

# 区域尺度内畦沟灌溉灌水技术要素组合的优化研究

聂卫波<sup>1</sup>, 费良军<sup>1</sup>, 马孝义<sup>2</sup>, 马鲜花<sup>3</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; 3. 武功县气象局, 陕西 武功 712200)

**摘要:** 以陕西省杨陵区进行的大田灌水试验为基础, 采用SRFR软件对大田灌水试验的灌水质量进行模拟, 将实测结果与模拟结果进行了对比。结果表明SRFR软件模拟畦灌和沟灌灌水质量可靠。以SRFR软件为基础, 通过改变不同灌水技术要素组合, 提出了研究区域内不同条件下畦灌和沟灌灌水技术要素的优化组合。该研究结果可提高现有畦灌和沟灌技术的灌水质量, 达到常规地面灌溉的节水目的, 同时也可为其它地区制定地面灌溉灌水方案提供方法借鉴。

**关键词:** 畦灌; 沟灌; 灌水效率; 灌水均匀度; 灌水技术要素组合

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2010)05-0122-06

中图分类号: S274.3

## Optimum Combination of Technique Elements in Border and Furrow Irrigation at Regional Scale

NIE Wei-bo<sup>1</sup>, FEI Liang-jun<sup>1</sup>, MA Xiao-yi<sup>2</sup>, MA Xian-hua<sup>3</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 the Ministry of Education,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Meteorological Bureau of Wugong County Wugong, Shaanxi 712200, China)

**Abstract:** Based on field experiments carried out in Yangling, field application efficiency is simulated by SRFR software and simulated values are then compared with measured values. Results show that the margin of error is reasonable, indicating that SRFR software is appropriate for the analysis of border and furrow irrigation. According to the simulation by SRFR software, optimum combination of reasonable irrigation technique elements under different conditions of border irrigation and furrow irrigation is found through changing the combination of irrigation technique elements. The result from the study may be useful in avoiding waste of water resources, enhancing irrigation application efficiency and distribution efficiency, and attaining aim of saving water. Meanwhile, the method can provide some references for other regions to formulate a scientific irrigation scheme.

**Keywords:** border irrigation; furrow irrigation; application efficiency; distribution uniformity; combination of irrigation technique element

合理的地面灌水技术要素组合是人们长期探讨的问题, 国内外学者对其进行了大量的研究<sup>[1-7]</sup>, 但目前的研究大多集中在田间尺度上, 对于区域尺度内的地面灌水技术指标研究较少, 由于大范围内的土壤空间变异性较大且管理模式的不同, 也难以给出系统性的规律和适合区域特征的灌水技术指标。对于区域尺度上合理灌水技术要素组合的研究, 若通过田间试验比较不同灌水方案的灌水质量进行选择, 其不但费时费力, 且可能遗漏最优组合, 这就有必要采用理论

分析方法, 应用数学模型模拟不同灌水技术要素组合的灌水质量, 便于多种灌水方案的分析比较, 以求得最优的灌水方案。

影响地面灌溉灌水质量的因素很多, 主要因素大致可分为两类: 第一类属于自然性能因素, 包括土壤质地、入渗性能、田面糙率、灌前土壤含水率、作物种类和种植方式等; 第二类属于灌水技术要素, 包括田块长度、宽度、灌水流量、改口成数、田面坡降和平整程度等。自然性能因素是不易人为控制的, 而灌水技

收稿日期: 2010-04-17

修回日期: 2010-04-22

资助项目: 国家自然科学基金“膜孔灌施肥农田氮素运移特性与灌溉质量评价方法研究”(50579064); 西安理工大学博士科研启动基金“区域尺度内畦灌灌水技术要素组合研究”(106-210916)和陕西省重点学科建设资助项目

作者简介: 聂卫波(1981—), 男(汉族), 陕西省周至县人, 博士, 讲师, 主要从事农业水土工程方面研究。E-mail: nwb02000@163.com。

术要素是可改变的。故本文以杨凌示范区砂壤土和黏壤土进行的畦灌和沟灌大田灌水试验为基础, 然后采用 SRFR 软件对其灌水质量进行模拟, 将实测结果与模拟结果进行对比, 以保证其软件模拟灌水质量的可靠性; 以 SRFR 软件模拟为基础, 通过改变不同灌水技术要素组合, 找出不同因素对畦灌和沟灌灌水效率和灌水均匀度的影响规律, 以期得到研究区域内不同条件下畦灌和沟灌灌水技术要素的优化组合。

## 1 田间灌溉试验灌水质量评价

### 1.1 田间试验简介

大田灌水试验于 2005 年春、冬季, 2007 年冬季分别在杨凌的 1 级阶地和 3 级阶地上进行。2 种不

同土壤质地的田块种植的主要作物为小麦和果树, 灌溉形式为畦灌和沟灌, 其中沟灌采用梯形断面, 沟底宽 20 cm、沟深 15 cm、边坡 1 : 1。灌水前测定土壤容重和初始含水率(层深 15—25 cm, 测深 1 m), 以及进行土壤入渗试验, 其中畦灌田块采用双环入渗试验, 沟灌田块采用沟段积水测渗法<sup>[8]</sup>, 采用 Kostiakov 入渗公式, 各田块入渗参数取多点测定均值; 灌水时, 沿田块长度方向, 每 5 或 10 m 打一木桩作为测点, 观测水流推进和消退到各点的时间, 用三角堰板计量进入田块流量, 对其实施动态监测; 灌水后 1 d, 沿田块长度方向选取 4~5 个断面, 分层(层深 15—25 cm)测量土壤灌后含水率, 测量深度 1 m。其各田块的基本参数见表 1。

表 1 各田块基本参数

灌水方式	编号	长度/ m	宽度/ m	流量/ (m <sup>3</sup> · min <sup>-1</sup> )	灌水时间/ min	坡降/ ‰	入渗参数		土壤 质地	种植 作物
							<i>k</i>	$\alpha$		
畦灌	1	50	1.6	0.768 0	9.50	1.6	0.008 81	0.780	砂壤土	果树    小麦
	2	50	1.6	0.834 0	7.67	0.9	0.008 94	0.750	砂壤土	
	3	70	3.0	0.738 0	36.67	1.4	0.008 77	0.790	砂壤土	
	4	50	3.8	0.410 4	70.00	1.8	0.008 90	0.640	黏壤土	
	5	75	3.4	0.510 0	75.00	2.5	0.007 90	0.690	黏壤土	
	6	90	2.9	0.417 6	85.00	3.9	0.008 10	0.680	黏壤土	
	7	92	3.3	0.534 6	68.00	2.9	0.008 40	0.670	黏壤土	
沟灌	1	60	1.0	0.147 3	26.50	4.0	0.007 95	0.669	砂壤土	果树
	2	60	1.0	0.127 3	28.00	4.0	0.007 02	0.710	砂壤土	
	3	60	1.0	0.160 8	24.50	4.0	0.009 09	0.655	砂壤土	
	5	80	0.9	0.171 6	31.96	6.0	0.003 66	0.882	黏壤土	
	6	90	0.9	0.142 2	78.50	6.0	0.005 65	0.759	黏壤土	
	7	80	0.9	0.171 0	42.85	6.0	0.004 81	0.832	黏壤土	
	8	80	0.9	0.193 8	38.32	6.0	0.006 79	0.767	黏壤土	

注: *k* 和  $\alpha$  分别为 Kostiakov 公式中的入渗参数, 沟灌宽度为灌水沟间距, 沟灌入渗参数 *k* 单位为 m<sup>2</sup>/min<sup>0.5</sup>。下同。

### 1.2 灌水质量评价指标

目前常选用灌水效率  $E_a$  和灌水均匀度  $E_d$  这两个指标作为设计标准, 李益农<sup>[9]</sup>等学者建议灌水效率  $E_a$  和灌水均匀度  $E_d$  分别采用下式计算, 即

$$E_a = \frac{W_s}{W_f} \times 100\% \quad (1)$$

$$E_d = \frac{Z_{Lq}}{Z_{aw}} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $W_s$ ——灌后储存于土壤计划湿润层中的水量(mm);  $W_f$ ——灌入田间的总水量(mm);  $Z_{Lq}$ ——沿田块长度方向土壤受水最少的 1/4 段内平均入渗水深(mm);  $Z_{aw}$ ——田块上的平均入渗水深(mm)。用式(1)和式(2)对表 1 中各田块的灌水质量进行计算, 具体结果见表 2。

### 1.3 SRFR 软件对灌水质量的模拟

大量研究表明影响灌水质量的因素很多<sup>[10-13]</sup>, 灌

水质量随着各种灌水技术要素的变化有着较大的起伏, 若通过大田灌水试验寻找灌水技术要素的最优组合, 其需要大量的试验样本, 而大田灌水试验费时费力, 且田间试验不易控制, 易产生误差并可能漏选最优结果, 使得通过大田试验寻找灌水技术要素优化组合的方法具有很大的局限性。SRFR 软件是由美国农业部灌溉研究中心开发的地面灌溉模拟模型, 其输入的数据分为 3 类: (1) 几何参数, 包括田块长度、宽度和田面地形条件等; (2) 土壤参数, 包括入渗参数和田面糙率等; (3) 管理参数, 包括灌溉需水量、进入田块的流量和灌水时间或停水距离等。这些参数可从大田实测资料得到或采用模型反推的方法求得。将表 1 中的各参数输入 SRFR 软件中, 其中输入所需糙率值, 可根据文献<sup>[4]</sup>方法求得。采用 SRFR 软件对表 1 中各田块的灌水质量进行评价, 具体结果见表 3。

表 2 各田块灌水质量评价

灌水方式	编号	根区(60 cm)平均含水率/ %		储水量增加/ mm	灌水量/ mm	$E_d$ / %	$E_d$ / %
		灌前 1 d	灌后 1 d				
畦灌	84156	5.80	16.94	66.89	91.20	73.33	
	89256	5.71	13.97	49.56	80.00	61.95	
	76344	5.98	17.22	67.41	128.87	52.31	
	88495	13.72	28.06	86.04	151.20	56.90	
	86501	14.97	28.72	82.50	150.00	55.00	
	78632	13.44	27.80	86.16	136.00	63.35	
	74751	14.22	27.95	82.38	119.74	68.80	
沟灌	1	6.10	16.18	56.10	65.06	86.23	66.86
	2	6.72	15.79	54.42	59.41	91.61	66.49
	3	6.32	15.70	56.28	65.66	85.71	64.12
	4	15.08	26.35	67.62	68.55	98.64	85.47
	5	15.18	26.94	70.56	124.03	56.89	74.26
	6	14.68	27.52	77.04	91.59	91.59	84.50
	7	15.52	25.01	56.94	58.92	95.64	86.06

表 3 SRFR 软件模拟灌水质量评价

灌水方式	编号	$E_d$ / %	误差/ %	$E_d$ / %	误差/ %
畦灌	1	64.4	-12.18	95.1	12.46
	2	82.9	33.82	87.2	-2.64
	3	46.3	-11.49	71.6	-6.33
	4	64.4	13.18	84.8	-4.67
	5	51.8	-5.82	80.9	-5.94
	6	52.2	-17.60	73.4	-6.28
	7	61.7	-10.32	79.1	6.16
	误差均值/ %		14.91		6.35
沟灌	1	95.9	11.21	75.6	13.07
	2	91.4	-0.23	69.7	4.83
	3	96.0	12.01	75.1	17.12
	4	95.9	-2.78	80.4	-5.93
	5	96.7	69.98	73.8	-0.62
	6	97.3	6.23	76.5	-9.47
	7	82.9	-13.32	88.0	2.25
	误差均值/ %		16.53		7.61

注:表中误差为[(模拟值-实测值)/实测值]×100%,误差均值为评价指标误差绝对值均值。

由表 3 可知,灌水效率的误差较大,畦灌时灌水效率误差绝对值均值为 14.91%,沟灌时灌水效率误差绝对值均值为 16.53%;而灌水均匀度的误差较小,畦灌时灌水均匀度误差绝对值均值为 6.35%,沟灌时灌水均匀度误差绝对值均值为 7.61%;由表 3 中的误差绝对值均值并结合田间工程实际来看,可认为其误差在一个合理的范围了,表明 SRFR 软件模拟得出的灌水质量评价指标是可靠的。

## 2 区域尺度内灌水技术指标的确定

由以上分析可知,SRFR 软件模拟灌水质量评

价指标是可靠的,故可采用其模拟不同灌水技术要素组合下的灌水质量,以找出研究区域尺度内合理的灌水技术指标。但对于大尺度范围内灌水技术要素组合,确定的难点在于如何获得土壤参数和田面糙率值,由于 SRFR 软件输入的参数值须具有一定的代表性,而不同田块的入渗参数与糙率的取值是有所差异的,若对每个田块的入渗参数与糙率值进行研究显然是不现实的,故土壤入渗参数值和田面糙率值的确定对 SRFR 软件的模拟结果十分重要。

### 2.1 土壤入渗参数的确定

畦灌土壤入渗参数的确定,分析各田块的累积入渗量与入渗时间的关系,其有着较高的聚合性,具体见图 1。由图 1 可看出,对于区域内黏壤土和砂壤土畦灌累积入渗量与入渗时间可简化为:

$$Z=0.0083t^{0.67} \quad (R^2=0.9991, \text{黏壤土}) \quad (3)$$

$$Z=0.0088t^{0.77} \quad (R^2=0.9980, \text{砂壤土}) \quad (4)$$

畦灌土壤糙率值的确定,采用文献[14]方法,以水量平衡原理为基础,根据水流推进资料反推求得黏壤土质地的冬小麦畦灌糙率值在 0.34~0.36 之间,砂壤土质地的多年生果树畦灌糙率值在 0.10~0.13 之间。为保证 SRFR 软件输入参数的简便性,综合考虑黏壤土小麦畦灌糙率系数取统一值 0.35,砂壤土果树畦灌糙率系数取统一值 0.12,其值与史学斌等<sup>[15]</sup>研究结果一致。

对于沟灌土壤入渗参数的确定,可沿用畦灌土壤入渗参数值确定的思路,以此确定沟灌入渗参数值。经拟合得出区域内黏壤土和砂壤土沟灌累积入渗量与入渗时间可简化为:

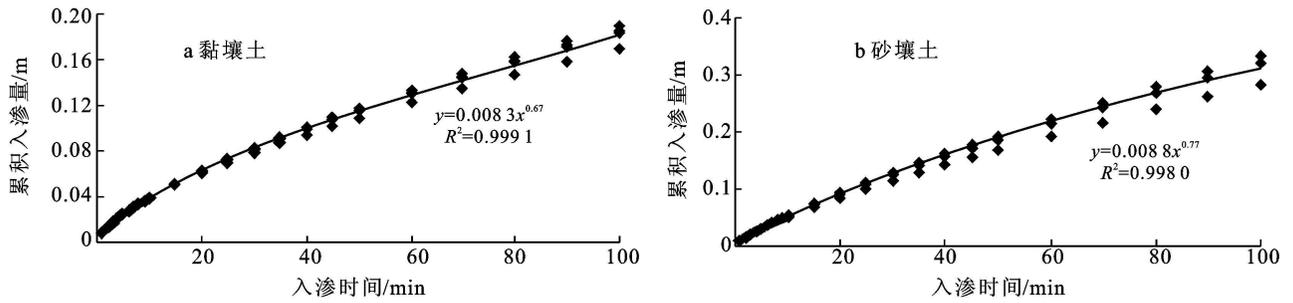


图1 不同土壤质地的累积入渗量拟合

$$Z=0.0051t^{0.81} \quad (R^2=0.9857, \text{黏壤土}) \quad (5)$$

$$Z=0.0080t^{0.0678} \quad (R^2=0.9959, \text{砂壤土}) \quad (6)$$

对于沟灌土壤糙率值的确定, 由于黏壤土质地多年生果树沟灌田间糙率系数在 0.12~0.18 之间变化, 砂壤土质地多年生果树沟灌田间糙率系数在 0.06~0.10 之间变化<sup>[16]</sup>, 综合考虑黏壤土果树沟灌糙率系数  $n$  取统一值 0.15, 砂壤土果树沟灌糙率系数取统一值 0.08。将上述分析所得参数进行整理, 可得 SRFR 软件输入所需的土壤参数值见表 4。

表4 土壤参数值

土壤类型	畦灌			沟灌		
	$k$	$\alpha$	$n$	$k$	$\alpha$	$n$
黏壤土	0.0083	0.67	0.35	0.0051	0.810	0.15
砂壤土	0.0088	0.77	0.12	0.0080	0.678	0.08

## 2.2 畦灌灌水技术要素组合的分析

寻找合理灌水技术要素组合的原则为: 流量不宜过大, 以免造成对灌水田面的冲刷; 田面长度不易过短, 这样将增加田间工作量且过多占用耕地; 灌水效率, 灌水均匀度<sup>[17]</sup>。采用 SRFR 软件模拟得出杨凌砂壤土多年生果树和黏壤土小麦畦灌时不同坡度、畦长和单宽流量等灌水技术要素组合下的灌水效率和灌水均匀度值, 以找出合理灌水技术要素组合。应用 SPSS 统计软件对采用 SRFR 软件模拟得出的数据进行分析, 确定出畦灌时砂壤土果树和黏壤土小麦在不同坡度条件下的灌水效率、灌水均匀度值与畦长和单宽流量的关系, 并用 Matlab 软件编写程序, 分别作出其等势线图, 列举部分结果见图 2。

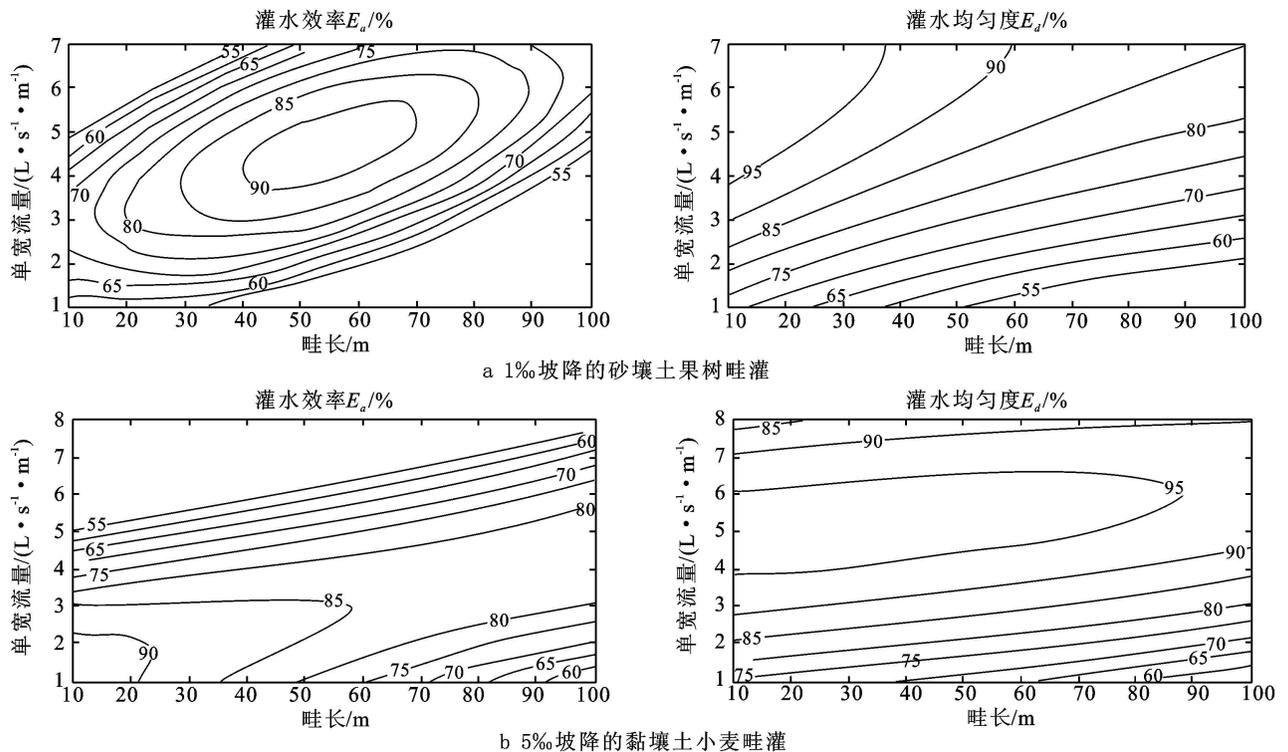


图2 畦灌不同坡降下灌水效率  $E_a$ 、灌水均匀度  $E_d$  与畦长和单宽流量的关系

由图2可见,砂壤土多年生果树和黏壤土小麦进行畦灌时,当畦长为定值,随单宽流量的增加,灌水效率 $E_a$ 和灌水均匀度 $E_d$ 值随之提高,但单宽流量的增加到一定程度后,其值到达最大值后就会降低。综合考虑畦灌灌水技术要素组合的原则,并结合模拟结果,可得出不同坡降条件下砂壤土和黏壤土畦灌时灌水技术要素的优化组合。

(1) 砂壤土果树畦田坡降1%条件下,畦长应以40~50 m,流量以3.0~4.0 L/(s·m)为宜;畦田坡降3%条件下,畦长应以50~60 m,流量为4.0~5.0 L/(s·m)为宜;畦田坡降5%条件下,畦长应以70 m左右,流量为5.0~6.0 L/(s·m)为宜;畦田坡降7%条件下,畦长应以80 m左右,流量为5.0~6.0 L/(s·m)为宜。

(2) 黏壤土小麦畦田坡降1%条件下,畦长应以40 m左右,流量为2.0~3.0 L/(s·m)为宜;畦田坡降3%条件下,畦长应以50 m左右,流量为2.5~3.5 L/(s·m)为宜;畦田坡降5%条件下,畦长应以60 m左右,流量为3.0~4.0 L/(s·m)为宜;畦田坡降7%条件下,畦长应以70~80 m,流量为4.0~5.0 L/(s·m)为宜。

### 2.3 沟灌灌水技术要素组合的分析

对于沟灌灌水技术指标的确定,采用与畦灌灌水技术要素相同的处理技术和方法,绘制砂壤土和黏壤土多年生果树在不同坡度条件下的灌水效率、灌水均匀度与沟长和流量关系的等势线图,列举部分结果如图3所示。

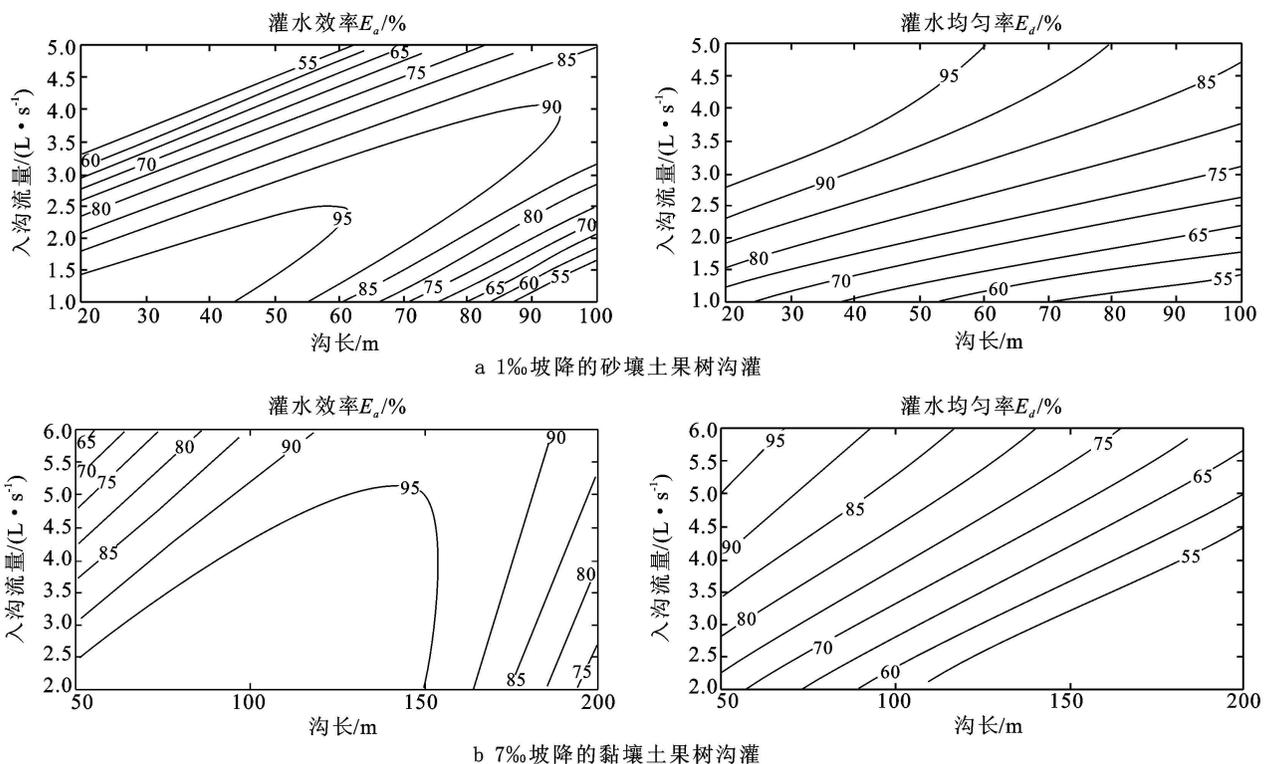


图3 沟灌不同坡降下灌水效率 $E_a$ 、灌水均匀度 $E_d$ 与沟长和流量的关系

综合考虑沟灌灌水技术要素组合的原则,可得出不同坡降条件下砂壤土和黏壤土多年生果树沟灌时灌水技术要素的优化组合(列举部分研究成果):

(1) 砂壤土果树沟灌坡降1%条件下,沟长应以40~50 m,入沟流量为2.5~3.0 L/s为宜;灌水沟坡降3%条件下,沟长应以50~60 m,入沟流量为3.0~3.5 L/s为宜;灌水沟坡降5%条件下,沟长应以70~80 m,入沟流量为3.0~4.0 L/s为宜;灌水沟坡降7%条件下,沟长应以60~70 m,入沟流量为3.0~3.5 L/s为宜。

(2) 黏壤土果树沟灌坡降1%条件下,沟长应以

60~70 m,入沟流量为4.5~5.0 L/s为宜;灌水沟坡降3%条件下,沟长应为100 m左右,入沟流量为4.0~5.0 L/s为宜;灌水沟坡降5%条件下,沟长应为85 m左右,入沟流量为3.5~4.5 L/s为宜;灌水沟坡降7%条件下,沟长应以90 m左右,入沟流量为3.0~4.0 L/s为宜。

## 3 结论

通过对杨凌示范区大田灌水试验的灌水质量进行评价,在采用SRFR软件对大田灌水试验的灌水质量进行模拟,将实测结果与模拟结果进行对比,结

合田间工程实际,可认为两者误差在一个合理的范围内,表明SRFR软件模拟畦灌和沟灌灌水质量是可靠的。以SRFR软件模拟为基础,通过改变不同灌水技术要素组合,找出了研究区域内不同条件下的畦灌和沟灌灌水技术要素的优化组合。但由于本文采用SRFR软件模拟灌水质量时未考虑改口成数,对于不同改口成数下的灌水技术组合还有待进一步研究。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] Raghuvanshi N S, Wallender W W. Forecasting and optimizing furrow irrigation management decision variables [ J ]. *Irrig. Sci.*, 1999, 19(1): 1-6.
- [ 2 ] 王文焰,汪志荣,费良军,等.波涌灌溉的灌水质量评价及计算[ J ].水利学报,2000,31(3):53-58.
- [ 3 ] Eldeiry A, Garcia L, ElZaher A S A, et al. Furrow irrigation system design for clay soils in arid regions[ C ] //Colorado State University, Colorado, USA; Conference proceedings of AGU Hydrology Days, 2004: 42-54.
- [ 4 ] Horst M G, Shamutalov S S, Pereira L S, et al. Field assessment of the water saving potential with furrow irrigation in Fergana, Aral Sea basin[ J ]. *Agric. Water Manage.*, 2005, 77(3): 210-231.
- [ 5 ] 闫庆健,李久生.地面灌溉水流特性及水分利用率的数学模拟[ J ].灌溉排水学报,2005,24(2):62-64.
- [ 6 ] 王京,史学斌,宋玲,等.畦田水流特性及灌水质量的分析[ J ].中国农村水利水电,2005(6):4-7.
- [ 7 ] 郑和祥,史海滨,程满金,等.畦田灌水质量评价及水分利用效率分析[ J ].农业工程学报,2009,25(6):1-6.
- [ 8 ] 路京选,刘宣仁,惠士博.沟畦灌溉水流运动数学模型简介[ J ].资源科学,1989,25(1):74-80.
- [ 9 ] 李益农,许迪,李福祥.田面平整精度对畦灌系统性能影响的模拟分析[ J ].农业工程学报,2001,17(4):43-48.
- [ 10 ] 朱艳,缴锡云,王维汉,等.微地形及沟断面形状变异性对沟灌性能影响的试验研究[ J ].灌溉排水学报,2009,27(1):1-4.
- [ 11 ] 白美健,许迪,李益农.微地形分布差异对畦灌过程及性能的影响模拟[ J ].农业工程学报,2008,24(4):1-6.
- [ 12 ] 朱艳,缴锡云,王维汉,等.畦灌土壤入渗参数的空间变异性及其对灌水质量的影响[ J ].灌溉排水学报,2009,28(3):46-49.
- [ 13 ] 王维汉,朱艳,缴锡云,等.畦灌改水成数的控制误差及其对灌水质量的影响[ J ].中国农学通报,2010,26(2):291-294.
- [ 14 ] 聂卫波,马孝义,康银红.基于畦灌水流推进过程推求田面平均糙率的简化解析模型[ J ].应用基础与工程科学学报,2007,15(4):489-495.
- [ 15 ] 史学斌.畦灌水流运动数值模拟与关中西部灌水技术指标研究[ D ].陕西杨凌:西北农林科技大学,2005.
- [ 16 ] 聂卫波.畦沟灌溉水流运动模型与数值模拟研究[ D ].陕西杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [ 17 ] 汪志农.灌溉排水工程学[ M ].北京:中国农业出版社,2000:52-53.

(上接第117页)

- [ 7 ] Fabrize K P, Garcia F O, Costa J L. Soil water dynamic physical properties and corn and wheat response to minimum and no-tillage systems in south pampas of Argentina[ J ]. *Soil & Tillage Research*, 2005, 81: 57-69.
- [ 8 ] Abbas Hemmat, Iraj Eskandari. Dry land winter wheat response to conservation tillage in a continuous cropping system in Northwestern Iran [ J ]. *Soil & Tillage Research*, 2006, 86: 99-109.
- [ 9 ] Sjoerd W Duiker, Douglas B Beegle. Soil fertility distributions in long-term no-till chisel/disk and moldboard plow/disk systems [ J ]. *Soil & Tillage Research*, 2006, 88: 30-41.
- [ 10 ] 杨青,薛少平,朱瑞祥,等.中国北方一年两作区保护性耕作技术研究[ J ].农业工程学报,2007,23(1):32-39.
- [ 11 ] 王宁,闫洪奎,王君,等.不同量秸秆还田对玉米生长发育及产量影响的研究[ J ].玉米科学,2007,15(5):100-103.
- [ 12 ] 洪晓强,赵二龙,宋宏伟.秸秆覆盖对农田土壤水分及玉米生长的影响[ J ].中国农学通报,2005,21(8):177-179.
- [ 13 ] 洪晓强.渭北旱原春玉米耗水规律初探[ J ].水土保持通报,1999,19(7):17-19.
- [ 14 ] 谢瑞芝,李少昆,金亚征,等.中国保护性耕作试验研究的产量效应分析[ J ].中国农业科学,2008,41(2):397-404.