

Study on Preparation of Activated Carbon from Waste Sawdust by Microwave Irradiation and Treatment of Methyl Orange Wastewater

Hongwei Yu, Yue Cheng, Hailun Zhong, Siyao Chen, Xinrui Wang, Yiwen Chen

Materials Science and Engineering of Jingdezhen Ceramic University, Jingdezhen Jiangxi
Email: cy_jci@163.com

Received: Aug. 20th, 2017; accepted: Sep. 11th, 2017; published: Sep. 18th, 2017

Abstract

Waste wood chips were prepared by microwave irradiation with Na_2CO_3 as activator. Based on the level design and response surface analysis method in Design expert software, the activated charcoal was prepared under microwave condition. The yield of activated carbon was determined by stepwise regression analysis. Through stepwise regression analysis, the two regression models were established for the effects of microwave time, sawdust fineness, solid-liquid ratio and activator concentration on the yield of activated carbon and the decolorization capacity of methyl orange. The decisive coefficients of the regression equation were 0.9866 and 0.9978, respectively. The optimum conditions of carbonization were as follows: microwave irradiation time—8.02 min, sawdust fineness—40~60 mesh, solid-liquid ratio—1:1.5, activator concentration—21.5%, under which the yield of activated wood was 54.9%, the decolorization rate of methyl orange reached 89.56%. The preparation of activated carbon by microwave irradiation, with short heating time and low energy consumption, is a green chemical process made by activated carbon. It can also be used to save waste materials and provide a reasonable way for the waste wood sawdust to be disposed.

Keywords

Waste Wood Chips, Microwave Irradiation Method, Activated Carbon, Response Surface Analysis, Methyl Orange

微波辐照废木屑制备活性炭及处理甲基橙废水的研究

余宏伟, 成岳, 钟海伦, 陈思瑶, 王鑫蕊, 谌怡雯

景德镇陶瓷大学材料科学与工程学院, 江西 景德镇
Email: cy_jci@163.com

收稿日期: 2017年8月20日; 录用日期: 2017年9月11日; 发布日期: 2017年9月18日

摘要

以常见的木材厂废木屑作为原料, 通过微波辐照以 Na_2CO_3 为活化剂, 制备废木屑活性炭。利用Design expert软件中水平设计和响应面分析法对微波条件下废木屑制备活性炭进行了优化, 经过逐步回归分析建立了微波时间、木屑细度、固液比以及活化剂浓度对活性炭的产率和对甲基橙脱色力影响的二次回归模型。产率和脱色率的回归方程的决定系数分别达到了0.9866和0.9978。得到较优的碳化条件为: 微波辐照时间8.02分钟、木屑细度40~60目、固液比1:1.5、活化剂浓度21.5%, 该条件下废木屑活性炭的产率达到54.9%, 对甲基橙的脱色率达到89.56%。微波辐照法制备活性炭, 加热时间短, 能耗低, 是活性炭制备的绿色化学工艺, 且实现变废为宝, 可为废木屑的资源化处置提供一条合理的途径。

关键词

废木屑, 微波辐照法, 活性炭, 响应面分析法, 甲基橙

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

活性炭是一种常见的碳质多孔吸附材料, 其吸附性能优异[1], 与其他吸附剂(树脂类、硅胶、沸石)相比, 具有比表面积高、孔隙结构发达、表面含有多种官能团、机械性能稳定等优点, 在吸附、分离、催化、气体吸附及存储电容器的制备等领域的应用非常广泛[2] [3] [4] [5]。活性炭的孔隙结构主要取决于原料性质以及活化工艺。目前常用的活化方法有化学活化法与物理活化法, 化学活化法对生物质更为有效。化学法一般使用 NaOH 、 Na_2CO_3 、 KOH 以及 H_3PO_4 等化学药品[6] [7]。

江西省是林业大省, 植物纤维性资源十分丰富, 但绝大部分作为廉价燃料燃烧或任意排放, 这不仅造成了资源浪费, 还带来严重的环境污染[8] [9]。利用微波辐照技术, 将这些废木屑变废为宝, 用它们生产重要的化工原料——活性炭, 不仅为废木屑的处理提供了新的处理方法, 还能带来可观的经济效益, 而微波法耗时少, 能耗低, 达到节能减排的目的。

响应曲面回归分析方法在材料研究中应用非常广泛, 通过研究反应体系中各因素对反应的影响, 可确定最优的操作过程, 这充分展现了它的优点, 具有卓越的先进性[10] [11]。

本文以木材厂废木屑为原料, 以微波辐射为热源, 利用化学活化法制备废木屑活性炭, 利用 Design expert 软件中水平设计和响应面分析法对实验条件进行优化。制备废木屑活性炭, 利用 Design expert 软件中水平设计和响应面分析法对实验条件进行优化。

2. 试验

2.1. 主要试剂和仪器

废木屑取自景德镇市某木料厂, 自然风干、粉碎。碳酸钠、盐酸和甲基橙(A.R., 国药集团化学药剂

有限公司)。

仪器：格兰仕微波炉(M1-L236A 23L, 800 W, 美的智能微波炉光波炉)、电热干燥箱(XMTA-808 余姚市长江温度仪表厂)、恒温水浴振荡器(SHA-B, 金坛市荣华仪器制造有限公司), 紫外可见分光光度计(UV5100B, 上海元析仪器有限公司), 超纯水机(AKDL-II-16 型, 成都康宁实验专用纯水设备厂), 扫描电子显微镜(SU8010 型日本日立 HITACHI 公司)。

2.2. 试验过程

对活性炭制备过程中的微波时间、木屑细度、固液比以及活化剂浓度四因素分别进行水平筛选及优化, 确定其反应取值范围。根据单因素实验结果, 以微波时间、木屑细度、固液比以及活化剂浓度四因素进行响应面实验设计, 以产率和甲基橙脱色率为响应指标。通过 Design expert 软件对实验数据进行回归分析, 预测活性炭制备过程的最佳反应条件, 实验设计见表 1。以木材厂废木屑制备活性炭的工艺流程如图 1 所示。

制备过程：取自然风干的锯木屑为原料, 粉碎后经过如表 1 因素 B 目数过筛, 然后在 108℃下干燥 24 h, 称取废木 4 g 与 Na₂CO₃ 溶液按表 1 浓度、固液比分别充分混合, 浸渍 24 h 进行活化; 将充分浸渍的样品送入微波炉中进行炭化; 制得的产品经酸洗(采用浓盐酸溶液煮沸 30 min), 再水洗(用温的蒸馏水冲洗直至滤液 pH 值接近于 7), 烘干, 即可得试验产品。

$$\text{固液比} = \frac{\text{木屑重量}}{(\text{浸渍样品重量} - \text{木屑重量})}$$

2.3. 活性炭的性能测试和表征

本实验采用废木屑制备的活性炭来吸附甲基橙溶液, 通过查资料可知, 活性炭在可见光区域对甲基橙标样进行全程扫描, 确定甲基橙最大吸收波长 505 nm [12], 由比尔定律知, 在一定浓度范围内, 甲基橙浓度与其吸光度成正比。用分光光度计在 505 处测量抽取溶液样品吸附前后的吸光度, 则其脱色率为:

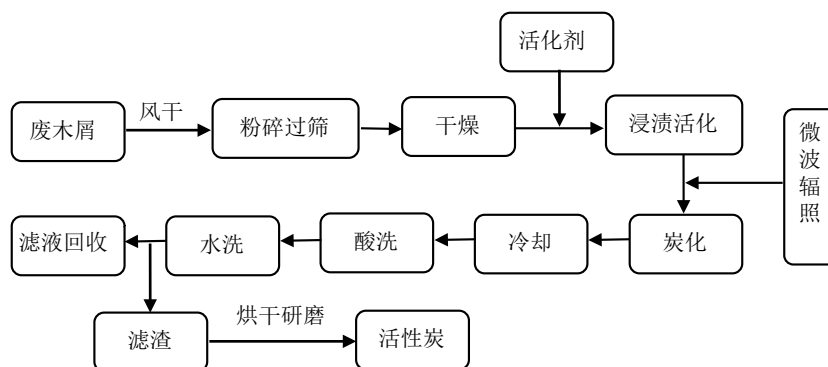


Figure 1. Process flow diagram of activated carbon prepared from waste wood chips

图 1. 废木屑制备活性炭工艺流程图

Table 1. Factors and levels

表 1. 因素水平表

水平	因素			
	A: 时间/min	B: 目数	C: 固液比	D: Na ₂ CO ₃ 浓度/%
-1	8	20~40	1:1	25
0	10	40~60	1:1.5	20
1	12	60~80	1:2	15

$$X = (A_0 - A_e) / A_0 \times 100\%$$

式中： A_0 为吸附前甲基橙溶液的吸光度， A_e 为吸附后甲基橙溶液的吸光度
产率为：

$$Y = m_1 / m_0 \times 100\%$$

式中： Y 为活性炭产率，%； m_0 为样品原料质量，g； m_1 为活性炭产品质量，g。

炭吸附实验：分别取 30 ml 的甲基橙溶液(原溶液吸光度为 2.169) 9 份至于锥形瓶中。称取 9 份 45 mg 活性炭，分别放入到上述甲基橙溶液锥形瓶中，控制适宜的温度(室温)和 pH 值(此处 PH 为所配置的甲基橙的自然 PH)，每组分别吸附 50 min。过滤后于波长 505 处测定甲基橙溶液吸光度 A (通过查资料知，活性炭在可见光区域对甲基橙标样进行全程扫描，其甲基橙最大吸收波长 505 nm)，通过计算脱色率表示活性炭的性能，处理废水后甲基橙残余浓度越小，甲基橙脱色率越高，自制的活性炭的吸附性能越好。通过吸附捕集率判定最佳的辐照时间、目数，固液比，浓度。通过最佳因子配制活性炭，测定其性能。

3. 结果分析与讨论

3.1. 响应面设计结果

实验严格保持活性炭制备过程中的其他实验条件参数相同，对微波时间、木屑细度、固液比以及活化剂浓度进行四因素三水平的响应面分析实验。实验因素水平设计和结果如表 2 所示。产率及脱色率方差分析表如表 3、表 4 所示。

由表 3、表 4 可知，产率及脱色率所建立的回归模型显著，($P < 0.01$)，活化剂浓度与时间对产率有显著影响，固液比与时间及目数与时间有明显的交互作用。活化剂浓度与固液比则对成品活性炭的脱色率(即吸附能力)有显著的影响，其中固液比与时间的交互作用最明显。

3.2. 回归分析

回归表明，产率与脱色率的决定系数分别为 0.9866 和 0.9978，信噪比分别为 38.216 和 92.848。这表明方程的拟合度和可信度均很高，可用于预测制备活性炭产品的产率和脱色率，C.V (变异系数)表示实验本身的精确度，C.V 值越小，实验的可靠性越高，本实验中 C.V 较低，分别为 1.59 和 1.80，说明实验操作可信度高，具有一定的实践指导意义[13]。

3.3. 产率模型分析

由图 2(a)可知，在微波辐照时间较短时，产率较低，固液比对产率影响不大，当固液比为 0.67 时，活性炭的产率随时间出现先增大后减小的趋势，在 9.82 min 左右产率最大。而在时间相同的情况下，随固液比升高产率也会出现先下降后上升的趋势。在活化剂浓度与目数取中间水平，产率为 51.63%时，随着微波辐照时间的增大，固液比相应的减小，且其减小的速率比时间要快，故在产率不变的情况下，适当增加辐照时间可以减少活化剂的用量。由图 2(b)，时间一定，产率随目数增大即废木屑颗粒细度增出现先增大后减小的趋势，在目数为 2.00 (即 40~60)时，产率随时间增大而同样出现先增后减的趋势，并出现峰值，故适当提高废木屑细度可以减少微波辐照时间。而由图 2(c)、图 2(d)、图 2(f)可知，在目数、固液比、时间一定的情况下，产率随活化剂浓度增大而出现先增后减的趋势，对产率影响显著，而在活化剂浓度水平较低时，目数、固液比、时间对产率均无显著影响。图 2(e)中，产率都有随固液比和目数增加而先增后减的趋势，但响应面较平缓，故影响不显著。

对于活性炭产率而言，活化剂决定了制备过程中木屑的碳化程度，活化剂不足，碳化程度不够，

Table 2. Experimental design and result of response surface analysis
表 2. 响应面分析实验设计及结果

试验号	A	B	C	D	产率		脱色率	
					预测值	实际值	预测值	实际值
1	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	30.81	32.24	60.97	59.68
2	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	31.38	31.03	58.89	55.04
3	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	33.84	32.53	54.86	50.44
4	1.000	1.000	-1.000	-1.000	32.24	31.28	50.85	48.69
5	-1.000	-1.000	1.000	-1.000	31.83	32.06	65.94	65.04
6	1.000	-1.000	1.000	-1.000	31.59	31.59	62.78	61.58
7	-1.000	1.000	1.000	-1.000	36.10	32.99	62.56	60.68
8	1.000	1.000	1.000	-1.000	33.68	31.98	57.47	51.05
9	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	36.06	35.01	72.13	72.14
10	1.000	-1.000	-1.000	1.000	34.20	33.97	73.01	73.30
11	-1.000	1.000	-1.000	1.000	41.93	38.59	70.72	70.33
12	1.000	1.000	-1.000	1.000	37.90	34.92	69.66	64.15
13	-1.000	-1.000	1.000	1.000	37.06	34.68	72.64	73.20
14	1.000	-1.000	1.000	1.000	34.39	32.95	72.44	70.45
15	-1.000	1.000	1.000	1.000	44.16	41.76	73.96	71.40
16	1.000	1.000	1.000	1.000	39.32	34.55	71.83	71.53
17	-2.000	0.000	0.000	0.000	33.10	36.02	71.82	73.26
18	2.000	0.000	0.000	0.000	28.83	32.01	67.61	74.18
19	0.000	-2.000	0.000	0.000	33.58	32.43	82.98	83.16
20	0.000	2.000	0.000	0.000	41.54	48.78	76.26	84.08
21	0.000	0.000	-2.000	0.000	37.98	39.33	58.21	62.87
22	0.000	0.000	2.000	0.000	40.43	45.18	65.34	68.68
23	0.000	0.000	0.000	-2.000	28.44	28.28	38.82	45.89
24	0.000	0.000	0.000	2.000	39.33	45.59	64.34	65.28
25	0.000	0.000	0.000	0.000	55.16	55.16	89.68	89.68
26	0.000	0.000	0.000	0.000	55.16	55.16	89.68	89.68
27	0.000	0.000	0.000	0.000	55.16	55.16	89.68	89.68
28	0.000	0.000	0.000	0.000	55.16	55.16	89.68	89.68
29	0.000	0.000	0.000	0.000	55.16	55.16	89.68	89.68

Table 3. ANOVA of productivity regression model
表 3. 产率回归模型方差分析

方差来源	方差平方和	自由度	均方值	F 值	P 值
模型	2079.19	14	148.51	491.78	<0.0001
A	47.60	1	47.60	157.62	<0.0001
B	208.51	1	208.51	690.43	<0.0001
C	200.57	1	200.57	664.14	<0.0001
D	1212.11	1	1212.11	4013.71	<0.0001
AB	0.14	1	0.14	0.48	0.4998
AC	1.95	1	1.95	6.44	0.0227
AD	0.41	1	0.41	1.36	0.2624

Continued

BC	1.46	1	1.46	4.85	0.0437
BD	0.060	1	0.060	0.20	0.6621
CD	4.93	1	4.93	16.32	0.0011
A ²	20.08	1	20.08	66.49	<0.0001
B ²	65.31	1	65.31	216.28	<0.0001
C ²	4.97	1	4.97	16.45	0.0010
D ²	335.88	1	335.88	1112.21	<0.0001
残差	4.53	15	0.30		
失拟	4.53	10	0.45		
纯误差	0.000	5	0.000		
总和	2083.72	29			
	决定系数 R ²			0.9978	
	R ² _{Adj}			0.9958	
	信噪比			92.848	
	C.V (%)			1.80	

Table 4. ANOVA of decolorization regression model

表 4. 脱色率回归模型方差分

方差来源	方差平方和	自由度	均方值	F 值	P 值
模型	33.78	14	2.41	79.04	<0.0001
A	5.14	1	5.14	168.45	<0.0001
B	1.72	1	1.72	56.43	<0.0001
C	0.022	1	0.022	0.73	0.4072
D	19.89	1	19.89	651.56	<0.0001
AB	0.089	1	0.089	2.90	0.1093
AC	3.906E-003	1	3.906E-003	0.13	0.7256
AD	0.039	1	0.039	1.28	0.2761
BC	0.13	1	0.13	4.19	0.0587
BD	0.045	1	0.045	1.48	0.2427
CD	0.42	1	0.42	13.73	0.0021
A ²	0.084	1	0.084	2.75	0.1181
B ²	0.20	1	0.20	6.54	0.0219
C ²	2.28	1	2.28	74.74	<0.0001
D ²	2.90	1	2.90	95.08	<0.0001
残差	0.46	15	0.031	0.46	15
失拟	0.46	10	0.046	0.46	10
纯误差	0.000	5	0.000	0.000	5
总和	34.24	29		34.24	29
	决定系数 R ²			0.9866	
	R ² _{Adj}			0.9741	
	信噪比			38.216	
	C.V (%)			1.59	

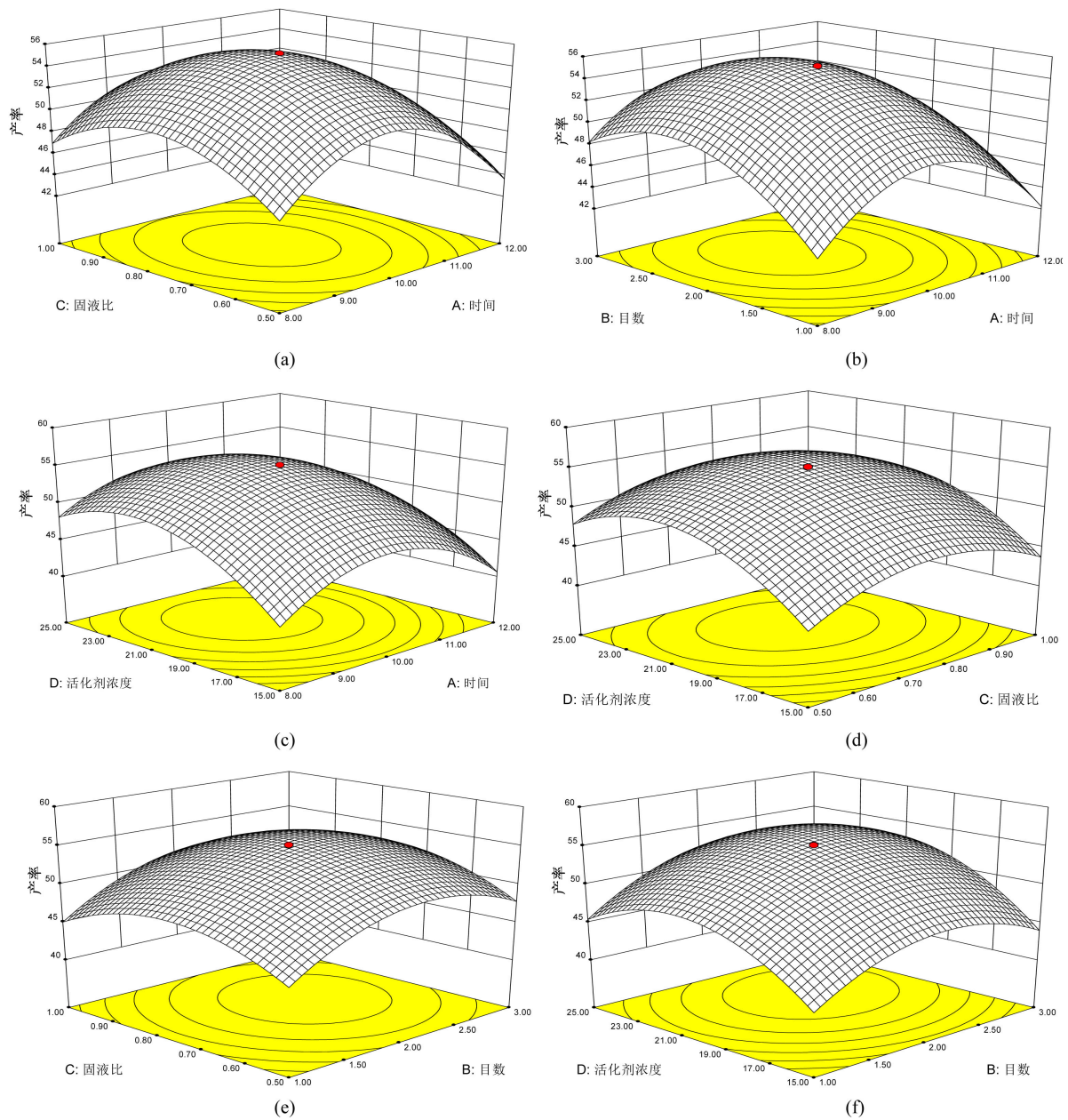


Figure 2. Yield model analysis. (a) Response surface stereogram of $Y_1 = f(A, C)$; (b) Response surface stereogram of $Y_1 = f(A, B)$; (c) Response surface stereogram of $Y_1 = f(A, D)$; (d) Response surface stereogram of $Y_1 = f(C, D)$; (e) Response surface stereogram of $Y_1 = f(B, C)$; (f) Response surface stereogram of $Y_1 = f(B, D)$

图 2. 产率模型分析。(a) $Y_1 = f(A, C)$ 响应面立体图; (b) $Y_1 = f(A, B)$ 响应面立体图; (c) $Y_1 = f(A, D)$ 响应面立体图; (d) $Y_1 = f(C, D)$ 响应面立体图; (e) $Y_1 = f(B, C)$ 响应面立体图; (f) $Y_1 = f(B, D)$ 响应面立体图

产率降低, 活化剂过量, 活化剂在微波辐照过程中, 会有剩余, 导致部分木屑未碳化而致使产率降低; 微波辐照时间不足, 碳化程度不够, 时间过长会使部分灰化, 失去活性[14]。

3.4. 脱色率模型分析

由图 3(a)可知, 当微波辐照时间一定时, 活性炭成品对甲基橙的脱色率随着固液比增大而先升高后降低, 当固液比水平较低时, 时间对脱色率的影响不显著, 当固液比为 0.67 时, 脱色率在时间为 9.82 时

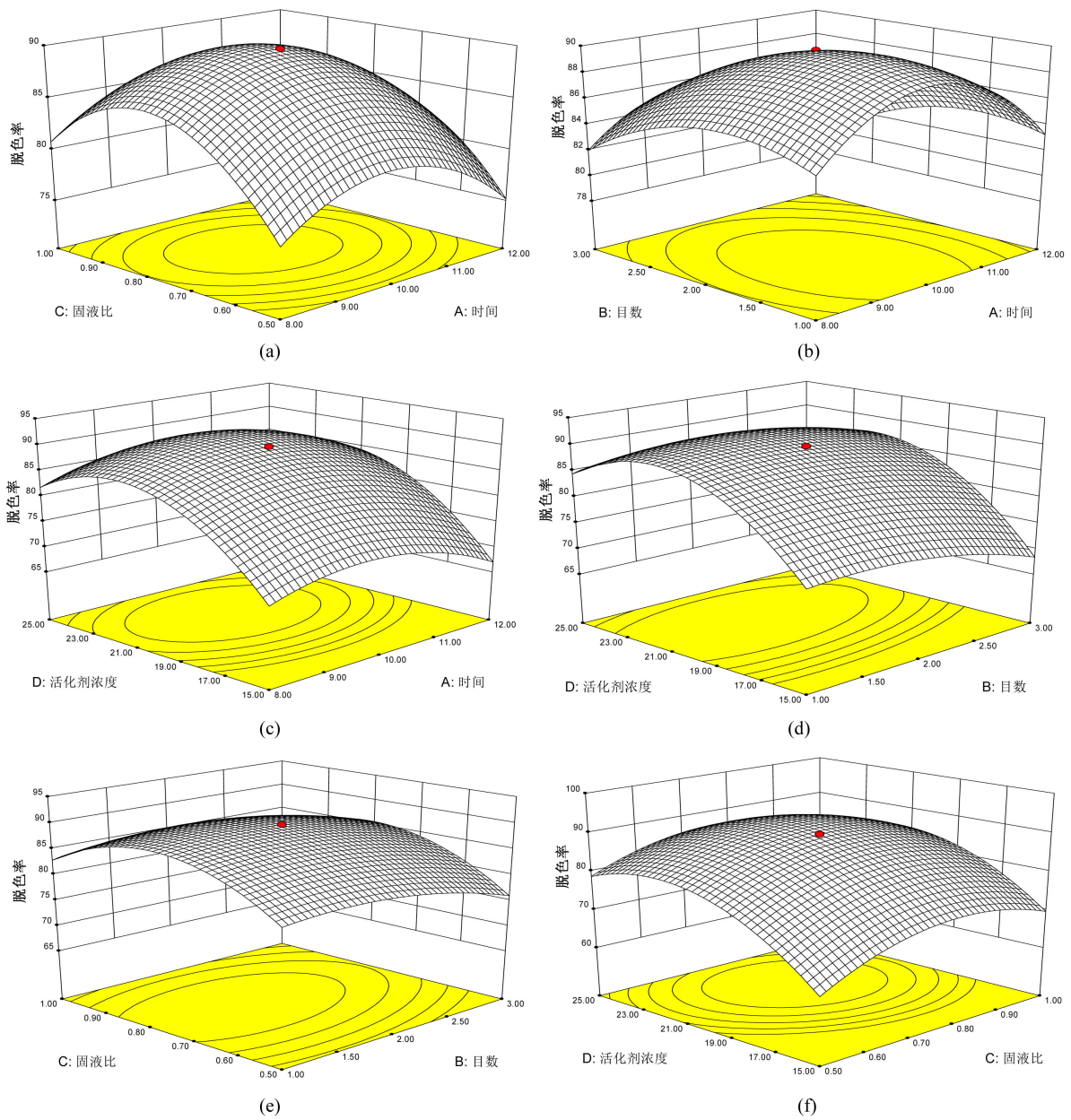


Figure 3. Model analysis of decoloration rate. (a) Response surface stereogram of $Y_2 = f(A, C)$; (b) Response surface stereogram of $Y_2 = f(A, B)$; (c) Response surface stereogram of $Y_2 = f(A, D)$; (d) Response surface stereogram of $Y_2 = f(B, D)$; (e) Response surface stereogram of $Y_2 = f(B, C)$; (f) Response surface stereogram of $Y_2 = f(C, D)$
图 3. 脱色率模型分析。(a) $Y_2 = f(A, C)$ 响应面立体图; (b) $Y_2 = f(A, B)$ 响应面立体图; (c) $Y_2 = f(A, D)$ 响应面立体图; (d) $Y_2 = f(B, D)$ 响应面立体图; (e) $Y_2 = f(B, C)$ 响应面立体图; (f) $Y_2 = f(C, D)$ 响应面立体图

出现峰值。图 3(b)中, 时间为 8 min 时, 目数变化对活性炭成品脱色率影响不大, 目数一定时, 脱色率随着时间增大而先增后减。由图 3(c)、图 3(d)可知, 固液比不论在高水平还是低水平, 目数和时间对脱色率影响都不显著, 而目数和时间一定时, 脱色率都会随活化剂浓度升高而增大。由图 3(e), 响应面较平缓, 目数一定, 脱色率随固液比增大先增后减, 而在固液比一定时, 目数变化对脱色率几乎无影响。有 3(f)可知, 脱色率都会随固液比和活化剂浓度增大而增大并趋于平缓, 且固液比增大趋势小于浓度, 故活化剂对活性炭的脱色能力有决定性影响。

活性炭制备时的活化程度决定了活性炭的脱色能力，活性炭的脱色能力主要取决于本身的孔隙率，而活化剂的主要作用就是促使内部孔隙的生成，但活化剂过量(浓度过高、固液比过小)会导致碳化不完全，反而降低孔隙率[15]。

3.5. 样品表征

图4分别是木屑制备的活性炭实物样品图4(a)和扫描电镜(SEM)图4(b)。由实物照片可以看出，样品为细粒黑色。扫描电镜可以看出，其外表面粗糙，分布着许多镂空的微孔，微孔覆盖面积比较大，但是分布不均匀，其内部呈蜂窝状，孔隙横竖交错，以三维交错的网状孔道贯穿其中，具有发达的孔隙结构，较高的比表面积，然而孔径大小不一致，大小在 $0.2\sim 3\ \mu\text{m}$ 之间孔隙的内表面凹凸不平。由于粗糙的内外表面，以及发达的孔隙，存在大量的毛细通道，使得其可以很好地克服固液之间的阻力，通过毛细作用将吸附到孔隙表面，并利用表面力将其束缚，这构成了活性炭对甲基橙具有物理吸附的主要条件。

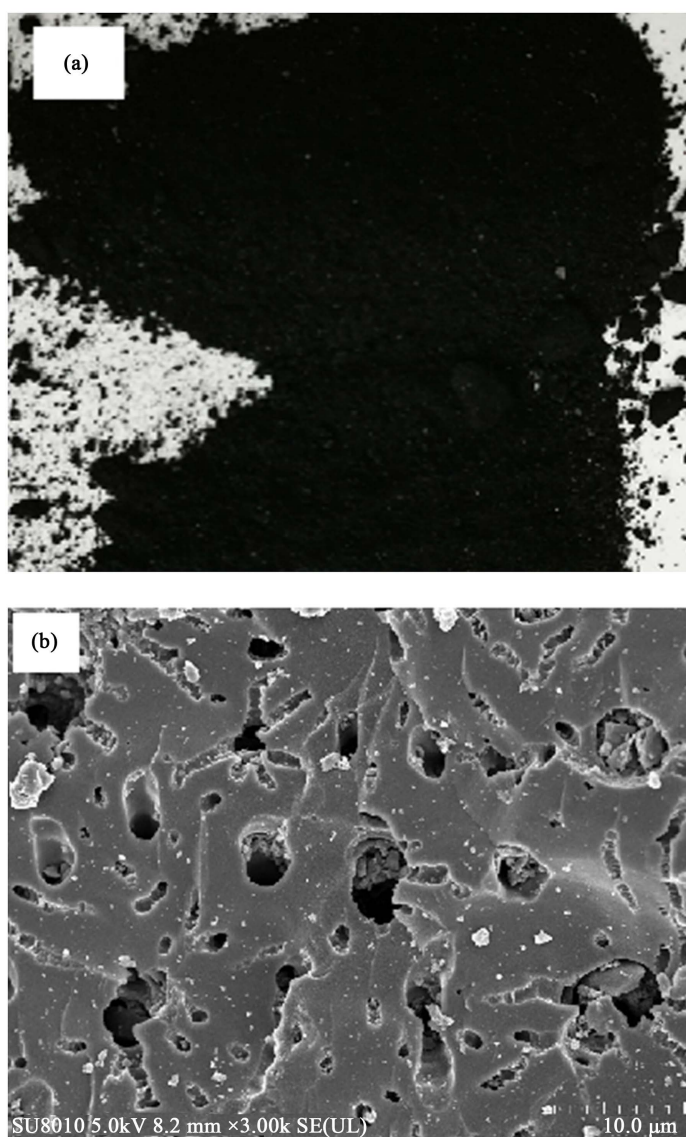


Figure 4. Sample of pictures (a) and SEM (b)
图4. 样品的实物照片(a)和 SEM (b)

4. 结论

1) 以常见的废木屑为原料, 采用微波法处理, 控制好微波加热时间与 Na_2CO_3 浓度, 可以制备出高性能活性炭;

2) 最佳试验配方为: 微波辐照时间 8.02 分钟、木屑细度 40~60 目、固液比 1:1.5、活化剂浓度 21.5%; 该条件下废木屑活性炭的产率达到 54.9%, 对甲基橙的脱色率达到 89.56%。

3) 微波辐照法制备活性炭, 加热时间短, 能耗低, 是活性炭制备的绿色化学工艺, 且实现变废为宝, 可为废木屑的资源化处置提供一条合理的途径。

基金项目

景德镇陶瓷大学创新创业训练计划项目。

参考文献 (References)

- [1] 周颖. 浅谈 KOH 活化法对超级活性炭制备的影响[J]. 石河子科技, 2015(3): 38-40.
- [2] 蒋莉, 马飞, 叶招莲, 张国华, 等. 微波辐照废木屑活性炭制备工艺优化及其应用[J]. 环境工程学报, 2012, 6(12): 4461-4464.
- [3] Christina, C.S., Zaher, H. and Ania, C.U. (2012) Preparation and Characterization of Activated Carbon from Oil Sands Coke. *Fuel*, **92**, 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.07.017>
- [4] Auta, M. and Hameed, B.H. (2011) Preparation of Waste Tea Activated Carbon Using Potassium Acetate as an Activating Agent for Adsorption of Acid Blue 25 Dye. *Chemical Engineering Journal*, **171**, 502-509. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.04.017>
- [5] Mohamad, N.N., Laul, C., Lee, K.T., et al. (2013) Synthesis of Activated Carbon from Lignocellulosic Biomass and Its Applications in Air Pollution Control—A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **1**, 658-666. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.09.017>
- [6] Nasrin, S., Hamza, U.D., Ismail, S.N., et al. (2014) Assessment of Porous Carbons Derived from Sustainable Palm Solid Waste for Carbon Dioxide Capture. *Journal of Cleaner Production*, **71**, 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.053>
- [7] Ozdemiri, I., Şahin, M., Orhan, R., et al. (2014) Preparation and Characterization of Activated Carbon from Grape Stalk by Zinc Chloride Activation. *Fuel Processing Technology*, **125**, 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.04.002>
- [8] Angin, D. (2014) Production and Characterization of Activated Carbon from Sour Cherry Stones by Zinc Chloride. *Fuel*, **115**, 804-811. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.04.060>
- [9] 薛凤莲, 林剑, 赵广杰, 等. 碱木质素改性及其纤维制备研究[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(5): 120-125.
- [10] 杨爽, 康瑞琴. 改性玉米芯活性炭的制备条件研究[J]. 化学工程师, 2015(1): 65-68.
- [11] 徐颖, 李明利, 赵选民, 等. 响应曲面回归分析法——一种新的回归分析法在材料研究中的应用[J]. 稀有金属材料与工程, 2001, 30(6): 428-432.
- [12] Gui, J.S. and Liu, H. (2004) An Intelligent Method for Structural Reliability Analysis Based on Response Surface, *China Ocean Engineering*, **18**, 653-661.
- [13] 陈梁, 辛善志, 米铁, 等. 木质素制备活性炭的工艺及其吸附性能研究[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2017, 45(3): 219-224.
- [14] 林莹, 杨有, 辛志平. 利用 Design Expert 设计优化木薯渣制备羧甲基纤维素钠工艺研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 290-291.
- [15] 郑照强, 夏洪应, 彭金辉, 等. 响应曲面法优化废弃五倍子药渣制取活性炭的研究[J]. 环境污染与防治, 2013, 35(3): 5-9.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：wpt@hanspub.org