

水稻土的力学性质与水分含量的关系*

趙誠齋 呂秉光

(中国科学院土壤研究所)

土壤的抗剪强度和抗压强度以及变形性质是决定耕作阻力、机具的通行性能及耕作质量的重要因素,也是机具正确设计所必须考虑的因素。过去对于耕作土壤的强度研究,多从旱地的松散状况出发,把土体的粘結只归因于水膜的表面张力和水膜的数量,并得出结论:土壤强度与含水量呈抛物线关系。对于搅动后土壤粘結的机制,认为包括水膜粘結和分子引力粘結两种^[1]。最近山中金次郎指出^[2],在这二种不同粘結机制的轉折处有明显的破折现象,但对水稻土的情况研究极少。

土壤的强度与含水量有关,也与其他因素有关。M. L. Nichols^[1]从农业工程的角度研究了土壤的抗剪强度与正压力的关系,塑性土壤的抗剪强度与所用的正压力成比例地增加,但与水分的关系没有说明。E. L. Greacen^[3]在土壤含水量影响抗剪强度的研究中指出,在水分饱和的条件下渗透性差的土壤,其水分将支承一部分正压力,呈现較低的抗剪强度。Micklethwait^[4]在以土壤抗剪强度计算車輛牵引力时指出,湿的粘土的抗剪强度只决定于内聚力,而与正压力无关;至于砂土则随荷载而增加。但潘君拯^[5]在测定砂壤质水稻土在不同含水量时的抗剪强度后得出结论:典型水稻土含水量减低,不管其粘聚力的值如何,内摩擦角都具有近似值。以砂壤土的試驗結果概括其他質地的水稻土,看来并不很恰当。尤其是上述作者在测定土壤抗剪强度时,均把土壤先进行固結,这与耕作时机具对土壤瞬时作用的情况不符,而且也大大降低水分对土壤强度的实际作用,以快剪法测定水稻土的结果,我們尚未看到。

剪和挤压是犁在耕翻碎土时的二个主要的力的作用。Я. М. Жук 和 Д. А. Далин^[6]曾在黑钙土上用自己设计的仪器进行土壤抗剪强度和抗压强度的研究认为,土壤的抗压强度大于抗剪强度,并以此作为耕耘机械设计的重要根据。这个結論,亦可从摩尔理論推导得出^[9]。但在土力学的现代文献中,还可看到抗压与抗剪的相互轉換关系,并随土壤条件不同而异,所以黑钙土上的测定結果是否适合水稻土的情况,也是值得研究的问题。

关于土壤的变形性质,目前一般都从土壤塑性的水膜理論出发^[7],认为当土壤湿度大于塑性下限时,土壤顆粒的界面上已形成一个足够顆粒相互滑动的水膜,这时土壤的变形性能很大。但塑性下限是在土壤磨細的情况下测定的,是否能符合自然状况下的土壤,目前尚无足够的資料。

根据上述存在的问题,我們对水稻土的抗剪、抗压和变形性质进行一些研究,并对耕作方法和机具类型作一简单討論。

* 部分工作尚有冀华文、赵渭生二同志参加。

一、試驗的土壤及方法

供試土壤,有下列三种不同質地的水稻土:

(1) 粘質潛漬水稻土(栗子土):发育于粘質湖积物上的潛漬水稻土,原为浅水沼泽地区,經排水耕种已十余年,历年都施用大量有机肥料(包括綠肥),耕作层多鱗血状锈斑,标本采自江苏丹阳县练湖农場。

(2) 壤質潛漬水稻土(青泥土):发育于下蜀系黃土母質上的潛漬水稻土,为古老耕种土壤,位于冲田下部,采于本所江宁試驗場。

(3) 壤質瀰漬水稻土(小粉土):发育于壤質冲积物上的瀰漬水稻土,位于小丘上部,有机質含量較少,土色黃棕,亦采于练湖农場。

三种水稻土的一般性質列于表 1。

表 1 供試土壤(耕层)的一般理化性質*

土壤	机械組成(毫米) %					流 塑 性			化 学 性 质			
	砂 粒 0.25—0.05	粉 砂 粒 0.05—0.001	粘 粒 <0.001	物理性 粘 粒 <0.01	質地	流限	塑限	塑性 指数	pH	有机質 (%)	交換量(毫 克当量/100 克土)	CaCO ₃ (%)
栗子土	6.8	51.2	42.0	68.0	經粘土	44	24	20	5.8	2.54	19.29	0.10
青泥土	2.5	66.5	31.0	56.1	重壤土	39	23	16	6.5	2.10	19.60	—
小粉土	4.3	81.5	14.2	42.5	中壤土	37	20	17	7.0	1.94	12.68	0.13

* 測定方法同参考文献[8]。

試样制备:試驗所用土样,是模拟田間狀況在實驗室条件下制备的。从田間采回的土壤,先风干,然后用手剝至小于 2 厘米,放入土槽中(98×22×16 厘米),分二种处理:(1)模拟稻茬田——灌水到土表有 3—4 厘米的水层,用釘耙来回耙抄 4 次,繼續泡水 5—10 天,然后任其蒸发变干,我們称为湿处理。(2)模拟麦茬田——土壤放入土槽后,用噴霧器均匀噴水,使土壤达飽和湿度,变干后又复加水,如此反复 3—4 次,我們称为干处理。抗压強度的測定,因为要求試样成圓柱体形,故經上述处理的土样,另行放入玻管中制成圓柱体形的試样。

測定方法:(1)土壤抗剪強度——用应变式环形剪力仪測定,相当于土工的快剪法^[9](不預先固結)。土样高 1.5 厘米,直径約 5 厘米,用 0.5、1、1.5、2.0 公斤/厘米² 四个垂直荷載,根据 $S = c + P \tan \phi$ 求出內聚力(c)和內摩擦系数($\tan \phi$)。(2)土壤抗压強度——用允許旁脹压缩仪測定,土样高 8—9.5 厘米,直径 3.5—4.5 厘米,土样受压破坏时的最大应力为土壤的抗压強度。(3)內压力——抗压強度測定后,用量角器量取土壤的破裂角,由摩尔圓图解出內压力。(4)土壤的变形和应力——抗压強度測定过程中,不断的讀取土壤变形量与其相应的应力。(5)有側限压缩速度——用固結仪測定,土壤高 1.5 厘米,直径 5 厘米,压缩过程中可自由排水。(6)土壤收缩——用环刀測定土壤不同含水量的容重,換算出固体相占据的百分数。

二、水稻土的抗机械强度

从经过湿处理和干处理的三种土壤的极限抗剪强度和极限抗压强度与含水量的关系(图1)可以看出,湿处理所得结果,与作者以前的稻茬田原状土抗切强度的变化趋势完全一致^[8]。说明我们在模拟条件下的试样,能代表一定的实际情况。从图1可进一步看出下列关系。

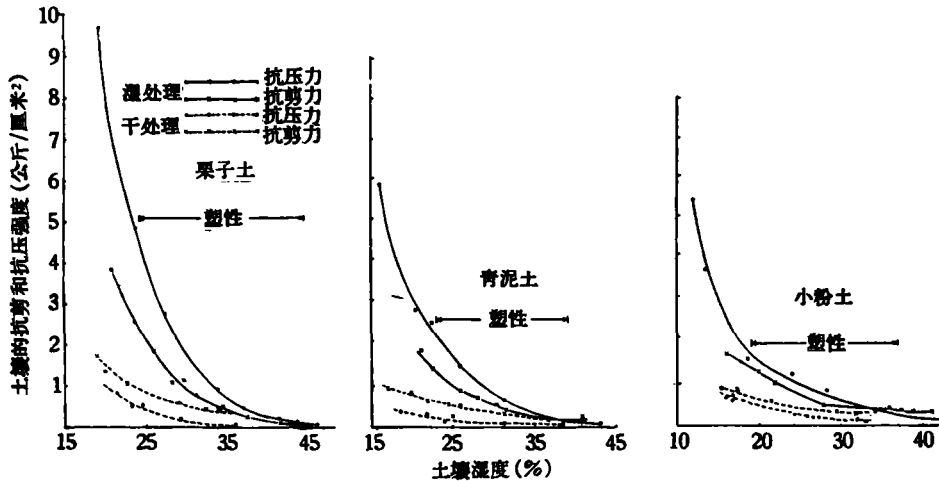


图1 不同处理的土壤抗压强度及抗剪强度(1公斤/厘米²的垂直荷载)随湿度的变化

干处理的土壤曲线变化虽较为平缓,但并不出现含水量低于塑性下限时抗机械强度逐渐减低的現象。可见水稻土在较松散的时候,也不完全符合水膜粘結的理論。

含水量高时,不同土壤及不同处理之间的抗剪强度和抗压强度的差异实际是很小的,并且均接近于零。湿度降低后,差异就显现出来了,湿处理的抗机械强度增加快,干处理的增加慢。湿处理的土壤,在相对含水量相同时,抗机械强度的顺序是:小粉土<青泥土<栗子土,这与土壤质地变粘的顺序相一致。干处理的三种土壤没有差异。根据我们以前的分析结果,这三种土壤的水稳性团聚体(>0.25毫米),栗子土为84%,青泥土60%,小粉土52%。看来现在一般的团聚体分析结果不能反映水稻土经渍水耙耖沉实变干(湿处理)后的土壤实际垒结状况。其原因如前文所指出^[8],分散的颗粒可填充于土块之间产生粘結,并发生颗粒排队。干处理的土壤,不可能发生这种情况。所以二种耕作条件,可使土壤处于完全不同的垒结状况。

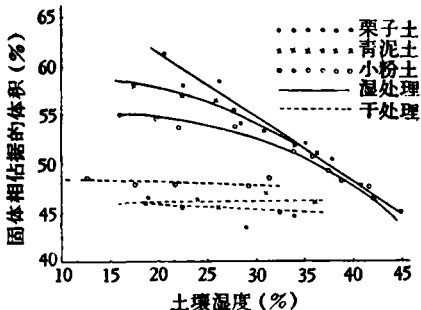


图2 土壤收缩后固体占据的体积与湿度的关系

湿处理土壤的抗机械强度随含水量变化的曲线是质地由轻变重坡度增大,从平缓转为较陡的转折点的相对含水量也因土壤质地而异,小粉土在塑性下限以下,青泥土在塑性下限附近,栗子土在塑性下限以上,似乎有这样的趋势:即质地由轻变重,这个转折点向湿度大处推移。如果把图2收缩的结果联系起来看,土壤抗机械强度增大的程度,完全与土壤收缩的程度相一致。W. B.

Haines 在討論阿特伯 (Atterberg) 的关于土壤含水量与土壤粘結力的关系中认为^[10], 在湿度大时土壤的粘結力主要为水膜力所产生, 湿度低时则以分子凝聚力为主。我們从上述結果不难知道, 水稻土中因有強烈收縮, 所以土壤湿度降低不仅发展了由水膜张力强度增加所增大的粘結力, 也有利于发展由顆粒之間分子引力强度增加的粘結力。塑性以下水膜力虽然消失, 但分子引力已經增強, 所以不出現松软結持阶段。同时, 因收縮的緣故, 不待水膜力降低, 土壤顆粒之間的分子引力已經发展, 这二种力在曲綫中部的湿度范围内实际上已經形成了重迭的过程, 因而也并不呈現阿特伯破折点。所以我們认为山中金次郎的結果^[2], 可能是因土而异的現象, 不是所有土壤的共同特征。

从图 1 还可看出, 同一种土壤在不同的状况下 (不同处理), 抗剪力和抗压力的值是不相等的。湿处理的土壤抗压力大于抗剪力, 当湿度減低, 土壤的抗机械强度愈大时, 二者的差异亦愈大; 而干处理的土壤, 抗压力小于抗剪力。看来仅根据 Жук 和 Далин 的工作結果^[7], 而把水稻土的耕耘机械完全以剪力为主来設計, 可能并不适合于各种状况的土壤。因为水稻土在块状壅結时, 土块的抗机械强度仍大, 而土块間联結的强度小, 在限制剪切面的条件下剪碎土壤, 不仅沿着弱联結的土块接触面, 也从剪切面上的土块中剪碎。但在无側限的挤压过程中, 必然只沿强度較小的接触面剪碎, 这样碎于压的力就比碎于剪的力要小。

按照庫伦定律^[11], 土壤的抗剪强度由內聚力及內摩擦力組成, 茲根据不同垂直荷载下測得的抗剪强度 (图 3) 和以此求出的內摩擦系数来分析这二个力与含水量的关系。土壤的內聚力, 即土壤顆粒之間的粘結力 (相当于图 3 中垂直压力等于零时剪力綫与纵座标之

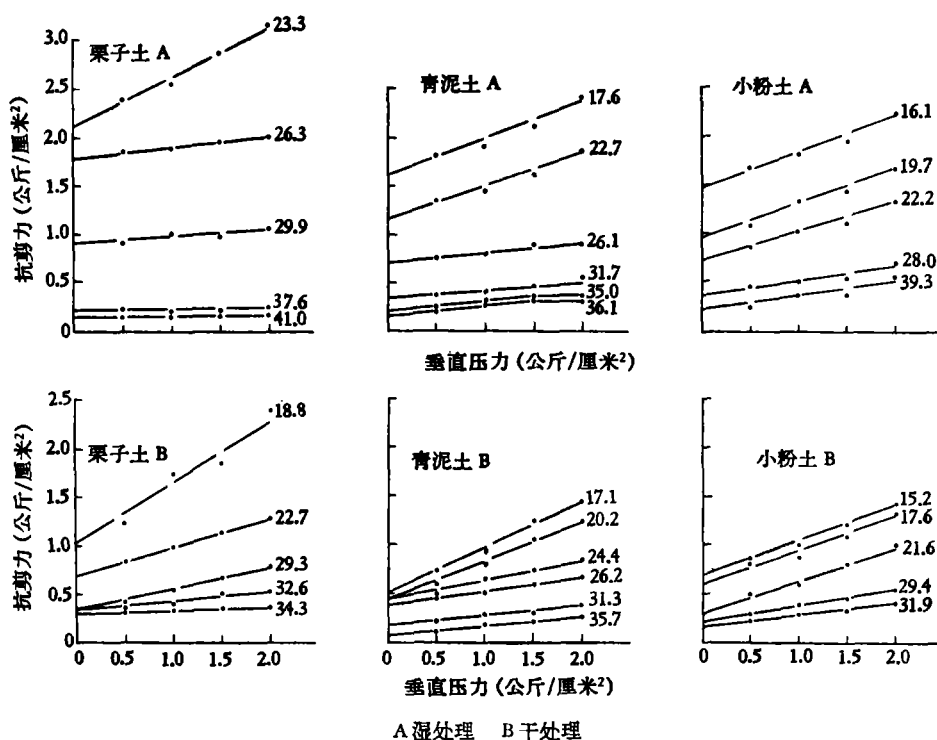


图 3 土壤的抗剪强度与垂直压力的关系 (剪力綫末端数据为土壤含水量百分数)

交点),它与土壤質地、水分含量及土壤状况的变化关系,与上述总的抗机械强度的变化关系完全一致。

内摩擦系数¹⁾的变化是,含水量变大,粘重的栗子土接近于零,这时土壤的抗机械强度基本上只决定于内聚力,垂直压力对抗剪力没有影响。随着土壤質地变轻,内摩擦系数增大。中壤质小粉土即使在流性下限,仍有一定值的内摩擦系数。这就是说,垂直压力有增加土壤抗剪力的作用。这种关系不论湿处理和干处理都是如此。还应指出,重壤质青泥土,当所加垂直压力较小时(<1.5 公斤/厘米²),抗剪力是压力的函数,而当垂直压力大于 1.5 公斤/厘米²时,抗剪力与垂直压力又无关系(图3湿处理中湿度为36.1%、35.0%的二曲线)。看来土壤湿度大时,内摩擦系数的大小不仅与土壤質地有关,也与所用垂直压力的大小有关。这是因含水量大时,加荷重于土壤,土壤中的水分必然对压力产生支承,降低了实际及于土壤颗粒的有效压力。水是不可压缩的,如土壤渗水慢,水减低有效压力的作用就大,所以粘重的栗子土内摩擦系数接近零;如果土壤渗透快,则有效压力相对增加,因而小粉土就有一定值的内摩擦系数。同时,压力渐次增加,则完全排出该压力所能排出的水量所需的时间必然要增长,也即在相同时间内该压力能排出而未排出水量必然随压力的增加而相对增多,这就是青泥土在压力大于 1.5 公斤/厘米²后抗剪力不再增加的原因。

在塑性下限以上,土壤含水量降低,粘重的栗子土的内摩擦系数增加慢(图4),質地轻内摩擦系数增加快;到塑性下限以下,内摩擦系数都陡然增大,最后粘重的土壤反比質地轻的为高,土壤含水量降到不饱和状态,水对垂直压力的支承作用就不存在了,这时不同質地的土壤,内摩擦系数也不同,这必然是由颗粒的性质所决定。但在含水量很低时,我们发现土壤剪断面不是光滑的平面,面的粗糙度代替了含水量较高时的决定于颗粒性状的摩擦关系。所以含水量低时,愈粘重的土壤维持糙面的性能愈高,则所表现的内摩擦系数亦愈大。

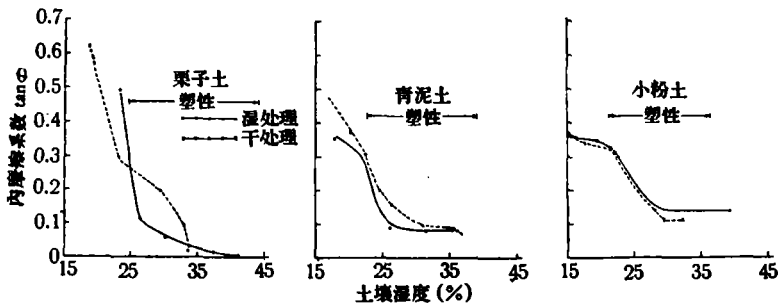


图4 土壤内摩擦系数随湿度的变化

干处理的土壤,当質地较粘重而含水量又低时,土壤的疏松垒结可增大内摩擦系数(栗子土,青泥土)。但質地轻的小粉土,即使湿度很低亦无此作用,这说明由土壤垒结状况改变而引起摩擦系数的改变,必须是土体中的结构单位有一定的抗机械强度,在土壤饱和和含水量以下,湿度大,结构单位的抗机械强度小,结果干处理的三种土壤的内摩擦系数

1) 因采用快剪法,故内摩擦系数应与一般经过固结处理的有所不同。

都与湿处理的值相一致,即只决定于該种土壤的顆粒性质。

由此可知,土壤的内摩擦系数因土而不同,并随含水量而变,潘君拯^[5]认为水稻土的内摩擦系数是固定不变的,这可能只适合他所用的砂壤土条件。

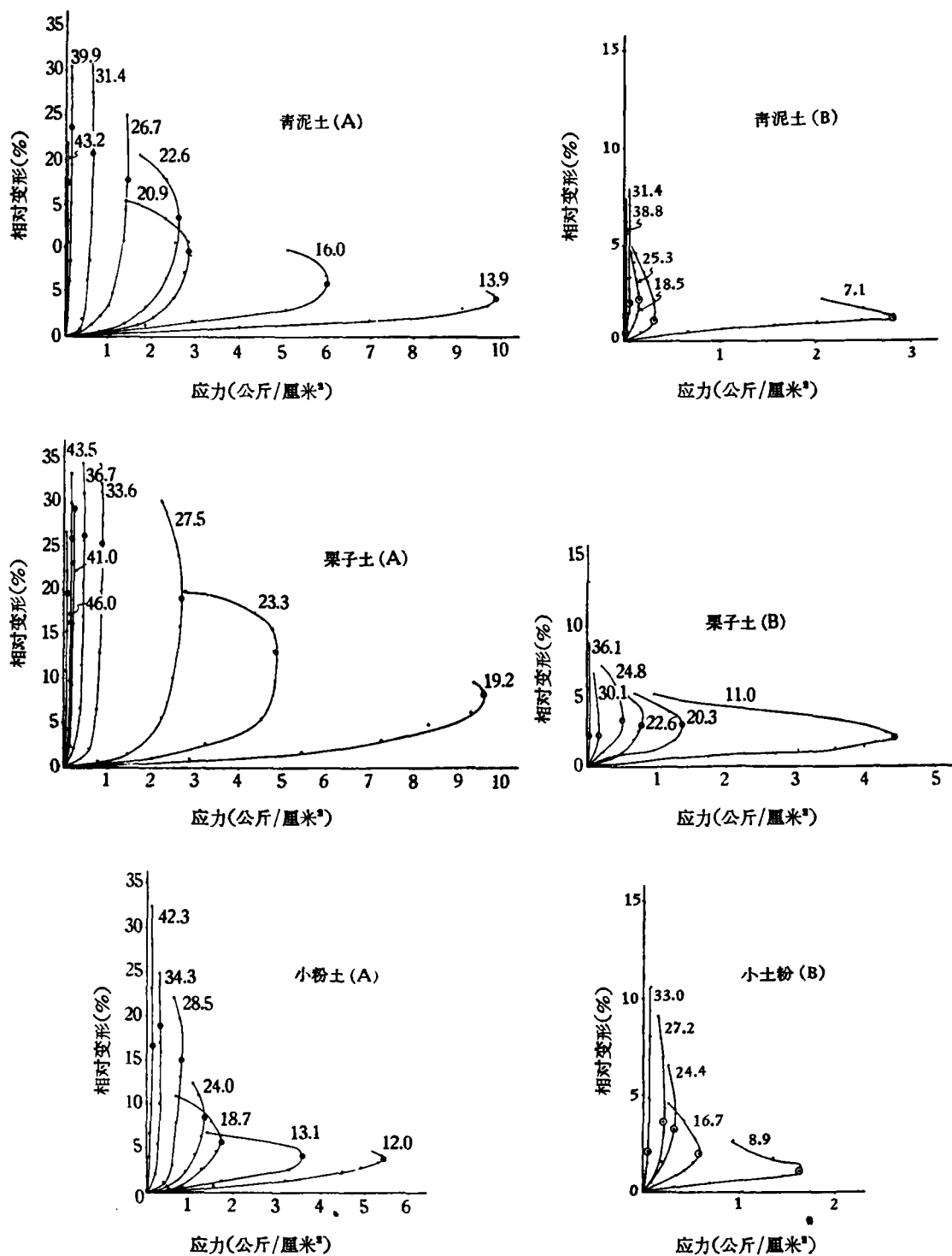
三、水稻土的变形性质

土壤受到逐渐增加的荷重,一方面产生阻力,一方面本身呈现变形,变形是土体破坏前的必经过程。从湿处理和干处理的试样在无侧限条件下加压时土壤的变形与应力的关系(图 5) 可以看出,土壤湿度低时,变形与应力基本上为一直线关系,即属于弹性变形,这时除去荷重,土壤能恢复到与原来相接近的形状。失去直线关系后,应力急速减低,表示了土壤的破坏(这个转折点我们称为稳固性界限),这种由弹性变形而突然破坏的性质,我们称为脆性破坏。弹性变形是由固体颗粒和薄膜水有弹性并受压缩而引起的,受压过程中颗粒不产生相对移位。所以土壤含水量愈低,质地愈粘重,颗粒之间粘结的强度愈大,土壤有可能承受较大的压力,其弹性变形的性能也愈大。但可看出,不同质地的土壤之间差异并不是很大的,而不同处理之间(土壤的垒结状况不同)差异较大,湿处理最高可达 5% 上下,而干处理仅 1% 左右。可知土壤垒结不同是造成弹性变形的差异较大的主要因素。这时总的变形量虽小,而土壤的抗压强度很大。

当含水量很大时,弹性变形量很小,或接近于零,荷重超过弹性极限以后,变形大大增加,应力增加很少或几乎不增加,我们称为塑性变形。这种变形是因水膜联结作用下的颗粒切动所致。但是,变形达到一定量以后,也可出现应力减少的转折点。不过湿度大时,在这个点前后的应力差异不大,随着含水量减低,每一条曲线的弹性变形线段均逐渐增长,塑流逐渐减弱;而且在变形超过稳固性界限以后,逐渐发生应力显著减少的现象,也就是土壤颗粒发生移位后水膜联结作用的消失加快。发生水膜联结作用加快消失的土壤湿度范围,大致在塑性范围的下部到塑性下限以下,质地较轻的土壤,它的上下限在含水量较高处,粘重的土壤则要低些。含水量更高干处理的试样便失去塑流性质,而且质地的影响不显著。由此可知,随着土壤含水量减低,从塑性粘滞体变成固体性状的过程,是一渐变过程,如果说塑性体和固体有含水量的界限,这个界限不是如一般所说的为一水分常数(通常指塑性下限),而应该是一较大的湿度范围,这个范围可因土壤的质地和垒结状况不同而异。在这个范围内,有如含水量更低时的土壤一样,具有脆性破裂的性质,所不同的是这时必须使土壤达到更大的变形才会发生。

如果把稳固性界限作为极限变形量,则可看出当湿度大于流限时土壤的总变形量也有所减低,塑性中部以后则急速降落,变形量最大是在塑性范围的上部。所以土壤变形与含水量呈抛物线的关系。

湿度较大的土壤其变形达到某一点以后发生应力减低的现象表明,土壤的力学性质与纯弹性或纯塑性体者不同。这是由于土壤为各种大小不同、形状不一的颗粒和团聚体所组成,是一极不均匀的体系,应力传递的机械作用,即土壤体积的变形就不平衡,即使在很小的外荷作用下,土壤内应力分布亦不均匀,所以当土壤达到较大变形时就引起土体的崩解。这就是土壤在湿度较大时也能发生破裂的原因。但湿处理引起土粒定向排列,减弱了土体的不均匀性,所以湿处理土壤的变形性能比干处理大得多,含水量降低,土壤发



A. 湿处理 B. 干处理

图5 土壤的变形与应力的关系 (线条末端数据为土壤含水量百分数)

生收缩而使颗粒更为靠近,当颗粒切动时水膜的联结不易脱离,所以湿度即使低于塑性下限也仍有一定的塑性变形,这是水稻土耕作时不易碎土的主要原因。干处理的试样,土壤垒结疏松,土体内很不均匀,所以它的变形性能较小,塑性下限以前就呈现明显的脆性破裂。可知,水稻土有特殊的垒结关系,使变形性能也与旱地不同,要改变这种状况,必须调节土壤内的垒结状况。

由此可知,提高耕作碎土的效果,改变土壤含水量仅是一个方面,作用力使土壤变形量增大及耕作前改变土壤的垒结状况,同样有促进碎土的作用。A. Н. Зеленин^[12]曾提出,当一物体(指土)在外力作用下,塑性变形的运行速度大于该物体所固有的最大塑性变形速度,则可如脆性体般破坏。可知土壤的破裂不仅与本身性质有关,也与外界作用条件有关,所以水稻土的耕翻时间,应如 П. У. Бахтин^[13]所指出,把土壤适耕性限制在某个不变的含水量,这是脱离耕作工艺过程的静止概念,它应与土壤性质、犁的结构及耕作速度有关。

四、关于水稻土的耕作和机具类型的讨论

作者以前的工作^[8]曾指出,土壤含水量过低,水稻土的粘聚力很大,将会造成耕作的困难。本文图4表明,含水量低于塑性下限时,内摩擦力也可达到最高值。因此耕作时土壤与土壤的滑动阻力,亦将以湿度低时为最大,这说明土壤湿度低,耕作时不仅要克服土壤较大的粘聚力,亦须克服土壤较大的滑动阻力。土壤的总内压力,亦随着湿度的降低而增高,特别是粘重的水稻土(图6),这种内压力是由颗粒与颗粒的凝聚力所引起,是根系在土壤中伸展的阻力,当然过大也是不好的。因为秋耕后耕层常以大块状的土块垒结,植物的根必须扎到土块中去,土壤内压力对植物根生长的影响,将不因整地而完全消失。

含水量大于塑性下限,土壤的变形性能迅速增长,从本文结果可知,作者以前提出的水稻土适耕范围(塑性范围的下部)内的土壤,其脆性破裂的性能开始形成,而仍具有一定程度的塑性变形,因此,如何借助于耕作方法及机具的结构来减低土壤的塑性和粘滞性,并充分发挥脆性破裂的性质是最首要的问题。

根据 A. Н. Зеленин 的观点,增大破坏土壤的作用力速度,可使土壤由塑性破坏变成脆性破坏。1961年春作者在江苏丹阳县营练湖农场田间的观测证明,提高拖拉机的行走挡数,可促进耕作的碎土效果(表2),特别是对质地较轻的麦茬田作用更好。所以为了克服水稻土的塑性和粘滞性,要加大耕速。

耕速加大,必减少机具与土壤接触的作用时间,图7表明,处于塑性粘滞体状况的土壤,其压缩变紧过程是随时间而进展的,尤其在受压开始的瞬间影响更大。所以耕速加大,也可使土壤不易压紧。

水稻土变形性质的研究已指出,改变紧密的垒结,可减低变形量,并使土壤在较高的含水量时就具有脆性性质。根据 W. B. Haines^[14]的研究,粘质而紧密的土壤经过干湿

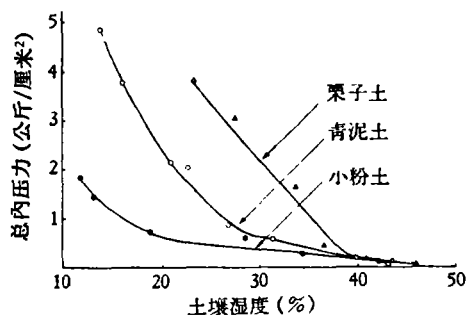


图6 土壤总内压力与含水量的关系(湿处理试样)

表 2 机具行速对碎土的影响 (1961 年 4—5 月)

土壤及茬口	机 具	行速	土块大小组成%(厘米)						不同深度(厘米)的土壤湿度			
			>25	25—15	15—8	8—5	5—2	<2	0—5	5—10	10—15	15—20
油泥土(重壤)	热托—35	2 速	4.5	13.6	18.8	20.8	24.2	18.1				
绿肥茬	波兰三铧犁	3 速		3.3	37.5	25.2	18.0	16.0	15.1	25.5	23.4	20.5
小粉土(中壤)	福克森	2 速			26.7	21.7	18.2	33.4				
麦 茬	三 铧 犁	4 速			10.5	24.8	23.6	41.1	—	—	—	—

交替作用,可使土体变松,并改变土壤的壅结状况。这也为江南农民的经验所证明。所以

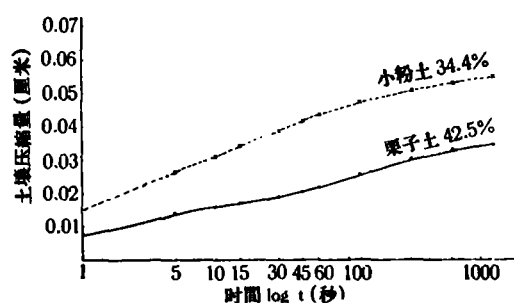


图 7 土壤的压缩量(累计)随时间的增长
(百分数为土壤湿度)(土样高 1.5 厘米在
0.75 公斤/厘米² 压力下测定)

不仅春耕要利用太阳能使土壤酥散,秋季,早中稻地区,也要尽量提前耕翻,使土壤有充分干湿交替作用的机会,然后在播种前复耕耙耨。练湖农场在栗子土地区,进行第二次复耕得到非常好的耕作质量。

为克服水稻土的塑性粘滞性质,对犁的要求是必须能使土壤有较大的变形,从犁的碎土原理来看,增大犁壁曲面和使土壤形成初剪面较小的土块可达到此目的。但曲面增加是否会强烈增加曳引力尚需试验决定。

初剪面土块形成以后的挤压过程中,少量的土壤变形也可达到较大的相对变形量,这自然就容易引起土块的破裂。初剪面土块的大小决定于犁铧的宽度和深度,所以改小目前所用的犁铧并减少吃土深度是重要的,由吃土深度减低而提高碎土的效果可从表 3 看出。为了维持耕作所需要的深度,可加强小铧的作用。犁铧改小的同时,可以增加犁的个数来充分利用拖拉机的动力,一般牛犁的碎土效果都比机犁好,可作为水稻土适合于窄幅犁的证明。

表 3 耕深对碎土的影响*

耕深(厘米)	土 块 大 小 (厘 米) 组 成 %					
	>25	25—15	15—8	8—5	5—2	< 2
10—12		13.8	15.3	16.9	19.6	34.4
15—17		21.0	17.3	23.2	16.5	22.0
18—20	5.2	11.7	26.4	23.3	17.4	16.9
20—23	14.4	21.3	22.7	15.6	11.2	14.6

* 东方红拖拉机,四铧犁(由五铧犁卸去一铧)。

机具在塑性土壤上运行时,最大单位面积的压力为平均比压的二倍^[15],我们从图 1 可看出,湿处理土壤的抗剪强度要达到轮式拖拉机的平均比压(0.8—1.0 公斤/厘米²)二倍的数值,一般要求土壤含水量降到塑性下限以下,至于松散土壤(干处理)则需要降低的湿度更大。在我们所提出的适耕范围(塑性范围下部)内耕地,如用轮式拖拉机不可避免地会形成轮沟或使土壤压板,但用履带式拖拉机(比压 0.4—0.5 公斤/厘米²),就不致发生这种

不良現象。所以水稻土地区的机具必須具有与土壤接触面大，比压低的特点。同时在水土含水量大时要使机具的通行性能好、發揮較高的曳引力，机具与土壤的接触面大是必要的。因为前面的研究表明，土壤含水量較高时，內摩擦系数几乎等于零，土壤的抗剪强度只决定于內聚力，因此，要提高机具的附着力，只有增加它与土壤的接触面，这也說明履带式拖拉机比較适合于稻麦两熟地区的土壤。

五、摘 要

在实验室条件下，模拟稻茬和麦茬两种土壤状况，研究了抗机械强度、变形性质和內压力三者与土壤含水量的关系。稻茬田土壤抗机械强度随含水量变化的曲线的坡度很大，麦茬田則較小。前者因強烈收縮使分子引力很快发展之故。粘质土壤的內摩擦力，在含水量大时接近于零，抗剪强度只决定于內聚力，質地变輕內摩擦力微有呈现。含水量降低各种土壤內摩擦力增加快，并受土壤剪断面的粗糙度和团聚体强度所影响。土壤含水量降低到塑性下部，土壤脆性开始形成，但仍有一定的塑性和粘滯性，土壤質地变輕及壅結疏松时，土壤的脆性能够在更高的含水量范围内产生。土壤塑性体与固体的转变是漸次过渡的，所以二者的分界应是一个較大的湿度范围。稻茬田土壤含水量降低內压力增加很快，特别是粘质水稻土。所以我们认为水稻土耕作时湿度不宜过低，克服水稻土的塑性和粘滯性是耕作上的首要任务。为此，犁要能使土壤形成較小的初剪面土块，耕速要大，在播种期前先耕翻，并于播种时复耕。同时为發揮机具的曳引力，其行走部分与土壤的接触面积宜大。

参 考 文 献

- [1] Baver, L. D.: Soil physics. 3rd Edition, p. 99—104, 1956.
- [2] 山中金次郎：土壤の凝集力に关する研究農業技術研究所報告 B 第 6 号，p. 66—71, 1955.
- [3] Greacen, E. L.: Water content and Soil strength. J. Soil Sci., 6:314—333, 1960.
- [4] Qgorkiewicz, R. M.: 車輛土壤力学。拖拉机快报第 6 期。1963 年。
- [5] 潘君拯：水稻土的某些力学性质。农业机械学报，第 2 卷 第 1 期。1958 年。
- [6] 土壤的物理机械性质，南京工学院农业机械教研组編油印本 1960 年。
- [7] Baver, L. D.: Soil physics. 3rd Edition, p. 105—115, 1956.
- [8] 赵誠斋：水稻土的物理机械性质与机械化耕作的关系。土壤学报，11 卷 1 期，1963。
- [9] 南京水利实验处編：土工試驗手册。1952。
- [10] Haines, W. B.: Studies in the physical properties of Soil. I. Mechanical properties concerned in Cultivation. J. Agri. Sci., 15:178—200, 1925.
- [11] М. Н. 戈里特什騰：土壤的力学性质。人民交通出版社，p. 144—173, 1954。
- [12] Зеленин, А. Н.: Резание Грунтов. издательство Академии Наук СССР, Москва, стр. 165, 1959.
- [13] Бахтин, П. У.: Физико-механические свойства как фактор, определяющий условия работы сельскохозяйственных машин, Издательство Академии Наук СССР, Москва, 1954.
- [14] Haines, W. B.: The Volume-changes associated with variations of water content in Soil. J. Agri. Sci., 13:296—310, 1923.
- [15] Walter Soehne: Fundamentals of pressure distribution and Soil compaction under tractor tires. Agri. Eng., 39:276—281, 1958.

THE MECHANICAL PROPERTIES OF PADDY SOIL IN RELATION TO THEIR MOISTURE CONTENT

C. J. JAW AND P. K. LÜ

(Institute of Soil Science, Academia Sinica)

(SUMMARY)

Mechanical properties of soil including resistance to pressure, shearing, and deformation, internal pressure in relation to soil moisture content were studied with model experiment of paddy soils in rice stubble field and in wheat stubble field under laboratory condition. The mechanical strength of paddy soil in rice stubble field changed greatly with changing soil moisture content. This is due to a rapid development of attraction of molecular resulting from intensive shrinkage. Paddy soils in wheat stubble field, however, were found to show less change in this respect. When soil moisture content was high, the internal friction of clay soil approached zero. Its shearing strength was effected by soil cohesion only and its internal friction increased with the change of texture from heavy to light. When soil moisture content dropped, the internal friction of all the soils studied increased rapidly and was effected by the strength of aggregates and the degree of roughness of the shearing surfaces. When soil moisture dropped to the lower part of plasticity, fragility of soil began to occur, but a certain degree of plasticity and viscosity still remained. Fragility may occur at high content of soil moisture to soils with light texture and weak arrangement. As the change of a soil from plastic to solid is a continuous process, a larger range of soil moisture content should be allowed for the demarcation between a plastic and a solid soil. Since the internal pressure of the paddy soil in rice stubble field increased rapidly upon decrease of soil moisture content, especially so in the case of clay paddy soil. Hence, for cultivation on such soils a higher optimum soil moisture content is suggested for the main purpose of tillage and to minimize soil plasticity and viscosity. On account of this, it is necessary to have the plow to form soil blocks of smaller primary shear planes, to have a higher speed of plowing, to have the land plowed twice, first far in advance of planting and then immediately before planting, and to have a larger contact surface between soil and tire so as to increase the draft force of the tractor.