

澳大利亚土壤及土壤科学研究近况

赵 其 国

(中国科学院南京土壤研究所)

1986年4月14日至5月5日,我应澳大利亚联邦科学与工业研究组织的邀请,对澳大利亚进行了短期的访问考察。在此期间,先后访问了阿得雷德,布里斯班,阿尔米达尼,堪培拉及格里弗斯五个城市中的十二个单位。这十二个单位是,土壤研究所及两个土壤研究分所,森林研究所,灌溉研究所,水分及土地资源研究所,植物与工业研究所,热带作物及牧草研究所(以上八个单位均属澳联邦科学与工业研究组织),昆士兰初级工业所,阿得雷德大学农学院,新英格兰大学农学院及澳国际农业研究中心。此外还在上述五个城市的远郊进行了土壤野外调查。在上述地区与单位的访问中,与澳方的著名土壤学家D.E.Prescott教授(土壤地理学家),G.Beckman教授(土壤地理学家),P.Lant教授(土壤资源学家),A.Rovira教授(土壤微生物学家),K.Lee教授(土壤生物学家),G.Allison教授(土壤物理学家),D.Smiles教授(土壤物理学家),G.K.Frenay教授(土壤农业化学家),K.G.Tiller教授(土壤化学家),E.R.Moor教授(土壤信息学家),S.Thompson教授(土壤发生学家),A.R.Milnes教授(土壤矿物学家),E.Colwell教授(土壤肥力学家),G.N.Ladd教授(土壤生物化学家),G.W.McGarity教授(土壤发生学家)等进行了座谈与讨论,并对双方感兴趣的土壤研究项目,学术进展与科技人员互访等问题交换了意见。所有这些,对进一步增进中澳双方土壤科学的进一步发展打下了良好

基础。兹将这次访问考察的情况作简略报道。

一、澳大利亚土壤

(一)自然条件

澳大利亚位于南纬 $10^{\circ}41'$ — $43^{\circ}39'$ S,东经 $119^{\circ}9'$ — $153^{\circ}39'$ E之间,四周环海,总面积为768万平方公里。澳整个大陆地势低平,地表起伏和缓,平均海拔350米,地形结构从西向东可分为南北三个纵列地带,西部高原占全澳三分之二,海拔200—500米,是大陆最古老部分,不少地段为沙丘覆盖,形成广阔的沙漠。中部平原是澳最大河流墨累—达令河的河经地,大部为内陆盆地。东部山地是澳大利亚的最高处,呈弯曲大弧形,平均海拔800—1000米,山前有广阔的丘陵地带。澳大利亚气温甚高,年均温在 18°C 以上,一月份的炎热程度与撒哈拉沙漠区相似,整个大陆降水稀少,年平均雨量仅470毫米,常年处于极端干旱状态,年降雨量由东向西逐渐减少,呈独特的半圆状分布,大陆中部和西部年降雨量不足250毫米,有的地区甚至低于50毫米。按气候分区,澳中、西部及内地属热带干旱气候,北部属热带干湿气候,南部沿海属亚热带湿润气候,西南角属亚热带夏干气候,塔斯马尼亚岛属温带海洋性气候,由于澳大利亚地形起伏和缓,无明显的分界线,因而上述各个气候区之间是逐渐变化的。澳大利亚有许多古老的特有植物,最具代表性的是桉树,植被呈半环状分布,大陆外缘是森林,内陆是稀树草原,中央是荒漠,按

植被类型可分热带雨林(北部及东南沿海), 热带疏林(东南部), 常绿阔叶林(南部), 热带稀树草原(西部及内陆)及荒漠(中部)。澳大利亚母质主要为花岗岩, 火山岩仅分布在东南部, 变质岩在昆士兰和大陆中部, 沉积岩大多集中在澳大利亚中部和北部, 墨累—达令河流域平原分布有石灰岩, 砂岩和近代河流冲积物, 西部广阔的沙漠区出现第四纪风积物, 南部塔斯马尼亚岛尚有小面积的冰碛物。

(二) 土壤类型

从上可见, 澳大利亚的生物气候与自然景观, 是呈同心半弧形由东往西, 自北向南演变的, 这对整个澳洲大陆的土壤分布有明显影响。从土壤类型看, 东部沿海最外围的半环形地带为砖红壤、红壤及各种热带灰化土; 向内为黑粘土、红棕壤; 再向内部则为红褐色土及荒漠土; 南部海湾沿岸分布有大面积的脱碱土、棕钙土及碱土。

砖红壤。它是澳大利亚北部热带地区所发育的土壤, 温度高, 湿度大, 自然植被为热带雨林, 母质为玄武岩深厚风化壳, 表土大多遭受剥蚀, pH5.5, 阳离子代换量(ECE)每百克土 20 毫克当量, 粘粒含量 40—50%, 剖面中出现铁结核及铁壳, 土壤粘土矿物以高岭石(40—65%)、针铁矿(10%)为主, 粘粒中全钾含量 0.37%, 所有这些特性表明这类土壤具有高度富铝化的风化特点。在利用上这类土壤适于发展各种热带作物, 经济作物及各种热带林木。

红壤。主要分布于东部浅丘地带, 母质为花岗岩及部分火成岩, 土层深厚, 富铁缺硅, pH5.5左右, ECE每百克土为15—18毫克当量, 粘粒含量30—40%, 粘土矿物以高岭石(20—30%)及水云母(30—40%)为主, 粘粒中全钾含量2.5%, 这类土壤风化程度较上一类型为轻, 排水较好, 有机质含量5%左右, 但磷素缺乏, 除部分为牧用外, 大多已开垦种植旱作。

热带灰化土。与上述两种土壤相间分布,

植被为森林及灌木草原, 母质为各种沉积岩及第三纪玄武岩, 质地较砂, 粘粒含量15%左右, 灰白色土层粘粒仅含10%左右, 其下为腐殖质淀积层, pH4.5左右, ECE每百克土仅5毫克当量, 其中代换性氢占98%, 磷、钾及部分微量元素均缺乏。除部分稀树林地外, 很少开垦利用。

热带黑粘土。主要分布于昆士兰东部和新南威尔士北部的夏雨型地区, 母质大多为粘重冲积物, 以草本植物为主, 其特点是, 质地粘重(粘粒含量60—70%), 有机质含量高(15%左右), 土层深厚, 粘土矿物以蒙脱石为主(含50—65%), 全剖面具有膨胀与收缩性状, 底土有时出现碳酸钙。水分与养分含量均低, 耕性不良。这类土壤虽是粮食作物的主要基地, 但在土壤物理性状的改良及水分、养分的合理供应与管理上, 均存在十分突出的问题。

红棕壤。分布于澳冬雨型区及大陆西南部, 年雨量400—650毫米, 植被为稀树草原, 母质为页岩及冲洪积物, 表层质地粘重, 呈红棕色, 微酸性, 下层偶有碱性反应, 有机质3%左右, ECE每百克土仅含10—12毫克当量, 盐基饱和度60—75%。这类土壤大部为放牧地, 南部地区开垦种植小麦, 在利用中需要注意灌溉与施肥。

红褐土。与上一土壤分布地区相近, 以稀树草地为主。气候较早, 年雨量仅350—450毫米, 母质为砂质风化物, 呈弱酸性反应, 下层粘粒含量可达40%左右, 干时发生收缩, 形成裂隙, 下部土层偶见石灰结核。这类土壤除自然放牧外, 很少垦用。

荒漠土。主要分布于澳中、西部, 占全澳总面积43%, 类型甚多, 包括石质荒漠土, 棕色荒漠土, 漠境沙岗土, 漠境沙质土等。这些土壤有的发育于石灰岩及残积母质上, 有的发育于碎屑状物质上。气候干旱, 植被稀少, 砾质裸露, 形成广大的漠境荒原景观。

盐碱土。主要位于大陆南端的半荒漠及内陆封闭洼地中。滨海盐土以氯化钠, 内陆盐

土以硫酸盐为主。碱土呈斑块状分布，代换性阳离子以钠和镁为主，心土层为柱状淀积层，粘粒含量较表层高2—3倍，物理性状差，其特点是，镁和粘粒含量均较高。

此外，澳大利亚三角州及滨海地区有滨海沼泽土，山地为各种石质浅层土，800米以上的山顶分布有泥炭土及腐殖土等，但这类土壤有效肥力甚低。

二、土壤利用

澳大利亚的农业主要集中在中央干旱和沿海区之间，水分是农业利用中的主要限制因素，全国灌溉面积约150万公顷。在利用上，酸性母质发育的土壤用于放牧，基性母质发育的土壤及各种冲积土，以种植小麦与牧草轮作为主，在灌溉条件能够保证的地区，主要发展水稻及甘蔗。从土壤养分看，土壤中大多缺氮少磷，少数土壤也缺钾，位于大陆中间地带的小麦种植区，尚有缺硫情况。据统计，澳全国每年消费的磷肥为60万吨P（折合140万吨 P_2O_5 ），而氮肥用量仅25万吨N，钾的用量则很少。由于土壤缺磷，为促进牧草生长，普遍使用磷肥，在牧草种植的后作小麦上，主要依靠牧草的共生固氮作用积累的氮素，一般很少再施用氮肥，因此，氮肥的施用及其有效性一直成为全澳土壤肥料的主要研究问题之一。此外，澳大利亚土壤侵蚀甚为严重，澳内地荒漠区以风蚀为主，风砂之大可蔽天日，砂粒可飞越海洋，堆积到大洋彼岸的新西兰，这种风蚀对农业及放牧均有严重影响。澳东部沿海山区以水蚀为主，严重地区可发生面蚀、沟蚀和崩裂侵蚀。防治方法，除采用等高条植、作埂防冲、免耕或种草等措施外，还通过制订有关条例，如严禁砍伐森林，严禁坡地开垦与放牧等加以控制。澳大利亚盐碱问题也十分突出，盐碱化土壤分两种：一种是由于土壤母质及岩层本身含盐，因水分蒸发产生积盐，称旱地或原生盐碱土；另一种是因不合理的灌溉所引起的，称次生或灌区盐碱土。这类盐碱土，物

理性状不良，水质甚差，特别是灌区次生盐渍化面积每年扩大2—15%，当前主要采用种植耐盐作物及牧草，施用石膏，植树造林及打深井抽排等措施进行改良，但问题仍然十分突出。澳大利亚中、西部分布有大面积的黑粘土，面积达74万公顷，这类土壤地势平坦，大多为碟形洼地，由于质地粘重，土体紧实，富含盐碱，地表常有侵蚀，因而水分贮存及机械耕种均较困难，同时影响种子出芽，当前澳土壤研究所正集中力量对这类土壤的膨胀收缩特性，水分及养分的有效性等开展深入研究。

三、澳土壤学研究进展

澳土壤研究始于1931年，随着灌溉事业发展及河谷平原土壤不断遭受盐碱化，从而推动着土壤研究的开展。目前全澳土壤研究机构与力量，主要集中在联邦科学与工业研究组织中，这一机构与中国科学院大致相当，其下设有五个相当于中国科学院学部的组织，其中地球资源学部设有土壤研究所，土地利用所及土地资源管理所等；生物资源学部设有灌溉所及作物发育所等。这些单位，除土壤研究所力量较集中外，其他单位也有一定的研究力量与工作。此外，澳大利亚各个州的农业局均设有土壤机构，承担各州的土壤调查制图与土地评价研究。悉尼、阿得雷德与阿尔米达尼等三所大学均设有土壤系。按全澳土壤学会统计，全国土壤学会会员约800人。澳土壤研究所是全澳的土壤研究中心，设有一个总所及三个分所，共有研究人员175人，其中高级研究人员40余人。全所共分土壤发生(地理)、土壤化学、土壤物理、土壤矿物、土壤生物及土壤地貌等六个专业研究室。下面就全澳土壤研究近况作一简述。

(一)土壤地理 主要研究土壤分类，土壤资源，土壤制图及土壤发生。澳大利亚土壤分类，过去也受苏联及美国影响。当前全国同时通用两种土壤分类系统：一是大土类分类系统，是H.C. Stace于1986年在Stephens

(1962) 提出的分类系统上, 进行修改而成, 共包括 7 个土纲与 43 个大土类, 其中大土类是按土壤颜色、质地差异及剖面形态作为划分依据, 这种分类基本上属形态发生分类系统; 另一个是 Northcote 于 1979 年制订的检索土壤分类系统(实用检索分类系统), 此系统主要按土壤剖面形态, 如质地、颜色、结构等作为划分依据, 共分门、亚门、土科、土类等级别, 各级划分依据具有定量化与指标化特点, 采用检索方法, 便于在野外应用, 此分类系统在澳土壤界已经通用, 但由于缺乏发生与实践指标, 因而在国际上影响较小。此外, 1979 年 Anon 按美国土壤系统分类(1975), 编定出澳土壤编码分类系统, 这一系统在澳部分单位也得到应用。澳土壤学界目前正致力于制订出一个新的能被国内外公认的土壤分类系统, 但这一工作尚存在不少困难。在土壤制图上, 澳全国已出版二百万分之一土壤图, 而全国百万分之一土壤图的编制工作, 目前尚未全面开展, 全国五十万分之一土壤图也只限于在个别地区进行。澳在土壤资源研究方面, 除按卫片影象及数据分类方法划分土壤资源类型, 拟订土地系统外, 还进行了大量土地利用潜力评价的工作, 在评价方法上, 主要选用各单元限制因素作为评价标准, 并采用不同利用方式, 如林地、农地、牧地等相关系数作为评价依据。在土壤发生方面, 目前全国大多集中对红壤、黑粘土及盐碱土发生特性及形成过程进行研究。Beckman 等人着重研究澳土壤形成与地质发展史之间的关系, 提出澳土壤发育与世界地质史演替的相关性, 这是土壤发生研究的一个新的方面。

(二) 土壤化学 近年来主要研究土壤毒害物质及土壤污染物对农作物的危害, 土壤养分的供应与转化及土壤肥力状况, 其中包括土壤氮素循环, 土壤微量元素 B、Zn、Mo、Cu 在土壤中的变化, 土壤酸度对牧草品质的影响, 水稻土及灌溉土壤的氧化还原特性, 稀土元素及矿渣等废弃物的合理利用等各个方

面。K.G.Tiller 等人在南澳及维克多利亚盐渍土上生长的大麦及小麦, 其叶片上发现不少棕色斑点, 经过研究, 证明是受 B(硼) 毒害的结果, 这类土壤可溶性硼含量, 每公斤土达 20—100 毫克 B, 而正常土壤含量每公斤仅 4 毫克。防治方法, 除注意土壤免遭污染外, 主要是通过培育耐硼作物品种, 以提高其对硼的抗毒性。此外, 澳大利亚由于农业中氮素的来源主要是生物固氮, 化学氮肥的用量甚少, 因此, 在土壤化学研究中, 氮素问题一直被列为重点。关于生物固氮作用是氮素研究的突出问题, 在这方面, 不少单位主要集中研究牧草的自生和共生固氮作用, 并对田间条件下测定固氮强度和固氮量的问题进行较深入研究。近几年来, 澳植物工业所与环境力学所合作建立了在田间直接测定氨的挥发损失量和动态过程的微气象学方法, 其优点是可在不改变土壤水热条件和田间小气候的情况下, 进行连续观测。该项研究, 已经在研究方法与实际应用上取得明显进展, 正在引起国际上的重视。近几年南京土壤研究所的氮素研究小组也与澳方合作此项研究。

(三) 土壤物理 澳大利亚红棕壤中粘土层的代换性镁与钠含量甚高, 透水不良, 灌溉后易引起盐碱化, 因此, 土壤水分物理特性是重要的研究内容。在这方面, 近年来澳不少单位着重对这类土壤的水分动态, 结构状况, 有效水分贮量及土壤透水性等进行研究。关于开裂粘土物理性状的研究, 也是一个重要项目, B.G.Bridge 等人的研究表明, 由于受膨胀与收缩特性影响, 开裂粘土物理性质的变化与水分含量的变化有关, 在粘粒含量甚高的土壤中, 重力水含量, 孔隙率, 容重及土壤表层的水分含量之间, 存在着定量相关。因此, 这种粘重土壤的水分关系, 可以通过土壤孔隙比率及水分比率表示。此外, 不少单位通过实验室及田间试验, 从理论与实践上研究物质和能量在多孔物质中的转移, 特别是水分在土壤中的移动。G.B.

Allison等人研究了氘及 ^{18}O 在干旱土壤中的分布状况,研究表明,土壤在等温及异温状况下,由于水分蒸发,可以预测 H_2^{18}O 及HDO在土壤剖面中出现的深度模式,这一理论可用以划分在等温及异温条件下进入溶液及蒸发的不同水分性质。此外,关于土壤耕作方式的研究,R.L. McCown等人着重研究了北澳热带条件下豆科牧草(1—2年)与玉米、高粱(1年)的轮作方式,并在这两种作物上采用直接条播,可以收到增产效果,例如,田间试验表明,在常规耕作方式下,玉米产量(15%水分含量)为5.6吨/公顷,而用直接条播法可达7.1吨/公顷。

(四)土壤矿物 着重研究土壤矿物组成、分布及对土壤性质影响的机制,同时对土壤粘土矿物的鉴定方法也进行研究。有的单位对Si, Ca, Fe在景观中的分布及导致积聚的因素开展研究。澳土壤所K. Norrish等人通过试验指出,氧化铁及氧化锰在土壤中的含量甚微,但在土壤组成中极为活跃,氧化锰能吸收大量的Co, Ni, Ba及Pb,这种吸收与植物养分及重金属的非活性有关。氧化铁能固定P, Mo, As及Si,肥料中残留的P也能被其固定,当氧化铁不存在时,P将与Pb及Al-有机复合体相结合。近年来有的单位,曾对上述系列反应机制的分类进行了深入研究,同时研究了矿物结晶构造,以其结构上的微小变化对水分子、有机分子或阳离子间相互反应的影响。澳土壤所采用电镜及X衍射法研究土壤及风化过程中土壤粘土矿物的变化,采用穆斯保尔谱法对氧化铁的形态开展研究。R. W. Kimber及A. R. Milnes等人,通过对南澳全新世及更新世海相软体动物中氨基酸消旋作用程度的研究,得出全新世沉积物的绝对年龄为4000年,这种研究方法在国际上有一定指导意义。

(五)土壤生物 主要研究土壤中各种生物过程及其在植物生长与生态系统中的作用,特别是由于生物过程引起的氮素固定、转化及生物共生固氮作用等。G. D. Bowen

等人研究台湾相思树与放线菌(*Frankia*)相结合引起氮素的固定作用,研究表明,这种氮素固定作用对土地开垦、灌木生长及盐渍土改良均有明显影响。澳土壤所通过豆科作物固氮作用的研究表明,谷类作物谷粒中10—15%的氮素是从前期豆科作物所固定的氮素中获得的。R. C. Foster通过电镜对作物根系与土壤界面的研究,发现富含能量物质从根系进入土壤,形成稳定的凝聚体,这种凝聚体在根际带中含有微生物、粘粒及有机物质,该项研究结果有助于对根际微生物区系进行研究,从而能促进植物生长。

澳土壤所在土壤动物(包括白蚁、蚂蚁、蚯蚓、弹尾目及螨类昆虫)对土壤剖面形态及景观稳定性方面进行了深入研究。K. L. Lee指出,蚯蚓与白蚁对氮素的利用与保持,以及氮素在生态系统中的循环均有影响;蚯蚓摄食的速度较白蚁高2.5—7倍,它对食物的吸收率 $<10\%$,而白蚁 $>50\%$;蚯蚓对所摄取的氮素利用率甚高,并以死体归还于土壤,白蚁只能保持某些氮素,它归还到生态系统中的氮素甚少;蚯蚓只能从凋落物中摄取与加工氮素,但不能从空气中固定氮,而白蚁从凋落物中摄取的氮素虽少,但它却具有从空气中固氮的能力。所有这些研究,对热带地区氮素利用与植物生长的关系,有一定指导意义。此外,A. D. Rovira曾对由真菌及丝核菌引起的小麦立枯病的小麦根系进行研究,最后提出通过牧草—小麦或豌豆—小麦轮作方式,并加上常规的耕作方法,可以防止此类病害的发生。J. N. Ladd等人研究了温度,水分及残落物对生长松树的土壤中氮素矿化作用的影响,同时以氮素在土壤中通过微生物对生物量的转化作用进行模拟。这些研究在当前均具有新的内容。

(六)其他方面 除上述几个研究领域外,当前澳大利亚还普遍应用电子计算机、近代数学模拟及近代分析技术对土壤学的各个领域开展深入研究,并已注意土壤学与其他学科交叉渗透。例如澳科学与工业研究组织

的水土资源所广泛采用电子计算机和信息技术,对土壤资源进行调查与评价。该单位应用电磁法测量技术与卫星照片、遥感技术研究盐渍土的侵蚀与沉积规律,应用同位素断定土壤年龄,应用数学模拟预测土壤物质移动与作物产量,同时还应用土壤信息系统分析土壤资源管理潜力。在学科交叉方面,当前澳土壤研究已与能量物质交换,微气象学,作物光合作用与蒸发,物理和生物机械过程,作物适应性与农业系统,植物生产力与生理学基础,生物分子学基础及农业经济综合管理等领域密切结合,这对澳今后土壤学科发展,必将起明显推动作用。

四、几点看法

1. 从土壤学某些分支的基础研究看,澳大利亚具有较好的研究基础与深度。如土壤碳素及氮素循环,土壤发生与土壤断代,土壤动物与土壤根系病害,土壤水分性质与数理模式,遥感制图,土壤自动化施肥及土壤数据库等方面。此外,在新仪器设备与电子计算机的装备上,都较齐全与先进,特别是土壤分析自动化与电子计算机的联接与应用都已十分普遍。这些方面与英国、西德等西欧国家极其相近,但与我国当前的土壤研究条件相比,我们还存在很大差距。当然,在土壤学联系实际应用,如土壤改良,土壤资源利用方面,在基础性研究,如电化学,微

量元素,土壤肥力,红壤发生等方面,与澳大利亚相比,我们仍具有特色与优势,在这些方面,我们需加倍努力,不断推进。

2. 澳大利亚的土壤研究课题分应用与基础性研究两类,但以后者为主,不少单位的研究课题选择均来自研究所本身,例如澳土壤所虽集中力量开展黑粘土研究,但也只着重其基本性质方面。土壤资源,土壤调查制图及土壤施肥等比较联系实际的项目,大多集中在州级生产部门。这些项目与联邦科学与工业研究组织的单位很少联系。此外,澳全国性的土壤研究项目较少,有些工作如土壤分类,土壤资源,土壤制图,土壤化学及土壤物理等项目比较分散,缺乏统一。这种情况,与我国当前土壤学研究所面临的现状相似,是值得研究解决的问题。

3. 澳大利亚地处南半球热带与亚热带。从自然景观与土壤地理特点看,与地处北半球的我国热带及亚热带形成鲜明对照。我国华南及华中地区的土壤类型,发生特性,成土母质,土壤性质与利用条件,有不少方面可与澳大利亚进行对比研究。特别是在土壤地学、生态与环境保护方面,有更好的合作前景,如果今后中澳双方在土壤地理,土壤发生及土壤生态研究方面加强协作与人才培养,这将对我国土壤地学的发展有促进意义。

(参考文献略)