

不同灌水下限对灰枣树生长及水分利用效率的影响

马军勇^{1,2}, 郑国玉^{1,2}, 周建伟^{1,2}, 郑强卿^{1,2}

(1.新疆农垦科学院农田水利与土壤肥料研究所,新疆 石河子 832000;
2.农业部作物高效用水石河子科学观测实验站,新疆 石河子 832000)

摘 要:为探究不同灌水下限对新疆典型绿洲区灰枣树生长、产量及水分利用效率的影响,于 2017 年在新疆建设兵团第二师 38 团开展了大田试验,以 7 a 灰枣树为试验材料,设置了滴灌方式下 4 个灌水下限(T1、T2、T3、T4,分别为田间持水率的 40%、55%、70%、85%)。研究结果表明:随灌水下限的降低枣吊生长受到明显抑制,处理 T1 的枣吊长度较处理 T4 减少了 31.84%。灌水下限对枣树产量及果实比例均有重要影响,处理 T2、T3 较处理 T4 产量提高了 11.26%、4.48%,一级果果实比例提高了 35.66%、21.76%。降低灌水下限有利于提高枣树水分利用效率,处理 T1、T2、T3 较处理 T4 提高了 10.10%~28.28%。在沙漠绿洲区灌水下限为田间持水率的 55%比较适宜灰枣的生长发育,既可抑制枣树过度营养生长、促进生殖生长、提高其水分利用效率,亦可获得较高产量。

关键词:灌水下限;灰枣树;枣吊生长;产量;水分利用效率

中图分类号:S665.1;S274 **文献标志码:**A

Effects of different irrigation thresholds on the growth and water use efficiency of jujube trees

MA Junyong^{1,2}, ZHENG Guoyu^{1,2}, ZHOU Jianwei^{1,2}, Zheng Qiangqing^{1,2}

(1. Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi, Xinjiang 832000, China;
2. Shihezi Experimental Station for Crop Water Use of Ministry of Agriculture, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: In order to explore the effect of different irrigation threshold on the growth, yield, and water use efficiency of gray jujube in typical oasis of Xinjiang, a field experiment was carried out in the 38 Regiment of the Second Division of the Xinjiang Production and Construction Corps. The 7a gray jujube was used as test materials, and 4 drip irrigation thresholds (T1, T2, T3, and T4 equivalent to 40%, 55%, 70%, and 85% of the field capacity, respectively). The results indicated that the bearing branch length of jujube had significantly positive correlation with the irrigation threshold, and bearing branch length of jujube with T1 was 31.84% less than that with T4. The yield and fruit weight of jujube were influenced by the irrigation threshold. Compared with T4, the first class fruit yields of T2 and T3 were increased by 11.26% and 4.48%, and the jujube yield were increased by 35.66% and 21.76%. In addition, reducing the irrigation threshold was beneficial to improve the water use efficiency of jujube. The water use efficiency of T1, T2, and T3 was 10.10%~28.28% higher than that of T4. The results showed that the appropriate irrigation threshold was 55% of the field capacity, which could not only inhibit the excessive vegetative growth of jujube but also improve the water use efficiency and yield of jujube.

Keywords: irrigation threshold; gray jujube; bearing branch growth; yield; water use efficiency

枣树(*Ziziphus jujube* Mill.),是鼠李科(*Rhamnaceae*)枣属植物,原产我国,栽培历史悠久,其果实

红枣是我国特色干果,具有较高的药用和营养价值^[1]。由于新疆独特的自然条件十分有利于红枣生

长,我国红枣总产量的 33%以上来自新疆。近年来新疆特色林果业发展迅猛,2018 年新疆红枣产量高达 361.19 万吨,占其特色林果产量 20%以上^[2],红枣已成为新疆特色林果的第一大产业,在新疆社会经济发展、生态环境保护以及农民脱贫致富奔小康中占有举足轻重的地位。随着新疆红枣种植面积不断扩大,灌溉用水量不断增加,水资源短缺的矛盾日益突出。

灌水下限是指适宜于作物生长的最低土壤水分含量的临界值,当土壤水分含量低于水分下限时,就会对作物的生长发育及产量造成影响,此时需通过灌溉提高土壤水分含量使作物正常生长^[3]。灌水下限因土壤类型和作物不同而有一定的差别,国内学者对冬小麦^[4]、青茄^[5]、西瓜^[6]、油菜^[7]等开展了大量研究。马福生等^[8]研究了滴灌条件下不同灌水下限对基质含水率、田间水利用、盆栽红掌生长和耗水的影响,结果表明:灌水下限为田间持水量的 60%时,可在降低作物耗水量的同时提高红掌品质。杨文斌等^[9]模拟了微喷条件下控制灌水下限对温室茼蒿生长和产量的影响,研究发现-15 kPa 土水势作为控制灌水下限,有利于茼蒿生长,可以达到高产、节水的目的。牛勇等^[10]对日光温室甜瓜进行了研究,结果表明:相对较低的土壤含水量促进根系发育、分生,有利于甜瓜叶面积、茎粗的增加,75%田间持水量灌水下限有利于提高甜瓜产量和品质。牛文全等^[11]通过番茄滴灌试验,研究了不同灌水下限对番茄植株生长、果实形态、产量与品质的影响,发现灌水下限为田间持水量的 60%为关中地区日光温室适宜的滴灌灌溉用水量。

现有的枣树灌水下限研究更多采用盆栽、温室等模拟条件,很少开展基于灌水下限的大田试验研究。本文通过研究不同灌水下限对干旱区灰枣树生长、产量和水分利用效率的影响,探究灌水下限对大田作物的影响,为干旱区节水灌溉和新疆特色林果业发展提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验于 2017 年 3 月—2017 年 10 月在新疆建设

兵团第二师 38 团(83°25′~87°30′ E,35°40′~40°10′ N)开展。该试验点地处新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州且末县境内,昆仑山、阿尔金山北麓,塔里木盆地东南缘,属典型的干旱沙漠性气候,多年平均降雨量 18.1 mm,多年平均蒸发量 2 824 mm,昼夜温差大,光热资源丰富,全年有效积温为 2 250℃左右,全年无霜期 190 d 左右。试验区灰枣树树龄为 6 a,行距 3 m、株距 1 m,树势均匀,长势较旺。枣树生育期内灌溉方式为滴灌,滴灌带布设于枣树两侧,间距为 100 cm,滴头流量 3.2 L·h⁻¹,滴头间距 30 cm。灰枣园土壤为壤质砂土,0~80 cm 土壤平均田间持水量(质量含水率, $\theta_{\text{田}}$)为 17.10%,平均干容重为 1.53 g·cm⁻³,地下水埋深 2.2 m 左右。

1.2 试验设计

本试验为单因素 4 水平的灌溉试验,灌水下限分别为 $\theta_{\text{田}}$ 的 40%(T1),55%(T2),70%(T3)和 85%(T4),每个处理设 4 次重复,共 16 个小区,每个小区均有 3 行枣树。试验小区根据田块随机排列,每个小区中选取 3 个点预埋 1 m 测量管,每隔 2 d 采用便携式时域反射仪(TRIME)对 0~0.8 m 平均土壤含水率进行测定,以确定是否需要灌溉。当各小区土壤含水量低于灌水下限时进行灌溉,各小区灌水定额通过旋翼式水表进行控制。灌水定额计算依据公式:

$$M = 10 \times H \times \gamma \times p \times (\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{min}}) \quad (1)$$

式中, M 为灌水定额(mm); H 为计划湿润层厚度(m),本试验 H 取 0.8 m; γ 为土壤容重(g·cm⁻³),该地块土壤容重为 1.53 (g·cm⁻³); P 为润湿比,即湿润面积与土体面积的比值,本试验中枣树行距较大, P 取 0.5; θ_{max} 为灌水上限(%),本试验 $\theta_{\text{max}} = \theta_{\text{田}} = 17.10\%$; θ_{min} 为灌水下限(%)。

各处理灌溉方案详见表 1。

1.3 指标测定与分析

1.3.1 土壤含水量测定 采用定点测定(TRIME)。每 10~20 cm 为 1 个测定段,最后用累计法计算整个土体的含水量;土壤含水量每隔 2 d 测定 1 次。

表 1 各处理灌水定额和灌水周期
Table 1 Irrigation amount and cycle

处理 Treatment	灌水下限/% $\theta_{\text{田}}$ Irrigation threshold	灌水定额/mm Irrigation amount	灌水周期/d Irrigation cycle	灌水次数 Irrigation times	灌水量/mm Irrigation quantity
T1	40	62.79	15~20	7	439.53
T2	55	47.09	8~12	11	517.99
T3	70	31.4	5~10	18	565.20
T4	85	15.7	3~7	38	596.60

1.3.2 枣吊生长量测定 每个小区选取 3 棵长势基本一致的灰枣树,在每棵枣树同一高度上(距地面 1.5 m)东、南、西、北 4 个方向各选取长势一致的 1 个二次枝,每个二次枝上选取不同枣股上位置不同的 3 个枣吊并标记,每 15 d 用皮尺(精度 0.1 cm)测量 1 次枣吊长度,直到枣吊停止生长。

1.3.3 果实产量测定 各小区随机选取 3 颗枣树作为测产对象,将所选定枣树的全部果实进行采收、称重,并按照当地灰枣分级标准进行分级^[12]。

1.3.4 作物水分利用效率计算 根据水量平衡原理计算灰枣树各生育期的田间耗水量:

$$ET_{0-t} = W_0 - W_t + M + P + K - C \quad (2)$$

式中, ET_{0-t} 为时段 t 内灰枣树田间耗水量(mm); W_0 、 W_t 分别为初始时刻 0、任一时刻 t 的土壤质量含水率(mm); M 为时段 t 内的灌水量(mm); P 为时段 t 内的有效降水量(mm); K 为时段 t 内的地下水补给量(mm); C 为时段 t 内的排水量(mm)。试验区地下水埋深 2.2 m 左右,地下水无补给量(即 $K=0$);根据试验监测的土壤含水率数据得出在深度 80 cm 以下土壤含水量基本无变化(即 $C=0$)。故式(2)可简化为:

$$ET_{0-t} = W_0 - W_t + M + P \quad (3)$$

2017 年试验区在灰枣树全生育期内降雨量 8.8 mm(表 2)。

枣树水分利用效率计算公式为:

$$WUE = 0.1m_1/ET \quad (4)$$

式中, WUE 为枣树水分利用效率($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); m_1 为枣树产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); ET 为枣树全生育期耗水量(mm)。

1.3.5 数据处理与分析 试验数据使用 Excel 软件进行整理;使用 SPSS 22.0 软件进行数据分析(其中,选择 Duncan 法进行差异显著性检验, $P=0.05$);使用 Origin 9.0 作图。

2 结果与分析

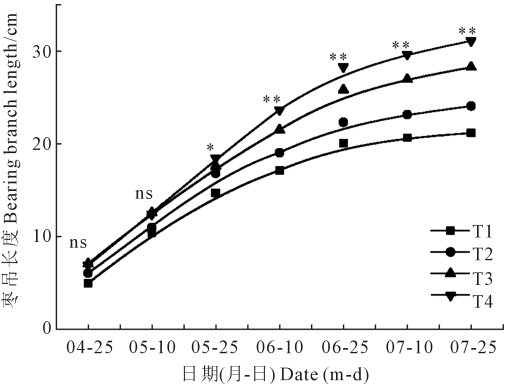
2.1 灌水下限对枣树枣吊生长的影响

枣吊是枣树的结果枝,对枣树开花结果和光合反应有重要作用,适宜的枣吊长度可提高枣树开花坐果率。由图 1 可以看出,萌芽展叶期(4 月 20 日—5 月 31 日)枣吊生长速率较快,而开花坐果期(6 月 1 日—7 月 10 日)枣吊生长速率明显降低,进入果实膨大期(7 月 11 日以后)枣吊基本停止生长。各处理枣吊长度均不断增加,但其增长速率不同。其中 T4 处理的枣吊平均长度最长 31.11 cm,T1 处理枣吊长度最短 21.20 cm,T2 和 T3 处理的枣吊平均长度分别为 24.09 cm 和 28.27 cm。相较 T4 处理,

表 2 2017 年试验区在灰枣树全生育期内降雨量

Table 2 Rainfall in the study area during the whole growth period of gray jujube in 2017

时间(年-月-日)	降雨量	时间(年-月-日)	降雨量
Time/(y-m-d)	Rainfall/mm	Time/(y-m-d)	Rainfall/mm
2017-05-01	2.0	2017-07-06	0.9
2017-06-01	3.9	2017-07-30	0.1
2017-06-07	0.3	2017-08-12	0.4
2017-06-23	1.2		



注:同列数据上 ns 表明处理间无显著差异($P>0.05$);* 表明处理间差异显著($P<0.05$);** 表明处理间差异极显著($P<0.01$)。

Note: On the same column of data, ns, * and ** indicate that there are no significant difference difference ($P>0.05$), significant difference ($P<0.05$), and extremely significant difference ($P<0.01$) among treatments, respectively.

图 1 不同灌水下限对枣吊长度的影响

Fig.1 Effects of different irrigation threshold on bearing branch length of jujube

各处理的枣吊长度分别减少了 31.84% (T1)、22.55% (T2)、9.12% (T3)。说明随着灌水下限的增加可明显增加枣树结果枝长度。但结果枝过度增长,其他无效营养枝也会增加,增加田间作业强度,不利于后期开花坐果,过长的果枝在坐果期还需进行枣吊摘心。因此,不同灌水下限对枣吊的生长产生了显著影响,灌水下限的降低有效抑制了枣吊的过度生长。

2.2 灌水下限对红枣产量的影响

不同灌水下限对枣树果实等级及产量的影响见表 3。处理 T1、T2、T3 的单果重明显高于处理 T4,且处理 T4 与 T1、T2 间差异显著。在果实比例方面,一级果比例随灌水下限的降低而显著提高,且最大值出现在处理 T1,与处理 T4 相比各处理分别提高了 39.02%、35.66%、21.76%;二级果比例虽也有所提高,但处理 T2、T3、T4 间差异均不显著;三级果比例随灌水下限的降低而明显降低,处理 T1、T2、T3、T4 的三级果比例分别为 18.03%、20.77%、24.39%、33.02%。不同灌水下限对红枣产量有不同程度的影响,处理 T2、T3 产量均高于处理 T4 且差异显著,较处理 T4 分别提高了 11.20%、4.48%,而

处理 T1 比处理 T4 产量减少了 366.8 kg · hm⁻²。这是由于 T1 处理灌水周期较长,在灌水前容易引起干旱;T4 处理灌水次数多,灌水量少,水肥不能有效供应枣树深层根系,T2、T3 处理在开花坐果期提供了充足的水肥供应,有利于枣树坐果。因此,适度的灌水下限不仅有利于提高枣树产量,还可以增加一级、二级果实的比重。

2.3 灌水下限对枣树水分利用效率的影响

2.3.1 灌水下限对枣树耗水规律的影响 表 4 为各处理枣树全生育期耗水量及各生育阶段耗水量变化情况。从表 4 可以看出,枣树的全生育期耗水量和各生育阶段耗水量均随灌水下限的提高而增加,且 T4 处理达到最大值,其全生育期耗水量为

623.14 mm。不同处理下萌芽展叶期、开花坐果期、果实膨大期、成熟期的平均耗水强度,分别为 2.57、4.10、3.59 mm · d⁻¹和 0.85 mm · d⁻¹。因此,不同处理下各生育期内耗水强度都表现为开花坐果期>果实膨大期>萌芽展叶期>成熟期,说明不同灌水下限对各生育期枣树需水程度影响不大。其中,开花坐果期对水分依赖程度最大,各处理下开花坐果期耗水量均占其全生育期耗水量 30%以上。开花坐果期是枣树营养生长和生殖生长并进的时期,且此时气温升高,蒸发量也较大,因此枣树开花坐果期耗水强度最高。综上,灰枣的需水关键时期为开花坐果期和果实膨大期,应在该生育期内加强对土壤水分的农业生产管理措施。

表 3 不同灌水下限对红枣重量及产量的影响

Table 3 Effects of different irrigation threshold on fruit weight and yield of jujube					
处理 Treatment	果实比例 Fruit from different production/%			单果重 Fruit weight/g	产量 Yield/(kg · hm ⁻²)
	一级果 First grade fruit	二级果 Second grade fruit	三级果 Thirdgrade fruit		
T1	42.61a	39.36a	18.03c	4.33b	5777.8d
T2	41.58ab	37.65ab	20.77bc	4.43a	6832.9a
T3	37.32b	38.29ab	24.39b	4.27bc	6418.5b
T4	30.65c	36.33b	33.02a	4.18c	6144.6c

注:同列数据后不同小写字母表明处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Note: After the same column of data, different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

表 4 不同灌水下限对枣树耗水规律的影响

Table 4 Effects of different irrigation threshold on water consumption amount of jujube						
处理 Treatment	项目 Item	萌芽展叶期 Sprout leaves period 04-20~05-31	开花坐果期 Flowering and fruit bearing period 06-01~07-10	果实膨大期 Developing fruit period 07-11~09-20	成熟期 Maturity 09-21~10-15	全生育期耗水量 Water consumption of growth period/mm
T1	耗水量/mm Water consumption	88.62	141.49	209.52	17.14	456.77
	耗水强度/(mm · d ⁻¹) Water consumption intensity	2.11	3.54	2.91	0.69	
	耗水量/mm Water consumption	103.74	160.81	253.44	20.32	
	耗水强度/(mm · d ⁻¹) Water consumption intensity	2.47	4.02	3.52	0.81	
T2	耗水量/mm Water consumption	114.24	172.32	278.64	22.74	587.94
	耗水强度/(mm · d ⁻¹) Water consumption intensity	2.72	4.31	3.87	0.91	
	耗水量/mm Water consumption	125.16	180.8	292.32	24.86	
	耗水强度/(mm · d ⁻¹) Water consumption intensity	2.98	4.52	4.06	0.99	

2.3.2 灌水下限对枣树水分利用效率的影响 各处理枣树水分利用效率 (WUE) 如表 5 所示,不同灌水下限对提高枣树水分利用效率具有较大影响。各处理下水分利用效率由大到小为 T2、T1、T3、T4。其中,处理 T1、T2、T3 的水分利用效率比处理 T4 分别提高了 27.27%、28.28%、10.10%,因此降低灌水下限有利于提高枣树的水分利用效率。

表 5 不同灌水下限对枣树水分利用效率的影响

Table 5 Effects of different irrigation threshold on water use efficiency of jujube			
处理 Treatment	全生育期耗水量/mm Water consumption of growth period	总产量 Yield /(kg · hm ⁻²)	水分利用效率 WUE /(kg · m ⁻³)
T1	456.77	5777.8	1.26
T2	538.31	6832.9	1.27
T3	587.94	6418.5	1.09
T4	623.14	6144.6	0.99

(下转第 92 页)