

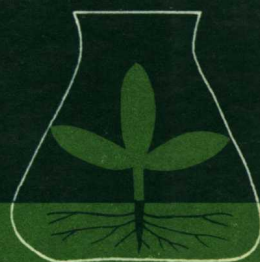
STUDIES ON POLLUTION ECOLOGY
OF
SOIL-PLANT SYSTEMS

土壤-植物系统 污染生态研究

EDITOR-IN-CHIEF GAO ZHENGMIN

高拯民 主编

CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS
中国科学技术出版社



土壤-植物系统污染生态研究

高拯民 主编

中国科学技术出版社

内 容 提 要

本书汇集了中国科学院林业土壤研究所关于环境与生态综合研究的最新成果,共选载了40篇研究报告。内容涉及土壤-植物系统污染生态研究进展、环境污染综合防治与生态工程、环境容量与环境质量基准、土壤背景、土壤-植物系统质量评价与生物检测、污染环境微生物生态、环境分析化学与测试技术、同位素技术的应用等方面。本书从理论与实践的结合上对土壤-植物系统污染生态研究的基本内容、应用前景和工作方法进行了探索和论述,可供国内外环境保护与生态建设的科研教学单位和管理决策部门有关人员参考。

土壤-植物系统污染生态研究

高拯民 主编

责任编辑:朱劲伟 孙顺江

*

中国科学技术出版社出版(北京海淀区魏公村白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国科学院沈阳分院印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米1/16 印张:32.75字数:720千字

1986年10月第一版 1986年10月第一次印刷

印数:1—3,000册 定价:6.70元(平)
8.00元(精)

统一书号:13252·1512(平) 本社书号:1345(平)
13252·1523(精) 1417(精)

序 言

七十年代初，世界面临人口、资源、环境和发展等迫切问题的挑战，我国环境保护科研工作正处于萌芽时期；中国科学院林业土壤研究所一些原来多年从事森林、土壤、植物、微生物、分析化学与示踪同位素应用等方面研究工作的科技人员，志同道合，根据国家任务的需要，选择了环境保护科研方向，努力实践，积极工作。可是由于当时的具体历史条件，科研道路历尽曲折。

直到1977年以后，随着“科学的春天”的来临，在中国科学院和各方面的关怀和支持下，林土所建立了污染生态研究室，明确以土壤-植物系统污染生态研究作为主要方向，并在国内首次提出了环境生物学的科研战略目标。由于在实践中坚持社会经济发展必须与生态环境建设相协调的观点，针对实际问题，开展多学科与跨学科的综合研究，使科研工作取得较多较好的成果。

在中国科学技术出版社杨跃等同志的大力支持下，现将已往近10年来的科研工作，经过整理和提高，写成论文，汇成此书。

在本书编著过程中，除林土所污染生态室外，还得到本所分析测试技术室的密切合作。本书副主编孙铁珩同志协助主编完成了组稿和初审工作。鲁迅美术学院申伟同志为本书提供封面设计。朱劲伟、周礼凯、常士俊同志和《生态学杂志》编辑部的同志们协助完成全书的统稿、编辑加工、校对等技术工作，邵玉华同志完成本书全部插图的绘制工作。此外，还有不少同志为本书出版给予很多宝贵的支持，在此一并表示衷心感谢。

由于我们水平有限，加上经验不足，完成编著和出版任务时间紧迫，本书中缺点和错误之处，切望国内外专家和读者批评指正。

高 拯 民

1986年4月28日

于沈阳

目 录

序言.....	高拯民 (i)
综合述评	
土壤-植物系统污染生态研究进展	高拯民 (1)
环境污染防治与生态工程	
京津渤地区氮磷污染及其生态学防治途径的研究.....	高拯民等 (15)
沈阳镉土地区生物治理的研究.....	黄会一等 (79)
含镉工业污水对农田污染的防治和土地利用——生态农业工程初探.....	陈 涛等 (86)
霍林河矿区半干旱草原地带污水土地处理系统可行性分析.....	孙铁珩等 (92)
沈抚污水灌区矿物油污染综合治理的研究.....	吴维中等 (106)
燕山石油化工典型小区绿化生态工程规划设计.....	张有标等 (116)
沈阳西部污水生态工程土地处理系统试验研究.....	高拯民等 (124)
沈阳西部污水在土壤-植物系统中净化功能分层动态模拟试验研究	齐恩山等 (142)
沈阳西部污水TOC指标与BOD ₅ 、COD 关系及其应用.....	李培军 (154)
土地处理系统对沈阳西部污水中氮、磷净化功能的研究.....	张福珠等 (161)
吸附-磁性分离法处理含油污水及其农业利用的研究	区自清等 (170)
环境容量与环境质量基准	
辽河下游草甸棕壤重金属环境容量的研究.....	张学询等 (183)
辽河下游草甸棕壤矿物油环境容量的研究.....	刘钧祐等 (208)
土壤环境容量的两种模型.....	李培军等 (221)
污泥中矿物油最大容许量基准的研究.....	刘钧祐等 (229)
农用污泥中苯并(a)芘控制指标的研究	刘钧祐等 (237)
土壤背景调查研究	
辽河平原土壤背景值的区域特征及分布规律.....	吴燕玉等 (244)
辽河平原主要土壤类型元素剖面分布规律与土壤背景采样的研究.....	李 彤 (258)
松辽平原主要土类中钡、锶等九个元素的环境背景值.....	谭 方等 (267)
沈阳市土壤环境背景值.....	吴燕玉 (278)
环境质量评价与生物检测	
天津污灌区土壤、作物重金属污染状况的研究.....	张学询等 (285)
沈阳张士灌区镉的污染生态的研究.....	吴燕玉等 (295)
北京燕山“石化”地区土壤污染评价的研究.....	孙铁珩等 (302)
官厅水库“富营养化”问题探讨.....	戴同顺等 (315)
木本植物对大气有机污染物的反应	张有标等 (325)

木本植物对大气颗粒态污染物的指示监测作用.....张春兴等 (331)

污染环境微生物生态

污染环境下的微生物生态及其研究方法.....刘期松 (338)

污染土壤微生物生态及其净化功能的研究.....杨桂芬 (360)

污水微生物生态及其净化功能的研究.....张春桂 (379)

环境分析化学与测试技术

土壤-植物系统中有机污染物的检测.....张丽珊 (391)

环境中石油与苯并(a)芘的分析技术的研究.....谢重阁 (400)

土壤-植物系统及环境试样中无机污染物的原子吸收光谱测定.....张素纯等 (428)

土壤-植物系统及环境试样中无机污染物的电感耦合等离子体光谱分析.....
.....郭雷等 (442)

土壤-植物系统及环境试样中无机污染物的流动注射分析.....孙励敬等 (455)

同位素技术的应用

核素示踪技术在污染生态研究中的应用.....李书鼎 (464)

^{210}Pb 示踪对土壤中Pb化学形态快速测定法.....张海荣等 (483)

应用 ^{15}N 对土壤-植物系统中氮素淋失及其防治途径的研究.....张福珠等 (490)

棕壤稻田系统重金属的某些特性.....李书鼎等 (503)

污染物在土壤-植物系统中转移模型.....李书鼎 (511)

CONTENTS

Preface.....	Gao Zhengmin (i)
Synthetic Review	
Research Advance in Pollution Ecology of Soil-plant System.....	
.....	Gao Zhengmin (13)
Pollution Management and Ecological Engineering	
An Approach to Nitrogen and Phosphorous Pollution and the Ecological Ways of its Control and prevention in Jing-jin-Bo Region.....	
.....	Gao Zhengmin et al. (78)
Study on Biological Control in Cadmium Polluted Soil in Shenyang	Huang Huiyi et al. (85)
Control and Utilization of the Farmland Polluted by Cd-Containing Urban Industrial Waste Water	Chen Tao et al. (91)
A Feasible Analysis on Sewage Land Treatment System for the Huoli River Mining Area of Semi-arid Grass Region.....	
.....	Shun Tiehang et al. (104)
A Research on the Comprehensive Management of Mineral Oil Pollu- tion in Shen-Fu Irrigation Region.....	Wu Weizhong et al. (114)
Design of Ecological Engineering of Making Green of Yanshan Oil- chemical Industrial Area	Zhang Youbiao et al. (123)
Studies on Ecological Engineering Land Treatment System of Waste- water from West Shenyang Area.....	Gao Zhengmin et al. (140)
A Grade kinetic Imitation Experiment Study on Purifying Function of Soil-plant System for West Shenyang Wastewater	
.....	Qi Enshan et al. (153)
The Relationship among TOC, BOD ₅ , and COD in Wastewater of West Shenyang.....	Li Peijun (160)
Study on the Purification Function of Land Treatment System to Nitrogen and Phosphorus in Wastewaters.....	Zhang Fuzhu et al. (169)
A Study on Adsorption-magnetic Separation Process for oily Wastewater Treatment and Its Application in Agriculture.....	Ou Ziqing et al. (182)
Environmental Assimilative Capacity and Environmental Quality Criteria	
Investigation on the Environmental Capacity of Heavy Metals in Meadow Brown Soil of Lower Reaches of Liao River	
.....	Zhang Xuexun et al. (207)

Studies on Environmental Capacity of Meadow Burozem to Mineral Oil in Lower Reaches of Liaone River	<i>Liu Junhu et al.</i> (220)
Mathematical Models on Environmental Capacity in Soil System.....	<i>Li Peijun et al.</i> (228)
A Study on Maximum Permit Content Criterion of Mineral Oil in Sludge.....	<i>Liu Junhu et al.</i> (236)
A Study on Control Criterion of Benzo(a)pyrene in Farm-used Sludge	<i>Liu Junhu et al.</i> (243)
Survey and Investigation of Soil Background Values	
Regional Feature and Distribution Pattern of Soil Background Values in Liao River Plain.....	<i>Wu Yanyu et al.</i> (256)
Distribution of Some Elements on Developed Layers of Main Soil Groups on Liao River Plain and Its Relation to Depth for Sampling on Soil Background Survey	<i>Li Tong</i> (265)
Background Values of Nine Elements in Soils of Songliao Plain	<i>Tan Fang et al.</i> (277)
Background Values of Some Elements in Soils of Shenyang citty.....	<i>Wu Yanyu</i> (284)
Environmental Quality Assessment and Biological Inspection	
Studies on the Heavy Metal Pollution of Soil and Plant in Tientsen Wastewater Irrigation Area	<i>Zhang Xuexun et al.</i> (294)
Pollution Ecology of Cd in the Zhangshi Irrigation Area of Shenyang	<i>Wu Yanyu et al.</i> (301)
Evaluation of Soil Pollution by Potrochemicals in Yanshan Area of Beijing.....	<i>Sun Tiehang et al.</i> (314)
An Approach to the Problem of "Eutrophication" in Guanting Reservoir	<i>Dai Tongsun et al.</i> (324)
Responses of Woody-Plants to Air-borne Organic Pollutants	<i>Zhang Youbiao et al.</i> (330)
Lead Content in Leaves of Woody Plants as an Index of Air Lead-Pollution Status	<i>Zhang Chunxing et al.</i> (337)
Pollution Ecology of Microbiology	
Microbial Ecology in Polluted Microbiology and Its Methodology	<i>Liu Qisong</i> (359)
A Study on the Microbial Ecology in Polluted Soils and Its Purifying Function.....	<i>Yang Guifen</i> (377)
A Study on the Microbial Ecology in Wastewater and Its Puritfying Function	<i>Zhang Chungui</i> (390)

Environmental Analytical Chemistry and Determination Techniques

Identification and Determination of Organic Pollutants in Soil-plant System	Zhang Lishan (399)
The Analysis Techniques of Petroleum Oil and Benzo (a) pyrene in Environment	Xie Chongge (427)
Atomic Absorption Determination of Mineral Pollution in Soil-plant System and Environmental Sample	Zhang Suchun et al. (441)
Determination of Inorganic Pollutants in Soil-plant System and Environmental Samples by Inductively Coupled Plasma (ICP) Emission Spectrometry.....	Guo Lei et al. (454)
Determination of Mineral Pollutants in Soil-plant System and Environmental Samples by Flow Injection Analysis	Sun Lijing et al. (463)
Application of Isotopes Techniques	
Application of Isotope Technique in Pollution Ecology Studies	Li Shuding (482)
Rapid Measurement of Chemical Forms of Soil Pb with ^{210}Pb Tracer	Zhang Haiyong et al. (489)
A Dynamic ^{15}N Study on the Leaching of Nitrogen in Soil-plant System and Its Control	Zhang Fuzhu et al. (502)
Some Characteristics of Heavy Metal Behavior in the Soil-rice System	Li Shuding et al. (509)
Transport Model of Pollutants in Soil-plant System.....	Li Shuding (515)

土壤-植物系统污染生态研究进展

高 拯 民

摘 要

本文从理论与实践的结合上对土壤-植物系统污染生态研究的历史、现状与发展趋势进行了探索和论述。作者用辩证唯物论的观点,分析土壤-植物系统环境问题的两重性,指出人与该系统处于相互制约和相互运动之中,但人是矛盾的主要方面;随着社会生产力与科学技术水平的提高,公众生态环境意识的增长,这种矛盾将朝着有利于人类的方向发展。

关键词 污染生态 土壤-植物系统净化功能 环境容量 生态工程 土地处理系统 土壤背景 土壤污染

土壤-植物系统 (Soil-plant System) 是生物圈的基本结构单元。它既是环境的重要组成部分,又是珍贵的可更新资源;它是联系城乡生态系统的纽带,也是实现农业现代化,勾通植物与动物两大生产部门的桥梁。

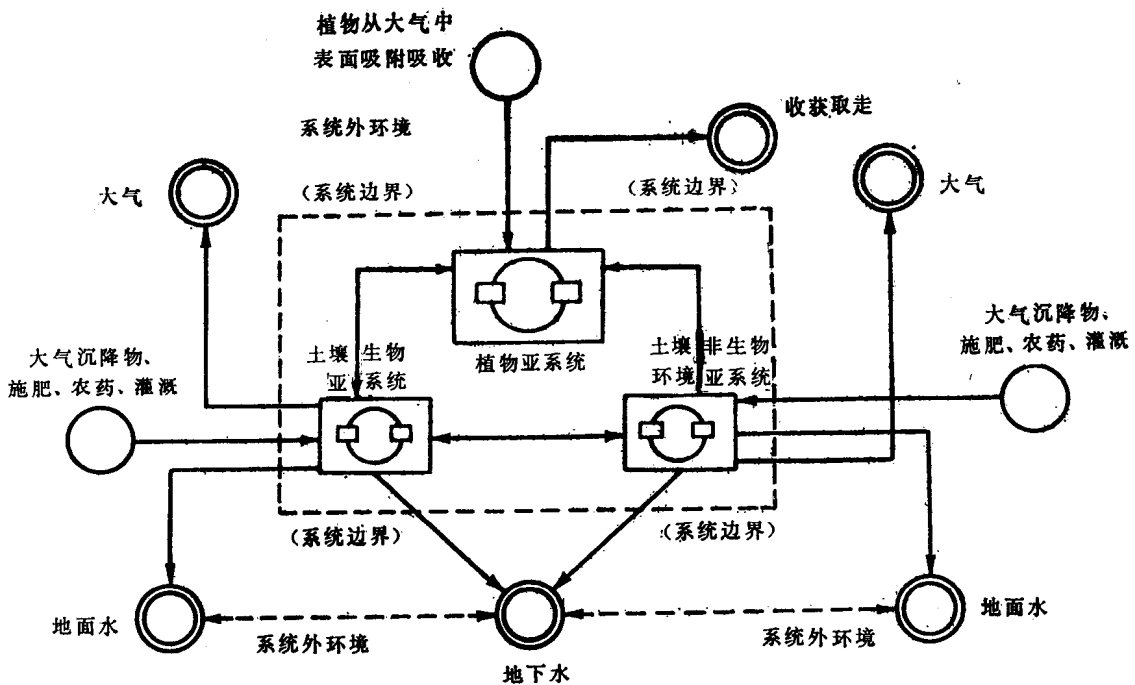
土壤-植物系统污染生态研究,比起水生污染生态研究,起步要晚得多,我国土壤-植物系统污染生态研究,近十多年来已取得了一定进展,在中国大百科全书《环境科学》卷中也撰写条目,有所论述^[1]。但总的说来还处在萌芽状态,正在发展之中,为了适应新的形势下更高的要求,有必要对过去的研究工作,从理论与实践的结合上加以简短总结,并针对当前情况,提出一些带有方向性的问题进行商榷、探讨和展望。

一、土壤-植物系统污染生态研究对象^[2]

经过地球长期演化,生物圈的发生与发展,特别是人类的活动,土壤总是和绿色植物连在一起的,没有植物也就没有土壤。因此,从广义上说,土壤环境研究的对象应当是土壤-植物系统(见图)。这个系统由土壤的生物部分,土壤的非生物环境部分以及植物三个亚系统组成,这个系统与外部环境有着一定的边界条件^[3]。

土壤-植物系统具有转化、贮存太阳能为生物化学能的功能,但当它一旦通过不同途径被污染,尤其是污染负荷超出它能承受的容量或“弹性限度”后,它的生物生产量就会受到影响,严重者会丧失生产力。更为严重的是:可以毒化空气和水质,降低食物链中农副产品的生物学质量,造成残毒,直接或间接地危害人类的生命和健康。因此,我们应当充分地认识到保护土壤-植物系统的重要性和迫切性,不仅要加强宣传,严加管理,而且必须用法律来保护它。

土壤-植物系统除上述特征以外,在一定条件下,它本身还有对环境反作用的一面。



土壤-植物系统及其边界环境方框图

Compartments diagram of soil-plant system & its environmental boundaries

强调这一方面，也是极为重要的。因为，它是一个强有力的“活过滤器”，这里的有机体密度最高，生命活动最为旺盛；由于植物（包括森林、草地和农作物）、土壤有机无机胶体复合体、以及土壤微生物区系及酶的多样性，土壤-植物系统可以通过一系列物理、化学及生物学的过程，对于环境中的污染物质进行吸附、离子交换、颀颀、沉淀和降解等净化作用，如能配合适当的环境工程措施，就可在整体上起到利用资源、节省能源、化害为利，保护环境的重要作用。

人与生物圈相互作用，相互制约，人是矛盾的主要方面。土壤-植物系统的污染及其净化功能是矛盾的两个方面。随着科学技术水平的不断提高，就可以使矛盾的主要方面朝着有利于人类的方向发展。

二、土壤-植物系统污染生态研究简史〔4〕

早在一个世纪前，日本发生了足尾铜山公害事件，那里的铜矿山废水排入了附近农田，使土壤含铜量高达200ppm，水稻株高仅10cm，长得象“小老头”，造成严重减产。后来，类似情况又一再发生，使矿山周围的大片农田终于变为不毛之地。这是世界上土壤-植物系统遭受严重污染的典型例子之一。1977年10月，日本政府明确规定：水田土壤中0.1N HCl可溶性铜不得超过125ppm。这个标准是从防止农作物生育障碍的观点来确定的。

本世纪六十年代初，日本富山神通川流域发生了“痛痛病”公害事件。通过调查研

究,发现患病原因是当地居民长期食用了含镉废水污染土壤所生产的“镉米”所致。此后,人们强烈地感受到,土壤-植物系统的污染决不只限于象铜那样引起的作物生育障碍和有无收成的问题,更为严重的是表面上看起来可能收成良好,但食物却积累了有害物质,引起人的慢性中毒,造成公害病。1970年日本政府制定了《农地土壤污染防治法》,规定镉及其化合物为有害物质,还规定食用糙米中镉含量的卫生标准是0.4ppm,凡大米含镉量超过1ppm的农田,一律划为“封闭区”,不得再种水稻。

以上是两种不同类型的土壤-植物系统的污染,虽然污染源都属于重金属,但其污染的生物学特征以及所造成的结果是很不相同的。

关于铜,早已被公认为生物必须的微量元素,在А.П.Виноградов的“生物地球化学分类表”中,铜排在锌、锰、钼一起,其平均含量为 10^{-3} — $10^{-2}\%$ 。铜参予酪酸酶的生理生化作用过程。当土壤中有有效态铜低于6—13ppm时,生长植物的光合作用显著衰退,氮的代谢过程也受到影响。当土壤中铜过量时,铜被植物根系吸收后形成稳定的络合物,破坏根系的正常代谢功能,引起植物的生育障碍。

关于镉,至今尚未弄清楚其生物学的“必须”机理。大量研究结果表明:镉无论通过食物、注射或者呼吸道进入人体,被吸收后能产生许多系统的病变,其重要原因之一可能由于Cd-Fe、Cd-Cu、Cd-Zn之间的元素颉颃作用所引起。

应当指出,日本“痛痛病”的原因很复杂,目前还有争论。但是,从一个世纪前的足尾铜山事件,到本世纪六十年代的“富山事件”,已把人们的视野从农作物的生育障碍引伸到食物链的小剂量积累慢性中毒问题上来,这是环境科学的一个飞跃,它推动土壤-植物系统污染生态研究加速向前发展。

当然,以上的问题并不是孤立的。第二次世界大战后,随着工业突飞猛进,“三废”大量排放,土壤-植物系统的污染问题和大气污染、水污染、固体废物污染以及农业现代化进程产生的一系列污染问题交织在一起,其规模已由局部发展到区域,由区域扩展到全球范围,实际上已成为当代环境污染问题的焦点之一。

三、研究土壤-植物系统污染及其防治途径现状

土壤-植物系统的污染,一般情况下通过大气与水污染的转化而产生,它们可以单独起作用,也可以相互重叠和交叉进行。从污染源来说,属于点源污染一类。如含SO₂的酸雨以及苯并(a)芘随飘尘以及各种气溶胶进入土壤-植物系统等,目前正在引起广泛的注意。

随着农业现代化,特别是农业化学化水平的提高,大量化学肥料及农药撒落到环境中,土壤-植物系统遭受非点源污染的机会越来越多,其程度也越来越严重。随着水土流失及风蚀等原因,污染面积不断地扩大。

根据污染物质的性质不同,土壤-植物系统的污染可分为以下几类:(1)无机物(重金属及盐碱类);(2)农药,包括杀虫剂、杀菌剂和除莠剂;(3)有机废弃物(包括生物降解与生物难降解者);(4)化学肥料;(5)污泥、矿渣和粉煤灰;(6)放射性物质;(7)寄生虫、病原菌及病毒。国内外在上述各方面都开展了大量研究工

作,尤其在重金属和有机农药方面,对它们在土壤-植物系统的吸收、转化、迁移、归宿和分布规律方面的研究,取得了比较大的进展,文献综合报道也比较多^[4]。由于土壤-植物系统的多样性,加上污染源、污染途径、污染物质与环境各要素作用机理的千差万别,因此几乎需要对每一个对象进行具体的分析。下面仅就本文作者接触过的几个主要方面的问题进行一些探讨:

(一) 关于土壤-植物系统的放射性物质污染问题的研究^[5,6]

在六十年代初期,我们曾确定以⁹⁰Sr、¹³⁷Cs为重点对象,进行了下列研究:

1. 土壤-植物系统放射性本底变化,某些特殊的重核裂变产物与天然放射性元素的分布、运动、水平消长及其生物学意义。
2. 模拟天然条件,引入人工放射性同位素,观察它们在进入土壤-植物系统后积累、分布、转移及其可能影响人的生命活动的途径及规律。
3. 根据不同情况拟定放射性物质污染饮用水源与食物链的防治对策。

为了反对侵略战争,大力开展原子能和平利用,填补放射生态学分支学科空白,这些研究工作的成果具有重要的科学和历史意义。

(二) 关于不合理污水灌田对土壤-植物系统的污染问题研究

城市污水(生活污水与工业废水)未经处理盲目排放以及不合理污水灌溉常使农田生态系统的结构与功能遭受破坏,导致颗粒无收。譬如:沈抚灌区由于工厂未经处理排灌大量酸水或碱水,曾使稻苗成片死亡;1966年冬至1977年春,由于漫水大灌高浓度含油污水,造成所谓“平原水库”,致使东陵区300 ha水田发生土壤毒化、水稻矮化和种子退化。1970年沈阳化工厂排放污水中含有高浓度的2,4-D(超过2.5mg/L),使灌区1300 ha水稻发生“卷心病”。北京东南郊灌区,由于污水中含过量三氯乙醛,1974年春天危害小麦460 ha,1975年又危害300 ha;1976年春石家庄市农药厂将10个大桶(每桶200 kg)三氯乙醛随意倒入下水道,使郊区260 ha小麦受害。以上这些造成农田生态系统破坏的现象是明显的,也是不难发现和防治的。但另一方面,还有不少比较隐蔽的潜在破坏性过程却往往不易发现,并且一旦发现又因为时太晚,很难加以挽回。在这方面,最主要的是镉、铅、汞等重金属(食物中具有潜在危险的元素)的污染。

过去10多年来,我国对污灌区的环境质量综合评价做了大量工作,在评价的原则、方法和水平方面,也不断有所进步和提高^[7-13]。

迄今为止,在我国发现的大面积重金属污染最典型的例子是沈阳张士污水灌区的镉污染。从七十年代初发现问题开始,接着开展系统的调查研究和污灌区环境质量综合评价工作,引起工业部门重视,抓污染源治理,使污水达到工业排放和农灌标准,这是我国环境保护科研工作的重要成果之一^[14-17]。严重的问题还在于被镉污染的农田土壤如何进行改良与利用,林土所等科研单位对此进行了全面的探索和科学实验,在镉土的物理、化学和生物学改良利用,特别是最近几年来,通过种植树木和能源高粱,进行镉土改良与利用的生态工程研究方面,取得了重要的进展^[18-20]。

(三) 关于致癌物苯并(a)芘(BaP)对土壤-植物系统污染的研究

在我国和东亚地区,土壤-水稻系统的BaP污染问题受到特别的关注。我们从1973—1983年,整整化了10年时间,采用野外调查、盆栽试验、放射性示踪同位素、人工模拟

控制大气飘尘污染与扫描电镜照相等方法,研究了环境中BaP对水稻的影响,主要研究结果为:

1. 土壤耕作层(0—15cm) BaP含量在<10—500ppb范围内,栽培水稻的精白米中BaP含量与对照区在统计学上无显著性差异。

2. 水稻各部分的BaP来自大气飘尘污染,水-土壤污染以及水稻本身生物合成, BaP在水稻植株体分配次序为:根系>茎叶>皮壳>籽实。

3. 在大气污染明显与严重的地区,水稻糙米和谷糠中BaP的外来污染源可能主要来自大气飘尘的沾污,而来自水-土壤则是次要的。

上述研究工作的成果已发表在中美两国学者合作编著的《多环芳烃》专著中(人民卫生出版社)。文章的结论部分指出:当前大气飘尘污染对土壤-植物系统BaP的污染所引起的潜在危险是比较大的,不过这种潜在的危险很容易从习惯上被其他因素掩盖起来而至今尚未被人们重视,应当强调:由于绿色植物长时间直接暴露在大气环境之中,因此必须及早采取措施,最大限度地减少与控制大气飘尘中BaP对绿色植物,特别是食物链的污染^[21-23]。

如果大气污染不明显也不严重,则水-土壤的BaP可能上升为主要矛盾。实际上,植物体内各部分BaP含量水平是土壤-植物系统内部代谢过程及其边界环境外部因素综合平衡的结果,因而水-土壤中BaP的积累对不同类型植物地上部分的污染也是不容忽视的^[24,25]。国外学者提出土壤BaP的最大允许浓度值为土壤BaP背景值加20ppb,这是很严的标准,我们在研究工作中也已参考应用^[26]。

(四) 污染物在土壤-植物系统中迁移、转化、归宿和生态效应的研究

污染物中主要研究对象是重金属,这方面的研究已从迁移、转化和归宿发展到对土壤酶生化指标变化的研究。实验结果表明:重金属对土壤酶活性的抑制作用是一种暂时的现象,由于脲酶活性恢复得较少较慢,故可应用脲酶活性作为土壤重金属污染程度的主要生化指标^[27]。我们在京津渤地区研究重金属对土壤-植物系统中氮的转化与NO₃⁻淋失影响研究表明:不同重金属对该地区土壤中氮的转化与NO₃⁻淋失作用强度的次序为: Hg²⁺>>Cd²⁺>>Ni²⁺>>Zn²⁺>Pb²⁺>Cu²⁺>Cr³⁺;说明该地区的碳酸盐草甸土虽然对重金属有较大的环境容量,但从土壤-植物系统污染生态学角度,仍可选择NO₃⁻作为一项反映重金属对土壤生态毒性的早期诊断指标^[28]。国内外不少研究工作证明,砷及重金属在土壤中不同剂量,对于不同类群土壤微生物数量的变化有不同程度的影响^[29,30]。

在有机污染物方面,除了大量的研究工作涉及农药以外,还开展对土壤中BaP的降解研究^[31,32]。模拟实验结果表明, BaP以及石油烃在土壤中的生物学降解过程服从一级化学反应动力学方程: $-\frac{dc}{dt} = Kc$

式中c为BaP及石油烃在瞬间t的浓度;k为生物学降解系数。

可以根据k值判断土壤中BaP及石油烃组分的降解难易程度,预测它们降解至土壤最大允许浓度值所需时间,为判定土地处理系统的优化方案和具体措施提供科学依据。

有必要指出,土壤-植物系统中BaP的减少或消失,并不意味着BaP全部降解成无害

物质。从土壤中分离的真菌产黄青霉 (*Penicillium Chrysogenum*) 研究 BaP 的代谢产物, 发现氧化部分 BaP 产物仍然具有较强致癌性, 采用常规鉴定 BaP 的方法不能检出 BaP 氧化物, 此类问题有待进一步深入研究^[33]。

(五) 农业现代化引起的土壤-植物系统污染问题的研究

农业现代化过程中, 农药的大量施用可能是引起土壤-植物系统环境污染的最主要因素, 通过大量监测和长期科研工作, 我国政府已决定禁止六六六和 DDT 之类有残毒的有机氯农药品种生产, 代之以高效、低毒和无残毒的新型农药品种生产与使用。与此同时, 大力加强生物防治的研究和推广。

除农药外, 最突出的是氮、磷污染引起水体的“富营养化”, 以及硝酸盐污染地下水等问题^[34,35]。我国这方面研究工作在过去10年中已经取得了较大的进展¹⁾。我们在京津渤地区研究氮、磷污染及其生态防治途径方面也获得较好成果^[36-39]。

这里要着重讨论一下生物学质量 (Biological Quality) 的问题。它是指保证人类食用某种生物产品能维持其正常生理代谢功能的下列个别因素的总和: (1) 矿物元素 (包括大量元素及微量元素); (2) 有机化合物 (碳、氮化合物, 包括氨基酸之类); (3) 维生素; (4) 激素; (5) 酶。例如, 现代化牧场草地在灌溉条件下大量施用氮、磷化肥, 可获得很高生物量干草, 但如果长期下去, 可发生缺铜, 牲畜食用后, 表现生理机能失调, 甚至可能通过饲料-牛奶等食物链引起人的某些特殊病症, 这主要是由于牧草的生物学质量发生了问题, 办法是往土壤中施加适量的铜肥。对于此类环境问题, 值得引起注意, 而目前这方面研究工作还远远落后于客观形势发展的需要。

(六) 研究木本植物对大气气态污染物的吸收净化作用^[40-42]

研究不同树木对大气中二氧化硫、氯、氟化氢等污染物的吸收净化作用, 可将不同树种进行抗性分级。特别发现山桃是一种抗氯强吸氯高的树种, 在大气氯污染区可作为指示树种。木本植物对重金属具有明显的吸收和积累作用, 不同树种, 差异很大。因此, 有必要系统地进行污染区净化树种的筛选研究。这方面的研究成果为我国城市生态规划和污染综合防治提供了重要科学依据。

(七) 土壤-植物系统背景值的调查研究

这是一项基础工作。七十年代以来, 全国各地一直未中断过, 但比较零散。八十年代中列为国家重点攻关项目, 特别在湘江谷地和松辽平原地区的土壤重金属背景值调查研究, 已取得重大成果。全国主要农业地区的土壤重金属背景调查也取得了重要进展。以上科研成果不仅为开展区域性环境质量评价以及制定环境保护规划提供了基本资料, 而且为今后开展全国范围的土壤背景调查研究工作, 提供了科学方法。不足的方面是只限于土壤的背景值, 而没有从生态学的角度, 对土壤-植物系统的背景值进行综合调查研究。

关于土壤-植物系统的污染防治, 由于该系统本身的特点, 必须十分强调防重于治的基本方针, 特别要防止那些慢性污染积累的“长期效应”发生。当土壤-植物系统一旦遭受严重污染, 再去治理, 当然要困难得多, 而且往往事倍功半, 这方面的教训我们

1) 中科院环境科学情报网, 1983, 环境中氮污染与氮循环文集, 3—284页。

已经不止一次地加以领受。目前国内外对于受镉等重金属污染的农田的治理,虽然提出不少方案,但实际上收效甚微。根本的方法还是切断污染源进入食物链,或者把它们控制在环境容量许可的限度之内。这不仅指重金属的污染,而且也包括有机污染物所造成的污染;1966年沈阳-抚顺污水灌区发生的石油、酚类污染,造成大面积土壤毒化,水稻“矮化”事件,经过多年的千方百计努力,包括采用客土、深翻、清洗、改换水稻品种等各种措施,才逐渐恢复了生产能力,付出的劳动和代价真是难以估量,这样的历史教训决不允许重演。

对土壤-植物系统,特别农田生态系统,必须象大气和水系一样,建立严密的监测系统,其内容包括污染物的数量和性质,输入、输出以及迁移消长变化规律,土壤环境质量的变化,动植物产量和生物学质量。逐步做到建立每一块土地的田间档案,制定各种标准,并用环境法律加以监督和保护。

四、土壤-植物系统的净化功能及其在实践中的

应用研究^[3,43-47]

土壤-植物系统的净化功能主要由下列要素组成:(1)植物根系与叶面的吸收、转化、降解与合成;(2)土壤中真菌、细菌和放线菌等微生物区系的降解、转化及生物固定化作用;(3)土壤有机、无机胶体的吸收、络合和沉淀作用;(4)土壤的离子交换作用;(5)土壤的机械阻留作用;(6)土壤的气体扩散作用。

对于环境中不同污染物质,土壤-植物系统的净化机理、强度与过程是不相同的,这些个别因素的总和是构成每一个具体土壤-植物系统环境容量(Environmental assimilative capacity)的基础。

关于土壤-植物系统净化功能在实践中的应用,随着污染生态研究工作不断深入开展,越来越受到人们广泛的注意。譬如树木净化空气的研究,在内容方面已不限于飘尘、重金属和二氧化硫等,而是已发展到放射性物质。很有趣的是在南瑞士发现高山植物对低空云雾中放射性物质具有某种特殊的过滤作用。

目前,全世界在土壤-植物系统净化功能的实际应用方面另一个问题是通过土壤-植物系统作为“活过滤器”,将城市污水进行适当处理后灌溉森林、草地和农田,取得污水处理与利用相结合的良好效果。

世界上经济比较发达的国家,在污水处理方面已普及到二级处理(即生化处理)的水平,我国二级处理也正在发展之中。二级生化处理的出水,仍然含有(包括新产生)较多量的悬浮固体、溶解性有机物质与无机盐类,特别是氮、磷等营养物质。它们注入水体后是产生“富营养化”,造成水生生态系统紊乱的主要因素。二级污水厂不仅要求较多的基建投资,而且运行费用也很大、耗能又多,因此在我国当前还不能大量地普遍地采用。为了进一步提高水质,则必须采用三级深度处理,但由于费用昂贵,往往难以实现。

七十年代末,澳大利亚墨尔本市召开了国际污水处理与利用发展的学术会议。很多

研究报告指出,利用一、二级处理后的改良污水(Reclaimed Water)灌溉土壤-植物系统,不仅充分利用了水肥资源,而且起到了“代三级处理”的作用,甚至在一定条件下,配合氧化塘、沉淀池等措施,它本身就是二级生化处理的重要组成部分。

1979年中国科学院赴澳大利亚污灌与环境考察组重点考察了维多利亚州及墨尔本西部的威里比牧场(Werribee Farm),该地区原为一个贫瘠的荒草原,后来,通过利用墨尔本城市污水灌溉牧场,发展畜牧业,经过80多年的不断开发与改善经营管理,现已建设成为比较完整的包括土地渗滤、牧草过滤以及各种组合氧化塘、污水处理与利用相结合的人工生态系统,成为澳大利亚一个有名的地方,被誉为“化害为利的光辉典范”¹⁾。1981年我们在光明日报“科学家论坛”发表了“实行科学污灌,发展土地处理利用系统”文章,在国内引起了积极的反响^[47]。

1983年中国科学院又派考察组去美国进一步了解在发展土地处理系统方面的先进经验。其中密执安州莫斯堪冈(Muskegon County)土地处理系统现代化管理水平,尤其对研究优先有机污染物(Priorities Organic Pollutants)在土地处理系统中归宿方面的重要进展,目前处于世界领先的地位²⁾。

此外,W.E.Sopper等利用污泥改造露天煤矿采集迹地、塑造人工的生态系统,以至为森林的天然更新创造了有利生境条件,此项最新研究成就也给人留下了深刻的印象^[48]。

日本从1982年起在农村全面扩大“土壤净化法”(又称土壤毛细管浸润法)净化污水,正方兴未艾,有蓬勃发展的趋势。

再研究一下我国自己的经验。我国四个现代化刚开始迈开步伐,但城市污水日排放量已达四千多万吨。我国污水灌区分布全国,每一个灌区在不同气候-土壤地带构成特殊的区域生态环境,按农作物种类划分主要有水、旱两大农田生态系统。在我国南方,污水主要作为肥源;在北方由于干旱或比较干旱,以及工农业生产和城市生活用水量的增加,使地下水位显著下降,水资源紧张状况十分突出,因此污水既为肥源,又是宝贵的水源。当前,国务院已有文件下令全国一些重点厂矿企业要限期解决污水处理问题,首先要将重金属、难降解的有机毒物在污染源排除掉;今后决不允许城市污水未经处理盲目排放灌溉农田,或污染水体。我国“六五”期间,选择南方红壤、华北褐土、东北草甸棕壤地区,对不同土壤-植物系统重金属和矿物油的环境容量进行了较深入和系统的研究^[17,49]。城市污水的生态工程土地处理利用系统的试验研究,也取得了一定进展。沈阳、天津、北京等地区都因地制宜提出了自己的土地处理系统生态结构和示范工程模式,为“七五”期间进行“城市污水综合治理与资源化”科研攻关奠定了良好的基础。同时,在内蒙古等主要露天煤矿区,建立污水生态工程土地处理系统以及塑造人工植被,维持生态良性循环方面的科研与开发工作也将被提到日程上来。

五、土壤-植物系统污染生态研究的理论基础与学术指导思想^[2,50]

土壤-植物系统污染生态研究的理论基础来源于近代土壤学、生态学与生物地球化

1) 高拯民等, 1979, 澳大利亚污灌与环境有关问题研究现状, 科技文献出版社。

2) 高拯民等, 1984, 美国土地处理系统考察报告。