

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.01.011

# 辣木籽壳对亚甲基蓝的吸附特性

## Adsorption characteristics of moringa seed shell to methylene blue

李丰泉<sup>1</sup> 曾凡坤<sup>1,2</sup> 钟金锋<sup>1</sup> 覃小丽<sup>1</sup>

LI Feng-quan<sup>1</sup> ZENG Fan-kun<sup>1,2</sup> ZHONG Jin-feng<sup>1</sup> QIN Xiao-li<sup>1</sup>

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Engineering Technique Research Center of Chongqing for Special Food, Chongqing 400715, China)

**摘要:**以辣木籽壳作为吸附剂,考察了吸附时间、颗粒大小、温度、溶液初始浓度和 pH 对其吸附亚甲基蓝的影响;采用吸附等温模型和动力学模型对数据进行拟合;通过扫描电镜和红外光谱进行表征。结果表明:在辣木籽壳加入量为 10 g/L 时,最佳吸附条件为吸附时间 1.5 h,颗粒大小 >80 目,温度 25 °C,亚甲基蓝溶液浓度 200 mg/L, pH >5;吸附过程符合 Langmuir 模型和准二级动力学模型,最大理论饱和吸附量为 94.25 mg/g;吸附过程为物理吸附和化学吸附共同作用的结果,以物理吸附为主。

**关键词:**辣木籽壳;亚甲基蓝;吸附

**Abstract:** Used moringa seed shell as adsorbent, investigated the effects of adsorption time, particle size, temperature, initial concentration of solution and pH on the adsorption of methylene blue. Datas were fitted by adsorption isotherm model and kinetic model. The samples were characterized by scanning electron microscopy and infrared spectroscopy. The results showed that under the condition of adding 10 g/L of moringa seed shell, the optimum adsorption conditions were adsorption time 1.5 h, particle size >80 mesh, temperature 25 °C, methylene blue solution concentration 200 mg/L and pH >5. The adsorption process followed the Langmuir model and the pseudo-second-order kinetic model. The maximum theoretical saturated adsorption capacity was 94.25 mg/g. The adsorption process was a common result of physical adsorption and chemisorption, and mainly by physical adsorption.

**Keywords:** moringa seed shell; methylene blue; adsorption

废水污染已经成为日益严重的环境问题。食品、纺

**基金项目:**重庆市特色食品工程技术研究中心能力提升项目(编号: cstc2014pt-gc8001)

**作者简介:**李丰泉,男,西南大学在读硕士研究生。

**通信作者:**曾凡坤(1963—),男,西南大学教授,硕士。

E-mail: zengfankun@swu.edu.cn

**收稿日期:**2018-09-19

织、印染等工业生产会产生大量有色废水<sup>[1]</sup>。合成染料作为有色废水中一类具有严重危害性的污染物,其结构复杂且稳定<sup>[2]</sup>,很难自然降解,会造成严重的生态问题<sup>[3]</sup>。吸附法作为去除废水中合成染料的重要方法之一,具有高效、低成本、操作容易等特点,应用前景十分广阔<sup>[4]</sup>。利用农林废弃物制作生物吸附剂,具有成本低廉、原料来源广、吸附效果理想等特点<sup>[5]</sup>。近年来,中国已有研究利用秸秆<sup>[6]</sup>、橘子皮<sup>[7]</sup>、花生壳<sup>[8]</sup>和玉米芯<sup>[9]</sup>等农林废弃物制作吸附剂。

辣木是一种产于热带、亚热带的植物<sup>[10]</sup>。目前关于辣木籽在水处理方面的研究主要是辣木籽对水浊度<sup>[11]</sup>和 Cu<sup>2+</sup><sup>[12]</sup>、Cr<sup>6+</sup><sup>[13]</sup>等重金属离子的去除,以辣木籽壳作为吸附剂直接处理废水的研究未见报道。有研究<sup>[14]</sup>表明辣木籽壳含 52.36% 的粗纤维,而灰分等不利于吸附的成分含量较低。此外,辣木籽壳表面比较粗糙,结构疏松多孔。这些特点都使辣木籽壳可能成为一种廉价高效的吸附剂或作为活性炭原料的一种来源,有望用于食品工业废水处理。

本研究拟以辣木籽壳为吸附剂,吸附模拟废水中亚甲基蓝溶液,考察吸附时间、颗粒大小和温度等因素对吸附的影响,采用等温吸附模型和动力学模型对试验数据进行拟合,通过扫描电镜和红外光谱进行表征,探讨辣木籽壳作为吸附剂的可行性,以期为其在食品工业废水处理或油脂脱色脱臭等领域的应用提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

辣木籽壳:云滇养生堂;

亚甲基蓝、氢氧化钠:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

盐酸:分析纯,重庆川东化工有限公司;

溴化钾:光谱纯,天津市光复精细化工研究所。

## 1.2 仪器与设备

搅拌机: MJ-BL25H11 型, 广东美的生活电器制造有限公司;

紫外可见分光光度计: UV-6100 型, 上海元析仪器有限公司;

pH 计: Bante210 型, 上海般特仪器制造有限公司;

水浴恒温振荡器: SHZ-88 型, 常州朗越仪器制造有限公司;

即热式恒温加热磁力搅拌器: DF-101S 型, 巩义市予华仪器有限责任公司;

钨灯丝扫描电子显微镜: JSM-6510LV10800 型, 日本 JEOL 公司;

红外光谱仪: Spectrum 100 型, 美国 PerkinElmer 公司。

## 1.3 试验方法

1.3.1 辣木籽壳的预处理 将辣木籽壳洗净、烘干、粉碎后过筛, 取一定质量辣木籽壳粉于烧杯中, 加入超纯水 [料液比 1 : 20 (g/mL)], 70 °C 水浴搅拌 2 h 后离心 (8 000 r/min, 10 min) 并弃去上清液, 重复 2 次以除去可溶性糖等杂质, 烘干至恒重, 置于密封袋中留用。

1.3.2 亚甲基蓝溶液标准曲线的绘制 取 1 g 亚甲基蓝溶于水后定容至 1 L, 得到 1 g/L 的亚甲基蓝溶液, 分别取 0.5, 0.8, 1.0, 1.6, 2.0 mL 的 1 g/L 亚甲基蓝溶液定容至 200 mL, 得到 2.5, 4.0, 5.0, 8.0, 10.0 mg/L 的亚甲基蓝溶液, 用氢氧化钠溶液和盐酸调节溶液 pH 值至 6.0 ± 0.2, 在 664 nm 处分别测定吸光度, 绘制成亚甲基蓝溶液浓度标准曲线。

### 1.3.3 单因素试验

(1) 吸附时间: 固定辣木籽壳加入量 10 g/L、颗粒大小 > 80 目、温度 35 °C、亚甲基蓝溶液初始浓度 200 mg/L、pH 6、震荡速率 160 r/min, 设置吸附时间为 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 h, 考察吸附时间对吸附的影响。

(2) 颗粒大小: 固定辣木籽壳加入量 10 g/L、温度 35 °C、亚甲基蓝溶液初始浓度 200 mg/L、pH 6、吸附时间 1.5 h、震荡速率 160 r/min, 设置颗粒大小 20~40, 40~60, 60~80, 80~100, >100 目, 考察颗粒大小对吸附的影响。

(3) 温度: 固定辣木籽壳加入量 10 g/L、颗粒大小 > 80 目、亚甲基蓝溶液初始浓度 200 mg/L、pH 6、吸附时间 1.5 h、震荡速率 160 r/min, 设置温度为 25, 30, 35, 40, 45 °C, 考察温度对吸附的影响。

(4) 亚甲基蓝溶液初始浓度: 固定辣木籽壳加入量 10 g/L、颗粒大小 > 80 目、温度 25 °C、pH 6、吸附时间 1.5 h、震荡速率 160 r/min, 设置亚甲基蓝溶液初始浓度为 100, 200, 400, 600, 800, 1 000 mg/L, 考察亚甲基蓝溶液浓度对吸附的影响。

(5) pH: 固定辣木籽壳加入量 10 g/L、颗粒大小 > 80 目、温度 25 °C、亚甲基蓝溶液初始浓度 200 mg/L、吸附时间 1.5 h、震荡速率 160 r/min, 设置 pH 为 3, 5, 7, 9, 11, 考察 pH 对吸附的影响。

1.3.4 吸附理论公式 辣木籽壳对亚甲基蓝的吸附量  $Q$  按式(1)计算, 吸附率  $\eta$  按式(2)计算<sup>[15]</sup>:

$$Q = \frac{(C_0 - C_e)V}{M}, \quad (1)$$

$$\eta = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

$Q$ ——吸附量, mg/g;

$\eta$ ——吸附率, %;

$C_0$ ——亚甲基蓝的初始浓度, mg/L;

$C_e$ ——吸附平衡时亚甲基蓝溶液的浓度, mg/L;

$V$ ——亚甲基蓝溶液的体积, L;

$M$ ——辣木籽壳的用量, g。

吸附等温线用来描述吸附剂与被吸附分子间的作用情况, 采用 Langmuir 和 Freundlich 吸附模型对数据进行拟合<sup>[16]</sup>, 其拟合公式分别见式(3)、(4)。

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_m} + \frac{1}{Q_m K_L}, \quad (3)$$

$$\ln Q_e = \frac{\ln C_e}{n} + \ln K_F, \quad (4)$$

式中:

$Q_e$ ——平衡吸附量, mg/g;

$Q_m$ ——饱和吸附量, mg/g;

$K_L$ ——Langmuir 吸附平衡常数, L/mg;

$K_F$ ——Freundlich 常数, mg/g;

$1/n$ ——吸附指数。

为进一步研究吸附过程的动力学特性, 将试验数据分别用准一级、准二级动力学模型和粒子内扩散模型进行拟合分析。式(5)、(6)分别为准一级和准二级动力学的线性拟合方程式<sup>[17]</sup>, 式(7)为粒子内扩散模型<sup>[18]</sup>。

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_h - k_1 t, \quad (5)$$

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{t}{Q_h} + \frac{1}{k_2 Q_h^2}, \quad (6)$$

$$Q_t = k_{ii} t^{1/2} + C_i, \quad (7)$$

式中:

$t$ ——吸附时间, h;

$Q_t$ —— $t$  时的吸附量, mg/g;

$Q_h$ ——理论平衡吸附量, mg/g;

$k_1$ ——准一级吸附速率常数,  $h^{-1}$ ;

$k_2$ ——准二级吸附速率常数,  $g/(mg \cdot h)$ ;

$k_{ii}$ ——粒子内扩散速率常数,  $mg/(g \cdot h^{1/2})$ ;

$C_i$ ——截距。

1.3.5 辣木籽壳表征 采用扫描电镜检测辣木籽壳在吸

附前后的微观表面形貌变化,将样品固定在样品架上并喷射一层薄金,高真空条件下,在 15 kV 的加速电压下进行 SEM 检测并选取具有代表性的区域拍摄。

采用溴化钾压片法对辣木籽壳吸附前后官能团变化进行红外光谱分析,使用红外光谱仪进行扫描,扫描范围  $4\ 000\sim 400\text{ cm}^{-1}$ ,光谱分辨率  $1\text{ cm}^{-1}$ ,扫描次数 32 次。

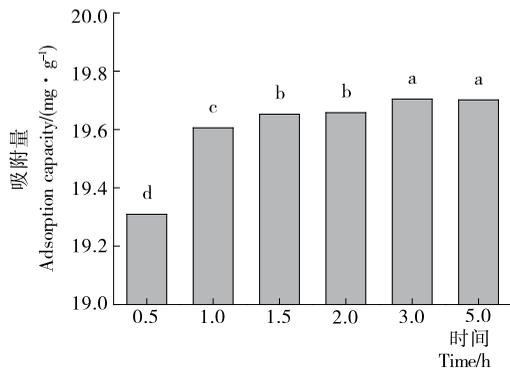
#### 1.4 数据处理

各试验重复 2 次,各样品的指标进行 3 次平行测定,以平均值±标准偏差表示结果。使用 SPSS 18.0 软件对数据进行单因素方差分析( $P<0.05$  时判断组间存在显著差异),用 Origin 8.0 软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 辣木籽壳对亚甲基蓝的吸附

2.1.1 吸附时间对吸附的影响 由图 1 可知,吸附 0.5 h 后,亚甲基蓝的吸附量迅速达到 19.31 mg/g,随着时间延长到 1.5 h,吸附量提升到 19.65 mg/g,进一步延长吸附时间,吸附量趋于平衡,于 5 h 时达到 19.70 mg/g。这是由于吸附初期,辣木籽壳表面有许多吸附位点,且溶液与吸附剂表面的浓度梯度较大,吸附推动力大,促进吸附的进行。随着时间的延长,表面的吸附位点逐渐被占据,溶液中亚甲基蓝的浓度减小,吸附推动力减小,导致吸附明显减缓。为节约时间、提升效率,后续试验吸附时间采用 1.5 h。

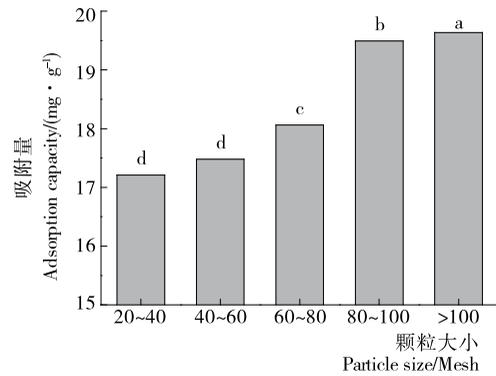


不同字母表示差异显著,  $P<0.05$

图 1 吸附时间对吸附量的影响

Figure 1 Effect of adsorption time on adsorption capacity

2.1.2 颗粒大小对吸附的影响 由图 2 可知,随着粒径的减小,吸附量呈增加趋势,由 17.21 mg/g 增加至 19.64 mg/g。这是因为颗粒越小,单位质量的辣木籽壳粉总表面积越大,表面可参与吸附的位点就越多,吸附能力也就越强,与杜磊<sup>[19]</sup>的报道类似。但考虑到 80~100 目(19.49 mg/g)与 >100 目(19.64 mg/g)的吸附量接近,而且颗粒越小制备工序越复杂,原料损失越多,后续试验采用 >80 目的辣木籽壳粉。

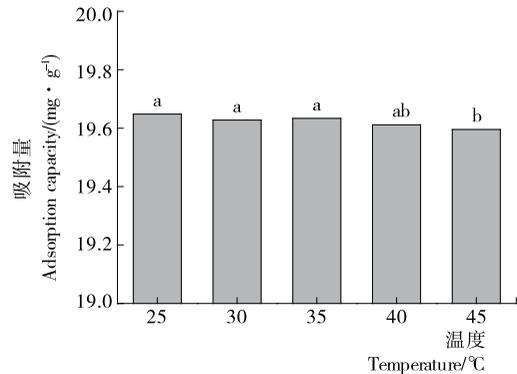


不同字母表示差异显著,  $P<0.05$

图 2 颗粒大小对吸附量的影响

Figure 2 Effect of particle size on adsorption capacity

2.1.3 温度对吸附的影响 由图 3 可知,温度由 25 °C 升至 45 °C 时,吸附量由 19.65 mg/g 降至 19.59 mg/g,且随着温度的上升,最初吸附量变化不显著,但是当温度 >40 °C 时吸附量呈现减少趋势,表明此吸附过程放热,吸附在室温下即可进行。后续试验在 25 °C 室温条件下进行。



不同字母表示差异显著,  $P<0.05$

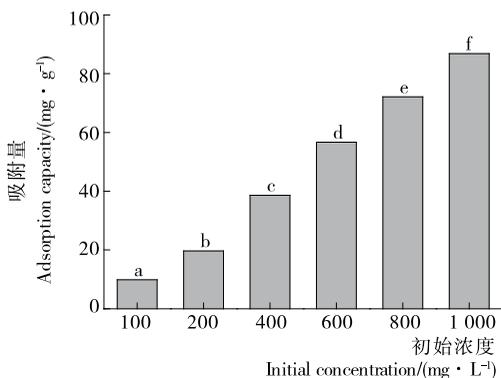
图 3 温度对吸附量的影响

Figure 3 Effect of temperature on adsorption capacity

2.1.4 亚甲基蓝溶液初始浓度对吸附的影响 由图 4、5 可知,随着亚甲基蓝溶液浓度由 100 mg/L 增大到 1 000 mg/L,吸附量由 9.85 mg/g 增加到 86.76 mg/g,吸附率由 98.54% 降低到 86.76%。这是因为随着浓度的增大,溶液与吸附剂表面的浓度梯度压升高,吸附推动力增大,从而使吸附量增加,与赵睿等<sup>[20]</sup>报道的类似。但是吸附位点的数量是有限的,当吸附位点吸附饱和后,并不能吸附更多亚甲基蓝,导致其吸附率呈下降趋势。在吸附率较高且能较充分吸附的前提下,后续试验亚甲基蓝溶液浓度采用 200 mg/L。

2.1.5 pH 对吸附的影响 由图 6 可知,当  $\text{pH}<5$  时,随着 pH 的升高吸附量迅速增加,这是因为亚甲基蓝在溶液中带正电荷,而酸性溶液中含有大量的  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}^+$  与亚甲基

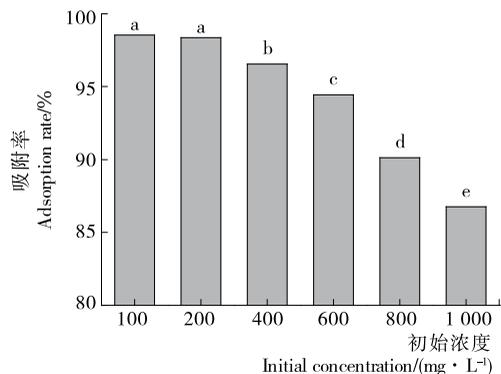
蓝形成竞争关系,共同占据吸附位点,抑制了亚甲基蓝的吸附,这与郝一男等<sup>[21]</sup>报道的类似。pH 由 5 增加到 11 时,吸附量由 19.67 mg/g 增加到 19.78 mg/g,表明碱性环境有利于亚甲基蓝的吸附。但考虑到废水的 pH 范围较大,实际应用中可采用 pH>5 进行吸附。



不同字母表示差异显著, P<0.05

图 4 亚甲基蓝初始浓度对吸附量的影响

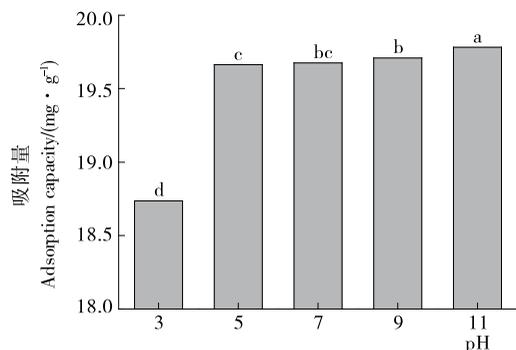
Figure 4 Effect of methylene blue initial concentration on adsorption capacity



不同字母表示差异显著, P<0.05

图 5 亚甲基蓝初始浓度对吸附率的影响

Figure 5 Effect of methylene blue initial concentration on adsorption rate



不同字母表示差异显著, P<0.05

图 6 pH 对吸附量的影响

Figure 6 Effect of pH on adsorption capacity

## 2.2 吸附数据分析

2.2.1 吸附等温模型 采用 Langmuir 和 Freundlich 吸附方程分别对 25 °C 时辣木籽壳吸附不同初始浓度的亚甲基蓝溶液所得数据进行拟合,结果如表 1 所示。由表 1 可知, Langmuir ( $R_1^2 = 0.9854$ ) 和 Freundlich ( $R_2^2 = 0.9664$ ) 吸附模型都能较好地反映吸附过程,但是辣木籽壳对亚甲基蓝的吸附更符合 Langmuir 模型,表明辣木籽壳表面性质较为均一,吸附过程主要为单分子层吸附。辣木籽壳对亚甲基蓝的饱和吸附量为 94.25 mg/g, Freundlich 模型吸附参数  $1/n < 0.5$ ,表明辣木籽壳对亚甲基蓝有较强的吸附能力。

表 1 辣木籽壳对亚甲基蓝吸附等温线拟合参数

Table 1 Adsorption isotherm fitting parameters of methylene blue on moringa seed shell

Langmuir 吸附模型			Freundlich 吸附模型		
$Q_m / (mg \cdot g^{-1})$	$K_L / (L \cdot mg^{-1})$	$R_1^2$	$K_F / (mg \cdot g^{-1})$	$1/n$	$R_2^2$
94.25	0.0584	0.9854	10.01	0.4645	0.9664

2.2.2 吸附动力学模型 采用准一级、准二级动力学方程和内扩散方程分别对 35 °C 时不同时间的吸附数据进行拟合,结果如表 2 所示。由表 2 可知,准二级动力学模型拟合常数  $R_1^2$  为 1.0000,平衡吸附量的计算值 (19.74 mg/g) 和试验值 (19.70 mg/g) 非常接近,能更好地反映辣木籽壳粉吸附亚甲基蓝的过程。颗粒内扩散模型拟合常数  $R_2^2$  为 0.4810,拟合程度较差,不存在线性关系,表明辣木籽壳粉吸附亚甲基蓝可能由外部扩散、表面吸附和颗粒内扩散等过程共同控制,与 Arami 等<sup>[22]</sup>报道的类似。

## 2.3 辣木籽壳表征分析

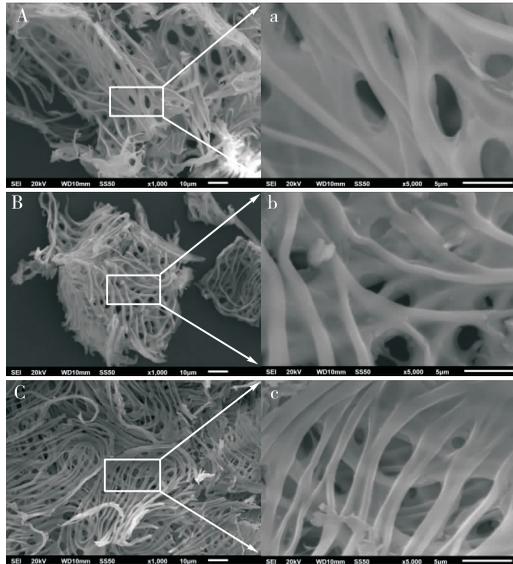
2.3.1 SEM 分析 通过扫描电镜对辣木籽壳的微观表面形貌进行观察,结果如图 7 所示。水浴除杂后辣木籽壳表面杂质含量较少,含丰富的纤维结构,有大量的孔隙且分布较为均匀,有利于亚甲基蓝分子的吸附。对比图 7 中的 a 和 b 发现,吸附前后辣木籽壳表面变化不明显,但吸附后纤维结构表面不如吸附前平滑,表明可能有发生在分子层面的物理和化学变化;吸附前后纤维结构变化不明显,表明辣木籽壳纤维结构比较稳定,作为吸附剂在回收利用方面可能有较好的发展前景。另外,对比图 7 中的 A 和 C 可知,辣木籽壳粉粒径越大,其纤维结构排列越紧凑,与亚甲基蓝可接触面积越小,越不利于吸附,在吸附剂易制得的前提下应尽量减小粒径。

2.3.2 FTIR 分析 图 8 是辣木籽壳在 4000~400  $cm^{-1}$  的傅里叶红外光谱。吸附前后吸收峰形状变化不明显,表明辣木籽壳主要基团及结构未被破坏,吸附过程主要

表 2 辣木籽壳吸附亚甲基蓝的动力学拟合参数

Table 2 Adsorption kinetics fitting parameters of methylene blue on moringa seed shell

准一级模型			准二级模型			内扩散模型	
$k_1/h^{-1}$	$Q_h/(mg \cdot g^{-1})$	$R^2_1$	$k_2/(g \cdot mg^{-1} \cdot h^{-1})$	$Q_h/(mg \cdot g^{-1})$	$R^2_2$	$K_{ii}/(mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1/2})$	$R^2_3$
0.971 7	0.345 5	0.971 7	0.159 5	19.74	1.000 0	0.210 3	0.481 0



A,a. 分别是 >80 目辣木籽壳粉吸附前放大 1 000,5 000 倍;  
B,b. 分别是 >80 目辣木籽壳粉吸附后放大 1 000,5 000 倍;  
C,c. 分别是 20~40 目辣木籽壳粉吸附前放大 1 000,5 000 倍

图 7 辣木籽壳粉的扫描电镜图

Figure 7 SEM images of moringa seed shell powder

是物理吸附;吸收峰强度及位置发生部分改变,表明吸附过程中存在化学变化。吸附前 3 350  $cm^{-1}$  处强宽峰是纤维素中—OH 的伸缩振动峰,2 925,2 854  $cm^{-1}$  处是纤维素中—CH 的不对称和对称伸缩振动峰,1 743,1 655  $cm^{-1}$  处是纤维素和木质素中 C—O 的伸缩振动峰,1 511,1 462  $cm^{-1}$  处是木质素中苯环 C=C 的伸缩振动峰和—CH<sub>2</sub> 的弯曲振动峰,1 331  $cm^{-1}$  处是木质素中 C—N 的伸缩振动峰,1 160,1 108,1 058,1 034  $cm^{-1}$  处是纤维素、半纤维素中—C—O—的伸缩振动峰,896,857,812  $cm^{-1}$  是纤维素的特征吸收峰<sup>[23-25]</sup>。吸附亚甲基蓝后,部分峰的位置发生偏移,如 3 350→3 346  $cm^{-1}$ ,1 743→1 741  $cm^{-1}$ ,1 160→1 159  $cm^{-1}$ ,峰的强弱也发生了改变,在 3 350,2 925,2 854,1 655,1 511,1 462,1 108  $cm^{-1}$  等处峰的强度减弱,表明辣木籽壳中纤维素、半纤维素、木质素的—OH、C=C、C—O、C—N、—CH、—CH<sub>2</sub> 等官能团与亚甲基蓝存在化学反应;在 1 331  $cm^{-1}$  处峰的强度增强,表明有 C—N 的引入,1 600  $cm^{-1}$  处出现的新峰对应的是芳环相关官能团,这是因为辣木籽壳吸附了亚甲基蓝引入新的官能团所致,与常春等<sup>[26]</sup>报道的类似。

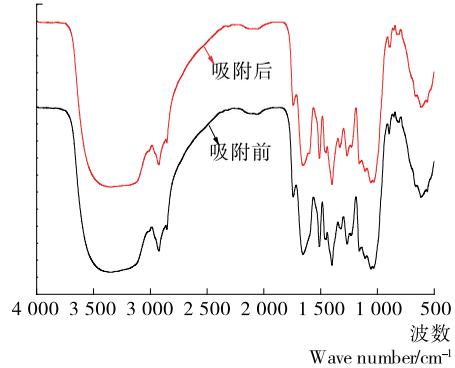


图 8 辣木籽壳的红外光谱

Figure 8 Infrared spectra of moringa seed shell

### 3 结论

辣木籽壳可有效去除水中的亚甲基蓝,对亚甲基蓝的吸附符合 Langmuir 模型,最大理论饱和吸附量为 94.25 mg/g;准二级动力学模型得出的理论平衡吸附量与实测量相近,能更好地反映辣木籽壳吸附亚甲基蓝的过程;扫描电镜和红外光谱图谱分析表明辣木籽壳对亚甲基蓝的吸附为物理吸附和化学吸附共同作用的结果,且以物理吸附为主。

吸附后的吸附剂经解吸可延长其使用周期,后续试验拟对辣木籽壳吸附后的解吸性能进行研究,考察其回收利用的可行性;本试验仅研究了辣木籽壳在废水处理方面的应用,后续试验将探索其在油脂脱色脱臭等领域的应用,以实现辣木籽壳的高附加值利用。

### 参考文献

[1] ALMEIDA C A P, DEBACHER N A, DOWNS A J, et al. Removal of methylene blue from colored effluents by adsorption on montmorillonite clay[J]. Journal of Colloid & Interface Science, 2009, 332(1): 46-53.  
[2] BONETTO L R, FERRARINI F, MARCO C D, et al. Removal of methyl violet 2B dye from aqueous solution using a magnetic composite as an adsorbent[J]. Journal of Water Process Engineering, 2015, 6(6): 11-20.  
[3] PEREIRA L, ALVES M. Dyes-Environmental Impact and Remediation[M]. Environmental Protection Strategies for Sustainable Development, 2012, 79(9): 111-162.  
[4] RECK I M, PAIXAO R M, BERGAMASCO R, et al. Removal of tartrazine from aqueous solutions using adsorbents

- based on activated carbon and moringa oleifera seeds [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 171(9): 85-97.
- [5] BHATNAGAR A, MINOCHA A K. Biosorption optimization of nickel removal from water using Punica granatum, peel waste[J]. Colloids & Surfaces B Biointerfaces, 2010, 76(2): 544.
- [6] 李瑞月, 陈德, 李恋卿, 等. 不同作物秸秆生物炭对溶液中  $Pb^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$  的吸附[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(5): 1 001-1 008.
- [7] 范琼, 张学亮, 张弦, 等. 橘子皮对水中亚甲基蓝的吸附性能研究[J]. 中国生物工程杂志, 2007, 27(5): 85-89.
- [8] 李玲, 全沁果, 敖艳, 等. 花生壳对水土污染物吸附的研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(7): 367-371.
- [9] 吴春, 高彦杰, 刘宁. 玉米芯吸附处理工业废水中染料的方法研究[J]. 食品科学, 2007, 28(8): 188-191.
- [10] 刘凤霞, 王苗苗, 赵有为, 等. 辣木中功能性成分提取及产品开发生的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(19): 282-286.
- [11] 帖靖玺, 邵天元, 田欣, 等. 辣木籽粕粗提液对水中浊度及水质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2014, 48(2): 214-218.
- [12] 潘庚华. 辣木籽吸附  $Cu(II)$  的性能研究[J]. 广东化工, 2013, 40(3): 48-49.
- [13] 伍斌, 邹一. 辣木籽对水中  $Cr(VI)$  的吸附机理及吸附动力学研究[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2015, 46(4): 576-580.
- [14] 杨东顺, 樊建麟, 邵金良, 等. 辣木不同部位主要营养成分及氨基酸含量比较分析[J]. 山西农业科学, 2015, 43(9): 1 110-1 115.
- [15] 刘巍, 朱晓莲, 张丽青. 改性菌糠对水中亚甲基蓝的吸附[J]. 天津工业大学学报, 2017, 36(6): 39-44.
- [16] 潘悦, 王利萍, 郑辛格, 等. 花生壳纤维素的制备及其对水中亚甲基蓝吸附的研究[J]. 化学研究与应用, 2016, 28(10): 1 396-1 404.
- [17] 储磊, 刘少敏, 陈天明, 等. KOH 活化花生壳生物质炭对亚甲基蓝吸附性能研究[J]. 环境工程学报, 2014, 8(11): 4 737-4 742.
- [18] OLGUN A, ATAR N. Equilibrium and kinetic adsorption study of Basic Yellow 28 and Basic Red 46 by a boron industry waste[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 161(1): 148-156.
- [19] 杜磊, 胡萝卜渣对  $Cu^{2+}$  的吸附作用及吸附机理[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(11): 117-120.
- [20] 赵睿, 王小亮, 党芳芳, 等. 新型吸附剂的制备及其对亚甲基蓝吸附的研究[J]. 化工新型材料, 2015, 43(6): 216-218.
- [21] 郝一男, 王喜明, 丁立军. 超声波处理文冠果壳制备的活性炭对亚甲基蓝溶液的吸附[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(11): 77-82.
- [22] ARAMI M, LIMAE N Y, MAHMOODI N M. Evaluation of the adsorption kinetics and equilibrium for the potential removal of acid dyes using a biosorbent[J]. Chemical Engineering Journal, 2008, 139(1): 2-10.
- [23] 王建坤, 范新宇, 郭晶, 等. 孔径对多孔马铃薯淀粉结构及吸附性能的影响[J]. 化工进展, 2017, 36(2): 665-671.
- [24] 刘侠, 高立国, 陈碧. 杏核壳对阳离子染料的吸附研究[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(10): 2 780-2 785.
- [25] 罗文超, 刘淑敏, 黄惠华. 改性竹笋纤维水凝胶的制备与表征及其对亚甲基蓝吸附性能研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(3): 165-171.
- [26] 常春, 刘天琪, 王瑀婷, 等. 水热法制备玉米叶基生物炭对亚甲基蓝的吸附性能研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(7): 2 680-2 690.

## 信息窗

### 澳研究：蓝莓可抑制口腔细菌 降低蛀牙风险

据英国《每日邮报》1月8日消息,澳大利亚研究人员表示,蔓越莓和蓝莓能极大降低蛀牙风险。英国口腔健康基金也发布了一项报告,称每天吃一把莓类水果能减少口腔健康问题。

澳洲昆士兰大学的研究员检测了蔓越莓、蓝莓和草莓提取成分对口腔细菌的影响。这一研究表明:莓类水果富含抗氧化剂多酚,可以使牙齿免受自由基侵袭、抗击致牙菌斑的细菌、降低口腔内细菌活动,从而降低蛀牙风险。除此外,蓝莓和蔓越莓富含纤维素和营养物质,还可以预防心脏疾病和癌症。

昆士兰大学牙医学院的 Mr Nebu Philip 建议在抗

击蛀牙时使用“自然武器”水果。口腔健康基金首席执行官 Dr Nigel Carter 也称,“莓类水果提取物完全无糖,这意味着可以将这些自然提取物添加到口腔护理产品。多酚停留在唾液中,即便将其吞咽下去,也会持续有利于口腔,并呼吁在漱口水等牙科产品中添加蓝莓提取物。”

那应该怎样食用莓类水果呢?专家称,莓类水果富含自然糖分,最好在早餐或晚餐后食用,而不是当零食吃。蔓越莓味道偏酸,蓝莓可以和早餐麦片或酸奶一起吃。

(来源: <http://www.cifst.org.cn>)