

# 论原始土壤的成土过程

朱 显 謨

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)  
水利部

土壤是由岩石变来的,但怎样变来,土壤和岩石又有那些区别,都有很大的争论,对原始土壤形成过程的研究,非但可以弄清土壤的起源,同时对于土壤和岩石的区别也可以进一步加以明确。

威廉斯认为<sup>[1]</sup>：“肥力是土壤的重要特性,这种特性,就其意义来说,同形成它的原生岩的特性(毫不肥沃)是完全对立的。实际上,我们知道有两种同时同地进行的过程,在它们的影响下,岩石变成了土壤。这就是风化过程和成土过程”。威廉斯又着重指出,“岩石的风化过程和成土过程同时同地进行而使岩石变成土壤”。由于他局限于当初的实践领域,并对于肥沃土壤和毫不肥沃的原生岩体又片面地看作“完全对立”而忽视了它们之间的内在联系,更没有找出岩石转变成土壤的始发动力——以兰藻为主的固N微生物或微形生物。因此他又认为,“风化过程仅仅能使岩石变成成土物质(被粘粒所填充的崩解物),而土壤是由这个成土母质上发育起来的……”。这种把同时同地进行的二个过程“抽象肯定”和“具体否定”的现象,1961年作者在太白山的工作给予了补充和纠正,岩面上生物的着生以及它们对岩石的作用,虽然早就有人观察和进行研究<sup>[2]</sup>;也有人研究了地衣和苔藓等植物对岩石的作用<sup>[4]</sup>,但他们把这些生物的作用主要当作风化动力来看待,并没当作为成土过程来对待,也没有注意到它们之间的相互促进和土壤肥力的演变情况,只有作者<sup>[2]</sup>才把“岩面生物的定居和着生”作为土壤形成过程事实上业经开始的标志,同时这个过程直接和间接地加强了岩体物理风化和化学风化的进行,为了把这个始发成土过程和往常所谓的成土过程相区别,特命名原始成土过程,并把由它们形成的土壤称为原始土壤。作者<sup>[2]</sup>曾把原始成土过程划分为4个时期,并对岩生植物与原始成土过程之间的相互关系及岩生植物的演替发展作了报道。以后作者又在这个基础上对岩体风化、矿物演变以及土壤发生等方面进行了某些观察,现将其情况摘要报道如下。

## 1 岩漆时期的生态环境及土壤性征

“岩漆”时期是成土过程的始发阶段,岩面岩生植物的着生和生物物理风化层出现是其标志。对“岩漆”的观测可知这种薄层胶膜状的物质可呈淡棕、暗棕、淡绿、墨绿、黑色等,常与岩石紧密附着或扎入岩体隙缝,并也可沿着气孔如熔岩(lava)和玄武岩(basalt)等孔壁较深地侵入岩体。岩漆分布的外形紧密受制于岩体的性征,一般始发时呈斑点状,然后发展为“星状”或“变形虫状”,以后可呈“串珠藻状”(Nostoc-like)、“山石蕊状”(Cladonia-like)或树枝状不断向外扩展,以致相互

① 收稿日期:1995—06—10

连成整体将岩面完全染渍。呈色的不同与生物体系的聚积厚度及其分布位置有关,一般位于岩体表面的,开始呈淡绿或淡灰色,然后随着生物体的增加和相互垒积而呈墨绿色和黑色;位于隙缝、微小洞穴中的则呈淡棕至暗棕而未见黑色岩漆的出现。这些均与着生生物类群、种属组合、生态环境和发生演变等有关<sup>1)</sup>(作者将另文报道)。

对“岩漆”的肉眼观察,似“漆皮”状,并多少有发亮感;手指触摸时也感到光滑细腻,但在实体显微镜下观察(72~216倍),则非但色泽深浅不匀,而且表面粗糙不平,同时岩面也未完全被“岩漆”状物体所镀涂,经滴水浸润泡胀后的“岩漆”,在显微镜下观察,很象木耳状冻胶物体不规则地絮固附着于岩面,单层常为半透明而呈色较淡,叠积较多者呈色较深,似有渐向肺络状及带有黑色条纹或斑纹的核块状物体过渡。有时在放大镜下可看见和壳状地衣相似的突起的出现。

前人的研究认为岩漆物质系藻类和真菌等所分泌的粘液或酶,也有人认为系类似腐植酸的物质,作者除直接取样和用各种溶剂提取测验外,并用0.5%NaOH溶液提取,制成溶胶液,再经紫外比色计测定<sup>2)</sup>未见有腐植酸的迹象。正如上述,除主要为生物体的本身及其分泌物外,并见有从着生岩石剥蚀下来的一些矿物、长入矿物体内的橙黄色油泡、白色多角状晶体、植物碱和草酸盐(草酸铁或草酸氢)等植生岩(phytolith)。由此可知“岩漆”时期的着生生物主要能自养,并在岩块深处,光线很少的情况下进行光合作用,1914年Diels<sup>[3]</sup>初次发现岩体内部着生藻类植物,以后植物学家又有不断发现,有人并在深达65m的山洞内,仅为日光源1/1800的情况下见有藻类的生长。

作者对“岩漆”时期的“岩生生物”也作了一些观察,除常见的藻类如Nostoc, Lithococcus, Lithocapsa, nematonostoc, Fischerella, Plectonema等属中的一些属种外,并见有芽孢杆菌、球菌和真菌等,并在电子显微镜下见有硅藻和各种在一般显微镜下不易看到的微形藻类和光细菌等。其中主要见有螺旋藻属(Spirulina)、管孢藻属(Chamaesiphon)、单歧藻属(Tolypothrix)、双歧藻属(Scytonema)等。

不论在偏光显微镜或在电子显微镜下观测,都发现岩体着生、岩生生物而出现岩漆状染渍后,非但见有原生矿物边缘部分混浊和被铁染等现象,“岩漆”本身除见有一些植生岩(如草酸盐)的晶体外,并见有高岭、蒙脱、氧化铁等晶形和长石、石英等碎屑。氧化铁有时晶形良好,有时则呈颗粒状聚集,岩漆时期原生矿物的铁、氧化铁及其有机化合物的出现值得重视。

作者曾将岩漆时期的剖面<sup>[2]</sup>划分为带有岩漆染渍的生物物理风化层和微风化层,并又为以后的工作所证实<sup>3)</sup>,不过其厚度常因岩块性态的不同而有明显的差异。正如Diels<sup>[3]</sup>首先用锤头砸开白云岩,在隙缝中发现有兰藻生长那样,凡属成分单一、均质、致密、透水性不良和热力风化较不明显的岩体,其厚度和岩漆形成的情况,远远不如其它岩体,作者对白云石或石灰岩上着生的岩生植物的观察,非但兰藻的属种较少,岩漆分布零星,同时其整个风化层也极浅薄而坚硬、看来光秃岩面热力风化非常强烈(夏季日较差可达60℃)的部分,除在隙缝中滞留降水外,在夜间岩面温度骤降时也可把岩面上的凝聚水保蓄起来,并为岩生生物的繁生创造了条件,同时这些生物也将有助于岩体吸收、保持更多的降水和凝聚水,这样就又加强了岩体的湿润而有利于化学风化的进行,结果对岩体来说,岩生生物就给予了热力风化本身无法获得的新内容。为了把这一部分和岩体里面比较新鲜而尚无生物着生的部分相区别,作者特称它为生物物理风化层。

① 1)新疆阿尔泰山地区戈壁岩漆,非但呈发亮的黑色,而且在电子显微镜下见有各种微形藻、杆菌(多数具有第1~4个鞭毛)和氧化铁的晶丛,偶见蒙脱、高岭、多水高岭等粘土矿物。 2)系由唐森本同志测定。 3)主要在南京—苏州间山地、贺兰山以及美国中西部干旱地区所采的标本。

生物物理风化层的出现,实质上就标志着成土过程的开始,不管它的面积如此之小,而其厚度又如此之薄,但它已具有一定的植物营养元素,尤其 N 素化合物的形成和积累,并对水分来说也具有较大的保蓄能力,而和它下面“毫不肥沃”的岩体具有质的区别。这一层,除以生物体和岩体为主外,并含有一定的矿物碎屑、植生岩、有机物和相应的粘土矿物等。这样非但为地衣的着生创造了条件,并也为细土的形成和出现提供了物质基础。



Fig. 1 Litholac stage

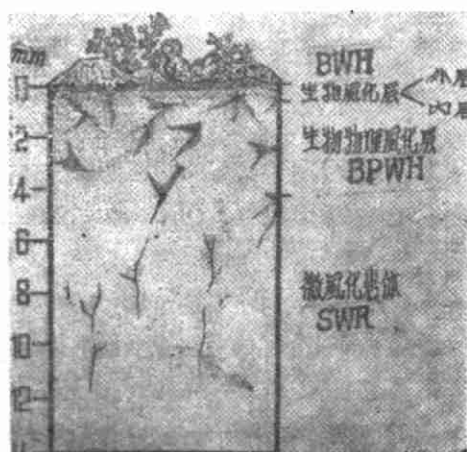


Fig. 2 Lichen stage

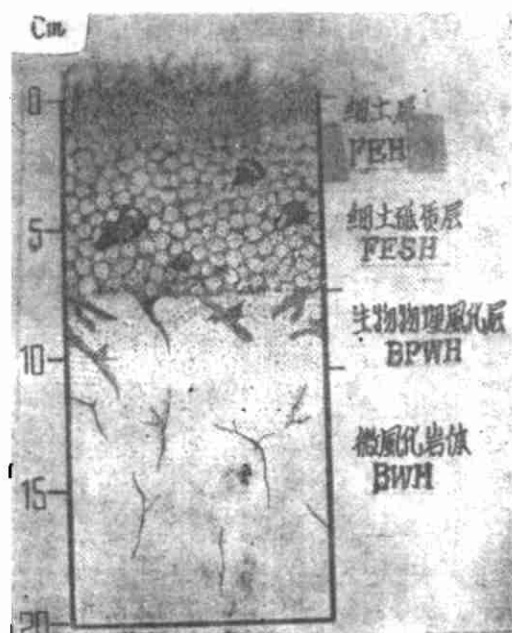


Fig. 3 Bryophyta stage

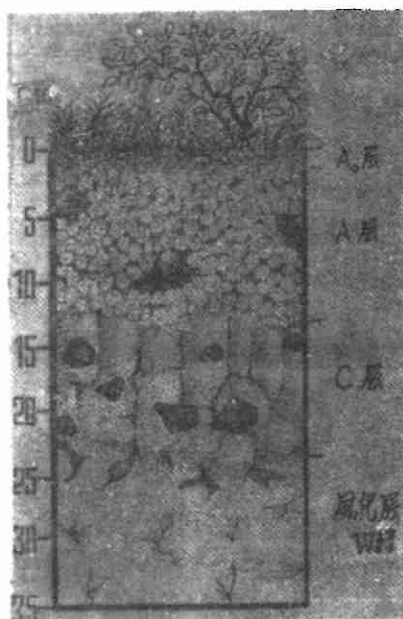


Fig. 4 Primary Mountain Meadow soil

## 2 生物风化层的形成和细土的出现是地衣时期的主要标志

“岩漆”表面壳衣个体的出现标志着地衣着生时期的开始。所见壳衣个体,一般呈灰和黑色,壳斑很小( $\leq 1\text{mm}$ ),有时仅在放大镜下才能见到。从“岩漆”中发现原始菌藻共生体前原始体(Prothallus)或下原始体(Hyprothallus)来看(图版1,2),这种壳衣系由“岩漆”中相应菌、藻共生演变进化而来。由此也可推测,当陆生生物起源时,陆地上地衣的出现,势必遵循这样的进化途径,而“岩漆”时期的土壤肥力又成了这种进化必要条件,当然,在目前情况下,倘若被着生的“岩漆”能满足它们生长所需要的肥力条件的话,不能排斥各类地衣在“岩漆”部分直接着生,不过作者在各地(包括其它国家)的实地观察认为,岩生地衣主要还是按照壳衣(Crustose lichen)在前(由个体细小渐向粗大和穹起发展),叶状地衣(Foliaceous lichen)其次和枝状地衣(Fruticose lichen)在后的顺序演进,同时成土过程也按这个顺序不断加强。

实体显微镜下的观察发现,岩面一经出现细小突起后,原“岩漆”表面除见有大小不一的空气泡外,并见有很多主要为硅质的闪亮细粒,尤其在黑色突起部分更为明显而密集,这些发亮细粒一般呈小方片状杂乱地半嵌入冻胶体中,可见它与生物过程有密切的联系,此时“岩漆”的网络和斑纹间也常出现大小不同和形状各异的空间,其中并为似“蜂窝”状物质所填塞,小的为单组仅具3~4格,大者出现2~3组的网孔集体,此时已明显可见黑色壳衣体呈单一或2~3个集体出现。这时壳衣的外缘,常呈暗灰至黑色,并呈环带状镶嵌于壳衣群体内外,经过水湿泡胀后,在实体显微镜下看来,很象“岩漆”状胶液,而且呈色不一,一般米白色在外,灰、棕色居中,黑色在内,壳衣突起形成后,这个个体又为黑色环带所围绕,如此随着胶状物质的不断外伸而壳衣集体也不断向四周扩展。

壳衣群体中出现的细小硅质颗粒,随着壳衣属种的演进和壳形增大而不断增多、增大。至黄绿衣(Rhizocarpon)后,非但有时肉眼可见,就是用手摸之,也有粗糙的感觉,可见这个时候生物风化作用多么强烈而明显,更值得重视的是,自壳衣着生岩面一开始,就在壳衣底下、岩体表面出现了一较疏松的薄层,其外表虽呈色不一,但不同矿物间的界线已模糊不清,并和内部依然保存不同矿物晶体间的岩体具有明显的分界,这一薄层可能就是一般所谓的地衣菌丝体,它沿着不同隙缝和晶体的解理强烈地向内到处渗透缠绕较集中的一层,同时这一层既为地衣类植物从岩体获得矿质元素,又是它们所分泌物质及其遗体经矿化作用所产生的生物起源的粘土矿物等主要聚积的场所,同时也不应该忽视地衣酸对原生矿物的破坏作用,所以这层非但业已接受生物机械破坏作用,同时某些矿物早已遭受强烈的腐蚀、破坏、分解和变性使晶体外表形成一个呈色混浊不清的薄层,这一层的岩体非但遭受到强烈的热力解离,同时又被起源于地衣的有机—无机物质和次生矿物等染渍混杂,而与上述的生物—物理风化层显然有别,因而作者又特称之为生物风化层<sup>[2]</sup>。这样一来,整个剖面就可分为3个层段。

生物风化层的特质除上述外,又在于岩生地衣基部出现细土以前,它常呈内外两层,外层(或上部)呈色较浅有时呈灰白带棕色,系地衣体的髓和基质融合在一起的部分,用小刀或指甲剥取呈薄片状,厚达1mm左右,取出小块在玻板上可用指甲压成粉末,用手指触摸除有细粉砂感觉外,有时感到有少量细砂的夹入,这一部分在地衣植物死亡后,首先卷缩成灰到暗灰色的细土,内层(下部)系菌丝体密集分布的部分,其厚度常超出外层2~3倍,呈色较深,并坚硬,用小刀始能

将其划碎破坏,<sup>①</sup>但不能成层取出,而仅能将其刮成粉末,用毛笔才可以从凹凸不平的岩面上扫拨出来。

薄片(thin section)的偏光显微镜下观察,也可看出生物风化层的存在,并能在生物—物理风化层中沿着裂隙和矿物解理侵入菌丝体的部分见有铁质的染渍,生物风化层中和生物—物理风化层的上部长石类和云母类矿物见有部分变混浊的现象;示差热天平的测定见有羧酸和石膏等存在;X—光和电子显微镜等的观察,都见有高岭、多水高岭(glagerite)、蒙脱等出现和石英、长石类碎屑的残存。

生物风化层具有两个亚层现象,也只有壳衣体紧密贴着岩面时最为明显,一旦进入鸡皮衣(Pertusaria DC)、赤星衣(Haemafomma Mass)、石霜(Mycoblastes)和Psora Hollm等属个体较大并常高高隆起的时候,地衣基部也不再完全和岩面相紧贴,这些隆起的“地衣块”,除其四周尚比较牢固地贴着岩面外,中部早已呈蜂窝状组织隆起,并在其基部见有细土的出现。因而部分生物风化层的干缩卷起形成细土的现象,也实为原始土壤地衣时期的重要性征。

从野外的观察来看,地衣的基部尚不能直接生长在石英上面,可见地衣很难或不能分解纯质的石英,也就是他们的菌体不能长入石英晶体,或它们并不需要直接从石英中获取硅质。实体显微镜观察到壳衣体外无定形粉粒状物质,除极少部分为草酸钙外,极大部分为SiO<sub>2</sub>的现象,也许为地衣菌丝体扎入硅酸盐类矿物中将其分解,并吸收其所需的元素而将硅素遗弃,或曾为其吸收利用,而后又作为它们的正常代谢产物而析出地衣外,不难想象,地衣在生活过程中,单凭其分泌的地衣酸,就可给其着生岩面的矿物以强烈的腐蚀分解,然后又在其生长生活的必须代谢过程中,形成各种植生岩、次生矿物(包括粘土矿物)等,这些作者曾命名为生物起源的次生矿物<sup>[2]</sup>,这就是地衣时期出现次生粘土矿物和基它一些土壤性征的根源。

着生叶状地衣后的岩石薄片偏光镜观察更表明,叶状地衣的基部业已长入矿物内部,而不再局限于表面和不同晶体间的隙缝,而且对于矿物的影响与距着生点的远近表现出明显的差别,同时对黑云母(Biotite)的次生绿泥石化(Chloritization)、斜长石(Plagioclase)的绢云母化(Sericitization)和钾长石(Orthoclase)的粘土化(Clayization)等作用也较明显。对叶状地衣残体的X—射线衍射分析的结果又表明<sup>[7]</sup>含有多量石英和伊利石,并混有高岭石、长石和极少量的蒙脱石和蛭石等,这些生物起源的粘土矿物,显然将参加到新形成的细土(bine earth)中去。

岩生枝状地衣通常继前二者之后而着生岩面,常见的有山石蕊属(Cladonia)和珊瑚枝(Stereocaulon paschale)等属的少数种,它们常丛集在一起,基部所堆积的细土逐渐增多,它们有较粗壮的假根,其尖端的分枝,又能强有力地深入到岩体的隙缝中去,大大加强了其着生部分的风化强度和深度,这样就非但能把生物风化层引向深处,同时也在破碎岩块外面直接增厚了生物风化层,这些都和苔藓植物一起为细土层的形成奠定了基础。X—射线衍射分析也表明,枝状地衣基部细土中的粘土矿物以伊利为主,伴有高岭、蒙脱、蛭石和极少量的石英。显然细土中具有这些粘土矿物就必然会直接增加了它对水分和养分的保蓄机能<sup>[2]</sup>。

从上述的情况看来,原始成土过程的第二个时期是和地衣类植物的着生及其演进等相紧密联系的,这个时期的实质是,生物风化层的发生和发展,生物—物理风化层的增厚和向内扩张,以及细土在地衣基部的出现和聚积。这样非但显著地加深了块状岩体的风化薄层,同时也使岩面的原始土壤不再局限于隙缝中,而在岩面上从无到有,从点到面地出现,对于植物生长所需的水分

●①, 1)这种现象由刘东生教授从西藏高原带回来的标本最为明显。

和养分条件有了重要的发展,为后来苔藓植物的着生提供了物质基础。

### 3 细土层的形成是苔藓植物着生后的产物

原始成土过程的第三个时期一般是苔藓植物的着生和发展相伴随的。其特征为岩面上细土层的形成、发展和细土—砾质层的出现(相当于粗骨土—Skelcton soil)以及生物风化层的消失<sup>[2]</sup>。

岩生苔藓,虽然远在壳衣后期就开始着生,但必须在地衣植物的尸体或多少带有细土的岩块隙缝间生长起来,然后顺着着生地衣的地方扩展开来,匍匐岩面的藓类,最早着生岩面,并借其匍匐枝沿着壳衣体呈放射状向外伸展,植枝直立的藓类常作点状长入多少带有细土的岩面低凹、隙缝等处,然后作环状或月牙状向外伸展,二者最后都可呈地毯状将整个岩面掩盖起来<sup>[2]</sup>,这个时候它们比较粗壮的根系深深扎入岩体隙缝和盘缠在岩面生物风化层中,又加苔藓的植枝较大,生长较速,所以一方面显著地扩大了有机物和细土的来源,另一方面又加强了岩石拦截细土和含蓄水分的能力,同时它们又具有特殊的保水机能(最大可保持其自身体重的80倍以上),这样就非但聚积了细土和增厚了土层,同时又促进了内部岩体的风化作用,加之又通过它们的假根把能引起风化的生物、物理、化学等因素引向岩体更深之处,结果一方面加深了生物—物理风化层的厚度,并使这个风化层中化学、生物化学作用更加加强起来,另一方面由于细土在岩面上的增厚和在岩隙间的增多以及细土化作用的加强,非但形成了掩盖岩石的细土层,同时不断获得增厚,待至后来足以提供高等植物着生所需条件后,就在这个细土层的基础上形成富含有机物的A层。

对长白山顶某些岩生苔藓植物基部细土的X—射线分析结果表明,粘土矿物主要为伊利石、次为高岭、蒙脱和蛭石,并含有极少石英,而对苔藓时期整个细土层的分析结果又以伊利(或云母)和长石为主,并也含有高岭和蛭石,石英含量也很少。可见二者之差,在于前者多生物起源的次生粘土矿物而后者又多半风化原生矿物的夹入。最近对长白山相似细土的电镜观察,也见有高岭、氧化铁、蒙脱和多水高岭的存在。

原始成土过程中,苔藓时期的另一个重要特征是在后期见有细土砾质层的出现以及生物—物理风化层的下移和不断增厚<sup>[2]</sup>,随着这个时期成土作用的加强,风化因素尤其“岩漆”时间的微形菌、藻及细菌等更加深入岩体,生物—物理风化层的厚度获得了显著的发展,但是由于这一层上部风化和成土作用的加强,岩隙的扩大以及细土和岩石碎屑等的不断填充,再加早先破碎岩块周围生物风化层的增厚和它不断形成细土和岩石碎屑混合物状薄壳等结果,将岩体分割成若干互不相连的部分,最后就变成由大量岩石碎块为骨架的同时又为细土及矿物碎片所填充的层次—细土砾质层。

这样一来,生物—物理风化层所出现的位置就不得不随着细土砾质层的出现和不断加厚而逐渐下移,当然,地表细土层的增厚也多少加强了这个现象的发展,显然,生物生长的旺盛,一方面增加了对生物生长所需水分和养分的需求,同时又不断增长了透水蓄水和保水的性能和养分条件及各类元素生物小循环的内容和速度,另一方面必将导致风化因素——水、有机酸、氧和盐类的不断深入岩体,并不断增加了它们的作用强度和时间,尤期化学和生物化学的作用大大加强了,这样就必然导致生物—物理风化层逐渐加强化学风化的作用,并在一定条件下经过相当时间后,就会形成一般所谓的风化壳了。这也许就是人们认为土壤是在经过风化的成土母质或风化壳上形成的实例,但是在实质上正好相反,非但成土过程和风化过程同时同地进行,而且成土过程加强了土层下垫岩体的风化过程,并为风化壳的形成加厚创造了条件。

原始土壤的成土过程将随着原始土壤上高等植物的繁生以及一般常见土壤的发育而告终。

从秦岭、西藏高原和长白山等地所见的情况看来,部分原始成土过程是以高山或亚高山草甸土和苔原土的发育而告终。作者曾把它划分为原始成土过程的第 4 个时期,并在其相应土类之前冠以“原始”二字,如原始草甸土和原始苔原土等。

迄至目前为止,原始土壤和一般土壤的巨大差别,在于后者具有一定发生层段的土壤剖面<sup>[2]</sup>,A 层明显而呈色较暗,并具有明显的腐植酸<sup>[8,9]</sup>和一定量的外披腐殖质胶膜的团粒结构,而前者却停留在低级或始发阶段。

从上述的情况看来,原始成土过程中的岩石风化和成土过程是与岩生生物的着生演进紧密相联,这一自然现象非但明确地提供了成土过程和风化作用同时同地进行的实例,同时也证实了生物因素在成土过程中的主导作用,并对土壤起源和陆生生物起源及其演化等研究提供了一定的线索。当然对土壤肥力的发展过程和它在不同时期中的具体内容及其不同植物区系间的相互联系相互制约的情况的发现,对于今后土壤利用、改良和农业生产具体措施(如因作物施肥,因生产目的不同而施肥和因土、因地种植等)的制订等都将有一定的参考意义。

非常明显,对原始土壤来说,土壤肥力又和生长在它上面的植物对它的要求是分不开的,同时这些要求也常因植物不同而有异。所以我们应该认为,对农业生产来说,土壤肥力的内容除有一定的地带性外,对它上面所生长的植物(不论野生或栽培)来说,又将既具有一定的不可分割性,又具有相当的专特性(Specificity)。

本工作近年来深受南京大学仲崇信、朱浩然、汪正然等教授,西北大学王永炎、黄玉华教授,昆明植物所黎星江教授,微生物所魏江春教授,武汉水生生物所胡鸿钧教授和西北植物所王作宾、张满祥、吴金玲等教授的关心、指导和协作,特致以衷心的感谢!

#### 参考文献

- 1 威廉斯. 土壤学(俄文本). 39~56
- 2 朱显谟. 土壤学报, 11(1963), 1: 1~8
- 3 Diels, L., Ber Deut. Bot. Ges., 32(1914), 502~526
- 4 帕尔费诺娃, E. N. 等, 土壤中的矿物学研究(中译本), 科学出版社, 7~16
- 5 罗贤安, 李香兰等. 土壤学报, 16(1979), 4: 339~351
- 6 罗贤安等. 水土保持通报, 1973, (4)