

我国土壤环境保护科学研究现状与展望

高拯民

(中国科学院沈阳应用生态研究所)

摘 要

本文简要回顾了建国以来土壤环境保护科学研究的历程,从理论与实践的结合上,对我国环境保护科研工作的现状进行了分析,对发展前景提出了看法和建议。文中阐述了土壤环境保护科学研究的对象;土壤污染及其防治途径研究现状;土壤-植物系统的净化功能及其在实践中的应用研究;土壤环境保护科学研究的理论基础与学术指导思想;土壤环境保护研究方法论;以及对我国土壤环境保护科学研究的展望等。

建国初期,我国土壤科学研究主要方向集中在调查资源、开垦荒地、改良土壤、提高肥力和增加粮食产量方面^[1-3]。60年代以后,随着工农业生产进一步发展,人口急剧增长,环境污染日趋严重,土壤科学工作者开始认识到自己肩负的双重使命,即不仅要为提高农业产量,而且要为保护土壤环境质量和生命支持系统贡献智慧和力量^[4,8,10,11,34,112]。

四十年来,我国土壤环境保护科研工作取得了可喜的成果,一支以中青年为主体、老中青三结合的科技专业队伍已经成长起来,现在已经完全有可能根据社会发展的需要承担更加复杂的、综合性的重大科研任务。虽然如此,我国土壤环境保护科研工作仍处于年青的阶段,正在发展之中。为了适应新的形势下更高的要求,本文试从理论与实践的结合上,对我国土壤环境保护科研工作的现状进行初步的分析和探讨,并对其发展前景提出一些不成熟的看法和建议。

一、土壤环境保护科学研究对象^[4,6,7,9]

经过地球长期演化,特别是人类活动的影响,在生物圈的发生和发展中,土壤总是和绿色植物连在一起,成为一个耦合的开放系统,没有植物也就没有土壤。因此,从广义上说,土壤环境保护科学研究的对象应包括整个土壤-植物系统。

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,尤其其污染负荷超出它能承受的环境容量之后,它的生物生产量就会受到不同程度影响,甚至可以通过土壤介质进一步毒化空气和水质,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,土壤环境保护科学研究的首要任务在于通过深入研究土壤-植物系统污染的客观运动规律,为制定土壤环境保护的各种管理对策和环境标准提供科学依据。

土壤除上述特征外,在一定条件下,它本身还有对整个环境反作用的一面。强调这一

方面,也极为重要,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,土壤微生物区系和酶的多样性,土壤可以通过一系列物理、化学及生物学的过程,对来自环境中的污染物质进行吸附、离子交换、颀抗、沉淀和降解等净化作用,如能配合适当的生态工程措施,就有可能在整体上起到利用资源,节省能源,化害为利和保护环境的重要作用^[9,10,14]。

人与生物圈和土壤圈相互作用,相互制约,始终处于矛盾之中。土壤的污染与土壤的净化是一对矛盾的两个方面。随着科学技术水平的提高,就可以使矛盾的主要方面朝着有利于人类的方向发展^[5,6]。

二、土壤污染及其防治途径研究现状^[4,9,10,12]

土壤污染可分为点源污染与非点源污染两大类。前者一般来自工业废弃物的排放,通过大气与水污染的转化而产生,它们可以单独起作用,也可以重叠和交叉进行;后者由于农业现代化水平的提高,大量化学肥料及农药进入环境之中,土壤污染程度也越来越严重,随着水土流失、风蚀以及地球化学循环过程,污染面积也不断地在扩大。

根据污染物的性质不同,土壤污染可分为下列几类^[4,9-13,38,101]:

1. 无机物(包括重金属及盐碱类等)污染;
2. 农药(包括杀虫剂、杀菌剂和除莠剂等)污染;
3. 有机废弃物(包括工农业及生活废弃物中生物易降解和生物难解有机毒物)污染;
4. 化学肥料污染;
5. 污泥、矿渣和粉煤灰污染;
6. 放射性物质污染;
7. 寄生虫、病原菌和病毒污染等。

我国土壤环境保护科研工作者对上列不同污染物开展了大量的调查、试验和研究,尤其在重金属和农药的土壤污染方面,对它们在土壤-植物系统的吸收、转化、迁移、归宿和分布规律等方面的研究取得了比较大的进展,文献报道也最多。由于土壤-植物系统的多样性,加上污染源、污染途径、污染物与环境各要素之间作用机理的特殊性和复杂性,因此,需要对不同土壤污染问题进行具体的分析,下面就几个主要方面进行评述。

(一) 关于土壤-植物系统的放射性物质污染问题研究^[12,13,8]

在60年代初期,全国有一些科研单位曾确定以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,研究它们在进入土壤-植物系统后积累、分布、运动、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水源与食物链的防治对策。

这些研究工作的成果在开展原子能和平利用、填补土壤-植物系统放射生态学分支学科空白方面,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^[14-19,21,66,97]

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,导致减产或颗粒无收。譬如:沈抚灌区1966年冬至1977年春,由于漫水大灌高浓度含油酚污水,造成所谓“平原水库”,导致东陵区300公顷水田发生土壤毒化、水稻矮化和种子退化^[14]。1970年沈阳化工厂排放污水中含有高浓度2,4-D(超过2.5mg/l),使灌区1300公顷水稻发生“卷心病”。北京东南郊灌区,由于污水以及磷肥中含过量三氯乙醛^[36],1974年春天危害小麦460公顷,1975年又危害300公顷;1976年春石家庄市农药厂将10个大桶(每桶200公斤)三氯乙醛随意倒入下水道,使郊区260公顷小麦受害^[16]。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的破坏性过程却往往不易发现,等到矛盾明显暴露出来又为时太晚,很难加以挽回。在这方面,最主要的是镉、铅、汞、铬等重金属以及砷等污染(食物链中具有潜在危险的元素与化合物)。

70年代以来,我国对污水灌区的环境质量评价做了大量工作,在评价的原则、方法和水平方面,也不断有所进步和提高^[17,18,49,55,97]。

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灌区的镉污染。从70年代初发现污染问题开始,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,这是我国土壤环境保护科研工作的重要成果之一^[50-56,92-95]。严重的问题是被隔污染的农田土壤如何改良与利用,有些科研单位对此进行了全面的探索和科学试验,在镉土的物理、化学和生物学改良利用,特别是最近几年,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,取得了良好的进展^[51-56]。

(三) 关于致癌物苯并(a)芘(BaP)对土壤-植物系统污染的研究^[57,59-62,91,104]

在我国和东南地区,土壤-水稻系统的BaP污染问题受到特别关注。从1973—1983年,整整花了10年时间,采用野外调查、盆钵试验,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等方法,研究了环境中BaP对土壤-水稻系统的影响,主要研究结果为:

1. 土壤耕作层(0—20cm)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-土壤污染以及水稻自身的生物合成;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,而来自水和土壤的影响则是次要的。该项研究成果已发表在环境科学学报^[59],文章结论部分指出: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。

如果大气污染不明显也不严重,则水和土壤中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环境外部因素综合平衡的结果,因而水与土壤中 BaP 的浓度水平对不同类型植物地上部分的污染也是不容忽视的^[59,61]。国外学者提出土壤中 BaP 的最大允许浓度值为土壤 BaP 背景值加 20ppb,这是很严的环境标准,我国学者在研究工作中也已参考应用^[114]。

(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^[30,31,43,46,48-52,90,111]

污染物中主要研究对象是重金属,这方面研究已从迁移、转化和归宿发展到土壤酶的生化指标变化研究^[30-31,43,46,48,51]。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,由于脲酶活性恢复较慢,故可应用脲酶活性作为土壤重金属污染程度的主要土壤生化指标^[63]。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碳酸盐潮土中氮的转化与 NO₃⁻淋失作用强度的次序为: Hg²⁺ >> Cd²⁺ >> Ni²⁺ >> Zn²⁺ > Pb²⁺ > Cu²⁺ > Cr³⁺;说明该类型土壤虽然对重金属有较大的环境容量,但从土壤-植物系统污染生态研究角度,仍可选择 NO₃⁻作为一项反映重金属对土壤生态毒理的早期诊断指标^[64]。有些研究工作还表明: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^[65]。

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 以及苯乙烯和三氯乙醛的降解研究^[32,35,67-68]。模拟实验结果表明:BaP 以及石油烃类在土壤中的生物学降解过程服从一级化学反应动力学的方程,由此可根据某一污染物的生物学降解系数值判断土壤中该污染物的降解难易程度,预测它们降解至土壤最大允许浓度值所需时间,为判定污染物的优化管理方案和污染防治具体措施提供科学依据。

有必要指出,土壤-植物系统中原有有机污染物的减少或消失,并不意味着该有机污染物的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 方法不能检出 BaP 氧化物,此类问题有待进一步深入研究^[69]。

(五) 农业现代化引起的土壤-植物系统污染问题^[3,37,39,40-42,47,115]

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重要因素。通过大量监测和长期科研工作,我国政府已禁止六六六和 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与推广。近年来,对新型农药在土壤中降解与迁移过程的数学模型和电子计算机仿真开展了研究,并通过模拟实验的结果加以检验,发现土壤中有机农药分子的下移过程不仅在很大程度上受到吸附作用的制约,而且还可能受到扩散作用的影响,这将有助于应用土壤中农药下渗的预测模型,防止地下水的污染^[27]。

除农药外,土壤中氮的转化及去向已成为重要的研究内容。^[20,23,37,49,51,47]当前最突出的是氮、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。^[70-74]我国在这方面的研究工作在过去 10 年中已经取得了较大进展^[1]。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^[71-74]。

这里要强调一下生物学质量的问题。它是指保证人类食用某种生物产品能维持其正

1) 中国科学院环境科学情报网,1983: 环境中氮污染与氮污染文集,3-284 页

常生理代谢功能的下列因素的总和: (1)矿质元素; (2)有机化合物(包括氨基酸类); (3)维生素; (4)激素; (5)酶。土壤环境污染会不会引起农副产品(包括整个食物链)生物学质量的变化? 此类土壤环境保护问题很值得注意, 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) 土壤-植物系统背景值的调查研究^[27, 24, 25, 44-45, 99-100]

这是一项基础工作。70年代以来, 全国各地一直未中断过, 但比较零散。80年代中被列为国家重点攻关项目, 特别是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, 而且也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。不足的方面只限于土壤的背景值总量, 而形态方面涉及较少, 也很少从生态学角度, 对土壤-植物系统的背景值进行综合的调查研究。

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^[4-5, 9, 10]。当土壤-植物系统一旦遭受严重污染, 再去治理, 当然要因困难得多, 而且往往事倍功半, 这方面的教训很多^[51-56]。目前国内外对于受镉等重金属污染的农田的治理, 虽提出不少方案, 但实际上耗资巨大而收效甚微。根本的方法还是切断污染物进入食物链^[94], 或者把它们控制在环境容量允许之内^[51, 54, 55]。这不仅指重金属, 而且也包括难降解的有机污染物^[28, 37]。

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。逐步做到建立土地田间档案, 制定各种环境标准, 并用环境法律加以监督和保护^[4, 10, 114]。

三、土壤-植物系统的净化功能及其在实践中 的应用研究^[4, 6, 9, 14, 75-80]

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种群的降解、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-植物系统环境容量的基础。

目前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)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重要因素。二级处理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, 因此在我国目前还不能大量普遍地采用^[44]。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。若能

利用一、二级处理后的改良污水,灌溉土壤-植物系统,则不仅充分利用了水肥资源,而且起到了“三级处理”的作用,甚至在一定条件下,配合氧化塘、沉淀池等工程,它本身就是二级生化处理的重要组成部分^[79,80,86]。

我国城市污水年排放量达 360 亿方,而且由于工业废水比重很大,水质状况极为复杂。国务院早已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入农田或水体。我国在“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系统的研究^[55,81,87,89,98]。同时,在沈阳、天津和北京等地区开展了不同模式生态工程土地处理系统的试验研究^[58,90]。在内蒙主要露天煤矿区也提出了污水的生态工程处理系统优化方案^[96]。这些工作为“七五”期间承担国家“城市污水处理系统研究”攻关项目,实现废水资源化,奠定了基础。

四、土壤环境保护科学研究的理论基础与学术指导思想^[4-6,8,82]

土壤环境保护科学研究的理论基础来源于近代土壤学、生态学与生物地球化学等学科。其主要特征表现在研究环境中污染物的生物小循环与地质大循环的结合焦点上,兼有生命科学与非生命科学的双重内涵。现代生态学注意的中心是生态系统结构与功能以及人与生物圈之间相互作用的关系。土壤科学的发展要求对人与土壤圈的相互作用进入系统的研究。

在土壤环境保护科学研究工作中,有三项基本原则必须加以遵守,即整体优化;循环再生;区域分异。

在生物地球化学研究的历史上,Б. Б. Полюнов 曾将化学元素分为生命必需元素与掺和物两大类。后来,随着生命科学与环境科学的发展,证明这两者之间并不存在绝对的界限。例如 Cu 与 Co 过去被认为不属于生命必需元素之类,而如今已被公认为生命必需元素,因为缺乏此类元素,任何生物都不可能生存,也不可能合成叶绿素和血红蛋白。

上述事实至少可以说明:研究土壤环境保护,尽管有一定的理论基础和学术指导思想,并且在实际工作中已经取得了不少的进展和成就,但还存在更多至今尚未被人们认识的必然王国,等待科学家们去努力探索和发掘。

五、土壤环境保护研究方法论^[4,6,10,12]

土壤环境保护研究带有多学科和跨学科综合科学研究的特点,它本身尚未形成自己的科学体系和独特的方法论,下面列举在研究方法上几个重要特点:

(一) 在分析测试技术方面要求有较大的灵敏度范围,包括大量元素、微量和超微量元素以及有机物的系统分析,最低检出限要求达到 ppb 或 ppt 数量级。此外,由于样品多,时空概念强,故要求有自动化的连续监测手段。还经常采用示踪同位素研究方法^[10,12,75,83,109-110]。

(二) 要求有生态系统的观点和实验手段,借助系统分析的原理和方法,比较全面地观察与研究土壤-植物系统及其和周围环境发生的能流、信息流与物质循环过程。在实验手段方面,近来广泛采用微宇宙(Microcosms)方法、开放式与抽汲式渗漏计(Open and Suction Lysimeter)以及环境污染模拟实验系统^[4,10,83]。

(三) 重视宏观与微观的研究工作方法相结合,需要在野外条件下取得大量观察资料与实验分析数据,用宏观的数量统计方法去研究污染物的环境容量。同时也要深入研究在土壤及其环境中反应过程的微观机理,从宏观与微观研究结合上去不断探索解决环境问题的新途径,形成新的学术思想观点^[4,10,102-103]。

(四) 鉴于土壤-植物系统污染及其生态环境效应发生过程的隐蔽性和长期性,不容易恢复性,土壤的形成与进化虽需要经历很长年代,但可以被污染而毁于一旦。因此,在土壤环境保护对策方面,应当立足于一个“防”字,这从根本上决定了土壤环境保护科研工作的战略思想和工作重点^[4,9,12]。

(五) 数学模型在土壤环境保护科研工作中将发挥更重要的作用,要不断提高系统分析的水平,充分发挥电子计算机的功能,推广应用系统动力学仿真模型,随着建模工作的逐步改进,对模型复杂性判定日益精确,它们将从综合性手段发展为规范性工具^[4,27,28]。

六、我国土壤环境保护科研工作展望^[4,5,10,84,113]

(一) 建立土壤环境质量监测网络系统,对不同典型地区的土壤-植物系统,从调查背景资料开始,选择必须优先考虑的环境参数,进行时空动态监测,根据国民经济和社会发展的需要,对未来的土壤环境质量作出科学的预测。

(二) 深入开展土壤圈及其边界环境中污染物的迁移、转化、归宿和反应动力学的研究: 1. 开展土壤圈中主要污染物的迁移、转化过程的生物物理化学行为和生物地球化学循环研究。2. 开展土壤与水边界环境(包括地面水和地下水)中污染物的迁移、转化规律研究。3. 开展土壤与大气边界环境中污染物的迁移、转化规律研究。4. 开展土壤与植物系统中的污染物迁移、转化和消长规律的研究。

(三) 开展人工合成有机化合物对土壤的物理、化学、生物学特性的生态毒理、反应动力学模型以及宏观生态环境效应研究。

(四) 开展土壤-植物系统的污染卫生学评价和对人体健康长期性影响的研究,从流行病学的统计学相关性分析进一步发展为因果关系的定量分析。

1. 土壤-植物系统及其边界环境污染引起急性中毒对可更新资源永续利用、生物生产力影响的生态毒理研究。

2. 土壤-植物系统及其边界环境污染引起的亚急性中毒对可更新资源永续利用、生物生产力影响的生态毒理研究。

3. 土壤-植物系统及其边界环境中小剂量、常暴露和慢性中毒对人体健康长期影响的生态毒理研究。

(五) 研究土壤-植物系统主要污染物(特别是有机污染物)的净化功能及其作用机理与反应动力学;选择重点地区,有针对性地开展土壤-植物系统的不同污染物环境容量研

究。

(六) 在不同的空间格局和时间尺度上开展多层次、多目标的土壤环境保护科学研究,要充分利用全国各地的土壤肥料和生态实验定位站网络系统,立足于地区和区域的国土开发和整治以及发展大农业生产的需要,面向全球性变化提出新的要求,提高科研设计的严密性,坚持计划实施的严肃性,长期坚持下去,必然会有巨大成效。

(七) 加强土壤环境标准及其基础的科研工作,组织多学科专业联合攻关,特别要加强生态毒理和环境医学和预防医学有关的薄弱环节,使其发挥应用作用。在此基础上,科学地制定全国和地方的土壤环境标准。

(八) 采用系统工程方法,从控制工业污染开始,全面系统地研究污染源、土壤-植物系统及其辅助性水生生态系统工程和承接水体水质目标三者之间定量关系,从系统的整体上实现最优化,达到社会—经济—生态效益三统一,开辟一条适合我国国情的城市污水生态工程资源化的新途径。同时要大力开展大型露天煤矿开采后生态环境建设研究^[16]。

参 考 文 献

- [1] 中央农业部、中国科学院,1955: 土壤肥料技术会议及中国土壤学会第一次代表大会。土壤学报,第3卷1期,81—82页。
- [2] 马溶之、文振旺,1958: 以农业为发展目的的土壤区域的原则。土壤学报,第6卷3期,157—177页。
- [3] 李庆远,1959: 晚近我国土壤化学及农业化学的研究。土壤学报,第7卷1—2期,1—8页。
- [4] 高拯民(主编),1986: 土壤-植物系统污染生态研究。1—515页,中国科学技术出版社。
- [5] 曲格平,1984: 中国环境保护战略问题。中国环境科学,第4卷3期1—6页;第4卷4期,1—7页,5期,1—6页。
- [6] 马世骏、王如松,1984: 社会—经济—自然生态系统。生态学报,第4卷1期,1—9页。
- [7] 熊毅、祝寿泉等,1981: 黄淮海平原生态区划。土壤学报,第18卷1期,1—10页。
- [8] 高拯民,1983: 环境土壤学。中国大百科全书环境科学卷,200—201页;386—388页;389—390页。中国大百科全书出版社。
- [9] 高拯民,1980: 土壤-植物系统的污染防治及净化功能。土壤通报,第1期,1—3页。
- [10] 高拯民,1982: 当前土壤环境化学研究若干重要问题。中国环境科学,第5期,76—79页。
- [11] 中国科学院林业土壤研究所,1976: 环境污染与生物净化(水-土壤-植物)。39—121页,科学出版社。
- [12] 高拯民,1965: 土壤-植物系统放射生态学。土壤学报,第13卷1期,103—110页。
- [13] 高拯民,1964: 植物吸收土壤中⁹⁰Sr的基本研究。原子能科学技术,第1期,87—92页。
- [14] 高拯民,1979: 污水灌田对农田生态系统的影响——兼论科学污水灌田对利用资源,保护环境的重要作用。环境科学研究与进展,66—67页,科学出版社。
- [15] 吴维中、谢重阁等,1983: 污水灌溉与环境保护的几个问题。中国科学院林业土壤研究所集刊,第6期,83—87页,科学出版社。
- [16] 徐瑞薇等,1983: 三氯乙烯对土壤-植物系统的污染研究。环境科学学报,第3卷1期,1—13页。
- [17] 买永彬等,1984: 全国主要污水灌区农业环境质量普查评价。农业环境保护,第5期,1—4页,第6期,1—5页。农业出版社。
- [18] 吴燕玉等,1983: 污灌区环境质量评价的原则和方法。中国科学院林业土壤研究所集刊,第6集,89—101页,科学出版社。
- [19] 李凤珍、常士俊等,1982: 石油工业废水灌溉水稻上的微生物特性研究。环境科学,第3卷3期,4—9页。
- [20] 陈华葵等,1961: 水稻田中硝化作用和硝化微生物的研究。土壤学报,第9卷1—2期,56—63页。
- [21] 邱凤球等,1964: 含酚工业废水灌溉稻田的研究 I. 长期利用工业废水灌溉稻田对土壤性质及其肥力的影响。土壤学报,第12卷4期,450—460页。
- [22] 方肇伦等,1963: 东北及内蒙东部土壤微量元素。土壤学报,第11卷2期,130—140页。
- [23] 朱兆良等,1963: 土壤中氮素的转化。土壤学报,第11卷3期,328—338页。
- [24] 刘铮等,1978: 我国主要土壤中微量元素含量与分布初步总结。土壤学报,第15卷2期,138—150页。
- [25] 中国科学院土壤背景协作组,1979: 北京南京地区土壤中若干元素的自然背景值。土壤学报,第16卷4期,319—328页。
- [26] 程伯容等,1980: 我国东北地区土壤中硒。土壤学报,第17卷1期,55—61页。

- [27] 陈秋方, A. E. Evans 等, 1986: 用计算机模拟农药在土壤中的移动和降解. 土壤学报, 第 23 卷 4 期, 375—381 页.
- [28] 谢重阁, 1986: 土壤中的苯并(a)芘. 土壤学报, 第 23 卷 1 期, 89—92 页.
- [29] 吴增彦等, 1986: 用毛细管色谱及色/质联用仪分离鉴定土壤中多环芳烃. 土壤学报, 第 23 卷 2 期, 179—183 页.
- [30] 顾奈谦等, 1987: 土壤中镉、砷、铅的微生物效应及其临界值. 土壤学报, 第 24 卷 4 期, 318—324 页.
- [31] 陈怀满, 1988: 土壤中镉的吸附与解吸, 土壤组分对镉的吸附和解吸的影响. 土壤学报, 第 25 卷 1 期, 66—74 页.
- [32] 曹幼琴, 1988: 土壤微生物对苯乙烯的降解. 土壤学报, 第 25 卷 1 期, 75—80 页.
- [33] 张水铭等, 1988: 六六六在土壤中的滞留和降解. 土壤学报, 第 25 卷 1 期, 81—88 页.
- [34] 陈家坊, 谢建昌等, 1980: 中国土壤学会第四次会员代表大会. 土壤学报, 第 17 卷 2 期, 193—201 页.
- [35] 徐瑞薇等, 1980: 三氯乙烯的土壤污染及其降解研究. 土壤学报, 第 17 卷 3 期, 217—227 页.
- [36] 徐瑞薇等, 1980: 含三氯乙烯磷肥对农作物的危害. 土壤通报, 第 1 期, 11—13 页.
- [37] 李良谟等, 1981: 西吡对抑制硝化过程和其他微生物活性的影响. 土壤学报, 第 18 卷 1 期, 58—70 页.
- [38] 周代兴等, 1982: 防治铊污染土壤的初步试验. 土壤学报, 第 19 卷 4 期, 409—411 页.
- [39] 熊德忠, 1982: 敌草隆(Dicoron)污染的土壤解毒试验. 土壤学报, 第 19 卷 4 期, 412—414 页.
- [40] 陈荣业等, 1982: 氮肥去向的研究 I. 稻田土壤中氮肥的去向. 土壤学报, 第 19 卷 2 期, 122—130 页.
- [41] 廖先苓等, 1982: 淹水种稻条件下化肥氮的硝化—反硝化损失初步研究. 土壤学报, 第 19 卷 3 期, 257—263 页.
- [42] 张水铭等, 1983: 稻田土壤中六六六残留及其对稻米的污染. 土壤学报, 第 20 卷 1 期, 79—84 页.
- [43] 姜永清, 1983: 几种土壤对砷酸盐的吸附. 土壤学报, 第 20 卷 4 期, 394—405 页.
- [44] 杨国治等, 1984: 潮土中稀土元素的分布特征. 土壤学报, 第 21 卷 2 期, 211—216 页.
- [45] 陈代中等, 1984: 陕西地区土壤中的硒. 土壤学报, 第 21 卷 3 期, 247—257 页.
- [46] 姜永清, 1985: 土壤吸附砷酸盐动力学的初步研究. 土壤学报, 第 22 卷 1 期, 75—84 页.
- [47] 朱兆良等, 1985: 种稻下氮肥的氮挥发及其在氮肥损失中的重要研究. 土壤学报, 第 22 卷 4 期, 320—328 页.
- [48] 朱月珍, 1985: 影响土壤中铬迁移转化的几个因素. 土壤学报, 第 22 卷 4 期, 390—393 页.
- [49] 张学询等, 1986: 天津碳酸盐草甸土镉当量的研究. 环境科学, 第 7 卷 1 期, 13—18 页.
- [50] 陈拴荣等, 1978: 利用放射性镉(^{115}mCd)研究水稻对镉的吸收和分配. 环境科学, 第 1 期, 4—7 页.
- [51] 张学询等, 1982: 张士灌区镉、铅等重金属迁移、分布规律及其治理途径. 环境科学, 第 3 卷 6 期, 7—10 页.
- [52] 陈涛, 吴燕玉等, 1985: 张士灌区土壤中镉形态的探讨. 生态学报, 第 5 卷 4 期, 300—305 页.
- [53] 吴燕玉, 张学询等, 1985: 论张士灌区的重金属环境容量. 生态学报, 第 1 卷 3 期, 275—282 页.
- [54] 陈涛, 1981: 农田生态系统镉污染防治. 生态学报, 第 1 卷 4 期, 345—350 页.
- [55] 吴燕玉等, 1984: 张士灌区镉污染及其改良途径. 环境科学学报, 第 4 卷 3 期, 275—283 页.
- [56] 吴燕玉等, 1985: 张士灌区镉污染综合防治技术研究. 中国环境科学, 第 5 卷 3 期, 1—7 页.
- [57] 高拯民等, 1981: 致癌物苯并(a)芘[Benzo(a)Pyrene]对土壤-植物系统的污染研究. 环境科学学报, 第 1 卷 1 期, 12—30 页.
- [58] 高拯民、齐恩山等, 1986: 沈阳西部污水生态工程土地处理系统试验研究, 高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究, 124—141 页.
- [59] 高拯民、熊光哲等, 1980: 苯并(a)芘污染水稻模拟实验研究. 环境科学, 第 5 期, 1—6 页.
- [60] 邓卫东、李书鼎等, 1981: 应用 ^{14}C 标记化合物在水稻中合成苯并(a)芘的研究. 中国环境科学, 第 1 卷 4 期, 32—37 页.
- [61] 王崇效、余叔文, 1984: 玉米根系对苯并(a)芘的吸收及苯并(a)芘在植株内的积累. 环境科学学报, 第 4 卷 3 期, 222—231 页.
- [62] 刘钧帖等: 关于农用污泥中有机毒物苯并(a)芘控制指标的研究. 中国环境科学, 第 3 卷 4 期, 49—54 页.
- [63] 周礼楷等, 1985: 土壤的重金属污染与土壤酶活性. 环境科学学报, 第 5 卷 2 期, 176—183 页.
- [64] 高拯民等, 1984: 重金属对土壤-植物系统中氮的转化与 NO_3^- 淋失影响研究. 环境科学学报, 第 4 卷 2 期, 117—123 页.
- [65] 杨居荣等, 1982: 砷及重金属对土壤微生物的影响. 环境科学学报, 第 2 卷 3 期, 190—197 页.
- [66] 许嘉琳等, 1982: 污水灌田农田重金属污染特征及其与自然地理条件关系. 中国环境科学, 第 4 期, 31—35 页.
- [67] 刘期松等, 1981: 石油污水灌田的微生物生态及其降解石油的研究. 环境科学, 第 2 卷 3 期, 1—6 页.
- [68] 魏开福、吴维中, 1983: 石油烃在沈抚灌区土壤中的生物学降解模拟. 环境科学学报, 第 3 卷 2 期, 156—163 页.
- [69] 刘期松等, 1983: 真菌产黄青霉(Penicillium Chrysogenum)对致癌物苯并(a)芘的氧化. 环境科学学报, 第 3 卷 1 期, 36—43 页.
- [70] 高拯民、张福祿, 1983: 氮循环与氮污染研究现状与展望. 环境科学丛刊, 第 4 卷 4 期, 7—12 页.

- [71] 高拯民等,1984: 京津渤海地区污灌与土壤-植物系统硝酸盐氮的淋失动态模拟实验研究。生态学杂志,第2期,1—6页。
- [72] 高拯民等,1983: 污灌对土壤-植物系统中 NO_3^- 的淋失动态模拟实验研究。生态学杂志,第2期,1—7页。
- [73] 张福珠等,1984: 应用 ^{15}N 研究土壤-植物系统中的氮素淋失动态。环境科学,第1期,21—23页。
- [74] 高拯民等,1983: 官厅水库氮、磷污染及其控制途径。环境科学学报,第4卷1期,1—16页。
- [75] 黄会一等,1982: 木本植物对 ^{113}mCd 的吸收及其在体内的分配。生态学报,第2卷2期,139—146页。
- [76] 马世骏,1983: 生态工程—生态系统原理的应用。生态学杂志,第4期,20—22页。
- [77] 高拯民,1982: 土地处理系统的过去、现在和将来。环境保护,第5期,8—10页。
- [78] 杨景辉等,1983: 关于利用生态系统工程净化污水的研究方向。生态学杂志,第3期,34—38页。
- [79] 高拯民,1981: 实行科学污灌,发展土地利用系统。光明日报《科学家论坛》,3月20日第4版。
- [80] 高拯民,1988: 城市废水生态工程土地处理系统研究与发展。城市环境与城市生态,第1卷2期,15—19页。
- [81] 夏增禄,1985: 土壤环境容量在总量控制上的应用。环境科学,第1期,56—59页。
- [82] 高拯民,1982: 生态系统中的能流与物质循环—环境科学的理论基础。生态学杂志,第1期,32—35页。
- [83] 方肇伦等,1983: 仪器分析在土壤学和生物学中的应用。1—392页,科学出版社。
- [84] 高拯民,1983: 在翻两番中力求与生态环境取得新的协调。环境管理,第3期,1—3页。
- [85] 齐恩山等,1986: 沈阳西部污水在土壤-植物系统中净化功能分层动态模拟实验研究,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,142—153页。
- [86] 张福珠等,1986: 土地处理系统对沈阳西部污水中氮、磷净化功能的研究,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,161—169页。
- [87] 张学询、熊先哲等,1986: 辽河下游草甸棕壤重金属环境容量的研究,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,183—207页。
- [88] 杨居荣等,1984: 北京地区土壤重金属容量的研究。环境科学学报研究,第4卷2期,143—149页。
- [89] 刘钧祐等,1986: 辽河下游草甸棕壤矿物油环境容量研究,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,208—220页。
- [90] 李书鼎,1986: 污染物在土壤-植物系统中转移模型,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,511—515页。
- [91] 陈铨荣,1980: 水稻植株对 ^{14}C -苯并(a)芘的吸收和分配的初步研究。土壤通报,第4期,34—36页。
- [92] 黄会一等,1982: 木本植物对 ^{113}mCd 的吸收及其在体内的分配。生态学报,第2卷2期,139—146页。
- [93] 李书鼎等,1985: 用 ^{113}mCd 研究 Ca^{2+} 和 Cl^- 对污灌土壤镉吸附的影响。中国环境科学,第5卷5期,16—18页。
- [94] 黄会一等,1986: 沈阳镉土地生物治理的研究,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,79—91页。
- [95] 陈涛等,1985: 张土灌区土壤中镉形态的探讨。生态学报,第5卷4期,300—305页。
- [96] 孙铁甯等,1986: 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,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,92—105页。
- [97] 吴维中等,1986: 沈抚污水灌区矿物油污染综合治理的研究,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,106—115页。
- [98] 李培军、熊先哲等,1986: 土壤环境容量的两种模型,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,221—227页。
- [99] 吴燕玉、李彤等,1986: 辽河平原土壤背景值的区域特征及分布规律,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,244—257页。
- [100] 唐涌六,1984: 数据分布类型检验及其在土壤中的应用。土壤,第16卷2期,66—70页。
- [101] 孙铁甯、常士俊等,1986: 北京燕山“石化”地区土壤污染评价的研究,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,302—314页。
- [102] 刘期松,1986: 污染环境下的微生物生态及其研究方法,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,338—359页。
- [103] 杨桂芬,1986: 污染土壤微生物生态及其净化功能的研究,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,360—378页。
- [104] 刘期松等,1984: 污灌土壤中多环芳烃自净的微生物效应,环境科学学报,第4卷2期,185—192页。
- [105] 张素纯、方肇伦等,1986: 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,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,428—441页。
- [106] 郭雷、范世华等,1986: 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,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,442—454页。
- [107] 孙励毅、徐淑坤等,1986: 土壤-植物系统及环境试样中无机污染物的流动注射分析,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,455—463页。
- [108] 张丽珊,1986: 土壤-植物系统中有机污染物的检测,高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究,391—427页。

- [109] 李书鼎, 1986: 核素示踪技术在污染生态研究中的应用, 高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究, 464—481 页。
- [110] 张海荣等, 1986: ^{210}Pb 示踪对土壤中 Pb 化学形态快速测定法, 高拯民主编: 土壤-植物系统污染生态研究, 483—489 页。
- [111] 刘忠翰, 1988: 红壤氟保持容量的研究, 土壤学报, 第 25 卷 3 期, 236—242 页。
- [112] 于天仁, 1988: 中国土壤学会第六次全国代表大会论文和学术讨论会简介, 土壤学报, 第 25 卷 3 期, 308—313 页。
- [113] 高拯民, 1988: 环境保护生态科学任务与研究发展, 生态学进展, 第 5 卷 1 期, 3—8 页。
- [114] Бобовникова Ц. И., Малахов С. Т., 1980: Миграция загрязняющих веществ в почвах и определенных средах. 5—19, Ленинград Гидрометеониздат.
- [115] Bert Bolin and Erik Arrhenius, 1977: Nitrogen—an essential life factor and a growing environmental hazard. *AMBIO*, 6(2—3), 96—105.
- [116] Sopper W. E. et al, 1983: A guide for renovation of mined land in eastern united states using municipal sludge, school of forest resources and institute for research on land and water resources, 1—93, Pennsylvania State University.

RECENT ADVANCE AND PERSPECTIVE OF SOIL ENVIRONMENTAL PROTECTION RESEARCH IN CHINA

Gao Zhengmin

(*Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang*)

Summary

In present paper a brief account of the historical development of soil environmental protection research in China since 1949 is given. The recent advances of research work's in this field are reviewed. And some suggestions for its further development are proposed. Meanwhile, relevant aspects are described, such as: the scope and the theoretical foundations as well as the academic guidelines and methodology of soil environmental protection research, the present situation of research on soil pollution and its prevention, and the clean-up effect of soil-plant system and its application in practice. And finally the prospective of soil environmental protection research in China is set forth.