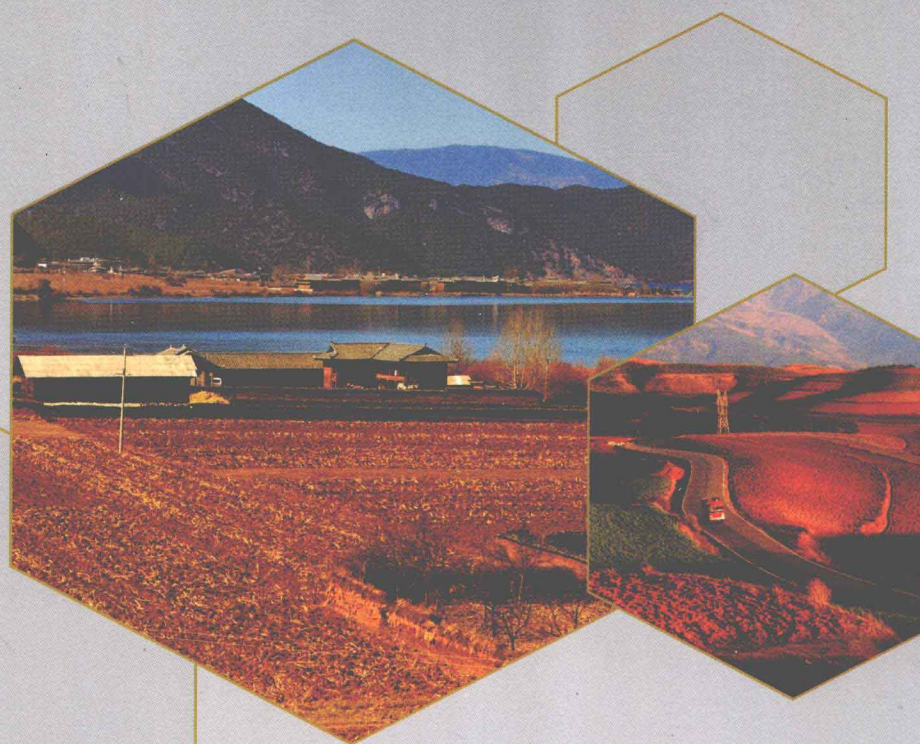




土壤污染 与人体健康

TURANG WURAN YU
RENTI JIANKANG

环境保护部自然生态保护司 编著

中国环境出版社

土壤污染与人体健康

环境保护部自然生态保护司 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

土壤污染与人体健康/环境保护部自然生态保护司编著.
—北京: 中国环境出版社, 2012.3
ISBN 978-7-5111-0806-7

I. ①土… II. ①环… III. ①土壤污染—影响—
健康—研究 IV. ①X530.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 021396 号

出 版 人 王新程
责任编辑 黄晓燕
文字编辑 刘 杨
责任校对 扣志红
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112735 (环评与监察图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2013 年 1 月第 1 版
印 次 2013 年 1 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 25.5
字 数 590 千字
定 价 63.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 土壤污染概述	1
第二节 土壤污染的危害	5
第三节 土壤污染的健康风险评价	7
主要参考文献	12
第二章 土壤及其卫生学意义	13
第一节 土壤的形成及性质	13
第二节 土壤污染物与污染源	25
第三节 土壤卫生概念及研究特点	38
第四节 土壤卫生学意义	39
第五节 土壤环境背景值与环境容量	48
主要参考文献	55
第三章 土壤污染的健康危害途径	57
第一节 土壤污染物对人体健康危害的途径	57
第二节 土壤污染与农产品安全	71
主要参考文献	89
第四章 土壤卫生监测、防护与监督	91
第一节 土壤污染调查、监测与评价	91
第二节 土壤卫生防护	124
第三节 土壤卫生监督	134
主要参考文献	144
第五章 土壤污染人群健康风险评估	145
第一节 健康风险评估方法	145
第二节 环境流行病学研究方法在健康风险评估中的应用	159
第三节 环境毒理学方法在健康风险评估中的应用	169
主要参考文献	175
第六章 突发土壤污染事件与应急处理	176
第一节 概 述	176

第二节 土壤污染事件监测、评估与预警	185
第三节 土壤污染事件应急处理	195
主要参考文献	204
第七章 土壤重金属及氟污染与健康	205
第一节 镉污染与健康	205
第二节 铅污染与健康	214
第三节 汞污染与健康	221
第四节 铬污染与健康	230
第五节 砷污染与健康	235
第六节 氟污染与健康	243
主要参考文献	249
第八章 土壤农药污染与健康	250
第一节 有机氯农药与健康	251
第二节 有机磷农药与健康	268
主要参考文献	291
第九章 土壤重要有机物污染与健康	293
第一节 多环芳烃污染与健康	293
第二节 多氯联苯污染与健康	302
第三节 二噁英污染与健康	312
第四节 环境内分泌干扰物污染与健康	323
主要参考文献	344
第十章 土壤生物性污染与健康	346
第一节 细菌污染与健康	347
第二节 病毒污染与健康	365
第三节 寄生虫污染与健康	372
主要参考文献	379
第十一章 土壤放射性污染与健康	381
第一节 土壤放射性污染	381
第二节 急性放射病	384
第三节 慢性放射病	387
第四节 小剂量外照射对人体健康的影响	389
第五节 放射卫生防护基础	391
主要参考文献	398

第一章 绪 论

土壤和空气、水一样是环境的基本要素之一，也是人类赖以生产、生活和生存的物质基础。土壤处于大气圈、水圈、岩石圈和生物圈之间的过渡地带，是联系无机界和有机界的重要环节。土壤是陆地生态系统的核心及食物链的首端，直接联系到人类消费。随着工业化发展、城市化进程的加快，人类活动范围不断扩大，人为因素对土壤环境的污染与破坏也日益加重，土壤成为许多有害废弃物处理和容纳的场所。土壤环境的改变必然会对赖以生存的人类和动植物等产生巨大的影响。土壤污染物可以通过食物、饮水、扬尘和皮肤等途径转移到人体并危害人体健康。因此，对土壤环境污染及健康效应的评价是现代环境医学的一项重要任务。只有准确、及时地评价土壤环境污染及健康效应才能最大限度地保护环境、保护人体健康，并为制定可行的卫生和环境管理决策提供科学依据。

第一节 土壤污染概述

一、土壤污染的概念及特点

（一）土壤污染

1. 概念

目前，土壤污染的定义尚不统一，较为一致的看法是：“土壤生态系统由于外来物质、生物或能量的输入，使其有利的物理、化学及生物特性遭受破坏而降低或失去正常功能的现象称为土壤污染”。广义而言，任何有毒有害物质的进入导致土壤质量的下降，或人为因素导致的表土流失等，也应视为土壤污染。

如何识别土壤污染？通常有以下几种看法：①土壤中污染物含量超过土壤背景值的上限值；②土壤中污染物含量超过土壤环境质量标准 GB 15618—1995 中二级标准值；③土壤中污染物对生物、水体、空气或人体健康产生危害。可进一步从以下三个方面认定：其一是土壤物理、化学或生物性质的改变，使植物受到伤害而导致产量下降或死亡；其二是土壤物理、化学或生物性质已经发生改变，虽然植物仍能生长，但部分污染物被农作物吸收进入作物体内，使农产品中有害成分含量过高，人畜食用后可引起中毒及各种疾病；其三是因土壤中污染物含量过高，从而间接地污染空气、地表水和地下水等，进一步影响人体健康。

综上所述，土壤污染是指由于人为活动，有意或无意地将对人类和其他生物有害的物质施加到土壤中，其数量超过土壤的净化能力，从而在土壤中逐渐积累，致使这些成分明显高于原有含量，引起土壤质量恶化、正常功能失调，甚至某些功能丧失的现象。但从环境科学角度讲，人类活动所产生的污染物，通过多种途径进入土壤，当污染物向土壤中输

入的数量和速度超过土壤净化作用的能力时，自然动态平衡即遭到破坏，造成污染物的积累过程占优势，逐渐导致土壤正常功能的失调，同时由于土壤有害和有毒物质的迁移转化，引起大气和水体的污染，并通过食物链构成对人体直接或间接的危害，这种现象称为土壤污染。所以，土壤污染应同时具有以下三个条件：一是人类活动引起的外源污染物进入土壤；二是导致土壤环境质量下降，而有害于生物、水体、空气或人体健康；三是污染物浓度超过土壤污染临界值。

2. 土壤污染过程

土壤是环境四大要素之一，又是连接自然环境中无机界、有机界和生物界的中心环节，因此土壤环境污染不像大气与水体污染那样容易显现，而是一个漫长的过程。

外界的物质和能量，不断地输入土壤体系，并在土壤中转转化、迁移和积累，从而影响土壤的组成、结构、性质和功能。同时，土壤也向外界输出物质和能量，不断影响外界环境的状态、性质和功能，在正常情况下，两者处于一定的动态平衡状态。在这种平衡状态下，土壤环境是不会发生污染的。但是，如果人类的各种活动产生的污染物质，通过各种途径输入土壤（包括施入土壤的肥料、农药等），其数量和速度超过了土壤环境自净作用的能力，打破了污染物在土壤环境中的自然动态平衡，污染物的积累过程占据了优势，即可导致土壤环境正常功能失调和土壤质量下降，或者土壤生态结构发生明显变化，导致土壤微生物区系（种类、数量和活性）的变化，土壤酶活性减小。

土壤污染可使土壤性质、组成及性状等发生变化，使污染物质的积累过程逐渐占优势，破坏土壤的自然动态平衡，从而导致土壤自然功能失调，土壤质量恶化，影响作物的生长发育，以致造成产量和质量的下降，并可通过食物链造成对生物和人类的直接危害。

（二）土壤污染的特点

土壤污染不像大气与水体污染那样容易被人们发现，因为土壤是复杂的三相共存体系。有害物质在土壤中可与土壤相结合，部分有害物质可被土壤生物所分解或吸收。当土壤有害物迁移至农作物，再通过食物链而损害人畜健康时，土壤本身可能还继续保持其生产能力，这更增加了对土壤污染危害性的认识难度，以致污染危害持续发展。土壤环境污染危害具有以下的特点：

（1）隐蔽性或潜伏性。水体和大气的污染比较直观，土壤污染则不同。土壤污染需要通过粮食、蔬菜、水果或牧草等农作物的生长状况的改变，或摄食受污染农作物的人或动物健康状况的变化才能反映出来。特别是土壤重金属污染，往往要通过对土壤样品进行分析化验和对农作物重金属的残留进行检测，甚至研究其对人、畜健康状况的影响才能确定。

（2）不可逆性和长期性。土壤一旦受到污染往往极难恢复，特别是重金属对土壤的污染几乎是一个不可逆过程，而许多有机化学物质的污染也需要一个比较长的降解时间。土壤重金属污染一旦发生，仅仅依靠切断污染源的方法很难恢复。土壤中重金属污染物大部分残留于土壤耕层，很少向下层移动。这是由于土壤中存在有机胶体、无机胶体和有机-无机复合胶体，它们对重金属有较强的吸附和螯合能力，限制了重金属在土壤中的迁移。解决土壤重金属污染问题，有时要靠换土、淋洗等特殊方法。

（3）间接危害性。土壤对污染物具有富集作用，也就是土壤通过对污染物的吸附、固定作用，包括植物吸收与残落，从而使污染物聚集于土壤中。多数无机污染物特别是重金

属和微量元素，都能与土壤有机质或矿质相结合，并长久地保存在土壤中。其后果：一是进入土壤的污染物被植物吸收，并可以通过食物链危害动物和人体健康。植物从土壤中选择吸收必需的营养物，同时也会吸收土壤释放出来的有害物质。植物的吸收利用，有时能使污染物浓度达到危害自身或危害人畜的水平。即使食用的污染性植物产品不会引起急性毒性危害，或没有达到毒害水平，当它们为人、畜禽食用并且在动物体内排出率较低时，也可以逐日积累，由量变到质变，最后引发疾病。二是土壤中日积月累的有害物质，可成为二次污染源。土壤中的污染物随水分渗漏在土壤内发生移动，可对地下水造成污染，也可通过地表径流进入江河、湖泊等，对地表水造成污染。土壤遭风蚀后，其中的污染物可附着在土粒上被扬起，有些污染物也以气态的形式进入大气。因此，污染的土壤可造成大气和水体的二次污染。

(4) 难治理性。一般地，大气和水体受到污染时，切断污染源之后，在稀释和自净作用下，大气和水体中的污染物可逐步降解或消除，污染状况也有可能改善。但积累在土壤中的难降解性污染物很难靠稀释和自净作用来消除。土壤污染一旦发生，仅仅依靠切断污染源的方法一般很难恢复，有时要靠置换、淋洗土壤等方法才能解决问题，其他治理技术见效较慢。因此，治理污染土壤通常成本较高、治理周期较长。

(三) 土壤污染途径

根据主要污染物的来源，土壤环境污染的主要途径：

(1) 水。污染源主要是工业废水、城市生活污水和受污染的地表水体。据报道，在日本由受污染地表水体造成的土壤污染占土壤环境污染总面积的 80%，而且绝大多数是由污水灌溉造成。

地表径流造成的土壤污染，其分布特点是污染物一般集中于土壤表层，因为污染物质大多以污水灌溉形式从地表进入土壤。但是，随着污水灌溉时间的延长，某些污染物质可随淋溶水向土壤下层迁移，甚至达到地下水层。水型污染是土壤污染的最主要发生类型，其分布特点是沿被污染的河流或干渠呈树枝状或呈片状分布。

(2) 大气。土壤中的污染物质来自被污染的大气，大气中颗粒物的沉降可引起土壤环境污染。

由大气造成的土壤环境污染，可分为点源污染和面源污染两类。点源土壤污染特点是，以大气污染源为中心呈椭圆状或条带状分布，长轴沿主风向伸长。其污染面积和扩散距离，取决于气象条件（风向、风速等）和污染物质的性质、排放量，以及排放形式。有报道称，中欧工业区采用高烟囱排放的 SO_2 等酸性物质可扩散到北欧斯堪的那维亚半岛，使该地区土壤酸化。面源土壤污染的特点是，由于污染源分散或呈流动状，土壤污染无明显边界且污染面积广。例如，因大气污染造成的酸性降水乃至土壤酸化，就是一种广域范围、跨越国界的大气污染现象，是一种“越境公害”。而汽车尾气是低空排放，只对公路两旁的土壤产生污染。大气污染型土壤的污染物质主要集中于土壤表层（0~5 cm）。

(3) 固体废弃物。在土壤表面堆放或处理、处置固体废物、废渣，不仅占用大量耕地，并且污染物还可通过大气扩散或降水淋溶，使周围地区的土壤受到污染。固体废物系指被丢弃的固体状和泥状物质，包括工矿业废渣、污泥，城市垃圾，电子产品垃圾等。固体废物污染属点源性质，主要造成土壤环境的重金属、油类、病原菌和某些有毒有害有机物

的污染。

(4) 农业生产。农业生产施用过量的化肥、农药, 以及城市垃圾堆肥、厩肥、污泥等引起土壤环境污染。其主要污染物质是化学农药和污泥中的重金属。因此, 化肥既是植物生长发育必需营养元素的给源, 又是环境污染因子。

农业污染型土壤污染的轻重程度与污染物质的种类、主要成分, 以及施药、施肥制度等有关。污染物质主要集中于表层或耕层(0~20 cm), 其分布比较广泛, 其污染特征属于面源污染。

二、人类活动对土壤环境的影响

(1) 施用化肥和农药。大量施用化肥和农药会造成土壤直接污染, 并进一步导致地下水 and 地表水污染。施用化肥本来是为提高土壤肥力增加作物产量, 但若施用不当, 会使作物贪青、倒伏而减产, 同时导致土壤中营养元素的不均衡, 并且通过挥发与蒸发进入大气或迁移进入地表水或地下水环境, 影响大气和水环境。

(2) 污水灌溉和土地处理系统对土壤生态环境的影响。污水灌溉和污水土地处理系统是人们有意识、有目的地利用土壤环境自净功能, 解决水资源缺乏和污水资源化的重要应用工程措施。但土壤的环境容量有限, 而污水的成分和水质变化又极为复杂, 因此污水灌溉和污水土地处理系统对土壤环境污染防治和生态环境保护的作用和影响尚需进一步研究和探讨。

(3) 固体废弃物对土壤生态环境的影响。土壤向来都作为固体废弃物的处理场所。随着工农业生产的发展和城市化进程加快, 固体废弃物的种类和数量、成分日益增多和复杂化。如工矿企业的固体废弃物包括金属矿渣、粉煤灰, 城市固体废弃物包括生活垃圾、污泥、塑料废弃物等。一些大型的水利枢纽工程、煤矿、铁矿、重金属矿床和石油开采等项目, 已成为当今人类开发建设对环境造成影响的主要形式。固体废弃物化学成分复杂, 并难以降解, 破坏了土壤生态环境。建设项目和其他工业生产中产生的固体废弃物污染将是今后必须重视研究和解决的土壤环境问题, 受其影响, 土壤环境的治理、复垦和生态保护措施研究是今后的重要课题。

(4) 大气酸雨沉降与土壤酸化。由于人类活动向大气排放的酸性物质(SO_2 、 NO_x 等)的增加, 酸性物质的干、湿沉降增多。它们沉降到土壤环境中, 引起土壤酸化、土壤营养状况变化, 从而引起土壤环境改变, 影响到植物的正常生长发育。酸雨对土壤生态环境产生的生态影响, 已成为全球性的重要区域环境问题。

(5) 全球气候变化与人类利用开发中的土壤生态环境问题。全球变暖是世界关注的焦点问题。全球温度上升变暖, 对冻土带的冻融变化、自然地带界线的移动以及某些区域的旱化都将产生极大的影响。例如, 每年夏季, 为新疆西部地区数百万人提供饮用水和土地灌溉用水的乌鲁木齐一号冰川, 它的消融将对该干旱地区生态、生活环境产生巨大影响。由于气温上升, 两极地区冰盖的融化会使海面上升, 对滨海地区土壤也将产生重大影响。在全球性气候变化的背景下, 世界规模的土壤退化现象, 如土壤侵蚀、土壤沙化、土壤盐渍化和土壤沼泽化等也将受到深刻的影响。如何应对全球气候变化对土壤环境的影响, 以及采取何种保护措施与对策, 将是土壤生态环境研究与生态保护的重大研究课题。

三、我国土壤环境污染的现状

随着我国社会经济的发展、城市化进程的加快,我国土壤环境污染不断加剧,土壤环境污染物种类和数量不断增加,发生的地域和规模在逐渐扩大,危害也进一步显现,总体形势相当严峻。据统计,1980年全国工业“三废”污染农田266.7万 hm^2 ,1988年增加到666.7万 hm^2 ,1992年全国遭受不同程度污染的农田面积达1000万 hm^2 ,目前,我国受重金属污染的土壤面积达2000万 hm^2 ,占总耕地面积的1/6。

值得注意的是,我国乡镇工业发展迅速,其“三废”无序排放对土壤环境带来污染问题相当严重,张晓红(2009)报道,乡镇企业污染占整个工业污染的比重,已由20世纪80年代的11%增加到45%,一些主要污染物的排放量已接近或超过工业企业污染物排放量的一半以上。

令人忧虑的另一个重要问题是,沿海污染企业不断向内地转移,城市污染企业不断向农村转移。那些在沿海、大城市因严重污染无法生存下去的工厂,正在以多种渠道向内地、农村迁移,这将使我国土壤环境面临潜在的巨大威胁。我国土壤污染对农业生态系统已造成极大的危害,土壤环境安全已成为我国可持续发展的制约因素。

第二节 土壤污染的危害

近十年来,我国经济高速发展,工业生产产生的“三废”和城市生活垃圾随意堆放以及污水灌溉、农药和化肥不合理使用等因素,使得土壤污染问题越来越严重。从目前情况看,我国土壤污染的总体现状与趋势已从局部蔓延到区域;从城市、城郊延伸到乡村;从单一污染扩展到复合污染;从有毒有害污染发展至有毒有害污染与氮、磷富营养污染的交叉;形成点源与面源污染共存,生活污染、农业污染和工业排放叠加,各种新旧污染与二次污染相互复合或混合的态势。土壤污染的发展态势对我国耕地资源可持续利用和粮食安全提出了严峻的挑战。

一、土壤污染导致严重的直接经济损失

据初步调查,我国受镉、砷、铬、铅等重金属污染的耕地面积近2000万 hm^2 ,约占总耕地面积的1/5;其中工业“三废”污染耕地1000万 hm^2 ,污水灌溉的农田面积已达330多万 hm^2 。对于各种土壤污染造成的经济损失,目前尚缺乏系统的调查资料。仅以土壤重金属污染为例,每年因重金属污染,全国粮食减产1000多万t、被重金属污染的粮食多达1200万t,合计经济损失至少200亿元;对于农药和有机物污染、放射性污染、病原菌污染等其他类型的土壤污染所导致的经济损失,目前尚难估计,但是这些类型的土壤污染问题确实存在,并且也很严重。自我国加入WTO以来,绿色食品和无公害食品日益受到全世界关注,我国出口农副产品也因质量问题而受阻,所以土壤污染给我国经济造成了巨大影响,成为农业可持续发展的“瓶颈”。

二、土壤污染导致农产品安全问题

我国大多数城市近郊土壤都受到不同程度的污染,许多地方粮食、蔬菜、水果等食物

中的镉、铬、砷、铅等重金属含量超标或接近临界值。据报道,1992年全国有不少地区已经发展到生产“镉米”的程度,每年生产的“镉米”多达数亿公斤。仅沈阳某污灌区被污染的耕地已多达2500多 hm^2 ,致使粮食遭受严重的镉污染;江西省某县多达44%的耕地受到镉污染,并形成670 hm^2 的“镉米”区。据南京环境保护研究所报道,南京市的市售蔬菜几乎都受到一定程度的硝酸盐污染。其中,大白菜和青菜的硝酸盐污染最重,其次为菠菜、萝卜的污染。北京、上海等大中城市蔬菜的硝酸盐污染超标现象也十分普遍。土壤污染除导致食品安全问题外,也明显地影响到农作物的其他品质,如有些污水灌溉地区使得蔬菜的味道变差、易烂,甚至出现难闻的异味,农产品的储藏品质和加工品质也不能满足深加工的要求。

三、土壤污染危害人体健康

土壤污染会使污染物在植(作)物中积累,并通过食物链富集到人体和动物体中,危害人畜健康,引发癌症和其他疾病。土壤被污染后,对人体产生的影响大多是间接的,主要通过土壤—植物—人体,或土壤—水—人体,这两个基本途径对人体产生影响。

土壤污染对人体健康主要产生以下影响:

(1)引起中毒。工业废水中含有大量铅、镉等有毒重金属,污水灌溉后可以通过稻米进入人体,造成慢性镉中毒(痛痛病)和铅中毒;含砷、汞的农药污染土壤引起慢性砷中毒和汞中毒;“三废”和农药污染土壤后,经雨水冲刷而污染地表水和地下水,人类通过饮水、食物,家畜通过饲料都可引起中毒。

(2)诱发癌症。近年来的研究进一步证实,重金属镉、苯氧基除草剂、取代苯杀虫杀菌剂、卤代烷类熏蒸杀虫剂等对人体有致癌作用。土壤受到放射性污染,通过对人体的外照射和内照射(经呼吸道和消化道),会诱发癌症,还会导致头昏、乏力、脱发、白细胞减少或增多等病症。

(3)致突变、致畸作用。土壤中的某些污染物能引起人类细胞染色体异常变化。许多多环芳烃化合物(如受到广泛关注的苯并[a]芘)都是致突变物,它们的来源分布很广,汽油、煤油、煤炭及木柴的不完全燃烧都可产生多环芳烃化合物。核能发电厂使用过的核燃料,也是致突变物质。

土壤中的一些化学物质,如放射性物质、某些类固醇、乙二醇醚等也能影响人类遗传物质变化或影响胎儿正常发育。

(4)传播疾病。被含有病原体的粪便、垃圾和污水污染的土壤,可成为有关疾病的传播媒介,如伤寒、副伤寒、痢疾、结核病等。另外破伤风、气性坏疽、肉毒杆菌等能在土壤中长期生存,成为人们感染相关疾病的重要原因。

四、土壤污染导致其他环境问题

(1)土壤与大气。土壤通过影响大气环境间接地影响着人体健康。在土壤中含有大量的有机物,能够在好氧微生物以及甲烷菌的作用下分解释放出 CO_2 、 CH_4 和 NO_x 等温室气体,影响气候的变化,而气候的变化又会反过来影响有机质的分解速率,进而影响温室气体的产生。“温室效应”是当今全球面临的主要环境问题之一,气温升高会引起海平面上升、气候异常、粮食减产以及生命损失等。最近有研究发现,湿地是大气中甲基卤化物

CH_3Br (甲基溴) 和 CH_3CCl_3 (甲基氯仿) 的重要来源地, 而 CH_3Br 现在被认为是破坏臭氧层的第 3 种重要的化学物质, 但没有受到足够的重视。 CH_3Br 也是主要的土壤熏蒸杀虫剂。

(2) 土壤与水体。土壤中的各类物质, 在雨水作用下会通过地表径流、渗流、地下径流发生迁移, 最终有一部分进入饮用和娱乐水体中。土壤中的各种元素和物质通过多种渠道进入水体, 其含量过多或者过少都会对人体健康产生不良影响。土壤中存在的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 会增加水体的硬度, 有证据表明, 硬水地区居民中某些组织内钙、镁浓度较软水地区高, 而 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的增加会引起心血管病。土壤中氮肥的大量使用导致硝酸盐和氨态氮进入地表水或渗入地下水, 硝酸盐在人体内可被细菌还原成亚硝酸盐, 这是一种有毒物质, 可直接使人体中毒缺氧, 产生高铁血红蛋白症, 严重者神志不清、抽搐、呼吸急促, 抢救不及时可至死亡; 另外, 亚硝酸盐在人体内与仲胺类作用形成亚硝胺类, 它在人体内达到一定剂量时是致癌、致畸、致突变的物质, 可严重危害人体健康。常年饮用高氟含量的饮用水是引起氟中毒的主要原因, 有资料表明中国约有 6788 万人患有氟斑牙病。另外, 作为土壤肥料的粪便, 也会携带一些细菌、病毒进入水体, 从而引起人体内肠道感染和急性腹泻等状况。

第三节 土壤污染的健康风险评价

风险评价是近 20 年来逐渐广泛应用于环境及公共卫生管理决策的一种技术。将健康风险评价引入土壤污染物的评定过程中, 可以最大限度地保护人群免受污染物的危害, 减少管理决策的盲目性, 增强其客观性与科学性。

风险评价技术是由 20 世纪 40 年代开始使用的环境辐射标准制定方法引申出来的。1976 年美国国家环保局 (EPA) 首次将风险评价方法使用于致癌物的评价, 并颁布了《致癌物风险评价准则》。80 年代以来, EPA 在发布《致癌物风险评价准则》修订版的同时, 又颁布了多个与风险评价有关的规范、准则, 将风险评价的使用范围进一步扩大。随后, 美国职业安全与健康管理局 (OSHA)、食品和药物管理局 (FDA), 及世界卫生组织 (WHO)、联合国环境规划署 (UNEP)、经合组织 (OECD) 等一系列机构与国际组织也相继颁布了与风险评价有关的规范、准则, 使风险评价技术迅速发展, 并在世界范围内得到广泛的应用。在环境科学领域, 风险评价可分为生态风险评价和健康风险评价。健康风险评价是近十几年建立和发展起来的一种新技术方法, 它通过对有害因子对人体不良影响发生机率的估算, 评价接触有害因子的个体健康受到影响的风险程度。

一、健康风险评价的由来和发展

20 世纪 70 年代以前, 人们对于环境危害的研究主要集中在危害发生后的治理。然而, 很多有毒有害物质一旦进入环境, 对人体健康和生态环境将造成长期的危害, 而且治理难度大, 费用高。欧美发达国家在付出了沉重的代价后, 终于认识到风险评价的重要性, 环境风险评价应运而生。

健康风险评价是环境风险评价的重要组成部分, 是对有毒有害物质危害人体健康的影响程度进行概率估计, 并提出减小风险的方法 and 对策。健康风险评价萌芽于 20 世纪 30 年

代,当时主要采用毒物鉴定法进行健康影响定性分析。部分学者通过动物实验和人群流行病学的剂量-反应关系研究,建立人体暴露于化学物质的剂量和不良健康反应之间的定量关系。直到20世纪60年代,毒理学家才开始进行低浓度暴露条件下的健康风险评价。

20世纪70—80年代为健康风险评价研究的高峰期,基本形成较完整的评价体系。美国在该时期取得了极为丰富的成果,1983年美国国家科学院(NAS)出版的红皮书《联邦政府的风险评价:管理程序》可称为健康风险评价的经典,该书将健康风险评价概述为四个步骤:危害鉴别、剂量-反应评估、暴露评估和风险表征,目前已被许多国家和国际组织采用。同时,美国国家环保局制定了一系列风险评价指南和技术性文件,包括《致癌风险评价指南》、《致突变风险评价指南》、《女性生殖发育风险建议导则》、《男性生殖发育风险建议导则》和《超级基金污染场地健康风险评价指南》等。1987年,欧盟立法规定对所有可能发生化学事故危险的工厂必须开展包括健康风险在内的环境风险评价。亚洲开发银行于1990年出版了《环境风险评价》,对健康风险评价的相关问题进行了描述。

20世纪90年代以来,人们逐渐认识到人为地将健康风险和生态风险分开来评价的局限性,开始提出和探讨健康和生态综合风险评价方法。世界卫生组织对综合风险评价定义为“对人体、生物种群和自然资源的风险进行估计的一种科学方法”,并在美国环保局和经济合作与发展组织的协助下,于2001年制定了健康和生态风险综合评价框架,提出综合评价健康和生态风险的建议和方法。欧盟也制定了健康和生态风险综合评价技术指南,建议和指导欧盟成员国采用新的综合评价体系开展环境风险评价。

我国的健康风险评价研究起步于20世纪90年代,主要以介绍和应用国外的研究成果为主。胡二邦、胡应成、杨晓松等人有关环境风险评价的成果中,分别对健康风险评价的方法和不确定性等进行了解释和描述。王永杰等专门介绍了健康风险评价中的不确定性问题和评价模型,讨论了致癌毒性和非致癌毒性评价中的不确定性因素。高仁君等从危害性鉴定、剂量-反应评定、接触评定和风险表征四个步骤评价了农药对人体健康的风险。高继军等对北京市城区和郊区120个样点的饮用水中的Cu、Hg、Cd和As浓度进行了调查,初步评价了由饮水方式引起的人群健康风险。韩斌等根据北京市某区浅层地下水有机污染调查结果,评价由饮水和洗浴带来的人群健康风险。陈鸿汉和堪宏伟等分别对污染场地健康风险评价的理论和方法开展了探讨,提出了叠加风险和多暴露途径下,同种污染物人群健康风险的概念,并以常州市某厂有机溶剂洒落导致的土壤和地下水污染为例,综合评价厂区人群由于皮肤接触污染土壤、吸入挥发性气体和厂区下游居民由于饮用地下水带来的非致癌健康风险,是针对具体污染土壤开展的较为完整的健康风险评价。

二、土壤污染健康风险评价的发展

土壤污染健康风险评价是专门针对土壤污染开展的基于人群健康的风险评价,是指对已经或可能造成污染的土壤进行调查分析,在此基础上,对由污染物排放或泄漏对人体健康造成的危害程度进行概率估计,并据此提出降低风险的方案 and 对策,为土壤污染防治提供决策依据。土壤污染对人体健康的危害目前已得到各国的高度重视。欧盟于1996年完成污染土壤场地风险评价协商行动指南,旨在促进成员国之间的技术交流和合作。该指南主要集中解决人体毒理学、生态风险评价、污染物的迁移转化、污染场地调查和分析、风险评价方法以及模型建立等7大问题。荷兰在20世纪80年代就开始了土壤污染治理,并

于 1987 年颁布了《土壤保护法》，规定污染严重的场地必须治理。为了开展土地污染风险评价和治理决策，荷兰国家公众健康与环境研究所(RIVM)和土壤保护技术委员会(TCB)，为土壤污染的风险评价和治理提供理论和技术支持。美国国家环保局于 1980 年颁布了《环境响应、补偿与义务综合法案》，作为污染物排放和突发性污染事件的法律性文件。此后，作为对上述法案的补充，于 1986 年颁布了《超级基金修正和授权法案》。在该两部法律框架下，美国分别于 1985 年和 1988 年制定和修正了《国家石油与有毒有害物质污染应急计划》，对遭受石油和其他有毒有害物质污染的场地制定了应对和治理对策。在充分的法律法规保障下，超级基金制定了一系列的风险评价导则，指导污染场地土壤的风险评价。代表性的技术文件和指南有《健康风险评价手册》、《场地治理调查和可行性分析指南》、《超级基金暴露评价手册》、《土壤筛选导则》和《超级基金居民区铅污染场地评价手册》等。美国超级基金在开展污染土壤的健康风险评价方面已形成了一套比较完整的评价体系，包括法律法规、导则指南和具体的技术文件。澳大利亚在《国家环境保护委员会实行法案》的基础上制定了《国家环境保护措施》，其中涉及个人责任、污染土壤资料收集和分析、人体健康、场地评价、环境影响、风险评价、评价目的等多方面内容，包括《土壤和地下水调查导则》、《污染土壤的分析导则》、《地下水污染风险评价导则》、《健康风险评价方法》及《暴露背景和暴露事件导则》等技术文件。

多数欧美国家在不断建立和完善土壤污染风险评价体系的基础上，开展了全国性的污染调查，并根据不同场地条件和污染类型建立污染土壤国家级数据库。但由于治理难度大、费用高，真正治理的数目非常有限。因此，欧美国家非常重视污染场地风险评价，以求降低污染治理的成本。美国专门设立了污染场地治理调查和可行性研究国家项目(RI/FS)，结合风险评价，开展污染土壤治理恢复工程。美国在土地污染风险评价方面的理论体系和先进经验被许多国家借鉴和采用，加拿大、澳大利亚和芬兰等国，基本参照美国提出的风险评价方法，构建了适合本国实际的健康风险评价体系。

我国环境保护法和环境影响评价法只对规划和建设项目开展环境影响评价做出了规定，尚未涉及土壤污染健康风险评价方面的内容。目前，环境保护部正在组织制定污染场地土壤环境管理相关规章制度，污染场地风险评价技术标准、基于风险评价的土壤环境标准制定方法等相关工作已启动。尽管如此，我国土壤污染健康风险评价仍处于起步阶段，还存在较多的研究空白。随着我国坚持科学发展观，“社会、环境和谐发展”战略的确定，土壤污染治理工作将逐步展开，土壤污染健康风险评价工作也必将提到十分重要的位置。

三、健康风险评价几种方法

健康风险评价(Health Risk Assessment, HRA)是对暴露于某一特定环境条件下，该环境中的有毒有害物质(因素)可能引起个人和群体产生某些有害健康效应(伤、残、病、出生缺陷和死亡等)的概率进行定性、定量评价。

目前，健康风险评价方法以美国国家科学院(NAS)提出的四步法为典范(简称 NAS 四步法)，此外，还有生命周期分析、MES 法等。

(一) NAS 四步法

四步法即危害鉴别、剂量-反应评估、暴露评估和风险表征。该方法广泛应用于由于事

故、空气、水和土壤等环境介质污染造成的人体健康风险评价。

危害鉴别指定性评价化学物质对人体健康和生态环境的危害程度。首先从危险毒性开始,收集和评定化学物质的现有毒理学和流行病学资料,确定其是否对生态环境和人体健康造成损害。

剂量-反应评估指定量评估化学物质的毒性,建立化学物质暴露剂量和暴露人群不良健康效应发生率之间的关系。剂量-反应评估的主要内容包括确定剂量-反应关系、反应强度、种族差异、作用机理、接触方式等。

暴露评估指定量或定性估计或计算暴露量、暴露频率、暴露期和暴露方式。

接触人群的特征鉴定与污染物质在环境介质中浓度与分布的确定,是接触评估中不可分割的两个组成部分。接触评估的目的是估测整个社会或一定区域内人群接触某种化学物质的程度或可能程度。

风险表征指利用所获取的数据,估算不同暴露条件下可能产生的健康危害的强度或某种健康效应的发生概率的过程,它是连接风险评价与风险管理的桥梁。风险表征包括风险估算、不确定性分析和风险概述三方面内容。

关于 NAS 四步法的详细内容见第五章。

(二) 生命周期分析

生命周期分析(Life Cycle Analysis, LCA)指对产品系统的环境行为从原材料开采到废弃物的最终处置进行全面的环境影响分析和评估,是一种重要的决策和可持续发展支持工具,已被纳入 ISO 14000 环境管理标准体系。

国际环境毒理学和化学学会将 LCA 定义为:“LCA 是对某种产品系统或行为相关的环境负荷进行量化评价的过程。它首先通过辨识和量化所使用的物质、能量和对环境的排放,然后评价这些使用和排放的影响。评价包括产品或行为的整个生命周期,即包括原材料的采集和加工、产品制造、产品营销、使用、回收、维护、循环利用和最终处理,以及涉及的所有运输过程。它关注的环境影响包括生态系统健康、人类健康和能源消耗三个领域,不关注经济或社会效益。”

近年来,越来越多的学者开始将其用于局域性的人体健康影响评价。利用污染物生命周期分析方法,通过归宿分析-效应分析-危害分析,研究排放物通过不同介质和途径对人体健康的影响,定量计算污染物对人体健康的危害。

(三) MES 法

MES 法将“风险”定义为特定危害性事件发生的可能性和后果的结合,即风险发生的概率(P) $\times$ 后果(S)。MES 法从人体暴露于危险环境的频繁程度(E)和控制措施的状态(M)两方面考虑人身伤害事故发生的可能性(P),得到风险 $R=M \cdot E \cdot S$ 。

按暴露时间长短和暴露频率可将频繁程度分为各种级别,每种级别赋予相应的分数值,如宋大成(2002)将暴露时间分为连续暴露、工作时间内暴露、每周暴露一次和每月暴露一次四种情况,每种情况的分数值分别为 10, 6, 3 和 2。按照同样的方法,可将控制措施按有无控制措施和控制措施的完整程度分为多个级别;将事故发生后果根据疾病的发生率、伤亡人数或设备财产损失分为多个级别,同样赋予一定的分数值,这样既可以计算

事故发生的风险，并根据风险值的大小，评估风险发生的可能性。

四、土壤污染健康风险评价的意义

土壤污染健康风险评价以健康毒理学、人群流行病学、环境和暴露资料等方面的知识为基础，评价的目的在于估计特定剂量的化学或物理因子对人体造成损害的可能性及其严重程度，揭示土壤环境因素的变化对人类健康可能产生的后果。

（一）防治土壤污染维护生态平衡

由于土壤污染具有滞后性、隐蔽性等特点，使得对土壤污染危害的认识落后于大气、水体等环境要素污染的认识，目前我国急需建立土壤污染的健康风险评价系统。风险评价成果，可强化管理部门对土壤污染问题严重性和治理工作紧迫性的认识，加强开展土壤污染风险决策管理。随着我国“以人为本”，“经济、社会、环境和谐发展”战略的确定，土壤污染治理工作将逐步展开，土壤健康风险评价工作也必将提到十分重要的位置。

（二）提出预防保健的重点，保障人民健康

针对我国土壤污染日益加剧的特点，土壤污染的防治必须以防为主，除对已经污染的土壤采取有效措施加以修复外，还需进一步加强土壤污染综合防治与环境管理。健康风险评价将明确暴露原因、暴露人群及危害程度，从根本上协调经济发展与土壤环境保护的关系，以利于采取有针对性的策略与措施，从而为土壤防治提供理论依据，保护人群健康。

（三）为土壤污染防治及制定土壤质量和卫生标准提供依据

土壤健康风险评价以环境流行病学、实验研究为基础，考虑污染物对于人类及生态系统造成的影响，以便达到消除或减轻土壤污染的目的，共同起到保护生态环境的目的，也为相关部门做出正确、可行的卫生和环境决策提供科学依据。这项工作的开展，对我国环境保护政策和各类污染防治标准的制定以及土地污染治理的可行性分析，具有极强的理论和现实意义。同时应通过土壤质量监测，严格控制污染物排放，加强对土壤污染防治的监督管理力度，严格控制污染物的超标排放，通过法律手段有效地防治土壤污染。

（四）进行土壤监测工作

通过对土壤污染源、生物、人体健康状况、疾病谱的监测，阐明土壤中污染物对人群健康的影响，以及土壤污染物的健康效应、作用机制，为土壤污染的相关疾病的诊断提供依据。健康风险评价的结果，对保护人群健康有积极意义，有利于研究与土壤污染有关的疾病的发生、分布、发展的规律，并且可进一步探索这些疾病的环境病因学问题，提出有效的环境安全卫生管理的对策依据。

我国的土壤污染典型地区的调查结果表明，由于受人为活动与土地利用不当的影响，我国土壤污染问题已经相当严重，并且对水环境质量和农产品质量构成明显的威胁，但是目前对土壤污染问题并没有像大气污染和水污染那样重视。近年来，我国在“三废”处理、污水灌溉控制、低毒新农药应用等方面做出了显著的成绩，但是预计在近期内，土壤环境污染问题，尤其是在重污染工业企业密集区、城郊和乡镇企业密集区和化肥、农药用量较

大的地区，仍将呈逐渐加重的趋势。因此，对土壤污染问题严重性和治理工作的紧迫性应该予以高度的重视。在今后的工作中，利用土壤污染健康风险评价的结果探讨制定卫生标准的理论依据、原则和方法，积极推动土壤污染防治法律、法规的制定；完善各类土壤环境标准和技术体系；加强重点区域土壤环境质量调查和监控；开展土壤污染风险评估；研究掌握土壤环境质量演变规律及发展趋势；开发和引进土壤污染修复技术；加强对污水灌溉、农药使用、有害废渣处理的监管，防止土壤污染继续扩大；提高公众土壤环保意识，开展广泛的国际合作，逐步建立我国土壤环境安全预警系统。

主要参考文献

- [1] 李天杰. 土壤环境污染防治与生态保护. 北京: 高等教育出版社, 1996.
- [2] 蔡宏道. 现代环境卫生学. 北京: 人民卫生出版社, 1995.
- [3] 宋大成. 风险评价方法——EMS法. 中国职业安全卫生管理体系认证, 2002 (15): 34-35.
- [4] 林亲铁, 李适宇, 厉红梅. 基于生命周期分析的致癌排放物人体健康风险评价. 化工环保, 2004, 24 (5): 367-371.