第35卷 第1期
1998年 2 月

土 壤 学 报
ACTA PEDOLOGICA SINICA

Vol.35, No.1
Feb., 1998

土壤有机质含量对土壤水动力学参数的影响*

单秀枝 魏由庆 严慧峻 刘继芳 张 锐

(中国农业科学院土壤肥料研究所,北京 100081)

摘 要

通过测定并分析不同有机质含量的壤质土样的饱和导水率、水分特征曲线、水分扩散率及几个水分常数,阐明了土壤有机质含量与水动力学参数的关系,从动力学角度探讨了有机质影响水分运动的机理。

研究结果表明,随着有机质含量的增加,土壤饱和导水率呈抛物线变化,当有机质含量为15g/kg 时,饱和导水率达到最大值。土壤中吸力相同时,有机质含量越高,土壤含水量越大,且滞后现象也越明显。土壤水分扩散率与土壤含水量呈指数函数关系。土壤含水量相同时,有机质含量越高,土壤水分扩散率越小。

关键词 土壤有机质,土壤饱和导水率,土壤水分特征曲线,土壤水分扩散率,土壤水分常数

土壤水分常数、土壤饱和导水率、土壤水分特征曲线、土壤水分扩散率是土壤水动力学的主要参数,它们与土壤的结构和质地等因素密切相关,反映了土壤的孔隙度、孔隙大小分布、导水性能及土壤水的入渗性质等,从而影响土壤中的水分及其运动状况[1—4]。土壤有机质是土壤肥力的物质基础之一,是土壤结构形成和稳定作用的核心物质[5—9],通过改善土壤结构、土壤胶体状况等,影响以上参数,起到调控水分运动的作用。关于土壤有机质对土壤水动力学参数的影响的研究报导很少[10—12],量的关系的研究更少。本文进一步探讨了有机质含量与土壤水动力学参数的关系,对量的关系进行了分析,旨在从动力学角度揭示有机质影响水分运动的机理。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

本试验选用 10 个不同有机质含量的壤质土,土样取自山东中国农科院陵县试验区,其基本性状见表1,质地分类用国际分级法。测定方法见参考文献 [13]。

* 本工作得到中国农业科学院德州试验站高峻岭、许建新、马卫萍等老师的热心帮助和指导,在此表示感谢。
收稿日期: 1996-10-17; 收到修改稿日期: 1997-05-11

1.2 参数的测定方法[1—4,14,15,18,19]

土壤饱和含水量、土壤毛管含水量、土壤田间持水量：用重量法。常规烘干法测定含水量。

土壤水分特征曲线：压力范围 0—80kPa,用负压计法；压力范围 0—1500kPa,用压力板法。

土壤饱和导水率：用土壤透水仪法。

土壤水分扩散率：用水平槽法。

表1 供试土壤的基本性状

Table 1 Basic properties of soils used

土样号 Soil No.	有机质含量 O.M. (g/kg)	盐分含量 Salt content (%)	容重 Bulk density (g/cm^3)	颗粒组成(%) Mechanical composition 粘粒 Clay <0.002 (mm)	粉粒 Silt 0.02—0.002 (mm)	细砂粒 Fine sand 0.2—0.02 (mm)	质地 Texture
1	5.5	0.196	1.41	23	51	24	粉砂质粘壤土
2	6.8	0.167	1.40	24	52	24	粉砂质粘壤土
3	7.5	0.126	1.33	21	59	20	粉砂质粘壤土
4	10.0	0.059	1.27	21	58	20	粉砂质粘壤土
5	12.5	0.188	1.25	22	60	18	粉砂质粘壤土
6	14.1	0.195	1.24	23	56	21	粉砂质粘壤土
7	15.4	0.258	1.23	20	52	28	粉砂质粘壤土
8	16.4	0.067	1.22	22	56	22	粉砂质粘壤土
9	21.3	0.094	1.15	20	64	10	粉砂质粘壤土
10	25.2	0.205	1.12	29	59	12	粉砂质粘壤土

2 结果与分析

2.1 土壤有机质含量对土壤水分常数的影响

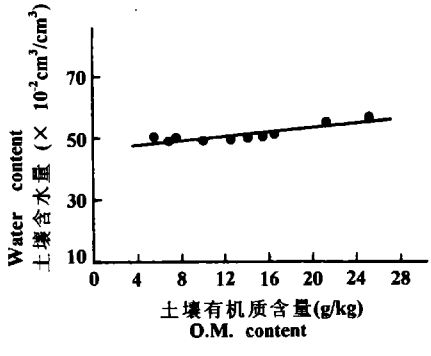

图1 土壤饱和含水量和有机质含量拟合曲线

Fig.1 The fitting curve between soil O.M. content and saturated water content

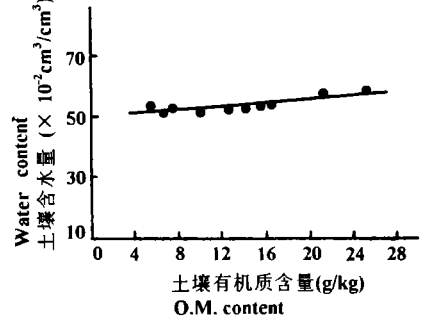

图2 土壤田间持水量和有机质含量拟合曲线

Fig.2 The fitting curve between soil O.M. content and field water-holding capacity

土壤有机质影响土壤的持水量。从图1、2、3可以看出，随着有机质含量的增高，土壤的饱和含水量、田间持水量、毛管水含量增加，且均呈线性关系，拟合方程分别为：

$y_1 = 0.32x + 49.46$　$y_2 = 0.35x + 46.28$

$y_3 = 0.35x + 45.24$

y_1：饱和含水量 (cm^3 / cm^3)；y_2：田间持水量 (cm^3 / cm^3)；y_3：毛管水含量 (cm^3 / cm^3)，

x：有机质含量 (g/kg)

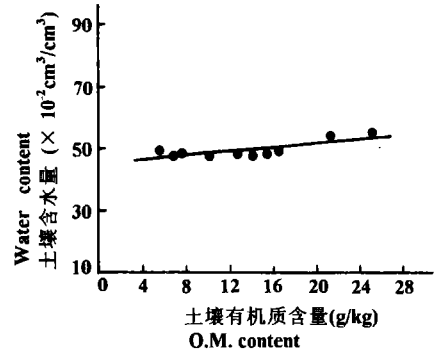

图3　土壤毛管水含量和有机质含量拟合曲线

Fig.3　The fitting curve between soil O. M. content and capillary water content

这是因为土壤有机质含量的增加，一方面，改善了土壤结构，使孔隙度增加；另一方面，改变了土壤的胶体状况，使土壤吸附作用增强。这两方面的作用都利于土壤水分的保持，从而使土壤含水量增加。

2.2　土壤有机质含量对水分特征曲线的影响

2.2.1　0—80kPa 压力范围的水分特征曲线　　由图4可以看出，随着有机质含量的增加，土壤水分特征曲线向右移动，并且脱湿和加湿两主线间的距离增大，也就是说，对同一土壤水吸力，有机质含量越高，土壤含水量越大，且滞后现象越明显。如：土壤水吸力为25kPa时，有机质含量为10.0g / kg 的4号土壤，脱湿曲线含水量为 $28.9 \times 10^{-2}cm^3 / cm^3$，吸湿曲线含水量为 $23.5 \times 10^{-2}cm^3 / cm^3$，两点间的含水量相差 $5.4 \times 10^{-2}cm^3 / cm^3$；有机质含量为21.3g / kg 的9号土壤，脱湿曲线含水量为 $37.5 \times 10^{-2}cm^3 / cm^3$，吸湿曲线含水量为 $30.5 \times 10^{-2}cm^3 / cm^3$，两点间的含水量相差 $7.0cm^3 / cm^3$。同时还可看出，有机质含量10.0g / kg、15.0g / kg 为两个突变点，有机质含量 < 10.0g / kg 时，水分特征曲线间的差别不明显，有机质含量 > 10.0g / kg 时，表现出明显差别，有机质含量 <15.0g / kg 时，差别更明显。由于在低吸力范围内，土壤持水状况主要取决于土壤结构，这说明，有机质含量的提高，改善了土壤的结构，使土壤孔隙度增加，从而，增加了土壤的持水量；同时，土壤大小孔隙的分布和排列状况发生了变化，使土壤的瓶颈作用加大，增加了土壤的滞后作用。并且，有机质的这一作用，只有当其含量达到一定水平(如10.0g / kg、15.0g / kg)时才能明显表现出来。

对不同有机质含量的土壤的脱湿曲线进行回归分析得到拟合方程为指数形式：$S = ae^{-\theta} - b$。即土壤水吸力是土壤含水量的函数，随含水量的增加，土壤水吸力呈负指数减少。

2.2.2　0—1500kPa 范围的水分特征曲线　　从图5同样可以看出，对同一土壤水吸力，有机质含量越高，土壤含水量越大。如：当土壤水吸力为480kPa时，有机质含量为10.0g / kg 的4号土壤含水量为 $7.6 \times 10^{-2}cm^3 / cm^3$，有机质含量为16.4g / kg 的8号土壤含水量为 $12.3 \times 10^{-2}cm^3 / cm^3$，有机质含量为21.3g / kg 的9号土壤含水量为 $16.0 \times 10^{-2}cm^3 / cm^3$。由于在高吸力范围内土壤水主要有吸附作用保持，受土壤结构影响较小，则在有机质含量 < 15.0g / kg 时，曲线间的区别较小(1—7号土壤)，有机质含量 > 15.0g / kg 时，有

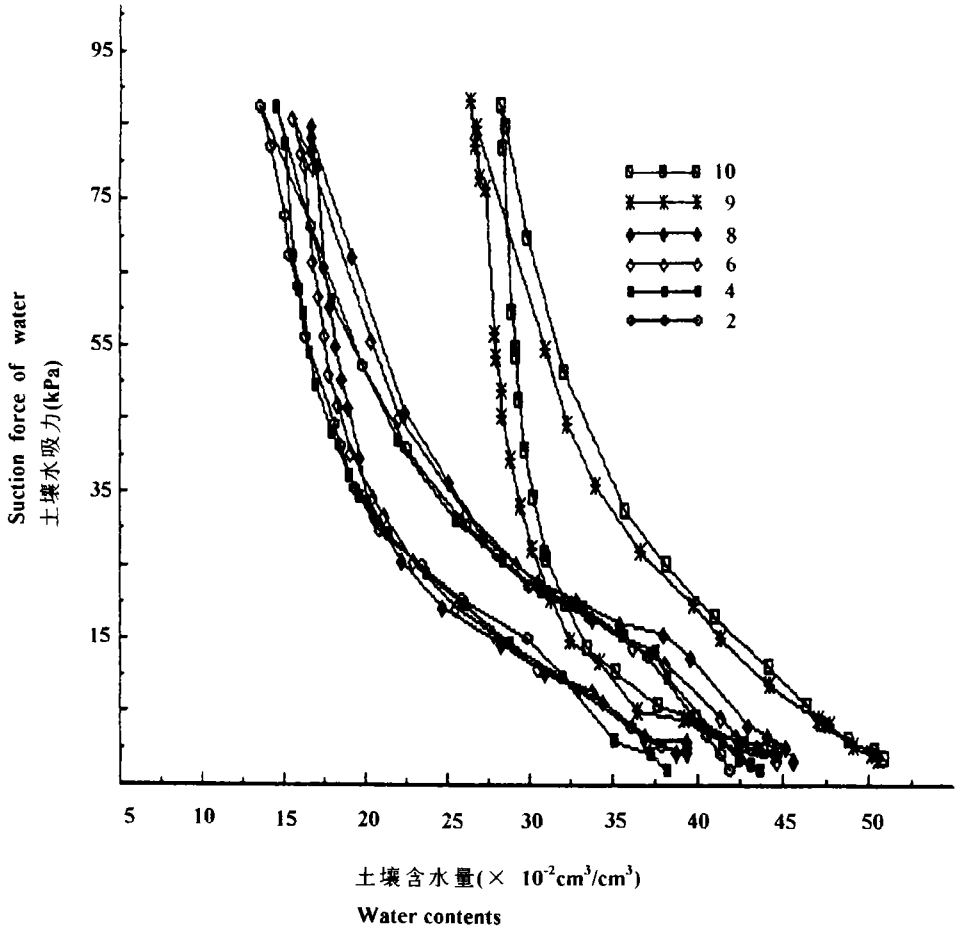

图 4 不同有机质含量的土壤的水分特征曲线(负压计法)[1)]

Fig.4 The water characteristic curve of soils with different O.M. contents

机质含量的增加,改善了土壤的胶体状况,使土壤吸附作用增强,曲线间的差异也明显增强(8,9,10 号土壤)。

对土壤水吸力范围 0—1500kPa 的不同有机质含量的土壤的脱湿曲线进行回归分析得到拟合方程为幂函数形式: $s = a(\theta / \theta_m)^{-b}$, ($\theta_m$为土壤饱和含水量),即随$\theta / \theta_m$的增加,土壤水吸力呈负幂函数减少。

2.2.3 土壤水吸力与土壤有机质含量、土壤含水量的关系 对低吸力范围 0—80kPa 和高吸力范围 80—1500kPa 的土壤水吸力与土壤含水量、土壤有机质含量作多元回归分析表明,在含水量不变时,土壤水吸力随有机质含量的增加而增加;在有机质含量不变时,土壤水吸力随土壤水含量的增加而减小。

在低吸力范围,土壤水吸力(s)与土壤水含量(θ)和土壤有机质含量(x)呈线性关系。

1) 由于图中曲线太多,尤其1、2、3号土样曲线几乎重合,删去了1、3、5、7号土样的曲线; 图5、图7同样原因删去了部分土样的曲线。

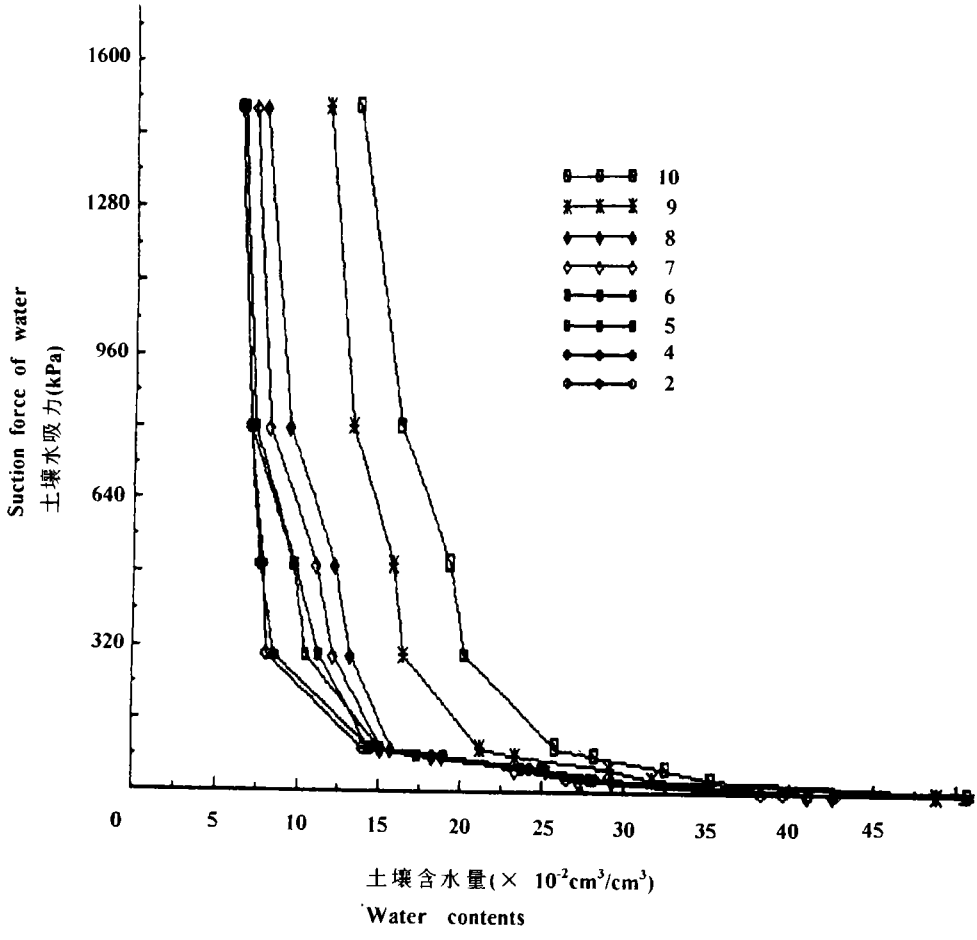

图5　不同有机质含量的土壤水分特征曲线(压力板法)

Fig.5　The water characteristic curve of soils with different O. M. contents

回归方程为：$s = -2.79\theta + 1.28x + 103.85$。

在高吸力范围，土壤水吸力(s)与土壤含水量(θ)和土壤有机质含量(x)呈指数函数关系。回归方程为：$S = 1693.41e^{(-0.26\theta + 0.12x)}$。

2.3　土壤有机质含量对土壤饱和导水率的影响

在饱和状态下，土壤孔隙度的增加，尤其是大孔隙增加，促进了土壤的导水性能，而土壤吸附作用则抑制了土壤的导水能力。从图 6 可知，在有机质含量 < 15.0g / kg 时，随有机质含量的增加，饱和导水率增加，孔隙度增加对导水性能的促进作用大于吸附作用的抑制能力；当有机质含量 > 15.0g / kg 时，随着有机质含量的增加，饱和导水率反而下降，孔隙度增加对导水性能的促进作用

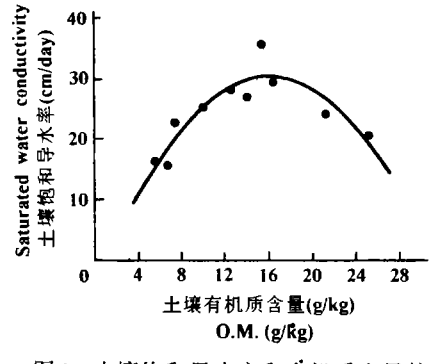

图6　土壤饱和导水率和有机质含量的拟合曲线

Fig.6　The fitting curve between soil saturated hydraulic conductivity and soil O.M.content

小于吸附作用的抑制能力。整个拟合曲线呈抛物线型。回归方程为：

$$y = -0.13x^2 + 4.23x - 3.95$$

y 为土壤饱和导水率(cm / day)、x 为土壤有机质含量(g / kg)。

2.4 土壤有机质含量对水分扩散率的影响

从图 7 看出，对同一土壤水含量，土壤有机质含量越高，土壤水分扩散率越小，当有机质含量 > 15.0g / kg 时，土壤水分扩散率随有机质含量的变化越明显，如图 7 中 8，9，10 号土壤的曲线的变化较 1-7号土壤明显。这是由于在非饱和状态下，大孔隙中的水分被排空，水分在较小孔隙中流动。而随有机质含量增加，土壤大孔隙明显增加，毛管孔隙增加不明显，也就是说在非饱和状态下，随有机质含量增加，导水孔隙增加不明显，尤其有机质 > 15.0g / kg 时，土壤吸附作用明显增强，则水分扩散率在相同含水量时随有机质含量的增加而减少。

土壤水分扩散率(D)是土壤含水量(θ)的函数，10 个水平的有机质含量土壤 $D \sim \theta$拟合方程呈指数函数形式 $D = ae^{b\theta}$，即土壤水扩散率随土壤含水量的增加呈指数函数增加。

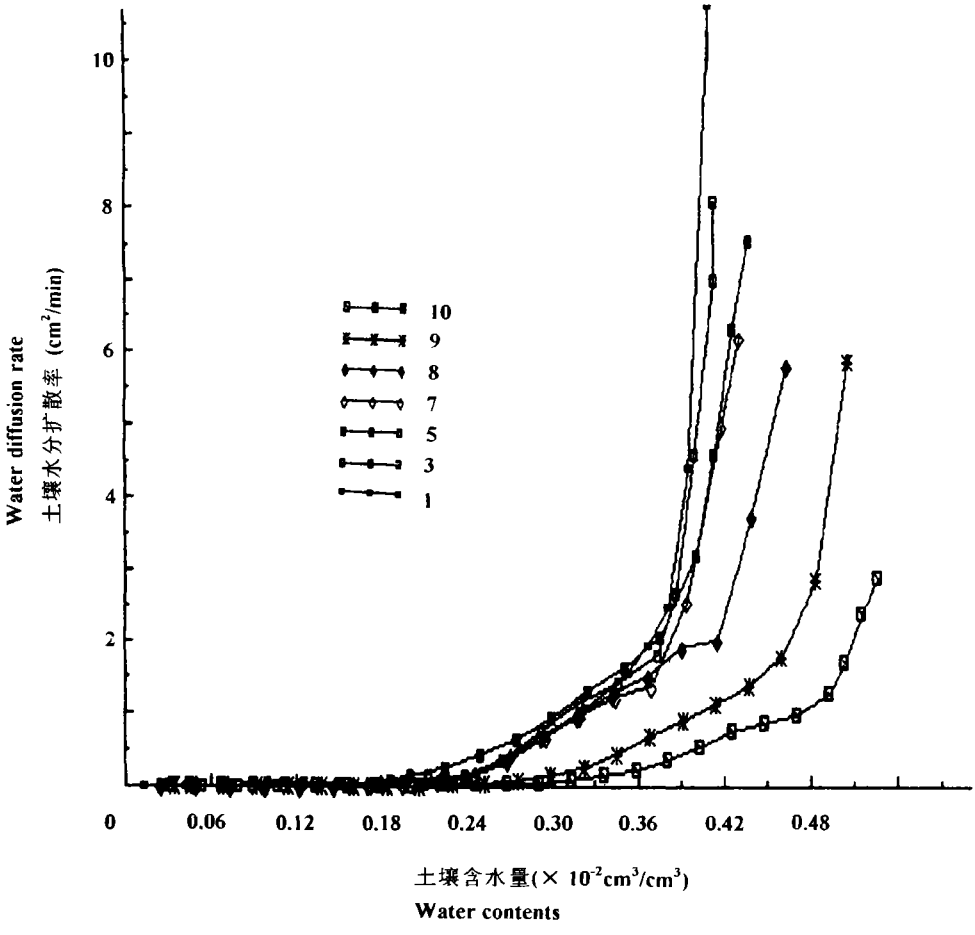

图7 不同有机质含量的土壤水分扩散率与土壤含水量的关系

Fig.7 The relationship between water diffusion rate and water content of the soils with different O.M.contents

对 10 个土样水分扩散率与土壤含水量、土壤有机质含量进行多元回归分析，得出回归方程为：

$$D = 0.0036 \cdot e^{(19.22\theta - 0.09x)}$$

D 为水分扩散率 (cm^2 / min)；θ为土壤含水量 (cm^3 / cm^3)；x 为土壤有机质含量 (g / kg)。

由此表明，在土壤有机质含量不变时，土壤水分扩散率随土壤含水量呈指数函数增加；在土壤含水量不变时，土壤水分扩散率随有机质含量呈负指数函数减小。

3 结　　语

1．土壤有机质能够改变土壤水分常数、水分特征曲线、饱和导水率、水分扩散率等土壤水动力学参数；并且，这一作用，只有当有机质含量达到一定水平 (10.0g / kg) 时才能表现出来，当有机质含量大于 15.0g / kg 时，其作用更显著。这与一些文献中提出的有机质改良盐渍土的观点一致，如：中国科学院土壤所苏北盐城新洋试验区曾提出，培肥熟化土壤，表层 10—20cm 有机质达到 15g/ kg 左右，可抑制土壤返盐[16]；中国农科院土肥所陵县试验区把有机质含量 1.0%、1.5% 作为培育“淡化肥沃层”的两个指标等[17]。文中颗粒分析表明 10 个土样均为粉砂质粘壤土，但 9、10 号土样的粘粒、粉粒含量偏高，这可能会给实验结果带来一定影响，不过此影响很小，不能改变有机质含量影响土壤水动力学参数的规律。如：对饱和导水率的影响，随有机质含量的增加，1—7 号土样的饱和导水率逐渐增加，8 号土样的饱和导水率已开始下降，9、10 号土样保持了此规律；对水分特征曲线的影响，1—8 号土样已表现出有机质的作用，并且粘土的滞后现象小于砂土，而 9、10 号土样的滞后现象明显大于 8 号土样。另外，文中对土壤有机质影响土壤水动力学参数的原因只在土壤孔隙度、土壤吸附作用方面作了初步的分析，需进一步在土壤结构、土壤胶体状况等方面深入研究。

2．土壤水分常数、土壤水吸力、土壤饱和导水率、土壤水分扩散率等土壤水动力学参数与土壤有机质含量有显著的函数关系。这些函数关系的取得为用数学物理方法定量地研究肥、水、盐运动打下了基础。

3．很多学者注意到了土壤质地等因素对土壤水动力学参数的影响，并对不同土体构型的水盐运动情况进行了研究。但质地因素是不能改变的，与质地不同，土壤有机质是一可变因素，我们可以利用有机质含量和这些土壤水动力学参数的关系，研究肥、水、盐运动，通过培肥土壤，提高有机质含量的途径，达到调控水盐运动的目的。

参　考　文　献

1. 姚贤良，程云生．土壤物理学．北京：农业出版社，1986.
2. D. 希勒尔著(华孟，叶和才译)．土壤和水-物理原理和过程．北京：农业出版社，1981. 30—135
3. 雷志栋，杨诗秀，谢森传，土壤水动力学．北京：清华大学出版社，1988. 220—261
4. 华　孟，王　坚等．土壤物理学附实验指导．北京：农业大学出版社，1993. 44—102
5. 陈恩凤编著，土壤肥力物质基础及其调控．北京：科学出版社，1990. 11—106
6. 王玺珍，吴长银．江苏淮北砂碱土中有机质对土壤团聚体形成的作用．土壤肥料，1983，(2)：16—18
7. 王涌清，孙照荣．盐土及盐化潮土中的微团聚体及有机质在各组微团聚体中的分布．土壤肥料，1983，(4)：10—

14
8. 陈恩凤等. 有机质改良盐碱土的作用. 土壤通报, 1984, 25(5): 193—196
9. 田忠考等. 有机质改良盐碱土的初步研究. 土壤肥料, 1993, (1): 16—19
10. 谢承陶等. 有机质与土壤盐分的相关作用及其原理. 土壤肥料, 1993, (1): 19—22
11. 马成泽. 有机质含量对土壤几项物理性质的影响. 土壤通报, 1994, 25(2): 65—67
12. 严慧峻等. 洼涝盐渍土"淡化肥沃层"的培育与功能的研究. 土壤学报, 1994, 31(4): 413—421
13. 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海科技出版社, 1978. 196—233, 466—532
14. 张蔚榛, 张瑜芳. 包气带水分运移问题讲座: (二)水分运动参数的测定方法. 水文地质工程地质, 1981, (2): 57—62
15. 谢森传, 刘擅仁, 李华珍等. 非饱和土壤水分运动参数的测定. 水文地质工程地质, 1981, (2): 8—15
16. 中国科学院南京土壤研究所. 中国土地退化防治研究. 北京: 中国科技出版社, 1991, 150—254
17. 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国农科院黄淮海平原科技攻关论文集. 北京: 农业出版社, 1985. 38—39
18. Lima, L. A. et al. Salinaty effects on Yolo loam hydranlic properties. Soil Science., 1990, 150(1):451—457
19. Stolte, J. et al. Comparison of six methods to determine unsaturated soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994, 58:1596—1603

INFLUENCE OF ORGANIC MATTER CONTENT ON SOIL HYDRODYNAMIC PARAMETERS

Shan Xiu-zhi Wei You-qing Yan Hui-jun Liu Ji-fang Zhang Rui

(*Soils and Fertilizers Institute, CAAS. Beijing* 100081)

Summary

By testing and analysing saturated hydraulic conductivity in soil, water characteristic curve, water diffusion rate and water constant of loamy soils, with different levels of organic matter (O. M.), the relationship between hydrodynamic parameters and soil O. M. contents was explored in this work. The results are as follows:

There was a linear relationship between saturated soil water contents (y_1), field water-holding capacity (y_2), or soil capillary water contents (y_3) and soil O. M. content (x):

$$y_1 = 0.32x + 49.46 \qquad y_2 = 0.35x + 46.28 \qquad y_3 = 0.35x + 45.24$$

The relationship between saturated hydraulic conductivity in soil (y) and soil O. M. content (x) was of parabolic: $y = 0.13x^2 + 4.23x - 3.95$, and when x equaled 15.0g / kg, y reached the highest point.

The characteristic curve of soil water took a form of power function, $S = a(\theta / \theta_S)^b$, when the suction force was in the range of 0-1500 kPa. But it took a form of exponential function, $s = ae^{-\theta} + b$, when the suction force was in the range of 0—80kPa. $S = ae^{\theta} + b$ In case of the same suction, it appeared that the higher the O. M.

content, the higher the water content in the soil and the more obvious the hysteresis phenomenon was. The relationship among the soil moisture suction (s), soil water content (θ), and soil O. M. content (x) was: $s = 1693.41e^{(-0.26\theta+0.12x)}$ in suction force of 80—1500kPa and $s = 2.79\theta + 1.28x + 103.85$ in 0—80kPa.

The relationship between the soil water diffusion rate (D) and water content(θ) took the form of exponential fuction: $D = aeb^{\theta}$. The higher the O. M. content, the lower the diffusion rate of soil water when water content was the same. The regression equation of the three factors had the form: $D = 0.0036e^{(19.22\theta-0.09x)}$

Key words　Soil organic matter, Saturated hydraulic conductivity, Characteristic curve of soil water, Soil water diffusion rate, Soil water constant

启　事

《土壤学报》是中国土壤学会主办、中国科学院南京土壤研究所承办的高级学术期刊，是国内公认的核心期刊。

长期以来，《土壤学报》积稿较多，发表周期较长，对学术交流不利。为了改变这种状况，经多方努力和上级部门批准，《土壤学报》从 1998 年第一期起，将扩版约 30%，由原来的 112 页扩为 144 页。这样将大大缓解稿件积压，缩短发表周期，力争一年左右发表。欢迎广大作者踊跃投稿。

来稿要求：1.论点明确、数据可靠、叙述简明、文字通顺。一般论文不超过 6 个印刷页，简报不超过 3 个印刷页。论文须附中英文摘要和关键词，详细要求请见本刊封底征稿简则。2.来稿请用 A4 纸隔行打印，附寄软盘(注明文件名称和软件名称)或试用E-mail传输(zsw ang < actapedo@ issas.ac.cn >)。

《土壤学报》编辑部