

生态风险评价研究进展

陈辉^{1,2}, 刘劲松², 曹宇⁴, 李双成³, 欧阳华¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 河北师范大学资源与环境科学学院, 石家庄 050016;

3. 北京大学环境学院, 北京 100871; 4. 浙江大学东南土地管理学院, 杭州 310029)

摘要:20多年来,生态风险评价研究经历了从环境风险到生态风险到区域生态风险评价的发展历程,风险源由单一风险源扩展到多风险源,风险受体由单一受体发展到多受体,评价范围由局地扩展到区域景观水平。区域生态风险评价就是大尺度上研究复杂环境背景下包含多风险源、多风险受体的综合风险研究。目前,区域生态风险评价的理论框架已经搭建起来,统计方法多采用相对评价法。区域生态风险评价未来的发展方向为继续加强实验和野外调查,进一步减小不确定性,逐步解决尺度推移问题。区域生态风险评价必须与经济、社会、文化相结合,才能充分发挥它在管理决策中的作用。

关键词:生态风险评价;景观;区域;大尺度;区域生态风险评价;管理决策

文章编号:1000-0933(2006)05-1558-09 **中图分类号:**Q14,X32 **文献标识码:**A

Progresses of ecological risk assessment

CHEN Hui^{1,2}, LIU Jin-Song², CAO Yu⁴, LI Shuang-Cheng³, OUYANG Hua¹ (1. *The Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China*; 2. *College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China*; 3. *College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China*; 4. *College of Southeast Land Management, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1558 ~ 1566.

Abstract: Risk assessment beginning at 1980s has developed greatly in content, scale and methods of assessment from one chemical and one receptor to its current application at large spatial and temporal scales in the 20 years. In the 1980s, the main assessment content was from toxicity of one chemical to human health risk. In the 1990s, risk assessment as a management tool had to be applied to populations, communities, and eventually to the ecological landscape at large scales. The risk analysis of multiple stressors, not just multiple chemicals but multiple types of agents, was also taken into account. During the late part of 1990s and early 2000s, the ecological risk assessment was broadening to include not only chemicals and ecological affairs but also a wide variety stressors, such as the impacts of human activities (urbanization, land use and land cover change, fishery and climate change, etc.) and the assessment scale was expanding to region and landscape scales.

Frameworks and statistical models are the key of regional ecological risk assessment. The risk assessment framework presented in the National Research Council(NRC) Red Book played a key role in the development of ecological risk assessment. After years of modification, the assessment framework had been improved to be perfect till 1998. The Environmental Protection Agency(EPA) framework proposed an integrated framework that covered both human health and ecological risk assessment including a detailed description of the process and showing how the process could be applied to a broad range of situations. Since then, various ERA framework have been developed for use in some countries (e. g. Netherlands, Australia, United Kingdom) and for specific

基金项目:国家重点基础研究发展计划“973”资助项目(2005CB422005);河北师范大学科研基金资助项目(L2004B14);国家自然科学基金重点资助项目(90202012)

收稿日期:2005-06-25; **修订日期:**2006-01-20

作者简介:陈辉(1972~),女,满族,河北承德人,博士,副教授,主要从事生态学、综合自然地理学研究. E-mail: Chenhui@igsnr.ac.cn

Foundation item: The project was supported by national key basic research program(NO. 2005CB422005), Scientific research fund of Hebei Normal University(No. L2004B14) and national natural sciences fund key project (Bo. 90202012)

Received date: 2005-06-25; **Accepted date:** 2006-01-20

Biography: CHEN Hui, Ph.D., Associate professor, mainly engaged in ecology and physical geography. E-mail: Chenhui@igsnr.ac.cn

situations. The statistical methods are the quantitative methods of ecological risk assessment. For one chemical stressor, the ratio value model and exposure-response model are adopted, but for the multiple stressors, multiple receptors, large scale of complex regional landscape, the methods aren't suitable because many uncertainties will appear during the extending from one stressor small scale to multiple stressors large scale. In the regional ecological risk assessment, Relative Risk Assessment(RRA) based on weight-of-evidence(WOE) are used widely. WOE approaches reported in the literature vary broadly from subjective and qualitative to quantitative and the categories of which include qualitative combination, expert ranking, consensus ranking, semi-quantitative ranking and sediment quality triad. WOE approaches could be used in retrospect assessment, causation assessment and the whole process of ecological risk assessment.

In the future, as a universal framework for ecological management, ecological risk assessment should develop deeply in resolving the problems of scale extending, uncertainty and assessment standard. At the background of global ecological crisis, regional ecological risk assessment will emphasized the fields and aspects in close relationship with global changes, such as human activities, geological disasters and climate affairs and ecological risk resulting from policy error and ecology safety, etc. Regional ecological risk assessment has the potential of becoming quantitative tools of management decision if it integrated with economy, society and culture.

Key words: ecological risk assessment; landscape; region; large scale; regional ecological risk assessment; management decision

19 世纪工业革命之后,在区域经济持续发展的同时,人类活动也引发了一系列生态环境问题,如物种灭绝、土地退化和全球变暖等,致使环境质量下降,严重影响了人类的生活质量,并制约着社会和经济的可持续发展。为了抑制区域生态环境的恶化,改善人类的生存环境,世界各国已开展了大量有关生态环境的研究,在环境评价方面也不断深化^[1]。风险评价开始于 1980 年代,经历了二十几年的发展,评价内容、评价范围、评价方法都有了很大的发展。由单一化学污染物、单一受体发展到大的时空尺度^[2]。1980 年代风险评价以单一化学污染物的毒理研究到人体健康的风险研究为主要内容;1990 年代,风险评价开始作为一种管理工具,风险受体扩展到种群、群落、生态系统、景观水平,风险源开始考虑多种化学污染物及各种可能造成生态风险的事件;20 世纪 90 年代末至今,风险源范围进一步扩大,除了化学污染、生态事件外,开始考虑人类活动的影响(如城市化、土地覆被变化、渔业、气候变化等),评价范围也扩展到流域及景观区域尺度。

本文将从 3 个方面对风险评价的发展历程进行综述:①风险评价的发展历程;②风险评价概念模型与统计方法(数学模型);③未来研究。

1 风险评价的发展历程

1.1 20 世纪 80 年代以前的萌芽阶段

最早的环境风险评价代表作是由美国原子能委员会提出的一份“大型核电站中重大事故的理论可能性和后果”的研究报告^[3],其目的在于减少核电工程事故的风险损失。1975 年在日本东京召开了人类环境国际科学家大会,Walter 提出环境影响评价应包括对政策的意外失误的影响分析,并应阐述适宜的应急计划,Hilborn 把上述概念用到渔业发展中政策失败的后果分析中^[4]。

早期的环境风险评价(20 世纪 70~80 年代初),风险源以意外事故发生的可能性分析为主,没有明确的风险受体,更没有明确的暴露评价和风险表征,整个评价过程以简单的定性分析为主,处于萌芽阶段。

1.2 20 世纪 80 年代的发展阶段——人体健康评价阶段

20 世纪 80 年代,风险评价得到很大发展,为风险评价体系建立的技术准备阶段。此期间进行的环境风险评价从风险类型来说为化学污染,风险受体为人体健康。

20 世纪 80 年代初,开始提出环境影响评价^[5,6],并采用毒理分析的范式进行化学污染物的生态影响研究^[7~9]。毒理评价依据等级试验的方法,通过生态终点污染物浓度与环境期望值的比较确定污染状况。等级试验可以包括多个层次:物种、生活史、生物组织。期间,对人体健康的评价主要集中在致癌风险方面,而不仅局限于毒理评价。而毒理评价与人体健康评价之间存在着显著的差距,为此,美国环保署(EPA)计划制定一

个统一的概念模型进行风险评价。

1981年,美国橡树岭国家实验室(ORNL)在受EPA委托进行综合燃料的风险评价中提出了一系列针对组织、种群、生态系统水平的生态风险评价方法^[11,13],并将此方法类推到人体健康的致癌风险评价中,确定生态风险评价应该估计那些可以明确表述影响的可能性,并强调相应的组织水平^[10-12]。ORNL的评价方法为人体健康风险评价框架的建立奠定了基础。美国国家研究委员会(NRC,1983)提出的风险评价框架,其核心内容也是围绕人体健康与安全的,它指出生态风险评价不但要有可以明确表述影响的可能性,而且还要有一个包含标准方法途径的明确框架。它制定的风险评价框架^[14]以使用手册的形式发表,完善了综合燃料风险评价的生态评价部分^[15]。此后,美国EPA制定和颁布了一系列技术性文件、准则或指南,但大多是人体健康风险评价方面的,例如,1986年发布了致癌风险评价、致畸风险评价、化学混合物健康风险评价、发育毒物健康风险评价、暴露评价、超级基金场地(Superfund sites)危害评价和风险评价等指南,1988年又发布了内吸毒物和男女繁殖性能毒物等评价指南^[16-24]。1989年,美国EPA还对1986年指南进行了修改。因此,从1989年起,风险评价的科学体系基本形成,并处于不断发展和完善的阶段。

这一时期的风险评价方法已由定性分析转向定量评价;评价过程系统化,提出风险评价“四步法”^[25]:危害鉴别、剂量-效应关系,暴露评价和风险表征;进一步明确了风险源和风险受体,特别是针对不同组织水平的评价方法的提出为生态风险评价奠定了基础。

1.3 20世纪90年代的大发展阶段——生态风险评价阶段

Barnthouse and Sute的评价框架是第一次尝试将人体健康评价框架改编成生态风险评价框架^[15],该框架体现了生态风险评价不同于人体健康评价的地方主要在于:生态风险评价强调风险源识别、生态描述和评价终点的选择;将预先的分析过程与暴露评价、影响评价结合起来;设计了一个流程图,将暴露评价、影响评价并列起来,并在暴露评价、影响评价的过程中体现危害识别。20世纪80年代末到20世纪90年代初这一阶段,ORNL的风险评价研究人员发表一系列文章,阐明化学毒理对生态过程和动态的影响,为从环境风险评价到生态风险评价的转变奠定了基础。Barnthouse等采用种群模型进行化学毒性对种群和生态系统的影响分析,表明化学毒理的生态影响是可以模拟的,但是需要实验和野外观测数据,而这些数据是很难获得的^[14]。Johnson通过微观实验,对比受到化学毒害和没受化学毒害的系统动态,采用“状态空间”的办法,解决了风险影响结果的表达问题^[26]。Carolyn Hunsakertffu发表文章阐述如何将生态风险评价应用到区域景观上去^[27],这是一篇具有里程碑意义的文章,它阐明了区域生态风险评价的基本概念和未来发展方向。

1990年,NRC成立的风险评价方法委员会(CRAM)在进行广泛案例研究(涉及有毒化学物调节、濒危物种保护、控制外来物种引入、自然资源管理等)的基础上,将人体健康评价与生态评价容纳到新的框架(NRC,1993)中^[28,29]。1990年,EPA提议在风险因子中加入非化学压力因子,压力因子由化学物质、放射性物质,发展到自然因子(如生境丧失、淤积等),这在EPA1992年的框架中已经有所体现^[30]。在20世纪90年代,EPA开展了一系列专题和案例研究,其中包括流域评价,直接导致了新的框架的产生(EPA,1998)^[35]。EPA(1998)的框架更强调评价者、管理者和所有者之间的讨论。EPA(1998)框架颁布以后,又在一些专门领域有所发展,如水生生态系统、流域的生态风险评价等^[31,32]。EPA(1998)的评价框架提供了一个完整的进行生态风险评价的过程,但是它没有充分体现出管理者和所有者的重要性。世界卫生组织(WHO)对EPA框架进行了修改,把生态风险评价与风险管理、所有者参与放在并列的位置,进一步强调管理者与所有者的地位,更有助于生态风险评价参与决策管理^[33,34]。

20世纪90年代,风险评价的热点已经从人体健康评价转入生态风险评价,风险压力因子也从单一的化学因子,扩展到多种化学因子及可能造成生态风险的事件,风险受体也从人体,发展到种群、群落、生态系统、流域景观水平。比较完善的生态风险评价框架已经形成,EPA认为框架只是对生态风险评价的一个说明,凡是按照EPA框架或类似的框架进行的评价都是生态风险评价。生态风险评价作为风险管理和政策决策的支持功能已经突显出来,管理者和所有者的地位已经从无到有,并发展到与风险评价处于并列的地位。在评价

的数学方法上(统计模型),主要采用污染物扩散模型、种群动态模型等,风险影响效果多以量化的生物有机体死亡率、生长发育、繁殖力等指标来表示。

1.4 20 世纪 90 年代末~21 世纪初的区域生态风险评价阶段

20 世纪 90 年代后期的大尺度(流域或更大尺度)生态风险评价多基于 EPA 的指导方针^[30,35]。ORNL 研究组对美国田纳西州 Clinch River 流域进行了生态风险研究^[36-41],评价了化学有毒物质对流域特殊种群的影响,虽然没有开展综合生态风险评价,但此项研究说明流域和大尺度风险研究是可能的。此后,Valiela I 等在 Waquoit Bay Massachusetts 流域进行了 N 的风险评价,说明单个因子也可以导致对整个生态系统的影响^[42]。Cormier SM, 等在对美国俄亥俄州 Big Darby River 流域进行评价时^[43],影响因子已经加入了非化学因子,包括河流形态、径流流量、沉积、营养物质等,综合影响结果用生态完整性系数、修改的健康系数、微生物种群系数来表示,但用这些参数描述生态影响存在着错误^[44-46]。Wayne G 等也指出,从个体影响外推到景观影响存在着不确定性^[46]。这些研究说明,已有的评价框架存在着不足:没有把空间结构、尺度、多压力因子、多风险受体有效地结合起来;对复杂系统还没有明确的认识。

在进行区域生态风险评价的过程中,科学家们逐渐认识到,区域环境特征不仅影响风险受体的行为、位置等,也影响到风险压力因子的时空分布规律^[47,48]。区域生态风险评价强调区域性,是在区域水平上描述和评估环境污染、人为活动或自然灾害对生态系统及其组分产生不利作用的可能性和大小的过程^[49]。区域生态风险评价所涉及的环境问题的成因及结果都具有区域性。付在毅等^[49]将区域生态风险的评价方法步骤概括为研究区的界定和分析、受体分析、风险识别与风险源分析、暴露与危害分析,及风险综合评价几个部分。强调区域生态风险评价中区域社会、经济、自然环境状况的分析是区域风险评价的基础,并详细阐述了如何针对区域特点进行风险源、风险受体的判定,及暴露与危害分析和风险综合评价。

除了模型框架所包含内容的限制以外,传统的用于化学毒理和人体健康风险评价的统计方法(数学模型)已经不能适应区域尺度的风险评价。因此,要进行区域综合生态风险评价,已有的评价方法需要在以下两个方面进行完善:①在概念模型的构建上要充分了解生态系统基本状况,分析可能造成区域生态风险的因子(包括化学物质、生态事件(雪灾、旱灾等)、人类活动的影响等),按照生态系统的等级结构进行风险受体选择和风险表征。②在以往的统计方法(数学模型)基础上,探求新的方法进行评价,使其更适合区域尺度的风险表征。

2 区域生态风险评价的概念模型与统计方法(数学模型)

2.1 区域生态风险评价概念模型

随着风险评价尺度的扩大,传统的概念模型已经不能满足景观水平的涉及多风险源、多压力因子、多风险影响的评价要求,需要专门适合大尺度的评价工具。因此,不同国家和机构的风险框架体系应运而生,并逐渐完善起来。美国的生态风险评价框架是在美国国家研究委员会(NRC,1983)提出的风险评价框架基础上发展起来的,经过几年的修订,1998 年已基本完善,提出风险评价“三步法”,即问题提出、分析和风险表征^[30]。荷兰是较早对风险进行定量评价的国家,并用数值表示个体、种群、群落、生态系统可能承受和不能承受风险的最大值,其关键是阈值(trigger values)的判定。英国的评价框架是依据可持续发展的目标制定的,其关键点在于提出了对可能的风险行为必须加以限制,即“预防为主”的原则^[50]。澳大利亚的风险评价框架是最好的评价框架之一,它强调定性定量相结合的方法,并通过考虑风险忍受性、风险得失、风险的可接受程度来确定主要风险。

最近出现的“因果分析”方法是为适应大尺度风险评价的需求而产生的^[31,51-53]。另外一个很重要的发展是提出了较系统的针对区域尺度进行风险评价的概念模型:“等级动态框架(HPDP)”^[54]法和“生态等级风险评价(PETER)”法^[55]。

“因果分析”就是在景观和区域水平上建立起一种时空尺度的连接^[55],回顾性评价是实现这种连接的有用工具,它将根据野外观察,建立起压力因子和可能影响之间的因果关系,在此基础上进行预测评价。致力于“因果分析”框架描述工作的有很多,美国国家环保署关于水生生态系统的因果分析框架,用等级打分的方法

分析风险原因^[31]。同时,也有用“因子权重”法进行风险原因分析的, Menzie 等是最早使用这种方法进行风险原因分析的,并明确地表述了这种分析方法^[56]。已有很多文章就“因子权重”法进行了深入讨论^[53,54,57,58]。大多数方法是“机械方法”,是针对那些环境中可以明确识别的导致组织或生态系统特定结果的状况的。另外,“可能性”分析方法是针对那些由于野外观察或伦理道德限制不能识别风险原因的,其输出结果是风险原因及造成的已观察到的和预测的影响的可能性大小。“因果分析”一个明显的缺陷是它很难处理生态系统动态和尺度问题。

HPDP 模型也属于概念模型,模型的一个重要假设是等级存在于生态系统结构中,等级之间的相互关系产生了标志生态系统特征的属性。HPDP 的等级是指生态系统的不同范围(scale),并不是指控制因子自上而下或自下而上的尺度推移,而是为了理解控制因子的作用,有必要了解其对较大范围(区域,大斑块)和较小范围(局地,小斑块)的影响。HPDP 的斑块是指斑块的位置、分布和动态,斑块特征会影响物种分布、压力因子与风险受体的相互关系和环境变化影响等。可以认为斑块在自然界中是动态的,位置会发生变化,具有内稳定性及一定的组成。一个典型的案例是 Landis WG 等^[59]关于太平洋青鱼种群在美国华盛顿 Cherry Point 区的生态风险评价,该评价从产卵区的小尺度评价扩展到青鱼迁移过程中更大尺度,影响因子包含了土地利用、道路、城市化等人为因子。HPDP 是一个可以用于区域尺度风险评价的概念框架,它将时空相互作用关系结合起来。“因果分析”法是检验区域尺度风险回顾评价假设的重要方法,但必须与 HPDP 结合起来才有意义。

PETER 方法也是一个区域生态风险评价的概念模型,更加明确了 HPDP 模型中关于生态系统范围(scale)的概念。PETER 方法是在缺乏大量野外观察数据的情况下进行风险评价的有效方法。Rosana Moraes 等详细介绍了这个模型,该模型将风险评价分为 3 个部分来进行,也叫“三级风险评价”^[60]。第 1 级为初级评价,是对已有信息如人为压力因子、压力来源及可能的影响进行定性估计。第 2 级为区域评价,是半定量评价,对整个区域内可能风险源、风险压力因子及可能受到影响的区域进行分级。第 3 级为局地评价,是定量评价,是在更小范围内建立起风险源、风险因子和与生态、社会相关的评价端点之间建立起数学关系。Moraes^[61]最早将这种方法用于亚马逊热带雨林生态风险评价。PETER 与已有的 ERA 评价方法相比,有 3 个方面的改进:在概念模型中加入了因果分析链;采用综合的方法进行暴露和影响分析;将权重分析法用于因果分析。

以上分析可以看出,目前的区域生态风险评价框架基本上已经包含了对复杂生态系统的分析,在评价中综合考虑各种风险源、压力因子及大尺度风险受体和多个风险端点的问题。这些框架是通过研究范围的扩大(从局部地区扩大到区域)来实现大区域生态风险的评价,而不是通过尺度推移的方法,根本原因在于,由于大规模实验的限制,通过小尺度实验所得的结论很难通过尺度推移而扩展到更大的范围上去。因而,基于小尺度实验数据的统计模型(数学模型)也很难应用到区域上去。

2.2 区域生态风险评价的统计模型(数学模型)

单因子(单一化学污染物)风险定量评价方法多采用商值法和暴露——反应法。商值法是为保护某一特殊受体而设立参照浓度指标,然后与估测的环境浓度相比较。暴露——反应法用于估测某种污染物的暴露浓度产生某种效应的数量,暴露——反应曲线可以估测风险^[62]。单因子小尺度的评价方法在向大尺度多因子的外推过程中存在很多不确定性,已经不适于包括多风险源、多风险受体、复杂的区域景观的大尺度风险评价了。在传统的统计方法(数学模型)用于大尺度评价的尺度外推过程中存在很多问题,在没有找到适于大尺度风险评价的统计方法(数学模型)之前,一些科学家尝试用指标替代的方法:Wallack 等.在评价杀虫剂对河流水域表层水体的风险评价中,根据土地利用方式、营养物浓度与杀虫剂浓度之间的相关关系,以土地利用方式等数据代替杀虫剂浓度,通过分区的方法进行水域可能影响评价^[47]。Tannenbaum 在分析动植物在遭受风险的可能变化状况时,根据动植物与生境之间的依存关系,以生境变化状况代替动植物可能遭受的影响^[63]。但 these 方法都很难解决区域尺度的多风险源、复杂风险受体的综合风险评价问题,在区域生态风险评价中目前应用最多的是基于因子权重法的相对风险评价方法。

因子权重法被用于主观评价、定性评价和定量评价中,但多用于定性评价,定量评价较少。因子权重法的

种类很多,包括综合定性法、专家打分法、公众打分法、半定量法打分、定性分级法等^[64]。因子权重法应用范围也很广,既可以单独用于回顾性评价、原因分析,也可以用于生态风险评价的整个过程。

基于因子权重法的相对风险评价法用于区域生态风险评价的有很多案例:Walker 等评价了农业土地利用和居住用地的扩大对区域生态系统所产生的水体污染、富营养化、水文变化、动植物生境退化、农业生态系统中有益昆虫种群的减少、牧草地杂草竞争增加、居住地美学价值的丧失等可能风险^[65]。Obery 评价了美国阿拉斯加州瓦尔迪兹港和俄勒冈州 Willamette McKenzie 流域土地利用对微生物和暖水鱼类脆弱生境的影响,评价端点为水质^[66]。Hayes 等在对华盛顿西北部海滨区域进行风险评价时发现,交通、城市化、农业土地利用、海岸线重建活动是海滨区域风险的主要原因^[67]。付在毅等利用遥感数据、历史资料和调查数据对中国辽河三角洲湿地生态系统进行了生态风险评价,指出洪涝、干旱、风暴潮灾害、油田污染事故是湿地生态风险的主要来源^[68]。相对风险评价法在一定程度上解决了大尺度风险评价的定量和半定量化问题,但这毕竟是一种相对的评价方法,评价标准很难确定,验证需要大量的数据,而且这种方法的不确定分析还在发展中。

3 结论与展望

生态风险评价经历了 20 多年的发展,评价范围已经扩展到景观和区域尺度;评价内容也更加全面:多风险因子(化学污染、生态事件、人类活动等),多风险受体、多评价端点成为大尺度风险评价的一个特点;评价过程中注重对复杂生态系统特征的了解,并且将其贯穿于区域生态风险评价的各个环节;景观、区域尺度的风险评价模型框架已经搭建起来;用于大尺度评价的数学方法已经发展起来,并在很多区域得到应用。

区域生态风险评价涉及环境科学、生态学、环境和生态毒理学、地理学、灾害学等多个学科^[69]。其发展有赖于这些学科的共同发展。为使评价结果更准确地反映实际情况,需要在以下领域进行深入研究:

(1) 在模型构建上,要弄清人类活动变化、环境过程与重要社会环境资源之间的关系,阐明生态系统的复杂性。

(2) 区域生态风险评价的一个难点就是尺度推移问题。风险评价结果通常要落实在生态系统或景观水平,但风险的直接受体可能是个体、种群、群落水平,较小尺度的影响要外推到较大尺度,可以通过加强野外观测和实验的方法,建立数学模型,通过模型拓展或因果分析的方法逐步实现尺度推移问题。

(3) 不确定性存在于风险评价整个过程中,在风险源的识别、风险可能性的判断上、各种外推(如物种间外推、不同等级生物组织间外推、由实验室向野外情况外推、由高剂量向低剂量外推等)中都存在不确定性。在风险评价过程中,加强不确定性评价,并通过实验方法的改进和对生态系统的深入认识,发展各种外推理论,建立合适的外推模型,逐步减小不确定性。

(4) 由于评价标准不统一,不同区域生态风险很难有可比性,因此评价标准的确定是又一个难点。这个问题可以从两个角度考虑:一是制定相对标准,通过尺度扩大的方法将需要对比的区域作为一个区域来考虑,也就是等于扩大评价范围,在技术实现上难度较小;二是制定绝对评价标准,这就需要分段制定标准,比如对风险源的可能影响给出标准,对风险受体针对不同风险源可能受到的影响也要给出标准等,这种方法在实现上很难,需要大量的前期工作。

以上是关于生态风险评价方法、过程等基本问题的探讨。在目前全球生态系统不断恶化的趋势下,生态风险评价的重点领域和方向可能存在以下几个方面:

(1) 对全球环境变化贡献较大的事件:包括与温室气体排放有关的人类活动(如森林砍伐、水稻田面积的增加),地质灾害(如火山爆发)和异常气候事件的区域风险评价工作。

(2) 政策失误造成的生态风险,如毁林开荒、围湖造田等,这一评价领域在风险评价早期曾被提出,但没有得到很好的发展,这一领域是容易被忽略的重要领域。

(3) 生物安全评价。20 世纪 90 年代以来,转基因作物安全性问题得到很多的关注。其生态安全问题也将成为生态风险评价关注的问题。

区域生态风险评价应该是人类与环境管理系统的综合集成,它只有和生态结构支撑下的文化、经济、社会

系统结合起来,才能更好地在管理决策中发挥作用。

References:

- [1] Zhong Z L, Zeng G M, Yang C P. The development of environmental risk assessment research. *Advances in Environmental Science*, 1996, 4(6): 17 ~ 21.
- [2] Wayne G Landis. Twenty years before and hence; ecological risk assessment at multiple scales with multiple stressors and multiple endpoints. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2003, 9: 1317 ~ 1326.
- [3] Thortical E C. Possibilities and consequences of major accidents in large nuclear power plants, DOC. 740, U.S. A. E. C., Washington D C, 1975.
- [4] Wang B Z, *et al.* *Translation. Foreign environmental science and technology*. 1985, (Suppliment): 111.
- [5] Beanlands G E and Duiker P N. An ecological framework for environmental impact assessment in Canada. Institute for Resources and Environmental Studies, Dalhousie University, Halifax, N S, Canada, 1983.
- [6] CEQ(Council on Environmental Quality). Regulation for implementing the procedural provision of the National Environmental Policy Act. 40CRF Parts 1500 ~ 1508. US Government Printing Office. Washington, D C, USA, 1986.
- [7] Carns J Jr, Dickson K L, and Maki A W eds. Estimating the hazard of chemical substances to aquatic life. STP657. American Society for Testing and Materials. Philadelphia. PA. USA, 1978.
- [8] Dickson K L, Maki, A W, and Cairns J Jr. eds. Analyzing the hazard evaluation process. American Fisheries Society, Washington, D C, USA, 1979.
- [9] EPA(US Environmental Protection Agency). Hazard evaluation division standard evaluation procedure: ecological risk assessment. EPA 540-9-85-001. Office of Pesticide Programs. Washington, DC, USA, 1986.
- [10] O'Neill P V, Gardner R H, Barnhouse L W, *et al.* Ecosystem risk analysis: A new methodology. *Environmental Toxicology Chemistry*, 1982, 1(1): 67 ~ 77.
- [11] Barnhouse L W, Suter G W I I, Rosen A E, *et al.* Estimating responses of fish populations to toxic contamination. *Environmental Toxicology Chemistry*, 1987, 6(8): 11 ~ 24.
- [12] Suter G W I I, Vaughan D S, Gardner R H. Risk assessment by Analysis of extrapolation error, a demonstration for effects of pollutants on fish. *Environmental Toxicology Chemistry*, 1983, 2(3): 69 ~ 78.
- [13] Suter G W I I, Barnhouse L W, Baes C F I I, *et al.* Environmental risk analysis for direct coal liquefaction. ORNL/TM-9074. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, USA. 1984.
- [14] Barnhouse L W, Suter II G W, and Rosen AE. Inferring population-level significance from individual-level effects: an extrapolation from fisheries science to ecotoxicology. In: Suter GW II and Lewis MA(eds). *Aquatic Toxicology and Environmental Fates*, 1998, 11: 289 ~ 300. ASTM STP 1007. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA.
- [15] Glenn W, Suter II, Susan B, Norton, and Lawrence W. Barnhouse. The evolution of frameworks for ecological risk assessment from the Red Book Ancestor. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2003, 9: 1349 ~ 1360.
- [16] USEPA: Guidelines for carcinogen risk assessment. Fed. Regist, 1986, 51: 33992 ~ 34003.
- [17] USEPA: Guidelines for mutagenicity risk assessment. Fed. Regist, 1986, 51: 34006 ~ 34021.
- [18] USEPA: Guidelines for the Health risk assessment of chemical mixture. Fed. Regist, 1986, 51: 34014 ~ 34025.
- [19] USEPA: Guidelines for developmental toxicity risk assessment. Fed. Regist, 1986, 51: 34028 ~ 34040.
- [20] USEPA: Guidelines for exposure assessment. Fed. Regist, 1986, 51: 34042 ~ 34054.
- [21] USEPA: Superfund health assessment manual. EPA 540/1/6/060, 1986.
- [22] USEPA: Guidelines for health assessment of systemic toxicants. Fed Regist. (in draft), 1988.
- [23] USEPA: Proposed guidelines for assessing female reproductive risk. Fed. Regist, 1988, 53: 24834 ~ 24847.
- [24] USEPA(1988): Proposed guidelines for assessing male reproductive risk, Fed. Regist, 53: 24850 ~ 24860.
- [25] National Academy of Sciences (NAS). Risk assessment in federal government: managing the process. National Academy Press, Washington D C, 1983.
- [26] Johnson A R. Evaluation ecosystem response to toxicant stress: A state space approach. In: Adams W J, Chapman G A, and Landis W G eds. *Aquatic toxicology and hazard assessment*, 1988, 10: 275 ~ 285. ASTP STP 971. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, P A, USA.
- [27] Hunsaker C T, Graham R L, Suter G W II, *et al.* Assessing ecological risk on regional scale. *Environmental Management*, 1990, 14: 325 ~ 332.
- [28] NRC(National Research Council). Risk assessment in the federal government: managing the process. National Academy Press, Washington, DC, USA, 1983.
- [29] NRC(National Research Council). Issues in risk assessment. National Academy Press, Washington, D C, USA, 1993.
- [30] EPA(US Environmental Protection Agency). Framework for ecological risk assessment. EPA 630-R-92-001. Office of Research and Development, Washington, D C, USA, 1992.

- [31] EPA (US Environmental Protection Agency). Stressor identification guidelines for ecological risk assessment. EPA/822-B-00/025. Office of Water, Washington, D C, USA, 2000.
- [32] Sergeant A. Management objectives for ecological risk assessment – developments at US EPA. *Environmental Science Policy*, 2000, 3(2): 95 ~ 98.
- [33] WHO (World Health Organization). Report on integrated risk assessment, WHO/IPCS/IRA/01/12. Geneva, Switzerland, 2001.
- [34] Suter G W II, Vermier T, Munns W R Jr, *et al.* Framework for the integration of health and ecological risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2003, 9: 281 ~ 302.
- [35] EPA (US Environmental Protection Agency). Guidelines for ecological risk assessment EPA 630-R-95-002F. Office of Water, Washington, D C, USA. 1998.
- [36] Adam S M, Bevelhimer M S, Greeley M S Jr, *et al.* The ecological risk assessment in a large river-reservoir: 6. Bioindicators of fish population health. *Environmental Toxicology Chemistry*, 1999, 18(4): 628 ~ 640.
- [37] Baron L A, Sample B E, and Suter G W I I. Ecological risk assessment in a large river-reservoir: 5. Aerial insectivorous wildlife. *Environmental Toxicology Chemistry*. 1999, 18(4): 621 ~ 627.
- [38] Cook R B, Suter G W I I, and Sain E R. Ecological risk assessment in a large river-reservoir: 1. Introduction and background. *Environmental Toxicology Chemistry*, 1999, 18(4): 581 ~ 588.
- [39] Jones D S, Barnhouse L W, Suter G W I I, *et al.* Ecological risk assessment in a large river-reservoir: 3. Introduction and background. *Environmental Toxicology Chemistry*, 1999, 18(4): 599 ~ 609.
- [40] Sample B E, and Suter G W I I. Ecological risk assessment in a large river-reservoir: 4. Introduction and background. *Environmental Toxicology Chemistry*, 1999, 18(4): 610 ~ 620.
- [41] Suter G W II, Barnhouse L W, Efroymson R A, *et al.* Ecological risk assessment in a large river-reservoir: 2. Introduction and background. *Environmental Toxicology Chemistry*, 1999, 18(4): 610 ~ 620.
- [42] Valiela I, Tomasky G. Hauxwell J, *et al.* Producing sustainability: management and risk assessment of land-derived nitrogen loads to shallow estuaries. *Ecological Application*, 2000, 10: 1006 ~ 1023.
- [43] Cormier S M, Smith M, Norton S, *et al.* Assessing ecological risk in watershed: A case study of problem formulation in the Big Darby Creek watershed, Ohio, USA. *Environmental Toxicology Chemistry*, 1999, 19: 1082 ~ 1096.
- [44] Kapustka L A and Landis G W. Ecology: the science versus the myth. *Human and Ecological Risk Assessment*, 1998, 4: 829 ~ 838.
- [45] Matthews R A, Matthews G B, and Landis W G. Application of community level toxicity testing to environmental risk assessment. In: Newman MC and Strojjan C L, eds. *Risk Assessment: Logic and Measurement*. 1998: 225-253. Ann Arbor Press, Ann Arbor, MI, USA.
- [46] Wayne G. and Landis. Uncertainty in the extrapolation from individual effects to impacts upon landscape. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8(1): 193 ~ 204.
- [47] Rachel N. Wallack and Bruce K. Hope. quantitative consideration of ecosystem characteristics in an ecological risk assessment: A case study. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8(7): 1805 ~ 1814.
- [48] Willis R D, Hull R N and Marshall L J. Consideration regarding the use of reference area and baseline information in ecological risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2003, 9(7): 1645 ~ 1653.
- [49] Fu Z Y, Xu X G. Regional ecological risk assessment. *Advance in Earth Sciences*, 2001, 16(2): 267 ~ 271.
- [50] Power M, McCarty L S. Trends in the development of ecological risk assessment and management frameworks. *Human and Ecological Risk Assessment*. 2002, 8(1): 7 ~ 18.
- [51] Norton S, Cormier S, Suter G I I, *et al.* Determining probable causes of ecological impairment in the Little Scioto River, Ohio, USA: part 1. Listing candidate causes and analyzing evidence. *Environmental Toxicology Chemistry*, 2002, 21: 1112 ~ 1124.
- [52] Chapman P M, McDonald B, and Lawrence G. Weight-of-evidence issues and frameworks for sediment quality (and other) assessment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8: 1489 ~ 1515.
- [53] Forbes V and Calow P. applying Weight-of-evidence in retrospective ecological risk assessment when quantitative data are limited. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8: 1625 ~ 1639.
- [54] Wayne G. Landis. The frontier in ecological risk assessment at Expanding spatial and temporal scales. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2003, 9: 1415 ~ 1424.
- [55] Moraes R and Molander S. A Procedure for tiered assessment of risks (PRTER). Ph. D. Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenborg, Sweden. 2002.
- [56] Menzie C, Hope-Henning M, Cura J, *et al.* Special report of the Massachusetts weight-of-evidence workgroup: A weight-of-evidence approach for evaluating ecological risks. *Human and Ecological Risk Assessment*, 1996, 2: 277 ~ 304.
- [57] Burton G Jr, Batley G, Chapman P M, *et al.* Weight-of-evidence framework for assessing sediment (or other) contamination: Improving certainty in the decision – making process. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8: 1675 ~ 1696.

- [58] Burton G, Chapman P M, and Smith E. Weight-of-evidence approaches for assessing ecosystem impairment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8:1657 - 1673.
- [59] Landis W G, Duncan P B, Hayes E H, Markiewicz A J, Thomas J F. A regional retrospective assessment of the potential stressors causing the decline of the Cherry Point Pacific herring run. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2004, 10(2): 271 ~ 297.
- [60] Rosana Moraes and Sverker Molander. A procedure for ecological tiered assessment of risks (PETER). *Human and Ecological Risk Assessment*, 2004, 10(2): 349 ~ 371.
- [61] Rosana Moraes, Wayne G. Landis and Sverker Molander. Regional risk assessment of a Brazilian Rain Forest. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8(7): 1779 ~ 1803.
- [62] Xu J B, Wang Y. Ecological risk assessment. *Songliao Journal*, 1999, 2: 10 ~ 13.
- [63] Lawrence V. Tannenbaum. Can ecological receptors really be at risk? *Human and Ecological Risk Assessment*, 2003, 9(1): 5 ~ 13.
- [64] Burton Allen G, Jr, Peter M Chapman, and Eric P Smith. Weight-of-evidence approaches for assessing ecosystem impairment. *Human and Ecological Assessment*, 2002, 8(7): 1657 ~ 1673.
- [65] Walker R, Landis W, Brown P. Developing a regional risk assessment: A case study of a Tasmania agricultural catchment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2001, 7(2): 417 ~ .
- [66] Angela M Obery and Wayne G Landis. A regional multiple stressor risk assessment of the Codorus Creek watershed applying the relative risk model. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8(2): 405 ~ 428.
- [67] Hayes E H, Landis W G. Regional ecological assessment of a near shore marine environment: Cherry Point, WA. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 10(2): 299 ~ 325.
- [68] Fu Z Y, XU X G, Lin H P, *et al.* Regional ecological risk assessment of in the Liaohe River Delta wetlands. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 70(3): 253 ~ 262.
- [69] Mao X L, Ni J R. Recent Progress of Ecological Risk Assessment. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2005, 41(4): 646 ~ 654.

参考文献:

- [1] 钟政林, 曾光明, 杨春平. 环境风险评价研究进展. *环境科学进展*, 1996, 4(6): 17 ~ 21.
- [4] 王宝贞, 等译. 国外环境科学技术. 1985, 增刊: 111.
- [49] 付在毅, 许学工. 区域生态风险评价. *球科学进展*, 2001, 16(2): 267 ~ 271.
- [62] 徐镜波, 王咏. 生态风险评价. *松辽学刊(自然科学版)*, 1999, 2: 10 ~ 13.
- [67] 付在毅, 许学工, 林辉平等. 辽河三角洲湿地区域生态风险评价. *生态学报*, 2004, 70(3): 253 ~ 262.
- [69] 毛小苓, 倪晋仁. 生态风险评价研究述评. *北京大学学报(自然科学版)*, 2005, 41(4): 646 ~ 654.