

业粉尘。二是采用气体吸收塔处理有害气体（如用氨水、氢氧化钠、碳酸钠等碱性溶液吸收废气中二氧化硫；用碱吸收法处理排烟中的氮氧化物）。三是应用其他物理的（如冷凝）、化学的（如催化转化）、物理化学的（如分子筛、活性炭吸附、膜分离）方法回收利用废气中的有用物质，或使有害气体无害化。

4) 利用环境的自净能力。大气环境的自净有物理、化学作用（扩散、稀释、氧化、还原、降水洗涤等）和生物作用。在排出的污染物总量恒定的情况下，污染物浓度在时间上和空间上的分布同气象条件有关，认识和掌握气象变化规律，充分利用大气自净能力，可以降低大气中污染物浓度，避免或减少大气污染危害。例如，以不同地区、不同高度的大气层的空气动力学和热力学的变化规律为依据，可以合理地确定不同地区的烟囱高度，使经烟囱排放的大气污染物能在大气中迅速地扩散稀释。

7.3.3.4 绿色植物对大气污染物的净化作用

绿色植物具有美化环境、调节气候、截留粉尘、吸收大气中有害气体、防噪声等功能，还可以改善小气候、在大范围内连续地净化大气、监测空气污染等方面具有长期和综合效果。因此，在大气中污染物影响范围广、浓度比较低的情况下，发展植物净化是行之有效的方法。

植物净化大气主要是通过叶片的作用实现的。就同一种植物而言，叶的面积越大，叶片生产量越高，净化作用就越强。一般可采用植物生态学中的“叶面积指数”（即植物的总叶面积与该植物所占土地面积之商值）作为衡量植物净化功能的一个参数。绿色植物（包括树木和草坪）净化大气的作用主要有：一是吸收二氧化硫。抗性强的植物主要有侧柏、白皮松、云杉、香柏、臭椿、榆树等，抗性中等的植物有华山松、北京杨、合作杨、美杨、枫杨、桑等，抗性弱的植物有合欢、黄金材、五角枫等。二是吸收氟化氢。植物对氟化氢的最大吸氟量可达 1 000 ppm ($\text{ppm}=10^{-6}$ ，文中涉及 ppm 处多为引文，故不做修改，下同) 以上，不同植物的最大的吸氟量一般相差 2~3 倍。三是吸收氯气。植物对氯气有一定的吸收和积累能力。在氯气污染区生长的植物，叶中含氯量往往比非污染区高几倍到几十倍。四是吸收二氧化碳，放出氧气，维持人类环境中两者的平衡。五是对降尘和飘尘有滞留过滤作用。六是在植物抗性范围内能减少臭氧的发生，减轻光化学烟雾污染。七是有过滤细菌或杀菌作用。八是对某些重金属有吸收和净化作用。九是减轻噪声污染。各种植物的净化机理同它们的形态解剖构造和生理生化特性紧密相关，而且有遗传学方面的基础。因此，这种净化机理在不同种属间存在很大差异，另一方面又同植物所生长的环境条件有关。

7.4 土壤的污染与防治

7.4.1 土壤污染

7.4.1.1 土壤污染的基本概念

土壤是指陆地表面具有肥力、能够生长植物的疏松表层，其厚度一般在 2 m 左右。土壤不但为植物生长提供机械支撑能力，而且能为植物生长发育提供所需要的水、肥、气、热等肥力要素。近年来，由于人口急剧增长，工业迅猛发展，固体废物不断向土壤表面堆放和

倾倒,有害废水不断向土壤中渗透,大气中的有害气体及飘尘也不断随雨水降落到土壤而引起污染。所谓土壤污染(soil pollution),就是指人为活动产生的污染物或具有生理毒性的物质或过量的植物营养元素进入土壤并积累到一定程度,引起土壤质量恶化和植物生理功能失调,进而造成农作物中某些指标超过国家标准的现象。土壤污染除导致土壤质量下降、农作物产量和品质下降外,还对污染物具有富集作用。一些毒性大的污染物,如汞、镉等富集到作物果实中,人或牲畜食用后会发生中毒。如中国辽宁沈阳张士灌区由于长期引用工业废水灌溉,导致土壤和稻米中重金属镉含量超标,人畜不能食用。土壤不能再作为耕地,只能改作他用。

由于土壤处于陆地生态系统中的无机界和生物界的中心,不仅在本系统内进行着能量和物质的循环,而且与水域、大气和生物之间也不断进行物质交换,一旦发生污染,三者之间就会有污染物质的相互传递,特别是作物从土壤中吸收和积累的污染物往往通过食物链传递。因此,土壤污染应引起高度重视。

7.4.1.2 土壤中污染物质的来源和种类

污染物进入土壤的途径是多样的,土壤污染的发生特征是与土壤所处的地理位置和功能相联系的,其污染物主要来自两个方面。一是人为污染源。随着农业现代化,大量化学肥料及农药散落到环境中,土壤受非点源污染的几率越来越高,其程度也越来越严重。土壤污染物主要来自工业和城市的废水和固体废物、农药和化肥、牲畜排泄物、生物残体及大气沉降物等。其中,废气中含有的污染物质,特别是颗粒物,在重力作用下沉降到地面进入土壤,废水中携带大量污染物进入土壤,固体废物中的污染物或其渗出液能够直接进入土壤。农药、化肥的大量使用,也会造成土壤有机质含量下降,使土壤板结。在水土流失和风蚀作用等的影响下,污染面积会不断地扩大。通过大气污染与水污染的转化而产生的污染物,可以单独起作用,也可以相互重叠和交叉进行,属于点污染。二是自然污染物,在自然界中某些矿床或物质的富集中心周围,经常形成自然扩散,而使其附近土壤中某些物质的含量超出土壤正常含量范围,而造成土壤污染。

土壤污染物的来源广、种类多,根据污染物的性质不同,土壤污染物可分为化学污染物、物理污染物、生物污染物和放射性污染物。其中,以土壤的化学污染最为普遍、严重和复杂。化学污染物又包括无机污染物和有机污染物。土壤中的无机污染物主要是汞、镉、铅、砷、铜、锌、钴、镍、硒等重金属,过量的氮、磷、硫、硼等植物营养物质以及氟、酸、碱、盐等其他物质;有机污染物是化学农药,目前在世界范围内大量使用的农药约50余种,有机氯类、有机磷类、氨基甲酸酯类、苯氧羧酸类、苯酰胺类、石油、多环芳烃、多氯联苯、甲烷等。物理污染物主要来自工厂、矿山的固体废弃物,如尾矿、废石、粉煤灰和工业垃圾等。生物污染物是指带有各种病菌的城市垃圾和由卫生设施(包括医院)排出的废水、废物以及厩肥等,如肠细菌、炭疽杆菌、蠕虫类等侵入土壤,它们的大量繁衍,对人体健康或生态系统均产生不良影响。放射性污染物主要存在于核原料开采和大气层核爆炸地区,以 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 等在土壤中生存期长的放射性元素为主。

7.4.1.3 土壤污染的主要发生途径

污染物质可以通过多种途径进入土壤,其主要发生途径可归纳为以下四种:

1) 大气污染型。污染物质来源于被污染的大气,污染物质主要集中在土壤表层,其主

要污染物是大气中的二氧化硫、氮氧化物和颗粒物等,通过大气沉降和降水而降落地表。如大气中的二氧化硫等酸性氧化物使雨水酸度增加,可引起土壤酸化,破坏土壤肥力与生态系统的平衡;各种大气飘尘(包括重金属、非金属有毒有害物质及放射性散落物等)降落到地面,会造成土壤的多种污染。

2) 水污染型。城乡工矿企业废水和生活污水,未经处理不实行清污分流而直接排放,会使水系和农田遭到污染。特别是在水源不足的地区,引用污水灌溉,常使土壤受到重金属、无机盐、有机物和病原体的污染,并影响到作物、蔬菜的质量。

3) 固体废弃物污染型。工厂矿山的尾矿废渣、污泥和城市垃圾等作为肥料施用或在堆放过程中,通过大气扩散、降水淋洗等作用直接或间接地进入土壤,从而造成了土壤污染。

4) 农业污染型。污染物主要来自施入土壤的化学农药和化肥,其污染程度与化肥、农药的数量、种类、利用方式及耕作制度等有关。如有机氯杀虫剂、六六六、DDT等农药在土壤中长期残留,并在生物体内富集;氮、磷等化学肥料,凡未被植物吸收利用和未被根层土壤吸附固定的养分都在根层以下积累或转入地下水,成为潜在的环境污染物。残留在土壤中的农药和氮、磷等化合物在地面径流或土壤风蚀时,就会向其他地方转移、扩大土壤的污染范围。

上述土壤污染类型是相互联系的,在一定的条件下可以发生相互转化。固体废弃物污染型可以转化为水污染型和大气污染型,农业污染型本身就是固体废弃物污染型、大气污染型及水污染型。

7.4.1.4 农药和化肥污染土壤的机理

1) 农药在土壤环境中的吸附与降解。土壤对农药的吸附作用是指进入土壤的农药,可通过物理吸收、化学吸附、氢键结合及配价键结合等形式吸附在土壤颗粒的表面。各种农药在土壤中吸附能力的强弱,主要取决于土壤和农药两者的性质及相互作用的条件。一般来讲,黏性土壤和有机质含量高的土壤其吸附能力强,如土壤有机质可将大部分的林丹、西马津及2,4,5-T吸附,对有机磷农药(马拉硫磷)也有很强的吸附能力;化学农药本身的性质也直接影响到土壤对它的吸附作用。在各种农药的分子结构中,凡是带有 R_3N^+ 、 $-CONH_2$ 、 $-OH$ 、 $-NH_2COR$ 、 $-NH_2$ 、 $-OCOR$ 、 $-NHR$ 等功能团的农药都能增加其吸附强度,尤其是带有一 NH_2 的化合物,吸附能力更强。

农药在土壤有机质和矿物质上的吸附过程中可能起作用的机制有离子交换、配位体交换、氢键结合、质子化作用等。农药既可被土粒吸附,又可释放到土壤溶液中去。农药在土壤环境中的吸附可降低农药的活性,但吸附作用是暂时的、可逆过程,一旦吸附条件被破坏,农药又可解析出来进入土壤溶液中,从而导致土壤受到农药的二次污染。

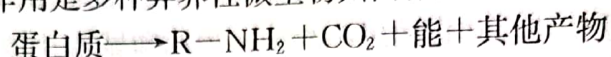
农药在土壤中的降解作用包括光化学降解、化学降解和微生物降解等。光化学降解是指土壤表面接受太阳辐射能和紫外线等而引起农药的分解作用,大多数农药都能发生光降解作用;化学降解以水解和氧化最为重要,水解是最重要的反应过程之一。例如,二嗪农的降解原因就是化学的水解。

微生物降解是指土壤中的微生物通过生物化学作用参与分解土壤中的有机农药,其降解机理有脱氮作用、氧化还原作用、脱烷基作用、水解作用、环裂解作用等。土壤微生物对农药的降解与农药的结构有关,土壤微生物最容易分解脂肪烃化合物和含羟基的芳香化合物。

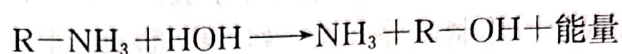
2) 化学肥料在土壤中的转化。

a. 土壤中氮肥的转化。土壤中氮肥的转化实际上是有机氮化物的矿化作用，基本上是连续的三个反应过程：氨基化作用、氨化作用和硝化作用。前两步是通过异养性生物进行的，第三步基本上是由土壤中的自养性微生物来完成的。异养性微生物以有机碳化合物为能源，自养性微生物则通过氧化无机盐类而获得能量，从周围大气中的二氧化碳获得所需的碳素。

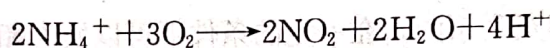
氨基化作用：这一作用是多种异养性微生物共同作用的结果。



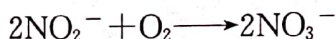
氨化作用：上述反应中释放出的胺和氨基酸，进一步被其他异养性微生物所利用而释放出氨。如下式：



硝化作用：由氨化作用释放出的 NH_4 有一部分转化成硝态氮。由铵到硝酸盐的这种生物氧化作用叫做硝化作用。这个反应分两步进行：首先是铵转变成亚硝酸盐 (NO_2^-)，然后再转变成硝酸盐 (NO_3^-)。转变成亚硝酸的作用主要是专性自养细菌亚硝化毛杆菌进行的。



从亚硝酸盐转变成硝酸盐的作用主要由专性自养细菌硝化杆菌进行的。



由反应式可以看出，在通气良好的土壤中，硝化作用的结果形成氢离子。因此，当氨态氮肥和许多有机氮肥转变成硝酸盐时，释放出的氢离子可导致土壤的酸化。

b. 土壤中磷肥的转化。土壤中的磷可分为有机磷和无机磷两类。有机磷包括磷脂、核酸和磷酸肌醇。无机磷大多与铁、铝、钙、氟等他元素结合，并以多种形态存在于土壤中。有一部分是由肥料盐类同某些土壤组成反应形成的特殊化合物，只微溶于水。磷酸盐也可以同黏粒作用形成不溶性的黏粒—磷酸盐复合物，而水溶性的磷为一代和二代磷酸盐离子 (H_2PO_4^- 和 HPO_4^{2-})，它们存在于土壤溶液中。

土壤中磷的各种形态相互之间存在着动态平衡：

有机结合态磷 \rightleftharpoons 土壤溶液磷 \rightleftharpoons 相对不溶性的磷酸铁、铝和黏粒化合物

有机磷的转化是在土壤有机质分解时进行的，转化的结果可释放出铵态氮和硝态氮，与此同时，也伴随着无机磷的释放；土壤中的无机磷化物以多种形态存在于土壤中，其中的肥料盐类所形成的化合物被称为土壤—肥料反应产物。这种磷酸盐对作物的有效性是通过作物吸收磷元素而获得的。

7.4.2 土壤净化与土壤防治

7.4.2.1 土壤净化

土壤净化是指通过物理、化学以及生物的作用达到降低或消除土壤中的污染物质和毒素的措施和过程。土壤净化能力取决于土壤在环境中起着三方面的作用：一是土壤中含有各种各样的微生物与土壤动物，对外界进入土壤的各种物质都能分解转化；二是土壤中存在有复杂的土壤有机胶体与土壤无机胶体体系，通过吸附、解吸、代换等过程，对外界进入土壤中的各种物质起着“蓄积作用”，使污染发生形态变化；三是土壤是绿色植物生长的基地，通

过植物的吸收作用,土壤中的污染物质发生迁移转化的作用。

不同类型的土壤,其净化能力是不同的,性质不同的污染物在土壤中可通过挥发、扩散、分解等作用,逐步降低污染物浓度,减少毒性或被分解成无害的物质;经沉淀、胶体吸附等作用可使污染物发生形态变化,或通过生物降解与化学降解,使污染物变为毒性较小或无毒性的物质;有些污染物在土体中还会被分解气化,迁移至大气中。只要污染物浓度未超过土壤的自净容量,就不会造成污染。因此,在土壤中污染物的累积与净化是同时进行的,是两种相反的作用的对立统一过程,两者处于一定的相对平衡状态。

7.4.2.2 土壤污染的防治

土壤的特性是复杂的,尤其是受到重金属的污染。金属污染具有隐蔽性、长期性、累积性等特点,治理非常困难。因此,在大力发展工农业生产的同时,应开展综合防治工作,防止土壤污染,保护好生态环境。

1) 控制农药污染的生态措施。土地处理系统是利用土地来处理污水,其处理方式有浸流或溢流、灌溉、渗流或渗漏等,具有费用低廉、省能耗、利用肥源的特点,采用土地处理系统可促进土壤生态平衡,保护土壤,现已成为代替三级深度处理的重要途径之一。

2) 土壤污染治理的生态对策。生态对策主要有:

a. 控制农药污染的生态措施。农药使用后大部分直接落入土壤中,其次为植物吸收或飞扬到大气中,或随水流走。目前我国禁用有机农药,在生态治理上主要是通过天敌和生物转化,研制高效、低毒、低残留的农药替代物。

b. 控制土壤受金属污染的生态对策。严格控制进入土壤的重金属。以防为主,综合治理,可采用改种法、有抑制吸收法、土壤改造法或生物改良法等。

3) 科学地进行污水灌溉。废水种类繁多,成分复杂,有些工厂排出的废水可能是无害的,但与其他工厂排出的废水混合后,就变成有毒的废水。因此,在利用废水灌溉农田之前,应按照《农田灌溉水质标准》规定进行净化处理,既可以有效利用废水,又可避免工业废水对土壤的污染。

4) 合理使用农药,重视开发高效低毒低残留农药。合理使用农药,不仅可以减少对土壤的污染,还能经济有效地消灭病、虫、草害,发挥农药的积极效能。在生产中,不仅要控制化学农药的用量、使用范围、喷施次数和喷施时间,提高喷洒技术,还要改进农药剂型,严格限制剧毒、高残留农药的使用,重视低毒、低残留农药的开发与生产。

5) 合理施用化肥,增施有机肥。根据土壤的特性、气候状况和农作物生长发育特点,配方施肥,严格控制有毒化肥的使用范围和用量。增施有机肥,提高土壤有机质含量,可增强土壤胶体对重金属和农药的吸附能力。如褐腐酸能吸收和溶解三氯杂苯除草剂及某些农药,腐殖质能促进镉的沉淀等。同时,增加有机肥还可以改善土壤微生物的流动条件,加速生物降解过程。

6) 施用化学改良剂,采取生物改良措施。在受重金属轻度污染的土壤中施用抑制剂,可将重金属转化成为难溶的化合物,减少农作物的吸收。常用的抑制剂有石灰、碱性磷酸盐、碳酸盐和硫化物等。例如,在受镉污染的酸性、微酸性土壤中施用石灰或碱性炉灰等,可以使活性镉转化为碳酸盐或氢氧化物等难溶物,改良效果显著。因为重金属大部分为亲硫元素,所以在水田中施用绿肥、稻草等,在旱地上施用适量的硫化钠、石硫合剂等有利于重

金属生成难溶的硫化物。

总之,按照“预防为主”的环保方针,防治土壤污染的首要任务是控制和消除土壤污染源,对已污染的土壤,要采取一切有效措施,清除土壤中的污染物,控制土壤污染物的迁移转化,改善农村生态环境,提高农作物的产量和品质,为广大人民群众提供优质、安全的农产品。

7.5 固体废物的处理与资源化

7.5.1 固体废物污染

按《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》的规定,固体废物(solid waste)是指在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的气态的物品、物质以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。固体废物按来源大致可分为生活垃圾、一般工业固体废物和危险废物三种。生活垃圾是指在人们日常生活中产生的废物,包括食物残渣、纸屑、灰土、包装物、废品等。一般工业固体废物包括粉煤灰、冶炼废渣、炉渣、尾矿、工业水处理污泥、煤矸石及工业粉尘。危险废物是指易燃、易爆、腐蚀性、传染性、放射性等有毒有害废物,除固体废物外,半固态、液态危险废物在环境管理中通常也划入危险废物一类进行管理。此外,还有农业固体废物、建筑废料及弃土。

固体废物如不加妥善收集、利用和处理处置将会污染大气、水体和土壤,危害人体健康。具体表现为:一是对水体的污染,固体废物进入水体,还影响水生生物的生存和水资源的利用;投弃海洋的废物会在一定海域造成生物的死区;废物堆或垃圾填地经雨水浸淋,渗出液会污染土地、河川、湖泊和地下水。二是对大气的污染,固体废物堆中的尾矿、粉煤灰、干污泥和垃圾中的尘粒会随风飞扬,遇到大风,会刮到很远的地方;许多种固体废物本身或者在焚化时,会散发毒气和臭气。三是对土壤的污染,固体废物及其渗出液所含的有害物质会改变土质和土壤结构,影响土壤中微生物的活动,有碍植物根系生长,或在植物机体内积蓄;矿业、工业所排出的大量废物堆置不当,还可能发生泥石流、塌方和滑坡等事故;固体废物的排弃会占用大量土地,在按人口计算耕地面积少的国家,这种矛盾更为尖锐。四是对人体的危害:许多种固体废物所含的有毒物质和病原体,除通过生物传播外,还以水、气为媒介传播和扩散,人体由呼吸道、消化道或皮肤摄入环境中的有害废物而致病。

7.5.2 固体废物的控制与处理

固体废物实际只是针对“原所有者”而言。在任何生产或生活过程中,所有者对原料、商品或消费品,往往仅利用了其中某些有效成分,而对于原所有者不再具有使用价值的大多数固体废物中仍含有其他生产行业中需要的成分,经过一定的技术环节,可以转变为有关部门行业中的生产原料,甚至可以直接使用。通常按照生活垃圾焚烧污染控制标准(GW 18485—2001)、危险废物储存污染控制标准(GB 18597—2001)等固体废物污染控制标准进行控制手段的干预。固体废物的处理技术涉及物理学、化学、生物学、机械工程等多种学科,结合国内外研究动态,总结固体废物的污染处理方法和技术如下。