

文章编号: 1674-7054(2016)04-0510-07

魔芋葡甘聚糖复合膜及其研究进展

石停凤, 潘廷跳, 鄢光欢

(黔南民族师范学院 生物科学与农学院, 贵州 都匀 558000)

摘要: 魔芋葡甘聚糖(Konjac Glucomannan, 简称 KGM) 是从魔芋块茎中提取出来的一种天然高分子多糖, 具有亲水性、凝胶性、可食用性、抗菌性和成膜性等多种特性。笔者介绍了 KGM 的结构和性质, 重点阐述了 KGM 复合膜成膜机理及方法、影响复合膜性能的主要因素和复合膜应用研究现状, 并展望了 KGM 复合膜的未来发展趋势。

关键词: 魔芋葡甘聚糖; 复合膜; 机理; 性能

中图分类号: TS 06; TS 24 **文献标志码:** A **DOI:** 10.15886/j.cnki.rds wxb.2016.04.017

魔芋(*Amorphophallus Konjac*) 主要分布在中国、日本、缅甸、越南和印度尼西亚等国, 在全世界约有 130 个品种, 我国有 30 多种, 其中 8 种为我国特有。它的块茎含有大量的水溶性膳食纤维, 即魔芋葡甘聚糖(Konjac Glucomannan, 简称 KGM)^[1]。KGM 为天然高分子杂多糖, 是继淀粉和纤维素之后一种较丰富的天然可再生资源, 它是由 D-葡萄糖和 D-甘露糖按 1 : 1.6 的分子比例以 β -1,4 糖苷键连接而成^[2-3]。KGM 具有优良的功能特性、良好的生物相容性和成膜性^[4]。KGM 复合膜是指以 KGM 为主要原料, 通过与其他一种或一种以上的生物高分子材料共混制成的高分子复合膜材料, 复合膜往往能集各种单一材料的优势于一体, 弥补了单一膜或多或少存在的抗拉伸强度不足、持水性不佳、透气性较低和透光性差等缺陷。研究表明, KGM 可以与其他多糖^[5-9](如淀粉、壳聚糖、普鲁兰多糖、卡拉胶、威兰胶和质酸等) 和蛋白质^[10-11](如大豆分离蛋白、胶原蛋白和玉米醇溶蛋白等) 等高分子材料复合成性能相对良好的复合膜。由于 KGM 复合膜在食品保鲜^[12]、包装薄膜^[13]、强化复合材料和生物医用材料^[14-16]等领域具有潜在的应用价值, 因而越来越受到科研工作者的重视。虽然 KGM 复合膜可以弥补单一膜存在的众多缺陷, 但是 KGM 复合膜同样存在着成膜时间长、膜强度低、抗菌能力差以及吸湿度大等问题。因此, 笔者在介绍 KGM 结构和性质的基础上, 着重阐述 KGM 复合膜成膜机理及方法、影响复合膜性能的主要因素和复合膜应用研究现状, 并展望 KGM 复合膜的未来发展趋势, 旨在为 KGM 复合膜的改性研究与复合膜产品开发 and 利用提供一些新的思路。

1 魔芋葡甘聚糖概述

1.1 魔芋葡甘聚糖的结构 KGM 主链是由 D-甘露糖残基与 D-葡萄糖残基通过 β -1,4 糖苷键链接而成, 甘露糖与葡萄糖的摩尔比约为 1.5 ~ 1.7(通常为 1.6)^[17]; 此外一些糖残基的第 3 位碳上存在着由 β -1,3 糖苷键链接起来的支链, 且每条支链由许多个(一般为几个到几十个)甘露糖残基与葡萄糖残基构成, 在主链上每 19 个左右的糖残基就有 1 个乙酰基, 通常它与甘露糖残基 C-6 位的伯醇基酯化, 尽管乙酰化程度很低, 但乙酰基却扮演着“分子开关”的作用, 与 KGM 物性密切相关。KGM 的分子结构如图 1 所示^[18-22]:

收稿日期: 2016-09-15

基金项目: 贵州省教育厅自然科学基金重点项目(黔教合 KY 字[2014]287); 2015 年地方高校国家级大学生创新创业训练计划项目(201510670004)

作者简介: 石停凤(1986-), 女, 讲师, 研究方向: 食品保鲜. E-mail: zhezixis@163.com

通信作者: 潘廷跳(1986-), 男, 讲师, 研究方向: 绿色食品加工技术. E-mail: pantingtiao@sina.com

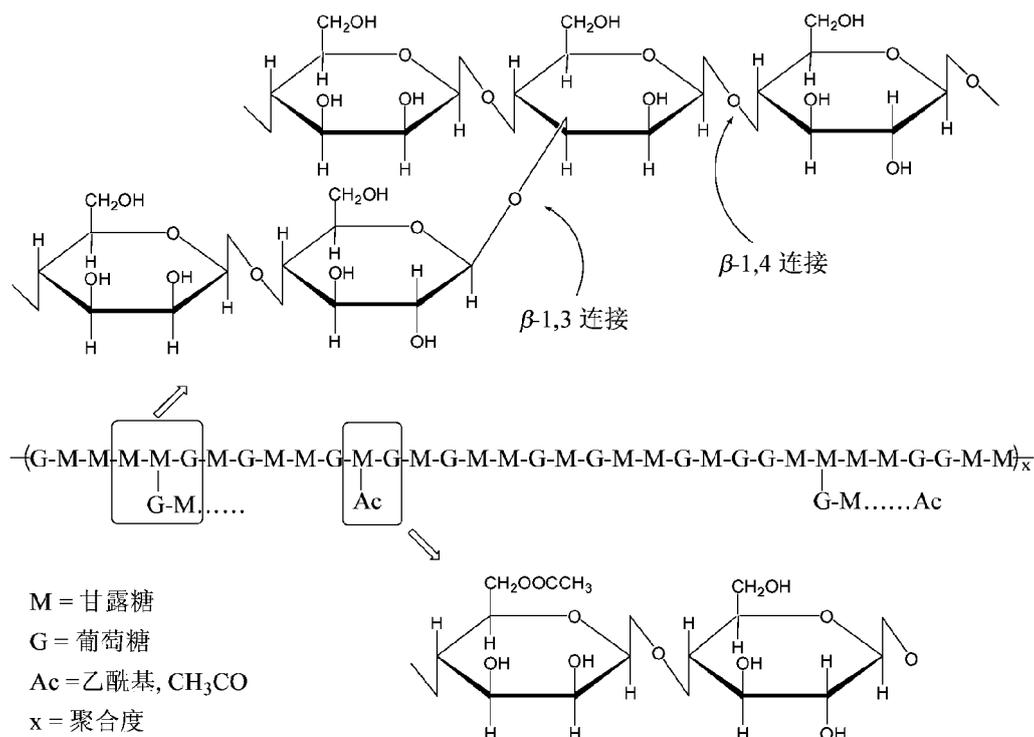


图1 KGM的分子结构

Fig. 1 The molecular structure of KGM

1.2 魔芋葡甘聚糖的性质

1.2.1 成膜性 KGM 具有很好的成膜性,广泛应用于食品保鲜。一般经过溶胀的 KGM,脱水后可以形成有黏着力、高透明度和致密度的薄膜。该膜对温度和 pH 的稳定性较好,此外可以与其他物质相互作用来改变膜的透明性、抗撕裂性、透气性、柔软性等^[23]。

1.2.2 凝胶性 KGM 的水溶胶为非牛顿流体,或称假塑性液体,具有剪切变稀的性质,即使溶液很稀也是非牛顿流体,其黏稠度随着水溶胶的浓度的增加而变大,表观粘度随剪切速率的增加逐渐降低,水溶胶的粘度随着温度的升高而降低,冷却后水溶胶的粘度有所上升,但很难回升到加热前的水平^[24-25]。不同相对分子质量的 KGM 均可形成水凝胶^[26],KGM 凝胶有 2 种:热稳定凝胶和热可逆凝胶。

1.2.3 水溶性 KGM 具有很强的水亲合力,能吸水膨胀形成溶胶,吸水膨胀至 100 倍左右仍能呈溶胶状态。在溶解过程中,KGM 大分子的扩散迁移速度显著慢于水分的扩散迁移速度,使得 KGM 颗粒发生溶胀,在其表面上产生 1 层粘稠溶液,导致 KGM 颗粒相互黏联结块,妨碍了 KGM 的进一步溶解。因此,在对 KGM 进行溶解之前可添加一些稀释分散剂与其混合防止结块。

1.2.4 增稠性 KGM 是一种优良的增稠剂,这与 KGM 相对分子质量大、不带电荷、水合能力强等非离子特性有关。1.0% KGM 溶胶的粘度可达 20 Pa·s 以上,几乎比所有天然增稠剂的粘度高^[27]。此外 KGM 与黄原胶、卡拉胶等增稠剂有协同增稠作用,如 1.0% 的黄原胶与 0.02% 的 KGM 复配凝聚时,其粘度比单一增稠剂的粘度高 3 倍^[28]。

1.2.5 稳定性 KGM 一般是经过魔芋精粉纯化制得,其溶胶的稳定性与魔芋精粉纯度相关,魔芋精粉纯度的越高,稳定性越好。不同处理方法得到的 KGM 的稳定性不同,一般干法生产的魔芋精粉,由于参杂着较多的细菌和杂质,数小时就出现粘度下降,从而腐败变质,而纯化处理得到的魔芋精粉溶胶相对稳定,在室温下放置几天后其粘度都没有变化^[29]。

2 成膜机理与方法

2.1 成膜机理 KGM 复合膜是指由 KGM 与多糖、蛋白质、脂质或其他高分子材料中的一种或多种物质

经过一定的处理而形成的膜。KGM 依靠其特殊的长链双螺旋分子结构和分子内、分子间氢键形成复合膜的基本构造^[30]。共混成膜过程中, KGM 与其他成膜材料通过氢键发生分子间相互作用, 组装形成稳定的三维空间网络结构^[7]。膜溶液在干燥过程中结构变化, 起初共混膜溶液呈不规则的混合, 并逐渐变成整齐层状结构, 最终形成结构致密的薄膜^[31]。KGM 的热可逆凝胶性是 KGM 复合膜形成的先决条件, 当 KGM 与其他高分子物质的混合液被加热时, 其混合液粘度随温度升高而降低, 当达到临界点各材料通过分子间的交互作用、次级键和链间交叉盘绕结合, 构成复杂的三维结构。这种复杂的三维结构赋予了 KGM 复合膜高阻断、高强度和可热封等特性^[32]。复合成膜过程中, 由于原料性质不同而形成功能互补, 如多糖形成复合膜的基本构造, 蛋白质加强膜的紧密性, 脂质起到阻水剂的作用^[30]。

2.2 成膜方法 KGM 复合膜的成膜方法主要是湿法成膜(流涎法)^[33]。即将 KGM 与其他成膜材料经过一定的处理后分别溶解于适当的溶剂中, 然后按一定的配比配制共混成膜液, 将成膜液以流涎法倒入模具中, 在适当的温度下干燥成膜, 最终制成具有一定阻隔性能和机械性能的 KGM 复合膜。湿法成膜的具体制备流程如图 2 所示:

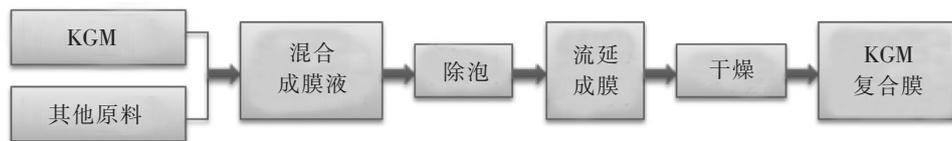


图 2 KGM 复合膜湿法成膜流程

Fig.2 The flow chart of KGM composite membrane made by wet process

另外, 一些新技术已开始应用 KGM 与一些无机材料复合制备 KGM 复合膜。

3 影响复合膜性能的主要因素

3.1 KGM 复合膜的主要性能 复合膜是指打破传统单基质膜的思路, 采用 2 种或 2 种以上的高分子材料作为成膜基质, 各种基质能够取长补短, 使复合膜拥有更优异的功能性如较好的机械强度、阻隔性能等^[34]。KGM 复合膜具有良好的生物降解性和生物相容性, 还具有机械性能、阻氧气性能和阻湿性能^[35]。

KGM 复合膜具有一定的机械强度, 如抗拉强度、断裂延伸率和弹性模量等, 即为 KGM 复合膜的机械性能; KGM 复合膜阻氧气性能的优劣通常是以氧气透过率的大小来说明的, 它的值越小说明阻隔性能越好, 阻氧气性能也是衡量 KGM 复合膜作为包装材料好坏的重要指标; KGM 复合膜阻湿性能通常以水蒸气透过系数来说明膜的渗透性能, 其值越低, 说明膜的阻水性能越好。而生物降解性是指 KGM 复合膜的原料为可生物降解物质, 如单糖、淀粉、蛋白质等, 不会引起环境污染; 生物相容性是指 KGM 复合膜材料与生物体之间相互作用后产生的各种生物、物理、化学等反应的一种概念。一般地讲, 就是复合膜材料植入人体后与人体相容程度, 即是否会对人体组织造成毒害作用。

目前, KGM 复合膜已被广泛用于食品行业中, 取得了一定的效果, 但复合膜还存在脆性大、柔韧性差和强度低等缺点, 产品质量得不到保证, 因此, 研究各种因素对复合膜性能的影响, 以此来改善 KGM 复合膜性能意义重大。

3.2 影响 KGM 复合膜性能的主要因素

3.2.1 KGM 含量 KGM 的含量是影响复合膜性能的关键因素。在一定范围内, 随着 KGM 含量的增加, KGM 与其他成膜材料的分子间作用力增强, 在改善 KGM 复合膜性能方面效果显著。庞冬梅等^[36]在制备魔芋葡甘聚糖/羟丙基纤维素(KGM/HPC)复合膜的过程中发现, 当 KGM 含量在 10%~40% 范围时, 随着 KGM 含量的增加, KGM/HPC 复合膜的吸湿率呈增大趋势, 断裂伸长率呈下降趋势, 拉伸强度则呈先增大后下降趋势, 而当 KGM 含量为 20% 时, KGM/HPC 复合膜的吸湿率为最小值, 透光率和拉伸强度为最大值。

3.2.2 其他有机高分子材料 与 KGM 复合成膜的有机高分子材料主要包括 3 类: 多糖、蛋白质和脂类。此 3 类物质以不同的配比与 KGM 复合, 可通过改变复合膜中多糖、蛋白质和脂类的配比来改变 KGM 复合膜的力学性能和透气性等性能。其他多糖类物质能与 KGM 产生协同增效作用, 起到修饰和改善 KGM

复合膜的阻隔性能和机械性能的作用^[34]。李娜娜等^[6]以壳聚糖和魔芋葡甘聚糖为成膜材料制备 KGM 复合膜,结果表明,当配方为 KGM 1.0 g、壳聚糖 0.6 g、36% 的乙酸 0.6 mL、蒸馏水 100 mL 时制备的复合膜性能最好,经添加壳聚糖后复合膜的水蒸气透过系数和力学性能均得到改善。蛋白质类和脂类物质能与 KGM 性能互补,使得 KGM 复合膜的性能得到大大提高。张露等^[12]以 KGM 和大豆蛋白制备 KGM 复合膜,结果表明,大豆分离蛋白的添加可显著提高 KGM 复合膜的阻隔性能。赖明耀等^[37]在 KGM/蜂蜡复合膜的制备中添加了少量蜂蜡,结果表明,蜂蜡可提高 KGM 复合膜的拉伸强度。

3.2.3 增塑剂 KGM 或其他多糖类,其分子内或分子间均可以形成大量氢键,这些氢键会改变复合物的性能。KGM 复合膜可塑性较低,不符合当前对复合膜的要求。因此,在制备 KGM 复合膜过程中通常需要加入增塑剂。常见的增塑剂为甘油,另外山梨醇、丙二醇和脂肪酸酯等增塑剂也会被应用于复合膜的制备。这些亲水性增塑剂可以与 KGM 形成氢键,而这种氢键比 KGM 分子内或分子间的氢键更容易形成。因此,加入增塑剂后,原先的氢键就会断裂,形成新的、更强的氢键^[38],因而可以减小 KGM 复合膜的弹性模量和抗拉强度,增加断裂伸长率。另外,增塑剂强烈的吸湿性能可把一些水分吸到 KGM 的分子结构中。

3.2.4 加工因素

(1) 均质时间 均质可使混合成膜液中多种成膜材料均匀混合, KGM 与其他成膜材料分子间氢键作用加强,故均质时间的延长可增强 KGM 复合膜的机械性能,但过长的均质时间会破坏膜结构,从而降低复合膜的抗拉强度和断裂伸长率^[33]。

(2) pH 值 pH 值可影响 KGM 与其他成膜材料分子间作用力。吴晓霞等^[39]在制备魔芋葡甘聚糖-壳聚糖-羧甲基纤维素钠复合膜时发现,当 pH = 1 ~ 2 时,混合成膜液均一稳定, pH > 2 时混合成膜液出现絮凝;盐酸存在的条件下,CMC-Na 和 KGM 部分水解,氢键作用力增强,且壳聚糖在酸性环境下结合 H⁺ 形成 NH₃⁺,分子之间由于相互排斥而形成网状支架结构,其他小分子分布其中,形成结构紧密的结晶体。

(3) 干燥温度 KGM 复合膜制备过程中,随着干燥温度的升高,复合膜水分蒸发速度加快,复合膜的内部结构变致密。但若水分过少,复合膜的脆性会增强。研究表明, KGM/甲基纤维素复合膜的抗拉强度随着干燥温度的增加先增大后减小,断裂伸长率则较稳定^[33]。

4 魔芋葡甘聚糖复合膜在食品中的应用

4.1 在果蔬保鲜方面的应用 KGM 复合膜可阻隔气体(O₂, CO₂)、水分或溶质的迁移,因而常以喷洒、涂抹、浸渍和包裹等方式用于果蔬表面,从而保证果蔬品质,延长果蔬保质期^[40]。KGM 复合膜主要应用于樱桃^[41]、蜜柚^[42]、大白杏^[43]、枇杷^[44]、苹果^[45]和莲藕^[46]等果蔬的保鲜(表 1)。

表 1 KGM 复合膜对果蔬的保鲜效果

Tab. 1 The effects of KGM composite membrane on different Fruits and vegetables

主要成膜材料 Main material	果蔬种类 Fruits and vegetables category	保鲜效果 Preservation effect
KGM、明胶 KGM, Gelatin	樱桃 Cherry	显著降低樱桃果实的失重率、腐烂指数、呼吸强度,延缓樱桃果实 VC、总酸、可溶性固形物含量的下降
KGM、蜂蜡 KGM, Beeswax	蜜柚 Pomelo	能降低贮藏期间鲜切柚子的水分损失、抑制呼吸作用、减缓营养物质流失
KGM、壳聚糖 KGM, Chitosan	大白杏 Apricot	有效降低大白杏的腐烂率、失重率和呼吸强度,对抑制可滴定酸含量降低及果实硬度下降有明显的效果
KGM、壳聚糖 KGM, Chitosan	枇杷 Loquat	可显著抑制白沙枇杷失重率和腐烂率的上升,延缓可滴定酸、可溶性固形物和 VC 含量的下降,减少褐变指数
KGM、壳聚糖、 大豆分离蛋白 KGM, Chitosan, Soybean protein isolated	苹果 Apple	降低苹果的失重率和呼吸强度,提高可溶性固形物含量和果肉硬度

KGM、黄原胶 GKM, Xanthan gum	莲藕 Lotus root	有效抑制鲜切莲藕表面的褐变 降低呼吸强度 减少营养物质 VC 和可溶性固形物损失 抑制其酚类物质含量的下降以及提高抗氧化能力
-----------------------------	------------------	--

从表 1 可以看出 KGM 复合膜在果蔬的贮藏过程中,主要通过影响其生理作用来达到延长果蔬保质期的目的,主要体现在抑制果蔬的呼吸强度,降低果蔬的失重率、腐烂指数,减少可溶性固形物含量、VC、总酸的损失以及抑制褐变等方面。

4.2 在食用菌保鲜方面的应用 闫聪聪^[47]以双孢蘑菇为试验材料,探寻 1 种延长双孢蘑菇保质期的复合膜保鲜方法,结果表明:在添加纳米二氧化钛的基础上,魔芋葡甘聚糖/卡拉胶复合膜可有效保持双孢蘑菇的生理品质,延长其保质期。复合膜的最优配比为:魔芋葡甘聚糖 0.7%,卡拉胶 0.6%,增塑剂 0.42%,纳米二氧化钛 0.3%;在此配方下 KGM 复合膜可延长双孢蘑菇的保质期至 13 d 以上。

5 展 望

KGM 复合膜与单一膜相比,发展潜势巨大。复合膜在机械强度、透气性、透水性等方面均具有较大优势。可以通过选择与 KGM 复合的其他成膜材料、调节复合膜配比、制备工艺条件等方法来改善 KGM 复合膜的性能。此外, KGM 复合膜作为 1 种可食性新型包装材料,具有无毒害、可降解等卫生安全的优点。在改善食品质量、保证食品功能性和安全性方面均有巨大开发潜力。

关于 KGM 复合膜的研究已层出不穷,大多集中于研究 KGM 复合膜的制备工艺及其性能表征,而关于 KGM 复合膜成膜机理和影响复合膜性能因素方面深入研究较少;在应用方面,主要用于果蔬保鲜,鲜见于其它食品如水产品、肉制品及蛋制品等的应用。进一步深入探究 KGM 复合膜的成膜机理以及影响复合膜性能因素,改善 KGM 复合膜性能,拓展其应用范围将成为未来的研究趋势。

参考文献:

- [1] Fang W, Wu P. Variations of konjac glucomannan (KGM) from *Amorphophallus konjac* and its refined powder in China [J]. *Food Hydrocolloids*, 2004, 18(1): 167-170.
- [2] Yu H, Huang Y, Ying H, et al. Preparation and characterization of a quaternary ammonium derivative of konjac glucomannan [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2007, 69(1): 29-40.
- [3] Prawitwong P, Takigami S, Phillips G O. Phase transition behaviour of absorbed water in Konjac mannan [J]. *Food hydrocolloids*, 2007, 21(8): 1368-1373.
- [4] 黄艳,张媛,徐小青,等. 魔芋葡甘聚糖可食膜配方优化 [J]. *食品工业科技*, 2016, 37(4): 330-336.
- [5] 黄林,李维艳,黄明华,等. 乳酸改性魔芋葡甘聚糖/淀粉复合膜材料的制备及研究 [J]. *化工新型材料*, 2011, 39(7): 56-58, 103.
- [6] 李娜娜,陈寰贝,潘兴华,等. 壳聚糖/魔芋葡甘聚糖共混膜的制备及性能研究 [J]. *广西轻工业*, 2009, 25(3): 1-3.
- [7] 姚遥,肖满,严文莉,等. 魔芋葡甘聚糖-普鲁兰多糖复合膜的制备与性能研究 [J]. *食品工业科技*, 2016, 18: 312-316.
- [8] 张莉琼,李新芳,刘晓艳,等. 魔芋葡甘聚糖-卡拉胶可食性包装复合膜性能影响研究 [J]. *食品工业科技*, 2013, 16: 114-116.
- [9] 吴先辉,林浚,王丽霞. 魔芋胶/威兰胶复合膜的制备及性能 [J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(15): 19-24.
- [10] 景森. 魔芋葡甘聚糖及其胶原蛋白、壳聚糖共混膜的研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2007.
- [11] 张露,马庆一,陈玉璇,等. 魔芋葡甘聚糖及其与大豆蛋白复合成膜的研究 [J]. *食品科技*, 2003(10): 29-32.
- [12] 童佩,倪学文,匡映,等. 含五倍子水提物的魔芋葡甘聚糖/乙基纤维素膜理化性和抗菌性研究 [J]. *食品工业科技*, 2016, 37(16): 318-321, 361.
- [13] Xiao M, Wan L, Corke H, et al. Characterization of konjac glucomannan-ethyl cellulose film formation via microscopy [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 85: 434-441.
- [14] Chen Y, Zhao H, Liu X, et al. TEMPO-oxidized Konjac glucomannan as appliance for the preparation of hard capsules [J]. *Carbohydrate polymers*, 2016, 143: 262-269.
- [15] Nair S B, Jyothi A N. Cassava starch-konjac glucomannan biodegradable blend films: In vitro study as a matrix for controlled drug delivery [J]. *Starch-Stärke*, 2013, 65(3/4): 273-284.

- [16] Huang Y C, Yang C Y, Chu H W, et al. Effect of alkali on konjac glucomannan film and its application on wound healing [J]. *Cellulose*, 2015, 22(1): 737–747.
- [17] Du X, Yang L, Ye X, et al. Antibacterial activity of konjac glucomannan/chitosan blend films and their irradiation-modified counterparts [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 92(2): 1302–1307.
- [18] Bin L, Bi-jun X. Study on molecular chain morphology of konjac glucomannan [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(2): 280–284.
- [19] Jie P, Yujing S, Yongguang G, et al. Molecular dynamics simulation of glucomannan solution [J]. *Chinese Journal of Structural Chemistry*, 2005, 24(7): 841–845.
- [20] 戴勋. 魔芋葡甘聚糖复合材料的制备研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [21] 张雪梅, 张玲, 高飞虎, 等. 魔芋葡甘聚糖的结构及改性研究进展 [J]. *南方农业*, 2014, 8(16): 41–42, 45.
- [22] 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.
- [23] Leuangsukrerk M, Phupoksakul T, Tananuwong K, et al. Properties of konjac glucomannan-whey protein isolate blend films [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 59(1): 94–100.
- [24] 樊巧, 陈厚荣, 徐晓萍, 等. 响应面法优化酪蛋白-魔芋葡甘聚糖共混溶胶制备工艺及其稳定性 [J]. *食品科学*, 2015, 36(24): 10–14.
- [25] 田大昕, 龚勇, 谢洪泉. 魔芋葡甘聚糖水溶胶的粘度行为研究 [J]. *天然产物研究与开发*, 2005, 17(6): 736–739.
- [26] Zhang H, Yoshimura M, Nishinari K, et al. Gelation behaviour of konjac glucomannan with different molecular weights [J]. *Biopolymers*, 2001, 59(1): 38–50.
- [27] 李娜, 罗学刚. 魔芋葡甘聚糖理化性质及化学改性现状 [J]. *食品工业科技*, 2005, 26(10): 188–191.
- [28] 何东保, 杨朝云, 詹东风. 黄原胶与魔芋胶协同相互作用及其凝胶化的研究 [J]. *武汉大学学报: (理学版)*, 1998, 44(2): 198–200.
- [29] Xiao C, Liu H, Lu Y, et al. Characterization of poly(vinylpyrrolidone)-konjac glucomannan blend films [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2001, 81(5): 1049–1055.
- [30] 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]. 大连: 东北农业大学, 2012.
- [31] 沈阅. 魔芋葡甘聚糖与可得然胶成膜过程中分子组装结构研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2015.
- [32] 周秋娟. 木薯淀粉-壳聚糖成膜特性的研究[D]. 无银: 江南大学, 2007.
- [33] 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, (16): 302–307.
- [34] 卢星池, 肖茜, 邓放明. 多糖类可食用膜研究进展 [J]. *食品与机械*, 2014, (4): 261–265.
- [35] 王碧, 王坤余, 但卫华, 等. 葡甘聚糖-胶原蛋白-壳聚糖共混膜(I) [J]. *生物医学工程学杂志*, 2006, 23(1): 102–106.
- [36] 庞冬梅, 黄少玲, 吴宇梅, 等. 羟丙基纤维素/魔芋葡甘聚糖共混膜的制备及性能 [J]. *化工新型材料*, 2014(7): 65–67.
- [37] 赖明耀, 林好, 汪秀妹, 等. 葡甘聚糖/蜂蜡复合膜工艺优化研究 [J]. *食品与机械*, 2013(6): 137–142.
- [38] 戴勋, 刘昌华, 陈建光, 等. 三种增塑剂对魔芋葡甘聚糖增塑性能的影响 [J]. *重庆职业技术学院学报*, 2008, 17(1): 158–160.
- [39] 吴晓霞, 李建科, 余朝舟. 魔芋葡甘聚糖-壳聚糖-羧甲基纤维素钠复合可食性保鲜膜研究 [J]. *食品工业科技*, 2008(2): 236–238, 242.
- [40] 周三九, 李月明, 韩德权, 等. 可食性降解抗菌保鲜膜的研究进展 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(11): 3542–3547.
- [41] 孙海燕. 魔芋葡甘聚糖复合涂膜对樱桃保鲜效果研究 [J]. *食品研究与开发*, 2014(14): 107–110.
- [42] 赖明耀, 兰润, 李雪晖, 等. 葡甘聚糖/蜂蜡复合液膜对鲜切瑯蜜柚保鲜研究 [J]. *粮食与油脂*, 2014(2): 51–54.
- [43] 曹珍珍, 周林燕, 李淑荣, 等. 壳聚糖和魔芋精粉复合涂膜对大白杏保鲜效果的影响 [J]. *核农学报*, 2014(11): 2051–2057.
- [44] 冯若瑶, 杨亚卉, 王衍鹏, 等. 壳聚糖魔芋葡甘聚糖复合涂膜对白沙枇杷保鲜效果的影响 [J]. *湖北农业科学*, 2016(4): 1002–1004.
- [45] 李国秀, 李建科, 吴晓霞, 等. 魔芋葡甘聚糖-壳聚糖-大豆分离蛋白复合涂膜保鲜剂的研究 [J]. *陕西农业科学*, 2007(2): 46–49.

- [46] 黄杨敏, 孙晔, 耿思翌, 等. 魔芋葡甘聚糖复合涂膜对鲜切莲藕保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2016(8): 266-271.
- [47] 闫聪聪. 双孢蘑菇可食性涂膜保鲜技术试验研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2012.

Recent Advances in Konjac Glucomannan Composite Membrane

SHI Tingfeng, PAN Tingtiao, YAN Guanghuan

(College of Biological Science and Agriculture, Qiannan Normal University for Nationalities, Duyun, Guizhou 558000)

Abstract: Konjac glucomannan (KGM) is a kind of natural polysaccharide polymer which is separated and extracted from *Amorphophallus konjac* tuber roots. KGM exhibits better functional properties such as hydrophilic, gelatin, edible, antimicrobial properties and film-forming property. The structure and properties of KGM were mainly introduced, with an emphasis on the film-forming mechanism and method of KGM composite membrane, the main factors influencing the performance of the KGM composite membrane and the recent application of the KGM composite membrane. A prospective of the future development trend of the KGM composite membrane is made, which is aimed to provide more new ideas for the development and utilization of the KGM composite membrane.

Keywords: konjac glucomannan; composite membrane; mechanism; performance

(上接第 509 页)

GC-MS Analysis of Volatile Constituents from Five Batches of Artificial Chinese Eaglewood in Huazhou

WU Xiaopeng, YANG Jinling, MEI Wenli, WANG Jun, MA Zilong, DAI Haofu

(Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences; Hainan Engineering Research Center of Agarwood, Haikou Hainan 571101, China)

Abstract: The volatile constituents and their relative contents of five batches of Chinese eaglewood sampled from Huazhou, Guangdong, China were analyzed by GC-MS to investigate the influence of different eaglewood inducing methods and time on the quality of Chinese eaglewood from the same region. The highest yield of volatile oil in the five batches of the samples was 4.93% and the lowest was 2.29%. From all the samples were identified 72 peaks, of which 12 peaks were common. The results showed that all the volatile oils of the five samples were mainly composed of sesquiterpenes, 2-(2-phenylethyl) chromones, and fatty acids. A lactone with an aromatic smell of the eaglewood induced from *Aquilaria crassna*, 5,11-epoxy guaiane sesquiterpene lactone, was detected for the first time from the common Chinese eaglewood induced for 8 years by using the iron nailing method. The fire burning method induced eaglewood faster than the iron nailing method and cold iron holing method. The eaglewood with longer inducing time produced a higher yield of volatile oil, and the compounds of the volatile oil and their contents were much more consistent, indicating better quality of the volatile oils.

Keywords: Eaglewood; chemical constituents; GC-MS; 5,11-epoxy guaiane sesquiterpene lactone