

# 脱乙酰魔芋葡甘聚糖性质及其脂类结合能力研究

冯观萍, 李美英, 林虹仪, 孙远明

(华南农业大学食品学院, 广东省食品质量安全重点实验室, 广东广州 510642)

**摘要:** 采用红外及 X-衍射等分析手段表征魔芋葡甘聚糖 (KGM) 与脱乙酰魔芋葡甘聚糖 (Da-KGM) 结构并比较其持水性和粘度, 以纤维素为对照, 采用体外模拟人体胃及肠道的 pH 环境, 对比分析 KGM 及 Da-KGM 对脂肪及胆固醇的吸附能力。结果显示 KGM 脱乙酰基后 1733  $\text{cm}^{-1}$  处的乙酰基的特征吸收峰消失, 结晶度增加, 持水性下降 83.7%, 高粘度特性丧失; 相比纤维素, KGM 具有良好的脂肪及胆固醇吸附能力, 其吸附总量随样品质量、吸附时间和胆固醇浓度的增加而增大, 与天然 KGM 相比, Da-KGM 的脂肪及胆固醇吸附能力降低, 可能是因为 KGM 脱除乙酰基后 KGM 分子链间氢键作用加强致使与脂类结合位点减少, 以及高粘度特性消失致使对脂类的直接包裹能力下降, 提示 KGM 经脱乙酰加工成魔芋食品后在肠道与脂类的结合能力下降, 其减肥降脂的生理功效可能受到影响。

**关键词:** 魔芋葡甘聚糖; 脱乙酰基; 脂肪吸附; 胆固醇吸附

文章编号: 1673-9078(2017)2-35-40

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.2.006

## Study on the Physicochemical Properties and Lipid Adsorption Capacity of Deacetylated Konjac Glucomannan

FENG Guan-ping, LI Mei-ying, LIN Hong-yi, SUN Yuan-ming

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Food Quality and Safety, College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** The structures of konjac glucomannan (KGM) and deacetylated konjac glucomannan (Da-KGM) were analyzed using Fourier transform-infrared spectroscopy (FT-IR) and X-ray diffraction analysis, and the water-holding capacity and viscosity of KGM and Da-KGM were compared. With cellulose as a control, an *in vitro* simulation of the human gastrointestinal tract was prepared, and the fat- and cholesterol-adsorption capacities of KGM and Da-KGM were compared. The results showed that, after deacetylation, the characteristic absorption peak of the acetyl group at 1733  $\text{cm}^{-1}$  of KGM disappeared, the degree of crystallinity increased, the water holding capacity decreased by 83.7%, and the characteristic high viscosity was lost. Compared with cellulose, KGM had a higher capacity to adsorb fat and cholesterol, and the total adsorption capacity increased with increasing sample mass, adsorption time, and cholesterol concentration. Compared with natural KGM, Da-KGM exhibited a decreased capacity to adsorb fat and cholesterol. This might be due to the strengthening of hydrogen bonds between KGM molecular chains, leading to a reduction in the number of binding sites between KGM and lipids and the disappearance of the characteristic high viscosity, causing a decrease in the capacity of KGM to directly bind with lipids. These results indicated that the lipid-binding capacity of KGM in the intestinal tract was reduced after deacetylation, and that its physiological function (weight loss effect) might be affected.

**Key words:** konjac glucomannan; deacetylation; fat adsorption; cholesterol adsorption

魔芋葡甘聚糖 (konjac glucomannan, KGM) 是天南星科魔芋属多年生草本块茎植物魔芋的主要成分, 其主链是 D-葡萄糖和 D-甘露糖按 1:1.5~1.6 或 1:1.69 的比例通过  $\beta$ -1,4 糖苷键结合而成, 在主链甘露糖的 C3 位存在  $\beta$ -1,3 糖苷键支链结构。乙酰基是 KGM 分子链上非常重要的官能团<sup>[1]</sup>, 以酯键形式结合在

KGM 的糖残基上, 其结构示意图见图 1, 它的存在与否决定了分子链的形态<sup>[2]</sup>、分子内氢键作用<sup>[3]</sup>及凝胶特性<sup>[4]</sup>, 被认为是决定 KGM 生物学活性的关键因素, 以往研究集中在观察乙酰基对 KGM 物化性质及加工性能的影响, 鲜有关于它对 KGM 生理功能影响的研究报告。

KGM 作为植物类水溶性食用胶中粘度最高的可溶性膳食纤维, 膨胀系数大, 持水性强, 粘度高, 能够在胃肠道吸附脂肪和胆固醇<sup>[5]</sup>, 具有减肥、降低胆固醇及调节脂质代谢等生理功能<sup>[6-8]</sup>。据此, 以魔芋为

收稿日期: 2016-01-20

作者简介: 冯观萍 (1991-), 女, 在读硕士, 研究方向: 食品营养与安全;

李美英 (1982-), 女, 讲师, 研究方向: 食品营养与安全 (共同第一作者)

通讯作者: 孙远明 (1956-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品安全与营养

原料的加工食品目前也普遍被认为具有多种保健功能, 被誉为天然的减肥降脂魔力食品, 受到广大消费者的喜爱和欢迎。然而, 传统魔芋食品如魔芋豆腐、魔芋粉丝等都是利用 KGM 在碱性加热条件下脱去乙酰基, 氢键作用加强, 制作而成的热稳定凝胶, 此时 KGM 脱去了乙酰基团, 与天然的 KGM 结构有所不同。理论上, 此时 KGM 脱去了乙酰基团, 是否依然具备 KGM 良好的脂类结合特性和降低肠道脂类吸收的作用有待考证, 而这个问题在过去未曾被关注过。为此, 本文采用碱性条件下制作魔芋食品的方法制得脱乙酰 KGM, 在对其结构表征鉴定的基础上, 分析其持水性和粘度等性质的变化以及脂肪和胆固醇吸附能力的变化, 分析质量、脂类浓度及吸附时间对脂类结合能力的影响, 为进一步科学评价魔芋食品对肠道脂类吸收的影响提供实验基础。

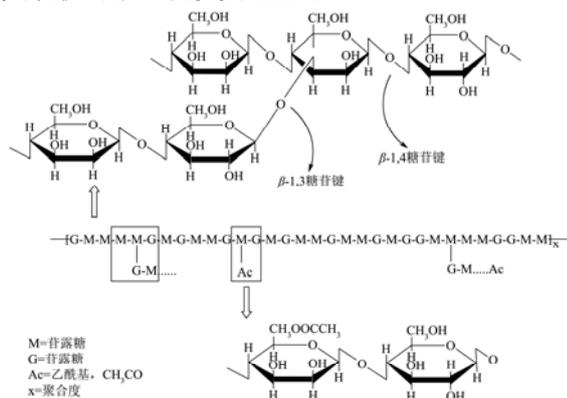


图1 KGM 的化学结构示意图

Fig.1 Chemical structure of KGM

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

魔芋葡甘聚糖购于湖北十堰花仙子魔芋制品有限公司; 纤维素购于上海晶纯生化科技股份有限公司, 胆固醇购于广州从源仪器有限公司, 花生油为市售金龙鱼, 猪油自熬, 其他试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器

ME 104 分析天平 (梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司); 5417 R 小型台式冷冻型离心机 (Eppendorf); LRH-205A 生化培养箱 (韶关市泰宏医疗器械有限公司); 752 紫外光栅分光光度计 (上海精密科学仪器有限公司); HH.W 21.600 数显式电热恒温水浴锅 (上海悦丰仪器仪表有限公司); 101A-2S 型电热鼓风干燥箱 (广州富民测控科技有限公司); UV-2550 紫外可见光谱分析仪 (日本, Shimadzu 公司);

Vector33 傅里叶红外光谱仪 (德国, Bruker); DV-I Prime 旋转粘度计 (德国, Melchers 公司), Empyrean (锐影) X 射线衍射仪 (荷兰, 帕纳科公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 脱乙酰 KGM 制备

取 KGM 样品与水以 1:40 比例混合, 加热搅拌待充分溶胀, 将适量食用碱溶解成碱液后倒入锅中, 搅拌均匀, 继续小火加热 10~15 min, 凝胶冷却成型, 将其切片, 冷冻烘干后研磨成粉, 过 100 目筛, 制得脱乙酰 KGM, 将其标记为 Da-KGM。

#### 1.3.2 样品结构表征鉴定

##### 1.3.2.1 紫外可见光谱分析

精准配置浓度为 0.5% 的溶液, 磁力搅拌溶胀 5 h, 离心过滤, 取滤液进行紫外扫描光谱分析, 扫描波长范围为 200~800 nm。

##### 1.3.2.2 傅里叶红外光谱分析

将 KGM 样品采用溴化钾压片法制样, 以空气为参比, 用 Vector 33 傅里叶红外光谱仪进行扫描, 扫描波长范围为 400~4000 cm<sup>-1</sup>。

##### 1.3.2.3 羰基含量测定

称取适量样品, 加入蒸馏水沸水浴使 KGM 糊化, 冷却后调 pH 值至 3.2 后, 加入 60 mL 羟胺试剂, 加塞在 40 °C 保持 4 h。用 0.1 mol/L HCl 溶液滴定到 pH 至 3.2, 记录消耗量 (mL)。同时做空白滴定<sup>[9]</sup>。

结果计算:

$$\text{羰基含量 (\%)} = \frac{(V_1 - V_2) \times 0.1000 \times 0.029}{m} \times 100\%$$

式中, V<sub>1</sub>: 滴定空白 HCl 标准液用量, mL; V<sub>2</sub>: 滴定样品 HCl 标准液用量, mL; m: 样品质量, g。

##### 1.3.2.4 衍射分析

采用全自动 X 射线衍射仪 Empyrean 测定, 测定条件: Cu 靶, 管压 40 kV, 管流 41 mA, 入射波长 1.5418 Å, 发射狭缝和散射狭缝选 1°, 受光狭缝 0.3 mm, 测角范围 4~60°, 扫描速度 10 °/min, 积分时间 0.2 s, 石墨滤波片, 温度 20 °C, 湿度 70%。

#### 1.3.3 样品粘度及持水性分析

##### 1.3.3.1 粘度测定

用蒸馏水配制一定浓度的溶胶, 搅拌使其溶胀均匀, 用 DV-I Prime 旋转粘度计测定, 连续读数 3 个测定值, 取其平均值。

##### 1.3.3.2 持水力测定

称取 300 mg 样品加入 10 mL 蒸馏水。混匀室温静置 1 h, 4000 r/min 离心 20 min, 弃上清, 用纸吸干残余水量称湿重。以每克样品所保持的水的克数计,

单位为 g/g。

### 1.3.4 脂类结合能力评价

#### 1.3.4.1 脂肪吸附能力测定

参照 Czechowska 方法测定脂肪吸附能力<sup>[10]</sup>, 称取一定质量的样品, 加入 100 mL、0.1 mol/L HCl 溶液, 完全溶解后加入 5 g 油脂, 充分混匀, 37 °C 水浴恒温振荡 2 h, 将 pH 调至 7.0, 继续振荡一定时间。4000 r/min 离心 30 min 后, 移除上层未结合的油, 调整下层水层的 pH 为 3, 使样品释放吸附的油脂, 进行乙醚萃取, 回收乙醚, 所得脂肪的重量减去空白对照中的脂肪重量即为结合的脂肪量 (g)。每个样品重复三次取平均值。

##### (1) 样品质量对脂肪吸附能力影响的测定

称取不同质量样品 (0.025、0.05、0.1、0.3、0.5、0.7、0.9 g) 加入 100 mL、0.1 mol/L HCl 溶液, 完全溶解后加入 5 g 花生油, 充分混匀, 37 °C 水浴恒温振荡 2 h, 将 pH 调至 7.0, 继续振荡 2 h。按照 1.3.4.1 的步骤进行后续吸附实验。

##### (2) 吸附时间对脂肪吸附能力影响的测定

准确称取 0.1 g 样品加入 100 mL、0.1 mol/L HCl 溶液, 完全溶解后加入 5 g 花生油, 充分混匀, 37 °C 水浴恒温振荡 2 h, 将 pH 调至 7.0, 继续分别振荡 0、30、60、90、120、150、180 min。按照 1.3.4.1 的步骤进行后续吸附实验。

##### (3) 油脂种类对脂肪吸附能力影响的测定

准确称取 0.1 g 样品加入 100 mL、0.1 mol/L HCl 溶液, 完全溶解后分别加入 5 g 花生油或者猪油, 充分混匀, 37 °C 水浴恒温振荡 2 h, 将 pH 调至 7.0, 继续振荡 2 h。按照 1.3.4.1 的步骤进行后续吸附实验。

#### 1.3.4.2 胆固醇吸附能力测定

准确称取一定量的样品, 加入一定浓度胆固醇溶液 20 mL, 搅拌均匀, 调节体系 pH 值至 2.0, 37 °C 水浴恒温振荡 2 h, 调节 pH 至 7.0, 继续振荡一定时间。4000 r/min 下离心 30 min, 吸取 0.1 mL 上清液, 用冰醋酸补充至 4.00 mL 后, 加入 2.00 mL 铁矾显色剂, 摇匀后室温放置 30 min, 于 560 nm 处测其吸光度。

##### (1) 样品质量对胆固醇吸附能力影响的测定

称取不同质量 (0.025 g、0.05 g、0.1 g、0.3 g、0.5 g、0.7 g 和 0.9 g) 的样品, 加入 2.5 mg/mL 胆固醇溶液 20 mL, 搅拌均匀, 调节体系 pH 值至 2.0, 37 °C 水浴恒温振荡 2 h, 调节 pH 至 7.0, 继续振荡 2 h。按照 1.3.4.2 的步骤进行后续吸附实验。

##### (2) 吸附时间对胆固醇吸附能力影响的测定

准确称取 0.1 g 样品, 加入 2.5 mg/mL 胆固醇溶液 20 mL, 搅拌均匀, 调节体系 pH 值至 2.0, 37 °C 水浴

恒温振荡 2 h, 调节 pH 至 7.0, 继续分别振荡 0、30、60、90、120、150、180 min。按照 1.3.4.2 的步骤进行后续吸附实验。

##### (3) 胆固醇浓度对吸附能力影响的测定

准确称取 0.1 g 样品分别加入 1、1.5、2、2.5、3、3.5、4 mg/mL 胆固醇溶液 20 mL, 搅拌均匀, 调节体系 pH 值至 2.0, 37 °C 水浴恒温振荡 2 h, 调节 pH 至 7.0, 继续振荡 2 h。按照 1.3.4.2 的步骤进行后续吸附实验。

## 1.4 数据统计与处理

采用 SPSS 17.0 软件进行数据处理, 数据均采用  $x \pm s$  的表示方法, 以  $p < 0.05$  为有显著性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 样品结构表征及鉴定

#### 2.1.1 紫外可见光谱

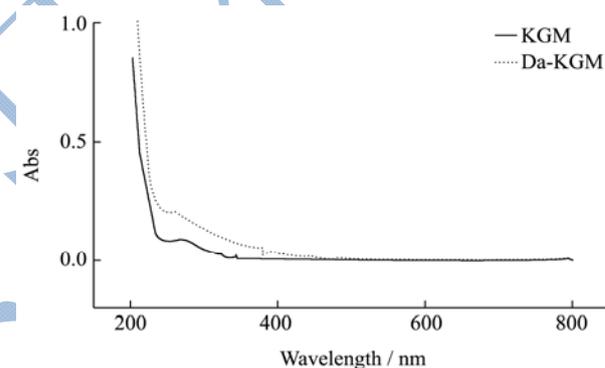


图2 KGM与Da-KGM紫外全波长扫描图

Fig.2 Full wavelength-scanning ultraviolet spectra of KGM and Da-KGM

脱乙酰基前后的 KGM 溶液紫外可见吸收光谱图基本保持不变, 均在 270 nm 左右有最大吸收峰, 说明 KGM 是其溶液主要成分。KGM 吸光峰强度略低, 这可能因为 KGM 持水性高, 分子链未充分溶胀所致。

#### 2.1.2 傅里叶红外光谱

在 KGM 的红外光谱图中, 1733  $\text{cm}^{-1}$  附近代表乙酰基上羰基的伸缩振动峰, 用以表征乙酰基存在<sup>[11]</sup>, KGM 脱乙酰基前后的红外光谱图如图 3 所示, 对比改性前后的 FT-IR 图, 发现脱乙酰基后 1733  $\text{cm}^{-1}$  处的乙酰基的特征吸收峰消失, 表明乙酰基已基本脱除。

#### 2.1.3 羰基含量

羰基含量可反映乙酰基团存在状况, 为验证乙酰基脱除情况, 测定了 KGM 脱乙酰前后的羰基含量, 结果显示脱乙酰基后, 羰基含量降为 0.09%, 结合红

外图谱分析, 可认为乙酰基基本脱除完全。

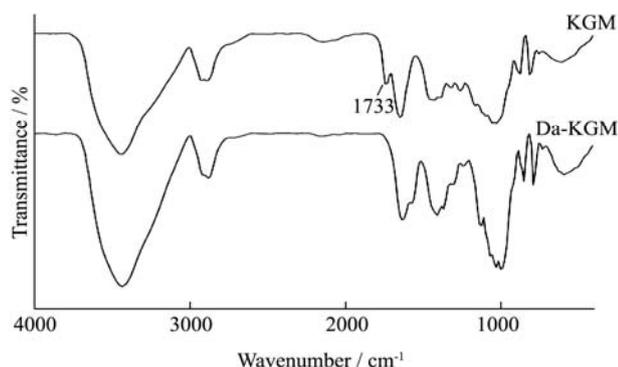


图3 KGM 与 Da-KGM 的红外光谱图

Fig.3 FT-IR spectra of KGM and Da-KGM

### 2.1.4 X-射线衍射

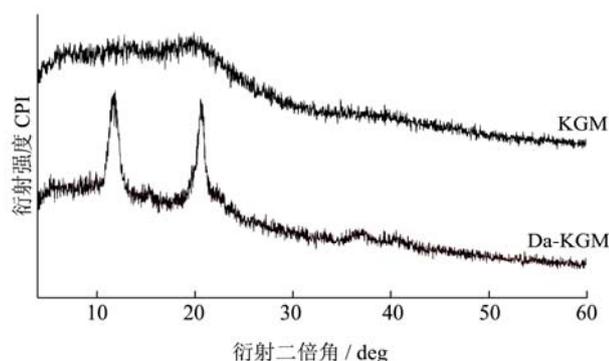


图4 KGM 与 Da-KGM 的 X-射线衍射分析图

Fig.4 X-ray diffraction patterns of KGM and Da-KGM

X射线衍射可利用晶体形成的衍射来分析物质内部原子在空间的分布状况。由图4可看出, KGM由弥散衍射特征和少量小的尖峰衍射特征组成, 在 $2\theta=20^\circ$ 左右有一个相对明显的结晶峰, 可认为KGM为总体无序, 局部有序结构的非晶态物质, 这与以往研究结果一致<sup>[12]</sup>。脱乙酰后, 在 $2\theta=11.82^\circ$ 和 $2\theta=22.53^\circ$ 左右出现了强锐态峰, 提示Da-KGM可能因分子间氢键作用增强而形成新的结晶区。

### 2.2 脱乙酰 KMG 粘度及持水力分析

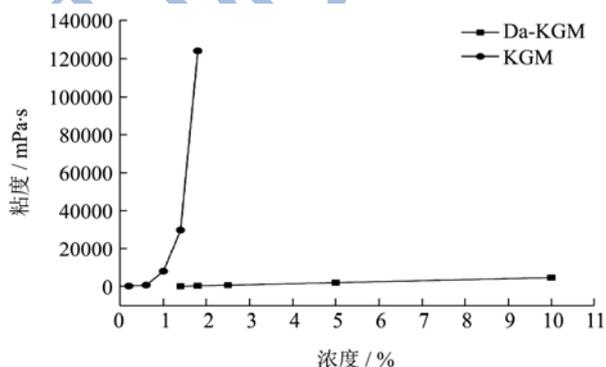


图5 KGM 与 Da-KGM 的粘度测定

Fig.5 Viscosity measurement of KGM and Da-KGM

### 2.2.1 粘度

粘度是 KGM 重要的产品质量指标, 赋予了 KGM 较高的使用价值, KGM 的高粘度特性被认为是 KGM 降脂降胆固醇的内在原因之一<sup>[13]</sup>。实验发现 KGM 溶于水后呈现均质的溶胶状态, 而脱乙酰后的 KGM 溶液仅出现 KGM 的溶胀, 静置后出现分层, 粘度测定结果显示, KGM 脱乙酰后粘度发生显著下降, 已经丧失 KGM 高粘度的特性。

### 2.2.2 持水力

持水力是衡量膳食纤维功能的一项重要指标, 持水力高可使粪便变软体积增大, 利于排便。实验测定结果显示 Da-KGM 持水力为 10.97 g/g, 较脱乙酰前 KGM 的 67.30 g/g 持水力下降 83.7%。有研究证实 KGM 的水溶性是分子链上存在的乙酰基赋予的<sup>[14]</sup>, 乙酰基的空间位阻效应阻碍了 KGM 分子内和分子间氢键的形成, 故脱除乙酰基后, 持水性下降。

### 2.3 KGM 及 Da-KGM 脂类结合能力研究

脂肪及胆固醇摄入过多是导致高脂血症的重要成因, 膳食纤维被证实可结合脂肪及胆固醇减少其在肠道的吸收。膳食纤维的吸附作用是化学吸附与物理吸附的综合作用, 目前常用采用离体实验模拟人体胃和肠道的 pH 环境来分析膳食纤维在体内的吸脂能力。本实验以纤维素为对照, 先模拟人体胃的 pH 环境进行吸附, 接着模拟肠道的 pH 环境, 对比观察了 KGM 脱乙酰基前后脂肪结合及胆固醇吸附能力的改变。

#### 2.3.1 样品对脂肪的吸附作用

##### 2.3.1.1 样品对不同类型脂肪的吸附作用

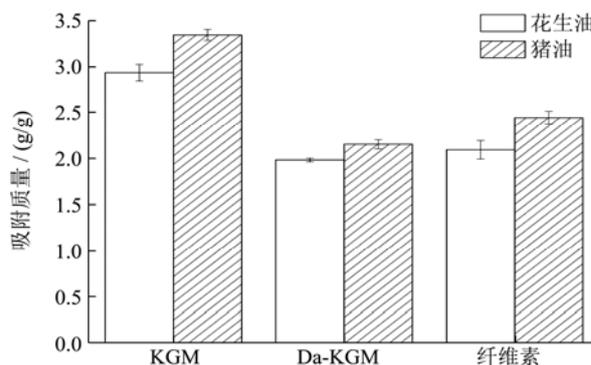


图6 样品对不同脂肪的吸附能力

Fig.6 Capacity of samples to adsorb oil and fat

脂肪摄入过多是导致肥胖的重要成因, 膳食纤维被证实可结合脂肪减少其在肠道的吸收, KGM 遇水溶胀, 可包裹吸附食物中的脂肪。图6是纤维素、KGM 及 Da-KGM 对花生油(代表不饱和脂肪)及猪油(代表饱和脂肪)的吸附情况。三种样品对猪油的吸附能力均较花生油好, 这可能与猪油粘度大及粘附性强有

关, 除此外, 不饱和油脂分子结构中存在的双键可能产生空间位阻作用, 阻止 KGM 与脂类的结合导致其吸附量受到影响。Da-KGM 与脂肪的吸附能力明显较 KGM 下降, 这可能因为 KGM 脱乙酰基后高粘度特性丧失, 对脂肪的包裹吸附能力减弱。

### 2.3.1.2 样品质量与脂肪吸附量的关系

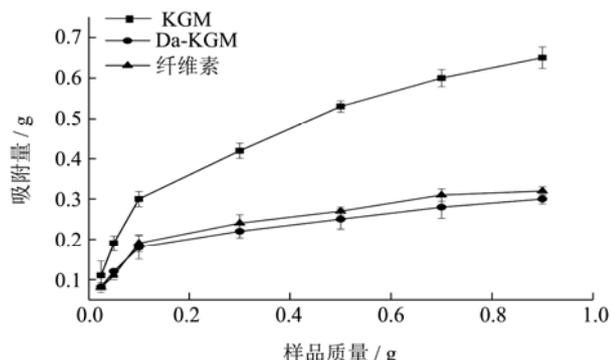


图7 样品质量对脂肪吸附能力的影响

Fig.7 Effect of the sample mass on the peanut oil-adsorption capacity

因家庭烹调以不饱和脂肪酸含量较高的油脂为主, 故选取花生油作为脂肪代表, 继续研究各样品的脂肪吸附作用。图7为样品质量与吸附量的关系, 可见随着样品质量的增加, 花生油吸附量总体呈上升趋势, 其中 KGM 增幅最明显, Da-KGM 与纤维素的增幅则相对平缓, 这可能与其水溶性性质有关, KGM 脱乙酰基后由水溶性膳食纤维变为不可溶性纤维, 导致其在水溶液中的溶胀性变差, 与脂肪发生直接结合的体表面积下降, 故结合量降低。

### 2.3.1.3 吸附时间与脂肪吸附量的关系

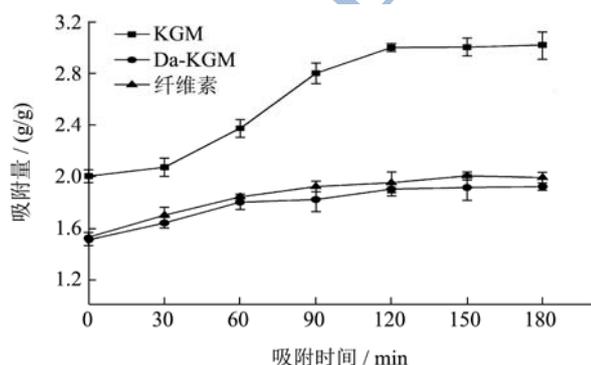


图8 吸附时间对油脂吸附能力的影响

Fig.8 Effect of adsorption time on the peanut oil-adsorption capacity

采用离体实验, 模拟人体胃及肠道 pH 环境, 以样品在肠道的吸附时间为变量, 观察各样品的脂肪吸附量与吸附时间的关系, 结果如图8所示。各样品对花生油的吸附量随吸附时间延长呈增加趋势, 其中 Da-KGM 与纤维素吸附增幅相对平缓, 而 KGM 脂肪

吸附量在吸附时间为 0~30 min 时增幅较小, 30~120 min 增幅增大, 120 min 后达到吸附平衡, 这是因为 KGM 溶胀系数大, 在吸附初期, 分子链尚未完全展开, 吸附量相对较低, 随吸附时间延长, KGM 分子链充分舒展, 与脂肪结合位点增加, 吸附量增大, 而 Da-KGM 与纤维素因为水溶性及溶胀性差而没有此特点。

### 2.3.2 样品对胆固醇的吸附作用

#### 2.3.2.1 样品质量与胆固醇吸附量的关系

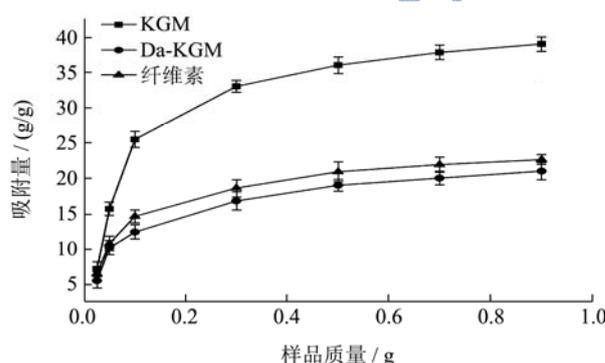


图9 样品质量对胆固醇吸附能力的影响

Fig.9 Effect of sample mass on the cholesterol-adsorption capacity

从图9可以看出, 在初始胆固醇浓度相同的条件下, 随着样品质量的增加, 样品对胆固醇的吸附量整体呈上升趋势, 在样品质量 0.30 g 之前, 胆固醇吸附量增幅较明显, 0.30 g 之后增幅降低, 这可能因为随着质量增加, 接触胆固醇分子的有效比表面积下降所致。而 Da-KGM 对胆固醇的吸附量均低于 KGM, 其胆固醇吸附量随样品质量缓慢增加, 增幅不明显。

#### 2.3.2.2 吸附时间与胆固醇吸附量的关系

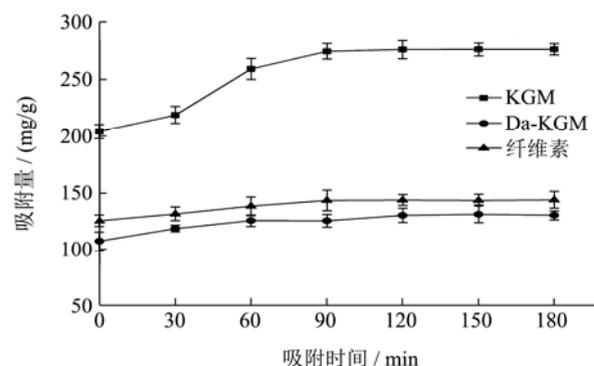


图10 胆固醇吸附时间对样品吸附能力的影响

Fig.10 Effect of adsorption time on the cholesterol-adsorption capacity

图10为吸附时间与样品胆固醇吸附量的关系图, 当吸附时间为 0~30 min, KGM 对胆固醇的吸附量缓慢上升, 吸附时间为 30~150 min 时, 吸附量快速增加, 随后达到吸附饱和, 曲线趋于平稳。Da-KGM 各时间

段的胆固醇吸附量均低于相应 KGM 的吸附量, 在吸附时间为 120 min 时达到吸附饱和, 其胆固醇吸附随时间变化的趋势与纤维素基本一致。这是因为乙酰基是决定 KGM 水溶性的重要基团, KGM 脱除乙酰基后, 水溶性下降, 变为不可溶性膳食纤维, 性质与纤维素类似, 持水性及溶胀性下降, 致使其胆固醇吸附量降低, 随吸附时间延长的胆固醇吸附增幅较低。

### 2.3.2.3 胆固醇浓度与吸附量的关系

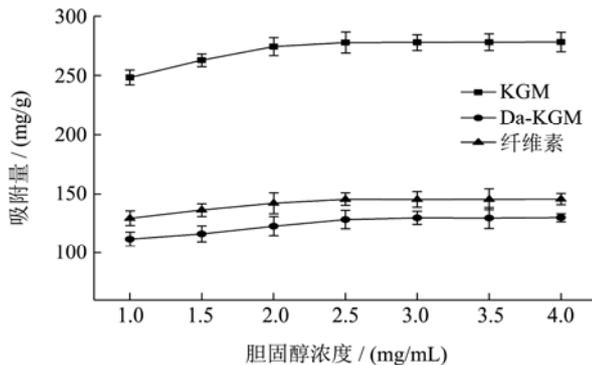


图 11 胆固醇浓度对样品吸附能力的影响

Fig.11 Effect of cholesterol concentration on the cholesterol-adsorption capacity

从图11可以看出, 随着胆固醇浓度的增加, 三种样品对胆固醇的吸附量都先是增加, 后趋于平稳。这是因为样品对胆固醇的吸附已经达到饱和, KGM脱乙酰改性后吸附能力下降, 导致此差异的原因是因为KGM脱乙酰基后, 分子链上的乙酰基被羟基所取代, 羟基为亲水基团, 与脂溶性的胆固醇的结合力下降, 除此外, Da-KGM持水性及粘度下降也是导致胆固醇吸附量下降的原因。

从上述 KGM 与 Da-KGM 对脂肪及胆固醇吸附数据可发现, Da-KGM 的脂类吸附能力明显较 KGM 低, 分析其原因有以下两个方面: 1) Da-KGM 水溶性及溶胀性较 KGM 差, 可与脂类直接结合的体表面积减少, 加之 Da-KGM 高粘度特性的丧失致使对脂类的直接包裹作用减弱, 故吸附量下降。2) Da-KGM 分子链因为乙酰基的脱除, 空间位阻作用减弱, 分子间氢键作用加强, 致使可与脂类结合的位点减少, 吸附量下降。

## 3 结论

3.1 KGM 脱除乙酰基后结晶状态改变, 高粘度特性丧失, 持水性明显下降。

3.2 KGM 具有良好的脂肪结合能力及胆固醇吸附能力, 其吸附量随着样品质量、吸附时间及胆固醇浓度的增加而增加, 且对饱和脂肪的吸附效果更佳。

3.3 Da-KGM 脂肪结合能力及胆固醇吸附能力较

KGM 明显下降, 可能与水溶性、粘度及分子间氢键作用有关, 提示以 Da-KGM 为主要成分的魔芋食品在肠道与脂类的结合能力减弱, 可能影响其降脂功效, 需进一步开展动物实验进行验证。

## 参考文献

- [1] Ratcliffe I, Williams P A, Viebke C, et al. Physicochemical characterization of konjac glucomannan [J]. *Biomacromolecules*, 2005, 6(4): 1977-1986
- [2] Jian W J, Yao M N, Wang M, et al. Formation mechanism and stability study of konjac glucomannan helical structure [J]. *Chinese Journal of Structural Chemistry*, 2010, 29(4): 543-550
- [3] Williams M A, Foster T J, Martin D R, et al. A molecular description of the gelation mechanism of konjac mannan [J]. *Biomacromolecules*, 2000, 1(3): 440-450
- [4] Du X Z, Li J, Chen J, et al. Effect of degree of deacetylation on physicochemical and gelation properties of konjac glucomannan [J]. *Food Research International*, 2012, 46(1): 270-278
- [5] Chen H L, Cheng H C, Liu Y J, et al. Konjac acts as a natural laxative by increasing stool bulk and improving colonic ecology in healthy adults [J]. *Nutrition*, 2006, 22(11): 1112-1119
- [6] Zalewski B M, Chmielewska A, Szajewska H, et al. The effect of glucomannan on body weight in overweight or obese children and adults: A systematic review of randomized controlled trials [J]. *Nutrition*, 2015, 31(7): 1056-1057
- [7] Richard F T, Farage H, Ghazzawi A L. Mannans and health with a special focus on glucomannans [J]. *Food Research International*, 2013, 50(1): 384-391
- [8] Chua M, Baldwin T C, Hocking T J, et al. Traditional uses and potential health benefits of *Amorphophallus konjac* K.Koch ex N.E.Br [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2010, 128(128): 268-278
- [9] Chen J, Li J, Li B. Identification of molecular driving forces involved in the gelation of konjac glucomannan: Effect of degree of deacetylation on hydrophobic association [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2011, 86(2): 865-871
- [10] Czechowska B R, Rokita B, Ulanski P, et al. Radiation-induced and sonochemical degradation of chitosan as a way to increase its fat-binding capacity [J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 2005, 236: 383-390
- [11] Xie C, Feng Y, Cao W, et al. Novel biodegradable

- flocculating agents prepared by phosphate modification of konjac [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 67(4): 566-571
- [12] Ogawa K, Yui T, Mizuno T. Molecular and crystal structure of konjac glucomannan in the mannan polymorphic form [J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1991, 55: 2105-2111
- [13] Gallaher C M, Munion J, Hesslink R, et al. Cholesterol reduction by glucomannan and chitosan is mediated by changes in cholesterol absorption and bile acid and fat excretion in rats [J]. Journal of Nutrition, 2000, 130(11): 2753-2759
- [14] Pan Z D, Meng J J, Wang Y M. Effect of alkalis on deacetylation of konjac glucomannan in mechano-chemical treatment [J]. Particuology, 2011, 9(3): 265-269

现代食品科技