

# 土壤环境化学的研究动态\*

胡 钦 红

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

本文简要介绍了国内外土壤环境化学的研究内容及研究热点;提出 8 个方面的问题,作为我国土壤环境化学研究的发展方向。

众所周知,传统的土壤化学仅着眼于研究土壤的化学性质及其与植物生长的关系。但随着污染及环境问题的日趋突出,促使土壤化学工作者将研究重点向土壤环境化学转移,并使之成为当今土壤化学发展的前沿<sup>[1]</sup>。

## 一、我国的研究现状

十多年来,我国的土壤环境保护科研工作者针对我国具体的环境问题,对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,做了许多广泛而有益的工作。

### (一)土壤环境元素背景值和环境容量的研究

我国土壤环境元素背景值研究始于70年代中期,调查范围包括除台湾省外的所有的省、市、自治区和 5 个开放城市的各种土壤类型<sup>[2]</sup>。总结了环境背景值的区域分异,并探讨了土壤类型、成土母质类型、土壤机械组成、地貌条件等因素的影响<sup>[3]</sup>。但此项研究仅限于背景值的总量,而较少涉及形态方面<sup>[4]</sup>。

在80年代,我国广泛开展了土壤环境容量的研究。“七·五”期间对黑土、灰钙土、黄棕壤、紫色土和赤红壤中重金属(Cd、Pb、As、Cu)的环境容量进行了研究。夏增禄等<sup>[5]</sup>认为,应当将污染物的作物效应、微生物效应;土壤污染物对地表水和地下水的影响;土壤临界含量的确定;土壤污染物的区域平衡与净化规律;土壤环境容量数学模型以及土壤环境容量应用作为土壤环境容量的研究内容。

### (二)农田生态系统的污染研究

随着我国工农业生产的发展,化学合成农药的广泛使用以及工业废水和废弃物的日益增多,土壤污染问题日益突出。例如,污水灌溉引起Cd、Pb、Hg、Cr等重金属以及As的污染。而我国在土壤环境保护科研工作的重要成果之一<sup>[4]</sup>就是对张士灌区Cd污染的研究和治理。

我国曾发生过多起三氯乙醛污染农田、危害农作物的严重事故。为此,徐瑞薇等<sup>[6]</sup>研究

\* 本文承蒙陈家坊先生、陈怀满先生审阅斧正,谨致谢意。

了三氯乙醛在土壤中的转化动态、毒害机理以及主要作物的致害浓度和症状,为建立磷肥中三氯乙醛(酸)的允许含量标准、制订肥料法规和防治土壤污染提供了科学依据。

由于我国已广泛使用有机氯农药,土壤中虽都检测到不同数量的残留物,但研究表明,土壤中存在着许多能分解有机氯杀虫剂的微生物,特别是在厌气的渍水土壤中。

许多研究者采用模拟试验和田间试验相结合的方法,研究了不同种类的农药在土壤中降解和移动性能,为它们的安全使用提供了理论依据。迄今,已经陆续出现了有关呋喃丹、涕灭威、甲氰菊酯和三环唑环境行为的研究报道。“七·五”期间,许多研究者又对杀虫双、灭幼脲等国产农药的环境影响进行了系统地研究。对农药在土壤中的降解和迁移过程的数学模型和计算机模拟以及通过实验对模式进行验证等工作,也取得了进展。

### (三)污染物的吸附、迁移和形态研究

吸附和解吸是重金属和多价含氧酸根进入土壤后必然发生的反应之一,因而对吸附机理的研究一直是土壤环境化学的一个重要课题。陈怀满<sup>[7]</sup>系统地研究了土壤组分和环境条件对土壤吸附Cd的影响,提出了吸附势和解吸势的概念,并进行了理论推导和实验验证。近来,已经有人开始研究有机农药在土壤中的吸附情况。

在自然界中,重金属引起的污染常为多种金属的复合污染。然而,有关多元素复合污染的研究还不多见,这是因为进行这方面的研究有一定的困难,关键在于缺乏一个合适的指标来表征这种综合影响。已有研究表明,离子冲量与稻谷产量的关系有可能作为污染总量的控制指标<sup>[8]</sup>。

在重金属元素的迁移方面,不少文献报道了元素(Cd、As、Hg、Cr、Pb等)在土壤中的纵向分布及其在不同质地土壤中的迁移转化规律。土壤中有害重金属的形态及其相互关系,也是土壤环境化学中值得研究的理论问题。有关形态工作的研究常采用连续提取法进行,不少研究者已就Cu、Cd、Zn、Fe、Mn形态的区分进行了研究。

### (四)其它研究领域

土壤中氮的去向是一个极为重要的研究内容。我国在京津渤地区进行的氮、磷污染及其生态防治途径以及在太湖地区进行的氮磷面源污染的研究都已取得了较好成果。

酸性降水对土壤的影响也受到了人们的极大的关注。酸雨将降低土壤盐基饱和度,导致土壤pH下降,提高有毒金属元素的溶解度。此外,关于稀土元素对环境影响也是一个有意义的研究课题,但这两方面尚有待深入研究。

## 二、当前国外土壤环境化学研究前沿

从文献报道看,国外的土壤环境化学研究是与现实的环境问题紧密联系在一起的。主要的研究热点是:

### (一)重金属的污染

污水和污泥含Zn、Cd、Cu、Ni和Pb较多,而它们在土壤中的移动性又很差,因而常积聚在表层,对环境构成严重的威胁。因此,促使很多研究者对作物不同部位中的重金属含量分布,重金属元素的生物有效性和作物吸收及其影响因素,以及含有重金属元素的废弃物对

农田生态系统造成的环境影响等进行了研究。

Beckett<sup>[9]</sup>提出了发展专性提取剂,以区分和估计微量金属混合物的不同形态的迫切性。尽管一些研究工作已经建立了元素之间相互影响的指标,但目前仍缺乏表征重金属污染综合生物效应的指标。如前所述,有的研究者认为,离子冲量是一个与植物体为土壤中重金属浓度有关的参数。

重金属之间及其与大量元素之间的交互作用,影响了重金属的生物效应。Mcbride<sup>[10]</sup>论述了重金属元素之间及元素与土壤表面相互作用的复杂性。

大家知道,早期的研究工作大多集中于土壤因素,如pH、有机质含量、CEC、粘粒含量、伴随离子对重金属吸附的影响,而关于微生物群落对重金属归宿和迁移的影响,则知之甚少。现在人们开始认识到微生物在重金属的溶解和移动性方面起着重要作用。微生物产生的水溶性有机物,导致了可溶性金属络合物的形成;微生物的代谢产物改变了土壤物理化学条件,从而影响重金属的化学行为。

## (二)有机污染物

关于农药及其降解产物在土壤中的吸附、迁移、转化等生物物理化学行为引起了许多研究者的兴趣。

各种有机化合物与土壤不同组分之间相互作用的机理一直是土壤环境科学家感兴趣的课题之一。值得注意的是,在许多吸附试验中,研究者多选择用低浓度值,目的在于使试验结果具有实际应用价值<sup>[11]</sup>。70年代以来,人们用键合残留的概念解释污染物的吸附、生物有效性和移动性能等问题。据研究,农药的键合残留物约为加入量的20—70%<sup>[12]</sup>。

农药的降解是个极为重要的过程,土壤的组成性质和环境因素对农药的降解作用影响极大。考虑到土壤温度和湿度在农药滞留性能中的重要作用,Walker等人<sup>[13]</sup>应用数学模式,对此进行了长期的研究。

总体来说,农药的理化性质、土壤的组成、性质以及环境等因素,决定了农药在非饱和区域中的淋溶程度,有人根据导致农药淋溶的主要因素进行了划分<sup>[14]</sup>。由于化合物的种类极其繁多,以及农业生态体系的复杂性,在研究农药归宿方面应用数学模式是极为必要的。近年来,人们提出了许多模式,并结合实验室的研究工作,对具有不同性质的农药在不同环境条件下的行为进行预测,并取得了不少进展<sup>[15,16]</sup>。

当今有关农药预测值的可信度研究主要集中于水和溶质迁移的空间变异性上。这是因为,土壤孔隙几何排列上的任何微小变化,必将导致模式中水力学参数的差异性。另外,最近的研究表明,吸附参数和降解速率也具有空间变异性<sup>[17]</sup>。看来,为了较好地预测非饱和区域中农药浓度的空间和时间分布,必须把空间变异性考虑进去。这就需要对农药的建模处理作较大的改变,以随机型模式替代确定型模式,即应用统计学概念来描述土壤—水—农药体系。目前,随机型模式的研制正处于起始阶段<sup>[18]</sup>。

近年来人们还发现,强吸附性的农药可在土壤剖面的表层和深层同时检出。这一现象表明,某些农药可能吸附于具有移动性的某些可溶性有机组分上,并随之向下迁移。

关于废弃物的处理、填埋场所以及汽油贮存罐的有机物向下泄漏问题,亦涉及溶质迁移过程。为此,Wierenga<sup>[20]</sup>认为,要研究影响溶质迁移的土壤物理化学过程,只有了解微观和孔隙水平上发生的过程,才能解释宏观上的现象。他指出,开展不同类型土壤和化合物的平衡化学、速率过程及pH和Eh的影响,溶液中各种组分、腐殖物质、溶剂对吸附/解吸和

沉淀/解离反应的影响,以及微生物群落对溶质迁移影响等方面的研究是十分必要的。

### (三)硝酸盐污染及温室效应

硝酸盐在地表水和地下水的富集已经成为一个普遍而且日益严重的问题。氮素淋溶损失程度受气候条件、土壤类型、作物种类等因素的影响<sup>[21]</sup>。

温室效应是一个受到全球科学界注意的问题。土壤在产生和吸收温室效应气体( $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ )方面有极其重要的作用。大致来说,占总释放量5—20%的 $\text{CO}_2$ 、30%的 $\text{CH}_4$ 和80—90%的 $\text{N}_2\text{O}$ 是来自于土壤。一些研究者就土壤的某些过程和性质与 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ 释放量的关系,进行了研究<sup>[22]</sup>。

## 三、我国土壤环境化学研究的发展方向

综合国内外的研究动态,我们认为,在90年代,我国土壤环境化学的主要研究内容应围绕土壤圈及其边界(土壤—水,土壤—大气,土壤—植物系统)环境中污染物的行为和归宿而进行,以期了解污染物质在不同区域中迁移转化的机理、影响因素和过程动力学,并进而建立适当的数学模式。具体研究内容似应包括:

(一)重金属复合污染的土壤化学行为及其影响因素 包括重金属的形态划分与环境质量的关系、土壤(溶液)中的重金属配位化学与生物效应的关系、金属元素的交互作用和土壤性质与环境因素对重金属归宿的影响;

(二)有机污染物的土壤化学行为 包括土壤理化性质对其毒性和迁移转化的影响、土壤组分(如可溶性有机组分)同污染物的相互作用、键合残留物的形成动力学、农药对地下水的污染、溶质迁移中的生物物理化学过程、土壤和化合物作用参数的空间变异性以及降解和淋溶模式的建立和验证;

(三)重金属和农药污染物在根际环境中的形态转化和归趋研究,根际分泌物对污染物行为的影响;

(四)矿区土地复垦、城郊废水和固体废弃物的土地处理、工矿及重大工程对土壤环境质量的影响;

(五)土壤中温室效应气体的释放和吸收过程及影响因素;

(六)氮素的水体污染,以及硝酸盐淋溶造成的地下水污染与影响;

(七)酸雨对土壤环境的影响实质,其中包括铝的土壤化学行为及其生物效应;

(八)稀土元素的土壤化学行为及其环境效应。

### 参 考 文 献

- [1] 陈家坊等,化学物质的土壤化学行为与环境污染研究展望,环境化学,7卷2期,8—12页,1988。
- [2] 中国环境监测总站主编,中国土壤元素背景值,中国环境科学出版社,1990。
- [3] 缪天成等,环境背景值研究,中国环境科学,10卷4期,255页—262页,1990。
- [4] 高拯民,我国土壤环境保护科学研究现状与展望,土壤学报,27卷3期,262—272页,1989。
- [5] 夏增禄主编,土壤环境容量及其应用,气象出版社,1988。
- [6] 徐瑞薇等,磷肥污染事故及磷肥中三氯乙醛、三氯乙酸极限含量研究,环境科学丛刊,9卷6期,1—38页,1988。
- [7] 陈怀满,土壤对镉的吸附和解吸,土壤学报,25卷1期,66—74页;25卷3期,227—234页,1988。
- [8] 郑春荣、陈怀满,土壤—水稻体系中污染重金属的迁移及其对水稻的影响,环境科学学报,10卷2期,145—151页,1990。

- [9] Beckett, P. H. T., *Advances in Soil Sciences*, vol. 9, p. 143-176, Springer-Verlag, New York Inc., 1989.
- [10] McBride, M. B., *Advances in Soil Sciences*, vol. 10, p. 1-56, Springer-Verlag, New York Inc., 1989.
- [11] Lemely, A. T. et al., *J. Environ. Qual.*, 17: 408-414, 1988.
- [12] Yaron, B. et al., *Advances in Soil Sciences*, vol. 3, p. 121-211, Springer-Verlag, New York Inc., 1985.
- [13] Walker, A. and S. J. Welch, *Weed Res.*, 29: 375-383, 1989.
- [14] Helling, C. S. and T. J. Gish, *Evaluation of Pesticides in Ground Water*, p. 14-38, ACS Symp. Series No. 345, American Chemical Society, Washington DC, 1986.
- [15] Carse, R. F. et al., *Ecol. Modelling*, 30: 49-69, 1985.
- [16] Wagenet, R. J. et al., *J. Environ. Qual.*, 18: 78-84, 1989.
- [17] Elabd, H. and W. A. Jury, *Environ. Sci. Tech.*, 20: 256-260, 1986.
- [18] Knighton, R. E. and R. J. Wagenet, *Water Resour. Res.*, 23: 1911-25, 1987.
- [19] Dar-Yuan, Lee and W. J. Farmer, *J. Environ. Qual.*, 18: 468-474, 1989.
- [20] Wierenga, P. J., *Future in Soil Science Research*, p. 23-34, Soil Science Society of America, Inc., Madison Wisconsin, USA, 1987.
- [21] Bergstrom, L., *J. Environ. Qual.*, 16: 11-18, 1987.
- [22] Van Breeman, N. and T. C. J. Feijtel, *Soils and the Greenhouse Effect*, p. 195-223, John Wiley & Sons Ltd., 1990.

(上接第213页)

物、放射性矿等)对土壤微生物的影响和微生物对这些污染物质的转化、降解以及对环境的自净作用;微生物降解过程的生物学、生理学和遗传方面的研究;地下水层中农药污染的脱毒研究;城市及生活废弃物的资源化处理和开发利用,以及极端环境中的微生态研究。

#### (四)分子生物学的渗透

自70年代初开发了重组DNA的实验技术之后,分子生物学已飞速发展,为此科学家预测21世纪将是生命科学和生物技术的世纪。我国土壤微生物学也应迅速跨入分子生物学的领域。这个领域的研究超越了细胞生物学、遗传学、微生物等的范畴,所以应鼓励多学科协作,互相渗透。重点应放在基因重组、细胞融合、质体转移等方面的研究。目的是改造原有土壤微生物菌株的特性和构建新的微生物种,包括固氮效率高、广谱性的固氮菌;碳水化合物消耗量小的菌根真菌;能在无氧条件下降解含氯的碳氢化合物的菌株;产生用于生物防治的有效菌种等等。可以预见,分子生物学将会在我国土壤微生物研究中发挥巨大的作用。(参考文献12篇从略)