

土壤入渗过程中空气压力变化规律的研究*

李援农 吕宏兴 林性粹

(西北农业大学水利与建筑工程学院, 陕西杨陵 712100)

摘要 用测压入渗仪对重粉质粘土进行了模型试验, 同时根据试验结果, 分析研究了垂直一维均匀土壤内气阻压力的变化规律。

关键词 水平畦灌, 重粉质粘土, 垂直一维土壤入渗, 土壤气阻压力

中图分类号 S275.3

水平畦灌是一种新的地面灌水方法, 灌水时需采用较大的入畦单宽流量, 以使水流从畦口到畦尾的推进在较短的时间内完成。由于水流快速推进过程中土壤空隙内的大量空气来不及排出而受到压缩, 受压缩的空气将对水向土中入渗过程产生阻滞作用。因此, 在研究水平畦灌法的水流推进及水向土中入渗的运动规律时, 必须考虑土壤空气阻力的影响。对于一般地面灌水方法水流推进慢, 空气阻压力可以忽略^[1]。

1 试验材料和试验装置

1.1 试验材料

试验用土取自西北农业大学灌溉站农田, 其颗粒组成: 粒径 $<0.050\text{ mm}$ 的土占土粒重96%; 粒径为 $0.050\sim0.005\text{ mm}$ 的土粒占总土粒重76%; 粒径 $<0.005\text{ mm}$ 的土粒占土粒总量的20%(比重计法); 土壤干容重为 2.715 g/cm^3 (比重瓶法), 属重粉质粘土^[2,3]。

1.2 试验装置

试验测压入渗仪装置由供水器、实验土柱和测压管排3部分组成, 如图1所示。它具有能准确测定入渗过程中土壤内空气压力大小, 而又不会引起土壤容重、空气压力等的变化, 并可同时测定其入渗速度和入渗峰面位置等特点。

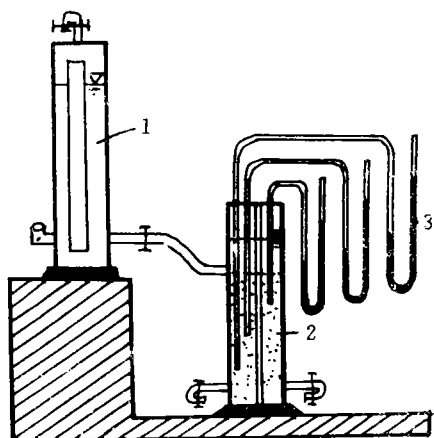


图1 测压入渗仪结构示意图
1. 供水器; 2. 实验土柱; 3. 测压管

2 试验处理设计

2.1 试验因素及水平

为研究均质裸土表面一定水层下, 垂直一维入渗中的土壤空气压力的变化规律, 本研究选择了干容重、初始土壤含水率(简称含水率)、土面上水层深度和灌水量4因素, 其因素水平如表1所示。

收稿日期: 1994-11-30

* 国家自然科学基金资助项目

表 1 试验因素水平表

X_{xi}	地面水深(cm)	干容重(g/cm ³)	含水率(%)	灌水定额(m ³ /hm ²)
+r	3	1.30	4	600
1	6	1.35	8	825
0	9	1.40	12	1050
-1	12	1.45	16	1275
-r	15	1.50	20	1500
Δ_j	3	0.05	4	225

3.2 试验处理设计

为了研究垂直一维土壤入渗过程中空气阻力的形成、持续及消散规律,以及土壤空气压力在土壤内各深度处的分布情况,上述 4 因素采用二次旋转回归正交组合方法设计。

3 试验结果及其分析

3.1 恒定水头情况

3.1.1 土壤干容重不同时空气压力变化规律 试验土壤干容重选用表 2 的水平。以土壤含水率 12%,土面水层深度 9 cm,干容重不同的试验结果(图 2)为例分析如下:干容重为 1.30 g/cm³ 时,在最初 3 min 内,土壤空气压力(以下简称压力)增长很快;当压力达到 1392.54 Pa,土壤释放空气,从而促使压力降低到 1274.86 Pa;之后压力逐渐升高,又达到 1372.93 Pa,再次放气;入渗时间约 20 min 以后,压力在 1176.80 Pa 附近上下波动,并间断释放空气,入渗过程中压力一直保持连续变化规律。干容重为 1.40 g/cm³ 时,在入渗 22 min 内,压力一直升高,达 2196.69 Pa 时开始释放空气,压力降低到 1931.91 Pa,又逐渐升高。入渗时间在 28 min 时,压力达最大值 2216.30 Pa,释放的空气经土壤表面逸出,当压力降低到 1471.00 Pa 时又开始升高。入渗时间大约在 40 min 之后,压力在 1765.20 Pa 上下微小波动(作者把这一压力称稳定空气压)。

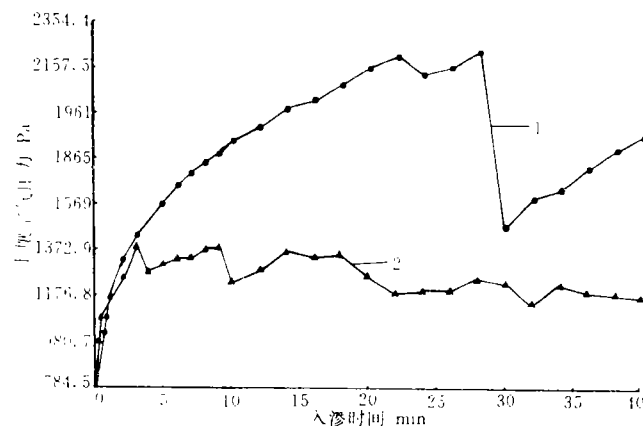


图 2 干容重不同的入渗情况

1. $r_d = 1.40$ (g/cm³) $\theta = 12$ (%) $H_w = 9$ (cm)

2. $r_d = 1.30$ (g/cm³) $\theta = 12$ (%) $H_w = 9$ (cm)

从图 2 看出,土壤干容重越大,空气压力最大值越大,所用时间也越长,并且同入渗历时的压力也大。这是因为,土壤干容重较大时,土壤相对较密度,土壤内空气的运动受到入渗水阻力作用的同时,也受到较多土壤颗粒的阻力作用,使土壤内空气移动和释放空气更困难,因而排气压力和土壤内空气压力增大。

3.1.2 土壤初始含水率不同时空气压力变化规律 通过试验,获得了含水率 4%、8%、12%、16%和 20% 5 个水平的试验结果。其中含水率 8%和 16%的试验结果见表 2。

由表 2 看出,土壤含水率较小时入渗过程中空气压力较大,排气压力和最大空气压力

也较大,这是因为土壤含水率越小,土壤基质势越小,毛管力越大,入渗越快^[4]。

表 2 含水率不同的试验结果

初始含水率(%)	最大空气压力		最大排气压力		稳定空气	
	h_{max} (Pa)	时间(min)	h_{max} (Pa)	时间(min)	h_{max} (Pa)	时间(min)
8	1941.72	32	902.21	32	1176.80	44
16	1117.96	28	294.20	35	706.08	37

3.2 不同土面水层深度空气压力变化规律

以土面水层深度 3 cm 和 9 cm 为例(图 3)分析如下:土面水层越深,土壤内的空气压力、排气压力和最大空气压力越大。

由图 3 看出,土面上水层深度越大,入渗过程中土壤最大空气压力、最大排气压力及近似稳定的空气压力均较大。这是因为,土面水层深度相对较大时,土壤释放空气时除了要冲破入渗水和土壤颗粒的阻力外,还冲破较厚的水层,因此土壤的排气压力较大,最大空气压力和近似稳定时压力也较大。

3.3 水层消退时的土壤空气压力变化规律

当灌水定额不能保证供水器充分供水,入渗是土面上水层消退情况下的入渗,水层消退时的土壤空气压力变化测试的两种情况是:①

当供水器的供水量与建立土面水层用水量之和为灌水定额时,供水器停止供水,入渗完全是土面水层消退情况下的入渗,观测入渗过程中土壤空气压力及变化;②灌水定额等于土面水层深度建立时所用水量,入渗完全是土面水层消退情况下的入渗,观测入渗过程中土壤空气压力及变化。结果见图 4。

第一种消退情况(图 4),水层消退时空气压力并不是呈降低趋势,压力大小与原土面水层深度有关,消退过程中土壤释放空气,压力降低,之后又缓慢升高,直到下周期放气开始;当土面水层消退完时,土壤空气压力很快消失。第二种消退情况(图 4),土面水层消退过程中压力变化规律同第一种情况。

3.4 入渗过程中土壤空气压力分布规律

试验时作者用 3 个测压管分别观测了土壤内 10 cm、20 cm 和 30 cm 三个深度的空气压力,结果如图 5 所示。土壤不同深度处的空气压力值基本相等,并具有同时升高和降低

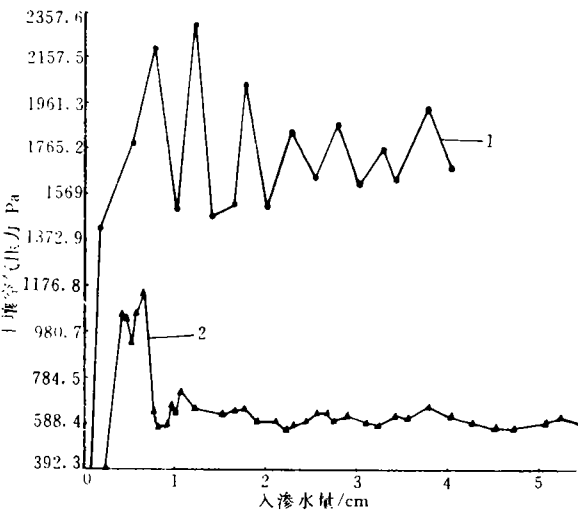


图 3 土面水层深度不同的空气压力~入渗水量曲线
1. $h_w=9$ (cm) $r_d=1.40(g/cm^3)$ $\theta=12(\%)$
2. $h_w=3$ (cm) $r_d=1.40(g/cm^3)$ $\theta=12(\%)$

的特点,呈现出同一规律变化。这是因为,在封闭的土壤内,土面上水层把大气与存在于土壤内的空气分隔开,土壤内空气呈一整体,相互连通,在入渗水压缩土壤内空气时,3个位置处的压力同时升高,当土壤经整体表面释放空气,压力同时降低。因此3个位置处的空气压力呈现出同一变化规律。但是当土壤内某一深度处有一致密层时,致密层使土壤分成“均匀+致密+均匀”,致密层下的土壤空气压力在入渗过程中有时会很大,试验中测得的最大空气压力达 2.35×10^4 Pa 水柱高。这一现象出现时,土壤入渗基本停止。造成这种现象的主要原因是当水入渗到致密层时,水与致密层阻断下层土壤向上排气,土壤内的连通性被破坏,入渗时致密层以下的土壤空气压力不断升高。

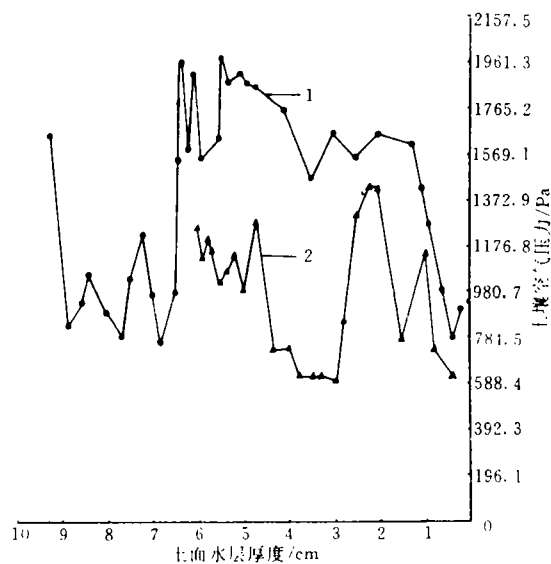


图4 水层消退过程中土面水层深度~空气压力曲线

1. $H_w = 6.0(\text{cm})$ 灌水定额 $m = 8.25(\text{cm})$

$r_d = 1.40(\text{g}/\text{cm}^3)$ $\theta = 8(\%)$; 2. $H_w = 10.5(\text{cm})$

灌水定额 $m = 10.5(\text{cm})$ $r_d = 1.40(\text{g}/\text{cm}^3)$ $\theta = 12(\%)$

4 结 论

1)入渗过程中土壤空气压力与很多因素有关,如果某一因素使土壤排气困难,则入渗过程中土壤空气压力就较大;2)入渗过程中均质土壤内各点的空气压力基本相等,并呈同一变化规律;3)土面水层消退过程中土壤空气压力变化规律与恒定土面水层深度时入渗变化规律接近,当土面水层消退完时,土壤内空气压力很快消失。

参 考 文 献

- 1 A. H. 布达戈夫斯基著;徐在庸译. 水向土中入渗. 北京:水利出版社,1957
- 2 武汉水利电力学院主编. 土力学及岩石力学. 北京:水利出版社,1982
- 3 土工试验规程,SD128-84. 北京:水利电力出版社,1987
- 4 雷志栋等编. 土壤水动力学. 北京:清华大学出版社,1987

Regularities of Air Pressure Changes in Soil Infiltration

Lin Yuannong Lu Hongxin Lin Xincui

(The College of Hydraulic and Architectural Engineering, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract The experiment on the heavy luvic clay was conducted with the infiltrometer, with the results of which, the regularities of the air pressure change in vertical homogeneous soil were analyzed.

Key words the level basin irrigation, the heavy luvic clay, vertical homogeneous soil infiltration, the soil air pressure