

土壤积水入渗的气阻变化及对入渗参数的影响

李援农 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 在田间采用筒测法和田测法进行积水入渗土壤气阻变化规律及其机理的试验研究, 结果表明, 积水入渗过程中土壤内空气有一定压力, 这一压力对入渗水流产生阻力作用, 同时会减小入渗速度。文中列出了气阻减小入渗指数和系数的关系式。

关键词 积水入渗, 土壤空气压力(气阻), 重粉质粘土

中图分类号 S275.3

土壤入渗过程中存在土壤空气压力, 其对入渗起阻力作用, 但常常被忽略。作者在研究水平畦灌溉技术要素最优组合时发现, 这一阻力作用会减小入渗速度。特别是在田间积水入渗过程中会引发一些实际问题, 如水平畦灌溉时由于空气阻力作用使得畦首、尾的入渗水量差值减小, 从而提高了灌水均匀度; 或由于土壤空气阻力作用而导致暴雨径流量或侵蚀量加大等。

国内外许多学者应用一维土柱研究了土壤空气压缩后入渗速度的减小量, 但得出的结论差异很大。湿润密闭土柱所用时间约是一端敞开而与大气连通土柱的2倍^[1]; 未安装排气管的土柱与装有排气管的相比, 入渗速度接近2:1, 当土壤内空气压力约达2451.5 Pa时, 土壤表面立即释放空气^[2]; 土壤表面积水或在高强度降雨中心区域, 土壤气阻会加大地面径流和土壤侵蚀^[3]; 土壤空气压力大约为土壤表面积水深度的2倍, 土壤空气阻力减小入渗水量14%~22%, 粗质地土壤与细质地土壤相比, 减小入渗水量更多^[4,5]。但是, 田间土壤并非垂直一维土壤, 为此, 笔者在上述研究的基础上, 进行了筒装原状土筒测入渗和原状土田测积水入渗的实验研究。

1 材料及方法

1.1 筒装原状土积水入渗筒测法

实验装置由供水、测压及实验铁皮筒三部分组成。供水装置应用马里奥特筒自动供水, 测压装置由6支测压管组成(图1), 分别按顺序插入土壤表面下10, 30, 50, 70, 30和70 cm深处; 实验铁皮筒直径为60 cm, 长分别为80, 100, 120和220 cm。观测数据为累积入渗量、地面上水层深、土壤空气压力, 并同时测记土壤空气气泡逸出。

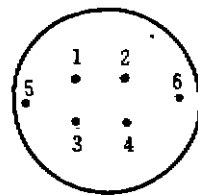


图1 测筒内测压管平面布置

收稿日期 1996-12-25

课题来源 国家自然科学基金资助项目

作者简介 李援农, 男, 1962年生, 讲师, 硕士

实验用土属重粉质粘土。比重为 2.715 g/cm^3 (比重计法测量)。

1.2 原状土积水入渗田测法

实验田块为 4 块 $100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$ 的水平畦田, 四周围 20 cm 土埂, 供水仍用马里奥特筒。测压装置由 6 个测压管组成, 中间 4 个分布及埋深同筒测法, 另两个对顶布置。田块内土壤沿深度 10, 30, 50 和 70 cm 对应干容重分别为 $1.30, 1.68, 1.58$ 和 1.66 g/cm^3 。

2 结果与分析

2.1 筒测法积水入渗

2.1.1 积水入渗水层深恒定时的气阻变化 筒测法积水入渗时土壤下部和侧面不会有土壤空气逸出。经测定, 该压力值可在 $588 \sim 2646 \text{ Pa}$ 。积水水层深度小, 则压力值小, 反之则较大。入渗时湿润峰发展到下部土层之前, 土壤内空气经上部土层逸出并形成通道, 水层深度不变时, 土壤内空气压力呈上升趋势。

2.1.2 土壤内空气压力分布 同一测筒内不同深度处的土壤空气压力测定结果(图 2)表明, 随土壤水下渗, 压力升高, 到达某值后, 由于土壤内空气经土壤孔隙由表面逸出, 随之压力降低, 入渗过程中土壤空气压力呈连续状态。不同土壤深度压力变化稍有差异, 接近土层界面处土壤空气压力变化更为剧烈。当湿润峰通过界面后, 入渗过程发生变化。湿润峰到达界面, 界面上土壤内毛管力下降, 含水率升高。由于土壤空气缺乏直接上移路径, 底部土壤内空气受到压缩。

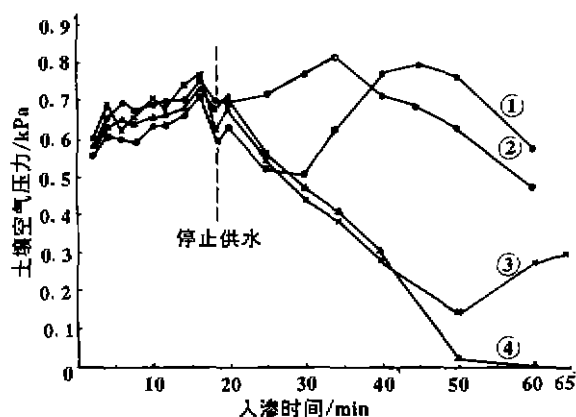


图 2 不同深度处的土壤空气压力

① 10 cm; ② 30 cm; ③ 50 cm; ④ 70 cm

通常田间土壤为层状, 入渗可分 3 个阶段。第一阶段为均质土层内入渗情况; 当土壤入渗至界面处时, 第二阶段开始, 第二阶段为土壤入渗滞留于界面处, 入渗水流压缩本层内土壤空气, 并接受下层土壤空气补给, 压力升高, 这些受压缩的土壤空气找寻土壤大孔隙路径, 经土壤表面逸出, 压力剧烈降低, 伴随界面处土壤水分含量升高; 当含水量升高到一定值后, 开始第三阶段入渗, 即穿过土壤界面。图 2 中曲线①和②就证明了这一点。此外, 深层土壤空气压力变化略滞后于浅层土壤。如图 2 中曲线①压力峰值在 45 min, 而曲线③则在 64 min。这是由于土壤空气运动需克服更长的运动阻力所致。

2.1.3 积水入渗消退时的气阻变化 图 3 表明, 土壤内空气压力随水层消退而消退, 大约在水层消退完后 30~100 min, 空气压力才完全消失。原积水深度越大, 消退时间越长, 且界面处的土壤空气压力消退滞后于该层土壤内的空气压力。

2.2 田间原状土积水入渗

2.2.1 灌水次数对气阻的影响 图 4 表明, 第一次灌水比第二次灌水气阻变化剧烈, 其

值也小。这是由于初始灌水后土壤物理结构变得更为致密所致。

2.2.2 边界条件对气阻的影响 由图5可看出,畦田边界处土壤内空气压力略低于畦田中心196~490 Pa。这是由于畦田边界处土壤侧面逸气所致。中心区域所测土壤空气压力略低于室内试验,但很接近。因此,可将室内试验与室外试验结果结合起来,采用考斯加科夫模型回归,二次旋转回归正交组合设计试验研究,得出气阻对入渗影响的近似数学式为

$$Y = Kt^{1-\alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{式中 } K = & 0.575 + 0.1642x_1 + 0.0146x_2 + 0.052x_3 - 0.033x_4 - 0.044x_1x_2 - 0.095x_1x_3 \\ & - 0.099x_1x_4 - 0.018x_2x_3 + 0.054x_2x_4 - 0.043x_3x_4 - 0.028x_1^2 - 0.099x_2^2 \\ & + 0.065x_3^2 - 0.031x_4^2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} 1-\alpha = & 0.654 - 0.091x_1 - 0.031x_2 + 0.082x_3 - 0.009x_4 + 0.025x_1x_2 + 0.019x_1x_3 \\ & - 0.018x_1x_4 + 0.028x_2x_3 + 0.009x_2x_4 - 0.084x_3x_4 - 0.032x_1^2 - 0.074x_2^2 \\ & - 0.051x_3^2 - 0.019x_4^2 \end{aligned} \quad (2)$$

x_1, x_2, x_3, x_4 分别为二次旋转回归正交组合方案中的土壤干容重、含水率、土壤表面上水深和土壤空气阻力的对应水平值。

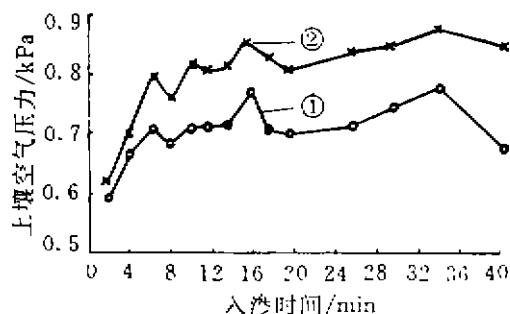


图4 不同灌水次数对气阻变化的影响

①第一次灌水; ②第二次灌水

$H_w = 5$ cm; 测压深度为30 cm

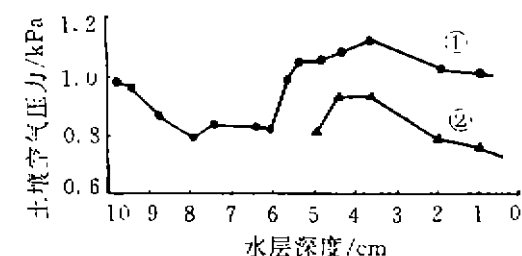


图3 不同积水水层消退时的观测结果

① $H_{w0} = 10$ cm; ② $H_{w0} = 5$ cm

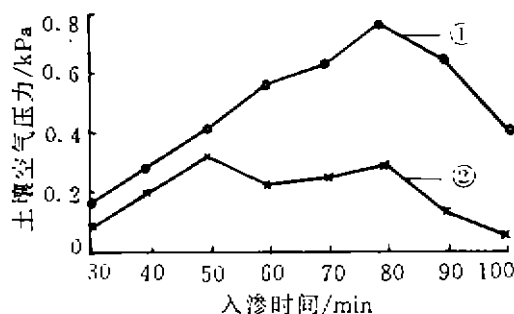


图5 边界条件对气阻的影响

①中心区域; ②边界处

测压深度30 cm

3 讨论

积水入渗条件下土壤存在空气压力,对入渗起阻力作用。而空气阻力可以提高积水灌溉时的灌水均匀度,但又增加了暴雨径流量。通过此项研究,可以为灌溉实践提供更为可靠的入渗指数和系数,也可以为水土保持提供一条减小径流量的方法。因此,该研究结果对指导节水灌溉和水土保持实践有一定实际意义。使用(1)、(2)式时,应对应各因素及其

水平值。对于水土保持来讲,可以想法改变土壤条件,使气阻减小,入渗量加大,从而减小径流量。

参 考 文 献

- 1 Power W L. Soil water movement as affected by confined air. *Agric J Res*, 1934, 49: 1125~1133
- 2 Horton R E. An approach toward a physiol interpretation of infiltration capacity. *Pro Soil Sci Soc Am*, 1941, 5: 399~417
- 3 Gburek W J, Hendrick R L, Rogowski A S et al. Predictability of effect of a several local storm in pennsylvanica. *J Appl Meteorology*, 1977, 16(2), 136~144
- 4 李援农, 林性粹, 吕宏兴. 恒定土壤空气阻力对土壤入渗的影响. *西北农业大学学报*, 1995, 23(3), 138~142
- 5 李援农, 吕宏兴, 林性粹. 土壤入渗过程中空气压力变化规律的研究. *西北农业大学学报*, 1995, 23(6), 72~75

Soil Air Resistance Changes of Accumulated Water Infiltration and Their Effects on the Infiltration Parameters

Li Yuanlong Lin Xingcui

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

Abstract In this paper, with the tube measurement and field measurement, the air resistance changes of accumulated water infiltration and their mechanism have been studied. The results show that certain air pressure in soil exists during the infiltration process, inhibits the infiltration, and slows down the infiltration speed. Also, this paper works out the equation between the infiltration index and the coefficient when air resistance decreases.

Key words accumulated water infiltration, soil air pressure (resistance), heavy silt clay