

21 世纪环境科学中核分析技术的机会

柴之芳

(中国科学院高能物理研究所核分析技术开放实验室 北京 100080)

摘要 讨论了21世纪环境研究的若干前沿领域,包括:(1)经济性分析和危险性评估;(2)环境监测和生态学;(3)化学品和环境;(4)能源体系和环境;(5)工业生态学;(6)人口和健康。随后探讨了核分析技术在这些前沿环境研究中的重大机会和挑战,提出应当做好以下工作:(1)充分利用和开发核分析技术的固有特点;(2)加强核分析技术在环境污染物的定量和科学的危险性评估方面的作用;(3)发挥核分析技术在环境分析质量保证体系中的作用;(4)开拓核分析技术在环境污染化学种态及其效应研究中的能力;(5)建立可用于研究新型生物分子标志物及其环境毒理的核分析技术;(6)重视核分析技术在新型污染物的鉴别及其溯源中的应用。

关键词 核分析技术,环境科学

中图分类号 O657.4

环境研究已成为全球共同关注的一个热点,亦是我国重点基础研究国家目标之一。随着环境科学研究的发展,人们已提出了一系列值得重视的问题:何谓“环境质量”?环境标准应当越来越严吗?何谓“零排放”?环境立法的依据是什么?什么叫“低层次的环境决策”?什么叫“科学的环境决策”?应当如何分配环境经费?现在越来越多的国际机构和各国政府认识到:“用于环境的经费首先应分配给环境科学研究,因为环境科学研究可以最有效地满足社会的环境目标”。其中的关键则是“对环境污染物的科学的危险性评价,即在种群、个体、器官、细胞乃至分子水平上对环境污染物的科学评价”^[1,2]。

曾任美国环保局局长的 Reilly 博士指出:“21 世纪面临的新问题是寻求更好地确定环境优先顺序的方法,这表明解决环境问题的决策过程必须建立在科学的基础上,同时资金分配的优先顺序应根据危险性评价。因此,我们应当尽力支持各项环境危险性评价,并改进其科学性和准确性”^[3]。然而,目前的实际状况是,这种科学的环境观点尚未被公众广泛地了解 and 接受,还需要进行大量的宣传,同时需促进多学科交叉研究,改进和发展可靠且灵敏的危险性评价方法。

1 经济性分析和危险性评价

经济性分析和危险性评价应当是环境法规的依据,然而目前的状况并不令人满意。环境法规在很大程度上是在定性、甚至传统的想像的基础上制定的。21 世纪环境问题的关键就是对污染物的“定量和科学的危险性评价”。在此基础上制订环保法律,并作经济性分析(cost-benefit analysis)^[2]。应当认识到,“科学的危险性评价”是一件极为艰巨的任务。首先,这类评价应当包括:暴露评价、效应评价和敏感性评价。

此外,要看到这类评价的工作量极大。原因之一是,目前在 CA 上登录的化学品大于 1000

万种,已进入环境的有8万种以上,基本上都未作过危险性评价;第二个原因是,要在种群→个体→器官→细胞→分子等不同的层次上作危险性评价;还要考虑损伤及修复这一对可逆过程。

为了实现这一目标,现在迫切需要开展5项工作。

- (1) 发展准确、可靠的分析方法,尤其是超微量、微区、化学种态、实时、动态的分析方法。
- (2) 研究低剂量、长时间暴露的生物效应。例如稀土元素、铂族元素、有机卤族化合物等。
- (3) 多重污染物对人体健康的影响。例如大气细颗粒物中无机物和有机物的协同效应。
- (4) 定量化——这是当前最薄弱的环节,也是环境决策的重要科学依据。
- (5) 发展灵敏的分子生物标志物(Molecular biomarker)。

2 环境监测和生态学

长期的环境监测既是了解生态系统质量的基础,也是衡量我们为实现生态目标所取得的进展的一个尺度。许多向人类社会发出挑战的环境问题基本上都是生态问题。

应当指出,过去数十年获得的许多环境数据无法满足今天环境决策的需要,这主要是由于环境监测的质量保证系统没有建立。因此,当前的任务是对现有的测量方法和监测系统认真的评估。例如,现已发现文献中有关人血清中的许多重金属元素(V、Cr、Co等)的浓度是严重错误的。

以美国为例,尽管他们已积累了大量的环境监测数据,但美国环保局认为,这些监测数据是不完整的,数据质量参差不齐,并且缺乏标准化。由于这些问题,组合不同时间和不同地点监测得的数据也必然是不可靠的,同时缺乏可比性。为此,在21世纪需要重视下列4个方面的工作。

- (1) 必须对现有的测量方法和监测系统进行认真的评估。
- (2) 加强鉴别和发展可靠的生物标志物的研究。
- (3) 加强环境监测的标准化和国际化。
- (4) 建立早期预警体系和中长期预报系统。

3 化学品和环境

化学品是影响生态系统和人类环境的若干重要因素之一。在过去的半个世纪中已有大量的化学品进入到环境之中,而其中绝大多数对环境的冲击一无所知。至于它们对人类健康的影响,以往的研究主要集中在急性毒性方面,而慢性、且长期的毒理学研究工作十分薄弱。即使如此,也主要只着重研究化学品致癌的可能性,至于对脑功能、高级神经活动、生殖系统、激素分泌等方面的影响研究工作十分罕见。

更为严重的一点是,过去我们在检验一种新的化学品的急性毒性时,无一例外地都使用实验动物,然而这类动物与人的相关性,即如何从动物实验的结果应用到人体上是最令人怀疑的环节。为此,我们展望在21世纪,这方面的研究工作应当包括以下7项。

- (1) 提高预测新的化学品的环境效应的能力。
- (2) 发展评价新的化学品的长期环境影响的方法。
- (3) 发展评价新的化学品的副产物和降解产物对环境的影响的方法。

- (4) 加强各种化学品对敏感动植物的生物效应的基础研究。
- (5) 大力支持低等动植物模拟化学品对人类健康影响的创新研究。
- (6) 建立化学品毒性(尤其是长期慢性中毒)检验的国际标准和国际合作。
- (7) 支持化学品对“微生态系统”(Miniecosystem)影响的研究。

4 能源体系和环境

能源一方面是影响环境质量的主要因素,另一方面,由能源转换而成的社会生产力使整个社会具备更强的治理环境的能力。其实,各种能源中化石燃料(包括煤、石油、天然气等)的使用是环境污染的核心问题。它造成大气污染、温室效应、酸雨等,因此人类长期的奋斗目标应当是利用“非化石的燃料”。

此外,21 世纪的能源研究课题还有:

- (1) 加强用氢作为主要能源的研究,这是迄今为止最清洁和最有效的能源。
- (2) 核裂变能的关键问题是核废物的安全处置。
- (3) 核聚变能和加速器驱动的次临界核能装置在未来的 30 - 50 年中不可能发展成为一种有竞争力的能源,当然这方面的基础研究应当继续。
- (4) 机动车能源结构的改变是一个有重大现实意义的课题,将内燃机车型转换为电动机车或燃氢汽车是一条可行的治理大气污染的途径。就目前的内燃机车型,新型三元催化剂的使用尽管提高了燃烧效率,但贵金属的释放并进入环境应引起足够的重视。

5 工业生态学

现代工业生产过程正在从“终点控制”(end of the pipe control)转向工业生态学方法,即利用系统工程和生态学方法,尽可能减少资源的使用,并对工业生产过程的每一环节实施生态控制,建立所谓的环境友好工业或绿色工业,从而使工业活动对环境的影响减至最少。为了实现工业生态学这一宏伟目标,我们必须拥有可了解工业过程设计、原材料选择、资源再生、副产物循环利用等各种方案对环境冲击的手段和方法。然而,目前的状况离这一目标还很遥远。为此,我们可以设想,21 世纪工业生态学的主要研究任务有 5 个方面。

- (1) 加强对工业生产全过程的分析和监测,而不是仅仅分析其终点产物。
- (2) 开发物料的循环使用的生产工艺过程。
- (3) 研究工业生产过程中如何分析物料化学种态的方法,以确定物料的再生或排放。
- (4) 加强新型催化剂的研究以及对生态环境的影响。
- (5) 加强对工业“三废”在环境中的迁移、分布以及最终命运的研究和监测。

6 人口和健康

当前以及未来潜在的对环境质量的威胁有许多是来自人口的增加以及为了适应这种增加而引发的各类工业活动,由此又严重地威胁着人类自身的健康。当前国际上高度关注的两大问题是:(1) 低浓度、长时间以及多重污染物对人体健康的危险性评价的方法学研究;(2) 全球环境变化对人类健康的影响。

与此相关的研究课题还有以下 5 个方面:

(1) 每年进入食物链的新型污染物数以百计,对它们的毒性几乎一无所知,因此必须加强对新污染物的危险性评价。

(2) 应当将研究重点从环境污染物的急性毒理研究转向低剂量、长期暴露的生物效应的研究。

(3) 除了对污染物在环境介质中的总浓度监测以外,应当加强对其化学种态及其健康效应的研究。

(4) 除了对污染物致癌作用的研究以外,还应当加强对高级神经活动、生殖系统和遗传基因的影响的研究。

(5) 加强污染物对人类寿命影响的研究。

7 核分析技术的机会

21 世纪,环境研究的重大课题对核分析技术提出了挑战,要求核分析方法能适应新型环境研究的需求,同时也为核分析技术提供了广阔的机会。从战略角度出发,核分析技术在环境研究中的发展趋势可归纳为下列 6 个方面。

(1) 充分利用核分析技术的高灵敏度、高准确度、恶劣条件的适应性、实时、动态、远距离监测等特点。现代的环境分析监测往往要求动态和实时。在这方面,核分析技术由于其固有的核优势、抗干扰能力强,可以承担非核方法无法胜任的实时环境监测任务。最近,美、德科学家已成功地应用了核分析方法实现了对火星的实时、动态分析,从数百亿公里之外连续不断地将火星表面的化学组成传输回地球^[4]。我们完全可以设想,核分析技术同样可以监测地球上任何一点的污染物浓度的变化。

(2) 充分发挥核分析技术在环境污染物的定量和科学的危险性评价中的作用。

正如前文指出,21 世纪环境研究的关键问题是“环境污染物的定量、科学的危险性评价”,尤其是低剂量、长期暴露的危险性评价。从国际现况看,这方面的研究高度依赖核分析技术,这是因为核分析方法的准确度高,具有分析误差的可溯源性,并且其分析原理基于核反应、核性质和核辐射,独立于其它基于原子性质的分析方法。另外,用放射性同位素或富集稳定性同位素示踪技术特别能胜任这方面的研究,例如可用稀土的富集稳定性同位素来研究其低剂量暴露条件下的长期毒性。

(3) 发挥核分析技术在环境监测分析质量保证体系中的作用。“错误的数字不如没有数据”。同样,在环境监测分析中也必须遵循这一原则。从国内外实际情况看,环境分析质量并不令人满意,尤其是当污染物浓度低或待分析基体复杂时,分析质量最成问题。典型的例子有人血清中重金属的浓度^[5]、植物样品中的无机污染物的含量^[6],可见现有的数据质量还很差。

(4) 加强核分析技术对污染物化学种态及其效应的研究。前面指出,环境污染物的效应主要取决于其化学种态,而不是总含量^[7]。近年来,在传统的中子活化分析和质子激发 X 荧光等方法基础上,结合生物化学分离技术发展起来的化学种态分析技术(例如分子活化法)有了长足的进展,并已用于铂族元素、稀土元素、有毒元素汞和砷、生物必需元素硒、铬和碘等的化学种态研究^[8]。

(5) 加强核分析技术对新型分子生物标志物及其在环境毒理学中的应用的研究。

发展灵敏的生物分子标志物是 21 世纪环境研究的热点。基于 DNA 损伤、蛋白质异常、酶功能异常的分子生物标志物将环境研究提高到了新的层次。传统的³²P 后标记法在加速器

质谱法(AMS)出现之前是最灵敏的 DNA 加合物检测方法^[9],然而现代核分析技术 AMS 可将³²P 的灵敏度再提高 1—2 个量级。北京大学刘元方等用 AMS 研究了尼古丁及其衍生物与 DNA、组蛋白等生物大分子的加合作用,灵敏度达到一个加合物分子/ 10^{10} — 10^{11} 个 DNA 分子^[10]。这种先进的核分析技术将会在污染物的分子环境毒理学研究中发挥重要的作用。

(6)重视核分析技术在新型污染物的鉴别及其溯源中的应用。现在,每年进入环境体系中的新型污染物数以百计,人们对其在环境介质中的分布、迁移、蓄积及最终命运一无所知。往往等到这类未知污染物造成严重的环境灾难之后,才惊慌万恐地想到这些污染物是如何进入环境的?最早是什么时候进入环境的?是局部污染物还是全球性的?其环境效应是可逆的,还是不可逆的?对这类研究,建设于核分析中心的生物环境标本库可以发挥积极作用^[11],它可用于环境污染物的“未来分析”(deferred analysis)和“回顾分析”(retrospective analysis)。此外,低等动植物(例如地衣、苔藓、海藻、蜗牛、蘑菇等)也可在新污染物的鉴别及溯源中用作生物环境监测器,其特点是监测面广、积累效应、无人监测、价廉方便、特异性等,当前国际上一些核分析研究中心已广泛开展这项研究,并正在绘制区域性的环境污染物分布图,并将这种方法称为生物绘图(Biomap)^[12]。

致谢 本文的写作得到国家自然科学基金委员会数理学部物理 II 学科的支持,也得到了参加“环境研究中的核科学技术战略研讨会”(2000.3.23—3.25,北京)众多专家的帮助,在此一并感谢。

参 考 文 献

- 1 National Research Council, Policy Division. Linking science and technology to society's environmental goal, Washington DC: National Academy Press, 1996
- 2 National Research Council. Environ Sci Technol, 1997, **31**:20A—27A
- 3 Reilly W K. EPA J, 1991, (2):2—5
- 4 Rieder R, Economou T, Waenke H, et al. Science, 1997, **278**:1771—1773
- 5 王夔主编. 生命科学中的微量元素. 第 2 版. 北京:中国计量出版社,1999
WANG Kui. Trace Elements in Life Sciences, 2nd Version, Beijing: Chinese Metrological Press, 1999
- 6 International Atomic Energy Agency, Report on the Intercomparison Runs for the Determination of Trace and Minor Elements in Cabbage Material, IAEA/AL/123, April 2000, Vienna
- 7 Das H A. ECN Report - 1, Petten, The Netherlands, 1993. 1—52
- 8 CHAI Zhifang, MAO Xueying, WANG Yuqi, et al. Fresenius J Anal Chem, 1999, **363**: 477—480
- 9 Reddy M V, Gupta R C, Randerath E, et al. Carcinogenesis, 1992, **13**:1053—1074
- 10 WU Xiaohong, WANG Haifang, LIU Yuanfang. Radiocarbon, 1997, **39**:293—297
- 11 Parr R. IAEA Bulletin, 1996, **2**:16—21
- 12 International Atomic Energy Agency. Biomonitoring of Atmospheric Pollution - Bio MAP, IAEA - TECDOC - 1152, 2000, Vienna

Opportunity of nuclear analytical techniques in environmental sciences at the 21st century

CHAI Zhifang

(*Laboratory of Nuclear Analytical Techniques, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Abstract

Several frontier fields in environmental sciences at the 21st century were successively outlined, including: (1) economic analysis and risk assessment; (2) environmental monitoring and ecology; (3) chemicals and environment; (4) energy system and environment; (5) industrial ecology; and (6) population and health. Afterwards, opportunity and challenge of nuclear analytical techniques in the mentioned - above environmental fields were explored. It was stated that (1) the inherent features of nuclear analytical techniques should be fully used and exploited; (2) the role of nuclear analytical techniques in quantitative and scientific risk assessment of environmental pollutants should be strengthened; (3) the position of nuclear analytical techniques in quality assurance system of environmental monitoring should be clearly recognized; (4) the ability of nuclear analytical techniques in study of chemical speciation and its effects of pollutant should be made of use; (5) the nuclear analytical techniques for study of new molecular biomarker and environmental toxicology should be established; and (6) the application of nuclear analytical techniques in identification of new pollutants and their sources should be emphasized.

Key words Nuclear analytical techniques, Environmental science

CLC O657.4