

国际原子能机构和欧洲联盟联合海洋研究 地中海伙伴关系

SCOTT FOWLER、JUAN-CARLOS MIQUEL 和 FLORENCE BOISSON

从文化和社会经济观点看,地中海是一个独特水域。作为西方文明摇篮不可分割的一部分,地中海长期以来一直作为当地居民营养方面的生命支持系统和商业贸易方面的工具。今天,地中海是永久居住其海岸的无数居民的家园,也是一年四季蜂拥至其海滨休闲娱乐的上百万游客的游乐场。

诸如此类的人类活动和人口压力已不可避免地导致环境压力和污染,从而有可能影响这一至关重要的海洋生态系统发挥作用。

地中海的若干海洋学和地理学特征,使其特别容易受到人类活动引起的污染物的潜在影响。地中海是一个相对浅的半封闭水体,只是在直布罗陀海峡和通过博斯普鲁斯海峡进行有限的水交换。盐度较低的大西洋表层水在直布罗陀进入,环绕地中海盆地缓慢地逆时针流动。由于日照和大量蒸发,地中海海水渐渐变暖且盐度越

来越高。近岸水流系统弱加上潮汐少,使进入沿岸水域的污染物不易分散开。此外,最近在一些大河上筑坝,大大减弱有助于清除陆架区沉积污染物的大潮径流。

除了这些独特的自然特征外,地中海大部分水域养份很低,海洋生物普遍贫乏。(见地图。)因此对其有限的潜在生产力的大的扰动,可能引起对生态系统的长期损害。

考虑到地中海特殊的地理位置和对人类活动的潜在敏感性,人们就不会对过去10年中下大力气研究其生物地球化学结构及其活动的工作感到奇怪了。此外,地中海的有限规模为海洋科学家提供了在缩小的尺度上研究世界海洋有代表性过程的机会。海洋学方面最近的发展趋势表明,以多学科方法研究要回答的问题,可以大大加深我们对这些过程的了解。

认识到这一事实,欧洲

联盟(EU)已制定各种大规模的多学科海洋计划。其中若干计划针对地中海。由于IAEA摩纳哥海洋环境实验室(MEL)有长期合作研究地中海的历史,一些EU伙伴研究所已邀请MEL在利用核技术研究重要的海洋过程方面为这些计划出力。这些EU支助计划有助于扩大MEL的预算外资金来源,这对完成经核准的处理海洋环境问题的IAEA经常计划通常是必需的。

就这一点而言,MEL 90年代一直积极地研究地中海中对了解放射性核素和其他污染物的迁移与去向至关重要的海洋过程。本文着重介绍MEL已经开始进行的主要活动。

Fowler 先生是 IAEA 摩纳哥海洋环境实验室放射生态学实验室主任,Miquel 先生和 Boisson 女士是该实验室职员。

追踪污染历史

为从事一个领域的研究,EU 支助的 ELNA(北亚得里亚海富营养限值)计划已采用 MEL 的专门知识。MEL 的任务之一是建立受污染的北亚得里亚海地区各种污染物的污染史。

所选用的方法是利用核技术测定沉积物岩芯的年龄,然后把导出的沉积速率与在不同时间沉积的不同沉积层中测得的污染水平关联起来。地质年代学研究中最常用的核技术是追踪大气成因铅-210 沉积于沉积物后发生的衰变。这一技术的基本前提是沉积铅-210 的放射性衰变(物理半衰期 25 年)是

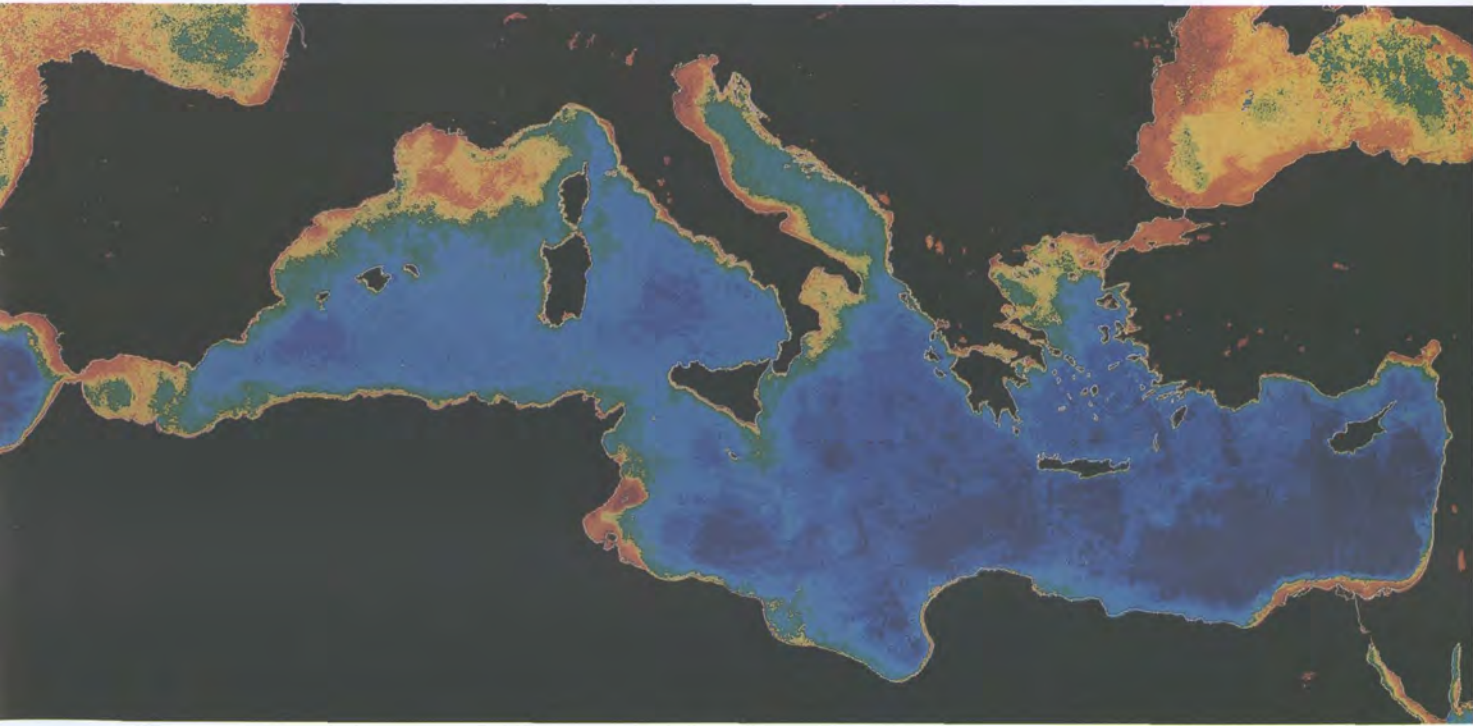
使其浓度随深度而降低的唯一原因。沉积物中的铅-210,实际上是根据其放射性第三代子体钋-210 的直接测量结果计算的。根据干质量累积率可以通过沉积物孔隙率和密度,计算以厘米每年计的沉积速率。

汞和多氯联苯污染物。
在意大利波河入海口外,沉积速率比较高,这是这一沿海地区的特征。由于已知波河入海口是北亚得里亚海陆源污染物的主要来源,因此测定了波河入海口外沉积物



岩芯中的汞和多氯联苯的含量。它们是地中海中两种主

照片:(上图)科学家在亚得里亚海布设自动沉积物采集器。(下图)地中海彩色扫描图象显示春季高生产率区域(橙色和黄色)和低生产率区域(兰色)。(来源:Miquel/MEL;NASA Goddard Space Flight Center)



要的污染物。

常见的多氯联苯混合物分布图显示,约 20 至 27 年前的沉积值最大。这个时段正好对应于 1969 至 1970 年多氯联苯销售高峰期。此外,多氯联苯只是从 1929 年才被大规模生产。分布图还显示在 18 至 20 厘米深度多氯联苯含量锐减。这与人们预料会看到这些化合物首次进入环境的时间正好吻合。

就汞而言,其绝对浓度通常与沉积物中有机质含量有关。利用同一个波河入海口沉积物岩芯得到了归一至颗粒性有机碳(POC)含量的甲基汞浓度分布图。这类分布图既复杂又难以解释;但是,可以看到在 8—10 厘米和 20—22 厘米深处有 2 个明显的浓度峰。

有关亚得里亚海中甲基汞的数据资料普遍缺乏。MEL 测量结果中值得注意的是,汞总浓度和甲基汞浓度峰都在 20 至 22 厘米深处。这相应于沉积物岩芯采集前约 77 至 85 年。这种对应关系表明,汞总浓度和甲基汞浓度的最大值正好与汞产量最高的那一年(1913 年)相对应。当时,毗邻伊松佐河的伊德里亚矿的汞产量是任何别的年份的平均汞产量的两倍。

利用假定基本上未扰动的沉积物进行这类多学科研

究证明,沉积在海床上的天然放射性核素物理时钟,能够成为描述与人类活动有关的海洋污染物历史记录的有力工具。

了解海洋过程

1996 年以来,MEL 一直在参与有关东地中海盆地的题为“爱琴海的水热通量和生物产量”的欧洲联盟-海洋科学和技术(EU-MAST)项目的合作研究。

爱琴海是地震和地热活动高发区。米洛斯岛以其周围浅水域中有大约 35 km² 的地热活性海床(排出大量的自由气体以及磷酸盐和锰)而闻名遐迩。

基于这些浅排出孔化学合成作用的地球化学循环和生物生产情况,尤其是排出孔对颗粒有机物质的产生和排出的重要性,人们仍知之甚少。

在该计划中,MEL 的主要目的之一是描述和量化水热排出孔附近透光层颗粒有机碳的排出。通过长期对沉降颗粒物质的研究、水柱测量和海底沉积物分析,已达到这个目的。

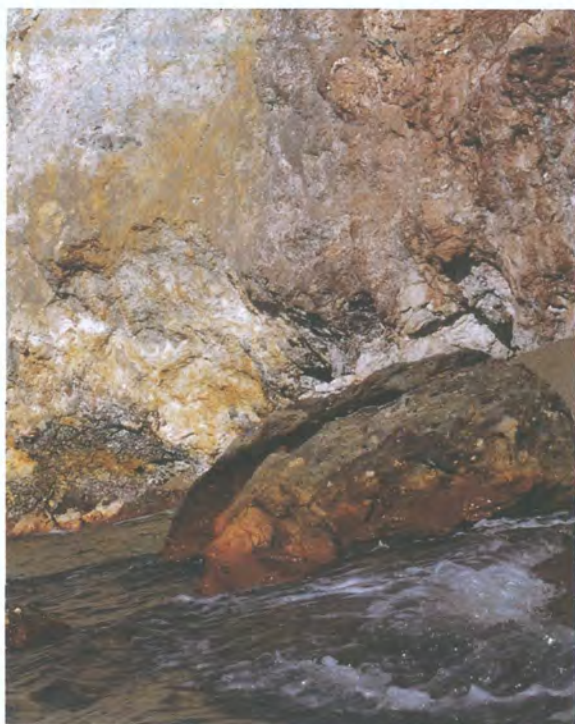
米洛斯群岛附近实地考察。1996—1997 年期间,组织了三次米洛斯群岛南岸实地考察,以采集沉降颗粒样品和沉积物样品,布设和回

取装有沉积物采集器和流速计的锚定栅架。“时序”沉积物采集器夏季在沿排出区到不受任何大的排出影响的区域的横断面的 3 个地点,采集沉降通过 60 米深处的颗粒。

在这 3 个地点,有 8 个采样杯顺序采集颗粒,采集期平均为 12 天。离排出点一段距离处的颗粒通量与排出区的通量显然不同。在采集期的大部分时间里,排出点产生和排出的颗粒比控制点和中间采样点的高出 1—2 个数量级。所有采集点颗粒通量只有在盛夏这一段短暂时间内才是可比较的。在沉积高峰期,排出点有机物质排出量更大,是平时的 30—100 倍。

1996 年夏季,在总长只有 3.5 海里的距离内布设了若干沉积物采集器。然而,不同采集点采集的沉降颗粒不但数量不同,而且组成也有区别。

大多数样品主要由浮游动物残骸(动物尸体的零星碎片、外骨骼和大量形态各异的粪粒)组成。但是 9 月份从排出点采取的样品与其他样品完全不同,基本上是由微小的细长状深褐色粪粒组成。粪粒的大小和形状非常均匀。最后采集的样品几乎完全由这类粪便物组成。在所有样品中也存在海



洋细菌,但数排出点颗粒中较为丰富。它们对碳通量的贡献很小($<1\%$),但质量通量很低的盛夏时节例外。

只有在排出点样品中,通过脱氧核糖核酸(DNA)分析才发现与水热排出有关的耐热细菌。因此,排出点碳的产生和随后向沉积物的排出比周围采样点的要多得多。颗粒基本上来源于浮游生物,并带有明显的水热起源细菌标志。

颗粒运移过程。在爱琴海进行的同一批现场实验期间,曾利用天然放射性核素对(钋-210和铅-210)的不同化学性质研究颗粒在浅水域水热排出区的运移过程。海洋环境中的钋主要源于大气

沉积后铅-210的衰变和沉积物与海底排出孔构造排出的氢的除气结果。如果排出孔是一些富含钋-210及其上二代母核铅-210的热水的来源,那么可以预料排出区的颗粒也富集这两种放射性核素。因此1996年夏季曾在4个不同地点,收集水深60米的浅海颗粒。

采集器样品数据无法证明,在排出孔附近观察到的富硫环境影响沉降颗粒中的钋-210浓度。钋-210的浓度与以前报道的在远离任何排出影响的地中海西北沿海夏季采集的沉积物质的钋浓度处于同一数量级。

同样,源于排出区的颗粒物中的铅-210浓度也未

增高。事实上,“控制点”颗粒所含的铅-210量通常比排出区颗粒所含的要高。

钋-210在海洋中的行为与铅-210的行为不同,主要是由于前者对有机物质有较强亲合力。因此,这种性质和沉降颗粒中有机部分与无机部分的相对比例的波动,对钋-210和铅-210水平的影

照片:沿米洛斯岛海岸,地热活动区铁(褐色)和硫(黄色)沉积显而易见。右上角为在爱琴海的浅水热区,用水下摄像机拍摄的环状化学沉积物和细菌簇。右下角照片向科学家显示,气体(主要是 CO_2)正从底部沉积物冒出。(来源:Miquel/MEL)

响可能比排出动力学本身的影响要大。

还对这 2 个地点的钋-210和铅-210的垂直通量进行了比较。可以明显看出,在排出区这 2 种放射性核素的垂直颗粒通量幅度平均较高。这不是由于排出孔附近沉降颗粒中的放射性核素浓度高,而是由于排出区颗粒通量较高。显然,排出区附近生产率和由此产生的生物来源颗粒沉降被加强。这便增大了向下的放射性核素通量。因此,排出可以通过影响局部(例如在水热排出区)产生的颗粒的类型和数量间接地调节放射性核素通量。

在米洛斯群岛独特的生态系统中,强的硫还原和硫酸化状况与排出孔有关。考虑到硫和钋具有类似的化学特性,可以预料这些富硫排出孔也高度富集钋。预计这将导致排出孔毗邻区域摄食生物群中钋水平的潜在增加。

事实上,排出孔周围细菌絮状物丰富,并且经常有海洋腹足类软体动物在浅水域泛白色细菌簇上觅食。对这类生物的软体部分进行了钋-210和铅-210测量,以便确定其各自的水平是否可能增加,并评估由此产生的这两种重要的天然放射性核素随海洋食物链转移的情况。

有趣的是,测得的

钋-210和铅-210的含量与有关非排出区生物的文獻中的数百个数据的平均值相近,更特别的是,它们的含量低于生活在深水水热排出区摄食富钋-210硫化物矿物颗粒的蠕虫体内的相应浓度。因此,与米洛斯群岛矿物层息息相关的细菌的摄食,似乎对腹足类软体动物体内钋-210和铅-210的浓度没有任何重大影响。

本文介绍的 MEL 研究项目是在地中海的首次尝试,目的是量化与浅水热排出区有关的一些物质以及天然放射性核素的垂直通量和循环。

评估污染影响

MEL 还积极参与欧洲联盟 MAST 支助的欧洲河流-海洋系统(EROS 2000)计划。该计划的目的是评价河流和陆基污染源对欧洲大陆架生态系统的影响。

乘坐法国船只“*Marion Dufresne*”号在地中海盆地西北部的中心部位和西班牙埃布罗河滨海区域之间进行了取样航行。一个目的是利用锚定的和漂浮的沉积物采集器,测量生物源物质(碳、氮、粪粒、完整有机体)和非生物源物质(放射性核素、稀土和其他元素)的沉积速率。此外还对含悬浮浮游植物和

浮游动物残骸的各种水柱进行了测量。此举的目的是,将沉积物采集器的收集物与控制颗粒物质垂直通量和组成的大洋过程关联起来。

5 月份,利用锚定在地中海盆地西北部公海 200—2000 米深处的 4 个自动沉积物采集器,隔两周取一次样,探测到密集孳生的浮游植物在向深海底沉降。这期间的采集器收集物主要是 2 种浮游植物。很可能,这些曾利用 4 月中旬强风向上搅起的营养物的密集孳生浮游植物,很可能是在表层水中养份枯竭后向下沉降的。采集的结果证明,遍布水柱的富碳颗粒物质迅速沉降(大于 140 米每天)至海底。5 月份这种“脉冲”沉降期间,200 米深处的颗粒通量比前后一段时间高 3—4 倍。这种脉冲沉降越往深处越明显,在沉降高峰期颗粒通量高出 6—10 倍,碳通量高出 10—30 倍。

利用计算机化图像分析系统对同一些样品中的浮游动物粪粒进行了分析。这些粪粒是另一种运输工具。沉降粪粒总量在水柱中浮游植物丰度达到最大期间开始增加,但在 2 周后浮游动物生物量达到最大时达到峰值。在此期间,发现浮游动物粪便贡献的碳量占有沉积碳的 25%—40%。浮游植物最

大丰度和粪便物沉降之间的时差与浮游动物(如微型甲壳类动物、蠕虫和鱼类)的生活周期及其在公海食物网中的相互作用有关。

利用时序沉积物采集器在4个不同深度层位采集的沉降颗粒,进行了稀土元素(REE)组成分析。稀土元素中有些是稳定元素或重要人工放射性核素的类似物。

在沉降脉冲期间,最深层采集器采集的颗粒的REE模式与上层200米深处颗粒的REE模式相似。这表明在沉降脉冲期间,几乎没有(即使有也极少)发生颗粒从海水中额外提取REE的情况。相反,沉降脉冲期后,深水域采集的颗粒中,轻REE相对于重REE而言有所富集,并出现正的铈异常。

对取自沉降脉冲期间和期后上层水柱(200米)的一些颗粒中的REE模式和取自深水区(1000米和2000米)一些颗粒中的REE模式的差异进行了比较。结果表明,时间是决定海水中REE被沉降颗粒提取的关键因素。对于铈优先被提取这一

点尤为明显。较细小的、缓慢沉降的和可能是较老的颗粒载带的铈很多。这些结果与地中海西北部海水中的REE模式一致。从那些模式可见,存在明显的铈负异常和REE随原子序数增加而逐渐富集。深水域颗粒中轻REE相对于重REE的富集,导致颗粒优先提取LREE(与铈的富集情况类似),或导致与颗粒再无机化过程有关的重REE的选择性溶解,或二者兼而有之。

所获得的关于铈、铀和其他颗粒反应性REE的海洋行为的知识,证明对于理解放射性铈和镅-241等类似的放射性核素在海洋系统中的循环和迁移极其有用。

合作的好处

90年代IAEA和欧洲联盟间在应用海洋研究领域地中海方面研究加强合作,双方都已受益。

MEL研究人员因在大规模多学科项目中与来自其他成员国的科学家密切合作而受益匪浅。这项研究工作

着重于世界感兴趣的海洋问题,并且使用了MEL职员通常不可得到的现代化海洋学仪器仪表和成套方法。在定期使用租赁或保养费用昂贵的海洋学考察船方面说来,这尤为重要。实践证明,随意使用国家研究船只及船上仪器仪表,对以效费比高的方式完成IAEA常规海洋计划至关重要。

作为回报,MEL已将其各种先进的核及同位素技术提供给参与该计划的其他科学家使用,以便更好地了解控制地中海中一些重要元素的生物地球化学行为的过程。

最近,MEL搬迁至位于摩纳哥港口的新的扩大设施。这将使该实验室能够在分析培训和样品分析方面向参与合作的科学家提供更大的帮助。因此,期望IAEA和欧洲联盟间的这些合作努力将继续到21世纪。这样,这两个机构便能够在维护海洋健康发展的努力中更好地达到既定目标。 □