

木薯膳食纤维可食性包装膜制备与性能研究

赵含宇¹, 祁明辉^{1a}, 易钺^{1b}, 宗梦婷^{1a}, 黄丽婕^{1a}, 黄崇杏^{1a}, 覃杨华²

(1.广西大学 a.轻工与食品工程学院 b.广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室, 南宁 530004;

2.南宁梦幻三体环保科技有限公司, 南宁 530004)

摘要: **目的** 制备一种以木薯渣为原料的可食性包装纸膜, 并检测其综合性能, 以期制备出低成本、性能优异且绿色环保的包装纸膜。**方法** 采用物理-酶解法提取膳食纤维, 然后加入复合增稠剂、增塑剂等试剂, 经脱气、铸膜、干燥成型得到环保型可食性包装膜成品, 再通过力学性能检测、厚度测量、透湿度测定对薄膜性能进行表征分析。**结果** 在实验条件下, 当膳食纤维与蒸馏水的料液比(质量比)为 1:25, 复合增稠剂(羧甲基纤维素钠与海藻酸钠的质量比为 62:38)的质量占膳食纤维溶液质量的 3%, 甘油的质量占膳食纤维溶液质量的 1.6%, 蜂蜡的质量占膳食纤维溶液质量的 0.6%时, 薄膜的性能最好, 薄膜的拉伸强度和水蒸气透过系数分别为 5.19 MPa, 0.712 g·mm/(m²·d·kPa)。**结论** 低成本的木薯渣可制备出性能良好的可食性包装膜, 可以减少环境污染, 节约资源, 并促进资源循环利用。

关键词: 木薯渣; 膳食纤维; 可食包装膜; 性能测试; 环保

中图分类号: TB484 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)11-0112-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.11.017

Preparation and Properties of Edible Packaging Film by Cassava Dietary Fiber

ZHAO Han-yu¹, QI Ming-hui^{1a}, YI Tan^{1b}, ZONG Meng-ting^{1a}, HUANG Li-jie^{1a},
HUANG Chong-xing^{1a}, QIN Yang-hua²

(1a.School of Light Industry and Food Engineering b.Guangxi Key Laboratory of Clean Pulp & Papermaking and Pollution Control, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2.Nanning Dream Three Body Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanning 530004, China)

ABSTRACT: The work aims to prepare a kind of edible packaging paper film with cassava residue as raw material and test its properties to prepare low-cost, excellent-performance and environmental-friendly packaging paper film. Dietary fiber was extracted by physical-enzymatic hydrolysis method, and then was degassed, cast and dried by adding complex thickeners, plasticizers, etc. to obtain the environmental-friendly edible packaging film. Next, the properties of the film were characterized and analyzed by mechanical property test, thickness measurement, and moisture permeability measurement. Under experimental conditions, when the mass ratio of dietary fiber to distilled water was 1:25, the mass of compound thickener (sodium carboxymethyl cellulose: sodium alginate=62:38, mass ratio) accounted for 3% of the mass of dietary fiber solution, the mass of glycerol accounted for 1.6% of the mass of dietary fiber solution, and the mass of beeswax accounted for 0.6% of the mass of dietary fiber solution, the film had the best properties, with tensile strength

收稿日期: 2019-06-04

基金项目: 2018 年广西大学“大学生创新创业训练计划”(201810593047); 广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室开放基金(ZR201806-6); 南宁市科学研究与技术开发计划(20195215); 广西科技计划(桂科 AB18221126)

作者简介: 赵含宇(1993—), 女, 广西大学硕士生, 主攻生物质材料。

通信作者: 黄丽婕(1983—), 女, 博士, 广西大学副研究员, 主要研究方向为生物质材料的开发与应用。

and water vapor permeability of 5.19 MPa and 0.712 g·mm/(m²·d·kPa), respectively. Low-cost cassava residues can be used to prepare edible packaging film with good performance, which can reduce environmental pollution, save resources and promote resource recycling.

KEY WORDS: cassava residues; dietary fiber; edible packaging film; performance testing; environmental-friendly

木薯作为重要的粮食来源,在我国华南地区广泛种植^[1-2]。木薯提取淀粉后剩余的固体残渣称为木薯渣。木薯渣主要包含淀粉、纤维素、半纤维素、木质素、少量蛋白质及其他微量元素等成分^[3-7]。

我国每年木薯渣产量为 150 万 t 左右^[8],未经处理的木薯渣会对环境造成污染^[9]。用木薯渣提取膳食纤维制备可食包装膜,不仅提高了木薯渣的附加值,还可为人体补充膳食纤维,促进身体健康^[10-13]。国内外对可食性包装膜的研究非常多,研究者在木薯淀粉基中加入木薯渣纤维作为增强基质,大幅度提高了薄膜的水蒸气渗透值和拉伸强度^[14];用马铃薯渣为基质制得了薄膜,探究各组分添加量对薄膜性能的影响^[15];研究者利用大白菜提取膳食纤维,制备了可食用包装纸,研究表明大白菜膳食纤维制备的包装纸有光滑的表面、柔软的纹理、高透明度、良好的强度,且可以直接与食品和药品接触^[16]。

文中拟以物理-酶解法提取木薯渣中的膳食纤维,然后在膳食纤维中加入复合增稠剂、增塑剂等试剂,经脱气、铸膜、干燥成型,得到可食性包装纸膜成品,并检测薄膜的溶解度、力学性能、水蒸气透过系数,为木薯渣的高值化利用开辟新的道路。

1 实验

1.1 材料与设备

主要材料:木薯渣,广西南宁武鸣县佳华淀粉厂; α -淀粉酶,食品级;糖化酶,食品级;脂肪酶,食品级;风味蛋白酶,食品级;羧甲基纤维素钠(CMC),食品级;海藻酸钠,分析纯;甘油,食品级;蜂蜡,

食品级,和氏璧生物技术有限公司;双氧水,分析纯,天津市政远化学试剂有限公司。

主要设备:智能电子拉力试验机,XLW(PC)型,济南兰光机电技术有限公司;肖伯尔式厚度测定仪,THI1801,济南思克测试技术有限公司;透湿性测试仪,TSY-T1,济南兰光机电技术有限公司;循环水式多用真空泵,SHB-3T,郑州长城科工贸有限公司;高速万能粉碎机,RT-10,武义县屹立工具有限公司;扫描电镜,S-3400N,日立高新技术公司。

1.2 方法

1.2.1 木薯渣提取膳食纤维

木薯渣物理-酶解法^[17]提取膳食纤维的工艺流程见图 1。首先对木薯渣进行预处理,将木薯渣过 20 目筛,除去细小灰尘和大颗粒杂质;然后称取 40 g 预处理后的木薯渣,置于 1 L 烧杯中,与蒸馏水以 1:10 的质量比配制成悬浮液,并加入 0.034 g α -淀粉酶与 0.205 g 糖化酶,2 种酶总质量为木薯渣质量的 0.6%,用 NaOH 调节溶液至 pH=7,并在 60 °C 条件下水浴加热 120 min,然后抽滤,用蒸馏水洗涤,重复 2 次,以除去淀粉,将滤渣置于 105 °C 的电热鼓风干燥箱中干燥至恒质量,称得滤渣的质量为 34.82 g。

往上述步骤得到的滤渣中加入 0.0777 g 质量分数为 0.21% 的脂肪酶溶液,用 NaOH 调节溶液至 pH=7,在 50 °C 下水浴加热 90 min,然后用蒸馏水洗涤、抽滤,重复 2 次,得到脂肪酶解的滤渣,将滤渣置于 105 °C 的电热鼓风干燥箱中干燥至恒质量,称得滤渣的质量为 34.35 g。

在脂肪酶解后的滤渣中加入 0.012 g 风味蛋白酶,蛋白酶占木薯渣质量的 0.6%,随后加入蒸馏水,

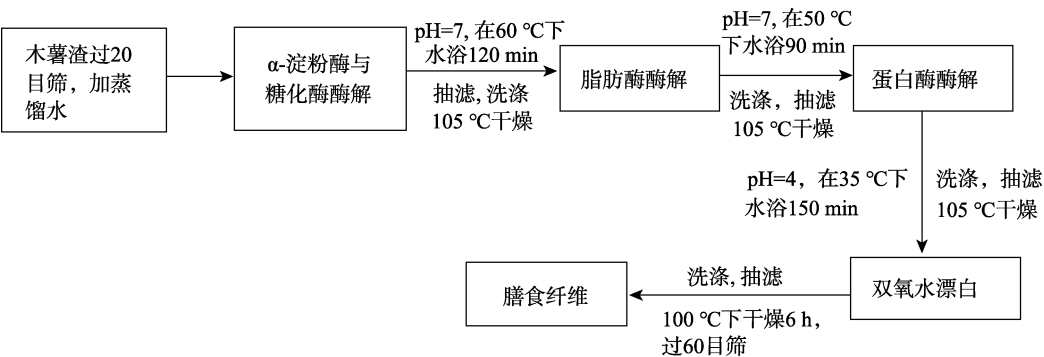


图 1 木薯渣提取膳食纤维工艺流程

Fig.1 Preparation process flow of dietary fiber extraction from cassava residue

并用盐酸调节 pH=4, 在 35 °C 下水浴加热 150 min, 然后经蒸馏水洗涤、抽滤, 重复 2 次, 得到蛋白酶解后的滤渣, 将滤渣置于 105 °C 的电热鼓风干燥箱中干燥至恒质量, 称得滤渣的质量为 33.26 g。

在滤渣中加入质量分数为 10% 的双氧水, 在功率为 60 W、温度为 50 °C 的超声波清洗仪中超声 40 min, 进行辅助脱色, 然后用蒸馏水洗涤、抽滤, 重复 2 次; 将所得滤渣在 100 °C 下干燥 6 h, 并用高能球磨机研磨后过 100 目筛。最终制得 16 g 膳食纤维, 装袋备用。

1.2.2 木薯膳食纤维可食包装膜制备

制备的木薯膳食纤维可食包装膜工艺流程见图 2。

1.2.2.1 料液比对膜性能的影响实验

取 2 g 膳食纤维分别与 30, 40, 50, 60, 70 g 蒸馏水 (料液比为 1:15, 1:20, 1:25, 1:30, 1:35) 均匀混合在 500 mL 烧杯中, 磁力搅拌 15 min, 转速控制在 250~300 r/min 内, 然后加热煮沸 3 min; 在烧杯中加入 0.06 g 复合增稠剂, CMC 和海藻酸钠分别为 0.0372 g 和 0.0228 g; 再加入 0.02 g 甘油和 0.01 g 蜂蜡。然后搅拌 30 min, 转速控制在 1500~2000 r/min 内; 将混合均匀的膜液放入温度为 25 °C、压力为 -0.08 MPa 的真空干燥箱中脱泡 30 min; 取出后将固含量 (质量分数) 分别为 0.067%, 0.050%, 0.040%, 0.033% 和 0.029% 的膜液倒入 15 cm×15 cm 的聚四氟乙烯模具中, 在室温下干燥 12 h, 即得到可食性膳食纤维包装薄膜。薄膜厚度为 (0.1±0.008) mm。

1.2.2.2 海藻酸钠和 CMC 对膜性能的影响实验

取 2 g 膳食纤维、50 g 蒸馏水 (料液比为 1:25) 均匀混合在 500 mL 烧杯中, 磁力搅拌 15 min, 转速控制在 250~300 r/min 内, 然后加热煮沸 3 min; 在烧杯中分别加入占膳食纤维质量 1%, 2%, 3% 的复合增稠剂 (CMC 与海藻酸钠以 75:25, 62:38, 50:50, 38:62 等 4 种质量比添加); 再加入 0.02 g 甘油和 0.01 g 蜂蜡, 然后搅拌 30 min, 转速控制在 1500~2000 r/min 内; 将混合均匀的膜液放入温度为 25 °C、压力为 -0.08 MPa 的真空干燥箱中脱泡 30 min; 取出后将固含量为 0.040% 的膜液倒入 15 cm×15 cm 的聚四氟乙烯模具中, 在室温下干燥 12 h, 即

得到可食性膳食纤维包装薄膜。薄膜厚度为 (0.1±0.008) mm。

1.2.2.3 甘油对膜性能的影响实验

取 2 g 膳食纤维、50 g 蒸馏水 (料液比为 1:25) 均匀混合在 500 mL 烧杯中, 磁力搅拌 15 min, 转速控制在 250~300 r/min 内, 然后加热煮沸 3 min; 在烧杯中加入 0.06 g 复合增稠剂, CMC 和海藻酸钠分别为 0.0372 g 和 0.0228 g; 再加入 0.01 g 蜂蜡和占膳食纤维质量 0.8%, 1.2%, 1.6%, 2.0%, 2.4% 的甘油。然后搅拌 30 min, 转速控制在 1500~2000 r/min 内; 将混合均匀的膜液放入温度为 25 °C、压力为 -0.08 MPa 的真空干燥箱中脱泡 30 min; 取出后将固含量为 0.040% 的膜液倒入 15 cm×15 cm 的聚四氟乙烯模具中, 室温下干燥 12 h, 即得到可食性膳食纤维包装薄膜, 薄膜厚度为 (0.1±0.008) mm。

1.2.2.4 蜂蜡对膜性能的影响实验

取 2 g 膳食纤维、50 g 蒸馏水 (料液比为 1:25) 均匀混合在 500 mL 烧杯中, 磁力搅拌 15 min, 转速控制在 250~300 r/min 内, 然后加热煮沸 3 min; 在烧杯中加入 0.06 g 复合增稠剂, CMC 和海藻酸钠分别为 0.0372 g 和 0.0228 g; 再加入 0.032 g 甘油和占膳食纤维质量 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% 的蜂蜡。然后搅拌 30 min, 转速控制在 1500~2000 r/min 内; 将混合均匀的膜液放入温度为 25 °C、压力为 -0.08 MPa 的真空干燥箱中脱泡 30 min; 取出后将固含量为 0.040% 的膜液倒入 15 cm×15 cm 的聚四氟乙烯模具中, 室温下干燥 12 h, 即得到可食性膳食纤维包装薄膜, 薄膜厚度为 (0.1±0.008) mm。

1.3 测试方法

1.3.1 化学成分测定

淀粉含量按 GB/T 5009.9—2016《酶水解法测定》测定^[18]; 脂肪含量按照 GB/T 5009.6—2003 进行测定^[19]; 蛋白质含量按照 GB/T 5009.5—2010^[20]测定。

1.3.2 拉伸强度测定

参照 GB/T 1040.3—2006^[21]《塑料薄膜拉伸性能实验方法》测定拉伸强度。

1.3.3 厚度测试

参照 GB/T 451.3—2002^[22]《纸和纸板厚度的测定方法》测量厚度。

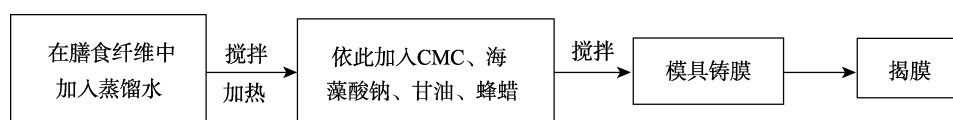


图 2 木薯膳食纤维可食包装膜制备工艺流程

Fig.2 Preparation process flow of edible packaging film by cassava dietary

1.3.4 水蒸气透过量测试

参照 GB/T 1037—1988^[23]《塑料薄膜和片材透水蒸气性实验方法 杯式法》测量水蒸气透过量。

实验前要进行试样状态调节,即将样品置于恒温恒湿箱中,控制温度为 23 ℃,相对湿度为 50%,在该条件下放置至少 4 h 以上。根据式 (1) 计算透湿系数。

$$P_v=1.157\times10^{-9}\times\frac{W_{VT}d}{\Delta p}$$

(1)

式中: P_v 为水蒸气透过系数($\text{g}\cdot\text{mm}/(\text{mm}^2\cdot\text{d}\cdot\text{kPa})$); W_{VT} 为水蒸气透过量($\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$); d 为试样厚度(mm); Δp 为试样两侧的水蒸气压差(kPa)。

1.3.5 可食性薄膜微观形貌

将样品置于 65 ℃烘箱中烘干 6 h,随后将断面表面喷金,通过扫描电镜观察断面形貌特征。

2 结果与分析

2.1 膳食纤维的化学成分测定

木薯渣膳食纤维化学成分的测定见表 1,可以看出,经过酶解后木薯渣的淀粉、脂肪和蛋白质质量分数分别为 12.95%, 0.22%和 0.65%。原木薯渣的淀粉质量分数为 25.91%, 脂肪为 1.39%, 蛋白质为 3.35%^[17],得到大幅度降低,表明酶解可以很好地去除木薯渣中的淀粉、脂肪和蛋白质等物质。

表 1 木薯渣膳食纤维成分含量测定

Tab.1 Determination of dietary fiber in cassava residues %

淀粉质量分数	脂肪质量分数	蛋白质质量分数
12.95	0.22	0.62

2.2 料液比对膜性能的影响

膳食纤维与蒸馏水的比例不同对薄膜的性能会有一定影响,见图 3。由图 3 可知,随着蒸馏水含量提高,薄膜的厚度虽逐渐减低,但降低幅度不大。薄膜的拉伸强度随着蒸馏水含量的提升,呈现先增大后减小的趋势。在料液比为 1:25 时,薄膜的拉伸强度最好,为 4.28 MPa,提升了 37.4%。木薯膳食纤维在加热和均质过程中发生了“分丝帚化”、吸水润胀现象,这些现象会增加膳食纤维的相互作用力和体积,从而导致膳食纤维溶液的粘稠度增加。当蒸馏水的添加量过少时,粘稠度过高容易导致纤维在膜液中分布不均匀,会对膜的力学性能以及外观造成较大影响;当蒸馏水的添加量过多时,粘稠度过低,会导致膳食

纤维分布不均匀^[24],结合力降低,进而导致力学性能下降。综合图 3 可以看出,液料比为 1:25 时,薄膜的力学性能和外观最好。

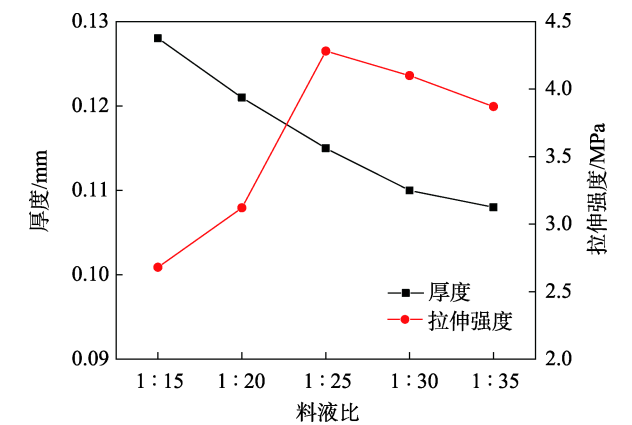


图 3 料液比对薄膜的影响
Fig.3 Effects of solid-liquid ratio on films

2.3 海藻酸钠和 CMC 对膜性能的影响

CMC 与海藻酸钠复合增稠剂间相容性较好,且分子间的氢键键合作用可以增加薄膜的力学性能^[25]。复合增稠剂作为主要的成膜物质,两者的比例不同会对成膜性能造成较大影响。此试验是在木薯膳食纤维与蒸馏水质量比为 1:25,且甘油、蜂蜡的质量分别为木薯膳食纤维溶液质量 1%和 0.5%的基础上进行的,研究了不同用量以及不同比例复合增稠剂对薄膜性能的影响,见图 4—5。

试验发现,若在增稠剂质量分数为 3%的基础上继续添加增稠剂,会导致膜液太过粘稠、延流性差、薄膜厚度不均匀,因此重点探讨了复合增稠剂质量分数为 1%, 2%, 3%时对薄膜的影响。综合图 4—5 得出,CMC 与海藻酸钠的质量分数为 3%,且 CMC 与海藻酸钠的质量比为 62:38 时,薄膜的综合性能较

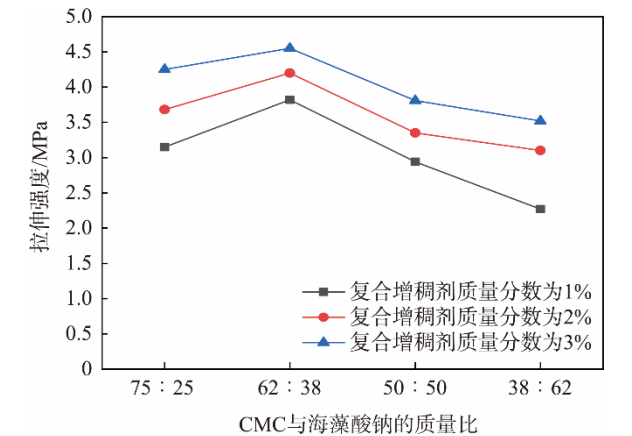


图 4 增稠剂对薄膜拉伸强度的影响
Fig.4 Effect of thickener on tensile strength of films

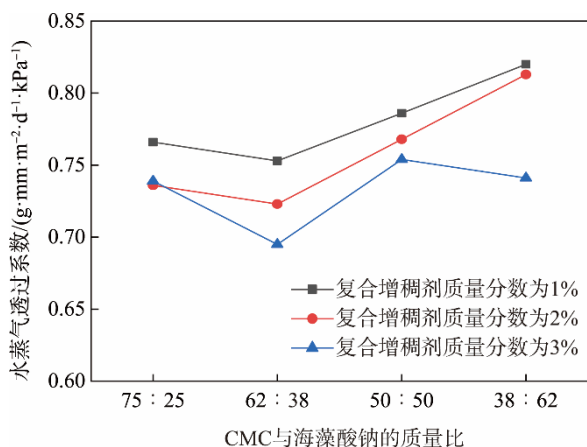


图5 增稠剂对薄膜水蒸气透过系数的影响

Fig.5 Effect of thickener on water vapor permeability of films

好。海藻酸钠的凝胶性相对较强,在总添加量相同的情况下,随着海藻酸钠的浓度增加,膜液粘稠度增加。膜的拉伸强度呈现先增加后减小的趋势,原因是海藻酸钠虽能提高力学性能,但海藻酸含量过高会造成膜液粘稠,导致成膜不均匀,出现结块现象,从而使力学性能下降。

2.4 甘油对膜性能的影响

甘油中含有亲水基团羟基,可与水分子发生一定的水化作用,提高膜的柔韧性,使材料不易脆裂^[26]从而容易揭膜。在料液比为1:25,CMC与海藻酸钠的质量分数为3%,且CMC与海藻酸钠的质量比为62:38,蜂蜡添加量为0.5%的基础上进行对照试验,研究了甘油添加量对膜性能的影响,结果见图6。

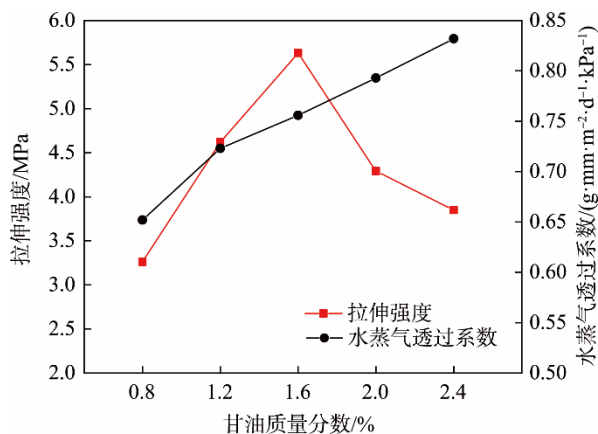


图6 甘油添加量对薄膜拉伸强度和水蒸气透过系数的影响

Fig.6 Effect of addition amount of glycerol on tensile strength and water vapor permeability of films

由图6可知,随着甘油添加量的增多,膜的抗拉强度先增加后减小,这是因为甘油添加量的增加削弱

了混合物分子间的范德华力,从而增加了链段间相对移动的机率,降低了结晶度,软化了体系的刚性结构,表现为膜的抗拉强度下降^[27]。由于甘油中的亲水基团会随着甘油浓度的增加而增加,使得膜液的亲水性也相应增加,最终导致膜的水蒸气透过系数随甘油添加量的增大而增大^[28]。综上,甘油的质量分数为1.6%时,膜的综合性能较好。

2.5 蜂蜡添加量对膜性能的影响

蜂蜡具有较好的乳化性,能与增稠剂均匀混合,形成稳定乳化液,从而改善水蒸气的透过性^[29]。在料液比为1:25,CMC与海藻酸钠的质量分数为3%,且CMC与海藻酸钠的质量比为62:38,甘油质量分数为1.6%的基础上进行对照试验,研究了蜂蜡添加量对膜性能的影响,结果见图7。

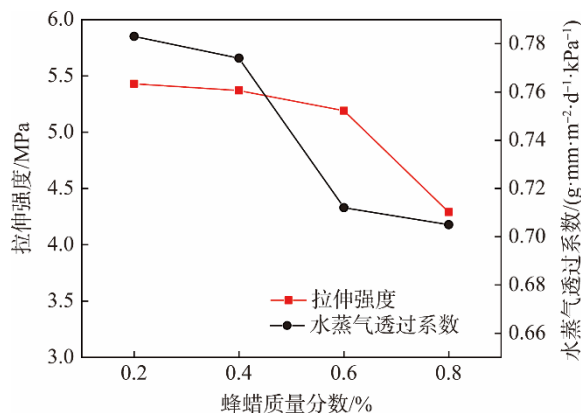


图7 蜂蜡添加量对薄膜拉伸强度和水蒸气透过系数的影响

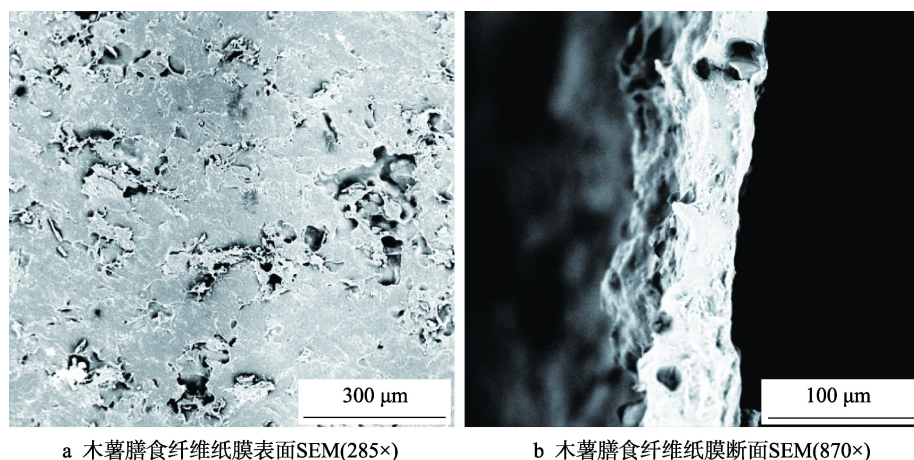
Fig.7 Effect of addition amount of beeswax on tensile strength and water vapor permeability of films

由图7可知,随着蜂蜡的加入,水蒸气透过系数降低、阻隔性增加,适量蜂蜡的加入对拉伸强度影响不大。综上,蜂蜡的质量分数为0.6%时,膜的综合性能较好。

2.6 扫描电镜分析

为了进一步表征薄膜的表面形态、各种添加剂的相容性以及薄膜内部结构,采用了电镜扫描手段表征,结果见图8。

图8a显示薄膜表面有较多的孔洞,产生孔洞的原因主要有2个,一是膜液脱气不够彻底,含有小气泡,膜液干燥后会在原来有气泡的位置形成孔洞;二是增稠剂未能完全填充膳食纤维间的缝隙,造成这个现象的原因可能是膳食纤维与增稠剂的混合不够均匀。由图8b可知,薄膜内部也存在孔洞,纤维与增塑剂没有完全均匀混合。



a 木薯膳食纤维纸膜表面SEM(285×)

b 木薯膳食纤维纸膜断面SEM(870×)

图 8 木薯膳食纤维纸膜表面和断面 SEM 结果

Fig.8 SEM images of surface and cross section of edible cassava dietary fiber film

3 结语

以木薯渣为原料,通过物理-酶解法提取膳食纤维,通过加入复合增稠剂 CMC、海藻酸钠及甘油、蜂蜡等添加剂成功制备了可食性木薯膳食纤维纸膜。在料液比为 1:25,复合增稠剂 CMC、海藻酸钠质量分数为 3% (CMC 与海藻酸钠的质量比为 62:38,质量比),甘油质量分数为 1.6%、蜂蜡质量分数为 0.6%,采用聚四氟乙烯板为成膜基材时,纸膜的性能最优。此时,薄膜厚度为 0.115 mm、拉伸强度为 5.19 MPa、水蒸气透过量为 0.712 g·mm/(m²·d·kPa),表面光滑,厚度均匀且柔软。此研究不仅高值化利用了木薯渣,而且还为食品包装开发了一条新途径。

参考文献:

- [1] ZHANG M, XIE L, YIN Z, et al. Biorefinery Approach for Cassava-based Industrial Wastes: Current Status and Opportunities[J]. Bioresource Technology, 2016, 215: 50—62.
- [2] OKUDOH V, TROIS C, WORKNEH T, et al. The Potential of Cassava Biomass and Applicable Technologies for Sustainable Biogas Production in South Africa: a Review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 39: 1035—1052.
- [3] LI H X, ZHANG R J, TANG L, et al. Manganese Peroxidase Production from Cassava Residue by Phanerochaete chrysosporium in Solid State Fermentation and Its Decolorization of Indigo Carmine[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2015, 23: 227—233.
- [4] CHAVALDEJ S, WANGMOR T, MAITRIWONG K, et al. Separate Production of Hydrogen and Methane from Cassava Wastewater with Added Cassava Residue under a Thermophilic Temperature in Relation to Digestibility[J]. Journal of Biotechnology, 2018, 291: 61—71.
- [5] YU Z P, DU Y L, SHANG X N, et al. Enhancing Fermentable Sugar Yield from Cassava Residue Using a Two-step Dilute Ultra-low Acid Pretreatment Process[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 124: 555—562.
- [6] CARVALHO G R, MARQUES G S, JORGE L M M, et al. Cassava Bagasse as a Reinforcement Agent in the Polymeric Blend of Biodegradable Films[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2019, 136(12): 47224.
- [7] KEREN H P, LYCIO S W, SUZANA L N, et al. Cassava Bagasse as a Substrate to Produce Cyclodextrins[J]. STARCH-STARKE, 2018, 70(11/12): 1800073.
- [8] 刘晓峰, 李莉, 徐新. 木薯渣综合利用研究进展[J]. 山东食品发酵, 2014(4): 19—21.
- [9] 岳军, 胡世洋, 惠继星, 等. 木薯渣资源利用现状及发展趋势[J]. 化工科技, 2012, 20(6): 60—62.
- [10] 朱静, 蒋金鑫. 膳食纤维生理功能的研究进展[J]. 粮食流通技术, 2016, 9(18): 4—6.
- [11] SASAMURA T, SASAKI N, MIYASHITA F, et al. Neurotic, a Novel Maternal Neurogenic Gene, Encodes Anco-fucosyltransferase That Is Essential for Notch-delta interactions[J]. Development, 2003, 130(20): 4785—4795.
- [12] 臧芷安. 多摄入膳食纤维预防乳腺癌[J]. 保健与生活, 2016(6): 57.
- [13] ZANG Zhi-an. Preventing Breast Cancer by Intaking

- Dietary Fiber[J]. Health and Life, 2016(6): 57.
- [13] 刘锐雯. 木薯膳食纤维的提取工艺及理化性质的研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2014: 1—3.
LIU Rui-wen. Extraction Technology and Physico-chemical Properties of Cassava Dietary Fiber[D]. Xiamen: Xiamen University, 2014: 1—3.
- [14] CARVALHO G R, MARQUES G S, JORGE L M M, et al. Cassava Bagasse as a Reinforcement Agent in the Polymeric Blend of Biodegradable Films[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2019, 136(12): 47224.
- [15] 曹龙奎, 卞雪. 马铃薯渣可食性膜的制备及其微观结构分析[J]. 包装工程, 2010, 31(19): 32—35.
CAO Long-kui, BIAN Xue. Preparation and Micro-structure Analysis of Edible Film of Potato Pulp[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19): 32—35.
- [16] WANG T, MA Z. A Novel Insoluble Dietary Fiber-based Edible Paper from Chinese Cabbage[J]. Cellulose, 2017, 24(8): 3411—3419.
- [17] 黄丽婕, 蔡园园, 古碧, 等. 酶-物理法提取木薯渣中膳食纤维的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(1): 107—111.
HUANG Li-jie, CAI Yuan-yuan, GU Bi, et al. Preparation of Dietary Fiber Fromcassava Residues by Enzymatic-physical Method[J]. Food Research and Development, 2016, 37(1): 107—111.
- [18] GB 5009.9—2016, 食品安全国家标准 食品中淀粉的测定[S].
GB 5009.9—2016, National Food Safety Standards Determination of Starch in Food[S].
- [19] GB/T 5009.6—2016, 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].
GB/T 5009.6—2016, National Food Safety Standards Determination of Fat in Food[S].
- [20] GB/T 5009.5—2016, 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
GB/T 5009.5—2016, National Food Safety Standards Determination of Protein in Food[S].
- [21] GB/T 1040.3—2006, 塑料拉伸性能的测定第3部分: 薄膜和薄片的试验条件[S].
GB/T 1040.3—2006, Plastics-determination of Tensile Properties-Part 3: Test Conditions for Films and Sheets[S].
- [22] GB/T 451.3—2002, 纸和纸板厚度的测定[S].
GB/T 451.3—2002, Paper and Board-Determination of Thickness[S].
- [23] GB/T 1037—1988, 塑料薄膜和片材透水蒸气性试验方法(杯式法)[S].
GB/T 1037—1988, Test Method for Water Vapor Transmission of Plastic Film and Sheet-cup Method[S].
- [24] 尹晨. 玉米淀粉质包装膜的研制及其特性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012: 11—20.
YIN Chen. Preparation of Corn Starch Film and Its Characteristics[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2012: 11—20.
- [25] 周睿, 包鸿慧, 张学娟, 等. 羧甲基化马铃薯渣基可食性包装膜的制备及特性研究[J]. 农产品加工(学刊), 2014(18): 1—5.
ZHOU Rui, BAO Hong-hui, ZHANG Xue-juan, et al. Study on Preparation and Properties of Edible Packaging Film Based on Carboxymethylated Potato Residue[J]. Processing of Agricultural Products (Journal), 2014(18): 1—5.
- [26] 罗秋水, 黄月胜, 汤凯洁, 等. 甲基纤维素可食膜的制备和增塑剂对其机械性能的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(10): 8—12
LUO Qiu-shui, HUANG YUE-sheng, TANG Kai-jie, et al. Preparation and of Proper-ties Edible Films of Methyl Cellulose[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(10): 8—12.
- [27] 董晓萌. 海藻酸钠基可食包装膜的性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 25—29.
DONG Xiao-meng. Sodium Alginate Properties of Edible Fiber Film[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015: 25—29.
- [28] WAN J, LIU C G, LIU W, et al. Optimization of Instant Edible Films Based on Dietary Fiber Processed with Dynamic High Pressure Micro-fluidization for Barrier Properties and Water Solubility[J]. LWT-food Science and Technology, 2015, 60(1): 603—608.
- [29] JOSEFABRA M, FALCO I, RANDAZZO W, et al. Lopez-rubio. Antiviral and Antioxidant Properties of Active Alginate Edible Films Containing Phenolic Extracts[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 81: 96—103.