

## 根据水流运动过程推求土壤入渗参数 和田面糙率的研究

聂卫波<sup>1,2</sup>, 费良军<sup>1</sup>, 马孝义<sup>2</sup>

(1.西安理工大学水资源研究所, 陕西 西安 710048; 2.西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**以水量平衡原理为基础,提出了畦田尾部闭合条件下利用两组畦灌水运动数据推求土壤平均入渗参数和田面糙率的方法,该方法在确定入渗参数和田面糙率过程中避免了采用难以准确确定的田面水深数据。利用大田畦灌试验对所提方法进行了检验,并将该方法所求土壤入渗参数和田面糙率值代入 WinSRFR 模型中模拟水流运动过程,其与田间实测过程相比,两者具有好的一致性,由此表明该方法能够简单有效地求得畦灌土壤平均入渗参数和田面糙率值。

**关键词:**水量平衡原理;水流运动过程;Kostiakov 入渗公式;入渗参数;田面糙率

**中图分类号:** S275.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0048-05

土壤平均入渗参数和田面糙率是进行地面灌溉设计的重要参数,国内外学者对其进行了大量的研究,提出了多种方法。对于土壤入渗参数,常用双环入渗法测定,但由于土壤的空间变异性,需多点测量才能取得足够的精度;为此众多学者研究利用灌溉水流运动过程来推求土壤平均入渗参数的方法,其可在一定程度上消除土壤的空间变异性对入渗参数的影响。Elliott<sup>[1]</sup>和 Shepard<sup>[2]</sup>分别提出了估算土壤入渗参数的两点法和一点法;费良军<sup>[3]</sup>提出了利用水流推进资料和田面水深数据确定入渗参数的方法;张新民<sup>[4]</sup>以水量平衡原理为基础,利用非线性回归法改进了 Maheshwari 法,减少了反求入渗参数的计算量;Walker<sup>[5]</sup>提出了利用沟灌水流推进时间、径流曲线和消退时间计算入渗参数的方法;Gillies<sup>[6]</sup>采用 IPARM 方法,估算了不同试验数据组合下的土壤入渗参数值;王维汉<sup>[7]</sup>提出了利用水流推进资料线性求解土壤入渗参数的方法;王成志<sup>[8]</sup>利用沟灌地表水流运动特性,研究了沟灌过程中的人渗参数和田面糙率系数;郑和祥<sup>[9]</sup>根据田间实测资料,利用 SIRMOD 模型对小麦畦灌条件下田间土壤入渗参数进行了估算;但以上方法都需将田面水深或糙率值作为已知数据,而实际灌水过程中其值都较难准确获取,且以上研究大多为畦(沟)尾开敞式灌水试验,与我国国情有所不同。对于田面糙率的测定大多通过反推参数法获得,Valiantzas<sup>[10]</sup>和 Li

Zhe<sup>[11]</sup>分别以田间灌水试验为基础,采用水量平衡原理得到了简化的糙率系数计算方法;吴军虎<sup>[12]</sup>基于零惯量模型反推求得膜孔灌溉的田面糙率;李力<sup>[13]</sup>根据田间实测资料,利用优化模型求得3种耕地的田面糙率值,据此建立了3种耕地田面糙率与其主要影响因素之间的关系式;但上述方法需多次试算,计算工作量较大且需将入渗参数作为已知值。因此需寻求一种简化的可同步确定田间平均入渗参数和糙率的方法。王全九<sup>[14]</sup>提出了基于水流推进数据确定土壤入渗参数和田面糙率的方法,但该方法采用 Philip 一项入渗公式,其适用于灌水历时较短的情况;马东豪<sup>[15]</sup>和聂卫波<sup>[16]</sup>同样利用水流推进数据,分别采用 Horton 入渗公式和 Philip 二项入渗公式,克服了文献[14]对长历时灌水不适用的缺点;但以上研究仅利用水流推进数据,而其只是畦灌过程中的一个阶段,历时较短,故利用水流推进数据计算得到的人渗参数值不能代表整个畦灌过程中的值<sup>[17,18]</sup>;Fangmeier<sup>[19]</sup>研究表明采用水流推进数据估算的土壤入渗参数值小于在连续灌溉过程中的值;章少辉<sup>[20]</sup>研究表明采用基于地表水流推进与消退组合数据估算的土壤入渗参数和田面糙率系数模拟畦灌水流运动过程效果最优,但其参数值的估算过程较为复杂,占机时间长。基于此本文以水量平衡原理为基础,采用广泛使用的 Kostiakov 入渗公式,研究畦灌尾部闭合条件下利用两组畦田水流运动过

收稿日期:2010-06-03

基金项目:国家自然科学基金项目(50579064);西安理工大学博士科研启动金资助(106-210916);陕西省重点学科建设资助项目  
作者简介:聂卫波(1981-),男,陕西周至人,博士,主要从事农业水土工程方面研究。E-mail: nwb2000@163.com。

程推求土壤平均入渗参数和田面糙率的方法。与其他方法相比,该法的最大优点在于同时考虑了水流推进和消退过程,并避开了难以准确确定的田面水深数据,且求解过程相对简单,使求得的土壤平均入渗参数和田面糙率值能很好地代表畦灌过程情况。

### 1 理论分析

在畦灌灌水过程中,从水流进入畦田首部开始,水流推进到某一距离时的地表水面线与湿润范围如图 1 所示。

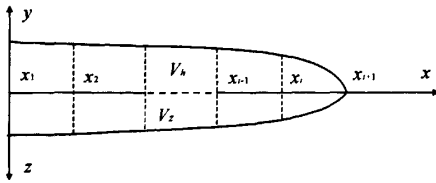


图 1 畦灌地表水面线与湿润范围示意

Fig.1 Conceptual diagram of the surface water line and wet range in furrow irrigation

根据水量平衡原理,由于畦田尾部闭合,故畦灌水流在推进过程中的总水量等于入渗量与地表积水之和,即

$$qt = V_h + V_z \quad (1)$$

式中,  $q$  为入畦单宽流量 [ $\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$ ];  $t$  为灌水时间 (min);  $V_h$  为单位宽度上灌水时储存于地表上的水量 ( $\text{m}^3/\text{m}$ );  $V_z$  为单位宽度上灌水时累积入渗的水量 ( $\text{m}^3/\text{m}$ )。

#### 1.1 入渗参数的确定

由图 1 可知,当水流前锋推进到  $x$  处时,畦田中单位宽度上的累积入渗水量为

$$V_z = \sum_{i=1}^{N-1} \left( \frac{Z_i + Z_{i+1}}{2} \right) (x_{i+1} - x_i) \quad (2)$$

式中,  $Z_i, Z_{i+1}$  分别为  $x_i$  和  $x_{i+1}$  处的累积入渗水量 ( $\text{m}^3/\text{m}$ )。

畦田中各观测点的累积入渗量采用 Kostiakov 入渗公式,即

$$Z_i = kt_i^a \quad (3)$$

式中,  $Z_i$  为观测点单位面积上的累积入渗量,用水深表示 (m);  $k, a$  为入渗参数;  $t_i$  为观测点的入渗时间 (min)。将式 (3) 代入式 (2) 可得

$$V_z = k \sum_{i=1}^{N-1} \left( \frac{t_i^a + t_{i+1}^a}{2} \right) (x_{i+1} - x_i) \quad (4)$$

式中,  $t_i = t_{ir} - t_{ia}, t_{i+1} = t_{(i+1)r} - t_{(i+1)a}$ , 其中  $t_{ir}$  和  $t_{(i+1)r}$  为第  $i$  和第  $(i+1)$  处观测点的水流消退时间 (min);  $t_{ia}$  和  $t_{(i+1)a}$  为第  $i$  和第  $(i+1)$  处观测点的水

流推进时间 (min)。在畦田闭合条件下,当灌水全部入渗,根据水量平衡原理,畦灌的总水量等于畦田内的累积入渗量,则式 (4) 可变为

$$qt = k \sum_{i=1}^{N-1} \left( \frac{t_i^a + t_{i+1}^a}{2} \right) (x_{i+1} - x_i) \quad (5)$$

式 (5) 中除入渗参数  $k$  和  $a$  之外,其余均为已知参数。因此,只需知道两组畦田的水流运动过程数据和入畦流量数据,就可根据式 (5) 求得土壤入渗参数  $k$  和  $a$ 。

由入畦单宽流量  $q_1$  的水流运动数据可得

$$q_1 t_1 = k \sum_{i=1}^{N-1} \left( \frac{t_{i,1}^a + t_{i+1,1}^a}{2} \right) (x_{i+1,1} - x_{i,1}) \quad (6)$$

由入畦单宽流量  $q_2$  的水流运动数据可得

$$q_2 t_2 = k \sum_{i=1}^{N-1} \left( \frac{t_{i,2}^a + t_{i+1,2}^a}{2} \right) (x_{i+1,2} - x_{i,2}) \quad (7)$$

式 (6) 除以式 (7) 得

$$\frac{q_1 t_1}{q_2 t_2} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \left( \frac{t_{i,1}^a + t_{i+1,1}^a}{2} \right) (x_{i+1,1} - x_{i,1})}{\sum_{i=1}^{N-1} \left( \frac{t_{i,2}^a + t_{i+1,2}^a}{2} \right) (x_{i+1,2} - x_{i,2})} \quad (8)$$

式 (8) 中只有入渗参数  $a$  未知,但其为非线性方程组,难以求出解析解,故采用迭代算法对式 (8) 进行求解,其约束条件为  $0 < a < 1$ ,具体求解方法可参见文献 [21]。将所求  $a$  值代入式 (6) 或式 (7),即可求得入渗参数  $k$ 。

#### 1.2 田面糙率的确定

假定畦灌过程中田面糙率  $n$  相同,沿畦长方向的畦田水流推进过程虽为非均匀流,但畦长方向水流状况变化缓慢,可近似按均匀流处理,则据水力学原理,畦灌过程中的满宁公式可表示为

$$n = \frac{60R^{5/3} J_0^{1/2}}{q} \quad (9)$$

式中,  $R$  为水力半径 (m);  $J_0$  为田面坡度;其余符号意义同前。畦灌水流推进过程的  $R$  可用下式计算

$$R = \frac{Bh}{B + 2h} \quad (10)$$

式中,  $B$  为畦田宽度 (m);  $h$  为畦灌田面水深 (m)。考虑到畦灌时畦宽远大于田面水深,则  $R$  可近似简化为:  $R = h$ 。因此畦灌过程中的满宁公式可表示为

$$n = \frac{60h^{5/3} J_0^{1/2}}{q} \quad (11)$$

式 (11) 中入畦单宽流量  $q$  和田面坡度  $J_0$  都较易测定,但实际灌水过程中田面水深  $h$  数据难以准确获得,故需研究利用水流运动数据推求田面糙率的方法,从而避免水深  $h$  数据的测定。根据水量平衡原理,以水流推进数据为基础,对式 (1) 进行变换,可

得

$$V_h = qt - V_z \quad (12)$$

经研究表明<sup>[22]</sup>,若地表水流推进过程符合幂函数规律、土壤入渗规律符合 Kostiakov 入渗公式,则单位宽度畦田内的入渗总水量为

$$V_z = \int_0^l kt^a dx = \sigma_z kt^a x \quad (13)$$

式中,  $l$  为停水时的水流推进长度(m);  $\sigma_z$  为下渗水形状系数,可采用下式计算

$$\sigma_z = \frac{a + \gamma(1 - a) + 1}{(1 + a)(1 + \gamma)} \quad (14)$$

式中,  $a$  为入渗参数;  $\gamma$  为地表水流推进过程幂函数表达式  $\chi = pt^\gamma$  中的幂指数。同样引入地表储水形状系数  $\sigma_h$ , 则单位宽度畦田内的地表总储水量为

$$V_h = \int_0^l h dx = \sigma_h h_0 x \quad (15)$$

式中,  $h_0$  为畦首水深(m); 对于  $\sigma_h$  的取值一般在 0.7 ~ 0.8 之间<sup>[5]</sup>, Maheshwari<sup>[23]</sup>, 缴锡云<sup>[24]</sup> 和 Sepaskhah<sup>[25]</sup> 都建议取恒定值 0.75, 本文在后面的计算中对  $\sigma_h$  也采用恒定值 0.75。将式(11)变形可得

$$h = \left( \frac{qn}{60J_0^{1/2}} \right)^{3/5} \quad (16)$$

将式(16)代入式(15)可得

$$V_h = 0.75 \left( \frac{qn}{60J_0^{1/2}} \right)^{3/5} x \quad (17)$$

将式(17)和式(13)代入(12)可得

$$0.75 \left( \frac{qn}{60J_0^{1/2}} \right)^{3/5} x = qt - \sigma_z kt^a x \quad (18)$$

对式(18)进行整理,可得

$$n = \left( \frac{60J_0^{1/2}}{q} \right) \left[ \frac{(qt - \sigma_z kt^a x)}{0.75x} \right]^{5/3} \quad (19)$$

式(19)中只有田面糙率  $n$  为未知参数,其余均为已知参数,其中入渗参数  $k$  和  $a$  采用文中方法的计算结果。根据水量平衡原理,入畦单宽流量  $q$ 、田面坡度  $J_0$  以及水流推进数据采用试验观测值,即可

求得田面平均糙率  $n$  值。

## 2 实例计算

### 2.1 试验概况

为检验本文方法推求土壤入渗参数和田面糙率的可靠性,于 2005 年春季进行了相应的大田畦灌试验。试验地点分别位于陕西省杨凌区的一级阶地和三级阶地,其中一级阶地土壤质地为砂壤土,种植作物为冬小麦,三级阶地土壤质地为粘壤土,种植作物为多年生长的苹果树;试验前测定畦田坡降;入畦单宽流量  $q_0$  用三角薄壁堰测定求得,为保证入畦流量的稳定性,故在每个田块入口前修筑一临时储水槽;畦田中每隔 5 m 或 10 m 设立观测点并记录水流推进和消退时间;由于畦田尾部闭合,为保证高的灌水质量,故选择不同的改水成数,其畦田各项基本参数见表 1。

### 2.2 土壤入渗参数和田面糙率的计算

根据文中所提出的方法,将两组畦田的灌水资料做为已知参数,分别对畦灌过程中的土壤平均入渗参数和田面糙率进行估算,其步骤如下

- (1) 将畦田 1-1 和 1-2 的水流推进和消退资料分别代入式(8)中,用迭代算法求出入渗参数  $a$ , 将其值代入式(6)或式(7),即可求得入渗参数  $k$ ;
- (2) 采用畦田 1-1 或 1-2 的水流推进数据,并将步骤(1)所求得入渗参数  $k$  和  $a$  代入式(19),通过计算即可求得田面糙率  $n$ 。

畦田 2-1 和 2-2 的入渗参数和田面糙率计算过程与之相同。具体的计算结果见表 2。

### 2.3 结果与分析

为检验本文方法所求土壤平均入渗参数和田面糙率的可靠性,将表 2 中的参数值代入 WinSRFR 软件中,用来模拟畦尾闭合条件下的水流运动过程,其结果如图 2 所示;并计算了水流运动过程实测值与模拟值之间的误差均值,见表 2。

表 1 畦田试验参数

Table 1 Parameters of experimental treatments in border irrigation

畦田编号 Border No.	单宽流量 Discharge per unit width[m <sup>3</sup> /(min·m)]	畦长 Length (m)	畦宽 Width (m)	停水距离 Distance of cutting off water(m)	田面坡度 $J_0$ Bed slop(‰)	土壤质地 Soil texture	种植作物 Plant
1-1	0.246	70	3.5	60	1.46	砂壤土	小麦
1-2	0.120	70	3.0	65		Sandy loam	Wheat
2-1	0.192	75	1.5	68	1.50	粘壤土	苹果树
2-2	0.132	75	1.7	72		Clay loam	Apple trees

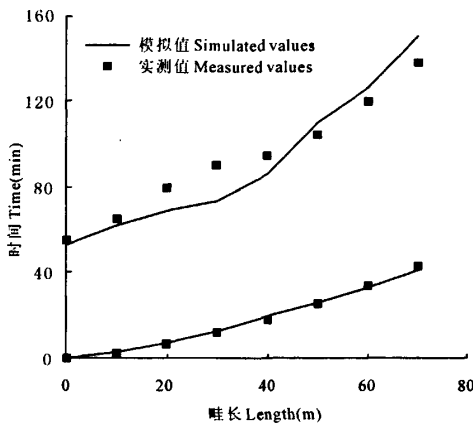
表 2 畦田入渗参数和田面糙率的计算结果

Table 2 Values of infiltration parameters and manning roughness in border irrigation

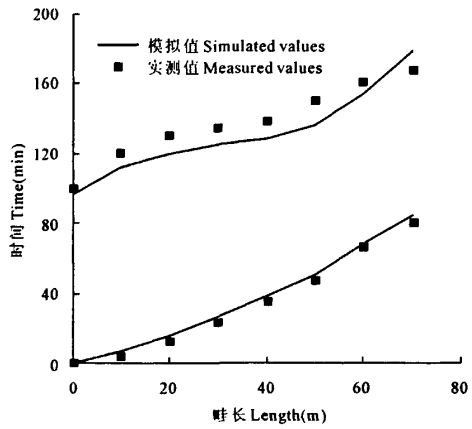
畦田编号 Border No.	入渗参数 Infiltration parameters		田面糙率 $n$ Manning roughness	误差绝对值均值(%) Average absolute error	
	$k(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	$a$		水流推进过程	水流消退过程
				Water advance trajectory	Water recession trajectory
1-1	3.43	0.292	0.147	7.08	9.33
1-2				8.93	9.75
2-1	1.33	0.529	0.102	7.69	10.28
2-2				5.29	9.20

注:误差绝对值均值的计算每组畦田均不少于 6 个观测点。

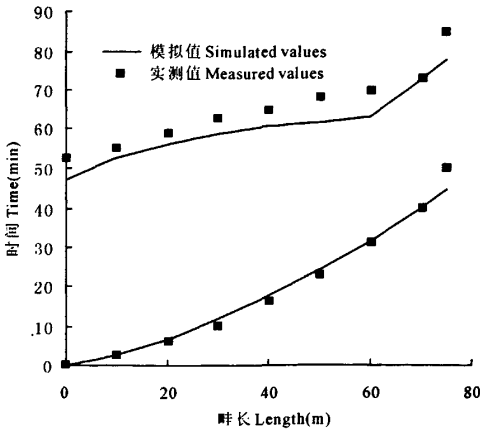
Note: Average absolute error were calculated with 6 points at least for every border irrigation.



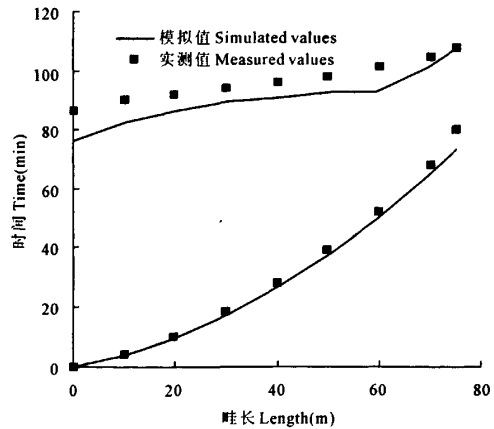
(a) 畦田1-1 Border 1-1



(b) 畦田1-2 Border 1-2



(c) 畦田2-1 Border 2-1



(d) 畦田2-2 Border 2-2

图 2 畦灌水运动过程模拟值与实测值比较

Fig.2 Comparison of simulated and measured values for process of water flow in border irrigation

由图 2 和表 2 可见,水流推进过程模拟值与实测值更为接近,误差较小,其 4 组畦田的水流推进过程误差均小于 9%;而水流消退过程可较好地拟合田间实测数据,其 4 组畦田的水流消退过程误差均小于 11%,虽两者间存在程度不一的相关性,其原

因可能为水流消退过程的观测标准因人而异,故使得模拟值与实测值存在一定程度的误差,但考虑田间实际,可认为其误差在合理的范围内。总体而言,采用 WinSRFR 软件模拟的水流运动过程同实测结果相比具有好的一致性,精度较高。由此表明对土

壤入渗参数进行计算时,同时考虑水流推进和消退过程求得的人渗参数值,能很好地代表整个畦灌过程;在此基础上,能够更加准确地计算田面糙率值,可有效减小水流运动过程模拟值与实测值之间的误差,同时也表明本文计算土壤平均入渗参数和田面糙率值的方法具有高的可靠性。

### 3 结 论

以水量平衡原理为基础,提出了利用两组畦灌水流运动数据推求土壤入渗参数和田面糙率的方法,其方法避免了难以准确确定的田面水深数据。并结合大田畦灌试验对所提方法进行了验证,将文中方法所求土壤入渗参数和田面糙率代入 WinSRFR 软件模拟畦尾闭合条件下的水流运动过程,其模拟值与实测值具有好的一致性,表明本文计算土壤平均入渗参数和田面糙率值的方法具有高的可靠性,同时说明本文方法能够简单地推求土壤平均入渗参数和田面糙率值,可在一定程度上消除农田土壤空间变异性对其参数的影响。

#### 参 考 文 献:

- [1] Elliott R L, Walker W R. Field evaluation of furrow infiltrating and advance functions[J]. Trans ASAE, 1982, 25(2): 396—400.
- [2] Shepard J S, Wallender W W, Hofmans J W. One-point method for estimating furrow infiltration[J]. Trans ASAE, 1993, 36(2): 395—404.
- [3] 费良军,王文焰. 由波涌畦灌灌水资料推求土壤入渗参数和糙率系数[J]. 水利学报, 1999, 30(8): 26—29.
- [4] 张新民,王根绪,胡想全,等. 用畦灌试验资料推求土壤入渗参数的非线性回归法[J]. 水利学报, 2005, 36(1): 28—34.
- [5] Walker W R. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness [J]. Journal of Irrig and Drain Eng ASCE, 2005, 131(2): 129—136.
- [6] Gillies M H, Smith R J, Raine S R. Accounting for temporal inflow variation in the inverse solution for infiltration in surface irrigation[J]. Irrig Sci, 2007, 25(2): 87—97.
- [7] 王维汉,缴锡云,彭世彰,等. 畦灌土壤入渗参数估算的线性回归[J]. 水利学报, 2007, 38(4): 468—472.
- [8] 王成志,杨培岭,陈 龙,等. 沟灌过程中土壤水分入渗参数与糙率的推求和验证[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 43—47.
- [9] 郑和祥,史海滨,朱 敏,等. 基于 SIRMOD 模型的畦灌入渗参数估算及灌溉模拟[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 29—34.
- [10] Valiantzas J D. Simple method for identification of border infiltration and roughness characteristics[J]. Irrig and Drain Div ASCE, 1997, 120(2): 233—249.
- [11] Li Zhe, Zhang J T. Calculation of field manning's roughness coefficient[J]. Agric Water Manage, 2001, 49(2): 153—161.
- [12] 吴军虎,费良军,王文焰,等. 根据零惯量模型推求膜孔灌田间面综合糙率系数[J]. 西安理工大学学报, 2003, 19(2): 130—134.
- [13] 李 力,沈 冰. 不同地表状况耕地的田面糙率研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 72—75.
- [14] 王全九,王文焰,张江辉. 根据畦田水流推进过程水力因素确定 Philip 入渗参数和田面平均糙率[J]. 水利学报, 2005, 36(1): 125—128.
- [15] 马东豪,王全九,郭太龙. 根据水流推进过程预测 Horton 入渗公式参数和田面平均糙率系数[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 52—55.
- [16] 聂卫波,马孝义. 畦田 Philip 入渗参数和田面糙率同步推求[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 39—44.
- [17] McClymont D J, Smith R J. Infiltration parameters from optimization on furrow irrigation advance data[J]. Irrig Sci, 1996, 17(1): 15—22.
- [18] Gillies M H, Smith R J. Infiltration parameters from surface irrigation advance and runoff date[J]. Irrig Sci, 2005, 24(1): 25—35.
- [19] Fangmeier D D, Ramsey M K. Intake characteristics of irrigation furrow[J]. Agric Water Manage, 1998, 21(4): 696—705.
- [20] 章少辉. 土壤入渗参数和糙率系数的优化反求方法及应用[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2007.
- [21] 费良军,程东娟,赵新宇. 由膜孔灌田间灌水参数推求基于 Kostakov 模型的点源入渗参数[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 88—90.
- [22] Fok Y S, Bishop A A. Analysis of water advances in surface irrigation[J]. Irrig and Drain Div ASCE, 1965, 91(1): 99—117.
- [23] Maheshwari B L, McMahon T A, Turner A K. Sensitivity analysis of parameters of border irrigating models[J]. Agric Water Manage, 1990, 18(1): 277—287.
- [24] 缴锡云,王文焰,雷志栋,等. 估算土壤入渗参数的改进 Maheshwari 法[J]. 水利学报, 2001, 32(1): 62—67.
- [25] Sepaskhah A R, Afshar-Chamanabad H. Determination of infiltration rate for every-other furrow irrigation[J]. Bio Eng, 2002, 82(4): 479—484.

(英文摘要下转第 57 页)

- [4] 李显瑞,于清军,吴喜才.“紫花苜蓿—玉米”草粮间作应用效益分析[J].草业科学,1999,16(6):23—25.
- [5] 安瞳昕,李彩虹,吴伯志.玉米不同间作方式对坡耕地水土流失的影响[J].水土保持学报,2007,21(5):18—21.
- [6] 孙洪仁.紫花苜蓿花前蒸腾系数及紫花苜蓿和玉米经济产量耗水系数比较[J].草地学报,2003,11(4):346—349.
- [7] 党志强,赵桂琴,龙瑞军.河西地区紫花苜蓿的耗水量与耗水规律初探[J].干旱地区农业研究,2004,22(3):67—71.
- [8] 程维新,欧阳竹.关于单株玉米耗水量的探讨[J].自然资源学报,2008,23(5):929—935.
- [9] 王 健,蔡焕杰,刘红英.免耕覆盖夏玉米耗水特性及土壤环境变化研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(2):35—39.
- [10] 赵 举,郑大玮,潘志华,等.农牧交错带粮草带状间作防风蚀保土效应的研究[J].华北农学报,2005,20(专辑):5—9.
- [11] 路海东,贾志宽,杨宝平,等.宁南旱区坡地不同粮草间作模式下产量和土壤水分利用效应[J].草地学报,2010,18(2):242—246.
- [12] 刘晶森,安顺清,廖荣伟,等.玉米根系在土壤剖面中的分布研究[J].中国生态农业学报,2009,17(3):517—521.
- [13] 慕自新,张岁岐,郝文芳,等.玉米根系形态性状和空间分布对水分利用效率的调控[J].生态学报,2005,25(11):2895—2900.

## Soil water in a corn – alfalfa intercropping system on slope land

YUN Feng<sup>1</sup>, WANG Jian<sup>1</sup>, WU Fa-qi<sup>1</sup>, YIN Wu-jun<sup>1</sup>, GAO Xi<sup>2</sup>, CAO Wei-peng<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Soil and Water Conservation and Ecological Environment Monitoring Station, Panzhihua, Sichuan 617000, China)

**Abstract:** Slope forage intercropping can intercept slope runoff and reduce soil erosion as well as increase water use efficiency. Using probe-type monitoring of soil moisture dynamics combined with time-domain reflectometer, experiments of soil moisture monitoring in a sloping corn-alfalfa intercropping under different slopes was conducted. The results showed that runoff increased with slope gradient increasing under 5°, 10° and 15°, while the order of runoff volumes derived from different cropping treatments was alfalfa monoculture < corn-alfalfa intercropping < corn monoculture < bare soil, no matter how much the slope gradient was (5°, 10° or 15°). Compared to monoculture and bare soil, intercropping could effectively reduce surface runoff. Water consumption by alfalfa was more than that by corn, so the soil water content in alfalfa strips was obviously lower than that in corn strips. As the distance from the interface increased, the soil water content in alfalfa strips declined but increased in corn strips. From the border to both sides, corn plant height increased, while the alfalfa plant height decreased.

**Keywords:** slope land; corn – alfalfa intercropping; soil water distribution; soil water movement; volumetric water content

(上接第 52 页)

## Determination of infiltration parameters and manning roughness according to process of water flow in border irrigation

NIE Wei-bo<sup>1</sup>, FEI Liang-jun<sup>1</sup>, MA Xiao-yi<sup>2</sup>

(1. Institute of Water Resources, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Key Laboratory for Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Area of Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Based on the principle of water volume balance, a method was proposed to determine infiltration parameters and Manning roughness according to two groups of field irrigation data under blocked-end border irrigation. The validity of the proposed method is verified by experimental data, then the values of infiltration parameters and Manning roughness were introduced into the WinSRFR model. The process of water flow was simulated by WinSRFR model, and the simulated value had a good fit to the measured. The results show that infiltration parameters and Manning roughness can be effectively determined with the new method, which may lay a foundation for technical element design and operation evaluation of a border irrigation project.

**Keywords:** principle of water volume balance; water flow process; Kostiaikov model; infiltration parameter; Manning roughness