

微集水种植技术的农田水分调控效果模拟研究

韩清芳¹, 李向拓¹, 王俊鹏¹, 蒋 骏¹, 丁瑞霞¹, 刘正辉², 贾志宽¹

(1 西北农林科技大学农学院, 杨凌 712100; 2 浙江大学农业与生物技术学院, 杭州 310029)

摘 要: 农田微集水种植技术是提高旱区农田作物生产力的一项重要技术选择, 带型(沟垄的宽度比例和数值)的优化设计是其研究和开发所面临的关键问题之一。该研究利用模拟降水等方法, 通过降水在沟垄间的分配比例、在沟土中水平分布的不均匀程度、在沟内的最大下渗深度及在沟内的垂直分布特征值 4 个描述降水在沟垄间分布特征参数对同一沟垄宽度比例的不同宽度值处理对农田水分调控的效果进行了比较分析。结果表明: 各种降水处理下, 对同一沟垄宽度比值, 随着带型的窄化(宽度变窄), 降水向垄中的侧渗作用增强, 在沟内水平分布的不均匀性降低, 在沟内的垂直下渗略有减弱; 在蓄水保墒效果上, 窄带型要优于同一沟垄比值下的宽带型。

关键词: 微集水种植; 农田水分调控; 带型; 模拟研究

中图分类号: S273.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)02-0078-05

0 引言

农田微集水种植技术是一种地块内集水农业技术, 它适用于缺乏径流源或远离产流区的旱平地 and 缓坡旱地, 其基本原理是通过在田间修筑沟垄, 垄面覆膜, 作物种在沟里, 使降水由垄面向沟内汇集, 改善作物水分供应状况, 提高作物产量^[1-3]。多年的科学研究和生产实践表明, 农田微集水种植技术不仅可显著增加作物产量, 提高降水和肥料利用效率, 有效控制田间水土流失, 且有一次起垄多年不变, 操作简便, 易于推广等优点, 已成为提高旱区农田作物生产力的一项重要工程技术措施^[1-6]。

集雨、蓄水、保墒是微集水种植农田水分调控的核心, 也是其增产机理的关键所在^[1,4-6]。农田微集水种植技术对作物水分供应条件改善可概括为: 作物耗水在量上的扩增和质上的提升。量上的扩增源于集雨, 表现为作物耗水总量的增加, 通过垄面覆膜, 使降落在垄面上的雨水以径流形式汇集到沟内; 质上的提升源于蓄水和保墒, 表现为土壤无效蒸发的抑制和作物蒸腾率的提高; 通过垄面覆膜, 抑制膜下土壤水分的蒸发, 减少总蒸发面积, 强化降水下渗及侧渗, 置雨水于利于保蓄状态。

据已有的研究, 沟垄宽度比值一定, 则集雨效果一定, 作物耗水量也基本相同^[1,7]; 但在同一沟垄宽度比例下, 宽度值不同, 其蓄水、保墒效果有别, 相应的作物生育及产量表现也差别明显^[1-3]。带型(即沟垄的宽度比例和数值)的优化设计是农田微集水种植技术研究和开发面临的关键问题之一。目前相关研究多限于对沟垄宽度值比例的优化, 而在沟垄宽度的优化方面的研究则较

少^[1-3,5,8-12]。我们在多年的研究中发现^[1-3], 窄带型的增产效果要较同一沟垄宽度比例下的宽带型显著。本试验拟通过模拟降水等方法, 通过比较分析同一沟垄宽度比例下不同宽窄处理间的蓄水保墒效果, 初步评判宽窄带型在农田水分调控方面的优劣, 以期为农田微集水种植沟垄宽窄的优化设计提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验处理与取样方法

本研究采用模拟试验方法, 于 2000~2001 年在宁南旱农试验区(海原)利用自行研制的简易模拟降水装置实现, 并辅以自然降水后的实证观察。试验土壤为黄绵土, 按沟垄宽度比为 1:1, 设三种带型处理: 沟+ 垄 = 30 cm + 30 cm 为处理 I, 沟+ 垄 = 45 cm + 45 cm 为处理 II, 沟+ 垄 = 60 cm + 60 cm 为处理 III。人工起垄覆膜, 垄高 15 cm, 操作精细, 沟垄比例、集水效果符合设计要求; 薄膜下端与沟面垂直, 膜下端距沟表面约 3~5 cm。以不起垄平地不覆膜为对照。

模拟降水 12 h 后用采用烘干法测定土壤含水率, 重复 2 次。为较准确地描述降水在沟、垄间的水平分布特点, 从沟中线至垄中线每隔 7.5 cm 设一取样位点, 钻孔取土, 取土深度 80 cm。0~20 cm 分别取 0~5、5~10 和 10~20 cm 土深的平均土壤含水率, 记为 2.5、7.5 和 15 cm 土壤水分平均含量; 20 cm 以下每 10 cm 取土, 记为 25、35、45 cm 等的土壤水分平均含量。

1.2 模拟降水试验方法

降雨量及降雨强度的控制由自行研制的简易模拟降水装置实现, 该装置为底部密布 7 号注射针头(每 7.5 × 6 cm² 一枚)的木水箱, 其工作的基本原理是: 依据针头出水速度 v (mm/h) 与水箱内水面高度 h (mm) 间的线性关系(该装置为 $v = 1.842 + 0.183h$) 通过控制水面的高度和降水时间实现不同的降水强度和降雨量。为增强模拟实效, 本试验以海原县 30a 的降水资料为基础设计降雨量及平均降雨强度处理(见表 2~4)。本试验在傍晚进行模拟降水, 其后沟垄表面覆膜, 以减小蒸发对降水入渗的影响。

收稿日期: 2003-09-03 修订日期: 2003-12-01

基金项目: 863 项目“区域节水型农作制度与节水高效旱作保护耕作技术研究”(2002AA 6Z3021); 农业科技成果转化项目“西北旱区农田高效微集水种植技术示范与开发”(02EFN 216901259); 杨凌国家农业高新技术产业示范区科技专项“旱作农田微集水种植示范与开发”(99KGI6)

作者简介: 韩清芳(1969-), 女, 博士, 副研究员。陕西杨凌 西北农林科技大学干旱半干旱研究中心, 712100

1.3 数据分析方法

1.3.1 降水在沟垄土壤间的分配比例

用降水在沟垄土壤间分配的比例 R_{fr} 表征降水在沟、垄间的分布比例

$$R_{fr} = R_f / R_r$$

$$R_f = S_f \cdot \overline{\Delta W}_f$$

$$R_r = S_r \cdot \overline{\Delta W}_r$$

式中 R_f, R_r ——分别为降水在沟、垄土壤中分配的数量, mm; S_f, S_r ——分别为降水后沟、垄内土壤剖面上土壤水分含量发生变化的面积, m^2 ; $\overline{\Delta W}_f, \overline{\Delta W}_r$ ——分别为沟、垄内 S_f, S_r 面积上土壤水分含量变化的均值, %。

1.3.2 降水在沟土中水平分布的不均匀程度

降水在沟土中水平分布的不均匀程度 U 用下面公式表征

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{\Delta W_{zi} - \Delta W_{bi}}{\Delta W_{zi} + \Delta W_{bi}} \right|}{2}$$

$$= 2 \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Delta W_{zi} - \Delta W_{bi}}{\Delta W_{zi} + \Delta W_{bi}} \right|$$

式中 i ——某一深度的土层, 取值范围: 2.5、7.5、15、25 和 35 cm 等, $i=1$ 是指 2.5 cm 土层, 余下依次类推; n ——土壤水分含量发生变化的土层总数; ΔW_{zi} ——为第 i 土层沟中央处土壤含水率的增量, %; ΔW_{bi} ——第 i 土层沟垄交界处土壤含水率的增量, %; $\left| \frac{\Delta W_{zi} - \Delta W_{bi}}{\Delta W_{zi} + \Delta W_{bi}} \right|$ ——沟内第 i 土层土壤含水率增量的均值, %。

1.3.3 降水在沟土中的下渗及垂直分布特征

采用如下方法表征降水在沟土中的下渗及垂直分布特征:

试验结果表明, 模拟降水 12 h 后各土层土壤含水率增量 Δw 随着深度 x 的增加而递减, 可建立类似函数的关系式 $\Delta w = f(x)$ (x 为不连续变量, 取值范围: 2.5、7.5、15、25 和 35 cm 等)。本研究以此为前提, 借助一元三点不等距插值法^[13], 求 $\Delta w = 0$ 时对应的 x 值, 即为降水在沟内的最大下渗深度 X_0 。

依 $\Delta w = f(x)$ 建立沟内土壤水分增量垂直分布函数 $F(x) = \int f(x)$, 利用一元三点不等距插值法^[13], 求当 $F(x) = 0.9F(x_m)$ 时对应的 x 值 X_0 , 用于描述降水在沟土中的垂直分布特征, 该值的意义为: 有 90% 的降水分布在 $0 \sim X_0$ 土层中。

2 结果分析

2.1 降水在沟垄间的分配比例

各种降水处理下不同带型的 R_{fr} 值列于表 1, 从中可以得出:

同一带型不同雨量处理, 其 R_{fr} 值随着降雨量的增加而减少, 即降水在垄中的分配量 R_r 占总降水量的比重增加, 侧渗作用加强。以带型 I 为例, 该带型在 4、12 和 20 mm 降雨量下, 不同降雨强度的 R_{fr} 平均值依次为 2.37、1.78 和 1.18, 依次降低且最小者(1.18)约为最大者(2.37)的一半。表明随着降雨量的增加, 降水向垄中侧渗作用增强, 蓄水效果得到强化。

表 1 降水在沟垄间分配的比例 R_{fr}

Fig 1 Ratio of rainfall distribution between furrow and ridge (R_{fr})

降雨量/mm	4				12				20				
	平均	降雨强度/mm·h ⁻¹	4	8	12	平均	6	12	18	平均	10	15	20
带型 I	2.37	2.51	2.33	2.26	2.37	1.93	1.73	1.67	1.78	1.30	1.15	1.10	1.18
带型 II	3.78	3.94	3.87	3.52	3.78	2.40	2.05	2.13	2.19	1.71	1.62	1.68	1.67
带型 III	4.41	4.40	4.49	4.34	4.41	2.95	2.79	2.38	2.71	2.05	1.91	1.74	1.90

同一带型, 相同的雨量处理下, R_{fr} 值随着降雨强度的增大而减少。以带型 I 的 12 mm 降水处理为例, 在 6 mm/h 降雨强度处理下 R_{fr} 值为 1.93, 12 mm/h 和 18 mm/h 处理下, R_{fr} 值减至 1.73 和 1.67。这可能与较大降雨强度下, 沟内表层土壤水分很快饱和, 侧渗和下渗同时增强有关。

同一降水处理, 不同带型的 R_{fr} 值有随着沟垄宽度增加而增加的趋势。三种带型不同降雨量下, R_{fr} 的均值总表现为带型 I < 带型 II < 带型 III, 表明在特定的沟垄宽度比值及降水条件下, 带型的窄化有强化侧渗, 利于蓄水的作用。对此规律有如下两种解释:

其一: 当沟垄比值一定时, 沟垄宽度的窄化增加了沟垄间土壤水分交换的界面数。以 360 cm 宽的田块为例, 采用带型 II、III 处理, 田间沟垄交界分为 8 个和 6 个, 而采用带型 I 处理则达 12 个。对相同的沟垄集水效

果, 沟垄间界面的增多利于沟垄间土壤水分的交换, 这样在降水下渗过程中, 饱和或近饱和的沟内土壤水分便会较为容易地侧渗到垄中。

其二: 依土壤水动力学原理^[14], 在垄中土壤水分含量一定时, 沟内土壤水分向垄中侧渗的程度不是主要取决于沟内土壤水分的总量, 而是主要取决于沟内土壤水分的平均含量。以带型 I 和带型 III 为例, 其沟内面积分设为 $S, 2S$, 且沟内、垄中土壤初始水分含量相同。对特定的降水量, 汇集到沟内的径流量, 带型 I、III 分别为 $R, 2R$ (垄面径流系数设为 100%), 则其单位面积上的土壤水分含量, 处理 I 为 R/S , 处理 III 亦为 R/S 。因其沟内土壤水分初始含量相同, 故降水后其沟内的平均土壤水分含量相同, 依土壤水动力学原理, 两种带型沟内水向垄中侧渗的程度(横向距离、侧渗水量等)可认为大致相等, 其在垄中分配总量可设为 R_r , 则带型 I 的

$R_{f,r1}$ 值为 $(R - Rr)/Rr = R/Rr - 1$ 而带型 III 的 $R_{f,r3}$ 值为 $(2R - Rr)/Rr = 2R/Rr - 1$, 故有 $R_{f,r1} < R_{f,r3}$, 即对特定的降水条件及垄沟比值, 带型的窄化利于侧渗、蓄水。上述论证是较为理想的情况, 实际研究中, 沟内土壤水分在降水入渗过程中是很难达到均一, 带型间垄中土壤水分的初始含量亦难以相同; 但同一降水处理下, 特别是中等降雨量, 中等降雨强度下, 不同带型沟水的横向侧渗距离大致相等已为我们在模拟和自然降水后的观察结果所证实。

2.2 降水在沟内的水平分布特点

不同带型各种降水处理下, 降水在沟内水平分布不

均匀性的特征值 U 列于表 2, 从中可以得出如下结论:

同一带型不同降雨量下, U 值随着降雨量的增大而减小。以带型 III 为例, 其 4 mm 降雨量下, 各降雨强度处理下 U 的平均值为 49.1%, 12 mm 降雨量下 U 的平均值为 25.4%, 较之减少了近一半, 而该带型在 20 mm 降雨量处理下, U 的平均值仅为 13.3%, 又较 12 mm 降雨量处理减少了近一半。表明随着降雨量的增加, 降水在沟内的水平分布趋于均匀。

表 2 降水在沟内水平分布的不均匀程度 U

Fig 2 Lateral distribution eigenvalue (U) of rainfall in the furrow

%

降雨量/mm	4				12				20			
	4	8	12	平均	6	12	18	平均	10	15	20	平均
带型 I	28.9	27.0	27.1	27.7	18.7	15.0	12.8	15.5	9.9	9.6	5.1	7.9
带型 II	33.4	30.3	29.4	31.0	21.9	16.6	14.1	17.5	10.7	9.0	7.6	9.1
带型 III	50.9	48.6	47.8	49.1	29.7	26.0	20.6	25.4	15.5	14.3	10.0	13.3

同一带型同一降雨量下, U 值随降雨强度的增大而减少。以带型 I 的 12 mm 降雨量处理为例, 当降雨强度为 6 mm/h 时, U 为 18.7%; 降雨强度为 12 mm/h 时, U 值为 15.0%; 当降雨强度为 18 mm/h 时, U 值测减至 12.8%, 较 6 mm/h 时减少了 31.6%。结果说明, 当降雨量一定时, 降雨强度的增大使雨水径流进入沟内时的初始动能增加, 其在沟内水平方向上均匀分布的能力得到加强, 不均匀程度值 U 降低。

特定的沟垄比例及降水条件下, 窄带型更利于降水在沟内水平方向的均匀分布。在 4 mm 降水量处理下, 带型 I、II、III 的 U 值平均分别为 27.7%、31.0%、49.1%, 带型 I 较带型 III 减少 43.6%。在其它降水处理下, 各带型的 U 值亦总有带型 I < 带型 II < 带型 III 的规律。据试验观察, 降水在垄面形成径流后, 是由垄沟交界逐步向垄中央边下渗边推进的, 其推进的距离与雨水径流进入沟面时的初始流量并无正比关系。具体而言,

设特定降雨量及降雨强度下, 带型 I 雨水径流进入沟面的初始径流量为 J , 则带型 II 为 $3/2J$, 带型 III 为 $2J$, 如带型 I 雨水径流向垄心推进的距离为 H , 则带型 II、III 实际推进距离不是 $3/2H$ 、 $2H$, 而是小于 $3/2H$ 、 $2H$, 即相对多的雨水径流在距沟垄交界较近的区域下渗, 导致降水在沟内水平分布的不均匀性即同一沟垄比例下不同带型处理间 U 值的差异性。

2.3 降水在沟中的最大下渗深度

表 3 为各降水处理下, 不同带型沟内降水的最大下渗深度值 X_m , 从中可归纳出下面规律: 同一带型, 不同降水量下, X_m 值随着降水量的增加而增加。带型处理 III 中, 降水量为 4 mm 时, 各降水强度处理的 X_m 平均为 15.9 cm; 降水量为 12 mm 时, X_m 平均为 34.1 cm, 增加了 1 倍多; 而当降水量为 20 mm 时, X_m 平均则达 67.4 cm, 又较 12 mm 降水量处理下增加了近 1 倍。

表 3 降水在沟内的最大下渗深度 X_m

Fig 3 Maximum depth (X_m) of rainfall infiltration in the furrow

cm

降雨量/mm	4				12				20			
	4	8	12	平均	6	12	18	平均	10	15	20	平均
带型 I	15.1	13.9	13.0	14.0	32.7	30.3	28.9	30.6	65.6	65.1	60.3	63.7
带型 II	16.0	14.5	14.1	14.9	34.1	31.0	30.0	31.7	65.0	63.8	59.6	62.8
带型 III	17.3	15.6	14.9	15.9	35.9	33.5	32.9	34.1	70.1	66.4	65.7	67.4
对照	14.7	13.2	11.8	13.2	30.2	28.3	27.5	28.7	61.4	60.3	58.7	60.1

同一带型, 相同降水量下, X_m 值随着降雨强度的增加而减少。以带型处理 III 的 4 mm 降水量处理为例, 当降水强度为 4 mm/h 时, X_m 为 17.3 cm; 当降水强度为 8 mm/h 时, X_m 为 15.6 cm, 较前者减少 9.8%; 当降水强度 12 mm/h 时, X_m 为 14.9 cm, 较 4 mm/h 处理减少 13.9%。这或可解释为: 在大降雨强度下, 沟内很快达到

饱和的土壤水分在垂直下渗的同时, 向垄中侧渗作用也得以增强, 致使降水在沟内的下渗深度减小。

在相同的降水处理下, 各带型的 X_m 值均高于对照; 带型间比较的结果为 X_m 值以宽带处理 III 为最高, 窄带处理 I 为最低, 带型 II 则居中。各种降水处理下带型 I、II、III 的平均 X_m 依次为 36.1 cm、36.5 cm 和 39.1 cm,

而对照为 34.0 cm。我们所观测到的最大下渗深度多位于沟垄交界靠近沟内一侧,且降水量越小,这种现象越明显。带型间 λ_v 值的这种规律性差异可解释为:相同降水处理下,对带型III,其进入沟内的降水径流量近乎为带型I的2倍,而其降水在沟内水平分布的不均匀性程

度值 U 较高,垄面径流相对集中于沟垄交界附近,该区域的降水下渗得以促进。

2.4 降水在沟内垂直分布特征

降水在沟内垂直分布的特征值 λ_v 与降水在沟内的最大下渗深度 λ_m 的变动规律较为一致(表3、表4)。

表4 降水在沟内的垂直分布特征值 (λ_v)

Fig. 4 Vertical distribution eigenvalue λ_v of rainfall in the furrow

降雨量/mm	4				12				20			
	4	8	12	平均	6	12	18	平均	10	15	20	平均
平均降雨强度/mm·h ⁻¹	4	8	12	平均	6	12	18	平均	10	15	20	平均
带型I	8.0	7.5	7.0	7.5	24.7	22.0	21.8	22.8	51.9	48.6	47.8	49.2
带型II	10.1	7.8	6.9	8.3	26.0	23.7	21.6	23.8	56.8	53.3	51.0	53.7
带型III	9.5	8.1	7.4	8.3	26.9	25.6	22.1	24.9	55.9	55.0	55.1	55.3
对照	7.1	7.2	6.8	7.0	20.7	20.0	18.6	19.8	45.3	42.4	40.0	42.6

同一带型,不同降水量下, λ_v 随着降雨量的增加而增加。以带型I为例,当降雨量为4 mm时其各降水强度下 λ_v 的平均值为7.5 cm;当降雨量增至12 mm时, λ_v 的平均值为22.8 cm,较前者增加了2倍多;而当降水量为20 mm时, λ_v 的平均值为49.2 cm,又较12 mm降水处理增加了1倍多。

同一带型相同降水量下, λ_v 随着降水强度的增加而减少。以带型II 4 mm降水处理为例,4 mm/h、8 mm/h和12 mm/h降水强度处理下, λ_v 依次为10.1 cm、7.8 cm、6.9 cm。表明,对特定的降水量,随着降水强度的增大,降水在沟内有向较浅土层分布的趋势。

不同带型相同降水处理下, λ_v 值均高于对照,带型间 λ_v 值的比较结果为:宽带处理III最高,窄带处理I最低,带型II居中;各种降水处理下,带型I、II和III, λ_v 的平均值分为26.5、28.6和29.5 cm。据各种降水处理实验结果的综合分析,带型的窄化将使降水主要分布在较浅的土层,在此种意义上,窄带型不利于蓄水、保墒。

3 结论与讨论

3.1 讨论

同一沟垄比例,不同沟垄宽窄处理间的集水效果基本相同,但其蓄水、保墒效果各异。各种降水处理下,带型III、II和I的 R_{fr} 的平均值分别为3.01、2.55和1.78, λ_v 的平均值分为29.5、28.6和26.5 cm, U 的平均值分别为29.27%、19.20%和17.03%。这些数据表明,随着带型的窄化,降水向垄内的侧渗作用增强,垄内降水的分配量逐渐增加 (R_{fr} 减小),又因为垄内土壤水分的蒸发因垄面覆膜而被抑制,再分配至垄内的降水得以最大保存,故在此种意义上,带型的窄化利于蓄水、保墒;但 λ_v 值的变化趋势表明,随着带型的窄化,降水在沟内的垂直下渗减弱,而相对集中分布在易于蒸发的浅土层 (λ_v 减小),这样,窄带型的蓄水、保墒效果就可能比宽带型差。考虑到: R_{fr} 减小既意味着垄内降水分配量的增加,又意味着沟内可供土壤无效蒸发水量的减少,并且带型间 R_{fr} 值的差别要明显大于 λ_v 值的差别,因而,在比较带型间农田水分调控效果时应以 R_{fr} 值为主要参考,同时兼顾 λ_v 值。笔者依此提出:在蓄水保墒方面,窄

带型要优于同一沟垄比例下宽带型。此外,降水在沟内水平分布的不均匀性 U 对其后沟内土壤水分蒸发也会有一定的影响,值得进一步研究。

微集水种植田间,宽带型处理下小麦、糜子和谷子等矮秆作物在种植区沟内的边际效应较明显^[1-3]。据我们的试验观察,30 cm×30 cm(沟宽×垄宽,下同)带型下,糜子在沟内两行长势均匀,而60×60带型沟内4行糜子则边际效应明显,边两行要好于30×30内的两行,而中间两行的长势则较30×30差。微集水种植作物的这种边际效应与降水在沟垄间的分布有着直接的联系。边行的生长优势一方面源于降水在沟内水平分布的不均匀性,膜侧沟边在接受垄面径流的时间和强度上要优于沟中间;另一方面,通过侧渗作用,约1/3~1/4的降水储存在膜下垄内,边行植株就可以通过根系的扩展利用这部分水分。对30×30和60×60两种带型,沟垄比相同,集雨效果基本一致,作物生育期的耗水量基本相等,但其蓄水、保墒效果存在明显的差异,致使其作物生长发育和产量表现不同,因而在带型的优化设计过程中,需在沟垄比值优化的基础上进一步优化沟垄的宽窄。已有的研究结果初步表明,窄带型在农田水分调控效果和作物生育、产量表现上要优于同一沟垄比值下的宽带型^[1-5],带型的窄化可能是提高农田微集水种植技术的增产效果的有效途径之一,但带型的窄化下限还需进一步研究。本研究仅对同一沟垄比例下,宽窄带型的农田水分调控效果作以模拟研究,还需要结合田间的作物生长发育表现来综合评定宽窄带型在水分调控及增产效应方面的表现,以之为农田微集水种植技术的带型优化设计提供全面、科学的试验依据。

3.2 结论

本试验在特定的气象、土壤条件下,得到如下有关微集水种植农田水分调控效果的经验性结论:对某一带型,随着降雨量的增加,降水向垄中的侧渗作用增强 (R_{fr} 减小),在沟内水平分布的不均匀性降低 (U 减小),在沟内的垂直下渗得以增强 (λ_m 、 λ_v 增加);对某一带型,降雨量一定时,随着降雨强度的增加,降水向垄中的侧渗作用增强 (R_{fr} 减小),在沟内水平分布的不均匀性降低 (U 减小),但在沟内的垂直下渗减弱 (λ_m 、 λ_v 减

小); 相同的降水处理下, 对同一沟垄比值, 随着带型的窄化, 降水向垄中的侧渗作用增强(R_{fr} 减小), 在沟内水平分布的不均匀性降低(U 减小), 在沟内的垂直下渗减弱(X_m 、 X_n 减小)。

[参 考 文 献]

- [1] 王俊鹏, 韩清芳, 王龙昌, 等. 宁南半干旱区农田微集水种植技术效果研究[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(4): 16 - 20
- [2] 王俊鹏, 马林. 宁南半干旱地区谷子微集水种植技术研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20(3): 41- 43
- [3] 王俊鹏, 张久成. 宁南半干旱区春小麦微集水种植技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(2): 8- 13
- [4] Li X Y, Gong J D, Wei X W. In-situ rainwater harvesting and gravel mulch combination for corn production in the dry semiarid region of China[J]. Journal of Arid Environments, 2000, 46: 371- 382
- [5] Li X Y, Gong J D. Effects of different ridge: furrow ratios and supplemental irrigation on crop production in ridge and furrow rainfall harvesting system with mulches [J]. Agricultural Water Management, 2002, 54: 243 - 254
- [6] Fisher P D. An alternative plastic mulching system for improved water management in dry land maize production [J]. Agricultural Water Management, 1995, 22: 155 - 166
- [7] 何启明. 旱作沟垄地膜覆盖农田气候工程集水率的计算及效应评价[J]. 干旱地区农业研究, 1992, 10(4): 62- 67
- [8] 刘正辉. 半干旱区农田微集水种植带型优化设计研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2001
- [9] Critchley W. 径流集蓄[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996
- [10] 李育中, 程延年. 抑蒸集水抗旱技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999
- [11] 王虎全, 韩思明. 渭北旱塬冬小麦全程地膜覆盖超高产栽培技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 24- 30
- [12] 胡希远, 陶士珩. 半干旱偏旱区糜子沟垄径流栽培研究初报[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 44- 49
- [13] 徐士良. QBASIC 常用算法程序集[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999
- [14] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988

Simulated study on soil moisture of field under water micro-collecting farming conditions

Han Qingfang¹, Li Xiangtuo¹, Wang Junpeng¹, Jiang Jun¹, Ding Ruixia¹, Liu Zhenghui², Jia Zhikuan¹

(1. College of Agronomy, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China;

2. College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Water micro-collecting farming is one of the most effective practice to improve crop production in arid areas, the optimization design of strip shape (the width of ridge and furrow, and ration between them) is a key problem for WMCF system. The study was conducted by using sprinkler to simulate rainfall. The ratio of rainfall distribution between furrow and ridge, lateral distribution of rainfall in the furrow, maximum depth of rainfall infiltration in the furrow, and vertical distribution of rainfall in the furrow were analyzed. The results show that the narrow strip is more effective in the storage and preservation of rainwater than wide strip, as ridge and furrow width becomes narrower, the ridge has the more share of rainwater, rainwater distribution tends to be more even in the furrow and the vertical infiltration in the furrow becomes slightly lower.

Key words: water micro-collecting farming; soil moisture of field; strip shape; simulated study