

# 用 Guelph 法研究南方低丘缓坡地不同坡位土壤渗透性

于东升, 史学正

(中国科学院 南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 利用 Guelph 入渗仪研究了我国南方低丘缓坡地不同坡位的土壤渗透性。对第四纪红色黏土和红砂岩发育土壤的研究结果表明, 坡地上不同坡位土壤的渗透性差别显著, 0—5 cm 表层土壤的饱和入渗率  $K_{fs}$  值总是下坡最大; 草地上植被覆盖度越高, 表层土壤的  $K_{fs}$  值也越大; 而旱耕地上表层土壤  $K_{fs}$  值与坡位之间的关系则表现为: 下坡 > 上坡 > 中坡。

**关键词:** 土壤渗透; Guelph 法; 坡地利用

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)01-0006-04

中图分类号: S152.72

## Soils Permeability on Different Position of Upland Measured by Guelph Method in Hilly Area of South China

YU Dong-sheng, SHI Xue-zheng

(The Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract** Soils permeability, derived from Quaternary red clay soil and red sandstone on three positions of upland are measured by Guelph method in hilly area of south China. The results show that values of saturated hydraulic conductivity of 0—5 cm top soils in down slope are always higher than that in up-slope, no matter what kind of land use. It also increases with the increment of plant cover degree in grasses upland, and the relations of top soils permeability on the three positions of tilled upland can be arranged in value as follows: down-slope > up-slope > mid-slope.

**Keywords** soil permeability; Guelph method; upland use

### 1 前言

已有研究表明, 土壤渗透性能越好, 地表径流就会越少, 土壤的流失量也会相应减少, 在低丘缓坡地表现的尤为明显<sup>[1,2]</sup>。但由于坡地所处的坡位不同, 即使是同一类型的土壤, 在同一条件下, 土壤的流失量并不相同, 土壤渗透性能差异也是其中主要原因之一<sup>[3]</sup>。因此, 研究我国南方低丘缓地不同坡位土壤的渗透性, 将有助于该区土壤侵蚀机理的研究, 并能更好地表征该区不同母质、不同坡地利用下的土壤侵蚀规律。国际上研究土壤渗透性的方法较多, 如双环法、渗透仪法、人工模拟降雨法、土柱法、钻孔法、稳定通量法以及渗透桶法等等<sup>[4-6]</sup>, 有田间测定, 也有室内试验, 有定量分析, 也有定性的描述。这些方法在我国也都有学者使用, 但最常用的是双环法, 较少使用渗透仪法。而渗透仪法既有在田间直接进行测定的优势, 又能够进行定量研究, 且设计和造型轻巧, 操作十

分方便, 因而在国际上极为重视。20世纪 80年代我国引进加拿大生产 Guelph 渗透仪 (Guelph Permeameter, GP), 除具有上述特点外, 在设计上还运用马氏瓶原理, 使入渗水头在入渗过程中保持恒定。Guelph 渗透仪在我国长江以北地区得到了很好的应用<sup>[7,8]</sup>, 但在我国南方地区的应用研究较少<sup>[9-11]</sup>。因此, 本文应用 Guelph 渗透仪测定我国南方低丘坡地不同坡位土壤的渗透性, 并将试验结果进行比较, 从而对该区坡地土壤的渗透性以及 Guelph 渗透仪在该区的适用性进行分析和讨论。

### 2 试验设计

#### 2.1 Guelph 渗透仪

Guelph 渗透仪是加拿大 D. E. Elrick 教授及其同伴合作研制的用于测定田间土壤渗透率的一种仪器, 它主要是由供水量测系统、入渗部件和支架等部分组成。其中入渗部件采用压力入渗仪 (GPI), 即将

收稿日期: 2001-12-27

资助项目: 中国科学院南京土壤研究所所长基金 (005102); 国家重点基础研究规划项目 (G1999011810); 中国科学院红壤生态实验站基金  
作者简介: 于东升 (1966-), 男 (汉族), 江苏海安人, 硕士, 助理研究员, 主要从事土壤侵蚀、农业资源遥感与信息系统方面的研究工作, 先后发表各类论文 20 余篇。电话 (025) 3367354, E-mail yds820@ yahoo.com

GPI 部件直接放在土壤表层来测定土壤的水分入渗参数。该仪器测定的非饱和土壤入渗率  $K(S)$  用指数形式来表示:

$$K(S) = K_{fs} e^{-aS} \quad (1)$$

式中:  $S$ ——土壤吸力,可同时测定土壤饱和入渗率  $K_{fs}$  和非饱和土壤入渗通量  $\Phi_m$ :

$$H_m = - \int_{SI}^0 K(S) ds \quad (2)$$

将 (1) 式代入 (2) 式得:

$$H_m = (K_{fs} - K_I) / \Gamma \quad (3)$$

式中:  $K_I$ ——与初始吸力  $S_I$  对应的入渗率;  $\Gamma$ ——反映土壤质地、结构的参数。对于田间土壤水分一般低于田间持水量时  $K_I$  可忽略,即:

$$H_m = K_{fs} / \Gamma \quad (4)$$

在已知  $\Gamma$  后非饱和土壤入渗率  $K(S)$  就可确定。田间实测时,在入渗环中施加一定的水头  $H$  (地表积水深度) 可测得相应的稳定入渗通量  $Q$ 。根据该仪器的设计原理,各变量间具有下列关系:

$$Q = (r/G) \cdot (H_m + K_{fs} \cdot H) + \pi r^2 K_{fs} \quad (5)$$

式中:  $r$ ——入渗环半径;  $G$ ——入渗环形状系数,与半径  $r$  和插入土壤中的深度  $d$  有关 ( $r = 4.75 \text{ cm}$ ,  $d = 5.0 \text{ cm}$  时,  $G = 0.5$ )。在已知 2 个水头  $H_1$  和  $H_2$  所对

应的稳定入渗量  $Q_1$  和  $Q_2$  后,由 (5) 式可求得  $K_{fs}$  和  $H_m$ , 即双水头法:

$$K_{fs} = (G/r) \cdot (Q_2 - Q_1) / (H_2 - H_1) \quad (6)$$

$$H_m = (G/r) \cdot \left\{ [(H_2 Q_1 - H_1 Q_2) / (H_2 - H_1)] - H_1 G \cdot [(Q_2 - Q_1) / (H_2 - H_1)] \right\} \quad (7)$$

单水头法则是在一定水头  $H$  和相应的稳定流量  $Q$  已知的条件下,根据土壤的物理性质给定一个  $\Gamma$  值,将 (4) 式和 (5) 式联立可求出  $K_{fs}$  和  $H_m$ 。

## 2.2 田间入渗试验设计

本次 Guelph 入渗试验在中国科学院红壤生态试验站及其附近地区进行,该站位于江西省余江县境内,地貌上多为低丘岗地。本次试验点共有 18 个 (表 1), 它们分别代表了该区主要的坡地利用方式 (旱作、经济林或经济林农林间种、稀疏马尾松林及荒草地、裸露地) 下不同坡位的土壤,其中 1-12 号试验点的土壤为第四纪红色黏土发育的,除 1 号点为红色湿润新成土 (侵蚀劣地) 外,其它都为黏淀湿润富铁土, 13-18 号试验点为红砂岩发育的铝质湿润淋溶土<sup>[12]</sup>。试验时旱地上的作物都已收获达 50d 左右,每个点按 2 个土壤层次进行试验,即表土层 0-5 cm 和 20-25 cm 土层。在试验前,首先用土钻采集该层次的土壤样品,测定初始的土壤含水量。

表 1 Guelph 入渗试验点的土地状况

序号	地点	土壤母质	土地利用状况
1	黄柏村	红黏土	网纹层裸露的侵蚀劣地
2	水保区	红黏土	荒草地,中坡的上部,植被覆盖度约 60%
3	水保区	红黏土	荒草地,中坡的下部,植被覆盖度约 60%
4	水保区	红黏土	胡枝子地,中坡的上部,植被覆盖度在 85% 以上
5	水保区	红黏土	胡枝子地,中坡的下部,植被覆盖度在 85% 以上
6	水保区	红黏土	象草地,中坡的上部,植被覆盖度在 95% 以上
7	水保区	红黏土	象草地,中坡的下部,植被覆盖度在 95% 以上
8	水保区	红黏土	旱耕坡地,中坡的上部,种植花生、油菜,连续耕种 6 a
9	水保区	红黏土	旱耕坡地,中坡的下部,种植花生、油菜,连续耕种 6 a
10	东塘村	红黏土	旱耕坡地,上坡,种植花生、油菜、芝麻、红薯等,耕种 20 a
11	东塘村	红黏土	旱耕坡地,中坡,种植花生、油菜、芝麻、红薯等,耕种 20 a
12	东塘村	红黏土	旱耕坡地,下坡,种植花生、油菜、芝麻、红薯等,耕种 20 a
13	三分场	红砂岩	晒谷场附近的荒坡裸地,无植被,但土层厚达 1 m 以上
14	六分场	红砂岩	荒草地,上坡,植被覆盖度约 55%,土层厚 30 cm 左右
15	三分场	红砂岩	荒草地,下坡,植被覆盖度约 65%,土层厚 30 cm 左右
16	六分场	红砂岩	旱耕坡地,上坡,种植花生、油菜、芝麻、红薯等,耕种 5 a
17	六分场	红砂岩	旱耕坡地,中坡,种植花生、油菜、芝麻、红薯等,耕种 10 a
18	六分场	红砂岩	旱耕坡地,下坡,种植花生、油菜、芝麻、红薯等,耕种 10 a

## 3 结果与讨论

### 3.1 试验结果

按照 Guelph 仪测定饱和土壤入渗率的双水头

法,首先在水头  $H_1 = 5 \text{ cm}$  的作用下获得第一个稳定入渗量  $Q_1$ ,然后再提升供水量测系统的通气管,施加第 2 个水头  $H_2 = 15 \text{ cm}$ ,获得第 2 个稳定入渗量  $Q_2$ ,利用 (6) 和 (7) 式求取土壤的饱和入渗率  $K_{fs}$  和非饱

和入渗通量  $H_n$ 。对于少数点由于各种原因,这 2 个水头的稳定入渗量值配合不好,采用了单水头的计算方法,计算时  $T$  采用了相同利用方式和相同层次土壤,且 2 个水头稳定入渗量值配合较好的同类型土壤试验点计算出的  $T$  值,试验结果见表 2

由表 2 可见,试验前土壤含水量除 2、6、9 号试验点外,其它各点 0-5 cm 土层的土壤含水量都低于 20-25 cm 土层。各试验点 15 cm 水头的稳定入渗量  $Q_2$  都高于 5 cm 水头的稳定入渗量  $Q_1$ ,两者的匹配初

看起来都很好。各试验点的土壤饱和入渗率  $K_{fs}$  差别很大,最大的是 6 号点 0-5 cm 表层土壤,其次是 7、5 号点表层土壤,它们的数值分别为 351、134 和 121,最小的为 1 号点,0-5 cm、20-25 cm 土层的土壤  $K_{fs}$  数值分别为 0.48 和 0,绝大多数试验点的土壤饱和入渗率  $K_{fs}$  数值都在 10~40 之间。非饱和入渗通量  $Q_m$  最大的也是 6 号、7 号试验点 0-5 cm 表层土壤,1 号点 0-5 cm 土层的土壤最小。15 号点 0-5 cm 表层土壤的  $\alpha$  值最大,1 号点 20-25 cm 土层的土壤  $T$  值最小。

表 2 Guelph 法测定的土壤饱和入渗率  $K_{fs}$

序号	地点	土地利用状况	土层 /cm	土壤含水量 /%	$Q_1 /$ ( $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	$Q_2 /$ ( $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	$K_{fs} /$ ( $10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$Q_m /$ ( $10^{-7} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )	$T /$ ( $\text{m}^{-1}$ )
1	黄柏村	网纹层裸露的 侵蚀劣地	0-5	14.66	5.78	13.48	0.48	15.97	0.30
			20-25	26.44	0.17	0.17	0	0.30	0
2	水保区	荒草地,上坡, 覆盖度约 60%	0-5	21.42	1.39	2.44	1.84	0.14	128.11
			20-25	20.99	36.58	59.68	40.53	13.69	29.60
3	水保区	荒草地,下坡, 覆盖度约 60%	0-5	19.84	6.97	17.33	11.16	0.87	128.01
			20-25	22.41	9.63	15.40	10.12	4.25	23.63
4	水保区	胡枝子,上坡, 覆盖度约 85%	0-5	24.42	3.02	4.18	2.04	2.76	7.37
			20-25	25.26	5.81	11.55	6.45	3.58	18.01
5	水保区	胡枝子,下坡, 覆盖度约 85%	0-5	24.33	119.35	188.65	121.58	57.93	20.99
			20-25	24.48	17.33	26.95	16.88	9.38	17.99
6	水保区	象草地,上坡, 覆盖度约 95%	0-5	22.42	400.40	600.60	351.23	364.91	13.26
			20-25	20.21	8.50	17.33	11.04	2.83	39.01
7	水保区	象草地,下坡, 覆盖度约 95%	0-5	22.65	138.6	254.10	134.27	103.28	13.01
			20-25	23.57	11.55	19.25	13.51	3.43	39.33
8	水保区	旱耕坡地 上坡	0-5	21.40	28.88	48.13	33.78	8.60	39.29
			20-25	22.89	13.70	34.65	21.23	3.32	64.01
9	水保区	旱耕坡地, 下坡	0-5	32.79	44.28	71.23	47.28	18.79	25.17
			20-25	1.02	13.48	23.10	16.88	2.62	64.31
10	东塘村	旱耕坡地, 上坡	0-5	15.36	11.55	23.10	15.85	2.14	74.01
			20-25	21.94	11.55	23.10	15.66	2.45	64.01
11	东塘村	旱耕坡地, 中坡	0-5	15.77	7.70	13.48	10.14	0.88	115.71
			20-25	20.50	23.10	40.43	30.40	2.65	114.68
12	东塘村	旱耕坡地, 中坡	0-5	18.46	86.63	142.45	97.93	29.99	32.66
			20-25	20.30	15.40	23.10	13.51	10.19	13.26
13	三分场	荒坡裸地, 无植被	0-5	14.51	13.48	34.65	4.90	32.70	1.50
			20-25	17.71	3.60	11.55	4.93	3.79	13.01
14	六分场	荒草地,上坡,植 被覆盖度约 55%	0-5	8.32	15.40	17.33	3.39	22.80	1.49
			20-25	13.25	1.39	1.51	0.21	2.18	0.97
15	三分场	荒草地,下坡,植 被覆盖度约 65%	0-5	16.67	19.25	40.43	6.11	40.76	1.50
			20-25	19.70	26.92	48.13	37.21	0.87	426.21
16	六分场	旱耕坡地, 上坡	0-5	11.26	11.55	17.33	10.14	7.63	13.29
			20-25	15.92	32.73	55.83	40.53	6.94	58.43
17	六分场	旱耕坡地, 中坡	0-5	9.29	7.55	13.70	9.03	2.66	34.01
			20-25	17.05	11.55	15.40	6.75	11.85	5.71
18	六分场	旱耕坡地, 下坡	0-5	12.01	19.25	32.73	23.65	4.31	54.86
			20-25	16.95	32.73	61.60	39.55	12.36	32.01

注: 试验 1-12 号为第四纪红色黏土发育的土壤, 13-18 号为红砂岩发育的土壤。

### 3.2 坡地上不同坡位土壤的饱和入渗率 $K_{fs}$

在第四纪红色黏土发育的土壤试验点中,1号试验点是侵蚀裸地,原有的土壤层已几乎侵蚀殆尽,带有网纹层的母质层已出露,从土壤饱和入渗率  $K_{fs}$  的比较来看,其  $K_{fs}$  值是最小的,而且在所有的试验点中也是最小的。但在红砂岩发育的土壤中,13号裸地土壤的  $K_{fs}$  值并不是最小,而是14号荒草地土壤。上述2个裸地试验点(1号和13号)的  $K_{fs}$  值差别很大,而主要原因在于前者已几乎没有土壤层,而后的土层较厚,土壤母质不同可能也是其中原因之一,这两者结合表明土壤的入渗性能与土壤自身的特性密切相关,而土壤的利用方式以及土壤所处的坡位也是影响因子。在同种母质和同种利用方式下,由于土壤在坡地上所处的位置不同,土壤的  $K_{fs}$  值差别明显。土壤母质为第四纪红色黏土的草地(2,3,6,7号)或薪炭林地(4,5号)都在同一坡地上,除6,7号人工种植的象草地外,将2号与3号的自然荒草地和4号与5号的薪炭林地的0-5cm表层土壤的  $K_{fs}$  值分别比较后发现,上坡土壤的  $K_{fs}$  值都小于下坡土壤。8-12号是第四纪红色黏土发育的旱耕地,其中的8号与9号在同一坡地上,经比较后发现,上坡土壤的  $K_{fs}$  值也是小于下坡;10-12号在同一坡地上,对0-5cm表层土壤的  $K_{fs}$  值比较结果表明,下坡 > 上坡 > 中坡,下坡土壤的  $K_{fs}$  值最大。

14号、15号是在同一坡地上红砂岩发育的荒地土壤,对0-5cm表层土壤的  $K_{fs}$  值比较后,也表明了上坡土壤的  $K_{fs}$  值小于下坡。16-18号也是红砂岩发育的且处在同一坡地上的旱耕地土壤,经比较后表明,0-5cm表层土壤的  $K_{fs}$  值同样是下坡 > 上坡 > 中坡,下坡土壤的  $K_{fs}$  值最大。

总之,对上述不同坡位土壤饱和入渗率的分析研究表明,土壤的入渗性能与土壤自身的特性关系密切,而土壤的利用方式以及土壤所处的坡位对土壤的渗透性影响也很明显。在试验的两种母质土壤中,不论其土地利用方式如何,坡地0-5cm表层土壤  $K_{fs}$  值总是下坡最大,而旱耕坡地的表层土壤  $K_{fs}$  值的大小顺序为下坡 > 上坡 > 中坡。20-25cm土层土壤并没有明显的规律。6号、7号点的试验结果与上述结论并不完全一致,笔者认为这2个试验点可能相距较近,充其量只能算作是重复试验。

### 3.3 试验方法讨论

从本次试验的结果来看,Guelph入渗仪在我国南方地区是适用的,它克服了其它方法研究土壤入渗时入渗水头的不稳定性及定性的弱点,特别是在田间能够直接进行定量测定,更能反映田间土壤的实际情

况,且操作简便,移动方便。但在使用中也发现存在不足之处。由于不同层次以及面上分布的土壤差异性很大,这对于某个入渗试验点来说,如直接参与测定的土壤入渗面越大,其试验结果对所测定土壤的代表性也就越好,而Guelph入渗仪入渗半径小于5cm,远小于双环法以及人工模拟降雨法,因而其代表性相对差一些。又因为我国南方地区土壤比北方较为黏重,使这种差异性更为明显,因此,该方法在我国南方地区使用时必须注意到这一点。因此,欲充分利用Guelph入渗仪的优势来研究我国南方土壤的渗透性,笔者认为其关键在于多做重复试验,只有这样才能使所做的试验研究工作更具有实际意义。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 史学正,于东升,邢廷炎.用田间实测法研究我国亚热带土壤的可蚀性  $K$  值[J].土壤学报,1997,34(4): 399-305.
- [2] 于东升,史学正,吕喜玺.低丘红壤区不同利用方式的  $C$  值及其可持续性评价[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(1): 71-76.
- [3] Zingg A W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff[J]. Agric. Eng., 1940, 21: 59-64.
- [4] Azooz R H, Arshad M A. Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage system[J]. Canadian Journal of Soil Science[J], 1996, 76: 143-152.
- [5] Balck Singh D S Chanasyk, McGill W B. Soil hydraulic properties of an Orthic Black Chernozem under long-term and residue management[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1996, 76: 63-71.
- [6] Gimenez D, Allmaras R R, Huggins D R, Nater E A. Prediction of the saturated hydraulic conductivity-porosity dependence using Fractals[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 61: 1285-1292.
- [7] 杨诗秀,雷志栋.田间土壤水分通量确定方法的研究.水利学报,1993(7): 1-9.
- [8] 杨诗秀,段新杰.田间测定土壤水分参数的研究[J].灌溉与排水,1991,10(2): 43-47.
- [9] 吕喜玺,史学正,于东升.用人工模拟降雨研究南方低丘土壤的渗透[J].水土保持学报,1995,9(3): 1-8.
- [10] 杨艳生,梁音,等.缓丘坡耕地模拟降雨及土壤通透性研究[J].土壤学报,1991,28(3): 237-247.
- [11] 陈一兵, Kim Troubwt.紫色土渗透性的对比研究[J].水土保持通报,1997,17(2): 40-44.
- [12] 龚子同主编.中国土壤系统分类(修订方案)[M].北京:中国农业科技出版社,1995. 1-218