

## 蒙脱土对纤维素基吸湿衬垫结构与性能的影响

卢唱唱, 许琦炀, 徐丹  
(西南大学, 重庆 400715)

**摘要:** **目的** 在羧甲基纤维素钠(CMC-Na)与壳聚糖(CS)基材中添加纳米蒙脱土(MMT), 制备安全无毒、具有良好吸水性的海绵衬垫, 可用于鲜肉的保鲜包装。**方法** 将不同比例的 MMT 添加到 CMC-Na 和 CS 混合溶液中, 冻干后采用氯化钙交联得到海绵衬垫, 测定衬垫在水中的溶胀率和可溶物含量以优化配比, 然后测定最优衬垫的吸湿速率、红外光谱、形貌、压缩强度以及色差等。**结果** 当 MMT 质量分数为 5% 时, 衬垫在水中的溶胀率最高, 可溶物含量较低, 且与空白对照品相比, 由于 MMT 在聚合物基材表面形成大量微米级团聚粒子, 所以其比表面积增大, 吸湿速率加快。同时, 由于 MMT 良好的力学强度, 且与 CMC-Na 和 CS 基材结合良好, 因此 MMT 的添加大大提高了衬垫的压缩强度。加入 MMT 后, 虽衬垫的颜色有所加深, 但肉眼观察并不明显。**结论** MMT 的加入可改善 CMC-Na/CS 衬垫的性能, 促进其在鲜肉包装中的实际应用。

**关键词:** 羧甲基纤维素钠; 壳聚糖; 蒙脱土; 海绵衬垫; 性能表征

**中图分类号:** TB484.3; TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)11-0006-05

## Effects of Montmorillonite Addition on the Structure and Properties of CMC-Na/CS Sponge Absorbent Pad

LU Chang-chang, XU Qi-yang, XU Dan  
(Southwest University, Chongqing 400715, China)

**ABSTRACT:** A novel CMC-Na/CS sponge absorbent pad with the addition of MMT was prepared for fresh under stirring. Then, the mixtures were freeze-dried and crosslinked using  $\text{CaCl}_2$  to obtain the sponge pads. The swelling ratio and soluble content of the sponge pads in water were tested to determine the optimal ratio of MMT, followed by performing moisture adsorption rate measurement, FTIR, SEM, chromatism analysis and compressive strength test on the resultant sponge pad. The optimal addition ratio of MMT was 5%, which gave the highest swelling ratio and relatively low soluble content to the sponge pad, compared with other samples. CMC-Na/CS sponge pad containing 5% MMT (CMC-Na/CS/MMT-5) showed faster moisture adsorption compared to the blank pad (CMC-Na/CS). The compressive strength of CMC-Na/CS/MMT-5 was also higher than that of CMC-Na/CS due to the excellent strength of MMT and the good interfacial adhesion between MMT and polymer matrix. Although the color of the sponge pad was slightly deepened with the addition of MMT, it was hardly visible to naked eyes. Addition of 5% MMT improved the properties of CMC-Na/CS sponge pads, thus accelerating their practical applications in fresh meat packaging.

**KEY WORDS:** sodium carboxymethyl cellulose; chitosan; montmorillonite; sponge pad; property characterization

收稿日期: 2015-12-03

基金项目: 西南大学食品科学学院本科生创新基金; 国家自然科学基金青年基金(21306154)

作者简介: 卢唱唱(1994—), 女, 河南永城人, 西南大学本科生, 主攻活性包装材料。

通讯作者: 徐丹(1983—), 女, 四川人, 西南大学副教授, 主要研究方向为纳米复合包装材料。

中国是世界上最大的猪肉生产和消费大国。裸露销售的鲜肉容易受到环境中的微生物和尘埃等的污染而加剧腐败和变色。超市中将猪肉分切后再进行简易包装的产品因其方便卫生而逐渐被消费者所接受。这类鲜肉包装大都采用浅盘和覆盖薄膜的包装形式<sup>[1]</sup>, 包装工艺简单, 并且方便消费者直接观察生肉本色, 但其缺点在于猪肉内部的肉汁会流到浅盘内, 既不美观又会加快细菌的滋生。在浅盘底部垫上一层吸水衬垫, 对于提高消费者认可度和延长鲜肉的货架期都有较好的效果。目前, 市面上的衬垫大部分采用无纺布或纸为原料, 但无纺布不易降解, 而纸的吸水率不够高且吸湿后易发生粘附。这里以羧甲基纤维素钠 (CMC-Na) 和壳聚糖 (CS) 这两种天然高分子为基材, 并加入纳米蒙脱土为填料, 以期得到吸水率高、安全无毒且可降解的海绵衬垫。

CMC-Na 和 CS 都具有良好的生物相容性和生物降解性, 可直接应用于食品<sup>[2]</sup>, 且 CS 具有一定的抗菌作用, 对于减缓鲜肉的腐败有一定效果<sup>[3]</sup>。蒙脱土 (MMT) 是一种表面带负电的硅酸盐片层, 具有较高的长厚比和较大的表面积, 安全无毒, 是目前应用最广泛的无机纳米粒子之一<sup>[4]</sup>。与聚合物共混时, MMT 均匀分散在聚合物基体中, 可实现两者在纳米尺度上的复合<sup>[5]</sup>, 因此, 加入少量 MMT 即可对聚合物体系的形貌及强度、硬度、溶胀率等性能产生明显的影响。这里以 CMC-Na 和 CS 为基材, 氯化钙 (CaCl<sub>2</sub>) 为交联剂, 优化 MMT 的用量, 运用真空冷冻干燥技术, 制备出复合海绵衬垫, 并对其结构和性能进行表征。

## 1 实验

### 1.1 材料与仪器

材料: CMC-Na (粘度  $\geq 1200$  mPa·s), 成都市科龙化工试剂厂; CS (脱乙酰度 90.1%), 潍坊海之源生物制品有限公司; 钠基 MMT, 美国 Nanocor 公司; CaCl<sub>2</sub>, 食品级, 浙江巨化股份新联化工有限公司; 其他试剂均为分析纯。

仪器: LGJ-10 型真空冷冻干燥机, 北京松源华兴科技发展有限公司; HunterLab ultrascan 型色度仪, 美国 HunterLab 公司; CT-3 型质构仪, 美国 Brookfield 公司; IR Prestige-21 型傅里叶变换红外光谱仪, 日本岛津; JSM-6510LV 型电子扫描显微镜, 日本电子。

### 1.2 CMC-Na/CS 海绵衬垫的制备

称取 2 g CMC-Na 于烧杯中, 加入 100 mL 去离子水, 搅拌至完全溶解。称取 0.6 g CS 于烧杯中, 加入 60 mL 的乙酸溶液 (1%), 搅拌至完全溶解。然后将 CMC-Na 溶液倒入 CS 溶液中, 搅拌均匀。

按占 CMC-Na 与 CS 固体总质量的 1%, 5%, 9% 和 13% 分别称取 MMT, 溶于 20 mL 的乙酸溶液 (1%) 中, 搅拌均匀后超声 30 min, 然后分别加入上述 CMC-Na 与 CS 的混合溶液中, 并将未添加 MMT 的溶液作为空白组。继续搅拌均匀, 然后倒入培养皿中, 真空冷冻干燥 32 h 去除水分, 即得未交联的海绵衬垫。参照李瑜等人<sup>[6]</sup>的方法, 将海绵衬垫在质量分数为 3% 的 CaCl<sub>2</sub> 溶液中浸泡 2 h, 然后在去离子水中浸泡 10 min, 再用去离子水反复冲洗。冷冻干燥 24 h 后即得交联后的海绵衬垫, 表示为 CMC-Na/CS/MMT-*x*, 其中 *x* 为 MMT 的质量分数。空白衬垫 CMC-Na/CS 在制备过程中除不加 MMT 外, 其余步骤与上述相同。

### 1.3 性能表征

#### 1.3.1 溶胀率、可溶物含量与吸湿速率测定

将海绵衬垫于 40 °C 烘 12 h, 称量得  $m_0$ , 立即浸入去离子水中, 2 h 后取出用滤纸小心吸除表面水分后称量得  $m_1$ 。按式 (1) 计算样品在水中的溶胀率<sup>[7]</sup>:

$$\text{溶胀率} = \left[ \frac{(m_1 - m_0)}{m_0} \right] 100\% \quad (1)$$

将上述浸泡后的样品, 放入鼓风干燥箱中 40 °C 烘至恒重, 称量得  $m_2$ 。计算样品在水中的可溶物质量分数:

$$\text{可溶物质量分数} = \left[ \frac{(m_0 - m_2)}{m_0} \right] 100\% \quad (2)$$

在干燥皿中加入少量去离子水, 密闭平衡 48 h。取一定量的衬垫, 烘干至恒重, 称量得  $m_{w0}$ , 然后将其放入该干燥皿中密闭保存, 隔一定时间称量一次记为  $m_{wt}$ , 直至质量不再变化, 按式 (1), 将  $m_0$  替换为  $m_{w0}$ ,  $m_1$  替换为  $m_{wt}$  计算不同时间样品对水蒸气的吸附率, 得到水蒸气吸附量-时间关系曲线。

#### 1.3.2 红外光谱、表面形貌、压缩强度与色差测定

取少量海绵衬垫与溴化钾压片后, 采集红外光谱, 扫描范围为 450 ~ 4000 cm<sup>-1</sup>, 分辨率为 4 cm<sup>-1</sup>, 扫描 32 次; 将样品喷金后, 采用扫描电镜观察其表面形貌; 采用质构仪测试海绵衬垫的压缩强度, 测试探头型号为 TA4/1000, 直径为 38 mm, 测试速度为 1 mm/s; 海绵衬垫的外观颜色采用色度仪进行测量。

## 2 结果与分析

### 2.1 MMT 含量对溶胀率和水可溶物含量的影响

加入质量分数分别为 1%, 5%, 9% 和 13% 的 MMT 对 CMC-Na/CS 海绵衬垫在水中的溶胀率和可溶物质量分数的影响见图 1。海绵衬垫具有疏松多孔的结构, 因此溶胀率很高, 尤其是未经  $\text{CaCl}_2$  交联的衬垫, 溶胀率高达 4000%~5000%。由于 CMC-Na 具有较好的水溶性, 衬垫的可溶物质量分数达 30% 以上。采用  $\text{CaCl}_2$  交联后, 由于  $\text{Ca}^{2+}$  与 CMC-Na 中  $\text{COO}^-$  间的静电引力产生交联点, 减少了 CMC-Na 在水中的溶解<sup>[8]</sup>, 使得衬垫的可溶物含量显著降低。溶胀率虽有所降低, 但仍具有较好的应用价值。

未交联衬垫的溶胀率随 MMT 含量的增加而下降。交联后, 当 MMT 质量分数增加到 5% 时, 衬垫的溶胀率随之增大至最大值 3146%。同时, 交联后衬垫的可溶物含量也随 MMT 含量的增加而减少, 尤其是当 MMT 质量分数增加到 5% 时, 衬垫可溶物质量分数迅速降至 21.6%。据文献[9—10]可知, CS 通过离子交换作用插入 MMT 层间, 与 MMT 片层产生静电作用。同时, MMT 中的 Si-O-Si 和 Al-O-Si 等基团也可与 CMC-Na 中的醚键产生配位或络合作用<sup>[11]</sup>。MMT 的加入可减少水分子的吸附位点, 并使衬垫内部结构更为紧密, 从而降低其溶胀率, 减少可溶物含量。这与 Sibel 和 Tunc<sup>[12]</sup>的研究结果一致。当 MMT 的含量较少时(质量分数不大于 5%), 由于 MMT 较好的力学性能, 衬垫具有更立体和更稳定的孔状结构, 以容纳更多的水分子。CMC-Na/CS-5 衬垫具有较高的溶胀率和较低的可溶物含量, 后续重点研究该衬垫的形貌与强度等性能。

### 2.2 吸湿速率分析

对海绵衬垫吸水性能表征还有 1 个重要指标即吸水速率。由于衬垫在水中的吸水速率过快不易准确测定, 这里将衬垫置于饱和水蒸气的环境中, 测定其对水蒸气的吸附速率, 即吸湿速率。CMC-Na/CS 与 CMC-Na/CS-MMT-5 衬垫的吸湿速率见图 2。在初始阶段(前 200 min), CMC-Na/CS/MMT-5 衬垫的吸湿速率明显快于 CMC-Na/CS 衬垫, 且平衡后的水蒸气吸附量也比 CMC-Na/CS 衬垫高出 19.0%。说明了 CMC-Na/CS/MMT-5 衬垫可能具有更大的比表面积, 且内部可容纳更多的水分子。

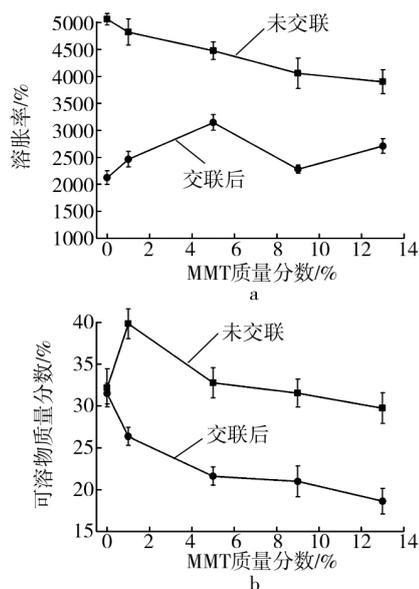


图 1 MMT 质量分数对 CMC-Na/CS 海绵衬垫溶胀率和可溶物质量分数的影响

Fig.1 Effects of MMT content on swelling ratio and soluble Content of CMC-Na/CS sponge pad

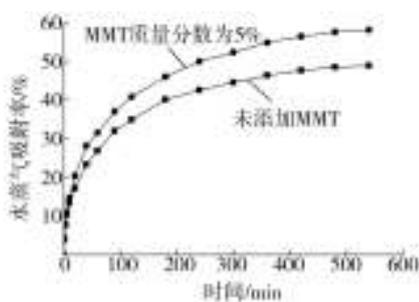


图 2 MMT 的添加对 CMC-Na/CS 海绵衬垫吸湿速率的影响  
Fig.2 Effects of MMT addition on water vapor absorption rate of CMC-Na/CS sponge pad

### 2.3 红外光谱图分析

各样品的红外光谱见图 3。其中, CS 谱图中的  $1638\text{ cm}^{-1}$  处为酰胺 I 带的特征峰, CMC-Na 谱图中的  $1623\text{ cm}^{-1}$  处为  $-\text{COOH}$  伸缩振动峰。在 CMC-Na/CS 衬垫谱图中, CS 在  $1638\text{ cm}^{-1}$  处的峰向低波方向移至  $1627\text{ cm}^{-1}$ , 同时在  $1447\text{ cm}^{-1}$  处有 1 小峰出现, 这表明 CS 的  $-\text{NH}_3^+$  与 CMC-Na 的  $-\text{COO}^-$  之间存在静电作用<sup>[13-14]</sup>。MMT 谱图中, MMT 在  $3625$  和  $3437\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰为 MMT 中的  $-\text{OH}$  伸缩振动峰,  $1038\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰为 Si-O 伸缩振动峰, 而  $520\text{ cm}^{-1}$  附近的吸收峰带为硅氧四面体和铝氧八面体的骨架振动所引起<sup>[15]</sup>。CMC-Na/CS-MMT-5 和 CMC-Na/CS 衬垫的红外光谱图相比差异较小。在 CMC-Na/CS/MMT-5 谱图中的  $512\text{ cm}^{-1}$  处可观察到 Si-O 键的变形振动峰, 说明 MMT 已经分散在聚合

物体系中。

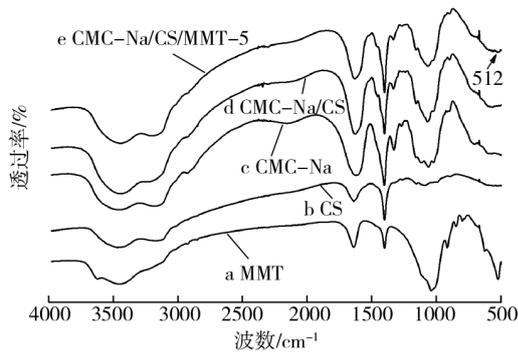


图 3 红外光谱  
Fig.3 Infrared spectra

### 2.4 表面形貌分析

采用扫描电镜对样品的表面形貌进行观察，见图 4。从图 4a 和 4c 中可看出，与 CMC-Na/CS 衬垫相比，CMC-Na/CS/MMT-5 衬垫具有更稳定、更立体的多孔结构。可推论 CMC-Na/CS/MMT-5 衬垫能提供更大的内部空间以容纳更多的水分子，由此解释了其较高的溶胀率。图 4b 和 4d 分别为 2 种衬垫表面的放大图，可观察到 CMC-Na/CS 衬垫的表面较为光滑，而 CMC-Na/CS/MMT-5 衬垫表面则有大量微米级的颗粒凸起，这可能是 MMT 粒子的团聚造成的。这种微细结构的出现有利于增加衬垫的比表面积，从而使其具有更快的吸湿速率，与前述结果一致。

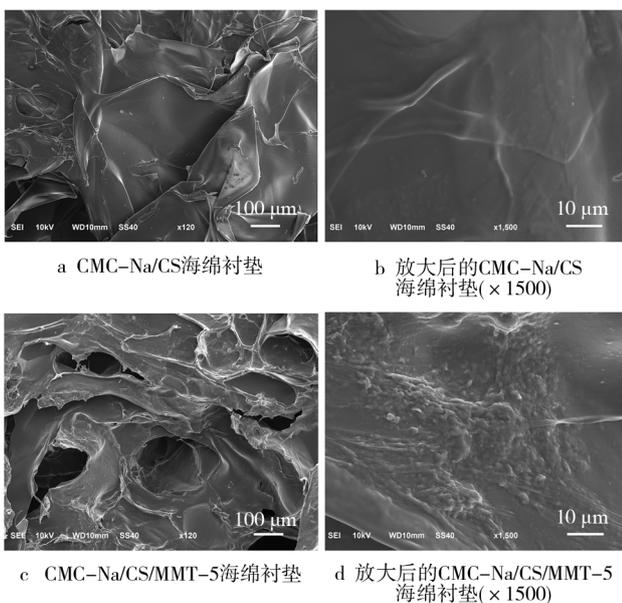


图 4 扫描电镜图片  
Fig.4 SEM images

### 2.5 压缩强度分析

2 种衬垫的压缩强度见表 1。加入质量分数为 5% 的 MMT 后，海绵衬垫的压缩强度相较于空白衬垫提高了 22.7%。这可能是因为以下 2 个方面：一方面，具有良好力学性能的 MMT 在聚合物基材中形成微米级的团聚粒子，且与聚合物基材有较好的界面结合，有利于两者间的应力传递<sup>[16]</sup>；另一方面，MMT 与 CS 间形成的插层结构，以及与 CMC-Na 间的氢键作用，均可增加聚合物网络中的交联点，从而提高高分子链的刚性<sup>[17]</sup>。衬垫压缩强度的提高可减少其在实际应用时的变形率，以维持较高的吸水率。

表 1 MMT 对 CMC-Na/CS 海绵衬垫压缩强度的影响  
Tab.1 Effect of MMT on the compression strength of CMC-Na/CS sponge pad

衬垫种类	压缩强度	
	平均值/kPa	标准差
CMC-Na/CS	35.07	1.88
CMC-Na/CS/MMT-5	43.03	2.41

### 2.6 色差分析

颜色是海绵衬垫的一个重要性质，因为它可能会影响消费者对其所包装食品的接受度<sup>[18]</sup>。2 种衬垫的色差测定结果见表 2。相较于 CMC-Na/CS 衬垫，CMC-Na/CS/MMT-5 衬垫的红度 ( $a^*$ )、黄度 ( $b^*$ )、亮度 ( $L^*$ ) 和总色差 ( $\Delta E$ ) 值都有显著提高。 $a^*$  值的增加说明衬垫颜色由深绿色变为浅绿色； $b^*$  值的增加说明由浅黄色向深黄色变化；而  $L^*$  值的增加说明亮度变大，由黑色渐渐趋于白色<sup>[19]</sup>。综合上述几种数值的分析，CMC-Na/CS 衬垫呈乳白色外观，加入浅黄色的 MMT 后，衬垫颜色有所加深，略呈黄色。这种颜色变化就肉眼观察而言并不明显，MMT 的添加对海绵衬垫的外观形貌均无较大影响。

表 2 MMT 对 CMC-Na/CS 海绵衬垫颜色的影响  
Tab.2 Effects of MMT on the color of CMC-Na/CS sponge pad

衬垫种类	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$\Delta E$
CMC-Na/CS	-0.39	1.70	69.81	69.83
CMC-Na/CS/MMT-5	-0.33	2.36	73.46	73.50

### 3 结语

以 CMC-Na, CS 和 MMT 为原料，交联后制备得到高吸水的可降解海绵衬垫，并探讨了 MMT 的加

人对其性能的影响。MMT的添加,对衬垫的溶胀率和水可溶物含量均有改善,且以质量分数为5%的添加量为最优。MMT由于其优良的力学性能,在CMC-Na/CS衬垫中良好分散后,有效提高了衬垫的压缩强度,并改善了衬垫的立体结构,使其具有较高的吸湿速率。MMT的添加对于衬垫的外观形貌与颜色并无显著影响。添加MMT使得CMC-Na/CS海绵衬垫具有更好的实用价值。今后将进一步研究它在肉类保鲜中的实际应用效果。

### 参考文献:

- [1] 李念. 抗菌衬垫及包装材料对肉品保鲜效果影响的研究[D]. 重庆:西南大学, 2007.  
LI Nian. Study on the Preservation Effect of Antimicrobial Lining and Packaging Materials Against Fresh Meat[D]. Chongqing: Southwest University, 2007.
- [2] 莫名月, 李国明. 壳聚糖及壳聚糖-羧甲基纤维素钠复合囊材的体外降解性能研究[J]. 广东化工, 2009, 36(6):50—51.  
MO Ming-yue, LI Guo-ming. In-vitro Degradation Properties of Chitosan and Chitosan/Sodium Carboxymethyl Cellulose Composite Materials[J]. Guangdong Chemical Industry, 2009, 36(6):50—51.
- [3] DEHNAD D, MIRZAEI H, EMAM-DJOMEH Z, et al. Thermal and Antimicrobial Properties of Chitosan-nanocellulose Films for Extending Shelf Life of Ground Meat[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 109 (6): 148—154.
- [4] 陈敏, 朱谱新. 丙烯酸系聚合物/层状硅酸盐纳米浆料研发的可行性[J]. 纺织科技进展, 2005(6):8—10.  
CHEN Min, ZHU Pu-xin. Feasibility of Acrylic Polymer/Layered Silicate Nanocomposites for Starch[J]. Progress in Textile Science & Technology, 2005(6): 8—10.
- [5] WEISS J, TAKHISTOV P, MCCLEMENTS D. Functional Materials in Food Nanotechnology[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(9):107—116.
- [6] 李瑜, 刘媛媛, 李帅, 等. 交联直写海藻酸盐水凝胶中空纤维的凝胶率与溶胀度[J]. 化工学报, 2014, 65 (12):5090—5096.  
LI Yu, LIU Yuan-yuan, LI Shuai, et al. Gel Fraction and Swelling Degree of Hollow Alginate Fiber Fabricated by Direct Writing and Crosslinking[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2014, 65(12):5090—5096.
- [7] MA J B, WANG H J, HE B L, et al. A Preliminary in Vitro Study on the Fabrication and Tissue Engineering Applications of a Novel Chitosan Bilayer Material as a Scaffold of Human Neofetaf Dermal Fibroblasts[J]. Biomaterials, 2001, 22(4):331—336.
- [8] 邓靖, 谭兴和, 刘雨华, 等. 增稠剂和交联剂对海藻酸钠膜性能的影响[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(10):18—21.  
DENG Jing, TAN Xing-he, LIU Yu-hua, et al. Influence of Plasticizers and Cross Linkers on Properties of Sodium Alginate Film[J]. Food Research and Development, 2010, 31(10):18—21.
- [9] SANTOS B R, BACALHAU F B, PEREIRA T D, et al. Chitosan-Montmorillonite Microspheres: A Sustainable Fertilizer Delivery System[J]. Carbohydrate Polymers, 2015(7):340—346.
- [10] CHOUDALAKIS G, GOTSIS A D. Permeability of Polymer/Clay Nanocomposites: A Review[J]. European Polymer Journal, 2009, 45(4):967—984.
- [11] YU W X, WANG Z W, HU C Y, et al. Properties of Low Methoxyl Pectin-carboxymethyl Cellulose Based on Montmorillonite Nanocomposite Films[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2014, 49(12):259—261.
- [12] TUNC S, DUMAN O. Preparation and Characterization of Biodegradable Methylcellulose/Montmorillonite Nanocomposite Films[J]. Applied Clay Science, 2010, 48(3):414—424.
- [13] 蓝春媛, 曾丽璇, 卢平, 等. 壳聚糖基复合海绵的制备及性能研究[J]. 华南师范大学学报, 2015, 47(3):74—79.  
LAN Chun-yuan, ZENG Li-xuan, LU Ping, et al. Preparation and Performance of Chitosan-based Compound Sponge[J]. Journal of South China Normal University, 2015, 47(3):74—79.
- [14] JIANG Liu-yun, LI Yu-bao, XIONG Cheng-dong. A Novel Composite Membrane of Chitosan-Carboxymethyl Cellulose Polyelectrolyte Complex Membrane Filled with Nano-hydroxyapatite I. Preparation and Properties[J]. Journal of Materials Science: Materials in Medicine, 2009, 20(8):1645—1652.
- [15] 张成桂, 宋长华, 李晓红, 等. 羧甲基纤维素/壳聚糖/膨润土凝胶的制备及吸附性能研究[J]. 化工新型材料, 2014(2):130—132.  
ZHANG Cheng-gui, SONG Chang-hua, LI Xiao-hong, et al. Synthesis and Absorption Performance of Carboxymethyl Chitosan/Bentonite Gels[J]. New Chemical Materials, 2014(2):130—132.
- [16] WANG N, ZHAO C L, SHI Z X, et al. Co-incorporation of MMT and MCM-41 Nanomaterials Used as Fillers in PP Composite[J]. Materials Science and Engineering B-Advanced Functional Solid-State Materials, 2009, 157(1):44—47.
- [17] 刘平生. 新型高吸水性材料的制备、表征及其抗凝血性研究[D]. 南京:南京师范大学, 2007.  
LIU Ping-sheng. Preparation and Characterization of Novel Superabsorbents and Study on Its Antithrombogenicity[D]. Nanjing:Nanjing Normal University, 2007.
- [18] ALBOOFETILEH M, REZAEI M, HOSSEINI H, et al. Effect of Montmorillonite Clay and Biopolymer Concentration on the Physical and Mechanical Properties of Alginate Nanocomposite Films[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 117(1):26—33.
- [19] 肖乃玉, 吴文毅, 刘丹, 等. 纳米蒙脱土对羧甲基纤维素包装膜结构和性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2015, 31(6):72—76.  
XIAO Nai-yu, WU Wen-yi, LIU Dan, et al. Influence of Nano Na-Montmorillonite on Structure and Performance of Carboxymethylcellulose Packaging Film[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2015, 31(6):72—76.