

沟垄覆膜不同沟垄比对枸杞产量和水分利用效率的影响

杨一凡¹, 吴发启², 徐 宁¹, 段红腾¹

(1.西北农林科技大学水土保持研究所,陕西 杨凌 712100;2.西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

摘要:以青海省德令哈枸杞产区不同沟垄措施下的枸杞地为研究对象,以无覆盖平作枸杞地为对照(CK),在分析该地区降雨特征的基础上,研究了沟垄覆膜措施下不同沟垄比(30 : 32 cm, 24 : 32 cm, 18 : 32 cm, 12 : 32 cm)对枸杞土壤含水率、产量及水分利用效率的影响。结果表明:(1)在年降水量不足 300 mm 的试验区,沟垄覆膜不同沟垄比种植相比于无覆盖平作种植土壤含水率、产量及水分利用效率显著升高,增产节水效果最优的 GLBc(沟垄比 18 : 32 cm)处理相比 CK 产量提高 60.14%,耗水量降低 7.47%,水分利用效率提高 72.46%。(2)沟垄覆膜不同沟垄比条件下,随着沟宽的不断减小,土壤含水率、产量及水分利用效率均呈现先增大后减小的趋势,在沟垄比 18 : 32 cm 时达到最大。沟宽 18 cm 时枸杞的水分利用效率相比 30, 24, 12 cm 的水分利用效率分别提高 40.0%, 8.5%, 9.2%。(3)对沟宽和枸杞产量的回归分析表明,当沟垄比为 17 : 32 cm 时,枸杞的产量达到最大值 1 503 kg/hm²。因此,在青海主要枸杞产区,沟垄覆膜种植相比传统种植能显著提高枸杞的产量和水分利用效率,同时结合当地沟垄比现状,将沟宽减小为 17 cm,即沟垄比为 17 : 32 cm 时枸杞产量最高,蒸散量最小,水分利用效率最高。该研究结果对提高枸杞水分利用效率和产量具有指导意义,为旱区农业水资源高效利用提供科学参考。

关键词: 枸杞; 沟垄覆膜; 沟垄比; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S273.1; S663.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2020)02-0159-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbxb.2020.02.023

Effects of Furrow-ridge Mulching with Different Furrow-ridge Ratios on Yield and Water Use Efficiency of Wolfberry

YANG Yifan¹, WU Faqi², XU Ning¹, DUAN Hongteng¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100;
2. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: In this experiment, the wolfberry field under different ditch and ridge measures in Delingha wolfberry production area of Qinghai Province was used as the research object, and the uncovered flat wolfberry field was used as a control (CK). Based on the analysis of rainfall characteristics in the area, the effect of furrow-ridge mulching with different furrow-ridge ratios (30 : 32 cm, 24 : 32 cm, 18 : 32 cm, 12 : 32 cm) on soil moisture content, yield, and water use efficiency of Chinese wolfberry was studied. The results showed that: (1) In the test area with annual rainfall less than 300 mm, the soil moisture content, yield, and water use efficiency of the plantations with different furrow-ridge ratios were significantly higher than those of the uncovered flat planting. Compared with CK, the best treatment GLBc (furrow-ridge ratio 18 : 32 cm) in improving yield and saving water increased yield by 60.14%, reduced water consumption by 7.47%, and increased water use efficiency by 72.46%. (2) As the decrease of furrow width, the soil moisture content, yield, and water use efficiency all firstly increased and then decreased, and maximized when the furrow-ridge ratio was 18 : 32 cm. When the furrow width was 18 cm, the water use efficiency of Chinese wolfberry was 40.0%, 8.5%, and 9.2% higher than those when furrow width was 30, 24, and 12 cm, respectively. (3) Regression analysis of furrow width and wolfberry yield showed that when the furrow-ridge ratio was 17 : 32 cm, the yield of wolfberry reached a maximum of 1 503 kg/hm². Therefore, in the main wolfberry production areas of Qinghai, furrow-ridge mulching could significantly increase the yield and water use efficiency of wolfberry compared with traditional planting. At the same time, in combination with the current status of the local furrow-ridge ratio, reduce the furrow width to 17 cm which is the furrow-ridge ratio of 17 : 32 cm, would achieve the highest output, the

smallest evapotranspiration, and the highest water use efficiency. The results of this study have guiding significance for improving the water use efficiency and yield of Chinese wolfberry, and provide scientific reference for the efficient utilization of agricultural water resources in arid areas.

Keywords: Wolfberry; furrow-ridge mulching; furrow-ridge ratios; yield; water use efficiency

我国旱地面积占总耕地面积的 60%^[1],制约干旱半干旱地区农业发展的最主要因子就是水分的缺失,因此在水资源短缺的情况下,提高水分利用效率是该区域发展农业的关键^[2]。青海是我国西北干旱区重要的枸杞种植区,截止 2018 年,青海省枸杞种植面积已达 4.8 万 hm²。枸杞因其耐寒、耐旱、适应性强等特点^[3],已成为青海特色支柱产业,但该地区日照充足,年降水量不足 200 mm,蒸发(2 700 mm)强烈,水分利用效率极低;加之枸杞种植区往往通过不断扩大种植面积的方式来增加收入,从而忽略了枸杞的单位面积产量偏低等问题。如何充分利用有效降雨和灌溉水,提高水分利用效率成为青海枸杞产业发展的关键问题。

目前,现有的提升水分利用效率的措施主要包括灌溉措施和耕作措施两部分。灌溉措施主要通过改变灌溉方式来实现节水,例如:喷灌、滴灌、渗灌等;而耕作措施则主要通过集雨、减少侵蚀量以及防止无效蒸发来实现水资源高效利用,其中沟垄覆膜措施就是一种较为典型的方法。沟垄覆膜种植技术是一种田间高效集水保墒技术,即修筑交替的田间沟垄,于垄面覆盖地膜,垄上或沟内种植作物^[4-5]。该技术不仅可以收集雨水流入沟中,使雨水在沟内垂直入渗距离增加,而且在沟灌中也有效抑制灌水的水分入渗,提高土壤含水量,并减小水分的无效流失^[6-7];同时沟垄覆膜提高作物种植区微生物量^[8],减少根区盐分积累^[9],从而提高土壤综合肥力;覆膜还可以抑制无效蒸发^[10],抑制杂草的生长,从而达到提高产量和水分利用效率的目的。田间沟垄比设置的差异,也会对集水效果、无效蒸发量、土壤的含水量以及作物产量产生一定的影响。试验区目前仅有小面积枸杞地采用沟垄覆膜的耕作方式,70%以上的区域仍然沿用传统的平作露地种植方式。因此,在该地区对比沟垄覆膜种植和传统耕作方式的差异性并量化沟垄覆膜种植带来的效益很有必要。

国内外沟垄覆盖种植研究大多以玉米、小麦、马铃薯等作为研究对象^[11-13],而以枸杞作为研究对象且试验地布设于高原的较少,同时对作物种植最佳沟垄比的研究,大多集中在马铃薯、苜蓿、谷子等^[14-16]作物,而有关枸杞水分利用效率及最佳沟垄比的研究国内外尚未见相关报道。因此,结合试验区干旱缺水的高原气候条件,在膜下滴灌节水措施的基础上,通过改变沟垄措施和不同沟垄比来探究枸杞的耗水特性,并寻求提高枸杞水分利用效率的方法颇有意义。综

上所述,本试验从实际出发,以滴灌措施为基础,以平地不覆膜枸杞地作为对照,研究起垄覆膜种植对土壤含水率、产量以及水分利用效率的影响,并确定青海主要枸杞产区最优耕作措施及最佳沟垄比,以期青海枸杞产地筛选适宜的种植模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于青海省德令哈市怀头他拉镇,海拔 2 800~3 000 m,年均降水量约 180 mm,蒸发量 2 700 mm,年均气温 4.32 ℃。试验区 0—40 cm 土层土壤容重平均值为 1.65 g/cm³;平均孔隙度为 36.57%;土壤速效氮含量 67.10 mg/kg,速效磷含量 18.25 mg/kg,速效钾含量 182.8 mg/kg,有机质含量 5.74 g/kg,全氮含量 0.51 g/kg,全磷含量 0.62 g/kg,全钾含量 19.19 g/kg。主要土壤类型为灰棕漠土,质地为砂质壤土。枸杞园种植面积共 2 800 hm²,枸杞水分与肥料供给采用滴灌,水肥一体化技术已投入使用。

1.2 试验设计

大田试验于 2017 年 9 月起在青海省德令哈市怀头他拉镇枸杞园进行,当地枸杞地栽培方式众多,有平地露地种植、沟垄露地种植、沟垄覆膜种植等;该地区枸杞种植沟垄比大多以 24 : 32 为主。因此,试验设计在当地沟垄比的基础上进行沟垄比的放缩。试验以 4 年生“宁杞 7 号”为试验材料,观测枸杞整个生长季的土壤水分变化情况。采取沟垄覆膜种植、膜下滴灌模式,其中垄高 10 cm,垄宽 32 cm,作物株距 1 m,行距 1.5 m。共设 5 个处理:CK(平地不覆膜)、沟垄覆膜 a(沟垄比 30 : 32)、沟垄覆膜 b(沟垄比 24 : 32)、沟垄覆膜 c(沟垄比 18 : 32)、沟垄覆膜 d(沟垄比 12 : 32)。每个处理设置 3 组重复,采用完全随机分区法。地头安装有气象站,用于收集气象资料,灌水量和施肥量按照当地枸杞园水肥一体化厂的灌溉额度进行,以保证所有试验地的灌水量和施肥量相同。在试验区地头支管处安装水表,用于直观获取灌水量。灌水器采用以色列进口灌水器,滴头间距为 1 m,每个滴头出水量为 3.75 L/h;同时在每个小区的最中间 2 株枸杞树间安装深为 1.5 m 的 Trime 管,用来测定土壤含水率。灌水方案设计为:灌水定额为 30 mm/次,共灌水 8 次,灌水时间分别设定为 2018 年 5 月 27 日,6 月 15 日,6 月 28 日,7 月 14 日,7 月 26 日,8 月 5 日,8 月 11 日和 8 月 20 日。

1.3 测定指标

1.3.1 气象要素及土壤水分的测定 气象要素通过安装在田间的野外自动气象站进行降雨、气温、风速、空气湿度、太阳辐射等自动记录。土壤水分的测定采用 TDR 法测定。在每个小区于试验准备阶段埋深 1.5 m 的 Trime 管,用 TDR 探头定点定期进行土壤水分测定,测定深度 100 cm,分为 0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm,分别在枸杞萌芽展叶期(5 月中旬至 6 月中旬)、开花坐果期(6 月中旬至 7 月中旬)、夏果采收期(7 月中旬至 8 月中旬)、秋果采收期(8 月中旬至 9 月中旬)每 10 天测 1 次,灌水和降雨前后均加测;同时每个月用土钻取土,并用烘干法测定土壤水分含量 1 次,测定深度 100 cm,并以此对 TDR 测定数据进行校正。

1.3.2 土壤含水率和水分利用效率的测定与计算 在 2018 年枸杞生育期初和生育期末分别测定种植区沟中土壤含水率。测定深度分别为 0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm,并采用环刀法测定土壤容重。土壤贮水量和水分利用效率(WUE)公式为:

$$W=h \times p \times b \times 10 \tag{1}$$

式中: W 为土壤贮水量(mm); h 为土层深度(cm); p 为土壤容重(g/cm^3); b 为土壤水分质量百分数(%)。

$$ET=P+I+\Delta W \tag{2}$$

$$\text{WUE}=\frac{Y}{ET} \tag{3}$$

式中: ET 为作物耗水量(mm); P 为作物生育期内总降雨量(mm); I 为作物生育期内总灌水量(mm); ΔW 为作物生育期前后土壤贮水量的变化(mm); WUE 为水分利用效率($\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$); Y 为枸杞产量(kg/hm^2)。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据整理和制表,采用 SPSS 21.0 软件进行数据分析,采用 Origin 8.0 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 枸杞生育期降雨特征分析

试验区枸杞地 2018 年生育期内(5 月初至 9 月底)总降雨量为 155.7 mm,与近几十年来德令哈市桥头他拉镇 5—9 月同期平均降雨量(145.3 mm)相比稍有增加,为同期降雨量的 107.2%。从图 1 可以看出,2018 年枸杞生育期内降雨主要集中在 6—8 月,这 3 个月的降雨量分别占生育期内总降雨量的 32.63%,30.38%,30.96%。2018 年枸杞生育期内共降雨 56 次,其中 >10 mm 的降雨 0 次; $5\sim10$ mm 的降雨 11 次,占总降雨次数的 19.64%; <5 mm 的降雨 45 次,占总降雨次数的 80.36%。由此可见,该地区枸杞生育期内的降雨主要以无效降雨($<5\text{mm}$ 的降雨)为

主^[17],降雨次数少且多为小雨,导致枸杞生长发育所需水分严重匮乏。该试验区采用膜下滴灌补给水源,同时该试验采用沟垄覆膜保墒措施可将无效降雨利用最大化,使有限的降雨可以集中使用,有效解决作物需水和土壤水分不足之间的矛盾;另一方面,沟垄覆膜也可以减小蒸发量,提高作物的保水性。因此,从降雨特征分析得出,沟垄覆膜保墒技术在该地区推广发展具有良好的前景。

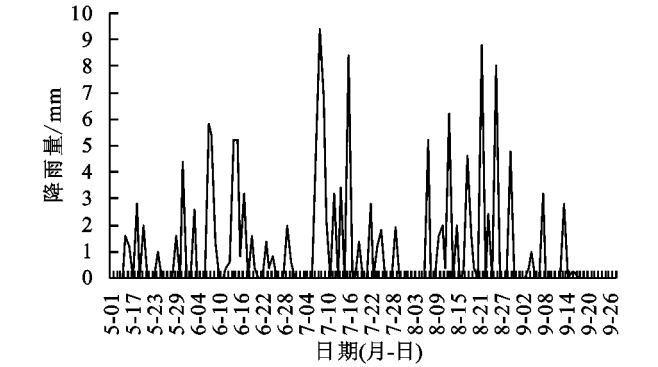


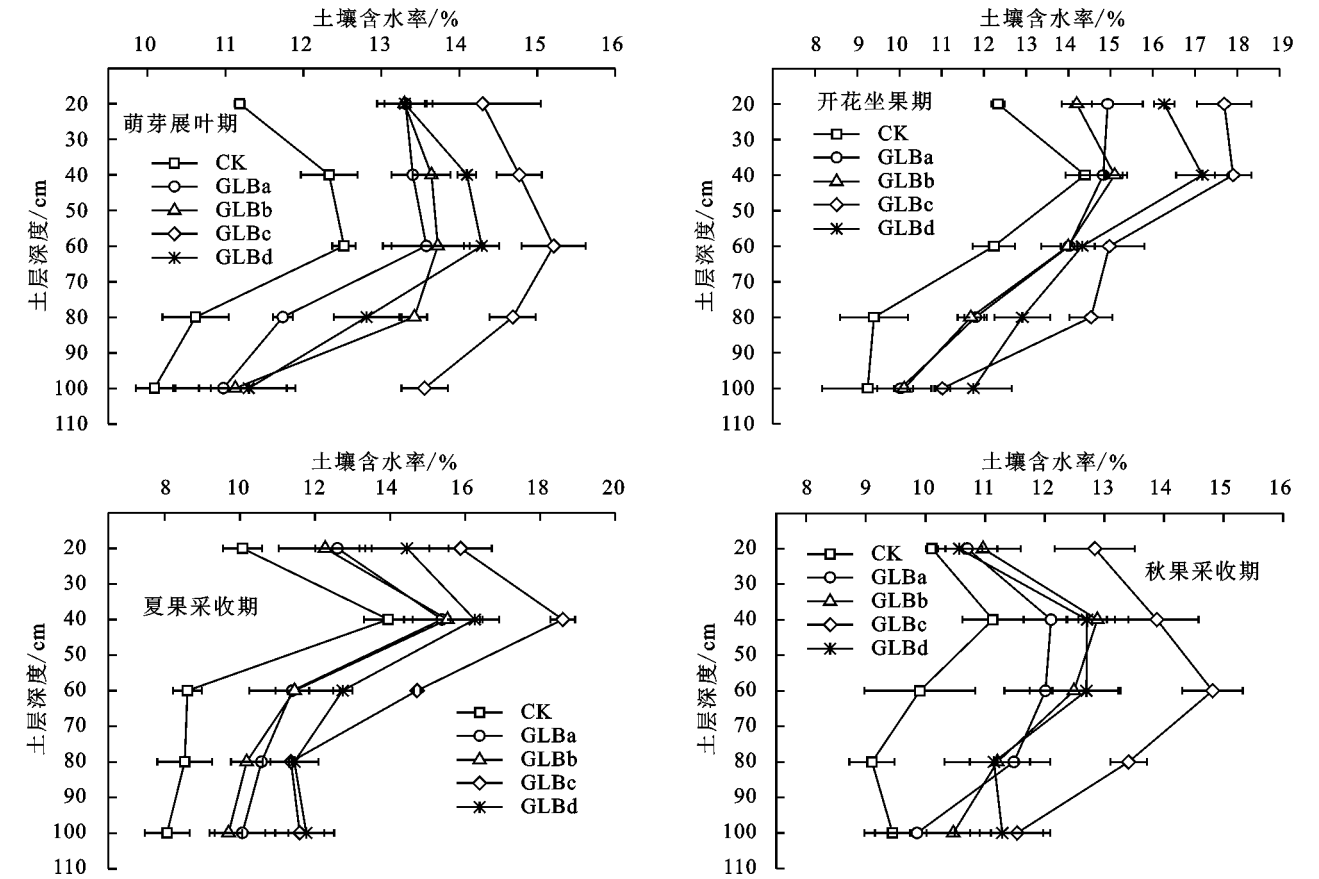
图 1 2018 年试验地枸杞生育期日降雨量

2.2 不同沟垄比对枸杞 0—100 cm 土层土壤含水率的影响

土壤含水率的变化是评价沟垄覆膜及不同沟垄比对土壤环境影响的一个重要指标。在滴灌水肥一体化条件下,灌水次数多、蒸发剧烈、降雨量少等多种因素共同影响枸杞地的水分状况。0—100 cm 土层的土壤含水率变化明显。从图 2 可以看出,萌芽展叶期各处理土壤含水率呈现先增大后减小的趋势,均表现为在 60 cm 处含水率达到最大值,各处理间表现为 GLBc 和 GLBb、GLBb 和 CK 相比差异性显著,GLBc 处理 0—100 cm 土层平均土壤含水率分别比 CK 和 GLBb 提高 27.75%和 11.2%。开花坐果期土壤含水率与萌芽展叶期相比有所提高,各处理土壤平均含水率相比于萌芽展叶期提高 4.33%,一方面是由于该生育期内降雨量有所增加,另一方面开花坐果期植株对水分的需求较多,灌水次数相比于上个时期增加 2 次。该生育期内各处理土壤含水率呈现先增大后减小的趋势,含水率最大值出现在 40 cm 层,40 cm 以下土壤含水率呈现递减趋势,最底层 100 cm 处含水率低于表层 33.41%~60.53%。各处理间表现为 GLBc 和 CK 间差异性显著,GLBc 处理 0—100 cm 土层平均土壤含水率比 CK 提高 32.12%。夏果采收期土壤含水率略低于开花坐果期,0—60 cm 土层各处理土壤含水率变化与开花坐果期相似,都呈现先增大后减小的趋势,最大值出现在 40 cm 层,该生育期 60—100 cm 层土壤含水率变化不大,基本处于同一水平。该时期差异性表现为 GLBc 和 GLBd 与 CK 存在显著性差异。秋果采收期由于夏果已基本摘完,秋果数量较少,同时植株对水分的需求量减少,加之该生育期

只灌水 1 次,共同导致秋果采收期的土壤含水率是整个生育期最低水平,该生育期土壤含水率变化无明显规律可循,GLBc 含水率最大值出现在 60 cm 处,其余处理出

现在 40 cm 处,不同深度土壤含水率的变化趋势无明显规律,各处理间差异性较为明显,GLBc 与 GLBb、GLBd、CK 间均存在显著性差异。



注:CK 表示平地不覆膜;GLBa 表示沟垄比 30 : 32;GLBb 表示沟垄比 24 : 32;GLBc 表示沟垄比 18 : 32;GLBd 表示沟垄比 12 : 32。

图 2 不同处理对枸杞关键生育期水分垂直分布的影响

2.3 不同沟垄比对枸杞产量及水分利用效率的影响

沟垄覆膜种植以及不同沟垄比对枸杞耗水量、产量、水分利用效率均产生显著影响。从表 1 可以看出,枸杞产量和水分利用效率由高到低依次为 GLBc>GLBb>GLBd>GLBa>CK,增产节水效果最优的 GLBc 相比于 CK 产量提高 60.14%,同时耗水量降低 7.47%,水分利用效率提高 72.46%。由此可见,起垄覆膜由于具有增温、保墒、调水等效果,即使在干旱少雨等情况下,

仍可大幅度提高枸杞的产量和水分利用效率^[18]。不同沟垄比表现出:随着沟宽的不断减少,产量呈现先增大后减少的趋势,最大值出现在 GLBc 处理。当沟宽为 18 cm 时,GLBb、GLBc、GLBd 处理相较于 GLBa 增产效果显著,耗水量表现为 GLBa>GLBb>GLBd>GLBc,水分利用效率变化与产量相似,不同沟垄比处理水分利用效率相比于 CK 均呈现出明显的增加,其中 GLBb、GLBc、GLBd 的增量达到 50%以上。

表 1 不同沟垄比下枸杞产量和水分利用效率

处理	产量/ (kg · hm ⁻²)	耗水量/ mm	水分利用效率/ (kg · hm ⁻² · mm ⁻¹)	WUE 增加/%
CK	947.63±63.40 ^c	457.16±0.45 ^a	2.07±0.14 ^c	—
GLBa	1126.57±93.75 ^b	441.36±0.11 ^b	2.55±0.21 ^b	23.19
GLBb	1433.27±57.57 ^a	435.36±0.55 ^c	3.29±0.13 ^a	58.94
GLBc	1517.57±117.85 ^a	425.40±0.40 ^e	3.57±0.28 ^a	72.46
GLBd	1419.90±74.07 ^a	434.09±0.38 ^d	3.27±0.17 ^a	57.97

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示不同处理间差异达显著水平($p<0.05$)。

2.4 沟垄覆膜条件下最佳沟垄比的确定

为了确定干旱区沟垄覆膜种植体系中最佳沟垄比,设 CK 和不同沟垄比处理下单位面积的枸杞产量为 y ,沟垄覆膜条件下沟宽为 x (x 分别为 0,12,18,24,30,其

中 0 指平作种植)。从图 3 可以看出,沟宽与产量之间的关系可以用一元二次回归方程表示,对回归方程进行微分处理,得出当沟宽为 17 cm 时,即沟垄比为 17 : 32 时,产量最高。其期望值可以达到 1 503 kg/hm²。

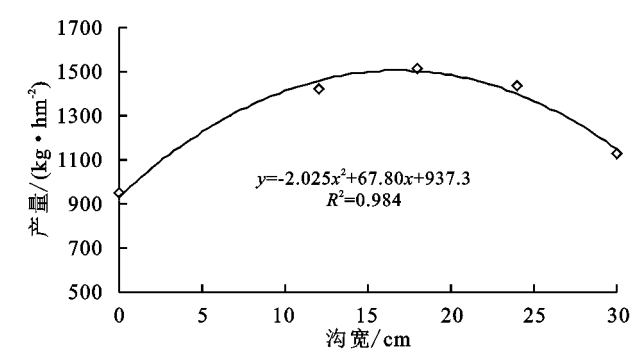


图 3 不同处理沟宽与产量的关系

3 讨论

3.1 沟垄覆膜不同沟垄比对土壤含水率的影响

沟垄覆膜不同沟垄比对土壤的保水性产生不同程度的影响,起垄覆膜可以减少土壤水分的无效蒸发、减少地表径流,提高降雨的捕获量,提高土壤的蓄水和水分回流的能力,有利于水分入渗^[19]。从图 1 可以看出,枸杞的 4 个生育期内,沟垄覆膜相比 CK 土壤含水率显著性升高,CK 处理由于未起垄覆膜导致蒸散量的增加,不能满足枸杞的需水要求,从而枸杞会不断吸收土壤中的水分,导致土壤含水率的下降,该结果与杨宁等^[20]研究结果一致;而起垄覆膜的处理,随着沟垄比沟宽的不断减少,枸杞对土壤水分的消耗逐渐减少,当沟宽减少到一定值即 18 cm 左右时,枸杞的耗水量达到最小值,同时土壤含水率也达到最大值,之后含水量又逐渐减小。因此,在降雨少、蒸发强烈的旱区,起垄覆膜的种植方式显著优于传统平作。

萌芽展叶期土壤含水量低,由于在该时期降雨、蒸发、蒸腾量相对较少,造成滴灌水不断向深层移动,同时枸杞植株地上生物量较少,使得 60 cm 土层为含水量最佳层。开花坐果期,枸杞植株不断变大,蒸发蒸腾量也随之增大,0—40 cm 土层是枸杞根系集中分布层,根系吸水强烈,同时受根系活动以及灌水影响,导致土壤水分主要集中在 40 cm 土层,有利于作物对水分的有效利用。夏果采收期和秋果采收期由于相隔时间较短,因此需要增加灌水使枸杞快速催红,同时夏果期降雨量较多,共同导致夏果采收期土壤含水率较高,该时期水分变化趋势与开花坐果期相似,不同之处在 60 cm 以下,由于枸杞成熟期根系对水分的吸收能力减弱,该层水分随时间的变化不大,趋于稳定。而秋果采收期,土壤含水率达到最低,该时期灌水少,同时枸杞数量较少,使得作物需水量急剧减少,并低于萌芽展叶期水平。总体来看,土壤含水率表现为 40—60 cm 土层最高,覆膜处理表层(20 cm 层)大于底层(80—100 cm 层)的趋势,沟垄覆膜处理表层含水率之所以会高于底层与膜下水分内循环有一定关系。试验区昼夜温差大、蒸发剧烈,白天土壤温度升高,与底层形成明显温差,水蒸气向上运动,附着于地膜与表土之间,夜晚温度降低,水蒸气凝

结成水滴重回表层土壤中,在膜下形成水分内循环系统,有效提高了表层土壤含水率,而枸杞根系分布于 0—40 cm 土层,该部分水更易被作物吸收利用^[21]。因此,沟垄覆膜不同沟垄比通过减少土壤表面无效蒸发,同时改变作物生长微环境来影响土壤含水率。

3.2 沟垄覆膜不同沟垄比对枸杞产量及水分利用效率的影响

旱作农业沟垄覆膜种植通过保墒、调节水循环等作用影响作物的产量和水分利用效率。本试验沟垄覆膜枸杞产量相较于传统平作显著提高。而不同沟垄比是通过调节沟宽和垄宽比值对于干旱区较少的降雨进行再分配,使有效降雨利用率增大,并且减少枸杞开花坐果期前无效蒸发的同时增加了开花坐果期之后的蒸腾量,从而达到保墒增产的目的。本试验结果表明,在沟宽不断变小的过程中,产量先增大后减小,GLBc 处理产量达到最好。由于试验作物和区域的差异,关于沟垄覆膜不同沟垄比的增产机制的研究,不同学者存在不同的结论。很多研究^[22-24]认为,沟垄覆膜增产建立在大量耗水之上,本试验结论与之稍有不同,由于该试验区年降雨量不足 200 mm,且含有大量无效降雨,土壤水的来源以灌溉水为主;另一方面,本试验起垄覆膜对降雨再分配的同时也在调节作物耗水结构,地膜覆盖使得枸杞耗水 90% 以上属于蒸腾耗水,而 CK 的耗水除枸杞蒸腾外,大部分均来自无效蒸发。因此本试验沟垄覆膜处理相比于 CK 耗水量更少。综合对比得出,在未把高产建立在高耗水基础之上时,水分利用效率显著性增加。GLBc 处理水分利用效率较 CK 提高 72.46%。不同沟垄比的对比中,在当地垄宽不变的基础上,沟宽由 30 cm 缩小至 12 cm 的过程中,在 18 cm 时达到产量和水分利用效率的最大值,沟宽 18 cm 时的水分利用效率比 30,24,12 cm 的水分利用效率分别提高 40.0%, 8.5%, 9.2%,表明当沟垄比为 18 : 32 时,该规格为枸杞生长发育最适宜沟宽的临界点,不断改变沟宽其实也是通过改变枸杞的生长环境来探索其最适栽培模式。综上所述,枸杞产量的增加可归功于沟垄覆膜条件提高土壤温度,抑制杂草生长的同时,使枸杞根系生长状况得到改善,为其创造一个良好的发育环境的同时,提高其对水分和养分的吸收能力。覆膜及最佳沟垄比提高了枸杞的蒸腾量,从而共同提高枸杞的水分利用效率。因此,在起垄覆膜的同时将沟垄比控制在 18 : 32,无论从对降水再分配、减少蒸发、调整作物生长环境,还是保墒增产来说均具有较好的作用。

3.3 沟垄覆膜条件下最佳沟垄比的确定

德令哈枸杞园有不到 1/10 枸杞地采用了起垄种植,当地垄宽均设为 32 cm,因此本试验结合当地气候,提出以抑制蒸发为主,以汇集有效降雨为辅的方案,通过改变沟宽改变沟垄比。通过拟合一元二次回

归方程得出,在垄宽 32 cm 不变的基础上,当沟宽为 17 cm 即沟宽比垄宽为 0.53 : 1 时,产量理论值最大。试验枸杞园全面沟垄覆膜的困难在于沟垄覆膜材料劳动力成本以及妨碍机械化耕作等问题,但其对提高水分利用效率及产量的作用显而易见。因此,使用价格较低的环保型地膜,以及科学省力的起垄方式成为今后科研工作的重点。

4 结 论

(1)沟垄覆膜种植方式相比于传统露地平作,不仅具有保墒蓄水、减少土壤无效蒸发、增大蒸腾量的作用,而且具有改变作物生长环境的作用,进而使枸杞的产量显著增加。因此,在年降水量不足 300 mm 的干旱区,枸杞种植推荐使用沟垄覆膜的种植方式,减少土壤耗水量的同时又可增加产量。

(2)沟垄覆膜不同沟垄比在土壤含水率、枸杞产量以及水分利用效率的分析中,均表现为随沟宽的逐渐减小呈现出先增大后减小的趋势,通过对沟宽和枸杞产量进行回归分析,当沟宽为 17 cm,即沟垄比为 0.53 : 1 时,枸杞产量达到最大值。青海枸杞的种植应采用沟垄覆膜种植且沟垄比设为 0.53 : 1 左右,有利于保水、减小蒸发和枸杞高产。

参考文献:

[1] 李巧珍,李玉中,郭家选,等.覆膜集雨与限量补灌对土壤水分及冬小麦产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(2):25-30.

[2] Zhao H, Wang R Y, Ma B L, et al. Ridge-furrow with full plastic film mulching improves water use efficiency and tuber yields of potato in a semiarid rainfed ecosystem[J].Field Crops Research,2014,161:137-148.

[3] 成臣,汪建军,程慧煌,等.秸秆还田与耕作方式对双季稻产量及土壤肥力质量的影响[J].土壤学报,2018,55(1):247-257.

[4] Gan Y T, Siddique K H M, Turner N C, et al. Ridge-furrow mulching systems: An innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments[J].Advances in Agronomy,2013,118:429-476.

[5] 崔石新,樊明寿,贾立国,等.沟垄集雨技术研究进展及其在旱作马铃薯生产中的应用潜力[J].作物杂志,2016(5):8-12.

[6] 李玉玲,张鹏,张艳,等.旱区集雨种植方式对土壤水分、温度的时空变化及春玉米产量的影响[J].中国农业科学,2016,49(6):1084-1096.

[7] 靳乐乐,乔匀周,董宝娣,等.起垄覆膜栽培技术的增产增效作用与发展[J].中国生态农业学报,2019,27(9):1364-1374.

[8] Agüero M V, Ponce A G, Moreira M R, et al. Plastic mulch improves microbial quality and shelf life of cold stored butter lettuce (*Lactuca sativa* var. Lores)[J]. Fresh Produce,2008,2(1):6-13.

[9] Haraguchi T, Atsushi M, Kozue Y, et al. Effect of plastic film mulching on leaching of nitrate nitrogen in an upland field converted from paddy[J].Paddy and Water Environment,2004,2:67-72.

[10] 赵永敢,王婧,李玉义,等.秸秆隔层与地覆膜盖有效抑制潜水蒸发和土壤返盐[J].农业工程学报,2013,29(23):109-117.

[11] 董宛麟,于航,张立桢,等.东北地区沟垄和地膜覆盖对土壤水分分布及利用的影响[J].玉米科学,2019,27(3):114-121.

[12] 秦舒浩,张俊莲,王蒂,等.覆膜与沟垄种植模式对旱作马铃薯产量形成及水分运移的影响[J].应用生态学报,2011,22(2):389-394.

[13] 刘佩,刘小利,王金金,等.集雨种植模式对小麦—玉米周年农田土壤水分及作物产量的影响[J].灌溉排水学报,2019,38(6):37-43.

[14] 王琦,张恩和,李凤民,等.半干旱地区沟垄微型集雨种植马铃薯最优沟垄比的确定[J].农业工程学报,2005,21(1):38-41.

[15] 寇江涛,师尚礼.旱地垄沟集雨种植紫花苜蓿最佳沟垄宽比的确定[J].草地学报,2011,19(2):247-252.

[16] 丁瑞霞,贾志宽,韩清芳,等.宁南旱区沟垄微型集雨种植谷子最优沟垄宽度的确定[J].干旱地区农业研究,2007,25(2):12-16.

[17] 宋兴阳,王琦,李富春,等.覆盖材料和沟垄比对土壤水分和紫花苜蓿干草产量的影响[J].生态学报,2017,37(3):798-809.

[18] 张德奇,廖允成,贾志宽.旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):208-213.

[19] Zegadalarazu W, Berliner P. Inter-row mulch increase the water use efficiency of furrow-irrigated maize in an arid environment[J].Journal of Agronomy and Crop Science,2011,197(3):237-248.

[20] 杨宁,孙占祥,张立桢,等.基于改进 Aqua Crop 模型的覆膜栽培玉米水分利用过程模拟与验证[J].农业工程学报,2015,31(增刊 1):122-132.

[21] Jiang R, Li X, Zhou M, et al. Plastic film mulching on soil water and maize (*Zea mays* L.) yield in a ridge cultivation system on Loess Plateau of China[J].Soil Science and Plant Nutrition,2016,62(1):1-12.

[22] 李儒,崔荣美,贾志宽,等.不同沟垄覆盖方式对冬小麦土壤水分及水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2011,44(16):3312-3322.

[23] 薛澄,王朝辉,李富翠,等.渭北旱塬不同施肥与覆盖栽培对冬小麦产量形成及土壤水分利用的影响[J].中国农业科学,2011,44(21):4395-4405.

[24] Gan Y T, Siddique K H M, Turner N C, et al. Ridge-furrow mulching systems: An innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments[J].Advances in Agronomy,2013,118:429-476.