

不同降雨历时梯田和坡耕地的 土壤水分入渗特征

韩芳芳¹, 刘秀花¹, 马成玉²

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 河南省地矿局第三地质调查队, 河南 信阳 464000)

摘 要:以黄土高原丘陵沟壑区第三副区庄浪县为例, 研究不同降雨历时条件下坡耕地和水平梯田土壤(黄绵土)水分入渗变化特征, 应用 Hydrus-1D 模型对不同降雨条件下的土壤水分入渗进行定量模拟研究。结果表明: (1) 与实测数据相比, Hydrus-1D 模型模拟降雨后土壤水分的运移较合理。(2) 地表层(0~40 cm)土壤含水量变异系数(CV)呈中等变异, 即5 d的时间内梯田和坡耕地地表的土壤含水量变化大, 随着土层深度的增加变异系数减小, 呈弱变异性。(3) 在1.45 mm/min降雨强度下, 在23 min时拔节期的小麦坡耕地产生径流, 水平梯田在整个过程中没有产生径流。(4) 降雨历时为10 min时, 在土层深度为0~15 cm, 梯田土壤含水量比坡耕地多0.13%~1.65%, 在土层深度为30~200 cm, 梯田和坡地都没有下渗。降雨历时为20 min、30 min时, 在土层深度为0~20 cm, 梯田的土壤含水量比坡耕地的分别多0.05%~2.22%、0.01%~2%。

关键词: 不同降雨历时; Hydrus-1D 模型; 土壤水分入渗; 径流

中图分类号: S152.7*2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)04-0014-06

黄土高原丘陵沟壑区水土流失严重, 梯田是减轻水土流失的一项水土保持坡面工程措施^[1]。从20世纪60年代开始, 庄浪县修建梯田, 截止2008年末, 水平梯田有5.68万hm², 占全县耕地面积92.96%(全县的耕地面积为6.11万hm²); 梯田每年可拦蓄径流4 185万m³, 拦水效益达到86%, 拦截泥沙433万t, 拦泥效益达到97%^[2]。

在黄土高原地区, 黄土深度一般在50~200 m^[1], 地下水水位埋藏较深, 降雨是土壤水唯一的补给源。试验区降雨主要集中在每年的7~9月, 且以暴雨型为主。因此, 水平梯田(蓄水工程措施)是控制该区坡耕地水土流失、保持水土和实现旱作区农业高产与稳产的根本措施之一^[3]。它影响土壤水分的分布和动态过程, 提高土壤含水量, 从而直接影响着植被的生长发育。

吴发启、杨开宝、王夏晖^[3-6]等研究表明, 0~200 cm土层含水率的垂直分布可划分为3个层次: 速变层(受降雨、灌溉、蒸发等的影响, 土壤含水量变化幅度大)、活跃层和相对稳定层。由于研究人员研究的区域、土壤性状不同, 所以三个层次的土层深度划分也不同。

本文旨在利用降雨试验模拟梯田和坡耕地土壤含水量的动态特征, 分析不同降雨量下黄土高原丘

陵沟壑区拔节期小麦田土壤水分垂直变化, 为改善黄土高原丘陵区生态环境和农业生产条件, 合理利用水土资源提供科学依据。

1 研究区概况

庄浪县位于甘肃省中部六盘山以西, 属于黄土高原丘陵沟壑区, 境内群山起伏, 地势东高西低, 地理坐标位于北纬35°03'23"~35°28'26", 东经105°46'15"~106°23'45", 总面积1 553.14 km²^[2]。全县的梁峁、山坡上主要分布着黄绵土。区内气候属大陆性季风区, 年平均气温7.9℃, 无霜期142 d。光热资源丰富, 年均日照时数为2 179 h。年均降雨量为547.8 mm, 降雨集中在7~9月。

庄浪县主要种植小麦、玉米、马铃薯等农作物, 其中小麦是当地主要粮食作物, 在2008年, 其耕种面积占全县耕地的37.97%(小麦种植面积为2.32万hm²)^[7]。

2 试验设计与研究方法

研究区位于庄浪县南坪乡史湾村三社沈家地头, 在同一坡位(阳坡)上选择梯田(20 a)和坡耕地, 田面坡度分别为0°、12°。正值4月下旬, 小麦长势旺盛, 平均株高20~30 cm, 正处于拔节期, 土壤较干

收稿日期: 2012-02-14

基金项目: 国家创新引智项目“干旱半干旱地区水文生态及水安全研究”; 教育部、国家外专局(111引智项目, B08039)

作者简介: 韩芳芳(1985—), 女, 甘肃白银人, 硕士研究生, 主要研究方向为水环境与生态环境保护。E-mail: fangfanghan1985@163.com。

通讯作者: 刘秀花(1968—), 女, 陕西绥德人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水环境与生态环境保护方面的教学与研究。E-mail: liuxh68@chd.edu.cn。

旱,小麦田土壤水分流失系数最大^[8],地表覆盖度在70%~80%之间。

2.1 田间试验设计

试验径流小区共设6个,梯田和坡耕地各3个。每个小区面积为 $3\text{ m} \times 1\text{ m} = 3\text{ m}^2$,各由2块 $3\text{ m} \times 0.4\text{ m}$ 和 $1\text{ m} \times 0.4\text{ m}$ 的冷轧钢板组成(防止径流),其中出水口为一个“V”字形钢板,采集3个小区的径流量与泥沙量。人工降雨设备采用中国科学院水利部水土保持研究所研制的侧喷式单喷头的降雨装置^[9],降雨方式为两个降雨器对喷。降雨器支架高2 m,雨滴降落高度为3.5 m。降雨强度选择1个强度,其中喷头摆动频率为5.86次/min、雨强1.45 mm/min、均匀系数98.30%、动能236.44 J/(m²·mm)。为了减小表层土壤水势,在试验小区内先进行2 min的降雨,对土壤进行湿润;然后对小区进行降雨历时分别为10、20、30 min的降雨。在降雨前和降雨后的第1、2、4和5天对土壤剖面取样5次(第3天有天然降雨没有取样,降雨量为4.9 mm,降雨历时较长)。取样间隔为20 cm,用土钻钻取2 m的深度(即0~20 cm,20~40 cm,40~60 cm,⋯,180~200 cm),每个深度取3个重复(用杞子垂直刮去土样,装入铝盒,并盖上盖子,做上相应的标记)。当晚在室内进行烘干(12 h)称重计算土壤含水量。

2.2 数学模型

Hydrus-1D模型是模拟饱和-非饱和水分运移的模型,综合考虑了水分运动、热运动、小麦根系吸收,适用于恒定或非恒定的边界条件,模型中方程解法采用 Galerkin 有限元法,用于模拟土壤水的运移^[10]。该实验模型主要由土壤水运动模型、小麦根系吸水模型、蒸发与蒸腾模型以及初始、边界条件组成。

(1) 土壤水运动模型

黄土高原丘陵区土壤垂直节理发育完整,忽略土壤水平和侧向水流运动,仅考虑一维垂向运移。选用了 Hydrus-1D 软件包中的一维饱和-非饱和模型模拟试验区土壤剖面的水分垂直变化规律。土壤水分运动方程^[11]为:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \cos \alpha \right) \right] - S(x, t) \quad (1)$$

式中, θ 为土壤体积含水率(cm^3/cm^3); t 为时间(d); h 为压力水头值(cm); $S(x, t)$ 为 t 时刻 x 深度处耗水速率,取该处小麦根系吸水率 $[\text{cm}^3/(\text{cm}^3 \cdot \text{d})]$; α 为水流方向与垂直方向上的夹角; K 为非饱和水力传导函数(cm/d),函数为:

$$K(h, x) = K_s(x) K_r(h, x) \quad (2)$$

式中, $K_r(h, x)$ 为相对水力传导系数(cm^3/T);

$K_s(x)$ 为饱和水力传导率(cm/d); x 为土壤深度(cm)。

(2) 小麦根系吸水模型

根系吸水率 $S(x)$ 表示小麦的根系在单位时间内从单位体积土壤中吸收的水分体积。采用 Feddes^[11]模型计算,即:

$$S(x) = \alpha(x) b(x) T_p \quad (3)$$

式中, $\alpha(x)$ 为水分胁迫反应方程; T_p 为农作物潜在蒸腾率(cm/d); $b(x)$ 为根系吸水分布函数(cm^{-1})。

根系吸水分布函数满足条件为:

$$\int_0^{L_R} b(x) dx = 1 = \sum_{n=1}^M b_n \Delta Z \quad (4)$$

式中, L_R 为根系层厚度; ΔZ 为节点间距; b_n 为每个间距中的根系分布函数值; M 为根系层占节点数。假设根系分布函数为线性,并有 $b(x) = 2x, x \leq 1$ 。本研究根系层的厚度为10 cm,即 x 取值为0.1。

(3) 蒸发、蒸腾模型

作物潜在蒸发、蒸腾量选用水面蒸发经验公式法,即 $E_T = \alpha E_{20}$,式中, E_{20} 为实测的水面蒸发量; α 为经验系数,参考清华大学尚松浩等^[12]在叶尔羌绿洲所做的研究,取 α 为0.54。

(4) 初始、边界条件

模拟时间 $t = 0$ 时的土壤含水量为初始条件,即:

$$\theta_i = \theta_0 \quad t = 0; \quad 0 \leq x \leq 200 \quad (5)$$

边界条件:水流模型的上边界条件采用开放边界,可以接受降雨补给、蒸发及作物蒸腾排泄,叶面拦截雨量忽略不计,本实验采用直接赋实测降水量、蒸发量,农作物蒸腾采用根系吸水模型;下边界选在剖面200 cm处,使用自由下渗排水边界。

2.3 模型参数的确定

(1) 土壤动力学参数

本实验采用 Hydrus-1D 中的 Van Genuchten^[13-14]的水流模型,即土壤水分特征曲线,其反应了土壤水数量和能量的关系。模型的方程式:

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^m}, & h < 0 \\ \theta_s, & h \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$K(h) = K_s S_e [1 - (1 - S_e'^m)^n]^2 \quad (7)$$

式中, θ_s 为饱和含水量; α, m, n 均为经验控制因子; θ_r 为残余土壤含水量; S_e 为有效土壤含水量; K_s 为饱和水力传导度(cm^3/d); $K(h)$ 为在压力水头下非饱和水力传导系数(cm^3/T); l 反映土壤孔隙的连续性。

根据实测土壤粒度分析,应用(6)和(7)式采用 hydruS - 1D 中的 SSC 模块(沙土、粘土、粉粒的百分含量)^[13],对模型中 $\theta_r, \theta_s, \alpha, n, l, K_s$ 参数进行识别,识别后的梯田和坡地的参数如表 1。

表 1 模型识别后的土壤水分参数

Table 1 Van Genuchten - Mualem parameters for the soil hydraulic functions

土地利用方式 Land use type	深度(cm) Depth	θ_r (cm^3/cm^3)	θ_s (cm^3/cm^3)	α (cm^{-1})	n	K_s (cm/d)	l
梯田 Terrace land	0 ~ 20	0.0704	0.4492	0.0052	1.6493	16.46	0.5
	20 ~ 40	0.0764	0.4620	0.0063	1.6109	12.89	0.5
	40 ~ 60	0.0739	0.4539	0.0056	1.6292	14.43	0.5
	60 ~ 80	0.0690	0.4491	0.0051	1.6565	17.59	0.5
	80 ~ 100	0.0689	0.4556	0.0055	1.6516	18.33	0.5
	100 ~ 120	0.0756	0.4568	0.0059	1.6188	13.49	0.5
	120 ~ 140	0.0718	0.4516	0.0054	1.6413	15.71	0.5
	140 ~ 160	0.0651	0.4407	0.0047	1.6764	19.58	0.5
	160 ~ 180	0.0730	0.4576	0.0058	1.6313	15.21	0.5
	180 ~ 200	0.0848	0.4680	0.0071	1.5599	10.26	0.5
坡耕地 Sloping land	0 ~ 20	0.0765	0.4488	0.0056	1.6106	12.95	0.5
	20 ~ 40	0.0693	0.4447	0.0050	1.6557	16.67	0.5
	40 ~ 60	0.0740	0.4547	0.0057	1.6283	14.41	0.5
	60 ~ 80	0.0739	0.4524	0.0055	1.6297	14.34	0.5
	80 ~ 100	0.0721	0.4495	0.0053	1.6404	15.28	0.5
	100 ~ 120	0.0705	0.4472	0.0051	1.6491	16.12	0.5
	120 ~ 140	0.0687	0.4453	0.0050	1.6590	17.25	0.5
	140 ~ 160	0.0755	0.4488	0.0055	1.6190	13.33	0.5
	160 ~ 180	0.0744	0.4542	0.0057	1.6264	14.14	0.5
	180 ~ 200	0.0780	0.4553	0.0059	1.6047	12.44	0.5

(2) 根系吸水参数

Feddes^[11]模型(式(3))主要包括压力水头参数 P_0 (初始)、 P_2 (限压力水头)、 P_3 和 P_{0m} (根系最大吸水速度下的压力水头)。其假设土壤水接近饱和(P_0)时根系吸水为 0, P_3 大于压力水头时根系吸水也为 0; 在 P_2 和 P_3 之间或者 P_0 和 P_{0m} 之间时根系吸水随水头值呈线性变化; 当压力水头在 P_{0m} 和 P_2 之间时, 根系吸水达到理想状态。该研究小麦的压力水头参数参考 Wesseling 的研究结果^[15]。

(3) 作物生长参数

小麦生长参数主要包括叶面指数和根系最大深度。拔节期的冬小麦叶面积指数参考王靖^[16]等的研究, 根系长度参考肖俊夫^[17]等的研究。

(4) 气象参数

气象参数主要有日降水量、日蒸发量, 数据来源于当地气象站。

3 结果与分析

3.1 土壤水分模拟

根据上述数学模型, 模拟人工降雨后 4 天内土

壤水分的动态, 通过分别对梯田和坡耕地土壤含水量模拟值与实测值进行统计分析, 相关系数皆达到显著水平(表 2), 表明模型计算的可靠性。

3.2 梯田、坡耕地不同深度的土壤含水量统计特征

在同一土层深度上, 综合分析降雨前、降雨后第 1 天、第 2 天、第 4 天、第 5 天所实测的土壤含水量的统计特征, 比较不同土层深度梯田和坡耕地土壤含水量的变异性。由表 3 可知, 土壤水在剖面上呈一定的垂直变化规律。梯田在 0 ~ 20、20 ~ 40 cm 的变异系数 CV 值分别为 0.1923、0.2121, 即 $0.1 < CV < 1$, 属于中等变异。其它深度的变异系数 $0.024 < CV < 0.0488$, 均小于 0.1, 属于弱变异性^[18]。坡耕地土壤水分变异系数 CV 值在 0 ~ 20、20 ~ 40 cm 分别为 0.1764、0.1903, 属于中等变异。40 ~ 200 cm 的变异系数 CV 值: $0.0253 < CV < 0.0664$, 均小于 0.1, 属于弱变异性。

梯田与坡耕地在 0 ~ 40 cm 土壤地表均属于中等变异, 也是研究人员称的速变层, 即受降雨、蒸发、蒸腾和渗漏的影响较大, 但梯田的变异系数较坡耕地的大 0.0159 ~ 0.0218, 表明梯田近地表层土壤水

分更加活跃。

量值较接近,方差分析表明,各层实测土壤含水量不

同一层位,梯田和坡耕地各层实测的土壤含水

具有显著性差异。

表 2 梯田和坡耕地土壤含水量模拟值(y)与实测值(x)的相关关系

Table 2 Correlationship of soil moisture between simulated and measured values in level terrace and sloping land

降雨历时(min) Raining duration	取样时间 Sampling time	梯田 Level terrace		坡耕地 Sloping land	
		线性方程	相关系数	线性方程	相关系数
		Linear equation	Correlation coefficient	Linear equation	Correlation coefficient
10	第 1 天 1st day	$y = 0.9346x$	$R^2 = 0.7335$	$y = 1.0035x$	$R^2 = 0.8587$
	第 2 天 2nd day	$y = 0.9888x$	$R^2 = 0.8592$	$y = 1.0198x$	$R^2 = 0.7589$
	第 4 天 4th day	$y = 0.9792x$	$R^2 = 0.7781$	$y = 1.0159x$	$R^2 = 0.7749$
	第 5 天 5th day	$y = 0.9849x$	$R^2 = 0.8297$	$y = 1.0042x$	$R^2 = 0.9604$
20	第 1 天 1st day	$y = 0.9572x$	$R^2 = 0.957$	$y = 1.0048x$	$R^2 = 0.9165$
	第 2 天 2nd day	$y = 0.9891x$	$R^2 = 0.709$	$y = 1.0179x$	$R^2 = 0.8161$
	第 4 天 4th day	$y = 0.9871x$	$R^2 = 0.9073$	$y = 1.0002x$	$R^2 = 0.848$
	第 5 天 5th day	$y = 1.0001x$	$R^2 = 0.846$	$y = 0.9967x$	$R^2 = 0.9133$
30	第 1 天 1st day	$y = 0.9374x$	$R^2 = 0.8664$	$y = 1.0005x$	$R^2 = 0.8946$
	第 2 天 2nd day	$y = 0.9573x$	$R^2 = 0.8704$	$y = 1.0372x$	$R^2 = 0.8402$
	第 4 天 4th day	$y = 0.9399x$	$R^2 = 0.8477$	$y = 1.0655x$	$R^2 = 0.7629$
	第 5 天 5th day	$y = 0.9468x$	$R^2 = 0.8603$	$y = 1.0261x$	$R^2 = 0.8223$

表 3 梯田、坡耕地实测土壤含水量的统计特征

Table 3 Statistical features of measuring in soil moisture in level terrace and sloping farm land

土地利用方式 Land use type	土层深度 Soil depth (cm)	样本数 Number of samples	平均值 Mean value (cm ³ /cm ³)	中位数 Median (cm ³ /cm ³)	标准差 Standard deviation (cm ³ /cm ³)	方差 Variance	变异系数 Coefficient of variation
梯田 Terrace land	0 ~ 20	12	0.1887	0.1930	0.0363	0.0013	0.1923
	20 ~ 40	12	0.1395	0.1384	0.0296	0.0009	0.2121
	40 ~ 60	12	0.1204	0.1206	0.0052	0	0.0433
	60 ~ 80	12	0.1266	0.1262	0.0043	0	0.0338
	80 ~ 100	12	0.1330	0.1318	0.0065	0	0.0488
	100 ~ 120	12	0.1384	0.1380	0.0048	0	0.0348
	120 ~ 140	12	0.1438	0.1438	0.0039	0	0.0270
	140 ~ 160	12	0.1450	0.1433	0.0035	0	0.0240
	160 ~ 180	12	0.1379	0.1426	0.0111	0.0001	0.0804
	180 ~ 200	12	0.1442	0.1438	0.0047	0	0.0325
坡耕地 Sloping land	0 ~ 20	12	0.1790	0.1806	0.0316	0.001	0.1764
	20 ~ 40	12	0.1445	0.1569	0.0275	0.0008	0.1903
	40 ~ 60	12	0.1169	0.1163	0.0078	0.0001	0.0664
	60 ~ 80	12	0.1226	0.1242	0.0055	0	0.0449
	80 ~ 100	12	0.1262	0.1259	0.0032	0	0.0253
	100 ~ 120	12	0.1338	0.1324	0.0057	0	0.0423
	120 ~ 140	12	0.1432	0.1441	0.0062	0	0.0430
	140 ~ 160	12	0.1506	0.1523	0.0064	0	0.0424
	160 ~ 180	12	0.1558	0.1566	0.0058	0	0.0372
	180 ~ 200	12	0.1567	0.1568	0.0055	0	0.0349

3.3 坡地和梯田土壤水分入渗特征

应用 Hydrus - 1D 模拟不同降雨历时(10、20、30 min)土壤水分的变化,梯田和坡耕地 5 d 的土壤含水量的模拟值与实测值,见图 1。实测值几乎都在

模型模拟的线上,再次验证了模型的可靠性。在坡耕地中,降雨历时为 20 min 时,第 4 天土壤含水量的实测值比模拟值高,这可能是由于在取样过程中,取样的位置不一导致的误差。

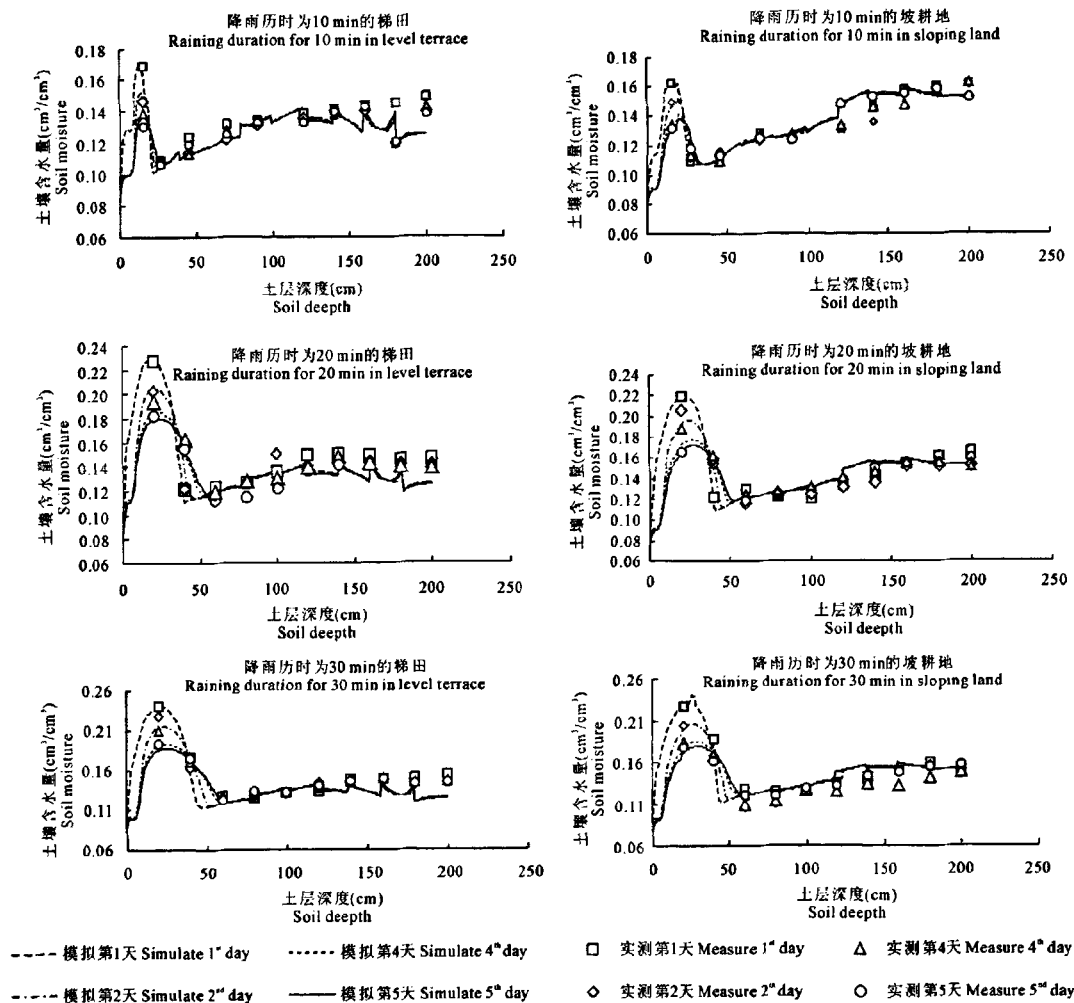


图 1 不同降雨历时降雨后梯田和坡耕地的土壤含水量的比较

Fig.1 Comparison of soil moisture in level terrace and sloping farmland under different raining duration

在梯田,降雨历时为 10、20、30 min 后,土壤含水量分别在 0~30、0~60、0~60 cm 出现明显变化,最大土壤含水量分别位于 15、20、20 cm;降雨后的第 5 天比第 1 天下渗深度分别多 7、13、17 cm。坡耕地土壤含水量出现明显变化的层位为 0~30、0~55、0~60 cm,最大土壤含水量位置与梯田相同;降雨后第 5 天比第 1 天下渗深度分别多 6、10、13 cm。

降雨历时为 10 min 时,在土层深度为 0~15 cm,梯田土壤含水量比坡耕地多 0.13%~1.65%,在土层深度为 30~200 cm,梯田和坡地都没有下渗。

降雨历时为 20、30 min 时,在土层深度为 0~20 cm,梯田的土壤含水量比坡耕地的分别多 0.05%~2.22%、0.01%~2%。在水分没有到达的深度上,坡耕地的土壤含水量比梯田大(大于 60 cm)。梯田在降雨历时为 30 min 的人工模拟降雨过程中,没有形成径流;而坡耕地在降雨进行到 23 min 时,产生径流,并在降雨结束后收集到 1.95 kg 的水和泥沙。

研究表明,在 3 月中旬到 6 月下旬,梯田的土壤蒸发比冬季强、小麦自身生长需要消耗土壤水分,特别在拔节期需要土壤水分生长侧根^[19],土壤含水量

是全年最低水平^[20];同时,坡耕地作物根系下扎浅,对浅层水分的利用率高,在0~40 cm坡地比梯田多利用水分6.6~7.7 mm;梯田作物根系下扎深,因而对深层水分利用较多,40~180 cm梯田比坡地多利用41.3~46.4 mm。尤其在小麦生长期对梯田土壤水分的利用(特别是在深层土壤水分)比坡地多^[2]。拔节期的小麦正在生长次生根,这时的土壤含水量决定生长次生根的数量。这也是在水分没有到达的深度上,梯田的土壤含水量比坡地低的原因,尤其在40~180 cm处。

土壤水分条件能够显著影响植株根、冠的生长速率及干物质在根冠的分配比例^[19],其涨幅影响小麦次生根在拔节期增长以及冬小麦气孔导度、光合速率、蒸腾速率^[21],这些都能影响小麦的产量,特别是小麦的次生根的数量^[22];根据王晨阳、马元喜的研究,保证小麦拔节期及扬花期间的水分供应,是增加穗粒数、提高粒重的关键,即在这两个时期小麦较需水,也是梯田提高小麦产量的关键^[22]。

综上所述,相同的降雨历时和土质条件下,梯田比坡耕地蓄水多,入渗深度大。梯田在雨季拦蓄的雨水多储存在稳定层,为小麦拔节和扬花期间的生长提供了充分的水分(相对于该地区的坡耕地),增加了梯田小麦的产量。

4 结 论

1) 应用 hydrus-1D 模型模拟人工降雨后5 d内土壤含水量的变化特征,与实测值比较,验证了所建立的数学模型的合理性。

2) 梯田和坡耕地在土壤地表(0~40 cm)的变异系数 CV 变化较大,属于速变层,即地表环境受到降雨、蒸发、植物的蒸腾及渗漏相互作用的影响较大;随着土层深度的加深,变异系数 CV 变化减小,即含水量变化逐渐减小。

3) 降雨后,地表一定的土层深度内(不同的降雨历时,梯田和坡耕地的土层深度也不一样),梯田的土壤含水量比坡耕地的大;1.45 mm/min 降雨强度下,降雨历时为23 min时坡耕地形成了径流,梯田却没有。在同一坡位上,降雨量相同的条件下,梯田拦蓄雨水的功能比坡耕地好,保证了小麦在拔节期和扬花期间所需的土壤水分,是梯田小麦高产的主要原因。

参 考 文 献:

- [1] 穆兴民.黄土高原土壤水分与水土保持措施相互作用[J].农业工程学报,2000,16(2):41-45.
- [2] 刘秀花,李林.庄浪县梯田化建设对生态-经济-社会协调发展的作用分析[J].水土保持研究,2007,14(2):65-67.
- [3] 吴发启,张玉斌,余雕,等.黄土高原南部梯田土壤水分环境效应研究[J].水土保持研究,2003,10(4):128-130.
- [4] 杨开宝,李景林,郭培才,等.黄土丘陵区第1副区梯田断面水分变化规律[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(2):64-69.
- [5] 王夏晖,王益权,刘军,等.孔源及常规施肥方式下土壤水分的利用研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(2):36-41.
- [6] 张玉斌,曹宁,武敏,等.黄土高原南部水平梯田的土壤水分特征分析[J].中国农学通报,2005,21(8):215-220.
- [7] 甘肃农村年鉴编委会.甘肃农村年鉴[M].北京:中国统计出版社,2009:10.
- [8] 郑粉莉,江忠善,高学田.水蚀过程与预报模型[M].北京:科学出版社,2008:225.
- [9] 陈文亮.组合侧喷式野外人工模拟降雨装置[J].水土保持通报,1984,4(5):43.
- [10] Simunek J M, Sejna T, Van Genuchten M Th. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media[M]. Riverside, California: Colorado School of Mines Publishers, 1998.
- [11] Feddes R A, Bresler E, Neuman S P. Field test of a modified numerical model for water uptake by root systems[J]. Water Resour Res, 1976, 10(6): 1199-1206.
- [12] 尚松浩,毛晓敏,宣小忠,等.叶尔羌河绿洲潜在蒸发量的变化特性[J].灌溉排水,1999,18(2):14-17.
- [13] Van Genuchten M Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1980, 44: 892-898.
- [14] Van Genuchten M Th. Determining transport parameters from solute displacement experiments[R]. U.S. Riverside, CA: USDA, ARS, 1980b.
- [15] Wesseling J G. Meerjarige simulaties van groundwater op trekking voor verschillende bodemprofielen, groundwater trappen en gewassen met het model SWATRE[R]. Wageningen, the Netherlands: Winand Staring Centre, 1991.
- [16] 王靖,李湘阁,刘恩民.华北平原冬小麦相对蒸散与叶面积指数及表层土壤含水量的关系[J].中国生态农业学报,2003,11(2):32-34.
- [17] 肖俊夫,刘战东,段爱旺.不同土壤水分条件下冬小麦根系分布规律及其耗水特性研究[J].中国农村水利水电,2007,(8): 18-21.
- [18] 郑纪勇,邵明安,张兴昌.黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征[J].水土保持学报,2004,28(3):53-56.
- [19] 陈晓远,高志红,刘晓英,等.水分胁迫对冬小麦根、冠生长关系及产量的影响[J].作物学报,2004,30(7):723-728.
- [20] 马博虎,徐学选,刘毅,等.梯田、坝地在黄土高原生态恢复中的地位与作用[J].水土保持研究,2007,14(4):27-30.
- [21] 吴海卿,段爱旺,杨传福.冬小麦对不同土壤水分的生理和形态响应[J].华北农学报,2000,15(1):92-96.
- [22] 王晨阳,马元喜.不同土壤水分条件下小麦根系生态生理效应的研究[J].华北农学报,1992,7(4):1-8.

(英文摘要下转第31页)

Effect of soil water storage before sowing on growth and yield of watermelon in the field with mulching gravel

TAN Jun-li^{1,2}, TIAN Jun-cang^{1,2}, WANG Xi-na³, ZHAO Xiao-yong^{1,2}

(1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. Engineering and Technology Research Center of Water-saving and Water Resources Regulation in Ningxia,

Yinchuan, Ningxia 750021, China; 3. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: Irrigation before sowing for increasing soil moisture is a common method of water supplement for watermelon in the field with mulching gravel around Xiangshan region, Zhongwei in Ningxia. A field experiment was carried out to study the effect of soil water storage before sowing on growth, yield and water use efficiency of watermelon. The results showed that appropriate amount of soil moisture in 0~100 cm soil layer (223~238 mm) could promote main stem growth, leaf occurrence and leaf area increase of watermelon. However, abundant amount of soil water storage was not beneficial for watermelon in the early growing period. Compared with no irrigation treatment, treatment of irrigation before sowing improved watermelon yield and vine to some extent. Watermelon got the highest yield and vine biomass with 70 m³/667m² irrigation amount, reaching 1 645 kg/667m² and 25.4 kg/667m² and the increasing rate was 30% and 49% respectively compared with no irrigation treatment. Nevertheless, water use efficiency of watermelon decreased with the increase of soil water storage amount before sowing.

Keywords: soil water storage before sowing; watermelon; field with gravel mulching; growth; yield

(上接第19页)

Characteristics of soil water infiltration in sloping land and level terrace under different rainfall duration

HAN Fang-fang¹, LIU Xiu-hua¹, MA Cheng-yu²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2. The 3rd Geological Survey Team of He'nan Bureau of Geology and Mineral Resources, Xinyang, He'nan 464000, China)

Abstract: Hydrus-1D model was applied to simulate soil water infiltration under different raining duration in sloping farmland and level terraces. The results showed that HYDRUS-1D proved to be a powerful and useful tool for simulating the water movement of soil in sloping land and level terrace. In the soil depth, the CV of soil moisture at 0~40 cm was in medium variation, it decreased with the depth, while in other depths the CV was in weak variation. Runoff occurred at 23 min in the 1.45 mm/min rainfall intensity in sloping field, however, there was no runoff in the whole process in level terrace. And in the same condition, the infiltration and soil moisture content in level terrace were higher than these in sloping land. When rainfall duration was 10 min, the water content in soil depth of 0~15 cm in level terrace was 0.13%~1.65% more than that in sloping land, and in the soil depth of 30~200 cm, there was no infiltration in either level terrace or sloping land. In soil depth of 0~20 cm, the moisture content in level terrace were 0.05%~2.22% and 0.01%~2% higher than that in sloping land when rainfall duration was 20 min and 30 min respectively.

Keywords: raining duration; Hydrus-1D model; water infiltration; runoff