

山地梨枣树涌泉根灌适宜布置方式与灌水量研究

张陆军¹, 汪有科^{1,2,3}, 辛小桂^{1,2}, 李红艳¹

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

3 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】 **【目的】**研究确定山地梨枣树涌泉根灌的适宜布置方式与灌水量。**【方法】**以 5 年生梨枣树为试验树种, 设置了 4 种灌水器布置方式(每株梨枣树安装 1, 2, 3 或 4 个灌水器)和 3 种灌水量水平(单株梨枣树单次灌水 60, 80, 100 L)共 12 个处理($T_1 - T_{12}$), 研究涌泉根灌的不同布置方式和灌水量对山地梨枣树耗水量、水分利用效率及产量的影响。**【结果】**涌泉根灌不同布置方式和灌水量对梨枣树耗水量有一定影响, 各处理梨枣树的耗水量为 368.5~423.9 mm; 不同布置方式和灌水量下, 梨枣树的水分利用效率、产量、年净增效益有一定差别; 各处理总水分利用效率(WUE_{ET})为 3.7~4.3 kg/m³, 灌溉水利用效率(WUE_M)为 22.5~38.0 kg/m³, 各处理之间差异显著; 安装 2 或 3 个灌水器的布置方式与 80, 100 L 的灌水量组合, 均可使梨枣树产量达到 17 000 kg/hm² 以上, 且显著高于其他处理。**【结论】**山地梨枣树涌泉根灌时, 每株 2 个灌水器的布置方式与单株单次 80 L 的灌水量组合, 梨枣树的增产效益最明显, 净增效益达 18 856 元/(hm²·年), 是山地梨枣树涌泉根灌的最佳布置方式与灌水量水平。

【关键词】 梨枣树; 涌泉根灌; 布置方式; 灌水量

【中图分类号】 S275.9

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)03-0211-07

Appropriate surge spring root irrigation layout and irrigation norm of jujube on mountain land

ZHANG Lu-jun¹, WANG You-ke^{1,2,3}, XIN Xiao-gui^{1,2}, LI Hong-yan¹

(1 College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of soil and water conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 National Engineering Research Center for Water Saving Irrigation, Yangling, shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** The research was done to study the appropriate emitter layout and irrigation norm of surge spring root irrigation for mountain land jujube trees. **【Method】** With five-year-old pear-jujube trees as test material, the experiments were carried out including four emitter layouts (1, 2, 3, and 4 emitters per tree, respectively) and three irrigation norms (60, 80, and 100 L per tree each time, respectively), totally 12 treatments to study the emitter layout and irrigation norm of surge spring root irrigation effect on water consumption, water use efficiency and yield of jujube on mountain land. **【Result】** The different emitter layouts and irrigation volumes of surge spring root irrigation had certain effect on water consumption of jujube on mountain land, ranging from 368.5 mm to 423.9 mm; the jujube water use efficiency, yield and net-increasing benefit each year were different among different treatments, the fruit yield per total water use (WUE_{ET}) was between 3.7 kg/m³ and 4.3 kg/m³, the fruit yield per total irrigation water (WUE_M) was between 22.5 kg/m³ and 38 kg/m³, and the difference was significant among the treatments. With 2 or 3 emitters per trees and irrigation volume of 80 or 100 L, the yield could reach over 17 000

* [收稿日期] 2009-09-16

[基金项目] 国家重大科技支撑项目“陕西半干旱区山地特色果品综合节水技术与示范”(2007BAD88B05)

[作者简介] 张陆军(1984—), 男, 安徽阜阳人, 硕士, 主要从事水土资源高效利用研究。E-mail: nwljz@163.com

[通信作者] 汪有科(1956—), 男, 甘肃民勤人, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业节水及水土资源高效利用研究。
E-mail: gjzwyk@vip.sina.com

kg/hm², which was significantly higher than other treatments. 【Conclusion】 The layout of 2 emitters together with 80 L irrigation volume per tree, which can raise economic benefits most significantly by 18 856 yuan/(hm² · a), was the appropriate layout and irrigation norm for mountain land pear-jujube trees with surge spring root irrigation.

Key words: jujube tree; surge spring root irrigation; layout of emitter; irrigation volume

陕北山地红枣种植历史悠久,是我国红枣的主产区之一,但是干旱的气候和相对复杂的地形在一定程度上制约了红枣产业的发展^[1-2]。近几年在国家和陕西省的大力支持下,关于“陕北山地枣树集雨微灌技术集成与示范研究”取得了成功,先进技术的应用使得红枣的产量和品质得到了很好的保证。作为山地微灌工程配套技术之一,涌泉根灌是其中新发明的一种微灌方法^[3],其原理是在毛管上安装直径为 4 mm 的微管,然后将微管插入到埋于土壤之中且与树根部相接触的辅助灌水容器中,安装时辅助灌水容器一端与地面持平或高于地面 1~2 cm,辅助灌水容器的高为 30~40 cm,内径 5~7 cm,上

方有透气孔(图 1)。采用该技术可直接将水和液体肥料送到树体根部,避免了地表灌溉的蒸发损失。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^[4],具有很好的应用前景。目前对该技术的应用参数,如涌泉根灌的适宜布置方式(每株枣树设置的灌水器个数)、适宜灌水量(单株枣树单次灌水量)等还缺乏系统的研究。为此,本研究采用大田试验,探讨涌泉根灌不同布置方式和灌水量对山地梨枣树耗水量、水分利用效率及产量的影响,以期为进一步降低涌灌溉的投资成本,最大限度地提高水土资源的利用效率提供参考。

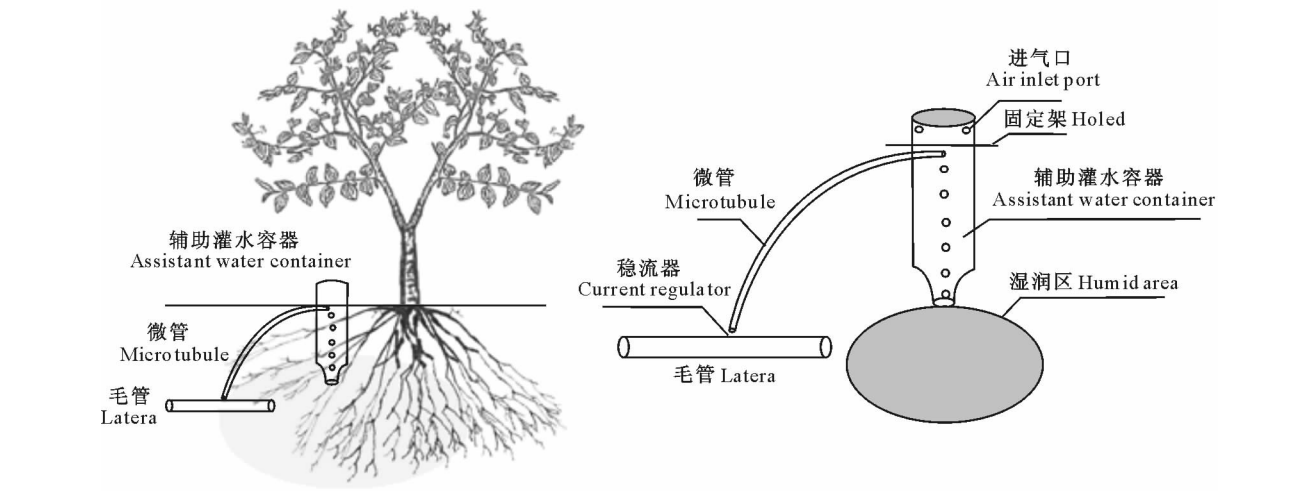


图 1 涌泉根灌装置示意图
Fig. 1 Surge spring root irrigation

1 研究方法

1.1 试验站点的基本情况

试验示范区属于典型的黄土高原丘陵沟壑区地貌,气候属暖温带半干旱气候,全年降雨量不足。多年平均气温 8.8 ℃,绝对最高气温 38 ℃,绝对最低气温 -25 ℃,无霜期 160 d,大于和等于 10 ℃的活动积温为 3 281 ℃,年平均日照时间 2 372.7 h;示范区 1956—2008 年多年平均年降雨量为 392.9 mm,主要集中在 7—9 月,7—9 月降雨约占全年降水量的 65%,且多以大雨、暴雨形式出现。示范区土壤

以黄土母质上发育的黄绵土为主,为粉质壤土。表层土壤容重平均为 1.30 g/cm³,0~70 cm 土层田间持水量为 22%;土壤较为贫瘠,有机质含量为 2.1 g/kg,pH 为 8.6。

1.2 试验处理

试验所选树种为长势均一、良好的 5 年生矮化密植梨枣树,树高 2.5 m 左右,株行距为 2 m×3 m,依据其生育特点将其分成 4 个生育阶段:萌芽展叶期(第Ⅰ阶段,4 月 10 日—5 月底,第 1~41 天)、开花坐果期(第Ⅱ阶段,6 月初—7 月 10 日,第 42~82 天)、果实生长期(第Ⅲ阶段,7 月 10 日—8 月 20 日,

第 82~123 天)、果实成熟期(第Ⅳ阶段,8 月 21 日—9 月 20 日,第 124~154 天)。前期对梨枣树根系分布的研究表明,梨枣树的吸收根($d<2\text{ mm}$)集中分布在距离茎杆水平距离 0~90 cm、垂直方向 0~70 cm 的根际土壤内,约占总吸收根总数的 90%;结合试验地灌水后土壤湿润体特征等因素,共

表 1 不同处理的灌水器个数和灌水量

Table 1 Irrigation implements number and irrigation norm of different treatments					
处理 Treatment	灌水器/(个·株 ⁻¹) Irrigation implement	灌水量/(L·株 ⁻¹) Irrigation norm	处理 Treatment	灌水器/(个·株 ⁻¹) Irrigation implement	灌水量/(L·株 ⁻¹) Irrigation norm
T ₁	1	60	T ₇	3	80
T ₂	2	60	T ₈	4	80
T ₃	3	60	T ₉	1	100
T ₄	4	60	T ₁₀	2	100
T ₅	1	80	T ₁₁	3	100
T ₆	2	80	T ₁₂	4	100

每处理为同一行的 3 棵梨枣树,单独成 1 个小区,小区规格为 3 m×6 m。为保证各小区之间无水分侧向运动和地表径流,在小区四周挖 20 cm 宽、100 cm 深的防侧渗沟,并在防侧渗沟中埋入 100 cm 深的双层防侧渗塑料薄膜,同时在地表以上预留 20 cm 高的防水土梁。试验所选灌水器的流量为 4 L/h,灌水器与梨枣树茎杆之间的水平距离为 50 cm,灌水器的埋深(辅助灌水容器出水口深度)为 35 cm,各处理灌水器均匀布置在梨枣树茎杆四周。根据以往的经验,梨枣树是一种比较耐旱的果树,其适宜土壤含水率为田间持水量的 50%~80%,当各处理梨枣树主要根系所在区域的平均土壤含水量均降低到田间持水量的 50%~60%时,各处理同时灌水。所有处理的其他管理措施,如施肥、修剪、病虫害防治措施基本相同^[5]。

1.3 观测项目与方法

1.3.1 土壤含水率 在梨枣树生育期内,采用型号为 trimeIPH 的探管式 TDR 仪器,对 0~100 cm 土层的土壤含水率进行监测,每隔 10 cm 土层读取 1 个数据,时间从 4 月 20 日开始,每隔 5 d 测量 1 次,降雨、灌水后加测,并用取土烘干法校正。在果实收获后,采用文献[6]的方法,计算梨枣树耗水量。水量平衡法的计算公式为:

$$ET_{1-2}=\Delta h+M+P+K-C。$$
 (1)

式中: ET_{1-2} 为时段耗水量,mm; Δh 为小区 1 m 土层内观测时段始末土壤含水量的变化值,“+”表示消耗,“-”表示增加,mm; M 为时段内的灌水量,mm,每株枣树灌水 60,80,100 L 相当于灌水量为 10,13.3,16.7 mm; P 为时段内的有效降雨量,mm; K 为时段内的地下水补给量,mm; C 为时段内的排

设置了 4 种不同的灌水器布置方式(即每棵梨枣树分别安装 1,2,3 或 4 个灌水器)和 3 种不同的灌水量(单株梨枣树单次灌水量分别为 60,80 或 100 L),经完全组合后共 12 个处理(T_1-T_{12}),具体如表 1 所示。

水量,mm。

因本试验小区采用了防侧渗和防地表径流装置,且地表 1 m 以下土壤含水率基本不变,所以 K 、 C 值以 0 记。

对 Δh 有:

$$\Delta h=0.1\sum_{i=1}^N\gamma_iH_i(W_{i1}-W_{i2})。$$
 (2)

式中: i 为土壤层次序号; N 为土壤层次总数目; γ_i 为第 i 层土壤干容重,g/cm³; H_i 为第 i 层土壤深度,cm; W_{i1} 、 W_{i2} 为第 i 层土壤观测时段始、末的质量含水量,%。

1.3.2 总水分利用效率(WUE_{ET})和灌溉水利用效率(WUE_M) WUE_{ET} 和 WUE_M 的计算公式为:

WUE_{ET} =产量/耗水量; WUE_M =产量/灌溉水量。

1.3.3 果实产量及增产效益 在果实成熟收获完毕后,统计不同处理梨枣树的果实量及经济产量,并调查其他相关费用,进而计算增产效益。

1.4 数据分析

数据用 Spss 软件进行分析,所有平均值均用 Duncan 法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 各小区水量平衡基本参数的变化

在果树生长过程中,水是不可缺少的重要因素,是植物体的主要构成成分。梨枣树的耗水量与品种、树龄、当地气候状况、土壤等因素密切相关^[7-8],不同灌水方式和灌水量对其耗水量有直接的影响^[9-10]。根据试验区观测到的各时段土壤含水率、灌水量和降雨量等资料(表 2,3),通过水量平衡公式可求出涌泉根灌不同布置方式和灌水量下各时段

的梨枣树耗水量。为 1.23~1.35 g/cm³,0~10 cm 土层土壤容重较

从表 2 可以看出,在 0~100 cm 土层,土壤容重 低,各土层土壤的初始含水量为 144~157 g/kg。

表 2 试验小区土壤测量范围及基本参数

Table 2 Experimental plots measured soil range and basic data

土壤层次序号 No of soil layer	测土深度/cm Soil depth	土层/cm Soil layer extent	H_i /cm	$\gamma_i/(g \cdot cm^{-3})$	初始含水量/(g · kg ⁻¹) Antecedent water content
1	5	0~10	10	1.23	144
2	15	10~20	10	1.32	153
3	25	20~30	10	1.28	154
4	35	30~40	10	1.35	154
5	45	40~50	10	1.29	153
6	55	50~60	10	1.32	157
7	65	60~70	10	1.32	155
8	75	70~80	10	1.31	157
9	90	80~100	20	1.28	150

表 3 山地梨枣树不同生育期水量平衡的基本参数

Table 3 Water balance basic data of different growth stages on jujube on mountain land mm

处理 Treatment	萌芽展叶期 Bud burst to leafing stage			开花坐果期 Flowering to fruit set stage			果实生长期 Fruit growth stage			果实成熟期 Fruit maturation stage		
	M	P	Δh	M	P	Δh	M	P	Δh	M	P	Δh
T ₁	10.0	43.5	32.3	20.0	64.2	19.9	10.0	169	-34.7	0	52.5	-1.0
T ₂	10.0	43.5	15.5	20.0	64.2	12.9	10.0	169	-15.9	0	52.5	-5.8
T ₃	10.0	43.5	23.2	20.0	64.2	4.8	10.0	169	-21.8	0	52.5	-2.5
T ₄	10.0	43.5	28.3	20.0	64.2	-6.7	10.0	169	-24.1	0	52.5	1.8
T ₅	13.3	43.5	6.3	26.7	64.2	7.7	13.3	169	11.9	0	52.5	-18.7
T ₆	13.3	43.5	29.1	26.7	64.2	3.9	13.3	169	8.8	0	52.5	-19.8
T ₇	13.3	43.5	23.2	26.7	64.2	10.9	13.3	169	1.8	0	52.5	-22.6
T ₈	13.3	43.5	9.0	26.7	64.2	16.1	13.3	169	-9.7	0	52.5	-6.0
T ₉	16.7	43.5	2.6	33.4	64.2	19.5	16.7	169	-13.5	0	52.5	-1.3
T ₁₀	16.7	43.5	4.0	33.4	64.2	-4.7	16.7	169	4.4	0	52.5	8.6
T ₁₁	16.7	43.5	27.4	33.4	64.2	13.5	16.7	169	4.5	0	52.5	-17.5
T ₁₂	16.7	43.5	10.4	33.4	64.2	13.0	16.7	169	-13.2	0	52.5	-7.4

从表 3 可以看出,从梨枣树萌芽展叶到果实成熟收获,有效降雨量(P)为 329.2 mm,各处理均灌水 4 次,其中萌芽展叶期降雨量为 43.5 mm,灌水 1 次;开花坐果期降雨量为 64.2 mm,灌水 2 次;果实生长期降雨量为 169 mm,灌水 1 次;果实成熟期降雨量为 52.5 mm,没有灌水。根据以往资料统计,在传统管灌条件下,梨枣树需灌水 2 000 m³/hm²^[4],通过水量平衡方程计算出各处理的灌水量仅为 396~660 m³/hm²,与管灌相比节水 67%~80%。

2.2 涌泉根灌布置方式和灌水量对山地梨枣树耗水量、水分利用效率及产量的影响

土壤水分在重力和毛管力作用下向四周扩散,土壤含水量因布置方式和灌水量的不同而不同,土壤含水率的不同又间接影响到梨枣树的生长发育,进而影响到梨枣树的耗水量、水分利用效率和产量^[11]。

由表 4 可以看出,在梨枣树生长发育的第Ⅰ—

Ⅳ阶段,各处理梨枣树的耗水总量为 368.5~423.9 mm,且随着灌水量的增加而增大。4 个生育期中,耗水量最多的生育阶段是果实生长期,平均约为 174 mm,耗水强度达到 3.5 mm/d;其次是开花坐果期,平均耗水量为 100 mm,耗水强度为 2.5 mm/d;梨枣树的萌芽展叶期和果实成熟期耗水较少,分别为 75.3 和 45.7 mm,耗水强度分别为 1.84 和 1.53 mm/d。

由表 4 还可知,各处理梨枣树 WUE_{ET} 相差较大,平均为 3.9 kg/m³。12 个处理中,T₆、T₇ 处理的 WUE_{ET} 最高,均为 4.3 kg/m³;其次为 T₁₀ 处理,为 4.2 kg/m³;其他处理为 3.7~4.0 kg/m³,说明 T₆、T₇ 和 T₁₀ 3 个处理梨枣树的水分利用效率均较高。各处理梨枣树的 WUE_M 相差也较大,为 22.5~38.0 kg/m³。12 个处理中,T₆ 处理的 WUE_{ET}、WUE_M 均较高。

由表 4 可见,T₆、T₇、T₁₀、T₁₁ 处理梨枣树的产量较高,均大于 17 000 kg/hm²,显著高于其他处理。

与管灌条件下梨枣的产量 13 500 kg/hm²^[4]相比,涌泉根灌条件下梨枣树的产量增加了 26%,表明合理的涌泉根灌灌水器布设方式与灌水量组合,可显著提高梨枣树的产量。

表 4 涌泉根灌布置方式和灌水量组合处理对山地梨枣树耗水量、水分利用效率及产量的影响

Table 4 Effect of surge spring root irrigation layout and irrigation norm on jujube on mountain land water consumption,water use efficiency and yield

处理 Treatment	不同阶段耗水量/mm Water consumption				水分利用效率/(kg·m ⁻³) Water use efficiency			产量/ (kg·hm ⁻²) Yield
	I	II	III	IV	总量 Total	WUE _{ET}	WUE _M	
T ₁	85.8	104.1	144.3	51.5	385.7	3.7 c	35.8 ab	14 334 bc
T ₂	69.0	97.1	163.1	46.7	375.9	4.0 ab	38.0 a	15 214 b
T ₃	76.7	89.0	157.2	50.0	372.9	4.0 ab	37.5 ab	15 012 b
T ₄	81.8	77.5	154.9	54.3	368.5	3.7 c	34.0 ab	13 589 c
T ₅	63.1	98.6	194.2	33.8	389.7	3.7 c	27.3 cde	14 566 bc
T ₆	95.9	94.8	191.1	32.7	404.5	4.3 a	32.5 abc	17 337 a
T ₇	80.0	101.8	184.1	39.9	395.8	4.3 a	31.9 bcd	17 004 a
T ₈	65.8	107.0	172.6	46.5	391.9	3.8 bc	27.9 cde	14 896 b
T ₉	62.8	117.1	172.2	51.2	403.3	3.7 bc	22.6 e	15 102 b
T ₁₀	64.2	92.9	190.1	61.1	408.3	4.2 a	26.1 de	17 288 a
T ₁₁	87.6	111.1	190.2	35.0	423.9	4.0 ab	25.8 e	17 204 a
T ₁₂	70.6	110.6	172.5	45.1	398.8	3.8 bc	22.5 e	15 010 b

注:同列数据后标不同字母表示差异显著($P<0.05$),下表同。
Note:Stand for significant difference marked by different small letter in same column ($P<0.05$). The following table is same.

2.3 涌泉根灌布置方式和灌水量对山地梨枣树经济效益的影响

判断涌泉根灌布置方式和灌水量是否适宜的最重要指标是其最终经济效益^[10]。与传统的管灌相比,涌泉根灌增产效益包括红枣经济产量的增加、用工费用的减小和提水费用的降低。涌泉根灌本身也需要一定的投资费用,这些费用主要包括田间工程费、管理费、维修费和灌水器费用。年增产效益与年

均投资费用之差即为涌泉根灌年净增效益^[11-15]。若涌泉根灌田间工程折旧费按 800 元/(hm²·年)、管理费按 750 元/(hm²·年)、维修费按 290 元/(hm²·年)、提水费用按 0.6 元/m³、红枣单价按 5 元/kg、工价按 50 元/人、灌水器按 0.8 元/个,灌水器使用年限按 10 年计,计算可得各处理的净增效益如表 5 所示。

表 5 涌泉根灌布置方式和灌水量组合处理对山地梨枣树经济效益的影响

Table 5 Effect of surge spring root irrigation layout and irrigation norm on jujube on mountain land economic benefit 元/(hm²·年)

处理 Treatment	增产效益 Benefit			投资费用 Investment			灌水器折旧费 Irrigation implements depreciation expense	净增效益 Net benefit
	经济产量增加 Economic yield increasing	用工费用减少 Expenses of labor decrease	提水费用减少 Water rate decrease	工程折旧费 Project depreciation expense	管理费 Overhead expenses	维修费 Maintenance costs		
T ₁	4 171	900	962	800	750	290	132	4 061 f
T ₂	8 572	900	962	800	750	290	264	8 330 c
T ₃	7 560	900	962	800	750	290	396	7 186 de
T ₄	448	900	962	800	750	290	428	42 g
T ₅	5 331	900	883	800	750	290	132	5 142 f
T ₆	19 186	900	883	800	750	290	264	18 856 a
T ₇	17 523	900	883	800	750	290	396	17 070 b
T ₈	6 984	900	883	800	750	290	428	6 499 e
T ₉	8 011	900	804	800	750	290	132	7 743 cd
T ₁₀	18 940	900	804	800	750	290	264	18 540 a
T ₁₁	18 021	900	804	800	750	290	396	17 589 ab
T ₁₂	7 556	900	804	800	750	290	428	6 991 de

注:净增效益为增产效益与投资费用之差。
Note:Net benefit is calculated as benefit of product increasing deduct the cost of investment.

由表 5 可以看出,与传统管灌相比,涌泉根灌时梨枣树经济效益有一定的提高。各处理年净增效益为 42~18 856 元/(hm²·年),所有处理的平均净增效益为 9 837 元/(hm²·年),其中尤以 T₆、T₇、T₁₀、T₁₁ 处理的净增效益较多,且均超过了 17 000 元/(hm²·年)。

3 讨 论

涌泉根灌兼具滴灌与涌泉灌的优点,灌溉水分可直接送达树木根系,仅对根部进行灌溉,有效减小了地表蒸发及无效水分,同时辅助灌水容器又解决了地下滴灌的灌水器堵塞问题。以往试验只研究 1 种或几种因素对作物生理、生长的影响,而没有进行系统的经济效益分析,而本试验以梨枣树生育期内的耗水量、水分利用效率、产量等为指标,将不同涌泉根灌灌水量与布置方式进行组合,对不同组合进行了经济效益分析。结果显示,山地梨枣树耗水最多的生育期为开花坐果期与果实生长期,其中果实生长期的耗水强度最大,开花坐果期相对也较大,主要是因为这两个生育期梨枣树的生长生理最为旺盛,需水量较大,且时段内降雨量较大;梨枣树涌泉根灌时整个生育期内的耗水量为 368.5~423.9 mm,一般年份下土地仅需灌水 528 m³/hm² 左右,这与崔宁博^[2]对梨枣树的水分高效利用机制与调亏灌溉模式研究所得的结论相似。不同的灌水器布置方式和灌水量大小,决定着土壤湿润体的特征和土壤水分的分布等,进而影响果树(作物)的生理与生长,导致其产量、水分利用效率 and 经济效益等产生显著差异,这与蔡焕杰等^[8]的研究结果类似。涌泉根灌是一种新的局部微灌方法,土壤湿润比仅占 30% 左右,大部分土体处于自然含水状态,耗水量、需水量的计算方法应不同于常规灌溉方式^[15],因此还需作进一步研究。另外,涌泉根灌作为最新发明的一种灌溉方式,其许多技术尚未成熟,为了最大限度地提高其水土资源利用效率,还有待对该技术进行更深入的研究。

4 结 论

1) 涌泉根灌不同布置方式和灌水量对梨枣树耗水量有一定影响,各处理梨枣树的耗水量为 368.5~423.9 mm。耗水量最多的生育阶段是果实生长期,平均约 174 mm,耗水强度达到 3.5 mm/d;其次是开花坐果期,平均耗水量为 100 mm,耗水强度为 2.5 mm/d,表明这两个时期是需水关键期,应注意及时给梨枣树进行灌水。

2) 与传统管灌相比,梨枣树涌泉根灌可节水 67%~80%,且 WUE_{ET} 较高,平均为 3.9 kg/m³,在适宜的布置方式和灌水量组合下(处理 T₆ 和 T₇)可高达 4.3 kg/m³;各处理 WUE_M 为 22.5~38.0 kg/m³,差异较显著。在 2 个灌水器布置方式与单株单次 80 L 灌水量组合条件下,WUE_{ET}、WUE_M 均比较高。

3) 涌泉根灌不同布置方式和灌水量组合均可提高果实产量,在适宜的组合下,果实产量高达 17 000 kg/hm²,较传统管灌方式增产 26%。

4) 与传统管灌相比,涌泉根灌梨枣树的经济效益均有一定的提高,各处理的平均净增效益为 9 837 元/(hm²·年),且不同处理之间差异显著,其中尤以 2 个灌水器的布置方式与单株单次 80 L 灌水量组合处理的净增效益最多,可达 18 856 元/(hm²·年)。

5) 从梨枣树的水分利用效率、产量、净增效益等因素综合考虑,每株梨枣树 2 个灌水器的布置方式与单株梨枣树单次灌水量 80 L 的组合,为最佳的灌水组合方式。

[参考文献]

- [1] Cui N B, Du T S, Kang S Z. Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear-jujube trees [J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95: 489-497.
- [2] 崔宁博. 西北半干旱区梨枣树水分高效利用机制与最优调亏灌溉模式研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
Cui N B. Efficient water use mechanism and application patterns of optimized regulated deficit irrigation of pear-jujube tree semi-arid region of northwest China [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2009. (in Chinese)
- [3] 吴普特, 汪有科, 杨荣慧, 等. 一种适用于树木的地下涌泉根灌方法: 中国, 200810150395 [P]. 2008-12-10.
Wu P T, Wang Y K, Yang R H, et al. A kind of surge spring root irrigation suited to trees, China, 200810150395 [P]. 2008-12-10. (in Chinese)
- [4] 吴普特, 汪有科, 辛小桂, 等. 陕北山地红枣集雨微灌技术集成与示范 [J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(4): 1-6.
Wu P T, Wang Y K, Xin X G, et al. Integration and demonstration of the date micro-irrigation technology in the hilly of Shanbei [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26(4): 1-6. (in Chinese)
- [5] 马福生. 梨枣树耗水规律与调亏灌溉模式研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2005.
Ma F S. Study on water requirement and regulated deficit irrigation patterns of pear-jujube tree [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2005. (in Chinese)
- [6] 中国灌溉排水发展中心, 水利部农田灌溉研究所. SL13-90 灌溉试验规范 [S]. 北京: 水利电力出版社, 1990: 7-16.

China Irrigation & Drainage Development Centre, Farmland Irrigation Research Institute. SL13-90 Irrigation experiment standard [S]. Beijing:China Waterpower Press,1990;7-16. (in Chinese)

[7] 李怀有,王 斌,梁金战. 苹果滴灌灌水定额实验研究 [J]. 节水灌溉,1999,12(6):23-25.
Li H Y,Wang B,Liang J Z. Experimental study on application rate of apple drip irrigation [J]. Water Saving Irrigation,1999,12(6):23-25. (in Chinese)

[8] 蔡焕杰,邵光成,张振华. 棉花膜下滴灌毛管布置方式的试验研究 [J]. 农业工程学报,2002,18(1):45-49.
Cai H J,Shao G C,Zhang Z H. Lateral layout of drip irrigation under plastic mulch for cotton [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18 (1): 45-49. (in Chinese)

[9] 黄兴发,李光永,王 伟. 充分微喷灌条件下苹果树耗水量的研究 [J]. 中国农业大学学报,2001,6(4):42-46.
Huang X F,Li G Y,Wang W. Water use of micro-sprinkler irrigated apple trees under condition of full irrigation [J]. Journal of China Agricultural University, 2001, 6 (4): 42-46. (in Chinese)

[10] 李怀有,王 斌. 苹果滴灌试验及节灌制度研究 [J]. 干旱地区农业研究,2001,19(4):114-120.
Li H Y,Wang B. Experimental study on application rate of apple drip irrigation [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2001,19(4):114-120. (in Chinese)

[11] Cui N B,Du T S,Li F S,et al. Response of vegetative growth, fruit development and water use efficiency to regulated deficit irrigation at different growth stages of pear-jujube tree [J]. Agricultural Water Management,2009,96:1237-1246.

[12] 朱德兰,王 健,张小鹏,等. 果园不同节水灌溉方式的技术经济效益分析 [J]. 西北林学院学报,1998,13(2):51-55.
Zhu D L,Wang J,Zhang X P,et al. Analysis on technique and economic efficiency of different water-saving irrigation ways in orchard [J]. Journal of Northwest Forestry University,1998,13(2):51-55. (in Chinese)

[13] 汤建平. 膜下滴灌经济效益分析 [J]. 新疆水利,2006(6):27-28.
Tang J P. The economic benefit analysis of under-film drip irrigation cotton [J]. Xinjiang Water Resources, 2006 (6): 27-28. (in Chinese)

[14] 汪希成,汤 莉,严以绥. 膜下滴灌棉花生产的经济效益分析与评价 [J]. 干旱地区农业研究,2004,22(2):112-117.
Wang X C,Tang L,Yan Y S. The analysis and evaluation on economic benefit of cotton with under-film drip irrigation [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22 (2): 112-117. (in Chinese)

[15] 李永顺,马存奎,牟日升,等. 果树滴灌需水量与灌溉制度试验研究 [J]. 灌溉排水学报,1993,12(2):15-20.
Li Y S,Ma C K,Mou R S,et al. Experimental studies on water requirement and irrigation procedure of fruit tree by drip irrigation [J]. Journal of Irrigation and Drain,1993,12(2):15-20. (in Chinese)

(上接第 210 页)

[12] 李杰友,熊学农,罗清标. 新丰江水库月径流预报模型 [J]. 河海大学学报:自然科学版,1998,26(5): 104-106.
Li J Y,Xiong X L,Luo Q B. Monthly discharge forecasting model for Xinfengjiang Reservoir [J]. Journal of Hehai University: Natural Sciences Edition, 1998, 26 (5): 104-106. (in Chinese)

[13] 李杰友,许 钦,丛黎明,等. 潘家口水库枯水期月径流预报 [J]. 南水北调与水利科技,2003,1(4):37-39.
Li J Y,Xu Q,Cong L M,et al. Monthly discharge forecasting of Panjiakou Reservoir during drought period [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2003,1(4):37-39. (in Chinese)

[14] 冯家山水库管理局. 冯家山水库志 [M]. 西安:陕西人民出版社,2004.
Fengjiashan reservoir authority. Fengjiashan Reservoir event log [M]. Xi'an:Shannxi People Press,2004. (in Chinese)

[15] 刘振隆. 天气学 [M]. 北京:气象出版社,1986.
Liu Z L. Synoptic [M]. Beijing: Meteorological Press,1986. (in Chinese)

[16] 陈守煜,王淑英,王高英,等. 用直接模糊统计试验确定汛期相对隶属函数的研究 [J]. 水利水电科技进展,2003,23(1):5-7.
Chen S Y,Wang S Y,Wang G Y,et al. Determination of relative dependence function of flood season by direct fuzzy statistic test [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2003,23(1):5-7. (in Chinese)