

生物消光材料的扩散特性

李 乐^{1,2}, 胡以华^{1,2}, 王 枭^{1,2}, 顾有林^{1,2}, 赵义正^{1,2}, 于 磊^{1,2}

- (1. 脉冲功率激光技术国家重点实验室(电子工程学院), 安徽 合肥 230037;
2. 电子制约技术安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230037)

摘 要: 生物材料具有形态丰富、粒径分布广、培养周期短、质量密度低等特点, 研究其性能特点对发展新型消光材料具有重要意义。针对生物消光材料在实际应用中的扩散特性, 根据莱赫特曼扩散理论, 建立了生物消光材料扩散模型, 然后对典型自然环境下的生物材料扩散进行了模拟仿真, 并定量讨论了风速、地面粗糙度等因素对生物材料扩散的影响。结果表明, 受风速以及地面粗糙度等原因的影响, 参考点高度的生物材料浓度的最大值不断减小, 其空间位置也随着时间的变化不断移动。风速越大, 地面粗糙度越高, 生物消光材料扩散速率越大。

关键词: 生物材料; 扩散特性; 地面粗糙度; 风速

中图分类号: O433.1 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201746.0621001

Diffusion characteristics of biological extinction material

Li Le^{1,2}, Hu Yihua^{1,2}, Wang Xiao^{1,2}, Gu Youlin^{1,2}, Zhao Yizheng^{1,2}, Yu Lei^{1,2}

- (1. State Key Laboratory of Pulsed Power Laser (Electronic Engineering Institute), Hefei 230037, China;
2. Anhui Province Key Laboratory of Electronic Restriction, Hefei 230037, China)

Abstract: The biological material has the characteristics of rich morphology, wide particle size distribution, short growth cycle, low mass density. It is significant to study its performance characters for development of new extinction material. In order to study the diffusion characteristic of biological extinction material, according to Reichtman diffusion theory, the diffusion model of biological material was established. The diffusion of biological material in typical natural environment was simulated, and the effects of wind speed and surface roughness on the diffusion of biological material were quantitatively discussed. The results indicate that the maximum value of concentration of biological material on reference point was continuously reduced, and the spatial position of maximum value maximum value of concentration was also changed. The higher the wind speed and the greater the surface roughness, the faster the diffusion rate of biological material was.

Key words: biological material; diffusion characteristics; surface roughness; wind speed

收稿日期: 2016-10-05; 修订日期: 2016-11-03

基金项目: 国家自然科学基金(61271353)

作者简介: 李乐(1989-), 男, 博士生, 主要从事红外光谱分析方面的研究。Email: happylee_golf@163.com

导师简介: 胡以华(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事空间和光电信息处理方面的研究。Email: skl_hyh@163.com

0 引言

目前,传统的无机消光材料在军、民用领域得到广泛使用,但这些材料存在一定的不足,例如原材料昂贵、生成效率低、消光波段单一、对环境以及使用人员有害等。这些不足一定程度上制约了无机消光材料的长远发展。生物材料具有形态丰富、粒径分布广、培养快捷方便、质量密度低等特点,研究其性质特点对发展新型吸波材料具有重要意义。目前,针对生物消光材料的消光特性,国内外学者已开展了相关研究^[1-6]。K. P. Gurton^[7]等人测量了雾化枯草芽孢杆菌红外波段的透过率,分析了枯草芽孢杆菌的红外消光性能。孙杜娟^[8-9]等人分析了金属化生物材料的红外、微波的消光性能,得出了金属化生物材料具有作为红外与微波波段材料的潜力。赵新颖^[10]等人从微观方面分析了微生物材料凝聚粒子群的激光衰减特性,为生物材料的制备与使用提供了指导。上述研究均是从静态的角度分析生物消光材料的特性,但在实际应用中,特别是在空域内使用生物消光材料,影响其消光效果的因素很多,除了本身性能以外,还与自然环境密切相关,因此,需要对材料释放空域后的运动特性进行研究。

文中对制备出生物材料 AN0429 的空间扩散运动特性进行了建模仿真,并对影响其扩散特性的自然环境因素进行了分析,得出结论对生物材料的实际使用具有一定的指导意义。

1 材料的制备

文中所用的生物消光材料由本课题组经物料配制→消毒→接种→大型发酵罐发酵→菌种收集→真空冷冻机干燥→样品筛过筛→流程制备出真菌孢子类消光材料 AN0429。其中经发酵罐发酵后的菌种用无菌水进行洗涤,洗涤下的真菌孢子悬液经冷冻离心机 12 000 rpm 离心 5 min,取沉淀,洗涤,继续离心取沉淀,至上清液清澈,达到菌种收集的目的。收集到的真菌孢子经过真空冷冻机干燥、超声破碎仪分散以及样品筛筛选等材料处理阶段得到符合消光要求的生物材料 AN0429。

得到的消光材料 AN0429 存放在加硅胶的干燥皿中,室温下保藏。图 1 为 AN0429 样品图,图 2 为

材料 AN0429 的电镜扫描图。由图 2 可知消光材料 AN0429 粒径分布集中,平均粒径在 4~5 μm。



图 1 AN0429 样品图片

Fig.1 Sample photo of AN0429

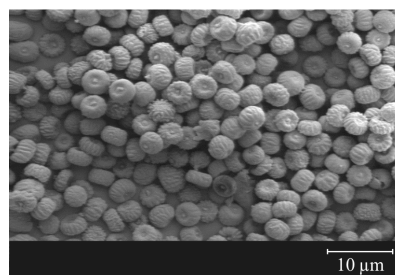


图 2 AN0429 的电镜扫描图

Fig.2 Scanning electron micrograph of AN0429

2 扩散模型

在实际使用过程中,生物材料 AN0429 形成悬浮于自由大气中由高分散度的微粒组成的生物气溶胶,在湍流作用下,生物材料 AN0429 的重力沉降几乎可以忽略,整个生物气溶胶的活动决定于空气介质的活动。因此,生物材料(生物气溶胶)的扩散与近地面大气层的性质有密切关系。

大气在任何时候都不会处于静止状态,往往也有各种不同方向的空气气流和涡旋运动。不规则的气流与涡旋不断地使释放后的生物材料混入相邻的大气层,这叫做湍流扩散^[11]。湍流扩散使生物材料的浓度不断降低,宽度和厚度不断增大,从而影响生物材料的消光性能。因此,在建立生物消光材料扩散模型时需考虑湍流扩散。而大气湍流的强度取决于近地层空气垂直稳定度 n ,通常用公式(1)表示:

$$n=1-\frac{t_{20}-t_{150}}{u_{100}} \quad (1)$$

式中: t_{20} 为离地 20 cm 高的气温; t_{150} 为离地 150 cm 高的气温; u_{100} 为离地 100 cm 高的风速。

假设生物材料瞬时释放,其扩散过程可根据莱赫特曼扩散理论^[1]进行表示,释放环境中风向沿 x 轴正向,坐标原点为生物材料释放地点对应地平面的点,图 3 为生物材料释放后扩散示意图。

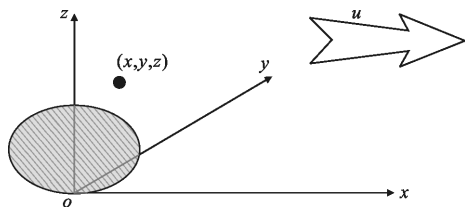


图 3 生物材料释放后扩散示意图

Fig.3 Diffusion diagram after releasing biological material

随着时间的变化,释放空间内某点 (x, y, z) 在时刻 t 的浓度 $C(x, y, z, t)$ 为:

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q_0 K_a \exp \left[-\frac{(x-u_1 t)^2 + y^2}{4K_0 t + r_0^2} - \frac{z^n}{K_1 n^2 z_1^{n-2} t + h_0^n} \right]}{\pi (4K_0 t + r_0^2) (K_1 n^2 z_1^{n-2} t + h_0^n)^{1/n} \Gamma(1+1/n)} \quad (2)$$

式中: Q_0 为释放的生物材料质量; K_a 为生物材料形成气溶胶的质量分数; t 为生物材料释放后的时间; z_1 为参考点高度,一般取 1 m; n 为大气稳定度参数; u_1 为参考点高度 1 m 的风速; h_0 为生物材料释放时的起始高度; r_0 为生物材料释放时的起始半径; K_0 和 K_1 分别为水平扩散系数和参考点高度处的垂直扩散系数,两者关系为:

$$K_0 = K_1 \times 13.5^{2-n} \quad (3)$$

为简化计算,假设为等温情况,即 $n=1$,此时的 K_1 可表示为:

$$K_1 = \frac{K k^2 z_1}{\ln(z_1/z_0)} \quad (4)$$

式中: k 为卡门常数,一般取 0.4。 $\Gamma(1+1/n)$ 为 Γ 函数,可表示为:

$$\Gamma(1+1/n) = \int_0^\infty x^{1/n} e^{-x} dx \quad (5)$$

3 仿真分析

设生物材料释放时的起始半径 r_0 为 5 m,起始高度 h_0 为 5 m,参考点 1 m 高处风速为 1 m/s²,气象条件为等温条件($n=1$),地面粗糙度为 0.02 m,释放生物材料的总重量为 Q_0 为 1 kg,则释放空间内参考生物材料的浓度变化曲线如图 4 所示。图 5 为 t 为 10 s

时,观测点高度为 1 m 时,生物材料在释放空间的浓度分布。

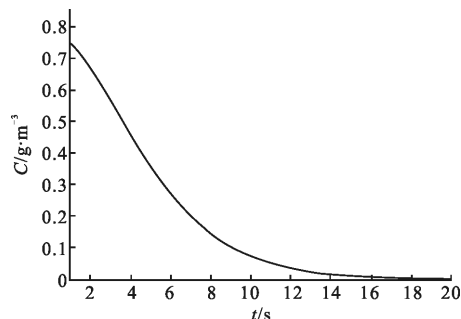


图 4 生物材料的浓度变化曲线

Fig.4 Biological material concentration curve

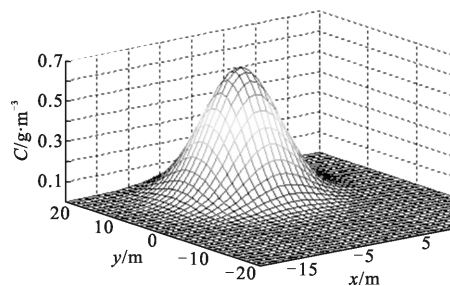


图 5 $t=10$ s 时参考高度生物材料浓度分布

Fig.5 $t=10$ s, concentration profiles of biological material at reference height

由图 4、图 5 可以看出受风速以及地面粗糙度等原因的影响,生物材料在释放后,由于扩散作用,初始释放半径不断增大,参考点浓度也逐渐降低。由于垂直扩散作用,参考高度的生物材料浓度的最大值不断减小,又因为水平扩散作用,浓度最大值的空间位置也随着时间的变化不断移动。

3.1 风速对扩散的影响

由公式(2)可知风速是影响生物材料扩散的一个重要因素,设生物材料释放时的起始半径 r_0 为 5 m,起始高度 h_0 为 5 m,参考点 1 m 高处风速分别为 0.5、1、1.5 m/s,气象条件为等温条件($n=1$),地面粗糙度为 0.02,释放生物材料的总重量为 Q_0 为 1 kg,则不同风速条件下,释放空间内生物材料的浓度变化曲线如图 6 所示。由图 6 可知,风速对生物材料扩散的影响明显,风速越大,扩散速度越快,浓度变化越快,特别是扩散的开始阶段,浓度减小速度快,10 s 过后,浓度趋于稳定。

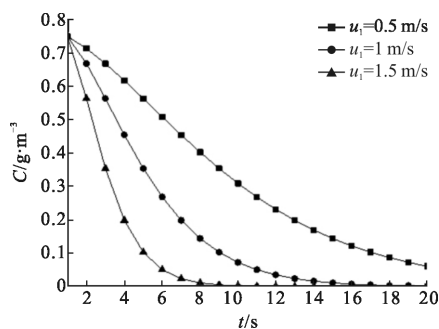


图 6 不同风速条件下,生物材料的浓度变化曲线

Fig.6 Variety of biological material concentration with different wind speed

3.2 地面粗糙度的影响

地面粗糙度也会影响生物材料的扩散,为定量分析其影响效果,设生物材料释放时的起始半径 r_0 为 5 m,起始高度 h_0 为 5 m,参考点 1 m 高处风速分别为 1 m/s,气象条件为等温条件($n=1$),地面粗糙度分别为三种典型地面覆盖物的代表值,分别为水面 $z_{00}=0.001$ m,长草地 $z_{00}=0.05$ m 以及城郊房舍区 $z_{00}=0.6$ m,释放生物材料的总重量为 Q_0 为 1 kg,则不同地面粗糙度条件下,释放空间内生物材料的浓度变化曲线如图 7 所示。

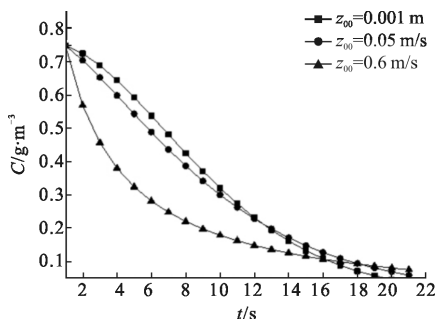


图 7 不同地面粗糙度生物材料的浓度变化曲线

Fig.7 Variety of biological material concentration with different surface roughness

由图 7 可知,在城郊房舍区环境下使用生物材料,开始浓度下降较快,后浓度变化趋近平稳;在水面环境下释放生物材料,相比之下,浓度值下降则较小。说明使用环境不同,生物材料的扩散速度不同,这与使用环境中的地面粗糙度有关。地面粗糙度越高,水平垂直扩散系数越大,生物材料的浓度下降就越快。这与文献所述一致^[13]。

4 结论

通过上述仿真分析可得生物消光材料在的扩散

过程与释放使用时的自然环境密切相关。风速越大,扩散速度越快,浓度变化越快;地面粗糙度越高,水平垂直扩散系数越大,生物材料的浓度下降也越快,这些变化在释放使用的初始阶段特别明显。因此,在实际使用中,在计算释放生物消光材料的使用量时,一定要充分考虑释放地的自然环境选择材料的使用质量,这样才能使得消光性能达到要求。

参考文献:

- [1] Ross K F A, Eve Billing. The water and solid content of living bacterial spores and vegetative cells as indicated by refractive index measurement[J]. *J Gen Microbiol*, 1997, 16: 418-525.
- [2] Velazco-Roa M A, Xhongova E D, Thennadil S N. Complex refractive index of nonspherical particles in the visible near infrared region-application to Bacillus subtilis spores[J]. *Appl Opt*, 2008, 47(33): 6183-6189.
- [3] Li Le, Hu Yihua, Gu Youlin, et al. Infrared extinction performance of Aspergillus niger spores [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(7): 2175-2179. (in Chinese)
李乐, 胡以华, 顾有林, 等. 黑曲霉孢子红外波段消光性能研究[J]. *红外与激光工程*, 2014, 43(7): 2175-2179.
- [4] Feng Mingchun, Xu Liang, Gao Minguang, et al. Optical properties research of Bacillus subtilis spores by fourier transform infrared spectroscopy[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2012, 32(12): 3193-3196. (in Chinese)
冯明春, 徐亮, 高闽光, 等. 傅里叶红外光谱仪对枯草芽孢杆菌的光学特性研究 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2012, 32 (12): 3193-3196.
- [5] Li Le, Hu Yihua, Gu Youlin, et al. Measurement and analysis on complex refraction indices of pear pollen in infrared band [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2015, 35 (1): 89-92. (in Chinese)
李乐, 胡以华, 顾有林, 等. 梨花粉红外波段复折射率测定与分析[J]. *光谱学与光谱分析*, 2015, 35(1): 89-92.
- [6] Tuminello P S, Arakawa E T, Khare B N, et al. Optical properties of Bacillus subtilis spores from 0.2-2.5 μm [J]. *Appl Opt*, 1957, 36(3): 2818-2824.
- [7] Gurton K P, Ligon D A, Kvilavilashvili R. Measured infrared spectral extinction for aerosolized Bacillus subtilis var. niger endospores from 3 to 13 μm [J]. *Appl Opt*, 2001, 40(15): 4443-4448.
- [8] Sun Dujuan, Hu Yihua, Li Le. Test and analysis of infrared and microwave characteristics of metallic farinas [J].

- Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(9): 2531–2535.
(in Chinese)
孙杜娟, 胡以华, 李乐. 金属化花粉红外、微波特性测试与分析[J]. 红外与激光工程, 2013, 42(9): 2531–2535.
- [9] Sun Dajuan, Hu Yihua, Gu Youlin, et al. Preparation and performance testing of metallic biologic particles [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2013, 42(9): 555–558. (in Chinese)
孙杜娟, 胡以华, 顾有林, 等. 金属化生物颗粒的制备与性能测试[J]. 光子学报, 2013, 42(9): 555–558.
- [10] Zhao Xinying, Hu Yihua, Gu Youlin, et al. Transmittance of laser in the microorganism aggregated particle swarm [J]. *Acta Optica Sinica*, 2015, 35(6): 061601. (in Chinese)
赵欣颖, 胡以华, 顾有林, 等. 微生物凝聚粒子群的激光透过率研究[J]. 光学学报, 2015, 35(6): 061601.
- [11] Wang Weiguang, Xu Min, Jiang Weimei, et al. The simulation experiment on the flow feature and turbulence dispersion near building [J]. *Acta Aerodynamica Sinica*, 2015, 999(1): 990113. (in Chinese)
王卫国, 徐敏, 蒋维楣, 等. 建筑物附近气流特征及湍流扩散的模拟实验[J]. 空气动力学学报, 2015, 999(1): 990113.
- [12] Yao Lujiu, Gao Junlin, Xiao Kaitao, et al. Theory and Testing Technique of Smoke[M]. Beijing: National Defense Industry Publishing Company, 2004. (in Chinese)
姚禄玖, 高钧麟, 肖凯涛, 等. 烟幕理论与测试技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [13] Li Zhenshan, Chen Guangting. A review of roughness length [J]. *Journal of Desert Research*, 1997, 17 (1): 99–102. (in Chinese)
李振山, 陈广庭. 粗糙度研究的现状及展望[J]. 中国沙漠, 1997, 17(1): 99–102.