

表面脱乙酰魔芋及壳聚糖包埋魔芋吸附性能比较

罗 媛, 罗立新*, 朱唯唯

武汉大学化学与分子科学学院, 湖北 武汉
Email: lyuang45@qq.com, *daluo@163.com

收稿日期: 2021年3月19日; 录用日期: 2021年5月5日; 发布日期: 2021年5月12日

摘 要

表面脱乙酰魔芋及壳聚糖包埋魔芋解决了人体摄入魔芋的难题并保留了魔芋葡甘聚糖的优良特性。制备两种魔芋产品并用红外光谱仪进行结构表征, 为比较表面脱乙酰魔芋及壳聚糖包埋魔芋吸附性能差异, 进行体外模拟吸附实验探究了两种产品对高血脂代表物脂质、胆固醇和重金属离子 Pb^{2+} 以及 Ca^{2+} 的吸附能力。结果表明: 表面脱乙酰魔芋及壳聚糖包埋魔芋对脂质、胆固醇及重金属离子有良好吸附能力, 且在不同吸附质浓度下, 两种产品呈现不同的吸附优势。其中壳聚糖包埋魔芋对饱和脂肪的吸附量到达0.700 g/g, 对胆固醇和 Pb^{2+} 的最大吸附量分别为134.69 mg/g、133.84 mg/g。

关键词

表面脱乙酰化, 壳聚糖, 魔芋葡甘聚糖, 胆固醇, 铅离子

Comparison of Adsorption Properties of Surface Deacetylated Konjac Glucomannan and Chitosan Coated Konjac Glucomannan

Yuan Luo, Lixin Luo*, Weiwei Zhu

College of Chemistry and Molecular Sciences, Wuhan University, Wuhan Hubei
Email: lyuang45@qq.com, *daluo@163.com

*通讯作者。

Received: Mar. 19th, 2021; accepted: May 5th, 2021; published: May 12th, 2021

Abstract

Surface deacetylated konjac glucomannan and chitosan coated konjac glucomannan solve the problem of human body ingesting konjac and retain the excellent properties of konjac glucomannan. Two kinds of konjac products were prepared and characterized by infrared spectroscopy. In order to compare the adsorption properties of surface deacetylated konjac glucomannan and chitosan coated konjac glucomannan, simulated adsorption experiments were conducted to explore the adsorption capacity of the two products on lipids, cholesterol and heavy metal ions Pb^{2+} and Ca^{2+} . The results showed that the surface deacetylated konjac glucomannan and chitosan coated konjac glucomannan have good adsorption capacity on lipids, cholesterol and heavy metal ions, and the adsorption advantages of the two products were different at different adsorbent concentrations. Among them, the adsorption capacity of hitosan coated konjac glucomannan for saturated fat reached 0.700 g/g, and the maximum adsorption capacity for cholesterol and Pb^{2+} was 134.69 mg/g and 133.84 mg/g, respectively.

Keywords

Surface Deacetylation, Chitosan, Konjac Glucomannan, Cholesterol, Lead Ion

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

魔芋是一种具有地下球茎的天南星科多年生草本植物, 具有经济效益高、产量高[1]等特点。其主要成分为魔芋葡甘聚糖(konjac glucomannan polysaccharide, KGM), β 糖苷键多糖类似于纤维素, 溶解性不足, 乙酰基增加其溶解性[2], 使其成为一种天然水溶性膳食纤维。人体摄入 KGM 后, 由于 KGM 不会被人体吸收利用, 又可以在肠道表面成膜减少油脂以及糖的吸收, 还可促进肠道蠕动等, 因而 KGM 具有润肠通便[3]、平稳血糖[4]、减肥降脂[5]等功效。加之, 其具有生物降解性、生物相容性及安全无毒良好的等特点, 使得魔芋在食品、医药以及工业方面都有广泛的应用。但其在水中会快速溶胀到自身重量的 80~120 [6]倍形成溶胶, 造成人体难以摄入的问题。

表面脱乙酰魔芋即 KGM 颗粒在乙醇溶液抑制其溶胀, 通过碱来脱除颗粒表面 KGM 的乙酰基而形成表面的网状交联从而制备不溶或缓溶于水的 KGM 颗粒, 其制备工艺及原料简单; 罗天瑞[7] [8]等人设计了一种壳聚糖包埋魔芋组合物, 即用壳聚糖包裹 KGM 颗粒到达在水中不溶或者缓溶的目的, 其结构如图 1 所示。两种缓溶魔芋产品均保留 KGM 的优良特性的同时解决了人体摄入难题, 在体重控制、三高控制、幼儿和孕妇便秘等诸多方面具有相当大的优势。本文为了比较两种缓溶魔芋即表面脱乙酰魔芋(surface deacetylated Konjac glucomannan, SDa-KGM)与壳聚糖包埋魔芋(chitosan coated konjac glucomannan, KGM@CTS)的吸附性能, 进行体外模拟实验探究两种产品对于高血脂代表物脂质、胆固醇以及重金属离子 Pb^{2+} 、人体必需离子 Ca^{2+} 的吸附差异, 为后续魔芋系列产品的开发及应用提供一定理论依据。

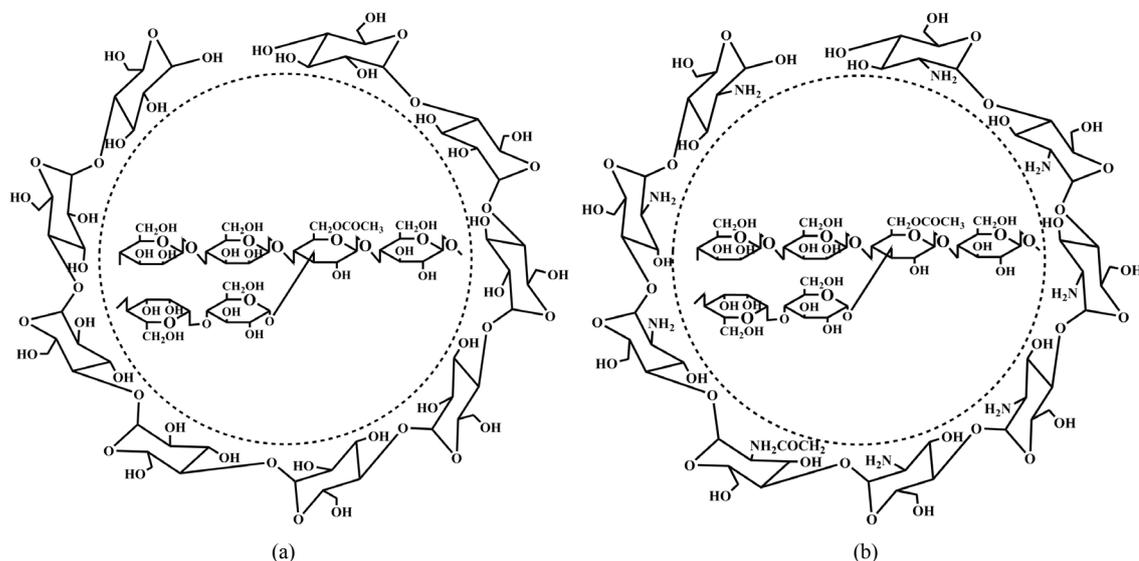


Figure 1. SDa-KGM (a) and KGM@CTS (b)

图 1. SDa-KGM 示意图(a)及 KGM@CTS 示意图(b)

2. 材料与仪器

2.1. 材料

魔芋粉(葡甘聚糖含量 82.29%, 武汉纤浓生物科技有限公司), 壳聚糖(脱乙酰化度 90%潍坊海之源生物制品有限公司), 其他试剂均为国产分析纯。

2.2. 仪器

SHA-c 数显水浴恒温振荡器(常州博远实验分析仪器厂), UV752 紫外可见分光光度计(上海佑科仪器仪表有限公司), JZ-2 数显离心机(金坛市洪科仪器厂), 傅里叶红外光谱仪 iS10 美国 Thermo 公司。

3. 实验方法

3.1. 吸附材料制备

壳聚糖包埋魔芋组合物(KGM@CTS): 根据文献[7]配制含有 2.25 mL 冰醋酸的 150 mL 体积分数为 30%乙醇溶液, 加入 1.5 g 壳聚糖制成包埋液。在室温下一边搅拌包埋液一边缓慢加入 20 g 魔芋粉, 搅拌 30 min 时加入 4.5 g 碳酸钠, 于 60℃ 固化 2 h。经离心分离得到固形物, 用乙醇洗涤, 干燥得壳聚糖包埋魔芋组合物(KGM@CTS)。

表面脱乙酰化魔芋葡甘聚糖(SDa-KGM): 将 10.0 g 魔芋粉置于 100 mL 体积分数为 40%的乙醇溶液中溶胀 30 min, 按碱的质量/魔芋粉 2.4%的质量比加入氢氧化钠, 于常温下反应 1 h 后过滤, 用乙醇洗涤至中性, 烘干至恒重即得表面脱乙酰化魔芋葡甘聚糖(SDa-KGM)。

3.2. 红外测试

样品采用 KBr 压片法, 在 400~4000 cm⁻¹ 范围内进行红外光谱扫描。

3.2. 对脂肪吸附能力测定

参照文献[9] [10]实验方法, 称取一定量 KGM@CTS/SDa-KGM, 加入 5.00 g 花生油/猪油, 混合均匀

后, 加入盐酸调节 pH 为 2.0 模拟胃的酸度, 并在 37°C 下恒温振荡 2 h。再用氢氧化钠溶液调节溶液 pH 为 6.4 模拟十二指肠酸度, 继续恒温振荡 0.5 h。然后调节 pH 为 7 模拟肠部酸碱度, 振荡 2.5 h 后, 待其冷却后离心, 取上层油层为测试液, 称取其质量, 测量 3 次取平均值, 计算 KGM@CTS/SDa-KGM 吸附脂肪的吸附容量。

3.3. 对胆固醇吸附能力测定

3.3.1. 初始浓度对胆固醇吸附影响

称取一定量的 KGM@CTS/SDa-KGM 加入到 0.05 g/L、0.10 g/L、0.25 g/L、0.50 g/L、1.00 g/L、3.00 g/L、5.00 g/L 的胆固醇溶液, 在 37°C 水浴中振荡 2 h 后, 离心, 取上层清液, 采用 GB/T5009.128-2003 食品中胆固醇的测定[11]来测定胆固醇浓度, 计算 KGM@CTS/SDa-KGM 的吸附容量。

3.3.2. 吸附时间对胆固醇吸附影响

称取一定量的 KGM@CTS/SDa-KGM 加入到 3.0 g/L 胆固醇溶液中, 在 37°C 水浴中振荡一定时间后, 离心, 取上层清液为测试液。

3.4. 对 Pb²⁺吸附能力测定

3.4.1. 初始浓度对 Pb²⁺吸附影响

称取一定量的 KGM@CTS/SDa-KGM 加入到 pH5.5 的 30 μg/mL、60 μg/mL、100 μg/mL、140 μg/mL、180 μg/mL、210 μg/mL、240 μg/mL、270 μg/mL Pb²⁺溶液中, 在 37°C 水浴中振荡一定时间后, 离心, 取上层清液, 分别采用 GB7470-87 水质铅的测定: 双硫脲分光光度法[12]来测定 Pb²⁺浓度。

3.4.2. 吸附时间对 Pb²⁺吸附影响

称取一定量的 KGM@CTS/SDa-KGM 加入到 pH 为 5.5 的 180 mg/L Pb²⁺溶液中, 在 37°C 水浴中振荡一定时间后, 离心, 取上层清液为测试液。

3.5. 对 Ca²⁺吸附能力测定

3.5.1. 初始浓度对 Ca²⁺吸附影响

称取一定量的 KGM@CTS/SDa-KGM 加入到一系列 0.5 g/L、1.0 g/L、3.0 g/L、5.0 g/L、7.0 g/L、9.0 g/L、11.0 g/L CaCl₂ 溶液中, 在 37°C 水浴中振荡 2 h 后, 离心, 取上层清液, 用离子计测定 Ca²⁺, 计算 KGM@CTS/SDa-KGM 吸附容量。

3.5.2. 吸附时间对 Ca²⁺吸附影响

称取一定量的 KGM@CTS/SDa-KGM 加入到 7 g/L Ca²⁺溶液中, 在 37°C 水浴中振荡一定时间后, 离心, 取上层清液, 用离子计测定 Ca²⁺。

4. 结果讨论

4.1. SDa-KGM/KGM@CTS 红外表征

KGM、SDa-KGM 红外图谱如图 2 所示。在 KGM 红外图谱中, 3416.03 cm⁻¹、870.49 cm⁻¹ 处分别为 KGM 的缔合羟基伸缩振动吸收峰、β-D 糖苷键特征吸收峰。1634.95 cm⁻¹、1727.54 cm⁻¹ 处分别为 KGM 环内 CH₂ 变形振动吸收峰、乙酰基中—C=O 的伸缩振动吸收。

在 SDa-KGM 红外图谱中明显存在羟基伸缩振动吸收峰、β-D 糖苷键特征吸收峰以及 KGM 环内 CH₂ 变形振动吸收峰, 说明 SDa-KGM 依然保持了 KGM 的一级主链结构, 其中环内 CH₂ 变形振动吸收峰的

强度增大说明 SDa-KGM 结构和性质更加稳定。而乙酰基的特征吸收峰消失, 说明了 SDa-KGM 结构中乙酰基团的脱除。

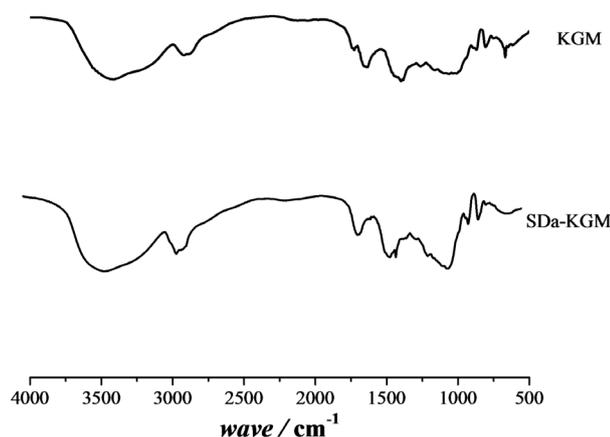


Figure 2. FT-IR spectra of SDa-KGM

图 2. SDa-KGM 的红外谱图

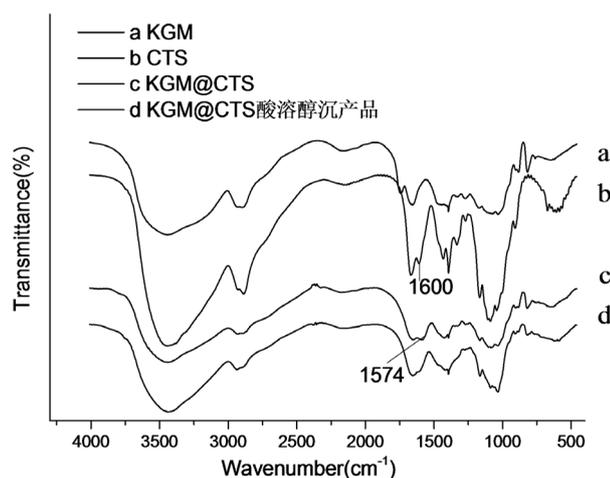


Figure 3. FT-IR spectra of KGM@CTS

图 3. KGM@CTS 的红外谱图

KGM@CTS 红外图如图 3 所示, 1600 cm^{-1} 处为 $-\text{NH}_2$ 的弯曲振动吸收峰, 为壳聚糖所特有的吸收峰。KGM@CTS 红外图谱中, KGM 中羟基伸缩振动吸收峰、 $\beta\text{-D}$ 糖苷键特征吸收峰存在, 并且乙酰基中 $\text{C}=\text{O}$ 的伸缩振动吸收消失, $-\text{NH}_2$ 的吸收峰出现, 说明 KGM@CTS 同样保留了 KGM 的一级主链结构, 并具有壳聚糖的特性, 实现了壳聚糖包埋 KGM。并且 KGM@CTS 产品经过稀酸溶解沉淀后的产物为 KGM, 壳聚糖的特征峰消失进一步佐证了包埋的实现。

4.2. 对脂肪吸附能力测定

为探究 KGM@CTS 和 SDa-KGM 颗粒对脂肪的吸附能力, 选择了人们日常较多食用的不饱和脂肪花生油以及饱和脂肪猪油为实验对象进行体外吸附模拟实验。研究结果如表 1 表明 KGM@CTS 对不饱和脂肪花生油的吸附容量为 0.560 g/g , 对于饱和脂肪猪油的吸附容量达到 0.700 g/g 。SDa-KGM 对不饱和脂肪花生油的吸附容量为 0.460 g/g , 对于饱和脂肪猪油的吸附容量为 0.531 g/g 。

Table 1. KGM@CTS/SDa-KGM fat absorption capacity
表 1. KGM@CTS/SDa-KGM 吸附脂肪能力

样品	花生油吸附容量 ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	平均值 ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	猪油吸附容量 ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	平均值 ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
KGM@CTS	0.546	0.560	0.702	0.700
	0.556		0.685	
	0.588		0.713	
SDa-KGM	0.470	0.460	0.513	0.531
	0.455		0.541	
	0.455		0.540	

KGM@CTS 和 SDa-KGM 对脂肪都具有一定的吸附能力, 可以通过吸附一定量的人体摄入的脂肪以及减少人体摄入来达到降低血脂的目的。实验结果表明 KGM@CTS 颗粒对脂肪的吸附能力要高于 SDa-KGM 颗粒, 是由于壳聚糖中 $-\text{NH}_2$ 与脂肪酸的 $-\text{COOH}$ 有静电桥联作用[13], 使其对脂肪的吸附能力要强于 SDa-KGM 颗粒, 且两种产品对于饱和脂肪的吸附容量都略高于不饱和脂肪。

4.3. 对胆固醇吸附能力测定

4.3.1. 初始浓度对胆固醇吸附影响

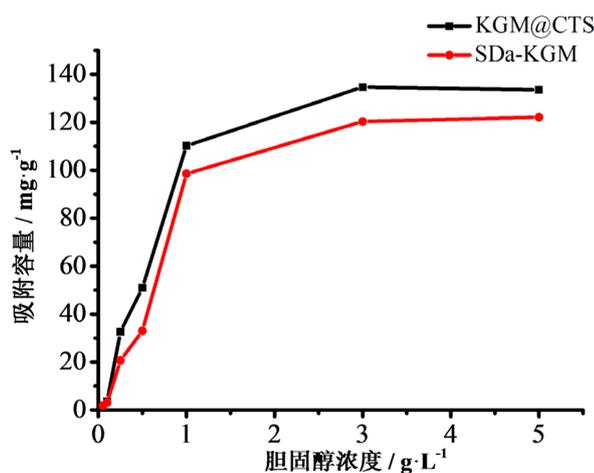


Figure 4. Effect of initial concentration on cholesterol adsorption

图 4. 初始浓度对胆固醇吸附影响

人体过多的摄入肉类、蛋类等食物会直接引起机体胆固醇浓度上升, 长此以往就会导致高血压、高血脂、肥胖等疾病出现。为探究两种缓溶魔芋的降血脂能力, 进行体外模拟吸附胆固醇实验。如图 4, KGM@CTS 和 SDa-KGM 颗粒对胆固醇的吸附容量受其初始浓度影响较大, 当胆固醇初始浓度为 $0.05\sim 1\text{ g/L}$ 时, 两种产品对胆固醇吸附容量随浓度增大变化较大。当胆固醇初始浓度达到 3 g/L 时, 两种产品对胆固醇吸附容量基本达到最大, KGM@CTS 的吸附容量为 134.69 mg/g , SDa-KGM 的吸附容量为 120.34 mg/g 。

KGM@CTS 对于胆固醇的吸附容量大于 SDa-KGM 颗粒。KGM@CTS 既有 KGM 的主链结构又保留壳聚糖的性质, 其中壳聚糖的氨基对胆固醇具有一定的吸附能力, 且壳聚糖的粒径越小, 接触面积越大,

其吸附胆固醇能力越高[14]。而 SDa-KGM 颗粒吸附胆固醇能力与脱乙酰化程度有一定的影响，其表面 KGM 的乙酰基脱除后成为羟基，而羟基是一个亲水基团，会减少与胆固醇的结合。

4.3.2. 吸附时间对胆固醇吸附影响

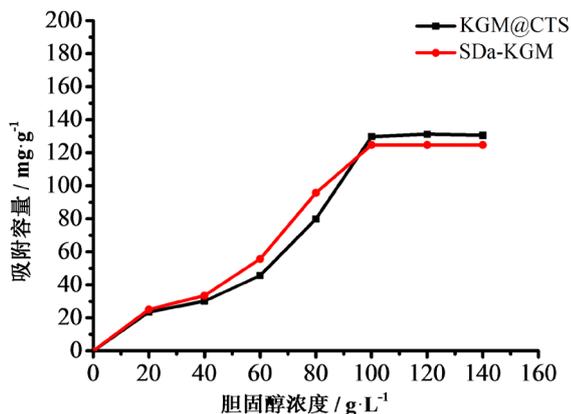


Figure 5. The effect of adsorption time on cholesterol adsorption

图 5. 吸附时间对胆固醇吸附影响

如图 5 所示，在吸附初始阶段，KGM@CTS 和 SDa-KGM 颗粒对胆固醇的吸附容量随吸附时间变化较快。SDa-KGM 颗粒吸附胆固醇速率略高于 KGM@CTS 颗粒。两者吸附胆固醇均在 100 min 达到吸附平衡，此时 KGM@CTS 的吸附容量为 129.76 mg/g 稍微高于 SDa-KGM 颗粒的吸附容量 124.70 mg/g。但在到达吸附平衡之前，SDa-KGM 对胆固醇吸附容量均高于 KGM@CTS 颗粒。

4.4. 对 Pb²⁺ 吸附能力测定

4.4.1. 初始浓度对 Pb²⁺ 吸附影响

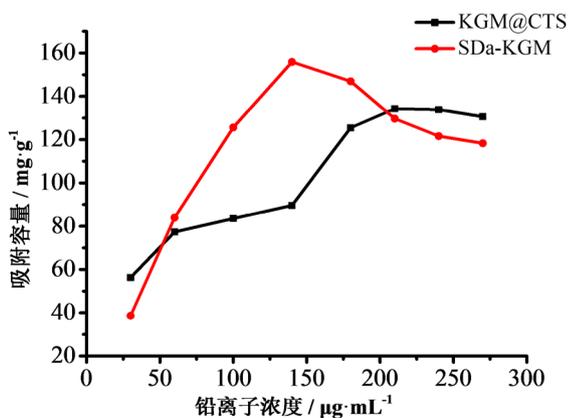


Figure 6. Effect of initial concentration on Pb²⁺ adsorption

图 6. 初始浓度对 Pb²⁺ 吸附影响

铅离子作为一种重金属离子，具有显著的生物毒性。其在水中不会被自然降解引起严重的水污染并对人们的健康造成严重影响。如图 6，KGM@CTS 和 SDa-KGM 对重金属离子 Pb²⁺ 具有一定的吸附能力。随着 Pb²⁺ 的初始浓度增大，KGM@CTS 和 SDa-KGM 颗粒对 Pb²⁺ 吸附容量变化较大，呈现不同的吸附优

势。当 Pb^{2+} 初始浓度较低, KGM@CTS 吸附容量 56.32 mg/g 高于 SDa-KGM 的吸附容量 38.65 mg/g 。当 Pb^{2+} 初始浓度为中浓度时, SDa-KGM 对 Pb^{2+} 吸附呈现处吸附优势, SDa-KGM 对 Pb^{2+} 吸附容量达到最大为 155.90 mg/g , 这时 KGM@CTS 的吸附容量为 89.62 mg/g 。 Pb^{2+} 初始浓度为较高时, SDa-KGM 的吸附容量开始呈现下降趋势, 而 KGM@CTS 吸附容量基本到达吸附平衡, 吸附容量为 133.84 mg/g 。

KGM@CTS 颗粒表面具有胺基官能团, 这些表面活性位点可以与重金属离子 Pb^{2+} 发生螯合作用从而达到吸附的目的, 比较稳定。而 SDa-KGM 颗粒表面只有大量羟基, 可能是由于静电作用与正电荷离子 Pb^{2+} 进行吸附, 当 Pb^{2+} 浓度过高时, 出现解吸现象。KGM@CTS 和 SDa-KGM 两种产品对 Pb^{2+} 有一定的吸附能力, 在不同的 Pb^{2+} 浓度下, 吸附容量各有变化。可以通过 Pb^{2+} 的初始浓度来选择合适的吸附材料。

4.4.2. 初始浓度对 Pb^{2+} 吸附影响

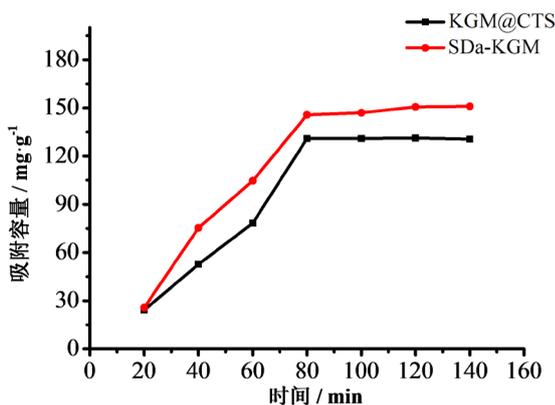


Figure 7. The effect of adsorption time on Pb^{2+} adsorption
图 7. 吸附时间对 Pb^{2+} 吸附影响

如图 7 所示, 在吸附时间为 20~80 min 时, KGM@CTS 和 SDa-KGM 对 Pb^{2+} 的吸附容量线性递增。两种缓溶魔芋对于 Pb^{2+} 的吸附较快, 在 80 min 时基本都到达吸附平衡状态, SDa-KGM 吸附容量为 145.68 mg/g , KGM@CTS 的吸附容量为 130.98 mg/g 。

4.5. 对 Ca^{2+} 吸附能力测定

4.5.1. 初始浓度对 Ca^{2+} 吸附影响

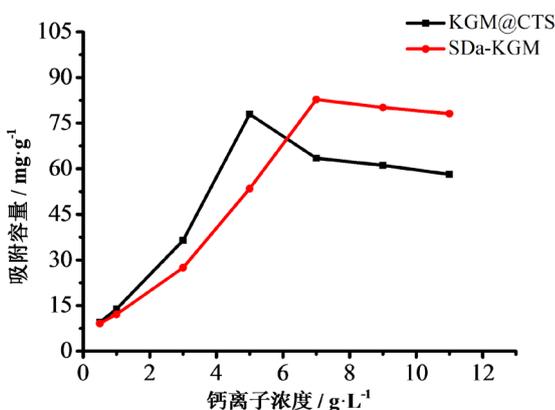


Figure 8. Effect of initial concentration on Ca^{2+} adsorption
图 8. 初始浓度对 Ca^{2+} 吸附影响

钙离子是人体机体活动必不可少的离子。如图 8, 随 Ca^{2+} 浓度增加, KGM@CTS 和 SDa-KGM 吸附容量先上升后有缓慢下降的趋势。当 Ca^{2+} 初始浓度为较低时, KGM@CTS 对 Ca^{2+} 的吸附容量大于 SDa-KGM 颗粒。KGM@CTS 达到最大 Ca^{2+} 吸附容量为 77.98 mg/g, 此时 SDa-KGM 吸附容量为 53.45 mg/g。 Ca^{2+} 离子浓度较高时, KGM@CTS 出现解吸现象, 其吸附容量有所下降, SDa-KGM 到达最大吸附量为 82.76 mg/g, 此时 KGM@CTS 的吸附量为 63.45 mg/g。

原溶液的离子浓度对吸附剂的吸附容量有很大的影响, 在 7.0 g/L Ca^{2+} 溶液中, SDa-KGM、KGM@CTS 颗粒吸附 Ca^{2+} 的最大吸附容量分别为 82.73 mg/g、77.98 mg/g。对比于 SDa-KGM 和 KGM@CTS 颗粒在 180 mg/L Pb^{2+} 溶液, Pb^{2+} 吸附容量分别为 155.90 mg/g、133.84 mg/g。两种颗粒对 Pb^{2+} 吸附能力强于 Ca^{2+} , 但实验中离子初始浓度相差甚远, 所以认为 SDa-KGM 及 KGM@CTS 对 Ca^{2+} 吸附能力就相对弱很多, 不会吸附人体内过多的钙离子, 并且可以携带一定的钙离子进入人体达到一个补钙的目的。

4.5.2. 吸附时间对 Ca^{2+} 吸附影响

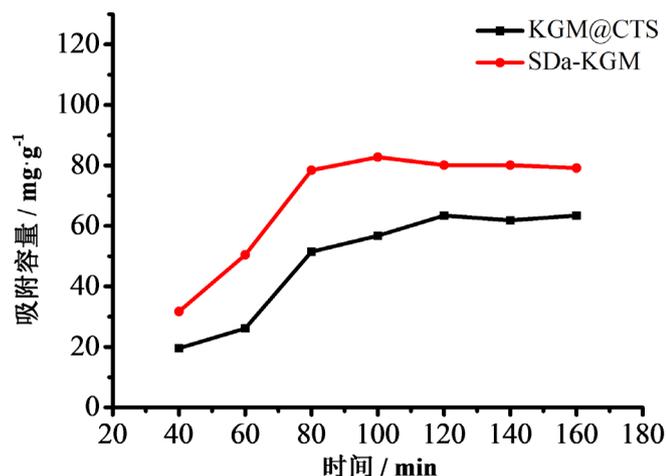


Figure 9. The effect of adsorption time on Ca^{2+} adsorption

图 9. 吸附时间对 Ca^{2+} 吸附影响

如图 9 所示, SDa-KGM 颗粒吸附 Ca^{2+} 速度比较快, 在 80 min 时, 基本达到吸附平衡状态, 吸附容量达到 78.42 mg/g。在 100 min 时, 吸附容量达到最大为 82.76 mg/g。KGM@CTS 颗粒则是在 120 min 时到达吸附平衡, 吸附容量为 63.45 mg/g。

5. 结论

表面脱乙酰魔芋及壳聚糖包埋魔芋颗粒由于表面脱乙酰化以及包埋作用形成在水溶液中不溶或缓溶的颗粒, 解决了人体摄入魔芋的难题。从红外分析可知 SDa-KGM、KGM@CTS 颗粒均保留了 KGM 的一级主链结构, 且 KGM@CTS 同时还有壳聚糖的特征基团, 对其吸附性能有一定的影响。

探究 KGM@CTS 和 SDa-KGM 的降脂效果, 进行体外模拟实验吸附三高代表物脂质、胆固醇, 两种缓溶魔芋对胆固醇和脂质均具有良好吸附能力, KGM@CTS 对于饱和脂肪的吸附容量达到 0.700 g/g, 其吸附脂质和胆固醇能力强于 SDa-KGM, 但 SDa-KGM 制备工艺条件以及原料简单。对于重金属离子 Pb^{2+} , 不同初始浓度, 其吸附容量有所不同。而对于人体必需的 Ca^{2+} 吸附能力相对就弱很多。

KGM@CTS 和 SDa-KGM 在模拟实验中, 解决了 KGM 的服用困难, 表现出控制血脂等、吸附重金属离子特性, 在体重控制、三高控制、孕妇和儿童便秘等诸多方面具有相当优势。

基金项目

2013 年湖北省中小企业创新计划项目。

参考文献

- [1] 魏芳勤, 王薇, 陈进, 等. 11 个魔芋品种在汉中地区的种植比较试验[J]. 长江蔬菜, 2020(16): 59-62.
- [2] Maekaji, K. (1974) The Mechanism of Gelation of Konjac Mannan. *Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan*, **38**, 315-321. <https://doi.org/10.1080/00021369.1974.10861161>
- [3] 林建维, 钟进义. 魔芋多糖对小鼠肠道吸收功能的抑制作用与机制[J]. 营养学报, 2009, 31(2): 164-166.
- [4] Judelson, D.A., Gomez, A.L. and Kraemer, W.J. (2007) Effects of Acarbohydrate—Restricted Diet with and without Supplemental Soluble Fiber on Plasma Low—Density Lipoprotein Cholesterol and Other Clinical Markers of Cardiovascular Risk. *Metabolism*, **56**, 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2006.08.021>
- [5] Cairella, M. and Marchini, G. (1995) Evaluation of the Action of Glucomannan on Metabolic Parameters and on the Sensation of Satiation in Overweight and Obese Patients. *Clinica Terapeutica*, **146**, 269-274.
- [6] 钟刚琼, 盛德贤, 滕建勋, 等. 魔芋食品的开发利用与研究进展[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(1): 106-108.
- [7] 罗天瑞, 罗立新, 肖湘, 等. 一种壳聚糖包囊魔芋的组合物及其制备工艺和用途[P]. 中国, ZL200910272658.7, 2009-11-04.
- [8] 朱唯唯, 罗立新, 王玉. 壳聚糖包埋魔芋组合物对 Pb(II)和胆固醇的吸附研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(23): 125-129.
- [9] Rokita, B., Ulanski, P., Rosiak, J.M., *et al.* (2005) Radiation-Induced and Sonochemical Degradation of Chitosan as a Way to Increase Its Fat-Binding Capacity. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, **236**, 383-390. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2005.04.002>
- [10] Knorr. (1982) Functional Properties of Chitin and Chitosan. *Journal of Food Science*, **47**, 593-595. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb10131.x>
- [11] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. GB/T5009.128-2003. 食品中胆固醇的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [12] 中国科学院环境化学研究所. GB/T7470-1987. 水质铅的测定: 双硫脲分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1987.
- [13] 程霜, 牛梅菊, 薛勇. 壳聚糖对油脂中游离脂肪酸的吸附研究[J]. 食品工业科技, 2002(10): 13-15.
- [14] 刘静娜, 夏文水, 张家骊. 壳聚糖物化性质对其体外结合脂类和胆酸盐能力的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(1): 45-49.