

Effects of Ionizing Radiation on Ecosystems and Its Evaluation Methods

Cheng Liu

Jiangsu Fuhuan Environmental Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210019, China

Abstract

The paper reviews the various effects of ionizing radiation on the ecosystem, including the genetic damage to individual organisms, the physical and chemical properties of soil and water bodies, and the overall impact on the structure and function of the ecosystem. The biomarker-based radiation dose estimation, ecological risk assessment and field experiments were explored. The importance of in-depth research, scientific evaluation, and effective risk management in protecting the ecological environment and human health is emphasized.

Keywords

ionizing radiation; ecological system; evaluation method

电离辐射对生态系统的影响及评价方法

刘成

江苏福环环境科技有限公司, 中国 · 江苏 南京 210019

摘 要

论文综述了电离辐射对生态系统的多方面影响, 包括对生物个体的遗传损伤、对土壤和水体的理化性质改变, 以及对生态系统结构和功能的整体影响。探讨了基于生物标志物的辐射剂量估算、生态风险评估和田间实验等评价方法。强调了深入研究、科学评价和有效风险管理在保护生态环境和人类健康中的重要性。

关键词

电离辐射; 生态系统; 评价方法

1 引言

电离辐射是指能够使原子或分子失去电子而变成离子的辐射“包括 β 射线、 γ 射线和 X 射线等”。电离辐射源自自然界和人类活动, 普遍存在于工业、农业、医疗等领域, 然而其对生态环境的影响仍然引起了广泛关注和争议。论文从生态环境角度出发, 着重评价电离辐射对生态环境的影响, 并探讨其应对措施。

2 电离辐射对生态系统的影响

2.1 辐射对生物的影响

电离辐射对生态环境的影响主要表现在对生物体的影响。尽管不同生物体对辐射的敏感性不同, 但长期暴露于辐射环境中, 可能会导致基因突变、遗传性疾病、肿瘤等疾病的发生, 很大程度上影响着生态系统。

2.2 辐射对土壤影响

土壤是生态系统的重要组成部分, 电离辐射可以影响土壤的理化性质、微生物数量、有机物含量等特性, 从而影响植物生长和生态系统结构的稳定性。土壤变质会影响食物链的正常运转, 制约农业生产和生态建设的进程。

2.3 辐射对水体影响

辐射对水体的影响被广泛关注, 辐射污染会导致水体污染, 影响水质和水生生物的生存环境。更为严重的是, 尽管水体对辐射有一定的负担力, 过多的辐射依然会对水体生态系统造成极大的影响。

3 电离辐射对生态系统的评价方法

环境中的电离辐射保护旨在预防或减少对动植物的致病、致死或生殖能力下降, 从而在保护物种、维持生物多样性和天然生境中发挥重要作用。对人体的电离辐射的保护, 既是对人类自身的保护, 也是对其他生物的保护。2003 年, 国际辐射保护委员会发布了 91《评估非人体辐射效应的评估框架》, 提出了评估非人体生物辐射效应的新思路, 填补了辐射防护研究的空白。在 2005 年, 国际放射控制中心设

【作者简介】刘成 (1986–), 男, 中国江苏连云港人, 硕士, 工程师, 从事辐射环境影响评价及辐射检测研究。

立了第五委员会,致力于保护环境中的电离辐射。该组织在2007国际气候变化倡议(ICRP)提案中重新提出了“以动植物为参照”的理念,通过对参照生物体的额外剂量计算,并将其与自然条件下的暴露剂量进行对比,从而为不同暴露条件下的生态防护提供一个较好的参考依据。

欧洲联盟(ERICA)和美国能源部(USDOE)提出的“海洋与陆地生物辐射剂量等级划分”(ERICA),该项目具有适用性广、适用性强、适应性强、体系完整等特点,可作为国家相关部门制定的评估标准。ERICA计划的结果就是ERICA通用方法和ERICA工具。简要地阐述了ERICA的总体设计思想、总体框架和基本原则,并对ERICA计划中的人体辐射防护系统进行了对比分析。

3.1 ERICA 项目概况

在2004—2007年间,来自欧洲7个国家15个组织的60余名科研人员参与了“ERICA”计划,旨在评估电离辐射对生物与生态系统的作用。来自世界各地超过50个组织参与了咨询、讨论、评估活动,对项目及产品进行了全方位的解读,参与了本课题的实施,并为项目的实施提供了多种视角。ERICA计划基于2000—2003年度国际环境影响评估计划(FASSET)和《北极电离辐射污染环境风险》(EPIC)。在美国FASSET计划中,欧洲联盟首次将放射性物质迁移到生物体内,建立了放射性物质向生物体的迁移、剂量估算、辐射效应数据评估方法。ERICA是一个时间跨度大、系统完善的研究课题,主要针对我国电离辐射对环境的科学、管理和社会等方面的科学、管理和社会问题,提出一整套的环境影响评估、危害特征和管理措施。它所关心的是生物与生态系统。本项目的研究目的在于为评估辐射暴露、效应和危害等方面的科学决策提供科学依据。ERICA计划已由单纯的评估转变为辅助决策与政策制订。研究的结果是:ERICA

通用方法与ERICA工具。环境风险评价的一般方法是:提出问题,分析数据,评估影响,将辐射、剂量、效果评估与危险特性、环境管理相结合。ERICA是一种软件,它可以引导用户在评估时对环境媒介的活度、生物活性、生物剂量等参数做出合理的选择,并对其输出结果进行解读。采用ERICA工具,实现了ERICA的通用方法。

3.2 ERICA 总方法

环境影响评价的基本思想是:问题的提出,数据的判断,环境影响评估。ERICA的基本思想是,利用环境传递与辐射的资料,对其进行定量化,并将其与暴露强度进行对比。其主要目的是为了辅助决策,合理地评估电离辐射的环境影响;本项目具有资料来源透明,输入参数灵活,能提供详细的辐射影像资料 and 不确定性分析等特点。ERICA包括传输参数、剂量转化系数和放射生物学效应三大数据库。其中,辐射生物效应数据库是美国FASSET辐射效应数据库的扩展,已有3万余份。

3.2.1 参考生物及相关核素

本项目拟以欧洲3个代表性生态系统(包括欧洲国家重点保护物种)为研究对象,综合考虑参照物种在生态系统中的位置、对长期低剂量辐射的敏感性、生态重要性等,选择具有代表性的3个代表性生态系统(包括欧洲国家重点保护物种),并结合参照物种的地理位置、对长期低剂量辐射的敏感性、生态重要性等因素,选择具有代表性的38个代表性物种。

3.2.2 ERICA 总方法的构成

ERICA通用方法是在ERICA软件的基础上,以实际或预计的环境介质中的放射性核素含量作为出发点,利用数据库中的数据对其进行定量化。环境影响评价的一般方法包括:环境影响评估,危险特性评估,环境管理三个方面。

ERICA通用方法(ERICA)的框图见图1。

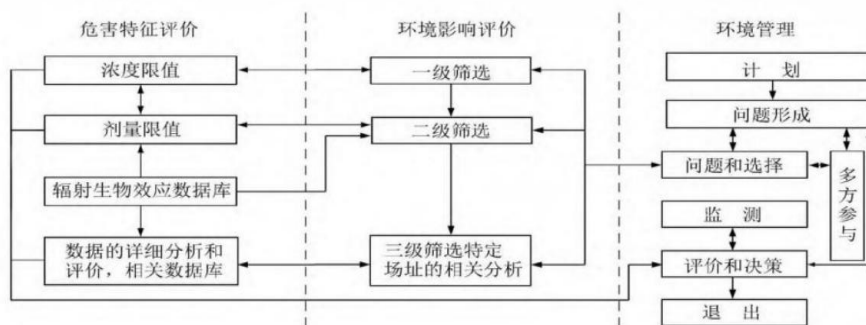


图1 ERICA 总方法的结构图

环境影响评估就是对某一特定环境介质或有机体的活性进行估计和测定,确定暴露条件,并对其进行评估。按重视程度与监管需要,可将其划分为三个层次,以三层筛查评估最为复杂,也最为独特,所涉及的资料也最为丰富。在评估时,若符合一级、二级筛选条件,且对放射生物影响极小或可忽略,则可将其剔除。若放射生物学影响不能忽视,则

需增加有关资料,开展二级、三级评估。危险特性评估主要是评估生物危害的可能性、强度和不确定性。它的功能是:①根据筛查准则,为评估放射性物质的环境效应能否被忽视,如果可以忽视,就可以退出评估系统;②如果有可能的或确实的效果,则为评估放射性影响的可能性及严重性提供科学依据。放射性—生物效应数据库为危害特性提供了科学

依据。环境管理就是在评估的实施过程中,以及在评估过程中进行的决策。内容包括:界定评估目标,就评估执行过程中的主要技术性问题作出决策,就利益相关者的决策,以及事后评估的决策等等。

3.2.3 筛选评价

第一级筛查评估要求输入的环境介质(土壤、水体、沉积物或大气)最高活性值,具有输入资料少、操作简便、保守性强、未考虑参考物种等优点。针对生态系统与生物体,采用的剂量率限值为 $10\mu\text{Gy/h}$ (来自辐射生物学效应数据库中长期暴露的生物敏感性分析资料),若低于此限度,将被视为无辐射效应。在生物敏感度方面,没有对海洋、淡水和陆地的剂量率界限进行区分。将估计出的或测量到的核素活度与其在环境介质中的浓度极限之比作为危险商 RQ ,将各元素的危险商加总,即为危险商 RQ_{cons} 。若有机体处在不同的环境条件下,将其对各环境介质的致害商加总,即为该生物体的相对危险系数。当 $RQ < 1$ 时,将其视为低于剂量率限值,其对人体以外的生物体的伤害是可以忽略的,可以终止评估;若 RQ 大于 1,则需进行评估。

①二次筛查需要更精确地输入环境介质及生物体内的放射性核素含量,并计算出生物体的内外辐射剂量率。由于生物的大小、形状和居住地的多样性,ERICA 算法对生物的辐射剂量进行了简单的处理。②内照射时,应将放射性核素均匀地分布于生物体内,而不是将生物体的各器官或组织分别视为独立存在。③忽略了核素组分的动态变化,使整个机体内核素组分浓度趋于平衡。④在外辐照剂量率的计算中,要考虑到生物体的典型辐照情况。在此基础上,采用危险商求导 (RQ_{exp}) 与致害商的保守性 (RQ_{cons}) 相结合的方法对其进行评估。在此基础上,我们提出了一种新的基于概率密度函数的新方法,该方法的计算结果与实际数据进行了比较。

二次筛查评估的结果可分成三种情况:第一,没有超出剂量率限值,也就是 $RQ_{\text{cons}} < 1$,不会对环境造成太大影响,可以中止评估;第二,放射性核素浓度可能超出阈值 ($RQ_{\text{cons}} \geq 1, RQ_{\text{exp}} < 1$),其对环境具有潜在的影响,需要对其进行二次筛查评估,采用更精确的参数、本底、生物剂量等;第三,放射性核素浓度超出标准,即 $RQ_{\text{exp}} \geq 1$,对环境产生了一定的影响,需对其进行深入的调研和三级评估。在后一种情况下,ERICA 方法给出了自然核素经加权的本底剂量率陆隐无语。ERICA 法主要是评估电离辐射对人体的危害,因此评估结果必须与本底剂量率进行对比。

ERICA 法侧重于确定性影响的研究,其主要内容包括:①参考物种;②放射生物学作用可分为致病率、致死率、生殖能力降低和细胞突变 4 类;③不同剂量比例下的生物学影

响。放射生物学影响的数据建立了生物影响的种类和剂量速率的关系。在二级筛查中,参照生物体的剂量率计算结果可以与放射生物学效应数据库相对照,从而得出一个合理的评估结果。

三级甄别与评估是一项十分复杂和特殊的工作,其评估不能仅以“是或否”两个字来概括。第三级筛查评估中采用的剂量率限值已经不能适应该阶段的具体情况,因此不能再采用危险商法。其中,三级筛查评估方法更加细致。例如,将某一特定分布特性的参数输入,将所得到的剂量率划分为两类:一类是输入单一资料的计算结果,另一类是根据一组具有分布特性的资料进行计算所得。ERICA 是一种利用 Munka 法对评估结果进行不确定性分析的方法,通过敏感性分析来判定评估结果的不确定性,并对影响评估结果的因素进行分析。在此基础上,通过各利益主体和多方论证,评估放射性物质对人体健康的影响程度。第三阶段的筛查评估,将利用所有有关的资料库,并列举可供决定发展的议题及选项。

ERICA 计划共选择 38 个在不同生态系中的参照生物体,其中 31 种元素共 63 种。在计算内、外辐射剂量率转换系数时,要充分考虑参照生物体与环境介质之间的相对位置。与美国能源部建议的 RESRAD-BIOTA 方案相比,该方案涉及面更广、针对性更强、考量因素更多。ERICA 计划建立的三阶段筛查和评估流程,以辐射效应资料为依据,给出参照生物体的剂量率限值,并对其进行科学、合理的评估。目前,我国还没有对植物和动物的剂量率进行规定,因此我们可以参考 ERICA 计划中的第二和第三阶段的评估流程。

4 结论

电离辐射是一种潜在的生态环境危险因素,如果不加以适当的管理和治理,会对生态系统造成更大的危害。为此,需要开展深入的科学研究,评估辐射污染对生态系统的不同方面的影响,并采取相应的风险管理措施,以保护环境和人们的健康。同时,也需要不断加强对电离辐射的认识和理解,增强公众的风险意识,共同维护良好的生态环境。

参考文献

- [1] 唐波,刘建伟,杜传盛,等.电离辐射健康效应及风险评估研究进展[J].中国辐射卫生,2024,33(2):221-228.
- [2] 王惠,张成.生态评估理论下的地质环境修复治理方法[J].石材,2024(4):123-125.
- [3] 铁建华.辐射环境安全监管的难点和解决措施[J].资源节约与环保,2024(1):79-82.
- [4] 叶立新.生态评估理论下的地质环境修复治理方法拟定措施分析[J].世界有色金属,2020(1):283+285.
- [5] 王焕,侯鹏,蒋金豹,等.基于“格局—质量—功能”的生态系统综合评价方法研究与实践[J].环境生态学,2019,1(7):32.