

分析测试

Fe₃O₄@AC的制备及其对甲苯磺酸瑞马唑仑分离分析研究

沙 鸥^{1*}, 李慧文², 陈晓兵^{2,3}, 戴欣成², 吴赞帆¹, 徐梓舜¹, 王滋文¹

(1.江苏海洋大学环境与化学工程学院,江苏连云港222005; 2.江苏海洋大学药学院,江苏连云港222005; 3.连云港市第一人民医院,江苏连云港222061)

摘要:采用超声辅助法制备磁性活性炭复合材料(Fe₃O₄@AC)并用作磁分散固相萃取剂,同时与高效液相色谱法联用对甲苯磺酸瑞马唑仑进行了分离分析。实验结果表明,在最佳实验条件下,甲苯磺酸瑞马唑仑浓度与峰面积间呈良好线性关系,线性范围为0.005~1.000 μg/mL,线性相关系数为0.999 5,检出限为3.5 μg/L。以模拟人体尿液作为实际样品进行加标回收验证,加标回收率为86.1%~106.9%,相对标准偏差(RSD)在2.9%~7.2%之间。

关键词:磁分散固相萃取;超声辅助法;甲苯磺酸瑞马唑仑;高效液相色谱法

中图分类号:O65

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2024)05-0247-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.05.044

Preparation of Fe₃O₄@AC and its application in separation and analysis of remazolam tosilate

SHA Ou^{1*}, LI Hui-wen², CHEN Xiao-bing^{2,3}, DAI Xin-cheng², WU Yun-fan¹, XU Zi-shun¹, WANG Zi-wen¹

(1.School of Environmental and Chemical Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China;

2.School of Pharmacy, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China;

3.The First People's Hospital of Lianyungang, Lianyungang 222061, China)

Abstract: Fe₃O₄@AC, a magnetic activated carbon composite material, is prepared via the ultrasonic assisted method, and used as a magnetic dispersion solid-phase extraction agent. Meanwhile, it is used with high-performance liquid chromatography together to separate and analyze remazolam tosilate. Experimental results indicate that under the optimal experimental conditions, there exists a good linear relationship between the concentration of remazolam tosilate and the peak area in the range of 0.005 to 1.000 μg·mL⁻¹, the linear correlation coefficient is 0.999 5, and the detection limit is 3.5 μg·L⁻¹. Taking the simulated human urine as an actual sample for validation, the spiked recovery rate is 86.1%~106.9% and the relative standard deviation is between 2.9%~7.2%.

Key words: magnetic dispersion solid-phase extraction; ultrasound assisted method; remazolam tosilate; high-performance liquid chromatography

甲苯磺酸瑞马唑仑(remazolam tosilate)是一种新型苯二氮卓类镇静催眠药^[1-3],分子式为C₂₁H₁₉BrN₄O₂·C₇H₈O₃S。该药物于2019年12月上市,是国内外首个获批的经全身酯酶代谢的超短效镇静催眠药,在临床中主要用于胃肠内镜的镇静和全身麻醉的诱导^[4-5]。但根据其相关临床试验数据显示,使用剂量不当会造成一定的副作用,如头晕、呼吸抑制、低血压等,严重者甚至出现休克^[6]。因此,建立一种准确、高效的方法检测生物样本中痕量甲苯磺酸瑞马唑仑对临床诊断具有重要意义。

目前,关于甲苯磺酸瑞马唑仑的分析方法文献

报道较少,其中以超高效液相色谱串联质谱法(UPLC-MS/MS)为主^[7-8]。在仪器分析前,样品前处理是分析化学中的基本步骤,以消除基质成分,避免在定量过程中产生干扰,并最大程度地减少对分析仪器的损坏。因此开发一种简单有效的样品前处理技术并与较为常见的高效液相色谱法(HPLC-UV)联用对人体尿液中甲苯磺酸瑞马唑仑进行检测具有一定的研究意义。

近年来,磁分散固相萃取技术(magnetic dispersive solid-phase extraction, MDSPE)在食品、环境、医药等领域应用广泛,开发对被分析物具有高吸附能力

收稿日期:2023-09-13;修回日期:2024-03-07

基金项目:江苏海洋大学2022年度江苏省海洋资源开发研究院开放基金课题(JSIMR202205, JSIMR202206, JSIMR202207);江苏海洋大学研究生科研与实践创新计划项目(KYCX2022-33)

作者简介:沙鸥(1979-),女,博士,副教授,研究方向为药物分析,通讯联系人,7993259@163.com。

的吸附剂是 MDSPE 的重要研究方向之一^[9-11]。活性炭(activated charcoal, AC)是一类具有高比表面积、富含氧官能团(包括羟基、羧基等)以及良好分散性的炭材料,被广泛应用于吸附、分离、催化等领域^[12-13]。有研究表明,通过引入磁性粒子(Fe_3O_4)对活性炭表面进行改性,不仅可以提高活性炭的吸附性能,还可以利用磁场对吸附待测组分的活性炭进行快速分离与解吸,而将 Fe_3O_4 @AC 应用于甲苯磺酸瑞马唑仑的研究目前尚未见报道。

本研究采用超声辅助法制备磁性活性炭材料(Fe_3O_4 @AC),并用作磁分散固相萃取剂,与 HPLC-UV 联用,对人体尿液中甲苯磺酸瑞马唑仑进行分离分析。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

美国安捷伦 1260 高效液相色谱仪,配有紫外检测器(HPLC-UV,美国安捷伦公司);PHS-25B pH 计(上海精密科学仪器有限公司);Bruker Vertex 70 红外光谱仪(FT-IR,德国布鲁克公司);XRD-6100 型 X 射线衍射仪(XRD,日本岛津公司);XK98-A 型快速混匀器(中国新康医疗器械有限公司);DZF-6020 型真空干燥箱(上海精宏实验设备有限公司)。

除特殊说明外,所有化学试剂均为分析纯。活性炭、六水氯化铁($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、七水硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、聚乙二醇(PEG6000)、乙醇、乙酸、氨水($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、氢氧化钠、甲酸铵等均购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司。乙腈(色谱纯)购自德国默克公司。

甲苯磺酸瑞马唑仑标准品(质量分数 $\geq 99.8\%$,江苏恒瑞医药有限公司):使用前配制成 $100 \mu\text{g}/\text{mL}$ 储备溶液于冰箱中低温保存,使用时按照适当比例用超纯水稀释得到甲苯磺酸瑞马唑仑的标准工作溶液。Britton-Robinson(B-R)缓冲溶液:由 $0.04 \text{ mol}/\text{L}$ 三酸溶液($\text{H}_3\text{PO}_4 - \text{HAc} - \text{H}_3\text{BO}_3$)和 $0.2 \text{ mol}/\text{L}$ 的 NaOH 溶液混合配制而成。

尿液样本来自未注射过甲苯磺酸瑞马唑仑的健康成人志愿者,用超纯水稀释后使用。

洗脱液的配制:按照乙醇: $2 \text{ mol}/\text{L}$ NaOH = 100:1 (v/v) 的比例配制。

1.2 磁分散固相萃取剂的制备

采用超声辅助法制备 Fe_3O_4 @AC^[14],具体步骤如下:将 0.5 g 活性炭分散在 150 mL 去离子水中超声 15 min ,向该混悬液中加入 0.25 g Fe_3O_4 纳米粒

子,超声处理 30 min 后,用超纯水和乙醇交替反复冲洗磁收集的 Fe_3O_4 @AC $2 \sim 3$ 次,在 60°C 下真空干燥 12 h 以获得目标产物。

1.3 磁固相萃取操作

准确称取 90 mg Fe_3O_4 @AC 加入含有样品溶液的锥形瓶中,振荡萃取 8 min 后用外部磁铁收集 Fe_3O_4 @AC,移除上清液。随后,将分离出的 Fe_3O_4 @AC 转移至 10 mL 玻璃离心管中,用超纯水润洗 $2 \sim 3$ 次,加入 3 mL 洗脱液进行解吸,洗脱液经 $0.22 \mu\text{m}$ 有机滤膜后直接进样分析。具体 MDSPE 程序见图 1。

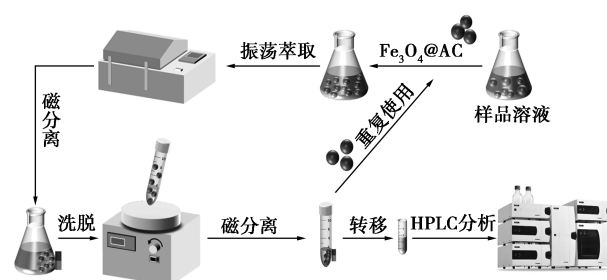


图 1 MDSPE 操作步骤

1.4 液相色谱条件

色谱柱:XB-C18 Ultimate 色谱柱($4.6 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}, 5 \mu\text{L}$);柱温 30°C ;进样体积 $20.0 \mu\text{L}$;检测波长 223 nm ;流速 $1.0 \text{ mL}/\text{min}$;流动相:乙腈(A)、含有 $10 \text{ mmol}/\text{L}$ 甲酸铵和 0.1% 甲酸的水(B)(A:B = 40:60, v/v)。

2 结果与讨论

2.1 Fe_3O_4 @AC 的表征

图 2 为 AC、 Fe_3O_4 和 Fe_3O_4 @AC 的 FT-IR 谱图,AC 和 Fe_3O_4 @AC 在 3400 cm^{-1} 处均存在—OH 的伸缩振动峰。AC 在约 1600 cm^{-1} 处存在 C=O 伸缩振动,在约 1060 cm^{-1} 处存在 C—O—C 伸缩振动。与 AC 相比, Fe_3O_4 @AC 在 590 cm^{-1} 附近有一吸收峰,归属于 Fe—O 拉伸振动,实验结果与文献

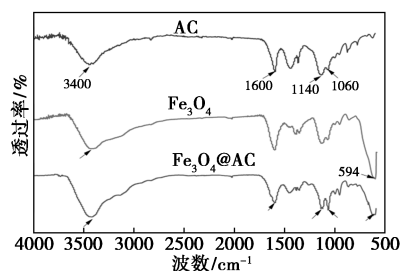


图 2 AC、 Fe_3O_4 和 Fe_3O_4 @AC 的红外光谱图

报道一致^[15-17]。

图3为 Fe_3O_4 和 $\text{Fe}_3\text{O}_4@AC$ 的 XRD 谱图, $\text{Fe}_3\text{O}_4@AC$ 在 30.1° 、 35.5° 、 56.9° 和 62.6° 处的衍射峰分别对应 Fe_3O_4 的 (220)、(311)、(511) 和 (440) 晶面, 表明 Fe_3O_4 成功负载在活性炭表面, 形成了复合磁性活性炭^[18-20]。

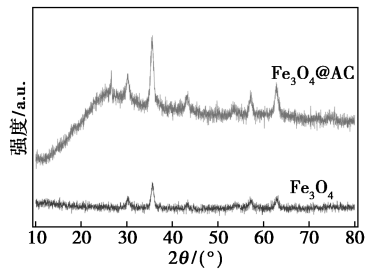


图3 Fe_3O_4 和 $\text{Fe}_3\text{O}_4@AC$ 的 XRD 谱图

2.2 磁固相萃取条件优化

2.2.1 pH

样品溶液的 pH 通常对待测组分的存在形态有一定影响, 试验通过添加一定体积不同酸度的 B-R 缓冲液, 在 pH 3.0~10.0 范围内考察 $\text{Fe}_3\text{O}_4@AC$ 对甲苯磺酸瑞马唑仑吸附性能的影响, 实验测定结果如图4所示。由图可知, 最大回收率出现在 pH=7, 所以选择 pH=7 进行后续研究。

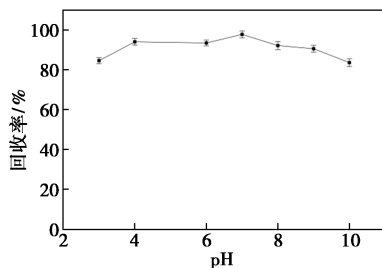


图4 样品 pH 对回收率的影响

2.2.2 吸附剂用量

试验考察了 $\text{Fe}_3\text{O}_4@AC$ 用量 (50~100 mg) 对回收率的影响。结果表明, 随着 $\text{Fe}_3\text{O}_4@AC$ 用量增加, 回收率逐渐增加。当 $\text{Fe}_3\text{O}_4@AC$ 的用量达到 90 mg 时, 回收率达到最大, 随后保持稳定 (回收率 $\geq 95\%$)。因此, 选择 $\text{Fe}_3\text{O}_4@AC$ 的用量 90 mg 进行后续研究。

2.2.3 萃取时间

萃取时间是确保吸附剂和目标分析物之间有效接触的一个重要参数。在 1~12 min 内对该变量进行了研究, 结果表明, 萃取时间在 8 min 后基本保持稳定 (回收率 $\geq 99\%$)。因此, 8 min 为最佳萃取时间。

2.2.4 样品溶液体积

为了获得更大的富集倍数, 应在保证回收率的前提下, 尽可能增加样品溶液体积。试验研究了 30~150 mL 样品溶液体积对甲苯磺酸瑞马唑仑回收率的影响。结果如图5所示, 随着样品溶液体积的增加, 回收率逐渐降低, 达到 120 mL 时, 回收率降低至 80%。因此, 选择最大样品体积为 120 mL。

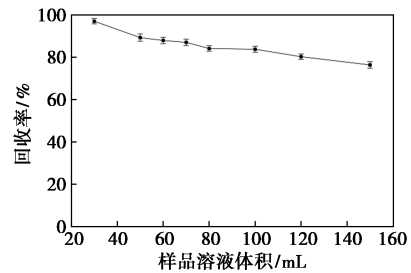


图5 样品溶液体积对回收率的影响

2.2.5 吸附容量

试验通过改变溶液中甲苯磺酸瑞马唑仑的浓度研究了 $\text{Fe}_3\text{O}_4@AC$ 对甲苯磺酸瑞马唑仑的吸附容量影响, 结果如图6所示, $\text{Fe}_3\text{O}_4@AC$ 磁性纳米复合材料的吸附容量可达 17.93 mg/g 。

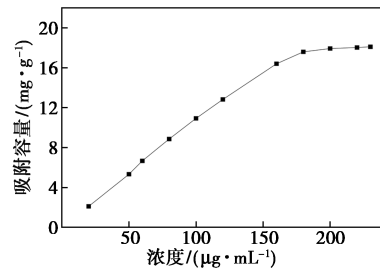


图6 萃取剂的吸附容量

2.2.6 洗脱剂的选择

试验考察了乙醇、乙醇-NaOH (按 1:1 配制)、1%乙酸、2 mol/L NaOH 作为洗脱剂对甲苯磺酸瑞马唑仑回收率的影响, 结果表明, 在 4 种洗脱剂中乙醇-NaOH 的洗脱效果最好 (回收率 $> 89\%$), 故本实验选择乙醇-NaOH 作为洗脱剂。

2.2.7 洗脱体积

为了将待测物从 $\text{Fe}_3\text{O}_4@AC$ 中充分洗脱出, 考察了乙醇-NaOH 洗脱液用量对回收率的影响。结果表明, 回收率随着洗脱体积的增加而增加, 当洗脱液体积大于 3.0 mL 时, 回收率保持稳定 (回收率 $> 90\%$)。因此选择洗脱剂体积为 3.0 mL 进行后续研究。

2.2.8 重复使用性

将萃取后的 $\text{Fe}_3\text{O}_4@AC$ 用超纯水和乙醇洗涤

后烘干,再用于甲苯磺酸瑞马唑仑的吸附。结果表明,随着使用次数的增加,回收率逐渐下降。在经过 5 次吸附-解吸过程后,甲苯磺酸瑞马唑仑的回收率仍保持 80%,表明 $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{AC}$ 具有较好的重复使用性。

3 方法评估

3.1 性能分析

配制甲苯磺酸瑞马唑仑标准溶液,按照上述 1.3 最佳实验条件进行验证试验,分析本文中所提方法(MDSPE-HPLC-UV)的检测性能。以峰面积(A)对甲苯磺酸瑞马唑仑溶液的质量浓度(ρ , $\mu\text{g}/\text{mL}$)绘制工作曲线。试验结果表明,甲苯磺酸瑞马唑仑质量浓度在 0.005~1.000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内呈良好线性关系,线性方程为 $A = 57\ 824\rho + 32.925$ ($R^2 = 0.999\ 5$),甲苯磺酸瑞马唑仑的检出限为 3.5 $\mu\text{g}/\text{L}$ ($S/N=3$,信噪比为 3 时测得的最低检测限),富集倍数为 36 倍。

3.2 实际样品测定

为进一步验证方法可行性,以不同健康受试者尿液作为模拟样品进行加标实验。加标量为 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ 时的色谱图如图 7 所示,结果如表 1 所示,均未检出甲苯磺酸瑞马唑仑,加标回收率为 86.1%~106.9%, RSD 为 2.9%~7.2%。实验结果表明该方法具有良好的准确度和精密性,可用于实际样品分析。

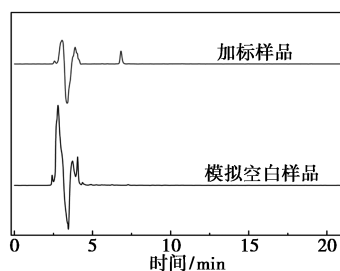


图 7 模拟空白尿样和加标尿样检测的色谱图

表 1 回收率测定结果 ($n=3$)

样品	本底值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	加标量/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	测定值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	回收率/ %	RSD / %
模拟尿液-1	ND	50.00	46.79	93.58	5.3
		100.00	88.26	88.26	4.1
		200.00	194.30	97.15	5.8
模拟尿液-2	ND	50.00	53.46	106.90	7.2
		100.00	104.60	104.60	3.4
		200.00	172.20	86.10	2.9

注:ND 表示未检测到。

4 结论

建立了一种以 $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{AC}$ 作为磁分散固相萃取的吸附剂,联合 HPLC-UV 检测人体尿液中甲苯磺酸瑞马唑仑含量的新方法。该方法将可快速收集的磁性纳米粒子与活性炭的优秀吸附力相结合,缩短了样品的前处理时间,且方法操作简便,富集倍数高,适用于实际样品中甲苯磺酸瑞马唑仑的测定。

参考文献

- [1] 王溢鑫,刘凤霞,王茂华,等.理想体质量甲苯磺酸瑞马唑仑复合瑞芬太尼用于无痛胃镜的麻醉效果[J].医药导报,2023,42(1):68-72.
- [2] Chen S, Wang J, Xu X, *et al.* The efficacy and safety of remimazolam tosylate versus propofol in patients undergoing colonoscopy: A multicentered, randomized, positive-controlled, phase III clinical trial [J]. American Journal of Translational Research, 2020, 12(8):4594.
- [3] Rex D K, Bhandari R, Desta T, *et al.* A phase III study evaluating the efficacy and safety of remimazolam (CNS 7056) compared with placebo and midazolam in patients undergoing colonoscopy [J]. Gastrointestinal Endoscopy, 2018, 88(3):427-437.
- [4] Liu X, Guo L, Duan B, *et al.* Novel benzodiazepine remimazolam tosylate delays neurodegeneration of aged mice via decreasing tau phosphorylation [J]. Neurotoxicology, 2022, 92:156-165.
- [5] Abdulrahman A, Mariana B, Hailin Z, *et al.* Remimazolam besylate inhibits human lung cancer cell proliferation, migration, and induces apoptosis in vitro [J]. British Journal of Anaesthesia, 2023, 131(3):e97-e98.
- [6] Chen X, Sang N, Song K, *et al.* Psychomotor recovery following remimazolam-induced sedation and the effectiveness of flumazenil as an antidote [J]. Clinical Therapeutics, 2020, 42(4):614-624.
- [7] Zhou Y, Wang H, Jiang J, *et al.* Simultaneous determination of remimazolam and its carboxylic acid metabolite in human plasma using ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography B, 2015, 976:78-83.
- [8] Stefanie S, Ljubica K, Christian M, *et al.* Quantification of remimazolam besylate (CNS7056B) and its metabolite (CNS7054X) by LC-MS/MS in human plasma using midazolam-d4 maleate as internal standard [J]. Journal of Chromatographic Science, 2022; bmac097.
- [9] 刘艳丽,吴昊,杜晓慧,等.磁分散固相萃取-高效液相色谱法测定牛奶中 5 种禁用喹诺酮类药物[J].分析科学学报,2018,34(2):196-200.
- [10] Montoro-Leal P, García-Mesa J C, Cordero M T S, *et al.* Magnetic dispersive solid phase extraction for simultaneous enrichment of cadmium and lead in environmental water samples [J]. Microchemical Journal, 2020, 155:104796.
- [11] 王雅晶,陈毅,边姿名,等.新型 MOFs 磁固相萃取-高效液相色谱法测定草莓中 2 种新烟碱类农药[J].中国卫生检验杂志, 2023, 33(14):1693-1696.

(下转第 256 页)

- based on $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZrO}_2\text{-graphene oxide}$ for determination of dopamine[J]. *Ionics*, 2022, 28(10): 4853-4865.
- [15] 王若男, 孟佩俊, 李淑荣, 等. 纳米二氧化铈/石墨烯传感器的构建及其对饮品中抗坏血酸的检测[J]. *现代化工*, 2023, 43(8): 236-240.
- [16] Dutta S, Strack G, Kurup P. Gold nanostar electrodes for heavy metal detection[J]. *Sensors Actuat B-Chem*, 2018, 281: 383-391.
- [17] Rastogi K P, Yadav K D, Andey S, *et al.* Synthesis and characterization of gold nanoparticles incorporated bentonite clay for electrocatalytic sensing of arsenic (III) [J]. *Journal of Chemical Sciences*, 2016, 128(3): 349-356.
- [18] Wisarut K, Phichanan D, Kriangsak S, *et al.* An application of miniaturized electrochemical sensing for determination of arsenic in herbal medicines[J]. *Anal Methods: Applications*, 2022, 14(32): 3087-3093.
- [19] Kumar S, Bhanjana G, Dilbaghi N, *et al.* Fabrication and characterization of highly sensitive and selective arsenic sensor based on ultra-thin graphene oxide nanosheets [J]. *Sensor Actuat B-Chem*, 2016, 227: 29-34.
- [20] Claudia N, Jose J T, Veronica A. A electrochemical biosensor for As(III) detection based on the catalytic activity of *Alcaligenes faecalis* immobilized on a gold nanoparticle-modified screen-printed carbon electrode [J]. *Talanta*, 2021, 223(P2): 121702.
- [21] Li C Y, Wei Y Y, Shen W, *et al.* Ultrahigh sensitivity electroanalysis of trace As(III) in water and human serum via gold nanoparticles uniformly anchored to Co_3O_4 porous microsheets [J]. *Electrochim Acta*, 2021, 368: 137605.
- [22] Isha F, Chansi, Sumaya N, *et al.* Self-assembled gold nano islands for precise electrochemical sensing of trace level of arsenic in water [J]. *Groundw Sustain Dev*, 2021, 12: 100528. ■
- [15] 孙书双, 朱亚明, 赵先奕, 等. 生物质活性炭的制备、应用及再生利用研究进展[J]. *应用化工*, 2021, 50(11): 3165-3170.
- [16] Marco G, Adele G T, Chitharanjan A P, *et al.* A combined treatment of aerobic activated sludge and powdered activated carbon: Pilot-scale study of per/polyfluoroalkyls (PFASs), organic matters, chromium, and color removal from tannery wastewaters [J]. *Journal of Water Process Engineering*, 2023, 55: 104165.
- [17] Rahmawati R, Permana M G, Harison B, *et al.* Optimization of frequency and stirring rate for synthesis of magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles by using coprecipitation-ultrasonic irradiation methods [J]. *Procedia Engineering*, 2017, 170: 55-59.
- [18] Ahmed M J K, Ahmaruzzaman M. Activated charcoal-magnetic nanocomposite for remediation of simulated dye polluted wastewater [J]. *Water Science and Technology*, 2015, 71(9): 1361-1366.
- [19] 孙凯学, 赵雷, 冀亚利. 核桃壳磁性活性炭的制备及其性能表征 [J]. *磁性材料及器件*, 2022, 53(2): 81-84.
- [20] Ramesh V, Saivedh G, Gokulakrishnan M, *et al.* 4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) adsorptive removal by algal magnetic activated carbon nanocomposite [J]. *Chemosphere*, 2022, 310: 136883.
- [21] Panpan S, Congjin C, Xingyu L, *et al.* Preparation, characterization and adsorption potentiality of magnetic activated carbon from *Eucalyptus* sawdust for removal of amoxicillin: Adsorption behavior and mechanism [J]. *Industrial Crops & Products*, 2023, 203: 117122.
- [22] 秦洁, 常薇, 杜燕萍, 等. 磁性椰壳活性炭的制备与吸附性能 [J]. *西安工程大学学报*, 2021, 35(5): 7-11.
- [23] 王耀耀, 徐文博, 赵向阳. 磁性活性炭的制备及其对亚甲基蓝的吸附性能 [J]. *印染助剂*, 2020, 37(9): 21-24. ■

(上接第 250 页)

科思创与 GC Insights 联合发布《循环经济的未来之路: 可持续材料的创新与应用》白皮书

近日, 科思创联合 GC Insights 共同发布了《循环经济的未来之路: 可持续材料的创新与应用》白皮书, 深入探讨了可持续材料在推动向循环经济转型中的关键作用, 聚焦循环转型的创新路径。本白皮书旨在帮助企业应对日趋严格的合规挑战以及为企业挖掘产业链之间的合作机遇, 形成循环创新等可持续性竞争优势。

联合国开发计划署 (UNDP) 指出, 我们当前的“线性经济”依赖于提取原材料, 将其转化为产品, 然后将其作为废物丢弃。只有少量所使用的材料得到回收利用, 这对环境造成了重大负担, 并导致了气候、生物多样性和环境污染危机。

循环经济的监管日程正在向前推进。欧洲委员会近年来采取了各项绿色举措。例如, 报废车辆的提案指令规定, 新车使用的塑料必须包含 25% 来自于消费后回收的材料来源, 其中 25% (即总量的 6.25%) 应来自于报废车辆, 从而实现商业闭环。该指令首次重点关注了回收塑料在车辆中的使用。

循环经济是商业的未来。越来越多的来自不同行业的企业将其循环战略作为业务模型的关键部分, 为客户提供环保和经济实惠的解决方案。全球超过一半的大型企业已

经制定了具体可衡量的循环性承诺。

市场对高质量循环材料和产品的需求不断扩张, 同时面临着不同的挑战和市场限制。

本次出版的白皮书重点分析了一系列循环市场挑战, 深入探讨了 5 个市场领先的解决方案和案例研究, 通过分享跨行业龙头企业在循环转型中运用的解决方案和最佳实践案例, 为读者带来一些启发。

白皮书主要看点包括:

(1) 宏观经济趋势。聚焦市场向循环经济转变的前沿政策发展, 合规挑战, 以及消费者需求动态。

(2) 市场挑战与差距。解答错综复杂的生态标签差异、市场回收计划的效率问题, 及缺乏回收可追溯性所带来的洗绿风险。

(3) 新兴趋势及解决方案。对跨行业循环经济市场的最新解决方案及最佳实践案例进行深入分析, 助力企业全方位循环升级。

(4) 可持续回收材料潜力。介绍可持续回收材料的创新发展和市场应用, 助力企业从源头应对循环需求。

(科思创)