

土壤空气阻力对水平畦灌溉的影响

S275.3

李援农¹, 林性粹¹, 杨江涛¹, 王亚锋¹, 程 斌² ✓

S152.6

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100; 2 杨凌职业技术学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 针对目前水平畦灌设计中均未考虑土壤空气阻力影响的问题, 依据试验研究结果, 利用考虑空气阻力影响时的入渗参数进行了水平畦灌设计, 所得结果与不考虑空气阻力时的水平畦灌设计结果相比较, 设计灌水定额存在 18.61% 的水量浪费。

[关键词] 水平畦灌; 土壤空气阻力; 减渗效应; 节水灌溉

[中图分类号] S273.5 [文献标识码] A

为了保证水平畦田的水流推进在有效的灌水时间内完成, 灌溉时通常采用较大的入畦单宽流量、快速推进水流实施灌溉, 以保证畦田灌水具有良好的灌水均匀度。但是, 快速推进的水流将很快在畦田表面形成水层, 这一水层在土壤入渗的过程中阻止土壤内空气的逸出, 使得来不及排出的土壤空气被禁锢, 从而产生剩余土壤空气压力^[1~3]。这一压力对入渗水流产生阻力作用, 减小入渗水量约 14%~22%^[4,5]。因此, 通常称这一压力为土壤空气阻力。

土壤空气阻力将减小土壤的入渗速度, 促使水平畦灌的田间灌溉水流运动速度加快, 田间灌水水流的推进时间相应缩短, 使得水平畦田首尾的入渗量差值相应减小, 因此, 必将提高水平畦田的灌水均匀度; 但目前水平畦灌溉实践均忽略这一有利的影响, 按照不考虑空气阻力影响的土壤入渗参数所设计的水平畦灌将使得灌水定额偏大; 为了更准确的计算水平畦灌的水流推进速度和灌水量, 笔者利用土壤空气阻力对入渗影响和水平畦灌技术要素组合的试验研究结果, 对水平畦灌的水流推进速度和灌水量做了适当的改正, 以期为准设计灌水定额, 更充分地利用灌溉水源为节水灌溉服务。

1 土壤空气阻力对入渗的影响

由于水平畦灌的灌溉用水常以较大的单宽流量进入田间, 使得灌水区域内土壤中空气的逸出受到限制, 产生禁锢土壤空气压力。这一压力大约为地面上积水深度的 1.5~2.5 倍^[6,7], 入渗过程中有土壤空气逸出时, 压力降低, 之后, 随着入渗的进行, 压力又逐渐升高^[1]; 积水深度大, 则土壤空气阻力大, 而倍数则较小, 反之亦然。并且, 这一阻力对入渗的影响可以归纳为(1)式^[5]:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_1x_2 + a_5x_1x_3 + a_6x_2x_3 + a_7x_1^2 + a_8x_2^2 + a_9x_3^2 \quad (1)$$

式中, Y 为考斯加可夫公式中的 K 值或 $(1-a)$ 值, 可利用表 1 和(1)式求得; a_i 为对应各

[收稿日期] 1999-06-29

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(59679026); 国家重大科技产业工程项目(99-021-01-02)

[作者简介] 李援农(1962—), 男, 副教授, 硕士。

项的系数; x_1 为土壤干容重水平值; x_2 为土壤含水率水平值; x_3 为地面上积水深度水平值。各因素水平如表2所示。

表1 不同土质时(1)式对应各项系数表

Y	土壤类型	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
1- α	重粉质粘土	0.642	-0.006 1	-0.003 5	-0.020 1	-0.020 0	0.094 1	-0.030 5	-0.061 0	-0.044 0	0.031 0
	壤 土	0.574	-0.004 8	-0.014 6	-0.004 1	0.004 1	0.080 4	-0.010 4	-0.049 0	-0.035 1	0.026 6
	粉沙土	0.500	-0.033 4	-0.004 8	-0.006 0	-0.006 0	0.044 4	-0.002 3	-0.012 4	-0.002 3	0.004 9
K	重粉质粘土	0.563	0.011 2	0.010 3	-0.022 5	-0.022 5	-0.194 6	0.004 8	0.147 4	-0.064 4	0.103 2
	壤 土	0.624	0.168	0.017 2	-0.039 1	-0.039 1	-0.244 6	0.006 1	0.254 0	-0.025 2	0.073 4
	粉沙土	0.780	0.028 3	0.065 4	-0.077 0	-0.077 0	-0.275 1	0.073 2	0.259 4	-0.064 4	0.680

注:K 和 1- α 为考斯加可夫公式中的入渗系数和入渗指数。

表2 各因素水平表

水平值	$x_1/$ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	$x_2/$ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$x_3/$ cm	水平值	$x_1/$ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	$x_2/$ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$x_3/$ cm
+r	1.45	60	10.0	-1	1.29	140	4.4
+1	1.41	80	8.6	-r	1.25	160	3.0
0	1.35	110	6.5				

2 水平畦灌溉中空气阻力对水流推进的影响

2.1 空气阻力对水平畦灌溉中入渗参数的影响

由于禁烟土壤空气压力减小土壤入渗速度,因此,考虑气阻影响的水平畦灌设计,实际上是水平畦灌设计时考虑禁烟土壤空气压力对入渗的影响。土壤干容重、含水率及地面上积水深度等各因素对入渗的影响及其交互影响如(1)式所示^[4]。应用时可根据土壤性质确定土壤干容重、适宜土壤含水率或灌水时的土壤含水率下限;地面上积水深度通常采用5~10 cm;根据上述确定的数据,代入(1)式(代入时注意对应因素及水平),从而求得对应于该灌水实际的,考虑禁烟土壤空气压力或空气阻力时的入渗系数K值和1- α 值。

2.2 参数的合理选择

要选择合适的土壤和作物特征参数,如K, α 和田面糙率n等。计算表明,自然参数的变化引起的计算结果的差异远大于选择不同的计算方法或计算步长所引起的差异,因此,在设计水平畦灌溉时必须考虑土壤空气阻力对入渗的影响。

合理的其他要素确定,如宽长比、土地平整程度、不同生育阶段糙率和水流的横向扩散问题等。

水平畦田间其他要素,入畦单宽流量

$$q_m = Q/B \quad (2)$$

式中, q_m 为入畦单宽流量;Q为入畦总流量;B为畦宽。

2.3 举 例

目前,水平畦灌溉理论均以灌水均匀度DU作为设计标准,即

$$DU = (Z_n \cdot L)/(q_m \cdot T) \quad (3)$$

式中, Z_n 为畦内的最小入渗水深;L为畦田长度;T为灌水时间。

由于畦田坡度为零,因而水平畦灌溉畦尾的入渗水量最小,在充分灌溉中要达到完全满足作物需水要求,应使畦内最小入渗水深等于设计入渗水深,即 $Z_m = Z_d$ 。

现以阶式水平畦灌溉为例,来说明考虑气阻影响时的灌水均匀度。根据(3)式得出:

$$DU = (Z'_m \cdot L' \cdot K') / (q'_{in} \cdot T' \cdot A') \quad (4)$$

式中, L' 为当量长度; K' 为当量宽度; A' 为当量面积。

DU 本身是一个无量纲值,它的大小一旦确定,则可以用任何形式描述^[3]。现以重粉质粘土为例,研究考虑气阻影响时的水平畦灌设计。

设计入渗水深 $Z_d = 10$ cm, 需入渗时间 3.5 h; 田面糙率 $n = 0.15$; 设计均匀度 $DU = 85\%$; 畦田数目 $m = 5$; 来水总量 $Q = 230$ ($L \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$); 入渗指数 $\alpha' = 0.358 + 0.083$ 。

求畦长、畦宽、灌水时间。

即 $Z'_d = 0.9 \times Z_d = 9$ cm; $T' = 2.835$ (h)

$$L' = 0.426 \times T'^{(2/3)} \times Z'^{(7/9)}_d \times n^{(-2/3)}$$

$$= 0.426 \times (2.835 \times 60)^{(2/3)} \times 9^{(7/9)} \times 0.15^{(-2/3)} = 256$$
 (m)

$$Q = (256 \times 9) / (6 \times 170) = 1.26$$
 ($L \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$)

查 $DU' = 0.85 \times 0.9 = 0.765 = 76.5\%$ 的等值线图^[2] ($\alpha' = 0.559$), 用内插法, 在流量控制线内, 允许的最大值为 $L^* = 0.931$ 。

$$L = 256 \times 0.931 = 238.3$$
 m, 取 $L = 238$ m。

当 $L^* = 0.931$ 时, 对应的 $q'_{in} = 3.0$ ($L \cdot s^{-1}$)

所以 $q_{in} = 3.0 \times 1.26 = 3.78$ ($L \cdot s^{-1}$)

畦宽 $B = Q / (m \cdot q_{in}) = 230 / (5 \times 3.78) = 12.2$ (m)

灌水时间 $T = (L \cdot Z_d) / (q_{in} \cdot DU) = (238 \times 0.10 \times 1000) / (3.78 \times 60 \times 0.85) = 123.5$ (min)

使用相同条件, 当不考虑空气阻力影响入渗时, 用同样的计算方法得出:

$$L = 211$$
 m; $B = 11.2$ m; $T = 134.3$ min

由上述计算可知, 考虑气阻影响与不考虑气阻影响相比较, 相同灌溉面积灌水量的比值 f 为:

$$f = (123.5 \times 11.2 \times 211) / (12.2 \times 238 \times 123.5) = 81.39\%$$

2.4 考虑空气阻力影响时的水平畦灌溉

由上述结果可以计算出考虑气阻影响时的灌溉水量为:

$$M_{\text{需}} = (3.78 \times 60 \times 123.5) / (238 \times 1 \times 0.0001) = 117.688 \times 10^4$$
 (L/hm^2) = 1176.88 (m^3/hm^2)

不考虑气阻影响时的灌溉水量为:

$$M'_{\text{需}} = (3.78 \times 60 \times 134.3) / (211 \times 1 \times 0.0001) = 144.357 \times 10^4$$
 (L/hm^2) = 1443.57 (m^3/hm^2)

由上述计算结果可以看出, 气阻对入渗水流的影响达到 266.69 m^3/hm^2 , 即要达到灌水均匀度 $DU = 85\%$, 田间需要灌水量为 1176.88 m^3/hm^2 , 但实际灌水量为 1443.57 m^3/hm^2 , 从而存在了 266.69 m^3/hm^2 的水量浪费, 这对于节水灌溉来讲, 是不可忽视的。

3 结 论

水平畦灌一般适用于中、低透水性土壤,对高透水性土壤来讲,灌水质量较差;当采用阶式水平畦灌方法后,这一问题将会得到解决。但是,水平畦灌由于采用大流量、快速推进水流的方法,使得灌溉田间土壤内空气来不及排出而被禁锢,产生土壤空气阻力,从而使土壤入渗能力下降,提高了田间灌溉的灌水均匀度,也就是说,在相同灌水均匀度情况下,灌溉用水量将会减少,由上边的例子可以看出,考虑气阻影响与不考虑气阻影响相比,灌溉用水量将会下降 18.61%。

[参考文献]

- [1] 李援农,林性粹.土壤入渗过程中空气压力变化规律的研究[J].西北农业大学学报,1995,23(6):72—76.
- [2] Clemmens A, Strelkoff J D. Development of solution for level-basin design[J]. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 1981.
- [3] 郭相平.阶式水平畦灌理论与技术研究[D].陕西杨陵:西北农业大学水利与建筑工程学院,1994.
- [4] 李援农.土壤空气阻力对垂直一维入渗影响的实验研究[D].陕西杨陵:西北农业大学水利与建筑工程学院,1994.
- [5] 李援农,林性粹.均质土壤积水入渗的气阻变化规律及其影响[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1997,(3):88—93.
- [6] 李援农,林性粹.土壤积水入渗的气阻变化及对入渗参数的影响[J].西北农业大学学报,1997,25(3):51—54.
- [7] 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[J].西北农业大学学报,1995,23(6):72—75.

Effect of soil air resistance on level basin irrigation

LI Yuan-nong¹, LIN Xing-cui¹, YANG Jiang-tao¹, WANG Ya-feng¹, CHENG Bin²

(1 College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech
University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2 Yangling Profession Training Institute, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The research discusses the level basin irrigation design concerning the effect of air resistance on infiltration, and obtained a water-saving efficiency of 18.61%.

Key words: lever basin irrigation; soil air entrapment; seepage abate efficiency