

淀粉链支比对淀粉/琼脂复合膜微结构及性能的影响

王中, 李好, 石文娟, 陆洁仪, 乔冬玲*

湖北工业大学生物工程与食品学院, 菲利普斯亲水胶体研究中心, 武汉 430068

摘要 采用流延法制得不同配比的淀粉/琼脂复合膜, 研究了不同链支比的淀粉对淀粉/琼脂复合膜微结构及性能的影响。对制得的复合膜进行扫描电镜(SEM)观察、傅里叶红外光谱(FTIR)测试、X-射线衍射(XRD)测试、机械性能测试以及亲疏水性能测试, 对不同配比淀粉/琼脂复合膜的微结构及性能进行了对比。研究结果表明, 琼脂含量一定时, Waxy/琼脂复合膜的断裂伸长率小于另外两种; 随着琼脂含量的增加, 各复合膜的拉伸强度增加, 且G50/琼脂复合膜的水接触角显著增加, 而琼脂较弱的亲水性降低了复合膜表面的亲水性。

关键词 淀粉/琼脂复合膜; 淀粉链支比; 亲水性

食品包装材料对保证食品卫生和延长食品保质期具有重要意义。目前, 传统石油基塑料包装材料对环境造成的污染日益严重, 生物可降解食品包装材料的开发受到越来越多的关注。生物可降解食品包装材料主要以淀粉、纤维素和蛋白质^[1-5]等可再生、可降解的天然高分子材料为原料, 通过共混挤出、流延铺膜等技术工艺制备而成。淀粉由于具有来源广泛、价格低廉、可再生、成膜性优良等特点, 成为制备生物可降解食品包装材料的优质原料之一, 但纯淀粉基食品包装膜的机械性能较差, 无法广泛使用。现有研究表明, 通过共混或化学改性

等方法, 向纯淀粉膜中引入其他生物可降解材料可以改善其机械性能。

琼脂是一种主要由 β -D-半乳糖和3,6-脱水- α -L-半乳糖或琼脂糖组成的亲水性多糖。作为一种典型的可再生生物高聚物, 琼脂以固有的优良成膜性能和生物相容性被广泛应用于生物降解包装膜的设计和开发中。现有研究表明, 加入少量的琼脂能有效提高复合膜的性能^[6-7]。

天然淀粉有直链淀粉和支链淀粉两种, 不同淀粉中两组分的含量不同。直链淀粉呈直线结构, α -D-葡萄糖分子通过 $\alpha(1\rightarrow4)$ 糖苷键连接而成。

收稿日期: 2019-12-02; 修回日期: 2020-05-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(31801582)

作者简介: 王中, 硕士研究生, 研究方向为食品微胶囊, 电子信箱: wzzzz1996@163.com; 乔冬玲(通信作者), 副教授, 研究方向为食品软物质结构与功能, 电子信箱: qdtkl@163.com

引用格式: 王中, 李好, 石文娟, 等. 淀粉链支比对淀粉/琼脂复合膜微结构及性能的影响[J]. 科技导报, 2021, 39(5): 141-147; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.05.016

支链淀粉呈现高度分支的束状结构, α -D-葡萄糖分子主要通过 $\alpha(1\rightarrow4)$ 和 $\alpha(1\rightarrow6)$ 这 2 种糖苷键连接而成。两种淀粉分子结构及含量上的差别致使淀粉膜物理和化学性质不同。基于此, 本文以不同链支比的玉米淀粉(Waxy、Maize、G50)和琼脂为原料, 通过物理共混的方法对两者进行复配制备淀粉/琼脂复合膜。探究淀粉链支比对复合膜结构及性能的影响规律, 为淀粉/琼脂复合膜的应用提供基础数据^[8-12]。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

Waxy 玉米淀粉(直链:支链=0:100)、Maize 玉米淀粉(直链:支链=23:76)和 G50 玉米淀粉(直链:支链=50:50)购买于澳大利亚 penford 公司; 琼脂(1.5% 凝胶强度: $800\sim 1200\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$)购买于德国 Biofrox 公司; 甘油(分析纯)购买于国药集团化学试剂有限公司; 实验所用溶剂水为实验室自制超纯水。

JE1002 型电子天平, 上海浦春计量仪器有限公司; XMTE-8112 型电热恒温水浴锅, 上海精宏实

验设备有限公司; OS20-Pro 型电子搅拌器, 美国 SCIOLOGEX 赛洛捷克公司; UFE600 自然对流精密烘箱, 德国 MEMMERT 美墨尔特公司; XM60 型快速水分测定仪, 瑞士 Precisa 普利赛斯公司; OCA15EC 型接触角测量仪, 德国 dataphysics 公司; TA·XT·plus 型物性分析仪, 英国 SMS 公司; W3/031 型水蒸气通过率测试仪, 济南兰光机电技术有限公司; JSM6390LV 型扫描电镜, 日本电子株式会社; Nicolet is10 型傅里叶红外光谱仪, 美国赛默飞世尔科技公司; D8 ADVANCE 型 X 射线粉末衍射仪, 美国 Bruke 布鲁克光学公司; UPT-II-10T 型纯水机, 四川优谱超纯科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 淀粉与琼脂复合膜的制备

将 10 g 不同比例的 Waxy 淀粉和琼脂粉末(表 1)加入装有 2.5 g 甘油和 487.5 g 水的三颈圆底烧瓶中, 90°C 水浴, 800 rpm 搅拌, 1 h 即成所需溶液。称取 40 g 溶液倒入塑料培养皿($d=15\text{ cm}$)中, 快速铺平, 放入 60°C 烘箱 6 h。干燥后取出, 放入塑封袋中密封, 用干燥器密封保存。Maize 淀粉与琼脂复合膜以及 G50 淀粉与琼脂复合膜制备方法同上。

表 1 不同配比淀粉/琼脂复合膜的名称

复合膜	淀粉与琼脂比例				
	0:10	3:7	5:5	7:3	10:0
Waxy 与 Agar 复合膜	Agar	W_3A_7	W_5A_5	W_7A_3	Waxy
Maize 与 Agar 复合膜	Agar	M_3A_7	M_5A_5	M_7A_3	Maize
G50 与 Agar 复合膜	Agar	$G50_3A_7$	$G50_5A_5$	$G50_7A_3$	G50

注: 下文中用表 1 中缩写代表不同的复合膜

1.2.2 淀粉/琼脂复合膜结构表征

1.2.2.1 扫描电镜(SEM)观察

将淀粉/琼脂复合膜裁剪成 $1\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 的条状样品, 经液氮冷冻淬断, 断口截面喷金, 采用加速电场为 30 kV 的扫描电镜(JSM6390LV 型)观察膜的横截面, 所有样品均采用 2000 的放大倍数。

1.2.2.2 傅里叶红外光谱(FTIR)测试

将淀粉/琼脂复合膜裁剪成 $2\text{ cm}\times 2\text{ cm}$ 的方形样品并在 60°C 条件下干燥 2 h, 除去膜中的游离水

分。采用傅里叶红外光谱仪(Nicolet is10 型)全反射红外方法进行扫描测试, 扫描波长范围 $4000\sim 400\text{ cm}^{-1}$, 32 次/每个样品, 分辨率 4 cm^{-1} 。

1.2.2.3 X-射线衍射(XRD)测试

裁取 $2\text{ cm}\times 2\text{ cm}$ 的膜样品, 采用 X 射线衍射仪(D8 ADVANCE 型, 电压 40 kV、电流 30 mA)对膜的结晶情况进行测试。在 $4^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 的 2θ 角度范围内记录了薄膜的 XRD 曲线, 扫描步长 0.02° , 步进速度 0.5 s 。

1.2.3 淀粉/琼脂复合膜性能表征

1.2.3.1 机械性能测试

将复合膜水分含量控制在 $9\% \pm 0.4\%$, 然后裁成 $10\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 的长方形。复合膜样品的拉伸强度和断裂伸长率使用物性分析仪(TA·XT·plus型)进行测试。选用A/MTG; MINIATURE TENSILE GRIPS探头, 测试前速度为 $1\text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 测试速度为 $0.5\text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 测试后速度为 $10\text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 校正高度为 30 mm 。拉伸强度和断裂伸长率计算公式为

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

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

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

式中, EAB 为断裂伸长率; L_0 为试样原始标线距离, 单位为 mm ; L 为试样断裂时标线间的距离, 单位为 mm 。

采用IBMM SPSS Statistics 19对结果进行显著性分析。

1.2.3.2 亲/疏水性能测试

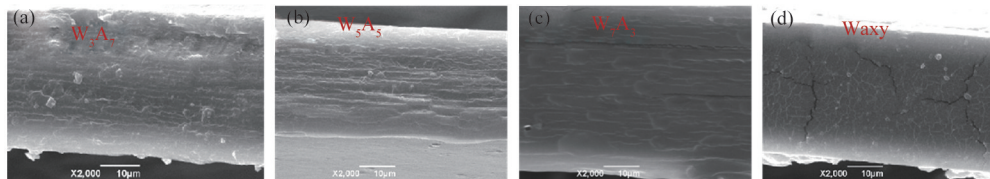
复合膜的接触角使用接触角测量仪(OCA15EC型)测量。测试前先将膜水分含量控制在 $9\% \pm 0.4\%$, 选取没有划痕且无破损的膜, 裁剪成 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 的正方形样品, 贴在样品台上, 膜的光滑面向上。注射器选用亲水性针头SNS-052/026, 滴出水滴, 开始录像, 旋转旋钮至水滴与复合膜表面接触, 迅速旋转旋钮使针头离开, 测试, 直至接触角小于 10° 停止录像。接触角测量仪记录频率设置为1帧/s, 即每秒拍摄一张图片并进行接触角测量, 实验过程中选取前900 s的接触角数据, 收集数据并用origin作图。

2 结果与讨论

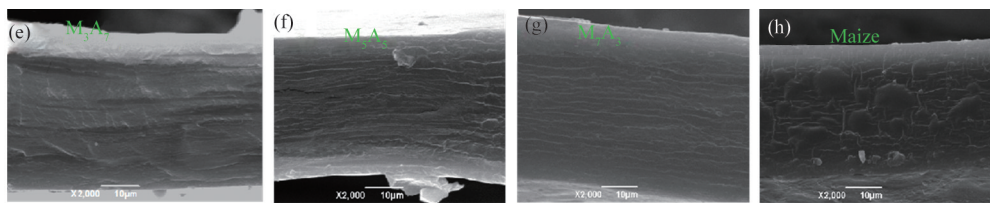
2.1 SEM分析

选取拍摄视野亮度较好, 膜截面颗粒物较少的不同配比淀粉/琼脂复合膜的截面扫描电镜图, 如图1所示。

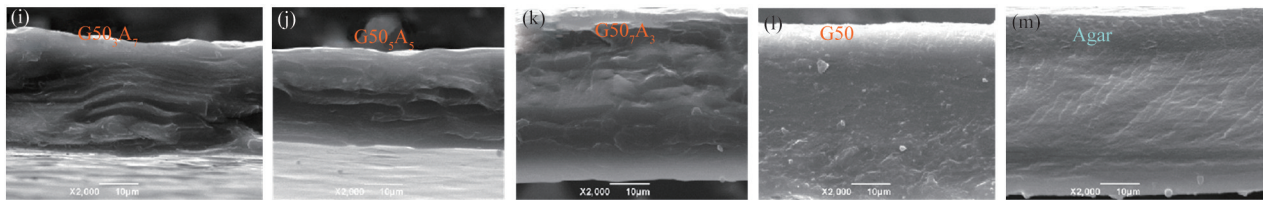
从图1的(a)~(d)中可以看出, 复合膜的截面



(a)~(d): 不同比例的Waxy淀粉/琼脂复合膜



(e)~(h): 不同比例的Maize淀粉/琼脂复合膜



(i)~(l): 不同比例的G50淀粉/琼脂复合膜

(m): agar膜

图1 不同膜样品的截面在2000×倍率下的扫描电镜图

层次较为清晰,随着 Waxy 淀粉含量的增加,复合膜开始出现裂纹;随着 Maize 淀粉的含量增加,复合膜截面从开始的致密变得层次清晰,最后出现比 Waxy/琼脂复合膜更为密集的裂纹(图 1 的(e)~(h));G50 淀粉/琼脂复合膜截面的平整度小于 Waxy/琼脂复合膜和 Maize/琼脂复合膜(图 1 的(i)~(l)),但是随着淀粉含量的增加,复合膜截面开始变得致密,没有出现裂纹^[13-14]。

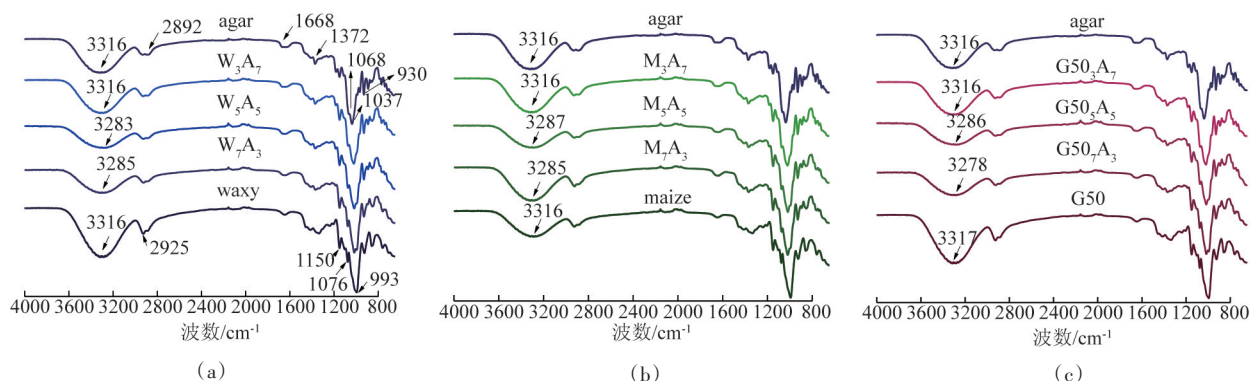


图2 不同比例 Waxy/琼脂(a)、Maize/琼脂(b)和 G50/琼脂(c)复合膜红外图谱

Agar 曲线为琼脂膜,纯琼脂膜在 3285 cm^{-1} 附近由于 $-\text{OH}$ 基团的拉伸振动显示出较宽的吸收峰。 1668 cm^{-1} 附近的吸收峰主要由 $-\text{NH}$ 和 $-\text{CO}$ 基团形成的共轭肽键的伸缩振动引起。 1372 cm^{-1} 处的吸收峰与酯硫酸酯基团的存在有关。 1068 、 1035 和 930 cm^{-1} 处的特征峰是由于 3,6-脱水-半乳糖的 $\text{C}-\text{O}$ 伸展振动引起的^[17-18]。

对于由不同链支比淀粉所制备的淀粉/琼脂复合膜 (W_3A_7 、 W_5A_5 、 W_7A_3 、 M_3A_7 、 M_5A_5 、 M_7A_3 、 $\text{G50}_3\text{A}_7$ 、 $\text{G50}_5\text{A}_5$ 和 $\text{G50}_7\text{A}_3$) 而言,其红外吸收谱图除呈现淀粉的典型特征峰之外,亦表现出琼脂的特征吸收峰 (1668 、 1372 、 1068 和 1035 cm^{-1}),琼脂特征吸收峰的强度随着淀粉含量的减少而增强。在复合膜中,以上特征吸收峰的峰位没有发生改变,由此说明,在复合膜中淀粉和琼脂分子的化学结构并未发生改变。

2.3 晶体结构分析

不同比例淀粉/琼脂复合膜的 XRD 衍射图谱如图 3 所示。从图中可以看出,纯淀粉膜 Maize 和

2.2 红外图谱分析

不同比例淀粉/琼脂复合膜的红外图谱如图 2。Waxy、Maize 和 G50 曲线为不同链支比的纯淀粉膜,纯淀粉膜有如下典型的红外吸收特征峰: $-\text{OH}$ 基团拉伸振动吸收峰 ($3500\sim 3200\text{ cm}^{-1}$), $\text{C}-\text{H}$ 拉伸振动吸收峰 ($3000\sim 2800\text{ cm}^{-1}$), $\text{C}=\text{O}=\text{C}$ 拉伸振动三重峰 (1158 、 1081 和 1015 cm^{-1}),以及由淀粉无定形区域吸附水所产生的 1642 cm^{-1} 处吸收峰^[15-16]。

G50 呈现出 XRD 衍射峰,这主要由于淀粉分子链在成膜溶液干燥过程中发生重排,形成了结晶结构。与 Waxy 和 Maize 淀粉膜相比,G50 淀粉膜的衍射峰更明显,这主要由于直链淀粉易发生分子链重排。由图 3 可知,纯琼脂膜在 13.2° 和 19.8° 处显示出特征峰,表明琼脂膜中存在结晶结构^[19-22]。在成膜溶液中,琼脂发生水合,以无规卷曲的形式存在。在成膜溶液干燥过程中,这些无规卷曲发生分子重排,形成螺旋结构,该类结构进一步聚集形成有序的结晶结构^[23-24]。将 Waxy、Maize 和 G50 与琼脂复合后,复合膜的 XRD 衍射峰发生改变。随着琼脂含量的增加,复合膜中 13.2° 的衍射峰逐渐增强,由此说明,琼脂含量的增加,有利于琼脂分子链自身重排形成结晶。当体系中淀粉含量较多时,有利于琼脂和淀粉组分间发生相互作用,抑制琼脂分子链形成结晶结构^[25-26]。

2.4 机械性能分析

使用质构仪测试不同比例淀粉/琼脂复合膜的拉伸强度和断裂伸长率,结果见图 4。纯琼脂膜、

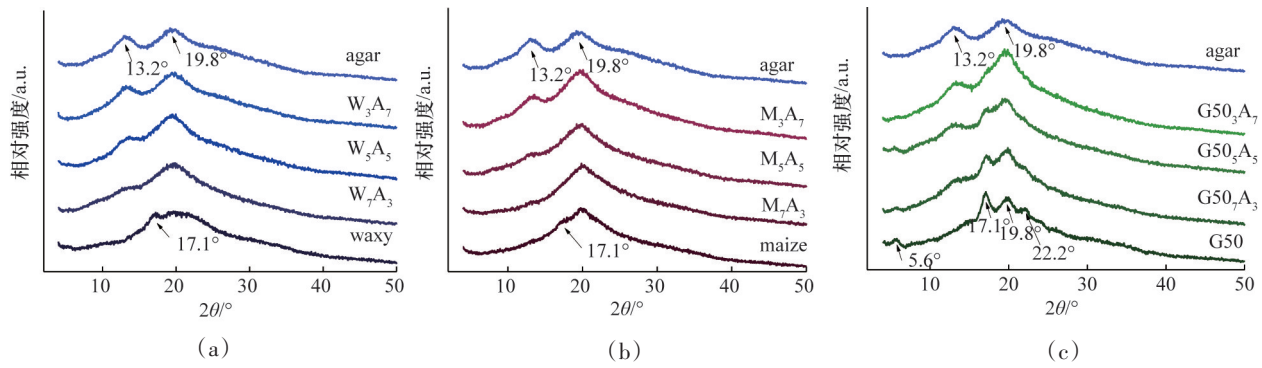


图3 不同比例Waxy/琼脂(a)、Maize/琼脂(b)和G50/琼脂(c)复合膜的XRD衍射图谱

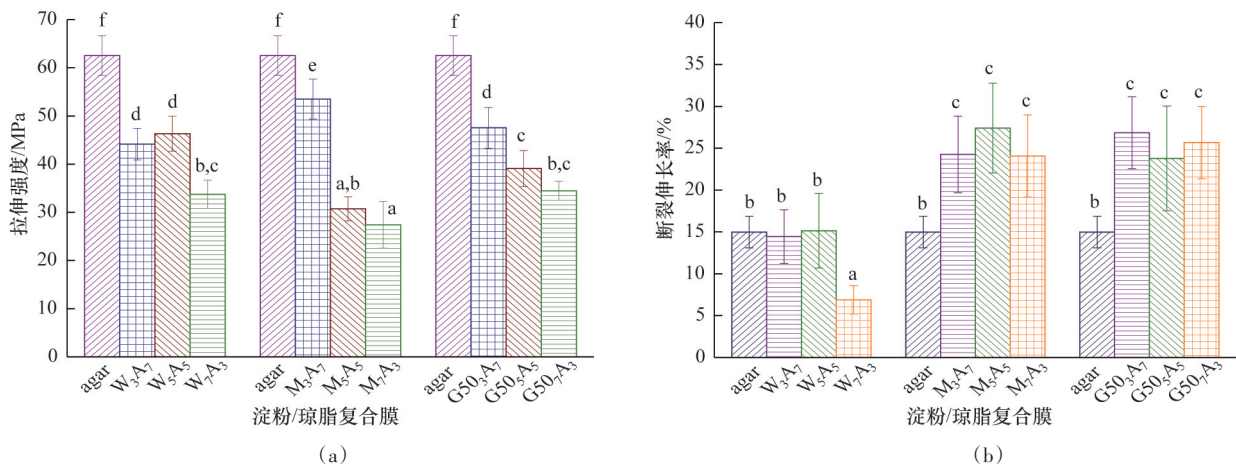


图4 不同比例淀粉/琼脂复合膜拉伸强度(a)和断裂伸长率(b)

不同比例 Waxy/琼脂、Maize/琼脂和 G50/琼脂复合膜的拉伸强度如图 4(a)所示,从图中可以看出,纯琼脂膜的拉伸强度较高。对于复合膜而言,不同链支比的淀粉与琼脂复合配后呈现相似的变化规律:随着琼脂含量的增加,复合膜的拉伸强度逐渐增加,这主要是由于琼脂含量的增加,使复合膜的结晶结构增加,结晶结构会削弱其分子链的可运动性,从而增加复合膜的拉伸强度^[27-28]。纯琼脂膜、不同比例 Waxy/琼脂、Maize/琼脂和 G50/琼脂复合膜的断裂伸长率如图 4(b)所示。纯琼脂膜的断裂伸长率较小。对于复合膜而言,随着琼脂含量的增加,复合膜的断裂伸长率并未降低。不同比例 Maize/琼脂和 G50/琼脂复合膜的断裂伸长率无显著性差异,且大于 Waxy/琼脂复合膜。这主要是由于 Waxy 淀粉所含的支链结构较多,柔韧性较差。

2.5 亲疏水性分析

纯琼脂膜、不同比例 Waxy/琼脂、Maize/琼脂和

G50/琼脂复合膜接触角随时间变化情况如图 5 所示。从图 5 可以看出,随着时间的延长,纯琼脂膜和复合膜的水接触角逐渐降低,这是由琼脂和淀粉的亲水特性所造成的。纯琼脂膜在前 40 s 时,其水接触角大于淀粉/琼脂复合膜(G50₃A₇除外),由此说明,淀粉的亲水性强于琼脂。从图 5 可进一步发现,在同一测试时间点,随着琼脂含量的增加,Waxy/琼脂复合膜的水接触角基本不变,Maize/琼脂复合膜的水接触角逐渐增加,G50/琼脂复合膜的水接触角显著增加,由此说明,在 G50/琼脂复合膜体系中,加入亲水性较弱的琼脂组分可显著降低复合膜的亲水特性。该现象可能是由于 G50 淀粉中所含直链淀粉较多,而直链淀粉在成膜过程中较易发生分子间重组,形成淀粉螺旋结构,从而造成 G50 与琼脂分子发生微相分离。在成膜溶液干燥过程中,由于琼脂亲水性较弱,故有优先分布于膜表面的倾向,从而降低复合膜表面的亲水性^[29-30]。

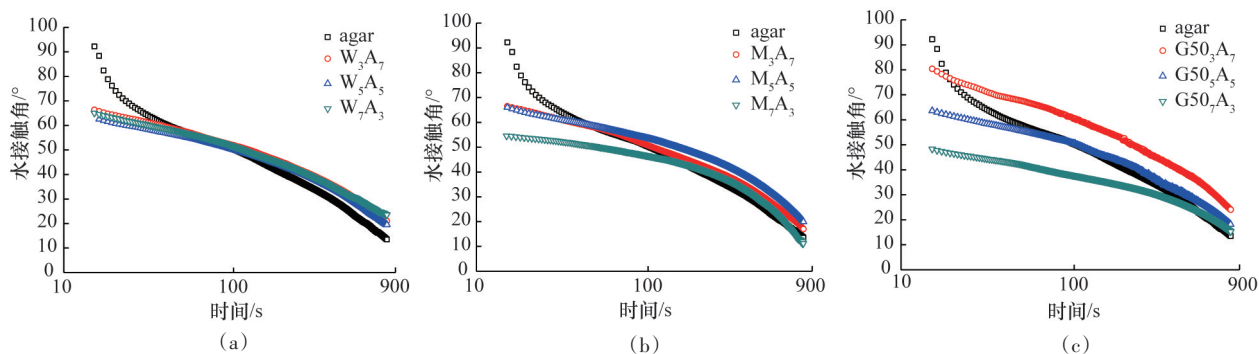


图5 不同比例Waxy/琼脂(a)、Maize/琼脂(b)和G50/琼脂(c)复合膜接触角随时间变化图

3 结论

选取具有不同链支比的淀粉为原料,与琼脂复配制备淀粉/琼脂复合膜,探究淀粉链支比对复合膜结构与性能的影响。研究结果显示:淀粉与琼脂比例一定时, Maize/琼脂和G50/琼脂复合膜的断裂伸长率均大于Waxy/琼脂复合膜,这主要是由于Waxy淀粉所含的支链结构较多,柔韧性较差。随着琼脂含量的增加,G50/琼脂复合膜的水接触角显著增加,说明直链淀粉含量高的G50淀粉使得复合膜的亲水性更加显著。由此可见, Maize/琼脂和G50/琼脂复合膜的柔韧性高于Waxy/琼脂复合膜, Maize/琼脂和Waxy/琼脂复合膜的亲水性弱于G50/琼脂复合膜。

参考文献(References)

- [1] Santana R F, Bonomo R, Gandolfi O, et al. Characterization of starch-based bioplastics from jackfruit seed plasticized with glycerol[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(1): 278-286.
- [2] 刘鹏飞, 孙圣麟, 王文涛, 等. 增塑剂甘油对甘薯淀粉膜性能的影响研究[J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(10): 15-20.
- [3] Tang H, Xiong H, Tang S, et al. A starch-based biodegradable film modified by nano silicon dioxide[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2009, 113(1): 34-40.
- [4] Savadkar N R, Mhaske S T. Synthesis of nano cellulose fibers and effect on thermoplastics starch based films[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 89(1): 146-151.
- [5] Bustillos R J A, Krochta J M. Water vapor permeability of caseinate-based edible films as affected by pH, calcium crosslinking and lipid content[J]. *Journal of Food Science*, 1993, 58(4): 904-907.
- [6] Chiumarelli M, Hubinger M D. Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 38(4): 20-27.
- [7] 李欣欣, 宋艳翎, 马中苏, 等. 脂质-马铃薯淀粉基可食包装膜的研究[J]. *食品工业科技*, 2004, 25(12): 101-102.
- [8] 孙妍茹. 高阻水性淀粉膜的制备及性能研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [9] 刁晓倩, 翁云宣. 淀粉基塑料研究进展及产业现状[J]. *中国塑料*, 2017, 31(9): 22-29.
- [10] 申志翔, 陈复生, 宋小勇, 等. 淀粉基生物可降解材料的研究进展[J]. *食品工业*, 2017, 38(11): 290-294.
- [11] 侯汉学, 董海洲, 王兆升, 等. 国内外可食性与全降解食品包装材料发展现状与趋势[J]. *中国农业科技导报*, 2011, 13(5): 79-87.
- [12] Wang S, Li C, Copeland L, et al. Starch retrogradation: a comprehensive review[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2015, 14(5): 568-585.
- [13] 黄超凡, 陈虎剑, 郑科旺, 等. 可食性淀粉复合膜的制备及性能[J]. *食品科技*, 2019, 44(6): 92-96.
- [14] Ciela K, Sartowska B. Modification of the microstructure of the films formed by gamma irradiated starch examined by SEM[J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2015, 118: 87-95.
- [15] Liang R, Yuan H, Xi G, et al. Synthesis of wheat straw-g-poly (acrylic acid) superabsorbent composites and release of urea from it[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2009, 77(2): 181-187.
- [16] Xie L, Liu M, Ni B, et al. Utilization of wheat straw for the preparation of coated controlled-release fertilizer with the function of water retention[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(28): 6921-6928.
- [17] Kizil R, Irudayaraj J, Seetharaman K. Characterization of irradiated starches by using FT-Raman and FTIR spectroscopy[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,

- 2002, 50(14): 3912–3918.
- [18] Liang R, Yuan H, Xi G, et al. Synthesis of wheat straw-g-poly (acrylic acid) superabsorbent composites and release of urea from it[J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 77 (2): 181–187.
- [19] 洪雁, 顾正彪. 淀粉及变性淀粉颗粒形貌结构的研究[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(7): 19–23.
- [20] Zobel H F. Starch crystal transformations and their industrial importance[J]. Starch/Stärke, 2010, 40(1): 1–7.
- [21] 杨景峰, 罗志刚, 罗发兴. 淀粉晶体结构研究进展[J]. 食品工业科技, 2007(7): 240–243.
- [22] Reddy C K, Choi S M, Lee D J, et al. Complex formation between starch and stearic acid: effect of enzymatic debranching for starch[J]. Food Chemistry, 2018, 244: 136–142.
- [23] Zeng F, Chen F, Kong F, et al. Structure and digestibility of debranched and repeatedly crystallized waxy rice starch[J]. Food Chemistry, 2015, 187: 348–353.
- [24] Shi M, Gao Q. Recrystallization and in vitro, digestibility of wrinkled pea starch gel by temperature cycling[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 61: 712–719.
- [25] Xie F, Pollet E, Halley P J, et al. Starch-based nano-biocomposites[J]. Progress in Polymer Science, 2013, 38 (10–11): 1590–1628.
- [26] 邱礼平, 温其标. 高直链交联变性淀粉结构及糊化性质的研究[J]. 粮油食品科技 2004, 12(1): 8–10.
- [27] Morelli S, Holdich R G, Dragosavac M M. Chitosan and Poly (Vinyl Alcohol) microparticles produced by membrane emulsification for encapsulation and pH controlled release[J]. Chemical Engineering Journal, 2016, 288: 451–460.
- [28] Mchugh T H, Krochta J M. Water vapour permeability properties of edible whey protein-lipid emulsion films [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1994, 71(3): 307–312.
- [29] 徐少军, 范雪荣, 王强, 等. 辣根过氧化物酶催化改性二元接枝淀粉的制备及性能研究[J]. 化工新型材料, 2019, 47(8): 215–219.
- [30] Gao W, Wu W, Liu P, et al. Preparation and evaluation of hydrophobic biodegradable films made from corn/octenylsuccinated starch incorporated with different concentrations of soybean oil[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 142: 376–383.

Effect of amylose/amylopectin ratio on microstructure and properties of starch/agar composite films

WANG Zhong, LI Hao, SHI Wenjuan, LU Jieyi, QIAO Dongling*

Glyn O. Phillips Hydrocolloid Research Centre, College of Bioengineering and Food Science, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China

Abstract The effects of starch with different amylose/amylopectin ratios on the microstructure and properties of starch/agar composite films prepared by casting method are studied. Scanning electron microscope (SEM) observation, Fourier transform infrared spectrum (FTIR) test, X-ray diffraction (XRD) test, mechanical property test and hydrophilic and hydrophobic property test are carried out. The microstructures and properties of starch/agar composite films with different ratios are compared. Results show that the value of elongation at break of waxy/agar composite film is lower than the other two when the agar content is fixed. With the increase of agar content, the tensile strength of each composite film increases, and the water contact angle of G50/agar composite film increases significantly, while the weak hydrophilicity of agar reduces the hydrophilicity of the composite film surface.

Keywords starch/agar composite film; amylose/amylopectin ratio; hydrophilicity ●



(责任编辑 王丽娜)