

# 不同坡面微集雨措施对红花生长的影响

潘银珍, 张文太, 胡桂清, 李燕刚

(新疆农业大学 资源与环境学院, 新疆土壤与植物生态过程自治区级重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** [目的] 利用微集雨技术在伊犁河谷温性荒漠类草地坡面种植红花, 为红花旱作种植和草地水蚀荒漠化防治提供技术支撑。[方法] 2021年4—9月在新疆伊宁市铁厂沟观测场布设了对照、凹坑、水平阶、方片埂、等高垄5个处理, 使用径流小区自然降雨观测法监测了降雨量, 各处理的径流量、土壤流失量, 以及红花生长等数据, 用TDR监测了0—10 cm土层含水量, 用FAO Penman-Monteith模型估算了红花潜在蒸散发量。[结果] 观测期总降雨量为53.1 mm, 红花潜在蒸散发量呈“先增加, 后减少”的趋势。5种措施中, 对照处理的径流量最大, 为 $6.50 \times 10^{-2}$  mm, 该处理红花未出苗; 方片埂处理的土壤流失量最大, 为0.684 t/km<sup>2</sup>。5种处理表层土壤含水量在6月最低, 平均值为1.50%。未观测到径流的凹坑处理开花期红花存活16株, 株高25.3 cm, 生长最好。[结论] 开花期5种微集雨小区红花长势的顺序为: 凹坑>水平阶、方片埂、等高垄>对照。观测小区总径流量越少, 越有利于红花的存活和生长。

**关键词:** 坡面微集雨措施; Penman-Monteith模型; 降水量; 土壤水分; 新疆伊宁市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)05-0104-07

中图分类号: S157.3

**文献参数:** 潘银珍, 张文太, 胡桂清, 等. 不同坡面微集雨措施对红花生长的影响[J]. 水土保持通报, 2023, 43(5):104-110. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2023.05.013; Pan Yinzhen, Zhang Wentai, Hu Guiqing, et al. Effects of different micro rainwater harvesting measures on safflower growth [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(5):104-110.

## Effects of Different Micro Rainwater Harvesting Measures on Safflower Growth

Pan Yinzhen, Zhang Wentai, Hu Guiqing, Li Yangang

(Xinjiang Key Laboratory of Soil and Plant Ecological Processes, College of

Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

**Abstract:** [Objective] The cultivation of safflower with micro rainwater harvesting technology on the hillslopes of the temperate desert grassland in Yili Valley was evaluated in order to provide technical support for dryland cultivation of safflower and for preventing water erosion and desertification. [Methods] The study was conducted from April to September 2021 at the Tiechanggou observation field in Yining City, Xinjiang Wei Autonomous Region. Five runoff plot treatments were set up: control, pit, horizontal terrace, square ridge, and contour ridge. Natural rainfall was observed, as well as runoff, soil loss, and safflower growth for each treatment. The soil moisture content in the 0—10 cm layer was monitored by time-domain reflectometry, and the potential evapotranspiration of safflower was simulated by the FAO Penman-Monteith model. [Results] The total rainfall during the study was 53.1 mm, and the potential evapotranspiration of safflower initially increased and then decreased. Runoff for the control treatment was the highest of all of the treatments ( $6.50 \times 10^{-2}$  mm), and safflower in this treatment did not emerge. Soil loss was greatest for the square ridge treatment (0.684 t/km<sup>2</sup>). The surface soil water content of the five treatments was the lowest in

收稿日期: 2022-11-09

修回日期: 2023-01-15

资助项目: 新疆维吾尔自治区二次引进项目“基于物联网的智能节水灌溉技术应用与推广”(2022012); 新疆维吾尔自治区三区科技人才项目“裕民县红花高产与化肥管理技术推广”(2023117); 新疆维吾尔自治区天山英才计划“塔额盆地旱作红花集水保墒种植增产效果研究”(2021259)

第一作者: 潘银珍(1998—), 女(汉族), 新疆维吾尔自治区哈密市人, 硕士研究生, 研究方向为红花集雨种植。Email: pyz22582@163.com.

通信作者: 张文太(1984—), 男(汉族), 山东省冠县人, 博士, 教授, 主要从事雨水集蓄利用、旱区集水农业研究。Email: zwt@xjau.edu.cn.

June, with a mean value of 1.50%. No runoff was observed for the pit treatment, and this treatment showed the highest plant survival number (16) and plant height at flowering (25.3 cm). [Conclusion] Safflower growth at flowering for the five micro rainwater harvesting plots followed the order of pit > horizontal terrace, square ridge, contour ridge > control. Better conditions for safflower survival and growth were observed as total runoff declined.

**Keywords:** micro rainwater harvesting measures on slope; Penman-Monteith model; precipitation; soil moisture; Yining City, Xinjiang Wei Autonomous Region

伊犁河谷多年平均降水量为 200~800 mm, 被称为“中亚湿岛”。气候变化背景下, 该区域降雨量和极端强降雨事件有增多的趋势。重现期长, 历时短, 强度高的偶然性暴雨是导致伊犁河谷坡面产生径流的主导侵蚀性降雨<sup>[1]</sup>。如何集蓄利用这种类型的雨水, 化害为利, 是伊犁河谷水土保持生态修复领域面临的重要科学问题。

坡面微集雨技术是一种重要的节水保墒措施, 该技术伊朗、马来西亚等国家应用广泛<sup>[2-3]</sup>。土耳其学者认为方片埂技术是促进无灌溉坡面橄榄树生长的有效措施<sup>[4]</sup>。在埃塞俄比亚东部评价了垄沟等原位集雨技术对玉米田土壤保墒的效果<sup>[5]</sup>。中国于 20 世纪 80 年代开始研究集雨技术。黄土高原推广的小麦田垄沟覆膜措施能有效发挥集雨效果<sup>[6]</sup>。宁夏中南部应用覆膜保墒集雨技术, 可使玉米、马铃薯的降水利用率高达 70%~75%<sup>[7]</sup>。在甘肃省定西县试验表明用玉米秸秆与生物可降解膜覆盖垄沟可显著提高作物的水分利用率<sup>[8]</sup>。还有研究表明坡面微集雨措施的效果在各观测时间段并不相同, 如水平沟在非植被生长季的集水效果较佳<sup>[9-10]</sup>。先前对微集雨措施提高农田生产力的研究大多集中在玉米<sup>[11]</sup>、紫花苜蓿等<sup>[12]</sup>作物。红花(*Carthamus tinctorius*)是一种抗旱性强的一年生菊科草本植物, 根系发达, 能吸收土壤深层 150 cm 的水分<sup>[13]</sup>。有关微集雨措施对红花生长影响的研究尚未见报道。

温性荒漠类草地是伊犁河谷的主要草地类型之一, 其面积占伊犁河谷总面积的 7.84%。与伊犁河谷

其他草地类型相比, 温性荒漠类草地的覆盖度约为 20%~55%<sup>[14]</sup>。

本研究选择温性荒漠类草地为研究区, 在对照、凹坑、水平阶、方片埂、等高垄这 5 个坡面微集雨小区种植红花, 比较各措施蓄流减沙, 存贮土壤水分及对红花生长的影响, 旨在筛选效益最佳的坡面微集雨措施, 为红花旱作种植和草地水蚀荒漠化防治提供技术支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样地选择与设置

选择中国水土保持监测点新疆伊宁市铁厂沟观测场(81°26' E, 43°99' N)作为试验样地。该样地所在区域海拔 657 m, 属北温带大陆性气候, 气候湿润, 昼夜温差大, 年平均气温 8.50 °C, 年平均蒸发 1.60 × 10<sup>3</sup> mm, 年日照时数 2.50 × 10<sup>3</sup> h, 年平均降水量 260 mm, 无霜期 178 d<sup>[15]</sup>, 雨季集中于 6—8 月。土壤类型为灰钙土, 草地类型为温性荒漠类草地。

铁厂沟观测场共有 16 个 20 m × 5 m 的径流小区, 选择其中 5 个小区用于本试验。试验于 2021 年 4 月 10 日至 9 月 10 日在野外进行, 布设了对照、凹坑、水平阶、方片埂、等高垄等 5 种微集雨处理(表 1)。每个监测径流小区下端的集水槽上方均放置铁质隔板, 防止外部雨水泥沙进入。4 月 10 日在各小区雨水汇集的区域(如凹坑内)播种红花。品种为籽粒饱满、抗逆性强的宾红 3 号, 选择外形相似的籽粒, 在 5 个小区分别播种 40 粒。

表 1 微集雨技术措施的野外设计

Tab.1 Field design of micro rainwater harvesting technical measures

微集雨措施	布设方法及参数
对照	天然草地坡面, 植被以伊犁蒿和猪毛菜为主, 覆盖度约 30%
凹坑	小区中部和下端分别修建 2 行面积 1 m × 1 m, 深 40 cm 的凹坑, 其中一行修 2 个, 间隔 40 cm 的另一行修 3 个, 5 个凹坑交错均匀分布
水平阶	小区坡下底端内切外垫, 修建宽 5 m, 长 5 m 的外高里低的台面, 阶地下边缘筑高 20 cm 土埂
方片埂	小区内修建长为 2 m 的菱形方格, 周边筑高 10 cm 的土埂
等高垄	小区内从上到下每间隔 5 m 修建宽 30 cm 的垄, 共修建 4 条

## 1.2 指标观测与计算

利用 VMS-QXZN 小型气象站(山东威盟士科技有限公司)观测每日降雨量、最高气温、最低气温、相对湿度、风速、日照时数等气象要素。每次降雨发生后观测各小区集流桶中的径流量,同时采集 50 ml 混合均匀后的径流样品。烘干法称重测定含沙量,与径流量相乘计算土壤流失量。采用美国 Spectrum Field Scout TDR 100 便携式土壤水分速测仪监测各小区的 0—10 cm 土层含水量,有雨时在采集径流时监测一次,无雨时每 5~6 d 监测一次。在红花的各生育期,即出苗期(5 月 1 日)、伸长期(6 月 6 日)、分枝期(6 月 25 日)、开花期(7 月 11 日)和成熟期(7 月 30 日)共监测红花的株高 6 次,记录红花存活株数。

根据联合国粮农组织(FAO)推荐的经修正的彭曼—蒙蒂斯(Penman-Monteith)公式计算红花作物潜在蒸散发  $ET_0$  [16]:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + [\gamma 900 / (T + 273)] \times u(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u)} \quad (1)$$

式中: $ET_0$  为红花作物潜在蒸散发量(mm/d);  $\Delta$  为饱和水汽压与温度函数曲线在某时间点上的斜率(kPa/°C);  $R_n$  为地表净辐射量(MJ/m<sup>2</sup>);  $G$  为土壤热通量(MJ/m<sup>2</sup>);  $e_s$  为不同温度的饱和水汽压(kPa);  $e_a$  为实际的水汽压(kPa);  $T$  为空气温度(°C);  $u$  为风速(m/s);  $\gamma$  为干湿表常数(kPa/°C)。

## 1.3 数据处理

使用联合国粮农组织土地和水资源司网站下载的  $ET_0$  Calculator 3.1 [17] 对潜在蒸散发进行数据估算分析,采用 Microsoft Excel 2010 进行降雨量、径流量、土壤流失量的数据整理与分析。利用 SPSS 26.0 对不同微集雨措施小区土壤含水量、红花株高进行单因素方差分析及 LSD 多重比较,检验各处理之间的差异性是否显著。

# 2 结果与分析

## 2.1 日降雨特征

新疆伊宁市铁厂沟观测场 2021 年 4—9 月共发生降雨 28 场(图 1),总降雨量为 53.1 mm,其中 5—9 月草地生长季降雨量为 41.1 mm。事实上,2006—2012 年 5—9 月伊犁河谷温性荒漠类草地的降水量通常低于 40.0 mm [18]。28 场降雨中,共观测到 3 场降雨产流,包括观测期日最大降雨量 4 月 21 日的 10.8 mm,以及 5 月 16 日的 4.00 mm 和 7 月 11 日的 3.30 mm。其余 25 场降雨均没有观测到产流。2020 年 4—9 月铁厂沟观测场总降雨量为 76.1 mm,

共发生 46 场降雨,仅有 4 场观测到产流,分别为 5 月 22 日的 6.60 mm,7 月 23 日的 4.70 mm,9 月 5 日的 17.8 mm 和 9 月 19 日的 11.7 mm [19]。事实上,当降雨量低或历时长、雨强低时,均可导致全部降雨就地入渗。先前研究显示伊宁市灰钙土坡面产流阈值为  $\geq 4.00$  mm 且最大 30 min 雨强  $\geq 3.60$  mm/h [20]。研究区 2021 年观测期内降雨时间分布不均匀,多发生在 5—7 月,6 月降雨量最多,为 22.8 mm,占观测期总降雨量的 42.9%。根据新疆地方标准《绿色食品红花栽培技术规程》(DB65/T 3957-2016),红花生长期需要灌水 2 次。第一水在 5 月底到 6 月初,第二水在 6 月 20 日前后的分枝期。本研究中,80% 的天然降雨发生在红花播种后至分枝期,在无灌溉设施时,充足的自然降雨将有利于红花分枝和株高的生长。

## 2.2 潜在蒸散发量动态

在 4—9 月观测期内,各月份红花潜在蒸散发量  $ET_0$  均值依次为:4.35,6.04,6.29,6.64,5.71 mm 以及 4.94 mm,大致呈现“先增加,后降低”的趋势(图 1)。这一方面是受到红花生长发育节律的影响,另一方面,还与大气温度有关。观测中期 6—7 月正值夏季,气温高,红花处于分枝、开花阶段,蒸腾耗水多,因此  $ET_0$  均值也较高。这一时期当自然降雨量不足时,需要及时灌溉,以满足红花生长对土壤水分的需求。

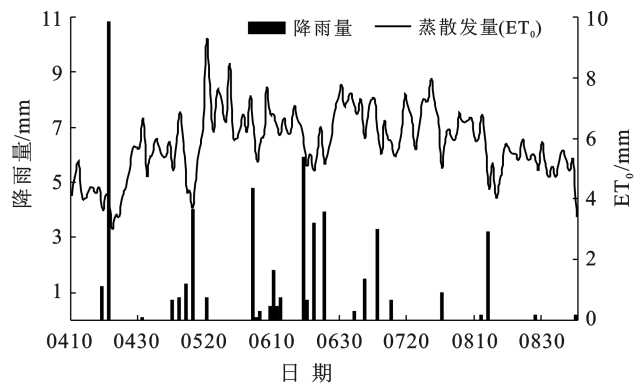


图 1 2021 年 4—9 月红花生育期日降雨量与潜在蒸散发量( $ET_0$ )变化

Fig.1 Changes of daily rainfall and potential evapotranspiration ( $ET_0$ ) during growth stage of safflower from April to September in 2021

## 2.3 不同微集雨措施的蓄流减沙效益

对于凹坑处理,2021 年 4—9 月观测期的 28 场降雨均未观测到产流。各坡面微集雨措施的总径流量(图 2a)大小顺序为:对照( $6.50 \times 10^{-2}$  mm) > 水平阶( $5.80 \times 10^{-2}$  mm) > 方片埂( $3.30 \times 10^{-2}$  mm) > 等高垄( $1.20 \times 10^{-2}$  mm) > 凹坑(0 mm)。2020 年 5—9 月

本研究组在铁厂沟观测场的监测结果显示,上述5种微集雨措施的产流顺序为:对照(0.424 mm) > 方片埂(0.347 mm) > 等高垄(0.305 mm) > 水平阶(0.252 mm) > 凹坑( $8.20 \times 10^{-2}$  mm)<sup>[19]</sup>。与对照相比,两年的观测结果均表明微集雨措施能发挥拦蓄径流,增加雨水向土壤入渗的功能,且凹坑措施降低径流的效果最好。本研究中设计的体积足够大的凹坑能在降雨时完全拦蓄径流。各小区总土壤流失量(如图 2b 所示)表现为:方片埂( $0.684 \text{ t/km}^2$ ) > 水平阶( $0.546 \text{ t/km}^2$ ) > 对照( $0.308 \text{ t/km}^2$ ) > 等高垄( $0.173 \text{ t/km}^2$ ) > 凹坑( $0 \text{ t/km}^2$ )。方片埂和水平阶措施的土壤流失量高于对照,是因为修建微集雨措施时扰动了地表土壤,使得这两个小区地表径流中的含沙量增高。

#### 2.4 观测期的表层土壤水分动态

深层土壤水分可以通过毛管作用向地表传输,因此,表层土壤含水量的高低也能够一定程度上反映红花根系层的土壤储水状况。观测期共监测各小区

0—10 cm 土层含水量 10 次,在时间尺度,不同观测日之间表层土壤含水量差异显著( $p < 0.05$ )。本研究中土壤水分主要来自降雨,而输出主要为随气温变化的土面蒸发(图 1)。在红花播种前,土壤剖面中已存储了大量的融雪水,地下水输送和昼夜温差造成的气态水凝结也会增加表层土壤含水量。因此,4—5 月气温较低时各小区表层土壤含水量相对较高,平均值为 4.23%。各小区 6 月观测的 3 次土壤含水量平均值仅为 1.50%,这与新疆地方标准《绿色食品红花栽培技术规程》(DB65/T3957-2016)中要求在 6 月初及 6 月 20 日前后灌水是一致的。本试验中 6 月及之前红花存活状况良好,但是,受 6 月土壤水分亏缺胁迫的影响,7 月后红花存活株数有所降低(图 3a)。观测期 5 种微集雨措施之间土壤含水量差异并不显著( $p > 0.05$ ),总体的高低顺序为:水平阶(3.20%) > 等高垄(3.14%) > 凹坑(3.08%) > 方片埂(2.83%) > 对照(2.66%)。对照小区产流量最高,其 0—10 cm 土层含水量也相应地最低。

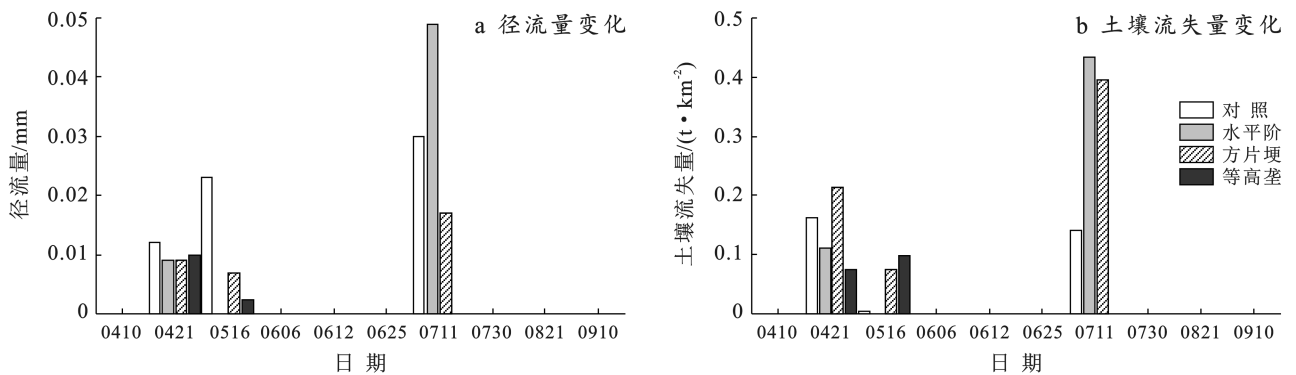


图 2 2021 年 4—9 月不同微集雨措施的径流量和土壤流失量

Fig.2 Runoff and soil loss for different micro rainwater harvesting measures from April to September in 2021

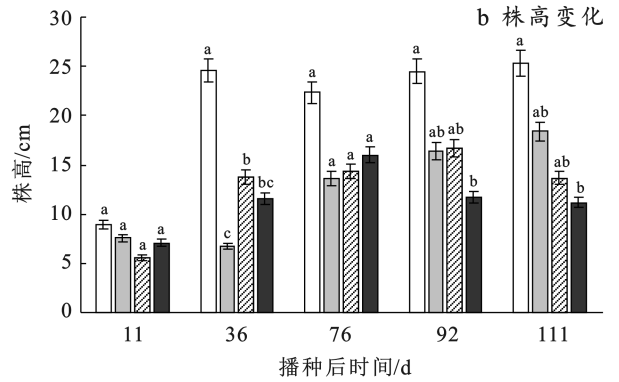
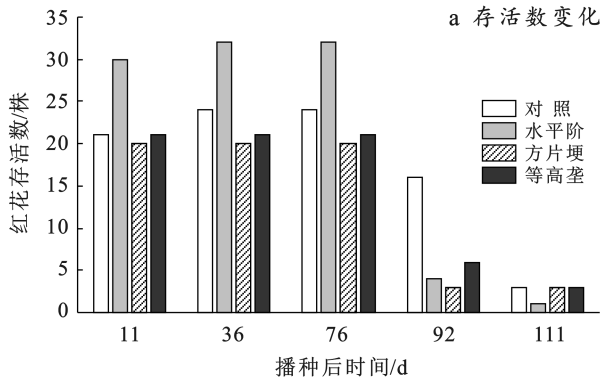
#### 2.5 微集雨措施对红花存活和株高的影响

在 5 种处理中,对照小区在播种后未观察到红花出苗,其余 4 个小区出苗率均在 50% 以上(图 3a)。在红花不同的生长阶段,各微集雨措施处理红花存活数的高低顺序并不一致。在播种后第 11 d 至第 76 d,水平阶处理的红花存活数最大,为 32 株,占播种红花总量的 80%。这一生长时期水平阶处理 0—10 cm 土壤含水量平均值为 3.37%,高于其他处理(图 4),表明水平阶小区土壤能有效贮存雨水供红花吸收利用。但是,在播种后第 92 d 各处理红花存活顺序为:凹坑(16 株) > 等高垄(6 株) > 水平阶(4 株) > 方片埂(3 株)。这一方面是因为凹坑深 40 cm,红花种植在凹坑内,其根系更能吸收利用深层土壤水分,另一

方面红花的存活也受长时间高温少雨和土壤水分亏缺的制约(图 4)。

不同微集雨措施之间红花株高差异显著( $p < 0.05$ ),其中凹坑处理最高(图 3b),为 25.3 cm。额敏县田间试验显示灌溉 2 次时“宾红 3 号”红花株高可达 58.0 cm<sup>[21]</sup>。

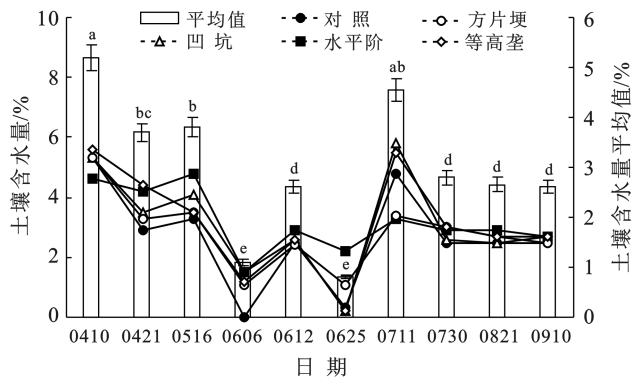
本试验中旱作集雨条件下的红花株高比充分灌溉时低。在播种后第 11 d 的出苗期,各处理株高差异不显著。在播种后第 76 d 的分枝期,凹坑、水平阶、方片埂及等高垄处理的红花株高分别比出苗期高 13.4, 6.10, 8.80, 8.90 cm。在开花期和成熟期,红花株高基本稳定,各处理高低顺序为:凹坑 > 水平阶 > 方片埂 > 等高垄。



注:不同小写字母表示不同生育期内红花株高的差异在  $p < 0.05$  水平上显著。

图 3 生长期不同微集雨措施小区红花的存活数与株高

Fig.3 Survival number and plant height of safflower for different micro rainwater harvesting measures during growth period



注:不同小写字母表示不同观测期内微集雨措施表层土壤含水量的差异在  $p < 0.05$  水平上显著。

图 4 红花生长期微集雨措施表层土壤含水量

Fig.4 Soil water content at surface layer of micro rainwater harvesting measures during growth stage of safflower

## 2.6 微集雨小区径流量与红花生长的关系

当前研究中通常用株高、茎粗、分枝高、果球直径、单株果球数、千粒重、单位面积花丝产量以及单位面积籽粒产量等指标参数描述红花的生长与产量情况。本试验中红花在开花期后的存活率不高,未观测产量数据。根据产流水量平衡方程,径流量等于降雨量减去植物截留量、蒸散发量、填注量及入渗量。本研究中,5个小区的植物截留量和蒸散发量均一致,而降雨后的填注量除蒸散发损失外,也将缓慢入渗补充到土壤中。因此,微集雨措施小区径流量的高低也可以在一定程度上反映其根系层土壤储存的雨水数量。本研究仅有5组数据,统计结果显示径流量与红花生长指标之间的相关关系并不显著( $p > 0.05$ )。就5种微集雨措施而言,总体上,小区总径流量越少,越有利于红花的存活和生长。具体来说,促进红花生长的效果凹坑处理最好,水平阶、方片埂、等高垄处理次之,对照处理最差(图5)。水平阶处理的产流量与

对照相接近,但是对照小区无红花存活,而水平阶处理却在开花期保证了4株红花存活。这是因为水平阶内切外垫修建在坡面底部,其观测期0—10 cm土壤含水量平均值为3.20%,在5个小区中最高,利于红花生长,但前期土壤含水量较高也有利于径流产生。

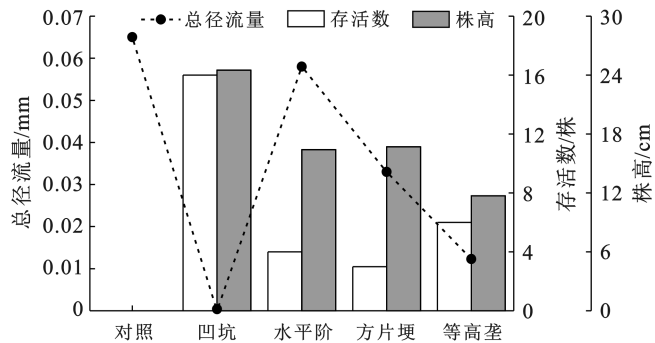


图 5 不同微集雨措施径流量与红花生长的关系

Fig.5 Relationship between runoff and safflower growth under different micro rainwater harvesting measures

## 3 讨论

### 3.1 在研究区推广应用微集雨技术的适宜性

集雨技术通常包括微集雨技术和大型集雨技术两类,前者主要应用在坡面,后者则多用于沟道治理。微集雨技术的集水面通常为10~500 m<sup>2</sup>,具有投资少,实施简便,易于推广等优点,该技术实质上是将雨水贮存在土壤水库中。科学合理的微集雨设计需要考虑“降雨量—坡面径流量—工程措施集雨量—根层土壤储水量—土面蒸发量—植物生态需水量”这一链条中的水量分配及其转化效率。集雨结构规格过大,数量过多,会浪费人力财力,导致对土壤及地表植被的过度扰动,增加土壤侵蚀量。相反,集雨结构规格过小,数量过少,则有可能难以充分拦蓄降雨及径流。

合理的集雨设计可以先根据相关资料估算后,再通过径流小区长期自然降雨观测验证获得。另外,不同案例中集雨措施设计的结构参数可能不同。因此,在评价同一名称集雨技术的减流及促进作物生长的效果时,需要注意该集雨结构的设计参数及其在坡面的排列方式和布设间距等。

降雨量及其强度是影响径流的重要因素。本研究中,产流的3场降雨共计18.1 mm,对照小区径流量为 $6.50 \times 10^{-2}$  mm,径流系数不足0.4%,表明在不采取微集雨措施时,已有绝大部分雨水入渗到土壤中。但是,这并不意味着伊犁河谷不需要采取集雨措施。本研究中最大日降雨量为10.8 mm,按照国家标准《降雨量等级》(GB/T28592-2012)可划分为中雨。实际上,伊犁河谷是新疆的强降雨中心之一,发生暴雨的概率较高。例如,2016年6月17日和8月1日,尼勒克气象站日降雨量分别为68.4 mm和74.6 mm,连续突破该站的历史记录。在应对大雨和暴雨时,则有必要采取坡面微集雨技术等措施。另外,沟道本身是坡面径流在汇流过程中形成的,可视为天然的集水结构。在需要集蓄较大数量的雨水时,也可以结合伊犁河谷的地形地貌特征,推广应用谷坊等大型沟道集雨技术<sup>[22]</sup>。

### 3.2 依托红花产业带动研究区水土保持生态修复

红花抗寒、抗旱、耐盐碱,适宜在干旱地区生长。新疆是中国红花的主产区,栽培面积和产量约占全国的80%。红花可以油、药、染料、饲料兼用,《新疆维吾尔自治区优势农产品区域布局规划(2020—2025年)》将红花列为重要的特色经济作物之一。本研究中的凹坑处理,红花在旱作条件下即可较好地存活。本研究组野外调研还发现,在与铁厂沟径流观测场纬度相近的伊宁县库鲁斯台河流域中低山区坡面,种植有大面积的旱作红花。

红花旱作种植不仅可以充分利用雨水降低水土流失,还能节省农户对灌溉设施的投资。有研究表明当土壤含水量为最大持水量的64%~74%时最适宜红花生长<sup>[23]</sup>。然而,当分枝期不能保证灌溉时红花有可能减产50%<sup>[24]</sup>。因此,还需要在种植坡面的海拔、坡位、生长期蒸散发与降雨特征、土壤质地、种植密度、耐旱品种选育等方面开展研究,因地制宜,量水而行,保证农户最佳经济效益,探索生态可持续的红花旱作微集雨种植技术模式。新疆地广人稀,80%以上的农用地为牧草地,山区侵蚀沟道较多,草地土壤管理粗放,需要治理的水土流失面积较大。依托红花等耐旱作物的种植,在适宜的坡面开展径流集蓄利用,有望加快推进新疆山区水土保持生态修复。

## 4 结论

(1) 2021年观测期红花蒸散发量呈“先增加后降低”的趋势,6月红花蒸散发量较高,其均值为6.29 mm。

(2) 对照处理的径流量最大,为 $6.50 \times 10^{-2}$  mm;方片埂处理的土壤流失量最大,为0.684 t/km<sup>2</sup>。5种微集雨措施拦蓄径流效果的顺序为:凹坑>等高垄>方片埂>水平阶>对照。

(3) 5种处理小区表层土壤含水量在时间尺度动态变化较大,6月土壤含水量最低,其均值为1.50%。各措施之间表层土壤含水量差异不显著( $p > 0.05$ ),总体顺序为:水平阶(3.20%)>等高垄(3.14%)>凹坑(3.08%)>方片埂(2.83%)>对照(2.66%)。

(4) 经过6月土壤水分亏缺胁迫后,开花期5种措施小区红花生长的顺序为:凹坑>水平阶、方片埂、等高垄>对照。径流量最高的对照小区无红花出苗;凹坑处理未观测到径流,该处理在开花期红花存活16株,株高为25.3 cm,生长最好。因此,对于5种微集雨处理而言,观测小区总径流量越少,越有利于红花的存活和生长。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 李政,胡桂清,瞿涛,等.伊犁河谷不同管理草地产流产沙对降雨与土壤类型的响应[J].水土保持研究,2022,29(5):62-69.
- [2] Shokati H, Kouchakzadeh M, Fashi F H. Assessing reliability of rainwater harvesting systems for meeting water demands in different climatic zones of Iran [J]. Modeling Earth Systems and Environment, 2020,6(1): 109-114.
- [3] Shaari S M. An overview of rainwater harvesting for sustainable future in Malaysia [J]. Environment-Behaviour Proceedings Journal, 2020,5(14):255-261.
- [4] Kuzucu M. Investigation of soil and water conservation by rainwater harvesting mulching in dry olive orchards [J]. Turkish Journal of Agriculture: Food Science and Technology, 2019,7(4):576-582.
- [5] Milkias A, Tadesse T, Zeleke H. Evaluating the effects of In-situ rainwater harvesting techniques on soil moisture conservation and grain yield of maize (*Zea mays* L.) in fedis district, Eastern Hararghe, Ethiopia [J]. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 2018,6(9):1129-1133.
- [6] Li Weiwei, Xiong Li, Wang Changjiang, et al. Optimized ridge-furrow with plastic film mulching system to use precipitation efficiently for winter wheat production

- in dry semi-humid areas [J]. *Agricultural Water Management*, 2019, 218: 211-221.
- [7] 李欣. 宁夏旱作农业覆膜保墒集雨降水高效利用技术模式与成效[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [8] Zhang Dengkui, Wang Qi, Zhou Xujiao, et al. Suitable furrow mulching material for maize and sorghum production with ridge-furrow rainwater harvesting in semi-arid regions of China [J]. *Agricultural Water Management*, 2020, 228: 105928.
- [9] 李萍, 朱清科, 王晶, 等. 半干旱黄土丘陵沟壑区不同规格鱼鳞坑集水效果研究[J]. *灌溉排水学报*, 2011, 30(5): 91-94.
- [10] 宿婷婷, 韩丙芳, 马红彬, 等. 水平沟整地措施对黄土丘陵陵区草原土壤水分动态平衡的影响[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(21): 125-134.
- [11] 邓浩亮, 张恒嘉, 肖让, 等. 陇中旱塬不同覆盖集雨种植方式对春玉米生长特性和产量的影响[J]. *玉米科学*, 2020, 28(3): 135-141.
- [12] 周旭姣, 王琦, 张登奎, 等. 垄沟集雨种植对土壤水热效应及紫花苜蓿产量的影响[J]. *草业学报*, 2019, 28(11): 60-74.
- [13] Singh S, Angadi S V, Grover K K, et al. Effect of growth stage based irrigation on soil water extraction and water use efficiency of spring safflower cultivars [J]. *Agricultural Water Management*, 2016, 177: 432-439.
- [14] 乔宇鑫, 朱华忠, 邵小明, 等. 基于空间插值数据支持下新疆伊犁地区草地类型判别与分类研究[J]. *草业学报*, 2017, 26(10): 30-45.
- [15] 仲亚婷, 张文太, 黄俊华, 等. 伊犁河谷不同草地类型坡面水土保持效应的模拟降雨试验[J]. *水土保持通报*, 2016, 36(6): 21-25.
- [16] 周钦, 黄金柏, 周亚明, 等. 城市背景下草地蒸散发及土壤水分变异特性: 以扬州区域性草地植被为例[J]. *节水灌溉*, 2019(3): 22-26.
- [17] Maina M M, Amin M, Aimrun W, et al. Evaluation of different  $ET_0$  calculation methods: a case study in Kano state, Nigeria [J]. *Philipp Agric Scientist*, 2012, 95(4): 378-382.
- [18] 曹孟磊, 肖继东, 陈爱京, 等. 伊犁地区不同草地类型植被指数与气候因子的关系[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2016, 10(6): 73-80.
- [19] 布热比亚·吐鲁. 伊犁河谷草地微集水措施的截流拦沙效果[D]. 新疆 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- [20] 黄国平, 张文太, 陈景梅, 等. 伊犁河谷次降雨特征对坡面产流产沙的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2021, 56(3): 109-116.
- [21] 王贺亚, 李怀胜, 宋志鹏, 等. 额敏垦区红花品种比较试验[J]. *新疆农垦科技*, 2018, 41(3): 10-12.
- [22] Li Zheng, Zhang Wentai, Aikebaier Y, et al. Sustainable development of arid rangelands and managing rainwater in gullies, Central Asia [J]. *Water*, 2020, 12(9): 2533.
- [23] Bonfim-Silva E M, de Anicésio E C A, de Oliveira J R, et al. Soil water availability on growth and development of safflower plants [J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2015, 6(13): 2066-2073.
- [24] Singh S, Angadi S V, Grover K, et al. Drought response and yield formation of spring safflower under different water regimes in the Semiarid Southern High Plains [J]. *Agricultural Water Management*, 2016, 163: 354-362.

(上接第 103 页)

- [26] Liu Baoyuan, Xie Yun, Li Zhiguang, et al. The assessment of soil loss by water erosion in China [J]. *International Soil and Water Conservation Research*, 2020, 8(4): 430-439.
- [27] 符素华, 刘宝元, 周贵云, 等. 坡长坡度因子计算工具[J]. *中国水土保持科学*, 2015, 13(5): 105-110.
- [28] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准: SL190-2007[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [29] 邹学勇, 张春来, 程宏, 等. 土壤风蚀模型中的影响因子分类与表达[J]. *地球科学进展*, 2014, 29(8): 875-889.
- [30] 中华人民共和国水利部. 中国水土保持公报(2020年)[R]. 2021-09-30.
- [31] 周幼吾, 郭东信. 我国多年冻土的主要特征[J]. *冰川冻土*, 1982, 4(1): 1-19.
- [32] 金会军, 王绍令, 吕兰芝, 等. 黄河源区冻土特征及退化趋势[J]. *冰川冻土*, 2010, 32(1): 10-17.
- [33] 靳铮, 游庆龙, 吴芳营, 等. 青藏高原三江源地区近 60 a 气候与极端气候变化特征分析[J]. *大气科学学报*, 2020, 43(6): 1042-1055.