

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202012030



# 以超高分子材料为载体研发 新型固体缓释抑菌剂

杨镇伟<sup>1</sup>, 林琪<sup>1</sup>, 陈虹<sup>2</sup>, 张蕊<sup>3</sup>, 王立强<sup>1</sup>

(1. 华侨大学 医学院, 福建 泉州 362021;

2. 苏州凯虹高分子科技有限公司, 江苏 苏州 215211;

3. 深圳联创立达环境技术有限公司, 广东 深圳 518116)

**摘要:** 利用超高分子材料载体制备一种固体缓释抑菌剂, 对其进行表征, 检验其缓释及抑菌效果. 将挥发性中西药复配抑菌液吸附于特定的超高分子材料载体, 对超高分子材料的力学性能进行考察, 观察其微观结构, 并对固体缓释抑菌剂的缓释效果和抑菌效果进行评价. 结果表明: 超高分子材料的拉伸断裂应力为 28.79 MPa, 抗冲击强度为  $78.85 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ , 超高分子材料的孔隙率为 69.17%, 抑菌液吸附量为  $0.58 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 抑菌液吸附率为 141.38%; 固体缓释抑菌剂的有效释放时长为 10 d, 对多种致病菌的平均杀灭率均高于 99%; 超高分子材料具有高强度的力学性能和较高的抑菌液吸附率; 固体缓释抑菌剂释放速率稳定, 在空气中分布均匀, 缓释效果和抑菌效果良好.

**关键词:** 挥发性抑菌液; 超高分子材料; 固态; 缓释效果; 空气消毒

中图分类号: R 187.1; TB 324

文献标志码: A

文章编号: 1000-5013(2021)04-0512-07

## Research and Development of New Type of Solid Sustained-Release Bacteriostatic Agent With Ultra-High Molecular Material as Carrier

YANG Zhenwei<sup>1</sup>, LIN Qi<sup>1</sup>, CHEN Hong<sup>2</sup>,  
ZHANG Rui<sup>3</sup>, WANG Liqiang<sup>1</sup>

(1. School of Medicine, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;

2. Suzhou KaiHong Polymer Technology Limited Company, Suzhou 215211, China;

3. Shenzhen Lianchuanglida Environmental Technology Limited Company, Shenzhen 518116, China)

**Abstract:** A kind of solid sustained-release bacteriostatic agent was prepared by using ultra-high molecular material, and characterized to test its sustained-release and antibacterial effect. The volatile Chinese and Western medicine compound bacteriostatic solution was adsorbed on the specific ultra-high molecular materials carrier, the mechanical properties of the ultra-high molecular materials were investigated, their microstructure was observed, and the sustained-release effect and antibacterial effect of the solid sustained-release bacteriostatic agent were evaluated. The results showed that the tensile fracture stress of the ultra-high molecular materials

收稿日期: 2020-12-16

通信作者: 王立强(1970-), 男, 教授, 博士, 主要从事药剂学和创新药物的研究. E-mail: wlq1599@163.com.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFE0101700); 福建省高校产学研合作重大项目(2019Y4007); 福建省泉州市 2020 年抗新冠应急项目(2020SY001)

was 28.79 MPa, the impact strength was  $78.85 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ , the porosity was 69.17%, and the adsorption capacity and adsorption rate of the bacteriostatic solution were  $0.58 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  and 141.38% respectively. The effective release time of the solid sustained-release bacteriostatic agent was 10 d, and the average killing rate of various pathogenic bacteria exceeded 99%. It indicates that the ultra-high molecular materials have high strength mechanical properties and high bacteriostatic solution adsorption rate. In addition, the release rate of solid sustained-release bacteriostatic agent is stable, the distribution in the air is uniform, and the sustained-release effect and antibacterial effect are both good.

**Keywords:** ultra-high molecular material; volatile bacteriostatic solution; solid state; sustained-release effect; air disinfection

消毒灭菌是日常生活中非常重要的个人卫生防护措施,2019 年的新型冠状病毒肺炎疫情启示公众需要对病毒和致病菌做好防护措施. 病毒和致病菌通常以飞沫、气溶胶或接触传播等方式在环境中传播,通过空气消毒能够阻断其传播途径,有效地阻止疾病的发生和扩散<sup>[1-2]</sup>. 随着环境卫生意识和个人防护意识的提升,各种消菌、抑菌产品也随之在市场上流行. 日常使用的消毒抑菌剂多为乙醇消毒液、含氯消毒剂、过氧化物消毒剂等液态消毒抑菌剂<sup>[3]</sup>,这些液态消毒抑菌剂不仅在运输、使用和贮存方面存在一定的不便,而且抑菌效果短暂,需要频繁操作才能保持抑菌效果. 因此,有待研发一种使用便捷、缓释效果和抑菌效果较好的新型固体缓释抑菌剂.

超高分子材料是由超高分子量聚乙烯和高分子聚丙烯原料通过半熔融烧结制得的多孔材料,该材料具有高机械强度、耐热、耐化学侵蚀、无毒等优点,因而被广泛地应用于建筑材料、机械化工、服装及医疗器械等领域<sup>[4-5]</sup>. 半熔融烧结技术可使高分子原料粉体颗粒呈现出表面熔融、内部不熔融的半熔融状态,通过控制成型工艺,可使相互接触的颗粒表面熔融粘连,粉体颗粒之间相互堆砌的空隙形成微孔<sup>[6-7]</sup>. 因超高分子材料性质安全稳定,内部颗粒间相互堆砌形成微孔的孔隙大小、分布均匀,故可用于气体、液体的吸附和缓释. 制备一种挥发性中西药复配抑菌液,该复配抑菌液由复方中药提取物与季铵盐类衍生复合物复配制得,具有良好的抑菌活性,并且药效温和、持久,对人体无明显刺激性,具有良好的安全性. 复配抑菌液具有挥发性,能够挥发并全面分布于室内空气中,从而对环境产生抑菌效果. 基于此,本文将超高分子材料作为复配抑菌液的载体,将挥发性中西药复配抑菌液作为主药成分,制备一种具有长效抑菌能力的固体缓释抑菌剂,并考察其缓释效果及抑菌效果.

# 1 材料与方法

## 1.1 试验材料、仪器与用菌

- 1) 试验材料. 挥发性中西药复配抑菌液、超高分子材料(江苏省苏州市凯虹高分子科技有限公司).
- 2) 试验仪器. Phenom proX 型扫描电子显微镜(荷兰 Phenom-World BV 公司);BSA124S 型电子天平(德国赛多利斯科学仪器有限公司);SHB- III G 型循环水式多用真空泵(河南省郑州市长城科工贸有限公司);SMVB60 型真空热压烧结机(河南省郑州市金海威科技实业有限公司);WAW-D 型微机控制电液伺服万能试验机(山东省济南市欧贝特(山东)试验设备有限公司);JB-W300A 型微机控制摆锤式冲击试验机(山东省济南市方圆试验仪器有限公司).
- 3) 试验用菌. 大肠杆菌(ATCC 8099)、金黄色葡萄球菌(ATCC 6538)、日沟维肠杆菌(ATCC 25922)、白色念珠菌(ATCC 6538)均由军事医学科学院消毒检测中心提供.

## 1.2 超高分子材料和固体缓释抑菌剂的制备

- 1.2.1 超高分子材料的制备 取超高分子量聚乙烯原料(相对分子质量为 150 万)、高分子聚丙烯原料(相对分子质量为 20 万)过 100~150 目筛. 通过高速搅拌将超高分子量聚乙烯和高分子聚丙烯原料混合均匀,将混合物置于准备好的模具中,将模具持续加压 5 min 至 10 MPa,使原料固定成型;成型后逐渐加热至 145 ℃,进行半熔融烧结,烧制时间为 45 min;烧结完成后,自然冷却,将超高分子材料从模具中取出,即得超高分子材料.
- 1.2.2 固体缓释抑菌剂的制备 取超高分子材料(尺寸为 10 cm×5 cm×1 cm(长×宽×高),体积为

50 cm<sup>3</sup>)与 100 mL 复配抑菌液一同放入布氏漏斗,复配抑菌液浸润超高分子材料,间歇性减压(0.01~0.05 MPa),使复配抑菌液完全饱和后取出,即得固体缓释抑菌剂。

1.3 超高分子材料的表征

1.3.1 孔隙率的测定 将超高分子材料切割成 1 mm 左右的薄片,镀金后制备成样品,使用扫描电子显微镜(SEM)观察超高分子材料的微观结构<sup>[8]</sup>. 运用 ImageJ 软件对扫描电镜图进行分析,可得孔径和表观密度,由此计算出孔隙率<sup>[9-10]</sup>. 孔隙率  $n$  的计算公式为  $n = (\rho_A / \rho) \times 100\%$ . 其中,  $\rho_A$  为样品的表观密度,  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ;  $\rho$  为样品的实际密度,  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

1.3.2 力学性能的测定 取超高分子材料,通过万能测试机和摆锤式冲击试验机对其拉伸断裂强度和抗冲击性能进行测试<sup>[11]</sup>.

1.3.3 抑菌液吸附量和吸附率的测定 取 50 cm<sup>3</sup> 的超高分子材料,采用节 1.2.2 方法吸附复配抑菌液后,精密称量质量,记为  $m_1$ ,将其破碎后,放入 90 ℃ 烘箱中烘干 6 h 后取出,精密称量质量,记为  $m_2$ . 抑菌液吸附量  $M$  的计算公式为  $M = (m_1 - m_2) / V$ ,其中,  $V$  为超高分子材料的体积. 抑菌液吸附率  $r = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100\%$ <sup>[12-13]</sup>.

1.4 固体缓释抑菌剂缓释和分布效果的测定

1.4.1 空气中抑菌剂质量浓度的测定 以抑菌剂中含量最高的樟精油成分作为空气中抑菌剂质量浓度的监测成分,采用吸附管采样-热脱附法测定空气中抑菌剂质量浓度<sup>[14-15]</sup>.

1.4.2 空气中抑菌剂分布均匀度的测定 取 50 cm<sup>3</sup> 的固体缓释抑菌剂,置于 1 m<sup>3</sup> 的洁净密闭恒温箱中(温度为 25 ℃,相对湿度为 90%,下文恒温箱条件相同). 将固体缓释抑菌剂置于恒温箱中央位置,分别于 0,5,10,15,30,45,60,90,120 min 的时间点采集空气样本,5 个采样点分别位于恒温箱正中及 4 个边角靠近底座处,由此可得不同采样点的抑菌剂质量浓度及其随时间的变化情况,并绘制不同采样点的抑菌剂质量浓度-时间( $\rho_n-t$ )变化曲线.

1.4.3 固体缓释抑菌剂释放时间的测定 取 50 cm<sup>3</sup> 的固体缓释抑菌剂,置于 1 m<sup>3</sup> 的洁净密闭恒温箱中. 将固体缓释抑菌剂置于恒温箱中央位置,每天采集空气样本,采样点位于恒温箱中部,检测空气中抑菌剂质量浓度,并绘制空气中抑菌剂质量浓度-时间变化曲线.

1.5 固体缓释抑菌剂抑菌效果的测定

1.5.1 空气自然菌的采集 根据文献<sup>[16]</sup>的技术操作步骤,采用自然菌沉降法对空气中的细菌数量进行检测<sup>[17]</sup>. 在消毒前及消毒后 0,6,12,24,72,120 h,于室内中央及 4 个角落分别采样,在离地面高 10 cm 处放置琼胶培养皿,并在空气中暴露 30 min. 然后,将采集到的样本培养 48 h,计算平均菌落数. 空气中总菌落数的计算公式为

$$B=50\ 000N/AT.$$

上式中:  $B$  为空气中总菌落数,  $\text{cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $A$  为培养皿面积,  $\text{cm}^2$ ;  $T$  为培养皿暴露时间,  $\text{min}$ ;  $N$  为培养皿平均菌落数,  $\text{cfu} \cdot \text{培养皿}^{-1}$ .

1.5.2 不同消毒方法抑菌效果的检验 采用不同消毒方法对 1 m<sup>3</sup> 的恒温箱进行消毒,消毒结束后进行自然通风,分别于消毒前及消毒后 0,6,12,24,72,120 h,采用自然菌沉降法采集空气中的细菌和病毒,进行培养计数. 设置 1 个实验组和 3 个对照组,根据文献<sup>[16]</sup>的技术操作步骤,将紫外灯消毒法、过氧乙酸消毒法作为阳性对照,将不做任何处理作为空白对照. 3 个对照组分别在与实验组相同的时间点采集空气样本,计算空气中总菌落数,从而比较不同消毒方法的抑菌效果.

固体缓释抑菌剂、紫外灯消毒法和过氧乙酸消毒法的消毒过程如下.

1) 固体缓释抑菌剂. 取 50 cm<sup>3</sup> 的固体缓释抑菌剂,置于 1 m<sup>3</sup> 的恒温箱中,消毒时间为 1 h.

2) 紫外灯消毒法. 使用 30 W 紫外线灯对 1 m<sup>3</sup> 的恒温箱进行消毒灭菌,紫外线灯辐射强度  $>70 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,恒温箱中连续照射消毒 1 h.

3) 过氧乙酸消毒法. 采用过氧乙酸雾化熏蒸消毒,准备质量分数为 0.5% 的过氧乙酸溶液,将过氧乙酸溶液通过气溶胶喷雾器进行雾化,在 1 m<sup>3</sup> 的恒温箱中进行熏蒸消毒,过氧乙酸用量为  $1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ,消毒时间为 2 h.

1.5.3 染菌载体的制备 采用大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、日沟维肠杆菌和白色念珠菌 4 种较为常见

的致病菌作为试验菌,进行载体染菌杀灭试验. 根据文献[16]的技术操作步骤,制备试验菌悬液. 取 4 种试验菌悬液各 10  $\mu\text{L}$  滴染于脱脂棉布片(2 cm $\times$ 2 cm)上,置于 37  $^{\circ}\text{C}$  恒温箱中,干燥 30 min 后,制成染菌载体片,回收菌量为  $5\times 10^5\sim 5\times 10^6$  cfu $\cdot$ 片 $^{-1}$ ,备用.

1.5.4 固体缓释抑菌剂抑菌效果的检验 取 50 cm $^3$  的固体缓释抑菌剂,置于 1 m $^3$  的无菌密闭恒温箱中. 分别在 1,3,5,10 d,将染菌载体放入恒温箱中培养,30 min 后取出菌片,洗脱并培养 48 h,计算平板菌落数,计算杀灭率  $L$ . 每组设置 3 个平行试验,取平均值,计算平均杀灭率  $L_{\text{ave}}$ .

## 2 结果与分析

### 2.1 超高分子材料的表征

超高分子材料是由超高分子量聚乙烯和高分子聚丙烯原料烧结而成,具有优秀的机械强度、疏松多孔的空间结构,以及稳定的理化性质. 使用 SEM 观察超高分子材料样品的表观结构,发射电压为 10 kV,放大倍数分别为 300,500,800 倍.

超高分子材料扫描电镜图,如图 1 所示. 由图 1 可知:通过半熔融烧结技术制得的超高分子材料具有多孔结构,通过 ImageJ 软件进行分析,得到的孔径约为 30 $\sim$ 80  $\mu\text{m}$ ,经计算得到超高分子材料的表观密度为 0.29 g $\cdot$ cm $^{-3}$ ,孔隙率为 69.17%.

疏松多孔的结构表明,超高分子材料具有良好的贮存能力. 30 $\sim$ 80  $\mu\text{m}$  的孔径表明,超高分子材料具有较强的空间位阻,能够极大延缓流体的通过速率,故具有良好的缓释能力,能够使抑菌剂缓慢、匀速地通过孔隙扩散并释放. 因此,选择超高分子材料作为抑菌液的载体,用于吸附和缓释抑菌成分.

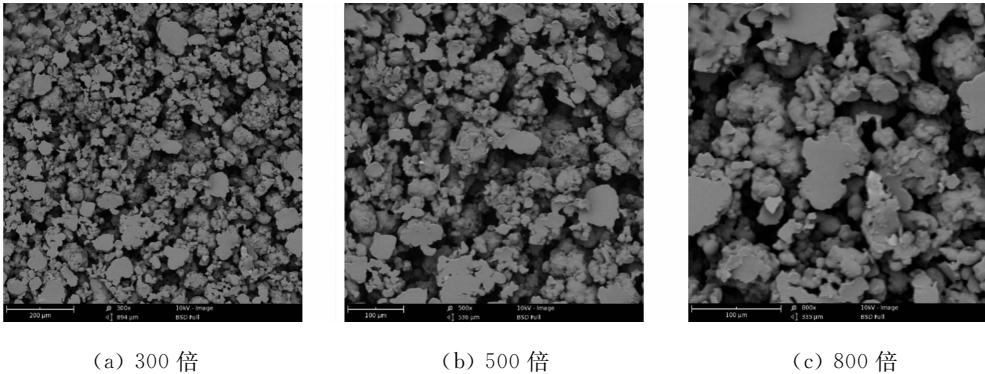


图 1 超高分子材料扫描电镜图

Fig. 1 Scanning electron microscope images of ultra-high molecular materials

平行测定 3 组超高分子材料,其表征结果,如表 1 所示. 表 1 中: $\sigma_t$  为拉伸断裂应力; $R$  为简支梁双缺口冲击强度; $\bar{x}$  为均值; $s$  为标准差.

表 1 超高分子材料的表征结果

Tab. 1 Characterization results of ultra-high polymer materials

项目	测量结果			$\bar{x}\pm s$
	第 1 组	第 2 组	第 3 组	
$\sigma_t/\text{MPa}$	28.56	30.04	27.78	$28.79\pm 1.15$
$R/\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$	78.38	75.93	82.25	$78.85\pm 3.19$
$\rho_A/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	0.29	0.27	0.30	$0.29\pm 0.02$
$\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	0.41	0.41	0.42	$0.41\pm 0.01$
$n/\%$	69.42	67.65	70.45	$69.17\pm 1.42$
$M/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	0.58	0.57	0.60	$0.58\pm 0.02$
$r/\%$	140.84	140.74	142.57	$141.38\pm 1.03$

由表 1 可知:超高分子材料拉伸断裂应力均值为 28.79 MPa,抗冲击强度均值为 78.85 kJ $\cdot$ m $^{-2}$ ,这表明超高分子材料具有高强度的力学性能,结构和形态稳定性良好;超高分子材料的抑菌液吸附量均值为 0.58 g $\cdot$ cm $^{-3}$ ,吸附率均值为 141.38%,这表明超高分子材料内部疏松多孔的结构能够吸附大量的抑菌液.

综上可知,超高分子材料能够用于抑菌液的吸附和缓释,超高分子材料具有良好的结构稳定性及较高的抑菌液吸附率,能够吸附大量的抑菌液,从而延长抑菌剂的作用时间.

2.2 固体缓释抑菌剂的缓释和分布效果

2.2.1 固体缓释抑菌剂的释放时间 将固体缓释抑菌剂置于恒温箱内,每天检测恒温箱空气中抑菌剂质量浓度,由此得到空气中抑菌剂质量浓度-时间变化曲线,如图 2 所示.

由图 2 可知:空气中抑菌剂质量浓度在前 10 d 内保持相对稳定,第 10 d 后开始降低,这是因为超高分子材料对抑菌液吸附量有限,持续释放 10 d 后,抑菌剂的释放速率减缓,释放速率小于自然沉降速率,故空气中抑菌剂质量浓度开始逐渐降低;第 11 d,空气中抑菌剂质量浓度仍大于  $60\text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,能够达到有效抑菌浓度;第 12 d,空气中抑菌剂质量浓度降至  $30\text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$  左右,未达到有效抑菌浓度;第 13 d 后,抑菌剂质量浓度降至接近  $0\text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,表明固体缓释抑菌剂已经完全释放.

由此可知,以超高分子材料为载体的固体缓释抑菌剂持续释放时间为 11 d,释放过程中抑菌剂质量浓度保持相对稳定.

2.2.2 空气中抑菌剂的分布均匀度 测定恒温箱 5 个采样点不同时间的抑菌剂质量浓度,抑菌剂质量浓度-时间变化曲线,如图 3 所示.图 3 中:采样点 1 为中部采样点;采样点 2~5 为 4 个角落的采样点.

由图 3 可知:30 min 之前,中部采样点质量浓度较高;45 min 之后,各采样点的抑菌剂质量浓度无明显差异,说明抑菌剂由中部向四周扩散;各采样点的抑菌剂质量浓度在 45 min 之后均达到最高值且保持稳定,抑菌剂质量浓度分布均匀.

因超高分子材料的骨架空间位阻作用,抑菌液的扩散和气体的挥发受到限制,抑菌液的平均释放速率在一定时间内保持恒定,呈零级释放动力学特征.在 45 min 之后,抑菌剂质量浓度达到峰值,且不再继续升高,此时,抑菌剂的释放速率与其自然沉降速率达到动态平衡,空气中抑菌剂质量浓度处于相对稳定状态.

2.3 固体缓释抑菌剂的抑菌效果

2.3.1 不同消毒方法抑菌效果的对比 在不同时间点对空气样本进行菌落培养计数,比较不同消毒方法的抑菌效果,结果如表 2 所示.

由表 2 可知:3 种消毒方法都可以达到显著的抑菌效果,紫外灯灭菌法和过氧乙酸灭菌法在短时间内的抑菌效果优秀,但 24 h 后恒温箱空气中菌落数逐渐恢复正常水平;固体缓释抑菌剂不仅在短时间内对病菌的杀灭效果表现优秀,并且对细菌的抑制效果能够保持长时间,在作用期间,固体缓释抑菌剂的抑菌效果显著且稳定.

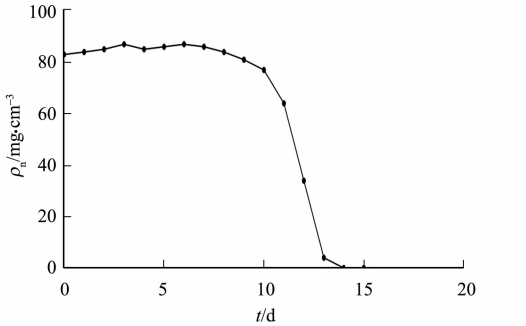


图 2 空气中抑菌剂质量浓度-时间变化曲线  
Fig. 2 Concentration-time curves of bacteriostatic agents in air

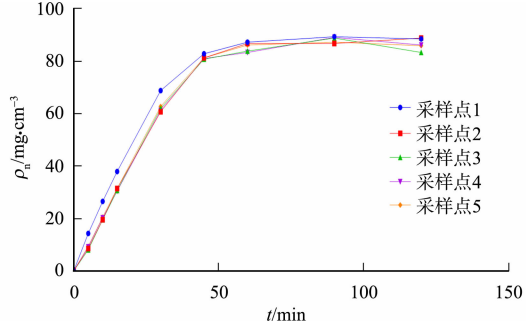


图 3 不同采样点抑菌剂质量浓度-时间变化曲线  
Fig. 3 Concentration-time curves of bacteriostatic agents at different sampling points

组别	$B/\text{cfu}\cdot\text{m}^{-3}$						
	消毒前	$t=0\text{ h}$	$t=6\text{ h}$	$t=12\text{ h}$	$t=24\text{ h}$	$t=72\text{ h}$	$t=120\text{ h}$
实验组(固体缓释抑菌剂)	$632\pm45$	$119\pm22$	$136\pm16$	$128\pm25$	$117\pm11$	$139\pm13$	$146\pm31$
对照组(紫外灯消毒法)	$634\pm51$	$73\pm15$	$171\pm34$	$373\pm41$	$536\pm43$	$633\pm66$	$639\pm41$
对照组(过氧乙酸消毒法)	$612\pm32$	$94\pm17$	$203\pm26$	$294\pm29$	$461\pm41$	$614\pm34$	$637\pm83$
空白对照	$597\pm41$	$612\pm51$	$620\pm63$	$591\pm52$	$589\pm45$	$642\pm33$	$617\pm69$

2.3.2 固体缓释抑菌剂对不同菌种的抑菌效果 对固体缓释抑菌剂进行抑菌效果检验,采用 4 种常见

的致病菌进行试验,结果如表 3 所示.

由表 3 可知:在 10 d 内,固体缓释抑菌剂对 4 种常见致病菌的平均杀灭率均高于 99 %,说明固体缓释抑菌剂能够显著抑制 4 种致病菌. 因此,固体缓释抑菌剂能够应用于日常不同场所的消毒抑菌.

表 3 固体缓释消毒剂的抑菌效果  
Tab. 3 Antibacterial effect of solid sustained-release disinfectant

致病菌	$L_{ave}/\%$			
	$t=1\text{ d}$	$t=3\text{ d}$	$t=5\text{ d}$	$t=10\text{ d}$
大肠杆菌	99.71±0.11	99.53±0.35	98.98±0.34	99.08±0.26
金黄色葡萄球菌	99.91±0.11	99.43±0.31	99.18±0.12	99.52±0.11
日沟维肠杆菌	99.63±0.23	99.32±0.21	99.22±0.09	98.90±0.33
白色念珠菌	99.85±0.15	99.83±0.21	99.74±0.24	99.22±0.14

### 3 结论

采用挥发性中西药复配抑菌液作为主药成分,采用超高分子材料作为载体,制备长效的固体缓释抑菌剂. 通过半熔烧结技术制得的超高分子材料具有特殊的分子微观结构、良好的力学性能和结构稳定性,超高分子材料内部相互堆砌形成微孔,能够很好地吸附抑菌液,具有较高的抑菌液吸附率. 超高分子材料通过空间位阻作用对抑菌液进行缓释,延缓抑菌液的扩散和挥发速率,延长抑菌时间. 中西药复配抑菌液主要成分包括中药提取物(大黄、姜黄、苦参和金银花等)和季铵盐类衍生复合物,将中药与季铵盐类消毒剂配伍,可提高消毒剂的消毒效果与稳定性. 中西药复配抑菌液具有较强挥发性,能够挥发并随空气流动分布于周围环境的空气中,与含氯消毒剂、乙醇消毒剂相比,中西药复配抑菌液不仅能够在空气中保持长时间的持续抑菌效果,而且具有更温和的性质,无明显的生理刺激性,具有更高的安全性. 对固体缓释抑菌剂的抑菌效果进行检验,结果表明,制得的固体缓释抑菌剂抑菌效果优秀,能够显著抑制多种常见的致病菌.

固体缓释抑菌剂具有优秀的力学性能及缓释性,不仅弥补了传统液体抑菌剂在使用、运输和储存上的不便性,而且延长了抑菌剂的作用时间,无需频繁更换,节约成本的同时又可减少对环境的污染. 与传统的消毒方法相比,固体缓释抑菌剂不仅表现出优秀的抑菌效果,对一定范围环境中的多种致病菌具备显著的抑菌作用,而且作用时间大为延长,能够保持长达 11 d 的持续抑菌,为大众的日常消毒抑菌防护提供了新的选择.

在 1 m<sup>3</sup> 的较小空间内对固体缓释抑菌剂的缓释性能和抑菌效果进行考察,实际应用中需要采用更多的固体缓释抑菌剂才能达到有效抑菌质量浓度. 今后的研究将采用不同分子量原料、不同工艺制备超高分子量材料,得到不同结构的超高分子材料,通过调整超高分子材料的大小和形状,增强其吸附和缓释性能,使其吸附更多抑菌液,延长作用时间,扩大作用范围,增强抑菌效果,使固体缓释抑菌剂具有更广阔的应用前景.

### 参考文献:

[1] HAMID S,MIR M Y,ROHELA G K. Novel coronavirus disease (COVID-19): A pandemic (epidemiology, pathogenesis and potential therapeutics)[J]. New Microbes and New Infections,2020,35:100679. DOI:10.1016/j.nmni.2020.100679.

[2] 国务院应对新型冠状病毒肺炎疫情联防联控机制综合组. 新型冠状病毒肺炎防控方案(第七版)[R]. 北京:中华人民共和国国家卫生健康委员会,2020.

[3] LU Mingchun,CHEN Polin,HUANG Daji,*et al.* Disinfection efficiency of hospital infectious disease wards with chlorine dioxide and hypochlorous acid[J]. Aerobiologia,2021,37(1/2):11-10. DOI:10.1007/s10453-020-09670-8.

[4] ZHANG Heng,ZHEN Qi,GUAN Xiaoyu,*et al.* Fluffy polypropylene-polyethylene glycol fabrics with branched micro and nanofibrous structures for rapid liquid transport[J]. Polymer Testing,2020,83:106310. DOI:10.1016/j.polymertesting.2019.106310.

[5] YUAN Shangqin,SHEN Fei,CHUA Kaize,*et al.* Polymeric composites for powder-based additive manufacturing:

- Materials and applications[J]. Progress in Polymer Science, 2019, 91:141-168. DOI:10.1016/j.progpolymsci.2018.11.001.
- [6] LAADOUA H, PRADEILLES N, LUCAS R, *et al.* Preparation of ZrC/SiC composites by using polymer-derived ceramics and spark plasma sintering[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2020, 40(5):1811-1819. DOI:10.1016/j.jeurceramsoc.2019.12.019.
- [7] CASTELLANOS D, MARTIN P J, BUTTERFIELD J, *et al.* Sintering and densification of fibre reinforcement in polymers during rotational moulding[J]. Procedia Manufacturing, 2020, 47:980-986. DOI:10.1016/j.promfg.2020.04.301.
- [8] LERMONTOV S A, MAKSIMKIN A V, MALKOVA A N, *et al.* Ultra-high molecular weight polyethylene with hybrid porous structure[J]. Polymer, 2020, 202:122744. DOI:10.1016/j.polymer.2020.122744.
- [9] ZHANG Qingfa, XU Hang, LU Wenyu, *et al.* Properties evaluation of biochar/high-density polyethylene composites: Emphasizing the porous structure of biochar by activation[J]. Science of the Total Environment, 2020, 737:139770. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.139770.
- [10] RANGSWAMY M K, HALDAR S, RAJESH K, *et al.* Comparative study on the efficacy of the UHMWPE surface modification by chemical etching and electrostatic spraying method for drug release by orthopedic implants[J]. Materials Science and Engineering: C, 2019, 105:110117. DOI:10.1016/j.msec.2019.110117.
- [11] SUN Zhipeng, JIANG Zhiguo, QIU Zhaobin. Thermal, crystallization and mechanical properties of branched Poly(butylene succinate) copolymers with 1, 2-decanediol being the comonomer[J]. Polymer, 2020, 213:123197. DOI:10.1016/j.polymer.2020.123197.
- [12] ZHAO Huizhong, LEI Min, LIU Tao, *et al.* Synthesis of composite material HKUST-1/LiCl with high water uptake for water extraction from atmospheric air[J]. Inorganica Chimica Acta, 2020, 511:119842. DOI:10.1016/j.ica.2020.119842.
- [13] SUGIMAN S, SALMAN S, MARYUDI M. Effects of volume fraction on water uptake and tensile properties of epoxy filled with inorganic fillers having different reactivity to water[J]. Materials Today Communications, 2020, 24:101360. DOI:10.1016/j.mtcomm.2020.101360.
- [14] BRETT N, RICHARD C, HAEEWO J, *et al.* Occurrence of both nonvolatile and semivolatile carbonaceous air particulate markers using thermal desorption-pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry[J]. Atmospheric Environment, 2020, 24(6):118058. DOI:10.1016/j.atmosenv.2020.118058.
- [15] LIU Zaizhi, DENG Baoqin, LI Shuailan, *et al.* Optimization of solvent-free microwave assisted extraction of essential oil from *Cinnamomum camphora* leaves[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 124:353-362. DOI:10.1016/j.indcrop.2018.08.016.
- [16] 中华人民共和国卫生部. 消毒技术规范[S]. 北京:中华人民共和国卫生部, 2002.
- [17] 赵杨, 许明, 王秋芸, 等. 两种采样方法对洁净手术室空气细菌监测结果比较分析[J]. 中国消毒学杂志, 2019, 36(5):340-342. DOI:10.11726/j.issn.1001-7658.2019.05.007.

(责任编辑: 钱筠      英文审校: 刘源岗)