

太湖地区主要水稻土的大孔隙特征及其影响因素研究*

陈效民¹ 黄德安² 吴华山¹

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(2 江苏省丰县畜牧水产局, 江苏丰县 221700)

CHARACTERISTICS OF MACROPORES AND THEIR AFFECTING FACTORS OF MAJOR PADDY SOILS IN TAIHU LAKE REGION

Chen Xiaomin¹ Huang Dean² Wu Huashan¹

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 Feng County Livestock and Aquatic Product Bureau, Feng County, Jiangsu 221700, China)

关键词 太湖地区; 水稻土; 大孔隙特征; 影响因素

中图分类号 S152.5 文献标识码 A

土壤孔隙是土壤中水分与空气存在的场所, 是植物根系与微生物的生活空间。土壤的孔隙特征是土壤的一项重要物理性质, 它对土壤肥力有多方面的影响^[1]。孔隙性质良好的土壤能够满足作物对水分和空气的需求, 有利于养分的调节、合理供给以及作物的正常生长。但土壤是一个复杂的多相体系, 其内部存在着形态各异、大小不同的孔隙。而土壤大孔隙是土壤中水分和空气的主要通道, 它的存在可以导致土壤优先水流和溶质优先迁移的产生, 并是水分和化学物质快速、远距离运移的主要甚至可能是唯一的途径^[2-4]。大孔隙流是发生在土壤大孔隙中的一种水分流动现象^[5], 它可以导致土壤水分的快速非平衡流动, 使降水或灌溉水及其溶质(养分、盐分、污染物等) 不能与绝大部分土体充分地相互作用, 而是“直接”快速流出土体或补给地下水^[6]。因此, 研究太湖地区主要水稻土的大孔隙特征及其影响因素对提高农田水分的利用效率、开展节水农业等具有十分重要的科学意义; 同时对研究该地区化学氮肥和农药的施用量逐年递增, 且淋溶流失极为严重, 加剧地下水的污染等问题也有重要的实际意义。

1 材料与方法

1.1 供试土样

试验土样为采自江苏省宜兴市丁山的白土、常熟市王庄的黄泥土和常熟市辛庄的乌栅土。土样按土壤剖面自然发生层次采集, 白土土样分为 0~12 cm、12~20 cm、20~29 cm、29~55 cm、55~100 cm 五个层次; 黄泥土土样分为 0~15 cm、15~25 cm、25~65 cm、65~100 cm 四个层次; 乌栅土土样分为 0~15 cm、15~28 cm、28~42 cm、42~70 cm 四个层次。每层土样都由多点取样后混合而成。用作饱和和导水率与土壤水分特征曲线试验的土壤样品为原状土。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤基本性质的测定 (1) 土壤容重: 环刀法; (2) 土壤颗粒分析: 吸管法, 质地分类采用国际制; (3) 有机质含量: 重铬酸钾容量法^[7]; (4) 土壤饱和和导水率的测定: 南—55 型渗透仪测定, 测定结果见表 1。

1.2.2 利用土壤水分特征曲线来确定土壤大孔隙

* 国家自然科学基金项目(40371055) 和高等学校博士学科点专项科研基金(20030307018) 资助

作者简介: 陈效民(1957~), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事于土壤物理学的教学与科研工作。E-mail: xmchen@njau.edu.cn

收稿日期: 2004-11-30; 收到修改稿日期: 2005-04-12

的状况 按土壤层次用容重圈采集各土壤剖面的原状土,在不同的压力下测定土壤的水分含量,根据土壤水分含量和土壤所受的压力(即此压力就等于土壤的吸力)作出土壤水分特征曲线,利用土壤水分

特征曲线来判别土壤大孔隙的特征^[5]。以毛管势与孔隙之间的关系来区分不同毛管势所对应的孔隙直径大小,土壤物理学中所描述的当量孔径(d)和土壤吸力(S)之间存在的关系为: $d = 3/S$ 。

表1 供试土壤的基本性质

土壤类型	土壤层次 (cm)	砂粒 (g kg ⁻¹)	粉粒 (g kg ⁻¹)	粘粒 (g kg ⁻¹)	有机质 (g kg ⁻¹)	容重 (g cm ⁻³)	孔隙度 (%)	饱和导水率 (10 ⁻⁵ cm s ⁻¹)
白土	0~ 12	341.7	472.2	186.1	25.72	1.33	49.81	1.02
	12~ 20	262.4	545.0	192.6	26.39	1.40	47.17	0.57
	20~ 29	487.9	262.8	249.3	14.36	1.60	39.62	0.17
	29~ 55	215.0	508.3	276.7	5.34	1.48	44.15	0.52
	55~ 100	436.0	145.6	418.4	7.60	1.49	43.77	0.38
黄泥土	0~ 15	298.6	390.7	301.7	30.15	1.12	57.74	2.07
	15~ 25	301.1	399.7	299.2	17.19	1.23	53.58	1.33
	25~ 65	203.9	350.4	445.7	12.58	1.42	46.42	0.14
	65~ 100	271.1	379.5	349.4	8.06	1.39	47.55	0.80
乌栅土	0~ 15	227.4	446.5	326.1	45.72	1.04	60.75	1.82
	15~ 28	185.6	452.5	361.9	25.06	1.28	51.70	0.58
	28~ 42	92.7	506.1	401.2	19.26	1.43	46.04	0.36
	42~ 70	12.7	582.1	405.2	7.66	1.19	55.09	1.41

2 结果与讨论

2.1 三种主要水稻土的大孔隙特征

到目前为止,国内外对大孔隙的定义还是一个有争议的问题,至今仍未达成共识^[3]。根据 Loxmoore^[8]用毛管势的概念所确定的大孔隙定义,即:大孔隙是可以传导表面滞水(Ponding)穿过土壤剖面管道流的孔隙。他将大孔隙的毛管势定为 > -300 Pa,并根据水的表面张力和毛管上升力方程计算出大孔隙的当量孔径为 > 1 mm^[3]。Warner 等^[9]在应用计算层析 X-射线摄影术研究大孔隙特征时,把团聚体间或团聚体内大的孔隙称为大孔隙,孔径也为 > 1 mm。由于太湖地区主要水稻土类型土壤质地偏粘重,因此可以用以上这些概念来确定研究区土壤的大孔隙在土壤中的分布状况。太湖地区三种主要水稻土剖面中大孔隙的含量见表2。从表中可以看出三种水稻土 > 1 mm 的大孔隙含量在 1.09%~ 8.64% 之间。三个土壤剖面中的大孔隙含量均为从表土层向底土层逐渐降低,且土壤类型不同大孔隙的含量也有较大的差异。将每个土壤剖面中的大孔隙含量加权平均,可以看出白土的大孔隙含量最小为 2.34%,而黄泥土的大孔隙含量最大为 4.68%,正好是白土的 1 倍。这与土壤在形成和发育过程中各种各样的影响因素有关。

表2 三种主要水稻土土壤剖面中大孔隙的含量(%)

白土		黄泥土		乌栅土	
土壤层次 (cm)	大孔隙 (%)	土壤层次 (cm)	大孔隙 (%)	土壤层次 (cm)	大孔隙 (%)
0~ 12	3.75	0~ 15	8.64	0~ 15	8.54
12~ 20	3.20	15~ 25	4.51	15~ 28	4.06
20~ 29	2.31	25~ 65	3.67	28~ 42	2.34
29~ 55	2.33	65~ 100	3.11	42~ 70	2.18
55~ 100	1.09	—	—	—	—
全剖面加 权平均	2.34	全剖面加 权平均	4.68	全剖面加 权平均	3.39

2.2 大孔隙的含量与土壤理化性质的关系

2.2.1 土壤容重

土壤容重是土壤的重要物理性质,它对土壤的透气性、入渗性能、持水能力、溶质迁移特征以及土壤的抗侵蚀能力都有非常大的影响。在自然条件下土壤容重由于成土母质、成土过程、气候、生物作用及耕作的影响是一个高度变异的土壤性质^[10]。因此,土壤容重是衡量土壤质量的一个重要指标,它与土壤的大孔隙状况有着非常密切的关系。经统计分析,太湖地区三种水稻土的容重与大孔隙的含量有很好的相关性,见图1。三种水稻土的大孔隙含量随容重的增加而减少,呈极显著的负相关关系,相关系数 $r = -0.8019^{**}$ ($n = 13$)。说明土壤容重的大小左右着土壤中大孔隙含量的增减。

2.2.2 土壤孔隙度 由图 2 可以看出三种主要水稻土的土壤剖面共 13 个土壤层次中土壤孔隙度与大孔隙的关系是大孔隙的含量随着土壤孔隙度的增大而逐渐增加, 经统计表明已达极显著的正相关关系, 相关系数 $r = 0.8019^{**}$ ($n = 13$)。此结果正好与土壤容重的关系相反。说明本试验区由于是常年耕种的农田, 加之水旱轮作, 土壤中的小动物区系在不断地变化, 很少有一种或几种主要的土壤动物在这几种主要的水稻土中常年生存、活动而形成特殊的大孔隙。因而, 大孔隙含量主要取决于土壤的总孔隙度的大小。

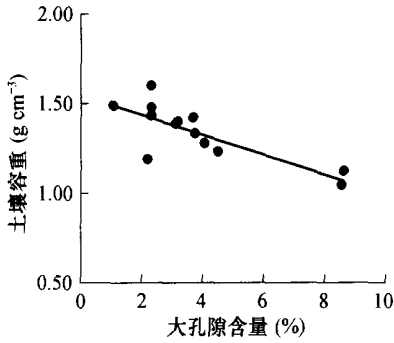


图 1 大孔隙含量与土壤容重的关系

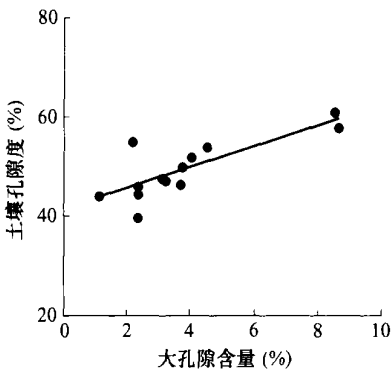


图 2 大孔隙含量与土壤孔隙度的关系

2.2.3 土壤饱和导水率 土壤饱和导水率是估计土壤非饱和导水率、反映作物生长、指导农田灌溉排水以及模拟土壤水分运动和土壤中污染物迁移的重要参数之一。它是在单位水压梯度下, 水通过单位土壤截面的速度。土壤中大孔隙的含量和分布特征直接影响饱和导水率的大小。太湖地区这三种主要水稻土类型的土壤大孔隙含量与土壤饱和导水率也有密切的关系。符合直线回归方程:

$$y = 0.2138x + 0.0415$$

式中, x 为大孔隙含量 (%), y 为饱和导水率

($10^{-5} \text{ cm s}^{-1}$)。经相关分析表明, 相关系数为: $r = 0.7883^{**}$ ($n = 13$), 也达到极显著水平, 见图 3。因此, 试验区的土壤大孔隙含量对本地区的水分运动和溶质的迁移有着很大的影响。

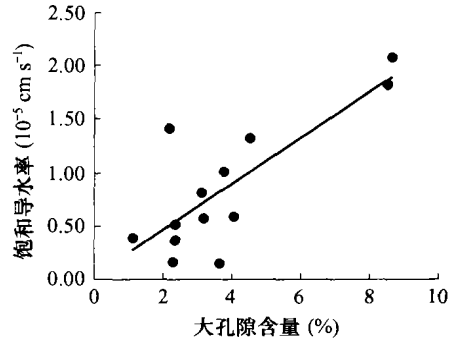


图 3 大孔隙含量与土壤饱和导水率的关系

2.3 影响土壤大孔隙形成的主要因素

2.3.1 土壤的粘粒含量 土壤粘粒是土壤形成过程中的产物, 它对土壤的物理和化学性质都有显著的影响。在土壤质地中它是颗粒最小且比表面积最大的一种土壤粒级。因此, 它在土壤大孔隙的形成和分布中起了非常大的作用。从图 4 可以看出, 太湖地区的白土和乌栅土的粘粒含量与土壤大孔隙的含量之间存在着极显著的负相关关系, 相关系数分别为: $r_{\text{白土}} = -0.9572^{**}$ 和 $r_{\text{乌栅土}} = -0.9660^{**}$ 。即土壤大孔隙的数量随着粘粒含量的减少而增加。但不同的土壤类型形成大孔隙所对应的粘粒含量是不同的。虽然供试土壤中黄泥土类的粘粒含量与土壤大孔隙含量之间统计分析的相关性不显著, 但从图 4 中仍然可以看出黄泥土粘粒含量与大孔隙之间关系的总趋势是与白土和乌栅土相一致的。因为大孔隙组成不仅与土壤质地(粘粒)有关, 也与土壤团聚体有关, 黄泥土结构的良好发育掩盖了粘粒与大孔隙含量之间的统计关系。

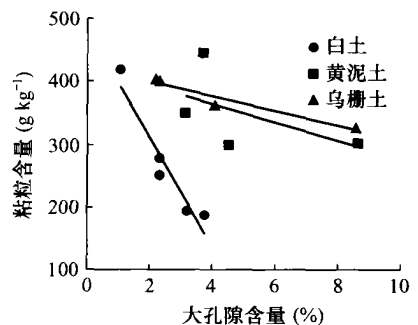


图 4 大孔隙含量与土壤粘粒含量的关系

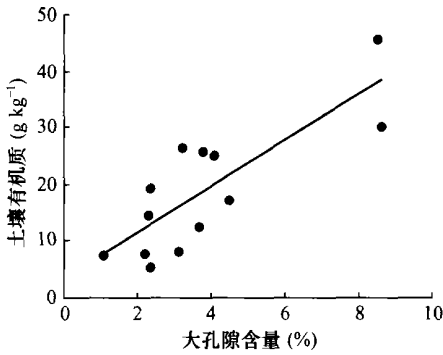


图5 大孔隙含量与土壤有机质的关系

2.3.2 土壤有机质含量 影响土壤大孔隙形成的另一个主要的因素是土壤的有机质含量。土壤有机质是土壤的组成成分之一, 它不仅是土壤中养分的主要来源之一, 而且它能促进土壤结构和土壤中大小孔隙的形成, 影响土壤的通气状况和透水能力。图5是太湖地区三种水稻土土壤剖面中大孔隙含量与土壤有机质的关系曲线, 土壤有机质的多寡直接影响着土壤中大孔隙的变化, 并达极显著水平, 其相关系数 $r = 0.8138^{**}$ ($n = 13$)。从每一个土壤剖面来看, 有机质的含量是从土壤表层向土壤底层逐渐减少, 而土壤中大孔隙的含量也趋下降。土壤有机质在土壤中的粘结性比砂粒强, 所以施用于砂土后, 增加了砂土的粘性, 可促进土壤团粒结构和孔隙的形成。而在粘土中由于其松软、絮状、多孔, 粘结, 而粘结力又不像粘粒那样强, 当它被粘粒包被

后, 易形成散碎的团粒和孔隙。因此, 土壤有机质在土壤大孔隙的形成过程中起了非常重要的作用。

总之, 影响土壤中大孔隙的形成还有很多因素, 例如: 土壤动物、植物根系、土壤干湿和冻融交替以及一些化学因素等还有待于进一步深入研究。

参考文献

- [1] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000. 89~ 92
- [2] Gemann P F, Edwards W M, Owens L B. Profiles of bromide and increased soil moisture after infiltration into soils with macropore. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1984, 48: 237~ 244
- [3] 刘伟, 区自清, 应佩峰. 土壤大孔隙及其研究方法. *应用生态学报*, 2001, 12(3): 465~ 468
- [4] 王小治, 曹志洪, 盛海君, 等. 太湖地区渗育性水稻土径流中磷组分的研究. *土壤学报*, 2004, 41(2): 278~ 284
- [5] 张建丰, 林性粹, 王文焰. 黄土的大孔隙特征和大孔隙流研究. *水土保持学报*, 2003, 17(4): 168~ 171
- [6] Isensee A R, Helling C S, Gish T J, *et al.* Groundwater residues of atrazine, alachlor and cyanazine under no-tillage practices. *Chemosphere*, 1988, 17: 165~ 174
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1999. 118~ 140
- [8] Luxmoore R J. Micro-, meso-, and macroporosity of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1981, 45: 671~ 672
- [9] Warner G S, Nieber J L, More I D, *et al.* Characterizing macropores in soil by computed tomography. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, 53: 653~ 660
- [10] 郑纪勇, 邵明安, 张兴昌. 黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征. *水土保持学报*, 2004, 18(3): 53~ 56