

土壤污染及其环境效应

陈晶中¹ 陈杰^{1*} 谢学俭² 张学雷¹

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 200008; 2 南京农业大学自然资源与环境科学学院 南京 210095)

摘要 作为环境和生态系统重要的组成部分,土壤极易遭受污染。在列举土壤主要污染模式和主要土壤污染物类型的基础上,本文对主要污染物的分类、特性以及在土壤中的行为进行了较为系统和全面的论述。指出对上述内容的深入研究,对土壤污染的控制与治理具有重要理论与实践意义。最后,本文提出了防治土壤污染的具体措施。

关键词 土壤;污染;污染物;防治

中图分类号 X53

土壤是地理环境的重要组成要素,同水、大气、生物等环境要素之间经常互为外在条件,相互联系、相互影响。土壤位于地球陆地表面,是一个有机与无机的复合体,介于生物界与非生物之间,并有固、液、气三相共存,土壤也是环境各要素激烈作用的场所,因此土壤与人和环境之间关系极为密切。土壤污染可引起和促进水体、大气、生物等环境要素的污染,它们总的表现为环境污染。土壤也是生态环境的重要组成部分,是人类赖以生存的主要资源之一,还是物质生物地球化学循环的储存库,对环境变化具有高度的敏感性^[1]。所以土壤污染是环境污染的重要环节。

土壤具有肥力,是能够为人类提供食物的生产资料,是人类最基本、最广泛、最重要、不可代替的自然资源。土壤一经污染,不仅影响作物的正常生长发育,同时也成为污染物质摄入人体、危害人体健康的重要环节,土壤污染最终将导致土壤资源的枯竭。

但是,由于土壤中存在大量有机无机胶体、活的微生物和土壤动物,进入土壤的污染物质通过土壤物理、化学和生物等过程,可不断被吸附、分解、转化和迁移,而使土壤具有一定净化能力^[2,3],所以土壤同植物构成的系统是一个良好的“活性过滤器”,已成为土地处理系统中的重要环节^[4]。

由上述可见,土壤具有独特的功能,对环境有着特殊的作用。要提高土壤质量,保护环境和土壤资源,必须全面了解并控制土壤污染源及污染物,

以及污染土壤的治理措施,从而防止土壤污染及环境污染。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,因为整个生态环境的质量依赖于土壤环境的改善和提高了富有成效的理论和实践成果^[5]。

1 污染的特点及其危害

1.1 土壤污染

土壤污染是指由于人类活动所产生的物质(污染物),通过多种途径进入土壤,其数量和速度超过了土壤的容纳能力和净化速度,因而使土壤的性质、组成及性状等发生变化,使污染物的积累过程逐渐占优势,破坏了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、产品的产量和质量下降,产生一定的环境效应(水体或大气发生次生污染),并可通过食物链对生物和人类构成危害^[6-8]。这只是一种定性的描述,由于土壤污染的复杂性,目前尚没有一个统一的量化标准。但一般认为,土壤中污染物累积总量达到土壤环境背景值的2倍或3倍标准差时,说明土壤中该污染元素或化合物含量异常,已属土壤轻度污染,它是土壤污染的起始值;而当土壤污染物含量达到或超过土壤环境基准或环境标准时,说明该污染物的输入、富集的速度和强度已超过土壤环境的净化和缓冲能力(或消纳量),应属重度土壤污染;中度土壤污染则参照上述量化指标,根据土壤中污染物含量水平和作物生态效应相关性再具体确定^[9]。

国家重点基础研究发展规划(973)项目(编号:G1999045707)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号:KZCX3-SW-427)资助。

*通讯作者

1.2 土壤污染的特点

1.2.1 隐蔽性和潜伏性 土壤污染是污染物在土壤中的长期积累过程,其后果要通过长期摄食由污染土壤生产的植物产品的人体或动物的健康状况反映出来。因此,土壤污染具有隐蔽性和潜伏性,不像大气和水体污染那样易为人们所察觉。日本的第二公害——痛痛病便是一个典型的例证,该病60年代发生于富山县神通川流域,直至70年代才基本证实是当地居民食用被含镉废水污染了的土壤所生产的“镉米”所致,其间经历了20余年^[8]。

1.2.2 不可逆性和长期性 污染物进入土壤环境后,自身在土壤中迁移、转化,同时与复杂的土壤组成物质发生一系列吸附、置换、结合作用,其中许多为不可逆过程,污染物最终形成难溶化合物沉积在土壤中。多数有机化学污染物质需要一个较长的降解时间,所以,土壤一旦遭到污染,就极难恢复。例如1966年冬至1977年春沈阳-抚顺污水灌溉区发生的污染,经过十余年的艰苦努力,采用了各种措施,才逐步恢复其部分生产力^[8,10]。

1.2.3 后果严重性 由于上面两个特点,必然导致作物减产、通过食物链危害人类健康的严重后果。据估计,土壤污染使我国农业粮食减产已超过 1.3×10^{10} kg^[11]。兰州市农业区污染区内宏观生物效应明显,蔬菜叶子枯黄、卷缩,部分果树已死亡,羊齿脱落极为普遍,儿童龋齿率达40%^[12]。2000年对23个省(区市)的不完全统计,我国污染农田4万hm²,造成农畜产品损失2489万kg,直接经济损失达2.2亿元^[13]。

1.3 土壤污染的危害及其引发的环境效应

1.3.1 土壤污染引起并加速环境污染 土壤是一个开放的系统,土壤系统以大气、水体和生物等自然因素和人类活动作为环境,和环境之间相互联系、相互作用,这种相互联系和相互作用是通过土壤系统与环境间的物质和能量的交换过程来实现的。物质和能量由环境向土壤系统输入引起土壤系统状态的变化,由土壤系统向环境输出引起环境状态的变化。在土壤污染发生中,人类从自然界获取资源和能源,经过加工、调配、消费,最终再以“三废”形式直接或通过大气、水体和生物向土壤系统排放^[14]。当输入的物质数量超过土壤容量和自净能力时,土壤系统中某些物质(污染物)破坏了原来的平衡,引起土壤系统状态的变化,发生土壤污染。而污染的土壤系统向环境输出物质和能量,引起大气、水体和生物体的污染,从而使环境发生变化,造成环

境质量下降,造成环境污染。土壤受环境的影响,同时也影响着环境,而这种影响的性质、规模和程度,都是随着人类利用和改造自然的广度和深度而变化。例如,污染物以沉降方式通过大气、以污灌或施用污泥方式通过地表水进入土壤,造成土壤污染,而土壤中的污染物经挥发、渗透过程又重新进入大气和地下水中,造成大气和地下水的污染^[15]。这种循环周而复始,加上土壤污染自身就是环境污染,所以土壤污染对环境污染的效应是显而易见的。

1.3.2 土壤污染直接危害农作物的产量和质量 农作物基本都生长在土壤上,如果土壤被污染了,污染物就通过植物的吸收作用进入植物体内,并可长期累积富集,当含量达到一定数量时,就会影响作物的产量和品质。有研究表明,北京东郊因污灌导致污染的糙米约占检测样品数的36%^[8,16];贵阳地区白菜、甘蓝中Pb、Hg、As污染超标检出率占70%,Cd占42%,Cr占80%^[17]。土壤污染造成农业损失主要可分成3类:(1)土壤污染物危害农作物的正常生长和发育,导致产量下降,但不影响品质;(2)农作物吸收土壤中的污染物质而使收获部分品质下降,但不影响产量;(3)不仅导致农作物产量下降,同时也使收获部分品质下降。这3种类型中,第3种情况较为多见^[18]。一般说来,植物的根部吸收累积量最大,茎部次之,果实及种子内最少^[19],但是经过长时间的累积富集,其绝对含量还是很大^[20]。加之人类不仅食用农产品果实和种子,还食用某些农产品(蔬菜)的根和茎,所以其危害就可想而知了。

1.3.3 土壤污染影响人类的生存健康 污染物在被污染的土壤中迁移转化进而影响人体的健康,主要是通过气-水-土-植物-食物链途径^[7],土壤动物和土壤微生物则直接从污染的土壤中吸收有害物质,这些有害物质通过土壤动物和土壤微生物参与食物链最终将进入人类食物链,所以土壤是污染物进入人体的食物链的主要环节。作为人类主要食物来源的粮食、蔬菜和畜牧产品都直接或间接来自土壤,污染物在土壤中的富集必然引起食物污染,危害人体的健康。

1.3.4 土壤污染降低生物多样性、威胁人类生存安全 土壤中的污染物,不但影响人体健康,而且以相同的方式影响其它生物的生存健康。这将导致物种减少,生物多样性下降,生态系统自我调节能力降低,人类赖以生存的生态环境受到威胁。

1.3.5 土壤中重金属污染物的危害 重金属污

染物在土壤中一般不易随水淋滤,不能被微生物分解,所以常常在土壤中积累,危害土壤动物、微生物、土壤酶等^[21]。有的可以转化成毒性更强的化合物(如甲基化合物),有的通过食物链以有害浓度在人体内蓄积、严重危害人体健康。重金属在土壤中积累的初期,不易为人们觉察或注意,属于潜在危害。通过各种途径进入土壤中的重金属种类很多,其中影响较大,目前研究比较深入的有 Hg、Cd、Pb、As、Cr、Cu、Zn、Se、Ni 等。由于它们各具不同的特性,因而造成的污染危害也不尽相同。首先,植物对各种重金属的需要情况有很大差别。有些重金属是植物生长发育中并不需要的元素,对植物健康危害比较明显。有些重金属是植物正常生长发育所必需的元素具有一定的生理功能,只是含量过高时,才发生污染危害。其次,土壤因受重金属污染而对作物产生危害时,不同类型的重金属的危害也不相同,而且其迁移转化特点也不相同。土壤中的重金属或类金属可分为 5 种形态:(1)水溶态的;(2)弱代换剂(如醋酸盐溶液等)可代换的;(3)强代换剂(或整合剂整合)提取的;(4)次生矿物中的;(5)原生矿物中的。其中(1)(2)(3)部分是可被植物吸收的。因此,它们的含量越高,越容易造成污染危害。不过,植物生长导致根际土壤重金属形态变化,如在小麦、大豆和玉米根际土壤中交换态铜含量显著增加^[22]。所以在研究土壤重金属的污染危害时,不仅要注意它们的总含量,还必须重视各种形态的含量^[7],同时也要考虑作物对它们的影响。另外,土壤中重金属污染物的危害还与重金属间、重金属与其它常量元素以及重金属与其它污染物之间的交互作用有关,所以要综合考虑多方面因素,才能全面了解其危害。

1.3.6 土壤中农药的危害及环境效应 我国目前大量使用的农药中具有高毒、潜在毒性的占相当比例。农药在土壤中的残留量占施药量的 20%~70%。残留农药可暂时与土壤结合而避免分解或矿化,但仍可因微生物或动物的活动释放出来产生危害。有些农药可以危害后茬作物,造成粮食污染,有些农药危害土壤动物和土壤微生物,有些农药进入农田水系或在水生生物中积累,这些将构成所谓的“化学定时炸弹”,例如多环芳烃(PAHs)菲对土壤中细菌和真菌的影响很大^[23],农药对土壤无脊椎动物影响很大^[24]。另一方面,农药生产企业的“三废”不达标排放往往导致水质受污染、作物大面积绝收、危害人畜健康等,造成严重的危害和难以修复的损

失。所有这些都对人体健康产生潜在危害,同时破坏生态平衡和降低生物多样性,所以具有长期环境效应^[25]。

2 土壤的主要污染物及其来源

2.1 土壤污染物

土壤污染物主要有无机物和有机物,无机物主要有盐、碱、酸、F 和 Cl,以及 Hg、Cd、Cr、As、Pb、Ni、Zn、Cu 等重金属和 Cs、Sr 等放射性元素;有机物主要有:有机农药、石油类、酚类、氰化物,苯并(a)芘、有机洗涤剂、病原微生物和寄生虫卵等(表 1)。污染物的分类主要依据污染物的物化性质、存在的形态、范围和广度。

2.1.1 按土壤污染物的理化生物特性分类 (1)

物理:热、辐射等。(2)化学:CO、NO、C_nH_m、O₂、RP、RPO₄、RNO₃、RNO₂、亚硝酸、氟化烃、多氯联苯(PCB)、过氧乙酰硝酸酯(PAN)、As。(3)油类、重金属、稀有金属、可降解的有机物。(4)生物:病菌、病毒、霉素、寄生虫及其卵等。(5)综合:烟尘、废液、致病有机体等。

2.1.2 按土壤污染物的存在形态分类 (1)

阳离子态:Hg、Cd、Pb、Cu、Zn、Mn、Fe、NH₄、硝基物。(2)阴离子态:氰化物、氟化物、硫化物、磷化物、氧化物。(3)分子态:SO₂、CO、CO₂、Cl₂、HCN、C_nH_m、O₂。(4)简单有机物:酚、苯、芳烃、醛、六六六、洗涤剂。(5)复杂有机物:3,4-苯并芘、石油、多氯联苯、蒽、萘。(6)颗粒物:烟尘、金属尘、矿尘、粉尘、碳粒、有机粉尘。

2.1.3 按土壤污染物的污染范围的广度分类

(1)局部污染物。(2)区域污染物。(3)全球污染物。

2.2 土壤的污染源

根据土壤污染物的来源、特性和结构形态的不同,其分类也不相同。

2.2.1 按土壤污染物的来源将土壤污染源分类

(1)自然污染源:包括生物污染源(鼠、蚊、蝇、霉素、病原体等)和非生物污染源(火山、地震、泥石流、岩石等)。(2)人为污染源:包括生产性污染源(工业、农业、交通、科研等)和生活性污染源(住宅、学校、医院、宾馆等)。

2.2.2 按土壤污染物的特性将人为污染源分类

(1)工业污染源:包括冶金、动力、化工、造纸、纺织印染、食品等工业。(2)农业污染源:包括农药、化肥、农业废弃物等。(3)生活污染源:包括住宅、医院、宾馆、饭店等。(4)交通污染源:包

表 1 土壤主要污染物质

Table 1 Main Pollutants in Soil

污染物种类	主要来源	
有机污染物	有机农药	农药生产和使用
	酚	炼油、合成苯酚、橡胶、化肥、农药等工业废水
	氰化物	电镀、冶金、印染等工业废水、肥料
	苯并(a)	石油、炼焦等工业废水
	石油	石油开采、炼油、输油管道漏油
	有机洗涤剂	城市污水、机械工业
重金属污染物	有害微生物	厩肥、城市污水、污泥
	Hg	制碱、汞化物生产等工业废水和污泥、含 Hg 农药、金属汞蒸气
	Cd	冶炼、电镀、染料等工业废水、污泥和废气、肥料杂质
	Cu	冶炼、铜制品生产等废水、废渣和污泥、含 Cu 农药
	Zn	冶炼、镀锌、纺织等工业废水、污泥和废渣、含 Zn 农药、P 肥
	Cr	冶炼、电镀、制革、印染等工业废水和污泥
	Pb	颜料、冶炼等工业废水、汽油防爆燃料排气、农药
	As	硫酸、化肥、农药、医药、玻璃等工业废水和废气、含 As 农药
	Se	电子、电器、油漆、墨水等工业的排放物
	Ni	冶炼、电镀、炼油、染料等工业废水和污泥
	放射性	¹³⁷ Cs
⁹⁰ Sr		原子能、核动力、同位素生产等工业废水和废渣、大气层核爆炸
其它	F	冶炼、氟硅酸钠、磷酸和磷肥等工业废气、肥料
	盐、碱	纸浆、纤维、化学等工业废水
	酸	硫酸、石油化工、酸洗、电镀等工业废水、大气

括汽车、火车、飞机、轮船等。

2.2.3 按土壤污染物的形态特征将土壤污染源分类 (1)点源：固定源。(2)面源：固定源。(3)线源：移动源或固定源。

3 土壤污染的发生类型

土壤污染类型不同，导致土壤污染物在土壤中的滞留时间和产生危害的强度不同，如某些土壤有机物污染物的生物可利用性就与土壤污染类型有关^[26]。

3.1 按土壤的污染源和污染途径可分为

3.1.1 水污染型 利用工业和城市污水进行灌溉，使污染物质在土壤中累积而造成土壤污染。污染物质大多以污水灌溉形式从地面进入土体，一般集中于土壤表层，但随着污水灌溉时间的延长，某些污染物质可能自上部向土体下部扩散和迁移，以至达到地下水。这是土壤污染的最主要发生类型，它的特点是沿河流或干渠呈树枝状或呈片状分布。

3.1.2 大气污染型 土壤污染物质来自被污染的

大气，其中粉尘是重要的污染源。其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污染物的性质、排放量及形式。大气污染型主要的是酸性物质，此外，还有重金属、放射性元素等，其中⁹⁰Sr和¹³⁷Cs半衰期分别为28年和30年，因而可以久存和积累。大气污染型土壤的污染物质主要集中于表层(0~5cm)，耕作土壤则集中于耕层(0~20cm)。

3.1.3 农业污染型 污染物质主要来自城市垃圾、厩肥、污泥、化肥、农药等。污染物的种类和污染的轻重程度与土壤的利用方式和耕作制度有关。主要污染物质为农药和重金属，污染物质主要集中于表层或耕层，它的分布比较广泛。

3.1.4 生物污染型 污水灌溉、施用垃圾和厩肥如不进行适当的灭菌处理，就会使土壤遭受生物污染，成为某些病原菌的疫源地。

3.1.5 固体废物污染型 在土壤表面堆放或处理固体废物和废渣，通过大气扩散或降水淋滤，就会使周围地区的土壤遭受污染。

3.1.6 综合污染型 土壤污染往往是多土壤源和污染途径同时造成的,即某地区的土壤污染可能受大气、水体、农药、化肥和污泥施用的综合影响所致。其中以某一或两种污染源污染影响为主。

3.2 按土壤的污染物的属性可分为

3.2.1 化学型 化学型污染包括有机物污染型和无机物污染型。有机物污染型主要指农药(如有机氯类、有机磷类、苯氧羧酸和苯酰胺类)、酚、氰化物、3,4-苯并芘、石油、有机洗涤剂、塑料薄膜等物质的污染;无机物污染型包括重金属、酸、碱和盐类等物质的污染。

3.2.2 放射性污染型 指人类活动排放出的放射性污染物使土壤放射性水平高于自然本底值。如核爆炸产生的沉降、放射性废水排放、放射性固体废物的土地处理、核电站或其它核设施的核泄漏等都有可能造成后果严重的土壤放射性污染。

3.2.3 生物型污染 指外源性有害物种侵入土壤环境,并大量繁殖,使土壤的生态平衡遭受破坏,对生态系统和人体健康造成不良影响的污染。如由于施用未经处理的粪便、垃圾、城市污水和污泥等都有可能造成土壤生物污染。有些病原体可长期存活与土壤中危害植物,影响植物产品的产量和质量。

4 土壤污染的防治

防治土壤污染,必须贯彻“预防为主”。首先要调查污染源,在清楚污染来源的前提下,针对不同的污染源及污染类型采取不同的方法控制和消除土壤污染源。同时,对已经污染的土壤,采取一切有效措施,控制土壤中污染物的迁移和转化,彻底消除土壤中污染物的残留。

4.1 控制和消除土壤污染源

控制和消除土壤污染源,是防止污染的根本措施。土壤对污染物的物理机械吸收、物理化学吸附和生物降解相当于一、二级和三级净化处理能力,控制土壤污染源,即控制进入土壤中的污染物的数量和速度,使其在土体中缓慢地自然降解,而不致迅速而大量地进入土壤,引起土壤污染^[27,28]。

控制和消除土壤污染源的措施有:(1)控制和消除工业“三废”的排放;(2)控制化学农药的使用;(3)合理施用化学肥料;(4)加强污灌区的监测与管理等^[29]。

4.2 治理已被污染的土壤

治理已被污染的土壤不是一件轻而易举的事情,往往需要多年长期努力,并采取综合治理措施,

才能缓慢地使其恢复^[30]。治理措施主要有:

1. 工程措施,包括(1)客土、换土、去表土、翻土^[31];(2)隔离法;(3)清洗法;(4)热处理;(5)电化法等。

2. 生物(动物、植物、微生物)措施,包括(1)生物吸收^[32];(2)生物降解^[33];(3)生物修复^[3,26]等。

3. 加入改良剂,包括(1)沉淀剂,如石灰等^[31,34];(2)加入抑制剂或消除剂^[31];(3)颀抗剂;(4)修复剂等^[35]。

4. 农业措施,包括:(1)增施有机肥提高土壤环境容量^[31,36];(2)控制土壤水分;(3)选择合适形态的化肥;(4)选择抗污染农作物品种;(5)改变耕作制度或改为非农业用地等^[37]。

参考文献

- 1 陈刚才,甘露,万国江. 土壤有机物污染及其治理技术. 重庆环境科学, 2000, 22 (2): 45~49
- 2 刘世亮, 骆永明, 曹志洪, 丁克强, 蒋先军. 多环芳烃污染土壤的微生物与植物联合修复研究进展. 土壤, 2002, (5): 257~265
- 3 裘娟萍. 耕地受多效唑农药污染后的再生修复技术. 土壤学报, 2002, 39 (1): 45~51
- 4 中国环境科学学会环境质量评价专业委员会编. 环境质量评价方法指南. 1982, 151
- 5 周东美, 王慎强, 陈怀满. 土壤中有机污染物-重金属复合污染的交互作用. 土壤与环境, 2000, 9 (2): 143~145
- 6 龚贻俭, 李春华. 环境科学原理. 南京: 南京大学出版社, 1998, 97
- 7 高伟生, 肖德栋, 宇振东, 项磊. 环境地学. 北京: 中国科学技术出版社, 1992, 147~167
- 8 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染. 北京: 科学出版社, 1996, 1~7
- 9 林肇信, 刘天齐, 刘逸农. 环境保护概论. 北京: 高等教育出版社, 1999, 153~164
- 10 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, 1~13
- 11 朱荫澍, 周启星. 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
- 12 何乱水, 杜文奎. 兰州市土壤环境的污染. 甘肃地质学报, 1997, 6 (增刊): 109~114
- 13 国家环境保护总局. 2000 年中国环境状况公报. 环境保护, 2001, (7): 3~9
- 14 彭胜, 陈家军, 王红旗. 挥发性有机污染物在土壤中的

- 运移机制与模型. 土壤学报, 2001, 38 (3): 315~323
- 15 乔显亮, 骆永明, 吴胜春. 污泥的土地利用及其环境影响. 土壤, 2000, 32 (2): 79~85
- 16 蔡士悦. 污灌对京津唐地区生态环境的影响及其对策研究. 农村生态环境, 1985, (4): 1~5
- 17 陆引罡, 王巩. 贵州贵阳市郊区菜园土壤重金属污染的初步调查. 土壤通报, 2001, 32 (5): 235~237
- 18 阮俊华, 张志剑, 陈英旭, 王飞儿. 受污染土壤的农业损失评估法初探. 农业环境保护, 2002, 21 (2): 163~165
- 19 李海华, 刘建武, 李树人等. 土壤—植物系统中重金属污染及作物富集研究进展. 河南农业大学学报, 2000, 34 (1): 30~34
- 20 赵志强, 赵慧敏, 全夔. 土壤中氯代有机化合物的环境行为. 土壤, 2000, 32 (5): 231~235
- 21 和文祥, 黄英锋, 朱铭莪, 张一平. 汞和镉对土壤脲酶活性影响. 土壤学报, 2002, 39 (3): 412~420
- 22 陈有鑑, 陶澍, 邓宝山等. 不同作物根际环境对土壤重金属形态的影响. 土壤学报, 2001, 38 (1): 54~59
- 23 丁克强, 骆永明, 刘世亮, 李振高. 多环芳烃菲对淹水土壤微生物动态变化的影响. 土壤, 2002, 34 (4): 229~232, 236
- 24 王振中, 张友梅, 邢协加. 土壤环境变化对土壤动物群落影响的研究. 土壤学报, 2002, 39 (6): 892~897
- 25 华小梅, 江希流. 我国农药环境污染与危害的特点及控制对策. 环境科学研究, 2000, 13 (3): 40~43
- 26 丁克强, 骆永明. 多环芳烃污染土壤的生物修复. 土壤, 2001, 33 (4): 169~178
- 27 赵其国, 周建民, 董元华. 江苏省农业清洁生产技术与管理体系的研究与试验示范. 土壤, 2001, 33 (6): 281~285
- 28 赵其国. 解决我国东南沿海经济快速发展地区资源与环境质量问题刻不容缓. 土壤, 2001, 33 (3): 113~118
- 29 阎伍玖, 吕成文, 陈飞星. 芜湖市城市郊区土壤重金属污染危害及其对策研究. 土壤学报, 2000, 37 (1): 136~141
- 30 李永涛, 吴启堂. 土壤污染治理方法研究. 农业环境保护, 1997, 16 (3): 118~122
- 31 蒋玉根. 农艺措施对降低污染土壤重金属活性的影响. 土壤, 2002, 34 (3): 145~148
- 32 李华, 骆永明, 宋静. 不同铜水平下海洲香薷的生理特性和铜积累研究. 土壤, 2002, 34 (4): 225~228
- 33 鲁如坤, 时正元, 钱承梁. 磷在土壤中有效性的衰减. 土壤学报, 2000, 37 (3): 323~329
- 34 周卫, 汪洪, 李春花, 林葆. 添加碳酸钙对土壤中镉形态转化与玉米叶片镉组分的影响. 土壤学报, 2001, 38 (2): 219~225
- 35 丁克强, 骆永明. 生物修复石油污染土壤. 土壤, 2001, 33 (4): 179~184, 196
- 36 张亚丽, 沈其荣, 姜洋. 有机肥料对镉污染土壤的改良效应. 土壤学报, 2001, 38 (2): 212~218
- 37 丁维新, 朱其清, 刘元昌, 汪金舫. 旱改水对砂姜黑土中锌含量的影响研究. 土壤学报, 2000, 37 (1): 102~108

SOIL POLLUTION AND ITS ENVIRONMENTAL IMPACT

Chen Jingzhong¹ Chen Jie¹ Xie Xuejian² Zhang Xuelei¹

(1 Institute of Soil Science, the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008; 2 Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

Abstract As a major component of both the environment and the ecosystem, soil could be contaminated by a variety of pollutants. First of all, types of pollutants and patterns of pollution of soils are enumerated. Then, characteristics of major pollutants and their behaves in soils are expatiated. It is concluded that a better understanding of the aspects mentioned above would play a very important role in controlling and eliminating soil pollution.

Key words Soil, Pollution, Pollutant, Prevention and remediation