

# 土壤破碎模数与湿度关系的初步研究

陈志雄 汪仁真 杨苑璋

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

本文研究了一定吸力范围(1—15 巴)内三种粘重土壤的破碎模数与湿度的关系,结果表明,砖红壤、红壤和下蜀黄土的破碎模数转折湿度分别为 25.3% (干土%,下同),15.3% 和 15.7%。与它们的水分特征曲线对照研究表明,取 8 巴吸力的对应湿度作为破碎模数转折湿度,与实测值相比误差均小于 1%。参照已经发表的 14 条典型的水分特征曲线估算,以 8 巴吸力的对应湿度作为破碎模数的转折湿度,对绝大多数土壤来说其误差可小于 2%。由于破碎土块需施的压力在破碎模数转折湿度这一点上开始显著增加,因此它可以作为适耕下限的一个参数。

破碎模数,即抗破碎强度,或抗拉强度,是材料力学上的一个重要指标,用以检验材料的荷载能力。用土壤作坯时,其破碎模数的意义与材料力学上的意义相同。Richards<sup>[4]</sup>, Lomous 和 Lutz<sup>[5]</sup> 认为,土壤结壳与土坯相似,而其破碎模数则代表种子萌发时冲破结壳的力,从而将这一参数应用到农业生产上。

土壤破碎模数是土壤本身粘结力的反映。粘结力取决于土壤的粘粒含量和粘土矿物等性质,同时,它也是含水量的函数。在检验土壤结壳对种子出苗影响时,通常规定以烘干土为准,代表土壤的最大破碎模数。这也是模拟土壤结壳时的水分状况。但若与耕作联系,必须考虑水分的动态过程,并寻找一个土壤结持力最小的土壤湿度范围,即适耕湿度来进行作业,以取得最高的工作效率。因此,研究土壤破碎模数与水分的关系有一定的实际意义。

## 一、试验材料和方法

四种供试土壤的机械组成列于表 1。其中下蜀黄土底土取自江苏南京<sup>1)</sup>,粘土矿物以伊利石为主,含有少量蛭石和高岭石。由第四纪红色粘土发育的红壤取自江西进贤<sup>2)</sup>,粘土矿物以结晶的高岭石为主,含有伊利石和蛭石。由玄武岩风化壳发育的砖红壤底土取自广东徐闻<sup>3)</sup>,粘土矿物以高岭石为主,含有三水铝石等。以上三种土壤粘粒含量超过 30%,物理性粘粒含量超过 50%,分别属于重壤土、轻粘土和中粘土。但在这三种土壤中,下蜀黄土的比面最大<sup>4)</sup>,为 201 米<sup>2</sup>/克;红壤和砖红壤的比面分别为 138 米<sup>2</sup>/克和 137 米<sup>2</sup>/克,所以在这些土壤的粘粒中,其细粒部分的比例显然是不同的。

这三种土壤都有明显的结持性,是我们的主要研究对象。另外,我们以粗粉粒为主的轻壤质浅色草

1) 于德芬同志提供标本; 2) 吴水助同志提供标本; 3) 何电源同志提供标本; 4) 三种土壤的比面资料由马毅杰同志提供,在此一并致谢。

表 1 四种土壤的颗粒组成  
Table 1 Composition of soil particles

土壤 Soils	地点 Localities	颗粒组成 (%) (粒径: 毫米) Fraction of particles (diameter: mm)							质地名称 Texture
		1—0.25	0.25—0.05	0.05—0.01	0.01— 0.005	0.005— 0.001	<0.001	<0.01	
砖红壤	广东省徐闻	0.61	11.47	8.28	3.10	13.16	63.38	79.64	中粘土
红壤	江西省进贤	2.76	8.04	20.01	9.04	11.85	48.30	69.19	轻粘土
下蜀黄土	江苏省南京	0.43	2.69	46.88	10.77	9.04	30.19	50.00	重壤土
轻壤质浅 色草甸土	山东省德州	1.51	18.00	59.79	7.21	4.07	9.42	20.70	轻壤土

甸土为对照,这种土壤无明显结持性,干时也较易散碎,适耕湿度问题不大,它取自山东德州。

将土壤标本风干,磨碎,过 0.5 毫米孔筛。称取 6.55 克标本装入内径为 1.90 厘米的环刀内,加压至 1.65 厘米厚,以造成干容重为 1.40 克/厘米<sup>3</sup>的土模样本。将土模底部置于薄水层中让土壤吸水 12 小时至基本饱和,然后取出置于压力薄膜器中加压<sup>[1]</sup>,分别制备成吸力为 1, 3, 5, 8, 10, 12, 15 巴的土模样本,以测定其相应的破碎模数。

同时,用同样的方法制备各种吸力的土模来测定其含水量,这样,破碎模数的测定值便可与含水量一一对应;含水量的测定结果同时用来绘制土壤水分特征曲线。

土模为圆柱形,量度其直径与厚度后,横置于破碎模数测定仪中测量,在这种情况下,破碎模数的计算公式为<sup>[6]</sup>:

$$B' = \frac{F}{\pi r \delta s}$$

式中  $B'$  为破碎模数(公斤/厘米<sup>2</sup>);  $F$  为土模破裂时的力(公斤);  $\pi$  为常数;  $r$  为土模半径(厘米);  $\delta$ : 为土模厚度(厘米)。

每个试验重复 6 次。除个别试验剔除了偏离平均值较大的个别数据外,大多数试验都以 6 次重复的平均值作为测定结果。全部 28 个结果的平均标准差为 0.119 (公斤/厘米<sup>2</sup>), 平均变异系数为 15.6%。

## 二、结果与讨论

1. 各种土壤的破碎模数与含水量的关系示于图 1。从图中可见,在试验的湿度范围内,它们的关系可拟为指数关系。不过红壤的测定值较为离散,曲线精度略低。而轻壤土则规律不明显。

类似图 1 的破碎模数与湿度关系,前人已有报道<sup>[2]</sup>。破碎模数随含水量变化的原因,前人亦已有所论述<sup>[1]</sup>,略谓:在一定的湿度范围内,土壤水以水膜的形式存在。当含水量降低时,水膜变薄,这时,由于水膜的曲率增加,水膜张力增大,把它们包围着的颗粒拉得更紧;另一方面,水膜变薄时土粒间的距离缩短了,土粒之间的分子引力增加,甚至显著增加,于是土粒之间粘结得愈牢固。

1) 参见 Baver 等:《Soil physics》4th Edition 第三章。

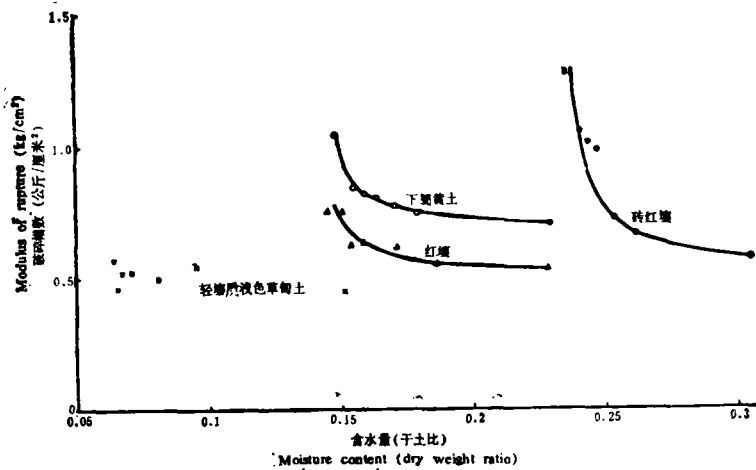


图 1 土壤破碎模数与含水量的关系

Fig. 1 Relationships between modulus of rupture and moisture content

从实用的角度出发,最使人感兴趣的是究竟在什么样的湿度下破碎模数开始明显的增加?因为它可以给耕作提供一个临界的指标,即耕作时不宜低于这个湿度,否则,犁耕时需要加较多力,消耗更多的能。

如果我们以曲线的  $dy/dx = -1$  的点为分界点,将曲线分为两段,可以看出较陡的一段曲线斜率变化较快,破碎模数随水分减少迅速增加;相比起来,另一段曲线的变化则缓和得多。这一分界点对应的湿度,砖红壤为 25.3%;红壤为 15.3%;下蜀黄土为 15.7%。下面我们将称这些分界湿度为破碎模数“转折湿度”,简称为转折湿度。

转折湿度值因土壤不同而不同是理所当然的,根据水膜理论,土壤的结持力不仅是水膜厚度的函数,而且是水膜数量的函数。水膜数量取决于土壤的粘粒含量和粘土矿物的性质,所以土壤性质不同,必然会因其持水量不同而产生不同的破碎模数——湿度关系,致使转折湿度值也各异。

2. 但各种土壤的转折湿度值不同,给适耕下限值的确定带来某些不便。因此,有必要对它进一步研究,以找到一个适当的参数来统一这些分散的转折湿度值。由于土壤的粘结力与水膜张力有一定的关系,所以这个参数有可能出自表征土壤水分张力与含水量关系的水分特征曲线上。

三种土壤的水分特征曲线列于图 2,根据它们各自的转折湿度值,可在曲线上查出它们对应的吸力:砖红壤为 4.8 巴;红壤为 10.6 巴,下蜀黄土为 11.0 巴。这些吸力值虽然仍然比较分散,但从特征曲线不难看出,在这些吸力所在的一段范围内,其形状是相似的,都接近为直线,它们的含水量变化率都很低,因此,如果在这些吸力所在的范围中选取一个适当的吸力值作为破碎模数的转折吸力值的话,其相应的含水量与实测的转折湿度值相差必然是小的。

那么,在这些吸力所在的范围中,应当选用哪一个吸力值最合适呢?原则上,选用的吸力值的含水量应与各转折湿度值的差的平方和最小为准,但由于试验资料的限制,目前只取这些吸力所在范围(4.8—11 巴)的中值 8 巴代替。这样,在水分特征曲线(图 2)中查

出各种土壤 8 巴的相应含水量为：砖红壤 24.6%；红壤 15.9%；下蜀黄土 16.3%，它们和实测值的差分别为  $-0.7\%$ ， $+0.6\%$  和  $+0.6\%$ ，均  $<1\%$ 。

因此，如果我们能够推论其它土壤的破碎模数湿度关系与上述土壤有相似的情况，就可利用水分特征曲线上的一个吸力参数求出其转折湿度的近似值，而无需作破碎模数一系列的直接测量。大家知道，水分特征曲线是土壤的基本资料之一，许多土壤都有现成的资料，立取可用；要是暂时没有这种资料，它也很容易用压力薄膜法测出<sup>[1]</sup>。所以这个方法能否对其它土壤应用，值得我们进一步讨论。

3. 考察已有的水分特征曲线资料<sup>[3,6]</sup>，不难看出，一般的土壤，当其吸力超过 4 巴时，其含水量变化率 ( $d\theta/ds$ ) 都很低，所以只要土壤的破碎模数“转折湿度”超过 4 巴，用这个方法求其转折湿度近似值误差将是小的。

由于本试验测试过的三种粘重质地土壤的转折湿度值都超过 4 巴，故用这个方法来确定粘重土壤的转折湿度近似值，看来是有前途的。大家知道，对比于轻质土壤，粘重土壤的适耕湿度相当突出，所以其结果亦可望有实际价值。当然，这个论断最后还需更多的试验资料来验证。

4. 假定我们最后确定土壤破碎模数转折湿度为 8 巴，它的最大误差为 4 巴到 8 巴的含水量差值。我们从文献<sup>[3]</sup>、<sup>[6]</sup> 14 条典型的水分特征曲线 (图 3、4) 量出，有 13 条曲线 4—8 巴的含水量差值  $<2\%$ ，另一条为 2.24%，所以，用上述方法求转折湿度近似值时，可估计其误差一般  $<2\%$ 。

5. 关于土壤的适耕湿度，过去都从田间实测的结果来加以确定，巴赫金经大量测试后表明，适耕湿度约为田间持水量的 60—70%，如果土壤结构良好或加快拖拉机行驶速度，其幅度可宽至田间持水量的 50—80%。大家知道，对于粘重土壤来说，其田间持水量一般相当 1/3 巴吸力 (的含水量) 值。从图 2 查出，上述三种粘重土壤的 1/3 巴湿度值分别为：砖红壤 35.9%；红壤 28.8%；下蜀黄土 31.2%。它们的转折湿度近似值 (8 巴吸力值) 分别为 24.6%，15.9% 和 16.3%，相应为它们的 1/3 巴吸力值 (田间持水量) 的 68.5%，55.2% 和 52.2%，表明和巴赫金的结果相当一致，足以说明本法有一定的实用价值。应当强调，转折湿度值只能作为适耕下限指标，并不代表整个适耕范围，适耕湿度理应比其

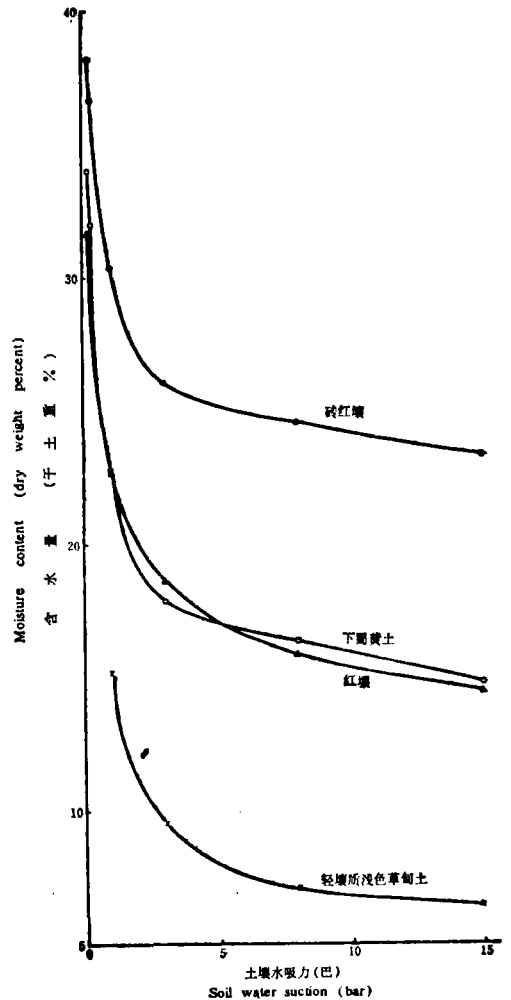
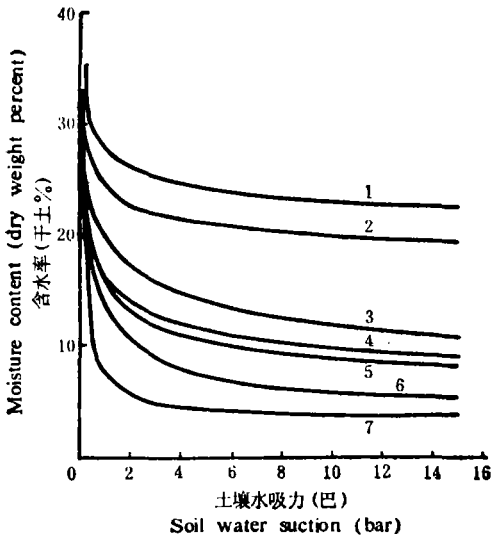


图 2 土壤的水分特征曲线

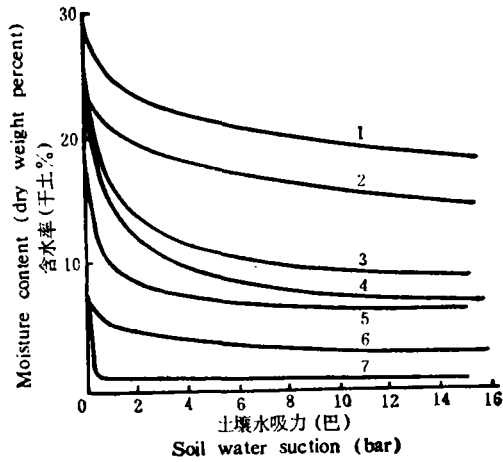
Fig. 2 Soil water characteristic curves



1. 砖红壤; 2. 红壤; 3. 黄土; 4. 紫色土; 5. 中壤质浅色草甸土; 6. 轻壤质浅色草甸土; 7. 砂壤质浅色草甸土。

图3 我国几种主要土壤的水分特征曲线<sup>[3]</sup>

Fig. 3 Water characteristic curves for main soils in China



1. 粘土; 2. 粉砂粘壤土; 3. 粘壤土; 4. 粉砂壤土; 5. 极细砂壤土; 6. 粗砂壤土; 7. 粗砂。

图4 几种土壤的水分特征曲线<sup>[4]</sup>

Fig. 4 Water characteristic curves for several soils

下限高。故转折湿度的实际意义应当是：低于此湿度时，耕作要增加较多的力，消耗更多的能。

通过上面的讨论，可得初步结论如下：利用8巴吸力对应的含水量，可以求出土壤破碎模数转折湿度的近似值，其误差估计 $<2\%$ 。如果这个结论今后能为更多的试验结果所证实，那么这个近似值就可以作为土壤适耕下限的参数。由于8巴吸力值用压力薄膜法很容易得到，所以这个参数不仅有实用价值，而且便于推广应用。

为什么当吸力达到一定程度后，破碎模数会显著增加呢？这就要涉及粘结力发生的机理问题了。众所周知，粘结力是一种十分复杂的物理现象，其力源是多样的，水膜张力只是其中之一，除此之外还有范德华力、带负电荷的粘粒表面与带正电荷的粘粒边缘之间的静电引力，通过阳离子桥使颗粒的连结，有机质、铁、铝氧化物，碳酸盐的粘结作用等。可能正是在吸力达到一定程度之后水膜张力的作用开始相对减弱，其他力源的作用明显加强，所以土粒之间粘结得愈来愈牢固。我们计算过，8巴左右时水膜的平均厚度是3—6个水分子层厚，这时，颗粒之间的距离已经相当短了。

不论如何，为了耕作的目的，我们找到的这个破碎模数测定的湿度标准，它可能比传统的烘干标准更有实用价值，在这个湿度以下，破碎模数将随湿度下降而显著增加，所以把它作为适耕下限是十分恰当的。

参 考 文 献

[1] 汪仁真等, 1980: 压力薄膜和压力薄板法在测定土壤吸力上的应用。土壤, 第2期, 64—67。  
 [2] 赵诚斋、吕秉光, 1964: 水稻土的力学性质与水分含量的关系。土壤学报, 第12卷2期, 132—141页。

- [3] 陈志雄等, 1979: 中国几种主要土壤的持水性质。土壤学报, 第 16 卷 3 期, 277—281 页。
- [4] Richards L. A., 1953: Modulus of rupture as an index of crusting of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 17:321—323.
- [5] Lemons, Peterzval, and Lutz, G. F. 1957: Soil crusting and some factors affecting it. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 21: 485—491.
- [6] Taylor, S. A. and Ashcroft, G. L., 1972: Physical Edaphology p. 26.

## THE PRIMARY STUDY ON MODULUS OF RUPTURE OF SOILS IN RELATION WITH SOIL MOISTURE CONTENT

Chen Zhixiong, Wang Renzhen, Yang Yuanzhang  
(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

### Summary

The relationship between modulus of rupture and moisture content of three clayey soils within a suction range of 1—15 bars was studied. The results showed that the turning points of moisture content for rupture modulus of latosol, red earth and yellow earth were 25.3%, 15.3% and 15.7% respectively. According to the characteristic curves of these soils, taking the moisture contents of the soils at 8 bar as the critical values of the turning point, their errors were less than 1% (dry weight percent) as compared with the measurements. As compared with other 14 typical characteristic curves published in literature, it is suggested that this critical value would be suitable for most soils with the errors less than 2% (dry weight percent). Owing to the turning point of the moisture content for modulus of rupture at which the pressure to break down the soil clod increases significantly, this critical value of soil moisture content could be considered as a parameter for the lower limit of soil tillage.