

国外考察报告

联邦德国土壤科学研究近况

赵其国 陈志诚

(中国科学院南京土壤研究所)

我们应联邦德国马普学会邀请，于1984年10月7日至11月4日在西德进行土壤科学考察。在此期间，先后参观了14个土壤和植物营养研究所。访问接触了20多位著名教授，其中有：J. Breburda, K. Mengel, U. Schwertman, H. Zakosek, E. Mückenhausen, H. Hartge, H. Kuntze, B. Meyer及B. Ulrich等。并与联邦德国马普学会及洪堡基金负责人进行交谈，作了学术报告，参加了各种座谈会。兹将考察情况简报如下。

一、土壤科学的研究近况

1、土壤调查制图 西德近年来在土壤调查制图标准化的统一方面做了不少工作，土壤调查的有关项目，包括成土条件，剖面形态，利用改良，及土壤评价等，都有明确的分级标准。同时采用计算机方法进行土壤分类及制图。从全国看，小比例尺的土壤图仅有1/300万(1953年)及1/200万(1978年)两种，近年来主要是编制中、大比例尺土壤图，其中比较集中的是进行1/5万土壤图的编制。值得提到的是，上述各种土壤图幅均附有详细的图例说明，并对各级制图单位的土壤种类，名称、地层、地形、母质、地下水、土壤质地、盐基饱和度、石灰含量、土壤水分及腐殖质含量等有详细说明。有时可根据需要将这类土壤图转绘成土壤利用改良或农业生产单因素评价分布图等。

2、壤土分类 西德目前的土壤分类系统是E. Mückenhausen根据W. L. Kubinian的分类进行修改，并经西德土壤学会最后修订的(详见附表)。在此分类系统中，土壤类型主要是根据土壤剖面特征，包括发生层次的排列结构和土壤物质的组成特点等进行划分。土壤分类单位为：部(Abteilung)——纲(Klasse)——类(Typ)——亚类(Subtypen)——种

(Variante)——亚种(Subvariante)。整个系统共分五个部：陆地土壤，半陆地土壤，水下及半水下土壤，泥炭土，及耕种土壤，18个土纲，74个土类。

3、土壤化学及矿物学 主要联系土壤发生，土壤污染及土壤肥力三个方面进行研究。土壤发生方面，近两年来在土壤氧化铁方面主要研究天然和合成的水铁矿($Fe_{10}O_{15} \cdot 9H_2O$)的零电荷点及其与吸附的硅酸盐之间的关系。此外还研究酸度对由水铁矿形成针铁矿和赤铁矿的影响。汉诺威地区有人用电化学方法和电镜技术研究在pH4时，云母矿物中的低价铁从晶格中析出，至晶层间又被氧化成高价铁，说明在云母风化形成土壤的过程中，矿物结晶构造及组成变化的特点。在土壤污染方面，哥廷根大学土壤和森林营养研究所主要进行了三方面的研究。一是关于土壤酸度与酸性大气沉降物关系的研究。该项研究结果表明，按土壤对质子的缓冲反应及土壤pH值可区分土壤为下列5种缓冲类型：(1) 碳酸钙缓冲类型($pH > 8 - 6.2$)；(2) 硅酸盐缓冲类型($pH 6.2 - 5.0$)；(3) 交换性阳离子缓冲类型($pH 5.0 - 4.2$)；(4) 铝缓冲类型($pH 4.2 - 2.8$)；(5) 铁缓冲类型($pH 3.8 - 2.4$)。后两种类型的土壤，对酸度的缓冲作用是非常有限的。二是关于酸雨对不同生态体系中元素流(Element Fluxes)的平衡影响。该项研究表明，由于消耗质子而使土壤产生Ca和Mg的释放和淋失，或Al的淋失作用，并在桦树和枞树林地的土壤腐殖质层中，N素和其他元素出现积累，后者可能是由于酸雨的影响。三是关于酸性沉降物对土壤中固相—溶液—根部污染的研究，通过研究发现，由于大气污染，森林生态体系中酸度的收入大于硅酸盐风化对质子的消耗，并以有机酸(主要是酚)和阳离子酸的形式在土壤中积累，因此使土壤发生酸化。此外，慕尼黑技

Abteilung (部)	Klasse (纲)	
Terrestrische 陆地土壤	Terrestrische Rohböden Ah-C-Böden außer Steppenböden Steppenböden Pelosole Braunerden Podsols Terrae Calcis Plastosole (Fersiallite) Latosole(Ferrallite) Stauwasserböden (Staunässerböden) Kolluvien	陆地原始土 Ah-C剖面幼年土(不包括草原土) 草原土 变性粘质土 棕壤 灰壤 石灰土 富铁硅铝土 富铁铝土 潜育土 堆积土
Semiterrestrische Böden 半陆地土壤	Auenböden Gleye: Gleye der Täler, Niederungen und Ebenen Gleye der Quellwasserbereiche Gleye der Hangwasserbereiche Marschen	冲积土 潜育土 山谷地, 低洼地及平原潜育土 泉水潜育土 斜坡侧渗水潜育土 沼泽土
Semisubhydrische und Subhydrische Böden 半水下及水下土壤	Semisubhydrische Wattböden Subhydrische Böden (Unterwasserböden)	半水下潮滩土 水下土
Moore (Böden aus Torfen) 泥炭土	Moore	泥炭土
Anthropogene Böden (Kultosole) 耕种土壤		

* 据联邦地学资源研究院土壤调查制图研究室编: 土壤调查制图指南, 1982年修订本。

术大学土壤所曾对排水系统流域内, 土壤和河流沉积物中重矿物和粘土矿物组成, 及微量元素(Rb, Sr, Y, Zr, Pb, Zn, Cu)含量进行了较深入的研究。在土壤肥力方面, 一是研究石楠属植物中, 化学元素转移与植物生态体系的发展、稳定、及管理的关系。二是研究桦树和松树林生态体系中, 化学元素的变化, 研究表明, 在松树林下, NO_3^- 在腐殖层中几乎全被淋失, 而在桦树林下, 大量 NO_3^- 被植物吸收。三是研究不同耕地土壤腐殖质和氮素循环与平衡。此外, 汉诺威技术大学土壤所, 采用简单的数学模式方法, 研究土壤中 NO_3^- 和 Cl^- 的移动和淋溶作用。

4. 土壤农业化学及植物营养 在氮素方面, 有的单位研究土壤温度对 NO_3^- -N有效性的影响; 还

进行了黑麦对 NH_4^+ -N的利用试验, 发现被土壤粘粒固定的 $^{15}\text{NH}_4^+$ 有80%在黑麦生长期中被释放, 而原来土壤粘粒固定的 NH_4^+ 仅有3.3至4.8%被释放。此外, 有人对水稻土非交换性铵(标记的 ^{15}N)的释放进行了研究, 结果表明, 在富含蛭石的湿地水稻土中, 非交换性 NH_4^+ 对水稻N素营养起主要作用。在磷素方面, 有人用电超滤(EUF)方法研究磷酸盐在棕壤中的溶解度, 及其对春小麦吸磷量和产量的影响, 结果表明, 施磷肥后的土壤含磷量与春小麦吸磷量和产量之间呈正相关。有的单位曾进行不同土壤施用石灰或硅酸对磷酸盐影响的试验, 结果表明, 施用石灰时, 土壤解吸出的磷酸盐比施硅酸或石灰与硅酸混施的为高。在钾素方面, 有人曾用电超滤提取测定法, 研究水稻土中钾素状况

的周期变化，结果表明，用此方法测定的土壤中钾的含量，在水稻移栽时最大，而在抽穗和成熟期之间最小。此外，近几年来，有的单位通过研究认为，不同作物对钾素的需要与钾素的生理作用有关，其中根系的生长和代谢作用对钾素有效性有明显影响，有人通过研究认为，现代作物生产中所输出的大量植物养分，必须通过施用矿质化肥来补充，同时，为了经济有效地使用化肥，除应发展高产作物新品种外，还应研究土壤养分速测方法。此外，有人指出，磷酸盐的供应强度和缓冲力，是决定磷酸盐有效性的主要因素，但磷酸盐缓冲力，特别是根际磷酸盐缓冲力的测定方法，目前尚有待进一步解决。关于不同作物种类和品种对施肥的反应，有人通过研究认为，钾素有利于光合作用产物的同化和转移，因此，为了获得谷物高产及培育新高产品种，均需要高量的钾，由于禾本科作物根系比双子叶作物长，每单位根长对 K^+ 和 PO_4^{3-} 的吸收率，较双子叶为低，因此，双子叶作物对追施 K^+ 和 PO_4^{3-} 的反应较禾本科作物为快。

关于植物营养方面的研究。最近有单位进行了土壤—根部界面钾素消竭与土壤参数及根系特性关系的研究。该项研究采用定量自动放射照相法和根圈土壤切片法，观察植物根部附近的钾素消竭状况。此项研究表明，在幼玉米和油菜根部约3毫米半径的范围内，K的浓度表现出陡坡梯度。每单位根圈土壤释放的K量，在几天之内可超过交换性K的两倍。此外，有人对磷酸盐和硝酸盐的供应对油菜、菠菜及蕃茄根毛形成的影响进行了研究，结果表明，随营养液中磷酸盐浓度从100降至 $2\mu M$ （微克分子P），三种植物根毛长度可从0.1—0.2，增至0.7毫米。而当P的浓度从1000降至 $2\mu M$ 时，根毛密度也随之增加2—4倍，这种情况表明，养分供应对根毛形成的影响，是调节控制植物吸收养分的机制之一。关于根际磷酸盐动态与其对植物有效性的影晌，最近也有人进行过研究，结果表明，植物对磷酸盐的吸收，使根部表面土壤溶液中磷酸盐浓度发生强烈消竭，其最低浓度为0.03毫克P/升。此外，有人通过研究，发现葡萄叶片失绿现象，进而研究出这种失绿现象可能与土壤紧实有关，由于土壤紧实促使 CO_2 积累，同时使土壤溶液中 HCO_3^- 浓度增加，因而对葡萄叶片生长产生不良影响。

5. 土壤物理 土壤物理研究在西德主要是联系土壤机械耕作，水分管理，及土壤侵蚀等方面进行的。关于机械耕作对土壤结构的影响，曾有不少

单位进行过研究。有的单位指出，土壤水分，总体积及剖面垂直应力在深耕前后变化是不大的。果园土壤及未经耕种的森林土壤，它们在深耕后所形成的结构均是暂时的。因此，只有减少机械压力，或增加土壤承受强度，即粘结（内聚）作用和内摩擦角度，才能使疏松的坚实度保持长久平衡。此外，有的研究结果表明，土壤的采样方向对土壤孔隙度的分布频率影响很小，而对土壤的导水性的影响则很明显；水平方向采取的土样，测定出的导水性最高分布频率值则接近于垂直方向采样测定的最低分布频率值。汉诺威技术大学土壤所，目前正进行下列几方面的研究：即水分不饱和土壤中水分和空气的渗透性；土壤悬液中颗粒对土壤水分渗漏梯度的影响；不同地形部位和地表形式下土壤水分渗透性与土壤侵蚀的关系；有机物质物理机械分解作用与土壤物理性质的关系；土壤孔隙分布与压缩性及水分利用的关系；废物处理中地表渗透水对地下水污染的影响等。哥廷根大学土壤所，近几年应用排水采集器装置，对土壤水分平衡及不同耕作方法（机耕、少耕及免耕）对土壤紧实度及通透性的影响均进行过研究。

6. 土壤利用改良 有的单位在田间条件下，通过测定根部吸水率和土壤溶液的养分浓度，研究物质流对作物养分供应与土层深度及时间函数的关系。有的单位通过区域喷灌需水量试验，建立了以作物、气候及土壤为函数的长期年灌溉需水量的数字模拟模式，该模式可以计算在特定土壤和气候条件下，各种作物每天实际水分蒸腾量及灌溉需水量，并根据计算结果，编制出区域性农地灌溉需水量分布图。有的单位针对施肥对地下水污染的影响，研究不同利用状况下，砂土向地下水运送的溶解物质数量。研究结果表明，施用中量N肥的耕种砂土，其地下水含N量为30毫克N/升，对照约为14毫克N/升；而草地及针叶林下的砂土含N量为<4毫克N/升。至于 Cl^- 在砂土上所表现出的顺序是：耕地>针叶林地>未施肥的草地； SO_4^{2-} 的表现顺序是：针叶林地>耕地>未施肥的草地。此外，有的单位还研究了水分和溶质的垂直移动与土壤、气候及地下水深度的函数关系，按此关系，可预测水分不饱和土壤中，水分和无反应溶质如 Cl^- , NO_3^- 的保留时间。

采用自动辐射照相方法，研究黄土母质发育土壤中的根系发育状况，是一项新的研究尝试，有的单位近年来对两种不同类型土壤的不同土层进行了

土壤根系生长能力对谷类作物产量及养分移动影响的研究，并取得良好结果。

泥炭土的农业利用是西德北部地区的重要研究课题。不来梅土壤技术研究所曾进行过大量工作，该所采用重型犁机具，对泥炭土进行深翻，将泥炭层下2—3米深处的砂土层翻至地表，使之与泥炭层混合，达到改良目的。该所还对低地沼泽土的水分物理特性和土壤—水文田间方法的实践价值进行了研究，同时对排水暗管中铁质阻塞物的形成及处理问题，低地沼泽土中N、P动态及水污染问题，强酸性硫酸盐沼泽土施用石灰改良问题，以及通过深耕改良灰化土等问题均进行了长期的试验研究。

7. 土壤污染与土壤侵蚀 西德汉堡地区的土壤污染是一个突出问题。近年来，不来梅土壤技术研究所曾对汉堡河港腐泥及晒干河港沉积物上耕地中的重金属含量作了研究，结果表明，河港腐泥中，Hg、Cd及Cu的污染极其严重，Zn和Pb的污染程度也甚高，As和Cr属中等。河港沉积物耕地中，平均含Mn1446毫克/公斤；Zn1332毫克/公斤；Cd 9.8毫克/公斤；Pb286毫克/公斤；Cu254毫克/公斤；Cr102毫克/公斤；Ni49毫克/公斤及Co22毫克/公斤。如与该区未经耕种沉积物的相应元素背景值相比，经过耕种的土壤，各种元素的富集顺序是：Cd>Cu>Zn<Pb>Co>Ni>Cr。如果按照农业土壤可容忍的元素浓度标准值的超过程度排列，其顺序是：Zn>Cd>Pb>Cu>Cr>Ni，为了进一步论证河港沉积物是否可以农用，该单位还通过小区试验，对种植在沉积物土壤上的各种作物及土壤中的重金属元素含量，土壤pH值，粘粒含量，有机质含量等均进行了对比研究；此外，有的单位对重金属元素对某些藻类的生理影响也在进行研究，他们希望通过藻类以净化工业废水、废物及污泥中的重金属污染，从而对这些废水及废物进行农业利用。有的单位根据调查及有关资料，编绘了西德地下水NO₃⁻含量分布图，并对河水、地下水NO₃⁻和PO₄³⁻的污染问题进行了深入研究。

在土壤侵蚀方面，由于西德森林覆盖面积达35%左右，因而土壤侵蚀并不严重，但一些裸露坡耕地上，仍出现细沟侵蚀及轻度片蚀。在这方面，慕尼黑技术大学土壤所曾进行小型人工降雨对土壤结构的破坏影响，及水土流失量模拟试验研究，同时，在黄土母质发育土壤上进行了不同植物覆盖下土壤侵蚀及养分流失的田间试验。

值得提到的是莱茵河流域，库伦（Köln）附近

的巨大褐煤露天开采矿区，该区使用大型机具运回开矿时挖走的泥土，并按理想的土壤剖面层次，将矿坑再次填平，然后通过灌溉，施用石灰，机械压实，种植豆科牧草等措施，创造出比原来肥力更高的人工土壤，并将其重新变为高产的农田，建成新的自然景观。据统计，该区至1980年即已恢复矿坑土地面积达19470公顷，占总开挖矿坑面积的1/6，其中开垦利用的共有12960公顷，重新建造改良成为农地和牧草地的有5620公顷，种树造林的有5690公顷。另外有700公顷辟为45个人工湖泊和水塘。这是现代化土地整治，现代化人工生态平衡的实际典范，值得我们重视。

8. 研究技术方法 西德土壤学界对土壤研究的技术方法极为重视，有的研究课题本身就是对新技术方法的研究。实验室内均按需要配备有现代化的各种仪器设备，同时，不少仪器设备是由研究人员根据研究项目需要，自己设计装配的。例如，土壤水分张力计，土壤透气性测定仪，土壤颗粒分析吸管自动仪，测定植物根系对土壤pH、Eh影响的微电极，测定土壤交换性盐基的自动仪，及离心法提取土壤溶液滤板等等都是自己装备的。在矿物分析鉴定方面，对穆斯堡尔光谱仪的使用，已有较成功的经验；对用电子显微镜鉴定观察单粒矿物所用的凝胶固结薄片法也有新的研究进展。在化学分析方面，除广泛应用原子吸收光谱仪外，也应用注射流动分析仪，同时C、N测定仪或C、S测定仪的使用也较普遍。地质科学部门，对地表沉积物及土壤使用C¹⁴断代测定技术也有丰富的经验。为了进行土壤水分、养份的田间定位研究，不少单位已普遍采用排水采集器装置，其中大型的排水采集器直径为3米，深度可达5米，埋设在土中，并设有地下室。中型的为一米见方，埋在土中与地面平行，坑上加盖。小型的直径为20—30厘米，系用塑料圆筒进行装置。最简单的是用带有陶土滤管头的塑料管按不同深度埋插在田间，以真空减压法抽吸土壤溶液。为了测定田间土壤水分吸持力，有的单位自己设计制造出手提式电子探针张力计（数字显示测定结果）。此外，很多单位均采用气相色谱仪，进行田间土壤有机物质矿化分解作用，及室内原状土壤透性的测定。同时，为了研究土壤—根部界面养分分布梯度，不少单位还采用了根圈土壤冷冻切片法。此外，在研究土壤中氮素淋失，土壤水分及溶解质运行移动中，大多采用电子计算机数学模拟方法。在土壤图植字方面，大多采用电子计算机，实现半自

动化。值得注意的是，近几年来，西德各单位的各种分析仪器，均普遍与电子计算机联接，进行自动记录。

二、土壤科学的研究组织系统

西德土壤科学的研究组织大体上可分为三个部分，第一是属于联邦地学资源研究院以及经济交通部下属的各个州的地质局中土壤调查制图研究室，属于这一部分的人数有150人，主要从事土壤调查制图及土壤资源评价、利用等方面的研究工作。第二是属于各大学有关学系的土壤或植物营养，或森林营养研究所，属于这一部分的人数达240人，多为大学教授，讲师，及其它教学人员，也包括研究生。他们兼搞教学与研究工作，主要从事土壤学各分支的基础研究。西德像这样的研究所共约20个左右，每个所的规模都不太大，几十人编制，其中教授只有5—6人，不超过10人，但每个所都有其较突出的研究方向或课题内容。第三为农业部所属的各主要州的农业试验站，这一部分人数不多，仅几十人，主要从事土壤肥力及养分速测，肥料试验，为农民进行农业技术咨询工作。其它在国家、州的行政管理部门，工业部门，或其它地学研究单位中尚有少数土壤科学工作人员。全国设有土壤学会，由汉诺威大学土壤所，哈达克教授(K.H.Hartge)任主席，学会办公室设在哥廷根大学，由哥廷根大学土壤所B.Meyer教授为学会秘书。学会下设有与国际土壤学会相应的7个专业分支委员会。另外还有下列专题工作小组：土壤和沉积物中微量元素(主要是毒害方面)组；水源及土壤利用组；土壤微形态组；土壤信息系统组；土壤和水中磷酸盐组；森林施肥与制图组；土壤分类组；古土壤组；森林土壤腐殖质组等。

三、几点体会

以上所介绍的只是这次访问考察的一般概况。通过这次考察我们有以下几点体会：

(1) 西德土壤科学的研究水平当前在世界上是比较先进的，特别是土壤化学，土壤矿物学，农业化学和植物营养，以及土壤物理各分支的研究较为深入，研究中所用的测试方法及仪器设备也比较现代化。

(2) 土壤科学的研究方向比较明确，在不同系统部门间虽无统一组织，但各自都有其研究方向与特点。学科分支上也有所侧重。

(3) 研究内容或课题设计比较实际，与经济发展，农业生产需要及本国土壤肥料实况联系密切，但并不是停留在一般生产技术方面，而是着重于与生产实践相联系的土壤学和植物营养学的基础研究。

(4) 重视实验室与田间野外研究相互配合，特别是长期的定位观测研究，工作持久稳定，有利于累积长期系统的研究测定资料。

(5) 研究人员科学素质较高，基础好，知识面广，不仅有课题设计的思想，且能实际动手，解决研究中所需要的新技术方法及设备装置等，有利于研究深入。

当然从另一方面看，西德土壤研究机构单位的设置比较分散，在统一组织、集中目标方面较为欠缺，有的土壤学科分支发展并不完善，研究深度也不平衡。总的说来，在这次访问期间，西德土壤科学家对我们是热情友好的，他们在土壤科学的研究上联系实际，长期深入，以及许多先进的研究技术方法都值得我们学习与借鉴。今后我们将继续加强两国在土壤科学方面的交往，以促进我国土壤科学的研究事业的发展。