

多重示踪技术及其应用前景

秦 芝 李文新 尹新民 张 翔 孙彤玉 赵莉莉
(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

王肖莹
(兰州大学 兰州 730000)

摘 要 介绍了一种新型放射分析手段——多重示踪剂,报道了日本 RIKEN 有关多重示踪技术研究的最新进展,展望了该技术的一些应用前景,并提出了在 HIRFL 上开展多重示踪剂研究的可行性.

关键词 多重示踪技术

1 引 言

人类发现放射性后不久,就开始了放射性核素的应用研究.由于放射性核素能放出特征射线,而具有较高的探测灵敏性,通过追踪放射性的行踪,便可了解物质运动的规律.所以,放射性同位素示踪技术已被广泛地应用于工业、农业、医疗及科学技术等领域.

传统的放射性示踪都是单一或很少几个同位素组合在一起使用的.近年来,随着加速器技术的日臻完善,使得在重离子辐照过的靶中同时获得不同种类的放射性核素成为现实.借助于当代的半导体探测器、电子学线路和计算机技术,已能够测量和分析混有多种放射性核素成份的复杂 γ 能谱,为多重示踪技术的产生打下了坚实的物质基础.所谓多重示踪技术就是把中能重离子束照射过的靶子,经专门的放射化学分离流程除去大量的靶材料,尽可能地保留重离子核反应产生的众多放射性同位素,制成无盐、无载体的多重放射性示踪剂,然后将它用于不同研究对象的化学或生物实验,便可同时示踪多种元素在化学过程或生物过程中的行为特征.在实验条件严格相同的情况下,用该技术可以确定不同元素的行为特征,还能反映出不同元素彼此之间的竞争关系.日本 RIKEN 核化学实验室于 1991 年开展了多重示踪技术的研

究工作,他们已将该技术应用于化学、生物学和环境科学等领域,并取得了有一定学术价值的科研成果.

2 实验装置和放射化学分离流程

RIKEN Ring cyclotron 可提供各种中能重离子束流,对 ^{12}C 、 ^{14}N 和 ^{16}O 离子的最高能量达 135 MeV/u. 该能区的重离子核反应可

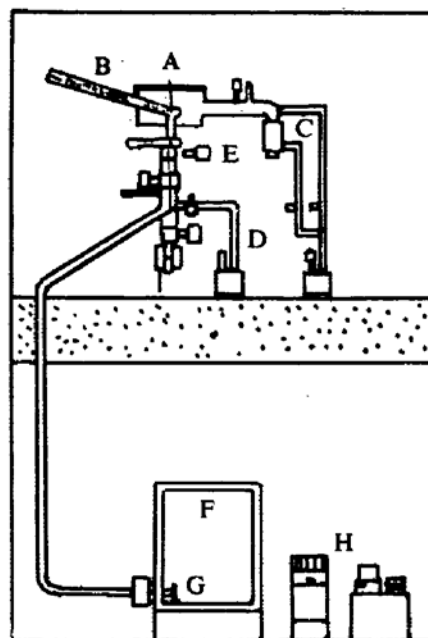


图 1 落球辐照系统

A 辐照靶, B 待照管, C 靶室真空系统, D 传输管真空系统, E 辐照监视器, F 操作箱, G 落球终止站, H 控制系统

同时产生大量的放射性核素,反应产物的种类取决于靶材料以及入射离子的种类和能量.为开展多重示踪技术的研究,他们设计加工了一套落球辐照系统^[1](Falling Ball Irradiation System),见图 1,它可快速而安全地将辐照过的靶子从照射位置传送到放射化学实验室.同时还研制了数套放射化学分离流程,用于从辐照过的靶子中制备包含众多放射性核素的无盐、无载体的溶液.落球用铝制成,它有一可使重离子束穿过的小孔($\phi 24$).

30~100 μm 的金属箔作为靶子就安装在落球上,将球置于待照管内,落球便可一个接着一个输送到系统的辐照位置.照射结束后,落球便滚动到楼下的放化实验室进行化学分离.具有代表性的靶材料是 Au、Ag、Cu 及 Fe,束流是 135 MeV/u¹²C、¹⁴N 和 ¹⁶O,典型的束流强度为 50~100 nA,照射时间 30 min~12 h 不等.

照射过的靶子溶解在恰当酸性介质中,使用专门的放射化学分离流程从溶液中

H																				He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne			
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar			
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
Fr	Ra																			

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

图 2 迄今应用于多重示踪剂技术的元素

剔除大量的靶材料,尽可能地保留重离子核反应产生的放射性同位素.如,照射过的金靶片溶解于王水,在一密闭的容器中将溶液减压蒸发至近干,易挥发性的元素被一吸附阱吸收.剩余物溶于 3 mol/L 的 HCl,用乙酸乙酯从溶液中萃取 Au,水相就是包含从铍到汞的多种放射性同位素的示踪液^[2].也可通过由蒸馏水支撑的 0.8 mol/L 的 TBP 苯烷溶液的液体膜来除 Au.对其它的靶材料,他们也研制了相应的放化分离流程.图 2 给出了迄今已用于多重示踪剂的元素,可看出多重示踪技术可涉及到周期表上大部分元素.实验样品的 γ 活性是由高纯锗(HPGe)探测器测量的,拟合 γ 峰的峰下面积,并通过 γ 射线

的能量和半衰期来指定 γ 线所对应的核素.

3 多重示踪剂的应用前景

经过四年的努力,日本理化所已利用液体膜、吸附剂、离子交换和萃取等分离手段建立了一种新型的放射分析技术——多重示踪剂,研究了不同元素在固体表面的吸附平衡和动力学过程;研究了环境水中腐殖酸与各种元素的化学平衡;研究了海洋中元素的沉积机制;还对金属元素在植物中的转移等问题进行了研究.下面举两个有代表性的研究范例来说明多重示踪剂在环境科学和生物学中的应用.

3.1 酸度对附着于固体表面上各种元素吸附作用的影响

研究溶液中有关固体表面上金属离子的吸附和解吸过程,对了解自然环境中元素的迁移具有十分重要的意义.近年来,酸雨已成为日益严重的问题,它严重干扰了土壤中元素的吸附平衡.从这个观点出发,他们^[3]利用多重示踪剂系统地研究了酸度对吸附在各种固体表面上多种元素的吸附作用的影响.在一次实验中同时给出了 pH 值对吸附在 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 上的 16 种元素吸附平衡的影响关系,图 3 只给出了四种元素的实验结果.需要说明的是,所有的实验数据都是在实验条件完全相同的情况下获得的,它反映了各种元素彼此之间在 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 上吸附的竞争关系.

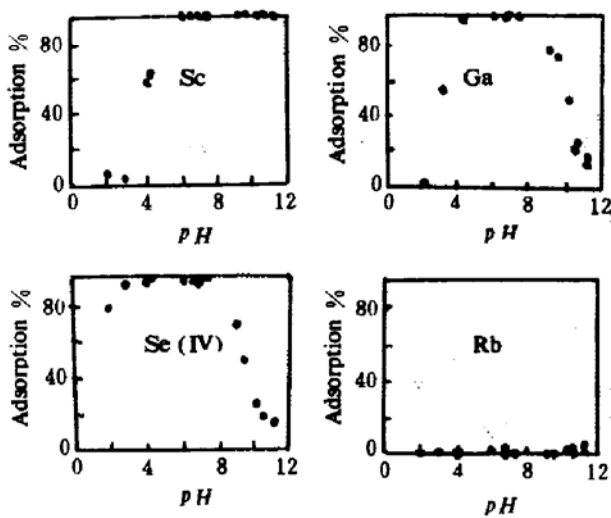


图3 pH值对各种吸附在 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 上元素的影响

3.2 各种元素在植物体内的转移

研究元素在植物体内的分布和转移对合理施肥和防止环境污染具有指导意义.他们^[4]利用多重示踪剂研究了各种元素在黄豆植株内的转移和分布情况.实验中,黄豆是用无根瘤菌的标准培养液栽培而成.播种 15 天后,将使用照射后金靶制成的多重示踪剂加入培养液中.再过 30 天,收获黄豆,并将植物的根、茎、豆荚和籽制成样品,进行 γ 能谱分析.在所研究的元素中,只有锌完全从根部转移到植株的茎、豆荚和籽中, Mn、Rb、Sr、Ba 有或多或少的转移,其余元素的转移都可忽

略不计.他们还将在不同的实验条件下对稻谷和其他植物进行类似的研究.

目前,他们仍在完善多重示踪技术,将在以下几个方面做更进一步的努力:(1)用更重的炮弹轰击各种靶,生产包含几乎覆盖整个周期表(除少数轻元素)的放射性同位素的多重示踪剂;(2)利用恰当的放射化学分离流程制备仅含某一族元素的多重示踪剂(即组示踪剂);(3)研究各种金属元素在动物体内的新陈代谢.

4 在 HIRFL 上开展多重示踪剂研究的可行性

兰州重离子研究装置(HIRFL)正式投入运行已六年,能够加速重离子的种类越来越多,束流的品质和强度日趋完善,已建成了 γ 能谱实验室,拥有五台效率为(15~40)%、能量分辨率为 1.5~2.2 keV(对⁶⁰Co 的 1332 keV γ 射线)的 HPGe 和 Ge(Li)探测器,以及与之配套的电子学线路和数据获取系统,还拥有一套完整的 γ 能谱分析程序和一个包括所有核素 γ 射线数据库.这套 γ 能谱分析技术完全可以和日本 RIKEN 相媲美.1993 年,近物所也建造了类似于落球辐照系统的气动跑兔装置.当然,如果将工作重点放在半衰期比较长的放射性同位素上,这种装置并不是必需的.即近物所已具备开展多重示踪剂研究的实验条件和能力,准备在兰州大学生物系的协助下,利用多重示踪剂研究各种元素在小鼠体的分布、积蓄和代谢过程,为多重示踪剂的应用开辟一个崭新的领域.

参 考 文 献

- 1 Ambe S, Chen S Y, Kobayashi Y, et al. Chem. Lett., 1991, 149
- 2 Ambe S, Ohkubo Y, Kobayashi Y, et al. Appl. Radiat. Isot., 1992, 43, 1533
- 3 Ambe S, Chen S Y, Kobayashi Y, et al. Chem. Lett., 1992, 1059
- 4 Fumitoshi Ambe. RIKEN Review, 1994, 4

Multitracer Technique and Prospects of Its Application

Qin Zhi Li Wenxin Yin Xinmin Zhang Xiang

Sun Tongyu Zhao Lili

(*Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*)

Wang Xiaoxuan

(*Lanzhou University, Lanzhou 730000*)

Abstract The multitracer as a new radioanalytical techniques is introduced. The most recent progress of multitracer at RIKEN is reported in this paper. Finally, the possibility of studying this method at HIRFL is put forward.

Key Word multitracer technique

(上接第 24 页)

1992 年第三届国际会议以来,地球科学成为核探针的主要应用领域;在 1994 年四届国际会议上,环境科学崭露头角亦成为一个重要的应用领域.

Recent Progress of Nuclear Microprobe Technology

Zhu Jieqing

(*Shanghai Institute of Nuclear Research, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800*)

Abstract This paper reviews the recent progress of the nuclear microprobe technology in both micro-analysis and micro-imaging. Some examples of recent applications of its micro-imaging technology are enclosed to show the potentialities of the technology for a variety of scientific studies.

Key Words nuclear microprobe ion beam micro-analysis ion beam micro-imaging