

水稻土軟硬度的指标及其应用

曹 升 廣

(中国科学院土壤研究所)

水稻土的軟硬度簡單說來就是它的軟硬程度。这种物理特征就其形成實質和特征来看,与旱作土和自然土的松紧度一样,都是由于土壤固、液、气三相关系发生变化后,表现在对于抵抗外界压力(植物根的伸展和土壤耕作等)时所产生阻力的大小;以及对土壤中水、肥、气、热等肥力因素間协调和保蓄的供应能力。但是另一方面,由于水稻土的水耕特点所造成的“軟”或“烂”的特征,无论旱作土或自然土(除沼泽土外)都是不可能具有的。所以土壤的軟硬度和松紧度这二个名詞在物理学含意上是有差别的,在实际应用中应加以区分,前者专指水稻土,后者則属旱作土和自然土。

全国水稻丰产模范陈永康同志在其著名的单季晚粳高产水肥技术中对于土壤軟硬度是非常重視的,是看土进行水浆管理和看土耕耘的重要根据^[1,2,3,4]。

因此,水稻土耕层軟硬度的确定,对于指导土壤耕作管理,創造水稻丰产的良好和必需的环境条件具有重要的意义。

关于土壤軟硬度的分級及其測定方法过去已曾做了很多工作,概括之大概可以分成四种情况。第一种是根据习惯的經驗来确定土壤的軟硬,凭人們的器官直感或借助简单的工具向土壤敲击穿戳来划分土壤的軟硬度^[6,7],这样既无統一的分級标准,也很难获得一致的認識。第二种是利用土壤容重和孔隙度来确定土壤的軟硬度^[8]。虽然找出了土壤容重等其他物理指标与土壤軟硬度間的相关性,但是还不能利用它們来作为土壤軟硬度的直接指标或絕對指标,因为这在物理学含义上并不是十分明确的。第三种是利用重物自一定的高度向下打击,根据入土深度,确定土壤的相对硬度^[5,9,10]。这种方法的缺点是只能求得相对指标,而且在过硬或过烂的土壤中測定困难,更由于各个工作者使用重物的重量往往不同,所获得的结果也不能互相比較。第四种是采用专门的仪器如弹簧式硬度計和握力式硬度計等,測定土壤的穿透阻力,是近代比較完善的方法,也可求得土壤的絕對硬度(公斤/厘米²)^[9,13],但是在水田情况下(土壤过烂或过硬)常造成測定上的困难。

总之,上述几种方法都或这或那地存在着如下二个缺点:(1)沒有一定的分級和指标,結果不好比較;(2)在測定的方法上存在着一定的缺点和困难,因而难以求得滿意的結果。为此,本文将通过关于土壤軟硬度分級及其指标的討論,提出土壤軟硬度的簡易測定方法及其在实践中的应用問題。

一、水稻土軟硬度的指标和測定方法

(一)土壤軟硬度的分級 在总结陈永康同志晚稻丰产經驗的过程中,我們把水稻土的軟硬度分为烂、軟、实、板、硬五級,其分級依据如下:

(1) 烂 土壤长期漬水,水分过饱和,稀烂呈流体或半流体状,泥脚很深,穿透阻力測定困

难*。多見于田块的出水口处,地势低洼处和山区冷浸田中。

(2) 軟 这是水稻土在淹水状态下表現最普遍的一种土壤軟硬度。土壤湿而柔軟,脚易踩下,穿透阻力 < 2 公斤/厘米²。

(3) 实 除个别情况外(如易淀浆沉板的土壤),多半是当土壤烤田时,由軟烂变为板結,复水以后虽处于淹水状态却并不恢复原状,仅耕层上部約 4 厘米左右表現为烂軟,其下部則仍板硬,因此脚陷至此便不能繼續下沉。

(4) 板 土壤因烤田或自然落干脫水而板結,潮或稍潮,常具裂縫,人踏地表脚不能下陷,輕者可見极浅的脚印,穿透阻力 5—30 公斤/厘米²。

(5) 硬 是水稻收割后,地表裸露,土壤水分大量損耗的情况所造成的一种軟硬度。表現为土体收縮变紧,产生大裂縫,坚硬难碎,穿透阻力測定困难。

实际上水稻土軟硬度的基本分級单位,只有四个,即烂、軟和板、硬,而“实”只是(2)/(4)或(1)/(4)的軟硬状况的复合态。

(二)影响土壤軟硬度的二个重要因素

1. 土壤假容积 上面已經談过,土壤軟硬度是土壤在耕作过程中由于固、液、气三相分布的变化而表現出来的一种物理特征。众所周知,一定体积的土壤,通过人为耕作、灌溉、施肥等措施,可以使其固、液、气三相分布发生重新分配,其中水分和孔隙状况的增減,将显著影响土壤顆粒間的粘着分散和土体的膨胀收縮。为了便于比較和闡明土壤的这种物理变化,我們取一定重量的土壤固体为基数,設其在田間情况下,由于水分和孔隙的增加,就必然会引起液、气部分在土壤体积內的增大,这样,土壤固体部分所占之体积即随之相对減小,土粒間的粘着力降低,分散度增高,土体遂在原来的基础上膨胀增大,而达到一定的容积,这时土壤容积的大小称之为土壤的假容积。換言之,土壤假容积是指单位干土重的土壤体积。土壤假容积与土壤容重成倒数的关系。它們可以用簡單的公式表示如下:

$$A = \frac{v}{w} = \frac{1}{\gamma}$$

式中 A ——土壤假容积(毫升/克) v ——土壤体积(毫升) w ——干土重量(克) γ ——土壤容重(克/毫升)

当土壤含水量愈高,孔隙愈多,土粒間的分散度增大时,土壤假容积就愈大,土壤也就越为膨胀而湿润。反之,則假容积愈小,土壤也就表現为干硬。因此土壤假容积是决定土壤軟硬度的一个重要因素,而土壤假容积的大小,又主要依赖于土壤含水量和孔隙量的多少(表 1)。当然,必須

表 1 青泥土水稻土的軟硬度与土壤假容积和土壤含水量、总孔隙度的关系*

軟 硬 度	假容积(毫升/克)	容积含水率(%)	总孔隙度(%)
烂	1.260	68.25	70.24
軟	0.990	52.53	62.12
板	0.826	47.58	54.60

* 測定地点:中国科学院土壤研究所試驗場,江苏江宁。下同。

成了不同的軟硬状况。它們的关系可詳見表 2。

指出,土壤有机質含量对土壤假容积也有一定的影响,腐殖质顆粒的内聚力和附着力比土壤粘粒要小得多,因此,有机質具有疏松土壤的作用,其含量高者,土壤假容积也必然較大。

由表 1 可以看出,假容积的变化使土壤体积的膨胀发生变化,从而造成

* 采用中国科学院土壤研究所試制的握力式硬度計。

表2 板漿白水稻土，烤田前后耕层土壤軟硬度动态变化与土壤体积脹縮动态变化的关系

日 期	措 施	深度(厘米)	假容积(毫升/克)	脹縮率(%)	脹縮量(%)	軟 硬 度
7 月 23 日	烤 前	0—5	0.935	100	0	軟
8 月 13 日	烤 田	0—5	0.885	94.7	-5.3	板
8 月 17 日	复水后 3 天	0—5	0.909	97.2	-2.8	軟
8 月 23 日	复水后 11 天	0—5	0.953	101.9	+1.9	軟
8 月 29 日	自然落干后	0—5	0.902	96.4	-3.6	軟
7 月 23 日		5—10	0.902	100	0	軟
8 月 13 日		5—10	0.776	86.1	-13.9	板
8 月 17 日	(同 上)	5—10	0.794	88.1	-11.9	板
8 月 25 日		5—10	0.834	92.4	-7.6	板
8 月 29 日		5—10	0.787	87.3	-12.7	板

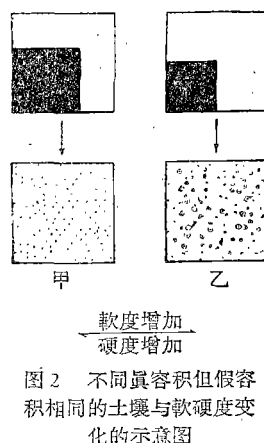
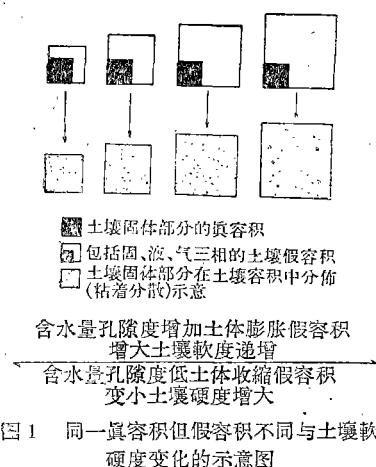
但是我們仍不可能直接利用土壤假容积来作为水稻土軟硬度的指标。因为土壤軟硬度不仅依赖于含水量、孔隙以及有机質含量的多少,而且还受土壤机械組成和其他性質的影响^[1]。因此,在这里我們提出土壤“真容积”作为影响土壤軟硬度的第二个重要因素。

2. 土壤真容积 土壤真容积的概念导出于土壤比重。大家知道,一定密实体积的土壤固体物質部分的重量与同体积水的重量之比称为土壤的真比重。如果从另一方面来看,一定重量的密实土体,其体积应该是多少呢? 这样就可以知道一定重量的具有一定真比重的土壤,应有一定体积的密实固体,这种单位重量的密实土壤固体的体积就称为土壤的真容积。它与土壤真比重呈倒数的关系,即:

$$T = \frac{1}{\Delta_s}$$

式中 T = 土壤真容积(毫升/克) Δ_s —— 土粒真比重

土壤机械組成与土粒真比重具有密切的关系,不同机械組成的土壤具有不同的真比重,因此,也一定具有不同的真容积*,它是土壤軟硬度变化的基础物質,在一般情况下是不易变化的,可視作一个常数,而土壤假容积則是經常易变的,是影响土壤軟硬度的变数(图1)。



* 由于测定土壤真比重时对于 > 1 或 2 毫米的砂粒需磨碎后与細土一併測定, 因此, 在实际上就不能真正反映那种含砂量高而且粒径粗大的砂质土的真容积。因此, 粗砂质土对土壤軟硬度的影响, 有待今后进一步研究, 求出其常数。但是对于絕大部分水稻土來說, 真容积是可以反映机械組成对于土壤軟硬度的影响的。

由图 1 可見,同一真容积的土壤,当其假容积由小变大时,土壤固体顆粒在三相中的分布密度就漸稀,粘着力減弱,分散性增大,土壤就由紧硬变为膨軟。

在另一种情况下,設有二种土壤虽然其假容积相同,但由于甲土的真容积>乙土的真容积(图 2),則显然甲土中液相和气相(或者还包括有机質含量)所占的比例較乙土为小,这样甲土中土壤固体顆粒的分布密度就大于乙土,土粒間的粘着力也較強,因此,表現在土壤軟硬度方面也必然是甲土比乙土为硬。

因此,为了正确闡明土壤軟硬度的形成实质和便于比較不同土壤間的軟硬度,必需考虑到土壤真容积这个內在因素。

(三)土壤軟硬度的指标 土壤假容积和土壤真容积既然对于土壤軟硬度存在着上述关系,因此,就有可能利用它們的比值来作为土壤軟硬度的指标,这种比值称为土壤容积比(或称膨軟比)。

$$R = \frac{A}{T}$$

式中 R ——土壤容积比 A ——土壤假容积 T ——土壤真容积

容积比愈大的土壤,說明土壤膨軟度愈大,也就是說土壤愈軟烂,反之則愈硬板。根据現有分析結果并对照上述土壤軟硬度的分級标准,我們初步找出了土壤容积比与土壤軟硬度的經驗数值关系(表 3)。

在上述各級軟硬度的容积比范围內,又可以根据数值的大小进一步細分,确定它們在程度上的差异(表 4)。

表 3 各級土壤軟硬度的指标

指标	容 积 比
軟 烂	>2.90
軟	2.90—2.40
实	>2.40(0—5 厘米)
板	<2.40(5 厘米以下)
硬	2.40—1.80
	<1.80

表 4 土壤軟硬度的詳細分級

軟 硬 度		容 积 比
烂	很烂	>3.30
	烂	3.30—2.90
軟	很軟	2.90—2.80
	軟	2.80—2.60
	稍軟	2.60—2.40
板	稍板	2.40—2.30
	板	2.30—2.00
	很板	2.00—1.80
硬	硬	1.80—1.60
	很硬	<1.60

(四)土壤軟硬度——容积比与土壤含水量和孔隙状况的关系

1. 容积比与土壤含水量的关系: 土壤軟硬度在很大程度上依赖于土壤含水量。由图 3 可知,含水量愈高,則容积比愈大,即土壤愈趋于軟烂。反之,如土壤含水量降低,則土壤由軟变硬,这种直綫关系,当土壤容积含水率降低至 40% 左右,容积比达到 1.90 左右时发生了轉折,随着水分繼續損失,土壤容积比却并不迅速減小,而趋于緩慢,这可能与土壤龟裂后空气进入而引起土壤的剩余收縮有关^[12]。

2. 容积比与土壤孔隙状况的关系: 土壤軟硬度与土壤孔隙状况的变化有很大的关系。随着土壤总孔隙度的增加,硬度降低,軟度增加(图 4)。

由上可見土壤硬度与土壤含水量和总孔隙度成正相关,土壤軟度則与之成負相关。

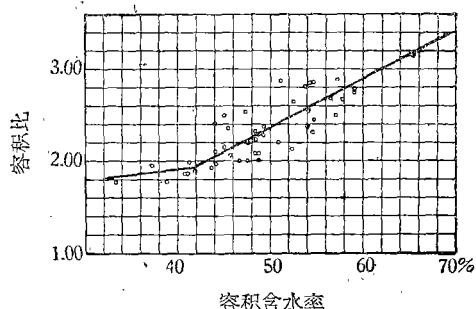


图3 水稻土耕层软硬度与土壤含水量的关系

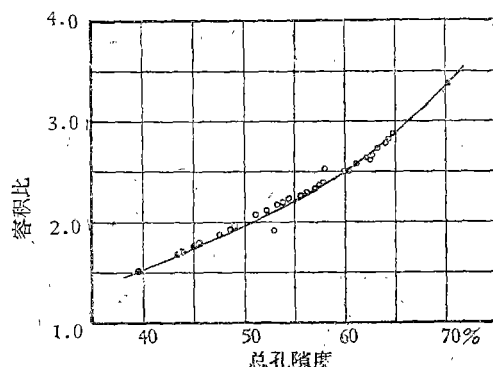


图4 水稻土耕层软硬度与土壤总孔隙度的关系

(五)土壤容积比的测定和计算 利用已知容积的土壤容重钻或容重圈在田间按0—5、5—10厘米分层采取自然状态的土样,根据容重圈的容积和土样的烘干重求得土壤假容积(计算至三位小数)然后与土壤真容积(根据土壤真比重计算至三位小数)相比,即得出各层土壤的容积比(取二位小数)。

在田间情况下,除个别极为稀烂的土壤外,容积比总是随着深度而减小(表5)。确定整个耕层的软硬度时,以0—10厘米的容积比为主,必要时(如土壤很烂)可参考10—15厘米深度中的容积比。

表5 耕层不同深度内土壤容积比的变化*

深度 (厘米)	土 壤	容 积 比	
		板 浆 白	青 泥 土
0—5		2.33(稍板)	2.64(软)
5—10		2.25(板)	2.20(板)
10—15		2.08(板)	2.05(板)

* 均系田面落干时测定。

二、土壤软硬度指标的应用和讨论

1. 利用容积比作为土壤软硬度的指标,不但意义比较明确,而且结果可以相互比较。
2. 根据容积比可以研究水稻土耕层软硬度的动态变化,用来指导达到高产所必需采取的水浆管理和耕作措施,保证水稻生长清秀、老健和穗多、穗大、粒多、籽壮。例如在晚稻生长需要上,分蘖期以前要求土壤具有软烂的环境,若土壤容积比较小,可以通过2—3次的耘耨来增大容积比以达到软烂的目的。而在生长后期大的土壤容积比对于水稻根系发育、生殖生长以及土壤其他物理性状、农化和生物学性质的改善更新都是不利的,这样,根据不同土壤的容积比大小就可以决定采取何种方式的烤田措施,如烂田重烤,板田轻烤等。

3. 根据容积比可以研究土壤软硬度与土壤其他一系列物理、化学和生物学性质的关系,并查明土壤软硬度对水稻生长发育的影响。例如在这次总结陈永康丰产经验的一块试验田中

表6 板浆白水稻土中水稻倒伏与土壤软硬度的关系
(11月1日,黄熟期测定)

容 积 比 深度(厘米)	倒伏情况	不 倒 伏	倒 伏
0—5 厘米		2.36(稍板)	2.45(稍软)
5—10 厘米		1.95(很板)	1.99(很板)

发现有局部水稻倒伏的现象;从土壤容积比的研究知道水稻发生倒伏与土壤软硬度也有一定的关系(表6),从而可以进一步探讨形成土壤软硬状况不同的原因及其调节方法。

4. 容积比也可以用来作为旱作土壤松紧度的指标。但是它与水稻土软硬度分级具有怎样的对应关系,各级的指标如何划分,则有待于今后进一步研究。

5. 本文所述的各级软硬度指标的划分仅属初步意见,有待通过更多的实践加以考验。同时关

于土壤机械组成和有机质含量对于土壤软硬度影响的具体研究资料很少,也是今后需要进一步研究的。

附:土壤假容积 A 和真容积 T 还可用来研究土壤的三相分布状况,其结果不但与利用容重和比重所计算的百分率完全一致,而且还能知道它们在三相分布中所占的实际体积。

计算方法:

1. 土壤总孔隙实容积 $P_{\text{毫升}} = A - T$
2. 土壤总孔隙度 $P\% = \frac{A - T}{A} \times 100\%$
3. 土壤固相实容积 $S_{\text{毫升}} = T$
4. 土壤固相容积百分率 $S\% = \frac{T}{A} \times 100$ 或 $100 - P\%$
5. 土壤水分实容积 $W_{\text{毫升}} = \frac{\text{水分重量百分数}}{100}$
6. 土壤水分容积百分率 $W\% = \frac{W_{\text{毫升}}}{A} \times 100$
7. 土壤空气实容积 $a_{\text{毫升}} = P_{\text{毫升}} - W_{\text{毫升}}$
8. 土壤空气容积百分率 $a\% = \frac{a_{\text{毫升}}}{A}$ 或 $P\% - W\%$

参 考 文 献

- [1] 陈永康:晚稻的合理施肥与水浆管理。科学通报 1960 年,9 期,278—280。
- [2] 中国农业科学院江苏分院:单季晚粳高产肥水技术的研究——陈永康同志“三黄三黑”技术经验的初步分析。华东农业科学通报,1960 年,1 期,11—20。
- [3] 中国农业科学院江苏分院:运用“三黄三黑”技术的单季晚粳丰产总结。华东农业科学通报,1960 年,6 期,267—271。
- [4] 华东军政委员会农林部:苏南松江县陈永康水稻丰产经验考察报告。中国农报,1952 年,3 期,9—11。
- [5] 中国科学院土壤研究所常熟工作组:水分管理对土壤性状的影响及其意义。土壤学报,1959 年,7 卷,3—4 期,203—216。
- [6] 中国科学院土壤研究所编:土壤调查手册。科学出版社,1955 年 11 月,第一版,54—55。
- [7] И. Ф. 薩多甫尼科夫(尹崇仁等译):土壤调查及制图。中国科学院出版,1954 年,6 月,第一版,60—61。
- [8] А. П. Малянов: Влияние плотности и пористости почвы на корневую систему культурных растений. Сельское Хозяйство Поволжья, 1957, 12, 15—17。
- [9] А. Н. Урсулов: Динамика твёрдости почвы в зависимости от её влажности. Почвоведение, 1938, 6, 897—916。
- [10] C. L. W. Swanson & H. G. M. Jacobson: Effect of soil hardness and compaction on corn growth. S. S. S. A. Proc., 1956, Vol. 20, No. 2, 161—167。
- [11] C. E. Scarsbrook et al: Depth to plow pan as a factor in sugar cane production. S. S. S. A. Proc., 1952, Vol. 16, No. 2, 148—150。
- [12] W. B. Haines: The volume-changes associated with variations of water content in soil. J. Agr. Sci., 1923, Vol. 13, 296—310。
- [13] 日本农林省振兴局研究部编:土壤肥料全编。东京养贤堂发行,1958 年,第一版,772—774。