

关于土壤电化学未来发展的初步设想

张 宏

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

文章从土壤学—土壤圈学乃至圈态学的角度,阐述了土壤电化学的特点和未来发展趋势。并提出了具体的研究课题。

一、土壤电化学与土壤学

土壤电化学是土壤科学深入发展的产物,它的发展总是在土壤学这个大背景下进行的。因此,我们试图首先概略地考察一下土壤电化学存在与发展的科学背景。

(一)新概念土壤学——土壤圈学 当代土壤科学的研究内容和范围正在发生变化,一种全新的认识正在形成。

1. 从圈的观点研究人类生存空间——圈态学。今天,人类的活动空间包括了岩石圈、水圈、大气圈、生物圈以及土壤圈,所有圈层都有人类的踪迹和影响。人们愈来愈清楚地认识到单单了解生物系统和环境之间的关系还远远不够,现在应进一步弄清各个圈所共有的特性,研究各个圈层之间的相互关系,从而对人类的生存空间有一个完整的认识。在此背景下,从圈的观点研究人类生存空间便具有崭新的意义。笔者有理由相信,一门新的学科将会应运而生,这门新学科就是圈态学(Sphereology)。圈态学是研究物质、能量和熵在一个圈内及圈际之间的流动和平衡;研究这三者流动和平衡的变化速率的过程;研究圈际间的相互关系的科学。圈态学把圈的共性抽象出来而把圈作为一个基本对象加以研究;它的研究包括了熵的流动和平衡,而此项重要内容生态学至今似未涉及。可以认为,随着认识的深入,对人类生存空间的研究将会从生态学的研究进一步转向圈态学的研究。

2. 从圈的观点研究土壤——土壤圈学。与传统观点不同,从现代地球科学观点看,土壤不仅是某种物质,或某种历史自然体,而且是具有特殊结构的圈层。从圈的观点看土壤,土壤的概念即扩展为土壤圈的概念。而从圈的观点研究土壤,土壤学的研究便被赋予新的意义,可称做土壤圈学。如果说传统的土壤学只是把土壤作为某种物质加以研究,那么土壤圈学则是对作为人类生存与发展的主要场所并具有特殊结构和空间位置的土壤圈的整体加以研究,而且更加重视它与其它圈层之间的相互关系。土壤圈学的研究内容包括两方面:1)土壤圈的圈态学或土壤圈态学,它研究物质、能量和熵在土壤圈中的流动和平衡及其速率和过程,以及土壤圈与其它圈层的相互关系;2)土壤圈的微观组成、结构和性质,以及物质在土壤圈中迁移转化的微观过程。

*本文写作过程中,季国亮、张效年老师热情指导,陈家坊先生曾给予指教,吴又先及电化室其它同志给予关注,谨致谢意。

(二)土壤电化学是土壤圈学的一个分支 现在我们试图沿着上述土壤圈学的思路,来看一下什么是土壤电化学。

1. 土壤圈微观组成物质的特点。从化学角度看,构成土壤圈的物质有两类:第一类物质包括无机胶体、离子和有机质;第二类为介质,包括水和空气。第一类物质有两个显著特征:1)都带有电荷,故从电化学角度看,均可视为带电粒子;2)除离子外,第一类中绝大多数物质均为胶体,具有不均一的表面且比表面积很大。这两个特点便构成土壤电化研究的基本出发点。

2. 土壤电化学的基本对象和范围。土壤电化学是研究土壤圈中带电粒子之间的相互作用及其化学表现的科学。这些带电粒子包括带电胶体、离子、质子和电子等^[1]。土壤胶体与溶液中离子的相互作用即表现为离子的吸附、交换和解吸过程;土壤胶体与质子的相互作用即表现为土壤酸碱平衡过程;电子在土壤体系中的传递作用即表现为土壤氧化还原过程。这三种土壤电化过程对土壤圈的微观结构和性质以及物质在土壤圈中迁移转化的微观过程有着多方面的极为深刻的影响。土壤胶体一溶液界面是土壤圈中各种微观过程发生的主要场所,故对这个界面以及该界面上所发生的胶体与其它各种带电粒子的相互作用成为土壤电化研究的核心。土壤电化的任务很明确,即研究土壤圈的微观结构和性质以及物质在土壤圈中迁移转化的微观过程。土壤电化的研究基本限定在化学这个范畴,但其研究对象则涉及土壤圈的所有层次;然而它不能解决上述有关所有问题,只能从化学角度解决自己学科领域范围内的问题。

二、国际上现代土壤化学的前沿及未来的发展趋势

一些学者认为,土壤化学的含义已逐渐由土壤元素化学转变为土壤物理化学^[2],现代土壤化学的主要研究内容都集中于物理化学方面。

(一)趋势之一:80年代的前沿仍为90年代的前沿 自然科学的研究对象有两类,一类无时空差异,如数理化等学科的研究对象;另一类则有时空差异,如地学、生物学、气象学和海洋学等。这后一类研究对象有以下特点:1)多变性;2)种类多样性;3)演进性;4)相互制约性。由于上述诸特点,研究这类具有时空差异的自然对象的学科的发展相应有下列若干特点:1)渐进性;2)累积性(观测数据);3)经验性;4)依赖基础学科提供理论方法和实验手段。因此,这类学科的发展在相当长的一段时期内会保持相对稳定,其研究热点和前沿一般也会持续较长时间。土壤学恰属于这类学科,因而也具有这类学科的一般特点。因之,80年代国际上现代土壤化学的前沿仍将是90年代的前沿。

1. 80年代国际上现代土壤化学发展概况。一般说来,有4种动因推动着研究具有时空差异的自然对象的学科的发展。现代土壤化学的发展亦然。下面根据这4种动因来说明其发展概况。1)社会经济发展。首先,对热带、亚热带资源的大规模开发利用,促进了对这些地区土壤资源的研究,从而导致现代化土壤学的研究重点正从恒电荷土壤转向可变电荷土壤^[2]。整个80年代,大量的土壤化学研究均以可变电荷土壤为研究对象;氧化物特别是铁铝氧化物的研究也甚为活跃。其次,即众所周知的环境问题。污染物质在土壤圈中的迁移转化以及对土壤微观结构性质的影响为另一关注焦点。这方面涉及重金属污染、酸雨和土壤酸化以及土壤中有毒气体的释放等。另外,还有众多的为了人类享有适当食物和清洁环境而开展的土壤化学研究^[3]。2)基础学科理论的应用,一是配位化学在土壤胶体表面化学上的应用^[4],再一

是化学动力学理论的广泛应用,另一是表面物理、表面化学在土壤表面化学上的应用^[5]。3) 新研究技术手段的采用。现代大型物理测试手段的应用使人们能够深入探索土壤胶体表面的各种物理化学性质及表面结构形态,以及有机质的结构形态。另一方面是微机的普及应用。包括仪器计算机化,数据采集处理和理论模型运算,使土壤化学研究有很大推进。4) 权威影响及个人偏好,表现在一批学者乐于采用理论模式的研究方法,而另一批学者则仍采用传统实验方法,但模式方法已愈来愈为人们接受而成为重要的研究方法^[2]。

2. 有关的研究前沿。通过对过去10年中的有关文献、会议文集以及学术专著的分析归纳,粗略地概括出以下若干前沿:

(1) 土壤化学反应动力学研究。反应动力学研究可以解决热力学研究不能解决的反应速率和机理问题,而人类所面临的日益严重的环境、粮食和资源等问题使得解决动力学方面的问题愈加迫切。整个80年代土壤化学反应动力学研究极为活跃,主要涉及各种离子在不同土壤上的吸附、交换和解吸动力学,以及土壤中的沉淀、配合反应动力学,及其反应的机理^[2,3,6,7]。

(2) 离子专性吸附和土壤胶体—溶液界面的结构模式研究。离子专性吸附研究集中于阴离子专性吸附^[8]和重金属离子专性吸附^[9]这两个方面。研究这两类离子在不同土壤上的吸附和解吸及其反应机理。重金属离子既作为微量元素又作为污染物质其意义十分特殊。大量研究涉及这类重金属离子的吸附、迁移及形态转化,以及它们对土壤圈的微观结构和性质的影响及其归宿^[2,10]。与此同时,继续尝试从各种途径建立模型来模拟土壤胶体—溶液界面的结构,从而从理论上概括和解释土壤胶体与离子的相互作用^[4,8,11]。微机的广泛应用促进了这方面的研究。

(3) 土壤胶体及氧化物的表面电荷性质和表面电荷位、吸附位区分研究。表面电荷性质的研究重点依然是可变电荷性质的研究。继70年代之后,这方面的研究仍相当活跃,但更多地涉及永久电荷和可变电荷共存体系的电荷性质以及不同组分的表面电荷性质及其贡献^[5]。另一方面则通过采用现代化大型物理测试手段鉴别区分土壤胶体和氧化物表面的电荷位和吸附位并研究其分布,从而试图探明电荷的表面分布及有关吸附机理^[3,4]。

(4) 土壤中铝的形态及土壤酸度研究。由于酸性沉降物进入土壤圈后引起土壤酸化和铝毒问题,土壤中铝的形态及其转化的研究再度受到重视。尝试用各种方法区分铝的不同的形态,搞清铝在土壤酸化中的作用,以及有关的铝毒问题的机理。但由于问题本身的复杂性以及方法尚未突破,目前这方面的研究进展较缓^[2,3,12,13]。

(5) 土壤溶液中的配合物研究。这是土壤溶液化学中较为活跃的一个领域。研究涉及土壤溶液中的各种配合物(特别是螯合物)的结构、形态及转化,配合平衡以及与土壤胶体的相互作用^[14,15]。

第14届国际土壤科学大会上交流的有关土壤化学的报告和墙报^[16],以及笔者所查阅的1990年度4大主要国际性土壤学刊物上有关题录(此处不详列),这两方面的材料所反映的1990年的研究轮廓与80年代的情况基本吻合。这表明,80年代的前沿仍将在90年代延续。

(二) 趋势之二: 90年代将出现一个新前沿 90年代,现代土壤化学的研究将会出现一个新生长点,即土壤胶体表面与有机质及微生物的相互作用,以及土壤胶体表面的无机和生化催化功能的研究^[17]。有两点可以明确地反映这一新趋向。1990年第14届国际土壤科学大会上,在土壤化学专业委员会下又设立了一个“土壤矿物及自然有机物与微生物间的交换作用”工作组,就是这种新趋向的具体例证。再者,1987年美国出版的美国土壤学会成立50周年纪

念文集中,土壤表面化学家Mortland在题为“土壤表面化学:历史和未来”一文中也指出,未来土壤表面化学的发展趋势一是土壤表面化学与有机化学的结合,另一是土壤表面的催化性质,包括无机、有机和生化催化^[18]。这一新趋向的出现主要有2个原因:1.社会经济的发展要求解决更复杂更综合的问题,例如环境,能源及资源等问题,而这些问题的解决仅靠某一学科无法完成;2.学科本身的发展也促使人们逐步认识到仅仅研究无机现象这种相对简单的情形的局限性和有效性。

三、土壤电化学的发展方向

(一)提出未来发展方向的原则和依据 未来土壤电化学的研究将在已建立的土壤电化学理论框架内进行。在发挥自己优势的前提下,紧密跟踪国际上现代土壤化学的发展趋向。继续注重和保持理论研究方法和实验手段上的特色。

(二)土壤电化学未来的重点研究对象 将主要以可变电荷土壤,即红壤和水稻土为两个重点研究对象来展开各项研究工作。

1. 土壤电化学基础理论研究的4个发展方向。土壤电化学基础理论研究的4个发展方向及主要研究内容如下:

(1) 土壤胶体表面的电荷性质。研究胶体表面电荷的变化规律及其影响因素,表面正、负电荷的区分和相互作用,可变电荷与恒电荷共存体系的胶体表面电荷性质。既研究静电性质,也研究动电性质,两者相互结合。

(2) 土壤胶体与溶液中离子的相互作用。研究离子(特别是专性阴离子,有机阴离子,重金属及微量元素离子)的专性吸附;研究离子吸附和解吸的机理和动力学及其表面电荷性质的关系,研究离子吸附对胶体表面化学性质的影响;逐步弄清胶体表面双电层的结构;探讨土壤胶体与离子的相互作用对物质在土壤圈中的迁移转化的影响。

(3) 土壤中的质子转移过程(酸碱平衡过程)。研究有机和无机胶体表面上氢离子的吸附和解吸作用,氢—铝转化过程,铝离子的形态及其物理化学平衡。将特别结合酸雨问题研究土壤酸度和酸化作用。

(4) 土壤中的电子传递过程(土壤氧化还原过程)。研究土壤中各种氧化还原体系的性状及其化学平衡;氧化还原性质的强度因素与数量因素及两者之间的关系。研究土壤中的氧化还原作用与土壤胶体表面化学性状的关系。研究土壤圈中物质迁移转化过程中的氧化还原作用及机理。注意有机体系及弱还原条件下的氧化还原性状的研究。

2. 土壤电化学性质的长期原位研究。研究自然条件下土壤电化学性质的变化规律及影响因素,以及对土壤圈中物质迁移转化的影响,既具有深刻的理论意义,又具有重要的实际意义。这项研究包括2个方面:

(1) 建立和完善长期原位测定技术系统。继续发展和完善已建立的土壤电化学性质长期原位测定系统,发现并解决长期原位测定中所出现的各种实际和理论问题,从而最终建立一套有自己特色的适合中国实际应用的土壤电化学性质长期原位测定系统。

(2) 原位测定和研究土壤电化学性质。应用已建立的系统,对土壤电化学性质进行长期原位测定,研究其在自然条件下的动态变化,从而探明土壤电化学性质的实际变化规律,相互关系及影响因素;研究其对土壤圈中物质迁移转化的影响,并结合室内的基础理论研究,对所观测到的现象和规律作出理论解释。

(下转第245页)

参 考 文 献

- [1] 朱兆良: 我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展。土壤, 第17卷, 第1期, 第2—9页, 1985。
Bodenkd, 140: 63-70, 1977.
- [2] Zhu, Zhao-liang, Efficiency of urea in crop production in China. Proc. Inter. Symp. on Urea Technology and Utilization. 117-132. Malaysian Soc. Soil Sci. Kuala Lumpur, Malaysia. 1988.
- [3] Zhu, Zhao-liang, Management of nitrogen fertilizers for flooded rice in relation to nitrogen transformations. Trans. 14th Inter. Congr. Soil Sci. IV: 337-342. Kyoto, Japan. 1990.
- [4] 陈荣业、张建才、郭望模、陈芾: 稻田以水带氮肥(尿素)深施技术研究。中国水稻科学, 第1卷, 第3期, 184—191页, 1987。
- [5] 朱兆良、张绍林、徐银华: 种稻下氮素的气态损失与氮肥品种和施用方法的关系。土壤, 第19卷, 第1期, 5—12页, 1987。
- [6] 陈荣业: 尿素施入稻田后氮挥发损失的估测。中国水稻科学, 第1卷, 第1期, 58—64页。
- [7] 朱兆良、张绍林、陈德立、蔡贵信、徐银华、J.R. Simpson, J.R. Freney and A.V. Jackson: 黄淮海地区石灰性稻田土壤上不同混施方法下氮肥的去向和增产效果。土壤, 第20卷, 第3期, 121—125页, 1988。

(上接第230页)

除上述研究工作外, 还将重视新实验技术手段的引进和发展, 包括新电化学方法的引进与发展, 微机普及应用以及测量仪器的计算机化, 可以相信, 上述几方面的工作将会使土壤电化学的研究无论在深度上还是在广度上都会有所进展。

参 考 文 献

- [1] 于天仁等编著, 土壤的电化学性质及其研究法, 科学出版社, 1976。
- [3] 于天仁, 对国外土壤化学发展的一些看法, 土壤, 19(4): 169—172, 1987。
- [1] 陈家坊, 四十年来土壤化学的发展, 土壤学进展, 17(4): 17—22, 1989。
- [4] G. Sposito, The Surface Chemistry of Soils, Oxford University Press, N. Y., 1984.
- [5] D. L. Sparks (ed.), Soil Physical Chemistry, CRC Press Inc., 1986.
- [6] D. L. Sparks, Adv. in Agronomy, 38: 231-266, 1985.
- [7] D. L. Sparks, Future Developments in Soil Science Research, Soil Sci. Soc. Am., ed., SSSA Inc., 1987.
- [8] N. J. Barrow, Adv. in Agronomy, 38: 183-230, 1985.
- [9] M. B. McBride, Adv. in Soil Sci., 10: 1-56, 1989.
- [10] G. W. Brummier, J. Gerth, and K. G. Tiller, J. Soil Sci., 39: 37-52, 1988.
- [11] Adel. M. Elprince (ed.), Chemistry of Soil Solutions, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1986
- [12] A. K. Alva, M.E. Sumner, Y.C. Li and W. P. Miller, Soil Sci. Soc. Am. J., 53: 38-44, 1989.
- [13] M. Congers, J. Soil Sci., 41: 147-156, 1990.
- [14] D. Hirsch S. Nir. and A. Banin. Soil Sci. Soc. Am. J., 53: 716-721. 1989.
- [15] A. P. Schwab and W.L. Lindsay. Soil Sci. Soc. Am. J., 53: 29-38, 1989.
- [16] 第十四届国际土壤大会论文集(Ⅱ), 日本京都出版, 1990。
- [17] P. M. Huang and M. Schnitzer. (ed.), Interaction of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes Wisconsin, SSSA,
- [18] M. M. Mortland, Future Developments of Soil science Research, Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison. Wisconsin. 1987,