

卢 信, 罗 佳, 高 岩, 等. 土壤污染对农产品质量安全的影响及防治对策[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(7): 288–293.

土壤污染对农产品质量安全的影响及防治对策

卢 信^{1,2}, 罗 佳^{1,2}, 高 岩^{1,2}, 严少华^{1,2}, 张振华^{1,2}

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏南京 210014; 2. 江苏滩涂生物农业协同创新中心, 江苏盐城 224002)

摘要:土壤是农业发展的基础, 土壤环境质量的好坏直接影响农产品质量, 进而影响人类生存质量。随着我国社会经济的持续快速发展和人口增长, 大面积土壤正面临一系列复杂的环境污染问题, 严重威胁到农产品的质量与安全。笔者通过分析土壤污染的途径、特点、我国土壤污染现状以及与农产品质量安全的关系, 提出了综合防治土壤污染、保障农产品质量与安全的对策, 为改善我国土壤污染现状、实现农业的可持续发展提供理论和技术支持。

关键词:土壤污染; 农产品质量安全; 重金属; 化肥; 农药; 土壤修复

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2014)07–0288–06

土壤是农业生产的基础, 土壤质量的好坏, 直接影响到农产品的正常生产、质量与安全, 进而影响人类生存质量。随着农业现代化和集约化水平的不断提高, 工业废弃物和城市生活垃圾大量向农业环境转移, 农业生产中化肥和农药的滥施滥用, 畜禽排泄物中兽用药物残留等的增加, 造成有毒有害废水不断渗透进土壤, 大气中的有害气体及扬尘也会随着降水进入土壤中。这些污染物进入土壤系统后可因土壤的自净作用而在数量和形态上发生变化, 使毒性降低甚至消失。如污染物输入超过土壤的自净能力, 土壤组成、结构和功能会发生变化, 微生物活动受到抑制, 有害物质及其分解产物在土壤中逐渐积累, 最终造成土壤污染。土壤污染在土壤环境恶化因素中对农产品质量影响最大, 土壤环境和农产品污染问题已受到各国政府和公众的持续关注。随着我国加入世界贸易组织, 农产品市场的全球化, 以及消费者对农产品关注程度的提高, 农产品中的农药残留、重金属、持久性有机污染物等环境污染问题越来越受到人们的重视。

1 我国土壤污染的现状

目前, 我国土壤污染的总体形势严峻, 尤其在重污染工矿企业厂区及周边地区和农业生产集约化程度高的地区, 由于工业“三废”的排放和化肥、农药、农膜等的不合理使用, 这些区域逐渐成为土壤重污染区和高风险区。土壤污染类型繁多, 呈现新老污染物交替, 无机、有机及生物复合污染的现状。至 2006 年, 我国土壤污染严重的耕地超过 2 000 万 hm^2 , 占耕地面积的 1/5 以上^[1]。其中工业“三废”污染的农田近 700 万 hm^2 , 污水灌溉污染耕地 220 万 hm^2 , 固体废弃物堆存占地和毁田 13 万 hm^2 , 有机污染物污染农田达 3 600 万 hm^2 , 主要农产品的农

药残留超标率高达 16%~20%。每年因土壤污染减产粮食超过 1 000 万 t, 造成各种经济损失约 200 亿元^[2]。

与以前相比, 土壤污染物的种类和数量发生了很大变化, 主要有重金属、POPs(持久性有机污染物总称)、生物(病原菌)、放射性污染和酸化等。土壤污染造成污染物影响农作物生长发育并在体内积累, 通过食物链进入人体诱发癌症和其他疾病, 危害人体健康。由土壤污染引发的农产品质量安全问题和群体性事件逐年增多, 成为影响群众身体健康和社会稳定的重要因素^[3]。土壤污染不仅影响农产品的卫生品质, 还可能影响到农作物的其他品质。一些污水灌溉地区种植的蔬菜味道差, 易烂, 甚至发出难闻的异味, 农产品储藏和加工品质也不能满足深加工的要求。

土壤污染途径多, 原因复杂, 控制难度大。我国土壤环境监督管理体系不健全, 土壤污染防治投入不足, 全社会防治意识不强。目前, 土壤污染存在的突出问题: (1) 受农药和化肥污染的耕地面积不断扩大, 大量氮素进入土壤导致农产品硝酸盐、亚硝酸盐超标。同时, 农业面源污染导致多种生态环境问题, 如残留农膜使土壤物理性状恶化, 影响农产品产量和质量。(2) 部分地区土壤重金属污染严重, 农产品因重金属含量超标而遭受经济损失。(3) 工矿场地污染问题突出。(4) 流域性和区域性土壤污染问题凸显, 成为制约环境质量改善的主要瓶颈。不同土壤污染类型各有特点, 对农产品质量及人类健康的危害也各不相同。加强土壤污染的综合防治关系到农产品质量和人类的健康, 关乎社会经济的可持续发展和生态平衡。

2 土壤污染的途径

2.1 化肥污染

自 1843 年人类开始生产化肥以来, 化肥的使用已有 100 多年的历史, 对农业发展起着至关重要的作用。随着农业的发展, 化肥施用量不断增加, 我国每年化肥施用量超过 4 100 万 t, 不合理施用使土壤有毒元素含量增加^[4]。重金属和一些有机物是化肥中的主要污染物, 化肥生产过程从原料开采到加工生产, 会带进 Cu、Zn、Cd 等重金属和有机污染物 POPs(如有机氯类、多环芳烃类、硝基苯类等) 及醚类。

尽管施用化肥是农业增产的重要措施, 但长期大量使用

收稿日期: 2013–10–09

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(编号: 201203050–6); 江苏省科技支撑计划(编号: BE2013436); 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(13)3036]。

作者简介: 卢 信(1978—), 女, 广西都安人, 博士, 助理研究员, 主要从事土壤与水体污染效应及其修复方面的研究。Tel: (025) 84390581; E-mail: lxdeng@126.com。

通信作者: 张振华, 博士, 研究员, 主要从事富营养化水体治理及资源化利用方面的研究。E-mail: zhenhuaz70@hotmail.com。

氮、磷等化学肥料,导致土壤板结、耕地退化、耕性变差、耕层变浅和保水保肥能力下降等,既增加了农业生产成本,又影响了农作物产量与农产品质量。未被植物吸收利用和根层土壤吸附固定的养分,都在根层以下积累或转入地下。残留在土壤中的氮、磷化合物,在发生地面径流或土壤风蚀时,向其他地方转移,扩大了土壤污染范围。过量使用化肥还使饲料作物含有过多的硝酸盐,妨碍牲畜体内氧气的输送,使其患病,严重导致死亡^[5]。

2.2 农药污染

农药是现代化农业必不可少的生产资料,在减少农作物病虫害,增加农产品产量等方面发挥了巨大作用,从而提高了农业生产效率。我国是一个农业大国,农药的生产量及使用量大。全国每年使用的农药量达 50 万~60 万 t,农田平均农药施用量为 13.9 kg/hm²,比发达国家高 1 倍^[6]。

在农药施用过程中,一部分直接或间接降落到土壤中,其中性质稳定易残留的农药会对农田土壤生态造成很大影响。多年持续超负荷使用农药,使残留量远远超过土壤的自净和降解能力,导致土壤生产能力、调节能力、自净能力和载体功能受到严重损害。其中有机氯农药在土壤中残留期最长,一般有数年至 30 年之久;其次是均三苯类、取代脲类和苯氧乙酸类除草剂,残留期为数月至 1 年左右;有机磷和氨基甲酸酯类残留时间一般只有几天或几周,在土壤中很少有积累^[7]。尽管我国已禁止使用有机氯农药(如 DDT、六六六)近 30 年,但由于 20 世纪 80 年代的大量使用和低利用率,其挥发性小、化学性质稳定,不易水解和降解且容易被土壤颗粒吸附而难以向地下层渗漏流失,因此在土壤中仍大量残留^[8-9]。2000 年太湖流域农田土壤中,15 种多氯联苯同系物检出率为 100%^[10]。

农药可经多种途径污染土壤,农田喷施农药的 25%~30% 以及土壤杀菌剂、地下害虫防治剂和除草剂直接落入土壤,附着在农作物上,残留在农作物中,飘浮在大气中的农药因风吹雨淋、农作物秸秆还田腐烂和降雨进入土壤,最终造成总施药量的 80%~90% 进入土壤环境^[11]。进入土壤的农药,大部分会被土壤颗粒所吸附而残留土壤中,并在生物和非生物作用下转化成具有不同稳定性的中间产物或最终产物。农作物生长过程中除吸收氮磷钾等营养物质外,还从土壤中吸收农药并在根、茎、叶、果实和种子中积累,通过食物链危害人体和牲畜健康。

2.3 有机肥及固体废弃物污染

我国固体废物每年产生量约 10 亿 t,其中危险废物约占 5%,并以每年 10% 左右的速度增长^[12],这些废弃物含有大量的无机、有机污染物,甚至放射性元素,是重金属和有机污染物的主要释放源。有些固体废物和城市垃圾露天堆放,或用于填坑、修路,由于日晒、雨淋、水洗成为严重的污染源,造成污染事件不断发生。长期施用以固体废弃物生产的肥料,土壤重金属 Cu、Cd、Pb、As、Cr 含量可达相应背景值的 2 倍左右,Hg 含量可高达 30 倍以上,从而直接或间接对土壤造成不同程度的污染^[13]。

随着人口的迅速增长及人民群众日益增长的需要,我国养殖业规模化集约化快速发展。据报道,每年畜禽粪便排泄量超过 20 亿万 t,是工业废弃物的 2.7 倍,但利用率不到 50%,如果未经无害化处理,其中含有大量残留的重金属、抗

生素和有毒有害微生物,包括寄生虫、病原菌和病毒等,引起土壤污染。某些地方畜禽废弃物污染已远远超过工业“三废”和城市垃圾、污泥等废弃物污染,成为土壤重要的污染源。河流、池塘污泥作为肥料施用,也可能使土壤受到重金属、无机盐、有机物和病原体的污染。

2.4 工业、生活污水污染

长期使用污水灌溉的农田,土壤可能受到污染,形成水质污染型土壤。不论是工业废水还是生活污水,其中大多含有氮、磷、钾等许多植物生长所必需的营养成分,合理利用污水进行灌溉,对农作物有显著的增产效果。污水灌溉是一把双刃剑,未经处理或未达到排放标准的生活和工业污水中含有多种有毒有害的物质,如重金属、有机物和病原菌等,会将其中的有毒有害物质带至农田,造成土壤污染,我国污水灌溉农田面积超过 330 万 hm²。

2.5 污染大气的干湿沉降

随着工业的发展,排入大气中的致酸污染物增加,并随雨水进入土壤,导致土壤酸化。油漆工业、煤炭燃烧等产生的废气与交通扬尘及尾气等进入大气中后其中的 SO₂、NO_x、悬浮颗粒污染物和各种重金属,随大气沉降和酸雨等大量进入土壤,造成土壤污染^[14-15]。研究表明,交通引起的污染土壤表层(0~25 cm)Cd 和 Pb 含量是非污染区的 6.3~9.6 倍和 2.5~3.6 倍。冶金工业排放的金属氧化物粉尘,则在重力作用下以降尘形式进入土壤,形成以排污工厂为中心、半径为 2~3 km 范围的点状污染。由于大气干湿沉降输入到土壤-作物系统中重金属的累积量以工矿区为最大,其次是城区与近郊区,受影响最小的是风景区和远郊区,大气污染严重的区域由沉降输入土壤中的重金属也多^[16]。

2.6 其他污染

土壤污染还存在一些其他污染源,如农用塑料膜污染等。农膜是高分子有机物,在土壤中主要残余成分是聚烯烃类化合物,不易降解,降解周期达数百年。我国地膜一般分子量在 20 000 以上,至少需要 200 年才能降解;农膜的一些添加物质对作物有毒害,农田大量使用农膜,清理不彻底造成农膜残留污染土壤。用地膜 5 年的土壤,农膜残留量可达 325.05 kg/hm²,作物减产 24.7%;土壤中残膜达 877.5 kg/hm²时,蔬菜减产 14.6%~59.2%^[17]。地膜的连年使用及用量的持续增加,造成其在土壤中不断积累,势必影响到土壤的通透性,破坏土壤结构,使微生物活性和数量受到影响,甚至会阻碍土壤水分、养分运输和作物根系的生长发育,造成农作物减产,农产品品质降低。

3 土壤污染对农产品质量的影响

由于人类一些不合理经济活动的影响,土壤环境质量及其安全性能日益下降,直接威胁农产品质量安全,进而危害人类健康。我国土地资源极其匮乏,面临的粮食和土壤环境问题比其他任何国家都要严峻得多。目前,我国大约 10% 的粮食、24% 的农畜产品,48% 的蔬菜存在质量问题。土壤污染具有隐蔽性,隐藏的各种污染物是影响农产品质量的主要根源。

3.1 重金属污染对农产品质量的影响

土壤重金属污染直接危害农作物的正常生长和发育,导致产量下降,品质降低,造成严重经济损失^[18]。中国每年因

重金属污染导致的粮食减产超过 1 000 万 t,被重金属污染的粮食多达 1 200 万 t,合计经济损失至少 200 亿元^[19]。加入 WTO 之后,农产品的重金属超标问题对我国农业冲击更大。

植物根系可分泌多种有机酸,使根际环境 pH 值降低,这些酸性分泌物可以活化吸附固定于土壤颗粒上的重金属污染物,使其生物有效性增加后被植物大量吸收。由于重金属移动性差,在生物体内难以被分解转化,而只能沿食物链逐级传递、放大,最终累积到较高含量时,就会对生物产生毒性效应。2000 年监测结果,中国 7 个城市农产品重金属污染超标率达 30% 以上。以蔬菜为例,在生长过程中,土壤重金属经根系吸收并在体内积累,抑制了细胞分裂和伸长,刺激和抑制某些酶的活性,影响蛋白质合成,降低光合和呼吸作用,伤害细胞膜系统,从而影响植物生长发育。同时,由于重金属的影响,蔬菜体内的维生素、糖分及其他物质含量都相应的有所变化,从而影响蔬菜的品质。胡红青等研究表明,重金属污染使小白菜糖和维生素 C 含量降低,农产品质量下降^[20]。

在大田作物中,农产品主要污染物为重金属。利用含有重金属的工业废水灌溉或污泥资源化利用施入土壤,会引起植物染色体失常,雄蕊丝变性,粮食作物籽粒中重金属含量显著增加,蛋白质含量降低,严重影响粮食品质及安全性。

3.2 化肥污染对农产品质量的影响

化肥中无机、有机污染物的含量与工业“三废”和城市垃圾等其他污染物相比尽管较低,但其生物有效性却相对较高,更容易被植物吸收而积累于体内,影响农产品品质。

适量施用氮肥可使植物蛋白质含量随施氮量增加而逐渐增加,而硝态氮含量增加缓慢;当施氮量达到一定程度后,用量如再增加则蛋白质含量下降,硝态氮含量大幅度上升。研究表明,土壤中过量施用氮肥,会导致植物体内硝酸盐或亚硝酸盐积累^[21]。高施氮量下与不施氮相比,小白菜、油菜和菠菜中硝态氮含量可提高 80 ~ 126 倍^[22]。随着氮素水平的提高,蔬菜营养品质下降,氨基酸总量及谷氨酸、脯氨酸等氨基酸、非蛋白质与总氮比值升高,蔬菜体内维生素 C、可溶性糖含量下降,氮含量逐渐增加,磷、钾含量逐渐减少,硝酸盐污染加剧^[23]。土壤中氮肥过多还会造成稻米外观和口感变差。过量使用磷肥使农产品中锌、镉、铅等重金属严重超标^[24];有毒磷肥,如三氯乙醛磷肥,施入土壤后三氯乙醛转化为三氯乙酸,两者对植物产生毒害,作物受害严重时颗粒无收。

3.3 农药污染对农产品质量的影响

由于农药的不规范使用和滥用,我国粮食安全正面临严峻的局面。农药施入农田后,大部分直接或间接进入土壤中,除挥发和径流损失外,其余可被农作物直接吸收,从而在农产品中造成残留,影响农产品品质。植物根系对农药的吸收因农药的结构特性及土壤性质而异。一般而言,植物根系易于吸收分子量小于 500 的有机化合物^[25]。如果分子量大于 500,根系能否吸收取决于这类有机化合物在水中的溶解度和极性,溶解度和极性越大越容易为植物所吸收,也越容易在植物体内转移^[26]。分子量较大的非极性有机农药只能被根表面吸收,而不易进入组织内部,如 DDT 为非极性农药,在水中的溶解度又很小(1.2 $\mu\text{g/L}$),多附着于根的表面^[27]。

进入植物体的农药,部分可在酶的作用下分解代谢,在植物体内逐渐减少;部分残留在作物体内,影响作物生长,并造

成农产品农药残留。除草剂对作物生长影响最大,在大豆田中长期使用高残效除草剂的地块,大豆表现根系发育受阻,生长缓慢,个别地块出现大量死苗现象,导致减产甚至绝收,并影响后续作物玉米等正常生长。持久性有机物如有机氯农药等,可在土壤中长期滞留,易在生物体内富集,并在生态系统中随着食物链逐级传递,在流动的每一个环节,都会产生生物放大作用,到了食物链的最高营养级,这些有机污染物的浓度往往比最初在环境中的浓度高出上万倍,对生物体产生慢性毒害作用。

土壤农药污染可造成农产品中农药残留超标,农产品质量与安全性降低。在我国由于农药污染的不断加剧,出口的农产品中因农药超标而使国际竞争力大大下降。以苹果为例,我国苹果产量居世界第 1 位,但目前我国苹果出口量仅占生产总量的 1% 左右,出口受阻的主要原因是农药残留超标^[28]。中国橙优质率为 3% 左右,而美国、巴西等柑桔大国橙类的优质品率达 90% 以上,原因是中国橙的农药残留量等超标,农药残留已成为制约农产品质量的重要因素之一^[29]。

3.4 其他污染物对农产品质量的影响

抗生素作为抑菌或杀菌药物被广泛应用于畜牧业、禽类饲养以及渔业养殖中。大部分抗生素不能完全被机体吸收,其中高达 90% 的抗生素以原药或代谢物形式以畜禽排泄物形式进入环境^[30]。土壤是环境中抗生素最主要的累积场所之一,目前,土壤中已经被检测到的抗生素残留浓度范围从 $\mu\text{g/kg}$ 至 mg/kg 级别不等^[31]。研究表明,将含有抗生素药物的动物排泄物作为肥料施入土壤后,会影响植物的正常生长发育,并影响农产品品质^[32-34]。刘吉强等研究发现,青霉素能通过抑制土壤转化酶和蛋白酶等重要水解酶活性,使油菜叶片中可溶性糖与蛋白质含量分别下降 78.0% ~ 86.2% 和 5.2% ~ 34.2%,且可溶性糖与蛋白质含量的降低程度与浓度呈负相关^[35]。

土壤中残留的地膜会造成农作物的叶绿素合成受阻,产量下降,品质变差;农膜中含有的邻苯二甲酯类增塑剂为有毒物质,可通过土壤-植物吸收而进入食物链,并逐级富集。

由于病原菌能在土壤中生存较长时间,如痢疾杆菌能在土壤中生存 22 ~ 142 d,因此受生物污染的土壤中生产出的农产品也可能携带病原菌,导致一些人畜共患疾病的发生和传播。尤其是种植蔬菜、瓜果类农产品的土壤一旦受到污染,人与土壤直接接触,或生吃被污染的蔬菜、瓜果,就容易感染这些疾病,严重威胁到农产品质量与人类健康。

4 防治对策

4.1 合理施用化肥,大量施用有机肥料

合理施肥控制源头是保证农产品质量的关键。传统化肥利用率低,并含有一定有毒有害物质,合理施肥的主要措施之一是生产和使用环境有益型的新型肥料。目前,肥料发展的主要趋势是复合化、多元化和无害化,将有效养分与功能性肥料相结合,要求农作物增产是前提,无公害保护生态环境是关键。

合理施肥是指尽可能控制和减少化学合成肥料的使用,创造良性的养分循环条件,充分开发和利用有机肥源。有机物料经过充分腐熟发酵处理,达到无害化要求生产出来的有机肥方可施用,尽可能使有机物质和养分还田,做到合理循环

使用有机物质。

经济、合理施用肥料。根据土壤、气候条件以及作物生长状态正确选用肥料种类,确定肥料施用量、时间和方法,以较低的投入获得较高的经济效益和生态环境效益,充分发挥土壤中有益微生物在提高土壤肥力中的作用。从生产资料的投入入手,控制污染源头,防止污染物进入土壤、改善土壤生态环境,是保证农产品安全的根本。

4.2 科学合理使用农药,大力发展生物防治

在防治有害生物时,一定要做到对症配药、适时施药、轮换用药、科学混配;控制化学农药的用量、使用范围、喷施次数和喷施时间;正确选择药械、提高喷洒技术,防止病虫产生抗药性,提高防治效果,尽量减少农药的使用;改进农药剂型,严格限制剧毒、高残留农药的使用,大力发展高效、低毒、低残留农药;利用天敌大力发展生物防治措施。

加强宣传教育,积极组织培训指导。应充分发挥广播、电视、报纸等媒体的宣传教育作用,逐渐强化人民群众的环保及农产品质量安全意识,唤醒民众的社会责任感,为全社会营造一个良好的质量安全氛围。技术推广部门的日常工作中,应加强农药相关知识与农作物有害生物防治技术的培训和指导,逐渐提高广大农民的素质,确保农业的安全生产。

4.3 严格控制工业“三废”排放

政府应优化产业结构,加快产业结构的升级,改变不合理的技术结构,积极发展技术产业,降低高污染产业部门的比例,控制经济增长速度并调整投资重点,由重视外延型、数量型投资转向内涵型、质量型投资,鼓励科学研究和技术开发并限制甚至禁止某些落后技术的使用,增加环境治理投入,提高污染控制和防治能力。

改善生产工艺,减少或消除污染物的排放。对工业“三废”进行回收净化处理,化害为利,严格控制污染物的排放量和浓度。对污泥、污水中主要污染物浓度及其在土壤中的残留状况进行定期监测。谨慎使用固体废弃物,在采用工业废渣做肥料或改土剂时,要检测其中污染物的含量,合格方可使用。工业废弃物与生活垃圾分开处理、堆放,施用的垃圾肥要经无害化处理。

4.4 科学进行污水灌溉,加强土壤污灌区的监测和管理

污水灌溉对农业发展具有促进作用。污水灌溉既可以节省肥料,又解决了因为缺水而造成的粮食减产问题,提高了粮食产量。但未经处理或未达到排放标准的工业污水中含有重金属、酚、氰化物等许多有毒有害物质,会被带至农田,污染农田。污水灌溉必须科学合理使用,才能变废为宝。

完善污水灌溉管理制度,抓紧各工厂的污水治理。在污水灌溉区成立污水灌溉办公室,实现对污水灌溉区的规范化管理,了解水中污染物成分、含量及其动态,避免带有不易降解的高残留污染物随机进入土壤。根据谁污染谁治理的原则,严格把控污水排放,督促各工厂更新污水处理设备,使排放的污水达到工业污水排放的标准,要将环境保护纳入企业整顿的内容,把污染治理纳入企业技术改造的轨道。对污水治理不合格的工厂,政府要及时制止,并进行严肃处理。

加强对污水灌溉的科学研究,积极探索污水处理的新出路。积极探索污水灌溉技术,在现有研究成果上,进一步加强污水灌溉对土壤肥力、农作物生理变化和产量影响的研究,充

分考虑灌溉区的水质、土壤环境状况和农作物种类等因素,合理选择污水灌溉的农作物,正确制定污水灌溉制度,以保证农业发展的经济效益和环境效益。

4.5 合理安排农作物的生产布局和耕作制度

土壤环境质量与农产品质量之间存在着密切的关系,但是这种关系并不一定像人们所理解的那样,即土壤污染,相应农产品一定污染。土壤污染但某种类型的农产品并未被污染;而土壤未被污染,相应农产品却未必安全。原因是有些土壤环境适合某类农作物或植物的生长,相关农产品质量也好,而有些土壤环境适合另外一类农作物的生长。土壤环境对农产品种类及对农产品质量有着重要的影响关系,这可能与农产品种类对该项污染指标的耐受机制及收获部位不同有关。

合理利用污染土地,在污染区减少易吸收富集污染物的作物,如根茎类作物等的种植,有针对性栽种对污染物有较强抗性的品种。严重污染的土壤,可改种非食用经济作物或经济林木以减少食品污染。耕作制度与农产品质量也有很大关系,研究表明,在受镉污染的田块采用低富集轮作与普通轮作相比,可使污染田块的蔬菜含镉量降低 50% ~ 80%,明显减少镉进入食物链的数量,并可显著提高蔬菜产量。黄瓜、西兰花、青菜和茭白等果、花、叶、茎类蔬菜是低富集轮作应优先选择的对象^[36]。

土壤氧化还原(Eh)性质会影响到重金属的活性,轻度污染土壤可以通过改变土壤水分状况,调节 Eh 以减少污染,如深翻、晒垡,改 As 污染的水田为旱作,改 Cd 污染的旱作为水田等,均可减少重金属污染对农产品质量与安全的影响^[37]。

4.6 积极开展污染土壤的修复与治理

污染土壤的修复主要通过以下 3 种途径实现:(1)降低污染物在土壤中的含量;(2)通过固化或钝化作用改变污染物的形态从而降低其在环境中的活性;(3)从土壤中永久去除。目前,实现这 3 种途径所采用的污染土壤处置技术与修复方法主要分为物理修复法、化学修复法及生物修复法。

4.6.1 物理修复法

4.6.1.1 换土法、客土法和深耕翻土法 换土法、客土法和深耕翻土法是传统的物理修复法,通过干净土与污土交换或混合以降低土壤中污染物的含量,减少污染物对土壤-植物系统产生的毒害,从而使农产品达到食品卫生标准。优点是修复效果比较彻底和稳定,缺点是工程量大,修复费用高,破坏土壤结构,引起土壤肥力下降,并且还要对换出的污土进行堆放或处理,这些方法仅仅应用于处理某些突发的紧急事件。

4.6.1.2 电力修复技术 将电极插入土壤中并通以直流电,使土壤中的污染物如有机物、重金属和放射性元素在电场作用下,分别向阴、阳两极迁移,从而达到去除土壤中有害物质的目的^[38]。作为一种原位修复技术,电力修复无需搅动土层,成本相对低廉,修复效率高,后处理方便,环境影响小,可以处理饱和、不饱和土壤等一系列优点,特别是在处理点源污染和突发性事故等方面有非常好的应用前景,是对现有方法的重要补充^[39-41]。

4.6.1.3 电热修复法 利用高频电压发出的电磁波产生热能加热土壤,使土壤颗粒吸附的污染物被解吸出来,加快重金属如 Hg、As 和一些易挥发性有机物从土壤中分离出来,然后收集这些污染物进行集中处理。该方法具有技术成熟、工艺

简单等优点,但是耗能大、操作成本较高,仅对具有挥发性的物质适用,因此具有局限性。

4.6.1.4 土壤气相抽提法 也称“土壤通风”,是一种新兴的土壤原位修复技术^[42]。原理是利用物理方法去除不饱和土壤中挥发性有机物,用真空设备产生负压驱使空气流过土壤孔隙,从而夹带挥发性有机物流向抽取系统,抽提到地面后收集和处理^[43]。本法主要用于去除石油污染土壤中挥发性或半挥发性的石油组分,目前也陆续应用于土壤挥发性农药污染物的修复^[44]。

4.6.2 化学修复法

4.6.2.1 土壤固化-稳定化技术 固化-稳定化技术是将污染物固定在污染介质中,使其长期处于稳定状态,是一种较普遍采用的土壤污染快速修复方法。通过向土壤添加某些化学试剂或材料,使之与重金属反应生成不溶性或移动性差、毒性小的物质而降低其在土壤中的生物活性,以减少向水体、植物以及其他环境单元迁移,最终实现污染土壤的修复。此法是土壤原位上进行的,简单易行,但修复效果并不是永久性,原因是只改变了污染物在土壤中的赋存形态,但仍残留于土壤中,在一定环境条件下可能被再度活化而重新产生危害。另外,添加的试剂或材料将在一定程度上改变土壤结构,同时对土壤微生物也产生一定影响^[45-47]。

4.6.2.2 土壤淋洗 土壤淋洗是利用淋洗液把土壤固相中的重金属溶解并转移到液相中,再将含有重金属的废水进行回收处理的土壤修复方法。目前,土壤淋洗液的种类很多,包括无机或有机酸、碱、螯合剂及表面活性剂等。淋洗法的特点是能去除土壤中大量的污染物,降低有害污染物的扩散范围,还具有价格低廉、操作人员无需直接接触污染物等优点,但该方法仅适用于渗透系数大的偏砂性土壤,对质地比较黏重、渗透性差的土壤其修复效果较差,存在因淋洗剂残留造成土壤和地下水二次污染的问题^[48]。

4.6.2.3 土壤氧化-还原技术 土壤氧化-还原技术是通过向土壤中投加氧化剂或还原剂,使其与污染物发生化学反应来实现净化土壤的目的。通常化学还原法修复对还原作用敏感的有机污染物是当前研究的热点。

4.6.2.4 萃取法 主要是根据相似相溶原理,采用有机溶剂对遭受石油污染的土壤中的原油进行萃取,萃取后对有机相进行分离,回收油用于回炼,而分离的溶剂可以循环使用。

4.6.3 生物修复法 利用生物的生命代谢活动使土壤中有毒有害物质减少并恢复到健康状态的土壤修复方式称为生物修复。生物修复主要包括微生物修复、植物修复和动物修复等。

4.6.3.1 微生物修复 土壤中某些微生物对一种或多种污染物具有沉淀、吸收、氧化和还原的作用,微生物修复就是利用这种作用来降低植物对土壤中重金属的吸收、修复被污染的土壤和降解复杂的有机物污染物^[49]。

4.6.3.2 植物修复 利用超积累植物吸收去除污染土壤中有毒有害物质的一类技术就是植物修复技术。根据机理和作用过程植物修复可分为 4 种基本类型:即植物提取、植物降解、植物挥发和植物稳定。植物修复可在原位进行处理,成本低廉、效果永久、二次污染风险小兼顾美学效应,目前广泛应用于重金属污染土壤的修复^[50-53]。缺点是操作周期长,需筛选出理想的超积累植物。

4.6.3.3 动物修复 动物修复技术主要是通过土壤动物种群来修复受污染的土壤,分为直接作用:吸收、转化和分解;间接作用:改善土壤理化性质,提高土壤肥力,促进植物和微生物的生长。目前这项技术较多的应用在烃类污染土壤的修复工作中。

4.6.4 联合修复技术 以上几种方式各有自己的优势和适用范围,在实际工作中通常将 2 种或 2 种以上修复方法结合起来,形成联合修复技术,不仅可以提高污染土壤的修复速率与效率,而且可以克服单项修复技术的局限性,发挥不同修复技术的长处,实现对多种污染物复合/混合污染土壤的修复。联合修复技术主要包括动物/微生物-植物联合修复技术、物理-化学联合修复技术、化学/物化-生物联合修复技术等。

针对我国复杂而严峻的土壤污染现状,应该动员、组织有关管理部门及科研单位,综合比较各种土壤修复技术的优劣,从中筛选出相对实用的修复技术并将其进行集成。然后选择有代表性的污染农田和场地,开展污染土壤综合治理与修复示范工程,为将来在更大范围进行土壤污染修复提供示范与积累经验。

5 结语

土壤是影响农产品质量安全的源头因素。现代化农业发展面临着土壤污染和农产品质量安全的严重问题,加强土壤污染防治,是实现农产品质量安全的重要保障。应尽快开展全国土壤环境质量调查与评价,建立长期性的土壤环境质量监测网络,修订土壤环境质量与农产品质量标准,同时制订土壤质量修复和保护规划,完善有关立法,并严格执法。

坚持走农业可持续发展道路,控制和消除污染源,减少污染的排放,规范人类生产、生活对土壤造成危害;确立优先控制污染区域及对象,积极研究土壤污染的控制与修复技术与集成;根据作物种类、污染物特性、土壤性质合理安排生产、调整耕作制度和优化种植结构;科学合理地使用化学肥料、农药等;加强无公害、绿色、有机农产品生产所使用生产资料的开发与技术研究,使农业发展走向节约资源、提高效率、减少污染、生产安全无公害农产品的绿色农业发展之路,确保粮食生产安全和农产品的食用安全。

参考文献:

- [1] 王晓蓉,郭红岩,林仁漳,等. 污染土壤修复中应关注的几个问题[J]. 农业环境科学学报,2006,25(2):277-280.
- [2] 徐明岗,李菊酶,张青. 从土壤环境改善和新型肥料研发看食品安全[J]. 腐植酸,2005(4):11-26.
- [3] Huang B, Shi X Z, Yu D S, et al. Environmental assessment of small-scale vegetable farming systems in peri-urban areas of the Yangtze River Delta Region (China) [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 122:391-402.
- [4] Zheng G Z, Yue L P, Li Z P, et al. Assessment on heavy metals pollution of agricultural soil in Guanzhong District [J]. Geographical Sciences, 2006, 16(1):105-113.
- [5] 王大江. 公路环境保护与环境影响评价[J]. 山西建筑,2007,33(3):329-330.
- [6] 王律先. 2011 年全国农药生产运行回顾及 2012 年展望[J]. 农药市场信息,2012(5):4-7.

- [7] 夏增禄. 土壤环境容量及其应用[M]. 北京:气象出版社,1988.
- [8] 方玲. 有机氯农药在茶叶及其环境中的残留状况与评价[J]. 福建农业大学学报,1998,27(2):211-215.
- [9] 赵玲,马永军. 有机氯农药在农业环境中残留现状分析[J]. 农业环境与发展,2001(1):37-39.
- [10] 黄俊,李刚,钱易. 我国的持久性有机污染物问题与研究对策[J]. 环境保护,2001(11):3-6.
- [11] 方晓航. 农药在土壤环境中的行为研究[J]. 土壤与环境,2002,11(1):95-96.
- [12] 李桂林,陈杰. 城市边缘带土地利用特征与土壤资源压力[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(5):579-583.
- [13] Benekiser G, Simarmata T. Environmental - impact of fertilizing soils by using sewage and animal wastes[J]. Fertilizer Research, 1994,37(1):16-22.
- [14] Hjortenkrans D, Bergback B, Haggerud A. New metal emission patterns in road traffic environments[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2006,117:85-98.
- [15] Hakan P. Heavy metal pollution assessment in sediments of the Izmit Bay, Turkey[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2006, 123:219-231.
- [16] 张乃明. 大气沉降对土壤重金属累积的影响[J]. 土壤与环境, 2001,10(2):91-93.
- [17] 崔峰. 浅谈农业面源污染的危害与治理[J]. 山西水土保持科技,2006(2):7-9.
- [18] 阮俊华,张志剑,陈英旭,等. 受污染土壤的农业损失评估法初探[J]. 农业环境保护,2002,21(2):163-165.
- [19] 李东坡,武志杰,梁成华. 土壤环境污染与农产品质量[J]. 水土保持通报,2008,28(4):172-177.
- [20] 胡红青,高彦征,汪文芳. 青年学者论土壤与植物营养科学. 土壤镉铅污染对小白菜的生物效应研究[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002:180-184.
- [21] 葛鑫,戴其根,霍中洋,等. 农田氮素流失对环境的污染现状及防治对策[J]. 耕作与栽培,2003(1):45-47.
- [22] 陆正松,赵玲,张硕,等. 土壤污染、施肥对水稻和蔬菜品质的影响[J]. 土壤肥料,2001(4):13-16.
- [23] 黄国勤,王兴祥,钱海燕,等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境,2004,13(4):656-660.
- [24] 王圣瑞,颜昌宙,金相灿,等. 关于化肥是污染物的误解[J]. 土壤通报,2005,36(5):799-802.
- [25] 徐晓白. 典型化学污染物在环境中的变化及生态效应[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [26] 王勋陵. 生物指示学[M]. 兰州:兰州大学出版社,1994.
- [27] 陈怀满. 我国土壤污染现状、发展趋势及其对策建议[J]. 土壤学进展,1990,18(1):18-20.
- [28] 刘培桐. 环境学概论[M]. 北京:高等教育出版社,1995.
- [29] 郑世英. 农药污染对生物的危害[J]. 生物学通报,2000,35(1):25-26.
- [30] Halling - Sørensen B, Nielsen S N, Lanzky P F, et al. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment: a review[J]. Chemosphere,1998,36(2):357-394.
- [31] Heilig S, Lee P, Breslow L. Curtailing antibiotic use in agriculture [J]. Western Journal of Medicine,2002,176(1):9-11.
- [32] Migliore L, Civitareale C, Brambilla G, et al. Effects of sulphadimethoxine on cosmopolitan weeds (*Amaranthus retroflexus* L., *Plantago major* L. and *Rumex acetosella* L.) [J]. Agriculture Ecosystems & Environment,1997,65(2):163-168.
- [33] Migliore L, Cozzolino S, Fiori M. Phytotoxicity to and uptake of enrofloxacin in crop plants[J]. Chemosphere,2003,52(7):1233-1244.
- [34] Kong W D, Zhu Y G, Liang Y C, et al. Uptake of oxytetracycline and its phytotoxicity to alfalfa (*Medicago sativa* L.) [J]. Environmental Pollution,2007,147(1):187-193.
- [35] 刘吉强,诸葛玉平,崔丽娜. 外源青霉素对菜田土壤酶活性与油菜品质的影响[J]. 水土保持学报,2009(1):202-206.
- [36] 汪雅谷,卢善玲,盛沛麟,等. 蔬菜重金属低富集轮作[J]. 上海农业学报,1990,6(3):41-49.
- [37] 胡文友,祖艳群,李元. 无公害蔬菜生产中重金属含量的控制技术[J]. 农业环境科学学报,2005,24(增刊):353-357.
- [38] Probst R E, Hicks R E. Removal of contaminants from soils by electric fields[J]. Science,1993,260(5107):498-503.
- [39] 周东美,邓昌芬. 重金属污染土壤电动修复的研究进展[J]. 农业环境科学学报,2003,22(4):505-508.
- [40] Lageman R, Pool W, Seffiga G. Electro - remediation: Theory and practice[J]. Chemistry & Industry,1989,18:585-590.
- [41] Marceau P, Batile P. Electrokinetic remediation of cadmium - spiked clayey medium: Pilot test[J]. Geochemistry,1999,328:27-33.
- [42] U. S. Environmental Protection Agency (EPA). Development of recommendations and methods to support assessment of soil venting performance and closure: office of research and development [R]. Washington D C:20460. EPA/600/R-01/070, September 2001.
- [43] 黄国强,李凌,李鑫钢. 土壤污染的原位修复[J]. 环境科学动态,2000(3):25-27.
- [44] 夏春林. 有机污染土壤的通风去污技术[J]. 环境科学学报,1995(15):246-249.
- [45] Louthenbach B, Funer G, Scharli H. Immobilization of zinc and cadmium by montmorillonite compounds: effects of aging and subsequent acidification[J]. Environmental Science & Technology, 1999, 33(17):2945-2952.
- [46] Hamon R E, McLaughlin M J, Cozens G C. Mechanisms of attenuation of metal availability in In Situ remediation treatments[J]. Environmental Science & Technology,2002,36(18):3991-3996.
- [47] Lombi E, Hamon R E, McGrath S P, et al. Lability of Cd, Cu, and Zn in polluted soils treated with lime, beringite, and red mud and identification of a non - labile colloidal fractions of metals using isotopic techniques[J]. Environmental Science & Technology,2003, 37(5):979-984.
- [48] 周启星. 污染土壤修复技术再造与展望[J]. 环境污染治理技术与设备,2002,3(8):36-40.
- [49] Widada J, Nojiri H, Yoshida T, et al. Enhanced degradation of carbazole and 2,3 - dichlorodibenzo - p - dioxin in soil in soils by *Pseudomonas resinovorans* strain CA10 [J]. Chemosphere, 2002, 49:485-491.
- [50] Wang Y X, Oyaizu H. Evaluation of the phytoremediation potential of four plant species for dibenzofuran - contaminated soil[J]. Journal of Hazardous Materials,2009,168:760-764.
- [51] Inui H, Wakai T, Gion K, et al. Differential uptake for dioxin - like compounds by zucchini subspecies [J]. Chemosphere, 2008, 73: 1602-1607.
- [52] Zhang Z H, Rengel Z, Chang H, et al. Phytoremediation potential of *Juncus subsecundus* in soils contaminated with cadmium and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) [J]. Geoderma, 2012, 175/176:1-8.
- [53] Burken J G, Schnoor J L. Uptake and metabolism of atrazine by poplar trees [J]. Environmental Science & Technology 1997, 31: 1399-1406.