74 mg/g)<sup>[9]</sup>。EGCG 因出色的抗氧化性、抗菌活性、抗增殖和抗肿瘤活性而得到了广泛研究。一些研究表明<sup>[11-12]</sup>, EGCG 结构的修饰增强了其抗氧化活性, 其分子结构

**收稿日期:** 2022-01-22

**基金项目:** 福建省自然科学基金资助项目 (2021J05265)

**作者简介:** 谢 斌 (1992-), 男, 湖南攸县人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为高分子改性加工,

E-mail: 568007575@qq.com

**通信作者:** 刘跃军 (1970-), 男, 湖南攸县人, 湖南工业大学教授, 博士, 博士生导师, 主要从事包装新材料与技术研究,

E-mail: liuyuejun@hut.edu.cn

图如图1所示。

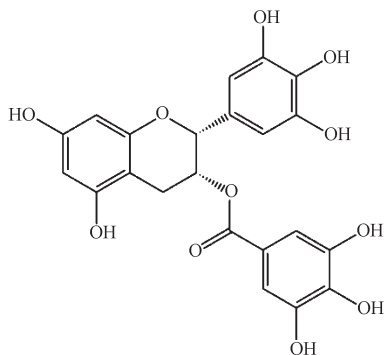


图1 EGCG的分子结构图

Fig. 1 The molecular structure diagram of EGCG

本研究以聚乙烯醇和壳聚糖为基材,以EGCG为改性剂,通过调整EGCG的添加量,制备了一系列PVA/CS/EGCG复合薄膜,并对复合薄膜的理化性能进行系统分析,旨在更大程度地提升PVA/CS基薄膜的综合性能,为研发环境友好型的PVA/CS基包装材料提供理论参考。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料与仪器设备

#### 1) 原材料

聚乙烯醇, AQ-4104, 日本可乐丽株式会社。壳聚糖,  $M_w=30\ 000$ ; 表没食子儿茶素没食子酸酯, 纯度为98%; 冰乙酸 (glacial acetic acid, HAC)。以上材料均为分析纯, 购买于上海麦克林生化科技有限公司。

#### 2) 仪器与设备

恒温加热磁力搅拌器, DF101型, 邦西仪器科技(上海)有限公司; 电子天平, YP202N型, 上海精密科学仪器有限公司; 平头测厚规, 精度为0.001 mm, 深圳市源恒通科技有限公司; 分光色差仪, TS7020型, 深圳市三恩时科技有限公司; 傅里叶变换红外光谱仪, ALPHA型, 德国Bruker; 紫外-可见分光光度计, SPECORD 210 PLUS型, 德国Analytik Jena; 万能力学测验机, ETM502B-Ex型, 深圳万测试验设备有限公司。

### 1.2 PVA/CS/EGCG复合薄膜的制备方法

在装有蒸馏水(12 mL)、搅拌子的三口烧瓶中加入0.56 g的PVA粉末, 先在室温下搅拌15 min, 使其充分溶胀, 再升温至98℃持续搅拌1 h, 使PVA完全溶解至均匀透明的溶液<sup>[13]</sup>, 冷却至室温备

用。在装有一定量的2%冰乙酸水溶液的烧杯中加入一定量的EGCG(分别为PVA、CS和EGCG总质量的0%, 0.5%, 1%, 3%, 5%), 充分溶解后再加入0.14 g的CS粉末, 继续搅拌至其完全溶解; 然后, 将冷却好的PVA溶液倒入烧杯中并缓慢搅拌, 混合均匀后将混合液体超声15 min, 以去除气泡; 最后, 将其置于水平放置的聚四氟乙烯模具中, 在35℃干燥箱内干燥24 h, 得到添加不同质量分数EGCG的PVA/CS/EGCG复合薄膜, 分别标号为PCE-0、PCE-0.5、PCE-1、PCE-3、PCE-5。

### 1.3 测定与表征

#### 1.3.1 厚度

参照国家标准GB/T 6672—2001《塑料薄膜和薄片厚度测定 机械测量法》中的方法, 对复合薄膜的厚度进行测定。具体方法为: 取一张完整光滑的复合薄膜, 使用精度为0.001 mm的平头测厚规在复合薄膜上随机取5个点测量厚度, 取平均值。

#### 1.3.2 色差与透明性

复合薄膜的颜色由分光色差仪进行测定, 测量值分别为 $L^*$ (亮度值)、 $a^*$ (红/绿值)和 $b^*$ (黄/蓝值), 其中 $L^*$ 值越低表示样品的亮度越小;  $a^*$ 为负值指示绿色, 正值指示红色;  $b^*$ 为负值指示蓝色, 正值指示黄色。白色标准色板( $L^*=96.9$ ,  $a^*=-0.2$ ,  $b^*=0.3$ )用于校准仪器并在测量过程中作为背景。每张薄膜记录3个测量值, 取平均值, 并根据式(1)计算总色差( $\Delta E$ )。

$$\Delta E = \left[ (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{0.5}, \quad (1)$$

式中:  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ 分别表示样品的亮度值、红/绿值、黄/蓝值与标准值的变化量。

薄膜的不透明度( $O$ )根据式(2)进行计算。

$$O = Abs_{600}/x, \quad (2)$$

式中:  $Abs_{600}$ 是薄膜在600 nm处的吸光度;  $x$ 是薄膜的厚度, mm。

#### 1.3.3 紫外光屏蔽性能

使用紫外-可见分光光度计在紫外和可见光范围(190~800 nm)测量薄膜(2 cm×2 cm)的光学特性。

#### 1.3.4 力学性能

将已知厚度的薄膜切成矩形条状, 采用万能力学测验机对样条的力学性能进行测试, 拉伸速率为10 mm/min。每张薄膜做5个平行试样, 测试结果取平均值。

#### 1.3.5 抗氧化性能

采用DPPH自由基清除活性测试评价薄膜的抗

氧化性能<sup>[14]</sup>。将膜试样裁剪成 40 mm × 40 mm 大小, 放入盛有 50 mL 去离子水的烧杯中, 置于磁力搅拌器上, 转速适当, 在室温下持续搅拌。以去离子水为空白对照, 取 1 mL 试样溶液加入到 4 mL DPPH 的甲醇溶液 (浓度为 75 μmol/L) 中振荡混匀, 避光静置 1 h, 使清除自由基反应充分, 用紫外分光光度计测定 516 nm 处的吸光度。每张薄膜做 3 个平行试样, 测试结果取平均值。

通过式 (3) 计算 DPPH 自由基清除活性。

$$\text{清除率} = [1 - (A_1/A_0)] \times 100\%, \quad (3)$$

式中:  $A_1$  为样品的吸光度;  $A_0$  为空白对照的吸光度。

### 1.3.6 抗菌性能

采用平板菌落计数法, 研究了复合薄膜对大肠杆菌 (*Escherichia coli*, *E. coli*) 的抗菌性能。测试方法与步骤参照文献 [15], 测试的最终结果所对应的单位为 CFU/mL, 即每毫升样品中含有的细菌群落总数<sup>[16]</sup>。待测试完成后, 以抗菌率评估样品的抗菌活性, 计算公式如下:

抗菌率 = [(对照的菌落群 - 样品的菌落群) / 对照的菌落群] × 100%。

## 2 结果与讨论

### 2.1 色差与透明性分析

薄膜的颜色和不透明度可以直接影响食品外观和消费者的接受度, 是薄膜的两个重要参数<sup>[17]</sup>。添加不同质量分数 EGCG 的 PVA/CS/EGCG 复合薄膜的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E$  以及不透明度值如表 1 所示。

表 1 PVA/CS/EGCG 复合薄膜的颜色参数和不透明度值  
Table 1 Color parameters and opacity values of PVA/CS/EGCG composite films

样品编号	厚度/mm	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$	$O$
PCE-0	0.072	91.6	-2.2	21.0	21.5	2.89
PCE-0.5	0.074	76.6	2.2	22.4	30.1	4.73
PCE-1	0.075	63.1	7.5	28.0	44.4	4.89
PCE-3	0.077	62.4	9.6	28.8	45.8	4.97
PCE-5	0.075	57.8	13.5	34.0	53.5	4.75

由表 1 可以看出, 随着 EGCG 添加量的增加, 薄膜亮度值  $L^*$  由 91.6 下降至 57.8, 显著降低, 而  $a^*$ 、 $b^*$  和  $\Delta E$  的值则出现明显升高, 说明复合薄膜亮度变暗, 颜色偏红、偏黄, 透明性比对照膜 (PCE-0) 明显降低。这些变化可能是薄膜基质收缩的结果,

其中聚合物链间间距减小, 允许较少的光通过薄膜<sup>[18]</sup>; 也可能是由 EGCG 本身的颜色 (浅黄褐色) 引起的。另外, 表中所有复合薄膜在 600 nm 处的不透明度值  $O$  均低于 5, 都可以被认为是透明的<sup>[3]</sup>, 该参数值越高, 表示薄膜透明度越低。

### 2.2 紫外光屏蔽性能分析

近紫外区 (200~380 nm 范围内) 的紫外光作为常见的氧化引发剂之一, 会导致食物变质。因此, 避免由紫外线引起的脂质氧化非常重要。图 2 为复合薄膜在近紫外光和可见光范围内 (选定波长为 190~790 nm) 的透光率值。

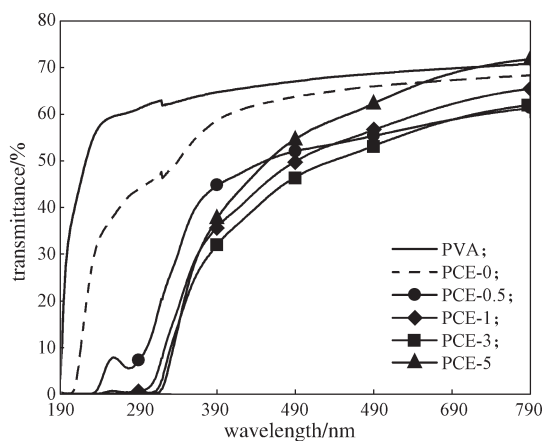


图 2 PVA/CS/EGCG 复合薄膜的紫外-可见光谱图  
Fig. 2 The UV-visible spectra of PVA/CS/EGCG composite films

由图 2 可知, EGCG 的添加显著降低了复合薄膜的紫外光透过率, 尤其是在 200~320 nm 范围内, 添加质量分数 1% 以上 EGCG 的复合薄膜紫外可见光透过率接近 0%, 说明 PVA/CS/EGCG 复合薄膜能够有效阻挡紫外线。这些结果与冯明月<sup>[19]</sup>的研究结果一致, 后者表明掺有茶多酚的薄膜具有出色的紫外线阻隔能力, 用于食品包装中可以防止紫外线引起的脂质氧化。此外, 在可见光范围内 PVA/CS/EGCG 复合薄膜大体上都显示低于 PVA/CS 膜的可见光透过率, 说明 EGCG 的掺入降低了薄膜的透明度, 但在本研究添加量范围内所制备的 PVA/CS/EGCG 复合薄膜均为透明的 ( $O < 5$ )。

### 2.3 力学性能分析

拉伸强度 ( $\sigma_b$ ) 和断裂伸长率 ( $E$ ) 是衡量食品包装在运输和生命周期中保持完整性和承受外部压力的关键参数。图 3 为添加不同质量分数的 EGCG ( $w_{EGCG}$ ) 对复合薄膜拉伸强度和断裂伸长率的影响。

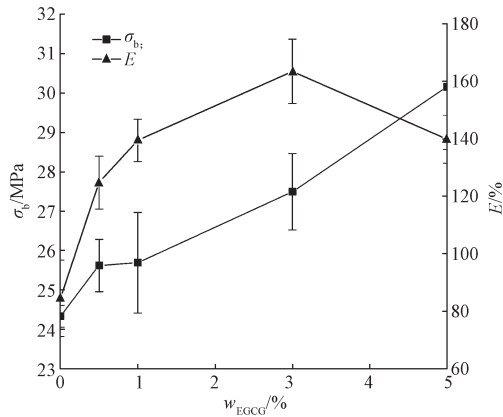


图3 PVA/CS/EGCG复合薄膜的力学性能曲线

Fig. 3 Mechanical property curve of PVA/CS/EGCG composite films

由图3可知,与PVA/CS膜相比,掺入EGCG的复合薄膜拉伸强度和断裂伸长率均有明显提升。拉伸强度由开始的24.33 MPa增加至30.16 MPa,增加了约24%;断裂伸长率由84.38%最高增加到163.38% (EGCG质量分数为3%时),随EGCG添加量进一步增加,断裂伸长率反而降低。这种变化主要归因于EGCG的多羟基化合物,与PVA、CS形成了新的氢键,增加了分子间的相互作用力,增强了薄膜的网状结构,进而提升了薄膜的力学性能<sup>[20]</sup>。

#### 2.4 抗氧化性能分析

DPPH自由基清除活性试验通常被用来测定样品的抗氧化性能,且DPPH自由基清除活性越高,样品的抗氧化性能越好。图4为添加不同质量分数

EGCG的PVA/CS/EGCG复合薄膜对DPPH自由基清除率的情况。

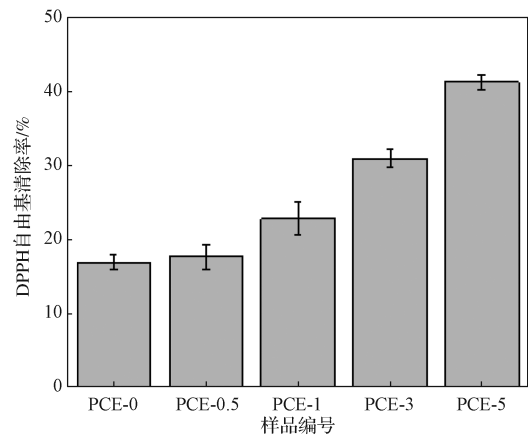


图4 PVA/CS/EGCG复合薄膜对DPPH自由基清除率

Fig. 4 DPPH free radical scavenging of PVA/CS/EGCG composite films

由图4可以看出,未添加EGCG的PVA/CS薄膜(PCE-0)也表现出了一定的自由基清除活性(16.9%),这可能是由于壳聚糖本身具有一定的抗氧化活性<sup>[21]</sup>。当EGCG掺入薄膜中后,其抗氧化性能进一步提升,并且随着EGCG质量分数的增大而增强,当EGCG的质量分数为5%时,DPPH自由基清除率达到了41.3%。这一结果表明EGCG分子作为抗氧化剂,实现了与PVA/CS基质的均匀共混。

#### 2.5 抗菌性能分析

图5为PVA/CS/EGCG复合薄膜对大肠杆菌抗菌测试菌落实物图,抗菌率结果如图6所示。

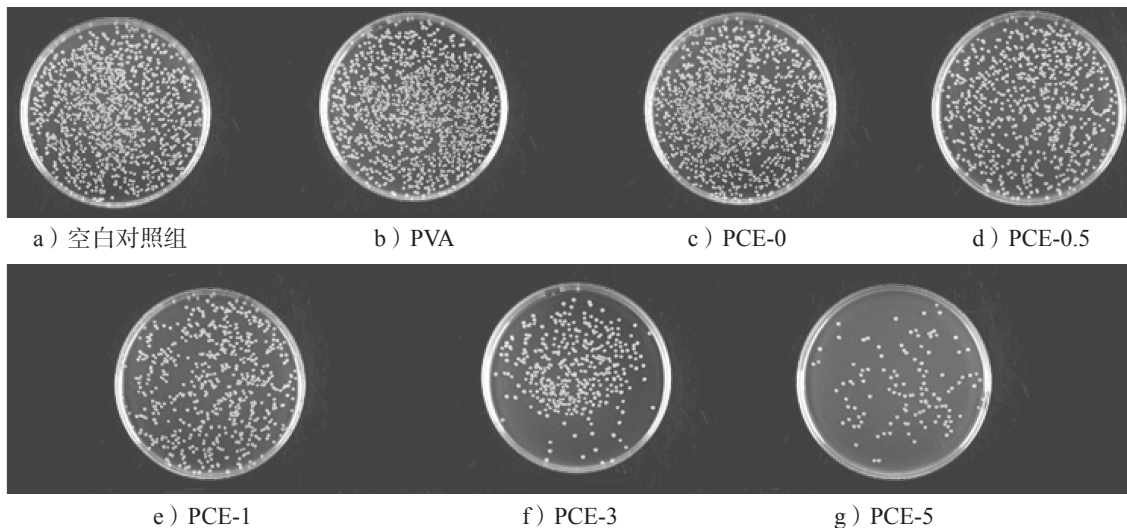


图5 不同薄膜对大肠杆菌的抑菌效果图

Fig. 5 The antibacterial effect of different ratios of different films against *E. coli*.



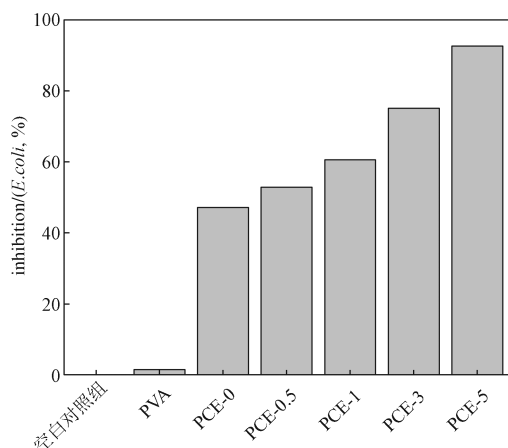


图 6 不同薄膜对大肠杆菌生长抑制的影响

Fig. 6 Effects of different films on the growth inhibition of *E. coli*.

结合图 5~6 可以看出, 纯 PVA 膜的菌液浓度 ( $1.87 \times 10^9$  CFU/mL) 基本与空白对照组 ( $1.90 \times 10^9$  CFU/mL) 持平, 证明了 PVA 本身是不具备抗菌性的; 加入质量分数为 20% 的壳聚糖后 PCE-0 复合薄膜的抗菌能力明显提升 (抗菌率达 47.16%), 这与壳聚糖的抗菌活性<sup>[22-24]</sup>密切相关; 随着 EGCG 质量分数的增加, PVA/CS/EGCG 复合薄膜的抗菌性能进一步增强, PCE-5 复合薄膜的菌液浓度为  $1.14 \times 10^8$  CFU/mL, 抗菌率达到 92.58%。这是因为: EGCG 与细胞膜表面蛋白结合并抑制大肠杆菌转运蛋白的功能, 进而限制葡萄糖通过细胞外膜向细胞内的传递, 实现抗菌功能<sup>[25-27]</sup>。

### 3 结论

本研究以 PVA 和 CS 为基材, 以绿茶提取物 EGCG 为改性剂, 通过调整 EGCG 的添加量, 制备一系列 PVA/CS/EGCG 复合薄膜, 优化其综合性能, 利用紫外-可见分光光度计对复合薄膜紫外光屏蔽性进行表征, 并测定复合薄膜的厚度、色差、透明性、紫外光屏蔽性能、力学性能、抗氧化性能和抗菌性能。实验结果表明, EGCG 的掺入大幅度提升了 PVA/CS/EGCG 复合薄膜的紫外光屏蔽性能和抗氧化性能, 在增强机械性能的同时也保持了较好的断裂伸长率。此外, PVA/CS/EGCG 复合薄膜的抗菌性能得到了显著提升, 尤其是 PCE-5 的抑菌率达到 92.58%。PCE-5 复合薄膜大体上符合了良好包装材料的要求, 在此基础上进行深入研究, 有望开发出环境友好型的活性包

装材料。

### 参考文献:

- [1] KASAI D, CHOUGALE R, MASTI S, et al. Influence of *Syzygium Cumini* Leaves Extract on Morphological, Thermal, Mechanical, and Antimicrobial Properties of PVA and PVA/Chitosan Blend Films[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2018, 135(17): 46188.
- [2] RIAZ A, LAGNIKA C, ABDIN M, et al. Preparation and Characterization of Chitosan/Gelatin-Based Active Food Packaging Films Containing Apple Peel Nanoparticles[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2020, 28(2): 411-420.
- [3] HAGHIGHI H, LEUGOUE S K, PFEIFER F, et al. Development of Antimicrobial Films Based on Chitosan-Polyvinyl Alcohol Blend Enriched with Ethyl Lauroyl Arginate (LAE) for Food Packaging Applications[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 100: 105419.
- [4] ASLAM M, RAZA Z A, SIDDIQUE A. Fabrication and Chemo-Physical Characterization of CuO/Chitosan Nanocomposite-Mediated Tricomponent PVA Films[J]. Polymer Bulletin, 2021, 78(4): 1955-1965.
- [5] VLASCEANU G M, CRICA L E, PANDELE A M, et al. Graphene Oxide Reinforcing Genipin Crosslinked Chitosan-Gelatin Blend Films[J]. Coatings, 2020, 10(2): 189.
- [6] CHEN C W, XIE J, YANG F X, et al. Development of Moisture-Absorbing and Antioxidant Active Packaging Film Based on Poly(Vinyl Alcohol) Incorporated with Green Tea Extract and Its Effect on the Quality of Dried Eel[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(1): e13374.
- [7] CHETOUANI A, ELKOLLI M, BOUNEKHEL M, et al. Chitosan/Oxidized Pectin/PVA Blend Film: Mechanical and Biological Properties[J]. Polymer Bulletin, 2017, 74(10): 4297-4310.
- [8] DEMERLIS C C, SCHONEKER D R. Review of the Oral Toxicity of Polyvinyl Alcohol (PVA)[J]. Food and Chemical Toxicology, 2003, 41(3): 319-326.
- [9] NIKOO M, REGENSTEIN J M, AHMADI GAVLIGHI H. Antioxidant and Antimicrobial Activities of (-)-Epigallocatechin-3-Gallate (EGCG) and Its Potential to Preserve the Quality and Safety of Foods[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2018, 17(3): 732-753.

- [10] YU S H, TSAI M L, LIN B X, et al. Tea Catechins-Cross-Linked Methylcellulose Active Films for Inhibition of Light Irradiation and Lipid Peroxidation Induced  $\beta$ -Carotene Degradation[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 44: 491-505.
- [11] ZHONG Y, MA C M, SHAHIDI F. Antioxidant and Antiviral Activities of Lipophilic Epigallocatechin Gallate (EGCG) Derivatives[J]. Journal of Functional Foods, 2012, 4(1): 87-93.
- [12] ZHU S, LI Y, LI Z, et al. Lipase-Catalyzed Synthesis of Acetylated EGCG and Antioxidant Properties of the Acetylated Derivatives[J]. Food Research International, 2014, 56: 279-286.
- [13] YANG M L, LI L, YU S G, et al. High Performance of Alginate/Polyvinyl Alcohol Composite Film Based on Natural Original Melanin Nanoparticles Used as Food Thermal Insulating and UV-vis Block[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 233: 115884.
- [14] 陈晨伟. 基于多层复合控释技术的 PP/PVA/PP 活性包装复合薄膜制备分析及其应用研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.  
CHEN Chenwei. Study on the Preparation and Application of PP/PVA/PP Active Packaging Film Based on Multilayer Controlled Release Technology[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [15] 毛 龙, 姚 进, 刘跃军, 等. 聚乳酸-聚吡咯/银多层复合抗菌薄膜的制备与性能表征 [J]. 表面技术, 2019, 48(1): 154-160.  
MAO Long, YAO Jin, LIU Yuejun, et al. Preparation and Characterization of Polylactic Acid-Polypyrrole/Silver Multilayer Composite Antibacterial Film[J]. Surface Technology, 2019, 48(1): 154-160.
- [16] KIM H J, KIM D G, YOON H, et al. Polyphenol/FeIII Complex Coated Membranes Having Multifunctional Properties Prepared by a One-Step Fast Assembly[J]. Advanced Materials Interfaces, 2015, 2(14): 1500298.
- [17] ZHANG Z J, LI N, LI H Z, et al. Preparation and Characterization of Biocomposite Chitosan Film Containing *Perilla Frutescens* (L.) Britt. Essential Oil[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 112: 660-667.
- [18] YANG L, PAULSON A T, NICKERSON M T. Mechanical and Physical Properties of Calcium-Treated Gellan Films[J]. Food Research International, 2010, 43(5): 1439-1443.
- [19] 冯明月. 茶多酚/淀粉活性膜的制备及性能表征 [D]. 广州: 华南理工大学, 2018.  
FENG Mingyue. Preparation and Characterization of Tea Polyphenol/Starch Active Film[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.
- [20] SIRIPATRAWAN U, HARTE B R. Physical Properties and Antioxidant Activity of an Active Film from Chitosan Incorporated with Green Tea Extract[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(8): 770-775.
- [21] 严 花. 壳聚糖/玉米醇溶蛋白负载 EGCG 纳米包装膜的制备与性能研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.  
YAN Hua. Preparation and Characterization of Edible Chitosan Films Incorporated with EGCG Loaded Chitosan/Zein Nanoparticles[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2017.
- [22] 刘永旭, 张大伟. 壳聚糖/聚乙烯醇/壳寡糖抑菌纳米纤维膜的制备和性能研究 [J]. 生物质化学工程, 2020, 54(4): 30-36.  
LIU Yongxu, ZHANG Dawei. Preparation and Properties of Bacteriostatic Chitosan/PVA/Chitosan Oligosaccharide Nanofibrous Membranes[J]. Biomass Chemical Engineering, 2020, 54(4): 30-36.
- [23] PERDANA M I, RUAMCHAROEN J, PANPHON S, et al. Antimicrobial Activity and Physical Properties of Starch/Chitosan Film Incorporated with Lemongrass Essential Oil and Its Application[J]. LWT- Food Science and Technology, 2021, 141: 110934.
- [24] 吴梦君, 钟环宇, 李樟华, 等. 木薯淀粉/壳聚糖可食共混膜的制备及在草莓保鲜中的应用 [J]. 包装学报, 2018, 10(1): 76-82.  
WU Mengjun, ZHONG Huanyu, LI Zhanghua, et al. Preparation of Cassava Starch/Chitosan Edible Blend Membrane and Its Application in Strawberry Preservation[J]. Packaging Journal, 2018, 10(1): 76-82.
- [25] 马翠翠, 庞 潇, 孟焕娜, 等. 乳铁蛋白-EGCG-多糖乳液的构建及其递送姜黄素的功能特性 [J]. 中国食品学报, 2021, 21(10): 34-45.  
MA Cuicui, PANG Xiao, MENG Huanna, et al. Construction of Lactoferrin-EGCG-Polysaccharide Emulsion and Its Functional Properties for Delivery of Curcumin[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(10): 34-45.
- [26] 王 祺. EGCG-明胶复合膜物化性质及其对冷藏罗非鱼片品质的保持机制 [D]. 海口: 海南大学, 2019.  
WANG Qi. The Physicochemical Properties of EGCG-Gelatin Composite Film and Its Mechanism in the Maintenance of the Tilapia Fillets Quality During Chilled Storage[D]. Haikou: Hainan University, 2019.
- [27] NAKAYAMA M, SHIMATANI K, OZAWA T,

et al. Mechanism for the Antibacterial Action of Epigallocatechin Gallate (EGCG) on *Bacillus Subtilis*[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2015, 79(5): 845–854.

(责任编辑: 李玉华)

## Preparation and Characterization of Polyvinyl Alcohol/Chitosan Composite Film Doped with EGCG

XIE Bin<sup>1</sup>, MAO Long<sup>2</sup>, LIU Yuejun<sup>1</sup>

( 1. Key Laboratory of Advanced Packaging Materials and Technology of Hunan Province, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Functional Materials and Applications, Xiamen University of Technology, Xiamen Fujian 361024, China )

**Abstract:** In order to develop an environment-friendly active packaging material with better comprehensive properties, PVA/CS/EGCG composite films with different mass fractions of EGCG were prepared by using polyvinyl alcohol and chitosan as substrates and EGCG as the modifier. The UV-visible spectrophotometer was used to characterize the UV shielding of the composite film, and the thickness, color difference, light transmittance, mechanical properties, antioxidant properties and antibacterial activity of the composite film were also measured. The experimental results showed that the incorporation of EGCG reduced the brightness of the composite film and made the film have excellent UV barrier properties, while improved the tensile strength of the composite film and kept high elongation at break. The free radical scavenging activity of DPPH increased significantly with the increase of EGCG content, indicating that the oxidation resistance of the composite film has been significantly enhanced. The antibacterial performance of the composite film was significantly improved, and the antibacterial rate of the composite film with a mass fraction of EGCG of 5% reached 92.58%.

**Keywords:** EGCG; polyvinyl alcohol; chitosan; active packaging material