

不同土地利用方式下土壤水力性质对比研究*

余冬立 刘莹莹 俞双恩 高雪梅 郑加兴

(河海大学南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 南京 210098)

摘要: 针对草地、保护地、菜地和茶园 4 种不同土地利用方式的土壤进行了 4 个压力水头(-9、-6、-3 和 0 cm)、2 个不同盘径的圆盘入渗试验。结果表明,在本试验条件下,不同盘径的圆盘入渗仪测定结果差异不显著,小盘径圆盘更适合用于野外测定土壤水力特征参数。随着水头的减小,4 种土地利用方式的土壤稳定入渗率和土壤非饱和导水率呈不同程度的减小。4 种土地利用方式土壤的水力学性质差异显著,根据实测资料确定了不同负水头下的土壤饱和导水率和 Gardner 指数模型参数 α ,土地利用方式对土壤导水率和 Gardner 指数模型参数 α 均有显著影响。不同土地利用方式下土壤大、小孔隙对水流的贡献率影响显著,中等孔隙 1、中等孔隙 2 对水流贡献率影响不显著。茶园和草地各级土壤孔隙对水流的贡献率随孔隙尺寸减小而降低,而菜地和保护地小孔隙(孔隙半径 0 ~ 0.1 mm)对水流的贡献率为最高。

关键词: 圆盘入渗仪 土地利用方式 土壤水力性质 负水头

中图分类号: S152.5; S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)09-0175-05

引言

近年来,随着数值模拟技术发展,研究者逐渐习惯于利用计算机模型来预测和分析土壤水分运动过程,而模型模拟精度很大程度上取决于土壤水力参数的准确性。基于此,相关学者始终在努力探索获取准确土壤水力参数的方法,其中负水头条件土壤水力参数的确定逐渐受到关注^[1-2]。

圆盘入渗仪是基于负水头测定土壤水力特性的主要方法,可用于测定田间土壤的近饱和导水率、宏观毛管长度、导水孔隙度、两区模型参数及土壤吸湿率等水力参数。利用圆盘入渗仪研究土壤大孔隙中的水分运动^[3-6]、农业管理措施等对水力学性质的影响和土壤水力性质的时空变异等^[7-10]方面均有较多的应用。在国外,已有大量理论和模型描述利用圆盘入渗仪测定的入渗过程^[11-14]。近年来,国内应用圆盘入渗仪测定土壤水力性质方面也有了较大进展,许明祥^[15]等应用圆盘入渗仪法和双环法对黄土地陵区不同土地利用方式下土壤渗透性进行对比研究,结果表明圆盘入渗仪法适合黄土地陵区各种利用类型土壤的入渗测定,其结果亦表明不同土地利用方式下土壤渗透性有明显差别。土地利用是人类利用土地各种活动的综合反映,合理的土地利用可以改善土壤结构,通过影响土壤容重和孔隙状况

等影响土壤水力特性参数和入渗过程等。刘丽红^[16]等研究表明不同土地利用类型土壤的渗透性存在明显差别,旱地的土壤渗透性最好,荒地最差。本文利用圆盘入渗仪进行负压入渗试验,基于 Wooding 的方法和 White - Sully 方法计算非饱和导水率,分析 4 个负水头下 4 种土地利用方式土壤的稳定入渗率、非饱和导水率等参数的变化特征,以期为进一步研究南方丘陵区土壤水分运移提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设备

圆盘入渗仪由入渗盘、储水管和负压管组成,其中入渗盘与储水管固定连接,通过负压管来控制恒定负水头(图 1)。负压管根据马氏瓶原理制作而成。在实际应用中,储水管直径越小越有利于准确读取水位高度,但直径过小则可装的水量少,未达到稳定入渗就需重新装水。一般根据土壤入渗特性与盘径来确定储水管的高度与直径。本试验采用 2 个不同入渗盘直径的圆盘入渗仪进行对比研究,大圆盘入渗仪入渗盘直径为 20 cm,储水管高度为 100 cm,直径为 5 cm;小圆盘入渗仪入渗盘直径为 10 cm,储水管高度为 100 cm,直径为 3.5 cm。图 1 中,加在土表的压力为 $h_0 = h_2 - h_1 - h_c$,其中, h_c 为

收稿日期: 2013-09-26 修回日期: 2013-11-06

* 国家自然科学基金资助项目(51109063)

作者简介: 余冬立,教授,博士生导师,主要从事农田水土过程与侵蚀控制研究, E-mail: shedongli@ hhu. edu. cn

大气压, h_0 为盘底压力, h_1 为负压管液面高度, h_2 为圆盘厚度。

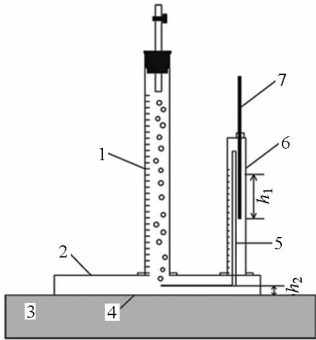


图1 圆盘入渗示意图

Fig.1 Schematic diagram of disc permeameter

1. 储水管 2. 入渗盘 3. 土壤 4. 砂子 5. 排气管 6. 负压管
7. 进气管

1.2 试验区概况

试验于2012年4月1日至2012年4月30日在河海大学节水园区节水与农业生态试验场(31°86'N和118°60'E)进行,该试验区属亚热带湿润气候,冬冷夏热、四季分明,年平均降水量为1 021.3 mm,年平均蒸发量为900 mm,年平均气温15.7℃,最热月平均温度28.1℃,年无霜期237 d,年均日照时数2 212.8 h。试验区内土壤类型为黄棕壤,土壤有机质质量分数为0.62%~0.86%,pH值为6.1~6.4,土壤容重为1.35~1.46 g/cm³。

1.3 圆盘入渗与水力性质计算

试验区内选取草地、保护地、菜地和茶园4种土地利用方式进行试验研究,各土地利用类型选取5个测点。为不破坏土壤结构,将每个测点地面上的植株割掉,使其根部留在土壤中,将地面整平,经处理的土壤表面直径为25~30 cm和15~20 cm,分别用于大、小圆盘入渗试验。将过1 mm筛的细沙覆盖在各测点表面,厚度约5 mm,将其抹平。在每个测点按供水压力水头-9、-6、-3、0 cm的顺序依次进行圆盘入渗试验,每隔1 min记录入渗量,直到连续10 min入渗量基本一致,停止试验。试验水温为22℃。利用非线性回归分析方法^[17-18]计算压力水头为0 cm时的土壤导水率(即土壤饱和导水率 K_s)和表征土壤孔隙大小分布的 Gardner 常数 α 。将拟合得到的饱和导水率 K_s 和 α ,代入 Gardner 指数方程^[17-18],求解出压力水头分别为-3、-6、-9 cm时的土壤导水率 K_3 、 K_6 、 K_9 。

根据毛管水理论,在水运动过程中,-3、-6、-9 cm水头下的入渗将分别排除当量半径大于0.5、0.25、0.1 mm中的水流。因此,将孔隙分为4个等级:孔隙半径大于0.5 mm为大孔隙;0.25~0.5 mm

为中等孔隙1;0.1~0.25 mm为中等孔隙2;0~0.1 mm为小孔隙。不同级别孔隙对水流的贡献率表明了各级别孔隙的导水能力,记为^[19]

$$\Phi = \frac{K(h_f) - K(h_{f-1})}{K_s} \times 100\% \quad (f=1,2,\dots,n) \tag{1}$$

式中 n ——测量次序的数值
 h ——压力水头,cm
 $K(h_f)$ 、 $K(h_{f-1})$ ——连续2个压力水头下的土壤导水率,cm/min

数据拟合计算采用 Sigmaplot 软件完成,数据统计分析和方差计算主要在 Excel 2003 和 SPSS 13.0 中完成。

2 结果分析

2.1 圆盘直径对土壤水力性质测定结果的影响

以草地土壤为例,对2种不同盘径圆盘测定的土壤导水率和 Gardner 常数 α 进行方差分析,结果见表1。大、小圆盘测得的土壤饱和导水率 K_s 、压力水头为-3、-6和-9 cm下的土壤导水率 K_3 、 K_6 、 K_9 ,以及 Gardner 常数 α 均无显著差异($P=0.05$)。其他3种土地利用方式(菜地、茶园和保护地)上测定的结果趋势一致,均表明盘径对土壤导水率和孔隙大小分布 Gardner 常数 α 的影响不显著($P=0.05$)。在野外试验过程中,由于试验条件的限制,特别是水源条件限制,利用小盘径圆盘进行土壤水力学性质测定,可以在保证试验结果精度要求的基础上,有效节约试验用水,方便试验测定。因此,本文以下部分结果分析也仅以小圆盘测定的结果进行讨论。

表1 盘径对土壤导水率、Gardner 常数 α 影响的方差分析

Tab.1 Variance analysis of disc diameter on soil hydraulic conductivity and Gardner α

因变量	方差	自由度	统计量 F	P 值
K_s	1.8×10^{-3}	1	4.202	0.075
K_3	5.2×10^{-5}	1	0.897	0.371
K_6	1.0×10^{-5}	1	0.449	0.521
K_9	3.5×10^{-5}	1	1.505	0.255
α	5.5×10^{-2}	1	4.405	0.069

2.2 不同土地利用方式下入渗过程分析

土壤入渗率反映土壤入渗性能,为单位时间内通过地表单位面积渗入土壤中的水量。4种土地利用方式下土壤入渗率随时间的变化如表2所示。在初始入渗阶段由于土壤基质势梯度大,土壤入渗率保持较高水平;随入渗时间的推移,土壤基质势梯度

不断减小,重力势对入渗过程的影响逐渐增大,土壤入渗率有明显降低趋势,并逐渐趋于稳定,此时土壤基质势梯度趋近于零,土壤入渗率即为土壤稳定入渗率。不同压力水头下土壤入渗特性差异显著,随水头减小,土壤稳定入渗率减小,水头为 0 cm 时的土壤稳定入渗率明显大于其他负水头下的土壤稳定入渗率($P<0.05$)。根据不同压力水头下土壤入渗率变化规律,采用指数关系式描述土壤稳定入渗率 q 与负水头 $H(H=-h)$ 的定量关系如图 2 所示。由图 2 可以看出:各利用方式下土壤稳定入渗率随负水头的变化具有显著负幂函数关系,决定系数 R^2 均大于 0.9。

表 2 不同土地利用方式土壤的入渗特性
Tab.2 Soil infiltration characteristics in different land use patterns

土地利用方式	压力水头/ cm	前 3 min 平均 土壤入渗率/ ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$)	前 8 min 平均 土壤入渗率/ ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$)	土壤稳定 入渗率/ ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$)
菜地	-9	0.15	0.11	0.07
	-6	0.11	0.10	0.10
	-3	0.12	0.11	0.11
	0	0.18	0.18	0.18
草地	-9	0.04	0.03	0.02
	-6	0.03	0.02	0.02
	-3	0.04	0.03	0.03
	0	0.10	0.09	0.09
茶园	-9	0.12	0.09	0.04
	-6	0.07	0.06	0.05
	-3	0.10	0.08	0.08
	0	0.26	0.25	0.23
保护地	-9	0.04	0.04	0.04
	-6	0.07	0.06	0.06
	-3	0.10	0.09	0.09
	0	0.14	0.13	0.11

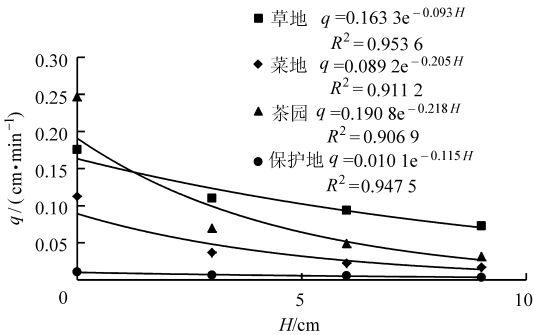


图 2 稳定入渗率随水头的变化

Fig.2 Variations of steady infiltration rate vs negative hydraulic heads

不同利用方式土壤入渗特性差异显著(表 2)。在压力水头为 -9、-6、-3 cm 时,土壤初始入渗率(前 3 min 平均土壤入渗率)及土壤稳定入渗率均表

现为菜地最大,草地最小,菜地土壤稳定入渗率是草地土壤稳定入渗率的 1.9~4.8 倍。在压力水头为 0 cm 时,土壤初始入渗率和土壤稳定入渗率从大到小均依次为茶园、菜地、保护地、草地。茶园土壤有机质含量高,土壤结构较好,植物根系和土壤动物活动使茶园土壤大孔隙相对较多,故土壤在高压水头下的入渗速率较高。

2.3 土地利用方式对土壤导水率和 Gardner 常数 α 的影响

土壤导水率、孔隙大小分布 Gardner 常数 α 等水力性质是反映土壤入渗能力的重要参数。表 3 列出了不同土地利用方式下土壤导水率和 Gardner 常数 α 的统计特征值。土壤导水率随压力水头的减小而减小,其变异系数 C_v 在 20.5%~53.8% 之间,表明土壤导水率呈中等的空间异质性^[20~21];随着压力水头的减小,土壤导水率变异程度呈递减趋势。压力水头从 0 cm 降低至 -9 cm,土壤中对土壤导水率起决定作用的孔隙尺寸逐渐减小,因此,从土壤导水率变异系数随压力水头的减小而减小的结果可知,大孔隙的变异程度大于小孔隙,即随着孔隙变小,其分布越来越均匀。

为研究土地利用方式对土壤导水率和孔隙大小

表 3 不同土地利用方式下的土壤导水率和 Gardner 常数 α

Tab.3 Hydraulic conductivity and Gardner α of soils under different land uses patterns					
土地利用方式	土壤导水率和 Gardner 常数 α	平均值	最小值	最大值	$C_v/\%$
菜地	$K_s/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.050 78	0.026 7	0.076 2	37.191
	$K_3/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.035 78	0.021 07	0.051 98	29.624
	$K_6/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.025 48	0.016 63	0.035 46	23.649
	$K_9/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.018 33	0.013 13	0.024 19	20.482
	α/cm^{-1}	0.107 34	0.164	0.069 6	35.970
草地	$K_s/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.048 56	0.014 8	0.093 3	53.764
	$K_3/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.018 66	0.010 29	0.035 93	48.728
	$K_6/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.007 78	0.003 14	0.013 84	46.422
	$K_9/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.003 54	0.000 81	0.005 33	52.529
	α/cm^{-1}	0.296 8	0.450 6	0.121 1	44.036
茶园	$K_s/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.121 42	0.045 5	0.207 6	44.416
	$K_3/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.047 76	0.028	0.061 75	31.133
	$K_6/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.020 34	0.008 47	0.026 36	32.814
	$K_9/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.009 43	0.002 56	0.011 28	49.750
	α/cm^{-1}	0.291 04	0.404 2	0.121 8	40.287
保护地	$K_s/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.034 04	0.013 4	0.042 9	35.070
	$K_3/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.024 03	0.010 84	0.029 61	28.996
	$K_6/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.017 13	0.008 76	0.020 07	24.662
	$K_9/(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	0.012 34	0.007 09	0.016 2	24.215
	α/cm^{-1}	0.106 96	0.142 6	0.059 2	36.295

分布 Gardner 常数 α 常数的影响,对 4 种土地利用方式的导水率和 Gardner 常数 α 进行了方差分析,如表 4 所示。不同土地利用方式处理下的土壤导水率 K_s 、 K_3 、 K_6 、 K_9 、Gardner 常数 α 均有显著差异。测得的土壤饱和导水率 K_s 从大到小依次为茶园、菜地、草地、保护地,而其他压力水头下测得的土壤导水率在 4 种土地利用方式中的大小排序不同(表 3),表明不同土地利用方式下土壤孔隙分布差异明显。茶园地植物根系和土壤动物活动频繁,土壤中大孔隙较多,测定的 K_s 和 K_3 均显著大于其他 3 种土地利用方式下的土壤 K_s 和 K_3 ($P<0.05$)。菜地由于频繁的耕作扰动,土壤结构破坏严重,土壤质地较细,土壤中以小孔隙为主,测定的 K_6 和 K_9 均大于其他 3 种土地利用方式下的 K_6 和 K_9 (表 3)。孔隙大小分布常数 α 的平均值变化范围在 $0.11 \sim 0.30 \text{ cm}^{-1}$ 之间,变异系数在 $36.0\% \sim 44.0\%$ 之间,表现为中等的空间异质性,土壤孔隙大小分布不均匀。由表 3 可知,草地和茶园土壤的 α 值均较大,显著高于保护地和菜地土壤的 α 值 ($P<0.05$),研究结果进一步表明,受人类耕作活动扰动的保护地和菜地土壤孔隙分布较均匀^[18]。

表 4 不同土地利用下土壤导水率和 Gardner 常数 α 的方差分析

Tab. 4 Variance analysis of land use patterns on soil hydraulic conductivity and Gardner α					
因变量	方差	自由度	均方差	统计量 F	P 值
K_s	0.023	3	0.008	6.01	0.006
K_3	0.003	3	0.001	5.78	0.007
K_6	0.001	3	0.000	7.93	0.002
K_9	0.001	3	0.000	12.48	0.000
α	0.175	3	0.058	6.88	0.004

2.4 不同土地利用方式下土壤孔隙级别对水流贡献率的变化

经以上结果分析表明,土壤导水率的变化可能受不同级别土壤孔隙对水流贡献率的影响。图 3 列出了不同土地利用方式下各级土壤孔隙对水流的贡献率,包括大孔隙、中等孔隙 1、中等孔隙 2 和小孔隙对水流的贡献率。4 种土地利用方式下各级土壤孔隙对水流的贡献率基本随孔隙的减小而减小,只有菜地和保护地土壤小孔隙对水流的贡献率异常,表现出小孔隙对水流的贡献率大于大、中孔隙,也进一步说明人类耕作扰动频繁的菜地和保护地土壤中小孔隙所占的比例较大。

为研究土地利用方式对不同级别土壤孔隙对水流的贡献率的影响,将 4 种土地利用方式不同级别土壤孔隙对水流的贡献率进行单因素方差分析。如

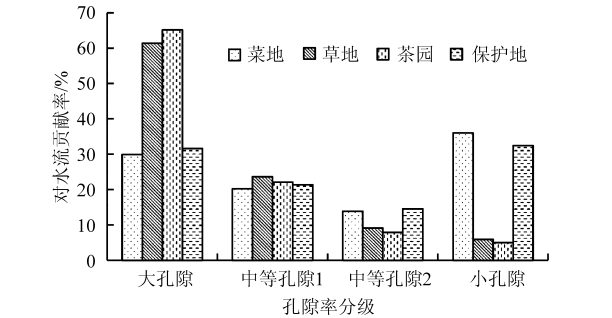


图 3 不同土地利用方式各级土壤孔隙对水流的贡献率
Fig. 3 Changes of contribution of each class pore to flow under different land use patterns

表 5 所示,不同土地利用方式下土壤大、小孔隙对水流的贡献率差异显著,其显著度均为 0.002。草地和茶园土壤的大孔隙对水流的贡献率均在 60% 左右,显著高于菜地和保护地土壤大孔隙对水流的贡献率(30% 左右);而与此相反,菜地和保护地土壤小孔隙对水流的贡献率分别达到 36.10% 和 36.25%,显著高于草地和茶园土壤小孔隙对水流的贡献率(分别为 7.30% 和 7.77%)。4 种土地利用方式下土壤中等孔隙对水流的贡献率均无显著差异。由此可知,土地利用是影响土壤结构变化的重要因素之一,从而影响各级土壤孔隙对水流的贡献率,特别是对大孔隙的形成(植物根系与土壤动物活动等)和土壤小孔隙(耕作扰动等)结构比率的影响显著。

表 5 土壤孔隙对水流贡献率的方差分析
Tab. 5 Variance analysis of land use patterns on contribution of pore to flow

孔隙等级	方差	自由度	均方差	统计量 F	P 值
大孔隙	4 229.46	3	1 409.82	7.94	0.002
中等孔隙 1	50.15	3	16.72	1.70	0.208
中等孔隙 2	75.09	3	25.03	2.98	0.063
小孔隙	4 023.52	3	1 341.17	7.63	0.002

3 结论

- (1) 圆盘直径对土壤水力性质测定结果的影响不显著,小盘径圆盘更适合用于野外测定土壤水力特征参数。
- (2) 土地利用对土壤导水率和土壤孔隙大小分布常数的影响显著。不同压力水头下土壤导水率在 4 种土地利用方式中大小排序不同,且草地和茶园土壤的 α 值显著高于保护地和菜地土壤的 α 值 ($P=0.05$),表明不同土地利用方式下土壤孔隙分布差异明显。
- (3) 不同土地利用方式下土壤孔隙级别对水流贡献率的差异显著。茶园和草地土壤的大孔隙(孔

隙半径大于0.5 mm)对水流的贡献率达60%左右,显著高于菜地和保护地土壤大孔隙对水流的贡献率;相反,菜地和保护地土壤小孔隙(孔隙半径0~0.1 mm)对水流的贡献率最大,显著高于茶园和草地土壤小孔隙对水流的贡献率。综合以上分析结果,土地利用是影响土壤水力性质变化的重要因素之一,主要是通过大孔隙的形成与土壤小孔隙结构比率影响土壤水分运动过程。

参 考 文 献

1 Messing I, Jarvis N J. Temporal variation in the hydraulic conductivity of a tilled clay soil as measured by tension infiltrometers [J]. *European Journal of Soil Science*, 1993,44(1): 11-24.

2 Šimunek J, van Genuchten M Th, Gribb M M, et al. Parameter estimation of unsaturated soil hydraulic properties from transient flow processes[J]. *Soil & Tillage Research*,1998, 47(1): 27-36.

3 Nachabe M H. Estimating hydraulic conductivity for models of soils with macropores [J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1995, 121(1): 95-102.

4 Mohanty B P, Ankeny M D, Horton R, et al. Spatial analysis of hydraulic conductivity measured using disc infiltrometers [J]. *Water Resources Research*, 1994, 30(9): 2489-2498.

5 樊军,王全九,邵明安.圆盘吸渗仪测定土壤导水率的两种新方法[J].*农业工程学报*,2007,23(10):14-18.
Fan Jun, Wang Quanjiu, Shao Ming'an. New methods for determining soil hydraulic conductivity by disc tension infiltrometers [J]. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(10):14-18. (in Chinese)

6 王琳芳,樊军,王全九.用自动盘式吸渗仪测定土壤导水率[J].*农业工程学报*,2007,23(9):72-75.
Wang Linfang, Fan Jun, Wang Quanjiu. Measurement of soil conductivity by automated disc tension infiltrometer[J]. *Transactions of the CSAE*, 2007,23(9):72-75. (in Chinese)

7 樊军,邵明安,王全九.利用盘式入渗仪确定土壤水力学参数研究进展[J].*中国科技论文在线*,2005212221.
Fan Jun, Shao Ming'an, Wang Quanjiu. Review and recent developments of field measurement of soil hydraulic properties by disc tension infiltrometers [J]. *Sciencepaper Online*, 2005212221. (in Chinese)

8 Reynolds W D, Elrick D E. Determination of hydraulic conductivity using a matric suction infiltrometer [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55(3): 633-639.

9 Smettem K R J, Clothier B E. Measuring unsaturated sorptivity and hydraulic conductivity using multiple disc permeameters [J]. *European Journal of Soil Science*,1989, 40(3): 563-568.

10 White I, Sully M J. Macroscopic and microscopic capillary length and time scales from infiltration [J]. *Water Resources Research*, 1987, 23(8): 1514-1522.

11 Haverkamp R, Ross P J, Smettem K R J, et al. Three dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometers. Physically-based infiltration equation[J]. *Water Resources Research*, 1994, 30(11): 2931-2935.

12 Warrick A W. Models for disc infiltrometers[J]. *Water Resources Research*, 1992, 28(5): 1319-1327.

13 Zhang R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61(4): 1024-1030.

14 Zhang R. Infiltration models for the disc infiltrometer[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61(6): 1597-1603.

15 许明祥,刘国彬,卜崇峰,等.圆盘入渗法测定不同利用方式土壤渗透性试验研究[J].*农业工程学报*,2002,18(4):54-58.
Xu Mingxiang, Liu Guobin, Pu Chongfeng, et al. Experimental study on soil infiltration characteristics using disc permeameter [J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(4): 54-58. (in Chinese)

16 刘丽红,蒋勇军,王翱宇,等.岩溶槽谷区不同土地利用方式土壤入渗规律研究[J].*水土保持通报*,2010(8):51-55.
Liu Lihong, Jiang Yongjun, Wang Aoyu, et al. Infiltration characteristics under different landuses in karst valley area [J]. *Transactions of the Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2010(8): 51-55. (in Chinese)

17 Wooding R A. Steady infiltration from a circular shallow circular pond [J]. *Water Resources Research*, 1968, 4(6): 1259-1273.

18 Hu Wei, Shao Mingan, Wang Quanjiu, et al. Temporal changes of soil hydraulic properties under different land uses [J]. *Geoderma*, 2009, 149(3-4): 355-366.

19 Watson K, Luxmoore R. Estimating macroporosity in a forest watershed by use of a tension infiltrometer[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, 50(3): 578-582.

20 余冬立,邵明安,俞双恩.黄土高原水蚀风蚀交错带小流域土壤矿质氮空间变异性[J].*农业工程学报*,2010,26(6):89-96.
She Dongli, Shao Ming'an, Yu Shuang'en. Spatial variability of soil mineral nitrogen in a small catchment in the wind-water erosion crisscross zone of Loess Plateau [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(6): 89-96. (in Chinese)

21 郭丽俊,李毅,李敏,等.壤土土壤水力特性空间变异的多重分形分析[J].*农业机械学报*,2011,42(9):50-58.
Guo Lijun, Li Yi, Li Min, et al. Multifractal study on spatial variability of soil hydraulic properties of Lou soil [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011,42(9): 50-58. (in Chinese)

22 雷廷武,张婧,王伟,等.土壤环式入渗仪测量效果分析[J].*农业机械学报*,2013,44(12):99-104.
Lei Tingwu, Zhang Jing, Wang Wei, et al. Assessment on soil infiltration rates measured by ring infiltrometer[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013,44(12):99-104. (in Chinese)

Abstract: Soil anti-scourability is one of the important parameters for evaluating the ability of soil resistance to soil erosion. In order to explore the characteristics of soil anti-scourability, dynamic change and influence factors of soil anti-scourability were studied during maize growing season by using the method of the undisturbed soil sample washing experiment and laboratory analysis. The results showed that sediment concentration decreased first and then gradually became a balanced developing state with the prolonging washing time during the maize growth season under the condition of different sloping degrees. The sediment concentration reached the highest value under the condition of 15°. With the growing of maize, soil anti-scourability and enhancement effect increased gradually and reached the maximum in the mature period. With the increase in slope, the enhancement effect of maize root on soil anti-scourability decreased gradually. Soil anti-scourability positively correlated with soil bulk density, organic matter content and >2 mm water-stable aggregates significantly, but negatively correlated with <0.25 mm water-stable aggregates. Soil anti-scourability was significantly correlated with the root content, root surface area, root volume, and total root length. Therefore, it had great significance for guiding comprehensive control of soil erosion to select the maize varieties with <0.5 mm root systems, and applying soil and water conservation measures to increase soil organic matter content and water-stable aggregates. The results could provide theoretical guidance to soil erosion control in purple soil areas.

Key words: Purple soil Maize Soil anti-scourability Influencing factors

(上接第 179 页)

Comparison of Soil Hydraulic Properties under Different Land Use Pattern

She Dongli Liu Yingying Yu Shuang'en Gao Xuemei Zheng Jiaying
(Key Laboratory of Efficient Irrigation-drainage and Agricultural Soil-water Environment in Southern China,
Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the infiltration experiments using two size-disc infiltrometers, the characteristics of the soil hydraulic properties at four different pressure heads (-9, -6, -3, and 0 cm) were analyzed under four land uses. The results showed that the infiltration rates were not obviously different tested by infiltrometers with different diameter discs. The infiltrometer with small disc was more suitable for the field determination of soil hydraulic properties. With the decreasing of the pressure head, steady infiltration rates of the 4 soils decreased to different extents. Soil hydraulic conductivity and Gardner α were determined according to the experimental data at different negative water pressure heads, which were obviously different with land uses. Land use had significant effects on the contributions of macropores and micropores to flow. The contribution of each class pore to flow was reduced with the decrease of the pore size under tea garden and grass land. However, the contributions of micropores (<0.1 mm) to flow were kept the highest level in vegetable field and protected field. The result could provide references for estimating hydraulic parameters of soils in hilly area of South China.

Key words: Disc infiltrometer Land use pattern Soil hydraulic properties Negative water pressure head