

### 第三节 土壤污染及其对健康的危害

工农业生产的高度发展和人类活动的急剧增多，产生了环境污染和生态破坏的新问题。土壤受废弃物排放、污水灌溉、废气沉降和农药施用的污染。尤其人们毫无顾忌地滥用土壤作为不断增多的有害废弃物处理场所，向土壤投弃了许多土壤中分解者所不能分解的，或者超出其分解能力的物质，导致土壤自净能力被破坏，以致成为污染物的贮库。有害物质长年盘踞在土壤中，不断地迁移到相邻环境介质中，通过空气、水和植物对人体健康产生危害。属于这些危害的是一些肠道传染病和寄生虫病的传播，以及某些重金属和农药在人体组织器官中蓄积所造成的慢性中毒、致癌、致畸、致突变等健康损害。

#### 一、土壤污染的来源与类型

土壤污染(soil pollution)是指排进土壤的有机物或含毒废弃物过多，超过了土壤的自净能力，引起土壤质量恶化，从而在卫生学和流行病学上产生了有害影响。

##### (一) 土壤污染的来源

土壤污染的来源很多，大致可以分为：

1. 生活污染，包括生活垃圾、人畜粪便和生活污水等。
2. 工业废水、废气、废渣以及汽车废气污染。
3. 农业污染，主要是农药和化肥污染土壤。
4. 战争污染，在使用核化生武器时，可造成土壤污染。

##### (二) 土壤污染的类型

土壤主要污染物可分为生物污染物和化学污染物。生物污染物主要是病原体，除肠道致病菌、寄生虫卵、病毒、钩端螺旋体外，还有破伤风杆菌、炭疽杆菌、肉毒杆菌等，病原体在土壤中可生存较长时间，如肠道致病菌在土壤中可生存 100~170 天，结核杆菌生存一年，炭疽芽胞能生存 15 年之久。土壤又是寄生虫卵和蛔虫生长发育过程中必须的环境，如蛔虫卵可在极低气温下积雪的土壤中存活，在热带地区可存活 2 年以上。土壤中已发现 100 多种能使人类致病的病毒。肠道病毒在适宜条件下于中性土壤中可存活 2~4 个月，这些都为土壤传播疾病创造了条件。化学污染物包括有毒重金属如铅、汞、镉、铬、砷等，农药化肥及有毒的有机物，致癌物如石油、多环芳烃、多氯联苯等。其中农药污染最广泛。此外，还有放射性物质造成土壤污染亦不容忽视。

土壤污染按污染来源和性质可分为以下几种类型。

##### 1. 水型污染

污染来源主要是以未经处理的生活污水、工业废水或医院污水灌溉农田，或利用渗水坑来处理污水而使土壤受到重金属、有机物或病原体污染，例如土壤中镉多不超过 0.5mg/kg，而为铅锌矿废水污染的农田土壤中含镉高达 10~136mg/kg。又如保定污水灌溉的稻田表土含铅比对照高 64 倍。

##### 2. 气型污染

工业企业排出的污染物如二氧化硫、氮氧化物、铅、镉、汞、氟等，经过自然沉降或降雨而污染土壤，如电解铝厂、磷肥厂、钢铁厂排出的废气中含有高浓度的氟，据某铝厂调查，厂内土壤氟浓度为 2200mg/kg，厂外为 490mg/kg，对照为 330mg/kg。

##### 3. 固体废弃物型污染

工业固体废弃物或生活垃圾在土壤上堆放和填埋，或作农田基肥，由于淋浴、

渗透,可使其中的有害物质有机物、病原体进入土壤中,如武汉市生活垃圾含汞 9.5mg/kg、铅 13.8mg/kg、大肠菌值  $10^{-2}\sim 10^{-9}$ , 特别是有毒的工业固体废弃物更可严重污染土壤,并通过土壤污染地下水。

#### 4. 农药型污染

目前我国大量使用农药与化肥,我国目前生产的农药包括杀虫剂、杀菌剂、除草剂、氮化肥增效剂等有 100 多种,我国化肥用量全年约 1 亿吨。但由于使用不合理,农药的利用率只有 10%,化肥利用率也只 30~40%,其余均进入环境主要是土壤之中。残留在土壤中的农药、化肥可以通过食物链危害人体健康。

## 二、土壤的自净(soil self-purification)

土壤是由固相(矿物质和有机质等固体物质),液相(土壤水分)和气相(土壤空气)组成的,充满各种生物和微生物,具有吸附、交换、络合、螯合作用和氧化还原作用,因此具有降解、转化化学污染物和杀死致病微生物的自净能力。土壤自净作用是指进入土壤的污染物,在土壤的物理、化学和微生物作用下,使污染物中的病原体死亡,有机物无机化或腐殖质化,有害污染物浓度减少的过程。

由于土壤上常生长有植物,因此土壤自净作用应是土壤与植物联合作用。土壤的物理净化作用主要是机械隔滤作用,如对大肠杆菌就有很好的隔滤作用。化学净化功能如水解,离子交换等,有机磷杀虫剂在土壤中容易被水解而消失。微生物净化作用可藉其产生的酶来实现,如被酚污染的土壤,微生物可产生能分解酚的多酚氧化酶系。

### (一) 化学性污染的自净

由于化学污染物质的种类很多,土壤的结构、类型、酸碱度、氧化还原状态和土壤微生物的种类又各不相同,所以,各类化学物质在土壤中的降解、蓄积、转化、迁移和残留情况也是不同的。当前值得重视的是重金属类和农药对土壤的污染。

#### 1. 重金属类: 重金属在土壤中的动态与以下因素有关。

##### (1). 土壤 pH

重金属一般是以氢氧化物、离子和盐类形式存在,土壤 pH 越低,金属的溶解度越高,容易被植物吸收或迁移。而土壤 pH 偏碱性时,多数金属离子形成难溶的氢氧化物而沉淀,植物难以吸收。实验表明:当土壤 pH 为 5.3 时,糙米镉含量为 0.3mg/kg,而 pH 为 8.0 时,镉含量仅为 0.06mg/kg。

##### (2). 土壤的氧化还原状态

土壤中的氧气充足表示土壤处于氧化状态,氧气缺乏表示土壤处于还原状态。土壤的氧化或还原条件控制着土壤中重金属的转化和存在状态。例如氧气充足时,砷化物多为五价,而在还原条件下则为三价(亚砷酸盐),毒性比前者大。还原状态时,重金属离子与硫酸盐形成金属硫化物(难溶解)而被固定于土壤中。

##### (3). 土壤腐殖质的吸附和螯合作用

土壤腐殖质能大量吸附金属离子,使金属通过螯合作用而稳定的被留在土壤腐殖质中,从而使金属毒物不易迁移到水中或植物中,减轻其危害。

由上述可知,重金属元素不能被土壤微生物分解,而极易与土壤有机物、无机物结合生成稳定的络合物和螯合物,残留在土壤中。重金属在土壤中的一般迁移、转化规律与土壤结构及其理化性质有关。土壤中重金属在植物中的残留情况是,土壤中有有机物和粘土矿物的含量越多,盐基代换量越大;土壤的 pH 越高,重金属在土壤中的活动性越弱,重金属对植物的有效性越低,植物中残留量也越

少。

## 2. 农药类

按照农药在土壤中的转化、分解的难易程度可分为两类，一是易转化、降解类，如有机磷制剂等。二是难转化、降解类，如有机氯、有机汞制剂等。不同的农药残留时间也不同，受农药的理化性质、剂型和土壤的理化性质等的影响。有机磷农药残留期以天计算，如 2 周到数周，而有机氯农药却以年计算，如 DDT 残留期为 4 年，六六六为 3 年。

土壤中农药可通过植物的根系转至植物组织内部，特别是可食部位，构成对人体健康的潜在性危害。例如土壤中六六六含量为 1.526mg/kg 时，在该土壤中生长的小麦的六六六含量为 1.72mg/kg。

### (二) 生物性污染的自净

#### 1. 病原体的死灭

病原微生物进入土壤后，受到许多不利因素作用而逐渐死亡，例如日光的照射、土壤生态系统的环境条件不利于外来病原微生物的生存、土壤微生物的拮抗作用和噬菌体作用、抗生素作用、以及植物根系分泌的杀菌素等作用。因此土壤中病原微生物的死灭时间，受上述诸因素的制约。

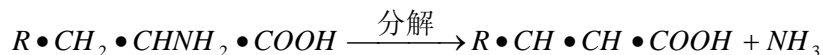
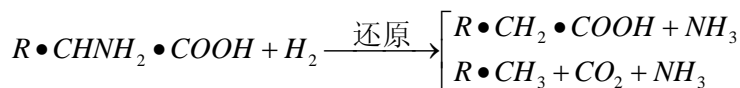
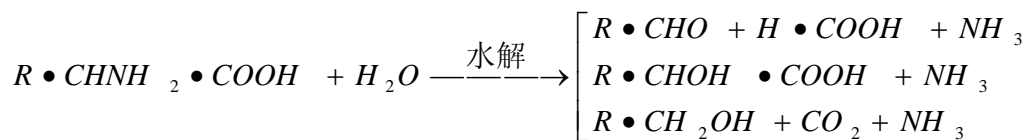
#### 2. 有机物的无机化

在缺氧条件下，参与净化的微生物以厌气性微生物为主，分解过程中因氧的供应不足，氧化不完全，致形成许多还原性产物，如有机酸、氨、硫化氢、沼气和氢气等。有机酸在土壤中过多的积聚，常抑制土壤微生物的生长，对厌氧分解有抑制作用，使分解速度减慢，甚至完全停止。

在有氧条件下，参与作用的微生物主要以需氧微生物为主，污物中的有机质分解速度较快，有机物无机化进行得较彻底，生成氧化状态的简单化合物，不产生有机酸及有害气体。随着有机物的无机化，病原菌和寄生虫卵也逐渐死亡。

##### (1). 氨化作用：

土壤中含氮的有机物如蛋白质、氨基酸、硫氨、尿素等分解为氨或铵盐，称氨化阶段，参与氨化的细菌称为氨化微生物。由氨基酸分解产生氨以及有机酸、醇类、碳氢化物的反应式如下：

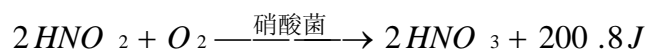


##### (2). 硝化作用

含氮有机物由氨化作用产生的氨经硝化菌的作用转化成硝酸的过程称为硝化作用。可以分为以下两步。

由氨生成亚硝酸。反应式如下：

由亚硝酸转化成硝酸。反应式如下：



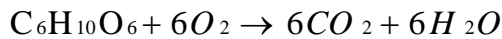
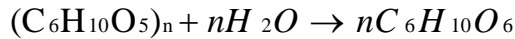
在厌氧的条件下，氨化过程中还可产生硫化氢、硫醇等恶臭物质，而硝酸盐也可通过反硝化细菌如脱氮色杆菌、萤光极毛杆菌还原为亚硝酸盐与氨或分子态

氮。

### (3). 糖类的转化

糖类是不含氮的有机物，在氧气充足的条件下，它们的分解进行得迅速而彻底，由复杂的碳水化合物一直分解到 $\text{CO}_2$ 、水或形成碳酸盐类；但在氧气不足的情况下，糖类的分解即停留在有机酸和 $\text{CO}_2$ 的阶段，有时形成甲烷。兹以纤维素的分解为例。

纤维素在氧气充足条件下的分解反应如下：



纤维素在缺氧条件下的分解反应如下：

淀粉和纤维素在厌氧条件下，可腐败分解产生各种有机酸、甲烷和 $\text{CO}_2$ ，它们可污染空气，抑制土壤微生物的生长，并可减弱土壤的自净能力。

### (4). 有机物的腐殖化(humification)

在土壤微生物的作用下，外界的有机物由复杂化合物分解为简单化合物，与此同时在土壤微生物的作用下又重新合成为有机高分子物质，称腐殖质。腐殖质是一种疏松的暗褐色物质，它含有多种有机化合物，其中最主要的部分为腐殖酸（即胡敏酸、乌明酸、克连酸等），另外尚有木质素，纤维素、蛋白质、油脂、氨基酸、脂肪酸等多种物质。它虽然含有较多的有机物质，但相当稳定，不再腐败，不再产生臭气，也不招引苍蝇，随着有机物质的腐殖化，病原菌（芽胞菌除外）及寄生虫卵均已死灭，故在卫生上是安全的。另外，腐殖质还是农业的一种良质有机肥料，并有助于改良土壤，在农业生产中也有重要的价值。腐殖质化也可由人工造成，例如用堆肥方法处理垃圾，粪尿，就是将有机物转变为肥料(腐殖质)。

有机物的分解比较慢，据估计一般纸张要 3~4 个月，火柴棍 6 个月，人工合成的有机化合物因自然界中没有相应分解的微生物，因此分解需要更长的时间，例如农药氯丹在土壤中存留时间为 11 年，DDT 为 3 年，一次性聚苯乙烯饭盒、塑料瓶要 100~200 年。

综上所述，有机污染物质在土壤中的微生物作用下逐渐分解，由大分子的复杂有机化合物变成简单的小分子无机化合物。在这一过程的同时，土壤环境的理化和生物学性质发生一定变化，致使病原微生物和寄生虫卵逐渐被全部杀灭，土壤达到自净。然而，自净作用是有一定限度的，超过限度，便可能引起疾病的传播并且污染环境。因此，应尽量避免和减少污染物进入土壤。

## 三、土壤污染对健康的危害

土壤污染的主要来源为工业污染、粪污污染和农药残留，不同来源的污染物对人群健康影响亦不尽相同。土壤污染对健康的影响往往是潜在的、间接的，如通过农作物再进入人体。

### (一) 工业污染

工业污染物可随废气、废水或废渣进入土壤，再通过污染的农作物或地下水对人体健康产生危害。工业污染物种类很多，有的是有毒有害物质，也有突变物、致癌物和致畸物。它们可以是单个毒物或多种毒物联合对健康产生危害如由于炼钢厂、炼铝厂氟污染引起氟中毒(参见表 5-3、表 5-4)；含镉工业废水污染土壤，生产出镉米，人食用镉米引起痛痛病；又如石油工业废水含致

表 5—3 炼钢、炼铝厂废气氟污

表 5—4 氟暴露居民临床检查

氟含量	对照区	污染区				
大气 (mg / m <sup>3</sup> )	0. 70	7. 15	摄氟量 (mg / d)	2	3—4	5—10
饮水 (mg/L)	0. 18	0. 81	尿氟 (mg/L)	0. 82	1. 12	1. 36
土壤 (mg/Kg)	5. 20	7. 81	氟斑牙 (%)	14. 28	47. 04	53. 24
粮食 (mg/kg)	1. 97	3. 74	骨盆骨质硬化 (%)	2. 78	5. 62	11. 35
蔬菜 (mg/Kg)	0. 28	0. 54	胫腓骨周钙化 (%)	13. 89	29. 65	38. 30

表 5-5 石油工业废水灌区居民健康影响

观察指标	对照区	污灌区
肝肿大 (%)	4. 2	106. 0
慢性胃痛 (%)	2. 2	22. 2
胃癌死亡率 (1 / 10 万)	12. 0	34. 2
恶性肿瘤死亡率 (1 / 10 万)	45. 7	82. 4
先天畸形发生率 (%)	7. 14	17. 58

癌性的多环芳烃化合物，用这种废水作污水灌溉可污染土壤、饮水和农作物，致居住在石油工业废水灌区的居民消化道疾病、癌症和先天畸形都有所增加（见表 5—5）。

由化学废物污染土壤引起严重后果的著名例子是美国洛夫渠事件，洛夫渠是一条长 1.5 km 的废渠，1940 年左右胡克化工业公司利用该渠堆放无用化学副产品至少有 80 种。50 年代起在渠上建居民区和学校，70 年代中期邻近居民发生种种疾患如氯痤疮、畸胎及流产率增高，调查发现有 82 种化学污染物，其中 11 种疑为人类可能致癌物。

## （二）生物性污染

生物性污染主要来自人畜排泄物和生活污水，农业污水及某些工业废水也是来源之一。我国环境生物性污染传播的主要肠道传染病的发病率，仍保持在相当的水平：痢疾 132/10 万、伤寒 10/10 万、病毒性肝炎 113/10 万；与环境生物性污染关系密切的血吸虫病患者总数达 150 万。

人畜粪便中含有大量的致病微生物和寄生虫卵。土壤历来被当作粪便处理的场所，经常受到致病微生物和寄生虫卵的污染。每 g 新鲜粪便中，含有大肠杆菌  $5 \times 10^6 \sim 10^8$  个，肠道病毒  $10^5 \sim 10^8$  空斑形成单位；霍乱和伤寒患者排出的病原体，每 g 粪便含菌  $10^8 \sim 10^9$  个；带菌者排出的 E1 Tor 霍乱弧菌，每 g 粪便含菌  $10^2 \sim 10^5$  个。每 ml 生活污水含有 1~100 个肠道病毒空斑形成单位，大肠杆菌  $10^6 \sim 10^7$  个。某些寄生虫病流行区，人群中 40% 排出钩虫卵，30%~60% 排出蛔虫卵和鞭虫卵；在蛔虫病集中区，71% 的土壤样品中含有蛔虫卵。在土壤中痢疾杆菌存活 25~100 天，伤寒杆菌 100~400 天，肠道病毒 100~170 天，芽孢杆菌（破伤风、气性坏疽、肉毒、炭疽的致病菌）存活 1 年以上；蛔虫卵在土壤中可存活 7 年之久。

根据北京、天津污水灌溉区调查的资料，污水中病原体含量：大肠菌群 250/ml，蠕虫卵 22/L；病原体检出率：大肠菌群 100%，沙门氏菌 90%，蛔虫卵 82%。农田土壤病原体检出率：粪大肠菌群 88%，沙门氏菌 8%，蛔虫卵 78%。蔬菜病原体检出率：沙门氏菌 27%，蛔虫卵 40%。当地居民沙门氏菌隐性感染率 19%，蛔虫感染率 65%。婴幼儿急性腹泻发病率 5.4%、病死率 22.3/10 万，远高于对照区的 4.0%和无 1 例死亡。

当人们与污染的土壤直接接触时(儿童游戏、土建和农田作业)，即可受到病原体感染。若食用被病原体污染的蔬菜、瓜果等则间接地受到感染。在污染土壤上孳生和聚集的苍蝇和昆虫，则成为扩大传播的带菌体。当污染土壤经过雨水冲刷，又可能污染饮用水源。此外，土壤受到粪便污染后，有机物在土壤中腐败分解，产生恶臭气体(氨、硫化氢、挥发性有机酸等)，同时招致苍蝇孳生、鼠类繁殖，严重地恶化了居民区的环境条件，为传染病的传播流行创造了有利条件。

### (三) 农药污染对健康的影响

农药对土壤的污染源是由于农业和植物保护以及卫生目的而进行的杀虫、灭鼠、消毒等所造成。目前我国各种农药制剂产量为每年 150 多万 t，约有 140 个品种，常用的有 60 个品种，其中有机磷杀虫剂占大部分。农药的危害因素在于农药在土壤和植物性食物中的残留。农药经过各种途径(直接施入、降雨淋洗、种子消毒、枝叶凋落)进入土壤，由于农药的稳定性不同，在土壤中的残留期也各异。

农药进入土壤后，挥发性强的可逸散至大气圈，未能被土壤吸收的则被淋失。土壤对农药吸附作用的强弱主要取决于农药的种类和土壤性质。农药和土壤胶体之间的吸附、代换吸收或借氢键、水桥联系在一起形成结合残留物。某些农药与土壤接触时能发生单纯的化学降解，或在土壤表面受太阳辐射而进行缓慢的光解作用。农药在土壤中的生物化学降解则十分缓慢，土壤微生物对农药瞬间很难发挥降解作用，尤其没有能迅速破坏有机氯农药的微生物，这就使得这类农药在土壤中能够普遍存留。残留期愈长，在土壤中积累愈多。

在环境里，土壤是富集农药数量最大的场所，并且从土壤迁移到相邻环境介质，参与生态系统的物质循环，对人体健康产生影响。危害较大的农药主要是有机氯农药和含铅、砷、汞等重金

表 6—6 六六六在环境中的残留量  
残留量与人

表 6—7 DDT 在环境中的

与人体内蓄积量				体内蓄积量			
样	品	川沙县	连云港等	样	品	川沙县	连云港等
土壤	( $\mu\text{g} / \text{kg}$ )	533	224~436	土壤	( $\mu\text{g} / \text{kg}$ )	305	127~563
蔬菜	( $\mu\text{g} / \text{kg}$ )	3~680	46~328	蔬菜	( $\mu\text{g} / \text{kg}$ )	0~343	15~18
粮食	( $\mu\text{g} / \text{kg}$ )	53~1185	20~158	粮食	( $\mu\text{g} / \text{kg}$ )	9~170	0~77
乳汁	( $\mu\text{g} / \text{L}$ )	494	600	乳汁	( $\mu\text{g} / \text{L}$ )	159	400
脂肪	( $\text{mg} / \text{kg}$ )	28.3	13.8	脂肪	( $\text{mg} / \text{kg}$ )	13.7	11.8
血清	( $\mu\text{g} / \text{L}$ )	457	—	血清	( $\mu\text{g} / \text{L}$ )	397	—
尿	( $\mu\text{g} / \text{L}$ )	2.2	—	尿	( $\mu\text{g} / \text{L}$ )	—	—
胎盘	( $\mu\text{g} / \text{kg}$ )	—	890	胎盘	( $\mu\text{g} / \text{kg}$ )	—	610

属制剂。有机氯农药在人体内蓄积是世界性的，它不但是神经和实质性脏器毒物，而且对酶系、内分泌系统和免疫反应均有影响。在某些实验动物中有致癌、致畸和致突变作用。在使用有机氯农药地区，产妇的乳汁、血、尿、胎盘血、脐带血、羊水中有机氯农药检出率很高。母体中有机氯农药的富集与胎儿早产和发育不良密切相关，在死婴的脂肪组织、脑和肝脏中均可找到有机氯农药。实验证明，动物和禽类在有机氯农药影响下，繁殖力下降，后代发育不良。流行病学调查表明，土壤污染有机氯农药与1岁以内儿童患病率之间密切相关。

在70年代，我国的粮、菜、果、肉、蛋、油、奶、烟、茶中普遍存在有机氯农药的残留。据80年代一些地区的调查，稻田每亩使用2~6kg农药情况下，土壤农药残留：六六六为154.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，DDT为120.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。人乳和人体脂肪中有机氯农药的蓄积量达到相当高水平(表6-6, 6-7)。婴儿通过人乳摄入有机氯农药量超过世界卫生组织推荐的容许量5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，可达10倍。在当时有机氯农药污染是我国环境污染的一个大问题。有机氯农药比较稳定，不易分解，残留期长，易在土壤和农畜产品中积累致害，所以很多国家早已禁止使用，我国在80年代也已决定停止生产。

#### (四) 交通运输对土壤的污染

以内燃机为动力的车辆运输越来越频繁，使交通干线两侧200~300m范围内的土壤受铅和苯并(a)芘的严重污染。

铅是污染人类环境损害人体健康的金属元素中数量最多的一种。它的主要来源是加入到汽油中的四乙基铅抗震剂，随汽车尾气排放而沉降到土壤上。铅的毒性很隐蔽，而且作用缓慢。人体组织的含铅量随年龄而增加，无疑是对人体健康的一种潜在威胁。寿命的缩短、免疫力的降低、情绪低沉、疲倦、神经衰弱、胃口不佳等模糊不清的症状，可能是铅中毒的亚临床症状。