
FLIM可视化纳米塑料在肠道中的内化及生物效应

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/37327.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

FLIM可视化纳米塑料在肠道中的内化及生物效应。 导读

在光学成像与生物动态观测领域，高分辨率活细胞成像与动态过程精准解析的技术融合是关键挑战。近日，比利时根特大学Ruslan I. Dmitriev团队开发了一种荧光寿命成像显微与肠类器官结合的新技术，通过优化类器官极性反转培养与近红外纳米塑料标记，实现了微/纳米塑料（MNP）与肠道上皮互作的动态可视化与多参数分析，为纳米毒理学研究提供了兼具时空分辨率与生理相关性的技术范式。该研究成果近日发表于国际顶级学术期刊《Light：Science Applications》上，题为Visualizing the internalization and biological impact of nanoplastics in live intestinal organoids by Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy (FLIM)，比利时根特大学的Irina A. Okkelman与Hang Zhou为论文的共同第一作者，Ruslan I. Dmitriev与Bert Devriendt为论文的共同通讯作者。

研究背景

在光学成像与生物学检测领域，MNP的生物安全性研究面临多维度技术挑战。随着环境中微/纳米塑料污染的持续加剧，其在肠道等吸收组织中的蓄积机制及生理影响研究愈发迫切，但现有技术难以在保持生物样本生理活性的前提下，实现MNP与组织互作的动态可视化与精准解析。

传统二维细胞模型无法模拟肠道上皮的三维极性结构，导致MNP摄取机制研究与体内真实场景存在偏差；而基于荧光强度的成像方法易受生物自发荧光干扰，难以区分不同材质MNP的亚细胞定位。尽管荧光寿命成像显微技术可通过寿命条形码特性识别纳米颗粒，但其在复杂三维组织模型中的应用仍面临荧光稳定性不足、光谱匹配差等问题。

此外，MNP与肠道组织互作的功能影响研究缺乏系统性方法：线粒体功能、能量代谢等关键指标的动态监测手段有限，难以关联MNP分布与细胞生理状态；而跨物种差异在MNP摄取及毒性效应中的作用机制，也因缺乏可比拟的三维模型体系而未被充分揭示。这些技术瓶颈制约了纳米塑料毒理学研究的深入开展，亟需从模型构建、成像技术及功能分析等维度突破。

创新研究

研究团队创新性地将荧光寿命成像显微技术与肠类器官模型结合，开发出用于MNP动态监测的新方法（如图1）。通过优化近红外染料掺杂的聚苯乙烯/聚甲基丙烯酸甲酯纳米颗粒，利用成像显微的荧光寿命条形码特性，实现了460-732 nm光谱范围内不同MNP的亚细胞定位与摄取路径解析，突破了传统强度成像的分辨率限制，首次在三维类器官中可视化MNP与肠道上皮的互动动

态。

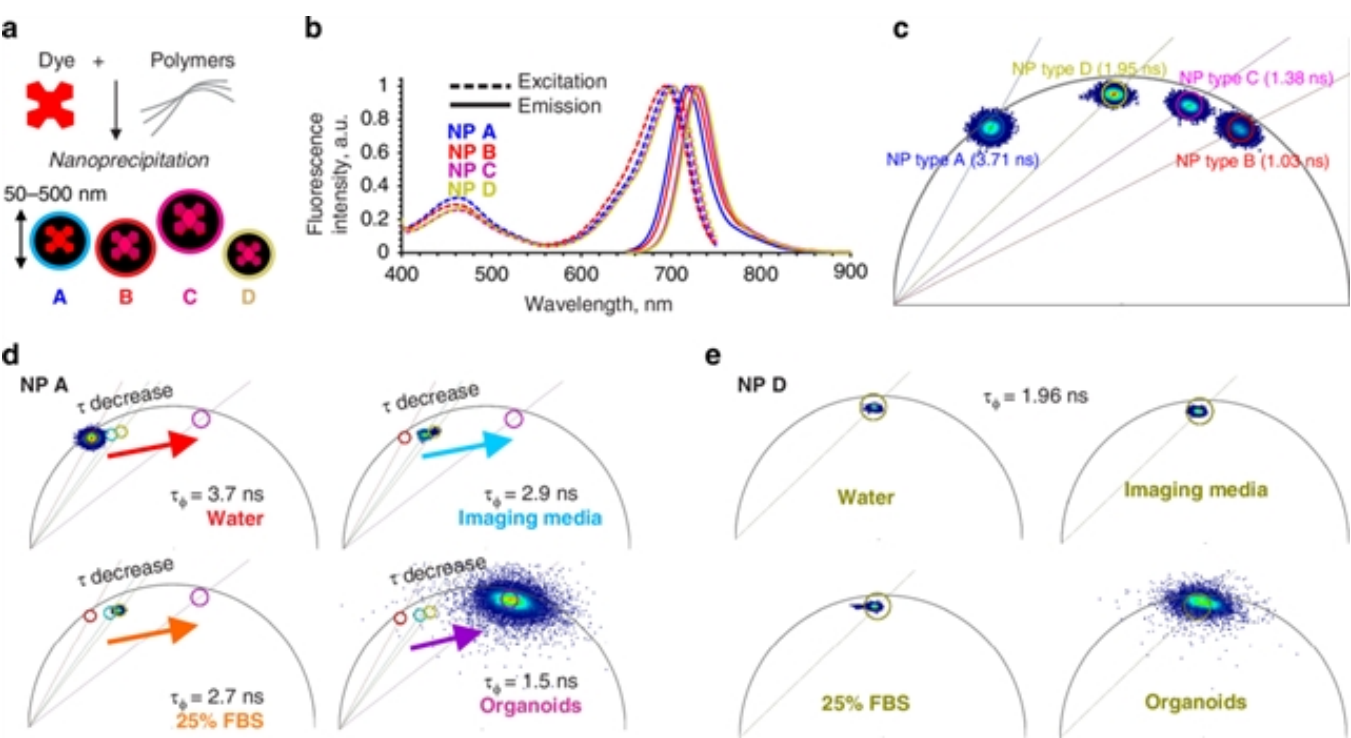


图1：模型纳米塑料 NP A-D的设计、光谱及荧光寿命特性。

在材料与模型构建方面，团队建立了顶端向外的肠类器官极性反转培养体系（如图2）。选用商业可得的高折射率纳米材料，通过精确控制聚合物厚度与刻蚀工艺，制备出尺寸均一、荧光寿命稳定的MNP探针，结合陶瓷树脂光刻技术实现纳米级结构精度控制，为跨物种MNP研究提供了标准化模型。

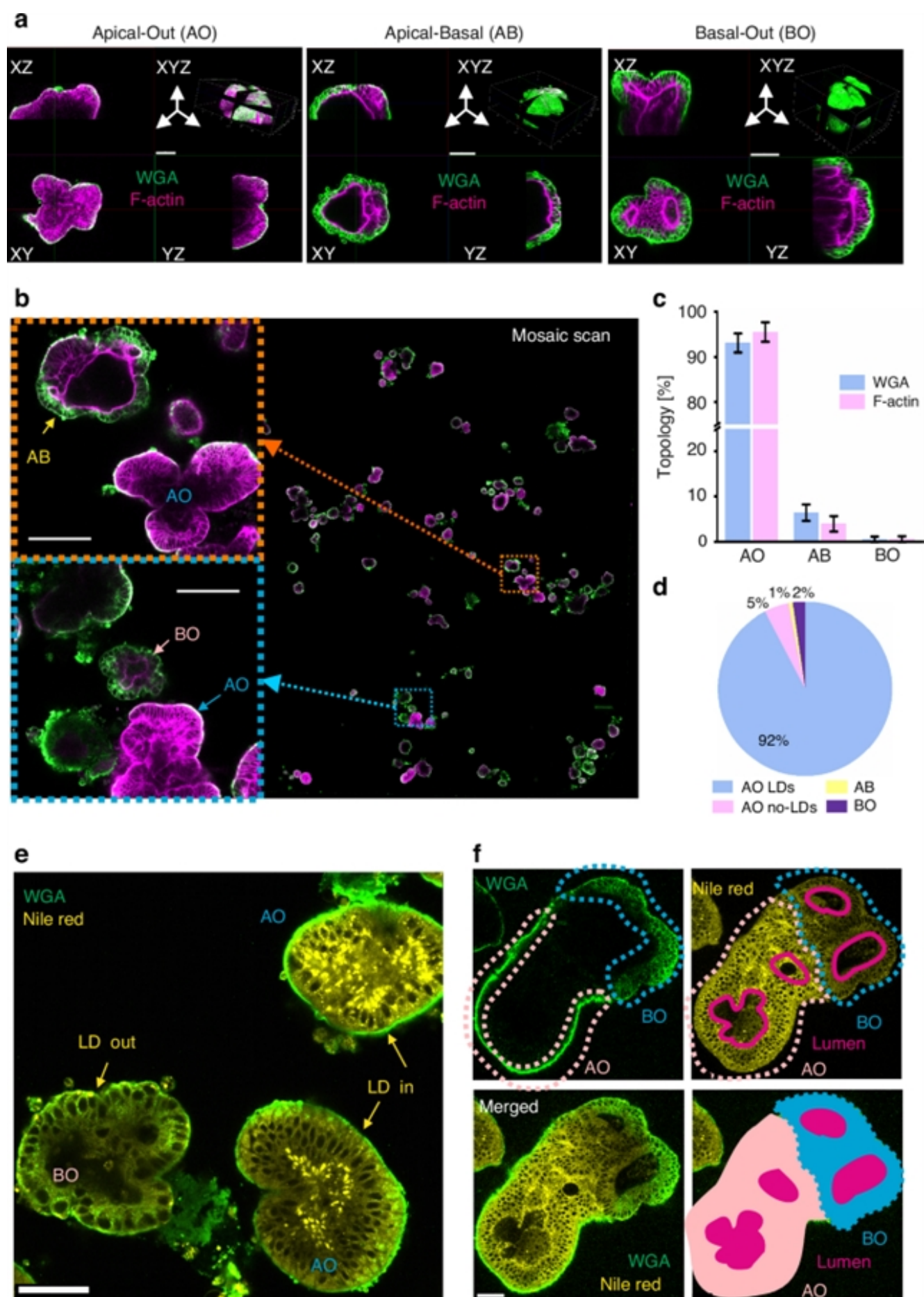


图2：荧光小麦胚芽凝集素（WGA）偶联物和尼罗红可验证活小肠类器官的顶端向外拓扑结构。

研究团队进一步引入偏振复用分析功能（如图3）。通过调控纳米颗粒的电荷与结构对称性，实现了绿色波长范围内正交偏振态的独立调控，结合TMRM-成像显微与ELISA技术，同步解析MNP对线粒体膜电位与趋化因子分泌的影响，拓展了成像显微在生物医学成像与毒理学研究中的应用维度。

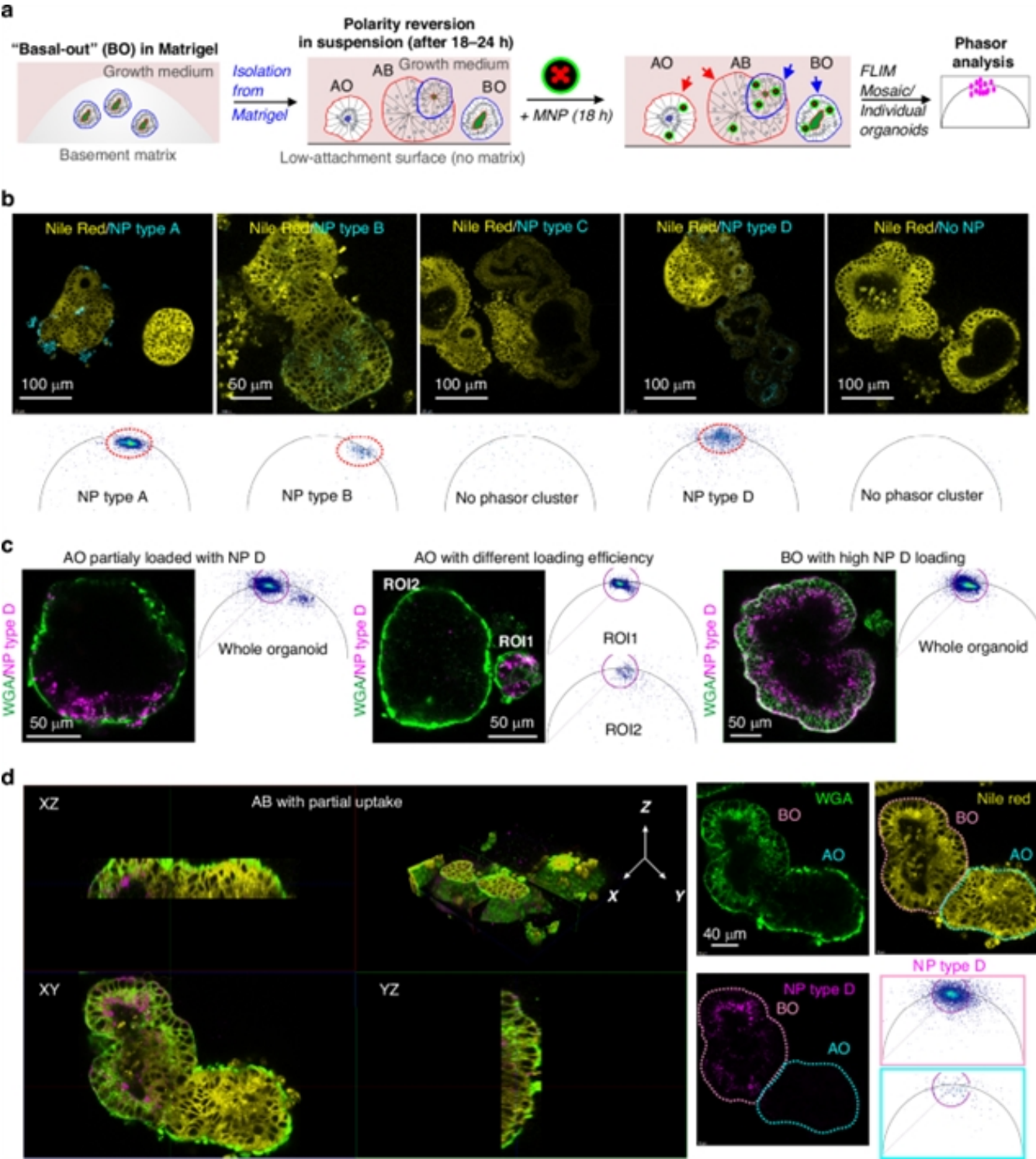


图3：纳米塑料在小肠类器官中表现出特异性积累。

总结与展望

研究团队成功构建了荧光寿命成像显微与肠类器官结合的技术平台，通过优化纳米塑料（MNP）探针设计与类器官极性反转培养，实现了MNP在肠道上皮中的动态可视化与多参数分析。实验表明，不同材质MNP在猪/小鼠类器官中表现出物种特异性摄取模式，且即使未修饰的原始MNP也能干扰线粒体膜电位与趋化因子分泌。成像显微的荧光寿命条形码特性可精准区分不同MNP类型，其检测灵敏度较传统强度成像提升10倍以上。

尽管取得重要进展，该技术仍面临三大挑战：一是MNP探针在复杂生物环境中的长期稳定性有待提升，需开发抗蛋白吸附的表面修饰策略；二是类器官模型缺乏免疫细胞等组分，未来需构建多器官芯片系统以模拟体内微环境；三是宽光谱成像显微的成像速度限制了动态过程追踪，需结合光片显微技术进一步优化。未来研究可聚焦新型近红外荧光材料开发，拓展技术在多物种毒理学研究与纳米材料靶向递送中的应用，为环境污染物的生物安全性评估提供更精准的工具。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01949-0>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：Irina A. Okkelman 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发