

重视和保护土壤结构

记土壤结构研讨会圆满结束及随感

姚贤良

(中国科学院南京土壤研究所)

由中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室会同中国土壤学会土壤物理专业委员会,于1986年9月12—22日在南京举办的一次小型的“土壤结构研讨会”已圆满结束。这次会议邀请了加拿大农业部研究员兼加不列颠哥伦比亚大学教授耿庆文,美国夏威夷大学农学和土壤系教授G. Uehara系统主讲土壤结构的形成、管理及测定技术的学术报告。中国土壤学会土壤物理专业委员会正副主任俞劲炎、姚贤良,南京土壤所的赵诚斋、徐富安和费振文等同志分别在会上介绍了土壤磁学研究进展、中科院土壤物理室的研究工作现状,太湖地区土壤耕作的研究,土壤水势的测定技术以及土壤微结构研究中薄片制作技术等学术报告。土壤物理专业委员会举行了扩大会议,听取了与会代表对今后开展学术活动的意见和建议,讨论了活动计划。十天会议,使我们进一步了解了国外研究土壤结构的一些观点、方法及研究近况,交流了学术观点,对增进知识、了解信息、促进学科发展及其进一步联系生产实际,实有裨益。由耿庆文和G. Uehara主讲的土壤结构共十讲,涉及土壤结构定义、形成、作用和结构管理。现根据整理者的体会简介如下。

一、什么是土壤结构

土壤结构是土壤物理学中一门较老,而又在定义上仍未肯定的研究领域。土壤学家、农学家以及水利学家都承认土壤结构无论在调节土壤肥力,提高作物产量,还是在防止水土流失和抗旱保墒中均具有重要作用。但是

有关土壤结构的定义至今仍未统一。对它的涵义尚有不同的理解。且不谈我国古代农书的记载,我国现代土壤物理学的发展中,五十年代初期为研究土壤结构的高潮,主要受威廉斯“团粒结构学说”的影响,一度认为我国除黑钙土外,大多数农田均为无结构土壤,似乎土壤有无结构与作物产量无关。其实在五十年代末期苏联土壤物理学家已对威廉斯的结构学说进行了补充和发展,其定义比较综合。六十年代以H. A. Качинский (1965)为代表的东欧土壤物理学家认为土壤结构是不同大小、形状、孔性、力稳性和水稳性的团聚体的综合^[1]。美国和澳大利亚的观点比较一致, Baver (1972)认为,土壤结构意即土壤中原生和次生颗粒的排列型式,其中也包括土壤孔隙在内^[2]。Marshall等(1979)定义为土壤固相颗粒及其间孔隙的排列^[3]。Hill-el (1982)称之为土壤中颗粒的排列组合^[4]。1983年第一次国际土壤物理培训班(意大利)上,比利时学者De Boodt对土壤结构是土壤颗粒的空间排列的这一定义作了解剖。认为必须区别三种情况: 1,基本颗粒空间排列成团聚体以及形成或破坏这种团聚性的力的研究,这是土壤结构研究中比较理论性的问题; 2,土壤复粒的空间排列及其所引起的孔隙大小的分布,这是土壤结构研究中比较实际的问题,其中不仅包括孔隙大小分配对土壤空气、水平衡和植物生长的影响,而且也包括揭示植物根系最佳物理环境的研究法; 3,在田间(大结构)或在实验室借助显微镜(微结构)能加以描述的土壤复粒的发生和空间排列。这被称作为土壤结构的形态学,是致力

于土壤调查、分类和发生研究的土壤学家所给予的定义。由上可见,当在应用这个“结构”术语时,如没有详细的说明,就必然会引起混乱^[5]。对土壤物理学家说来,更重视第一和第二种定义的内涵。

在这次G. Uehara的报告中,也首先讨论了什么是土壤结构。他强调至今尚没有统一的定义,而按他的看法,是土壤中原生和次生复粒的大小、形状和排列及其排列的稳定性,这观点类同上述,但强调了排列的稳定性。我们认为多数土壤物理学者对土壤结构的定义的认识是比较一致的。都不否定作为结构个体的土壤颗粒(包括复粒)的团聚作用,都强调了作为结构整体而言的土体中大小孔隙的分布及其稳定性;都重视由于颗粒不同排列所引起的大小孔隙分布及其稳定性对土壤肥力诸因子和根系生长的重要影响。从物质概念上说,任何物质均有它固有的结构和由此而产生的功能。土壤也不例外。没有孔隙的岩石则不是土壤,只有当岩石风化呈碎屑体,其中有了各种大小的孔隙,才能通气、贮水和保持养分,并使生物有生存的条件,才能称之为土壤。因此,不同颗粒的排列及其所形成的大小孔隙分布的重要性就不言而喻了。问题是我们至今尚不能定量地确定其排列形式和大小孔隙的分布及其稳定度。而对上述行为对土壤环境(包括物理的、化学和生物的)的定量影响(功能)则了解得更少。

二、土壤结构的作用

Uehara教授讲授的第二个问题是为什么要研究土壤结构。他认为有三个理由:首先是了解土壤结构的形成;第二是对土壤结构进行预报;最后是管理或控制土壤结构。研究的最终目的在于管理。土壤结构的形成主要取决于土壤的组成。Uehara特别强调只占土壤无机部分5%左右的非晶形矿物和约占土壤固相部分10%的土壤有机质在土壤结构

形成中的重要作用。土壤中最最重要的结构胶结剂为腐殖质、无定形氧化铁铝和硅。只要土壤中含有1—2%的无定形胶结物质,对土壤性质亦起重要作用。因此,在一定意义上讲,管理土壤实际上是管理土壤中含量甚少的土壤结构胶结物质部分,而不是占绝大部分的矿质土。可惜至今人们对此的重要性认识不足,研究甚少。Uehara教授还阐述了数十年来虽然对有机质的作用进行了大量研究,但至今仍然说法不一。他认为有机质作为一种键剂(bonding agent)而形成结构稳定性的理论依据不足。根据用有机质处理的土壤中的湿润热大大降低的现象,他认为可能有机质因疏水作用而增加了土水接触角,阻止了水分向团聚体中入渗而起到稳定作用。但要肯定这一论点,还要作很多工作。

迄今土壤结构的形成机制仍然学说纷纭。Harris(1965)^[6]对团聚体形成机制的可能途径规纳如下:

I. 粘团-粘团(粘团:系由晶面间的阳离子或氢键的作用而使粘粒定向排列呈一单位的粘粒晶团)。

A. 粘团面-粘团面

负电面间的阳离子桥。机制与粘土片定向排列成粘团类似。

面⁻---Mⁿ⁺---面 (Mⁿ⁺:游离阳离子或带阳电荷的金属氧化物或水化氧化物)

B. 粘团边-粘团面

正电边位对负电面

边Al---OH₂⁺---面

II. 粘团-有机聚合物-粘团

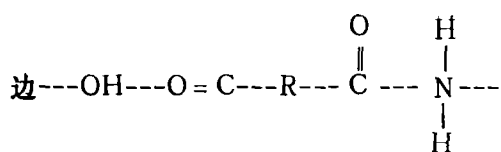
A. 粘团边-有机聚合物-(粘团)

1. 阴离子交换:正电边位对聚合物羧基。

边Al---OH₂⁺---⁻OOC---R---COO⁻---

(R:对粘团有水平或垂直轴的有机聚合物)

2. 边羟基和聚合物羧基或胺基间的氢键



HO---边

3. 负电边位和聚合物羧基间的阳离子桥
 $\text{边} \cdots \text{O}^- \cdots \text{M}^{n+} \cdots \text{OOC} \cdots \text{R} \cdots \text{COO}^- \cdots$

4. 边和聚合物间的范德华力

B. 粘团面-有机聚合物-(粘团)

1. 聚合物羟基和粘团外面或内面(膨胀型层状矿物)硅酸盐氧间的氢键

硅面---O---HO---R---OH---

2. 粘团外面和聚合物羧基或其他极化物间的阳离子桥

外面---Mⁿ⁺---OOC---R---COO⁻---

3. 粘团面和聚合物间的范德华力

Ⅲ. 石英-(粉粒、无机和有机胶体)-石英

A. 水化硅铝酸盐的石英凝胶面和团聚体其他组成中的的活性基团间的化学键。

B. 主要由下述原因而使石英颗粒稳定地保持在粉质和粘质基质中:

1. 定向粘粒。

2. 不可逆的脱水硅酸盐、三三氧化物或腐殖质-三三氧化物复合体。

3. 不可逆的脱水腐殖物质。

4. 由胡敏酸铁稳定的粉粒大小的微团聚体。

5. 有机胶体和按 I 和 II 中列举的机制所键合的粘团。

各种键的结合能是不同的(表1)^[7];

不同键合所形成的团聚体的牢固程度不一样,故其稳定性大不相同。但这种键合或非键合的胶结作用在田间往往是交叉或同时团聚土壤颗粒,实际区分比较困难。

Uehara 教授讲到土壤结构的控制主要按物化特性来预报,特别强调土壤的电荷特性及带电粒子(包括离子)之间的相互作用。阐述了良好的土壤结构有时与土壤的肥力水平并不一致。如热带氧化土(砖红壤)具有

表1

离子键	LiF	238.9千卡/克分子
	CsI	134.9 "
偏离子键	C—H	87.3 "
	O—H	110.2 "
	F—H	147.5 "
单共价键	C—H	58.6 "
	H—H	103.4 "
	N—H	23.0 "
氢键	F—H...F	6.7 "
	O—H...O	4.5 "
	N—H...N	1.3 "
范德华键		约1千卡/克分子

良好的结构,易于耕作管理,但由于养分缺乏和不易保肥,所以肥力水平不高;而一些诸如变性土类的土壤,有时耕层养分贮量很丰富,保肥性能好,肥力水平高,但土壤结构很坏,难于耕作管理。无疑,根据土壤的属性,特别是物理化学性质来预测土壤结构的变化及采用相应的对策,是土壤结构研究的重要组成部分。

Uehara 教授十分强调土壤结构的重要作用。他认为在农学中最重要限制因子是土壤结构,因很多问题都与土壤结构有关。有关这方面近期的文献报导亦较多。Halls_worth(1978)指出,就农学意义讲,土壤的通气、透水、易否被植物根系穿插,土壤表层团聚体的抗崩解和抗压实性能以及土壤的保水性等都直接关联到土壤的结构问题^[7]。然而至今我们对土壤结构的了解仍然很少。如果说在本世纪三十年代关于土壤结构问题的广泛讨论是一次研究高潮,那么至今,土壤结构研究再度引起广泛的重视。其主要原因与近二十年来由于人口猛增,大量滥垦土地以及发展集约农业所带来的不良后果密切相关。Greenland(1981)在总结近半个世纪以来有关国家的土壤管理和农作物产量水平间的关系时指出,“肥料的合理施用无疑是良好土壤管理中的首要因子,土壤结构的合理管理通常处于第二位;但在那些土壤特别易于

退化的地区,或者一旦养分问题大体解决时,合理的土壤结构管理则上升为首要因子。在大量使用化肥和农药的地方,限制根系生长、水分供应和养分吸收的物理条件往往是阻碍产量进一步提高的因子”〔8〕。英国伯明翰大学 Hayes 教授(1983)向国际土壤学会建议国际科联,组织一个多学科参与的土壤结构研究组,并呼吁“土壤结构的退化所招致的危险,比起石油燃料枯竭的问题要严重得多”〔9〕。我国高度集约化的太湖地区对水稻土的多年研究也表明,当稻—麦二熟制改为稻—稻—麦三熟制后,由于土壤的淹水时间增长,粗有机肥料用量减少和烂耕烂耙次数增多等原因,致使耕层土壤结构恶化。在这种情况下即使进一步增施化肥,大量投能,稻麦仍然得不到高产稳产,成为进一步发挥土壤生产潜力的障碍〔10〕。看来,土壤结构在生产上的作用是无庸置疑的。问题在于我们对它了解有限,正如Cooke (1979)指出,在发展鉴别影响作物生长的有关土壤结构问题的方法方面以及发展测定各种耕作深度对结构和产量的影响方面,还要付出很大的努力〔9〕。

三、土壤结构的管理

土壤结构管理的内容很多,如合理耕作、轮作、灌溉排水、施肥以及补加各种改良剂等。限于时间,这次研讨会上耿庆文教授主讲土壤结皮和土壤压实两部分,这些问题都是在集约化中发展灌溉和采用重型农机具后产生的。讲授土壤结皮主要包括土壤结皮的形成、物理性质以及影响结皮的土壤因素,内含土壤质地、自然胶结剂、有机质含量及种类、粘土矿物类型、土壤颗粒的排列方向、膨胀和收缩以及结皮对透水和导水率的影响等。土壤压实部分介绍了土壤压实的定义和现象,内含孔隙度、容重、导水率以及土壤穿透阻力等;土壤压实对作物生长和产量的影响,对灌溉排水和对犁耕操作的影响;造

成压板的原因,含农机具车轮或履带的压揉作用、土壤中压力分布、犁翻工具对土壤造成的压力、剪应力和土壤结构变形等;土壤动力学,包括影响土壤压实的因子(湿度、质地、农业动力、应力变形、重复加荷及加荷速度等)以及压实时力的分布;防治土壤压实的方法,包括控制土壤湿度、机具作业时机、减轻农机重量、减小接触压力、固定行走路面及耕犁方式等。耿教授应用了大量资料和幻灯图片阐述了防治土壤结皮和压实在农业生产中的重要性。在结皮形成方面强调了仅指土表厚度约0.1—3毫米的一薄层,由灌溉、土壤性质和雨滴打击而形成。这一薄层尚可进一步分两层:0—0.1毫米为结皮封闭层(skin seal),由颗粒定向排列而成,导水率很低,为 5×10^{-7} 厘米/秒;0.1—3毫米,称为漂洗带(washed zone),导水率略高,为 5×10^{-6} 厘米/秒。土壤结皮可用土壤破裂系数或土壤穿透阻力(公斤/厘米²)作为参数,也可用容量表征,在一定程度上均可反映出对种子发芽的影响。Gronavolt 发展了一种微型土壤穿透计,在压力计上附加传感器,可直接在田间自动记录土壤结皮的强度。

土壤压实是指一种土壤在经受外界荷载或压力时土壤容重增大。耿教授除介绍了一般原理和防止压实方法外,强调了借降低轮胎的内压(即谓浮胎)来降低轮子对土壤的压力,采用适于高速的犁土工具以及在大型机械化作业区采用固定的机轮行道,收效甚好。

最后,耿教授还介绍了测定土壤结构薄片法中的图象分析技术和原状土壤结构保持的冷冻技术。薄片图象分析由微电脑控制、计算和制图。冷冻技术中采用的二甲基氧化硫(Dimethyl Sulfoxide)冷冻剂。

四、展 望

短暂的土壤结构研讨会,不仅从广义方面介绍了土壤结构的形成和管理。同时还开展了就土壤物理学中大家感兴趣的问题进行

了讨论。土壤物理学近年来在国外发展很快,八十年代已出了不少专著和论述。但这门学科在我国的起步较晚,专业队伍小,发展也不快。近年来,随着我国经济建设的不断发展,加强土壤物理学,特别是现代土壤物理学的知识以及和其他学科的相互渗透就显得愈加重要。与会代表都希望进一步加强各单位间的经常联系、互通情报、交流经验,并编写一部较为统一的土壤物理性质研究和测定法。为此,土壤物理专业委员会讨论,建议由浙江农业大学土壤化学系试办不定期的“土壤物理通讯”,报道国内有关单位与土壤物理研究有关的各项研究近况。首先沟通国内消息,然后逐步扩大到与国外同行联系。耿庆文教授对此深表关心,表示今后向“土壤物理通讯”提供国外研究动态。还建议中国科学院南京土壤研究所土壤物理室在1978年出版的“土壤物理性质测定法”的基础上,进一步修改、补充和完善内容,从速再版。专业委员会还建议今后多开小型的专题讨论会。

土壤结构研讨会已经结束,但土壤结构问题的研究却远没有结束。无论对这个领域的理论研究,还是土壤管理中产生的大量应用研究都需进一步发展。正如Cooke (1979)指出,“如欲保持增产,则需考虑植物养分的适量供应与土壤物理条件之间的相互作用”。但是至今“我们还无法了解和确定土壤结构,并通过耕作对它控制;无法定量确定其对养

分和水分供应的影响程度,成为通常不能获得禾谷类作物持续高产的一个重要因子”〔8〕。土壤物理研究的前途更为宽广,只要我们齐心协力,结合学科发展和生产的需要,持之以恒,定会取得丰硕的成果。在国家建设和发展学科中作出应有的贡献。

参 考 文 献

- 〔1〕 Качинский Н. А. Физика почв, Ч.1, М., Изд-во «высшая школа», 1965.
- 〔2〕 Bayer, L. D., W. H. Gardner and W. R. Gardner, Soil Physics, 4th Edition, John Wiley and Sons, New York, 1972.
- 〔3〕 Marshall, T. J. and J. W. Holmes. Soil Physics, Cambridge University Press, 1979.
- 〔4〕 Hillel, D., Introduction to Soil Physics, Academic Press, New York, 1982.
- 〔5〕 De Boodt, M., Soil Structure-Principal factors in soil structure formation, Lecture notes in College on Soil Physics, Trieste, Italy, 1983.
- 〔6〕 Harris, W. L. et al., Dynamic of soil aggregation, Adv. Agron, 18:107-169, 1966.
- 〔7〕 Hallsworth, E. G., Theory of soil conditioning, 3rd International Symposium of soil conditioning, 3-11, 1976.
- 〔8〕 Greenland, D. J., Soil management and soil degradation, Journal of Soil Science, 32:301-322, 1981.
- 〔9〕 Hayes, M. H. B., On interdisciplinary cooperation..... Bulletin of ISSS, 1:28-29, 1983.
- 〔10〕 姚贤良, 赵渭生, 于德芬, 许绣云, 高产水稻土结构特征的初步研究. 土壤学报, 15:1-12, 1978.

(上接第67页)

- 〔2〕 中国土壤学会农业化学专业委员会: 土壤农业化学常规分析方法. 104—107页, 科学出版社, 1983.
- 〔3〕 李祖荫, 石灰性土壤中碳酸钙在固磷中的地位. 西北农学院学报, 第2期, 29—35页, 1981.
- 〔4〕 李鼎新, 陕西土壤磷素状况和磷肥有效施用的研究. 中国科学院西北水保所集刊, 第二集, 81—90页, 1985.
- 〔5〕 李鼎新, 关中壤土磷素状况及影响磷有效性因子的分析. 土壤通报, 第6期, 1—4页, 1980.