

不同覆盖措施对宁夏沙化地区枸杞地 土壤水热条件及产量的影响

张哲^{1,2}, 李志刚^{1,2}, 倪细炉^{1,2}

(1. 宁夏林业研究院 种苗生物工程国家重点实验室, 宁夏 银川 750004;

2. 宁夏银川城市森林生态系统国家定位观测研究站, 宁夏 银川 750004)

摘要:以宁夏枸杞为研究材料,设覆膜(F)、覆盖林木粉碎枝条(B)、覆膜加覆盖林木粉碎枝条(FB)、以及对照(CK)四个处理,研究不同覆盖措施对土壤水分、温度、水分利用效率以及枸杞产量的影响。结果表明:在0—40 cm土层,FB、B和F处理土壤含水量均呈现上升趋势。40—100 cm土层,F处理土壤含水量呈现减小趋势,B、FB随土层深度增加无明显波动,但是FB土壤含水量要显著高于CK。0—100 cm土层,总土壤储水量FB在不同生长周期均显著大于CK处理,F和B处理在生长初期与CK无显著差异,在夏果期和秋果期要明显大于CK处理,在休眠期F要显著低于CK处理。土壤平均温度F比FB、CK和B分别高1.3℃、3.3℃和4.4℃。土壤温度变异系数F最大为0.22,CK次之为0.21,B和FB最小为0.18。FB、B和F的枸杞产量分别比CK提高了76.06%、45.78%、9.65%。水分利用效率FB和B分别比CK显著提高了77.14%和51.68%,而F仅比CK高出3.95%。FB处理不仅显著提高了土壤储水量并且改善了土壤表层的热量条件,为枸杞提供了良好稳定的生长环境,显著提高了枸杞的产量和水分利用效率。

关键词:土壤水分; 覆盖措施; 土壤温度; 水分利用效率; 枸杞产量

中图分类号:S156.99

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)01-0257-06

Effect of Different Mulching Treatments on Soil Hydrothermal Conditions and Yields of Gouqiberry in Ningxia

ZHANG Zhe^{1,2}, Li Zhigang^{1,2}, NI Xilu^{1,2}

(1. Key Laboratory of the Seedling Bioengineering, Ningxia Forestry Institute, Yinchuan 750004, China;

2. Yinchuan Urban Forest Ecosystem Research Station, State Forestry Administration, Yinchuan 750004, China)

Abstract: This study used Ningxia gouqiberry as the material, white film(F), branch chips(B), white film and branch chips(FB) as treatments and tillage as control(CK). The effects of different mulching treatments on soil moisture, soil temperature, water use efficiency and the yield of Gouqiberry have been studied. The results showed that soil moisture in FB, B and F treatments presented the upward trend in 0—40 cm soil layer; in 40—100 cm soil layer, soil water content of F treatment significantly reduced, soil water contents of B, FB presented no significant fluctuations with the increase of soil depth, but the soil water content of FB was significantly higher than CK; in 0—100 cm soil layer, the soil water storage of F was significantly higher than CK at different growth stages, and F and B treatments had no significant difference with CK at the beginning of growth, and were significantly higher than CK in summer fruit and autumn fruit; soil average temperature of F was higher than those of FB, CK and B, increased by 1.3℃, 3.3℃ and 4.4℃, respectively; soil temperature coefficient of variation of F is 0.22, 0.21 for CK, and 0.18 for B and FB; the yields of FB, B and F were 76.06%, 45.78% and 9.65% higher than that of CK; the water use efficiency of FB and B significantly increased by 77.14% and 51.68%, respectively, while the water use efficiency of F was only 3.95% higher than CK. The FB treatment not only significantly improved the soil water storage capacity and improved the heat conditions of the soil surface, provided the stable growth environment for the gouqiberry,

收稿日期:2017-02-17

修回日期:2017-03-13

资助项目:国家国际科技合作专项项目(2015DFA90900,2011DFG32780)

第一作者:张哲(1988—),男,宁夏吴忠人,硕士,主要从事水土保持方面的研究。E-mail:zhangzheban@163.com

通信作者:李志刚(1985—),男,宁夏海原人,博士,助理研究员,主要从事土壤生态学方面的研究。E-mail:lizg001@sina.com

but also significantly improved the yield and water use efficiency of gouqiberry.

Keywords: soil moisture; surface mulching; soil temperature; water use efficiency; yield of gouqiberry

宁夏地处西北地区,其西部、北部和东部分别被腾格里沙漠、乌兰布和沙地和毛乌素沙地包围,是中国沙漠化最严重的地区之一^[1]。由于土壤长期干旱缺水,全区90%的用水被用作农业灌溉用水^[2],而沙化土壤对水分的保持能力低^[3],不仅使得有限的降水未得到充分利用,而且相当一部分灌溉用水也因渗漏而被损失。水资源不足成为限制宁夏生态建设和农业生产的重要问题,也是需要解决的技术难题。

宁夏枸杞(*Lycium barbarum*)属茄科枸杞属落叶灌木,其干燥果实是我国重要的药用植物资源和药食同源的名贵中药材,具有增强免疫力、抗衰老、抗肿瘤、抗氧化等多方面的药理作用^[4]。宁夏枸杞主要分布在我国宁夏、内蒙古、新疆等省(区)的干旱、半干旱地区,具有很强的耐盐和耐旱特性,非常适合在盐碱、干旱和沙荒地种植^[5]。近年来,随着枸杞种植面积的日益扩大和宁夏引黄河水总量的逐年减少,改善土壤水分条件,提高水分利用效率,将是今后枸杞生产栽培中急需解决的一个关键问题。

覆盖栽培作为一种重要的旱作农业抗旱技术手段,在北方旱作农业区被广泛地推广应用,成为提高该区农业产量的一个重要措施^[6-7],通过研究覆盖措施对于干旱地区土壤理化性质、保水能力以及作物产量的影响发现^[8-10],覆盖技术改善了土壤的水、热状况等外部生态环境,活化了土壤养分,使养分有效性和水分利用效率提高。目前,国内外在干旱半干旱地区覆盖技术研究多集中地膜、秸秆和凋落物等有机物料,而少见利用林木废弃物来作为覆盖材料的相关研究。与秸秆及其他草本材料相比,木质材料(如树枝)在土壤中的分解速率慢^[11-12],可以降低材料的成本,而且林木废弃物中还含有大量的纤维素和半纤维素,是天然的保水材料^[13],可以在保持沙化土壤水分方面具有长效作用。针对以上问题及现状,本研究以杨树和柳树枝条以及地膜为覆盖材料,探讨单一覆膜、覆盖枝条、覆膜加覆盖枝条等覆盖措施对枸杞试验田土壤水分和温度以及枸杞产量等方面的影响,阐明不同覆盖措施对土壤水热效益的作用机理,从而为宁夏沙化土壤干旱地区覆盖栽培技术的改进和枸杞产量水平的提高提供科学依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于宁夏贺兰山东麓的银川腹部沙地

(107°22'E, 38°28'N),属于宁夏沙漠化地区,毗邻黄河,节灌农业发达。试验区海拔1115 m,属中温带半干旱大陆性气候,主要气候特点是昼夜温差大、雨雪稀少、蒸发强烈、气候干燥、风大沙多等。年均气温10.1℃,年均降水量181.2 mm,年均蒸发量1882.5 mm。1月份平均最低气温-15.2℃,极端最低气温-27.9℃,7月份平均最高气温30.1℃,极端最高气温37.2℃。相对湿度45%~66%。土壤类型为沙壤土,有机质含量1.14 g/kg, pH值8.53,沙粒含量13.7%,黏粒含量2.6%。

1.2 试验设计

本试验以宁夏枸杞为研究材料,设计4组人工处理方式。1. 对照(CK)不作任何处理,2. 覆膜(F)即枸杞树两侧铺设宽60 cm透明塑料薄膜,3. 覆盖枝条(B)即在枸杞树两侧覆盖厚度达3 cm宽60 cm的杨树粉碎枝条,4. 覆膜+覆盖枝条(FB)即在覆盖枝条的基础上覆盖塑料薄膜,每个处理3次重复,每个重复小区面积约200 m²,枝条覆盖量为7500 kg/hm²,覆盖枝条材料为直径0.5 cm、长度为1 cm的新疆杨枝条粉碎材料。

1.3 试验数据测定与方法

利用直角地温计测定10 cm土层的温度,测定时间为早上8:00,中午12:00,下午6:00。每月中旬和每次浇水前采用土壤剖面水分测定仪PR2(英国Delta-T)测定10 cm,20 cm,30 cm,40 cm,60 cm,100 cm土层的土壤体积含水量。在夏果期和秋果期,采摘并统计每个处理枸杞产量(鲜果重量)。试验数据的统计按照枸杞生长周期进行,分别为现蕾期:4月下旬—6月中旬、夏果期:6月中旬—8月上旬、休果期:8月上旬—9月下旬、秋果期:9月下旬—10月中旬。田间水肥管理按照常规进行。

1.4 土壤水分的计算

土壤贮水量的计算公式为:

$$H = \sum_{i=1}^n Q_i \times h_i \times 10 \quad (1)$$

式中: H 为土壤贮水量(mm); Q_i 为第 i 层土壤体积含水量(%); h_i 为第 i 层土壤厚度(cm); n 为测定土壤体积含水量土的层序。

水分利用效率(water use efficiency, WUE)的计算公式如下:

$$WUE = Y / (P - \Delta S) \quad (2)$$

式中:WUE为水分利用效率[kg/(hm²·mm)]; Y 为单位面积作物产量(kg/hm²); P 为作物生育期内的降水量(mm); ΔS 是收获期与播种期土壤储水量之差(mm)。

1.5 数据分析

采用 Excel 2007 建立数据库及绘图,试验数据采用 SPSS 22.0 软件进行数据处理及统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤水分

从土壤含水量的剖面变化来看,不同覆盖处理下土壤水分在不同生长周期存在一定的差异性。现蕾期降雨较少,枸杞主要通过吸收利用土壤水分来满足自身生长需要。在土壤表层 10 cm 处,各处理土壤体积含水量大小表现为 $FB > B > F > CK$,但差异不显著。在 0—40 cm 土层范围内,随着深度的增加,FB, B 和 F 处理土壤水分均呈现出上升的趋势。40—100 cm 土层范围内,与其他处理相比,F 处理土壤含水量表现出明显减小趋势,这可能是由于覆膜处理下枸杞能够利用土壤深层储水来满足生长需要,这与覆膜措

施存在会消耗土壤深层储水现象的已有研究结果一致^[14]。B,FB 随土层深度增加无明显波动,但是 FB 土壤含水量要明显高于 CK 处理,而 B 处理土壤含水量与 CK 无明显差异。CK 处理下,0—20 cm 土层内,土壤水分呈现上升趋势,随着土层深度的增加,土壤水分无明显增长现象。夏果期,降雨增多,各覆盖处理蓄水保墒效果明显。表层土壤含水量差异显著,F,FB 和 B 土壤含水量分别比 CK 高出 173.5%, 116.8%, 61.9%。0—100 cm 土层土壤含水量剖面变化特征与现蕾期相似。休果期,降雨较多且枸杞减缓生长,土壤水分消耗减少。各处理土壤含水量剖面变化整体表现出与现蕾期相同的趋势,但覆膜处理土壤含水量却出现明显降低现象,在 0—40 cm 土层要低于 FB 和 B 处理。秋果期,温度下降,降雨减少,土壤含水量相对减小,各覆盖措施土壤含水量剖面变化与其他三个生长周期基本一致。

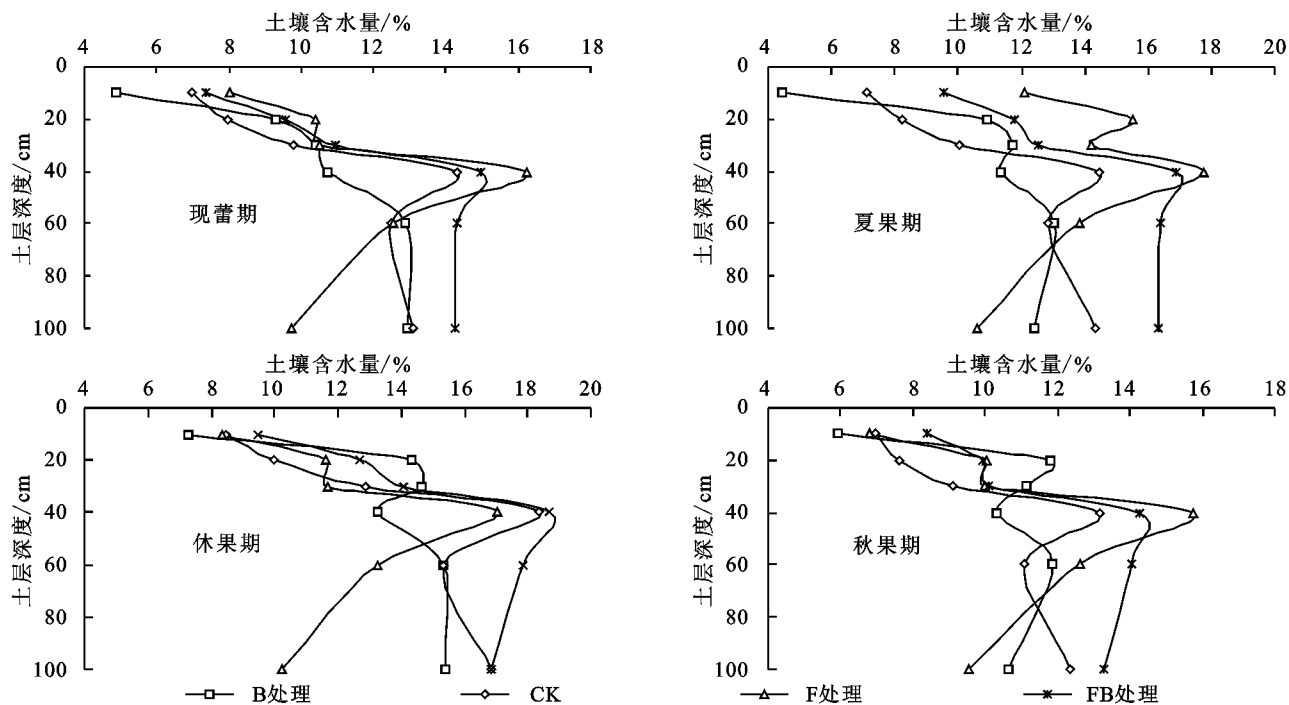


图1 不同生长周期下各处理土壤含水量的剖面特征

2.2 土壤储水量

分析比较不同生长周期各处理间土壤储水量发现(图2),各生长周期土壤储水量整体变化与降雨量的变化基本一致,夏果期和休果期储水量明显高于现蕾期和秋果期。现蕾期土壤储水量最低,FB>F>CK,B,由于此时期无明显降雨且为试验布设初期,所以各处理保水效果不显著,土壤储水量差异较小。夏果期,F,FB 和 B 处理土壤储水量分别比 CK 高出 31.45%, 30.66%, 4.85%,覆膜与覆膜加覆盖枝条处理由于减少了水分蒸发,蓄水保墒效果显著,单一覆盖枝条有一定保水作用但效果不明显。休果期,土壤储水量整体最高,这可能

是因为休果期枸杞生长减缓对土壤水分的消耗减少。土壤储水量表现为 $FB > B, CK > F$,相比于夏果期,休果期土壤储水量除 F 外均有一定程度增长,F 显著降低,比 CK 减少 11.11%,这可能是由于覆膜处理对降雨的截流作用以及使表层土壤温度过高从而增加土壤水分蒸发消耗导致的。秋果期无明显降雨,各处理土壤储水量均呈现下降现象,保水能力表现为 FB 最大,F 次之,B 大于 CK 但差异不显著。

2.3 土壤温度

土壤温度是影响微生物生物活性和植物生长过程的重要因素之一,其表征土壤的热状况,不仅直接影响

植物根系和幼苗的生长,还影响到近地面大气的温湿状况,并在微观层面上对土壤水分、养分的迁移和转化都有直接或间接的影响^[15]。图 3 显示了不同处理措施下 4 月下旬至 10 月上旬土壤表层温度变化,土壤表层温度呈现先升高后降低的趋势,这与气温变化趋势一致。4—6 月,9—10 月,F 和 FB 土壤温度要明显高于 B 和 CK,而在 7 月、8 月两个月各处理间温度差异减小。在 7 月以前和 9 月以后温度较低的时期,覆盖枝条处理土壤温度要高于对照处理,而在 7 月到 8 月温度最高的时期对照处理土壤温度要高于覆盖枝条处理。

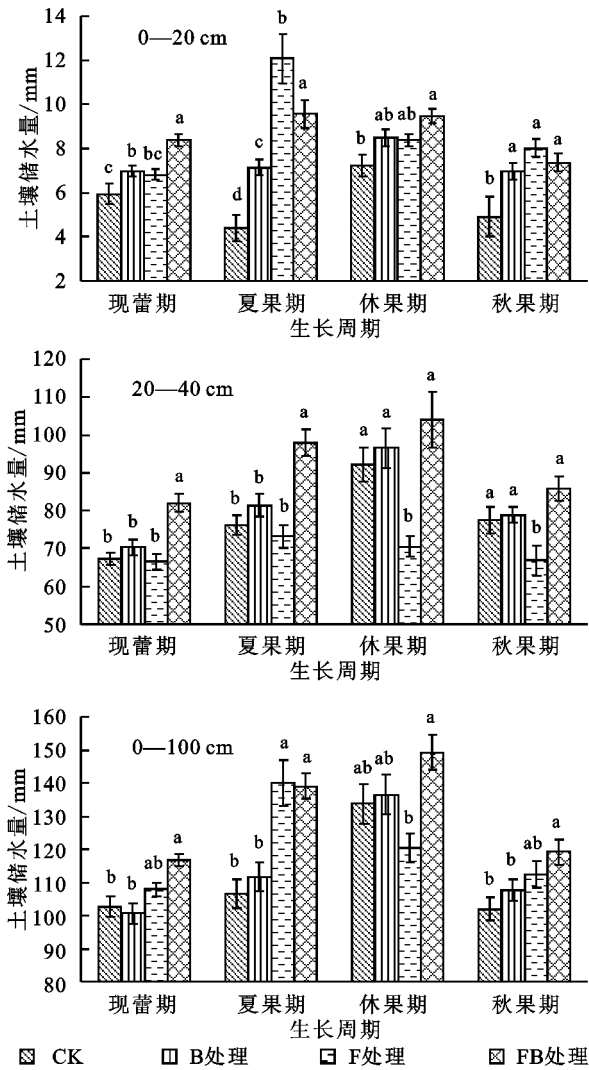


图 2 各处理不同生长周期土壤储水量变化

比较 4 种处理土壤表层平均温度发现(表 1),各覆盖措施对土壤表层温度影响差异显著,F 比 FB, CK 和 B 分别高出 1.3℃,3.3℃和 4.4℃。覆膜、覆膜加枝条均能明显提高土壤表层温度,而覆盖枝条有降低土壤温度的作用。土壤温度的日变化是一天内土壤热状况的直接反映^[16]。从表中一天内不同时间段各处理土壤表层温度可以看出,在温度较低的 8:00,B 处理土壤表层温度要大于 CK 处理,而随着

温度的升高,在 14:00 和 18:00 时 CK 处理温度反而高于 B 处理。F 与 FB 处理在不同时间段土壤温度均显著大于 CK 处理,但是在 8 点时两者温差减小,差异不显著,而在 14:00 和 18:00 时 F 土壤温度要明显高于 FB。从早上 8:00—14:00,B,CK,F,FB 温度依次升高 8.17℃,10.16℃,11.85℃,9.30℃,土壤温度的日变幅大小表现为 F>CK>FB>B。比较各处理土壤温度变异系数可以发现,F 最大为 0.22,CK 次之为 0.21,B 和 FB 最小为 0.18。

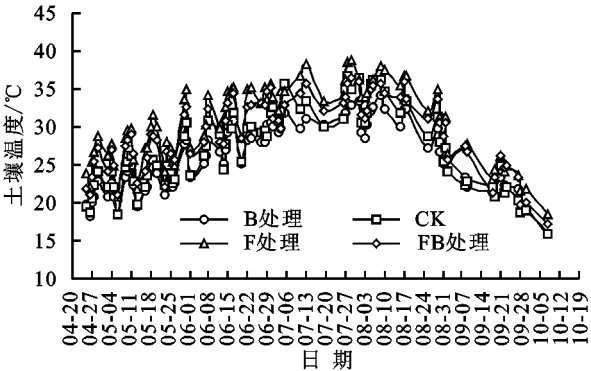


图 3 不同处理土壤表层温度变化

表 1 不同处理土壤表层平均温度

处理	时间			均值±标准差/℃	CV
	8:00	14:00	18:00		
CK	20.52b	30.68bc	30.29c	27.16±5.76b	0.21
B	20.69b	28.86c	28.57d	26.04±4.64b	0.18
F	22.67a	34.52a	34.21a	30.47±6.75a	0.22
FB	22.92a	32.22b	32.23b	29.12±5.37a	0.18

注:同列不同字母表示差异显著($p<0.05$),下同。

2.4 枸杞产量及水分利用效率

比较各处理对枸杞产量的影响发现(表 2),与 CK 相比,FB,B 和 F 的枸杞产量分别提高了 76.06%,45.78%,9.65%。其中 FB 和 B 明显高于 CK,而覆膜和对照处理产量差异不显著。通过对不同覆盖处理对土壤水分及温度的影响的分析,F,B 和 FB 均能有效改善枸杞地土壤水热条件从而提高枸杞产量,但是单一覆膜处理增产效果不好。分析原因,可能是因为覆膜使土壤表层温度过高从而抑制枸杞的生长,同时消耗大量深层储水导致枸杞产量下降。

结合土壤储水量、枸杞单位面积产量、生育期降雨量等数据,计算出枸杞地不同处理土壤水分利用效率。F,FB,B 和 CK 水分利用效率分别为 13.92,23.72,20.31,13.39 kg/(hm²·mm),FB 和 B 分别比 CK 显著提高了 77.14%和 51.68%,而 F 仅仅比 CK 高出 3.95%。各处理水分利用效率与产量基本是对应的。覆膜加枝条和覆盖枝条能够显著提高枸杞产量和水分利用效率。

表 2 不同处理下枸杞产量及土壤水分利用效率

处理	播前土壤 储水量/mm	收获后土壤 储水量/mm	生育期降 雨量/mm	产量/ (kg·hm ⁻²)	水分利用效率/ (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
CK	81.50bc	105.68b	129.03	2051.74c	13.39c
B	96.05a	114.20b	129.03	2990.58b	20.31b
F	91.44ab	123.96a	129.03	2249.41c	13.92c
FB	103.44a	126.68a	129.03	3611.31a	23.72a

3 讨论与结论

已有大量研究表明,地膜覆盖能够显著提高表层土壤含水量和温度,提高水分利用效率^[17-19],而以秸秆枝条为材料的覆盖技术措施可有效改善土壤的结构,增加土壤的水碳储量^[20-25]。但是亦有不少研究表明,地膜覆盖下的土壤墒情变化莫测,其增产作用受到了一定的限制,有些情况下甚至会导致减产减收^[26-31]。本研究表明,覆膜、覆盖枝条、覆膜加覆盖枝条 3 种覆盖措施在枸杞不同生长周期下土壤水分剖面变化基本一致,在 0—40 cm 土层均表现为上升的趋势,而 40—100 cm 土层表现各有差异。F,FB 和 B 处理均能提高土壤表层土壤含水量,特别是在降雨量较大且枸杞生长最为旺盛的夏果时期,F,FB 和 B 表层土壤含水量分别比 CK 高 173.5%,116.8%,61.9%,保水效果显著。覆膜措施虽然能够提高土壤表层墒情,但需要消耗深层储水,导致土壤含水量在 40 cm 土层以下出现明显下降,这可能是由于地膜对降雨的截流作用以及作物蒸腾耗水的增加导致深层土壤储水量下降^[31]。而枝条地膜双覆盖措施无论是对表层还是深层土壤水分均有明显提高作用,在 40—100 cm 土层深度范围内土壤含水量显著高于对照处理,这可能是由于枝条地膜双覆盖膜侧的土壤界面具有良好的蓄水保墒能力,从而弥补了一部分深层土壤水分的消耗^[32]。覆盖枝条土壤含水量整体要高于对照处理,但差异不明显。本研究表明,不同处理土壤储水量与土壤含水量的变化趋势基本是一致的。覆膜加枝条处理土壤储水量在不同生长周期均显著大于对照处理,而覆膜和覆盖枝条在不同阶段差异也不同。在枸杞生长旺盛的夏果期和秋果期,F 和 B 处理土壤储水量要明显大于 CK 处理,在生长初期三者差异不显著,在降雨将多的休果期,覆膜要显著低于对照处理。这说明土壤储水量的变化是降雨和枸杞生长消耗共同作用的结果。

本研究表明,覆膜、覆盖枝条,覆膜加覆盖枝条这 3 种处理对土壤表层温度均有一定影响,土壤平均温度 F 比 FB,CK 和 B 分别高 1.3℃,3.3℃和 4.4℃。覆膜和覆膜加枝条处理在生长早期及后期增温效果明显,而覆盖

枝条在温度较低时具有保温效应,而温度较高时又能起到降温作用。B,CK,F,FB 处理的土壤温度的日变幅为 8.17℃,10.16℃,11.85℃,9.30℃,而各处理间土壤温度变异系数 F 最大为 0.22,CK 次之为 0.21,B 和 FB 最小为 0.18。结果说明,覆膜措施可以增大土壤表层温度日差异,而覆盖枝条处理能够减缓温度的升高平抑温度的差异,枝条地膜双覆盖技术在提高温度的同时又能够减小土壤温度的剧烈变化,给土壤提供一个稳定的温度条件。已有研究发现,对于一个生态系统,温度的稳定性将有利于产量的提高^[32]。

水热条件是影响作物生长发育最重要的因素,作物产量的形成往往是二者综合作用的结果^[33],这与本研究结果相一致。与常规耕作措施相比,覆膜技术显著地改善了土壤的水分条件,但是地膜覆盖造成的土壤温度过高会胁迫作物生长从而导致产量和水分利用效率降低^[34-36],而覆盖枝条措施在保墒蓄水的同时能够降低土壤温度,对枸杞的产量和水分利用效率有一定的促进作用。在本研究中,地膜加覆盖枝条的覆盖技术很好的将前二者的优点结合起来,不仅显著提高了土壤储水量并且改善了土壤表层的热量条件,为枸杞提供了良好稳定的生长环境,将水热优势转化为最终产量优势,显著提高了枸杞的产量和水分利用效率(分别较常规耕作增加了(76.06%和 77.14%))。

综上所述,单一覆膜措施不适合枸杞的应用推广。从枸杞产量和水分利用效率的角度来说,覆膜加覆盖枝条的覆盖技术具有一定的推广前景,但还要综合考虑其经济效益和其他方面的因素,最终才能看出其推广前景及可行性的问题,而有关其应用的可行性方面有待进一步的研究。

参考文献:

[1] Li Jinya, Yang Xiuchun, Jin Yunxiang, et al. Monitoring and analysis of grassland desertification dynamics using Land sat images in Ningxia, China[J]. Remote Sensing of Environment, 2013,138(6):19-26.

[2] 陶希东,石培基,李鸣骥.西北干旱区水资源利用与生态环境重建研究[J].干旱区研究,2001,18(1):18-22.

[3] Andry H, Yamamoto T, Irie T, et al. Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected by temperature and water quality[J].

- Journal of Hydrology, 2009, 373(1): 177-183.
- [4] Penuelas J, Filella I, Llusia J, et al. Comparative field study of spring and summer leaf gas exchange and photo-biology of the mediterranean trees *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*[J]. Journal of Experiment Botany, 1998, 49: 229-238.
 - [5] 魏玉清, 许兴, 王璞. 土壤盐胁迫下宁夏枸杞的生理反应[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 213-217.
 - [6] Li Fengmin, Guo Anhong, Wei Hong. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. Field Crops Res., 1999, 63: 79-86.
 - [7] 李世清, 李凤民, 宋秋华, 等. 半干旱地区不同地膜覆盖时期对土壤氮素有效性的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1519-1526.
 - [8] 汪景宽, 张继宏. 地膜覆盖对土壤肥力影响的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1992, 23(Z09): 32-37.
 - [9] 赵海祯, 梁哲军, 齐宏立, 等. 旱地小麦覆盖栽培高产机理研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(2): 1-4.
 - [10] 周劲松. 覆盖对土壤理化性状的影响[J]. 青海大学学报, 1996, 14(2): 60-64.
 - [11] 张鼎华, 翟明普, 林平, 等. 杨树刺槐混交林枯落物分解速率的研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 24-26.
 - [12] Weedon J T, Cornwell W K, Cornelissen J H, et al. Global metaanalysis of wood decomposition rates: A role for trait variation among tree species[J]. Ecology Letters, 2009, 12(1): 45-56.
 - [13] 彭燕. 林木废弃物再生型保水剂节水增肥效果研究[D]. 浙江临安: 浙江农林大学, 2013.
 - [14] Zhang S, Li P, Yang X, et al. Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring-sown maize[J]. Soil and Tillage Research, 2011, 112(1): 92-97.
 - [15] 翟志芬. 应对气候变化的农业节水技术评价研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
 - [16] 王小东, 许自成, 刘占卿, 等. 液膜覆盖对烟田土壤水热状况和烤烟生长发育的影响[J]. 节水灌溉, 2008(4): 8-10.
 - [17] 田媛, 李凤民, 刘效兰. 半干旱区不同垄沟集雨种植马铃薯模式对土壤蒸发的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 795-800.
 - [18] 王彩绒, 田霄鸿, 李生秀. 沟垄覆膜集雨栽培对冬小麦水分利用效率及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(2): 208-214.
 - [19] 王红丽, 张绪成, 宋尚有, 等. 旱地全膜双垄沟播玉米的土壤水热效应及其对产量的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2609-2614.
 - [20] 杜建涛, 何文清. 北方旱区保护性耕作对农田土壤水分的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 25-29.
 - [21] Govaerts B, Sayre K D, Goudeseune B, et al. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands[J]. Soil & Tillage Research, 2009, 103(2): 222-230.
 - [22] Morris N L, Miller P C H, Orson J H, et al. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment: A review [J]. Soil and Tillage Research, 2010, 108(1/2): 1-15.
 - [23] Langdale G W, West L T, Bruce R R, et al. Restoration of eroded soil with conservation tillage[J]. Soil Technology, 1992, 5(1): 81-90.
 - [24] 李志刚, 谢应忠. 翻埋与覆盖林木枝条改善宁夏沙化土壤性质[J]. 农业工程学报, 2015, 31(10): 174-179.
 - [25] 李志刚, 李建, 谢应忠. 地表人工覆盖对宁夏沙化土壤保水能力的影响[J]. 林业科学, 2015, 51(5): 1-10.
 - [26] 韩思明, 王虎全. 旱作地膜覆盖穴播小麦底墒与产量关系[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2001, 29(2): 91-94.
 - [27] 杜延军, 李自珍, 李凤民. 半干旱黄土高原地区地膜覆盖和底墒对春小麦生长及产量的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(3): 404-411.
 - [28] 李凤民, 鄢珣, 王俊, 等. 地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 330-333.
 - [29] 张振华, 蔡焕杰. 水分亏缺对覆膜玉米生长发育及产量的影响[J]. 灌溉排水, 2001, 20(2): 13-16.
 - [30] 乌瑞翔, 刘荣权, 卢翠玲, 等. 地膜玉米的最佳播期及其“两个学说”的应用[J]. 中国农业科学, 2001, 34(4): 433-438.
 - [31] 栗锡龄. 晋中平川区中熟型春播玉米不宜应用地膜覆盖[J]. 山西农业科学, 1988, 16(4): 37-40.
 - [32] 殷涛, 何文清, 严昌荣, 等. 地膜秸秆双覆盖对免耕种植玉米田土壤水热效应的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 78-85.
 - [33] Laboski C A M, Dowdy R H, Allmaras R R, et al. Soil strength and water content influences on corn root distribution in a sandy soil[J]. Plant and Soil, 1998, 203(2): 239-247.
 - [34] Wang Y J, Xie Z K, Sukhdev S M, et al. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semiarid Loess Plateau, China. Agricultural Water Management, 2009, 96(3): 374-382.
 - [35] Zhang S L, Lars Lövdahl, Harald Grip, et al. Modelling the effects of mulching and fallow cropping on water balance in the Chinese Loess Plateau[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 93(2): 283-298.
 - [36] 彭超, 陈月华, 吴际友. 不同地表覆盖对地表温度、湿度和土壤水分的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(4): 54-59.