

陕北山地红枣集雨微灌技术集成与示范

吴普特,汪有科,辛小桂,朱德兰

(西北农林科技大学,中国科学院水利部水土保持研究所,国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心,陕西 杨凌 712100)

摘 要: 陕北山地红枣集雨微灌技术综合集成了坡地降雨径流调控技术、山地红枣矮化密植栽培技术及修剪技术,在对微灌技术进行创新的基础上,形成了黄土高原山地红枣微灌技术体系,并在黄土高原丘陵沟壑区第一附区——陕西省榆林市米脂县创建了技术体系应用实体样板,该样板地红枣平均产量达到 19 800 kg/hm²,较无灌溉条件(产量 4 500~6 000 kg/hm²)增产 2~3 倍,较管灌条件(产量一般为 12 000~15 000 kg/hm²)增产 30%~60%,且节水 36%以上。在单项技术研究方面,利用 Penman-Monteith 公式确定了红枣生育期理论耗水量(438.8 mm);通过不同灌水量处理的田间试验,初步确定出合理的灌水量区间为 396~1 320 m³/hm²;提出了坡地低压滴灌工程新的设计理论,即微地形影响下的均匀度计算方法、滴头设计工作压力取值理论及毛管设计新方法;在此基础上,提出了坡上部采用三项配套技术+低压滴灌、坡下部采用三项配套技术+涌泉根灌+雾喷的工程模式。

关键词: 黄土高原;山地微灌技术;生态经济发展;水土保持

中图分类号: S275.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)04-0001-06

干旱缺水与水土流失并存是制约黄土高原地区经济可持续发展的两大瓶颈因子,也是导致该区生态脆弱的根本原因。这一问题不仅是国家关注的重点,也是科学界关注的热点和难点问题,并对此投入了大量的人力、物力和精力进行研究与治理,也取得了重要进展。但长期以来,由于水土流失与干旱缺水互为矛盾,甚至互为因果,很难同时实现两大问题的同步解决,为此,我们^[1,2]在上世纪曾提出“以降雨径流调控与利用”为主要手段,通过坡地降雨径流的调控消除水土流失动力,通过现代农业节水技术实现有限径流的高效利用,从而同步解决上述两大难题的构想,并进行了多年探索与实践。曾较为系统地研究了人工汇集雨水利用技术、雨水高效集蓄利用技术,并在生产中得到了较为广泛的应用,也取得了一定的效果;也曾较为系统地研究了山地如何实施现代微灌技术,以及相应的理论与工程技术问题^[3~8],但一直没有在生产中应用,特别是如何解决黄土高原生态与经济的统一问题,虽然也有一定进展,但还是没有很好解决。

1999 年以来,榆林地区完成退耕还林计划任务 50.1 万 hm²,其中经济林 15.3 万 hm²,而山地红枣面积目前已达 6.67 万 hm²。在半干旱黄土高原地区没有补充灌水的树木基本是成林不成材,经济林结果率很低。据调查经济树木的结果率约为 30%,产量只有生产潜力的 15%。越来越多的人士担心如果国家停止给退耕还林补贴后,群众是否会再次

毁林种地? 红枣树亦面临着这样的问题。尽管在该地区存在严重的干旱问题,但有些枣园已经将沟道有限的径流采用扬水工程抽到山顶,并建有蓄水池,但由于不合理的灌水方式,水资源的浪费现象很严重,所以,该地区仍存在干旱缺水与水资源浪费并存的问题。针对该问题,本研究通过三种微灌工程技术与三个配套技术的集成,形成两种工程模式,这种模式的建立不仅为同步解决黄土高原水土流失与干旱缺水问题提供了一种思路,也为国家退耕还林(草)工程持续发展提供了可供借鉴的模式,达到了生态效益与经济效益的统一。

1 研究区概况

项目区设在米脂县银州镇孟岔村,位于米脂县城西北 4 km 处,无定河西岸边。全村人口 824 人,总土地面积 4.2 km²,川水坝地 38.4 hm²,山地 133.3 hm²,2006 年农民人均纯收入 1 200 元。

项目区地貌为典型的黄土丘陵沟壑区,核心示范区约 70%的地域坡度在 17°~34°,个别地方的坡度超过 60°。试验区地面高差约 100 m,地形起伏较大,坡向不一。

米脂县多年气象资料显示,该地干旱少雨,且年度内分配不均衡,其中 7、8 两月降雨占到 49%,其它各月降雨偏少。2007 年红枣生长季节(4~9 月)平均降雨量为 393 mm,总体降雨量高出多年平均降雨量 62 mm,但在生长期 7、8 月降雨小于往年水

平。试验区以黄绵土为主,容重 1.21 g/cm^3 , $0\sim60\text{ cm}$ 计划湿润层的田间持水量为 22% (重量含水量),土壤较为贫瘠,经测定孟岔枣园有效 N、P、K 含量分别为 $34.73, 2.90, 101.9\text{ mg/kg}$,有机质含量为 0.21% ,pH 为 8.6 。

2 研究方法

主要采用技术集成、理论分析、研究成果检验、技术完善与工程示范相结合的研究方法,以期建立一套较为完整的技术体系,为当地区域生态经济发展提供一个可供应用与移植的发展模式。以在充分利用自然降水资源的前提下,尽量减少有限的灌溉用水,提高水资源的综合利用效率为研究出发点,实现生态与经济的统一,提高农民的综合收入为研究目标。

首先对已经采用的矮化密植栽培技术与水土保

持技术进行完善与标准化,其次,依据当地自然条件确定枣树的理论需水量,在此基础上,运用我们已经完成的山地微灌技术的研究成果进行工程规划与设计,建设山地红枣微灌技术示范工程,并进而确定其灌溉制度和相应技术工程规范,通过工程实践检验,验证我们的技术成果,形成综合技术体系和区域发展模式。

3 结果与分析

3.1 红枣理论需水量及合理灌溉制度的确定

根据榆林地区气象观测站连续 52 年的气象资料,利用 Penman—Monteith^[9,10]公式估算参考作物蒸发蒸腾量,计算结果见表 1。从表 1 可以看出,榆林地区枣树生育期平均参考作物蒸发蒸腾量为 3.96 mm/d ,6 月份最大,为 5.03 mm/d ,9 月份最小,为 2.54 mm/d 。

表 1 榆林地区各县区 ET_0
Table 1 ET_0 for different county in Yulin

$ET_0(\text{mm/d})$	月份 Month					
	4	5	6	7	8	9
定边 Dingbian	3.84	4.84	5.38	4.62	3.77	2.68
府谷 Fugu	3.72	4.95	5.22	4.57	3.74	2.69
横山 Hengshan	4.62	5.64	6.17	5.42	4.44	3.31
佳县 Jiaxian	3.3	4.45	4.78	4.37	3.59	2.51
靖边 Jingbian	3.5	4.38	4.79	4.19	3.42	2.45
米脂 Mizhi	3.26	4.24	4.68	4.06	3.32	2.24
清涧 Qingjian	3.27	4.32	4.84	4.15	3.47	2.3
神木 Shenmu	3.58	4.63	5.01	4.34	3.49	2.48
绥德 Suide	3.53	4.61	5.05	4.3	3.6	2.49
吴堡 Wubu	3.41	4.57	4.9	4.47	3.71	2.57
榆阳区 Yuyang	3.42	4.46	4.99	4.48	3.65	2.54
子洲 Zizhou	3.09	4.23	4.56	4.08	3.34	2.24
平均(mm/d) Mean	3.55	4.61	5.03	4.42	3.63	2.54

按照如下彭曼公式计算枣树理论耗水量:

$$ET = K_c \times ET_0 \tag{1}$$

式中: K_c 为枣树作物系数(见表 2); ET_0 为参考作物蒸发蒸腾量(mm/d)。

以核心示范区米脂县为例,计算枣树生育期理论耗水量,计算结果见表 2,从表 2 中可以看出,枣树在生长季节理论耗水 438.8 mm 。

由于黄土高原丘陵沟壑区地貌复杂,沟道中不同位置经常有泉水溢出,径流水资源分配不平衡,所以,研究确定了两种灌溉制度,当水资源供应充足时,采用充分灌溉,水资源有限时,采用有限灌溉制

度。根据彭曼公式计算的理论需水量及多年平均降雨量,初步得到充分灌溉条件下米脂县红枣生育期多年平均灌水量为 148.2 mm (见表 2)。

本研究组于 2007 年进行了有限灌水试验,确定在水资源短缺情况下的合理灌水量,试验共有 6 个处理,生育期总灌水量分别为 $0(\text{CK})$ 、 396 、 660 、 924 、 1320 、 $1716\text{ m}^3/\text{hm}^2$,在花前期、盛花期及成熟期的灌溉次数见表 3。灌水定额为 80 L/株 ,即每棵树安装 2 个滴头,滴头流量 4 L/h ,每次灌水延续时间为 10 h 。每个处理 5 株枣树,重复三次。各生育期灌水量、产量及水分利用效率见表 3。2007 年生育期降水量为 293 mm ($2\,931.45\text{ m}^3/\text{hm}^2$)。

表 2 米脂县红枣作物系数、理论耗水量及灌水量

Table 2 The date theoretical crop coefficient, evapotranspiration and irrigation amount on Mizhi county

项目 Items	月份 Month						合计 Total
	4	5	6	7	8	9	
$ET_0(\text{mm/d})$	3.26	4.24	4.68	4.06	3.32	2.24	
计算天数 Day(d)	30	31	30	31	31	20	170
作物系数 Crop coefficient	0.45	0.45	0.9	0.9	0.65	0.65	
耗水量 Evapotranspiration(mm)	44.0	59.1	126.4	113.3	66.9	29.1	438.8
平均降雨量 Average rainfall(mm)	20.7	29.8	55.7	88.4	103.9	57.8	356.3
灌水量 Irrigation(mm)	23.3	29.3	70.7	24.9	0	0	148.2

表 3 不同灌水水平、产量及水分利用效率

Table 3 The date yield and WUE for different irrigation amount

灌溉定额 Irrigation amount (m^3/hm^2)	花前期 Before flowering (times)	盛花期 Abloom (times)	成熟期 Ripening (times)	产量 Yield (kg/hm^2)	WUE (kg/m^3)
396	1	1	1	16649.1	5.00
660	2	2	1	16516.4	4.60
924	2	3	2	18734.9	4.86
1320	3	4	3	18008.1	4.24
1716	4	5	4	17835.8	3.84
0	—	—	—	7500.0	2.56

从表 3 可以看出,当灌水量为 $924\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时,产量最高,当灌水量为 $396\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时水分利用效率最高。不同处理对产量影响从低到高的顺序:不灌溉(CK) < 灌溉 $660\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (T2) ≤ 灌溉 $396\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (T1) ≤ 灌溉 $1\ 716\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (T5) < 灌溉 $1\ 320\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (T4) < 灌溉 $924\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (T3),对 WUE 的影响从低到高的顺序:CK < T5 < T4 < T2 < T3 < T1。从水分利用效率角度考虑,适宜的灌水量区间为 $396\sim1\ 320\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

3.2 山地微灌主要技术参数的确定方法

田面微地形反映了田面起伏的状况,山地滴灌毛管沿等高线平铺在地面上,地面不平整引起了毛管的不平整,而在以往的滴灌设计中假定毛管平直没有起伏,这种与实际情况不符的假定,造成了滴灌设计的误差。对于均匀坡或平坡而言,在一条毛管上,由于田面不平整,使某些滴头的位置高程偏离设计高程,当滴头高程低于设计高程时,滴头的实际工作水头将高于设计值,当滴头高程高于设计高程时,滴头的实际工作水头将低于设计工作水头,由此产生了流量偏差,经过研究^[3]提出如下毛管流量偏差系数计算公式。

$$CV_q = \sqrt{CV_{qm}^2 + (0.231 \frac{\Delta Zx}{H_d} + 0.007)^2 + CV_{qh}^2}$$

(2)

式中: CV_q 为综合流量偏差系数; CV_{qm} 为制造流量偏差系数; H_d 为滴头工作压力(m); x 为滴头流态指数; ΔZ 为田面最大局部高差(m); CV_{qh} 为水力流量偏差率。

在传统的滴灌工程设计中,滴头额定工作压力被认为是滴头固有的参数,设计者往往参考生产厂家提供的滴头水力参数,选定与设计流量相匹配的滴头额定工作压力作为设计工作压力,滴头额定工作压力常用值为 $80\sim100\text{ kPa}$,导致设计工作压力值也在 $80\sim100\text{ kPa}$,本来应该先确定滴头设计工作压力,然后选择滴头,使滴头额定工作压力与设计工作压力相匹配,而目前设计中则由额定工作压力决定设计工作压力,究其实质,是因为没有理论来指导设计工作压力如何取值。通过本次对滴灌均匀度的研究发现,滴头额定工作压力与田面微地形有关,因此,在对枣园毛管布置方向(枣树行向)微地形测量的基础上确定了滴头设计工作压力值^[4,5]。

以滴头流量偏差系数 $CV_q = 0.1$ 作为设计灌水均匀度标准,得到如下滴头设计工作压力值:当滴头性能优($CV_{qm} \leq 0.02, 0.2 \leq x \leq 0.5$),设计工作压力范围为 $0.77 \sim 1.1\text{ m}$;当滴头性能良($0.02 \leq CV_{qm} \leq 0.05, 0.2 \leq x \leq 0.5$),设计工作压力范围为 $1.1 \sim 2\text{ m}$;当滴头性能一般($0.02 \leq CV_{qm} \leq 0.05, 0.5 \leq x$),设计工作压力范围为 $2 \sim 3\text{ m}$ 。

3.3 山地管网优化设计及软件开发

任何微灌工程都要在满足灌水质量的前提下满足经济性要求,通过管网优化设计可以有效地降低工程造价,满足经济性要求。所以,研究以全新的灌水均匀度评价指标为基础,以 Visual Basic 6.0 作为系统开发平台,在满足灌水均匀度和土壤、作物、水源等约束条件的前提下进行系统优化设计,在优

化设计过程中,毛管、支管、干管均采用两级优化法,设计成果为显示在 Microsoft Excel 的材料清单、Word 文档中的设计说明书和 Autocad 2004 中的各种图形,从而实现了多软件交叉使用,多系统联合调度的智能系统,最终开发出理论性强且实用的设计软件^[6~8],软件总体结构及设计流程见图 1。

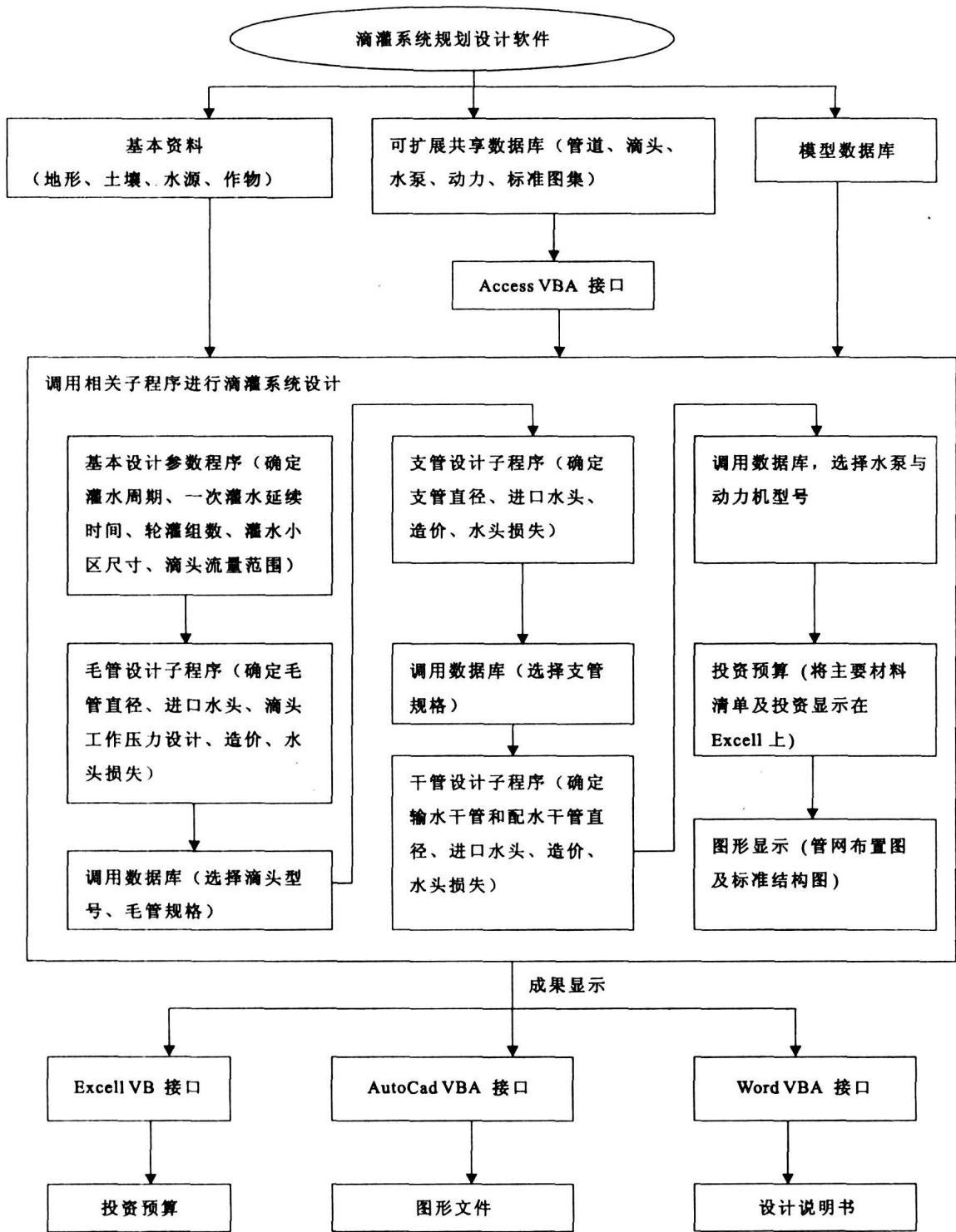


图 1 软件的总体结构及设计流程

3.4 山地微灌工程技术实施效果分析

3.4.1 山地微灌工程技术及配套技术简介

2006 年采用三种微灌工程技术与三个配套技术相结合的方法对老枣园进行了改造和建设。微灌工程包括山地滴灌、雾喷和涌泉根灌技术,配套技术包括降雨径流调控利用技术、矮化密植栽培技术和修剪技术。

涌泉根灌技术是本次研究得出的一种新型的微灌形式,它是在毛管上安装直径为 4 mm 的微管,然后将微管插入到与埋入土壤之中且与树根部相接触的水流过渡保护器中,本实验暂用透明输水瓶作为工程替代品,安装时水流过渡保护器一端与地面持平或高于地面 1~2 cm,水流过渡保护器的高度为 22~30 cm,内径 5~7 cm,上方有透气孔,安装方法见图 2。所用材料可以专门制作,也可以利用市场上常见的多种材料甚至废弃材料,采用本技术避免了地表灌溉蒸发损失,直接将水和液体肥料送到枣树的根部。该技术具有制作简单、施工方便、价格低廉、水肥利用高效的特点。

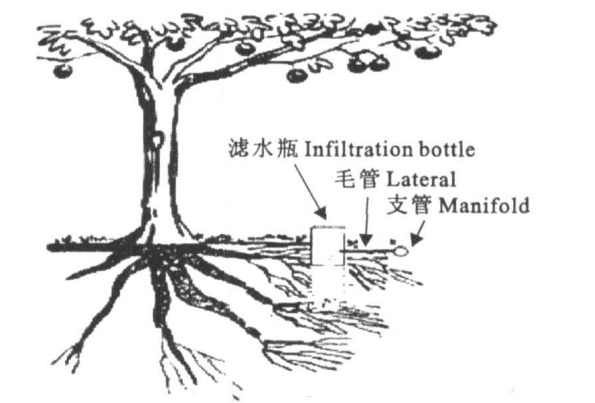


图 2 涌泉根灌示意图
Fig.2 Surge spring root irrigation

山地低压滴灌技术设备材料与常规材料相同,布置方法也与传统滴灌相同,但在设计方法上进行了改进,采用了全新的微灌均匀度指标和新的毛管设计方法。

雾喷是为了改善田间小气候,增加空气湿度而增加的装置,雾喷头悬挂在枣树上,与涌泉根灌共用支管和毛管。由于其目的仅仅是为了增加空气湿度,所以微喷头的数目较少,每 667 m² 地仅安装 10~15 个雾喷头。

为了提高降水利用效率、减小水土流失,对实验区 35.1 hm² 山地全面实施了水土保持工程措施,其中鱼鳞 12 hm²,水平阶 10.67 hm²,窄梯田 2.67 hm²,水平沟 1.34 hm²。坡度大于 25°的坡面全部修

建鱼鳞坑;在 15°~25°的陡坡以修建水平阶为主,少量修建水平沟;对部分小于 15°或原有质量不高的水平阶重新修建为窄梯田。为了最好地拦蓄雨水枣农每年要修整一遍林地中的鱼鳞坑、水平阶、水平梯田以及路边排水集雨工程,所以在试区建设的三年中未发生坡面径流入沟的现象。

据调查,以往山地红枣成活保存率不高,密度不一致,多为 30~50 株/667m²,枣树呈自然生长状态,高度一般在 3 m 以上,枣林的郁闭度不足 0.3,水土保持效益和经济效益都很低,针对这一问题,在孟岔微灌山地枣林示范区全面推广了红枣矮化密植技术。矮化密植枣园,栽植密度为 111 棵/667m² (2 m×3 m)。矮化密植在栽植第二年的枣林郁闭度达 40%,第三年达 40%,第五年后达 75%以上,以后通过修剪保持在 80%的郁闭度,达到红枣丰产的结构,也形成了良好的山地水土保持植被覆盖。

枣树矮化密植,通过修剪使树体矮小紧凑,结果部位多在 60~120 cm 处,这样就能更充分地利用接近地表的二氧化碳,光照充足,光能利用率高,叶片进行光合作用能力强,枣园树体上部受光量占全光照的 75%~80%,因而枣树体内光合产物积累多,消耗少,促使枣树立体结果能力强,结果多,枣果大,果色鲜艳,营养成分含量高,含糖量高。

根据上述 3 项微灌工程技术和 3 项配套技术并结合山地地形特点、枣树生理特点形成两种工程模式:(1)降雨径流调控利用技术+矮化密植栽培技术+修剪技术+低压滴灌技术。该模式应用在坡上部区域,即从蓄水池开始地形高差小于 10 m 的区域;(2)降雨径流调控利用技术+矮化密植栽培技术+修剪技术+涌泉根灌+雾喷技术。该模式应用在坡下部区域,即与蓄水池的地形高差大于 10 m 的区域,该区域压力较大,适合涌泉根灌和雾喷,这两种灌水方法灌水器要求的流量较大,相应的工作压力较大,而且对于雾喷而言,喷头工作压力越大,雾化效果越好。

3.4.2 微灌工程经济效益分析

充分灌溉条件下,在上述配套技术和核心技术相结合的情况下,取得了明显的经济效益。榆林地区目前红枣种植面积约 10.67 万 hm²。按照榆林市政府规划,2010 年红枣种植面积将达到 14.67 万 hm²。孟岔试验证明无灌溉条件下山地红枣平均 667 m² 产鲜枣 300~400 kg,沟灌、穴灌等传统灌溉条件下平均 667 m² 产量为 800~1 000 kg,微灌山地红枣平均 667 m² 产红枣 1 320 kg。沟灌山地红枣每 667 m² 年投入 948 元(水电 97 元,肥料 200

元, 锄地、修剪、打药 400 元, 灌溉人工费 121 元, 采摘 120 元), 微灌山地红枣每 667 m^2 年投入 895 元 (水电 45 元, 肥料 200 元, 锄地、修剪、打药 400 元, 灌溉人工费 10 元, 采摘 120 元, 微灌材料 120 元), 按鲜枣单价 4 元/kg 计算, 微灌山地红枣每年 667 m^2 产值 5 280 元, 净收入达 4 385 元。

根据孟岔充分灌溉试验研究结果计算, 无灌溉自然生长红枣万元耗水量为 $3\,658.33 \text{ m}^3$, 密植栽培沟灌红枣万元耗水量为 971.25 m^3 , 密植栽培微灌红枣万元耗水量为 620.27 m^3 。榆林地区种植业万元耗水量为 $6\,082.23 \text{ m}^3$, 高产玉米万元耗水量为 $5\,625 \text{ m}^3$ 。消耗同样数量的水, 密植栽培微灌枣树经济产值为种植业的 9.8 倍, 密植栽培微灌枣树经济产值为高产玉米耗水量的 9.1 倍。

若在整个辐射区 0.33 万 hm^2 枣园应用技术成果后, 每年耗水 0.164 亿 m^3 , 比自然生长无灌溉红枣将增加产量 5 850 万 kg, 每年将增加收入 2.34 亿元, 年总产值将达到 2.64 亿元, 相当于米脂县 18.97 万农民人均每年获得 1 391.6 元收益。而获得相同产值种植业耗水达 1.61 亿 m^3 , 比密植栽培微灌枣树多耗水 1.45 亿 m^3 。

4 结论与讨论

1) 该研究成果对黄土高原生态环境建设、区域经济产业发展具有重要价值, 突破了长期以来所谓黄河滩发展红枣的局限, 通过三项微灌工程技术和三项配套技术的合理组合, 实现了生态环境建设和区域经济产业的协同发展, 实现了生态用水与农业用水的统一, 节约了水资源。

2) 利用联合国推荐的彭曼公式计算了红枣的理论需水量, 生育期 4~9 月耗水量为 438.8 mm , 该研究结果为榆林地区红枣合理灌水提供了依据, 在充分灌溉情况下的灌溉量为 148.2 mm 。从水分利用效率角度考虑, 在平水年适宜的灌水量应该为 $337.5 \sim 1\,350 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

3) 提出了微地形、滴头制造及水力三因素影响下的灌水均匀度公式 (公式 2), 该公式充实和完善

了滴灌设计方法。在常规设计方法中, 水力流量偏差率被当作总流量偏差率, 设计值与实际值相差较大。而在新方法中, 水力偏差是总流量偏差的一个因子, 因而设计值与实际值较接近。在此基础上, 确定了山地坡上部低压滴头的工作压力取值方法, 并通过优化理论对微灌管网进行了设计, 开发了具有新型理论基础的滴灌工程设计软件一套。

4) 提出了坡上部采用三项配套技术+低压滴灌、坡下部采用三项配套技术+涌泉根灌+雾喷的工程模式, 该模式的应用效果证明, 通过微灌发展山地红枣经济林, 既是一项生态环境建设工程, 又是一种高收益农业产业, 也是黄土高原山地退耕还林和发展现代农业的有效方式。

5) 红枣合理灌水量和灌溉时间的确定是一个复杂的问题, 本研究对此仅进行了探索性的初步研究, 它将是今后研究的重点。

参考文献:

- [1] 吴普特. 集流灌溉农业发展现状与存在问题[A]. 中国水土保持学会. 山区可持续发展相关理论[C]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [2] 吴普特. 黄土坡地硬地面产流过程研究[A]. 中国水土保持学会. 山区可持续发展相关理论[C]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [3] 朱德兰, 吴普特. 微地形影响下滴灌均匀度设计指标研究[J]. 排灌机械, 2006, 24(1): 22—26.
- [4] 朱德兰, 吴普特. 滴头设计工作压力计算方法研究[J]. 排灌机械, 2005, 23(5): 31—34.
- [5] 朱德兰, 吴普特, 高建恩. 微型供水设施自压滴灌最低设计水位研究[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(6): 47—48.
- [6] 朱德兰, 吴普特. 用两级优化法进行喷微灌支管设计[J]. 水利学报, 2005, 36(5): 608—612.
- [7] 朱德兰, 吴普特. 喷微灌输水管网优化设计[J]. 排灌机械, 2005, 23(1): 35—39.
- [8] 朱德兰, 吴普特. 滴灌系统优化设计软件研制[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(6): 130—133.
- [9] 陈 凤, 蔡焕杰, 王 健, 等. 杨凌地区冬小麦和夏玉米蒸发蒸腾和作物系数的确定[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 191—193.
- [10] 水利部国际合作司, 水利部农村水利司, 等编译. 美国国农灌溉工程手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998. 59—134.

(英文摘要下转第 12 页)

Maize yield-increasing mechanism of supplemental irrigation with harvested rainwater in semi-arid areas of the Loess Plateau

LI Xing¹, CHENG Man-jin², SHI Hai-bin¹, CUI Cai³, GOU Mang-mang⁴

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China;

2. Institute of Water Conservancy Science, Inner Mongolia Autonomous Region, Huhhot 010020, China;

3. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China;

4. College of Ecology and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

Abstract: Aimed at measures of water-saving agriculture in semi-arid mountain areas of the Loess Plateau, this paper analyzed the influence of the maize photosynthesis, yield and dry matter accumulation under different irrigation treatments. The results show that the diurnal variation curve of photosynthesis factors appears up-down open parabola type under different treatments. Under different strength of illumination, the diurnal variation rule of photosynthesis factors is very obvious. Inter-cellular CO₂ concentration of treatment of 22.5 mm irrigation in jointing stage is bigger than other treatments before 13:00 and 19:00, but, during remainder time inter-cellular CO₂ concentration is smaller than other treatments. This rule is opposite for other photosynthesis factors, which indicates that the strength of illumination is playing a vital role to the photosynthesis factor diurnal variation. Under great strength of illumination, irrigation treatments enhance leaf's photosynthesis rate, transpiration rate and stomatal conductance, causing the inter-cellular CO₂ concentration reduction. As for maximum value of photosynthesis factors, at about 13:00, photosynthesis rate of treatments of 22.5 mm and 15 mm irrigation in jointing stage is increased by 23.9% and 15.0% respectively, and transpiration rate by 47.7% and 17.7% respectively, and yield rate by 43.02% and 29.48% respectively, compared with CK. Supplemental irrigation of harvested rainwater can also raise the dry matter accumulation quantity and yield to great extent.

Key words: supplemental irrigation with harvested rainwater; maize; photosynthesis; yield

(上接第 6 页)

Integration and demonstration of the date micro-irrigation technology in the hilly of Shanbei

WU Pu-te, WANG You-ke, XING Xiao-gui, ZHU De-lan

(Northwest A & F University; ISWC, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources;

The Native Irrigation Engineering Center of Yangling, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Faced on the fact of water shortage and soil and water loss in the Loess Plateau, slope-land date trees micro-irrigation technology system was developed by integrating the technology of rainfall runoff control, the technology of slope-land the nanization and close planting date trees, the technology of pluning trees and new micro-irrigation engineering. The demonstration field of the integration technology was built in hilly and ravine area of Loess Plateau (on the Mizhi county of Yulin in Shaanxi province). The average yield of rate trees was 19 800 kg/hm², which is two to three times, compared with no-irrigated rate trees. The yield increased 30% to 60% and saved water more than 36%, compared to the pipe irrigation. The average yield is 4 500~6 000 kg/hm² without irrigation and 12 000~15 000 kg/hm² with pipe irrigation. The date trees theoretical evapotranspiration was determined by Penman-Monteith formula (438.8 mm); The suitable micro-irrigation amount of 396~1 320 m³/hm² for general rainfall year was determined according to field experiment; The new design theory was proposed for slope-land low drip irrigation; a suitable enineering model was developed, which is that low drip irrigation and three additional technology was used to the top of slope-land and surge root irrigation, micro-spray irrigation and three additional technology was used to the bottom of slope-land.

Keywords: Loess Plateau; slope-land micro-irrigation; the balance development of economy and ecology; water and soil conservation