

魔芋葡甘聚糖-普鲁兰多糖复合膜的制备与性能研究

姚 遥,肖 满,严文莉,匡 映,姜发堂,倪学文*

(湖北工业大学食品与制药工程学院,湖北武汉 430068)

摘 要:利用魔芋葡甘聚糖(KGM)和普鲁兰多糖(PUL)制备可食性复合膜,研究了KGM与PUL不同配比对复合膜性能的影响。结果表明,KGM和PUL分子之间发生了氢键相互作用,有较好的相容性,复合膜的拉伸强度、断裂伸长率以及阻湿性能和纯膜比较都显著提高。当KGM与PUL复合比为6:4(w/w)时,复合膜的热稳定性最好,其拉伸强度和断裂伸长率最大,分别为77.68 MPa和14.93%,水蒸气透过率较纯KGM膜降低了34%,氧气透过率高于纯KGM膜,但符合食品包装膜的要求。复合膜的性能优于纯KGM膜以及纯PUL膜,适合应用于可食性食品包装膜材料。

关键词:魔芋葡甘聚糖,普鲁兰多糖,复合膜,性能

Preparation and performance of konjac glucomannan and pullulan blend films

YAO Yao, XIAO Man, YAN Wen-li, KUANG Ying, JIANG Fa-tang, NI Xue-wen*

(School of Food and Pharmaceutical Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

Abstract: Konjac glucomannan (KGM) and pullulan (PUL) were used for edible blend films preparation, and impacts of different blending formulas on film performance were studied. Results indicated hydrogen bond interactions and good compatibility between KGM and PUL, as tensile strength, breaking elongation, and moisture barrier properties of the blend films were significantly improved. When KGM and PUL blending ratio was 6:4 (w/w), thermostability of blend film was the best, and tensile strength and breaking elongation of blend film were 77.68 MPa and 14.93%, respectively, water vapor transmittance decreased by 34% compared with pure KGM film, while oxygen permeability was higher than pure KGM film, but still fitted the requirement of food packaging films. Compared with pure KGM and pure PUL films, the blend films had superior performance, and was suitable to be used in packaging films for edible foods.

Key words: konjac glucomannan; pullulan; blend films; performance

中图分类号:TS206

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2016)18-0312-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2016.18.051

随着全球化保护环境和节约能源需求的日益增长,基于可再生资源的环境友好型包装材料越来越受到食品包装领域的关注。可食性膜主要以天然高分子(包括多糖类、蛋白质和脂质类)为原料,通过不同分子间相互作用而形成的具有致密结构的包装膜材料。可食性膜因其安全性、无环境污染等优点在食品及药品包装领域具有广阔的应用前景^[1]。

魔芋葡甘聚糖(Konjac glucomannan, KGM)是一种高分子量的植物多糖,由 β -D-葡萄糖和 β -D-甘露糖按1:1.6的比例以 β -1,4糖苷键连接而成^[2-3]。KGM具有良好的成膜性能、生物相容性及降解性能,但纯KGM膜的阻湿性能较差^[4]。普鲁兰多糖

(Pullulan, PUL)是由出芽短梗霉分泌的一种胞外线性多糖,纯PUL膜具有良好的热封性和阻气性能,氧气、氮气和二氧化碳等均不能透过PUL膜,但其力学特性较差^[5]。

将不同类型的材料共混可以形成特殊的分子结构形式,分子之间有一定的协同增效作用,可以提高单组分膜材料的性能,研制出性能优异的膜材料^[6],符合人们对材料多样性和实用性的要求。关于KGM-PUL复合膜的研究鲜见文献报道。本文将利用KGM和PUL为原料,通过物理共混的方式制备KGM-PUL可食性复合膜,探讨KGM与PUL不同配比对复合膜的力学性能和阻隔性能的影响,并利用扫描

收稿日期:2016-01-25

作者简介:姚遥(1986-),男,硕士研究生,研究方向:食品化学及天然高分子材料,E-mail:yao86285@163.com。

* 通讯作者:倪学文(1977-),女,博士,副教授,研究方向:食品化学及天然高分子材料,E-mail:nixuewen@126.com。

基金项目:湖北省自然科学基金面上项目(2014CFB587);湖北省科技支撑计划项目(2014BBB019)。

电镜、红外光谱、DSC 等方法分析复合膜中 KGM 与 PUL 的相互作用,以期制备出一种适合应用于方便面料包、速溶固体饮料等领域的可食性内包装膜,并为 KGM-PUL 可食性复合膜的开发应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

魔芋葡甘聚糖(KGM, 8.56×10^5 g/mol) 武汉市力诚生物科技有限公司;普鲁兰多糖(PUL, 2.0×10^5 g/mol) 上海晶纯生化科技股份有限公司;甘油 上海国药集团化学试剂有限公司。

DK-S22 型电热恒温水浴锅 上海精宏实验设备有限公司;WiseStir HS-120A 顶置式电子搅拌器 韩国大韩科学仪器有限公司;DHG-9240A 型电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;TMS-PRO 质构分析仪 美国 FTC;NEXUS 傅立叶红外光谱仪 Nicolet America;JSM-6390LV X-650 扫描电镜 Hitachi Japan;DSC-Q10 差示扫描量热仪 Mettler Toledo Switzerland;VAC-V1 氧气透过仪、W3/031 水蒸气透过仪 济南兰光有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 复合膜的制备 称取 1 g KGM,加入到 100 mL 的蒸馏水中,60 °C 水浴搅拌 2 h,得到 KGM 水溶胶;称取 1 g PUL,加入到 100 mL 的蒸馏水中,60 °C 水浴搅拌 1 h,得到 PUL 水溶胶;将一定体积的 PUL 水溶胶缓慢加入一定体积高速搅拌的 KGM 水溶胶中(900 r/min),并加入总固形物含量(KGM 和 PUL 总质量)15%的甘油,60 °C 搅拌 2 h,得到 KGM-PUL 复合成膜液。将 100 mL 成膜液倒入直径为 15 cm 的聚苯乙烯培养皿中,置于 40 °C 的烘箱中干燥 12 h 后揭膜;然后将膜置于 (25 ± 1) °C, $50\% \pm 1\%$ 的相对湿度条件下平衡 3 d,备用。

复合成膜液中 KGM 与 PUL 的总质量浓度为 1% (w/v),KGM 与 PUL 按照质量比为 0:10、1:9、2:8、3:7、4:6、5:5、6:4、7:3、8:2、9:1、10:0 (w/w) 的比例混合,制备的复合膜分别表示为 PUL、KP1、KP2、KP3、KP4、KP5、KP6、KP7、KP8、KP9、KGM。

1.2.2 扫描电镜观察 将膜样品裁剪成小块,置于铜台在 13.3 Pa 真空中下喷金,厚度约为 20 nm,加速电压为 20 kV,运用扫描电镜观察膜样品的表面形态(放大倍数 1000 $\times$);对膜样品进行液氮冷冻后,断口处进行截面扫描(放大倍数 500 $\times$)。

1.2.3 红外图谱分析 将膜样品裁剪成 2 cm $\times$ 2 cm,在 60 °C 下真空干燥 24 h;然后利用 NEXUS 傅立叶红外分光光度计在 25 °C 对样品进行红外光谱测定,采用反射模式测定,波长范围 4000~500 cm^{-1} ,分辨率为 0.5 cm^{-1} 。

1.2.4 DSC 分析 称取 3 mg 膜样品,装入坩埚铝盒中,用 DSC-Q10 热分析仪在氮气保护下对样品进行扫描。在 30~250 °C 之间以 10 °C/min 等速升温。

1.2.5 力学性能测定 采用国标《GB/T 13022-1991 塑料薄膜拉伸强度性能实验方法》测试膜的拉伸强度和断裂伸长率,该方法适用于薄膜和厚度小于 1 mm 的材料。

样品裁成 10 mm $\times$ 50 mm 的长条,用测厚仪测定其膜厚。用质构仪测定最大拉力,测试条件:测试速度为 5 mm/min,测试温度为 25 °C,湿度为 50% RH。

膜样品的拉伸强度计算公式:

$$TS = \frac{P}{bd}$$

式中:TS 为拉伸强度,MPa;P 为最大负荷即拉力,N;b 为试样宽度,mm;d 为试样厚度,mm。

膜样品的断裂伸长率计算公式:

$$EAB(\%) = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100$$

式中:EAB 为断裂伸长率,%;L₀ 为试样原始标线距离,mm;L 为试样断裂时的标线间的距离,mm。

1.2.6 水蒸气透过率测定 根据国标 GB/T 1037-1988 方法,使用水蒸气透过仪测定复合膜的水蒸气透过率^[7]。计算公式如下:

$$WVT = \frac{24 \cdot \Delta m}{A \cdot t}$$

式中:WVT 为水蒸气透过率,g/m²·24 h;t 为质量增量稳定后的两次间隔时间,h; Δm 为 t 时间内的质量增量,g;A 为测试膜样透水蒸气的面积,m²。

1.2.7 氧气透过率测定 根据国标 GB/T 1038-2000 方法,使用氧气透过仪测定复合膜的氧气透过率^[7]。计算公式如下:

$$OP = \frac{\Delta p}{\Delta t} \times \frac{V}{S} \times \frac{T_0}{p_0 T} \times \frac{24}{p_1 - p_2}$$

式中:OP 为膜的氧气透过率,cm³/m²·24 h·0.1 MPa; $\Delta p/\Delta t$ 为在稳定透过时,单位时间内低气压室气体压力变化的算术平均值,Pa/h;V 为低压室容积,cm³;S 为测试膜样的实验面积,m²;T 为实验温度,K;p₁-p₂ 为实验膜样两侧的压差,Pa;T₀,p₀ 分别为标准温度下的温度(237.15 K)和压力(1.0133 $\times 10^5$ Pa)。

1.2.8 数据处理 每个实验平行重复 3 次,利用 SPSS 19.0 软件进行数据差异显著性分析($p < 0.05$),采用 OriginLab 8.0 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 复合膜的表现形态

利用 KGM 与 PUL 在不同配比制备复合膜,复合膜的表现形态如表 1 所示,纯 KGM 和纯 PUL 成膜性能较好,不同配比的 KGM-PUL 复合物表现出不同的成膜性能。KGM 的分子量大,吸水溶胀后能形成黏度较高的水溶胶^[2-3],其含量对 KGM-PUL 复合成膜液的黏度有很大的影响。当 KGM 与 PUL 比例为 9:1、8:2、7:3、6:4 (w/w) 时,成膜液黏度高,PUL 均匀分散在 KGM 连续相中,成膜性好,形成的复合膜均匀透明,具有较好的柔软度。当 KGM 与 PUL 比例为 5:5 (w/w) 时,成膜性变差,出现部分相分离,透明度低;当 KGM 与 PUL 比例为 4:6、3:7、2:8、1:9 (w/w) 时,随着 KGM 含量降低,成膜液黏度降低,PUL 分子靠拢集聚,成膜液出现明显的相分离,无法成膜。可见,KGM 与 PUL 复合比例决定了 KGM-PUL 复合成膜液的稳定性、均一性以及成膜性能。后续实验选用成膜性能好的复合膜(PUL、KP6、KP7、KP8、KP9、KGM)为研究对象。

表1 KGM-PUL 复合膜的表现形态

Table 1 The apparent morphology of KGM-PUL blend films

KGM: PUL (w/w)	成膜性及外观	柔软度
10:0 (KGM)	成膜性较好, 透明度较好	较好
9:1 (KP9)	成膜性较好, 均匀透明	较好
8:2 (KP8)	成膜性较好, 均匀透明	较好
7:3 (KP7)	成膜性较好, 均匀透明	较好
6:4 (KP6)	成膜性较好, 均匀透明	较好
5:5 (KP5)	出现部分的相分离	
4:6 (KP4)	出现明显的相分离	
3:7 (KP3)	出现明显的相分离	
2:8 (KP2)	出现明显的相分离	
1:9 (KP1)	出现明显的相分离	
0:10 (PUL)	成膜性较好, 透明度高	较差

2.2 复合膜的微观结构

纯 KGM 膜、纯 PUL 膜及 KP6、KP7、KP8、KP9 膜的表面和截面形貌如图 1 所示。纯 KGM 膜和 PUL 膜表面光滑均匀, 复合膜的膜表面较纯膜粗糙, 其中 KP6 能观察到明显的均匀孔洞结构, 呈现均匀的两相。纯 KGM 膜的截面致密且呈现一层层的纹理, 纯 PUL 膜的截面是致密而光滑的, 复合膜截面较纯膜结构疏松, KP6 膜截面结构最为均一。成膜液在干燥成膜过程中, 由于 KGM 与 PUL 相互作用可能形成了互穿的网络结构^[8-9]。KP6 膜均一的结构表明当 KGM 与 PUL 的复合比例为 6:4 (w/w) 时 KGM 与 PUL 具有最好的相容性, 这与后面对复合膜的热力学性能及力学性能测试结果一致。

2.3 红外光谱分析

复合膜的红外光谱如图 2 所示。在纯 KGM 膜图

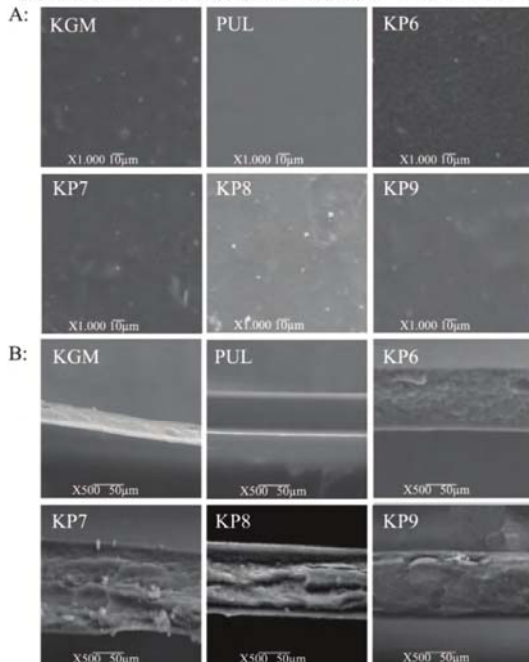


图1 不同膜样品的扫描电镜表面(A)和截面(B)图像

Fig.1 SEM micrographs of surface (A) and cross-section (B) of the different films

谱中, 3381 cm^{-1} 处为 -OH 的伸缩振动峰, 2925 cm^{-1} 处为甲基中 C-H 的伸缩振动峰, 1652 cm^{-1} 处为乙酰基团中 C=O 伸缩振动峰, 873 和 808 cm^{-1} 处为魔芋葡甘聚糖中特有的甘露糖单位伸缩振动峰^[10-11]。在纯 PUL 膜图谱中, 3334 cm^{-1} 处为 -OH 的伸缩振动峰, 2925 cm^{-1} 处为甲基中 C-H 的伸缩振动峰, 1150 cm^{-1} 处为多糖(1 $\rightarrow$ 4)糖苷键的伸缩振动峰, 1078 cm^{-1} 处为 C₆-OH 的伸缩振动^[12]。KGM 和 PUL 分别出现在 1060 cm^{-1} 和 1078 cm^{-1} 处的吸收峰没有出现在复合膜中, 表明 KGM 与 PUL 之间产生了相互作用。复合膜在 1378 cm^{-1} 处的吸收峰, 随着 PUL 含量的增加, 复合膜在此处的吸收峰下移到一个较低的波数, 表明 KGM 与 PUL 之间存在分子间氢键的相互作用^[13]。KGM 与 PUL 分子间的氢键作用将会使两种天然高分子协同作用增强, 形成稳定的网络结构, 产生良好的相容性, 表现为复合膜的拉伸强度增加, 这与复合膜的力学性能测试结果一致。

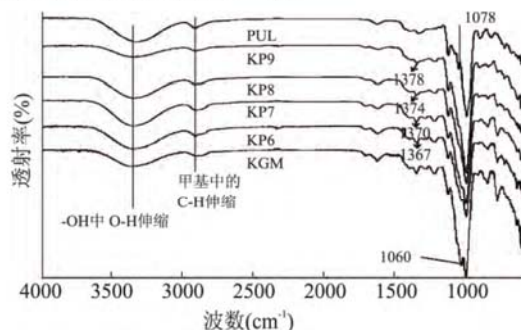


图2 纯 KGM 膜、纯 PUL 膜、KGM-PUL 复合膜的红外光谱图

Fig.2 FTIR spectra of KGM film, PUL film, and KGM-PUL blend films

2.4 DSC 分析

DSC 图谱可以直接反映出温度变化过程中样品的物理和化学变化过程。复合膜的 DSC 热分析如图 3 所示, 所有膜样品中均出现一个较宽的吸热峰, 这个吸热峰可能是样品从固体向熔融状态的转变^[14]。纯 KGM 膜的相变温度在 87 $^{\circ}\text{C}$ 左右, 纯 PUL 膜在 101 $^{\circ}\text{C}$, 复合膜 KP7、KP8 和 KP9 分别为 75、87、89 $^{\circ}\text{C}$ 。而复合膜 KP6 的峰值为 115 $^{\circ}\text{C}$, 复合膜 KP6 的热稳定性和相容性是最好的。

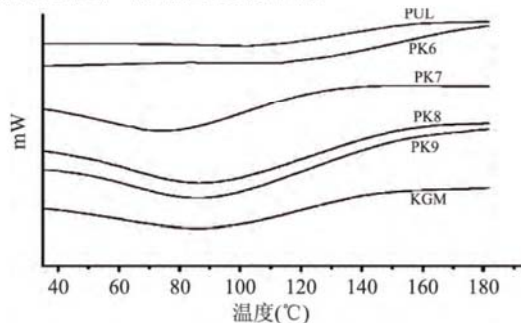


图3 纯 KGM 膜、纯 PUL 膜、KGM-PUL 复合膜的 DSC 曲线

Fig.3 DSC curves of KGM film, PUL film, and KGM-PUL blend films

2.5 复合膜的力学性能

可食性包装材料必须有一定的力学强度和柔韧性,而拉伸强度和断裂伸长率是表征这些性能的主要指标。复合膜的拉伸强度和断裂伸长率越高,说明受外力作用不容易出现破裂现象,拉长或变形量大,所制成的包装袋在外力作用下不容易出现拉伸、戳穿等损坏现象。复合膜的拉伸强度和断裂伸长率分别如图4、图5所示。纯KGM膜的拉伸强度为 (48.72 ± 2.8) MPa,断裂伸长率为 $8.38\% \pm 1.1\%$ 。纯PUL膜的拉伸强度和断裂伸长率分别为 (25.63 ± 1.5) MPa、 $6.26\% \pm 0.9\%$ 。复合膜的拉伸强度和断裂伸长率均高于纯KGM膜和纯PUL膜,随着KGM含量增加,复合膜的柔韧性降低,复合膜的拉伸强度和断裂伸长率均呈现逐渐减小的趋势。这表明KGM与PUL发生了相互作用,良好的相容性所产生的协同效应提高了膜的拉伸强度和断裂伸长率,相容性好的聚合物机械性能有着显著的增加^[15]。复合膜KP6表现出最好的力学性能,其拉伸强度和断裂伸长率最大,分别为 (77.68 ± 2.3) MPa和 $14.93\% \pm 1.2\%$,较纯KGM膜和纯PUL膜有显著的提高($p < 0.05$)。KGM与PUL的复合比例对复合膜的力学性能有重要影响。

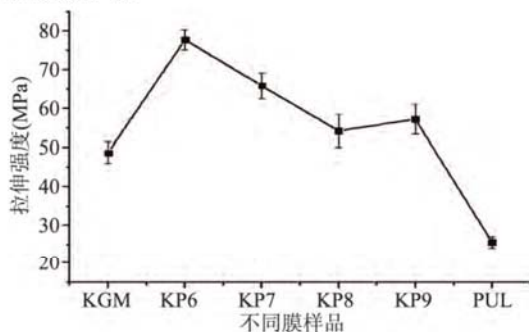


图4 膜的拉伸强度

Fig.4 The tensile strength of different blend films

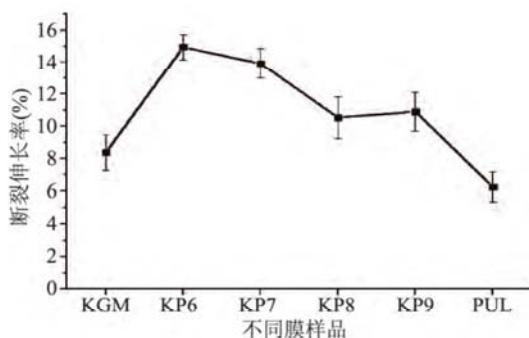


图5 膜的断裂伸长率

Fig.5 The breaking elongation of different blend films

2.6 复合膜的水蒸气透过率和氧气透过率

可食性包装膜的阻隔性能对食品的质量和贮藏稳定性有很大影响,水蒸气透过率和氧气透过率是反映膜材料阻隔性能的重要指标。纯KGM膜的水蒸气透过率为 $1603.16 \text{ g/m}^2 \cdot 24 \text{ h}$,纯PUL膜的水蒸气透过率为 $1483.46 \text{ g/m}^2 \cdot 24 \text{ h}$,复合膜的水蒸气透过率均小于纯KGM膜;随着KGM含量的增加,复合膜

的水蒸气透过率增加(图6),可能是由于复合膜中KGM分子吸水溶胀形成微孔结构,导致水蒸气透过率增大。KP6的水蒸气透过率最小,为 $1065.36 \text{ g/m}^2 \cdot 24 \text{ h}$,较纯KGM膜降低了34%。KGM与PUL共混后分子间的相互作用形成了不同于纯膜的结构,使复合膜的耐水性增强。

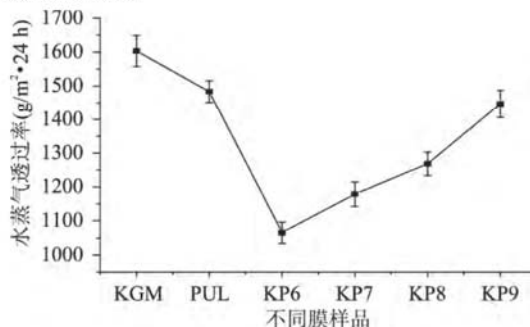


图6 膜的水蒸气透过率

Fig.6 The water vapor transmittance of films

纯KGM的氧气透过率为 $0.859 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa}$,纯PUL膜的氧气透过率为 $0.095 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa}$,复合膜的氧气透过率均高于纯膜,其中KP6的氧气透过率最低,为 $1.051 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa}$ (图7)。但是与常用普通塑料包装膜相比,复合膜的氧气透过率是很低的(阻隔类PE黑白膜样品的氧气透过率为 $7.3106 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa}$),说明复合膜具有很好的阻氧性。综合分析复合膜水蒸气透过率和氧气透过率的差异主要是由其膜结构的不同造成的^[16]。

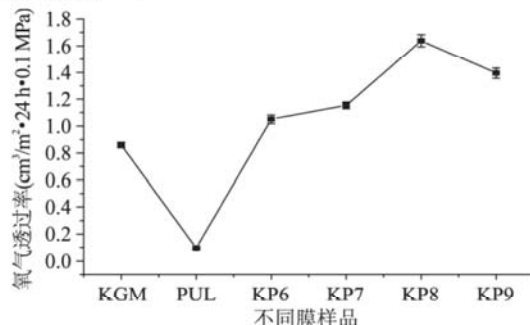


图7 膜的氧气透过率

Fig.7 The oxygen permeability of films

3 结论

KGM和PUL分子之间发生了氢键相互作用,有较好的相容性,复合膜的拉伸强度、断裂伸长率以及阻湿性能和纯膜比较都显著提高。当KGM与PUL复合比为6:4(w/w),甘油添加量为总固形物含量的15%(w/w)时,复合膜的热稳定性最好,其拉伸强度和断裂伸长率分别为77.68 MPa和14.93%,水蒸气透过率较KGM纯膜降低了34%,氧气透过率高于纯KGM膜,但符合食品包装膜的要求。复合膜的性能优于纯KGM膜以及纯PUL膜,适合应用于可食性食品包装膜材料。本研究将为KGM-PUL可食性复合膜的开发与应用提供依据,但KGM-PUL复合膜的成膜过程和机制尚不明确,有待进一步研究,以期从分子层面调控KGM-PUL复合膜的结构和性能。

参考文献

- [1] 张宁,隋思瑶,王亚静,等.魔芋葡甘聚糖-甲基纤维素可食膜的制备及其性能研究[J].食品工业科技,2014,35(16):302-307.
- [2] Jian W J, Zeng Y, Xiong H, et al. Molecular simulation of the complex of konjac glucomannan-borate in water [J]. Carbohydr Polym, 2011, 85 (2) :452-456.
- [3] Katsuraya K, Okuyama K, Hatanaka K, et al. Constitution of konjac glucomannan: chemical analysis and ^{13}C NMR spectroscopy [J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 53 (2) :183-189.
- [4] Xiao C, Lu Y, Gao S, et al. Characterization of konjac glucomannan-gelatin blend films [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2001, 79 (9) :1596-1602.
- [5] 高丹丹,江连洲,张超,等.提高多糖类可食性膜机械性能的研究进展[J].食品工业科技,2012,33(6):432-434.
- [6] Martins J T, Cerqueira M A, Bourbon A I, et al. Synergistic effects between κ -carrageenan and locust bean gum on physicochemical properties of edible films [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 29 (2) :280-289.
- [7] Li X, Jiang F, Ni X, et al. Preparation and characterization of konjac glucomannan and ethyl cellulose blend films [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 44 :229-236.
- [8] 寇丹丹,兰润,叶伟建,等.魔芋葡甘聚糖/普鲁兰多糖半互穿网络水凝胶弹性及其微观形貌研究[J].西南大学学报:自然科学版,2014,36(4):205-212.
- [9] 寇丹丹,汪秀妹,魏雪琴,等.魔芋葡甘聚糖/普鲁兰多糖体系流变性能研究[J].中国粮油学报,2014,29(12):37-42.
- [10] Li B, Kennedy J F, Jiang Q G, et al. Quick dissolvable, edible and heatsealable blend films based on konjac glucomannan-Gelatin [J]. Food Research International, 2006, 39 (5) :544-549.
- [11] Ye X, Kennedy J F, Li B, et al. Condensed state structure and biocompatibility of the konjac glucomannan/chitosan blend films [J]. Carbohydrate Polymers, 2006, 64 (4) :532-538.
- [12] 高丹丹.普鲁兰多糖-明胶可食性膜的制备、成膜机理及应用研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2012.
- [13] 吴佳.普鲁兰壳聚糖复合可食用膜的性质研究[D].无锡:江南大学,2012.
- [14] 高翔.多糖可食用包装膜的制备与应用研究[D].青岛:中国海洋大学,2013.
- [15] Rhim J W, Wang L F. Mechanical and water barrier properties of agar/ κ -carrageenan/konjac glucomannan ternary blend biohydrogel films [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 96 (1) :71-81.
- [16] Morillon V, Debeaufort F, Blond G, et al. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2002, 42 (1) :67-89.
- [17] m. longissimus thoracis from bulls and steers [J]. Meat Science, 2002, 60 (3) :211-218.
- [16] 江富强.调理羊排的研制及品质分析[D].兰州:甘肃农业大学,2015:16.
- [17] 李立.重组腊肉火腿工艺优化及其质构特性研究[D].重庆:西南大学,2011:36.
- [18] AR SEN, SA KARIM. Effect of Meat Particle Size on Quality Attributes of Restructured Mutton Steaks [J]. Food Science Technol, 2003, 4 (40) :423-425.
- [19] 郎玉苗,谢鹏,李敬,等.熟制温度及切割方式对牛排食用品质的影响[J].农业工程学报,2015,31(1):317-325.
- [20] 毛衍伟,罗欣,孙清亮,等.牛排食用品质保证关键控制点研究[J].食品工业科技,2009,30(2):108-110.
- [21] Modzelewska-Kapituła M, Dąbrowska E, Jankowska B, et al. The effect of muscle, cooking method and final internal temperature on quality parameters of beef roast [J]. Meat Science, 2012, 91 (2) :195-202.
- [22] Bouton P E, Harris P V, Ratcliff D. Effect of cooking temperature and time on the shear properties of meat [J]. Journal of Food Science, 1981, 46 (4) :1082-1087.
- [23] Aaslyng M D, Bejerholm C, Erthbjerg P, et al. Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure [J]. Food Quality and Preference, 2003, 14 (4) :277-288.
- [24] 李春保.牛肉肌内结缔组织变化及其嫩度影响的研究[D].南京:南京农业大学,2006.
- [25] Roldán M, Antequera T, Pérez-Palacios T, et al. Effect of added phosphate and type of cooking method on physico-chemical and sensory features of cooked lamb loins [J]. Meat Science, 2014, 97 (1) :69-75.
- [26] Luckett C R, Kuttappan V A, Johnson L G, et al. Comparison of three instrumental methods for predicting sensory texture attributes of poultry Deli meat [J]. Journal of Sensory Studies, 2014, 29 (3) :171-181.
- [27] de Huidobro F R, Miguel E, Blázquez B, et al. A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat [J]. Meat Science, 2005, 69 (3) :527-536.
- [28] Caine W R, Aalhus J L, Best D R, et al. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks [J]. Meat Science, 2003, 64 (4) :333-339.

(上接第306页)

《食品工业科技》愿为企业铺路、搭桥!