

# 我国土壤环境保护研究的回顾与展望<sup>①</sup>

王慎强 陈怀满 司友斌  
(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

X53

**摘 要** 建国以来,特别是近二十年来,我国土壤环境保护科学研究工作有了长足进步,并初步形成了自己的研究特色。本文简单回顾了我国土壤环境保护科学的发展历程,综述了土壤环境污染的类型、治理途径和研究进展,并提出了该领域近期研究的设想。

**关键词** 土壤污染,环境保护,回顾与展望

治理途径 中国

土壤是环境要素的重要组成部分,它处于自然环境的中心位置,承担着环境中大约90%的、来自各方面的污染物。目前人们已经初步认识到,要做好大气和水环境的保护工作,必须同时做好土壤环境的防治与研究,因为土壤质量的研究与保护将有助于整个生态环境质量的改善与提高。本文简要回顾了我国土壤环境科学发展的历程、土壤环境污染研究现状、土壤污染治理的研究进展、以及土壤环境科学研究工作的展望,以期“温故而知新”,共同推动我国土壤环境科学研究的提高与发展。

## 1 我国土壤环境科学发展的历程

我国的环境保护工作始于70年代初期。1973年召开第一次全国环境保护工作会议,提出了当时存在的一些环境问题,但这些问题主要涉及水和大气,土壤污染并未受到应有的重视。尽管如此,广大土壤科技工作者在70年代初就已开始了以土壤污染物分析方法、土壤元素背景值、污水灌溉等为中心的早期环境保护研究工作,并于1976年建立我国第一个专门从事土壤环境保护的研究机构—中国科学院南京土壤研究所环境保护研究室,积极开展土壤环境保护的实践和研究工作<sup>[1-3]</sup>。

随着经济的飞速发展和人口增长,污染物的排放大量增加,人们对土壤污染的隐蔽性、严重性和不可逆性开始认识,加上有识之士的远见和呼吁,从80年代后期开始,全国科研机构、大专院校,尤其是农业院校相继建立与土壤环境保护有关的专业学科,我国土壤环境保护研究工作进入成长和壮大时期。中国土壤学会于1991年在苏州召开“土壤环境与污染防治研讨会”,并于1993年初成立“中国土壤学会土壤环境污染与防治专业委员会”,该专业委员会于1996年更名为“土壤环境专业委员会”。从1994~1998年间先后在广州、重庆、无锡等地多次召开全国性土壤环境科学学术研讨会,重点讨论了土壤与水质,土壤与植物品质,土壤与大气质量等“土壤与环境质量问题”。1994年国家自然科学基金委将土壤污染化学列为环境化学的一个分支学科,标志土壤环境化学的学科位置得到了应有的承认。多年来,中国土壤学会、中国地理学会、中国生态学会、中国植物营养学会、中国环境学会等以及有关

① 自然科学基金(29877027)资助

的科研院所、大专院校,为中国土壤环境保护科学在理论和实践上的发展作出了重要的贡献,使土壤环境保护成为一门既有学科基础、又能解决国民经济发展重大问题的、多学科交叉渗透和高新技术引进的综合学科<sup>[1,4-6]</sup>,使环境土壤学的内容得以充实、发展、与提高。

## 2 土壤环境污染研究现状<sup>[3,7-11]</sup>

土壤在发生与发育过程中,作为一个独立的历史自然体,总是和绿色植物联系在一起,成为一个藕合的开放系统,没有植物也就没有土壤,因此,我国土壤学家早就将土壤环境污染的研究对象定位为整个土壤-植物系统<sup>[7]</sup>,近年来,在土壤圈学说的指导下,土壤环境的研究内容实际上包含了土、水、气、生多方面的有关问题。

土壤污染的类型目前并无严格的划分,污染物可单独对土壤的污染起作用,但多数情况是重叠和交叉污染(复合污染)<sup>[12,13]</sup>。如从污染物的属性考虑,土壤污染可分为以下几类<sup>[14,7]</sup>:即无机物污染(包括重金属及盐碱类);有机物污染(主要是人工合成有机污染物),包括有机废弃物(工农业生产及生活废弃物中生物易降解和生物难降解有机毒物)、农药(杀虫剂、杀菌剂和除草剂)等;放射性污染;化学肥料污染;以及土壤生物污染等。关于生物污染,系指一个或几个有害的生物种群,从外界侵入土壤,大量繁衍,破坏原有的生态动态平衡,对土壤生态系统和人类健康产生不良影响。我国土壤环境保护工作者针对上述不同污染物开展了大量的调查、实验和研究,尤其是在土壤环境背景值、重金属和农药在不同土壤-植物系统中的污染途径、行为、归宿、作用机理等方面,作了具有一定深度和广度的工作。在土壤环境背景值和土壤环境容量的研究、重金属污染、有机物污染、放射性污染、土壤环境科学研究方法的确立、土壤污染治理等方面取得了一些成果。

### 2.1 土壤环境背景值和土壤环境容量的研究<sup>[15-17]</sup>

土壤环境背景值是监测区域环境变化、评价土壤污染和土壤环境影响的重要指标和基础资料,是土壤环境科学工作的基础。我国土壤环境背景值的研究工作已于“七五”期间基本完成,并于1990年由国家环境保护局主持出版了《中国土壤元素背景值》。除了Si, P, S, Cl, Ra五个元素外,国外已发表的土壤化学组成的中值,此书均有表达。但由于缺乏有效态的测定数据,因而在一定程度上限制了它的应用范畴。

土壤环境容量可定义为“在保证土壤圈生态系统良性循环的条件下,土壤容纳污染物的最大允许量”,它是区域环境规划和土地利用规划的重要参数。自1983年以来,土壤环境容量就作为国家级项目进行了系统的研究,在环境容量的区域性分异规律和信息系统的建立等方面积累了许多第一手资料,有了良好的开端,但对土壤环境容量的影响因素、研究方法、复合污染等问题尚需进一步探讨<sup>[16]</sup>。

### 2.2 重金属污染<sup>[18,9,14]</sup>

我国土壤-植物系统污染研究的主要污染物是重金属,因为重金属具有污染物的多源性、隐蔽性、一定程度上的长距离传输性和污染后果的严重性。它的研究在理论上涉及地球科学、环境科学和生命科学等许多重要领域,在实践上与有关环境标准的制定、食物链污染的控制、土壤-植物系统净化功能的开发等有关,一直是土壤环境科学研究的热点内容<sup>[14,18]</sup>。对砷、镉、铬、铜、汞、铅、锌等重要污染元素的基本性质、迁移、转化、归宿、植物效应、土壤酶和微生物效应和根际行为等都有较为详细的研究报道<sup>[14,19-21]</sup>。研究表明,植物

吸收重金属与重金属的形态有很大关系,虽然它有随土壤中重金属浓度增加而升高的趋势,但其有效态在自然条件下并不总是与其总量成正比,它与土壤性质有着十分密切的关系。

自然界中,单个污染物构成的污染虽有发生,但污染多为伴生性和综合性,即多种污染物形成的复合污染,所以复合污染已成为近年来环境科学研究的新热点<sup>[22,12,13,20]</sup>。

### 2.3 有机物污染<sup>[23,24,1.7,10]</sup>

土壤中有机污染物主要来源于农药施用、污水灌溉、污泥和废弃物的土地处置和利用、污染物泄漏等。在土壤有机污染方面,大量的研究工作涉及农药,少量工作涉及土壤中苯并(a)芘(BaP)、苯乙烯和三氯乙醛等的降解研究<sup>[25,26,27]</sup>。最近关于单甲眯、有机锡、氯代芳烃、多环芳烃及衍生物、氯代二恶英等典型污染物的化学变化、降解机理、毒理和生态效应机理的研究亦有报道<sup>[23]</sup>。土壤中有有机物的行为包括:吸附/解吸、挥发、渗滤、生物吸收富集、生物降解、非生物降解,这些过程往往同时发生,相互作用,有时难以区分,并受许多因素的影响<sup>[28,10,24]</sup>。

70年代,我国土壤-水稻系统中的致癌物苯并(a)比(BaP)污染问题受到特别关注,从1973~1983年,科学工作者花了整整10年的时间,采用野外调查、盆栽试验、放射性同位素示踪、人工模拟控制大气飘尘与扫描电镜相结合的方法,研究了BaP对土壤-水稻系统的影响,并取得了很好的结果<sup>[7,26,27]</sup>。

### 2.4 现代农业污染和温室效应研究<sup>[29~34,7]</sup>

在农业现代化大量提高植物产量的同时,也产生了严重的环境污染问题。农药的使用,不仅杀死害虫、病菌、杂草,也伤害了害虫的天敌,破坏了土壤微生物区系,以及通过食物链进入动物体,危害人类健康。近年来,除了研究农药在土壤-植物系统中的行为和影响因素外,开展了新型农药在土壤中降解与迁移过程的数学模型和计算机仿真研究<sup>[35~37]</sup>。除农药外,化学氮肥与磷肥在土壤中的迁移转化及其对水体或大气环境质量的影响已成为土壤环境科学的重要研究内容。当前突出的问题是大量化肥的投入导致水体富营养化和地下水中的硝酸盐、亚硝酸盐污染<sup>[29,30]</sup>,最近10年,我国在此研究领域已取得较大进展<sup>[30,33]</sup>。在土壤温室效应的研究中亦取得了新的成果,为更加合理地估测甲烷通量提供了重要的依据<sup>[38,34]</sup>。

### 2.5 放射性污染<sup>[7]</sup>

相对于发达国家,我国在放射性污染方面研究较少。60年代初期,一些单位曾确定以<sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs为重点研究对象,进行了放射性本底变化和模拟天然条件、引入人工放射性同位素下在土壤-植物系统中积累、迁移、以及影响人的生命活动的可能途径及规律的研究。目前还有一些零星的土壤放射性水平调查<sup>[39]</sup>。随着我国核电的发展,此研究领域也会受到应有的重视。

### 2.6 土壤环境科学研究方法的确立<sup>[40,1,23]</sup>

土壤环境保护研究涉及许多学科,在研究方法上有以下几个重要特点:

1,分析测试技术和自动化连续监测手段要求高。最低检出限要求达到ppb或ppt级,并经常采用示踪同位素法进行<sup>[41,42,1]</sup>。

2,室内模拟与现场研究相结合<sup>[43,6,40]</sup>。在实验室及温室内,可通过控制实验条件,强化污染的某些行为过程,以研究特定的过程和机理及其影响因素。室内研究可分为热力学

和动力学实验,主要用来研究污染物在土壤中的行为。

现场研究受气候、水文地质和地貌等影响,参数测定难以十分准确,但研究结果比较符合实际,一般用于污染物的总体迁移和区域性环境质量的研究。现场研究又分为大田研究和设施研究。大田研究是将田间分成若干块,研究不同生产条件下污染物的行为。设施研究是在现场建立一定实验装置,控制部分环境条件,模拟污染系统,有可能提高实验精度。

3,宏观与微观研究互补<sup>[7]</sup>。通过野外调查取得的大量资料与实验室的分析数据,用宏观数理统计方法研究土壤污染状况,同时也深入研究污染物在土壤环境中反应过程的微观机理,不断探索解决问题的新途径,形成新的学术思想。

4,数学模型与电子计算机仿真的应用<sup>[7,36,37]</sup>。两者的结合能提高系统的分析水平,较精确判断污染物的动态性和环境行为,在土壤环境保护研究中发挥着重要的作用。然而这方面的研究目前还比较薄弱,应予重视与加强。

### 3 土壤污染治理研究<sup>[44~47]</sup>

由于土壤污染的潜伏性、不可逆性、长期性和后果的严重性,土壤污染的治理应立足于防重于治的基本方针,特别是防止那些慢性中毒污染物积累的“长期效应”<sup>[7]</sup>。一旦污染后再去治理,那是十分困难的。相对于污染物在土壤-植物系统中含量、行为、生物地球化学循环、毒理、代谢模式和与重金属有关的流行病等方面的研究,土壤污染的治理与管理研究要薄弱得多,大多数治理方法尚处在试验阶段,再加之考虑到治理费用等问题,现场能应用的成熟方法目前很少。总结出现的各类土壤污染治理方法,大体上可分以下四类:

#### 3.1 工程措施(包括客土、换土、翻土、去表土、隔离、热处理、电化学方法等)

此种方法效果好、稳定,适用于大多污染物和多种条件,但投资大,易导致土壤肥力的减弱。近年来,把污水、大气污染治理技术引进土壤治理过程中,开辟了土壤污染治理新的途径。如磁分离技术、阴阳离子代换法等。

#### 3.2 生物措施

利用特定的动、植物和微生物吸收或降解土壤中的污染物。与此措施相对应的新兴学科“环境生物技术”方兴未艾。

应用现场污染治理的生物措施始于1989年3月。美国阿拉斯加海岸被石油污染,采用了两组亲脂性微生物后,使其净化过程加快了两倍。早期生物治理采用的主体生物类群多为微生物。最近,植物修复正成为生物治理措施中的一个亮点。植物对污染点的修复有三种方式:植物固定、植物挥发和植物吸收。研究表明,利用适当的植物不但可去除土壤环境中的有机物,还可以去除重金属和放射性核素。超累积植物已成为环境保护工作者追寻、筛选的目标。我国对植物修复和超累积植物的研究已有良好的开端<sup>[48,49]</sup>

#### 3.3 化学措施

施用改良剂、抑制剂等降低土壤污染物的水溶性、扩散性和生物有效性,从而降低污染物进入生物链的能力,减轻对土壤生态环境的危害。例如:在某些重金属污染的土壤中加入石灰、矿渣等碱性物质,使重金属生成氢氧化物沉淀。或添加膨润土、合成沸石等交换容量较大的物质来钝化土壤中的重金属等。

#### 3.4 农业措施

包括增施有机肥提高环境容量、控制土壤水分、选择适宜形态化肥和选种抗污染农作物

品种等。

#### 4 土壤环境科学研究展望<sup>[7-9, 11-13, 33, 45, 47, 48]</sup>

土壤与环境问题是第16届国际土壤学大会的中心议题之一,也是我国土壤学和环境科学研究的重要内容。笔者认为,今后一个时期内应对以下几方面的内容予以注意:

1. 围绕土壤质量问题,建立全国土壤环境质量监测网络系统。在不同的土壤生态类型区,进行土壤环境参数的时空动态监测,并保证监测数据的标准化和共享。基本数据的积累是土壤环境科学研究工作的基础。

2. 土壤污染发生类型、形成规律、污染物在土壤圈及其边界环境中的迁移、转化、归宿和反应动力学研究。土壤圈是地球系统中生物与非生物发生强烈交互的基地,土壤圈物质循环大都在圈层界面进行。因此,研究自然和人为作用下污染物在土壤圈和界面环境中的行为显得尤为有意义。

3. 复合污染的类型、规律、污染物迁移转化机理的模式、生物效应,指标体系、研究方法以及应用研究。随着工农业生产的发展和污染物的不断排放,土壤环境中存在的污染物种类和数量也随之不断增加,土壤环境复合污染的研究应成为基础研究的重点领域。

4. 农业非点源污染研究(包括化肥对水体污染和土壤温室气体对大气环境质量的影响)。由于农业非点源污染没有固定污染源,具有潜在性、复杂性和隐蔽性特点,不易有效控制,应高度重视此问题的出现。

5. 土壤污染治理途径尤其是生物修复作用的研究。土壤环境保护技术的落后也是制约我国环保工作的一个重要因素,应大力开发治理土壤污染的新技术,制定新的产业政策,促进治理技术产业化,促其走向市场和现场。

6. 土壤有机污染的研究始终是土壤环境保护科学研究工作的薄弱环节,主要是样品的预处理、提取方法和实验控制的困难,今后应加强该领域研究。

7. 新技术、新方法的运用与研究。加强研究工作的科技含量,包括土壤信息系统和遥感技术、生物工程技术、测定仪器、模拟与遥控预测系统的高新技术的应用。

总之,土壤环境保护科学关系到我国国民经济的可持续发展。尽管在土壤学中它还十分年轻,但却显示出强大的生命力。由于它在环境科学中的重要性,因而土壤环境保护科学研究必将在跨世纪中获得新的推进。

#### 参 考 文 献

- 1 高拯民. 土壤—植物系统污染生态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1986, 1~78, 244~278, 391~455
- 2 陈怀满. 我国土壤环境保护的研究. 中国土壤学会主编: 中国土壤学在前进. 北京: 中国农业出版社, 1995, 113~114
- 3 陈怀满. 晚期我国大陆土壤环境保护的研究进展. 海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会论文集, 杭州: 1995, 54~61页
- 4 李天杰. 土壤环境学. 北京: 高等教育出版社, 1995, 1~263
- 5 曹凤中. 国外环境发展战略研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1993, 13~17, 319~326, 414~421
- 6 黄昌勇 谢正苗 徐建民. 土壤化学研究与应用. 北京: 中国环境科学出版, 1997, 1~6, 137~140, 212~218
- 7 高拯民. 我国环境保护科学研究现状与展望. 土壤学报, 1989, 26(3): 262~272
- 8 陈怀满. 我国土壤污染现状、发展趋势及对策建议. 土壤学进展, 1990, 18(1): 53~56

- 9 王宏康. 土壤中金属污染的研究进展. 环境化学, 1991, 10(5): 35~41
- 10 孙铁珩等. 有机污染物的土壤-植物系统污染生态学研究. 中国土壤学会主编: 中国土壤学在前进. 北京农业出版社, 1995, 113~114
- 11 Chen Huamain, et al. *Ambio*, 1999, 28(2): 130~134
- 12 周启星. 复合污染生态学. 北京: 中国环境科学出版社, 1995, 1~29, 118~110
- 13 何勇田. 复合污染生态学. 北京: 环境科学, 1995, 15(6): 79~83
- 14 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染. 北京: 科学出版社, 1996, 1~344
- 15 国家环境保护局. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社
- 16 陈怀满等. 关于土壤环境容量研究的商榷. 土壤学报, 29(2): 219~225
- 17 郑春荣. 重金属的土壤负载容量. 土壤学进展, 1995, 23(6): 21~28
- 18 许嘉琳 杨居荣. 陆地生态系统中的重金属. 北京: 中国环境科学出版社, 1995, 60~428
- 19 郑春荣等. 土壤-水稻体系中污染重金属的迁移及其对水稻生长的影响. 环境科学学报, 1990, 100(2): 145~152
- 20 郑春荣等. 复合污染对水稻生长的影响. 土壤, 1995, 21(1): 10~14
- 21 陈英旭. 镉的土壤化学. 土壤学进展, 1990, 20(5): 8~13
- 22 吴燕玉等. 重金属复合污染对土壤-植物系统的生态效应. 应用生态学报, 1997, 8(2): 207~212
- 23 徐晓白, 戴树桂等. 典型化学污染物在环境中的变化及生态效应. 北京: 科学出版社, 1998, 1~2, 13~40
- 24 周振惠等. 有机化学物在陆相生态系统中吸收、运转和代谢研究. 中国环境科学, 1986, 6(2): 30~32
- 25 徐瑞薇. 三氯乙醛的土壤污染及其降解研究. 土壤学报, 1980, 17(3): 217~227
- 26 高拯民等. 致癌苯并(a)芘 [Benzo (a) Pyrene] 对土壤-植物系统的污染研究. 环境科学学报, 1981, 1(1): 12~30
- 27 王崇效等. 玉米根系对苯并(a)芘的吸收及苯并(a)芘在植株内的积累. 环境科学学报, 1984, 4(3): 222~231
- 28 钱易. 重点有机污染生物降解性能的研究. 环境科学, 1986, 7(2): 86~93
- 29 张维理等. 我国北方农田农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查. 植物营养和肥料学报, 1995, 1(2): 80~87
- 30 高拯民等. 氮循环与氮污染研究现状与展望. 环境科学丛刊, 1983, 4(4): 7~12
- 31 范成新等. 太湖富营养化现状、趋势及其综合整治对策. 上海环境科学, 1997, 16(8): 4~17
- 32 王庆仁等. 论合理施肥与土壤环境可持续发展. 环境科学进展, 1999, 7(2): 116~123
- 33 朱荫涓等. 土壤污染与我国农业环境保护的现状、理论和展望. 土壤通报, 1999, 30(3): 132~135
- 34 Cai, Z, et al. *Plant and Soil*, 1997, 196: 7~14
- 35 陈秋方等. 用计算机模拟农药在土壤中的移动和降解. 土壤学报, 1986, 23(4): 3375~381
- 36 王校常. 土壤中农药行为的计算机模拟研究进展. 农业环境保护, 1995, 14(3): 97~100
- 37 刘多森. 土壤中有机化学品降解动力学的某些模型与机理建模研究. 土壤学报, 1997, 34(3): 302~307
- 38 Cai. Z. C, et al. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1999, 45(1): 1~13.
- 39 李长兴等. 大庆地区土壤环境放射性水平的调查. 环境科学, 1997, 18(4): 72~75
- 40 胡永梅等. 土壤中有机污染物迁移行为的研究方法. 环境科学进展, 1998, 6(4): 44~55
- 41 华璐等. 运用差热分析研究铜、铅、镉、氟对土壤理化性质的影响. 农业工程学报, 1992, 8(增刊): 68~74
- 42 华璐等. 运用红外光谱分析镉污染及改良剂在土壤植物系统中的作用机制. 农业工程学报, 1992, 8(增刊): 68~74
- 43 华璐等. 运用化学膜法研究田间土壤植物系统中元素的状态. 农业工程学报, 1992, 8(增刊): 59~67
- 44 李永涛等. 土壤污染治理方法研究. 农业环境保护, 1997, 16(3): 118~122
- 45 张春桂等. 污染土壤生物修复技术. 生态学杂志, 1997, 16(4): 52~58
- 46 余贵芬等. 重金属污染土壤治理研究现状. 农业环境与发展, 1998, 15(4): 22~24
- 47 戴树贵. 污染土壤的植物修复技术进展. 上海环境科学, 1998, 17(9): 25~27
- 48 沈振国. 重金属超量累积植研究进展. 植物生理学通讯, 1998, 34(2): 133~139
- 49 孙波等. 超积累植物吸收重金属机理的研究进展. 土壤, 1999, (3): 113~139
- 50 赵其国等. 深入开展“土壤与环境”问题的研究. 土壤与环境, 1999, 8(1): 1~4