

魔芋葡甘聚糖的研究现状

桑鲁燕^{1*}, 周 桢², 周小华³, 王亚文¹, 王永红⁴, 路 川¹

(1. 菏泽出入境检验检疫局, 菏泽 274000; 2. 重庆大学创新药物研究中心, 重庆 401331;
3. 重庆大学化学化工学院, 重庆 400044; 4. 太极集团重庆涪陵制药厂, 重庆 408000)

摘 要: 魔芋葡甘聚糖是由D-葡萄糖和D-甘露糖以 β -1,4糖苷键结合而成一种天然的高分子多糖, 主要存在于魔芋块茎中。我国是魔芋生产大国, 深度开发魔芋葡甘聚糖的应用途径, 将会推动国民经济的发展。魔芋葡甘聚糖具有良好的吸水性、成膜性、胶凝性、保湿性以及降血压、降血脂等特殊的生理功效, 在食品、医疗和化工等领域受到广泛应用。本文综述了魔芋葡甘聚糖应用现状和提纯方法, 并分别从接枝共聚、氧化、交联、酯化等方面对魔芋葡甘聚糖化学修饰研究进行了阐述, 以期对魔芋葡甘聚糖的进一步开发提供理论依据。

关键词: 魔芋葡甘聚糖; 纯化; 化学修饰

Research situation of konjac glucomannan

SANG Lu-Yan^{1*}, ZHOU Zhen², ZHOU Xiao-Hua³, WANG Ya-Wen¹,
WANG Yong-Hong⁴, LU Chuan¹

(1. Heze Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Heze 274000, China; 2. Innovative Drug Research Center of Chongqing University, Chongqing 401331, China; 3. College of Chemistry and Chemical Engineering of Chongqing University, Chongqing 400044, China; 4. Taiji Group Chongqing Fuling Pharmaceuticals Co. Ltd., Chongqing 408000, China)

ABSTRACT: Konjac glucomannan (KGM) is a kind of natural polymer formed by D-glucose and D-mannose linking by β -1,4-glucoside bond, which mainly existed in tubers of konjac. China is the big production country of konjac, and developing the application of KGM deeply will promote economic development. KGM is widely used in food, medical and chemical field because of its good hydroscopicity, film-forming ability, gelling property, moisture retention and the properties of decreasing blood pressure and lipid. This paper summarized the development of its application and purification method, and then the modification of KGM was reviewed from the aspects of graft copolymerization, oxidation, crosslinking, and esterification modification, respectively, which may provide theoretical basis for the further development of konjac glucomannan.

KEY WORDS: konjac glucomannan; purification; chemical modification

1 引言

魔芋葡甘聚糖(KGM)是魔芋块茎中所含的中性高分子多糖^[1-4], 由D-葡萄糖和D-甘露糖以 β -1,4糖苷键结合而成^[5-7], 一方面它因具有良好的吸水性、成膜性、胶凝性、

保湿性等特殊的生理功能^[8,9], 另一方面在清理肠道垃圾、治疗便秘、润肠通便、降血脂等有显著的功效^[10-14], 因此在食品、医疗、化工、环保等领域受到广泛应用。本文对魔芋葡甘聚糖的应用、纯化以及化学改性进行综述, 以期对魔芋葡甘聚糖的进一步开发提供理论依据。

*通讯作者: 桑鲁燕, 工程师, 主要研究方向为化学工程与技术。E-mail: sangly2009@163.com

*Corresponding author: SANG Lu-Yan, Engineer, Heze Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Heze 274000, China. E-mail: sangly2009@163.com

2 魔芋葡甘聚糖的应用研究现状

2.1 在医疗方面的应用

魔芋葡甘聚糖在人体肠道内会吸水溶胀, 可以促进胃肠蠕动, 有效降低对有害物质的吸收, 及时将肠道垃圾转换成排泄物排出体外, 因此治疗便秘、润肠通便、降血脂等疾病有很好的疗效。张茂玉等^[15]将魔芋精粉混入食品, 研究高血脂患者的总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇水平, 结果发现: 葡甘聚糖可直接降血脂, 使 110 名高血脂者的上述指标均显著降低。KGM 还具有包裹消除心血管内的脂肪沉淀物的功能, 通过降低对胆酸和胆固醇的吸收, 加大胆酸和胆固醇排出量, 达到显著降低血脂和血清胆固醇的目的, 因此对于糖尿病、冠心病和高血压等疾病患者来说是一个福音。此外, 魔芋葡甘聚糖属于低热量食物, 可在人体大肠内被大肠内的微生物使用, 但是却不能被消化酶水解, 因此可作为良好的抗癌和减肥食品应用于保健领域。

2.2 在食品方面的应用

魔芋葡甘聚糖水溶液粘度高、分子量大, 具备良好的持水能力、流变性和抗菌性, 可开发成为新型无毒、无公害的可食性食品包装, 在食品添加剂和食品保鲜方面也被广泛采用^[16,17]。魔芋葡甘聚糖作为保鲜剂可以在新鲜食品表面形成一层具有严密渗透性的薄膜, 使得食品表面的气孔封闭, 达到减少水分蒸发、隔绝氧气进入的效果, 从而降低食品呼吸强度, 减少营养物质的消耗和水分的挥发, 并抑制细菌进入和繁殖, 从而达到保鲜和延长保质期的效果。当将 KGM 用于果蔬的保鲜时, 果蔬呼吸强度下降, 维生素 B 的损失率和烂果率均有所降低, 同时果蔬的风味保持时间较长, 显示出较好的保鲜效果。邹少华等^[18]通过将魔芋葡甘聚糖薄膜涂抹在龙眼表面来研究龙眼在 30 °C 左右的保质期情况, 结果发现: 魔芋葡甘聚糖可以有效避免龙眼在短时间内的变质, 经测定其损坏率和失重率仅分别为 20% 和 2.56%。基本维持果皮的色泽和水分, 在此条件下保质期可以延长至 10 d 左右。除此之外, 魔芋葡甘聚糖因其优良的凝胶性和粘结性也可作为品质改良剂用于蛋糕、面条等食品加工中^[19], 从而增加粘结性, 使口感更佳。将魔芋葡甘聚糖用于冰淇淋和雪糕等冷冻食品可有效改善其组织状态, 因为其良好的持水性可有效抑制粗大冰晶的生成, 从而增加冷冻食品的抗融性, 使得口感更润滑, 同时提高其粘度和膨胀率。在火腿肠等肉制品中添加魔芋葡甘聚糖, 能显著达到增大粘结性和体积的效果。在酸奶和炼乳等乳制品中使用可以起到稳定剂的作用, 在八宝粥和各种饮料中使用可起到保水、增稠和稳定剂作用^[20,21]。

2.3 在化工方面的应用

魔芋葡甘聚糖经过对官能团的化学修饰可制成离子交换色谱填料^[22], 这种色谱填料的优点是: 具有优良的稳定性, 不溶于水、酸和碱, 机械强度高, 对高流速液体承受

力强, 再生时间短。除此之外还可用于制作固定化酶^[23], 具有可重复利用, 稳定性好、活性高、成本低等优点。

2.4 在日化用品方面的应用

葡甘聚糖由葡萄糖和甘露糖组成, 含大量羟基, 溶于水, 由于含大量羟基, 可通过氢键吸附大量水分, 因此有较强的持水能力, 硫酸化后甚至可能媲美透明质酸; 也可以与蛋白质、短肽等功能因子的极性基团发生相互作用, 使其稳定发挥作用; 还可能通过羟基氧与重金属配位, 锁住空气中的重金属, 避免对人体肌肤产生毒害。

3 魔芋葡甘聚糖的提取纯化

利用 KGM 溶于水而不溶于乙醇的特性, 乙醇沉淀法因为低成本、易操作而成为目前最常用的提取方法^[24-27]。一般操作方法是魔芋精粉充分吸水溶胀后, 使用一定浓度的乙醇溶液进行提取去除杂质, 再进行过滤脱水、工业酒精沉淀、无水乙醇洗, 风干即可得到 KGM 纯品。胡敏等^[27]将魔芋精粉分别采用 50% 乙醇的溶液浸提和水洗的方式, 魔芋葡甘聚糖得率达到 96.92%, 并且抗菌能力和稳定性比魔芋精粉都有显著的提升。

魔芋精粉主要成分是魔芋葡甘聚糖, 除此外还含有很多杂质, 这些杂质既有无机盐, 也有氨基酸、小分子肽、蛋白质和其他多糖^[28], 它们的存在均可显著降低 KGM 的粘度, 因此基于乙醇沉淀法提取方法之上, 又提出酸纯化法、生物酶法、Pb(AC)₂ 法等纯化方法。

因为魔芋精粉含有蛋白质、多糖等杂质, 酸纯化法是将魔芋精粉中的蛋白质和纤维素等杂质先利用酸处理操作去除, 然后使用上述乙醇沉淀法得到较高得率的魔芋葡甘聚糖。施航等^[29]将魔芋精粉置于乙醚乙醇的混合液中回流后过滤, 滤渣充分溶解于中后采用盐酸溶液调节 pH 值在 4.5 左右, 再依次进行加热过滤、丙酮脱水、干燥得到精制魔芋葡甘聚糖, 其得率达 98% 以上。

因为生物酶具有专一性, 生物酶纯化法就是利用这一特性, 针对魔芋精粉中杂质种类采用功能不同的酶进行除杂, 从而获得精制魔芋葡甘聚糖。莫湘涛等^[30]先采用 α -淀粉酶在适当条件下液化灭菌, 冷却调 pH 后再加入少量糖化酶继续震荡处理, 高温灭菌之后冷却, 最后用沉淀法即可得到魔芋葡甘聚糖。此方法的不足是选择降解性不够理想, 魔芋块茎中存在甘露聚糖酶可以降解 KGM, 同时某些其他微生物亦有降解 KGM 的作用, 根据这一特性, 贾成禹等^[31]将 0.5 g 精粉充分溶解于 100 g 蒸馏水中得到魔芋葡甘聚糖溶液, 离心收集上清液, 用 0.5 g/L 的叠氮钠进行溶胀后再进行离心, 收集上清液再用 Sevage 法除去蛋白质^[28], 最后经过透析、冷冻干燥便可得到精制魔芋葡甘聚糖, 采用此方法就有效抑制了甘露聚糖酶和一些微生物对魔芋葡甘聚糖的降解。

利用 $Pb(AC)_2$ 对蛋白质能进行沉淀的原理可以有效除去魔芋精粉中的蛋白质。吴贤聪等^[32]在实验中通过引入重金属离子成功制备出得率为 95% 的魔芋葡甘聚糖。主要工艺如下: 将魔芋精粉先用石油醚进行脱脂, 再依次用氢氧化钠溶液碱提、盐酸溶液中和后加入适量 $Pb(AC)_2$ 处理, 最后反复用 80% 乙醇溶液沉淀制得纯品。

4 魔芋葡甘聚糖的化学改性

我国是魔芋生产大国, 魔芋葡甘聚糖是天然高分子多糖, 具有多个反应官能团, 因具有持水、抗菌等生物活性而受到青睐, 但是其溶胶稳定性和流动性较差, 因此有必要通过对魔芋葡甘聚糖进行化学修饰进行改性来拓宽其应用领域^[33-38], 从而推动经济的发展。

4.1 接枝共聚

魔芋葡甘聚糖属于天然高分子多糖的一种, 通过对其接枝共聚的改性, 既可以保持原本天然高分子多糖的优良特性, 又可以改善其延展性和机械加工性能^[39-41]。张焱等^[42]将丙烯酰胺和魔芋精粉在引发剂硝酸铈铵的作用下进行接枝共聚反应, 制备的共聚产物分子量相比丙烯酰胺均聚物来说显著增加, 而且丙烯酰胺均聚物的优良特性没有改变, 是一种性能优良的增稠剂, 使其适应性更强。

4.2 氧化改性

KGM 也可以通过氧化改性引入羧基和羰基得到氧化魔芋葡甘聚糖(OKGM)。KGM 经过氧化作用可以引起解聚反应, 导致 OKGM 溶液粘度降低, 产生低粘度分散体, 使其稳定性、成膜性和透明性都有所改善。李斌等^[43]研究了魔芋葡甘聚糖的氧化改性及其产物性能, 结果发现: 在过氧化氢 H_2O_2 的作用下, 氧化魔芋葡甘聚糖溶胶的非牛顿行为会明显降低, 酸碱稳定性和粘度稳定性显著升高, 具体反应条件为: H_2O_2 含量为 2.4%, pH 7.5, 料液比 1:4, 在 45 °C 下反应 4 h。

4.3 交联改性

魔芋葡甘聚糖分子结构中具有多个活性羟基, 能与含有两个以上官能团的化学试剂之间通过酯化、醚化和酰胺化等的交联方式等进行交联反应得到交联魔芋葡甘聚糖衍生物。张升晖等^[44]采用三氯氧磷作为交联剂研究了魔芋精粉的化学改性, 此交联方法的优点是便于操作和控制、耗时短, 获得改性产物的成膜性、抗菌性、抗剪切性和耐水性等都有明显的提升。

4.4 酯化改性

魔芋葡甘聚糖分子中的羟基还能够与苯甲酸、硫酸和磷酸等酸类发生酯化反应, 生成相应的魔芋葡甘聚糖苯甲酸酯^[45]、硫酸酯^[46]和磷酸酯^[47]等酯化产物, 因具有多种生理活性而得到越来越多的关注。经磷酸酯化反应后的衍生物相

比单一的魔芋葡甘聚糖而言, 分子极性和水溶性都有很大的提高, 而且絮凝能力也得到提升。经苯甲酸改性修饰后的酯化产物在粘度上得到显著改善, 水溶胶的弹性和稳定性亦有明显提升。经硫酸酯化改性修饰得到的酯化产物, 表现出较强的抗氧化性^[48]、抗凝血性^[49,50]、抗病毒性^[51-53]等生理功效。张昌军^[54]等通过魔芋葡甘聚糖和酯化剂磷酸二氢钠及磷酸氢二钠间的酯化反应, 成功制备出新一代有机高分子絮凝剂即魔芋葡甘聚糖磷酸酯, 在废液处理过程中这种絮凝剂不仅成本低, 而且处理能力强, 大大提高了魔芋葡甘聚糖的利用价值。朱炎等^[55]在 N,N-二甲基甲酰胺(DMF)溶剂中通过引入磺酸基团制备出魔芋葡甘聚糖硫酸酯(SKGM), 并较系统的研究了其体外抗凝血活性。结果表明: 随着 SKGM 浓度的不断提升, 其活化部分凝血活酶时间(APTT)也随之增加, 当魔芋葡甘聚糖硫酸酯的浓度是 70 $\mu\text{g/mL}$ 时, 其 APTT 可达 337 s, 并且显示出较强的抗凝血活性, 因此抗心脑血管系统疾病药物方面有很大的应用前景。

5 结 语

我国魔芋资源丰富, 但是目前我国更多的是偏重魔芋精粉出口带来的效益, 在魔芋产品的深度开发上还有些欠缺, 因此在今后的研究中我们应充分利用我国的魔芋资源, 结合现代先进科技, 充分发挥魔芋葡甘聚糖的优良特性, 深度开发魔芋葡甘聚糖的应用研究, 提高魔芋产品的附加价值, 例如利用其持水性和粘弹性制备出高品质的化妆品等日化用品, 以不断满足人们对高品质生活的需求, 推动社会和经济的发展。

参考文献

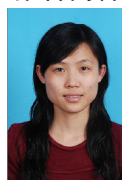
- [1] Rihei T, Isao K, Satoru K, *et al.* Structures of glucomanno-oligosaccharides from the hydrolytic products of konjacglucomannan produced by a mannanase from streptomyces[J]. *Agric Biol Chem*, 1984, 48(2): 2943-2950.
- [2] Huang L, Takabashi R, Kobayashi S, *et al.* Gelation behavior of native and acetylated konjacglucomannan[J]. *Biomacromol*, 2002, 3(6): 1296-1303.
- [3] 张颖. 魔芋葡甘聚糖的提取及其抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(4): 87-91.
Zhang Y. Study on purification technology of glucomannan from amorphophallus konjac and its antioxidation [J]. *Food Res Dev*, 2015, 36(4): 87-91.
- [4] 宫晓梅, 严睿文, 徐洪耀, 等. 魔芋葡甘聚糖提纯及性能研究[J]. *精细化工*, 2002, 19(8): 486-488.
Gong XM, Yan RW, Xu HY, *et al.* Study of the extraction methods and properties of konjac glucomannan[J]. *Fine Chem*, 2002, 19(8): 486-488.
- [5] 冲增哲. 魔芋科学[M]. 成都: 四川大学出版社, 1994.
Chong ZZ. *Konjaksience* [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 1994.
- [6] 钟燕, 索化夷. 魔芋葡甘聚糖的功能及在食品领域的应用[J]. *中国酿造*, 2014, 33(8): 6-9.
Zhong Y, Suo HY. Konjac glucomannan function and its application in food industry [J]. *Chin Brew*, 2014, 33(8): 6-9.

- [7] Nishinari K. Konjac glucomannan [J]. *Dev Food Sci*, 2004, (41): 309-330.
- [8] 王伟, 汪梦非, 姚遥, 等. 魔芋葡甘聚糖对鸭肉盐溶蛋白凝胶特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 43(20):144-148.
Wang W, Wang MF, Yao Y, *et al*. Effect of konjac glucomannan on gel properties of duck salt-soluble meat protein [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 43(20): 144-148.
- [9] Mao LC, Wu T. Gelling properties and lipid oxidation of kamaboko gels from grass carp (*Ctenopharyngodonidellus*) influenced by chitosan [J]. *J Food Eng*, 2007, 82(2): 128-134.
- [10] 阮凌. 魔芋葡甘聚糖对糖脂代谢影响的国内外研究现状[J]. *安康学院学报*, 2015, 27(1): 96-100.
The status of konjac glucomannan effects on glucose and lipid metabolism [J]. *J Ankang Univ*, 2015, 27(1): 96-100.
- [11] 陈黎, 杨艳燕, 闫达中. 魔芋低聚糖降脂作用的初步研究[J]. *中国生化药物杂志*, 2002, 23(4): 181-182.
Chen L, Yang YY, Yan DZ. The effects of konjac oligosaccharides on decreasing blood lipid [J]. *Chin J Biochem Pharm*, 2002, 23(4): 181-182.
- [12] 吴正国. 魔芋葡甘聚糖的生理作用及其应用[J]. *农业经济与科技*, 2010, 21(6): 147-148.
Wu ZG. Physiological function and application of konjac glucomannan [J]. *Rur Econ Sci Technol*, 2010, 21(6): 147-148.
- [13] Tester R, Al-Ghazzewi F, Shen N, *et al*. The use of konjac glucomannan hydrolysates to recover healthy microbiota in infected vaginas treated with an antifungal agent [J]. *Benef Microbes*, 2012, 3(1): 61-66.
- [14] Ma T, Shang BC, Tang H, *et al*. Nano-hydroxyapatite/chitosan/konjac glucomannan scaffolds loaded with cationic liposomal vancomycin: preparation, in vitro release and activity against *Staphylococcus aureus* biofilms [J]. *J Biomater Sci Polym Ed*, 2011, 22(12): 1669-1681.
- [15] 张茂玉, 黄承钰. 魔芋食品对人体脂质代谢影响的研究[J]. *营养学报*, 1989, 11(1): 25-30.
Zhang MY, Huang CY. The influence of konjac food on human lipid metabolism [J]. *Acta Nutr Sin*, 1989, 11(1): 25-30.
- [16] 戴文婧, 尹明安, 沈建鹏, 等. 魔芋葡甘聚糖涂膜对牛角椒保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(20): 329-333.
Dai WQ, Yin MA, Shen JP, *et al*. Effect of konjac glucomannan coating on quality preservation of cow horn pepper [J]. *Food Sci*, 2013, 34(20): 329-333.
- [17] 吴绍艳, 张升辉. 魔芋葡甘聚糖在食品中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2005, 26(2): 7-9.
Wu ZY, Zhang SH. Application of konjac glucomannan in food fields [J]. *Food Res Dev*, 2005, 26(2): 7-9.
- [18] 邹少华, 李艺雄, 曾竞华, 等. 魔芋涂膜对龙眼常温保鲜效果研究[J]. *广西农业科技*, 2001, (1): 7-10.
Zou SH, Li YX, Zeng JH, *et al*. Study of preservation effect of konjac coating on longan in normal temperature [J]. *Guangxi Agric Sci*, 2001, (1): 7-10.
- [19] 张剑, 李梦琴, 范亚萍, 等. 增稠剂对鲜湿面条改良效果的研究[J]. *食品工业科技*, 2007, 28(6): 185-186.
Zhang J, Li MQ, Fan YP, *et al*. Study on the effect of thickening agents on noodle quality improvement [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2007, 28(6): 185-186.
- [20] 吴绍艳, 张升辉. 魔芋葡甘聚糖在食品中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2005, 26(2): 7-9.
Wu SY, Zhang SH. Application of konjac glucomannan in food fields [J]. *Food Res Dev*, 2005, 26(2): 7-9.
- [21] 沈悦玉, 杨湘庆. 魔芋胶的特性与魔芋胶食品[J]. *食品科学*, 1995, 16(6): 14-19.
Shen YY, Yang XQ. Food and characteristics of konjac gum [J]. *Food Sci*, 1995, 16(6): 14-19.
- [22] Case SE, Hamann DD. Fracture properties of konjac manna gel [J]. *Food Hydrocolloid*, 1994, 8(2): 147-154.
- [23] 崔汉钧, 和智明, 贾成禹. 魔芋葡甘聚糖固定化环糊精葡基转移酶的研究[J]. *天然产物研究与开发*, 1993, 5(3): 48-54.
Cui HJ, He ZM, Jia CY. Studies on cyclodextrin glucano transferase immobilized by konjac glucomannan [J]. *Nat Prod Res Dev*, 1993, 5(3): 48-54.
- [24] 唐贵丹, 杜小兵, 张兴国, 等. 酸性乙醇法纯化魔芋葡甘聚糖的研究[J]. *食品科技*, 2008, 29(12): 308-311.
Tang GD, Du XB, Zhang XG, *et al*. Study on purification of konjac glucomannan (KGM) with acid alcohol [J]. *Food Sci Technol*, 2008, 29(12): 308-311.
- [25] Kishida S, Okimasu S, Kamata T. Molecular weight and intrinsic viscosity of konjac glucomannan [J]. *Agr. Biol Chem*, 1978, 42(9): 1645-1650.
- [26] Teramoto A, Fuchigami M. Changes in temperature, texture, and structure of konnyaku konjac glucomannan gel) during high-pressure-freezing [J]. *J Food Sci*, 2000, 65(3): 491-497.
- [27] 胡敏, 李波, 龙萌, 等. 魔芋葡甘聚糖的提纯方法比较[J]. *食品科技*, 1999, (1): 31-33.
Hu M, Li B, Long M, *et al*. Comparison of purification methods of konjac glucomannan [J]. *Food Sci Technol*, 1999, (1): 31-33.
- [28] 邱树毅, 汤庆莉, 卢红梅, 等. 双水相萃取技术分离纯化生物活性物质研究-(I)魔芋葡甘聚糖纯化及改性研究[J]. *贵州工业大学学报*, 2000, 29(3): 75-78.
Qiu SY, Tang QL, Lu HM, *et al*. Study on purified and denatured konjac [J]. *J Guizhou Univ Technol*, 2000, 29(3): 75-78.
- [29] 施航, 于敏星, 王三玲. 从魔芋中提取葡甘聚糖的研究[J]. *食品研究与开发*, 1988, (4): 20-23.
Shi H, Yu MX, Wang SL. Extraction of konjac glucomannan from konjac [J]. *Food Res Dev*, 1988, (4): 20-23.
- [30] 莫湘涛, 张梅芬, 李敏艳. 生物法提取魔芋中葡甘聚糖[J]. *湖南师范大学自然科学学报*, 1998, 21(1): 85-88.
Mo XT, Zhang MF, Li MY. Extraction of glucomannan from konjac by biological methods [J]. *J Nat Sci Hunan Normal Univ*, 1998, 21(1): 85-88.
- [31] 贾成禹, 陈素文, 莫卫平. 白魔芋和花魔芋葡甘聚糖研究[J]. *生物化学杂志*, 1988, 4(5): 407-413.
Jia CY, Chen SW, Mo WP. Studies of glucomannans from amorphophallus albus and amorphophallus rivieri [J]. *Biochem J*, 1988, 4(5): 407-413.
- [32] 吴贤聪, 梁存均, 郭森炎. 魔芋葡甘聚糖的提取、鉴定及其应用的研究[J]. *食品科学*, 1987, (3): 20-22.
Wu XC, Liang CJ, Guo SY. Extraction, identification and application of konjac glucomannan [J]. *Food Sci*, 1987, (3): 20-22.
- [33] 严睿文, 徐洪耀, 光善仪. 丙烯酸对魔芋葡甘聚糖化学改性的研究[J]. *化学世界*, 2006, (4): 225-227.
Yan RW, Xu HY, Guang SY. Chemical modification of konjac glucomannan by acrylic acid [J]. *Chem World*, 2006, (4): 225-227.

- [34] Soeda S, Ohmagari Y, Shimeno H, *et al.* Preparation of over sulfated fucoidan fragments and evaluation their antithrombotic activities [J]. *Thromb Res*, 1993, 72(3): 247–256.
- [35] Yang J, Du Y, Huang R, *et al.* Chemical modification and antitumor activity of Chinese lacquer polysaccharide from lac tree *Rhus vernicifera* [J]. *Carbohydr Polym*, 2005, 59(1): 101–107.
- [36] Xing R, Liu S, Yu H, *et al.* Preparation of high-molecular weight and high-sulfate content chitosans and their potential antioxidant activity in vitro [J]. *Carbohydr Polym*, 2005, 61(61): 148–154.
- [37] Han F, Yao W, Yang X, *et al.* Experimental study on anticoagulant and antiplatelet aggregation activity of a chemically sulfated marine polysaccharide YCP [J]. *Int J Biol Macromol*, 2005, 36(4): 201–207.
- [38] Xiao CB, Weng LH, Zhang LN. Improvement of physical properties of crosslinked alginate and carboxymethyl konjac glucomannan blend films [J]. *J Appl Polym Sci*, 2002, 84(13): 2554–2560.
- [39] 柯百胜, 郭国宁, 姚蕾, 等. 耐盐性魔芋葡甘聚糖吸水树脂的制备[J]. *高分子材料科学与工程*, 2010, 26(4): 131–134.
Ke BS, Guo GN, Yao L, *et al.* Preparation of salt-resistant konjac glucomannan absorbent resin [J]. *Polym Mater Sci Eng*, 2010, 26(4): 131–134.
- [40] Kobayashi S, Tsujihata S, Hibi N, *et al.* Preparation and rheological characterization of carboxymethyl konjac glucomannan [J]. *Food Hydrocolloid*, 2002, 16(4): 289–294.
- [41] 王运, 邹洪娜, 周德海, 等. 魔芋接枝丙烯酸高吸水性树脂的制备及性能研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2006, (18): 282–285.
Wang Y, Zou HN, Zhou DH, *et al.* Preparation and characterization of a high water absorption resin based KGM-graft-AA [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2006, (18): 282–285.
- [42] 张焱, 杨兴钰, 徐育斌. 丙烯酰胺与魔芋粉接枝共聚反应规律的研究[J]. *华中师范大学学报*, 1996, 30(3): 309–314.
Zhang Y, Yang XY, Xu YB. Studies of graft copolymerization of acrylamide onto konjacmannan [J]. *J Centr Chin Norm Univ*, 1996, 30(3): 309–314.
- [43] 李斌, 谢笔钧. 魔芋葡甘聚糖的 H₂O₂ 氧化改性及其流变性能研究[J]. *湖北化工*, 2002, (1): 9–11.
Li B, Xie BJ. Study on H₂O₂ oxygenation rectify of konjac glucomannan and its rheology character [J]. *Hubei Chem*, 2002, (1): 9–11.
- [44] 张升晖, 宋新建. 魔芋精粉的交联化学改性研究[J]. *食品工业科技*, 1999, 20(6): 19–21.
Zhang SH, Song XJ. Chemical modification of konjaku flour [J]. *Sci Technol Food Ind*, 1999, 20(6): 19–21.
- [45] 蔚芹, 宁德鲁, 陈海云, 等. 苯甲酸对魔芋精粉化学改性的初步研究[J]. *云南林业科技*, 1998, (2): 53–57.
Wei Q, Ning DL, Chen HY, *et al.* Preliminary study on chemical modification of konjaku flour by benzoic acid [J]. *Yunnan Forestry Sci Technol*, 1998(2): 53–57.
- [46] Ueno Y. An antitumor activity of the Sclertia of *Grifora umelleata* (Fr.) PILAT [J]. *Carbohydr Res*, 1982, (101): 106–107.
- [47] 陈立贵, 王忠, 付蕾, 等. 魔芋葡甘聚糖的磷酸酯化改性研究[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(33): 10841–10842.
Chen LG, Wang Z, Fu L, *et al.* Research on the modification of konjac glucomannan with phosphate esterification [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2007, 35(33): 10841–10842.
- [48] Lin Y, Zhang L, Chen L, *et al.* Molecular mass and antitumor activities of sulfated derivatives of α -glucan from *Poria cocos* mycelia [J]. *Int J Biol Macromol*, 2004, 34(5): 231–236.
- [49] Haroun-Bouhedja F, Ellouali M, Sinquin C, *et al.* Relationship between sulfate groups and biological activities of fucans [J]. *Thromb Res*, 2000, 100(5): 453–459.
- [50] 刘占峰, 孙汉文. 多糖的化学修饰研究进展[J]. *河北大学学报*, 2005, 25(1): 104–108.
Liu ZF, Sun HW. Progress of the research on chemically modifications of polysaccharide [J]. *J Hebei Univ*, 2005, 25(1): 104–108.
- [51] Talarico L, Pujol C, Zibetti R, *et al.* The antiviral activity of sulfated polysaccharides against dengue virus is dependent on virus serotype and host cell [J]. *Antivir Res*, 2005, 66(2–3): 103–110.
- [52] Yang X, Gao X, Han F, Tan R. Sulfation of a polysaccharide produced by a marine filamentous fungus *Phoma herbarum* YS4108 alters its antioxidant properties in vitro [J]. *Biochimica et Biophysica Acta-General Subjects*, 2005, 1725(1): 120–127.
- [53] Nishimura SI, Kai H, Shinada K, *et al.* Regioselective syntheses of sulfated polysaccharides: specific anti-HIV-1 activity of novel chitin sulfates [J]. *Carbohydr Res*, 1998, 306(3): 427–33.
- [54] 张昌军, 杨志孝, 于敏, 等. 新型絮凝剂魔芋葡甘聚糖磷酸酯的研制与应用[J]. *泰山医学院学报*, 1994, 15(1): 47–48.
Zhang CJ, Yang ZX, Yu M, *et al.* The synthesis and application of a new flocculating agent konjac glucomannan phosphate [J]. *J Taishan Med Coll*, 1994, 15(1): 47–48.
- [55] 朱炎, 谭占鳌, 史亚君. 魔芋葡甘聚糖硫酸酯的制备及其体外抗凝血活性研究[J]. *武汉理工大学学报*, 2005, 27(1): 150–153.
Zhu Y, T, Tan ZA, Shi YJ. Preparation and anticoagulant in vitro activities of konjac glucomannan sulfate [J]. *J Wuhan Univ Technol*, 2005, 27(1): 150–153.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



桑鲁燕, 工程师, 主要研究方向为化学工程与技术。

E-mail: sangly2009@163.com