

近海微塑料含量的相干反斯托克斯拉曼光谱成像研究

焦若男, 刘琨*, 孔繁艺, 王婷, 韩雪, 李泳江, 孙长森

大连理工大学光电工程与仪器科学学院, 辽宁 大连 116000

摘要 由于塑料工业的发展, 微塑料成为一种主要的环境污染物。它在自然界中不易降解, 对人类的生存环境及健康都存在不可忽视的潜在危险。因此, 环境中微塑料的检测和分析, 成为了近年来研究的热点问题。目前人们大多数采用浮选法、密度分离法、离心法等方法提取微塑料, 然后放在显微镜下进行目视观察, 并结合拉曼光谱分析、傅里叶红外光谱分析、高光谱成像等方法进行分析鉴别, 这些方法需要较长时间的等待或预处理, 且易受主观因素的影响。因此提出一种快速、准确鉴别环境中是否含有微塑料的技术是必要的。相干反斯托克斯拉曼散射(CARS)光谱成像技术是一种基于化学键振动的非侵入性、非破坏性且无需特殊标记的实时成像方法, 由此提出使用多通道图像采集(含有白光通道成像及CARS光谱成像)的方法快速、准确鉴别环境中微塑料的分布。将直径为 $10\ \mu\text{m}$ 的聚苯乙烯微球掺入到收集的海水及沙子中, 模拟被微塑料污染的海水及沙子, 在不作任何处理的情况下对海水及沙子进行多通道图像采集。通过多通道图像采集可以快速直观地检测到海水中聚苯乙烯微球的分布。在对沙子中的聚苯乙烯微球进行多通道图像采集的同时, 采用拉曼光谱检测与之对照。在拉曼光谱检测中, 聚苯乙烯微球的信号易受沙子荧光信号干扰, 且只有在激光聚焦在聚苯乙烯存在的位置时, 才能检测到微弱的信号。在多通道图像采集检测中, 可以看到沙子中存在的聚苯乙烯微球, 且采用形态学分析中先腐蚀后膨胀的开运算算法同时结合中值滤波的算法后, 可以实现突出显示聚苯乙烯信号的目的。多通道图像采集可以在无任何预处理的情况下检测出海水及沙子中的微塑料, 具有快速简便的优势, 对实现环境中微塑料的检测具有一定的潜在应用价值。

关键词 拉曼光谱; 相干反斯托克斯拉曼散射; 微塑料; 聚苯乙烯

中图分类号: O140.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)04-1022-06

引言

随着塑料制品的广泛应用, 微塑料逐渐成为地球上一种新兴污染物。微塑料是指尺寸小于 5mm 的塑料碎片。由于其形成原因不同, 微塑料被分为初级微塑料和次级微塑料, 初级微塑料是指直接被制成微观尺寸的塑料, 如化妆品中含有的塑料颗粒、药物载体等; 次级微塑料是指大的塑料碎片经过物理、化学、生物等过程分解所得到的产物。微塑料的体积小, 表面积大, 吸附能力强, 扩散范围广。

起初人们对微塑料的研究主要针对海洋生态系统。但近年来研究表明中国渤海海域沉积物中存在约 $100\ \text{个}\cdot\text{kg}^{-1}$ (干重)左右的微塑料^[1]。不仅在我国海域, 在世界各大海域^[2]、南极罗斯海^[3]、甚至北极海冰^[4]中都有微塑料的痕迹。海洋遭到微塑料的袭击, 海洋生物和海产品也不例外。

微塑料不仅被发现存在于虾的体内, 在温哥华岛东海岸的幼年奇努克鲑鱼体内^[5]、伊比利亚群岛常见的海豚胃中^[6]均有微塑料的踪迹。欧洲鳕鱼、螃蟹、海鸟、南极企鹅、双壳类生物以及市场上购买的冷冻鱼中也发现了或多或少的微塑料, 甚至日常生活中不可或缺的海盐中也有微塑料的踪迹。虽然微塑料广泛存在于海洋生态系统中, 但大部分的微塑料都来源于陆地^[7]。耕地是生产粮食必不可少的, 但有的高原耕地却也存在严重的微塑料污染^[8], 这就可能导致种植出的粮食中含有微塑料。2019年, Panebianco等首次在陆生蜗牛体内发现了微塑料^[9]。诸如瓶装水、罐装鱼等产品中检测出微塑料的报道表明微塑料这一新兴污染物已经普遍存在于我们身边。

虽然小于 $20\ \mu\text{m}$ 的微塑料不能在组织中转移, 但更小尺寸的微塑料被吸收转移的概率会大大增加, 如 $2\ \mu\text{m}$ 的微塑料就可被牡蛎吸收^[10]。人类位于生物链的最顶端, 微塑料最

收稿日期: 2021-03-12, 修订日期: 2021-06-17

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(11902066)资助

作者简介: 焦若男, 1996年生, 大连理工大学光电工程与仪器科学学院硕士研究生 e-mail: jiaoruonan@mail.dlut.edu.cn

* 通讯作者 e-mail: liukun@dlut.edu.cn

终会在人体内聚集，引发呼吸道过敏、呼吸困难、咳嗽等症状，进而引发哮喘、心血管类疾病，甚至可能引发癌症，对人体健康产生危害。微塑料污染日益严重，对生物及人类造成的影响也是不可估量的，因此研究微塑料的来源、传播以及治理问题是刻不容缓的。

目前，人们对于微塑料的提取、检测及鉴定有几种不同的方法。对于微塑料的提取大多数采用的是浮选法、密度分离法及过滤法，提取出微塑料后再利用显微镜进行目视观察，或运用拉曼光谱技术^[11]、傅里叶红外光谱技术^[12]、热解气相色谱与质谱法^[13]、高光谱成像等进行检测与鉴定。土壤样品中的微塑料可采用浮选法进行提取，然后利用显微镜观察结合加热法进行鉴定，由于土壤样品中的微塑料受热熔化后会转化为圆形透明颗粒，而有机物、硅酸盐等其他杂质在受热后不发生变化，因此利用加热法进行处理，再利用显微镜进行目视观察，对土壤中的微塑料的提取率可高达 90%^[14]。对环境中微塑料的提取一般还较为简单，而提取生物体内的微塑料则需要更复杂的样品处理，首先要消解生物组织中的有机物，可向样品中加入 H_2O_2 、 HNO_3 ^[11] 和 KOH 溶液^[12] 等试剂达到目的，然后再采用过滤的方式进行提取，最后将过滤所得的滤渣放在高倍显微镜下观察^[5]，或结合拉曼光谱、傅里叶红外光谱、高光谱成像等方法进行识别与鉴定。

可见在提取微塑料的过程中不论是哪种方法，都需要较长时间的等待，甚至需要复杂的样品处理。诸多检测方法中，目视检测对于检测大块的微塑料比较直观，但受主观因素的影响较多，而对于小尺寸微塑料的鉴别，拉曼光谱检测与傅里叶红外光谱检测有一定的优势，但也需要对可疑颗粒进行逐个分析。鉴于此，开发一种快速、准确鉴别环境中是否含有微塑料的技术是有必要的。因此提出使用多通道图像采集的方法检测环境中的微塑料，并结合形态学分析与中值滤波的算法直观显示出微塑料在环境中的分布。

选取海水及沙子为研究对象，由于聚苯乙烯和聚乙烯是世界上最常用的塑料，也是海洋环境中最常见的塑料，所以我们选择将聚苯乙烯微球掺入到海水及沙子中模拟被微塑料污染的海水和沙子，在不进行任何处理的情况下，利用多通道图像采集系统同时获得样品白光通道下的图像及相干反斯托克斯拉曼散射 (coherent anti-stokes Raman scattering, CARS) 光谱成像信号，通过 CARS 光谱成像结合形态学分析与中值滤波算法，直观地显示出海水及沙子中的聚苯乙烯微球的分布，同时与拉曼光谱检测进行了对照。

1 原理

1.1 CARS 光谱成像原理

1965 年，Terhune 和 Maker 等发现了 CARS 现象。CARS 光谱成像是一种基于非线性光学与分子振动的四波混频过程，在 CARS 光谱成像过程中，通常使用泵浦光 (频率为 ω_p) 和斯托克斯光 (频率为 ω_s) 两束光同时激发样品，本研究中采用正向 CARS，当两者频率的差值正好等于所要探测的化学键的振动频率 ω_R (即共振条件 $\omega_R = \omega_p - \omega_s$)，同时又

满足匹配条件 $K_a = 2K_p \pm K_s$ 时，会激发出频率为 $\omega_{as} = 2\omega_p - \omega_s$ 的反斯托克斯光 (图 1)。通过调节延时线使两束光达到匹配从而得到反斯托克斯信号。CARS 光谱成像作为一种成像手段，具有非侵入性、非破坏性、实时性且可三维成像的特点，常被应用于化学、材料、生物和医学等领域，如利用 CARS 对活体小鼠中 C—H 化学键进行成像^[15]。CARS 光谱成像不需要特殊制备或处理样品，因此把它用来检测环境中的微塑料。

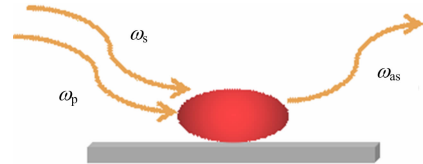


图 1 CARS 示意图

Fig. 1 The schematic of CARS process

1.2 算法分析

图像腐蚀和膨胀是形态学分析的两种基本运算，可以消除噪声、分割独立的图像元素等。腐蚀运算可以消除边界点，使边界向内部收缩，用来消除小且无意义的物体。膨胀运算与之相反，它是使边界向外部扩张的过程，填补物体中的空洞。利用先腐蚀再膨胀的开运算过程，可以消除小物体，平滑较大物体的边界，同时并不会改变原来物体的面积，恰好符合消除小的杂质信号并保留聚苯乙烯大块信号的要求，通过该操作可以滤除图像中大部分杂质信号。经过多次试验，最终采用半径为 1 的平坦型圆盘结构进行腐蚀运

算，运用矩阵 $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ 进行膨胀运算，并结合中值滤波算

法得到有效的结果，为了使输出图像更加清晰，在输出前对图像进行一步线性增强，算法详细过程如图 2 所示。

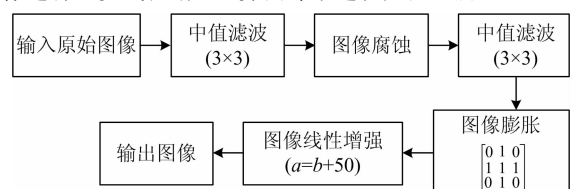


图 2 算法流程图

Fig. 2 Algorithmic framework

2 实验部分

2.1 仪器及材料

使用 RENISHAW (INVIA) 拉曼光谱仪 (激发波长 532 nm, 输出功率 5.15 mW)、Olympus FV1200MPE 系统的多光子激光扫描显微镜 (激发波长 800 nm, 泵浦光功率 149 mW, 斯托克斯光功率 81 mW)、电子天平 (上海梅特勒 JB/T)、高速离心机 (TG16-WS)。

材料为直径 10 μm ，浓度为 0.05 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的聚苯乙烯微球 (上海麦克林生化科技有限公司)、海水 (采集于大连市东港)、沙子 (采集于中国大连星海浴场)。

2.2 方法

将 10 μL 的聚苯乙烯微球与 3 mL 海水均匀混合作为海水的实验样品。将聚苯乙烯微球加去离子水稀释至 0.001 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 取 0.5 mL 加入到 2 g 干沙中, 混合均匀(用离心机以 8 000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 3 min)作为沙子的实验样品。

拉曼光谱在检测环境中的微塑料方面已经是一种成熟的手段, 因此将拉曼光谱检测作为一种对照方法。对样品进行拉曼光谱检测与多通道的图像采集, 并进行分析。

采用 Origin9.0 软件绘制曲线图, 采用 FV10-ASW 4.2 Viewer 进行多通道采集图像的简单处理, 采用 Matlab R2017a 进行算法处理。

3 结果与讨论

3.1 聚苯乙烯微球的拉曼光谱与多通道图像采集

为了能够准确辨别海水及沙子中的聚苯乙烯微球, 首先对聚苯乙烯进行了拉曼光谱检测及多通道图像采集。聚苯乙烯在 998, 1 597 和 3 047 cm^{-1} 等位置处有明显的拉曼频移, 且拉曼频移信号的强度随着微球浓度的降低而减弱(图 3)。选取聚苯乙烯中由苯环内碳原子之间非对称收缩引起的 1 597 cm^{-1} 处的拉曼频移进行多通道图像采集。在多通道图像采集中使用 800 nm 的飞秒激光作为激发光源, 通过分光镜将激光分为两束, 其中一束光作为泵浦光, 另一束光经过光子晶体拓宽为一束宽谱带的光, 两束光同时照射在样品上, 激发出反斯托克斯信号, 通过放置合适的滤光片, 得到特定波数的 CARS 光谱成像信号, 此处采用的为正向的。在 CARS 光谱成像通道中放置(710 \pm 6.5) nm 的滤光片可获取 1 597 cm^{-1} 拉曼频移处的信号, 调节延时线使其相位匹配, 得到了聚苯乙烯的以 1 597 cm^{-1} 为中心的多通道图像采集信号(图 4), 其 CARS 光谱成像信号与白光通道下聚苯乙烯的轮廓可以一一对应, 且不会随着小球的浓度变化而发生变化。

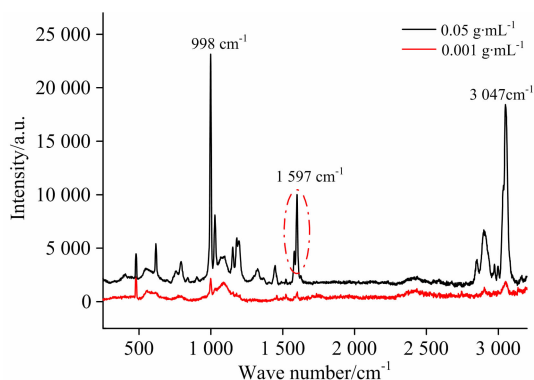


图 3 不同浓度聚苯乙烯微球的拉曼光谱图
Fig. 3 Raman spectrum of polystyrene at different concentrations

3.2 海水中微塑料的检测

在对海水中的聚苯乙烯进行多通道图像采集时, 信号明显且与白光通道下观察到的聚苯乙烯轮廓一一对应。由于激光照射加快了海水蒸发的过程并析出盐颗粒, 海水发生了结

晶, 虽然结晶部位有微弱的 CARS 光谱成像信号, 但经过一次开运算算法, 可以直观地看到聚苯乙烯在海水中的分布(图 5)。

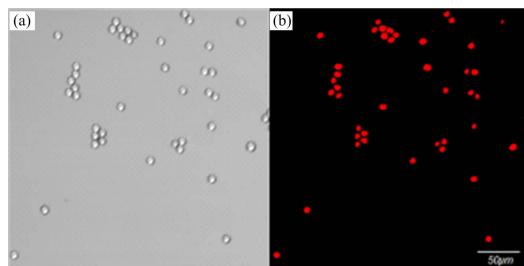


图 4 以 1 597 cm^{-1} 为中心的聚苯乙烯微球的多通道成像
(a): 白光通道成像; (b): CARS 光谱成像

Fig. 4 Multi-channel imaging of polystyrene centered at 1 597 cm^{-1}

(a): The white light imaging; (b): The CARS imaging

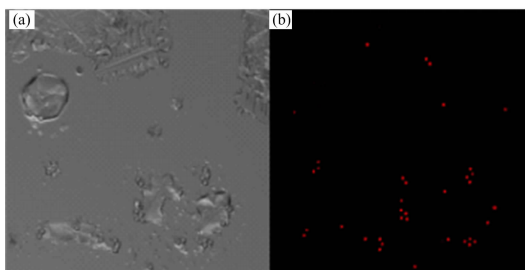


图 5 以 1 597 cm^{-1} 为中心的聚苯乙烯在海水中的多通道成像

(a): 白光通道成像; (b): CARS 光谱成像

Fig. 5 Multi-channel imaging of polystyrene centered at 1 597 cm^{-1} in seawater

(a): The white light imaging; (b): The CARS imaging

适当增加多通道图像采集的曝光时间, 可以使以 1 597 cm^{-1} 为中心的聚苯乙烯信号更加清晰(图 6)。虽然结晶部位的信号也得到了增强, 但结晶的信号普遍位于结晶部位附近, 对检测结果影响不大。进行长时间的连续扫描时, 以 1 597 cm^{-1} 为中心的聚苯乙烯信号强度减弱, 原因可能是长时间的照射, 激光的热量过高导致小球熔化, 如图 7 所示, 箭

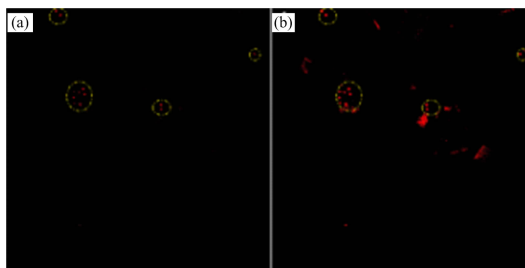


图 6 不同曝光时间下海水中聚苯乙烯的 CARS 光谱成像信号
(a): 曝光时间 2 $\mu\text{s} \cdot \text{像素}^{-1}$; (b): 曝光时间 8 $\mu\text{s} \cdot \text{像素}^{-1}$

Fig. 6 CARS imaging signal of polystyrene in seawater under different exposure times

(a): Exposure time: 2 $\mu\text{s} \cdot \text{pixel}^{-1}$;

(b): Exposure time: 8 $\mu\text{s} \cdot \text{pixel}^{-1}$

头所指位置为含有聚苯乙烯的位置。可以看出，多通道图像采集在检测海水中聚苯乙烯时不受其他成分干扰，可以快速直观地看到聚苯乙烯的分布情况，虽然随着照射时间增长，局部热量导致水分蒸发，海水结晶，会对成像有一定的影响，CARS 系统的单幅扫描成像时间可以在几秒钟完成，完全可以避免海水结晶的干扰。

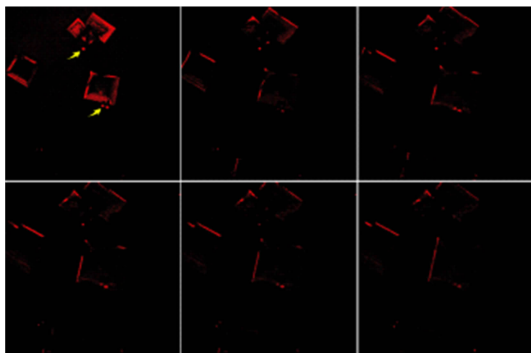


图 7 连续扫描下海水中聚苯乙烯的 CARS 光谱成像信号
Fig. 7 CARS imaging of polystyrene in seawater under continuous scanning

3.3 沙子中的微塑料检测

在对沙子中的微塑料进行检测之前，由于沙子中有较大颗粒，其大小远远超出聚苯乙烯微球的大小，为了避免沙子本身信号形成的干扰，首先对沙子进行了检测。

为了检测沙子与聚苯乙烯是否有重叠的拉曼频移，我们对沙子进行了拉曼光谱检测。由于沙子普遍有较强的荧光信号，在 $700\sim 3\,200\text{ cm}^{-1}$ 波数范围内只有一个大的荧光峰，没有明显的拉曼频移。对所得拉曼光谱图进行了去基线处理，取 $100\sim 700\text{ cm}^{-1}$ 波数范围的拉曼光谱，如图 8 所示(为了直观地区分沙粒的颜色，图 8 中同时展示了显微镜下沙粒的形态)。沙子在 479 cm^{-1} 处有较小的拉曼频移，随着沙粒颜色逐渐变浅，该拉曼频移的信号强度逐渐增强，同时在 $125, 201$ 和 461 cm^{-1} 位置处出现了新的拉曼频移。由于沙子主要是由矿物和微小的岩石碎片组成，且具体成分因地而异，我们认为拉曼频移及强度的差异是由于不同沙粒组成成分及含量的不同导致的。在对沙子进行多通道图像采集时，浅色的

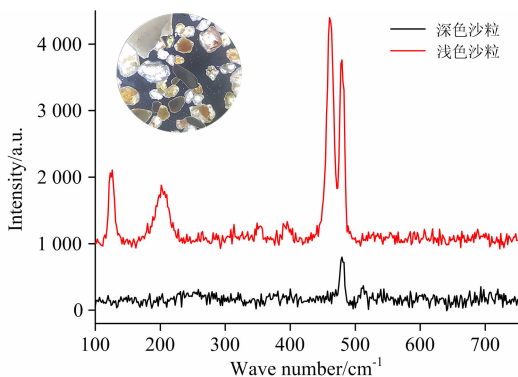


图 8 不同沙粒的拉曼光谱图
Fig. 8 Raman spectrum of different sand

沙粒几乎没有 CARS 光谱成像信号，而深色沙粒有较强的 CARS 光谱成像信号(图 9)，这也进一步证实了不同颜色的沙粒组成成分的不同。对于细小沙粒，CARS 光谱成像信号多为小且离散的信号，这与以 $1\,597\text{ cm}^{-1}$ 为中心的聚苯乙烯的信号相比有较大的差别。

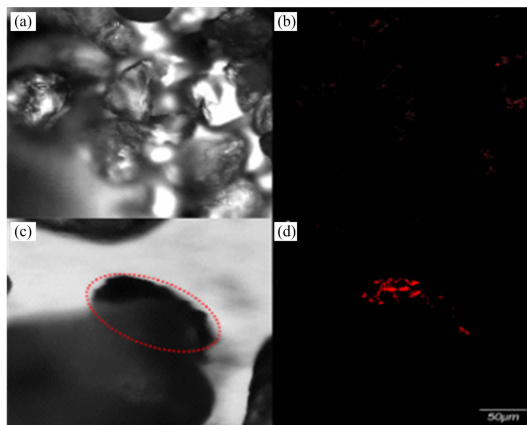


图 9 沙粒的多通道成像
(a), (b) 分别为透明沙粒的白光及 CARS 光谱成像信号；
(c), (d) 分别为深色沙粒的白光及 CARS 光谱成像信号

Fig. 9 Multi-channel imaging of sand

(a), (b) are white light and CARS images of transparent sand particles; (c), (d) are white light and CARS images of dark sand particles

接下来对沙子与聚苯乙烯混合后的样品进行拉曼光谱检测，沿一直线取十个点依次进行拉曼光谱检测，沙子有强烈的荧光，对所得数据进行去基线处理后，发现只有在激光聚焦在聚苯乙烯存在的位置时，才能检测到微弱的信号(图 10)。对沙子中的单个聚苯乙烯进行检测，聚苯乙烯的大部分信号会被沙子的强荧光遮住，进行去基线及平滑处理后，可以看到较小的信号(图 11)。由此可见，运用拉曼光谱检测的方法来检测沙子中的聚苯乙烯具有一定的局限性，若要准确的测得沙子中是否含有聚苯乙烯就要进行拉曼逐点扫描成像，这一过程非常耗时，且沙子的荧光对聚苯乙烯的检测有较大影响，需要进一步的数据处理才能得到想要的结果。

对其进行多通道图像采集，与海水的多通道图像采集结果不同，沙子对聚苯乙烯的检测有一定的干扰。如图 11 所示，

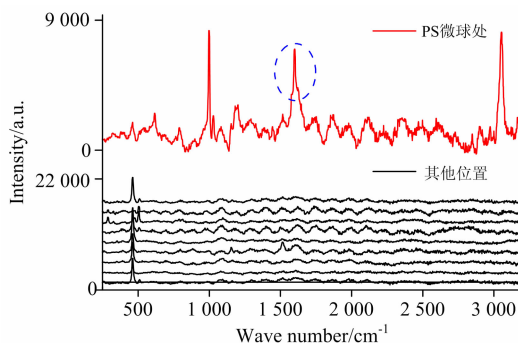


图 10 含有聚苯乙烯的沙子中不同位置的拉曼光谱图
Fig. 10 Raman spectrum of different locations in sand containing polystyrene

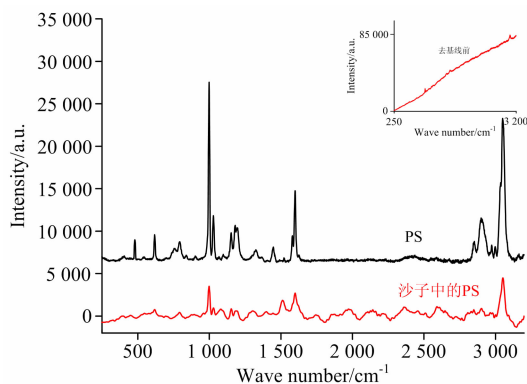
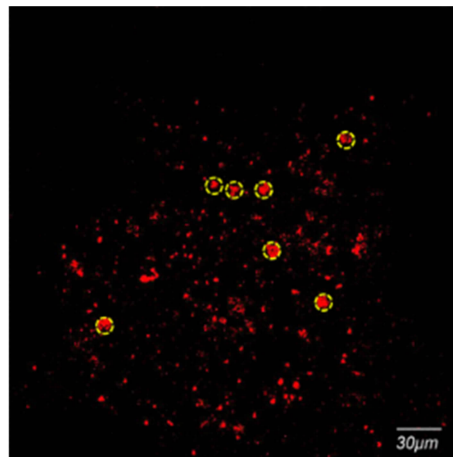
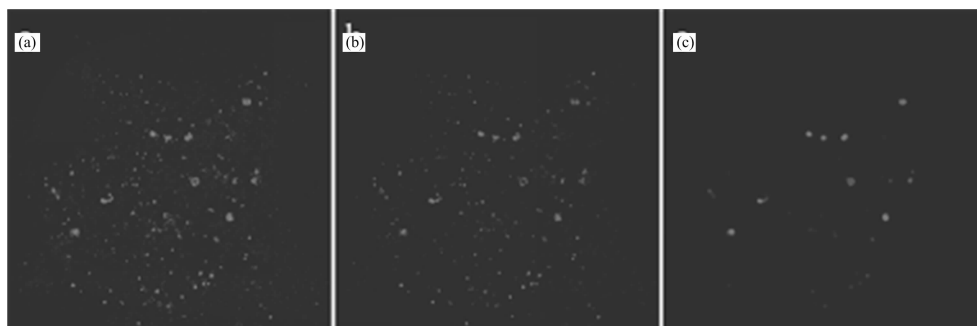


图 11 沙子中聚苯乙烯的拉曼光谱图

Fig. 11 Raman spectrum of polystyrene in sand

CARS 光谱成像信号中有大且聚集信号和一些点状离散信号。将白光通道成像与 CARS 光谱成像信号进行对比,发现较大且聚集的信号与聚苯乙烯的轮廓相符(图 12),其中黄色圆圈标记的位置是可以确定为聚苯乙烯的位置,点状离散信号可以确定为沙子本身的信号,在该检测过程中为干扰信号。由于在 CARS 光谱成像信号中并不能明显地从沙子中辨别出聚苯乙烯,对图像进行算法处理。因为聚苯乙烯与沙子的信号尺寸差距较大,首先采用滤波算法进行处理。然而经过 3×3 的中值滤波算法后仍然存在大范围的沙子信号的干扰[图 13(a)]。由于聚苯乙烯微球有一定的体积,在进行多通道图像采集过程中可能存在不同的聚苯乙烯微球在不同的焦平面从而使得聚苯乙烯的信号不够均匀,边界不够平滑,

这可能导致在滤波过程中将有效信息滤除,因此提出运用先腐蚀后膨胀的开运算算法,得到的结果仍然不够直观[图 13(b)]。经过多次试验,发现腐蚀膨胀与中值滤波相结合的算法可以得到较好的结果。首先通过 3×3 的中值滤波结合图像腐蚀算法去除掉沙子的点状信号,再经过中值滤波结合膨胀算法填充聚苯乙烯的信号,使其信号均匀,边界平滑,便于观察。经此过程可以滤除掉大部分沙子的点状离散信号而保留聚苯乙烯的大且聚集信号。虽然所得结果不够精确,但能够直观地看到聚苯乙烯在沙子中的分布[图 13(c)]。

图 12 以 1597 cm^{-1} 为中心的聚苯乙烯在沙子中的 CARS 光谱成像信号Fig. 12 CARS imaging of polystyrene in sand centered at 1597 cm^{-1} 图 13 不同算法处理后的以 1597 cm^{-1} 为中心的聚苯乙烯在沙子中的 CARS 光谱成像信号

(a): 仅中值滤波; (b): 开运算; (c): 滤波与开运算结合

Fig. 13 CARS imaging of polystyrene in sand after processing by algorithm

(a): Median filter; (b): Erode and dilation; (c): Corrosion and expansion combined with median filtering

4 结 论

运用多通道图像采集的方法快速检测出海水及沙子中的微米级聚苯乙烯。对于毫米级的微塑料,该检测手段的准确

率将大幅提高。对于不同种类的微塑料,如聚乙烯、聚丙烯等,可以以不同的拉曼频移为中心,选用对应的滤光片进行成像。与目前其他检测手段相比,在不进行预处理的情况下,多通道图像采集对于微米量级的微塑料可以快速识别,也展现出了其对环境中的微塑料检测方面应用潜力。

References

- [1] Zhao J, Ran W, Teng J, et al. Science of the Total Environment, 2018, 640: 637.

- [2] de Haan W P, Sanchez-Vidal A, Canals M, et al. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 140: 523.
- [3] Cincinelli A, Scopetani C, Chelazzi D, et al. *Chemosphere*, 2017, 175: 391.
- [4] Geilfus N, Munson K M, Sousa J, et al. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 145: 463.
- [5] Collicutt B, Juanes F, Dudas S E. *Environmental Pollution*, 2019, 244: 135.
- [6] Hernandez-Gonzalez A, Saavedra C, Gago J, et al. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 137: 526.
- [7] Karbalaee S, Hanachi P, Walker T R, et al. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25(36SI): 36046.
- [8] Huang B, Sun L, Liu M, et al. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 28(2): 1675.
- [9] Panebianco A, Nalbone L, Giarratana F, et al. *Food Control*, 2019, 106(UNSP 106722): 106722.
- [10] Scanes E, Wood H, Ross P. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 149: 110537.
- [11] Karlsson T M, Vethaak A D, Almroth B C, et al. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 122(1-2): 403.
- [12] Hermesen E, Pompe R, Besseling E, et al. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 122(1-2): 253.
- [13] Dodson G Z, Shotorban A K, Hatcher P G, et al. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, 151: 110869.
- [14] Zhang S, Yang X, Gertsen H, et al. *Science of the Total Environment*, 2018, 616: 1056.
- [15] HOU Guo-hui, CHEN Bing-ling, LUO Teng, et al(侯国辉, 陈秉灵, 罗 腾, 等). *Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析)*, 2018, 38(2): 606.

Research on Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy Detection of Microplastics in Seawater and Sand

JIAO Ruo-nan, LIU Kun*, KONG Fan-yi, WANG Ting, HAN Xue, LI Yong-jiang, SUN Chang-sen

School of Optoelectronic Engineering and Instrumentation Science, Dalian University of Technology, Dalian 116000, China

Abstract With the development of the plastic industry, microplastic, which is difficult to degrade in nature, became one of the main environmental pollutants. Moreover, it harms human health as it accumulates within the organisms and environment. Therefore, the detection and assessment of microplastics in the environment have been highly concern in recent years. Most the works first extract microplastics from samples by flotation, density or centrifugation separation system, and then find the microplastics under a microscope directly or combine with Raman spectroscopy, Fourier Transform infrared spectroscopy, Hyperspectral imaging and other methods for analysis and identification. Nonetheless, these methods require a long waiting time for pretreatment and could easily be affected by subjective factors. To identify whether the microplastics are in environmental samples or not quickly and accurately, we propose to use the multi-channel image acquisition, including white light channel imaging and Coherent Anti-stokes Raman Scattering (CARS) spectral imaging. CARS spectral imaging is a non-invasive and non-destructive real-time imaging method based on chemical bond vibration. Microplastic with a diameter of 10 μm polluted seawater and sand were simulated by the collected seawater/sand mixing with polystyrene microspheres. We detected the distribution of polystyrene in seawater intuitively through multi-channels image acquisition. The multi-channel image of polystyrene microspheres in the sand was collected and compared with the image by Raman spectroscopy. In the detection of Raman spectroscopy, the signal of polystyrene microspheres is easily interfered with by the fluorescence signal of sand, and only when the laser is focused on the location of polystyrene, does the weak signal can be detected. In the multi-channel image acquisition and detection, polystyrene microspheres can be seen in the sand, and we used a simple morphological analysis and filtering algorithm to make the microplastic signal obvious. Multi-channels image acquisition for microplastics detecting (in seawater and sand) without pretreatment is fast and simple, which has a certain potential for detecting microplastics in the environment value.

Keywords Raman Spectrum; Coherent anti-Stokes Raman scattering; Microplastics; Polystyrene

(Received Mar. 12, 2021; accepted Jun. 17, 2021)

* Corresponding author