

淀粉基膜的制备及应用研究进展

Research progress on preparation and application of starch-based films

陈启杰 周丽玲 董徐芳 郑学铭 王建辉

CHEN Qi-jie ZHOU Li-ling DONG Xu-fang ZHENG Xue-ming WANG Jian-hui

(长沙理工大学化学与生物工程学院, 湖南 长沙 410114)

(School of Chemistry and Biological Engineering, Changsha University of Science and Technology,
Changsha, Hunan 410114, China)

摘要:淀粉是除纤维素外的第二大可再生原料,淀粉基膜绿色环保、安全无毒、可生物降解,缓解了合成材料的不可降解对生存环境的污染和原料日益枯竭的压力,实现资源的可持续发展,是当今最具有发展前景的新型材料之一。文章对淀粉基膜的制备方法进行了综述,介绍了湿法、干法制备淀粉基膜及其物理化学性质,阐述了淀粉基膜在食品保鲜、包装等领域的应用,并对淀粉基膜的应用前景进行展望。

关键词:淀粉基膜;制备;应用;展望

Abstract: Starch is the second largest renewable raw materials in the world except for the cellulose. Comparing with the synthetic material, the starch-based films shows more unique and excellent properties such as green, non-toxic, biodegradable. It is one of the most promising new materials because it can ease the pollution to environment and the pressure on the dying up raw material of non-degradable synthetic material, and realize the sustainable development of resources. The main methods of preparing starch-based films including the wet and dry ways were reviewed in the paper. The physical and chemical properties of starch-based films were also summarized. It can be widely used in food fresh keeping, packaging and other fields, and the application prospects of starch-based film were also discussed.

Keywords: starch-based films; preparation; application; prospect

淀粉是一种天然的可降解多糖,是除纤维素外的第二大可再生原料,具有资源丰富、价廉易得、安全无毒、可生物降解、生物相容性好等优良性质^[1]。它是由直链淀粉和支链淀粉两部分组成,直链淀粉由数百个 α -1,4 糖苷键连接 D-吡喃

葡萄糖组成,呈直线形;支链淀粉除 α -1,4 糖苷键外,还有 α -1,6 糖苷键连接 D-吡喃葡萄糖组成,呈树状。直链、支链淀粉的分子结构和分子量不同,不同淀粉分子的化学性质和成膜性能不同^[2]。

随着人们环保和食品安全意识的不断增强,基于石油基原料制备的传统膜材料正面临因石油日益枯竭而导致的资源问题以及塑料废弃物对环境的污染问题,甚至危及人类身体健康问题。淀粉基膜是以来源广、价格低廉、可再生的淀粉为原料制备的膜材料,其绿色环保、安全无毒、可生物降解,是当今最具发展前景的材料之一^[3]。本文对淀粉基膜的制备方法进行综述,系统介绍湿法、干法制备淀粉基膜的方法及其理化性质,并阐述淀粉基膜在食品、包装及医药等领域的应用前景。

1 淀粉基膜的制备

1.1 湿法制膜

以淀粉为原料湿法制膜是指在水溶液加热糊化溶解淀粉及加入各种添加剂和助剂,混合后流延成膜,干燥后即得淀粉基膜^[4]。主要工序包括淀粉加热糊化、溶解、混合物的均质匀化、浇铸和干燥等。淀粉的颗粒结构由结晶区和无定型区组成,支链淀粉和直链淀粉由氢键连接,构成淀粉的骨架,淀粉颗粒不溶于冷水,但能在热水中糊化,淀粉的糊化是一个不可逆过程,它包括淀粉晶体的溶解、水分的吸收、淀粉颗粒的溶胀,并且受温度、溶剂以及溶剂和淀粉比例的影响^[5]。在加热过程中水分子不断进入淀粉颗粒中,晶体中的直链淀粉涨破而释放出直链淀粉,变成黏稠的糊化液,水分子进入直链淀粉且与羟基发生反应形成氢键,氢键作用是影响淀粉基膜强度的重要因素。

杨彪等^[6]利用湿法制备了强度好、断裂伸长率高且湿相容性好的聚丁二酸丁二醇酯/淀粉食品包装膜;吴颖^[7]采用湿法制备了琼脂—淀粉、琥珀酸—淀粉、双醛淀粉 3 种新型淀粉膜,新型淀粉膜的抗老化、阻水性、力学性能均得到有效

基金项目:国家自然科学基金(编号:31500495);湖南省自然科学基金(编号:14JJ3085)

作者简介:陈启杰,男,长沙理工大学副教授,博士。

通信作者:王建辉(1980—),男,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: wangjh0909@163.com

收稿日期:2017-01-20

提高;Gao 等^[8]研究大豆蛋白改性制备淀粉膜,利用淀粉和大豆蛋白混合制膜,所得膜的相容性好,拉伸强度高;Goudarzi 等^[9]用淀粉和二氧化钛制备环保型保健食品包装材料,随着二氧化钛含量的增加,膜的吸水性、溶解性降低,断裂伸长率增加,同时该纳米二氧化钛改性淀粉膜对紫外 A、B、C 区有抵抗作用;El 等^[10]利用湿法制膜法用羧甲基纤维素、纤维素纳米晶和淀粉制备淀粉基生物纳米复合膜,膜的透明度、弹力、拉伸强度随着纤维素纳米晶浓度的增加而增加,而复合膜的水蒸气透过率下降。淀粉湿法制膜制备淀粉基膜生产操作方便,设备要求低,可配置的淀粉溶液浓度范围广,且灵活性强,但湿法制膜需通过浇铸,干燥时间长而不适于大规模生产。

1.2 干法制膜

干法制膜也称热塑性加工法,是对淀粉进行热塑性处理,通过添加增塑剂等来改变淀粉的韧性,增塑剂与淀粉羟基形成氢键,淀粉的熔融温度低于其分解温度,使淀粉更易于成型加工^[11]。淀粉基干法制膜主要包括片/膜挤出、发泡挤出、注射成型、压缩成型和反应性挤出热处理,这种制备淀粉基薄膜的方法主要包括:① 淀粉与增塑剂混合并挤出以破坏淀粉颗粒;② 所得淀粉糊热成型以形成薄膜。

陈建梅等^[12]分别以 N-甲基-N-(2-羟甲基)甲酰胺和 N-甲基-N-(2-羟丙基)甲酰胺为新型增塑剂制备热塑性淀粉膜,研究发现新型增塑剂能够完全塑化淀粉,所制得的淀粉膜相容性和阻水性好;Akrami 等^[13]研究合成了一种聚乳酸(PLA)/热塑性淀粉(TPS)复合膜的增容剂,利用马来酸酐接枝聚乙二醇接枝淀粉(mPEG-g-St)增容作用合成 PLA/TPS 复合膜,增容剂可提高 PLA/TPS 复合膜界面附着及膜拉伸强度;Yang 等^[14]采用熔融共混分别将顺丁烯和氧化酚嫁接到淀粉上制备热塑性淀粉,再与聚乳酸混合制备淀粉复合膜,氧化酚嫁接改性淀粉膜比顺丁烯改性淀粉膜的抗水性、力学性能好;LÓpez 等^[15]用豆薯淀粉提取物(PASR)作为热塑性淀粉膜的填充物,添加 PASR 的热塑性淀粉膜的水蒸气透过率下降,杨氏模量、拉伸强度提高;Montero 等^[16]研究纳米纤维素作为填充物对热塑性淀粉膜的影响,纤维素纳米晶体与土豆淀粉干法制膜的膜强度和硬度大、热稳定性好、水阻性高。干法制备淀粉膜对设备性能要求高,但干法制膜的产量高且膜质量好。

2 淀粉基膜的物理化学性质

淀粉基膜具有形成连续基质的能力,且氧渗透性能低,与其它非淀粉膜相比,成本低廉、无臭无味、环保可再生;然而与塑料聚合物相比,其抗水性和机械性能差。淀粉基膜的生物结构是半结晶,含有分别由玻璃化转变温度和结晶度表征的无定形区和结晶区,其物化性质受无定形区、结晶区及其内聚能密度的影响,结晶度受干燥、储存条件及增塑剂含量等的影响。淀粉基膜聚合物分子间力影响膜的脆性,添加增塑剂到成膜分散体中以降低分子间作用力,增塑发生在具有较高分子运动性的非晶区中,使淀粉膜变得更柔软,膜的拉伸强度降低,但断裂伸长率增加,膜对水分、氧和芳香化合

物的渗透性增加。增塑剂种类和用量、淀粉来源及储存条件不同可获得性能各异的淀粉基膜材料^[17],如甘油塑化淀粉基膜比山梨醇塑化淀粉基膜的拉伸强度和弹性模量更低,断裂伸长率更高,柔韧性和可拉伸性更好。

添加亲脂性物质可有效改善淀粉基膜的性质,淀粉基膜的疏水性增加,对水蒸气的阻隔性得以改善,淀粉基膜的用途决定于亲脂性物质的性质。Garcia 等^[18]研究添加 2 g/L 的葵花油降低了淀粉基膜的水蒸气渗透性;Jiménez 等^[19]研究发现玉米淀粉—脂肪酸薄膜在储存阶段形成结晶区,淀粉基膜的刚度和脆性增加,而膜的可拉伸性、光泽度和透明度下降。

淀粉基膜的机械强度差,通过添加有机、无机填料或纳米颗粒可制备生物复合材料,以增强淀粉基膜的机械性能。Ajfde 等^[20]以高岭土作为热塑性淀粉基质中的增强剂,将高岭土以 50%的比例加入热塑性淀粉中,相对于无黏土基质,弹性模量和拉伸强度分别增加约 130%和 50%;纳米颗粒是纳米级的超细颗粒,当其与天然聚合物结合时能够形成纳米复合膜,Rhim 等^[21]研究发现纳米尺寸的黏土聚合物分散对淀粉膜的机械和物理性能有很大改善;Tang 等^[22]用二氧化硅氧化物纳米颗粒增强淀粉/聚乙烯醇生物降解膜,增强剂的添加改善了淀粉基膜的机械性能,但其生物降解性不受影响。

纳米淀粉可有效增强淀粉基膜的强度,纳米淀粉是指采用化学、机械或生物等方法将淀粉的粒度降至纳米量级,粒径在 1~1 000 nm,从而赋予其新的物理化学性能。相较于传统改性淀粉,纳米淀粉粒径小、比表面积大,具有小尺寸效应、表面与界面效应、量子尺寸效应和宏观量子隧道效应等优势。制备纳米淀粉的方法主要有:水解法、生物酶法、机械研磨法、高压匀质法和反应挤出法^[23]。陈启杰等^[24-27]采用双螺杆挤压塑化和交联技术,成功制备出了粒径在 50~250 nm 的纳米淀粉、纳米阳离子淀粉,纳米羧甲基淀粉和纳米两性淀粉,纳米淀粉颗粒表面光滑平整、黏度低、流动性好、成膜性好、黏结力强;塑化—山梨醇普鲁兰改性蜡质玉米纳米淀粉膜能增强淀粉基膜的机械和抗水性能,随着纳米淀粉的增加,膜吸水性逐渐降低,填料—基质和纳米淀粉间的紧密连接提高淀粉基膜的玻璃化转化温度,纳米淀粉基膜的杨氏模量和拉伸强度显著提高^[28];Angellier 等^[29]通过添加纳米淀粉提高了热塑性淀粉基膜的强度和阻隔性能;González 等^[30]研究发现大豆分离蛋白和纳米淀粉混合制备纳米淀粉基膜的透明度、均匀性、机械强度和阻水性能均有很大改善。纳米淀粉由于其独特的纳米特性,具有显著的增强效果,纳米淀粉复合薄膜性能优良,其机械强度、断裂伸长率、吸湿性、阻氧性等都有显著改善。

3 淀粉基膜的应用

3.1 淀粉基膜在食品保鲜中的应用

3.1.1 在果蔬保鲜中的应用 采摘后的果蔬新鲜且营养价值高,因果蔬表皮附含微生物,若长时间暴露于空气或处于储运过程中,因微生物在果皮代谢而使得果蔬易于腐烂。将

果蔬进行冷藏、真空包装处理或在果皮表面涂抹石蜡,可降低其呼吸作用而达到保鲜效果,但成本相对较高,或存在安全隐患。采用淀粉基可食用膜作为保鲜膜,兼具保鲜、抗菌、安全等特点。通过喷洒、浸渍、涂抹等方式,可在果蔬表面形成一层具有阻隔性和选择透过性的薄膜,有效减缓果蔬的呼吸和蒸腾作用,起到保鲜效果。以山梨醇作为增塑剂制备淀粉基膜涂抹在新鲜草莓上,可有效阻碍水分的蒸发,且有一定的抗菌作用,对草莓的保鲜效果好;王昕等^[31]利用淀粉基膜在常温下对番茄进行涂抹保鲜,研究发现以玉米淀粉制备的可食用性膜具有良好的阻氧性,且可保持果实中果胶含量不变,维持果实的硬度;尹璐^[32]研究发现葛根淀粉—壳聚糖复合膜处理对整果荸荠的生理生化指标均有明显改善;田春梅等^[33]研究发现木薯淀粉—壳聚糖复合膜对鲜切菠萝蜜兼具保鲜和抗菌作用;Fai 等^[34]研究表明淀粉基复合膜能够控制切丝微加工胡萝卜的微生物增长。

3.1.2 在肉类食品保鲜中的应用 肉类食品的腐败主要是源于酶和微生物对肉中蛋白质降解和脂肪水解氧化作用,鲜肉的保鲜不适用于加热、干燥、冷藏、腌制的方式,因其潜在安全风险,不适用于喷涂抗菌剂。采用淀粉基可食用保鲜膜来防止微生物的繁殖是肉类食品保鲜的有效途径。Nisa 等^[35]分别将 BHT 和绿茶提取物加入到土豆淀粉中制备土豆淀粉基复合膜,研究其对牛肉的抗菌保鲜作用,研究发现 2 种土豆淀粉基复合膜均有效减缓了牛肉脂肪氧化、高铁肌红蛋白含量的上升,延长了鲜牛肉的保质期;夏秀芳等^[36]利用壳聚糖淀粉复合膜和香辛料保鲜液对冷却肉进行保鲜,壳聚糖淀粉基复合膜对冷却肉的保鲜效果随壳聚糖浓度的提高而增强;Margarita 等^[37]利用葡萄汁提取物添加到豌豆淀粉中,制备豌豆淀粉基复合膜,该膜能有效抑制猪肉表面微生物的生长,延长猪肉的货架期。

3.1.3 在焙烤食品风味保持中的应用 以面包、饼干为代表的焙烤食品暴露在空气中极易吸收水蒸气而失去风味,在食品表面涂抹淀粉基可食用膜则可防止此现象,Bravin 等^[38]利用甲基纤维素—淀粉—脂质复合膜涂抹于饼干表面,饼干的阻水性能提高,有效保持了饼干的原有风味。

3.2 淀粉基膜在食品包装中的应用

食品包装膜能阻碍或选择性通过气体和水蒸气,抑制食品微生物的生长,延长食品的货架期。传统包装袋不可降解,大量使用造成环境污染和材料的浪费,以淀粉为原料制备的淀粉基膜食品包装袋不仅可延长食品的货架期,且成本低、环境效益显著。淀粉基膜直链淀粉含量越高,膜的阻水性越差,以木糖醇为塑化剂改性的淀粉基膜阻水性提高^[39];Javanmard^[40]利用小麦淀粉、甘油、乙二醇制备食品包装膜,该膜可有效降低开心果的吸湿性和氧化度,延长开心果的货架期;Silva-Pereira 等^[41]用壳聚糖、玉米淀粉、苔藓提取物制备淀粉基复合膜,该膜具有环境感应性,能根据 pH 的变化推测出被包装鱼肉的腐败程度;Liu 等^[42]利用聚乙烯醇、淀粉、花青素、柠檬酸制备淀粉基智能复合膜,该包装膜能智能检测巴氏消毒牛奶的腐败程度,抑制枯草芽孢杆菌、黑曲霉和金黄色酿脓葡萄球菌的生长;Abreu 等^[43]用纳米银颗粒、

季氨酸盐和淀粉制备纳米银淀粉基复合膜,该复合膜包装袋抗菌抑菌效果显著;Morro 等^[44]制备了不同聚乙烯丁基丙烯酸丁酯/热塑性淀粉(TPS)复合膜,聚烯烃 TPS 相间的存在对材料的氧化稳定性没有影响,该复合膜的强度和阻隔性能好,是良好的淀粉基膜包装材料。

3.3 淀粉基膜在医药中的应用

医用胶囊作为药物的载体在医药中广泛应用,传统的医用胶囊多用明胶制成,在高温条件下明胶胶囊易黏连、低湿条件下易失水硬化或脆碎,对贮存环境的温度、湿度和包装材料依赖性强,由于宗教信仰的因素,动物来源的明胶胶囊不被素食主义者及伊斯兰教等人群接受。为克服明胶胶囊存在的缺陷,采用淀粉基植物膜制备符合国家标准药物胶囊备受关注^[45]。Zhang 等^[46]以羟丙基甲基纤维素、羟丙基淀粉为原料,用聚乙二醇为增塑剂制备淀粉基共混薄膜,通过优化温度和保温时间来控制黏度,制备淀粉基胶囊;曹宇等^[47]以食用马铃薯淀粉为原料,以环氧丙烷为醚化剂、三偏磷酸钠为交联剂、双氧水为氧化剂制备了不同交联度和黏度的羟丙基交联氧化改性淀粉,羟丙基取代度为 0.116 的改性淀粉具有良好的成膜性,可作为原料应用于淀粉胶囊的制备;Nazila 等^[48]利用卡拉胶和羟丙基水解的西米淀粉制备淀粉基复合膜,与传统明胶相比,复合膜的溶解度高于明胶,在较高的相对湿度下比明胶膜更稳定,且性能强度提高,可用于制备淀粉基药物胶囊。

4 展望

淀粉基膜材料绿色环保、可生物降解,可缓解合成材料的不可降解性对环境的污染及原料日益枯竭的压力,有益于资源的可持续发展,但淀粉基膜仍存在膜机械强度不高、易老化、膜阻水性能差、对环境湿度的敏感性大等缺陷^[49],研究和探索机械强度高、抗老化、阻水性能高、功能性强,更智能型的淀粉基膜是食品、药品包装材料发展的新方向。纳米淀粉独特的纳米特性,具有许多优势,以纳米淀粉为基材,组装某些特定的功能性基团,制备功能性智能化的纳米淀粉基膜材料,为进一步延展和扩大淀粉基膜的优势奠定了理论和应用基础,深入该领域的基础理论研究与应用推广是淀粉基膜材料的研究发展趋势。

参考文献

[1] 李林静,唐汉军,李高阳,等. 甘薯营养成分及淀粉理化特性研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 54-58.

[2] 郭艳莉,肖志刚,王利民,等. 玉米淀粉基脂肪模拟物在冰淇淋中的应用研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 32-37.

[3] BAKER A R. Fees on plastic bags: Altering consumer behavior by taxing environmentally damaging choices[J]. Alice R Baker, 2010, 10(15): 56-67.

[4] 童群义,朱桂兰. 用变性淀粉等添加剂改进淀粉膜强度的研究[J]. 食品科技, 2004(1): 53-56.

[5] 吕振磊,李国强,陈海华. 马铃薯淀粉糊化及凝胶特性研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 22-27.

[6] 杨彪,田华,薛洁,等. 湿法共混制备聚丁二酸丁二醇酯/淀粉食

品包装膜[J]. 食品科学技术学报, 2011, 29(2): 1-6.

[7] 吴颖. 新型淀粉膜的制备及其结构和性能的研究[D]. 天津: 天津大学, 2009: 23-25.

[8] GAO Ping-ping, WANG Feng, GU Feng-ying, et al. Preparation and characterization of zein thermo-modified starch films [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 9: 1 254-1 260.

[9] GOUDARZI V, SHAHABIGHAHFARROKHI I, BABAEIGHAZVINI A. Preparation of ecofriendly UV-protective food packaging material by starch/TiO₂ bio-nanocomposite: Characterization [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 1(95): 306-313.

[10] EL M N, ABDELOUAHDI K, BARAKAT A, et al. Bio-nanocomposite films reinforced with cellulose nanocrystals: Rheology of film-forming solutions, transparency, water vapor barrier and tensile properties of films[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 129: 156-167.

[11] JIMÉNEZ A, FABRA M J, TALENS P. Edible and Biodegradable Starch Films; A Review[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(6): 2 058-2 076.

[12] 陈建梅, 盛显良, 王丽荣, 等. 以新型塑化剂制备的淀粉膜性能研究[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2015(5): 154-159.

[13] AKRAMI M, GHASEMI I, AZIZI H, et al. A new approach in compatibilization of the poly (lactic acid)/thermoplastic starch (PLA/TPS) blends[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 144: 254-262.

[14] YANG Yong, TANG Zhao-bin, ZHU Xiong, et al. Preparation and characterization of thermoplastic starches and their blends with poly (lactic acid) [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 77(5): 273-279.

[15] LÓPEZO V, VERSINO F, VILLAR M A, et al. Agro-industrial residue from starch extraction of Pachyrhizus ahipa as filler of thermoplastic corn starch films[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 134: 324-332.

[16] MONTERO B, RICO M, RODRÍGUEZ-LLAMAZARES S, et al. Effect of nanocellulose as a filler on biodegradable thermoplastic starch films from tuber, cereal and legume[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 10(25): 1 094-1 104.

[17] 湛小立, 赵国华. 增塑剂对甘薯淀粉膜机械及渗透性能的影响[J]. 食品工业科技, 2009(9): 255-258.

[18] GARCÍA M A, MARTINO M N, ZARITZKY N E. Lipidaddition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(6): 941-944.

[19] JIMÉNEZ A, FABRA M J, TALENS P, et al. Effect of recrystallization on tensile, optical and water vapour barrier properties of corn starch films containing fatty acids [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(1): 302-310.

[20] AJFDE C, AAS C, JAM A. A first insight on composites of thermoplastic starch and kaolin [J]. Carbohydrate Polymers, 2001, 45(2): 189-194.

[21] RHIM J W, NG P K. Naturalbiopolymer-based nanocomposite films for packaging applications[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2007, 47(4): 411-433.

[22] TANG Hua-li, XIONG Han-guo, TANG Shang-wen, et al. A starch-based biodegradable film modified by nano silicon dioxide [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 113(1): 34-40.

[23] 杜艳芬, 王兴飞. 纳米淀粉的制备及应用进展[J]. 造纸科学与技术, 2015(1): 57-60.

[24] 陈启杰, 晏永祥, 王萍. 一种造纸涂布用纳米淀粉的制备方法: 中国, CN103496151A[P]. 2015-06-17.

[25] 陈启杰, 张雄飞. 一种纳米阳离子淀粉的制备方法: 中国, CN103435855A[P]. 2015-07-15.

[26] 陈启杰, 晏永祥, 张雄飞. 一种纳米羧甲基淀粉的制备方法: 中国, CN103467609A[P]. 2015-08-12.

[27] 陈启杰, 张雄飞. 一种纳米两性淀粉的制备方法: 中国, CN103435708A[P]. 2015-11-18.

[28] KRISTO E, BILIADERIS C G. Physical properties of starch nanocrystal-reinforced pullulan films[J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 68(1): 146-158.

[29] HÉLÈNE Angellier, SONIA Molinaboisseau, PATRICE Dole A, et al. Thermoplastic starch-waxy maize starch nanocrystals nanocomposites[J]. Biomacromolecules, 2006, 7(2): 531-539.

[30] GONZÁLEZ A, IGARZABAL C I A. Nanocrystal-reinforced soy protein films and their application as active packaging[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 43: 777-784.

[31] 王昕, 李建桥, 马中苏. 淀粉基可食膜在番茄常温保藏中的应用[J]. 食品工业科技, 2004, 25(10): 129-131.

[32] 尹璐. 葛根淀粉-壳聚糖复合膜的性能研究及在荸荠保鲜中的应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2013: 52-55.

[33] 田春美, 钟秋平. 木薯淀粉/壳聚糖可食性复合膜对鲜切菠萝蜜的保鲜研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(5): 130-133.

[34] FAI A E C, SOUZA M R A D, BARROS S T D, et al. Development and evaluation of biodegradable films and coatings obtained from fruit and vegetable residues applied to fresh-cut carrot (Daucus carota, L.) [J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 112: 194-204.

[35] NISA I U, ASHWAR B A, SHAH A. Development of potato starch based active packaging films loaded with antioxidants and its effect on shelf life of beef[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(11): 1-9.

[36] 夏秀芳, 孔保华. 香辛料保鲜液与壳聚糖淀粉复合膜在冷却肉保鲜中的应用[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 590-595.

[37] MARGARITA C, HAN J, BERNHARD T. Antimicrobial properties of grape seed extracts and their effectiveness after incorporation into pea starch films[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44(2): 425-433.

[38] BRAVIN B, PERESSINI D, SENSIDONI A. Development and application of polysaccharide-lipid edible coating to extend shelf-life of dry bakery products[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(3): 280-290.

[39] MUSCAT D, ADHIKARI B, ADHIKARI R, et al. Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(2): 189-201.

[40] JAVANMARD M. Effect of wheat starch films edible film on rancidity and moisture uptake of pistachio kernel as a new pack-

age[J]. Journal of Food Process Engineering, 2008, 34(4): 1 156-1 171.

[41] SILVA-PEREIRA M C, TEIXEIRA J A, PEREIRA-JÚNIOR V A, et al. Chitosan/corn starch blend films with extract from Brassica oleraceae, (red cabbage) as a visual indicator of fish deterioration[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 61(1): 258-262.

[42] LIU Bin, HAN Xu, ZHAO Hui-ying, et al. Preparation and characterization of intelligent starch/PVA films for simultaneous colorimetric indication and antimicrobial activity for food packaging applications[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 157: 842-849.

[43] ABREU A S, OLIVEIRA M, DE S A, et al. Antimicrobial nanostructured starch based films for packaging[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 129: 127-134.

[44] MORRO A, CATALINA F, CORRALES T, et al. New blends of ethylene-butyl acrylate copolymers with thermoplastic starch Characterization and bacterial biodegradation[J]. Carbohydrate Polymers, 2016(10): 149-168.

[45] 庄海宁, 金征宇, 张燕萍. 微孔淀粉在食品微胶囊化中的应用[J]. 食品与机械, 2007, 23(2): 129-132.

[46] ZHANG Li, WANG Ying, LIU Hua, et al. Developing hydroxypropyl methylcellulose/hydroxypropyl starch blends for use as capsule materials[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 98(1): 73-79.

[47] 曹余, 何绍凯, 刘全亮, 等. 空心胶囊用马铃薯复合改性淀粉的制备[J]. 绿色科技, 2016(4): 196-199.

[48] NAZILA Oladzadabbasabadi, SHOKOUFEH Ebadi, ABDORREZA Mohammadi Nafchi, et al. Functional properties of dually modified sago starch/ κ -carrageenan films; An alternative to gelatin in pharmaceutical capsules[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 160: 43-51.

[49] 周雨佳, 肖茜, 邓放明. 纳米淀粉的制备及其在可食性薄膜中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 229-232.

(上接第 178 页)

[4] 廖文艳, 周凌华, 王荫榆, 等. 近年来益生菌肠道功能作用机制及研究方法的进展[J]. 中国微生态学杂志, 2011, 23(2): 184-189.

[5] 李琴, 张世春, 曾晓燕, 等. 益生菌营养及保健作用[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(2): 106-108.

[6] MARTENSSON O, OSTEBO R, HOLST O. The effect of yoshurt culture on the survival of probiotic bacteria in oat-based, non-dairy products[J]. Food Research International, 2002(35): 775-784.

[7] 纵伟, 盛欣昕, 谭洪卓, 等. 益生菌发酵苦荞粉酶解液制备工艺研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(3): 14-17.

[8] 万萍. 食品分析与实验[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2015.

[9] 顾国贤. 酿酒工艺学[M]. 2 版. 北京: 中国轻工业出版社, 2012: 113.

[10] 王春萍, 高丽鹃, 潘志芬, 等. 青藏高原青稞农家品种淀粉颗粒结合蛋白组成及 GBSSI 基因 5 前导序列的多态性[J]. 作物学报, 2012, 38(7): 1 148-1 154.

[11] 万萍, 张宇, 杨兰, 等. 响应面法优化苦荞干黄酒主发酵工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(11): 1 185-1 191.

[12] 李秀霞, 王珍, 李娇, 等. 响应面法优化盐藻油的超声波辅助提取工艺[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(8): 203-207.

(上接第 194 页)

[27] 孙伟峰. 利用酶法和外加香料法对下部烟叶的增香提质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 14-21.

[28] 邱晔, 卢伟, 王建, 等. 造纸法烟草薄片对卷烟一氧化碳碳排放量影响研究[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2010(S1): 130-133.

[29] 葛少林. 造纸法再造烟叶热解过程与烟气组分调控技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014: 33-43.

[30] 梅秦源. 造纸法重组烟叶品质提升及保香性能研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2014: 27-28.

[31] 黄强, 李楠, 蒋元力. 固定化酶反应器制备新型烟草保润剂的研究[J]. 郑州大学学报: 工学版, 1999, 20(4): 50-52.

[32] 蒋次清, 王岚, 廖臻, 等. 微波马弗炉测定烟草中灰分的研究[J]. 安徽农业科学, 2012(7): 3 980-3 980.

[33] 王非凡. 碳酸钙加入量对造纸法再造烟叶的影响[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(24): 162-163.

[34] 曾健, 陈克复, 谢剑平, 等. 碳酸钙对造纸法再造烟叶片基的影响[J]. 烟草科技, 2013(10): 5-16.

[35] 罗冲, 胡惠仁, 温洋兵. 填料在造纸法烟草薄片生产中的应用研究[J]. 中华纸业, 2012, 33(16): 22-25.

[36] 王浩雅, 殷艳飞, 杨帅, 等. 碳酸钙添加量对再造烟叶物理性能与烟气指标的影响[J]. 中华纸业, 2015, 36(12): 22-26.

[37] 高文花. 特种植物废弃物高效利用技术的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013: 68-71.

(上接第 210 页)

[45] STREIT W R, SCHMITZ R A. Metagenomics-the key to the uncultured microbes[J]. Current Opinion in Microbiology, 2004, 7(5): 492-498.

[46] CHUNG E J, LIM H K, KIM J C, et al. Forest soil metagenome gene cluster involved in antifungal activity expression in Escherichia coli[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2008, 74(3): 723-730.

[47] KAKIRDE K S, PARSLEY L C, LILES M R. Size Does Matter: Application-driven Approaches for Soil Metagenomics[J]. Soil Biol Biochem, 2010, 42(11): 1 911-1 923.

[48] 蒋云霞, 郑天凌. 天然红树林土壤微生物大片段宏基因组文库的构建[J]. 环境科学, 2007, 28(11): 2 609-2 614.

[49] KIM U J, BIRREN B W, SLEPAK T, et al. Construction and Characterization of a Human Bacterial Artificial Chromosome Library[J]. Genomics, 1996, 34(2): 213-218.

[50] 苟敏, 曲媛媛, 周集体, 等. 活性污泥宏基因组 Fosmid 文库的构建[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2012, 40(1): 120-124.