

土壤结构的肥力意义(文献综述)

姚 賢 良

随着我国农业生产的高速度发展和化肥工业的逐年增长,如何进一步发挥土壤的潜在肥力和提高化肥的经济效益,已愈来愈得到人们的重视。要达到上述目的,改善土壤的环境条件,特别是改善土壤的物理环境条件,是一项重要的关键性措施,而土壤的结构又是影响土壤环境条件的基本因素。

我国农民在长期的耕作过程中,对土壤结构的认识和培育积累有极为丰富的经验,如北京郊区农民以“口松”、“口紧”的形象,来区别土壤结构的好坏^[1]。太湖地区农民,把水稻土划分为“糯性”和“粳性”的类型,糯性土壤结构好,易于调节水、肥;粳性土壤结构坏,不易调节水肥^[2]。红壤丘陵地区的农民,常以旱地能“经干爽水”的性质来作为评定土壤的肥力指标,充分说明群众十分重视土壤的保墒能力和渗透性。

自全国土壤普查以来,在总结农民经验的基础上,各地都在研究土壤结构的肥力意义。为了更进一步地促进这项研究工作的开展,我们将近年来看到的一些有关文献,分下列几个问题加以综述,以供参考。

一、土壤结构与土壤肥力的关系

近几十年来,在各国的土壤和农业文献中,曾就土壤的结构问题展开了热烈的讨论,对土壤结构在植物生长和土壤肥力中的作用,出现很多分歧的意见。有些研究者认为,土壤结构是土壤肥力的基础,只有在良好结构的土壤中,才能调节土壤中水、气和水、肥的矛盾,才能充分发挥矿质营养元素的作用,才能获得农作物的高额稳产(Вильямс, Гедройц, 1926; Качинский, 1934; Leenher, 1958; 熊毅, 1963; Boekel, 1958, 1963)^[77,80,83,28,3,18,19]。Boekel (1963) 30年的资料说明,低产土壤改良了结构,可提高每年的作物产量。另有一些研究者,认为土壤结构的好坏与土壤肥力和作物产量没有什么关系(Егоров, 1938; Khazan Singh, 1958)^[96,42]。还有些研究

者,认为土壤中大团聚体对农业生产没有意义,因为随着机械化耕作的发展,大团聚体容易破碎成微团聚体,而只有微团聚体才对土壤肥力产生影响(Ахромейко, 1930, 中国研究者, 1960)^[72,21]。还有人说,土壤结构只在局部地区发生作用(Тулайков, 1938)^[96]。

为什么对土壤结构的看法有各种明显不同的分歧意见,考其原因,可能有二:即什么是土壤结构;土壤结构是如何影响土壤肥力和作物生长的。

什么是土壤结构 文献中讨论土壤结构的定义较多,可归纳为下列几种。Вильямс 将土壤划分为有团粒结构的(通常称有结构的)和无团粒结构的(通常称无结构的)土壤,只要土壤中 > 0.25 毫米的水稳性团聚体含量达到 70%,就认为是具有结构的土壤,小于 70% 就是无结构的土壤^[77]。Качинский 认为土壤结构是由土壤中的原生颗粒经过各种作用而形成的团聚体所构成的;土壤结构的含义,不仅指土壤中的那些大小不一、形状各异的团聚体,而且也包括这些团聚体的机械稳定性、水稳性和孔隙性等^[84]。目前比较公认的土壤结构的观念是:土壤中原生颗粒和次生颗粒(包括团聚体)的空间排列及其排列方式(Bradfield, 1950; Baver, 1956; Hockscma, 1958; Brewer, 1960; Marshall, 1962)^[20,14,38,22,49]。

由此看来,如果按照 Вильямс 的概念,在很多情况下必然会作出土壤结构与土壤肥力无关的论断。因为很多资料表明^[2,100,107,113],在耕地和老耕地的表层,含有象 Вильямс 指出的那种数量的水稳性团聚体的确是少见。但是,无可怀疑,每种土壤都有它固有的土粒空间排列的状态,因此,无结构的土壤是不存在的,所不同者,只是土粒的排列方式和稳定性各有不同。研究土壤结构的目的是要研究上述这些差异对作物生长的影响并如何进行改善。

土壤结构对肥力和作物生长的影响 土壤结构是土壤中固相颗粒的空间排列。土壤中的固相颗粒可分成三类:微胶粒(或单粒)、微团聚体(复

粒)和团聚体(Misono, 1958; Бекаревич, 1964, Мичурин, 1962)^[59,74,99]。这三类固体颗粒在物理性质上就各有差异。微胶粒(直径 <0.2 微米)固结干燥后紧实度可达 2.0 克/厘米³,孔隙度约 26% ;微团聚体(直径 2.5×10^{-3} 厘米)的紧实度约 $1.5-1.6$ 克/厘米³,孔隙度 $40-45\%$;团聚体($2.5 \times 10^{-3}-1$ 厘米)的紧实度约 1.1 克/厘米³,而孔隙度可达 60% 。微胶粒所处的热力学条件是非常不稳定的,它在不同情况下可以很快地形成微团聚体或团聚体。三种固体颗粒的不断变化和转化,就造成土壤中不同的孔隙度、紧实度、稳定性,这些因素都左右着土壤中的水、气、根系穿插及养分活化等状况。

根据大量实践资料和理论分析,土壤结构不等于土壤肥力,在一定意义上说,它只是土壤肥力的调节器,而且,它只能主要通过土壤的物理条件(如紧实度、水、气状况等)来影响作物的生长^[74,63,32]。诸如此类的论据已经在不少研究工作和生产实践中得到证明。

紧实度的作用 不少资料表明,紧实度是结构变化的鲜明反映。随着紧实度变大,土壤的透水性和毛管饱和速度显著下降^[103,104,76,88,111]。Ревур(1962)指出,壤土和重壤土的紧实度由 1.0 克/厘米³增到 1.6 克/厘米³时,土壤的透水速度下降为千分之一到五分之一,而且土壤中的有效贮水量迅速降低^[104]。А. Ф. Устинович(1940~41)发现,紧实度在 $1.0-1.3$ 克/厘米³时,土壤中的硝酸态氮含量最高^[111]。Бочдаренко(1959)认为生草灰化土的紧实度从 1.23 克/厘米³增到 1.75 克/厘米³时,土壤中的硝酸态氮逐步下降^[76]。Морозова(1964)指出,灰钙土在灌溉条件下,由于紧实度变大(从 1.39 克/厘米³增到 1.62 克/厘米³),土壤中细菌数目减少五分之四,真菌减少三分之二,而放线菌则不易见到^[95]。紧实度过大,能抑制植物根系发育,甚至可导致植物死亡(Третьяков, 1963)^[108]。

水、气和养分的活化作用 如土粒过小而排列又紧密,可导致水分过多和通气不良,严重地影响养分的活性。Lawton(1945)指出,在Iowa州试验场,虽然土壤中含有大量的代换性钾,但要使作物高产,每年还得施用大量钾肥,其原因是土壤结构差,通气不好,水分过多,紧实度大,从而降低了钾肥的有效性^[45]。Hagin(1952)发现以色列热带红壤中,长在大团聚体土壤上的作物植株高,

吸收N、P、K的绝对含量和相对含量都较多,原因是大团聚体土壤中的供氧能力强,有机质易于矿化^[36]。还有一些研究者(Адерихин, 1951)指出,团聚体的大小对磷素固定有密切关系,大团聚体能降低磷的固定率^[69]。

机械力的作用 Fountaine和Payne(1954)等的研究表明,粗圆柱形的大根伸到团聚体中需要 17 磅/米²的力,而细根伸到坚实土块中需要 43 磅/米²的力^[34]。因此,如果土壤本身的粘结力大于根的穿插力,就会影响作物的生长。

尽管有很多实验和生产现象表明,土壤结构可以通过土壤物理、化学状况的调节,改善生物活性的条件,从而影响植物的生长。但到目前为止,这方面的工作还缺乏定量的指标。有些科学工作者提出,要判断植物生长所必须的土壤结构的物理条件,先要弄清影响植物根系生长的四对物理因素:(1)水分:(a)单位时间内消耗多少水,(b)限制吸收值是多少;(2)空气:(a)单位时间内消耗或放出各个组成分的量有多少,(b)组成分的限制浓度;(3)热:(a)单位时间内消耗或吸附的热量,(b)限制温度;(4)机械功:(a)单位时间内的功量,(b)限制力^[33]。但到目前为止,还很难找出作物生长和这些因素间的关系,因为在物理试验中缺乏植物生理的资料,同时对植物根系所需的基本物理条件知道得还很少。

既然土壤颗粒的排列状况是影响植物生长的基本因素,所以在土壤结构的研究中,一直比较重视土壤颗粒是怎样排列的,它的形成基础怎样?

二、土壤结构的形成基础

目前,不少研究者把土壤结构的形成基础与颗粒在悬液中的凝聚理论混为一谈。Bradfield(1936)指出,凝聚作用不等于团聚化作用,不能把凝聚力的大小作为团聚体的形成基础^[21]。这个概念愈来愈被研究实践所证实。

土壤结构的形成,一般说可分为二个阶段:第一阶段是原生单粒通过各种作用(主要是凝聚作用)形成次生颗粒(或微团聚体)。第二阶段是这些次生颗粒再通过各种粘结作用、胶结作用和根系及菌丝的固结作用进一步形成团聚体(Келлерман, 1959; Вершинин 1959; Misono, 1958)^[94,78,59]。

土壤次生颗粒的形成 土壤的原生单粒变为次生颗粒的途径不外乎有二:(1)无机胶体和无

机胶体的凝聚(如通过不同电荷胶体的相互沉淀、各种阳离子的作用、难溶性化合物的化学粘结以及粒间的范德华引力等)。(2)有机胶体和无机胶体的相互复合(包括价键联系、包蔽吸收和极性吸收等)[71,109,85,97,70,48,65,64,110,58]。

无机胶体和无机胶体的凝聚 根据 Гедриш 的试验基础,目前已较肯定,在酸性环境中阳离子的凝聚力取决于它的原子价。价数愈高,凝聚力愈大,相反则愈小。在同价离子组内则取决于离子的水化半径。水化半径愈小,凝聚力愈大,反之则愈小。因此凝聚力的顺序是: $Fe^{+++} > Al^{+++} > Ba^{++} > Sr^{++} > Ca^{++} > Mg^{++} > K^{+} > Na^{+} > Li^{+}$ [80]。而在碱性环境中,阳离子的凝聚力与盐类的溶解度有关,它的顺序是 $Mg^{++} > Ca^{++} > Sr^{++} > Ba^{++}$ [97]。但有些研究者指出,所有上述顺序都是纯溶液中测出的,而土壤中的离子一般多以吸附状态存在,故上述顺序能否符合土壤中的情况是值得研究的[70]。

在干旱和半干旱地区的 $CaCO_3, CaSO_4 \cdot 2H_2O$, 以及在间隙潮湿地区的 $Fe(OH)_3$ 和 $Al(OH)_3$, 都能粘结颗粒成微团聚体[48,85,94]。

细小的土壤颗粒,比表面大,通过表面上液体分子的定向吸收,也能形成次生颗粒[64,65]。在定向吸收过程中,水是颗粒间的联结键,干燥或脱水时,缩短了水分子键,而使颗粒相互联结在一起。当完全脱水时,粘粒主要通过氧键联结[14]。

当土壤颗粒间的电荷相互消失以后,在其紧密排列或局部紧密排列的情况下,颗粒间的原子和分子引力也可以把土粒粘结起来[71,94]。土壤变干时,粒间弯月面和吸着水力可以加强粒间的原子和分子引力[85]。

由上述各种作用所形成的微团聚体,水稳性较低,只有在有机胶体参与的情况下,才能形成水稳性较高的微团聚体[94,71,85]。

有机胶体和无机胶体的复合 在有机-无机复合作用中,Тюлин 把阳离子视作有机胶体和无机胶体相结合的“桥”。并将复合体分成二类:一类是由钙结合的,称为第一组;另一类是由铁结合的,称为第二组[109]。由于二组复合体中的羧基功能团的交换力不同,第一组可用钠分散,而第二组则必须加以研磨才能分散[110]。但也有人认为,不一定通过阳离子的作用,直接由有机胶体的极性吸收也能促进有机-无机胶体复合[65,58]。Kubierna (1938) 认为,碱性溶质腐殖质完全脱水后

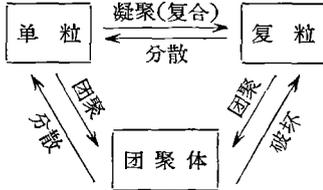
也能包结土壤颗粒而形成团聚体,不一定要通过极性吸收过程[44]。不少研究者指出,有机物质中的羧基功能团和矿质颗粒表面上氧键的结合是有机-无机复合的基础,但据最新资料看来,这个复合基础又可能是碳基功能团中的双键氧和粘土晶格中的氢键相结合(Kijne, 1964)[41]。

土壤有机矿质复合的机制问题,目前较多尚停留在推理阶段,须要进一步用实际资料引证。

土壤团聚体的形成 土壤次生颗粒为团聚体的形成创造了必要条件,当然,团聚体的形成还必须依靠各种胶结物质和固结物质的作用来实现。按照 Bayer 的意见,土壤胶结物质可分为三组:粘粒本身、弱度可逆或不可逆的无机胶体(如 Ca^{++} 、 Mg^{++} 和 Fe^{+++} 、 Al^{+++} 的氧化物等)以及有机胶体[14]。在每一种土壤中可能都有这三种作用存在,但由于生物气候条件及耕作施肥的差异,不同土壤中三种胶结物质的作用大小是不一样的。在热带和亚热带红壤地区,土壤胶结物质一般以 Fe_2O_3 为主[48,4]。最近有人认为,热带土壤中的铁,主要是以晶体状态存在,不能起胶结作用,土壤中的胶结物质是 Al_2O_3 [29]。在季节性渍水的土壤中,由于氧化、还原条件的不断交替, Fe^{++} 、 Al^{++} 氧化物的氧化及其物理状态的改变,也可以促使土壤团聚化[92,93,39,40]。干旱和半干旱地区,土壤中 $CaCO_3$ 和 $CaSO_4$ 的化学沉淀是这些土壤中团聚体的形成因素之一[85]。黑土及熟化度较高的耕种土壤中,有机胶结物质的胶结作用是形成水稳性团聚体的主要因素[4,23,16,66,32,112,109,89,98,90,91]。但是,由于有机质的组成不同,所形成的水稳性团聚体的性质也有差异。一般说,随着胡敏酸含量的不断增加,土壤结构性(多孔性和水稳性)亦随之变好[73,93,4]。有些研究者(Vlasuk, 1964; Lutz, 1960)还认为,施用大量矿质钾肥和过磷酸钙也能促进土壤团聚化,改善土壤物理性质[68,47]。

很多研究者还指出了团聚体形成过程中的生物和生化作用[85,51,52,53,54]。真菌的菌丝体能系结土粒;微生物的细胞和菌丝,有机体中的水溶性物质,微生物代谢作用的分解产物和其合成产物等,均能作为胶结物质来胶结土壤,而合成聚糖体是最好的团聚物质。此外,Корп 还研究了蚯蚓对土壤团聚体的作用,发现加蚯蚓的土壤,团聚体比对照增加二倍,其中最好的蚯蚓 (*Lumbricus terrestris*) 每天可产生相当于其本身重量的团聚体数量[61]。

土壤结构的形成基础虽可分为上述二个过程,但在实际条件下,这二个过程是很难分开的。在许多情况下(如在高度分散的土壤中),原生颗粒可以直接被粘结成团聚体,并且经过人们耕作和施肥的影响,这些过程可以相互转化,其表现形式如下^[59]:



通过上述途径而形成的团聚体,其肥力意义受到凝聚时的阳离子种类、土壤胶体矿物的性质、有机胶结物质的组成和土粒排列状态等的影响。因为这些性质都直接地影响着团聚体的稳定性、多孔性及养分的贮量,从而影响土壤的结构性和肥力。有关这方面的工作,在目前文献中也有不少探讨。下面将简述这方面的问题。

三、土壤结构的评价

土壤结构的评价一般从二方面来进行,即分析土壤结构的内在性质和观察其外貌形态。

内在性质 从胶结性质说来, Вильямс 认为由 Ca^{++} 和 乌里敏酸胶结土壤矿质颗粒所形成的团聚体最好,而且只有活性腐殖质才起作用^[77]。Антипов-Карагаев 认为由极性腐殖质透入矿物晶格内部所形成的团聚体,其水稳性最强^[71]。Качинский 等指出,农业上最优良的结构是在胡敏酸类型的有机化合物与 Ca^{++} 和 Fe^{+++} 参与下所形成的团聚体。由细菌自溶体的含氮衍生物和根分泌出的醌醛酸所复合的“活性腐殖质”、各种细菌的粘液、真菌的菌丝、根系和蚯蚓等作用下所形成的团聚体,其优良的价值不仅在于这种团聚体是机械稳定和水稳性的,而更重要的是具有多孔性并贮藏有丰富的养分^[83]。

水稳性 水稳性是评定土壤结构的重要指标之一。我国和苏联的大部分研究者都沿用水筛后留下 >0.25 毫米的团聚体含量作为水稳性指标,但是对我国的大部分耕作土壤来说,这个指标并不一定能反映肥力实质^[5,61]。不少研究者企图通过统计分析或综合其他因素来求得团聚体的水稳性指标,如团聚率: $K = \frac{(a - b) \times 100}{a}$, 式中

a —— >0.05 毫米的团聚体含量, b —— >0.05 毫米的机械成分含量(Baver, 1932)^[15]; 团聚系数: $2 \times 10^6 / \Sigma(\omega/d)$, 式中 ω ——团聚体重量, d ——团聚体平均直径(Retzler, 1941)^[62]; 稳定性指数: $S = \Sigma a - \Sigma m$, 式中 a ——曲线图交差部分的团聚体含量, m ——曲线图交差部分的机械组成含量(Aldefer, 1941)^[11]; 几何平均大小: $G. M. = \frac{\text{上限直径}(\mu)}{2 \exp\left(\frac{\Sigma \text{累积}\%}{100}\right)}$ (Mazurak, 1950)^[55]; 加权重

量直径值: $F(x) = \int_0^x f(x)dx$, 式中 x ——各组团聚体直径, $F(x)$ ——累积次数函数, $f(x)$ ——次数密度函数。当确定 x 的上限和下限值后,解积分式,再用求积仪计算曲线 $F(x)$ 以上的面积而求得此值 (Bavel, 1949)^[67]。结构稳定系数: $S = \frac{(A + L)_{max}}{\Sigma \text{团聚体}} - 0.9SG$, 式中 $(A + L)$ ——由苯

处理后获得的 <20 微米的粒级, SG ——由机械分析(不破坏 $CaCO_3$) 所得的 >200 微米的粒级(Henin, 1958)^[37] 和加重量直径变化(De Boodt, 1961)^[26] 等。De Boodt 还指出水稳性团聚体的几何平均大小和加重量直径值只与砂壤土上的作物产量有关,而加重量直径的变化与作物产量的关系可适用于砂土到粘土^[26]。

根据上述指标看来,无疑地随着指标大而水稳性高。有些研究者还想通过统计计算来反映团聚体的内部表面,以期与肥力状况密切结合^[67]。尽管如此,但是这些指标都没有跳出以 >0.25 毫米的水稳性团聚体含量作为评定的范围。事实上,水稳性团聚体的含量,只是一个数量值,并不能反映团聚体的孔隙性及其他性质。孔隙性很差的水稳性团聚体,即使其含量很高,也没有肥力意义^[84]。要了解团聚体水稳性质的肥力意义,必须弄清引起水稳性的原因。根据近期的研究,引起水稳性的原因有二: (1) 由于颗粒紧排列而使团聚体内存在着大量非活性孔隙; (2) 由于土壤胶体(包括有机的)的不可逆凝聚。由前一种因素所形成的土壤团聚体,其孔隙度 $<30\%$ (容积%)。而后一种,则可达 $40-50\%$, 在提高土壤肥力上是有意义的^[85]。

孔隙性 评定土壤结构的另一指标是孔隙性。早期多从分类着手。最初是将土壤孔隙分成总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度,而常以非毛管孔隙的发育为指标。以后不少研究者建议按

茹林公式 $H = \frac{3}{d}$ (式中 H ——表示水柱高, d ——土壤孔径) 计算出当量孔隙的大小作为指标^[86]。Качинский 将土壤孔隙度分成 9 级: 总孔隙度、单独团聚体孔隙度、团聚体孔隙度、团聚体间孔隙度、由紧束缚水占有的孔隙度、由松束缚水占有的孔隙度、由毛管水占有的孔隙度、持水孔隙度和通气孔隙度等。在这个分类中更明确了毛管孔隙度的概念, 并指出良好结构的土壤, 其团聚体内也有通气孔隙^[87]。不少研究者指出, 当土壤孔径 $< 0.001 - 0.002$ 毫米时, 其中的水分难于被植物利用, 生物也不能活动^[7, 100]。

目前也有一些研究者研究土壤孔隙性直接与植物生长的关系。Boeckel (1963) 发现在粘质土壤中, 获得最高产量的孔隙度是 48—50%, 在 pF 2 时的空气容量为 14—17%; 但如孔隙过大, 在一定生物气候条件下, 对产量有抑制作用^[19]。Scott (1958) 研究了不同孔隙和水、肥及根系插穿的关系, 确定了孔隙和水力传导度的关系为 $Z = 0.0109Y^{2.08}$ 。式中 Z ——水力传导度, $r = 0.999$; 并发现当孔隙的几何平均直径为 17.7—43.5 微米, 而湿度为 20 厘米水柱高的张力时, 向日葵生长最好^[63]。

土壤结构的内在性质——孔隙性和稳定性可以反映固体颗粒的排列形状及其稳定程度。这两个性质是密切联系而不可分割的。但就目前文献看来, 很少结合起来研究, 并且缺乏考虑与植物生长的关系。因此, 土壤结构内在性质在肥力上的评定指标, 各说不一, 没有统一的语言。

外部形态 由于土壤结构的内在性质比较复杂, 研究方法尚难全部反映实际情况, 土壤外部形态的观察鉴定仍属十分重要的工作。

土壤结构的外部形态包括团聚体的大小、形状、结持性、表面粗糙度以及根系穿插情况等。目前大家都公认, 结构性良好的团聚体, 其外部类似圆形, 棱角少, 表面粗糙度大, 有较多裂痕。团聚体的大小范围一般在 3—0.5 毫米之间^[49, 85]。大团聚体放在水中能散成小团聚体, 团聚体湿润后稍加压力即可破碎, 团聚体中交织有根系, 团聚体和微团聚体的土粒排列比较疏松^[84, 8]。

荷兰研究者 Peer Lkamp (1958) 曾建立一整套田间鉴定土壤结构的方法^[60]。研究项目包括: (1) 团聚体的大小分配: > 2 和 < 2 毫米的团聚体各占一半的较好; (2) 团聚体形状: 圆润而多孔

的好, 有棱角而致密的不好; (3) 土壤结持性: 湿润团聚体用手指压不碎的不好, 结持性过小也不好。一般以占最大结持性的 1/3 为最适宜; (4) 团聚体孔隙: 表面裂痕多, 粗糙度大的好, 圆滑而致密的不好; (5) 整个耕层的孔隙度: 多孔的好; (6) 根的发育: 不良的土壤结构中根系主要分布在裂隙和虫孔内; (7) 分散度: 过大不好。作者曾根据这些观察项目, 结合不同土壤情况, 将土壤结构性分为 10 级, 称为 Sz 值。这个分级制度目前 Boeckel 已在荷兰加以应用^[19]。De Leenher (1964) 指出, 在机械化农场进行土壤结构性的田间评定时, 要注意土壤紧实度和土壤稳定性团聚体的破坏指标间的差异。一种管理措施可以同时影响两种性质, 也可以只影响一种性质。如把这两种性质混为一谈, 就不可能说明问题, 科学地指导生产^[27]。

四、改善土壤结构的途径

改善土壤结构的途径很多, 也很复杂。但一般多从下列两方面着手, 即耕作措施和增加土壤中高质量的有机物质。

耕作的作用 耕作可以在一定时期内调节土粒的排列状况, 以满足作物生长的需要。在干旱和半干旱地区, 如能改变土壤孔隙度, 就可以保持土壤水分。如土壤含水量大于毛管破裂含水量, 需要疏松土壤, 切断毛管作用以抑制蒸发; 如土壤含水量小于毛管破裂含水量, 则须镇压土壤, 减小孔隙以降低水汽的扩散。在湿度合宜的条件下 (田间持水量 60—80%) 进行耕作最利于团聚体的形成^[84]。此外, 在一定条件下土壤的干、湿交替和冰冻、解冻都能使土壤的孔隙状况和团聚状况得到一些改善^[14, 84]。

增补各种有机物质 增补有机质包括种植多年生牧草、绿肥和施用各种有机肥料以及新型的高分子合成改良剂。

多年生牧草团聚土壤颗粒的作用, 并不在于其有茂密的根系 (因为很多一年生作物同样也有茂密的根系), 而在于多年生牧草能每年供给土壤大量的蛋白质、碳水化合物及其胶结物质和养料物质等, 而这些条件是一年生作物所不具备的^[85]。当然, 多年生牧草可能改善土壤结构的作用, 密切受到牧草产量的影响, 产量过低, 作用不大^[85, 74]。翻耕绿肥和大量施用有机肥料对改善土壤结构的良好作用, 是大家公认的^[9, 10], 即使在热带土壤条件下, 有机肥料的作用也是非常显著

的。Biswas (1964) 曾将马粪液和农家肥料施入热带土壤中,起到改良土壤结构的作用,如结合种豆科植物效果更好^[17]。Сомвеи (1964) 发现在热带地区采取自然休闲(即让其长草),也可恢复土壤结构^[24]。

但到目前为止,如何使用有机肥料以及施用那种有机肥料对改善土壤结构最为有效的问题,尚未完全解决。Kroth (1947) 曾作了有机质的不同利用方式对水稳性团聚体的影响的试验(表1),结果表明直接将新鲜物质加入土中比堆制后加入的要好^[43]。McCalla (1943) 也得到同样结果^[56]。这可能是在堆制过程中微生物所分解的中间产物(聚糖体)受到流失。另外,从表1看来,粪秆的作用要比苜蓿好,这点也被 El Gibaly (1964) 的工作所证实^[30]。

表1 有机肥料与水稳性团聚体的含量(%)

处 理	对 照	新鲜粪秆	堆制粪秆	新鲜苜蓿	堆制苜蓿
> 2 吋	2.0	98.7	2.3	77.6	1.5
$\frac{1}{2}$ —1 吋	0.0	80.6	0.0	73.8	0.0

Anmad (1963) 作了在渍水情况下不同品种的有机质对结构性影响的试验。供试有机质有 Saman 叶、细块滤纸和山芋粉。结果指出,滤纸对 Fe^{+++} 的还原及水稳性团聚体的增加最强,其原因是滤纸在分解过程中能产生大量气泡,气泡通过土体,使土体呈多孔性,当脱水时 Fe^{++} 在气孔壁氧化而增强了团聚体的水稳性。其他有机质在分解过程中所逸出的气泡少,即使含有大量 Fe^{++} ,水稳性团聚体也没象滤纸那样多^[12]。由此看来,施用富含纤维素的有机质和直接翻入新鲜有机质对改善土壤结构的作用较大。目前这方面的工作还较少,尚待进一步验证。

高分子结构改良剂的作用 农家肥料(包括各种有机肥料)在改善土壤结构中的作用是无疑的,但在一定时期内来源有限。自1950年以来,世界各国都在寻求新的人工合成高分子结构改良剂。1951年,美国专门制成了一种高分子聚合物,统称为克里利姆。近几年来各国又陆续出现不少商标名称:如德国制 Verdickung AN, 匈牙利的 Solakrol, 罗马尼亚的 H5 和 CM1 等,不胜枚举^[25,35]。就其效果和应用范围来看,分布较广的有两种:水解聚丙烯腈钠盐(CRD-189, HPAN)和醋酸乙烯酯与马来酸的共聚物钙盐(CRD-186,

VAMA)。

人工结构改良剂对改良土壤结构和提高作物产量的作用,到目前为止尚无一致的意见。有些研究者(Бобченко, 1961; Вершинин, 1960; Поясов, 1961 Димо, 1960)^[75,79,102,82] 认为用0.01—0.1% (占土重)的结构改良剂对粘质土壤有团聚作用,能提高大团聚体的水稳性和机械稳定性,对持水性能也有改善。有人认为结构改良剂有增产作用,重壤质灰化土上每公顷施用1,000公斤聚丙烯胺能使马铃薯和冬小麦增产20—200% (Романов, 1960, 小区试验)^[105];在灰钙土上每公顷施用100—200公斤可使棉花增产14—100% (Гуссак, 1961, 盆栽试验)^[81]。但是也有一些研究者认为结构剂对粉砂壤土上的马铃薯、甜菜及其他作物的增产效果不显(Barley, 1953; Mazshall, 1953)^[13,50],有些改良剂对烟草生长还有毒害作用(Lugo-Lopez, 1957)^[16]。

目前结构改良剂的品种较多,不同品种的效益密切受到土壤条件和作物习性的影响,很多问题尚待进一步研究。从提高土壤肥力和普遍应用出发, Качинский (1963)^[85] 曾对人工结构改良剂的性质提出几点要求:(1)能促进形成多孔的和稳定性的结构;(2)对土壤说来不应该是惰性的混合物,对土壤中的生物要没有毒害作用;(3)是疏水的,不易膨胀,在凝聚或变性后不溶于水;(4)应含有营养物质,当胶结剂逐渐崩解时,这些养料能供植物利用;(5)胶结剂的生物分解过程不少于一个轮作周期;(6)胶结剂最好是通过人工制备类似胡敏酸物质的物质;(7)价格便宜,用量不宜过多(不超过0.5—1吨/公顷),否则推广困难。看来我国在人工结构改良剂方面的研究和应用也应逐步开展。

五、结 语

通过几十年来的研究和学术争论,对土壤结构在提高土壤肥力中的有益作用,愈来愈被肯定了。我国农民在长期的耕作实践中也证实了这点。但到目前为止还有很多问题尚不清楚,如不同土壤的结构究竟如何具体地调节土壤中的水、气、热状况和活化养分;如何能快速地鉴定土壤的结构性及其培育方法;我国农民识别土壤结构及其培育方法的经验的实质是什么?这些都有待进一步研究解决。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院土壤队土壤物理组: 北京郊区土壤耕性的初步研究。土壤通报, 3 期, 5 页, 1960 年。
- [2] 中国科学院土壤研究所编: 水稻丰产的土壤环境。科学出版社, 1961 年。
- [3] 熊毅等: 提高土壤肥力在发展农业生产中的重要意义。土壤通报, 4 期, 1—5 页, 1963 年。
- [4] 姚贤良等: 赣中丘陵地区红壤及红壤性水稻土的胶结物质及其与土壤结构形成的关系。土壤学报, 12 卷 1 期, 43—54 页, 1964 年。
- [5] 林景亮等: 鹰潭铁路沿线几种水稻土的微团粒含量与产量的关系。水稻土通讯, 2 期, 12—16 页, 1958 年。
- [6] 中国科学院华南工作组: 广东省几种水稻土耕层中团聚体与土壤耕性及肥力的关系。土壤通报, 3 期, 24—30 页, 1961 年。
- [7] 樊润威等: 赣中丘陵地区红壤及红壤性水稻土的孔隙特征。1964 年。(未刊稿)
- [8] 樊润威等: 红壤结构性的磨片观察。土壤学报, 11 卷 4 期, 426—432 页, 1963 年。
- [9] 林景亮: 紫云英地下部不同深度和方式的翻压对水田土壤肥力的影响。土壤通报, 2 期, 50—59 页, 1962 年。
- [10] 宋炳奎等: 马同义的玉米丰产经验。土壤, 1 期, 17—19 页, 1961 年。
- [11] Alderfer, R. B. et al.: The measurement of structural stability and permeability and the influence of soil treatments upon these properties. *Soil Sci.*, 51:201—212, 1941.
- [12] Anmad, N.: The effect of evolution of gases and reducing conditions in a submerged soil on its subsequent physical status. *Trop. Agriculture*, 40:3, 205—209, 1963.
- [13] Barley, K. P.: Structure building in halomorphyc soils. *J. Austral Inst. Agri. Sci.*, 19, No. 2, 1953. (参见参考文献 106)
- [14] Baver, L. D.: Soil physics. 3-edition, 1956.
- [15] Baver, L. D.: Aggregate analysis as an aid in the study of structure relationships. *J. Amer. Soc. Agron.*, 24:920—930, 1932.
- [16] Bertramson, B. R. et al.: The effect of cropping and manure applications on some physical properties of a heavy soil in eastern Nebraska. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 3: 23—36, 1939.
- [17] Biswas, T. D. et al.: Role of organic matter in the improvement of soil structure under tropical conditions with particular reference to India. Abst. of papers, I. Soil physics, VIIIth intern. Cong. of Soil Sci., 61—62, 1964.
- [18] Boekel, P.: Some remarks on the influence of soil structure on plant growth. proc. intern. Sympos. Soil structure, GHENT, 52—58, 1958.
- [19] Boekel, P.: Soil structure and plant growth. *Netherlands j. of agri. sci.*, V, II, No. 2, 120—127, 1963.
- [20] Bradfield, R.: Soil structure, 4th Int. Cong. Soil Sci., 2, 9—19, 1950.
- [21] Bradfield, R.: The value and Limitations of calcium in soil structure. *Am. Soil Survey Assoc. Bull.*, XVII, 31—32, 1936. (参见参考文献 14)
- [22] Brewer, R.: Cutans: Their definition, Recognition and interpretation. *J. of Soil Sci.*, V, II, No. 2, 280—292, 1960.
- [23] Browning, G. M.: Changes in the erodibility of soils brought about by applications of organic matter. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 2:85—96, 1938.
- [24] Combeau, A. et al.: Observations on long term evolution of the structural stability of certain tropical soils under crops and fallow Lands. Abst. of Papers, I. Soil physics, VIIIth intern. Cong. of Soil Sci., 64—65, 1964.
- [25] Csapó-Miklósi, J. et al.: The influence of "CH5" and "CM1" on some characteristics of artificial soil aggregates. Abst. of papers, I. Soil physics, VIIth intern. cong. of soil Sci., 65—67, 1964.
- [26] De Boodt: Soil aggregate stability indexes and crop yields. *Soil Sci.*, 91, 138—146, 1961.
- [27] De Leenher: Preservation of soil structure on mechanized Farm in Belgium. Abst. of papers, I. Soil physics, VIIIth intern. Cong. of Soil Sci., 74—76, 1964.
- [28] De Leenher et al.: The influence of poor structure on growth and final yield of wheat. proc. of the intern. Sympos. on Soil structure, GHENT, 36—44, 1958.
- [29] Deshpande, T. L.: Role of Iron oxides in the bonding of soil particles. *Nature*, 201, No. 4914, 107—108, 1964. (参见苏联土壤学文摘 1964—14, 57, 38)
- [30] EL Gibaly, H.: The effect of soil texture, time, different level of organic matter and gypsum on stability of soil aggregates in Assuit. Abst of papers, I. soil physics, VIIIth intern. cong. of Soil Sci., 69, 1964.
- [31] Elson Jesse: A comparison of the effect of certain cropping and Fertilizer and manuring practices on soil aggregation of Dunmore silt Loam. *Soil Sci.*, 50:339—355, 1940.
- [32] Erickson, A. E.: New techniques for relating soil aeration and plant response. Abst. of papers, I, Soil physics, VIIIth intern. cong.

- of Soil Sci., 56—57, 1964.
- [33] Fountaine, E. R.: The physical requirements of plants as criteria for soil structure. *Proc. intern. Sympos. Soil Structure, GHENT*, 30—36, 1958.
- [34] Fountaine, E. R. et al.: Causes of non scouring in soil-working implements. *Trans. Vth cong. Soil Sci., Leopoldvill.*, 2, 35—45, 1954.
- [35] Galeva, V. et al.: The influence of polymers on the structure of some soils of Bulgaria. *Abst. of papers, I, soil physics, VIIIth intern. cong. of Soil Sci.*, 67—69, 1964.
- [36] Hagin, J.: Influence of soil aggregation on plant growth. *Soil Sci.*, 74:471—478, 1952.
- [37] Henin, S. et al.: Method for study of structural stability of soils. *Ann. Agron. paris*, 9, (参见 soil and fertilizer, Vol. XXII, No. 1, 1959).
- [38] Hoeksema, K. J. et al.: Deterioration of soil structure due to exhausting methods of Land use and its influence on recent crop-rotations. *Proc. intern. sympos. Soil structure, GHENT*, 16—24, 1958.
- [39] Kawaguchi, K.: Formation of waterstable aggregates and Localization of the mechanical and the chemical constituents in paddy soils. *Soil and plant food*, No. 3, 202, 1957.
- [40] Kawaguchi, K. et al.: Stability of aggregates in paddy soil and some factors affecting the stability. *Soil and plant food*, No. 4, 95, 1958.
- [41] Kijne, J. W. et al.: Heat of wetting of organo-montmorillonite complexes. *Abst. of papers, I. Soil physics, VIIIth intern. cong. of soil sci.*, 16—18, 1964.
- [42] Khazan Singh et al.: Relationship between soil structure, soil cultivation, nitrogen uptake and crop growth. III. Effects of cultivation on the porosity of soil and its compactness and on crop development and yields. *J. of the Sci food and agriculture*, Vol. 9, No. 454—462, 1958.
- [43] Kroth, E. M. et al.: Aggregate formation in soil with special reference to cementing substances. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 11:27, 1947.
- [44] Kubiena, W. L.: *Micropedology*. Collegiate press, Amer. Iowa. 1938.
- [45] Lawton, K.: The influence of soil aeration on the growth and absorption of nutrients by corn plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 10: 263—268, 1945.
- [46] Lugo-Lopes, M. A. et al.: Effect of soil-structure stabilizers on the production of tobacco plants in the seedbed. *J. Agri. univ., Puerto Rico*. Vol. 41, No. 3, 1957. (参见参考文献 106)
- [47] Lutz, J. F. et al.: The effect of phosphate fertilizers on some physical properties of soil. *Tran. of VIIth intern. cong. of Soil Sci.*, Vol. 1, 241—249, 1960.
- [48] Lutz, J. E.: The relation of free Iron in the soil to aggregation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1:43—45, 1936.
- [49] Marshall, T. J.: The nature, development, and significance of soil structure. *Intern. soc. of soil sci.*, New Zealand, 243—258, 1962.
- [50] Marshall, R. M.: Conditioning soil in the southwest. *Better Crops*. 37, No. 9, 1953. (参见参考文献 85)
- [51] Martin, J. P. et al.: Influence of micro-organisms on soil aggregation and crosion. *Soil Sci.*, 50:29—47, 1940.
- [52] Martin, T. L. et al.: Organic matter decomposition mold flora and soil aggregation relationships. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 7:215—217, 1943.
- [53] Martin, J. P.: The effect of composts and compost materials upon the aggregation on the silt and clay particles of collington sand Loam. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 7:218—222, 1943.
- [54] Martin J. P.: Microorganism and aggregation. II. Influence of bacterial polysaccharides on soil structure. *Soil Sci.*, 61:157—166, 1946.
- [55] Mazurak, A. P.: Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. *Soil Sci.*, 69: 175, 1950.
- [56] McCalla, T. M.: Influence of biological products on soil structure and infiltration. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 7:209—214, 1943.
- [57] Myers, H. E. et al.: Changes in Soil aggregation in relation to bacterial numbers, hydrogen ion concentration, and Length of time soil was kept moist. *Soil Sci.*, 51:189—200, 1941.
- [58] Myers, H. E.: Physicochemical reactions between organic and inorganic soil colloids as related to aggregates formation. *Soil Sci.*, 44: 331—359, 1937.
- [59] Misono, S. et al.: Study on the micro-structure of soil. *Bull. of the national inst. of Agr. Sci.*, Series B, No. 8, 213—259, 1958.
- [60] Peerlkamp, P. K.: A visual method of soil structure evaluation *proc. intern. sympos. soil structure, GHENT*, 216—222, 1958.
- [61] 参见: Recent advances in the study of soil structure. *Soil and fertilizer*, Vol. XI, No. 1, 1—5, 1948.
- [62] Retzer, J. I. et al.: Difference in the aggre-

gation of a prairie and a gray-brown podzolic soil. *Soil Sci.*, 52: 47, 1941.

- [63] Scott, A. Miller et al.: Relationship of particle and pore size to the growth of sunflowers. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 22: 4, 275—278, 1958.
- [64] Sciji Sugo: Fundamental aspects of Soil structure. Bull. of the national inst. of agriculture sci. No. 12, 255—301, 1962.
- [65] Sideri, D. I.: On the formation of structure in soil. III. Synthesis of aggregates: on the bonds uniting clay with sand and clay with humus. *Soil. Sci.*, 42: 461—481, 1936.
- [66] Stauffer, R. S. et al.: Organic carbon, pH and aggregation of the soil of the marrow plots and affected by type of cropping and manurial addition. *J. Amer. Soc. Agron.*, 32: 819—932. 1940.
- [67] Van Bavel C. H. M.: Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 14: 20. 1949.
- [68] Vlasuk, P. A.: Influence of mineral potassium fertilizers on soil structure. Abs. of papers, I. Soil physics. 83—84, VIIIth intern. cong. of soil Sci., 1964.
- [69] Адершихин, П. Г.: Влияние структуры почвы на поглощение фосфорной кислоты. Почвоведение, № 4, 201—203, 1951.
- [70] Айдинян, Р. X.: Выделение почвенных коллоидов без химической обработки. Коллоидн. журнал. Том. IX, № 1, 1947.
- [71] Антипов-Каратаев, И. Н. и Др.: О почвенном агрегате и методах его исследование, М., 1948.
- [72] Ахромейко, А.: Структура почвы, сельхозгиз. М., 1930.
- [73] Бзнава, М. Л.: Состав гумуса субтропических почв. почвоведение, № 3, 140—146, 1949.
- [74] Бекаревич, Н. Е. и Др.: Структура почвы и условия жизни растений, Докл. к VIII междунар. конг. Почвоведов. Из-во «Наука», 19—29, 1964.
- [75] Бобченко, В. И.: Закрепление почвогрунтов производными акриловой кислоты. Почвоведение, № 10, 70—74, 1961.
- [76] Бочдаренко, Н. П.: Влияние плотности почвы в межкорневой зоне на развитие пшеницы. Докл. ТСХА, в. 42, 189—194, 1959.
- [77] Вильямс, В. Р.: Почвоведение. Сельхозгиз, М., 1947.
- [78] Вершинин, П. В. и Др.: Основы агрофизики. Физматгиз, М., 1959.
- [79] Вершинин, П. В.: Проблема искусственного структурообразования. Сборн. Тр. по атрон. физике, в. 8, 131—142, 1960.
- [80] Гедройц, К. К.: К вопросу о почвенной структуре и сельскохозяйственной ее значении. Избранное сочинение, Том. I, 409—420, Из-во С. X. М., 1955.
- [81] Гуссак, В. Б.: Опыт применения гуминовых и полимерных препаратов на серозёмах в целях улучшения их структуры и борьбы с эрозией. Почвоведение, № 8, 42—53, 1961.
- [82] Димо, В. Н.: К вопросу об искусственной структуре почвы. Сбор. Тр. по агрон. физике, вып. 8, 153—160, 1960.
- [83] Качинский, Н. А.: О структуре почвы в связи с вопросами агротехники. Тр. уральск. филиала АН СССР, вып. 2, 1934.
- [84] Качинский, Н. А.: Природа механической прочности и водопрочности почвенной структуры в связи с ее генезисом. Сбор. Тр. по агрон. физике. вып. 8, 111—121, 1960.
- [85] Качинский, Н. А.: Структура почвы. Из-во, МГУ, 1963.
- [86] Качинский, Н. А.: Опыт агрофизических характеристики почвы на примере центрального урала. Из-во. АН СССР, 1950.
- [87] Качинский, Н. А.: О структуре почвы и ее дифференциальной порозности. Докл. к VI междунар. конг. почвов., АН СССР, 1956.
- [88] Кирпанева, Л. П.: Типы сложения пахотного слоя в связи с фильтрацией, порозностью и объемным весом почвы. Земледелие, № 11, 24—28, 1958.
- [89] Колоскова, А. В. и Др.: Качественный состав агрегатов некоторых почв волжско-каменской лесостепи. Почвоведение, № 10, 100—104, 1959.
- [90] Колоскова, А. В.: Строение агрегатов выщелоченных черноземов Татарской АССР. науч. докл. высш. школы, биол. серия, № 1, 93—97, 1960.
- [91] Колоскова, А. В. и Др.: Физико-химические свойства водопрочных агрегатов разного размера. Науч. докл. высш. школы. биол. серия, 1, 189—202, 1961.
- [92] Кульчицкая, А. И.: Дифференциальная и видимая порозность как качественной признак структуры на примере основных типов почв Ленкоранской зоны АзССР. Вестн. моск. ун-та, № 3, 137—147, 1957.
- [93] Кульчицкая, А. И.: Фракционный состав гумуса некоторых почвенных типов Ленкоран и его роль при оструктурировании почв. Вестн. Моск. ун-та, № 3, 71—78, 1959.
- [94] Келлерман, В. В.: Физико-химические свойства водопрочных агрегатов в различных типах почв СССР. Вопросы физикохимии почв и методы исследования, Из-во АН СССР. 3—104, 1959.
- [95] Морозова, Э. Ф.: Влияние сложения пахот-

- ного слоя на свойства орошаемого типичного серозёма и урожай хлопчатника. Почвоведение, № 3, 71—77, 1964.
- [96] 参见: Материалы к выяснению вопроса о структуре почвы. Почвенный ин-т АН СССР, 1938.
- [97] Маттсои, С.: Почвенные коллоиды. Сельхозгиз, М., 1938.
- [98] Мигунова, Е. С.: О природе прочности естественной структуры чернозёмов и серых лесных почв. Науч. докл. высш. школы, биол. серия, 2, 186—192, 1959.
- [99] Мичурин, Б. Н.: Структура и водно-физические свойства почв. Сборн. по агрофизике, вып. 10, 145—154, 1962.
- [100] Никольский, Н. Н.: Роль комковатного и раздельночастичного состояния механических элементов в формировании структуры целинных и старопахотных почв. Из-ва ТСХА, № 2, 98, 1961.
- [101] Орлова, В. К.: Структура почв светло-каштанового комплекса в связи с характером гумусовых веществ. Вестн. МГУ 2, 75—84, 1959.
- [102] Поясов, Н. П. и Др.: Роль полимеров в повышении плодородия почв. Земледелие, № 2, 1961.
- [103] Ревут, И. Б.: Физика почв и проблема их обработки. Вестн. С. Х. Науки, № 7, 30—41, 1961.
- [104] Ревут, И. Б. и Др.: Плотность почвы и ее плодородие. Сборн. Тр. по агрофизике, вып. 10, 154—164, 1962.
- [105] Романов, И. А.: Влияние полимера на урожай озимой пшеницы. Бюл. науг. информ. по агрофизике ВАСХИНИЛ, № 8—9, 1960. (参见参考文献 106).
- [106] Рябокляч, В. А. и Др. О влиянии полимерных препаратов на физические свойства почв и урожай сельскохозяйственных растений. Почвоведение, № 6, 97—106, 1963.
- [107] Смолина, Л. Б.: Пористость орошаемых типичных серозёмов АКЦАС в зависимости от их окультуривания под влиянием Трав. Узб. Биолог. Ж., № 2, 1960.
- [108] Третьяков, Н. Н.: Плотность почвы и корневая система растений. земледелие, № 4, 56—63, 1963.
- [109] Тюлин, А. Ф.: Органо-минеральные коллоиды в почве, их генезис и значение для корневого питания высших растений. Из-во АН СССР, М., 1958.
- [110] Тюлин, А. Ф.: Методы пептизационного анализа в связи с вопросом об общих закономерностях в химических и физических свойствах почв. Почвоведение, № 4—5, 1943.
- [111] Устинович, А. Ф.: Влияние различного сложения пахотного слоя на развитие и урожай хлопка-сырца. Отчет Союз НИХИ 1941. (参见参考文献 95)
- [112] Хан, Д. В.: Влияние перегнойных веществ, состава минералов и обменных катионов на образование водопрочных агрегатов в черноземных почвах. Почвоведение, № 4, 63—70, 1957.
- [113] Цулаков, Ш. А.: К вопросу об образовании почвенной структуры. Вестн. АН Каз. ССР. № 3, 1959.