

国内外土壤学研究的动态*

李庆逵

(中国科学院南京土壤研究所)

RECENT ADVANCES IN SOIL SCIENCE

(OPENING ADDRESS PRESENTED AT THE 5TH CONGRESS OF
THE CHINESE SOIL SCIENCE SOCIETY)

Li Chingwei

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

一、现代土壤学的形成

1840年—1920年间,老一辈的土壤科学工作者,做出了四个巨大的贡献,也奠定了现代土壤科学的基础。

1. 十九世纪中期,李比希(Liebig)以他杰出的分析化学知识,测定了植物组成,说明植物从土壤中吸取灰分元素。并且通过最低因子律,指出各个营养元素对于植物生长的不可代替性。他所提出的土壤矿质营养理论,影响了近一百年的土壤肥料工作^[40],李比希的学说推动了十九世纪末期欧洲化肥工业的发展,特别是过磷酸钙工业。尽管李比希的矿质营养学说存在着缺点,但本世纪初期欧美作物产量成倍地增加,这个学说是起了很大的作用。

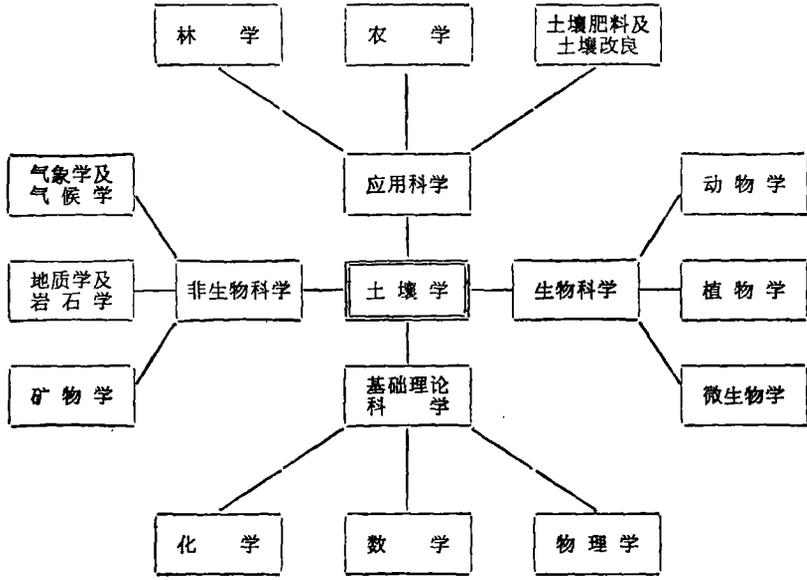
2. 早在1845—1850年间,汤普生(Thompson)和惠氏(Way)通过实验,证明了土壤能吸附 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液中的 NH_4^+ 离子,从而生成 CaSO_4 ,并且能沉淀磷酸离子,形成磷酸铁。直到1908年,盖德罗依兹(Gedroiz)完善了土壤胶体的吸附和代换性能的理论。这个理论,不仅为以后的土壤化学研究奠定了基础,并且在土壤施肥和碱土改良等问题上起了指导作用^[42]。甚至有人说“自然界中土壤离子吸附和代换的重要性,仅次于绿色植物的光合作用”。

3. 虽然在十九世纪中叶豆科植物在轮作中对于提高土壤肥力的作用已经为人们所注意,但是直到1886—1888年间,海尔里盖尔(Hellriegel)应用微生物方法,分离并检定了根瘤菌^[41]。这样就填补了李比希在矿质营养理论上的缺点,是以后合理轮作和施肥的理论依据。

* 此文系作者在中国土壤学会第五次会员代表大会(1983年11月27日至12月3日)和中国科学院第五次学部大会上的报告(1984年1月)。

4. 1880 年以前有关土壤的科学研究在西欧和美国都已经有相当程度的发展，但是土壤研究是从化学、地质学和农学的角度出发，并且分别渗入这些学科之中。直到 1883 年，杜库却耶夫 (Dokuchaev) 提出 Pedology 的名词，这个名字一般译成“土壤学”，更确切一些应该是“土壤发生学”。他认为土壤的形成是取决于“母质”、“气候”、“生物圈”、“时间”和“地形”五个因子^[20]。这位苏联地质学者，提出了土壤发生学的观点。

从十九世纪中期到本世纪初期许多杰出的科学家从“化学”、“地学”、“农学”、“生物学”等方面充实了“土壤学”的内容，这样，在 1927 年柴哈罗夫 (Zakharov) 便有条件就“土壤学”本身做了全面的阐明，他认为，“土壤学”是建立于“理论科学(数、理、化)和应用科学(农学、林学、土壤肥料及改良)”的基础上。土壤学有生物科学的一面(包括动物学、植物学及微生物学)；也有非生命科学的一面(包括地质学、岩石学、矿物学以及气象学和气候学)(附图)。这样使“土壤学”的内容完善了^[36]。



1927. After Zakharov

二、国内外土壤学研究的进展

最近半个世纪以来，现代技术科学的进步为土壤科学研究提供了新的手段。同时某些边缘学科的兴起，扩大了土壤学的视域。使土壤学无论在宏观和微观方面，远远超出了本世纪初期的范畴。因此，在具体接触到现在土壤科学的动态时，便不可避免的要和技术科学以及其他新兴学科联系起来。

1. 土壤调查制图——遥感技术的应用

各个土类不仅表示该类土壤的生成发育过程，也代表土壤的潜在肥力。因此，通过调查、研究，以有系统的分类制度所绘制的不同比例尺土壤图是国家最重要的自然资源之一，是土地利用、农业区划和肥料分配等的依据。

近二十年来,对于世界上的高级土壤类型已经有比较一致的分类系统^[2,9,46]。同时,联合国根据统一的制图单元系统陆续印行分幅世界土壤图^[27]。我国土壤工作者正在就中国的“土纲”、“土类”、“亚类”、“土属”拟订一个分类制度,并尽可能要求和相应的世界土壤分类相一致。由于我国耕作历史悠久,并有自己的农业制度,因此,至于某些特殊土壤,特别对于基层土壤的分类,将充分的体现我国的成土条件^[3,4]。

遥感技术使土壤调查方法起了革命性的变化。1963年我国已应用五万分之一航片来进行土壤调查,1975—1978年间,在新疆、内蒙的漠境土和盐土^[45],以及河北省旱地土壤^[40]调查中,应用了卫片和航片,这些工作都是用遥感技术结合定点的地面土壤调查资料对土壤进行判读^[5,11]。100万分之一全国土壤图是国家最基本的自然资源参考资料之一,中国科学院在尽快的完成这项工作上,应该争取多起一点作用(在工作比较方便的省、区也可以包括50万或20万分之一土壤图)。我们必须认识到,除了日本以外,即使美国,1980年时也只完成英格兰和苏格兰的62,500分之一的土壤图,他们计划在1982—1983年时完成25,000分之一土壤图^[6]。

2. 土壤信息系统的研究

应用电子计算机技术来指导灌溉、施肥(包括某一种肥料的肥效及多种肥料的相互效应)、土壤改良(包括施用石灰、盐土改良、土壤侵蚀防治等)是一种新兴的土壤研究方法,这些方法都以电子计算机为基础。为此,使用电子计算机是土壤工作者所必须掌握的方法。在另一方面,对于上述研究课题的制订、模式的设计以及计算程序的编制是土壤科学研究者自身的任务。

要从事土壤信息系统工作,首先要有一个数据库来贮存长期累积下来的土壤研究和分析数据。土壤的化学、物理、矿物等的分析方法是已经相当的完善了。某些项目如pH、可溶盐、有效性养分、微生物群落等也有具体的操作规定。今天我国土壤界存在着难以置信和不合理的数据,主要的还是在于工作人员不够认真或不够条件。很难设想任何实验室,如果没有一个造诣较深的领导人员,可以开展工作。当然在土壤科学的数据库中,还要贮存有关的记录,如气象、作物产量、水分条件、肥料等。

最近7—8年以来,土壤信息系统的研究方法,逐渐地在实际工作上推广。遥感技术应用于土壤调查,一般是结合信息系统来进行的^[27]。信息系统结合遥感方法应用于作物产量的预测预报,获得了很好的结果。在北美他们累积了长期的气象记录、土壤肥力及施肥效应、作物产量(主要是大麦、小麦和玉米)、作物孕穗前的多谱线图片及其相应的组成份等,拟出计算程序。在美国、澳大利亚、东欧等地,已经应用信息系统的方法,通过农业咨询站,作为合理施肥的指导,但是对于这个方法,某些有威望的土壤农化专家还有不同的意见^[23,30,45],在日本和英国还没有采用。

土壤—植物根系营养的研究,也通过模式来进行。Barber^[18,19]根据磷在土壤中的质流和扩散系数、植物根的半径、土壤固相潜在的供磷能力。水分向根系的流动速度等参数,拟订了作物(主要是玉米)对于土壤磷素营养的模式。他也把这项土壤信息系统的研究结果,和田间生长情况进行对照,并且取得了较好的一致性。但是土壤—植物营养是一个非常复杂的生物过程在应用于生产实践时看来还有不少工作要做。

我们可以看到土壤信息系统的研究包括“土壤调查制图”、“作物产量预测预报”、“土壤施肥和灌溉”、以及“土壤—根系间的离子活动”等方面。从宏观到微观都是以电子计算机作为必要的手段。

3. 土壤田间试验和生态学——土壤物质循环的定量测定方法

土壤肥料的田间试验,过去一般是结合轮作制度、肥料性质、品种配合及施用方法进行。施肥的目的在于获得经济有效的土壤管理方法。最近二十年来田间试验的概念扩展了,人们偏重于土壤肥力动态、生物物质循环以及农田生态平衡的研究。因此土壤渗滤水测定计,土壤气体挥发的装置,以及有机质的积累和分解测定等,都根据不同的研究目的分别纳入田间试验设计中。

(1) 用土壤渗滤水测定计来进行土壤利用过程中的物质移动情况的研究,是长期性的,并且需要较多的仪器设备和比较完善的基地工程。这项工作通常分层采土,顺序地填入坑内,模拟原来的土体。早在四十年以前人们已经指出,当自然土壤剖面一经破坏以后,对于土壤物理、化学性质、水分运行等因素是和大田有差别的,这是填入式渗滤水测定计的缺点。早期所提出的一些就地采集土壤渗滤水的简单设计,在一定条件下,特别对于林地、丘陵地也可以说明一些问题^[37]。由荷兰土壤工作者所提出的以原形土柱为基础的渗滤水测定计,于1980年前后开始在英国推广^[20,21,24,32]。这种土柱高130厘米,直径80厘米,全重近2吨。在种植禾谷类作物时,其产量和大田试验极为一致^[22]。这是一种微区试验中的渗滤水测定计。我们可以试用,作为研究土壤物质循环及剖面发育的工具。

(2) 在自然条件下,要测定作物栽培和施肥对于空气中 NH_3 和 CO_2 等气体组成的变化,还是比较困难的。但是这些测定在研究生态平衡,特别是氮肥平衡时还是有必要的。今天在我国几亿亩农田上,我们每年施入1100万吨左右的化学氮肥(N),通过同位素的方法,才证实了有一半左右的氮素是挥发或流失了。因此现在才重视氮肥的利用率以及氮素循环和环境污染等问题。植物生理研究工作者在研究光合作用时采集不同梯度的叶面上的大气,来分析 CO_2 的变化。这项方法也可以应用于农田土壤的生态平衡研究^[41]。在最近应用微气象学方法来测定土壤中氮素的挥发损失有了进展。在大面积上应用时(几十亩到几百亩)以测定大气中 NH_3 的浓度梯度和输送系数来计算。在应用于小区时,以测定不同高度大气中 NH_3 的浓度以及相应高度的风速来计算^[26,27]。

我们已经逐步地掌握了在自然条件下研究土壤气体挥发组成、搜集土壤渗滤水、分析生物物质的同化及分解过程、明确土壤剖面中养分的移动的方法,不久将有可以定量的进行生物物质循环的研究,这些是土壤科学者对于生态科学的贡献。

4. 土壤测试方法的改革

近四十年以来,土壤分析方法的重大变化在于物理方法和物理化学方法逐步地代替了化学方法。仪器分析逐步代替了重量法、容量法和目测比色法,以及操作和计算步骤的日趋自动化。有关这方面的革新,国内外已经有了总结性文献可参考^[1,7,47,50]。

原子吸收及等离子体光谱在土壤研究中的应用,提高了分析结果的灵敏度(某些元素可达 10^{-9})和精密度(可达 $\pm 3\%$)。在应用于土壤和植物分析时,除了化学分解以外,节

省了某些繁重的化学分离手续。分析方法的革新使四十年前冗长的土壤全量分析步骤将逐步地被淘汰。

中子共振仪在十多年以前已经开始应用于土壤分析^[41],但是近十年来应用中子冲击方法来进行原形土壤样品(Nondestructive method)的元素分析的进展却很少。保加利亚土壤工作者,曾就该国43个褐土、棕壤和灰化森林土壤的14种微量元素和超微量元素,在马德里的原子能研究室进行了测定^[42]。

红外光谱、顺磁共振光谱、核磁共振光谱的应用,逐步阐明了土壤有机质的功能团组成份、土壤有机质和金属离子的结合状态^[25,42]以及土壤有机质的结构。1977年前后地球化学工作者,应用穆斯保尔(Mössbauer)谱仪测定了土壤腐殖酸和Fe、Cu、Mn、V、Mo等金属离子的结合情况。由于新方法的应用,估计长期停滞不前的土壤有机质性质研究,不久将会有所进展。

5. 土壤物理化学研究的进展

土壤胶体表面吸附性离子和植物根系营养之间的相互关系的研究,是近三十年来开始为土壤科学工作者重视。Jenny^[38]首先用电子显微镜观测土壤胶体和植物根系的界面。1979年在英国举行的“土壤—根系界面”国际学术会议,总结了这方面的初步工作^[33]。

最近十年来土壤可变电荷研究受到了国内外土壤化学工作者的注意,成为研究热带、亚热带及寒温带的酸性土壤发生分类、基本性质及土壤肥力的一个重要内容^[43]。离子选择性电极的应用,对于鉴定土壤吸附性离子的活度有很大方便^[1,42]。现在国内也有Na⁺、K⁺、H⁺、NO₃⁻、F⁻、Cl⁻、Ca²⁺以及NH₃气敏电极的成品出售。当然,测定土壤悬液中的离子活度总是要在控制条件下进行的。

我国土壤学者发现距土壤胶体数毫米处尚可引起液接电位,较通常认为的双电层的厚度大10⁴—10⁵倍。这一现象的进一步确立对阐明土壤胶体的化学性质和根系周围的离子状况将有重大影响^[8]。

土壤对于“磷酸盐”的固定,过去光从土壤化学的角度考虑,长期以来被夸张了,一般认为当季作物对可溶性磷肥的利用率只在20%上下。对于磷肥残效,除在水稻土上有比较深入的研究以外^[43],在旱地上,特别在红壤上又往往被忽视了。联合国粮农组织从全世界耕地上磷的平衡来统计,认为磷肥的总利用率可以高达80%,至少说明了在农业实践上,过去把磷利用率看得太低了^[39]。土壤物理化学研究者指出只有在低浓度的情况下,植物对磷的吸收量才和水溶性磷(速效性磷也有类似情况)有直线的关系,在高浓度时便出现很大的偏差。如果用人造树脂来模拟植物根系吸收量,这个偏差便可以得到一定的校正,如果再引进磷在土壤中的扩散系数,那么植物对磷的吸收量和土壤有效性磷的关系便接近于直线。这样土壤有效磷和植物吸收磷之间的关系,应该是“强度”×“容量”×“扩散系数”^[44]。如果能考虑到时间的因子,那么,土壤物理化学的研究,也许能说明生产实践中的磷肥利用率问题。

6. 土壤水分研究的进展

本世纪以来,土壤物理分支学科取得很大进展,它已从描述土壤三相(固、液、气)关系

发展成“研究土壤中所有形式的物质和能量的状态及其传递”^[34]的学科了。其中最活跃的领域是土壤水分的研究。目前,关于土壤水分的能量状态及其传递规律已经清楚,土壤水的流量是由水分梯度和土壤导水率这两个因素决定的。这一研究开创了土壤学的定量研究的范例,为土壤中其他物质移动的研究奠定了基础。同时,土壤物理学家又首先将土壤系统的水分运动扩展到植物和大气中去,提出土壤—植物—大气连续系统的概念。以后,在这个问题上美国土壤学者编写了“应用土壤物理学”一书^[35],将植物生理学方面的水分研究和气象学方面的水分研究统一起来。由于水分运动的物理机理已经明确,配合计算机模拟的方法,就能相当方便地解决各种条件下的土壤水流问题,这在预测预报土壤水份状况,研究水份的有效利用,合理地开发、利用、管理水资源等方面,有发挥作用的可能。在土地和水资源日益受到限制的压力的今天,我们应用和研究这些理论和方法,对发展我国农业生产无疑将会有很大益处。

7. 土壤微生物研究的进展

土壤中几乎存在着包括“农业”、“工业”、“医学”上应用的全部微生物群落。盘尼西林也是土壤微生物专家 Waksman 分离出来的。土壤微生物的菌种保藏,是一个必需重视的工作。但是问题在于要有潜心于菌种保藏的专家,并且有一支忠于科学事业的队伍。对于菌保工作如何适当的组织和安排是国内生物学和农学界所应该注意的问题。

在 1966—1967 年间¹⁾,欧、美土壤学者同时提出用乙炔还原方法来检定固氮酶的活度,使联合固氮或共生固氮作用得以广泛而且比较准确的测定。证明了联合固氮作用在热带地区某些牧草、玉米、水稻等作物上广泛存在,这样揭示了热带草地中土壤氮素含量迅速增加的原因^[46]。

由于菌根的广泛存在,并且对于植物生长具有良好效应,引起了土壤学、植物生理学者的兴趣。1982 年^[48],美国植物病理学会组织了 39 位专家,撰写“菌根研究的方法和原理”一书,包括分类、鉴定、形态学和组织化学、接种剂的生产,以及实验室、温室和田间试验的方法,是菌根研究的工具书。

目前菌根(主要是外生菌根)对于提高土壤养分有效性的作用,一般是针对磷素,也包括锌以及硫、铜等元素。1983 年在布鲁塞尔召开的第三次国际磷酸盐会议认为菌根在培育条件下对于活化土壤磷素的机制,已经有了很好的证明,但是由于土壤微生物群落的复杂性,要在大田作物上引用还有困难。1983 年在南京召开的国际红壤会议上,美国土壤肥料工作者,映出大田试验的照片,显示了外菌根在砖红壤上和无机磷区相对比,对于玉米有明显的增产作用,但这是在新垦的砖红壤荒地(接近于由玄武岩发育的红色风化壳)取得的结果。(第三次国际磷酸盐会议汇编及国际红壤会议汇编,均将于 1984 年由摩洛哥的国际磷酸盐研究所和南京土壤研究所分别出版。)

三、结 束 语

1840—1920 年间,前一辈科学家,通过他们在化学、生物学、地学、农学方面的杰出贡

1) 王子芳, 1983: 细菌植物联合固氮研究的进展。(资料)

献,奠定了土壤学的基础,使土壤学在理论上成为一门独立性的科学,在生产上起了巨大的作用。现代技术科学的突飞猛进,使土壤研究的方法有所革新,无论在宏观或微观方面,也有许多新的启示。我们不能忽视五十年来土壤科学的进展。

总的来讲,今天土壤学本身的成就和现在拥有的仪器设备是不相称的。F. G. Viets,在美国土壤学会为纪念美利坚合众国 200 周年纪念刊中,当谈到“土壤肥力和植物营养科学的进展”时有这样一段话“……放射性同位素和稳定性同位素已作为示踪使用。在电子理论上发展起来的许多新仪器,诸如火焰光度计和原子吸收光谱、发射光谱仪和质谱仪、X-射线衍射仪和荧光分析仪、光电比色计、光谱仪、柱状和气相色谱仪以及电子计算机等相继提供使用。一个现代土壤肥力研究工作者,在李比希的实验室里能干些什么呢?而李比希在我们的实验室里又将会有多大的成就?”^[54]。

回顾一下国际上的土壤学文献以后,有不少土壤学家指出,大约有 75% 或更多的研究课题,在一百年(甚至一百五十年)以前已经认识到了,并且也不断地研究过了。在这样一段长时期中,研究方法虽然有所改进,对于问题的观念也有新的发展,但是并没有划时代性的成就。任何科学都有一段相对稳定的时期,物理学在本世纪早期,似乎也平淡无奇,但是当核子裂变的理论和方法提出以后,物理学便以崭新的面貌出现。植物学以分类学为基础,进入分子生物学,继而进入遗传工程,也是通过不同阶段的跃进,才能提高它的科学水平。

我相信在本世纪结束以前,土壤科学在现有成就的基础上将会有所新的突破。

参 考 文 献

- [1] 于天仁等编,1980年:电化学方法及其在土壤研究中的应用。科学出版社。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所主编,1979(再版):英汉土壤学词汇。185—228页,科学出版社。
- [3] 中国科学院南京土壤研究所主编,1978:中国土壤,附千万分之一中国土壤图。科学出版社。
- [4] 中国科学院南京土壤研究所编,1978:四百万分之一中国土壤图。科学出版社。
- [5] 李留瑜,1981:我国应用航空遥感图象编制几种林分蓄积量表的试验综述。遥感文选。31—39页,科学出版社。
- [6] 李庆远、郝文英等,1981:英国土壤学研究概况,土壤,第2期,72—74页。
- [7] 邢光熹,1981:现代实验技术在土壤科学研究中的应用。土壤学进展,第3期,148—160页。
- [8] 季国亮、于天仁,1983:土壤电荷对盐桥的液接电位的长距离影响。土壤学报,第20卷4期,445—447页。
- [9] 周传槐,1982:美国“土壤系统分类学”内容译编。土壤学进展,1—6期。
- [10] 林培,1981:利用陆地卫星影像进行中比例尺土壤目视解释与制图的研究(以河北省邯郸幅为例)。遥感文选,65—70页,科学出版社。
- [11] 曹锦铎、李锦,1981:广东省博罗县土壤航片判读的几点经验。土壤,第6期,222—224页。
- [12] 普里亚尼施尼柯夫(中国科学院土壤研究所译,1955),1952:农业化学(上册),197—244页。
- [13] 蒋柏藩等,1963:南方水稻土中的磷酸铁对水稻磷素营养的意义。土壤学报,第11卷4期,361—369页。
- [14] 雷通明,1980:土壤化学发展动态和展望。土壤,第6期,234—236页。
- [15] 戴昌达等,1980:新疆荒地资源综合考察中遥感资料的应用。土壤专报,37号,129—134页。
- [16] Ayanaba, A. and Dart, P. J. (editor), 1977: Biological Nitrogen Fixation in Farming System of the Tropics. John Wiley and Son. N. Y.
- [17] Burroff, P. G. and Morrison, D. B. (editor), 1980: Symposium on machine processing of remotely sensed data and soil information systems and remote sensing and soil survey. Purdue Uni., Laboratory for Applications of Remote Sensing.
- [18] Barber, S. A., 1980: Soil-plant interactions in the phosphorus: Nutrition of plants, in “Role of Phosphorus in Agriculture”, (ed. by Khasawneh, F. E. et al) Chap. 21.
- [19] Barber, S. A., 1983: Mechanisms of Phosphorus Uptake by plants and Their Application to

- Plant Selection for Improved Phosphorus Uptake Efficiency. 3rd International Congress on Phosphorus Compounds P. 109.
- [20] Belford, R. K., 1979: Collection and evaluation of large soil monoliths for soil and crop studies. *J. Soil Sci.*, 30: 363—373.
- [21] Blackuell, P. S., 1982: Measurements of areation in waterlogged soils: Some improvements of techniques and their application to experiments using lysimeters. *J. Soil Sci.* No. 4.
- [22] Belford, R. K., 1981: Response of winter wheat to prolonged waterlogging under outdoor conditions. *J. Agric. Sci., Camb.* 97: 557—568.
- [23] Colwell, J. D., 1978: Computations for studies of Soil Fertility and Fertilizer Requirements. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- [24] Cannell, R. Q. et al., 1980: A lysimeter system used to study the effect of transient waterlogging on crop growth and yield. *J. Sci. Food Agric.* 31: 105—116.
- [25] Cheshire, M. V. et al., 1977: Metal distribution and nature of some Cu, Mn and V complexes in humic and fulvic fractions of soil organic matter. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41: 1131—1138.
- [26] Denmead, O. T. et al., 1977: A direct field measurement of ammonia emission after injection of anhydrous ammonia. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 1001—1004.
- [27] Denmead, O. T. et al., 1982: Dynamics of ammonia volatilization during furrow irrigation of maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 149—155.
- [28] Dokuchaev, V. V. 1883: Russian Chernozem (in Russian). Peterburg Uni.
- [29] FAO-UNESCO, 1966—1978: Vol: 1—10, Soil Map of the World.
- [30] Garbouchev, P. and Sadivski, A. N., 1978: Development and use of Soil information systems in Europe, in: "Symposia Papers of 11th Congress ISSS" 3. p. 132—142.
- [31] H. Hellriegel, willfarth 1888: 豆科植物的氮素养分研究。德国 Bernburg 农业试验站印行。
- [32] Haines, B. L. et al., 1982: Soil solution nutrient concentrations sampled with tension and zero-tension lysimeters: report of discrepancies. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 658—661.
- [33] Hakley, J. L. and Russell, 1979: The soil-root interface. (Proceedings of an International Symposium) Academic Press Inc. London.
- [34] Hillel, D., 1980: Fundamentals of Soil Physics. 2ed. Academic Press, New York.
- [35] Hanks, R. J. and Ashcroft, G. L., 1980: Applied Soil Physics. Springer-Verlag, N. Y.
- [36] Joffe, J. S., 1949: Pedology 2ed., N. Y. Pedology Publications.
- [37] Jordan, C. F., 1968: A simple tension-free lysimeter. *Soil Sci.* 105: 81—86.
- [38] Jenny, H. and Grossenbachen, K. A., 1963: Root-soil boundary zones as seen in the electron microscope. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27: 273—276.
- [39] Karlovsky, J., 1981: Cycling of nutrients and their utilisation by plants in agricultural ecosystems. *Agro-ecosystems*. 7: 127—144.
- [40] Liebig, J. Von, 1842: Die Organische Chemie in Ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie.
(这是第一次在 Bad Homburg 印行时的原名,由作者几经修改,中译本“化学在农业及生理学上的应用”是根据俄文版译出的,将于 1984 年由农业出版社出版。)
- [41] Lemon, E. R. et al., 1969: photosynthesis under field conditions XB: Origins of shoot-time CO₂ fluctuations in a corn field. *Agron. Jour.* 61: 411—413.
- [42] Lakatos, B. et al., 1977: EPR spectra of humic acids and their metal complexes. *Geoderma*, 19: 319—383.
- [43] Murrmann, R. P. et al., 1971: Determination of trace elements in soils and clay minerals by resonance neutron activation analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35: 647—652.

-
- [44] Naidenov, M. and Travesi, A., 1977: Nondestructive neutron activation analysis of Bulgarian soils. *Soil Sci.*, 124: 152—160.
- [45] Price, G. H., 1976: The use of a commercial soil analysis service. in: ISSSS Working Group on Soil Information Systems, Canberra, Australia, March 2-4, p. 74—82, Pudoc, Wageningen.
- [46] U. S. Department of Agriculture (Soil Survey Staff), 1975: *Soil Taxonomy*. Washington, D. C.
- [47] Smith, K. A. (editor), 1983: *Soil analysis: Instrumental Techniques and Related Procedures*. Marcel Dekker Inc. N. Y.
- [48] Schenck, N. C. (editor), 1982: *Methods and principles of mycorrhizal research*. Amer. Phytopathological Soc. Minnesota, U. S. A.
- [49] Theng, B. K. G. (editor), 1980: *Soils with variable charge*. New Zealand Society of Soil Science New Zealand.
- [50] Walsh, L. M. et al. (editor), 1971: *Instrumental Methods for Analysis of Soils and Plant Tissue*. SSSA. Wise Wisc. U. S. A.
- [51] Viets, F. G., 1977: A perspective on two centuries of progress in soil fertility and plant nutrition. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 242—249.