

不同灌溉定额对滴灌骏枣生长的影响

张波^{1,2}, 吕廷波^{1,2}, 赵秀杰³, 王东旺^{1,2}, 徐强^{1,2}, 邢猛^{1,2}, 周小杰^{1,2}

(1.石河子大学水利建筑工程学院,新疆 石河子 832000;

2.现代节水灌溉兵团重点实验室,新疆 石河子 832000;3.新疆生产建设兵团第十四师水资源管理中心,新疆 和田 848100)

摘要: 研究和田地区滴灌条件下不同灌溉定额对骏枣生长的影响及土壤水分变化情况,分别设计 4 个水分梯度,研究其不同水分梯度下枣树新梢、光合作用、产量变化情况,并采用烘干法测量骏枣全生育期土壤含水率。枣树在萌芽展叶期和开花坐果期新梢生长较快,新梢长度和梢径均满足 $W_3 < W_1 < CK < W_2$,低水和高水处理对新梢长度及梢径的生长均有抑制作用,且高水处理的抑制作用更加明显。净光合速率(LWUE)表现为 $W_3 < W_1 < CK < W_2$, W_1 、 W_3 处理叶片水分利用效率仅为 CK 处理的 83.03%, 63.64%, 而 W_2 比 CK 提高 26.67%。各灌水处理枣树在滴灌带正下方和距离滴灌带 45 cm 处 0—150 cm 土壤含水率随着时间的推移呈现先增大后减小的趋势,并于果实膨大期达最大值,滴灌带正下方全生育期 0—150 cm 土壤含水率平均值满足 $W_1 < W_2 < CK < W_3$, 而距离滴灌带 45 cm 处则满足 $W_1 < CK < W_2 < W_3$; 灌水后,湿润锋横向移动范围为 0—30 cm,纵向移动范围为 0—100 cm。在产量方面表现为 $W_3 < W_1 < CK < W_2$, W_2 相较 CK 处理产量提高 10.93%, W_1 、 W_3 相较 CK 处理产量分别降低 8.20%, 9.54%; 在灌溉水利用效率方面表现为 $W_3 < CK < W_1 < W_2$ 。在南疆荒漠绿洲区 W_2 (420 m³/667 m²) 处理比较适宜滴灌骏枣生长,其产量最高(540.56 kg/667 m²),灌溉水利用效率最大(1.29 kg/m³)。

关键词: 骏枣; 滴灌; 新梢; 光合作用; 土壤含水率

中图分类号: S275.6

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)06-0168-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2021.06.023

Effects of Different Irrigation Quotas on the Growth of Red Jujube Under Drip Irrigation

ZHANG Bo^{1,2}, LÜ Tingbo^{1,2}, ZHAO Xiujie³, WANG Dongwang^{1,2},

XU Qiang^{1,2}, XING Meng^{1,2}, ZHOU Xiaojie^{1,2}

(1.College of Water Conservancy and Building Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000;

2.Key Laboratory of Modern Water-saving Irrigation Corps, Shihezi, Xinjiang 832000; 3.Water Resources

Management Center of the 14th Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Hetian, Xinjiang 848100)

Abstract: In order to study the effects of different irrigation quotas on the growth of red jujube and the dynamic changes of soil moisture under drip irrigation in the Hetian area of southern Xinjiang, four moisture gradients were designed to study the changes of new shoots, photosynthesis and yield under different water gradients, and the soil water content in the whole growth period of jujube was measured by drying method. Jujube trees grew faster at the budding leaf development stage and the flowering and fruit-setting stage. The length and diameter of the jujube new shoots followed the order of $W_3 < W_1 < CK < W_2$. Low water and high water treatments had an inhibitory effect on the growth of new shoot length and diameter, and the inhibition effect of high water treatment was more obvious. The net photosynthetic rate (LWUE) followed the order of $W_3 < W_1 < CK < W_2$. The water use efficiency of leaves treated with W_1 and W_3 was only 83.03% and 63.64% of that of CK treatment, while it was 26.67% higher in W_2 than that in CK. For each treatment, the soil water content at 0—150 cm depth of jujube trees those grew directly below and in 45 cm away from the drip irrigation belt increased first and then decreased with time, and reached the maximum value at the fruit expansion stage. The average soil moisture content at 0—150 cm depth directly below the drip irrigation belt in the whole growth period followed the order of $W_1 < W_2 < CK < W_3$, while the that of 45 cm away from the drip irrigation belt followed the order of $W_1 < CK < W_2 < W_3$. After irrigation, the horizontal movement

收稿日期: 2021-07-01

资助项目: 兵团节水灌溉试验计划项目(BTJSSY-202006)

第一作者: 张波(1994—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: 409308864@qq.com

通信作者: 吕廷波(1978—), 男, 副教授, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: lvtgbo@126.com

range of the wet front was 0—30 cm, and the longitudinal movement range was 0—100 cm. The jujube yield followed the order of $W3 < W1 < CK < W2$. Compared with CK, the yield of W2 increased by 10.93%, while the yields of W1 and W3 reduced by 8.20% and 9.54%, respectively. The irrigation water use efficiency followed the order of $W3 < CK < W1 < W2$. In the desert oasis area of southern Xinjiang, W2 (420 m³/667 m²) treatment was more suitable for drip irrigation red jujub growth, with the highest yield (540.56 kg/667 m²) and the highest irrigation water use efficiency (1.29 kg/m³).

Keywords: red jujube; drip irrigation; new slightly; photosynthesis; soil moisture content

南疆和田地区属温带大陆性气候,是典型的荒漠绿洲区,光照充足,昼夜温差较大,干旱少雨,适宜骏枣生长。骏枣是此地区发展节水型特色林果业的重要经济作物之一^[1],然而当地枣农节水意识薄弱,各生育期灌水具有一定的盲目性,导致骏枣减产和品质降低,影响资源的高效利用和农业产业的绿色发展。研究骏枣在不同灌水条件下的生长变化,能准确掌握骏枣各生育期生长动态情况,为该地区骏枣适时适量的灌溉提供科学依据。近年来,围绕滴灌条件下不同灌溉方式对枣树生长生理的影响和土壤水分运移情况已取得较多重要成果^[2-6]。一些学者^[7-8]通过研究土壤水盐动态来探讨红枣生长发育状况和确定红枣的最佳灌溉制度;魏瑞锋等^[9]研究了水分胁迫对枣树生长的影响发现,在果实膨大期和果实成熟期,重度和中度水分胁迫均降低了叶片净光合速率;王颖等^[10]研究认为,当灌水量为田间持水率的 45%时,枣树水分利用效率和净光合效率比其他处理(田间持水率的 75%,60%,30%)高;游磊^[11]对灰枣的研究表明,大流量滴头和高灌水量对灰枣产量有明显的提升;扁青永等^[12]认为,相较于高水和低水,中水(820 mm)条件下南疆沙区红枣产量最高,水分利用效率最大;部分研究^[13-14]发现,在极端干旱地区采用滴灌节水技术可以显著提高红枣的灌溉水利用效率,而灌水的频率则直接影响红枣的产量和品质,在适宜的灌溉定额下,采用高频灌溉能获得较高的红枣产量,在相同灌溉定额下,采用低频灌溉则可提高土壤水分含量,对土壤水分保持具有良好的效果;王天宇等^[15]研究了微咸水滴灌与喷灌对枣树土壤水分的影响表明,

微咸水滴灌可使土壤表层含水率提高 2.6%,而喷灌仅使表层含水率提升 0.7%,微咸水滴灌更利于红枣的生长。综上所述,国内外学者研究成果多针对本地区常年滴灌枣树,但有关南疆荒漠绿洲区不同灌溉定额下骏枣土壤含水率研究较少,枣树生理生长更是鲜有报道。本研究在前人研究基础上,结合南疆干旱地区枣树实际种植情况,设置低水、中水、高水,分别探讨不同灌溉定额对骏枣生长情况的影响,并着重分析全生育期和灌水前后土壤水分的变化,以期在南疆荒漠绿洲区滴灌骏枣灌溉制度的制定提供理论依据,具有较好的实践意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2019 年 4 月 1 日到 10 月 31 日,在新疆生产建设兵团第十四师 224 团 5 连(东经 79°16′44″,北纬 37°13′01″)进行,该地区属于典型的温带大陆性气候,日照时间较长,全年降水稀少,土壤盐渍化非常严重,表层土蒸发强烈。根据 224 团场气象站资料显示,试验区多年平均气温为 12.2℃,极端最高气温高达 40.6℃,其中 1 月份平均气温最低,为-6℃,而 7 月份平均气温为 25.5℃。平均风速为 2.3 m/s,最大风速高达 26.6 m/s,风向一般为西北风。年均蒸发量高达 2 824 mm,年均降水量仅为 33.4 mm。多年平均日照时间为 2 610.6 h,无霜期天数多年平均为 214 天,沙暴天数为 18~52 天,浮尘天数多达 200 天。试验区地下水埋深约为 3.0 m,最大冻土深度为 0.67 m。土壤质地为沙壤土,各土层土壤干容重和田间持水率(重量百分数)见表 1。

表 1 各土层土壤干容重及田间持水率

项目	0—30 cm	30—60 cm	60—80 cm	80—100 cm	100—120 cm	120—140 cm	>140 cm	平均值
土壤干容重/(g·cm ⁻³)	1.58	1.61	1.61	1.75	1.78	1.85	1.80	1.71
田间持水率/%	26.90	28.57	29.80	28.34	29.92	30.12	29.61	29.04

1.2 试验设计

试材选用当地常规品种和田骏枣,为矮化密植枣树,树龄为 12 年,枣树的株行距为 1.5 m×3.0 m。每次灌水定额根据水表实际测定,灌溉采用一行两管布置模式,单翼迷宫式滴灌带,分别位于枣树两侧,距树干 30 cm,各滴头间距为 30 cm,流量为 3.2 L/h。

为了探明试验区滴灌骏枣最佳的灌溉定额,根据

实地走访调查,将灌水量设为低水(W1)、中水(W2)、对照(CK)和高水(W3)4 水平,分别为 390,420,450,480 m³/667 m²,共设置 12 个小区,每个小区长 35 m,宽 9 m,面积 315 m²,各小区随机排列,3 组重复,各处理、重复之间设置保护行。

根据当年枣树生长规律,将枣树生育期分为 4 个阶段:4 月 10 日至 5 月 22 日,为萌芽展叶期;5 月 23

日至7月6日,为开花坐果期;7月7日至8月25日,为果实膨大期;8月26日至10月20日,为果实成熟期。各生育阶段具体灌水情况见表2。

表 2 各生育期灌水量与灌水次数

项目	试验处理	萌芽展叶期	开花坐果期	果实膨大期	果实成熟期	全生育期
灌水量/ ($\text{m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$)	W1	60	90	115	100	390
	W2	85	120	120	95	420
	CK	95	120	130	105	450
	W3	100	135	135	110	480
灌水次数/次		2	3	3	2	10

1.3 测定项目与方法

(1)生长指标。在枣树萌芽展叶前每个处理选取3棵形态规模一致的枣树进行新梢长度和稍径的测定,枣树发芽后选取长势较强且初始长度一致的嫩芽,并用红条标记,每个生育期测量2次,新梢长度和稍径分别用皮卷尺和游标卡尺测量。

(2)光合作用。采用美国 Li-CorInc 公司制造的 Li-6400 便携式光合测定仪测定枣树光合指标。测定指标包括:蒸腾速率(T_r)、净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)等。于果实膨大期选择晴朗无云的一天(2019 年 7 月 15 日)进行测定,每株固定调查记录 3 组稳定读数,共重复 3 次。叶片水分利用效率(LWUE)由记录的参数计算所得,公式为 $\text{LWUE} = P_n / T_r$ 。

(3)土壤含水率。采用烘干法分层测定 150 cm 土体土壤含水率,分层高度为 10 cm,各层依次取 3 个样求其平均值。取土周期为 15~20 天,灌水前后加测,取土点分别在距滴灌带 0,15,30,45 cm 处,从地表开始分层取土到地下 150 cm 深处。

(4)产量。骏枣成熟后,由人工测产,各处理随机选取 3 棵枣树,取其平均值作为该处理骏枣总的产量,最后将平均值折算到单位面积上的产量。

(5)基于滴灌骏枣生育期灌水量的灌溉水利用效率:

$$\text{IWUE} = Y / I$$

式中:IWUE 为灌溉水利用效率(kg/m^3);Y 为试验小区骏枣总产量(kg);I 为试验小区总的灌溉用水量($\text{m}^3/667 \text{ m}^2$)。

1.4 数据处理

所得试验数据用 Excel 2010 和 SPSS 25.0 软件进行对比分析,用 Origin 9.0 软件绘图。

2 结果与分析

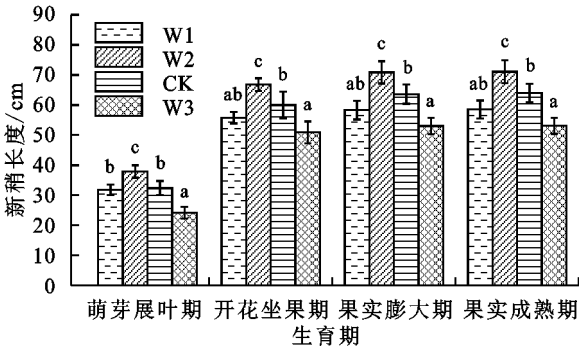
2.1 不同灌溉定额对骏枣生长指标的影响

图 1 和图 2 分别是骏枣全生育期新梢长度和稍径变化情况。枣树在萌芽展叶期和开花坐果期新梢生长

较快,果实膨大期略微增长,果实成熟期新梢基本停止生长,新梢长度和稍径均满足 $W3 < W1 < CK < W2$ 。

由图 1 可知,在萌芽展叶期,与 CK 处理相比,W1 表现为差异不显著,新梢长度对比降低 1.76%;W2 差异显著,新梢长度对比增长 17%;W3 差异显著,新梢长度对比降低 33.88%。开花坐果期骏枣新梢长度与 CK 处理相比,W1 差异不显著,W2、W3 均差异显著,W1 降低 7.00%,W2 增长 11.33%,W3 降低 17.88%。由图 2 可知,在萌芽展叶期,与 CK 处理相比,W1、W2 稍径差异不显著,W3 差异显著,W1 对比降低 8.22%,W2 对比增长 5.25%,W3 对比降低 26.96%。开花坐果期稍径 W2 比 CK 增长 11.29%,W1、W3 比 CK 分别降低 5.31%,12.56%。

与 CK 处理相比,W2 新梢长度最终增长量为 11.09%,而 W1、W3 分别降低 8.59%,20.53%;W2 稍径最终增长量为 15.94%,W1、W3 分别降低 0.93%,11.56%。可见,骏枣萌芽展叶期和开花坐果期低水和高水处理对新梢长度及稍径的生长均有抑制作用,且高水抑制作用更加明显。



注:不同字母表示各处理间差异达显著水平($P < 0.05$)。下同。

图 1 各生育期骏枣新梢长度

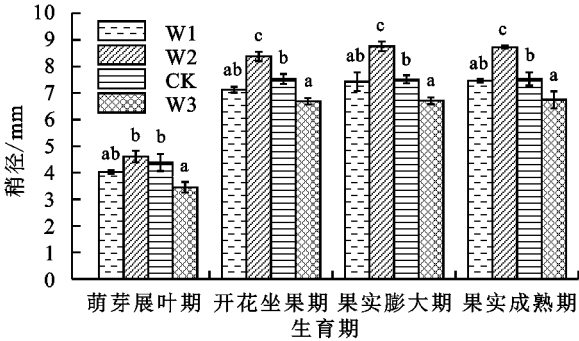


图 2 各生育期骏枣稍径

2.2 不同灌溉定额对骏枣光合作用的影响

在枣树生长旺盛时节即果实膨大期进行光合作用的测定,选取当年生新枝中较为成熟的功能叶片进行测定,从表 3 可以看出,各处理蒸腾速率(T_r)、净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)随着灌水量增加呈现先增大后减小的趋势,而胞间 CO_2 浓度(C_i)则相反;蒸腾速率、净光合速率和气孔导度大小比较均表现为 $W3 < W1 < CK < W2$,其中蒸腾速率 W2 比

CK 增加 23.03%，W1、W3 比 CK 分别减小 3.65%，25.80%；净光合速率 W2 比 CK 增加 54.15%，W1、W3 比 CK 分别减小 20.63%，97.09%；气孔导度 W2 比 CK 增加13.44%，W1、W3 比 CK 分别减小 11.09%，51.00%。胞间 CO₂ 浓度则表现为 W2<W1<CK<W3，W3 处理胞间 CO₂ 浓度与 CK 处理相比高出 38.25%；W1 与 W2 则分别相对降低 25.68%，13.38%。W1、W3 处理气孔导度相对较小，而胞间 CO₂ 浓度

表 3 不同灌水处理滴灌骏枣叶片光合作用特性

处理	$T_r /$ (mmol · m ⁻² · s ⁻¹)	$P_n /$ (μmol · m ⁻² · s ⁻¹)	$G_s /$ (mol · m ⁻² · s ⁻¹)	$C_i /$ (μmol · mol ⁻¹)	LWUE
W1	3.43±0.37a	13.97±1.86b	227.17±3.69b	211.77±20.36ab	4.11±0.78ab
W2	4.38±0.64b	27.13±1.44d	289.83±20.27c	186.93±4.12a	6.27±0.80c
CK	3.56±0.35a	17.60±1.80c	255.50±18.90bc	229.83±10.80bc	4.95±0.44b
W3	2.83±0.10a	8.93±1.27a	169.20±41.31a	246.87±19.51c	3.15±0.37a

2.3 土壤含水率

2.3.1 土壤含水率随时间变化 土壤含水率是土壤墒情的一项重要指标^[16]，图 3 和图 4 分别为距离滴灌带 45 cm 处和滴灌带正下方 0—150 cm 土壤含水率平均值随时间变化图，图 5 为各取样点 0—30 cm 土壤含水率平均值随时间变化图。由图 3 和图 4 可知，各灌水处理枣树全生育期(4 月 10 日至 10 月 20 日)0—150 cm 土壤含水率平均值整体变化趋势一致，均呈现先增大后减小的规律：一水前土壤初始含水率较低，萌芽展叶期(4 月 10 日至 5 月 22 日)灌水量少，但灌水后土壤含水率明显增加；开花坐果期(5 月 23 日至 7 月 6 日)随着气温逐渐升高和灌水量的加大，土壤含水率不断增大；果实膨大期(7 月 7 日至 8 月 25 日)骏枣耗水强度增大，灌水较为充足，土壤含水率达到最大值(距离滴灌带 45 cm 处 W1、W2、CK、W3 分别为 9.20%，9.84%，9.78%，10.55%；滴灌带正下方分别为 9.14%，10.05%，10.03%，10.41%)；骏枣生长后期主要是糖分的积累，果实成熟期(8 月 18 日至 10 月 20 日)红枣灌水减少，土壤含水率下降明显。

其中，距离滴灌带 45 cm 处 W1、W2、CK、W3 全生育期平均值分别为 7.85%，8.49%，8.46%，8.92% (W1<CK<W2<W3)，CK 处理灌水量比 W2 处理大，但土壤含水率平均值比 W2 略小，分析为试验区位于塔克拉玛干沙漠南缘，蒸发强烈，枣树为矮化密植种植模式，树冠较小，取样点在距离滴灌带 45 cm 处，取样点离枣树根区较远，加上 CK 树枝比 W2 小，遮阴效果比 W2 差，在高温条件下土壤水分蒸发较快，所以 CK 处理土壤含水率比 W2 略小。而滴灌带正下方枣树全生育期 0—150 cm 土壤含水率平均值则表现为 W1<W2<CK<W3，滴灌带正下方枣树遮阴效果较好，W2 处理枣树水分消耗量更大，土壤含

相应较大，骏枣叶片净光合速率下降可能受气孔限制的影响。

各灌水处理 LWUE 表现为 W3<W1<CK<W2，W1、W3 处理叶片水分利用效率仅分别为 CK 处理的 83.03%，63.64%，而 W2 比 CK 提高 26.67%。

综合来看，W2 处理(中水)较其他处理光合作用更优，骏枣叶片水分利用效率最大，高水和低水处理显然不能为枣树提供良好的生长生理环境。

水率较 CK 处理小。

试验区位于极端干旱地区，表层土壤蒸发强烈，0—30 cm 土壤含水率受气温影响较大，由图 5 可知，W1、W2、CK、W3 表层土土壤含水率仅为 2.32%，2.43%，2.50%，2.42%，各灌水处理间土壤含水率差距不明显，说明灌水后水分下渗，加上表层土蒸发较快，灌水对表层土影响较小，主要影响 30 cm 以下土层的土壤含水率。

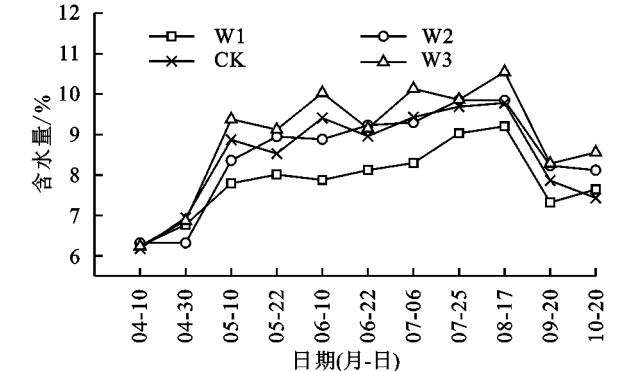


图 3 离滴灌带 45 cm 处 0—150 cm 土壤含水率随时间变化

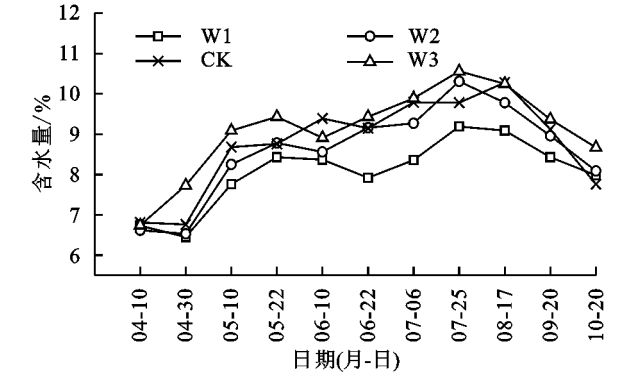


图 4 滴灌带正下方 0—150 cm 土壤含水率随时间变化

2.3.2 土壤含水率空间变化 滴灌条件下，土壤的水分运移过程所形成的有限湿润体，是以滴头为中心向周围扩散的一个半球体或半椭球体^[17]，土壤含水率的变化受有限湿润体的影响较大。为了探明试验区灌水

后土壤水分的运移情况,选取果实膨大期(8月5日)一次灌水前后(灌后 24 h 取样)土壤作为研究对象进行观测。从图 6 可以看出,试验区土壤在垂直方向上存在明显的分层现象,0—30 cm 表层土土壤含水率极低,其次是 40—100 cm 土层,110—150 cm 最高。

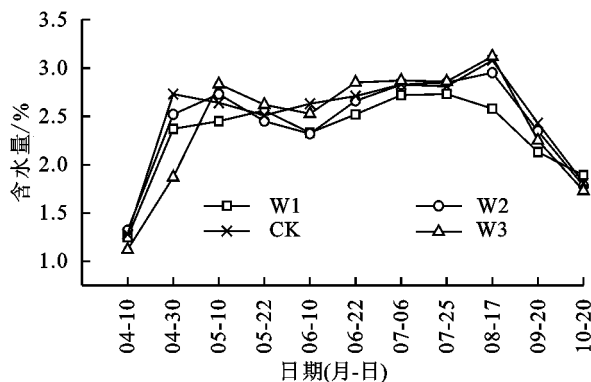


图 5 各取样点 0—30 cm 土壤含水率随时间变化

在垂直方向上, W1、W2、CK、W3 在 0—30 cm 表层土灌水前平均值分别为 2.85%, 2.87%, 2.78%, 2.43%, 灌后分别为 4.25%, 4.31%, 4.13%, 4.65%, 灌后分别增加 1.40%, 1.44%, 1.35%, 2.22%; 同理可知, W1、W2、CK、W3 在 40—100 cm 土层土壤含水率灌水后分别增加 2.88%, 3.08%, 3.61%, 3.83%; 而在 110—140 cm 土层灌水后土壤含水率增加量分别为 0.94%, 0.77%, 0.93%, 0.85%。说明灌水后, 有限湿润体对 40—100 cm 土层影响最大, 对 0—30 cm 表层土影响次之, 而对 110 cm 以下土层影响最小, 灌水后湿润锋纵向移动范围主要集中在 0—100 cm 土层。

在水平方向上, 土壤含水率表现为距离滴灌带越远, 灌水前后的变化值越小。其中 W1、W2、CK、W3 距离滴灌带 0—30 cm 的土壤含水率灌水后分别增加 2.66%, 2.26%, 2.95%, 3.05%, 距离滴灌带 30—45 cm 土层土壤含水率分别增加 0.27%, 0.21%, 0.18%, 0.32%, 说明灌水后湿润锋横向移动范围主要集中在距离滴灌带 0—30 cm。

2.4 不同灌溉定额骏枣产量与水分利用效率

灌水量是衡量灌溉水分投入量的重要标志, 灌溉水利用效率则是农业用水和农业生产水平高效性与科学性的重要指标^[18]。对不同灌溉定额下骏枣产量和基于骏枣全生育期灌水量的灌溉水利用效率进行单因素方差分析。由表 4 可知, 在产量方面表现为 $W3 < W1 < CK < W2$, 与 CK 处理相比, W1、W2、W3 均与之差异达到显著水平, W2 相较 CK 处理产量提高 10.93%, W1、W3 相较 CK 处理产量分别降低 8.20%, 9.54%; 在灌溉水利用效率方面表现为 $W3 < CK < W1 < W2$, 随着灌水量增加, IWUE 先增大后减小, 与 CK 相比, W1 表现为差异不显著, W2、W3 均

与之差异显著, 其中 W3 最低为 0.92, $IWUE < 1$ 。

根据分析结果, W3 产量最低, 为 440.83 kg/667 m², 其灌水量较大, 不适于枣树生长; W2 处理骏枣产量最高, 为 540.56 kg/667 m², 灌溉水利用效率最大, 为 1.29 kg/m², 在该灌溉定额下, 枣树根区水分更有利于枣树的生长, 灌水量较为合理, 且在根区不会产生过多积水; W1 灌水量最少, 其产量比 W3 略高, 水分生产效率比 CK 处理大, 分析为枣树是耐旱植物^[19], 低水环境比高水更适宜骏枣生长, 所以其产量比 W3 略高。由此可知, 本试验条件下 W2(420 m³/667 m²) 骏枣产量收益最好。

3 讨论

枣树根区土壤环境状况对枣树生长具有显著影响, 本研究对骏枣新梢生长分析发现, 中水对新梢具有促进作用, 高水与低水均能抑制枣树新梢生长, 且高水比低水抑制效果更加明显, 这与扁青永等^[20]研究结果相似, 枣树是耐旱性植物, 为了探明低水环境下枣树生长情况, 一些学者^[21-22]分别以不同灌水下限为试验因素, 研究基于土壤水分下限情况下红枣生长生理情况, 发现适度降低土壤灌水下限可以促进枣树增长, 提高枣树产量, 增大枣树的水分利用效率。

土壤水分是大枣生长和发育的重要基础, 也是影响其光合生理特性的主要因素^[23], 本研究发现, 骏枣在过低和过高的灌水情况下均不利于叶片进行光合作用, 这与马军勇等^[24]研究结果相同。侯裕生等^[25]研究认为, 灌水和施肥均能影响枣树的光合作用, 适当的水肥配比能显著提高红枣叶片光合作用水分利用效率, 这为本研究接下来试验提供一定程度的参考。作物蒸腾和光合作用受气孔导度直接影响, 通过减小和关闭气孔导度, 作物可减少蒸腾量, 但叶片气孔关闭也会影响叶片与外界气体交换, 从而使作物光合作用降低^[26-27]。枣树叶片通过控制表层气孔开放程度进行光合和蒸腾作用, 其归因于表层气孔的限制因素, 这与付彦博等^[28]研究结果类似。

有研究^[29]表明, 随着灌溉定额的增加, 土壤水分入渗范围变大, 有限湿润体影响范围也随之变大, 土壤水分由于受重力和表面张力作用不断向滴灌带四周运动, 形成的有限湿润体在枣树根区使水分再分布, 本研究有限湿润体对中层土(40—100 cm)影响最大, 对 0—30 cm 表层土影响次之, 而对 110 cm 以下土层影响几乎没影响, 这与胡家帅等^[30]的研究结果相似。

研究区一部分枣农根据多年种植经验将灌溉定额设为 450 m³/667 m², 还有部分枣农采用更高的灌水量, 本试验条件下设置的 4 个灌溉定额, W1、W2

灌水量较 CK 分别减少 13.33%,6.67%,其产量表现为降低 8.20%,提高 10.93%;W3 灌水量比 CK 多

6.67%,而产量降低 9.54%,显然适宜灌水处理(W2)能获得较高产量,这与王文娟^[31]的研究结果相一致。

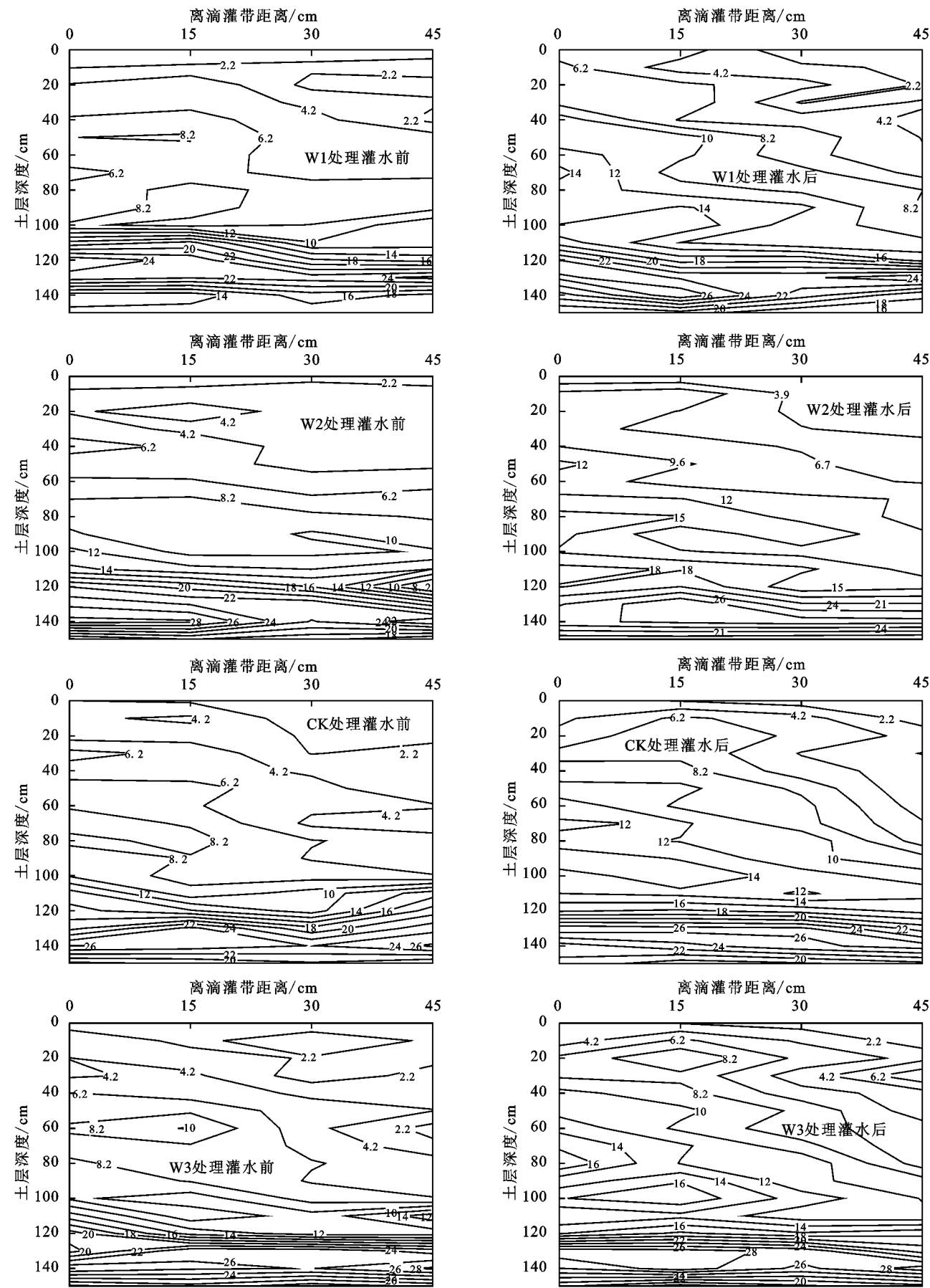


图 6 土壤含水率空间变化

表 4 不同灌水量骏枣产量和灌溉水利用效率

处理	灌水量/ ($\text{m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$)	产量/ ($\text{kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$)	IWUE/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
W1	390	447.37±14.78a	1.15±0.04b
W2	420	540.56±27.99c	1.29±0.07c
CK	450	487.32±18.35b	1.08±0.04b
W3	480	440.83±9.29a	0.92±0.02a

4 结论

(1)枣树在萌芽展叶期和开花坐果期新梢生长较快,新梢长度和稍径均满足 $W3 < W1 < CK < W2$,低水和高水处理对新梢长度及稍径均有抑制作用,且高水处理的抑制作用更加明显。

(2)各灌水处理蒸腾速率(T_r)、净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)随着灌水量增加呈现先增大后减小的趋势,而胞间 CO_2 浓度(C_i)则相反;LWUE 表现为 $W3 < W1 < CK < W2$,W1、W3 处理叶片水分利用效率仅为 CK 处理的 83.03%、63.64%,而 W2 比 CK 提高 26.67%。

(3)各灌水处理枣树全生育期在滴灌带正下方和距离滴灌带 45 cm 处 0—150 cm 土壤含水率随着时间的推移呈现先增大后减小的趋势,并于果实膨大期达最大值,滴灌带正下方全生育期 0—150 cm 土壤含水率平均值满足 $W1 < W2 < CK < W3$,而距离滴灌带 45 cm 处则满足 $W1 < CK < W2 < W3$ 。灌水对 40—100 cm 土层影响最大,对 0—30 cm 表层土影响次之,对 110 cm 以下土层影响最小,湿润锋横向移动范围为 0—30 cm,纵向移动范围为 0—100 cm。

(4)在产量方面表现为 $W3 < W1 < CK < W2$,W2 相较 CK 处理产量提高 10.93%,W1、W3 相较 CK 处理产量分别降低 8.20%、9.54%;在灌溉水利用效率方面表现为 $W3 < CK < W1 < W2$ 。中水($420 \text{ m}^3/667 \text{ m}^2$)环境更适宜骏枣生长,其产量最高,为 $540.56 \text{ kg}/667 \text{ m}^2$,灌溉水利用效率最大为 $1.29 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

参考文献:

[1] 王振华,扁青永,李文昊,等.南疆沙区成龄红枣水肥一体化滴灌的水肥适宜用量[J].农业工程学报,2018,34(11):96-104.

[2] 郑强卿,陈奇凌,李铭,等.南疆枣树种植模式改造对骏枣生长发育的影响[J].西南农业学报,2015,28(4):1564-1568.

[3] Sun H Y, Shao L W, Liu X W, et al. Determination of water consumption and the water-saving potential of three mulching methods in a jujube orchard[J].European Journal of Agronomy,2012,43:87-95.

[4] 孙三民,安巧霞,叶含春,等.不同滴灌方式对骏枣生长和品质的影响[J].灌溉排水学报,2013,32(6):122-124.

[5] Sun S M, Yang P L, An Q X, et al. Investigation into

surface and subsurface drip irrigation for jujube trees grown in saline soil under extremely arid climate[J].European Journal of Horticultural Science,2016,81(3):165-174.

[6] 蔡仲勤,张育丽,万素梅.保护性耕作对红枣生长发育及品质的影响[J].西北农业学报,2014,23(10):152-157.

[7] 马文艺,杜虎林,史学斌.塔里木河下游枣树根灌需水量与灌溉制度研究[J].西北农业学报,2014,23(11):92-99.

[8] 朱珠,马洁,孙三民,等.滴灌条件下枣树根区土壤水盐变化初探[J].节水灌溉,2010(10):35-39.

[9] 魏瑞锋,庄飞,范阳阳,等.土壤水分对枣树光合特性及耗水量的影响[J].灌溉排水学报,2012,31(2):107-111.

[10] 王颖,李晓彬,范阳阳,等.不同水分处理对梨枣树花期光合特性影响研究[J].灌溉排水学报,2011,30(2):111-114.

[11] 游磊.灌水定额和滴头流量对南疆灰枣产量和品质影响研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.

[12] 扁青永,王振华,胡家帅,等.水肥耦合对南疆沙区滴灌红枣光合特性及产量的影响[J].西北农业学报,2018,27(5):707-715.

[13] 叶含春,姚宝林,王兴鹏,等.不同灌溉制度对矮化密植红枣土壤水盐分布的影响研究[J].灌溉排水学报,2012,31(5):118-122.

[14] Eggleton M, Zegada-Lizarazu W, Ephrath J, et al. The effect of brackish water irrigation on the above- and below-ground development of pollarded Acacia salignashrubs in an arid environment[J]. Plant and Soil,2007,299(1/2):141-152.

[15] 王天宇,王金童,徐征和,等.微咸水灌溉对冬枣根区土壤水盐动态及效益的影响[J].节水灌溉,2017(6):46-49,54.

[16] 李陆生,赵西宁,高晓东,等.黄土丘陵区不同树龄旱作枣园土壤水分动态[J].农业工程学报,2016,32(14):145-152.

[17] 董丽艳,王卫华.滴灌条件下原状土与扰动土水分运动特性[J].水土保持学报,2017,31(5):164-169.

[18] 张恒嘉,黄彩霞.有限灌溉对绿洲春玉米农田耗水特征及水分利用效率的影响[J].水土保持学报,2016,30(5):156-160,165.

[19] 张有林,陈文红,刘统民,等.沙漠红枣栽培关键技术研究[J].北京林业大学学报,2020,42(11):72-81.

[20] 扁青永,王振华,胡家帅,等.滴灌施肥对红枣土壤水盐动态及光合的影响[J].排灌机械工程学报,2018,36(6):536-543.

[21] 刘国宏,谢香文,蒋岑.干旱区不同水分指标下限对成龄红枣生长和产量的影响[J].新疆农业科学,2011,48(1):94-98.

[22] 马军勇,郑国玉,周建伟,等.不同灌水下限对灰枣树生长及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2020,38(2):58-61,92.

- [6] 卢再华,陈正汉,孙树国.南阳膨胀土变形与强度特性的三轴试验研究[J].岩土力学与工程学报,2002,21(5):717-723.
- [7] 卢再华,陈正汉,蒲毅彬.原状膨胀土剪切损伤演化的定量分析[J].岩土力学与工程学报,2004,23(9):1428-1432.
- [8] Omid G H, Thomas J C, Brown K M. Effect of desiccation cracking on the hydraulic conductivity of a compacted clay liner[J]. Water, Soil and Soil Pollution, 1996,89:91-103.
- [9] Daniel D E, Wu Y K. Compacted clay liners and covers for arid sites[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1993,119(2):223-237.
- [10] Albrecht B A, Benson C H. Effect of desiccation on compacted natural clays[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2001,127(1):67-75.
- [11] 唐朝生,施斌,高玮.聚丙烯纤维和水泥对粘性土强度的影响及机理研究[J].工程地质学报,2007,15(1):108-113.
- [12] Rodriguez R, Sanchez M, Ledesma A, et al. Experimental and numerical analysis of desiccation of a mining waste[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2007,44:644-658.
- [13] 唐朝生,崔玉军,施斌,等.膨胀土收缩开裂过程及其温度效应[J].岩土工程学报,2012,34(12):2181-2187.
- [14] 冷挺,唐朝生,施斌.干湿循环条件下重塑膨胀土的裂隙发育特征及量化研究[J].工程地质学报,2016,24(5):856-862.
- [15] 袁权,谢锦宇,任柯.边界约束对膨胀土干缩开裂的影响[J].工程地质学报,2016,24(4):604-609.
- [16] 刘昌黎,唐朝生,李昊达,等.界面粗糙度对土体龟裂影响的试验研究[J].工程地质学报,2017,25(5):1314-1321.
- [17] Nahlawi H, Kodikara J K. Laboratory experiments on desiccation cracking of thin soil layer[J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2006,24:1641-1664.
- [18] 曾浩,唐朝生,刘昌黎,等.控制厚度条件下土体干缩开裂的界面摩擦效应[J].岩土工程学报,2019,41(3):544-553.
- [19] 骆赵刚,汪时机,杨振北.膨胀土湿干胀缩裂隙演化及其定量分析[J].岩土力学,2020,41(7):1-11.
- [20] Lakshmikantham M R, Pratpere C, Ledesma A. Experimental evidence of size effect in soil cracking[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2008,49(21):264-284.
- [21] 唐朝生,施斌,崔玉军.土体干缩裂隙的形成发育过程及机理[J].岩土工程学报,2018,40(8):1415-1423.
- [22] 吴志峰,王继增.华南花岗岩风化壳岩土特性与崩岗侵蚀关系[J].水土保持学报,2000,14(2):31-35.
- [23] 夏栋.南方花岗岩区崩岗崩壁稳定性研究[D].武汉:华中农业大学,2015.
- [24] 林鑫,唐朝生,程青,等.基于数字图像相关技术的土体干缩开裂过程研究[J].岩土工程学报,2019,41(7):1311-1318.
- [25] 毕利东,张斌,潘继花.运用 ImageJ 软件分析土壤结构特征[J].土壤,2009,41(4):654-658.
- [26] 叶万军,万强,申艳军,等.干湿循环作用下膨胀土开裂和收缩特性试验研究[J].西安科技大学学报,2016,36(4):541-547.
- [27] 冯延云.崩岗土体抗拉力学特性及对崩岗稳定性影响研究[D].武汉:华中农业大学,2020.

(上接第 174 页)

- [23] 付优,马英杰.不同土壤水分对枣树幼果期光合特性的影响研究[J].节水灌溉,2019(8):54-58,63.
- [24] 马军勇,郑国玉,周建伟,等.不同灌水下限对枣树光合特性、产量及品质的影响[J].灌溉排水学报,2020,39(1):31-36.
- [25] 侯裕生,王振华,李文昊,等.水肥耦合对南疆沙区滴灌红枣光合特性及叶绿素相对含量的影响[J].排灌机械工程学报,2018,36(9):914-919,924.
- [26] 徐安阳,张育丽,段维,等.保护性耕作措施对红枣树光合特性及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(4):64-68,81.
- [27] 付倩雯,吴正保,史彦江,等.不同施肥方式对枣树生长及光合特性的影响[J].新疆农业科学,2014,51(12):2189-2195.
- [28] 付彦博,王成福,黄建,等.水肥交互对红枣产量及生理状况的影响[J].新疆农业科学,2017,54(1):66-75.
- [29] 李长城,李宏,张志刚,等.滴灌条件下砂壤土枣林的水分入渗及再分布过程[J].西南农业学报,2016,29(9):2155-2161.
- [30] 胡家帅,王振华,郑旭荣,等.滴灌方式对南疆沙区成龄红枣土壤水分的影响[J].灌溉排水学报,2019,38(4):43-47.
- [31] 王文娟.河西内陆区特色红枣节水型灌溉制度研究[J].节水灌溉,2020(2):41-45.