

微塑料促进研究与创新倡议 (MARII)

2nd 研讨会宣读、

2023 年 6 月 12-13 日

微塑料：信息需求和知识差距

几十年来，塑料一直是我们日常生活的一部分，与许多其他材料相比，塑料通常更耐用、更轻便、更便宜。然而，除非进行适当的回收或处理，否则塑料会长期存在于环境中，并分解成更小的碎片。小于 5 毫米的碎片通常被称为**微塑料**。

微塑料，无论是大块塑料磨损的结果，还是为特定目的有意制造的，都已在环境中被发现，并在生物体（包括人类、饮用水和食物）中被发现。

正如 SAPEA 2019 年的报告和世界卫生组织 2022 年的报告所指出的那样，人们越来越关注它们可能对环境 and 我们的健康造成的潜在威胁，因此更有必要开展进一步的研究，以填补目前的知识空白。

MARII：推动微塑料研究的全球科学交流平台

尽管收集和识别微塑料的技术有所改进，但由于在研究方法上缺乏有效的标准化方法，专家们仍然无法得出**明确**的结论，而这些结论对于全球各国政府采取合理的监管对策至关重要。我们呼吁所有利益相关群体的科学家开展合作，共同生成这一关键信息，并使观察到的接触和影响保持一致。

MARII 是由国际化学协会理事会 (ICCA) 发起的 "微塑料促进研究和创新倡议"，它是一个促进全球微塑料研究信息交流的平台。通过汇集来自全球工业界、学术界、研究机构和其他行动者的科学家，MARII 旨在

- 交流有关**微塑料研究**项目、测试方法和技术的信息；
- 组织召开会议，讨论、审查和评估研究与倡议；
- 促进合作，充分利用资源，开发相关数据，以便对微塑料进行更全面的风险评估。

ICCA 将通过 Cefic、JCIA、ACC 和欧洲塑料协会的区域研究计划，支持微塑料研究的补充领域，以解决任何关键的知识差距，并将利用 MARII 平台与更广泛的科学界分享倡议和成果。

西雅图工作坊

2023 年 6 月，来自全球各地的约 60 名研究人员齐聚美国华盛顿州西雅图，参加第二届 MARII 研讨会，讨论微塑料风险评估领域的最新进展以及由 ACC、Cefic、JCIA 和欧洲塑料协会资助的相关项目。会议的目的是分享信息，加强各地区之间的协调，最大限度地利用资源开展研究，以制定微塑料整体定量风险评估。以下各节全面介绍了 2nd MARII 微塑料风险评估研讨会的内容和讨论情况。

有关国际化学协会理事会发起的“微塑料促进研究和创新倡议”（MARII）的更多信息，请访问

<https://icca-chem.org/focus/microplastics-advanced-research-and-innovation-initiative-marii/>

或联系

John (Norm) Norman, ACC, john_norman@americanchemistry.com

Blanca Serrano Ramon, ECETOC, blanca.serrano@ecetoc.org

Camilla Carteny, Plastics Europe, camilla.carteny@plasticseurope.org

Felipe Almeida, Cefic, fal@cefic.be

Takashi Mori, JCIA, tmori@jcia-net.or.jp

联合开幕式：

主席： Blanca Serrano Ramón, ECETOC Blanca Serrano Ramón, ECETOC

开幕式专门讨论了与微塑料及其环境影响有关的多个项目和研究计划，所有这些项目和计划都是微塑料推进研究与创新计划（MARII）平台所涵盖项目的一部分。发言重点介绍了通过创新建模、评估和风险管理方法了解和应对微塑料带来的挑战的持续努力。

会议首先介绍了 UTOPIA 项目，该项目旨在开发一个开源的微塑料单元世界多媒体建模平台。UTOPIA 平台旨在综合有关微塑料归宿的知识，并为筛选级风险评估和暴露计算提供一套参考方程。会上讨论了模型结构、过程描述以及与其他 CEFIC 资助项目（ECO57、ECO58、ECO59 和 ECO60）的相互关系，强调了模块化设计以及随着科学认识的发展而不断开发模型的潜力。

接着，介绍了 μ BETR 全球项目，该项目侧重于了解微塑料和纳米塑料在全球范围内的归宿和迁移。这一力学多媒体质量平衡模型利用高分辨率三维建模，评估了微塑料和纳米塑料的短程和长程飘移及其转化过程。演讲特别展示了 μ BETR Global 中的大气传输以及物理化学特性和天气条件对颗粒停留时间的影响。

ECO60 项目（即 EMIFACT-MNP）涉及微塑料和纳米塑料的排放因子。该项目旨在开发一个塑料环境排放因子预测模型，涵盖不同尺寸范围和情景，涵盖不同生命周期阶段。该模型的参数设置侧重于欧洲最广泛使用的聚合物，由此得出的排放因子将为监管风险评估提供支持。该项目强调了开放源代码和文档的重要性，以促进科学界的广泛使用和参与。

HERA-MP 项目采用综合方法评估陆地环境中微塑料的环境风险。通过使用经合组织/国际标准化组织的标准化测试系统，该项目评估了与环境相关的微塑料对各种陆生生物（包括微生物、植物和蚯蚓）的慢性影响。目标是通过考虑颗粒的异质混合物及其在农业实践中的特定相关性，建立一个全面的风险评估框架。

另一个发言探讨了东京湾微塑料的特征，强调需要进行定量评估，以便为基于风险的管理战略提供信息。这项研究利用对国内和国际文献的全面审查以及新获得的监测数据，评估了微塑料的环境风险和浓度。该研究特别关注物种敏感性分布（SSD）的开发和微塑料浓度的校正。

罗切斯特大学演讲的重点是了解空气中微塑料颗粒的暴露情况和对健康的潜在影响。这项研究检测了室内和室外空气样本中微塑料的存在情况，尤其是那些人体可吸入部分。通过分析颗粒大小、形态和染色技术，研究人员调查了微塑料的可吸入性和可呼吸性，旨在确定它们是否具有独特的毒理学特性。

微/纳米粒子健康与环境文献平台 (MNP-HELP) 的开发是风险评估研究的宝贵资源。该平台是一个集中和系统化的文献库，提供了一个关于微米和纳米粒子相关研究的综合数据库。其目的是简化研究人员和制造商的文献审查和数据收集工作，促进循证决策。

最后，介绍了由欧洲塑料协会资助的布里吉德项目。这个为期五年的科研项目评估了通过摄入接触微塑料对人体健康造成的潜在风险。该项目侧重于了解微塑料在人体内的归宿和行为，以及它们对不同器官和系统的潜在影响。Brigid 项目旨在提供可靠的科学证据，为风险评估和监管工作提供信息，以管理与摄入微塑料有关的潜在风险。

整场会议特别强调了模型验证以及与其他现有模型和数据库互动的可能性。发言人讨论了与其他研究项目、监管机构和利益相关者合作的重要性，以确保模型和评估的准确性和可靠性。这种合作方法旨在促进对微塑料污染的多学科理解，并促进为未来制定有效的风险管理战略。

关于 "参考资料 (RM) --现状与需求 "的平行会议

主席 ACC 约翰-诺曼和 BASF SE 温德尔-沃勒本

Ingeborg Kooters (应用科学研究组织) 从毒性角度解释了需求：需要能够测量剂量反应，需要分层方法 (1：体外/体内；2：体外；3：体内；4：人体和流行病学)。清除剂的相关特性：大小、成分、团聚、单位表面积的反应性、代表性、非零毒性、即用性。在问答环节，提出了关于阴性和阳性对照的问题。微塑料特性的复杂性带来了一些有趣的挑战，包括需要建立正确的剂量指标，根据研究系统 (如每个器官系统) 可能需要不同的对照材料，以及细胞系统实际吸收了多少材料 (即内部剂量)。

Todd Gouin (TG 环境研究公司) 介绍了当前科学文献中的参考材料。至关重要的是，需要了解什么是与环境相关的颗粒，以及当前的生成方法如何改变其特性。Todd 强调有必要建立一个实践社区，以分享成果并制定标准的生成准则或方法。

Christie Sayes (贝勒大学) 介绍了利用机械应力 (食品搅拌机中的 I-N2)、细菌应力、酶应力、氧化应力 (芬顿、莫尔盐) 模拟老化以产生更真实的 RM 的结果。讨论中对术语进行了澄清，以区分溶剂-非溶剂过程 (将称为沉淀)。

Luke Parker (应用科学研究组织) 介绍了 MOMENTUM 项目的进展情况，该项目采用了连续低温微粉化技术。广泛的微粉化产生了大量亚微米颗粒 (按数量计算)，但在许多数量级的尺寸上 (数量与体积指标) 非常分散。污染问题得到解决。多分散性问题将在 Brigid 中解决。

Wendel Wohlleben (巴斯夫) 介绍了 LRI C10 的进展情况：生成的亚微米材料具有足够的单分散性，因此在数量和体积指标测量中都是亚微米。可用质量问题 (许多材料为克级，一种材

料为公斤级)。对化学(分子)特性和物理(颗粒)特性进行广泛测试,以解决代表性问题。应用科学研究组织(TNO)和巴斯夫(BASF)共同总结了RM的不同途径。此外,还提供了MOMENTUM、BRIGID、C10等现有材料的联合表格,涉及每个粒度范围(<1微米、1-10微米、>10微米)。

讨论澄清了术语:目前可用的材料应称为"代表性测试材料",并应明确说明代表哪种情况(原始塑料,如生产设施空气中的塑料,或老化塑料,如水生环境中的塑料等)。与会者还讨论了在制造具有代表性的测试材料时,同一化学名称中聚合物类型的范围也是一个重要因素。只有当生物行为也为人所知时,材料才应被视为清除剂。

关于"与环境建模和风险评估相关的微塑料效应测试"的平行会议

主席: Albert A. Koelmans, 瓦赫宁根大学 Albert A. Koelmans, 瓦赫宁根大学

在关于ECO49项目的演讲中,Vera de Ruijter讨论了改进塑料研究方法的必要性,因为目前在质量保证和协调方面存在局限性,阻碍了我们对微塑料在环境中的真实影响的了解。作者对105项关于微塑料对水生生物群影响的研究进行了回顾,并提出了一种评估此类研究质量的方法。他们制定了20项质量标准,主要分为四类:颗粒表征、实验设计、风险评估适用性和生态相关性。这些研究的平均得分是最高分的44.6%,这表明亟需改进质量保证。因此,他们提出了紧急改进建议,包括避免和验证本底污染以及提高暴露条件的环境相关性。作者发现,测试的颗粒大小与环境样本中的目标颗粒大小不匹配。许多研究提出的机制没有得到研究设计和数据报告的充分支持,这给决策者带来了难题,需要在今后的研究中加以改进。与食物同化、内部物理损伤和外部物理损伤有关的三种效应机制被确定为风险评估中的高度优先事项。

在演讲中,Bart Koelmans介绍了一种用于效果测试的环境逼真微塑料颗粒的制备方法。目前的测试通常使用的微粒种类少于自然界中发现的微粒,从而限制了其相关性。作者提供了设计和制备这些微塑料的实用指南,这些指南也可用于非聚合物颗粒。通过这种方法,可以比较不同环境中实际存在的颗粒类型的内在毒性。

Leah Thornton Hampton讨论了在立法授权制定环境管理战略的推动下,近期微塑料研究的迅猛发展。特别强调了加利福尼亚州在解决微塑料污染、方法标准化和制定基于健康的阈值方面的领先地位。目前正在努力评估各种基质中微塑料的收集方法、样本处理和分析。已经为环境水和饮用水得出了基于健康的初步阈值,并确定了加利福尼亚州下一阶段微塑料研究和环境管理的关键研究需求。

Paula Redondo-Hasselerharm强调,需要在生态现实条件下评估纳米和微塑料在群落层面对水生和陆生物种的影响。虽然大多数研究都集中在受控实验室环境中的单一物种上,但有关纳米和微塑料对自然环境中群落的长期影响的数据却很有限。Paula介绍了文献综述和一项为期

15 个月的室外实验结果，该实验中淡水群落暴露于纳米塑料和微塑料。就如何在风险评估中使用群落效应阈值提供了指导。

最后，**Todd Guoin** 承认微塑料研究有了长足的发展，但强调了解释研究结果的环境相关性所面临的挑战。所报告的不良影响表明，接触高浓度的微塑料会导致各种反应，如炎症、氧化应激以及对行为、生长和繁殖的影响。最近的研究提出了应对这些挑战并推动该领域发展的创新战略。演讲旨在反思最近取得的进展，确定仍需解决的领域，并评估微塑料研究的总体进展。

微塑料降解过程 "平行会议"

主席：**Kara L. Law**，海洋教育协会；**Jing Hu**，陶尔

Kara Lavender Law 在会议开始时首先明确了塑料和降解的定义。塑料是含有化学添加剂的合成聚合物。降解是指材料性能发生变化，导致性能降低和/或功能丧失。随后，**Law** 强调了研究塑料降解过程的重要性，以便了解塑料在环境中的寿命/时间尺度，以及塑料与生物群的相互作用。她还指出了影响降解的几种聚合物特性（化学成分、聚合物微观结构和塑料特性），并对本场会议的四场演讲进行了高度概括，深入探讨了降解的不同方面。

第一个发言的是来自北卡罗来纳州立大学的 **Anthony Andrady**，主题是海洋中的微塑料。**Andrady** 首先指出了海洋（海面）和陆地（空气）暴露环境条件的异同（例如，与空气相比，海水中的太阳紫外线辐射相似，温度和溶解氧降低，水吸附力可能增加）。**Andrady** 重点介绍了他在实验室加速老化试验中对塑料在空气和海水中的降解和破碎过程进行比较的研究。研究表明，聚合物的扩散控制氧化会导致表面薄层的局部降解，而且测试的塑料不会导致小于 2000 纳米的颗粒大量堆积。

第二个发言的是来自伍兹霍尔海洋研究所的 **Bryan D. James**，主题是将配方与塑料在日照表层水域中的归宿和影响联系起来。**James** 指出，塑料是一种工程化的复杂混合物：聚合物添加剂，演讲的重点是无机添加剂在塑料归宿中的作用。研究表明，无机添加剂配方可以控制塑料的光化学归宿和生物污垢。此外，还对购物袋的沥滤液进行了斑马鱼发育生物测定，以评估其毒理学影响。研究表明，产品配方可减轻毒理学影响。

第三个发言的是密歇根大学的 **Melissa Duhaime**，主题是自然系统中的环境塑料风化和生物降解过程。**Duhaime** 指出，自然界中的微生物物种生活在联合体中，而不是孤立存在，微生物在聚乙烯生物降解中的合作机制和速率尚不清楚。讲座围绕四种方法展开，以全面研究聚乙烯在环境中的紫外线和生物风化问题：实验室紫外线加速老化、实地暴露以及利用分析化学和环

境微生物学进行的微生物分离和微生物联合体实验。这项研究的结果正被用于开发聚乙烯降解微生物和多物种联合体的新代谢模型，可用于预测不同聚合物配方和环境条件下的结果。

最后一个发言的是英国生态学与水文学中心的 **Sam Harrison**，主题是预测环境中的塑料碎片（**Cefic LRI ECO59** 项目）。演讲的中心内容是开发一个机理破碎模型，并建立一个实验数据库，利用光降解和机械磨损研究的数据填充模型。我们的目标是建立一个具有实用输入要求的模型，以预测环境区块中塑料尺寸分布的时间演变。该模型将努力为最终结果和暴露模型提供真实的破碎率和粒度分布，也可与添加剂释放模型相结合。

在一般性讨论中，与会者确定了研究重点，即需要高质量的数据，将产品配方与相关环境条件下的塑料降解过程联系起来，然后将这些数据输入到模型开发中。此外，他们还讨论了后续研讨会的必要性，以巩固和进一步推进我们对微塑料降解过程的了解。

关于 "IVIVE 在微塑料人类毒理学评估中的应用" 的平行会议

主席陶氏的 **Robert Ellis-Hutchings** 和弗劳恩霍夫 ITEM 的 **Tanja Hansen**

世卫组织 2022 年人类健康评估强调，目前没有足够的信息来评估 **MNP** 的生物利用率，体外 **MNP** 生物动力学目前还不能推断到体内。体外模型方法在 **MNP** 研究中占主导地位；然而，所有这些模型都无法完全再现完整的体内屏障功能。考虑到这些局限性，本次会议的重点是在规划和生成微塑料生物利用率数据的早期阶段，确定将体外推断纳入体内推断的机会。通过 **Justin Teeguarden**（西北太平洋国家实验室）、**Gunter Oberdoerster**（罗切斯特大学）、**Tanja Hansen**（弗劳恩霍夫研究所）和 **Leah Johnson**（RTI 国际公司）的发言以及随后的讨论，会议得出了以下主要结论：

主要收获

- **关键是要对人类的接触情况有一个明确的定量了解。对接触情况的了解应有助于确定应优先研究哪些 NP 和 MP。**
 - 重要的是，要（通过建模？）预测未来（例如 20 年）的微塑料污染，而不仅仅是当前的接触情况。对微塑料降解的预测也是如此。
- 必须制定社区标准，以确定体外研究中 "相关" 和可解释的暴露量。
- 在体外研究中，**正确的剂量测定**往往被忽视：
 - 在体外系统中应考虑微塑料颗粒的沉降行为。
 - 浸没体外研究中给出的浓度剂量往往不能反映细胞表面剂量，尤其是密度小于水的微塑料颗粒。**ISDD** 和 **VCM-ISDD** 模型可用于模拟细胞表面剂量。

- 对于 ALI 实验，P.R.I.T.® ExpoCube® 提供了一个有用的工具，可以实现相关的可控剂量和表面剂量的确定。
- 在实验研究中必须只使用特性良好的 MNP 测试材料。这包括颗粒和非颗粒表征，并确保生物研究不含溶剂和内毒素。
- 其他重要参数包括：结块状态、理化性质、反应性和溶解潜力。最佳剂量指标有待确定，但所有参数都应在研究中记录下来。
- 非颗粒物，无论是颗粒源固有的，还是环境暴露中附着的，都需要加以考虑。
- 模型选择：需要讨论体外模型的选择，即简单模型还是复杂模型，以及它们的局限性（如缺乏细胞类型、屏障功能差异）。
- 生物动力学与危害
 - 基于生理学的药代动力学 (PB(P)K) 模型适用于模拟微粒在肺部的滞留和摄入。
 - 不过，由于对 MNP 的科学理解有限，仅靠建模是不够的。需要使用体外和体内方法测量数据。
- 一般来说，体外试验应先于体内试验，但对于新型试验材料，可考虑将体内生物动力学作为确定体外试验策略（如选择细胞模型）的优先方法。
- 颗粒的吸收与大小有关，因此大小是一个重要的描述指标。
- 应确定微塑料摄取的尺寸临界值。人们对摄入途径的了解甚少。欧洲塑料协会赞助的测试计划将在体外和体内测试系统中对各种参考材料的 1、10 和 100 微米分布进行检测。
- 在研究微塑料吸收时，颗粒的可视化和定量具有挑战性
- 作为 Cefic LRI C10 项目的一部分，受激拉曼散射 (SRS) 被认为是一种很有前途的方法，可用于测量细胞对微塑料颗粒的吸收，提供颗粒在细胞内分布的三维可视化。
- 使用肺细胞进行气液界面 (ALI) 测试，可预测急性局部毒性
- 超细粒子可以穿过生物屏障，可能会对神经系统造成影响。对于塑料微粒，还没有进行过这方面的研究，这是一个需要考虑的新问题。
- 悬而未决的问题：针对（纳米）颗粒得出的分组和/或读取交叉方法是否适用于微塑料材料？

关于 "微塑料颗粒风险评估框架" 的联合会议

主席：Jens C. Otte, BASF SE, & Todd Gouin, TG Consulting

第一个发言的是荷兰瓦赫宁根大学的 Bart Koelmans von，题目是 "微塑料颗粒对人类健康和环境的风险评估，一种概率观点"。他解释说，微塑料风险评估是一项复杂的任务，因此，迄

今为止的许多评估将苹果与桔子相提并论，暴露和影响评估并不一致。最近，质量保证/质量控制和标准化方法的开发缓解了其中的一些问题，但仍存在一定程度的不确定性。在演讲中，他总结了利用概率密度函数 (PDF) 进行一致风险评估的最新方法的要点。他举例说明了在海洋系统、淡水、沉积物和土壤中对微塑料影响的新风险评估，以及微塑料对人类的影响。

德国拜罗伊特大学的 **Holger Kress** 作了题为 "迷失在参数空间--我们能否降低微塑料研究的复杂性？" 他介绍了微塑料研究中巨大的参数空间对调查微塑料对生物潜在有害影响的挑战。他指出，降低微塑料研究的复杂性将大有裨益。实现这一目标的方法之一是寻找一小部分对微塑料颗粒与生物体之间的相互作用至关重要的关键参数，并建议用细胞来实现这一目标。对于某些特定材料，微塑料颗粒与细胞之间的相互作用在很大程度上取决于颗粒的表面。因此，他和他的团队研究了微塑料颗粒的表面特性对其粘附细胞和细胞内化的影响。他展示了一个单一的物理参数--不同颗粒之间的差异很大--对颗粒和细胞之间的相互作用有很大影响。

加利福尼亚州水资源控制委员会的 **Scott Coffin** 在发言中强调了对饮用水和水生环境中微塑料风险的评估，以便为加利福尼亚州的风险管理战略提供信息。州立法要求地方机构制定标准化的分析监测方法，评估对人类和水生生态系统的风险，进行监测以确定人类的接触情况和环境中的污染情况，并提出减少进一步污染的政策策略建议。要实现这些政策和监管目标，就必须**开展研究，填补这一快速新兴领域的科学空白**。他指出，微塑料对水生生物健康的影响已经有了相对详尽的记载，但关于微塑料对人类潜在影响的文献虽然有限，但正在迅速涌现。一个专家研讨会制定了评估微塑料对人类和生态系统风险的框架，并将该框架应用于现有文献。虽然该团队能够初步推导出基于人体健康的微塑料阈值，但由于数据不完整，该值具有很大的不确定性。针对水生生物中的微塑料也开展了类似的工作。

最后，荷兰乌得勒支大学的 **Raymond Pieters** 发表了题为 "人类健康风险框架--人类健康微塑料风险评估的需求" 的演讲。他介绍的工作是欧盟资助的 **POLYRISK** 项目的一部分，该项目旨在为评估微塑料和纳米塑料微粒 (MNPs) 的人类健康风险建立一个适用的风险评估框架。**POLYRISK** 项目的主要重点是吸入接触途径。概念框架建议区分微/纳米尺寸的纤维、聚合物和颗粒，并将利用 **MNP** 对炎症相关关键事件 (细胞压力、促炎症介质的释放和免疫细胞的激活) 的影响数据，以及来自真实世界人体情景研究的人体接触和影响数据。

关于微塑料风险评估的总体讨论侧重于确定研究需求的优先次序。高质量的研究被认为对风险评估框架的适用性也有影响。然而，不确定性依然存在，这就提出了即将开展的研究应将重点放在何处的问题。与会者提出了是否将研究重点放在环境的相关部分的问题。关于人类健康，此类有针对性的研究将侧重于相关影响和暴露途径。表明相关接触途径的研究和/或模型将有助于指导此类研究，以了解微塑料的潜在影响。最后，结合这些研究，可满足对环境和人类健康方面进行风险评估的需要。

来自西雅图水族馆的 **Veronica Padula** 是研讨会的最后一位演讲者。她介绍了 "西雅图水族馆的微粒子监测" 案例研究：**Covid-19** 前后的生活"。